平成２７年度
地層処分技術調査等事業
（高レベル放射性廃棄物処分関連：
可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発）

報告書

第１編
可逆性・回収可能性の意義及び確保のあり方の整理

平成２８年３月

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

本報告書は、経済産業省からの委託研究として、公益財団法人　原子力環境整備促進・資金管理センターが実施した平成 27 年度地層処分技術調査等事業（高レベル放射性廃棄物処分関連：可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発）の成果を取りまとめたものです。

第Ⅰ編　可逆性・回収可能性の意義及び確保のあり方

目次

第１章　はじめに 1
第２章　検討の背景と目的 3
2.1　地層処分の段階的な進め方における可逆性・回収可能性の考え方 3
2.2　本事業における検討の背景と目的 6
第３章　本検討会における議論の視点と進め方 7
3.1　議論の視点 7
3.2　議論の進め方 8
第４章　平成 27 年度の活動内容 10
4.1　全体概況 10
4.2　検討会設置背景等の共有と議論の対象とする検討項目の抽出 10
4.3　可逆性・回収可能性を必要とする動機 14
4.4　実現性の提示に向けた技術的アプローチの方向性 18
4.5　回収後の廃棄体管理 22
第５章　おわりに 26

付録１　検討会の委員構成と平成 27 年度の議論の経緯
付録２　代替管理方策の比較検討を含む地層処分の選択と事業展開のマイルストーン
付録３　総合資源エネルギー調査会放射性廃棄物ＷＧでの最近の議論の状況
付録４　可逆性・回収可能性に関する国内外の議論や検討等における主な論点や課題
付録５　可逆性・回収可能性に関する諸外国の法規制制度等と必要とする動機
付録６　主要国における回収概念の検討・開発動向
付録７　回収後の廃棄体管理に関する具体的な検討事例

図表目次

図 2.1-1　R&R プロジェクトで示された処分場の各段階における回収可能性の変化の概念 .5
図 4.4-1　わが国でも参照し得る回収可能性に関する技術的アプローチの方向性（戦略） .20
図 4.4-2　わが国における段階的な処分概念等の開発のアプローチ.....21

表 2.1-1　可逆性および回収可能性の定義 5
表 3.2-1　わが国における可逆性・回収可能性に関する議論を示す主な報告書.....9
表 4.2-1　可逆性・回収可能性に関して国際機関等が主導した検討・取りまとめの例 12
表 4.2-2　本検討会で議論の対象とした 13 の検討項目 12
表 4.3-1　可逆性・回収可能性に関する諸外国の制度整備状況の整理結果一覧.....15
表 4.3-2　可逆性・回収可能性を必要とする動機の整理結果一覧 16
表 4.4-1　R&R プロジェクトで示された回収可能性に係る技術的アプローチの方向性 19

第Ⅰ編　可逆性・回収可能性の意義及び確保のあり方の整理

第1章　はじめに

原子力や放射線の利用に伴い様々な形態の放射性廃棄物が発生している。現世代の責任として、それらの安全な処理・処分の具体化に向けた検討を行い着実に実施していく必要がある。放射性廃棄物を地下深くに処分する地層処分は、多様な管理方策の比較検討を経て、現在では国際的な合意事項として選択されるとともに、隔離、閉じ込め、多重安全機能ならびに受動的手法といった地層処分の基本的な概念や倫理的課題[1]への対処としての段階的な進め方等が、国際的な議論を経て構築されている。

わが国では、商業用原子炉が運転を開始する 1966 年以前より、その処分方法についての検討がなされ、1976 年に原子力委員会において、「当面地層処分に重点をおき研究開発を進める」ことが決定された[1]。その後、わが国における地層処分の実現可能性について、特殊法人核燃料サイクル開発機構（現独立行政法人日本原子力研究開発機構（JAEA））を中心に、わが国における地質データ等を基に 20 年以上の研究を行い、この研究成果を受けて、2000 年に原子力委員会[2]において「わが国でも地層処分が実現可能である」と評価された[2]。また、こうした技術的な検討と並行して、立地選定プロセスや処分実施主体等の在り方等の制度的な検討が行われ、1998 年に原子力委員会[3]において、制度的な枠組みに関する基本的考え方が示されている[3]。これを踏まえ総合エネルギー調査会[4]において制度の具体化が検討され[4]、2000 年に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（以下、「最終処分法」という。）が制定された。

最終処分法では、①処分実施主体たる原子力発電環境整備機構の設立、②３段階の処分地選定調査（文献調査、概要調査、精密調査）を経て最終処分施設建設地を決定する処分地選定プロセス、③「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（最終処分基本方針）」及び「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画（最終処分計画）」の策定、④電気事業者等が毎年の原子力発電電力量等に応じ原子力発電環境整備機構に処分費用を拠出すること、⑤その他安全確保のための仕組み（掘削制限を行う保護区域の設定や機構が業務困難な場合の措置等）等、処分のための仕組みが整備された。こうした体制の整備を踏まえ、処分事業の実施主体として設立された原子力発電環境整備機構（NUMO）が、2002 年より全国の市町村を対象に最終処分場の立地に向けた文献調査の公募を開始した。

一方で、処分制度の創設以降 10 年以上を経た現段階においても最終処分地の選定に向けた目処

---

1 例えば、次世代へ繰り越すリスクや負担などの世代間の公平性や、処分施設の影響を受ける地域とそうでない地域に関する問題といった世代内の公平性などが、倫理的課題として挙げられている（2.1 節に詳述）。

2 原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会

3 原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会

4 総合エネルギー調査会原子力部会

が立っていない状況に加えて、2011 年 3 月 11 日には、東日本大震災や東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故という未曾有の惨禍を経験し、原子力発電を巡って国や電力事業者等に対する信頼も大きく失墜している。このような中、総合資源エネルギー調査会　放射性廃棄物ワーキンググループ（以下、「廃棄物WG」という。）では、これまでの取組を繰り返すのではなく、最終処分政策の枠組みを見直し、原点に立ち返って何が根本的な課題なのかを追求することが必要であるとの認識のもと、わが国の最終処分政策の再構築に向けた議論が行われた。このような議論を経て、現世代として地層処分に向けた取組を進めることが再確認されるとともに、2015 年 5 月に改訂された特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（以下、「最終処分基本方針」という。）で、「機構は、特定放射性廃棄物が最終処分施設に搬入された後においても、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保するもの」とされた。

こうした背景を踏まえ、本事業では、可逆性・回収可能性に関するわが国における今後の具体的な運用や技術開発に資する多面的な検討を行うことを目的として、「可逆性・回収可能性の確保に向けた論点整理に係る検討会」を設置した（2.2 節に詳述）。

本書は、平成 27 年度の委託事業成果報告書として、本年度における検討会の活動内容について、これまでの議論の中間整理を含めて報告するものであり、本書の第２章以降、以下の構成で取りまとめている。

第２章　検討の背景と目的

第２章では、ここで議論の対象とする可逆性・回収可能性の意義や考え方について、地層処分の概念や段階的な進め方との関係を含めて、導入情報として紹介している（2.1 節）。その上で、上述した本事業における検討の背景と目的について詳述している（2.2 節）。

第３章　本検討会における議論の視点と進め方

第３章では、検討会を設置して議論を進める上での視点を整理し（3.1 節）、検討会の具体的な進め方について述べている（3.2 節）。

第４章　平成 27 年度の活動内容

第４章では、本検討会の平成 27 年度の活動内容の報告として、これまでの議論の進展等について、議論で得られた共通理解や示唆などを含めて、次の３つ観点から中間整理している。

◯可逆性・回収可能性を必要とする動機（4.3 節）

◯実現性の提示に向けた技術的アプローチの方向性（4.4 節）

◯回収後の廃棄体管理（4.5 節）

第５章　おわりに

第５章では、第４章で整理した平成 27 年度の議論の進展等を要約するとともに、今後の議論に向けた取組の方向性について述べている。

第2章　検討の背景と目的

本章では、本事業で設置した検討会が議論の対象とする可逆性・回収可能性の意義や考え方について、地層処分の概念や段階的な進め方との関係を含めて、これまでの国際的な議論を踏まえた共通理解を引用しつつ、導入情報として紹介する（2.1 節）。

その上で、第 1 章で概説した本事業における検討の背景と目的について詳述する（2.2 節）。

2.1 地層処分の段階的な進め方における可逆性・回収可能性の考え方

(1)　地層処分の段階的な進め方

放射性廃棄物の管理については、例えば、人間および環境の防護という安全目標[5]を達成するための管理に係る次のような原則[6,7]など、国際的な合意が得られた基本的な考え方がある。

- 原則 1　人間の健康の防護：人間の健康に対して許容出来るレベルの防護を確保するような方法で管理する
- 原則 2　環境の防護：許容出来るレベルの環境防護を提供するような方法で管理する

これらに加えて、原子力や放射線を利用してきた現世代の責任や将来世代への負担といった世代間及び世代内の公平性などの課題を踏まえた倫理的な原則が、経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）の放射性廃棄物管理委員会の集約意見として示されている[5][7]。

これらの原則を満足させる最終管理方策として、**隔離**、**閉じ込め**、**多重安全機能**ならびに**受動的手法**といった安全確保の基本概念に基づく地層処分が国際的な合意事項として選択されている。

一方、地層処分において配慮すべき倫理的課題として、世代間の公平性について次のことを挙げている。すなわち、能動的な管理に依存しない受動的手法による地層処分の選択が次世代へ繰り越すリスクや負担の最小化という観点から正当化されているものの、事業期間に影響が及ぶ数世代を含めた世代内の公平性については、例えば処分施設の影響を受ける地域とそうでない地域に関する問題などが、意思決定プロセスに関する課題として挙げられている。このような課題は、数十年に亘る事業期間において、如何に公衆を含む関係者との協議を進め、そのような世代内の公平性に係る問題を斟酌できるかという観点から提起されている[7]。

こうした課題を踏まえ、長期に及ぶ処分事業の実施過程において、地層処分の技術的な信頼性を段階的に向上させるという観点に加え、放射性廃棄物管理に関する倫理的課題への対処として、事業を段階的に進めることが提案されている。例えば、意思決定プロセスの課題に関して OECD/NEA は、公衆（中でも最も影響を受ける地元の公衆）が意味のある形で計画立案プロセスに関与する段階的な意思決定システムが[6]、処分事業の実施に柔軟性を与え、関連するステークホルダーに不可逆的な選択をさせることなく長期にわたる社会的な学習を可能とし、更に、決定

---

[5] 例えば次のような倫理的選択を行う上での指針として使用されるべき原則。
・将来世代に過度の負担を課すことのないような方法で管理されなければならない。
・廃棄物を発生する世代は、安全かつ実行可能で環境的に許容可能な廃棄物の長期管理に対する解決策を模索し、適用しなければならない。
・廃棄物管理戦略は、不明確な将来に対して、安定した社会構造や技術の進展を前提としてはならない。

[6] 技術的な保証に力点を置いた従来の意思決定モデル（決定、通知、擁護型モデル）ではなく、技術的保証と参加型民主主義に基づく質の高いプロセスの双方に重点を置いた意思決定モデル（関与、相互関係、協力型のモデル）。

の透明性や追跡性の強化、公衆或いは規制当局からのフィードバックを可能とすることで、意思決定者と実施主体の専門的な能力に対する信頼を培うこともできると結論付けている[8]。

(2) 段階的な進め方における可逆性・回収可能性の考え方

処分事業における可逆性・回収可能性に関する議論は近年のものではなく、例えば回収可能性については、前述した受動的な安全システムを提供する地層処分の基本概念との関係において、1982 年の段階で OECD/NEA が次のような考えを示している[9]。

1)回収可能性は閉鎖段階以後における必要条件にはならないものの、このことが操業段階における回収装置等の利用を禁止していることを意味しているわけではない。

2)回収作業の難しさや費用は廃棄物の種類や場所などにも依存するが、最新技術を使用すれば定置済みの廃棄物の回収は可能である。

3)何らかの技術的ではない理由で、廃棄物の回収を容易にする機能を処分施設に含める場合、閉じ込めシステムの健全性を犠牲にしないように注意しなければならない。

上述 3)の表現を裏返せば、上述 1)及び 2)は、例えば安全性の観点から要求される品質を確保できないような場合における是正措置など、この段階における回収可能性の議論は、主に技術的な不確実性への対処という文脈で論じられていたことが窺える。また、上述 3)が示唆するように、回収の容易性を指向することに対して、閉鎖後長期の安全性との間にトレードオフがあり得ることが認識されていた。

その後、1995 年の OECD/NEA の取りまとめでは、上述したように、「地層処分において配慮すべき倫理的課題」を挙げ、その対処として公衆が意味のある形で計画立案プロセスに関与する段階的な意思決定システムの重要性を指摘している[7]。以降、例えば、新たな管理技術が将来開発される可能性や廃棄物を資源と見なすような場合など、将来の政策変更を念頭に置いた可逆性を有する段階的な意思決定プロセス及びそのような可逆性を技術的に担保するものとしての回収可能性が、地層処分の安全確保の概念や倫理的課題との関係などから論じられてきた。

2000 年代に入り、国内外で更なる議論が進められるなかで、2007 年から 4 ヵ年にわたり OECD/NEA が主導したプロジェクト[7]（以下、「R&R プロジェクト」という。）では、処分事業の段階的な進め方における可逆性及び回収可能性の位置付けや考え方について、加盟国による意見集約が行われた。意見集約の結果として、可逆性及び回収可能性について、表 2.1-1 のように定義するとともに、閉鎖後の遠い将来においてもなお廃棄体の回収は可能であるという共通理解のもと、次のような概念について図 2.1-1 のように整理している[10]。

◯可逆性を有する段階的な意思決定の節目における評価の概念

◯処分場の各段階における回収可能性の変化に関する概念（回収の容易性と費用および安全確保上の管理概念との関係を定性的に説明）

[7] R&R は Reversibility（可逆性）及び Retrievability（回収可能性）を表している。

表 2.1-1　可逆性および回収可能性の定義

可逆性(Reversibility)

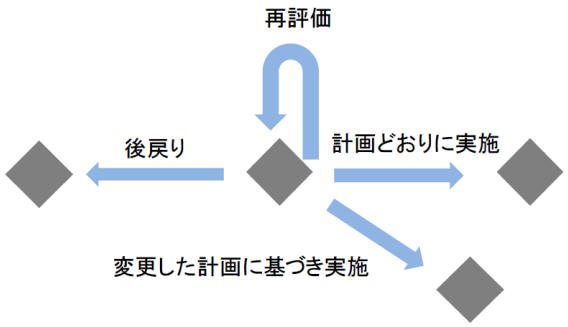
原則として、処分システムを実現していく間に行われる決定を元に戻す、或いは検討し直す能力を意味する。後戻り(Reversal)とは、決定を覆し、以前の状態に戻す行為である。

回収可能性(Retrievability)

原則として、処分場に定置された廃棄物或いは廃棄物パッケージ全体を取り出す能力を意味する。回収(Retrieval)とは、廃棄物を取り出す行為である。回収可能性があるということは、回収が必要となった場合に回収ができるようにするための対策を講じることを意味している。

右図:段階的なアプローチの節目において、従前に与えられた決定が次の節目でどのように再評価されるかを模式的に示したもの。

下図:段階的なアプローチにおける再評価(可逆性)を支持する回収可能性について、放射性廃棄物のライフサイクルにおける受動的安全性の関係及び回収の容易性・費用との関係を模式的に示したもの。



(図出典：文献[10]の公式和訳資料より)

図 2.1-1　R&R プロジェクトで示された処分場の各段階における回収可能性の変化の概念

2.2 本事業における検討の背景と目的

第１章で述べたように、廃棄物ＷＧにおいて、最終処分政策の再構築に向けた審議が行われた。廃棄物ＷＧにおける中間とりまとめ（2014 年 5 月）では、“可逆性・回収可能性が適切に担保されるのであれば、現世代として地層処分に向けた取組を進めることは、最も適切な対処方策である”、“数世代にも及ぶ長期的な事業であることから、可逆性・回収可能性を担保し、将来世代も含めて最終処分に関する意思決定を見直せる仕組みとすることが不可欠”との見解が示された。

こうした議論を踏まえ、2015 年 5 月に改定された最終処分基本方針は、地層処分事業における可逆性・回収可能性について、次のように示している。

○今後の技術やその他の変化の可能性に柔軟かつ適切に対応する観点から、基本的に最終処分に関する政策や最終処分事業の可逆性を担保することとし、今後より良い処分方法が実用化された場合等に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにする。このため、機構（原子力発電環境整備機構）は、特定放射性廃棄物が最終処分施設に搬入された後においても、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保するものとする。

（以上、「第４　特定放射性廃棄物の最終処分の実施に関する事項」からの抜粋）

○最終処分施設を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査研究を進め、最終処分施設の閉鎖までの間の特定放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。

（以上、「第５　特定放射性廃棄物の最終処分に係る技術の開発に関する事項」からの抜粋）

以上のように、わが国の地層処分事業の段階的な進め方において、安全性の確保を前提とした処分施設の閉鎖段階までの回収可能性の維持及び政策や事業に関する可逆性の担保が位置付けられたところであるが、わが国における今後の具体的な運用や研究開発の推進に向けて更なる検討が必要と考えられる事項（論点）について整理しておくことは重要である。

このような背景を踏まえ、本事業では、技術及び社会科学の双方に配慮した有識者で構成する「可逆性・回収可能性の確保に向けた論点整理に係る検討会」（以下、「検討会」という。）を設置し（付録１参照）、わが国の地層処分事業において可逆性・回収可能性を確保していく上で、今後の具体的な運用等に向けて更なる検討が必要と考えられる事項の整理を行うこととしている。

整理に向けた検討では、諸外国における検討動向等を参考にしつつ、将来の代替処分オプション等の選択可能性の評価、政策や事業の安定性、研究開発の着実な実施、安全性の確保など、多面的な観点から議論を行い、その結果を報告書として取りまとめ、公開等を通して最終処分政策の推進に資することを目的とする。

第3章　本検討会における議論の視点と進め方

3.1 議論の視点

上述したように、わが国の地層処分事業における可逆性・回収可能性は、廃棄物ＷＧ等での議論を経て改定された最終処分基本方針において、施設閉鎖までの回収可能性の維持及び政策や事業に関する可逆性を担保することとしている。更に、原子力委員会は「最終処分計画の改定に際しては、その時点までの技術開発の状況や概要調査地区等の選定の状況を踏まえ、意見の多様性及び専門性を確保しつつ審議を行い、その妥当性について評価」とされている[8]。

上記の最終処分基本方針の改定に至る廃棄物ＷＧでの議論は、2.1 節に示した可逆性・回収可能性に関する国際的な共通理解として得られた次の定義[9]を参照しつつ進められてきた。そのような経緯を踏まえ、本検討会では、可逆性・回収可能性の定義について、OECD/NEA が示したものを踏襲する（以下、既出の表 2.1-1 からの再掲）。

可逆性（Reversibility）：原則として、処分システムを実現していく間に行われる決定を元に戻す、或いは検討し直す能力を意味する。後戻り（Reversal）とは、決定を覆し、以前の状態に戻す行為である。

回収可能性（Retrievability）：原則として、処分場に定置された廃棄物或いは廃棄物パッケージ全体を取り出す能力を意味する。回収（Retrieval）とは、廃棄物を取り出す行為である。回収可能性があるということは、回収が必要となった場合に回収ができるようにするための対策を講じることを意味している。

本検討会における可逆性・回収可能性に関する議論では、最終処分法に基づき策定されている最終処分基本方針の規定事項を前提として検討を進め、諸外国における議論や国際的な議論を参考とし、わが国の制度や取組に留意しつつ議論を進めることとしている。

その際、上述した廃棄物ＷＧでの審議を中心とした可逆性・回収可能性に関する国の審議会での検討経緯や政策・施策への反映動向等は、本検討会における議論の前提或いは議論の範囲を確認するうえで重要な背景情報となることから、本検討会での議論に先立ち、これらを付録３のように整理し、本検討会における可逆性・回収可能性の定義及び議論の視点や範囲について、次のように共有したうえで議論を進めている。

○本検討会が対象とする『施設閉鎖までの可逆性・回収可能性の維持』は、最終処分法の枠内での取組として、将来世代にわたる段階的な社会的合意形成に係る活動を担保するものであり、可逆性と回収可能性は連動して考えるべきとする廃棄物 WG の議論を念頭に置く。

○これまでのわが国の安全規制に係る検討等において、回収可能性に関する安全規制制度の一定の関与が示唆されてきた経緯を念頭に置く（表 3.2-1 参照）。

---

8 平成 27 年 5 月に改定された最終処分基本方針は、最終処分計画の改定に際して原子力委員会がその時点までの技術開発の状況や概要調査地区等の選定の状況を評価することとしている。

9 経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）が 2011 年に取りまとめたレポート[10]は、可逆性・回収可能性に関する加盟国の意見集約結果や考え方などを整理している。

○以上を踏まえ、本検討会では、可逆性と回収可能性を連動したものとして、それぞれ、「可逆性：制度論」、「回収可能性：制度論から導かれる技術的要求等」といった視点で議論を展開する。その際、以下に留意する。

・制度論として議論する可逆性については、最終処分基本方針の改定によって明文化されたものの、将来、実際に可逆性が実行されたと仮定した際、付随する制度的課題が想定される場合には、今後の検討すべき事項の抽出に向けて議論を進める（例えば費用負担のあり方など）。

・回収可能性については、今後整備される安全規制制度の検討に委ねるべき事項があり得ること、特に回収可能性に係る技術的観点では、要求すべき或いは配慮すべき事項等において共通する部分があり得ることに留意する。

なお、本検討会における回収可能性に関する議論では、本検討会で考慮すべき回収可能性の維持期間を以下のとおりとしている。

○R&R プロジェクトを踏襲した回収可能性に関する本検討会での定義を踏まえ、維持期間の起点を操業開始時点（廃棄体の定置以後）とする。

○維持期間の終点は、最終処分基本方針や NUNO の安全確保構想での考え方[11]を踏まえ、施設閉鎖（閉鎖措置計画の認可）までとする。

○回収可能性の維持期間には、最終処分基本方針を踏まえ、施設を閉鎖せずに一定期間回収可能性を維持する可能性を考慮する。

※以上を基本とするが、例えば、回収可能性の維持期間に関する技術的な検討では、坑道開放期間中の維持・管理といったことも検討の対象となり得ることから、そのような検討の際には、坑道の掘削・施工等を含む建設段階や回収作業に要する期間も考慮することとなる。

3.2 議論の進め方

議論に先立ち、可逆性・回収可能性に関するわが国の議論（表 3.2-1 参照）および制度を整理・共有するとともに、海外において先行的に行われた検討や取組の動向等を概観し、そこで論点や課題とされた事項等を整理し、議論を順次行うこととした。

本年度の第 1 回検討会では、諸外国の検討動向等の把握を経て、以下に示す 13 の検討項目を抽出している（4.2 節に詳述）。

本検討会で議論の対象として抽出した 13 の検討項目

○考慮すべき動機　○考慮すべき動機の事業段階に応じた変化　○可逆性・回収可能性の実行に係る判断基準・判断指標　○回収の技術的な実現性　○回収の容易性　○回収後の廃棄体の管理　○処分場設計への技術的要求　○回収可能性に係る戦略・計画の策定　○研究開発・実証　○閉鎖せずに回収可能性を維持する場合の施設設計や安全性への影響　○モニタリング等の役割　○費用　○意思決定のホールドポイントに係る留意事項

第 2 回検討会以降、これらの検討項目に対する議論を順次行い、適宜フィードバックや議論か

ら派生する新たな検討項目に対する柔軟な対応に留意しつつ検討会の運営を行い、検討会活動の終盤において、全体の議論を俯瞰し、本検討会としての取りまとめの視点等を確認・共有したうえで、本検討会の報告書として全体の取りまとめを行う計画である。

表 3.2-1　わが国における可逆性・回収可能性に関する議論を示す主な報告書

- 原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会(1998 年):高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について
- 原子力安全委員会(2000 年):高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第 1 次報告)
- 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会(2006 年):放射性廃棄物の地層処分に係る安全規制制度のあり方について
- 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会(2008 年):高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る安全規制について
- 原子力安全委員会特定放射性廃棄物処分安全調査会報告(2011 年):地層処分に関する安全コミュニケーションの考え方について

第4章　平成 27 年度の活動内容

4.1 全体概況

平成 27 年度には 4 回の検討会を開催した（付録 1 参照）。前章で述べたように、第 1 回検討会では、本検討会における検討の前提や範囲等を確認し、主に海外におけるこれまでの先行的な議論や取組の動向等を概観したうえで、本検討会で議論の対象とする検討項目の抽出を行った（4.2 節に詳述）。

第 2 回検討会以降は、抽出した検討項目毎に、更なる関連情報等の把握を行いつつ議論を展開している。平成 27 年度は、抽出した 13 の検討項目のうち、6 つの検討項目について議論を進めた。

平成 27 年度の議論は、次年度に予定する本検討会としての取りまとめを行う前の中間段階のものとなるが、議論を行った 6 つの検討項目に関して、把握・共有した関連情報や議論の内容について、次の 3 つの観点から 4.3 節～4.5 節に中間整理する。

◯可逆性・回収可能性を必要とする動機（4.3 節）

◯実現性の提示に向けた技術的アプローチの方向性（4.4 節）

◯回収後の廃棄体管理（4.5 節）

なお、このような検討項目毎の議論では、以下に留意して関連情報等を参照・把握しつつ、議論を進めることとしている。

◯海外主要国における具体的な検討事例や法規制制度の整備動向等を詳細に把握する※。

◯本検討における前提や境界条件となり得る、わが国の現行の制度等を適宜確認する。

※国際機関が主導した検討等に基づく国際的な意見集約では、下記のような点で留意が必要との認識に基づき、国際機関主導の検討で得られた可逆性・回収可能性の考え方などと、各国の現実的な制度整備の状況等との差異を注意深く把握することとしている。

・例えば 2.1 節で紹介した R&R プロジェクトでは、現時点で理想とされる段階的なアプローチの概念のもと、そこでの可逆性・回収可能性のあり方や考え方が整理されている部分があり得る（理想的な形に向けた取組の提案や示唆なども含まれる）。

・そのため、現実的には国毎の制度整備状況や取組の動向等との間には差異がある可能性が想定される。

4.2 検討会設置背景等の共有と議論の対象とする検討項目の抽出

(1)　検討会設置背景等の共有

本検討会の最初の会合となる第 1 回検討会では、本検討会の主たる目的である、「わが国における今後の具体的な運用や研究開発の推進等に向けて更なる検討が必要と考えられる事項の整理」に向けた議論に先立ち、以下の関連情報等の確認や共有を行った。

◯廃棄物ＷＧにおける審議を中心とした可逆性・回収可能性に関するわが国の審議会での検討

経緯や政策・施策への反映動向など（付録３参照）。

○本検討会が対象とする『閉鎖段階までの可逆性・回収可能性の維持』に関する、意義や考え方ならびに本検討会における議論の視点や進め方（第２章や第３章に整理した内容を確認）。

これらの背景情報や本検討会の進め方の確認の際に、次のような意見があった。既に本書の第３章などに整理した本検討会における議論の視点や進め方は、このような意見を踏まえた議論を経て、検討会において予め確認・共有したものである。

◇可逆性と回収可能性を、それぞれどのような視点で議論すべきか。可逆性と回収可能性は制度面と技術面の双方に関係するテーマであり、検討項目に応じて視点を明確にしつつ議論を進める必要がある。

◇議論に先立ち、本検討会の議論の前提や範囲を明確にしておく必要がある。例えば、最終処分基本方針で可逆性が制度化された状況下で、制度面でどのような議論が必要か。

◇検討項目毎の各論の議論では、個々の国の取組の経緯や制度の細部といった海外の情報も参考にすべきである。また、例えば、回収可能性に関する技術的観点からの議論において、海外事例を参照する際には、サイトの地質条件、適用される処分概念等の違いにも留意する必要がある。

(2)　本検討会において議論の対象とする検討項目の抽出

議論の対象とする検討項目の抽出に向けて、主に海外におけるこれまでの先行的な議論や検討の動向等を概観した。可逆性・回収可能性に関する考え方など、海外における先行的な議論や検討、特に国際機関が主導した意見集約の例として、表 4.2-1 に示すような技術資料が取りまとめられている。2.1 節に示した OECD/NEA の R&R プロジェクトでは、表 4.2-1 に示す諸外国や国際機関のこれまでの検討経緯を踏まえ、地層処分事業を進めるうえで想定される将来の不確実性への対処の 1 つとして念頭に置かれている処分事業の段階的な進め方において、可逆性・回収可能性の位置付けや考え方について、最新の加盟国の意見集約結果や考え方などが整理されている。

このような国際的な検討や取りまとめの経緯を踏まえ、ここでの検討項目の包括的な抽出においては、R&R プロジェクトの最終報告書を主な対象として、可逆性・回収可能性の運用上の論点や課題等に関連する情報を整理しつつ検討項目案として抽出した。表 4.2-2 に示した 13 の検討項目は、そのような国際的な検討動向等に関する情報に加え、国内の検討経緯（表 3.2-1）も参照しつつ、検討会での確認を経て、本検討会で議論の対象とすべきものとして抽出したものである。表 4.2-2 には、このような先行的に行われた検討等から得られた示唆や国際的な共通理解等の内容についても整理している（詳細は付録４に整理）。

表 4.2-1　可逆性・回収可能性に関して国際機関等が主導した検討・取りまとめの例

- OECD/NEA (1982): Disposal of Radioactive Waste, An Overview of the Principles Involved
- OECD/NEA (1995): The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal A Collective Opinion of the NEA RWMC
- EC (2000): Concerted Action on the Retrievability of long-lived Radioactive Waste in deep Underground Repositories
- OECD/NEA (2001): Reversibility and Retrievability in Geologic Disposal of Radioactive Waste, Reflections at the International Level
- NAS (2001): Disposition of High-Level Waste and Spent Nuclear Fuel: The Continuing Societal and Technical Challenges
- NAS (2003): ONE STEP AT A TIME, The Staged Development of Geologic Repositories for High-Level Radioactive Waste
- OECD/NEA (2004): Stepwise Approach to Decision Making for Long-term Radioactive Waste Management Experience, Issues and Guiding Principles
- OECD/NEA (2006): The Roles of Storage in the Management of Long-lived Radioactive Waste
- OECD/NEA (2008): Moving Forward with Geological Disposal of Radioactive Waste
- IAEA (2009): Geological Disposal of Radioactive Waste: Technological Implications for Retrievability
- OECD/NEA (2011): Final Report of the NEA R&R Project (2007-2011),"Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel"

表 4.2-2　本検討会で議論の対象とした 13 の検討項目

検討項目	これまでの国内外の先行的な検討からの示唆など（国際的な共通理解等を含む）
考慮すべき動機	○可逆性・回収可能性を必要とする動機の検討が行われ、具体的な動機が示されている。但し、これらは可逆性・回収可能性の導入検討に至る背景（理由）として、事実情報や分析結果として示されたものであり、この検討項目自体は主たる論点として挙げられているわけではない。 ○諸外国の個別の制度等を踏まえると、関連する幾つかの制度でこれらへの動機に対応している。
考慮すべき動機の事業段階に応じた変化	○事業進展（時間経過）に伴う、処分技術への理解増進、技術の成熟や地層処分の技術的信頼性の向上などにより、当初の動機の重みが変化する、或いは動機の種類そのものが変化する可能性がある。
可逆性・回収可能性の実行に係る判断基準・判断指標	○一般的には、可逆性・回収可能性の実行判断には、多様な事項に関する総合的な評価が必要。それぞれの項目に対する判断基準と重み付けが必要となるが、それらを予め予見することは不可能である。 ○一部の動機に関して、モニタリングなどの物理情報が、回収実行の判断の指標となり得る。
回収の技術的な実現性	○技術的な実現性に関して、重点化の方向性に関する意思決定が必要である。 ○閉鎖後であっても、一定の期間は回収が可能である。回収可能性の程度のレベルについては、考慮の余地がある。 ○回収の実現性は、技術的要件のみならず、回収作業の安全性、回収費用などにも考慮が必要。
回収の容易性	○技術的な実現性に関して、重点化の方向性に関する意思決定が必要である（回収技術の開発、或いは回収を容易とする処分場への設計変更）。 ○回収の容易性が（回収可能性の程度をどのレベルにするか）、ステークホルダーにとっての主要な問題である。 ○回収を容易にするための労力に影響する因子としては、処分場設計、時間スケール、回収時の状態（処分場の変遷状態）などがある。

検討項目	これまでの国内外の先行的な検討からの示唆など（国際的な共通理解等を含む）
回収後の廃棄体の管理	○可逆性・回収可能性の実行時には（判断指標や実現性にも関係）、回収後の廃棄体の管理方法を具体化しておく必要がある。
処分場設計への技術的要求（設計への影響を含む）	○技術的な実現性に関して、重点化の方向性に関する意思決定が必要である（回収技術の開発、或いは回収を容易とする処分場への設計変更）。 ○概念的ではあるが、幾つかの技術的要件や留意事項等が示唆されている。例えば、 1）閉鎖後に不必要に回収を困難にする設計とすべきではない 2）回収可能性の維持期間における廃棄体や坑道／ライニング等の健全性維持、など
回収可能性に係る戦略・計画の策定	○技術的な実現性に関して、重点化の方向性に関する意思決定が必要である（回収技術の開発、或いは回収を容易とする処分場への設計変更）。 ○上記の方向性を含め、回収可能性に関する戦略を早い段階から検討・策定する必要があり、それを定期的に見直すことが重要である。 ○戦略策定における検討／考慮事項等が示唆されている。
研究開発・実証	○技術的な実現性に関して、重点化の方向性に関する意思決定が必要である（回収技術の開発、或いは回収を容易とする処分場への設計変更）。 ○可逆性・回収可能性の維持と同様に、そのための研究開発・実証の重要性が増している。 ○それらの研究開発や実証は、可逆性・回収可能性に信頼性を持たせるためにも継続が必要。 ○技術的な研究開発ニーズと同様に、社会科学研究も重要。
閉鎖せずに回収可能性を維持する場合の施設設計や安全性への影響	○回収可能性の要件のために、処分場を開放したままにしておく期間が長くなる可能性がある。 ○その一方で、閉鎖を延期することはまったく価値がない（受動的安全な状態の達成が遅れる）。 ○例えば、アクセス坑道が回収概念の一部である場合、開放されている期間にわたり、健全性が維持されるように設計されなければならない。 ○長期的にみると、必要以上に長期間、開放したままにしておくことで、安全性を低下させる可能性がある。
モニタリング等の役割	○継続的なモニタリングや閉鎖後管理の継続の必要性という認識が、可逆性の要求に帰着している可能性がある（閉鎖段階、或いはそれ以降も安全性を確認したいとする要求）。 ○一方で、モニタリングは建設・操業プロセスで通常に行われるものである（可逆性と回収可能性を取り入れているかどうかは関係ない）。
費用	○回収可能性の維持の導入にはベネフィットとリスクがある。 ○費用増はリスクの1つであり、回収可能性の維持／実行に係る具体的な費用項目が示唆されている（回収自体に係る費用と、回収可能性の維持に係る費用は区別される）。 ○コストを誰が負担するかは、重要な問題の1つである。
意思決定のホールドポイントに係る留意事項	○段階的アプローチにおける、各段階の節目（決定の重要度とインターバル）には、持続可能性と短期的効率の間にコンフリクトが発生する可能性がある。 ○インターバルを短くするメリット（社会的受容が高まる可能性、段階間の影響の程度の縮小化など）の反面、全体としての意思決定プロセスに係る時間増やコスト増、新たなリスクも想定される。 ○可逆性・回収可能性は、方針変更の可能性を排除しないという意思の反映であり、必ずしも方針変更が生じるということを期待しているわけではない。

4.3 可逆性・回収可能性を必要とする動機

抽出した 13 の検討項目に関する議論では、最初の議論として「考慮すべき動機」を対象とした。最初の議論として本検討項目を取り上げた意図は次のとおりである。

○回収可能性については、今後整備される安全規制制度の検討に委ねるべき事項があり得る。動機の整理に加えて制度との関係でこれらの動機がどのように整理できるかといった議論により、安全規制制度との関係で留意すべき事項が、より具体化できる可能性がある。

○廃棄物ＷＧでは、主に将来世代の意思決定の柔軟性の確保という点から可逆性・回収可能性が論じられてきたところであるが、その他の動機を含めた多様な動機への対応の観点から、地層処分事業に関連する各種制度との関係が整理できれば、可逆性・回収可能性の実行に至るシナリオやその際の実行判断のあり方（どのような状況や理由で判断・実行するか）などを具体的にイメージすることができ、本検討会の取りまとめの視点設定において活用できる可能性がある（例えばわが国の現行制度等を踏まえた制約や境界条件の明確化など）。

検討会における議事運営では、相互の関連性が想定された３つの検討項目（考慮すべき動機、考慮すべき動機の事業段階に応じた変化、可逆性・回収可能性の実行に係る判断基準・判断指標）を統合的に議論することとし、これらに関連する海外情報を整理・共有し、把握した海外の事実情報を出発点として議論を進めた。以下に、これらの議論に先立ち共有・把握した関連情報を整理したうえで、平成 27 年度の検討内容について中間整理する。

(1)　議論に先立ち共有・把握した関連情報

1)　可逆性・回収可能性に関する諸外国の制度整備状況

可逆性・回収可能性を必要とする動機や制度との関係性の観点から、海外主要国の制度整備状況を整理した。整理においては、可逆性・回収可能性のみならず、動機の観点から関連性が想定される地域の意向を尊重する制度に関する整理も行っている（表 4.3-1 参照）。それらの動向は次のように要約できる（詳細は付録５に整理）。

①事業規制制度（事業推進に係る制度）

- フランスが可逆性、スイス及び米国が回収可能性の維持を明示的に要求。
- フィンランド、カナダが、事業推進の面から制度として回収可能性の維持を位置付け。
- 既にサイトを特定して建設許可申請段階にあるスウェーデンやフィンランドでは、回収可能性等の位置付けに変化が見られる。

②安全規制制度（回収可能性の維持を明示的に要求しているもの）

- ドイツ、スイス、米国が回収可能性の維持を明示的に要求（以前は、フィンランドも安全規則で要求）。

③安全規制制度（回収可能性等のための措置が安全性に影響を及ぼしてはならないことを明示的に要求しているもの）

- ドイツ、スイス、米国以外の全ての主要国において明示的に要求。

④地域の意向を尊重する制度については、上記の可逆性・回収可能性に係る制度とは別の制度として位置付けられている（スウェーデン、フィンランド、英国など）。

⑤制度として可逆性・回収可能性の維持を位置付けることと、事業進展との関係性は定かでは

ないが、時期的には次の関係となっている。

- スウェーデン：1992 年のサイト選定活動開始段階から、回収可能性に取り組むことを実施主体の研究開発計画として提示。
- フィンランド：オルキルオトへの処分場設置を決める原則決定手続きの前後（2000 年前後）に回収可能性の維持を制度的に位置付け。
- フランス：1992 年のサイト選定活動前から可逆性を示唆。但し制度としての位置付けはビュールへの地下研設置の決定段階。
- スイス：2008 年からのサイト選定活動前の 2004 年の原子力法令の改正で回収可能性の維持を位置付け。
- 米国： 1982 年のサイト選定手続き等を定めた法律で回収可能性の維持を位置付け。

表 4.3-1　可逆性・回収可能性に関する諸外国の制度整備状況の整理結果一覧

（注）下表における安全規制制度の欄　　維持：可逆性・回収可能性の維持の要求の有無
影響：回収可能性等のための措置が安全性に影響を及ぼしてはならない旨の要求の有無

国	可逆性・回収可能性の維持等を要求する規定の有無			地域の意向を尊重する制度の有無	制度整備状況に関する概要
	事業規制制度	安全規制制度			
		維持	影響		
スウェーデン	×	×	○	○	●実施主体（SKB社）が1992年の研究開発計画より、本格操業の前に5年間の初期操業期間（実証定置処分：全体の5～10%を定置）の導入に関する調査研究を提案（併せて、実証定置処分の期間は、**回収**が必要であることを提示）。 ●サイトを決定して立地・建設許可申請段階にある現在では、実証定置処分の概念はなくなっている。 ●サイト選定段階（立地・建設許可申請段階まで）における地域の意向の反映を環境法典によって制度化。
フィンランド	△（回収可能性）	×	×	○	●サイトの決定に関する原則決定に際して、環境影響評価（EIA）における議論も考慮して、**回収可能性**の維持を規定（政府が策定した1999年の一般安全規則、及び2000年の政府の原則決定文書）。 ●但し、2008年の安全規則改定に伴い、安全規制制度上の同規定は廃止（原則決定は現在も存続）。 ●サイト選定段階（原則決定段階まで）における地域の意向の反映を原子力法によって制度化。
フランス	○（可逆性）	×	○	×	●サイト選定プロセスを再考した1991年法で**可逆性**を示唆。現在の唯一の候補サイトへと繋がるビュールへの地下研設置を決めた1998年の省庁間委員会決定において**可逆性**のある地層処分を支持。 ●2006年法で**可逆性**の維持を規定（少なくとも100年間）。可逆性の条件は、設置許可申請後に新法で規定する予定。 ●現在の安全指針は、**可逆性**のある地層処分を前提としている。但し、現時点では具体的な要求・要件に係る規程はない（可逆性の条件を定める新法制定を経て、安全指針への反映等が想定される）。
ドイツ	×	○（回収可能性）	○	×（サイト選定手続きを検討中）	●事業規制（事業推進）の観点から、現在検討中（2013年のサイト選定法に基づき委員会で検討中）。 ●安全規制制度（2010年の安全要件）では、操業期間中における**回収可能性**の維持を要求。併せて、閉鎖後の**回収の可能性**に備えて、廃棄体パッケージが500年間健全であることを要求。
スイス	○（回収可能性）	○（回収可能性）	○	×	●2004年に改正した原子力法／原子力令、および安全規制制度（2009年の安全要件）の双方で、処分場の閉鎖まで**回収可能性**を要求（多額の費用を要せず回収が可能な方法で廃棄物の定置を要求）。 ●地域の意向の反映などはないが、サイト決定後に（地下特性調査施設の建設前）、憲法規定に基づき、条件を満たせば国民投票を行うことができる。
英国	×	×	○	○	●法規制制度（サイト選定に係る2014年の政府白書や安全規制に係る2009年のガイダンス）では、操業段階において回収を行うことができるとしているが、**回収可能性**の維持は要求していない。 ●サイト選定段階（詳細は、現在検討中）における地域の意向の反映を、サイト選定手続きを規定する政府白書（2014年）において規定。
カナダ	△（回収可能性）	×	○	△	●法規制文書としては、可逆性・回収可能性に関する規定はない。 ●但し、2005年に実施主体（NWMO）が政府に提案した、**回収可能性**を維持した「適応性のある段階的管理」※は、2007年の総督決定により、カナダの長期管理アプローチとなっている。その後の2010年よりサイト選定を開始。 ●NWMOが2010年に策定したサイト選定計画（9段階からなるプロセス）において、地下実証施設の建設・操業に係る許認可プロセスの前迄（第6段階迄）、地域の意向が反映できることを示している。 ※適応性のある段階的管理：サイト貯蔵や集中貯蔵等を組合せて最大240年の間、**回収**のためのアクセスを維持する概念が可能性のある概念として示されている。
米国	○（回収可能性）	○（回収可能性）	×	△	●ユッカマウンテンの選定に至るサイト選定への着手段階より、事業規制（事業推進）（1982年NWPA）および安全規制制度（1981年NRC規則）の双方で、操業期間中における**回収可能性**の維持を要求。 ●安全規則が要求する**回収可能性**の維持については、その目的と期間が特定されている（安全性の観点から、NRC審査期間中における是正措置等の可能性を意図）。 ●サイト選定段階（大統領が処分場のためのサイトの推薦書を連邦議会に提出する際）に、サイト立地州の知事等が不承認通知を連邦議会に提出できる。ただし、連邦議会上下院の決議による立地承認決議により不承認を覆すことが可能。

2)　諸外国の制度や検討過程で示された可逆性・回収可能性を必要とする動機

前記 1)と同様の観点から、海外主要国の制度や検討過程で示された可逆性・回収可能性を必要とする動機を整理した。整理においては、法規制整備に資する事前の検討文書、法規制文書（事業規制制度、安全規制制度）等の関連文書で具体的に示された動機を抽出し、R&R プロジェクトの意見集約や国内のこれまでの議論で示された動機についても加味して整理を行った。

これらの動機は、表現の類似するものを９つに統合・集約して表 4.3-2 に整理した（詳細は付録５に整理）。このような整理から、次のような傾向を把握した。

○出典文書における動機の記述に関する多様性・包含性は、『法規制整備に資する事前の検討文書 ＞ 事業規制制度＞ 安全規制制度』という傾向がある。

○安全規制制度で明示的に示される動機は、主に「安全性」に係るものに限定されている。

○法規制文書では、動機に関する記述までは示されないケースが多く、安全規制文書では、安全性に係ることを暗黙的な前提として、そのような動機が明記されていないケースが多い。

表 4.3-2　可逆性・回収可能性を必要とする動機の整理結果一覧

動機の種類（分類）	国内外の法規制文書や検討文書等で示された可逆性・回収可能性を必要とする動機 茶：法規制策定に資する検討文書、青：法規制文書（事業規制）、緑：法規制文書（安全規制）、【参考】：黒：NEAの意見集約や国内検討
①段階的意思決定プロセスの担保・プロセスに対する信頼醸成	【スウェーデン】段階的な意思決定における後戻りの実現性 【フランス】段階的意思決定プロセスの担保（精神的保証、全てを一度に決めるリスクの回避、不可逆なプロセスの回避）、信頼醸成、決定（政策や方針など）変更の柔軟性確保 【ドイツ】段階的なプロセスに対する信頼構築 【英国】段階的で柔軟なプロセスへの信頼醸成 【カナダ】柔軟性のある段階的アプローチの支持 【NEA・国内検討】不可逆的な段階の回避
②地層処分概念への支持獲得のための期間確保	【スウェーデン】（回収可能性の）維持期間における管理方法や安全性に対する理解促進、信頼醸成 【フランス】地層処分事業に対する信頼醸成 【NEA意見集約・国内検討】安全性に関する信頼構築
③科学・技術の進歩や新たな望ましい管理方策の開発、社会的進展	【スウェーデン】将来のより望ましい管理方策の選択可能性 【フィンランド】新たな管理技術の進展、技術の進歩 【フランス】将来の科学や技術や他の処分方法の研究の進歩、技術的進展、社会的進展（変化／進展への適応）、更なる最善技術の導入 【ドイツ】新たな改善技術や管理方策・方針 【スイス】国際的な解決策の実現、科学・技術の進展（分離・変換、新固化技術、改良を含む新たな処分概念） 【英国】将来の技術的進展、より良い管理方法 【カナダ】将来の更なる改善技術や管理方法 【米国】処分場のコスト低減、操業改善
④将来世代による選択の権利の維持	【フランス】倫理を伴う将来世代の権利、選択の自由の確保、将来世代の選択の自由、将来世代の新たな倫理概念への適応、将来世代による決定の権利 【ドイツ】将来世代の選択の余地 【英国】将来世代の選択の自由 【カナダ】将来世代の選択の可能性
⑤新たな資源価値等としての再利用	【フィンランド】廃棄物のエネルギーとしての再利用 【フランス】廃棄物の資源利用、資源としての再利用 【ドイツ】将来の資源としての再利用 【スイス】資源としての再利用、地下（処分場）の新たな利用（地下資源、坑道工事など） 【英国】廃棄物の再利用 【カナダ】廃棄物のエネルギー利用、再利用 【米国】廃棄物の資源利用、使用済燃料中の経済的価値のある含有物の回収 【NEA意見集約・国内検討】資源に将来アクセスできるようにしておきたいという要望
⑥安全性に係る課題／想定外の状況への対応	【フランス】安全性 【ドイツ】安全性、不測の事態への対応 【スイス】安全性（長期安全性がもはや保証できないと判断される場合） 【英国】安全性（リスクへの対処） 【カナダ】安全性（問題発生時の対応） 【米国】安全性（住民の健康・安全、環境影響）、安全性（NRC審査期間中における是正措置等） 【NEA意見集約・国内検討】長期性能に影響する可能性のある想定外の状況に対処
⑦不安（安心感醸成）	【NEA意見集約・国内検討】技術に関する理解度が十分でないこと（または技術の成熟度に対する信頼がないこと）、管理を行わない受動的な安全性の概念への不安
⑧閉鎖前に処分場の性能を確認または実証したいという要望	【ドイツ】瑕疵修正 【NEA意見集約・国内検討】閉鎖の前に処分場の性能を可能な範囲内で確認または実証したいという要望
⑨実施主体によるBATの導入（回収可能性のみ）	※上記③とも関係する。 【フランス】処分実施者による継続的な最善技術等の探求に係る責任喚起

(2)　平成 27 年度の検討内容

既に述べたように、可逆性・回収可能性を必要とする動機を整理し、それらの動機への対応の観点から地層処分事業に関連する各種制度との関係性について整理することが、ここでの検討の目的である。そのような整理によって、本検討会が対象とする最終処分法の枠内での可逆性・回収可能性で考慮すべき動機の特定、更には、その実行に至るシナリオや判断基準のあり方などをより具体的にイメージすることができ、それらは、今後の具体的な運用等を考えるうえでの有益な情報として活用できると想定している。

前述(1)で整理した諸外国の制度整備状況等から、次のようなことが把握できる。諸外国における、これらの動機に対する制度としての対応動向も参照しつつ、検討会では動機の整理・分類のあり方、それらの動機の事業段階の違いに応じた変化を考える上での留意事項、将来の可逆性・回収可能性の実施に係る判断等のあり方などについて議論を実施した。

〇安全性に係る課題や想定外の状況への対応など、特定の動機への対応として、安全規制制度が一定の関与を示している。

〇地域の意向を尊重する制度は、可逆性・回収可能性に係る制度とは別の制度として考慮されている。

こうした情報の共有を含めた平成 27 年度のこれまでの議論では、特に、表 4.3-2 に示した動機の整理・分類のあり方に関して、次のような意見が示された。

◇表現の類似するものを統合・集約した 9 つの動機の種類は並列に並べて良いものか、更なる精査も必要ではないか。

◇理解のし易さという観点から、次のような観点での再整理や体系化も考え得るのではないか。

・動機の種類に関する更なる統合。

・上位概念（例えば将来世代の権利）と下位概念（他の具体的な動機）への分類・体系化。

・特定の視点に基づく整理・分類（例えば、安全という観点からの動機や公衆の関心や受容性という観点からの動機など）。

◇候補サイトが具体化する段階になれば、その状況に応じた動機の変化も想定される。事業の進展に伴う各段階をイメージして、動機を持つ主体やその変化等について考えることも有益ではないか。

◇ここでの検討成果を、今後社会にも理解し易く提示していくという観点から、分類における視点の設定など、今後、更に議論を深めていく必要がある。そのうえで、わが国の制度との関係で、これらの動機との関係をどのように整理できるかを詰めるのが良いのではないか。

これらの意見は、議論の出発点とした表 4.3-2 に示す動機の種類の整理について、分類・集約に特定の視点を加味することで、より相互の関係性が明確になり、分かり易くなる可能性を示している。このことから、次年度も引き続き、可逆性・回収可能性を必要とする動機に関する更なる情報整理や議論を進め、そのうえで、わが国の制度との関係性についての整理を進めることとした。

4.4 実現性の提示に向けた技術的アプローチの方向性

ここでは、13 の検討項目のうち、相互の関連性が想定された２つの検討項目（回収の技術的な実現性、回収の容易性）を統合的に議論した。2.1 節で紹介したように、地層処分では閉鎖後の遠い将来においてもなお廃棄体の回収は可能であるという国際的な共通理解があることを念頭に、検討会における議論は、社会に技術的な実現性を示すうえでの「技術的アプローチの方向性（戦略）※」を主要な視点の１つとして議論を展開した（戦略・計画の策定、或いは技術的アプローチの細部に係る部分は、今後の関連する検討項目において議論することを予定している）。

以下に、これらの議論に先立ち共有・把握した関連情報を整理したうえで、平成 27 年度の検討内容について中間整理する。

※ここでの技術的アプローチとは、次の下線のようなことを意味する。

「回収可能性は、全体設計と開発プロセスのごく一部でしかないという点も認識しておく必要がある。処分場開発を進める中で、回収可能性に関する戦略的な意思決定を行う必要がある。つまり、処分場の設計は変更せずに回収方法の開発に重点をおくのか、あるいは回収を容易にするために設計変更に重点を置くのかという点である。（R&R プロジェクト）」

(1)　議論に先立ち共有・把握した関連情報

1)　主要国における回収概念の検討・開発動向

回収の技術的な実現性や回収の容易性等に関連するものとして、海外主要国における回収概念の検討経緯や技術開発等に係る動向を整理した。わが国における今後の具体的な運用等に向けて更なる検討が必要と考えられる事項という観点では、これらの海外主要国における動向等を参照する際には、地質環境や処分概念の違いなどに留意が必要となることから、主要国の具体的な情報整理においては、次の 3 つの観点から整理を行っている。

①地層処分概念
②可逆性・回収可能性に関する制度整備状況
③回収概念（回収工程や回収要素技術等の技術的な検討・開発動向）

上述した関連情報の整理から、それらの動向は次のように要約できる。海外主要国毎の詳細な整理情報については、付録６を参照されたい。

○フィンランドとスウェーデンでは、処分概念開発や設計において回収可能性を考慮しておらず、回収におけるコア技術として、緩衝材除去による廃棄体回収の技術開発が行われている。
○フランスと米国では、処分概念開発や設計において回収可能性を考慮している（例えば、廃棄物パッケージと処分坑道の隙間を一定の期間埋戻さないような概念の導入など）。両国とも回収作業の机上検討がなされ、フランスでは更に、回収し易い廃棄体の形状や回収機器の装置開発や実証試験が行われている。
○スイスでは、主要な処分施設において廃棄体の定置後は速やかに埋戻すこととなっているが、一方で多大な出費を必要とせずに回収を可能とすることが法的要件として求められている。また、閉鎖前までは主要な処分施設へのアクセス坑道を開放した状態で、パイロット施設でモニタリングを行うことで、回収の意思決定に資する情報を提供することが考えられている。回収作業に係る技術開発に関する机上検討が進められている。

○処分概念や回収概念の開発に係る技術的なアプローチや回収の技術開発の進捗等に差異があるものの、取り上げた海外主要 5 ヶ国のいずれの国においても、閉鎖までの回収可能性を維持するための技術的な取組が進められている。

○回収作業として念頭に置かれている作業期間として、例えば、米国では操業期間の 6 割程度の期間が想定されている。

2) R&R プロジェクトで示された回収可能性に係る技術的アプローチの方向性（戦略）

R&R プロジェクトの取りまとめでは国際的な共通理解の 1 つとして、回収可能性に係る技術的アプローチの方向性（戦略）に関するものが、表 4.4-1 のように示されている。これらの記述から、戦略設定におけるポイントとして、

①実現性に関する戦略は事業のどのタイミングでどのように設定し得るか

②実現性のレベルをどのように要求し得るか

③回収の容易性をどのように考え得るか

といったことが示唆される。これらを包含するものとして、R&R プロジェクトでは次の主要な 2 つの戦略が示されており、回収可能性に関する戦略的な意思決定を行う必要性を示している。

戦略 1 ：受動的安全に向けた処分場の設計は変更せずに「回収方法の開発」に重点を置く

戦略 2 ：回収を容易にするために「設計変更」（処分概念や設計への反映）に重点を置く

表 4.4-1　R&R プロジェクトで示された回収可能性に係る技術的アプローチの方向性

（以下、R&R プロジェクトから、技術的アプローチの方向性（戦略）に関連する部分を抜粋）

- 回収可能性は、全体設計と開発プロセスのごく一部でしかないという点も認識しておく必要がある。処分場開発を進める中で、回収可能性に関する戦略的な意思決定を行う必要がある。つまり、処分場の設計は変更せずに回収方法の開発に重点をおくのか、或いは回収を容易にするために設計変更に重点を置くのかという点である。
- ･･･（略）･･･最も重要な決定は、処分場構築の後の段階で可逆性や回収可能性を実現させる作業を容易にするために可逆性や回収可能性を持たせるための措置を設計に組み込むかどうかに関するものである。
- 操業中に、特定の建設方法、例えば、坑道掘削にトンネル掘削機を使用すると、閉鎖後の回収可能性が容易になることも指摘されている。
- 地層処分施設の受け入れを検討している地元の利害関係者が主に問題とするのは、廃棄物を容易に回収できるかということである。
- 廃棄物を回収しようとする場合、回収を容易にするための労力に影響する因子は、(i)処分場概念、バリア、および場所、(ii)回収可能性が求められているとすると、その時間スケール、(iii)廃棄物の回収が行われるときに処分場がどの程度変化しているか、である。そのような回収が実際にできるかどうかについては、作業者の安全性、費用の最小化、他の技術的要件を考慮しなければならない。原則として、処分場が廃棄物回収のための特別な措置を講じられているかどうかにかかわらず、廃棄物を特殊な採掘技術を用いて閉鎖した地層処分場から取り出すことは可能と考えられる。回収可能性の管理戦略は、回収可能性の程度をどのレベルにするか、いろいろと考えることが可能である。
- 操業段階の後半、すなわち、多くの廃棄体が定置されているが、処分坑道の埋戻し･閉塞がまだ実施されていないときには、回収はまだ比較的容易であり、必要なことは定置プロセスを逆に行う程度のことだけである。しかし、操業期間においてそれより後になると、回収は次第に困難かつ費用がかかるようになる。その理由は、単に後戻りのために必要となる作業（埋戻し材料の除去など）がますます多くなるからだけでなく、設備の老朽化と周囲の地質物質の好ましくない変化（例えば、クリープ）が生じるからでもある。

(2)　平成 27 年度の検討内容

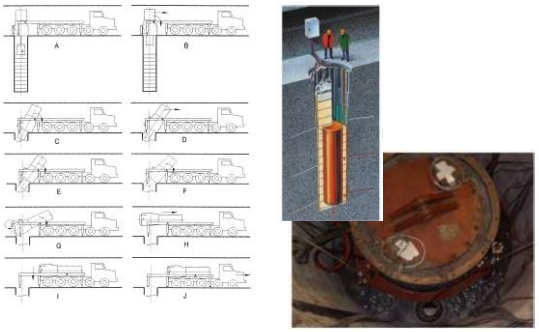
検討会の議論では、上述した海外主要国や R&R プロジェクトの関連情報を踏まえ、わが国でも参照し得るものとして、現時点で主要な３つの技術的アプローチの方向性（戦略）が想定されることを確認した（図 4.4-1）。同図に示したように、海外主要国における回収概念の検討・開発動向から、フィンランドやスウェーデンが戦略１に、フランスや米国が戦略２に対応した取組を実施していると認識している。なお、３つめに挙げたスイスの個別戦略は、地質環境に依存する可能性があることから（代表性の観点から地下の空間的均質性の点で制約がある可能性がある）、一般的に適用できる戦略ではない可能性を踏まえて“個別戦略”と表現している。この個別戦略は、現実的な方法の一例として、今後、戦略を策定する際の参考として挙げておくべきとの本検討会の考えである。

戦略1：受動的安全に向けた処分場の設計は変更せずに「回収方法の開発」に重点を置く（フィンランドやスウェーデンが本戦略に対応した取組を実施）

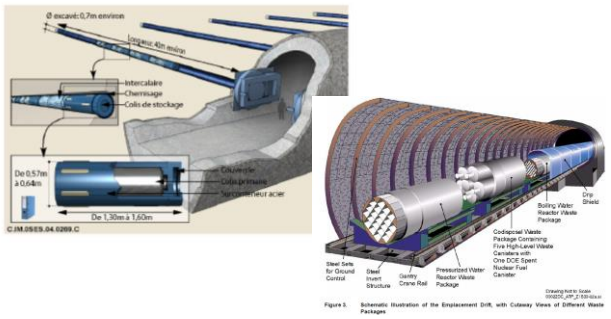
戦略2：回収を容易にするために「設計変更」（処分概念や設計への反映）に重点を置く（フランスや米国が本戦略に対応した取組を実施）

スイスの個別戦略：定置済みの廃棄体の状態を見たいという、より本質的な要求に対して、パイロット施設を設けてモニタリングを行うという概念を処分場設計に組み入れることで対応

【戦略1（回収方法の開発に重点）の例】



【戦略2（処分概念や設計への反映に重点）の例】



※参考：上記の戦略1、戦略2はR&Rプロジェクトからの引用であり、戦略決定に係る次の文脈で表現されている。

- A strategic decision is needed during the repository development process as to whether efforts in this area should be focused on retrieval methodologies from an unmodified repository design, or on modifications to the design in order to facilitate later retrieval

図 4.4-1　わが国でも参照し得る回収可能性に関する技術的アプローチの方向性（戦略）

一方、早い段階から処分対象母岩や候補サイトを特定して処分概念等の開発を進めてきた諸外国の事例があるものの、わが国の地質環境を踏まえた処分概念等の開発の考え方は、1984 年に原子力委員会（放射性廃棄物対策専門部会）が示した考え方がベースとなっている[12]。このような考え方は、第２次取りまとめでも参照され[13]、現在の NUMO の安全確保構想として踏襲されている[11]（図 4.4-2）。

上述した国際的に共有されている主要な戦略や諸外国の取組の動向、更にわが国の段階的な事業の進め方（処分概念等の開発の進め方）を踏まえ、検討会では次のようなことが確認された。

○戦略２の技術的アプローチでは、処分場設計の具体化が必要であり、そのためには候補サイト或いは候補母岩が特定され、地質環境特性等が精緻に把握される必要がある。

○一方で、わが国の進め方は、予め候補母岩を特定して処分概念や設計を絞り込むこととしておらず、特定の候補サイトへの適用を念頭においた処分概念の具体化は、概要調査を終える段階以降となる。

原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会中間報告書「放射性廃棄物処理処分方策について」(1984 年)

5. 高レベル放射性廃棄物処分方策　(1) 地層処分　①これまでの研究開発の成果

地層処分に係る研究開発は、55 年報告書において段階的に順を追って進め、各段階の成果を踏まえて次に進むことを基本方針と定めている。これまでの研究開発は、このうちの第1段階として地層に関する調査を行い、地層処分の研究対象となり得る「可能性ある地層」の中から、地層特性の調査研究、人工バリアの研究等の成果を踏まえて我が国における「有効な地層」の選定を行うことを目的に進められてきた。この調査・研究については動燃・原研を中心に進められ、所要の成果を挙げたものと評価される。具体的には、我が国における「有効な地層」としては、未固結岩等の明らかに適性に劣るものは別として、岩石の種類を特定することなくむしろ広く考え得るものであることが明らかとなった。即ち、同一種類の岩石においても、それが賦存する地質条件によって地層処分に対する適性にはかなりの差が認められることから、岩石の種類を特定するのではなく、むしろその地質条件に対応して必要な人工バリアを設計することにより、地層処分システムとしての安全性を確保できる見通しが得られた。この結果、処分予定地等の選定に当たっては、自然的条件、社会的条件等に柔軟に対応する余地があるものと評価される。

NUNO の安全確保構想で示される段階的な進め方

(処分場の概念設計⇒基本設計⇒詳細設計へと段階的に具体化・精緻化される)

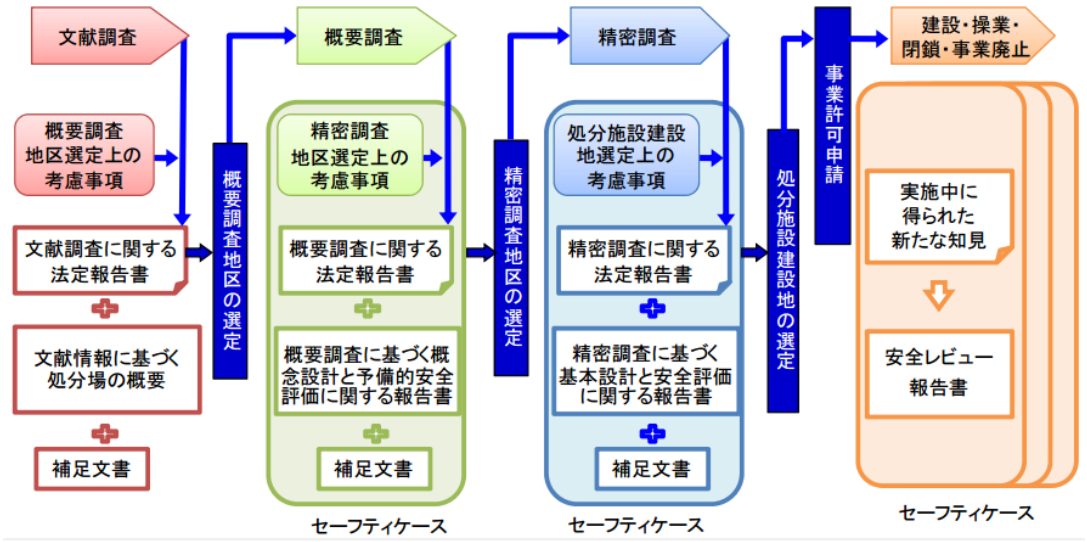


図 3.2.2-3 セーフティケースの構成要素と役割

図出展:文献[11]より

図 4.4-2　わが国における段階的な処分概念等の開発のアプローチ

この検討会における議論から得られた共通理解から、わが国における技術的アプローチの方向性に関する当面の戦略について、次のように示唆される。これについては、今後の関連検討項目の議論や最終取りまとめにおいて再度確認するとともに、更なる必要な議論を行う予定である。

◯地質環境特性（候補サイト）が具体化されない段階では、戦略１が主体となる。
◯戦略２（回収の容易性を処分概念や設計へ反映することに重点）については、事業進展に伴う候補サイトの特定や調査の進展に伴う地質環境特性の具体化に応じた、受動的安全な地層処分システムの概念や施設設計の具体化検討の中で、例えば地域との関係等への配慮など、社会のニーズにも留意しつつ、戦略２の採用の可否やその程度を検討することが可能となる。

なお、図 4.4-1 に示したように、ここで戦略１および戦略２として示した２つの技術的なアプローチの方向性は、R&R プロジェクトでも概念的に示されているに過ぎない。すなわち、２つの戦略は大まかな方向性を示唆しているに過ぎず、例えば、戦略１であっても、より回収作業が容易となるような地下構造物の材料選択の工夫や、操業手順等の工夫（閉鎖せずに地下の坑道を開放している期間における廃棄体へのアクセス性を容易にする）など、より戦略２の概念に近いアプローチも想定し得る。その意味で、２つの戦略は、決定的に異なるもの、或いはある段階で切り替わるというものではなく、両者の中間的なアプローチや他の異なるアプローチなど、多様なものを想定し得る。このような認識のもと、ここでの議論では次のような意見もあった。

◇戦略１及び戦略２の技術的アプローチの方向性は互いに排他的なものではなく、事業段階の違いや社会のニーズに留意しつつ、どちらも効果的に使いながら進めることが望ましい。
◇上述したスイスの個別戦略を含めた３つの主要な戦略以外のものも考えていくべき。１つの戦略で推し進めるのではなく、複数の戦略を持つことが可逆性・回収可能性の考えにも沿っており、それ自体が戦略となり得る。
◇回収が技術的に実行可能という共通理解のもとでは、回収の実現性が意味することは、結果的には回収の困難さ（容易性）に帰結するのではないか。

更に、ここでの回収の実現性という観点での議論から、回収後の廃棄体管理に関するもの、処分場設計への技術的要求に関連するものや回収費用に関するものなど、幾つかの意見も示された。前者の回収後の廃棄体管理に関する議論は次節で紹介する。後者については、今後も更なる議論を行う予定である。

4.5 回収後の廃棄体管理

13 の検討項目の１つとして抽出していた回収後の廃棄体管理については、前節で整理した実現性の提示に向けた技術的アプローチの方向性に関する議論の段階から、社会に回収の技術的な実現性を示すという観点から幾つかの意見が示されていた。

そのような状況を踏まえ、技術的な実現性に係る議論につながるように、本検討項目を前節の議論に続く議題として設定して議論を進めた。議論の際には、回収後の廃棄体管理について、実際に検討等を行っている海外の事例を共有・把握している。

以下に、議論に先立ち共有・把握した関連情報を整理したうえで、平成 27 年度の検討内容について中間整理する。

(1)　議論に先立ち共有・把握した関連情報

1)　回収後の廃棄体管理に関する具体的な検討事例

回収後の廃棄体管理について実際に検討等を行った事例は多くないものの、許認可申請の要件への対応として予め回収後の管理に関する計画を検討した例（米国）や、安全規制上の是正措置として実際に回収を行うことを決定して回収後の廃棄体の管理についても検討している例（英国、ドイツ、米国）が、具体的な検討事例として挙げられる。これらの事例の背景や概要は以下のとおりである（詳細は付録７に整理）。

予め回収後の管理に関する計画を検討した事例

事例①：米国ユッカマウンテン（高レベル放射性廃棄物処分場計画）

・許認可申請における安全規制の要件に従い、回収した廃棄体の地上での貯蔵計画を検討。

・回収後の廃棄体管理として２つの方策を想定（長期の貯蔵、資源回収）。

安全規制上の是正措置として実際に回収を行う際に回収後の廃棄体管理を検討した事例

事例①：英国ドーンレイサイト（低中レベル放射性廃棄物処分場）

・安全規制上の是正措置の一環として、回収計画を策定し作業に着手。

・回収後、浅地中処分できるものは同サイト内の新たな浅地中処分施設で処分。

・浅地中処分できないものは長期貯蔵（本回収のための新たな方策ではなく、スコットランドで浅地中処分できない廃棄物の管理方策として定めている長期貯蔵の管理政策に乗せる）。

事例②：ドイツアッセⅡ研究鉱山（低中レベル放射性廃棄物処分施設［試験的な処分施設］）

・安全規制上の是正措置の一環として、他のサイトで処分することを前提に廃棄体の回収計画を検討中。

・検討では、作業員の安全性、回収作業に係る費用や期間、代替オプションの実現性など、地域のメンバーも入った委員会で、多様な観点から評価項目や基準等を検討。

・回収決定後に、地層処分では回収を意図しないことを明記していた当時の原子力法を、回収が可能となるように改正。

※その他に、米国の廃棄物隔離パイロットプラント（WIPP）で、定置した廃棄物の特性に関する情報漏れにより、回収して再度特性を確認した後、再定置された例がある。

以上のように、具体的な検討事例は多くないものの、回収後の廃棄体管理に関するこれらの実際的な検討事例は、次のように要約整理できる。

○4.3 節で整理したように、主要国の多くが可逆性や回収可能性を制度上で位置付けている一方で、予め回収後の廃棄体の管理方法を要求しているのは米国のみである。

◯唯一要求している米国であっても、実際の計画内容は次のような概念的なレベルである。

・ユッカマウンテンの許可申請では、長期の貯蔵が決定された場合を想定して、回収後の廃棄体管理として、サイト内の地上貯蔵施設に関する計画（概念レベル）を示す程度であり、回収決定時に回収作業に係る操業安全や貯蔵施設の詳細設計が行われることとなっている。

・上記の許可申請書類では、資源回収が決定される場合（異なる管理ルートが開発されるこ

とが想定される）については、貯蔵の後の廃棄物管理方策については言及していない。

○実際に回収計画が策定・実施されている英国ドーンレイやドイツアッセⅡ研究鉱山では、実際に廃棄物の回収が決定される段階で、回収後の管理方法を含めた具体的な回収計画を検討している。これらの事例では、予め回収後の管理方法を含めた回収計画があった訳ではなく、回収の検討が必要となった時点で、定置状況等を踏まえた適切な対処方法や方法に応じた具体的な計画（回収後の廃棄体管理を含めた回収計画）が検討され、必要な制度措置も行われている。

(2) 平成 27 年度の検討内容

本節の冒頭で述べたように、実現性の提示に向けた技術的アプローチの方向性に関する議論の際に、回収後の廃棄体管理に関連する幾つかの意見が示されていた。これらの意見は、一般の人からの質問に答えるには予め回収後の廃棄体をどうするかを考えておくことも必要ではないか、処分を前提に設計された廃棄体を回収して地上に保管する際に安全上の問題はないかといったものなど、主に社会に回収の技術的な実現性を示すという観点からのものである。

一方で、R&R プロジェクトで示された国際的な意見集約では、回収が決定された際には回収後の廃棄体管理の適切な方策や、その際に考慮すべき安全上重要となる要因（再パッケージ化、調整、処理、最終的な廃棄物の処分といった回収後の下流側プロセスの具体化）などに関する検討の必要性を示しているが、それらを予め計画として具体化する必要性までは示していない。また、上記の諸外国の実例からも、回収が必要となった時に、その時点における定置済み廃棄体の状態、社会情勢、適用可能な技術オプション等を踏まえて、必要な制度措置を含めて回収後の廃棄体管理を含めた回収計画が検討されている。

以上のような情報等を踏まえた検討会の議論では、次のような意見が示され共有された。

◇受動的安全な地層処分を念頭に設計された廃棄体パッケージが、回収後の廃棄体管理期間中の安全性への十分性には議論の余地はあるが、技術的に大きな問題はないのではないか。

◇回収して一定期間保管する場合、現在の保管施設と同レベルの安全性が求められることが想定されるが、既にそのような技術を有していることから、回収後の管理については、あまり心配することはないのではないか。

◇明らかに大きな破損が無ければ貯蔵は技術的には可能である、というのが国際的な認識であり、真剣に考えられた結果であると言うこともできるのではないか。

以上のような検討会における議論や共通理解を踏まえれば、回収後の廃棄体管理について、次のように示唆される。これについては、今後の関連検討項目の議論や最終取りまとめにおいて再度確認するとともに、更なる必要な議論を行う予定である。

○次のような事項を念頭に置けば、予め回収後の廃棄体管理に係る精緻な計画等を要求することは必ずしも正当化されないのではないか。

・可逆性・回収可能性の主たる目的を踏まえれば、回収時にはその後の別の管理ルートが特定されていることが想定される。

・諸外国の検討実例を踏まえれば、回収が必要となった時に、その時点における状況等に応じて最適化された回収計画の中で回収後の廃棄体管理も検討される。

一方で、検討会では次のような意見や示唆もあった。

〇回収後の廃棄体管理に係る計画があれば、地域が安心する場合もあり得るのではないか。

〇安全性の観点からの回収時には、別の議論が必要。

前者については、今後、更なる議論を行う予定である。後者については、例えば今後整備される安全規制制度の検討の動向などに留意しておく必要がある。

第5章　おわりに

本検討会では、可逆性・回収可能性に関して、主に諸外国で先行的に実施された検討等の動向から包括的に抽出した 13 の検討項目について、順次、議論を進め、検討会活動の終盤において、全体の取りまとめを行う。

これらの検討に際しては、諸外国の制度整備状況、検討実績や取組の現状を詳細に整理・参照しつつ議論を進めている。第 4 章に整理したように、平成 27 年度の検討会活動において、既に 6 つの検討項目について議論を進め、それらの内容は以下のようにまとめられる。

可逆性・回収可能性を必要とする動機（4.3 節）

◯議論の対象とした検討項目：考慮すべき動機、考慮すべき動機の事業段階に応じた変化、可逆性・回収可能性の実行に係る判断基準・判断指標

◯本年度の議論の進展と今後の対応：動機の整理・分類のあり方、それらの動機の事業段階の違いに応じた変化を考える上での留意事項、将来の可逆性・回収可能性の実施に係る判断等のあり方など、多様な観点から議論を進め、動機に関して、制度との関係性を含めて議論を深めつつある。一方、これらの議論では次のような意見も示されており、これらに留意して、今後も引き続き更なる情報整理や議論を進める予定である。

・本検討会の取りまとめが広く一般に理解し易いものである必要性にも鑑み、動機の分類や整理における視点設定の工夫や、それらの動機が制度との関係でどのように整理できるかについて更なる検討が必要。

・事業の進展に伴う各段階をイメージして、動機を持つ主体やその変化等について考えることも有益ではないか。

実現性の提示に向けた技術的アプローチの方向性（4.4 節）

◯議論の対象とした検討項目：回収の技術的な実現性、回収の容易性

◯本年度の議論の進展と今後の対応：技術的アプローチの方向性について、国際的に共有されている主要な２つの戦略や諸外国の取組の動向、更にわが国の段階的な事業の進め方などに関する共通理解のもとで、わが国における当面の戦略として、次のような示唆を得た。このような共通理解や示唆については、今後の関連検討項目の議論や最終取りまとめにおいて再度確認するとともに、更なる必要な議論を行う予定である。

・地質環境特性（候補サイト）が具体化されない段階では、戦略１（回収方法の開発に重点）が主体となる。

・戦略２（回収の容易性を処分概念や設計へ反映することに重点）については、事業進展に伴う候補サイトの特定や調査の進展に伴う地質環境特性の具体化に応じた、受動的安全な地層処分システムの概念や施設設計の具体化検討の中で、例えば地域との関係等への配慮など、社会のニーズにも留意しつつ、戦略２の採用の可否やその程度を検討することが可能となる。

回収後の廃棄体管理（4.5 節）

〇議論の対象とした検討項目：回収後の廃棄体管理

〇本年度の議論の進展と今後の対応：回収後の廃棄体の地上での保管について、技術的に大きな問題はないのではないかといった共通理解のもとで、次のような事項を念頭に置けば、予め回収後の廃棄体管理に係る精緻な計画等を要求することは必ずしも正当化されないのではないかとの示唆を得た。このような共通理解や示唆については、今後の関連検討項目の議論や最終取りまとめにおいて再度確認するとともに、更なる必要な議論を行う予定である。

・可逆性・回収可能性の主たる目的を踏まえれば、回収時にはその後の別の管理ルートが特定されていることが想定される。

・諸外国の検討実例を踏まえれば、回収が必要となった時に、その時点における状況等に応じて最適化された回収計画の中で回収後の廃棄体管理も検討される。

以上のように、本書では、検討会で示された意見や指摘事項などを紹介しつつ、平成 27 年度の検討会における議論の内容を中間整理した。検討会では、本書で紹介したもの以外に、多くの意見が示されている。本書で紹介した検討会での意見等は、第 4 章の整理内容に関係するものに限定して抜粋したものであるが、他の意見等については今後の議論において活用するとともに、最終取りまとめに反映して行く予定である。

次年度は、以下に示す残された検討項目について、本年度と同様に順次議論を進める予定であり、検討活動の終盤において、全体の議論を俯瞰して本検討会としての取りまとめの視点等を確認・共有したうえで、報告書として取りまとめを行う。

〇処分場設計への技術的要求

〇回収可能性に係る戦略・計画の策定

〇研究開発・実証

〇閉鎖せずに回収可能性を維持する場合の施設設計や安全性への影響

〇モニタリング等の役割

〇費用

〇意思決定のホールドポイントに係る留意事項

参考文献

[1] 原子力委員会、原子力委員会決定“放射性廃棄物対策について”、1976 年

[2] 原子力委員会（バックエンド対策専門部会）、“我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価”、2000 年

[3] 原子力委員会（高レベル放射性廃棄物処分懇談会）、“高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について”、1998 年

[4] 総合エネルギー調査会（総合エネルギー調査会原子力部会）、総合エネルギー調査会原子力部会中間報告 “高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化のあり方”、1999 年

[5] IAEA, Safety Standards Series No. SF-1 “Fundamental Safety Principles”, 2006

[6] IAEA, Safety Series No. 111-3, Safety Fundamentals “The Principles of Radioactive Waste Management”, 1995

[7] OECD/NEA, “The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal, A Collective Opinion of the NEA RWMC”, 1995

[8] OECD/NEA, “Stepwise Approach to Decision Making for Long-term Radioactive Waste Management Experience, Issues and Guiding Principles”, 2004

[9] OECD/NEA, “Disposal of radioactive waste, An overview of the principles involved”, 1982

[10] OECD/NEA, “Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel Final Report of the NEA R&R Project (2007-2011)”, 2011

OECD/NEA, “INTERNATIONAL UNDERSTANDING OF REVERSIBILITY OF DECISIONS AND RETRIEVABILITY OF WASTE IN GEOLOGICAL DISPOSAL, 2011

[11] 原子力発電環境整備機構、NUMO-TR-11-01“地層処分事業の安全確保（2010 年度版）－確かな技術による安全な地層処分の実現のために－”、2011 年

[12] 原子力委員会（放射性廃棄物対策専門部会）、放射性廃棄物対策専門部会中間報告書“放射性廃棄物処理処分方策について”、1984 年

[13] 核燃料サイクル開発機構（現 JAEA）、“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第２次取りまとめ－”、1999 年

付　録

第Ⅰ編　可逆性・回収可能性の意義及び確保のあり方

付録構成

付録１　検討会の委員構成と平成 27 年度の議論の経緯.....1
付録２　代替管理方策の比較検討を含む地層処分の選択と事業展開のマイルストーン.....3
付録３　総合資源エネルギー調査会放射性廃棄物ＷＧ※での最近の議論の状況.....15
付録４　可逆性・回収可能性に関する国内外の議論や検討等における主な論点や課題.....23
付録５　可逆性・回収可能性に関する諸外国の法規制制度等と必要とする動機.....34
付録６　主要国における回収概念の検討・開発動向.....39
付録７　回収後の廃棄体管理に関する具体的な検討事例.....49

付録 1

検討会の委員構成と平成 27 年度の議論の経緯

可逆性・回収可能性の確保に向けた論点整理に係る検討会

委員名簿

（50 音順、敬称略）

委員氏名	勤務先　役職名
芥川　真一	神戸大学大学院工学研究科　　教授
小松崎　俊作	東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻　　講師
佐藤　正知	福島工業高等専門学校　　特命教授（北海道大学名誉教授）
竹内　真司	日本大学文理学部地球システム科学科　　准教授
（主査）新堀　雄一	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻　　教授
三谷　泰浩	九州大学大学院工学府建設システム工学専攻　　教授

平成 27 年度の議論の経緯

◯第１回（平成２７年９月１８日）

- 本検討会の設置について（背景、目的、議論の進め方）
- 総合資源エネルギー調査会放射性廃棄物ＷＧでの最近の議論の状況について
- 可逆性・回収可能性に関する海外の議論における主な論点について

◯第２回（平成２７年１１月１７日）

- 第２回以降の議題展開案等について
- わが国の現行の制度等について
- 可逆性・回収可能性の制度的位置付けについて

◯第３回（平成２７年１２月２５日）

- 諸外国の回収概念の検討・開発事例等について
- 回収概念の共有に向けた本検討会における「検討用シナリオ」について
- 回収可能性の維持に関する技術的な実現性と容易性について

◯第４回（平成２８年１月２０日）

- 回収後の廃棄体管理について

付録２

代替管理方策の比較検討を含む地層処分の選択と事業展開のマイルストーン

本資料の構成

①国際機関および主要国における地層処分の選択と事業展開のマイルストーン

②諸外国における地層処分の代替オプションの比較・分析での評価対象一覧

③これまでに検討されてきた管理オプションの概念

④地層処分の代替オプションに関する諸外国における評価（比較・分析）結果

(1)地層処分（坑道掘削型）

(2)地層処分（超深孔処分）

(3)地層処分（島内地層処分）

(4)宇宙処分

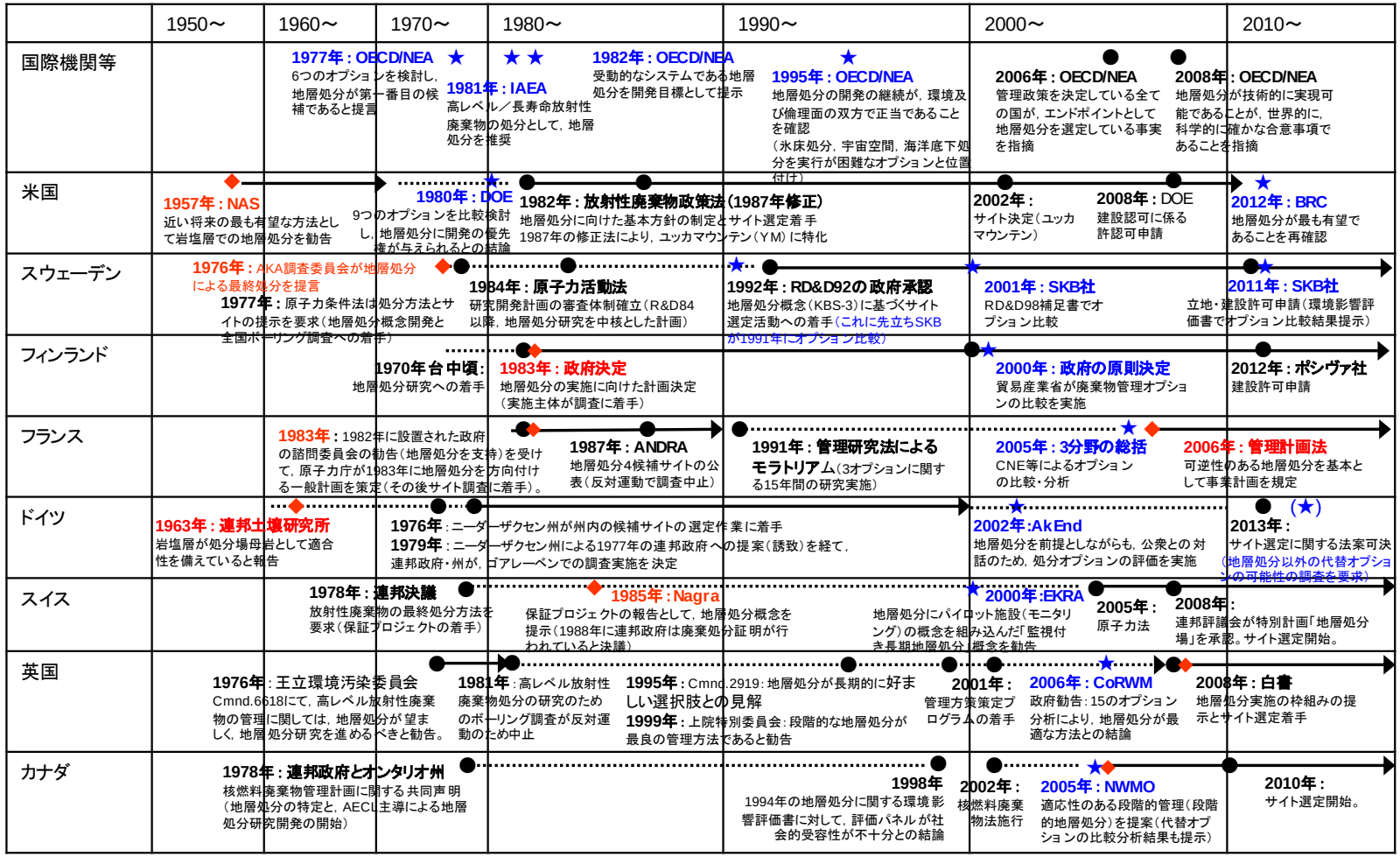
(5)核種分離・変換（消滅処理）

(6)中間貯蔵（段階的地層処分） ※最終処分前の中間貯蔵（最大 300 年程度）

(7)長期貯蔵（永久貯蔵）

⑤諸外国の管理オプションの評価事例に関する主要なレポート

①国際機関および主要国における地層処分の選択と事業展開のマイルストーン



【凡例】
- ◆ 地層処分の選択に係る主なイベント
- ★ 地層処分の選択に係る主なイベント（他の管理オプションの比較・分析を伴うもの）
- ● 事業展開における主要なイベント
- ┈┈→ 事業準備活動段階（研究段階，政策検討段階，モラトリアム等）
- ——→ 事業推進段階

（国際機関）IAEA：国際原子力機関
OECD/NEA：経済協力開発機構／原子力機関
（米国）NAS：全米科学アカデミー
DOE：米国エネルギー省
BRC：米国の原子力の将来に関するブルーリボン委員会
（フランス）ANDRA：放射性廃棄物管理機関
CNE：国家評価委員会
（スウェーデン）AKA委員会：放射性廃棄物委員会
（ドイツ）AkEnd：サイト選定手続委員会
（スイス）Nagra：放射性廃棄物管理共同組合
EKRA：放射性廃棄物処分概念専門家グループ
（英国）CoRWM：放射性廃棄物管理委員会
（カナダ）NWMO：核燃料廃棄物管理機関
AECL：カナダ原子力公社

【主要国における地層処分の選択と事業展開の概要(1/3)】

国	地層処分の選択(管理オプションの比較・分析を含む)と事業展開の概要
国際機関 OECD/NEA, IAEA	・1950年代以降(全米科学アカデミー1957年勧告の前後以降), OECD/NEAは, 共同研究・実験, 情報交換により, 放射性廃棄物管理の多くの側面について加盟諸国間に緊密な協力関係を確立。放射性廃棄物管理上の主要課題の特定と, 採用すべき一般的方法論と政策(特に長期間の有害性に関して)を勧告すべく1974年に専門家グループを招聘。1977年には, 6つの管理オプションの比較検討を含めて, 放射性廃棄物管理の目標・概念・戦略を取りまとめ(地層処分が第一番目の候補であることを勧告)。 ・OECD/NEAは上記の後も, 必ずしも管理オプションの比較検討を主題としないものの, 例えば, 1982年, 1995年, 2003年, 2006年, 2008年のレポートなどで, 管理オプションとしての地層処分の優位性などを示している。特に, 1995年のレポートでは(長寿命放射性廃棄物地層処分の環境上及び倫理的基準, OECD/NEAの放射性廃棄物管理に対する総意), 技術的観点のみならず, 倫理的観点からも(将来世代の負荷), 地層処分場の開発継続が環境上及び倫理的の両面で正当であることを確認(特に, 不明確な貯蔵・監視戦略について倫理的観点から課題を詳述)。 ・また, IAEAでは, 1981年の「放射性廃棄物の地下処分 ーベーシックガイダンスー(Safety Series No.54 Recommendation)」において, 地下での処分オプションとして, 「地層処分」, 「鉱山」, 「浅地中処分」, 「地下注入処分」を提示し, 高レベル／長寿命放射性廃棄物の処分として, 地層処分を推奨(recommend)。
米国	・当時の原子力委員会(AEC)の要請で全米科学アカデミー(NAS)が, 米国の大陸の領域内で高レベル放射性廃棄物を処分する可能性を定量的に検討し, 1957年の報告において, 米国の種々の地層中で安全な処分が可能であることを示すとともに, 岩塩での処分が近い将来の最も有望な方法であることを勧告。本勧告による地層処分の実質的な選択の後, 全国レベルでの予備的なスクリーニング(岩塩ドーム, 岩塩層を対象)を経て, 1970年にAECがカンザス州ライオンズの岩塩層を提案(但し, 政治的・技術的な要因で2年後に提案は破棄)。 ・上記の初期サイト選定の失敗や再処理計画の中止などを経て, また, 1977年の国家廃棄物最終貯蔵計画(NWTS)に基づくエネルギー研究開発局(ERDA, AECの後継組織)によるサイト選定調査活動も踏まえ(岩塩層・ドームのみならず他の地質媒体である連邦政府の土地も対象), 1982年に地層処分事業の事業規制(事業の責任関係や実施体制, サイト選定手続き, 資金確保等)を定めた放射性廃棄物政策法を制定。同法の制定に先立ち, ERDAのプロジェクトを引き継いだエネルギー省(DOE)が国家環境政策法に基づき, 戦略立案に向けた管理オプションに関する環境影響評価を1980年に実施(地層処分を含む9つの管理オプションの比較を行い, 地層処分が最も望ましい概念であることを提示)。 ・ 2012年のブルーリボン委員会報告書では, 「現在もなお, 地層処分は, 高レベル放射性廃棄物を非常に長期にわたって環境から安全に隔離するための, 最も有望で, 技術的に受け入れられているオプションであることが明白だと考える。」との前提を置きながら, 他のオプションを比較検討(他のオプションの特性などを示すにとどまり, 各オプションの定量的な比較・分析までは行っていない)。なお, 坑道掘削型地層処分のバリエーションである「深層ボーリング孔処分」については, 「有望であるかもしれないが, まだそれほど理解が進んでいない」として, 潜在的な利点・欠点を完全に評価するためには研究, 開発及び実証をさらに進めることが必要であると結論付け。
スウェーデン	・環境法典(第6章第7条)は, 事業者による処分場の立地・建設許可申請において環境影響評価及びその他の意思決定指導資料の提出を要求するなかで, 「代替設計の記述, それを選択した理由の記述, 並びにその事業または措置が実施されない場合の影響に関する報告」を要求。この法制度の観点からは, 2011年3月にSKB社が申請した使用済燃料の地層処分場の立地・建設許可の交付を以て, 地層処分という管理方法の妥当性が認められることとなる。 ・上記の法制度の一方で, スウェーデンにおける地層処分の実質的な選択は, 国会に議席をもつ全政党の代表者で構成される「放射性廃棄物委員会」(AKA委員会)が1976年に取りまとめた最終報告書で提示した高レベル放射性廃棄物の処分概念として選択(当時の概念は再処理を前提としたもの)。この概念を原則として, 1983年にSKB社が取りまとめた使用済燃料の直接処分概念(KBS-3)や, 1984年の原子力活動法に基づく研究開発計画のレビュー体制の構築により(SKB社による計画策定, 政府の承認), SKB社は自身の研究開発の方向性を定めるうえで地層処分概念の正当性を示すとともに, その概念が段階的に洗練されてきた。 ・SKB社は, 自身の研究開発の方向性を定めるうえでも, 地層処分選択の正当性を, 適宜, 研究開発計画(R&D92, RD&D98など)の中で提示し, 計画としての政府承認を得てきている。

【主要国における地層処分の選択と事業展開の概要(2/3)】

国	地層処分の選択(管理オプションの比較・分析を含む)と事業展開の概要
フィンランド	・原子力発電事業者(TVO)が主体となって, 1970年代中頃より, オルキルオト発電所の使用済燃料の管理に関する利用可能な選択肢の研究に着手。1978年には地層処分の実現可能性に向けた体系的な研究を開始し, 1982年に実現可能性に関する最初の研究成果として, 多重バリアシステムに基づく処分場システムの開発とその長期安全性の研究成果を公表。 ・1983年の政府決定(使用済燃料管理として国外への永久移転, それが可能でない場合には国内で地層処分する目標。地層処分については地層処分場のサイト選定プログラムに対する主要な目標及びマイルストーンを提示)を受けて, 実施主体(当時は, 発電事業者であるTVO)が地層処分場選定のための3段階のサイト調査プロセスに着手。 ・管理オプションの比較検討は, 2000年12月の政府の原則決定(オルキルオトでの地層処分の実施)において, 当時の貿易産業省が実施。これは, 原子力令が定める原則決定手続きに関する規定(貿易産業省は, 現在のところ適用・計画されている原子力廃棄物管理の方法, 及びその安全, 環境への影響, 費用, フィンランドへの適用可能性の特別レビューを政府に提出しなければならない)に従ったものであり, 貿易産業省が廃棄物管理オプションの比較を実施し, 選定された管理方法(地層処分)に関する見解を示したもの。
フランス	・国民議会(下院)審議を経て, 政府はエネルギー政策を決定するとともに, 放射性廃棄物管理分野に関する計画の必要性を示唆。1982年に設置された政府の諮問委員会(Castaing委員会)の勧告(地層処分を支持)を受けて, 原子力庁が1983年に地層処分を方向付ける一般計画を策定したことで, 地層処分を実質的に選択。その後, 政府の作業部会(Goguel作業部会)による地層処分サイトの技術的選定基準の検討, 原子力庁による一般計画の具体化(研究開発活動計画の策定)を経て, 1987年より現地調査活動に着手したが, 反対運動により活動は中止。 ・国会議員による上記の失敗原因調査を経て, 3分野の管理方策(地層処分, 分離・変換, 長期貯蔵)に関する15年にわたる研究実施を規定した放射性廃棄物管理研究法を1991年に制定(地層処分事業としてはモラトリアム段階であるが, 地層処分研究のための地下研究所のサイト選定が1992年より着手された)。 ・2005年の3分野の包括評価(国家評価委員会および他の関連機関等による評価)を経て, 2006年に可逆性のある地層処分を基本とする放射性廃棄物管理計画法を制定し, 併せて, 地層処分の事業化に向けたスケジュールを規定。
ドイツ	・1960年代当初より, 当時のドイツの連邦土壌研究所および原子力委員会が, 地下深部にある岩塩鉱床における放射性廃棄物最終処分を支持する姿勢を明示。1963年の連邦土壌研究所の報告(岩塩構造に関する当時利用可能であった知識の初期の総括として, 岩塩層が処分場母岩としての適性を備えていると報告)をもって, 岩塩層での地層処分を実質的に選択。 ・上記を経て, 核燃料サイクル・バックエンドセンター構想のもと(再処理, 燃料生産, 廃棄物の調整および最終処分を1ヵ所のサイトで集中的に展開する計画), 1964年から1976年の期間に, 連邦政府は, 適切な処分場サイト候補となる岩塩構造の調査作業に着手(この間, 連邦科学研究省の命による連邦土壌研究所による1963年からの国内岩塩層構造の適合性評価, 連邦研究・技術省がKEWA社に委託した1973年からのサイト特定作業はいずれも最終的には中止された)。1976年にニーダーザクセン州が候補サイトの選定作業に着手し, 1977年の連邦政府への誘致提案を経て, 1979年に連邦政府と州が, ゴアレーベンでの調査実施を決定。ゴアレーベンでの調査活動は, 政権交代に伴い2000年より10年間のモラトリアム。2011年に, 連邦政府と16の州政府が, 新たにサイト選定を実施するための法案策定に合意。2013年7月にサイト選定法が成立。 ・2000年からのゴアレーベンでの調査活動のモラトリアムと平行して, 連邦政府は1999年にサイト選定手続委員会(AkEnd)を設置し, 岩塩以外での地層処分を含めたサイト要件などの再検討を実施。検討の枠内で, 処分オプションの評価も実施して, 2002年に検討報告書が取りまとめられたが, 検討成果は政策レベルでの決定(反映)には至らなかった。 2013年に成立した新たなサイト選定法では, 連邦政府と州政府が「高レベル放射性廃棄物の貯蔵に関する調査委員会」を設置し, 2015年末までにサイト選定手続きに関する報告書を完成させることとなっている。同調査委員会の検討作業は地層処分に基軸を置いたものであるが, 地層処分以外の方法によって当該廃棄物を秩序正しく最終処分する可能性についての科学的な調査を実行するという任務も課せられている。

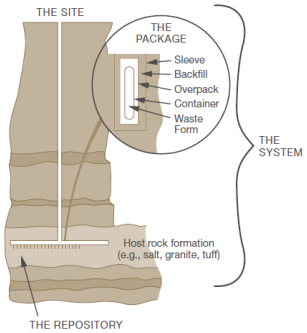
【主要国における地層処分の選択と事業展開の概要(3/3)】

国	地層処分の選択(管理オプションの比較・分析を含む)と事業展開の概要
スイス	・1978年の原子力法に関する連邦決議は，スイスにおける原子力利用の推進の前提として，放射性廃棄物の恒久的かつ安全な最終処分方法の提示を要求。電力会社はNagraに保証プロジェクト(原子力発電利用の保証措置として廃棄物に関する実現可能な解決手段を連邦政府に示す)による最終処分方法の立案を委託し，Nagraは1985年に保証プロジェクト報告書として地層処分概念を提案。同提案について連邦政府は，連邦所轄の専門機関などの評価を得て，1988年に廃棄処分証明が行われていると決議。これをもって，地層処分が実質的に選択された。 ・2000年のEKRA(放射性廃棄物の処分概念に関する専門家のグループ)による，「監視付き長期地層処分の概念」の勧告は，多様な管理オプションの比較・分析により導出されたものではなく，地層処分概念に対する近年の国際動向(廃棄物の容易な回収性，監視及び管理を見越した戦略と概念の研究や追求)を踏まえて，「回収可能な監視付長期間貯蔵」の概念を調べることであった。管理オプションの比較・分析という点では，EKRAは，提案した「監視付長期間地層処分の概念」について，地層処分，中間貯蔵ならびに永久貯蔵と比較している。 ・2005年施行された原子力法・令は，EKRAが勧告した監視付き長期地層処分の概念を反映(地層処分場は，主施設，パイロット施設，試験区域から構成され，地層処分場が閉鎖されるまで廃棄物回収が多額の費用をかけずに可能である場合に操業許可が発給されることを規定)。
英国	・1976年に王立環境汚染委員会が「原子力及び環境(Cmnd.6618)」において，高レベル放射性廃棄物の管理に関して，深海底処分，地層処分，海洋底下処分の3つを可能性のある方法として抽出し，中でも地層処分を実現可能なオプションとして，その研究推進を勧告。1979年より，英国原子力公社及び地質学研究所等が，研究の一環としてボーリング掘削プログラムを開始(反対運動により，1981年に掘削プログラムは中止)。 ・低中レベル放射性廃棄物を対象とした地層処分であるものの，1987年に原子力産業放射性廃棄物管理公社(Nirex社)がサイト調査を開始。 輸送等を考慮してカンブリア州セラフィールドを1991年に選定した後，Nirex社は処分候補地の地層及び地下水の詳細調査のための岩盤特性調査施設(RCF)の建設を計画。1994年に地元政府にRCFの建設許可申請書を提出したものの，地元政府の拒否などにより，1997年に地元政府及び英国政府はRCF計画を却下し，低中レベル放射性廃棄物の地層処分場計画は中止。 ・英国政府は，1995年の「放射性廃棄物管理政策レビュー最終結論」(Cmnd.2919)において，高レベル放射性廃棄物の管理として少なくとも50年間は貯蔵して短寿命核種の崩壊と発熱の減少を待つことを再確認するとともに，長期的には地層処分が好ましい選択肢であるとの見解を提示。また，RCF計画が却下されたことを受け， 1999年に上院科学技術委員会は全ての放射性廃棄物を対象とした管理政策の策定を政府に勧告。 ・英国政府は2001年より放射性廃棄物の管理方策の検討を開始。検討のための独立組織として，2003年に放射性廃棄物管理委員会(CoRWM)を設置。2006年にCoRWMは，15の管理オプションの比較・分析を経て，中間貯蔵を実施した後の地層処分が最適な方法であると英国政府に勧告。英国政府は2008年の白書により，高レベル放射性廃棄物等の管理方策として中間貯蔵後の地層処分を決定し，サイト選定に着手。
カナダ	・1978年の連邦政府とオンタリオ州政府による核燃料廃棄物の管理計画に関する共同声明(地層処分の特定と研究の実施)を受け，カナダ原子力公社(AECL)の主導で地層処分の研究開発を開始。その後，処分サイトの選定に先立ち，処分概念の特定(それが受け入れられるものであること)を要求する1981年の2政府の共同声明を受けて，AECLの研究開発の方向性は仮想処分システムの評価に向けられた。1994年にAECLは地層処分概念に関する環境影響評価書(EIS)を公表。天然資源省が設置した環境評価パネルは，AECLの提示した地層処分概念に対して，「技術的には可能だが，社会的受容性が不十分である」との結論を，1998年に連邦政府に勧告(連邦政府も同勧告に同意)。 ・2002年に核燃料廃棄物法を施行。同法は，核燃料廃棄物管理機関(NWMO)が核燃料廃棄物の長期管理アプローチを研究して3年以内に政府に複数提案することを義務付け，最低限検討すべき3つの管理オプションを指定(地層処分，発電所サイト内貯蔵，地上または地下での集中貯蔵)。NWMOは長期管理アプローチの研究(管理オプションの比較検討や公衆との協議を含む)を経て，第4のオプションである「適応性のある段階的管理」(APM)を，2005年の最終報告書『進むべき道の選択』によって連邦政府に提案。同提案に基づき，2007年の総督決定により，カナダの核燃料廃棄物の長期管理アプローチが決定。(APMは，最終的に地層処分を行うが，当面60年間は，個々の発電所サイトで，場合によっては集中型(地層処分場となりうる場所で)の貯蔵を実施するアプローチ。) ・長期管理アプローチ(APM)の決定後，NWMOは地層処分場の設計やセーフティケースの開発を進めつつ，サイト選定プロセスを具体化し，2010年にサイト選定に着手。

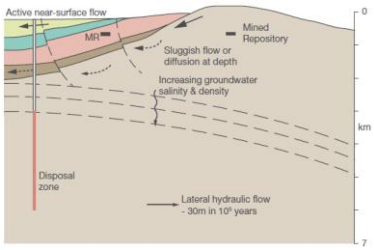
②諸外国における地層処分の代替オプションの比較・分析での評価対象一覧

管理オプション				主な評価項目と諸外国における評価対象(数字は後述の⑤に示した諸外国の主要レポート番号に対応)										
		わが国での実現可能性	国際条約などへの適用性	①隔離性・閉じ込め性	②技術的確実性	③実用化レベル(産業規模)	④長期安全性	⑤環境負荷	⑥制度的管理の必要性	⑦回収可能性	⑧管理方策(事業)の柔軟性	⑨世代間倫理(将来への負担)	⑩コスト	⑪その他
処分	**(1)地層処分(坑道掘削型)**			1a,1b,4,6,7,9	1b,2,4,6,7	1b,4,6	1b,7,8,9		1b,6,9	1b,6,8	5,9	6,7,9	8	7,8,9
	(2)地層処分(超深孔処分)			2,3	2,3,10	2,3				2			2	2,3,5,10
	(3)地層処分(島内地層処分)			2,3										2,3
	(-)地層処分(岩石溶融処分)	×(液体廃棄物を直接，埋設処分することは認められていない)												
	(-)地層処分(井戸注入処分)													
	(-)海洋底上処分(海洋処分)		×ロンドン条約											
	(-)海洋底下処分													
	(-)沈み込み帯への処分													
	(-)氷床処分		×南極条約											
	(4)宇宙処分			1a,3,6,9,10	1a,1b,2,5,6,7,9,10	1a,2,6,9	9,10	3					1a,2,6,9,10	1a,2,3,6
(5)核種分離・変換(消滅処理)					1a,4,6,7,9	1a,2,4,5,10	7						5,6,7,9,10	1a,2,3,4,5,6,7,9,10
(6)中間貯蔵(段階的地層処分) ※最終処分前の中間貯蔵(最大300年程度)					6	1b,4	8		1b,5		4,5,6,7	1b,4,6,7	1b,4	1b,5,6,7,9
(7)長期貯蔵(永久貯蔵)					4,6,10		8,9		6,10			4,6,9,10		4,5,6

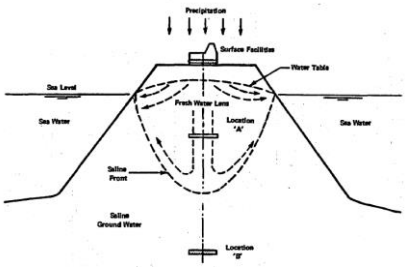
③これまでに検討されてきた管理オプションの概念



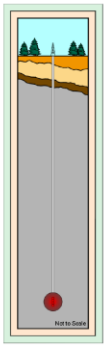
地層処分(坑道掘削型)の概念[1]
安定した地層に掘られた空洞内に廃棄物を定置することによって処分する。



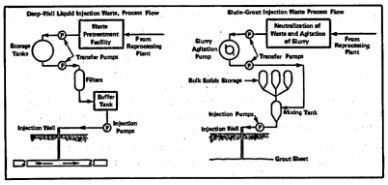
地層処分(超深孔処分)の概念[1]
数千mの地下，高強度・低浸水性の岩石層に定置し，廃棄物を，生物圏および循環地下水(帯水層)の下部にとどめ，密封状態および構造的に安定した状態を保つ。(図は，米国ブルーリボン委員会報告書で例示された概念例：結晶質の基盤岩に深度4～5キロまで掘削した，直径約45センチ(約20インチ)のケーシング付きの孔)



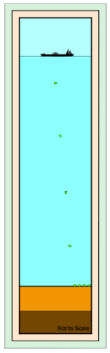
地層処分(島内地層処分)の概念[2]
内陸部に比べ動水勾配が小さく地下水流速が小さいことや，海洋が付加的なバリアとなることを期待した島嶼での地層処分。



地層処分(岩石溶融処分)の概念[3]
液体またはスラリー状の廃棄物を地下処分孔へ直接処分。処分後の水分蒸発後に，崩壊熱により周囲の岩石と廃棄物は溶融。その後，溶融物は再び固まり，放射性物質が溶けにくい固化媒質となる(岩石中のケイ素などのガラス成分と反応)。

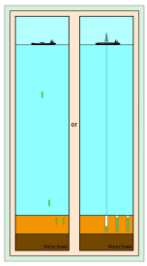


地層処分(井戸注入処分)の概念[2]
廃液を不透水層下の深部地層中に圧入する，または，頁岩を水圧破砕し，隙間に廃液とセメントなどの混合物を注入する。

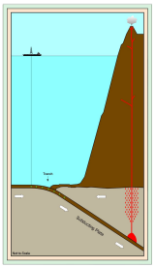


海洋底上処分(海洋処分)の概念[3]
海上から廃棄物を投棄する，あるいは，海底面に廃棄物を定置することによる処分。

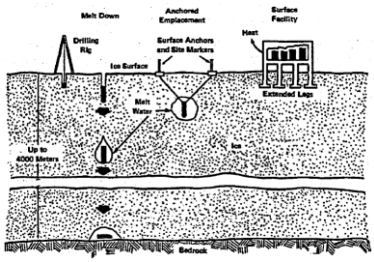
1 Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future Report to the Secretary of Energy【2012, BRC】
2 DOE/EIS-0046F, Management of commercial generated radioactive waste【1980, DOE】
3 Nirex Report No: N/050, Description of Long-term Management Options for Radioactive Waste Investigated Internationally【2002, Nirex】



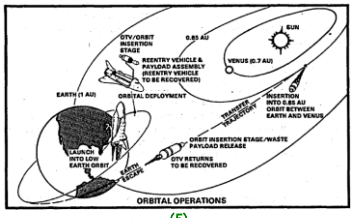
海洋底下処分の概念[4]
海底面下にある適切な地層(堆積層)に廃棄物を埋設処分する。処分方法は，海上から海洋底の堆積層を掘削後に処分する，または，海上から特殊な容器に入れた廃棄物を投下する(落下の運動量を利用して廃棄物を堆積層中に突き刺す)。



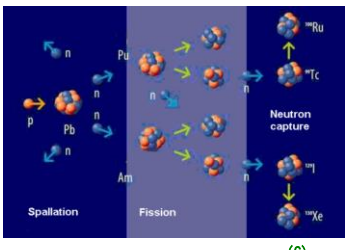
沈み込み帯への処分の概念[4]
廃棄物を海洋のプレート(堆積物中)に定置処分し，プレートが沈み込んでいくことで最終的にマントル中に移動させる。



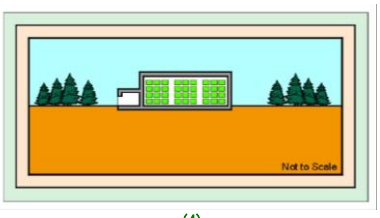
氷床処分の概念[5]
廃棄体が自らの発熱で氷を溶解することで氷床に移動し，安定した氷床中に隔離される。



宇宙処分の概念[5]
廃棄物を宇宙空間へ放出し，地球上から永久に除去する。処分(放出)方法は，スペースシャトルやロケットへの搭載・放出，さらには，レーザーやマイクロ波エネルギーを用いて地上から直接発射する方法も研究されている。



核種分離・変換(消滅処理)の概念[6]
分離は，物質と廃棄物の特定成分への分離であり，その例が核燃料の再処理である。核種変換は，あるタイプの原子を別のタイプの原子へ変えることである(廃棄物の放射性同位元素の構造が変化する)。核種変換のプロセスは廃棄物の中性子との衝突を伴い，中性子を提供する原子炉又は加速器システムのいずれかを使用して行う。



長期貯蔵の概念[4] ※図は長期地上施設の例
貯蔵の主要な特徴は，廃棄物がアクセス及び回収可能のままであることである。すなわち，監視が容易で，かつ将来におけるその管理計画を変更することも可能である。貯蔵は，集中化もオンサイト貯蔵も可能であり，オプションには地上貯蔵又は地下貯蔵，中間貯蔵又は無期限貯蔵という4つの形態がある。

4 Nirex Report No: N/050, Description of Long-term Management Options for Radioactive Waste Investigated Internationally【2002, Nirex】
5 DOE/EIS-0046F, Management of commercial generated radioactive waste【1980, DOE】
6 6th General Radioactive Waste Plan (English version)【2006, ENRESA】

④地層処分の代替オプションに関する諸外国における評価（比較・分析）結果

（1）地層処分（坑道掘削型）

※フランスは「可逆性のある地層処分」，ドイツは「回収を意図しない地層処分」，スイスは「監視付き長期地層処分（可逆性のある地層処分）」を前提とした評価である。

【本オプションに関する総合的な評価結果】

- ○ **OECD/NEA(1a)**：陸地の安定地層への閉じ込めが現在では最も優れているとしたうえで，地層処分が第一番目の候補であると勧告。
- ○ **OECD/NEA(1b)**：環境上及び倫理的な見通しから，地層処分場の開発を継続することは，環境上及び倫理的の両面で正当である。
- ○ **米国(2)**：最も有望で，技術的に受け入れられているオプションと評価。
- ○ **フランス(4)**：最終的な廃棄物管理に向けた基本的な方針として地層処分を採用することを勧告。
- × **カナダ(5)**：本オプションではなく，適応性のある段階的管理を選択して提案。（後述の(6)に示す中間貯蔵を組合わせた段階的地層処分 」を選択。）
- ○ **英国(6)：**長期的管理には深地層処分が最適な方法と結論付け。（但し，多基準分析のスコアリング結果では，段階的地層処分の方が高得点。）
- ○ **フィンランド(7)：**5つのオプションの評価結果として1つのオプションの選択は行っていないが，事業者が提案した本オプションを原則決定した。
- ○ **スイス(8)：**本オプションを勧告。（但し，主施設に加えて，パイロット施設の建設とモニタリング期間及び廃棄物の容易な回収を実現する「監視付き長期地層処分」概念。）
- ○ **ドイツ(9)：**放射性廃棄物の長期的かつ安全な処分のためには，地層処分に代わる代替案は存在しないとの評価。

【本オプションに関する個別評価項目毎の評価結果(1/2)】

評価項目	国名(文献番号)：当該オプションの各評価項目に関する評価結果（(+)赤：ポジティブ，　(-)青：ネガティブ）
①隔離性・閉じ込め性	• OECD/NEA(1a)：(+)地層の適性の基本的条件は，放射能が危険でないレベルに減衰するまで環境から放射能を閉じ込め隔離する。長寿命廃棄物の有害期間以上にそれを隔離することが可能と推定される。適切な廃棄物隔離の能力があると考えられる。 • OECD/NEA(1b)：(+)この戦略は廃棄物を生物圏から極めて長い期間隔離する。 • フランス(4)：(+)水の輸送と層間の交換がきわめて緩慢である。粘土質岩は透水性がきわめて低く，高い放射性核種の保持能力を備えている。粘土岩層における溶質移動がきわめて緩慢なプロセスである拡散によって抑制されている。放射性核種の移行は粘土質岩の保持能力によって抑制されている。 • 英国(6)：(+)放射性廃棄物を長期間にわたって人間環境から隔離する。 • フィンランド(7)：(+)高レベル放射性廃棄物を生物圏，すなわち人間の生活環境から隔離する最もよく，最も現実的な可能性を提供するという一般的な考えが支配的である。 • ドイツ(9)：(+)その隔離能力によって数百万年の期間にわたり有害物質を生物圏から隔離することができる（廃棄物と生物圏の間の距離が長い。放射性核種の長期的な隔離能力が高い。）。
②技術的確実性	• OECD/NEA(1b)：(+)数千年後に生物圏に達する残留放射性物質の濃度が，例えば放射能の自然バックグラウンドに比して大きくないことを確保し，人間の不慮の侵入によるリスクを許容出来る程度に小さくする。 • 米国(2)：(+) 50年以上にわたり米国において最も有望視されてきた永久処分技術である。 • フランス(4)：(+)採掘鉱技術と石油産業の技術の同時利用がことのほか有益であることが判明している。 • 英国(6)：(+)地下処分の技術の構成要素は比較的成熟している。 • フィンランド(7)：(+) 上記①と同様。
③実用化レベル（産業規模）	• OECD/NEA(1b)：(+)地層処分は必要なレベルと期間の隔離を提供する可能性があることが証明出来る。 • フランス(4)：(+) 上記②と同様。 • 英国(6)：(+)地下処分の技術の構成要素は比較的成熟している。

【本オプションに関する個別評価項目毎の評価結果(2/2)】

評価項目	国名(文献番号)：当該オプションの各評価項目に関する評価結果（(+)赤：ポジティブ，　(-)青：ネガティブ）
④長期安全性	• OECD/NEA(1b)：(+)上記②と同様。 • フィンランド(7)：(+)岩盤深くに行う最終処分，すなわち地質学的な最終処分は，大きな単発放出を引き起こす事故が起きることはない（地上に設置された発電所に長期に貯蔵された使用済燃料は，リスクであると想定することができる）。(-) 廃棄物とともにすべての寿命の長い放射性物質が処分されるので，潜在的な危険性が長く続く。 • スイス(8)：(+)向上した知識と技術的な進歩の結果による安全性の向上の可能性。 • ドイツ(9)：(+)人間による安全面での影響が発生する可能性が低い。長期にわたって最終処分場の変化を外挿可能。
⑥制度的管理の必要性	• OECD/NEA(1b)：(+)本質的に受動的，恒久的で，社会が安定に発展すれば立地報告および定期点検が実際問題として多年に亘って継続されるという仮定があるものの，人類によるこれ以上の介入，または規定上の管理を要しない。 • 英国(6)：(+)処分完了後は，制度的管理の必要はなく，回収可能性は掘削によってのみ達成可能である。 • ドイツ(9)：(+)処分場の閉鎖後，原則的に補修措置や監視措置が不要。
⑦回収可能性	• OECD/NEA(1b)：(+)可逆的になり得る。閉鎖した処分場から回収する特別の場合，工学的処置は困難で高価と思われるが不可能ではなく，これはある程度，有毒鉱物原鉱の採取に類似している。 • 英国(6)：回収可能性は掘削によってのみ達成可能である。 • スイス(8)：(+)地層処分場のパイロット施設の設置，主施設で設計・施設建設で対応するため，モニタリング期間が終了するまで容易に廃棄物を回収することが可能。
⑧管理方策（事業）の柔軟性	• カナダ(5)：(-) カナダ国民が重要な目標と考えている「適応性」を欠く。短期的には，このアプローチはシステム自体の長期にわたる性能に関する知識又は状況の変化，技術革新に対応する柔軟性が劣る。 • ドイツ(9)：(-)選定したサイトが適切でなかった場合に修正することが不可能。処分場の内部の補修措置は実質的に不可能。
⑨世代間倫理（将来への負担）	• 英国(6)：(+)貯蔵との対比として，全ての地層処分オプションは，将来の世代への負担を低減させる。 • フィンランド(7)：(+)原子力発電から利益を受けた世代は最終的に，発生した廃棄物の面倒をみて，責任の負担を将来に引き渡さない。 • ドイツ(9)：(+)最終処分場を建設及び閉鎖した後は，将来の世代に許容外の負担がもたらされることはない。(-)将来の世代に最終的な決定を委ねることは，発生者負担原則に抵触する。
⑩コスト	• スイス(8)：(-)地層処分と比較すると，監視付き長期地層処分はより高価な建設コストと操業コストを発生させる。
⑪その他	• フィンランド(7)：(-)ウラン資源の使用効率が悪い。 • スイス(8)：(+)予期されていない，望ましくない動向の早期の認識。故障是正措置の容易性（必要に応じて施設の修理が可能）。(-)予測するのが困難な予期しない社会政治上の変動(戦争，システム変化，社会の崩壊と技術的な崩壊，流行病など)により否定的な結果が発生する可能性。運転員に対する長期の被ばく。第三者の侵入によるリスクの増加。 • ドイツ(9)：(-)廃棄物の寿命を比較し，地球化学的な相互作用などの処分場のプロセスの監視が，相対的に短期間かつ制約された形でしか行えない。このため，かなりの期間の経過後でしか想定の誤りを確認できない。

(2)地層処分(超深孔処分)

【本オプションに関する総合的な評価結果】

△ **米国(2)**:地層処分を最も有望で技術的に受け入れられているオプションと評価したうえで，唯一本オプションについて，更なる研究開発・実証を行うべきであることを勧告。
× **米国(3)**:地層処分が最も望ましい概念であると結論付け。10のスクリーニング基準によって本オプションを除外しているものの，可能性のある5つのオプションの1つと評価。
× **カナダ(5)**:適応性のある段階的管理を選択。本オプションは，国際的に見て関心を集めている方法の1つとして取り上げられたが，最終的な4つのオプションに残らなかった。
× **スウェーデン(10)**:実施主体であるSKB社は地層処分概念(KBS-3)を選択。

【本オプションに関する個別評価項目毎の評価結果】

評価項目	国名(文献番号):当該オプションの各評価項目に関する評価結果((+)赤:ポジティブ，(-)青:ネガティブ)
①隔離性・閉じ込め性	● 米国(2): (+)放射性核種のより低い移動性(このために，地下水及びより広い環境への放射性核種の移行が制限される)。廃棄物のさらなる隔離。 ● 米国(3): (+)操業後の期間の高度な地層バリア性能の潜在能力があり，地層処分に比較して作業条件が優れている可能性もいくらかある。
②技術的確実性	● 米国(2): (+)廃棄物の発熱に関するより大きい裕度。 ● 米国(3): (-)ボーリング技術の大きな進歩，超深孔の深さでの地質環境の理解の向上，超深孔処分場の操業後の健全性の前提となる温度及び圧力でのパッケージ性能の分析的検証を含む，重要な問題が残っている。超深孔技術は別の理由(地質的圧力下のメタンや地熱目的のためなど)で開発中のため，こうした不確実性に関する情報はますます増えていくと思われる。 ● スウェーデン(10): (-)定置が実施された後にこれらの孔が備える可能性のある様々な特性に関しては，現在のところ実用水準の知識は存在していない。安全要件が満たされることを明示するのは困難な可能性がある。安全性にどのような結果的影響が生じ得るのかについては，多大な不確実性が存在する。
③実用化レベル(産業規模)	● 米国(2):総合的に述べると，委員会は，いっそうのRD&Dを行うべきであることを勧告する。それにより，深層ボーリング孔処分に関する現在の不確実性がいくらか解消され，さらに，深層ボーリング孔処分というアプローチを，特に再利用が基本的に不可能な一定の形態の廃棄物に関する処分代替案として許可し，準備するという潜在的実用性に関するより総合的(かつ包括的)な評価が可能になる。 ● 米国(3): (-)上記②と同様。
⑦回収可能性	● 米国(2): (-)ボーリング孔が密封された後に(回収可能にするのが望ましい場合に)廃棄物を回収することの困難さ及び費用。
⑩コスト	● 米国(2): (-)受け入れる廃棄物の体積当たりのコストが比較的高い(そのため，その有用性は，長期的な隔離に関する課題を特に抱える少量の長寿命放射性核種に限定されるかもしれない)。(+)坑道掘削型処分場に対するコスト競争力のある長期安全性能を示せる可能性がある。
⑪その他	● 米国(2): (+) 1つまたは複数の適切な場所が特定された段階で単に追加的なボーリング孔を掘削することにより処分容量を比較的容易に拡大できるという意味でのモジュラー性及び柔軟性。複数のボーリング孔処分サイトを全国各地に配置できる可能性(廃棄物の集中的な場所への輸送に関連するリスクを低減できる)。幅広い適用性(そのことは，高レベル放射性廃棄物処分の必要性を抱える他の諸国にこの技術を容易に移転できる可能性を示唆している)。(-)ボーリング孔の直径の制約(そのために，(廃棄物の梱包方法によっては)一部の廃棄物ストリームの収納が困難になる可能性がある)。深層ボーリング孔に適用される規制要件がまだ存在していない。 有望であるかもしれないが，まだそれほど理解が進んでいない。潜在的な利点・欠点を完全に評価するためには，RD&Dをさらに進めることが必要とされる。 ● 米国(3): (-)その他に問題なのは，適切な是正措置能力を提供することの難しさである。そのため，超深孔概念は，その他の代替案よりも潜在的にすぐれた特性を持ってはいるが，不確実性が大きいことによっても特徴付けられる。こうした理由で，地層処分に対する長期代替案として超深孔の開発を継続することを推奨するが，開発の優先順位は海洋底下概念の次になる。是正措置での潜在的な問題と技術が比較的遅れている状況を考慮することが，この判断では重要になる。 ● カナダ(5): (-)大量の使用済燃料の管理方法として実施困難(少量の放射性廃棄物の処分に関する方法としてある程度の可能性があると考えられるが，多量の使用済燃料の隔離と閉じ込めを実施し確保することは困難である) ● スウェーデン(10): (-)緩衝材についてもキャニスタについても，定置後にその健全性に関する点検を行うことはできない。緩衝材にもキャニスタにもバリアとしての機能を期待できない。定置プロセスが管理下に置かれておらず，環境もさほど好ましいものではない。

(3)地層処分(島内地層処分)

【本オプションに関する総合的な評価結果】

× **米国(2)**:地層処分を最も有望で技術的に受け入れられているオプションと評価。
× **米国(3)**:地層処分が最も望ましい概念であると結論付け。

【本オプションに関する個別評価項目毎の評価結果】

評価項目	国名(文献番号):当該オプションの各評価項目に関する評価結果((+)赤:ポジティブ，(-)青:ネガティブ)
①隔離性・閉じ込め性	● 米国(2): (+)島のサイトは，動水勾配が非常に低く，廃棄物を移動性の水を伴わない媒体において定置できる可能性がある。 ● 米国(3): (-)廃棄物の長期隔離の潜在能力に関する不確実性が大きい。
⑪その他	● 米国(2): (+)付近に多くの住民がいるサイトに比べると，地元や地域の反対が少ないと見込まれる。(-)島での処分の明らかな1つの欠点は，なにも遮る物のない海上で廃棄物の輸送を行わなければならないことであり，特に鉄道による陸上輸送に比べて追加的な輸送リスクをもたらしうる。 ● 米国(3): (+)潜在的利点は，社会政治的な面で潜在的利点があり，処分場を居住地から遠く離すことができ，そのため一般からは受け入れられる可能性が高い。

(4)宇宙処分

【本オプションに関する総合的な評価結果】

× **OECD/NEA(1a)**：陸地の安定地層への閉じ込めが現在では最も優れているとしたうえで，地層処分が第一番目の候補であると勧告。
× **OECD/NEA(1b)**：環境上及び倫理的な見通しから，地層処分場の開発を継続することは，環境上及び倫理的の両面で正当である。
× **米国(2)**：地層処分を最も有望で技術的に受け入れられているオプションと評価。
× **米国(3)**：地層処分が最も望ましい概念であると結論付け。10のスクリーニング基準によって本オプションを除外しているものの，可能性のある5つのオプションの1つと評価。
× **カナダ(5)**：適応性のある段階的管理を選択。本オプションは，国際条約に対する違反あるいは概念証明が不十分との理由で関心が低い方法として除外。
× **英国(6)**：長期的管理には深地層処分が最適な方法と結論付け。本オプションは，第1段階のスクリーニングで10の除外基準のうち5つで除外。
× **フィンランド(7)**：5つのオプションの評価結果として1つのオプションの選択は行っていないが，事業者が提案した地層処分を原則決定した。
× **ドイツ(9)**：放射性廃棄物の長期的かつ安全な処分のためには，地層処分に代わる代替案は存在しないとの評価。
× **スウェーデン(10)**：実施主体であるSKB社は地層処分概念（KBS-3）を選択。

【本オプションに関する個別評価項目毎の評価結果(1/2)】

評価項目	国名(文献番号)：当該オプションの各評価項目に関する評価結果（(+)赤：ポジティブ，　(-)青：ネガティブ）
①隔離性・閉じ込め性	● OECD/NEA(1a)：(+)宇宙への処分は，人間環境からの廃棄物の最も完全な隔離である。 ● 米国(3)：(+)宇宙処分に対するおもな議論は，選択した放射性核種の地球外処分が有望なことである。 ● 英国(6)：(+)太陽系からの完全排除。(-)しかし，地球付近の軌道が関係するオプションでは，廃棄物が地球に戻ってくる可能性もある。 ● ドイツ(9)：(+)人間の生活圏から最終的に遠ざけることが可能。 ● スウェーデン(10)：(+)安全性は，燃料が外宇宙に送られ，地球上で人間及び環境と二度と接触することはないことに基づいている。
②技術的確実性	● OECD/NEA(1a)：(-)この方法は小容積のものに対してのみ実施可能性があるので最も危険が考えられる廃棄物を分離する必要がある。ロケット発射の安全性と廃棄物カプセルの大気圏への再突入の結果は別の課題であり，ロケット発射の高い信頼性が不可欠である。 ● OECD/NEA(1b)：(-) 実行も困難，制御も殆ど出来ない。 ● 米国(2)：(-)費用面の検討と打上げ時の事故のリスクのため，一般にこのオプションは真剣に検討されてこなかった。地球に基礎を置く打上げ装置による廃棄物の宇宙への打ち上げは，これらの技術力はまだ実証されていない。 ● カナダ(5)：(-)不十分な概念立証。 ● 英国(6)：(-)高コストであり，ロケット故障のリスクがあるため，研究が保留されている。 ● フィンランド(7)：(-)信頼性の問題。広域の放射能汚染のリスク。 ● ドイツ(9)：(-)予測不能な結果が発生するリスクが高い。 ● スウェーデン(10)：(-)発射に伴う安全性を明示することもできなかった。
③実用化レベル（産業規模）	● OECD/NEA(1a)：(-)必要な宇宙技術を有している比較的少数の国によってのみしか実施できない。 ● 米国(2)：(-)上記②と同様。 ● 英国(6)：(-)ロケット又はシャトルによる地球からの脱出の際の加速度，又は考えられる事故シナリオにも耐えられる廃棄物のパッケージの開発が必要。 ● ドイツ(9)：(-)必要となる技術水準が高いために，ごく少数の国しか実行できない。
④長期安全性	● ドイツ(9)：(-)上記②と同様。 ● スウェーデン(10)：(+) 上記①と同様。
⑤環境負荷	● 米国(3)：(-)放射線以外による健康被害。

【本オプションに関する個別評価項目毎の評価結果(2/2)】

評価項目	国名(文献番号)：当該オプションの各評価項目に関する評価結果（(+)赤：ポジティブ，　(-)青：ネガティブ）
⑩コスト	● OECD/NEA(1a)：(-)この方法の経済性と安全性には疑問があるが，将来における利用の可能性については検討が続けられるべきである。 ● 米国(2)：(-)費用面の検討と打上げ時の事故のリスクのため，一般にこのオプションは真剣に検討されてこなかった。特にこれらの廃棄物成分の分離費用を含めると，宇宙処分はきわめて高価となる。 ● 英国(6)：(-)高コストであり，ロケット故障のリスクがあるため，研究が保留されている。 ● ドイツ(9)：(-)コストが高く，ごくわずかな量の廃棄物しか処分できない。 ● スウェーデン(10)：(-)実現に必要なエネルギー及び費用は，現実問題として算出可能ではない。
⑪その他	● OECD/NEA(1a)：(-)この方法は小容積のものに対してのみ実施可能性があるので最も危険が考えられる廃棄物を分離する必要があり，このことは更に廃棄物を処理することを意味するとともにこれは又危険を伴うこととなる。 ● 米国(2)：(+)廃棄物の中のきわめて長寿命の同位体のみ（すなわちテクネチウム99，セシウム135，ヨウ素129及び長寿命アクチニド）を処分しようとする場合には，その量がはるかに管理しやすくなる（現在の米国のインベントリでは数百万ポンド程度）。 ● 米国(3)：(-)操業期間中の潜在的な放射線リスク，国際法に矛盾する可能性，許容可能な是正処置能力を開発する難しさがある。こうした条件のため，地層処分の代替案としての宇宙処分の開発を優先することは，得策ではないと思われる。 ● 英国(6)：(+)比較的体積が小さい長寿命高レベル放射性廃棄物に最も適している。

(5)核種分離・変換(消滅処理)

【本オプションに関する総合的な評価結果】

× **OECD/NEA(1a)**:陸地の安定地層への閉じ込めが現在では最も優れているとしたうえで,地層処分が第一番目の候補であると勧告。
△ **フランス(4)**:最終的な廃棄物管理に向けた基本的な方針として地層処分を採用することを勧告。但し,本オプションについて,第IV世代炉システムに伴う要求事項との関連において,研究の新たな方針を設定し,焦点を絞り,調整すると評価している。
× **カナダ(5)**:適応性のある段階的管理を選択。本オプションは,国際的に見て関心を集めている方法の1つとして取り上げられたが,最終的な4つのオプションに残らなかった。
× **英国(6)**:長期的管理には深地層処分が最適な方法と結論付け。本オプションは,第1段階のスクリーニングで除外。
× **フィンランド(7)**:5つのオプションの評価結果として1つのオプションの選択は行っていないが,事業者が提案した地層処分を原則決定した。
× **ドイツ(9)**:放射性廃棄物の長期的かつ安全な処分のためには,地層処分に代わる代替案は存在しないとの評価。
× **スウェーデン(10)**:実施主体であるSKB社は地層処分概念(KBS-3)を選択。

【本オプションに関する個別評価項目毎の評価結果(1/2)】

評価項目	国名(文献番号):当該オプションの各評価項目に関する評価結果((+)赤:ポジティブ, (-)青:ネガティブ)
②技術的確実性	• OECD/NEA(1a): (-)アクチニドは完全には消滅できず,ある部分は常に廃棄物中に留まる。 • フランス(4): (-)技術的な実現可能性が立証されていない。また,実現したとしても長寿命核種を完全に除去できない。 • 英国(6): (-)放射性廃棄物から主要な放射性核種を抽出するのは困難である。 • フィンランド(7): (-)・すべての放射性物質を完全に消滅することはできない。・この方法の本当の技術的可能性はまだ示されていない。 • ドイツ(9): (-)全ての放射性核種の核変換は不可能
③実用化レベル(産業規模)	• OECD/NEA(1a): (-)長寿命核分裂生成物の変換は今日,あるいは近い将来の技術の範囲内では実現性があるとは考えられないが,アクチニドについては多少の見込みがあろう。 • 米国(2):(-)使用済燃料に含まれる最も危険で最も長寿命の放射性元素を分離して,それらを短寿命の同位体または安定同位体に変換するという既存の技術を用いた費用対効果の高いものが存在しない。 • フランス(4): (-)産業規模において核種変換した後の物質の保管方法が確立されていない。 • カナダ(5): (-)毒性を低減する目的でCANDU燃料をさらに処理する場合,特定の同位元素の分離と核種変換における重大な進歩が必要。 • スウェーデン(10): (+)ウラン及びプルトニウムのリサイクルを伴う再処理は,現在既に幾つかの国で実施されている。(-)分離・核変換を使用した商業施設が建設できるようになるまでには,まだ何十年もの期間がかかることが予想される研究を実施しなければならない。
④長期安全性	• フィンランド(7): (+)廃棄物に含まれる寿命の長い放射性物質の量が減少するかもしれない。潜在的な危険性の期間が短くなるかもしれない。
⑩コスト	• カナダ(5): (-)使用済燃料の再処理コストは高く,近い将来に天然ウラン採鉱費用がそれを上回るようなことはない。 • 英国(6): (-)コストが高い。 • フィンランド(7): (-)変換およびそれに必要な,現在の再処理より有効な分離技術は,明らかに直接最終処理より金がかかる。 • ドイツ(9): (-)原子力産業が維持されている場合に限り経済的に成立(脱原子力政策に反する) • スウェーデン(10): (-)単に高レベル長寿命廃棄物の量を低減するためだけに核変換を利用することは,コスト面でも資源面でも効果的ではない。

【本オプションに関する個別評価項目毎の評価結果(2/2)】

評価項目	国名(文献番号):当該オプションの各評価項目に関する評価結果((+)赤:ポジティブ, (-)青:ネガティブ)
⑪その他	• OECD/NEA(1a): (-)処理操作の増大は異なった種類の廃棄物を発生させる。処理にかかわる作業者の被曝の問題が特に重要となる。このコンセプトが現実的な地層処分に比較して大きなリスクの減少がないことを示さなければならない。 • 米国(2):(-)再利用の確率の低い放射性物質の場合には,処分の解決策が必要であることが明白である。既存の商用使用済燃料の少なくとも一部を安全に管理するためにも処分が必要とされる可能性が極めて高いと考えている。これらの廃棄物の流れの一部には,長寿命放射性元素が十分に含まれているため,予見可能な分離技術では,長期的な処分解決策の必要性を排除することができない。使用済燃料の全ての再処理またはリサイクル選択肢が廃棄物の流れを生み出す。 • 米国(3):(-)実用化レベル(産業規模)。 • フランス(4): (-)最終的な管理方法とはなり得ない(長寿命放射性核種を完全には除去できないため,別の管理方法が必要である)。 • カナダ(5): (-) 使用済燃料を未処理形態で管理する以上に管理が困難な廃棄物が発生する。核燃料サイクルを継続するという確約が不可欠。 • 英国(6): (-)プロセス中に大量の廃棄物が発生する。非常に長い期間にわたる原子力及び再処理に対する方針が必要。他の長期管理オプションと組み合わせる必要がある。 • フィンランド(7): (-)廃棄物のある部分はいずれ最終処分されるようになる。 • ドイツ(9): (-)残った放射性核種は,長寿命の放射性廃棄物として処分が必要。化学施設と原子力技術施設の両方を操業する必要があり,これらのリスクは,核拡散の可能性を考慮に入れた場合,処分場のリスクを上回る。 • スウェーデン(10): (-)有用性[再処理]:(再処理の結果として,当初の使用済燃料から,「高レベル・ガラス固化廃棄物」,「使用済MOX燃料」及び「その他の放射性廃棄物」が発生することになる。使用済燃料の直接処分の場合と似通ったシステムが必要とされる。)。有用性[分離・変換]:(大規模な核変換は,原子炉に類似したプラントで行わなければならない。一部の高レベル・長寿命廃棄物は残り,使用済燃料の直接処分の場合と類似した管理を実施する必要がある。)。

(6)中間貯蔵(段階的地層処分) ※最終処分前の中間貯蔵(最大300年程度)

【本オプションに関する総合的な評価結果】

× **OECD/NEA(1b)**:環境上及び倫理的な見通しから，地層処分場の開発を継続することは，環境上及び倫理的の両面で正当である。
△ **フランス(4)**:最終的な廃棄物管理に向けた基本的な方針として地層処分を採用することを勧告。但し，本オプションについて，長期中間貯蔵が管理手段として採用される場合には，必要とされる研究を実施するために用途を明確にしたサイトを一ヵ所選定すると評価している。
○ **カナダ(5)**:適応性のある段階的管理として本オプションを選択して提案。
○ **英国(6)**:長期的管理には深地層処分が最適な方法と結論付け。(多基準分析のスコアリング結果では，本オプションが最高得点。)
× **フィンランド(7)**:5つのオプションの評価結果として1つのオプションの選択は行っていないが，事業者が提案した地層処分を原則決定した。
× **スイス(8)**:パイロット施設の建設とモニタリング期間及び廃棄物の容易な回収を実現する「監視付き長期地層処分」概念を勧告。
× **ドイツ(9)**:放射性廃棄物の長期的かつ安全な処分のためには，地層処分に代わる代替案は存在しないとの評価。

【本オプションに関する個別評価項目毎の評価結果(1/2)】

評価項目	国名(文献番号) :当該オプションの各評価項目に関する評価結果((+)赤:ポジティブ，　(-)青:ネガティブ)
②技術的確実性	• 英国(6): (+)廃棄物定置，埋め戻し，又は(決定された場合における)廃棄物回収を達成するための特別に高度かつ難しい追加技術の必要はない。
③実用化レベル(産業規模)	• OECD/NEA(1b): (-)廃棄物の監視付き貯蔵は長期では容認出来る戦略ではないが，(+)それ自身非常に安全な暫定的な処置である。 • フランス(4): (+) 1世紀以内であれば，現在の高レベル・長寿命放射性廃棄物を冷却させるに十分であり，ラ・アーグの産業規模の中間貯蔵施設が存在しているし，これを拡張することもできる。
④長期安全性	• スイス(8): (-)中間貯蔵施設の寿命は数十年に限定されており，長期安全性の廃棄物主要な要件を満たしていない。
⑥制度的管理の必要性	• OECD/NEA(1b): (-)社会には貯蔵施設の存在と近接に慣れ，それに伴うリスクを次第に無視するようになるという自然な性癖もある。こうしたリスクは，相応しい監視と保守がなければ，現実に時間と共に大きくなり，将来のある時期に重大な保健および環境の損害を引起こす可能性がある。 • カナダ(5): (+)長期にわたる安全性能のために，このアプローチは人間の制度及び能動的な管理には依存しない。
⑧管理方策(事業)の柔軟性	• フランス(4): (+)将来において構想される長寿命廃棄物の新たな管理方策に対して門戸の開放または施設の拡張が可能 • カナダ(5): (+) 短期に対して高い適応性を持ち，この期間中は強固な監督制度及び能動的な管理能力が存在すると考えることは合理的である。このアプローチでは，社会的な学習及び行動の明確かつ計画的なプロセスを確立できる。プロセスの各段階で，安全で信頼性の高い使用済燃料の閉じ込めの選択肢が計画され，導入される。各段階を通して実施が計画どおり進まない場合，真の選択肢及び危機管理計画を提供する。 • 英国(6):【中間貯蔵】(+)監視が容易で，廃棄物の管理計画の変更も可能である。廃棄物の集中化，オンサイトでの貯蔵も可能。 【段階的地層処分】(+)最終処分前に考える時間を与え，処分に関する最終決定の前に技術の進歩または社会的ニーズの変化を考慮することができる。 • フィンランド(7): (+)原子力発電技術の進展が最終処分される物質の量およびそれらの危険性を低減する手段，例えば変換，をもたらす時間ができる。

【本オプションに関する個別評価項目毎の評価結果(2/2)】

評価項目	国名(文献番号) :当該オプションの各評価項目に関する評価結果((+)赤:ポジティブ，　(-)青:ネガティブ)
⑨世代間倫理(将来への負担)	• OECD/NEA(1b): (+)現世代は次の後続世代に現世代が繰り越す如何なる問題も処理する技能，資源および機会を与える責任がある。 (-)一方で，現世代が技術の進歩を待ち，または貯蔵の方が安上がりなために処分施設の建設を遅らせるなら，次世代が異なる決定をすることを期待してはならない。こうした取組み方は事実上，実際の活動の責任を常に将来の世代に転嫁し，この故に非倫理的と判断され得る。不明確な貯蔵戦略の最も顕著な欠点は，将来の社会の安定性，および必要な安全および規定の処置を実行する永続的な能力を仮定していることと関係がある。現世代の寿命期間中の活動で排除出来るなら，責任および資源コストの負担を次世代に負わすように残してはならないという主張の方が恐らくもっと重要である。 • フランス(4): (-)世紀を超えて先送りされるリスクを伴ううえ，将来の社会に経済的及び技術的な制約を負わせる。 • 英国(6): (+)将来世代は，廃棄物の回収，貯蔵期間の続行，貯蔵施設の密封などのオプションを持つことが可能。 • フィンランド(7): (-)来る世代に責任を移す。
⑩コスト	• OECD/NEA(1b): (-)経費ー利益分析や経費縮小(これを20 - 30年以上の時間に適用するのは妥当とは言えない)のような既存の方法が，種々の管理戦略に含まれる世代間義務の評価で考慮された。しかし，これらは何れも，多くの世代にわたって受け継がれている義務に含まれる倫理的な疑問を定量的にも定性的にも酌量出来ない。 • フランス(4): (+)短期的措置(中間貯蔵の期間延長)としては，費用が少なくてすむ措置であり，処分の先送りが選好される。
⑪その他	• OECD/NEA(1b): (-)地層処分戦略の実行に至る増分プロセスは一時貯蔵段階の利点も組み入れられているが，この段階を無限に延長することはない。 • カナダ(5): (+)このアプローチは，深地層処分場に関連する技術が適切な最終地点であることを明確にしている。 • 英国(6):【中間貯蔵】(+)廃棄物へのアクセス及び回収可能の状態を維持できる。地下中間貯蔵の場合，テロリストからの攻撃の排除が可能。(-)短期的な解決策であるため，他のオプションとの組み合わせが必要。 • フィンランド(7): (-)最終的な解決法でない。 • ドイツ(9): (-)後に処分するための技術的及び行政的な予備段階に相当

(7)長期貯蔵(永久貯蔵)

【本オプションに関する総合的な評価結果】

△**フランス(4)**:最終的な廃棄物管理に向けた基本的な方針として地層処分を採用することを勧告。本オプションについて，地層処分と同等の永続的な管理方法と考えるわけにはいかないとし，貯蔵はあくまで地層処分を段階的に実現し管理するために必要となる柔軟性を確保するために利用されるものと位置付け。
×**カナダ(5)**:適応性のある段階的管理を選択。但し，本オプションは，最終的な4つのオプションとして検討対象に残された。
×**英国(6)**:長期的管理には深地層処分が最適な方法と結論付け。本オプションは，第1段階のスクリーニングで10の除外基準のうち4つで除外。
×**スイス(8)**:パイロット施設の建設とモニタリング期間及び廃棄物の容易な回収を実現する「監視付き長期地層処分」概念を勧告。
×**ドイツ(9)**:放射性廃棄物の長期的かつ安全な処分のためには，地層処分に代わる代替案は存在しないとの評価。
×**スウェーデン(10)**:実施主体であるSKB社は地層処分概念(KBS-3)を選択。

【本オプションに関する個別評価項目毎の評価結果(1/2)】

評価項目	国名(文献番号)：当該オプションの各評価項目に関する評価結果((+)赤：ポジティブ，　(-)青：ネガティブ)
②技術的確実性	・フランス(4): (-)長期間(たとえば300年)にわたって中間貯蔵したい場合には，建設すべき中間貯蔵施設の耐久性の問題を考慮する必要がある。 ・英国(6): (-)貯蔵技術に関しては，比較的成熟しているが，無期限のため，廃棄物パッケージに関する研究開発が必要である。 ・スウェーデン(10): (-) 100年よりも長い期間については不確実性が大きくなる。
④長期安全性	・スイス(8): (-)施設の保全を長期間にわたっては維持することができず，さらに社会的な変化の予測ができないために安全性を確実にするのに必要な対策を講じられないことから，長期安全性の評価基準を満たすことができない。 ・ドイツ(9): (-)将来に戦争などの社会的な混乱により，経済的及び科学的な可能性に悪影響が生じた場合，将来の世代は廃棄物に対する配慮することができなくなり，安全性が損なわれる。
⑥制度的管理の必要性	・英国(6): (-)産業，規制及びセキュリティのためのインフラストラクチャの恒久的保守が必要となり，将来世代には放射性物質の積極的な管理が求められる。 ・スウェーデン(10): (-)安全要件を満たすためにモニタリング及び保守を実施する必要がある。例えば使用済燃料の違法な取引を防止するために，何らかの監視を実施する必要がある。廃棄物容器，岩石支保などに対して定期的な保守を行う必要が生じる可能性がある。
⑨世代間倫理(将来への負担)	・フランス(4): (-)長期中間貯蔵は将来世代に放射性廃棄物の究極的な将来を引き受けなければならないという重い負担を負わせるものである。 ・英国(6): (-)将来世代には放射性物質の積極的な管理が求められる。(+)その反面，廃棄物の回収を可能の状態のまま維持できるため，将来世代が廃棄物に関して，独自の選択を行うことも可能である。 ・ドイツ(9): (-)将来の世代に最終的な決定を委ねることは，発生者負担原則に抵触。 ・スウェーデン(10): (-)単に最終的な解決策の延期を実現するだけである。
⑪その他	・フランス(4): (-)将来世代にわたる監視の継続を前提としており，従って最終的な管理方法とはなり得ず，数百年にも及ぶ監視を保証することはできない。 ・カナダ(5): (-) カナダ国民が必要であると言明する責任ある慎重なアプローチは，数千年，数万年にわたって強固な制度及び能動的な管理能力の存在に我々が依存しないタイプのものである。 ・英国(6): (+)テロリストの活動や事故にも関わらず，実現可能であり安全である。

⑤諸外国の管理オプションの評価事例に関する主要なレポート

管理オプションの評価事例に関する主要な参考資料(以下，参考和訳文書名でリストアップ)。

1 国際機関:
1a 原子力発電計画にともなう放射性廃棄物管理の目標・概念・戦略【1977，OECD/NEA】
1b 長寿命放射性廃棄物地層処分の環境上および倫理的基準，OECD/NEAの放射性廃棄物管理に対する総意【1995，OECD/NEA】

2 米国:
・ブルーリボン委員会処分小委員会の全体委員会に対する報告書(ドラフト版)【2011.6.1，米国の原子力の将来に関するブルーリボン委員会処分小委員会】
・米国の原子力の将来に関するブルーリボン委員会 エネルギー長官に対する報告書」【2012.1，米国の原子力の将来に関するブルーリボン委員会】

3 米国:DOE/EIS-0046F, Management of commercial generated radioactive waste【1980，DOE】

4 フランス:
・高レベル・長寿命放射性廃棄物の管理と研究に関する1991年12月30日の法律にかかる研究についての国家評価委員会(CNE)の総括評価報告書【2006.1，CNE】
・長寿命・高レベル放射性廃棄物の管理研究とPNGDR-MVに関する意見【2006.2，原子力安全当局(ASN)/原子力安全・放射線防護総局(DGSNR)】

5 カナダ:進むべき道の選択—カナダの使用済燃料の管理— 最終報告書【2005.11，核燃料廃棄物管理機関(NWMO)】

6 英国:「英国における高レベル放射性固体廃棄物の長期管理のためのオプション」【2005.4，放射性廃棄物管理委員会(CoRWM)】

7 フィンランド:使用済燃料の最終処分場の建設に関するPosiva社の申請に対する政府による原則決定:補遺3　使用済燃料の管理に関する見解」【2000.12，貿易産業省】

8 スイス:放射性廃棄物の処分概念　最終報告書」【2000.1.31，放射性廃棄物処分概念専門家グループ(EKRA)】

9 ドイツ:最終処分場サイト選定手続き−最終処分場立地手続作業委員会の勧告」【2002.12，サイト選定手続委員会(AkEnd)】

10スウェーデン:環境影響報告書　使用済燃料の中間貯蔵，封入及び最終処分【2011.3，SKB社】
※SKB社は自身の取り組み方向性(戦略)を示すために，2000年12月に「RD&D98補足書」を取りまとめ，その中で最終管理オプションの比較を実施している(2011年の上記環境影響評価書の内容とほぼ同等のものであるため，ここでは割愛する)

付録３

総合資源エネルギー調査会放射性廃棄物ＷＧ※での最近の議論の状況

※総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 放射性廃棄物ワーキンググループ

本資料の構成

１．国の審議会での議論（本検討会の設置背景等の確認）

２．その他の留意すべき議論（安全規制制度における回収可能性に係る議論の経緯）

３．安全規制制度との関係、及び可逆性・回収可能性の定義（本検討会における考え方）

本資料では使用する略語等

○最終処分法：　特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律

○最終処分基本方針：　特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針

○廃棄物 WG：　総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会放射性廃棄物ワーキンググループ

○処分技術 WG：　総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会地層処分技術ワーキンググループ

1. 国の審議会での議論（本検討会の設置背景等の確認）

(1) 全体概況（国の審議会の議論の経緯と施策への反映動向）

○背景
- 地層処分の実施に関して、社会的観点、特に世代内公平性などの倫理的観点での課題への工夫の余地があるとの国際的な認識（特にサイト選定プロセスにおいて顕在化）。
- わが国では2000年の最終処分法の制定により、国際的に合意された概念や進め方とも調和した形で、地層処分を事業化。但し、国際的に認識されたと同様の課題等から、文献調査を実施するに至っていない状況。

○国は、上記状況を踏まえ、原点に立ち返って、取組の抜本的な見直しに向けた議論に着手。
⇒2つのWGで議論を展開（廃棄物WG：平成25年5月～ 、処分技術WG：平成25年9月～）。

○2つのWGは審議結果を中間とりまとめ（平成26年5月）。
- **廃棄物WG**では、“**可逆性・回収可能性が適切に担保されるのであれば**、現世代として地層処分に向けた取組を進めることは、最も適切な対処方策である”ことを確認するとともに、処分地選定に向けた取組や処分推進体制の改善に資する提言を取りまとめ。

⇒エネルギー基本計画の策定（平成26年4月）

○2つのWGは審議を継続：
- **廃棄物WG**では、中間とりまとめを踏まえ、①処分地選定に向けた取組の改善策の具体化、②最終処分基本方針の改定案（中間とりまとめを踏まえた政府方針の明確化）、について審議。

⇒最終処分基本方針の改定（平成27年5月）
改定のポイント：“将来世代に負担を先送りしないよう、現世代の責任で（地層処分に向けた）取り組みを進めつつ、**可逆性・回収可能性を担保し**、代替オプションの技術開発も進める”など（経済産業省ニュースリリースより）

○2つのWGで審議を継続：引き続き、更なる取組の具体化等に向けて議論を展開。

(2)『中間とりまとめ』（平成26年5月）に向けた廃棄物WGの議論

○日本学術会議提言（日本学術会議、2012）や原子力委員会見解（原子力委員会、2012）などの提言を踏まえ、これまでの取組や制度に関する反省点を明確にしたうえで、議論すべき論点を抽出。

○審議においては、これまでのわが国の議論の経緯や取組、国際的な検討動向等も参照し、地層処分の課題の構造（全体像）を掌握しつつ、詳細な審議を展開。

○審議のポイントの1つとして、「現世代の責任」と「将来世代の選択可能性」という2つの観点から、地層処分の取組を進めることの可否について議論。

●抽出された論点
論点A：原子力政策との関係をどのように整理するか。
論点B：現世代としての取組はどうあるべきか。
（1）現世代として責任ある対処とは何か。
（2）我が国において、現時点で有望な最終処分方法は何か。
（3）将来世代の柔軟性をいかに確保するか。
論点C：国民・地域の信頼を得るべく、処分推進体制をどう改善すべきか。
論点D：国民・地域の信頼を得るべく、立地選定プロセスをどのように改善すべきか。
審議と並行して取り組むべき課題：国民との問題認識の共有化に向けた取組の強化

論点Bの議論が、後の中間とりまとめの『可逆性・回収可能性を担保し、将来世代も含めて最終処分に関する意思決定を見直せる仕組みとすることが不可欠』との結論に至った。

『閉鎖段階までの可逆性・回収可能性の維持』は、「将来世代にわたる段階的な社会的合意形成に係る活動を担保するもの」という文脈の中で議論が展開されてきた。

●可逆性・回収可能性に関連する意見など（一例）
○可逆性とは、技術的概念というよりは管理や意思決定概念。意思決定そのものを元に戻すことではなく、むしろ段階的なプロセスを通じて意思決定への継続した参加を確保すること。一方、回収可能性は本質的に技術的なもの。可逆性を、どのような形で社会的な仕組みとして設計するかというものがあって、初めて回収可能性というものが意味を持つ。両者は両輪で回る必要がある。（第3回会合）
○処分場の閉鎖に至るまでの全行程において、社会合意形成、つまり住民参加のもとで物事を一つずつ前に進めていくということが、基本的には可逆性の本来の意味。（第4回会合）
○可逆性は管理や意思決定の概念であり、参加型の意思決定が続くようにしたいという要望に基づく概念。回収可能性は、処分場に定置された廃棄物あるいは廃棄物パッケージを取り出す能力であり、本質的に工学的・技術的なもの。（第4回会合）

(3)『中間とりまとめ』(平成26年5月)

○現世代の取組の方向性として、“**可逆性・回収可能性が適切に担保されるのであれば**、現世代として地層処分に向けた取組を進めることは、最も適切な対処方策である”ことを確認。
○可逆性・回収可能性に関連する具体的な取組として以下を提示。
①代替処分オプションの研究開発の進捗を含む、地層処分の技術的信頼性に関する定期的かつ継続的な評価など、処分場の最終閉鎖判断がなされるまで、処分方法の再検討を継続的に実施する仕組み
②今後、回収可能性の維持期間を決定するうえでの、処分場を閉鎖せずに安全に管理可能な期間に関する技術的観点からの調査研究
※中間とりまとめ以降の審議を経た、最終処分基本方針(平成27年5月)では、原子力委員会が、上記①に係る定期的かつ継続的な評価を担うことを決定。

●論点A、Bの審議結果を反映
論点A: 原子力政策との関係をどのように整理するか。
論点B: 現世代としての取組はどうあるべきか。

●論点Dの審議結果を反映
論点D: 国民・地域の信頼を得るべく、立地選定プロセスをどうように改善すべきか。

●論点Cの審議結果を反映
論点C: 国民・地域の信頼を得るべく、処分推進体制をどう改善すべきか。

放射性廃棄物WG中間とりまとめ【目次】

1. はじめに……2
2. 高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた取組の現状と課題……3
(1)高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた枠組みの構築…3
(2)最終処分事業の推進に向けたこれまでの取組……3
(3)海外における高レベル放射性廃棄物処分の状況について…4
(4)日本学術会議及び原子力委員会からの提言……5
3. 高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた現世代の取組のあり方…7
(1)高レベル放射性廃棄物処分の基本的考え方……7
(2)不確実性を考慮した現世代の取組のあり方……9
(3)最終処分方法についての検討……12
(4)現世代の取組の方向性……18
(5)プロセスを進める上での社会的合意形成の必要性……21
4. 処分地選定に向けた取組の改善……23
(1)安全な処分の実現に向けた処分地選定プロセスの改善…24
(2)地域における合意形成に向けた仕組みの整備……26
(3)地域に対する適切な支援……28
5. 処分推進体制の改善……29
(1)NUMOの取組改善と国の適切な監督の実施……30
(2)信頼性確保に向けた第三者評価の活用……31
6. おわりに……32

要旨(報告書では枠囲みで記載)

3.(1) 高レベル放射性廃棄物処分の基本的考え方
○ 高レベル放射性廃棄物については、将来世代の負担を最大限軽減するため、長期にわたる制度的管理(人的管理)に依らない「最終処分」を可能な限り目指すことが必要。そのため、原子力発電を利用してきた現世代が、最終処分に向けた取組を具体的に進めていくことが必要であるが、他方で、最終処分ありきで進めることに対する社会的支持が十分でないことも踏まえなければならない。

3.(2) 不確実性を考慮した現世代の取組のあり方
○ 最終処分に向けた取組を進める上は、数世代にも及ぶ長期的な事業であることから、可逆性・回収可能性を担保し、将来世代も含めて最終処分に関する意思決定を見直せる仕組みとすることが不可欠。

3.(3) 最終処分方法についての検討
○ 最終処分の方法としては、地層処分が現時点で最も有望であるというのが国際的共通認識。我が国においても、これまで科学的知見が蓄積され実現可能性が示されているとともに、具体的なプロセスが制度として確立している方法は地層処分。
○ 他方、その安全性に対し必ずしも十分な信頼が得られておらず、将来にわたっても絶対の処分方法であるとまでの共通認識は得られていない。今後の技術進歩によっては、将来新たな処分方法が実現可能となる可能性もあることから、代替処分オプションについても可能性として検討していくことも必要。

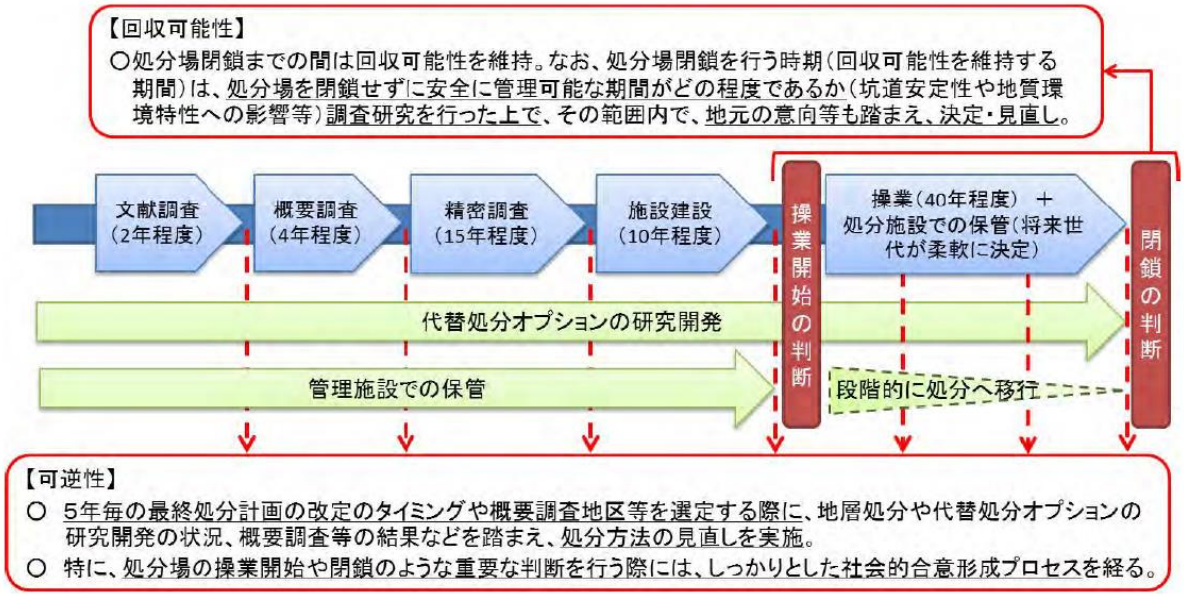
3.(4) 現世代の取組の方向性
○ 可逆性・回収可能性を適切に担保した上で、地層処分に向けた取組を進めることは、有力な対処方策。その際、以下の取組を並行的に進めることが必要。
ⅰ)地層処分の技術的信頼性について、最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映
ⅱ)代替処分オプションの研究開発の推進
ⅲ)使用済燃料の中間貯蔵や処分場の閉鎖までの間の高レベル放射性廃棄物の管理のあり方の具体化
○ 処分地選定と並行し、このような取組を進めることで、その中で明らかになる知見を基に、最終処分に関する社会的合意形成を段階的に進めていくことが不可欠。

3.(5) プロセスを進めていく上での社会的合意形成の必要性
○ 原子力政策に対する社会的合意は世代毎に変化するもの。また、最終処分場の立地選定は持ち込まれる廃棄物の量に関係なく難しい問題。
○ 高レベル放射性廃棄物問題の解決に向けて取り組んでいくにあたっては、段階的なプロセスの下で、多様な立場の方々がそれぞれ真摯に議論を尽くし、政治的判断や社会的支持を得ていくことが必要。その際、最終処分の問題が原子力利用における避けて通れない課題の1つであることをしっかりと認識し、原子力政策のあり方と合わせて理解を得ていくことも必要。

5.(2) 信頼性確保に向けた第三者評価の活用
○処分事業の信頼性を確保する上で、“行司役”的視点に立った第三者評価が不可欠。①処分オプションの妥当性評価等の技術的評価のみならず、②国やNUMOによる合意形成活動の適切性評価等の社会的評価を継続的に実施していく必要。

【参考】 廃棄物WG中間とりまとめで示された、わが国の地層処分事業における可逆性・回収可能性の概念
（廃棄物WG中間とりまとめより抜粋）

【可逆性・回収可能性のある地層処分の具体的なプロセス（案）】



(4)『最終処分基本方針の改定』に向けた廃棄物WGの議論（可逆性・回収可能性関連）

○最終処分基本方針の改定案の審議では、可逆性・回収可能性について以下を確認（第16回会合：平成27年2月）。

- ●可逆性・回収可能性について、まずは、それを担保し、将来世代の処分方法の選択を可能にすることを、この段階の最終処分基本方針に取り入れ、国民に対するメッセージとして明確に示す。
- ●廃棄物WGで示された課題を含めて、可逆性・回収可能性についてどの様な留意事項があるか、それらをどの様な専門的知見を踏まえて検討すべきか、今後、整理しつつ検討を進める。

●最終処分基本方針への反映における可逆性・回収可能性に関する主な意見

第17回廃棄物WG　資料1で示された**集約意見**や今後の検討課題

○可逆性はプロセスに対する概念であることを明確にするとともに、回収可能性との関係を明確にすべき。
○可逆性については、ホールドポイントの設定や政策の安定性への影響など、今後更に具体的な検討が必要。
○可逆性・回収可能性は、まず基本的な考え方として基本方針に位置付け、今後必要な詳細検討を行うべき。
○回収可能性について具体的な制度的な対応を求めるのは閉鎖までとすべき。閉鎖後の話は議論を明確に分けるべき。
○可逆性・回収可能性を担保する期間について、今考えるならば、処分場の閉鎖までとすることは妥当。
○地層処分の概念と廃棄体の回収という概念は相反あり。今後具体的な研究が必要。

【参考】 可逆性・回収可能性に係る今後の課題や論点に関する主な意見（第16回廃棄物WG　議事録より）

○廃棄物を処分場から安全に回収するための工学的手法に関する調査研究、処分場を閉鎖せずに安全に管理することが可能な期間等に関する調査研究の実施は、下記の議論に資することを意図。

- 定置後の回収には、概念上のトレードオフがあり得る。また、工学的にも一定の制約なり限界があるのではないか。
- 回収可能性を概念として採用しても、どのように進めていくのか、どの程度確保するのかというのは今後の議論。

○定置終了までに不具合があった際に回収ができるということと、定置終了後にも将来世代の意思決定によって回収ができるという2つの側面が、これまでの議論では両方が混同して議論されてきた。後者については、そのための技術があることを示せれば良く、それを技術的に保証したり、その費用を賄っておくというのは、また違う話しではないか。

○ある種初期欠陥のような問題への対処としての回収という意味での品質保証の部分と、可逆性であるとか将来世代のオプションを残すという意味での可逆性・回収可能性は分けて議論すべき。

○地層処分の概念とのトレードオフをどこまで考えるべきか（概念とのコンフリクト）、その点でどういう問題が発生し得るのかということもよく理解した上で可逆性・回収可能性を議論すべき。

○地層処分は原理的には、基本的にどの段階においても回収可能性はある。ただ、その程度が、事業が進み、最終閉鎖やその後の時間経過に伴って回収可能性が徐々に減っていくとの理解のもとで、ではどの程度まで、どのぐらい回収可能であるということを念頭に置いてこの事業に取り組むのか。何か特別な準備をする必要があるのか、事前の今の時点の政策、制度で何らか特別な手当をして技術開発をしたりコストの検討をしたりするのかということについては色々な議論がある。

○回収可能性は地層処分の安全性、また、場合によっては（直接処分など）、セーフガード（安全保障、核不拡散上）の観点からの検討も必要。規制委員会においても十分議論して頂くことを要請すべき事柄かもしれない。

○ホールドポイントをどういう形で設けるのか。原子力委員会の定期的なレビューは、効果的であり重要ではあるが、そこで必ず立ちどまって政策レベルの決定を改めて行うこととは色合いが違う。他のオプションへの移行や後戻りも含めてた検討の後でないと先に進まないという制度を、法律以下の、基本方針以下のレベルでどう組み込むかを、ここで議論すべき。柔軟性や段階の細かさの程度（程度によっては、事業の安定性が損なわれ着実な取組が進まないリスク）も、トレードオフの関係にある。

○工学的手法に関する調査研究を進めていくことは大事だが、一方で、今までの地層処分は、いかに確実に処分するかという方向でやってきた技術。回収を考えるとなると、いわゆる取り出しやすい形をあわせて検討しなければならないのは、トレードオフとの関係にあり、そのことを念頭に置くべき。例えば、処分コンセプトやパッケージの変更など、そのレベルにまで影響が及ぶかもしれない。

○「処分場を閉鎖せずに安全に管理することが可能な期間等に関する調査研究」については、今後の予定を含め、明確にして頂きたい。

○可逆性は通常、政策とか事業には一定程度は備わっている。また、回収可能性も地層処分という技術そのものに固有の性質として一定程度ある。故に、基本方針において、それを確保する、担保するというだけでは余り大きな意味を持たないのではないか。それを具体的に、どの程度どういう形で確保することが必要なのかという部分まで、ある程度今の段階での考え方を示すことが必要である（進めながら、という部分もあるかと思われる）。

(5) 最終処分基本方針の改定に伴う、現行制度における可逆性・回収可能性の維持

○現行の安全規制制度（関連委員会での回収可能性に係る考え方等を含む）を念頭に、最終処分法の枠内で、閉鎖段階までの可逆性・回収可能性を維持する方針を設定。

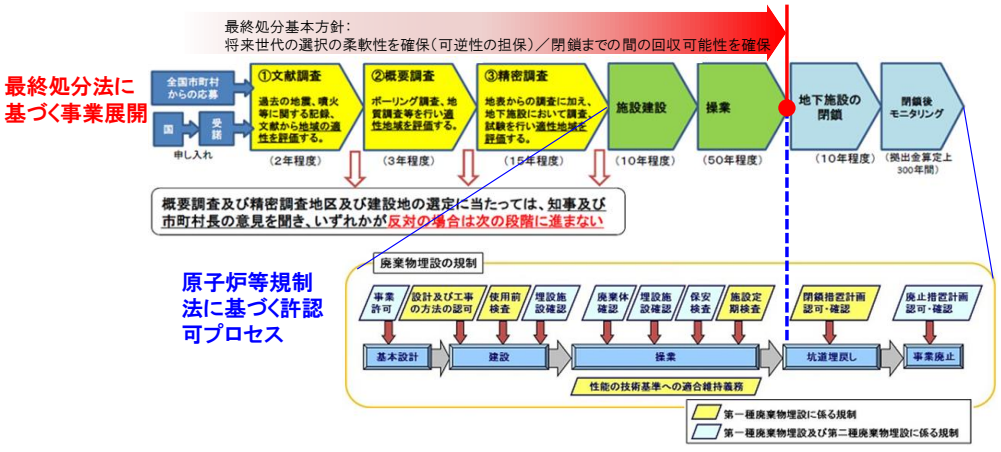
最終処分基本方針（平成27年5月）

第4　特定放射性廃棄物の最終処分の実施に関する事項（以下、関連部分の抜粋）

・・・最終処分事業は長期にわたる事業であることを踏まえ、最終処分を計画的かつ確実に実施させるとの目的の下で、今後の技術その他の変化の可能性に柔軟かつ適切に対応する観点から、基本的に最終処分に関する政策や最終処分事業の可逆性を担保することとし、今後より良い処分方法が実用化された場合等に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにする。このため、機構は、特定放射性廃棄物が最終処分施設に搬入された後においても、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保するものとする。

第5　特定放射性廃棄物の最終処分に係る技術の開発に関する事項（以下、関連部分の抜粋）

・・・合わせて、最終処分施設を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査研究を進め、最終処分施設の閉鎖までの間の特定放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。・・・



2. その他の留意すべき議論（安全規制制度における回収可能性に係る議論の経緯）

○これまでの安全規制側での議論では、安全性に関する技術的観点から、『回収可能性の維持』について、主に2つの異なる観点から見解等を提示（P11参照）。
①地層処分の安全性に及ぼす影響の観点（安全性または性能に許容できない影響を及ぼしてはならない）
②地層処分の安全性に係る不測の事態への対応等の観点（不測の事態への対応や定期安全レビューに基づく対応手段の確保等のため、閉鎖段階まで回収可能性を維持）

○諸外国の法規制制度等でも、上記と同様の安全性に係る2つの視点が存在（P12参照）。
これらは「回収可能性の維持」について、安全性に関する技術的観点から扱われている。
これらは、主に「管理方策に係る将来世代による選択の権利の維持」の観点から廃棄物WGで議論されてきた可逆性・回収可能性とは別の観点（異なる動機）。

【参考】 廃棄物WGのこれまでの議論でも、安全規制制度との関係等に関する指摘がある。
（以下、可逆性・回収可能性の維持に関する廃棄物WGでの指摘事項から、安全規制制度との関係に関連するものを抽出）

○定置終了までに不具合があった際に回収ができるということと、定置終了後にも将来世代の意思決定によって回収ができるという2つの側面が、これまでの議論では両方が混同して議論されてきた。

○ある種初期欠陥のような問題への対処としての回収という意味での品質保証の部分と、可逆性であるとか将来世代のオプションを残すという意味での可逆性・回収可能性は分けて議論すべき。

○回収可能性は地層処分の安全性、また、場合によっては（直接処分など）、セーフガード（安全保障、核不拡散上）の観点からの検討も必要。規制委員会においても十分議論して頂くことを要請すべき事柄かもしれない。

●可逆性・回収可能性の維持に関する安全規制当局の考えや見解など
（①青文字：地層処分の安全性に及ぼす影響の観点、②緑文字：地層処分の安全性に係る不測の事態への対応等の観点）

○原子力規制委員会「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律に基づく特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針について（回答）」（平成27年4月1日）

最終処分に関する政策や最終処分事業の可逆性の担保」する場合、その内容如何によっては「最終処分に関する安全の確保のための規制に関する事項」や「概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」に影響を及ぼす可能性があることから、これらの検討に支障が生じる可能性がある。こうした認識が共有されるのであれば、意見照合のあった基本方針の改定について、異存はない。

○総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会「放射性廃棄物の地層処分に係る安全規制制度の在り方について」（平成18年9月）

地層処分の目的は、放射性廃棄物を長期にわたって生活環境から隔離し、人間とその生活環境に悪影響を及ぼさないようにすることであり、この目的を達成するために、事業実施主体は様々な安全確保のための対策（適切な立地点の選定、工学的対策等）を講じ、規制当局は、当該対策が適切に実施されていることを確認する。したがって、安全確保のための対策が適切に講じられた地層処分においては、基本的に廃棄体を回収するような事態が生ずることはないと考えられる。

一方、処分場閉鎖までの間は、不測の事態への適切な対応、定期安全レビュー結果を踏まえた対応手段の確保等のために、廃棄体の回収可能性を維持することが必要と考えられ、事業実施主体の計画においてもこの点を考慮する必要がある。

なお、原子力安全委員会の「第1次報告書」では閉鎖の妥当性を確認するまでの期間は、回収の可能性を維持することが重要であるとされている。

ただし、閉鎖措置計画の認可において、**閉鎖後の長期の安全性が確保されることを確認した後においても、なお回収可能性を維持することは、処分概念とは相容れないこと、また回収方法の構築、長期間の維持等に関してはコスト的・技術的な問題があり、安全規制においてこれを求める合理的理由はない**と考えられる。

したがって、**安全確保上の要求としては、処分場の閉鎖について最終的に判断するまでは回収可能性が維持されるよう、開発段階において回収可能性に配慮した設計の採用や、具体的な回収手段を検討・確保しておくことが重要である。特に、国は事業実施主体の回収可能性に係る対応方針等の妥当性について、許可において評価するとともに、事業の各段階において、最新の知見に基づき、回収可能性の維持の意義や方策等の妥当性について確認等を行うことが重要である。**

さらに、閉鎖まで回収可能性を維持することは、処分に係る将来世代の意思決定の選択肢を残すことでもあり、処分事業に対する社会的信頼を高める上でも有益と考えられる。

いずれにせよ、IAEAの安全基準文書で指摘されているように、回収可能性の維持について、安全性または性能に許容できない影響を及ぼすことがないことを確保することが重要である。

○原子力安全委員会「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第一次報告）」（平成12年11月）

処分場の閉鎖に際しては、建設段階及び操業段階に得られたデータを追加し、安全評価の結果が妥当であることの確認を行う。また、その妥当性を確認するまでの期間は、高レベル放射性廃棄物の回収の可能性を維持することが重要である。

【参考】 諸外国における可逆性・回収可能性に関する制度整備の動向
（第17回廃棄物WGにおける提供資料より抜粋要約）

※色付き文字：安全規制制度としての規定概要。
①青文字：地層処分の安全性に及ぼす影響の観点、②緑文字：地層処分の安全性に係る不測の事態への対応等の観点

国名	可逆性、回収可能性に係る制度的要求（法規制文書、あるいは政府策定文書等における規定内容）
スウェーデン	○（法令では回収可能性の維持に関する規定はない。） ○安全規制制度において、回収を容易にする措置（または困難にする措置）による安全性への影響の報告を義務付け。
フィンランド	○2008年の改訂された現行の**安全規制制度では、従来の要求されていた回収可能性の規定が外された**。但し、オルキルオトの使用済燃料処分場に関する2001年の原則決定の付帯条件として、閉鎖後一定期間の回収可能性に係る要求が残されている。
フランス	○法律で、少なくとも100年以上の可逆性の確保を要求（今後、新たな新法によって可逆性の条件を具体化）。 ○安全規制制度では、可逆性の確保による操業中及び閉鎖後の安全性が妨げられないことを要求。
ドイツ	○安全規制制度の基準として、①閉鎖後の緊急回収に備えた廃棄物パッケージの健全性として500年間、②操業期間中の回収可能性の維持を要求。また、緊急回収及び操業時の回収可能性維持のための措置が、受動的な安全バリア及び長期安全性に影響を与えないことを要求。
スイス	○法令および安全規制制度で以下を要求。 ・ 回収のための準備措置が受動的安全性を損なわないこと。 ・ 処分場に併設する試験エリアでの回収に係る埋め戻し材の撤去等の実証。 ・ 処分場の閉鎖まで、多額の費用を要しないで回収が可能な方法で廃棄物を定置。 ・ 操業段階でバリアの欠陥を示す兆候があり、修復不可能な場合、廃棄物を回収すること。
英国	○政府白書（2014年）で、操業段階において定置された廃棄物の回収を行う理由が存在する場合、廃棄物の回収を行うことを明示。 ○安全規制制度では、回収可能性に関する措置が、環境セーフティケースに容認しがたい影響を及ぼさないことを要求。
カナダ	○法律に基づき、必要な場合に核燃料廃棄物を回収可能とするためのモニタリングを含む長期管理アプローチ「適応性のある段階的管理」（APM）を国家方針として決定。（APMは、可能性のある段階的管理として、処分場において最大240年の間、必要に応じて回収可能とするために定置した廃棄物へのアクセスを維持する概念を提示しているが、この管理方法は可能性として示されているものであり、現時点で導入が決定された概念ではない） ○安全規制制度では、不測の事態への対策として、処分概念に廃棄物の回収の方法を組み込むことを要求（閉鎖前の操業期間に関して）。
米国	○法律で、操業期間中における回収可能性の維持を義務付け（安全性、有用物質の利用）。 ○安全規制制度では、性能確認に係る審査終了まで、操業期間中での廃棄物の回収可能性の維持を要求（定置作業開始から50年間）。

付録４

可逆性・回収可能性に関する国内外の議論や検討等における主な論点や課題

本資料の構成

本資料では、海外（及び国内）の議論において論点や課題とされた事項を把握しつつ整理・抽出した結果を、以下の 13 の検討項目として整理している（本資料では、抽出した検討項目のグルーピングや項目間の関連性などの整理は施していない）。

①考慮すべき動機
②考慮すべき動機の事業段階に応じた変化
③判断基準・判断指標
④回収の技術的な実現性
⑤回収後の廃棄体の管理
⑥処分場設計への技術的要求（設計への影響を含む）
⑦回収の容易性
⑧回収可能性に係る戦略・計画の策定
⑨研究開発・実証
⑩閉鎖せずに回収可能性を維持する場合の施設設計や安全性への影響
⑪モニタリング等の役割
⑫費用
⑬意思決定のホールドポイントに係る留意事項（内容の大きさや重要度、インターバル、段階的な意思決定の意味合い）

検討項目案①：考慮すべき動機

○可逆性・回収可能性を欲する具体的な動機が示されている。
○それらの動機には、次のようなものがある。
　1)将来世代に対する倫理的課題への対処（管理方策の選択の権利など）
　2)現世代の地層処分概念への理解醸成のための期間確保
　3)安全性に係る課題／想定外の状況への対応
　4)現世代の安心感などの感情・要望等に係る動機、など

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など（関連資料等から主要なものを抜粋）】

諸外国の先行的な導入・検討事例より

- 目的は、処分概念への支持の獲得、将来世代の選択の自由など。【スウェーデン】
- （代替）技術が開発され適切となった場合に回収可能であるように最終処分が設計されること。【フィンランド】
- 可逆性の導入は、将来の選択権の維持、科学技術的進歩、不適切なサイト選定への対応などを目的。【フランス】
- 回収の理由として、安全性、資源利用、代替管理オプション、国際的な解決策の考案等を示唆。【スイス】
- 将来世代に廃棄物管理の選択肢を与えることが技術的、倫理的な検討課題と指摘。【英国】
- 使用済燃料中の経済的に重要な含有物回収のために回収可能性の維持を規定。【米国】

国際機関等が主導した検討事例（OECD/NEA, 2011）より

- 一部の国では、可逆性を求める社会的圧力は可逆性の容易さを求める方向ではなく、不可逆的な段階を避ける方向に向けられる傾向にある。‥[略]‥。可逆性を求める強い社会的動機としては、この他に、資源に将来アクセスできるようにしておきたいという要望、および閉鎖の前に処分場の性能を可能な範囲内で確認または実証したいという要望があるように思われる。これらの関心と同時に、技術に関する理解度が十分でないこと（または技術の成熟度に対する信頼がないこと）と、管理を行わない受動的な安全性の概念への不安からくる動機もあるといえる。可逆性への要求は、継続的なモニタリングや管理を閉鎖後までも継続する必要性があるとの認識からの論理的帰着とも考えられる。
- 回収能力は、長期性能に影響する可能性のある想定外の状況に対処する上で、最も重要なことであろう。そのような状況が起こり得ると考えられる理由はいくつもある。

国内での検討事例より

- ‥[略]‥、処分施設の立地段階から閉鎖に至るまで安全コミュニケーションを通じて、閉鎖後の長期的な安全性への影響に留意しつつ、回収可能性の備えの程度、あるいは逆に回収可能性の放棄の考え方等を検討し、最終処分法における段階的な意思決定にとって重要となる地層処分の安全性に関する信頼構築に対しても十分な責務を果たす必要がある。【原子力安全委員会（2011）】

国内での検討事例より（続き）

- ‥[略]‥、安全コミュニケーションを検討するうえでは、我が国における現行の法令等と可逆性や回収可能性の考え方との関係を明確にしておくことが重要である。例えば、安全コミュニケーションを通じて、処分事業の各段階で、具体的にどのような条件により、何を対象として可逆性を考えるか、あるいは、段階に応じて回収の必要性の程度をどのように減じていくかといった点について、処分事業の進展に応じて利用できるようになる技術的な情報の変化を踏まえて検討を行うことが考えられる。【原子力安全委員会（2011）】
- 可逆性や回収可能性に対する要求は、安全性や技術面のみによらないことを踏まえ、政策面や社会・経済的側面も含めて様々なステークホルダーによる地層処分の信頼を構築するに足る我が国全体での包括的議論が、別途、進められることが期待される。【原子力安全委員会（2011）】

検討項目案②：考慮すべき動機の事業段階に応じた変化

○動機の種類や重みなどが、事業進展や段階の違いによって変化する可能性が示唆されている。
○事業進展（時間経過）に伴う、処分技術への理解増進、技術の成熟や地層処分の技術的信頼性の向上などにより、当初の動機の重みが変化する、或いは動機の種類が変化する可能性がある。

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など（関連資料等から主要なものを抜粋）】

諸外国の先行的な導入・検討事例より

- フィンランド（安全規則からの回収可能性に係る要件の廃止）の変遷は、事業進展に伴い、可逆性・回収可能性を欲する動機や目的の変化の可能性が示唆される。

国際機関等が主導した検討事例（OECD/NEA, 2011）より

- 社会的圧力に対する動機付けとなっているのは、資源にアクセスすることと処分場の状態の直接的なモニタリングを継続する機能を持つことの他に、処分技術のことをよく知らない（あるいは、成熟していないと理解している）こと、および監視手段や能動的管理手段のない純粋な受動的安全性の概念への不安、並びに、将来における様々な行為を妨げるかもしれない意思決定を現時点で行うことを避けたいという要望が含まれる。これらの動機の数は時間が経過し、プログラムの信頼性のレベルが高まるに従っていずれ減ってくるかもしれない。また、長期間の管理も受動的安全性／固有安全性を受け入れる親しみやすさや意欲を高めるかもしれない。

国内での検討事例より

- ‥[略]‥、安全コミュニケーションを検討するうえでは、我が国における現行の法令等と可逆性や回収可能性の考え方との関係を明確にしておくことが重要である。例えば、安全コミュニケーションを通じて、処分事業の各段階で、具体的にどのような条件により、何を対象として可逆性を考えるか、あるいは、段階に応じて回収の必要性の程度をどのように減じていくかといった点について、処分事業の進展に応じて利用できるようになる技術的な情報の変化を踏まえて検討を行うことが考えられる。【原子力安全委員会（2011）】

検討項目案③：判断基準・判断指標

○一部の動機に関して、モニタリングなどの物理情報が、回収実行の判断の指標となり得る。

○一方（一般的には）、可逆性・回収可能性の実行判断には、多様な事項に関する総合的な評価が必要。それぞれの項目に対する判断基準と重み付けが必要となるが、それらを予め予見することは不可能である。

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など（関連資料等から主要なものを抜粋）】

諸外国の先行的な導入・検討事例より

- 主処分施設と別に設置されるパイロット施設でのモニタリング結果に応じて、主処分施設から廃棄物を回収するかどうかを判断。【スイス】

国際機関等が主導した検討事例（OECD/NEA, 2011）より

- 回収の意思決定は複雑なプロセスになる可能性が高い。ドイツのアッセサイトの例では、操業安全性、環境への影響、長期安全性、実現可能性、コスト、時間的要件、新たな中間貯蔵・管理施設に関連した要件、回収中および回収した物質の処理中に発生する廃棄物のために新たに設置される可能性がある処分場、廃棄する物質の輸送といった様々な事項に対する判断基準が必要になることを示している。‥[略]‥。回収を行うための基準に何らかの形で重み付けを行うことが必要となり、その重み付けは、回収する時点での安全に対する基準や考え方に依存する可能性が高いが、もちろん廃棄物を定置する時点でそれを予測することは不可能である。

国内での検討事例より

- ‥[略]‥、安全コミュニケーションを検討するうえでは、我が国における現行の法令等と可逆性や回収可能性の考え方との関係を明確にしておくことが重要である。例えば、安全コミュニケーションを通じて、処分事業の各段階で、具体的にどのような条件により、何を対象として可逆性を考えるか、あるいは、段階に応じて回収の必要性の程度をどのように減じていくかといった点について、処分事業の進展に応じて利用できるようになる技術的な情報の変化を踏まえて検討を行うことが考えられる。【原子力安全委員会（2011）】
- ‥[略]‥。安全性及び技術的な観点から、各段階において、どのように可逆性が確保され、何が満足されると次の段階へ移行するための条件となるかを検討するうえでは、例えば、フランスのように建設・操業段階を区分し、各段階に関する現象論的な分析、モニタリング戦略の特定を行い、可逆性の確保にとって有利な処分施設の設計及び操業特性を明らかにするといったことも考えられる。【原子力安全委員会（2011）】

検討項目案④：回収の技術的な実現性

○技術的な実現性に関して、重点化の方向性に関する意思決定が必要である（回収技術の開発、或いは回収を容易とする処分場への設計変更）。【項目④⑥⑦⑧⑨で共通する認識課題】

○閉鎖後であっても、一定の期間は回収が可能である。回収可能性の程度のレベルについては、考慮の余地がある。

○回収の実現性は、技術的要件のみならず、回収作業の安全性、回収費用などにも考慮が必要。

⇒検討項目案⑥、⑦、⑧、⑨、⑫と関連。

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など（関連資料等から主要なものを抜粋）】

諸外国の先行的な導入・検討事例より

- 技術面と資金面の両方において、燃料の回収が実際に実行可能であることが重要。【スイス】

国際機関等が主導した検討事例（OECD/NEA, 2011）より

- 回収可能性は、全体設計と開発プロセスのごく一部でしかないという点も認識しておく必要がある。処分場開発を進める中で、**回収可能性に関する戦略的な意思決定を行う必要がある。つまり、処分場の設計は変更せずに回収方法の開発に重点をおくのか、あるいは回収を容易にするために設計変更に重点を置くのかという点である。**
- 操業段階の後半、すなわち、多くの廃棄体が定置されているが、処分坑道の埋戻し・閉塞がまだ実施されていないときには、回収はまだ比較的容易であり、必要なことは定置プロセスを逆に行う程度のことだけである。しかし、操業期間においてそれより後になると、回収は次第に困難かつ費用がかかるようになる。その理由は、単に後戻りのために必要となる作業（埋戻し材料の除去など）がますます多くなるからだけでなく、設備の老朽化と周囲の地質物質の好ましくない変化（例えば、クリープ）が生じるからでもある。
- 廃棄物を回収しようとする場合、回収を容易にするための労力に影響する因子は、(i)処分場概念、バリア、および場所、(ii)回収可能性が求められているとすると、その時間スケール、(iii)廃棄物の回収が行われるときに処分場がどの程度変化しているか、である。そのような回収が実際にできるかどうかについては、作業者の安全性、費用の最小化、他の技術的要件を考慮しなければならない。原則として、処分場が廃棄物回収のための特別な措置を講じられているかどうかにかかわらず、廃棄物を特殊な採掘技術を用いて閉鎖した地層処分場から取り出すことは可能と考えられる。回収可能性の管理戦略は、回収可能性の程度をどのレベルにするか、いろいろと考えることが可能である。

国内での検討事例より

- ‥[略]‥、閉鎖後の長期的な安全性への影響に留意しつつ、回収可能性の備えの程度、あるいは逆に回収可能性の放棄の考え方等を検討し、最終処分法における段階的な意思決定にとって重要となる地層処分の安全性に関する信頼構築‥[略]‥。【原子力安全委員会(2011)】
- ‥[略]‥。安全性及び技術的な観点から、各段階において、どのように可逆性が確保され、何が満足されると次の段階へ移行するための条件となるかを検討するうえでは、例えば、フランス‥[略]‥。【原子力安全委員会(2011)】
- 立地段階から安全コミュニケーションを通じて回収可能性がいかに確保されるかをあらかじめ論じ、例えば、回収可能性を反映した施設設計を提示する、といったことを実施主体に求める事も考えられる。実際、諸外国においては、一定期間の回収機能を処分施設の設計において求めている国もある。このような施設設計については、それが実現可能であり、かつ操業時及び閉鎖後の長期的な安全性の両面をみたすものである事を示す必要があり、例えばフランスでは、実施主体が提示した一定期間におけるそのような技術的実現可能性を妥当としたうえで、法律でその具体的な期間を規定している。また、米国では、廃棄物の定置作業を開始してから50 年間経過するまでは、合理的なスケジュールによって回収が可能になるように設計することが求められている。このような検討においては、回収可能性とモニタリングの関係についても論じておく必要がある。【原子力安全委員会(2011)】
- 定置終了までに不具合があった際に回収ができるということと、定置終了後にも将来世代の意思決定によって回収ができるという2つの側面が、これまでの議論では両方が混同して議論されてきた。後者については、そのための技術があることを示せれば良く、それを技術的に保証したり、その費用を賄っておくというのは、また違う話しではないか。【廃棄物WG第16回会合(2015)】
- 地層処分は原理的には、基本的にどの段階においても回収可能性はある。ただ、その程度が、事業が進み、最終閉鎖やその後の時間経過に伴って回収可能性が徐々に減っていくとの理解のもとで、ではどの程度まで、どのぐらい回収可能であるということを念頭に置いてこの事業に取り組むのか。何か特別な準備をする必要があるのか、事前の今の時点の政策、制度で何らか特別な手当をして技術開発をしたりコストの検討をしたりするのかということについては色々な議論がある。【廃棄物WG第16回会合(2015)】
- 可逆性は通常、政策とか事業には一定程度は備わっている。また、回収可能性も地層処分という技術そのものに固有の性質として一定程度ある。故に、基本方針において、それを確保する、担保するというだけでは余り大きな意味を持たないのではないか。それを具体的に、どの程度どういう形で確保することが必要なのかという部分まで、ある程度今の段階での考え方を示すことが必要である(進めながら、という部分もあるかと思われる)。【廃棄物WG第16回会合(2015)】

検討項目案⑤:回収後の廃棄体の管理

○可逆性・回収可能性の実行時には(判断指標や実現性にも関係)、回収後の廃棄体の管理方法を具体化しておく必要がある。

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など(関連資料等から主要なものを抜粋)】

国際機関等が主導した検討事例(OECD/NEA, 2011)より

- 回収が決定されるようなことがあった場合は、回収した廃棄物を管理するための適切な代替方法、例えば、定置のやり直し、中間貯蔵施設への保管、別の処分場での定置なども必要になる。

検討項目案⑥:処分場設計への技術的要求(設計への影響を含む)

○技術的な実現性に関して、重点化の方向性に関する意思決定が必要である(回収技術の開発、或いは回収を容易とする処分場への設計変更)。【項目④⑥⑦⑧⑨で共通する認識課題】

○概念的ではあるが、幾つかの技術的要件や留意事項等が示唆されている。例えば、

1)閉鎖後に不必要に回収を困難にする設計とすべきではない

2)回収可能性の維持期間における廃棄体や坑道／ライニング等の健全性維持、など

⇒検討項目案④、⑦、⑧、⑨、⑫と関連。

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など(関連資料等から主要なものを抜粋)】

国際機関等が主導した検討事例(OECD/NEA, 2011)より

- 回収可能性は、全体設計と開発プロセスのごく一部でしかないという点も認識しておく必要がある。処分場開発を進める中で、**回収可能性に関する戦略的な意思決定を行う必要がある。つまり、処分場の設計は変更せずに回収方法の開発に重点をおくのか、あるいは回収を容易にするために設計変更に重点を置くのかという点である。**
- 閉鎖は、処分が適切な選択であって安全が保証されることを規制機関が確信するまで承認されることはないが、閉鎖後には、回収可能性の論理から、不必要に回収を困難にする設計とすべきではない。
- 廃棄物の定置段階では、廃棄体は人工バリア内に定置される。廃棄物と母岩の特性によって、バリアを設置する時期には様々なオプションがある。廃棄物の回収可能性の要件がある場合には、これもオプションに影響を与えることがある。
- このバリア(廃棄体)を回収が完了するまで保つことが好ましいと考えられる。さもなければ、燃料粒子が燃料棒から収納容器に放出され、回収中の放射線障害による危険性が高まるかもしれない。これが、最終的な回収プロセスに対する制約となり、回収可能性を持たせるための設計に影響する可能性がある。
- (処分容器に関して)検討が必要な別のパラメータとして、回収の容易さがあるかもしれない。‥[略]‥容器の健全性に加えて、容器外側のハンドリング特性も回収可能性が維持されている期間(設定されている場合)、維持されるように設計する必要がある。‥[略]‥。回収の準備プロセスがある場合にはその間、構造健全性を維持するのに十分な頑健性を備えることが必要になる。ガスによる加圧を防ぐためにベント(ガス抜き)を行う場合もある *(事務局注:使用済燃料の直接処分の場合など)*。容器のガス抜きを行うと、気体状の放射性核種がガス抜きを通って出ていき、埋戻し材を汚染させる可能性がある。これが、回収作業に影響するかもしれない。
- (定置セルについて)一部のプログラムでは、回収の容易さが設計で考慮すべき要素として追加されている。

国際機関等が主導した検討事例(OECD/NEA, 2011)より （続き）

- アクセス用立坑が開放されている期間だけそのバリアを長く維持しなければならない。もし、廃棄物の回収可能性を維持する期間が、社会的、政治的な理由などから求められており、アクセス用立坑が回収概念の一部となっている場合には、使用されている岩盤支保、アクセス坑道、立坑ライニングは全て、その期間、十分な健全性を維持するように設計されなければならない。
- (母岩について)例えば、強度のある岩盤(‥[略]‥)は自立できるものであり、定置セルで岩盤壁の損傷を防ぐために必要な人工的な支保と維持管理は最小限なもので済む。‥[略]‥。岩盤特性によっては、処分場で掘削部の周りに掘削損傷領域(EDZ)を生じる場合がある。回収可能性を維持するためには機械的安定性を長期間持たせるために、鋼アーチ支保工、金網、吹き付けコンクリートやコンクリート坑道ライニングとロックボルトを組み合わせた岩盤支保が必要かもしれない。
- 設計での回収可能性の実現:回収計画で求められた基準を満たすために、処分場構成要素の設計に回収の機能が取り入れられる。
- 廃棄物パッケージ全体を回収するための能力(回収可能性)を確保する措置を講じようとすると、処分場とその関連インフラの設計の観点から、避けることのできない技術的な課題が幾つかもたらされる。これらの課題の重要性は、処分場概念と処分場の場所により幾分変わってくる。
- 回収可能性の技術的課題についてみると、閉鎖の前でも後でも廃棄物処分のセーフティケースに必要な要素として回収可能性を要求しているプログラムを持っている国はどこにもない。‥[略]‥。これらのプログラムに対する規制は、回収を実際に実証することを求めているわけではない。これらは、せいぜい、回収しようと思えばできる証拠を示すことを求めているだけである。しかし、規制とは別に、処分場に処分された容器を効率的に取り出す可能性を実験的に確認する傾向がある。それは、そのような確認が回収可能性を確保するとの約束の信頼性に貢献するためである。

国内での検討事例より

- ‥[略]‥。安全性及び技術的な観点から、各段階において、どのように可逆性が確保され、何が満足されると次の段階へ移行するための条件となるかを検討するうえでは、例えば、フランスのように建設・操業段階を区分し、各段階に関する現象論的な分析、モニタリング戦略の特定を行い、可逆性の確保にとって有利な処分施設の設計及び操業特性を明らかにするといったことも考えられる。【原子力安全委員会(2011)】
- 立地段階から安全コミュニケーションを通じて回収可能性がいかに確保されるかをあらかじめ論じ、例えば、回収可能性を反映した施設設計を提示する、といったことを実施主体に求める事も考えられる。実際、諸外国においては、一定期間の回収機能を処分施設の設計において求めている国もある。このような施設設計については、それが実現可能であり、かつ操業時及び閉鎖後の長期的な安全性の両面をみたすものである事を示す必要があり、例えばフランスでは、実施主体が提示した一定期間におけるそのような技術的実現可能性を妥当としたうえで、法律でその具体的な期間を規定している。また、米国では、廃棄物の定置作業を開始してから50 年間経過するまでは、合理的なスケジュールによって回収が可能になるように設計することが求められている。このような検討においては、回収可能性とモニタリングの関係についても論じておく必要がある。【原子力安全委員会(2011)】
- ‥[略]‥、また、安全コミュニケーションを進めるにあたっては、1)‥[略]‥、2) 地層処分の安全性を社会が受け容れるという結論に至るためのひとつの要素である「処分施設を閉鎖すること」について、ステークホルダー間で納得され受け容れられるまでの期間は、セーフティケースとともに各段階における可逆性や回収可能性がどのように維持されているかを明確に示すことが重要である。。【原子力安全委員会(2011)】
- 廃棄物を処分場から安全に回収するための工学的手法に関する調査研究、処分場を閉鎖せずに安全に管理することが可能な期間等に関する調査研究の実施は、下記の議論に資することを意図。【廃棄物WG第16回会合(2015)】
  - 定置後の回収には、概念上のトレードオフがあり得る。また、工学的にも一定の制約なり限界があるのではないか。
  - 回収可能性を概念として採用しても、どのように進めていくのか、どの程度確保するのかというのは今後の議論。

国内での検討事例より （続き）

- 地層処分の概念とのトレードオフをどこまで考えるべきか(概念とのコンフリクト)、その点でどういう問題が発生し得るのかということもよく理解した上で可逆性・回収可能性を議論すべき。【廃棄物WG第16回会合(2015)】
- 工学的手法に関する調査研究を進めていくことは大事だが、一方で、今までの地層処分は、いかに確実に処分するかという方向でやってきた技術。回収を考えるとなると、いわゆる取り出しやすい形をあわせて検討しなければならないのは、トレードオフとの関係にあり、そのことを念頭に置くべき。例えば、処分コンセプトやパッケージの変更など、そのレベルにまで影響が及ぶかもしれない。【廃棄物WG第16回会合(2015)】

検討項目案⑦:回収の容易性

○技術的な実現性に関して、重点化の方向性に関する意思決定が必要である(回収技術の開発、或いは回収を容易とする処分場への設計変更)。【項目④⑥⑦⑧⑨で共通する認識課題】

○回収の容易性が(回収可能性の程度をどのレベルにするか)、ステークホルダーにとっての主要な問題である。

○回収を容易にするための労力に影響する因子としては、処分場設計、時間スケール、回収時の状態(処分場の変遷状態)などがある。

⇒検討項目案④、⑥、⑧、⑨、⑫と関連。

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など(関連資料等から主要なものを抜粋)】

国際機関等が主導した検討事例(OECD/NEA, 2011)より

- この段階(操業前段階)‥[略]‥**最も重要な決定は、処分場構築の後の段階で可逆性や回収可能性を実現させる作業を容易にするために可逆性や回収可能性を持たせるための措置を設計に組み込むかどうかに関するものである。**
- 操業中に、特定の建設方法、例えば、坑道掘削にトンネル掘削機を使用すると、閉鎖後の回収可能性が容易になることも指摘されている。
- 地層処分施設の受け入れを検討している地元の利害関係者が主に問題とするのは、廃棄物を容易に回収できるかということである。
- 廃棄物を回収しようとする場合、回収を容易にするための労力に影響する因子は、(i)処分場概念、バリア、および場所、(ii)回収可能性が求められているとすると、その時間スケール、(iii)廃棄物の回収が行われるときに処分場がどの程度変化しているか、である。‥[略]‥。回収可能性の管理戦略は、回収可能性の程度をどのレベルにするか、いろいろと考えることが可能である。

国内での検討事例より

- 地層処分は原理的には、基本的にどの段階においても回収可能性はある。ただ、その程度が、事業が進み、最終閉鎖やその後の時間経過に伴って回収可能性が徐々に減っていくとの理解のもとで、ではどの程度まで、どのぐらい回収可能であるということを念頭に置いてこの事業に取り組むのか。何か特別な準備をする必要があるのか、事前の今の時点の政策、制度で何らか特別な手当をして技術開発をしたりコストの検討をしたりするのかということについては色々な議論がある。【廃棄物WG第16回会合(2015)】
- 工学的手法に関する調査研究を進めていくことは大事だが、一方で、今までの地層処分は、いかに確実に処分するかという方向でやってきた技術。回収を考えるとなると、いわゆる取り出しやすい形をあわせて検討しなければならないのは、トレードオフとの関係にあり、そのことを念頭に置くべき。例えば、処分コンセプトやパッケージの変更など、そのレベルにまで影響が及ぶかもしれない。【廃棄物WG第16回会合(2015)】

国内での検討事例より（続き）

- 可逆性は通常、政策とか事業には一定程度は備わっている。また、回収可能性も地層処分という技術そのものに固有の性質として一定程度ある。故に、基本方針において、それを確保する、担保するというだけでは余り大きな意味を持たないのではないか。それを具体的に、どの程度どういう形で確保することが必要なのかという部分まで、ある程度今の段階での考え方を示すことが必要である（進めながら、という部分もあるかと思われる）。【廃棄物WG第16回会合（2015）】

検討項目案⑧：回収可能性に係る戦略・計画の策定

○技術的な実現性に関して、重点化の方向性に関する意思決定が必要である（回収技術の開発、或いは回収を容易とする処分場への設計変更）。【項目④⑥⑦⑧⑨で共通する認識課題】

○上記の方向性を含め、回収可能性に関する戦略を早い段階から検討・策定する必要があり、それを定期的に見直すことが重要である。

○戦略策定における検討／考慮事項等が示唆されている。

⇒検討項目案④、⑥、⑦、⑨、⑫と関連。

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など（関連資料等から主要なものを抜粋）】

国際機関等が主導した検討事例（OECD/NEA, 2011）より

- 回収可能性は、全体設計と開発プロセスのごく一部でしかないという点も認識しておく必要がある。処分場開発を進める中で、**回収可能性に関する戦略的な意思決定を行う必要がある。つまり、処分場の設計は変更せずに回収方法の開発に重点をおくのか、あるいは回収を容易にするために設計変更に重点を置くのかという点である。**
- 可逆性が処分プログラムの一つの特性として位置付けられている場合には、処分施設の計画立案、設計、事業実施において回収可能性に関する戦略を立てておくことも必要である。特に、処分プログラムの様々な段階でどのような回収作業が必要となるかを検討しておくことが重要である。
- 利害関係者は、不測の事態に対する計画を全く持たないよりは、これらのことを計画されたプロセスの結論として理解し、受け入れる可能性が高いと考えられる。このことは、事業者は規制当局と協議した上で、‥[略]‥、法的な要件や規制上の要件がなくても、設計の早い段階に検討する必要があることを示唆している。
- 戦略を立てる際、様々な事業段階に対して考慮すべき幾つかの検討事項を表に示す（以下、計画作成に関連する部分を抜粋）。
  - 回収計画で考慮すべき重要な要因は、コスト、時間スケール、リスクの低減、障害の特定と軽減、経年した廃棄物と廃棄物パッケージの複雑さ、インベントリーに関する知識の程度、作業量（回収する廃棄物の量）、必要となる下流側プロセス（再パッケージ化、調整、処理、最終的な廃棄物の処分）である。
  - 関心が集まるのは、母岩の特性と処分場設計の固有の内容、例えば、処分場空洞ならびに処分場と地表との連絡坑道の埋戻しと閉塞の程度である。さらに、回収のタイミング、廃棄物を定置してからその回収までの時間遅れ、その回収も回収の実現可能性と実際に行われるのかどうかに影響する。
  - 回収戦略を進行中の或いは段階的に進める作業に基づいて定期的に見直すことも作業の信頼性を高めることになると考えられる

国内での検討事例より

- ‥[略]‥、安全コミュニケーションを検討するうえでは、我が国における現行の法令等と可逆性や回収可能性の考え方との関係を明確にしておくことが重要である。例えば、安全コミュニケーションを通じて、処分事業の各段階で、具体的にどのような条件により、何を対象として可逆性を考えるか、あるいは、段階に応じて回収の必要性の程度をどのように減じていくかといった点について、処分事業の進展に応じて利用できるようになる技術的な情報の変化を踏まえて検討を行うことが考えられる。【原子力安全委員会（2011）】
- ‥[略]‥。安全性及び技術的な観点から、各段階において、どのように可逆性が確保され、何が満足されると次の段階へ移行するための条件となるかを検討するうえでは、例えば、フランスのように建設・操業段階を区分し、各段階に関する現象論的な分析、モニタリング戦略の特定を行い、可逆性の確保にとって有利な処分施設の設計及び操業特性を明らかにするといったことも考えられる。また、国際的には、回収に関する段階的な手順についての一般的考え方の議論やステークホルダーの関与を踏まえたモニタリングの技術開発に関する国際共同研究も進められている。しかし、可逆性の維持を不要と判断して、最終的に後戻りを要しない処分に至る意思決定プロセスと、それに応じた回収可能性の程度をいかに関連づけるかについてはなお議論が進行中である。実際に回収を行うための具体的な技術やその安全性についても、安全コミュニケーションの対象として考慮しておくことが必要と考えられる。【原子力安全委員会（2011）】
- ‥[略]‥。可逆性や回収可能性を具体的にどのように維持するかは、処分候補地の地質環境やそれに対応した処分施設の設計によって異なると考えられ、処分地の選定にあたって考慮されるべき環境要件との関係を論じておく必要がある。こうした検討は、地層処分の安全性に対する信頼を段階的に向上させていくセーフティケースのなかで体系的に位置づけられ、ステークホルダー間に透明性のある形で共有されることが重要である。【原子力安全委員会（2011）】
- 立地段階から安全コミュニケーションを通じて回収可能性がいかに確保されるかをあらかじめ論じ、例えば、回収可能性を反映した施設設計を提示する、といったことを実施主体に求める事も考えられる。実際、諸外国においては、一定期間の回収機能を処分施設の設計において求めている国もある。このような施設設計については、それが実現可能であり、かつ操業時及び閉鎖後の長期的な安全性の両面をみたすものである事を示す必要があり、例えばフランスでは、実施主体が提示した一定期間におけるそのような技術的実現可能性を妥当としたうえで、法律でその具体的な期間を規定している。また、米国では、廃棄物の定置作業を開始してから50 年間経過するまでは、合理的なスケジュールによって回収が可能になるように設計することが求められている。このような検討においては、回収可能性とモニタリングの関係についても論じておく必要がある。【原子力安全委員会（2011）】
- ‥[略]‥、また、安全コミュニケーションを進めるにあたっては、1）‥[略]‥、2）地層処分の安全性を社会が受け容れるという結論に至るためのひとつの要素である「処分施設を閉鎖すること」について、ステークホルダー間で納得され受け容れられるまでの期間は、セーフティケースとともに各段階における可逆性や回収可能性がどのように維持されているかを明確に示すことが重要である。【原子力安全委員会（2011）】

検討項目案⑨：研究開発・実証

○技術的な実現性に関して、重点化の方向性に関する意思決定が必要である（回収技術の開発、或いは回収を容易とする処分場への設計変更）。【項目④⑥⑦⑧⑨で共通する認識課題】
○可逆性・回収可能性の維持と同様に、そのための研究開発・実証の重要性が増している。
○それらの研究開発や実証は、可逆性・回収可能性に信頼性を持たせるためにも継続が必要。
○技術的な研究開発ニーズと同様に、社会科学研究も重要。
⇒検討項目案④、⑥、⑦、⑧、⑫と関連。

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など（関連資料等から主要なものを抜粋）】

国際機関等が主導した検討事例（OECD/NEA, 2011）より

- 回収可能性は、全体設計と開発プロセスのごく一部でしかないという点も認識しておく必要がある。処分場開発を進める中で、**回収可能性に関する戦略的な意思決定を行う必要がある。つまり、処分場の設計は変更せずに回収方法の開発に重点をおくのか、あるいは回収を容易にするために設計変更に重点を置くのかという点である。**
- 利害関係者と一般公衆は、後戻りと回収が可能なオプションを残すことに、ますます関心が高まっているようである。コストがかかることは確かだが、希望すれば回収が実現可能であることを実証できる研究についても同様である。
- 回収可能性の実証：設計を進める過程で、回収可能性の機能を果たしている構成要素とサブシステムの試験が行われる。これらは、要素技術や回収プロセスの実現可能性を確認するプロセスの最初に行われる予備的な試験であり、操業前段階の終わりにはより包括的な試験が行われる。
- 部分的埋戻しの決定がなされた時に、廃棄物を元に戻せることを実証することが求められるかもしれない。
- 処分場の建設および廃棄物定置のための技術が、操業段階の開始時点と終了時点で全く同じではないと考えられる。従って、ある時間の後、あるいは定期的に廃棄物パッケージを回収する機能の有効性を再評価することが有益かもしれない。
- 回収可能性が処分場の持つ可能性のある特性の一つであれば、研究開発の成果の一部を回収可能性に適用しても良いと思われる。研究開発活動の一部を以下の表4.5に示す（割愛）。廃棄物管理に関する研究開発は、可逆性に信頼性を持たせるためにも継続することが必要と考えられる。
- 技術的な研究開発ニーズと同様に、社会科学研究も、立地プロセスを進めている間に利害関係者（社会全般と地方共同体を含む）が効果的に、また持続的に関与できるようにするために重要である。‥[略]‥。安全解析、性能評価と並んで懸念事項となる可能性があるのが、地方の土地使用計画の立案、環境保全、技術経済的最適化、科学と技術の進展の統合、社会的受容性である。‥[略]‥。社会的、技術的な進展を意思決定プロセスに関連させる研究開発活動と社会科学研究は、この複雑さを扱うのに非常に有効といえる。

国際機関等が主導した検討事例（OECD/NEA, 2011）より （続き）

- 研究開発作業についての計画を立案する際、研究開発テーマの全体的な影響とその研究開発作業が全体的な成果に影響する時間枠の影響を考慮する必要がある。
- 各処分プログラムで解決すべき重要な課題は、開発の様々な段階で可逆性と回収可能性に関する研究開発に振り向けるべき資源のレベルに関係する。回収可能性が求められている処分プログラムでは、回収可能性がオプションとなっている処分プログラムとは異なったニーズがある。
- 研究プログラムに対する動機についても考慮しなければならない。研究は受容性を向上させるために行うのか、処分場の操業を支援するために行うのか、または処分プログラムに柔軟性を持たせるために行うのか？‥[略]‥。利害関係者の要望がきっかけとなっている研究開発は開発者の全体プログラムに組みこむべきであり、単なる追加物として取り扱うことのないようにすべきである。

国内での検討事例より

- ‥[略]‥、安全コミュニケーションを検討するうえでは、我が国における現行の法令等と可逆性や回収可能性の考え方との関係を明確にしておくことが重要である。例えば、安全コミュニケーションを通じて、処分事業の各段階で、具体的にどのような条件により、何を対象として可逆性を考えるか、あるいは、段階に応じて回収の必要性の程度をどのように減じていくかといった点について、処分事業の進展に応じて利用できるようになる技術的な情報の変化を踏まえて検討を行うことが考えられる。【原子力安全委員会（2011）】
- ‥[略]‥。安全性及び技術的な観点から、各段階において、どのように可逆性が確保され、何が満足されると次の段階へ移行するための条件となるかを検討するうえでは、例えば、フランスのように建設・操業段階を区分し、各段階に関する現象論的な分析、モニタリング戦略の特定を行い、可逆性の確保にとって有利な処分施設の設計及び操業特性を明らかにするといったことも考えられる。また、国際的には、回収に関する段階的な手順についての一般的考え方の議論やステークホルダーの関与を踏まえたモニタリングの技術開発に関する国際共同研究も進められている。しかし、可逆性の維持を不要と判断して、最終的に後戻りを要しない処分に至る意思決定プロセスと、それに応じた回収可能性の程度をいかに関連づけるかについてはなお議論が進行中である。実際に回収を行うための具体的な技術やその安全性についても、安全コミュニケーションの対象として考慮しておくことが必要と考えられる。【原子力安全委員会（2011）】
- 廃棄物を処分場から安全に回収するための工学的手法に関する調査研究、処分場を閉鎖せずに安全に管理することが可能な期間等に関する調査研究の実施は、下記の議論に資することを意図。【廃棄物WG第16回会合（2015）】
  - 定置後の回収には、概念上のトレードオフがあり得る。また、工学的にも一定の制約なり限界があるのではないか。
  - 回収可能性を概念として採用しても、どのように進めていくのか、どの程度確保するのかというのは今後の議論。
- 地層処分は原理的には、基本的にどの段階においても回収可能性はある。ただ、その程度が、事業が進み、最終閉鎖やその後の時間経過に伴って回収可能性が徐々に減っていくとの理解のもとで、ではどの程度まで、どのぐらい回収可能であるということを念頭に置いてこの事業に取り組むのか。何か特別な準備をする必要があるのか、事前の今の時点の政策、制度で何らか特別な手当をして技術開発をしたりコストの検討をしたりするのかということについては色々な議論がある。【廃棄物WG第16回会合（2015）】

検討項目案⑩：閉鎖せずに回収可能性を維持する場合の施設設計や安全性への影響

○回収可能性の要件のために、処分場を開放したままにしておく期間が長くなる可能性がある。
○その一方で、閉鎖を延期することはまったく価値がない（受動的安全な状態の達成が遅れる）。
○例えば、アクセス坑道が回収概念の一部である場合、開放されている期間にわたり、健全性が維持されるように設計されなければならない。
○長期的にみると、必要以上に長期間、開放したままにしておくことで、安全性を低下させる可能性がある。

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など（関連資料等から主要なものを抜粋）】

諸外国の先行的な導入・検討事例より

- 監視付き長期地層処分の概念を導入（定置後の一定期間まで、パイロット施設でのモニタリングを実施する概念）【スイス】
- 閉鎖後モニタリングの適切な形態及び期間決定までの延長された期間にわたる回収可能性。【カナダ】

国際機関等が主導した検討事例（OECD/NEA, 2011）より

- 興味深いのは、閉鎖の遅延にかかわる点である。意思決定および回収可能性の要件によって坑道の閉塞や埋戻しの遅延が引き起こされた場合には、安全性に影響する可能性がある。
- 処分場を開放したままにしておく期間が、回収可能性の要件がない場合に必要な開放期間よりも長くなることがある。このように閉鎖時期を遅らせることが必要と考えられる理由は様々である。例えば、規制の遵守、廃棄物が出す熱の管理、性能確認計画・・（中略）・・を完了できるようにすること、実施された処分方法に対するさらなる社会的信頼構築の機会を与えることなどである。
- 例えば、アクセス立坑の最終的な埋戻しを延期するなどにより閉鎖を延期することはまったく価値がなく、処分場が受動的に安全であるという好ましい状況を達成するのが最終的に遅れることになる。
- アクセス用立坑が開放されている期間だけそのバリアを長く維持しなければならない。もし、廃棄物の回収可能性を維持する期間が、社会的、政治的な理由などから求められており、アクセス用立坑が回収概念の一部となっている場合には、使用されている岩盤支保、アクセス坑道、立坑ライニングは全て、その期間、十分な健全性を維持するように設計されなければならない。
- 一般には、まず安全を優先させるということに合意がある。非常に長期的にみると、処分場を必要以上に長期間、開放したままにしておくことで回収可能性を高めようとすると、安全性を低下させる可能性がある（例：適切に閉塞し、閉鎖したときの状態が安全であるように設計された施設は、閉塞・閉鎖されずに放棄される場合において安全ではないといえる。そして、長期間、処分場を開放したままにしておくと、これが発生するリスクを高めることになる。）

国内での検討事例より

- 処分場の操業が終了し処分坑道が埋め戻された後も、主坑を一定期間閉鎖せずに維持しておくなどの措置が必要という考え方がある。例えば、アメリカでは現在50年から100年の間主坑を閉鎖しないこととされている。主坑を埋め戻さずに維持するのは、処分された廃棄物が予測通りの動静を示すのかどうかモニターするとともに、万一の事故のさいの廃棄物の回収などの対応が容易であるという点で、周辺住民の「安心感」が増大するという考え方によるものである。他方で、長期にわたり主坑を埋め戻さずに維持しておく場合には主坑の構造を強化しておく必要があるため、建設・維持・管理のコストが増加し、これに対する手当てをしておく必要が生ずるだけでなく、長期間主坑が残されることの地質環境への影響について技術的な配慮が必要となる。このように主坑の埋め戻しまでの期間については安全と安心のバランスを考慮して検討することが必要である。【原子力委員会（1998）】
- 廃棄物を処分場から安全に回収するための工学的手法に関する調査研究、処分場を閉鎖せずに安全に管理することが可能な期間等に関する調査研究の実施は、下記の議論に資することを意図。【廃棄物WG第16回会合（2015）】
  - 定置後の回収には、概念上のトレードオフがあり得る。また、工学的にも一定の制約なり限界があるのではないか。
  - 回収可能性を概念として採用しても、どのように進めていくのか、どの程度確保するのかというのは今後の議論。
- 「処分場を閉鎖せずに安全に管理することが可能な期間等に関する調査研究」については、今後の予定を含め、明確にして頂きたい。【廃棄物WG第16回会合（2015）】

検討項目案⑪：モニタリング等の役割

○継続的なモニタリングや閉鎖後管理の継続の必要性という認識が、可逆性の要求に帰着している可能性がある（閉鎖段階、或いはそれ以降も安全性を確認したいとする要求）。

○一方で、モニタリングは工学的開発プロセスで通常に行われるものである（可逆性と回収可能性を取り入れているかどうかは関係ない）。

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など（関連資料等から主要なものを抜粋）】

諸外国の先行的な導入・検討事例より

- 監視付き長期地層処分の概念を導入（定置後の一定期間まで、パイロット施設でのモニタリングを実施する概念）【スイス】
- 閉鎖後モニタリングの適切な形態及び期間決定までの延長された期間にわたる回収可能性。【カナダ】

国際機関等が主導した検討事例（OECD/NEA, 2011）より

- 段階的アプローチをとることによって、意思決定プロセスおよびその決定の際に、モニタリングから得られるデータが情報として徐々に提供される。
- 可逆性への要求は、継続的なモニタリングや管理を閉鎖後までも継続する必要性があるとの認識からの論理的帰着とも考えられる。
- 処分場を閉鎖する前の期間中には、追加のモニタリング、保障措置要件、制度的管理が必要になるという負の影響があることも無視できない。
- 閉鎖前においては、モニタリングは工学的開発プロセスで通常に行われるものであり、また、期待される部分でもある。その際、処分プログラムに可逆性と回収可能性を取り入れているかどうかは関係ない。どのようなプロジェクトでも期待されているモニタリングに加えて、モニタリングは処分場に対する性能確認要件を満たすためにも行われる。閉鎖前のモニタリングから得られる情報に対する公共機関の関心は非常に高い。そのような情報には、原位置のデータに基づいた透明性と追跡性のある情報を得たいという一般公衆の関心から来るものに加えて、性能確認への直接的な関心から来る情報と「直感的な認識に関わる」関心から来るもの（例‥[略]‥）がある。

国内での検討事例より

- 立地段階から安全コミュニケーションを通じて回収可能性がいかに確保されるかをあらかじめ論じ、例えば、回収可能性を反映した施設設計を提示する、といったことを実施主体に求める事も考えられる。実際、諸外国においては、一定期間の回収機能を処分施設の設計において求めている国もある。このような施設設計については、それが実現可能であり、かつ操業時及び閉鎖後の長期的な安全性の両面をみたすものである事を示す必要があり、例えばフランスでは、実施主体が提示した一定期間におけるそのような技術的実現可能性を妥当としたうえで、法律でその具体的な期間を規定している。また、米国では、廃棄物の定置作業を開始してから50 年間経過するまでは、合理的なスケジュールによって回収が可能になるように設計することが求められている。このような検討においては、回収可能性とモニタリングの関係についても論じておく必要がある。【原子力安全委員会（2011）】

検討項目案⑫：費用

○回収可能性の維持の導入にはベネフィットとリスクがある。

○費用増はリスクの1つであり、回収可能性の維持／実行に係る具体的な費用項目が示唆されている（回収自体に係る費用と、回収可能性の維持に係る費用は区別される）。

○コストを誰が負担するかは、重要な問題の1つである。

⇒検討項目案④、⑥、⑦、⑧、⑨と関連。

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など（関連資料等から主要なものを抜粋）】

諸外国の先行的な導入・検討事例より

- 回収可能性の導入に伴う、ベネフィットとリスクの比較考慮の必要性。示唆されたリスク：設計変更のための追加コスト、回収コスト。【スウェーデン】
- 多額の費用を要せず回収が可能な方法での廃棄物の定置を要求。【スイス】
- （回収可能性を支持しない少数派意見として）費用が不必要に増大。【カナダ】

国際機関等が主導した検討事例（OECD/NEA, 2011）より

- これまでの経験から、回収の費用は、処分費用に匹敵するか、それを超えることさえある。
- 処分場から廃棄物を回収できるようにすることに伴うコストは以下のように分けることができる。
  - 廃棄物の回収を容易にするために必要になる可能性のある処分場構成要素の品質を上げるためのコスト。
  - 操業が延長された期間、安全を確保するために行うモニタリングと保守のためのコスト。
  - 廃棄物の回収が行われる場合には、その回収コスト。
  - 二次廃棄物を管理（残留汚染と修復措置）するためのコスト。
- コストを誰が負担するかの問題も重要である。元々の発生者が負担するコストと、最終的に廃棄物を回収する者が負担するコストを区別する必要がある。一般的に言えば、セーフティケースを支えるコストは元々の発生者の負担と考えられ、安全性とは無関係の単に回収可能性だけに係るコストは議論のあるところである。‥[略]‥。回収可能性が処分プログラムを社会が受け入れるための前提条件であれば、回収可能性に係るコスト（回収自体のコストと区別）は処分場計画の全体コストに組み入れられるべきだが、このことについてはしっかりと情報共有しておく必要がある。
- 回収のコストだけでなく、回収した物質を処理するための新しい施設の建設、運転のコスト（処分のやり直しも含める可能性がある）についても認識しておくことが重要である。回収は最終地点ではないことを理解しておかなければならない。
- 回収は元々の処分のコストを上回ることはないにしても、それと同程度はかかりそうだということと、そのコストを直接的に誰が負担するかにかかわらず、‥[略]‥最終的に負担するのは‥[略]‥一般公衆になることである。この観点から、処分場開発中に要する回収可能性のためのコストは、将来回収が決定された場合に発生するコストの節減と比較評価されなければならない。

国際機関等が主導した検討事例(OECD/NEA, 2011)より （続き）

- 回収可能性のための措置は、設計において最初から考慮された場合に比べて、後になって行う方がコストが増加する可能性が高い。

国内での検討事例より

- 処分場の操業が終了し処分坑道が埋め戻された後も、主坑を一定期間閉鎖せずに維持しておくなどの措置が必要という考え方がある。例えば、アメリカでは現在50年から100年の間主坑を閉鎖しないこととされている。主坑を埋め戻さずに維持するのは、処分された廃棄物が予測通りの動静を示すのかどうかモニターするとともに、万一の事故のさいの廃棄物の回収などの対応が容易であるという点で、周辺住民の「安心感」が増大するという考え方によるものである。他方で、長期にわたり主坑を埋め戻さずに維持しておく場合には主坑の構造を強化しておく必要があるため、建設・維持・管理のコストが増加し、これに対する手当てをしておく必要が生ずるだけでなく、長期間主坑が残されることの地質環境への影響について技術的な配慮が必要となる。このように主坑の埋め戻しまでの期間については安全と安心のバランスを考慮して検討することが必要である。【原子力委員会(1998)】
- 定置終了までに不具合があった際に回収ができるということと、定置終了後にも将来世代の意思決定によって回収ができるという2つの側面が、これまでの議論では両方が混同して議論されてきた。後者については、そのための技術があることを示せれば良く、それを技術的に保証したり、その費用を賄っておくというのは、また違う話しではないか。【廃棄物WG第16回会合(2015)】
- 地層処分は原理的には、基本的にどの段階においても回収可能性はある。ただ、その程度が、事業が進み、最終閉鎖やその後の時間経過に伴って回収可能性が徐々に減っていくとの理解のもとで、ではどの程度まで、どのぐらい回収可能であるということを念頭に置いてこの事業に取り組むのか。何か特別な準備をする必要があるのか、事前の今の時点の政策、制度で何らか特別な手当をして技術開発をしたりコストの検討をしたりするのかということについては色々な議論がある。【廃棄物WG第16回会合(2015)】

検討項目案⑬：意思決定のホールドポイントに係る留意事項

○段階的アプローチにおける、各段階の節目（決定の重要度とインターバル）には、持続可能性と短期的効率の間にコンフリクトが発生する可能性がある。

○インターバルを短くするメリット（社会的受容が高まる可能性、段階間の影響の程度の縮小化など）の反面、全体としての意思決定プロセスに係る時間増やコスト増、新たなリスクも想定される。

○可逆性・回収可能性は、方針変更の可能性を排除しないという意思の反映であり、必ずしも方針変更が生じるということを期待しているわけではない。

【国内外の先行的な導入事例や検討事例等における論点や認識課題など（関連資料等から主要なものを抜粋）】

国際機関等が主導した検討事例(OECD/NEA, 2011)より

- 段階的な手順をとった場合、各段階の大きさとタイミングについて決定するときに、持続可能性と短期的効率とが相容れないことがしばしばある。多くの場合、個々の段階が小さいほど、社会に受け容れられる可能性は高くなる。‥[略]‥段階を小さくすれば、影響を受ける構成要素の数も、影響の規模も小さくなるので、予測できない対応が必要となる可能性は低くなる。‥[略]‥。しかし、段階の数が増え、段階と段階の合間が長くなると、意思決定プロセスの期間とコストも増大し、場合によっては、段階と段階の間に新たなリスクが出てくる可能性がある。
- 可逆的プロセスにおいて次の段階に進むと決定することは、実質的には一つ以上前の段階に後戻りしないと決定することであるということである。
- 回収可能性は、そのことが処分場の設計と実施計画に明示的に示されていれば、それは将来、方針を変更する可能性を排除しないという意思を反映しているのであって、そのような方針の変更が生じるということを必ずしも期待しているわけではない。

国内での検討事例より

- ホールドポイントをどういう形で設けるのか。原子力委員会の定期的なレビューは、効果的であり重要ではあるが、そこで必ず立ちどまって政策レベルの決定を改めて行うこととは色合いが違う。他のオプションへの移行や後戻りも含めた検討の後でないと先に進まないという制度を、法律以下の、基本方針以下のレベルでどう組み込むかを、ここで議論すべき。柔軟性や段階の細かさの程度（程度によっては、事業の安定性が損なわれ着実な取組が進まないリスク）も、トレードオフの関係にある。【廃棄物WG第16回会合(2015)】

付録５

可逆性・回収可能性に関する諸外国の法規制制度等と必要とする動機

一覧整理表：可逆性・回収可能性の維持に関する諸外国の法規制制度及び事業者の自主的な取組

国	**法規制文書（法令や安全規則等）における可逆性・回収可能性の維持の要求の有無**（〇有り／×無し、●印は回収を考慮した措置等による安全性への影響について明示的な規定があるもの） **事業規制制度**（許認可手続きなど､安全規制の側面を有する事項を事業規制に係る法令の中で規定する国もあることに留意。）	**安全規制制度**	**その他の公的文書等**（左記法令や規制文書の策定に資する国の審議会や関係組織などの公的資料等での要求・提言など） ※△：関連する間接的な要求等（回収可能性等を直接的に要求していない）	備考（**可逆性・回収可能性に関する事業者の取組など**）	参考：法規制制度における地域の意向を尊重する制度の有無	法令・規制文書やその他の公的文書に示された可逆性・回収可能性を必要とする動機
スウェーデン	×規定なし	×規定なし ●回収を容易にする措置等が、安全性に与える影響を報告しなければならないことを規定。	△SKB 社の研究開発計画 R&D89 のレビュー結果として、政府は使用済燃料国家委員会（SKN、当時の研究開発計画の評価機関）の意見を踏まえて、設計過程の一段階として、実証規模の最終処分施設を含める可能性を探究すべきことを指示。	・R&D に関する左記レビューを踏まえ、SKB 社が 1992 年の研究開発計画（RD&D92）において、本格操業前に 5 年間の初期操業期間（実証定置処分：全体の 5～10%を定置）の導入に関する調査研究を提案。 ・実証目的での運用中は定置した廃棄物全ての**回収が可能である必要性**から、回収に係る調査研究を計画。	**〇あり**（立地・建設許可申請段階迄）：環境法典において、原子力活動法に基づく許可が必要な新規施設の場合、その立地・建設に関する政府の許可発給の前提として、地元自治体議会の承認を規定している。 注）スウェーデンでは、地層処分場の立地・建設には、環境法典と、原子力活動法の 2 つの法律に基づく許可が必要。SKB 社は 2011 年にこの許可を申請。	・将来のより望ましい管理方策の選択可能性 ・（回収可能性の）維持期間における管理方法や安全性に対する理解促進、信頼醸成 ・段階的な意思決定における後戻りの実現性
フィンランド	△原子力法に基づく 2000 年の政府の原則決定（オルキルオトでの地層処分を原則決定）において、閉鎖後の**回収可能性**を要求。	×規定なし（2008 年以降） 注）1999 年の一般安全規則において、**回収可能性**が維持されるように処分を計画しなければならないことが規定されたが、同規定は 2008 年に廃止された。	―	・EIA における議論を考慮し、1999 年に回収に係る研究成果を取りまとめ。 ・SKB 社と共同研究等を実施。 ・原則決定の規定に沿って、2012 建設許可申請において、回収に係る技術・安全性・費用に関する最新の評価を提示。	**〇あり**（原則決定段階まで）：原子力法の規定により、処分場の設置に関する原則決定手続きにおいて、施設立地が予定される自治体議会から受け入れに好意的である旨の声明書を取得する必要がある。Posiva 社はこれを 1999 年に申請し、2000 年に政府が原則決定している（国会承認は 2001 年）。	・新たな管理技術の進展 ・廃棄物のエネルギーとしての再利用 ・技術の進歩
フランス	〇1991 年放射性廃棄物管理研究法は、可逆性のある／可逆性のない地層処分の双方を研究対象とすることを規定。 〇1998 年の省庁間委員会決定において（ビュールでの地下研究所の設置を承認）、**可逆性のある地層処分を支持**。 〇2006 年放射性廃棄物等管理計画法において、**可逆性のある地層処分を基本**とすること及びその実施スケジュールを規定(少なくとも 100 年、可逆性の条件に関する法律を事業許可申請後に策定することを予告)。	×直接的な規定なし（左記の 2006 年法が規定する可逆性のある地層処分を前提としている）。 ●2008 年の安全指針において、可逆性確保のための措置が、操業中及び閉鎖後の安全性を脅かすものであってならないことを規定。 注）左記の 2006 年法において、事業許可申請後に可逆性の条件に関する立法が予定されていることを示しているのみ（現時点で安全規制としての具体的な要件や規定はない）。	〇1998 年の特別報告において、技術的な第三者委員会と位置付けられる国家評価委員会（CNE）が、可逆性のある地層処分を支持。	・2005 年に取りまとめた技術報告書（粘土層における地層処分の実現可能性の評価）において、2～3 世紀の間の可逆性を有する処分概念を提示。	×なし	・段階的意思決定プロセスの担保（精神的保証、全てを一度に決めるリスクの回避、不可逆なプロセスの回避）、信頼醸成 ・決定（政策や方針など）変更の柔軟性確保 ・地層処分事業に対する信頼醸成 ・倫理を伴う将来世代の権利、選択の自由の確保 ・将来の科学や技術や他の処分方法の研究の進歩 ・廃棄物の資源利用 ・処分実施者による継続的な最善技術等の探求に係る責任喚起 ・安全性 ・将来世代の選択の自由 ・技術的進展 ・社会的進展（変化／進展への適応） ・更なる最善技術の導入 ・資源としての再利用 ・将来世代の新たな倫理概念への適応 ・将来世代による決定の権利

国	**法規制文書（法令や安全規則等）における<u>可逆性・回収可能性の維持の要求</u>の有無**（〇有り／×無し、●印は回収を考慮した措置等による安全性への影響について明示的な規定があるもの） **事業規制制度** （許認可手続きなど､安全規制の側面を有する事項を事業規制に係る法令の中で規定する国もあることに留意。）	**安全規制制度**	**その他の公的文書等** （左記法令や規制文書の策定に資する国の審議会や関係組織などの公的資料等での要求・提言など） ※△：関連する間接的な要求等（回収可能性等を直接的に要求していない）	**備考（可逆性・回収可能性に関する事業者の取組など）**	**参考：法規制制度における地域の意向を尊重する制度の有無**	**法令・規制文書やその他の公的文書に示された可逆性・回収可能性を必要とする動機**
ドイツ	×規定なし 注）2013 年のサイト選定法に基づき、2014 年に設置された高レベル放射性廃棄物処分委員会において、放射性廃棄物の回収やサイト選定段階における可能性等についても検討中（右欄参照）。	〇2010 年の安全要件として、操業段階における回収可能性の維持を要求。 注）閉鎖後について、緊急回収に備えて廃棄体パッケージが 500 年間健全であることを要求。 ●緊急回収や回収可能性の確保のための措置が、受動的な安全バリア（長期安全性）に影響を与えないことを要求。	**※検討中**： 2014 年に設置された高レベル放射性廃棄物処分委員会の第 3 作業部会（判断基準及び瑕疵修正基準の検討を担当）が、回収可能性或いは可逆性に係る第 1 回～6 回の会合結果（議論の状況）を委員長文書として中間取りまとめ。 今後の議論において、回収可能性等を確保する必要性や義務を取り入れる予定。	－	×なし 注）現在、新たなサイト選定手続きを検討中	・段階的なプロセスに対する信頼構築 ・新たな改善技術や管理方策・方針 ・将来世代の選択の余地 ・将来の資源としての再利用 ・瑕疵修正や不測の事態への対応 ・安全性
スイス	〇2005 年発効の原子力法／原子力令は、処分場の閉鎖まで、多額の費用を要せず**回収が可能な方法で廃棄物の定置**を要求。 ●原子力令では、回収可能性の維持に加え、回収のための措置が受動的安全バリアの妨げとならないことを要求。	〇2009 年の安全要件において、処分場の閉鎖まで、多額の費用を要せずに回収が可能であることを要求。 ●併せて、回収可能性の確保のための措置が、受動的な安全バリア及び長期安全性を損わないことを要求。	〇2000 年に、放射性廃棄物の処分概念に関する専門家グループ（EKRA）が、モニタリングや回収可能性を組み込んだ「監視付き長期地層処分」の概念を提案。	〇左記の EKRA の概念を踏まえ、2002 年に NAGRA が報告書 NTB02-02「オパリナス・クレイプロジェクト技術報告書　地層処分場の施設と操業の概念」において、回収可能性について検討。	×なし 注）サイト決定後の概要承認段階（地下特性調査施設の建設前）において、憲法規定に基づき、条件を満たせば<u>国民投票</u>を行うことができる。	・国際的な解決策の実現 ・科学・技術の進展（分離・変換、新固化技術、改良を含む新たな処分概念） ・廃棄物の資源としての再利用 ・地下（処分場）の新たな利用（地下資源、坑道工事など） ・安全性（長期安全性がもはや保証できないと判断される場合）
英国	×規定なし 注）2014 年の英国政府白書では、操業段階において定置された廃棄物の回収を行う理由が存在する場合、廃棄物の回収を行うことができることを規定しているのみ。	×規定なし 注）2009 年の許可要件に関するガイダンスでは、処分施設の閉鎖後であっても廃棄物の回収は原理的には可能であるとした上で、廃棄物定置後の回収可能性の維持を要求していないことを明記。 ●回収可能性に関する措置が環境セーフティケースに容認しがたい影響を及ぼさないことを要求。	△2006 年の放射性廃棄物管理委員会（CoRWM）による政府への勧告において、長期管理として地層処分が利用可能な最善の方法であることを勧告。併せて、柔軟で段階的な意思決定プロセスの導入を勧告（回収可能性の概念が含まれることを示唆）。		〇あり ・2008 年のサイト選定プロセス等規定した政府白書では、地下での精密な調査等が開始される第 6 段階の前まで、地域の撤退権を認めていた。 ・2014 年の政府白書（2008 年版を差し換え）では、第 1 期の初期活動（2014～2016）と第 2 期の正式な協議期間で構成されるサイト選定において、いつでも撤退する権利も認めているが、第 2 期の詳細なプロセスは現在検討中。	・段階的で柔軟なプロセスへの信頼醸成 ・将来世代の選択の自由 ・将来の技術的進展、より良い管理方法 ・廃棄物の再利用 ・安全性（リスクへの対処）

国	**法規制文書（法令や安全規則等）における<u>可逆性・回収可能性の維持の要求</u>の有無**（〇有り／×無し、●印は回収を考慮した措置等による安全性への影響について明示的な規定があるもの） **事業規制制度** （許認可手続きなど､安全規制の側面を有する事項を事業規制に係る法令の中で規定する国もあることに留意。）	**安全規制制度**	**その他の公的文書等** （左記法令や規制文書の策定に資する国の審議会や関係組織などの公的資料等での要求・提言など） ※△：関連する間接的な要求等（回収可能性等を直接的に要求していない）	**備考（可逆性・回収可能性に関する事業者の取組など）**	**参考：法規制制度における地域の意向を尊重する制度の有無**	**法令・規制文書やその他の公的文書に示された可逆性・回収可能性を必要とする動機**
カナダ	△規定なし ・2002 年の核燃料廃棄物法は、実施主体に、長期管理アプローチを政府に提案すべきことを規定。 △2007 年に､2005 年の NWMO の提案（適応性のある段階的管理：右欄参照）を、カナダの長期管理アプローチとして決定（天然資源大臣の提案により総督決定）。	×規定なし 注）1985 年に策定された規制文書（R-71）には下記内容の要求があったが 2011 年に廃止。 ・処分場閉鎖前の操業期間に関して、不測の事態への対策として、処分概念に廃棄物の回収方法を組み込むことを要求。 ●閉鎖後における廃棄物の回収に関して設計上の要件は設定しないものの、その準備が施される場合であっても、処分システムの有効性が損なわれないことを要求。	－	・2005 年に NWMO は、核燃料廃棄物法の規定に基づき、必要な場合に核燃料廃棄物を回収可能とするためのモニタリングを含む長期管理アプローチ「適応性のある段階的管理」※（APM）を政府に提案。 ※最終的には地層処分を行うがサイト貯蔵や集中貯蔵等を組合せて最大 240 年の間、回収のためのアクセスを維持する概念が可能性のある概念として示されている（政策や方針変更にも適用可能であり、それらへの可逆性も加味された概念）。	**△あり**（地下実証施設の建設前まで） ・NWMO が 2010 年に策定したサイト選定計画において、9 段階からなるプロセスを示すとともに、第 6 段階まで（地下実証施設の建設・操業に係る許認可プロセスの前）、地域が撤退できることを示している。	・柔軟性のある段階的アプローチの支持 ・将来世代の選択の可能性 ・将来の更なる改善技術や管理方法 ・廃棄物のエネルギー利用、再利用 ・安全性（問題発生時の対応）
米国	〇1982 年の放射性廃棄物政策法では、操業期間中における回収可能性の維持を義務付け。	〇1981 年の NRC 規則は、処分場の閉鎖判断まで（性能確認プログラムで得られる情報等に関する NRC の審査期間）、廃棄物の定置開始から 50 年間の回収可能性の維持を要求。 〇1985 年の EPA 規則は、処分後の相当期間にわたって廃棄物の回収可能性を排除しないように処分システムを選定することを要求。	注）*米国科学アカデミー（NAS）などで、可逆性・回収可能性等に係る多様な検討の経緯があるが、別途、OECD/NEA の R&R プロジェクトで包括的に取りまとめられているため、ここでの整理は割愛する。*	・エネルギー省（DOE）が 2008 年に提出したユッカマウンテンの建設認可に係る許認可申請書では、操業期間中における回収可能性の維持に係る左記規則を踏まえ、例えば地下施設について、その設計寿命を 100 年としていることを示している（§1.11）	**△（あり）** ・1982 年の放射性廃棄物政策法では、大統領が処分場のためのサイトの推薦書を連邦議会に提出した際、州の知事等が不承認通知を連邦議会に提出できると規定している。ただし、連邦議会上下院の決議による立地承認決議により不承認を覆すことが可能。	・廃棄物の資源利用、使用済燃料中の経済的価値のある含有物の回収 ・処分場のコスト低減 ・操業改善 ・安全性（住民の健康・安全、環境影響） ・安全性（NRC 審査期間中における是正措置等）

上表の可逆性・回収可能性を必要とする動機の抽出整理において参照した法規制文書や文献等

【スウェーデン】
- 使用済燃料国家委員会（SKN）「研究開発プログラム 89 に関する意見書」（1990 年 3 月）
- スウェーデン政府「研究開発プログラム 89 に関する政府決定」（1990 年 12 月 20 日）
- スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社（SKB 社）「研究開発実証プログラム 92」（1992 年 9 月）
- 欧州委員会「地層処分場における長寿命放射性廃棄物の回収可能性に関する協調行動」（2000 年）

【フィンランド】
- 使用済燃料の最終処分場の建設に関する Posiva 社の申請に対する政府による原則決定(2000 年)
- 使用済燃料処分の安全性に関する政府の決定(478/1999)

【フランス】
- 地下研究所の立地に関する交渉活動−廃棄物交渉官の 1993 年の報告書
- 高レベル・長寿命放射性廃棄物の管理と研究に関する 1991 年 12 月 30 日の法律にかかる研究についての国家評価委員会（CNE）「処分の可逆性に関する考察」（1998 年）
- 省庁間委員会決定「Bure への地下研の建設の承認と花崗岩サイト選定」（1998 年）
- 放射性廃棄物等管理計画法案の趣意書（2006 年）

・放射性廃棄物等管理計画法（2006 年）
・原子力安全機関(ASN)「深地層における放射性廃棄物の最終処分に関する安全指針」(2008 年)
【ドイツ】
・発熱性放射性廃棄物処分場のサイト選定手続きを定める法律（サイト選定法）（2013 年）
・高レベル放射性廃棄物処分委員会（第 3 作業部会）「回収可能性、移動可能性、或いは可逆性の観点から見た高レベル放射性廃棄物の安全な処分のプロセス、第 3 作業部会における議論の状況について」（2015 年）
・連邦環境・自然保護･原子炉安全省「発熱性放射性廃棄物の最終処分に関する安全要件」（2010 年）
【スイス】
・原子力法、原子力令（2004 年）
・EKRA「放射性廃棄物の処分概念　最終報告書」（2000 年）
・ENSI「地層処分場の設計原則とセーフティケースに関する要件（ENSI-G03）」（2008 年）
【英国】
・放射性廃棄物管理委員会（CoRWM）「放射性廃棄物の安全な管理 CoRWM の政府への勧告」（2006 年）
・エネルギー・気候変動省（DECC）「地層処分の実施　高レベル放射性廃棄物などの長期管理に関する枠組み」（2014 年）
・イングランド及びウェールズの環境規制機関（EA）等「放射性固体廃棄物を対象とする陸地における地層処分施設：許可要件に関するガイダンス」（2009 年）
【カナダ】
・核燃料廃棄物法（2002 年）
・NWMO「進むべき道の選択 ―カナダの使用済燃料の管理― 最終報告書」（2005 年）
【米国】
・放射性廃棄物政策法（1982 年、1987 年修正）
・放射性廃棄物政策法制定時議会資料：連邦議会下院　委員会報告書 97-491 Part I（1982 年）
・原子力規制委員会（NRC）「10 CFR Part 63，ネバダ州ユッカマウンテンで提案されている地層処分場における高レベル放射性廃棄物の処分」（2001 年、2009 年修正）

付録６

主要国における回収概念の検討・開発動向

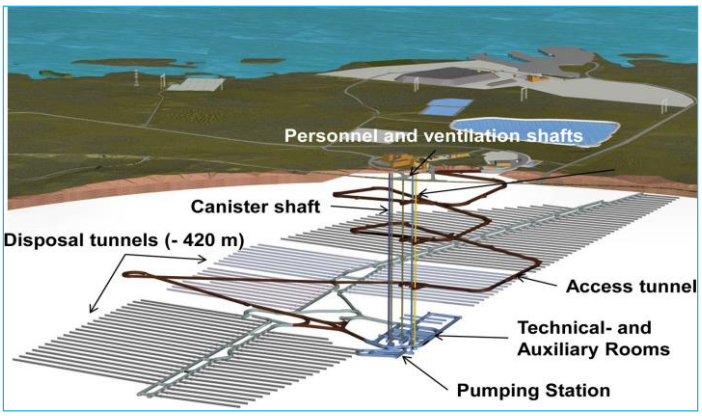
本資料の構成

(1) フィンランドの回収概念の検討・開発事例等について
(2) スウェーデンの回収概念の検討・開発事例等について
(3) フランスの回収概念の検討・開発事例等について
(4) スイスの回収概念の検討・開発事例等について
(5) 米国の回収概念の検討・開発事例等について

(1) フィンランドの回収概念の検討・開発事例等について

①地層処分概念(岩種:結晶質岩、処分深度:約400m)

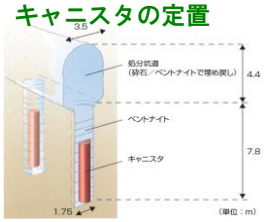
使用済燃料をキャニスタに封入し、その周囲を緩衝材（ベントナイト）で取り囲んで、力学的及び化学的に安定した地層に定置（KBS-3概念）。



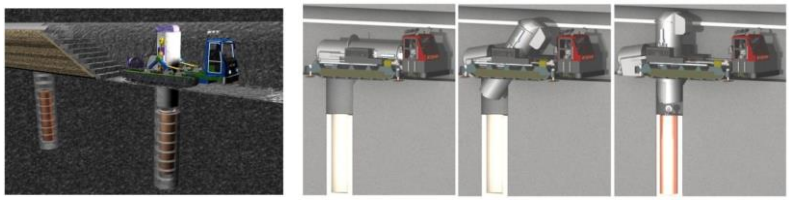
銅ー鋳鉄キャニスタ

使用済燃料は、外側が銅製の容器、内側が鋳鉄製の容器という２重構造の容器（キャニスタ）に封入して処分。

キャニスタの定置



専用車によるキャニスタの移送・定置



写真・イラスト：ポシヴァ社ホームページ等より

②可逆性・回収可能性に関する制度整備状況

【制度整備の概況:前回(第2回)検討会資料⑤からの抜粋再掲】

可逆性・回収可能性の維持等を要求する規定の有無			制度整備状況に関する概要
事業規制制度	安全規制制度		
	維持	影響	
△ （回収可能性）	× （右欄参照）	×	●サイトの決定に関する原則決定に際して、環境影響評価(EIA)における議論も考慮して、**回収可能性**の維持を規定(政府が策定した1999年の一般安全規則、及び2000年の政府の原則決定文書)。 ●但し、2008年の安全規則改定に伴い、安全規制制度上の同規定は廃止(原則決定は現在も存続)。

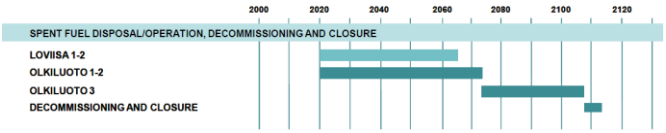
【可逆性・回収可能性に関する規定内容】

法令	（規定なし） 【注：以下、2008年に廃止された一般安全規則「使用済燃料処分の安全性に関する政府決定」での記載内容】 処分は、長期的な安全性を確保するために処分場サイトのモニタリングが必要とされず、また、廃棄物回収が望ましいオプションとなるような技術の進歩に備えて廃棄物のキャニスタの回収可能性が維持されるように計画されなければならない。
政府原則決定	**使用済燃料の最終処分場の建設に関するポシヴァ社の申請に対する政府による原則決定(2000年)** 政府の決定によれば、長期間の安全性を確保するのに最終処分場の監督を必要とせず、また技術が開発され適切となった場合には最終処分場を開くができるように最終処分が設計されなければならない。計画によると、最終処分は、計画の全段階において最終処分されたキャニスタを地表に回収することが技術的に可能であるように計画されている。建設許可が発給される前に、プロジェクトの関係者は、最終処分場の掘り起こしとそれに影響を及ぼす要因ならびに掘り起こし技術と掘り起こしの安全性について、具体的で、十分に詳しい説明と計画を提出する必要がある。
安全基準・指針類	（規定なし） 【注：廃止された詳細安全規則「使用済燃料処分の長期安全性の指針」（YVL 8.4、2013年廃止）での記載内容】 閉鎖後の段階では、処分場からの廃棄物キャニスタの回収は、人工バリアが処分済み放射性物質を実際的見地から完全に閉じ込めることが要求されている期間中について実行可能であるものとする。処分施設は、廃棄物キャニスタの回収が必要な場合に、処分の時点において利用可能な技術と妥当な資源で実行可能であるように設計するものとする。回収可能性の容易化あるいは閉鎖後の潜在的サーベイランス活動は、長期的安全を損なわないものとする。

③回収概念（回収工程や回収要素技術等の技術的な検討・開発動向）

【1. 概況】

- 処分概念（定置概念設計）は回収性を特に考慮していない（回収技術は定置装置を活用したもの）。
- 閉鎖後全量回収に係る工程は、アクセス坑道の再掘削、回収、埋戻しの作業で**10年**としている（Posiva社、1999年）（※1400本のキャニスタを回収。なお、最新（2012年）の検討では全工程の期間に関する情報は不明。（アクセス坑道の再掘削と1本の処分坑道におけるキャニスタ回収で70か月とのみの情報）
- 回収に係る概算費用は、操業費用の30～50%（10～16.5億ユーロ（処分費用33億ユーロ））。



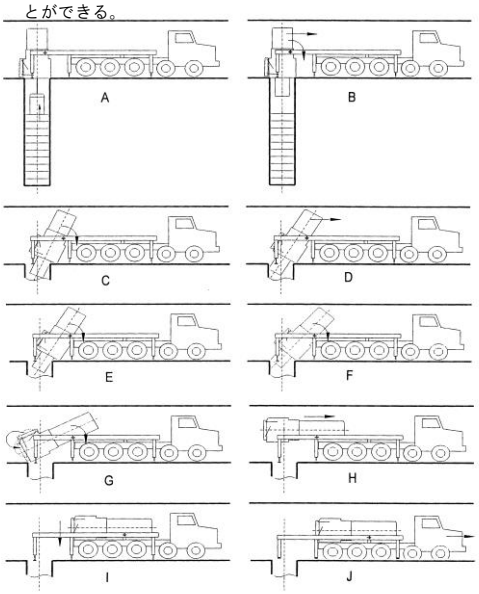
処分工程（建設・操業・閉鎖）の期間は約100年

【3. 技術的な検討・開発動向】

- 結晶質岩を対象として、スウェーデンSKB社とともにエスポ地下研究所において回収試験を実施。
- 竪置・横置方式の双方を対象とし、廃棄体定置後の初期段階（熱の影響が高い状況）における回収性を考慮した回収技術の開発を実施。

【2. 回収概念】

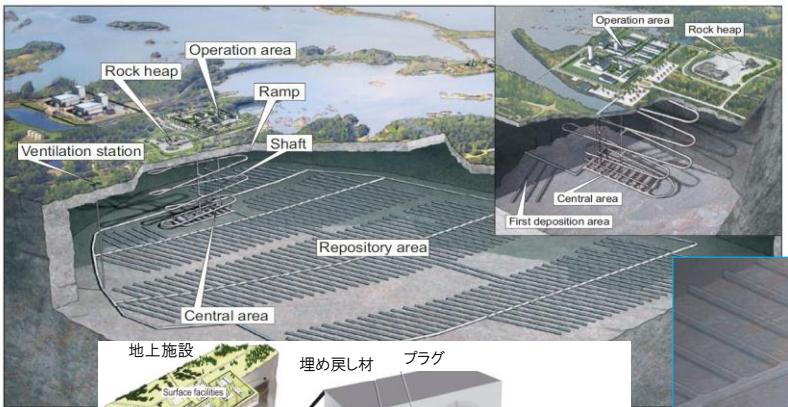
使用済燃料キャニスタの回収可能性（Posiva社、1999年）
- 処分場の閉鎖と密封の後でも、回収は長期にわたって可能である。
- 銅と鋼でできたキャニスタは、少なくとも数十万年の寿命を考えて設計されているため、キャニスタの所在に関する情報が保たれている限りは、回収可能性は確保されると考えることができる。

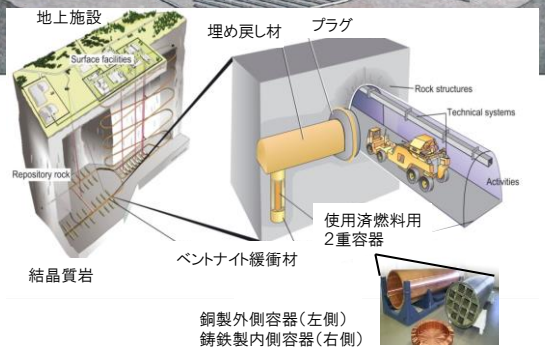


(2) スウェーデンの回収概念の検討・開発事例等について

①地層処分概念（岩種：結晶質岩、処分深度：約500m）

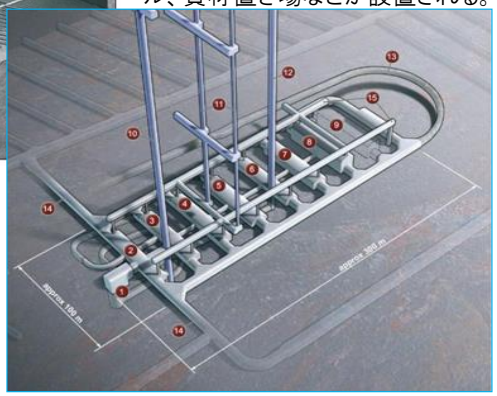
使用済燃料をキャニスタに封入し、その周囲を緩衝材（ベントナイト）で取り囲んで、力学的及び化学的に安定した地層に定置（KBS-3概念：フィンランド同様）。





フォルスマルク地下施設設計レイアウト

下図は地上からのアクセス坑道の直下に設置される中央エリア。掘削した岩石の処理、移送ビークルの駐車エリア、エレベータホール、資材置き場などが設置される。



②可逆性・回収可能性に関する制度整備状況

【制度整備の概況：前回（第2回）検討会資料⑤からの抜粋再掲】

可逆性・回収可能性の維持等を要求する規定の有無			制度整備状況に関する概要
事業規制制度	安全規制制度		
	維持	影響	
×	×	○	●実施主体（SKB社）が1992年の研究開発計画より、本格操業の前に5年間の初期操業期間（実証定置処分：全体の5～10%を定置）の導入に関する調査研究を提案（併せて、実証定置処分の期間は、**回収**が必要であることを提示）。 ●サイトを決定して立地・建設許可申請段階にある現在では、実証定置処分の概念はなくなっている。

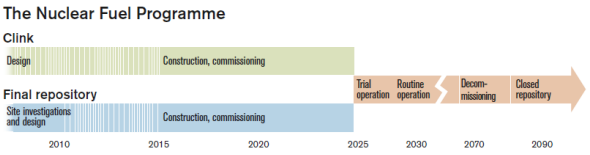
【可逆性・回収可能性に関する規定内容】

法令	（規定なし）
安全基準・指針類	**「核物質及び原子力廃棄物の最終処分の安全性に関する放射線安全機関の規則及び一般勧告」（SSMFS 2008:21）第8条** 処分された核物質または原子力廃棄物のモニタリング、あるいは最終処分場からの回収を容易にするために講じられる措置、または最終処分場への侵入を困難にするために講じられる措置については、それらの措置が処分場の安全性に与える影響を解析し、放射線安全機関（SSM）に報告しなければならない。 **「核物質及び原子力廃棄物の処分の安全性に関する放射線安全機関の規則（SSMFS 2008:21）の適用に関する一般勧告」第8条に対する注釈** 建設中及び操業中において、閉鎖後の処分場の健全性や、バリアの性能をモニタリングするための措置を講じることができる。そのような措置は、保障措置を行うためにも講じることができる。操業期間中または閉鎖後に定置された核物質及び原子力廃棄物を処分場から回収することを容易にすることを主たる目的として、建設中及び操業中に措置を講じることができる。さらに、措置は処分場への侵入を困難とするためや侵入への注意を促すために講じることができる。これらの措置については、第9条に基づく施設に関する安全報告書に、措置が処分場の安全性に少しまたは無視できるほどの影響しかないこと、または措置が講じられなかった場合に比べ、措置が安全性の改善をもたらすことが示されるべきである。これらの規定は、放射線安全機関が規定している規則（SSMFS 2008:37）に合致する。

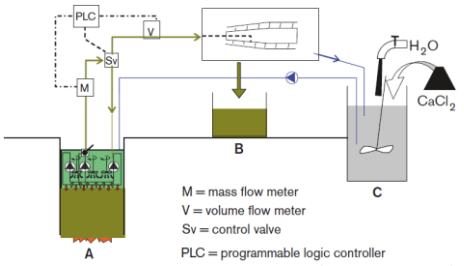
③回収概念（回収工程や回収要素技術等の技術的な検討・開発動向）

【1. 概況】

- 処分概念（定置概念設計）の設計には回収可能性の維持を考慮していない（回収技術は定置装置を活用したもの）。
- 結晶質岩を対象として、エスポ地下研究所において回収試験を実施。
- 処分場の操業期間（キャニスタ約6,000体を処分）は約４３年（１６０体／年）。回収に係る工程期間は、未公表。
- 回収に係る概算費用は、未公表



【 2. 回収概念】



処分孔からの緩衝材の除去プロセスの開発（SKB TR-07-12）

【 3. 技術的な検討・開発動向】

試験装置の概念図

緩衝材除去後の写真

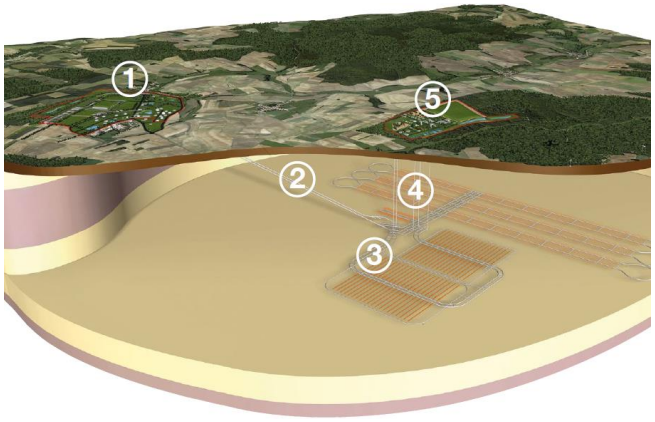
エスポ島の地下研究所（HRL）で、2000年から2005年にかけて竪置方式の概念で緩衝材の再飽和・膨潤試験を実施。
その後2006年1月から5月にかけて、緩衝材を塩水により除去し廃棄物を回収する試験が行われた。（SKB TR-11-10など）

竪置方式を対象とした回収試験

(3) フランスの回収概念の検討・開発事例等について

①地層処分概念(岩種:粘土層、処分深度:約500m)

ガラス固化体をステンレス鋼製キャニスタに封入し、それを粘土層の天然バリアに設置した処分坑道内部に定置。

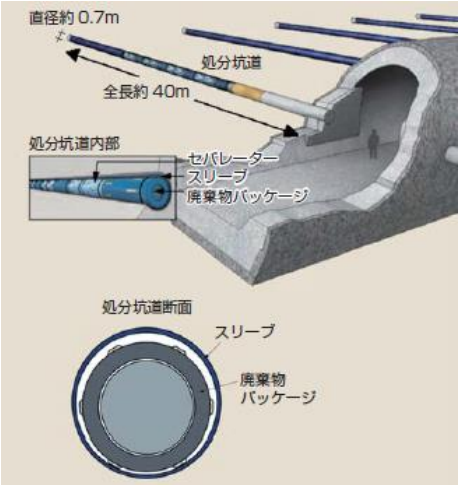


① 廃棄体の受取り・準備区域
② 斜坑
③ 地下施設
④ 立坑
⑤ 地下作業支援区域

出典:
ANDRA、「公開討論会の終了後のANDRAによるCIGÉOプロジェクトの実施」(2014)

廃棄物パッケージの定置イメージ

処分坑道に鋼製スリーブを設置、廃棄物パッケージはスリーブ内に複数定置、坑道入口はベントナイト/コンクリートプラグ設置。廃棄物パッケージとスリーブの隙間は埋戻しがされない。



②可逆性・回収可能性に関する制度整備状況

【制度整備の概況:前回(第2回)検討会資料⑤からの抜粋再掲】

可逆性・回収可能性の維持等を要求する規定の有無			制度整備状況に関する概要
事業規制制度	安全規制制度		
	維持	影響	
○ (可逆性)	×	○	●サイト選定プロセスを再考した1991年法で**可逆性**を示唆。現在の唯一の候補サイトへと繋がるビュールへの地下研設置を決めた1998年の省庁間委員会決定において**可逆性**のある地層処分を支持。 ●2006年法で**可逆性**の維持を規定(少なくとも100年間)。可逆性の条件は、設置許可申請後に新法で規定する予定。 ●現在の安全指針は、**可逆性**のある地層処分を前提としている。但し、現時点では具体的な要求・要件に係る規程はない(可逆性の条件を定める新法制定を経て、安全指針への反映等が想定される)。

【可逆性・回収可能性に関する規定内容】

法令	**「2006年放射性廃棄物等管理計画法」第12条(環境法典第L542-10-1条)** 処分場の設置許可申請については、第L542-3条に定める国家委員会の報告書、原子力安全に関する規制機関の意見書の作成、及びデクレに定める公衆意見聴取の対象区域内に全部又は一部が所在する地方公共団体の意見聴取を行う。 同申請は、公開討論会報告書、第L542-3条に定める国家委員会の報告書、及び原子力安全に関する規制機関の意見書を添付のうえ、議会科学技術評価局(OPECST)に提出し、同局はこれを評価し、審議内容を下院及び上院の担当委員会に報告する。 次に政府は可逆性の条件を定める法案を提出する。この法律の審署後、処分場の設置許可は公衆意見聴取後に制定されるコンセイユ・デタの議を経たデクレにより交付することができる。 この法律に示された条件において放射性廃棄物の深地層処分場の可逆性が保証されていない場合には、処分場の設置認可が発給されることはない。 設置許可申請の審査に際しては、当該施設の安全性をその最終的な閉鎖も含め、その管理の諸段階を踏まえて評価する。法律のみが最終的な閉鎖を許可することができる。許可には、予防のため処分の可逆性を確保しなければならない最低期間を定める。この期間を100年未満とすることはできない。
安全基準・指針類	**「深地層における放射性廃棄物の最終処分に関する安全指針」(2008年)3.5 処分の可逆性** 環境法典は、L542-1-1条において、放射性廃棄物の深地層処分は「可逆性の原則を順守して」行うと規定しており、また、第L542-10-1条では、可逆性の条件を法律によって定めると規定している。 処分の可逆性は、適応した開発モード及び施設の監視手段を前提とするものである。監視の目的については5.6項に示す。 処分の可逆性を確保するために講じられる措置は、処分施設の操業中の安全性及び閉鎖後の安全性を脅かすものであってならない。

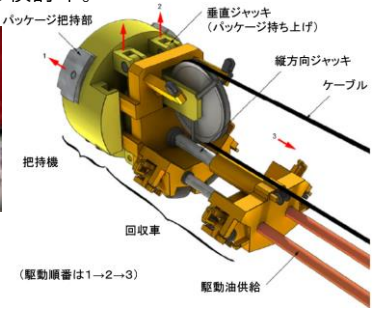
③回収概念（回収工程や回収要素技術等の技術的な検討・開発動向）

【1. 概況】

- 処分概念（定置概念設計）は回収性を考慮している。
- 回収に係る工程は、未公表。
- 回収に係る概算費用は、 2.7億～16.5億ユーロ（操業費用の2～10%）。（操業費用：地層処分場費用に関する作業グループ, 2005年、比率：ANDRA講演資料, 2015年）

【3. 技術的な検討・開発動向】

- 廃棄体の回収を容易とするための廃棄体形状、定置方式を開発し、定置技術とともに回収技術も実証試験中
- 廃棄体へのアクセスを容易とするための段階的な埋戻し手順も検討中。

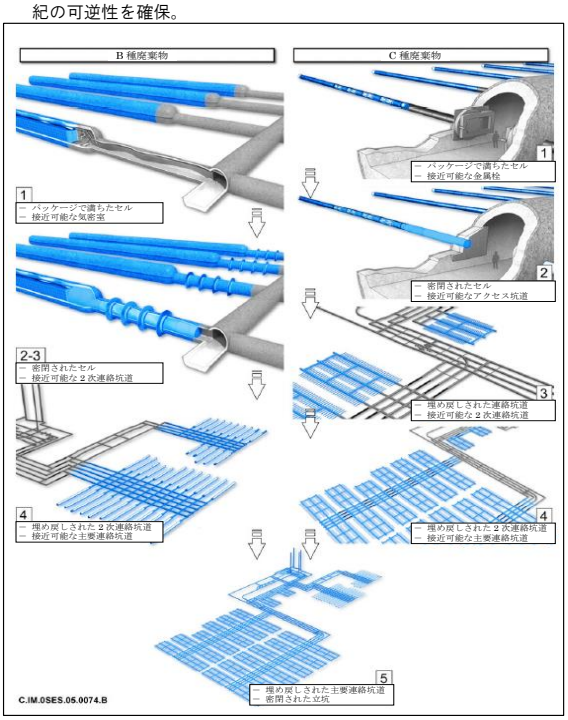


回収用牽引ロボット装置例(Dossier2005)

【2. 回収概念】

Dossier2005［粘土］分冊（Andra、2005年）

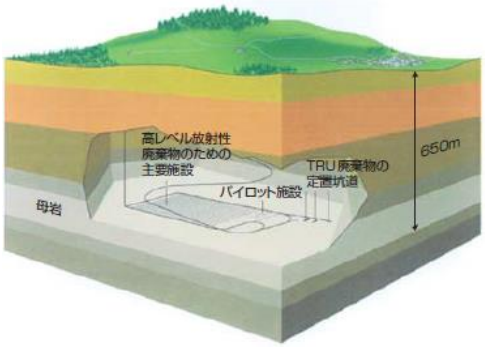
・段階的手順（定置、密封、閉鎖の段階的な実施）により、2～3世紀の可逆性を確保。

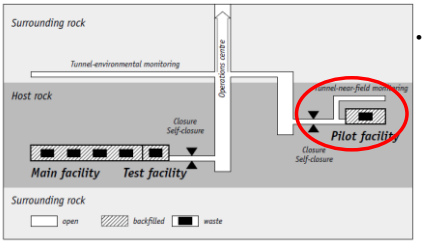


(4) スイスの回収概念の検討・開発事例等について

①地層処分概念（岩種：粘土層、処分深度：約400 - 900m）

使用済燃料またはガラス固化体を鋼鉄製容器に封入し、それを粘土層の天然バリアに設置した処分坑道内部に定置。



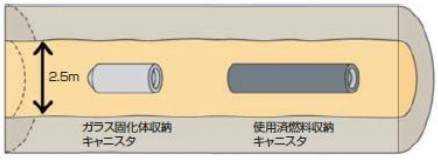


- パイロット施設でのモニタリング期間の終了後、廃棄物が主施設から回収されるか施設が閉鎖されるかが決定。

EKRAの概念（長期監視付処分概念）

廃棄物パッケージの定置イメージ

ガラス固化体または使用済燃料を収納したキャニスタを坑道内でベントナイトブロック製の台座の上に横置きに定置。残った空間を粒状ベントナイトで埋め戻し。



NTB 02-05オパリナス・クレイプロジェクト 安全報告書：使用済燃料、ガラス固化高レベル廃棄物及び長寿命中レベル廃棄物に関する処分の実現可能性の実証（Nagra、2002年）

ガラス固化体の処分のためのキャニスタ

②可逆性・回収可能性に関する制度整備状況

【制度整備の概況：前回（第2回）検討会資料⑤からの抜粋再掲】

可逆性・回収可能性の維持等を要求する規定の有無			制度整備状況に関する概要
事業規制制度	安全規制制度		
	維持	影響	
○（回収可能性）	○（回収可能性）	○	●2004年に改正した原子力法／原子力令、および安全規制制度（2009年の安全要件）の双方で、処分場の閉鎖まで**回収可能性**を要求（多額の費用を要せず回収が可能な方法で廃棄物の定置を要求）。 ●地域の**撤退権**などはないが、サイト決定後に（地下特性調査施設の建設前）、憲法規定に基づき、条件を満たせば国民投票を行うことができる。

【可逆性・回収可能性に関する規定内容】

法令	**「原子力法」（2005年発効）** モニタリング段階：地層処分場が閉鎖前にモニタリングされ、放射性廃棄物が多額の費用をかけずに回収可能な比較的長い期間。＜第3条 用語＞ 地層処分場に対して、以下の場合、操業許可が発給される。 ・放射性廃棄物の回収が、将来行われる可能性のある閉鎖まで、多額の費用をかけずに可能である場合。＜第37条 操業許可＞ **「原子力令」（2005年発効）** 処分場の閉鎖後、処分場の監視及び修理を容易にするため、または、廃棄物の回収ための措置が受動的安全バリアの妨げとならないように設計する。＜第11条 地層処分場の設計についての原則＞ 地層処分場の操業開始の前に、安全関連技術を試験して、その機能を立証するものとする。これは特に次のものに関連する。 a. 埋め戻し材の設置、b. 廃棄物パッケージの万一の回収のための埋め戻し材の撤去、c. 廃棄物パッケージ回収技術。＜第65条 試験エリア 第2項＞ 長期安全性が保証され、多大な出費なく廃棄物の回収が可能であるように、埋め戻しを実施するものとする。＜第67条 埋め戻し＞
安全基準・指針類	**「地層処分場の設計原則とセーフティケースに関する要件」（ENSI-G03）** 5.1.4 多額の費用を発生させない廃棄物の回収 将来的な処分場の閉鎖まで、多額の費用を発生させないで放射性廃棄物の回収が可能でなければならない。したがって、処分容器は、機械的強度に関して、少なくともモニタリング期間の終わりまでは、多額の費用を伴わずに回収できるような方法で定置しなければならない。また、回収可能性を確保するために講じられる措置は、受動的な安全バリア及び長期安全性を損なうものであってはならない。 廃棄物回収に関する計画は、審査及び許可を受けるため、地層処分場の許可申請書とともに、連邦原子力安全検査局（ENSI）に提出しなければならない。また、この回収に関する計画において、作業員及び住民において想定される放射線被ばくを評価しなければならない。 5.2.6 多額の費用を発生させない回収 操業段階にバリア・システムの欠陥を示す兆候が存在し、目的を達成するための修復が不可能であり、したがって地層処分場の長期安全性を保証できなくなった場合には、廃棄物を回収しなければならない。

③回収概念（回収工程や回収要素技術等の技術的な検討・開発動向）

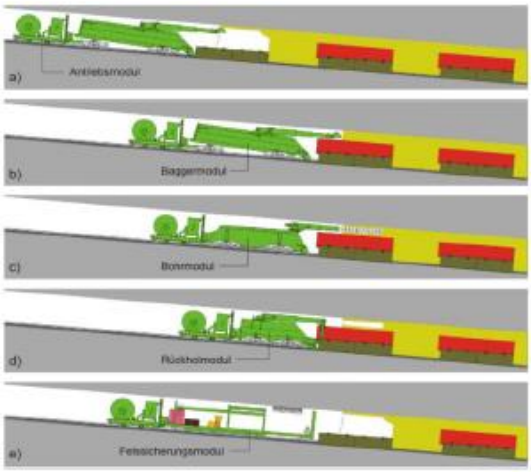
【1. 概況】

- 主要処分施設の処分概念（定置概念設計）では、廃棄体を定置した処分坑道を埋戻すこと、しかしながら多大な出費なく廃棄物の回収が可能であるよう要件として求められている。また、閉鎖前までは主要処分施設のアクセス坑道を解放した状態で、パイロット施設でモニタリングを行うことで回収の意思決定に資することが考えられている。
- 全量回収に係る工程は、未公表。
- 回収に係る概算費用は、未公表。

【2. 回収概念】

NTB 02-02 オパリナス・クレイプロジェクト技術報告書 地層処分場の施設と操業の概念（Nagra、2002年）

- 竣深モジュールを使って、粒状ベントナイトと土台ブロックを処分坑道から運び出し、竣深モジュールの車両の中に運び込む(a～b)。
- 掘削モジュールを利用して、岩盤の内部に容器を取り出すために必要な空間を作り出す（c）。
- 回収モジュールを利用して処分容器の回収を行う（d）。
- 岩盤保全機器を投入（e）。



キャニスタ回収の概念

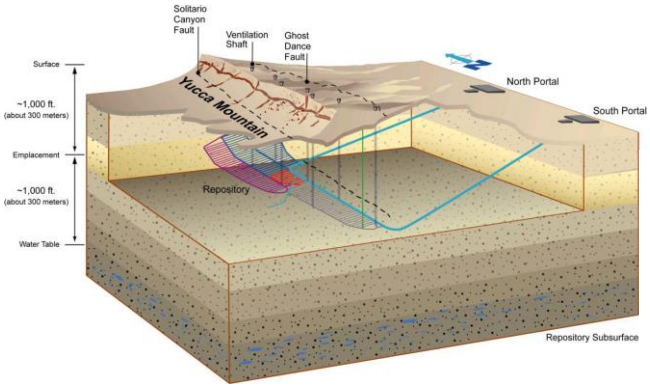
【3. 技術的な検討・開発動向】

- NAGRAは廃棄体の回収に係る机上検討を実施
- 連邦エネルギー庁（BFE）及びENSIが管理し、様々な研究機関との契約に基づいて実施している国家放射性廃棄部物研究プログラム（RPRW）において、回収可能性技術の文献調査等を実施。

(5) 米国の回収概念の検討・開発事例等について

①地層処分概念(岩種:凝灰岩、処分深度:約250m)

使用済燃料及びガラス固化体を、外側がAlloy22、
内側がステンレス鋼製のキャニスタに封入し、
それを凝灰岩に設置した処分坑道内部に定置。



廃棄物パッケージの定置イメージ

使用済燃料を封入した容器は坑道に定置される。廃棄物パッケージへの水滴の接触、及び坑道内部の落石による廃棄体の損傷を避ける目的で、閉鎖時にチタン製のドリップシールドが設置される。

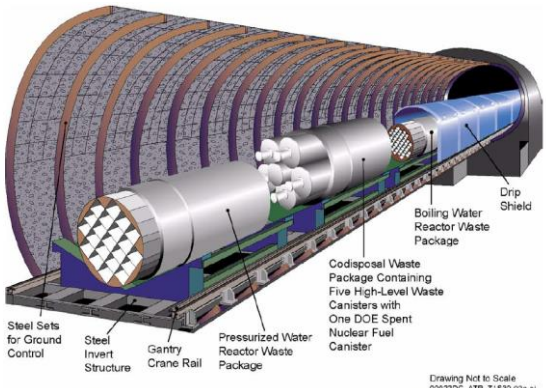


Figure 3. Schematic Illustration of the Emplacement Drift, with Cutaway Views of Different Waste Packages

②可逆性・回収可能性に関する制度整備状況

【制度整備の概況:前回(第2回)検討会資料⑤からの抜粋再掲】

可逆性・回収可能性の維持等を要求する規定の有無			制度整備状況に関する概要
事業規制制度	安全規制制度		
	維持	影響	
○ (回収可能性)	○ (回収可能性)	×	●ユッカマウンテンの選定に至るサイト選定への着手段階より、事業規制(事業推進)(1982年NWPA)および安全規制制度(1981年NRC規則)の双方で、操業期間中における**回収可能性**の維持を要求。 ●安全規則が要求する**回収可能性**の維持については、その目的と期間が特定されている(安全性の観点から、NRC審査期間中における是正措置等の可能性を意図)。 ●サイト選定段階(大統領が処分場のためのサイトの推薦書を連邦議会に提出する際)に、サイト立地州の知事等が不承認通知を連邦議会に提出できる。ただし、連邦議会上下院の決議による立地承認決議により不承認を覆すことが可能。

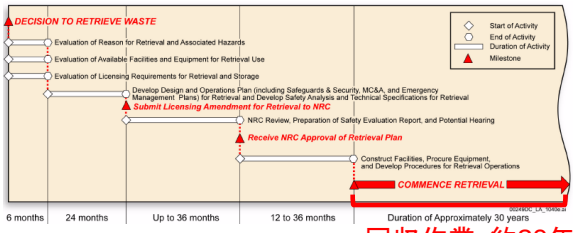
【可逆性・回収可能性に関する規定内容】

法令	**「1982年放射性廃棄物政策法(1987年修正)」第122条** 本章のいかなる規定にもかかわらず、本章に基づいて承認されたサイトに建設される処分場は、いかなるものも、当該施設の妥当な操業期間中、住民の健康及び安全または環境等に関する理由から、または、かかる使用済燃料中の経済的に重要な含有物の回収を図る目的で、かかる処分場に定置された使用済燃料を回収することができるよう設計・建設されなければならない。エネルギー長官は、いかなる処分場についてもその設計段階で、かかる処分場に関して回収のための妥当な期間を明示しなければならず、かかる処分場のかかる側面は、第114条の(b)項から(d)項までに基づく建設認可プロセスの一環として、原子力規制委員会(NRC)が承認または不承認とする際の対象とするものとする。
安全基準・指針類	**原子力規制委員会(NRC) 10 CFR Part 63「ネバダ州ユッカマウンテンで提案されている地層処分場における高レベル放射性廃棄物の処分」(2009年) § 63.111(e)(廃棄物の回収可能性)** (1) 地層処分場操業エリアの設計は、廃棄物の定置期間中及びその後の期間を通じて、性能確認プログラムや性能確認プログラムで得られた情報に関する原子力規制委員会(NRC)の審査が完了するまでの期間にわたり、廃棄物の回収可能性が保たれるものでなければならない。この目標を達成するため、地層処分場操業エリアは、定置された廃棄物のすべてまたはいずれかの回収が、廃棄物定置作業が開始されてから50年間経過するまでのいずれかの時点に始まる合理的なスケジュールによって可能になるように設計されなければならないが、NRCが当該期間について別の承認または指定を行った場合には、この限りではない。この別途定められる期間は、それぞれのケースごとに、定置スケジュール及び予定されている性能確認プログラムとの一貫性を保った形で設定することができる。

③回収概念（回収工程や回収要素技術等の技術的な検討・開発動向）

【1. 概況】

- 処分概念（定置概念設計）では回収性を考慮している。（閉鎖までアクセス坑道や立坑の埋戻しをしない（※ドリフト内部は閉鎖においても埋め戻しをしない））
- 全量回収に係る工程は、約30年。（処分操業期間は約50年）
- 回収に係る概算費用は、計算されていない。



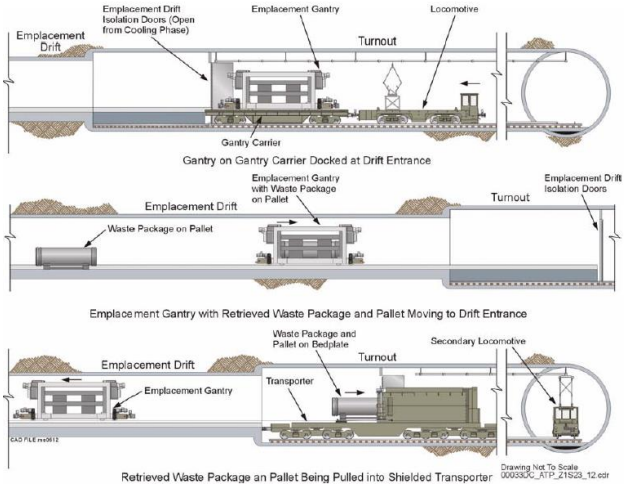
回収工程の概要

回収作業：約30年

ユッカマウンテン処分場許可申請書安全解析報告書（DOE、2008年）

【2. 回収概念】

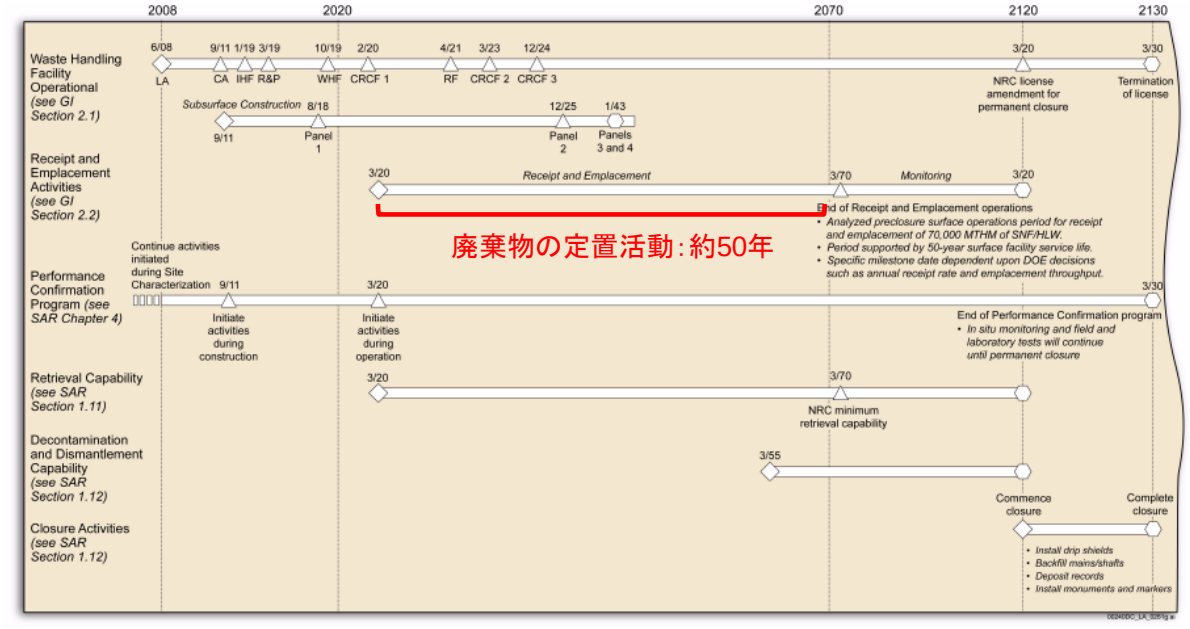
ユッカマウンテン処分場の建設認可に係る許認可申請書（DOE、2008年）
- 地下の処分坑道に定置した廃棄物パッケージの回収には、定置に使用した移送・定置車両、または、同様な移送装置を用いる
- 処分坑道からの回収は定置作業の逆手順を踏んで実施



【3. 技術的な検討・開発動向】

- DOEは机上検討のみを実施

（参考）ユッカマウンテン建設許可申請書における処分操業工程の概要



NOTE: CA = construction authorization; CRCF = Canister Receipt and Closure Facility; IHF = Initial Handling Facility; LA = license application; R&P = receive and possess; RF = Receipt Facility; WHF = Wet Handling Facility.

Figure 1-7. Repository Operations Summary Time Line

出典：ユッカマウンテン処分場許認可申請書　一般情報　DOE/RW-0573, Update No.1 Docket No. 63-001（DOE、2008年）

付録７

回収後の廃棄体管理に関する具体的な検討事例

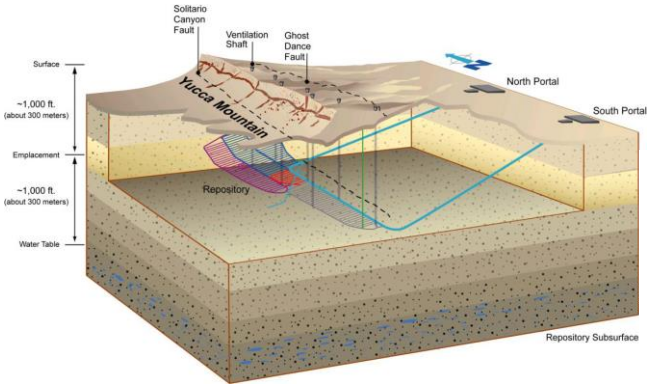
本資料の構成

(1) 米国における回収後の廃棄体管理の検討・開発事例等について
(2) 英国・ドーンレイサイトにおける中レベル放射性廃棄物の回収計画について
(3) ドイツ・アッセサイトにおける低中レベル放射性廃棄物の回収計画について
(4) 参考：米国の廃棄物隔離パイロットプラント（WIPP）における廃棄体の回収例

(1) 米国における回収後の廃棄体管理の検討・開発事例等について

①地層処分概念(岩種:凝灰岩、処分深度:約250m)

使用済燃料及びガラス固化体を、外側がAlloy22、内側がステンレス鋼製のキャニスタに封入し、それを凝灰岩に設置した処分坑道内部に定置。



廃棄物パッケージの定置イメージ

使用済燃料を封入した容器は坑道に定置される。廃棄物パッケージへの水滴の接触、及び坑道内部の落石による廃棄体の損傷を避ける目的で、閉鎖時にチタン製のドリップシールドが設置される。

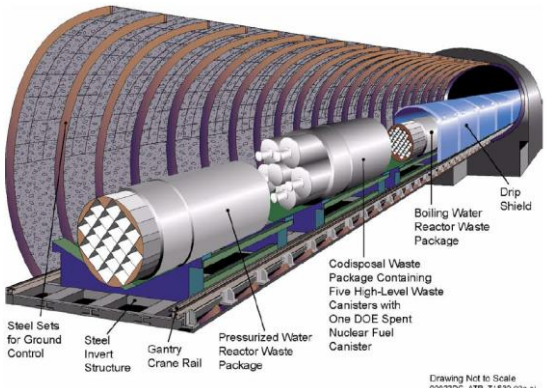


Figure 3. Schematic Illustration of the Emplacement Drift, with Cutaway Views of Different Waste Packages

②可逆性・回収可能性に関する制度整備状況

【制度整備の概況:前回(第2回)検討会資料⑤からの抜粋再掲】

可逆性・回収可能性の維持等を要求する規定の有無			制度整備状況に関する概要
事業規制制度	安全規制制度		
	維持	影響	
○ (回収可能性)	○ (回収可能性)	×	●ユッカマウンテンの選定に至るサイト選定への着手段階より、事業規制(事業推進)(1982年NWPA)および安全規制制度(1981年NRC規則)の双方で、操業期間中における**回収可能性**の維持を要求。 ●安全規則が要求する**回収可能性**の維持については、その目的と期間が特定されている(安全性の観点から、NRC審査期間中における是正措置等の可能性を意図)。 ●サイト選定段階(大統領が処分場のためのサイトの推薦書を連邦議会に提出する際)に、サイト立地州の知事等が不承認通知を連邦議会に提出できる。ただし、連邦議会上下院の決議による立地承認決議により不承認を覆すことが可能。

【可逆性・回収可能性に関する規定内容】

法令	**「1982年放射性廃棄物政策法(1987年修正)」第122条** 本章のいかなる規定にもかかわらず、本章に基づいて承認されたサイトに建設される処分場は、いかなるものも、当該施設の妥当な操業期間中、住民の健康及び安全または環境等に関する理由から、または、かかる使用済燃料中の経済的に重要な含有物の回収を図る目的で、かかる処分場に定置された使用済燃料を回収することができるよう設計・建設されなければならない。エネルギー長官は、いかなる処分場についてもその設計段階で、かかる処分場に関して回収のための妥当な期間を明示しなければならず、かかる処分場のかかる側面は、第114条の(b)項から(d)項までに基づく建設認可プロセスの一環として、原子力規制委員会(NRC)が承認または不承認とする際の対象とするものとする。
安全基準・指針類	**原子力規制委員会(NRC) 10 CFR Part 63「ネバダ州ユッカマウンテンで提案されている地層処分場における高レベル放射性廃棄物の処分」(2009年)** **§ 63.21 (c)(申請の内容)** (7) 回収が必要となった場合に備えて設定される、放射性廃棄物の回収及び貯蔵(alternate storage)に関する計画の記述。 **§ 63.111(e) (廃棄物の回収可能性)** (1) 地層処分場操業エリアの設計は、廃棄物の定置期間中及びその後の期間を通じて、性能確認プログラムや性能確認プログラムで得られた情報に関する原子力規制委員会(NRC)の審査が完了するまでの期間にわたり、廃棄物の回収可能性が保たれるものでなければならない。この目標を達成するため、地層処分場操業エリアは、定置された廃棄物のすべてまたはいずれかの回収が、廃棄物定置作業が開始されてから50年間経過するまでのいずれかの時点に始まる合理的なスケジュールによって可能になるように設計されなければならないが、NRCが当該期間について別の承認または指定を行った場合には、この限りではない。この別途定められる期間は、それぞれのケースごとに、定置スケジュール及び予定されている性能確認プログラムとの一貫性を保った形で設定することができる。

③回収概念（回収後の廃棄体管理に関する検討・開発動向）

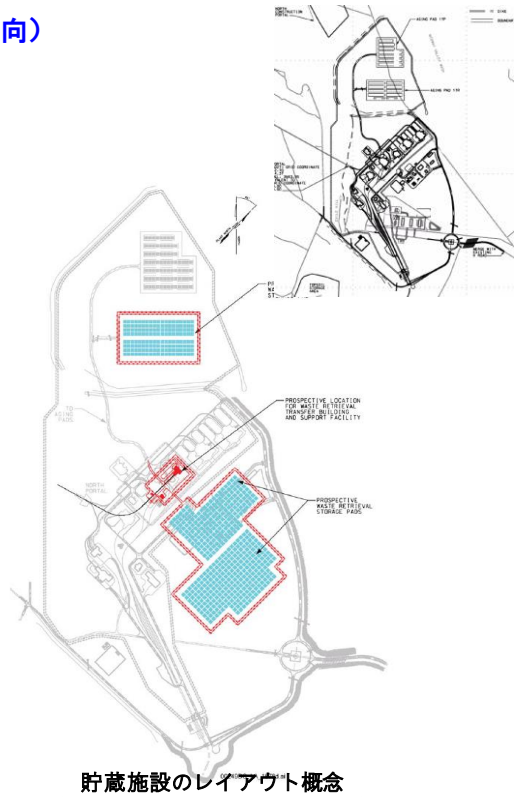
【1. 概況】

- 安全規制により、ユッカマウンテン処分場許認可申請書において、回収が必要となった場合に備えて回収と貯蔵（alternate storage）の計画を含めることが規定されている。
- 実施主体のDOEは許認可申請書において回収時の地上の貯蔵計画に関する概念を検討。
- 回収後の廃棄体管理に係る概算費用は計算されていない。

【2. 回収時貯蔵施設の概念】

ユッカマウンテン処分場の建設認可に係る許認可申請書（DOE、2008年）

- 回収を考慮する要因として、以下を想定。
  - (a) 閉鎖前の性能確認プログラムにおいて処分施設のバリア性能が規制要件を満たさない場合
  - (b) 廃棄物に含まれる資源回収の政策決定
- 回収後の廃棄体管理として2つの政策変更に応じた地上貯蔵を想定。
  - (1) 長期の貯蔵が決定された場合
  - (2) 資源として回収する場合（この場合は別の場所への廃棄体の移動となることから、その後の管理については検討していない）
- 回収時の貯蔵施設に関する計画において、施設の位置の選定基準、施設の規模に関する検討項目、貯蔵施設の操業、公衆と作業員の安全性に関して記載。
  <u>但し、貯蔵施設の操業安全や詳細設計等の包括的な評価は、回収が決定した時点で行われる。</u>
- 貯蔵施設の目的は、作業員と公衆の健康と安全を防護し環境の品質を持続するように回収後の廃棄体を貯蔵すること。
- 長期の貯蔵が決定された場合の施設は、処分場の地上近傍エリア（サイト内）に貯蔵施設を建設し、処分容量である70,000MTHMの高レベル放射性廃棄物を貯蔵（右図）。

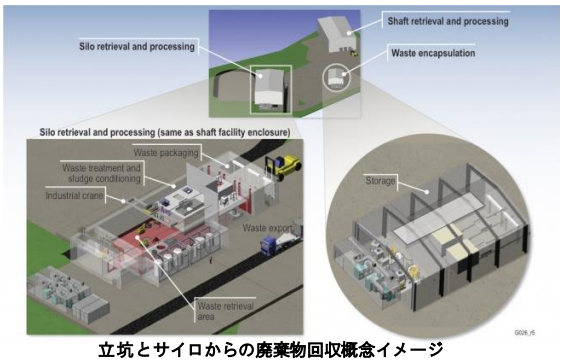


貯蔵施設のレイアウト概念
（右上図は処分場の地上操業エリアを示す）
ユッカマウンテン処分場許認可申請書安全解析書（DOE、2008年）

(2) 英国・ドーンレイサイトにおける中レベル放射性廃棄物の回収計画について（安全規制上の是正措置による回収）

【1. 概況】

- スコットランド、ドーンレイサイトでは、1950年代および1970年代よりそれぞれ立坑（深さ65m）とサイロにて中レベル放射性廃棄物が当時の基準に従い処分された。その後、立坑での水素爆発や地下水汚染が発生。
- 1998年にスコットランド政府が回収を決定。
- ドーンレイサイトの廃止措置及び環境修復の事業者であるドーンレイサイト復旧会社（DSRL）は、中レベル放射性廃棄物は回収してセメント固化した後、長期貯蔵する計画（中高レベルの放射性廃棄物に関するスコットランドの管理政策に乗せる）。低レベル放射性廃棄物については、過去に同サイトで処分した廃棄物を回収し（33,000m^{3}程度の見込み）、サイト内に建設する浅地中処分施設（6つのコンクリートボールト）に処分することを計画し、作業に着手。（合計175,000m^3）
- 回収後の廃棄体管理に係る費用は不明



立坑とサイロからの廃棄物回収概念イメージ
（DSRL社ウェブサイト）

立坑への廃棄物搬入
（DSRL社ウェブサイト）

サイロ内部の中レベル放射性廃棄物
（DSRL社ウェブサイト）

中レベル放射性廃棄物のセメント固化模型
（DSRL社ウェブサイト）

(3) ドイツ・アッセサイトにおける低中レベル放射性廃棄物の回収計画について
（安全規制上の是正措置による回収）

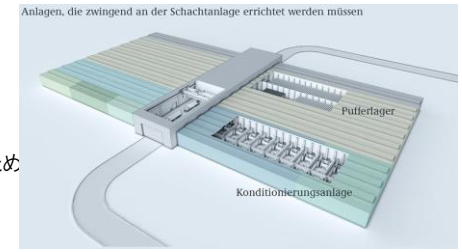
【1. 概況】

- ドイツのアッセⅡ研究鉱山では、1967年から1978年まで低中レベル放射性廃棄物が試験的に処分され、その後も地下研究所として利用された。その後、地下水の浸入により岩塩から成る処分坑道の安定性が確保できなくなる可能性が把握されたことから、2009年に同研究鉱山を閉鎖する方針が提案された。
- 閉鎖方法について、放射性廃棄物の回収、同研究鉱山のより深い地層への処分、特殊なコンクリートによる埋め戻しという3つのオプションが検討された結果、実施主体の連邦放射線防護庁(BfS)は2010年に放射性廃棄物の回収を選択。
- 2013年に、アッセⅡ研究鉱山の閉鎖と放射性廃棄物の回収に関する原子力法改正案が可決。
- 回収した廃棄体は今後選定される発熱性放射性廃棄物の処分場にて処分することが計画されているが、処分場は当面利用可能ではないため、BfSは中間貯蔵のための地上施設の建設を検討中。
- アッセサイトの閉鎖費用や、内訳となる回収費用については未検討。

廃棄物ドラム缶の処分状況(1975年)
(BfSウェブサイト)

【2. 技術的な検討・開発動向】

- 廃棄物の回収に関して、今後以下に関する計画を検討する予定。
  - ・実施可能な回収計画の立案
  - ・処分坑道のデータを収集し、回収に係る不確実性を体系的に評価するための包括的方法を策定
  - ・坑道の安定化に必要な技術的措置の実施
  - ・浸水の影響を抑える緊急措置の実施
- BfSは、放射性廃棄物の回収計画の策定に先だって、ボーリングによる現状確認調査を実施。
- なお、放射性廃棄物の回収及び閉鎖のための作業が法令を順守できない場合には、代替となる閉鎖オプションの利点と欠点を比較評価した上で、最善と判断されたオプションにより閉鎖を行うことも原子力法に含まれている。



中間貯蔵施設の概念
(BfSウェブサイト)

(4) 参考：米国の廃棄物隔離パイロットプラント(WIPP)における廃棄体の回収例
（安全確保上の是正措置による回収）

- 米国・WIPPでは1999年より軍事用TRU廃棄物の地層処分を開始。
- 2007年と2008年に安全確保上の是正措置として廃棄体を1体ずつ回収。
- 2007年の回収：
  アイダホ国立研究所(INL)から輸送・処分された廃棄物が、液体が混入している可能性、及び要件として求められている廃棄体の特性評価がなされていないことが明らかとなった。
  ニューメキシコ州環境局(NMED)は、実施主体のDOEカールスバッド・フィールド事務所(CBFO)に回収を指示。
  回収した廃棄体はINLへ戻された。
- 2008年の回収：
  処分された廃棄物が、1%以下としている水分量の規定量を超えていることが明らかとなったことから、実施主体が自主的に廃棄体を回収。

廃棄体 (Standard Waste Box)
(DOEウェブサイト)

WIPPの廃棄体定置室
(DOEウェブサイト)

回収した廃棄物
(SRICウェブサイト)

平成２７年度
地層処分技術調査等事業
（高レベル放射性廃棄物処分関連：
可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発）

報告書

第２編
地下環境での搬送定置・回収技術の高度化開発

平成２８年３月

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

本報告書（ドラフト版）は、経済産業省からの委託研究として、公益財団法人　原子力環境整備促進・資金管理センターが実施した平成27年度地層処分技術調査等事業（高レベル放射性廃棄物処分関連：可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発）のうち、地下環境での搬送定置・回収技術の高度化開発の成果を取りまとめたものです。

目　次

第 1 章　事業概要 1-1
1.1　事業名 1-1
1.2　事業の背景と方針 1-1
1.2.1　事業の目的 1-1
1.2.2　特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針の改定 1-2
1.2.3　可逆性と回収可能性 1-3
1.2.4　検討の方針 1-3
1.3　これまでの調査研究開発の成果 1-4
1.3.1　人工バリアの搬送・定置技術に係わる検討[5]~[12] 1-4
1.3.2　廃棄体の回収技術に係わる検討[8]~[16] 1-6
1.3.3　地層処分実規模試験施設の整備[17]~[22] 1-7
1.3.4　回収可能性の維持に係わる検討[15][16] 1-8
1.3.5　人工バリアの搬送・定置のシステム化 1-8
1.4　検討の前提条件 1-12
1.4.1　定置概念 1-12
(1)　処分孔竪置き定置方式 1-12
(2)　処分坑道横置き定置方式 1-13
1.4.2　搬送・定置オプション 1-15
1.4.3　地上／地下実証サイト 1-16
(1)　実証試験サイトの要件 1-16
(2)　地下実証サイト 1-16
(3)　地上実証サイト 1-20
1.4.4　実証試験の対象とサイトの設定 1-22
(1)　処分孔竪置き定置方式 1-22
(2)　処分坑道横置き定置方式（PEM 型） 1-23
(3)　実証試験サイトごとの実証対象 1-23
1.5　本年度の実施内容 1-25
1.6　本報告書の構成 1-26
第 2 章　全体計画の策定 2-1
2.1　全体計画策定 2-1
2.1.1　実証試験の対象 2-1
2.2　回収対象の状態設定と回収工程の検討 2-1
2.2.1　処分坑道竪置き定置方式 2-2
(1)　処分坑道のレイアウト 2-2

(2) 定置作業工程と坑道の状態 2-2
(3) 廃棄体の回収工程の検討 2-4
2.2.2 処分坑道横置き定置方式 2-5
(1) 処分坑道のレイアウト 2-5
(2) 定置作業工程と坑道の状態 2-6
(3) 廃棄体の回収工程の検討 2-7
2.2.3 実証試験ための課題の整理 2-10
(1) 既往の開発成果 2-10
(2) 試験の対象の整理 2-10
2.3 処分坑道横置き方式 PEM 型の実証試験計画の立案 2-12
2.3.1 実証試験に必要な項目の整理 2-12
(1) 試験計画に反映すべき項目 2-12
(2) 地質環境特性 2-13
(3) 坑内環境条件 2-13
(4) ハンドリングの対象 2-16
(5) 実証試験装置 2-17
(6) 実証試験設備 2-21
(7) 状態把握、判断・判定 2-21
(8) 繰返し作業の影響の把握 2-29
(9) 支保、周辺岩盤との相互作用 2-30
2.3.2 繰返し作業を考慮した PEM の搬送定置、回収の工程 2-31
(1) PEM の搬送定置 2-31
(2) PEM の回収 2-32
2.3.3 PEM の搬送定置、回収の実証試験の工程 2-33
(1) 反復作業の影響を考慮した試験計画 2-33
(2) 技術の実証に重点を置いた試験計画 2-34
(3) 試験計画ごとの実施内容と成果の比較 2-35
(4) 試験計画の選択 2-35
2.3.4 実証試験サイトのレイアウトの検討 2-38
(1) 必要となる試験エリアの広さ 2-38
(2) 試験坑道２への配置 2-39
2.4 まとめ 2-41
2.4.1 実証試験の対象 2-41
2.4.2 実証試験計画の立案 2-41
2.4.3 ５ヵ年計画の提示 2-41
2.4.4 個別試験計画の具体化 2-41
第 3 章 地層処分実規模試験施設の活用 3-1
3.1 実施概要 3-1

3.2　実証試験計画の検討 3-1
3.2.1　地層処分実規模試験施設 3-1
3.2.2　緩衝材除去システム 3-3
3.2.3　実証試験計画 3-5
(1)　緩衝材定置試験装置 3-5
(2)　緩衝材除去システム 3-8
(3)　年度計画 3-11
3.3　緩衝材定置試験装置の改良 3-12
3.3.1　緩衝材ブロック運搬、定置に必要な監視項目、監視方法の検討 3-14
3.3.2　緩衝材定置試験装置に必要な監視機能の検討 3-18
(1)　緩衝材定置試験装置に必要な監視機能 3-19
3.3.3　緩衝材定置試験装置への監視機能の設置 3-23
(1)　制御盤の製作・設置 3-23
(2)　監視カメラ 3-26
(3)　監視カメラ無線送信機 3-26
(4)　監視カメラの動作確認 3-28
3.4　緩衝材除去試験のため施設整備 3-29
3.4.1　実規模施設の整備内容の検討 3-29
(1)　緩衝材除去システムを設置する場合の床荷重検討 3-29
(2)　施設内の電気設備の検討 3-31
(3)　模擬処分孔の補強検討 3-34
(4)　緩衝材除去試験エリアの塩害防止措置 3-37
3.4.2　緩衝材除去システムを施設内に設置するための施設内整備 3-38
(1)　展示物の移動方法の検討 3-38
(2)　展示物の移動 3-40
3.4.3　緩衝材除去システムの移設 3-42
(1)　緩衝材除去システムの移設計画 3-42
(2)　緩衝材除去システムの移設 3-45
(3)　移設設備の確認 3-47
3.5　理解促進活動 3-49
3.5.1　施設の一般公開 3-49
(1)　開館日 3-49
(2)　来館者への対応 3-50
3.5.2　緩衝材定置試験 3-51
(1)　試験内容 3-51
(2)　試験の確認項目 3-53
(3)　試験結果 3-54
3.5.3　緩衝材可視化試験 3-58

(1) 緩衝材の機能と可視化試験の検討 3-58
(2) 緩衝材供試体を用いた水平方向の隙間の浸潤試験 3-59
3.5.4 広報活動 3-63
(1) ホームページ（http://www.rwmc.or.jp/institution/） 3-64
(2) 広報誌への掲載 3-65
3.5.5 来館者へのアンケート 3-66
(1) アンケート回答者諸元 3-67
(2) アンケート集計結果 3-67
3.6 まとめ 3-73
3.6.1 実証試験計画の検討 3-73
3.6.2 緩衝材定置試験装置の改良 3-73
3.6.3 緩衝材除去試験のため施設整備 3-73
3.6.4 理解促進活動 3-74
第 4 章 地下での実証試験設備の整備 4-1
4.1 実施概要 4-1
4.2 実証サイト 4-1
4.3 実証サイトの調査、設計 4-2
4.3.1 目的 4-2
4.3.2 実証試験計画上の制約条件の整理 4-2
4.3.3 実施フロー 4-3
4.3.4 実証サイトの環境調査 4-3
(1) 試験坑道 2 の構造概要 4-3
(2) 試験坑道 2 周辺の観測装置 4-5
(3) 試験坑道 2 の岩級区分 4-6
(4) 既往揚重設備の仕様 4-7
(5) 試験坑道 2 における PEM 設置時の応力 4-8
4.3.5 坑道設計 4-12
(1) 試験坑道 2 配置計画 4-12
(2) 各設備等の仕様 4-23
4.3.6 施工計画 4-28
(1) 概要 4-28
(2) 施工手順 4-33
(3) 施工中の計測計画 4-39
(4) 施工中の換気計画 4-44
(5) 掘削土の運搬計画 4-51
4.3.7 搬送定置装置の搬出入計画 4-52
(1) 検討対象機器 4-52
(2) 搬出入経路と通過検証箇所 4-52

(3) 通過検証結果 4-53
4.4 実証サイトの整備 4-54
4.4.1 目的 4-54
4.4.2 実施フロー 4-54
4.4.3 既設試験装置の撤去、養生 4-55
(1) 採水装置の撤去 4-55
(2) 岩盤変位計の養生 4-55
(3) 比抵抗トモグラフィ用電極の養生 4-56
4.4.4 周辺環境調査 4-58
(1) コアボーリングの実施 4-58
(2) ボーリングコア観察 4-59
(3) 試験坑道 2 掘削時、等の地質情報の整理 4-63
4.4.5 周辺環境予測 4-71
(1) 解析準備 4-71
(2) 解析結果 4-76
4.5 まとめ 4-83
(1) 実証サイトの調査、設計 4-83
(2) 実証サイトの整備 4-83
第 5 章 搬送定置技術の整備と試験計画 5-1
5.1 概要 5-1
5.2 搬送定置技術の整備と試験計画の検討の実施フロー 5-1
5.2.1 実施フロー 5-1
5.3 前提条件の整理 5-1
5.3.1 実証試験範囲 5-1
5.3.2 実証試験で使用する PEM の仕様 5-2
5.3.3 地下試験坑道の条件 5-3
5.4 搬送定置技術の選定 5-4
5.4.1 設計要件の検討 5-4
5.4.2 搬送定置技術の選定 5-5
(1) 定置機構の候補技術の抽出 5-5
(2) 候補技術のスクリーニング 5-12
5.4.3 搬送定置装置の基本構成 5-15
5.5 搬送定置装置の実証試験計画 5-16
5.5.1 前提条件の整理 5-16
5.5.2 地下実証試験のフロー 5-18
(1) 搬送定置試験 5-18
(2) 回収試験 5-19
5.5.3 搬送定置装置の設計・製作・試験の実施フロー 5-21

5.5.4　実証試験で考慮する操業環境 5-21
(1)　湧水（床面の流水、水溜り） 5-21
(2)　湧水（天盤からの滴水） 5-22
(3)　湿度 5-22
(4)　不陸 5-22
(5)　温度 5-22
5.5.5　実証試験計画の検討 5-27
(1)　試験の目的 5-27
(2)　搬送定置試験 5-27
(3)　回収試験 5-30
5.6　搬送定置装置の設計 5-34
5.6.1　搬送定置装置の基本設計 5-34
(1)　装置概要 5-34
(2)　設計条件 5-34
(3)　要求機能・性能 5-36
(4)　機器仕様 5-39
(5)　搬送定置装置の基本仕様のまとめ 5-54
5.6.2　搬送定置装置の詳細設計と製作の範囲 5-62
5.6.3　搬送定置装置の詳細設計 5-63
(1)　定置装置 5-63
5.7　搬送定置装置の製作 5-94
5.7.1　定置装置 5-94
5.7.2　搬送装置 5-95
5.7.3　制御装置 5-96
(1)　制御盤 5-96
5.7.4　坑道模擬架台 5-98
5.7.5　模擬 PEM 5-99
5.8　平成 27 年度確認試験 5-103
5.8.1　目的 5-103
5.8.2　確認試験フロー 5-106
5.8.3　試験条件・方法 5-106
(1)　平滑面走行試験 5-107
(2)　隙間通過確認試験 5-109
(3)　段差通過確認試験 5-110
5.8.4　確認試験結果 5-111
(1)　平滑面走行試験 5-113
(2)　PEM 浮上量 5-113
(3)　エアベアリング圧力 5-114

(4) コンプレッサ流量 5-114
(5) 牽引力 5-115
(6) 走行モータ電流 5-115
(7) PEM 定置時荷重 5-115
(8) PEM 偏芯 5-116
(9) PEM 浮上量の決定 5-121
(10) エアベアリング稼働枚数について 5-126
(11) 走行モータ電流値の測定結果 5-128
(12) PEM 定置時の荷重測定結果 5-131
(13) PEM 偏芯測定結果 5-136
(14) 隙間通過確認試験 5-138
(15) 段差通過確認試験 5-143
5.8.5 考察 5-148
(1) エアベアリングの稼働枚数 5-148
(2) PEM の浮上量 5-148
(3) 定置装置の必要牽引力 5-148
(4) エアベアリング圧力の不均等について 5-149
(5) 走行面の隙間について 5-149
(6) 走行面の段差について 5-149
(7) コンプレッサ流量の変動について 5-149
(8) 搬送定置装置の改善項目 5-149
5.9 まとめ 5-151
第 6 章 隙間充填技術の整備と試験計画 1
6.1 概要 1
6.2 実施フロー 1
6.2.1 隙間充填技術の整備と試験計画の実施フロー 1
6.3 前提条件の整理 2
6.3.1 操業プロセスにおける位置づけ 2
6.3.2 PEM 仕様 2
6.3.3 試験孔と PEM の関係 3
6.4 隙間充填装置の実証試験計画 4
6.4.1 設計条件の検討 4
(1) 設計条件の整理 4
6.4.2 実証試験計画の立案 5
(1) 想定する操業フローと実証試験仕様 5
(2) 本実証試験での隙間充填フロー 6
6.5 隙間充填材の設計 7
6.5.1 設計条件に基づく充填材設計 8

(1) 基本方針 8
(2) 要求事項の整理 8
(3) 既往検討の確認 9
(4) 材料配合について 10
(5) 設計要件の整理 10
(6) 材料設計条件の具体化 10
6.5.2 充填材の品質管理 11
(1) 配合・製作時 11
(2) 保管・輸送時 11
6.6 隙間充填装置の基本設計 12
6.6.1 基本設計の実施フロー策定 12
6.6.2 整理された設計条件の反映 14
(1) 操業時の隙間充填装置への要求機能 14
(2) 隙間充填装置の設計要件 15
(3) 設計条件の具体化 17
6.6.3 基本設計 19
(1) 移送装置本体（アーム部） 19
(2) 地下実証試験における不具合発生の想定と装置救援方法の提示 23
(3) 隙間充填装置の基本設計概念図 23
6.7 予備試験 24
6.7.1 予備試験の位置付け 24
(1) 目的 24
(2) 試験方針および予備試験項目 25
6.7.2 隙間充填材設計のための材料試験 26
(1) 予備試験を通じて確認すべき設計要件の抽出 26
(2) 試験の概要 27
(3) 試験使用材料および試験装置 28
(4) 試験方法 30
(5) 試験ケース 32
(6) 試験結果 6-36
(7) 試験結果のまとめ 6-45
6.7.3 充填予備試験 6-46
(1) 予備試験を通じて確認すべき設計要件の抽出 6-46
(2) 試験概要 6-46
(3) 試験使用材料および試験装置 6-47
(4) 確認試験 6-51
(5) 通水・飽和状況の確認 6-54
(6) 試験結果 6-54

(7) 試験結果のまとめと考察 6-62
6.7.4 施工機械に関する予備試験 6-62
(1) スクリューコンベア試作機を用いた予備試験で確認すべき設計要件の抽出 6-62
(2) 試験概要 6-63
(3) スクリューコンベアの試作 6-64
(4) 予備確認試験実施計画 6-71
(5) 予備試験結果 6-73
(6) 充填効率 6-92
(7) 結果のまとめと考察 6-94
6.7.5 予備試験のフローチャート 6-96
6.8 隙間充填材の除去方法の選定 6-97
6.8.1 隙間充填材の状態設定 6-97
6.8.2 基本的な除去装置仕様の選定・提示 6-98
(1) 塩水スラリー方式 6-98
(2) ウォータージェット方式 6-98
(3) ドリル方式 6-100
(4) アイスブラスト方式 6-102
6.8.3 幌延実証試験サイトを対象とした具体的な機械配置 6-103
6.9 まとめ 6-105
6.9.1 隙間充填装置の実証試験計画 6-105
6.9.2 隙間充填装置の基本設計 6-105
6.9.3 予備試験 6-106
(1) 隙間充填材設計のための材料試験 6-106
(2) 充填予備試験 6-107
(3) 充填装置に関する予備試験 6-107
(4) 予備試験を通じた狭所施工への適用性に関する考察 6-107
第 7 章 回収可能性の維持についての検討 7-1
7.1 背景と目的 7-1
7.1.1 背景 7-1
(1) これまでの検討 7-2
7.1.2 目的 7-4
7.2 検討の概要 7-4
7.2.1 検討方針 7-4
7.2.2 検討方法 7-8
(1) 技術要素マップ作成の方針の具体化と 5 ヵ年の計画策定の進め方 7-9
(2) 技術要素マップの作成 7-11
7.3 技術要素マップ作成の方針の具体化 7-17
7.3.1 処分施設の安全性に影響を及ぼす要因とその要素の抽出 7-17

7.3.2　分析と整理による、要素の妥当性検討 7-74
7.3.3　技術要素マップ作成方針の具体化、手順、方法、例の原案作成 7-118
7.4　技術要素マップの作成 7-126
7.4.1　技術要素マップ作成の対象範囲の設定 7-126
7.4.2　技術要素マップの作成と技術課題の整理 7-127
7.5　5ヵ年計画の策定 7-178
7.5.1　策定方法（影響評価と影響低減対策を考慮した検討計画の策定） 7-178
7.5.2　5ヵ年計画の策定 7-189
7.6　検討のまとめと課題の整理 7-197
7.6.1　検討のまとめ 7-197
7.6.2　課題の整理 7-199

図目次

図 1.2.4-1　最終処分事業の各事業段階における回収可能性と回収コスト、および安全保証の関係 1-4
図 1.3.5-1　処分孔竪置き方式 1-10
図 1.3.5-2　処分坑道横置き方式 1-11
図 1.4.1-1　処分孔竪置き定置方式の人工バリア構成[4] 1-12
図 1.4.1-2　処分坑道竪置き定置方式[24] 1-13
図 1.4.1-3　処分坑道横置き定置方式の人工バリア構成[4] 1-14
図 1.4.1-4　処分坑道横置き定置方式（軟岩）[24] 1-14
図 1.4.3-1　幌延 URL　地下 350m 調査坑道のレイアウト 1-18
図 1.4.3-2　試験坑道２ 1-19
図 1.4.3-3　試験坑道２の形状 1-19
図 1.4.3-4　地層処分実規模試験施設　外観 1-20
図 1.4.3-5　地層処分実規模試験施設　施設内の様子（平成 27 年初頭） 1-20
図 1.4.3-6　緩衝材定置試験装置 1-21
図 1.4.3-7　模擬処分孔 1-21
図 1.4.4-1　噴射・吸引設備と試験坑道２の関係 1-22
図 1.4.4-2　組立エリアの拡幅断面検討例 1-23
図 1.4.4-3　試験坑道２での実証試験設備レイアウト例（処分孔竪置き方式） 1-24
図 2.2.1-1　処分坑道と主要坑道の連接部の拡大イメージ 2-2
図 2.2.1-2　処分孔竪置き定置方式の定置作業 2-3
図 2.2.1-3　処分孔竪置き定置方式の処分坑道のイメージ 2-3
図 2.2.1-4　処分孔竪置き定置方式におけるオーバーパックの回収作業工程 2-4
図 2.2.2-1　処分坑道と主要坑道の連接部の拡大イメージ 2-5
図 2.2.2-2　処分坑道横置き定置方式 PEM 型の定置作業 2-6
図 2.2.2-3　処分坑道横置き定置方式 PEM 型の処分坑道のイメージ 2-7
図 2.2.2-4　処分坑道横置き定置方式における廃棄体の回収作業工程 2-8
図 2.2.3-1　既往の開発成果と本事業での対象とする技術の整理 2-10
図 2.3.1-1　幌延 URL 鳥瞰図[8] 2-13
図 2.3.1-2　吹付コンクリートを施工した坑内の 3D 計測結果のイメージ[10] 2-15
図 2.3.1-3　搬送定置対象となる PEM の仕様及び寸法[5] 2-17
図 2.3.1-4　処分坑道横置き PEM 方式の操業技術 2-17
図 2.3.1-5　処分坑道横置き PEM 方式の回収工程 2-18
図 2.3.1-6　処分坑道横置き PEM 方式の各工程の装置に求めれる基本的な機能 2-19
図 2.3.1-7　処分坑道横置き定置方式の搬送・定置オプションと安全評価上の前提 2-20
図 2.3.1-8　各原理による緩衝材回収技術の比較[13] 2-21

図 2.3.1-9　処分坑道横置き方式 PEM 方式　ブロックフロー図[9] 2-22
図 2.3.1-10　ある工程を構成する作業と確認項目 2-25
図 2.3.1-11　操業段階における繰り返し作業 2-29
図 2.3.1-12　幌延 URL 試験坑道２の解析モデル 2-30
図 2.3.1-13　鋼製支保にかかる応力 2-30
図 2.3.2-1　PEM の搬送定置プロセス 2-31
図 2.3.2-2　状態の組合わせ 2-31
図 2.3.2-3　PEM の回収プロセス 2-32
図 2.3.2-4　状態の組合わせ 2-32
図 2.3.3-1　複数の PEM を用いた実証試験工程 2-33
図 2.3.3-2　複数の PEM を用いた場合の影響因子と評価対象 2-33
図 2.3.3-3　一体の PEM を用いた実証試験工程 2-34
図 2.3.3-4　一体の PEM を用いた場合の影響因子と評価対象 2-34
図 2.3.4-1　ペレット充填試験時の安息角の計測結果 2-38
図 2.3.4-2　PEM の定置位置と隙間充填材の安息角の関係 2-38
図 2.3.4-3　試験坑道２に PEM を定置した場合の坑道断面図 2-39
図 2.3.4-4　試験坑道２の妻部に試験エリアを配置した場合の、坑道内部の空間 2-40
図 3.2.1-1　地層処分実規模試験施設 3-2
図 3.2.1-2　地層処分実規模施設内　全体図 3-2
図 3.2.1-3　展示状況全景 3-3
図 3.2.2-1　緩衝材除去システム概要図 3-3
図 3.2.2-2　緩衝材除去技術の開発 3-4
図 3.2.2-3　緩衝材除去試験の概要 3-5
図 3.2.3-1　搬送・定置装置と緩衝材の重要な設計要件の関係例[16] 3-7
図 3.2.3-2　塩水環境と淡水環境での緩衝材を構成する粒子構造の違い[10] 3-9
図 3.2.3-3　塩水による浸漬試験状況[10] 3-9
図 3.2.3-4　緩衝材（乾燥密度 1.6Mg/m3）の浸漬試験結果（NaCl：4wt%溶液使用）[10]3-10
図 3.2.3-1　ブロック型緩衝材竪置き定置方式　作業ブロックフロー[20] 3-13
図 3.3.1-1　カメラ監視位置概念図 3-17
図 3.3.2-1　実機と実規模処分実規模試験施設に緩衝材定置装置 3-18
図 3.3.2-2　監視カメラ、無線化機器等配置図 3-22
図 3.3.3-1　緩衝材定置装置全景（改良後） 3-23
図 3.3.3-2　制御盤工事状況例 3-24
図 3.3.3-3　2 階　緩衝材定置装置制御盤外形図 3-24
図 3.3.3-4　2 階　緩衝材定置装置制御盤配置図 3-25
図 3.3.3-5　カメラ外形及び仕様(日立 VK-C551) 3-26
図 3.3.3-6　監視カメラ映像無線送信機外観および仕様 3-27

図 3.3.3-7　カメラ④の映像（モニタの 1 画面表示） 3-28
図 3.3.3-8　監視カメラ①～④の映像（モニタの 4 画面表示） 3-28
図 3.4.1-1　塩水リユース設備 3-30
図 3.4.1-2　実規模施設 1 階の床荷重 3-30
図 3.4.1-3　実規模施設のキュービクル 3-32
図 3.4.1-4　緩衝材除去システムの配置検討案 3-33
図 3.4.1-5　模擬処分孔の外観 3-34
図 3.4.1-6　緩衝材除去試験設備（平成 25、26 年度） 3-37
図 3.4.1-7　実規模施設の設備レイアウト 3-38
図 3.4.2-1　実規模施設内の展示物配置及び天井クレーン稼働範囲 3-39
図 3.4.2-2　移動が必要な実規模施設内の展示物 3-39
図 3.4.2-3　人工バリアの概要 3-39
図 3.4.2-4　人工バリア移設用ベースプレート 3-40
図 3.4.2-5　人工バリア移動状況（1） 3-40
図 3.4.2-6　人工バリア移動状況（2） 3-41
図 3.4.2-7　人工バリア移動状況（3） 3-41
図 3.4.2-8　人工バリア移動状況（4） 3-41
図 3.4.2-9　人工バリア移動状況（5） 3-42
図 3.4.2-10　展示物移動前後の施設内全景 3-42
図 3.4.3-1　噴射・吸引設備の分解検討図 3-43
図 3.4.3-2　噴射・吸引設備および遠隔操作設備の配置計画図 3-44
図 3.4.3-3　噴射・吸引設備の組立作業手順図 3-45
図 3.4.3-4　各設備の解体及び積み込み状況 3-46
図 3.4.3-5　緩衝材除去システムの移設状況（1） 3-46
図 3.4.3-6　緩衝材除去システムの移設状況（2） 3-46
図 3.4.3-7　緩衝材除去システムの移設状況（3） 3-47
図 3.4.3-8　移設前後の施設内全景 3-47
図 3.5.1-1　平成 27 年度来館者推移 3-50
図 3.5.2-1　緩衝材定置運転動作（その１） 3-51
図 3.5.2-2　緩衝材定置運転動作（その２） 3-51
図 3.5.2-3　緩衝材定置運転動作（その３） 3-52
図 3.5.2-4　緩衝材定置運転動作（その４） 3-52
図 3.5.2-5　定置位置出し計測（その 1） 3-54
図 3.5.2-6　定置位置出し計測（その 2） 3-54
図 3.5.3-1　隙間に関する可視化試験の考え方 3-59
図 3.5.3-2　供試体作製方法 3-60
図 3.5.3-3　緩衝材可視化試験の概要 3-60
図 3.5.3-4　緩衝材可視化試験状況 3-62

図 3.5.3-5　緩衝材可視化試験状況（Case1） 3-62
図 3.5.3-6　緩衝材供試体の変位（膨潤） 3-62
図 3.5.3-7　含水比の深さ方向分布と乾燥密度分布 3-63
図 3.5.4-1　地層処分実規模試験施設パンフレット 3-64
図 3.5.4-2　 FM わっかない番組表広告 3-65
図 3.5.4-3　るるぶ冬の北海道広告 3-66
図 3.5.4-4　北海道新聞折り込みチラシ広告 3-66
図 3.5.5-1　来館者の住まい 3-67
図 3.5.5-2　回答者諸元 3-67
図 3.5.5-3　当施設について何で知りましたか 3-68
図 3.5.5-4　日本では、高レベル放射性廃棄物を地層中に 処分(地層処分)する計画があることを御存じでしたか? 3-68
図 3.5.5-5　地層処分について 3-69
図 3.5.5-6　高レベル放射性破棄物の地層処分について 3-69
図 3.5.5-7　実物大の人工バリアについて 3-70
図 3.5.5-8　実物大の人工バリアを使った試験について 3-70
図 3.5.5-9　高レベル放射性廃棄物の処分の必要性についてどう感じましたか? 3-71
図 4.2-1　実証サイトの予定位置 4-1
図 4.3.3-1　実施フロー 4-3
図 4.3-2　試験坑道 2 の構造概要図 4-4
図 4.3.4-3　ボーリングコア採取位置 4-6
図 4.3.4-4　試験坑道 2 及び延伸部分の岩級区分 4-6
図 4.3.4-5　模擬 PEM 荷重が作用する位置（縦断イメージ） 4-10
図 4.3.4-6　各部材の位置図 4-10
図 4.3.4-7　岩盤の塑性領域分布比較 4-11
図 4.3.5-1　搬送定置装置　機器構成図 4-13
図 4.3.5-2　試験坑道 2 内配置計画 4-22
図 4.3.5-3　試験孔架台構造図と配筋要領図 4-23
図 4.3.5-4　組立台構造図と配筋図 4-24
図 4.3.5-5　周回坑道と作業台の天端高 4-25
図 4.3.5-6　作業台構造図 4-25
図 4.3.5-7　台座コンクリートの構造図 4-26
図 4.3.5-8　組立台内の台座コンクリート配置図 4-26
図 4.3.5-9　現場打ちコンクリートとの接続方法 4-27
図 4.3.6-1　施工手順（試験孔掘削部） 4-33
図 4.3.6-2　施工手順（現場打ちコンクリート・組立台） 4-34
図 4.3.6-3　施工次第図（掘削・ずり出し） 4-35
図 4.3.6-4　施工次第図（1 次吹付け） 4-35

図 4.3.6-5　施工次第図（鋼製支保工設置）..... 4-36
図 4.3.6-6　施工次第図（金網設置）..... 4-36
図 4.3.6-7　施工次第図（2 次吹付け）..... 4-37
図 4.3.6-8　施工次第図（現場コンクリート打設）..... 4-37
図 4.3.6-9　施工次第図（台座設置）..... 4-38
図 4.3.6-10　観察・計測の位置付けと役割[4] 4-40
図 4.3.6-11　350m 坑道 A 計測実施予定箇所 4-41
図 4.3.6-12　計測断面と測定概要 4-41
図 4.3.6-13　ひずみおよび天端沈下に対する管理基準値[4] [5] 4-42
図 4.3.6-14　切羽位置とトンネル周辺地山挙動の一般的な関係[4] 4-43
図 4.3.6-15　管理基準と安全管理体制[4] 4-44
図 4.3.6-16　換気管路の全体概要図 4-45
図 4.3.6-17　換気設備計画 4-50
図 4.3.6-18　場外掘削残土置場[6] 4-51
図 4.3.7-1　搬送定置装置の搬出入経路 4-53
図 4.4.2-1　実施フロー 4-54
図 4.4.3-1　採水装置撤去前後 4-55
図 4.4.3-2　岩盤変位計（坑口部）の位置 4-55
図 4.4.3-3　養生計画図と養生後 4-56
図 4.4.3-4　比抵抗トモグラフィ用電極の位置 4-56
図 4.4.3-5　比抵抗トモグラフィ用電極の養生 4-57
図 4.4.4-1　コアボーリング位置 4-58
図 4.4.4-2　コアボーリング実施状況 4-59
図 4.4.4-3　ボーリング孔確認 4-59
図 4.4.4-4　ボーリングコア写真 4-60
図 4.4.4-5　ボーリングコア観察結果 4-61
図 4.4.4-6　試験坑道 2 の統合スケッチ[7] [8] 4-64
図 4.4.4-7　試験坑道 2 の地質スケッチの三次元モデル表示 4-65
図 4.4.4-8　試験坑道 2 の地質スケッチの三次元モデル表示（構造性割れ目の円盤化）. 4-66
図 4.4.4-9　周回坑道（東）と試験坑道 2 で観察された割れ目の三次元表示図[7] [8] 4-69
図 4.4.4-10　試験坑道 2 の割れ目と深度 350m 地下施設に出現する割れ目の関連図[7] [8] 4-70
図 4.4.5-1　試験坑道 2 の概要 4-71
図 4.4.5-2　試験坑道 2 のモデル化 4-72
図 4.4.5-3　解析モデル全体図 4-72
図 4.4.5-4　水分特性曲線 4-74
図 4.4.5-5　初期定常解析の境界条件 4-75
図 4.4.5-6　再冠水検討時の境界条件 4-75

図 4.4.5-7　初期水圧分布 4-76
図 4.4.5-8　圧力変化図（初期飽和度 50%） 4-78
図 4.4.5-9　圧力変化図（初期飽和度 10%） 4-79
図 4.4.5-10　圧力変化図（初期飽和度 5%） 4-80
図 4.4.5-11　圧力変化着目位置 4-81
図 4.4.5-12　着目位置①の圧力変化 4-81
図 4.4.5-13　着目位置②の圧力変化 4-82
図 4.4.5-14　着目位置③の圧力変化 4-82
図 5.2.1-1　搬送定置技術の整備と試験計画の検討の実施フロー 5-1
図 5.3.1-1　横置き PEM 方式による操業フロー（RWMC, 2005[1]　一部加筆） 5-2
図 5.3.2-1　搬送定置対象となる PEM の仕様及び寸法[2] 5-3
図 5.3.3-1　実証試験場所となる試験孔 5-4
図 5.4.2-1　エアベアリング作動イメージ 5-6
図 5.4.2-2　エアベアリング技術の基本原理図 5-6
図 5.4.2-3　許容荷重 30.5t フォークリフト外形図[12] 5-7
図 5.4.2-4　重量物搬送用キャスター仕様（低床式）[13] 5-9
図 5.4.2-5 エンドレスコロ機構の仕様[14] 5-10
図 5.4.2-6　コロ支持（エアバック方式）の実用例[9] 5-11
図 5.4.3-1　搬送定置装置イメージ図 5-15
図 5.5.1-1　地下試験坑道内の配置計画（第 4 章より再掲） 5-17
図 5.5.2-1　地下実証試験フローのイメージ図（搬送定置試験） 5-19
図 5.5.2-2　地下実証試験フローのイメージ図（回収試験） 5-20
図 5.5.3-1　搬送定置装置の設計・製作・試験の実施フロー 5-21
図 5.5.5-1　地上試験における搬送定置試験フロー 5-28
図 5.5.5-2　実証試験における搬送定置試験フロー 5-30
図 5.5.5-3　地上試験における回収試験フロー 5-31
図 5.5.5-4　地下実証試験における回収試験フロー 5-31
図 5.6.1-1　搬送定置装置の全体構成 5-40
図 5.6.1-2　定置装置浮上量とエア流量の関係 5-42
図 5.6.1-3　既往の研究[5]における浮上量計測位置 5-42
図 5.6.1-4　既往の研究における定置装置の外観[2] 5-43
図 5.6.1-5　定置装置　外形図（平成 27 年度製作分） 5-45
図 5.6.1-6　搬送装置　外形図（平成 27 年度製作分） 5-48
図 5.6.1-7　制御装置システム構成図 50
図 5.6.1-8　搬送定置装置計画図（平成 28 年度以降） 5-56
図 5.6.1-9　搬送定置装置計画図（平成 27 年度分） 5-57
図 5.6.1-10　搬送装置・定置装置連結時の全体組立図 5-58
図 5.6.1-11　搬送定置装置 3D 鳥瞰図（PEM 未把持時） 5-59

図 5.6.1-12　搬送定置装置 3D 鳥瞰図（PEM 把持時）..... 5-59
図 5.6.1-13　搬送定置装置 3D 図（斜め後ろから）..... 5-60
図 5.6.1-14　搬送定置装置 3D 図（真横から）..... 5-60
図 5.6.1-15　搬送定置装置 3D 図（左：前方から　右：後方から）..... 5-61
図 5.6.1-16　搬送定置装置 3D 図（真上から）..... 5-61
図 5.6.3-1　エアベアリング概要図[6]..... 5-64
図 5.6.3-2　エアベアリング外観..... 5-65
図 5.6.3-3　エアベアリング浮上能力..... 5-66
図 5.6.3-4　エア系統図..... 5-69
図 5.6.3-5　定置装置　鳥瞰図..... 5-71
図 5.6.3-6　定置装置　取合い説明図..... 5-72
図 5.6.3-7　地下坑道制約寸法化箇所..... 5-72
図 5.6.3-8　定置装置構造図..... 5-74
図 5.6.3-9　走行駆動ユニット構造..... 5-76
図 5.6.3-10　搬送装置鳥瞰図..... 5-78
図 5.6.3-11　搬送装置　取合い説明図..... 5-79
図 5.6.3-12　搬送装置　搬入後の組立フロー図..... 5-82
図 5.6.3-13　搬送装置 構造図..... 5-84
図 5.6.3-14　搬送定置装置 制御系統概念図..... 5-87
図 5.6.3-15　制御盤外形図..... 5-88
図 5.6.3-16　操作パネル画面遷移図..... 5-90
図 5.6.3-17　操作パネル　画面イメージ（1/2）..... 5-91
図 5.6.3-18　操作パネル　画面イメージ（2/2）..... 5-92
図 5.7.1-1　定置装置 完成写真 1（定置装置全体写真）..... 5-94
図 5.7.1-2　定置装置 完成写真 2（裏面から見たエアベアリング）..... 5-94
図 5.7.1-3　定置装置 完成写真 3（バルブユニット及びホース）..... 5-95
図 5.7.2-1　搬送装置 完成写真 1（搬送装置全体写真）..... 5-95
図 5.7.2-2　搬送装置 完成写真 2（駆動モータ）..... 5-96
図 5.7.2-3　搬送装置 完成写真 5（コンプレッサ）..... 5-96
図 5.7.3-1　制御盤外観..... 5-97
図 5.7.3-2　制御盤内部..... 5-97
図 5.7.3-3　操作卓（操作パネル）..... 5-98
図 5.7.3-4　給電ケーブル..... 5-98
図 5.7.4-1　坑道模擬架台寸法..... 5-99
図 5.7.4-2　坑道模擬架台外観..... 5-99
図 5.7.5-1　模擬 PEM 寸法比較..... 5-100
図 5.7.5-2　平成 27 年度使用する PEM のための補修..... 5-101
図 5.7.5-3　スペーサ写真..... 5-101

図 5.7.5-4　模擬 PEM　ダミーウェイト設置 5-102
図 5.7.5-5　模擬 PEM 外観 5-102
図 5.8.1-1　試験計画図（平成 27 年度） 5-104
図 5.8.1-2　試験計画図（平成 28 年度用） 5-105
図 5.8.2-1　確認試験フロー 5-106
図 5.8.3-1　PEM 偏芯の確認用基準墨出し 5-109
図 5.8.4-1　PEM 搬送定置動作（確認試験時）（1/2） 5-112
図 5.8.4-2　 PEM 搬送定置動作（確認試験時）（2/2） 5-113
図 5.8.4-3　PEM 浮上量の測定 5-114
図 5.8.4-4　エアベアリング圧力の調整用の圧力調整弁 5-114
図 5.8.4-5　コンプレッサ流量測定用の流量計 5-114
図 5.8.4-6　牽引力測定用のロードセル 5-115
図 5.8.4-7　走行モータ電流測定用のクランプメータ 5-115
図 5.8.4-8　 PEM 定置時荷重測定用のひずみゲージ 5-116
図 5.8.4-9　 PEM 偏芯測定の概念図 5-116
図 5.8.4-10　PEM 偏芯測定の様子 5-117
図 5.8.4-11　RUN-1（浮上量 45mm）の各エアベアリング圧力 5-121
図 5.8.4-12　RUN-2（浮上量 40mm）の各エアベアリング圧力 5-121
図 5.8.4-13　RUN-3（浮上量 35mm）の各エアベアリング圧力 5-122
図 5.8.4-14　RUN-1～3 におけるコンプレッサ流量 5-122
図 5.8.4-15　牽引力（RUN-1） 5-123
図 5.8.4-16　牽引力（RUN-2） 5-123
図 5.8.4-17　牽引力（RUN-3） 5-124
図 5.8.4-18　牽引力（RUN-4） 5-124
図 5.8.4-19　牽引力（RUN-5） 5-125
図 5.8.4-20　牽引力（RUN-6） 5-125
図 5.8.4-21　牽引力（RUN-7） 5-126
図 5.8.4-22　牽引力（RUN-8） 5-126
図 5.8.4-23　エアベアリング圧力（エアベアリング 10 枚） 5-127
図 5.8.4-24　エアベアリング圧力（エアベアリング 8 枚） 5-127
図 5.8.4-25　エアベアリング圧力（エアベアリング 6 枚） 5-128
図 5.8.4-26　各浮上量における走行モータ電流値（エアベアリング 10 枚） 5-129
図 5.8.4-27　各エアベアリング枚数における走行モータ電流値（浮上量 40mm） 5-130
図 5.8.4-28　走行モータ試験成績書 5-131
図 5.8.4-29　定置時の荷重変化（RUN-4-1） 5-132
図 5.8.4-30　定置時の荷重変化（RUN-4-2） 5-132
図 5.8.4-31　定置時の荷重変化（RUN-4-3） 5-133
図 5.8.4-32　定置時の荷重変化（RUN-6-1） 5-133

図 5.8.4-33　定置時の荷重変化（RUN-6-2）..... 5-134
図 5.8.4-34　定置時の荷重変化（RUN-6-3）..... 5-134
図 5.8.4-35　定置時の荷重変化（RUN-8-1）..... 5-135
図 5.8.4-36　定置時の荷重変化（RUN-8-2）..... 5-135
図 5.8.4-37　定置時の荷重変化（RUN-8-3）..... 5-136
図 5.8.4-38　PEM 偏芯の説明図..... 5-138
図 5.8.4-39　坑道模擬架台の隙間 5-138
図 5.8.4-40　エアベアリングの変形..... 5-142
図 5.8.4-41　隙間通過時（隙間 2mm、アルミテープ養生）の牽引力 5-142
図 5.8.4-42　走行面の段差状態..... 5-143
図 5.8.4-43　RUN-23 牽引力（段差 1mm） 5-147
図 5.8.5-1　台座からの PEM 浮上量（浮上量 40mm 時） 5-148
図 5.8.5-2　坑道走行面隙間イメージ図 5-149
図 6.2.1-1　隙間充填技術の整備と試験計画の検討の実施フロー 1
図 6.3.1-1　横置き方式の PEM 操業フロー例（RWMC、2005[1]　一部加筆） 2
図 6.3.2-1　対象となる PEM の仕様及び寸法[51]..... 3
図 6.3.3-1　試験孔断面図 3
図 6.3.3-2　地下試験孔イメージ図..... 4
図 6.4.2-1　操業時に想定される PEM 搬送・定置、隙間充填の流れ（自然落下による充填）
..... 6
図 6.4.2-2　本実証試験での隙間充填フロー概念図（自然落下による充填） 7
図 6.5.1-1　有効粘土密度と透水係数の関係[48]..... 9
図 6.5.1-2　有効ベントナイト密度と透水係数の関係（田中ほか、2009[49]） 9
図 6.6.1-1　基本設計の実施フロー..... 13
図 6.6.2-1　PEM1 体ごとの隙間充填対象範囲の検討図 17
図 6.6.3-1　スクリューコンベア長の検討図 22
図 6.6.3-2　隙間充填装置の基本設計概念図 24
図 6.7.2-1　粒状化ベントナイトの例..... 28
図 6.7.2-2　ベントナイト搬入状況..... 28
図 6.7.2-3　使用ミキサ　カタログ写真（ペレガイア） 29
図 6.7.2-4　使用ミキサ設置状況 30
図 6.7.2-5　圧縮装置の概念図..... 30
図 6.7.2-6　造粒ミキサ（ペレガイア）設置状況..... 6-36
図 6.7.2-7　材料投入状況 6-36
図 6.7.2-8　混練・造粒状況..... 6-37
図 6.7.2-9　ベントナイトペレット製造状況（造粒直後） 6-37
図 6.7.2-10　養生状況（自然乾燥開始前の密封状況） 6-38
図 6.7.2-11　製造した粒状ベントナイトの圧縮状況 6-38

図 6.7.2-12　圧縮された粒状ベントナイト 6-39
図 6.7.2-13　圧縮後の粒状ベントナイト 6-39
図 6.7.2-14　圧縮ペレット製造試験 6-40
図 6.7.2-15　製造した圧縮ペレット 6-40
図 6.7.2-16　養生・ポストプレスによる乾燥密度の変化 6-42
図 6.7.2-17　養生なしでポストプレスを行った場合の密度変化 6-42
図 6.7.2-18　圧縮ペレット製造結果 6-43
図 6.7.2-19　粒度分布（小粒径：CASE1-3-2、大粒径：CASE1-7-1） 6-44
図 6.7.3-1　試験孔断面図 6-47
図 6.7.3-2　充填予備試験用土槽　概念図（断面） 6-48
図 6.7.3-3　充填予備試験用土槽図面（外型枠） 6-48
図 6.7.3-4　充填予備試験用土槽図面（内型枠） 6-49
図 6.7.3-5　容器　図面 6-50
図 6.7.3-6　空間充填率の考え方 6-51
図 6.7.3-7　粒度分布（ケース 3-1、ケース 3-3） 6-53
図 6.7.3-8　透水試験用容器 6-54
図 6.7.3-9　充填予備試験　充填前の材料（ケース１） 6-55
図 6.7.3-10　充填予備試験　ペレットの投入状況（ケース 1） 6-55
図 6.7.3-11　充てん終了後の状況（ケース 1） 6-56
図 6.7.3-12　透水試験容器にベントナイトペレット充填 6-57
図 6.7.3-13　未充填部分算定の概念図 6-60
図 6.7.3-14　CAD 上に反映した未充填部分の体積（図中の赤網掛け部分） 6-61
図 6.7.4-1　スクリューコンベア（軸あり）断面概略図 6-64
図 6.7.4-2　スクリューコンベア（軸あり）開口パターン 6-66
図 6.7.4-3　スクリューコンベア（軸あり）試作機設計概要図 6-67
図 6.7.4-4　スクリューコンベアパイプ断面概略図 6-68
図 6.7.4-5　スクリューコンベア（軸なし）試作機設計概要図 6-70
図 6.7.4-6　スクリューコンベア（軸あり）試作機 6-73
図 6.7.4-7　スクリューコンベア（軸なし）試作機 6-74
図 6.7.4-8　充填パイプ支持機構の試作結果 6-75
図 6.7.4-9　クニゲル GX 使用前材料の粒度分布 6-78
図 6.7.4-10　造粒ペレット使用前材料の粒度分布 6-79
図 6.7.4-11　移送効率の供給部開口面積依存性の確認 6-80
図 6.7.4-12　移送効率のスクリュー回転速度依存性確認 6-82
図 6.7.4-13　移送効率のスクリューピッチ依存性確認（移送速度の経時変化） 6-83
図 6.7.4-14　移送前後のクニゲル GX の粒度分布の変化 6-84
図 6.7.4-15　クニゲル GX 移送前後の粒度分布の変化 6-86
図 6.7.4-16　造粒ペレット移送前後の粒度分布の変化 6-86

図 6.7.4-17　クニゲル GX 移送・排出後のかさ密度の経時変化 6-87
図 6.7.4-18　造粒ペレット移送・排出後のかさ密度の経時変化 6-87
図 6.7.4-19　造粒ペレット使用前材料の粒度分布 6-90
図 6.7.4-20　移送効率のスクリュー回転速度依存性確認 6-91
図 6.7.4-21　移送量のスクリューピッチ依存性確認 6-91
図 6.7.5-1　予備試験のフローチャート 6-96
図 6.8.2-1　ウォータージェット除去工法概念図 6-98
図 6.8.2-2　配置概念図 6-99
図 6.8.2-3　円形ガイド概念図 6-99
図 6.8.2-4　埋戻し材の切削 6-100
図 6.8.2-5　ドリルによる充填材掘削[2] 6-101
図 6.8.2-6　ドライアイスブラストによる充填材掘削 6-102
図 6.8.3-1　配置概念図 6-103
図 6.8.3-2　幌延深地層研究センターでの装置全体配置（高圧ポンプ地上配置） 6-104
図 7.1.1-1　処分の全事業段階における回収可能性の変化を表したスケール 7-2
図 7.2.1-1　処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響の概念 7-5
図 7.2.1-2　閉鎖時期の違いと工学的対策によるバリアの状態変遷の考え方 7-6
図 7.2.2-1　検討の進め方 7-10
図 7.3.1-1　第 2 次取りまとめに基づく処分スケジュール（軟岩系岩盤、竪置き方式）の例 7-17
図 7.3.1-2　「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（H27 年 5 月 22 日閣議決定）」での回収可能性維持の考え方 7-18
図 7.3.1-3　想定に基づく 1 パネルの廃棄体回収・埋め戻しタスクと期間の例 7-18
図 7.3.1-4　回収作業を考慮したスケジュールの例 7-19
図 7.3.1-5　回収可能性維持期間の考え方①（定置完了後、閉鎖判断期間を経て回収する場合 c > 0） 7-20
図 7.3.1-6　回収可能性維持期間の考え方②（操業中に回収する場合　c=0） 7-20
図 7.3.1-7　アクセス坑道における標準断面（第 2 次取りまとめ） 7-22
図 7.3.1-8　主要・連絡坑道における標準断面（第 2 次取りまとめ） 7-22
図 7.3.1-9　処分坑道における標準断面（第 2 次取りまとめ） 7-23
図 7.3.1-10　回収可能性を維持する処分場の状態の概念（状態オプション③） 7-25
図 7.3.1-11　回収シナリオ②において設定した工程（再掲） 7-29
図 7.3.1-12　影響因子抽出と分類までの手順と作業概要 7-31
図 7.3.1-13　回収可能性維持期間の影響検討における場合分けの設定 7-32
図 7.3.1-14　状態変遷表作成の対象とするスケール 7-32
図 7.3.1-15　回収しない場合：回収可能性維持が処分システムに与える影響の伝播 7-38
図 7.3.1-16　回収する場合：回収可能性の維持と回収作業が処分システムに与える影響の伝

搬 7-39
図 7.3.1-17　回収しない場合における影響要素（因子）の抽出と分類 7-40
図 7.3.1-18　回収する場合における影響要素（因子）の抽出と分類 7-41
図 7.3.1-19　検討ケース 7-41
図 7.3.1-20　検討ケースの状態オプションの概念 7-43
図 7.3.1-21　検討ケースⅠの処分概念 7-44
図 7.3.1-22　検討ケースⅠにおける回収しない場合の影響伝搬 7-47
図 7.3.1-23　検討ケースⅠにおける回収する場合の影響伝搬 7-48
図 7.3.1-24　検討ケースⅠの回収しない場合の影響要素とその分類 7-49
図 7.3.1-25　検討ケースⅠの回収する場合の影響要素とその分類 7-50
図 7.3.1-26　検討ケースⅡの処分概念 7-51
図 7.3.1-27　検討ケースⅡにおける回収しない場合の影響伝搬 7-54
図 7.3.1-28　検討ケースⅡにおける回収する場合の影響伝搬 7-55
図 7.3.1-29　検討ケースⅡの回収しない場合の影響要素とその分類 7-56
図 7.3.1-30　検討ケースⅡの回収する場合の影響要素とその分類 7-57
図 7.3.1-31　検討ケースⅣの処分概念 7-58
図 7.3.1-32　検討ケースⅣにおける回収しない場合の影響伝搬 7-61
図 7.3.1-33　検討ケースⅣにおける回収する場合の影響伝搬 7-62
図 7.3.1-34　検討ケースⅣの回収しない場合の影響要素とその分類 7-63
図 7.3.1-35　検討ケースⅣの回収する場合の影響要素とその分類 7-64
図 7.3.1-36　検討ケースⅤの処分概念 7-65
図 7.3.2-1　影響評価に至る手順 7-74
図 7.3.2-2　坑道の掘削・支保設置・排水・換気が及ぼす影響の伝播図（PID）の例 7-75
図 7.3.2-3　検討ケースⅠ：処分場スケールにおける回収しない場合の PID 7-76
図 7.3.2-4　検討ケースⅠ：パネルスケールにおける回収しない場合の PID 7-77
図 7.3.2-5　検討ケースⅠ：処分孔スケール（人工バリアスケール）における回収しない場合の PID 7-78
図 7.3.2-6　検討ケースⅠ：処分場スケールにおける回収する場合の PID 7-79
図 7.3.2-7　検討ケースⅠ：パネルスケールにおける回収する場合の PID 7-80
図 7.3.2-8　検討ケースⅠ：処分孔スケールにおける回収する場合の PID 7-81
図 7.3.2-9　検討ケースⅡ：処分場スケールにおける回収しない場合の PID 7-83
図 7.3.2-10　検討ケースⅡ：パネルスケールにおける回収しない場合の PID 7-84
図 7.3.2-11　検討ケースⅡ：処分孔スケールにおける回収しない場合の PID 7-85
図 7.3.2-12　検討ケースⅡ：処分場スケールにおける回収する場合の PID 7-86
図 7.3.2-13　検討ケースⅡ：パネルスケールにおける回収する場合の PID 7-87
図 7.3.2-14　検討ケースⅡ：処分孔スケールにおける回収する場合の PID 7-88
図 7.3.2-15　検討ケースⅢ：処分場スケールにおける回収しない場合の PID 7-90
図 7.3.2-16　検討ケースⅢ：パネルスケールにおける回収しない場合の PID 7-91

図 7.3.2-17 検討ケースⅢ：処分孔スケールにおける回収しない場合の PID 7-92
図 7.3.2-18　検討ケースⅢ：処分場スケールにおける回収する場合の PID 7-93
図 7.3.2-19　検討ケースⅢ：パネルスケールにおける回収する場合の PID 7-94
図 7.3.2-20　検討ケースⅢ：処分孔スケールにおける回収する場合の PID 7-95
図 7.3.2-21　検討ケースⅣ：処分場スケールにおける回収しない場合の PID..... 7-97
図 7.3.2-22　検討ケースⅣ：パネルスケールにおける回収しない場合の PID..... 7-98
図 7.3.2-23　検討ケースⅣ：処分孔スケールにおける回収しない場合の PID..... 7-99
図 7.3.2-24　検討ケースⅣ：処分場スケールにおける回収する場合の PID 7-100
図 7.3.2-25　検討ケースⅣ：パネルスケールにおける回収する場合の PID 7-101
図 7.3.2-26　検討ケースⅣ：処分孔スケールにおける回収しない場合の PID..... 7-102
図 7.3.2-27　処分場の状態オプションの違いによる影響の程度の比較..... 7-116
図 7.3.2-28　回収維持期間の違いによる影響の程度の比較 7-117
図 7.3.3-1　基本ケースでの技術体系と要素技術例 7-118
図 7.3.3-2　技術要素マップの作成手順 7-119
図 7.3.3-3　技術要素マップの枠組み 7-120
図 7.3.3-4　基本ケース（回収維持状態オプション③、回収シナリオ②）の技術要素マップ 7-121
図 7.3.3-5　回収可能性維持に係わる技術体系 7-124
図 7.4.1-1　技術要素マップ作成の対象範囲の設定 7-126
図 7.4.2-1　回収に係るタスクの作業項目（タスク 1：回収作業の準備） 7-131
図 7.4.2-2　回収に係るタスクの作業項目（タスク 2：アクセス坑道等の健全性確認・補強） 7-131
図 7.4.2-3　回収に係るタスクの作業項目（タスク 3：処分坑道プラグ撤去） 7-132
図 7.4.2-4　回収に係るタスクの作業項目（タスク 4：処分坑道埋戻し材撤去） 7-132
図 7.4.2-5　回収に係るタスクの作業項目（タスク 5：回収用設備・機材の設置） 7-133
図 7.4.2-6　回収に係るタスクの作業項目（タスク 6：処分孔上部撤去） 7-133
図 7.4.2-7　回収に係るタスクの作業項目（タスク 7：オーバーパックの回収） 7-134
図 7.4.2-8　回収に係るタスクの作業項目（タスク 8：処分坑道の埋戻し） 7-134
図 7.4.2-9　回収に係るタスクの作業項目（タスク 9：主要坑道の埋戻し） 7-135
図 7.4.2-10　回収に係るタスクの作業項目（タスク 10：連絡坑道・アクセス坑道の埋戻し） 7-135
図 7.4.2-11　技術要素展開表　技術群 A. 坑道維持更新技術「A-1 支保工等の維持管理・更新技術」の整理と課題..... 7-167
図 7.4.2-12　技術要素展開表　技術群 A. 坑道維持更新技術「A-2. 排水・換気設備、その他（電源、防災、避難等）の維持管理・更新技術」の整理と課題 7-168
図 7.4.2-13　技術要素展開表　技術群 B. 回収技術「B-1. 廃棄体へのアクセス技術」の整理と課題 7-169
図 7.4.2-14　技術要素展開表　技術群 B「B-2. 廃棄体回収・搬出技術」の整理と課題 7-

170
図 7.4.2-15　技術要素展開表　技術群 B. 回収技術「B-3. 回収後の維持管理技術」の整理と課題 7-171
図 7.4.2-16　技術要素展開表　技術群 C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術「C-1. バリア性能評価技術」の整理と課題 7-172
図 7.4.2-17　技術要素展開表　技術群 D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術「D-1. 坑道維持更新技術の高度化」の整理と課題 7-173
図 7.4.2-18　技術要素展開表　技術群 D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術「D-2. 回収技術の合理性向上」、「D-3. 計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」の整理と課題 7-174
図 7.4.2-19　技術要素展開表　技術群 E. 事業中安全性への影響評価技術「E-1. 作業リスク評価技術」、「E-2. 環境影響評価技術」、「E-3. コスト評価技術」の整理と課題 7-175
図 7.4.2-20　技術要素展開表　技術群 F. 事業中安全性への影響低減対策技術「F-1. 坑道維持更新技術の高度化」の整理と課題 7-176
図 7.4.2-21　技術要素展開表　技術群 F. 事業中安全性への影響低減対策技術「F-2. 回収技術の合理性向上」、「F-3. 計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」の整理と課題 7-177
図 7.5.1-1　5 ヵ年計画策定の流れ 7-178
図 7.5.1-2　基本ケースの組合せ 7-179
図 7.5.1-3　影響要素抽出の流れ 7-181
図 7.5.1-4　PID による影響伝搬の分析例 7-182
図 7.5.1-5　回収可能性を維持する場合の処分場の状態オプション例 7-183
図 7.5.1-6　処分場の状態オプションの違いによる閉鎖前、閉鎖後の影響の変化例（再掲） 7-184
図 7.5.1-7　回収可能性維持期間の違いによる影響程度の変化例 7-184
図 7.5.2-1　5 ヵ年の計画（概要） 7-195
図 7.5.2-2　5 ヵ年計画と成果の例 7-196

表目次

表 1.4.2-1　定置概念、搬送・定置オプションの組合わせ[5] 1-15
表 1.4.3-1　試験サイトに求める条件と、各サイトの比較 1-17
表 1.4.3-2　資機材搬入出に用いる設備および坑道仕様[22] 1-18
表 1.4.4-1　実証試験サイトと定置概念、搬送・定置オプションの組合わせ 1-23
表 2.1.1-1　実証試験サイトと定置概念、搬送・定置オプションの組合わせ 2-1
表 2.3.1-1　湿度、温度の調査結果および建設技術での対応について 2-14
表 2.3.1-2　達成可能な操業環境（「ずれ」及び「表面粗度」） 2-16
表 2.3.1-3　搬送定置対象となる PEM の仕様及び寸法 2-16
表 2.3.1-4　処分坑道横置き方式 PEM 型　作業時間[9] 2-23
表 2.3.1-5　処分坑道横置き方式 PEM 型　タイムチャート[9] 2-24
表 2.3.1-6　処分坑道横置き定置方式の計測項目 2-27
表 2.3.1-7　処分坑道横置き定置方式の計測項目の用語の定義 2-28
表 2.3.3-1　試験計画ごとの実施内容と成果の比較（１／２） 2-36
表 2.3.3-2　試験計画ごとの実施内容と成果の比較（２／２） 2-37
表 3.2.2-1　緩衝材除去システムの構成 3-4
表 3.2.2-2　緩衝材除去試験に使用した緩衝材の仕様 3-5
表 3.2.3-1　緩衝材ブロック竪置き定置方式　試験項目例[16] 3-6
表 3.2.3-2　竪置き定置方式の搬送・定置装置関係の技術課題進捗状況 3-8
表 3.2.3-3　緩衝材除去試験と緩衝材定置試験に用いた緩衝材仕様 3-10
表 3.2.3-4　年度計画表 3-11
表 3.3.1-1　機能の概要（竪置き方式）[16] 3-14
表 3.3.1-2　監視機能（竪置き方式） 3-15
表 3.3.1-3　緩衝材定置装置の監視項目 3-16
表 3.3.2-1　緩衝材ブロック定置工程作業例 3-20
表 3.3.2-2　緩衝材定置装置カメラ位置検討結果 3-21
表 3.4.1-1　噴射・吸引設備主要部の重量 3-29
表 3.4.1-2　塩水リユース設備の仕様 3-30
表 3.4.1-3　床荷重の検討結果 3-31
表 3.4.1-4　緩衝材除去システムの必要電気容量と施設の既存電気容量 3-31
表 3.4.1-5　視認性を優先した模擬処分孔の補強概念例 3-34
表 3.4.1-6　強度を優先した模擬処分孔の補強概念例 3-35
表 3.4.1-7　処分孔円筒アクリルケースと処分孔円筒鋼製ケースの外観比較 3-36
表 3.4.3-1　動作確認項目及び確認結果一覧 3-48
表 3.4.3-2　来年度以降に必要となる調整項目・補修用品および資材等（噴射・吸引設備） 3-48

表 3.4.3-3　来年度以降に必要となる調整項目・補修用品および資材等（塩水リユース設備）
..... 3-49
表 3.4.3-4　来年度以降に必要となる調整項目・補修用品および資材等（遠隔操作設備）. 3-49
表 3.5.2-1　試験スケジュール 3-53
表 3.5.2-2 緩衝材定置試験　運転記録 3-55
表 3.5.2-3　定置前と定置後の模擬緩衝材ブロック外側隙間 1 の計測結果 3-56
表 3.5.2-4　定置前と定置後の模擬緩衝材ブロック外側隙間 2 の計測結果 3-57
表 3.5.2-5　定置前と定置後の模擬緩衝材ブロック外面ずれの計測結果 3-57
表 3.5.2-6　定置後の模擬緩衝材ブロックの各段のずれ計測結果 3-58
表 3.5.3-1　試験ケース 3-61
表 3.5.5-1　来館者の感想（例） 3-71
表 4.3.2-1　制約条件の整理 4-2
表 4.3-2　試験坑道 2 周辺の既設観測装置について 4-5
表 4.3.4-2　搬出入経路にある既往揚重設備 4-7
表 4.3.4-3　深度 350m の初期応力 4-8
表 4.3.4-4　解析用岩盤物性値 4-8
表 4.3.4-6　既設支保工実施設計用岩盤物性値（CM-H（Hr））[3] 4-9
表 4.3.4-6　支保工物性値[3] 4-9
表 4.3.4-7　解析結果一覧 4-11
表 4.3.5-1　搬送定置装置　概略寸法表 4-12
表 4.3.5-2　制約条件リスト 4-14
表 4.3.5-3　試験孔断面形状の検討 4-16
表 4.3.5-4　解析用岩盤物性値 4-17
表 4.3.5-5　既設支保工実施設計用岩盤物性値（CM-M（Hr））[3] 4-17
表 4.3.5-6　吹付けコンクリートの物性値 4-18
表 4.3.5-7　鋼製支保工の物性値 4-18
表 4.3.5-8　解析ステップ 4-18
表 4.3.5-9　解析結果と評価 4-20
表 4.3.6-1　主要施工用設備 4-29
表 4.3.6-2　主要施工用設備（東立坑設備） 4-30
表 4.3.6-3　主要施工数量 4-31
表 4.3.6-4　概略工程 4-32
表 4.3.6-5　計測項目一覧表 4-39
表 4.3.6-6　内空変位測定頻度（切羽） 4-42
表 4.3.6-7　読み取った限界ひずみおよび管理基準値の設定（掘削径 4,700mm） 4-43
表 4.3.6-8　既設の風管径と延長 4-45
表 4.3.6-9　圧力損出結果一覧表 4-46

表 4.3.6-10　圧力損失係数（λ） 4-47
表 4.3.6-11　風管の漏風量算出結果一覧表 4-47
表 4.3.6-12　100m 当たりの漏風率（β）一覧表 4-48
表 4.3.7-1　搬送定置装置の寸法 4-52
表 4.3.7-2　各機器の坑道通過検証結果 4-53
表 4.4.4-1　ボーリングコアに認められた割れ目一覧 4-62
表 4.4.4-2　試験坑道 2 における構造性割れ目一覧 4-63
表 4.4.4-3　ステレオネット投影図 4-68
表 4.4.5-1　解析に用いるパラメータ 4-73
表 4.4.5-2　参考とした文献一覧表 4-73
表 4.4.5-3　初期サクション圧の設定 4-76
表 5.3.2-1　搬送定置対象となる PEM の仕様及び寸法 5-2
表 5.3.3-1　地下試験坑道の前提・制約条件 5-4
表 5.4.1-1 横置き PEM 方式の定置に関する設計要件、設計条件（前提条件、制約条件） 5-5
表 5.4.2-1　許容荷重 30.5t フォークリフト仕様表[12] 5-8
表 5.4.2-2　横置き PEM 方式の設計要件、設計条件（前提条件、制約条件）に対する定置機構候補技術の評価結果 5-13
表 5.4.2-3 エアベアリングの主要仕様[2] 5-14
表 5.5.4-1　操業環境に対する本検討での対応（1/4） 5-23
表 5.5.4-2　操業環境に対する本検討での対応（2/4） 5-24
表 5.5.4-3　操業環境に対する本検討での対応（3/4） 5-25
表 5.5.4-4　操業環境に対する本検討での対応（4/4） 5-26
表 5.5.5-1　実証試験での確認項目 5-27
表 5.5.5-2　地上試験に必要となる試験装置類 5-29
表 5.5.5-3　実証試験で使用する模擬 PEM への要求仕様 5-30
表 5.5.5-4　実証試験の年度展開（計画） 5-33
表 5.6.1-1　搬送定置装置の設計条件 5-35
表 5.6.1-2　搬送定置装置の要求機能及び要求性能 5-38
表 5.6.1-3　搬送定置装置の操作／動作フロー（搬送定置時） 5-41
表 5.6.1-4　既往の研究[2]で使用したエアベアリングの主要仕様 5-41
表 5.6.1-5　定置装置の基本仕様 5-44
表 5.6.1-6　搬送装置の基本仕様 5-47
表 5.6.1-7　制御装置の基本仕様 5-52
表 5.6.1-8　搬送定置装置の安全対策 5-52
表 5.6.1-9　搬送定置装置の故障対策 5-53
表 5.6.1-10 搬送定置装置　仕様一覧 5-55
表 5.6.2-1　平成 27 年度の詳細設計・製作範囲（定置装置） 5-62

表 5.6.2-2　平成 27 年度の詳細設計・製作範囲（搬送装置） 5-63
表 5.6.2-3　平成 28 年度の詳細設計・製作範囲（制御装置） 5-63
表 5.6.3-1　エアベアリング基本仕様 (注) 5-64
表 5.6.3-2　定置装置の浮上能力 5-65
表 5.6.3-3　コンプレッサ要求仕様 5-66
表 5.6.3-4　コンプレッサ主要仕様表 5-67
表 5.6.3-5　浮上量およびエアベアリング圧力計測結果 5-68
表 5.6.3-6　電磁弁要求仕様 5-68
表 5.6.3-7　牽引力測定結果 5-70
表 5.6.3-8　定置装置　主要構成 5-71
表 5.6.3-9　干渉確認 5-73
表 5.6.3-10　駆動モータ仕様 5-75
表 5.6.3-11　ウレタン製車輪の仕様 5-76
表 5.6.3-12　搬送装置 主要機器構成 5-77
表 5.6.3-13　装置の分割仕様に対する制約条件 5-79
表 5.6.3-14　搬送装置　分割単位一覧 5-80
表 5.6.3-15　分割単位の干渉確認(1/2) 5-80
表 5.6.3-16　分割単位の干渉確認(2/2) 5-81
表 5.6.3-17　動作フロー（最終仕様）と平成 27 年度設計、製作した制御項目 5-85
表 5.6.3-18　制御盤仕様 5-86
表 5.6.3-19　操作パネル仕様 5-89
表 5.6.3-20　インターロック条件 5-93
表 5.7.5-1　模擬 PEM の重量内訳 5-100
表 5.8.1-1　搬送定置装置 試験主要条件 5-103
表 5.8.3-1　平滑面走行試験　実施要領 5-107
表 5.8.3-2　平滑面走行試験　パターン 5-108
表 5.8.3-3　隙間通過確認試験　実施要領 5-110
表 5.8.3-4　隙間通過試験　パターン 5-110
表 5.8.3-5　段差通過確認試験　実施要領 5-111
表 5.8.3-6　段差通過試験　パターン 5-111
表 5.8.4-1　平滑面走行試験結果 5-117
表 5.8.4-2　平滑面走行試験　取得データ（RUN1～3） 5-118
表 5.8.4-3　平滑面走行試験　取得データ（RUN4～6） 5-118
表 5.8.4-4　平滑面走行試験　取得データ（RUN7～8） 5-119
表 5.8.4-5　PEM 偏芯測定記録（セオドライトによる物差の読み値） 5-137
表 5.8.4-6　エアベアリング浮上後定置時の偏芯 5-137
表 5.8.4-7　隙間通過確認試験の流れ（1/2） 5-139
表 5.8.4-8　隙間通過確認試験の流れ（2/2） 5-140

表 5.8.4-9　隙間通過確認試験結果 5-140
表 5.8.4-10　隙間通過試験計測データ 5-141
表 5.8.4-11　段差通過確認試験の流れ 5-144
表 5.8.4-12　段差通過確認試験結果 5-145
表 5.8.4-13　段差通過確認試験計測データ 5-146
表 5.8.5-1　自動運転化に向けた検討項目の整理 5-150
表 5.8.5-2　改善検討項目 5-150
表 6.4.1-1　設計条件 5
表 6.4.2-1　隙間充填材における要求事項の事項・条件 7
表 6.6.3-1　ペレット搬送方式の比較 20
表 6.6.3-2　スクリュー形状の種類 21
表 6.6.3-3　具体的な不具合と装置救助方法（対応策） 23
表 6.7.1-1　予備試験項目の一覧 26
表 6.7.2-1　粒状物の目標仕様 31
表 6.7.2-2　材料試験　ケース設定（1／2） 34
表 6.7.2-3　材料試験　ケース設定（2／2） 35
表 6.7.2-4　試験結果（乾燥密度）一覧表 6-41
表 6.7.3-1　充填予備試験　試験ケース 6-52
表 6.7.3-2　空間充填率　試験結果一覧表 6-58
表 6.7.3-3　空間充填率向上の阻害要因と改善策 6-59
表 6.7.3-4　未充填部分を除いた空間充填率の算定 6-61
表 6.7.4-1　減速機付モータ周波数の軸回転数および設計移送速度の換算 6-65
表 6.7.4-2　減速機付モータ周波数の軸回転数および設計移送速度の換算 6-69
表 6.7.4-3　移送予備試験実施フロー 6-71
表 6.7.4-4　実施試験ケース 6-76
表 6.7.4-5　移送物の初期含水比 6-77
表 6.7.4-6　移送物の移送前かさ密度（参考値） 6-77
表 6.7.4-7　クニゲル GX 使用前材料の粒度試験結果 6-78
表 6.7.4-8　造粒ペレット使用前材料の粒度試験結果 6-79
表 6.7.4-9　各試験ケースの安定移送速度 6-81
表 6.7.4-10　クニゲル GX 移送前後の材料の粒度試験 6-84
表 6.7.4-11　簡易粒度試験結果 6-85
表 6.7.4-12　各試験ケースにおけるコンベアパイプ内充満率 6-88
表 6.7.4-13　実施試験ケース 6-88
表 6.7.4-14　初期含水比 6-89
表 6.7.4-15　ペレット（使用前）粒度試験結果 6-89
表 6.7.4-16　各試験ケースの安定移送量 6-90
表 6.7.4-17　充填効率の算定 6-93

表 6.7.4-18　供給量と充填効率の比較（軸あり、軸なし） 6-95
表 7.1.1-1　一定期間埋め戻さない状態の設定と施設の安全性に及ぼす影響 7-3
表 7.1.1-2　坑道状態の設定 7-3
表 7.2.2-1　検討項目に対する具体的な検討対象や検討内容 7-11
表 7.2.2-2　「回収可能性の維持状態と技術課題」に含まれる要目に対する具体的な内容 . 7-13
表 7.2.2-3　「回収維持の工学的対策案」に含まれる要目に対する具体的な内容 7-14
表 7.2.2-4　「処分場を閉鎖しないことによる安全性への影響」に含まれる要目に対する具体的な内容 7-15
表 7.2.2-5　「回収に至るシナリオ」に含まれる要目に対する具体的な内容 7-16
表 7.3.1-1　人工バリア定置方式の例 7-24
表 7.3.1-2　閉鎖前の状態（回収可能性維持状態） 7-24
表 7.3.1-3　基本ケースにおける設定 7-26
表 7.3.1-4　回収シナリオの設定と考え方 7-27
表 7.3.1-5　基本ケースにおける状態オプションと回収シナリオの設定と展開 7-28
表 7.3.1-6　処分システムの状態変遷表（回収しない場合 : 回収可能性を維持しつつ回収しない場合 7-34
表 7.3.1-7　回収しない場合の THMC 変遷の考え方と影響先 7-35
表 7.3.1-8　基本ケースの処分システムの状態変遷表（回収する場合 : 回収可能性を維持しつつ回収する場合） 7-36
表 7.3.1-9　回収する場合の THMC 変遷の考え方と影響先 7-37
表 7.3.1-10　検討ケースと検討項目整理表 7-43
表 7.3.1-11　検討ケースⅠの回収しない場合の状態変遷表 7-45
表 7.3.1-12　検討ケースⅠの回収する場合の状態変遷表 7-46
表 7.3.1-13　検討ケースⅡの回収しない場合の状態変遷表 7-52
表 7.3.1-14　検討ケースⅡの回収する場合の状態変遷表 7-53
表 7.3.1-15　検討ケースⅣの回収しない場合の状態変遷表 7-59
表 7.3.1-16　検討ケースⅣの回収する場合の状態変遷表 7-60
表 7.3.1-17　検討ケースⅤの回収しない場合の状態変遷表 7-66
表 7.3.1-18　検討ケースⅤの回収する場合の状態変遷表 7-67
表 7.3.1-19　検討ケースⅥの回収しない場合の状態変遷表 7-69
表 7.3.1-20　検討ケースⅥの回収する場合の状態変遷表 7-70
表 7.3.1-21　検討ケースⅦの回収しない場合の状態変遷表 7-72
表 7.3.1-22　検討ケースⅦの回収する場合の状態変遷表 7-73
表 7.3.2-1　検討ケースⅠの定性的な影響評価結果 7-105
表 7.3.2-2　検討ケースⅡの定性的な影響評価結果 7-106
表 7.3.2-3　検討ケースⅢの定性的な影響評価結果 7-107
表 7.3.2-4　検討ケースⅣの定性的な影響評価結果 7-108

表 7.3.2-5　検討ケースⅤの定性的な影響評価結果 7-109
表 7.3.2-6　検討ケースⅥの定性的な影響評価結果 7-110
表 7.3.2-7　検討ケースⅦの定性的な影響評価結果 7-111
表 7.3.2-8　検討ケースの影響評価結果の比較（閉鎖前の影響） 7-112
表 7.3.2-9　検討ケースの影響評価結果の比較（閉鎖後：回収しない場合） 7-113
表 7.3.2-10　検討ケースの影響評価結果の比較（閉鎖後：回収する場合） 7-114
表 7.3.3-1　技術要素マップの技術体系を構成する技術群の内容と要件 7-125
表 7.4.2-1　技術要素マップにおける技術群の展開 7-128
表 7.4.2-2　技術要素マップにおける技術群の展開 7-129
表 7.4.2-3　技術要素マップにおける技術群の展開 7-129
表 7.4.2-4　想定される回収に必要なタスクと作業内容 7-130
表 7.4.2-5　基本ケースの回収シナリオの展開（例） 7-136
表 7.4.2-6　回収に係るタスクごとの必要技術、技術要件、課題の整理 7-137
表 7.4.2-7　技術要素マップ　検討ケースⅢ（基本ケース、状態オプション③・回収シナリオ②） 7-139
表 7.4.2-8　技術要素マップ　検討ケースⅠ（状態オプション①・回収シナリオ② ）. 7-143
表 7.4.2-9　技術要素マップ　検討ケースⅡ（状態オプション②・回収シナリオ② ）. 7-147
表 7.4.2-10　技術要素マップ　検討ケースⅣ（状態オプション④・回収シナリオ②） 7-151
表 7.4.2-11　技術要素マップ　検討ケースⅤ（状態オプション③・回収シナリオ①）. 7-155
表 7.4.2-12　技術要素マップ　検討ケースⅥ（状態オプション③・回収シナリオ③ ）..... 7-159
表 7.4.2-13　技術要素マップ　検討ケースⅦ（状態オプション③・回収シナリオ④） 7-163
表 7.5.1-1　現況での対応策の整理 7-186
表 7.5.1-2　閉鎖前と閉鎖後の影響要素と影響因子の抽出例 7-187
表 7.5.2-1　技術体系を構成する技術群の特徴と課題 7-191
表 7.5.2-2　技術群の課題に対する重要度および緊急度の分析 7-193
表 7.6.2-1　技術要素マップの状態オプションおよび回収シナリオの変化に関する整理 7-201

第1章　事業概要

1.1　事業名

平成２７年度地層処分技術調査等事業（高レベル放射性廃棄物処分関連：可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発）

1.2　事業の背景と方針

1.2.1　事業の目的

我が国において、これまでの原子力発電の利用に伴って既に放射性廃棄物が発生しており、その処理処分対策を着実に進める必要がある。高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る研究開発については、国、研究開発機関等が、それぞれの役割分担を踏まえつつ、密接な連携の下で、基盤研究開発を着実に進めていくことが重要である。

平成２６年４月のエネルギー基本計画においては、高レベル放射性廃棄物の問題の解決に向けた取組の抜本強化として、「地層処分を前提に取組を進めつつ、可逆性・回収可能性を担保し、今後より良い処分方法が実用化された場合に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにする。」、「処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査・研究を進め、処分場閉鎖までの間の高レベル放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。」との方針が示された。また、平成２６年５月の総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会放射性廃棄物ＷＧにおいても、「最終処分に向けた取組を進める上では、数世代にも及ぶ長期的な事業であることから、可逆性・回収可能性を担保し、将来世代も含めて最終処分に関する意思決定も見直せる仕組みとすることが不可欠」と示されている。さらに、平成２７年５月の改定された特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針では、「安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保する」と示されている。諸外国においては、我が国に先行して可逆性・回収可能性を担保したプロセスへの見直しが検討・導入されつつあり、我が国においても最終処分における可逆性・回収可能性の意義や具体的な確保のあり方、必要な技術に関する検討が必要である。

回収技術については、今までに資源エネルギー庁での基盤研究開発（具体的には平成１９年度から２４年度まで実施した地層処分技術調査等事業（高レベル放射性廃棄物処分関連：処分システム工学要素技術高度化開発）及び平成２３年度から２６年度まで実施した地層処分技術調査等事業（地層処分回収技術高度化開発））において、操業における中核技術として、遠隔搬送・定置に関する技術調査や要素試験、さらには地上での適用試験などを通して、地質環境条件及び様々な処分概念への対応を踏まえた基盤技術として整備を進めてきた。また、操業技術を構成する要素技術の一つとして、回収技術の中核技術である塩水を利用した緩衝材除去技術について、地上施設における緩衝材除去試験を実施することにより適用性の検討を実施してきた。さらに、人工バリア材料や処分場の操業に係る工学技術の実現性、操業技術、回収技術等を対象とした人工バリア材料等を用いる実規模施設を資源エネルギー庁の委託事業（具体的には、平成２０年度から

２５年度まで実施した原子力発電施設広聴・広報等事業（地層処分実規模設備整備事業)）において整備してきた。これまでに開発してきた回収技術の高度化という観点においては、今後、地上とは異なる地下環境での搬送定置・回収技術に関する原位置試験を通じた操業時の工学技術の整備・実証が必要である。

これらを背景として、本事業は、可逆性・回収可能性の意義、処分プロセスや処分システムの安全性への影響等の社会・技術の両面での検討、これまで開発してきた搬送定置や緩衝材除去技術の地下での適用性確認、地下環境における高レベル放射性廃棄物の搬送定置・回収技術の実証的な整備を通じて、国民の地層処分技術に関する安心感の醸成や可逆性・回収可能性に関する最終処分政策への反映に資するとともに、将来世代に対し高レベル放射性廃棄物の処分方法の選択肢について柔軟性を持たせること及び我が国における可逆性・回収可能性の概念や技術の整備を目的とする。

1.2.2　特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針の改定

平成２７年５月２２日、『特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針』の改定案が閣議決定された。この改定では高レベル放射性廃棄物の最終処分は現世代で取り組む問題であり、将来世代に負担を先送りにしないこと、国が前面に立って取り組む方針が示された。今回の基本方針の改定では、以下の５つが大きなポイントとして挙げられている[1]。

- 将来世代に負担を先送りしないよう、現世代の責任で取り組みつつ、可逆性・回収可能性を担保し、代替オプションの技術開発も進める。
- 事業に貢献する地域への敬意や感謝の念の国民間での共有を目指す。
- 国が科学的有望地を提示し、調査への協力を自治体に申し入れる。
- 地域の合意形成や持続的発展に対して支援を行う。
- 技術開発の進捗等について原子力委員会が定期的に評価を行う。

また基本方針「第４　特定放射性廃棄物の最終処分の実施に関する事項」では下記のような記述がなされており、最終処分に関する政策や最終処分事業の可逆性を担保することが明文化された[2]。以下は該当する部位を抜粋したものである。

最終処分事業は長期にわたる事業であることを踏まえ、最終処分を計画的かつ確実に実施させるとの目的の下で、今後の技術その他の変化の可能性に柔軟かつ適切に対応する観点から、基本的に最終処分に関する政策や最終処分事業の可逆性を担保することとし、今後より良い処分方法が実用化された場合等に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにする。このため、機構は、特定放射性廃棄物が最終処分施設に搬入された後においても、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保するものとする。

本事業の成果は、上記基本方針を支える技術や考え方を提示するものである。

1.2.3　可逆性と回収可能性

最終処分事業の可逆性・回収可能性について、OECD/NEA の R&R プロジェクトにて国際的な検討がなされ、最終レポートとして報告されている[3]。このレポートでは、可逆性と回収可能性について以下のように定義されている。

- 可逆性(Reversibility) : 原則として、処分システムを実現していく間に行われる決定を元に戻す、あるいは検討し直す能力
- 回収可能性(Retrievability) : 原則として、処分場に定置された廃棄物あるいは廃棄物パッケージ全体を取り出す能力

また、回収可能性の維持に関して、以下の２つの大きなアプローチが提唱されている[3]。

① 受動的安全に重きを置いてこれまでに開発された処分場の概念を対象に、廃棄体を安全かつ合理的に回収する技術を準備する
② 回収の容易性を考慮した処分場の概念を構築し、廃棄体を安全かつ合理的に回収する技術を準備する

回収の容易性は、費用や受動的安全の確保とトレードオフの関係にあり、OECD/NEA ではそれらの関係を図 1.2.4-1 の R スケールで示している。②の回収容易性を考慮した処分概念を検討する上では、費用の低減や安全確保の在り方などを盛り込まれると考えられる。一方、①の検討はこれまでの基盤研究開発で対象としてきた『わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第２次取りまとめ－、分冊２地層処分の工学技術』（以下、HLW 第２次取りまとめという。）[4]で示された処分概念が検討の対象となる。本事業では先ず①を前提とした検討を実施し、廃棄体の回収技術および回収可能性の維持の提示し、回収容易性を考慮した②の検討の評価のリファレンスとした。

1.2.4　検討の方針

本事業における実証試験の対象は、“可逆性”により事業を元戻す意思決定がなされた場合に、“回収可能性”を担保するための技術である。実証試験計画の策定では、 “回収可能性”を担保する技術が我が国にあるという事実を提示することを主眼に置く。“可逆性”のトリガー、言い換えれば廃棄体を回収する意思決定の要因、時期等によって、回収作業が実施される際の場の状態は変化する。例えば処分容器あるオーバーパックやPEM (Prefabricated Engineered Barrier System Module)容器の状態、緩衝材充填材などの粘土系材料の不飽和／飽和の程度、回収対象である廃棄体までのアクセスの容易性、坑道や支保など処分場を構成する付帯物の状態などが場の状態として挙げられる。実証試験計画の策定や回収可能性の維持の検討では、これら場の状態が与える影響についても留意した。

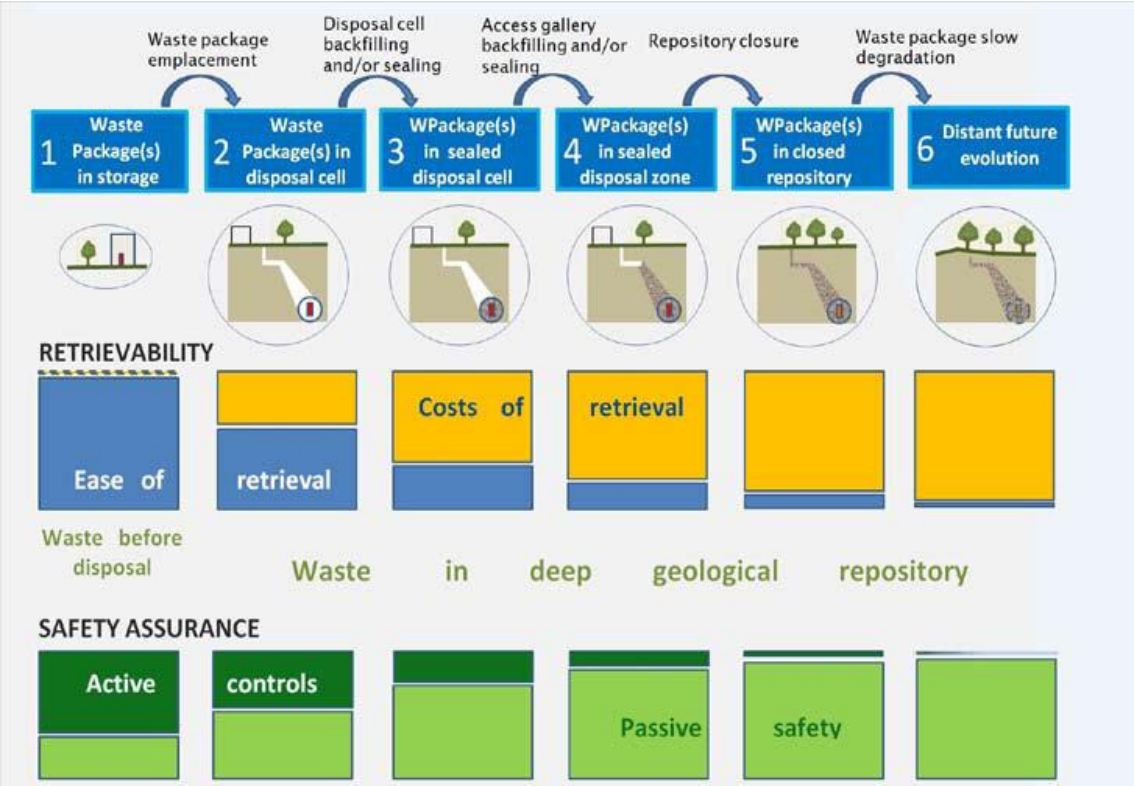


図 1.2.4-1　最終処分事業の各事業段階における回収可能性と回収コスト、および安全保証の関係（R スケール）[3]

1.3　　これまでの調査研究開発の成果

基盤研究では、人工バリアの搬送・定置技術や廃棄体の回収のための緩衝材の除去技術の検討および試験、実規模スケールでの技術の実証的な試験、回収可能性の維持に係わる検討が、段階的に進められてきた。本項ではこれまでの研究開発の動向について概要を示す。

1.3.1　　人工バリアの搬送・定置技術に係わる検討[5]~[12]

HLW 第２次取りまとめで提示された人工バリアの搬送・定置技術について、平成 13 年度より文献調査や要素試験を開始し、人工バリアの製作・施工の技術的選択肢の整備を実施し、第一段階の技術メニューとして整備した。平成 17 年度より、操業形態の概念構築にあたり、処分施設の概念、操業環境条件、人工バリア仕様、定置方式について整理し検討条件を設定した。さらに、これらの条件に対し、人工バリア構成、地質環境、基本とする操業技術等の組み合わせによって考えられる定置概念、およびそれらの条件に最適化した人工バリア仕様を設定し、検討対象とする搬送・定置オプションを設定するとともに、その操業形態を実現する各構成技術について、第一段階の技術メニューを活用して検討を進めた。ここでは本検討と関連する操業環境、PEM の製作や搬送・定置技術、遠隔計測技術、遠隔操作技術に係わる検討成果を簡潔に示す。

操業環境に関する調査として、平成 18 年度から掘削技術のうちＴＢＭ工法、支保・覆工技術のうち吹付けコンクリート工法、覆工技術のうちコンクリートセグメント工法を対象に、これら工法を用いて構築されている既設トンネルに対する坑道内環境について調査を行った。候補となる

建設技術のうち掘削技術として発破工法、支保・覆工技術として吹付けコンクリート工法について、処分場の条件に類似する既設坑道に対して『操業環境』の具体的な指標である「形状」、「湧水」、「温度」、「湿度」の実態ついて情報を収集した。特に、定置・搬送技術や人工バリア品質に大きな影響を与える「形状」については詳細な分析を進め、「形状」に含まれる特性（内空・線形・不陸（段差・平滑さ））を定量化した。さらに、『操業環境』への対応方法と現行の建設技術の達成可能な品質を整理し、操業の前提条件であり、操業システム成立性の提示のための指標である『操業環境』について、処分場条件に応じて選定される建設技術とその組み合わせによって達成できる品質（操業環境）を定量的にまとめた。

PEM（Prefabricated Engineered Barrier System Module：オーバーパック、緩衝材をあらかじめ地上で地下定置時の状態に施工したモジュール）の構造及びPEM容器について、平成18年度よりPEM容器の設計要件を検討した上で内包物（人工バリア）仕様、PEM組立技術とPEM搬送技術を検討した。「PEM製作・組立技術の検討」では、平成21年度の検討で適用性が高いことを示したPEM製作・組立方法のうち、既存研究が少ない「鋼殻リング方式」について、ベントナイトと砂を混合した実材料の緩衝材を用いた実規模スケールでの製作・組立試験を開始し、品質すなわち緩衝材の性能（密度や組立精度）、遠隔操作性能、作業時安全性能などのシステム成立性に関わる評価を示した。「PEM搬送・定置技術の検討」では、エアベアリングを用いた実規模スケールでの搬送試験を実施した。走行面の上敷材の有無、エアベアリングの稼働枚数、搬送速度などを試験パラメータとして牽引力などの計測データを取得、得られた結果を整理し、エアベアリングを搬送方法として適用した場合の適用性と課題を示した。操業時における転胴・搬送・定置動作に対して、実規模スケールでの試験において、挙動に関するデータを取得し、PEM全体またはオーバーパックが緩衝材に有意な影響を与えるような加速度が発生しないことを確認した。これらの試験結果から、鋼殻リング方式のPEMに対し、品質管理の容易性や物流の柔軟性、損傷リスク等について、工学的実現性を有することを確認した。これらの成果を実規模スケールの試験装置の設計・製作へ反映することにより、設計技術に関する知見を蓄積した。エアベアリング・エアジャッキ方式のPEM搬送・定置試験、エアベアリング・台座方式のPEM搬送・定置試験の2つの実規模スケール試験を通し、構成要素への損傷リスク、作業工程の効率性等について、工学的実現性を有することを確認した。さらにPEMの搬送・定置作業で生じる、PEM－坑道間の隙間についても、鋼殻内部の人工バリアの品質を確保するためのペレット方式による充填試験を実施し、到達する密度データを取得した。

「遠隔計測技術」については、平成18年度において計測行為が必要な工程や作業および計測項目を抽出するとともに、計測項目に対する計測技術の調査を行った。また、技術調査の結果から候補となる計測技術（二次元カメラ、ステレオカメラ、ラインセンサ方式、光切断方式等の撮像方式）に対する技術調査や適用性確認試験から、各方式の適用性について評価を行った。さらに、データ処理技術について、画像処理を含めた数々のデータ処理技術について、データ処理技術の現状技術の調査や画像処理の試行、処理精度を向上させるための方法論について検討した。また、これらの知見と第1フェーズで実施したレーザー計測技術に関する知見を踏まえ、迅速かつ精度良く計測するシステムの概念を提示した。

「遠隔制御技術」については、平成19年度から原子力発電所等放射性物質の取扱施設や一般産

業における遠隔制御に関する技術や研究動向を調査し、「遠隔制御技術」に包括される各要素技術も整理しその体系化を試みた。また、遠隔操業システムの観点から遠隔制御技術を分析し、「メッシュ型無線 LAN」による通信技術の概要を提示した。平成 20 年度はメッシュ型無線 LAN の構成技術である電波伝送技術や位置検知技術についての技術動向を調査した。電波伝搬技術の検討では、メッシュ型無線 LAN 実機を用いる実験と信号発生器を用いる実験を行い、坑道内での電波伝搬特性を把握した。また、レイトレース法を用いたシミュレーション技術の適用性も確認した。位置検知技術の検討では、技術動向として実用化されている幅広い技術を調査し、地下環境での適用性の観点で整理した。平成 21 年度はメッシュ型無線 LAN システムの地下坑道環境での特性を、通信可能距離の観点や操業機器の走行速度の観点から調査した。さらに、様々な定置装置の概念設計を元に無線 LAN システムを構築する上で考慮しなくてはならない項目を抽出し、これらの項目に対してメッシュ型無線 LAN システムとしての適用性と課題を抽出した。また、無線 LAN システムを位置検知技術へ応用することを想定し、各搬送・定置装置に対する無線 LAN 位置検知システムの適用性を示した。

1.3.2　廃棄体の回収技術に係わる検討[8]~[16]

定置された廃棄体を回収するためには、周囲にある緩衝材や埋戻材の膨潤による拘束圧を除去する必要がある。廃棄体へ与える潜在的な危険性がない流体を使用した除去技術について、処分システム工学要素技術開発にて検討、および要素試験を実施した。平成 20 年度より塩水による緩衝材の崩壊に着目し、緩衝材の塩水による回収技術のメカニズムに関する考察を実施し、回収技術に対する技術的成立性の評価、および実規模塩水回収装置設計に向けた検討を実施した。塩水の噴射条件に係わる因子を整理し要素試験による緩衝材除去性能の評価、緩衝材の状態、定置姿勢に着目した除去概念を小規模実験から抽出した。平成 22 年度は処分孔竪置き方式の定置概念に基づく人工バリアシステムに対して、処分孔径を実規模スケールとし、塩水を用いた緩衝材除去試験を実施した。噴射ノズルユニット、スラリー吸引、塩水・緩衝材再処理（固液分離）を検討、除去試験装置を製作し、除去試験を実施し、緩衝材の除去装置の設計に資するデータを取得した。平成 23 年度は、塩水による緩衝材の除去技術の分析として、浸漬効果とスラリー化効果に分け、それぞれの効果に影響を及ぼす因子を整理した。浸漬効果に影響を及ぼす、緩衝材の特性は緩衝材密度、飽和度、浸透性を挙げ、塩水の特性は溶液種類（電荷）、塩水濃度、浸漬（塩水接触）面積、浸漬（塩水接触）時間を挙げた。スラリー化効果に影響を及ぼす、緩衝材の特性は緩衝材密度、飽和度、せん断強度を挙げ、塩水の特性は流水圧、流速、流量、時間（塩水接触時間）を挙げた。平成 24 年度は、塩水を利用した緩衝材除去技術の横置き定置方式への適用と緩衝材の飽和度が高い場合の適用性を確認するための試験を実施した。飽和度の高い緩衝材の塩水による除去特性の把握に関しては、小規模試験、断面実寸法試験を通じて、噴射圧力、もしくは噴射流量・噴射影響面積・噴射時間に依存することを確認した。横置き定置方式に対する塩水を利用した緩衝材除去技術の適用性に関しては、塩水噴射部の位置を比較的自由に制御できる機構を、フリーアーム方式の機械（隧道工事の吹付けロボット）で実現した。フリーアーム方式を用いた緩衝材の部分的除去方法により、廃棄体支持のための廃棄体下部の緩衝材の残置や、除去する緩衝材の面積をコントロールすることが可能となり、廃棄体を安全に回収できることを断面実寸法試験に

よって確認した.。

これらの要素技術の検討成果に基づき、平成 23 年度から平成 26 年度までの 4 年間で処分孔竪置き方式の人工バリアに対して、塩水を用いた緩衝材除去システムの検討、装置製作、実規模での試験を実施した。

平成 23 年度は、廃棄体を回収するための緩衝材除去システムの基本設計を行い、緩衝材除去システムを構成する主要部位である塩水噴射部について、設計を行った。

平成 24 年度は、緩衝材除去システムを構成する、塩水噴射部の製作、スラリー吸引設備の設計・製作、昇降設備の設計・製作、塩水リユース設備の設計・製作及び駆動設備の設計を実施した。特に駆動設備に関しては遠隔操作によるシステムの設計を行った。

平成 25 年度は、緩衝材除去システムのうち駆動設備の製作を行い、完了後、平成 24 年度に製作した塩水噴射設備、スラリー吸引設備、昇降設備、塩水リユース設備を組み立てるとともにシステムの調整を行った。また、組立・取り付けを完了した緩衝材除去システムの機能確認を目的として、地上にて、緩衝材を用いた実規模での緩衝材除去試験を行い、噴射量、噴射圧力、緩衝材除去量、スラリー化した緩衝材の固液分離特性、リユース塩水性状等に関するデータを取得し、設定した機能要件が確保されていることを確認した。また整備した緩衝材除去システムについて地下環境での実証試験を実施することを想定した検討を開始した。

平成 26 年度は、平成 25 年度までに製作した緩衝材除去システムの総合動作確認を目的として、地上にて緩衝材除去試験を行い、緩衝材の除去機能、装置全体のシステム成立性、操作性、地下環境への展開性について確認した。また緩衝材除去試験では、実規模スケールでの緩衝材を用いて、噴射量、噴射圧、緩衝材除去量、スラリー化した緩衝材の固液分離特性、リユース塩水性状等に関するデータを取得し、回収技術に関する知見を取りまとめた。さらに平成 25 年度から開始した地下環境での実証試験計画の検討では、幌延 URL の試験坑道 2 で実施することを想定し、設備等の制約条件を計画に加えて具体化し、実際に試験を行うと仮定した場合の設備の配置案を提示した。

1.3.3　地層処分実規模試験施設の整備[17]~[22]

国民全般の高レベル放射性廃棄物地層処分への理解を深めることを目的に、実規模・実部を基本として（実際の放射性廃棄物は使用しない）、地層処分概念とその工学的な実現性や長期挙動までを実感・体感・理解できる地上設備の整備として、地層処分実規模設備整備事業を平成 20 年度から実施した

平成 20 年度は、基盤研究で実施してきた人工バリアの製作・施工技術に係わる技術を公開するため、定置試験や人工バリア長期挙動試験の検討を実施し、設備建屋の整備に係わる全体計画を策定した。

平成 21 年度は、全体計画に基づいて設備建屋の整備、緩衝材定置試験装置（ブロック方式）の整備を開始し、人工バリア可視化試験装置や実規模スケールの人工バリアのカットモデル等の展示物の整備を進めた。

平成 22 年度は、4 月 22 日に設備建屋の一般公開を開始した。施設の整備では緩衝材定置試験装置（ブロック方式）の製作を進めた。さらに真空把持装置による緩衝材ブロックの定置試験を

一般に公開した。また将来的に緩衝材の回収試験やオーバーパックの腐食試験を地下で実施することを見据え、幌延深地層研究センターの調査坑道の工事・調査・試験の進捗状況の確認を開始した。

平成 23 年度は、緩衝材定置試験装置の整備が完了した。

平成 24 年度は、緩衝材定置試験装置による模擬緩衝材ブロックの定置試験を繰り返して実施し、装置の動作、定置精度の再現性に関するデータを取得した。さらに定置試験を一般に公開した。

平成 25 年度は、実物の緩衝材ブロックを使用した緩衝材定置の実証試験を実施し、真空把持装置の適用性、定置試験装置による緩衝材ブロックの定置精度のデータを取得した。

1.3.4　回収可能性の維持に係わる検討[15][16]

高レベル放射性廃棄物処分における廃棄体の回収可能性に関して、平成 18 年 9 月に取りまとめられた「放射性廃棄物の地層処分に係る安全規制のあり方について」においては、処分場閉鎖までの間は廃棄体の回収可能性を維持することが必要である、と記されている。

また、平成 24 年 12 月 25 日に原子力委員会が発表した「今後の原子力研究開発の在り方について（見解)」においても、回収可能性の合理的な担保の在り方に関する研究開発を継続的に進めることが重要である、と記されている。これらを背景として回収可能性の維持に関わる検討を開始した。

平成 25 年度は、処分施設を埋め戻さずに、廃棄体を回収するための維持期間について検討を行った。処分施設を埋め戻さずに一定期間維持することで、処分施設の安全性に及ぼす影響について、周辺岩盤の力学的な観点、水理的な観点及び化学的観点、熱的観点から調査・整理を行い定性的な評価を行った。

平成 26 年度は、平成 25 年度に実施した処分施設における回収維持期間の検討で抽出した処分施設の安全性能に影響を及ぼす要因について、人工バリアの性能維持が可能な期間の観点から分析を行い、主たる影響要因について、その影響の程度を定量的に把握するとともに回収維持期間の例示について検討した。さらに、その維持期間に対し処分施設を維持管理するための具体的な方策を提示し、残される課題について整理した。

1.3.5　人工バリアの搬送・定置のシステム化

平成 24 年度に、処分システム工学要素技術高度化開発の成果の取りまとめとして、技術開発を進めてきた技術を統合した操業システムを、地層処分事業の柔軟性を確保するため、竪置き／横置きの定置概念や、原位置施工方式／PEM 方式の操業オプションに着目して例示した。これらに廃棄体回収ための緩衝材除去技術の検討成果を合わせて示した。

図 1.3.5-1 に処分孔竪置き定置方式の検討成果を示す。緩衝材の製作方法として、材料や部品の状態で原位置まで搬送し試験孔内で緩衝材として構築するブロック定置、吹付け、原位置締固め等の要素技術の検討を行った。ブロック定置方式は地層処分実規模整備事業で緩衝材定置試験装置を整備し、実規模スケール定置技術の実証まで至っている。緩衝材除去技術については、オーバーパック周囲の緩衝材を除去するための噴射吸引設備、塩水リユース設備、遠隔操作設備から成る緩衝材除去システムを構築し、実規模スケールでの緩衝材除去技術の実証を地上施設で実

施した。

図 1.3.5-2 に処分坑道横置き定置方式の検討成果を示す。処分坑道横置き定置方式については、坑道内での環境に対して有利である PEM の検討を実施した。PEM の構築方法として、２分割にした鋼殻内に人工バリアを組立てる方式と、緩衝材が鋼殻と一体化している鋼殻リンク方式の２手法について検討を実施した。PEM の搬送・定置は、HLW 第２次取りまとめに示された円形坑道を基本とした定置概念を検討し、狭隘な隙間でも重量物の搬送が可能なエアベアリング方式を採用し、実規模スケールの PEM の搬送・定置試験を実施した。PEM-坑道間の隙間充填技術についても要素試験レベルで実施した。さらに廃棄体の回収では、横置き定置方式に対する塩水を用いた緩衝材の除去の基礎的な試験も実施した。

図 1.3.5-1　処分孔竪置き方式

図 1.3.5-2　処分坑道横置き方式

1.4　検討の前提条件

本事業で実施する回収技術の実証試験計画は、前項 1.3 に示したこれまでの基盤研究の開発成果や、諸外国の動向を踏まえて立案する。本項では本事業の前提条件を整理した。

1.4.1　定置概念

定置概念は、定置方向で分類される竪置き／横置きと、定置位置で分類される処分孔／処分坑道の組合わせである。HLW 第２次取りまとめ[4]、『地層処分の安全確保（2010 年度版）－確かな技術による安全な地層処分の実現のために－』（以下、NUMO2010 レポートという。）[24]において、処分概念を形作る上で重要な要素である定置方式について、処分孔竪置き定置方式と処分坑道横置き定置方式の２つが代表的な定置概念として示されている。

(1)　処分孔竪置き定置方式

処分孔竪置き定置方式は、処分坑道床面に掘削した処分孔にオーバーパックと緩衝材を定置するものである。図 1.4.1-1 に処分孔内の人工バリアの構成、図 1.4.1-2 に硬岩系における処分坑道竪置き定置方式の概要、および処分パネル平面図（例）を示す。10m の離隔距離で処分坑道が 26 本掘削され処分パネルを構成している。各処分坑道には 246 本のオーバーパックが 4.44m ピッチで定置される。

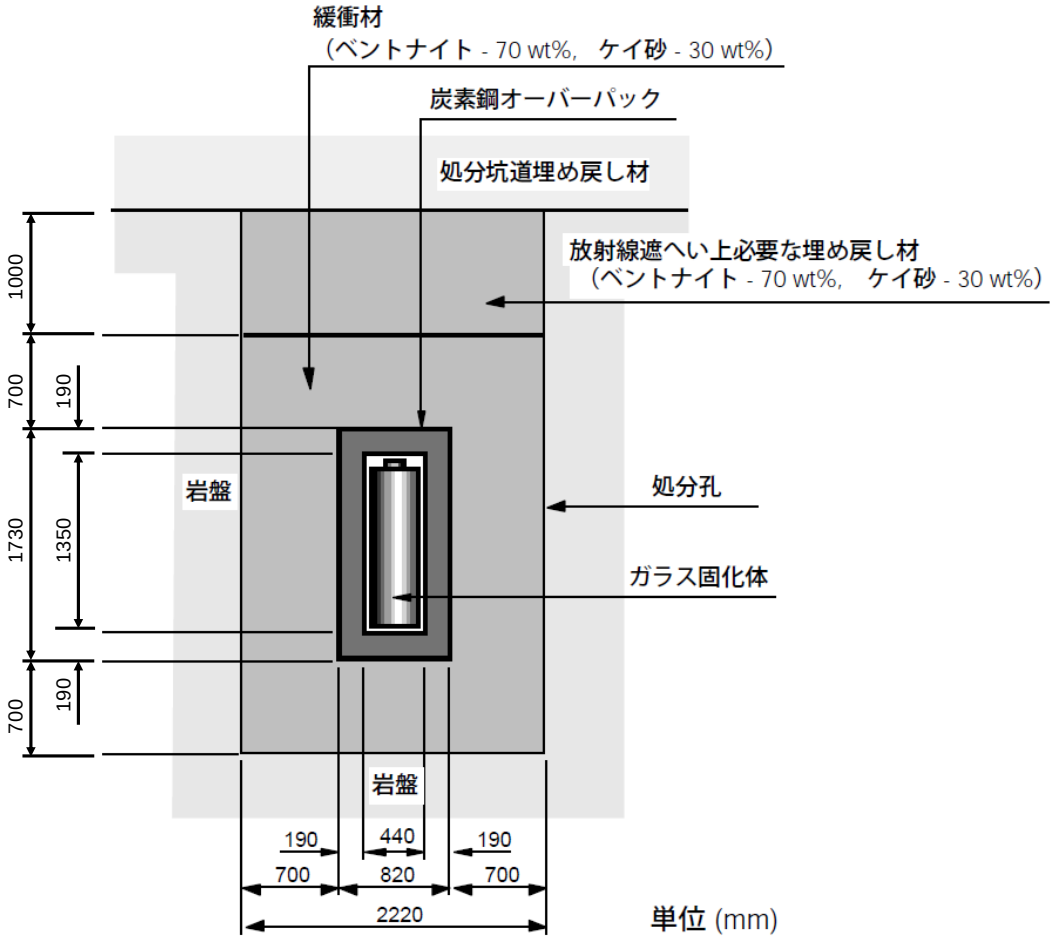
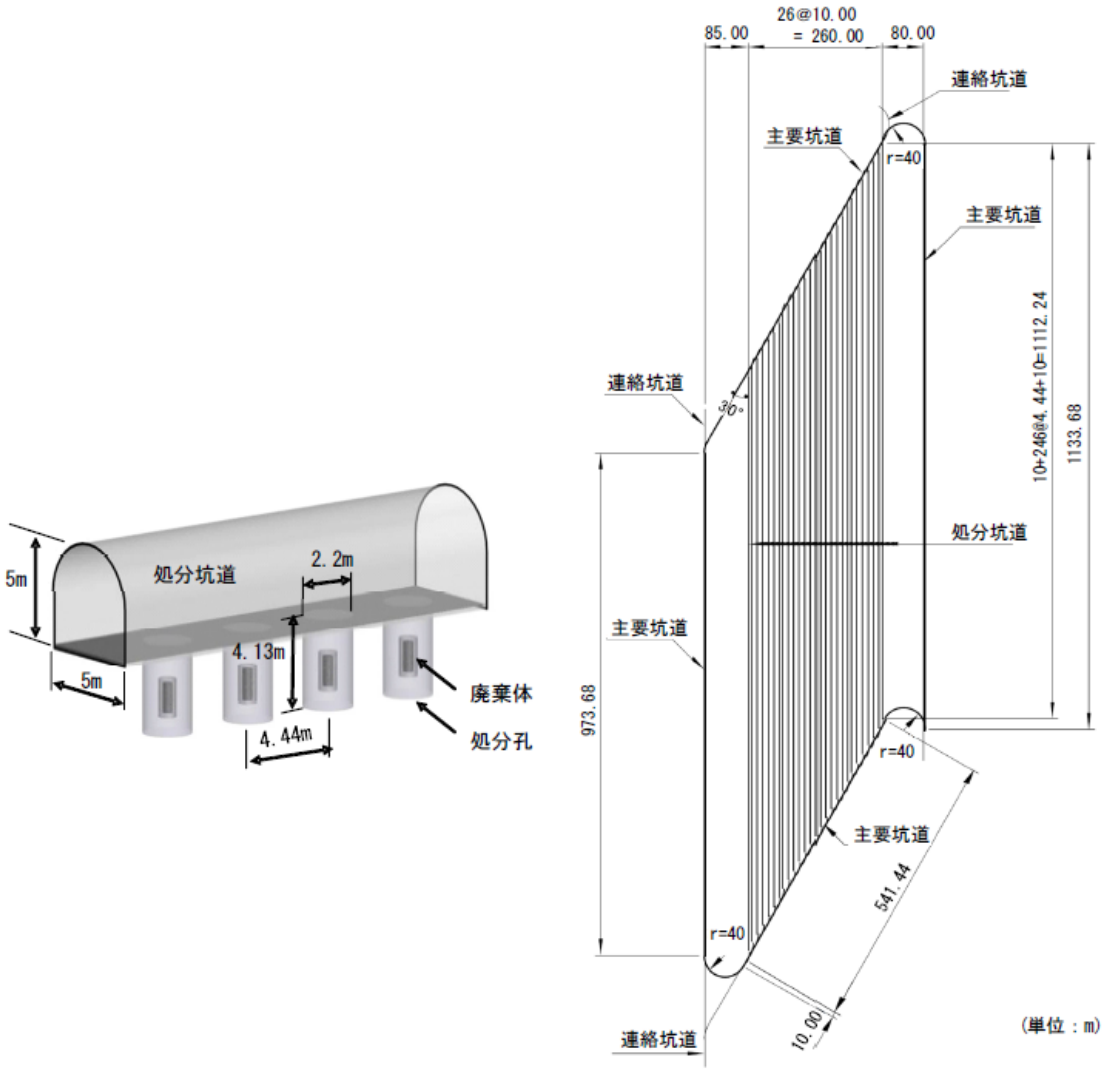


図 1.4.1-1　処分孔竪置き定置方式の人工バリア構成[4]



(a) 概要　　(b) 処分パネル平面図（例）

図 1.4.1-2　処分坑道竪置き定置方式[24]

(2)　処分坑道横置き定置方式

処分坑道横置き定置方式は、処分坑道内に緩衝材とオーバーパックを定置するもので、処分坑道が処分孔を兼ねている。人工バリアの直径に施工時に必要な隙間を加えたものが処分坑道の直径となるため、処分孔竪置き方式に比べて掘削量を小さく出来る特徴がある。図 1.4.1-3 に人工バリアの構成、図 1.4.1-4 に処分坑道横置き定置方式の概要、および処分パネル平面図（例）を示す。9.99m の離隔距離で処分坑道が 34 本掘削されパネルを構成している。各処分坑道あたり 190 本のオーバーパックが 3.13m ピッチで定置される。

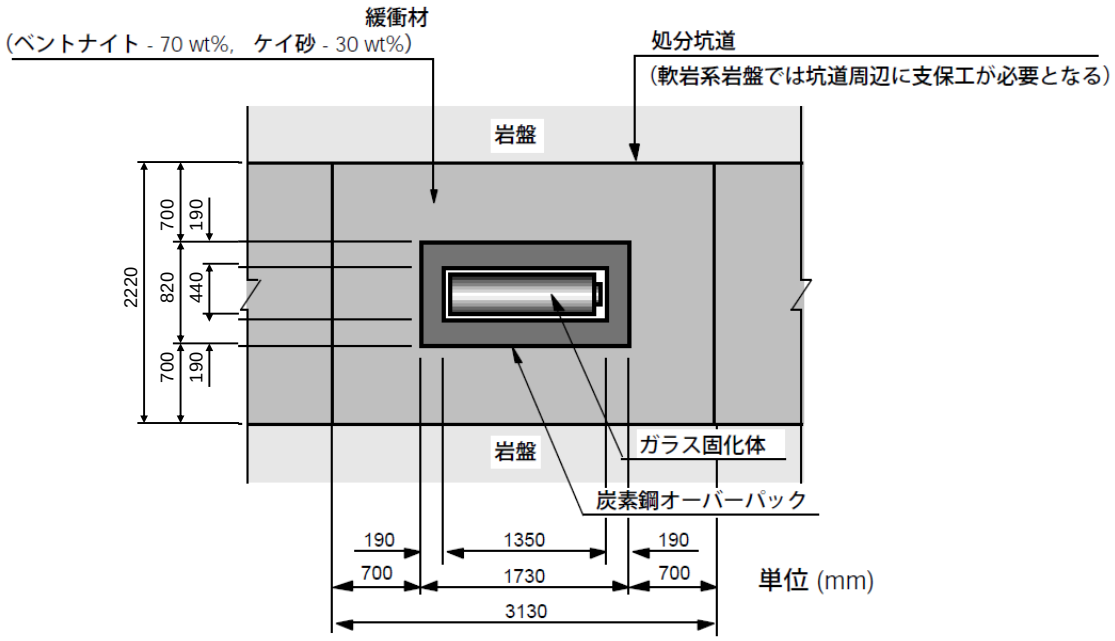
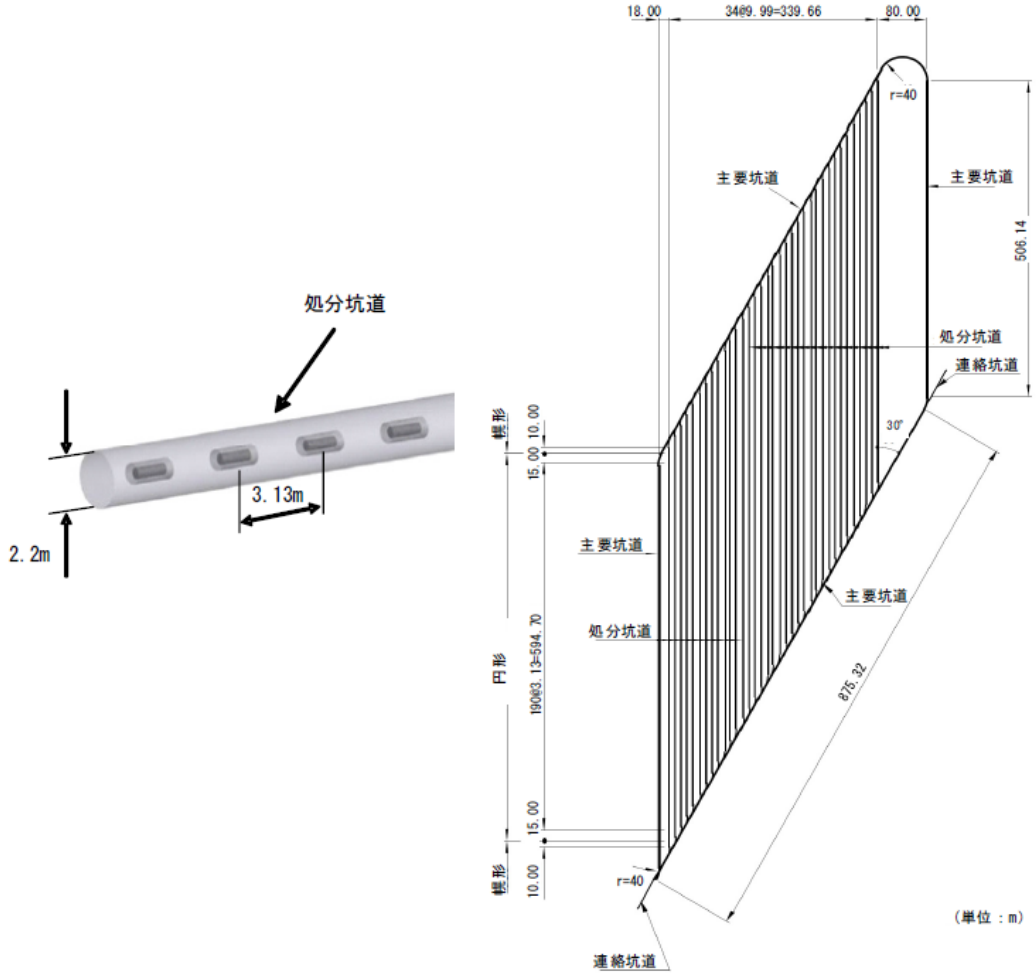


図 1.4.1-3　処分坑道横置き定置方式の人工バリア構成[4]



(a) 概要　　(b) 処分パネル平面図（例）

図 1.4.1-4　処分坑道横置き定置方式（軟岩）[24]

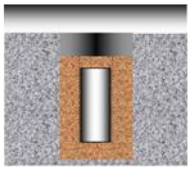
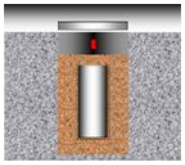
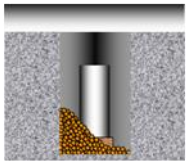
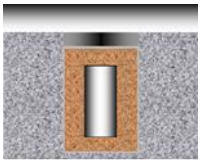
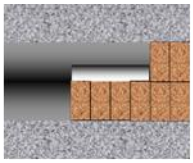
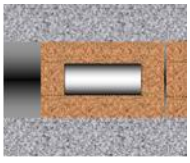
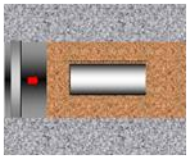
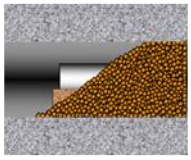
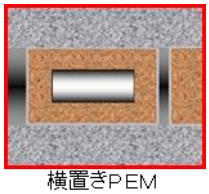
1.4.2　搬送・定置オプション

地層処分場に人工バリアを構築する方法は施工方法や品質管理の観点で分類出来る。搬送・定置の技術オプションは、オーバーパックや緩衝材を部材として地下に搬入し原位置で人工バリアを構築する方式と、地上で予め人工バリアを構築し原位置に定置する方式に大別される。

表 1.4.2-1 にこれまでに検討された定置概念と搬送定置オプションの組み合わせを示す[5]。図中赤枠で囲った処分孔竪置き定置方式ブロック型と処分坑道横置き定置方式 PEM については、前項 1.3 内図 1.3.5-1 と図 1.3.5-2 に示した基盤研究にて実施した搬送・定置技術である。本事業で実施する回収の実証試験においても、定置概念や搬送・定置オプションに柔軟性を確保した主要な２つの概念を対処とした。これまでの搬送・定置技術の実証的な試験と合わせ、人工バリアの構築から除去・回収まで、操業の一連の流れを提示出来るようにする。

なお廃棄体の回収のための緩衝材の除去については、1.3.2 に示したように、処分孔竪置き定置方式については、噴射・吸引設備、塩水リユース設備、遠隔操作設備から成る緩衝材除去システムを構築し、実規模スケールでの実証試験を実施している。

表 1.4.2-1　定置概念、搬送・定置オプションの組合わせ[5]

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="2">搬送・定置オプション</td></tr>
<tr><td>原位置で人工バリアを構築</td><td>地上で予め人工バリアを構築</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廃棄体の定置概念</td><td>処分孔
竪置き
定置方式</td><td>
竪置きブロック型
 
竪置き一体型
 
竪置き原位置締固め
 
竪置きペレット型</td><td> 
竪置きＰＥＭ</td></tr>
<tr><td>処分坑道
横置き
定置方式</td><td> 
横置きブロック型
 
横置き一体型
 
横置き原位置締固め
 
横置きペレット型</td><td> 
横置きＰＥＭ</td></tr>
</table>

1.4.3　地上／地下実証サイト

本事業では、これまで開発してきた搬送定置や緩衝材除去技術の地下での適用性確認、地下環境における高レベル放射性廃棄物の搬送定置・回収技術の実証的な整備を実施内容に含んでいる。実証試験計画の立案に先立ち、実証試験サイトとして利用可能な施設を選定した。

(1)　実証試験サイトの要件

実証試験を実施するにあたり、試験サイトに求められる条件を整理した。

1)　環境条件

・地層処分施設が建設される深度 300m 以深であること。
・原位置のサイトに適した掘削方法で施工されていること。
・地下水、換気など地下特有の環境があること。

2)　試験の実施のために必要な条件

・利用可能な地下坑道が存在すること。
・試験に必要な空間が確保、または新規に構築可能であること。
・試験を実施する一定の期間利用が可能なこと。
・実証に必要な設備、装置等の資機材の搬入が可能であること。
・電気、水、空圧等、試験の実施に必要なインフラが確保可能であること。

3)　試験の実施上の安全確保

・落盤や崩落等の危険が少ない、安定した地質構造であること。
・換気、排水、坑道維持など適切な維持管理が行われていること。
・事故発生時等、緊急対策が整備されていること。

4)　社会的な条件

・特別公園地域、環境保護地域でないこと。
・史跡、遺跡が存在しないこと。
・現地までの資材運搬経路が確保可能であること。
・土地利用、土地所有権の観点から開発が可能であること。
・周辺住民の原子力の研究開発利用に理解があること。

5)　付帯的条件

・地層処分に関連する試験が近傍で実施され、連携が図れること。

(2)　地下実証サイト

1)　サイトの選定

国内に存在する鉱山跡地、地下空洞（トンネル）、地下調査施設等を抽出し、(1)の項目で比較した結果を表 1.4.3-1 に示す。地下実証サイトとして、国立研究開発法人　日本原子力研究開発機構　幌延深地層研究センターを選定した。幌延 URL では地下 350m の調査坑道にて、人工バリアや地質環境に関する様々な研究がおこなわれ、また地層処分実規模試験施設が同一敷地内に建っており、地層処分事業に係わる他の研究開発との連携という観点でも優れている。

表 1.4.3-1　試験サイトに求める条件と、各サイトの比較

項目	試験サイトに求める条件	幌延	瑞浪	釜石	鉱山跡地	地下空洞トンネル
1)	・地層処分施設が建設される深度300m以深であること。	○	○	2010年原位置試験終了	初期検討からスタート	初期検討からスタート
	・原位置のサイトに適した掘削方法で施工されていること。	○	○			
	・地下水、換気など地下特有の環境があること。	○	○			
2)	・利用可能な地下坑道が存在すること。	○	?			
	・試験に必要な空間が確保、または新規に構築可能であること。	○	?			
	・試験を実施する一定の期間利用が可能なこと。	○	?			
	・実証に必要な設備、装置等の資機材の搬入が可能であること。	○	○			
	・電気、水、空圧等、試験の実施に必要なインフラが確保可能であること。	○	○			
3)	・落盤や崩落等の危険が少ない、安定した地質構造であること。	○	○			
	・換気、排水、坑道維持など適切な維持管理が行われていること。	○	○			
	・事故発生時等、緊急対策が整備されていること。	○	○			
4)	・特別公園地域、環境保護地域でないこと。	○	○			
	・史跡、遺跡が存在しないこと。	○	○			
	・現地までの資材運搬経路が確保可能であること。	○	○			
	・土地利用、土地所有権の観点から開発が可能であること。	○	○			
	・周辺住民の原子力の研究開発利用に理解があること。	○	○			
5)	・地層処分に関連する試験が近傍で実施され、連携が図れること。	○	×			
総合評価		○	△ 協議調整に時間を要する	× 協議調整に時間を要する	× 候補地の抽出、協議調整に時間を要する	× 候補地の抽出、協議調整に時間を要する

○：可　　×：不可　？：要確認

2)　幌延深地層研究センターの調査

幌延深地層研究センター（以下、幌延 URL という。）の施設については、本事業の前身である「原子力発電施設広聴。広報等事業　地層処分実規模施設整備事業」や「地層処分技術調査等事業　地層処分回収技術高度化開発」における地下での実証試験計画の検討にて、地下調査坑道のレイアウト、資機材搬入出時の重量や寸法等の制約条件、利用可能な試験坑道等について、調査を実施した。幌延 URL の地下 350m 調査坑道のレイアウトを図 1.4.3-1 に示す[25]。試験坑道３および４では、原子力機構のオーバーパック腐食試験や人工バリア性能確認試験が実施中である。また試験坑道５では、処分システム工学確証技術開発にて、オーバーパック溶接部の腐食試験[26]、緩衝材の流出試験[27]が実施されている。よって試験坑道２を活用することとした。

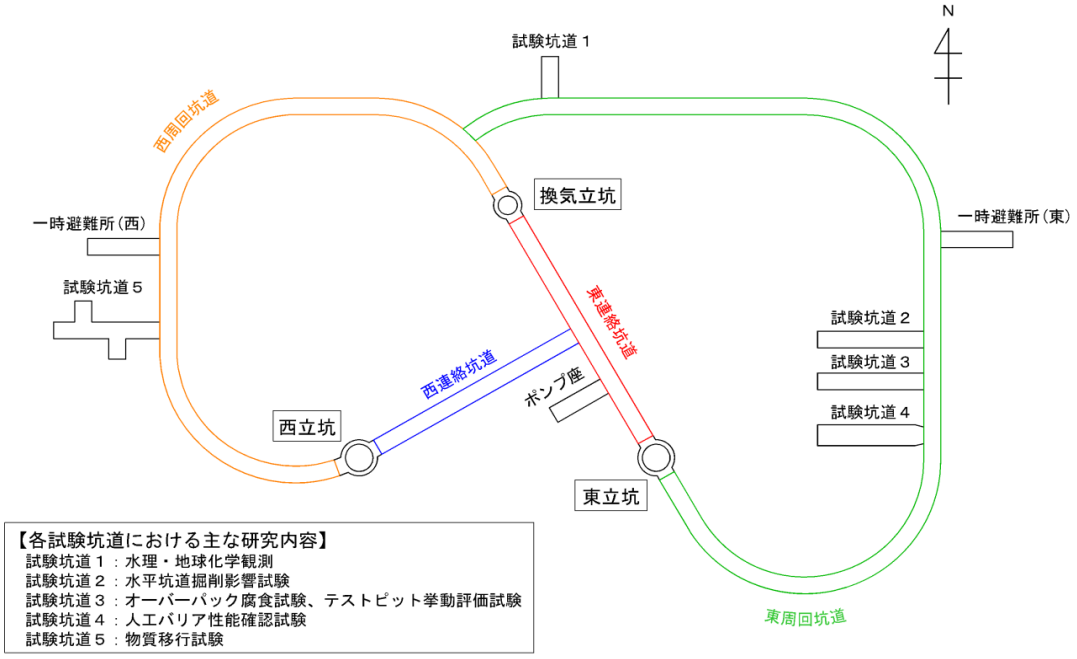


図 1.4.3-1　幌延 URL　地下 350m 調査坑道のレイアウト

資機材の搬入出において地上から試験坑道２までの経路で利用可能な設備を表 1.4.3-2 に示す。試験計画の立案、および資機材の設計検討ではこの設備の利用を前提とする。

表 1.4.3-2　資機材搬入出に用いる設備および坑道仕様[22]

坑道	坑道仕様	揚重 or 搬送方法
立坑	φ6.5m	立坑（揚重荷重 8ｔ） 坑口移動台車 8ｔ
立坑下	高さ H 約 4.5m	トロリー（揚重荷重　2ｔ@2 基）
周回坑道	高さ H 約 3.0m	トロリー（搬送荷重　2ｔ@2 基）
試験坑道 2 入口	高さ H 約 3.0m	トロリー（揚重荷重　2ｔ@2 基）
試験坑道 2	高さ H 約 4.0m	トロリー（搬送荷重　2ｔ@2 基）

図 1.4.3-2　試験坑道２

試験坑道２の整備状況を図 1.4.3-2 に示す。試験坑道２は直径 4m、奥行き 25m の円形坑道である（図 1.4.3-3）。

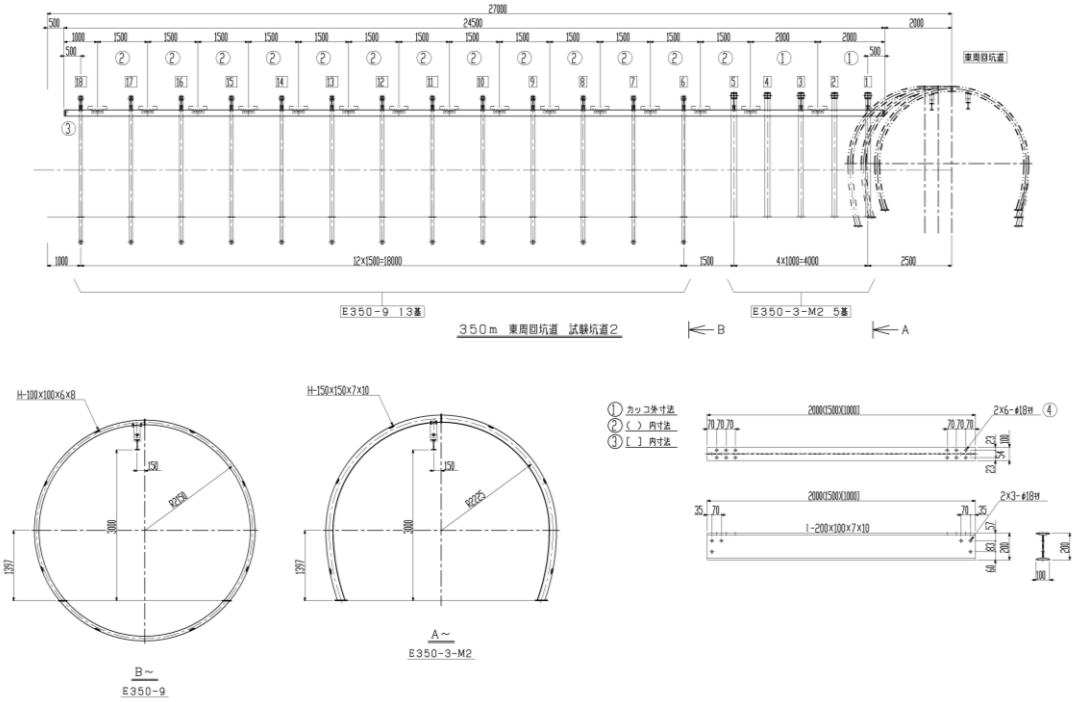


図 1.4.3-3　試験坑道２の形状

(3)　地上実証サイト

1)　地層処分実規模試験施設

平成 20 年度より、地層処分実規模施設整備事業で地層処分実規模試験施設の整備を実施した。本施設は国立研究開発法人　日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センターの敷地内にあり、隣接するゆめ地創館と連携し、地層処分の技術開発成果の理解促進活動を実施している。図 1.4.3-4、図 1.4.3-5 に実規模試験施設の外観、施設内の様子を示す。

図 1.4.3-4　地層処分実規模試験施設　外観

図 1.4.3-5　地層処分実規模試験施設　施設内の様子（平成 27 年初頭）

2)　施設内

地層処分実規模試験施設は地層処分事業を体感し理解促進を深めるため、実物の人工バリアのカットモデル、オーバーパック、緩衝材ブロック等を展示している。また処分孔竪置き定置方式ブロック型の実規模での定置試験を行う緩衝材定置試験設備、および定置のための模擬処分孔が整備されている。本事業では本施設の実証試験、理解促進への活用も計画する。

図 1.4.3-6　緩衝材定置試験装置

図 1.4.3-7　模擬処分孔

1.4.4　実証試験の対象とサイトの設定

1.4.2 で実証対象として選定した処分孔竪置き定置方式と処分坑道横置き定置方式 PEM 型について、1.4.3 で実証試験サイトとして選定した幌延 URL 試験坑道２と地層層処分実規模試験施設での試験の可否について検討した。

(1)　処分孔竪置き定置方式

処分孔竪置き定置方式については、1.3.2 で述べた地層処分回収技術高度化開発にて緩衝材除去システムの地上での実証試験が実施された。当該事業では幌延 URL 試験坑道２を活用した緩衝材除去システムの原位置での実証試験計画について検討されている[16]。

1)　除去・噴射設備の設置のための試験坑道の拡幅

緩衝材除去システムを構成する噴射・吸引設備は、HLW 第２次取りまとめにおける堆積岩系坑道断面である幅５ｍの三心円断面を想定して開発が進められてきた。そのため既設の試験坑道２に噴射・吸引設備は配置出来ず、図 1.4.4-1 に示すように坑道の拡幅が必要となる。また塩水リユース設備を構成する部材のうち、最も大型の水供給槽を周回坑道から試験坑道２へ搬入する場合、試験坑道２の入口両端を 1,500mm 程度隅切りするような入口部の拡幅が必要である。

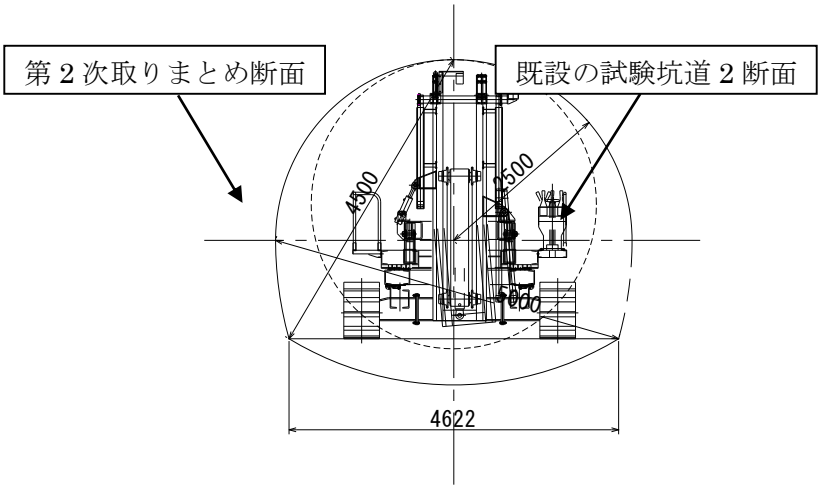
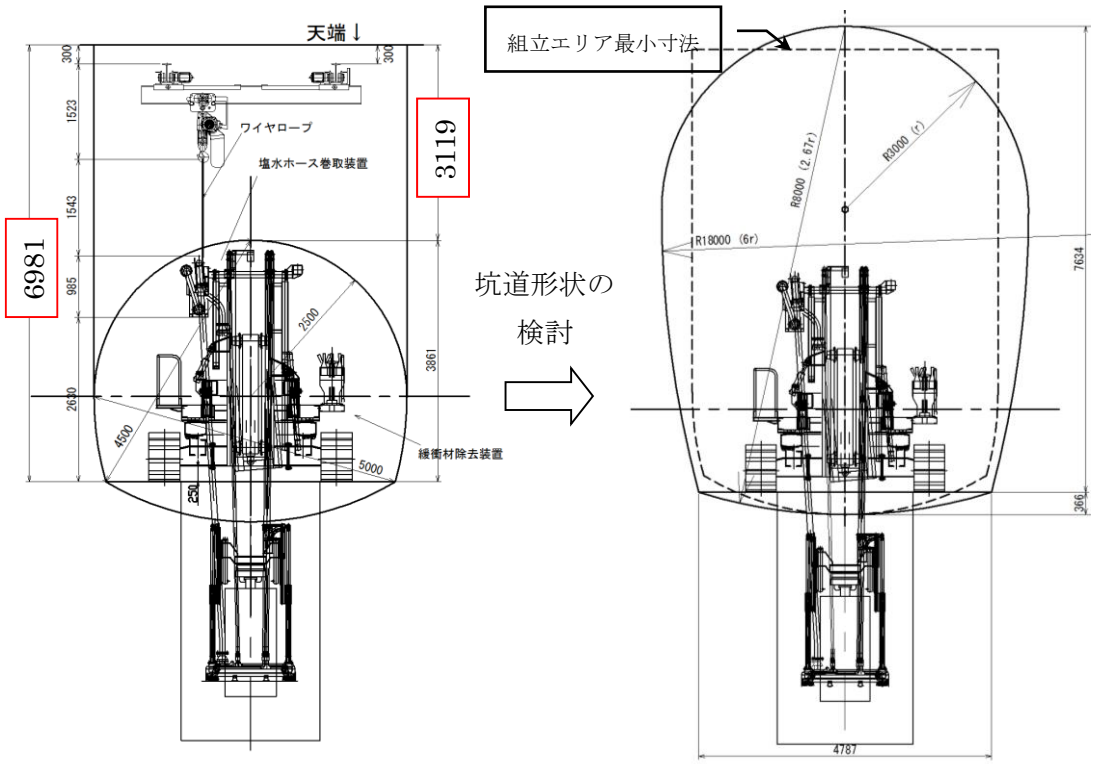


図 1.4.4-1　噴射・吸引設備と試験坑道２の関係

2)　設備組立、実証試験に必要な坑道

噴射・吸引設備は表 1.4.3-2 示した資機材搬入設備の能力に合わせて分割して搬入されるため、組立エリアが確保できる坑道断面が必要である。組立手順、分割部材の寸法、組立てに利用するホイストの吊代等を考慮し、組立エリアとして必要な坑道断面形状について検討した。また実証試験のために、噴射・吸引設備と塩水リユース設備を試験坑道２へ配置した場合の坑道内レイアウトを検討した。図 1.4.4-2 に組立エリアの拡幅断面、図 1.4.4-3 に試験坑道２への塩水リユース設備、および組立／試験エリアの配置例を示す。

このように試験坑道２にて処分孔竪置き方式に対する実証試験を実施するためには、試験坑道断面の拡幅、坑道の延伸等、大規模な試験坑道の整備が必要となる。



（a）組立に必要な最小寸法　　（b）組立エリアの坑道形状（馬蹄型）

図 1.4.4-2　組立エリアの拡幅断面検討例

(2)　処分坑道横置き定置方式（PEM 型）

鋼殻リング方式の PEM は直径 2,316mm、長さ 3,343mm の円筒型である[11]。図 1.4.1-2 に示す円形坑道に PEM を定置する技術として開発を進めたエアベアリング方式では、PEM-坑道間に約 150mm の空間が必要であり、実証試験のために必要な試験孔は直径 2,600mm の円形坑道となる。試験坑道２において処分坑道横置き定置方式 PEM 型の実証試験を実施する場合、坑道妻部に直径 2,600mm の試験孔を設けることで実施が可能である。また試験設備の組立エリアとして試験坑道２そのものを利用することも可能である。詳細な検討が必要であるが、既設坑道の改変を最小限に留めることが出来る。

(3)　実証試験サイトごとの実証対象

以上の検討より、既設の試験坑道２を大幅に改変必要がある処分孔竪置き定置方式を地下で実施する場合、関係機関との調整やサイトの整備に期間とコストを要し５ヵ年の事業内での実証試験の実施に支障をきたす恐れがある。既設坑道や設備を最大限に活用し改変を最小限に抑えるため、実証試験計画の検討は、表 1.4.4-1 に示す組合わせで実施する。

表 1.4.4-1　実証試験サイトと定置概念、搬送・定置オプションの組合わせ

場所	実証試験サイト	定置概念	搬送・定置オプション
地上	地層処分実規模試験施設	処分孔竪置き定置方式	原位置施工方式
地下	幌延 URL 試験坑道２	処分坑道横置き定置方式	PEM 型

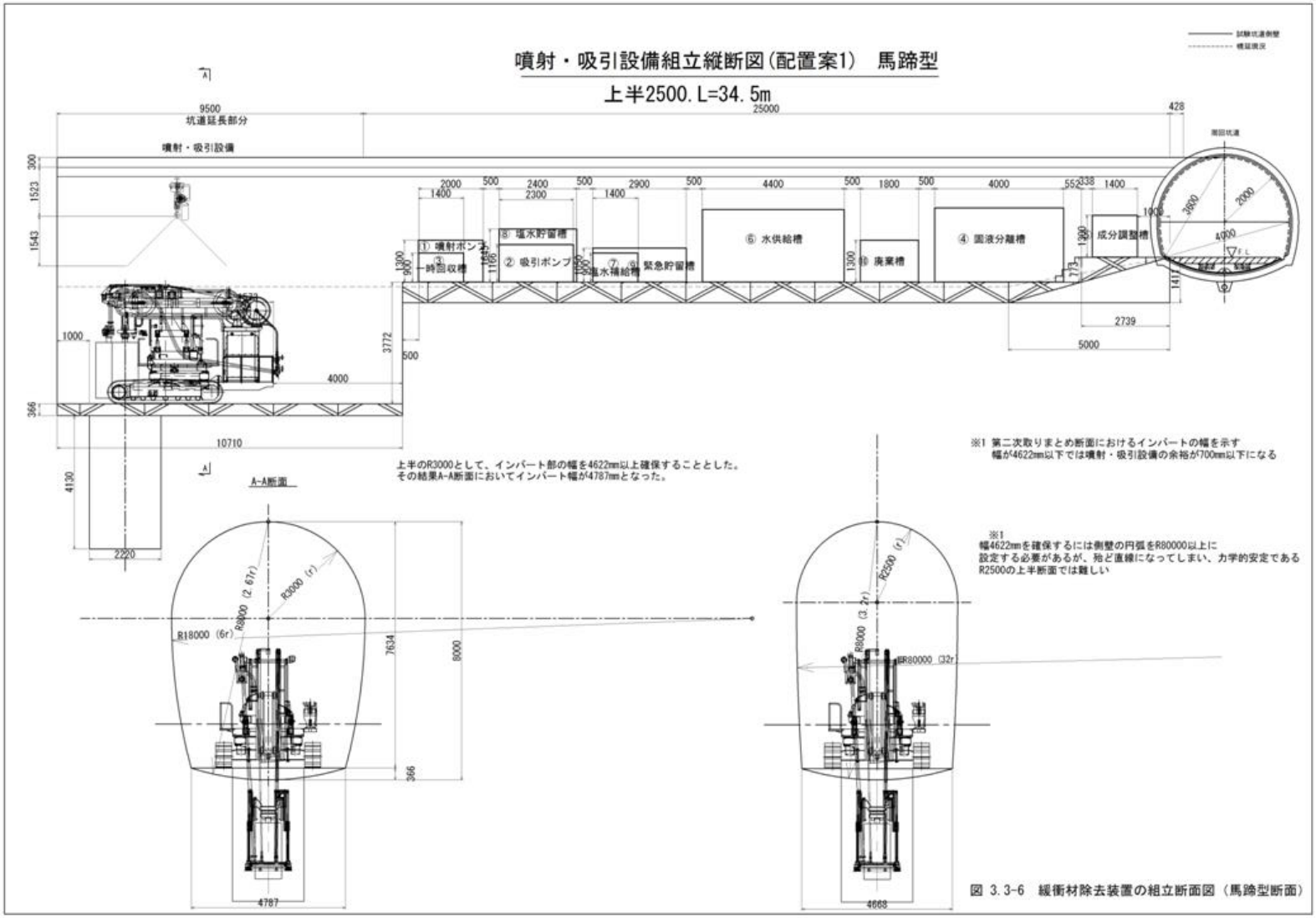


図 1.4.4-3　試験坑道２での実証試験設備レイアウト例（処分孔竪置き方式）

1.5　本年度の実施内容

平成２７年度は５年間で実施する本事業の１年目として、下記４件を実施した。

①　全体計画の策定

過去に国内外で実施された搬送定置・回収技術に係る基盤研究開発の成果に基づき、地下での実証試験などにおける課題を整理するとともに、それらの課題を踏まえ、５ヵ年を想定した適切な実証試験計画を策定する。

②　個別試験計画の具体化

立案した全体計画に基づき、各々の研究開発課題に対応した実証試験などの研究開発計画を具体化する。なお、具体化にあたっては、過去の基盤研究開発で開発した回収試験装置に関わる設備などの改良・活用を検討し、さらに試験実施に必要な装置の設計・製作を実施する。なお、改良にあたって、平成２６年度までに製作した装置や部品等の成果を活用する。

③　地層処分実規模試験施設の活用

事業の効率性の観点から、搬送定置・回収技術に関わる研究開発課題を検討するため地上試験サイトとして、資源エネルギー庁の委託事業で整備した地層処分実規模試験施設を活用する。なお、活用にあたっては、試験の一般公開による国民への理解促進活動も念頭に置くこととする。

④　回収可能性の維持についての検討

これまでの基盤研究開発で整備された搬送定置・回収技術や回収維持期間についての検討を踏まえ、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響等について、始めに人工バリアの性能維持が可能な期間の観点から分析を行うとともに、主たる影響要因について、その影響の程度を定量的に把握する。さらに、これらの結果に基づき、将来の処分場の長期的な安全性を損なうことなく坑道を維持できる期間を設定するための具体的な方策と研究開発課題を整理する。

1.6　本報告書の構成

●第１章（本章）

「可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発」の事業計画と目的を示した。本事業に係わる既往の研究成果を纏めるとともに、実証試験計画の策定の前提条件を整理した。

●第２章

高レベル放射性廃棄物地層処分事業に対して、過去に国内外で実施された搬送定置・回収技術に係わる基盤研究開発の成果に基づき、地下での実証試験などにおける課題を整理するとともに、それらの課題を踏まえ、５ヵ年の実証試験計画を策定した。

●第３章

地層処分の操業技術である搬送定置・回収技術に関して、資源エネルギー庁の委託事業で整備した地層処分実規模試験施設を活用した成果について報告する。主に「実証試験計画の検討」、実証試験計画に基づく「施設内設備の整備」について取り纏めるとともに施設を活用した試験の一般公開による理解促進活動について取り纏めを行った。

●第４章

立案した全体計画に基づく個別試験計画の具体化の一つとして、地下環境での実証試験設備の整備を実施した成果について報告する。主に「実証サイトの調査、設計」、「地下での実証試験設備の整備」について取り纏めを行った。

●第５章

立案した全体計画に基づく個別試験計画の具体化の一つとして、搬送定置技術の整備と試験計画を実施した成果について報告する。主に「前提条件の整理」、「搬送定置技術の選定」、搬送定置装置の実証試験計画」、搬送定置装置の設計」、「搬送定置装置の製作」、「確認試験結果」について取り纏めを行った。

●第６章

立案した全体計画に基づく個別試験計画の具体化の一つとして、隙間充填技術の整備と試験計画を実施した成果について報告する。主に「前提条件の整理」、「隙間充填装置の実証試験計画」、「隙間充填材の設計」、「隙間充填装置の基本設計」、「予備試験結果」について取り纏めを行った。

●第７章

これまでの基盤研究開発で整備された搬送定置・回収技術や回収維持期間についての検討を踏まえ、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響、影響を低減する工学的対策について、人工バリアの性能維持の期間、および回収可能性維持の状態の観点から網羅的に考え、分析し、整理し、取り纏めを行うとともに５ヵ年の計画を策定した。

第１章　参考文献

[1]　資源エネルギー庁 ニュースリリース、特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針が改定されました～国が前面に立って取り組みます～、2016.5.22.

[2]　資源エネルギー庁 ニュースリリース、特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針、2016.5.22.

[3]　OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, “Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel”, NEA/RWM/R(2011)4, Paris, 2011 (full report).

[4]　核燃料サイクル機構、わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第２次取りまとめ－、分冊２地層処分の工学技術、JNC TN1400 99-022

[5]　（財）原環センター、平成 17 年度地層処分技術調査等　遠隔操作技術高度化調査　報告書（２／３）、平成 18 年 3 月

[6]　（財）原環センター、平成 18 年度地層処分技術調査等　遠隔操作技術高度化調査　報告書（２／２）、平成 19 年 3 月

[7]　（財）原環センター、平成 19 年度地層処分技術調査等委託費　高レベル放射性廃棄物処分関連　処分システム工学要素技術高度化開発　報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（２／２）、平成 20 年 3 月

[8]　（公財）原環センター、平成 20 年度地層処分技術調査等委託費　高レベル放射性廃棄物処分関連　処分システム工学要素技術高度化開発　報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（２／２）、平成 21 年 3 月

[9]　（公財）原環センター、平成 21 年度地層処分技術調査等委託費　高レベル放射性廃棄物処分関連　処分システム工学要素技術高度化開発　報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（２／２）、平成 22 年 3 月

[10]　（公財）原環センター、平成 22 年度地層処分技術調査等委託費　高レベル放射性廃棄物処分関連　処分システム工学要素技術高度化開発　報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（２／２）、平成 23 年 3 月

[11]　（公財）原環センター、平成 23 年度地層処分技術調査等事業　高レベル放射性廃棄物処分関連　処分システム工学要素技術高度化開発　報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－、平成 24 年 3 月

[12]　（公財）原環センター、平成 24 年度地層処分技術調査等事業　高レベル放射性廃棄物処分関連　処分システム工学要素技術高度化開発　報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－、平成 25 年 3 月

[13]　（公財）原環センター、平成 23 年度地層処分技術調査事業　地層処分回収技術高度化開発報告書、平成 24 年 3 月

[14]　（公財）原環センター、平成 24 年度地層処分技術調査事業　地層処分回収技術高度化開発報告書、平成 25 年 3 月

[15]　（公財）原環センター、平成 25 年度地層処分技術調査事業　地層処分回収技術高度化開発報告書、平成 26 年 3 月

[16] （公財）原環センター、平成 26 年度地層処分技術調査事業　地層処分回収技術高度化開発報告書、平成 27 年 3 月
[17] （財）原環センター、平成 20 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費　地層処分実規模設備整備事業報告書、平成 21 年 3 月
[18] （公財）原環センター、平成 21 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費　地層処分実規模設備整備事業報告書、平成 22 年 3 月
[19] （公財）原環センター、平成 22 年度原子力施設立地推進調整委託費　地層処分実規模設備整備事業報告書、平成 23 年 3 月
[20] （公財）原環センター、平成 23 年度原子力施設立地推進調整委託費　地層処分実規模設備整備事業報告書、平成 24 年 3 月
[21] （公財）原環センター、平成 24 年度原子力発電設備公聴・広報等事業　地層処分実規模設備整備事業報告書、平成 25 年 3 月
[22] （公財）原環センター、平成 25 年度原子力発電設備公聴・広報等事業　地層処分実規模設備整備事業報告書、平成 26 年 3 月
[23] （公財）原環センター、平成 26 年度原子力発電設備公聴・広報等事業　地層処分実規模設備運営等事業報告書、平成 27 年 3 月
[24] 原子力発電環境整備機構、地層処分の安全確保（2010 年度版）－確かな技術による安全な地層処分の実現のために－、NUMO-TR-11-01
[25] https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/shisetsuseibi_kouji.html
[26] （公財）原環センター、平成 27 年度地層処分技術調査等事業　処分システム工学確証技術開発　報告書（第 1 分冊）、平成 28 年 3 月
[27] （公財）原環センター、平成 27 年度地層処分技術調査等事業　処分システム工学確証技術開発　報告書（第 2 分冊）、平成 28 年 3 月

第2章　全体計画の策定

2.1　全体計画策定

2.1.1　実証試験の対象

第１章にて、実証試験の対象および実施する試験サイトを表 2.1.1-1 のように設定した。

表 2.1.1-1　実証試験サイトと定置概念、搬送・定置オプションの組合わせ

場所	実証試験サイト	定置概念	搬送・定置オプション
地上	地層処分実規模試験施設	処分孔竪置き定置方式	原位置施工方式
地下	幌延 URL 試験坑道２	処分坑道横置き定置方式	PEM 型

2.2　回収対象の状態設定と回収工程の検討

「1.4.1　定置概念」の２つの定置概念は、HLW 第２次取りまとめ[1]や NUMO2010 レポート[2]でも示されているように、受動的安全に重きを置いて開発された処分場の概念である。回収可能性を維持する期間は操業期間中、言い換えれば閉鎖措置計画の認可時であり、処分坑道が埋め戻され、地上施設と地下施設をつなぐアクセス坑道や主要坑道、連絡坑道などは埋め戻されていない状態とされている[2]。また操業期間における定置作業の是正措置でも同様の技術が必要になると考えられる。回収対象の状態設定と回収工程の検討では、全ての廃棄体を回収する「全量回収」と一部を回収する「部分回収」があることにも留意する。

本項では受動的安全に重きを置いた「処分孔竪置き定置方式」と「処分坑道横置き定置方式」の 2 つの定置概念について、実証の対象を抽出するために定置作業の概略工程、回収可能性が維持されている状態の設定、回収作業の概略工程を整理した。さらに、既往の開発成果を踏まえ、本事業で実証する範囲を設定した。

2.2.1　処分坑道竪置き定置方式

(1)　処分坑道のレイアウト

処分孔竪置き定置方式の処分孔、処分坑道のレイアウトは、図 1.4.1-2 に示したものが基本ケースとして検討されている[1][2]。硬岩系の場合、処分パネルには 10m の離隔距離で処分坑道が 26 本掘削され、各処分坑道には 246 体のオーバーパックが 4.44m ピッチで定置されるレイアウトである。処分坑道が解放されていることによる人工バリアの閉鎖後長期安全性へ及ぼす影響を最小限に留めるため、定置後の処分坑道は埋戻材で埋戻し両端にプラグが設置される工程を想定する。図 1.4.1-2 のパネルレイアウトのうち、主要坑道－処分坑道連接部を拡大したものを図 2.2.1-1 に示す。

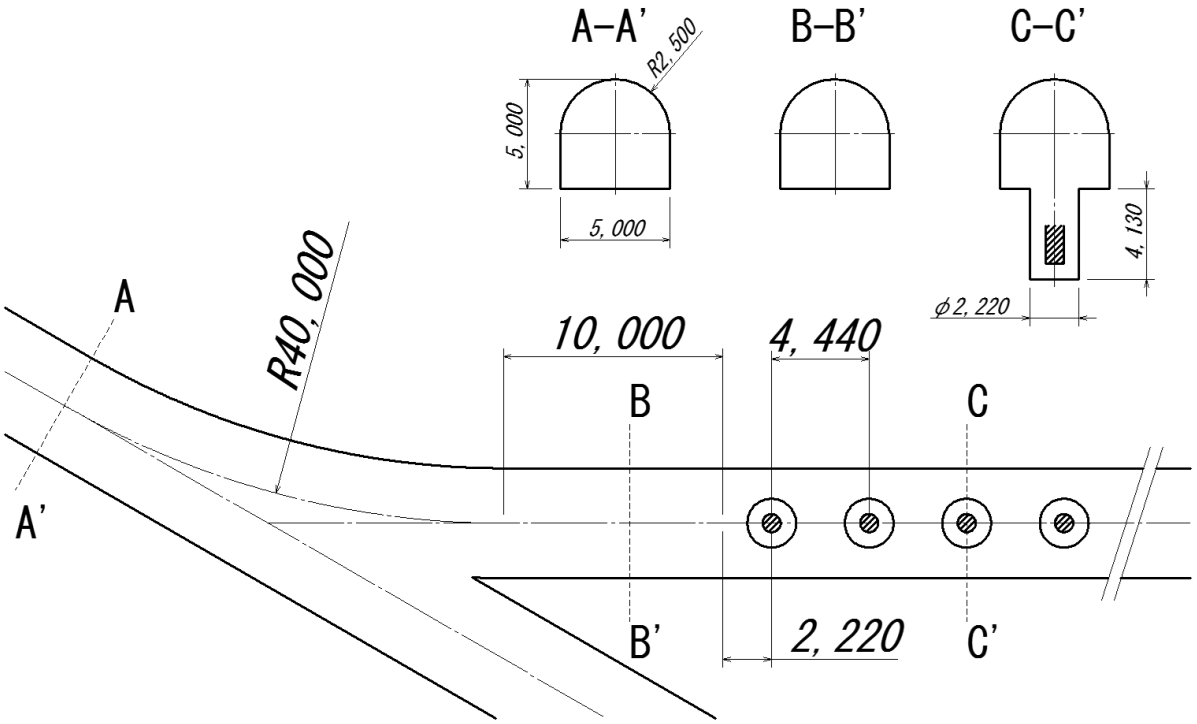


図 2.2.1-1　処分坑道と主要坑道の連接部の拡大イメージ
（処分孔竪置き定置方式（硬岩）　※参考文献[1][2]を元に作成）

(2)　定置作業工程と坑道の状態

処分坑道における定置作業の主な工程を図 2.2.1-2 に示す。岩盤中に掘削された処分坑道の床面に、処分孔が掘削されている。処分孔にオーバーパックと緩衝材から成る人工バリアが順番に定置される。１本の処分坑道に人工バリアの定置が完了したのち、坑道を埋め戻して坑道両端部にプラグが設置される。

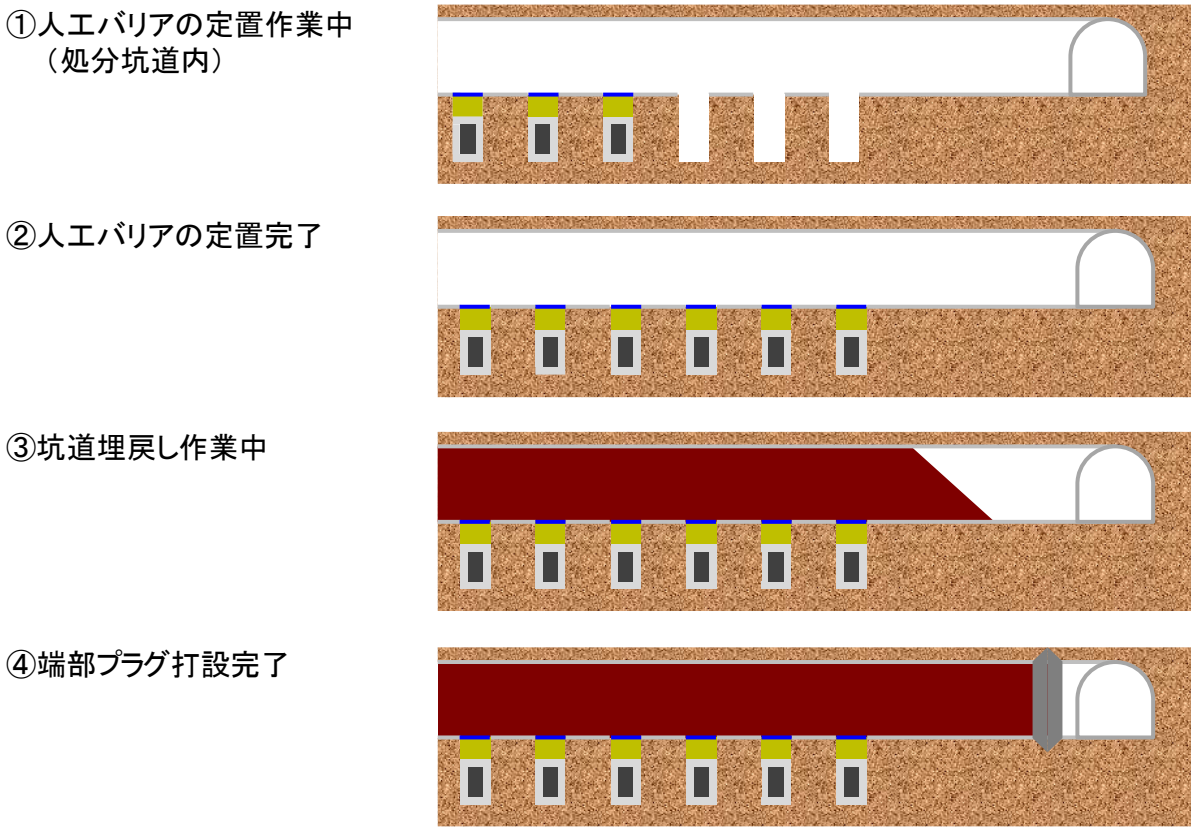


図 2.2.1-2　処分孔竪置き定置方式の定置作業

図 2.2.1-2 に基づき、１本の処分坑道を図示したものを図 2.2.1-3 に示す。定置作業中は処分坑道が解放された状態で、個々の廃棄体へアクセスが可能である。一方、定置が完了した処分坑道は両端にプラグが設置され処分坑道内は坑道埋戻材が詰められた状態である。パネル全体の定置が完了した状態における各処分坑道は図内下の状態と考えられる。

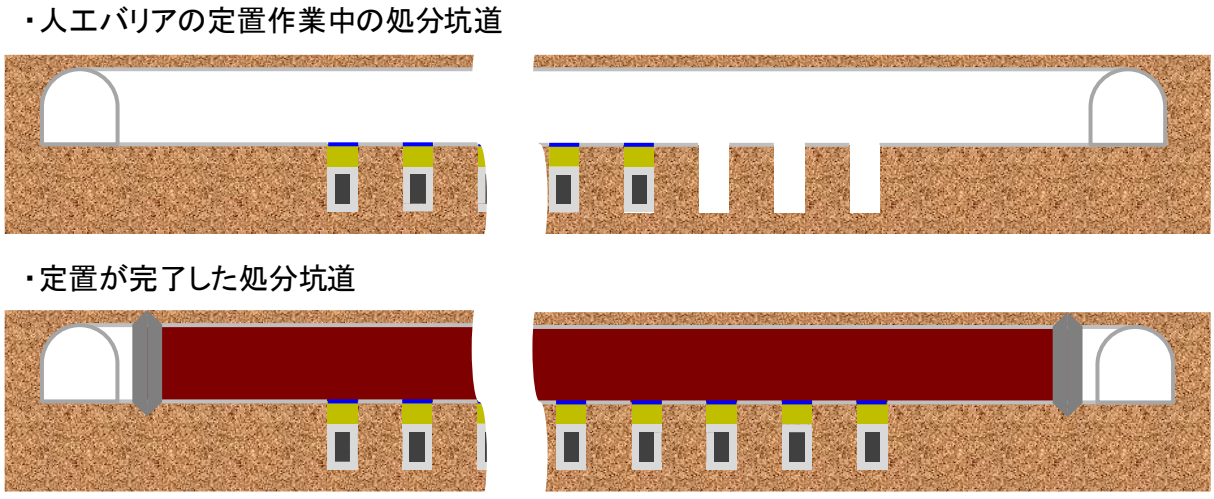


図 2.2.1-3　処分孔竪置き定置方式の処分坑道のイメージ

(3)　廃棄体の回収工程の検討

回収が行われる場合の処分坑道は、図 2.2.1-3 に示すような状態である。坑道埋戻し前（定置作業中など）の回収作業では処分坑道が解放されているが、定置が完了し処分坑道が埋め戻された場合ではプラグと坑道埋戻材の除去を行い、各処分孔にアクセス出来る状態にする必要がある。プラグや埋戻材の除去の作業では放射線の影響を考慮する必要が無いため、一般の解体技術や処分場建設時に用いられた掘削技術などが適用出来ると考えられる。また必要に応じて坑道の補修が実施される。

処分孔にアクセス出来る状態にした後、処分孔内のオーバーパックを回収する作業に移る。処分孔竪置き定置方式における処分孔内の構成要素は図 1.4.1-1 に示したが、オーバーパックを回収するためには上部埋戻材およびオーバーパック周囲の緩衝材を除去する必要がある。操業時の労働安全上緩衝材の上部に施工された上部埋戻材の除去作業は、オーバーパックから距離があるため、通常の掘削技術が適用出来ると考えられる。一方、オーバーパック直上および周囲の緩衝材の除去は、オーバーパックを破損させる恐れのない手法で実施する必要がある。これらの一連の作業では、オーバーパックがむき出し状態の高線量下での作業となるため、遠隔化など放射線への対策が必要である。

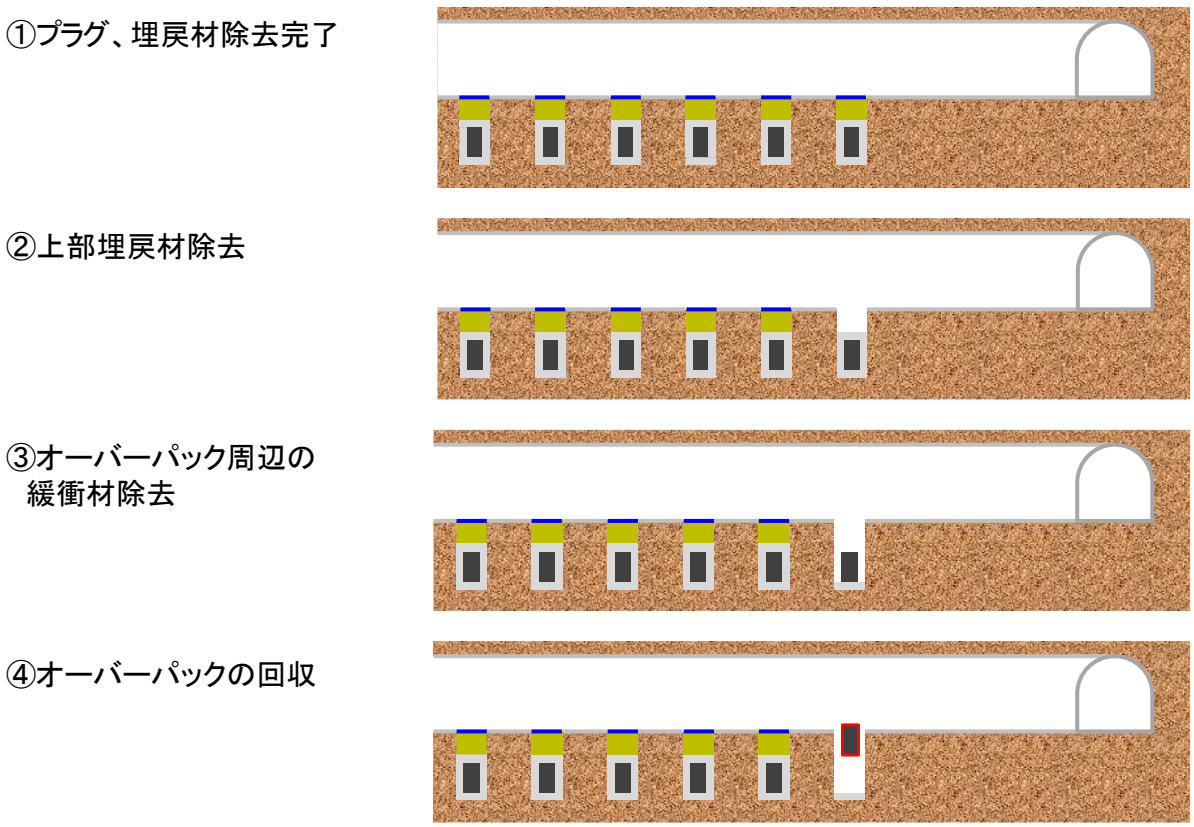


図 2.2.1-4　処分孔竪置き定置方式におけるオーバーパックの回収作業工程

2.2.2　処分坑道横置き定置方式

(1)　処分坑道のレイアウト

処分坑道横置き定置方式の処分坑道レイアウトは、図 1.4.1-4 に示したものが基本ケースとして検討されている[1][2]。軟岩系の場合、処分パネルには 9.99m の離隔距離で処分坑道が 34 本掘削され、各処分坑道あたり 190 体のオーバーパックが 3.13m ピッチで定置されるレイアウトである。処分坑道に直接廃棄体を定置するため、定置後の処分坑道は両端にプラグが設置された状態となる。図 1.4.1-4 のパネルレイアウトのうち、主要坑道－処分坑道連接部を拡大したものを図 2.2.1-1 に示す。連接部は主要坑道と同一断面の坑道が 10m あり、その妻部に円形の断面の処分坑道が接続している。廃棄体は接続部から 15m 奥から定置される。処分坑道両端部のプラグは、この部分に設置されると過程した。

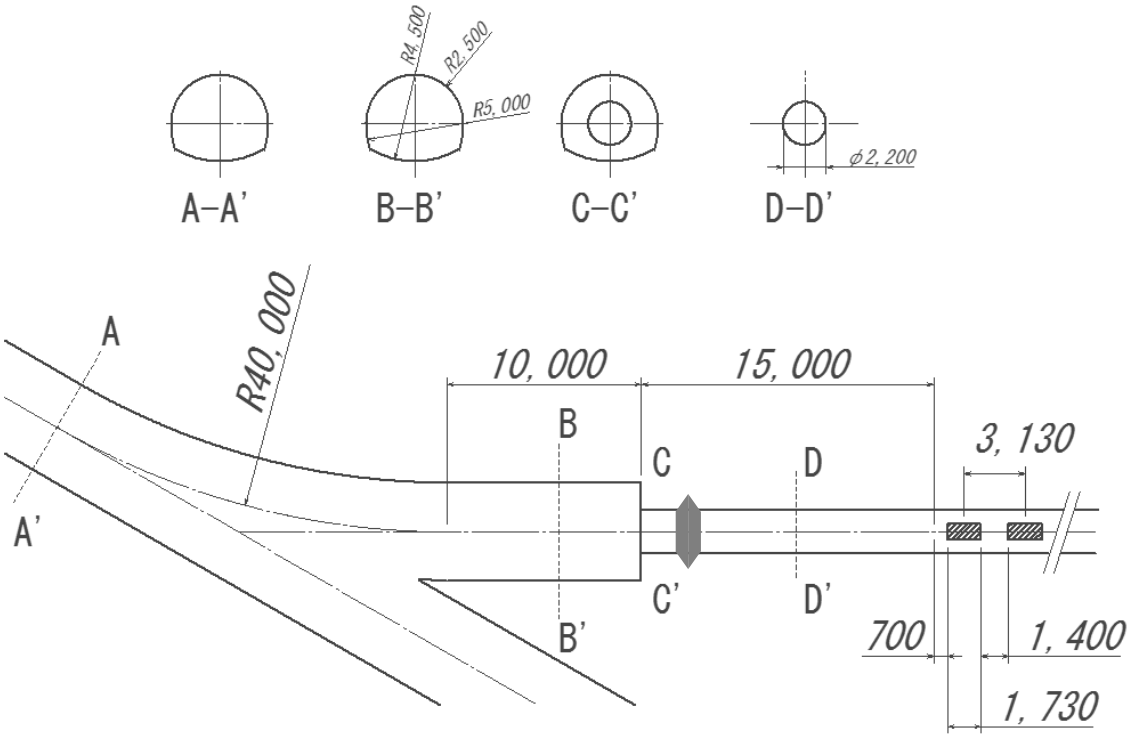


図 2.2.2-1　処分坑道と主要坑道の連接部の拡大イメージ

（処分坑道横置き定置方式（軟岩）　※参考文献[1][2]を元に作成）

図 2.2.1-1 に示されている処分坑道の直径は 2,200mm である。これは図 1.4.1-3 にも示したが HLW 第 2 次取りまとめに示された横置き方式の人工バリアの外形である。この径はペレット充填方式や吹付方式など、原位置で緩衝材を所定の密度、厚さに施工する操業オプションでは実現可能であるが、ブロック定置方式や PEM(Prefabricated Engineered Barrier Module)方式のように作業のために空間が必要な手法では達成できない。本事業における処分坑道横置き定置方式での搬送・定置オプションの検討対象として、1.4.2 にて PEM 型を選定した。これまでの PEM の搬送定置技術に係わる基盤研究では、円形坑道を対象とし狭隘部での作業が実現可能なエアベアリング方式が検討されている。エアベアリング方式を採用する場合、処分坑道の最小断面径は 2,600mm 程度となる。またオーバーパック同士の間隔も図中では緩衝材の厚さに相

当する 1,400mm であるが、PEM の鋼殻の厚みと PEM 同士の定置間隔を加えたものになる。

(2)　定置作業工程と坑道の状態

処分坑道における定置作業の主な工程を図 2.2.2-2 に示す。岩盤中に掘削された処分坑道に直接 PEM が定置される。処分坑道と PEM の間には搬送・定置作業のため必要な隙間が存在しており、人工バリアの長期安全性の観点から適切な充填材を施工することが検討されている。直径 2,600mm の処分坑道では、この隙間は搬送・定置作業に必要な最小限のものであるため、PEM 1 体ごとに定置と隙間充填を行う工程が考えられる。この作業を繰り返し、1 本の処分坑道に PEM の定置が完了したのち、処分坑道両端部にプラグが設置される。

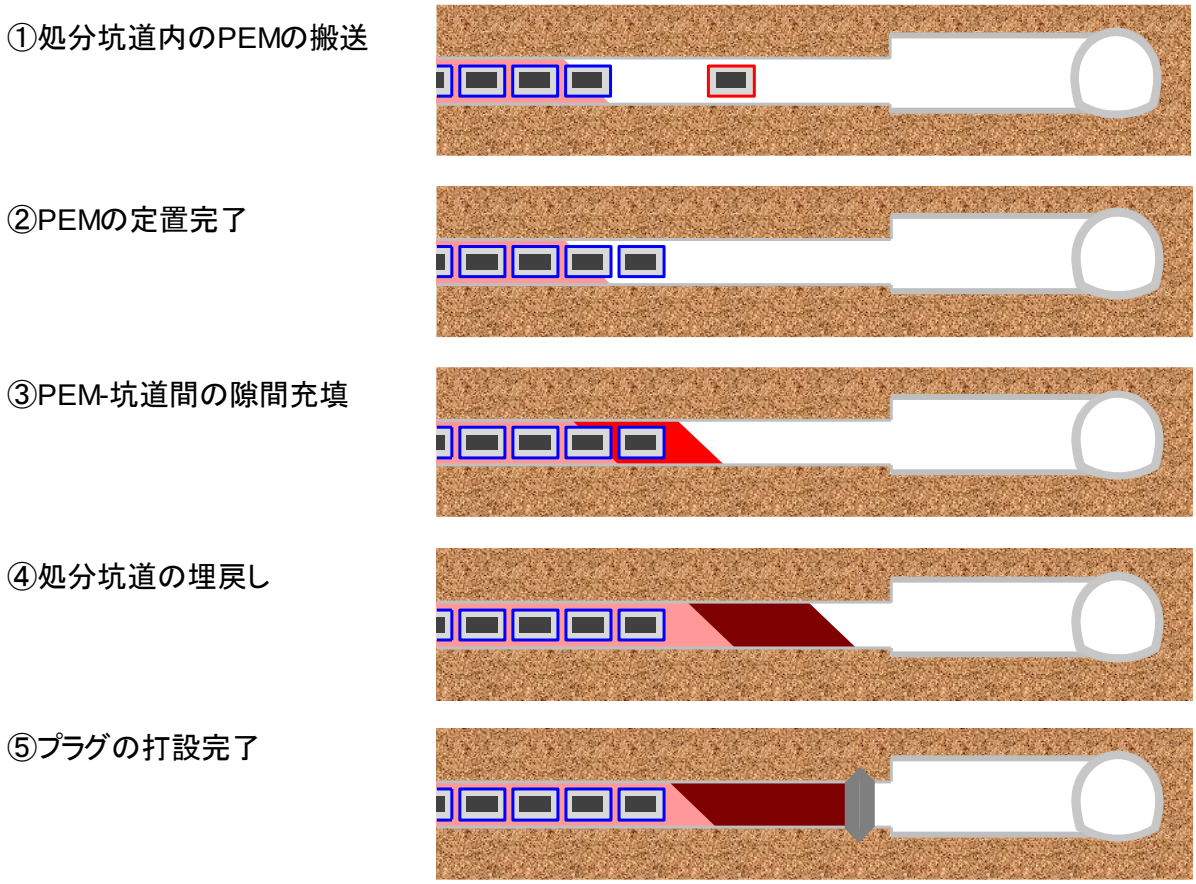


図 2.2.2-2　処分坑道横置き定置方式 PEM 型の定置作業

図 2.2.2-2 に基づき、1 本の処分坑道を図示したものを
図 2.2.2-3 に示す。定置作業中は処分坑道が解放された状態で、老番の PEM へアクセスが可能である。PEM は定置まま、または PEM - 坑道間の隙間充填材が施工された状態が考えられる。一方、定置が完了した処分坑道は両端にプラグが設置され処分坑道内は坑道埋戻材が詰められた状態である。パネル全体の定置が完了した状態における各処分坑道は図内下の状態と考えられる。

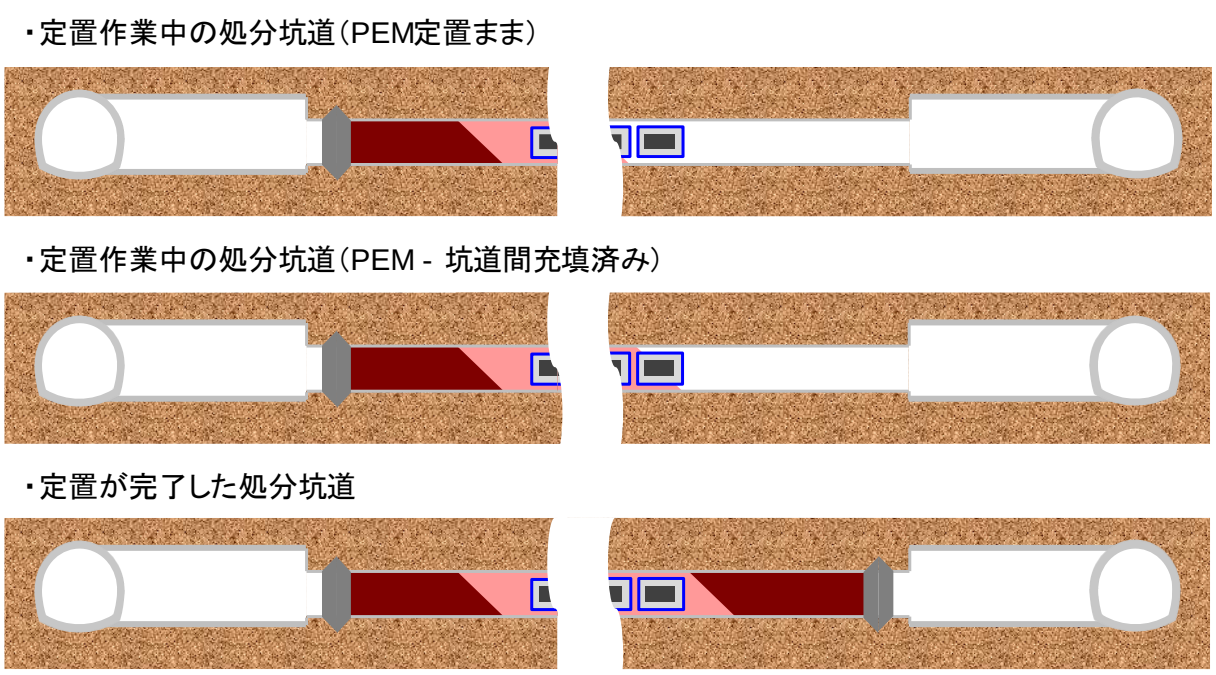


図 2.2.2-3　処分坑道横置き定置方式 PEM 型の処分坑道のイメージ

(3)　廃棄体の回収工程の検討

回収が行われる場面の処分坑道は、図 2.2.2-3 に示すような状態である。坑道埋戻し前（定置作業中など）の回収作業では老番側の PEM にアクセス出来るが、定置が完了し処分坑道が埋め戻された場合ではプラグと坑道埋戻材の除去を行い、PEM にアクセス出来る状態にする必要がある。プラグや埋戻材の除去の作業では放射線の影響を考慮する必要が無いため、一般の解体技術や処分場建設時に用いられた掘削技術などが適用出来ると考えられる。また必要に応じて坑道の補修が実施される。

PEM 型における回収作業は大きく分けて２つの方法が考えられる。

1)　PEM からオーバーパック単体を回収する方法

PEM 鋼殻を切断し竪置きと同様にオーバーパック周囲の緩衝材を除去してオーバーパックを回収、若しくはオーバーパック周囲をオーバーコアリングする。オーバーパック回収後、残された鋼殻を撤去する。この作業では、オーバーパックがむき出し状態の高線量下での作業となるため、遠隔化など放射線への対策が必要である。

2)　PEM を回収する方法

PEM 容器ごとオーバーパックを回収する方法である。PEM 鋼殻 - 坑道間の隙間充填材を除去したのち、搬送・定置の逆動線で PEM を処分坑道から搬出する。このの作業ではオーバーパックは 700mm の緩衝材と鋼殻内にあるため、オーバーパックそのものを回収する場合よりも低線量下での作業となるが、狭い坑道内での作業のため、作業時の安全確保の観点から遠隔操作等の対策が必要になると考えられる。

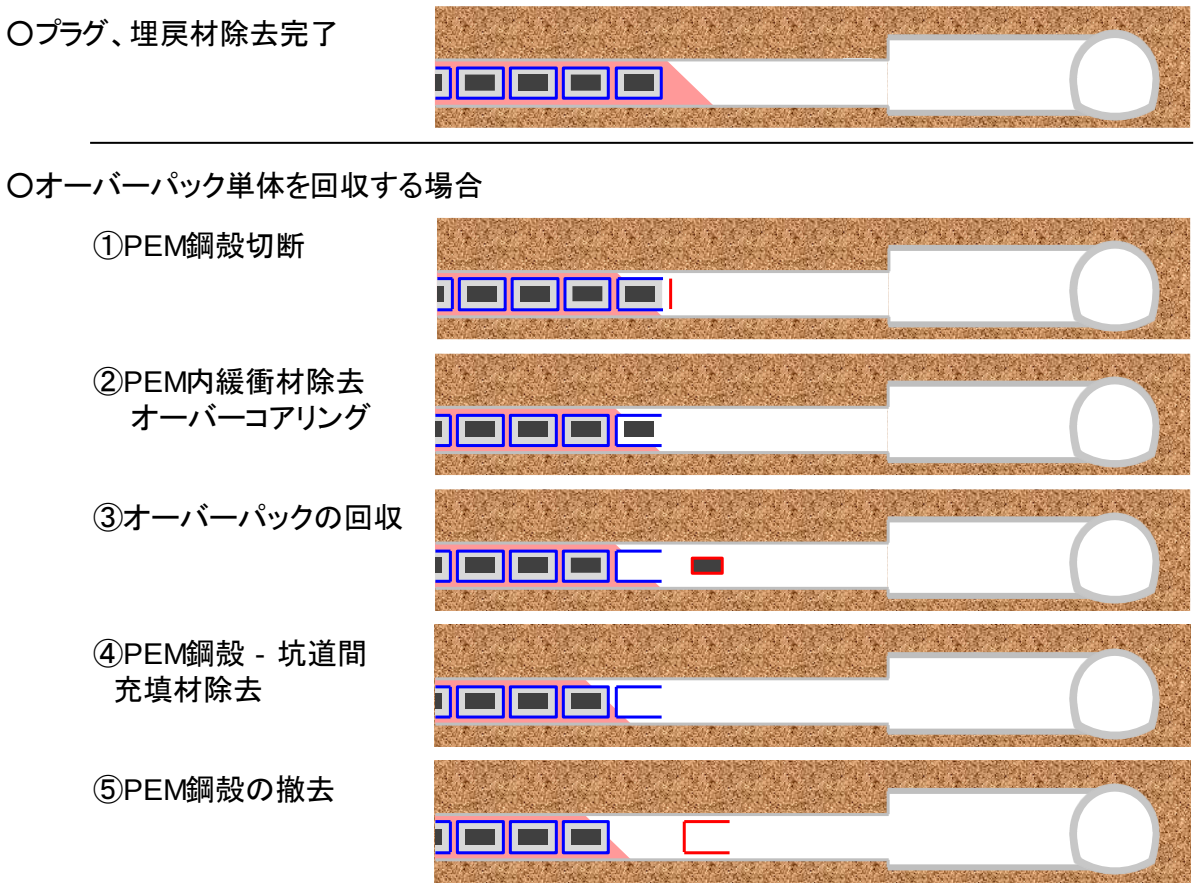


図 2.2.2-4　処分坑道横置き定置方式における廃棄体の回収作業工程

オーバーパック単体を回収するためには、PEM の鋼殻の除去、鋼殻内部の緩衝材の除去、鋼殻の撤去が必要である。一方、PEM を回収するためには PEM - 坑道間の隙間充填材の除去が必要である。オーバーパック周囲の緩衝材、PEM 周囲の隙間充填材の除去は、オーバーパックや PEM 鋼殻を破損させる恐れのない手法で実施する必要がある。

3)　回収の対象の選定

このように処分坑道横置き定置方式 PEM 型の回収工程は２つの方法が考えられている。本事業で実証の対象とする方法を選択するため、以下の項目について比較した。

●操業時の放射性安全の確保

オーバーパック単体と PEM を回収する場合の作業環境の線量を比較した場合、PEM を回収する方がオーバーパックのむき出し状態にならないため、より低線量下での作業となる。PEM を回収する方が、実際の操業時におけるゾーニング、放射線安全が確保し易いと考えられる。

●既往の技術の適用性

逆動線で PEM を回収する場合、これまでに整備した搬送・定置技術が適用出来る。

●工程の単純化

図 2.2.2-4 に示すように、オーバーパック単体を回収する場合は、PEM 鋼殻の切断、オーバーパック周囲の緩衝材の除去＋オーバーパックの回収、またはオーバーコアリング＋オーバーパックの回収、PEM 鋼殻－坑道間の隙間充填材の除去、PEM 鋼殻の撤去が主たる工程として考えられる。一方 PEM を回収する場合は、PEM 鋼殻－坑道間の隙間充填材の除去、PEM の搬出が主たる工程である。後者の工程の方が少なく、実証試験で対象とする技術が明確化出来る。

●試験の境界条件

表 2.1.1-1 に示したように、処分坑道横置き定置方式 PEM 型の実証試験は、幌延 URL 試験坑道２で実施する。オーバーパック単体を回収する場合は PEM 鋼殻内に存在するオーバーパック周囲の緩衝材の除去、オーバーパックの回収である。回収のための緩衝材の除去は PEM の鋼殻内で完結するため、鋼殻外側の地下環境は実証試験に影響せず、地上で実施する場合と同一の評価となる。一方 PEM を回収する場合、PEM - 坑道間の隙間充填材が除去対象であり、実際の地下環境に施工された坑道壁面の影響や、作業が周辺環境へ与える影響等を実証試験結果の評価対象にすることが出来る。

●PEM の健全性の保証

PEM を回収する場合、回収作業中に PEM 容器が破損や分解せずに安全に取り扱い可能であることが必須である。そのため PEM が搬送・定置時と同一の健全性を有していることを何らかの手段で確認する必要がある。一方オーバーパック単体を回収する場合、回収可能性が維持される期間にオーバーパックが腐食等で破損する可能性は極めて低いと考えられるため、状態に因らない廃棄体の回収方法と位置付けることが出来ると考えられる。ただし、本事業は５年間の計画であるため、PEM の健全性が損なわれる可能性は低いと考えられる。

以上の観点より比較し、本実証試験では PEM を回収する方式を選択した。

2.2.3　実証試験ための課題の整理

(1)　既往の開発成果

HLW 第２次取りまとめにて示された「処分孔竪置き定置方式」「処分坑道横置き定置方式」の２つの定置概念について、オーバーパックや緩衝材の製作技術、搬送・定置技術の検討が進められてきた。これまでの調査研究開発の経緯や成果については前章 1.3 に示した。また開発成果のうち、本事業に係わる重要なものついては、図 1.3.5-1、図 1.3.5-2 に実際の写真で示した。これらを定置概念、操業の各工程の技術で整理したものを図 2.2.3-1 に示す。図中に写真があるものは、実規模スケールで検討されているものである。

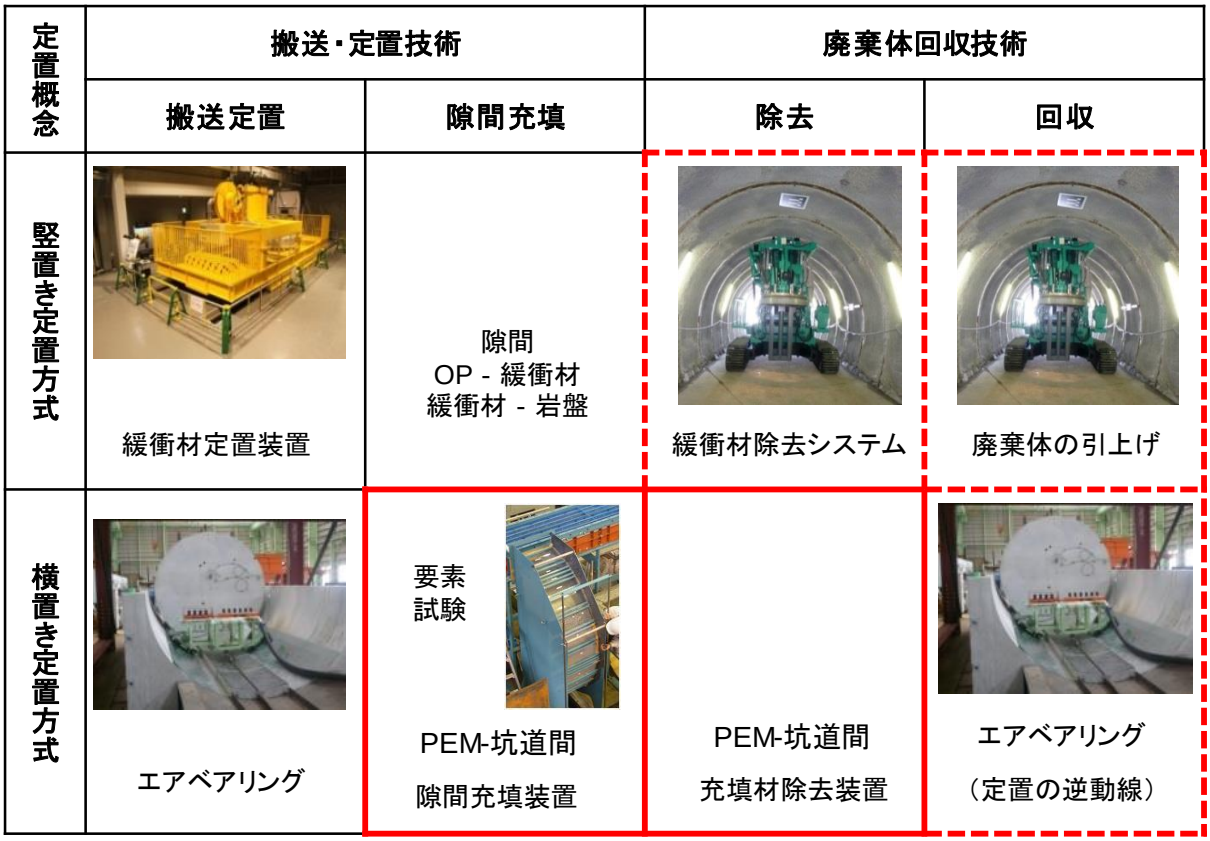


図 2.2.3-1　既往の開発成果と本事業での対象とする技術の整理

(2)　試験の対象の整理

1)　処分孔竪置き定置方式

「ブロック型」については、地層処分実規模施設整備事業にて実規模スケール緩衝材定置装置が製作され、実物の緩衝材ブロックやコンクリ―ト製の模擬緩衝材ブロックを用いた実証試験が実施されている[3]。

オーバーパック - 緩衝材間の 20mm の隙間や、緩衝材 - 処分孔間の 40mm の隙間については、緩衝材の品質の観点からペレット充填といった方法が提案されているものの、実規模スケールでの装置化や試験は実施されていない。緩衝材は地下水の浸潤により膨潤するため、予め緩衝材の初期乾燥密度を 1.6Mg/m^3 より高くしておく方法もある。

廃棄体の回収技術については、オーバーパック周囲の緩衝材の拘束圧取り除き、オーバーパックを取り可能な状態にする緩衝材除去技術が回収技術高度化開発で検討され、実規模スケールの塩水噴射・吸引設備、塩水リユース設備、遠隔操作設備から成る緩衝材除去システムが整備されている[4]。回収技術高度化開発では実規模スケールの模擬人工バリアに対して、塩水を利用したオーバーパック周辺の緩衝材の除去に要する時間や、塩水リユース設備の効率などが実証で試験された。残された課題としては、緩衝材の密度や飽和度が除去効率に及ぼす影響の評価や、オーバーパック周囲の緩衝材をすべて除去せず把持部周辺のみを除去してオーバーパックを引き抜くなど、回収作業効率化の可能性を提示すことなどが挙げられる。

2)　処分坑道横置き定置方式（PEM 型）

処分システム工学要素技術高度化開発にてエアベアリングによる PEM の搬送・定置試験が実規模スケールで実施された[5]。コンクリート製の模擬坑道上で模擬 PEM を載せてウインチで牽引して、エアによる浮上量や摩擦の低減効果に係わる要素試験が実施された。実際の操業時には牽引ではなく動力台車等で押す動作となるため、走行性や定置精度等を確認する必要がある。

PEM - 坑道間の隙間の充填については、充填作業を容易にするための台座の設置、大小球ペレットを用いた充填試験が実施され、幅 600mm モデル隙間への重力落下による充填性能の評価、ラウンドブローによるペレット供給技術が検討されている[6]。装置化を含む実規模スケールでの実証試験が必要である。

PEM を回収するために、周囲を拘束する隙間充填材を除去する技術については、粘土系材料という共通性から、処分坑道竪置き定置方式で実施した塩水を用いた除去技術が応用出来ると考えられる。装置化を含む実規模スケールでの PEM - 坑道間の隙間充填材の除去技術の実証試験が必要である。

隙間充填材を除去後、搬送・定置作業の逆動線で PEM を回収する。エアジャッキ動作は坑道底部が乾燥した状態の他に、坑道内湧水を想定し水を溜めた環境での走行試験も実施されている[7]。しかしながら粘土系材料である隙間充填材を除去した後に想定される環境での走行試験や、逆動線で回収作業を行うための前工程である隙間充填材の除去技術への要求項目の抽出等、工程の繋がりに留意した課題の設定、対策の検討、実証試験による対策が必要である。

以上のように「処分孔竪置き定置方式」、「処分坑道横置き定置方式」ともに、回収可能性を担保する回収技術の提示へは課題が残されている。

「処分孔竪置き定置方式」については地層処分回収技術高度化開発にて緩衝材除去システムを整備し、地上での実施ではあるが実規模スケールでの実証的検討が行われており、今後の課題としては技術の適用性や信頼性を向上させるための実証試験データの拡充が開発課題の中心になると考えられる。これについては地層処分実規模試験施設を活用した試験計画の検討として、今後詳細に検討していく。一方「処分坑道横置き定置方式 PEM 型」については、回収砂技術の要となる隙間充填材の除去技術が整備されていない。次項以降では横置き PEM 型の実証試験を主として、試験計画の立案を進めていく。

2.3　処分坑道横置き方式 PEM 型の実証試験計画の立案

前項では「処分孔竪置き定置方式」と「処分坑道横置き定置方式 PEM 型」の２つの定置方式について、廃棄体のレイアウトの整理、廃棄体の回収が行われる場合の処分坑道の状態、廃棄体の搬送・定置から回収までの操業期間中の工程を概略的に示し、既往の研究開発成果の状況を加味して、実証試験で対象となる技術を抽出した。本項では「処分坑道横置き方式 PEM 型」について、実証試験計画を立案する。

2.3.1　実証試験に必要な項目の整理

(1)　試験計画に反映すべき項目

地層処分事業は、地下深部に建設された坑道から構成される処分場に、高レベル放射性廃棄物を安全に処分するものである。この文章で太字下線を付けた部分が地層処分事業のキーワードであり、実証試験計画を立案する上で重要な位置を占めるものであると考えられる。以下に各キーワードから試験計画に反映すべき内容を整理する。

1)　地下深部（地質環境特性）

高レベル放射性廃棄物の地層処分場が建設され、操業が行われる 300m 以深の特性は様々な項目と密接に関連する。岩盤の強度（軟岩／硬岩）は坑道の力学的安定性に影響し、坑道の断面形状や坑道間の離隔、坑道支保など地層処分施設の設計に影響する。また岩盤の熱伝達性は廃棄体の定置密度に関連する。岩盤の種類（堆積岩系／結晶質岩系）は亀裂や透水係数に関係し、坑道への湧水の状況に影響する。活断層はパネルの配置に影響する。サイトによってはガスや温度、湿度といった坑内環境に影響する因子も考慮する必要がある。

2)　坑道から構成される処分場（坑内環境条件）

地下深部に建設された坑道は、廃棄体を定置する場所であるだけでなく、地層処分のあらゆる作業を実施する地下空間である。操業に用いられる装置や機械が動作する空間であるから、装置や機械は施工された坑道内の種々の制約（湧水、不陸など）下で目的の機能を発揮する必要がある。逆に装置設計側から坑道設計側へ、内空の仕上がり等の要求もあり得る。

3)　高レベル放射性廃棄物（ハンドリングの対象）

使用済み燃料の再処理で発生する高レベル放射性廃液をガラス固化したものである。本項ではガラス固化体、オーバーパック、緩衝材を予め地上施設で組み立てた PEM (Pre-fabricated Engineered Barrier System Module)として扱う。

4)　安全（判断・判定、状態把握）

地層処分事業における安全とは、放射性廃棄物を生物圏から確実に隔離するための閉鎖後長期の安全、建設・操業段階での一般労働安全、放射性安全の３つが挙げられる。“安全”と表現する場合、何を根拠として安全と判断するのか、またどのように保証されるものなのかという概念が重要である。

5)　処分する（実証試験設備・装置）

本項では PEM の搬送・定置、充填材の施工・除去、PEM を回収する行為と置き換える。実現するための手段が装置である。

以上より、実証試験の計画は以下の５項目の観点から検討して策定する。

- 地質環境特性
- 坑内環境条件
- ハンドリングの対象
- 実証試験設備、装置
- 状態把握、判断・判定

(2)　地質環境特性

処分坑道横置き方式 PEM 型の実証試験は幌延 URL 地下 350m 調査坑道２を地下実証サイトとして整備し実施する計画である（表 2.1.1-1 参照）。試験坑道２の位置を図 2.3.1-1 に示す[8]。試験坑道２の岩盤区部等の情報は「第４章　地下での実証試験設備の整備」に示した。

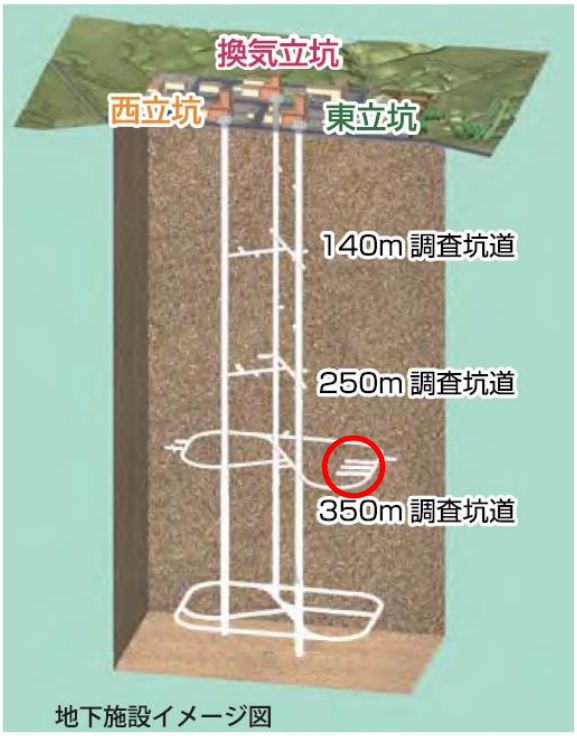


図 2.3.1-1　幌延 URL 鳥瞰図[8]

(3)　坑内環境条件

廃棄体の回収は、坑道が構築され廃棄体が埋設処分された後に行われる行為であることから、地下環境の諸条件が整理把握された状況での作業である。地震影響や地殻変動などの地山特性に変化がない限り、地下環境特性は建設・操業時とは変わらないものと想定できる。廃棄体回収装置は、例えば高地熱や可燃性ガスの噴出、化学的特性の多い地下水などといった、地点特有の環境条件に対応した装置が必要となる。

平成 17 年度～平成 18 年度遠隔操作技術高度化調査[9][10]、平成 19 年度～平成 20 年度処分システム工学要素技術高度化開発[6][11]にて、実地調査結果を含めた地下（坑道）環境の実態

についての調査が行われた。ここではこれらの報告を参考に、一般的な大気特性（温度、湿度）と湧水特性（湧水量）、および坑道壁面の不陸について整理し取りまとめた。

1)　温度および湿度

自然換気を行っている既設坑道の湿度、温度、風速について調査が実施された[6]。その結果、地温の影響等により坑内温度が、既設坑道では概ね 19℃であり坑外の温度（17℃）に比べ高いこと、坑道壁面等の水分の蒸発散による影響により坑内湿度は 75%と一定であり、坑外の湿度（70%）に比べ高いことが確認されている。その原因としては、岩盤等の水分の蒸発散、湧水状況などによると考えられる。「湿度」、「温度」に関しては、地上施設であれば空調等により制御は可能であると考えられるものの、地下施設では基本的に制御が難しい。また、主に海底トンネルや炭坑などを選定した温度と温度の実態調査結果が行われた[11]。その結果が表 2.3.1-1 に示すようにとりまとめられている。これらの結果を総括すると以下となる。

・設置深度によっては、坑内作業環境規定の温度 37℃を上回る環境も想定される。換気システムにより制御される場合も想定される。
・温度（坑内）は、換気の有無、換気の程度、深度、地温勾配などにより、温度環境が大きく異なることに留意が必要。
・湿度については、坑道内で制御することは難しく、換気の有無、換気の程度、岩盤の種類、湧水量などにより異なるが、恒常的に高湿度環境であると想定される。

表 2.3.1-1　湿度、温度の調査結果および建設技術での対応について

操業環境指標	調査結果	搬送・定置段階における対応
温度	坑外 17℃ 坑内 19℃前後 （地下約 500m、自然換気状態）	処分深度によっては、坑内作業環境規定による制約を上回る地下環境が想定される。換気システムによる環境制御が可能になる場合も想定されるが、無人化・耐熱機械による建設技術も必要。
湿度 （坑内）	坑外 70% 坑内 75%	換気の有無、換気の程度、岩盤の種類、湧水量などにより異なるが、高湿度環境が想定される。湿度制御は難しく、無人化・耐湿度機械による建設技術も必要。

2)　湧水

湧水対策としてのグラウト工法の既設空洞における湧水対策の実態について調査した結果、グラウトのみで止水することは出来ないが、0.2L/min 程度へ湧水量を抑制が実績として把握されている[10]。

3)　坑道壁面の性状

掘削技術のうち TBM 工法と支保・覆工技術のうち、吹付けコンクリート工法を用いて構築されている既設トンネルに対する坑道内環境調査が行われた[10][9]。吹付コンクリートを施工した坑道壁面の凹凸形状は 3D レーザスキャナにより計測されている（図 2.3.1-2）。

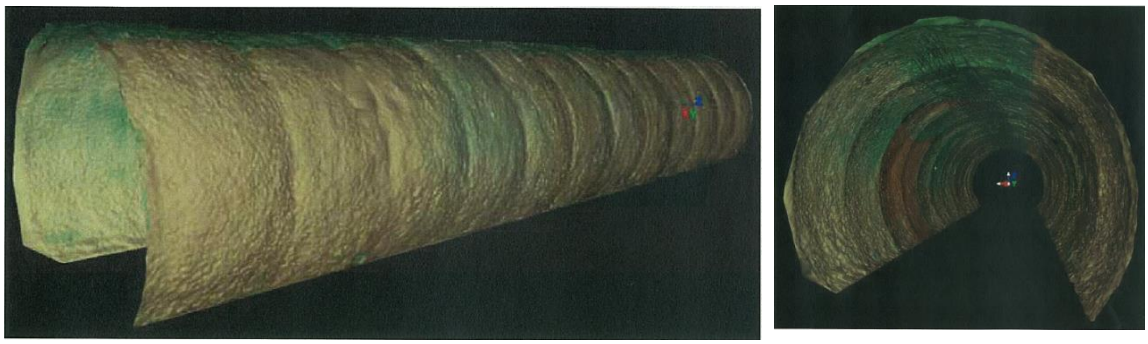


図 2.3.1-2　吹付コンクリートを施工した坑内の 3D 計測結果のイメージ[10]

平均断面に対し概ね±4cm、鋼製支保工が埋設されている部位は、概ね 6cm 程度坑道内側へ縮小している実態が確認された。また、コンクリートセグメント施工トンネルに対する坑道内環境調査では概ね±2cm の不陸が確認されている。
掘削技術として発破掘削工法、支保・覆工技術として吹付けコンクリート工法を用いて施工されている既設坑道の坑道内環境調査から、平均断面に対し概ね±5cm の不陸が確認されている[6]。

坑道壁面の状態を表す特性として「Steps（段差）」、「Roughness（表面粗度）」に着目し、調査データの分析が進められた。「Steps（段差）」に関しては、

TBM 工法（吹付けコンクリート無）：不陸量の最大 49mm、傾斜の最大 3.2
TBM 工法（吹付けコンクリート有）：不陸量の最大 84mm、傾斜の最大 3.4
発破掘削工法（吹付けコンクリート有）：不陸量の最大値 92mm、傾斜の最大 3.3

となり、吹付けコンクリートを実施すると掘削工法に関係なく最大約 100mm 程度の段差が発生することが把握されている。また、傾斜の最大は全ての工法及びその組み合わせにおいて、計測点間の距離 7mm の時に 3 程度であることが把握されている。
「Roughness（表面粗度）」に関しては、
吹付けコンクリート無し：不陸量の最大 13mm
吹付けコンクリート有り：不陸量の最大 19mm
であり、支保・覆工技術に影響を受け、傾斜の最大は全ての工法及びその組み合わせにおいて、計測点間の距離 0.007m の時に 3 程度であることが確認されている（表 2.3.1-2 参照）。

表 2.3.1-2　達成可能な操業環境（「ずれ」及び「表面粗度」）

掘削技術あるいは支保・覆工技術 / 指標		硬岩系				軟岩系		
		TBM		発破掘削		シールド	機械掘削	
		支保無	支保有 (H-100)	支保無	支保有 (H-100)	支保有（セグメント）	支保無	支保有 (H-250)
ずれ（Step）	最大値	49mm	84mm	—	92mm	2mm	—	98mm
	最大傾斜（ずれの最大値/計測点間距離）	3.2	3.4	—	3.3	—	—	3.4
表面粗度（Roughness）		13mm	19mm	—	41mm	極小	—	28mm

これらの結果を総括すると、国内の地下環境では、掘削技術および支保・覆工技術に応じて構築される壁面状態が異なることが想定されることから、対象とする坑道の壁面状況、構築方法（掘削技術、支保・覆工技術の種類）、建設時に得られる地山調査情報の他に、現地にて直接的に情報を得る必要がある。

表 2.3.1-2 は種々の掘削技術や支保の有無で達成可能な坑道壁面の性状である。本事業で地下実証試験サイトとして選定した幌延 URL 試験坑道２は、表中の赤枠に該当する。今回の実証試験において「ずれ」や「表面粗度」は坑道壁面と直接接触する、装置や隙間充填材の振舞い、特に PEM の搬送・定置、回収に使用するエアベアリングの動作には強く影響する。試験坑道２に対しても同様の測定を実施し、実績が表 2.3.1-2 に収まっているのかを確認するとともに、充填工程における密度管理に必要な試験坑道２の正確な内空形状を取得する必要がある。

(4)　ハンドリングの対象

実証試験対象とした PEM は、平成 23 年度処分システム工学要素技術高度化開発にて検討・整備した鋼殻リング方式とした[5]。表 2.3.1-3、図 2.3.1-3 に仕様および寸法を示す。今回の実証試験は PEM の搬送・定置、回収に着目し、PEM 内部の人工バリアの性能評価は対象としていない。そのため外寸法、重量、重心位置を再現した模擬 PEM を使用する。

表 2.3.1-3　搬送定置対象となる PEM の仕様及び寸法

項目	仕様
寸法	φ2,316mm×3,343mm
重量	33.4 ton
重心	PEM 容器中心
構造	オーバーパック、緩衝材等、PEM 内部構造については模擬しない。

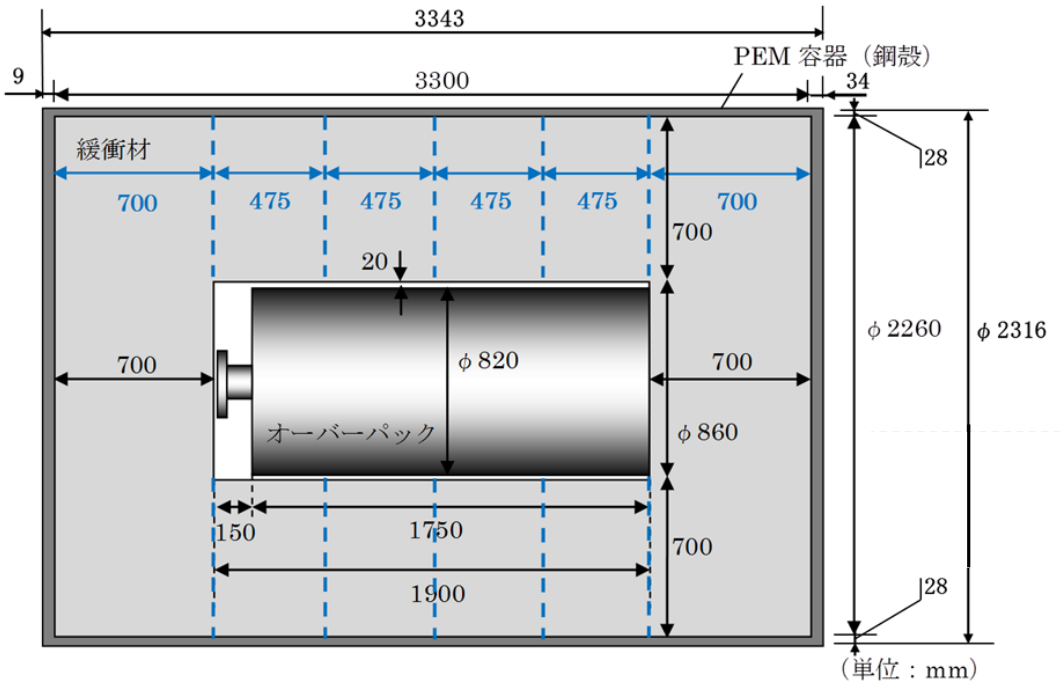


図 2.3.1-3　搬送定置対象となる PEM の仕様及び寸法[5]

(5)　実証試験装置

2.2.3(1)で整理した既往の開発成果のうち、処分坑道横置き定置方式 PEM 型の部分を抽出したものを図 2.3.1-4 に示す。搬送・定置、回収工程で使用するエアベアリングについては、実規模スケールでの搬送・定置試験まで実施されている。隙間充填技術や充填材除去技術については、これまでの基盤研究開発の成果を応用して、実証試験の目的を達成出来るような整備が必要である。

図 2.2.2-4 に示した PEM の回収工程を具体化したものを図 2.3.1-5 に示す。PEM の回収作業は、隙間充填材の除去と PEM の搬出を繰り返すことで達成される。

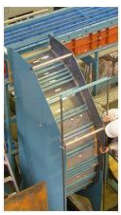
定置概念	搬送・定置技術		廃棄体回収技術	
	搬送定置	隙間充填	除去	回収
横置き定置方式	 エアベアリング	要素試験  PEM-坑道間 隙間充填装置	PEM-坑道間 充填材除去装置	 エアベアリング （定置の逆動線）

図 2.3.1-4　処分坑道横置き PEM 方式の操業技術

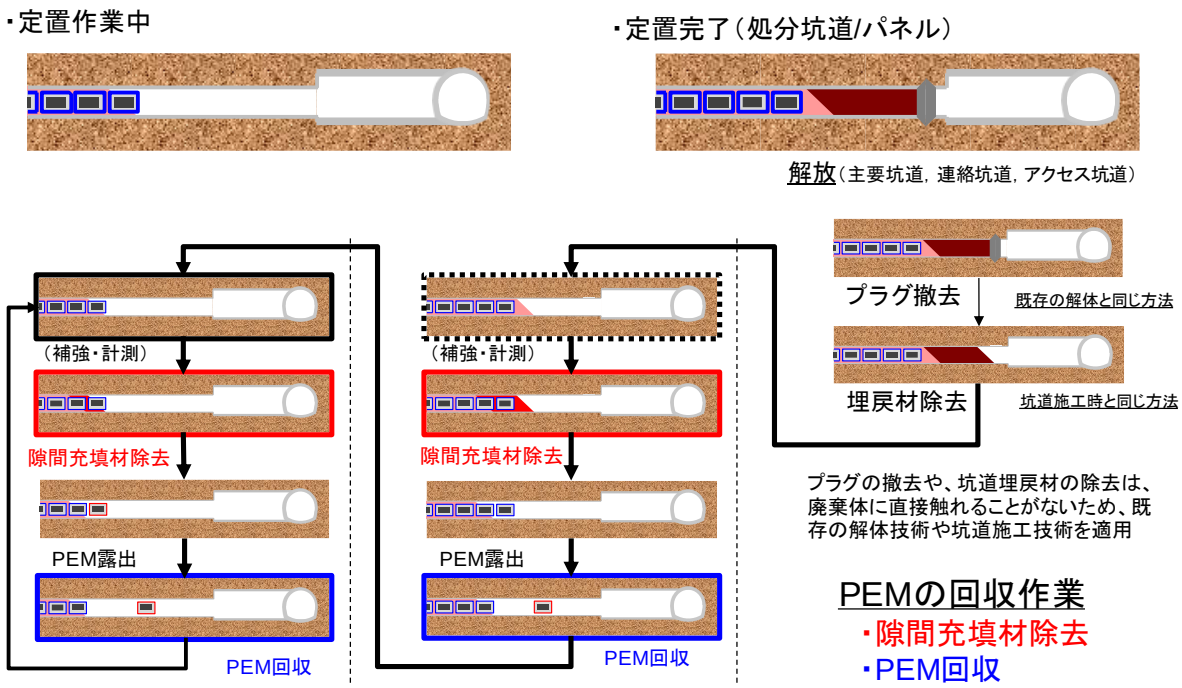


図 2.3.1-5　処分坑道横置き PEM 方式の回収工程

定置作業中でかつ隙間充填材の施工前の PEM を除いて、回収の対象となる PEM は処分坑道内で隙間充填材が施工された状態にある。PEM を回収するためには、PEM を拘束する隙間充填材を除去する必要がある。隙間充填材は粘土系材料を想定しており、密度、配合、飽和度等が除去作業に大きく影響すると考えられる。そのため実証試験で除去対象とする隙間充填材は、実際の操業段階で施工時と同一の性状にすることが実証試験結果の検証の上で重要である。隙間充填材の仕様は PEM - 坑道間の隙間に求められる要件を満足することが重要であるから、隙間充填材に求めれる要件を検討する必要がある。そして除去対象の隙間充填材を PEM - 坑道間に施工するために、隙間充填装置の検討を実施する。

本事業で必要となる装置を以下に示す。

●搬送・定置装置

ＰＥＭを把持し坑道内を走行し、所定の場所に定置後退避する。

●隙間充填装置

施工で生じた PEM - 坑道間の隙間に対し、地層処分の安全機能に影響を及ぼさないよう、適切な隙間充填材を適切な方法で施工する。

●隙間充填材の除去装置

PEM を搬送可能な状態にするため隙間充填材を除去するとともに、回収装置が動作できる環境を整える。

●PEM 回収装置（搬送・定置装置と同型）

坑道内でフリーになった PEM を把持し、坑道外へ搬送する。

各工程の連続性、各装置の要求機能とともに図示すると図 2.3.1-6 のようになる。

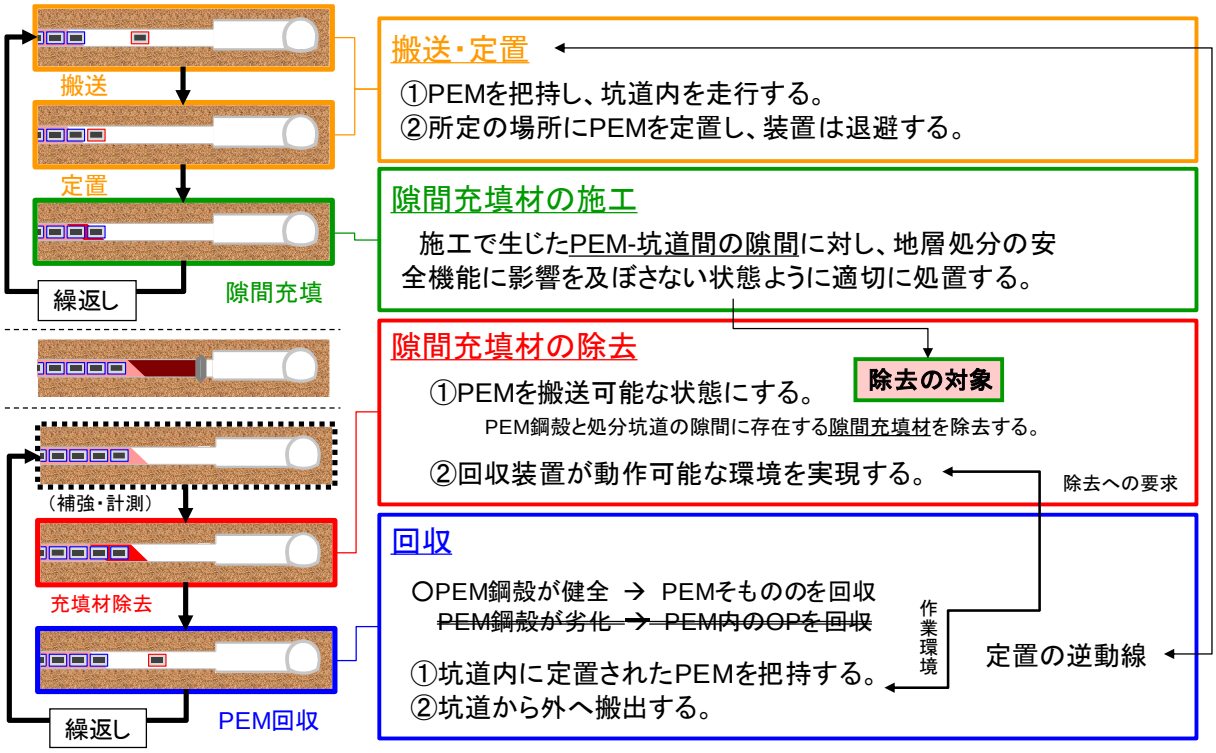


図 2.3.1-6　処分坑道横置き PEM 方式の各工程の装置に求められる基本的な機能

装置の詳細な検討、設計、製作ついては「第５章　搬送定置技術の整備と試験計画」「第６章隙間充填技術の整備と試験計画」で述べる。ここでは、隙間充填材の要件と充填材の除去技術について、要件を整理した。

1)　隙間充填材の要件の整理

PEM - 坑道間の隙間は、処分坑道形状と PEM の搬送定置技術にも因るが施工上避けることが出来ない。一方、図 2.3.1-7 のように処分坑道横置き定置方式 PEM 型は、処分坑道横置き定置方式の搬送・定置オプションの一つである。PEM 鋼殻に安全機能は持たせていないため、安全評価上は原位置施工型も PEM 型も同じ横置き方式という扱いになる。隙間を充填しない場合、処分坑道の長さ方向に連続的な水みちが存在することになり、地層処分場の安全機能が低下すると考えられる。

緩衝材の安全機能である放射性核種の移行遅延は、低透水性、コロイドろ過性、放射性核種の収着性の３つ要件から成る。この他の要件も含めリファレンスケースの緩衝材の仕様は、配合（ベントナイト：ケイ砂＝７：３）、密度（1.6Mg/m^3）、厚さ（70cm）とされており、この状態が緩衝材の安全機能が期待される時期（1000 年後）まで維持されているのかが重要である。つまり、緩衝材が健全である状態とは、所定の期間経過後にリファレンスケースの緩衝材の仕様通りに緩衝材が必要な場所に存在している状態と言い換えることが出来、この状態を損なう働きをする現象が緩衝材の劣化現象である。PEM - 坑道間の隙間が残存することで緩衝材の安全機能が低下する可能性がある。

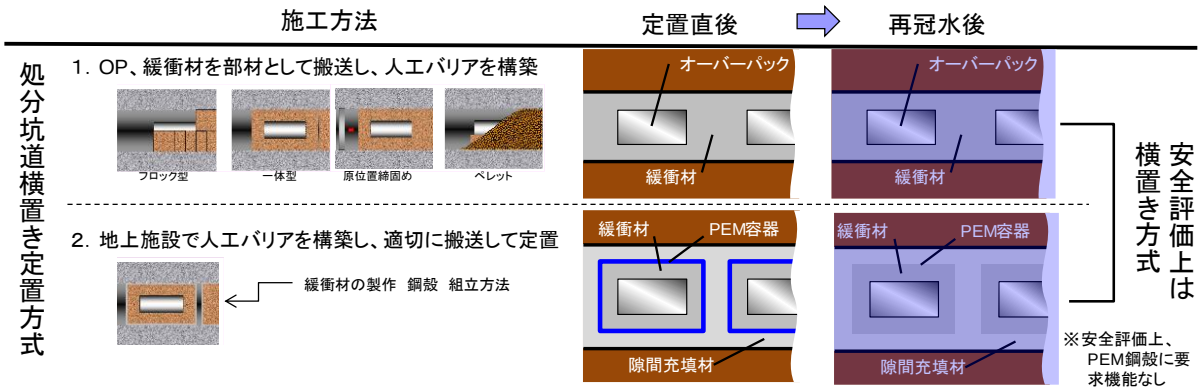


図 2.3.1-7　処分坑道横置き定置方式の搬送・定置オプションと安全評価上の前提

隙間を充填しない場合、閉鎖後長期には PEM 内部の緩衝材が鋼殻の外へ膨出する。このとき、膨出後の密度低下も考慮して PEM 内部の緩衝材の初期乾燥密度を設定すれば膨出後も平均密度は 1.6Mg/m^3 を達成出来ると考えられる。しかしながら製作技術上到達できる初期乾燥密度には限界があるため、隙間が広い場合は別の対策が必要である。

別の対策としては、PEM 内の緩衝材の膨出による密度低下が生じないように、隙間を充填する方法である。緩衝材は地下水の浸潤とともに膨潤し膨潤圧が発生するから、その膨潤圧に対抗する力を発現するもの、または膨潤圧程度で変形しない力学的強度を持つ材料を隙間に充填しておくという考え方である。前者は隙間が緩衝材相当の粘土密度となるようにベントナイト系材料を充填する方法であり、後者はセメント系材料や充填部で骨格構造を形成し強度を発現するような砂系材料が挙げられる。セメント系材料は固化するため除去が容易ではない。また砂系材料は充填後に振動等で圧密し隙間が生じる可能性や、低透水性が満足出来ない可能性がある。一方、前者のベントナイト系材料は緩衝材相当の乾燥密度で充填すれば、緩衝材と同等の性能の獲得は容易である。

隙間充填材の技術要件を以下のように設定した。

・基本的な要求機能の確保：　低透水性
・長期健全性の維持：　自己シール性、緩衝材の性能低下の抑制、熱伝導性
・工学的実現性の確保：　製作性、施工性、運搬・保管の容易性

2)　隙間充填材の除去技術の整理

PEM - 坑道間の充填材の除去技術は、PEM を拘束している充填材を取り除き、PEM を搬送可能な状態するとともに、回収装置が動作する環境を実現するものである。浸潤・膨潤した緩衝材の除去技術の選定方法として、図 2.3.1-8 に示すような SKB の検討事例がある[13]。平成 23 年度の地層処分回収技術高度化開発[14]では、各原理の除去技術を A~G の指標で評価し、廃棄体に与える影響が少ない流体力学的方法を選定した。隙間充填材の除去技術の選定においても、PEM に与える影響を出来るだけ小さく留めるためにこの概念を踏襲する。

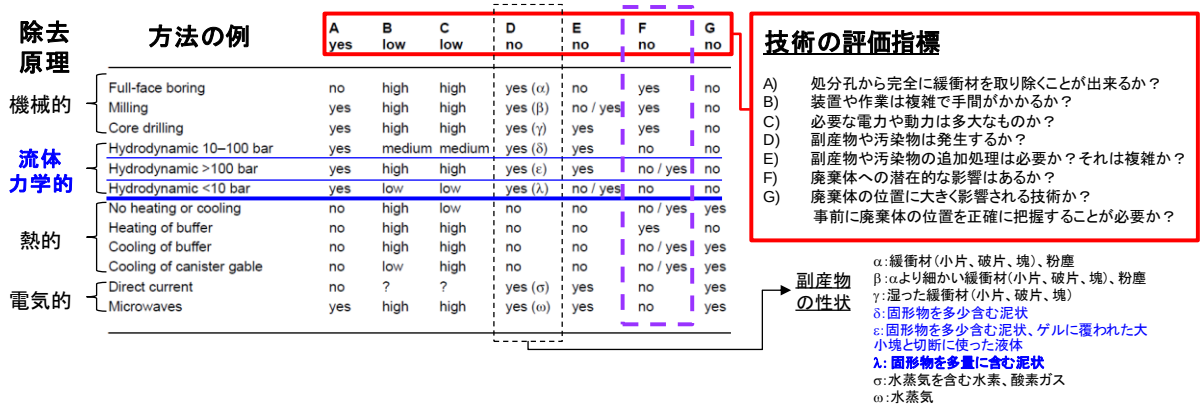


図 2.3.1-8　各原理による緩衝材回収技術の比較[13]

(6)　実証試験設備

実証試験を実施する際に必要となる資機材や実証試験サイトの設備について検討、整理した。詳細は「第４章　地下での実証試験設備の整備」に記す。

1)　試験孔の掘削

幌延 URL 試験坑道２の妻部に実証試験用の試験孔を掘削すると仮定した場合、施工できる最小断面積を検討した。その結果、坑道径は 4,000mm の馬蹄形となった。

2)　利用可能な資機材の整理

地下 350m 試験坑道２までの資機材の搬入を想定し、利用可能な設備、制約条件等を整理した。

3)　試験坑道２の整備計画

PEM の実証試験を行うために必要な試験坑道２の整備について検討した。

4)　試験坑道２の耐力の評価

試験坑道２に重量を実物に合わせた模擬 PEM を定置した場合の既設支保への影響を数値解析で評価し、岩盤への影響がないことを確認した。

(7)　状態把握、判断・判定

1)　工程から装置への機能展開

PEM の操業は地上サイトで製作した PEM を定置箇所まで適切に運搬し、定置、充填が一連の作業となる。図 2.3.1-9 に平成 17 年度遠隔操作技術高度化調査で検討された、処分坑道横置き定置方式 PEM 型のブロックフロー図を示す。本事業では図中青くした部分のみを実証試験の対象としたが、実際の操業はこのように多くの作業の積み重ねで成り立っている。

図 2.3.1-9 の箱は一つの工程を示しているが、一工程を構成する作業に分解したものが表 2.3.1-4 である。表中の「分類４」は作業を装置の機能に展開したものである。実証試験の装置を設計する際は、このように工程を構成する作業から装置に求められる機能に展開し、その機能を搭載した装置の設計を行う。

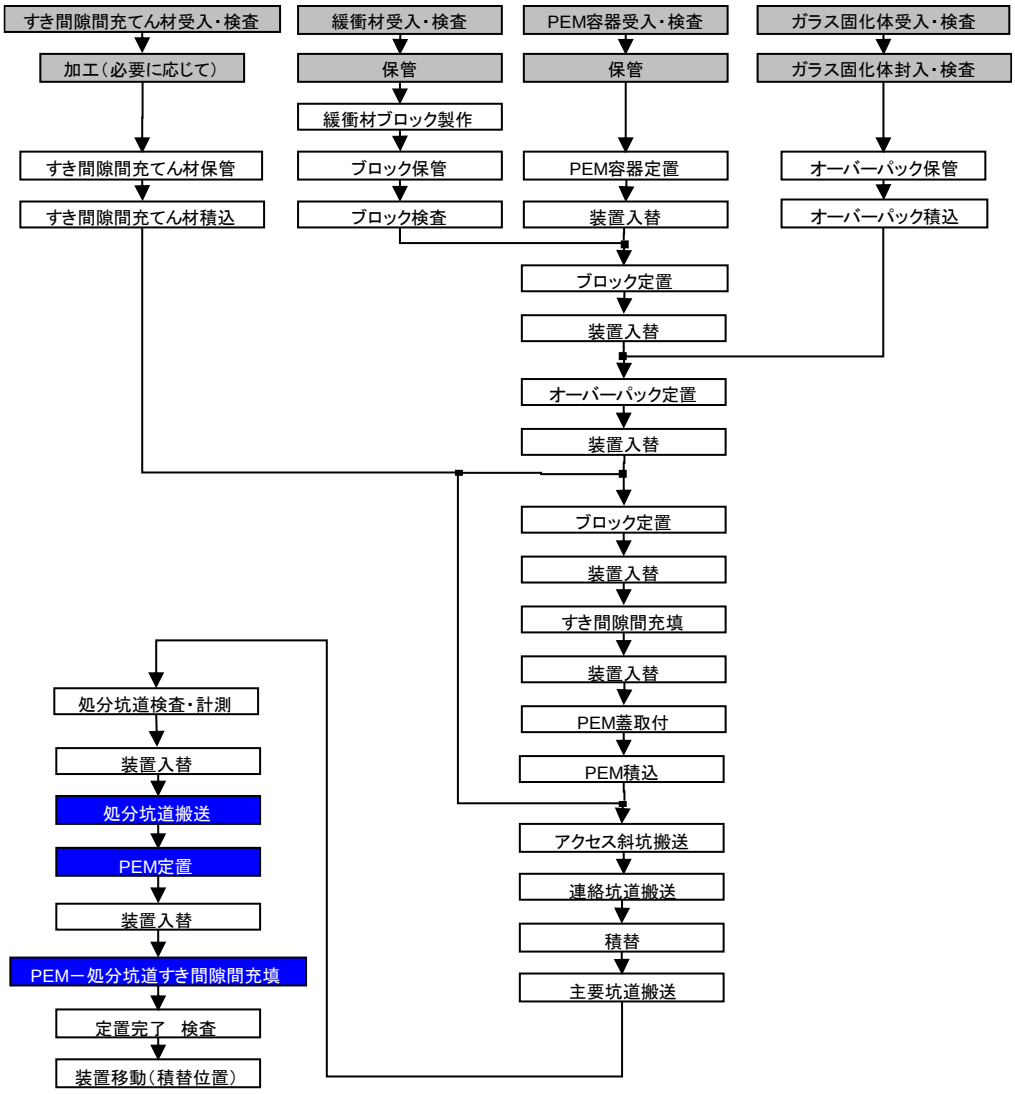


図 2.3.1-9　処分坑道横置き方式 PEM 方式　ブロックフロー図[9]

表 2.3.1-4　処分坑道横置き方式 PEM 型　作業時間[9]

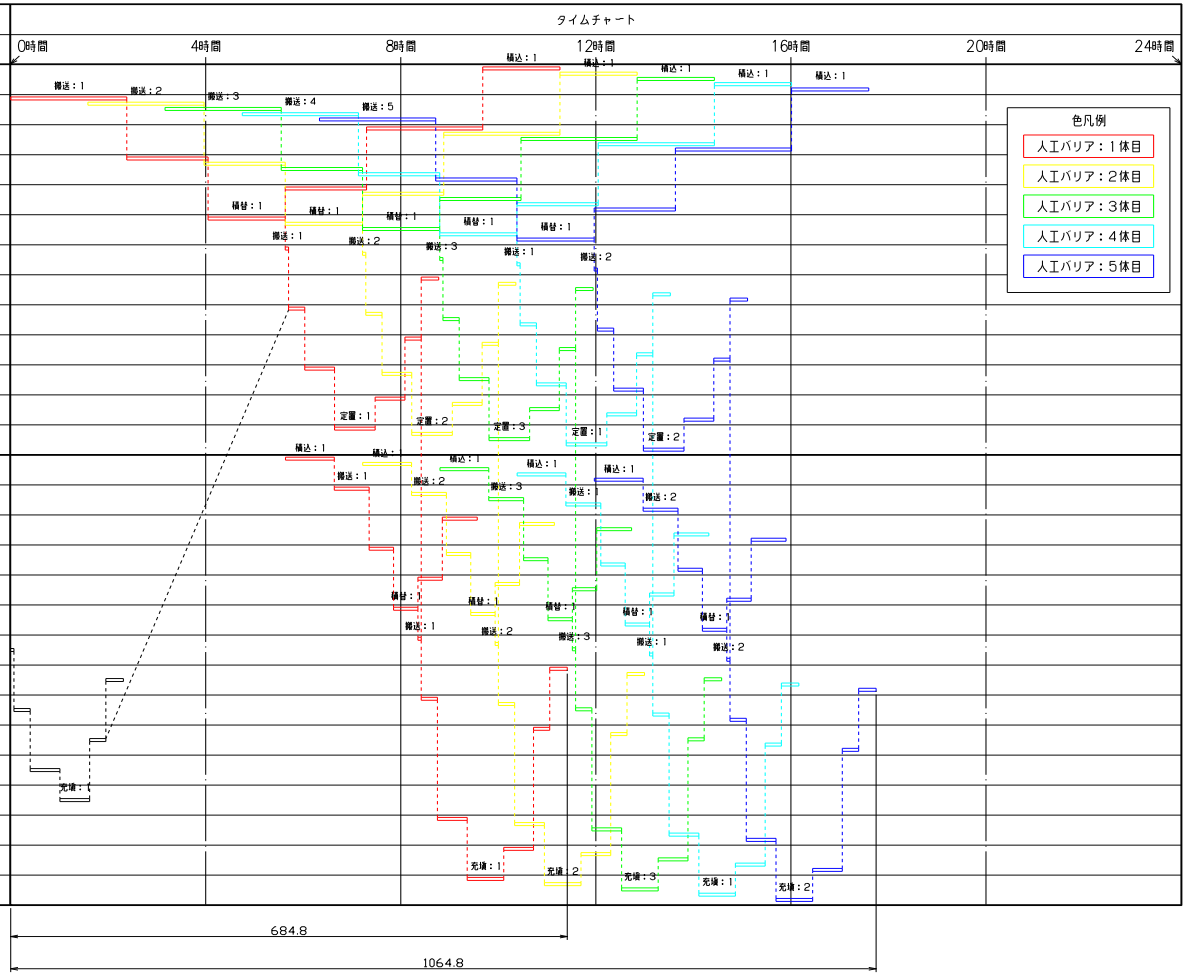
作業工程				走行速度	走行距離	走行時間	作業時間	作業時間合計	備考
分類１	分類２	分類３	分類４	m／分	m	分	分	分	
PEM	搬送装置	地上施設	積込					95.0	H12.RWMC.P.4-208：積込準備60分、積込30分、搬送装置移動準備５分
		アクセス坑道（斜坑）	積載　走行	50	7143	142.9			走行速度３km/h、深度500m、傾斜７％
			空車　走行	50	7143	142.9			
		連絡坑道	積載　走行	50	5000	100.0			走行速度３km/h
			空車　走行	50	5000	100.0			
	搬送装置／搬送装置	積替工程	PEM積替					95.0	H12.RWMC.P.4-208：積替準備60分、積込30分、搬送装置移動準備５分
	搬送装置	主要坑道	積載　走行	50	200	4.0			２次取りまとめ.P.Ⅳ-309　連絡坑道と主要坑道の接続部200mに設定、走行速度3km/h
			空車　走行	50	1075	21.5			２次取りまとめ.P.Ⅳ-309　連絡坑道と主要坑道のR接続部200mに設定＋875.32m
		処分坑道入口	搬送装置位置決め				10.0	20.0	H12.RWMC.P.4-265
			定置装置挿入				10.0		
			搬送装置位置決め				10.0	20.0	H12.RWMC.P.4-265
			定置装置回収				10.0		
	定置装置	処分坑道	積載　行き走行	17	610	36.6			２次取りまとめ.P.Ⅳ-309 処分坑道の最も遠い位置609.7mに設定、H12.RWMC.P.4-265：走行速度１km/h
			空車　戻り走行	17	610	36.6			２次取りまとめ.P.Ⅳ-309 処分坑道の最も遠い位置609.7mに設定、H12.RWMC.P.4-265：走行速度１km/h
		定置工程	定置部上敷き材撤去				10.0	50.0	仮定
			定置部粉体敷き均し				25.0		H15.RWMC.P.3-509：200kg/10分より→500kg（仮定）／25分に設定
			PEM定置				10.0		仮定
			定置後検査				5.0		仮定
すき間充填材（ペレット）	搬送装置	地上施設	積込					60.0	すき間充填量2.3ton/PEM×５体＝11.5ton、積込速度250kg/min＋α
		アクセス坑道（斜坑）	積載　走行	167	7143	42.9			H12.RWMC.P.4-557：走行速度10km/h、深度500m、傾斜７％
			空車　走行	167	7143	42.9			
		連絡坑道	積載　走行	167	5000	30.0			H12.RWMC.P.4-557：走行速度10km/h
			空車　走行	167	5000	30.0			
	搬送装置／搬送装置	積替工程	すき間充填材積替					30.0	積替量2.3ton、積替速度250kg/min＋α
	搬送装置	主要坑道	積載　走行	50	200	4.0			２次取りまとめ.P.Ⅳ-309　連絡坑道と主要坑道の接続部200mに設定、走行速度3km/h
			空車　走行	50	1075	21.5			２次取りまとめ.P.Ⅳ-309　連絡坑道と主要坑道のR接続部200mに設定＋875.32m
		処分坑道入口	搬送装置位置決め				10.0	20.0	H12.RWMC.P.4-557
			すき間充填装置挿入				10.0		
			搬送装置位置決め				10.0	20.0	H12.RWMC.P.4-557
			すき間充填装置回収				10.0		
	充填装置	処分坑道	検査　行き走行	17	610	36.6			２次取りまとめ.P.Ⅳ-309 処分坑道の最も遠い位置609.7mに設定、H12.RWMC.P.4-265：走行速度１km/h
			検査　戻り走行	17	610	36.6			最初の１体定置前のみ検査実施、その他は定置戻り走行時に検査を行う
			積載　走行	17	610	36.6			２次取りまとめ.P.Ⅳ-309 処分坑道の最も遠い位置609.7mに設定、H12.RWMC.P.4-265：走行速度１km/h
			空車　走行	17	610	36.6			２次取りまとめ.P.Ⅳ-309 処分坑道の最も遠い位置609.7mに設定、H12.RWMC.P.4-265：走行速度１km/h
		定置工程	充填位置決め				10.0	45.0	仮定
			PEM－処分坑道すき間充填				30.0		すき間充填量1.8ton、充填速度20kg/min×ノズル４本＋α
			充填検査				5.0		仮定

ハッチング凡例：

：計算しているセル
：他を参照しているセル
：空白セル
：数値入力セル
：タイムチャートに記載する時間

表 2.3.1-5　処分坑道横置き方式 PEM 型　タイムチャート[9]

作業工程				作業時間
分類１	分類２	分類３	分類４	分
PEM	搬送装置	地上施設	積込	95.0 分
		アクセス坑道	積載　走行	142.9 分
			空車　走行	142.9 分
		連絡坑道	積載　走行	100.0 分
			空車　走行	100.0 分
	搬送装置／搬送装置	積替工程	PEM積替	95.0 分
	搬送装置	主要坑道	積載　走行	4.0 分
			空車　走行	21.5 分
		処分坑道入口	定置装置　挿入	20.0 分
			定置装置　回収	20.0 分
	定置装置	処分坑道	積載　行き走行	36.6 分
			空車　戻り走行	36.6 分
		定置工程	PEM定置	50.0 分
すき間充填材	搬送装置	地上施設	積込	60.0 分
		アクセス坑道	積載　走行	42.9 分
			空車　走行	42.9 分
		連絡坑道	積載　走行	30.0 分
			空車　走行	30.0 分
	搬送装置／搬送装置	積替工程	すき間充填材積替	30.0 分
	搬送装置	主要坑道	積載　走行	4.0 分
			空車　走行	21.5 分
		処分坑道入口	すき間充填装置　挿入	20.0 分
			すき間充填装置　回収	20.0 分
	定置装置	処分坑道	検査　行き走行	36.6 分
			検査　戻り走行	36.6 分
			積載　行き走行	36.6 分
			空車　戻り走行	36.6 分
		定置工程	すき間充填	45.0 分



2)　プロセス管理による品質保証

1)を一般化したものを図 2.3.1-10 に示す。この図はブロックフロー図上のある「工程ｎ」に着目した作業フロー、機能展開、合否判断の関連を示している。

実際の処分事業では、定置後の実廃棄体を含む人工バリアに対して直接的な計測やサンプリングを実施して性能確認することは、受動的安全を阻害する恐れがある。そのため、人工バリアの搬送・定置の一連の操業工程を適切に管理することで、構築される人工バリアの品質を実現するプロセス管理による品質保証の観点が重要である。図 2.3.1-10 の作業間の確認はプロセス上の管理項目である。作業と確認による合格を積み重ねていくことで、出力が正であることが保証される。

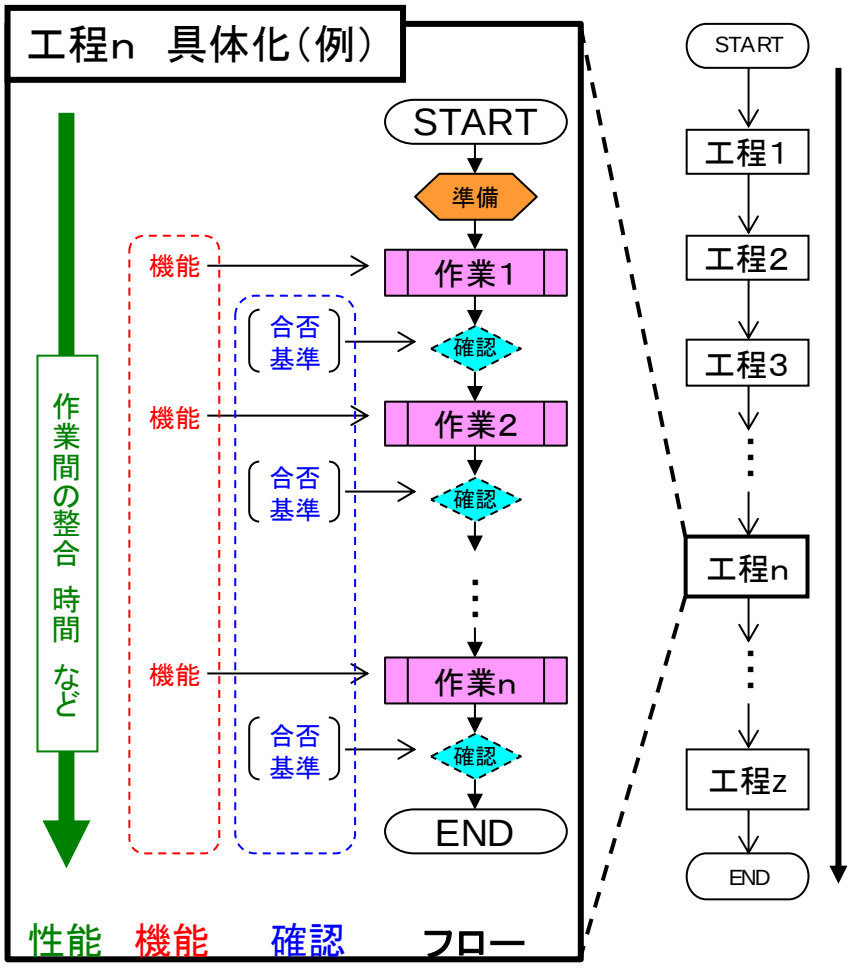


図 2.3.1-10　ある工程を構成する作業と確認項目

このフローが成立するためには、「作業」と「確認」の対応、「確認」時の合否基準が整備されている必要がある。合否基準は構築される人工バリアの閉鎖後長期安全性、操業中の労働安全、放射線安全といった安全の観点から設定される。プロセス管理が成り立つためには、あるプロセスを実行した場合の結果に再現性と反復性がある場合である。地下実証試験サイトでの試験をプロセス管理で実施するためには、地上で実施する予備試験で再現性と反復性を確認するとともに、合否基準を整備しておく必要がある。

3)　計測項目の整理

表 2.3.1-6 に処分坑道横置き定置方式の計測項目の一覧、表 2.3.1-7 に計測項目の用語の定義を示す。本表には PEM 型は載っていないが、PEM は地上施設で構築した後に地下の処分場へ搬送されるから、オーバーパックや緩衝材ついての計測は地下ではなく、地上施設で PEM 構築時に実施される。

表 2.3.1-6　処分坑道横置き定置方式の計測項目

計測対象	計測目的			計測項目	定置方式				計測時期	計測方法	耐放射線性
	安全	品質	作業		ブロック分割	ブロック一体	原位置	ペレット			
処分坑道		○	○	緩衝材定置位置	○	○	○	○	R	T	考慮
	○	○	○	内空外観	○	○	○	○	B	D/T	不要
		○	○	直径	○	○	○	○	R	T	考慮
		○		直径差（一断面内の）			○		R	T	考慮
	○	○	○	体積	○	○	○	○	R	T	考慮
		○	○	真円度	○	○	○		R	T	考慮
		○	○	処分坑道うねり	○	○	○		R	T	考慮
		○		下面平面度	○	○			R	T	考慮
	○	○	○	割れ目			○		B	D/T	不要
		○		段差（凹凸）	○	○			R	T	考慮
		○		処分坑道内の濡れ	○	○	○	○	B	D/T	不要
緩衝材		○		定置前品質	○	○			R	T	考慮
							○		B	D	考慮
					○	○			B	D	不要
							○	○	B	D	不要
					○	○			B	D/T	不要
		○	○	質量	○	○	○	○	R	T	考慮
		○	○	定置距離	○	○	○	○	R	T	考慮
		○	○	定置作業中の外観	○	○	○	○	R	T	考慮
			○	オーバーパック定置中心	○	○	○	○	R	T	考慮
		○	○	オーバーパック定置半径	○	○	○	○	R	T	考慮
		○	○	オーバーパック搭載位置	○	○	○	○	R	T	考慮
		○		定置作業完了後の外観	○	○	○	○	R	T	考慮
オーバーパック		○		定置前外観	○	○	○	○	R	T	考慮
		○		体積				○	B	T	考慮
		○		定置高さ	○	○	○	○	R	T	考慮
		○		定置作業完了後の外観	○	○	○	○	R	T	考慮

凡例）安　　全：安全確保上必要な計測項目
品　　質：品質管理上必要な計測項目
作　　業：定置作業上必要な計測項目
リアルタイム計測：定置直前又は定置中に計測する方法
事 前 計 測 ：定置作業に関係なく事前に計測する方法
直 接 計 測 ：作業者が現地で計測器を操作し対象物を計測する方法
遠 隔 計 測 ：作業者が現地から離れた位置で計測器を操作し計測する方法または自動運転により計測する方法
耐 放 射 線 性 ：オーバーパック上の緩衝材高さが 1700mm 以上であれば空間線量当量率が非管理区域とできる 1.78μSv/h 以下となるため定置作業中以外に計測可能な項目については「不要」とする。
オーバーパック定置およびオーバーパック定置後の緩衝材施工作業についてはオーバーパック表面線量当量率が 100mSv/h となるため、緩衝材定置作業完了までは耐放射線性を「考慮」するものとする。（JNC 第二次とりまとめ）

※ R:リアルタイム計測、B:事前計測、D:直接計測、T:遠隔計測

表 2.3.1-7　処分坑道横置き定置方式の計測項目の用語の定義

計測対象	計測項目	定義
処分坑道	緩衝材定置位置	処分坑道基準位置から緩衝材定置位置までの距離とする。
	内空外観	処分坑道内壁面については比較的大きな凹凸、割れ、剥離および漏水状況を観察する。また下面については落下物の有無を観察する。
	直径	処分坑道の 1 オーバーパック定置位置の最小半径から求めた縁の直径とする。
	直径差 （一断面内の）	指定された高さの円の直径と計測可能な最大直径との差で表す。
	体積	処分坑道の 1 オーバーパック定置位置の半径方向距離とその長さ距離計測値から計算した値とする。
	真円度	円であるべき部分の幾何学的円からの狂いの大きさ。 平面内にある線は、その線上のすべての点が二つの同心円の間にあり、円の半径方向の距離の差が最小となる場合のこの二つの同心円の半径方向の距離の差で表す。
	処分坑道うねり	真直度：直線でなければならない機械部分の幾何学的直線からの狂いの大きさ。一つの平面内にある線は、その線上の指定された長さの間のすべての点が、その線の代表直線に平行で、かつ、その線と同じ平面内にある二つの直線の間にあり、この直線間の距離が最小となるときの、この二つの直線間の距離で表す。
	下面平面度	平面でなければならない機械部分の表面の幾何学的平面からの狂いの大きさ。 指定された計測面内で、その面上のすべての点が、面の代表平面に平行な二つの平面内にあり、かつ、この平面の間の距離が最小となるときの二つの面の間の距離で表す。
	割れ目	所定の値を越える割れ目の頻度と状態及び形態を計測することとする。
	段差（凹凸）	面に垂直な方向の食い違い。
	処分坑道内の濡れ	水の流れがある場合、その流れている面積を表す。 水の流れがない場合は、処分孔壁面の含水比を表す。
緩衝材	定置前品質	外観：色、割れ及び欠損を観察する。
		含水比(%)＝水量(kg)／緩衝材乾燥質量(kg)×100
		乾燥密度(Mg/m^3)＝(緩衝材湿潤質量(g)／緩衝材容積(m^3))／(1+含水比(%))
		粒径分布：原位置で施工するペレット方式と原位置締め固め方式については粒径が施工品質に影響することが想定されるため、処分孔に 1 回でまきだす緩衝材について粒径分布を計測する。
		寸法：ブロック方式の緩衝材について外形寸法を計測する。各部の計測定義については処分坑道と同等とする。
	質量	処分孔に一回で投入または定置する緩衝材の質量を計測するとともに、最終的に処分坑道に投入または定置した緩衝材の総質量を計測する。
	定置距離	処分坑道の下面平面度が所定の値にあるとき、緩衝材正面（軸方向）の基準位置（3 点くらいか）と計測基準位置の鉛直方向の距離とする。
	定置作業中の外観	各作業工程の区切り（原位置方式の場合まきだし、締め固め時とする。ブロック方式の場合各ブロック定置後とする）において、主に緩衝材の正面（軸方向）から落下物、割れおよび前施工部との位置を観察する。
	オーバーパック定置中心	緩衝材のオーバーパック収納部を軸方向から見た時の円の中心とする。
	オーバーパック定置半径	緩衝材のオーバーパック収納部を軸方向から見た時の円の半径とする。 ペレット方式については、施工方法により処分孔を鉛直上方向から見た時の円の中心（緩衝材定置中心）とする。
	オーバーパック搭載位置	下面平面度が所定の値にあるとき、処分坑道中心部の底面から緩衝材オーバーパック定置部上面までの距離。定置部が分割式の場合はブロックごとに計測する。
	定置作業完了後の外観	一つの処分孔について全ての緩衝材の施工が完了した時に、主に緩衝材の上面から散乱物、割れおよび前施工部との位置を観察する。
オーバーパック	定置前外観	オーバーパック表面の傷を観察する。
	体積	オーバーパックの外形形状計測結果から計算した値とする。
	定置高さ	オーバーパック定置部の底面平面度が所定の値にあるとき、オーバーパック上面の基準位置と処分坑道中心部底面までの距離とする。
	定置作業完了後の外観	ーオーバーパック定置位置についてオーバーパックの定置が完了した時に、主にオーバーパックの正面と上面から定置状態を観察する。

(8)　繰返し作業の影響の把握

図 2.3.1-9 で示したブロックフロー図および作業時間は、廃棄体を１つ定置する場合のものである。実際の操業では 4 万本のガラス固化体の処分を想定しており、50 年間の操業期間として計画、平均すると一日当たり５体の廃棄体を定置することになる。基本的には同じ工程（プロセス）が繰り返し実施されることになる。サイクルタイムや、前後の工程で定置済みの人工バリアの品質に影響するものは何かを把握しておく必要がある。特に、処分坑道横置き定置方式は、搬送経路となる処分坑道が定置場所となる処分孔を兼ねており、前後の作業の影響度が縦置きと比較して高いと考えられる。

建設・操業・閉鎖での物流ラインの整理

特にガラス固化体と人工バリア材の地上での作業と定置までの作業プロセスの整理及びその周辺環境の分析

現状でのそれぞれの作業に対する技術のレベルの整理

繰り返し作業の単純化への対応

遠隔による異常・事故時への対応策

工程間（掘削、定置、埋戻し、除去、回収）、作業手順間（個別動作）の整合性の確認

意味：　前の工程・手順の結果が、次の工程・手順の開始時の状態

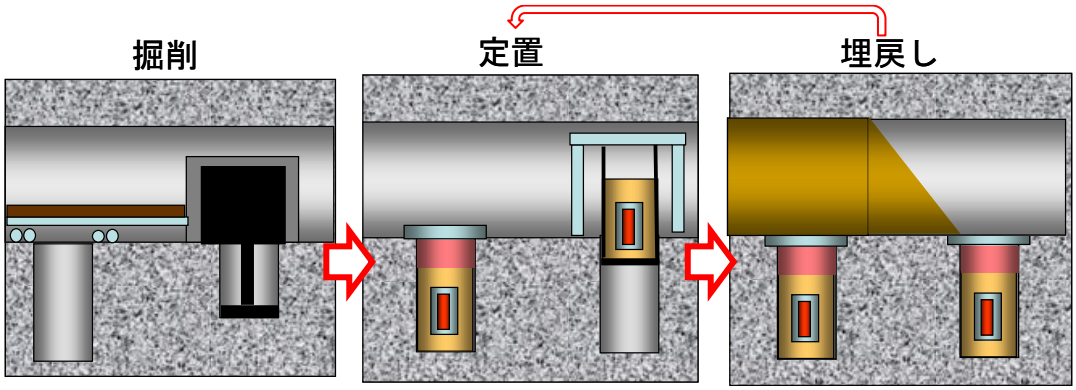


図 2.3.1-11　操業段階における繰り返し作業

(9)　支保、周辺岩盤との相互作用

「第４章　地下での実証試験設備の整備」では、幌延 URL 試験坑道 2 の妻部での坑道延長のほかに、試験工程が試験坑道２の既設支保工へ与える影響についても解析で評価した。

図 2.3.1-12 が試験坑道２の解析モデルであり、灰色が吹付コンクリート、青線が鋼製支保、紫部が試験坑道２底部に施工予定の試験孔架台、紺色が台座、赤部が 36ｔの PEM の載荷位置である。解析の結果、図 2.3.1-13 のように鋼製支保に加わる応力は許容応力値を下回り、試験坑道２内で PEM を取り扱っても既設坑道への影響はないと評価された。

地下実証サイトで実施する試験であるため、既設構造物への影響についても知見をとり、操業段階での作業影響の影響度合いを坑道等の設計へ反映させるためのデータとして整備することも出来る。

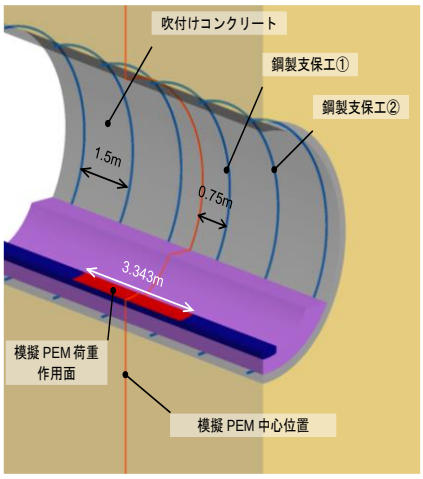


図 2.3.1-12　幌延 URL 試験坑道２の解析モデル

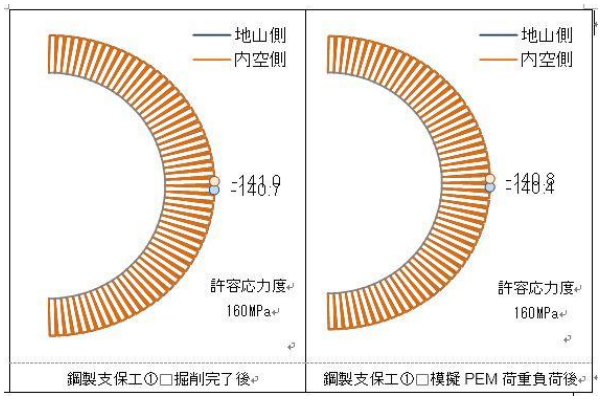


図 2.3.1-13　鋼製支保にかかる応力

2.3.2　繰返し作業を考慮した PEM の搬送定置、回収の工程

(1)　PEM の搬送定置

図 2.3.2-1 に PEM 搬送定置プロセスを模式的に示す。処分坑道横置き定置方式では 1 本の処分坑道に 190 体の廃棄体を定置する計画となっている。ここでは搬送・定置プロセスを以下のように設定した。

坑道が掘削された後、始端部側にプラグが設置される。1 体目の PEM が定置され隙間充填が実施される。続いて 2 体目の PEM が定置され隙間が充填される。以後同様の工程が繰り返される。、最後に終端部側にプラグが設置され、1 本の処分坑道の定置が完了する。

図中の背景色は状態を表す。2 体目から 190 体目まで定置作業時の状態は大きく変わらないと考えられる。

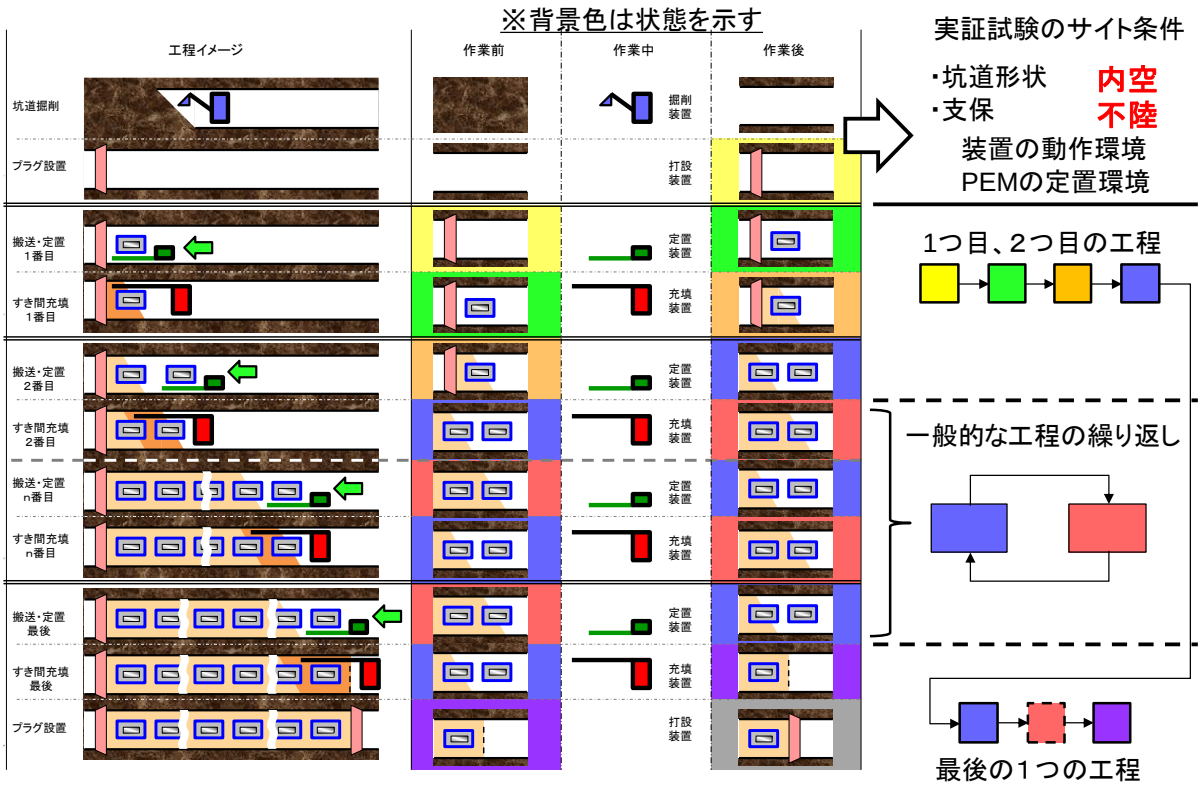


図 2.3.2-1　PEM の搬送定置プロセス

全ての状態は評価したい場合、以下のように 6 つの状態を組合わせればよい。

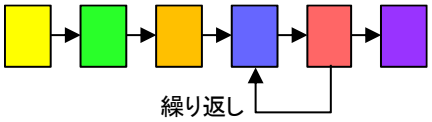


図 2.3.2-2　状態の組合わせ

(2)　PEM の回収

図 2.3.2-3 に PEM 搬送定置プロセスを模式的に示す。1 本の処分坑道に 190 体の廃棄体の定置が完了した後、全量回収場合のプロセスを以下のように設定した。

プラグを撤去後、1 体目の PEM 周囲の隙間充填材を除去する。除去後、搬送・定置装置を用いて逆動線で PEM を搬出する。続いて 2 体目の PEM 周囲の隙間充填材を除去し、PEM を回収する。以後同様の工程を繰り返し、1 本の処分坑道の全量回収が完了する。

図中の背景色は状態を表す。回収作業の場合、1 体目から 189 体目まで隙間充填材の除去時の状態は大きく変わらないと考えられる。

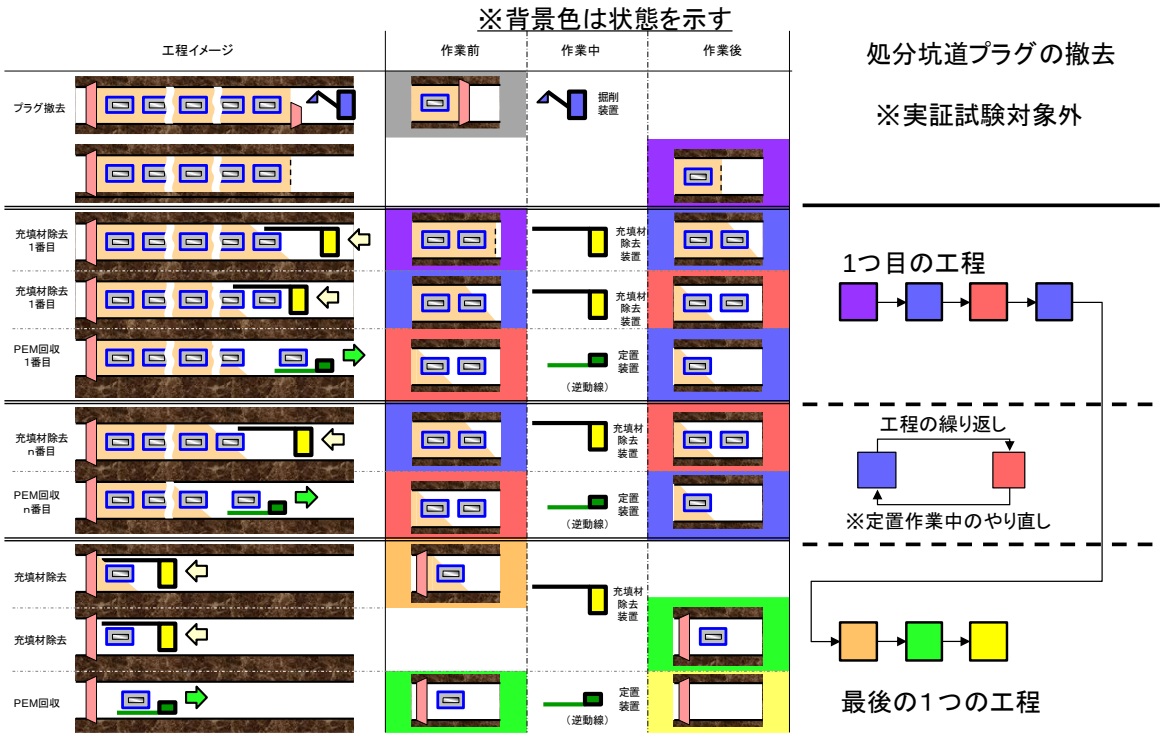


図 2.3.2-3　PEM の回収プロセス

全ての状態は評価したい場合、以下のように 6 つの状態を組合わせればよい。

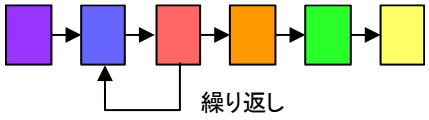


図 2.3.2-4　状態の組合わせ

2.3.3　PEM の搬送定置、回収の実証試験の工程

2.3.2 に示した搬送定置、回収プロセスの各状態を組合わせ実証試験の工程を検討した。

(1)　反復作業の影響を考慮した試験計画

複数の PEM を用いた計画であり、2.3.2 に示した状態が網羅的に組み合わされている。繰返し作業の影響が評価出来る工程である。例として前方の PEM 周囲の隙間充填材の品質におよぼす後方 PEM の搬送定置時の排気の影響などが挙げられる。一方で、複数本 PEM を用いるため、試験必要な坑道長が長くなる、装置の入替頻度が高く地下実証サイトでの実施に際して課題が残る。

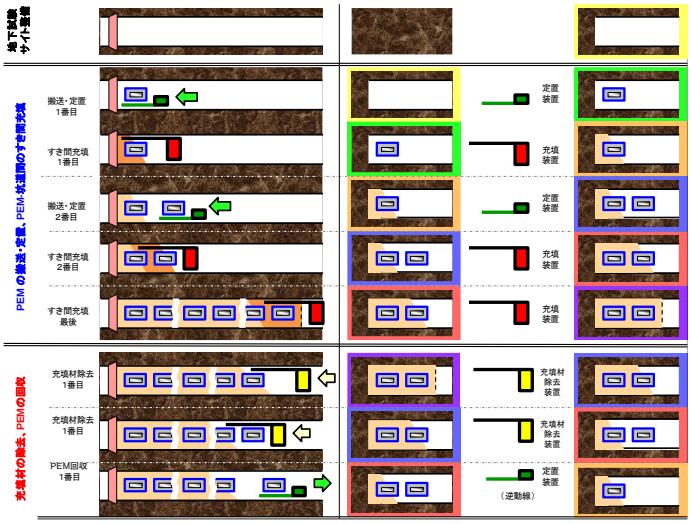


図 2.3.3-1　複数の PEM を用いた実証試験工程

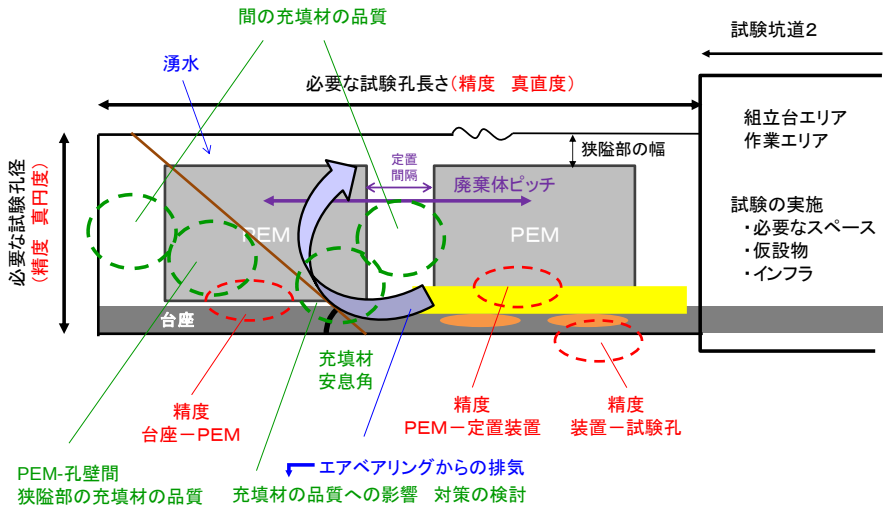


図 2.3.3-2　複数の PEM を用いた場合の影響因子と評価対象

(2)　技術の実証に重点を置いた試験計画

2.3.1(5)内の図 2.3.1-4 に示したように、処分坑道横置き定置方式 PEM 型では、隙間充填技術と充填材除去技術が要素試験レベルの開発段階である。地下実証サイトでの横置き方式の回収技術の実証的な整備を優先した実証試験工程である。PEM は 1 体の仕様であるため、実証試験に必要な坑道長は短く、装置の入替回数も最小限で済む実証試験の工程である。しかしがら、前後の定置作業の影響については評価出来ない。

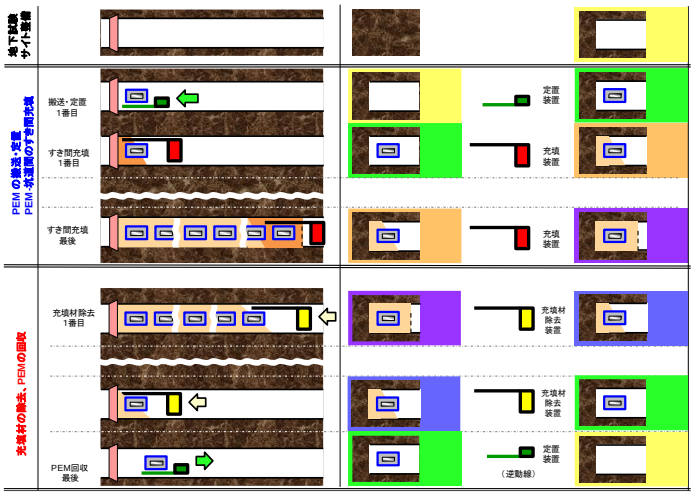


図 2.3.3-3　一体の PEM を用いた実証試験工程

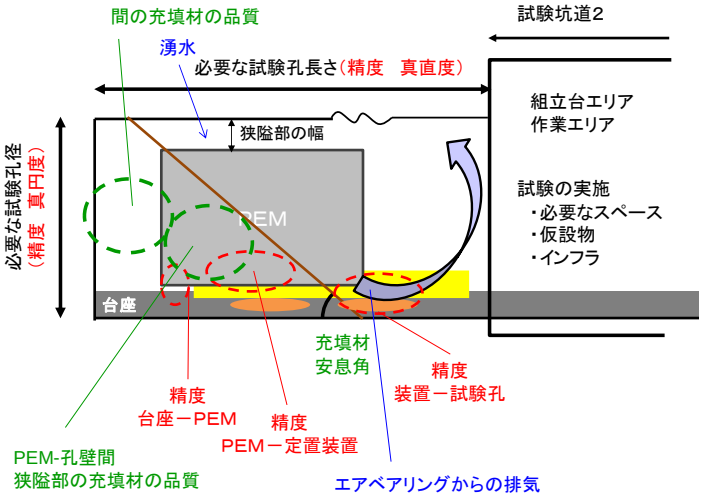


図 2.3.3-4　一体の PEM を用いた場合の影響因子と評価対象

(3)　試験計画ごとの実施内容と成果の比較

表 2.3.3-1、表 2.3.3-2 に、「(1)反復作業の影響を考慮した試験計画」と「(2)技術の実証に重点を置いた試験計画」の実施内容、確認項目を比較したものを示す。

比較の観点は実証試験装置と PEM の品質である。品質の欄の「初」は 1 体目、「複」は複数本のＰＥＭ、「終」は最後の 1 体を意味する。搬送・定置の若番と老番と、回収の若番と老番は逆転する。

PEM を複数使用する場合、評価可能になる項目を例示する。

1)　搬送定置、隙間充填

N 体目の PEM の定置時は、(N-1)体目の充填された充填材の一部が坑道底面または台座上に存在することによる定置装置の走行性や PEM の定置精度への影響、また N 体目の定置作業時におけるエアベアリングからの排気で、(N-1)体目の隙間充填材が舞い上がる等、充填材の品質に与える影響等が挙げられる。

2)　充填材の除去、回収

N 体目を回収するために充填材を除去する場合、(N+1)体目の一部も合わせて除去することになる。PEM 間の充填材の除去や坑道底部の除去した充填材の泥水の措置等が挙げられる。

複数本使用する場合に評価可能となる課題は、PEM1 体を確実に除去・回収行為が出来ることが示された上で、実際の操業時に生じると考えられる擾乱に対する技術のロバスト性の評価、その成果による操業時術の適用性の提示に繋がる検討項目に位置付けられる。

(4)　試験計画の選択

本事業の実施期間目的を考慮し、地下実証サイトでの PEM の搬送定置、回収に係わる実証試験は、PEM を 1 体使用する計画を採用した。

表 2.3.3-1　試験計画ごとの実施内容と成果の比較（１／２）

				PEMを複数使用する場合	PEMを1つ使用する場合
搬送・定置	装置		PEM搬送装置　駆動装置 位置決め　状態監視	・走行面粗さとエアベアリングの走行、所定の場所への停止位置決め ・エアベアリング排気と装置の安定性、 ・搬送・定置工程のプロセス管理上の確認項目の整理と実施	・走行面粗さとエアベアリングの走行、所定の場所への停止位置決め ・エアベアリング排気と装置の安定性、 ・搬送・定置工程のプロセス管理上の確認項目の整理と実施
	品質	初	①処分坑道妻部の手前まで走行 ②所定の位置で停止 ③PEMを定置 ④装置の退出	・PEMの定置精度：妻部－PEMの距離、PEMの定置角度（ピッチ・ヨー） ⇒下工程の隙間充填作業に影響 ・搬送・定置時にPEMに加わる加速度、振動、衝撃 ⇒　鋼殻内の人バリ品質に影響	・PEMの定置精度：妻部－PEMの距離、PEMの定置角度（ピッチ・ヨー） ⇒下工程の隙間充填作業に影響 ・搬送・定置時にPEMに加わる加速度、振動、衝撃 ⇒人バリ品質に影響
		複	⑤施工済みのPEM手前まで走行 ⑥所定の位置で停止 ⑦PEMを定置 ⑧装置の退出	**・エアベアリングからの排気による隙間充填材への影響 ⇒ 充填部品質の低下** ・PEMの定置精度：PEM－PEMの距離、PEMの定置角度（ピッチ・ヨー） ⇒下工程の隙間充填作業に影響 ・搬送・定置時にPEMに加わる加速度、振動、衝撃 ⇒　鋼殻内の人バリ品質に影響	
		終	⑤施工済みのPEM手前まで走行 ⑥所定の位置で停止 ⑦PEMを定置 ⑧装置の退出	**・エアベアリングからの排気による隙間充填材への影響 ⇒ 充填部品質の低下** ・PEMの定置精度：PEM－PEMの距離、PEMの定置角度（ピッチ・ヨー） ⇒下工程の隙間充填作業に影響 ・搬送・定置時にPEMに加わる加速度、振動、衝撃 ⇒　鋼殻内の人バリ品質に影響	
隙間充填	装置		充填材補給装置、充填材供給装置 位置決め、状態監視	・充填材の輸送管理：充填材の保管、装置への補給 ・隙間への充填材の供給方法：供給量の推定、供給速度 密度管理 ・隙間充填工程のプロセス管理上の確認項目の整理と実施	・充填材の輸送管理：充填材の保管、装置への補給 ・隙間への充填材の供給方法：供給速度　密度管理 ・隙間充填工程のプロセス管理上の確認項目の整理と実施
	品質	初	①充填部の体積を算出 ②充填装置の設置 ③充填作業 ④充填装置の退出	・充填量の算出：充填部分の体積(**妻部－処分坑道－PEM間**、充填終了時の状態) ⇒人工バリアの長期性能に影響 ・充填終了時の状態：安息角、仕切りの有無、坑道底部へのこぼれ、… **⇒次のPEM搬送定置、隙間充填作業に影響**	・充填量の算出：充填部分の体積(**妻部－処分坑道－PEM間**、充填終了時の状態) ⇒人工バリアの長期性能に影響 ・充填終了時の状態：安息角、仕切りの有無、坑道底部へのこぼれ、…
		複	①充填部の体積を算出 ②充填装置の設置 ③充填作業 ④充填装置の退出	・充填量の算出：充填部分の体積(**PEM－処分坑道－PEM間**、充填終了時の状態) ⇒人工バリアの長期性能に影響 ・充填終了時の状態：安息角、仕切りの有無、坑道底部へのこぼれ、… **⇒次のPEM搬送定置、隙間充填作業に影響**	
		終	⑤充填部の体積を算出 ⑥仮仕切り、充填装置の設置 ⑦充填作業 ⑧充填装置の退出	・充填量の算出：充填部分の体積(**PEM－処分坑道－仮仕切り間**、充填終了時の状態) ⇒人工バリアの長期性能に影響 ・充填終了時の状態：安息角、仕切りの有無、坑道底部へのこぼれ、… **⇒処分坑道端部のプラグ設置作業に影響**	・充填量の算出：充填部分の体積(**PEM－処分坑道－仮仕切り間**、充填終了時の状態) ⇒人工バリアの長期性能に影響 ・充填終了時の状態：安息角、仕切りの有無、坑道底部へのこぼれ、… **⇒処分坑道端部のプラグ設置作業に影響**
留意・調整事項				・試験坑道の掘削費用 ・試験回数に対応した試験費用、試験期間	・割愛（省略ではない）した項目の補完 ・実施可能範囲での一貫した説明性

表 2.3.3-2　試験計画ごとの実施内容と成果の比較（２／２）

				PEMを複数使用する場合	PEMを1つ使用する場合
隙間充填材の除去	装置		・隙間充填材の除去装置 ・除去媒体のリユース装置 ・除去した隙間充填材の回収装置	・充填材の状態に合わせた除去方法の選定、除去効率 ・限られた空間内での除去システムの成立性 ・PEM回収装置の動作環境の構築 **⇒エアベアリング装置の走行に影響**	・充填材の状態に合わせた除去方法の選定、除去効率 ・限られた空間内での除去システムの成立性 ・PEM回収装置の動作環境の構築 **⇒エアベアリング装置の走行に影響**
	工程（品質）	初	①除去装置の入場 ②隙間充填材の除去 ③除去状態の確認 ④除去装置、除去材の退出	・PEM回収のために必要となる隙間充填材除去範囲（**PEM－処分坑道－仮仕切り間**） ・除去対象範囲にある隙間充填材の含水状態の把握 **・除去作業による除去対象範囲外の隙間充填材への影響** ⇒ **充填部品質の低下** ※処分坑道内の全PEM回収の場合は考慮する必要なし	・PEM回収のために必要となる隙間充填材除去範囲（**PEM－処分坑道－仮仕切り間**） ・除去対象範囲にある隙間充填材の含水状態の推測 **・除去作業による除去対象範囲外の隙間充填材の品質への影響** ※処分坑道内の全PEM回収の場合は考慮する必要なし
		複	①除去装置の入場 ②隙間充填材の除去 ③除去状態の確認 ④除去装置、除去材の退出	・PEM回収のために必要となる隙間充填材除去範囲（**PEM－処分坑道－PEM間**） ・除去対象範囲にある隙間充填材の含水状態の把握 **・除去作業による除去対象範囲外の隙間充填材への影響** ⇒ **充填部品質の低下** ※処分坑道内の全PEM回収の場合は考慮する必要なし	
		終	①除去装置の入場 ②隙間充填材の除去 ③除去状態の確認 ④除去装置、除去材の退出	・PEM回収のために必要となる隙間充填材除去範囲（**妻部－処分坑道－PEM間**） ・除去対象範囲にある充填材の含水状態の把握	・PEM回収のために必要となる隙間充填材除去範囲（**妻部－処分坑道－PEM間**） ・除去対象範囲にある充填材の含水状態の推測
PEMの回収	装置		PEM搬送装置　駆動装置 位置決め　状態監視	・走行面の清浄度（充填材除去後）とエアベアリングの走行 ・所定の場所への停止位置決め ・エアベアリング排気と装置の安定性	・走行面の清浄度（充填材除去後）とエアベアリングの走行 ・所定の場所への停止位置決め ・エアベアリング排気と装置の安定性
	工程（品質）	初	①隙間充填材除去後の走行面の確認 ②装置の侵入 ③PEMの把持 ④PEMの搬出	・処分坑道入口からPEMまでの走行面の清浄度 **・エアベアリングからの排気による隙間充填材への影響** ⇒ **充填部品質の低下** ※処分坑道内の全PEM回収の場合は考慮する必要なし ・把持・搬出時にPEMに加わる加速度、振動、衝撃 ⇒ 鋼殻内の人パリ品質に影響	・処分坑道入口からPEMまでの走行面の清浄度 ・把持・搬出時にPEMに加わる加速度、振動、衝撃 ⇒ 鋼殻内の人パリ品質に影響
		複	①隙間充填材除去後の走行面の確認 ②装置の侵入 ③PEMの把持 ④PEMの搬出	・処分坑道入口からPEMまでの走行面の清浄度（距離が徐々に伸びる） **・エアベアリングからの排気による隙間充填材への影響** ⇒ **充填部品質の低下** ※処分坑道内の全PEM回収の場合は考慮する必要なし ・把持・搬出時にPEMに加わる加速度、振動、衝撃 ⇒ 鋼殻内の人パリ品質に影響	
		終	①隙間充填材除去後の走行面の確認 ②装置の侵入 ③PEMの把持 ④PEMの搬出	・処分坑道入口からPEMまでの走行面の清浄度（片側から回収した場合最長） ・把持・搬出時にPEMに加わる加速度、振動、衝撃 ⇒ 鋼殻内の人パリ品質に影響	・処分坑道入口からPEMまでの走行面の清浄度 ・把持・搬出時にPEMに加わる加速度、振動、衝撃 ⇒ 鋼殻内の人パリ品質に影響
留意・調整事項				・試験坑道の掘削費用 ・試験回数に対応した試験費用、試験期間	・割愛（省略ではない）した項目の補完 ・実施可能範囲での一貫した説明性

2.3.4　実証試験サイトのレイアウトの検討

(1)　必要となる試験エリアの広さ

前節で PEM を 1 体利用する試験計画を採用した。隙間充填、隙間充填材の除去、PEM の回収の一連の試験を実施する際に必要となる試験エリアの広さを検討した。検討の前提条件は以下のとおりである。安息角を考慮した結果、図 2.3.4-2 に示すように s 長さ 9m の試験エリアが必要である。

- PEM は 1 体の利用とする。
- 搬送・定置装置が逸脱し定置位置がズレたとしても衝突しないよう、PEM - 坑道妻部間は 500mm 確保する。
- PEM は完全にて充填材で覆われ、かつ充填材の被り厚は 300mm 確保されている。
- 原位置ペレット充填方式の試験結果（図 2.3.4-1）から、充填材の安息角は 30~40 度と設定した[15]。

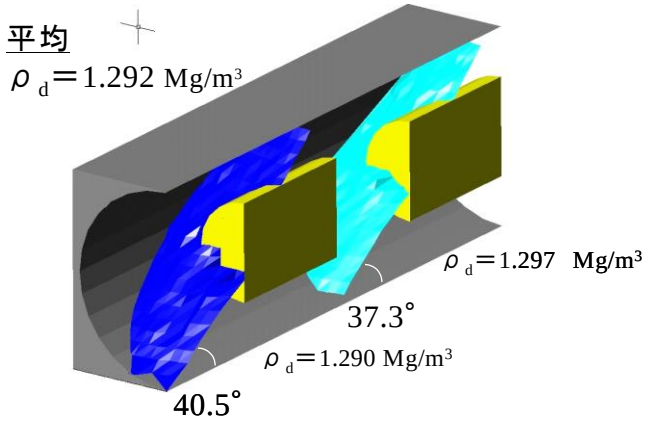


図 2.3.4-1　ペレット充填試験時の安息角の計測結果

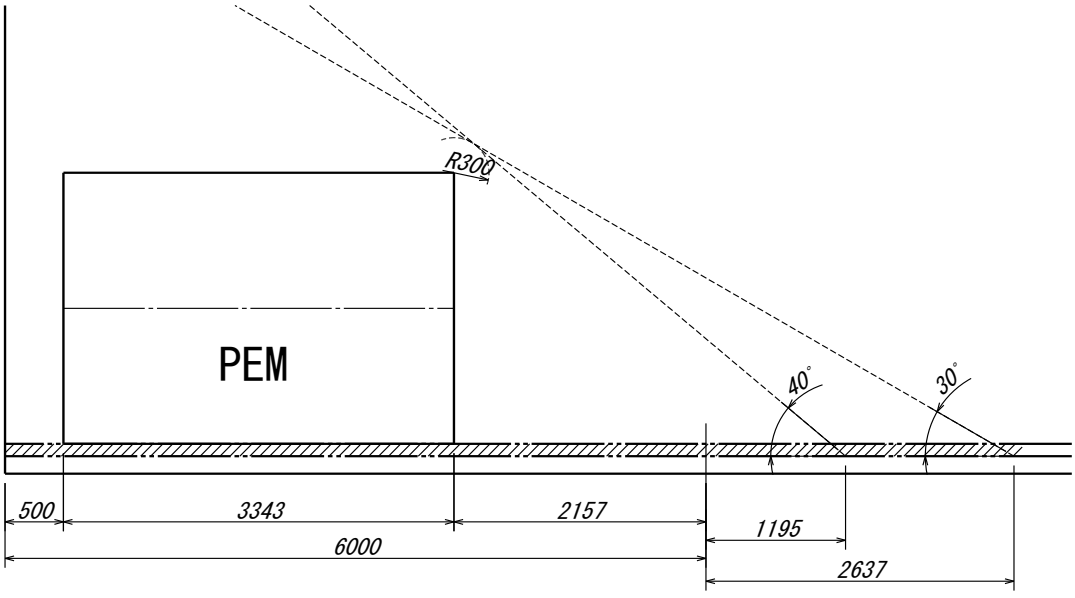


図 2.3.4-2　PEM の定置位置と隙間充填材の安息角の関係

(2)　試験坑道２への配置

「第４章　地下実証設備の整備」にて、試験坑道２の妻部から延長可能な試験孔の最小断面積を検討した結果、坑道形状は 4000mm の馬蹄形となった。これは試験坑道２の長さと同じであり、2.2.2(1)に示した処分坑道横置き方式 PEM 型の最小坑道断面径である 2,600mm は整備出来ないことがわかった。図 2.3.4-3 は試験坑道２の底部に模擬処分坑道壁を構築し、台座を設置した場合の、坑道断面レイアウトを示す。坑道下部はエアベアリングの走行面として半径 1,300mm の処分坑道の一部を施工した場合、、この部分の隙間は約 150mm である一方、上部は 1,500mm 程度の大きな空間となった。

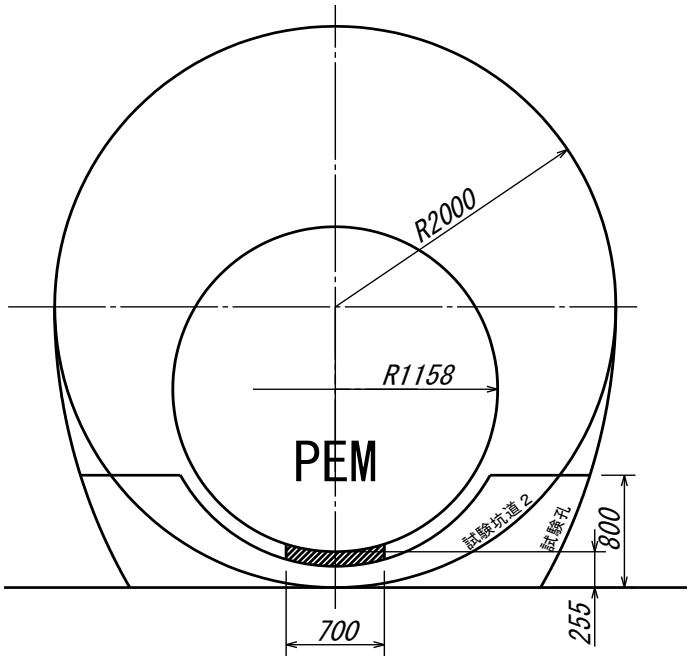


図 2.3.4-3　試験坑道２に PEM を定置した場合の坑道断面図

図 2.3.4-4 に試験エリアを試験坑道２の妻部に配置した場合のイメージを示す。試験坑道２は全長が 25m あり、入り口付近の 5m はスロープとなっている。坑道妻部に PEM を配置した場合、試験坑道奥から 9m 程度が試験エリアとなり、その手前に装置の組立や整備を行う組立台を 10m 確保できる目途がついた。「第５章　隙間充填技術の整備と試験計画」「第６章　搬送定置技術の整備と試験計画」では、10m の組立台を前提として試験計画の検討が行われている。

幌延 URL 試験坑道２妻部から掘削可能な試験孔径が 4,000mm となったこと、試験孔を延伸せずとも試験に必要な場所が確保できたことから、試験坑道２を直接利用することとした。なお 2.3.1(6)に示したように、試験坑道２に 36t の PEM を直接定置しても、既設構造物への影響は少ないことを解析で確認している。

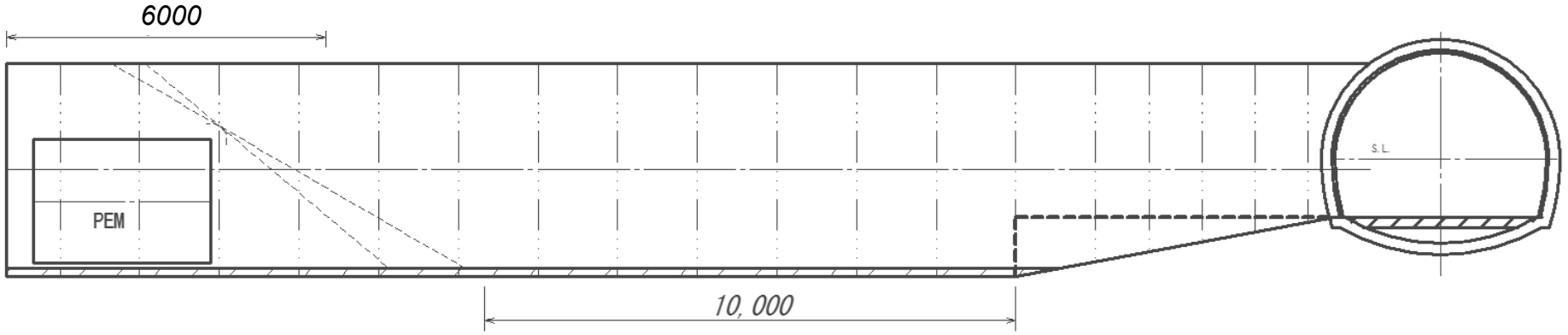


図 2.3.4-4 試験坑道２の妻部に試験エリアを配置した場合の、坑道内部の空間

2.4　まとめ

高レベル放射性廃棄物地層処分事業に対して、過去に国内外で実施された搬送定置・回収技術に係わる基盤研究開発の成果に基づき、地下での実証試験などにおける課題を整理するとともに、それらの課題を踏まえ、５ヵ年の実証試験計画を策定した。

2.4.1　実証試験の対象

地層処分事業の柔軟性を確保した計画とするため、定置概念、搬送・定置オプションの組合わせから「処分孔竪置き定置方式」と「処分坑道横置き定置方式 PEM 型」を実証試験の対象に設定した。また地層処分実規模試験施設を「処分孔竪置き定置方式」の地上実証サイトとして活用することとした。「処分坑道横置き定置方式 PEM 型」は幌延 URL 試験坑道２を地下実証サイトとして整備して試験を実施する計画とした。

2.4.2　実証試験計画の立案

「処分坑道横置き定置方式 PEM 型」について、実証試験に必要な項目を整理した。その上で、操業プロセスからの機能展開による実証試験装置への要求機能の設定とプロセス管理による施工品質の保証を装置設計検討の軸とする方針を提示した。幌延 URL の利用可能な設備の調査、試験坑道２における試験孔の延伸や耐荷重の評価を実施し、実証試験サイトの整備計画に反映するとともに、装置設計へ条件を提示した。

実際の操業で留意すべき反復作業が人工バリアの品質や後工程におよぼす影響について整理し、PEM を複数利用する計画と、1 体利用する計画を策定した。両者を比較し本事業の目的に合致する PEM を 1 体利用する計画を採用した。

試験坑道２を実証試験サイトとして整備するにあたり、試験に必要となるエリアや装置の組み立てに必要な領域等を整理し、試験坑道２内のレイアウトを検討した、その結果、試験坑道２の延伸は行わず、試験坑道２そのものを試験エリアとして利用する計画とした。

2.4.3　５ヵ年計画の提示

１年目：計画立案　２～３年目：実証試験サイト整備　４年目：搬送定置試験、隙間充てん試験　５年目：回収試験を目標とした、５ヵ年の展開を図 2.4 のように策定した。

2.4.4　個別試験計画の具体化

本章を受け、個別試験の検討を実施した。

- 第３章　地層処分実規模試験施設の活用
- 第４章　地下実証試験施設の整備
- 第５章　搬送定置技術の整備と試験計画
- 第６章　隙間充填技術の整備と試験計画

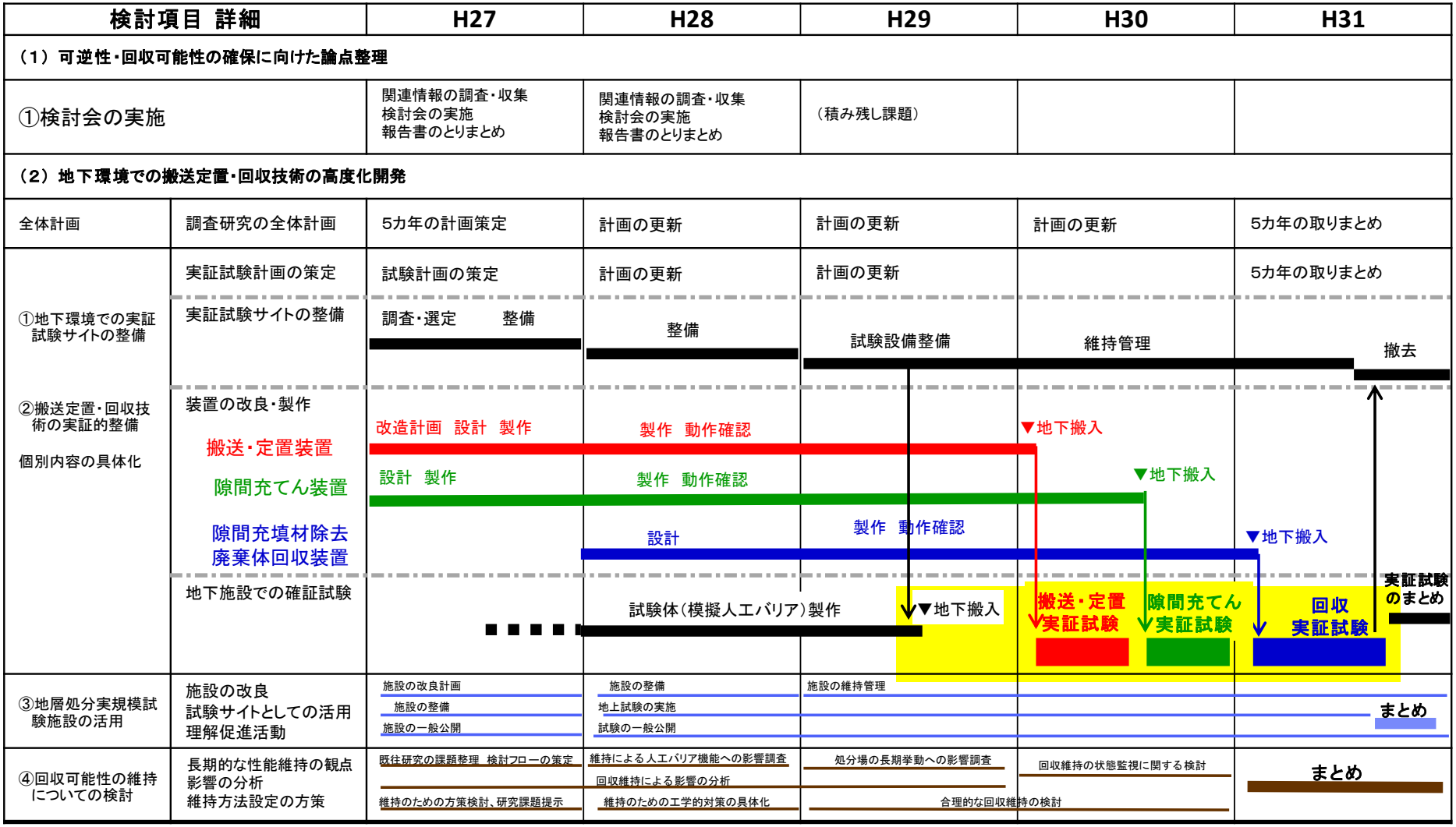


図 2.4　回収実証試験の５ヵ年計画

第２章　参考文献

[1]　核燃料サイクル機構、わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第２次取りまとめ－、分冊２地層処分の工学技術、JNC TN1400 99-022

[2]　原子力発電環境整備機構、地層処分の安全確保（2010 年度版）－確かな技術による安全な地層処分の実現のために－、NUMO-TR-11-01

[3]　（公財）原環センター、平成 25 年度原子力発電設備公聴・広報等事業　地層処分実規模設備整備事業報告書、平成 26 年 3 月

[4]　（公財）原環センター、平成 26 年度地層処分技術調査事業　地層処分回収技術高度化開発報告書、平成 27 年 3 月

[5]　（公財）原環センター、平成 23 年度地層処分技術調査等事業　高レベル放射性廃棄物処分関連　処分システム工学要素技術高度化開発　報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－、平成 24 年 3 月

[6]　（財）原環センター、平成 19 年度地層処分技術調査等委託費　高レベル放射性廃棄物処分関連　処分システム工学要素技術高度化開発　報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（２／２）、平成 20 年 3 月

[7]　（財）原環センター、平成 15 年度地層処分技術調査等　遠隔操作技術高度化調査　報告書（２／２）、平成 16 年 3 月

[8]　幌延深地層研究計画リーフレット　[UNDER GROUND]
http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/pdf/leaflet_2704.pdf

[9]　（財）原環センター、平成 17 年度地層処分技術調査等　遠隔操作技術高度化調査　報告書（２／３）、平成 18 年 3 月

[10]　（財）原環センター、平成 18 年度地層処分技術調査等　遠隔操作技術高度化調査　報告書（２／２）、平成 19 年 3 月

[11]　（公財）原環センター、平成 20 年度地層処分技術調査等委託費　高レベル放射性廃棄物処分関連　処分システム工学要素技術高度化開発　報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（２／２）、平成 21 年 3 月

[12]　（公財）原環センター、平成 20 年度地層処分技術調査等委託費　高レベル放射性廃棄物処分関連　処分システム工学要素技術高度化開発　報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（２／２）、平成 21 年 3 月

[13]　Techniques for freeing deposited canisters, SKB TR-00-15

[14]　（公財）原環センター、平成 23 年度地層処分技術調査等事業　高レベル放射性廃棄物処分関連：地層処分回収技術高度化開発　報告書、平成 24 年 3 月

[15]　（財）原環センター、平成 16 年度地層処分技術調査等　遠隔操作技術高度化調査　報告書（２／２）、平成 17 年 3 月

第3章　地層処分実規模試験施設の活用

3.1 実施概要

資源エネルギー庁の委託事業で整備した地層処分実規模試験施設において、地層処分の操業技術である搬送定置・回収技術に関わる実証試験計画の検討及び実証試験計画に基づく施設内整備を実施した。また、施設内での緩衝材定置試験、展示物の説明などによる国民への理解促進活動を平成 26 年度に引き続き実施した。

3.2 実証試験計画の検討

これまで、資源エネルギー庁の委託事業として、平成 21 年度～平成 25 年度地層処分実規模設備整備事業では、処分孔竪置き方式において緩衝材ブロックを真空把持で定置する緩衝材定置試験装置の開発、地層処分の操業技術に係る研究開発及び我が国の地層処分事業の理解促進を促進することを目的とした「地層処分実規模試験施設」（以下、実規模施設）の整備を実施した[1][2][3][4][5]。回収技術では、平成 19 年度～平成 24 年度処分システム工学要素技術高度化開発[6][7][8][9][10][11]、平成 23 年度～平成 26 年度回収技術高度化開発[12][13][14][15]において、緩衝材除去を中核技術として、塩水を用いた緩衝材除去技術の装置開発を実施した。

本事業では、実規模施設において、これら既往の搬送定置・回収技術の知見を活用した実証試験を実施する。本年度は、実規模施設での実証試験計画の検討及び実証試験に必要な施設内整備に係る検討及び整備を実施した。

3.2.1、3.2.2 に実規模施設及び緩衝材除去システムの概要を説明する。

3.2.1 地層処分実規模試験施設

平成 26 年度までに、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター内において、高レベル放射性廃棄物地層処分に関して、実規模・実物を基本として（実際の放射性廃棄物は使用しない）、緩衝材定置技術など操業に係る工学技術の実現性の検証、地層処分の安全確保の考え方、地層処分に使用される材料の性質を実感・体感し、理解を促進する地上実規模施設「地層処分実規模試験施設」を整備した。（図 3.2.1-1、図 3.2.1-2）

実規模施設内は、図 3.2.1-2 に示すように地下 1 階（B1F）から地上 2 階（2F）建てとなって

おり、地上 1 階（1F）から B1F には模擬処分孔が設定されている。1F には、図 3.2.1-3 に示す実物大の人工バリアのカットモデル、緩衝材ブロック、オーバーパックなどを展示している。

処分孔竪置き方式におけるブロック方式の緩衝材定置試験装置を、平成 12 年度～平成 13 年度高レベル放射性廃棄物処分事業推進調査（遠隔操作技術高度化調査）[16][17]及び平成 14 年度～平成 18 年度地層処分技術調査等（遠隔操作技術高度化調査）[7][18][19][20][21]を基に開発した。緩衝材定置試験装置の開発では、レール上を走行する形式とし、定置装置のけん引および制御を行う「坑道内走行装置」、ブロック方式緩衝材を処分孔に定置する「緩衝材定置装置」、処分孔 1 体分のブロック方式緩衝材を搭載する「緩衝材搭載装置」、地層処分の性質上「遠隔操作装置」による操作機能を有することが必要である。これらの機能のうち、ブロック方式緩衝材を処分孔に定置する「緩衝材定置装置」が最重要開発課題と考え、緩衝材材定置装置部の開発に重点を置き開発を実施した。

（a）実規模施設　外観　　（b）実規模施設内　全景

図 3.2.1-1　地層処分実規模試験施設

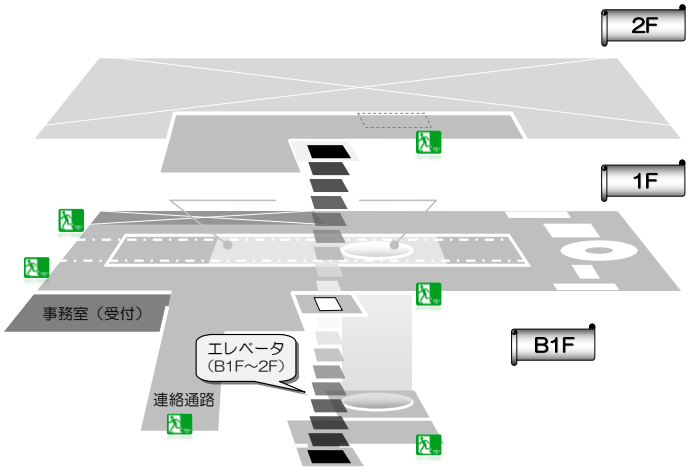


図 3.2.1-2　地層処分実規模施設内　全体図

図 3.2.1-3　展示状況全景

3.2.2 緩衝材除去システム

緩衝材除去システムは、図 3.2.2-1、表 3.2.2-1 に示すように、「噴射・吸引設備（塩水を噴射して緩衝材を除去するための設備）」、「塩水リユース設備（回収した緩衝材と塩水を分離し、回収した塩水を再利用するための設備）」、「遠隔操作設備（二つの設備を遠隔で操作・監視する設備）」で構成され、各設備について地上施設による実規模大の緩衝材除去試験を通して、成立性を確認した。

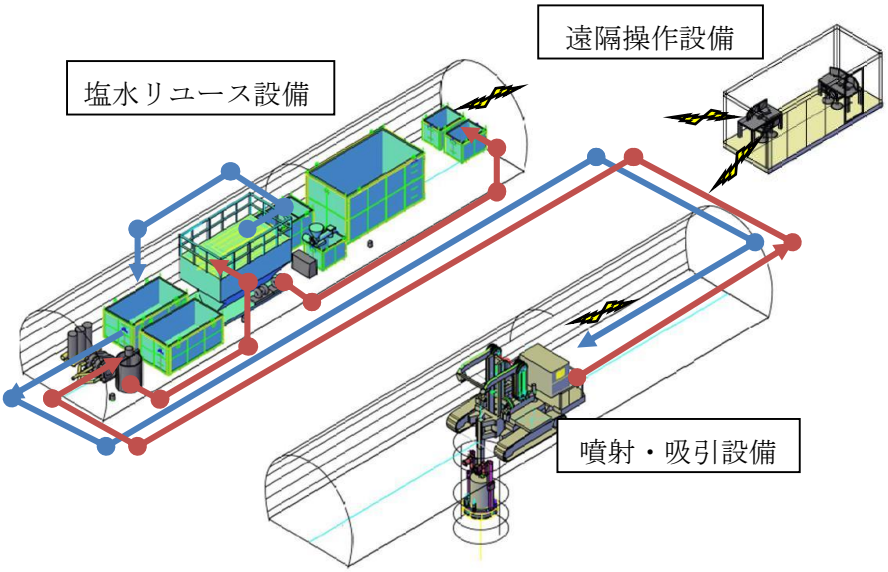


図 3.2.2-1　緩衝材除去システム概要図

表 3.2.2-1　緩衝材除去システムの構成

緩衝材除去システム			
構成設備	噴射・吸引設備	塩水リユース設備	遠隔操作設備
構成装置 （機能）	・油圧ユニット ・走行装置 ・昇降装置 ・把持装置 ・塩水噴射・スラリー吸引装置	・吸引ポンプ ・噴射ポンプ ・一時回収槽 ・水供給槽 ・塩水補給槽 ・成分調整槽 ・塩水貯留槽 ・固液分離槽 ・緊急貯留槽	・操作制御装置 ・操作監視装置

（a）緩衝材除去システム

（b）緩衝材除去試験

図 3.2.2-2　緩衝材除去技術の開発

地上試験では、図 3.2.2-3 に示すようにオーバーパック周辺の実規模大の緩衝材を除去する緩衝材除去試験を実施し、各設備機能及び装置全体の成立性を確認した。除去に使用した緩衝材の仕様を表 3.2.2-2 に示す。緩衝材は、ベントナイト：ケイ砂＝70：30（重量比）、乾燥密度 1.6Mg/m^3、飽和度 60%のものを使用した。

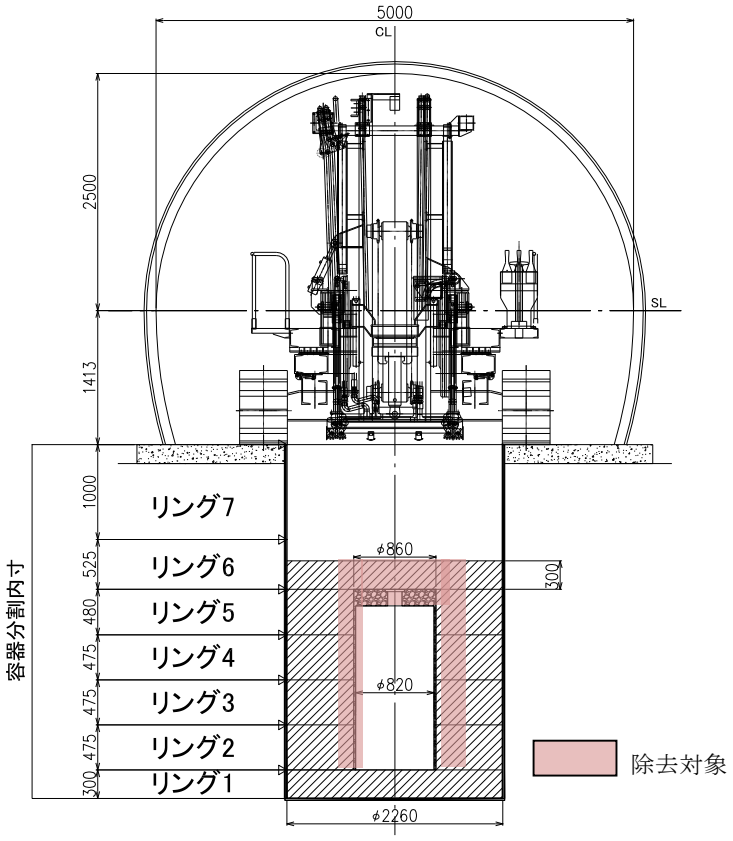


図 3.2.2-3　緩衝材除去試験の概要

表 3.2.2-2　緩衝材除去試験に使用した緩衝材の仕様

項目	仕様	備考
材料	ベントナイト 70wt% ＋ケイ砂 30wt%	ベントナイトはクニゲル V1（クニミネ工業製）を用いる
品質	乾燥密度 1.6Mg/m^3 飽和度 60%程度	－
形状	外形 2,260mm、高さ 3,130mm	－
重量	21.1t	－

3.2.3 実証試験計画

(1)　緩衝材定置試験装置

緩衝材搬送・定置装置の実証試験に必要な機構および試験項目等の例については、遠隔操作技術高度化調査[16]に示されている（表 3.2.3-1）。

表 3.2.3-1　緩衝材ブロック竪置き定置方式　試験項目例[16]

試験対象		技術開発課題	試験段階	試験項目
竪置き方式	駆動装置	駆動装置の設計	要素試験	必要動力確認、走行速度確認、牽引重量確認、走行条件確認
		幅広軌間の走行性能	要素試験	勾配、カーブ等の走行性能確認、停止機能確認
		幅広軌間の走行動力	要素試験	必要動力確認、走行性能確認
		斜坑の急傾斜化	要素試験	傾斜の設定、走行方式確認、必要動力確認、安全性確認
	緩衝材製作設備	実規模ブロック型緩衝材の製作方法	基礎試験	ブロックの力学特性評価、品質管理項目、方法確認、変形圧に関する検討、ブロック製作の最適化
			要素試験	緩衝材分割形状確認、製作パラメータ確認、材料充てん方法確認、所定密度・均質性を得る製作方法の確立
			モックアップ試験	型構造確認、脱型方式確認、製作品質確認
		緩衝材の表面加工方法	基礎試験	材料性状確認、品質管理項目、方法確認、加工方法、形状確認
			要素試験	加工パラメータ確認、加工品質確認、ハンドリング方法確認
		偏膨潤試験	要素試験	偏膨潤の影響を確認
	定置装置	処分孔測定システムの設計	要素試験	測定方式確認、測定精度確認、測定時間確認、岩種への適応性確認
			モックアップ試験	把持部への装着構造確認、測定時間確認、測定精度確認、処分孔施工精度確認
		真空吸着把持方式の安全性	要素試験	吸着カップ形状確認、リップ材質確認、真空度確認、緩衝材表面状態への適合性確認
			モックアップ試験	安全性確認、把持性能確認、ハンドリング速度確認
		テレスコピック方式の定置精度	要素試験	位置決め方式確認、動力確認
			モックアップ試験	安全性確認、定置精度確認、ハンドリング速度確認
		緩衝材の吸湿防止機能	基礎試験	材料性状確認、品質変化形態確認、品質管理項目、方法確認
			要素試験	緩衝材保護方式確認、経時変化状態確認、
			モックアップ試験	安全性確認、ハンドリング方式への影響確認、品質管理
		定置装置外形の適正化	モックアップ試験	勾配、カーブ等の走行性能確認
	搭載装置	搭載装置外形の適正化	モックアップ試験	勾配、カーブ等の走行性能確認
	隙間充てん設備	隙間充てん技術	基礎試験	隙間充てん要件確認、充てん材料確認、充てん方法確認
			要素試験	充てん性確認、品質管理項目、方法確認

これらの検討とともに実際の操業時に必要となる装置の緩衝材ブロック搬送・定置装置の概念設計時に人工バリアの品質を確保するという観点で、緩衝材の重要な設計要件（熱伝導性、止水性等）と搬送・定置装置の関係分析を分析した（図 3.2.3-1）。

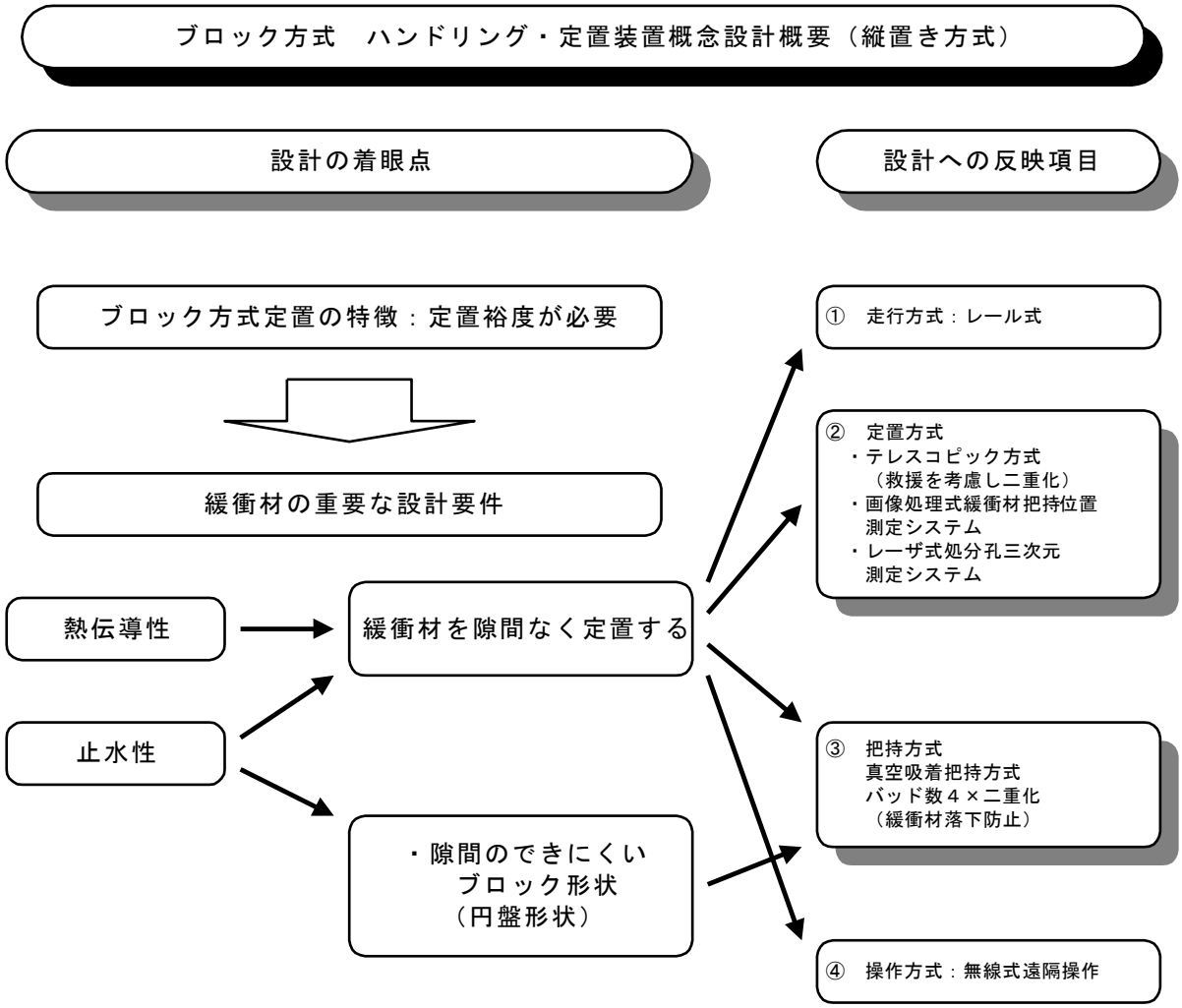


図 3.2.3-1　搬送・定置装置と緩衝材の重要な設計要件の関係例[16]

図 3.2.3-1 中の「設計への反映項目」に対する平成 12 年度以降の研究の進捗状況と今後、実証試験が必要な項目案について表 3.2.3-2 に整理した。本年度は、表中の今後実証試験が必要な実証項目の内、監視カメラによる制御機構の実装を実施することとした。

表 3.2.3-2　竪置き定置方式の搬送・定置装置関係の技術課題進捗状況

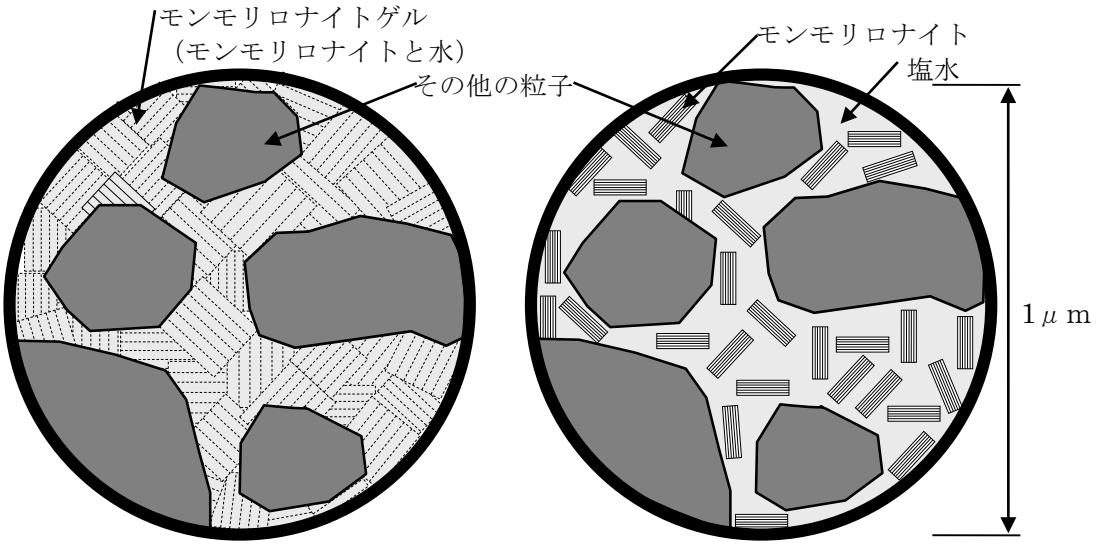
設計対象		進捗状況
走行方式	レール方式	○レール方式による搬送・定置装置製作 ×自走機能の実装が必要
定置方式	テレスコピック方式	○テレスコピック方式、実緩衝材ブロックを用いた搬送・定置機構の確認
	画像処理、状態把握、位置確認	○画像処理試験の実施 ×搬送・定置装置への実装と実証機による試験
	レーザ測定、処分孔測定	○模擬処分孔を対象としたレーザ測定試験の実施 ×搬送・定置装置への実装と実証機による試験
把持方式	真空吸引方式	○真空吸引機構の製作と実緩衝材ブロックを用いた搬送・定置機構の確認
操作方式	無線式遠隔操作	○搬送定置装置の無線制御機構の実装 ×監視カメラによる制御機構の実装 ×自走機構の実装と、実緩衝材ブロックを用いた搬送・定置の一連の行程を対象とした実証試験

○；平成 12 年度以降の研究により実証試験等により確認されている項目

×；今後、実証試験が必要な実証項目

(2)　緩衝材除去システム

緩衝材除去システムは、廃棄体を回収するためにはオーバーパックを拘束している緩衝材を除去する技術が中核技術になるとし、塩水を利用した緩衝材除去技術を装置化したものである。塩水による緩衝材除去は、緩衝材を塩水に浸漬させることにより、緩衝材の主成分であるモンモリロナイトが層間に水分子を取り込んだ状態で粒子相互の電気的結合力を維持するというメカニズムが失われ、緩衝材が浸漬崩壊挙動を示す原理を利用している（図 3.2.3-2）[10]。

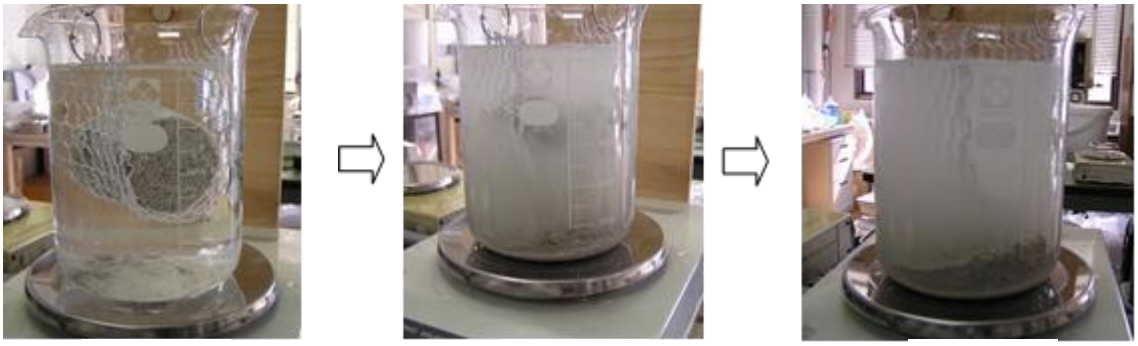


a．淡水環境：粘結性を有するモンモリロナイトゲルがその他の粒子を取り囲む状態

b．塩水環境：モンモリロナイト粒子と塩水がその他の粒子間で別々に挙動している状態

図 3.2.3-2　塩水環境と淡水環境での緩衝材を構成する粒子構造の違い[10]

また、緩衝材（乾燥密度 1.6Mg/m^3）の飽和度を変えて塩水による浸漬試験を実施した（図 3.2.3-3、図 3.2.3-4）。飽和度が高いほど緩衝材の分解速度が遅くなることがわかっており、塩水崩壊挙動は緩衝材の飽和度に依存している。



浸漬直後　　3 分後　　5 分後

図 3.2.3-3　塩水による浸漬試験状況[10]

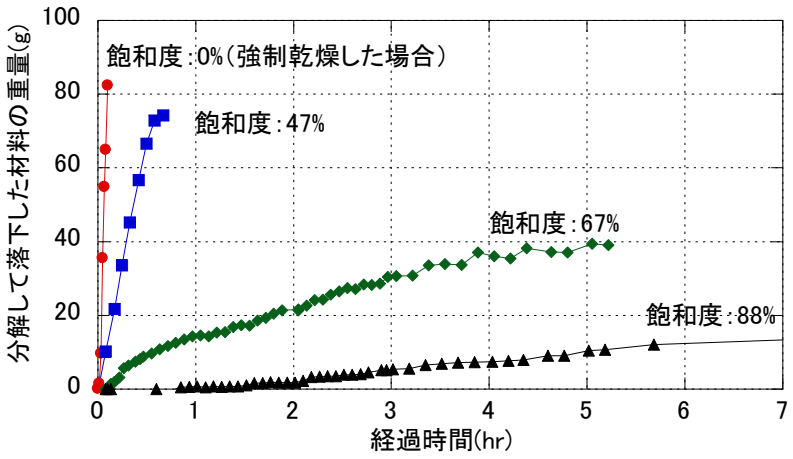


図 3.2.3-4　緩衝材（乾燥密度 1.6Mg/m3）の浸漬試験結果（NaCl：4wt%溶液使用）[10]

平成 26 年度に実施した緩衝材除去システムによる緩衝材除去試験は、表 3.2.3-3 に示す乾燥密度 1.6Mg/m3、飽和度 60%程度の緩衝材を使用した。また、緩衝材定置試験装置では、乾燥密度 1.825Mg/m3、飽和度 60%程度の緩衝材を定置している。

表 3.2.3-3　緩衝材除去試験と緩衝材定置試験に用いた緩衝材仕様

項目	緩衝材除去試験	緩衝材定置試験
材料	ベントナイト 70wt%＋ケイ砂 30wt%	ベントナイト 70wt%＋ケイ砂 30wt%
乾燥密度	1.600Mg/m^3	1.825Mg/m^3
飽和度	60%程度	60%程度

本事業では、緩衝材定置試験装置により定置した緩衝材（乾燥密度 1.825Mg/m3、飽和度 60%程度）を緩衝材除去システムで除去することにより、塩水による緩衝材除去に係る密度依存性について検証するとともに定置から除去にいたる操業手順の確認を目的とし、実証試験を実施する。

緩衝材除去システムは、地層処分実規模施設外で研究開発された。実規模施設内で実証試験するためには、実規模施設内への移設が必要となる。さらに、施設内も緩衝材除去システムによる実証試験が実施できるように整備する。

(3)　年度計画

表 3.2.3-4 に実規模施設の活用に関する年度別計画表を示す。

表 3.2.3-4　年度計画表

項目		H27	H28	H29	H30	H31
実証試験計画の検討		━━	━━	━━	━━	
緩衝材定置試験装置	装置改良	━━		━━		
	実証試験			━━	━━	━━
緩衝材除去システム	施設内整備	━━	━━	━━		
	緩衝材除去システムの移設	━━	━━			
	実証試験			━━	━━	━━
理解促進活動		━━	━━	━━	━━	━━

以上の実証試験計画を基に、本年度は以下の項目を実施した。

①緩衝材定置試験装置

・緩衝材定置装置の改良

②緩衝材除去システム

・実証試験に向けた施設整備検討及び整備

・緩衝材緩衝材除去システムの実規模施設への移設

③理解促進活動

・施設の一般公開

・緩衝材定置試験

・緩衝材可視化試験

・広報活動

・来館者へのアンケート

を実施した。以下に、本年度実施した実施項目の詳細について示す。

3.3 緩衝材定置試験装置の改良

緩衝材ブロックはアクセス斜坑またはアクセス立坑により地上から地下に搬送され、地下の連絡坑道、主要坑道、処分坑道内を搬送され、処分孔に設置される。この作業工程において、図 3.2.3-1 の作業ブロックフローに示すように、連絡坑道内の管理区域の境界において緩衝材ブロックの積み替え作業を行う。これらの積み替え作業時も含めて、緩衝材ブロック定置運搬、定置作業には監視が必要となる。

本検討では、操業工程毎に監視方法及び監視対象の抽出を行うと共に、監視対象に対して監視カメラが有効な工程や監視対象となる機構を併せて抽出した。さらに、抽出結果を基に実規模施設内の緩衝材定置試験装置に必要な監視項目、監視方法を整理し、緩衝材定置試験装置に必要な監視機能の追加改良を行った。以下に、詳細を示す。

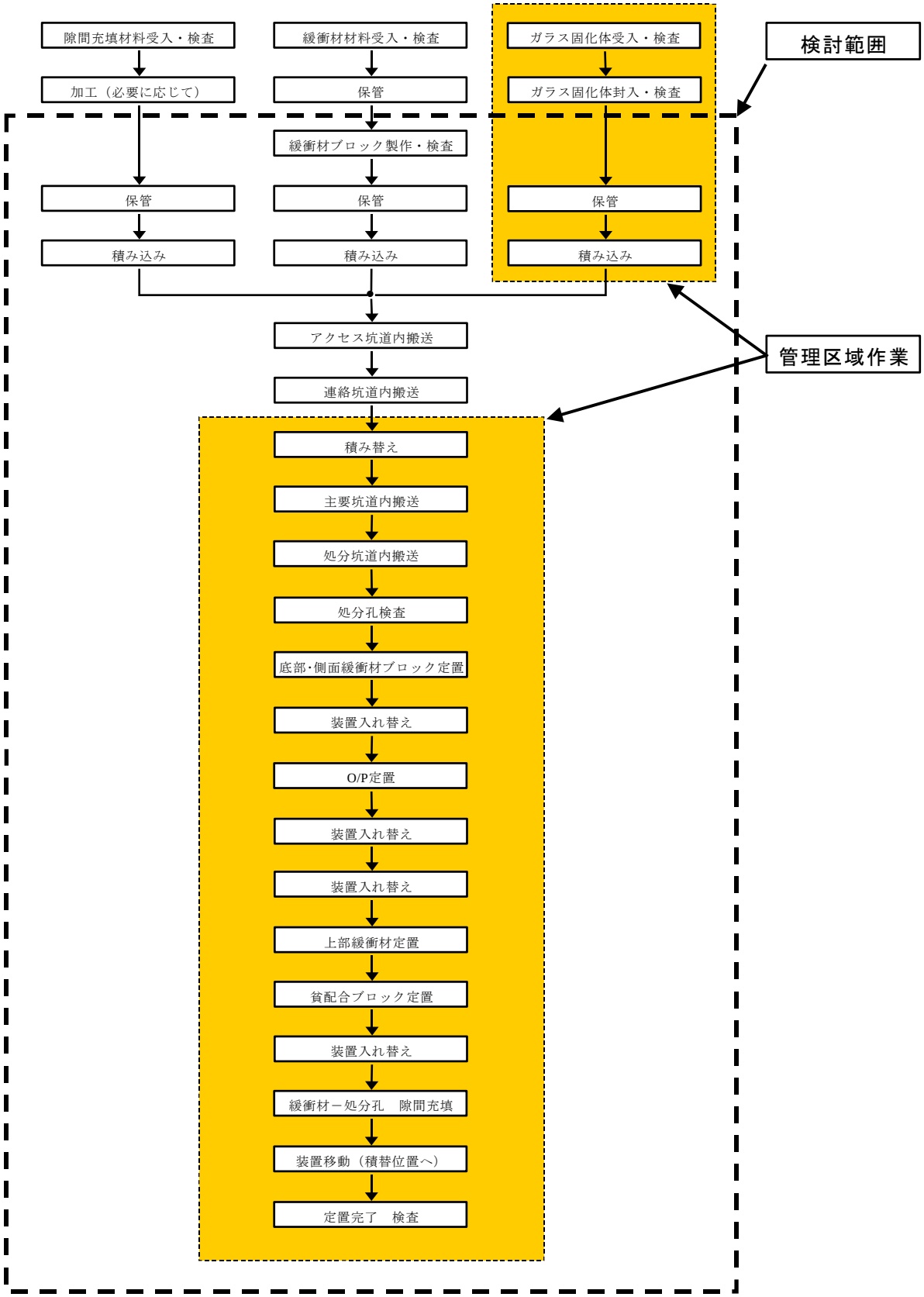


図 3.2.3-1　ブロック型緩衝材竪置き定置方式　作業ブロックフロー[20]

3.3.1 緩衝材ブロック運搬、定置に必要な監視項目、監視方法の検討

平成 12 年度高レベル放射性廃棄物処分事業推進調査（遠隔操作技術高度化調査）[16]においてブロック緩衝材縦置き定置方式定置装置の実機の概念設計及び実証装置の概念設計が実施されており、その中で定置装置に必要となる機能が検討された。この検討では、竪置きブロック方式定置装置の作業フローより、各装置に求められる機能とその機能概要を表 3.3.1-1 に示すように整理している。この機能展開の中には、本検討の検討対象である「監視機能」について、監視の対象を取りまとめている(表中、□)。

表 3.3.1-1　機能の概要（竪置き方式）[16]

機能		機能概要
駆動機能	坑道内を走行する	定置設備を牽引走行する機能
	装置を固定する	定置設備を処分孔位置に固定する機能
	装置を停止する	定置設備を目標位置で停止する機能
定置機能	緩衝材を把持する	緩衝材を把持する機能
	緩衝材を昇降する	把持した緩衝材を上下に移動する機能
	落下を防止する	緩衝材の不慮の落下を防止する機能
	緩衝材を水平移動する	把持または搭載した緩衝材を水平移動する機能
搭載機能	緩衝材を搭載する	一回の定置作業に必要な緩衝材を搭載し走行する機能
	緩衝材を固定する	搭載した緩衝材が荷崩れしないように固定する機能
	振動を抑える	緩衝材に伝わる振動を極力少なくする機能
	吸湿を防止する	緩衝材が大気から水分を吸収するのを防ぐ機能
装置全体	放射線に耐える	放射線の影響を受けても正常に動作する機能
	放射線を遮へいする	電子機器などを放射線から遮へいする機能
	温度変化に耐える	四季及び屋外－坑道内の環境変化の影響を保護する機能
	水分の進入を防ぐ	結露から機器を保護する機能
	水滴から覆う	坑道内の水滴から機器及び緩衝材を保護する機能
	動力をﾊﾞｯｸｱｯﾌﾟする	停電時及び異常時に作動する補助動力機能
	動力を供給する	通常運転に必要な動力を供給する機能
操作機能	誤動作を防止する	ヒューマンエラー及び事故防止のインターロック機能
	自動で運転する	運転操作を容易にするための運転補助機能
	運転を記録する	操業を管理するための運転補助機能
	遠隔で操作する	安全性及び作業環境を考慮した運転補助機能
測定機能	処分孔を測定する	処分孔の不陸、曲がりを測定する定置位置決定機能
	走行距離を測定する	処分位置確認及び運行管理機能
	緩衝材を測定する	定置前緩衝材の外観、重量を測定する品質確認機能
	定置状況を確認する	定置後緩衝材の外観、寸法を測定する品質確認機能
	水量を測定する	処分孔内に溜まった水量を測定する機能
	環境を測定する	操業施設の温度、湿度、放射線量を測定する機能
検知機能	異常を検知する	目視可能な火災、崩落、荷崩れ等を検知する機能
	地震を検知する	地震を検知し設備の運転管理を制御する機能
	故障部位を検知する	設備を自己診断し保守を容易にする機能
	停電を検知する	動力喪失を検知し装置を停止する機能
	停止位置を検知する	設備を所定の位置に位置決めする補助機能
監視機能	把持状態を監視する	緩衝材の把持状態を監視する機能
	走路を監視する	坑道内走路の落下物等を監視する機能
	装置を監視する	装置の定置作業等の稼働状況を監視する機能
	運転状態を監視する	施設全体の装置の運行状態を監視する機能
	坑道内を監視する	坑道内の外観（崩落、クラック等）を監視する機能
	走行状態を監視する	装置の走行状態（電動機負荷、速度等）を監視する機能
	運転操作を監視する	運転員の操作が適切であることを監視する機能

表 3.3.1-1 に整理した「監視機能」だけをまとめたものを表 3.3.1-2 に示す。表 3.3.1-2 に示す

様に、監視機能は、坑道内、走路、運転状態、運転操作、走行状態、把持状態、装置が対象となる。

表 3.3.1-2　監視機能（竪置き方式）

監視機能		機能概要
1	坑道内を監視する	坑道内の外観（崩落、クラック等）を監視する機能
2	走路を監視する	坑道内走路の落下物等を監視する機能
3	運転状態を監視する	施設全体の装置の運行状態を監視する機能
4	運転操作を監視する	運転員の操作が適切であることを監視する機能
5	走行状態を監視する	装置の走行状態（電動機負荷、速度等）を監視する機能
6	把持状態を監視する	緩衝材の把持状態を監視する機能
7	装置を監視する	装置の定置作業等の稼働状況を監視する機能

表 3.3.1-2 で整理した監視機能、機能概要を基に表 3.3.1-3 では、実規模試験装置の各監視機能に対して竪置き定置装置の構成機器に対応させた。さらに、それらの監視対象となる構成機器に対して監視方法として「目視・カメラによる監視」と「制御システムのセンサ」を使用した監視の 2 系統に分類した。例えば、「1.坑道内の監視」の様に目視による監視で十分対応可能なものや、「4.運転状況の監視」や「6.把持機構の監視」の確認の様に制御システムによる監視で十分対応可能なものには 1 系統とした。表中の「監視方法」の「制御システム」の欄には監視を行うための具体的な計測装置の例を示した。表中に挙げた「監視方法」の「監視カメラ」の設置位置のうち、実機の緩衝材ブロック定置装置に設置するカメラ位置の案を図 3.3.1-1 に示す。

表 3.3.1-3　緩衝材定置装置の監視項目

監視機能		機能概要	定置装置の構成機器	監視方法				カメラ位置対応番号	実規模定置装置の実装機能
				監視カメラ		制御システム			
					監視対象		監視機器		
1	坑道内を監視する	坑道内の外観（崩落、クラック等）を監視する機能	駆動装置	○	坑道内の外観（崩落、クラック等）	－	－	①	－
2	走路を監視する	坑道内走路の落下物等を監視する機能	駆動装置	○	坑道内走路の落下物	○	画像処理 レーザー距離計等	②	－
3	運転状態を監視する	施設全体の装置の運行状態を監視する機能	駆動装置	－		○	グラフィックシステム	－	－
4	運転操作を監視する	運転員の操作が適切であることを監視する機能	駆動装置	－		○	インターロック	－	－
5	走行状態を監視する	装置の走行状態（電動機負荷、速度等）を監視する機能	駆動装置	－		○	サーマル 速度計	－	－
6	把持状態を監視する	緩衝材の把持状態を監視する機能	緩衝材搭載装置：把持機構	－		○	圧力計 流量計 ロードセル タイマー	－	－
			緩衝材定置装置：移載把持機構	－		○	圧力計 流量計 ロードセル タイマー	－	－
			緩衝材定置装置：定置把持機構	－		○	圧力計 流量計 ロードセル タイマー	－	○
7	装置を監視する	装置の定置作業等の稼働状況を監視する機能	緩衝材定置装置：位置決め機構	○	処分孔	○	処分孔位置検出器	③	－
			緩衝材搭載装置：水平出し機構	－		○	傾斜計	－	－
			緩衝材定置装置：水平出し機構	－		○	傾斜計	－	－
			緩衝材定置装置：処分孔計測機構	○	処分孔内の異物確認	○	レーザ計測器	④	－
			緩衝材搭載装置：緩衝材外観検査機構	○	緩衝材の表面状態	○	画像処理	⑤	－
			緩衝材搭載装置：緩衝材搬送機構	○	走行レール上の異物確認、緩衝材把持状態確認	○	リミットスイッチ タイマー サーマル ロードセル エンコーダー	⑥	－
			緩衝材定置装置：緩衝材搬送機構1	○	走行レールと搬送台車上の異物確認、緩衝材外観確認	○	リミットスイッチ タイマー サーマル	⑦	－
			緩衝材定置装置：移載機構	○	緩衝材把持状態確認	○	リミットスイッチ タイマー サーマル ロードセル エンコーダー	⑧	－
			緩衝材定置装置：緩衝材搬送機構2	○	走行レールと搬送台車上の異物確認、緩衝材外観確認	○	リミットスイッチ タイマー サーマル	⑨	○
			緩衝材定置装置：緩衝材旋回機構	○	緩衝材把持状態確認	○	リミットスイッチ タイマー サーマル	⑩	○
			緩衝材定置装置：定置位置補正機構	○	緩衝材把持状態確認	○	リミットスイッチ タイマー サーマル エンコーダ	⑩	－
			緩衝材定置装置：緩衝材定置機構	○	緩衝材定置後の外観確認	○	リミットスイッチ タイマー サーマル ロードセル エンコーダー	③	○

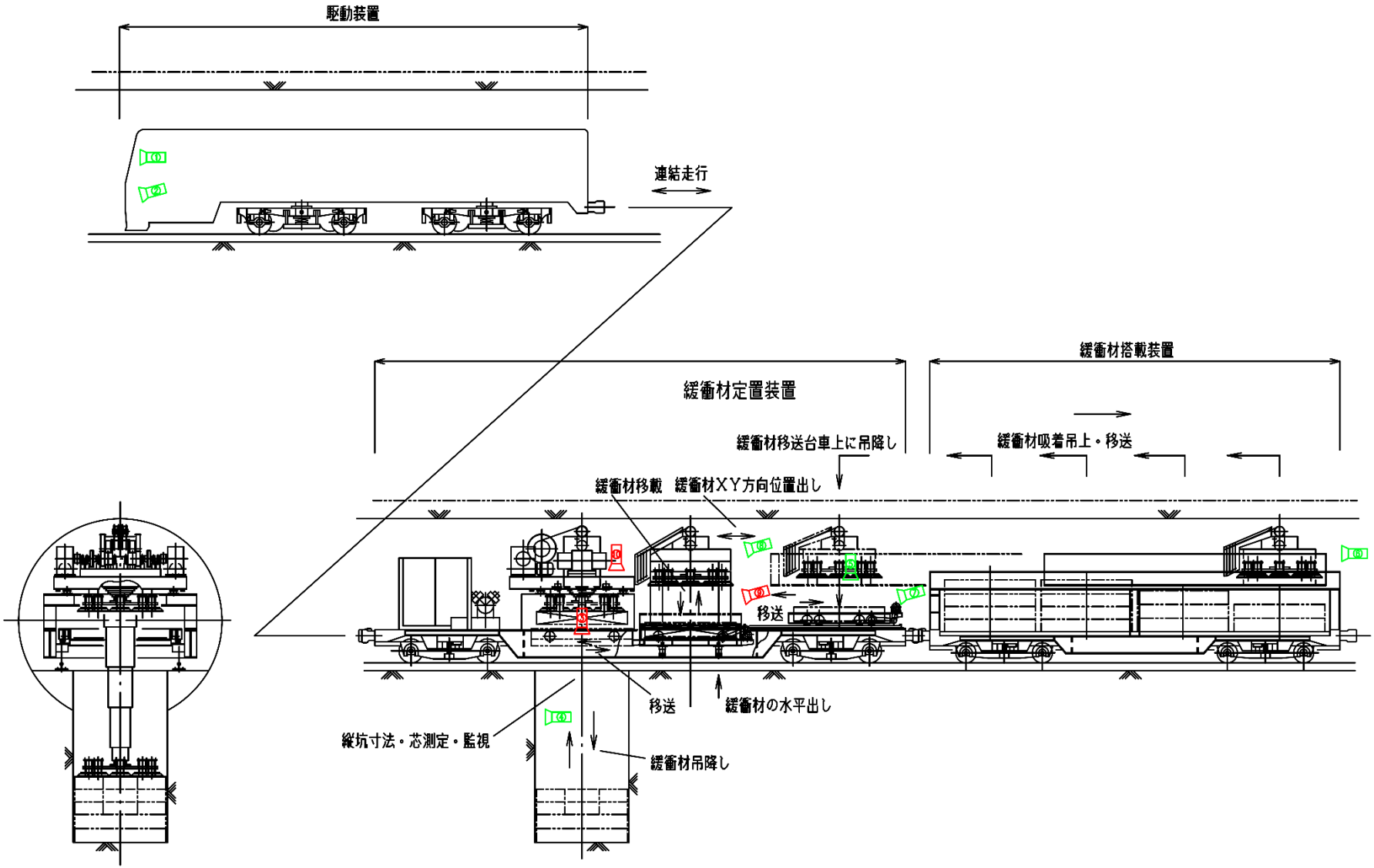
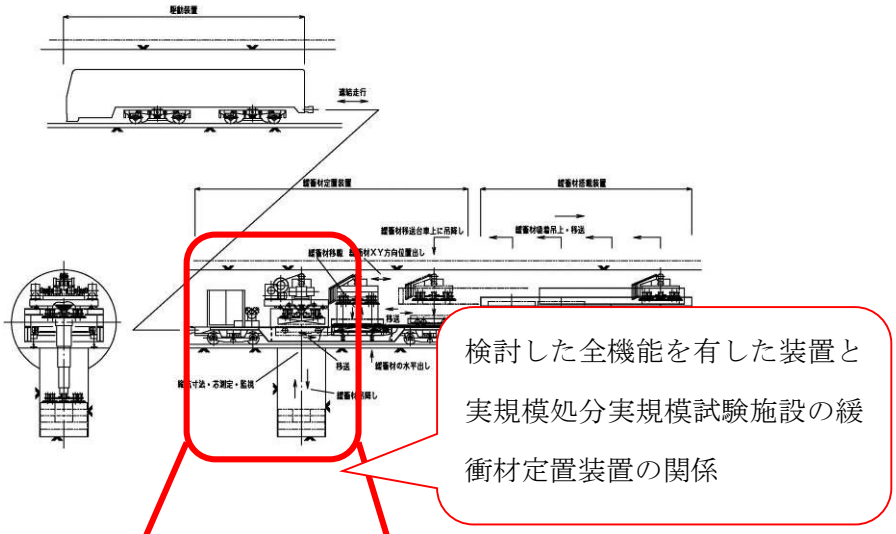


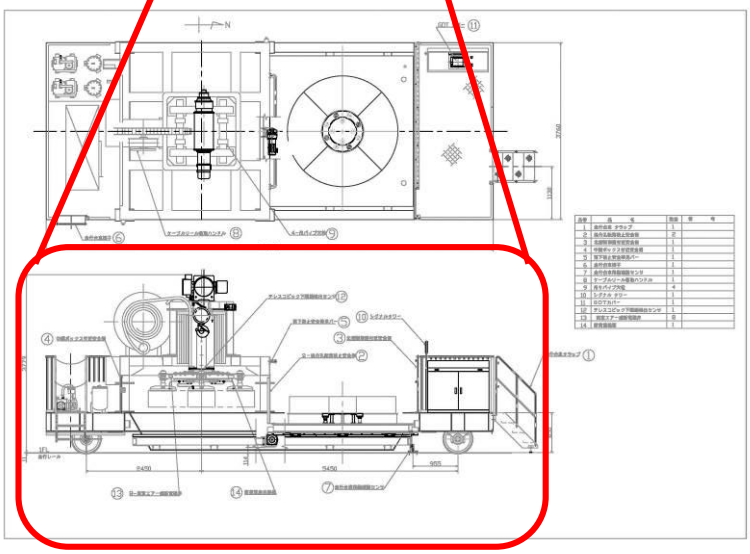
図 3.3.1-1　カメラ監視位置概念図

3.3.2 緩衝材定置試験装置に必要な監視機能の検討

緩衝材定置試験装置は、操業時に想定される緩衝材定置装置の機器構成の一部機能のみを実証装置として製作した（図 3.3.2-1）。このため、表 3.3.1-3 に上げた目視・カメラが必要な項目の内、駆動装置及び緩衝材搭載装置の項目は、監視カメラ設置検討では対象外として検討した。



(a) 操業時に想定される緩衝材ブロック定置装置設計例



(b)　実規模試験施設内の緩衝材定置試験装置

図 3.3.2-1　実機と実規模処分実規模試験施設に緩衝材定置装置

(1)　緩衝材定置試験装置に必要な監視機能

表 3.3.1-3 では、緩衝材ブロック定置装置が地上施設から地下の処分孔内に緩衝材ブロックを定置するまでの工程に対する「監視機能」が求められる機能と監視方法等についてまとめた。

実規模試験施設内の緩衝材定置試験装置の定置工程を表 3.3.2-1 に示す。緩衝材定置試験装置により実装できる定置工程は、緩衝材搬送台車に搭載された緩衝材ブロックを、処分孔上部まで横移動させ、その緩衝材ブロックを真空把持機構のついたテレスコピックにより処分孔に定置する工程となる。表 3.3.1-3 に緩衝材定置試験装置の定置工程を対応させたものを表 3.3.2-2 に示す。表中に示すように、緩衝材定置試験装置を用いた定置工程で必要となる監視機能は「7　装置を監視する」となる。監視方法は、監視カメラを用いた定置装置の構成機器に対する監視とした場合、定置装置の実装箇所を考慮すると表中の青色で着色した以下の 3 つの機構について監視が必要と判断した。

・緩衝材定置装置：緩衝材搬送機構 2
・緩衝材定置装置：緩衝材旋回機構
・緩衝材定置装置：緩衝材定置機構

上記の機構を対象にした監視カメラ設置により、補助的に監視が可能な箇所があり、それらについては表中に黄色のハッチングとして示した。

図 3.3.2-2 に、緩衝材定置試験装置の監視カメラ位置と設置個所による監視カメラの視野範囲の検討結果を示す。図中の①～④は、表 3.3.2-2 に示す監視カメラ配置検討から得られた位置となっている。

表 3.3.2-1　緩衝材ブロック定置工程作業例

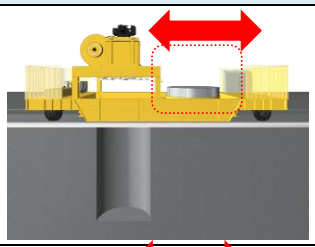
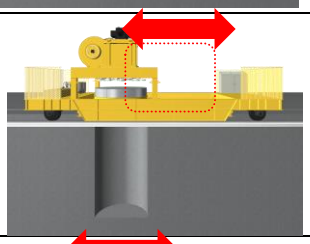
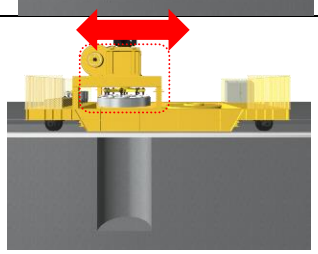
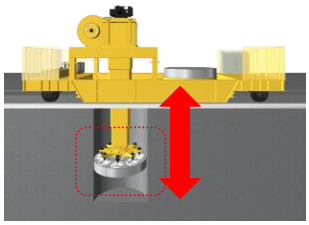
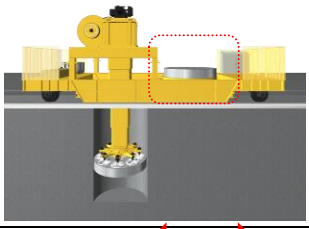
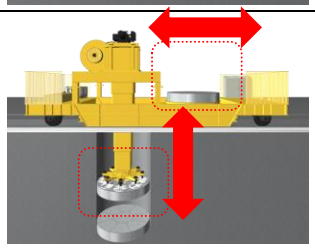
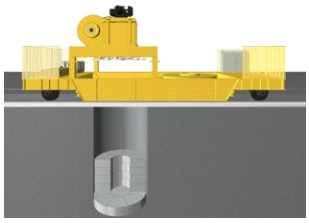
緩衝材定置試験装置可動イメージ	概要
	緩衝材台車へ緩衝材ブロックの搭載
	緩衝材台車に載せた緩衝材ブロックをテレスコピックの下へ移動
	緩衝材ブロックを真空把持部で持ち上げ、緩衝材台車を戻す
	緩衝材ブロックをテレスコピックで処分孔底部まで下降させて設置
	次に置く緩衝材ブロックを緩衝材台車に搭載
	緩衝材ブロックを置く動作を順次繰り返し
	緩衝材ブロック及びオーバーパックの定置を終了

表 3.3.2-2　緩衝材定置装置カメラ位置検討結果

	監視機能	機能概要	縦置き定置装置の構成機器	監視方法			監視カメラ配置	実規模定置装置の実装機能	目視カメラ監視対象
				監視カメラ	制御システム				
1	坑道内を監視する	坑道内の外観（崩落、クラック等）を監視する機能	駆動装置	○	－	－	－	－	坑道内の外観（崩落、クラック等）
2	走路を監視する	坑道内走路の落下物等を監視する機能	駆動装置	○	○	画像処理 レーザー距離計等	－	－	坑道内走路の落下物
3	運転状態を監視する	施設全体の装置の運行状態を監視する機能	駆動装置	－	○	グラフィックシステム	－	－	
4	運転操作を監視する	運転員の操作が適切であることを監視する機能	駆動装置	－	○	インターロック	－	－	
5	走行状態を監視する	装置の走行状態（電動機負荷、速度等）を監視する機能	駆動装置	－	○	サーマル 速度計	－	－	
6	把持状態を監視する	緩衝材の把持状態を監視する機能	緩衝材搭載装置：把持機構	－	○	圧力計 流量計 ロードセル タイマー	－	－	
			緩衝材定置装置：移載把持機構	－	○	圧力計 流量計 ロードセル タイマー	－	－	
			緩衝材定置装置：定置把持機構	－	○	圧力計 流量計 ロードセル タイマー	－	○	
7	装置を監視する	装置の定置作業等の稼働状況を監視する機能	緩衝材定置装置：位置決め機構	○	○	処分孔位置検出器	－	－	処分孔
			緩衝材搭載装置：水平出し機構	－	○	傾斜計	－	－	
			緩衝材定置装置：水平出し機構	－	○	傾斜計	－	－	
			緩衝材定置装置：処分孔計測機構	○	○	レーザ計測器	－	－	処分孔内の異物確認
			緩衝材搭載装置：緩衝材外観検査機構	○	○	画像処理	－	－	緩衝材の表面状態
			緩衝材搭載装置：緩衝材搬送機構	○	○	リミットスイッチ タイマー サーマル ロードセル エンコーダー	－	－	走行レール上の異物確認、緩衝材把持状態確認
			緩衝材定置装置：緩衝材搬送機構1	○	○	リミットスイッチ タイマー サーマル	－	－	走行レールと搬送台車上の異物確認、緩衝材外観確認
			緩衝材定置装置：移載機構	○	○	リミットスイッチ タイマー サーマル ロードセル エンコーダー	－	－	緩衝材把持状態確認
			緩衝材定置装置：緩衝材搬送機構2	○	○	リミットスイッチ タイマー サーマル	①	○	走行レールと搬送台車上の異物確認、緩衝材外観確認
			緩衝材定置装置：緩衝材旋回機構	○	○	リミットスイッチ タイマー サーマル	②、③	○	緩衝材把持状態確認
			緩衝材定置装置：定置位置補正機構	○	○	リミットスイッチ タイマー サーマル エンコーダ	－	－	緩衝材把持状態確認
			緩衝材定置装置：緩衝材定置機構	○	○	リミットスイッチ タイマー サーマル ロードセル エンコーダー	④	○	緩衝材定置後の外観確認

今回の改良により監視可能になる箇所
上記の監視により、補助的に監視可能になる箇所

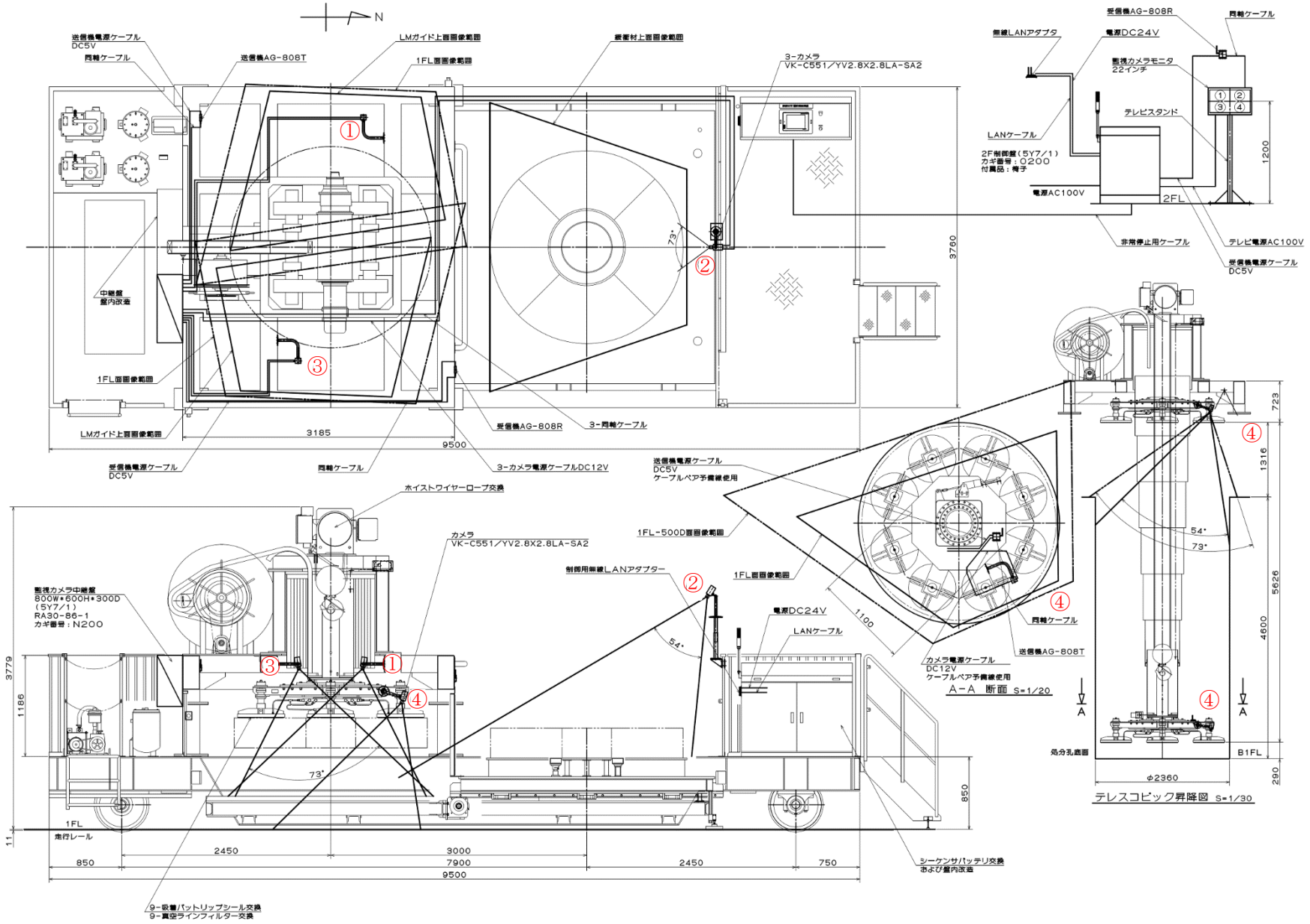


図 3.3.2-2　監視カメラ、無線化機器等配置図

3.3.3 緩衝材定置試験装置への監視機能の設置

3.3.2 で検討した監視カメラ位置に基づき、監視カメラを設置した。監視カメラ設置に伴い、施設の 2 階から遠隔無線操作できるように、2 階に新たに制御盤を設置すると共に、装置内の制御システムの改良と無線による制御装置の追加等の改良も併せて行った。ただし、実規模試験施設が一般の観客なども立ち入る場所であり、また施設が実証試験施設であることを考慮し、2 階の制御盤に設置した非常時の強制停止信号の送信のみ有線での制御ラインを設置した。以下に、本年度新たに設置した制御盤、監視カメラ、遠隔無線装置の概要及び設置後の監視カメラ監視状況について報告する。

(1) 制御盤の製作・設置

施設 2 階から遠隔無線操作できるように、図 3.3.3-1 に示す既存の緩衝材定置試験装置の制御盤の改良を行った。改良前の緩衝材定置装置に搭載している制御盤と外形的な差異は、無線化のための無線 LAN アダプタが側部に設置された部分となっている。内部の制御系等は無線化に伴い全面的な改良を行った。さらに、新たに 2 階に制御盤を設置した（図 3.3.3-2）。設置した制御盤の外形図を図 3.3.3-3 に示し、制御盤の配置位置を図 3.3.3-4 に示す。

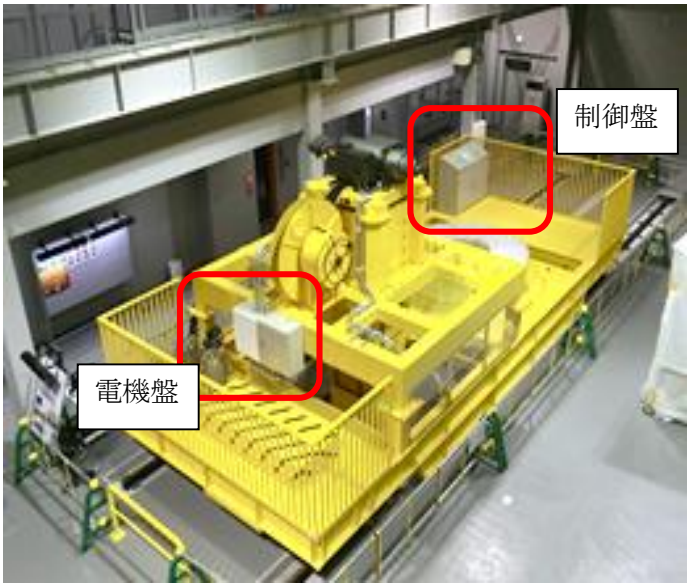


図 3.3.3-1 緩衝材定置装置全景（改良後）

(a)　1 階　制御盤改良状況

(b)　2 階　制御盤設置状況

図 3.3.3-2　制御盤工事状況例

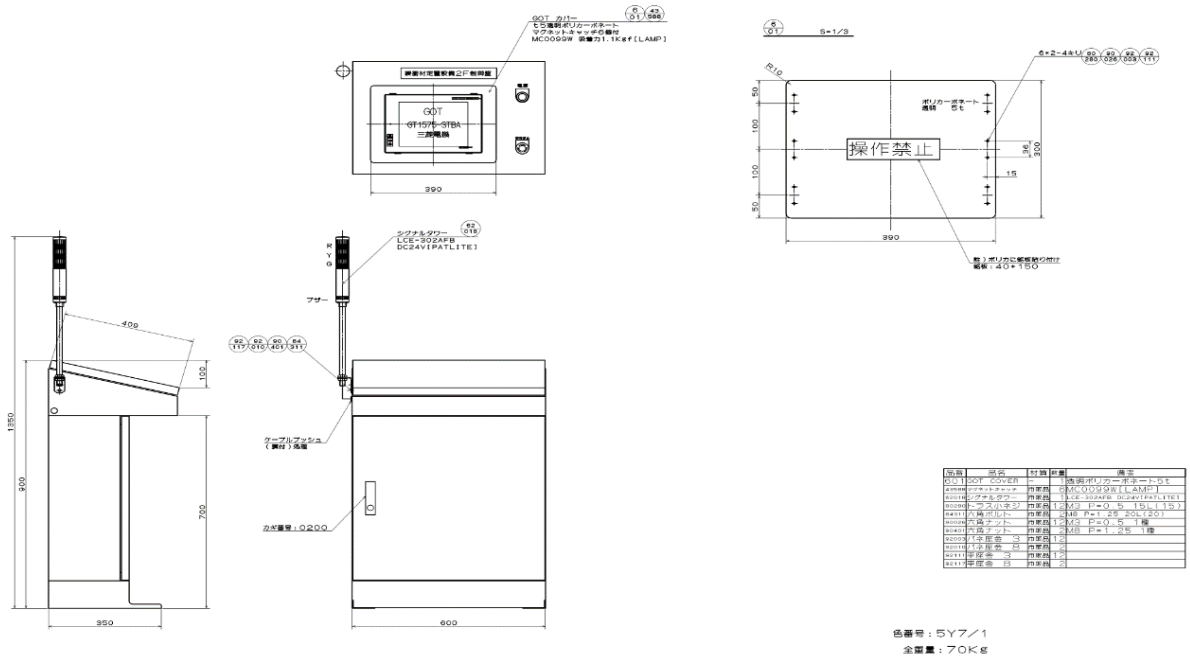


図 3.3.3-3　2 階　緩衝材定置装置制御盤外形図

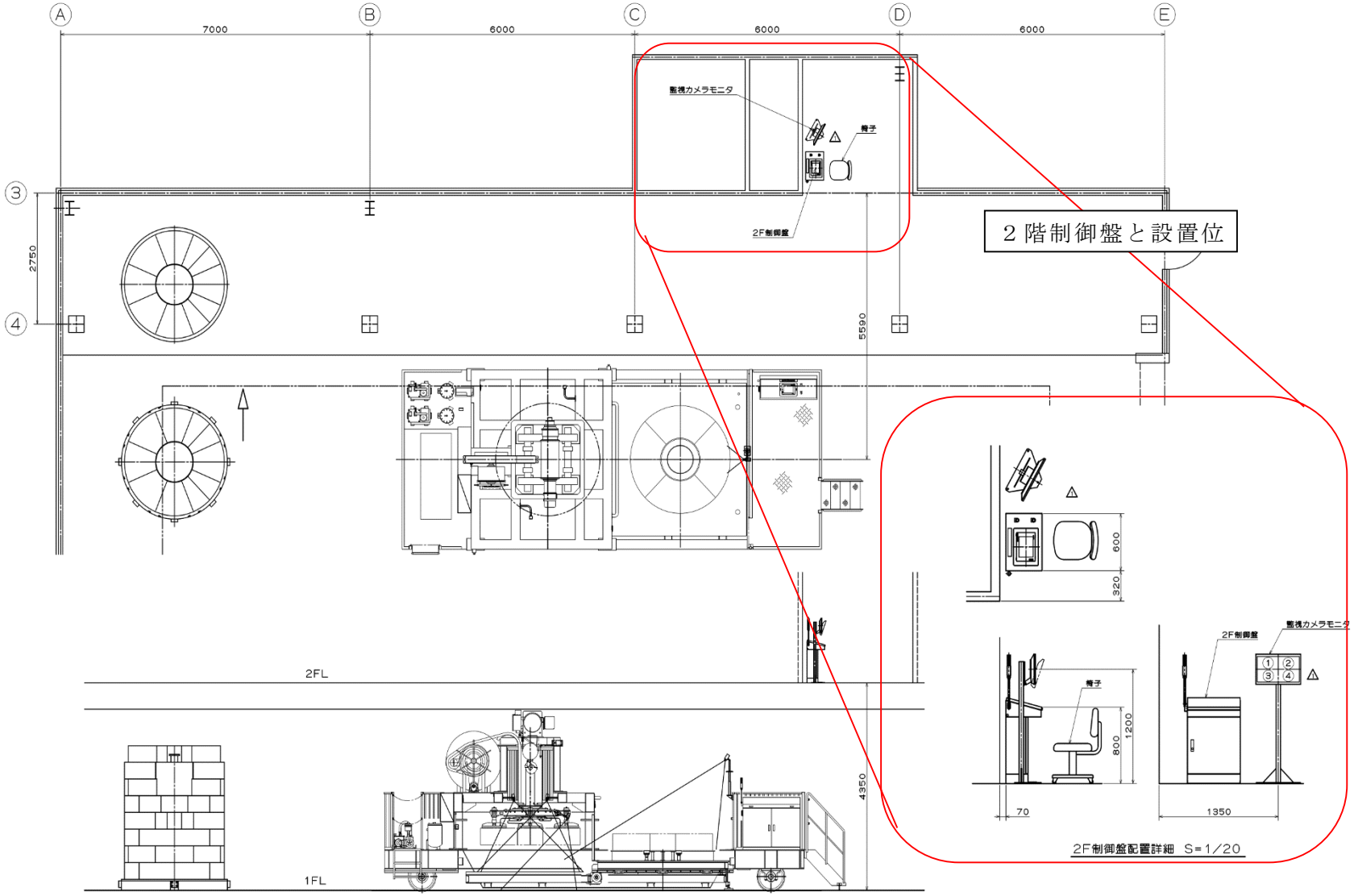


図 3.3.3-4　2階　緩衝材定置装置制御盤配置図

(2)　監視カメラ

設置した監視カメラの外形及び仕様を図 3.3.3-5 以下に示す。

項　目	仕　様
信号形式	NTSC 方式準拠
撮像素子	1/4 型プログレッシブ CCD 型固体撮像素子
有効画素数	768（H）×494（V）
総画素数	811（H）×508（V）
走査方式	倍速プログレッシブ読み出し、2:1 インターレース
走査周波数	水平：15.734kHz、垂直：59.94Hz
同期方式	内部・外部同期（VD）自動切換え
信号出力	1.0Vp-p（75 Ω）
信号対雑音（S/N）	50dB 以上
水平解像度	標準 480TV 本
振り角	—
最低被写体照度	1.3lx（AGCnorm、F0.95） 0.02lx（AGChigh、F0.95、 デジタルスローシャッター×32）
内蔵レンズ	—
レンズマウント	C マウント、CS マウント
対応レンズ	YV2.4×2.5A-SA2、YV2.8×2.8LA-SA2、 YV5×2.7R4B-SA2、YV10×5B-SA2
マイク	内蔵（VK-AC955、VK-AC960、VK-AC555R、 VK-AC110 との接続時のみ使用可能）
カメラ ID	カナ、英数字最大 8 文字（6 ポジション）
逆行補正	有（ワイドダイナミックレンジ）
対塵性・耐水性	—
使用温度範囲（湿度）	-10～50℃（10～85% 結露なきこと）
電源	電源重畳駆動 （VK-AC955、VK-AC960、VK-AC555R、 VK-AC110 より供給）又は、DC12V（A-C17 より供給）
外形寸法（W×H×D）	64×58×107mm（突起部を除く）
質量（本体）	約 0.32kg＊1

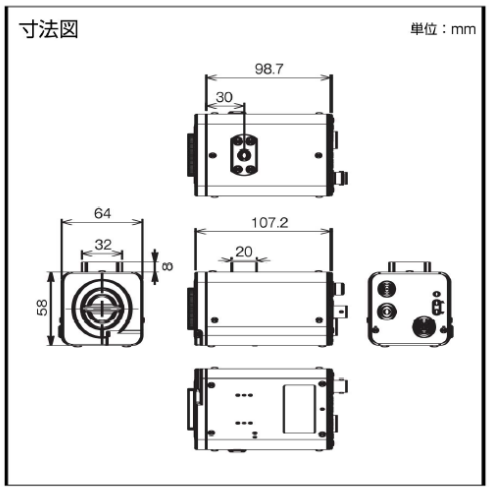


図 3.3.3-5　カメラ外形及び仕様(日立 VK-C551)

(3)　監視カメラ無線送信機

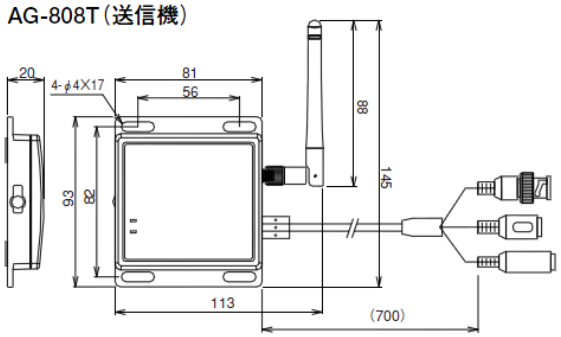
監視カメラの画像データを無線転送するためのデジタル無線送信機の外観及び仕様を図 3.3.3-6 に示す。

デジタル2.4GHz帯無線送受信機

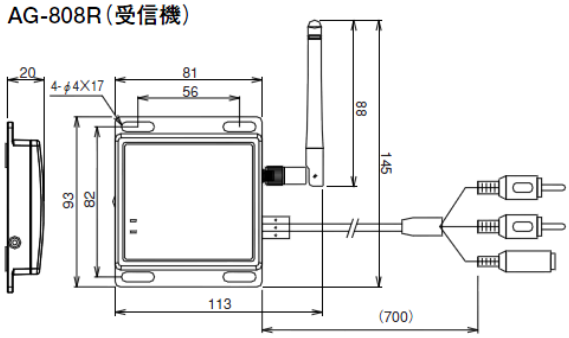
AG-808T／R（送信機：AG-808T, 受信機：AG-808R）

■ 外形寸法図（単位：mm）

AG-808T（送信機）



AG-808R（受信機）



■ オプション（別売品）

● 高利得アンテナ
ANT-01

● アンテナ延長ケーブル
AL-01〈1m〉
AL-05〈5m〉
AL-10〈10m〉

■ 仕様

品名	デジタル2.4GHz帯無線送受信機
品番	AG-808T（送信機）／AG-808R（受信機）
送信機・受信機共通仕様	
使用周波数帯	2.4GHz帯（2400.0MHz～2483.5MHz）
変調方式	GFSK
スペクトラム拡散	周波数ホッピング方式
干渉制御	DS方式
データレート	2Mbps最大
出力フレームレート	VGA:最大10FPS（通信状況により可変） QVGA:最大30FPS（通信状況により可変）
チャンネルバンド幅	2Mbpsモードで2MHz
アンテナ利得	2dBi（標準付属品）
通信距離	最大200m（見通し）
保護等級	なし（非防水）
送信機（AG-808T）	
映像入力方式	NTSC
有効画素数	30万画素
映像入力端子	BNC-P
音声入力端子	RCA-J
アンテナ端子	SMA-R-Pオリジナル（専用アンテナを接続）
動作温度範囲	−10～+50℃
消費電流	350mA（最大）
消費電力	1.8W
電源電圧	DC5V1A専用アダプター（付属）
外形寸法	81（W）×20（H）×93（D）mm（突起部を除く）
質量	約120g
工事設計認証番号	201WW09215312
受信機（AG-808R）	
映像出力端子	RCA-P（黄色）
音声出力端子	RCA-P（白色）
アンテナ端子	SMA-R-Pオリジナル（専用アンテナを接続）
映像出方式	NTSC
映像化方式	モーションJPEG
映像出力解像度	VGA（640×480）／QVGA（320×240）
受信登録数	送信機最大4台
その他機能	4分割表示／巡回切替（5／10／15秒）画質切替／周波数切替（50／60Hz）
動作温度範囲	−10～+50℃
消費電流	250mA（最大）
消費電力	1.5W
電源電圧	DC5V1A専用アダプター（付属）
外形寸法	81（W）×20（H）×93（D）mm（突起部を除く）
質量	約115g
工事設計認証番号	201WW09215314

図 3.3.3-6　監視カメラ映像無線送信機外観および仕様

(4)　監視カメラの動作確認

監視カメラは 2 階制御盤横に設置されており、2 階での緩衝材定置装置の制御時に、装置および緩衝材ブロックの状況を監視できる構造としている。

画面は 4 台の監視カメラを一台ずつ、順次表示するモードと、4 台の監視カメラの画像を一度に表示するモードを備えている。それぞれのモードにおける監視カメラの表示例を図 3.3.3-7～図 3.3.3-8 に示す。

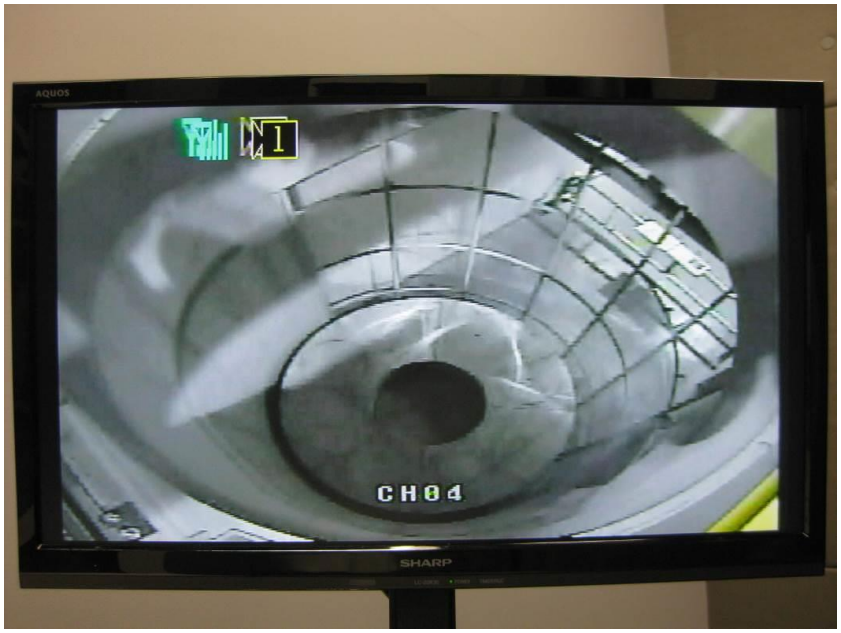


図 3.3.3-7　カメラ④の映像（モニタの 1 画面表示）

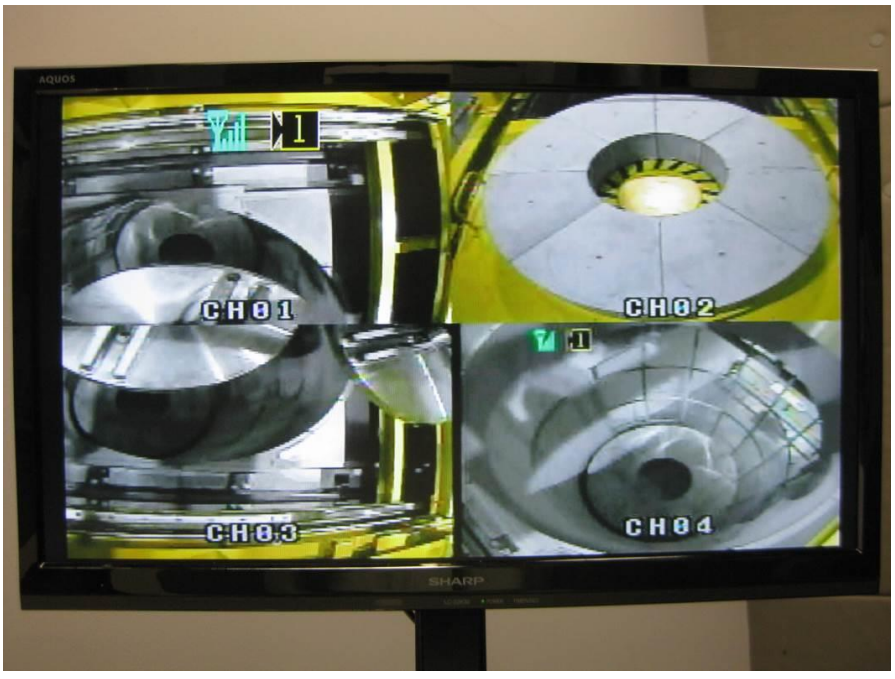


図 3.3.3-8　監視カメラ①～④の映像（モニタの 4 画面表示）

3.4 緩衝材除去試験のため施設整備

実規模施設内で緩衝材除去試験を実施するために、以下の項目について検討、実施した。

① 緩衝材除去システムを実規模施設内に設置するために必要となる整備内容の検討

② 緩衝材除去システムを施設内に設置するために施設内整備

③ 緩衝材除去システム（一部）の移設

詳細は、3.4.1～3.4.3 に述べる。

3.4.1 実規模施設の整備内容の検討

実規模施設で緩衝材除去システムによる緩衝材除去試験を実施するには、緩衝材除去システムを構成する①噴射・吸引設備、②塩水リユース設備、③遠隔操作設備を施設内設置する空間とその場所の床荷重の許容範囲に収まっている必要がある。仮に、施設の床荷重の許容範囲内でない場合は床の補強工事などの対策が必要となる。また、各設備を稼働させる電力や除去に使用する塩水を製造するための水の供給といったユーティリティも必要となる。まず、緩衝材除去システムの各設備を設置する場合の床荷重の確認を行った。緩衝材除去システムを設置できる場所を確保するために、施設内にある展示物の移設を実施した。展示物の移設に関しては、0 に詳細を述べる。

(1) 緩衝材除去システムを設置する場合の床荷重検討

緩衝材除去システムのうち噴射・吸引設備、塩水リユース設備設置時の床荷重の検討を行った。設置場所は、施設内の 1 階を対象とした。遠隔操作設備は、パソコンやモニタといった軽量物のため検討から除外した。

表 3.4.1-1、表 3.4.1-2 に噴射・吸引設備、塩水リユース設備の仕様を、図 3.4.1-2 に実規模施設 1 階の床荷重を示す。

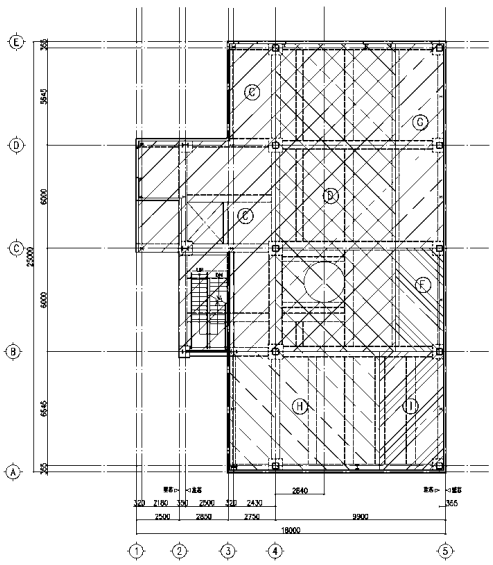
表 3.4.1-1　噴射・吸引設備主要部の重量

主要部	重量（kg）	外寸寸法		
		長辺（mm）	短辺（mm）	高さ（mm）
①走行装置	7,280	5,360	3,250	3,913
②昇降装置（把持装置を含む）	5,550			
③塩水噴射・スラリー吸引装置	835			
④油圧ユニット装置	2,170			
合計	15,835			

図 3.4.1-1　塩水リユース設備

表 3.4.1-2　塩水リユース設備の仕様

設備名称	公称容量（m^3）	外寸法			重量（kg）
		長辺（mm）	短辺（mm）	高さ（mm）	
①噴射ポンプ	－	2,000	2,000	1,440	1,300
②吸引ポンプ	－	2,300	1,200	1,166	1,800
③一時回収槽	1.0	1,400	1,050	900	304
④固液分離槽	15.0	4,000	2,300	2,300	3,400
⑤成分調整槽	3.0	2,150	1,400	1,300	652
⑥水供給槽	20.0	4,400	2,400	2,250	2,150
⑦塩水補給槽	1.0	1,400	1,050	900	304
⑧塩水貯留槽	5.0	2,400	1,550	1,645	845
⑨緊急貯留槽	5.0	2,900	2,050	1,050	856
⑩廃棄槽	5.0	2,650	1,800	1,300	859



設計用積載荷重一覧表　(N/m²)

	記号	床版用	小梁用	大梁用	地震用
Ⓐ		2730	2730	2730	1370
Ⓑ		4900	3900	1800	800
Ⓒ		3500	3500	3200	2100
Ⓓ		10000	5000	2400	1300
Ⓔ		5460	5460	5460	2740
Ⓕ		20000	20000	20000	20000
Ⓖ		30000	27000	24000	20000
Ⓗ		70000	63000	37000	16000
Ⓘ		110000	99000	94000	93000

図 3.4.1-2　実規模施設 1 階の床荷重

図 3.4.1-4 に噴射・吸引設備及び塩水リユース設備の配置案を示す。この配置案を基に、施設内の床荷重の検討を実施した結果を表 3.4.1-3 に示す。結果より、すべての設備において、施設内の床荷重以下となっており、設置可能と判断できる。

表 3.4.1-3　床荷重の検討結果

設備名称		重量(稼働時) ※1 (t)	外寸法		接地圧※2 (N/m²)	床荷重 (N/m²)
			長辺 (mm)	短辺 (mm)		
噴射・吸引設備		15.80	5,360	3,250	6,800	70,000
塩水リユース設備	噴射ポンプ	1.30	2,000	2,000	1,900	20,000
	吸引ポンプ	1.80	2,300	1,200	3,400	20,000
	一時回収槽	1.30	1,400	1,050	3,900	20,000
	固液分離槽	18.86	4,000	2,300	13,900	110,000
	成分調整槽	3.65	2,150	1,400	6,500	20,000
	水供給槽	21.4	4,400	2,400	14,000	110,000
	塩水補給槽	1.30	1,400	1,050	3,900	30,000
	塩水貯留槽	5.85	2,400	1,550	8,900	30,000
	緊急貯留槽	5.86	2,900	2,050	6,200	30,000
	廃棄槽	5.86	2,650	1,800	7,400	30,000

※1 塩水リユース設備の重量は、塩水により各槽が満たされた状態を想定して算出
※2 接地圧は、設備面積に 4 周 300mm ずつ加えた支配面積で算出。

(2)　施設内の電気設備の検討

実規模施設内で緩衝材除去システムを使用することで、施設内電気容量が増大する。必要電気容量が現状の変電設備で賄えるか検討した。賄えない場合はトランスの追加、容量の変更等で対応する。表 3.4.1-4 に使用に必要な電気容量と既存の電気容量を示す。

表 3.4.1-4　緩衝材除去システムの必要電気容量と施設の既存電気容量

設備項目	必要容量	既存使用容量	既存設備容量
遠隔操作設備	100V　4kw	トランス　38.72kVA 分電盤　10.1kVA	トランス　75kVA 分電盤　20kVA
塩水リユース設備	200V　48kw	80kw	100kVA
噴射・吸引設備	400V　22kw	なし	なし

検討の結果を以下に示す。

・噴射・吸引設備には 400V 電源が必要であるが、実規模施設には 400V 電源がないため、新規に 400V 用トランス 50kVA とその配電盤を既存キュービクルに増設する（図 3.4.1-3）。

・塩水リユース設備は、200V トランス容量は 100kVA のため容量不足となり、トランスを

150kVA に変更する。

・遠隔操作設備は、トランス、分電盤共に容量は足りているが分電盤の回路数が足りないため、3 回路の増設を行う。

・各設備は機器側でシステムを組んでいるため、電源供給は設備ごとに 1 箇所供給する。

電源設備の全景

電源設備の正面

図 3.4.1-3　実規模施設のキュービクル

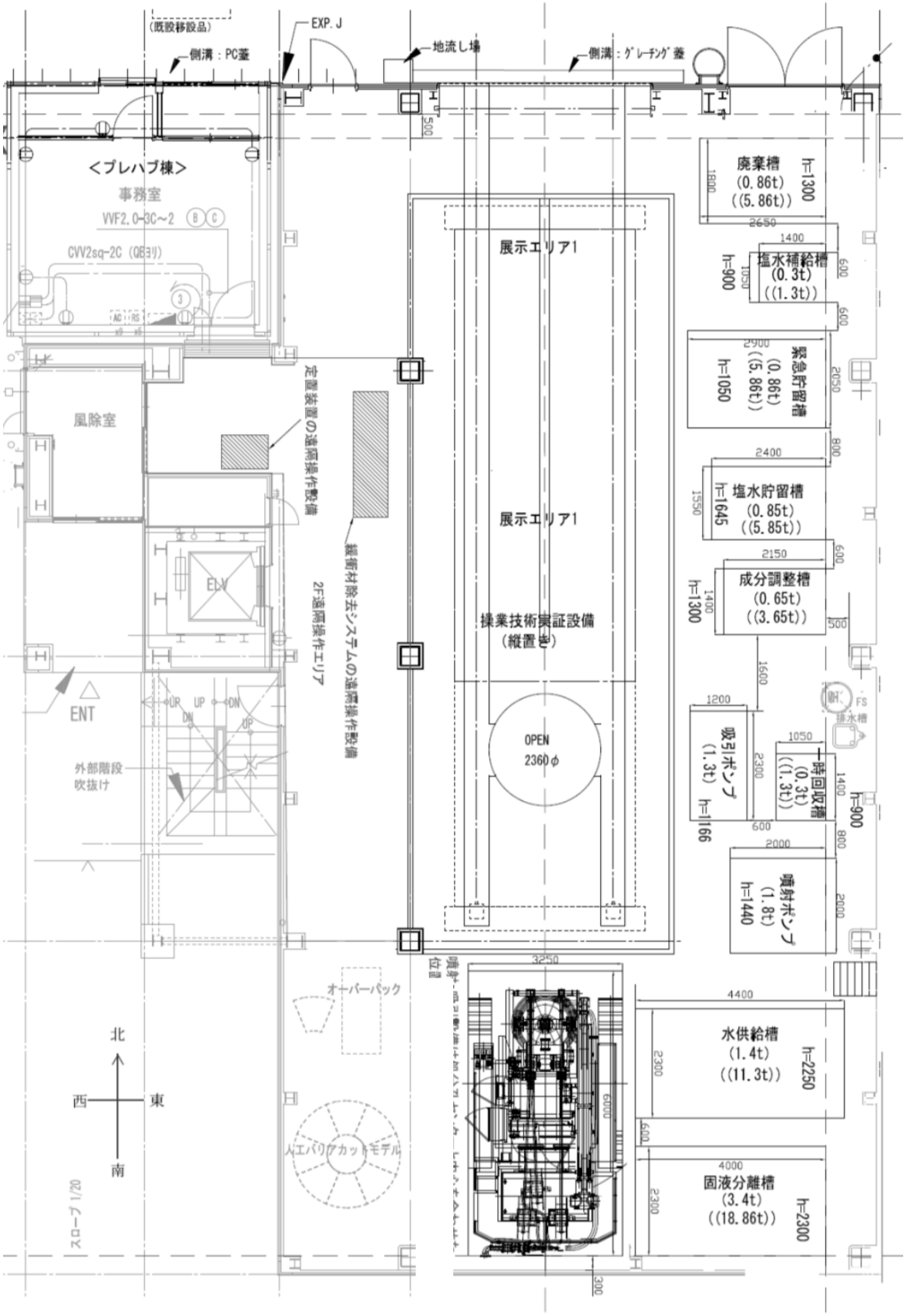


図 3.4.1-4　緩衝材除去システムの配置検討案

(3)　模擬処分孔の補強検討

実規模施設の地下１階に模擬処分孔を設置している。現状の模擬処分孔エリアは図 3.4.1-5 のような透明のビニールシートで製作されているため緩衝材除去試験を行う場合は、塩水が漏えいしないように筒構造の擁壁を設置するなど模擬処分孔の補強が必要となる。補強案として、視認性を優先して模擬処分孔の前面（観察者側）をアクリルで施工する概念を表 3.4.1-5 に示す。次に、模擬処分孔の強度に重点を置き、模擬処分孔の壁面部分（以下、「処分孔ケース」）を鋼製とし、処分孔ケース側面に観察のための窓を設けた概念を表 3.4.1-6 に示す。

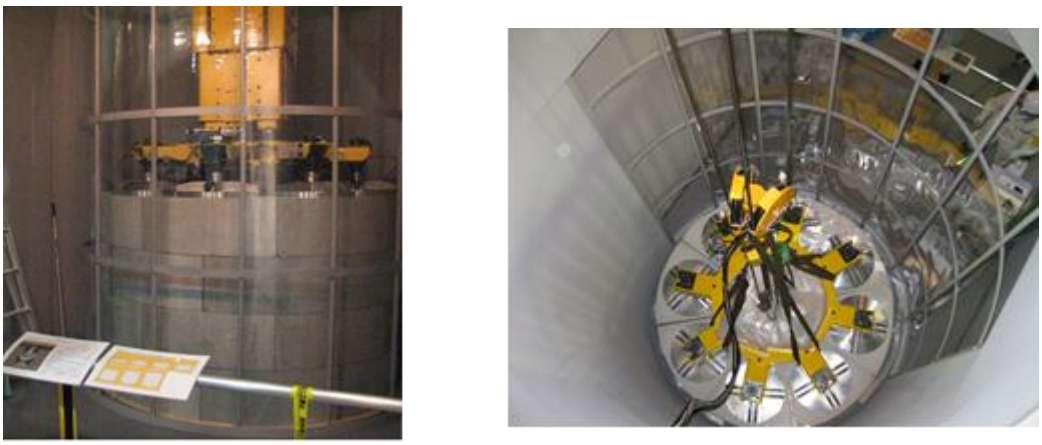


図 3.4.1-5　模擬処分孔の外観

表 3.4.1-5　視認性を優先した模擬処分孔の補強概念例

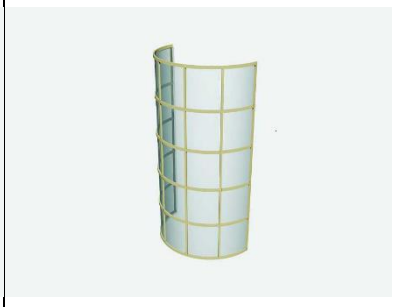
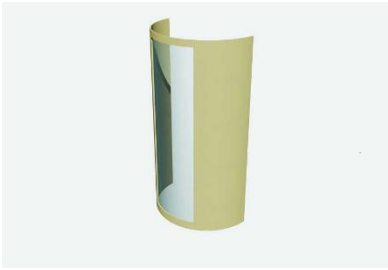
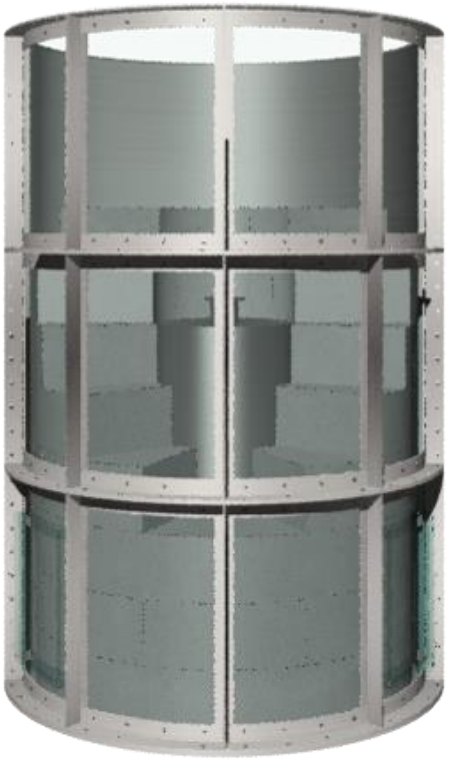
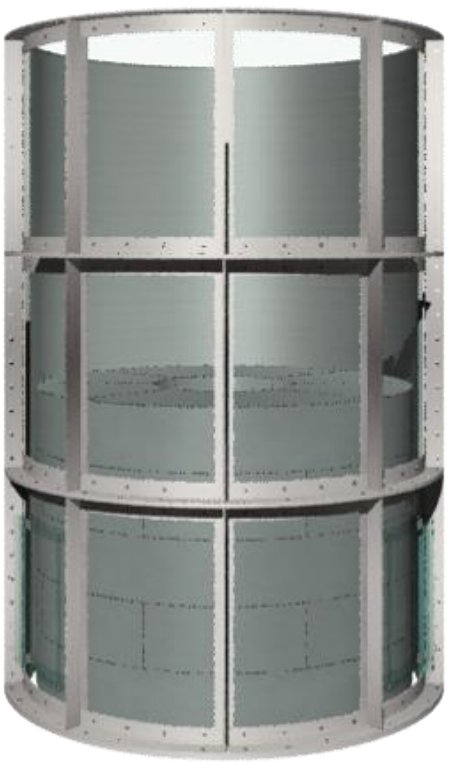
	完全スケルトン	完全スケルトン＋一部補強	完全スケルトン＋一部補強２
処分孔補強例			
備考	・アクリル等の強度と透明性が確保できる筒構造。 ・処分孔内の作業ために別途開口構造必要	・アクリル等の強度と透明性が確保できる筒構造 ・アクリル等の材料を減らすために補強を追加。 ・処分孔内の作業ために別途開口構造必要	・アクリル等の強度と透明性が確保できる筒構造にアクリル等の材料を減らすために補強を追加。 ・処分孔内の作業ために別途開口構造必要

表 3.4.1-6　強度を優先した模擬処分孔の補強概念例

	圧力鋼壁に全面部開口	圧力鋼壁に一部開口１	圧力鋼壁に一部開口２
処分孔補強例			
備考	・ステンレス製等の筒構造に一部（例えば 30° 程度）をアクリル等の強度と透明性が確保できる円筒壁を設置。 ・作業用、メンテ用にアクリル部分を開口構造	・ステンレス製等の筒構造に一部をアクリル等の強度と透明性が確保できる円筒壁を設置。 ・開口面積は作業用、メンテ用の作業が可能な面積	・ステンレス製等の筒構造に一部をアクリル等の強度と透明性が確保できる円筒壁を設置。 ・開口面積は内部観察が可能・作業用、メンテ用に作業ために別途開口構造必要

模擬処分孔の改良では、処分孔内の作業性を確保するために処分孔側部に開口構造を設ける必要がある。また、塩水を排水する機構の追加が必要である。このため、処分孔ケースの壁側は鋼製とし、模擬処分孔の前面（観察者側）は全面をアクリルにするのではなく、アクリルの板材を補強材でつなぐ構造（表 3.4.1-5：完全スケルトン＋一部補強 2、以下、処分孔円筒アクリルケース）と、模擬処分孔の前面（観察者側）部のみ開口とし、かつ補強材を追加した構造（表 3.4.1-6：圧力鋼壁に全面部開口、以下、処分孔円筒鋼製ケース）について詳細検討を行った。処分孔円筒アクリルケースと処分孔円筒鋼製ケースを模擬処分孔に設置した際の外観を CG で処分孔円筒ケース、アクリルケースと鋼製ケースの外観比較として表 3.4.1-7 に示す。この CG から、両者とも緩衝材および模擬オーバーパックの設置状況は観察可能であるが、処分孔円筒アクリルケースの方が視認性はよく、実証試験に適していると考えられる。

表 3.4.1-7　処分孔円筒アクリルケースと処分孔円筒鋼製ケースの外観比較

	処分孔円筒アクリルケース	処分孔円筒鋼製ケース
模擬オーバーパックあり		
緩衝材ブロックのみ		

(4)　緩衝材除去試験エリアの塩害防止措置

平成 26 年度に実施した緩衝材除去試験では、緩衝材除去試験中の雨水の流入を防止するのと同時に、緩衝材除去試験に伴う塩水による環境影響を考慮して、図 3.4.1-6 に示すように試験場の外側をテントで覆う構造とした。

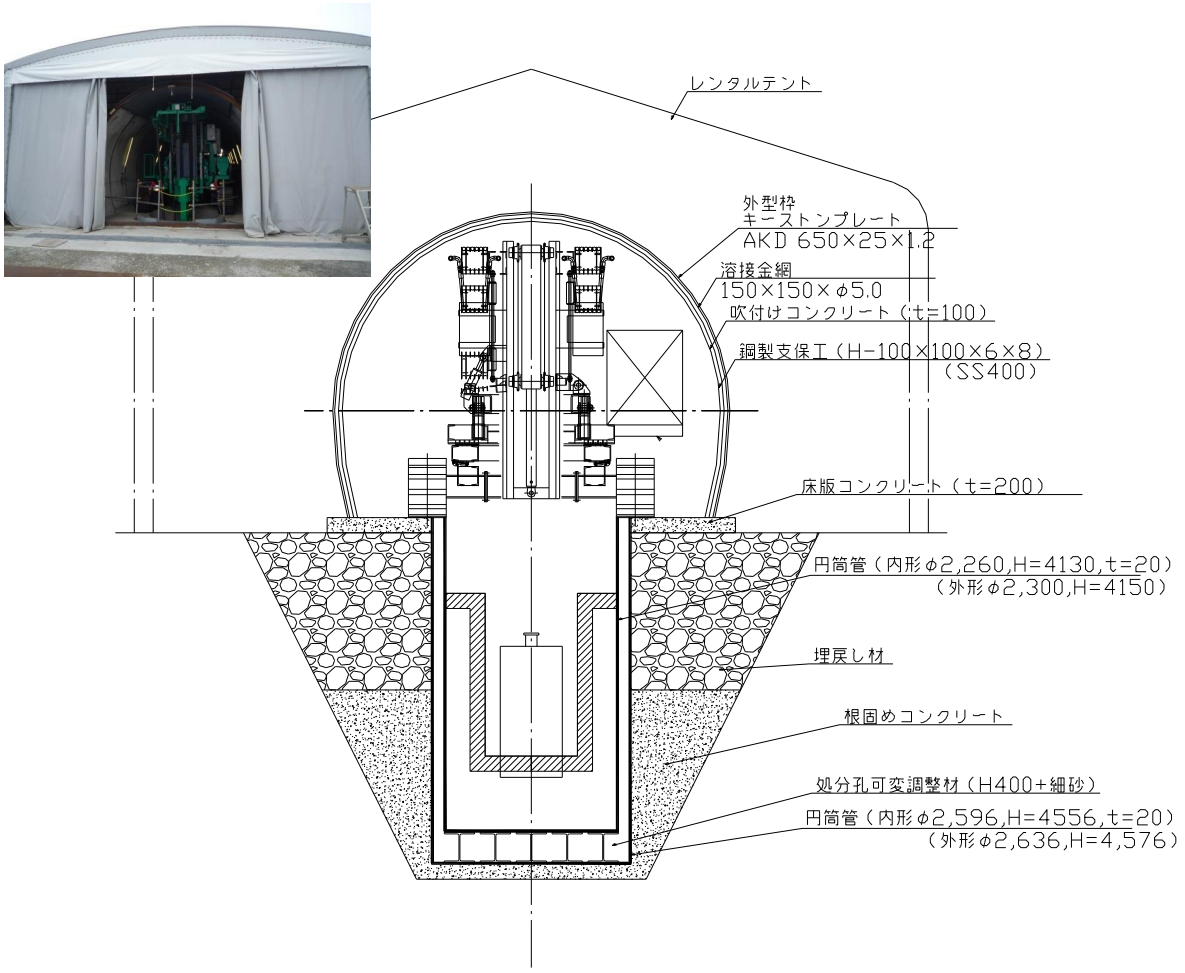


図 3.4.1-6　緩衝材除去試験設備（平成 25、26 年度）

実規模施設で緩衝材除去試験を実施する場合、緩衝材除去システムは実規模施設の屋内に配置しているため、試験エリアへの雨水の流入は防止される。しかし、実規模施設内には、「緩衝材定置試験装置」や「展示用オーバーパック」、「緩衝材ブロック」、「人工バリアカットモデル」などの塩分や水分の影響を受けやすい設備が展示している（図 3.4.1-7）。さらに、施設そのものが S+RC 構造、すなわち地上部分は鉄骨が露出する構造となっているため、緩衝材除去試験を実施する場合には塩水による環境影響について考慮する必要がある。対策の一例としては、平成 26 年度に整備した緩衝材除去試験設備と同様に、試験エリアをテント等で覆う、換気設備によって気中の塩分や水分をできるだけ屋外へ排気するなどの対策が必要と考えられる。

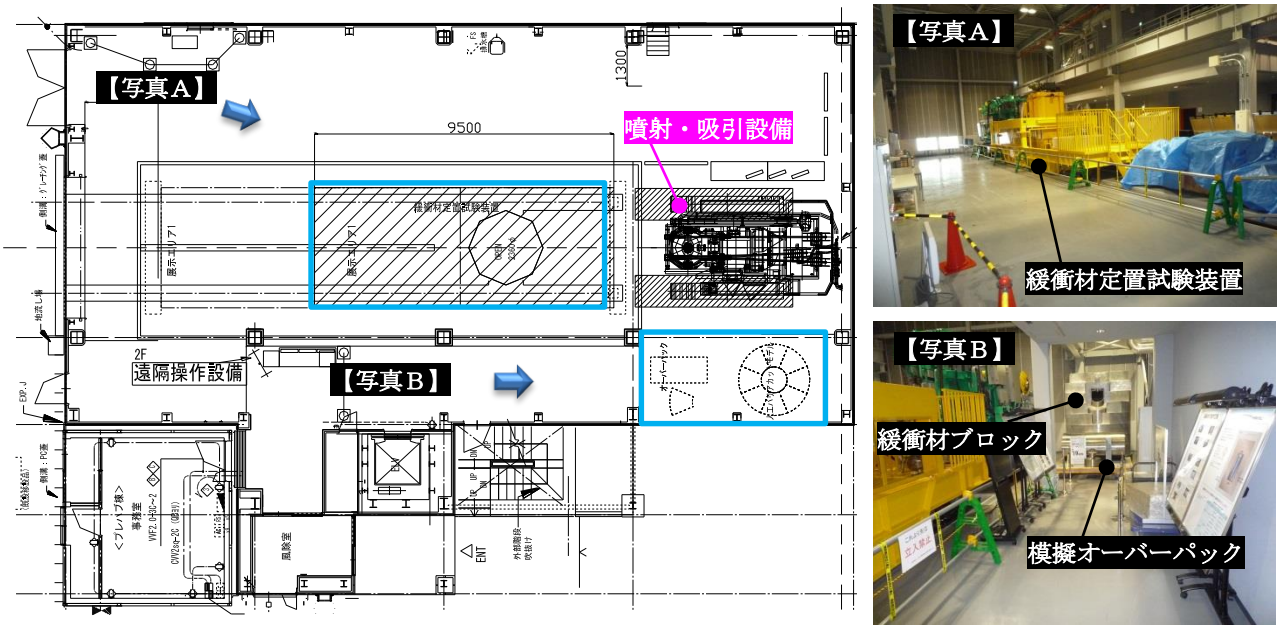


図 3.4.1-7　実規模施設の設備レイアウト

3.4.2 緩衝材除去システムを施設内に設置するための施設内整備

3.4.1 では、緩衝材除去システムを設置するための検討を実施した。本節では、本年度実施した、緩衝材除去システムを設置するために、施設内の既存展示物の移動など必要となる施設内整備内容について述べる。

(1)　展示物の移動方法の検討

3.4.1 では緩衝材除去システムの配置案を示した（図 3.4.1-4）。実際に配置案のように噴射・吸引設備、塩水リユース設備を設置するためには、施設内にある既存の展示物の移動が必要となる。図 3.4.2-1 に示すように、噴射・吸引設備設置予定場所には、人工バリアが設置されており、塩水リユース設備設置予定場所には、展示用オーバーパックが設置されている（図 3.4.2-2）。そのため、これら二つの展示物については、緩衝材除去システムを設置しない図 3.4.2-1 に示す場所まで移動する必要がある。

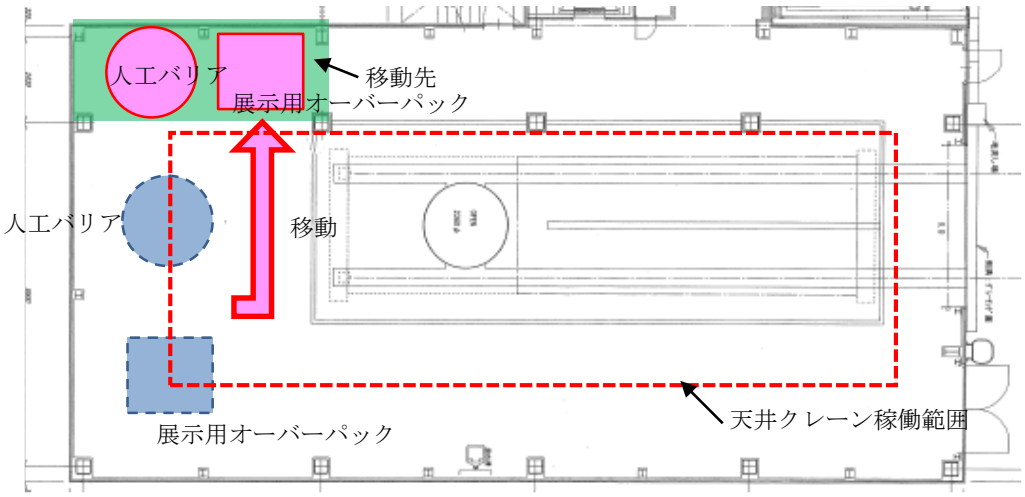


図 3.4.2-1　実規模施設内の展示物配置及び天井クレーン稼働範囲

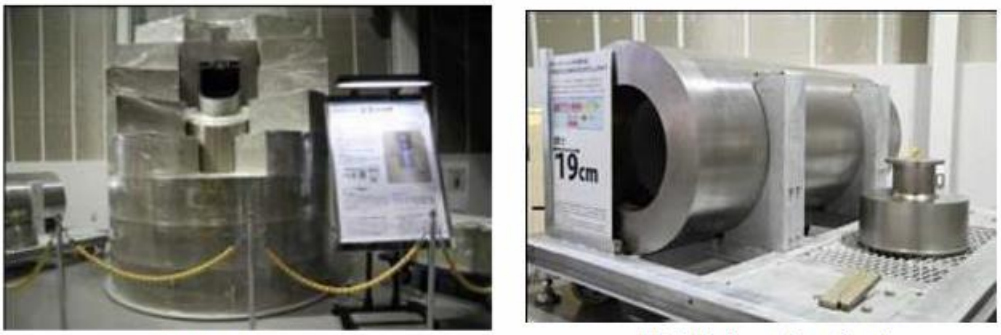


図 3.4.2-2　移動が必要な実規模施設内の展示物

展示されている人工バリアは、床の上にアンカー止めされた 30mm の円形プレートの上に、8 段積み緩衝材ブロック（49 個、300kg/個）とオーバーパック（4ｔ）で構成され、総重量 19.4t、高さ約 2.8m となっている（図 3.4.2-3）。オーバーパックは本来約 6t の重量があるが、展示用はカットモデルのため重量約 4t となっている。

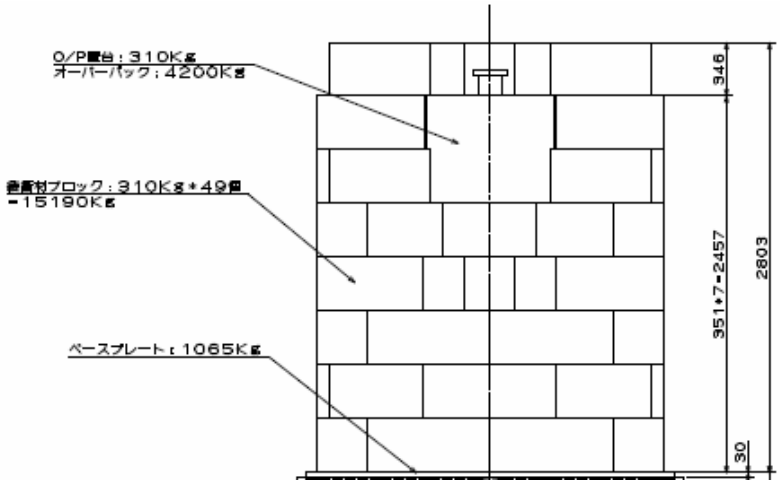


図 3.4.2-3　人工バリアの概要

ここで、移動方法として施設に常設している天井クレーン（最大吊荷重 7.5t）を使用する方法が考えられるが、図 3.4.2-1 に示すように移動先が天井クレーン稼働範囲外になるため、別の方法で移動する方法を検討した。移動方法として、移動先で組み立てる方法と組み立てた人工バリアをそのまま運搬する方法をそれぞれ検討し、施設内の構造などを考慮し、組み立てた人工バリアを運搬する方法を選択した。次に実施内容を示す。

(2)　展示物の移動

組み立てた人工バリアを運搬するため、図 3.4.2-4 に示す厚み 200mm、直径φ2400mm のベースプレートを用意した。このベースプレート上で人工バリアの組み立てを行い、運搬した。以下、人工バリア、展示用オーバーパックの移動状況を示す。

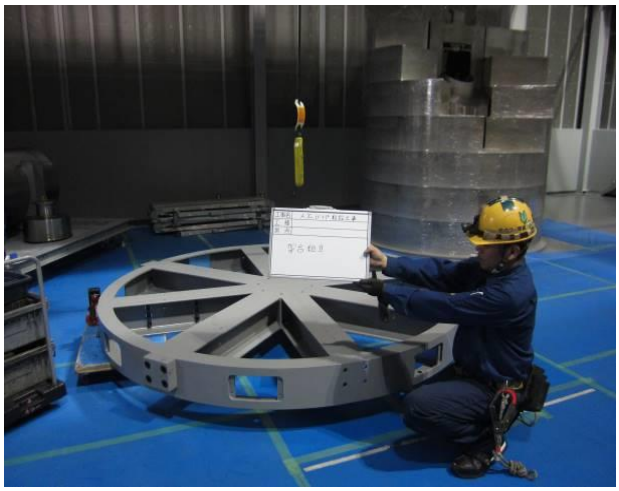


図 3.4.2-4　人工バリア移設用ベースプレート

既設人工バリアの解体を行った。解体は、一部天井クレーン稼働範囲外にあるため、小型移動式クレーンを用いた。吊り治具は 1 ブロック運搬用の真空把持装置を使用した（図 3.4.2-5）。

図 3.4.2-5　人工バリア移動状況（1）

人工バリア移設用ベースプレート上に解体した人工バリアを再構築した（図 3.4.2-6）。

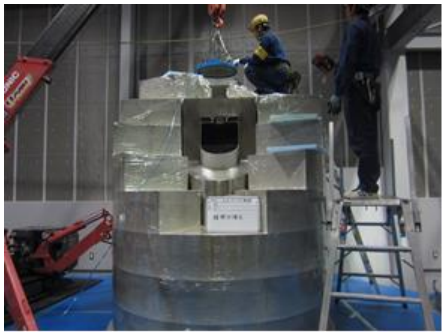


図 3.4.2-6　人工バリア移動状況（2）

人工バリア移設用ベースプレートを上に再構築した人工バリア全体（ベースプレートごと）をジャッキアップし、チルローラーで移動先へ運搬した（図 3.4.2-7、図 3.4.2-9）。

図 3.4.2-7　人工バリア移動状況（3）

展示用オーバーパックは架台（オーバーパックは乗せたまま）をジャッキアップし、チルローラーで移動先へ運搬した（図 3.4.2-8、図 3.4.2-9）。

図 3.4.2-8　人工バリア移動状況（4）

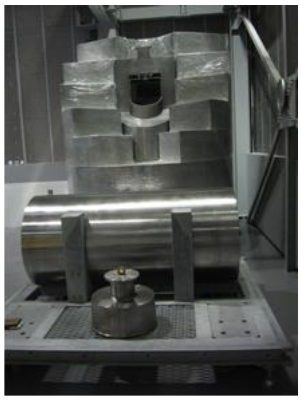


図 3.4.2-9　人工バリア移動状況（5）

展示物移動前の施設内全景

展示物移動後の施設内全景

図 3.4.2-10　展示物移動前後の施設内全景

3.4.3 緩衝材除去システムの移設

地上での実証試験サイトとして実規模施設の活用を図るため、平成 26 年度までに整備した緩衝材除去システムの内、噴射・吸引設備及び遠隔操作設備の移設を実施した。平成 27 年度は、以下の項目を実施した。

- 緩衝材除去システムの移設計画
- 緩衝材除去システムの移設
- 移設設備の動作確認

(1)　緩衝材除去システムの移設計画

設備配置は、施設内の見学者への安全に十分配慮し、必要な立入禁止措置を講ずる計画とした。噴射・吸引設備周りは、設備紹介用の LED パネルや動画再生用モニタ等の展示物を活用した立入禁止措置とした。図 3.4.3-2 に設備に移設を考慮した配置図を示す。噴射・吸引設備は、走行性能を確認するために、実規模施設内を走行させる必要があるため、施設床面の養生と、仮動力（電力）の供給を考慮した配置とした。施設床面の養生は、走行装置（クローラ）

による床面の損傷を防止するため、厚さ 10mm のゴムマット（幅 1.0m、長さ 5.0m）を 2 枚敷設する計画とした。また、噴射・吸引設備に必要な電圧が 400V であることから、屋内に外部配電盤を配置し、低電圧の発電機を屋外に配置する計画とした。

噴射・吸引設備の移設では、施設内の天井クレーンの揚重荷重（7.5t）の範囲で作業ができるように、設備を 7.5t 以下に分解することとした。装置の分解図を図 3.4.3-1 に示す。これらの検討・計画を基に実施した移設内容を次に示す。

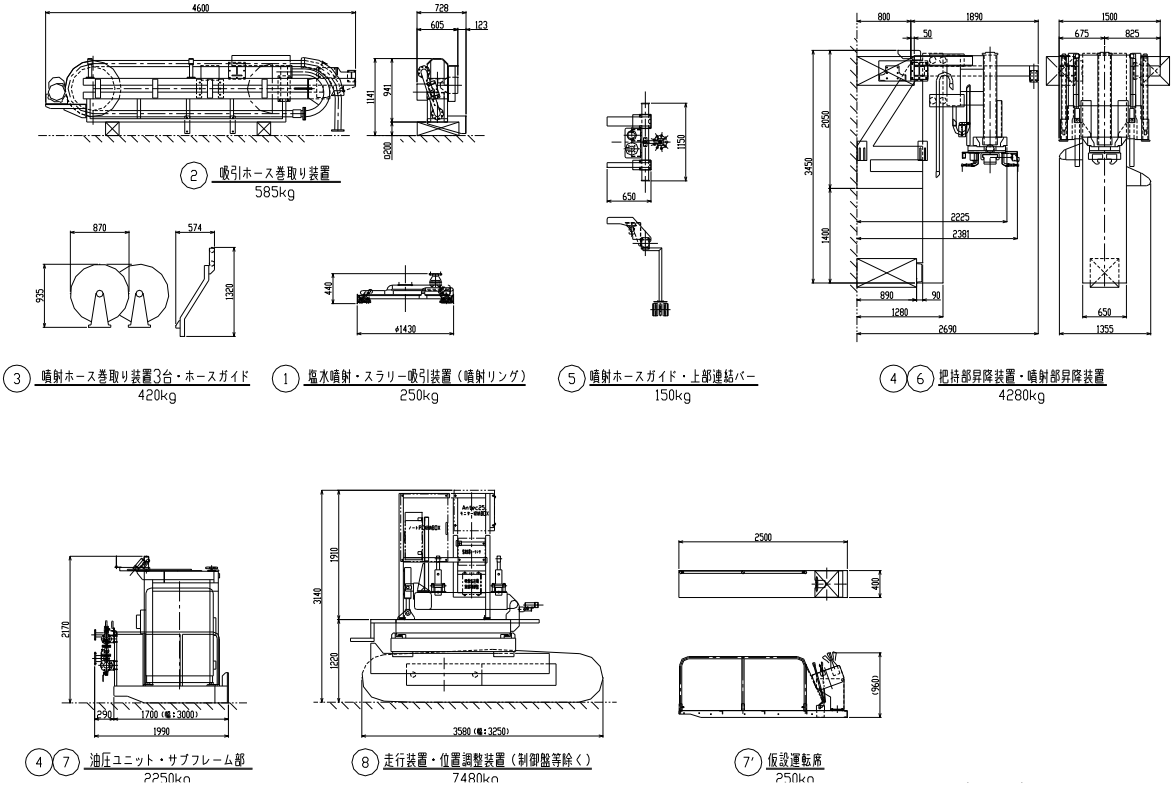


図 3.4.3-1　噴射・吸引設備の分解検討図

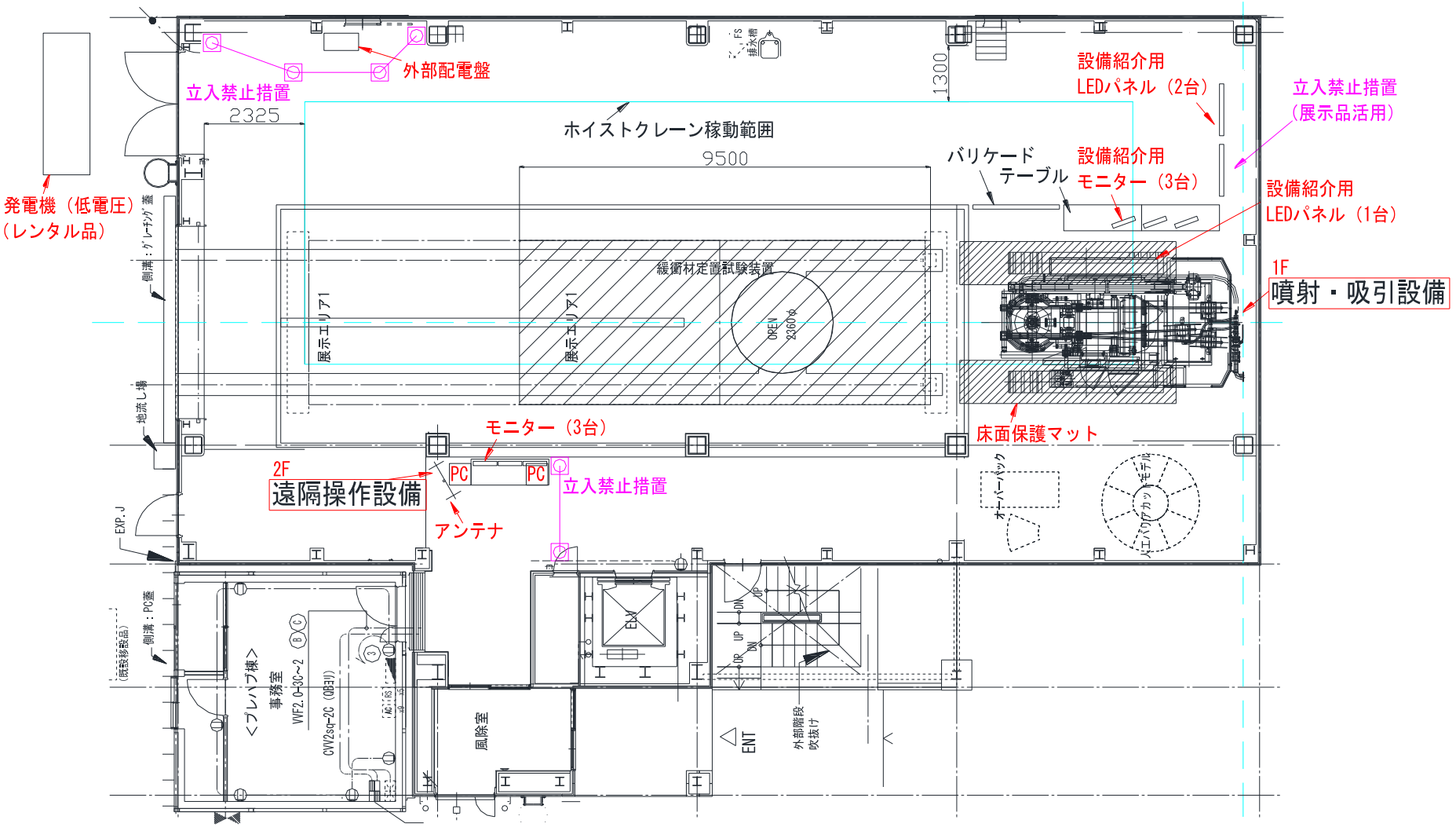


図 3.4.3-2　噴射・吸引設備および遠隔操作設備の配置計画図

(2)　緩衝材除去システムの移設

平成 26 年度回収技術高度化開発[15]で緩衝材除去試験に使用した緩衝材除去システムのうち噴射・吸引設備及び遠隔操作設備を実規模施設へ移設した。以下に、移設状況を示す。また、図 3.4.3-3 に実規模施設内での噴射・吸引設備の組立作業手順を示す。

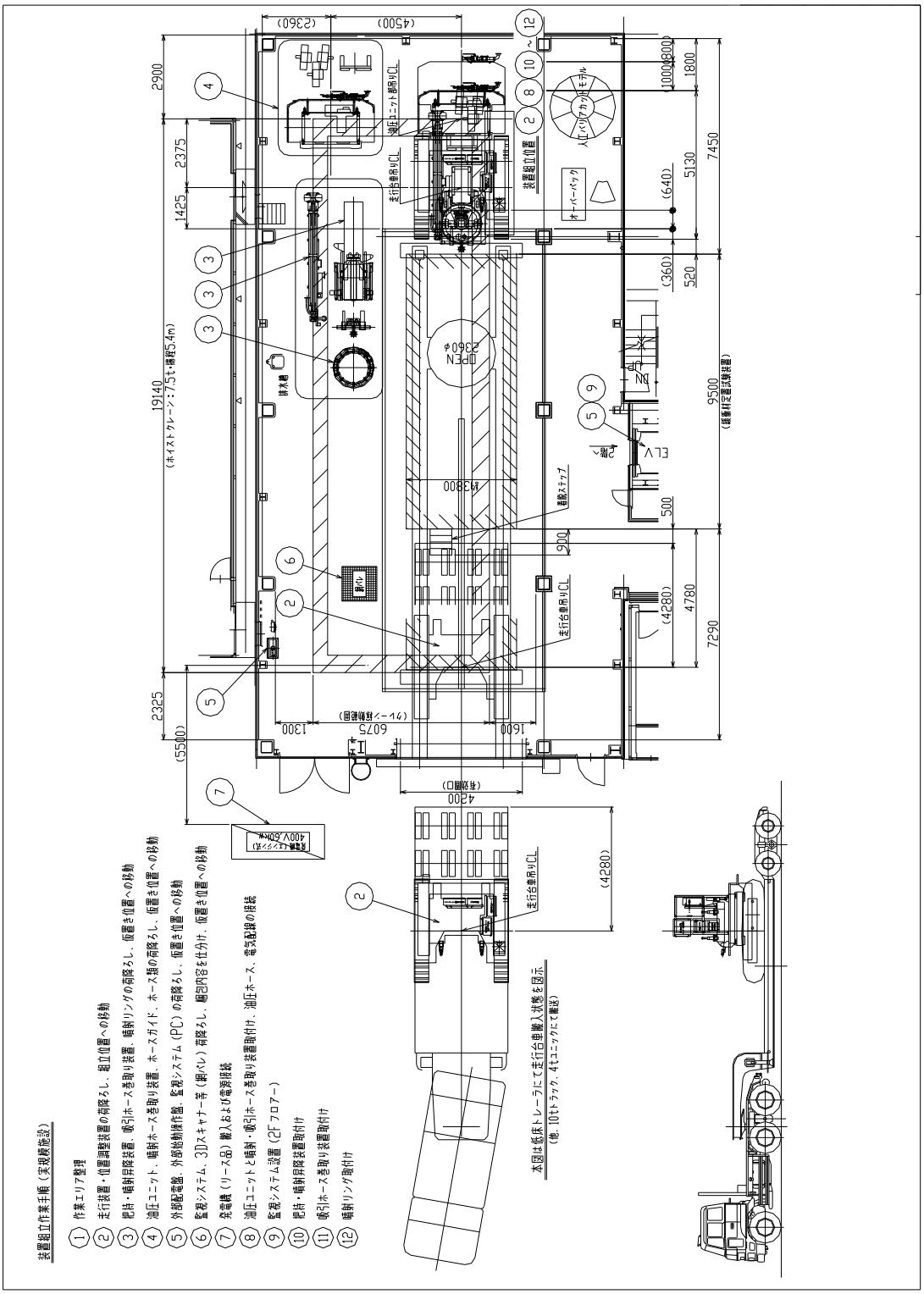


図 3.4.3-3　噴射・吸引設備の組立作業手順図

噴射・吸引設備を図 3.4.3-1 を基に解体した。解体後、緩衝材除去システムは低床トレーラ、10t トラック、4t ユニックに積み込み、実規模施設まで運搬した（図 3.4.3-4）。

図 3.4.3-4　各設備の解体及び積み込み状況

運搬した噴射・吸引設備および遠隔操作設備を実規模施設へ搬入した（図 3.4.3-5）。噴射・吸引設備は、施設内の天井クレーンを使用して組立を行った（図 3.4.3-6）。遠隔操作設備のうち、操作・監視用モニタを施設内 2 階へ設置した（図 3.4.3-7、図 3.4.3-8）。

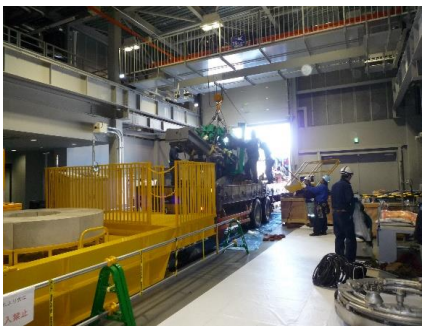
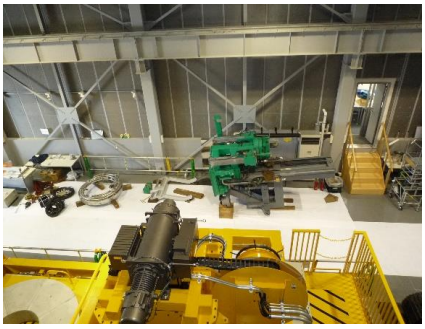



図 3.4.3-5　緩衝材除去システムの移設状況（1）

図 3.4.3-6　緩衝材除去システムの移設状況（2）

噴射・吸引設備組立完了

遠隔操作設備監視モニタ設置完了

図 3.4.3-7　緩衝材除去システムの移設状況（3）

移設前の施設内全景

移設後の施設内全景

図 3.4.3-8　移設前後の施設内全景

(3)　移設設備の確認

1) 噴射・吸引設備の動作確認

移設後の噴射・吸引設備の動作確認を実施した。装置の動力は、仮設電源（400V）を用いた。なお、遠隔操作設備は、3D スキャナ、PC 等の精密機械の機能確認となるため、仮設電源（発電機）では精緻な動作確認ができず、来年度以降の施設内の受電設備の整備後動作確認を実施する。今年度は操作・監視用モニタの設置のみとし、動作確認は実施しなかった。

噴射・吸引設備の動作確認項目及び動作確認結果を表 3.4.3-1 に示す。確認項目は、緩衝材除去システム全てを移設、組立、接続できなかったことから、目視による確認を主とした。動作確認の結果、特に異常なく、各装置の機能を確認できた。

表 3.4.3-1　動作確認項目及び確認結果一覧

名称	動作確認項目	動作確認方法
走行装置の動作確認	走行-1.走行動作	ゴムマット上で前後動作目視
位置調整装置の動作確認	位置-1.スライド動作	前後左右スライド動作目視
	位置-2.傾斜動作	前後左右傾斜動作目視
把持装置の動作確認	把持-1.把持動作	把持動作目視
塩水噴射・スラリー吸引装置の動作確認	噴吸-1.揺動動作	揺動動作目視
昇降装置の動作確認	昇降-1.昇降動作	昇降動作目視
	昇降-2.噴射ホース巻取り動作	巻取り動作目視
	昇降-3.吸引ホース巻取り動作	巻取り動作目視

2) 本年度未実施の調整項目・補修用品および資材

上述の通り、本年度は塩水リユース設備の移設や遠隔操作設備の組立、受電設備の整備など、緩衝材除去システムの一部及び施設の未整備により、全ての動作確認を実施しなかった。来年度以降は、緩衝材除去システムを用いた試験を実施するにあたり、必要となる各設備の調整項目・補修用品および資材等を表 3.4.3-2～表 3.4.3-4 に整理した。来年度以降、施設整備を進め、試験に向けて整備を行う。

表 3.4.3-2　来年度以降に必要となる調整項目・補修用品および資材等（噴射・吸引設備）

設備	調整項目・補修用品および資材	事由
噴射・吸引設備	噴射ホース（塩水リユース設備まで）の交換	・耐圧ホースの経年劣化 ・ホースジョイントの経年劣化
	吸引ホース（塩水リユース設備まで）の交換	・耐圧ホースの経年劣化 ・ホースジョイントの経年劣化
	噴射・吸引ノズルの噴射・吸引流量確認	・本年度未確認
	噴射・吸引ノズルの角度調整	・本年度未確認
	昇降装置の昇降量確認調整	・本年度未確認
	揺動角度の確認調整	・本年度未確認
	揺動圧力および速度の確認調整	・本年度未確認
	油圧ホース類の交換（露出部）	・経年劣化（本年度動作確認上は問題なし。長時間稼働の場合には交換が必要）
	作動油エレメント類交換	・経年による定期交換
	外部始動操作盤の電源スイッチ交換	・電源スイッチの内部固着（経年劣化）

表 3.4.3-3　来年度以降に必要となる調整項目・補修用品および資材等（塩水リユース設備）

設備	調整項目・補修用品および資材	事由
塩水リユース設備	設備一式の移設	・本年度未実施
	各水槽の錆落とし、防錆塗装	・既存の防錆塗装劣化
	塩水計測機器の校正（流量計、圧力計、SS 濃度計、塩分濃度計、pH 計、温度計）	・校正期限切れ
	各水槽間のジョイントホース交換	・耐圧ホースの劣化 ・ホースジョイントの劣化
	固液分離槽の動作確認	・本年度未確認

表 3.4.3-4　来年度以降に必要となる調整項目・補修用品および資材等（遠隔操作設備）

設備	調整項目・補修用品および資材	事由
遠隔操作設備	3D スキャナ光軸の確認調整	・本年度未確認
	配線ケーブルの交換	・経年劣化
	Auto CAD ライセンスの取得	・ライセンス切れ
	遠隔操作システムの再接続	・本年度未接続
	陸上無線局の開局	・電波法にもとづく
	3D スキャナの動作確認	・本年度未確認

3.5 理解促進活動

施設内での緩衝材定置試験、展示物の説明などによる国民への理解促進活動を平成 26 年度に引き続き実施した。これまでの地層処分研究開発成果を活用した実規模試験施設の運営を実施した。本年度は、以下の項目について実施した。

- 緩衝材定置試験
- 緩衝材可視化試験
- おもしろ科学館 2015 in ほろのべ
- 試験施設の広告掲載

3.5.1 施設の一般公開

実規模試験施設は、国民への高レベル放射性廃棄物地層処分への理解を深めることを目的に、施設内の一般公開している。以下にその詳細について述べる。

(1)　開館日

幌延深地層研究センター「ゆめ地創館」と同様に、以下の様に実施した。

- 開館期間　平成 27 年 4 月 1 日～平成 28 年 3 月 31 日
- 開館時間　9:00～16:00
- 休館日　毎週月曜日

（休館日が祝日または振替休日の場合は水曜日）

- 年末年始（12 月 29 日～1 月 3 日）

(2)　来館者への対応

来館者を受け入れる体制として、試験員を常時 2 名配置して、来館者に対し、本事業の概要、地層処分の概要、施設内の展示物や試験内容について説明を行った。

平成 27 年度の来館者数は 5,426 人で、平成 22 年 4 月 28 日開館以来の延べ来館者数は 38,081 人となった。（平成 28 年 3 月 24 日現在）

また、平成 27 年度の来館者数を平成 26 年度の来館者数と比較すると

平成 27 年度と平成 26 年度の来館者数の対比（今年度のは平成 28 年 3 月 24 日現在）

- 各年度累計来館者数

  実規模施設　平成 26 年度：6,100 人／平成 27 年度：5,426 人
- ゆめ地創館　平成 26 年度：8,380 人／平成 27 年度：7,510 人
- 1 日あたりの来館者数

  開館日数（平成 26 年度：308 日／平成 27 年度：302 日）

  実規模試験施設 平成 26 年度：19.8 人／平成 27 年度：　18.0 人

  ゆめ地層館　　平成 26 年度：27.2 人／平成 27 年度：24.9 人
- ゆめ地創館から実規模試験施設へ来る来館者の割合

  平成 26 度　72.8%から 71.9%とほぼ横ばい傾向であった。

平成 26 年度と平成 27 年度を比較すると実規模施設への来館者は減少しているが、これはゆめ地創館へ来館する人数の減少が影響している。

平成 25 年度および平成 26 年度の施設来館者の推移を図 3.5.1-1 に示す。来館者の推移では、上半期（4 月～9 月）で多くの来館者が訪問し、下半期（10 月～3 月）は来館者が徐々に減少傾向になっている。9 月に急激に来館者が増加しているのは北海道経済産業局が主催した「おもしろ科学館 in 幌延」の影響である。

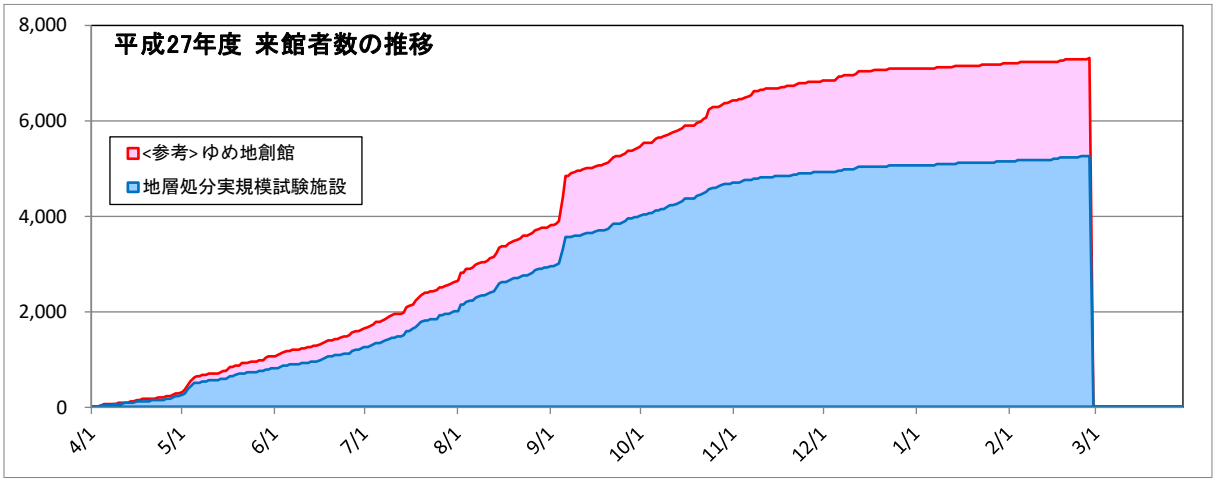


図 3.5.1-1　平成 27 年度来館者推移

3.5.2 緩衝材定置試験

緩衝材定置装置にて、模擬緩衝材ブロック（8 個および 9 個）を一括して模擬処分孔に把持・搬送及び定置し、その状態を確認する緩衝材定置試験を実施した。来館者に本施設に対する理解を深めてもらう事を目的に、「おもしろ科学館　2015　in　ほろのべ」の開催日に併せ、9 月 5 日（土）及び 6 日（日）に実施した。

(1)　試験内容

本試験の装置動作を図 3.5.2-1～図 3.5.2-4 に示す。

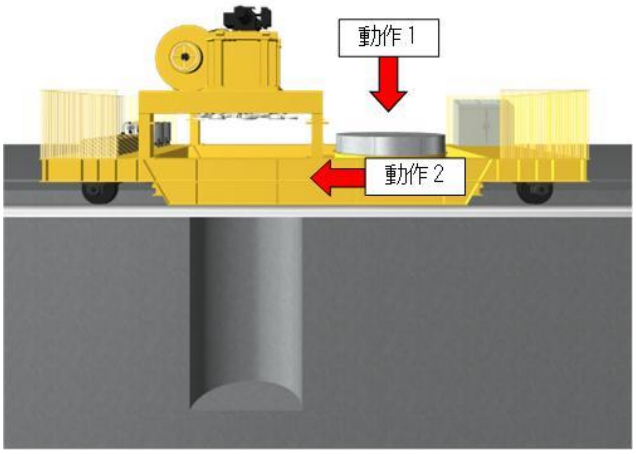


図 3.5.2-1　緩衝材定置運転動作（その 1）

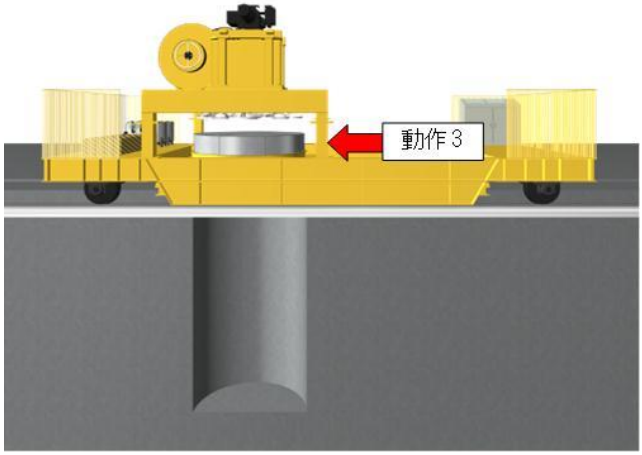


図 3.5.2-2　緩衝材定置運転動作（その 2）

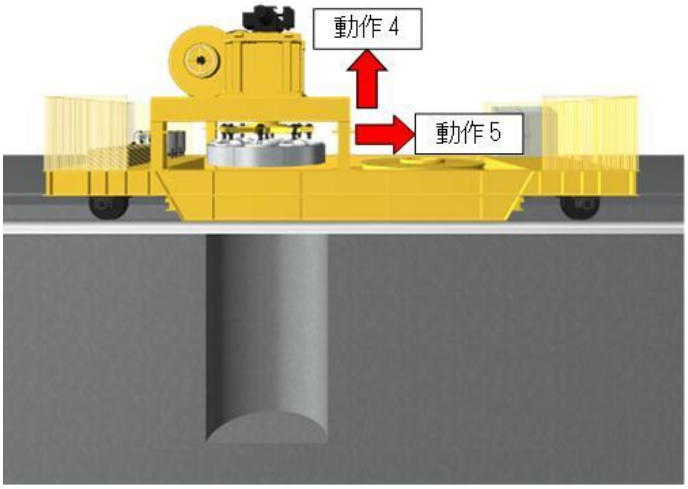


図 3.5.2-3　緩衝材定置運転動作（その３）

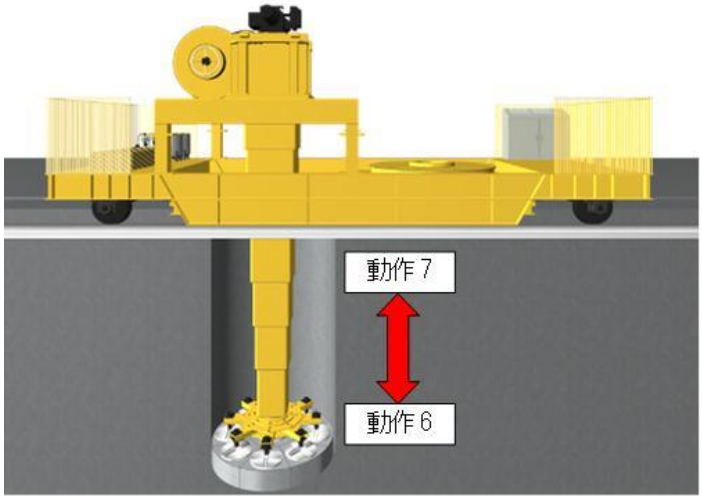


図 3.5.2-4　緩衝材定置運転動作（その４）

図中の動作 1～動作 7 を以下に示す。

- 動作 1：天井クレーンを使用して、緩衝材台車へ模擬緩衝材ブロックを乗せる（手動）
- 動作 2：緩衝材台車をテレスコピック下部へ移動させる。（自動運転）
- 動作 3：緩衝材台車に乗せた模擬緩衝材ブロックをテレスコピックの下で停止させる。（自動運転）
- 動作 4：テレスコピックにて模擬緩衝材ブロックを真空把持する。（自動運転）
- 動作 5：緩衝材台車を定位置（始動位置）へ移動する。（自動運転）
- 動作 6：模擬処分孔に模擬緩衝材ブロックを定置する。（自動運転）
- 動作 7：緩衝材定置後にテレスコピックを上部へ移動させる。（自動運転）

本試験で使用する模擬緩衝材ブロックは、以下のものを使用した。

- 材質：コンクリート製
- 形状：1/8 ブロック

：円形ブロック

- 数量：1/8 ブロック：32 個（1 段@8 個）、円形ブロック：2 個

本試験では、1 段目から 4 段目までの模擬緩衝材ブロックを模擬処分孔へ定置した。試験スケジュールを表 3.5.2-1 に示す。

表 3.5.2-1　試験スケジュール

実施日時	定置段数	模擬緩衝材ブロック個数
2016 年 9 月 5 日 AM（1 回目）	1 段目	9 個
	2 段目	9 個
	3 段目	8 個
	4 段目	8 個
1 段目～4 段目模擬緩衝材ブロック回収		
2016 年 9 月 5 日 PM（2 回目）	1 段目	9 個
	2 段目	9 個
	3 段目	8 個
	4 段目	8 個
1 段目～4 段目模擬緩衝材ブロック回収		
2016 年 9 月 6 日 AM（3 回目）	1 段目	9 個
	2 段目	9 個
	3 段目	8 個
	4 段目	8 個
1 段目～4 段目模擬緩衝材ブロック回収		
2016 年 9 月 6 日 PM（4 回目）	1 段目	9 個
	2 段目	9 個
	3 段目	8 個
	4 段目	8 個
1 段目～4 段目模擬緩衝材ブロック回収		

(2)　試験の確認項目

1) 把持機構の確認

a 1/8 ブロック 8 個または、これに円形ブロックを加えた 9 個のブロックを同時に把持する性能を確認する。

確認項目：把持動作中の真空ポンプの真空度及びハンドリング速度

2) 工程の所要時間の測定（緩衝材台車始動から模擬処分孔定置まで）

3) 定置機構の確認

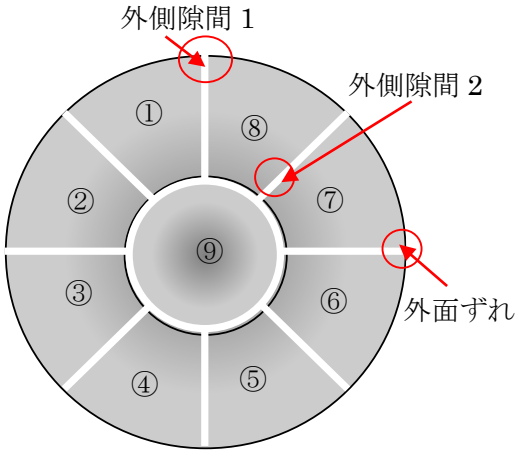
a ブロックを積み重ねた時の定置精度を確認する。

確認項目：定置位置出し計測（図 3.5.2-5、図 3.5.2-6）

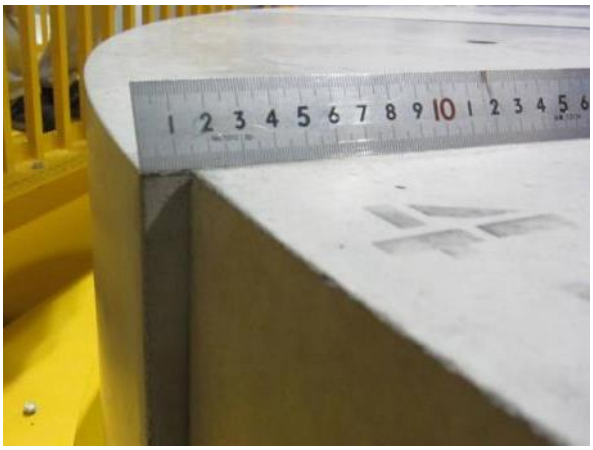
・各ブロック間のずれ（外側隙間 1、外側隙間 2、外面ずれ、内側隙間）

※内側隙間は円形ブロックがある 1 段目、2 段目のみ

・各段のずれ

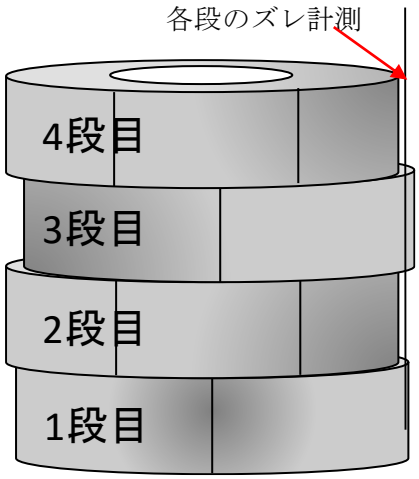


(a) 各ブロックのずれ計測位置図

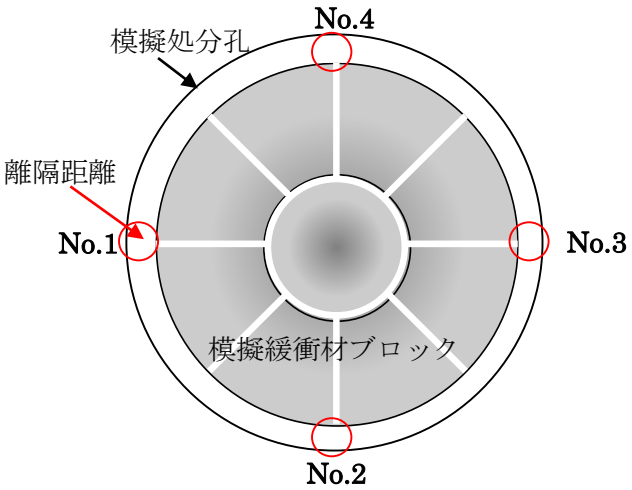


(b) 外面ずれ計測状況

図 3.5.2-5　定置位置出し計測（その 1）



(a) 各段のずれ計測



(b) 各段のずれ計測位置図

図 3.5.2-6　定置位置出し計測（その 2）

(3)　試験結果

9 月 5 日（土）及び 6 日（日）に実施した緩衝材定置試験の運転記録を表 3.5.2-2 に示す。試験回数は、合計 16 回実施した（5 日（土）8 回／6 日（日）8 回）。

1) 把持機構及び工程時間

把持機構及び工程時間については、平成 25 年度の「地層処分実規模設備整備事業」[5]でも、同様の試験を実施しており、合わせて試験結果を示す。

運転時間は、

・1 段目、2 段目［ブロック 9 個］: 289.6 秒～298.9 秒（299.3 秒～307.8 秒）

・3 段目、4 段目［ブロック 8 個］: 270.6 秒～286.8 秒（280.1 秒～290.7 秒）

※（）内は平成 25 年度の結果

となった。

また、各ブロックを把持・吸着するのに必要な時間は、

・1 段目、2 段目［ブロック 9 個］: 52.9 秒～54.7 秒（55.6 秒～56.2 秒）

・3 段目、4 段目［ブロック 8 個］: 48.3 秒～53.5 秒（51.4 秒～53.7 秒）

※（）内は平成 25 年度の結果

となった。

試験結果では、模擬緩衝材ブロックを 9 個定置する 1 段目、2 段目のほうが、ブロック 8 個を定置する 3 段目、4 段目より約 10 秒程度遅くなった。これは、吸引時間の結果でも、1 段目、2 段目のほうが、約 5 秒程度遅くなっていることから、吸引時間などの遅れが、運転時間の遅れとなっていると考えらえる。一方、同じブロック個数の定置では、2 段と 4 段目のほうが定置時間は遅くなっている。これは、緩衝材ブロックの隙間位置を同じ位置にしないため、22.5° 旋回運転を行っている影響と考えられる。平成 25 年度と比較すると、運転時間、吸着時間ともに多少時間範囲に違いがあるが、ほぼ同様の結果が得られており、試験の再現性を確認できた。

表 3.5.2-2 緩衝材定置試験　運転記録

実施回数	定置段数	模擬緩衝材 ブロック個数	運転時間 （定置）	吸着時間
1 回目	1 段目	9 個	290.5 秒	54.7 秒
	2 段目	9 個	298.6 秒	54.2 秒
	3 段目	8 個	271.4 秒	49.4 秒
	4 段目	8 個	286.8 秒	49.6 秒
2 回目	1 段目	9 個	291.3 秒	54.6 秒
	2 段目	9 個	298.9 秒	54.7 秒
	3 段目	8 個	271.8 秒	49.8 秒
	4 段目	8 個	286.8 秒	49.6 秒
3 回目	1 段目	9 個	289.6 秒	53.9 秒
	2 段目	9 個	297.5 秒	52.9 秒
	3 段目	8 個	270.6 秒	48.3 秒
	4 段目	8 個	284.3 秒	53.5 秒
4 回目	1 段目	9 個	289.7 秒	54.3 秒
	2 段目	9 個	298.3 秒	54.1 秒
	3 段目	8 個	－	－
	4 段目	8 個	282.2 秒	51.5 秒

※4 回目の 3 段目は測定ミスにより数値なし

2) 定置機構の確認

定置前と定置後の模擬緩衝材ブロックの定置精度を確認するために、図 3.5.2-5 に示した模擬緩衝材ブロックの位置を測定した。定置前のブロック位置は、天井クレーンを用いて人力調整したものである。表 3.5.2-3～表 3.5.2-5 に模擬緩衝材ブロックの隙間計測結果を示す。計測結果では、各ブロック間に生じる隙間は、各段数でも特に違いはなく、定置前と定置後で約 10mm 以内となっている。2 段目、4 段目の定置時の旋回運転の影響もほとんど生

じていない。一方、外面ずれは、1 段目平均が 5.5mm、2 段目 9.8mm、3 段目 25.8mm、4 段目 17.5mm となっており、最大値は 3 段目の 29mm となった。3 段目、4 段目の外面ずれが他の段に比べ大きいのは、1 段目、2 段目はブロック中心に円形ブロックがあるため、円形ブロックがずれの影響を抑えていると考えられる。

表 3.5.2-3　定置前と定置後の模擬緩衝材ブロック外側隙間 1 の計測結果

測定項目	定置段数	試験回数	定置前 ①～⑧の隙間合計（mm）	定置後 ①～⑧の隙間合計（mm）	定置前－定置後（mm）
外側隙間1	1 段目	1 回目	10	10	0
		2 回目	7	13	6
		3 回目	4	12	8
		4 回目	5	8	3
	2 段目	1 回目	17	17	0
		2 回目	4	9	5
		3 回目	10	6	-4
		4 回目	7	12	5
	3 段目	1 回目	10	13	3
		2 回目	12	14	2
		3 回目	11	11	0
		4 回目	12	14	2
	4 段目	1 回目	3	8	5
		2 回目	7	11	4
		3 回目	7	9	2
		4 回目	6	9	3

表 3.5.2-4　定置前と定置後の模擬緩衝材ブロック外側隙間 2 の計測結果

測定項目	定置段数	試験回数	定置前 ①～⑧の隙間合計（mm）	定置後 ①～⑧の隙間合計（mm）	定置前－定置後（mm）
外側隙間 2	1 段目	1 回目	1	2	1
		2 回目	0	3	3
		3 回目	4	0	-4
		4 回目	0	1	1
	2 段目	1 回目	5	6	1
		2 回目	0	1	1
		3 回目	2	1	-1
		4 回目	0	3	3
	3 段目	1 回目	15	16	1
		2 回目	12	18	6
		3 回目	11	16	5
		4 回目	11	16	5
	4 段目	1 回目	8	15	7
		2 回目	9	14	5
		3 回目	9	18	9
		4 回目	10	14	4

表 3.5.2-5　定置前と定置後の模擬緩衝材ブロック外面ずれの計測結果

測定項目	定置段数	試験回数	定置前 ①～⑧の隙間合計（mm）	定置後 ①～⑧の隙間合計（mm）	定置前－定置後（mm）
外面ずれ	1 段目	1 回目	-1	15	1
		2 回目	-3	4	7
		3 回目	1	-3	-4
		4 回目	0	7	7
	2 段目	1 回目	-2	13	15
		2 回目	-1	20	21
		3 回目	8	-1	-9
		4 回目	0	12	12
	3 段目	1 回目	0	24	24
		2 回目	-2	27	29
		3 回目	-1	27	28
		4 回目	1	23	22
	4 段目	1 回目	1	16	15
		2 回目	2	20	18
		3 回目	1	25	24
		4 回目	1	14	13

次に、定置後の各段数の模擬緩衝材ブロックの定置精度を確認するために、図 3.5.2-6 に示したブロック位置を計測した結果を表 3.5.2-6 に示す。表中の計測結果は、各試験回数の 1 段目の位置を基本として、2 段目以降の模擬緩衝材ブロックの位置が内側の場合は（−)、外側の場合は（＋）で表記している。計測結果では、

表 3.5.2-5 に示したように外面ずれは最大 29mm となったが、ブロックの外へのはらみだしとしては、1 段目を基準とすると最大 7mm となった。

表 3.5.2-6　定置後の模擬緩衝材ブロックの各段のずれ計測結果

測定項目	試験回数	段数	No.1 (mm)	No.2 (mm)	No.3 (mm)	No.4 (mm)
各段のずれ	1 回目	1 段目	−	−	−	−
		2 段目	-3	2	-2	4
		3 段目	2	-3	-1	2
		4 段目	0	-1	-6	6
	2 回目	1 段目	−	−	−	−
		2 段目	-3	2	-2	4
		3 段目	3	6	3	2
		4 段目	-2	1	-2	6
	3 回目	1 段目	−	−	−	−
		2 段目	0	-2	-6	3
		3 段目	2	-4	-2	0
		4 段目	0	2	-4	7
	4 回目	1 段目	−	−	−	−
		2 段目	0	1	-6	3
		3 段目	1	6	0	-1
		4 段目	1	1	1	7

3.5.3 緩衝材可視化試験

緩衝材可視化試験は、地層処分の人工バリアの主要構成要素である緩衝材を対象として以下の目的で実施した。

- 来館者に対して、緩衝材の性質や利用方法の理解促進
- 緩衝材の挙動の把握・理解および理解促進のための資料作成

(1)　緩衝材の機能と可視化試験の検討

「緩衝材の隙間」について、緩衝材の性質を利用した機能および要件から試験の背景を示す。

緩衝材は人工バリアを構成する一つであり、「放射性物質の移行抑制」のため安全機能が設定されている[22]。

- 移流による移行の抑制（低透水性）
- コロイド移行の防止・抑制（コロイドろ過能）

- 吸着による放射性物質の移行遅延（吸着性）

さらに人工バリアの長期健全性の維持の観点から、以下の技術要件が設定されている[22]。

- 自己修復性
- 耐熱性
- 対放射線性
- 緩衝材流出の抑制
- 残置物との相互作用の影響の低減
- バリア材料間の相互作用の影響の低減
- ガラス固化体の過熱防止
- オーバーパックの保護
- オーバーパックの沈下防止
- 施工時の隙間の充填（自己シール性）

上記の緩衝材の技術要件うち「緩衝材の隙間」に関わる事項と考えられる「自己修復性」、「自己シール性」について、緩衝材可視化試験において試験・検証と試験状況の展示を実施することとした。

本年度は、緩衝材供試体を用いた水平方向の隙間の浸潤試験（以下、単に緩衝材可視化試験）を実施した。

(2)　緩衝材供試体を用いた水平方向の隙間の浸潤試験

隙間における緩衝材挙動を観察できるように供試体の上端面に隙間を設け、水の浸潤による隙間の閉塞がどのような緩衝材の挙動（膨潤、流出・侵入など）によるものかを確かめることを目的とし、緩衝材可視化試験を実施した（図 3.5.3-1）。

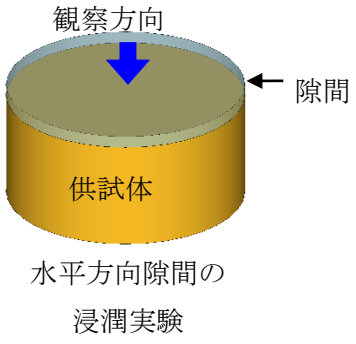


図 3.5.3-1　隙間に関する可視化試験の考え方

1) 供試体作製方法

水平方向の隙間を持つ供試体の作製の流れを以下に示す。供試体は 2 種類作製し、乾燥密度 1.6Mg/m^3 で飽和度 50%（含水比 12.6%）、80%（含水比 20.2%）の供試体および乾燥密度 1.8Mg/m^3 で飽和度 50%（含水比 9.13%）、80%（含水比 14.6%）の供試体を設定した（

表 3.5.3-1)。

① ベントナイト混合土の含水比を調整した。
② ベントナイト混合土を隙間分の厚さのスペーサーを設置したモールドに詰め、静的圧入機により締固めを行い、緩衝材供試体を作製した。(図 3.5.3-2)
③ 緩衝材を上下反転し、緩衝材可視化試験装置を組み立てる。

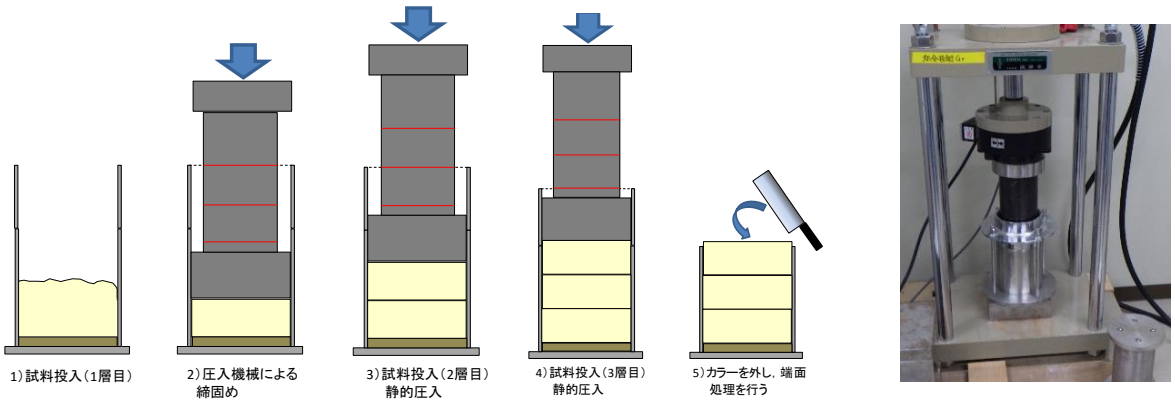


図 3.5.3-2 供試体作製方法

2) 試験方法

緩衝材可視化試験の概要を図 3.5.3-3 に示す。緩衝材を設置したモールドを水中に投入し、アクリル板にあけられた孔を通じて緩衝材上面に設けた隙間に注水し試験を開始した。水の浸潤状況および隙間の状況は供試体上面から観察した。

供試体中心にダイヤルゲージを設置し、緩衝材の膨潤による鉛直変位を測定した。

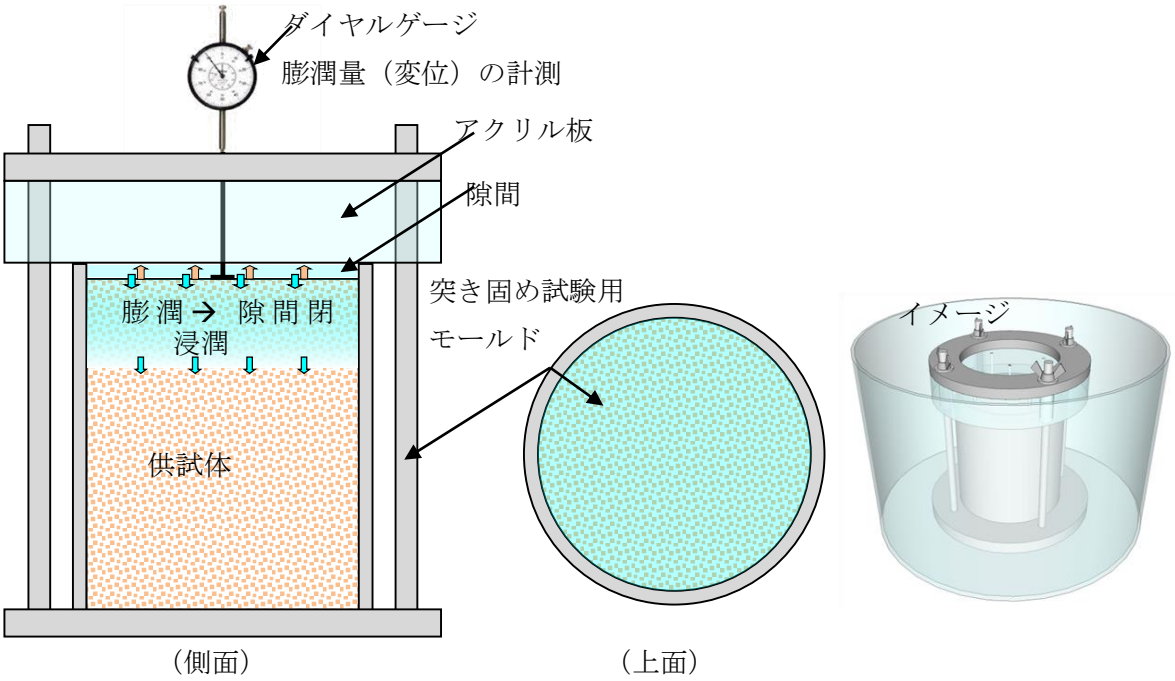


図 3.5.3-3 緩衝材可視化試験の概要

3) 試験ケース

試験ケースを表 3.5.3-1 に示す。表中の EX1、EX2 は平成 26 年度に設置したものである。試験ケースは、EX1～Case2 までが初期の乾燥密度が 1.6Mg/m³、Case3～6 は 1.8 Mg/m³ とした。また、緩衝材供試体上面の隙間はすべてのケースで 2.0cm とした。

表 3.5.3-1　試験ケース

試験ケース	EX1	EX2	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
初期乾燥密度ρ_{d0} (Mg/m³)	1.6				1.8			
初期含水比 w_0 (%)	12.6	12.6	20.2	20.2	9.13	9.13	14.61	14.61
飽和度 Sr (%)	50	50	80	80	50	50	80	80
隙間 (cm)	2.0							
設置期間 (日)	76	139	105	42	99	164	84	25

4) 試験状況と取得データ

試験状況を図 3.5.3-4 に示す。Case1（乾燥密度 1.6Mg/m³、飽和度 50%）の緩衝材上面の経時変化を図 3.5.3-5 に示す。

各試験ケースにより得られた変位量の結果を図 3.5.3-6 に示す。図中に示す変位収束日とは、一日一回の計測回数に対する変位量の変化率を算出し、変化率が 1%以下になった日とした。供試体上面の変位は、乾燥密度 1.6Mg/m³、飽和度 50%よりも乾燥密度 1.6Mg/m³、飽和度 80%、1.8Mg/m³、飽和度 80%の方が早く収束している。また、変位量は、隙間 2.0cm（緩衝材が膨潤し変位できる最大変位量が 2.0cm）に対して、0.1～0.4cm 程度とバラつきがあった。

次に、各試験ケースにより得られた供試体の深さと含水比、乾燥密度の関係を図 3.5.3-7 に示す。図 3.5.3-7（a）、（b）の横軸は、各試験によって得られた含水比 w_i、乾燥密度ρ_{di} を各試験ケースの初期含水比 w_0、乾燥密度ρ_{d0} で除して基準化したものである。含水比は、各試験ケースともに緩衝材上部（隙間を埋めた緩衝材）が最も高くなった。乾燥密度は、隙間の膨潤挙動により供試体上部が各試験ケースとも最も密度が低くなった。

図 3.5.3-4　緩衝材可視化試験状況

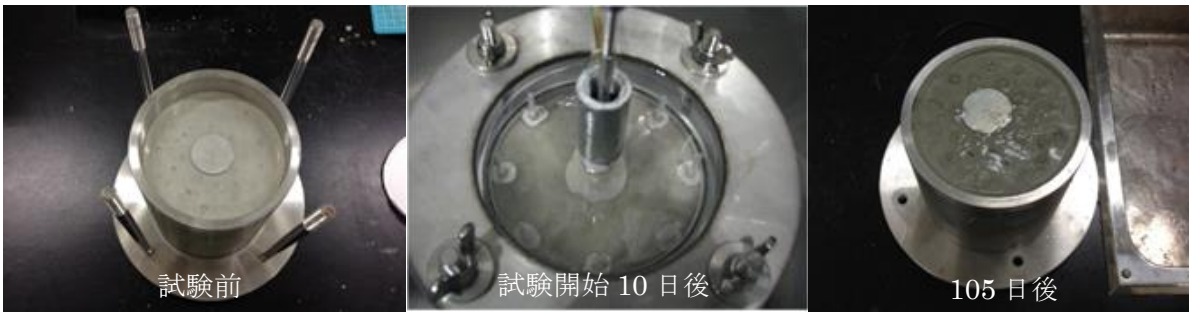
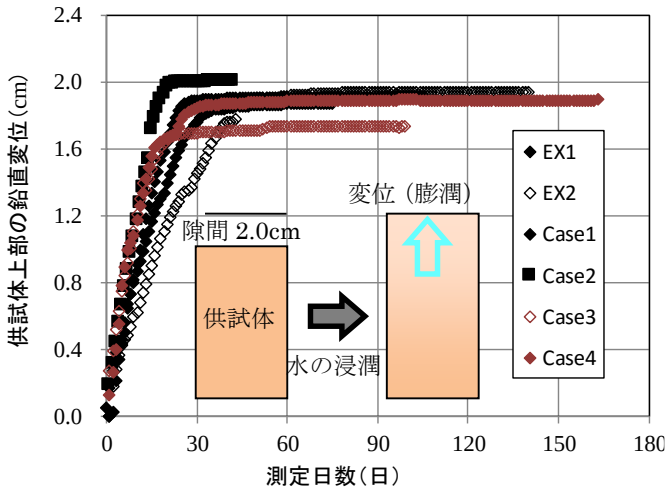
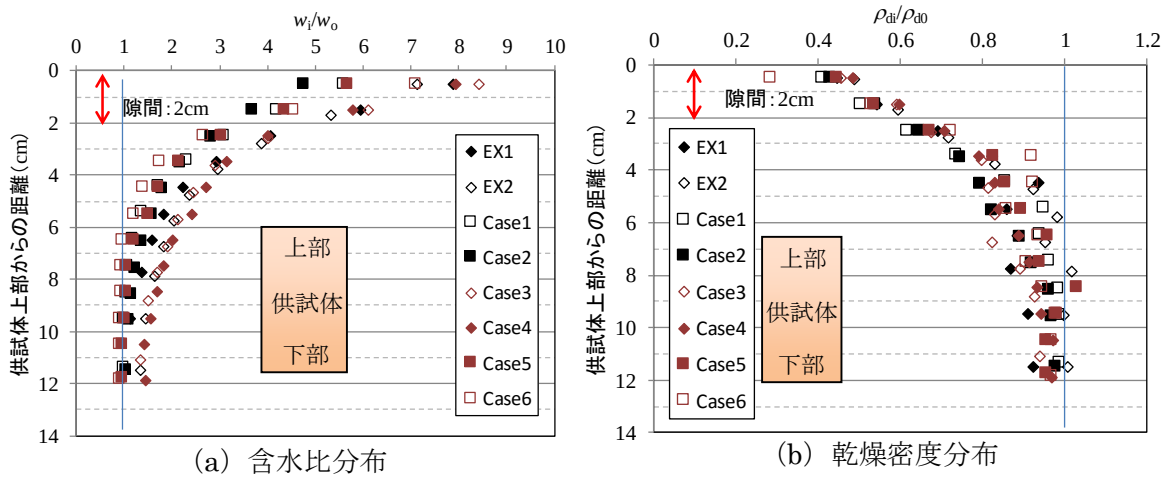


図 3.5.3-5　緩衝材可視化試験状況（Case1）



	変位収束日（日）
EX1	35
EX2	45
Case1	27
Case2	22
Case3	21
Case4	21
Case5	32
Case6	—

図 3.5.3-6　緩衝材供試体の変位（膨潤）



(a) 含水比分布　　(b) 乾燥密度分布

図 3.5.3-7　含水比の深さ方向分布と乾燥密度分布

5) 観察事項

各試験ともに緩衝材の上面に隙間（20mm）を設け、水の浸潤による挙動を観察した。変位量は、乾燥密度 1.6Mg/m³、飽和度 50%では、試験開始から 35～45 日程度、乾燥密度 1.6Mg/m³、飽和度 80%、乾燥密度 1.8Mg/m3 は約 21～32 日程度で収束した。Case6 のみ収束日数前に試験を終了した。EX1、EX2 以外は、乾燥密度、の違いにより変位量の収束日数に大きな違いは確認できなかった。なお、収束判定は、変位量に対する経過日数の変化率を算出し、変化率 1%以下を収束日とした。

図 3.5.3-7 に示す緩衝材の深さ方向の含水比分布を確認すると、最大 164 日程度の浸潤では、垂直方向の含水比分布は上面と下端部で含水比が均一になることはなかった。また、試験ケース EX2、Case3、Case4 では、w_i/w_0＝1.0 以上となっており、緩衝材底部まで水が浸潤していることが確認できた。

緩衝材の深さ方向の乾燥密度分布では、EX1、Case3、Case4 で、ρ_{di}/ρ_{d0}＝1.0 以下となっていることから、緩衝材下端部まで密度低下が生じており、上部の膨潤挙動を受けていると考えらえる。

3.5.4 広報活動

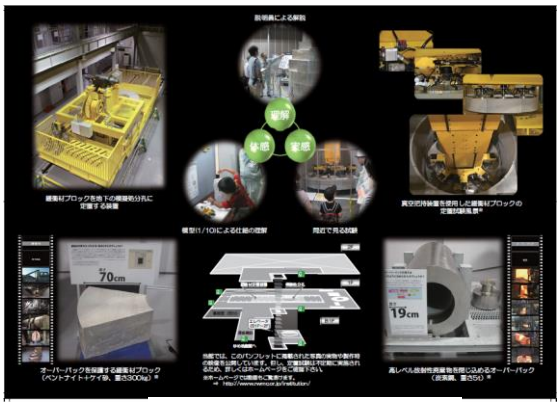
前事業の成果である、平成 20 年度に製作したオーバーパック・緩衝材の実物・人工バリア（実際の放射性破棄物は使用しない）、平成 21 年度及び平成 25 年度に製作した緩衝材可視化試験装置、及び平成 20 年度から平成 24 年度に製作した緩衝材定置装置の展示を行った。

実規模試験施設では経済産業省資源エネルギー庁および原環センター製作の以下のパンフレットを常備し、来館者が自由に持ち帰ることを可能とした（図 3.5.4-1）。

- 諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について
  （経済産業省資源エネルギー庁発行 2014 年 2 月）

- 地層処分実規模試験施設三つ折りチラシ（図 3.5.4-1）

パンフレット（表）



パンフレット（裏）

図 3.5.4-1　地層処分実規模試験施設パンフレット

(1)　ホームページ（http://www.rwmc.or.jp/institution/）

1) 地層処分実規模試験施設ホームページのアクセス数*1

平成 27 年 4 月 1 日~平成 28 年 1 月 31 日：訪問者数 1,861、訪問数 3,551

原環センターホームページのアクセス数：訪問者数 14,368、訪問数 38,936

*1：訪問数は、訪問者が最初の閲覧から 24 時間以内に再度閲覧を行った場合の数値

主なリンク先

- 開館期間　平成 27 年 4 月 1 日～平成 28 年 3 月 31 日
- METI：放射性廃物のページのバナーから
- 北海道経産局からのお知らせ
- JAEA 幌延深地層研究センターのバナーから
- JAEA ゆめ地創館のリンクから
- Wikipedia の参考文献から
- 株式会社デイリー・インフォメーション北海道

主な検索キーワード

- オーバーパック
- 人工バリア（誤入力での人口バリアを含む）
- ガラス固化体
- 地層処分
- 地層処分実規模試験施設
- 地層処分
- 放射性廃棄物
- 緩衝材

(2)　広報誌への掲載

理解促進活動として一般紙などの情報誌などに実規模施設の情報を掲載した。以下に、掲載した広報誌及び広告を示す。

a　地元ラジオ局のエフエムわっかない作成の番組表（図 3.5.4-2 参照）

主な設置先は以下の通り

稚内市内 40~50 ヶ所（空港、フェリーターミナル、高速バス乗り場、観光施設、病院・スーパ・ドラッグストアー等）及び道の駅 3 ヶ所（天塩、猿払、塩別）

b　るるぶ冬の北海道（発行：JTB パブリッシング）

平成 28 年 2 月に発刊。220,000 部販売。図 3.5.4-3 参照。

c　北海道新聞広告特集チラシ －るるぶ　夏のグルメ&行楽決定版（発行：北海道新聞、図 3.5.4-4 参照）。

図 3.5.4-2　FM わっかない番組表広告

図 3.5.4-3　るるぶ冬の北海道広告

図 3.5.4-4　北海道新聞折り込みチラシ広告

3.5.5 来館者へのアンケート

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構　幌延深地層研究センターと連携し、施設などに関するアンケートの集計を行った。アンケートの回答は、平成 28 年 2 月末現在で 2,857 名に協力頂いた。アンケート回収率は、平成 27 年度（平成 28 年 2 月 29 日現在）は 39.0%（総来館者数：7309 名／回答数：2,857 名）となっている。アンケートの集計結果を以下に示す。

(1)　アンケート回答者諸元

施設（ゆめ地創館及び実規模施設）への来館者の約 7 割が北海道内、約 3 割が北海道外からとなっている。来館者分布をみると、性別では男性が女性の約 2 倍、年齢層は 60 代以上が多い分布となっている。今後、理解促進を進めるうえで、女性や若年層を考慮した活動が重要となる。

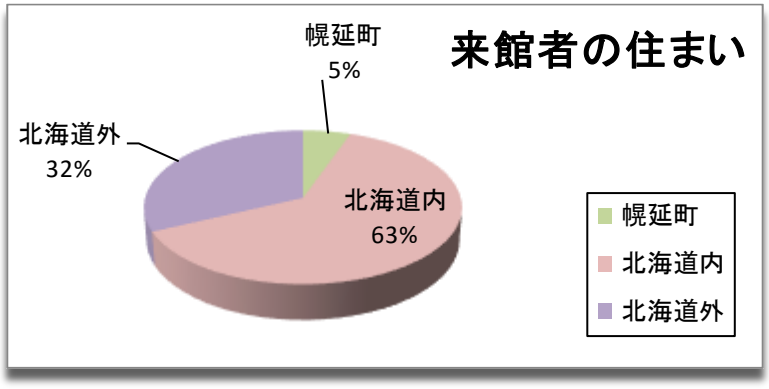


図 3.5.5-1　来館者の住まい

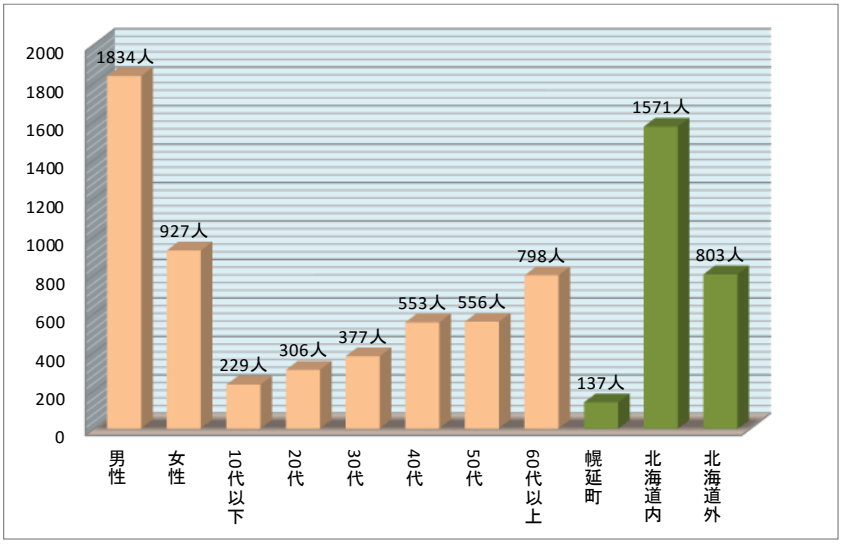


図 3.5.5-2　回答者諸元

(2)　アンケート集計結果

アンケートの集計結果を図 3.5.5-3～図 3.5.5-9 に示す。また、主だった来館者の感想を表 3.5.5-1 に示す。

- 理解促進活動の一環として取り組んでるホームページ、パンフレット、広報誌で知ったという回答が 28%を占めた。
- 来館者の 88%が高レベル放射性廃棄物を地層中に処分(地層処分)する計画を知っている結果となった。
- 来館後地層処分や展示物である人工バリアについて「わかった（よくわかった、だいたいわかった）」との回答がそれぞれ 85%を占めている。

- 高レベル放射性廃棄物の処分が必要と考える人が来館者の約 96%を占める結果となった。

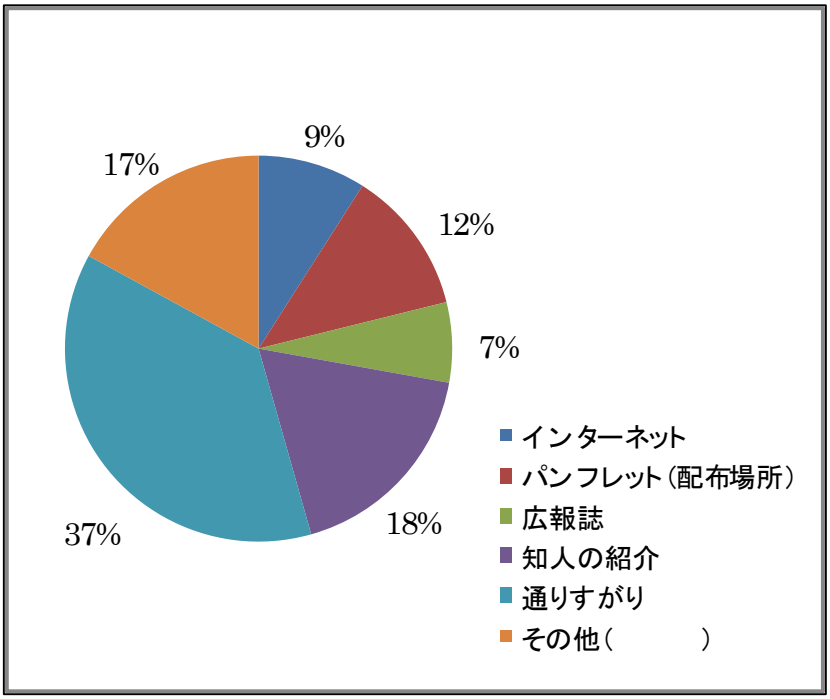


図 3.5.5-3　当施設について何で知りましたか

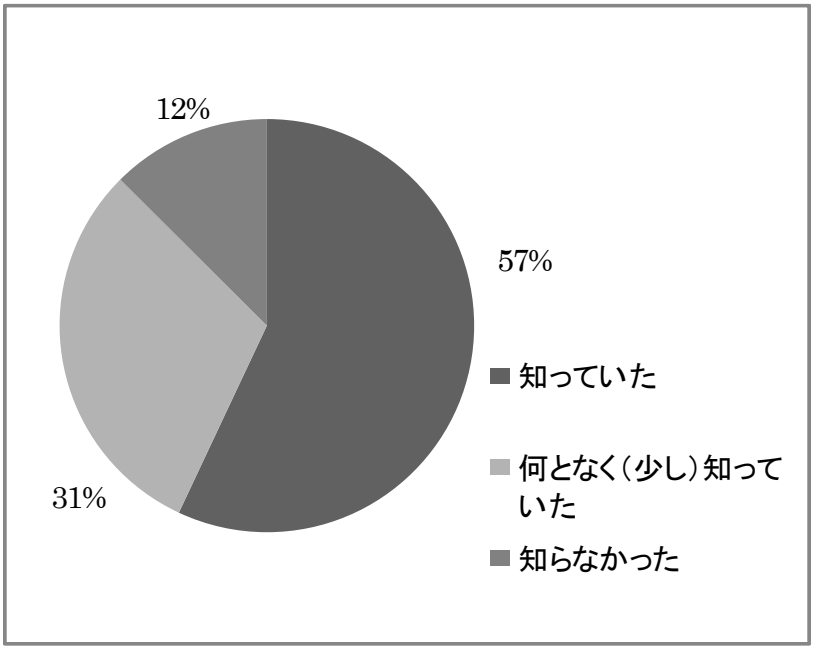


図 3.5.5-4　日本では、高レベル放射性廃棄物を地層中に処分(地層処分)する計画があることを御存じでしたか?

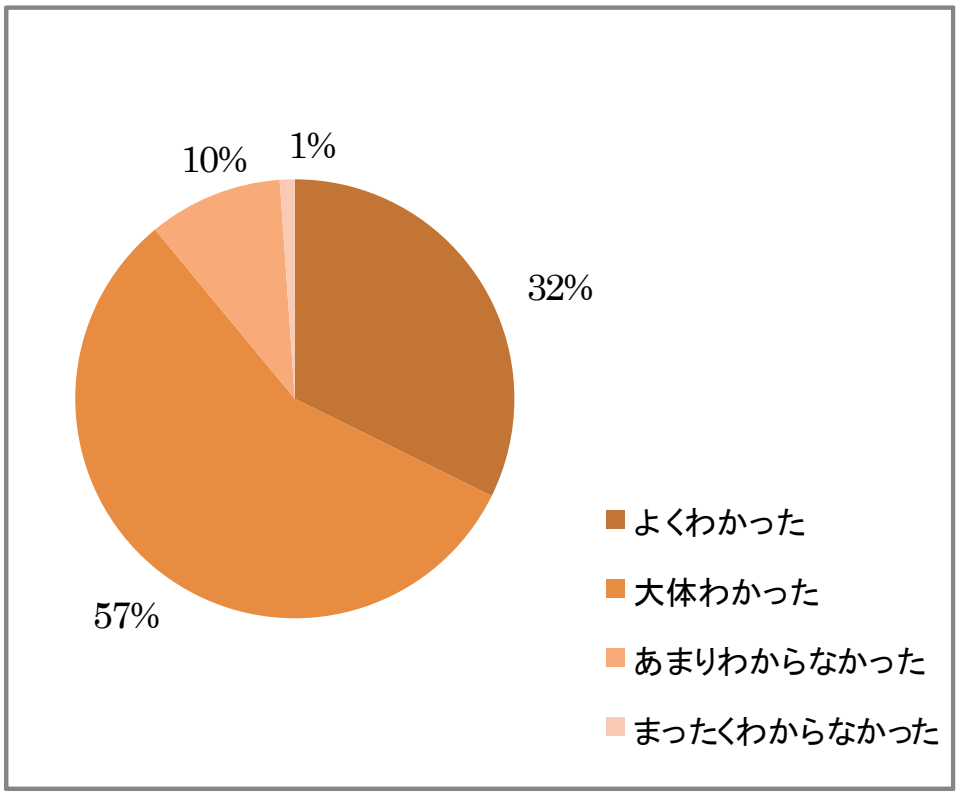


図 3.5.5-5　地層処分について

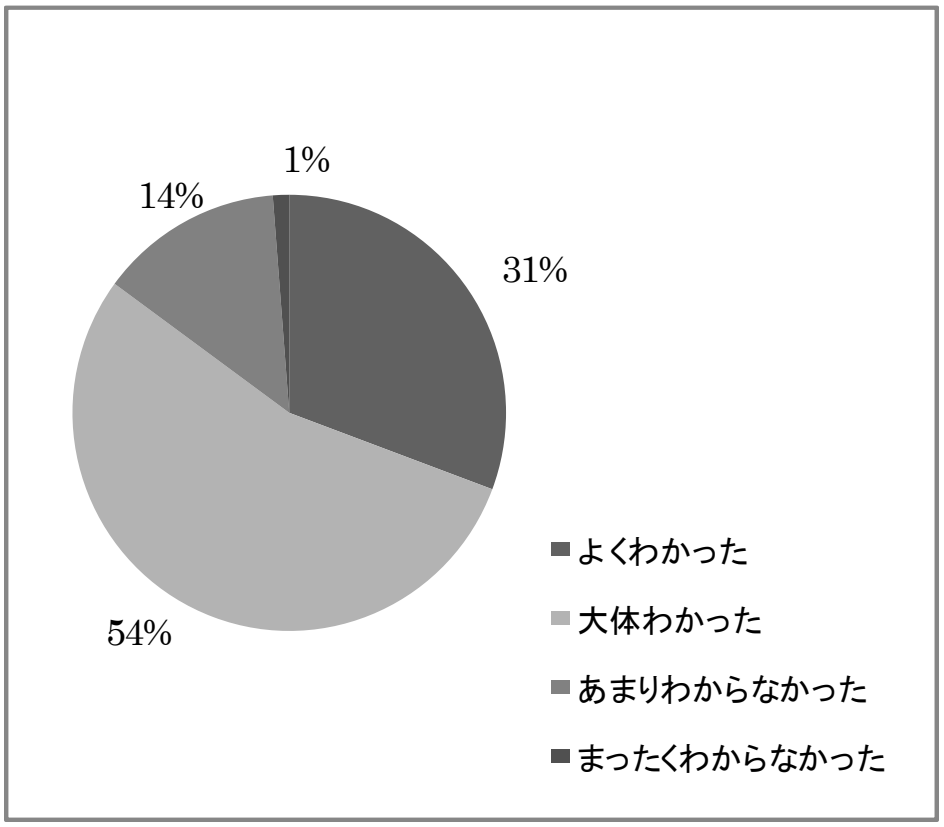


図 3.5.5-6　高レベル放射性破棄物の地層処分について

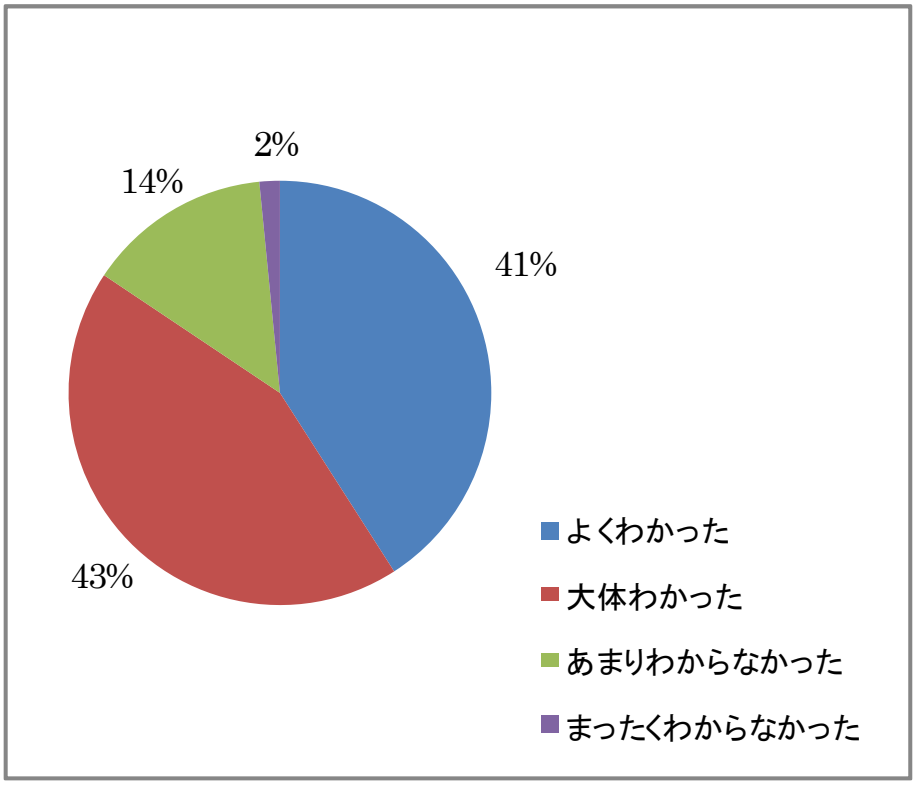


図 3.5.5-7　実物大の人工バリアについて

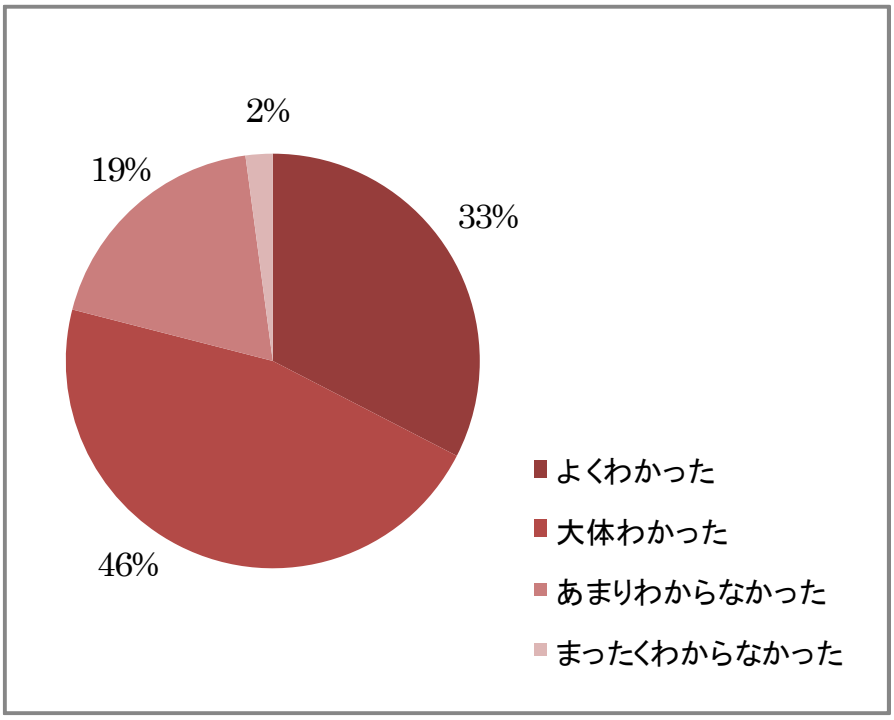


図 3.5.5-8　実物大の人工バリアを使った試験について

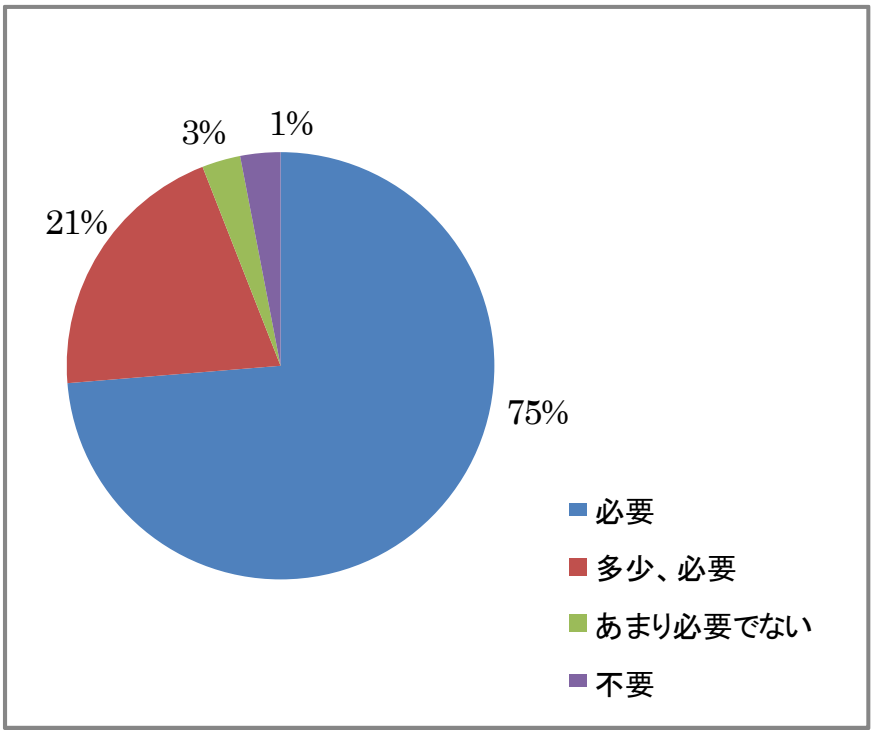


図 3.5.5-9　高レベル放射性廃棄物の処分の必要性についてどう感じましたか?

表 3.5.5-1　来館者の感想（例）

- 実際に見てみると、想像以上に大きくてびっくりした
- 安全をしっかり考えて進められてるのが分かって良かった
- 実際の展示物大きさはテレビで見るよりも迫力があった
- （施設内で実施している）粘土実験も、手品みたいで、不思議で面白かった
- 廃棄物の事や、処分に至るまでの工程など知る事ができ、関心を持って、見る事ができた
- 原子力発電には、賛否両論があると思うが、応援してるので頑張って下さい
- 前回来て、とでも勉強になり、息子にも、見せたいと思い来館した
- 廃棄物の問題は長い年月かかるので、子供たちなどの次の世代にかかっている
- 現実として廃棄物はあるのだから、処分はどうにかしなければならない問題
- 地上に置いておくより地下に処分した方が安全な気がする。早く処分始まればいい
- 沢山の人に見てもらい考えてもらえると良い
- 地層を研究している施設が、北海道にあるのも最近知り来てみた
- 原子力は、使うのは簡単でもその後の処分はずっと長い年月かかる事が解った一連の流れを実際の展示物も見れるのも、説明を聞き勉強になった、今日来て良かった
- 小さな子供でも、折り紙など遊べる工夫があって良かった
- 小学生の子供たちに、勉強させてあげたいと思い来た
- 実際の人工バリアの大きさなど体感でき、粘土実験も不思議で面白かった
- これから、ますます原子力発電は必要になってくるので、このような施設を通して、関心を持つ人が増えると思う
- 早く処分場が決まるといい
- 日本は火山活動や地震が多いから、処分地の選定は難しい
- 実験や把持装置の模型など、解りやすい工夫が多くて好感が持てた

- 処分の仕組みなどがよく解った
- 長い年月を必要とする事や、実際の展示物なども興味深かった
- 賛成、反対色々あるが、まずは実際の目で見る事が、大切だと思う
- 原発は、悪いイメージを持たれるが、将来必要になってくるので、これからも研究など、頑張ってほしい
- 福島や、他の発電所も廃炉になっても解体するのに時間がかかるが、処分するのはそれ以上かかるのに、驚いた
- 処分に時間がかかる分、しっかりした研究を基に安全に配慮しているのがわかって良かった
- 緩衝材定置試験装置は、ロボットの様な感じがした。実際の大きさは、見てびっくりしたが、よく解った
- ガラス固化体にしても安全と言えるのだろうか
- この様な研究をしている事を知る事ができた。処分場も、建物など地上に作ると簡単だが地下に作るとなると大変だ
- 廃棄物の熱も冷却しても 80℃以上あるなら、その熱を何かに利用できたらいいのに
- 地層処分を研究し、その成果内容を見れる場所が、幌延にあるのをもっと沢山の人に知ってもらいたい
- 処分地が決まるまでは原発は動かすべきではないと思う
- 原子力発電は使うのは簡単、その後の対処方法は、長い期間が必要だとは知らなかった
- 最先端の技術で、研究されていてその成果を実際に見れるのは、とても興味深い
- 原子力発電の必要性も感じたが、処分までの長期間を考えると、ウランに代わる物は、無いのか
- 処分地はまだ決まっていないが、この様な研究が進められていると分かり、少し安心した
- この様な施設があるとここが処分地になるのかと思われてしまう
- 処分場はまだまだ決まらないと思うが、原子力や放射線、廃棄物等に関するこの様な研究は必要だと思う
- 処分は費用対効果もあるが、出来るだけ安全にしなければならない。処分の事を考えると、はたして原子力は安い物だったんだろうか
- 原子力という漠然的に不安だったものが、説明を聞き、これだけ考えられて研究しているのが解り、安心できた
- 処分場の必要性も解るが、やはり自分の住んでいる所に決まるのは、抵抗がある
- 処分場がどこにできるかは、今一番関心のある事だと思う
- 「ゆめ地創科館」とか看板をかかげてると何かを隠しているように思える。「地層処分」の言葉を入れた看板にすればよい
- 日本以外の外国も、地層処分を採用しているのは、知らなかった。一番は、処分場がどこに作られてるのかがやはり心配

3.6 まとめ

3.6.1 実証試験計画の検討

地層処分実規模設備整備事業、回収技術高度化開発等、既往の研究成果を基にした竪置き処分方式の実証試験を実施する実証試験計画を検討した。試験計画では、実証試験の地上試験サイトとして、地層処分実規模設備整備事業で整備した「地層処分実規模試験施設」を活用することとした。また、実規模施設を試験サイトとするために必要な整備計画も合わせて検討した。

3.6.2 緩衝材定置試験装置の改良

作業工程毎に監視方法及び監視対象の抽出を行うと共に、監視対象に対して監視カメラが有効な工程や監視対象となる機構を併せて抽出した。さらに、抽出結果を基に実規模施設内の緩衝材定置試験装置に必要な監視項目、監視方法を整理し、緩衝材定置試験装置に必要な監視機能の追加改良を実施した。

3.6.3 緩衝材除去試験のため施設整備

実規模施設で緩衝材除去システムによる緩衝材除去試験を実施するために必要となる整備内容を検討した。以下に検討結果をまとめる。

- 緩衝材除去システムのうち「噴射・吸引設備」及び「塩水リユース設備」を設置した場合、全ての設備は実規模施設の床荷重以下となった。
- 実規模施設の現有電力では、緩衝材除去システムを稼働させることができないため、新規に 400V 用トランス 50kVA とその配電盤を既存キュービクルに増設する。また、200V トランス容量は 100kVA のため容量不足となり、トランスを 150kVA に変更する。
- 実規模施設の模擬処分孔で緩衝材除去試験を行うため、塩水が漏えいしないように筒構造の擁壁を設置するなど補強が必要となる。補強案は、試験時の視認性を優先した視認性を優先した「処分孔円筒アクリルケース」と処分孔の強度に重点を置いた「処分孔円筒鋼製ケース」の詳細を検討した。検討の結果、処分孔円筒アクリルケースの方が視認性はよく、実証試験に適していると考えられる。
- 実規模施設で緩衝材除去試験を実施する場合、施設内を塩水から防護するため、試験アリアをテントで囲むなどの対策が必要となる。
- 緩衝材除去システムを移設するために、実規模施設内の展示物を移動し、緩衝材除去システムのうち「噴射・吸引設備」および「遠隔操作設備」の移設を実施した。

3.6.4 理解促進活動

これまでの地層処分研究開発成果を活用した実基礎試験施設の運営を実施した。本年度は、以下の項目について実施した。

- 実規模施設内にある緩衝材定置試験装置による緩衝材定置試験を「おもしろ科学館 2015 in ほろのべ」にて実施した。
- 緩衝材定置試験結果では、試験結果では、模擬緩衝材ブロックを 9 個定置するほうが、ブロック 8 個を定置する 3 段目、4 段目より約 10 秒程度遅くなった。また、模擬緩衝材ブロックの定置精度では、9 個定置するほうが中心に円形ブロックがあるため、ブロックのずれの影響が少なくなった。
- 隙間における緩衝材挙動を観察できるように供試体の上端面に隙間を設け、水の浸潤により緩衝材が隙間を閉塞する挙動確認できる緩衝材可視化試験を実施した。
- 緩衝材可視化試験結果では、隙間の閉塞は乾燥密度（1.6Mg/m^3 と 1.8Mg/m^3）による収束日数の大きな違いは確認できなかった。また、2cm の隙間を緩衝材の膨潤により閉塞する場合、供試体 10.5cm 底面でも密度低下が生じ、膨潤による影響を確認した。
- 実規模施設の広報のため、一般広報広報誌「るるぶ北海道」や地元ラジオ局のエフエムわっかない作成の番組表への広告掲載など、広報活動を実施した。
- ゆめ地創館と共同で施設来館者へのアンケートを実施した。アンケート結果では、来館者の年齢層や性別などの傾向を把握した。来館者の地層処分の認知度 8 割以上であった。また、施設内見学後の来館者の感想は、地層処分や展示物である人工バリアに関して「よくわかった、だいたいわかった」と回答した人が 8 割以上となった。

参考文献

[1] (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 21 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費（地層処分実規模設備整備事業）報告書、平成 22 年 3 月

[2] (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 22 年度核燃料サイクル関係推進調整委託費（地層処分実規模設備整備事業）報告書、平成 23 年 3 月

[3] (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 23 年度原子力発電施設広聴・広報等事業委託費（地層処分実規模設備整備事業）報告書、平成 24 年 3 月

[4] (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 24 年度原子力施設立地推進調整事業等委託費（地層処分実規模設備整備事業）報告書、平成 25 年 3 月

[5] (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 25 年度原子力発電施設広聴・広報等事業委託費（地層処分実規模設備事業）報告書、平成 26 年 3 月

[6] (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度原子力発電施設広聴・広報等事業委託費（地層処分実規模設備運営等事業）報告書、平成 27 年 3 月

[7] (財)原子力環境整備促進・資金管理センター;平成 17 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－処分システム高度化－（２／２）、平成 18 年 3 月

[8] (財)原子力環境整備促進・資金管理センター;平成 19 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（２／２）、平成 20 年 3 月

[9] (財)原子力環境整備促進・資金管理センター;平成 20 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（２／２）、平成 21 年 3 月

[10] (財)原子力環境整備促進・資金管理センター;平成 21 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（２／２）、平成 22 年 3 月

[11] (財)原子力環境整備促進・資金管理センター;平成 22 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（２／２）、平成 23 年 3 月

[12] （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター：平成23 年度 地層処分技術調査等事業（高レベル放射性廃棄物処分関連：地層処分回収技術高度化開発）、平成24年3月

[13] （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 24 年度地層処分技術調査等事業（地層処分回収技術高度化開発)、平成 25 年 3 月

[14] （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 25 年度地層処分技術調査等事業（地層処分回収技術高度化開発)、平成 26 年 3 月

[15] （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度地層処分技術調査等事業（地層処分回収技術高度化開発)、平成 27 年 3 月

[16] （財）原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 12 年度高レベル放射性廃棄物処

分事業推進調査（遠隔操作技術高度化調査)、平成 13 年 3 月
[17] （財）原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 13 年度高レベル放射性廃棄物処分事業推進調査（遠隔操作技術高度化調査)、平成 14 年 3 月
[18] (財)原子力環境整備促進・資金管理センター;平成 14 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－処分システム高度化－（２／２)、平成 15 年 3 月
[19] (財)原子力環境整備促進・資金管理センター;平成 15 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－処分システム高度化－（２／２)、平成 16 年 3 月
[20] (財)原子力環境整備促進・資金管理センター;平成 16 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－処分システム高度化－（２／２)、平成 17 年 3 月
[21] (財)原子力環境整備促進・資金管理センター;平成 18 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－処分システム高度化－（２／２)、平成 19 年 3 月
[22] NUMO：地層処分事業の安全確保（2010 年度版)，NUMO-TR-11-01 (2011)

第4章　地下での実証試験設備の整備

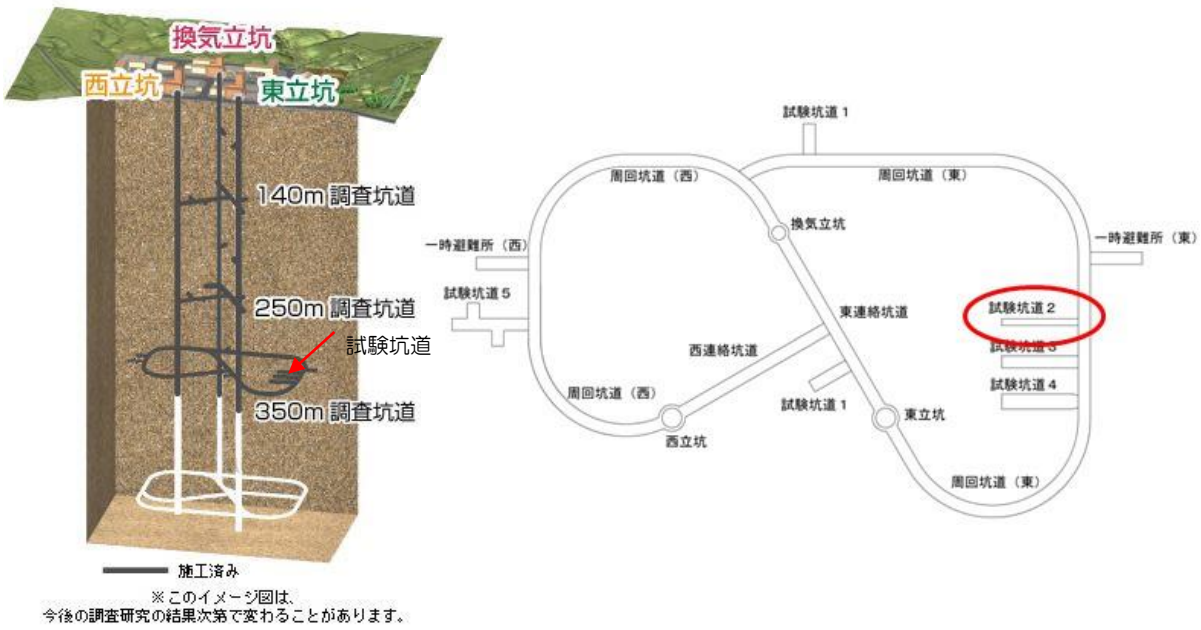
4.1　実施概要

当該事業は、今年度（平成 27 年度）から 5 年程度の期間で、JAEA の幌延地下施設 350m 坑道を対象とした地下環境下において、資源エネルギー庁での基盤研究開発でこれまでに開発した搬送定置装置、等の適用性を確認することを目的とする。

今年度は、試験場所となる JAEA の幌延地下施設 350m の試験坑道 2 を対象として、当該試験を行うために必要な施設、および設備の設計図書を作成するとともに、試験実施の際の基礎情報とするための周辺環境調査を行った。また、試験を実施するために障害となる既存装置の撤去と養生も併せて実施した。

4.2　実証サイト

実証サイトの予定位置を図 4.2-1 に示す。



（a）幌延地下研究施設鳥瞰図[1]　　b）深度 350m坑道（試験坑道 2）

図 4.2-1　実証サイトの予定位置

4.3　　実証サイトの調査、設計

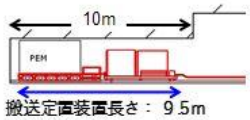
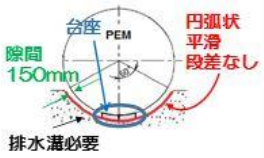
4.3.1　　目的

幌延地下施設 350m 坑道を対象とした地下環境において、各種装置の実証試験を行うために施設、および設備を整備する必要がある。本業務は、整備のための設計図書を作成することを目的とした。

4.3.2　　実証試験計画上の制約条件の整理

実証試験を行うための条件について、「試験計画の制約」と「実証サイト（試験坑道 2）を対象とした制約」の整理を表 4.3.2-1 にまとめた。

表 4.3.2-1　制約条件の整理

<table>
<tr><th colspan="3">実証試験計画上の制約</th><th colspan="2">幌延サイト（試験坑道2対象）の制約</th></tr>
<tr><td>PEM横置き設置</td><td colspan="2">小断面
（PEMφ2300mm程度
＋定置用隙間）
 </td><td>トンネル施工</td><td>①既設坑道(円形)に追加する
②施工は幌延サイトで採用
されている方法を採用
掘削工法：NATM
掘削方式：機械
③換気用管設置空間が必要
 </td></tr>
<tr><td>エアベアリング搬送定置装置</td><td>  </td><td>  </td><td>その他</td><td>坑道内に常備されている建設機械（ﾌﾞﾚｰｶｰ，
ﾊﾞｯｸﾎｳ）を使用
⇒機械の条件：小断面用，防爆構造
搬出入経路は既設坑道を使用
⇒外部から坑道内へ：立坑
⇒坑道内移動　　：小断面水平坑道</td></tr>
<tr><td>隙間充填除去</td><td> </td><td> </td><td>留意点</td><td>①掘削工法がNATMのため，トンネル断面形状を円形に仕上げる作業が増えて煩雑化する
②使用機械が限定されているため，トンネル寸法が制限される
③搬入経路が限定されており，使用する資機材の形状，寸法等が制限されるため，トンネルの断面形状やトンネル表面の仕上げ精度（二次製品の採用の可否）が制限される</td></tr>
</table>

4.3.3　実施フロー

本業務は図 4.3.3-1 に示した実施フローに基づいて実施した。

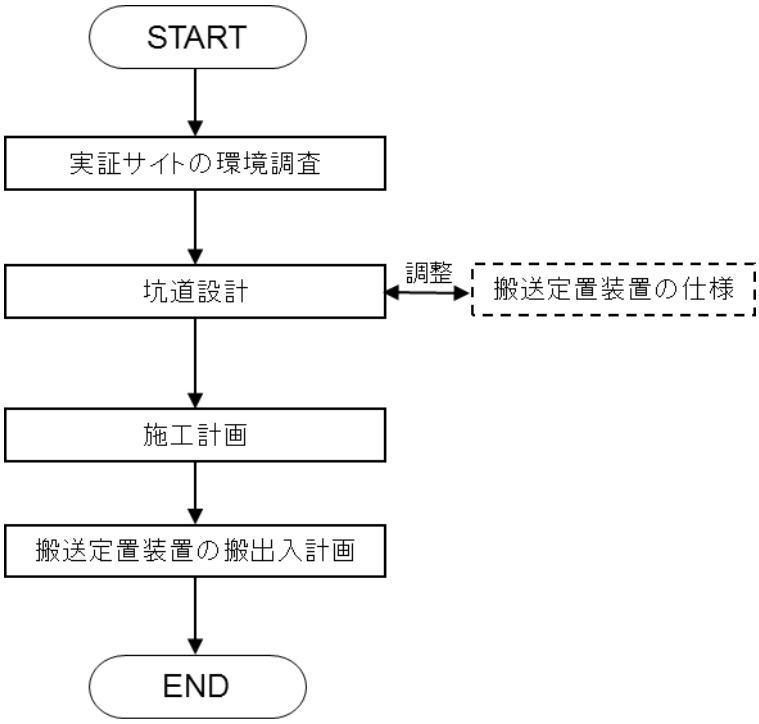


図 4.3.3-1　実施フロー

4.3.4　実証サイトの環境調査

(1) 試験坑道 2 の構造概要

図 4.3-2 に示すように、試験坑道 2 の支保工配置は、計 18 リングで構成されており、斜路区間の 1 ～5 リング間は半円断面、鋼製支保工の規格は H150 を使用している。6 リング以降は円形断面、鋼製支保工の規格は H100 を使用している。吹付コンクリートの仕様は何れも 36N/mm^2 である。

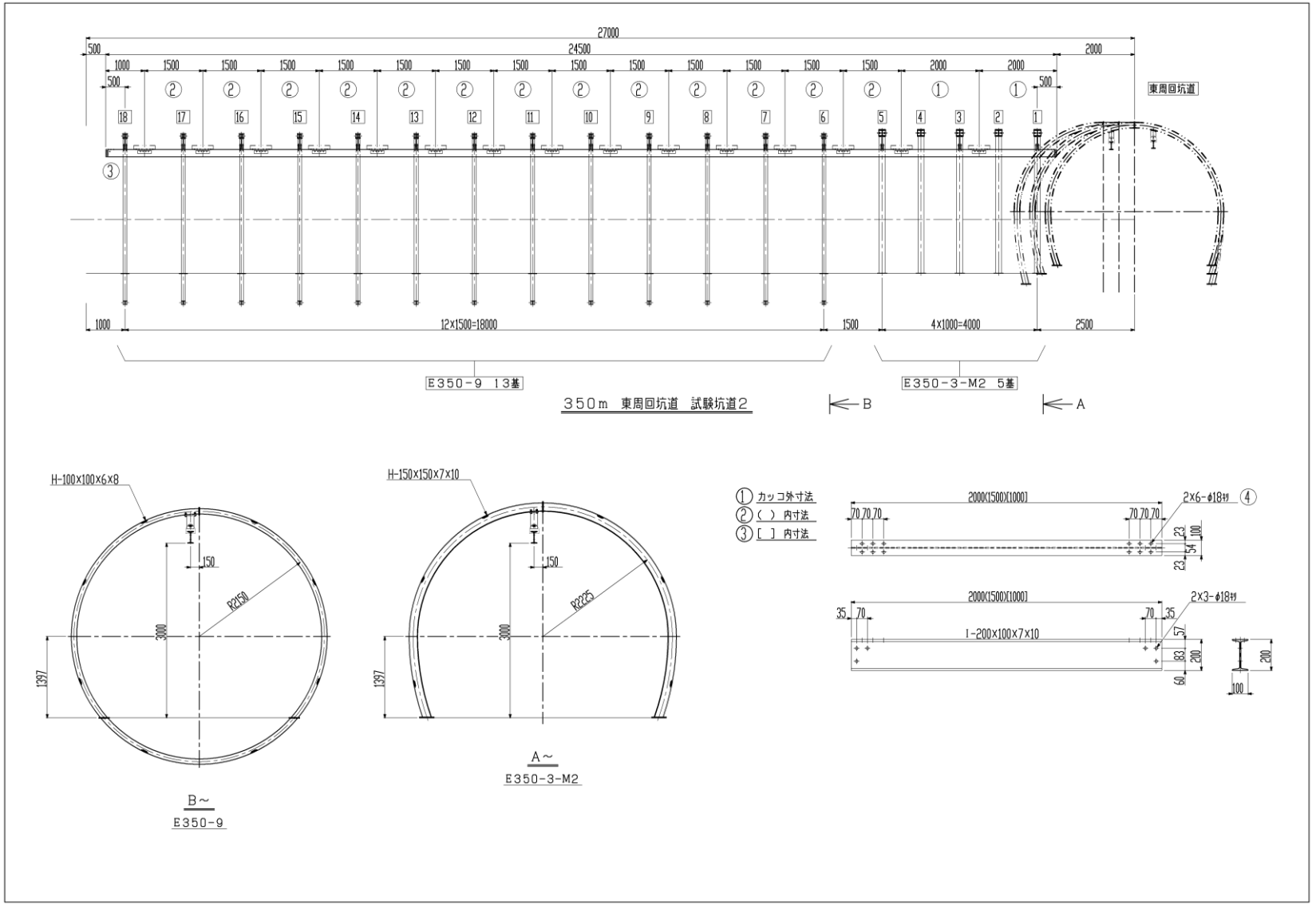


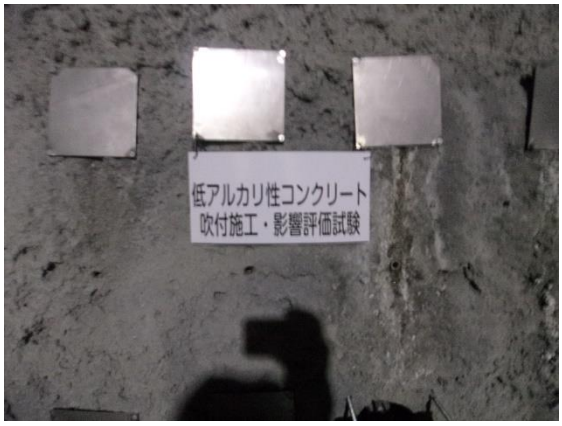
図 4.3-2　試験坑道 2 の構造概要図

(2) 試験坑道 2 周辺の観測装置

現在、試験坑道 2 周辺に設置されている観測装置とその設置位置について以下に示す。また、現在の設置状況と移設への評価結果を表 4.3-2 に示す。

①切羽位置　　：低アルカリ性コンクリート　吹付施工影響評価試験用の装置
②16 リング付近　　：採水装置
③試験坑道 2 横　　：水平坑道掘削影響試験　水圧・水質モニタリング用の装置

表 4.3-2　試験坑道 2 周辺の既設観測装置について

該当位置・既往設置装置名・移設への評価	設置状況
【切羽位置】 低アルカリ性コンクリート吹付施工影響評価試験用の装置 【移設の必要性】 延伸坑道部に位置するため、移設する必要がある。	
【16 リング付近】 採水装置 【移設の必要性】 組立台コンクリートに干渉するため、移設または、養生する必要がある。	
【試験坑道 2 横】 水平坑道掘削影響試験　水圧・水質モニタリング用の採水装置 【移設の必要性】 工事に影響しないため、移設不要。	

(3) 試験坑道 2 の岩級区分

試験坑道 2 の岩盤の状況は、試験坑道 2 と平行し、坑壁から 0.6m離れた位置のボーリングコア（図 4.3.4-3 中の 13-350-C06 孔）の観察結果（図 4.3.4-4 参照）[2]より、試験坑道 2 の岩級区分は CM-H（Hr）が主であることがわかる。一方、切羽付近から延伸する部分は CM-M（Hr）が主である。これより、延伸部の岩盤の状況は現在の試験坑道 2 の岩盤よりも強度が低いことがわかった。なお、岩級区分、および各岩級区分と岩盤物性値の関係は後掲の表 4.3.4-6、または表 4.3.5-5 に示す。これは、「幌延深地層研究計画における地下施設の支保設計（実施設計）／JAEA-Research2008-2009」[3]に掲載されたもので、以下、既設支保工実施設計と呼ぶ。

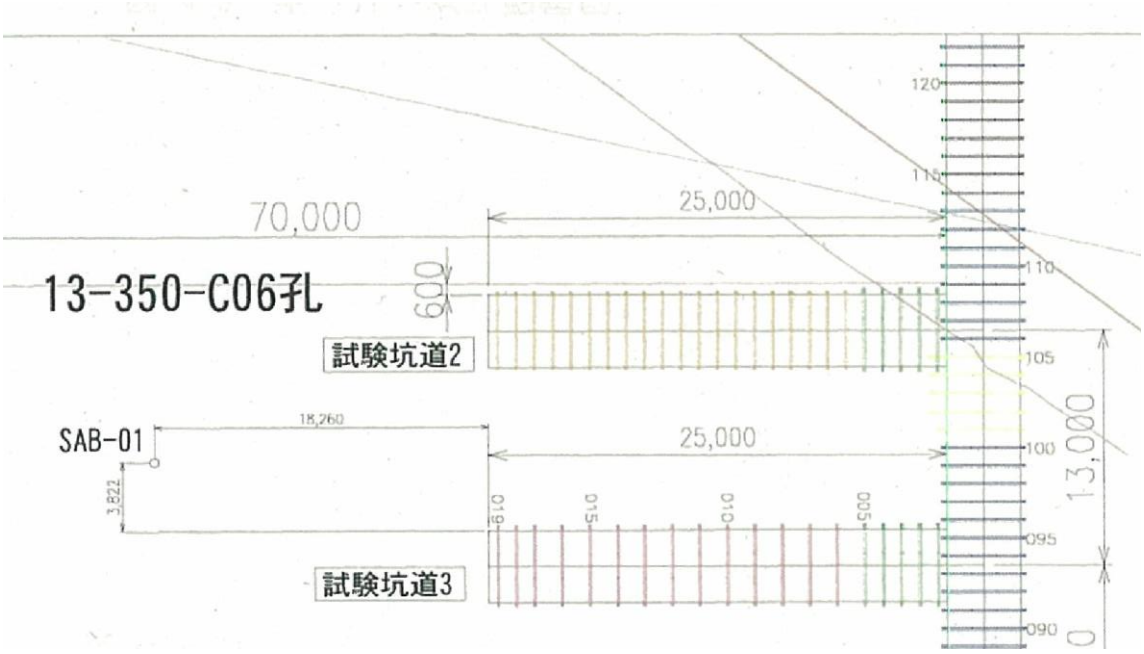


図 4.3.4-3　ボーリングコア採取位置

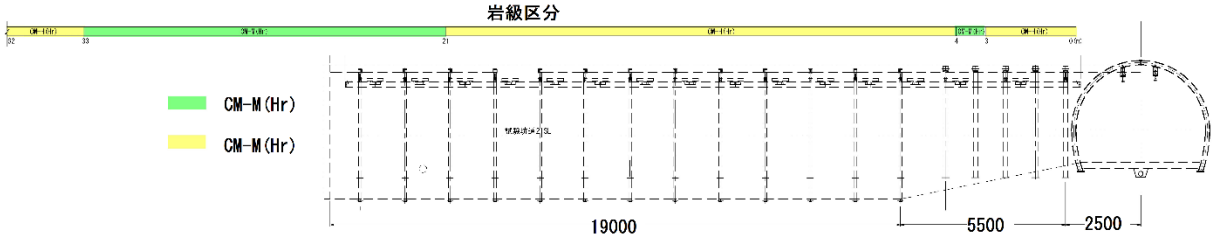
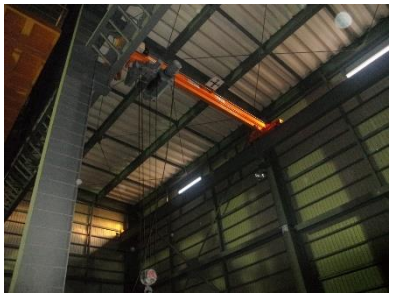


図 4.3.4-4　試験坑道 2 及び延伸部分の岩級区分

(4) 既往楊重設備の仕様

搬送定置装置を東立坑から試験坑道 2 に搬出入する際に使用する、既往の楊重設備を表 4.3.4-2 に示す。

表 4.3.4-2　搬出入経路にある既往楊重設備

No	経路	許容吊荷重	設備の状況
1	作業車両からの荷卸し	2.8t	
2	荷卸し箇所から東立坑上部	－	
3	東立坑上部から周回坑道	9.7t	
4	周回坑道内	4.0t	
5	試験坑道 2 内	2.0t	

(5) 試験坑道 2 における PEM 設置時の応力

1) 解析目的

PEM を試験坑道 2 に設置した場合における、既設支保工への影響を確認することを目的とした。

2) 岩盤及び支保工のモデル化

岩盤及び支保工のモデル化は弾完全塑性モデルを採用した。解析次元については、PEM の荷重をトンネル軸方向に配分する手法等が二次元では明確になっていないため、三次元で解析した。また、支保工のモデル化は対称性を勘案し、断面形状の 1/2 をモデル化し、ロックボルトは安全側を考慮し、モデル化しなかった。

解析コードは、ITASCA 社製「FLAC3D Version 5.1」を採用した。

3) 解析用物性値

①初期応力

水平方向初期応力の異方性は、σ_v：σ_{max}：σ_{min}＝1.0：1.3：0.9 とし、深度 350m の初期応力を表 4.3.4-3 に示す。応力比は東西方向 1.3、南北方向 0.9、試験坑道 2 の坑道軸は東西方向であることから試験坑道 2 の解析に採用する側圧係数は 0.9 とした。

表 4.3.4-3 深度 350m の初期応力

深度 m	鉛直応力 Sv kN/m²	東西方向 S_{max} kN/m²	南北方向 S_{min} kN/m²
350	5359.1	S_v×1.3（6966.8）	S_v×0.9（4823.2）

②岩盤物性値

試験孔区間の岩級区分は、図 4.3.4-4 より CM-H（Hr）であった。解析に使用する物性値は、表 4.3.4-4 に示す既設支保工実施設計を参考に以下とした。参考までに、表 4.3.4-6 に既設支保工実施設計用岩盤物性値の表を示す。

表 4.3.4-4 解析用岩盤物性値

岩級区分	ヤング率 MPa	ポアソン比	粘着力 MPa	内部摩擦角 deg.	引張強度 MPa
CM-M （Hr）	1,350	0.186	1.6	25	0.30

表 4.3.4-6　既設支保工実施設計用岩盤物性値（CM-H（Hr））[3]

岩層名	岩級区分	岩盤物性値					低減係数*	
		単重 γ kN/m³	ポアソン比 ν	変形 E MPa	強度 c MPa	強度 φ °	変形特性	強度特性
声問層	D	14.8	0.3	8.3	0.1	24.1	−	
	CL−L	15.1	0.164	300	0.5	15	0.23	
	CL−L(Hr)			300	0.5		1.00	1.00
	CL−M			500	0.8		0.38	
	CL−M(Hr)			450	0.6		0.90	0.80
	CL−H			1,300	2.2		1.00	
	CL−H(Hr)			1,040	1.5		0.80	0.70
稚内層	CM−L	18.5	0.186	500	1.0	25	0.20	
	CM−L(Hr)			500	1.0		1.00	1.00
	CM−M			1,500	3.1		0.60	
	CM−M(Hr)			1,350	1.6		0.90	0.50
	CM−H			2,500	5.2		1.00	
	CM−H(Hr)			2,000	1.6		0.80	0.30

*上段割れ目による低減係数、下段ヘアークラックによる低減係数

③支保工物性値

表 4.3.4-6 に鋼製支保工と吹付けコンクリートの物性値を示す。なお、鋼製支保工はビーム要素、吹付けコンクリートはソリッド要素でモデル化した。

表 4.3.4-6　支保工物性値[3]

規格・仕様	高強度 f'_{ck}=36N/mm² t=15cm	従来型 H 鋼 H-100@1.5m SS400
ヤング率（kN/mm²）	6	210
ポアソン比	0.2	0.3
断面積（m²）	-----	21.59×10^{-4}
断面二次モーメント（m⁴）	-----	378×10^{-8}
要素種別	ソリッド要素	ビーム要素
許容応力度（MPa）	9.0（長期） 27.7（短期）	160（長期） 400（短期）

4)　PEM 荷重

PEM の荷重が作用する部分の面積は 2.377m²（PEM 設置用の台座の面積とした）、重量は搬送装置荷重も考慮し 36t とした。作用位置については、最大で 3 リングの鋼製支保工に跨るが、安全側を考慮して鋼製支保工 2 リングで支持される場合を想定した（図 4.3.4-5 参照）。

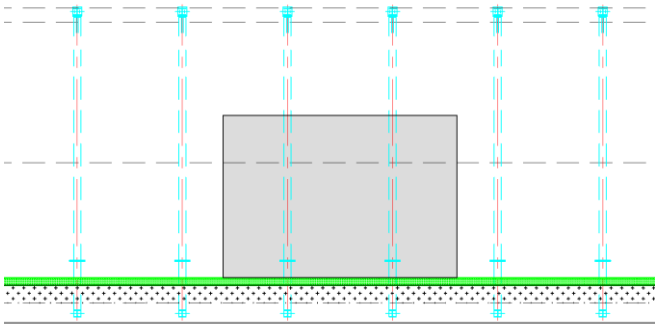


図 4.3.4-5　模擬 PEM 荷重が作用する位置（縦断イメージ）

5)　解析結果

吹付けコンクリートは図 4.3.4-6 に示す灰色の範囲、また、鋼製支保工は同図中の青色線の①（模擬 PEM の中心から 0.75m）及び②（模擬 PEM 中心から 2.25m、模擬 PEM が積載されていない位置）で検証する。

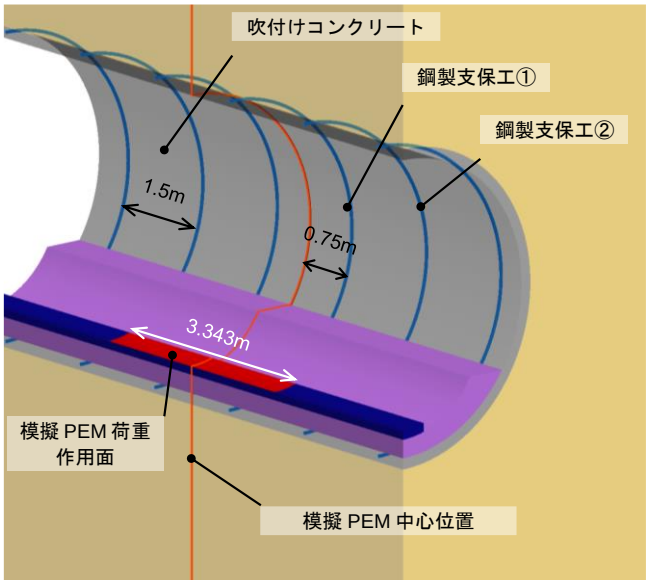


図 4.3.4-6　各部材の位置図

解析結果を表 4.3.4-7 に示す。表より、長期許容値を満足する結果が得られたことがわかる。また、図 4.3.4-7 に模擬 PEM 設置前と設置後における岩盤の塑性領域分布図を示す。図より、模擬 PEM を設置しても岩盤への影響はみられないことがわかった。

表 4.3.4-7　解析結果一覧

支保種別	最大発生応力 MPa	許容応力度　S MPa	塑性領域[最大幅] m
吹付けコンクリート t=15cm（f'_{ck}=36N/mm²）	5.69	9.0	0.5
鋼製支保工 HH-100@1.5m（SS400）	①：140.77 ②：140.84	160	

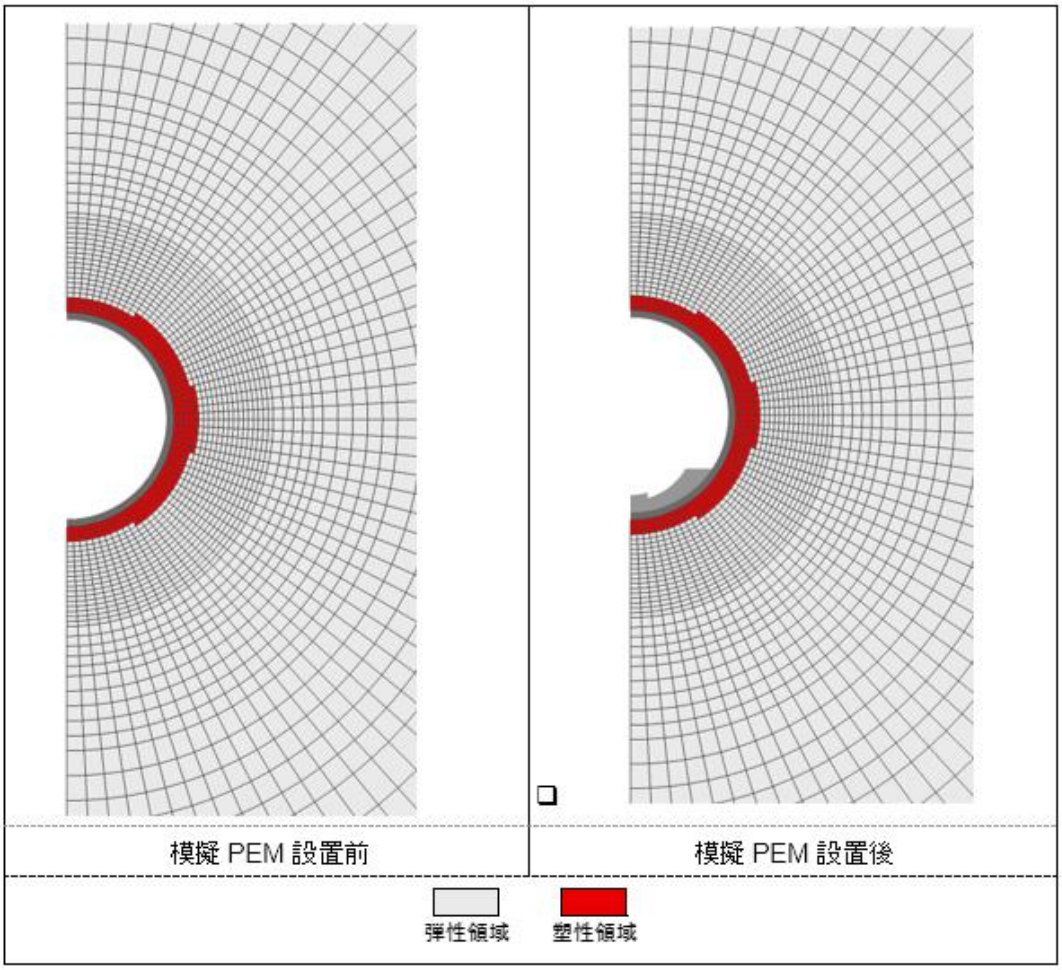


図 4.3.4-7　岩盤の塑性領域分布比較

6)　評価

今回実施した解析は、実際の施工手順を模擬したものである。解析ステップは、①試験坑道 2 を掘削、②組立台となる現場打ちコンクリートと台座の設置、③PEM を載荷の順とした。解析の結果、模擬 PEM 設置前と設置後における、試験坑道 2 の既設支保工（吹付けコンクリート、および鋼製支保工）に発生する最大応力に変化が見られなかった。

したがって、組立台の現場打ちコンクリート、等の施工時の品質管理を適切に実施することにより、模擬 PEM 設置による既設支保工への影響を防止可能と判断した。

4.3.5　坑道設計

(1) 試験坑道 2 配置計画

1) 用語の定義

今後、坑道内の設備等の用語を以下に定義した。

・試験孔

試験坑道 2 の新規掘削区間であり、搬送定置装置、等の実証試験場所を示す。

・試験孔架台

試験孔内における搬送定置装置の架台。

・組立台

搬送定置装置や PEM を試験坑道 2 内で組立る際の架台。

・作業台

搬送定置装置の操作等に必要な制御盤、操作卓、電源供給設備を設置する架台。

・台座コンクリート

PEM を定置する台で、搬送定置装置稼働用ガイドとしても使用する。試験孔架台と組立台の上部に設置する台。

2) 制約条件

試験孔及び各種架台の仕様は、搬送定置装置の実証試験を行う際の要求水準を満足させるとともに、施工上の制約を踏まえて検討する必要がある。下記に制約条件を示す。

a 搬送定置装置の寸法及び重量

表 4.3.5-1 に、検討した搬送定置装置の概略寸法の一覧表、図 4.3.5-1 に機器構成図を示す。

表 4.3.5-1　搬送定置装置　概略寸法表

No.	機器名称	分割単位	数量	幅(mm)	長さ(mm)	高さ(mm)	設置場所
①	定置装置	支持台	2	800	4500	200	組立台
		制御部	1	2000	1000	1500	
②	搬送装置	搬送台車	1	1900	4000	500	組立台
		コンプレッサー	2	1700	900	1500	
		エアタンク	1	1700	500	1500	
③	制御盤		1	1800	500	1500	作業台
④	操作卓		1	700	1300	1000	作業台
⑤	電源供給設備		1	700	1000	200	作業台

注記１：　本寸法は概略検討結果であり、今後変更する可能性がある。

注記２：　重量は全て 2ton 以下とする。

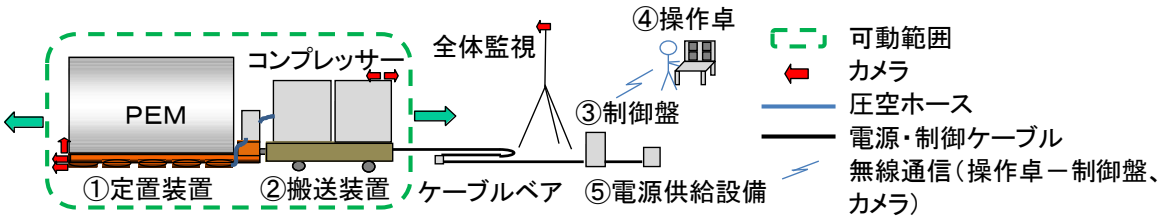


図 4.3.5-1　搬送定置装置　機器構成図

b　配置計画上の制約条件

全体の配置計画を検討する際の制約条件を表 4.3.5-2 に示す。

表 4.3.5-2　制約条件リスト

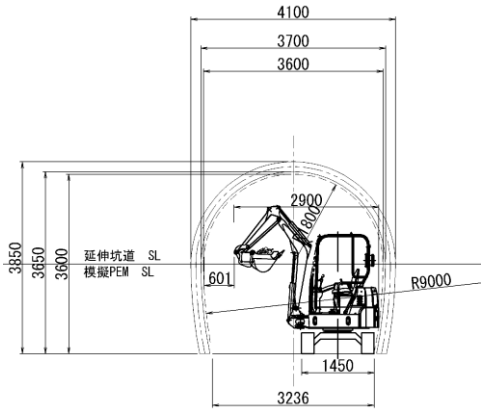
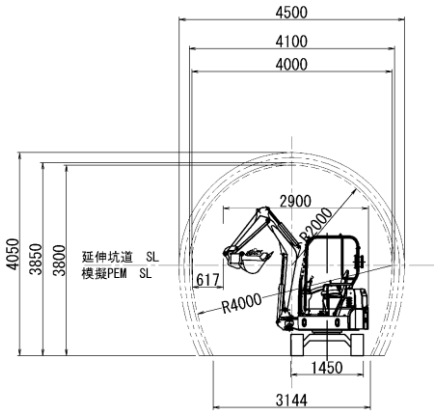
場所	種別	制約条件	備考
試験孔	断面形状	形状：馬蹄断面 支保工内寸法：3600mm 以上 インバート幅：3200mm 程度 掘削機バケットと支保工との離隔：600mm 以上	円形断面の築造は施工難のため馬蹄断面とし、幅と高さは掘削機作業の最小寸法とする
	変形余裕量	50mm	他の幌延坑道同様
	延長	10m	搬送定置装置 4.5m+運搬装置 4.0m+連結部 0.5m＋余裕＝10m
	縦断形状	天端高は試験坑道 2 天端高以下	メタンガスの滞留を考慮
	試験坑道 2 との段差	試験坑道 2 入口部の斜路勾配（約 10°）まで許容	
試験孔架台	断面形状	下弦 120° 範囲はφ2600mm	
	内面仕上げ	コンクリート仕上げ	
	縦断勾配	LEVEL	
組立台	断面形状	下弦 120° 範囲はφ2600mm	
	延長	15m	PEM3.3m+定置装置 4.5m+運搬装置 4.0m+連結部 0.5m＋作業スペース＝15m
	躯体厚	250mm 以下	PEM 天端から I ビーム下端までの離隔を 900mm 程度以上確保する要求に従うと最大 250mm まで
	内面仕上げ	コンクリート仕上げ	
	縦断勾配	LEVEL	
作業台	平場形状	幅：2400mm 以上 長：5000mm 以上	
	天端高	周回坑道の天端高に合せる	
	ケーブル格納スペース	幅：900mm 以上 高：661mm 以上	
台座コンクリート	形状	幅：700mm 高：110mm 長：25m	幅と高さは地上実証試験と同様 長さは試験孔延長＋組立台延長
PEM	形状	φ2316mm、L=3343mm	試験坑道 2 内での PEM 組立方法の検討は本業務の対象外
	重量	33.4t	

3)　試験孔断面形状の検討

a　試験孔の断面形状の設定

試験孔断面の形状は、①試験孔架台を収容するに必要なスペースを確保すること、②予定掘削機での施工が可能であること、③支保工解析が成立することを踏まえ、表 4.3.5-3 に示した 2 種類を設定した。

表 4.3.5-3　試験孔断面形状の検討

	CASE1	CASE2
概要図		
断面 根拠	・トンネルの幅と高さは掘削機の作業半径から設定。 ・上半 R は作業半径より 1800mm、下半 R はインバート幅 3.2m 程度を確保できる R9000mm で設定。	・掘削機バケットと支保工との離隔を 600mm 以上を確保すること、インバート幅を 3.2m 程度を確保。 ・上半 R と下半 R の関係は他坑道を参考に下半 R＝上半 2R。
断面 概要	・馬蹄形断面を呈しているが、上半 R に対して下半 R が大きく、SL 下の支保工が直壁に近い形状になる。 ・鋼製支保工の曲げ半径が 1800mm と小さく、曲げ加工可能な鋼材規格の最大が H150 までとなる。	・R4000mm 程度のため、試験坑道 2 の断面形状に近似する。 ・上半 R と下半 R の関係は他坑道と同様である。 ・他坑道で使用している HH154（高規格材）と同一形状になるため、適用可能な鋼製支保工仕様は CASE1 に比べ選択肢が広がる。
支保工 仕様	・支保工諸元の上限値である吹付コン 36N/mm²、鋼製支保工 H150 で解析した結果、NG となる。	・支保工諸元の上限値である吹付コン 36N/mm²、鋼製支保工 HH154 で OK となる。
解析 結果	吹付けコンクリート（36N/mm²、20cm） 許容値内	吹付けコンクリート（36N/mm²、20cm） 許容値内
	鋼製支保工（H-150@1.0m） 許容値超過	鋼製支保工（HH-154@1.5m） 許容値内
施工 判定	×	○
評価	・SL 下の支保工形状が鉛直になっていることが影響し、適用可能な支保工を選定できないため、断面形状を見直す必要があった。	・断面寸法は CASE1 より大きいが、SL 下の支保工形状が円弧に近いことが好影響し、支保工を選定することができた。 ・断面寸法は試験坑道 2 の直径と同じになった。

b　支保工の設定

①岩盤及び支保工のモデル化

岩盤及び支保工のモデル化は、既設支保工実施設計[3]の考え方を参考に、岩盤の応力－ひずみ関係は弾完全塑性モデルを採用し、二次元平面ひずみで解析した。モデル化にあたり、岩盤及び吹付けコンクリートは平面ひずみ要素、鋼製支保工はビーム要素とし、ロックボルトについては、既設支保工実施設計[3]と同様、数値解析では安全側を考慮してモデル化しないこととした。使用解析コードは，ITASCA 社製「FLAC3D Version 5.1」を採用した。

②解析領域

解析領域は、断面形状の 1/2 をモデル化し断面半径の 5 倍を確保した。また、境界条件における対称軸は水平方向のみ固定、それ以外は全方向固定とした。

③解析用物性値

初期応力は表 4.3.4-3 と同様とした。岩盤物性値は表 4.3.5-4 に示す通り CM-M（Hr）とした。参考までに、表 4.3.4-6 に既設支保工実施設計用岩盤物性値[3]一覧表を示す。

表 4.3.5-4　解析用岩盤物性値

岩級区分	ヤング率 MPa	ポアソン比	粘着力 MPa	内部摩擦角 deg.	引張強度 MPa
CM-M（Hr）	1,350	0.186	1.6	25	0.50

表 4.3.5-5　既設支保工実施設計用岩盤物性値（CM-M（Hr））[3]

岩層名	岩級区分	岩盤物性値					低減係数*	
		単重 γ kN/m^3	ポアソン比 ν	変形 E MPa	強度 c MPa	強度 ϕ °	変形特性	強度特性
声問層	D	14.8	0.3	8.3	0.1	24.1	－	
	CL-L	15.1	0.164	300	0.5	15	0.23	
	CL-L(Hr)			300	0.5		1.00	1.00
	CL-M			500	0.8		0.38	
	CL-M(Hr)			450	0.6		0.90	0.80
	CL-H			1,300	2.2		1.00	
	CL-H(Hr)			1,040	1.5		0.80	0.70
稚内層	CM-L	18.5	0.186	500	1.0	25	0.20	
	CM-L(Hr)			500	1.0		1.00	1.00
	CM-M			1,500	3.1		0.60	
	CM-M(Hr)			1,350	1.6		0.90	0.50
	CM-H			2,500	5.2		1.00	
	CM-H(Hr)			2,000	1.6		0.80	0.30

*上段割れ目による低減係数、下段ヘアークラックによる低減係数

③支保工物性値

吹付けコンクリートと鋼製支保工の物性値は既設支保工実施設計[3]より表 4.3.4-6 と表 4.3.5-7 に示すとおりとした。鋼製支保工はビーム要素、吹付けコンクリートはソリッド要素でモデル化した。許容応力度は、吹付けコンクリートについては無筋の場合とし、吹付けコンクリートおよび鋼製支保工のどちらも長期の許容応力度を採用した。

表 4.3.5-6　吹付けコンクリートの物性値

規格・仕様	高強度 f'_{ck}=36N/mm² t=20cm～
ヤング率（kN/mm²）	6
ポアソン比	0.2
要素種別	ソリッド要素
許容応力度（MPa）	9.0

表 4.3.5-7　鋼製支保工の物性値

規格・仕様	従来型 H 鋼 H-150 SS400	高規格 H 鋼 HH-154 HT590
ヤング率（kN/mm²）	210	
ポアソン比	0.3	
断面積（m²）	39.65×10^{-4}	47.19×10^{-4}
断面二次モーメント（m⁴）	$1{,}620\times10^{-8}$	$2{,}000\times10^{-8}$
要素種別	ビーム要素	
許容応力度（MPa）	160	236

④解析ステップ

解析ステップを表 4.3.5-8 に示す。なお、掘削解放率は三次元解析により求めた地山特性曲線より求めた。

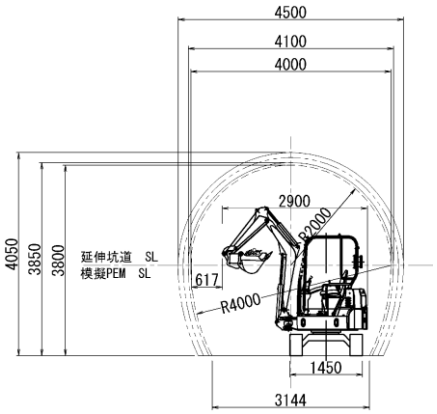
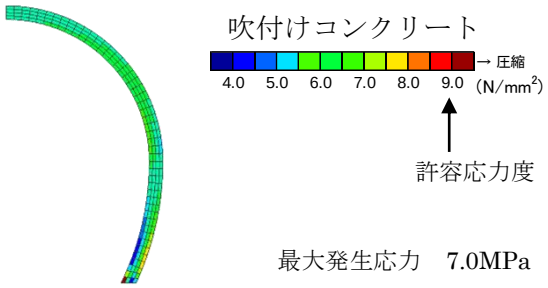
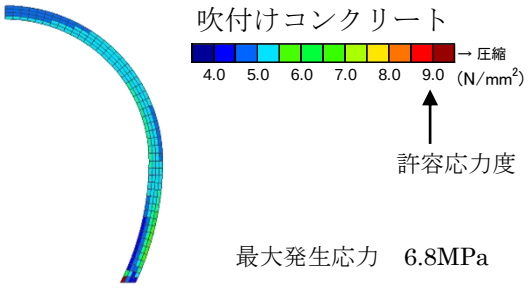
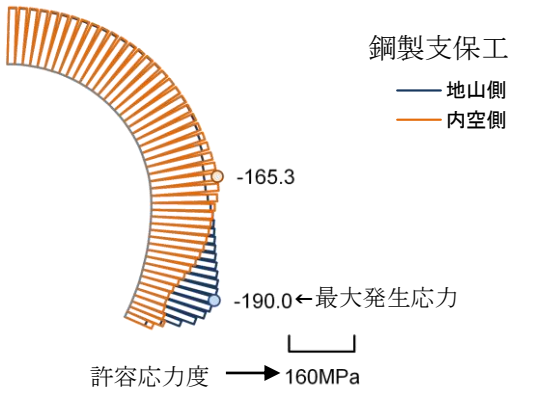
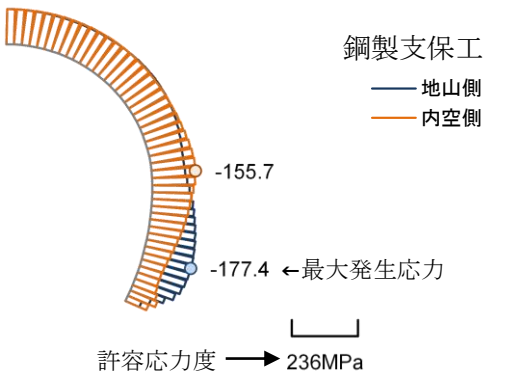
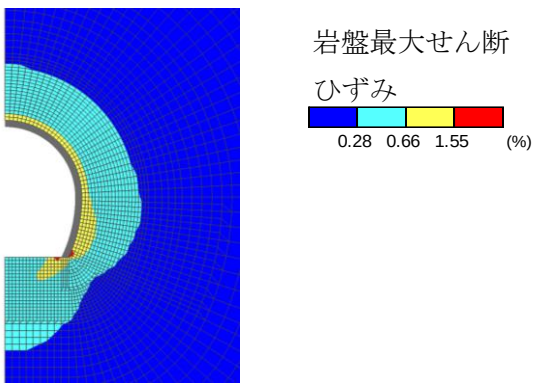
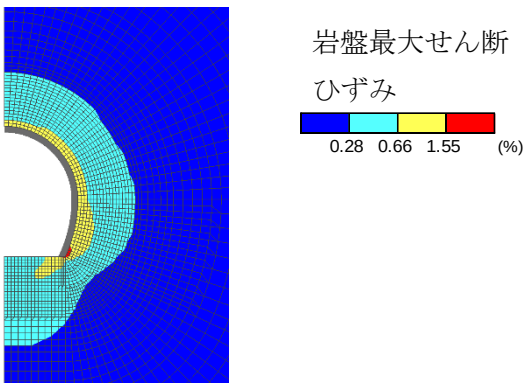
表 4.3.5-8　解析ステップ

ステップ	施工	掘削解放率
1	全断面掘削［支保設置直前まで］	α=76.172%
2	支保工（吹付け、鋼製支保工）設置	α=100%

⑤解析結果

解析結果を示した表 4.3.5-9 よりわかるように、施工時の支保工は、両支保工の解析が成立する CASE2-2 のケース、すなわち吹付けコンクリートは高強度（f'ck=36N/mm²）厚さ 20cm、鋼製支保工は高規格（HT590）HH-154 とした。

表 4.3.5-9　解析結果と評価

	CASE2-1	CASE2-2（表 4.3.5-3 の CASE2 と同じ）
断面形状と支保工仕様		
	吹付けコンクリート　36N/mm²　t＝20cm 鋼製支保工　H-150（SS400） 打設：1.0m ピッチ	吹付けコンクリート　36N/mm²　t＝20cm 鋼製支保工　HH-154（HT590） 打設：1.5m ピッチ
解析結果		
		
		
	×	○

4) 配置計画

前項に示す制約条件の下、決定した坑道内の配置計画を図 4.3.5-2 に示す。

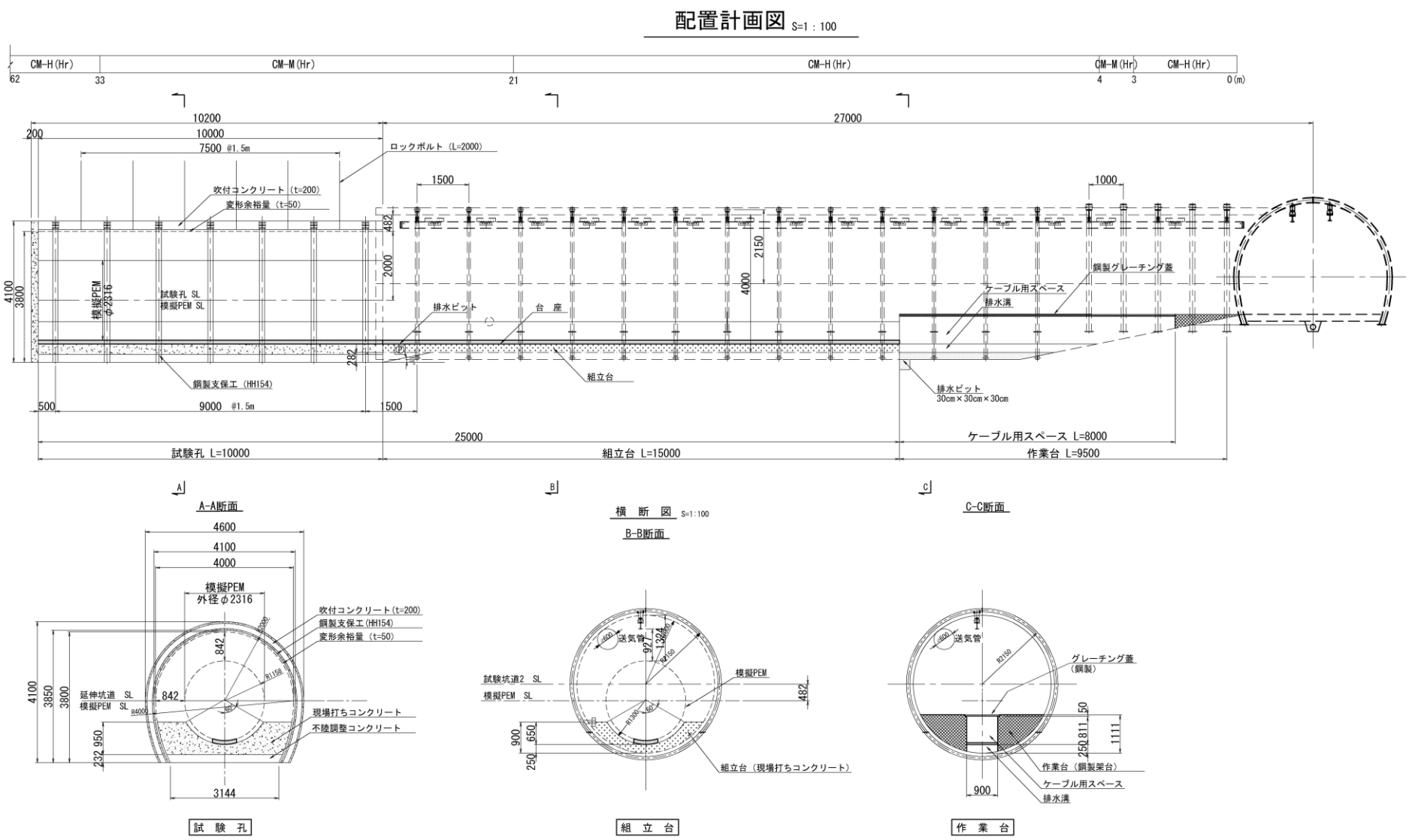


図 4.3.5-2　試験坑道 2 内配置計画

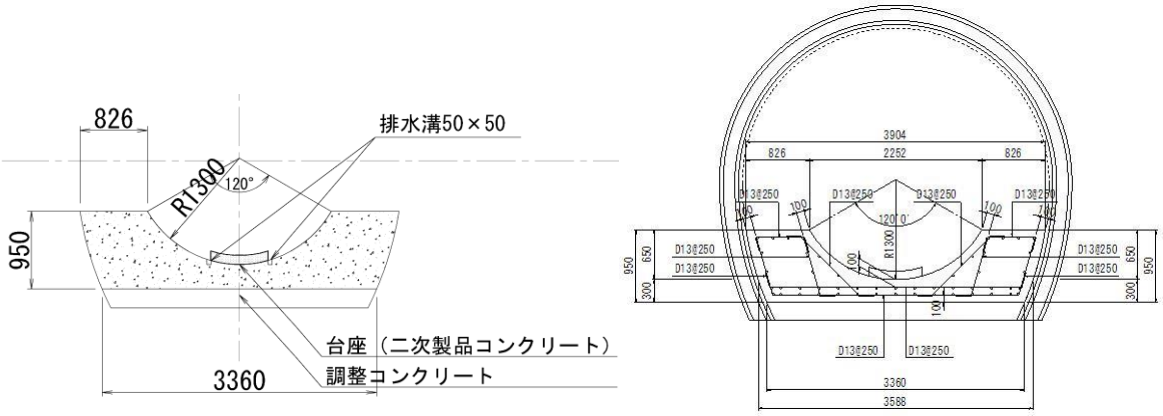
(2) 各設備等の仕様

1) 試験孔架台の仕様

試験孔架台の仕様を以下に列挙する。

・搬送定置装置の走行面の形状は R1300mm とし、円弧範囲は下弦 120° とした。
・試験孔架台上に設置する台座コンクリートの横に排水溝を設置する。排水先は試験孔と組立台との間に位置する排水ピットとした。
・載荷荷重は PEM（33.4t）荷重に定置装置（約 2t）を加えた 36t とした。

図 4.3.5-3 に試験孔の架台構造図と配筋図を示す。



（a）構造図　　（b）配筋図

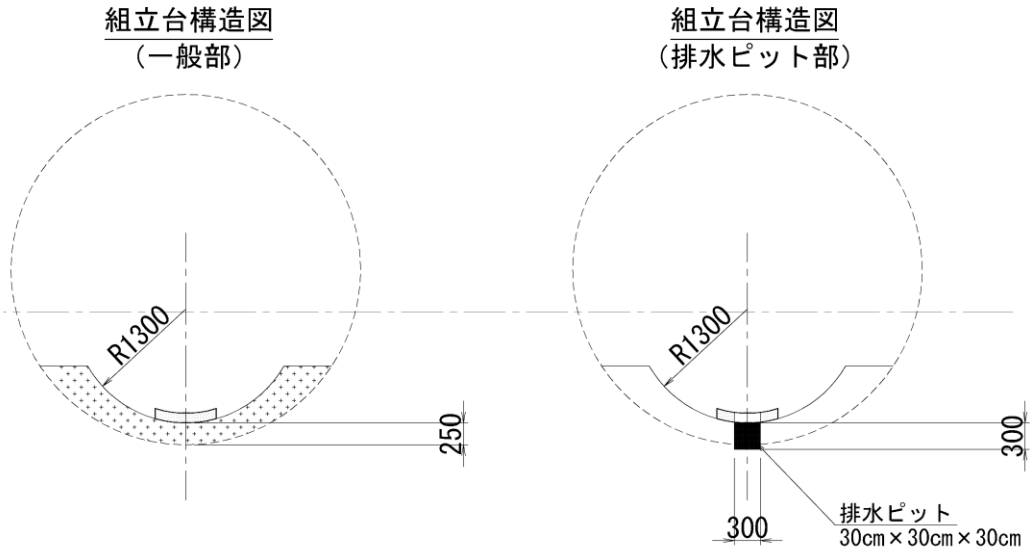
図 4.3.5-3　試験孔架台構造図と配筋要領図

2) 組立台の仕様

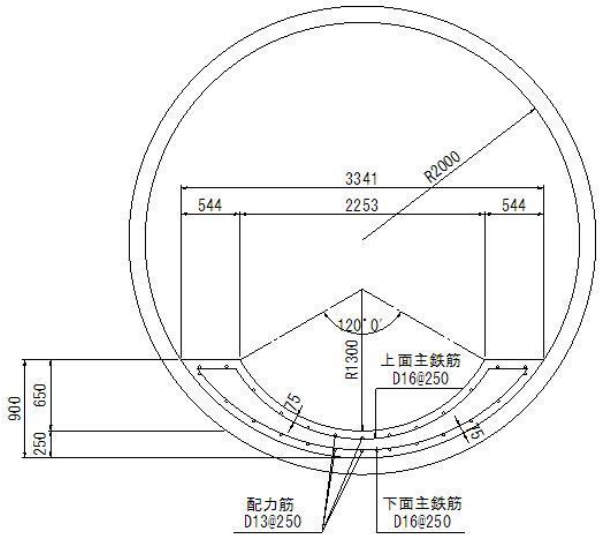
組立台の仕様を以下に列挙する。

・円弧面の形状は、試験孔架台との連続性を確保する必要があるため、試験孔架台同様、形状は R1300mm とし、円弧範囲は下弦 120° とした。
・坑道内での釜場排水を考慮し、排水ピットを設ける。排水ピット形状は最小サイズとし、一般的な 30cm とした。

図 4.3.5-4 に組立て台の架台構造図と配筋図を示す。



（a）構造図



（b）配筋図

図 4.3.5-4　組立台構造図と配筋図

3)　作業台の仕様

作業台の仕様を以下に列挙する。

・作業台の天端高は周回坑道の天端高に合せた（図 4.3.5-5 参照）。
・作業台の材質は、コンクリート製または鋼材が考えられる。撤去時のはつり手間や現況復旧の容易性を考慮し、鋼材形式を採用した（図 4.3.5-6 参照）。

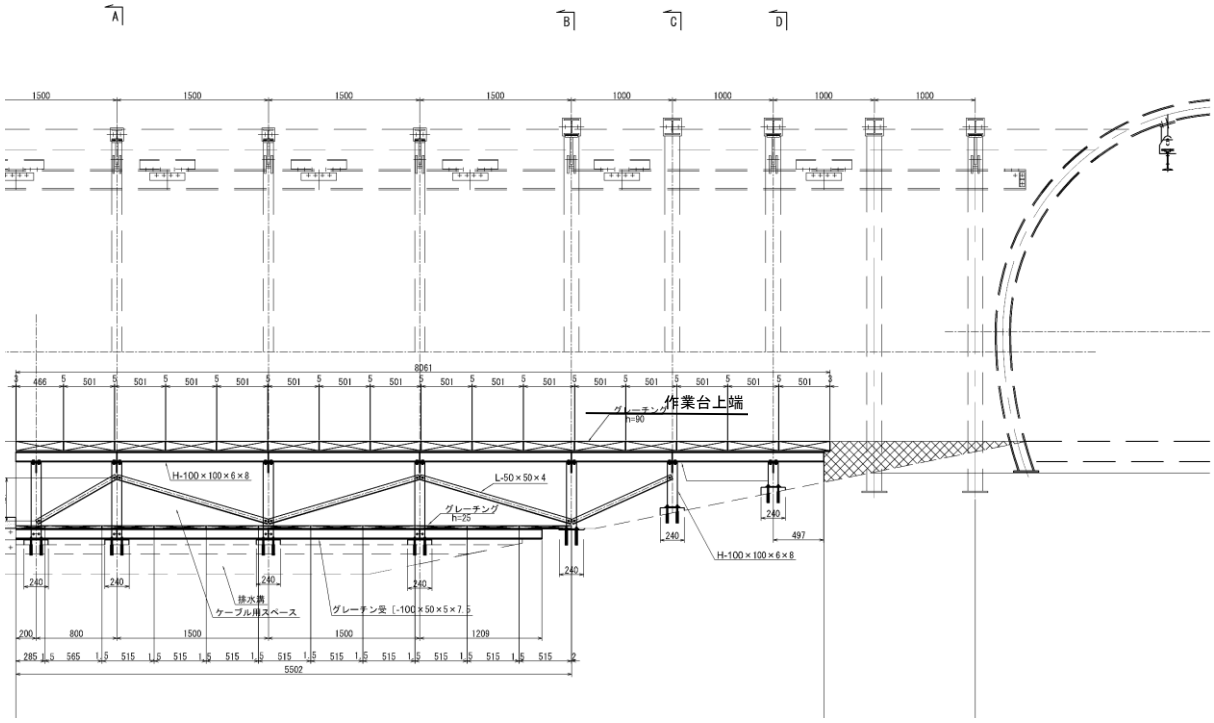


図 4.3.5-5　周回坑道と作業台の天端高

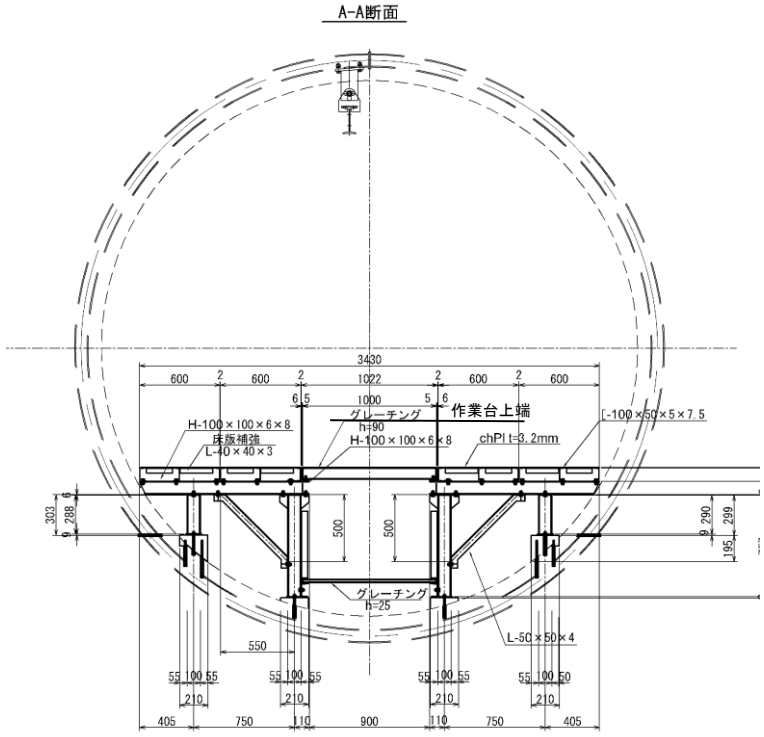


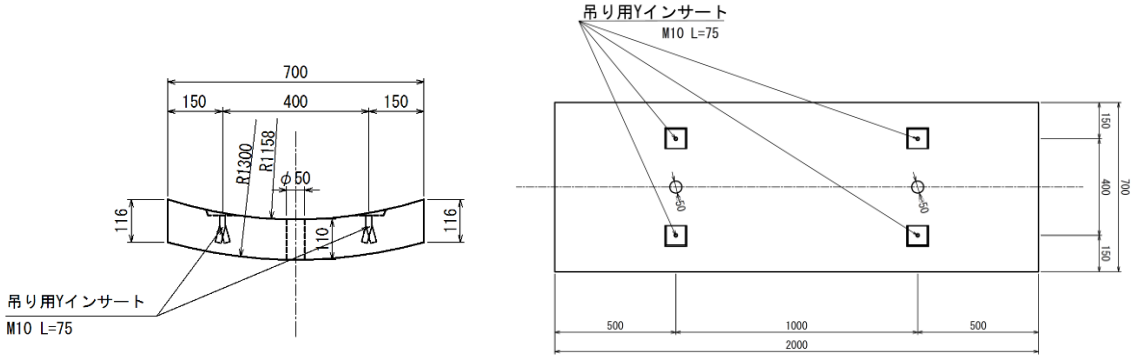
図 4.3.5-6　作業台構造図

4)　台座コンクリートの仕様

台座コンクリートの仕様を以下に列挙する。

・台座コンクリートの断面形状が薄い円弧状になるため、現場打ちでは施工できないと判断し、二次製品を使用することとした。

図 4.3.5-7 に台座コンクリートの構造図を示す。



（a）断面図　　（b）平面図

図 4.3.5-7　台座コンクリートの構造図

5)　台座配置方法

台座コンクリートの配置方法を以下に記す。また、図 4.3.5-8 に組立台内の台座コンクリート配置図を示す。

・台座コンクリートの延長は、試験孔架台（10m）と組立台（15m）の計 25m である。25m を一体で試験坑道 2 まで搬出入することは出来ないため、分割することとした。
・分割後の寸法は、立坑部の資機材搬入口寸法が最小である φ2500mm を水平に吊りながら通過させることを考慮し、単品延長を 2m とした。なお、全長 25m のため、単品延長 1m ものを 1 か所用いることとした。

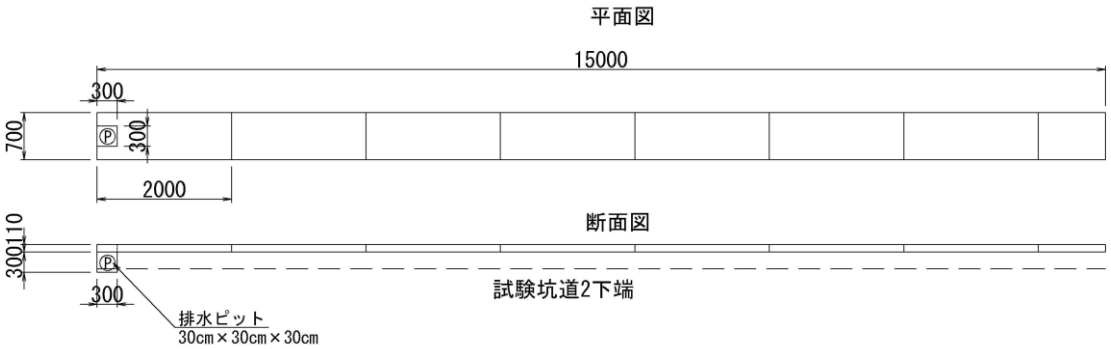


図 4.3.5-8　組立台内の台座コンクリート配置図

6) 試験孔架台、組立台との接続方法

新規試験孔架台や組立台の現場打ちコンクリートと 2 次製品との接続方法は、予め現場打ちコンクリート側にインサートを設置し、二次製品据付後、ボルト接続する方法が一般的である。今回、台座コンクリートの単品数が多いため、インサート開口位置と二次製品の開口位置がずれる可能性がある。そのため、図 4.3.5-9 に示すように、現場打ちコンクリート側にアンカー鉄筋を埋設しておくとともに、台座コンクリート側の接続開口部を広げ、接続時の施工精度を向上させることとした。

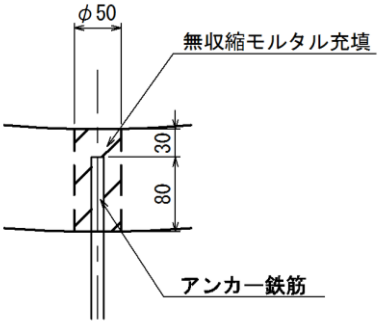


図 4.3.5-9　現場打ちコンクリートとの接続方法

4.3.6　施工計画

(1) 概要

1)　試験孔の掘削

一般に採用されている掘削工法には①全断面工法、②ベンチカット工法、③中壁分割工法、④導坑先進工法がある。掘削工法の選定では地山条件、切羽の安定性、掘削断面の形状と安定性、周辺に与える影響等を考慮する必要がある。

新規試験孔の掘削面積は約 15m² と小断面である。坑道断面積について、トンネル標準示方書[4]では 30m² 未満を「小断面」、30m² 以上を「中断面」、60m² 以上を「大断面」と位置づけている。

小断面区間の掘削工法は、上記掘削工法のうち全断面掘削が採用されることが多い。そのため、今回の施工では全断面掘削工法を採用する。試験坑道 2 掘削時は全断面掘削工法を採用している。

2)　施工設備

表 4.3.6-1 と表 4.3.6-2 に主要施工設備一覧を示す。

表 4.3.6-1　主要施工用設備

分類	名称	仕様	単位	数量	用途
掘削機械	小型バックホウ	電動防爆型　ZX35 0.11m³級	台	1	切羽掘削
		電動防爆型　EX20 0.066m³級	台	1	切羽掘削
コンクリートポンプ	160 40 8 ポンプ	圧送能力 1～10m³/h	台	1	吹付、現場打ちコンクリート
急結剤添加装置	150V	タンク容量 150ℓ	台	1	吹付
穿孔機械	削岩機	ロッド長 2m、3m	台	1	ガスチェック
切羽排水設備水中ポンプ		防爆型-3.7kw、1.5kW、0.4kW	台	各 2	台数は適宜増減有り
坑道内揚重設備	電動チェーンブロック	2t 吊	台	4	資機材運搬 I ビームに設置 最大設置予定台数
	トロリー	2t 吊	台	4	
	チェーンブロック	2t 吊	台	2	
換気設備	集塵機	90kw×2 連×2 台	台	1	坑道換気用
	主要ファン	80kw×2 連×2 台	台	1	
	吸気風管	φ600×2 系統	式	1	東立坑部φ1000 から分岐して吸気
	送気ファン	15kw	台	1	GL-140m から送気
	送気風管	Φ450	式	1	GL-140m から送気
	集塵用主要ファン	37kw×2 連	台	1	250m東連絡坑道から
	吸気風管	φ600×2 系統	式	1	250m東連絡坑道から
	送気ファン	5.5kw×2 連	台	1	350m東立坑ステージから坑底送気用
	送気風管	Φ450	式	1	350m東立坑ステージから坑底送気用

表 4.3.6-2　主要施工用設備（東立坑設備）

分類	名称	仕様	単位	数量	用途
櫓本体設備	櫓	h=23.250m（GL±0～トップシーブ中心）	基	1	
	ズリキブル転覆装置		基	1	
	櫓設備運転室		式	1	
櫓付帯設備	坑口移動台車	積載 8t	台	1	
	天井クレーン	2.8t	台	1	
	ジブクレーン	2.8t	台	1	
積込設備	積込機	0.35m³級	台	1	
スカフォード設備	スカフォード	10,200 kg 積載、3 床式	台	1	
昇降設備	人キブル	10 人乗（750kg 積載）	台	1	
	ガイドロープ緊張装置		基	1	
巻上機設備	人キブル巻上機	75kw、max100m/min	台	1	制御：インバータ
	ガイドロープ巻上機	7.5kw	台	2	制御：直入れ
	スカフォード巻上機	37kw、max10m/min	台	2	制御：スラスター　ワイヤー4 回掛けの為、スカフォード自体は max2.5m/min（下降速度は 3.1m/min）
	キブル巻上機	600kw、max180m/min	台	1	制御：インバータ

3)　施工数量

主要施工数量を表 4.3.6-3 に示す。

表 4.3.6-3　主要施工数量

区分	名称	仕様	単位	数量	備考
掘削工		延伸坑道	m	10	合計：161.25 m^3
鋼製支保工	延伸坑道	H154×151 （HT590）	基	7	
吹付コンクリート	HFSC （低アルカリセメント）	f'ck=36N/mm^2 繊維補強	m^3	26.9	3 次吹付け含
金網	溶接金網	150×150×Φ5	枚	56	3 次吹付け含
ドレーン管		φ150	m	25	
現場打ちコンクリート（組立台）		f'ck=24N/mm^2	m^3	10.8	L=15m
現場打ちコンクリート（試験孔）		f'ck=24N/mm^2	m^3	24.53	L=10m
台座コンクリート（2 次製品）		f'ck=30N/mm^2	m^3	1.9	L=24m
作業台	―	―	式	1	

4)　概略工程

表 4.3.6-4 に延伸坑道工事の概略工程を示す。

表 4.3.6-4　概略工程

	数量	単位	延月数（ヵ月）												備考
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
契約等	1.0 1.0	ヶ月 式	1.0ヶ月 契約等												
掘削準備工	2.5 1.0	ヶ月 式		2.5ヶ月 掘削準備工（荷受けステージ設置工、換気設備工、仮設電源工ほか）											
試験孔掘削工	2.1 1.0	ヶ月 式				2.1ヶ月 試験孔掘削工									
不陸調整 コンクリート工	0.4 1.0	ヶ月 式						0.4ヶ月 不陸調整コンクリート工							
覆工準備工	0.6 1.0	ヶ月 式							0.6ヶ月 覆工準備工						
覆工	1.6 1.0	ヶ月 式							1.6ヶ月 覆工						
組立台工	0.8 1.0	ヶ月 式									0.8ヶ月 組立台工				
作業台工、台座工	0.6 1.0	ヶ月 式										0.6ヶ月 作業台工、台座工			
撤去工	1.1 1.0	ヶ月 式										1.1ヶ月 撤去工			
報告書作成等	0.9 1.0	ヶ月 式											0.9ヶ月 報告書作成等		

(2) 施工手順

本工事の主要となる試験孔掘削と現場打ちコンクリート・組立台の施工手順を図 4.3.6-1 と図 4.3.6-2 に示す。なお、点線部は着色した作業の詳細手順を示している。

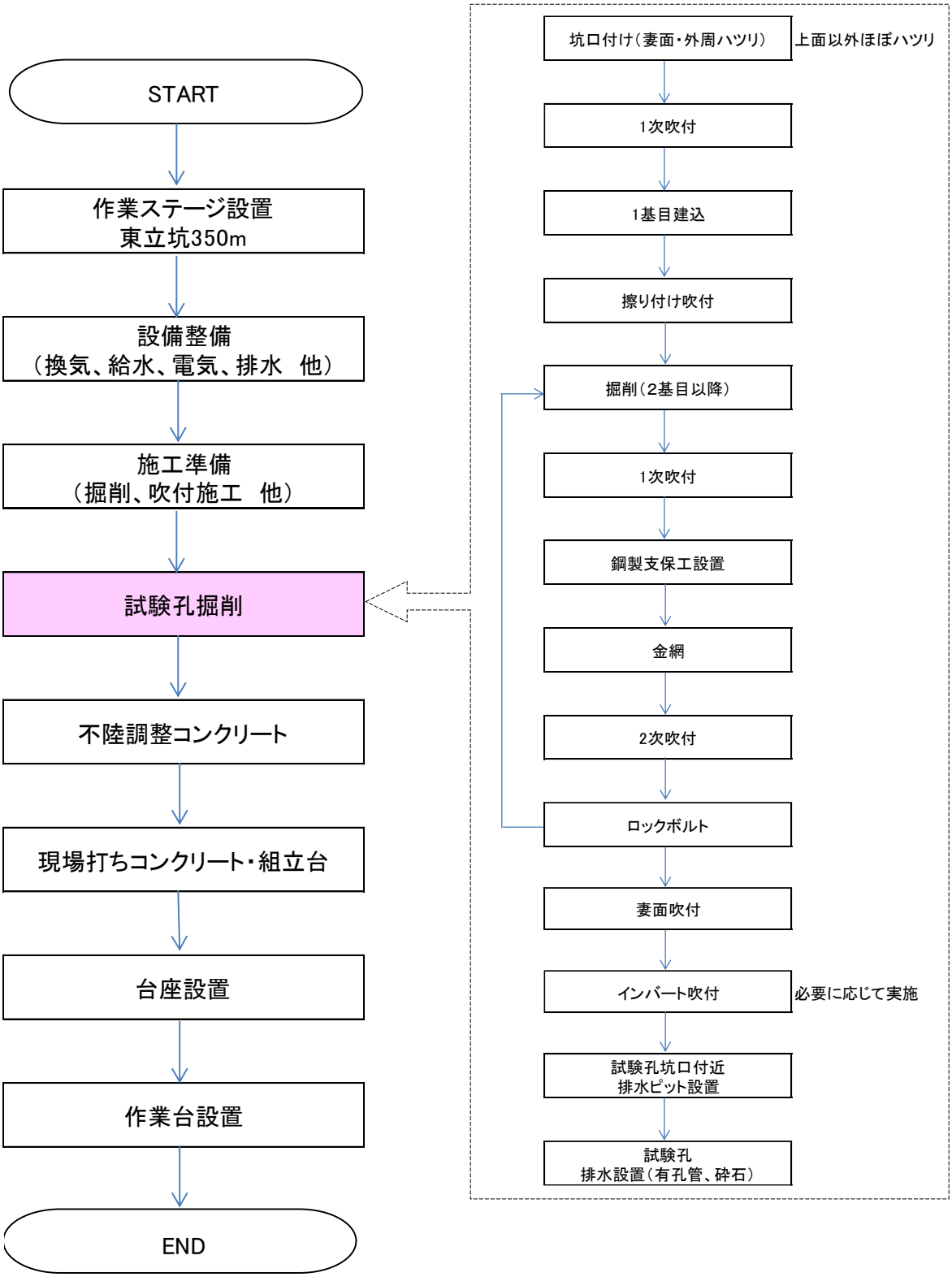


図 4.3.6-1　施工手順（試験孔掘削部）

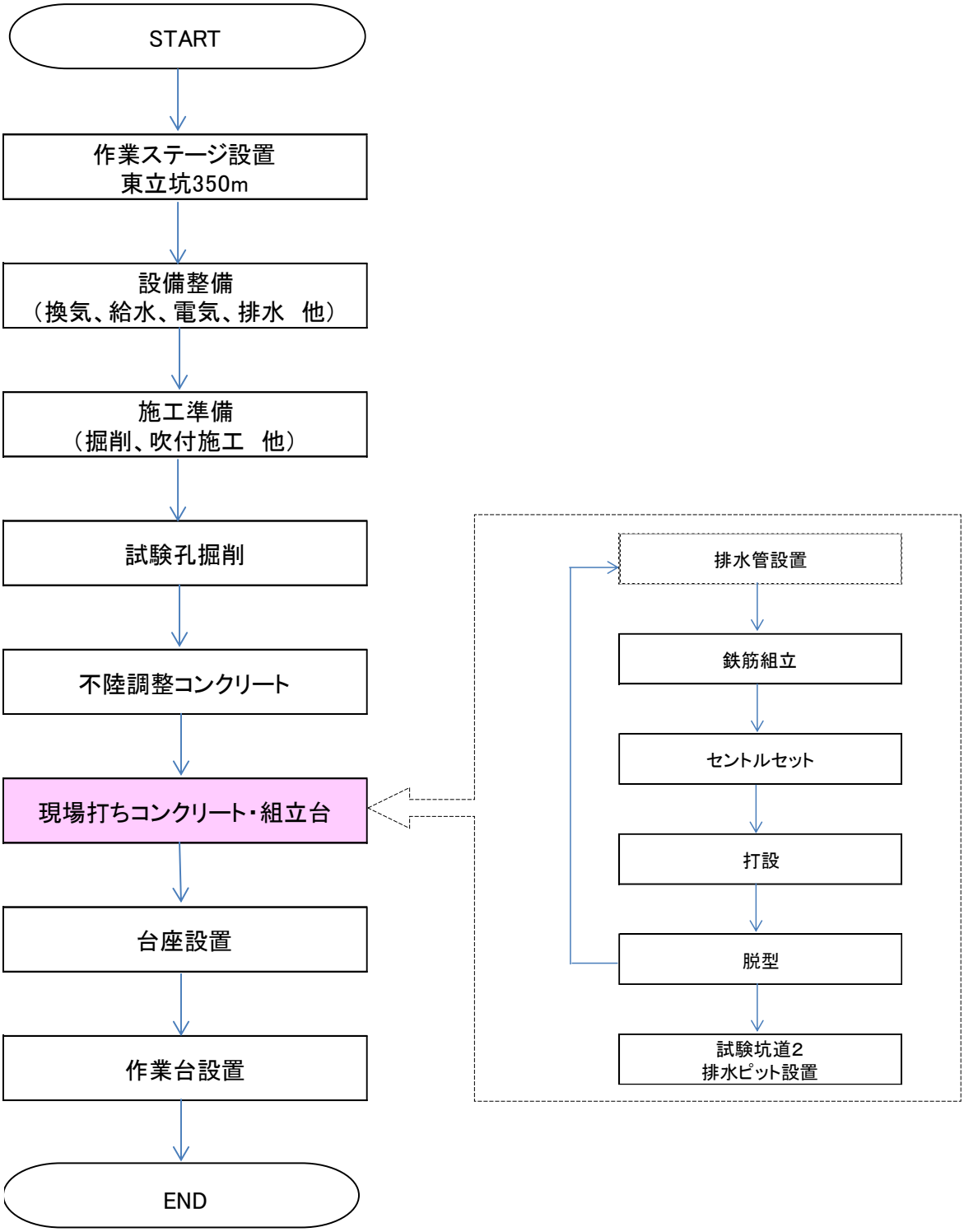


図 4.3.6-2　施工手順（現場打ちコンクリート・組立台）

図 4.3.6-3～図 4.3.6-9 に主な施工の次第図を示す。

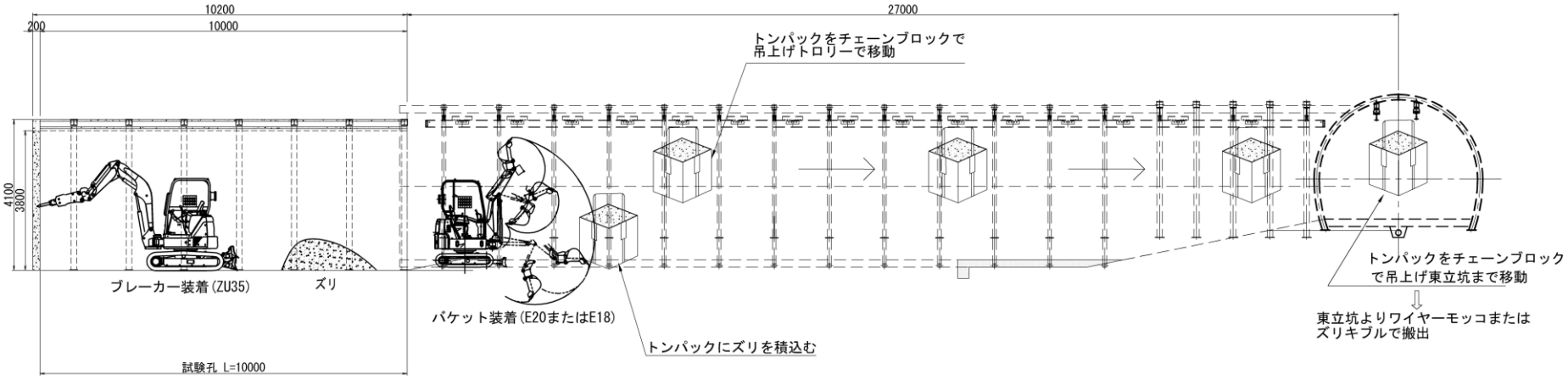


図 4.3.6-3　施工次第図（掘削・ずり出し）

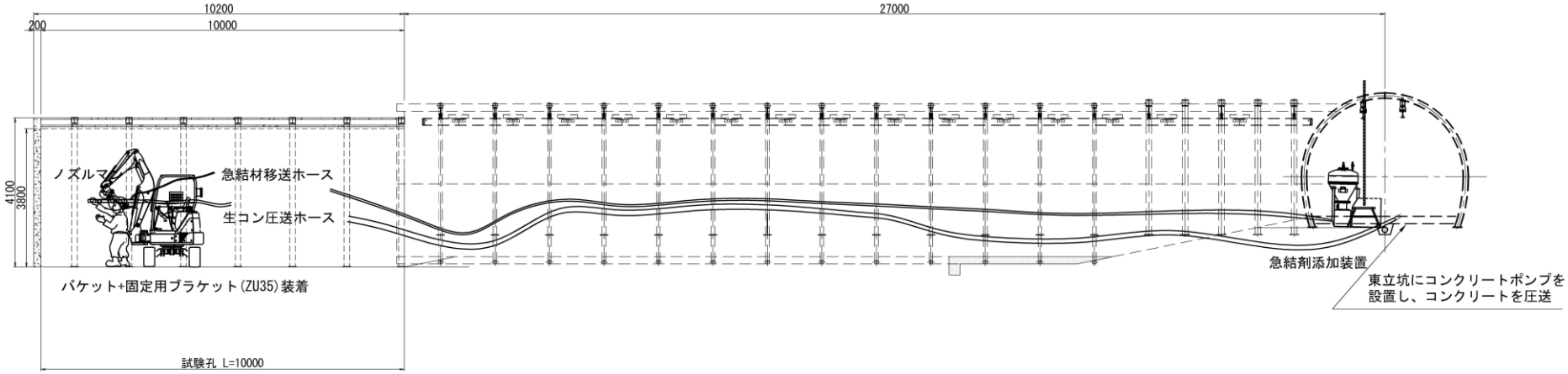


図 4.3.6-4　施工次第図（1 次吹付け）

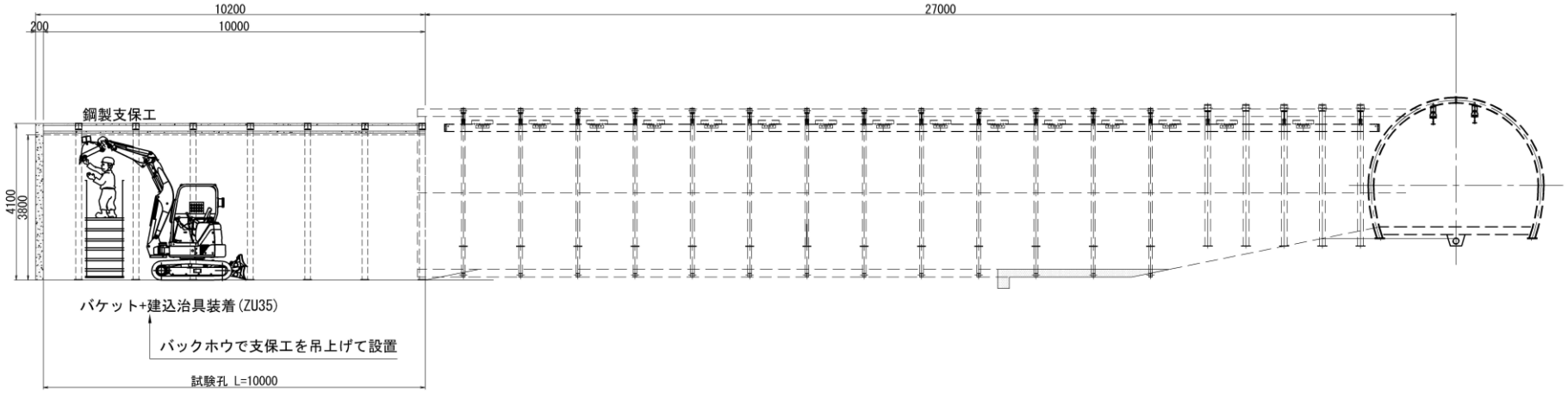


図 4.3.6-5　施工次第図（鋼製支保工設置）

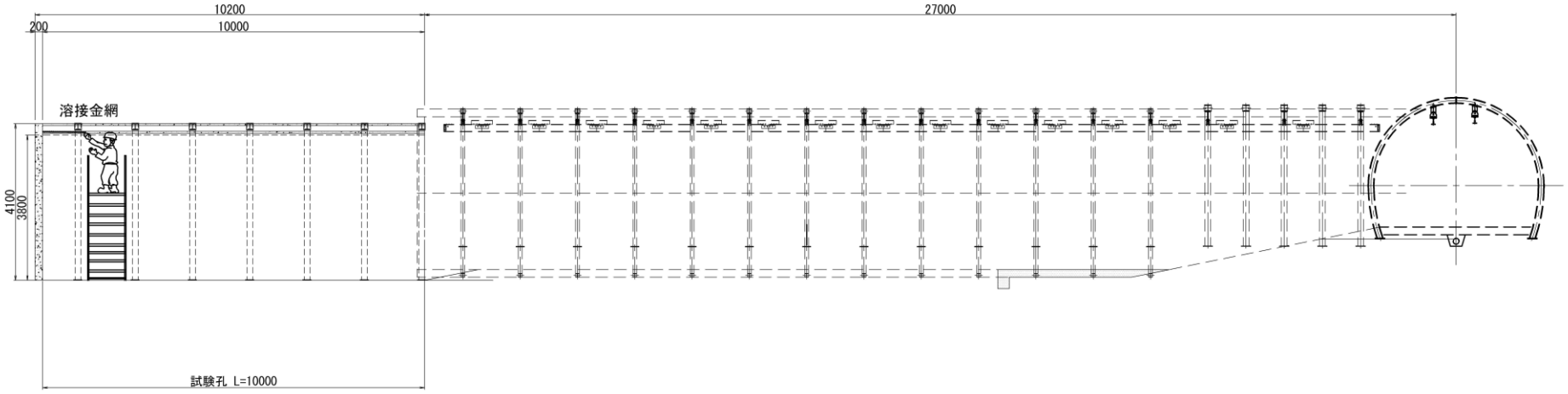


図 4.3.6-6　施工次第図（金網設置）

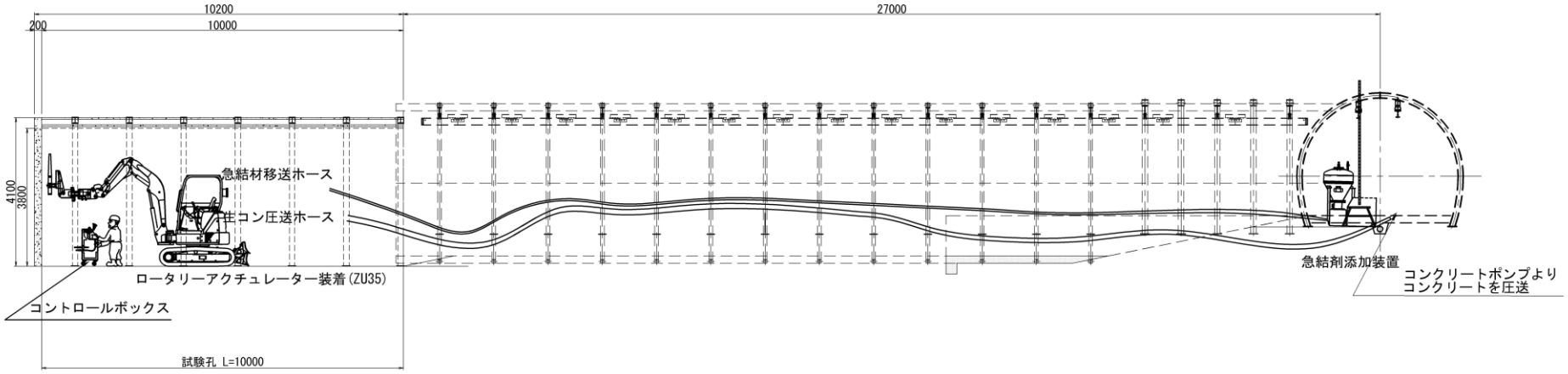


図 4.3.6-7　施工次第図（2 次吹付け）

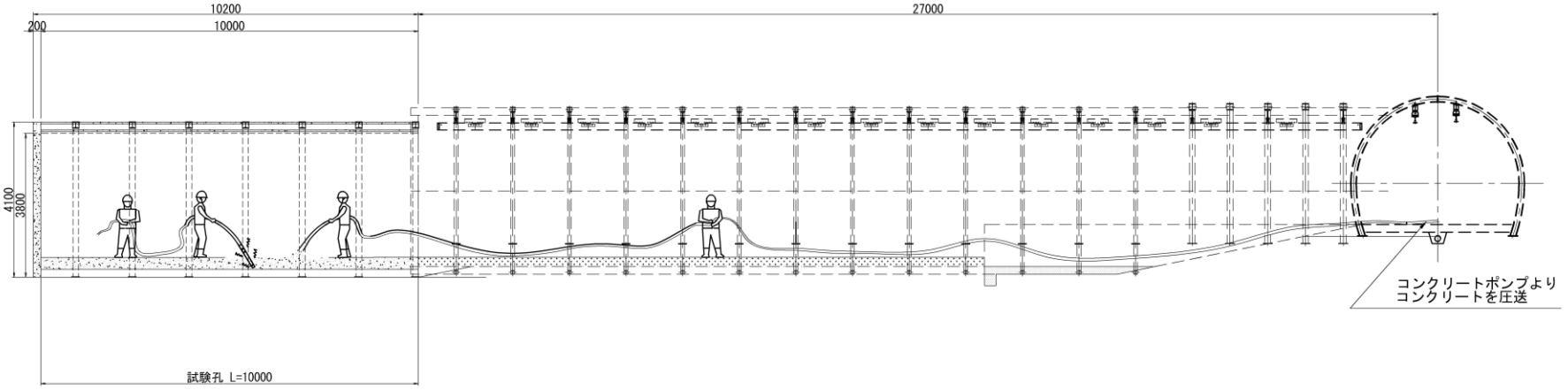


図 4.3.6-8　施工次第図（現場コンクリート打設）

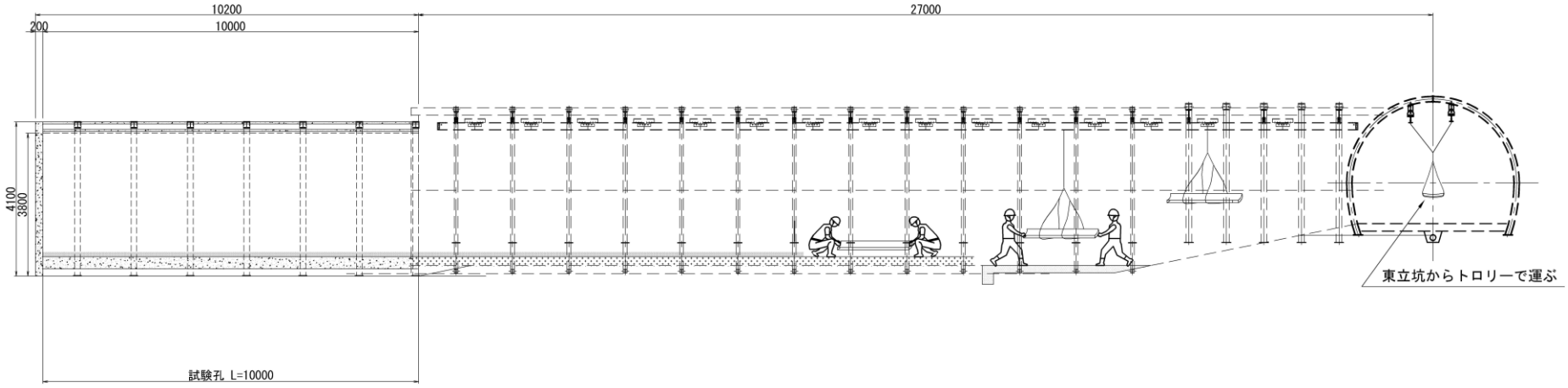


図 4.3.6-9　施工次第図（台座設置）

(3) 施工中の計測計画

1) 計測計画の基本方針

a 計測の目的

一般に、トンネル掘削工事における計測の目的は、掘削に伴い変化する切羽状態及び周辺地山の挙動と各支保部材の効果を把握し、設計の妥当性を検証するとともに、工事の安全性及び経済性を確認することである。すなわち、施工中に切羽の状況や既施工区間の支保部材、周辺地山及び近接構造物の安全性を確認すると同時に、調査段階で予期できなかった要因を抽出し、観察・計測結果にもとづき、トンネル現場の実情に合った設計に修正して、経済的なトンネルを構築することが計測の目的である。

b 計測項目一覧

計測項目を表 4.3.6-5 に示す。日常管理計測（A 計測）として切羽観察調査及び内空変位・天端沈下計測を実施する。

表 4.3.6-5 計測項目一覧表

計測	項目	計測位置	実施時期・頻度
日常管理計測 A 計測	切羽観察調査	切羽	掘削終了後・毎切羽
	内空変位計測, 天端沈下計測	新規 1 断面 既設 1 断面	1 回/1 切羽掘削 （収束するまで）

c 計測結果の活用

計測結果は、周辺地山と支保の挙動を把握し、管理基準に基づく評価を行い、安全性確保と地山条件に適合した合理的な設計・施工へと反映させる必要がある。

観察・計測結果のうち、最初に実施する切羽観察は、その結果に基づいて地山評価を行い、切羽の安全性評価や未施工区間の支保選定内容の確認に用いる。続いて、内空変位・天端沈下計測結果は切羽観察結果と併せて整理、検討し、トンネル周辺地山の安定性及び支保の妥当性等について評価・判断する。

観察・計測結果を施工の安全性および支保の妥当性検証の手順を以下に示す。

①管理基準の設定
②施工に伴う観察・計測の実施
③観察・計測結果に基づく最終状態の予測
④計測値・予測値と管理基準値の対比
⑤当初設計・施工の妥当性検証
⑥必要に応じて管理基準等の見直し

参考として、一般的なトンネルにおける観察・計測の位置付けと役割に関するフロー

例を図 4.3.6-10 に示す。

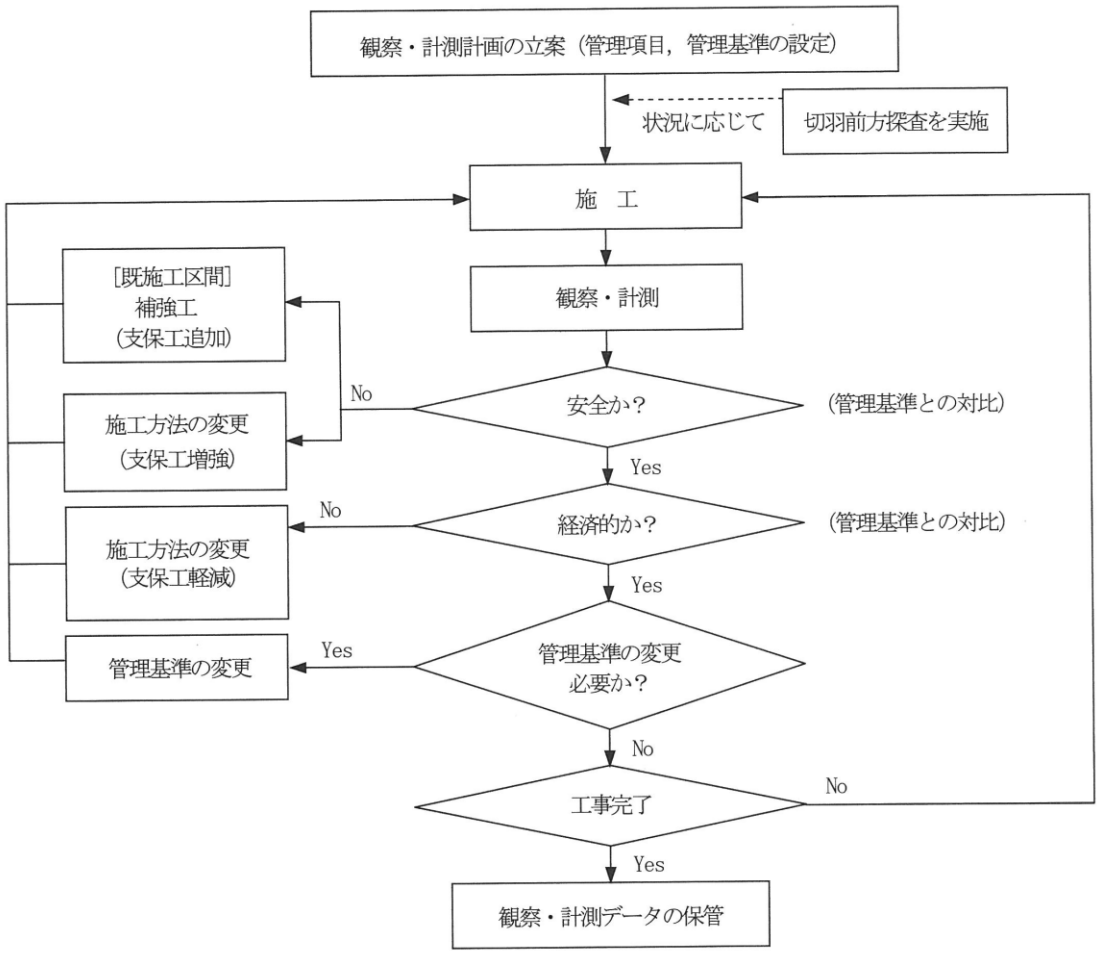


図 4.3.6-10　観察・計測の位置付けと役割[4]

2)　切羽観察調査

a　実施内容

地下構造物の施工においては、掘削に伴って変化する壁面状態、周辺地山の挙動、各支保部材の挙動を把握すること、すなわち構造物の安全性を把握し、設計の妥当性を検証するために切羽観察や計測を実施する必要がある。

このうち、切羽観察調査の結果は、切羽スケッチ等の所見を必要に応じて地山評価シートに残し、施工上問題となる事項についてはその都度、変化状況を記録する。

3)　内空変位計測・天端沈下計測

本工事では、内空変位計測及び天端沈下計測を試験坑道 2 の既掘削区間内にて 1 断面、新規掘削区間内にて 1 断面の 2 断面で実施する。

a　計測位置

350m 坑道にて内空変位計測及び天端沈下計測を実施する位置を図 4.3.6-11（赤色矢印↓の位置）に示す。試験坑道 2 の既掘削区間の計測断面は、日本原子力研究開発機構幌延深地層研究計画（Ⅱ期）等事業にて計測を実施した断面を使用する。なお、黒色の矢印で示した箇所は幌延深地層研究計画（Ⅱ期）等事業における計測断面である。

内空変位計測及び天端沈下計測の計測断面と概要を図 4.3.6-12 に示す。

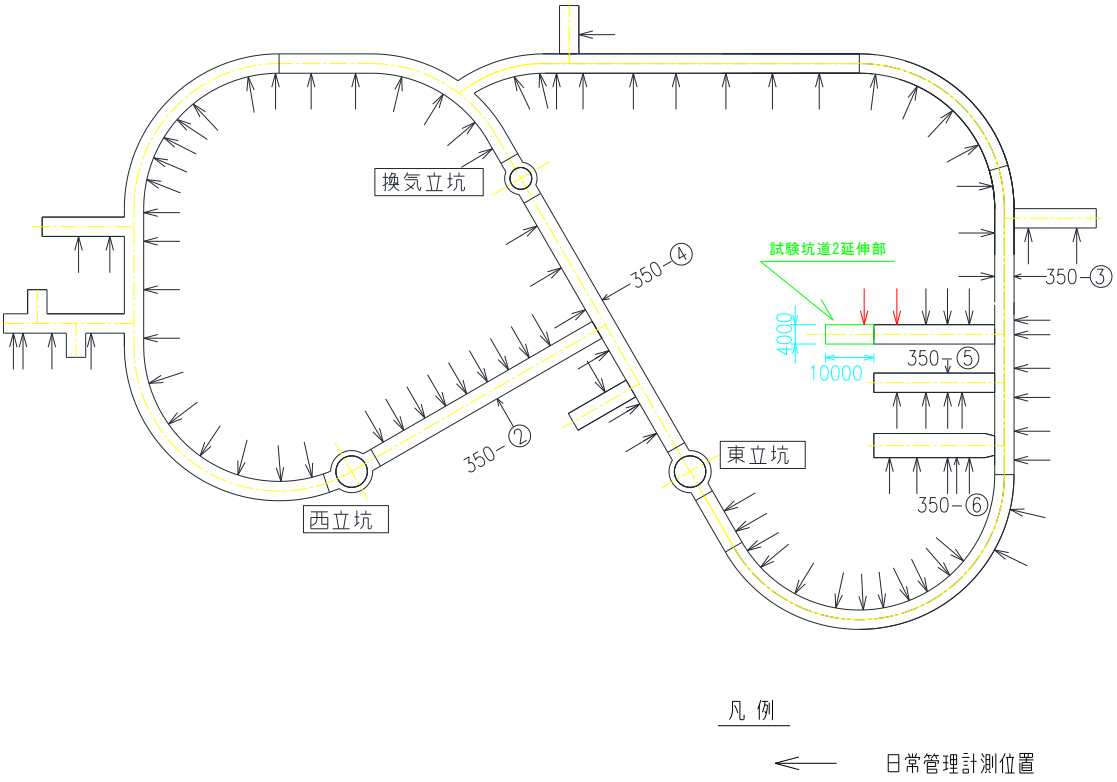
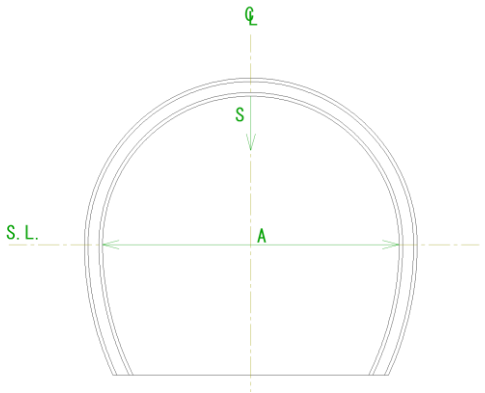


図 4.3.6-11　350m 坑道 A 計測実施予定箇所



(a) 測定断面

(b) 測定概要

項目	記号	単位
壁面観察調査		
内空変位測定	A	測線
天端沈下測定	S	測点

図 4.3.6-12　計測断面と測定概要

b　計測頻度

計測頻度を表 4.3.6-6 の通り設定する。計測の終了判断は内空変位測定に基づいて実施する。なお、変位速度が「10mm／1 切羽掘進」以上を超える場合には、計測頻度を上げることを検討する。

表 4.3.6-6　内空変位測定頻度（切羽）

測定方法	測定位置と 切羽の離れ	頻度
コンバージェンス メジャー	0～収束するまで	1 回／1 切羽掘進

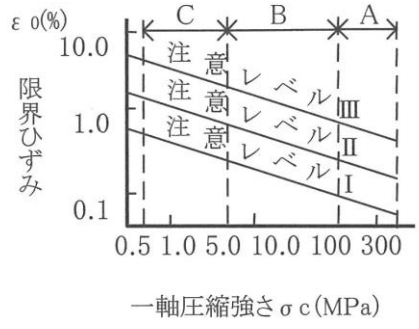
計測期間は原則として施工中における変位の収束が確認できるまで、もしくは掘削工事が終了するまでとする。収束の判定は計測変位量が 3 回程度連続してほぼ同値であることを確認した場合を基本とする。

c　管理基準値

内空変位に関する管理基準値は、過去の類似事例等に基づいて設定する方法、FEM 解析結果等により設定する方法及び限界ひずみ法により設定する方法などがある。これらのうち、本掘削工事においては，限界ひずみ法に基づいて管理基準値を設定する。

限界ひずみによる方法とは、トンネル掘削により生じる地山変位の測定結果から地山のひずみを算定し、それを地山の限界ひずみと比較することによって地山状況を評価するものである。図 4.3.6-13 に天端沈下に対する管理基準値の設定例を示す。

幌延深地層研究センター地下深度 350m の試験坑道 2 延伸箇所の地質としては、一軸圧縮強度が約 25MPa の稚内層（堆積泥岩）が分布している。図 4.3.6-13 に示した一軸圧縮強度と限界ひずみの関係図から一軸圧縮強度 25MPa に対する限界ひずみを読み取った結果と限界ひずみに対する内空変位の値を表 4.3.6-7 に示す。ここで、限界ひずみに対する内空変位の値は、トンネル掘削によって生じる全変位に相当するものである。



天端沈下の管理基準値(トンネル半径:5.00m)

(単位:mm)

注意レベル	A	B	C
Ⅰ	3～5	5～10	10～30
Ⅱ	10～15	15～40	40～90
Ⅲ	30～40	40～110	110～270

注)・ここに示す変位の基準値は，掘削によって生ずる全変位であり，計測 遅れのある場合に注意を要する.
・本基準値は，土被りが十分に大きい場合の値であり，土被りが小さい場合には，ここに示すものより小さい値を用いる必要がある.
・岩塊が硬く割れ目の影響が顕著な地山では，この基準値の適用には注意を要する.

図 4.3.6-13　ひずみおよび天端沈下に対する管理基準値[4] [5]

表 4.3.6-7　読み取った限界ひずみおよび管理基準値の設定（掘削径 4,700mm）

	限界ひずみ（%）	全変位（mm）		管理基準値	内空変位（mm）
注意レベルⅠ	0.14	6.8	⇒	レベルⅠ	2.7
注意レベルⅡ	0.40	18.8	⇒	レベルⅡ	7.5
注意レベルⅢ	1.19	56.2	⇒	レベルⅢ	22.5

※限界ひずみ：一軸圧縮強度 25MPa における値
※全変位　　：限界ひずみ×掘削径 4700mm の値
※内空変位　：全変位の 40%値

トンネル掘削時には、図 4.3.6-14 に示すように切羽進行に先んじて先行変位が生じ、切羽が計測断面を通過する直前・直後（±1D 以内，D は掘削幅）にかけて変化が大きい。また、図 4.3.6-14 より、計測される変位は全変位に対して 35～45%程度であることがわかる。したがって、管理基準値として設定するべき内空変位の値は、計測に先んじて生じる変位を除いた値、すなわち限界ひずみに対応する全変位の 35～45%の値を設定する必要がある。本掘削工事においては、限界ひずみの注意レベルⅠ、Ⅱ、Ⅲに相当する全変位の 40%の値を管理基準値Ⅰ、Ⅱ、Ⅲとして設定し、管理を行う。

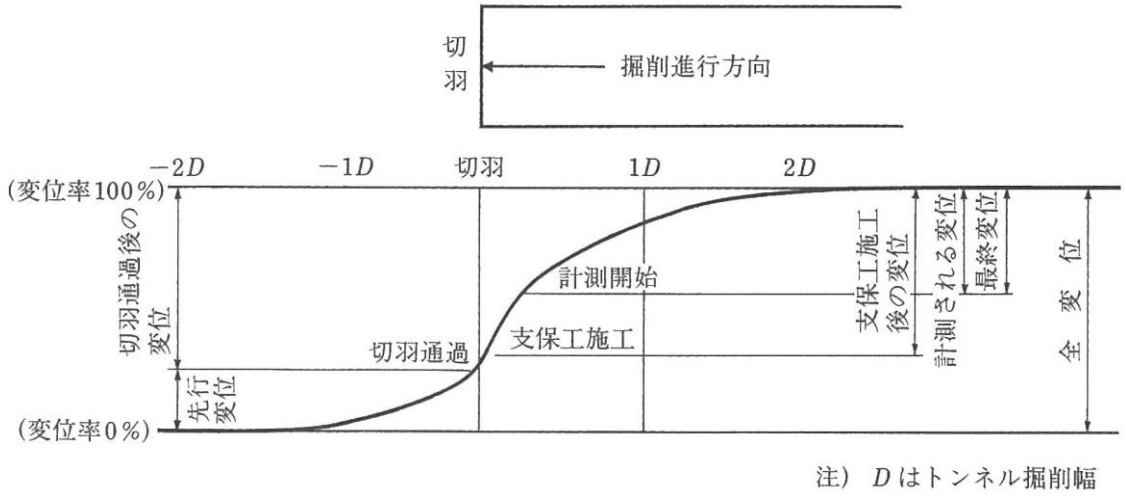
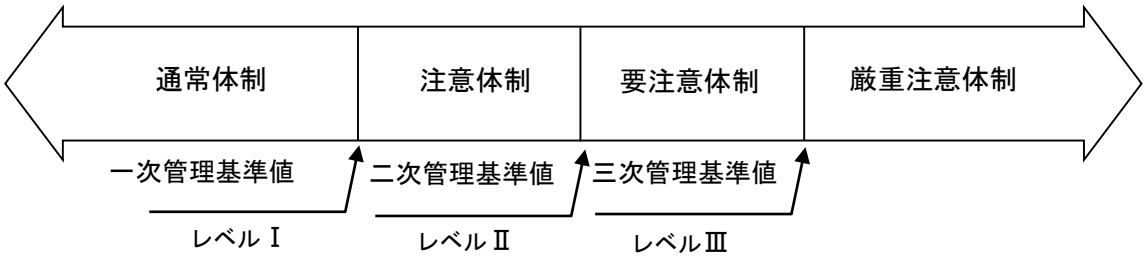


図 4.3.6-14　切羽位置とトンネル周辺地山挙動の一般的な関係[4]

d　管理基準値と安全管理体制

管理基準と安全管理体制を図 4.3.6-15 に示す。



通常体制　　：定時計測
注意体制　　：計測頻度強化，現場点検，作業員への注意強化
要注意体制　：計測体制の強化，軽微な対策工の実施
厳重注意体制：施工の停止，変状要因・傾向の解析，トンネル補強の検討

図 4.3.6-15　管理基準と安全管理体制[4]

(4) 施工中の換気計画

1) 概要

換気計画は、「ずい道等建設工事における換気技術指針」に基づき、試験坑道 2 延伸工事の換気設備を計画する。換気設備はトンネル工事において坑内の作業環境を左右する重要な設備であり、メタンガスが湧出する場合には、重要な可燃性ガス対策のひとつである。

必要風量の算定にあたり考慮すべき対象となる要因には次のものがある。

①粉じん管理目標濃度：3mg/m^3
②可燃性ガス希釈：目標管理濃度 0.25%
③風速限界（ガスの発生が見込まれる作業個所）：≧0.5m/sec
④発破後ガス：CO 管理目標濃度 50ppm（本工事では使用しない計画である）
⑤最大人員呼気：3m^3/min・人

これらの要因のなかで、最大の値となるのは、③風速限界（ガスの発生が見込まれる作業個所）：≧0.5m/sec である。したがって、以下では「坑内風速≧0.5m/sec」を条件として計画を行う。

2) 計画条件

図 4.3.6-16 に換気立坑から試験坑道 2 までの換気管路の全体図を示す。

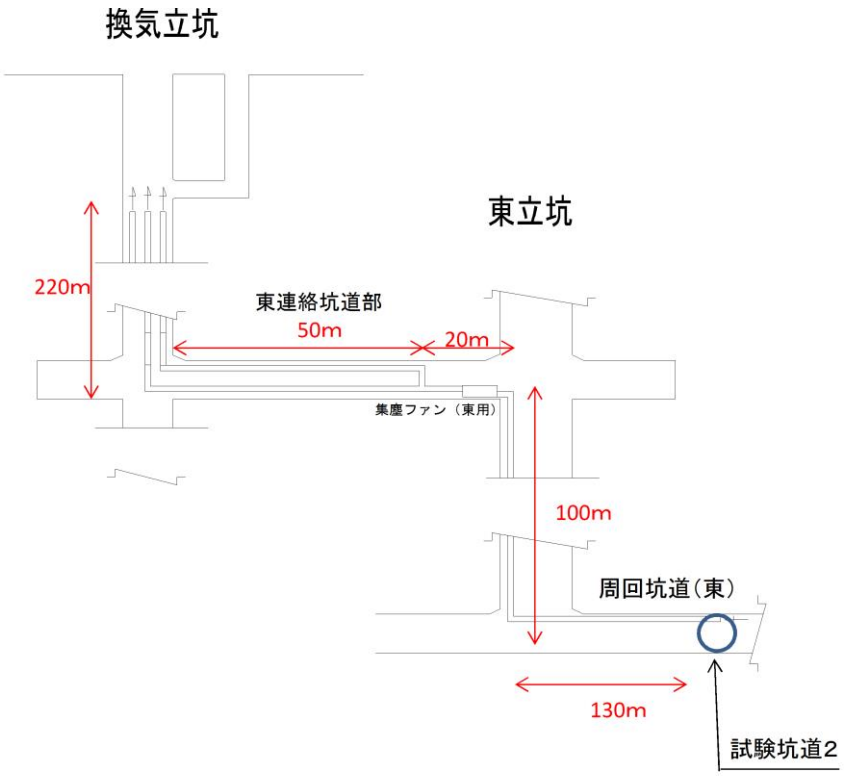


図 4.3.6-16　換気管路の全体概要図

3)　換気諸元の検討

a　計算条件

計算条件を以下に記す。なお、換気指針ではメタンガスの発生する場合は坑内風速を0.5m/ s 以上としている。

坑道断面積・・・・・・・・・・・・・・・14（m^2）
坑内風速・・・・・・・・・・・・・・・・0.5（m/s）

既設の風管径と延長を表 4.3.6-8 に示す。

表 4.3.6-8　既設の風管径と延長

区間	風管径	風管距離	条数
	φ（mm）	（m）	（本）
換気立坑	600	230	2
250m 東連絡	600	70	2
250m 東連絡	1000	20	1
東立坑	1000	100	1
350m坑道-試験坑道 2	600	130	2

b　換気計算

①坑内風速確保風量の算出

排気ファンの所要風量を算出する。算出式は以下のとおりである。

$Q_V = 60 \times V \times A$

V：坑内風速＝0.5（m/sec）

A：掘削断面積＝14.0（m^2）

●Q_V：坑内風速確保風＝420（m^3/min）

②圧力損失の算出

既設の風管を使用した際の各坑道における圧力損出を算出した結果を表 4.3.6-9 に示す。

表 4.3.6-9　圧力損出結果一覧表

区間	風管延長（m）	風管径（mm）	条数（本）	所要風量（m^3/min）	風管内風速（m/s）	圧力損失係数 λ 直線部	圧力損失		
							直線部 H_S	曲部 H_r	合計
換気立坑	220	600	2	210	12.38	0.04	1.500	0.080	1.58
250m 東連絡	50	600	2	210	12.38	0.04	0.341	0.000	0.34
250m 東連絡	20	1000	1	420	8.92	0.025	0.027	0.000	0.03
東立坑	100	1000	1	420	8.90	0.025	0.132	0.012	0.14
350m 坑道-試験坑道 2	130	600	2	210	12.38	0.04	0.886	0.080	0.97
総計									3.06

まずは、直管部の圧力損失H_sの算出式を以下に記す。また、参考までに圧力損出係数（λ）一覧表を表 4.3.6-10 に示す。

$H_s = \lambda \times \rho \times L \times V^2 \times 10^{-3} / (2 \times \alpha \times D)$

λ：　圧力損失係数（-）

ρ：　空気密度＝1.2（kg/m^3）

L：　風管距離（m）

V：　管内風速（m/sec）

α：　余裕率＝0.9（-）

D：　風管内径（m）

H_s：　風管圧力損失（kPa）

表 4.3.6-10　圧力損失係数（λ）

風管内径（mm）		500 未満	500 以上	750 以上	1000 以上	1500 以上
種類	リング		750 未満	1000 未満	1500 未満	
硬管	-	0.05	0.035	0.03	0.025	0.02
軟管	有り	0.05	0.04	0.035	0.03	0.03
軟管	無し	0.04	0.03	0.025	0.025	0.02

次に、曲がり部の圧力損失H_rの算出

$H_r = \zeta \times (\rho/2) \times V^2 / g$

ζ ：　圧力損失係数（φ1000 鋼管⇒0.26、φ600：軟管⇒0.87）

ρ ：　空気密度＝1.2　（kg/m³）

③風管漏風量の算出

既設の風管について各坑道における漏風量の算出結果を表 4.3.6-11 に示す。

表 4.3.6-11　風管の漏風量算出結果一覧表

区間	風管延長（m）	風管径（mm）	条数（本）	所要風量 Q（m³/min）	100m 当たりの漏風率 β	風管漏風率 M	必要風量 Q_t（m³/min）	漏風量（m³/min） $Qa=(Q_t-Q)$
換気立坑	220	600	2	210	0.015	0.033	217.2	7.17
250m 東連絡	50	600	2	210	0.015	0.0075	211.6	1.59
250m 東連絡	20	1000	1	420	0.015	0.003	421.3	1.26
東立坑	100	1000	1	420	0.015	0.015	426.4	6.40
350m坑道-試験坑道 2	130	600	2	210	0.03	0.039	218.5	8.52
合計								24.94

風管漏風量算出の計算式を以下に記す。なお、参考までに 100m 当たりの漏風一覧表を表 4.3.6-12 に示す。

$M = \beta \times L / 100$

β ：　100m 当たりの漏風率

L ：　風管距離（m）

M ：　風管漏風率

表 4.3.6-12　100m 当たりの漏風率（β）一覧表

風管内径（mm）		750 以上	1000 以上	1500 以上	備考
種類	定尺	1000 未満	1500 未満		
硬管	4m	0.018	0.013	0.008	
鋼管	1m	0.015			過去実績から
軟管	10m	0.02	0.015	0.01	
軟管	5m	0.04	0.03	0.02	10mから換算した
軟管	100m	0.005	0.003	0.002	

＊風管内径 750（mm）以下は実績により 0.015 を採用

必要風量を算出する。算出式を以下に記す。なお、風管距離が長い場合には、漏風を考慮する必要がある。

$Q_t = Q / (1-M) \leqq Q_f$

Q：　所要換気量（m^3/min）

M：　風管漏風率（-）

Q_f：　換気ファン風量（m^3/min）

Q_t：　必要風量（m^3/min）

④必要総風量の算出

必要総風量を算出する。算出式を以下に記す。

風管距離が長い場合には、漏風を考慮する必要がある。

$Q_{tt} = Q_V + Q_a \leqq Q_f$

Q_V：　所要換気量＝420（m^3/min）

Q_a：　風管漏風量＝24.94（m^3/min）

●Q_{tt}：　必要風量＝444.94（m^3/min）

Q_f：　現在 250（m）坑道に設置してある主要ファン　37（KW）の 2 連の送風能力＝1050（m^3/min）

●Q_f＝1050（m^3/min）＞Q_{tt}＝444.94（m^3/min）⇒　ＯＫ

⑤必要風圧の算出

必要風圧を算出する。算出式を以下に記す。
風管距離が長い場合には、漏風を考慮する必要がある。

$H_t = Q_{tt} / Q_V \times H \leqq H_f$
Q_{tt}：　必要風量＝444.94（m^3/min）
Q_V：　所要換気量＝420（m^3/min）
H：　風管圧力損失＝3.06（kPa）

●H_t：　必要風圧＝3.24（kPa）

H_f：現在 250（m）坑道に設置してある主要ファン　37（KW）の 2 連の風圧＝3.5（kPa）

●H_f＝3.5（kPa）＞H_t＝3.24（kPa）⇒　ＯＫ

検討結果
検討の結果、試験坑道 2 の延伸工事に必要な主要排気ファンの能力は次のとおりであった。

●主要ファン 37（KW）の 2 連　1050（m^3/min）、357（mmAq）（3.5kPa）が 1 台必要である。

また、切羽への送気用ファンは現在 140（m）坑道にある送風機を使用する。送気用ファンの能力は次のとおりであった。

●送気用ファン 15（KW）　165（m^3/min）、（2.9kPa）が 1 台必要である。

図 4.3.6-17 に試験坑道 2 において延伸坑道掘削時の換気設備計画図を示した。

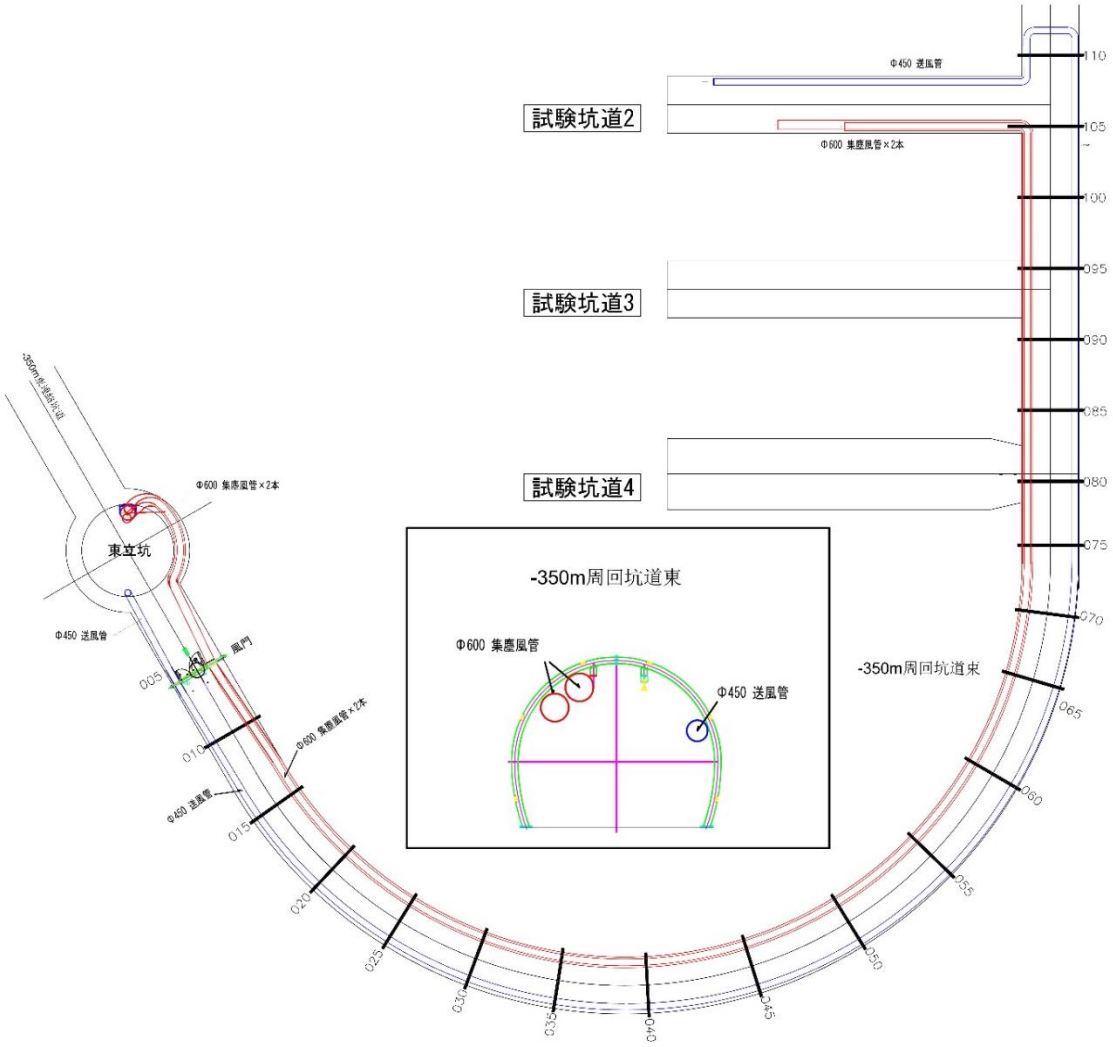


図 4.3.6-17　換気設備計画

(5) 掘削土の運搬計画

残土処理計画はトンネルの掘進速度を支配する大きな要素であり、地山条件、立地条件、トンネル断面の大きさ、延長、掘削方式、掘削工法、ずり性状等を考慮する必要がある。残土運搬には①タイヤ方式、②レール方式、③ベルトコンベヤー方式がある。

試験坑道 2 施工時は上記③ベルトコンベヤー方式が採用されたが、今回の工事では、残土運搬量が約 150m³ と少量であること、既往の楊重設備を使用できる施工環境にあることから、大型土嚢により土砂を搬出することとした。

試験坑道 2 内で大型土のうに入れた掘削残土は、東立坑 GL-350m ステージを経由して地上建屋内まで運搬した後にダンプトラックに積込み、一般道を経由して場外掘削土置場に運搬する。

図 4.3.6-18 に場外掘削残土置場[6]を示す。

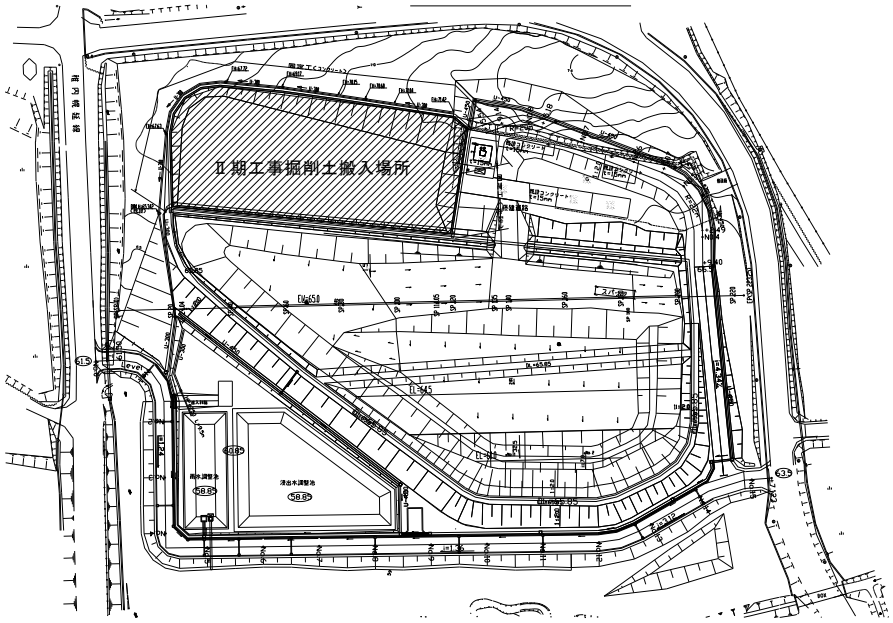


図 4.3.6-18　場外掘削残土置場[6]

4.3.7　搬送定置装置の搬出入計画

(1) 検討対象機器

表 4.3.7-1 に示す搬送定置装置を構成する各機器が、東立坑から試験坑道 2 まで搬出入できるか検討した。

表 4.3.7-1　搬送定置装置の寸法

No.	機器名称	ID	分割単位	数量	幅(mm)	長さ(mm)	高さ(mm)	設置場所
①	定置装置	A	支持台	2	800	4500	200	組立台
		B	制御部	1	2000	1000	1500	
②	搬送装置	C	搬送台車	1	1900	4000	500	
		D	コンプレッサー	2	1700	900	1500	
		E	エアタンク	1	1700	500	1500	
③	制御盤	F	制御盤	1	1800	500	1500	作業台
④	操作卓	G	操作卓	1	700	1300	1000	
⑤	電源供給設備	H	電源供給設備	1	700	1000	200	

(2) 搬出入経路と通過検証箇所

搬出入経路を図 4.3.7-1 に示す。

なお、特に注意深く検証すべき箇所を以下に列挙する。

検証１：スカフォード開口（立坑最小開口部）での通過可否

検証２：周回坑道風門

検証３：周回坑道（東立坑から試験坑道 2 までの曲線区間）

検証４：試験坑道 2 の入口部

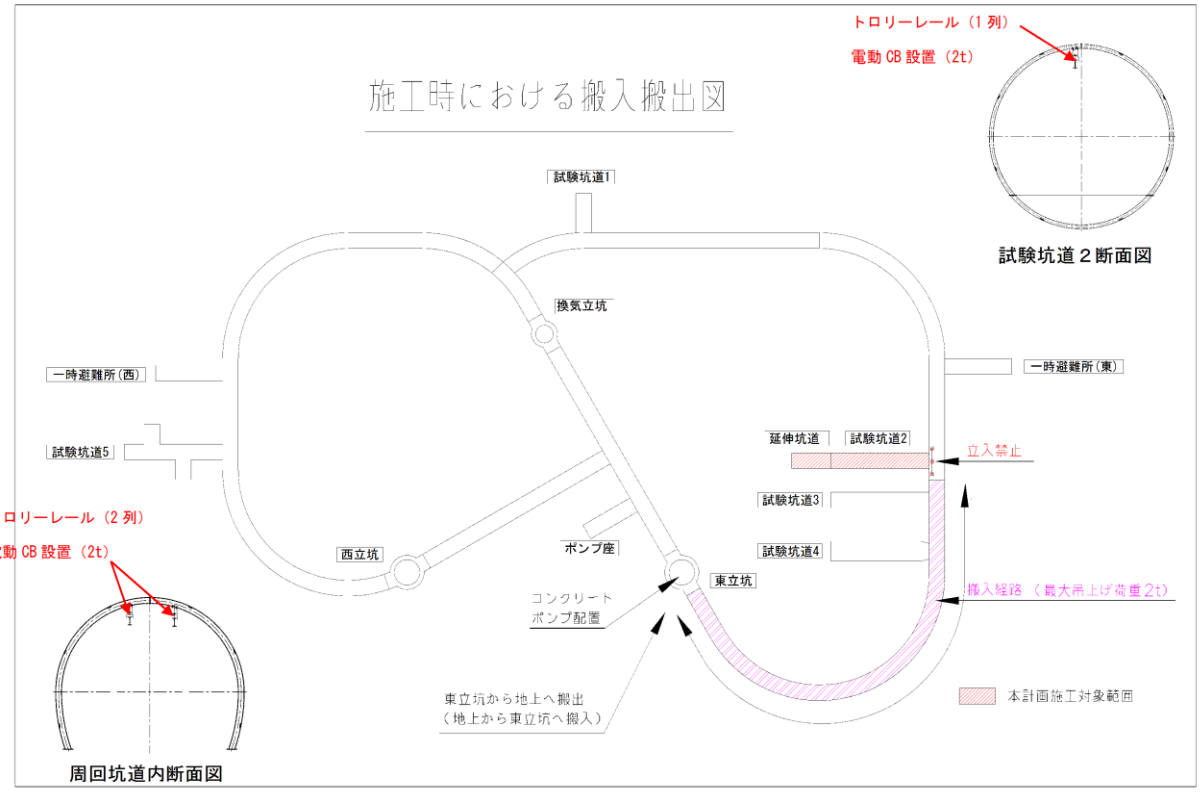


図 4.3.7-1　搬送定置装置の搬出入経路

(3) 通過検証結果

通過検証結果を表 4.3.7-2 に示す。表より、①定置装置の支持台と②搬送装置の搬送台車が検証 4（試験坑道 2 の入口部）で通過できないことがわかる。そのため、該当装置の設計にこの結果を反映した。

なお、垂直吊りで通過できる機器（△表示）については、揚重時の部材強度や吊ピースの設置を考慮するよう設計に反映した。

表 4.3.7-2　各機器の坑道通過検証結果

No.	機器名称	ID	分割単位	数量	幅(mm)	長さ(mm)	高さ(mm)	検証可否			
								スカフォード(φ2000)	風門(B1800×H2200)	周回坑道	試験坑道
①	定置装置	A	支持台	2	800	4500	200	△(余裕588mm)	○(余裕幅365mm)	○	×
		B	制御部	1	2000	1000	1500	△(余裕99mm)	△(余裕幅365mm)	○	○
②	搬送装置	C	搬送台車	1	1900	4000	500	△(余裕18mm)	△(余裕高さ0mm)	○	×
		D	コンプレッサー	2	1700	900	1500	○(余裕38mm)	○(余裕幅50mm)	○	○
		E	エアタンク	1	1700	500	1500	○(余裕114mm)	○(余裕幅50mm)	○	○
③	制御盤	F	制御盤	1	1800	500	1500	○(余裕66mm)	△(余裕高さ100mm)	○	○
④	操作卓	G	操作卓	1	700	1300	1000	○(余裕262mm)	○(余裕幅365mm)	○	○
⑤	電源供給設備	H	電源供給設備	1	700	1000	200	○(余裕390mm)	○(余裕幅365mm)	○	○

○：そのまま通る
△：縦置き(横向き)した場合のみ通る
×：通らない

4.4　実証サイトの整備

4.4.1　目的

本業務は、JAEA 幌延深地層研究センターの深度 350m 試験坑道 2 で搬送定置・回収技術の実証試験を行うため、JAEA が幌延深地層研究計画地下研究施設整備（第 II 期）等事業において設置した試験装置のうち、当該試験に障害となる装置の撤去、等を実施することを目的とした。また、併せて境界条件等の基礎情報とするために周辺環境調査を実施した。

4.4.2　実施フロー

図 4.4.2-1 に実施フローを示す。

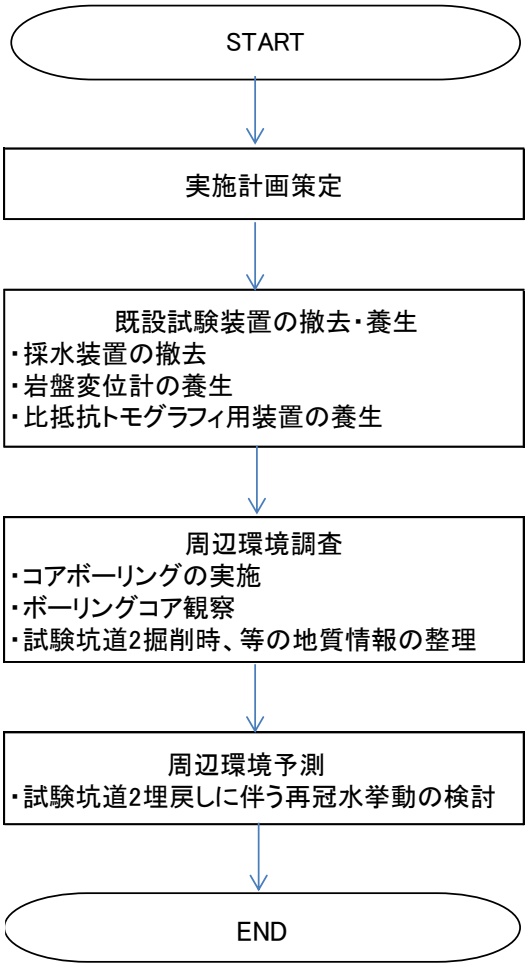
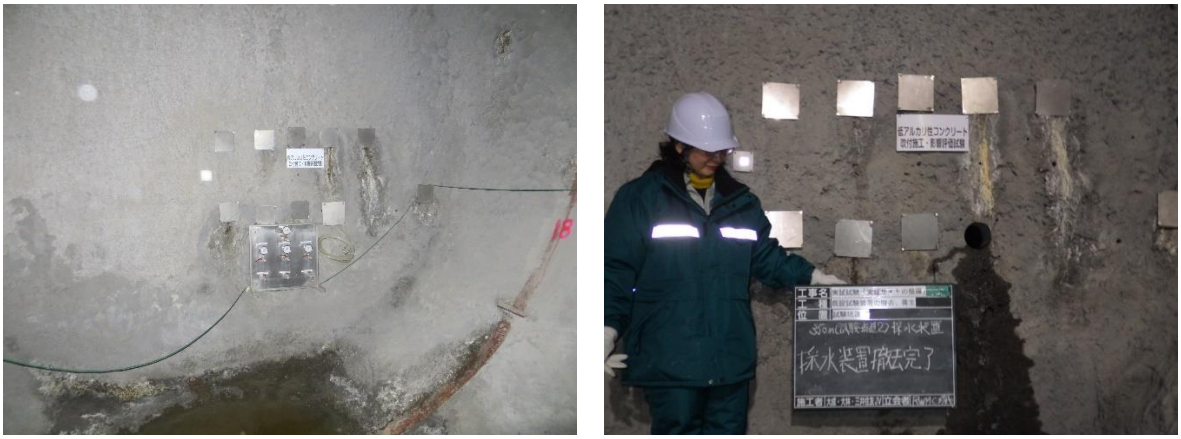


図 4.4.2-1　実施フロー

4.4.3　既設試験装置の撤去、養生

(1) 採水装置の撤去

採水装置の撤去前と撤去後の写真を図 4.4.3-1 に示す。



（a）撤去前　　（b）撤去後

図 4.4.3-1　採水装置撤去前後

(2) 岩盤変位計の養生

図 4.4.3-2 に岩盤変位計（坑口部）の位置を示す。また、図 4.4.3-3 に養生計画図と養生後の写真を示す。

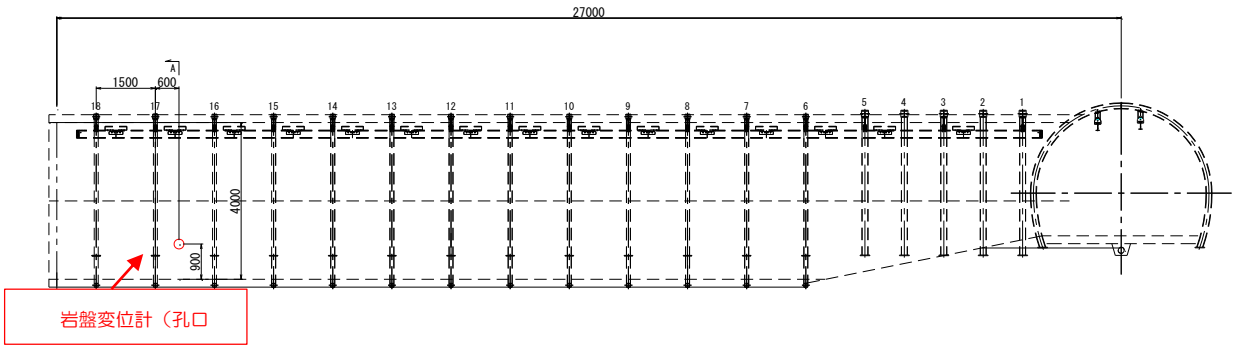
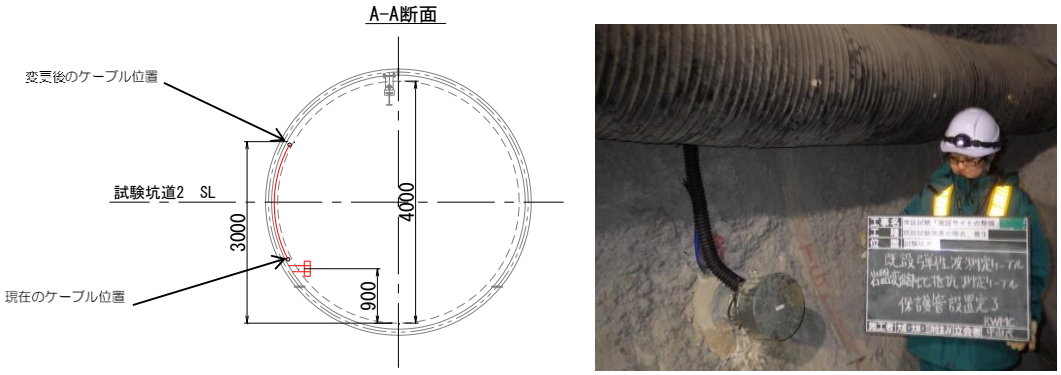


図 4.4.3-2　岩盤変位計（坑口部）の位置

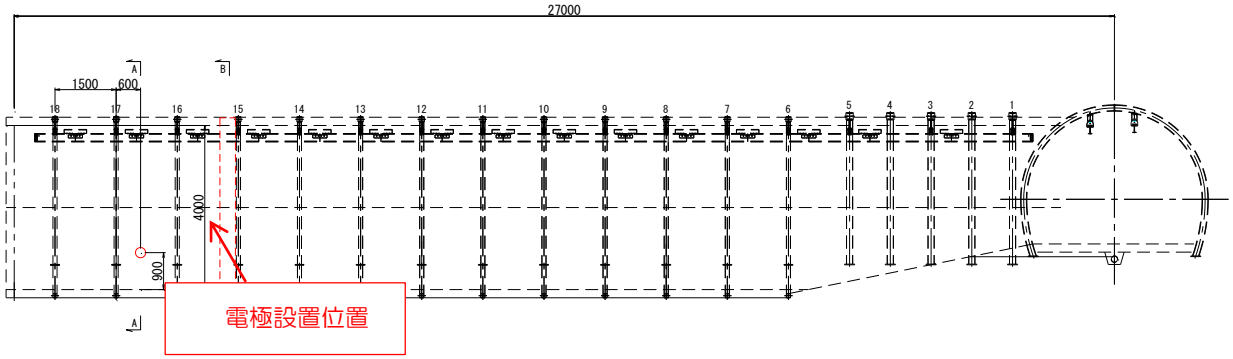


（a）岩盤変位計測用ケーブル養生計画　　（b）養生完了

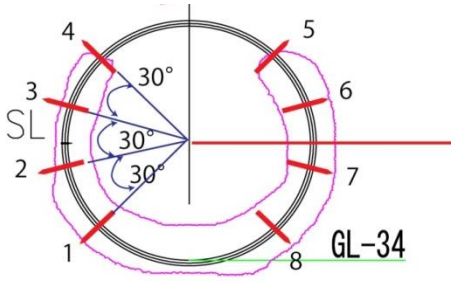
図 4.4.3-3　養生計画図と養生後

(3) 比抵抗トモグラフィ用電極の養生

図 4.4.3-4 に比抵抗トモグラフィ用電極の位置図を示す。また、養生後の写真を図 4.4.3-5 に示す。

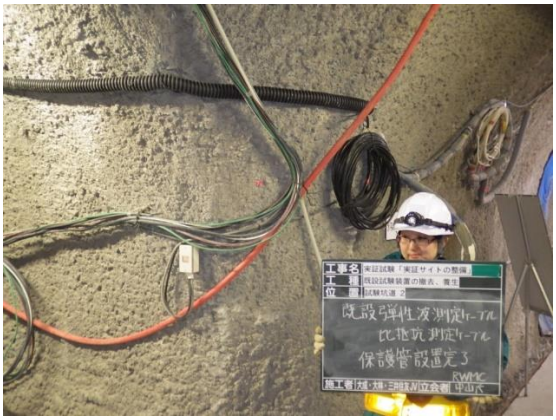


（a）試験坑道 2 における比抵抗トモグラフィ用電極の位置



（b）断面内における比抵抗トモグラフィ用電極

図 4.4.3-4　比抵抗トモグラフィ用電極の位置



（a）3、4 電極養生

（b）5、6 電極養生

（c）1、2 電極養生

（d）7、8 電極養生

図 4.4.3-5　比抵抗トモグラフィ用電極の養生

4.4.4　周辺環境調査

(1) コアボーリングの実施

図 4.4.4-1 にコアボーリング実施位置を示す。また、図 4.4.4-2 にボーリング実施状況、図 4.4.4-3 にボーリング孔確認状況を示す。

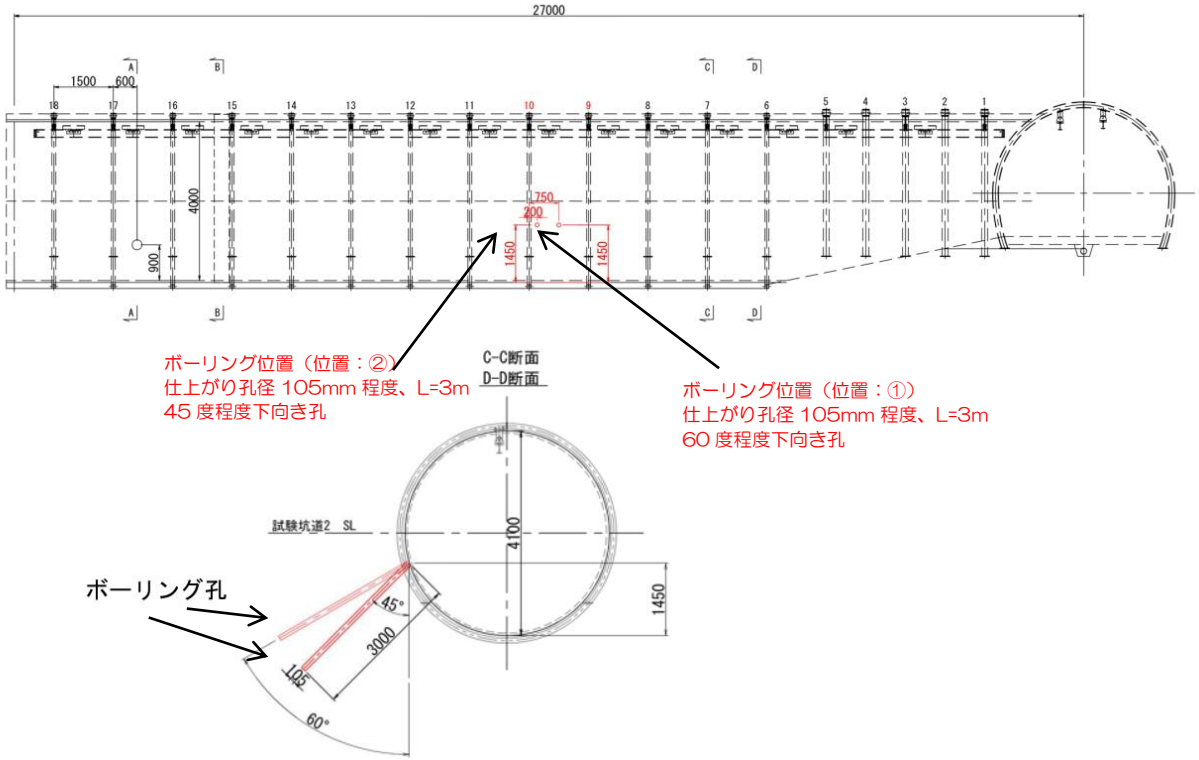


図 4.4.4-1　コアボーリング位置

（a）足場設置　　（b）コアボーリング掘削状況

図 4.4.4-2　コアボーリング実施状況

（a）1 孔目　　（b）2 孔目

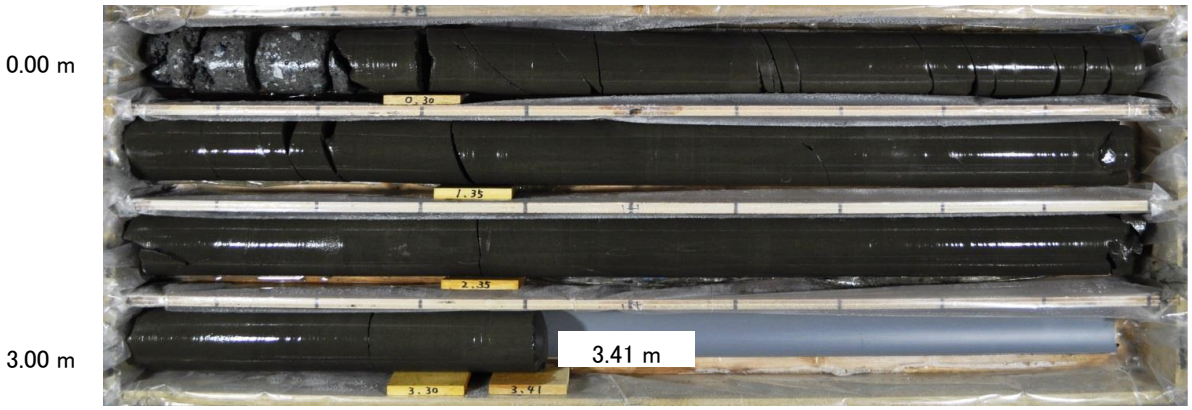
図 4.4.4-3　ボーリング孔確認

(2) ボーリングコア観察

図 4.4.4-4 にボーリングコア写真を、図 4.4.4-5 にその観察結果を示す。なお、硬度（L 値）はエコーチップ反発強度を示す。また、表 4.4.4-1 にボーリングコアに認められた割れ目とその性状について示す。

1 本目

mabh 0.00 m ～ 3.41 m



2 本目

mabh 0.00 m ～ 3.40 m

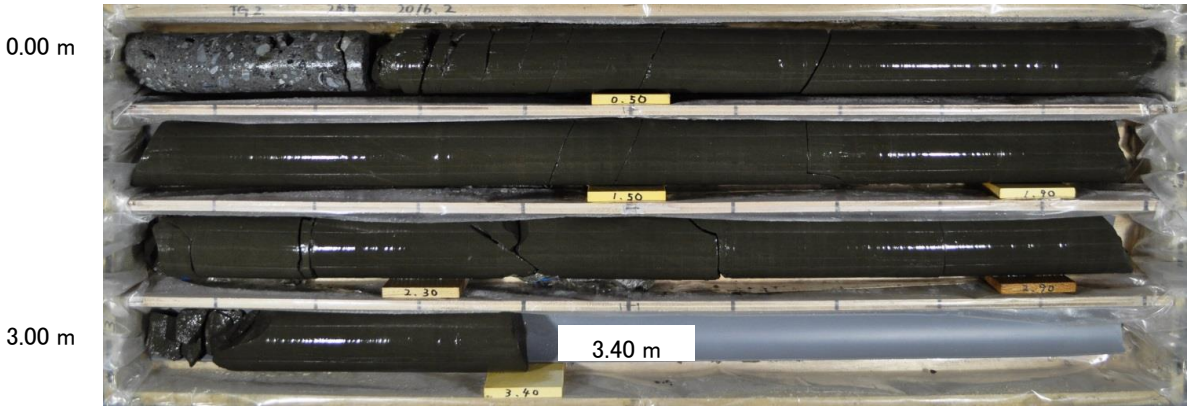
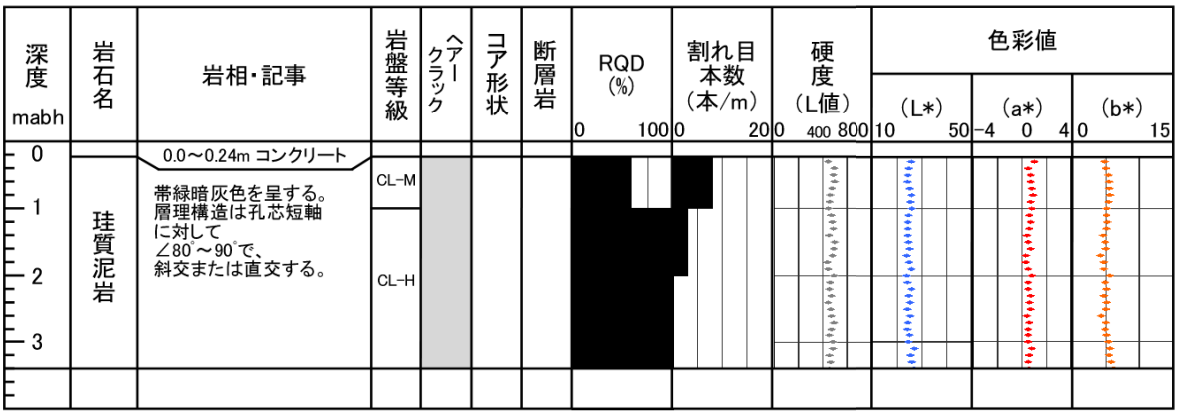


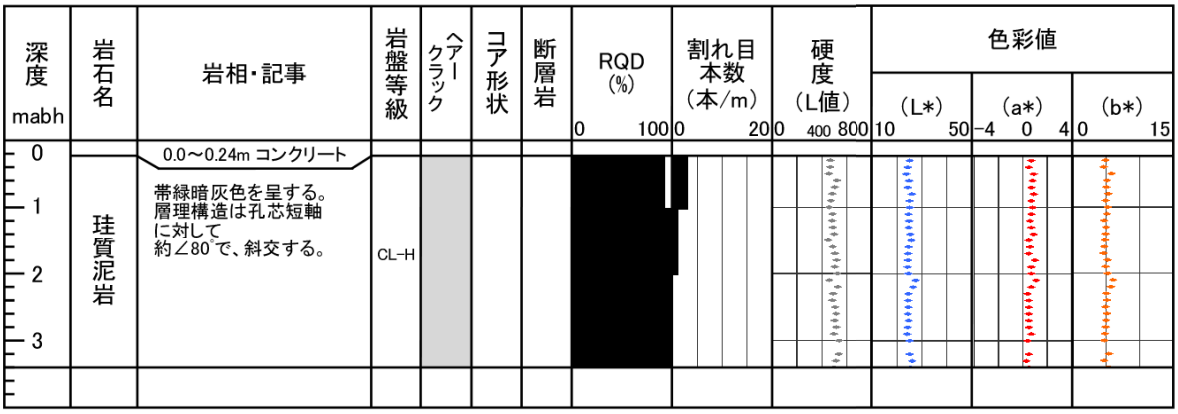
図 4.4.4-4　ボーリングコア写真

総合柱状図

1本目



2本目



（ヘアークラック） あり なし

（コア形状） 破砕状コア（岩片状，角礫状，細礫状，土砂状，粘土状等） ディスキング

（断層岩） 断層角礫 断層ガウジ 葉片状岩片化

（色彩値） L*：明度，a*：正の値が赤，負の値が緑，b*：正の値が黄色，負の値が青

図 4.4.4-5 ボーリングコア観察結果

表 4.4.4-1　ボーリングコアに認められた割れ目一覧

割れ目番号	中央深度（mabh）	記載深度(mabh) 上端	記載深度(mabh) 下端	タイプ	傾斜角度	割目面の特徴	断層岩	成因
1本目								
0-1	0.22	0.20	0.24	f	60	－，－，－	－	T
0-2	0.29	0.28	0.30	f	50	－，－，－	－	T
0-3	0.36	0.32	0.40	f	50	－，－，－	－	T
0-4	0.78	0.77	0.79	f	25	－，－，－	－	T
0-5	0.82	0.81	0.83	f	20	－，－，－	－	T
0-6	0.84	0.83	0.85	f	20	－，－，－	－	T
0-7	0.91	0.90	0.91	f	20	－，－，－	－	T
0-8	0.96	0.95	0.97	f	25	－，－，－	－	T
1-1	1.15	1.14	1.16	f	15	－，－，－	－	T
1-2	1.17	1.16	1.18	f	10	－，－，－	－	T
1-3	1.34	1.32	1.35	f	20	－，－，－	－	T
2本目								
0-1	0.36	0.35	0.36	f	20	－，－，－	－	T
0-2	0.42	0.41	0.43	f	20	－，－，－	－	T
0-3	0.68	0.66	0.69	f	30	－，－，－	－	T
1-1	1.02	1.00	1.03	f	20	－，－，－	－	T

＜記載深度＞　赤字の記載深度は，コアの端に達していない割れ目の上下端の深度。
＜タイプ＞　f：非癒着割れ目，o-f：開口割れ目。
＜割れ目の特徴＞　SS：鏡肌，SL：条線のレーク角，ST：スリッケンステップから判定した上盤の移動方向。
＜成因＞　S：剪断割れ目，T：引張割れ目。
＜断層岩＞　f-b：断層角礫を伴う割れ目。断層角礫は基質と岩片が未固結，破砕岩片の含有率が 30%以上。
f-bt：断層角礫の上端を構成する面。　f-bb：断層角礫の下端を構成する面。
f-g：断層ガウジを伴う割れ目。断層ガウジは基質と岩片が未固結，破砕岩片の含有率が 30%以下。
f-gt：　断層ガウジの上端を構成する面。　f-gb：断層ガウジの下端を構成する面。
f-gs：固結した黒色細粒な断層破砕物質を伴う割れ目。

(3) 試験坑道 2 掘削時、等の地質情報の整理

1) 地質観察結果の三次元可視化

JAEA は試験坑道 2 施工時に、毎断面で地質スケッチ[7] [8]および地質観察[7] [8]を実施し、それらの結果を統合した地質スケッチを作成している。本業務ではこれらの観察結果を三次元表示し、試験坑道 2 で実施予定の実証試験を行う際、環境条件を評価するための基礎資料として整備することとした。参考までに、JAEA で実施した試験坑道 2 の統合地質スケッチを図 4.4.4-6[7] [8]示す。図中のピンクで表示した割れ目は構造性割れ目の位置を示す。表 4.4.4-2 に構造性割れ目の走向・傾斜の一覧（JAEA）を示す。

図 4.4.4-7 に図 4.4.4-6 に示したスケッチを三次元モデルを化した結果を示す。

また、地質スケッチに記録された割れ目のうち、構造性割れ目を円盤でモデル化した。その結果を図 4.4.4-8 に示す。構造性割れ目は、延伸坑道掘削時や試験坑道 2 への湧水箇所となる可能性があるため、実証試験場の環境を評価する場合にはその性状を把握しておく必要がある。

以上より、構造性割れ目はいずれも試験坑道 2 の坑口付近（水平坑道との連接部近傍）に認められたが、実証試験を行うための組立て台設置予定の位置には認められないことがわかった。この結果は組立台施工時の湧水来策、等に反映できる貴重な情報となった。

表 4.4.4-2　試験坑道 2 における構造性割れ目一覧

孔名	割れ目番号	走向	傾斜角度
試験坑道2	N-002-13	N58W	33S
	N-003-15		
	N-003-07	N50W	50S
	N-003-17	N40W	30S
	N-006-02	N41W	44S
	N-007-02		
	N-002-05	N48E	66N
	N-002-06	N40E	68N

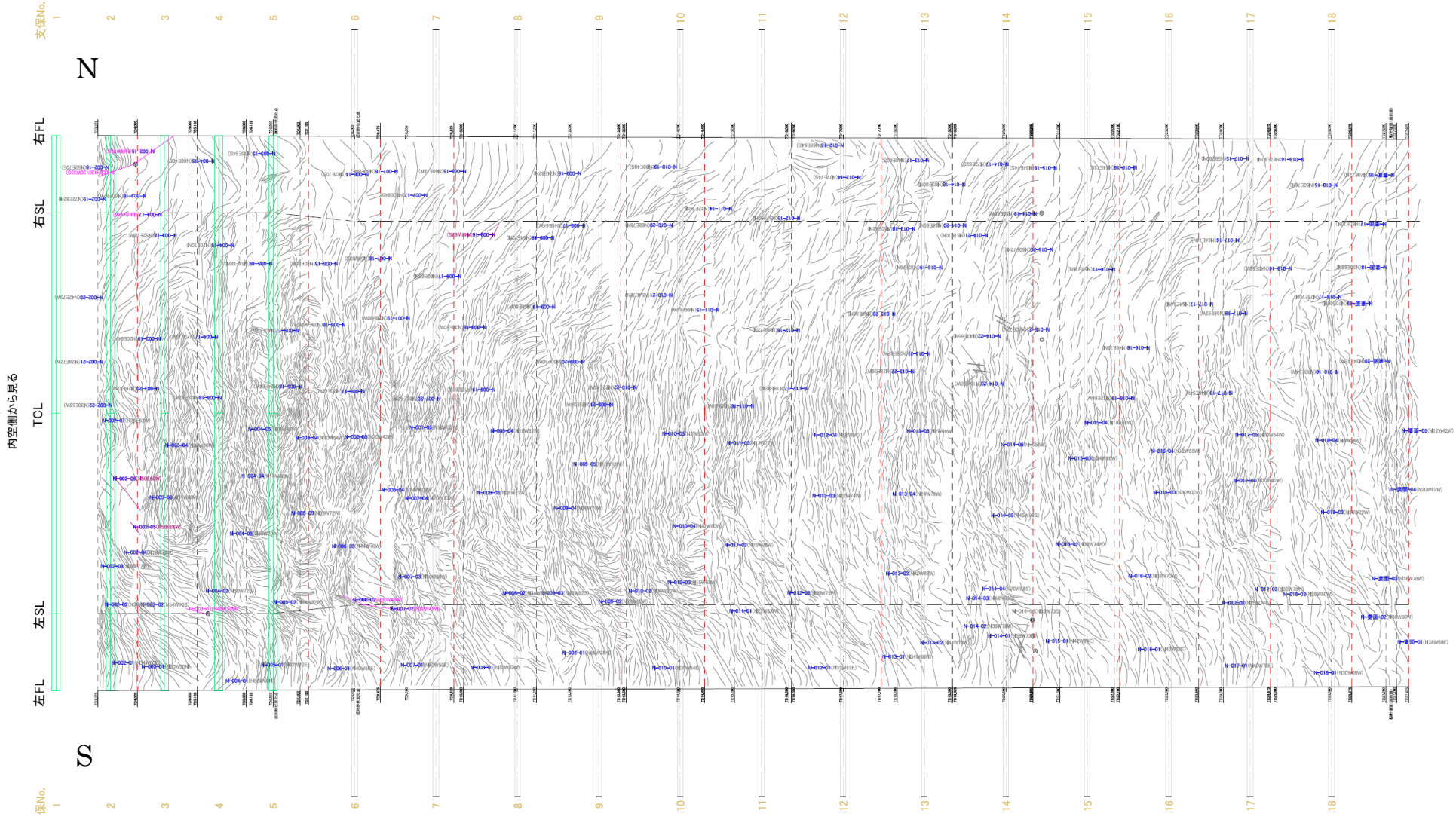
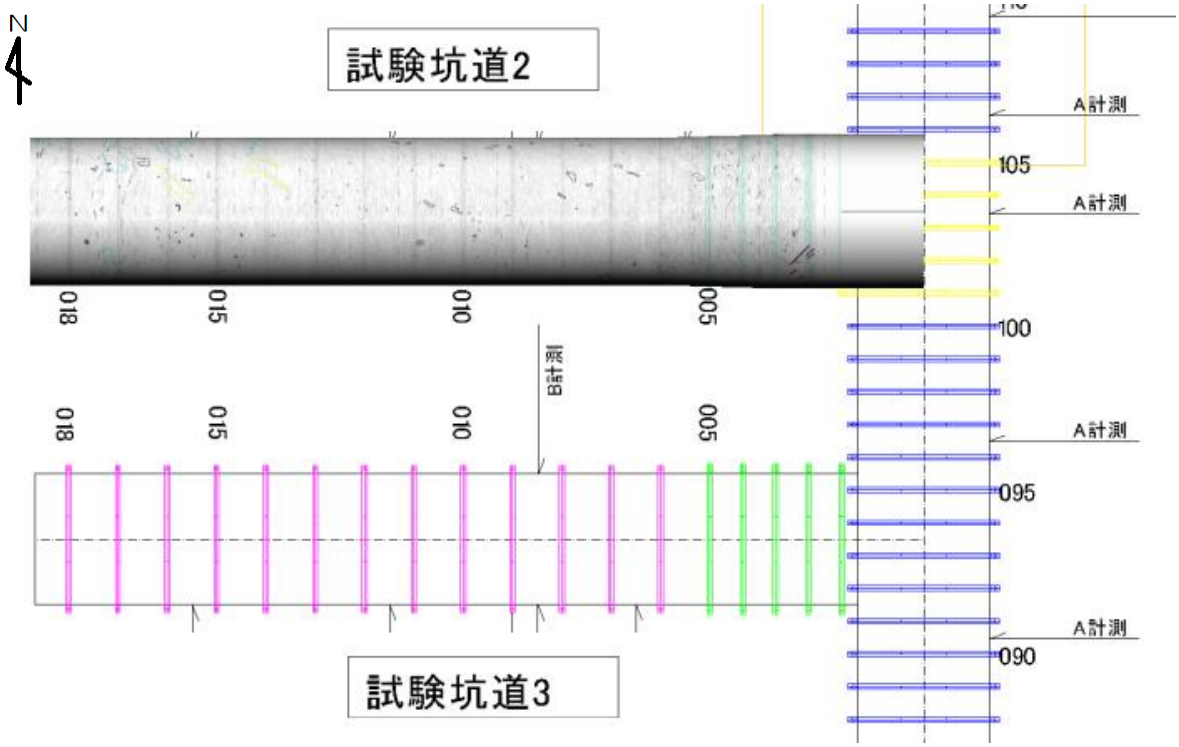
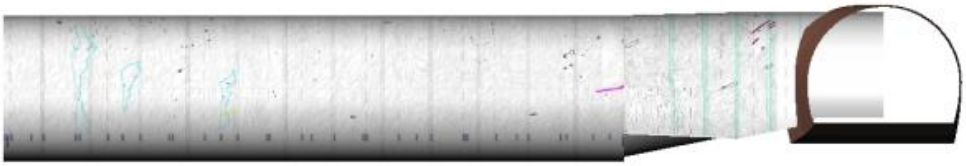


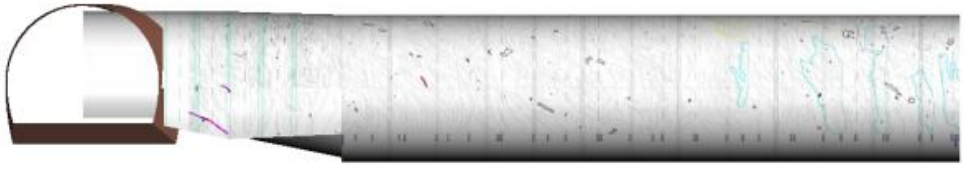
図 4.4.4-6　試験坑道 2 の統合スケッチ[7] [8]



（a）平面図

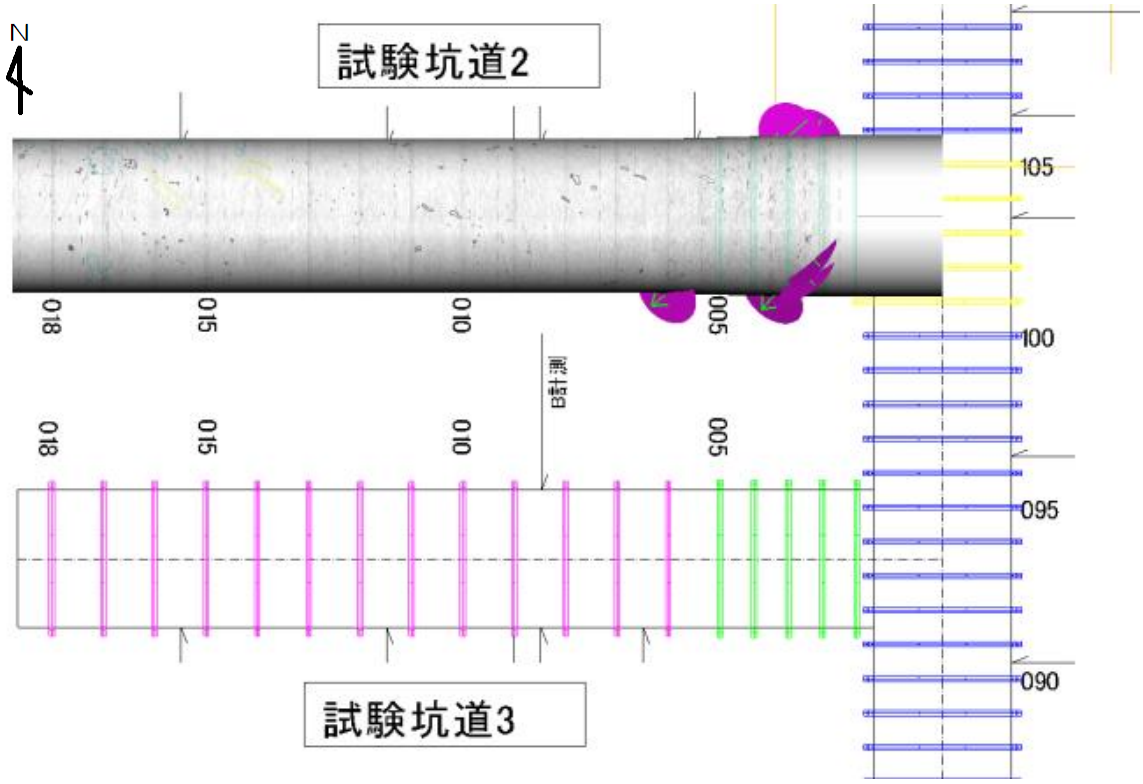


（b）側面図（南側から見た場合）



（c）側面図（北側から見た場合）

図 4.4.4-7　試験坑道 2 の地質スケッチの三次元モデル表示



（a）平面図

（b）側面図（南側から見た場合）

（c）側面図（北側から見た場合）

図 4.4.4-8　試験坑道 2 の地質スケッチの三次元モデル表示（構造性割れ目の円盤化）

2)　割れ目の連続性に関する検討

a　割れ目の傾向

割れ目の走向・傾斜の傾向を分析するため、試験坑道 2 の壁面で確認された構造性割れ目、および全割れ目をステレオネットにて確認した。表 4.4.4-3 にステレオネット投影図一覧を示す。

試験坑道 2 の壁面で観察された全ての割れ目については、NNE-SSW～NNW-SSE 走向で、高角度傾斜を有する割れ目が卓越する。構造性割れ目については、NW-SE 走向、30°～50°S 傾斜を有する割れ目が卓越し、その他では、NE-SW 走向 60～70°N 傾斜を有する割れ目が 2 条存在する。

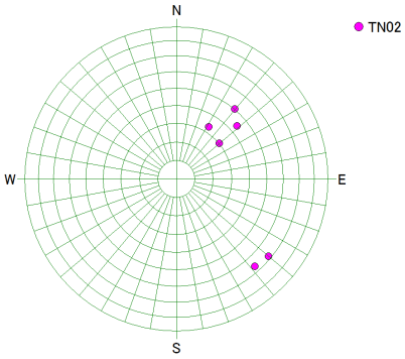
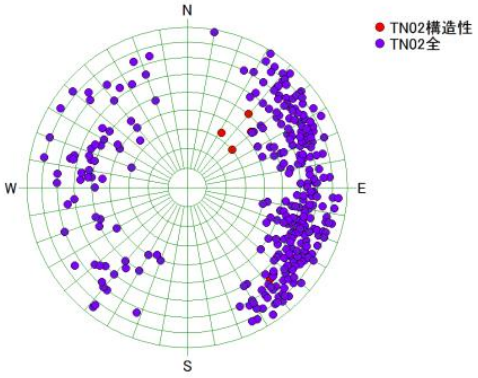
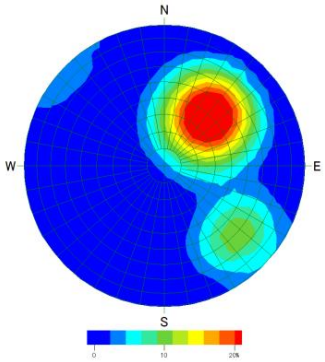
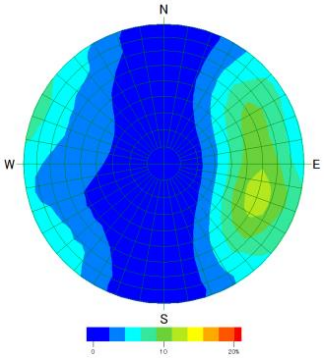
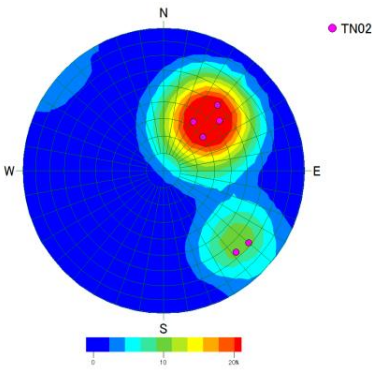
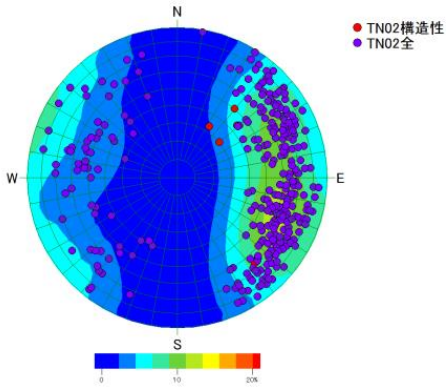
構造性割れ目の傾向をまとめると以下の 2 つに分類できる。

①NW-SE 走向 30～60°S 傾斜を有する割れ目が多く卓越する。
②その他、NE-SW 走向 60～70°N 傾斜、NW-SE 走向 50～80°N 傾斜を有する割れ目が少数ながら存在する。

このうち、最も特徴的な①の割れ目に関しては、周回坑道（東）北側（周回坑道（東）の位置は図 4.2-1 参照）で確認されている構造性割れ目（S-1 断層などの層面滑り系のもの）の走向・傾斜の姿勢と同傾向を示す。また、②の割れ目に関しては、地表地質調査時に出現が予測されていた F1 断層の走向・傾斜の姿勢と同傾向を示している。

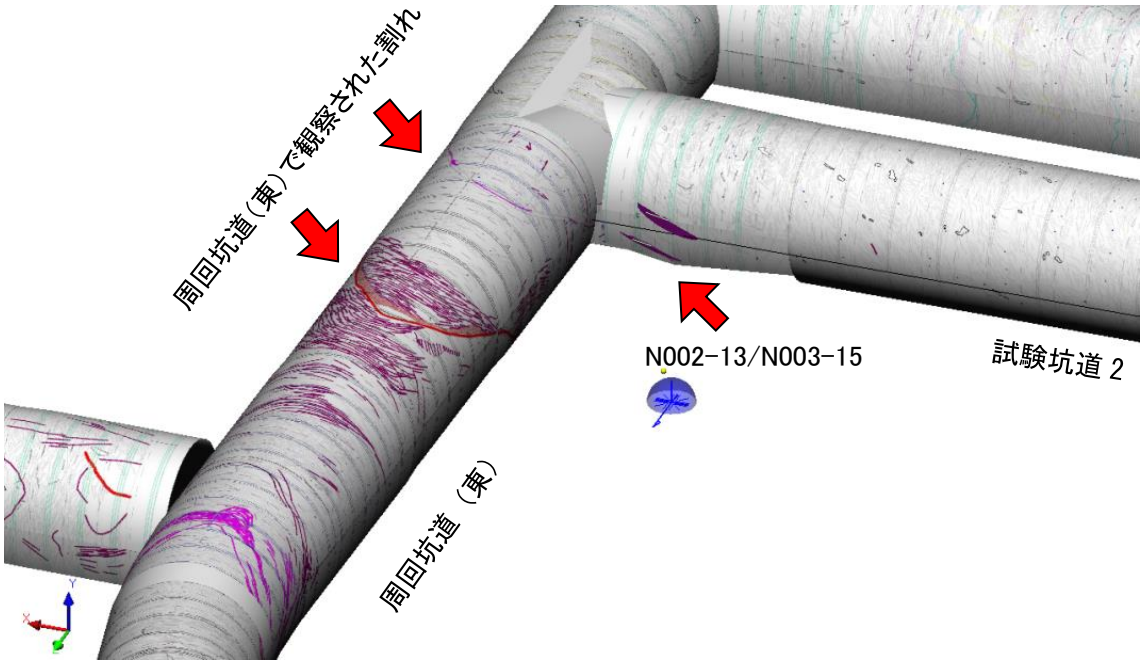
構造性割れ目のうち S-1 断層とは後掲の図 4.4.4-10 に示すように、地下施設研究施設の換気立坑で実施した先行ボーリング時に層面滑り断層として認識され、水平坑道（東）の北側の掘削時に坑道の 2 箇所で出現した連続性の高い断層を通称したものである。水平坑道（東）掘削時に同断層が出現した際には、被圧されていた地下水およびガスが断層粘土を突き破って噴出し、掘削工事の一時停止や対策工の実施が必要となったような施工上注意すべき断層である。

表 4.4.4-3　ステレオネット投影図

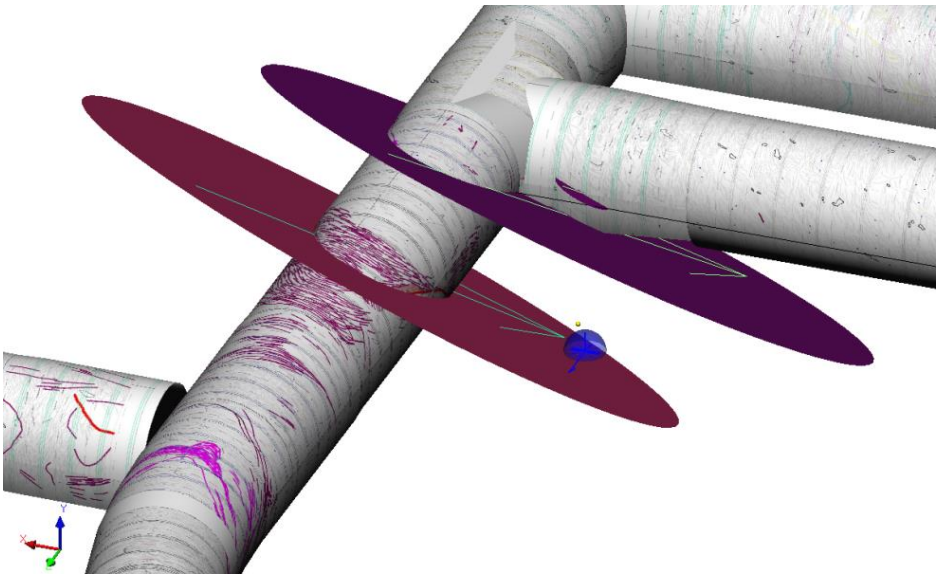
	構造性割れ目のみ	全ての割れ目
ポイントダイアグラム		
コンター図		
ポイント＋コンター図	 N＝6	 N＝350

b　割れ目の連続性

試験坑道 2 で確認された割れ目（例えば、図 4.4.4-9（a）の N002-13／N003-15）は、割れ目のトレース長の範囲を延長すると、図 4.4.4-9（b）に示すように、周回坑道（東）と試験坑道 2 交差部付近のスケッチに示された構造性割れ目とほぼ一致する。これは、試験坑道 2 および周回坑道（東）における交差部の構造性割れ目が、連続して分布している可能性が考えられる。さらに、図 4.4.4-10 に示すとおり、試験坑道 2 の近傍には、周回坑道（東）で確認された S-1 断層が存在する。



（a）スケッチ



（b）トレース長範囲を延長

図 4.4.4-9　周回坑道（東）と試験坑道 2 で観察された割れ目の三次元表示図[7] [8]

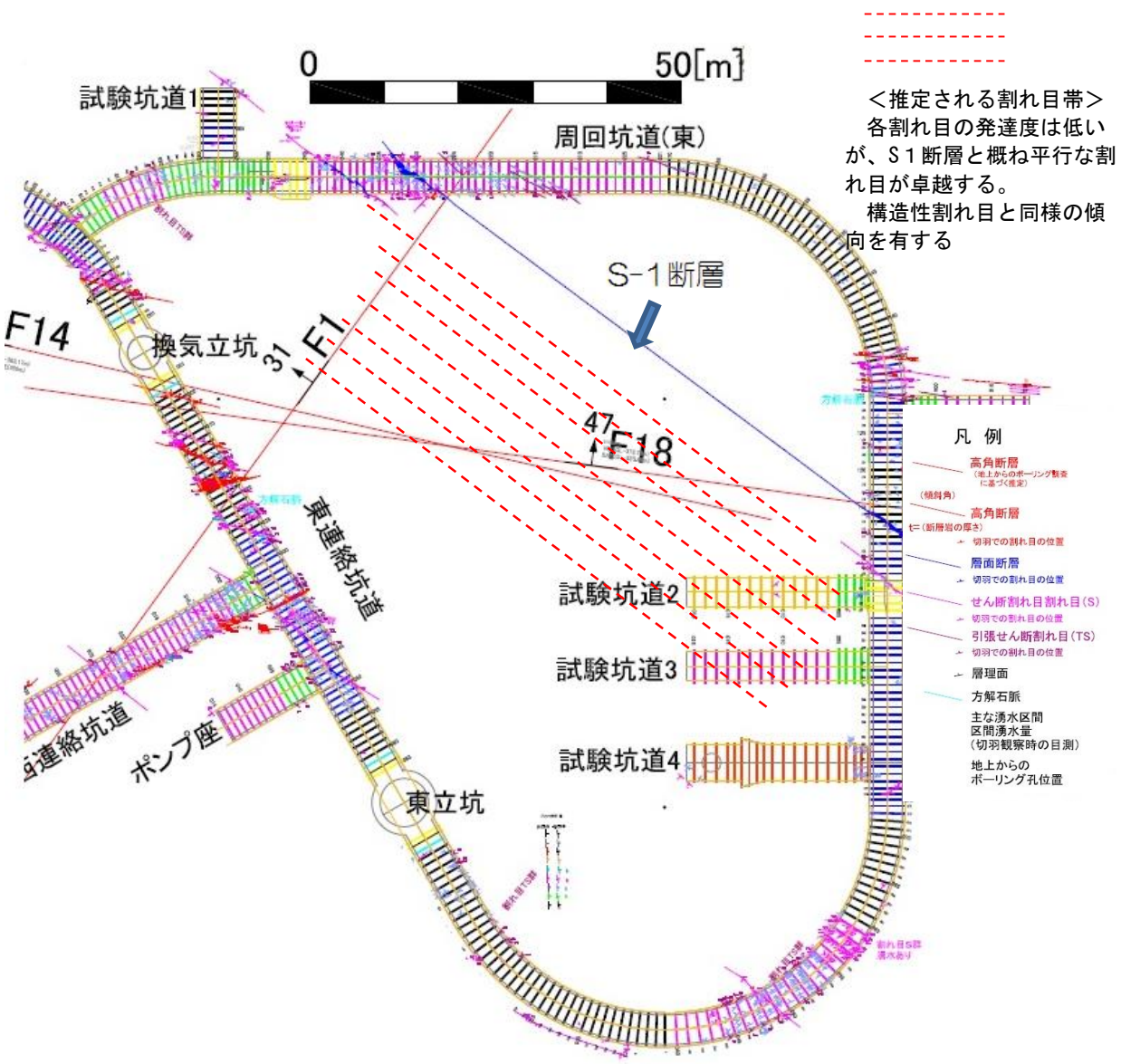


図 4.4.4-10　試験坑道 2 の割れ目と深度 350m 地下施設に出現する割れ目の関連図[7] [8]

3)　評価

350m 坑道や既往のボーリング結果を総合的に評価すると、深度 350m 地下施設内に卓越して見られる NE-SE 走向 30～60° 傾斜を有する割れ目に関しては、周回坑道（東）におけるトレース長が比較的長い構造性割れ目（S-1 断層の傾向）に連続する、または同じ傾向の複数条の割れ目が帯状に分布する可能性が高い。

したがって、試験孔を安全に延伸する場合には、同様な割れ目の出現を想定した施工管理を行う必要がある。

4.4.5　周辺環境予測

本業務の平成 29 年度以降の実施予定では、幌延深地層研究センター試験坑道 2 において、模擬 PEM を搬送定置、隙間充填、隙間充填材除去した後に、模擬 PEM を回収する実証試験の計画がある。

充填材料の除去の際には、周辺環境からの地下水浸入による充填材の飽和状況が、充填材除去方法の選定に対して重要な指標となることが予想される。そのため、隙間充填後の再冠水挙動について解析検討を行った。

解析は鉛直 2 次元断面をとし、ソルバーは、3 次元移流拡散解析ソフトウェア Dtransu/3D・EL（岡山大学、三菱マテリアル、ダイヤコンサルタント共同開発）、プリ-ポストプロセッサは Geo-Graphia（地層科学研究所）を使用した。

(1) 解析準備

1)　解析モデル作成

図 4.4.5-1 に実証試験時の試験坑道 2 の概要を示す。坑道内のモデル化は、覆工コンクリート・模擬 PEM・台座コンクリート・組立台とした。また、充填材として使用するベントナイトはこれらの隙間を充填するようにモデル化することとした。

図 4.4.5-2 に試験坑道 2 の解析モデルを示す。モデル化は図 4.4.5-1 の概要図に忠実なモデルとした。図 4.4.5-3 に解析モデルの全体図を示した。

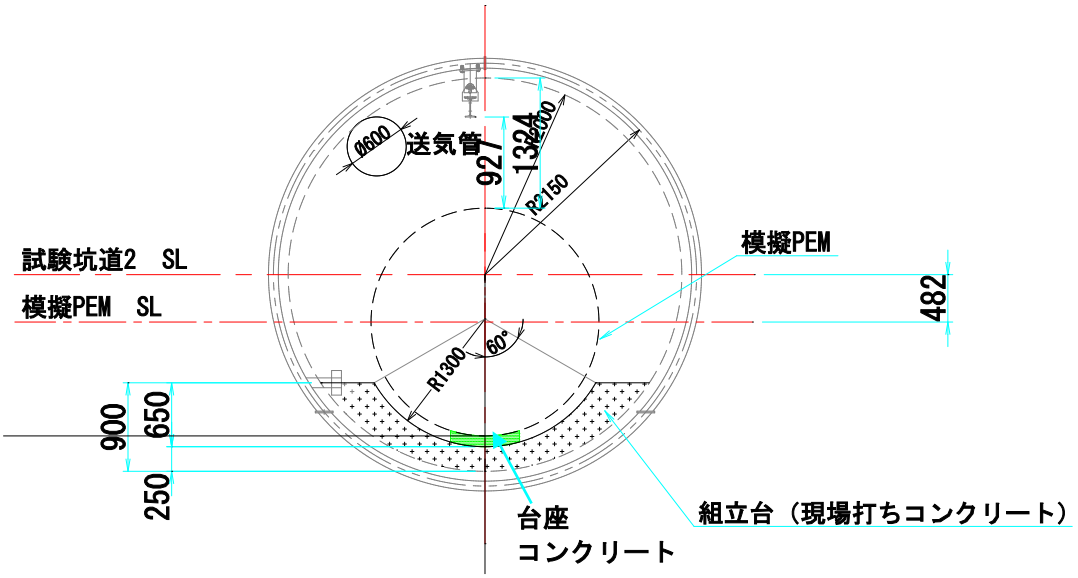


図 4.4.5-1　試験坑道 2 の概要

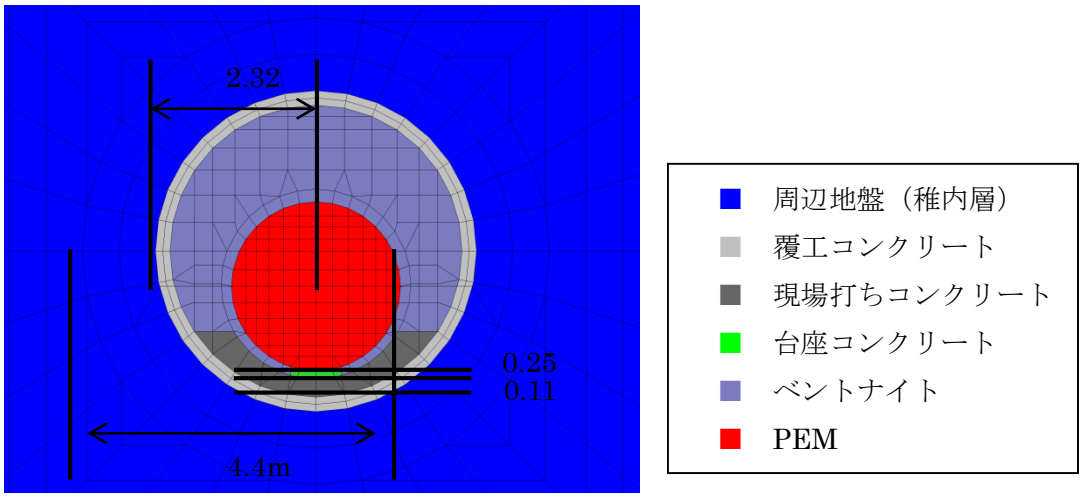


図 4.4.5-2　試験坑道 2 のモデル化

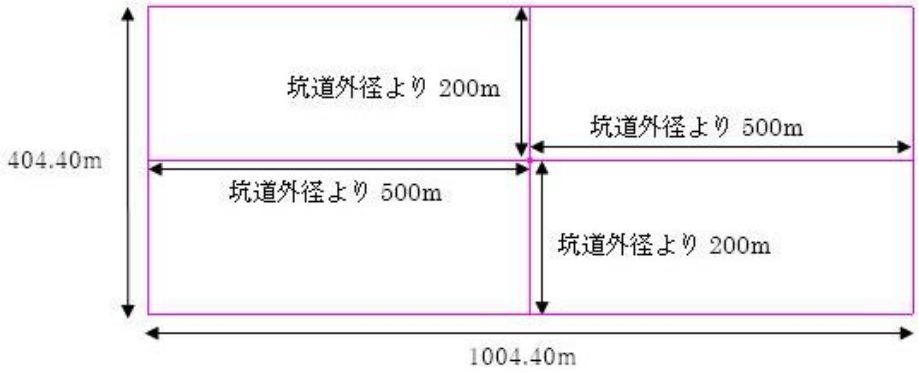


図 4.4.5-3　解析モデル全体図

2)　入力パラメータ

入力するパラメータの一覧を表 4.4.5-1 に示す。覆工コンクリートについては、周辺地盤と同じ透水性の扱いとした。また、本検討は、ベントナイトおよびコンクリート系材料に対する再冠水の状況を把握することを目的としているため、PEM 層は地下水が浸透しない扱い（解析対象から除外）とした。

各材料のパラメータは表 4.4.5-2 に示す文献を参考とした。

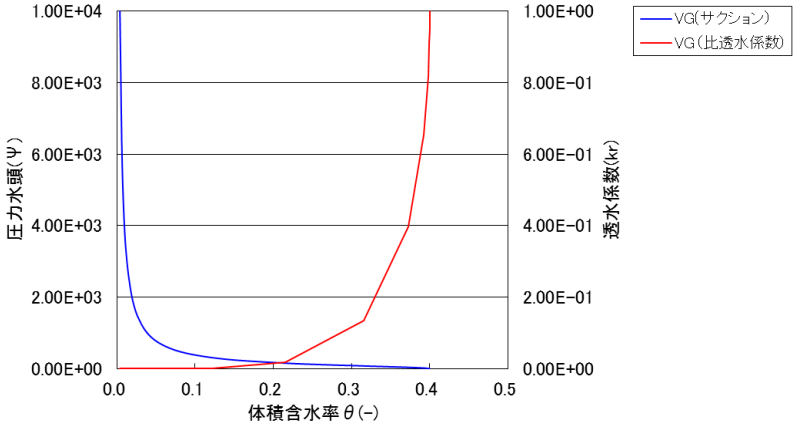
VG パラメータ α、n を用いて算出した水分特性曲線を図 4.4.5-4 に示す。

表 4.4.5-1　解析に用いるパラメータ

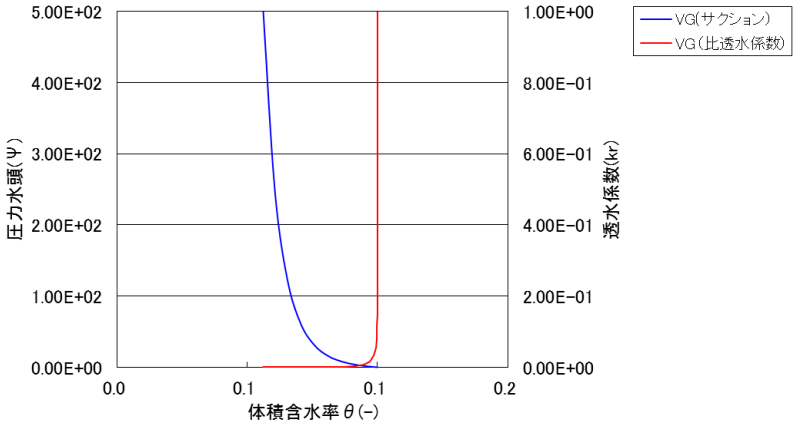
材料名	透水係数	有効間隙率	比貯留係数	VG パラメータ	
	（m/s）	(-)	（1/m）	α	n
周辺地盤 （稚内層）	1.0E-08	0.4	1.0E-05	9.93E-03	2.01
覆工コンクリート	周辺地盤と同じとする				
組立台 台座コンクリート	1.0E-12	0.1	1.0E-05	0.38	1.11
ベントナイト	1.0E-13	0.4	1.0E-05	6.00E-04	2.5
PEM	解析対象から除外する				

表 4.4.5-2　参考とした文献一覧表

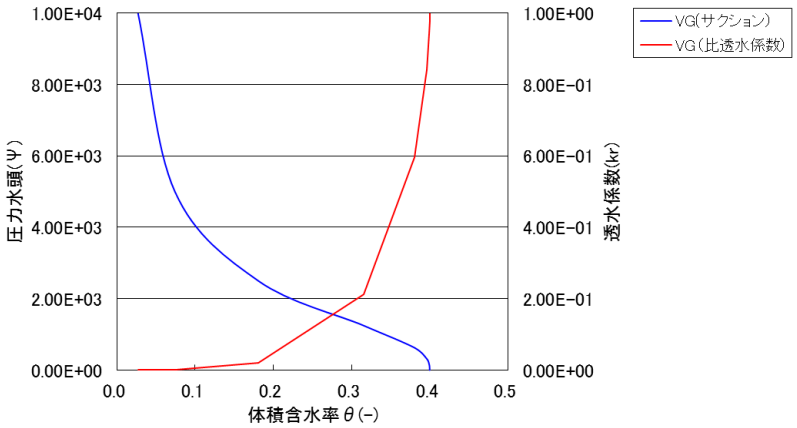
材料名	出典
稚内層	○透水係数、有効間隙率、VG パラメータ 木村他（2010）：緩衝材中の化学影響評価に向けた熱-水-応力-化学連成モデルの開発、p83 ＊ZONE2 の値を参考に設定
コンクリート	○透水係数、有効間隙率、VG パラメータ 木村他（2010）：緩衝材中の化学影響評価に向けた熱-水-応力-化学連成モデルの開発、pp85-86 ＊コンクリート支保工の値を参考に設定
ベントナイト	○透水係数 小峰（2008）：各種ベントナイトの透水係数に対する透水係数理論評価式の適用性、p194 ＊乾燥密度と透水係数の関係図を参考に設定 ○有効間隙率、VG パラメータ 繰上（2003）：地盤における熱-水-応力連成現象のモデル化に関する研究、p43 ＊表 2.6 を参考に設定



（a）稚内層



（b）コンクリート系材料



（c）ベントナイト

図 4.4.5-4　水分特性曲線

3)　境界条件

a　初期定常

初期状態の水位分布は、地表面高さに地下水面が分布し、深度方向へは静水圧状態となっていると仮定し、図 4.4.5-5 に示すようにモデル上端および左右の側方境界に全水頭=0m を固定条件として与えた。領域底面は不透水境界とした。

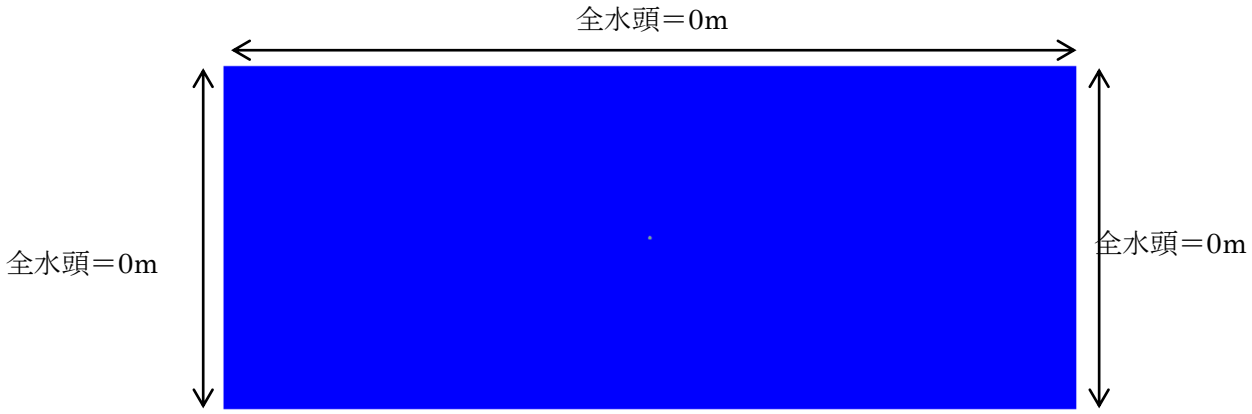


図 4.4.5-5　初期定常解析の境界条件

b　再冠水検討時（非定常解析）

再冠水検討においては、図 4.4.5-6 に示すように、ベントナイトおよびコンクリート系材料に対して、飽和度を仮定したサクションを初期条件として与え、時間に伴って水位が静水圧状態へ戻る経過を解析した。それ以外の条件（モデル上面および側面の水位固定条件）は初期定常解析と同じとした。

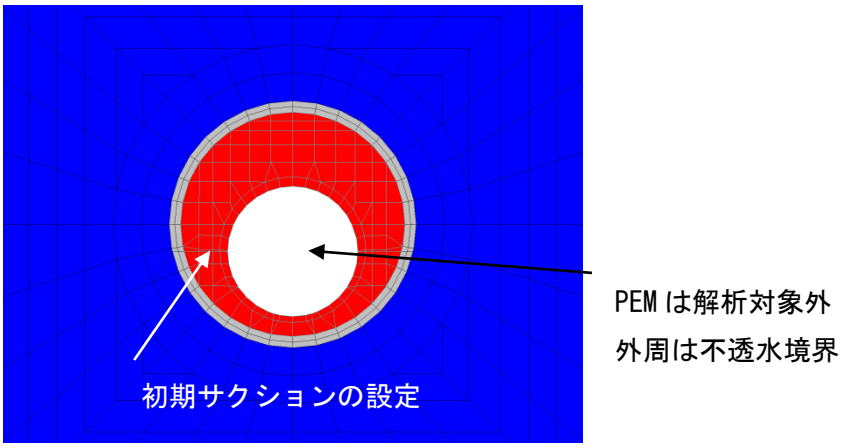


図 4.4.5-6　再冠水検討時の境界条件

c　初期サクション圧の設定

再冠水検討に入力するベントナイトおよびコンクリート系材料の初期サクション値は、ベントナイトの飽和度を暫定的 5%、10%、50%を仮定し、図 4.4.5-4 に示した関係から導出した値を用いた。この際、コンクリート系材料の初期サクション値はベントナイトと同値とする。表 4.4.5-3 に飽和度ごとの初期サクション値を示す。コンクリート系材料の飽和度は、図 4.4.5-4 に示す水分特性曲線から各ケースのサクションに対応する値を逆算して示した。

表 4.4.5-3　初期サクション圧の設定

ベントナイト		コンクリート系材料	
飽和度（%）	サクション（m）	飽和度（%）	サクション（m）
5	12246.7	39.5	12246.7
10	7668.9	41.6	7668.9
50	2274.1	47.5	2274.1

(2)　解析結果

1)　初期状態

図 4.4.5-7 に初期水圧分布を示す。全体は静水圧状態となっており、坑道センター天端の圧力水頭値は 347.5m となった。

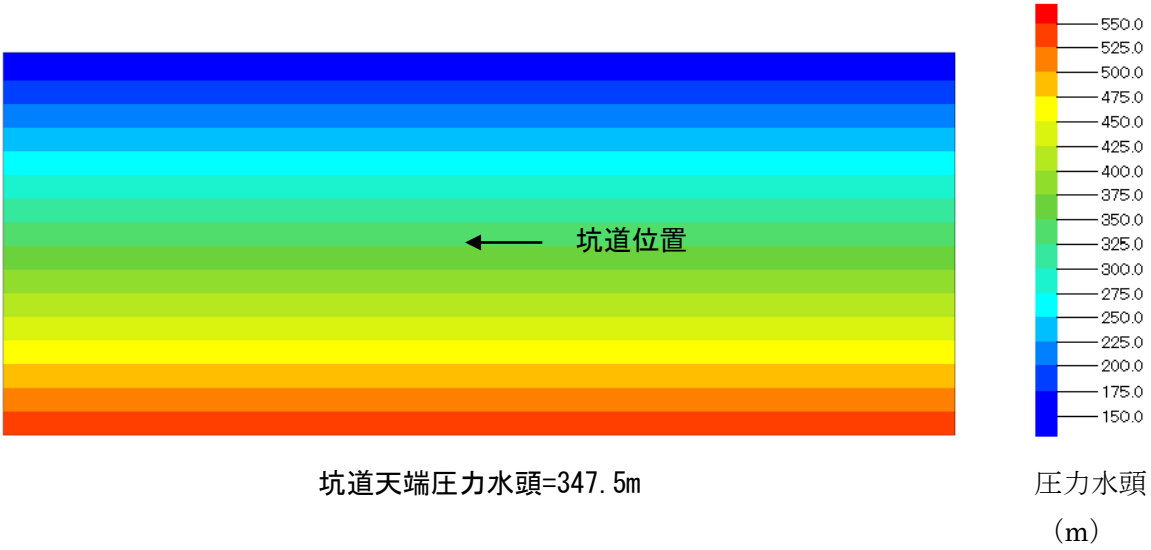


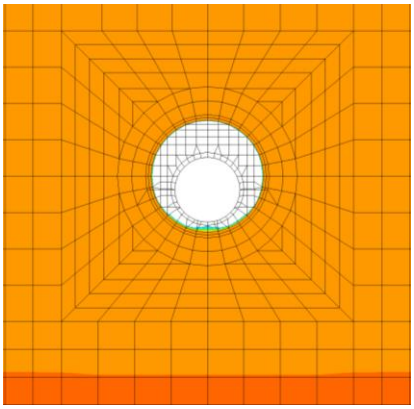
図 4.4.5-7　初期水圧分布

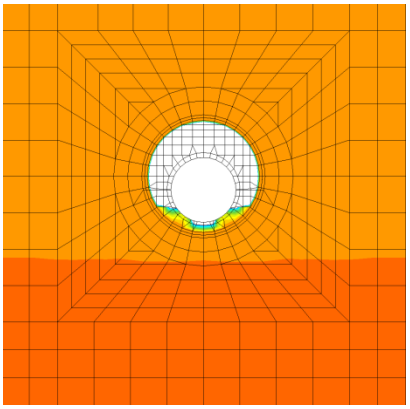
2)　再冠水検討

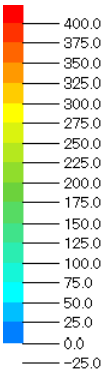
a　圧力変化

図 4.4.5-8～図 4.4.5-10 に初期飽和度 50%、10%、5%の坑道周辺の圧力水頭分布を示す。

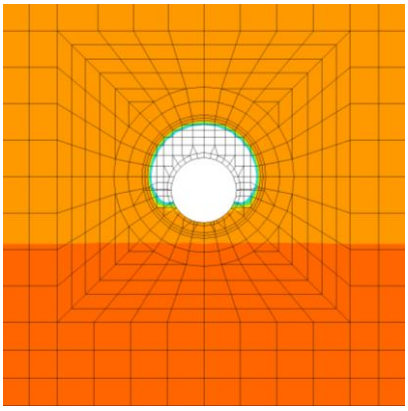
図 4.4.5-8 より、初期飽和度 50%は 50 年後に再冠水が終了しているが、図 4.4.5-9 と図 4.4.5-10 からわかるように、初期飽和度を小さくするほど、坑道内埋戻し土は負圧状態が維持されることがわかった。

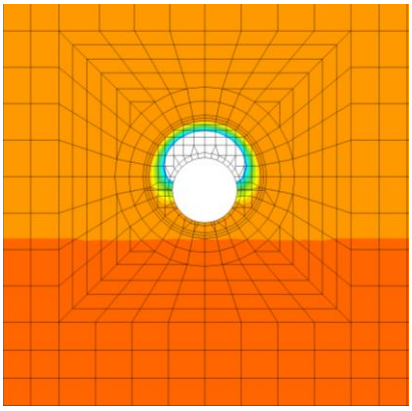


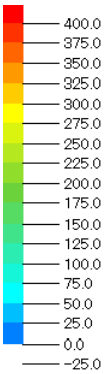




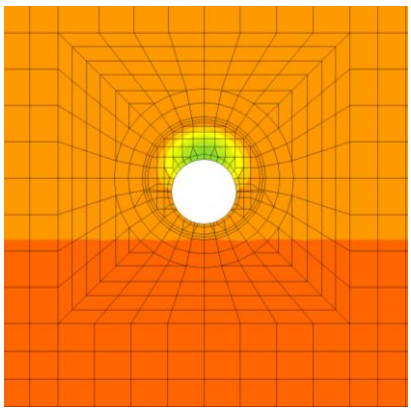
0.1 年後 | 1 年後

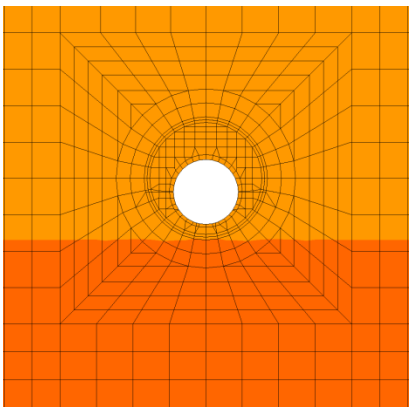


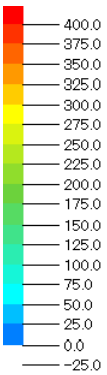




5 年後 | 20 年後

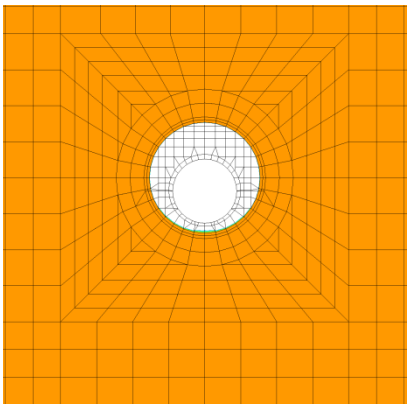


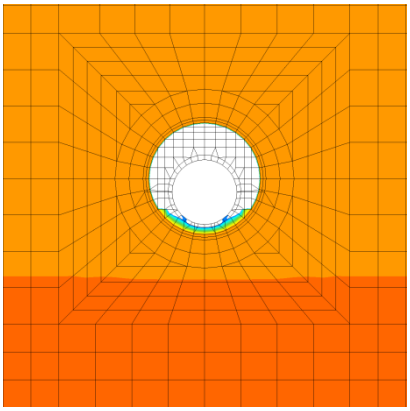


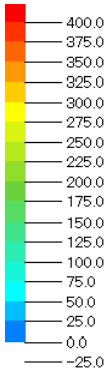


30 年後 | 50 年後

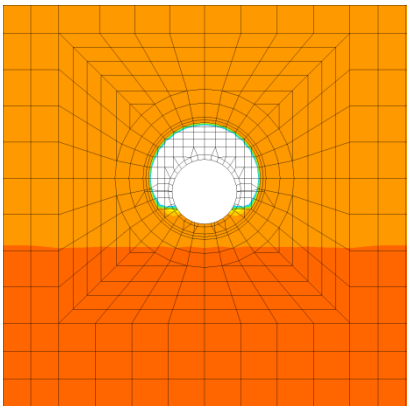
図 4.4.5-8　圧力変化図（初期飽和度 50%）

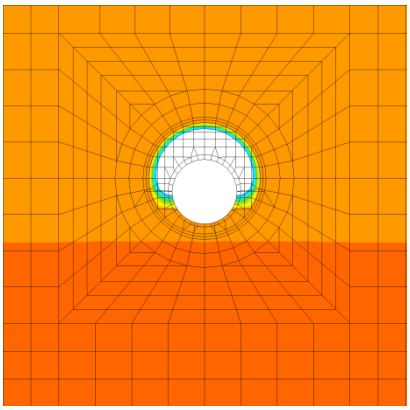


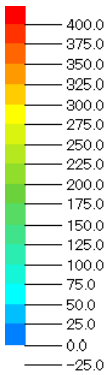




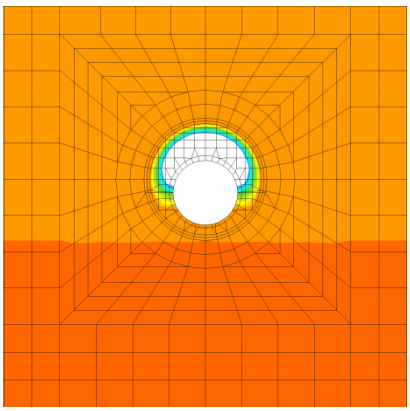
0.1 年後	1 年後	

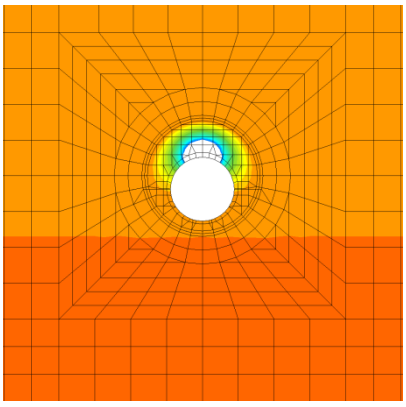


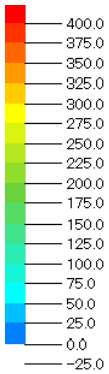




5 年後	20 年後	







30 年後	50 年後	

図 4.4.5-9　圧力変化図（初期飽和度 10%）

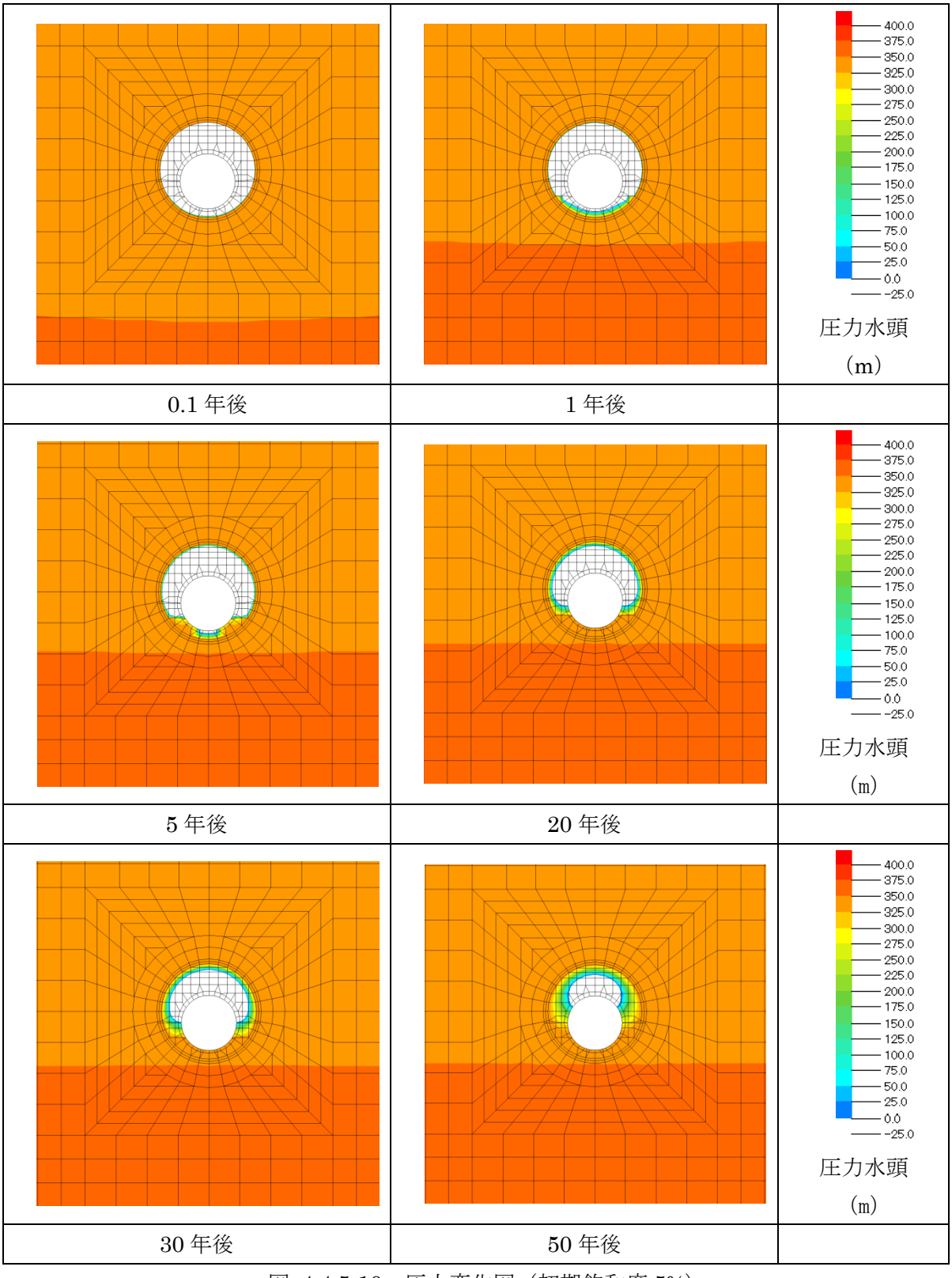


図 4.4.5-10　圧力変化図（初期飽和度 5%）

b　着目位置の圧力変化

図 4.4.5-11 に圧力変化の着目位置を示す。PEM に対して、1 要素外側（距離 0.174m）とした。図 4.4.5-12～図 4.4.5-14 に着目位置の圧力水頭の経時変化を示す。同図に併記した再冠水時間とは、初期の静水圧状態に圧力が回復した時刻を表している。飽和度に対しては、初期飽和度が低いほど、再冠水までの時間が長期化し、ベントナイトが初期の静水圧状態に戻るのは飽和度 5%ケースで 90 年を要する結果となった。

これらの結果を充填材除去の方法選定等に反映させることとした。

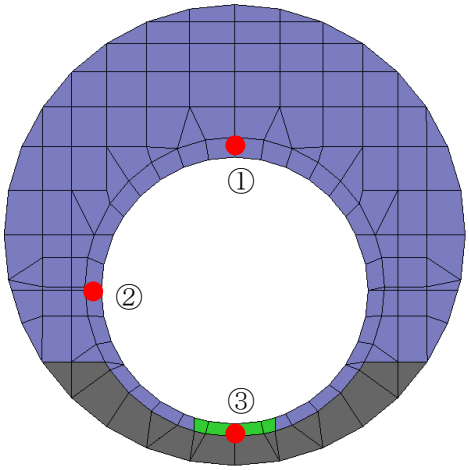


図 4.4.5-11　圧力変化着目位置

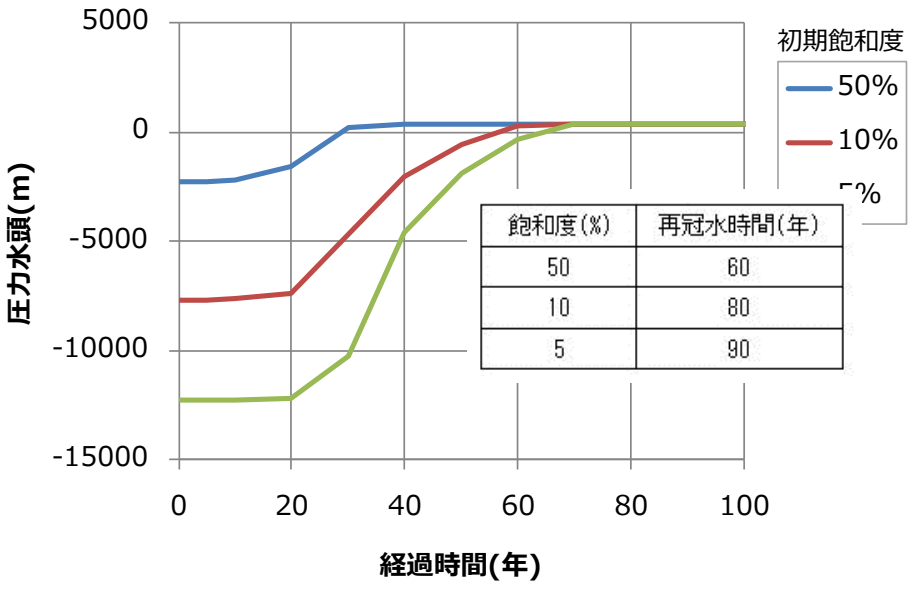


図 4.4.5-12　着目位置①の圧力変化

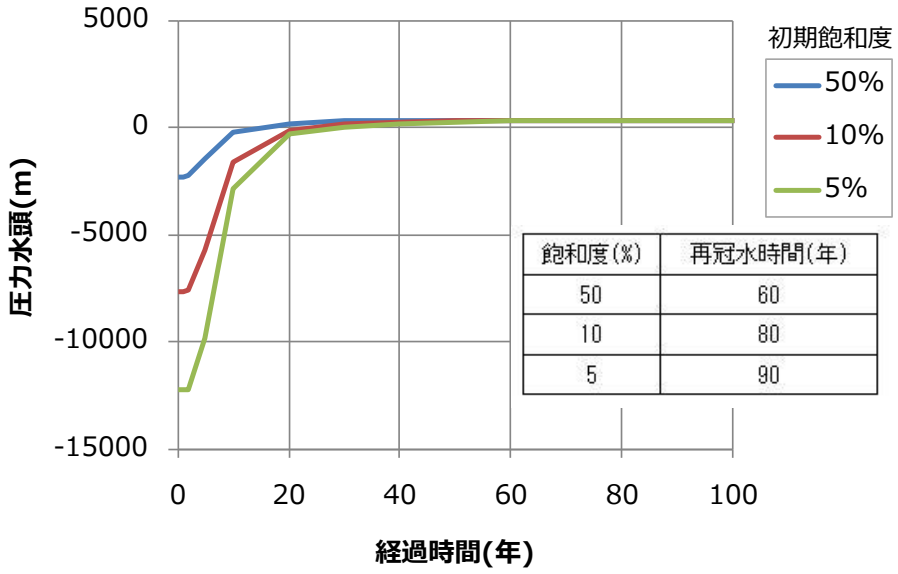


図 4.4.5-13　着目位置②の圧力変化

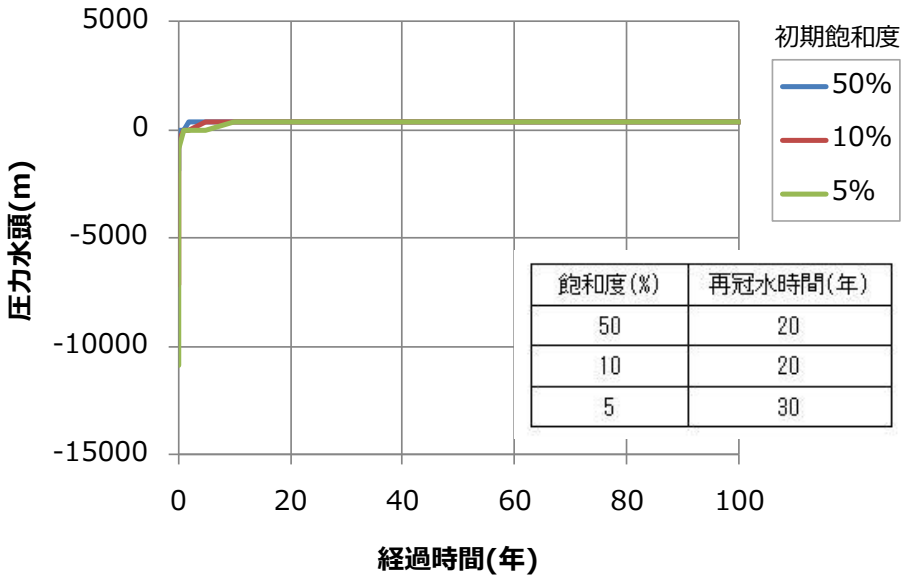


図 4.4.5-14　着目位置③の圧力変化

4.5　まとめ

(1) 実証サイトの調査、設計

本業務のまとめを以下に列挙する。

・実証試験は幌延地下研究施設の深度 350m における試験坑道 2 を対象として実施することとなった。
・試験坑道 2 で実証試験を行う場合、搬送定置装置の仕様を考慮して試験坑道 2 内を改変する必要がある。今回、実証試験を行う場として試験孔（これは、試験坑道 2 を延伸して構築)、搬送定置装置等を組み立てる場の組立台、搬送定置装置等を稼働するために必要な設備（例えば、制御盤）を設置する場の作業台の 3 エリアに分け、それぞれを設計した。
・実証試験では実際の PEM の質量を模擬した模擬 PEM を使用する。模擬 PEM の質量は 33.4t の重量物であるため、既存の坑道（試験坑道 2）に与える影響を三次元解析により確認した。その結果、組立台施工時に適正な品質を確保すれば、模擬 PEM の設置によって試験坑道 2 内の支保工の変状や、周辺岩盤の塑性化に影響を与えないことがわかった。
・試験孔の断面の形状と寸法は、①試験孔内に実証試験に必要な設備を収容するために必要な空間を確保する、②使用予定の掘削機が稼働できる、③支保工解析が成立する、以上 3 点を踏まえると、坑道径は 4000mm の馬蹄形状となった。これは、試験坑道 2 と同じ寸法である。そのため、2 章で記したとおり、実証試験を試験孔を掘削せずに試験坑道 2 内のみで実施することとした。
・幌延地下研究施設の深度 350m に設置されている各坑道の断面は、一般的には小断面坑道に分類される。そのため、各装置が搬出入経路を通過可能かを検討した。その結果、搬送定置装置の支持台、搬送台車は通過が困難であることがわかった。この結果を、搬送定置装置の設計に反映した。

(2) 実証サイトの整備

本業務のまとめを以下に列挙する。

・実証試験を実施する際に障害となる既設の計測機器は、①採水装置、②岩盤変位計、③比抵抗トモグラフィ用電極の 3 種であることを確認した。そのため、①については撤去、②、③については養生を行った。
・試験坑道 2 の支保工 9 基と 10 基の間の位置に 3m のコアボーリングを実施し、周辺環境の確認を行った。コア観察結果より周辺環境の岩盤は CL-H 級の健硬な岩盤であることが確認できた。今後、当該ボーリング内に貯留した湧水を採取し、イオン分析を行うことにより、組立台等や実証試験で使用する材料への影響を把握するための基礎データとする必要がある。
・試験坑道 2 に出現している割れ目を三次元表示にて確認した。その結果、試験坑道 2 の坑口付近には連続性のある構造性の割れ目の存在が確認できた。実証試験ではこれらが出現

する位置は作業台に該当し、そこでの湧水が懸念される。一方、実証試験の準備のための組立て台の位置には、構造性割れ目の存在は認められなかったため、作業時の湧水に起因した煩雑性は軽減されることが想定される。

・実証試験で予定している隙間充填材の除去では、周辺環境からの地下水浸入による充填材の飽和状況が、除去法の選定に対して重要な指標となる。そのため、当該サイトを対象とした隙間充填後の再冠水挙動について解析検討を行った。その結果、充填材の初期飽和度が 50%の場合には 50 年後に再冠水が終了することとなった。一方、初期飽和度が 10%、5%と低いと、坑道上方の隙間充填部は負圧の状態が 50 年経過後も維持され、また、初期飽和度が低いほど負圧領域は広くなる結果となった。

・坑道断面の位置の違いによる水圧変変化を解析により確認した結果、実証試験のための台座が設置される坑底部では、静水圧状態に戻る時間は 20 年後から 30 年後となった。充填材除去方法については、今年度は 4 種類の方法を比較検討した（6 章参照）。今後は、当該結果と実際の操業工程（2 章で記した考え方を参照）を勘合し、実証試験を行う充填材除去方法を選定する。

参考文献

[1] https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/shisetsuseibi_kouji.html

[2] 水平坑道掘削影響試験　水圧・水質モニタリング（13-350-C05 孔および C06 孔）コア観察結果報告書（要求水準確認依頼書）

[3] 日本原子力研究開発機構：幌延深地層研究計画における地下施設の支保設計（実施設計）. JAEA-Research2008-2009（2008）

[4] 土木学会編：トンネル標準示方書（山岳工法）・同解説，丸善，東京（2006）

[5] 櫻井春輔：NATM における現場計測と管理基準値，土と基礎，34 巻，2 号 pp.5-10（1986）

[6] 日本原子力研究開発機構：幌延深地層研究計画　地下研究施設整備（第Ⅱ期）等事業　竣工図集（2014）

[7] 日本原子力研究開発機構：幌延深地層研究計画　平成 24 年度地下施設計測データ集. JAEA-Data/Code 2015-017（2015）

[8] 日本原子力研究開発機構：幌延深地層研究計画　平成 25 年度地下施設計測データ集. JAEA-Data/Code 2013-022（2014）

第5章 搬送定置技術の整備と試験計画

5.1　概要

本事業において横置き PEM 搬送定置・回収の地下実証試験を実施するため、実証試験計画を作成した。また、搬送定置装置技術の整備として搬送定置装置の基本設計と一部装置の詳細設計、製作、確認試験を実施した。

5.2　搬送定置技術の整備と試験計画の検討の実施フロー

5.2.1 実施フロー

図 5.2.1-1 に実施フローを示す。

平成 27 年度は、第 2 章の全体計画を受けて 5.3 項で前提条件を整理し、5.4 項で搬送定置・回収の実証試験に必要な技術の選定を実施した。

その後、5.5 項で搬送定置装置の実証試験計画を作成し、5.6 項から 5.7 項にて搬送定置装置の基本設計と基本設計に基づいた一部の主要装置について詳細設計、製作を実施した。

また、5.8 項で上記製作装置を用いた確認試験を行い、平成 28 年度以降に計画している地下実証試験に向けての基礎データを取得した。

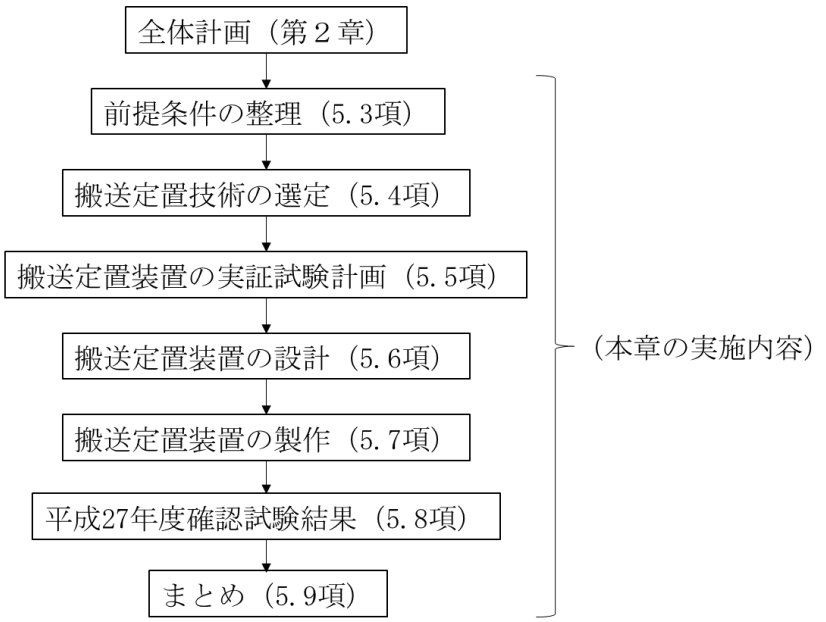


図 5.2.1-1　搬送定置技術の整備と試験計画の検討の実施フロー

5.3　前提条件の整理

5.3.1 実証試験範囲

図 5.3.1-1 に示す横置き PEM 方式における操業フローの中から、図中点線部内で示す処分坑

道内における PEM の搬送定置、回収を実証試験範囲とした。なお、回収動作については、基本的に同一装置により搬送定置動作の逆動線で行うこととした。

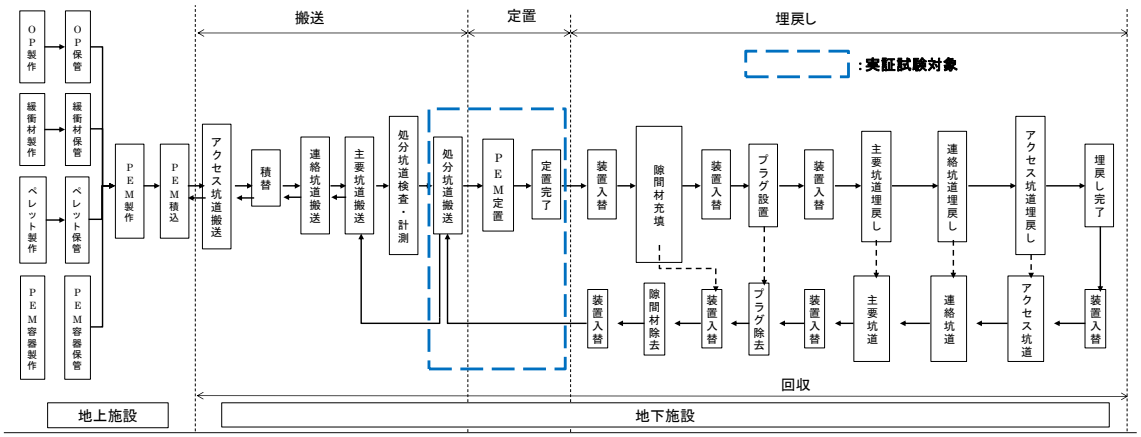


図 5.3.1-1　横置き PEM 方式による操業フロー（RWMC, 2005[1]　一部加筆）

5.3.2　実証試験で使用する PEM の仕様

本業務の実証試験で使用する PEM（以下、模擬 PEM）は、既往検討[1]で提示された鋼殻リング方式を基とした模擬 PEM とし、その仕様及び寸法を表 5.3.2-1、図 5.3.2-1 に示す。

表 5.3.2-1　搬送定置対象となる PEM の仕様及び寸法

項目	仕様
寸法	φ2,316mm×3,343mm
重量	33.4 ton
重心	PEM 容器中心
構造	オーバーパック、緩衝材等、PEM 内部構造については模擬しない。

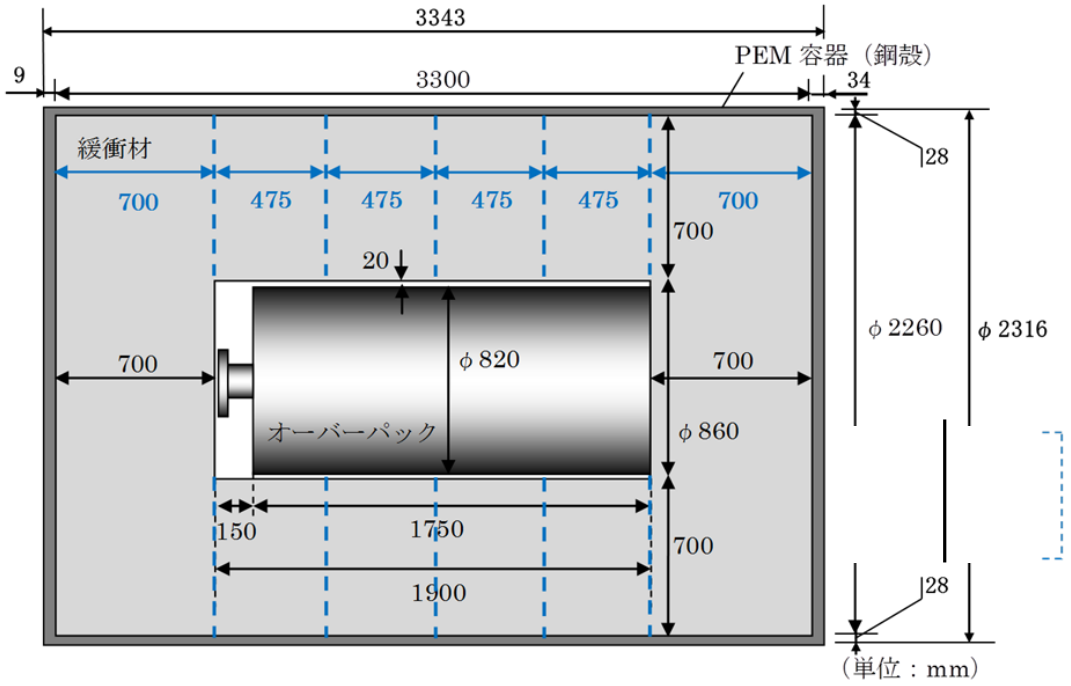


図 5.3.2-1　搬送定置対象となる PEM の仕様及び寸法[2]

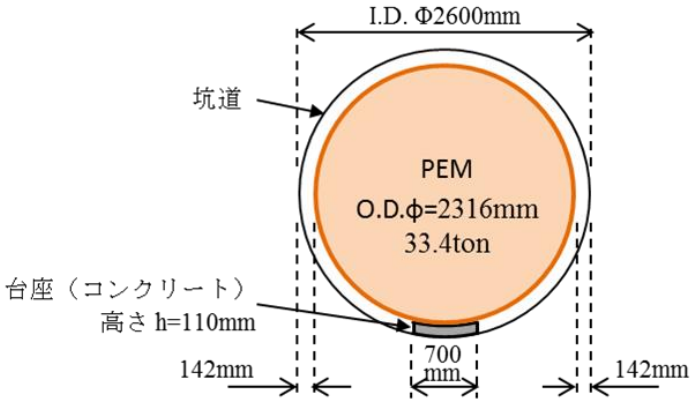
5.3.3　地下試験坑道の条件

実証試験場所となる幌延地下研究所の試験孔は、約 10m×直径ϕ2600mm（内径）、下部に幅 700mm×高さ 110mm の台座（コンクリート製）を設置する計画である。また、試験孔に接続された約 25m，直径ϕ4000mm（内径）の試験坑道 2（組立作業ヤード）において、試験装置の組立や資機材等の一時仮置きが可能な構造となっている。上記内容や、幌延地下研究所における現場調査で得た情報を含めた、地下試験坑道の詳細条件を表 5.3.3-1 に示す。

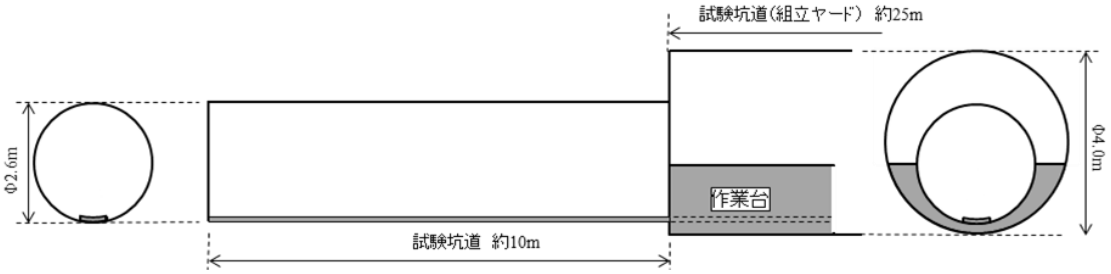
また、試験孔や試験坑道 2 の概略寸法を図 5.3.3-1 に示す。試験坑道 2 内には、搬送定置装置類や模擬 PEM を組立てるための組立台や、盤類設置などのための作業台を設置をする計画である。

表 5.3.3-1　地下試験坑道の前提・制約条件

項目	条件
試験孔寸法	・約 10m，直径 φ2600mm（内径） ・坑道下部に、幅 700mm×高さ 110mm の台座（コンクリート製）を設置。
試験坑道壁面	コンクリート
試験坑道 2（組立作業ヤード）	・約 25m，直径 φ4000mm（内径） ・資機材の一時仮置きは可。試験終了後は速やかに地上へ搬出 ・揚重：トロリー　2t×1 基 （＋ 2t×1 基の増設は可）
地上施設から地下（試験坑道）への搬入	・坑道最小断面：W1800mm，H2050mm ・揚重：　2t×2 基（トロリー）
地下環境	・湿度 100%、温度 20℃
火気制限	・内燃機関の使用不可 ・バッテリー搬送定置装置への使用不可 ・溶接機の使用不可



(i) 試験孔断面図



(ii) 坑道断面図

図 5.3.3-1　実証試験場所となる試験孔

5.4　搬送定置技術の選定

5.4.1 設計要件の検討

本事業では、実証試験場所となる地下試験坑道における横置き PEM 方式の搬送定置の試験実施に必要となる装置を設計、製作することを目的としている。以下で、搬送定置装置における設

計要件を検討した。

搬送対象となる PEM 容器は寸法がφ2,316mm×3,343mm、重量が 33.4 ton であり、定置装置への要件として大型の大重量物を搬送する機能（荷重負荷）が必要となる。

実証試験場所となる地下試験坑道では、装置自身がその断面寸法内に収まる（試験孔寸法制約）必要がある。横置き PEM 方式の定置作業では、試験孔と PEM のクリアランスが狭く、天井クレーンや門型クレーンのような装置で楊重することは実質不可能であることから、台座高さのクリアランス内で PEM の下部からの荷重支持が実現可能（クリアランス制約）となる方式を選定する必要がある。さらに、試験孔と PEM 間のクリアランスが小さく、搬送中の PEM の奥側へのアクセスが困難なことから、遠隔操作により PEM を搬送・定置できる機構（遠隔操作性）を有する必要がある。

実証試験場所となる地下試験坑道は、凹凸のあるコンクリート面上での横置き PEM の荷重を支持しつつ移動可能（不整地走行）である必要がある。また、試験孔は円形断面であることから、装置は曲率のある試験孔壁面を走行可能（壁面形状制約）である必要がある。

さらに、装置としての実証試験を本事業で実施する計画のため、実現可能性を十分に有する定置機構であることが望ましく、既に実用化されている技術に基づく機構を活用（実現可能性）していく必要がある。

上記が搬送定置装置への要件となることから、本業務における横置き PEM 方式の定置機構に対する設計要件、設計条件（前提条件、制約条件）は表 5.4.1-1 に示す通りとなる。

表 5.4.1-1 横置き PEM 方式の定置に関する設計要件、設計条件（前提条件、制約条件）

設計要件	設計条件
荷重負荷	・PEM 重量： 33.4ton
試験孔寸法制約	・装置全体寸法： φ2,600mm 以内
クリアランス制約	・定置装置高さ： 台座高さ 110mm 以下
遠隔操作性	・遠隔操作による搬送・定置機構
不整地走行	・コンクリート
壁面形状制約	・R1,300 の曲面
実現可能性	・実用化されている技術

5.4.2 搬送定置技術の選定

本項では、上記で示した設計要件、設計条件（前提条件、制約条件）を基に、実現可能な搬送定置技術を選定した。

以下では、定置機構の候補技術を抽出した後、搬送定置技術として候補となる荷重支持の方式の中から設計要件・設計条件に満足する技術を絞り込み、これまでの研究開発実績を参考として搬送定置技術を選定した。

(1) 定置機構の候補技術の抽出

まず、荷重負荷に着目して、定置機構として候補となる技術を抽出した。現状における重

量物搬送方式に関して公開情報を中心に調査を実施した結果、以下の技術を候補として抽出した。

・空圧支持（エアベアリング方式）
・磁力支持（磁力浮上方式）
・剛体支持（フォークリフト方式）
・車輪支持（キャスター方式）
・コロ支持（エンドレスコロ方式）
・コロ支持（エアバック方式）

抽出された各候補技術について、その特徴を以下に示す。

1) 空圧支持（エアベアリング方式）

空圧支持（エアベアリング方式）は、空気圧により大重量物を浮上させる方式であり、浮上時に床面とエアベアリング間に薄い空気膜が形成されることで摩擦抵抗が非常に小さくなり、水平方向への搬送を容易にする。図 5.4.2-1 にはエアベアリングの「休止」「作動」状態の概念[7]を示し、図 5.4.2-2 に基本原理[8]を示す。エアベアリング方式は、重量物を浮上・降下する機構となっているため、搬送の際には駆動力を有する装置と組み合わせて使用する必要がある。

エアベアリング方式は既に実用化されている技術で、一般産業における大重量物の搬送方式として利用実績[9]を有する。また、現在までの地層処分事業における技術開発において、エアベアリング方式が曲率のある壁面上へ適用性があることや、台座高さ 110mm のクリアランス内で適用可能であることは試験により確認されている[2]。しかし、不整地走行に対しては、表面の凹凸や目地の大きさの程度次第では性能を発揮できなく、上敷材の設置等の対策が必要となる。

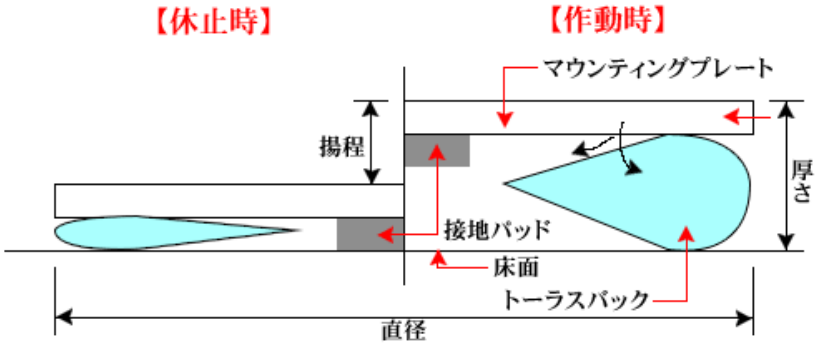


図 5.4.2-1 エアベアリング作動イメージ

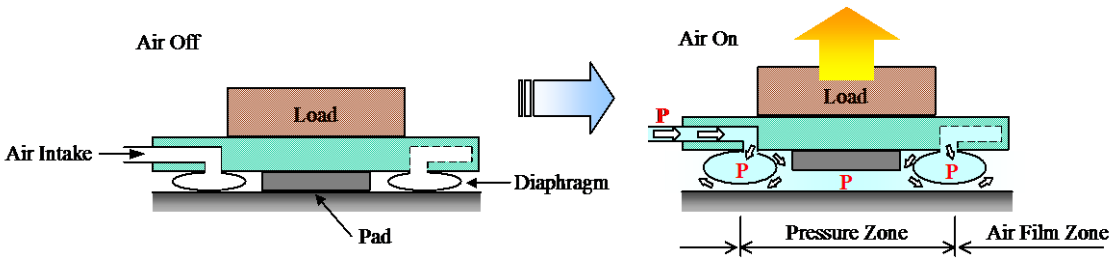


図 5.4.2-2 エアベアリング技術の基本原理図

2) 磁力支持（磁力浮上方式）

磁力支持（磁力浮上方式）は、リニアモーターカーと同じ原理を利用し、磁場による反発力を利用して重量物を浮上・搬送する方式[10]である。

原理的には可能と考えられるが、まだ実用化されていない状況であり、クリアランス制約や壁面性状制約に対し適用性を有するのか判定できないのが現状である。

3) 剛体支持（フォークリフト方式）

剛体支持（フォークリフト方式）は、フォークリフトのフォーク（ツメ）で大重量物を把持して搬送する方式である。

現在では 40 数トンまでの許容荷重を有するフォークリフトが製品化[11]されているが、フォークリフト本体自体の重量を支持物よりも重くする必要があり、その分大型化せざるを得ない。そのため、試験孔寸法制約を満足する仕様の機種は、現時点では製品化されていない。

参考として、許容荷重 30.5t のフォークリフトの外形図を図 5.4.2-3[12]、仕様表を表 5.4.2-1 [12]に示すが、この許容荷重の場合ではフォーク（ツメ）の厚さは 108mm であり、110mm のクリアランス制約では 2mm の余裕しかなく、遠隔操作でのツメの差し込みは困難と考えられる。支持物の荷重に耐えるため、フォーク（ツメ）の厚さも許容荷重とともに厚くする必要があり、PEM 重量 33.4t に耐えるには許容荷重 30.5t でのツメ厚さ 108mm よりも厚くなる可能性が高く、台座高さよりもツメの厚さが厚くなりクリアランス制約を満足出来ない可能性が高い。

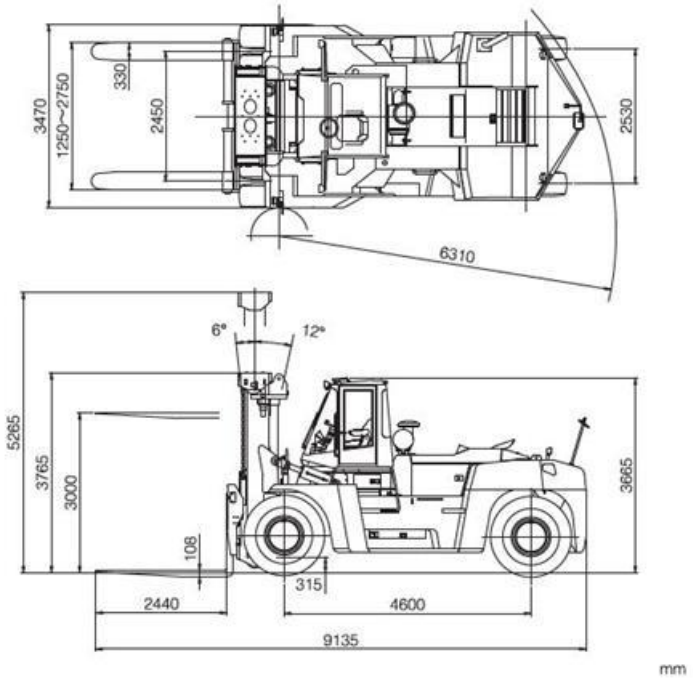


図 5.4.2-3　許容荷重 30.5t フォークリフト外形図[12]

表 5.4.2-1　許容荷重 30.5t フォークリフト仕様表[12]

標準仕様			
● 車両形式			FD300-4
●性　能			
最大荷重		kg	30500
荷重中心		mm	1250
最大揚高		mm	3000
上昇速度	負荷	mm	250
	無負荷	mm	270
マスト傾斜角度		deg	6 - 12
最高走行速度（前進）		km/h	26
最小旋回半径（車体最外部）		mm	6310
●寸　法			
全長		mm	9135
全幅		mm	3470
全高	フォーク地上時	mm	3765
	最大揚高時	mm	5265
	キャビン	mm	3665
ホイールベース		mm	4600
トレッド	前輪	mm	2450
	後輪	mm	2530
フォーク長さ		mm	2440×330×108
フォーク調整間隔		mm	1250-2750
最低地上高		mm	315
●重　量			
車両重量		kg	43340
●変速機			
変速段数	前 / 後		4/4
●エンジン			
形式			三菱ふそう6M70-TL ディーゼルエンジン
シリンダ配列/燃焼方式/NA or T			直6/直噴/ T/インタークーラー
総排気量		ℓ	12.882
定格出力		kW/rpm	190/2000(GROSS) 178/2000(NET)
最大トルク		N-m/rpm	1080/1600(GROSS) 1043/1600(NET)
ジェネレータ出力		V/AH	24/90
●タイヤ			
前輪（ダブル）			16.00-25-32PR
後輪			16.00-25-32PR

4)　車輪支持（キャスター方式）

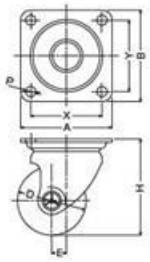
車輪支持（キャスター方式）は、複数個の車輪付きキャスターで荷重負荷を支持する方式であるが、浮上・除荷の機構が無いため、横置き PEM の定置の際には、エアジャッキのような一時的に重量物の荷重負荷を支持する機構を組合せ、キャスター部を引き抜く操作が必要となる。

現在、重量物搬送用として実用化されている低床式キャスター（許容荷重：600daN≒611.8kgf）を図 5.4.2-4 に示す[13]。この仕様のキャスターは、クリアランス制約を満足でき、許容荷重上は同キャスター55 個で PEM 重量 33.4t を支持可能である。しかしながら、凹凸のある床面に適用する場合は各キャスターが均等に荷重を受けずに偏荷重を受ける可能性があり、搬送速度は 2km/h 以下での使用となる。また、曲率のある壁面に対する適用性については今後確認が必要である。

560S-NRB 75mm

560 S

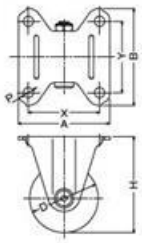
旋回式 低床式・超重荷重用
金具 黒亜鉛メッキ仕上



560SR-NRB 75mm

560 SR

固定式 低床式・超重荷重用
本体 黒亜鉛メッキ仕上



商品記号 品番・品種	車種	車輪径(mm)	許容荷重 1個(daN)	車輪構成	車輪記号	車巾 (mm)
560 S 560 SR	- NRB	65	600	ナイロン一体車輪 ラジアルボールベアリング入	562S - NRB	65 / 45
		75	600			75 / 45
560 S 560 SR	- PB	65	600	フェノール一体車輪 ローラーベアリング入	562S - PB	65 / 45
		75	600			75 / 45

■キャスター寸法表

品番・品種	車輪径 Dmm	取付高 Hmm	取付座 A×Bmm	取付寸法 X×Ymm	取付穴径 Pmm	偏芯 Emm	旋回半径 mm
560 S	65	95	100×100	78×78	11	16	52
	75	105	100×100	78×78	11	16	57

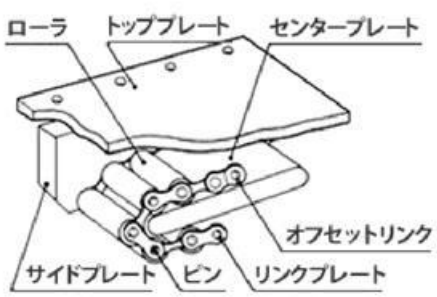
品番・品種	車輪径 Dmm	取付高 Hmm	取付座 A×Bmm	取付寸法 X×Ymm	取付穴径 Pmm
560 SR	65	95	100×106	78×78	11
	75	105	100×106	78×78	11

図 5.4.2-4　重量物搬送用キャスター仕様（低床式）[13]

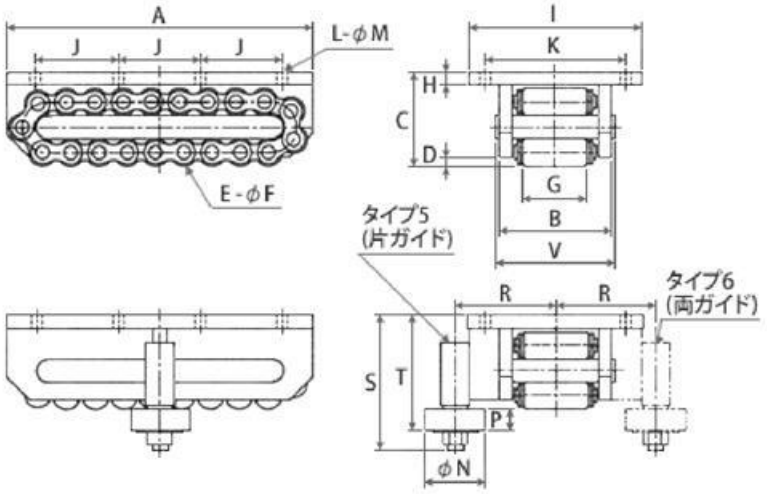
5)　コロ支持（エンドレスコロ方式）

コロ支持（エンドレスコロ方式）は、連結された複数のコロを持つフレームで負荷荷重を支持し搬送する方式である。

エンドレスコロ機構の仕様を図 5.4.2-5 [14]に示す。許容荷重 4t 及び 12t の仕様であればクリアランス制約を満足できるが、適用できる床面は鋼板及び形鋼であるため、コンクリート吹付面には適用できなくコロがめり込む可能性があり、特に曲率のあるコンクリート面ではコロがめり込む可能性は高く、水平移動できなくなる恐れがある。また床面の凹凸がある場合には偏荷重がかかる可能性がある。



Type3・Type5・Type6 寸法図



Type3 仕様

商品コード		234490	234493	234406	234500	234498
商品名		チルタンク4t	チルタンク12t	チルタンク25t	チルタンク50t	チルタンク200t
メーカー		カツヤマキカイ				
型式		NO-4 Type3	NO-12 Type3	NO-25 Type3	NO-50 Type3	NO-200 Type3
最大能力 (t)		4	12	25	50	200
走行抵抗 (a/r)		0.05	0.05	0.05	0.04	0.05
フレーム	長さ:A (mm)	160	230	320	470	860
	幅:B (mm)	92	122	150	168	246
	高さ:C (mm)	66	97	130	162	205
	スキマ:D (mm)	7	10	14	18	20
ローラ	個数:E	15	13	15	17	27
	直径:φF (mm)	18	30	38	50	60
	長さ:G (mm)	51	70	80	86	140
	接地個数	5	4-5	5	6-7	11
トッププレート	板厚:H (mm)	9	12	16	19	28
	幅:I (mm)	150	200	250	280	380
	J (mm)	125	180	250	180	190
	K (mm)	125	165	210	230	310
	L	4	4	4	6	10
	φd (mm)	11	14	18	22	26
センタープレート幅:V (mm)		106	136	166	185	262
自重 (kg)		5.7	16	39	78	290

図 5.4.2-5 エンドレスコロ機構の仕様[14]

6) コロ支持（エアバック方式）

コロ支持（エアバック方式）は、コロ形状としたエアバック複数個で荷重を支持しつつ、重量物を水平方向に搬送する方式である。

現在、この方式は大重量物の搬送に実用化されており、特徴は床面の凹凸に対してエアバックが柔軟に変形でき、従来の剛性コロでは適用できない砂地、土、道路等の床面でも使用可能であることである。エアバック方式コロの実用例を図 5.4.2-6 に示す[9]。

しかしながら、重量物搬送時にはエアバック方式コロを前方へ持ち運ぶ作業が必要であることから、本業務で設計・製作する搬送定置装置に要求される遠隔操作性を満足できず、また横置き PEM の搬送定置へ適用する場合を想定すると、PEM 定置位置までに搬送した際にエアバック方式コロを撤去する方法が課題となる。

エアバックによる原子炉の土の上での移動

バージの道路から河への進水

図 5.4.2-6　コロ支持（エアバック方式）の実用例[9]

(2) 候補技術のスクリーニング

本項では、上記で抽出した搬送定置装置の候補技術について、1 次・2 次スクリーニングを実施し、搬送定置技術を選定した。

1 次スクリーニングでは、抽出した各候補技術に対し、搬送定置装置の設計要件・条件に対して評価を行い、候補技術の絞り込みを実施する。その後、2 次スクリーニングでは、絞り込まれた候補技術について、これまでの技術開発実績を参考としつつ、搬送定置技術としての適用性検討を行い搬送定置技術を選定した。

以下に 1 次及び 2 次スクリーニング結果を示す。

1) 1 次スクリーニング

上記で抽出した定置機構の候補技術に対し、横置き PEM 方式の定置機構に対する設計要件・設計条件（前提条件、制約条件）に対して評価し、候補技術の 1 次スクリーニングを実施する。この 1 次スクリーニングでは、各候補技術について星取りを行い、その結果の点数付けにより採点の高い 2 つの候補技術を絞り込むこととした。また、その絞り込みにおいて、設計要件・条件がある 1 つでも満足できない場合は、候補技術からは除外した。

表 5.4.2-2 に各候補技術に対する評価結果を示す。この評価の結果、設計要件・設計条件を満足できるもしくは条件付きで満足できる技術は以下の通りとなった。

・空圧支持（エアベアリング方式）
・車輪支持（キャスター方式）

表 5.4.2-2　横置き PEM 方式の設計要件、設計条件（前提条件、制約条件）に対する定置機構候補技術の評価結果

設計要件・条件 ／ 候補技術	荷重負荷 ・PEM 重量： 33.4t	試験孔寸法制約 ・装置全体寸法： φ2,600mm 以内	クリアランス制約 ・定置装置高さ： 台座高さ 110mm 以下	遠隔操作性 ・遠隔操作による搬送・定置機構	不整地走行 ・吹付コンクリート	壁面形状制約 ・R1,300 の壁面	実現可能性 ・実用化されている技術	評価（点）
空圧支持（エアベアリング方式）	○ 複数のエアベアリング使用で荷重支持可能	○ エアベアリングは小型のため適用可能	○ エアベアリング高さは台座高さより低く適用可能	○ 駆動力を有する機構との組合せで遠隔操作可能	△ 床面の凹凸や目地が大きい場合には対策必要	○ 曲率を持つ壁面上への適用実績有り	○ 一般産業での大重量物搬送用に既に製品化	19
磁力支持（磁力浮上方式）	○ 原理的に可能	○ 原理的に可能	― 適用可能となるか不明	○ 原理的に可能	― 適用可能となるか不明	― 適用可能となるか不明	― 実用化された装置無し	9
剛体支持（フォークリフト方式）	○ 40t 以上搬送可能となる装置は既に製品化	× フォークリフト自体が大型化し適用不可	× フォーク板厚が台座高さ以上	○ 遠隔自動化可能	○ 一般産業での大重量物搬送用に既に製品化	○ 一般産業での大重量物搬送用に既に製品化	○ 一般産業での大重量物搬送用に既に製品化	15
車輪支持（キャスター方式）	△ 複数のエンドレスコロ使用で荷重支持可能だが数十個必要	○ キャスターは小型のため適用可能	○ キャスター高さは台座高さより低く適用可能	○ 一時的に重量物の荷重負荷を支持する機構と組合せとの組合せで遠隔操作可能	△ 偏荷重が発生しないように床面の凹凸・目地を処理すれば適用可能	△ 曲率のある面に均等に接地する車輪形状とする必要有り	○ 一般産業での大重量物搬送用に既に製品化	15
コロ支持（エンドレスコロ方式）	○ 複数のエンドレスコロ使用で荷重支持可能	○ エンドレスコロは小型のため適用可能	○ エンドレスコロ高さは台座高さより低く適用可能	○ 駆動力を有する機構との組合せで遠隔操作可能	× コンクリート面に適用不可	× 設置面積が小さく偏荷重が発生するため適用不可	○ 一般産業での大重量物搬送用に既に製品化	15
コロ支持（エアバック方式）	○ 複数のエアバック方式コロ使用で荷重支持可能	○ エアバック高さ低いため適用可能	― PEM 重量 33.4t 荷重支持する場合の必要高さは不明	× 前方へエアバック方式コロを順次設置する必要があるため適用不可	○ 床面の凹凸に対してエアバック方式コロが柔軟に変形し適用可能	○ 床面の形状に対してエアバック方式コロが柔軟に変形し適用可能	○ 一般産業での大重量物搬送用に既に製品化	15

○：　要件を満足できる又は実績有り（3 点）
△：　要件を条件付きで満足できる（1 点）
×：　要件を満足できない（0 点）
―：　要件を満足できるか不明又は実績がない（0 点）

2) 2 次スクリーニング

本項では、これまでに絞り込まれた「空圧支持（エアベアリング方式）」及び「車輪支持（キャスター方式）」について、横置き PEM 方式の定置機構として適用性を検討する 2 次スクリーニングを行った後、搬送定置技術を選定した。

a 空圧支持（エアベアリング方式）

空圧支持（エアベアリング方式）は、地層処分事業を対象とした既往の研究[2]において、横置き PEM 方式に対して適用されており、坑道中央への台座の設置を模擬した実規模試験が実施されている。同試験で使用されたエアベアリング単品の主要仕様を表 5.4.2-3 に示す。使用されたエアベアリングの数量・配置は、裕度を 2.0 程度確保し、制御の観点から最少枚数とする設定として 10 枚（5 枚×2 列）が基本とされた[5]。

表 5.4.2-3 エアベアリングの主要仕様[2]

仕様（単品）	
製造メーカ	AeroGo 社
型式	K21NHD
寸法	Φ533mm　厚さ：休止時 51mm、作動時 82mm
能力	7.3t
揚程	31mm
内圧	4.2kg/cm^2
空気消費量	0.72Nm^3/min
自重	11kg

試験の結果、エアベアリング機構を用いた PEM 搬送・定置装置により、重量 33.4t の PEM に対してウインチを用いた牽引で安定して搬送でき、またエアベアリングへの圧縮空気の供給停止のみで PEM を台座上に定置できることが確認されている。さらに、台座高さ 110mm に対し、定置の前後でエアベアリング付定置装置の抜き差しが可能であることが確認されている。

ただし、坑道の不陸については、既往の試験実績から吹付けコンクリート面ように凹凸が大きい場合には上敷材（ブリキ板など）の敷設が必要[3]となり、セグメント施工のような継ぎ目がある場合には目地を塞ぐなどの措置が必要 [5]となる。エアベリング方式を採用する場合、処分坑道に要求される表面性状の条件は厳しくする必要がある。

b 車輪支持（キャスター方式）

車輪支持方式（キャスター方式）は、地層処分事業における PEM 搬送・定置に関する研究においては実績が無く、ここでは、まず図 5.4.2-4 に示した重量物用キャスターを横置き PEM の搬送に適用する場合の耐荷重性を評価する。

この重量物用キャスターの耐荷重性評価では、横置き PEM を台座の両脇に配置する 2 列のキャスター群で支持する場合を想定する。PEM の長さは 3,343mm であることを考

慮し、3,400mm 長さに取付座長さ 100mm の重量物用キャスターを配置する時、1 列当たり 34 個が配置可能であり、2 列では計 68 個が配置可能となる。キャスター1 個当たりの許容荷重 600daN≈611.8kg であることから、68 個を使用する場合での許容荷重は約 41.6t となる。

重量物用キャスターは約 41.6t の許容荷重であることに対し、支持される PEM 重量が 33.4t であることから、この場合の安全裕度は 1.25 程度となり、比較的小さい安全裕度となる。凹凸のあるような表面を走行する場合、一部の車輪のみに荷重が負荷されることが想定され、例えば半数のキャスターのみに荷重が負荷された場合は許容荷重を超え、キャスターは適用できない。また、一般的にキャスターの選定に当たっては、偏荷重がかかることを想定して支持する総重量が、キャスターの許容荷重の 0.8 倍以下となるようにすることから、許容荷重 41.6t となるキャスターでは支持する総重量を 33.3t 以下とする方が良い。以上から、重量物用キャスターは、現時点では横置き PEM 方式に対して適用することは困難であると考えられる。なお、既往のエアベアリングを用いた PEM 搬送定置に関する研究[5]では、裕度を 2.0 程度として配置・個数が選定されていることから、安全係数は 2.0 程度として条件の変化に対応できるよう裕度を高める方が良いと考えられる。

以上の検討の結果、横置き PEM 方式の搬送定置機構として「空圧支持（エアベアリング方式）」を選定する。

なお、エアベアリング方式では、坑道床面の凹凸への対応が必要である。平成 15 年度及び 16 年度「遠隔操作技術高度化調査-遠隔ハンドリング・定置装置の開発」[8][3]等により、上敷材を用いた対策が検討されている。本事業においても、必要な場合は同様の対策を検討する。

5.4.3 搬送定置装置の基本構成

上記における横置き PEM 方式の搬送定置技術の選定結果に基づき、エアベアリング機構を用いた搬送定置装置の設計、製作作業を実施した。図 5.4.3-1 に搬送定置装置のイメージ図を示す。エアベアリング機構を有する定置装置は水平方向の駆動力が発生しないため、駆動力を有する搬送装置を連結させ、横置き PEM を搬送及び定置する装置として構成した。

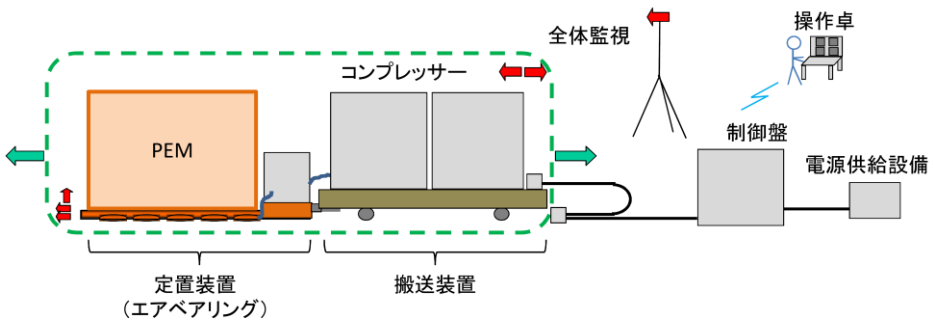


図 5.4.3-1　搬送定置装置イメージ図

なお、この搬送定置装置は、実証試験場所の搬入路の最少断面（W1,800 mm x H2,000 mm）サイズ以下に分割可能で、地下試験坑道の 2t ホイストで組立可能な構造で計画する。

5.5　搬送定置装置の実証試験計画

5.3 で選定したエアベアリング機構を用いた定置技術を活用し、5 か年で搬送定置・回収技術に関する地下環境での実証試験を行う。以下に、当該実証試験の計画を示す。

5.5.1 前提条件の整理

実証試験で使用する PEM の仕様は、前述した表 5.3.2-1 と図 5.3.2-1 に示すとおりである。

また、地下試験坑道の条件は、前述した表 5.3.3-1 と図 5.3.3-1 に示すとおりである。また、第 4 章で検討した、試験坑道 2 に新規試験孔を掘削する案の場合の地下試験坑道内配置計画を図 5.5.1-1 示す。

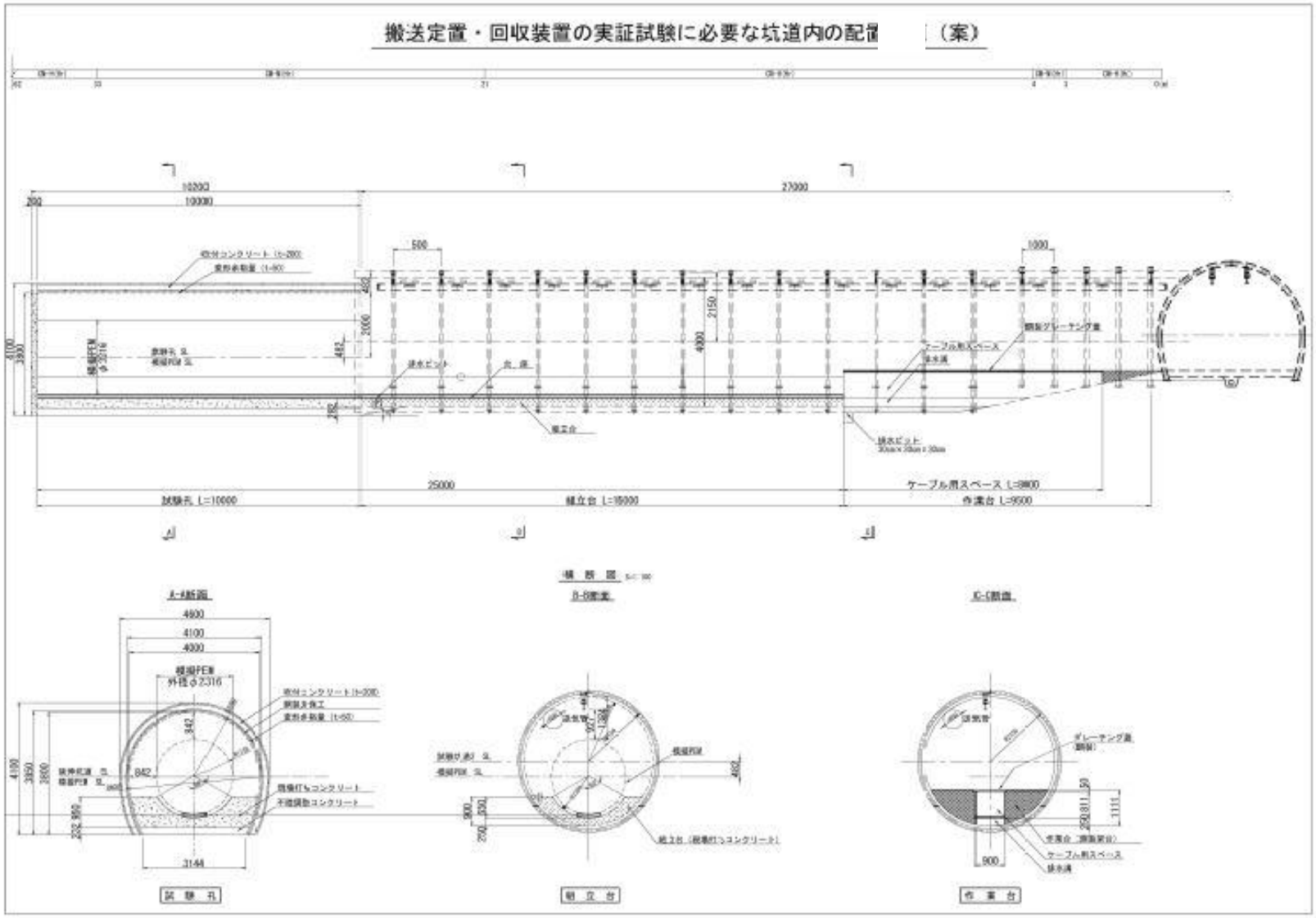


図 5.5.1-1　地下試験坑道内の配置計画（第 4 章より再掲）

5.5.2 地下実証試験のフロー

前項までの前提条件を踏まえ、搬送定置試験と回収試験における地下実証試験のフローを以下に示す。

(1) 搬送定置試験

図 5.5.2-1 に搬送定置の地下実証試験におけるフローのイメージ図を示す。模擬 PEM と搬送定置装置を試験坑道 2 に設置し、模擬 PEM を把持、搬送、定置した後、装置が移動（退避）する流れとなる。

なお、図 5.5.2-1 は新規掘削した試験孔と模擬 PEM を 2 個使用した場合を想定して示しているが、新規掘削無しの場合や、模擬 PEM を 1 個使用する場合は搬送定置装置による PEM 搬送距離が変わるが、装置の基本動作は図 5.5.2-1 と同様となる。

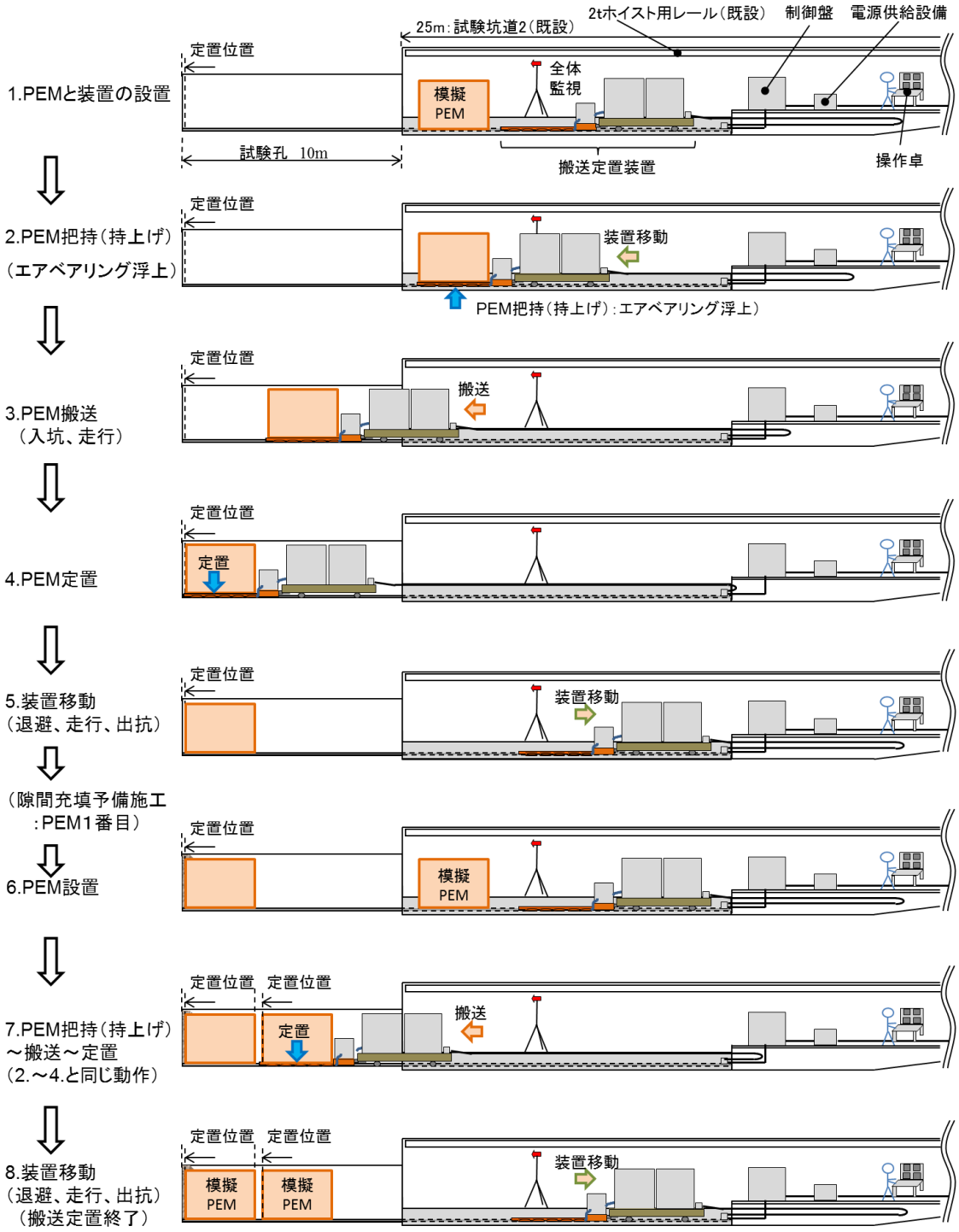


図 5.5.2-1　地下実証試験フローのイメージ図（搬送定置試験）

(2) 回収試験

図 5.5.2-2 に搬送定置の地下実証試験におけるフローのイメージ図を示す。模擬 PEM が定置してある状態で搬送定置装置を試験坑道 2 に設置し、搬送定置装置の移動、模擬 PEM を把持、回収する流れとなる。

図 5.5.2-1 も図 5.5.2-1 と同様に新規掘削した試験孔と模擬 PEM を 2 個使用した場合を想定した試験フローを示しているが、新規掘削無しの場合や、模擬 PEM を 1 個使用する場

合は搬送定置装置による PEM 回収距離が変わるが、装置の基本動作は図 5.5.2-1 と同様となる。

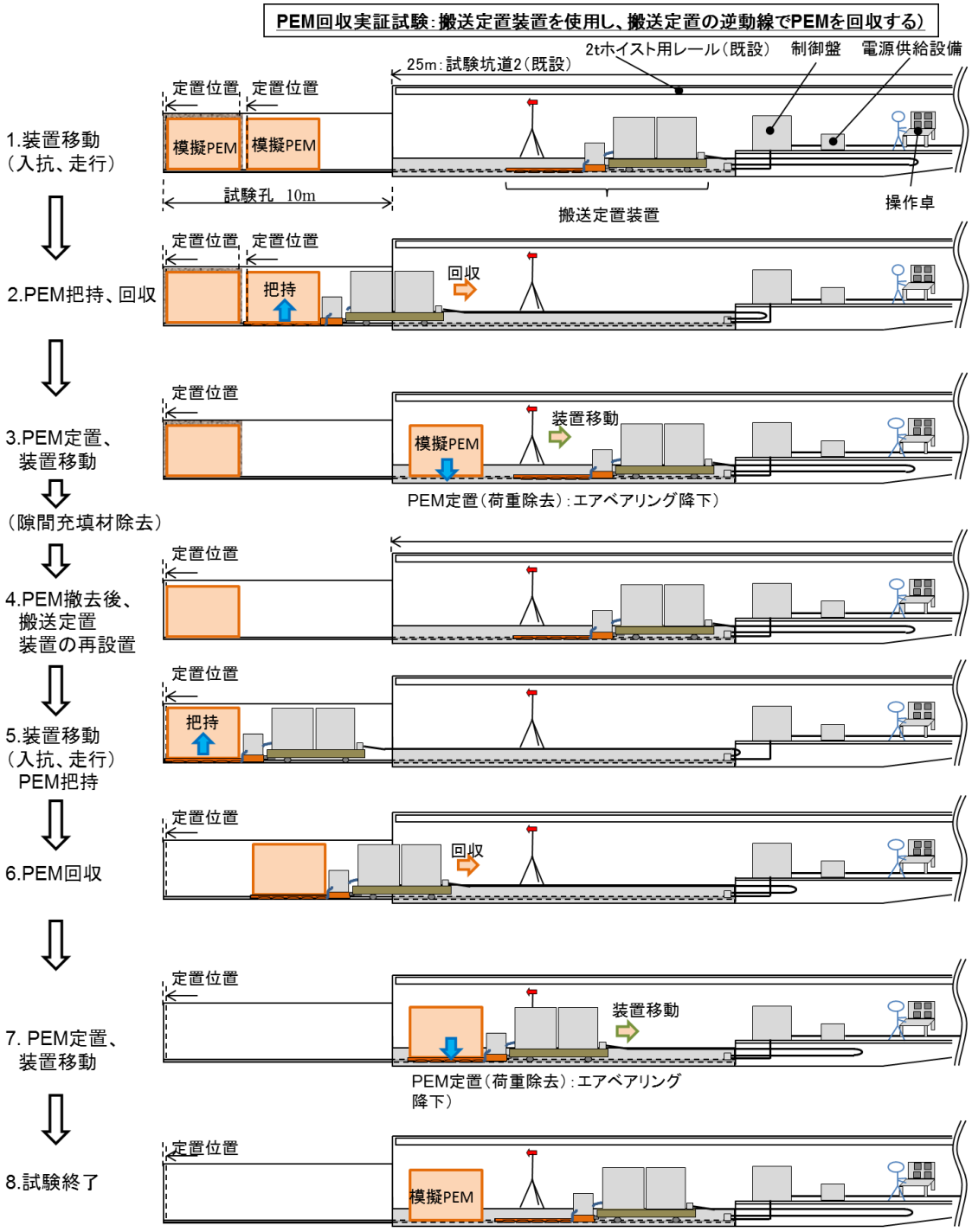


図 5.5.2-2　地下実証試験フローのイメージ図（回収試験）

5.5.3 搬送定置装置の設計・製作・試験の実施フロー

図 5.5.3-1 に搬送定置装置の設計・製作・試験の実施フローを示す。搬送定置装置を設計、製作した後、まず地上試験を行い装置性能や地下実証試験への反映項目を確認した後、地下実証試験を実施する。なお、各試験において装置へのフィードバック事項が確認された場合は、必要に応じて改造、再試験を行うものとする。

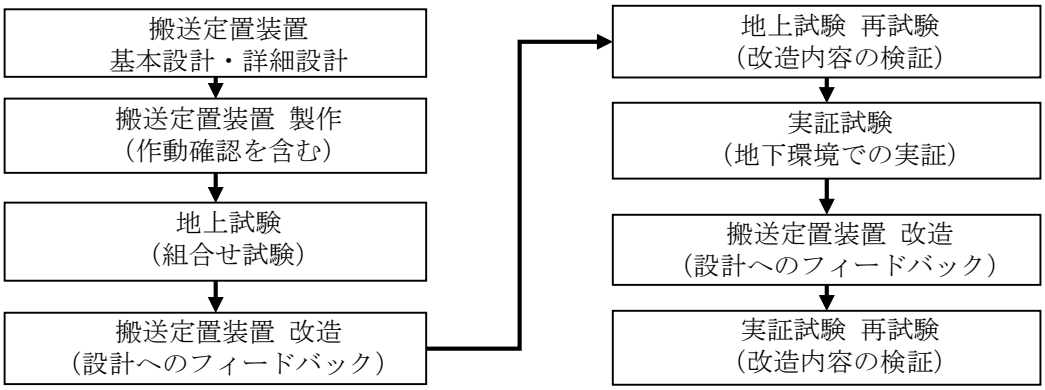


図 5.5.3-1　搬送定置装置の設計・製作・試験の実施フロー

5.5.4 実証試験で考慮する操業環境

実証試験では、地下環境条件においてエアベアリング方式による PEM 搬送定置技術の成立性を確認することとなる。以下では、地下環境条件の中から、実証試験において考慮する条件を検討し、それらに対する本検討での対応案を示す。

既往の検討[15]において遠隔搬送・定置システムの成立性に影響を及ぼすと考えられる操業環境の指標として、以下の項目が抽出されている。

・湧水
・湿度
・不陸
・温度

また、試験孔については、坑道設計上は勾配 0 で計画されているが、操業時は勾配がある試験坑道も考えられるため、本検討では勾配も操業環境の指標とした。

PEM 搬送・定置技術に関する実証試験における、上記の指標に対する対応を以下に示す。

(1) 湧水（床面の流水、水溜り）

実際の地下坑道には湧水による水溜りの発生が想定され、過去のエアベアリングを利用した定置試験では水深 75mm と設定した試験実績[3]があり、水が無い状態とほぼ同様の結果が得られている。

これまでに国内の湧水データ（堆積岩、結晶質岩）が得られており、これらを引用した想定湧水条件下での実証試験も実施可能ではあるが、本事業で地下実証試験場所となる幌延地

下施設における湧水量を試験孔の掘削前に適切に設定することは難しい。

また、過去の基盤研究における試験実績[5]から水溜り存在時においてもエアベアリングは所定の性能を達成できると期待できることから、本検討では試験孔が乾燥している条件を基本として計画した。

(2) 湧水（天盤からの滴水）

天盤からの滴水に関する適当なデータは無いが、滴水発生時には搬送定置装置への影響として金属材料への腐食が想定される。過去の基盤研究において滴水を考慮した試験の実績は無いが、試験装置の材料に適当な耐食性を有するものを選定する、もしくは定常メンテナンスで腐食を防止する等、操業時の装置設計や装置運用によって対応可能と判断し計画した。

(3) 湿度

地下坑道では湿度が 100%になることが想定されており、操業時の搬送定置装置への長期的な影響の可能性が考えられる。ただし、地下実証試験期間における装置使用期間は操業時と比較して短いことから装置への長期的な影響確認は困難であること、また（2）項と同様に操業時には定常メンテナンスでの対応も可能と考えられることから、本事業では設計時にその影響（例えば影響や金属材料の腐食等）の検討までを行い、製作装置にその対策までは行わない計画とした。

(4) 不陸

坑道壁面については、吹付コンクリート施工の場合に壁面の凹凸が大きく、セグメント施工の場合には継ぎ目が存在し、エアベアリング方式では対応が必要となる。既往の試験実績では、吹付コンクリート施工の場合には上敷材（ブリキ板等）が必要との結果が得られており、セグメント施工の場合のように継ぎ目がある場合には目地を塞ぐもしくは上敷材が必要との結果が得られている[3]。

本検討では、試験孔壁面の施工法に基づき、以下の条件で実証試験を実施する。

・場所打ちコンクリート（搬送定置装置走行面は鋼製型枠を使用）

：目地を塞ぐもしくは上敷材を利用し搬送定置試験を実施。

(5) 温度

PEM からの発熱によるエアベアリングのゴム材への影響や計測・制御系機器への影響について、エアベアリングのゴム材は、PEM 搬送時のエア流入により温度上昇が制限されること、またエア流入が無い定置装置停止時には PEM と定置装置が直接接触しないことから、発熱による温度の影響はほぼ無いと想定される。また、計測・制御系機器については実機における仕様選定において対応可能と考えられる。したがって、本検討では温度については地下環境温度を基本条件（20℃程度）として装置設計、製作、実証試験を進める計画とした。

以上に基づき、操業環境に対する本検討における対応を表 5.5.4-1 から～表 5.5.4-4 に整理した。

表 5.5.4-1　操業環境に対する本検討での対応（1/4）

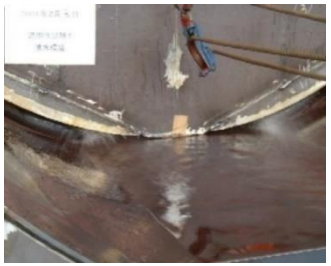
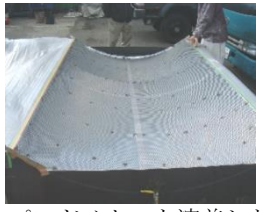
項目	想定条件	確認項目	過去の試験実績	本検討での対応
①湧水 ①-1 床面の流水、水溜り	国内の湧水データ ・堆積岩：0～0.3L/分/m ・結晶質岩：0～0.3L/分/m	・エアベアリング性能への影響 ・計測・制御系機器への影響（ex.高さ測定等） ・カメラ等への影響（金属材料への腐食影響）	【H15 年度遠隔操作技術高度化調査報告書】[2] 直径 2,400mm の鋼製の走行面上に水を張った状態。水深は、最下部からダイヤフラム中心までの高さが約 70mm のため、約 75mm と設定して試験を行った。 結果は以下 ・牽引力は、水が無い状態とほぼ同様。 ・本検討では、以降の試験に支障をきたさないよう、エアパレット全体を水没させなかった。同様のタイプのエアパレットにて、ダイヤフラム内部に供給する流体を液体にして適用している例があるため、エアパレットが水没した状態でも使用可と判断。 試験状況 	試験孔が乾燥している条件を基本とした。
①湧水 ①-2 天盤からの滴水	未設定	・装置上面・床面から高い位置の機器への影響 （(金属材料への腐食影響）	・試験で考慮した実績は無い。	操業時の装置設計や装置運用によって対応可能と考えるため、本検討での対応はしないこととした。
②湿度	～100%	・計測・制御系機器への影響 ・カメラ等への影響（金属材料への腐食影響）	・試験で考慮した実績は無い。	設計時にその影響の検討までを行い、製作装置にその対策までは行わないこととした。

表 5.5.4-2　操業環境に対する本検討での対応（2/4）

<table>
<tr><th>項目</th><th>想定条件</th><th>確認項目</th><th>過去の試験実績</th><th>対応</th></tr>
<tr>
<td>③床面の不陸
③-1 吹付けコンクリート面（TBM、発破掘削、機械掘削）</td>
<td>右表</td>
<td>・エアベアリング性能
・上敷き材の選定、回収方法等
・高さ計測装置適用性</td>
<td>
操業環境データ
【H20 年度 RWMC 遠隔操業技術高度化開発報告書】[4]
表 3.2.2-2　坑道形状に関する分析結果
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="3">掘削技術あるいは支保・覆工技術
調査結果</th><th colspan="4">硬岩系</th><th colspan="3">軟岩系</th></tr>
<tr><th colspan="2">TBM</th><th colspan="2">発破掘削</th><th>シールド</th><th colspan="2">機械掘削</th></tr>
<tr><th>支保無</th><th>支保有
(H-100)</th><th>支保無</th><th>支保有
(H-100)</th><th>支保有
(ｾｸﾞﾒﾝﾄ)</th><th>支保無</th><th>支保有
(H-250)</th></tr>
<tr><td colspan="2">表面粗度
(Roughness)</td><td>13mm</td><td>19mm</td><td>－</td><td>41mm</td><td>極小</td><td>－</td><td>28mm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ずれ
(Steps)</td><td>最大値</td><td>49mm</td><td>84mm</td><td>－</td><td>92mm</td><td>2mm</td><td>－</td><td>98mm</td></tr>
<tr><td>最大傾斜</td><td>3.2</td><td>3.4</td><td>－</td><td>3.3</td><td>－</td><td>－</td><td>3.4</td></tr>
</table>
④-1 吹付けコンクリート面に対する試験
【H15 年度遠隔操作技術高度化調査報告書】[3]
・吹き付け面を通過する際の牽引力で適用性の確認を実施。荷重 2 トン、7 トン、12 トンと増加した。吹き付け材は、モルタル。施工は、吹き付け材の剥離を防ぐため、走行面上にエキスパンドメタルを溶着した後に吹き付けた。厚さは、約 15mm 程度。
・結果、上敷材のない状態では、エアパレット全周から強いエアが漏洩し、不適。吹き付け材の有害な破損等はなし。0.5mm（0.25mm×2 枚重ね）のブリキ板が最適であった。
・表に示したレベルの吹付けコンクリート面（TBM、発破掘削、機械掘削）となる場合には、上敷き材（数種類の材質を 2 重 or3 重に組合せ）の使用が必須であり、敷設・回収方法が未検討となっている。

エキスパンドメタルを溶着した走行面

吹き付け作業状況

吹き付け走行面

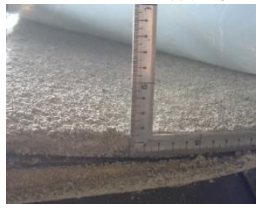
吹付け後の状態 1

吹付け後の状態 2
</td>
<td>目地を塞ぐもしくは上敷材を利用する。</td>
</tr>
</table>

表 5.5.4-3　操業環境に対する本検討での対応（3/4）

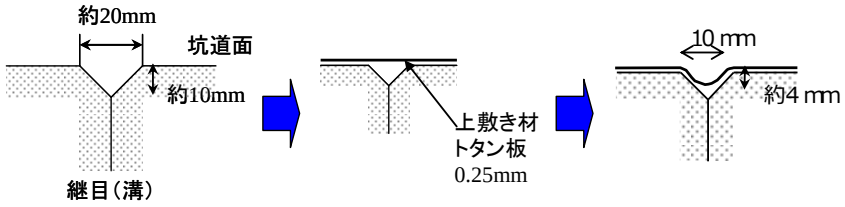
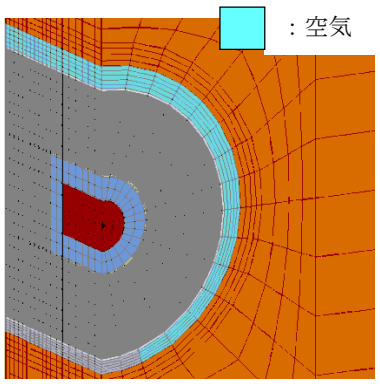
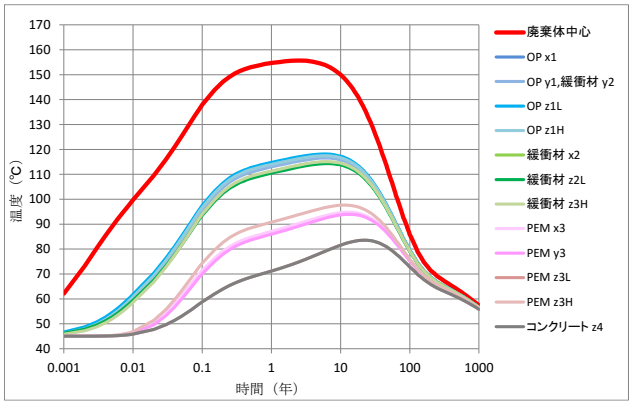
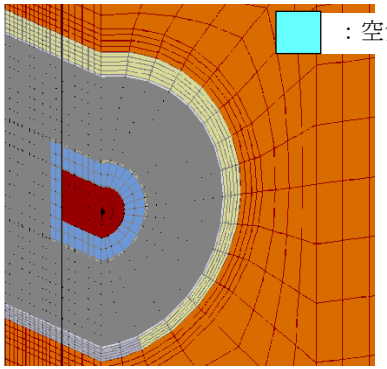
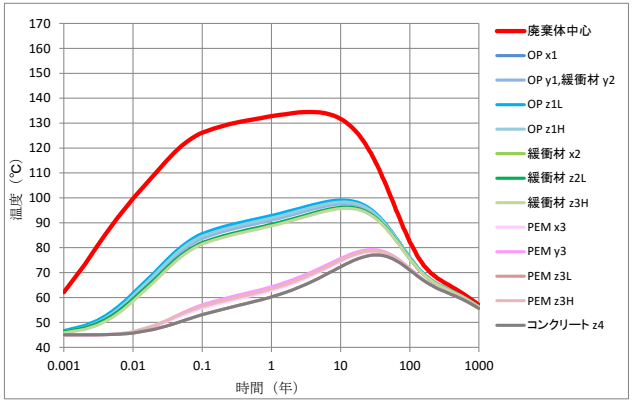
項目	想定条件	確認項目	過去の試験実績	対応
③床面の不陸 ③-2セグメント面（継ぎ目）（シールド）		・エアベアリング性能 ・上敷き材の選定、回収方法等 ・高さ計測装置適用性	④-2 セグメントでの試験 【H22 年度 RWMC 遠隔操業技術高度化開発報告書】[5] 継ぎ目部・幅約 20 深さ 10mm、上敷き材・0.25mm トタン板 モルタル充てん状況 三角形の棒状部材設置 アルミテープ貼り付け状況 上敷き材に発生したエアベアリングの走行痕  走行痕の発生概念	目地を塞ぐもしくは上敷材を利用する。

表 5.5.4-4　操業環境に対する本検討での対応（4/4）

<table>
<tr><th>項目</th><th>想定条件</th><th>確認項目</th><th>過去の試験実績</th><th>対応</th></tr>
<tr>
<td>④PEMの発熱</td>
<td>隙間充てん前：100℃弱
隙間充てん後：80℃弱</td>
<td>・計測・制御系機器への影響
・エアベアリング・ゴム材への影響</td>
<td>【H26 年度 RWMC 回収技術報告書】[6]
PEM の定置後前後における熱解析を実施。以下に解析モデル、温度の経時変化を示す。
・隙間充てん前（空気の流れ無し）
 



・隙間充てん後
 



</td>
<td>・エアベアリングのゴム材への影響については、搬送時にエアが導入されており温度上昇は制限され、エア流入が無い定置装置停止時には PEM と定置装置が直接接触しない。発熱による温度の影響はほぼ無いと想定される。
・計測・制御系機器については、実機での仕様選定で対応可能と考えられる。
・本検討では幌延地下研坑道内は 20℃程度の条件で検討を進めることとした。</td>
</tr>
</table>

5.5.5 実証試験計画の検討

(1) 試験の目的

地下実証試験では、横置き PEM 方式の搬送定置装置による搬送定置・回収試験を実施し、次の事項を実証する。

・遠隔操作により横置き PEM の搬送・定置が可能であること

・遠隔操作により逆動線で横置き PEM の回収が可能であること

搬送定置装置は、安全性・地下環境・効率性・遠隔の観点を考慮して設計・製作され、実証試験を実施する。これらの観点に基づき、実証試験で確認する項目を表 5.5.5-1 に示す。

表 5.5.5-1　実証試験での確認項目

装置設計の観点	確認項目
① 安全性	非常停止ボタンで緊急停止可能なこと
③ 地下環境への対応性	試験孔壁面状況に対応して搬送定置可能なこと
④ 効率性	所定の走行速度で PEM を搬送可能なこと
⑤ 遠隔性	PEM 定置位置の自動制御が可能なこと カメラにより操作状況が監視可能なこと

また、幌延地下施設では、表 5.3.3-1 に示したような搬入路の寸法制限や地下試験坑道の楊重制限があることから、実証試験で使用する模擬 PEM 容器や搬送定置装置類は、分割型が前提となり、実証試験時に試験坑道 2 内に設置される作業台上での組立作業が必要となることから、地上試験時に試験坑道 2 を模擬した条件で、模擬 PEM や搬送定置装置類の組立確認が必要となる。

以上に基づき、搬送定置及び回収に対する地上試験及び実証試験計画について次項以降で検討した結果を示す。

(2) 搬送定置試験

1) 地上試験計画の検討

a 地上試験計画の策定

図 5.5.5-1 に地上試験における搬送定置試験フローを示す。

地上試験場における搬送定置装置の性能試験に先立ち、平成 27 年度から複数年掛けて製作する計画の搬送定置装置について、エアベアリングを用いた定置装置に関する予備試験を実施し、運転基本パラメータを確認する。

予備試験の後、地下環境の模擬に必要となる試験装置類をセットアップし、試験坑道 2 内において模擬 PEM や搬送定置類を組み立てられることを確認するため、組立確認を実施する。

装置類の組立確認後、予備試験で設定した運転基本パラメータに基づき、製作した搬送定置装置の性能確認試験を実施する。当該試験を通じ、製作した搬送定置装置の改造項目を抽出し、設計へのフィードバックを行う。

搬送定置装置の改造が必要な場合は、搬送定置装置の性能確認再試験を実施し、装置

改造の妥当性を確認すると共に、実証試験での搬送定置装置の運転条件を設定する。

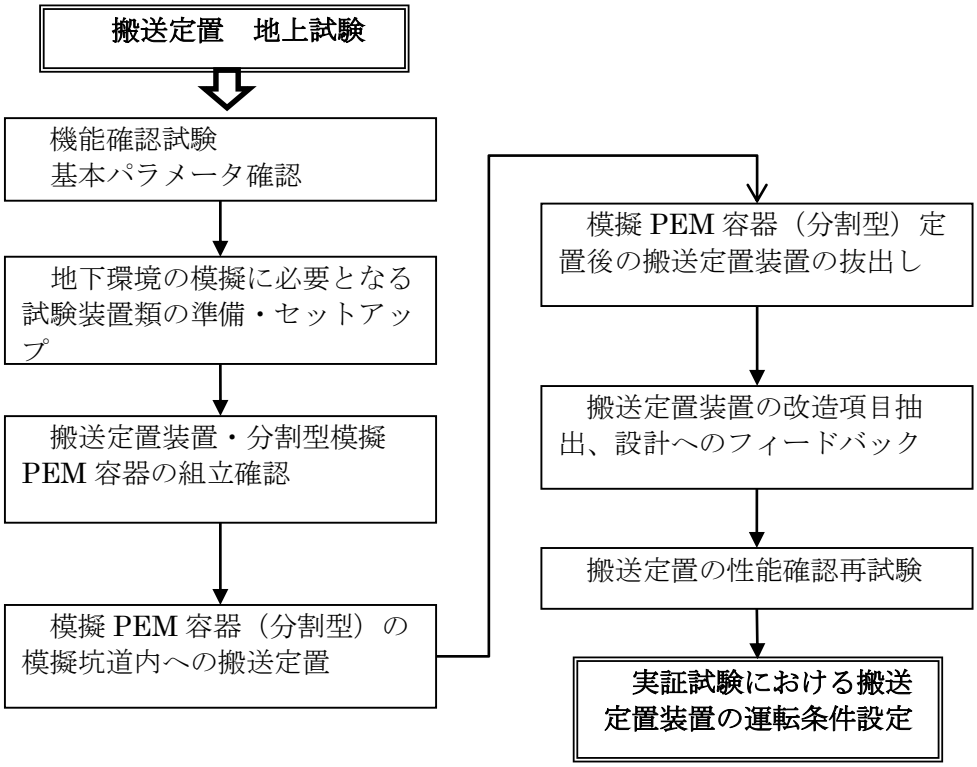


図 5.5.5-1　地上試験における搬送定置試験フロー

b　地上試験で必要となる試験装置類

図 5.5.2-1、図 5.5.2-2 で示された実証試験内容のイメージ図に基づき、地下環境を模擬するために必要となる試験装置類を抽出した結果を表 5.5.5-2 に示す。

表 5.5.5-2 に示した試験装置類のうち、平成 27 年度に製作する定置装置の作動確認向けに、以下の装置類については平成 27 年度に整備した。

・模擬 PEM 容器（半割れ型）
・地上試験用の鋼製模擬組立台

表 5.5.5-2　地上試験に必要となる試験装置類

地下環境模擬項目	内容	地上試験での対応必要となる試験装置	備考
搬送対象物	模擬 PEM 寸法:φ2,316mm×3,343mm 重量: 33.4ton	・模擬 PEM を準備 ・分割型模擬 PEM を準備（平成 28 年度以降に準備を計画）	分割型模擬 PEM は実証試験でも使用する
試験坑道	・約 10m，直径 φ2600mm（内径） ・坑道下部に、幅 700mm×高さ 110mm の台座（コンクリート製）を設置。	模擬坑道を準備（平成 28 年度以降に準備を計画）	
試験坑道壁面	コンクリート面	試験孔壁面の状況に応じ、上敷材等を準備（平成 28 年度以降に準備を計画）	
組立台（試験坑道 2）	・約 25m，直径 φ4000mm（内径） ・揚重：トロリー　2t×1 基（＋ 2t×1 基の増設は可）	・地上試験用の鋼製模擬組立台（平成 27 年度に計画） ・地上試験用 2t ホイスト付架構（平成 28 年度に計画）を準備	

2)　実証試験計画の検討

図 5.5.5-2 に実証試験における搬送定置試験フローを示す。

試験坑道 2 内での装置類の組立確認後、地上試験で設定した運転基本パラメータに基づき、製作した搬送定置装置の実証試験を実施する。当該試験を通じ、必要に応じて製作した搬送定置装置の改造項目を抽出し、設計へのフィードバックを行う。

搬送定置装置の改造を実施した場合、搬送定置装置の実証再試験を実施し、装置改造の妥当性を確認すると共に、製作した搬送定置装置の地下環境での実証を行う。

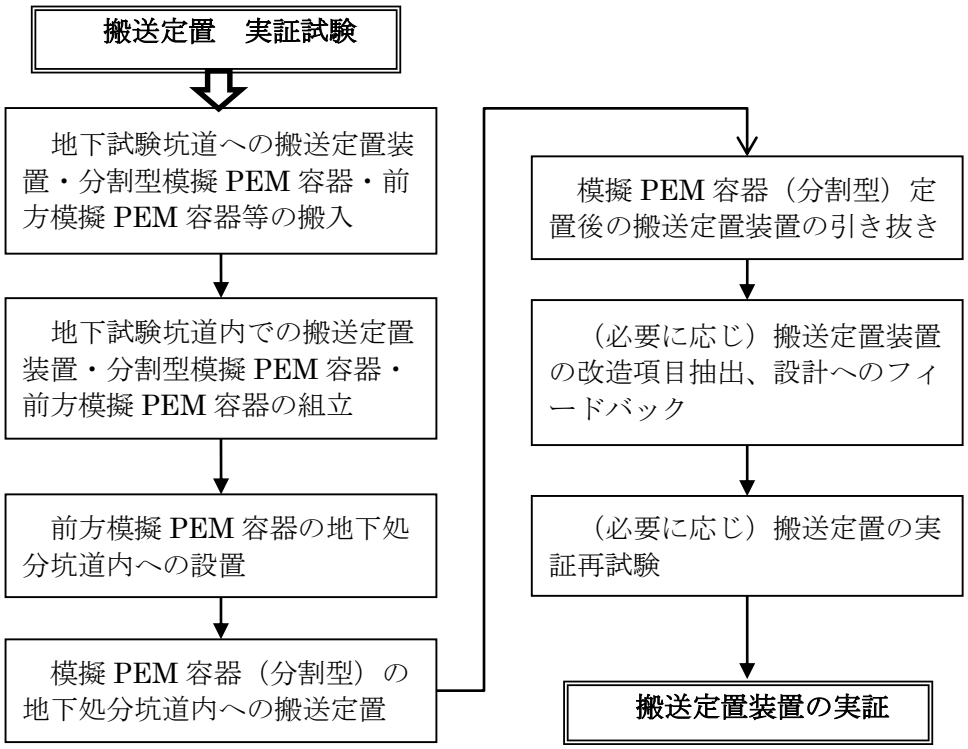


図 5.5.5-2　実証試験における搬送定置試験フロー

3)　実証試験で使用する模擬 PEM 仕様

図 5.3.2-1 に示される構造の模擬 PEM を一体型のまま幌延地下施設の試験坑道 2 まで搬入することは、表 5.5.5-2 に示された搬入に際する寸法制限や揚重制限によって不可能であり、分割型である必要がある。また、実証試験で使用する模擬 PEM は、搬送定置試験後に水を使用する隙間充填・充填材除去試験で使用されることから、この試験への影響を最小限にするため水の浸入を防ぐ構造であることが望ましい。

以上から、実証試験で使用する模擬 PEM への要求仕様を表 5.5.5-3 に示す。

表 5.5.5-3　実証試験で使用する模擬 PEM への要求仕様

項目	要求仕様
寸法	分割単位で、立坑部開口： Φ2,550mm 及び坑道最小断面：W1800mm×H2050mm を通過可能
重量	分割単位で 2t 以下
水密性	隙間充填試験や充填材除去試験で使用する水の浸入を可能な限り抑える

(3)　回収試験

1)　地上試験計画の検討

図 5.5.5-3 に地上試験における回収試験フローを示す。

隙間充填材の除去及び装置類の組立後、それまでの搬送定置試験で設定した運転基本パラメータを基本として、搬送定置の逆動線にて回収作業に対する性能確認試験を実施する。当該試験を通じ、回収実証試験での搬送定置装置の運転基本パラメータを設定する。

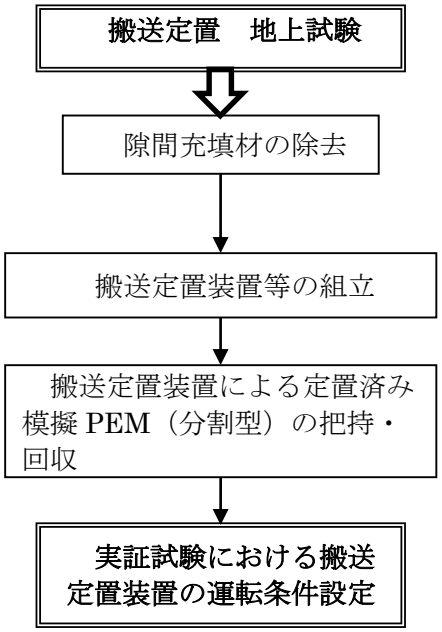


図 5.5.5-3　地上試験における回収試験フロー

2)　実証試験計画の検討

図 5.5.5-4 に実証試験における回収試験フローを示す。

試験坑道 2 内での装置類の組立確認後、地上試験で設定した運転基本パラメータに基づき、製作した搬送定置装置の回収実証試験を実施し、製作した搬送定置装置の地下環境での実証試験を行う。

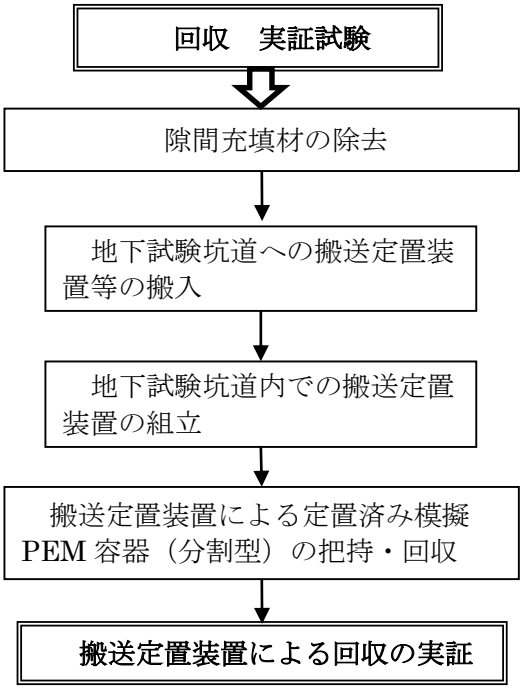


図 5.5.5-4　地下実証試験における回収試験フロー

以上に基づき、実証試験に対する年度展開計画を表 5.5.5-4 に示す。

表 5.5.5-4　実証試験の年度展開（計画）

		平成 27 年度	平成 28 年度計画	平成 29 年度計画	平成 30 年度計画	平成 31 年度計画
試験内容						
搬送定置	地上試験	－ （装置作動確認のみ）	① 予備試験 確認項目：基本運転パラメータ ② 模擬 PEM、装置類の組立確認 確認項目：装置類の組立性 ③ 搬送定置の性能試験 確認項目： 装置安全性（緊急停止） 地下環境への対応性（試験孔壁面での搬送定置） 効率性（走行速度） 遠隔性（自動定置操作、カメラ監視）	①　　装置改造後の再試験 確認項目： 改造項目の妥当性 装置安全性（緊急停止） 地下環境への対応性（試験孔壁面での搬送定置） 効率性（走行速度） 遠隔性（自動定置操作、カメラ監視）		
	地下実証試験			① 搬送定置実証試験 確認項目： 装置安全性（緊急停止） 地下環境への対応性（試験孔壁面での搬送定置） 効率性（走行速度） 遠隔性（自動定置操作、カメラ監視）	① 装置改造後の実証再試験 確認項目：改造項目の妥当性 装置安全性（緊急停止） 地下環境への対応性（試験孔壁面での搬送定置） 効率性（走行速度） 遠隔性（自動定置操作、カメラ監視）	
回収	地上試験				①回収の性能試験 確認項目： 基本運転パラメータ逆動線での回収可能性	
	地下実証試験					① 回収実証試験 確認項目： 逆動線での回収可能性
必要となる試験装置類						
搬送定置	地上試験	・鋼製模擬組立台（平成 28 年度以降も使用） ・模擬 PEM（半割れ型）	・鋼製模擬組立台 ・模擬坑道 ・模擬 2t ホイスト付架構 ・模擬 PEM（分割型） ・前方模擬 PEM	同左		
	地下実証試験			・仮設ステージ組立用の H 鋼、敷鉄板（立坑開口部上に設置） ・連絡坑道搬送用のハンドリフターまたは専用搬送架台	同左	
回収	地上試験				・鋼製模擬組立台 ・模擬 2t ホイスト付架構	
	地下実証試験					・仮設ステージ組立用の H 鋼、敷鉄板（立坑開口部上に設置） ・連絡坑道搬送用のハンドリフターまたは専用搬送架台

5.6　搬送定置装置の設計

5.6.1 搬送定置装置の基本設計

本項では、設計条件、要求機能、要求性能、機器構成、設計製作順序等を整理・検討し、本検討における搬送定置装置全体の基本設計を実施した。また、設計は安全性・地下環境・効率性・遠隔等を考慮した。

(1) 装置概要

1) 機器構成

本搬送定置装置は、PEM を把持・搭載する「定置装置」、定置装置を前進後進させる「搬送装置」、及び定置装置、搬送装置を操作するための制御盤、操作卓等の「制御装置」により構成される。（図 5.6.1-1 参照）

2) 動作概要

本搬送定置装置の動作概要は以下のとおりである。

定置装置は空気圧により床と移動体との間に空気膜を作り走行抵抗を自重の 5/1000 程度に低減するものである。

定置装置は無負荷時にはエア供給を遮断し車輪により着床状態での移動となる。一方、負荷時はエア供給によりエアベアリングは浮上状態での移動が可能となる。

搬送装置は走行駆動装置を有し走行車輪により走行する。

通常、定置装置は搬送装置と連結状態にて運転する。

搬送装置、定置装置は各装置の水平ガイド車輪により台座側面にガイドされて直進する。

定置装置は搬送装置により牽引あるいは押し込みされ、搬送装置は取扱品(PEM)を把持した定置装置を搬送するものである。

(2) 設計条件

前記 5.5.1 項で整理した前提条件や地下試験坑道の現場調査結果から、本搬送定置装置の設計条件を抽出し、

表 5.6.1-1 の通りとした。

搬送定置装置が取扱う対象物は模擬 PEM であり、その寸法・重量は既往の検討[2]における鋼殻リング方式を基本条件とし、重量：33.4t、寸法：φ2316mm×L3343mm とする。

電源・ユーティリティについては、幌延地下施設の設置設備に基づき供給電源を 3 相 AC200V、50Hz と設定し、供給エアについては無しとし、搬送定置装置で使用するエアベアリングへのエア源は装置本体へ設置する条件とした。

使用環境については幌延地下施設の条件に基づいており、ガス・結露・放射線は無しと設定し、湧水については地下試験坑道では排水溝が設置され乾燥状態であると想定されるが設計上は湧水があるものとした。

搬送定置装置の走行面は、平成 28 年度以降に幌延地下施設へ設置される処分孔形状であ

る半径 1300mm 断面の処分孔内面を前提条件とした。走行面材質は、平成 27 年度が鋼板、平成 28 年度以降がコンクリートと設定し、仕上精度はエアベアリングの使用条件から段差±1mm 以内とし、継ぎ目隙間や平坦度に対しては確認試験において装置の裕度を確認する。

その他の設計条件では、幌延地下施設特有の条件として寸法制限・重量制限・使用制限品を設定した。

表 5.6.1-1　搬送定置装置の設計条件

区分	項目	条件
取扱い対象物	①取扱品名	模擬 PEM（鋼殻リング方式を基本）
	②取扱品重量	33.4 ton
	③取扱品寸法	φ2,316 mm×3,343 mm
電源・ユーティリティ	供給電源	3 相 AC200 V, 50 Hz
	供給エア	無し （装置にて使用するエア源は装置に設置）
使用環境	①設置場所	屋内
	②温度	約 20℃
	③湿度	45%～100%
	④ガス	腐食性ガス、引火性ガスの考慮なし
	⑤結露	無し
	⑥放射線	放射線環境の考慮はなし
	⑦湧水	湧水有り
走行面	①走行面形状	半径 1300 mm 断面の処分孔の内面を走行
	②走行面材質	鋼板（地上試験における坑道模擬架台） およびコンクリート（地下実証試験）
	③走行面仕上精度	継目段差：±1 mm 以内 継目隙間：（試験時の確認項目とする。） 走行面平坦度：（試験時の確認項目とする。）
その他設計条件	①搬入開口	・立坑部開口 φ2550 mm ・坑道（水平部） 1800 mm（幅）×2050 mm（高さ）
	②搬入路床耐力	2 t/m²（搬入路）
	③搬入用揚重機	・立坑 吊上荷重 9.7 ton（リフター） ・坑道 定格 2 ton（ホイスト）
	②使用制限品	バッテリーの搬送定置装置への搭載は不可 内燃機関、溶接機の使用は不可

(3) 要求機能・性能

1) 要求機能の検討

横置き PEM 方式の搬送定置装置に対する要求機能としては、5.4.1 に示した横置き PEM 方式における定置装置の搬送定置装置の設計要件や、5.5.2 に示した地下実証試験フローから、以下の機能が必要となる。

・PEM 把持機能：処分孔台座上に定置された PEM を、搬送定置装置で搬送可能な状態にできること。
・PEM 定置機能：PEM の把持状態で搬送しながら、搬送定置装置で PEM を処分孔台座上に定置できること。
・走行機能：PEM を把持した状態及び把持していない状態で前進・後進・停止できること。
・遠隔操作機能：遠隔操作で搬送定置装置が正常に操作できること。

また、搬送定置・回収作業時における安全性への考慮として、異常発生時での安全性を確保する必要があることから、以下の機能を搬送定置装置の設計で考慮する。

・緊急停止機能：緊急時に搬送定置装置の運転を停止できること。

地下環境における搬送定置装置の実証試験場所となる幌延地下施設内への搬出入の際には、搬入路の寸法制限や揚重機の重量制限があることから、以下の機能を搬送定置装置の設計で考慮する。

・分割・組立機能：装置の分割単位で、幌延地下施設の地下搬入路を通過でき、坑道内の揚重機で吊り上げられる重量であること。

本業務で前提とするエアベアリング機構を用いた定置装置は、複数個のエアベアリングにて大重量物の PEM を把持（浮上）させる装置であり、個々のエアベアリングに均等に荷重が負荷されるように浮上させる必要がある。これが不均一の場合には PEM を上手く把持できないため、以下の機能を搬送定置装置の設計で考慮する。

・姿勢調整機能：PEM を把持している時に定置装置が全体的に所定の浮上量となるよう供給エアを調整可能であること。

2) 要求性能の検討

上記で検討した横置き PEM 方式の搬送定置装置に対する要求機能について、

表 5.6.1-1 で示した搬送定置装置の設計条件に基づき、各要求機能に対する要求性能を検討した結果を表 5.6.1-2 に示す。

PEM 把持機能については、要求機能が台座上に定置された PEM を搬送可能な状態とできることであり、本業務で基本とする模擬 PEM は鋼殻リング方式とすることから、鋼殻リングと同寸法・同重量の模擬 PEM を正常に把持できることを要求機能として設定した。

PEM 定置機能については、要求機能は PEM を処分孔台座上に定置できることであ

り、本業務において前提とする台座形状は図 5.3.3-1 に示されるとおりであることから、高さ 110mm・幅 700mm の台座へ正常に模擬 PEM を定置できることを要求性能として設定した。

走行機能については、PEM の把持・無把持状態で前進・後進・停止できることであり、設計上の制約条件は無いが、本業務においては定格速度 5m/min を要求性能として設定した。また、PEM 定置後の隙間充填材注入作業を考慮すると、定置される PEM 間の距離は 100-150mm 程度に設定されると想定されることから、停止精度としては隙間充填作業への影響が小さいと考えられる±20mm を要求機能とした。

遠隔操作機能については、遠隔操作で搬送定置装置が正常に操作できることが要求機能であり、本業務においては操作卓を用いたシステムを前提とすることから、操作卓により正常に遠隔操作できることを要求性能として設定した。

緊急停止機能については、緊急時に搬送定置装置の運転を停止できることが要求機能であり、一般的な機械装置では緊急停止ボタンを用いた緊急停止が通常であることから、緊急停止ボタンによる緊急時の運転停止を要求性能として設定した。

分割・組立機能については、装置の分割単位で幌延地下施設へ搬入可能及び坑道内で吊上げ可能であることが要求機能であり、

表 5.6.1-1 に示された寸法・重量の制約条件から要求性能を設定した。さらに、分割された装置は地下坑道内へ搬入後に再度組み立てられることから、再組立て可能であることも要求性能として設定した。

姿勢調整機能については、PEM を把持中に定置装置が所定の浮上量となるよう供給エアを調整可能であることが要求機能であり、既往の研究[2]において搬送可能な浮上量の範囲に関する知見が得られていることから、この浮上量の範囲を参考として本業務では定置装置の 4 隅の浮上量が 35mm～45mm の範囲であることを要求性能として設定した。

本業務における搬送定置装置の基本設計、詳細設計、製作及び確認試験において、以上の検討で設定された要求性能を満足するよう各作業を実施した。

表 5.6.1-2　搬送定置装置の要求機能及び要求性能

項目	要求機能	要求性能
1. PEM 把持機能	処分孔台座上に定置された PEM を、搬送定置装置で搬送可能な状態とできること。	以下の寸法・重量の模擬 PEM を正常に把持できること。 ・寸法：　φ2,316 mm × 3,343 mm ・重量：　33.4 ton
2. PEM 定置機能	PEM の把持状態で搬送しながら、搬送定置装置で PEM を処分孔台座上に定置できること。	模擬 PEM を以下の寸法の台座へ正常に定置できること。 ・寸法：　高さ 110mm、幅 700mm
3. 走行機能	PEM を把持した状態及び把持していない状態で前進・後進・停止できること。	定格速度：　5m/min 停止精度：　±20mm
4. 遠隔操作機能	遠隔操作で搬送定置装置が正常に操作できること。	操作卓からの遠隔操作で搬送定置装置が正常に操作できること。
5. 緊急停止機能	緊急時に搬送定置装置の運転を停止できること。	緊急停止ボタンにより緊急時に搬送定置装置の運転を停止できること。
6. 分割・組立機能	装置の分割単位で、幌延地下施設の地下搬入路を通過でき、坑道内の揚重機で吊り上げられる重量であること。	・分割単位寸法：　地下搬入路最少断面（W1800mm×H2050mm）を通過可能 ・分割単位自重：　2,000kg 以下 ・地下試験坑道で再組立て可能
7. 姿勢調整機能	PEM を把持している時に定置装置の所定の浮上量となるよう供給エアを調整可能であること。	定置装置への供給エア流量を調整し、定置装置の 4 隅の浮上量が 35mm～45mm の範囲であること。

(4) 機器仕様

1) 全体構成

搬送定置装置は、模擬 PEM を把持（浮上・搭載）・定置する「定置装置」、定置装置を前進・後進・停止させる「搬送装置」、及び定置装置と搬送装置を操作するための「制御装置」で構成するされるものとした。

図 5.6.1-1 に搬送定置装置の全体構成を示す。

定置装置は、大重量物である模擬 PEM を把持・定置するため、上記 5.4.項で選定したエアベアリングが設置された定置装置フレームを有する。そのフレーム上に、エアベアリングへの供給エアの圧力を調整するためのバルブユニットも設置する。また、フレーム上に、搬送定置装置の自動運転用のセンサー類や監視カメラも設置する計画である。なお、定置装置を前進・後進・停止する駆動機構は、定置装置ではなく搬送装置がその機構を有することとした。

搬送装置は、定置装置を前進・後進・停止させる装置であり、搬送装置フレーム上に電動機（モータ）付き走行駆動ユニットを設置した駆動機構を有する。エアベアリングへの必要エアはコンプレッサから供給することとなるが、実際の処分場での搬送定置作業を想定した場合、コンプレッサを地上に設置すると、必要エア流量が多いためエア供給用配管・ホースが太く、定置装置の移動時の配管・ホース類を捌く機構が必要となることや、エア供給ホースが長くなりホースによる圧力損失が課題となり得ることから、搬送装置フレーム上にコンプレッサを設置することとした。これにより、コンプレッサが定置装置と連動することが可能となり、固定配管・ホース類からエアベアリングへエアを供給できるため、模擬 PEM 搬送時のエア供給ホースの取り回しを不要とすることができる。

制御装置は、主に「制御盤」、「操作卓」及び「電源供給設備」で構成する。制御盤は、操作卓からの指示により、定置装置上のバルブユニットの弁の開閉、搬送装置上の走行駆動ユニットやコンプレッサの動作などを制御する。操作卓は、搬送定置装置の操作を行うための機器で、搬送定置装置上や床面に設置する監視カメラの映像を監視できるモニタも設置する。電源供給設備は、搬送定置装置の運転に必要となる電気を供給する設備であり、搬送定置装置までの動力・制御・通信ケーブルを捌くケーブルガイドを有する。

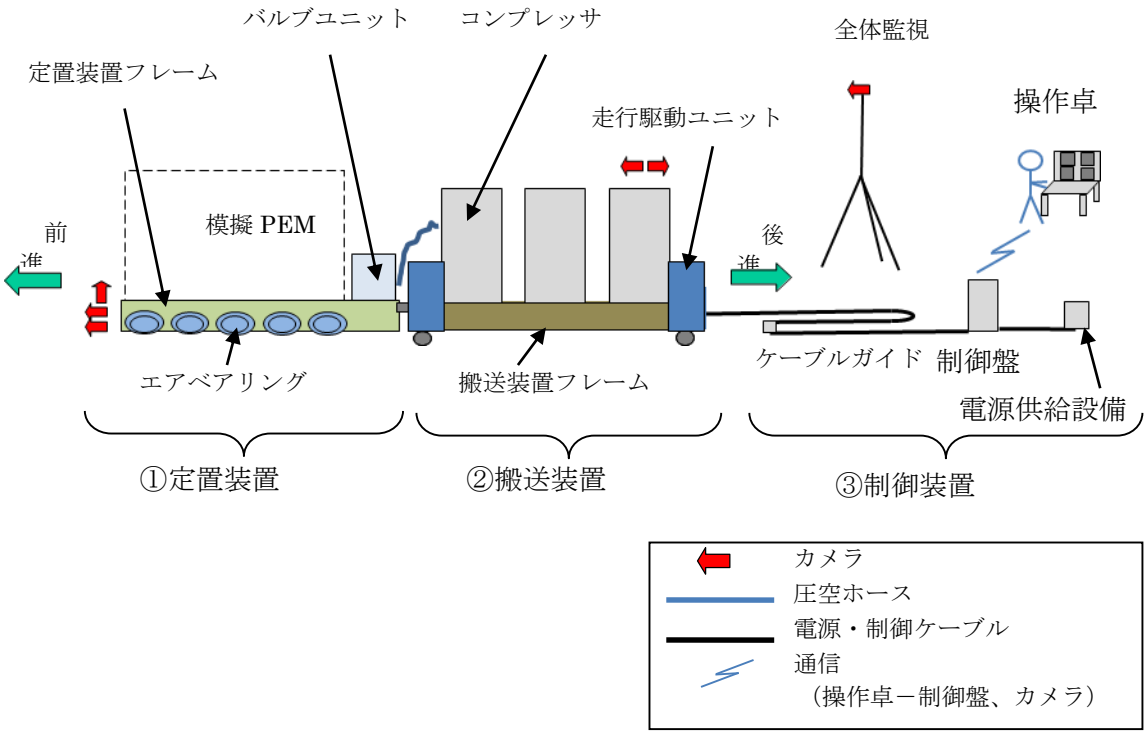


図 5.6.1-1　搬送定置装置の全体構成

2)　運転・動作フロー

模擬 PEM の搬送定置・回収のために必要となる基本動作は図 5.5.2-1 と図 5.5.2-2 に示したとおりであり、模擬 PEM の搬送定置時は、搬送定置装置が寄り付き後に模擬 PEM を把持（浮上・搭載）・搬送、所定の位置へ模擬 PEM を定置し、搬送定置装置を後進（回収時は逆動線での動作）することとなる。この一連の動作に基づき、本業務で設計・製作する搬送定置装置の操作／動作フローを表 5.6.1-3 の通りで設定した。

表 5.6.1-3　搬送定置装置の操作／動作フロー（搬送定置時）

手順 No.	装置動作
1	搬送定置装置は走行路後進限で待機。
2	搬送定置装置前方に模擬 PEM をセット。
3	搬送定置装置は、着床状態（エア供給 OFF）で車輪により前進し模擬 PEM の下に向かい前進開始。
4	搬送定置装置は模擬 PEM 搭載位置にて減速、停止。
5	搬送定置装置が停止後、エア供給を ON しエアベアリングは浮上する。
6	浮上確認後、搬送定置装置は定置位置方向に前進開始。
7	搬送定置装置は模擬 PEM 定置位置にて減速、定置。
8	エア供給を停止しエアベアリングは着床し模擬 PEM を台座上に定置。
9	定置後、搬送定置装置は着床状態にて後進運転により後進限まで移動。

3)　定置装置

a　エアベリング仕様・数量

定置装置に適用するエアベアリングは、既往の研究[2]で横置き PEM 方式の搬送定置試験に対して使用された実績のあるエアベアリングと同じ仕様とした。適用するエアベアリングの主要仕様を

表 5.6.1-4 に示す。ただし、この仕様は平滑な平面に対して使用する場合のものであり、曲面に対する性能・仕様は公表されたデータがない。

エアベアリングの数量については、既往の研究[2] で基本とされた 10 枚（5 枚×2 列）を本定置装置に対しても基本とすることとした。

なお、定置装置が適用される処分孔径については、本業務での前提条件は内径φ2,600 mm で、既往の研究では処分孔径φ2,560 mm であり若干内径寸法に違いがあるが、本業務で想定する処分孔内径の方が曲率が小さくエアベアリングによる重量物浮上に対し有利になることから、既往の研究で設定されたエアベアリング仕様と枚数を本業務でも適用可能であると判断した。

表 5.6.1-4　既往の研究[2]で使用したエアベアリングの主要仕様

仕様（単品）	
製造メーカ	AeroGo 社
型式	K21NHD
寸法	Φ533mm　厚さ：休止時 51mm、作動時 82mm
能力	7.3t
揚程	31mm
内圧	4.2kg/cm^2
空気消費量	0.72Nm^3/min
自重	11kg

注記）本仕様は平滑な平面に対する仕様であり、曲面に対するものではない

b　必要空気量

重量 33.4t の模擬 PEM の把持・定置に必要となるエアベアリングへの必要空気量については、

表 5.6.1-4 からエアベアリング 10 枚使用の場合は 7.2 Nm3/min と算出できる。しかしながら、この空気消費量は平滑な平面に使用する場合の数値であり、曲面の場合やコンクリートのようなやや凹凸のある面に対し、エアベアリングの空気消費量は平滑平面よりも多くなるとのメーカ知見があることから、本基本設計では既往の研究[2 を参照として必要空気量を設定した。

既往の研究[2]では、内径φ2,560 mm の模擬コンクリート坑道面上で 33.4t の PEM 搬送試験が実施されており、エアベアリング稼働枚数が 10 枚の時における定置装置浮上量とエア流量との関係について、図 5.6.1-2 のとおりでデータ取得されている。この図から、定置装置浮上量が表 5.6.1-2 に示した要求性能の 1 つである定置装置の床面からの浮上量が 35mm～45mm の範囲を満足する供給エア流量は 12 m3/min と設定した。なお、この試験時の浮上量の計測では、図 5.6.1-3 に示すようにエアベアリングユニットの四隅と坑道面の距離を計測し、この距離を浮上量としている。

以上に基づき、エアベアリングへエアを供給するコンプレッサの詳細設計では、エア流量を 12 Nm3/min 以上供給できる仕様のものを選定することとした。

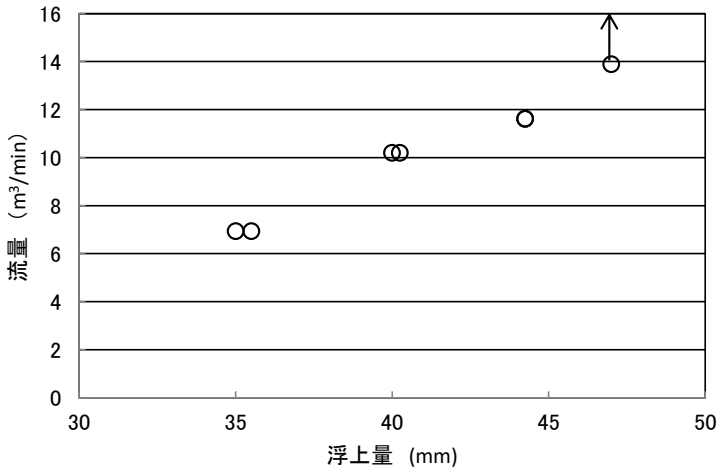
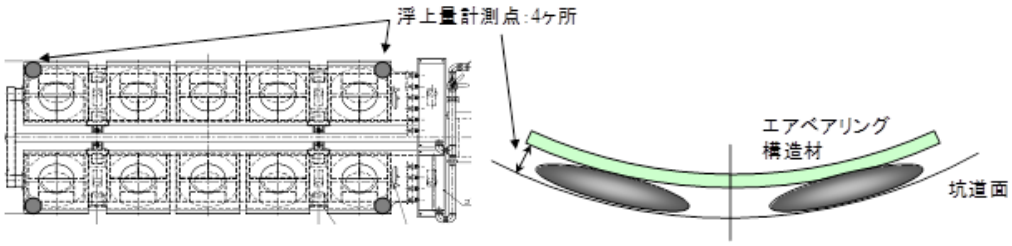


図 5.6.1-2　定置装置浮上量とエア流量の関係
（平成 23 年度地層処分技術調査等事業高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）[2]より引用）



(a) 下面側計測位置　　(a) 側面計測位置

図 5.6.1-3　既往の研究[5]における浮上量計測位置
（平成 22 年度地層処分技術調査等事業高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工

学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）[5]より引用）

c　定置装置の構成

定置装置の構成は既往の研究[2]と同様に、大重量物である模擬 PEM を把持・定置するためエアベアリングが設置された定置装置フレームを有し、そのフレーム上にエアベアリングへの供給エアの圧力を調整するためのバルブユニットも設置する。また、定置装置フレームには、エアを供給していない時の移動用に床面に接地する走行車輪と共に、PEM 搬送時のガイド用に台座に接地する水平ガイド車輪を装備する。図 5.6.1-4 に既往の研究における定置装置の外観を示す。加えて、平成 28 年度以降に、フレーム上に搬送定置装置の自動運転用のセンサー類や監視カメラも設置する計画である。

なお、エアベアリングへのエアを供給するコンプレッサは、搬送装置に設置し、定置装置を前進・後進・停止する駆動機構も搬送装置に設置することとした。

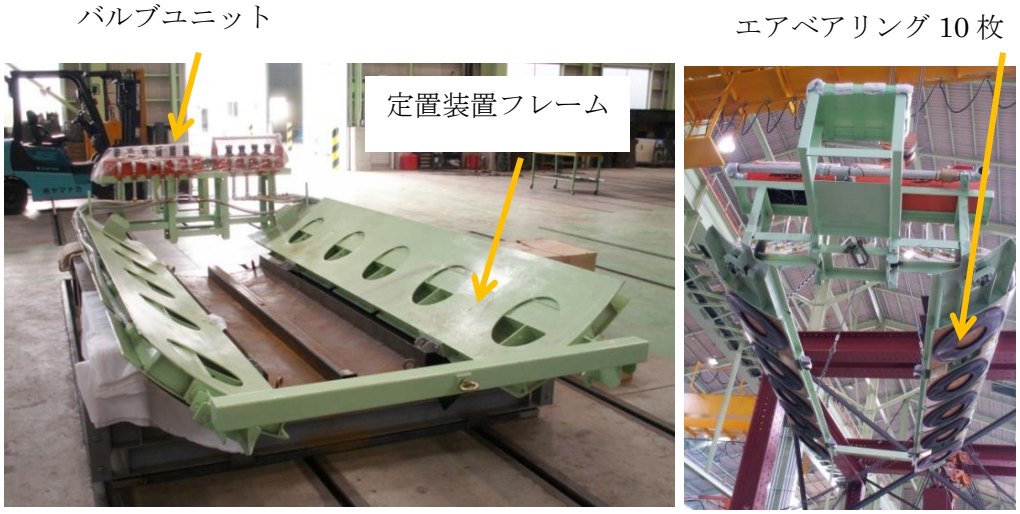


図 5.6.1-4　既往の研究における定置装置の外観[2]

d　定置装置の基本仕様

以上の設計検討に基づき設定した定置装置の基本仕様を表 5.6.1-5 に示す。

平成 27 年度は、安全対策は基本的には目視による確認とし、平成 28 年度以降に装備する監視カメラやセンサー類により、運転監視や自動停止等の安全機能を付加する計画とした。塗装については、平成 28 年度以降に最終仕上げする計画とした。また、定置装置の走行面については、平成 27 年度は鋼板（鋼製模擬架台上）として定置装置としての性能を確認し、平成 28 年度以降にコンクリート面に対する性能を確認する計画とした。平成 27 年度に詳細設計、製作した定置装置の外形図を図 5.6.1-5 に示す。

表 5.6.1-5　定置装置の基本仕様

No.	項目	平成 27 年度仕様	備考
1	駆動方式	(1) 走行駆動：駆動機能なし （搬送装置による牽引により走行） (2) 浮上駆動：エアベアリング ① 型式：AeroGo 社製 K21NHD （特殊品 curved type） ② 使用数量：10 枚 ③ 消費空気量：12 Nm^3/min	
2	取扱品	模擬 PEM	
3	取扱重量	33.4 ton	
4	走行速度	定格速度：5 m/min	搬送装置による牽引
5	走行面材質	鋼板（坑道模擬架台）	地下実証試験はコンクリート
6	走行面仕上精度	継目段差：±1mm 以内	隙間、平坦度は試験での確認項目とする
7	走行車輪	ウレタン車輪	無負荷時走行用 コンクリート表面を傷めない材質
8	水平ガイド車輪	ウレタン車輪等	
9	塗装仕様	錆止めペイント：1 回	平成 28 年度以降に仕上塗装
10	塗装色	塗料メーカ標準	平成 28 年度に選定
11	センサー類	なし	平成 28 年度以降に浮上確認センサー、減速・停止センサー等を装備
12	安全対策	目視による安全確認 鋼製模擬架台走行端にメカストッパーを設置	平成 28 年度以降に監視カメラによる監視 平成 28 年度以降に減速・停止センサーによる自動停止機能付加
13	搬送装置との連結	連結ピンによる連結	
14	駆動用エア	搬送装置上に搭載するコンプレッサより供給	

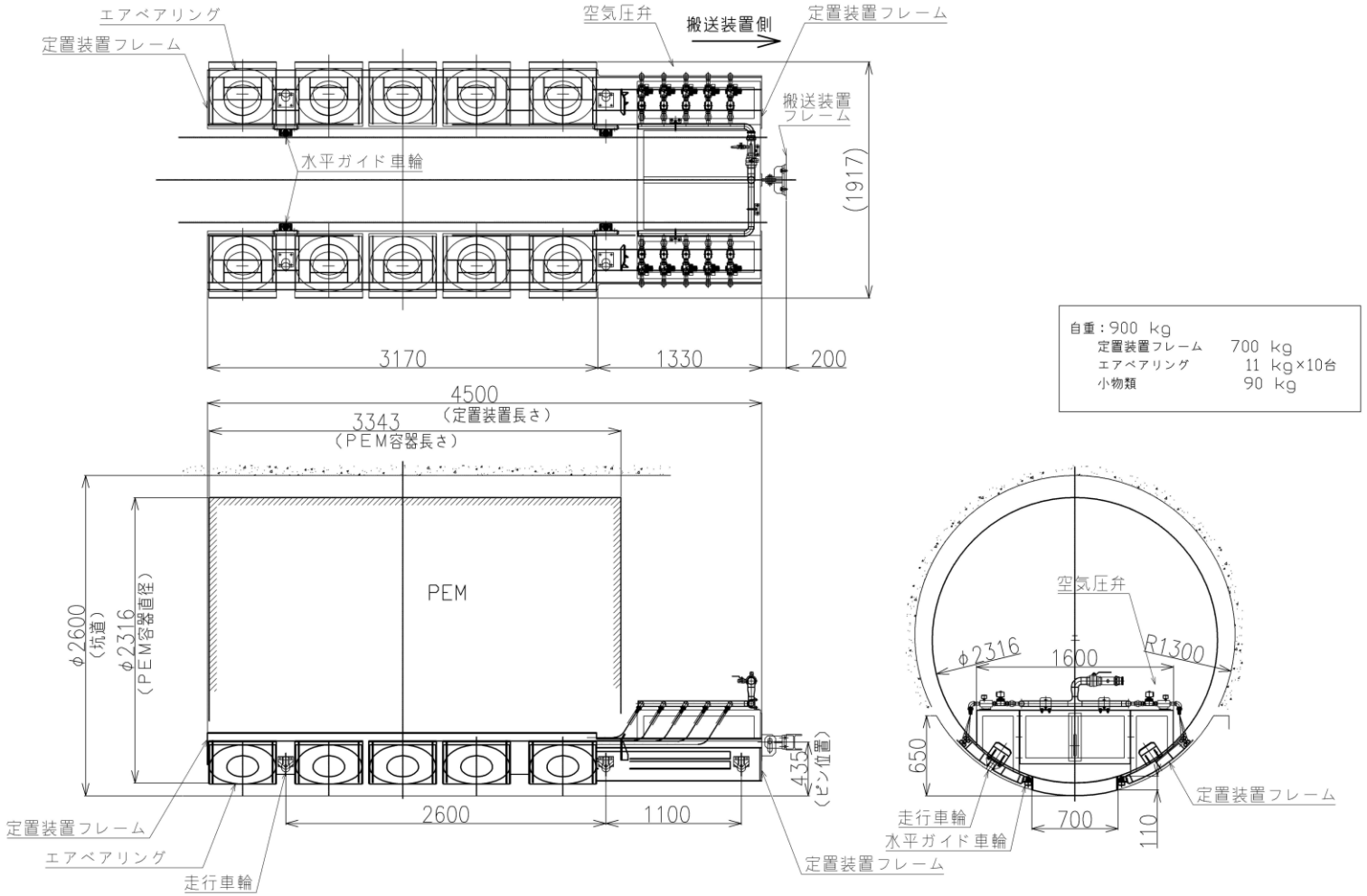


図 5.6.1-5　定置装置　外形図（平成 27 年度製作分）

4) 搬送装置

a 駆動機構

定置装置及び搬送装置自身の駆動機構として、電動モータ（ブレーキ機能付き）を基本として検討を実施した。

PEM+定置装置の牽引に必要となる牽引力の設定では、保守的に設定した摩擦係数を用いたものよりも、平成 23 年度試験で得られた牽引力（初動値）データの方が大きいことから、この試験データを参照し安全側の評価を実施した。保守的に条件設定した結果、PEM・定置装置・搬送装置の駆動に必要となるモータ出力は、計算上 1.5kW で十分と評価した。

ただ、走行面の状態が厳しくなる場合（勾配・凹凸・段差等）や、駆動に寄与する車輪数が減る場合を考慮し、1.5kW×4 輪駆動を採用した。後述の 5.6.1(4)4)a 駆動機構において検討内容を示した。

b 搬送装置の構成

搬送装置は、定置装置を前進・後進・停止させる装置であり、搬送装置フレーム上に電動機（モータ）付き走行駆動ユニットを設置した駆動機構を有するものとした。地下処分孔内での故障時における処置時に前方側モータへのアクセス性が確保できないことから、ブレーキ機能は後方部モータのみに付加することとした。

エアベアリングへエアを供給するコンプレッサは、搬送装置フレーム上にコンプレッサを設置することとした。後述の 5.6.3(1)3)a コンプレッサの選定にて選定したコンプレッサの仕様を詳述するが、以下に示すコンプレッサの主要仕様を基本として検討し、台数を 3 台と設定した。

・吐出圧力： 0.6～0.85 m3/min
・吐出空気量： 6.05～6.95 m3/min
・メインモータ出力： 37 kW 型
・ファンモータ出力： 1.5kW

コンプレッサは定置装置と連動することが可能であり、固定配管・ホース類からエアベアリングへエアを供給できるため、模擬 PEM 搬送時のエア供給ホースの取り回しを不要とすることができる。

同様にケーブルの取り回しを簡素化するため、制御盤の大きさが搬送装置フレーム上に収まる場合には、制御盤を搬送装置に搭載することとした。

搬送装置フレームには、PEM 搬送時のガイド用に台座に接地する水平ガイド車輪を装備することとした。

c 搬送装置の基本仕様

以上の設計検討に基づき設定した搬送装置の基本仕様を表 5.6.1-6 に示す。

平成 27 年度は、安全対策は基本的には目視による確認とし、平成 28 年度以降に装備するセンサーにより自動停止の安全機能を付加することとした。塗装については、平成 28 年度以降に最終仕上げすることとした。定置装置の走行面については、平成 27 年度

は鋼板（鋼製模擬架台上）として定置装置としての性能を確認し、平成 28 年度以降にコンクリート面に対する性能を確認することとした。

平成 27 年度に詳細設計、製作した搬送装置の外形図を図 5.6.1-6 に示す。

表 5.6.1-6　搬送装置の基本仕様

No.	項目	平成 27 年度仕様	備考
1	駆動方式	・走行駆動：　電動モータ （後部モータのみブレーキ機能付き） ・浮上駆動：　浮上機能なし	
2	搭載品	コンプレッサ ・吐出圧力：　0.6～0.85MPa ・吐出空気量：　6.05～6.95 m^3/min ・メインモータ出力：　37 kW ・ファンモータ出力：　1.5 kW ・使用台数：　3 台	
3	走行速度	定格速度：5 m/min	搬送装置による牽引
4	走行面材質	鋼板（坑道模擬架台）	平成 28 年度以降はコンクリート
5	走行面仕上精度	継目段差：±1mm 以内	隙間、平坦度は試験での確認項目とする
6	走行車輪	ウレタン車輪等	コンクリート表面を傷めない材質
7	水平ガイド車輪	ウレタン車輪等	コンクリート表面を傷めない材質
8	塗装仕様	錆止めペイント：1 回	平成 28 年度以降に仕上塗装
9	塗装色	塗料メーカ標準	平成 28 年度以降に選定
10	センサー類	なし	平成 28 年度以降に後進時障害物検知センサーを装備
11	安全対策	目視による安全確認	平成 28 年度以降に、監視カメラ設置、緊急停止機能、自動停止機能を付加
12	定置装置との連結	連結ピンによる連結	

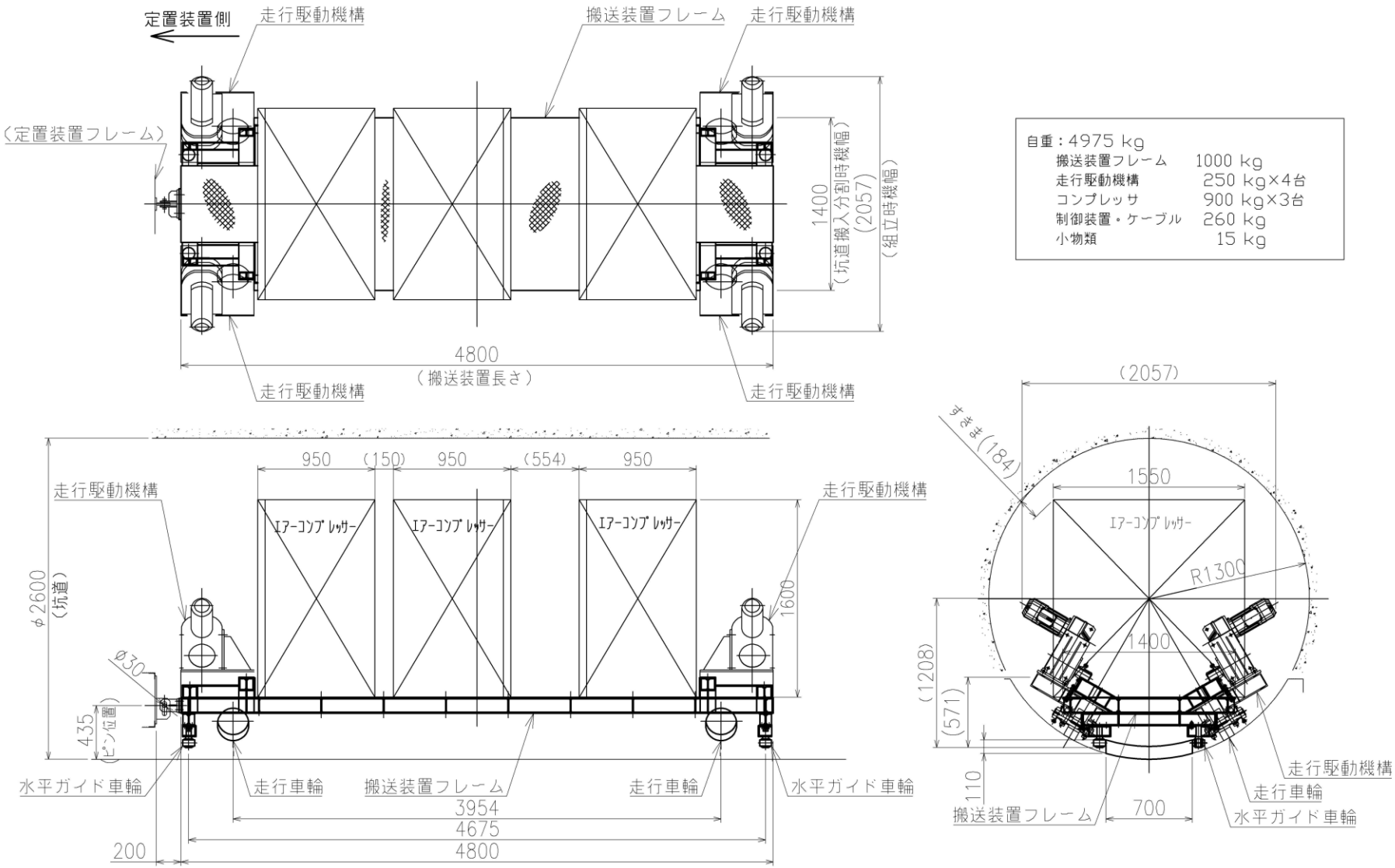


図 5.6.1-6　搬送装置　外形図（平成 27 年度製作分）

5) 制御装置

a システム構成

制御装置は、主に「制御盤」、「操作卓」及び「電源供給設備」で構成する。制御盤は、操作卓からの指示により、定置装置上のバルブユニットの弁の開閉、搬送装置上の走行駆動ユニットやコンプレッサの動作などを制御する。操作卓は、搬送定置装置の操作を行うための機器で、搬送定置装置上や床面に設置する監視カメラの映像を監視できるモニタも設置する。電源供給設備は、搬送定置装置の運転に必要となる電気を供給する設備であり、搬送定置装置までの動力・制御・通信ケーブルを捌くケーブルガイドを有する。

上記の構成に基づく制御装置のシステム構成図を図 5.6.1-7 に示す。

平成 27 年度は、制御盤・操作卓・電源供給設備はいずれも搬送定置装置の確認試験が実施できる範囲で製作する仮設品となり、平成 28 年度以降に本設品を詳細設計・製作する。また、監視カメラは平成 28 年度以降に搬送定置装置へ設置する計画であるほか、平成 27 年度の搬送定置装置の確認試験の結果を受け、運転制御・自動運転・安全対策等を考慮したセンサー類が追加される計画となっている。

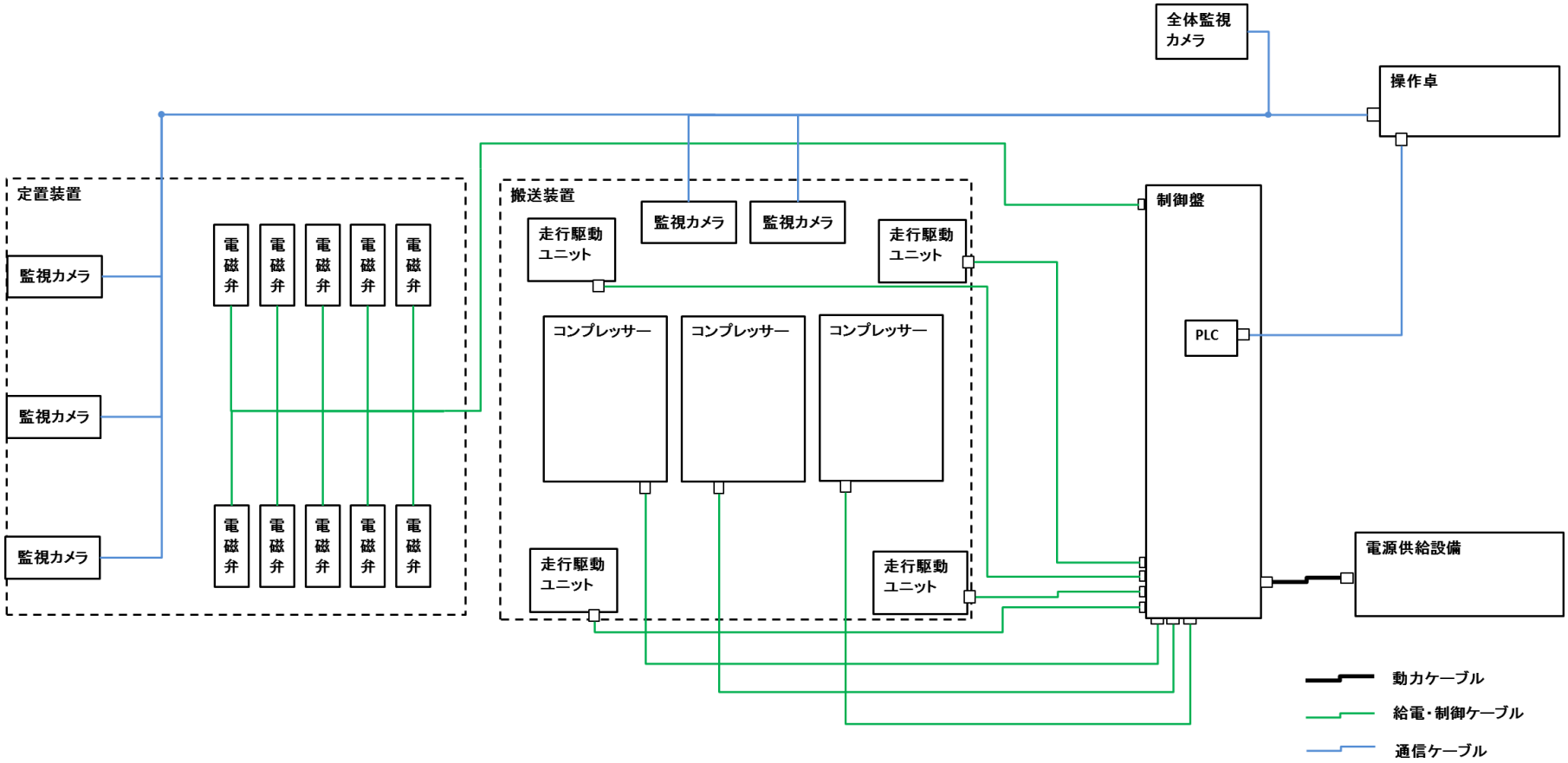


図 5.6.1-7　制御装置システム構成図

b　制御盤

制御盤は、図 5.6.1-7 に基づき、操作卓からの指示により以下の項目について制御する。

・定置装置上のバルブユニットの弁の開閉

・搬送装置上の走行駆動ユニット（ブレーキ付電動モータ等）の動作

・コンプレッサの動作

加えて、平成 28 年度以降に装備する搬送定置装置の動作、自動運転や安全対策のためのセンサー類からの信号を受信し、搬送定置装置の運転を制御する機能を有する。

また、電源供給設備から制御盤へ一度給電された後、定置装置・搬送装置に搭載される電気品（電動モータ、コンプレッサなど）へ給電されることから主幹ブレーカを有するものとした。

詳細設計では、平成 27 年度製作する確認試験に必要となる制御盤（仮設品）の仕様・構造・配線等について検討し、5.7.3(1)制御盤の項に検討結果を示した。

c　操作卓

操作卓は、搬送定置装置の操作を行うための機器で、搬送定置装置上や床面に設置する監視カメラの映像を監視できるモニタも設置する。

平成 27 年度については、この操作卓を詳細設計・製作せず、搬送定置装置の確認試験で必要となるハンディタイプのタッチパネルを使用することとした。平成 27 年度使用したタッチパネルの仕様については、5.6.3(1)5)d 項に示した。

d　供給電源

供給電源については、幌延地下施設と同じ条件とするため、3 相 AC 200V、50 Hz を基本条件とした。また、必要となる電気容量は、コンプレッサや電動モータ、平成 28 年度以降の設置する計画のセンサー類の電気負荷を安全側に見積り、240 kVA と設定した。

e　制御装置の基本仕様

以上の設計検討に基づき設定した制御装置の基本仕様をに表 5.6.1-7 示す。

平成 27 年度は、給電方式は試験工場分電盤からの給電とし、平成 28 年度以降に実施する地下での実証試験時には坑道内分電盤からの給電とする。また、制御盤の塗装については制御盤メーカ標準とすることとした。

表 5.6.1-7　制御装置の基本仕様

No.	項目	平成 27 年度仕様	備考
1	制御盤	制御盤（仮設品）	平成 28 年度以降に制御盤（本設品）製作。
2	操作卓	タッチパネルスイッチによる操作。 「ON/OFF」、「浮上/着床」、「前進/後進」、「低速/高速」	平成 28 年度以降にカメラ画像の監視モニタ付き搬送定置装置用操作卓製作。
3	給電方式 （制御盤～搬送装置）	仮設ケーブルによる動力、制御、通信ケーブルの接続。	平成 28 年度以降にケーブルガイドによる動力、制御、通信ケーブルの接続。
4	給電方式 （一次電池）	試験工場分電盤より給電。 3 相 AC 200V、50 Hz	地下研究所内での実証試験時は、坑道内分電盤より給電。
5	塗装仕様	制御盤メーカ標準	
6	塗装色	制御盤メーカ標準	

6)　安全対策

搬送定置装置での横置き PEM 方式の搬送・定置作業を想定し、以下の項目を安全対策として抽出した。

・障害物検知
・監視カメラ
・緊急停止
・オーバーラン防止

上記の安全対策項目に対し、本業務における搬送定置装置としての仕様を平成 27 年度分と平成 28 年度以降に分けて表 5.6.1-8 のとおりで設定した。

表 5.6.1-8　搬送定置装置の安全対策

項目	平成 27 年度仕様 （坑道模擬架台上）	平成 28 年度以降仕様 （地下処分孔・処分坑道での実証試験時）
障害物検知	実機近傍での目視確認	進行方向前方の障害物を検出器により検知して自動停止する
監視カメラ	実機近傍での目視確認	搬送装置・定置装置・床面に監視カメラを設置し、運転中の状態を操作者が目視確認する
緊急停止	実機近傍での目視確認 タッチパネル操作での運転停止	操作卓に緊急停止ボタンを設置し、緊急時に搬送装置・定置装置を運転停止する
オーバーラン防止	走行面端部にメカストッパーを設置	検出器により走行限を検知して自動停止する

7)　故障対策

本業務での搬送定置装置における故障対策では、本装置は実証段階の装置であることから、駆動の二重化や救援装置の準備は不要とした。ただし、搬送定置故障時における対応

は表 5.6.1-9 の設定とした。

表 5.6.1-9　搬送定置装置の故障対策

項目	平成 27 年度仕様 （坑道模擬架台上）	平成 28 年度以降仕様 （地下処分孔・処分坑道での実証試験時）
エア供給停止時	・エア供給停止時は定置装置は無負荷・車輪接地状態となる。 ・搬送装置は無負荷状態で後進運転可能となる。 ・搬送装置、定置装置を後進限まで移動し、修理対応。	同左
電源喪失時	・電源喪失時は、エアの供給、制御装置が共に停止となる。定置装置は無負荷・車輪接地状態となる。 ・搬送装置は走行駆動ユニットのブレーキを手動開放し移動可能となる。なお、走行駆動ユニットのブレーキは手動開放の作業性を考慮して、搬送装置後部に備わるものとする。 ・ウインチなどにより引き出し可能となる。 ・搬送装置、定置装置を後進限まで移動し、修理対応。	同左
操作卓からの操作不可時（起動時）	・電源を遮断する。 ・電源喪失時の手順に従い、搬送装置、定置装置を後進限まで移動し修理対応。	同左
操作卓からの操作不可時（動作時）	・タッチパネルスイッチを離して運転停止。 ・運転停止後、電源を遮断する。 ・電源喪失時の手順に従い、搬送装置、定置装置を後進限まで移動し修理対応。	・操作卓に緊急停止ボタンを設置し、緊急時に搬送装置・定置装置を運転停止する。 ・運転停止後、電源を遮断する。 ・制御装置の修理対応。
カメラ、検出器故障時	平成 27 年度製作の装置にはカメラ、検出器は搭載せず。	・カメラ、検出器が故障時は、前方監視、自動停止などが不可能となる。 ・直接目視による後進運転のみ可能とし、後進限まで移動し修理対応。

8) 装置の分割方法

定置装置、搬送装置及び制御装置の分割単位の検討において、表 5.6.1-2 で示したとおり、幌延地下施設内への各装置の搬入を想定し、以下の内容が分割単位の制約条件となる。

・分割単位寸法： 地下搬入路最少断面（W1800mm×H2050mm）を通過可能
・分割単位自重： 2,000kg 以下

定置装置については、図 5.6.1-5 に示した定置装置外形図から、上記の寸法制約・重量制約を満足すると判断されることから、分割構造としないことを基本条件とし詳細設計を実施することとした。

搬送装置については、図 5.6.1-6 に示した搬送装置外形図から、上記の寸法制約・重量制約を満足できないと判断されることから、分割構造を基本条件として詳細設計を進めることとした。搬送装置の分割単位は、下記のとおりとした。

搬送装置の分割単位
・搬送装置フレーム
・走行駆動ユニット
・コンプレッサ

制御装置については、詳細設計後に制御盤等の寸法が決まってくるが、基本的には上記の寸法制約・重量制約を満足するよう詳細設計を進めることとした。

(5) 搬送定置装置の基本仕様のまとめ

以上における搬送定置装置の基本設計結果を基に、搬送定置装置の仕様一覧を表 5.6.1-10 に示す。図 5.6.1-8、図 5.6.1-9 及び図 5.6.1-10 にそれぞれ、搬送定置装置の計画図（平成 28 年度以降）、搬送定置装置の計画図（平成 27 年度分）及び搬送装置・定置装置連結時の全体組立図を示す。

また、図 5.6.1-11 から図 5.6.1-16 に、搬送定置装置の基本設計結果に基づき作成した装置の 3D 図を示す。

表 5.6.1-10 搬送定置装置　仕様一覧

搬送定置装置　仕様一覧		
機器名称		搬送定置装置
基数		1 台
基本仕様	定格荷重	33.4 ton
	自重	約 6 ton
	全長	9.5 m
取扱対象物	名称	模擬 PEM
	重量	33.4 ton
	寸法	φ2,316 mm × 3,343 mm
使用条件	設置場所	屋内（風雨に晒されない環境）
	走行範囲	約 5m
定置装置	把持・浮上	空圧支持（エアベアリング方式）
	エアベアリング	AeroGo 社 K21NHD　特殊品 curved type
	供給エア	コンプレッサによる圧縮空気 ・メインモータ出力：　37 kW 型×3 台 ・吐出圧力：　0.6～0.85 m^3/min ・吐出空気量：　6.05～6.95 m^3/min ・台数：　3 台
搬送装置	速度	（高速）5 m/min （低速）1 m/min
	電動機	1.5 kW×4 基　インバータ制御
	走行位置検出	目視による確認 （平成 28 年度以降はセンサーによる検出）
運転方式		遠隔操作スイッチによる手動運転 （平成 28 年度以降は操作卓からの操作）
運転監視方式		直接目視による監視 （平成 28 年度以降はカメラ画像による監視）
給電方式		キャプタイヤケーブル
電源		3 相 AC 200V、50 Hz、240 kVA

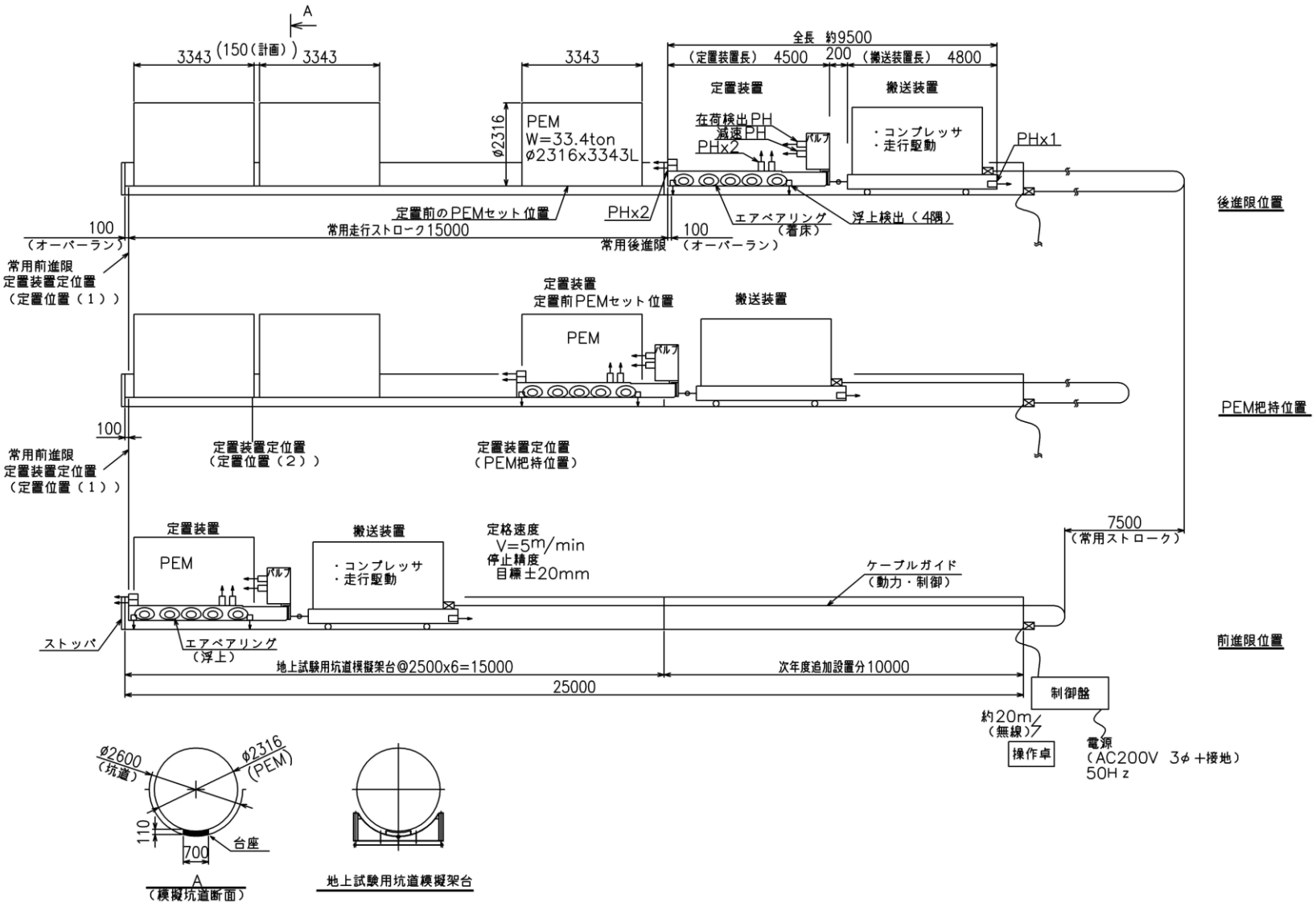


図 5.6.1-8　搬送定置装置計画図（平成 28 年度以降）

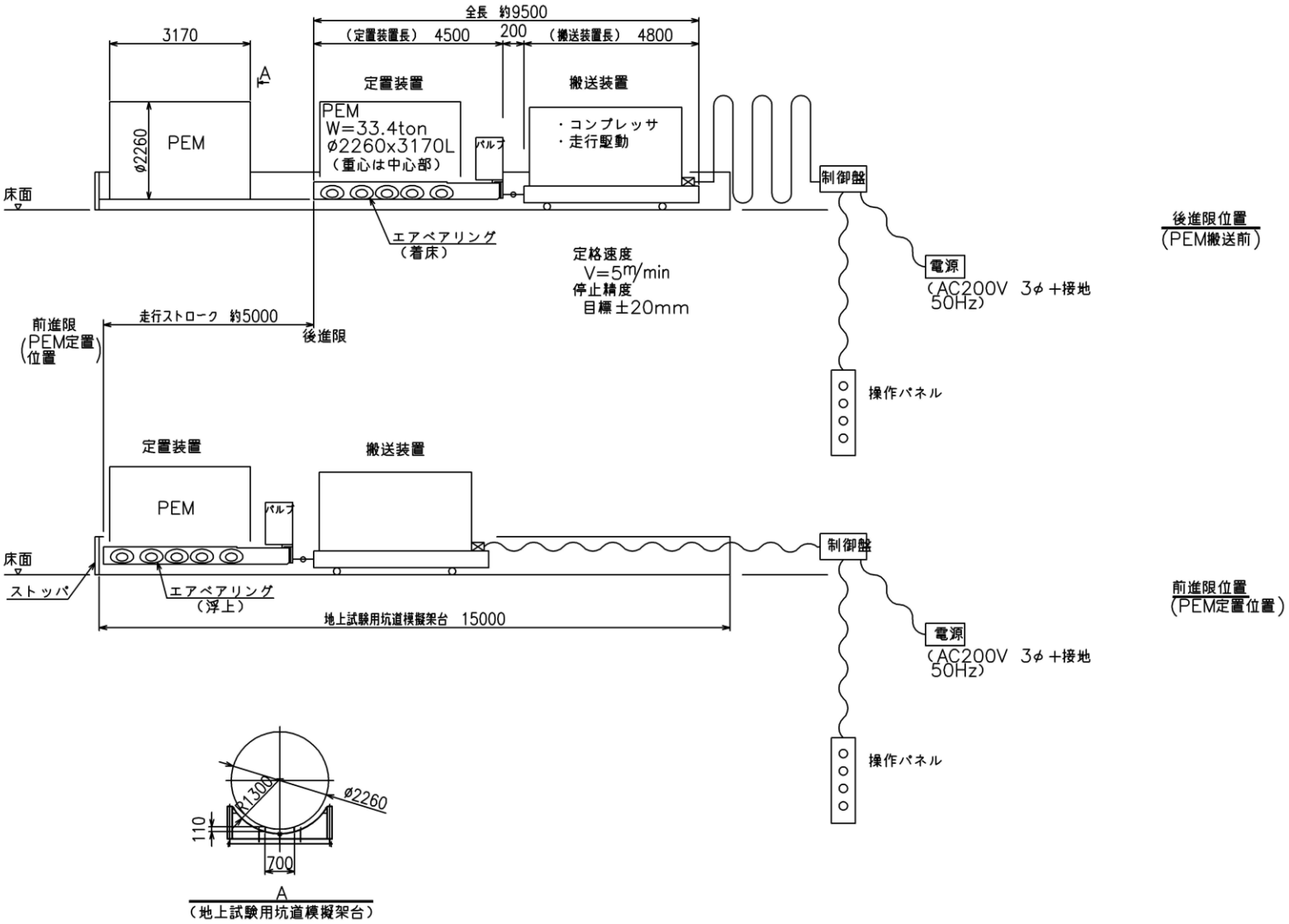


図 5.6.1-9　搬送定置装置計画図（平成 27 年度分）

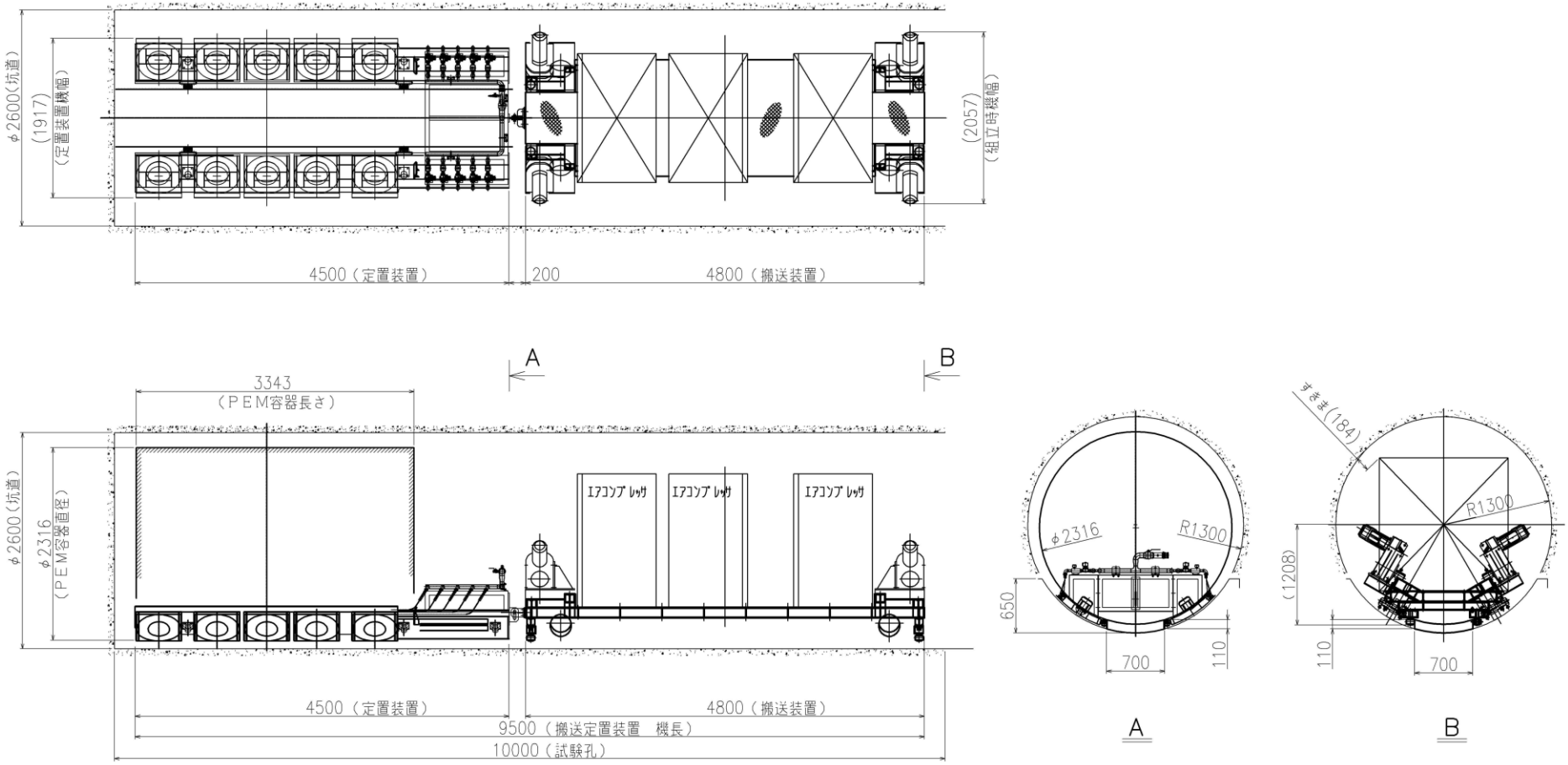


図 5.6.1-10　搬送装置・定置装置連結時の全体組立図

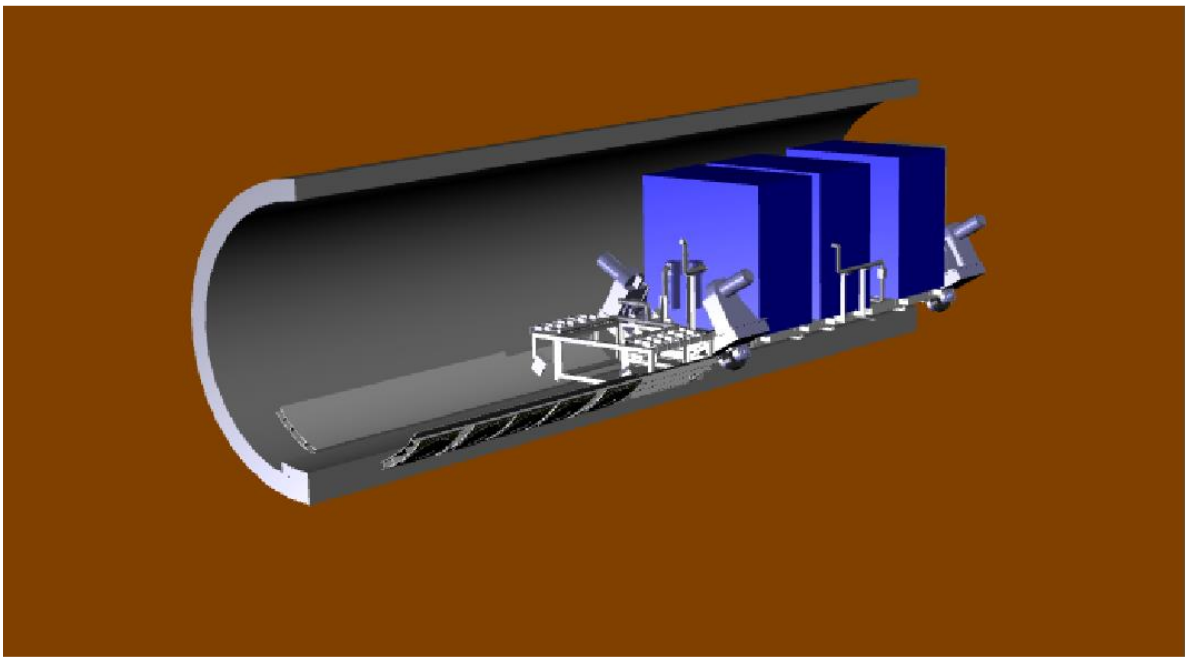


図 5.6.1-11　搬送定置装置 3D 鳥瞰図（PEM 未把持時）

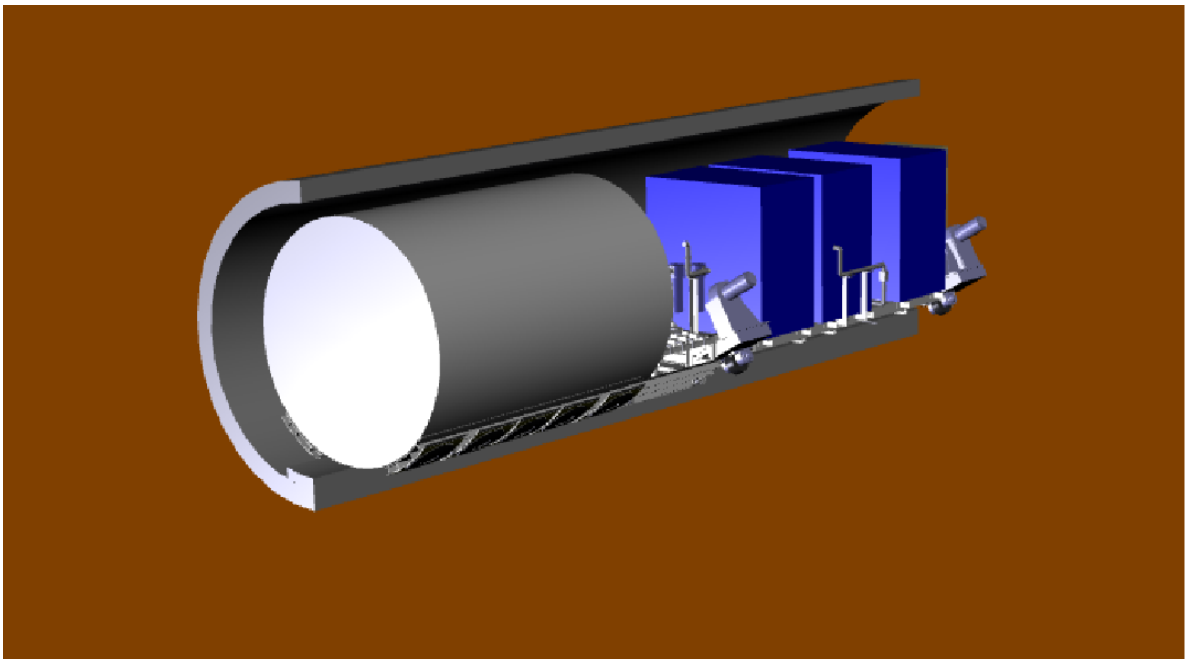


図 5.6.1-12　搬送定置装置 3D 鳥瞰図（PEM 把持時）

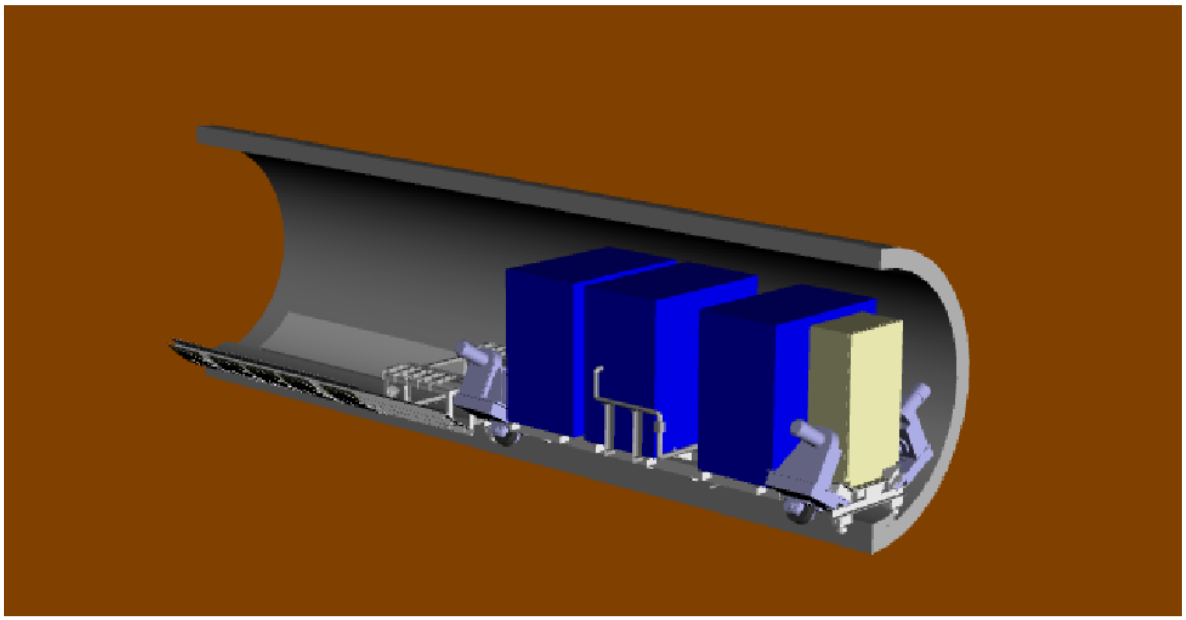


図 5.6.1-13　搬送定置装置 3D 図（斜め後ろから）

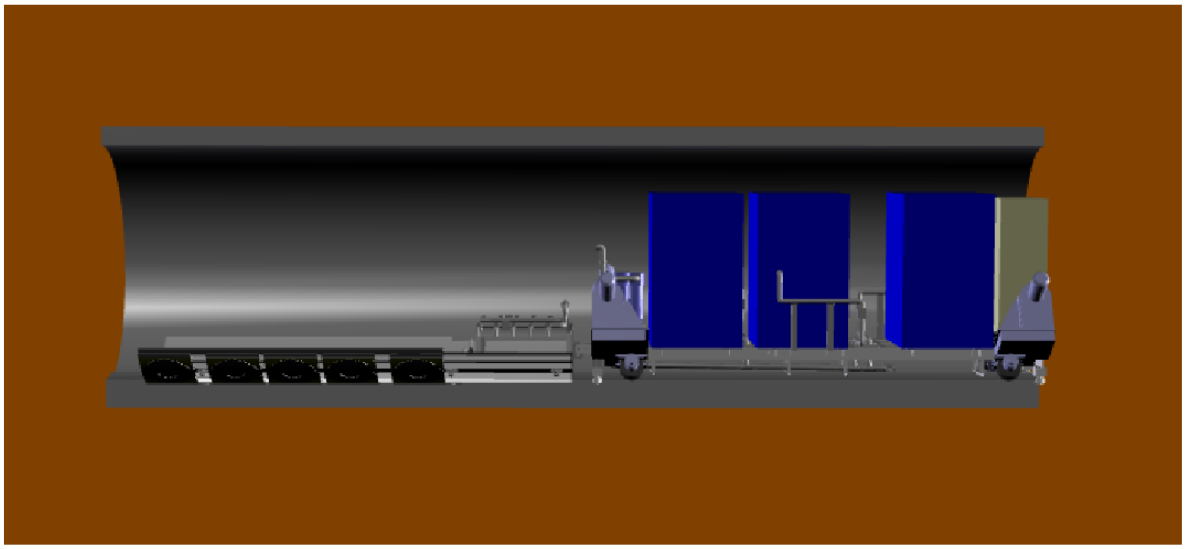


図 5.6.1-14　搬送定置装置 3D 図（真横から）

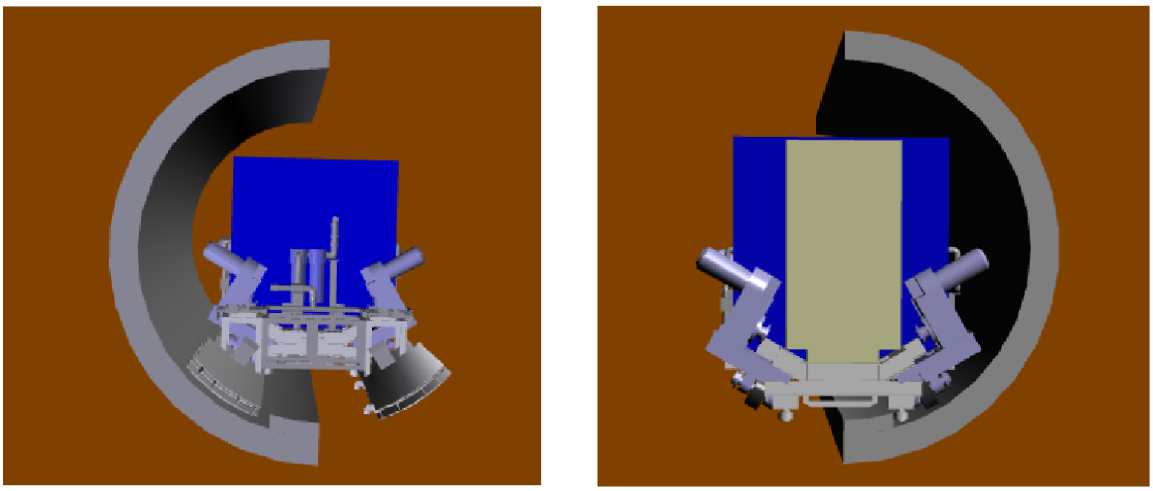


図 5.6.1-15　搬送定置装置 3D 図（左：前方から　右：後方から）

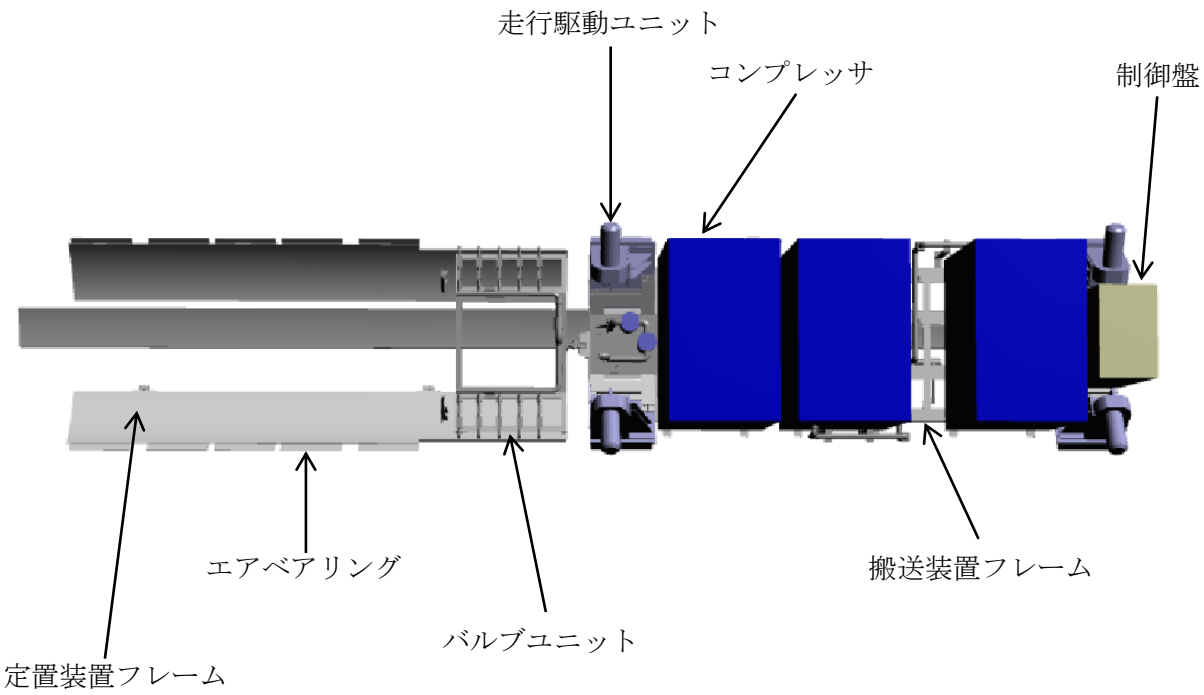


図 5.6.1-16　搬送定置装置 3D 図（真上から）

5.6.2 搬送定置装置の詳細設計と製作の範囲

定置装置、搬送装置、制御装置の平成 27 年度の詳細設計・製作範囲を表 5.6.2-1～表 5.6.2-3 に示す。

表 5.6.2-1　平成 27 年度の詳細設計・製作範囲（定置装置）

項目	平成 27 年度 詳細設計・製作範囲	最終仕様
エアベアリング	Aero Go 社製 K21NHD （特殊品 curved type） 使用数量：10 個	同左
搬送重量	33.4 ton	同左
走行速度	定格速度　5 m/min	同左
走行路材質	鋼板（模擬坑道による地上での作動確認）	コンクリート（地下実証試験）
走行路仕上精度	継目段差：±1 mm 以内 継目隙間：2,4,6mm 走行路平坦度：3/1000 以下	動作確認試験結果によって 設定する
走行車輪	樹脂製車輪	同左
水平ガイド車輪	カムフォロア	同左
塗装仕様	錆び止め塗装	錆び止め塗装 仕上げ塗装
塗装色	メーカ標準	平成 28 年度以降に選定
検出器類	なし	浮上確認センサー 走行減速・停止センサー 在荷検出センサー
安全対策	走行端にメカストッパーを設置	監視カメラ
搬送装置との連結	台車の連結：連結ピン構造 ケーブルの接続：コネクタ 空気圧ホースの接続：カプラ	同左
電磁弁	・各エアーキャスターに対し 1 個ずつ電磁弁を割り当てる。	同左

表 5.6.2-2　平成 27 年度の詳細設計・製作範囲（搬送装置）

項目	平成 27 年度 詳細設計・製作範囲	最終仕様
走行駆動方式	電動モータ	同左
走行速度	5 m/min（高速） 1 m/min（低速）	同左
駆動力	モータ出力　1.5kW×4 台	同左
走行路材質	鋼板（模擬坑道による地上での作動確認）	コンクリート（地下実証試験）
走行路仕上精度	継目段差：±1 mm 以内 継目隙間：2,4,6mm 走行路平坦度：3/1000 以下	動作確認試験結果によって 設定する
走行車輪	樹脂製車輪	同左
水平ガイド車輪	樹脂製車輪	同左
塗装仕様	錆び止め塗装	錆び止め塗装 仕上げ塗装
塗装色	メーカ標準	平成 28 年度以降に選定
検出器類	なし	後進時障害物検知センサー
安全対策	目視による安全確認	監視カメラ 非常停止ボタン
搭載品	コンプレッサ 制御盤	コンプレッサ 制御盤
定置装置との連結	台車の連結：連結ピン ケーブルの接続：コネクタ 空気圧ホースの接続：カプラ	同左

表 5.6.2-3　平成 28 年度の詳細設計・製作範囲（制御装置）

項目	平成 27 年度 詳細設計・製作範囲	最終仕様
制御盤	仮設盤	制御装置本体
操作卓	操作パネルによる操作	搬送定置装置の操作 カメラ画像の監視
給電方式（制御盤～搬送装置）	床転がし （仮設ケーブル）	ケーブルガイドによる給電
給電方式 （一次電源）	試験工場分電盤により仮設ケーブルからの給電	地下坑道分電盤より給電
塗装仕様	盤メーカ標準	同左

5.6.3 搬送定置装置の詳細設計

(1) 定置装置

1) エアベアリングの選定

定置装置には平成 23 年度に実施した「遠隔操作技術高度化開発」[2]のうちエアベアリ

ングを用いた実規模搬送試験の結果に基づき、以下のエアベアリングを採用した。

・型式：Aero Go 社製 K21NHD （特殊品 curved type）

・使用数量：10 個

採用したエアベアリングの基本的な特性を表 5.6.3-1 に示す。

表 5.6.3-1　エアベアリング基本仕様 (注)

製造メーカ	Aero GO 社
型式	K21NHD
寸法	φ533mm　厚さ：休止時 51mm、作動時 82mm （休止、作動については図 5.4.2-1 参照）
能力	7.3ton（平面上でエアベアリング単体で浮上させることが可能な荷重）
走行路平坦度	3/1000 以下
揚程	31mm
内圧	4.2kg/cm^2
空気消費量	0.72Nm^3/min
自重	11kg

（注）本表は標準型式の仕様であり、本事業で使用するエアベアリング相当品である。

エアベアリングの概要を図 5.6.3-1 に示す。エアベアリングは、トーラスバッグと呼ばれる袋に圧縮空気を送り膨張した後に、空気がトーラスバッグと床面の隙間に吹き出し空気膜を形成ことにより、摩擦が非常に小さくなることを利用して重量物を搬送するものである。本エアベアリングは、坑道の曲面形状に適用するために、平面形状である既存品を加工して曲面形状とした。図 5.6.3-2 に曲面形状に加工したエアベアリングの外観を示す。

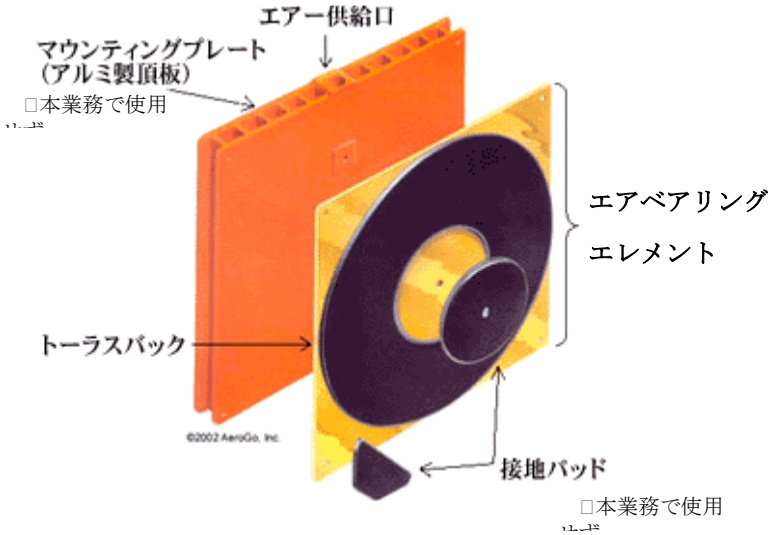


図 5.6.3-1　エアベアリング概要図[6]

図 5.6.3-2　エアベアリング外観

2)　搬送荷重

a　エアベアリングの能力

エアベアリングの単体での浮上能力は 7.3ton であり、坑道内曲面で使用する際の浮上能力 F は次式で求められる。

$F = fp \times N$

$fp = f \times \cos(\theta)$

F：定置装置の浮上能力（ton）

f：単体での浮上能力（ton）；7.3ton

fp：単体での浮上能力の鉛直成分（ton）

θ：エアベアリング設置角度；34°

（CAD にて求めたベアベアリング角度：図 5.6.3-3 参照）

N：エアベアリング稼働枚数

$fp = 7.3 \times \cos(34^\circ) = 6.05$（ton）

定置装置の浮上能力 F と PEM を浮上させるための余裕を表 5.6.3-2 に示す。

表 5.6.3-2　定置装置の浮上能力

エアベアリング個数 N（枚）	2	4	6	8	10
浮上能力 F（ton）	12.1	24.2	36.3	48.4	60.5
PEM 浮上余裕(*1)	0.35	0.70	1.06	1.41	1.76

(*1)：浮上能力 F を PEM 重量 33.4ton+定置装置重量 0.8ton で割った値

表 5.6.3-2 より、計算上ではエアベアリング 6 枚以上で浮上可能である。なお、平成 23 年度の実規模搬送試験では、PEM 重量 33.4ton 及び定置装置重量 0.8ton に対してエアベアリング 6 枚以上で浮上でき、4 個で浮上することができないことを確認している。

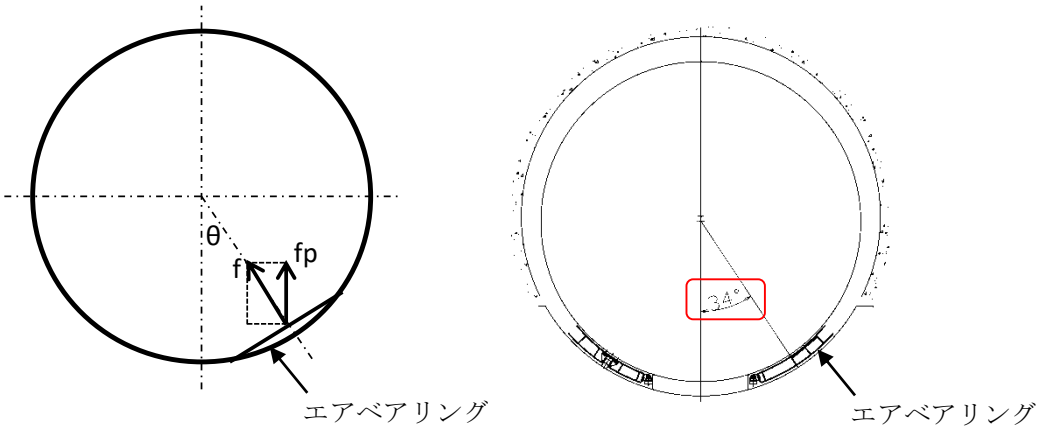


図 5.6.3-3　エアベアリング浮上能力

3)　エア系統

a　コンプレッサの選定

定置装置のエアベアリング 10 枚使用時のコンプレッサに対する要求を表 5.6.3-3 に示す。

表 5.6.3-3　コンプレッサ要求仕様

項目	コンプレッサ要求仕様
吐出空気量	12m³/min 以上 （平成 23 年度実規模搬送試験の結果[2]より）
圧力	約 2～4 kg/cm²（0.20～0.40 MPa） （平成 23 年度実規模搬送試験の結果[2]より）
電磁弁保護(*1)	ドライヤ・フィルタ付き
供給電源	3 相　AC200V　50Hz

(*1)　：コンプレッサ下流にエアベアリングへの圧縮空気供給 ON/OFF 用の電磁弁及び圧力調整弁を設置する。

コンプレッサは搬送装置に搭載することとなるが、設置寸法の制約（①搬送装置機長 4800mm に収まる、②坑道に干渉しない）から以下のコンプレッサを選定した。選定したコンプレッサの主要な仕様を表 5.6.3-4 に示す。

・名称：パッケージ型スクリューコンプレッサ（ドライヤ付き）
・型式：コベルコ社製 VS695ADⅢ-37
・使用台数：3 台

表 5.6.3-4　コンプレッサ主要仕様表

吐出空気量	0.6MPa	6.95m³/min（3 台で 20.85m³/min）
	0.7MPa	6.65m³/min（3 台で 19.95m³/min）
	0.85MPa	6.05m³/min（3 台で 18.15m³/min）
吸込使用条件		大気圧（1bar）
		2～40℃
吐出条件		0.6～0.85MPa
		45℃以下
メインモータ出力		37kW
ファンモータ出力		1.5kW
電源周波数		50/60Hz 共用
電源		3 相　AC200V
外形寸法（幅×奥行×高さ）		1550mm×950mm×1600mm
重量		890kg
吐出管径		Rc 1 1/2

b　圧力調整弁の選定

定置装置に使用するエアベアリングの定格圧力 4.2 kg/cm2（0.41 MPa）及び平成 23 年度の実規模搬送試験[2]における必要な浮上量を確保するための圧力測定結果（表 5.6.3-5 参照）から、PEM を浮上させために必要な圧力は約 2～4 kg/cm2（0.20～0.40 MPa）と設定した。エアベアリング圧力調整のために必要な圧力調整弁を以下のとおりで選定した。

・名称： 圧力調整弁（コガネイ）
・型式：RN650-06-G1A
・最高使用圧力：0.95 MPa
・圧力設定範囲：0.05～0.83 MPa
・使用台数：10 台（エアベアリング各ラインに 1 台）

圧力調整弁圧力は平成 27 年度の確認試験時に調整し、定置装置の浮上量と圧力調整弁圧力の関係を確認する。最終的な地上試験及び地下坑道での搬送試験では、浮上量と圧力調整弁圧力の関係から最適な圧力調整弁圧力を選定し、事前に圧力調整弁圧力を調整しておくこととする。

表 5.6.3-5　浮上量およびエアベアリング圧力計測結果

	エアベアリング稼働枚数		
	6 枚	8 枚	10.枚
浮上量 33～41mm 時の エアベアリング圧力	3.6～3.8 kg/cm^2	3.1～3.4 kg/cm^2	2.1～2.8 kg/cm^2

（平成 23 年度試験結果[2]より抜粋）

c　電磁弁の選定

エアベアリングへの圧縮空気 ON/OFF 操作のための電磁弁の要求仕様を表 5.6.3-6 に示す。なお、コンプレッサ（1 次側）の最高使用圧力を 0.6MPa としている。

表 5.6.3-6　電磁弁要求仕様

項目	電磁弁要求仕様
使用流体	空気
最高作動圧力差	0.6MPa 以上（電磁弁 1 次側と 2 次側の圧力差）
最高使用圧力	0.6MPa 以上
電磁弁タイプ	NC（通電時開）形
接続口径	20A
流体温度	45℃以下

選定した電磁弁を以下に示す。

・名称： マルチレックスバルブ（CKD）
・型式：ADK11-20A-03A
・最高使用圧力：2MPa
・作動圧力差範囲：0～0.6 MPa
・電磁弁タイプ：NC 形
・接続口径：20A（Rc3/4）
・流体温度：-10～60℃
・使用台数：10 台（エアベアリング各ラインに 1 台）

d　エア系統図

エアベアリングとコンプレッサ間の系統を図 5.6.3-4 に示す。

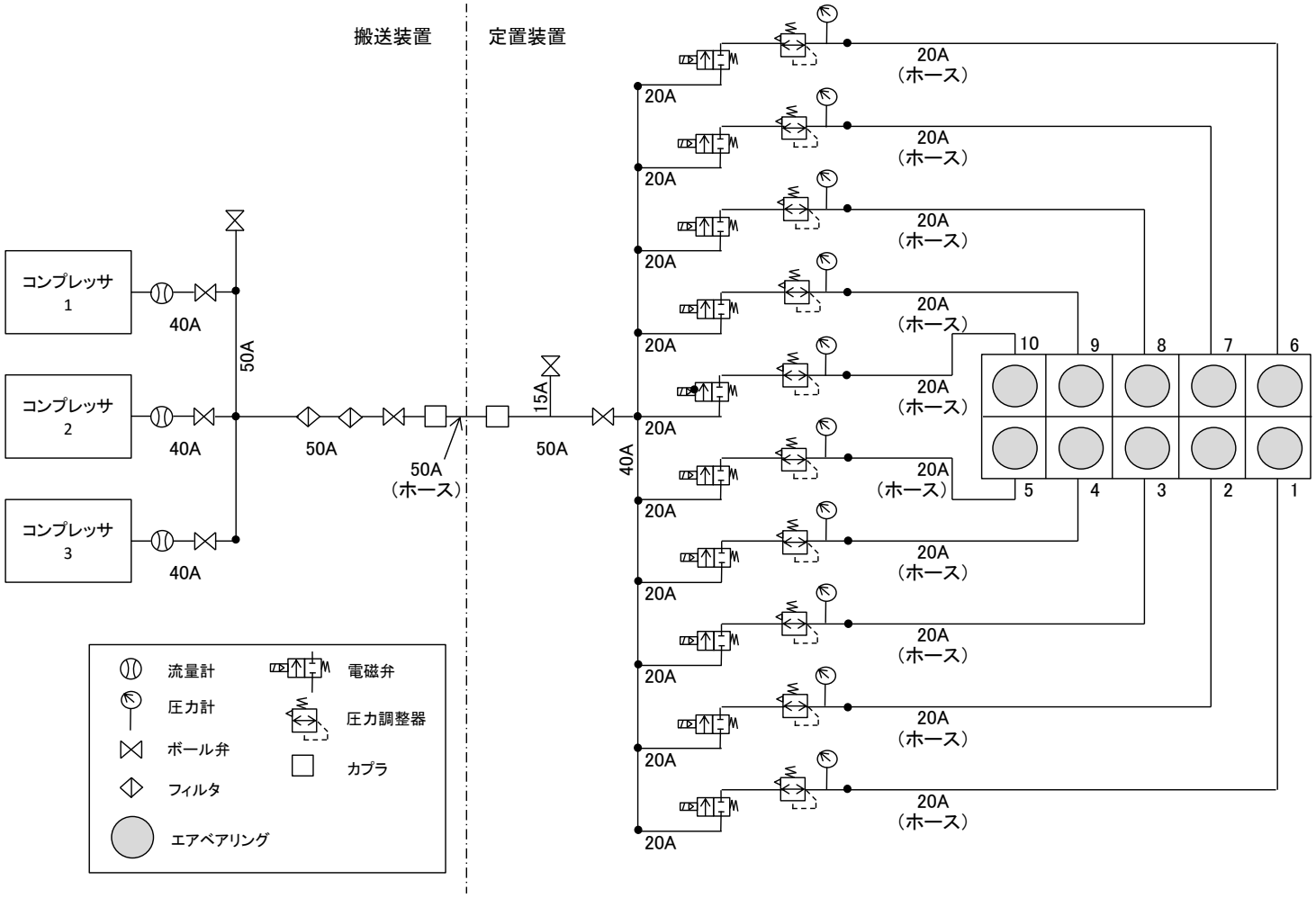

搬送装置
定置装置
コンプレッサ
1
コンプレッサ
2
コンプレッサ
3
40A
40A
40A
50A
50A
50A
（ホース）
15A
50A
40A
20A
20A
20A
20A
20A
20A
20A
20A
20A
20A
20A
20A
（ホース）
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
流量計
圧力計
ボール弁
フィルタ
エアベアリング
電磁弁
圧力調整器
カプラ

図 5.6.3-4　エア系統図

e　牽引力の設定

平成 23 年度の実規模搬送試験結果に基づき牽引力（F1）を設定する。

表 5.6.3-7 に平成 23 年度に実施した実規模搬送試験における牽引力の結果[2]を示す。

同表の試験条件「RUN2-南」において牽引力の初動値が 866 kgf という結果であったため、裕度を考慮し定置装置の搬送に必要な牽引力（F1）を 900kgf（8825 N）と設定した。

表 5.6.3-7　牽引力測定結果

試験条件名称	エアベアリング稼働数	牽引速度 m/min	浮上量 mm	牽引力 kgf		備考
				初動値	中間値	
RUN1-南	10	2.39	44.25	444	170	
RUN1-北		2.51	44.25	370	130	
RUN2-南		2.43	35.00	866	170	最大牽引力
RUN2-北		2.43	35.50	415	130	
RUN3-南		2.43	40.25	498	100	
RUN3-北		2.49	40.00	363	100	
RUN4-南		3.11	42.75	745	150	
RUN4-北		2.59	42.25	423	100	
RUN5-南		3.65	42.25	618	130	
RUN5-北		4.05	40.75	534	110	
RUN6-南		4.53	42.50	603	110	
RUN6-北		4.68	42.50	683	110	
RUN7-南	8	2.58	41.75	480	120	
RUN7-北		2.39	41.75	366	100	
RUN8-南	6	2.55	38.75	450	100	
RUN8-北		2.48	38.50	314.	90	
RUN8-北	4	-	-	-	-	浮上せず

（平成 23 年度実規模搬送試験結果[2]より抜粋）

f　構造

定置装置の機器構成を表 5.6.3-8 に、鳥瞰図を図 5.6.3-5 に示す。

定置装置は主に①定置装置フレーム、②バルブユニット部、③走行車輪、④水平ガイド車輪、⑤エアベアリング及び⑥連結部で構成される。連結部は、搬送装置との取合い箇所であり、連結ピンで搬送装置と取合う構造とした。なお、定置装置側の連結部は、定置装置の浮上・定置の昇降動作のため、長穴としている。

また、図 5.6.3-6 に定置装置の取合い説明図を示した。

表 5.6.3-8　定置装置　主要構成

No.	機器名称	数量	機能
①	定置装置フレーム	1 台	PEM 及びその他機器を搭載するためのフレーム。
②	バルブユニット部	1 式	エアベアリングに圧縮空気を供給するバルブ等含めたユニット。
③	走行車輪	6 台	着床（無負荷）時坑道内面と取合う車輪。（図 5.5.3-5 参照）
④	水平ガイド車輪	4 台	台座側面と取合い、定置装置の水平方向の位置決めをする車輪。（図 5.5.3-6 参照）
⑤	エアベアリング	10 台	PEM 浮上・定置用
⑥	連結部	1 箇所	搬送装置との連結部

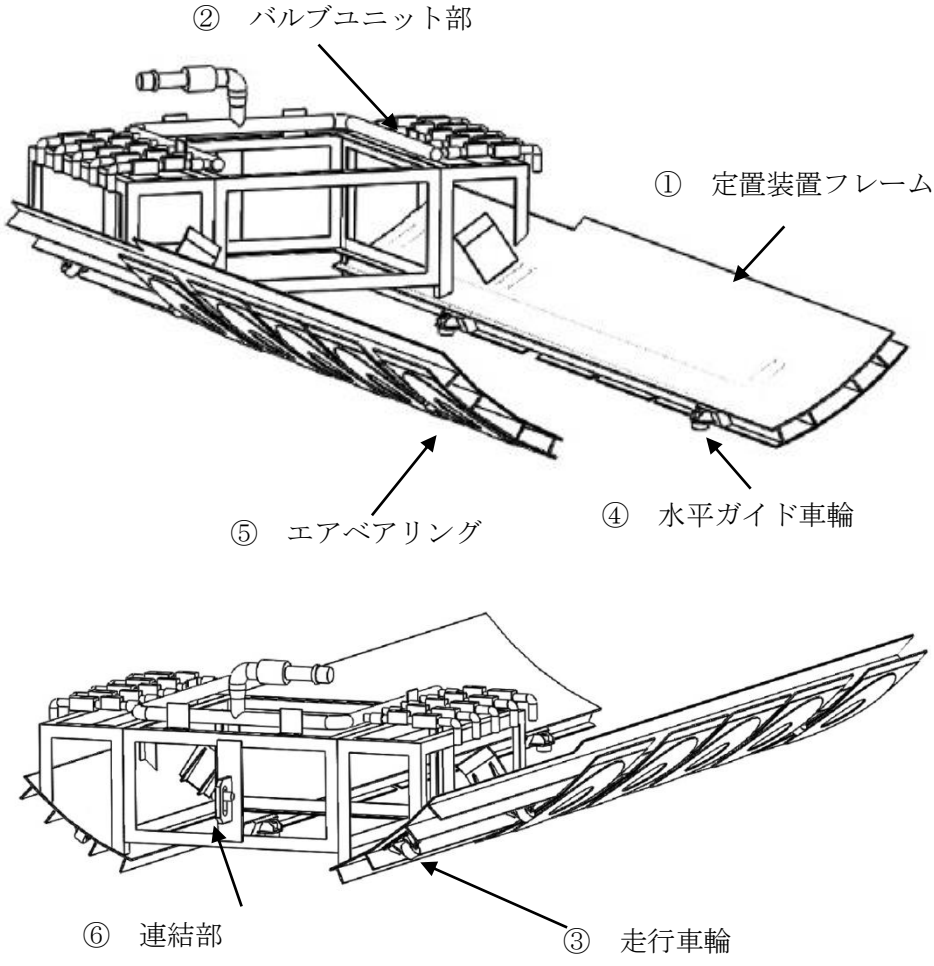


図 5.6.3-5　定置装置　鳥瞰図

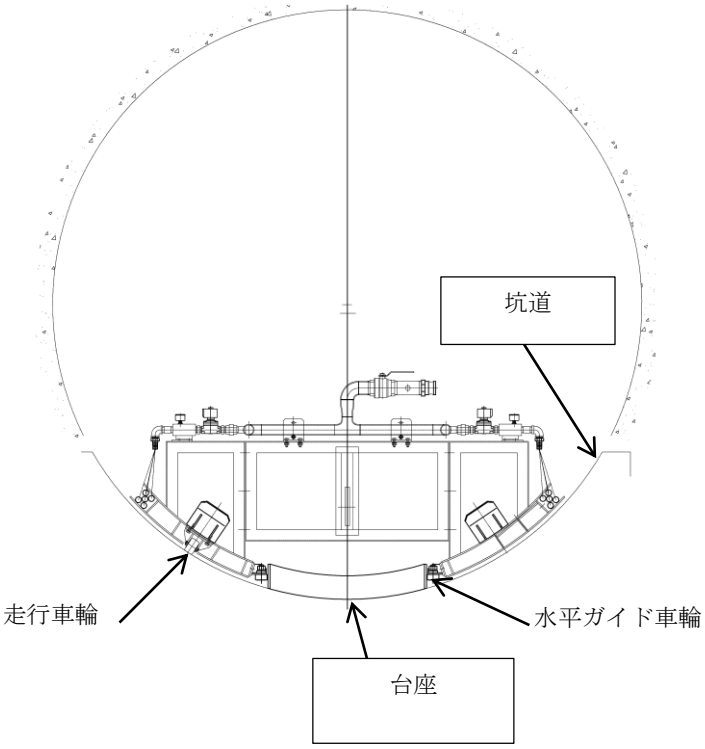


図 5.6.3-6　定置装置　取合い説明図

g　装置の分割方法

装置の分割要否の検討における制約条件である地下坑道搬入時の制限箇所及び制限寸法を図 5.6.3-7、表 5.6.3-9 に示す。

定置装置の最大外形は 2000mm×1000mm、重量は 0.9ton（設計値）であり、表 5.6.3-9 に示す開口部を通過可能なため、定置装置は分割せず一体構造とした。

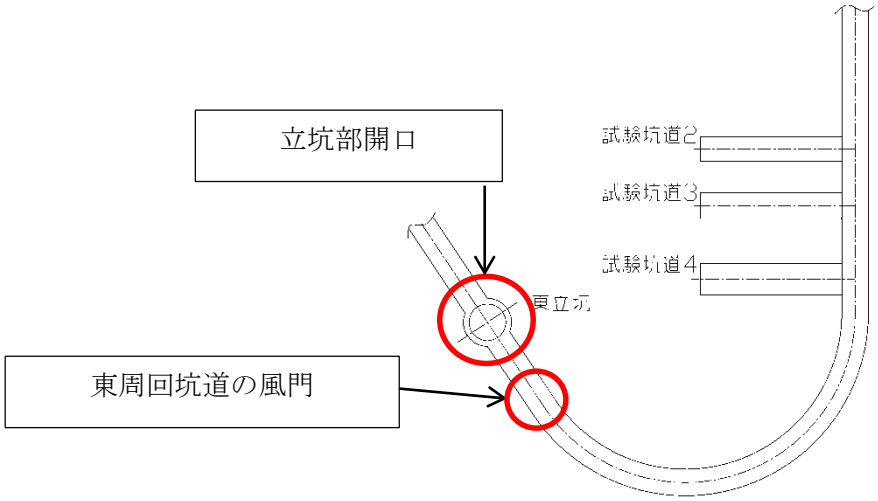
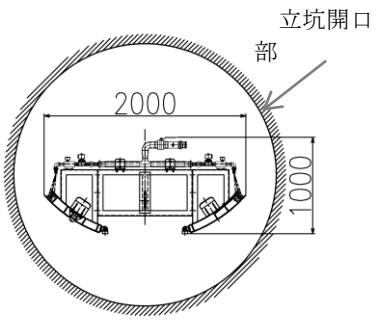
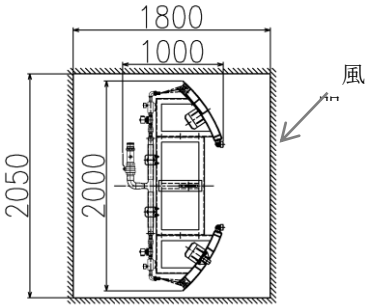


図 5.6.3-7　地下坑道制約寸法化箇所

表 5.6.3-9　干渉確認

項目	立坑部開口	東周回坑道の風門
寸法	φ2550mm	1800mm（幅）×2050mm（高さ）
重量	9.7ton（リフター）	2ton（ホイスト）
概略		
	定置装置寸法：2000mm×1000mm（対角線長さ：2236mm） 重量 0.9ton（設計値）	

h　定置装置構造図

以上の設計検討の結果に基づき、図 5.6.3-8 に定置装置の構造を示す。

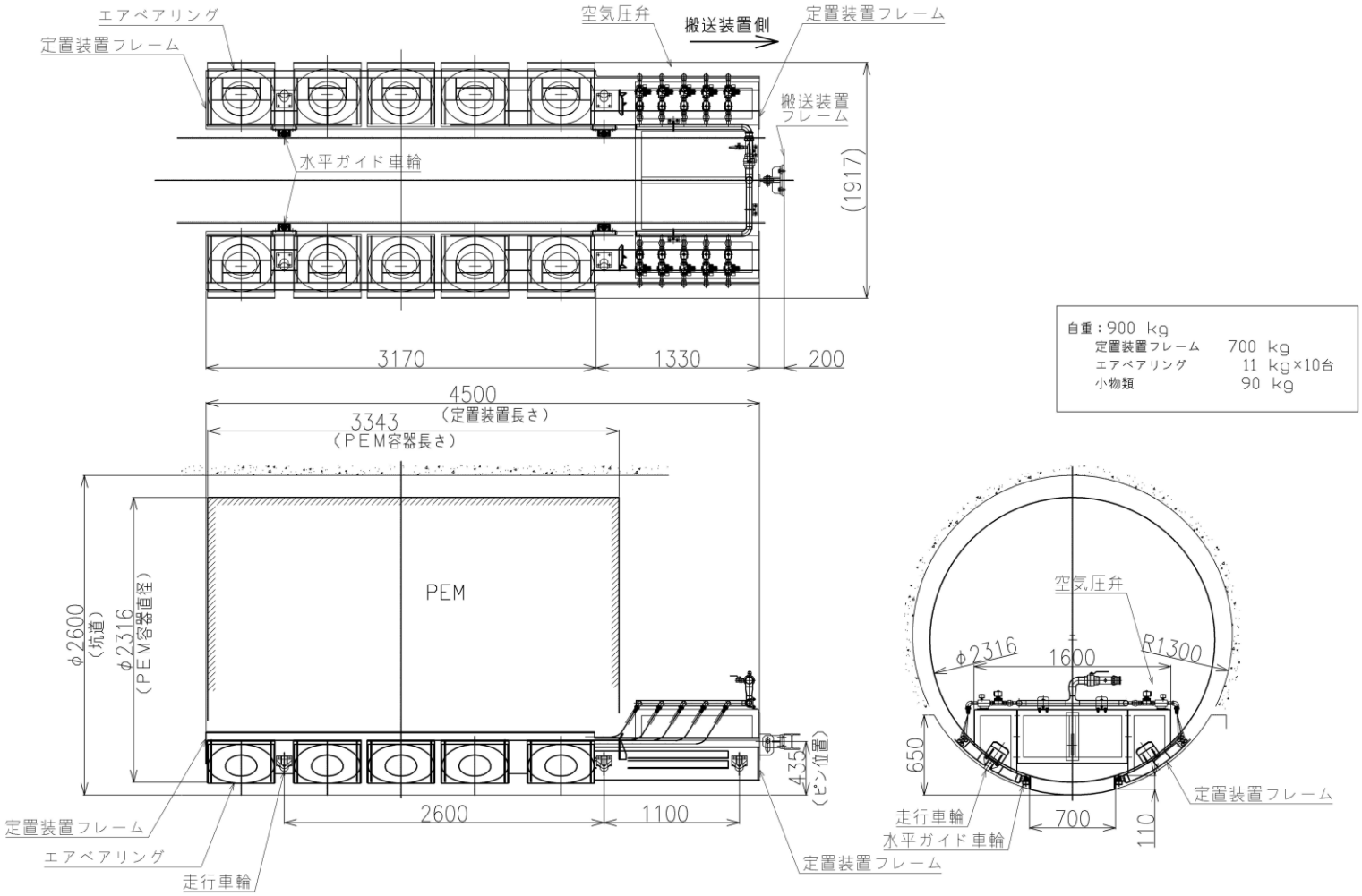


図 5.6.3-8　定置装置構造図

4) 搬送装置

a 駆動機構

(a) 搬送装置の定常時の駆動力

搬送装置を移動させるために必要な力（F2）を算出するための前提条件を以下に示す。

前提条件

重量 W：6ton

（図 5.6.3-13 に示す搬送装置重量（4960kg）を安全側に見た重量）

車輪（ウレタン）の転がり摩擦抵抗 μ ：0.03（安全側に設定）

（出典：CCI 株式会社　技術資料）

前提条件より、搬送装置の駆動力（F2）を 180kgf（1746N）と設定した。

(b) 駆動モータの選定

定置装置の牽引力（F1：900kgf（8825 N））、搬送装置の牽引力（F2：180kgf（1746N））及び加速時の駆動力を考慮し、PEM・定置装置・搬送装置の駆動に必要となるモータ出力を計算上 1.5kW で十分であると評価した。

しかし、走行面の状態が厳しくなる場合（勾配・凹凸・段差等）や、駆動に寄与する車輪数が減る場合を考慮し、1.5kW モータ×4 輪駆動方式を採用する。

選定したモータの仕様を表 5.6.3-10 に示す。

表 5.6.3-10　駆動モータ仕様

項目	仕様	備考
名称	ヘリカルギアモータ	
型式	FA87BDRN90L4 / BE2HF-228.93	
メーカ	SEW	
出力	1.5kW×4 極	
減速比	1：228.93	減速機付き
電源仕様	AC200V　3 相　50Hz	
その他	・ブレーキ付き ・インバータ制御	

(c) 駆動機構（走行駆動ユニット）の構造

搬送装置の駆動機構（走行駆動ユニット）は、電動機（減速機付き）、車輪及び電動機の駆動力を車輪に伝達するチェーン・スプロケットにより構成される。また、駆動力が効率よく坑道に伝わるように、車輪を坑道内面の接線に対して垂直に配置しており、それに合わせて走行駆動ユニットを斜めに傾斜させている。（図 5.6.3-9 参照）

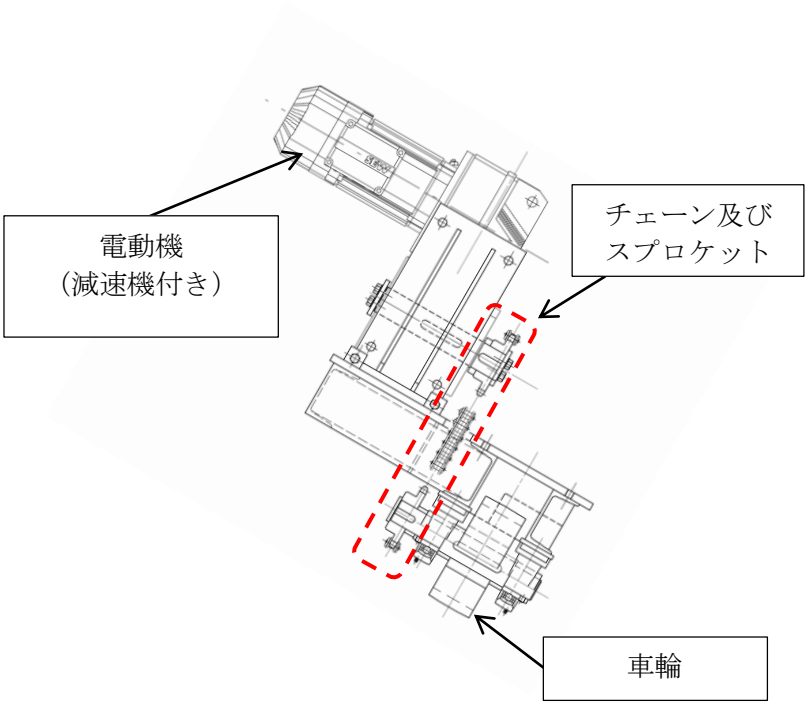


図 5.6.3-9　走行駆動ユニット構造

車輪は、耐荷重及びエアベアリングを効率的に使用するための走行面保護を考慮しウレタン製を採用した。ウレタン製車輪の仕様を表 5.6.3-11 に示す。

表 5.6.3-11　ウレタン製車輪の仕様

外形	φ250mm×100mm
材質	ウレタン
耐荷重	2.3ton

なお、走行駆動ユニットとは別に、搬送装置の横揺れによる搬送装置と坑道の干渉を避けるため、走行フレームに水平方向への移動を制限する水平ガイド車輪を設置している。

b　構造・配置

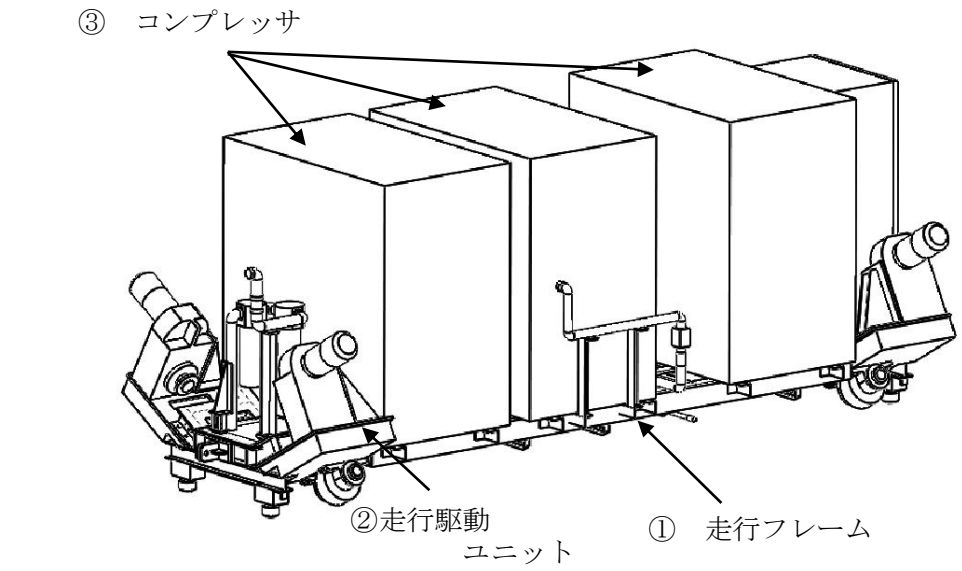
搬送装置の機器構成を表 5.6.3-12 に、配置概念図を図 5.6.3-10 に示す。

搬送装置は主に①走行フレーム、②走行駆動ユニット、③コンプレッサ、④制御盤及び⑤連結部で構成される。連結部は、定置装置との取合い箇所であり、連結ピンで搬送装置と取合う構造とした。

また、図 5.6.3-11 に搬送装置の取合い説明図を示した。

表 5.6.3-12　搬送装置 主要機器構成

No.	機器名称	数量	機能
①	走行フレーム	1 台	各機器を搭載するためのフレーム
②	走行駆動ユニット	4 台	搬送装置を駆動する機構であり、フレームの四隅に配置する。電動機、減速機、車輪等を含む。
③	コンプレッサ	3 台	定置装置エアベアリングに圧縮空気を供給するコンプレッサ 3 台をフレーム上に配置する。
④	制御盤	1 式	走行駆動ユニットを 4 台とすることに伴い、給電ケーブルの物量が増えたため、ケーブルマネジメントを考慮し制御盤をフレーム上に配置する。
⑤	水平ガイド車輪	4 台	台座側面と取合い、定置装置の水平方向の位置決めをする車輪。（図 5.5.3.2-11 参照）
⑥	連結部	1 台	定置装置との連結部



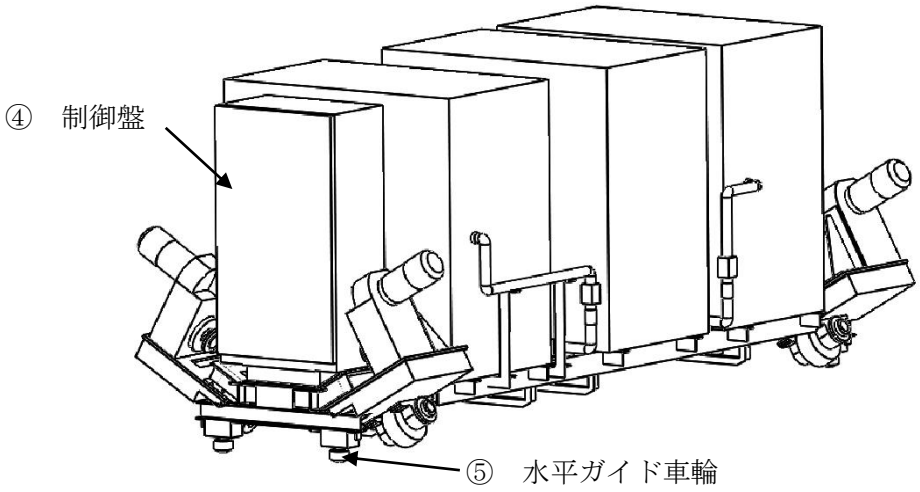


図 5.6.3-10　搬送装置鳥瞰図

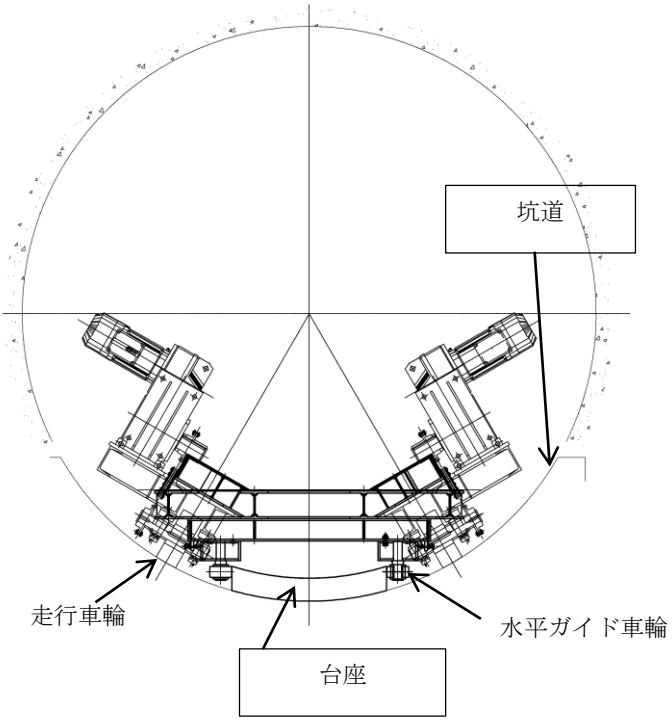


図 5.6.3-11　搬送装置　取合い説明図

c　装置の分割方法

地下坑道搬入のための装置の分割仕様に対する制約条件を表 5.6.3-12 に示す。

表 5.6.3-13　装置の分割仕様に対する制約条件

項目	制約条件
①搬入開口	・立坑部開口 φ2550 mm ・坑道（水平部） 1800 mm（幅）×2050 mm（高さ）
②搬入路床耐力	2 t/m²（搬入路）
③搬入用揚重機	・立坑 吊上荷重 9.7 ton（リフター） ・坑道 定格 2 ton（ホイスト）

分割仕様を満足するように搬送装置の分割単位を検討した結果を表 5.6.3-14、制限寸法との干渉確認を表 5.6.3-15 に示す。その結果、装置の各分割単位は寸法制約を満足することを確認した。また、地下坑道内への搬入後の組立フローを
図 5.6.3-12 に示す。

表 5.6.3-14　搬送装置　分割単位一覧

主要分割単位	数量	1台当たりの重量（概算）	形状
走行フレーム	1台	1000kg	5050(L)×1750(W)×650(H)
走行駆動ユニット	4台	250kg	700(L)×1050(W)×950(H)
コンプレッサ	3台	900kg	1000(L)×1600(W)×1650(H)
制御盤、ケーブル類	1式	260kg	550(L)×850(W)×1600(H)
配管類	1式	15kg	－

表 5.6.3-15　分割単位の干渉確認(1/2)

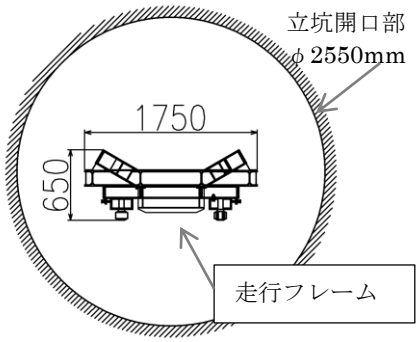
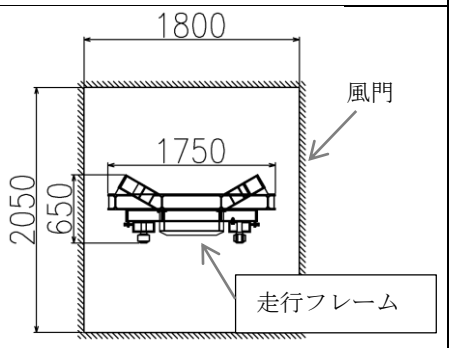
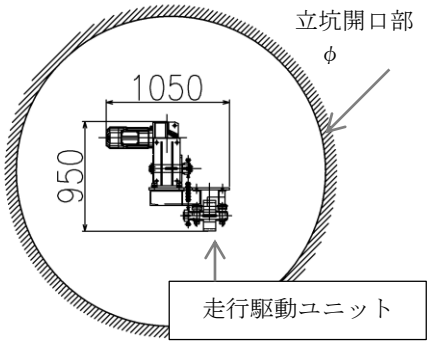
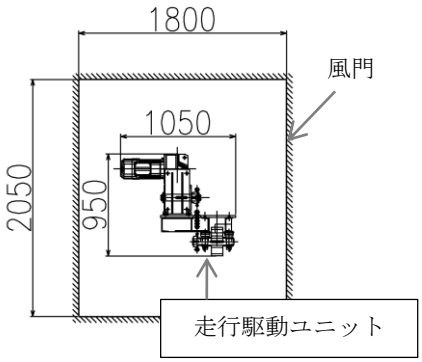
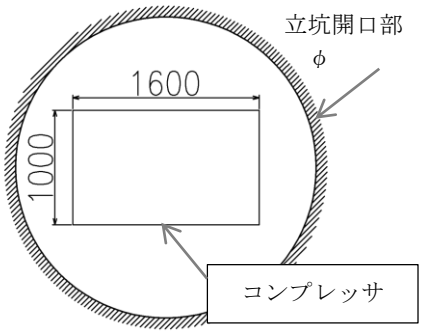
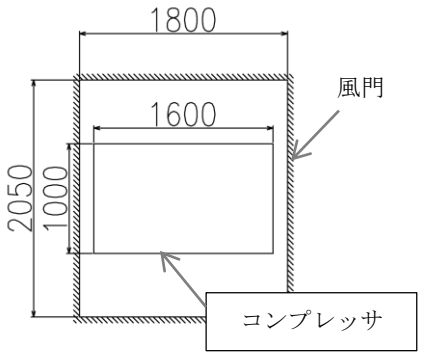
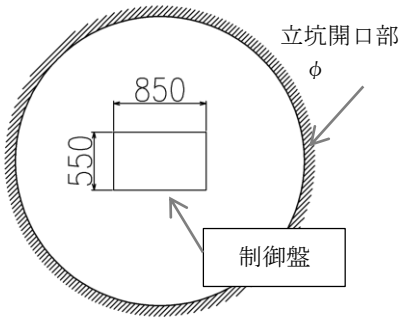
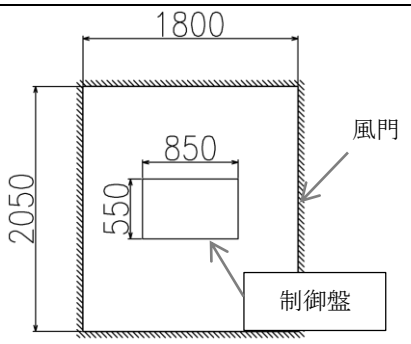
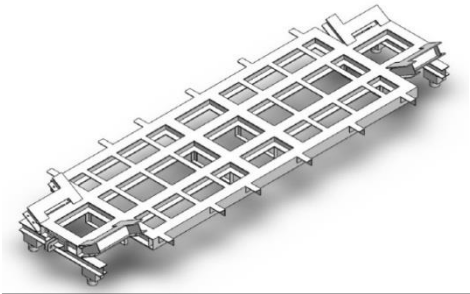
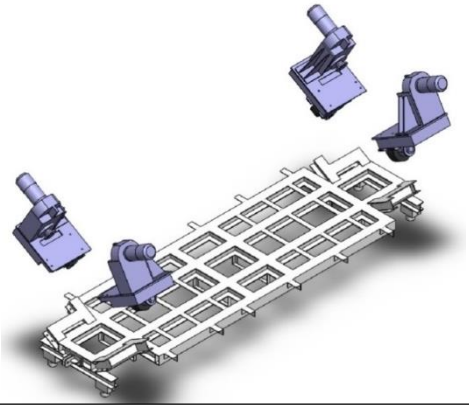
項目	立坑部開口	東周回坑道の風門
制限寸法	φ2550mm	1800mm（幅）×2050mm（高さ）
制限重量	9.7ton（リフター）	2ton（ホイスト）
走行フレーム		
	走行フレーム寸法：5050(L)×1750(W)×650(H) 重量：1000kg（設計値）	

表 5.6.3-16　分割単位の干渉確認(2/2)

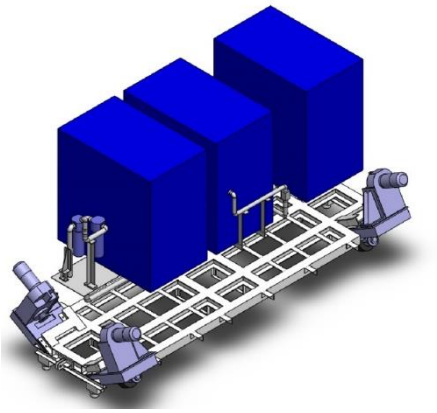
<table>
<tr><td>項目</td><td>立坑部開口</td><td>東周回坑道の風門</td></tr>
<tr><td>制限寸法</td><td>φ2550mm</td><td>1800mm（幅）×2050mm（高さ）</td></tr>
<tr><td>制限重量</td><td>9.7ton（リフター）</td><td>2ton（ホイスト）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">走行駆動ユニット</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">走行駆動ユニット寸法：700(L)×1050(W)×950(H)
重量：250kg（設計値）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">コンプレッサ</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">コンプレッサ寸法：1000(L)×1600(W)×1650(H)
重量：900kg（設計値）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">制御盤</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">走行フレーム寸法：550(L)×850(W)×1600(H)
重量：260kg（設計値）</td></tr>
</table>



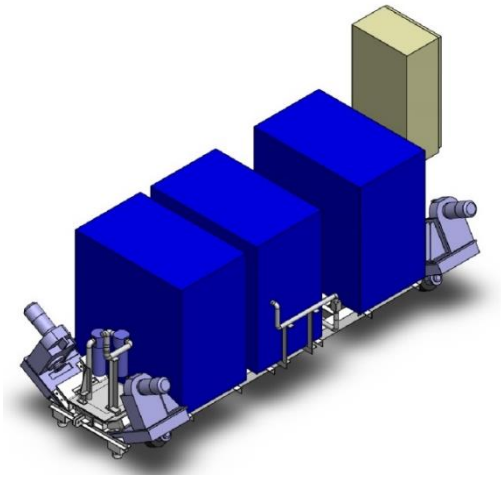
① 用意した架台上に走行フレームを準備する。



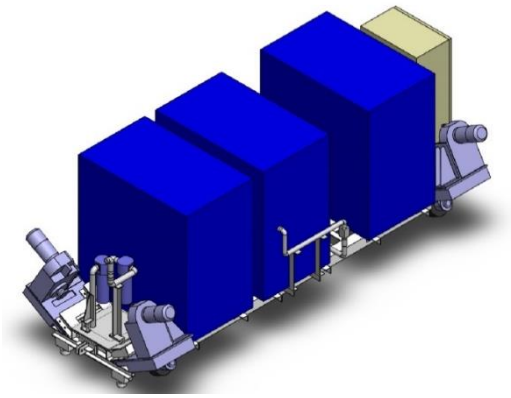
②走行駆動ユニット（4 台）を坑道内のホイストを用いて走行フレームに設置する。



③コンプレッサ（3 台）及び配管 1 式を坑道内のホイストを用いて走行フレーム上に設置する。



④制御盤（1 台）を坑道内のホイストを用いて走行フレーム上に設置する。

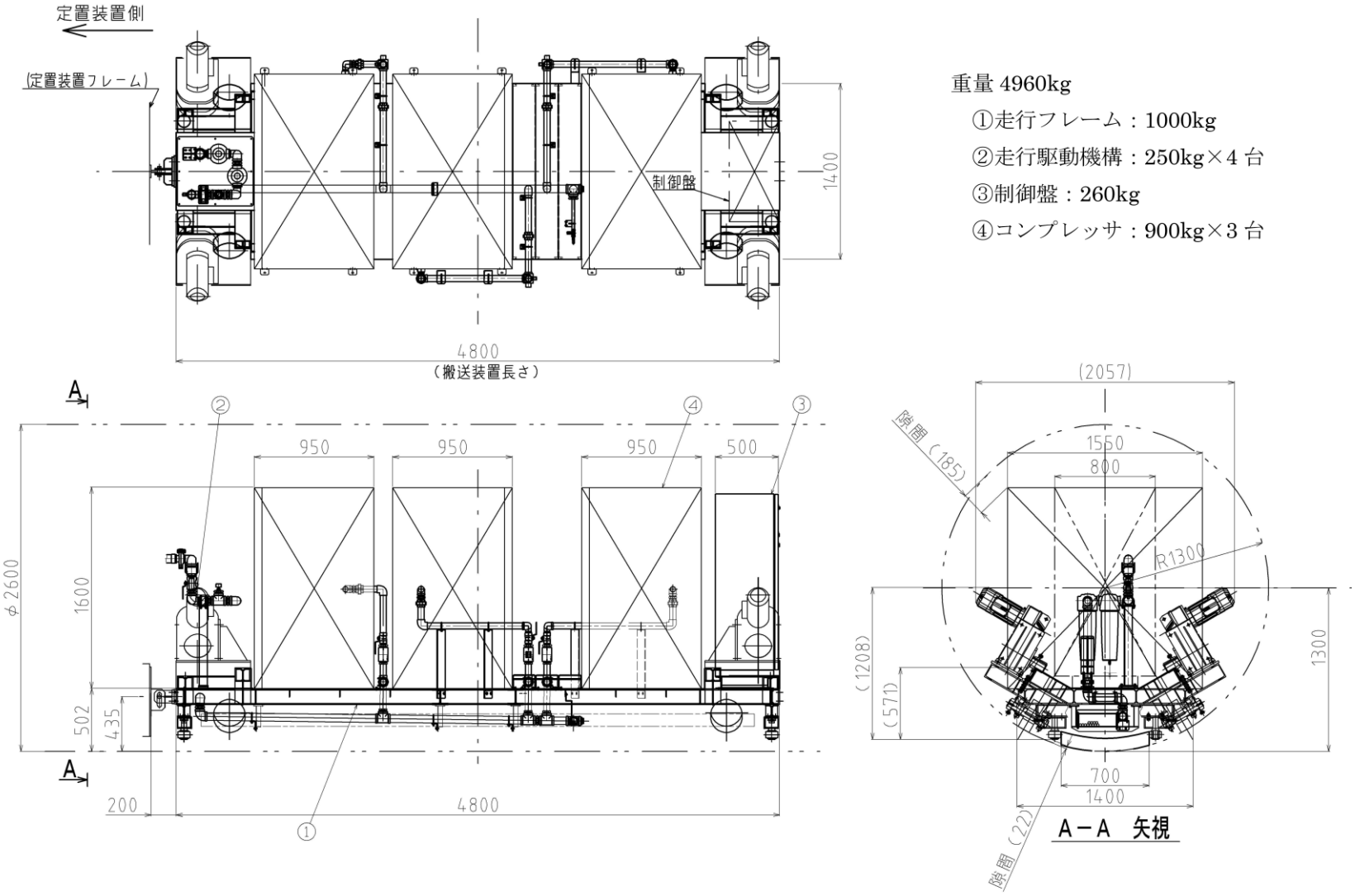


⑤モータやコンプレッサのケーブルを配線する。

図 5.6.3-12　搬送装置　搬入後の組立フロー図

d　搬送装置構造図

以上の設計検討の結果に基づき、図 5.6.3-13 に搬送装置の構造を示す。



重量 4960kg

①走行フレーム：1000kg

②走行駆動機構：250kg×4 台

③制御盤：260kg

④コンプレッサ：900kg×3 台

図 5.6.3-13　搬送装置 構造図

5) 制御装置

a 制御要求

最終仕様では制御装置による自動運転を計画しているが、平成 27 年度の確認試験は主要装置である搬送装置と定置装置の基本機能確認を主目的とするため、制御装置については平成 27 年度は自動制御を実施せず、搬送装置と定置装置の機能確認試験を実施するための操作員による目視確認及び手動運転とする。操作については、操作パネルを用いた ON/OFF 制御により装置を駆動、停止させる。表 5.6.3-17 に搬送定置装置の動作フロー（最終仕様、自動運転等の詳細設計は平成 28 年度以降に実施する計画）と、平成 27 年度に設計、製作した制御項目を示す。

表 5.6.3-17 動作フロー（最終仕様）と平成 27 年度設計、製作した制御項目

No.	搬送定置装置の動作フロー（最終仕様）	平成 27 年度設計、製作した制御項目
①	搬送定置装置は走行路後進限で待機。	－
②	搬送定置装置前方に PEM をセット。	－
③	搬送定置装置は、着床状態（エア供給 OFF）で車輪により前進し PEM の下に定置装置に向かい前進開始。	操作パネルによる押釦操作による搬送装置前進
④	搬送定置装置は PEM 搭載位置にて減速、停止。	操作パネルによる押釦操作による搬送装置停止 （減速、停止位置は実機の目視による）
⑤	搬送定置装置が停止後、エア供給を ON しエアベアリングは浮上する。	操作パネルによる押釦操作によるエア供給 ON （浮上確認は実機近傍より目視）
⑥	浮上確認後、搬送定置装置は定置位置方向に前進開始。	操作パネルによる押釦操作による搬送装置前進
⑦	搬送定置装置は PEM 定置位置にて減速、停止。	操作パネルによる押釦操作による搬送装置停止 （減速、停止位置は実機の目視による）
⑧	エア供給を停止しエアベアリングは着床し PEM は台座上に定置される。	操作パネルによる押釦操作によるエア供給 OFF
⑨	定置後、搬送定置装置は着床状態にて後進運転により後進限まで移動。	操作パネルによる押釦操作による搬送装置後進 （運転監視は実機近傍より目視）

b　構成

平成 27 年度に設計、製作する実施する機能確認試験では自動制御を実施せず、操作員の目視確認及び手動運転とするため、制御機器は以下のように構成される（図 5.5.3.2-14 制御系統図 参照）。

・制御盤：制御機器は搬送装置に搭載される走行駆動ユニット、コンプレッサや、定置装置バルブユニットの電磁弁を制御する。

・操作パネル：操作員からの指令を制御盤に伝達する。

c　制御盤

制御盤の主要な仕様を表 5.6.3-18 に、制御系統図を図 5.6.3-14 に、制御盤外形図を図 5.6.3-15 に示す。なお、ケーブルマネジメントを簡易化するため、平成 27 年度は仮設制御盤を搬送装置に搭載する設計した。最終仕様における制御盤の搬送装置への搭載については、平成 28 年度以降に検討する。

表 5.6.3-18　制御盤仕様

項目	台数	機能
主幹ブレーカ	1 台	主幹ブレーカ ON でシステムに給電
受電灯（白色）	1 台	主幹ブレーカ 1 次側受電で点灯
送電灯（白色）	1 台	主幹ブレーカ ON で点灯
PLC（プログラマブル・ロジック・コントローラ）	1 台	型式：KV-N60AR（KEYENCE 製） バッテリレスタイプ
モータ制御	－	モータ 4 台に対し以下の制御を行う モータの駆動・停止 ブレーキの作動・解除 インバータ制御
コンプレッサ制御	－	コンプレッサ 3 台の ON/OFF 制御
電磁弁制御	－	電磁弁 10 台の ON/OFF 制御
警報機能	－	以下の異常でブザー発報する。 ・コンプレッサの異常、警報 ・インバータの異常 ・モータの過負荷異常

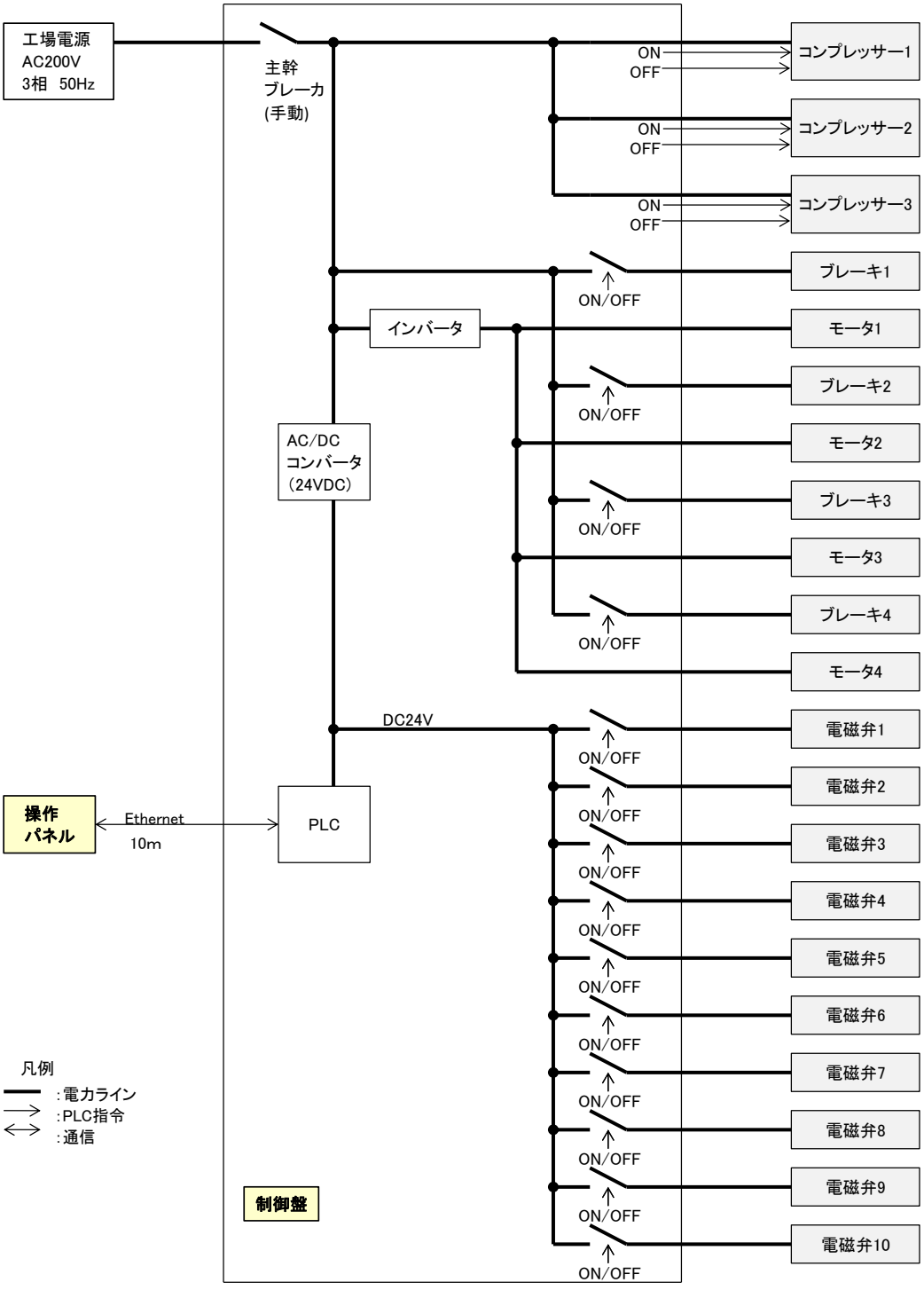
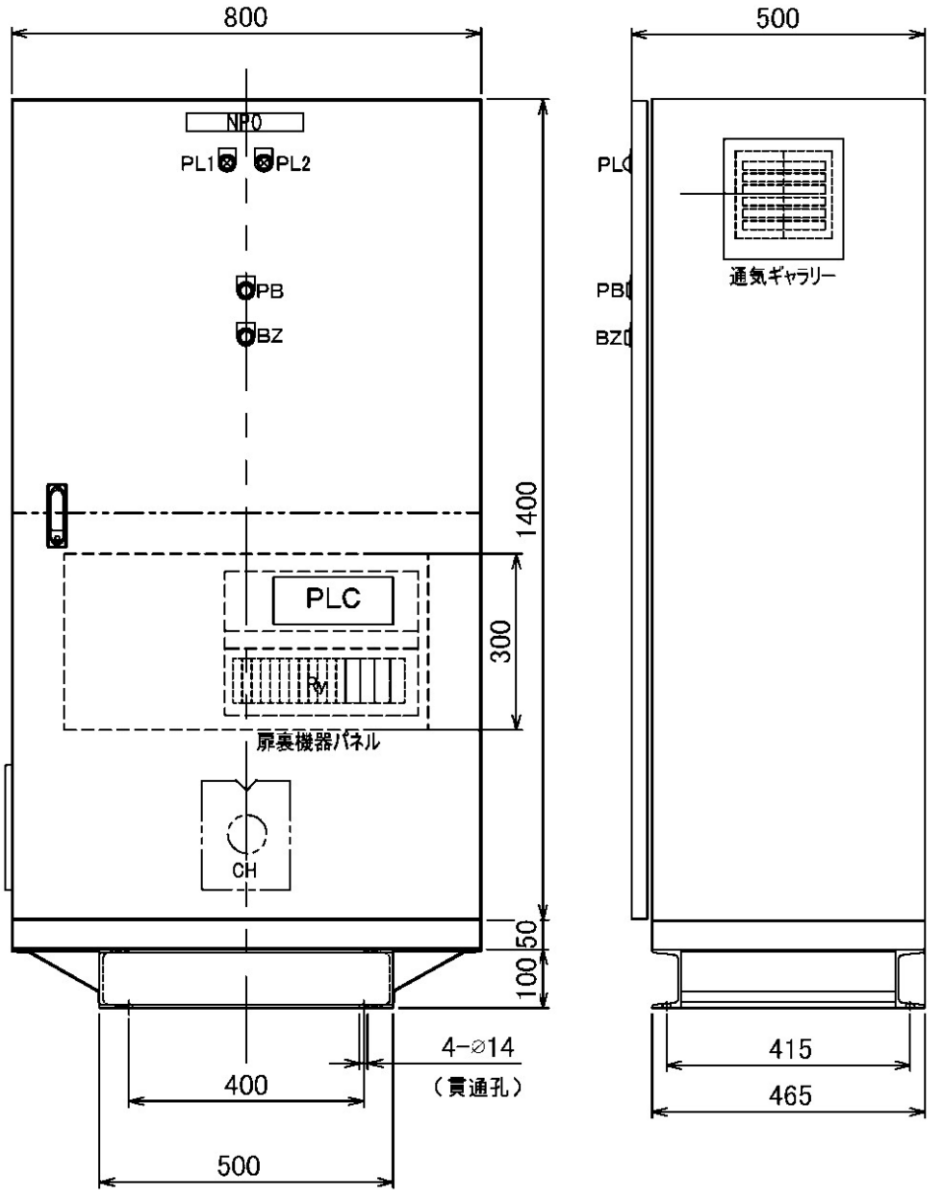


図 5.6.3-14　搬送定置装置 制御系統概念図



機器銘板表

記　号	名　　称	数	寸法(形状)
NP0	搬送装置制御盤	1	300×30×2.0t
PL1	電源一次	1	φ30エプロン
PL2	電源二次	1	φ30エプロン
PB	ブザー停止	1	φ30エプロン
BZ	ブザー	1	φ30エプロン

ボックス仕様

型式	屋内自立	
塗装色	外面	ライトベージュ(5Y7/1)
	内面	ライトベージュ(5Y7/1)
材質	扉	鉄(2.3t)
	ボディー	鉄(2.3t)
ハンドル	防水平面ハンドル(キーNo.200)	
構造	防塵・防水	

図 5.6.3-15　制御盤外形図

d　操作パネル

操作パネルは Ethernet で PLC（プログラマブル・ロジック・コントローラ）の製作会社を限定せず通信ができる製品を選定した。選定した操作パネルの主要な仕様を表 5.6.3-19 に示す。

搬送定置装置は、操作パネル上のタッチパネル及びファンクションスイッチの選択を選び運転する。また、運転許可のためのインターロックを設けており、許可条件が整わない場合、運転がなされないものとなる。（インターロックの詳細は表 5.6.3-20 参照）

なお、10 個のエアベアリングを付番し、最大 5 つまでグルーピングすることが可能である。

表 5.6.3-19　操作パネル仕様

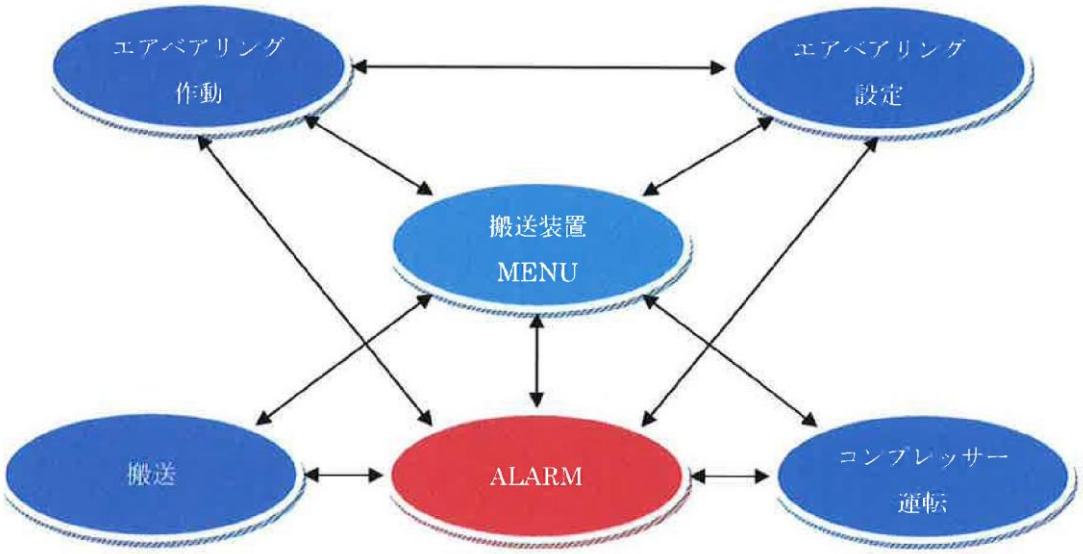
項目	機能
型式	VT3-Q5H（KEYENCE 製）
定格電圧	DC24V±10%
消費電流	250mA 以下
耐電圧	AC1500V 1分間（電源端子とケース間）
絶縁抵抗	50MΩ 以上（DC500V メガにて電源端子とケース間）
接地	D 種接地（第 3 種接地）
構造	IP65f 相当の防塵、防滴構造
落下	JIS B 3502、IEC61131-2 準拠（1.3m）
使用周囲温度	0～＋50℃※1
使用周囲湿度	35～85%RH（結露しないこと）※1
保存周囲温度	－10～＋60℃（氷結しないこと）
保存周囲湿度	35～85%RH（結露しないこと）※2
過電圧カテゴリ	I
汚染度	3
重量	約 970g（単体、ケーブル除く）
画面有効表示面積	W115.2mm×H86.4mm
外形写真	

※1 本体のみを鉛直方向に取り付けたときの値
※2 周囲温度が40℃を超える場合、絶対湿度が40℃ 85%RHの条件以下

当該操作パネルは、組込みソフトウェアにより簡易的に画面を作成することが可能である。平成 27 年度の確認試験のために作成した操作パネル画面遷移図を図 5.6.3-16

に、また、画面イメージを図 5.6.3-17 に示す。

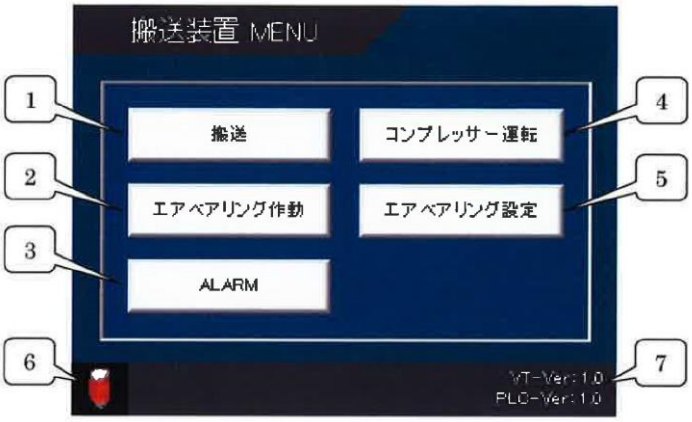
また、安全上問題となる機器の同時操作を防止するために付加したインターロックの動作条件を表 5.6.3-20 に示す。



項目	画面説明
搬送装置 MENU 画面	各制御画面及び ALARM 表示画面に移動するための画面
搬送画面	以下のスイッチにより搬送装置の進行を制御する。 (a)インバータ電源「ON」「OFF」スイッチ (b)「前進」「後進」の切替スイッチ (c)「低速」「高速」の切替スイッチ
エアベアリング 作動画面	10個の電磁弁をグループ分けに従いG1～G5の5種類のスイッチにより操作する。
エアベアリング 設定画面	電磁弁のグループ分けを設定する。
コンプレッサ運転画面	コンプレッサ毎(#1～#3)に「ON」「OFF」制御する。
ALARM 表示画面	以下の異常を表示する。 (a)コンプレッサの異常、警報を表示 (b)インバータの異常を表示 (c)モータの過負荷異常(サーマルリレーON)を表示

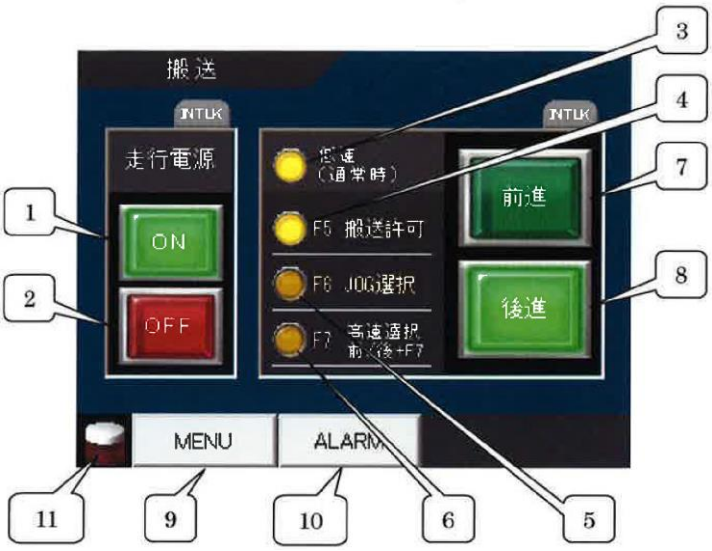
図 5.6.3-16　操作パネル画面遷移図

＜搬送装置 MENU 画面＞



①「搬送」画面に移動
②「エアベアリング作動」画面に移動
③「ALARM 表示」画面に移動
④「コンプレッサ運転」画面に移動
⑤「エアベアリング設定」画面に移動
⑥「ALARM 表示灯」画面に移動
⑦PI、C プログラムとタッチパネル(VT)プログラムのバージョン情報

＜搬送画面＞



①走行電源 ON スイッチ
②走行電源 OFF スイッチ
③低速表示ランプ
④搬送許可ランプ
⑤JOG 選択ランプ※
⑥高速選択ランプ
⑦前進スイッチ
⑧後進スイッチ
⑨MENU 画面に移動
⑩ALARM 表示画面に移動
⑪ALARM 表示灯
※インチング操作用の極低速モード

＜エアベアリング作動画面＞

①エアベアリング(V1～V10)動作ランプ
②エアベアリンググループ表示
③G1(グループ 1)ON/OFF スイッチ
④G2(グループ 2)ONIOFF スイッチ
⑤G3(グループ 3)ON/OFF スイッチ
⑥G4(グループ 4)ONIOFF スイッチ
⑦G5(グループ 5)ON/OFF スイッチ
⑧MENU 画面に移動
⑨エアベアリング設定画面に移動
⑩ALARM 表示画面に移動
⑪ALARM 表示灯

図 5.6.3-17　操作パネル　画面イメージ（1/2）

＜エアベアリング設定画面＞

①エアベアリンググループ設定スイッチ
②MENU 画面に移動
③エアベアリング作動画面に移動
④ALARM 表示画面に移動
⑤ALARM 表示灯

＜コンプレッサ運転画面＞

①コンプレッサ 1 起動スイッチ
②コンプレッサ 1 停止スイッチ
③コンプレッサ 2 起動スイッチ
④コンプレッサ 2 停止スイッチ
⑤コンプレッサ 3 起動スイッチ
⑥コンプレッサ 3 停止スイッチ
⑦MENU 画面に移動
⑧ALARM 表示画面に移動
⑨ALARM 表示灯

＜ALARM 表示画面＞

①ALARM 表示エリア
（発生中の AMRM 内容を表示）
②ALARM 表示エリア操作スイッチ
③ブザーSTOP スイッチ
④ALARM リセットスイッチ
⑤MENU 画面に移動
⑥ALARM 表示灯

図 5.6.3-18　操作パネル　画面イメージ（2/2）

表 5.6.3-20　インターロック条件

No.	スイッチ条件			条件 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
					インバータ異常なし	モータ過負荷異常なし(全モータ)	走行電源ON	搬送許可ON	JOG選択していない	搬送操作有効	搬送停止中	コンプレッサー遠隔運転選択	コンプレッサー1異常なし	コンプレッサー2異常なし	コンプレッサー3異常なし	コンプレッサー運転中(1台以上)	エアベアリングにグループが指定されている	エアベアリングが作動していない
1	搬送	走行電源	ON			○												
2			OFF															
3		速度設定	高速						○	○								
4			JOG選択ON								○							
5		搬送操作	有効		○	○	○											
6			無効								○							
7			前進					○										
8			後進					○										
9	コンプレッサー運転	コンプレッサー1	起動									○	○					
10			停止									○						○
11																		
12		コンプレッサー2	起動									○		○				
13			停止									○						○
14																		
15		コンプレッサー3	起動									○			○			
16			停止									○						○
17																		
18	エアベアリング作動		G1 ON													○	○	
19			G2 ON													○	○	
20			G3 ON													○	○	
21			G4 ON													○	○	
22			G5 ON													○	○	
23	エアベアリング設定 G1～G5共通		V1 ON/OFF															○
24			V2 ON/OFF															○
25			V3 ON/OFF															○
26			V4 ON/OFF															○
27			V5 ON/OFF															○
28			V6 ON/OFF															○
29			V7 ON/OFF															○
30			V8 ON/OFF															○
31			V9 ON/OFF															○
32			V10 ON/OFF															○

凡例　○：スイッチ動作許可

5.7　搬送定置装置の製作

5.7.1　定置装置

図 5.6.3-8 に示す構造図に基づき、定置装置を製作した。定置装置の製作写真を図 5.7.1-1～図 5.7.1-3 に示す。

図 5.7.1-1　定置装置 完成写真 1（定置装置全体写真）

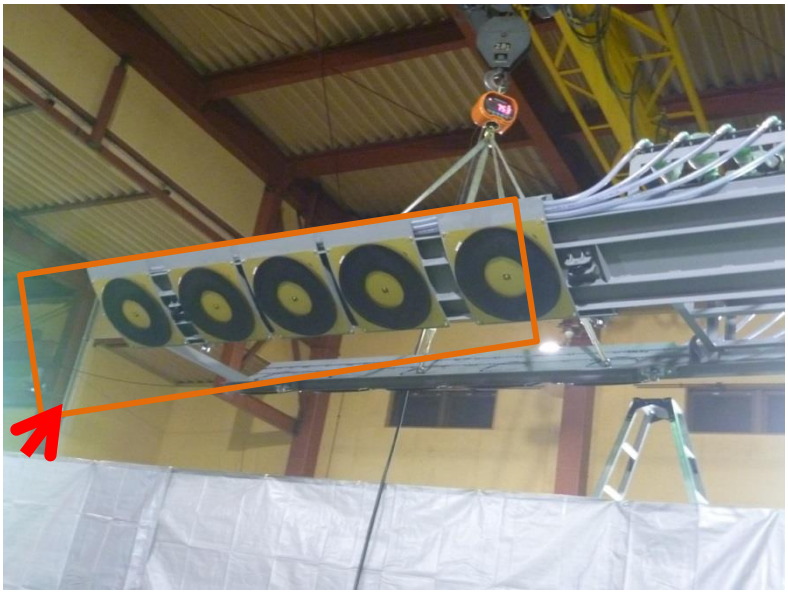


図 5.7.1-2　定置装置 完成写真 2（裏面から見たエアベアリング）

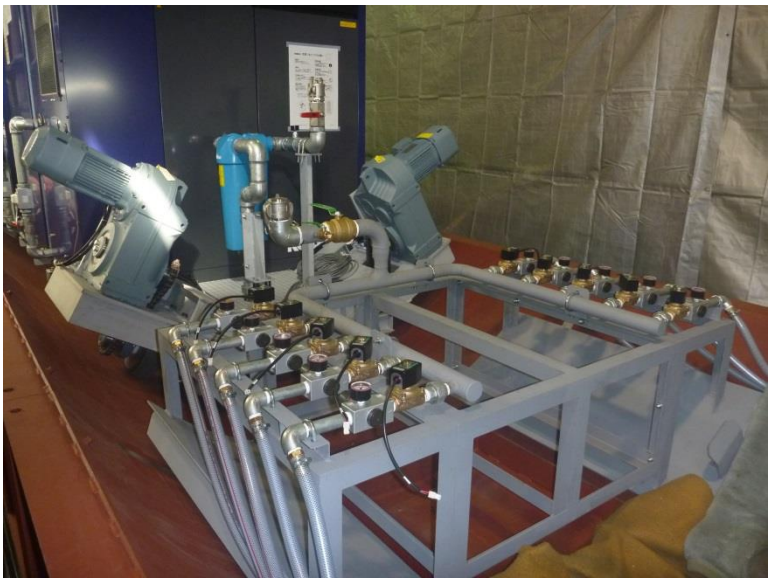


図 5.7.1-3　定置装置 完成写真 3（バルブユニット及びホース）

5.7.2 搬送装置

図 5.6.3-13 に示す構造図に基づき、搬送装置を製作した。搬送装置製作後の写真を図 5.7.2-1～図 5.7.2-3 に示す。

図 5.7.2-1　搬送装置 完成写真 1（搬送装置全体写真）

図 5.7.2-2　搬送装置 完成写真 2（駆動モータ）

図 5.7.2-3　搬送装置 完成写真 5（コンプレッサ）

5.7.3 制御装置

(1) 制御盤

制御盤製作後の写真を図 5.7.2-1～図 5.7.2-3 に示す。

図 5.7.3-1　制御盤外観

図 5.7.3-2　制御盤内部

1)　操作卓（操作パネル）

操作卓（操作パネル）を図 5.7.3-3 に示す。

図 5.7.3-3　操作卓（操作パネル）

2)　給電ケーブル

電源から制御盤までの給電ケーブルを図 5.7.3-4 に示す。

なお、平成 27 年度使用する給電ケーブルは工場試験用の仮設ケーブルである。

図 5.7.3-4　給電ケーブル

5.7.4　坑道模擬架台

模擬架台は、平成 27 年度の工場における走行試験用に製作した模擬坑道である。模擬架台の寸法は、これまでの PEM 搬送技術の検討で設定した坑道径φ2600mm を模擬し、PEM 容器を定置・搬送するために必要な最低限の坑道内面を確保するために中心角 120 度の円弧状とした。れは、エアベアリングの設置位置を基として設定した寸法である。また、PEM 定置用の台座についてもこれまでの PEM 搬送技術の検討で設定した幅 700mm、高さ 110mm を模擬してい

る。模擬架台の走行方向の長さは 15000mm とし、搬送定置装置の機長約 9500mm に対して約 5000mm 程度走行可能な長さとした。

なお、地下坑道においては走行面がコンクリートであるが、平成 27 年度使用する模擬架台における走行面は鋼板（SS 材）となる。

図 5.7.4-1 に模擬架台の寸法を、図 5.7.4-2 に模擬架台写真を示す。

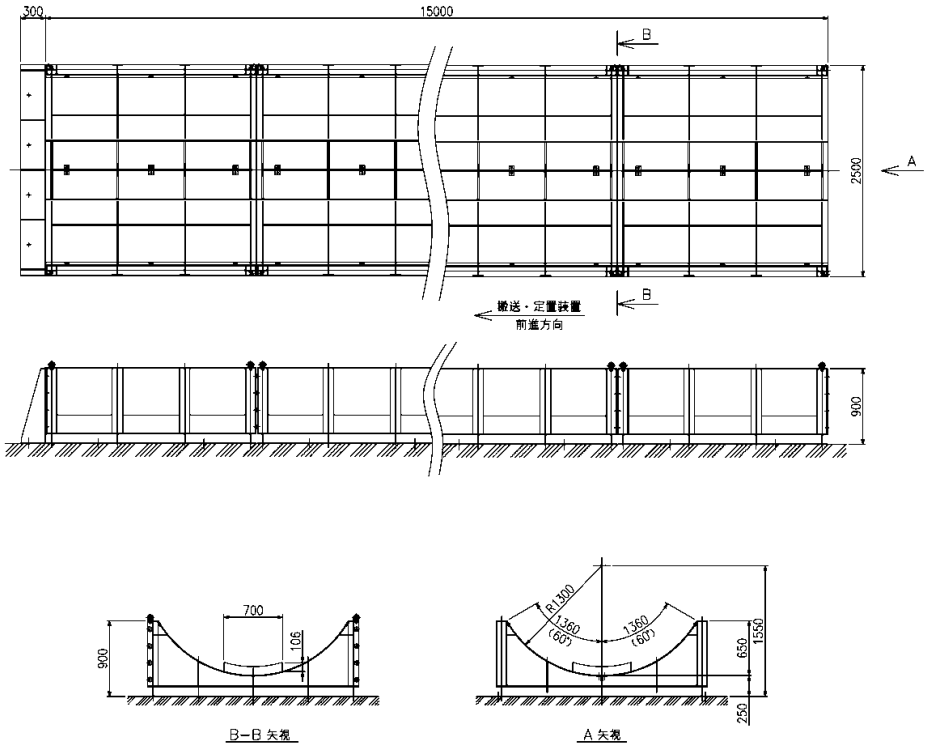


図 5.7.4-1　坑道模擬架台寸法

図 5.7.4-2　坑道模擬架台外観

5.7.5 模擬 PEM

平成 27 年度は、平成 18 年度「遠隔操作技術高度化 2.2」[17]で使用した半割れ型の PEM 容

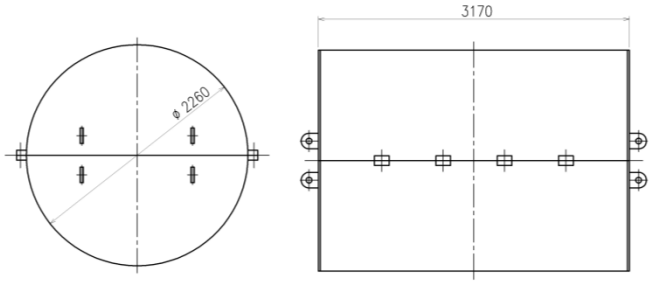
器を使用する。本模擬 PEM（半割れ型）の外径寸法は、装置設計の前提条件である PEM 容器外径φ2316mm×3343L に対し、外形φ2260mm×3170L と円筒径が 56mm 小さく、長さ方向が 173mm 短い寸法である（図 5.7.5-1 参照）。図 5.7.5-2 に平成 27 年度使用する PEM のための補修内容を示す。平成 27 年度使用する PEM 外径寸法が設計上の PEM 外形より小さくなることから、定置装置フレームと PEM 容器に約 9mm に隙間が発生し、水平ガイド車輪との干渉が生じる。したがって、平成 27 年度使用する PEM 容器と定置装置フレームの隙間を埋めるため、スペーサ（丸棒）を設けることとした（図 5.7.5-3 参照）。なお、本スペーサは平成 28 年度以降使用する PEM（外形φ2316mm）の場合には撤去するものとする。なお、平成 27 年度使用する模擬 PEM（半割れ型）の重量は、

表 5.7.5-1 に示すように既往の研究[16]で製作されたコンクリートブロック（オーバーパック外周ブロック及び端部ブロック）とダミーウェイト 17 トンを搭載する（図 5.7.5-4 参照）ことで現在設定されている PEM 重量 33.4ton とした。

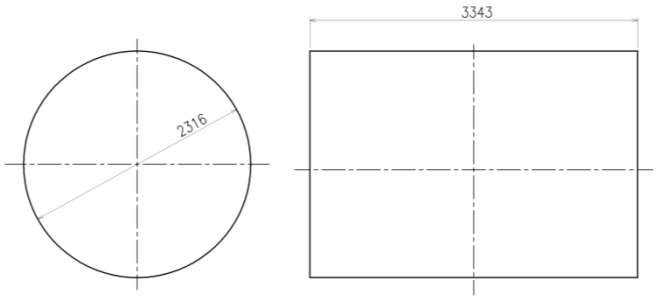
図 5.7.5-5 に平成 27 年度使用した模擬 PEM の外観写真を示す。

表 5.7.5-1　模擬 PEM の重量内訳

名称	重量[kg]	数量	総重量 [kg]
PEM 容器（半割れ型）：　半割れ PEM	2,420	2	4,840
PEM 容器横蓋	120	1	120
オーバーパック外周ブロック	188	60	11,280
オーバーパック端部ブロック	184	1	1,480
ダミーウエイト	17,000	1	17,000
		合計	33,424



（a）平成 27 年度使用する模擬 PEM 寸法



（b）次年度以降使用する模擬 PEM 寸法

図 5.7.5-1　模擬 PEM 寸法比較

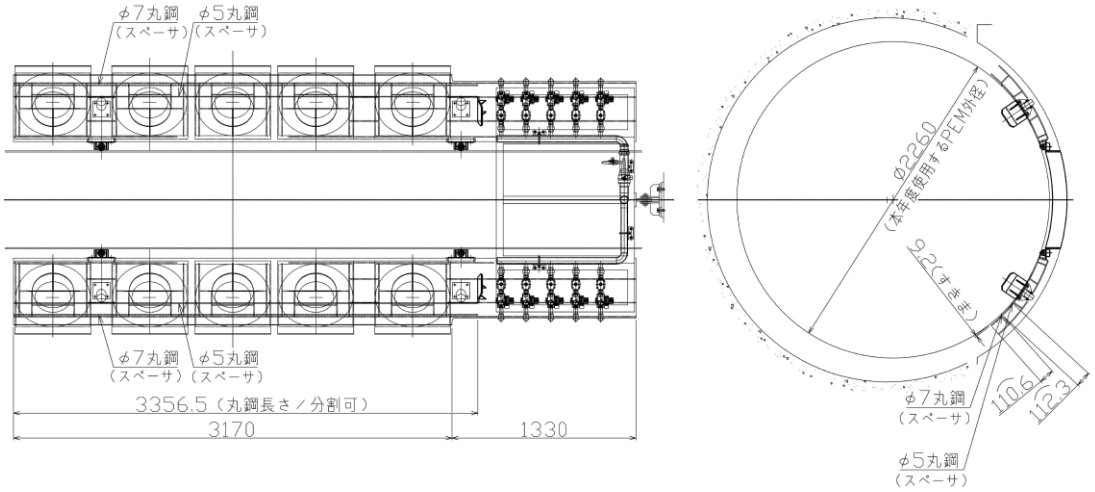


図 5.7.5-2　平成 27 年度使用する PEM のための補修

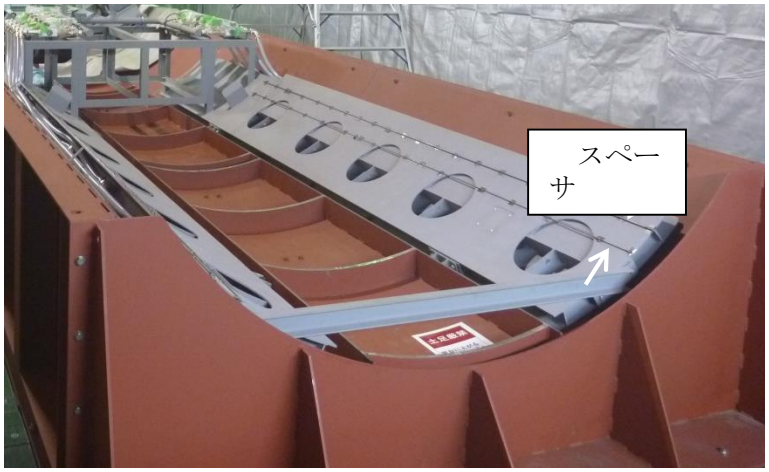


図 5.7.5-3　スペーサ写真

図 5.7.5-4　模擬 PEM　ダミーウェイト設置

図 5.7.5-5　模擬 PEM 外観

5.8　平成 27 年度確認試験

5.8.1 目的

本項では、平成 27 年度に設計・製作した範囲で搬送定置装置が要求機能を満足していることを確認するため、以下に示す“確認試験”及び平成 28 年度以降の地上試験・実証試験に向けた反映事項の抽出するための“データ取得”を実施した。

【確認試験】
a.員数確認試験
b.外観確認試験
c.寸法確認試験
d.機能確認試験
【データ取得】
e.平滑面走行試験
f.隙間通過確認試験
g.段差通過確認試験

なお、表 5.8.1-1 に平成 27 年度実施する確認試験の主要な条件を示す。

表 5.8.1-1　搬送定置装置 試験主要条件

項目	試験計画（平成 27 年度）
概要図	図 5.8.1-1
走行ストローク	約 5000mm
坑道模擬架台	長さ：15000mm 材質：鋼板 端部：保護ストッパあり
位置検知	目視確認
操作器	有線式液晶タッチパネル

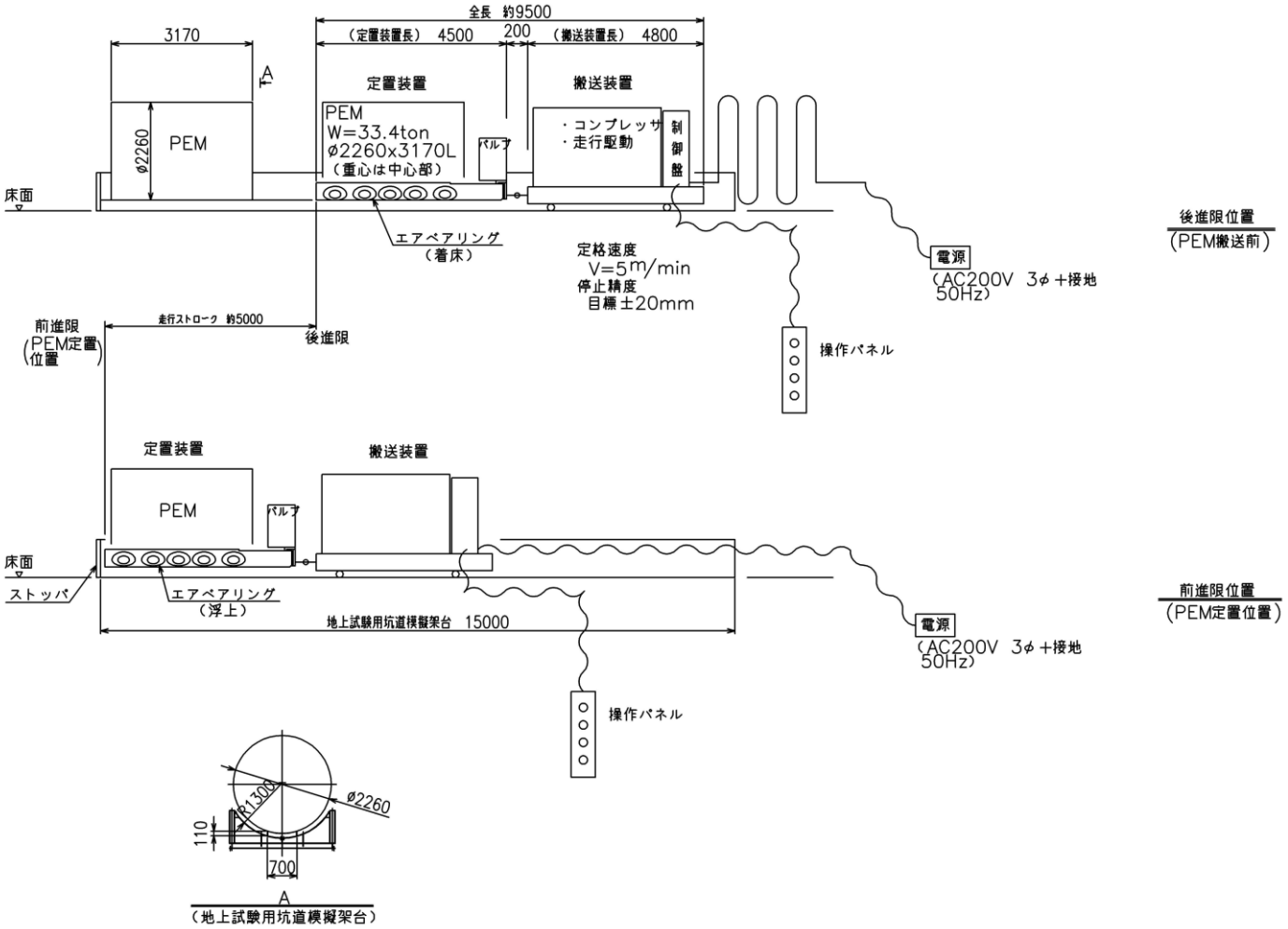


図 5.8.1-1　試験計画図（平成 27 年度）

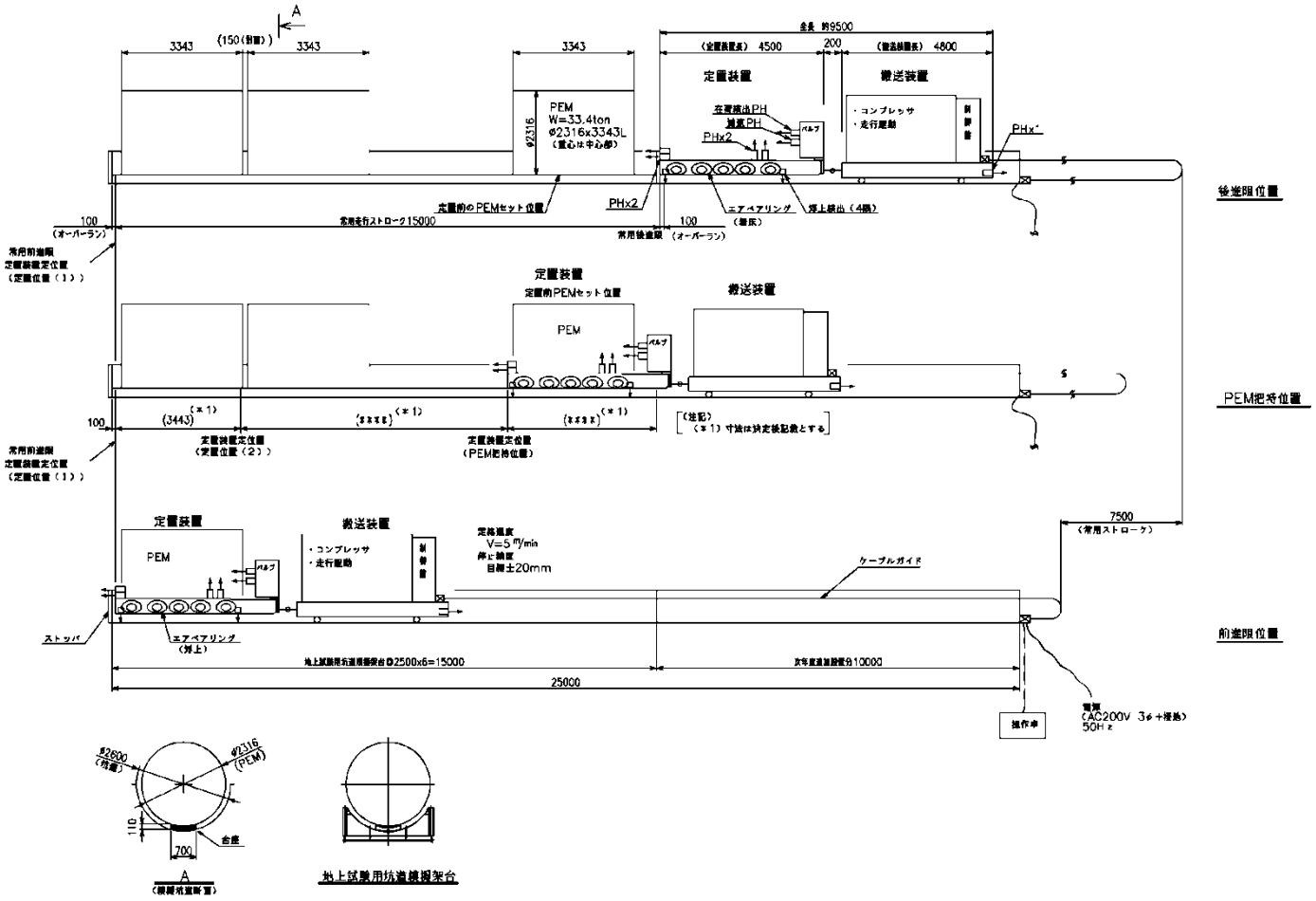


図 5.8.1-2　試験計画図（平成 28 年度用）

5.8.2　確認試験フロー

5.8.1 で示した確認試験項目の実施フローを図 5.8.2-1 に示す。

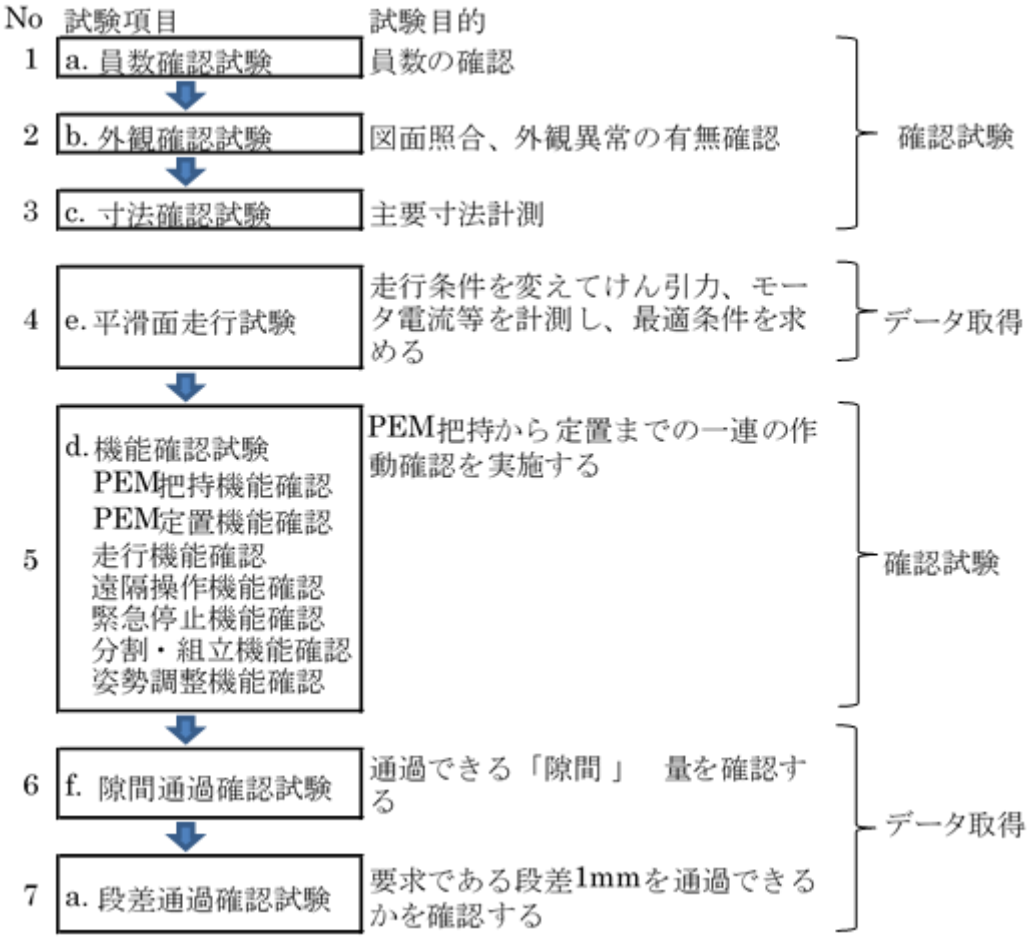


図 5.8.2-1　確認試験フロー

5.8.3　試験条件・方法

5.8.2 で示した確認試験項目（a.～d.）は、前項までに設計した搬送定置装置が設計通り製作されていることの確認を目的とする。

また、データ取得項目（e.～g.）については、平成 28 年度以降の地上試験・実証試験に向けた反映事項の抽出するための“データ取得”を目的とする。

表 5.8.3-1～表 5.8.3-5 に“データ取得”におけるパラメータ、計測項目及び計測要領を示す。

(1) 平滑面走行試験

平滑面走行試験では、表 5.8.3-1 に示すパラメータを変更し、各計測項目の測定を実施する。平滑面走行試験の試験パターンを表 5.8.3-2 に示す。

表 5.8.3-1　平滑面走行試験　実施要領

	パラメータ	計測項目	計測要領	備考
平滑面走行試験	・浮上量	流量 圧力 牽引力	・指定されたエアベアリングにエアを供給する。 ・定置装置の 4 隅の浮上量が指定された値となるよう圧力調整を行う。 ・装置を一定速度で走行させる。 ・この時の流量、圧力、牽引力を計測する。	流量、牽引力を評価し、適切な浮上量を決定する。
	・エアベアリングの稼働枚数 ・走行速度	流量 圧力 牽引力 モータ電流	・指定されたエアベアリングにエアを供給する。 ・定置装置の 4 隅の浮上量が指定された値となるよう圧力調整を行う。 ・装置を一定速度で走行させる。 ・この時の流量、圧力、牽引力、モータ電流を計測する（牽引力はチャートを記録する)。	
	・エアベアリングの稼働枚数	定置時ひずみ（荷重）	・模擬 PEM 容器前後端面の台座接触部付近にひずみゲージを取り付ける（2 軸：ラジアル方向と円周方向)。 ・指定されたエアベアリングにエアを供給する。 ・定置装置の 4 隅の浮上量(*2)が指定された値となるよう圧力調整を行う。 ・浮上状態からエア供給を停止し模擬 PEM を定置する（ひずみゲージの値はチャートを記録する)。	(*1) ひずみ量は、定置時に PEM 容器へ加わる荷重を意味する。 (*2) 浮上量は計測結果より決定する。
	・エアベアリングの稼働枚数	定置 PEM の芯ずれ・傾き	・坑道模擬架台の中心線と平行に基準墨を設定する。（これを PEM 定置時の偏芯量計測の基準とする。図 5.8.3-1 参照） ・指定されたエアベアリングにエアを供給する。 ・定置装置の 4 隅の浮上量が指定された値となるよう圧力調整を行う。 ・浮上状態からエア供給を停止し模擬 PEM を定置する。 ・この時 PEM 容器前端および後端の中心と基準芯との距離を計測し、定置状態の偏芯量（芯ずれ、傾き）を求める。	

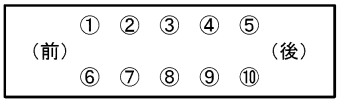
表 5.8.3-2　平滑面走行試験　パターン

データ採取試験パターン（平滑面走行試験）

RUN	方向	荷重条件（ton）	パラメータ					計測項目					
			浮上量（mm）	ｴｱﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ稼働数	牽引速度（m/min）	すきま（mm）	段差（mm）	流量	圧力	牽引力（*1）	ﾓｰﾀ電流	定置時荷重（*2）	定置時偏芯（*2）
			4か所設定	－	－	－	－	3か所計測	10か所計測	1か所計測	4か所計測	2か所計測	2か所計測
			（平滑面走行試験）										
1	前進	33.4	45	10	5	0	0	○	○	－	○	－	－
	後進							○	○	○	○	－	－
2	前進		40	10	5	0	0	○	○	－	○	－	－
	後進							○	○	○	○	－	－
3	前進		35	10	5	0	0	○	○	－	○	－	－
	後進							○	○	○	○	－	－
4	前進		RUN1～3の結果より設定	10	1	0	0	○	○	－	○	○	○
	後進							○	○	○	○	－	－
5	前進			8	5	0	0	○	○	－	○	－	－
	後進							○	○	○	○	－	－
6	前進			8	1	0	0	○	○	－	○	○	○
	後進							○	○	○	○	－	－
7	前進			6	5	0	0	○	○	－	○	－	－
	後進							○	○	○	○	－	－
8	前進			6	1	0	0	○	○	－	○	○	○
	後進							○	○	○	○	－	－

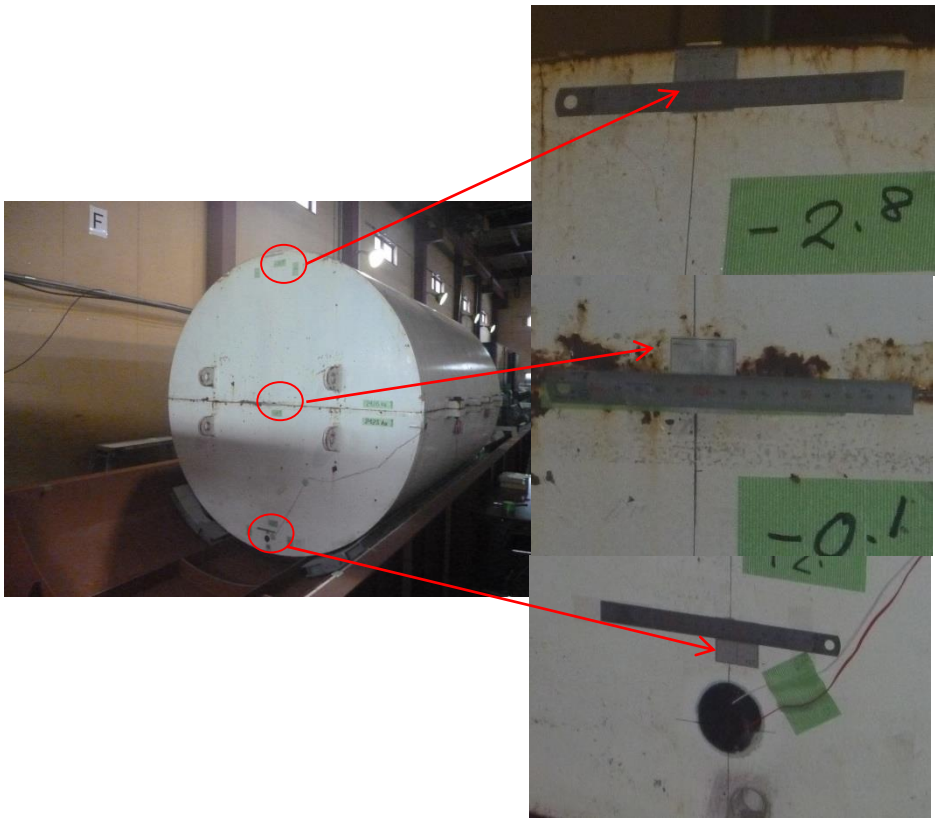
（*1）後進時のけん引力を計測。

（*2）走行停止時の計測。ｴｱﾍﾞｱﾘﾝｸﾞの稼働枚数ごとに計測。



ｴｱﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ
位置番号

(a)　模擬坑道の基準位置（罫書き）



(b)　PEM 容器の基準位置（ターゲットシール貼付け）

図 5.8.3-1　PEM 偏芯の確認用基準墨出し

図 5.5.2-1 や図 5.5.2-2 の地下実証試験フローに示す通り、PEM 搬送時は搬送装置により定置装置を押す動作となり、PEM 回収時は搬送装置により定置装置を引張る動作となる。既往検討[2]では、定置装置を引張る動作の場合に発生する力（＝牽引力）を計測している。平成 27 年度は既往検討[2]のデータとの比較を目的とし、牽引力の計測を行うこととした。押す場合の力については、平成 28 年度以降に検討を行う。

(2)　隙間通過確認試験

隙間通過試験では表 5.8.3-3 に示すパラメータを変更し、各計測項目の測定を実施した。隙

間通過試験の実施要領と試験パターンを表 5.8.3-3、表 5.8.3-4 にそれぞれ示す。

表 5.8.3-3　隙間通過確認試験　実施要領

試験項目	パラメータ	計測項目	計測要領	備考
隙間通過試験	・隙間 ・エアベアリングの稼働枚数 ・走行速度	流量 圧力 牽引力 モータ電流	・隙間が指定された長さを確保するように坑道模擬架台の継目を配置する。 ・指定されたエアベアリングにエアを供給する。 ・定置装置の 4 隅の浮上量が指定された値となるよう圧力調整を行う。 (*1) ・装置を一定速度で走行させる。 ・この時の流量、圧力、牽引力、モータ電流を計測する（牽引力はチャートを記録する)。	(*1) 浮上量は、「平滑面走行試験」で決定した値

注：隙間通過確認試験は走行面の隙間通過時のデータ採取のため、定置時ひずみ（荷重）データは採取しない。

表 5.8.3-4　隙間通過試験　パターン

データ採取試験パターン（すきま通過試験）

RUN	方向	荷重条件 (ton)	パラメータ					計測項目					
			浮上量 (mm)	エアベアリング稼働数	牽引速度 (m/min)	すきま (mm)	段差 (mm)	流量	圧力	牽引力 (*1)	モータ電流	定置時荷重 (*2)	定置時偏芯 (*2)
			4か所設定	-	-	-	-	3か所計測	10か所計測	1か所計測	4か所計測	2か所計測	2か所計測
			（すきま通過試験）										
11	前進	33.4	RUN1～3の結果より設定	10	1	2	0	○	○	-	-	-	-
	後進							○	○	-	-	-	-
12	前進			10	1	2(アルミテープ)	0	○	○	-	-	-	-
	後進							-	○	○	○	-	-

(*1) 後進時のけん引力を計測。
(*2) 走行停止時の計測。ｴｱﾍﾞｱﾘﾝｸﾞの稼働枚数ごとに計測。

ｴｱﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ
位置番号

(3)　段差通過確認試験

段差通過試験では、表 5.8.3-2 に示すパラメータを変更し、各計測項目の測定を実施した。段差通過試験の実施要領及び試験パターンを、表 5.8.3-5、表 5.8.3-6 にそれぞれ示す。

表 5.8.3-5　段差通過確認試験　実施要領

試験項目	パラメータ	計測項目	計測要領	備考
段差通過確認試験	・段差 ・エアベアリングの稼働枚数 ・走行速度	流量 圧力 牽引力 モータ電流	・坑道模擬架台の継目を指定された段差を確保して配置する。 ・指定されたエアベアリングにエアを供給する。 ・定置装置の 4 隅の浮上量が指定された値となるよう圧力調整を行う。(*1) ・装置を一定速度で走行させる。 ・この時の流量、圧力、牽引力、モータ電流を計測する（牽引力はチャートを記録する）。 注記：エアベアリングが損傷しないように注意すること。	(*1) 浮上量は、「平滑面走行試験」で決定した値

注：段差通過確認試験は走行面の段差通過時のデータ採取のため、定置時ひずみ（荷重）データは採取しない。

表 5.8.3-6　段差通過試験　パターン

データ採取試験パターン（段差通過試験）

RUN	方向	荷重条件 (ton)	パラメータ 浮上量 (mm)	エアﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ稼働数	牽引速度 (m/min)	すきま (mm)	段差 (mm)	計測項目 流量	圧力	牽引力 (*1)	モータ電流	定置時荷重 (*2)	定置時偏芯 (*2)
			4か所設定	–	–	–	–	3か所計測	10か所計測	1か所計測	4か所計測	2か所計測	2か所計測
	前進	33.4	（段差通過試験）										
	後進												
23	前進		RUN1～3の結果より設定	10	1	0	1	○	○	–	–	–	–
	後進							–	○	○	○	–	–
24	前進			10	1	0	1	○	○	–	–	–	–
	後進							○	–	–	–	–	–
	前進												
	後進												

(*1) 後進時のけん引力を計測。

(*2) 走行停止時の計測。ｴｱﾍﾞｱﾘﾝｸﾞの稼働枚数ごとに計測。

ｴｱﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ位置番号

5.8.4　確認試験結果

図 5.8.2-1（a.～d.）項目に示す確認試験において、員数、外観、装置寸法と各機能が設計通り製作されていることを確認した。確認試験時における PEM の把持、定置一連の動作を図 5.8.4-1、図 5.8.4-2 に示す。

1.搬送定置装置待機位置	2. PEM 把持位置

図 5.8.4-1　PEM 搬送定置動作（確認試験時）（1/2）

3.PEM 把持状態	4. PEM 搬送

図 5.8.4-2　PEM 搬送定置動作（確認試験時）(2/2)

また、以下に図 5.8.2-1（e.～g.）項目に示すデータ取得の結果を示す。

(1) 平滑面走行試験

平滑面走行試験における各計測項目に対する測定方法、測定機器を以下に示す。なお、以下に示す測定方法、測定機器は、本項以降で示す隙間通過試験及び段差通過試験においても同様である。

(2) PEM 浮上量

PEM 浮上量は、定置装置の外側の 4 隅を 4 箇所計測した。計測には曲尺を用いた。PEM の浮上量は、所定の浮上量に可能な限り近く、4 か所とも均一になるようエアベアリング圧力を調整し測定した。PEM 浮上量測定の様子を図 5.8.4-3 に示す。

図 5.8.4-3　PEM 浮上量の測定

(3) エアベアリング圧力

エアベアリング圧力制御は、10 個あるエアベアリングにそれぞれ配置した圧力調整弁を調整することで実施した。圧力調整弁を図 5.8.4-4 に示す。

図 5.8.4-4　エアベアリング圧力の調整用の圧力調整弁

(4) コンプレッサ流量

コンプレッサ吐出流量は、3 台あるコンプレッサそれぞれの吐出側に配置した流量計により吐出流量を測定した。流量計を図 5.8.4-5 に示す。

図 5.8.4-5　コンプレッサ流量測定用の流量計

(5) 牽引力

牽引力を測定するために、定置装置と搬送装置の連結部にロードセルを設置した。ロードセル連結時の状態を図 5.8.4-6 に示す。

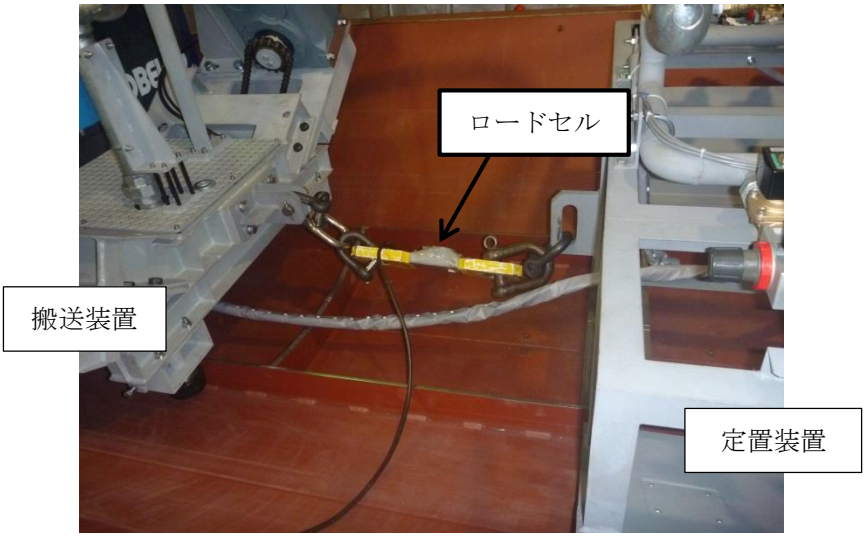


図 5.8.4-6　牽引力測定用のロードセル

(6) 走行モータ電流

搬送装置に設置した 4 台の走行モータ電流を測定するため、クランプメータを使用した。電流値は、代表として各走行モータの U 相のみ測定した。走行モータ電流測定の状態を図 5.8.4-7 に示す。

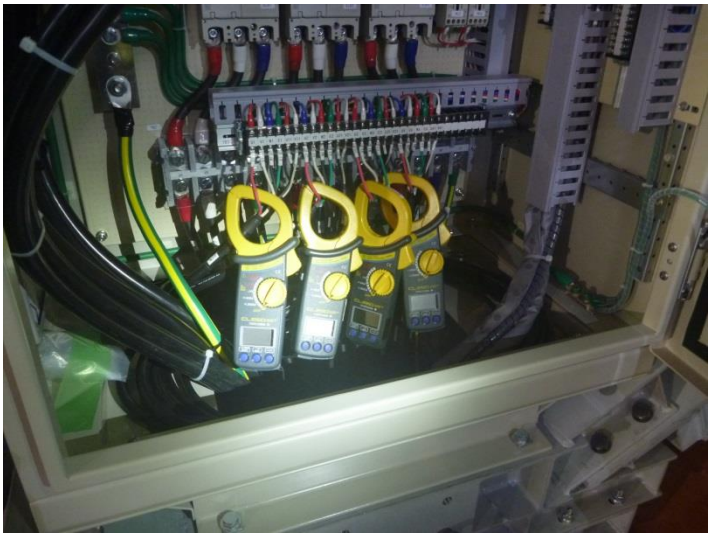


図 5.8.4-7　走行モータ電流測定用のクランプメータ

(7) PEM 定置時荷重

PEM 定置時に PEM 容器に加わる荷重として、PEM を台座上に定置した際の衝撃的な荷重をひずみゲージを用いて測定した。ひずみゲージは PEM 容器両端平面上の可能な限り下面に貼付け、円周方向及び径方向の 2 方向のひずみを測定した。ひずみゲージを貼付けた状態を図 5.8.4-8 に示す。

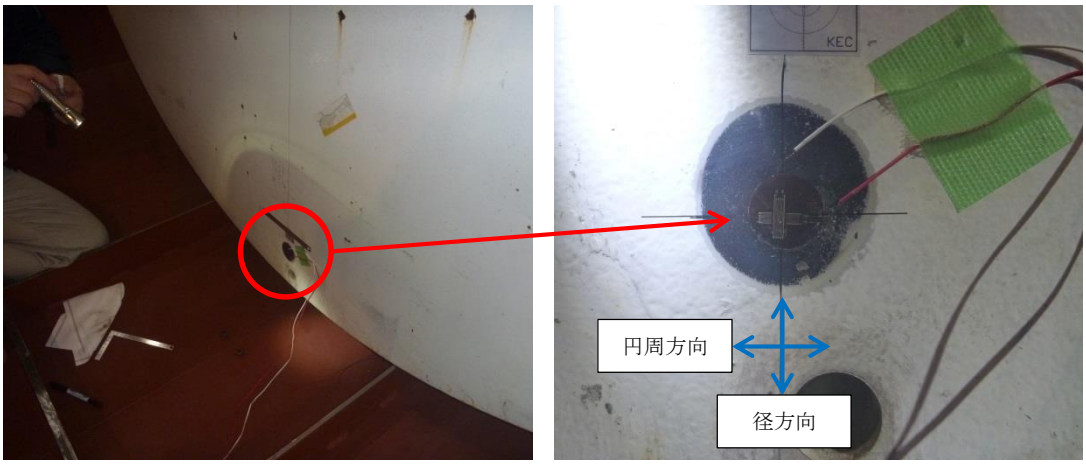


図 5.8.4-8　PEM 定置時荷重測定用のひずみゲージ

(8) PEM 偏芯

PEM 把持及び定置時の偏芯測定として、図 5.8.4-9 に示す各計測点にターゲットシール及び物差を貼付け、セオドライトにより PEM 把持及び定置時に各計測点の移動した距離を測定した。図 5.8.4-10 に PEM 偏芯測定の様子を示す。

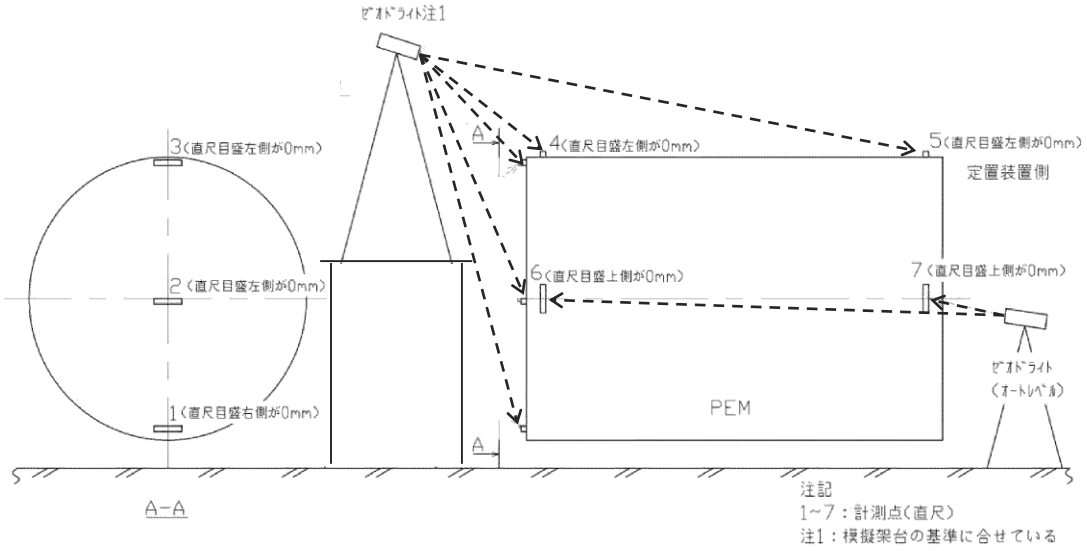


図 5.8.4-9　PEM 偏芯測定の概念図

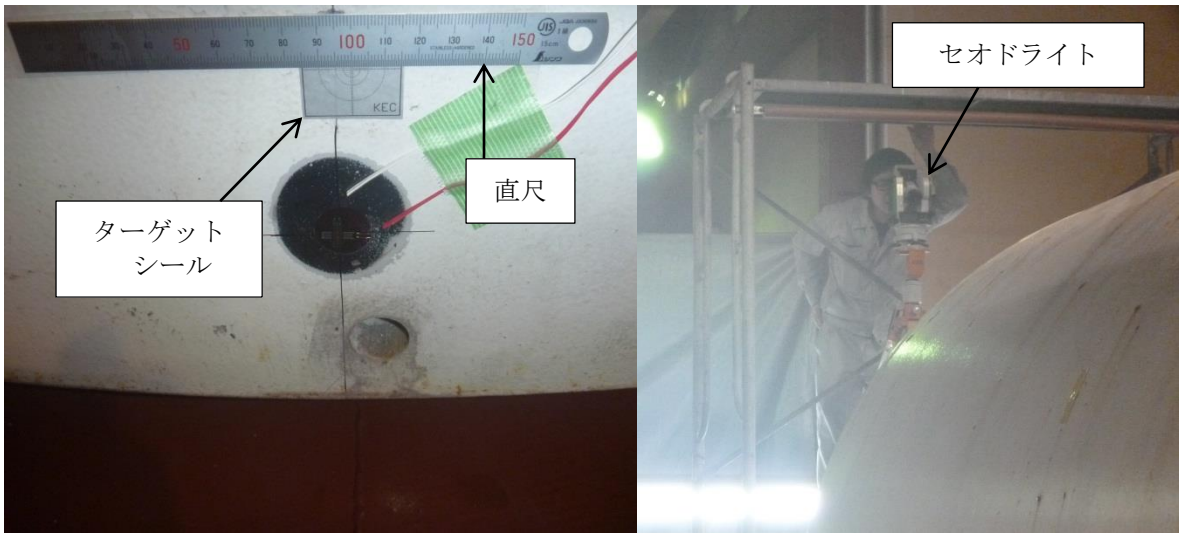


図 5.8.4-10　PEM 偏芯測定の様子

以上に基づき実施した平滑面走行試験の結果を、
表 5.8.4-1 から表 5.8.4-4 に示す。

表 5.8.4-1　平滑面走行試験結果

パラメータ	計測項目	計測結果	備考
・浮上量 35mm 40mm 45mm	流量 圧力 牽引力	表 5.8.4-2　RUN1～3	
・エアベアリングの稼働枚数 10 枚 8 枚 6 枚 ・走行速度 5 m/min 1 m/min	流量 圧力 牽引力 モータ電流	表 5.8.4-3 及び表 5.8.4-4　RUN4～8	
・エアベアリングの稼働枚数 10 枚 8 枚 6 枚	定置時ひずみ（荷重）	表 5.8.4-3 及び表 5.8.4-4　RUN4～8	
・エアベアリングの稼働枚数 10 枚 8 枚 6 枚	定置 PEM の芯ずれ・傾き	表 5.8.4-3 及び表 5.8.4-4　RUN4～8	

表 5.8.4-2　平滑面走行試験　取得データ（RUN1～3）

計測日 ： 2016年3月9日

採取データ（RUN 1-3）（1/2）

RUN	方向	荷重条件 (ton)	パラメータ					計測データ															備考
			浮上量 (mm)	エアベアリング稼働数	牽引速度 (m/min)	すきま (mm)	段差 (mm)	エアベアリング停止位置	浮上量（実測値） (mm) (*1)					圧力 (Mpa)									
			基準値	-	-	-	-	-	前-右	前-左	後-右	後-左	平均	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
1	前進	33.4	45	10	5	0	0	-	49	47	43	43	45.5	0.20	0.22	0.30	0.30	0.30	0.19	0.19	0.30	0.30	0.30	
	後進							-	43	45	45	43	44.0	0.20	0.22	0.30	0.30	0.30	0.19	0.19	0.30	0.30	0.30	
2	前進		40	10	5	0	0	-	40	38	38	39	38.8	0.16	0.19	0.25	0.26	0.27	0.17	0.15	0.27	0.26	0.28	
	後進							-	39	40	44	37	40.0	0.16	0.19	0.25	0.26	0.27	0.16	0.16	0.27	0.26	0.27	
3	前進		35	10	5	0	0	-	34	33	40	35	35.5	0.17	0.18	0.26	0.26	0.26	0.16	0.16	0.26	0.26	0.26	
	後進							-	33	34	42	37	36.5	0.17	0.18	0.26	0.26	0.26	0.16	0.15	0.26	0.26	0.26	

(*1) 浮上後、走行開始前に計測　　PEM把持による低地装置先端の変形（開き）は3mm程度であり、装置の機能に有害なものではない（計測データより）。

採取データ（RUN 1-3）（2/2）

RUN	方向	荷重条件 (ton)	パラメータ					計測データ																備考
			浮上量 (mm)	エアベアリング稼働数	牽引速度 (m/min)	すきま (mm)	段差 (mm)	流量 (m3/min)				牽引力 (kgf) (*2)		走行モータ電流 (A)					定置時荷重（ひずみ量）（μm）		定置時偏芯 (mm)			
			基準値	—	-	-	-	COMP 1	COMP 2	COMP 3	合計	起動時	定常時	前-右	前-左	後-右	後-左	合計	前端	後端	前端	後端		
1	前進	33.4	45	10	5	0	0	4.4～4.6	4.1～4.5	3.9～4.4	12.4～13.5	-	-	3.2	3.2	3.1	3.1	12.6	-	-	-	-		
	後進							4.1～4.6	4.0～4.5	4.4～4.5	12.5～13.6	310	約200	3.2	3.1	3.2	3.1	12.6	-	-	-	-		
2	前進		40	10	5	0	0	2.2～3.0	2.1～3.0	2.1～2.8	6.4～8.8	-	-	3.2	3.2	3.1	3.1	12.6	-	-	-	-		
	後進							2.2～3.0	2.0～3.0	1.9～2.8	6.1～8.8	330	約200	3.2	3.1	3.2	3.1	12.6	-	-	-	-		
3	前進		35	10	5	0	0	2.0～2.9	2.3～2.8	2.0～2.8	6.3～8.5	-	-	3.2	3.1	3.1	3.1	12.5	-	-	-	-		(注1)
	後進							2.0～3.0	2.3～3.2	2.0～3.0	6.3～9.2	250	約200	3.2	3.1	3.1	3.0	12.4	-	-	-	-		(注1)

(*2) 後進時の牽引力を計測　　(注1)浮上量の変動が大きく、牽引力の振れ幅が大きい（流量、圧力の変動大きい）。

エアベアリング
位置番号／グルーピング番号

表 5.8.4-3　平滑面走行試験　取得データ（RUN4～6）

RUN4：2016年3月9日
計測日　RUN5,6：2016年3月9日（歪・偏芯以外）

採取データ（RUN 4-6）（1/2）

RUN	方向	荷重条件 (ton)	パラメータ					計測データ																備考
			浮上量 (mm)	エアベアリング稼働数	牽引速度 (m/min)	すきま (mm)	段差 (mm)	エアベアリング停止位置	浮上量（実測値） (mm) (*1)					圧力 (Mpa)										
			基準値	−	−	−	−	−	前-右	前-左	後-右	後-左	平均	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
4	前進	33.4	40	10	1	0	0	−	42	43	40	36	40.3	0.19	0.20	0.25	0.26	0.28	0.18	0.19	0.26	0.26	0.28	
	後進							−	40	41	41	38	40.0	0.19	0.20	0.25	0.26	0.28	0.18	0.19	0.26	0.26	0.28	
5	前進		40	8	5	0	0	③,⑧	47	42	39	42	42.5	0.26	0.26	−	0.33	0.34	0.25	0.24	−	0.35	0.35	
	後進							③,⑧	42	44	40	38	41.0	0.26	0.26	−	0.34	0.34	0.25	0.24	−	0.35	0.36	
6	前進		40	8	1	0	0	③,⑧	44	44	41	39	42.0	0.26	0.26	−	0.33	0.34	0.24	0.23	−	0.35	0.35	
	後進							③,⑧	43	41	44	39	41.8	0.26	0.26	−	0.33	0.34	0.24	0.23	−	0.35	0.35	

(*1) 浮上後、走行開始前に計測

採取データ（RUN 4-6）（2/2）

RUN	方向	荷重条件 (ton)	パラメータ					計測データ																備考
			浮上量 (mm)	エアベアリング稼働数	牽引速度 (m/min)	すきま (mm)	段差 (mm)	流量 (m3/min)				牽引力 (kgf) (*2)		走行モータ電流 (A)					定置時荷重（ひずみ量） (μm)		定置時偏芯 (mm)			
			基準値	ー	−	−	−	COMP 1	COMP 2	COMP 3	合計	起動時	定常時	前-右	前-左	後-右	後-左	合計	前端	後端	前端-後端の差	PEM中心の位置変化		
4	前進	33.4	40	10	1	0	0	3.1～3.7	2.9～3.5	3.1～3.6	9.1～10.8	−	−	3.9	3.9	3.9	3.9	15.6	最大85με	最大50με	最大0.1	最大0.1		
	後進							2.9～3.8	3.0～3.7	2.9～3.6	8.8～11.1	500	約150	3.9	3.8	4.0	3.9	15.6	−	−	−	−		
5	前進		40	8	5	0	0	2.9～3.7	3.1～3.6	2.7～3.5	8.7～10.8	−	−	3.2	3.2	3.1	3.1	12.6	−	−	−	−		(注1)
	後進							2.6～3.8	2.8～3.7	2.5～3.6	7.9～11.1	230	約200	3.2	3.1	3.2	3.1	12.6	−	−	−	−		(注1)
6	前進		40	8	1	0	0	2.6～3.5	2.8～3.6	2.8～3.4	8.2～10.5	−	−	3.9	3.9	3.9	3.9	15.6	最大95με	最大55με	最大0.1	最大0.3		(注1)
	後進							2.8～3.6	2.9～3.9	2.8～3.4	8.5～10.9	320	約150	3.9	3.8	3.9	3.8	15.4	−	−	−	−		(注1)

(*2) 後進時の牽引力を計測　　(注1) 浮上量の変動が大きい（流量、圧力の変動大きい）。

表 5.8.4-4　平滑面走行試験　取得データ（RUN7～8）

計測日： 2016年3月10日（歪・偏芯以外）

採取データ（RUN 7-8）（1/2）

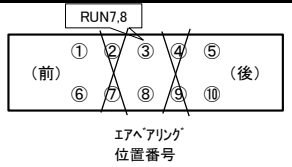
RUN	方向	荷重条件 (ton)	パラメータ					計測データ																備考
			浮上量 (mm)	エアベアリング稼働数	牽引速度 (m/min)	すきま (mm)	段差 (mm)	エアベアリング停止位置	浮上量（実測値） (mm) (*1)					圧力 (Mpa)										
			基準値	−	−	−	−	−	前-右	前-左	後-右	後-左	平均	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
7	前進	33.4	40	6	5	0	0	②,④,⑦,⑨	46	43	40	43	43.0	0.33	−	0.39	−	0.47	0.34	−	0.38	−	0.47	
	後進							②,④,⑦,⑨	43	45	42	41	42.8	0.33	−	0.39	−	0.47	0.33	−	0.37	−	0.47	
8	前進		40	6	1	0	0	②,④,⑦,⑨	44	46	40	39	42.3	0.33	−	0.38	−	0.47	0.34	−	0.38	−	0.47	
	後進							②,④,⑦,⑨	43	46	40	40	42.3	0.33	−	0.38	−	0.48	0.34	−	0.37	−	0.47	
	前進																							
	後進																							

(*1) 浮上後、走行開始前に計測

採取データ（RUN 7-8）（2/2）

RUN	方向	荷重条件 (ton)	パラメータ					計測データ																備考
			浮上量 (mm)	エアベアリング稼働数	牽引速度 (m/min)	すきま (mm)	段差 (mm)	流量 (m3/min)				牽引力 (kgf) (*2)		走行モータ電流 (A)					定置時荷重（ひずみ量） (μm)		定置時偏芯 (mm)			
			基準値	ー	−	−	−	COMP 1	COMP 2	COMP 3	合計	起動時	定常時	前-右	前-左	後-右	後-左	合計	前端	後端	前端-後端の差	PEM中心の位置変化		
7	前進	33.4	40	6	5	0	0	2.8～3.6	2.8～3.5	2.9～3.5	8.5～10.6	−	−	3.2	3.2	3.1	3.1	12.6	−	−	−	−		(注1)
	後進							2.9～3.7	2.7～3.7	2.9～3.5	8.5～10.9	300	約200	3.2	3.1	3.2	3.1	12.6	−	−	−	−		(注1)
8	前進		40	6	1	0	0	3.0～3.7	2.7～3.6	2.9～3.5	8.6～10.8	−	−	4.0	3.9	4.0	3.9	15.8	最大95με	最大55με	最大0.8	最大0.3		(注1)
	後進							3.1～3.7	2.6～3.6	2.8～3.5	8.5～10.8	250	約150	4.0	3.8	3.9	3.8	15.5	−	−	−	−		(注1)
	前進																							
	後進																							

(*2) 後進時の牽引力を計測　　(注1) 浮上量の変動が大きい（流量、圧力の変動大きい、RUN5、6より変動大きい,）。



(9) PEM 浮上量の決定

エアベアリング 10 枚稼働時の定置装置浮上量を基準値 45mm、40mm、35mm としてエアベアリング圧力を調整した結果を図 5.8.4-11～図 5.8.4-13 に示す。

また、各浮上量におけるコンプレッサ流量、牽引力の測定データを図 5.8.4-14～図 5.8.4-22 に示す。

RUN-1～RUN-3 において、エアベアリング 10 枚稼働時に浮上量を 35mm、40mm、45mm と調整した。図 5.8.4-11～図 5.8.4-13 から、浮上量の上昇に従いエアベアリンク供給圧力が増加傾向であることがわかるが、特段有意な差はない。また図 5.8.4-14 から各浮上量における流量について、浮上量 35mm 及び 40mm 時は消費流量に大きな差はないが、浮上量 45mm では消費流量が大きくなっている。さらに、牽引力について図 5.8.4-15～図 5.8.4-22 に示す牽引力をみると、定常走行時で牽引力が約 150～200kgf となり、各浮上量によりほぼ同様の牽引力であった。

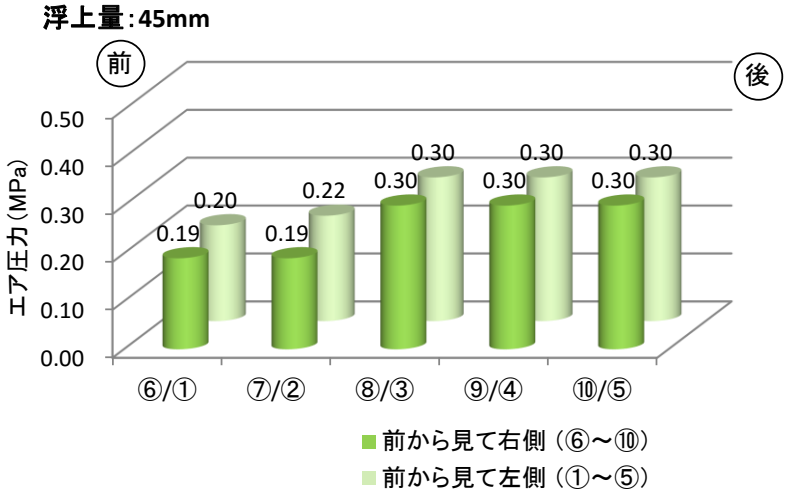


図 5.8.4-11　RUN-1（浮上量 45mm）の各エアベアリング圧力

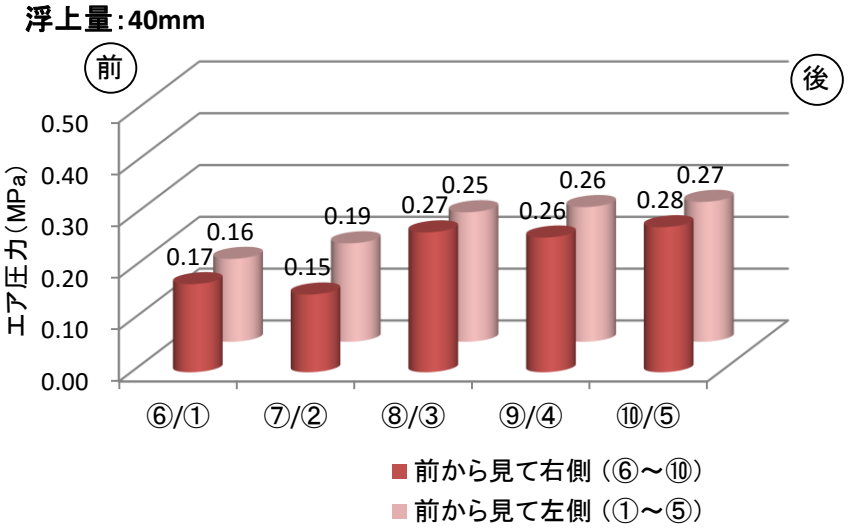


図 5.8.4-12　RUN-2（浮上量 40mm）の各エアベアリング圧力

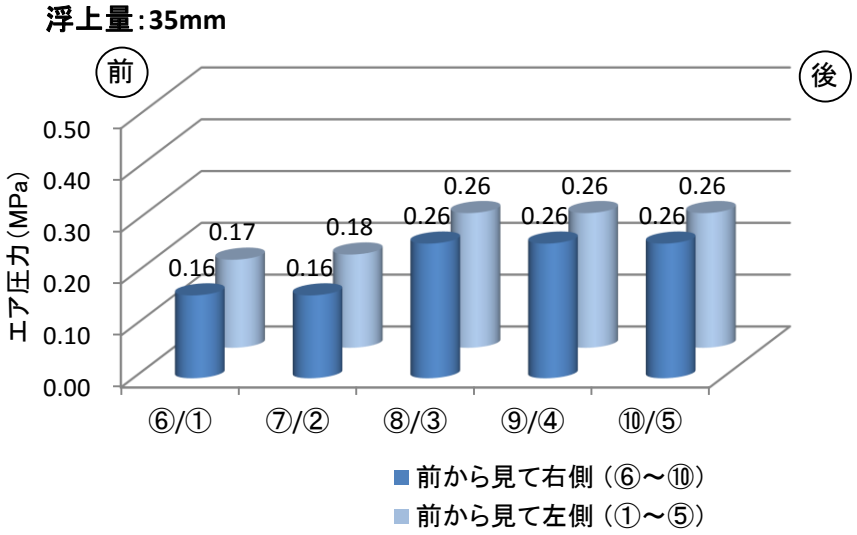
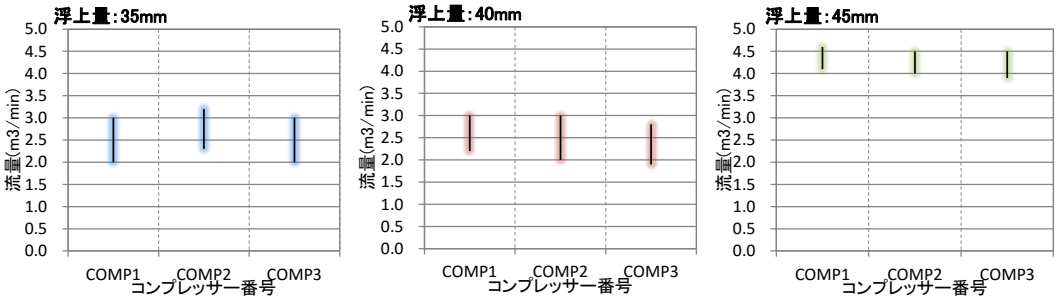


図 5.8.4-13　RUN-3（浮上量 35mm）の各エアベアリング圧力



(a)RUN-3　　(b)RUN-2　　(c)RUN-1

図 5.8.4-14　RUN-1～3 におけるコンプレッサ流量

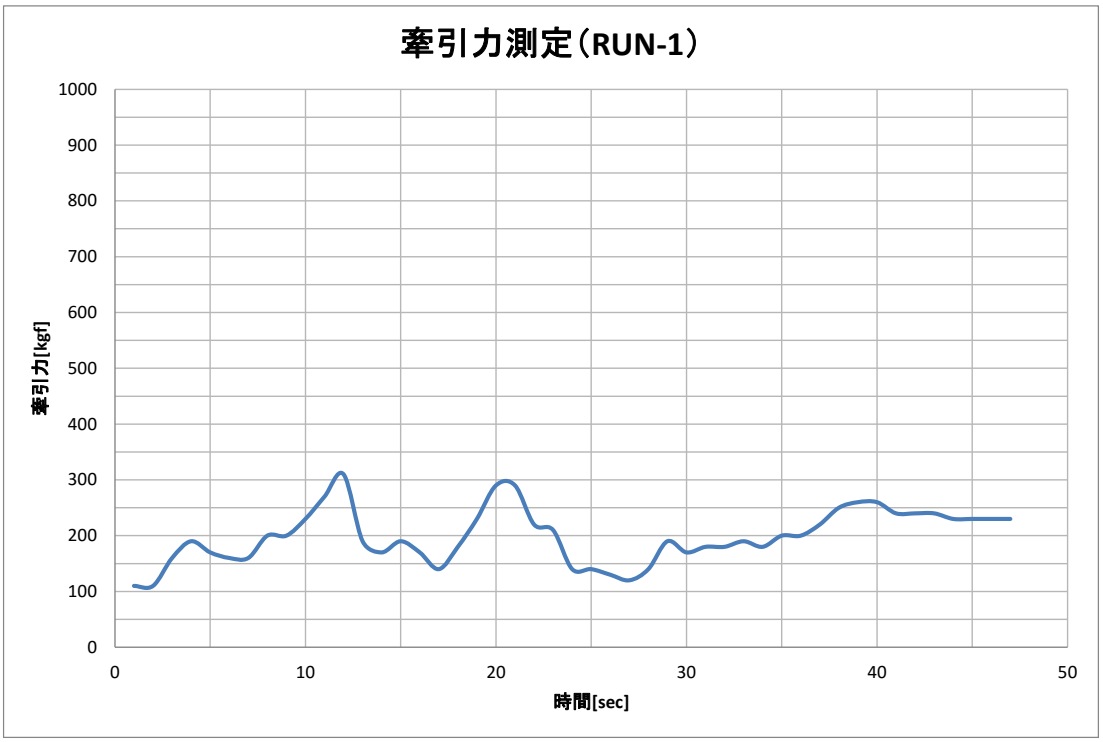


図 5.8.4-15　牽引力（RUN-1）

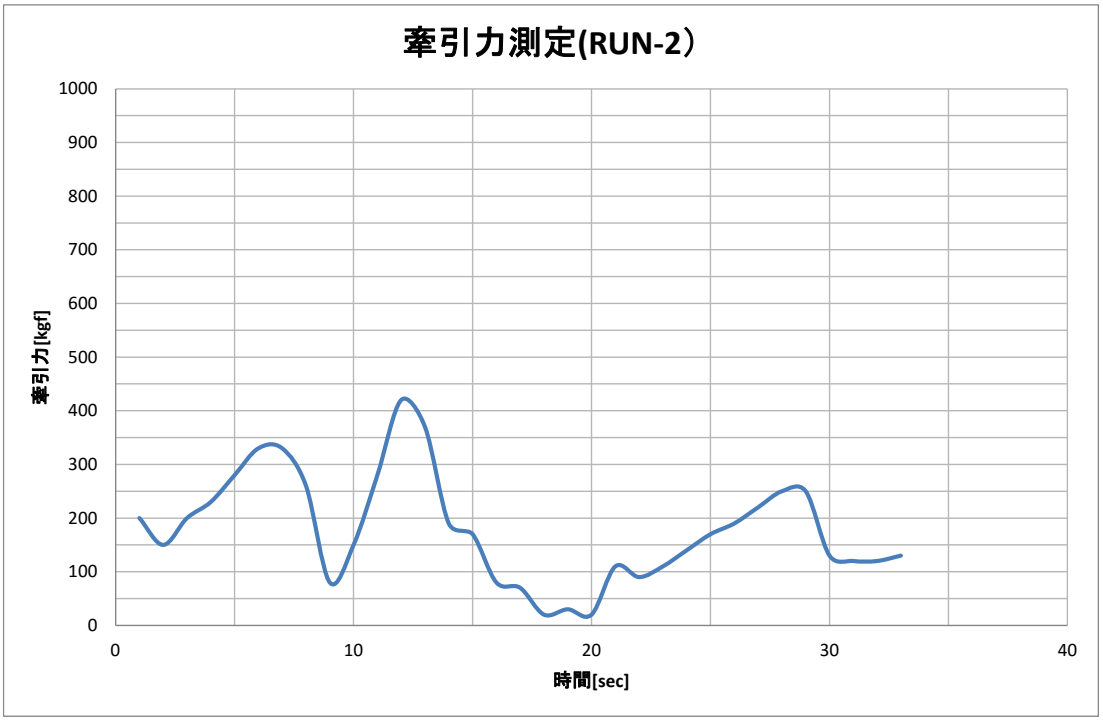


図 5.8.4-16　牽引力（RUN-2）

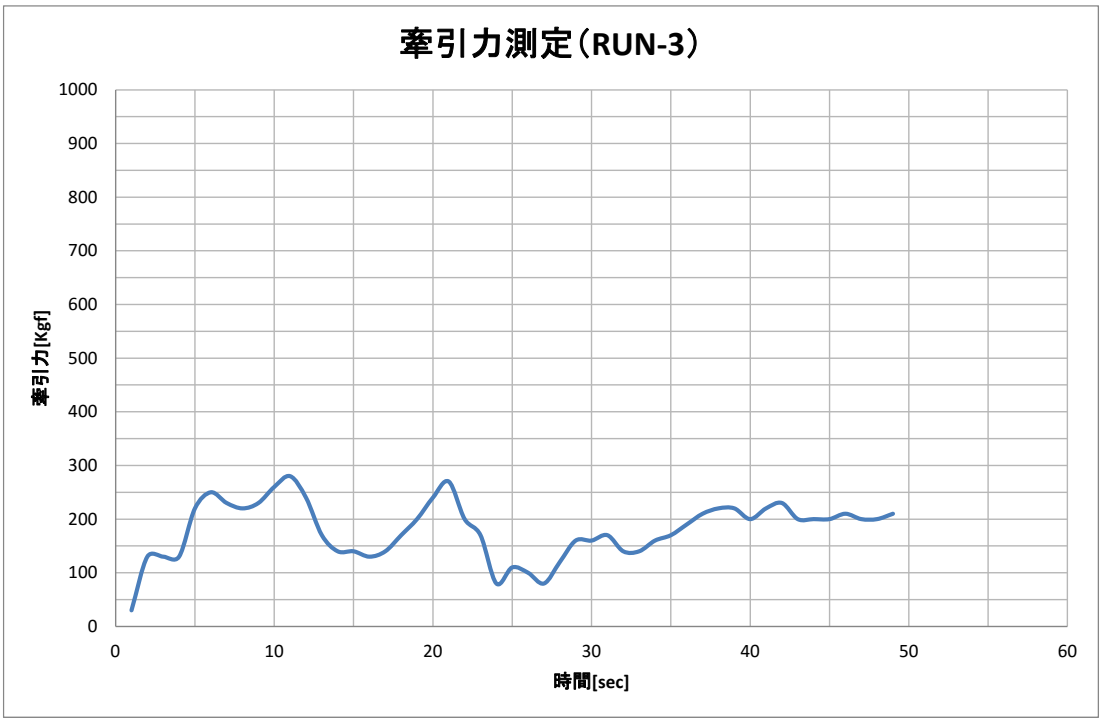


図 5.8.4-17　牽引力（RUN-3）

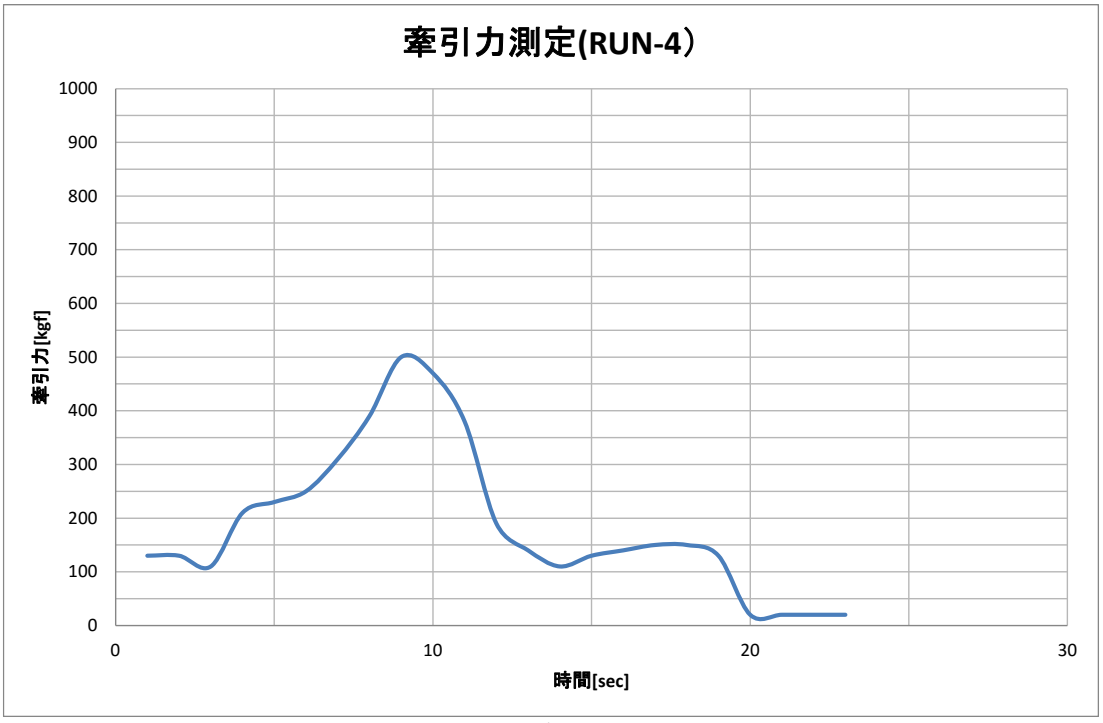


図 5.8.4-18　牽引力（RUN-4）

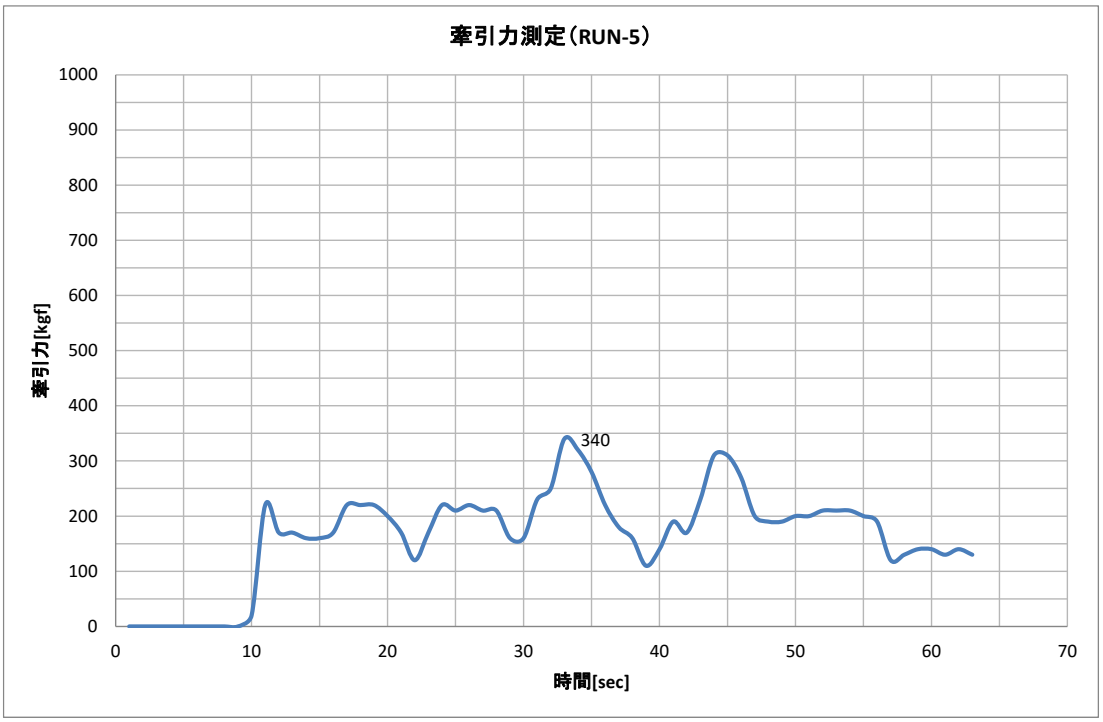


図 5.8.4-19　牽引力（RUN-5）

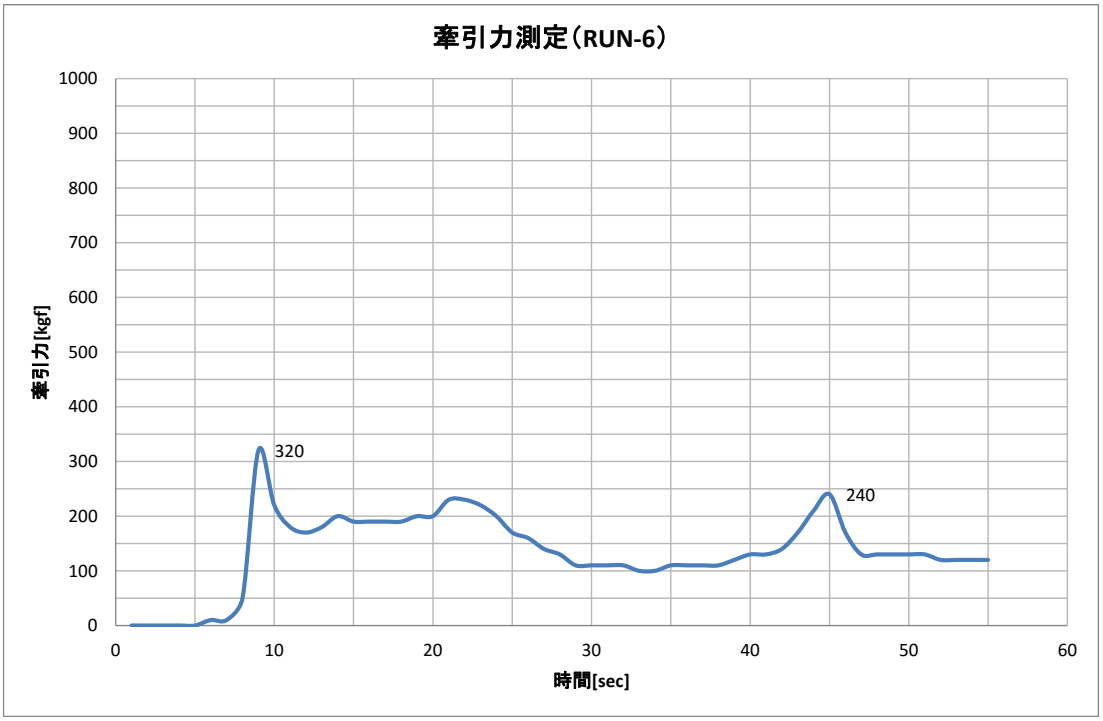


図 5.8.4-20　牽引力（RUN-6）

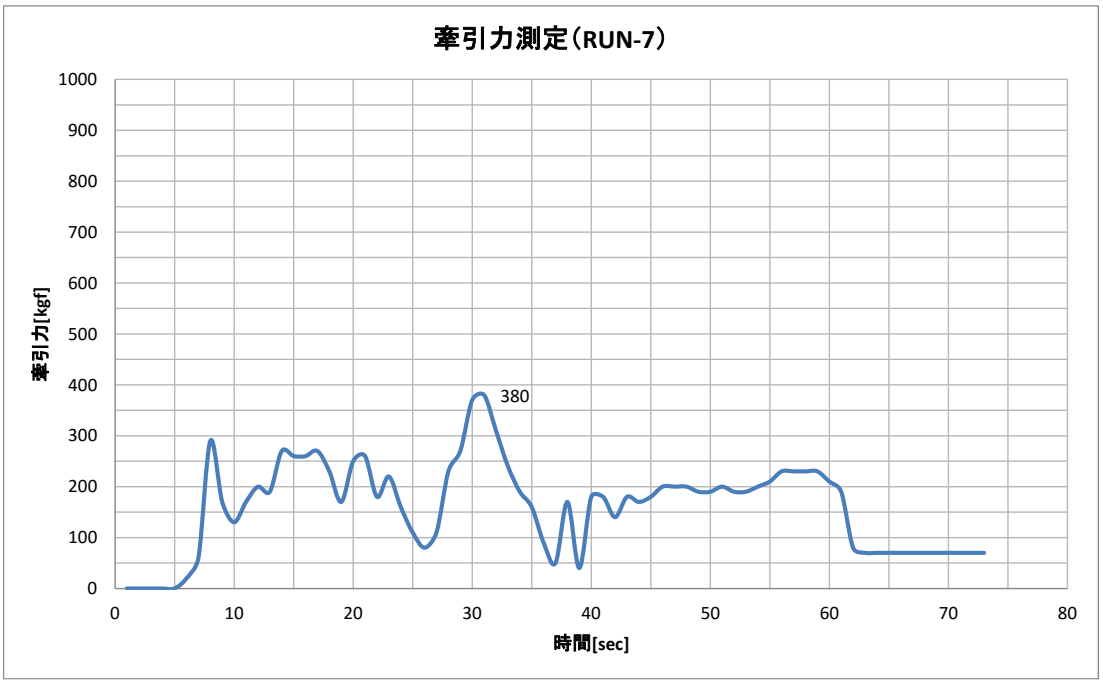


図 5.8.4-21　牽引力（RUN-7）

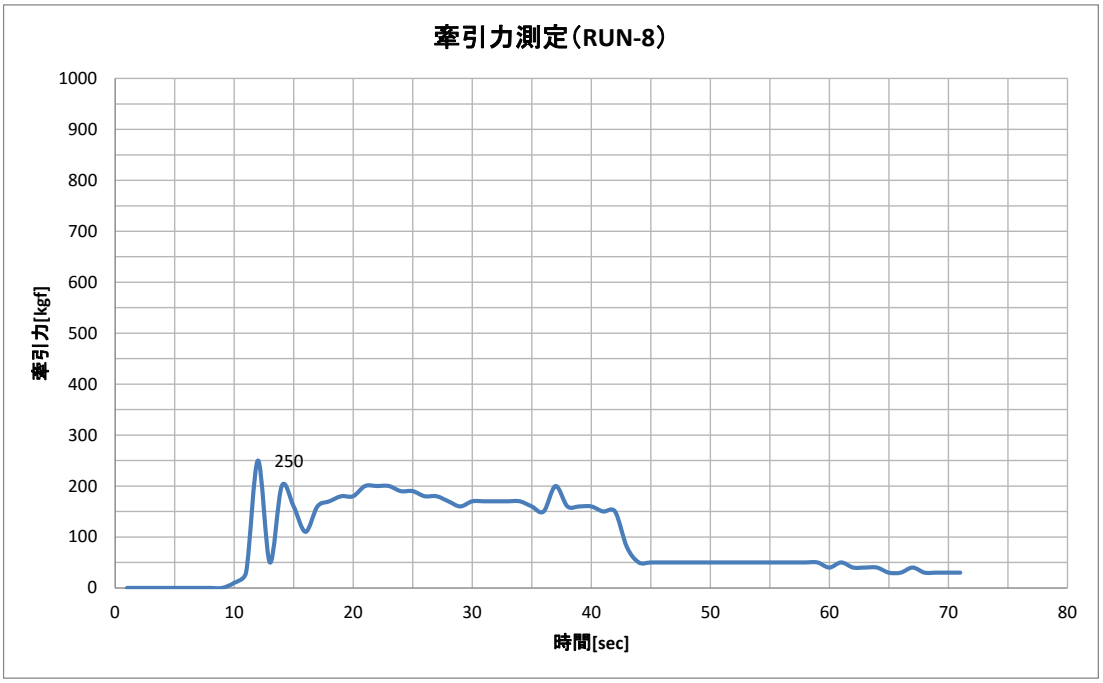


図 5.8.4-22　牽引力（RUN-8）

(10) エアベアリング稼働枚数について

PEM 浮上量を 40mm、パラメータとしてエアベアリング稼働枚数を 10、8、6 としてエア供給圧力を調整した結果を図 5.8.4-23～図 5.8.4-25 に示す。

エアベアリング稼働枚数の減少に従い、エアベアリング圧力が大きくなる結果となった。

なお、エアベアリング 6 枚の際は、PEM 後方のエアベアリング⑤、⑩から異常な振動があり、エアベアリングの基本仕様である 4.2kg/cm2（0.4MPa）を超えていたが、平成 27 年度使用した PEM 寸法違いによる圧力のアンバランスによるものと考えられる。次年度使用する PEM

寸法で再度確認する必要があるが、平成 27 年度においては、以降の試験（段差通過確認試験、隙間通過確認試験）でエアベアリング 10 枚使用することを基本とする。

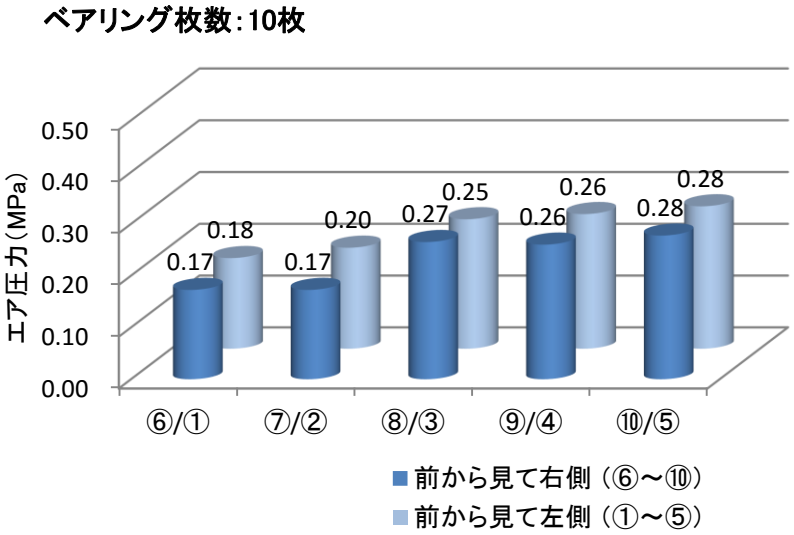


図 5.8.4-23　エアベアリング圧力（エアベアリング 10 枚）

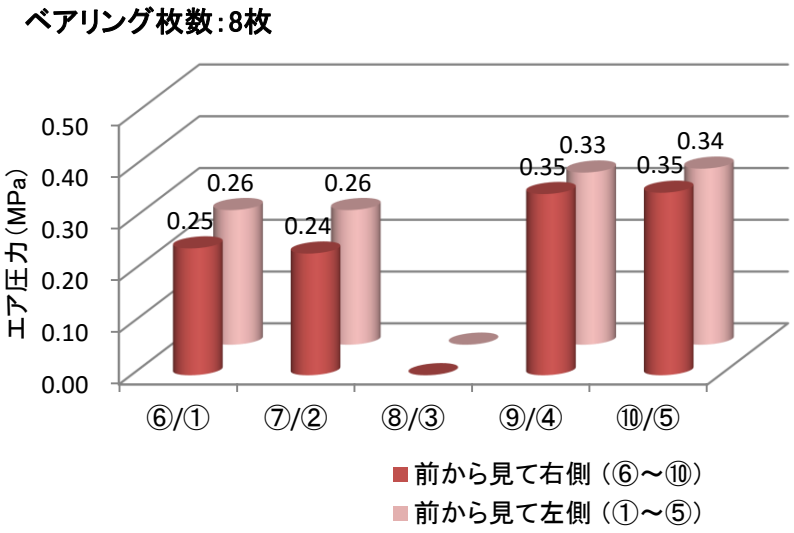


図 5.8.4-24　エアベアリング圧力（エアベアリング 8 枚）

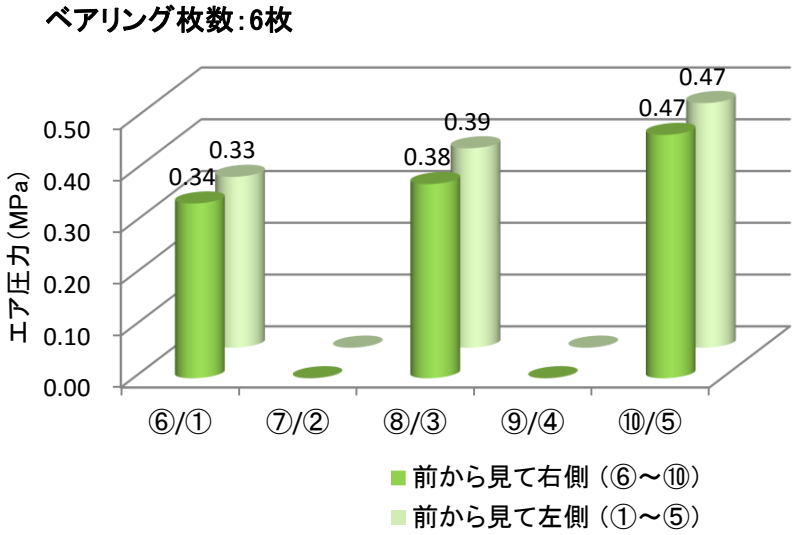


図 5.8.4-25　エアベアリング圧力（エアベアリング 6 枚）

(11) 走行モータ電流値の測定結果

エアベアリング 10 枚稼働時の各浮上量における走行モータ電流値を図 5.8.4-26 に示す。また、浮上量 40mm 時の各エアベアリング枚数における走行モータ電流値を図 5.8.4-27 に示す。

本試験結果より、定格運転時（高速（50Hz））の電流値は最大でも 3.2A であることから、モータの負荷は各モータともに 25%以下（図 5.8.4-28　走行モータ試験成績書参照）の負荷で稼働しており、走行モータ出力は計算上 1.5kW で十分であるとの検討の妥当性が、電流測定結果からも確認することができた。

また、4 個の走行モータ電流値がほぼ同様の値であることから、4 個の走行車輪が坑道の走行面に対してほぼ均等に接地して負荷を分担していることが分かった。

エアベアリング10枚　高速(5m/min)

浮上量	走行モータ電流(A)					方向
	前-右	前-左	後-右	後-左	合計	
35mm	3.2	3.1	3.1	3.1	12.5	前進
35mm	3.2	3.1	3.1	3.0	12.4	後進
40mm	3.2	3.2	3.1	3.1	12.6	前進
40mm	3.2	3.1	3.2	3.1	12.6	後進
45mm	3.2	3.2	3.1	3.1	12.6	前進
45mm	3.2	3.1	3.2	3.1	12.6	後進

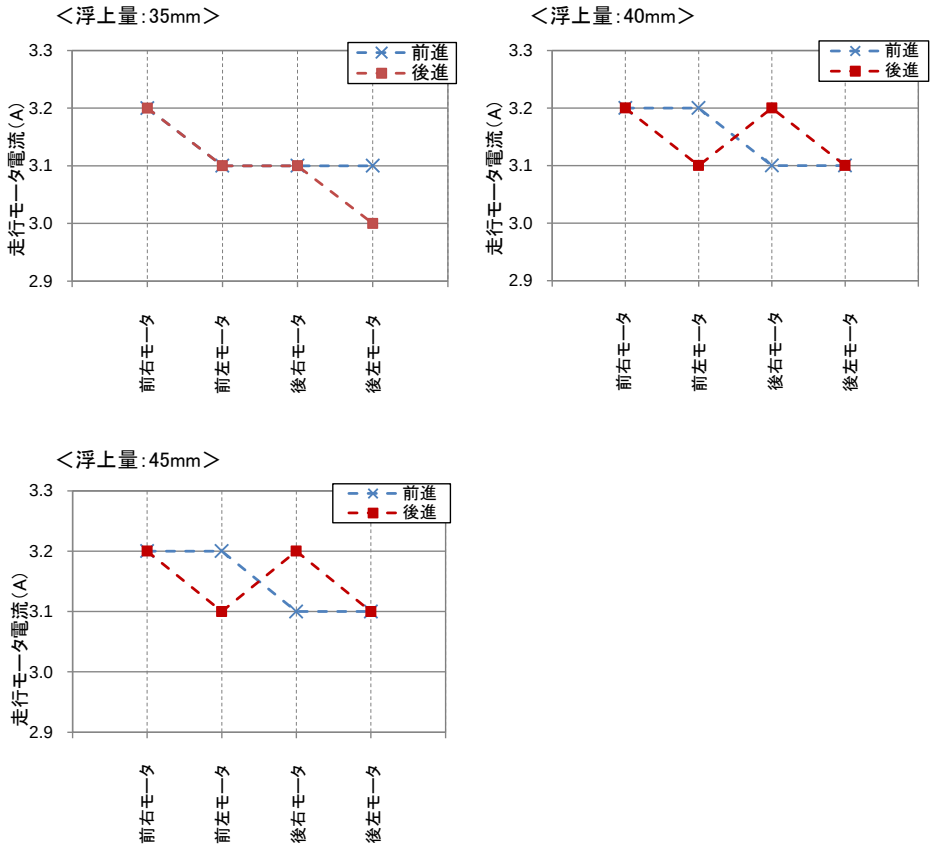


図 5.8.4-26　各浮上量における走行モータ電流値（エアベアリング 10 枚）

浮上量:40mm

エアベアリング枚数	走行モータ電流(A)					方向	牽引速度(m/min)
	前-右	前-左	後-右	後-左	合計		
10枚	3.2	3.2	3.1	3.1	12.6	高速前進	5
10枚	3.2	3.1	3.2	3.1	12.6	高速後進	5
10枚	3.9	3.9	3.9	3.9	15.6	低速前進	1
10枚	3.9	3.8	4.0	3.9	15.6	低速後進	1
8枚	3.2	3.2	3.1	3.1	12.6	高速前進	5
8枚	3.2	3.1	3.2	3.1	12.6	高速後進	5
8枚	3.9	3.9	3.9	3.9	15.6	低速前進	1
8枚	3.9	3.8	3.9	3.8	15.4	低速後進	1
6枚	3.2	3.2	3.1	3.1	12.6	高速前進	5
6枚	3.2	3.1	3.2	3.1	12.6	高速後進	5
6枚	4.0	3.9	4.0	3.9	15.8	低速前進	1
6枚	4.0	3.8	3.9	3.8	15.5	低速後進	1

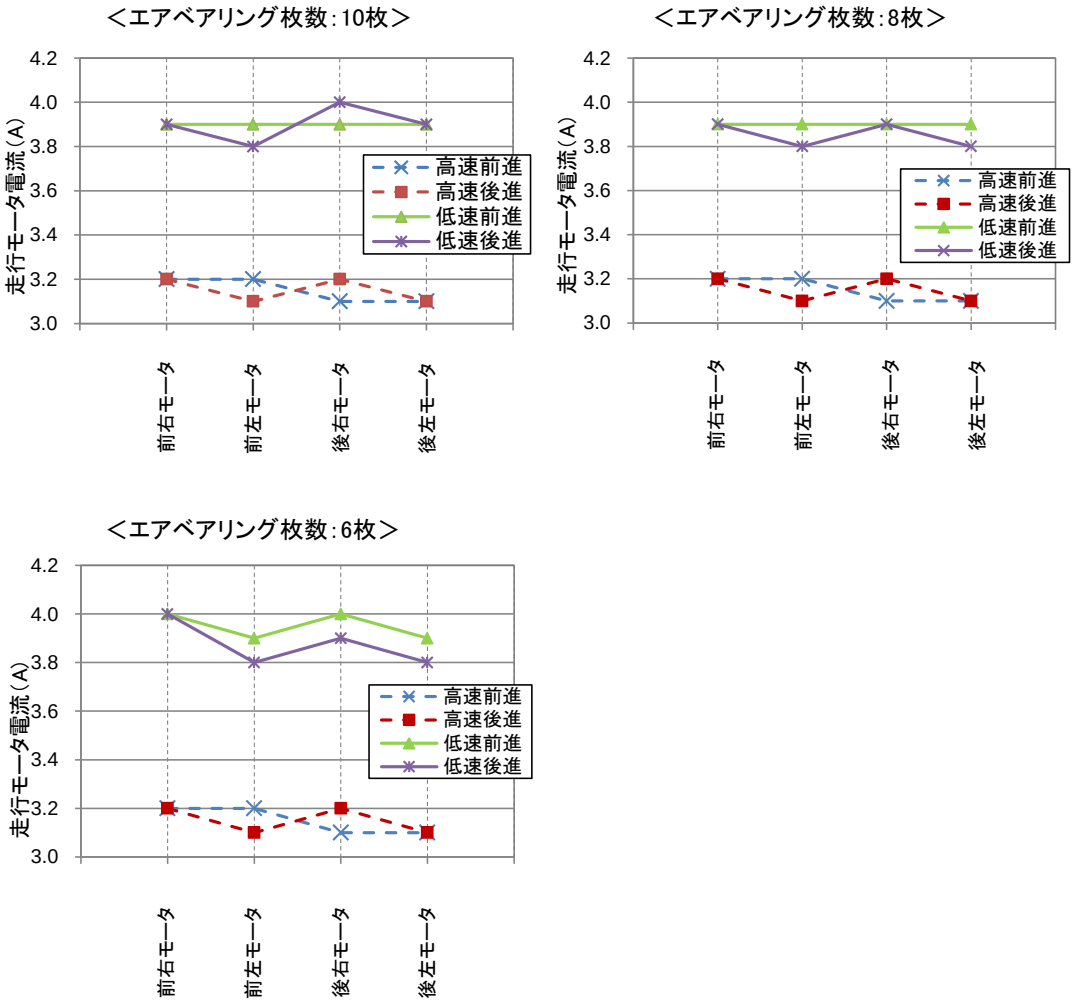


図 5.8.4-27　各エアベアリング枚数における走行モータ電流値（浮上量 40mm）

TECHNICAL DATA OF INDUCTION MOTOR
誘導電動機試験成績表

SEW EURODRIVE

Messrs
ご注文主　コミヤマエロクトロン(株) 殿

Purchase Order No.
ご注文No.

Product Type
製品形式　FA87B DRN90L4/BE2HF

Manuf's Serial No.
製造番号　36.7279276101.0001X15 － 36.7279276101.0002X15

定格 / Raiting

Motor Type モータ形式	DRN90L4
Frame No. 枠番号	90L
Phase 相数	3
Thermal Class 耐熱クラス	130 (B)
Duty Type 使用形式	S1
Power 出力 [kW]	1.5
Pole 極数	4
Frequency 周波数 [Hz]	50/60/60
Speed 速度 [1/min]	1461/1754/1763
Voltage 電圧 [V]	200/200/220
Current 電流 [A]	6.8/6.2/6.0
Power Factor 力率 [%]	74/80/74
Efficiency 効率 [%]	85.6/86.5/86.5
IE code IEコード	IE3/IE3/IE3

特性 / Characteristics

No load Current 無負荷電流 Current [A]	4.1/2.95/3.45
No load Input 無負荷入力 [W]	95/74/89
Locked-rotor Current 始動電流 [%]	750/740/850
Locked-rotor Torque 始動トルク [%]	270/230/300
Breakdown Torque 停動トルク [%]	330/280/360
Pull-up Torque プルアップトルク [%]	200/140/170
Winding Resist. between Phases 巻線抵抗、相間 [Ω] at 20℃	1.85
Insulation Resistance 絶縁抵抗 [MΩ]	100
Dielectric Test 耐電圧試験	良 Good 1500VAC/1 min

負荷特性 / Load Characteristics

負荷 Load [%]	25	50	75	100	125
電流 Current [A]	4.5/3.52/3.8	5/4.13/4.43	5.77/5.06/5.15	6.78/6.21/6	8.03/7.57/7.1
力率 Power Factor [%]	31/38/33	51/60/52	65/73/65	74/80/74	80/83/80
効率 Efficiency [%]	77.1/80.3/77.6	84.6/86.4/84.6	86.1/87.3/86.5	85.6/86.5/56.5	83.8/84.5/85.5
すべり Slip [%]	0.5/0.6/0.4	1.1/1.1/0.9	1.8/1.8/1.4	2.6/2.6/2.1	3.7/3.6/2.8

Date
発行日: 2016/01/22

備考 / Remarks

SEW-EURODRIVE JAPAN CO., LTD.
エス・イー・ダブリュー・オイロドライブ・ジャパン株式会社

JE R13.0

図 5.8.4-28　走行モータ試験成績書

(12) PEM 定置時の荷重測定結果

PEM 定置時の荷重測定結果を図 5.8.4-29～図 5.8.4-37 に示す。なお、グラフにおいてひずみ

のプラス方向は引張り、マイナス方向は圧縮を意味する。

PEM 定置時の荷重測定結果より、PEM 定置時には最大でも 100μ ε程の荷重（1/10000）であった。また、エア供給を停止してから定置完了までの時間は最大でも 2 分程度であり、急激に PEM が台座に衝突するものではない。なお、エアベアリング圧力が高くなるエアベアリング稼働枚数が少ない（エアベアリング圧力が高い）ほど、エアが抜けきるのが遅くなり、定置までの時間が長くなる傾向がある。

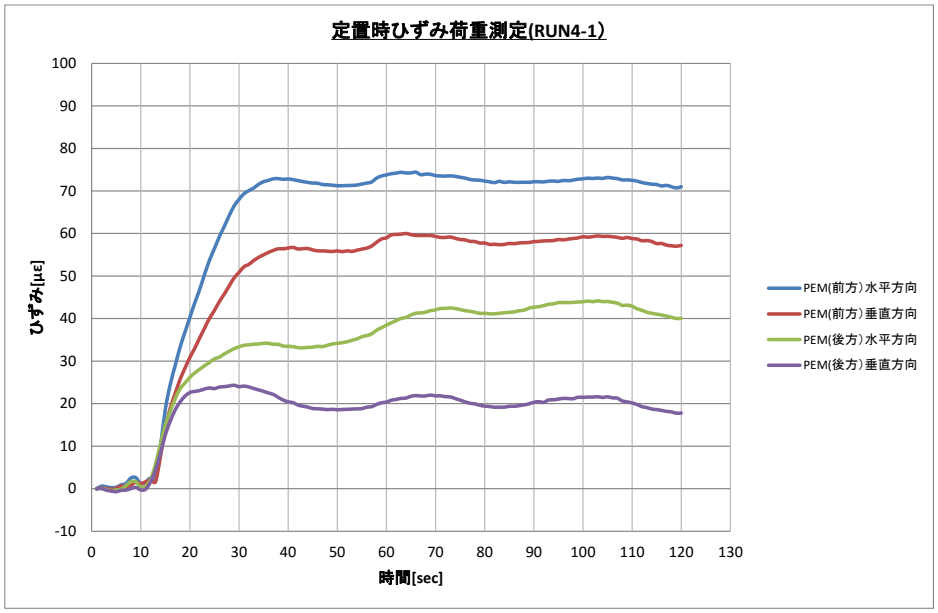


図 5.8.4-29　定置時の荷重変化（RUN-4-1）

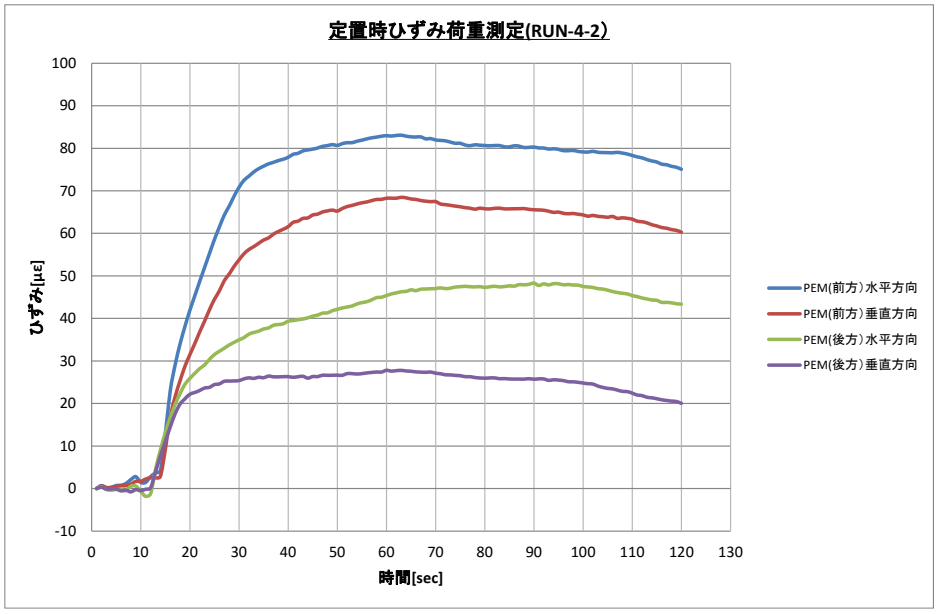


図 5.8.4-30　定置時の荷重変化（RUN-4-2）

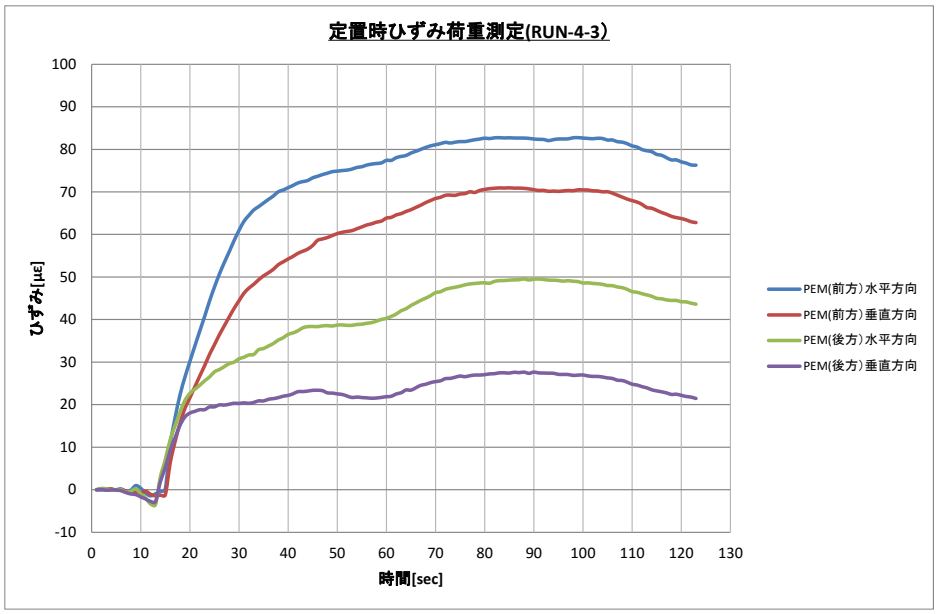


図 5.8.4-31　定置時の荷重変化（RUN-4-3）

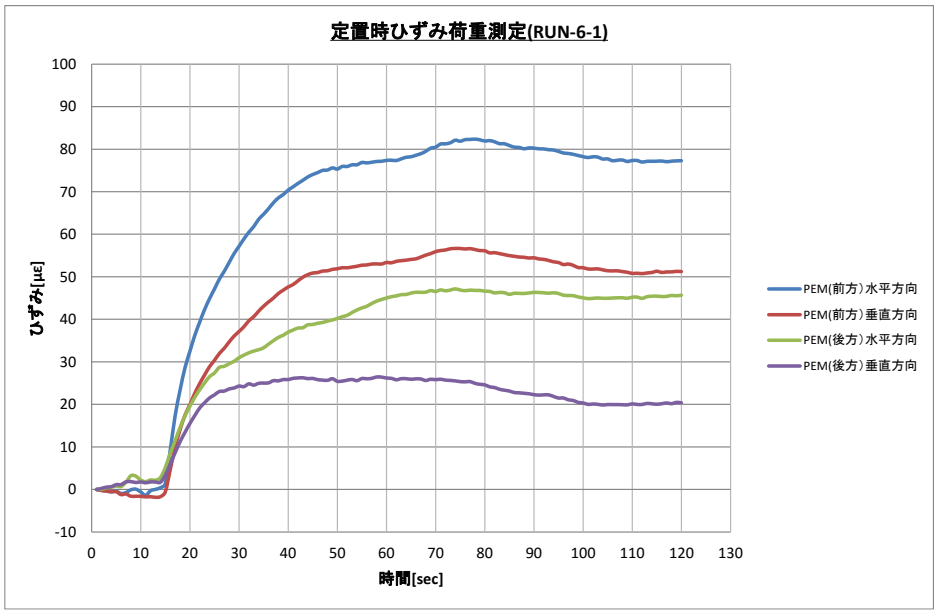


図 5.8.4-32　定置時の荷重変化（RUN-6-1）

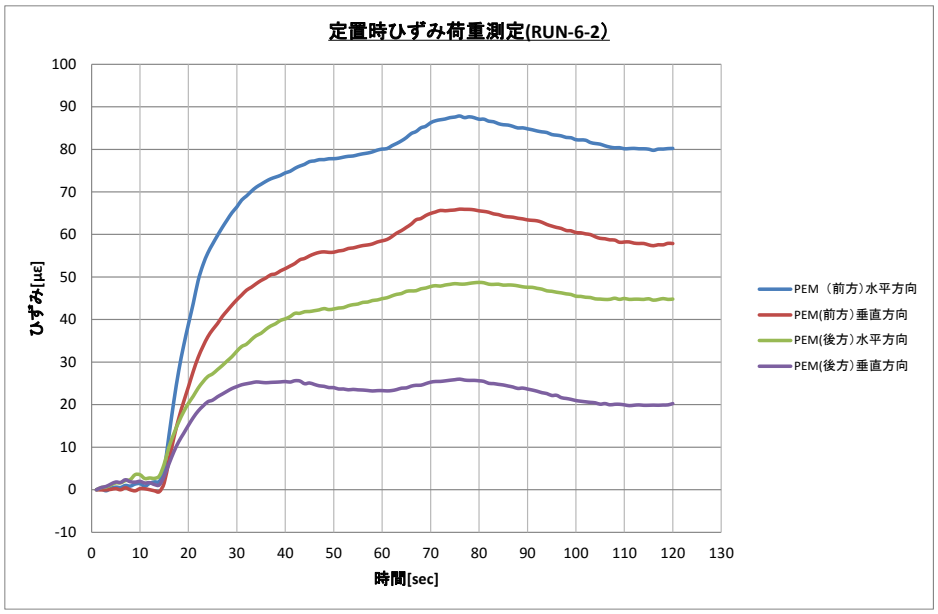


図 5.8.4-33　定置時の荷重変化（RUN-6-2）

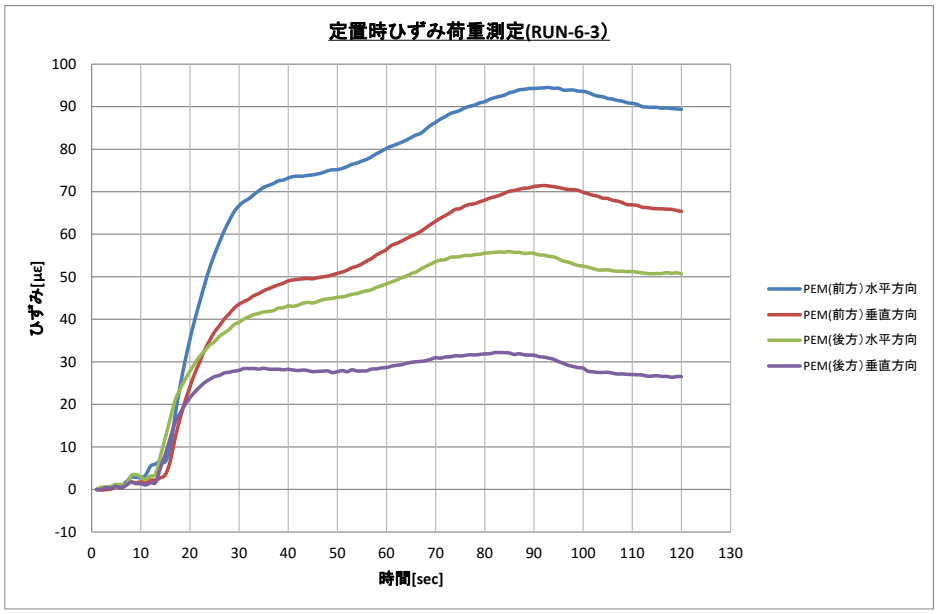


図 5.8.4-34　定置時の荷重変化（RUN-6-3）

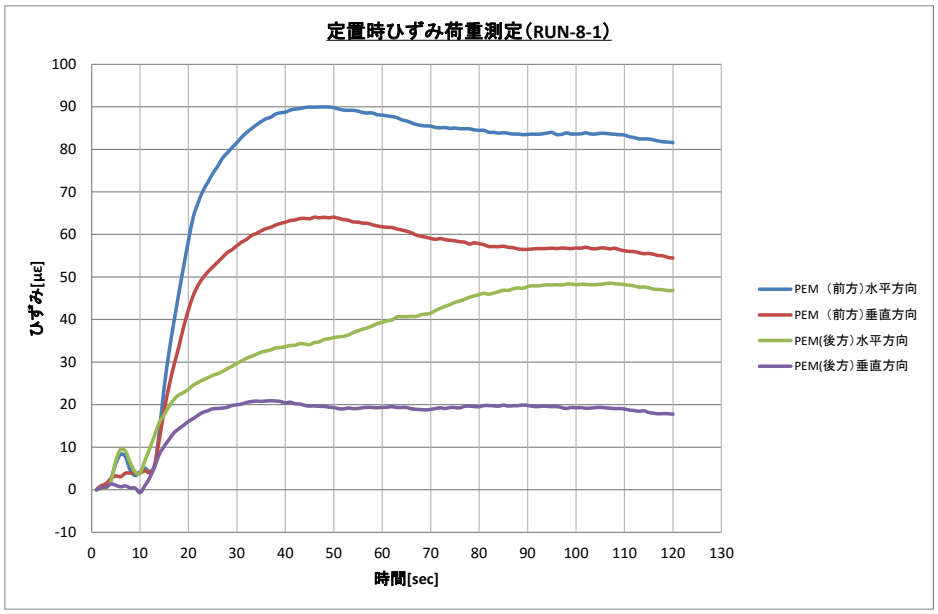


図 5.8.4-35　定置時の荷重変化（RUN-8-1）

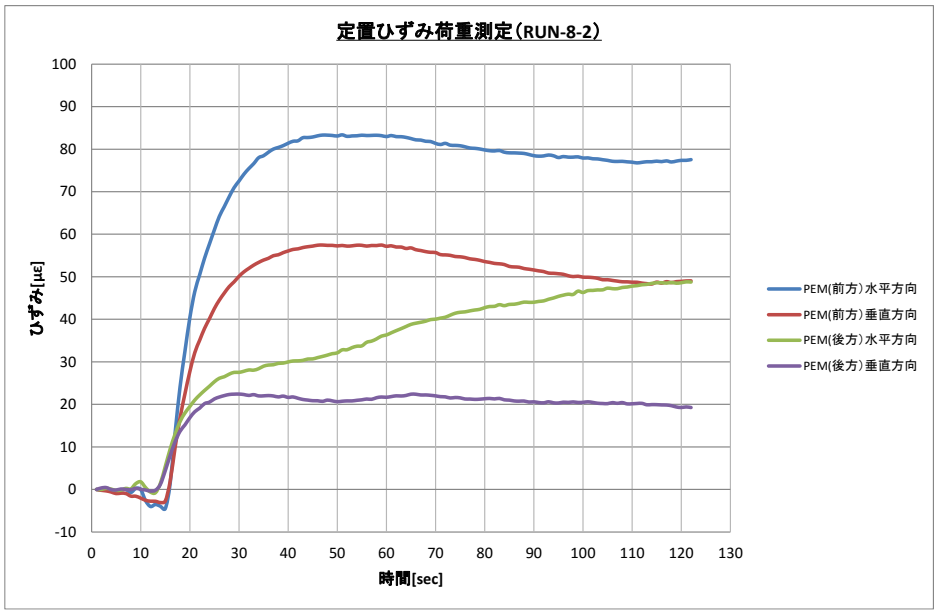


図 5.8.4-36　定置時の荷重変化（RUN-8-2）

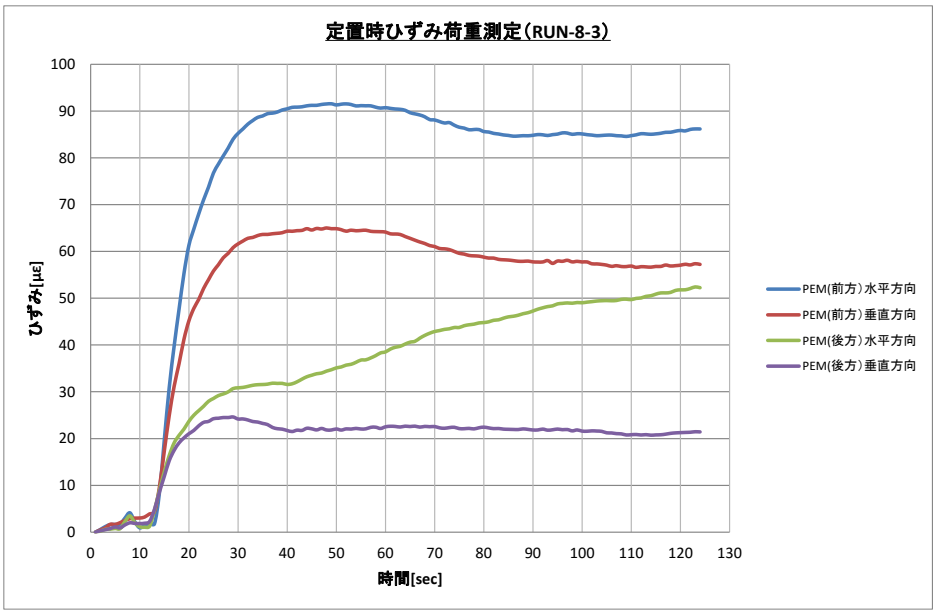


図 5.8.4-37　定置時の荷重変化（RUN-8-3）

(13) PEM 偏芯測定結果

表 5.8.4-5 にセオドライトによる PEM 上の各計測点の物差の読み値、表 5.8.4-6 に測定記録より算出したエアベアリングの偏芯を示す。

測定の結果、PEM 前方の端面中心位置は最大 0.3mm、PEM 円周の回転方向のずれは最大 1.0mm、PEM 前後の端面の位置ずれは最大 0.8mm となり、いずれも 1.0mm 以下のずれとなる結果であった。（PEM 偏芯の説明図を図 5.8.4-38 に示す。）

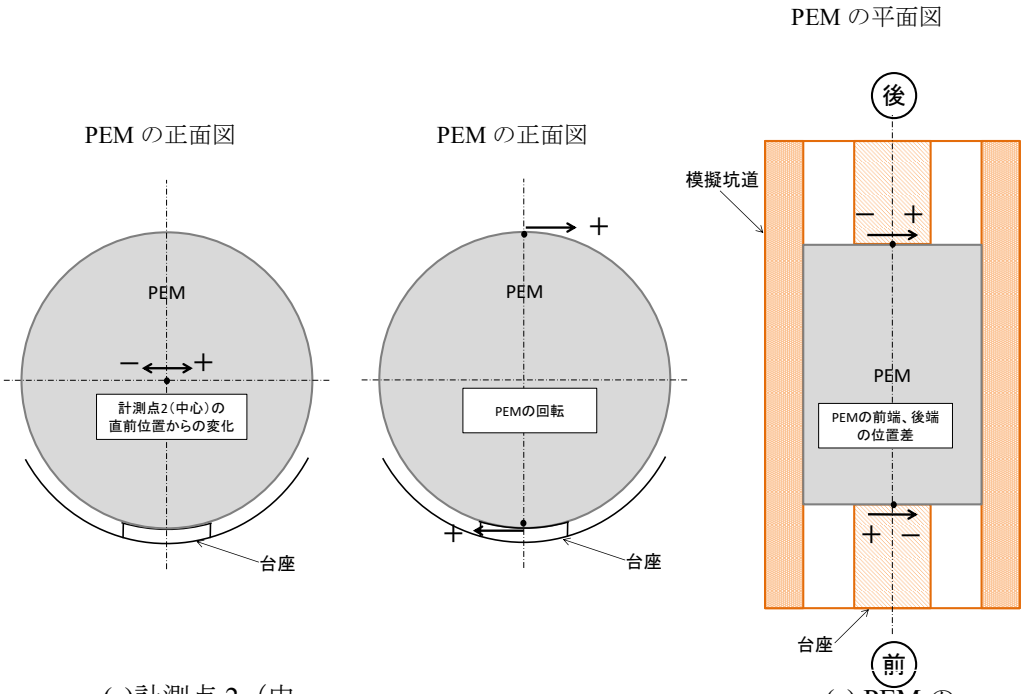
表 5.8.4-5　PEM 偏芯測定記録（セオドライトによる物差の読み値）

計測点No.		1	2	3	4	5	6	7
初期値		102.2	100.1	102.8	100.0	10.0	100.0	100.0
エアベアリング10枚 1回目	浮上中	102.0	100.9	104.0 ～104.9	101.3 ～102.0	10.5 ～10.7	78.1 ～78.3	75.0 ～76.5
	定置時	102.4	100.2	103.2	100.3	10.2	100.2	100.4
エアベアリング10枚 2回目	浮上中	102.0	101.0 ～101.5	104.3 ～105.5	101.8 ～102.6	11.0 ～11.2	79.5 ～79.9	75.0 ～76.0
	定置時	102.5	100.2	103.4	100.4	10.4	100.5	100.5
エアベアリング10枚 3回目	浮上中	102.2	99.4 ～99.5	101.2 ～101.4	98.3 ～98.4	7.2 ～7.9	77.0.0 ～77.5	71.6 ～73.4
	定置時	102.6	100.3	103.6	100.7	10.7	100.8	100.7
エアベアリング8枚 1回目	浮上中	101.5 ～101.8	103.0 ～104.3	108.8 ～110.8	105.3 ～108.0	15.2 ～17.0	81.9 ～82.6	80.5 ～82.4
	定置時	102.4	100.4	103.6	100.7	10.9	100.5	100.6
エアベアリング8枚 2回目	浮上中	101.7 ～102.0	103.2 ～104.4	109.4 ～111.3	106.5 ～108.3	16.2 ～17.3	82.1 ～83.0	80.5 ～82.4
	定置時	102.5	100.4	103.8	100.8	10.7	100.6	100.7
エアベアリング8枚 3回目	浮上中	102.0 ～102.4	103.2 ～104.4	109.6 ～111.5	106.0 ～108.7	16.5 ～17.8	83.0 ～83.9	80.9 ～83.5
	定置時	102.9	100.3	103.9	101.1	11.1	101.0	101.0
エアベアリング6枚 1回目	浮上中	103.3 ～103.6	100.5 ～101.1	105.0 ～106.2	102.3 ～103.2	12.7 ～12.9	79.1 ～80.0	79.4 ～86.9
	定置時	104.0	100.0	104.5	101.6	12.4	102.0	102.0
エアベアリング6枚 2回目	浮上中	103.6 ～103.8	100.0 ～100.4	104.3 ～104.7	101.3 ～101.9	11.8 ～12.1	78.1 ～78.5	78.6 ～82.9
	定置時	104.4	99.9	104.8	102.0	13.0	102.2	102.3
エアベアリング6枚 3回目	浮上中	104.0 ～104.2	99.8 ～101.2	104.5 ～105.0	101.5 ～102.1	12.0 ～12.4	78.2 ～78.4	79.0 ～83.4
	定置時	104.6	99.9	105.0	102.2	13.2	102.5	102.6

表 5.8.4-6　エアベアリング浮上後定置時の偏芯

計測点No.		1	2	3	4	5	6	7	計測値からの算出した偏芯		
									計測点2(中心)の直前の位置からの変化(mm)	PEMの回転 (mm) (*2)	PEMの前端、後端の位置差(計測点5の値－計測点4の値)(mm)
初期値		102.2	100.1	102.8	100.0	10.0	100.0	100.0	—	—	—
エアベアリング10枚 1回目	計測値①	102.4	100.2	103.2	100.3	10.2	100.2	100.4	—	—	—
	初期値に対する差	+0.2	+0.1	+0.4	+0.3	+0.2	+0.2	+0.4	+0.1	+0.30(*1)	−0.1
エアベアリング10枚 2回目	計測値②	102.5	100.2	103.4	100.4	10.4	100.5	100.5	—	—	—
	計測値①との差	+0.1	0	+0.2	+0.1	+0.2	+0.3	+0.1	0	+0.15(*1)	+0.1
エアベアリング10枚 3回目	計測値③	102.6	100.3	103.6	100.7	10.7	100.8	100.7	—	—	—
	計測値②との差	+0.1	+0.1	+0.2	+0.3	+0.3	+0.3	+0.2	+0.1	+0.15(*1)	0
エアベアリング8枚 1回目	計測値④	102.4	100.4	103.6	100.7	10.9	100.5	100.6	—	—	—
	計測値③との差	−0.2	+0.1	0	0	+0.2	−0.3	−0.1	+0.1	−0.10(*1)	+0.2
エアベアリング8枚 2回目	計測値⑤	102.5	100.4	103.8	100.8	10.7	100.6	100.7	—	—	—
	計測値④との差	+0.1	0	0	+0.1	−0.2	+0.1	+0.1	0	+0.05(*1)	−0.3
エアベアリング8枚 3回目	計測値⑥	102.9	100.3	103.9	101.1	11.1	101.0	101.0	—	—	—
	計測値⑤との差	+0.4	−0.1	+0.1	+0.3	+0.4	+0.4	+0.3	−0.1	+0.25(*1)	+0.1
エアベアリング6枚 1回目	計測値⑦	104.0	100.0	104.5	101.6	12.4	102.0	102.0	—	—	—
	計測値⑥との差	+0.3	−0.3	+0.6	+0.5	+1.3	+1.0	+1.0	−0.3	+0.45(*1)	+0.8
エアベアリング6枚 2回目	計測値⑧	104.4	99.9	104.8	102.0	13.0	102.2	102.3	—	—	—
	計測値⑦との差	+0.4	−0.1	+0.3	+0.4	+0.6	+0.2	+0.3	−0.1	+0.35(*1)	+0.2
エアベアリング6枚 3回目	計測値⑨	104.6	99.9	105.0	102.2	13.2	102.5	102.6	—	—	—
	計測値⑧との差	+0.2	0	+0.2	+0.2	+0.2	+0.3	+0.3	0	+0.20(*1)	0

*1:*1の値＝(計測点1の値+計測点3の値)/2
*2:PEMを前方から見て時計回りを+方向とする。値は外周の移動量。



(a)計測点 2（中心）の
直前位置から

(b)PEM の
回転

(c) PEM の
前端、
後端の位置

図 5.8.4-38　PEM 偏芯の説明図

(14) 隙間通過確認試験

隙間通過試験では、坑道模擬架台のブロックごとの隙間を 1 箇所 2mm に広げてエアベアリングの通過試験を実施した。隙間の状態を図 5.8.4-39 に示す。

また、隙間通過確認試験のフローを表 5.8.4-7 と表 5.8.4-8 に、試験の結果を表 5.8.4-9 に示す。

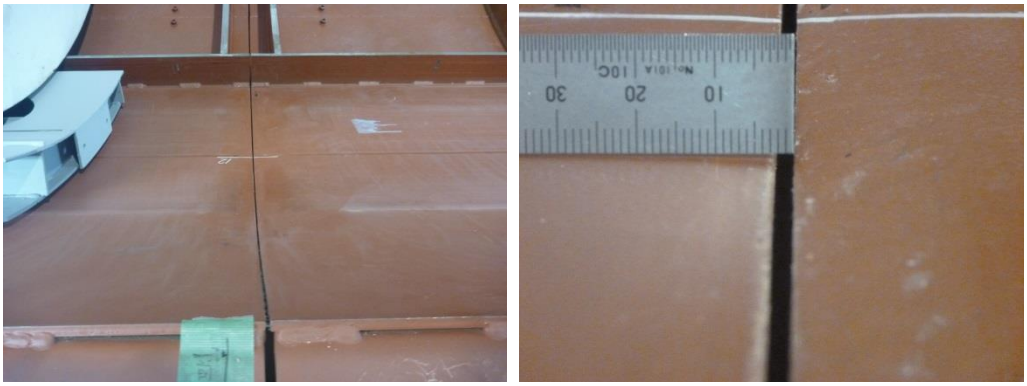


図 5.8.4-39　坑道模擬架台の隙間

表 5.8.4-7　隙間通過確認試験の流れ（1/2）

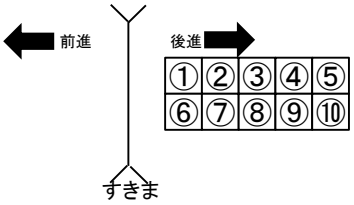
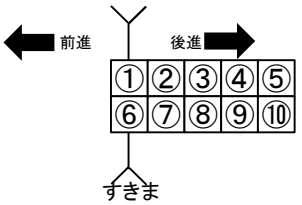
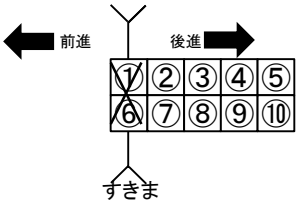
No.	概要	位置
1	・隙間を 2mm に設定。 ・エアベアリング 10 枚にて浮上量を 40mm に調整。 ・搬送定置装置を後進限付近から前進開始（低速）。	
2	・先頭のエアベアリング（①、⑥）が隙間に掛かった際、エアベアリングが走行面に接触しトーラスバッグ変形した。（図 5.8.4-40 参照） ・走行停止。	
3	・エアベアリング①、⑥のエア供給を停止し、残り 8 枚のエア圧力を調整し浮上量を 40mm に調整。 ・エアベアリング①、⑥が走行面から離れる。 ・RUN-11 データ採取。（浮上量、圧力、流量）	

表 5.8.4-8　隙間通過確認試験の流れ（2/2）

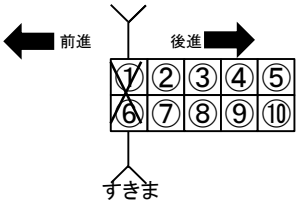
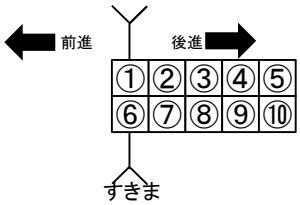
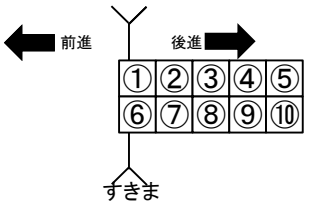
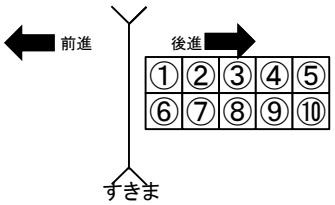
No.	概要	位置
4	・搬送定置装置を前進（低速）させ、エアベアリング①、⑥の中心が隙間と一致する位置に移動。	
5	・エアベアリング①、⑥にエア供給を開始する。 ・RUN-11 データ採取。（浮上量、圧力、流量） （浮上量が 4 隅とも 40mm）	
6	・搬送定置装置を後進（低速）させた。 ・エアベアリング①、⑥が走行面に接触し、トーラスバッグが変形した。 ・搬送定置装置を停止させた。	
7	・エアベアリング①、⑥へのエア供給を停止し、走行面からトーラスバッグが離れるようにする。 ・搬送定置装置を後進（低速）させ、エアベアリングを隙間から逃がす。	

表 5.8.4-9　隙間通過確認試験結果

パラメータ	計測項目	計測結果	備考
・隙間 2 mm 2mm（アルミテープ養生） ・エアベアリングの稼働枚数 10 枚 ・走行速度 1 m/min	流量 圧力 牽引力 モータ電流	表 5.8.4-10　RUN-11,12 参照	

表 5.8.4-10　隙間通過試験計測データ

計測日 ： 2016年3月16日

採取データ（RUN 11-12）（1/2）

RUN	方向	荷重条件 (ton)	パラメータ					計測データ																備 考
			浮上量 (mm)	エア ﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ 稼働数	牽引速度 (m/min)	すきま (mm)	段差 (mm)	エア ﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ 停止位置	浮上量（実測値） (mm) (*1)					圧力 (Mpa)										
			基準値	－	－	－	－	－	前-右	前-左	後-右	後-左	平均	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
11	前進	33.4	40	10	1	2	0	－	38	38	40	43	39.8	バルブ OFF	0.40	0.40	0.20	0.20	バルブ OFF	0.40	0.40	0.20	0.20	すきま部 走行可能
	前進							－	38	38	41	43	40.0	0.20	0.40	0.40	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.20	0.20	すきま部 走行不可(注1)
12	前進		40	10	1	2 アルミテープ	0	－	43	44	36	39	40.5	0.17	0.18	0.26	0.27	0.28	0.16	0.17	0.28	0.28	0.26	走行可能
	前進							－	40	42	38	40	40.0	0.17	0.18	0.26	0.27	0.28	0.16	0.17	0.28	0.28	0.26	すきま部 走行可能(注2)
	後進							－	38	43	39	38	39.5	0.17	0.18	0.26	0.27	0.28	0.16	0.17	0.28	0.28	0.26	走行可能

(*1) 浮上後、走行開始前に計測

(注1)すきまにかかった①、⑥エアベアリングが走行面と接触し、エアベアリングが引きずられて変形（よじれる）した。
(注2)すきまに①、⑥エアベアリングがかかった時に高さ、圧力を測定した。

採取データ（RUN 11-12）（2/2）

	方向	荷重条件 (ton)	パラメータ					計測データ															備 考
			浮上量 (mm)	エア ﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ 稼働数	牽引速度 (m/min)	すきま (mm)	段差 (mm)	流量 (m3/min)				牽引力 (kgf) (*2)		走行モータ電流 (A)					定置時荷重 （ひずみ量） （μm）		定置時偏芯 (mm)			
			基準値	―	－	－	－	COMP 1	COMP 2	COMP 3	合計	起動時	定常時	前-右	前-左	後-右	後-左	合計	前端	後端	前端	後端		
11	前進	33.4	40	10	1	2	0	2.6～3.6	2.6～3.4	2.6～3.5	7.8～10.5	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－		
	前進							4.0～4.5	4.0～4.5	3.9～4.3	11.9～13.3	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－		
12	前進		40	10	1	2 アルミテープ	0	2.5～3.4	2.5～3.4	2.6～3.3	7.6～10.1	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－		
								2.5～3.4	2.5～3.5	2.4～3.1	7.4～10.0	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－		
	後進							－－	－－	－－	－－	210	約100	3.8	3.9	3.8	3.8	15.3	－	－	－	－		すきま通過時 牽引力250kgf

(*2) 後進時の牽引力を計測

（前）　① ② ③ ④ ⑤　（後）
⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩

ｴｱﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ 位置番号

隙間通過試験の結果、すき間 2mm（エアベアリング 10 枚、浮上量 40mm）で定置装置移動時に、先頭のエアベアリング（①、⑥）が隙間上で走行面と接触し、変形（めくれた状態）したため走行を停止した（図 5.8.4-40 参照）。

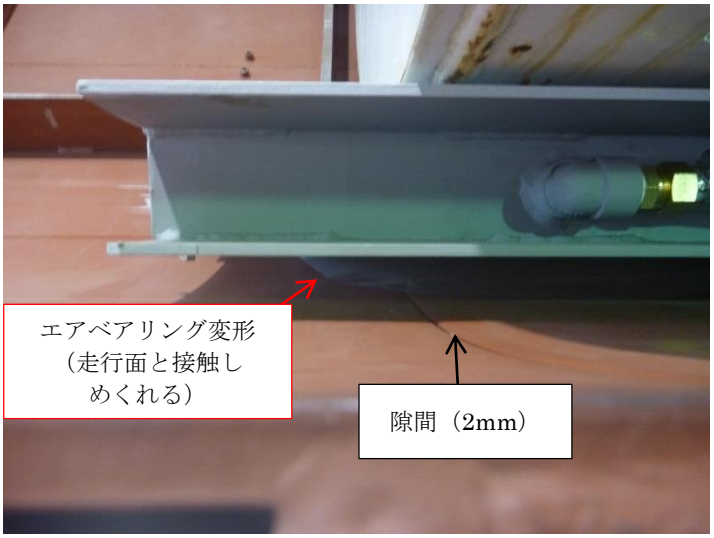


図 5.8.4-40　エアベアリングの変形

アルミテープで隙間を養生した場合、隙間 2mm は通過可能であることを確認した。この時の牽引力のグラフを図 5.8.4-41 に示す。エアベアリングがアルミテープ養生した隙間を通過時に、牽引力が増加してしることがわかるが、特段問題のある牽引力ではない。

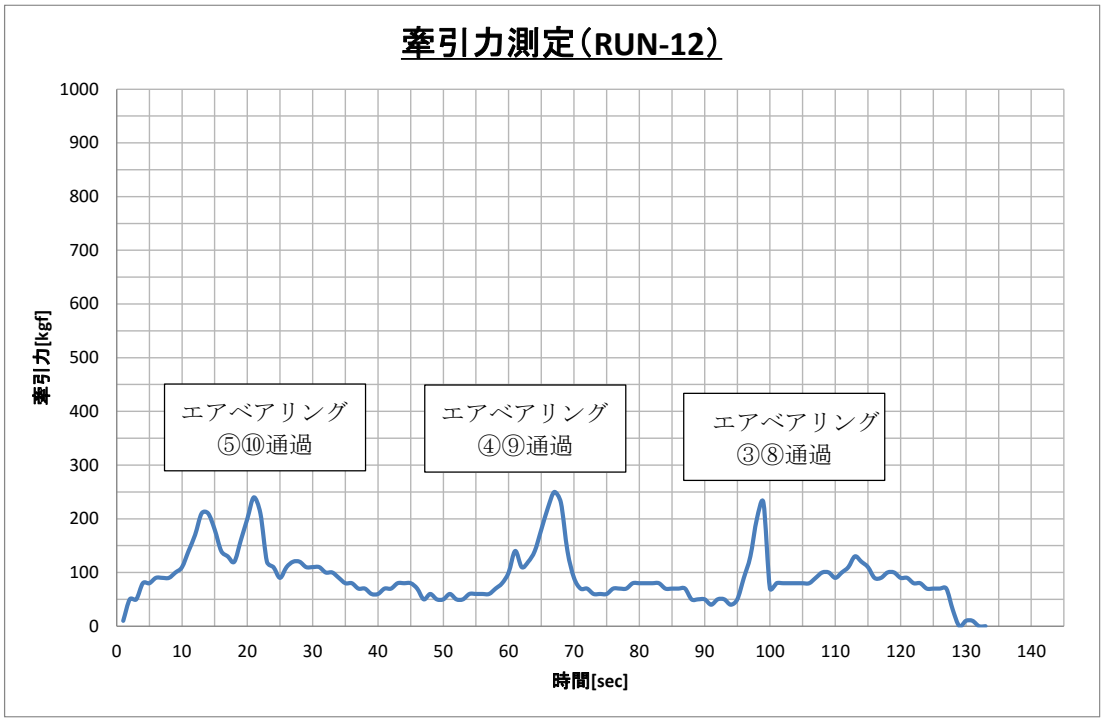


図 5.8.4-41　隙間通過時（隙間 2mm、アルミテープ養生）の牽引力

(15) 段差通過確認試験

段差通過試験では、坑道模擬架台のブロックごとの段差を 1 箇所 1mm としてエアベアリングの通過試験を実施した。段差の状態を図 5.8.4-42 に示す。

また、段差通過確認試験の流れを表 5.8.4-11 に示し、試験結果を表 5.8.4-12 と表 5.8.4-13 に示す。

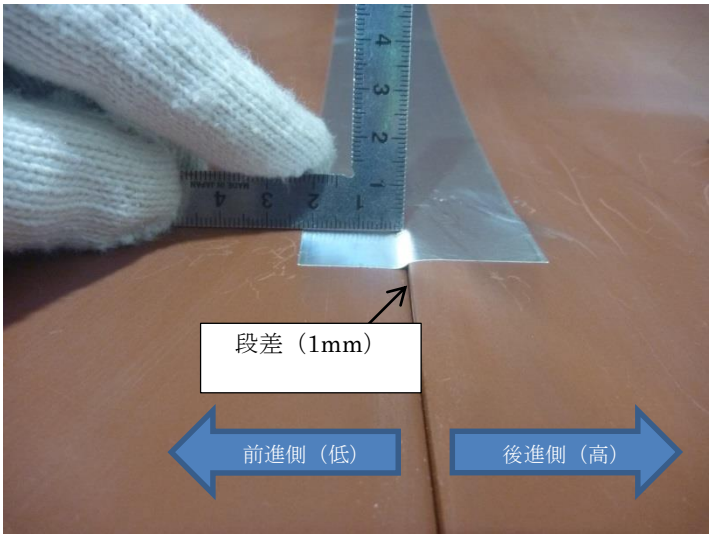


図 5.8.4-42　走行面の段差状態

表 5.8.4-11　段差通過確認試験の流れ

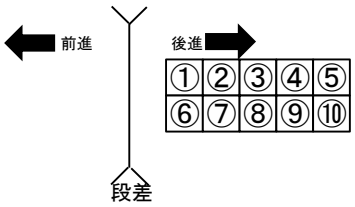
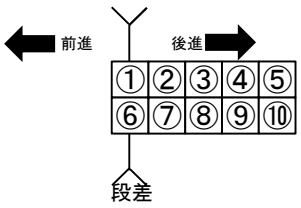
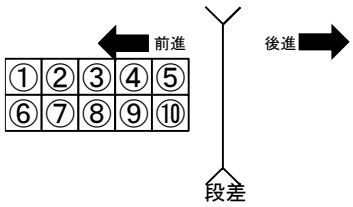
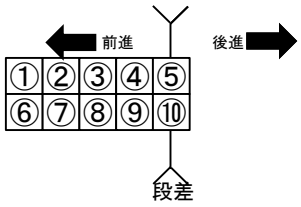
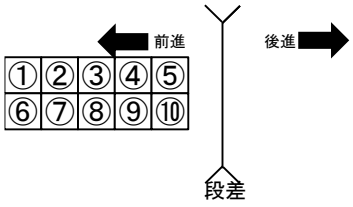
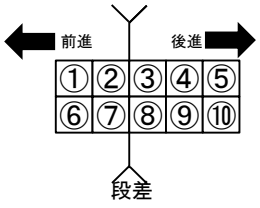
No.	概要	位置
1	・エアベアリング 10 枚にて、浮上量 40mm となるよう調整。 ・RUN-23 データ採取（浮上量、圧力、流量)。 ・搬送定置装置を前進。	
2	・エアベアリング①、⑥の中心が段差位置上で停止。 ・RUN-23 データ採取（浮上量、圧力、流量)。	
3	・搬送定置装置を前進させ、エアベアリング全て段差を通過させる。	
4	・搬送定置装置を後進させ、エアベアリング⑤、⑩の中心が段差位置上で停止。 ・RUN-24 データ採取（浮上量、圧力、流量)。	
5	・搬送定置装置を前進させ、エアベアリング全てを段差から逃がす。 ・牽引力測定のため、搬送装置、定置装置間にロードセル取付け。 ・搬送定置装置を後進させ、RUN-23 データ採取（牽引力、モータ電流)。	
6	・エアベアリングが 3 ペア（③、⑧を通過）通過したところで走行停止。 ・測定終了	

表 5.8.4-12　段差通過確認試験結果

パラメータ	計測項目	計測結果	備考
・段差 1 mm ・エアベアリングの稼働枚数 10 枚 ・走行速度 1 m/min	流量 圧力 牽引力 モータ電流	表 5.8.4-13　RUN-23,24 参照	

表 5.8.4-13　段差通過確認試験計測データ

計測日 ： 2016年3月17日

採取データ（RUN 23-24）（1/2）

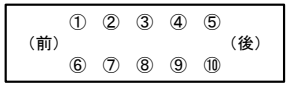
RUN	方向	荷重条件 (ton)	パラメータ					計測データ																備考
			浮上量 (mm)	エア ﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ 稼働数	牽引速度 (m/min)	すきま (mm)	段差 (mm)	エア ﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ 停止位置	浮上量（実測値） (mm) (*1)					圧力 (Mpa)										
			基準値	－	－	－	－	－	前-右	前-左	後-右	後-左	平均	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
23	前進	33.4	40	10	1	0	1	－	40	40	39	40	39.8	0.19	0.18	0.27	0.29	0.28	0.17	0.17	0.29	0.27	0.29	
	後進							－	39	38	40	40	39.25	0.19	0.18	0.27	0.29	0.28	0.17	0.17	0.29	0.27	0.29	
24	前進		40	10	1	0	1	－	42	42	39	39	40.5	0.19	0.18	0.27	0.29	0.28	0.17	0.17	0.29	0.27	0.29	①、⑥段差通過時データ
	前進							－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	⑤、⑩段差通過時データ
	前進																							
	後進																							

(*1) 浮上後、走行開始前に計測

採取データ（RUN 23-24）（2/2）

	方向	荷重条件 (ton)	パラメータ					計測データ																備考
			浮上量 (mm)	エア ﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ 稼働数	牽引速度 (m/min)	すきま (mm)	段差 (mm)	流量 (m3/min)				牽引力 (kgf) (*2)		走行モータ電流 (A)					定置時荷重 (ひずみ量) (μm)		定置時偏芯 (mm)			
			基準値	ー	－	－	－	COMP 1	COMP 2	COMP 3	合計	起動時	定常時	前-右	前-左	後-右	後-左	合計	前端	後端	前端	後端		
23	前進	33.4	40	10	1	0	1	2.9～3.5	2.7～3.5	2.6～3.5	8.2～10.5	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－		
	後進							－ －	－ －	－ －	－ －	200	約300	3.9	3.8	3.8	3.8	15.3	－	－	－	－		牽引力：段差部で最大640kgf
24	前進		40	10	1	0	1	2.7～3.7	2.7～3.5	2.5～3.5	7.9～10.7	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－		①、⑥段差通過時データ
	前進							2.5～3.6	2.7～3.6	2.6～3.4	7.8～10.6	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－		⑤、⑩段差通過時データ
	前進																							
	後進																							

(*2) 後進時の牽引力を計測



ｴｱﾍﾞｱﾘﾝｸﾞ
位置番号

段差通過試験の結果、段差通過時の前進・後進ともにエアベアリングからのエア噴出音が大きくなり、牽引力が大きくなっていることが分かった（図 5.8.4-43 参照）。ただし、走行動作に支障はなく段差の通過は可能であった。

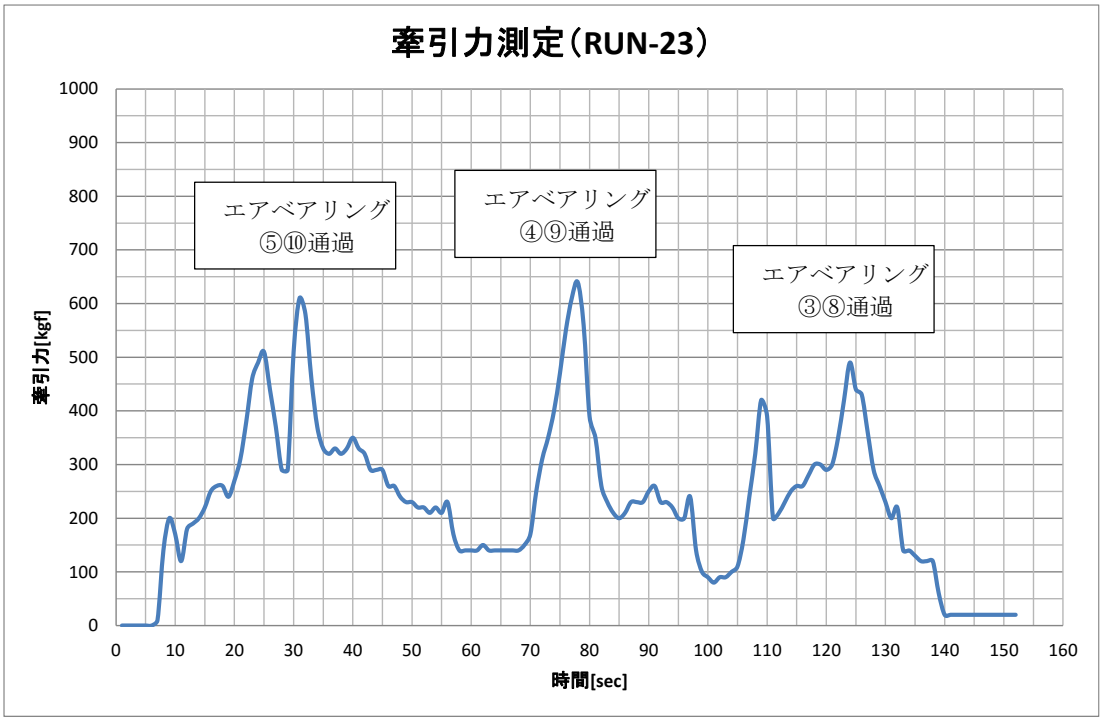


図 5.8.4-43　RUN-23 牽引力（段差 1mm）

5.8.5 考察

横置き PEM 方式に対して設計・製作した搬送定置装置について、平成 27 年度は模擬 PEM を用い、鋼製坑道模擬架台上で搬送・定置の確認試験を実施した。その結果を踏まえ、本項では製作した搬送定置装置の機能・性能について考察する。

(1) エアベアリングの稼働枚数

定置装置の浮上量は、エアベアリング供給圧力を調整することで調整することができた。また、エアベアリングの稼働枚数が変化しても 6 枚以上であれば浮上量を調整することができるが、エアベアリング 6 枚の際にトーラスバックより異常な振動音が発生し、基本仕様で定められている圧力を超えてしまうことから、最も浮上量の安定していた 10 枚での使用を基本とする。

(2) PEM の浮上量

定置装置の浮上量は、定置装置の 4 隅部と走行面の距離を測定したが、浮上量 40mm 時の台座からの PEM 浮上量を図面上から算出した。図 5.8.5-1 に各浮上量時の台座からの PEM 浮上量を示す。PEM 外形φ2316mm の際、台座からの PEM 浮上量は 19mm となる。なお、平成 27 年度使用した PEM 外形φ2260mm の際は、台座から 18mm 浮上することとなる。

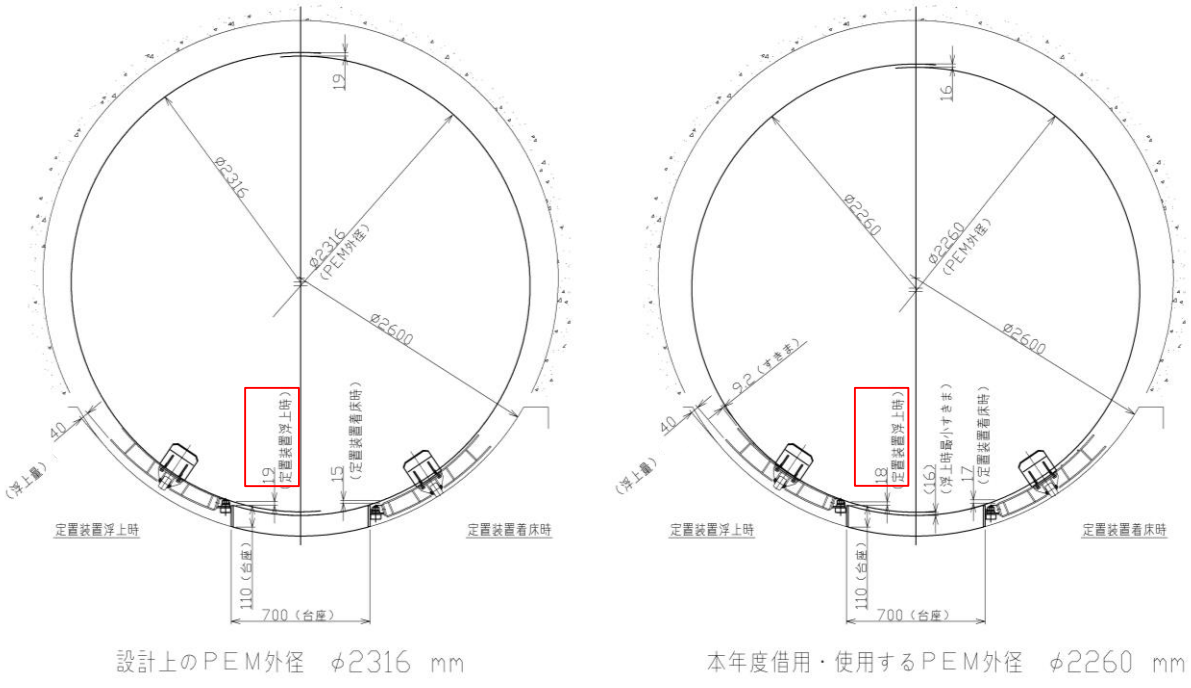


図 5.8.5-1 台座からの PEM 浮上量（浮上量 40mm 時）

(3) 定置装置の必要牽引力

牽引力は、定常時には約 150～200kgf、最大でも 640kgf（段差通過時）となり、設計時に適用した 900kgf を超えない値であった。ただし、平成 27 年度は走行面が鋼製であり、平成 28 年

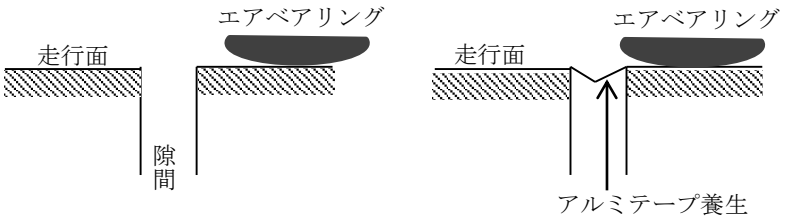
度以降使用予定のコンクリート製の走行面においては牽引力の増加が予想される。

(4) エアベアリング圧力の不均等について

エアベアリング圧力は、PEM 後方に行くほど圧力が高くなっていた（図 5.8.4-11～図 5.8.4-13 参照）。これは、平成 27 年度使用した PEM 容器長さが設計値より短く、重心が設計値より後方であったことが原因である可能性があるため、平成 28 年度以降で計画している模擬 PEM 容器本来の寸法でも確認する必要がある。

(5) 走行面の隙間について

走行面に図 5.8.5-2 (a)に示すような隙間があった際は、隙間から漏れるエア量が多くなり、トーラスバッグ表面のエアが形成されなくなるため、走行不可能となってしまうことが考えられる。ただし、図 5.8.5-2 (b)に示すような隙間（今回はアルミテープ養生で再現）は通過できることを確認した。



(a) 今回通過不可であった隙間　　(b) 今回通過可であった隙間

図 5.8.5-2　坑道走行面隙間イメージ図

(6) 走行面の段差について

走行面の段差は、設計仕様である 1mm を通過できることを確認した。段差通過時は、トーラスバッグと走行面からのエアもれ量が多くなり、牽引力が増加するが、現状問題ない牽引力であると考える。ただし、平成 28 年度以降使用する予定のコンクリート走行面においての段差通過状態は再度確認が必要である。

(7) コンプレッサ流量の変動について

試験結果の流量値から分かるとおり、約 1m³/min 程度コンプレッサの流量が変動している。コンプレッサの流量は、浮上量の安定度に影響すると考えられるため、コンプレッサ流量の安定化を検討する必要が有る。

(8) 搬送定置装置の改善項目

平成 28 年度以降実施する搬送定置装置の自動運転化に向けて、必要な検討項目を再度整理する。

表 5.8.5-1 に自動運転化に向けた検討項目を示す。

表 5.8.5-1　自動運転化に向けた検討項目の整理

No.	検討項目	
1	給電ケーブル等の取り回し方法	・平成 27 年度は建屋分電盤から制御盤への動力ケーブルの取り回しを建屋クレーンにより実施した。次年度ではケーブル取り回しを自動で行うためにケーブルベアまたはカーテンケーブル等のケーブル処理方法を検討する。
2	自動運転用の検出器	・平成 27 年度は定点への移動を目視による手動操作で行ったが、自動運転のためにセンサー類の選定及び設置方法を検討する。
3	遠隔視認用のカメラ	・自動運転のための遠隔視認用のカメラの設置を検討する

また、平成 27 年度製作した搬送定置装置について、確認試験の結果・知見を反映し、地下での実証試験に向けて改善すべき項目を以下に抽出する（表 5.8.5-2 参照）。

表 5.8.5-2　改善検討項目

No.	項目	内容
1	コンプレッサ流量の変動対策	・コンプレッサ流量が不安定であり、浮上量の安定性に影響があると考えられるため改善検討が必要。
2	コンプレッサドレンの処理	・コンプレッサ運転時に排出される油分を含んだドレンの処理が必要である。平成 27 年度は、仮設のドレンタンクを用意し処理したが、実証試験に向けて本設設備を検討する。
3	エア供給ホースの保護カバー設置	・搬送装置、定置装置間のエア供給ホースやバルブユニットーエアベアリング間のエア供給ホース等の高圧ホースに対し、周囲の安全を考慮して保護カバーを検討する。
4	衝撃緩和用のクッション材設置	・フレーム損傷防止のため、定置装置と PEM 設置面及び PEM 後限のクッション材の取付けを検討する。
5	湿度 100%対応	・一般的な制御盤内機器では湿度 100%に対応していない。湿度 100%に対応する場合、制御盤内の窒素パージ等の対策が必要であり、現実的でない。今後、湿度については、実際の坑道環境を考慮した対応方法について調整する。

5.9　まとめ

平成 27 年度は、横置き PEM 方式の搬送定置装置について、主に搬送装置・定置装置を設計・製作し、確認試験によりその機能・性能について確認した。

平成 27 年度の確認試験では鋼製の坑道模擬架台を使用して、設計・製作した搬送定置装置の機能確認試験を実施し、平滑な面上では設定された判定基準を満足すること、所定の性能に達していることを確認した。しかし、隙間がある面上ではエアベアリングが通過できずに装置が停止してしまうことが確認され、隙間がある面に対しては目地を塞ぐ等の措置が必要となる。

また、走行面に段差がある場合は、定置装置のエアベアリングが段差を通過する時に必要牽引力が増加する傾向が確認された。平成 27 年度は坑道模擬架台（鋼板面）上で試験を実施したが、段差通過時も必要牽引力は搬送定置装置の能力を超えない範囲であった。しかし、平成 28 年度以降はコンクリート面上に当該装置を適用する計画であり、鋼板面上よりも牽引力が大きくなる可能性も考えられるため、段差通過に対する確認は再度必要と考えられる。

さらに、平成 27 年度確認試験で取得した搬送定置装置に関するデータとその考察を踏まえ、製作した搬送定置装置に対する機能・性能向上に向けた改善項目を抽出した。

平成 28 年度以降は、平成 27 年度確認試験で取得した搬送定置装置に関するデータとその考察を基に、設計フィードバックを行うと共に、制御装置の詳細設計・製作を実施し、遠隔操作や自動運転を視野に入れた搬送定置装置全体のシステムを完成させる計画である。その後、完成した搬送定置装置システムについて、コンクリート製模擬坑道を用いた性能試験を実施し、実証試験に向けた確認を実施していく。

参考文献

[1] 原子力環境整備促進・資金管理センター；平成 17 年度地層処分技術調査等遠隔操作技術高度化調査報告書(2 / 3)（2006）

[2] 原子力環境整備促進・資金管理センター；平成 23 年度地層処分技術調査等事業高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（2012）

[3] 原子力環境整備促進・資金管理センター；平成 16 年度地層処分技術調査等遠隔操作技術高度化調査報告書（2/2）（2005）

[4] 原子力環境整備促進・資金管理センター；平成 20 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（2/2）（2009）

[5] 原子力環境整備促進・資金管理センター；平成 22 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（2011）

[6] 原子力環境整備促進・資金管理センター；平成 26 年度地層処分技術調査等事業地層処分回収技術高度化開発報告書（2015）

[7] コーテック社ウェブサイト

[8] 原子力環境整備促進・資金管理センター；平成 15 年度地層処分技術調査等遠隔操作技術高度化調査報告書（2/2）（2004）

[9] http://www.cotech-inc.com/movingsys.html

[10] 例えば、http://www.tdk.co.jp/techmag/inductive/201106/index2.htm

[11] トヨタ L&F ウェブサイト:
http://www.toyotalf.com/products/detail/engine_l_forklift/index.html

[12] ユニキャリア株式会社　カタログ

[13] Hummer Caster カタログ

[14] http://www.rent.co.jp/sanki/contents/05data/chiru.htm

[15] 原子力環境整備促進・資金管理センター；平成 24 年度地層処分技術調査等事業高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第 1 分冊）－遠隔操作技術高度化開発－（2013）

[16] 原子力環境整備促進・資金管理センター；平成 19 年度地層処分技術調査等遠隔操作技術高度化調査報告書（2/2）（2008）

[17] 原子力環境整備促進・資金管理センター；平成 18 年度地層処分技術調査等遠隔操作技術高度化調査報告書（2/2）（2007）

第6章　隙間充填技術の整備と試験計画

6.1　概要

本事業において横置き PEM 隙間充填の地下実証試験を実施するため、実証試験計画を作成した。また、隙間充填技術の整備として隙間充填材の設計と隙間充填装置の基本設計を実施すると共に、それらを検証するための予備試験を実施した。

また、本事業において横置き PEM 隙間充填材除去の地下実証試験を実施するため、除去技術選定のための調査と技術の提示を実施した。

6.2　実施フロー

6.2.1　隙間充填技術の整備と試験計画の実施フロー

図 6.2.1 に実施フローを示す。

平成 27 年度は、第 2 章の全体計画を受けて 6.3 項で前提条件を整理し、6.4 項で隙間充填装置の実証試験計画を作成した。

その後、6.5 項から 6.6 項で隙間充填材の設計と隙間充填装置の基本設計を行うと共に、6.7 項にてそれらを検証するための予備試験を実施した。

また、6.8 項で平成 28 年度以降に計画している隙間充填材除去試験に向けた除去技術選定に関する調査を行い、技術を提示した。

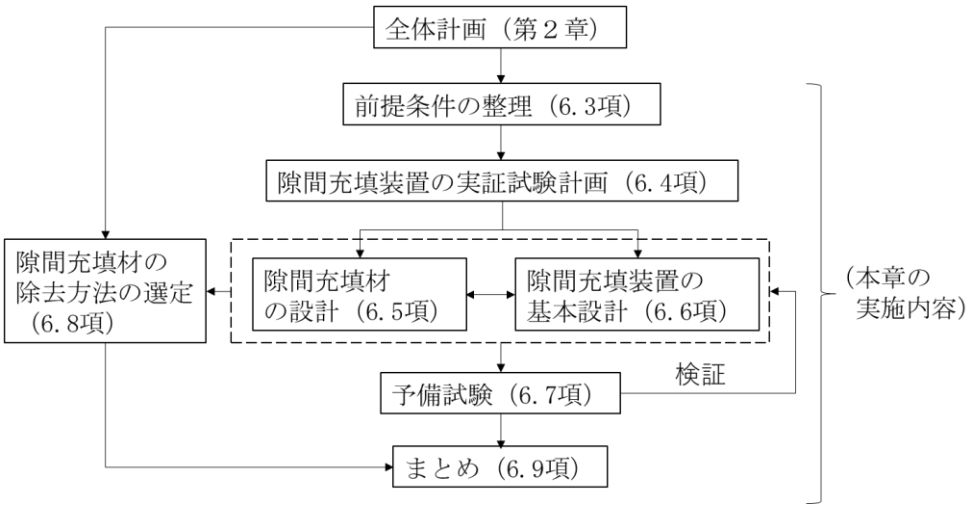


図 6.2.1-1　隙間充填技術の整備と試験計画の検討の実施フロー

6.3　　前提条件の整理

前提条件を以下に整理する。

6.3.1　　操業プロセスにおける位置づけ

地下環境における実証試験対象は、横置き PEM 方式である。本事業においては、横置き PEM 方式における操業フロー（図 6.3.1-1 参照）の中から、図中点線部内で示すプロセスを対象とし、処分坑道内における隙間充填を実証試験計画範囲とした。

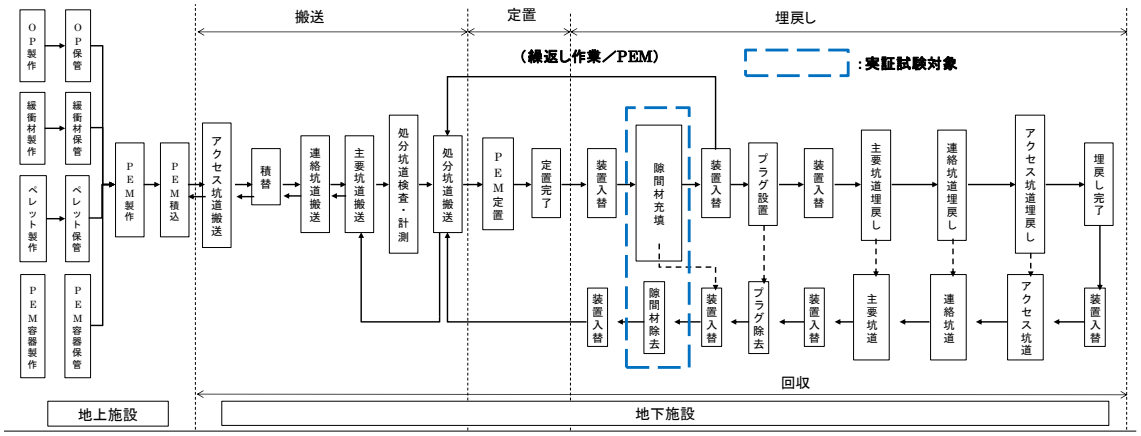


図 6.3.1-1　横置き方式の PEM 操業フロー例（RWMC、2005[1]　一部加筆）

6.3.2　　PEM 仕様

対象となる PEM 仕様及び寸法形状を図 6.3.2-1 に示す。

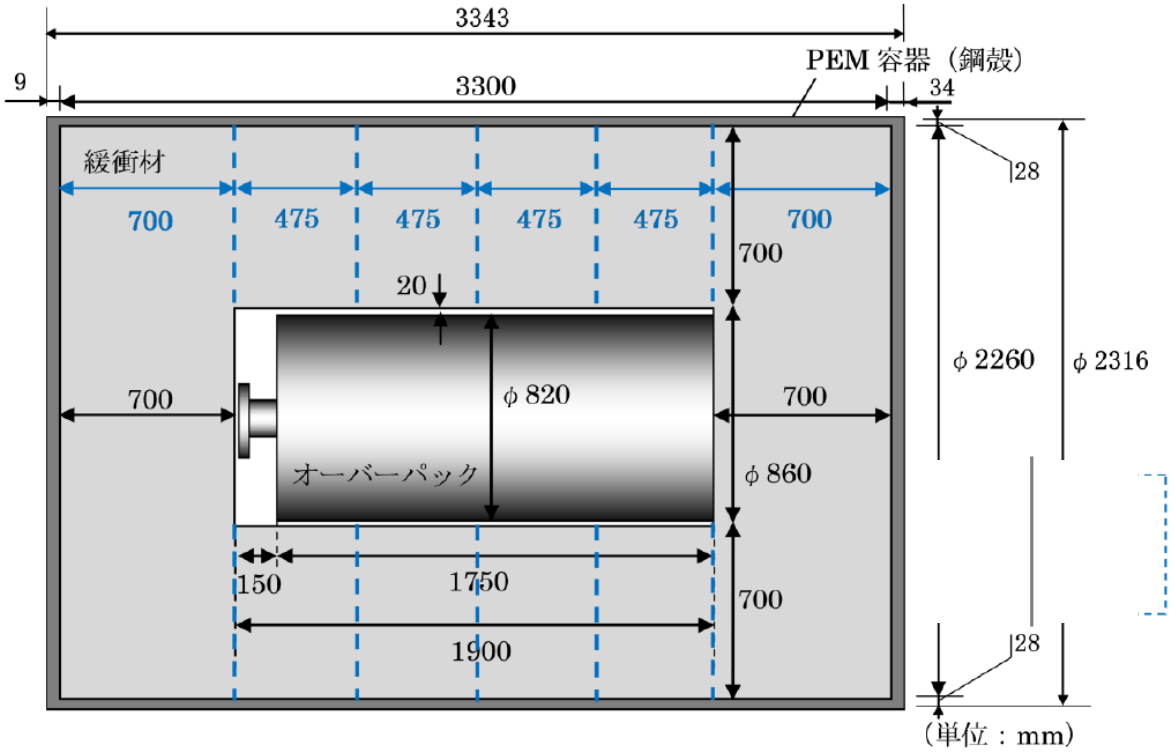


図 6.3.2-1　対象となる PEM の仕様及び寸法[51]

6.3.3　試験孔と PEM の関係

平成 27 年度の検討条件における試験孔断面図を図 6.3.3-1 に示す。

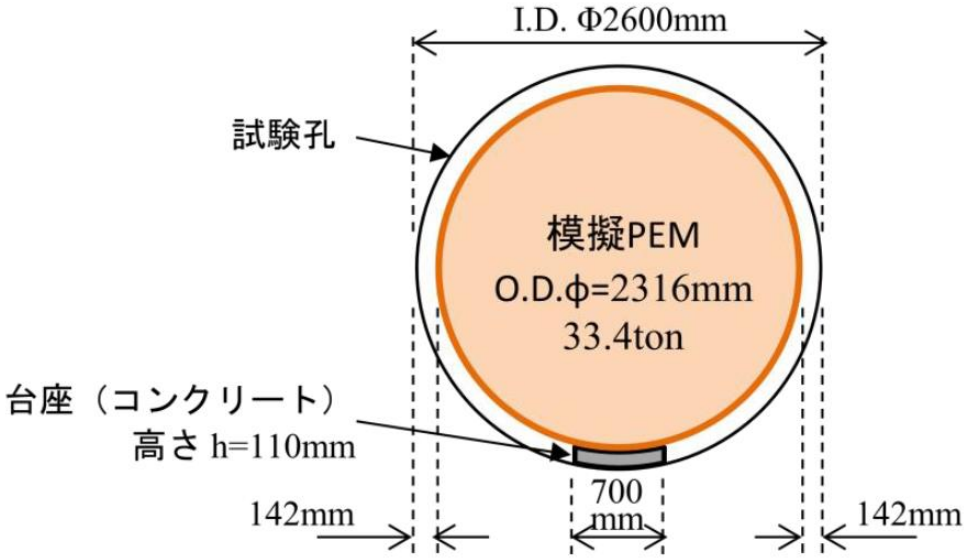


図 6.3.3-1　試験孔断面図

地下実証試験場所となる地下試験孔は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、

JAEA）幌延深地層研究センター（以下、幌延 URL）の地下 350m に位置する試験坑道 2（延長約 25m、直径φ4000mm（内径））の先に水平円形孔　約 10m×直径φ2600mm（内径）を新規掘削した場合で計画した。

地下試験孔壁面は吹付コンクリート仕上げとするが、搬送定置装置の走行面については、鋼製型枠を使用した場所打ちコンクリートとした。また、孔下部に幅 700mm×高さ 110mm の台座（コンクリート製）が設置する計画とし、試験孔を設置する試験坑道 2 は、組立作業ヤードとして試験装置の組立や資機材等の一時仮置きが可能な構造とする。

地下環境については、湿度 100%、温度 20℃とする。また、隙間充填装置の構造や地下での装置、試験設備の組立調整、試験準備作業等に適用する火気制限として、内燃機関の使用は不可としている。さらに、バッテリーの隙間充填装置への搭載についても不可とした。図 6.3.3-2 に地下試験孔のイメージ図を示す。

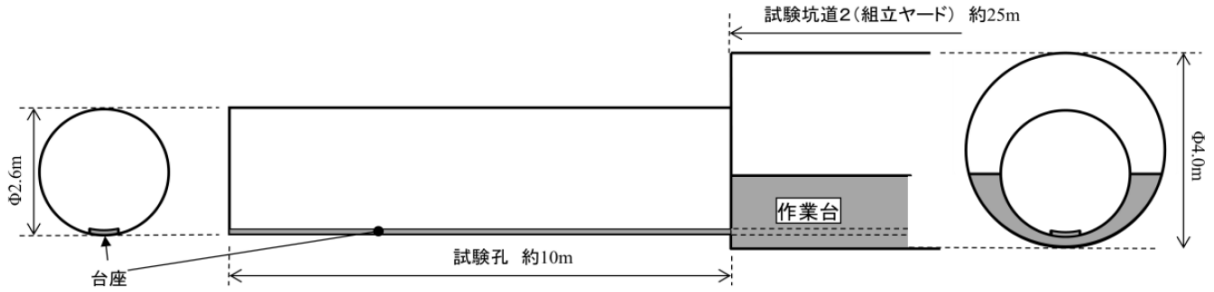


図 6.3.3-2　地下試験孔イメージ図

6.4　隙間充填装置の実証試験計画

横置き PEM 方式を対象として、地下環境において実規模スケールで行う隙間充填技術の実証試験について、以下の検討を実施した。

6.4.1　設計条件の検討

本項では充填装置の設計条件の基本となる要求機能を検討するとともに設計条件として整理し、「6.3.2 実証試験計画の立案」、「6.5 隙間充填装置の基本設計」及び「6.7.4 施工機械に関する予備試験」へ反映した。

(1)　設計条件の整理

6.3 に記載した前提条件や幌延 URL の原位置条件に基づいて整理した設計条件を表 6.4.1-1 に示す。

なお、条件整理の際に高レベル放射性廃棄物処分、隙間充填の観点から設計条件について調査・収集し、参考とした調査対象文献の一覧表を章末に示す。

表 6.4.1-1　設計条件

条件種類	大項目	項目詳細	条件内容	備考
与条件	PEM 寸法	オーバーパック	径　：φ820 mm 全長：1,900 mm （本体 1,750 mm）	総重量：33.4 ton
		容器（鋼殻）	外径：φ2,316 mm 内径：φ2,260 mm 長さ　：3,343 mm　（内 3,300 mm）	
	試験孔		径：φ2,600 mm 長さ：約 10 m PEM 隙間：側部 142 mm 下部 110 mm（台座） 上部 172 mm	
	坑道内		内燃機関の使用：不可 バッテリーの隙間充填装置への搭載：不可 湿度：100 % 温度：20℃	
			坑内吊荷重量：現状 2 t まで 試験坑道 2 延長（現状 25 m）内に装置が収まること 立坑内吊荷：2 m 角に収まること	幌延 URL 現地計画より※
	充填材および充填方法	坑道～PEM クリアランス	下端 110 mm，上端 174 mm，側方 142 mm	図 6.1.1-3 参照
		概略充填体積	9.4 m^3 （＝23.9 m^3　（坑道）－14.5 m^3（PEM））	PEM 一体当たり 図 6.1.1-3　参照
		充填材料特性	有効粘土密度　1.37 Mg/m^3　以上 （充填空間すべての部位における最低値） 透水係数：1.0×10-9m/s 以下 （周辺岩盤以下）	
設計条件（目標）			上記条件をクリアする有効粘土密度－透水係数の組合せとなる充填材料を設計し，製造する	
		埋戻し能力	充填材料移送性：実処分にて目標とされている PEM 定置速度（5 本/日）を可能とする移送能力を保持するよう充填装置を設計する	

*松永 浩一;田村 彰教：幌延深地層研究計画 地下施設実施設計 -設計報告書- JNC-TJ5410 2005-002 2005.[54]

6.4.2　実証試験計画の立案

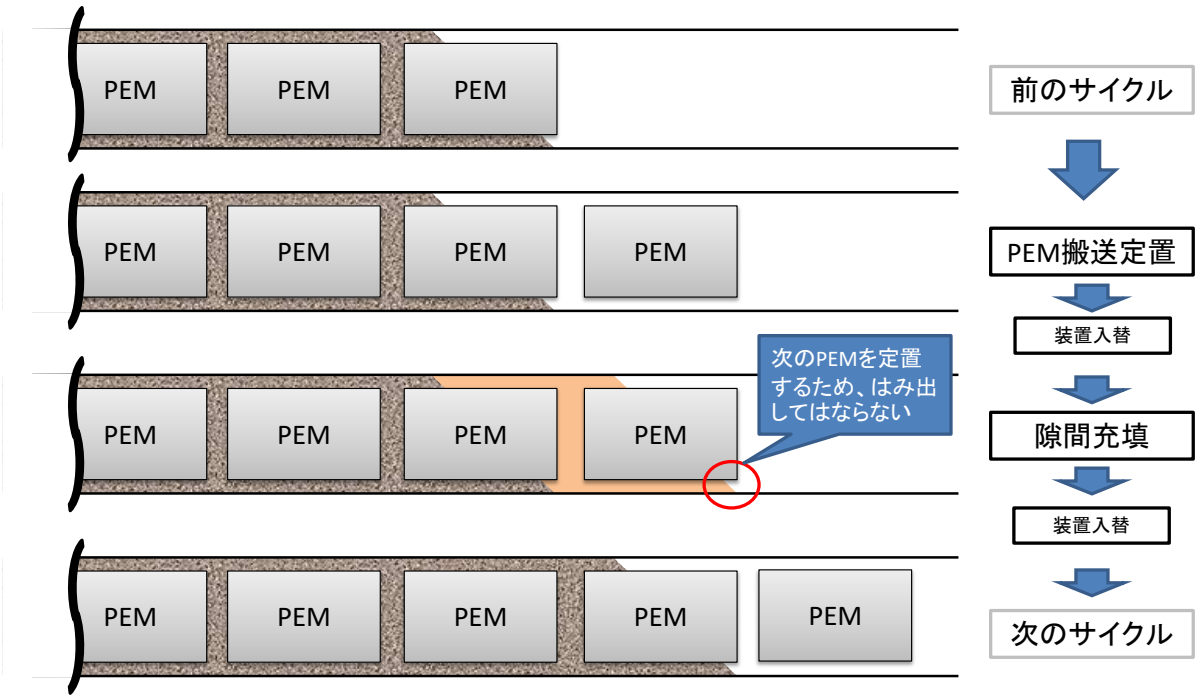
6.3.1 にて整理した設計条件を踏まえて、実規模で行う隙間充填技術の実証試験計画を立案した。

(1)　想定する操業フローと実証試験仕様

横置き PEM 方式の操業フロー（図 6.2.1-1 参照）では、処分坑道構築後に装置を入れ替えながら PEM の搬送・定置と隙間充填を繰り返して実施し、繰り返し作業の終了後にプラグ設置等の閉鎖措置に移行する順序となっている。本実証試験においても、上記操業フローを念頭におき、PEM 設置に引き続く隙間充填の繰り返し作業を模擬した実証試験フローとする。

本実証試験では、想定操業フローとしても、PEM を 1 体設置するごとに隙間充填を行うフローを想定する。2 体以上設置した後に隙間充填を行うフローも想定されるが、今回の実証試験で

は坑道長さの制約から 1 体設置するごとに充填するフローを基本として検討を実施した。



模擬 PEM 1 体定置→隙間充填を繰り返す場合を想定

図 6.4.2-1　操業時に想定される PEM 搬送・定置、隙間充填の流れ（自然落下による充填）

(2)　本実証試験での隙間充填フロー

本試験において想定する隙間充填フローの概念図を図 6.4.2-2 に示す。手順は以下の通りである。

① 自然落下による充填で密度が達成できることを想定：実際の操業フローを勘案した実証試験の本施工として、模擬 PEM が充填材料で覆い隠されるよう、充填試験を行う。

② 試験孔に土留めを設置して、処分坑道端部を想定した端部の隙間充填を実施する．土留めの方法や構造物の詳細については、幌延深地層研究センターにおける坑道仕様等を確認し、平成 28 年度以降に検討する。

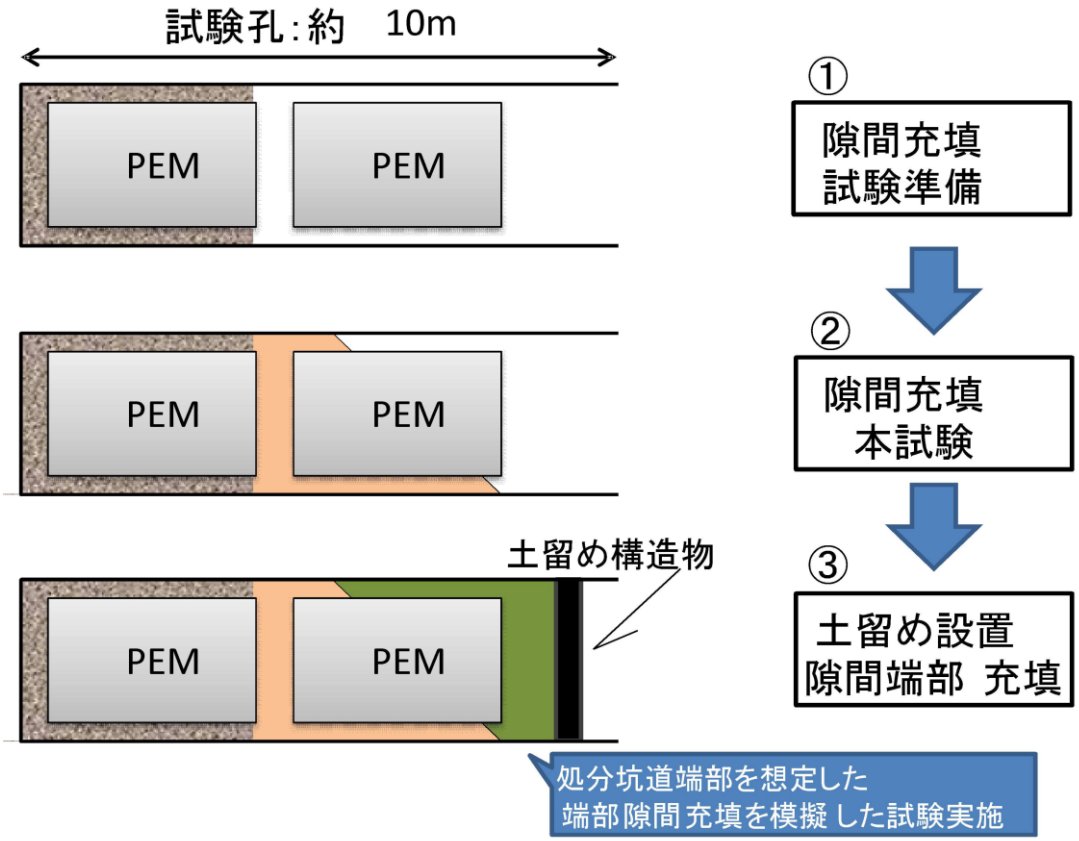


図 6.4.2-2　本実証試験での隙間充填フロー概念図（自然落下による充填）

6.5　　隙間充填材の設計

表 6.4.2-1 に隙間充填材における基本となる要求性能の事項・条件を示す。

表 6.4.2-1　隙間充填材における要求事項の事項・条件

項目または条件	備考
・周辺岩盤以下の透水係数 ・緩衝材と同等の膨潤圧以上	・1.0×10^{-9}m/s 以下 ・有効粘土密度 1.37Mg/m^3 以上

本年度は、以下の事項に留意した設計を実施した。

・充填部で所定の性能が発揮出来るよう、充填材を設計する。

・充填材の配合、製作、保管、輸送時の品質管理項目を提示する。

・試験条件の設定や装置の基本設計、施工品質管理の指標の設定等に必要な予備試験の試験計画を立案して試験を実施し、充填材仕様を選定する。

なお、予備試験実施内容については、6.7 項に記載する。

具体的な実施内容を以下に示す。

6.5.1　設計条件に基づく充填材設計

(1)　基本方針

設計条件である有効粘土密度 1.37Mg/m^3 は緩衝材相当の密度であり、狭所にあたる PEM と坑壁間の隙間において実現するためには、ベントナイトの配合率を高める（ベントナイト単体を使用する）、材料を高密度化するといった材料設計が必要である。また、材料設計に加えて、機械の成立性および施工の実現性も踏まえた検討や設計が必要である。

一方、狭所ではなく、ある程度の開口面積がある箇所や、既往検討のように、ほぼ同じ隙間であるが充填距離が短い箇所に対して高密度の充填施工実績に関する文献（例えば[1][2]等）調査結果から狭所に対する施工面からの実現性に寄与する要素を取り出し、材料の設計に反映した。

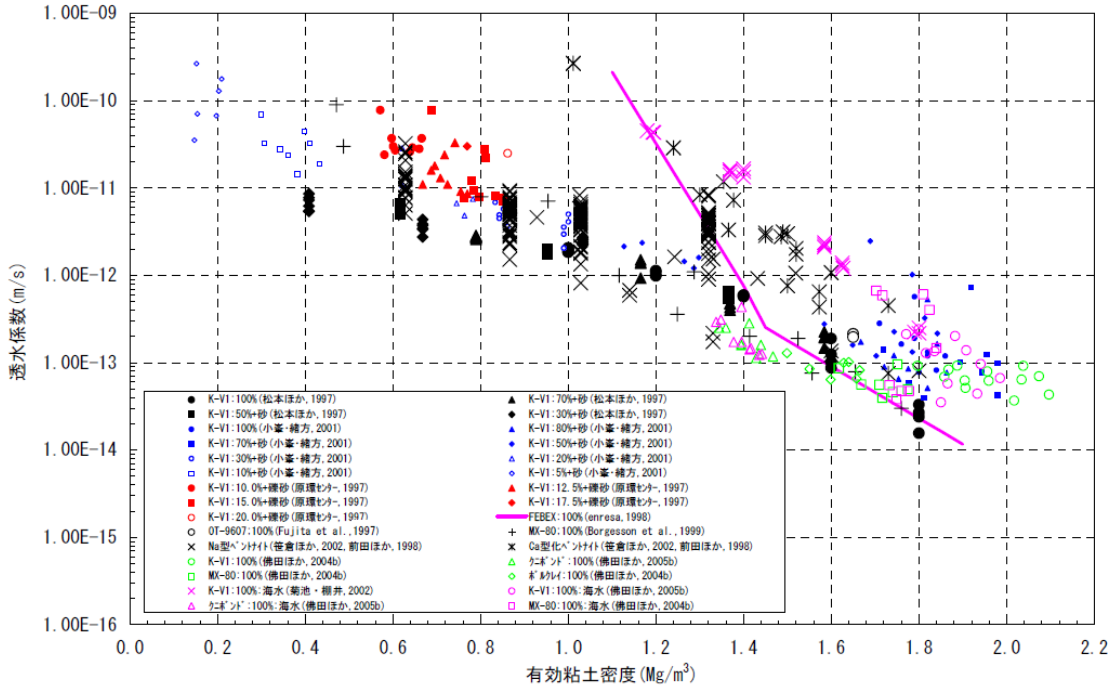
さらに、平成 27 年度実施した予備試験および平成 28 年度以降に計画している要素試験や地上試験を経て、材料製作時、保管・運搬時および施工時の密度のばらつきの状況とその原因についての知見を深めることとする。これらを通じて、平成 30 年度以降に計画している実証試験において設定した充填材の仕様である 1.37Mg/m^3 を達成するための管理項目の設定、および管理方法の選定・絞り込みを実現していく。

(2)　要求事項の整理

材料に関する要求事項は、透水性および密度の 2 項目である。

既往の検討結果（図 6.5.1-1 および図 6.5.1-2）を確認すると、1.37Mg/m^3 の有効粘土密度を満たせば、透水係数は 10^{-12}m/s 程度となり、設定した透水性は確保できる見込みである。

幌延 URL における実証試験の際には、現地地下水が高濃度の塩分（海水の 1/2～1/3 程度）を含んでいるため、透水係数は上昇するものと考えらえる。しかし、同じく既往の検討（図 6.5.1-2 参照）より上昇幅は 1 オーダー以下であることから、10^{-9}m/s 以下の透水係数は十分確保できるものと考えられる。



注1：凡例のK-V1はクニゲルV1を示す

図 6.5.1-1　有効粘土密度と透水係数の関係[48]

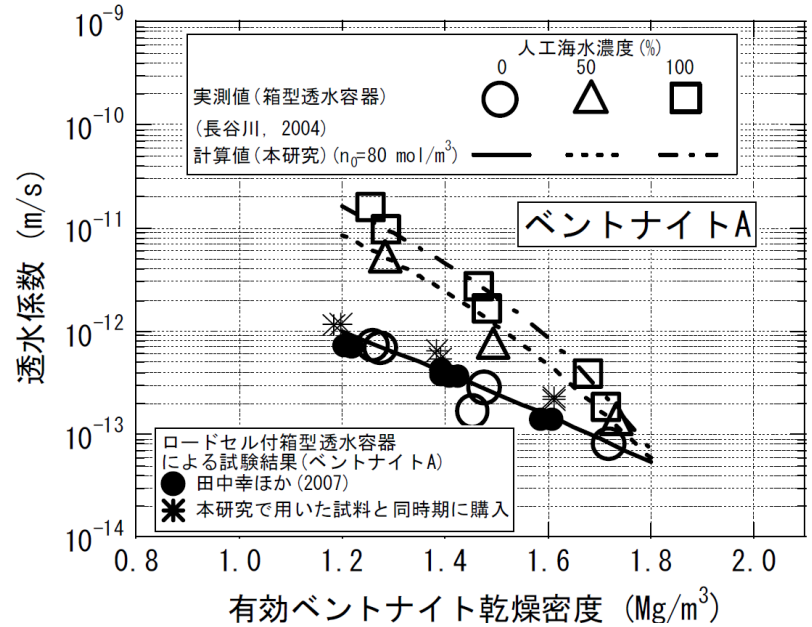


図 6.5.1-2　有効ベントナイト密度と透水係数の関係（田中ほか、2009[49]）

(3)　既往検討の確認

上記の基本方針に基づいて既往検討を整理し、狭所・高密度という条件を満たす充填材を絞り込んでいく。既往検討ではベントナイト系の隙間充填材の状態としては、粉体、ペレット、スラリーなどがあり、工法としてはエアー圧送、粉体流動、コンベア、吹付などが実施されている。

充填材料に着目した既往検討（例えば[16]～[28]等）を整理し、狭所・高密度という観点から、

既往の検討事例からは、材料そのものを高密度化できるペレットが最も適した材料形態と考えられる。

一方、既往検討では、高密度のベントナイトペレットを製造するにあたって、複雑かつ手順の多い工程によって製造している事例が多く、地層処分の操業時においては、より安定的かつ効率的な高密度ベントナイトペレットの製造方法が実現できれば、操業時に対して工程や設備、および費用の観点から寄与することができるものと考えられる。

(4) 材料配合について

材料配合について、高い有効粘土密度を達成するために、本年度実施した予備試験においてはベントナイト単体を使用した。ただし、将来の実施工を見据えた場合、経済性の観点から混合土も有望となる可能性がある。

(5) 設計要件の整理

上述の整理した要求事項や既往検討の確認内容より、充填材料に求められる設計要件を以下の通り整理した。

1) 密度達成の観点から高密度のベントナイト・ペレットが製造可能なこと
2) 密度達成の観点から 11～15cm 程度の狭所への空間充填性が高いこと
3) 密度達成の観点から粒状充填材を充填する場合、充填（移送）による充填材の粒度特性変化が安定（あるいは最小化）していること
4) 安全衛生・品質管理の観点から粉塵発生ができるだけ抑制されていること
5) 品質管理の観点から地下環境（湿度、温度）での材料形態が安定していること
6) 操業時のコスト・品質管理の観点から製造効率のよい品質の安定した材料を製造できること

(6) 材料設計条件の具体化

上記の設計要件より、充填材料への要求事項は、①ペレット自体の高密度化、②適切な充填性（粒度、安息角、表面の乾湿状態等が影響する）、③製造効率が高く品質の安定した材料製造、の 3 点に大別される。これら 3 点の要件を以下の通り具体化する。

ベントナイトペレットを使用して隙間を充填し、有効粘土密度 1.3～1.4Mg/m^3 を達成している既往検討では、ペレットそのものの乾燥密度を凡そ 2.0Mg/m^3 以上の高密度としている。([17]～[28][46][47]参照)

これは、現状のベントナイトペレットの現実的に製造・量産可能な乾燥密度が 2.0Mg/m^3 から最大でも 2.2Mg/m^3 であることと、粒状体の自然落下による空間充填率が 70%程度を達成することが難しいこと（真球の空間最密充填でも充填率は 74%）から、有効粘土密度 2.0Mg/m^3 程度の粒状体を用いて約 70%で空間充填して、有効粘土密度 1.3～1.4Mg/m^3 が実現されている状況である。

このベントナイトペレットによる空間充填を考えた場合、ペレットの形状が球状に近く、表面が限りなく平滑化されたものが望ましい。例えば、国の基盤研究における既往検討[1]、[2]では球

状に近いベントナイトペレットをエアー圧送方式で移送・充填して有効粘土密度 1.37Mg/m^3 を達成している。ただし、一般的に球状に近く平滑なペレットの製造には複雑な工程が必要となることが多い。

一方、NAGRA における既往検討[3]～[8])では、ペレット形状として球状ではなく、ブリケッティング法で作成したアーモンド状などのベントナイトペレットおよびその破砕物をスクリューコンベアで移送・充填して同様の有効粘土密度を達成しており、球状に近い材料ではなくとも、充填に適した粒度の選定や充填方法の選択等により高い充填効率は得られるものと考えられる。この時、材料の製造効率については、一般には球状に近いものよりもそうではない粒度がばらついているものの方が製造効率は高くなる。

将来の処分事業の操業段階を考えた場合、材料製造の効率性も重要なファクターとなることを踏まえ、できるだけ効率的な材料製造が可能で、かつ高密度のベントナイトペレットが製造できること、およびその材料が想定している移送・充填機構で使用可能であること、という条件より、具体的な設計条件を以下のように設定した。

1) ベントナイトペレットの有効粘土密度（粒子としての乾燥密度）：約 2.0Mg/m^3
2) 実証試験時の空間への充填性：空間充填率約 70%
   ・材料製造時の具体的な指標として、移送装置側の寸法の制約から最大 25mm 程度
   ・粒度分布、表面状態および安息角等のパラメータについては充填予備試験において状況確認し、課題を洗い出す
3) 効率的な材料製造が可能であること

ただし、3) の効率的な材料製造については、本年度は定量的な指標による既往検討との比較が難しいため、材料性状の手順を記録しておき平成 28 年度以降の検討事項とした。

6.5.2 充填材の品質管理

充填材を配合・製作・保管・輸送する際の品質管理項目の考え方について以下に示す。

(1) 配合・製作時

充填材の配合時の品質管理項目として、ベントナイトの重量、含水比、加水量が挙げられる。さらに、検討を通じて粒状体を選択した場合には粒状体の粒度、混合土とする場合には混合材料の重量が管理する項目として挙げられる。品質管理項目の基準値については、平成 28 年度以降の地上試験等の検討を通じて実証試験時に原位置で所定の有効粘土密度および透水係数が達成できる基準値を設定していくこととした。

(2) 保管・輸送時

製作した材料の保管方法・場所や保管の期間は未定であるものの、保管時の一般的な経時劣化要因として、充填材からの水分蒸発による含水比変化が考えられる。含水比が変化すると、粘土系材料である充填材の形状など、物理性状が変化する恐れがあるため、密封構造の保管容器で保

管することを基本とし、計測頻度・計測数を決めて試料を取り、含水比が保たれていることを確認する。頻度・計測数についても本年度以降の検討を通じて設定していく。また、本事業での検討を通じて保管・運搬時の望ましい温度・湿度条件についても探索していくこととした。

一時保管した充填材を実証試験箇所に運搬するに品質が変化する要因として、保管時と同様に水分蒸発や、幌延 URL における特殊条件として冬季の凍結・融解環境などが挙げられる。前者については保管時と同様、輸送前後での試料抜き取りによる含水比の確認を実施し、後者については、温度条件に合わせた運搬・保管環境を設定・確認することを基本とすることとした。

6.6 隙間充填装置の基本設計

本項では、隙間充填の手順や装置の設計条件、機器構成、設計製作順序等を整理し、基本設計を行った。

6.6.1 基本設計の実施フロー策定

基本設計の実施に当たっては、まず設計条件（前提条件や制約条件、操業手順など）を整理したうえで、それぞれの留意事項の横断的、有機的な連関を考慮して進めることとした。

なお、隙間充填装置の適用性は、隙間充填材の選定に大きく依存すると考えられるため、隙間充填装置、隙間充填材それぞれの設計は並行して進めることとした。

基本設計の実施フローを図 6.6.1-1 に示す。

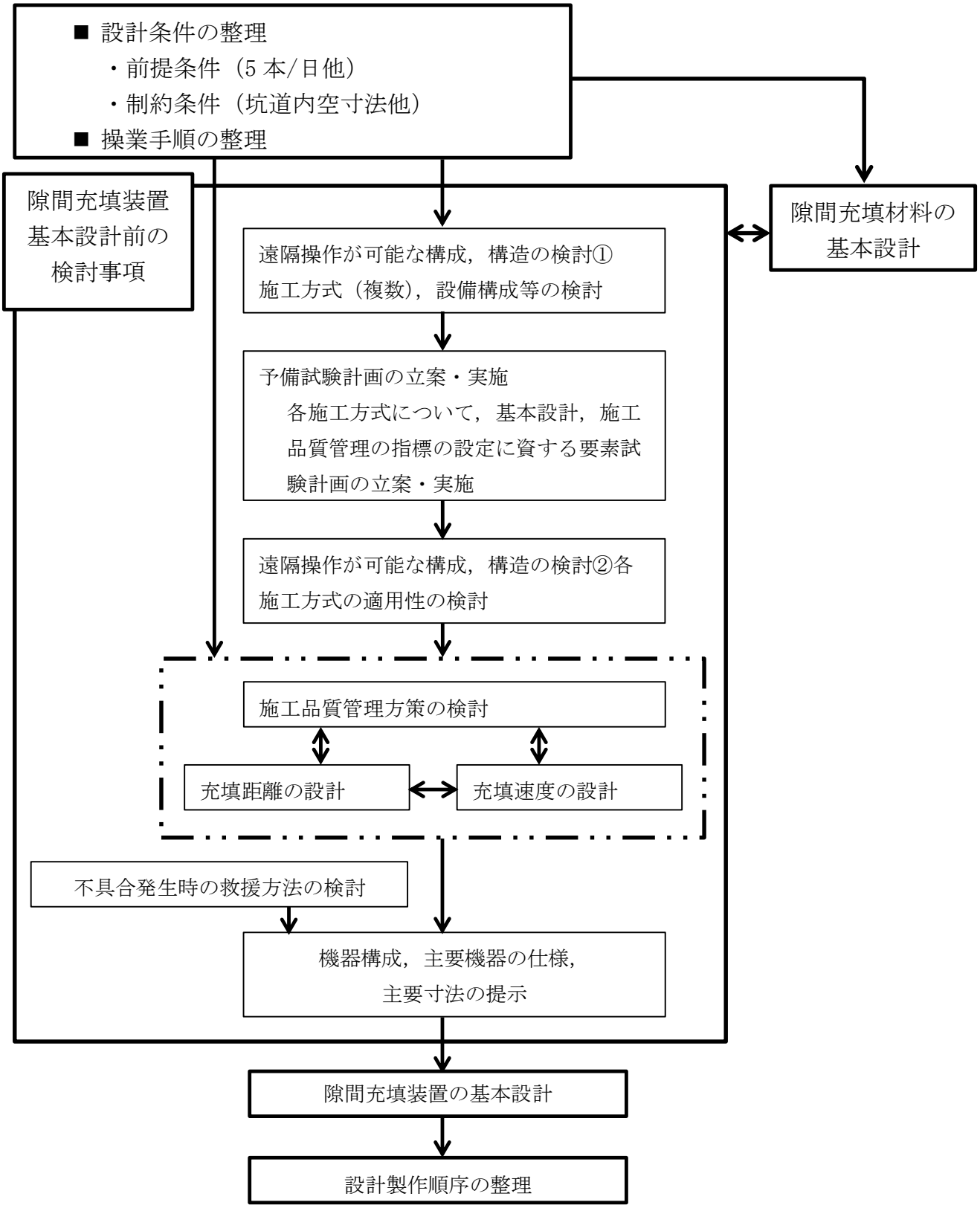


図 6.6.1-1　基本設計の実施フロー

6.6.2　整理された設計条件の反映

6.4.1 で検討された設計条件をもとに、充填装置への要求機能を整理する。

(1)　操業時の隙間充填装置への要求機能

隙間充填材が 6.4.1(1)に示す条件や設計条件（有効粘土密度 1.37Mg/m^3 以上）を満たすためには、充填装置は粒状・粉末状のベントナイトあるいはベントナイト混合土（ベントナイト・ペレットと総称する）を適切な位置に高密度で充填できる機能が求められる。

さらに PEM の操業中の作業員に対する放射線安全機能（遮蔽、損傷時など）が現時点では明確に保障されていないこと、比較的狭隘な坑道内での重量物を取り扱う定置作業となること、温度・湿度・粉塵などの作業環境を規定することが困難なことなどから、遠隔操作が可能な装置であることが望ましい機能である。

国の基盤研究等の既往検討（例えば[10]～[14]、[27]～[29]）の文献調査によれば、現時点でベントナイト・ペレットの充填の試みがなされている装置としては、吹付け、エアー圧送、ベルト・コンベア及びスクリュー・フィーダー等が挙げられる。

前 2 者は、充填材を能動的に加圧・加速して到達時の密度を向上させることができるが、後 2 者は適切な位置までの隙間充填材の運搬が主たる機能であるため、その充填後の密度は主に充填材の自由落下による締固めに依存する。

ただし、スクリュー・フィーダーについては、定置済みの充填材中に「押し込む」ような使い方をされている試験例がある。これは充填方式に係らず、押し込むことによる締固め効果よりも、既設充填材に力を加えることにより、自然落下では到達しにくい場所（PEM の下面・背面、坑道の凹凸面、坑道インバート等の隅角部など）に生成される可能性のあるボイドに定置済み充填材を送り込む効果を期待していると考えらえる。

また、どの充填方式を採用した場合でも、先端を設置済み充填材に挿入しない場合、設置済みの充填材の前面（安息角で斜面が形成されることが予想される）に排出された充填材のうち、粒径の大きい（重量の大きい）材が斜面を転落して下部に堆積し、充填上部と下部とで粒度分布が大きく異なる結果を生じる．その結果、適切な充填材の粒度分布により得られている、期待した充填密度が達成できなくなる恐れがある。先端部の挿入はその危険性を回避することができる．なお、これら先端を挿入することによる２つの効果については調査文献中に記載がなく推定であるため、充填方式の選定を進める段階で、試験などを通した確認が必要である。

充填材移送方法の比較を既存の調査成果から引用したものを**エラー! 参照元が見つかりません。**に示す。

また、図 6.3.3-2 及び図 6.4.2-2 から、PEM の定置１基分の奥行き以上に対する充填が可能な装置である必要があり、さらに操業工程を適切な範囲に収めるための充填速度が得られることも望ましい条件である。また、充填装置の制御と充填状況把握のためには、粉塵の発生が少ないことが望ましく、坑道内の作業環境への悪影響が少ないことも要望される。

これらの条件と文献調査から得られた知見などから、充填装置に求められる機能を次のように設定した。

① （操業手順の観点から）PEM の定置１基分の奥行き以上の延長に対する充填が可能なこと

② （操業手順の観点から）待機場所から充填作業位置までの入場及びその逆の退場が円滑に行われること

③ （充填材をベントナイト・ペレットとした場合）ベントナイト・ペレットの充填が可能なこと

④ （充填への要求性能の観点から）要求を満足する充填密度が得られること、空間的な充填密度の不均質さをできるだけ小さくできること

⑤ （密度管理の観点から）粒状充填材を充填する場合、充填（移送）による充填材の粒度特性変化が安定（あるいは最小化）していること

⑥ （密度管理の観点から）充填後の充填材密度の空間的なばらつきが少ないこと

⑦ （操業工程の観点から）適切な充填速度が得られること

⑧ （品質管理の観点から）充填状況の監視が可能なこと

⑨ （品質管理の観点から）充填による粉塵と稼働による排気ガスの発生ができるだけ抑制されていること

⑩ （操業安全の観点から）坑道内の可燃性ガス発生への対応が可能なこと

⑪ （装置の安定稼働の観点から）地下の処分環境（湿度、温度、放射線）でも安定して稼働すること

⑫ （放射線安全の観点から）遠隔操作が可能であること

したがって、これら機能が実現可能なことを確認、あるいは実現するために解決すべき課題を明らかにするとともに、その解決のための知見を得ることが求められる。以下の基本設計及び予備試験計画においてはこの要求事項を考慮に入れて検討を実施した。

(2) 隙間充填装置の設計要件

(1) で検討した隙間充填装置への要求機能をもとに、地下環境での実証試験に用いる隙間充填装置の設計に反映すべき設計要件を整理した。

① （操業手順の観点から）PEM の定置１基分の奥行き以上の延長に対する充填が可能なこと

台座に定置された PEM の背面（先に定置された PEM との間の空間）も含めて、定置された PEM の手前位置からすべての空間に対する充填が可能なこと。吹付等の充填材を遠方へ飛ばす方式を除けば、スクリュー・フィーダー、ベルト・コンベヤ及び空気圧送等の方式では、移送機能を持つアームを必要な位置まで装入する必要がある。この場合、PEM と坑道壁面の間隔が比較的狭いことによる装置の制約を考慮に入れた検討が必要である。

② （操業手順の観点から）装置待機場所と充填作業位置の間の入・退場が円滑に行われること。

自走あるいは他車両による推進で移動可能なこと、充填のための正確な位置決めが可

能なこと、待機場所が連絡坑道になる場合は、転舵が可能なことなど。

③ （充填材をベントナイト・ペレットとした場合）ベントナイト・ペレットの充填が可能なこと。

比較的柔らかく（脆く）、高密度を得るために必要な様々な粒径のベントナイト・ペレットを移送できること。

④ （充填への要求性能の観点から）要求を満足する充填密度が得られること、空間的な充填密度の不均質さをできるだけ小さくできること（隙間充填材料での対応を除く）。

隙間充填材の高密度化に適合した投入方法の採用及び移送速度・移送量の設定、並びに適切な充填位置の設定（可動か固定かを問わず）が可能なこと。

⑤ （密度管理の観点から）粒状充填材を充填する場合、充填（移送）による充填材の粒度特性変化が安定（あるいは最小化）していること。

充填装置先端位置で設計粒度分布に近い分布が安定して得られること（移送開始位置で設計粒度分布となっている場合は、粒度特性ができるだけ変化しないこと）。

⑥ （密度管理の観点から）充填後の充填材密度の空間的なばらつきが少ないこと。

充填材が直接到達しにくい隅角部やPEM背面等にボイドを残置しないこと、充填材の粒径分布が空間的に大きく異なることが無いこと。

⑦ （操業工程の観点から）適切な充填速度が得られること。

要求充填能力が達成可能なことあるいは達成するための方法に目途が立っていること。複数のユニットにより充填速度を確保する場合は、それらが試験用空間に配置可能であること。また、複数ユニット間で充填速度を調整する必要がある場合は、その制御が可能なこと。

⑧ （品質管理の観点から）充填状況の監視が可能なこと。

ビデオカメラ、レーザー・センサーなどによる充填状況の監視のための設備が設置できること。

⑨ （操業環境の観点から）充填による粉塵と稼働による排気ガスの発生ができるだけ抑制されていること。

粉塵発生を抑制できる移送方式であること、動力を内燃式ではなく電動式とすることなど。

⑩ （操業安全の観点から）坑道内の可燃性ガス発生への対応が可能なこと：可能であればシステム一式が防爆対応と出来ること．ただし、換気により対応ができる場合は、この限りではない。

⑪ （装置の安定稼働の観点から）地下の処分環境（湿度、温度、放射線）でも安定して稼働すること。

トンネル掘削設備などの知見を活用して対応を取る。また、不具合発生時の対応が可能であることも重要要件である。

⑫ （放射線安全、作業安全の観点から）遠隔操作が可能であること。

PEMの操業中の作業員に対する放射線安全機能（遮蔽、損傷時など）が現時点では明確に保障されていないこと、比較的狭隘な坑道内での重量物を取り扱う定置作業となる

こと、温度・湿度・粉塵などの作業環境を規定することが困難なことなどから、遠隔操作が可能な装置であることが望ましい。

(3)　設計条件の具体化

上記で検討した設計要件を分類すると、①充填材の移送機能にかかる設計要件、②充填装置を移動させるための走行機能にかかる設計要件、③動力・駆動機能にかかる設計要件、④遠隔操作のための制御・監視機能にかかる設計要件に大別される。

すなわち、隙間充填装置に最低限必要とされる機器構成としては、①充填材の移送・充填を行うための移送装置（アーム）、②隙間充填装置全体を移動させるための走行装置、③各部の動力・駆動機能、④隙間充填装置を遠隔操作するための制御・監視装置、の大きく４つに分類される。

上記の各構成機器における設計要件を定量・定性的に検討して具体化し、基本設計における設計条件を具体化し、本年度の基本設計の実施範囲を設定した。

1)　移送装置

(a)　充填材移送方式（要件③～⑥、⑨）

設計要件を勘案すると、充填材の移送には、充填材自体に大きな力を加えない方式で、移送中に衝突などにより粒径や粒子の形状が変化しないものが適切と考えられることから、吹付け方式ではなく、静的な移送が可能で、安定した移送が可能なスクリュー・フィーダー方式あるいは（準静的な）空気圧送方式の採用を検討した。

(b)　移送距離（要件①）

図 6.6.2-1 に土留め壁等を設けない自然落下による充填の場合の隙間充填材の移送距離の検討図を示す。

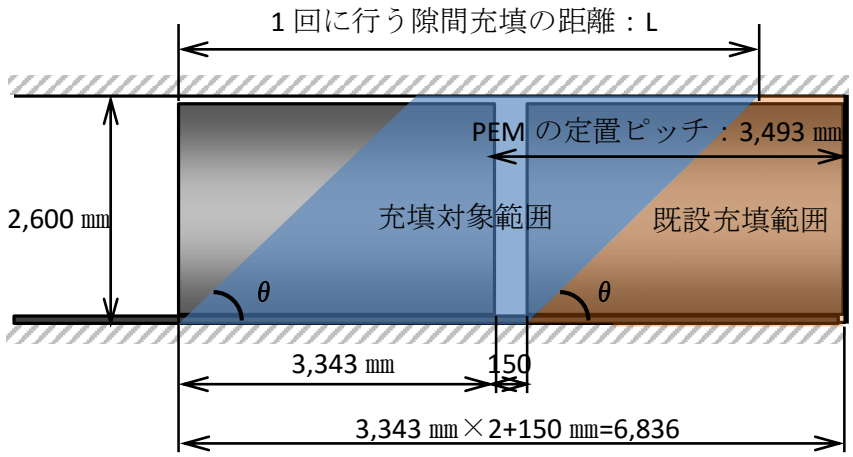


図 6.6.2-1　PEM1 体ごとの隙間充填対象範囲の検討図

図 6.3.2-1 より PEM1 体の形状をφ2316mm×3343mm、図 6.3.3-1 より処分坑道径を 2.6m とし、PEM 間の隙間を 150mm と仮定し、PEM の定置ピッチを 3.493m とする。

また、国の基盤研究における既往の研究成果（H16 年度　地層処分技術調査等　遠隔操作技術高度化調査報告書（2/2）P3-641、P3-655）より、対象とする粒状ベントナイトの堆積（安息）角度θを、40°程度として算出する。

以上から、隙間充填材の移送距離 L は、

$L=3.493+2.6\tan\theta=3.493+2.6\times\tan 40℃>\underline{5.7m}$

となる。

なお、現時点では、PEM の形状寸法を含めて、確定していない事項があり、充填方式は柔軟性を有するものが望ましい。

(c)　移送速度（要件⑦）

移送速度は、操業手順（PEM 定置と隙間充填の順序）と PEM 定置ピッチ、1 日当たりの所要施工数量などの前提条件によって決められる。

図 6.3.3-1 より、処分坑道径を 2.6m、PEM 外径を 2.316m とすると、図 6.6.2-1 に示す PEM1 体ごとの隙間充填対象範囲の容積 V は、

$V=(2.6^2-2.316^2)\times\pi/4\times3.343+2.6^2\times\pi/4\times0.15\fallingdotseq4.5m^3$

となり、施工品質管理の観点からは、材料品質のばらつきを抑制するため、1 日に最低 PEM1 体分の隙間充填が可能となる充填速度を確保することが望ましい。

2)　走行装置

(a)　走行機能（要件②）

遠隔操作により、充填装置を所定の位置まで移動させて、移送装置を PEM と坑道壁面との狭隘な間隔に挿入できるような高い精度で据える必要がある。そのためには、タイヤあるいはクローラー式のものであれば、赤外線・レーザーなどを用いた方向制御システムなどを採用する事が想定される。このシステムについては、技術的に高度であるが処分特有のものでは無く、近い将来の技術開発（車両の自動運転技術等）にも期待できることから、ここでは将来の開発課題とする。

海外文献の調査例では、レール式を採用した実証試験が行われているが、この方式であれば、左右の位置は高い精度で確保でき、前後の制御のみに留意すればよく、操舵機構も不要なため比較的簡易である。ただし、軌道を設置することになるため、それが定置システムの操業に許容される必要がある。

タイヤ方式、クローラー方式及びレール方式の地下坑道環境における走行装置は、地下坑道における実績も多く、既存技術で十分対応可能であると考えられるので、最適化について平成 28 年度以降の設計で扱うこととする。

3)　動力・駆動装置

(a)　動力・駆動機能（要件⑨、⑩）

作業環境の点から、動力源は電力あるいは油圧・空気圧とする方式が適切であると考えられる。幌延深地層研究センター地下研究坑道における実績を参考に、可燃性ガス対策として

坑道換気を十分に行いつつ、スクリュー・フィーダー方式やベルトコンベア方式の場合は電動式を採用して装置システム全体をコンパクトに収める。空気圧送方式は、直接的には空気圧でその発生源（エア・コンプレッサー）は電動となる。

走力・駆動装置の設計についは、システム全体としての検討が必要となるため、平成 28 年度以降の設計で扱うこととする。

4)　制御・監視装置

(a)　制御・監視機能（要件⑧、⑪⑫）

制御・監視装置の設置は、処分特有のものでは無く、既存技術で対応可能と考えられる。また、設置は、移送アームの適切な位置に固定することで対応可能である。地下環境下での稼働と不具合発生時の対応については、幌延深地層研究センター関連工事の実績、経験を参考に、設計の段階で適応化が可能であると考えられる。

制御・監視装置の設計についても、システム全体としての検討が必要となるため、平成 28 年度以降の詳細設計で扱うこととする。

6.6.3　基本設計

6.6.2 で検討した設計要件と具体化検討をもとに、本年度は主に、充填装置において主要な部分となる移送装置本体（アーム部）についての基本設計を行った。

(1)　移送装置本体（アーム部）

1)　移送方式の選定

粒状材料の搬送技術としては、穀物の搬送等で使用されるスクリューコンベア方式、空気圧送方式などの候補が考えられるが、それら搬送方式の、長所・短所について整理した、国の基盤研究における既往研究成果（H16 年度　地層処分技術調査等　遠隔操作技術高度化調査報告書（2/2）P3-631～P3-634）より、ペレット搬送方式の比較を参考に、スクリューコンベアによる移送方式を検討対象に選定した（表 6.6.3-1 参照）。

ただし、今回充填対象とする PEM と処分坑道の隙間については、図 6.3.3-1 に示すとおり、台座コンクリート部で 110mm と、非常に狭隘な部分があるため、既往の研究に用いたスクリューコンベアと比較して、コンベア径が制限されることとなる。

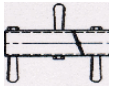
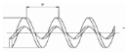
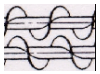
6.5.1(6)に記載のとおり充填材料の粒径については、最大 20mm 程度を想定しており、コンベアトラフ内の移送断面を確保する観点から、移送・充填装置については、通常の板状軸有スクリューコンベアに加え、軸無（コイル）スクリューコンベアを検討対象とすることとした。（表 6.6.3-2 参照）

表 6.6.3-1　ペレット搬送方式の比較

種類	空気搬送	スクリューコンベア	空気＋スクリューコンベア
特徴	・磨耗部品が少ない ・粒状の物の搬送に向いている ・長距離輸送が可能	・空気圧送と比較して粉塵が少ない ・定量性がある	・流動性が増すため、磨耗に対する心配が少ない.
欠点	・空気輸送による粉塵が坑内環境を悪化させるため、別途換気設備（集塵機等）が必要 ・圧密圧送の確認が必要	・流動性が悪いため、磨耗の心配がある ・空気圧送に比べ、スクリュー部の重量が大きい	・搬送中の粉塵が心配される ・搬送のための新技術が必要（粒状であるために、パッキング性能が落ち、上手に空気と混合させて搬送するのが難しい） ・圧密圧送の確認が必要 ・別途空気圧送機が必要
評価	・扱いやすい装置ではあるが、シンプルなハンドリングを求める場合、装置の台数が増えてしまう	・粉塵が 3 種の中で一番発生しにくく単純構造で、今回の搬送に適する	・利用するには、複雑な機能となり、ロバスト性を考えると不向きである

出典：H16 年度　地層処分技術調査等　遠隔操作技術高度化調査報告書（2/2））

表 6.6.3-2　スクリュー形状の種類

種類	板状スクリュー	リボンスクリュー	パドルスクリュー	カットスクリュー	コイルスクリュー	多軸スクリュー
	軸に羽をつる巻状に取り付けたスクリュー	リボン状の羽を取付けたスクリュー 	独立した羽をつる巻き状に取付けたスクリュー 	外周を切り欠いた羽根を取付けたスクリュー 	コイルを取付けたスクリュー	多軸のスクリュー
特徴	一般的に用いられるスクリュー。	羽根と軸に隙間があり、ペレット等の壊れ易い粉体の搬送に有効である。	攪伴しながら搬送する場合によく使用される。	羽根外周を数カ所切り込んでエッジ状にしたもの。ケースに付着する粉体を運ぶ場合	羽根の外周部分だけ残して羽根中心部を切り取ったもの。 軸スクリュー・コンベヤと比較すると、同じ回転数で3倍近くの搬送能力があるので、動力を削減できる。無軸スクリュー・コンベヤとしては、中間や駆動の反対側にベアリングがないので、詰ることがなく、メンテナンス・コストを削減できる。長さを大きくすることが可能。	特に、湿った粉体に用いるもの。汚泥等の搬送。の羽で、剪断と練効果をる場合。
評価	標準タイプで実積も多い。	搬送能力が板状スクリューよりも劣るが、粒状を壊さず搬送できるため有効。	搬送能力が板状スクリューよりも劣る。	板状スクリューよりも高価になる。	安価であるが、搬送距離が長くなるとスクリューにゆがみが生じ、ケーシングと接触し磨耗する恐れがある。	シングルスクリューよ高価になる
	◎	○	△	△	△	△

出典：H16 年度　地層処分技術調査等　遠隔操作技術高度化調査報告書（2/2)）

2)　スクリューコンベアの基本形状

(a)　コンベアパイプ外径

図 6.3.3-1 より、充填対象となる処分坑道と PEM の隙間寸法は 110～174 mm となるため、コンベアパイプ外径は 110 mm 未満であることが前提条件となる。

一般的に入手が容易な材料より、外径寸法が 101.6 mm の 90A のパイプを採用した。

(b)　コンベアパイプ内径とスクリュー軸

6.6.2(3)1)(a)に記載のとおり、充填材に大きな力が加わることによる、移送前後の充填材の粒度分布の変化を抑制するため、コンベアパイプとスクリュー軸間には、充填材粒径（最大 20 mm を想定）以上の空間が必要となる。

また、スクリューパイプは、極力剛性を持たせるために、可能な範囲で肉厚を厚くし、且つ内空断面を確保しなければならない。

スクリュー軸についても剛性を持たせつつ、且つ自重によるコンベアパイプ内面との摩擦を抑制するため、肉厚の中空軸が望ましいと考えられる。

(c)　スクリューコンベア長

6.6.2(3)1)(b)に示した移送距離の設計条件より、スクリューコンベア長は 5.7m 以上必要となる．これに加え定置された PEM と充填装置との施工安全からの離隔の確保や、6.6.2(1)に示す充填性の向上や粒度分布のばらつき抑制の効果を期待した定置済みの充填材中への移送装置先端の押し込みしろを考慮した場合、現時点では、充填材供給部からコンベア先端の排出口まで、7m 程度以上のスクリューコンベア長が妥当であると考えられる（図 6.6.3-1 参照）。

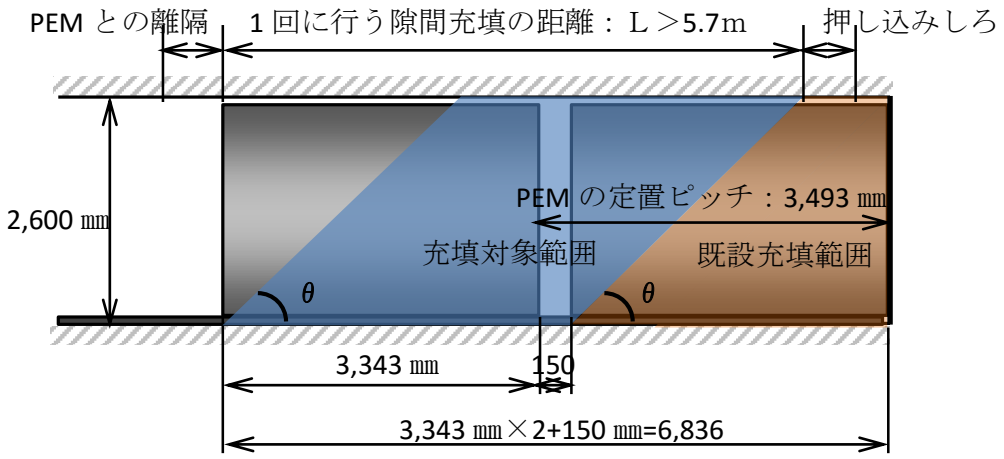


図 6.6.3-1　スクリューコンベア長の検討図

3)　移送速度

6.6.2(3)1)(c)に示す通り、PEM1 体あたりの隙間充填容積は約 4.5m³ であり、施工品質管理の観点から 1 日に最低 PEM1 体分の隙間充填が可能となるように、移送速度を設計した。

1 日の作業時間を 8 時間、とした場合、約 0.6m³/h の移送速度が必要となる。海外での既往の試験実績（FE 試験）を参考に、スクリューコンベア 5 本で移送・充填を行うことを想定した場合、スクリューコンベア 1 本あたり、0.12m³/h の移送速度が必要となる。

しかし、移送・充填作業に際しては、施工品質管理や、その他様々な作業ロスが生じる可能性が高く、それらの安全率を考慮し、移送・充填作業効率を 80%と仮定した場合には、0.12m³/h ÷0.8=0.15m³/h（≒2.3L/min）程度の移送速度が必要となる。

ここで、充填後の有効粘土密度（堆積密度）を 1.37 とした場合、質量換算では、0.193Mg/h（≒3.2kg/min）の移送速度が必要となる。

(2)　地下実証試験における不具合発生の想定と装置救援方法の提示

地下実証試験において想定される不具合としては、設備上の不具合と施工上の不具合が考えられる。表 6.6.3-3 にそれぞれの具体的な不具合と装置救助方法（対応策）のを示す。

表 6.6.3-3　具体的な不具合と装置救助方法（対応策）

不具合の区分	具体的な不具合例	不具合発生時の事象	装置救助方法（対応策）
設備上の不具合	・電源喪失（停電、断線等） ・遠隔操作システムの不具合 ・各駆動装置の不具合	・全機能停止 ・遠隔操作機能停止 ・局所的な駆動機能停止	・代替電源の配置 ・機側操作機能の付加 ・クラッチ解除による無制御フリー駆動
施工上の不具合	・充填材の閉塞 ・充填装置の隙間でのジャミング（抑留）	・充填不能 ・充填装置操作不能	・充填材移送経路清掃機構 ・追加動力（ウィンチ）の配置、充填材移送経路切離し等

(3)　隙間充填装置の基本設計概念図

図 6.6.3-1 に、スクリューコンベア 5 本、頂部に配置するスクリューコンベア長を 7m 程度とした地上・地下試験用隙間充填装置の基本設計概念図を示す。

6.7.3 で後述する充填予備試験より、底部に近い PEM 台座の両脇周辺は充填し辛い結果が得られており、平成 28 年度以降の検討ではその点に着目したスクリューコンベアの最適配置についても検討していく。

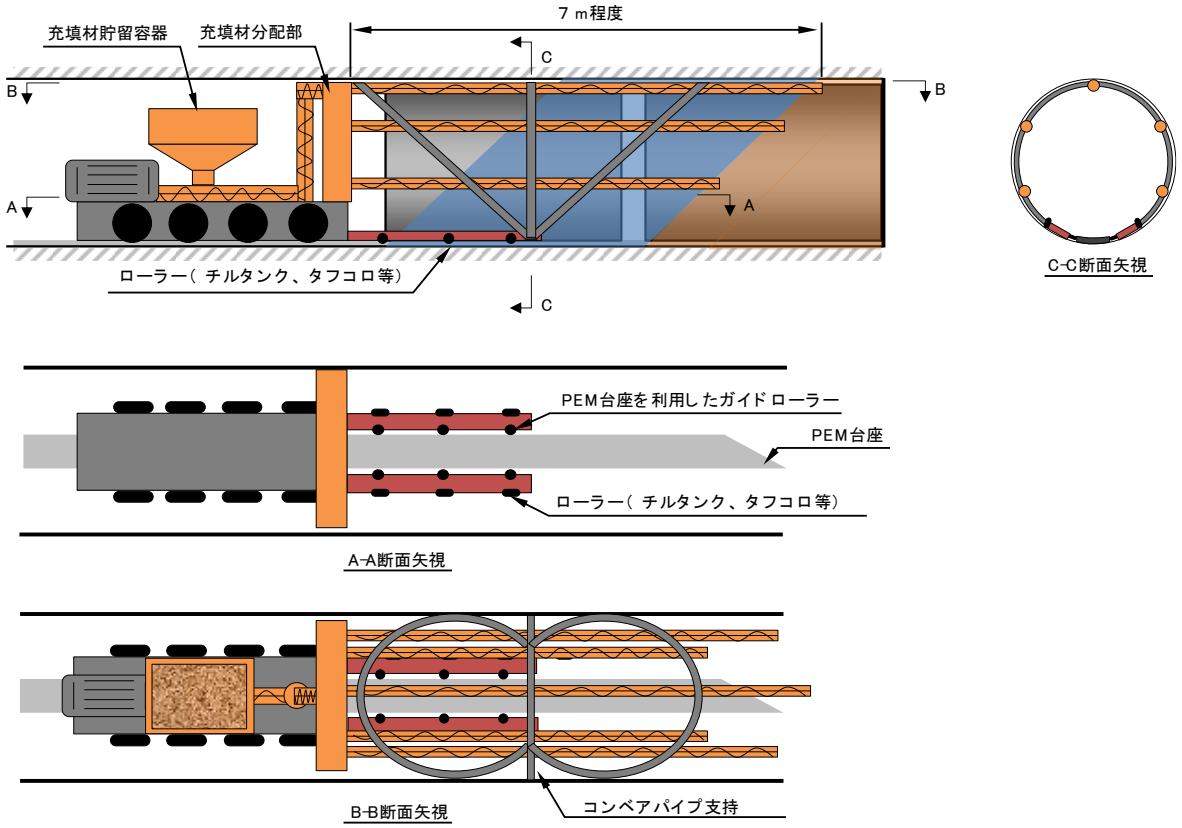


図 6.6.3-2　隙間充填装置の基本設計概念図

6.7　予備試験

6.7.1　予備試験の位置付け

(1)　目的

実証試験に先立って H27 年度に実施する予備試験の目的は次のとおりである。

・隙間充填材及び隙間充填装置の基本設計結果が、その意図を反映した所要の機能を満足するであろうことの確認

・隙間充填材及び隙間充填装置に関する設計上の重要な課題が残った場合の、詳細設計における課題解決のための基礎的な知見の取得

予備試験は、以上の目的を満足できるように計画し、その成果は以下に示すように反映する。

・所要の機能を満足することが確認できた場合（基本設計の妥当性が確認できた場合）は、平成 28 年度以降の設計における最適化の検討に用いる。

・所要の機能を満足することが確認できなかった場合は、課題としてその解決方策を検討、定時する。

・課題解決に対する知見が得られた場合は、平成 28 年度以降の設計に向けた検討項目と方法を提示する。

(2)　試験方針および予備試験項目

6.5 および 6.6 に記載した基本設計に基づき、予備試験を実施する。予備試験の項目一覧を表 6.7.1-1 に示す。

設計条件である実証試験時の充填乾燥密度 1.37Mg/m^3 を達成するために 6.5 および 6.6 に記載した各設計条件のうち、本年度は材料製造および移送充填機構に着目して予備試験を実施する。その他の走向装置、動力・駆動装置および制御・監視装置については、本年度の材料および移送充填機構の予備試験結果を反映して平成 28 年度以降に実施していく。

予備試験を通じて確認する項目は以下の 3 項目とした。これら予備試験実施の大方針としては、6.5 および 6.6 に記載したように、充填する材料としては凡そ 2.0Mg/m^3 のベントナイトペレットの効率的な製造と、充填の効率としては約 70%の空間充填率という、2.0Mg/m^3 と 70%の組み合わせで実証試験時における有効粘土密度 1.37Mg/m^3 を達成することを目標とした。さらに、15cm 程度の狭所で予定する材料を滞りなく、所定距離に対して移送できる機構を達成できることも目標とした。

・隙間充填材設計のための材料試験
  - 凡そ 2.0Mg/m^3 のベントナイトペレット製造
  - 凡そ 25mm アンダーのペレット製造
・充填予備試験
  - 狭隘円弧状空間に対する空間充填率の確認（目標 70%）
・施工機械に関する予備試験
  - 投入材料が移送経路内に滞ることなく排出されることの確認

表 6.7.1-1　予備試験項目の一覧

大項目	小項目	概要
材料試験	高密度粒状ベントナイトの製造試験	粒状ベントナイトの製作・各種試験 ・最大密度、粒径の確認 ・粒度分布確認、等
充填予備試験	模擬土槽充填試験	模擬土槽を用いた充填試験 ・1m 程度（円弧型）の土槽に自然落下による充填 ・膨潤圧・透水試験の実施
施工機械に関する予備試験	移送・充填パイプの試作①	・スクリューコンベアパイプ試作（シャフト付きを想定） 事前想定した利点：剛性高い 事前想定した欠点：重い・大きい
	移送・充填パイプの試作②	・シャフトレスコンベアパイプ試作 事前想定した利点：軽い・小さい 事前想定した欠点：剛性低い ・エア圧送パイプ試作
	支持機構試作	狭隘部でのパイプ支持を目的としたパイプ支持機構を試作する

6.7.2　隙間充填材設計のための材料試験

6.5 に記載のとおり、実証試験での充填後の有効粘土密度 1.37Mg/m^3 を上回る必要がある。
以下の項目を確認項目として材料の配合検討、製造方法の検討を実施する。

・設計条件の有効粘土密度を上回る材料を製造できること
・想定している移送機構によって移送可能な粒径となること

(1)　予備試験を通じて確認すべき設計要件の抽出

6.5 および 6.7.1 に記載した、要求機能に基づく設計要件及び具体化した設計条件から、予備試験で確認すべき機能とその具体的な方法について検討する。

1)　有効粘土密度（粒子としての乾燥密度）の確認

6.5 に記載のとおり、実証試験における隙間充填後の有効粘土密度は 1.37Mg/m^3 である。基本設計に記載したように、既往検討（例えば[17]～[28]、[46]、[47]）での高密度ペレット製造事例や、既往の充填事例および最密充填等の考え方から隙間部分への空間充填率が凡そ 70%を目標と

なることから、目標とするベントナイトペレットの有効粘土密度（粒子としての乾燥密度）は 2.0Mg/m^3 と設定した。そのため、予備試験においても 2.0Mg/m^3 のペレット製造を確認項目とした。

2)　粒径の確認

同じく整理した試験坑道側の与条件より、対象とする隙間は 110mm～174mm である。この隙間内部に材料を移送するために、パイプ状の移送を基本として、移送装置の外径が 90mm～100mm 程度（内径 80mm～90mm 程度）となることから、移送するベントナイトペレットの最大径を内径の約 1/3～1/4 程度の 25mm と設定した。この 25mm の粒径以下となることを確認項目とした。

(2)　試験の概要

本試験では原位置にて充填された充填材料の仕様として、表 6.4.2-1 に示す性能が要求されている。2 項目の要求事項のうち透水係数については、既往検討結果（図 6.2.1-1 参照）より、有効粘土密度が 1.37Mg/m^3 以上であれば確実に 1.0×10^{-9}m/s 以下を達成できるため、設定した有効粘土密度を達成することを目標として材料試験を実施した。また、幅 150mm 程度、奥行き最大 10m 程度の円弧状狭隘部に対して粘度系材料を充填して設定した有効粘土密度を達成することは、既往検討より困難な施工となることが予想され、この観点からも充填する材料自体の高密度化を先ず検討し、実現させていく必要があった。

本試験では、紛体、原鉱石、粒状物、スラリー等、様々な形態が考えられる充填材料のうち、既往検討より最も高密度が期待できる粒状物（図 6.7.2-1 参照）に着目し、充填材料として高密度の粒状物を製作する予備試験を実施した。既往検討では、粒状体の密度として 2.0Mg/m^3 程度を達成している製造方法が複数提案されており、本検討においても上述の通り 2.0Mg/m^3 程度の密度を目標とした。本年度の試験実施にあたっては、隙間充填の実証試験を考慮し、充填材を移送するパイプ状の移送装置の内径を最大 80mm ないし 90mm と仮定して試験計画を設定した。本試験における実施項目を以下に列記する。

○試験実施項目

・条件設定
  - 目標密度（粒子密度）の設定
  - 目標粒径の設定

・粒状物製作試験の実施
  - 製作した粒状物の有効粘土密度の確認
  - 製作した粒状物の粒度分布の確認

図 6.7.2-1　粒状化ベントナイトの例

(3)　試験使用材料および試験装置

本試験に使用した材料および試験装置を以下に示す。

本試験では、基本的にベントナイト単体を造粒材料として使用した。

1)　使用材料

本試験では以下に示すベントナイトおよび調整水を使用した。

・ベントナイト：Na 型ベントナイト（クニゲル V1（クニミネ工業（株）、クニゲル GX（同））

・調整水：上水（配合水として使用）

図 6.7.2-2　ベントナイト搬入状況

使用ミキサ

使用したミキサのカタログ写真を図 6.7.2-3 に、試験実施箇所の設置状況を図 6.7.2-4 に示す。同ミキサは、撹拌・混練・造粒の三機能を 1 台で実施するミキサであり、回転部として独立に駆動するブレードとローターを備えている。

・装置名　　：ペレガイア
・材料投入量　：60L
・出力　　：ブレード部：3.7kW、ローター部：3.7kW
・製造元　　：株式会社北川鉄工所

図 6.7.2-3　使用ミキサ　カタログ写真（ペレガイア）

図 6.7.2-4　使用ミキサ設置状況

2)　粒状物圧縮装置

本試験ではミキサで造粒する粒状物を圧縮することで高密度を達成する試験実施した。ポストプレス（圧縮）に用いる装置の概念図を図 6.7.2-5 に示す。

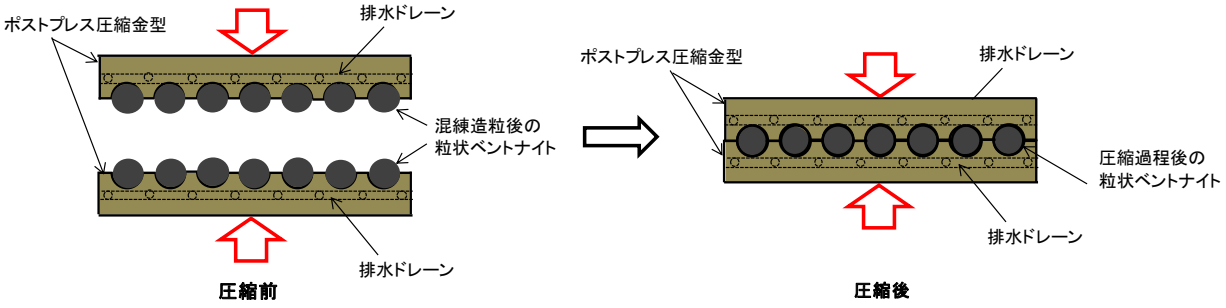


図 6.7.2-5　圧縮装置の概念図

(4)　試験方法

1)　事前試験

充填材料製作の事前試験として、以下の物性に関する試験を実施した。

a ベントナイトの物理化学試験

・土の含水比：JIS A 1203
・ベントナイト（粉末）の膨潤力測定（蒸留水と地下水）：JBAS-104-77
・ベントナイト（粉末）のメチレンブルー吸着量測定：JBAS-107-91

出荷材料元の品質試験で代替

2)　造粒試験

粒状ベントナイトは、骨格粒状部を形成する「高密度粒状ベントナイト（大粒径と呼称）」と骨格粒状部の間隙充填を形成する「粒状ベントナイト（小粒径と呼称）」に分けて製造することとする。

a 目標仕様の設定

本試験の目標仕様を表 6.7.2-1 に示す。

表 6.7.2-1　粒状物の目標仕様

	大粒径	小粒径
粒径 D	25 mm 以下	10 mm 以下
密度 ρ_e	2.0 Mg/m^3 以上	1.5 Mg/m^3 程度

b 造粒

造粒試験は、下記 2 種類の造粒方法にて実施する。いずれもコア材を核とした造粒物をさらに圧縮して高密度を実現する手法である。

・原鉱石造粒圧縮法
・圧縮ペレット造粒圧縮法

両手法は、粒状物の核となるコア材に対して、加水調整した紛体（クニゲル V1）をまぶしながら前述のペレガイアミキサを用いて撹拌・造粒する方法である。

両手法の違いは、粒状物の核となる物質の違いである。原鉱石造粒圧縮法では、クニゲル V1 を用いて圧縮成型したベントナイトペレットを使用し、圧縮ペレット造粒圧縮法は原鉱石であるクニゲル GX を破砕・粒度調整したものを使用する手法である。

さらに、造粒した粒状物を分粒して型枠で圧縮成型することで高密度の粒状物を作成した。

また、より細かい隙間を充填して密度を高めることを目的に、10mm 以下の小粒径を目標とした粒状ベントナイトも作成する。

以下に造粒試験の内容を列記する。

(a)　コア材製作

前述の 2)b に記載のとおり、コア材として原鉱石と圧縮ペレットの 2 種類を調整・製作して使用する。

・原鉱石：クニゲル GX（クニミネ工業製）を分粒し、4.75～9.5mm（平均約 7mm）をコア材として利用

・圧縮ペレット：圧縮成型した高密度ベントナイトペレットをコア材として利用

(b)　混練造粒

図 6.7.2-3 に示した造粒ミキサを使用しコア材に対して加水調整した紛体（クニゲル V1）をまぶしながら混練・造粒を行った。含水比および混練造粒ミキサの回転数・方向等の設定条件を変更して比較検討を行った。

(c)　ポストプレス（密度増加圧縮過程）

図 6.7.2-5 に示す圧縮装置を使用して、混練造粒した粒状ベントナイトを圧縮し、高密度化を図った。ミキサーバッチ排出後の養生方法を複数ケース設定して養生した後、油圧圧縮機を用いて圧縮した。

(d)　小粒径ベントナイト造粒

表 6.7.2-1 に示したように、粒径 10mm 以下、密度 1.5Mg/m^3 程度を目標に、2.5～4.75mm（平均約 4mm）のクニゲル GX をコアとした小粒径をの粒状ベントナイト造粒を実施した。

前述の混練造粒と同様に、加水調整した紛体（クニゲル V1）をミキサ（図 6.7.2-3）を用いて混練・造粒を行って行った。

c 密度測定

製造する粒状物に対して密度試験（パラフィン法）を実施し、粒状体としての密度を測定した。

・密度試験：密度試験 JISA1202

d 粒度分布測定

作製した粒状物の粒度分布をふるい分け法により測定した。

・粒度試験：粒度試験 JISA1102

e その他

含水比、表面性状については、以下の方法で確認した。

・含水比：炉乾燥 JISA1202 もしくは赤外線

・表面性状：目視

(5)　試験ケース

1)　造粒試験

造粒試験は以下のケースを実施した。

●造粒部分

造粒部分に係るコア材料、含水比、ミキサ設定についてそれぞれ以下のケース数を設定した。

コア材：3 ケース（原鉱石（大粒径）、圧縮ペレット（大粒径）、原鉱石（小粒径））

含水比：3 ケース

ミキサ設定：3 ケース

●圧縮部分

造粒物を乾燥させる速度が速すぎると、造粒したベントナイトにひびが入って割れるなど、養生条件により、密度の発現が異なることが知られている。このため、養生条件についても複数種類を試行した。

ケース設定の内容を表 6.7.2-2、表 6.7.2-3 に取りまとめて示す。本年度の実施ケースは全 26 ケースとした。

表 6.7.2-2　材料試験　ケース設定（1／2）

通し番号	CASE	コア材			ベントナイト	設定含水比	ミキサ設定（整粒時）		養生内容	乾燥密度	密度測定時含水比	備考
		種類	粒径	湿潤重量	湿潤重量	含水比	アーム・ロータ設定	整粒時間				
			mm	kg	kg	%		sec	Mg/m3	Mg/m3	%	
1	1-1-1	クニゲルGX	調整なし	15	15	20	アーム ： 23rpm ローター: 295rpm	120	―	―	―	粒が細かく、粒状安定せず 養生・密度測定実施せず
2	1-1-2	クニゲルGX	調整なし	15	15	22	アーム ： 23rpm ローター: 295rpm	120	―	―	―	粒が細かく、粒状安定せず 養生・密度測定実施せず
3	1-2-1	クニゲルGX	2.5 － 4.75	15	15	22	アーム ： 23rpm ローター: 295rpm	120	―	―	―	粒が細かく、粒状安定せず 養生・密度測定実施せず
4	1-2-2	クニゲルGX	2.5 － 4.75	15	15	25	アーム ： 23rpm ローター: 295rpm	240	―	―	―	粒が細かく、粒状安定せず 養生・密度測定実施せず
5	1-3-1	クニゲルGX	2.5 － 4.75	15	20	25	アーム ： 23rpm ローター: 295rpm	120	―	―	―	粒が細かく、粒状安定せず 養生・密度測定実施せず
6	1-3-2	クニゲルGX	2.5 － 4.75	15	20	28	アーム ： 23rpm ローター: 295rpm	120	自然乾燥6日間	1.55	22.3	
7	1-4-1	クニゲルGX	4.75 － 9.5	15	20	28	アーム ： 23rpm ローター: 295rpm	480	自然乾燥2日間	1.50	23.9	
8	1-5-1	クニゲルGX	4.75 － 9.5	10	30	30	アーム ： 23rpm ローター: 295rpm	600	養生前	1.43	28.1	
9									養生なし→ポストプレス	1.65	23.1	
10									50度炉乾燥7時間	1.53	26.3	
11									自然乾燥3日＋50度炉乾燥7時間	1.73	13.9	
12	1-6-1	クニゲルGX	4.75 － 9.5	10	40	30	アーム ： 23rpm ローター: 295rpm	600	養生前	1.39	29.1	ケース1-6-1は材料をクニゲルV1を3回に分けて投入
13									50度炉乾燥7時間	1.54	27.7	
14									自然乾燥3日＋50度炉乾燥7時間	1.74	13.0	

表 6.7.2-3　材料試験　ケース設定（２／２）

通し番号	CASE	コア材			ベントナイト	設定含水比	ミキサ設定（整粒時）		養生内容	乾燥密度	密度測定時含水比	備考
		種類	粒径	湿潤重量	湿潤重量	含水比	アーム・ロータ設定	整粒時間				
			mm	kg	kg	%		sec	Mg/m3	Mg/m3	%	
15	1-7-1	クニゲルGX	4.75 - 9.5	10	40	30	アーム : 23rpm ローター: 295rpm	600	養生前	1.45	27.9	ケース1-7-1は材料をクニゲルV1を4回に分けて投入
16									養生なし→ポストプレス	1.73	18.9	
17									50度炉乾燥7時間	1.55	27.0	
18									自然乾燥3日＋50度炉乾燥7時間	1.76	13.1	
19									自然乾燥3日＋50度炉乾燥17時間	1.81	5.8	
20									自然乾燥3日＋50度炉乾燥17時間 →ポストプレス	2.02	6.8	
21	2-1	圧縮ペレット	φ10mm, h10mm	－	－	－	－	－	荷重70kN	2.02	6.2	圧縮ペレット使用ケースは圧縮ペレットの試作まで実施 乾燥密度はペレットの密度を記載
22	2-2	圧縮ペレット	φ10mm, h5mm	－	－	－	－	－	荷重70kN	2.07	6.2	
23	2-3	圧縮ペレット	φ10mm, h10mm	－	－	－	－	－	荷重38kN	1.83	6.2	
24	2-4	圧縮ペレット	φ10mm, h5mm	－	－	－	－	－	荷重34.7kN	1.96	6.2	
25	2-5	圧縮ペレット	φ10mm, h2.5mm	－	－	－	－	－	荷重37kN	1.97	6.2	

(6)　試験結果

1)　試験実施状況

材料試験の実施状況を抜粋して図 6.7.2-6～図 6.7.2-15 に示す。試験状況の詳細については、付録の写真集に添付した。

a 造粒状況

図 6.7.2-6 は造粒に使用した造粒ミキサ（ペレガイア）の設置状況である。図 6.7.2-7 は材料投入状況を示した。材料は計量してバケツに小分けした後、人力でミキサに投入した。

図 6.7.2-6　造粒ミキサ（ペレガイア）設置状況

図 6.7.2-7　材料投入状況

図 6.7.2-8 は造粒中のミキサ内部を示している。図のケースはケース 1-2-1 であり、粒状物が灰色および褐色の 2 色に斑状に見えているのは、含水比が低い（添加水量が少ない）ため、水がベントナイト全体に行き渡っておらず、乾燥したままの粒状物が灰色に見えている。また、図 6.7.2-9 には造粒直後のベントナイトペレットの製造状況（ケース 1-3-2）である。

図 6.7.2-8　混練・造粒状況

図 6.7.2-9　ベントナイトペレット製造状況（造粒直後）

b 養生状況

造粒した材料の養生は、表 6.7.2-2 および表 6.7.2-3 に示したように、自然乾燥と炉乾燥を組

み合わせて実施した。図 6.7.2-10 は造粒後、室内にて自然乾燥を行う前のプラ舟に材料を敷きならした状況である。

図 6.7.2-10　養生状況（自然乾燥開始前の密封状況）

c 圧縮状況

図 6.7.2-11 には製造した粒状のベントナイトペレットを試験機により圧縮した状況を示す。圧縮には、電機機械式万能試験機（最大圧縮荷重 100kN、INSTRON 社製）を使用した。

図 6.7.2-11　製造した粒状ベントナイトの圧縮状況

図 6.7.2-12 および図 6.7.2-13 に圧縮後の粒状ベントナイトの状況を示す。写真に示すように、金型を用いて粒状ベントナイトを圧縮して球形に近い形状を製作している。今年度の試験に用い

た金型の径は 15mm である。

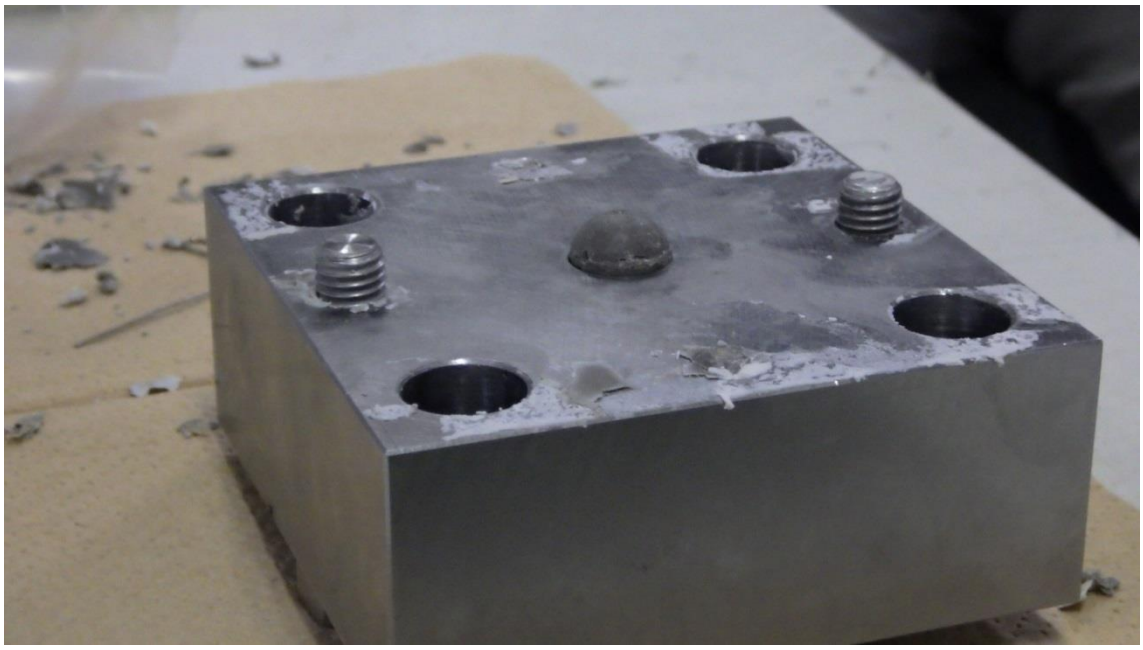


図 6.7.2-12　圧縮された粒状ベントナイト

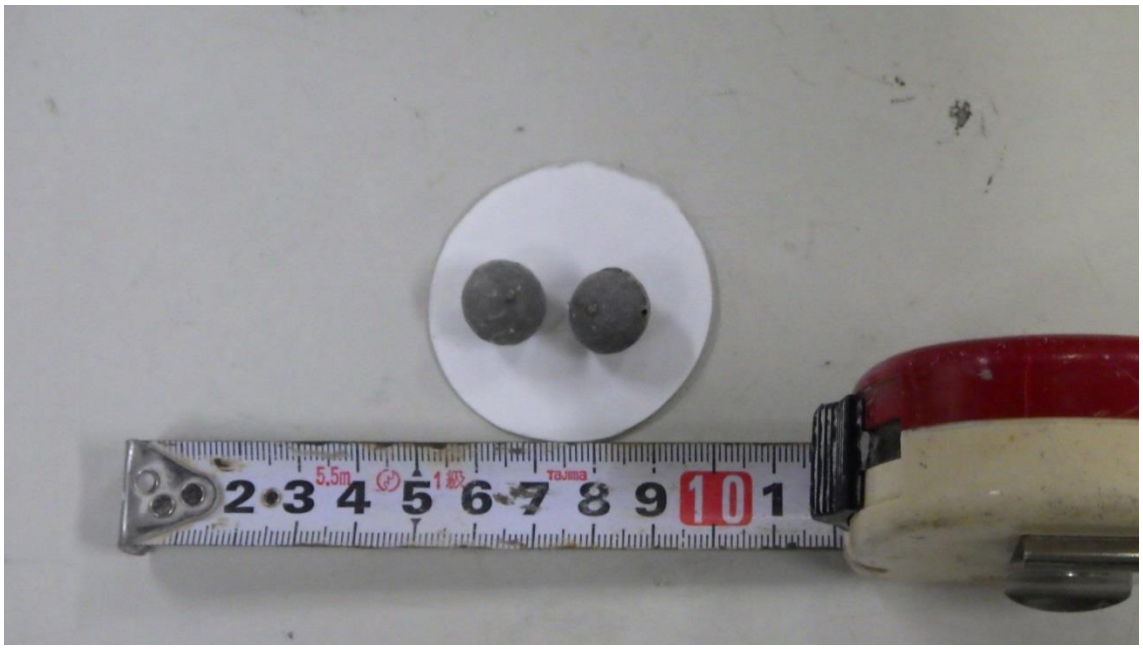


図 6.7.2-13　圧縮後の粒状ベントナイト

d 圧縮ペレット製造

図 6.7.2-14 および図 6.7.2-15 には、コア材として想定している圧縮ペレットの製造状況を示す。クニゲル V1（自然含水比約 9%）を紛体のままφ10mm、高さ 20mm の金型に入れ、静的プレスによって圧縮ペレットを製作した。

図 6.7.2-14　圧縮ペレット製造試験

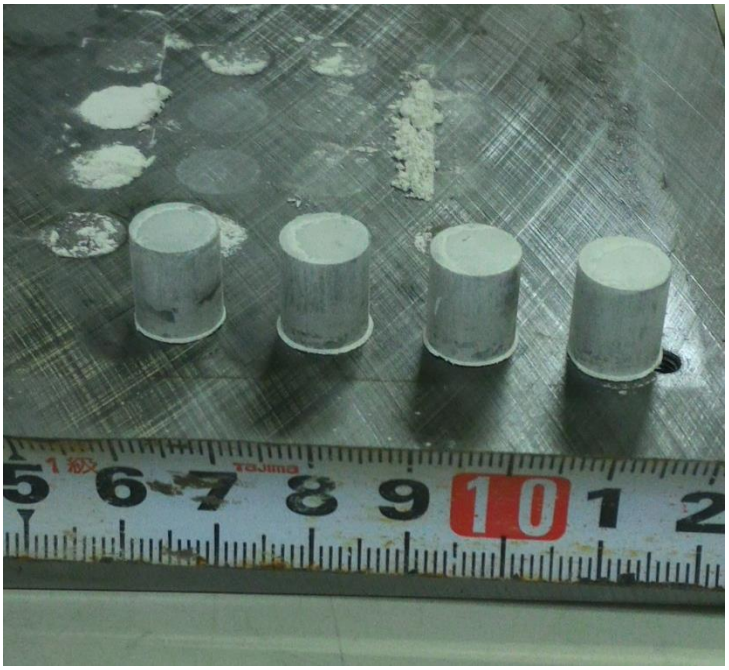


図 6.7.2-15　製造した圧縮ペレット

2)　試験結果

・　乾燥密度の状況

試験結果（乾燥密度を測定したケースのみ抜粋）を表 6.7.2-4　試験結果（乾燥密度）一覧表に取りまとめた。

ケース 1-7-1 は造粒、養生後にポストプレスを実施したケースであり、乾燥密度として 2.02Mg/m^3 を達成した。ケース 2-1、2-2 については圧縮ペレットのみの製造であるが、いずれも乾燥密度 2.0Mg/m^3 を達成している。

表 6.7.2-4　試験結果（乾燥密度）一覧表

CASE	コア材		設定含水比	養生内容	乾燥密度	密度測定時含水比
	種類	粒径	含水比			
		mm	%	Mg/m3	Mg/m3	%
1-3-2	クニゲルGX	2.5 - 4.75	28	自然乾燥6日間	1.55	22.3
1-4-1	クニゲルGX	4.75 - 9.5	28	自然乾燥2日間	1.50	23.9
1-5-1	クニゲルGX	4.75 - 9.5	30	養生前	1.43	28.1
				養生なし→ポストプレス	1.65	23.1
				50度炉乾燥7時間	1.53	26.3
				自然乾燥3日＋50度炉乾燥7時間	1.73	13.9
1-6-1	クニゲルGX	4.75 - 9.5	30	養生前	1.39	29.1
				50度炉乾燥7時間	1.54	27.7
				自然乾燥3日＋50度炉乾燥7時間	1.74	13.0
1-7-1	クニゲルGX	4.75 - 9.5	30	養生前	1.45	27.9
				養生なし→ポストプレス	1.73	18.9
				50度炉乾燥7時間	1.55	27.0
				自然乾燥3日＋50度炉乾燥7時間	1.76	13.1
				自然乾燥3日＋50度炉乾燥17時間	1.81	5.8
				自然乾燥3日＋50度炉乾燥17時間→ポストプレス	2.02	6.8
2-1	圧縮ペレット	φ10mm, h10mm	－	荷重70kN	2.02	6.2
2-2	圧縮ペレット	φ10mm, h5mm	－	荷重70kN	2.07	6.2
2-3	圧縮ペレット	φ10mm, h10mm	－	荷重38kN	1.83	6.2
2-4	圧縮ペレット	φ10mm, h5mm	－	荷重34.7kN	1.96	6.2
2-5	圧縮ペレット	φ10mm, h2.5mm	－	荷重37kN	1.97	6.2

表 6.7.2-4 に基づき、高密度粒状ベントナイトの養生過程における密度増加の変化について述べる。

図 6.7.2-16 より、ケース 1-5-1～1-7-1 は、各養生過程にて密度が増加していることが確認できる。自然乾燥と炉乾燥を組み合わせることにより造粒直後から約 0.35Mg/m^3 乾燥収縮により密度が増加しており、さらにポストプレスにより乾燥密度が 2.0Mg/m^3 を達成できている。また養生過程において含水比は低下しており、乾燥収縮による密度増加が認められた。特に自然乾燥と 50℃7h 炉乾燥により最大約 15%含水比が低下しており、その過程における乾燥密度の増加が最も大きくなっている。その後、乾燥時間が長くなることにより約 6%まで低下する。ポストプレス後の含水比が 1%程度上がっているが、粒状ベントナイトから間隙水が排出されず圧縮により体積が減少していためと考えられる。

また図 6.7.2-17 には 1-5-1 および 1-7-1 の同じ材料を用いて、自然乾燥と炉乾燥を行わず、造粒後養生を行わずポストプレスを行った場合の乾燥密度を示す。乾燥密度は 1.65～1.73Mg/m^{3}程

度であり、養生のある過程よりも約 0.3Mg/m³低い密度となった。含水比は 1-7-1 で 28%から 9%低下しており、ポストプレスにより粒状ベントナイトから間隙水が排水され乾燥密度が増加したと考えられる。

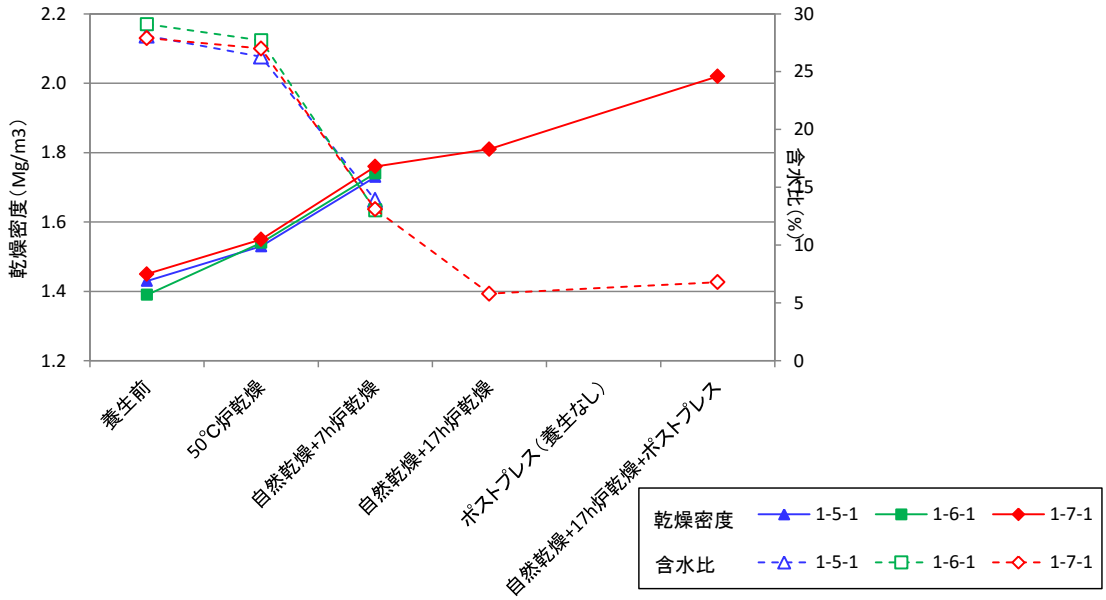


図 6.7.2-16　養生・ポストプレスによる乾燥密度の変化

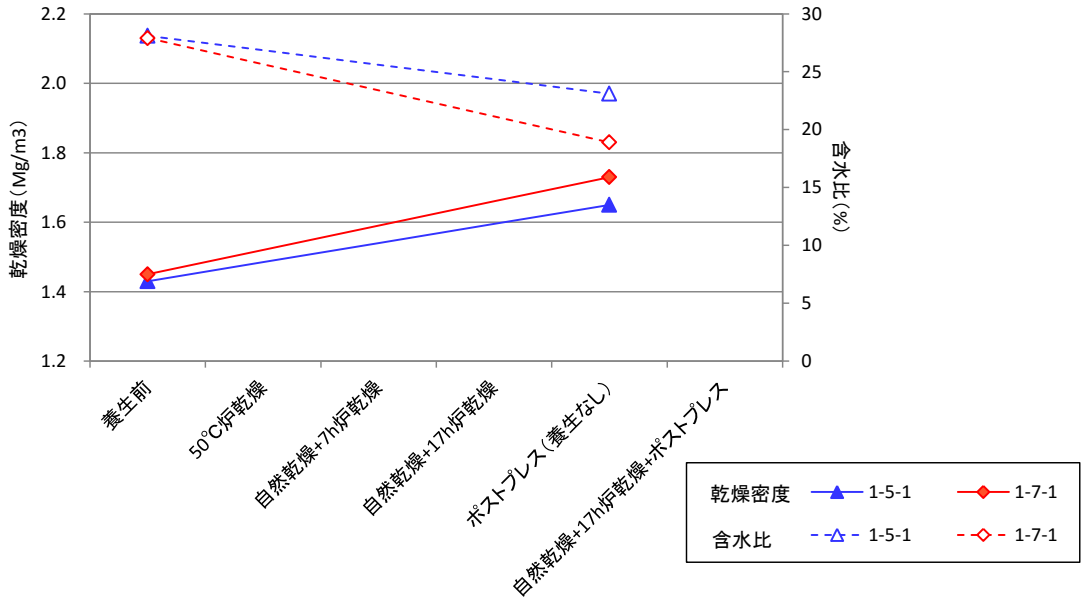


図 6.7.2-17　養生なしでポストプレスを行った場合の密度変化

続いて、圧縮ペレットの乾燥密度をとりまとめて図 6.7.2-18 に示す。載荷荷重を 70kN および 35～38kN の 2 パターンとして、含水比 6.2%の粉体ベントナイトを圧縮成型した。ペレットの高さは 10mm、5mm、2.5mm で作製した。

載荷荷重が 70kN では、供試体の高さに関わらず乾燥密度が 2.0Mg/m³以上を達成できた。35～38kN の場合は 1.8Mg/m³以上の高密度を達成しており、高さ 5mm 以下は 1.96～1.97Mg/m³

であり、ほぼ 2.0Mg/m^3 であった。載荷荷重に関わらず高さが低い程高密度が得られる結果となった。原因として高さ 10mm の圧縮ベントナイトは、除荷後に 1mm 程度のリバウンドが生じるため乾燥密度が若干低くなっている。

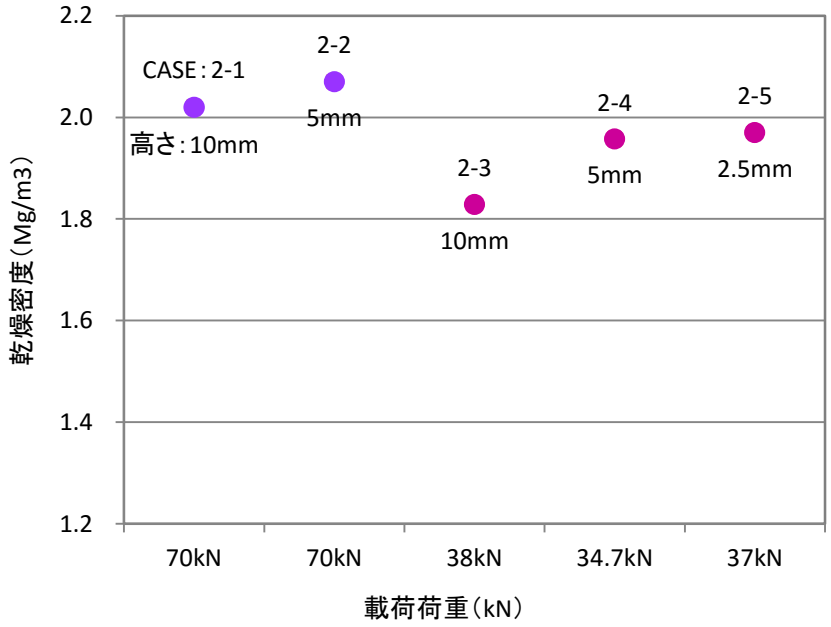


図 6.7.2-18　圧縮ペレット製造結果

・　粒径の状況

製造した各ケースのうち、小粒径と大粒径を代表するケースとして、CASE1-3-2 および CASE1-7-1（ポストプレス前）の粒度分布の確認結果を図 6.7.2-19 に示す。これら 2 つのケースは、後述する充填予備試験や施工機械に関する予備試験において使用したケースである。粒度分布を確認した結果、大粒径（CASE1-7-1）は呼び径 26.5mm 以下の割合が 98.7%、小粒径（CASE1-3-2）は呼び径 19mm 以下の割合が 100%と、目標とした 25mm 以下の材料製造をほぼ達成しているものと考えられる。

また、CASE1-7-1 のうち密度が最も高い養生したベントナイトペレットをポストプレスしたものについては、金型を使って圧縮しているため、金型サイズである 15mm に粒径が揃っている状況である。今後においても製作する金型サイズに応じた粒径を任意に設定できるものと考えらえる。

JIS A 1204
JGS 0131

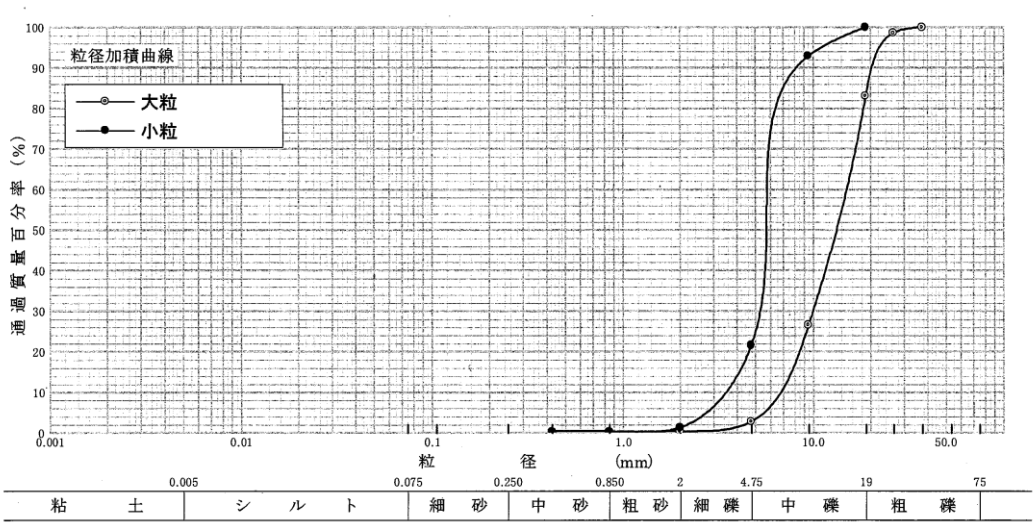
土の粒度試験（粒径加積曲線）

調査件名

試験年月日

試験者 中坪 浩太郎

試料番号（深さ）	大粒		小粒		試料番号（深さ）	大粒	小粒
ふるい分析	粒径 mm	通過質量百分率%	粒径 mm	通過質量百分率%	粗礫分 %	17	
	75		75		中礫分 %	80	78
	53		53		細礫分 %	3	21
	37.5	100.0	37.5		粗砂分 %	0	1
	26.5	98.7	26.5		中砂分 %	0	0
	19	83.0	19	100.0	細砂分 %		
	9.5	26.7	9.5	92.9	シルト分 %	0	0
	4.75	2.8	4.75	21.7	粘土分 %		
	2	0.4	2	1.4	2mmふるい通過質量百分率 %	0	1
	0.85	0.2	0.85	0.3	425μmふるい通過質量百分率 %		0
	0.425		0.425	0.3	75μmふるい通過質量百分率 %		
	0.250		0.250		最大粒径 mm	37.5	19
	0.106		0.106		60 % 粒径 D_{60} mm	15.1	5.75
	0.075		0.075		50 % 粒径 D_{50} mm	13.4	5.72
沈降分析					30 % 粒径 D_{30} mm	10.0	5.29
					10 % 粒径 D_{10} mm	6.78	3.49
					均等係数 U_c	2.23	1.65
					曲率係数 U'_c	0.977	1.39
					土粒子の密度 ρ_s g/cm³		
					使用した分散剤		
					溶液濃度，溶液添加量		



特記事項

（社）地盤工学会 6343

図 6.7.2-19 粒度分布（小粒径：CASE1-3-2、大粒径：CASE1-7-1）

(7)　試験結果のまとめ

1)　有効粘土密度（粒子としての乾燥密度）

本年度の材料製造に関する予備試験を通じて、実証試験での最終的な目標である、「乾燥密度 2.0Mg/m^3 程度のベントナイトペレットを用いて空間充填率 70%を達成し、隙間での有効粘土密度 1.37Mg/m^3 を達成する」という方針のうちの、乾燥密度 2.0Mg/m^3 のベントナイトペレット製作が可能であることを示した。造粒したベントナイトペレットを養生してポストプレスする手法と、クニゲル V1（紛体）を自然含水比でプレスする手法により実証試験での目標密度を達成できるものと考えらえる。

2)　製造した材料の粒径

粒径としては、小粒径と大粒径を代表するケースとして選定した CASE1-3-2 および CASE1-7-1（ポストプレス前）の粒度分布を確認した結果、大粒径（CASE1-7-1）は呼び径 26.5mm 以下の割合が 98.7%、小粒径(CASE1-3-2)は呼び径 19mm 以下の割合が 100%と、目標とした 25mm 以下の材料製造をほぼ達成した。

また、試験結果部分にも記載したように CASE1-7-1 のうち密度が最も高い養生したベントナイトペレットをポストプレスしたものについては、金型サイズである 15mm に粒径が揃っているおり、今後の製造過程においても製作する金型サイズに応じた粒径を任意に設定できるものと考えらえる。

6.7.3　充填予備試験

(1)　予備試験を通じて確認すべき設計要件の抽出

1)　空間への充填性

6.5 の基本設計に示したように、実証試験時において空間充填率約 70%が達成できるような充填性を材料および充填方法の両面から検討し、実現していく必要がある。本年度の充填予備試験においては、この 70%の空間充填率を最終目標として達成するために、実証試験での隙間を模擬した土槽を使用し、自然落下による充填によってどの程度の空間充填が達成可能か確認するとともに、70%の空間充填達成のための課題の洗い出しを確認項目として設定した。

具体的には、今年度の充填予備試験では高さ 1.3m に位置する開口から自然落下による充填を行って充填状況を確認し、充填度合いに粗密が生じるのであれば、それに対応する移送充填口の配置を今後の機械設計に反映することなどや、材料側において、材料の粒度分布、表面状態（含水比）等のパラメータを取得して今後の材料設計に反映することとしている。

(2)　試験概要

作製した粒状ベントナイトを使用し、室内にて充填確認の基礎実験を実施する。図 6.7.3-1 に示すように模擬 PEM および試験坑道の 1/4（下半側）を模擬した充填用設備を制作して実施した。

実証試験時には模擬 PEM と坑道壁面の間、すなわち鋼製容器と何らかのコンクリートからなる壁面との隙間にベントナイト材料を充填する計画である。この隙間を構成する壁面の粗度が、充填を行う上での重要なパラメータとなると考えており、平成 28 年度以降実施する地上試験では、模擬土槽の壁面を実証試験時に合わせた状態で試験を実施する計画である。一方、平成 27 年度の予備試験では、約 150mm という狭隘部での粒状体の充填挙動の可視化が予備試験として重要な課題であると考えており、土槽の壁面はアクリル板を用いて作成し、充填状況の可視化を試みた。（図 6.7.3-2 参照）

試験手順は以下のとおりである。

・模擬土槽を使用した充填試験

- 模擬土槽製作（サイズ約 1.3m）
- 自然落下による充填状況確認
  - ✧ 大粒径、小粒径の充填材使用
  - ✧ 大・小粒径を混合した充填材使用
- 空間充填率の確認（投入量と体積、および充填材の乾燥密度より算定）

・充填後の状況確認試験

- 注水による充填材料飽和状況の目視確認

充填対象となる隙間の模式図および寸法を図 6.7.3-1 に示す。

模擬 PEM および試験坑道の 1/4（下半側）を模擬した充填用設備（図中の赤点線部分に相当）を制作して実施した。

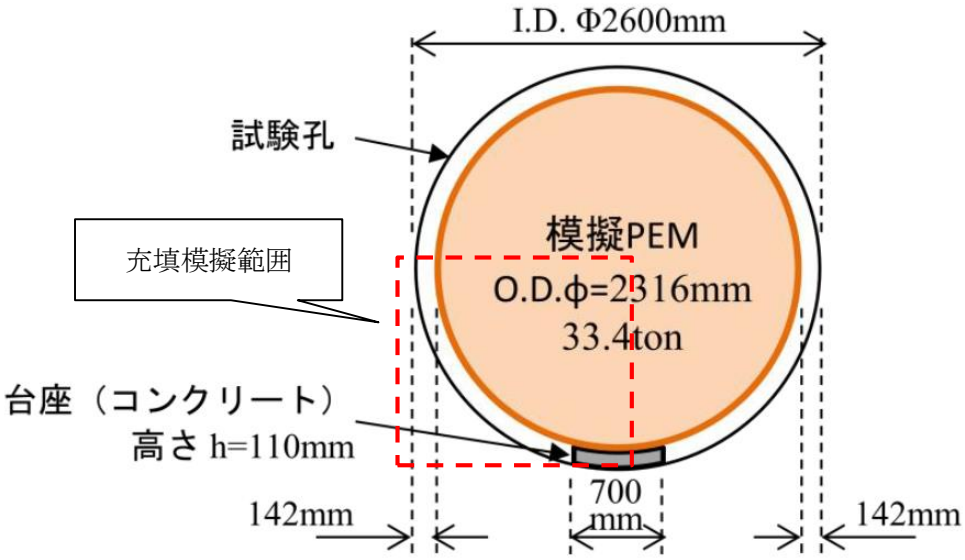


図 6.7.3-1　試験孔断面図

(3)　試験使用材料および試験装置

1)　試験土槽の製作

充填予備試験に使用する試験土槽を製作した。試験土槽の概念図を図 6.7.3-2 に示す。

平成 27 年度は、実証試験で想定される円弧上の隙間を模擬した土槽に対して、自然落下により充填材を充填させる試験を実施した。

充填挙動を確認するため、前述のとおり坑道壁面・模擬 PEM に該当する円弧部分には、透明塩ビ版を使用して隙間内部の状況が視認できる材料・構造とした。

図 6.7.3-2 に示すように試験土槽の大きさは、想定されている試験用の坑道（直径 2600mm）および模擬 PEM（直径 2316mm）をほぼ模擬した形状とする。図 6.7.3-3 および図 6.7.3-4 には、試験土槽の製作図面を示す。坑道および模擬 PEM の軸方向の長さ（試験土槽の奥行方向）は 1000mm とした（図 6.7.3-3 および図 6.7.3-4 参照）。

試験土槽の隙間体積はおよそ 290L であり、仮に充填後の乾燥密度が 1.4Mg/m^3 とすると、投入する材料の乾燥重量は 400kg 程度となる見込みである。

隙間体積 V=(1.3m×1.3m－1.15m×1.15m)×π÷4×奥行 1m＝0.289m^3

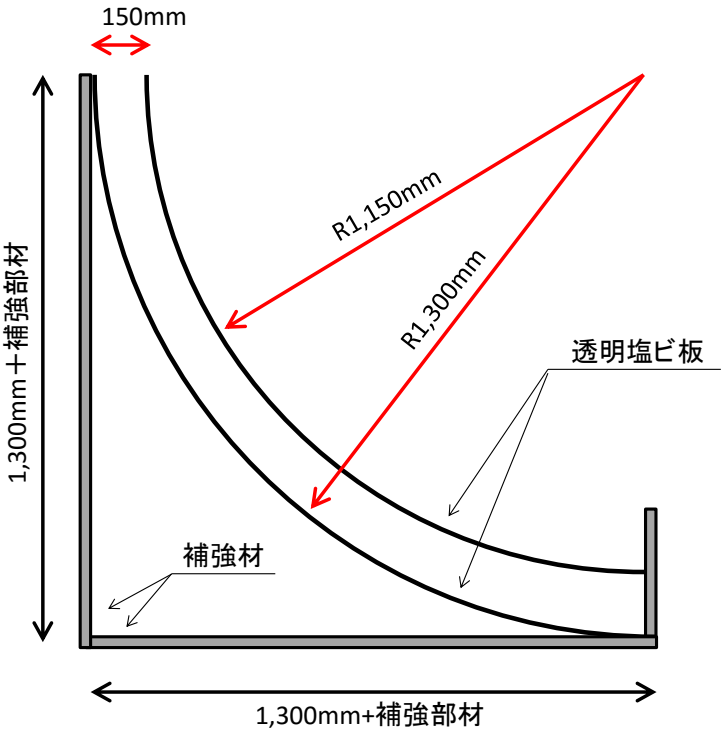


図 6.7.3-2　充填予備試験用土槽　概念図（断面）

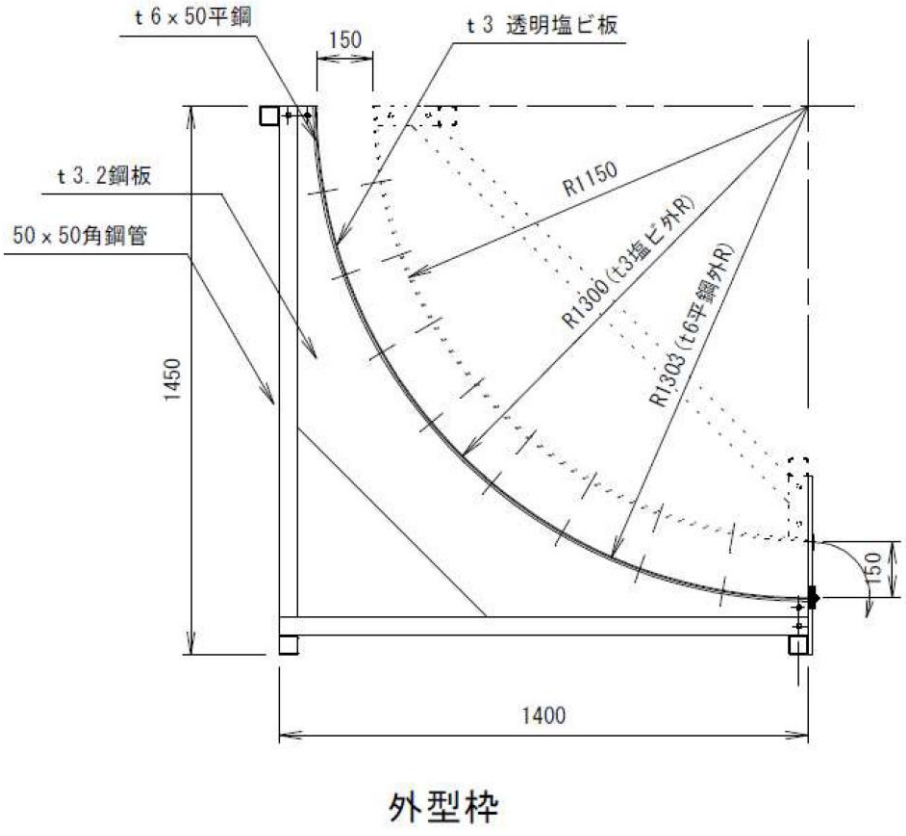


図 6.7.3-3　充填予備試験用土槽図面（外型枠）

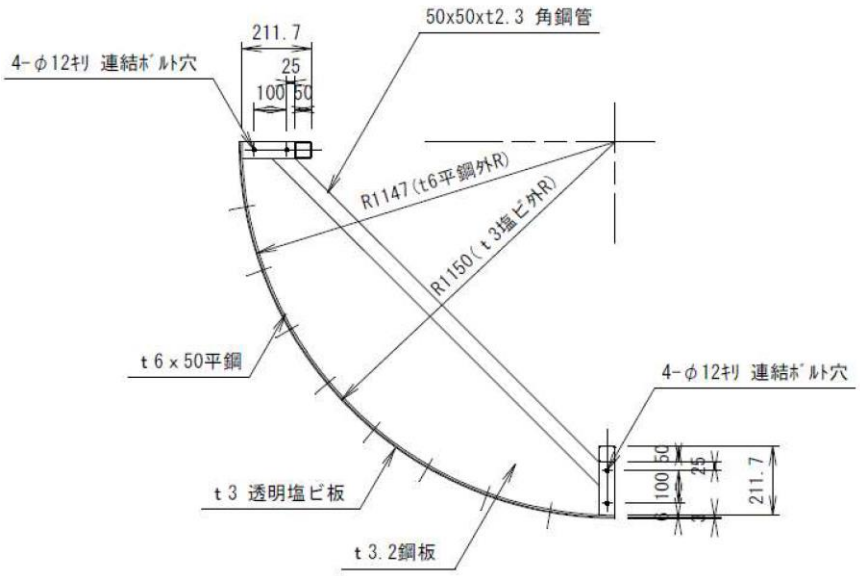


図 6.7.3-4　充填予備試験用土槽図面（内型枠）

2)　飽和確認用容器製作

試験土槽の製作と共に、直径 10cm、高さ 10cm 程度の飽和確認用容器の製作を製作した（図 6.7.3-5 参照）。

別途実施する材料製作試験で製作する粒状ベントナイトを同容器に自然落下により充填し、試験容器底部から通水することで、粒状体と粒状体の間に水が通水・浸潤する状況を確認した。

ベントナイト単体を用いた粒状物を用いるため、0.5MPa 程度の高い膨潤圧力が生じることが想定されるため、強度の高い鋼製材料で容器を製作する。

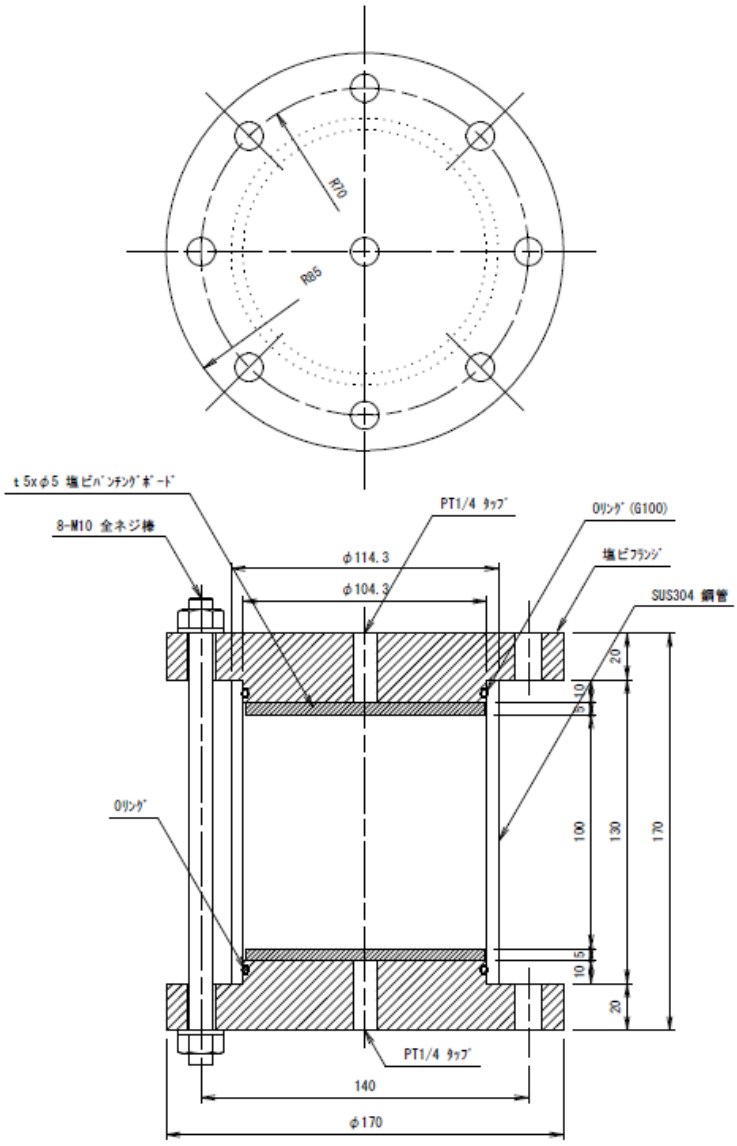

R10
R85
t 5xφ5 塩ビﾊﾟﾝﾁﾝｸﾞｶﾞｲﾄﾞ
8-M10 全ネジ棒
PT1/4 ﾀｯﾌﾟ
Oﾘﾝｸﾞ (G100)
塩ビﾌﾗﾝｼﾞ
SUS304 鋼管
φ114.3
φ104.3
Oﾘﾝｸﾞ
20
10
100
130
170
10
15
20
PT1/4 ﾀｯﾌﾟ
140
φ170

図 6.7.3-5　容器　図面

(4)　確認試験

1)　予備充填試験

(3)に示した試験土槽を用い、充填材料を投入して充填時の粒状体の挙動や空間充填率（および充填密度）を確認する試験を実施した。

2)　確認・検証項目

確認・検証する項目を以下に箇条書きにて示す。

- 充填状況

  確認方法：目視、写真撮影

- 空間充填率

  確認方法：材料の乾燥密度、投入重量および試験土槽体積から算出

空間充填率の考え方を図 6.7.3-6 に示す。充填に使用する材料によって空間がどれだけ満たされたかの判断に使用する。空間充填率で試験結果を整理することにより、材料自体の粒子密度（乾燥密度）が変わった場合にも、粒子密度と空間充填率の掛け合わせによって、容易に隙間のかさ密度（乾燥密度）を把握することができるため、空間充填率による整理を行った。

隙間充填材料の設計（6.5 参照）部分にも記載したように、国の基盤研究における既往検討事例（例えば[1][2]）を見ると、粒子密度として約 2.0Mg/m^3、空間充填率として約 70%の組み合わせによって隙間のかさ密度（乾燥密度）約 1.4Mg/m^3 を達成しており、現状の材料を使用することで設定する隙間にどの程度の空間充填率を達成できるかを把握し、課題の洗い出しを行った。

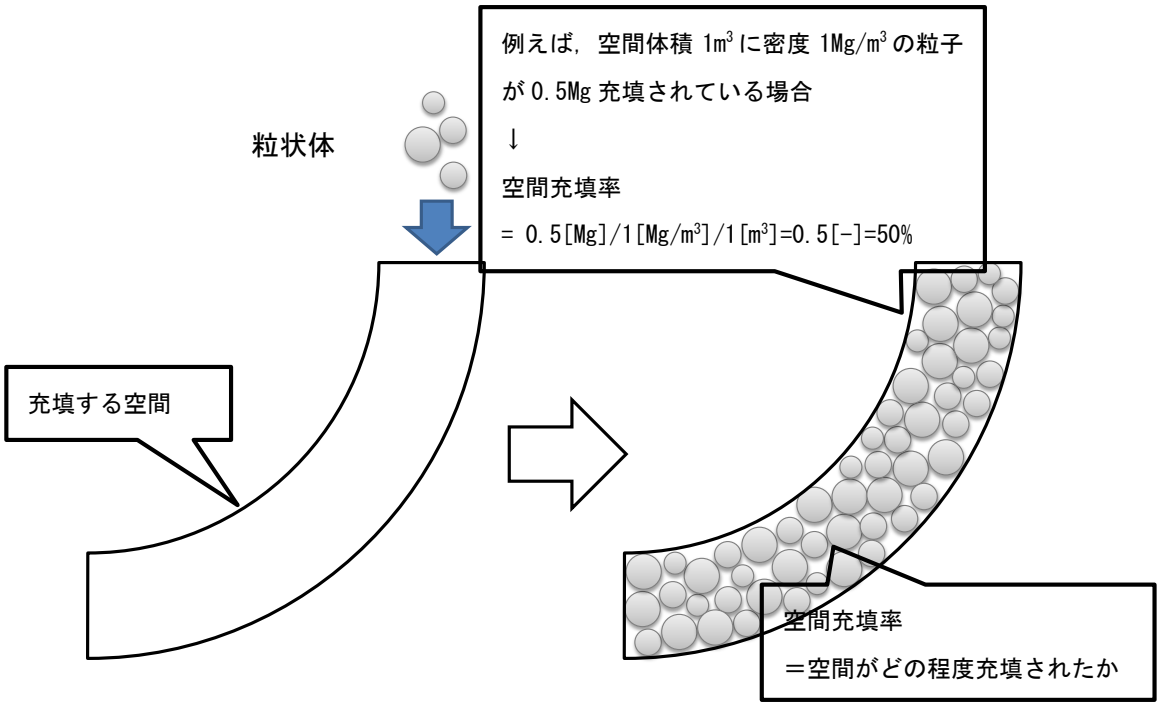


図 6.7.3-6　空間充填率の考え方

3)　実施手順

充填予備試験の実施手順を以下に示す。

・大粒径・小粒径の材料を混合（大粒径・小粒径のみ使用する場合は省略）
・充填前の容器・材料計量
・充填材料を上部開口部から投入
・充填後の容器・材料計量
・充填状況を目視確認
・充填量・充填土槽体積から空間充填率および投入密度計算

充填予備試験の試験ケースを表 6.7.3-1 に示す。粒度分布については、図 6.7.2-9 および図 6.7.3-7 に示す。

表 6.7.3-1　充填予備試験　試験ケース

ケース名	使用材料 (材料試験でのケース名)	粒子密度 （乾燥密度）	含水比	備考
		Mg/m^3	%	
1	大粒径（凡そ 25mm 以下） （CASE1-7-1）	1.45	26.3	粒度分布 ：図 6.7.2-19
2	小粒径（凡そ 10mm 以下） （CASE1-3-2）	1.45	24.2	粒度分布 ：図 6.7.2-19
3-1	大・小粒径混合	1.45	25.8	粒度分布 ：図 6.7.3-7
3-2	大・小粒径混合	1.73	8.59	粒度分布 ：図 6.7.3-7

JIS A 1204
JGS 0131

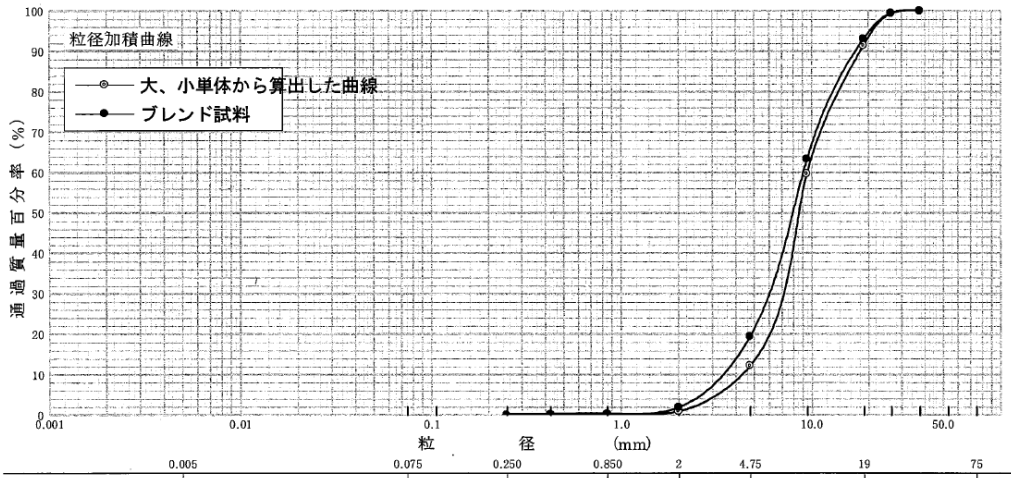
土の粒度試験（粒径加積曲線）

調査件名

試験年月日 2016年03月10日

試験者 中坪 浩太郎

試料番号（深さ）	大、小単体から算出した曲線		ブレンド試料		試料番号（深さ）	大、小単体から算出した曲線	ブレンド試料
	粒径 mm	通過質量百分率%	粒径 mm	通過質量百分率%	粗礫分 %	8	7
	75		75		中礫分 %	80	73
ふ	53		53		細礫分 %	11	18
	37.5	100.0	37.5	100.0	粗砂分 %	1	2
る	26.5	99.3	26.5	99.5	中砂分 %	0	0
	19	91.5	19	93.1	細砂分 %		
い	9.5	59.8	9.5	63.4	シルト分 %	0	0
	4.75	12.2	4.75	19.5	粘土分 %		
	2	0.9	2	1.9	2mmふるい通過質量百分率 %	1	2
分	0.85	0.3	0.85	0.1	425μmふるい通過質量百分率 %	0	0
	0.425	0.2	0.425	0.0	75μmふるい通過質量百分率 %		
析	0.250	0.0	0.250	0.0	最大粒径 mm	37.5	37.5
	0.106		0.106		60 % 粒径 D_{60} mm	9.52	9.05
	0.075		0.075		50 % 粒径 D_{50} mm	8.61	7.98
					30 % 粒径 D_{30} mm	7.16	6.01
					10 % 粒径 D_{10} mm	4.31	3.44
沈					均等係数 U_c	2.21	2.63
					曲率係数 U'_c	1.25	1.16
降					土粒子の密度 ρ_s g/cm³		
					使用した分散剤		
分					溶液濃度，溶液添加量		
析							



粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫

特記事項

（社）地盤工学会 6343

図 6.7.3-7 粒度分布（ケース 3-1、ケース 3-3）

(5)　通水・飽和状況の確認

(3)2)に示した飽和確認用容器および透水試験用充填容器に対し、充填材料を手動で充填したのち、容器底部から通水し、充填材料を飽和させた。

透水試験用装置は図に示すように透明のアクリル製容器であるため、通水時の飽和過程において、適宜通水・飽和状況を目視で確認するとともに写真撮影を実施して状況を確認した。

1)　確認・検証項目

確認・検証する項目を以下に箇条書きにて示す。

- 飽和状況

確認方法：目視、写真撮影

2)　実施手順

実施手順を以下に示す。

・大粒径・小粒径の材料を混合（表 6.7.3-1 中のケース 3-2）
・充填材料を上部開口部から投入
・充填状況を目視確認
・充填量・充填土槽体積から投入密度計算
・容器底部から通水（流量 100cc/min、ダルシー流速 3cm/min を目安とした）
・通水・飽和状況を目視、カメラで確認

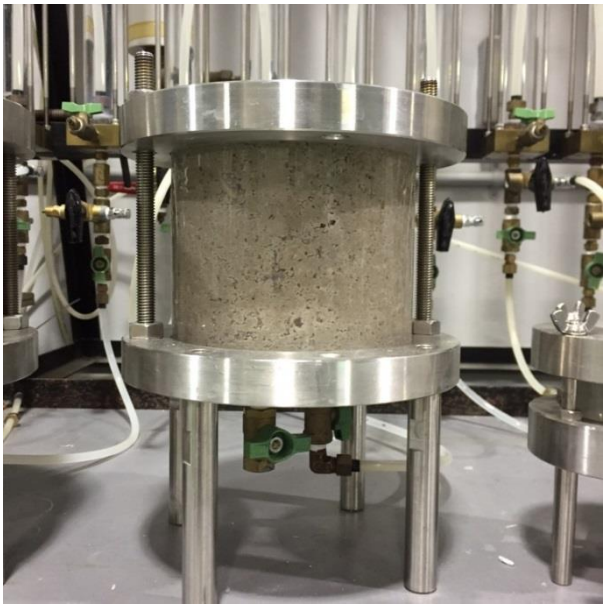


図 6.7.3-8　透水試験用容器

(6)　試験結果

1)　試験実施状況

a 充填予備試験

充填予備試験の実施状況を図 6.7.2-9～図 6.7.3-11 に示す。

製作した模擬土槽の上部開口から、人力でベントナイトペレットを投入した。

図 6.7.3-11 に示すように、充填終了時には、底部の模擬土槽端部から 60cm 程度の範囲まで、ベントナイトペレットが 15cm の土槽高さ全体に充填されない隙間部分が残っている。いずれのケースにおいても、模擬土槽内の空間全ては充填されず、ペレットで満たされない隙間部分が残っていた。この隙間の影響については 6.7.3(6)2)試験結果部分にて考察する。

図 6.7.3-9　充填予備試験　充填前の材料（ケース１）

図 6.7.3-10　充填予備試験　ペレットの投入状況（ケース 1）

図 6.7.3-11　充てん終了後の状況（ケース 1）

b 通水状況確認

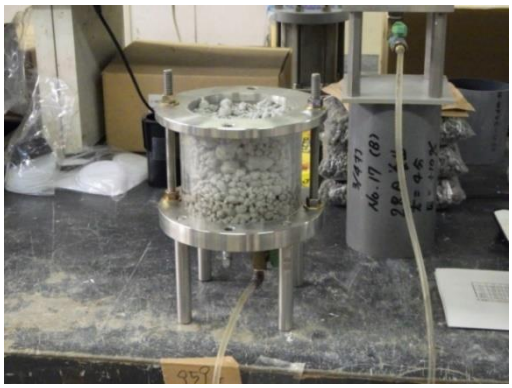
透明アクリル容器（透水試験容器）に予備充填試験におけるケース 3-2 のベントナイトペレットを自然落下のみによって充填し、水道水（上水）を通水してベントナイトペレットの初期通水状況を観察、確認した。（図 6.7.2-12 参照）

1 分間に 3cm 程度水位が上がる流速で通水を行った結果、ベントナイトペレット同士の間の空隙が、水が通るには十分大きいとことから、ベントナイトの低透水等の影響は受けず、間隙中を水が流れて 3 分後には頂部付近まで水が達した。今回使用した粒径約 2mm～25mm に分布しているベントナイトペレットを充填材として使用した場合、地下水が周辺環境から浸潤してきた場合にも、間隙部分を水が通過して間隙中が満たされ、その後、乾燥していたベントナイトペレットが徐々に膨潤して水みちを塞いでいく挙動となるものと予想される。

ただし、図 6.7.3-12 に示すように、通水 32 分後には目に見える水みちは閉塞し始め、膨潤したベントナイトが頂部の開口部分から膨張する傾向にあることから、今回の場合で 30 分かけて数 cm 程度の流速で地下水が侵入してくる場合には流速よりも膨潤速度の方が早く、地下水の侵入が妨げられる可能性が考えられる。

① 通水開始前

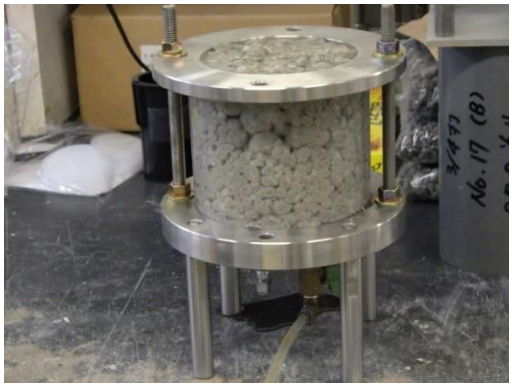
④ 通水 5 分後（流水を落として冠水完了）



② 通水一分後（水位約 3cm）

⑤ 通水 18 分後（ペレットが膨潤し始め、頂部がせり上がっている）

③ 通水 2 分後（水位約 7cm）



⑥ 通水 32 分後（ベンナイトペレットが膨潤して水みちを閉塞中）

図 6.7.3-12　透水試験容器にベントナイトペレット充填

2)　試験結果

a 充填予備試験

(a)　空間充填率

充填予備試験結果より算定した空間充填率を表 6.7.3-2 にまとめた。

含水比が 25%前後のケース 1、2、および 3-1 については、空間充填率はいずれも 50%程度であり、材料を乾燥させたケース 3-2 では約 56%の空間充填率となった。

目標として設定した 70%の空間充填率に対し、試験結果は約 8 割にとどまる結果となった。この理由および改善すべき点を表 6.7.3-3 に取りまとめた。まず大分類として、図 6.7.2-11 に示したように模擬土槽内部にベントナイトが行き渡っていない未充填部分が存在するために全体の充填効率が落ちることと、充填はされているものの密に充填していない、という 2 つに分類される。さらに、形状や表面状態などの材料に起因するものと、充填方法に関するものに分類し、それぞれ原因と考えられる改善策を記載した。なお、これらのうち、特に影響が大きい未充填部分に対する考察は 0 により詳細に記載した。

表 6.7.3-2　空間充填率　試験結果一覧表

ケース名	使用材料（材料試験ケース名）	粒子密度（乾燥密度）	含水比	総充填重量	空間充填率	備考
		Mg/m^3	%	Mg	%	
1	大粒径（CASE1-7-1）	1.45	26.3	0.263	49.7	模擬土槽体積 =0.289m^3
2	小粒径（CASE1-3-2）	1.45	24.2	0.238	45.8	
3-1	大・小粒径混合	1.45	25.8	0.254	48.3	
3-2	大・小粒径混合	1.70	9.86	0.304	56.3	

表 6.7.3-3　空間充填率向上の阻害要因と改善策

大分類	分類	項目	充填効率向上を阻害する要因	改善策と期待する効果
充填部分において密な充填が実現していない	材料特性	ペレット形状	● ペレット自体の凹凸によりペレットが転がって隙間内に広がらず、局所的に溜まってしまう ● 充填効率のよい球状のみではなく、板状や円筒状に近い形状のペレットがあり充填効率が低い	● 現状の造粒したペレットを転動ミキサなどの簡便な方法で角を取ることで、形状の改善が可能であり、充填効率の向上が期待できる ● GX など、より細かい粒度を準備することで充填効率も向上する
	材料特性	表面粘性	● 含水比が高い状態ではペレット表面が湿っており粘性が高く、ペレット同士が粘着して充填しづらい	● 乾燥されることで表面は乾いた状態になり、ケース 3-1 と 3-2 間で 8%程度充填効率改善した
	充填方法	自然落下による充填	● 自然落下のみの充填であるため、局所的なペレットの引っ掛かりなどにより局所的な閉塞箇所が生じてしまう	● 人力による簡単な加振でも充填性が上がることは視認しており、簡便な加振機構で向上可能と考える
未充填部分が存在する	材料特性	安息角	● ペレット形状が真球に近く、表面粘性が高い状態では一般に安息角が大きくなり、15cm の隙間内において材料が横方向に広がらずに閉塞してしまう	● 上述の形状、粘性の改善で安息角は小さくなる ● 安息角が小さくなることは横方向に材料が移動しやすいため、未充填部分も減ると想定される
	充填方法	自然落下による充填	● 開口部 1 箇所からの落下投入であり、横方向に材料が移動しづらい	● スクリューコンベアの吐出位置との組み合わせにより横方向の移動を最小限にするなど対応可能である

(b)　未充填部分（空隙）の分布

予備充填試験の結果、いずれのケースにおいてもベントナイトペレットが行き渡っていない未充填部分（ペレットが詰まっていない空間）が確認された。この未充填部分の影響でどの程度充填効率が落ちているか、以下の方法で検討した（図 6.7.3-13 および図 6.7.3-14 参照）。なお検討対象はケース 3-2 とした。

表 6.7.3-4 に CAD 上で算出した未充填部分の体積と、その未充填部分の体積を除いた空間充填率の計算結果を示す。ケース 3-2 の場合、未充填部分の体積は全体の約 9%にあたる 0.0258m^3 であり、未充填部分を除いた空間体積率は約 62%と計算された。

今後のこの未充填部分をより密に充填していくための方策としては、表 6.7.3-3 に記載したように安息角の小さくする方策（ベントナイトペレットの角を取る等、形状を改善すること、本年度の試験でも実施したように表面状態を乾燥させること）により水平方向へのペレットの移動を促すことや、スクリューコンベアの配置位置の工夫により、水平方向への移動距離そのものを短くすることが挙げられ、平成 28 年度以降に検討を進めていく必要がある。

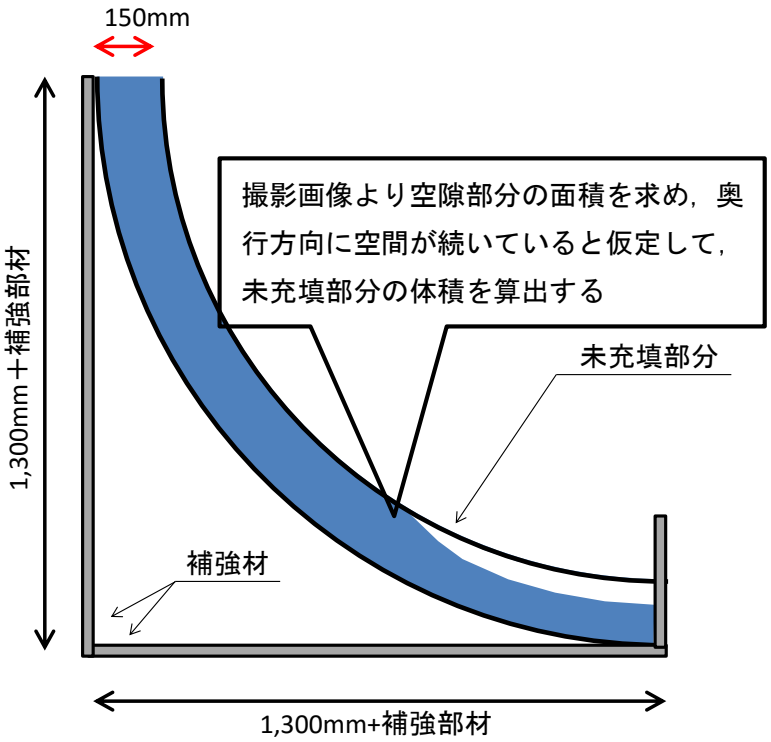


図 6.7.3-13　未充填部分算定の概念図

表 6.7.3-4　未充填部分を除いた空間充填率の算定

ケース名	3-2
材料	大・小粒径混合
粒子密度	1.70Mg/m^3
含水比	9.86%
模擬土槽体積	0.289m^3
未充填部分体積	0.0258m^3
総充填重量	0.304Mg
未充填部分を除いた空間充填率	61.8%

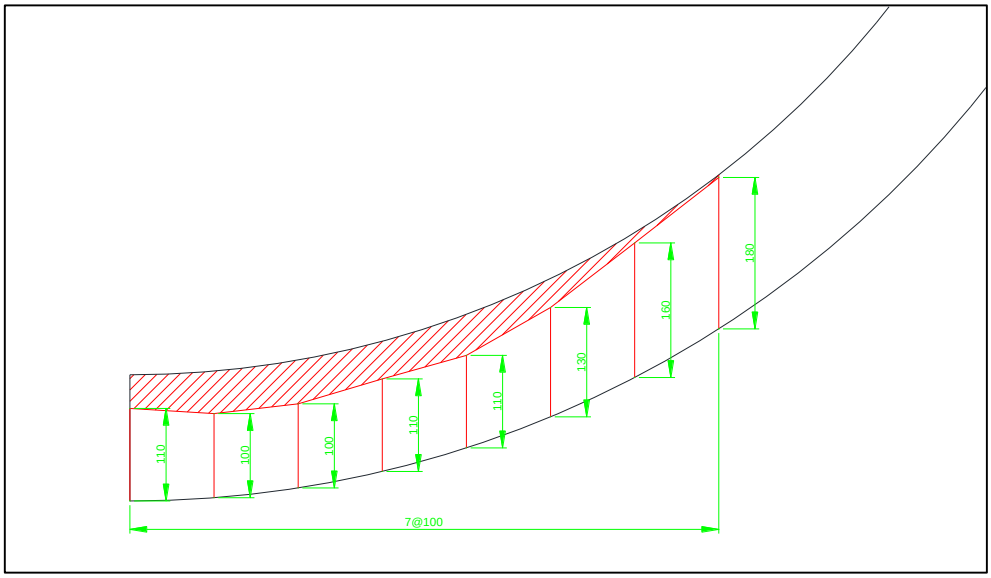


図 6.7.3-14　CAD 上に反映した未充填部分の体積（図中の赤網掛け部分）

(7)　試験結果のまとめと考察

充填予備試験を実施した結果、最終的な実証試験時の目標である空間充填率 70%に対し、最大で約 56%（目標の約 8 割）の空間充填率となった。また、15cm の想定隙間のうち最下部の水平部分には材料で満たされない未充填部分が確認された。

これらは、今後、表 6.7.3-3 および表 6.7.3-4 に取りまとめた改善策を採用していくことで、原位置での実証試験時における空間充填率 70%の達成が可能と考えらえる。

6.7.4　施工機械に関する予備試験

試験用隙間充填装置への要求機能をもとに、予備試験で確認が必要な項目を整理し、（充填材仕様や）装置設計、製作に必要な予備試験を、スクリューコンベア試作機を用いて実施した。

(1)　スクリューコンベア試作機を用いた予備試験で確認すべき設計要件の抽出

6.6.2(1)に示した充填装置に対する要求機能に基づく設計要件及び具体化した設計条件から、予備試験で確認すべき機能とその具体的な方法について検討する。

1)　移送可能距離の確認

設計条件より、PEM1 体に対して 5.7m 以上の移送距離が必要であることから、基本設計において、定置された PEM と充填装置との施工安全からの離隔の確保や、充填性の向上、粒度分布のばらつき抑制等を考慮し、充填材供給部からコンベア先端の排出口までを 7.0m 程度と設定した。したがって、7.0m を予備試験のための試作機で確認する移送距離の設定根拠とする。

移送可能との判断は基本的に「投入した充填材が移送経路内に滞ることなく排出される」ことをもって行う。

予備試験の結果、7.0m の移送可能性が確認できた場合は、試験結果を総合的に判断して、さらなる延長が可能かどうか、その場合に必要となる対策について検討を行い、課題として整理する。

2)　充填材移送機能の確認

移送された充填材の特性が制御されていること、排出された充填材に（充填材の性能に依存しない範囲で）ある程度高い充填密度が確保されていること、実用的な移送速度が得られることを確認する。充填装置に要求される充填材移送機能を下記のように予備試験で確認する。

a 排出された充填材の粒度分布が投入時と大きく変わっていないこと。

投入材と排出材の粒度分布を測定し比較評価する。また、この分布が移送時間（たとえば、排出初期とそれ以降など）で異なる可能性がある場合は、時間依存についてもデータを取得する。これは、実操業時に充填位置による充填材特性の差異がどの程度見込まれるかの検討情報になる。

b 排出された充填材の充填密度の確認。

投入前と排出後の密度を比較。ただし、現時点では、充填材の性能による改良分は比較で

きないことと、排出・充填条件が原位置試験の実際を反映できないことから、移送により密度が大きく低下しないかどうかを確認するにとどめる。

c 実用的な移送速度が得られること。

単位時間当たりの移送・排出量を測定する。このデータを基に、詳細設計における仕様（たとえばアームの本数、スクリューの仕様など）設定を行う。そのためには、移送速度に影響するパラメータ（たとえば回転速度、スクリューのピッチ、投入口の寸法など）を試験の対象とした。

先に、複数ユニットを組み合わせる場合の充填量の制御の可能性について述べたが、投入口の寸法をパラメータとして投入可能量を規定することで、この制御が可能かどうかの目途を立てる意味もある（予備試験で確認する移送システムの能力と供給システムからの供給量の関係が影響するので、試験前のパラメータ設定は仮定に基づくことになる）。

さらに、実操業時を想定して、投入から排出開始までの時間、排出量の時間依存性についてもデータを収集した。この意味は、いくつかの充填方式では、充填しながら装置を後退させるようなオペレーションを行うことが想定されるが、その後退のタイミングを事前にある程度信頼できる精度で設定して、充填に必要な時間を事前に見積ることと、先端が目視できない場合の状況の予測精度向上ためである。なお、実際の後退オペレーションの判断情報としては、充填材からスクリュー・フィーダーが受ける反力も合わせて使用されていると考えらえる。

3) 移送状況の確認

移送が移送量に影響されずに円滑に行われているか、動力源に過大な負荷がかかっていないかなどを、目視、音、電流の制御状況などをもとに評価した。

(2) 試験概要

1) 充填に使用するスクリューコンベアの試作

スクリュータイプ（軸ありタイプ・軸なしタイプ）、スクリューピッチ、スクリュー回転速度などをパラメータとしたスクリューコンベアの試作を行った。

2) 試作したスクリューコンベアを用いた予備試験計画

スクリューコンベアの種類、スクリューピッチ、スクリュー回転速度などをパラメータとし、以下の確認試験、データ採取を行った。

・設定した移送距離の移送の可否の確認
・移送前後の粒度分布の確認
・移送前後の密度変化の確認
・移送速度の確認

3) 充填パイプ支持機構の検討

何らかのパイプ形状の充填材移送機構を使用するため、それらを所定の位置に挿入・引抜を行う必要がある。挿入・引き抜き機構として、例えば狭隘部における自在走行機構（ゴムタイヤ）

方式を有するベアリング方式の充填パイプ支持機構を試作する。

(3)　スクリューコンベアの試作

スクリューコンベアは、軸ありタイプと軸なしタイプを製作した。

コンベア内径等については、まず予備試験としてそれぞれ 1 ケースを設定して試作し、移送状況を確認して平成 28 年度以降の設計に反映する。

1)　　スクリューコンベア（軸あり）試作機の設計・製作

a 基本形状

スクリューコンベアの基本外形寸法は、基本設計のとおり 90A（外径：φ101.6mm）×長さ 7 m程度とした。

コンベアパイプ内径とスクリュー軸については、基本設計より、充填材粒径以上の空間の確保、コンベアパイプとスクリュー軸の剛性の確保と摩擦抑制を考慮し、コンベアパイプ（90A）には、Sch40（近似厚さ 5.7 mm）、スクリュー軸には、Sch160 の 25A（外径 34 mm、近似厚さ 6.4 mm）を用いることとした。

コンベアパイプとスクリュー軸間の空間は図 6.7.4-1 に示すとおり 28 ㎜程度となる。

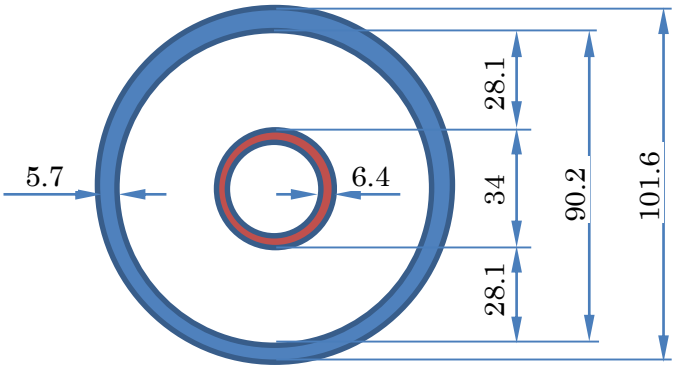


図 6.7.4-1　スクリューコンベア（軸あり）断面概略図

b スクリュー外径とスクリューピッチ

スクリューピッチについては、移送効率への影響を確認するため、一般的なコンベアパイプ内径とスパイラピッチの比（1：1/2～2 程度）を考慮しつつ、2 種類のスクリューを製作した。

本試作においては、スクリュー径×ピッチ：φ80 mm×70 mm、φ80 mm×140 mm の 2 種類で移送速度のスクリューピッチ依存性を確認することとした。

c スクリュー回転速度の設定

スクリュー回転数は、移送速度に大きく影響を及ぼすものと想定されるが、回転数の増加に伴う、充填材供給性能とのアンバランスや何らかの要因による移送効率低下も想定される。

PEM1 体あたり 4.5m³（充填密度 1.37 として約 6.17 t）の充填材をスクリューコンベア 5 本

によって 8 時間（作業効率 80%）で充填することを想定した場合、スクリューコンベア 1 本当たり、2.3L/min（充填後密度 1.37 として約 3.2kg/min 以上）の移送能力が必要となる。

移送時のパイプ内の充満率を 70%と設定し、スクリューピッチによらず周波数が同一であれば、設計移送速度（単位時間当たりの見掛けの移送容積）が同一となるよう、それぞれのスクリューに対してギア比を設定（ピッチ 70 mm のスクリューは、ピッチ 140 mm のスクリューの 2 倍の回転数となるように設定）し、駆動モータ運転時の周波数調整（インバータ制御）による設計移送速度を表 6.7.4-1　減速機付モータ周波数の軸回転数および設計移送速度の換算となるように設計した。

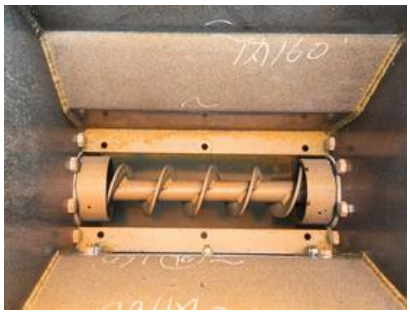
表 6.7.4-1　減速機付モータ周波数の軸回転数および設計移送速度の換算

スクリューピッチ (mm)	モータ周波数 (Hz)	スクリュー回転数 (rpm)	設計移送速度	
			L/min (充満率 70%の場合)	kg/min (密度 1.37 の場合)
70	20	8.4	1.7	2.3
	40	16.8	3.4	4.7
	80	33.6	6.8	9.3
140	20	4.2	1.7	2.3
	40	8.4	3.4	4.7
	80	16.8	6.8	9.3

d 供給部開口

スクリューコンベアへの充填材投入部の開口については、充填材の供給過多による移送効率の低下や、供給と排出のアンバランスによる移送効率の低下の可能性を想定し、4 種類の開口面積によって、移送効率への影響を確認した。

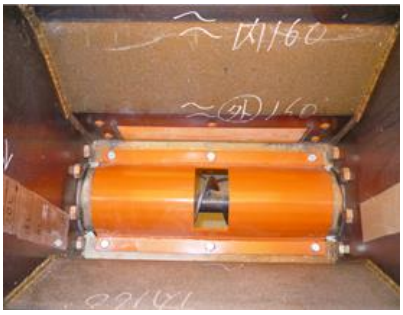
図 6.7.4-2 に、設定した投入部の外観を示す。



LL：300 mm×115 mm

LL：200 mm×90 mm

M：100 mm×90 mm



S：50 mm×90 mm

図 6.7.4-2　スクリューコンベア（軸あり）開口パターン

以上より設計したスクリューコンベア（軸あり）試作機の設計概要図を図 6.7.4-3 に示す。

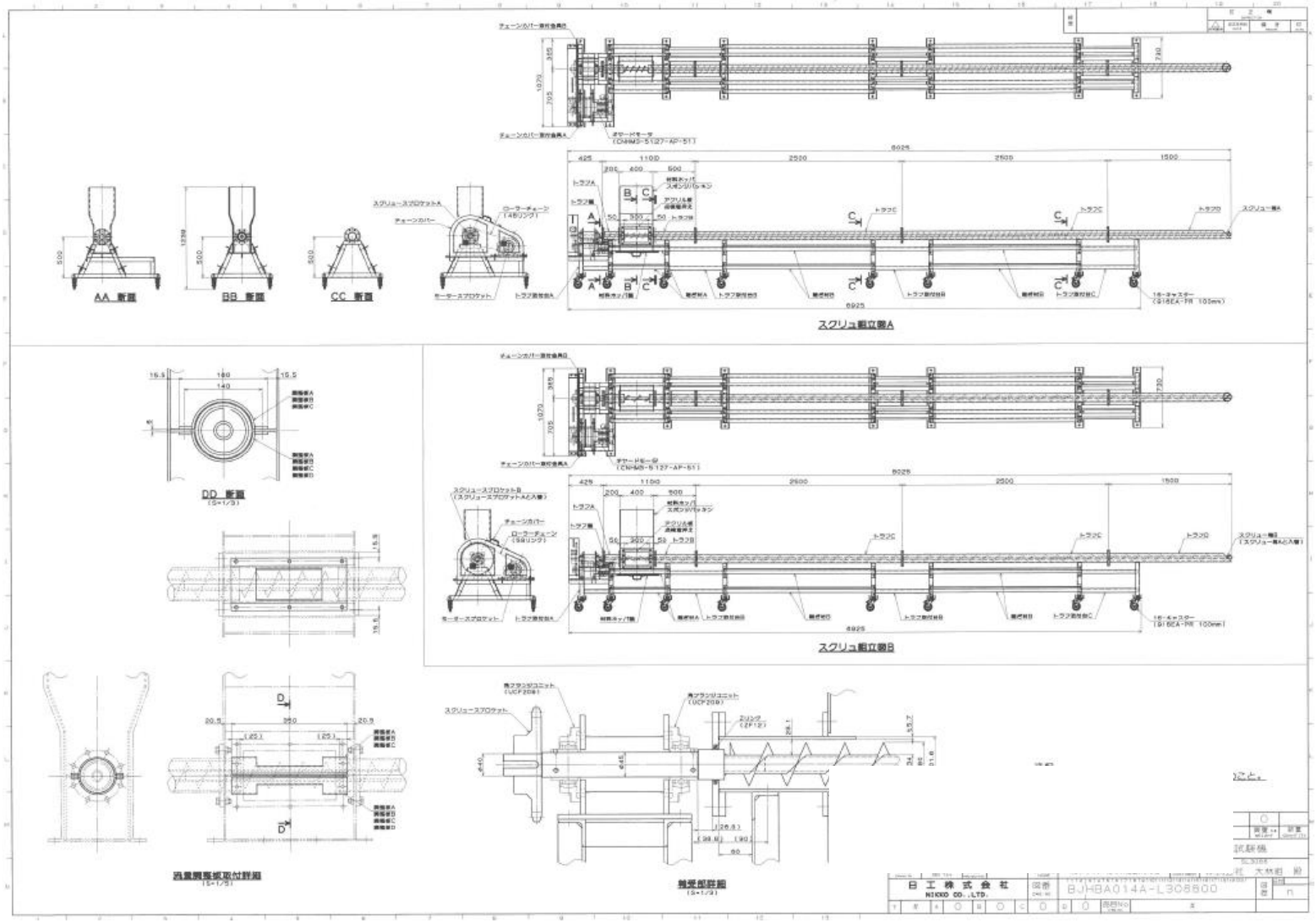


図 6.7.4-3　スクリューコンベア（軸あり）試作機設計概要図

2)　スクリューコンベア（軸なし）の試作

スクリューコンベア（軸なし）は、コンベア中心の回転軸（シャフト）を無くした構造のスクリューコンベアである。シャフトが無いため、本業務で使用するベントナイト系材料のような粘性の高い材料を使った場合にも付着や噛みによるパイプの閉塞が少なくなるという利点がある。また、コンベアの両端部に軸受けが無いためパイプの接続に制限がないという利点もある。そこで、軸なしタイプのスクリューコンベアの試作も実施した。

試作においては、シャフトの体積分小型化が可能と見込んでいるため、基本内径を 80mm とする。また、スクリューピッチについては、2 ケースを設定して試作を行った。

a 基本形状

スクリューコンベア（軸なし）の基本形状（断面図）を図 6.7.4-4 に示す。

設計条件より処分坑道と PEM の隙間は 110～174mm となる。（シャフト付きと同様）

シャフト有りに比べてシャフトを省略できる分、パイプ内の空間を有効に使用することができるため、外径が 89.1 mm の 80A のパイプ（内径 80 mm 程度）を用いることとした。

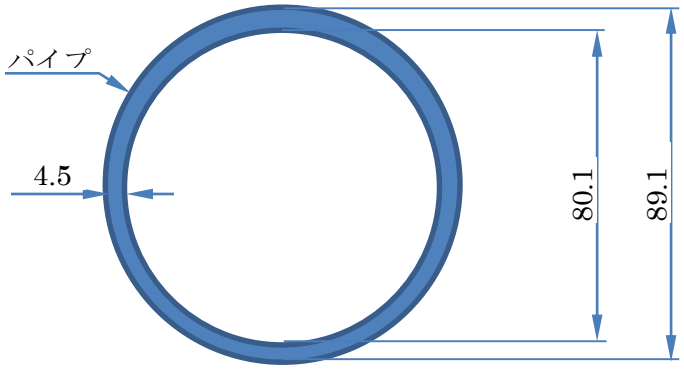


図 6.7.4-4　スクリューコンベアパイプ断面概略図

b スクリュー外径とスクリューピッチ

シャフト付きと同様に、標準的なパイプ径：スクリューピッチ＝1：1～1：2 程度を勘案し、パイプ径×ピッチ：φ80 mm×P105 mm およびφ80 mm×P210 mm の 2 種類を製作した。

c スクリュー回転速度の設定

スクリューコンベア（軸あり）と同様に、PEM1 体あたり 4.5m³（堆積密度 1.37 として約 6.17 t）の充填材をスクリューコンベア 5 本によって 8 時間（作業効率 80%）で充填することを想定した場合、スクリューコンベア 1 本当たり、2.3L/min（充填後密度 1.37 として約 3.2kg/min 以上）の移送能力が必要となる。

スクリューコンベア（軸なし）は、シャフト付き（軸あり）に比べて一般に充満率が落ちることから、移送時のパイプ内の充満率を 30%と設定し、2 種類のスクリューに対し、減速機付モータのとのギア比を設定し、駆動モータ運転時の周波数調整による設計移送速度を表 6.7.4-2　減速機付モータ周波数の軸回転数および設計移送速度の換算となるように設計した。

表 6.7.4-2　減速機付モータ周波数の軸回転数および設計移送速度の換算

スクリューピッチ（mm）	モータ周波数（Hz）	スクリュー回転数（rpm）	設計移送速度	
			L/min（充満率 30%の場合）	kg/min（密度 1.37Mg/m^3 の場合）
105	25	11.25	1.8	2.4
	50	22.5	3.6	4.9
210	25	11.25	3.6	4.9
	50	22.5	7.1	9.8

以上より設計したスクリューコンベア（軸なし）試作機の設計概要図を図 6.7.4-5 に示す。

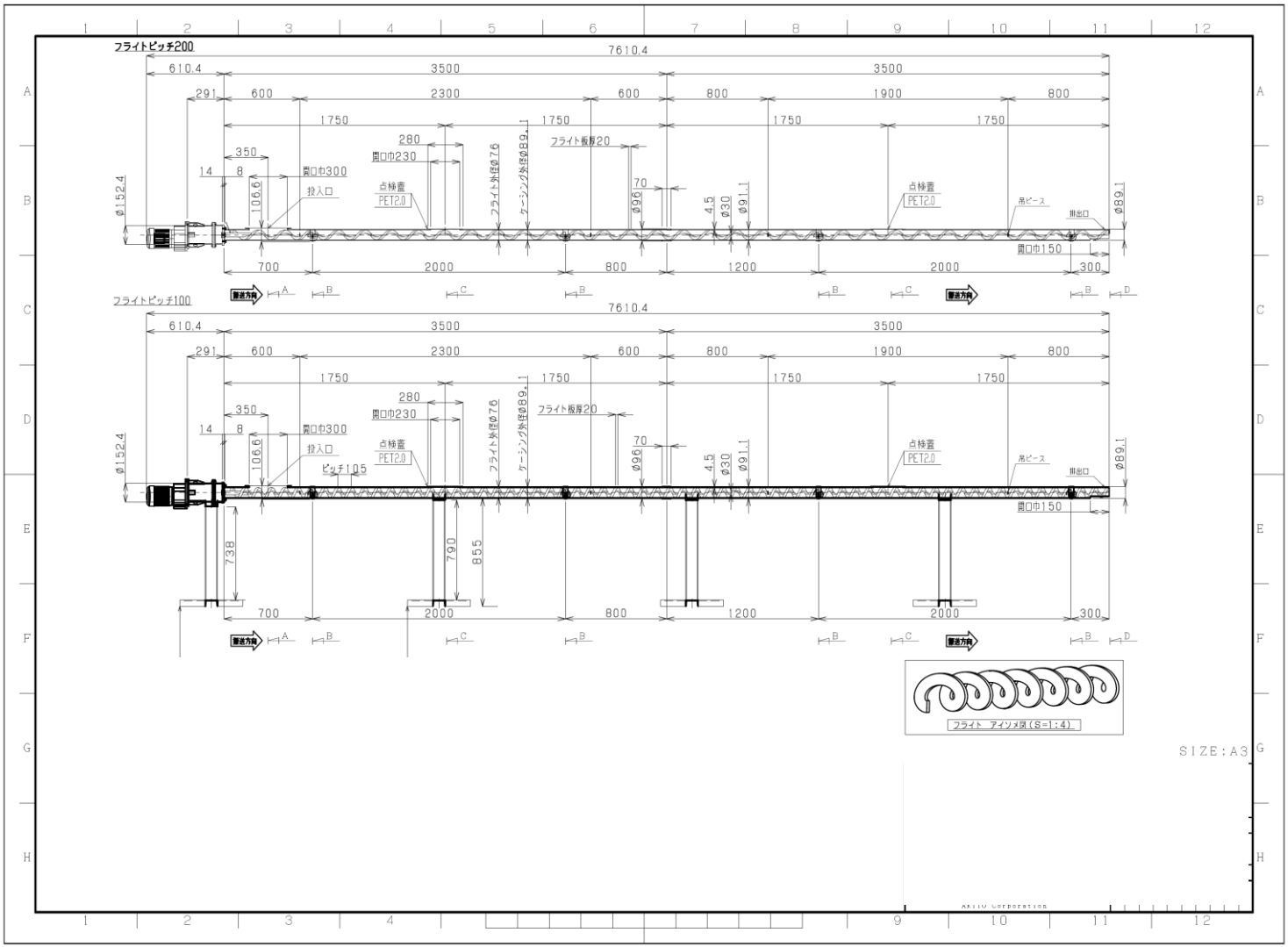


図 6.7.4-5　スクリューコンベア（軸なし）試作機設計概要図

(4)　予備確認試験実施計画

スクリューコンベア試作機を用いた移送確認試験では、①スクリュー形状、②スクリューピッチ、③スクリュー回転数、および④投入部ホッパー開口形状をパラメータとして試験パターンを設定し、移送の可否および、所要の移送速度を確保できることを確認すること（基本設計の妥当性の裏付けを取ること）を目標とした。

現時点での生産効率より、造粒ペレットを用いた多くの試験ケースの実施が困難なため、造粒ペレットの原材料として用いられているクニゲル GX を用いた移送予備試験についても実施し、移送状況や移送効率、移送前後の材料の状態を調査した。

1)　予備試験の実施手順

表 6.7.4-3　移送予備試験実施フローに予備試験の実施手順、試験のポイントおよび注意・確認事項を示す。

表 6.7.4-3　移送予備試験実施フロー

試験実施手順		試験のポイント	注意・確認事項
⓪	慣らし運転の実施	・充填材を投入せずに空運転（回転数を徐々に上げる） ・充填材を投入し、周波数を徐々に上げていき、運転状況を確認する。	慣らし運転後は、コンベア内充填材を撤去、清掃する
①	ホッパー内を充填材で満たす	・初期投入量（容積、重量）を記録する	
②	所要移送能力に近いスクリュー回転速度でのパイプ内の初期充填状況を確認する	・出口からの排出確認時に移送を中断し、パイプ内充填材の量（充満率）を確認する	
③	移送を再開し、ホッパー内に充填材を補充しながら引続き移送試験を行う	・1 分間毎の排出量（質量）、排出充填材のかさ密度を 1~2 分毎に 10～20 分間程度測定し、経時推移を確認、記録する	移送不能となった場合は、途中でも終了し、次の試験パターンに移行する
④	スクリュー回転速度を変更して、①～③を実施する	・	条件を変更する場合は、都度パイプ内を清掃する
⑤	ホッパー開口を変更して、①～④を実施する	・	
⑥	スクリューピッチを変更（スクリューを交換）して、①～⑤を実施する	・	

2)　試験データの整理

a 移送前後の移送材料の状態確認

使用材料の初期含水比、使用前後の粒度分布、および参考値としてかさ密度を測定した。

b 設定したパラメータの移送効率への影響のの確認

移送効率の、スクリューピッチ、スクリュー回転数、充填剤供給部の開口への依存性を確認するため、各試験ケースにおける移送速度の経時変化を記録した。

c パイプ内充満状況の確認

移送速度が安定した状態でのパイプ内充満率は、移送速度とともに移送効率の指標となり、かつ移送時の充填材の状態を推測する材料となる。

充填材が排出され始めた時点および移送終了時のパイプ内のおおよそ充満率を一定条件のもとで算出した。

(5)　予備試験結果

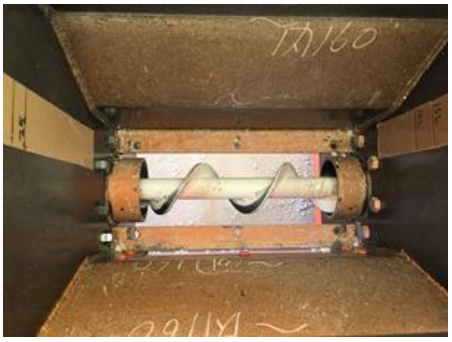
1)　施工機械に関する予備試験

a スクリューコンベア（軸あり）の試作

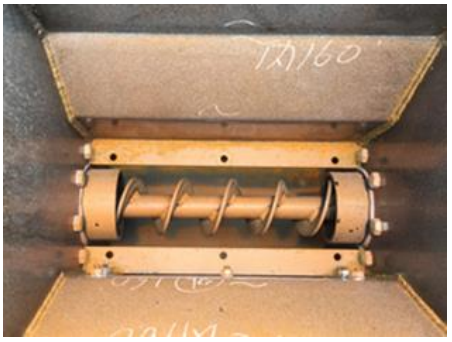
図 6.7.4-3 に示した設計図のとおり試作機を製作した。

製作したスクリューコンベア（軸あり）の試作機を図 6.7.4-6 に示す。

スクリューコンベア（軸あり）試作機全景

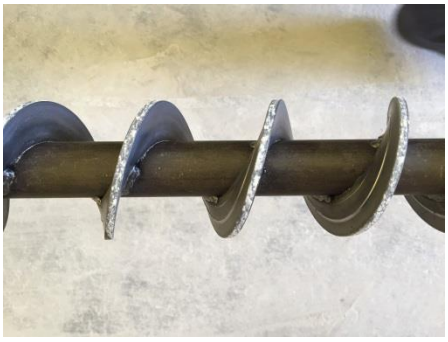


140mm ピッチスクリュー仕様



70 mm ピッチスクリュー仕様

140 mm ピッチスクリュー



70 mm ピッチスクリュー

図 6.7.4-6　スクリューコンベア（軸あり）試作機

b スクリューコンベア（軸なし）の試作

スクリューコンベア（軸なし）についても、図 6.7.4-5 に示した設計図のとおり試作機を製作した。

製作したスクリューコンベア（軸なし）の試作機を図 6.7.4-7 に示す。

また図 6.7.4-8 にはタイヤによるスクリューコンベア外管（充填パイプ）の支持機構の試作結果を示す。

スクリューコンベア（軸あり）試作機全景

210mm ピッチスクリュー仕様

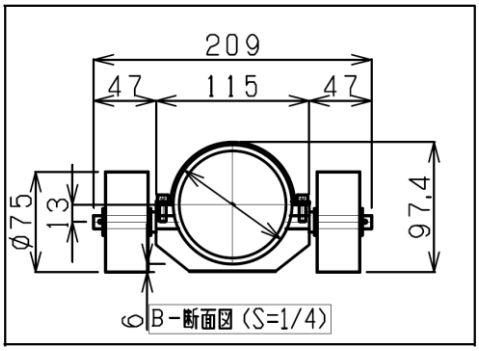
105 mm ピッチスクリュー仕様

210 mm ピッチスクリュー

105 mm ピッチスクリュー

図 6.7.4-7　スクリューコンベア（軸なし）試作機

全体写真



断面方向写真　　製作図面

図 6.7.4-8　充填パイプ支持機構の試作結果

2)　移送予備試験

a スクリューコンベア（軸あり）を用いた移送予備試験

(a)　実施試験ケース

実施した試験ケースを表 6.7.4-4 に示す。

表 6.7.4-4　実施試験ケース

	実施試験ケース	試験条件			
		移送材料	スクリューピッチ	開口寸法	設計回転数
1	GX70L40	クニゲル GX	70mm	L：200 ル L4	16.8rpm(40Hz)
2	GX70L60	クニゲル GX	70mm	L：200 ル L6	25.2rpm(60Hz)
3	GX70M40	クニゲル GX	70mm	M：100 ル M4	16.8rpm(40Hz)
4	GX70S40	クニゲル GX	70mm	S：50 ゲル S	16.8rpm(40Hz)
5	GX70S80	クニゲル GX	70mm	S：50 ゲル S	33.6rpm(80Hz)
6	GX70L80	クニゲル GX	70mm	L：200 ル L8	33.6rpm(80Hz)
7	GX140L40	クニゲル GX	140mm	L：200 ル 00	8.4rpm(40Hz)
8	GX140L80	クニゲル GX	140mm	L：200 ル 00	16.8rpm(80Hz)
9	GX140L60	クニゲル GX	140mm	L：200 ル 00	12.6rpm(60Hz)
10	GX140S80	クニゲル GX	140mm	S：500 ル 0	16.8rpm(80Hz)
11	T140LL80	造粒ペレット	140mm	LL：315 レット 8	16.8rpm(80Hz)
12	T140LL80	造粒ペレット	140mm	LL：315 レット 8	16.8rpm(80Hz)
13	GX140LL80	クニゲル GX	140mm	LL：315 ル 0LL	16.8rpm(80Hz)
14	GX140LL80（倍速ギア）	クニゲル GX	140mm	LL：315 ルア）L	33.6rpm(80Hz)
15	T140LL40	造粒ペレット	140mm	LL：315 レット 4	8.4rpm(40Hz)
16	GX70LL80	クニゲル GX	70mm	LL：315 ル LL8	33.6rpm(80Hz)
17	T70LL40	造粒ペレット	70mm	LL：315 レット 0	16.8rpm(40Hz)
18	T70LL80	造粒ペレット	70mm	LL：315 レット 0	33.6rpm(80Hz)
19	GX70LL80	クニゲル GX	70mm	LL：315 ル LL8	33.6rpm(80Hz)
20	T70LL80	造粒ペレット	70mm	LL：315 レット 0	33.6rpm(80Hz)

(b)　移送材料の初期状態の確認

移送材料の初期状態の確認として、クニゲル GX 及び造粒ペレットの含水比、かさ密度（参考値※）、粒度分布の測定を実施した（※かさ密度を参考値としたのは、材料の締まり具合が同じであっても、厳密には容器形状によって単位体積あたりの空隙量が変化するため）

それぞれの結果を表 6.7.4-5、表 6.7.4-6 に示す。

①　含水比

表 6.7.4-5　移送物の初期含水比

移送材料		クニゲル GX			造粒ペレット		
サンプル番号		1	2	3	1	2	3
容器+湿潤材料質量	ｍａ	1654.1	1653.9	1646.8	2799.7	4866.4	4619.8
容器+乾燥材料質量	ｍｂ	1566.4	1565.9	1557.4	2352.4	4145.4	3955.8
容器質量	ｍｃ	651.6	647.4	636.9	640.5	1436.5	1468.2
含水比	W	9.6%	9.6%	9.7%	26.1%	26.6%	26.7%
含水比平均	**W**	**9.6%**			**26.5%**		

②　かさ密度

表 6.7.4-6　移送物の移送前かさ密度（参考値）

移送材料	クニゲル GX			造粒ペレット		
サンプル番号	1	2	3	1	2	3
容器質量(g)	160.6	160.6	160.6	164.3	164.3	164.3
容器+材料質量（g）	1116.2	1113.7	1123.2	847.1	853.9	852.7
材料質量（g）	955.6	953.1	962.6	682.8	689.6	688.4
体積（cm^3）	774.6	774.6	774.6	776.9	774.6	774.6
単位体積質量(g/cm^3)（かさ密度）	1.234	1.230	1.243	0.879	0.890	0.889
単位体積質量平均(g/cm^3)（かさ密度平均）	**1.236**			**0.886**		

③　粒度分布

クニゲル GX については JIS1204 土の粒度試験に準拠して粒度試験を実施した。但し、粒子の形状変化を抑制するため、乾燥・加水を行わずに実施した。

造粒ペレットについては、目視上比較的微細な粒径のものが少ないこと、含水比が高く脆いため、ふるいへの付着や粒子の形状変化が発生することから、19.00mm、9.50mm、4.75mm、2.00mm の 4 種のふるいにより簡易的に実施した。

表 6.7.4-7　クニゲル GX 使用前材料の粒度試験結果

クニゲル GX 粒度試験結果		
サンプル重量（g）	4448.5	
ふるい（mm）	加積残留試料質量（g）	通過百分率
9.500	22.2	99.5%
4.750	922.2	79.3%
2.000	1979.4	55.5%
0.850	2806.5	36.9%
0.425	3407.1	23.4%
0.250	3802.0	14.5%
0.106	4246.5	4.5%
0.075	4339.2	2.5%
通過分	1642.0	

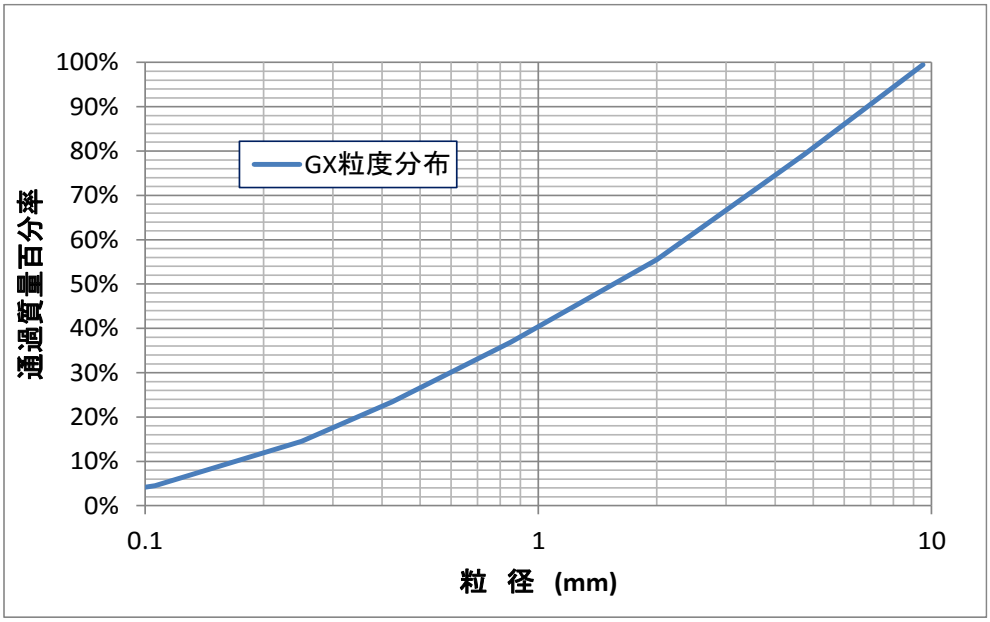


図 6.7.4-9　クニゲル GX 使用前材料の粒度分布

表 6.7.4-8　造粒ペレット使用前材料の粒度試験結果

造粒ペレット粒度試験結果		
サンプル重量（g）	8741.2	
ふるい（mm）	加積残留試料質量（g）	通過百分率
19.000	53.0	99.4%
9.500	2293.2	73.8%
4.750	7500.1	14.2%
2.000	8655.4	1.0%
通過分	85.8	

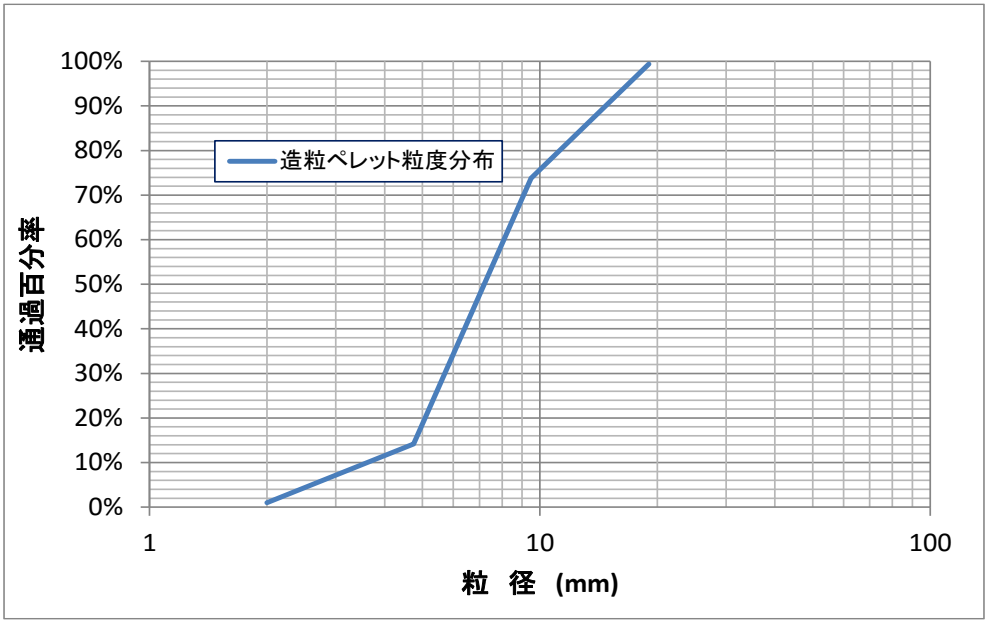


図 6.7.4-10　造粒ペレット使用前材料の粒度分布

(c)　移送効率の投入部開口面積への依存性の確認

クニゲル GX を用いて実施した試験ケースのうち、充填材投入部開口面積のみをパラメータとした各試験ケースの移送速度の経時変化の比較により、開口面積の違いによる移送効率への影響を確認した。

比較ケースを以下に示す。

①GX70L40、GX70M40、GX70S40

②GX70LL80、GX70L80

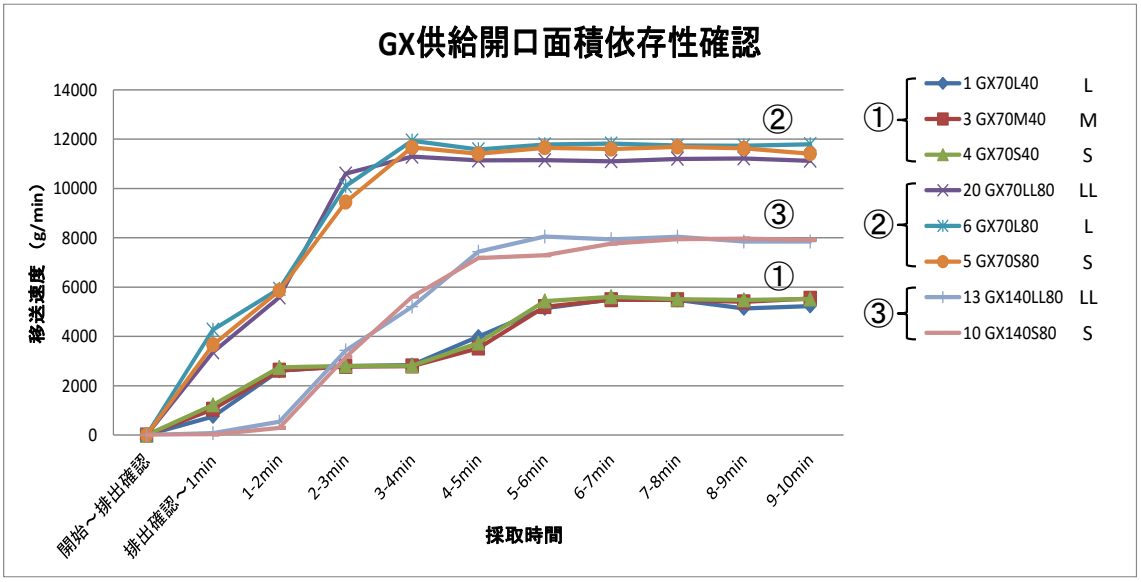
③GX140LL80、GX140S80

図 6.7.4-11 に示すとおり、3 つの比較ケースでは、どのケースにおいても開口面積への顕著な依存性は確認されなかった（凡例に示すそれぞれの試験ケースの前に付記した数字は試験実施順序）。

このことから、今回の試作機によってクニゲル GX を移送する場合は、S タイプ（50mm×

90mm）の開口で十分な供給能力を得られること、供給過多による閉塞は生じないことが分かった。今後の移送試験用に量産する予定の造粒ペレットについても今回用いたクニゲル GX と同等程度の含水比および粒度分布であれば、同様の結果となることが予想される。

なお、今年度の造粒ペレットによる移送試験においては、表 6.7.4-5 に示すとおり現時点では造粒ペレットの含水比が 26.5%と比較的高く、投入ホッパー内でのブリッジによる供給不足が予想されたため、開口面積はパラメータとせず、LL タイプ（300mm×115mm）に限定した試験を実施した。



※開口寸法　LL:115mm×300mm、L：91mm×200mm、M：91mm×100mm、S：91mm×50mm

図 6.7.4-11　移送効率の供給部開口面積依存性の確認

(d)　移送効率のスクリュー回転数への依存性の確認

クニゲル GX および造粒ペレットを用いて実施した試験ケースのうち、スクリュー回転数のみをパラメータとした各試験ケースを対象に、スクリュー回転数への依存性を確認した。

移送速度（単位時間当たりの排出量）の経時変化より、移送速度が比較的安定状態となった移送終了前 3 分間の移送速度の平均（表 6.7.4-9）よりスクリュー回転数と移送速度の関係を確認した。

確認結果を図 6.7.4-12 に示す。

結果より、造粒ペレットでは若干の効率低下がみられるものの、他のパラメータに係わらず、ほぼスクリュー回転速度に一次的に比例した移送効率となることを確認した。

また、クニゲル GX の移送では基本設計にて設定した移送速度を十分に確保することができることを、造粒ペレットの移送においても、図 6.7.4-12④より、スクリューピッチ 70mm、回転数 33.6rpm（80Hz）に設定することで、所要速度に近い移送速度での移送が可能であることを確認した。

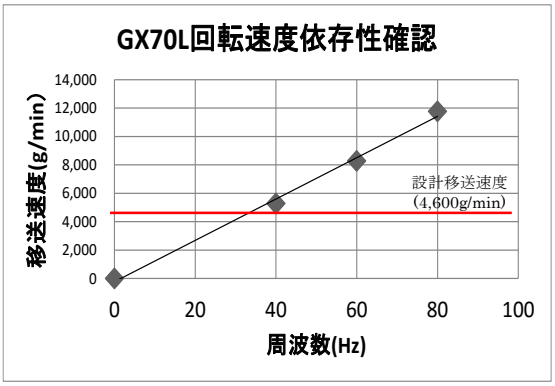
①の確認結果と②の確認結果より、安定移送速度の変化がほぼ同じとなることから、前述のとおり、今回の試験においては、投入部の開口面積による顕著な移送効率の変化がないことが、こ

こでも確認できる。

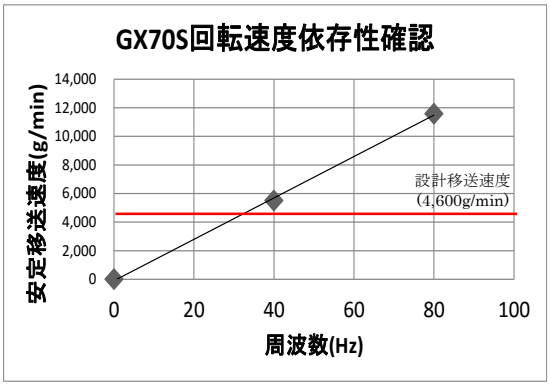
表 6.7.4-9　各試験ケースの安定移送速度

単位：(g/min)

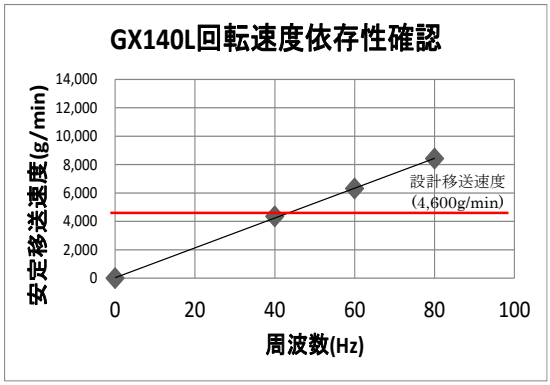
	試験ケース		設計回転数 (周波数)	3 分前 ～2 分前	2 分前 ～1 分前	1 分前 ～終了	安定移送速度 (平均)
①	GX70L	40	16.8rpm(40Hz)	5477.8	5132.9	5229.7	5280.1
		60	25.2rpm(60Hz)	8344.8	8086.9	8378.7	8270.1
		80	33.6rpm(80Hz)	11737.8	11734.9	11790.7	11754.5
②	GX70S	40	16.8rpm(40Hz)	5507.8	5482.9	5515.7	5502.1
		80	33.6rpm(80Hz)	11679.8	11621.9	11408.7	11570.1
③	GX140L	40	8.4rpm(40Hz)	4154.8	4470.9	4404.7	4343.5
		60	12.6rpm(60Hz)	6340.8	6293.9	6275.7	6303.5
		80	16.8rpm(80Hz)	8480.8	8278.9	8509.7	8423.1
④	T70LL	40	16.8rpm(40Hz)	2653.4	2590.4	2475.0	2572.9
		80	33.6rpm(80Hz)	3849.4	4122.4	3851.0	3940.9
⑤	T140LL	40	8.4rpm(40Hz)	1468.8	1603.6	1555.2	1542.5
		80	16.8rpm(80Hz)	2578.0	2519.8	2509.0	2535.6



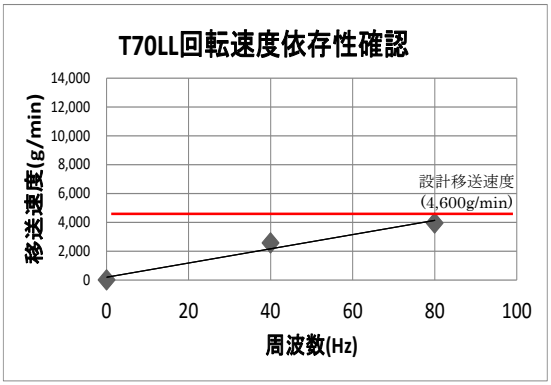
①クニゲル GX－ピッチ 70mm－開口 L



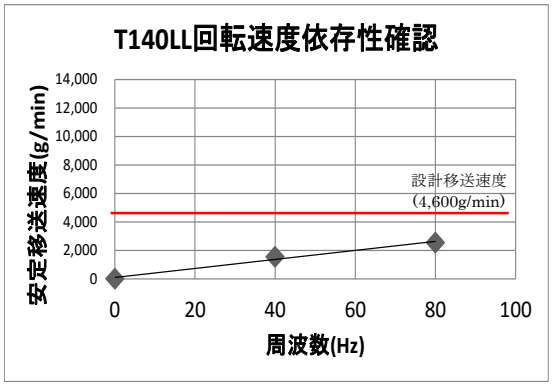
②クニゲル GX－ピッチ 70mm－開口 S



③クニゲル GX－ピッチ 140mm－開口 L



④造粒ペレット－ピッチ 70mm－開口 LL



⑤造粒ペレット－ピッチ 140mm－開口 LL

スクリューピッチ	周波数 Hz	回転数 rpm	設計移送速度 g/min
70mm	20	8.4	2,300
	40	16.8	4,600
	80	33.6	9,300
140mm	20	4.2	2,300
	40	8.4	4,600
	80	16.8	9,300

周波数と回転数、設計移送速度の関係

図 6.7.4-12　移送効率のスクリュー回転速度依存性確認

(e)　移送効率のスクリューピッチへの依存性の確認

クニゲル GX および造粒ペレットを用いて実施した試験ケースのうち、スクリューピッチのみをパラメータとした各試験ケースを対象に、移送速度（単位時間当たりの排出量）の経時変化より、スクリューピッチへの依存性を確認した。

投入部開口面積は移送効率への影響がほとんどないため、クニゲル GX については L タイプの開口、造粒ペレットについては LL タイプに絞って比較した。

比較ケースを以下に示す。

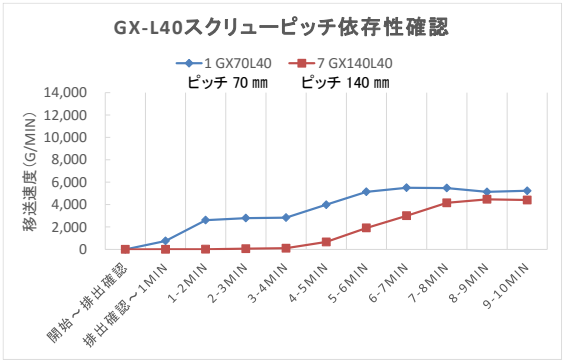
①GX70L40（回転数：16.8rpm）、GX140L40（回転数：8.3rpm）

②GX70L80（回転数：33.6rpm）、GX140L80（回転数：16.8rpm）

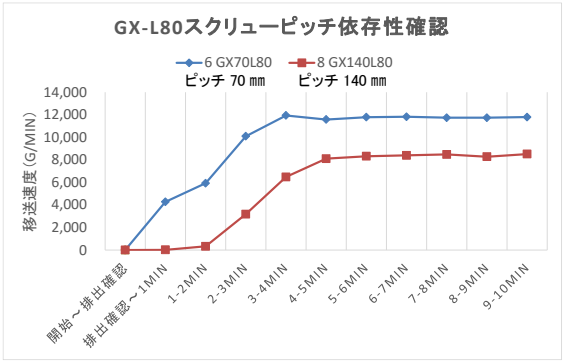
③T70LL40（回転数：16.8rpm）、T140LL40（回転数：8.3rpm）

④T70LL80（回転数：33.6rpm）、T140LL80（回転数：16.8rpm）

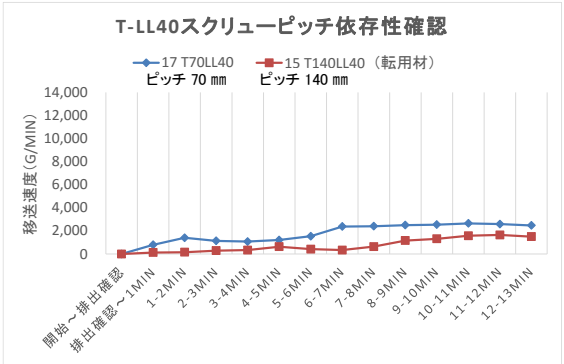
図 6.7.4-13 に示すとおり、4 つの比較ケースでは、どのケースにおいてもピッチ 70mm の方が、移送効率が良いことが顕著に示されている。



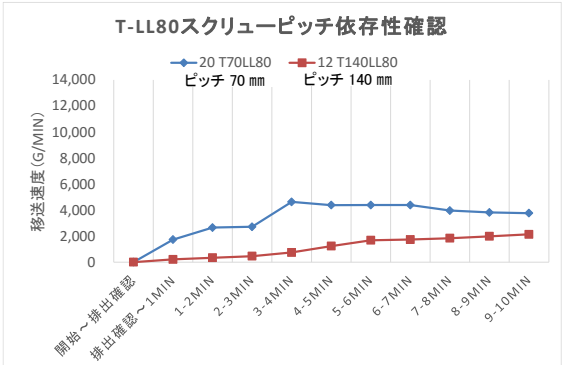
①クニゲル GX－開口 L－周波数：40Hz



②クニゲル GX－開口 L－周波数 80Hz



③造粒ペレット－開口 LL－周波数：40Hz



④造粒ペレット－開口 LL－周波数：40Hz

図 6.7.4-13　移送効率のスクリューピッチ依存性確認（移送速度の経時変化）

(f)　移送前後の粒度分布とかさ密度（参考値）の変化の確認

表 6.7.4-10 および図 6.7.4-14 に、移送前後のクニゲル GX を無作為に採取し、粒度試験を行

った結果を示す。

これらの結果から、移送により細粒分が増加していることが分かる。

表 6.7.4-10　クニゲル GX 移送前後の材料の粒度試験

クニゲル GX 粒度試験結果				
サンプル重量（g）	移送前		移送後	
	4448.5		11282.1	
ふるい（mm）	加積残留試料質量（g）	通過百分率	加積残留試料質量（g）	通過百分率
9.500	22.2	99.5%	136.3	98.8%
4.750	922.2	79.3%	1950.0	82.7%
2.000	1979.4	55.5%	4111.2	63.6%
0.850	2806.5	36.9%	5931.5	47.4%
0.425	3407.1	23.4%	7286.3	35.4%
0.250	3802.0	14.5%	8167.6	27.6%
0.106	4246.5	4.5%	9250.6	18.0%
0.075	4339.2	2.5%	9474.2	16.0%
通過分	1642.0		5350.6	

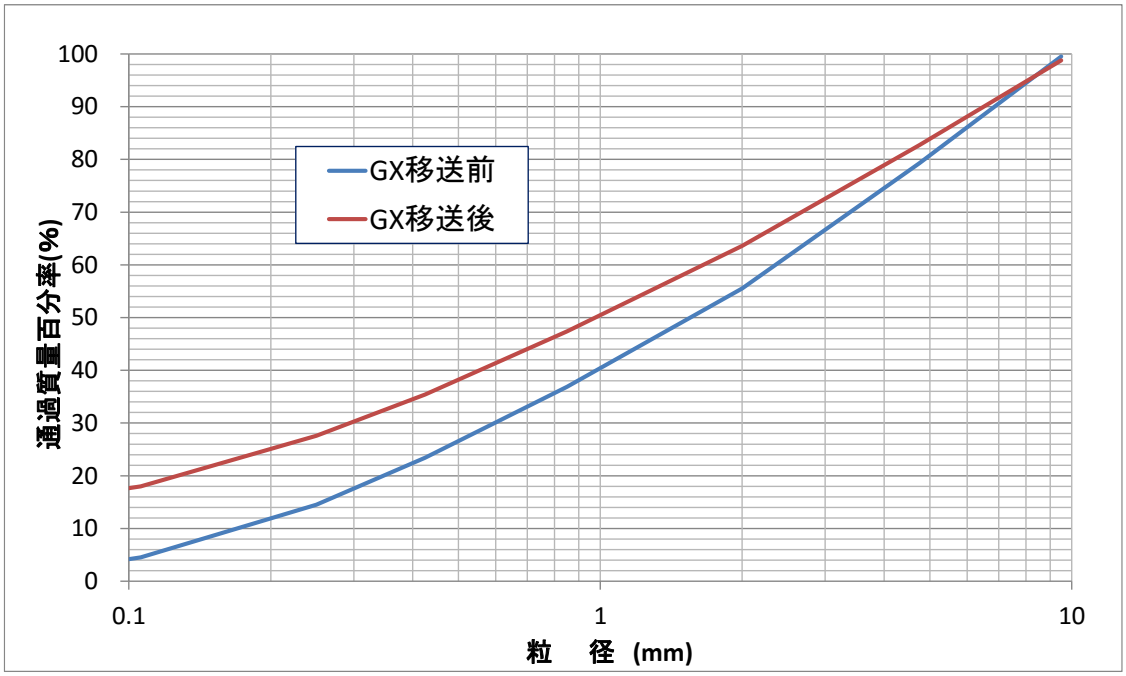


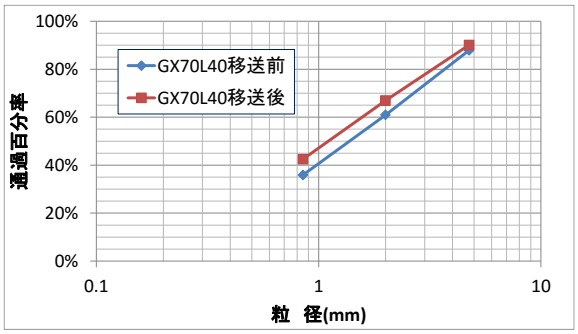
図 6.7.4-14　移送前後のクニゲル GX の粒度分布の変化

また、各試験ケースにおいて、移送前後の簡易粒度試験結果と粒度分布の変化を、表 6.7.4-11 および図 6.7.4-15～図 6.7.4-16 に示す。

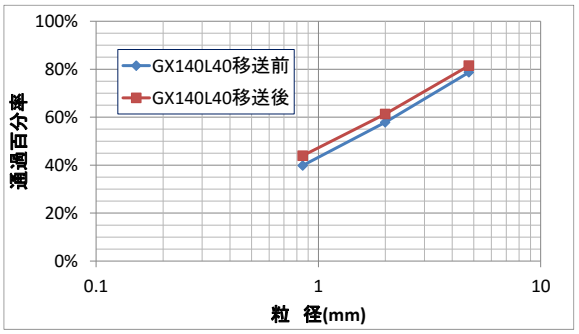
これらの比較結果からも移送後に細粒分が増加していることが分かる。

表 6.7.4-11　簡易粒度試験結果

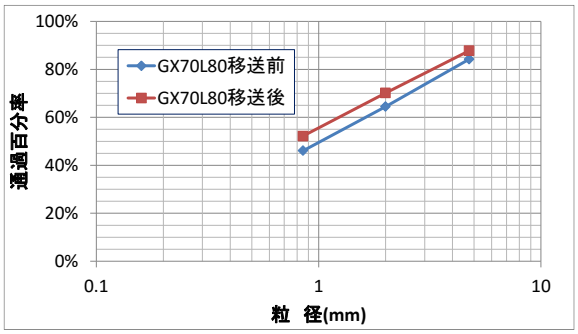
試験ケース	サンプル		移送前				移送後			
			A	B	C	平均	a	b	c	平均
GX70L40	サンプル質量		1,539.3	1,482.4	1,452.9		1,868.4	1,944.4	2,067.0	
	ふるい目	4.750	84.5	88	91.1	**87.9%**	90.7	89.6	89.9	**90.1%**
		2.000	53.9	63.9	65	**60.9%**	67.8	67.8	65.2	**66.9%**
		0.850	29.2	41.5	37	**35.9%**	42.2	43.7	41.5	**42.5%**
GX140L40	サンプル質量		1542	1549.8	1565.3		1910.5	1590.2	1663	
	ふるい目	4.750	79.6	73	83.4	**78.7%**	82.9	81	80.4	**81.4%**
		2.000	59.7	50.4	63.5	**57.9%**	60.6	63.4	59.9	**61.3%**
		0.850	42.2	34	43.3	**39.8%**	44.2	45.8	41.8	**43.9%**
GX70L80	サンプル質量		1,559.0	1,538.8	1,670.1		1,624.3	1,622.8	1,647.4	
	ふるい目	4.750	85.5	83.9	83.2	**84.2%**	88.4	87.5	87.4	**87.8%**
		2.000	65.8	64.1	63.4	**64.4%**	71.7	68.1	70.7	**70.2%**
		0.850	46.9	46.1	45.1	**46.0%**	54.4	49.3	52.8	**52.2%**
GX140L80	サンプル質量		1760.3	1580.3	1627.7		1636.2	1640.3	1611.4	
	ふるい目	4.750	84.8	79.1	79.5	**81.1%**	94	84.1	84.6	**87.6%**
		2.000	66.3	58.9	58.6	**61.3%**	74.3	66.1	64.9	**68.4%**
		0.850	47.5	41.2	39.6	**42.8%**	54.6	48.1	46.2	**49.6%**
T70LL40	サンプル質量		1561.4	1553.4	1562.4		877	748.8	750.9	
	ふるい目	19.000	99.6	99.5	100	**99.7%**	100	100	100	**100.0%**
		9.500	78.4	80.6	71	**76.7%**	79.6	81.5	84	**81.7%**
		4.750	17.4	15	10.6	**14.3%**	13.7	22.6	24	**20.1%**
		2.000	1.1	0.9	0.8	**0.9%**	2.2	1.5	2.1	**1.9%**
T140LL40 （転用材）	サンプル質量		1684.6	1580.3	1568.3		758.3	760.4	752.2	
	ふるい目	19.000	99.6	100	100	**99.9%**	100	100	100	**100.0%**
		9.500	73	78.1	72.9	**74.7%**	80.5	83.4	79.3	**81.1%**
		4.750	18.1	20.6	20.8	**19.8%**	7.5	34.1	35.5	**25.7%**
		2.000	1.6	1.9	1.9	**1.8%**	0.8	3.6	3.7	**2.7%**
T70LL80	サンプル質量		1631	1637.3	1746		749.1	754.3	771.2	
	ふるい目	19.000	99.4	99.5	100	**99.6%**	100	100	100	**100.0%**
		9.500	76.5	76.2	85.3	**79.3%**	84.5	80.4	90.2	**85.0%**
		4.750	14.9	12.9	20	**15.9%**	20.3	22.2	27.5	**23.3%**
		2.000	1.1	0.9	1.4	**1.1%**	1.9	1.7	2.2	**1.9%**
T140LL80	サンプル質量		2159.7	3429.9	3151.6		742.1	743.2	721.5	
	ふるい目	19.000	98.2	99.6	100	**99.3%**	100	100	100	**100.0%**
		9.500	71.3	74.7	74.5	**73.5%**	68.3	75.6	83.4	**75.8%**
		4.750	12.5	15.2	14.3	**14.0%**	9.6	15	32.1	**18.9%**
		2.000	0.6	1.1	1.1	**0.9%**	1.1	1.4	2.6	**1.7%**



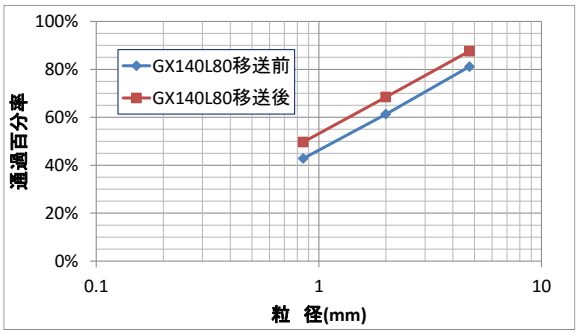
GX70L40



GX140L40

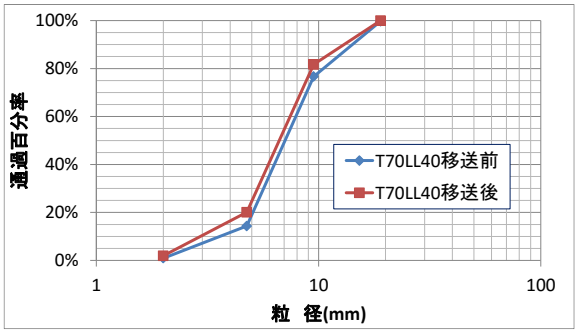


GX70L80

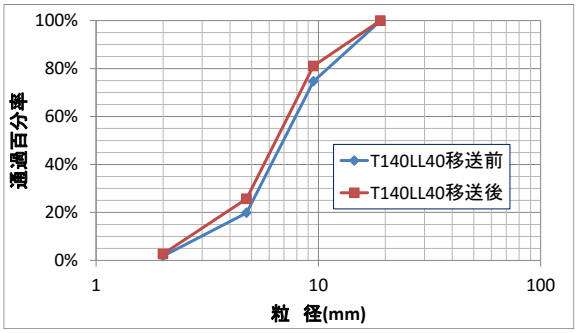


GX140L80

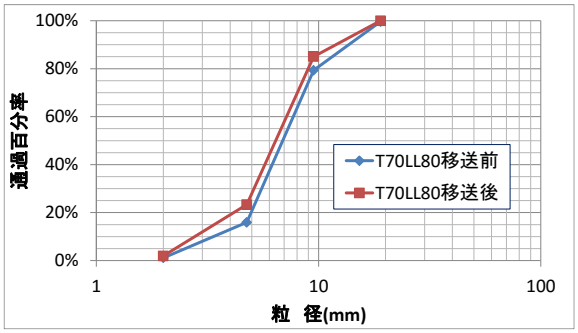
図 6.7.4-15　クニゲル GX 移送前後の粒度分布の変化



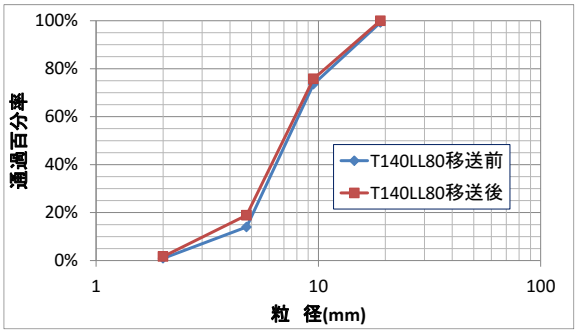
T70LL40



T140LL40



T70LL80

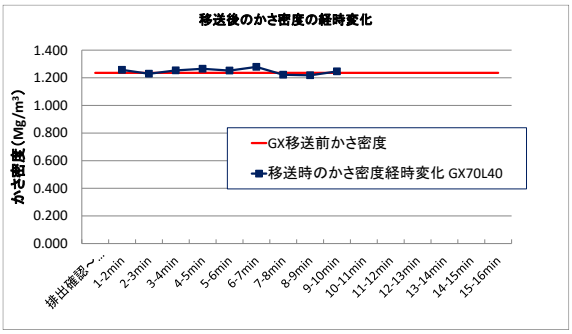


T140LL80

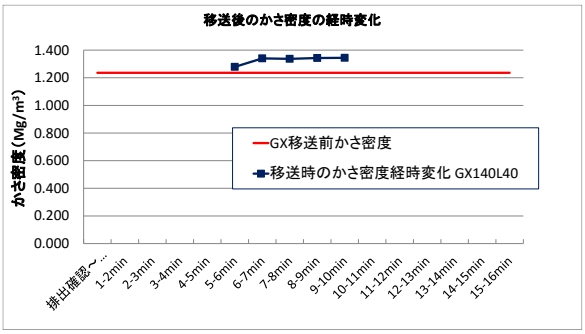
図 6.7.4-16　造粒ペレット移送前後の粒度分布の変化

この細粒分増加の現象の移送時のかさ密度への影響を確認するために、各材料の移送前のかさ密度と、移送・排出後のかさ密度の経時変化との比較を図 6.7.4-17 および図 6.7.4-18 に示す。

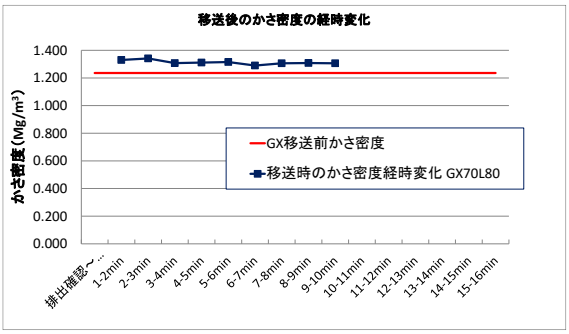
結果より参考値ではあるが、全ての試験ケースにおいて、移送後の排出材料のかさ密度の増加が確認された。



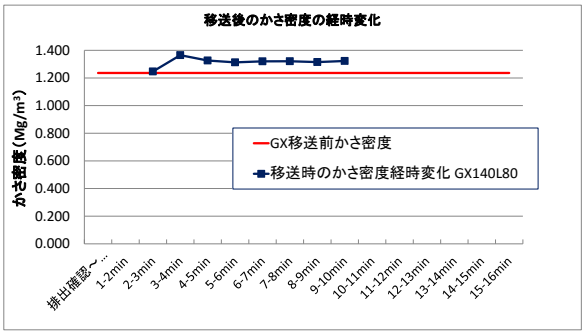
GX70L40



GX140L40

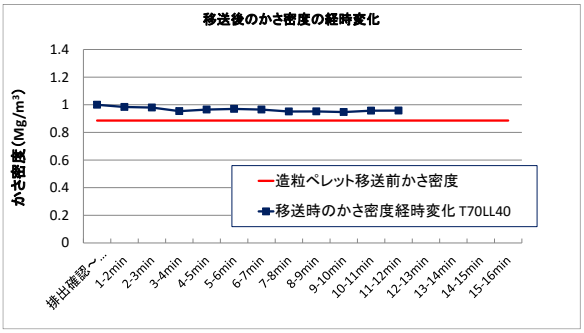


GX70L80

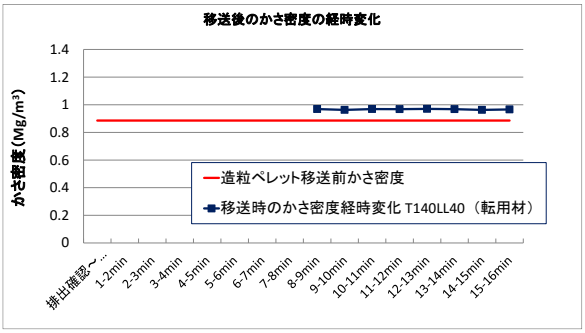


GX140L80

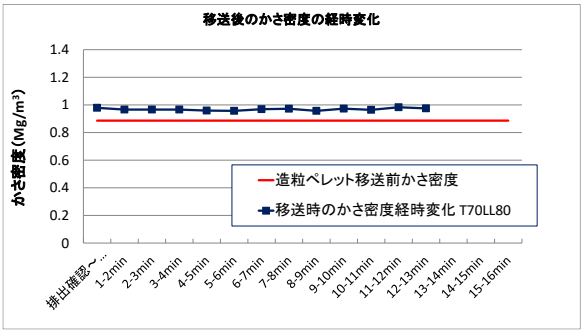
図 6.7.4-17　クニゲル GX 移送・排出後のかさ密度の経時変化



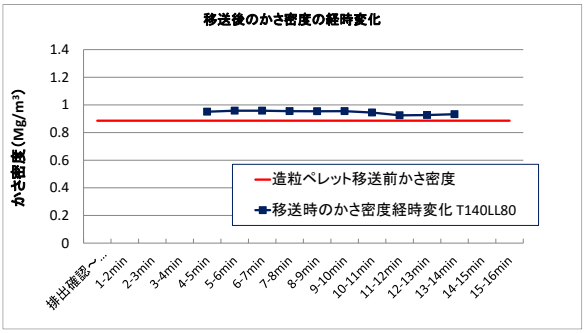
T70LL40



T140LL40



T70LL80



T140LL80

図 6.7.4-18　造粒ペレット移送・排出後のかさ密度の経時変化

(g)　移送時のパイプ内充満状況の確認

排出開始時および移送試験終了時のパイプ内の移送材料充満率（参考値）を表 6.7.4-12 整理した。

表 6.7.4-12　各試験ケースにおけるコンベアパイプ内充満率

試験ケース	充満率		備考
	排出開始時充満率	移送試験終了時	
GX70L40	70.79%	107.58%	
GX140L 40	68.29%	106.61%	
GX70L80	98.60%	115.81%	
GX140LL80	63.22%	108.36%	GX140L80 欠測のため
T70LL40	56.11%	63.71%	
T140LL40	27.39%	64.77%	
T70LL80	57.33%	59.83%	
T140LL80	27.49%	52..62%	

b スクリューコンベア（軸なし）を用いた移送予備試験

(a)　実施試験ケース

実施した試験ケースを表 6.7.4-13 に示す。

表 6.7.4-13　実施試験ケース

	実施試験ケース	試験条件		
		移送材料	スクリューピッチ	設計回転数
1	GX210_50	クニゲル GX	210mm	22.5rpm（50Hz）
2	GX210_25	クニゲル GX	210mm	11.25rpm（25Hz）
3	T210_50	ペレット	210mm	22.5rpm（50Hz）
4	T210_25	ペレット	210mm	11.25rpm（25Hz）
5	T105_50	ペレット	105mm	22.5rpm（50Hz）
6	T105_25	ペレット	105mm	11.25rpm（25Hz）

(b)　移送材料の初期状態の確認

移送材料の初期状態の確認として、造粒したベントナイトペレットの含水比、粒度分布の測定を実施した。結果を以下に示す。なお、クニゲル GX については、スクリューコンベア（軸有り）と同じロットの材料を使用した。（表 6.7.4-6、図 6.7.4-9 参照）

① 含水比

表 6.7.4-14　初期含水比

移送材料		ベントナイトペレット		
サンプル番号		1	2	3
容器+湿潤材料質量	ｍａ	284.45	273.51	305.66
容器+乾燥材料質量	ｍｂ	230.05	221.72	247.40
容器質量	ｍｃ	6.57	6.42	6.43
含水比	W	24.34%	24.05%	24.18%
含水比平均	**W**	**24.2%**		

② 粒度分布

造粒ペレットについて JIS1204 に基づく土の粒度試験を実施した。以下に結果を示す。

表 6.7.4-15　ペレット（使用前）粒度試験結果

ふるい（mm）	通過百分率
19.000	100%
9.500	92.9%
4.750	21.7%
2.000	1.4%
0.85	0.3%
0.425	0.3%

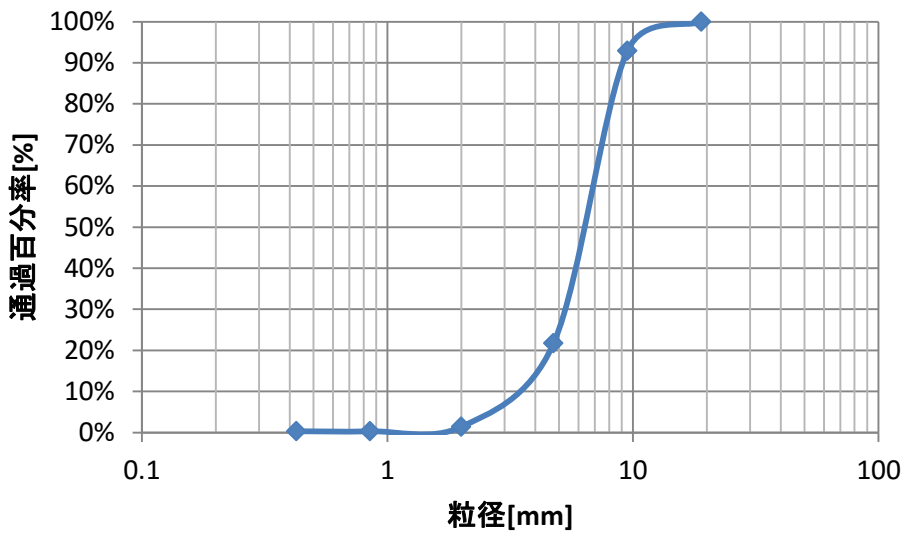


図 6.7.4-19　造粒ペレット使用前材料の粒度分布

(c)　移送効率のスクリュー回転数への依存性の確認

スクリュー回転数に着目して試験結果を整理し、スクリュー回転数への依存性を確認した。

時間当たり移送量（＝移送速度、単位時間当たりの排出量）が安定的に観測された値のうち、最大の時間当たり移送量確認結果を図 6.7.4-20 に示す。

同結果より、造粒ペレットの場合、回転数が 25Hz から 50Hz になると、ピッチ 210mm のケースでは移送量が 2.2 倍、ピッチ 105mm のケースでは 2.3 倍と、回転数増加にほぼ比例する形で移送量が増加している。これはスクリューコンベア（軸あり）における試験結果と同様の傾向である。

表 6.7.4-16　各試験ケースの安定移送量

	試験ケース	安定移送量 (g/min)	備考
1	GX210_50	2623	10 分後～11 分後
2	GX210_25	1291	16 分後～17 分後
3	T210_50	1436	16 分後～18 分後
4	T210_25	663	26 分後～28 分後
5	T105_50	3137	6 分後～8 分後
6	T105_25	1373	8 分後～10 分後

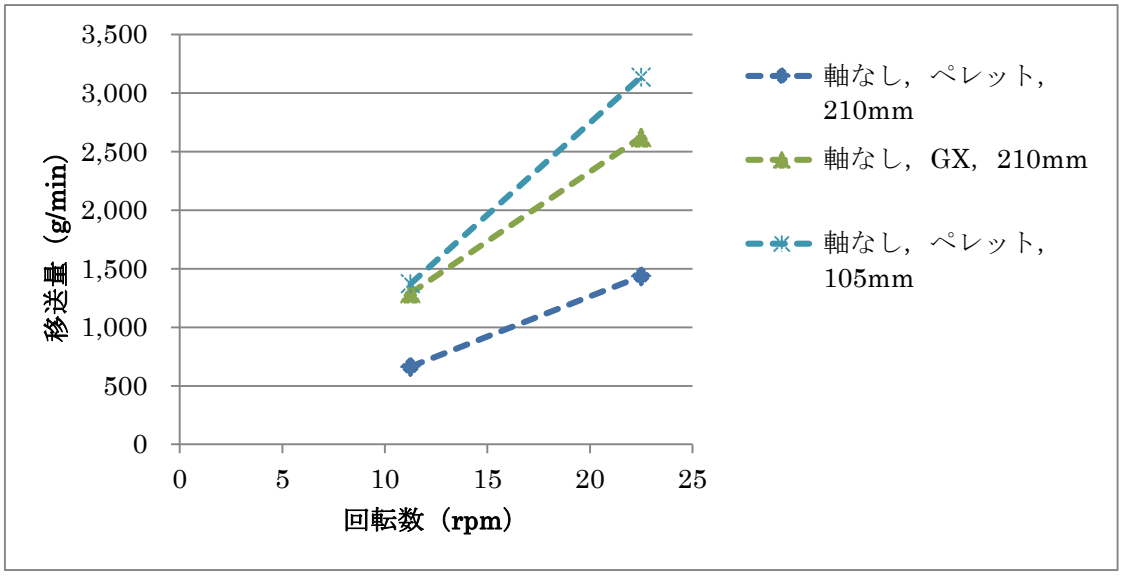


図 6.7.4-20　移送効率のスクリュー回転速度依存性確認

(d)　移送効率のスクリューピッチへの依存性の確認

図 6.7.4-21 は、同じ周波数に対してスクリューピッチを変えた場合の移送量の比較結果である。

スクリューピッチが 105mm から 210mm になると、周波数が 50Hz および 25Hz の場合のいずれも移送量は約 0.5 倍と低下する。すなわち、移送効率はピッチが長くなるほど落ちる傾向にある。こちらも、スクリューコンベア（軸あり）と同様の傾向となった。

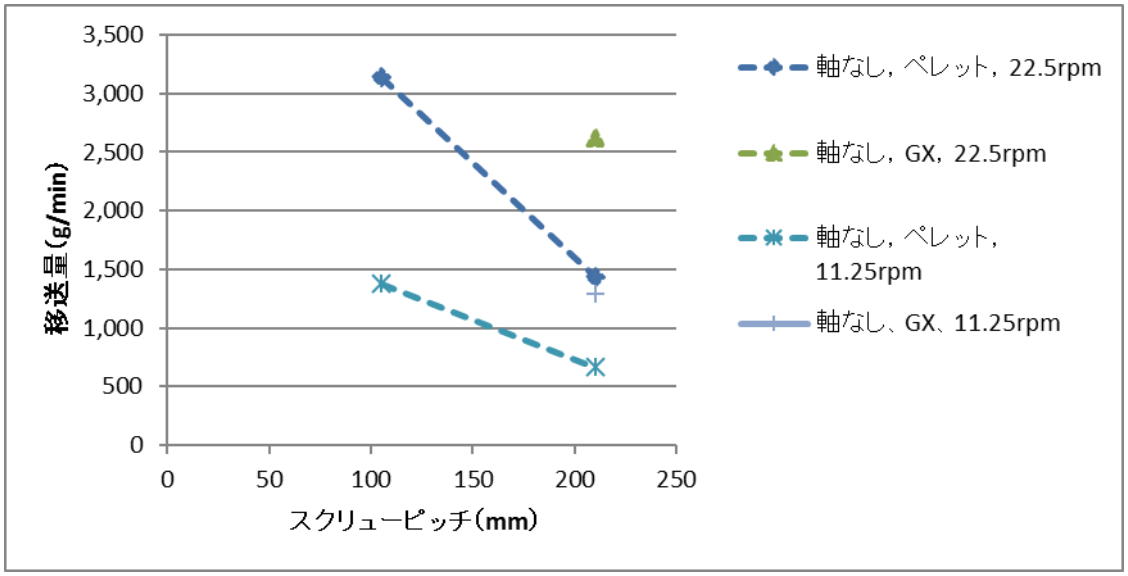


図 6.7.4-21　移送量のスクリューピッチ依存性確認

(6) 充填効率

数式 1 に一般に使用されるスクリューコンベア移送量の計算式を示す。

数式 1：
$$Q = \mathrm{V} \cdot \gamma = 60\phi \cdot \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)a \cdot \mathrm{N} \cdot \gamma$$

また表 6.7.4-17 に数式 1 を用いた充填効率(≒移送効率)の算定結果を示す。表 6.7.4-17 より、軸なしのスクリューピッチが 210mm の場合には、充填効率は 7~8%と低い値となっている。試験時の移送状況を視認したところ、軸の無いスクリューコンベア（軸なし）の場合には、移送材料がスクリューで押し出されるだけではなく、中心軸がないことにより管内にて上下に撹拌されるような状況となっていた。すなわち、スクリューが回転しても材料が管内で上下する動きが大きいため、前方に押し出されずにその場で上下動だけしている材料が多いため、充填効率（≒移送効率）が低いことにつながっているものと考えられる。ただし、この撹拌される状況は、材料の粒径とスクリューピッチとの関係によって状況が変わってくるものと考えらえる。例えば軸無しのスクリューピッチが 105mm の場合には、ピッチ間が狭く、さらに相対的にスクリューの羽部分の角度が立っていることから、上下に撹拌される挙動よりも前方に押し出される挙動が卓越していることが視認された。移送する材料の粒径、粒度分布によって最適なスクリューピッチが変化するものと考えられる。

また、投入口部分でも上記と同様の原因で、管内に取り込まれていくペレットの量はスクリューピッチ 105mm の方が多かった。

表 6.7.4-17　充填効率の算定

				V		Q		D	d	a	N	γ	φ
軸	材料	スクリューピッチ*	回転数	供給量〔m3／h〕	〔L／min〕	供給量〔kg／h〕	〔kg／min〕	スクリュー外径〔m〕	スクリューシャフト外径〔m〕	スクリューピッチ〔m〕	スクリュー回転数〔rpm〕	材料の見掛け密度〔kg/m3〕	充填効率〔－〕
軸あり	GX	70	16.8	0.4	6.6	316.8	5.280	0.092	0.034	0.07	16.8	800	98%
軸あり	GX	70	33.6	0.9	14.7	705.3	11.755	0.092	0.034	0.07	33.6	800	109%
軸あり	GX	140	8.4	0.3	5.4	260.6	4.344	0.092	0.034	0.14	8.4	800	80%
軸あり	GX	140	16.8	0.6	10.5	505.4	8.423	0.092	0.034	0.14	16.8	800	78%
軸あり	ペレット	70	16.8	0.2	3.2	154.4	2.573	0.092	0.034	0.07	16.8	800	48%
軸あり	ペレット	70	33.6	0.3	4.9	236.5	3.941	0.092	0.034	0.07	33.6	800	36%
軸あり	ペレット	140	8.4	0.1	1.9	92.6	1.543	0.092	0.034	0.14	8.4	800	29%
軸あり	ペレット	140	16.8	0.2	3.2	152.1	2.536	0.092	0.034	0.14	16.8	800	23%
軸なし	GX	210	22.5	0.2	3.3	157.4	2.623	0.08	0	0.21	22.5	800	14%
軸なし	GX	210	11.25	0.10	1.6	77.5	1.291	0.08	0	0.21	11.25	800	14%
軸なし	ペレット	105	22.5	0.2	3.9	188.2	3.137	0.08	0	0.105	22.5	800	33%
軸なし	ペレット	105	11.25	0.1	1.7	82.4	1.373	0.08	0	0.105	11.25	800	29%
軸なし	ペレット	210	22.5	0.1	1.8	86.2	1.436	0.08	0	0.21	22.5	800	8%
軸なし	ペレット	210	11.25	0.05	0.8	39.8	0.663	0.08	0	0.21	11.25	800	7%

(7)　結果のまとめと考察

本予備試験を通じて、軸ありおよび軸なしの両者ともに製造したベントナイトペレットが移送可能であること、および設計として予定していた移送量を達成可能であることを確認した。ただし、移送効率については想定していた値よりも低い値が得られており、許容範囲であるものの来年度以降の機器製作に反映していく必要がある。

1)　スクリューコンベア（軸あり）

①移送効率が投入部開口面積に依存しなかった

クニゲル GX を本試作機にて移送する場合、今回設定した開口面積のうち、最少である 50mm×90mm のもので、設計移送速度に対する供給性能が十分であったことが要因と考えられる。すなわち、移送効率に影響を及ぼす開口面積は、さらに小さいものであると思われる。

②移送効率はスクリュー回転数にほぼ一次的に比例する

特に含水比が比較的低いクニゲル GX では、ほぼ線形の増加傾向を示した。

含水比が比較的高かった造粒ペレットでも、概ねスクリュー回転数に比例した増加傾向を確認することができたが、図 6.7.4-12④（T70LL80）に着目すると、一旦上昇した移送速度の減少傾向が確認できる。この要因としては、高含水による時間の経過に伴い、コンベア内に移送材が付着することによる移送容積の減少や、材料投入部でのブリッジなどが想定される。

③移送効率はスクリューピッチに依存する

試験結果より、見掛けの移送容積を同じとした場合、70mm ピッチのスクリューによる移送効率が高いことが確認された。

想定される要因としては、70mm ピッチのスクリューの方が、投入部の開口を通過するフィンの数が多く（140mm ピッチの 2 倍）、かつ回転数も速く設定されている（140mm ピッチの 2 倍）ことから、材料供給部での材料の攪乱により充填率が高くなったことが想定される。これは、表 6.7.4-12 の結果ともおおむね整合する。

2)　スクリューコンベア（軸なし）

①移送効率はスクリュー回転数にほぼ一次的に比例する

軸ありの場合と同様に回転数に対して移送量が比例して増加する傾向が確認された。

②移送効率はスクリューピッチに依存する

スクリューピッチについても軸ありの場合と同様に、ピッチ間隔が短い 105mm の方が移送量が多く、移送効率が高いことが確認された。

以上、今回の予備試験では、今後の詳細設計および施工品質管理上の、指標として活用できる有効な知見を得ることができた。

3)　狭所施工への適用性について

平成27年度の予備試験の結果、外径約100mm(内径90mm)および外径約90mm(内径80mm)のスクリューコンベアを用いて、隙間充填材として想定しているベントナイトペレットを移送することが可能であることを確認した。すなわち、設定した 110mm から 174mm の隙間に対して装置の面から充填材を移送可能であることを確認した。

また、実証試験の際には、坑道周方向に存在する 110mm～174mm に加え、坑道軸方向の模擬 PEM 間もしくは模擬 PEM と坑道褄面との間にも材料を充填する必要がある。これらの隙間についても、周方向の円弧状の隙間に対して隙間形状が単純な形状となるため、本検討での充填予備試験の実施状況も踏まえて、スクリューコンベアで移送して重力による自然落下で充填することは可能であるものと考える。さらに、仮に隙間の大きさが広くなったり、トンネル交差部など隙間形状が変化したりする箇所についても、スクリューコンベアの配置の工夫によって対応可能であるものと見込まれる。

また、前述の表 6.7.4-17 の結果を受け、スクリューコンベアの軸ありと軸なしの場合の、供給量と充填効率の比較を表 6.7.4-18 示す。表 6.7.4-18 より、本予備試験ではクニゲル GX、造粒ペレットの何れの場合でも、軸ありの方が供給量が多く充填効率も高くなることを確認した。

表 6.7.4-18　供給量と充填効率の比較（軸あり、軸なし）

軸	材料	供給量Q〔g／min〕	充填効率　ϕ
軸あり	GX	4344~11755	78%～109%
	ペレット	1543～3941	23%～48%
軸なし	GX	1291～2623	14%
	ペレット	663～3137	7%～33%

操業効率の観点から供給量は多い方が望ましく、本予備試験では軸ありの方が有利な結果となった。ただし、スクリューコンベアで移送する場合、スクリューとコンベア外管の自重や充填材料の重さによってたわみ、変形を起こすと、スクリューが回転できなくなる恐れがある。平成28年度以降に、本予備試験結果と適切なスクリューや外管の剛性設定および外管の保持機構も踏まえた詳細検討を行い、スクリューコンベアの機構を選定する。

一方、国の基盤研究における既往検討事例である文献番号[1]ではエアー圧送方式にて充填材料の移送充填試験が実施されている。同方式は、300mm 以下の隙間に対して最大 1.5Mg/m^3 程度の隙間充填を実現しており、狭隘な隙間に対して有望性が高い施工方法であると言える。ただし、同方式は 0.65MPa 程度の比較的高い圧力で圧送する方式であり、同文献中に記載があるように、天端部分などの空間が広い箇所に対しては、充填材料が空気の圧力によって飛散するという課題も挙げられている。仮に、本実証試験において隙間の大きさが広くなったり、隙間形状として狭い箇所と広い箇所が混在したりするような場合には、同様に材料が飛散して設定した充填効率が達成できない状況が考えられる。

6.7.5　予備試験のフローチャート

予備試験のフローチャートを図 6.7.5-1 に示す。

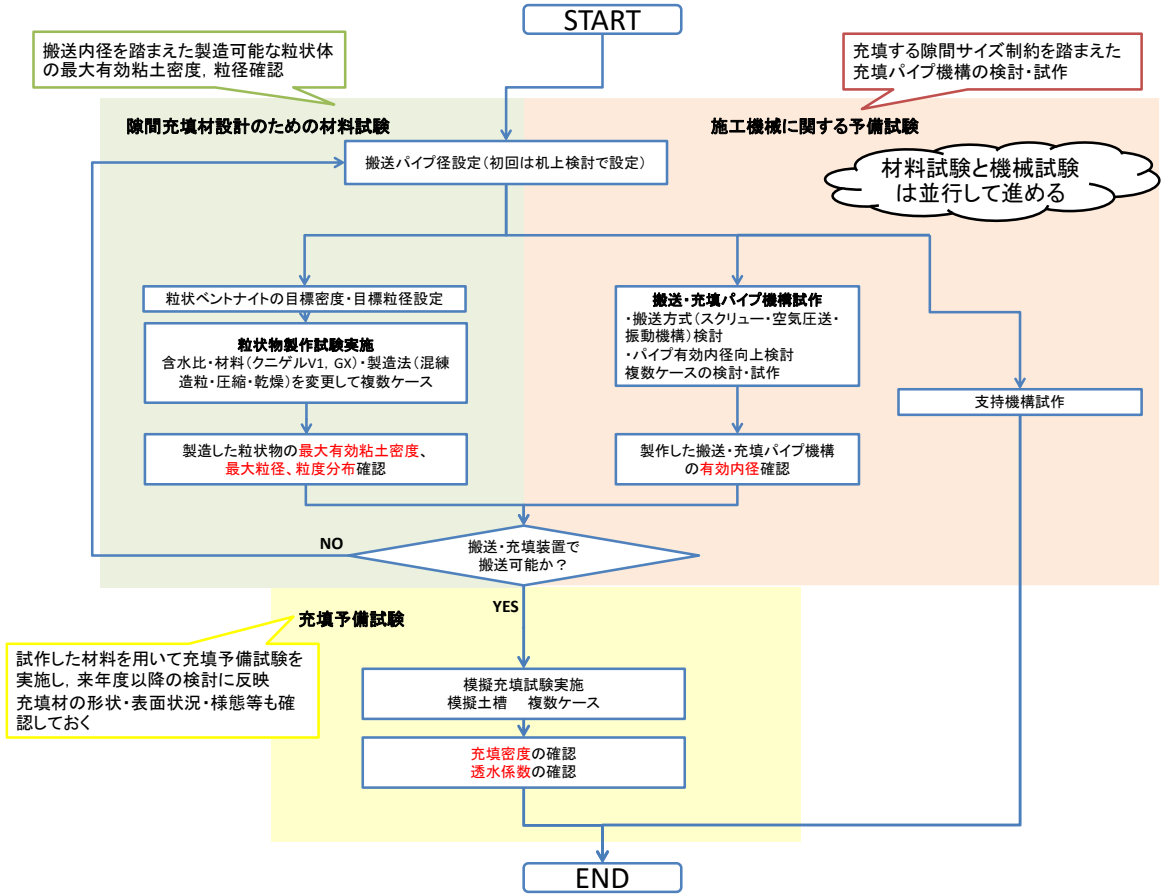


図 6.7.5-1　予備試験のフローチャート

6.8　　隙間充填材の除去方法の選定

隙間充填実証試験後に実施を予定している隙間充填材除去試験について、充填材除去方法を選定した。選定にあたり、隙間充填材の時間的変遷等の状態を考慮すると共に、6.5で検討した隙間充填材仕様や隙間充填装置の基本設計との整合性に留意した。

除去方法の選定に関する実施内容を以下に実施内容を列記する。

・隙間充填材の状態設定
・基本的な除去装置仕様の選定・定時
・幌延実証試験サイトを対象とした具体的な機械配置

なお、上記内容の実施にあたっては、国の基盤研究における緩衝材除去に係る既往検討や、海外文献（例えば[51]～[53]）も参考とした。

6.8.1　　隙間充填材の状態設定

既往検討の整理、および前述の隙間充填材仕様や隙間充填装置の基本設計に関する実施内容との整合性を確認しながら、隙間充填材の状態設定を実施した。想定される状態設定および条件設定を以下に示す。

・隙間充填材の飽和後の状態設定および装置設計の条件設定
  - 有効粘土密度 1.37Mg/m^3、飽和度約 50%を設定した。本事業において隙間充填実証試験から充填材除去試験まで半年程度の時間経過を想定しており、隙間充填材が完全飽和に至っているとは考えられないため、現状では飽和度約 50%と設定した。今後、計画している隙間充填に関する予備試験として実施する充填状況および飽和状況の確認試験を通じて、充填材の飽和状態の設定は変更していく。
  - 隙間充填材料はベントナイト単体から製作した粒状物を設定した。
  - 除去装置は、充填装置設計条件と同様（坑道径 φ2.6m、模擬 PEM 径 φ2.316m）の坑道形状にて試験をできる形状とした。
  - 装置外径は坑道径 φ2.6m に入る寸法とした。
・実証試験サイトの制約条件
  - 実証試験サイト（幌延 URL）の排水量協定上限値 750m^3/日から余裕を見て約半分の 400m^3/日を排水量上限とし、現状の同サイトの定常排水量約 100m^3/日を引いた 300m^3/日を本除去試験における最大排水量と設定する計画とした。

6.8.2　基本的な除去装置仕様の選定・提示

(1)　塩水スラリー方式

国の基盤研究における既往検討において、固結した緩衝材を塩水で分解し、塩水とベントナイトが混合したスラリー状としたものを除去する検討・技術開発が実施されている。この塩水スラリーによる除去については、要素試験から実証試験までの様々なフェーズでの試験が実施されており、既に確実性が高い方法であるものと判断される。ただし、本方式での実証試験は竪置き方式での緩衝材除去を念頭に検討が実施されており、本事業で対象とする横置き方式については、流体を利用する方法の内、後述するウォータージェット方式との組み合わせによってより除去効果が高まるものと考えられる。

(2)　ウォータージェット方式

横置き方式であり、ウォータージェットで切削除去した緩衝材スラリーの回収が高圧水にて容易に行える見込みがあること、および国の基盤研究における既往検討において塩水噴射圧力の増加により緩衝材除去効率が上昇する可能性があるとの考察があることから、塩水を使用し、最大100MPa 以上の噴射圧力を確保できる高圧ウォータージェット方式にて切削・除去する工法を検討した。

■　ウォータージェット工法による除去概要および除去装置構成

図 6.8.2-1 に除去工法の概念図を示す。坑道と模擬 PEM 間の隙間に充填されたベントナイト系充填材を高圧のウォータージェットで切削するとともに、粉砕されて礫化もしくはスラリー化した充填材を水流によって回収する。この際に、使用する水は既往検討を踏襲して塩水を基本とし、事前の試験を通じて淡水使用の可能性についても調査する。充填材の除去は、隙間の下部にあたる領域を先行して切削することで排水ルートを常に確保しながら除去を行う手順と、既往検討にて示されている模擬 PEM 頂部を先行切削することで塩水滞留によるスラリー化（塩水浸漬効果）を促進させて除去する手順の両者を比較した。

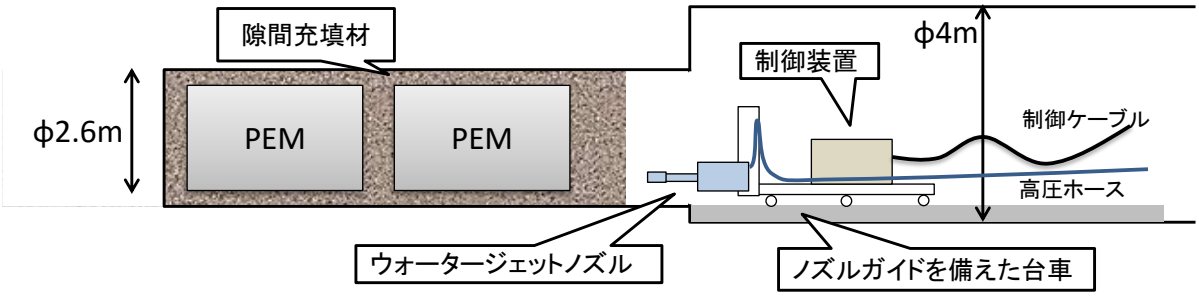


図 6.8.2-1　ウォータージェット除去工法概念図

想定する装置の配置概念を図 6.8.2-2 に示す。除去装置ユニットとして遠隔操作式ウォータージェットノズルを備えた自走台車、回収ユニットとしてポンプやベルコンベアで構成される装置、沈殿槽、分離装置および調整漕等で構成される塩水リユースユニット、および遠隔操作ユニット

からなる装置構成を想定している。

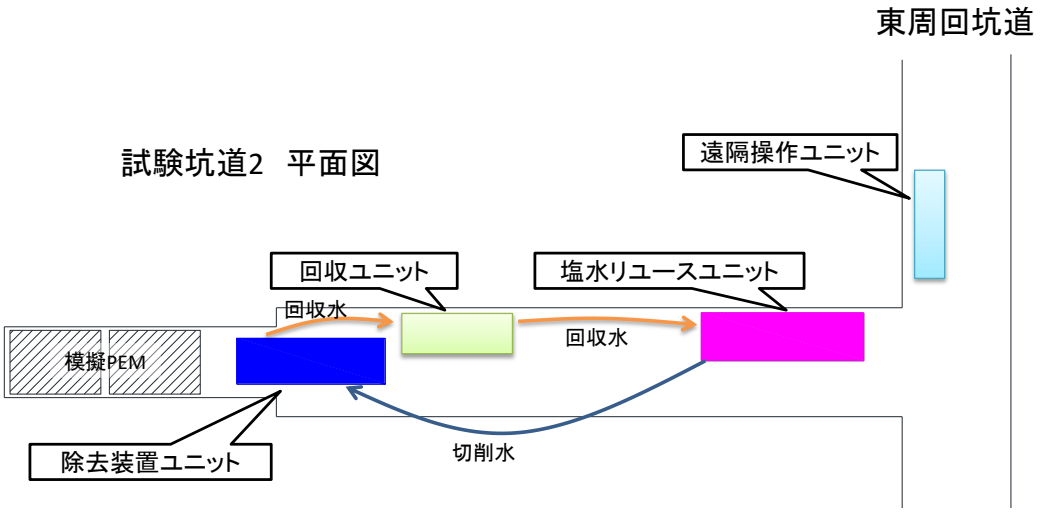


図 6.8.2-2　配置概念図

■　遠隔化の方針

自立する円盤レールにそってウォータジェットノズルが移動して切削除去を行い、円盤レール後方に一体化した自走台車（クローラ型走行装置を想定）が前進・後進する装置構成を想定している。遠隔化については既に実用化されているウォータージェット機器の自走化およびレール駆動化による自動施工技術をベースとして検討を進めることとする。（図 6.8.2-3 参照）

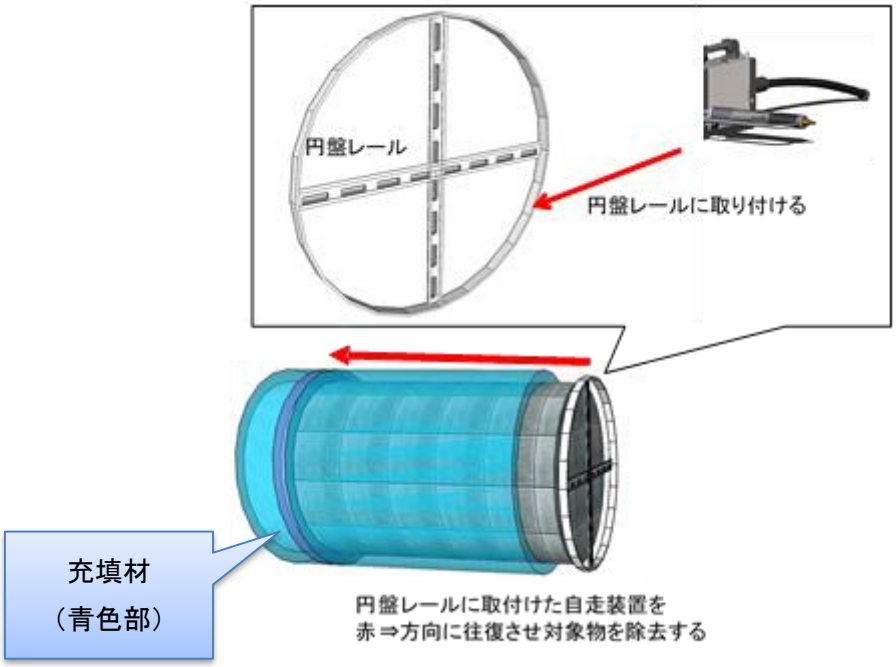


図 6.8.2-3　円形ガイド概念図

(3)　ドリル方式

隙間充填材の状態設定として、充填後の時間経過が短く、周辺からの地下水侵入も少ないドライな状態を想定した場合、ドリル方式にて隙間充填材の除去が可能であると。

ドリル方式では直径約 2.6m の円形の薄い壁状に埋め戻し材の切削（図 6.8.2-4 参照）を行い、処分坑道から PEM の縁切りを行う．以下に具体的な掘削方法について述べる。

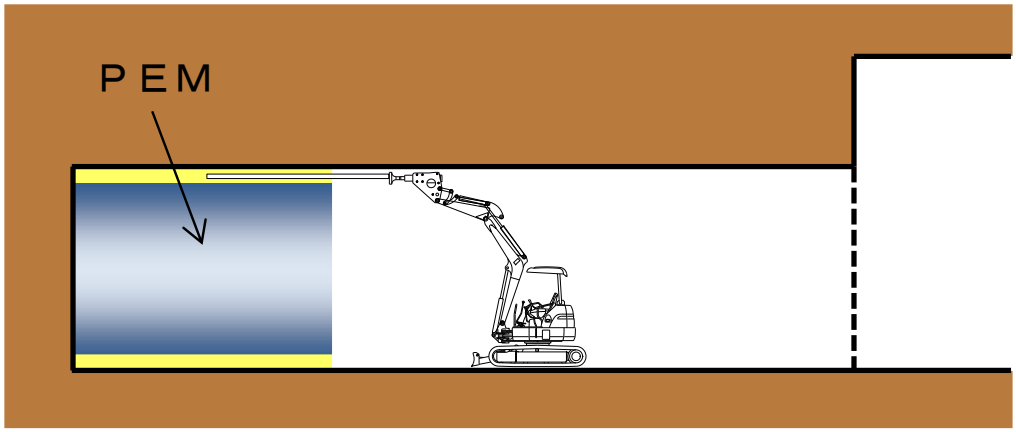


図 6.8.2-4　埋戻し材の切削

■　概要および期待される効果

異物を検知すると自動停止するドリルで充填材を掘削する。（図 6.8.2-5 参照）万一 PEM などに接触しそうになった場合にその損傷を防止できる．ドリル先端部に空気を送り、ドリル刃の冷却およびズリだしを行う方式である。

期待される効果として、切削する形状が明確であること、および、形状が明確であることから掘削量の最小化を図れることである。

図 6.8.2-5　ドリルによる充填材掘削[2]

■　課題および開発状況

原位置での実証試験に向けた課題として、以下の 4 点が挙げられる。

・褄部（奥部）の縁切り方法

・粉塵対策（発生抑制）

・ドリルの刃の最適化

・直進性の確保

なお、換気システム側の粉塵対策としては、既に幌延 URL にて運用しているトンネル掘削時の送気・排気設備を残置して研究作業に利用することにより設備能力としては十分な粉じん対策機能を利用できる可能性があると考えられる。

また、開発状況は以下に示す状況である。

・ベントナイト系材料をドリルで掘削できることは確認済

・今後はドリルの刃やロッドなどの改善に注力する

・位置だし装置ならびに自動化が課題

■　遠隔化の方針

遠隔化については、ウォータージェット方式と同様に、既に実用化されている自走化およびレール駆動化による自動施工技術をベースとしてドリルを組み込む形で検討が可能である。ドリル方式については、隙間距離が 7m 以上と長いため、遠隔化に向けて適切なガイド機構およびドリルの刃自体の改良が必要になるものと考えらえる。

(4)　アイスブラスト方式

ベントナイト系材料の切削技術として、ドライアイスペレットを高圧で噴射することによって切削するものである。

本方式でも、隙間充填材の切削は可能であると考えられるためアイスブラスト方式についても、提案・検討を行った。

■　期待される効果

期待される効果として、ドライアイスが昇華するため、掘削ずり以外の廃棄物は発生しないことが挙げられる。

ドライアイスペレットは機械を持ち込むことにより、現地でも製造可能である。

■　課題および開発状況

CO_2 対策として、坑内換気方法を検討していく必要がある。ただし、幌延 URL で運用されている坑道換気方式を利用して、必要に応じて送風機を増設することで安全な作業環境を確保できるものと考えられる。

本事業でも切削に伴い粉塵が発生するものと想定しており、今後、実証試験に向けた要素試験および地上試験を通じて粉塵発生抑制対策を検討していく必要がある。

開発状況は以下の通りである。

・圧縮空気・圧、ノズル長、対象物との離隔など基本データ取得済み

・今後必要となる開発項目：延長 3.3mの掘削ならびにその奥部の縁切りのための掘削

・自動化

図 6.8.2-6　ドライアイスブラストによる充填材掘削

■　遠隔化の方針

遠隔化については、ウォータージェット方式およびドリル方式と同様に、既に実用化されている自走化およびレールの駆動化による自動施工技術をベースとしてブラストロボットもしくはノズルを組み込む形での検討が可能と考えらえる。

6.8.3　幌延実証試験サイトを対象とした具体的な機械配置

幌延 URL 試験坑道 2 周辺での除去装置の配置概念図を図 6.8.3-1 に示す。

閉所作業であることから除去試験時には粉塵対策が非常に重要であり、幌延 URL での坑道換気状況から、試験坑道 2 内への送気に使用する局所送風機は、図に示すように必ず試験坑道 2 入口の南側に配置する必要がある。そのため、遠隔操作ユニットについては、試験坑道 2 入口の北側に配置する。

図 6.8.3-2 には、ウォータージェット工法の場合の高圧ウォータージェットポンプ配置の概念図を示す。立坑内に高圧ホースラインを敷設することで、坑内に搬入できない大型ポンプの使用が可能である。

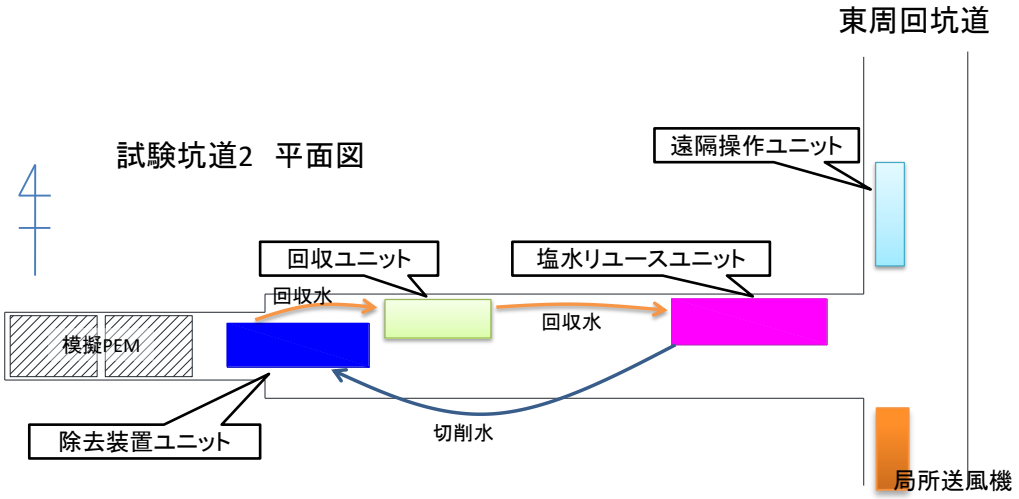


図 6.8.3-1　配置概念図

図 6.8.3-2　幌延深地層研究センターでの装置全体配置（高圧ポンプ地上配置）

6.9　まとめ

6.9.1　隙間充填装置の実証試験計画

横置き PEM 方式を対象として、地下環境において実規模スケールで行う隙間充填技術の実証試験について、設計条件の検討および実証試験計画の検討を行った。

具体的には、まず以下の手順で充填装置の設計条件の基本となる要求機能を検討するとともに設計条件として整理し、実証試験計画に反映した。

① 既存の処分概念及び仕様に示された操業プロセスにおける隙間材充填の位置付けを考慮に入れた隙間材充填の役割並びに隙間材に期待される機能を検討
② 隙間材充填の役割と機能を達成するために充填装置に求められる機能を抽出
③ 国内外において、これらの要求機能を達成するためにどのような開発が成され、どのように実証されているかを文献で調査
④ 実証試験実施箇所である幌延深地層研究センター地下研究坑道における試験であることを考慮した「充填試験の設計条件」を設定

以上の検討の下、表 6.4.1-1 に示す設計条件を設定した。

6.9.2　隙間充填装置の基本設計

平成 28 年度以降に計画している実証試験に向けて、本年度は隙間充填材の設計、隙間充填装置の基本設計および隙間充填材除去装置の候補技術を選定した。

隙間充填材の設計においては、仕様および既往検討を整理するとともに、設計要件を具体化し、以下の設計条件を設定した。

① ベントナイトペレットの有効粘土密度（粒子としての乾燥密度）：約2.0Mg/m^3
② 実証試験時の空間への充填性：空間充填率約70%
・材料製造時の具体的な指標として、移送装置側の寸法の制約から最大25mm程度
・粒度分布、表面状態および安息角等のパラメータについては充填予備試験において状況確認し、課題を洗い出す
③ 効率的な材料製造が可能であること

一方、隙間充填装置の基本設計にあたっては、まず設計条件（前提条件や制約条件、操業手順など）をフローチャートとして整理し、充填装置への要求機能およびそれらに基づく設計要件として具体化した。具体化した 12 点の設計要件を、充填材料の移送機能、機械装置の台車走行機能、動力・駆動機能、遠隔操作に係る制御・監視機能の 4 点に大別して整理し、移送機構の選定や移送距離の設定、その他必要機能について検討を行った。装置の基本設計を図 6.6.3-2 に示す基本設計概念図として取りまとめた。

隙間充填材除去方法の候補選定にあたっては、まず既往検討事例を収集整理し、隙間充填材の状態設定も踏まえて基本的な除去装置仕様の選定・提案を行った。具体的には除去方法として、塩水スラリー方式、塩水を併用したウォータージェット方式、ドリル方式およびアイスブラスト方式を提示した。

6.9.3　予備試験

予備試験として、隙間充填材設計のための材料試験、充填予備試験および充填装置に関する予備試験の 3 項目を実施した。

予備試験の目的としては以下の項目を設定して実施した。

・隙間充填材及び隙間充填装置の基本設計結果が、その意図を反映した所要の機能を満足するであろうことの確認
・隙間充填材及び隙間充填装置に関して設計上必要となる基礎的な知見の取得

その成果を以下に示す。

・所要の機能を満足することが確認できた場合（基本設計の妥当性が確認できた場合）は、平成 28 年度以降の設計における最適化の検討に用いる。
・所要の機能を満足することが確認できなかった場合は、課題としてその解決方策を検討し、平成 28 年度以降の設計に向けた検討項目と方法を提示する。
・課題解決に対する知見が得られた場合は、来年度の詳細設計に向けた検討項目と方法を提示する。

なお、予備試験を通じて具体的に、確認する項目は以下の 3 項目とした。これら予備試験実施の大方針としては、6.5 および 6.6 に記載したように、充填する材料としては凡そ 2.0Mg/m^3 のベントナイトペレットの効率的な製造と、充填の効率としては約 70%の空間充填率という、2.0Mg/m^3 と 70%の組み合わせで実証試験時における有効粘土密度 1.37Mg/m^3 を達成することである。さらに、15cm 程度の狭所で設定する材料を滞りなく、所定距離に対して移送する機構についての知見を得た。

・隙間充填材設計のための材料試験
  ➢ 凡そ 2.0Mg/m^3 のベントナイトペレット製造
  ➢ 凡そ 25mm アンダーのペレット製造
・充填予備試験
  ➢ 狭隘円弧状空間に対する空間充填率の確認（目標 70%）
・施工機械に関する予備試験
  ➢ 投入材料が移送経路内に滞ることなく排出されることの確認

(1)　隙間充填材設計のための材料試験

材料製造に関する予備試験のまとめを以下に示す。

・乾燥密度 2.0Mg/m^3 のベントナイトペレット製作を行った。造粒したベントナイトペレットを養生してポストプレスする手法と、クニゲル V1（紛体）を自然含水比でプレスする手法に

より目標密度を達成した。

・粒径としては、小粒径と大粒径を代表するケースとして選定した CASE1-3-2 および CASE1-7-1（ポストプレス前）の粒度分布を確認した結果、大粒径（CASE1-7-1）は呼び径 26.5mm 以下の割合が 98.7%、小粒径（CASE1-3-2）は呼び径 19mm 以下の割合が 100%と、目標とした 25mm 以下の材料製造をほぼ達成した。

・試験結果部分にも記載したように CASE1-7-1 のうち密度が最も高い養生したベントナイトペレットをポストプレスしたものについては、金型サイズである 15mm に粒径が揃っているおり、今後の製造過程においても製作する金型サイズに応じた粒径を任意に設定できると考えらえる。

・今後は、製造工程の簡便化、単純化を通じて製造効率の向上を図るとともに、空間充填率の方の向上も見据え、転動ミキサ等によってペレット形状を改善していくことや様々なペレット粒径の組み合わせによって充填性を向上させる検討を行って行く。

(2) 充填予備試験

充填予備試験のまとめを以下に示す。

・充填予備試験を実施した結果、最終的な実証試験時の目標である空間充填率 70%に対し、最大で約 56%（目標の約 8 割）の空間充填率となった。また、15cm の想定隙間のうち最下部の水平部分には材料で満たされない未充填部分が確認された。

・今後、表 6.7.3-3 および表 6.7.3-4 に取りまとめた改善策を採用していくことで、原位置での実証試験時に空間充填率 70%を達成していく。

(3) 充填装置に関する予備試験

充填装置に関する予備試験のまとめを以下に示す。

・本予備試験を通じて、軸ありおよび軸なしの両者ともに製造したベントナイトペレットが移送可能であること、および設計として予定していた移送量を達成可能であることを確認した。

・ただし、移送効率については想定していた値よりも低い値が得られており、許容範囲であるものの来年度以降の機器製作に反映していく必要がある。

(4) 予備試験を通じた狭所施工への適用性に関する考察

予備試験を通じた狭所施工への適用性に関する考察を以下に示す。

・今年度の充填装置に関する予備試験の結果、外径約 100mm および外径約 90mm のスクリューコンベアを用いて、材料に関する予備試験で製造したベントナイトペレットの移送が可能であることを確認した。すなわち、想定している 150mm の隙間に対して適用可能な装置と材料の製造が可能なことを確認した。

・原位置での実証試験の際には、坑道周方向に存在する 150mm の隙間に加え、坑道軸方向の模擬 PEM 間もしくは模擬 PEM と坑道褄面との間にも材料を充填する必要がある。これらの隙間についても、周方向の円弧状の隙間に対して隙間形状が単純な形状となるため、充填予備試験の実施状況も踏まえて、スクリューコンベアで移送して重力による自然落下で充填

することは可能であると考えられる。

・本年度の予備試験では、円弧状隙間底部に未充填箇所が認められたものの、スクリューコンベアの配置の工夫などの機械側の工夫や、材料の粒径や乾燥状態の調整等により改善されると考えらえる。

・仮に隙間の大きさが広くなったり、トンネル交差部など隙間形状が変化したりする箇所についても、スクリューコンベアの配置の工夫によって対応可能であるものと考えらえる。

・本予備試験ではクニゲル GX、造粒ペレットの何れの場合でも、スクリューコンベアの軸ありの方が移送供給量が多く充填効率も高くなることを確認した。

・スクリューコンベアで移送する場合、スクリューとコンベア外管の自重や充填材料の重さによってたわみ、変形を起こすと、スクリューが回転できなくなる恐れがある。平成 28 年度以降に、本予備試験結果と適切なスクリューや外管の剛性設定および外管の保持機構も踏まえた詳細検討を行い、スクリューコンベアの機構を選定する。

参考文献

[1] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 17 年度 地層処分技術調査等遠隔操作技術高度化調査 報告書（2006）

[2] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 19 年度 地層処分調査技術等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書－遠隔操作技術高度化開発－（2008）

[3] Herwig R. Müller Tobias Vogt Benoit Garitte Sven Köhler Toshihiro SakakiHanspeter Weber Tim Vietor:The：Full-Scale Emplacement Experiment - Implementation of a multiple heater experiment at the Mont Terri URL NAGRA.

[4] Toshihiro Sakaki Sven Köhler and Herwig R. Müller：FE Experiment: Density measurement of granulated bentonite mixture in a 2D pre-test using a dielectric moisture profile probe NAGRA.

[5] Toshihiro Sakaki Sven Köhler Marian Hertrich and Herwig R. Müller：FE Experiment: Density measurement of granulated bentonite mixture in a 3D 1:1 scale mockup test using dielectric tools NAGRA.

[6] Benoit Garitte Florian Kober Herwig R. Müller Sven Köhler Hanspeter Weber and Ingo Blechschmidt：Stability of compacted bentonite blocks and block pedestals under changing climatic conditions in tunnels and long-term loads NAGRA.

[7] Benoit Garitte Herwig R. Müller and Hanspeter Weber：FE experiment/LUCOEX: Production of bentonite based backfill materials NAGRA.

[8] Heinz Jenni/ROWA Sven Köhler Herwig R. Müller/ NAGRA：FE Experiment/LUCOEX: Development of a prototype machine for backfilling horizontal emplacement tunnels with granulated bentonite NAGRA.

[9] NUMO：地層処分事業の安全確保（2010 年度版）－確かな技術による安全な地層処分の実現のために－ NUMO-TR-11-01（2011）

[10] Masuda Ryoichi; Asano Hidekazu; Tada Hiroyuki / RWMC　Mori Takuo; Shimura Tomoyuki; Matsuda Takeshi; Uyama Masao; Noda Masaru / Obayashi：Buffer Construction Technique by means of Granular Bentonite.

[11] 戸栗智仁高橋康裕朝野英一／原子力環境整備促進・資金管理センター岩佐健吾中島均／清水建設：ベントナイトペレットとベントナイトスラリーを併用する隙間充てん方法に関する研究（2007）

[12] 戸栗智仁景山仁志朝野英一／原子力環境整備促進・資金管理センター沖原光信岩佐健吾中島均石井卓／清水建設：横置き定置式における緩衝材周辺隙間へのベントナイトペレットの充てん方法に関する研究（2008）

[13] 山本卓也矢田勤藤原斉郁／大成建設西村務竹内靖典／神戸製鋼所:粒状ベントナイト充填による狭隘部人工バリア施工の検討その 3－施工・品質管理方法の検討―(2009)
[14] 白瀬光泰森川義人遠藤さち恵／大成建設三上登池田淳／日特建設:粒状ベントナイトを使用した乾式ベントナイト吹付け工法の基礎実験（2013）
[15] 森拓雄土井暁／大林組：ベントナイト系人工バリア切削技術の開発（2015）
[16] 森川義人根木政広白瀬光泰遠藤さち恵藤原斉郁立石洋二:人工バリア施工における粒状ベントナイトの効率的締固め技術の開発 大成建設技術センター報第 45 号（2012）
[17] 古市光昭奥津一夫田中俊行／鹿島建設棚井憲治／動燃:高レベル放射性廃棄物処分場の埋戻し（シーリング）概念に関する検討 No.594／Ⅶ-7 May（1998）
同文献および同文献中の参考文献（SKB NAGRA AECL 等の事例）
[18] David Dixon/Atomic Energy of Canada Limited Torbjörn Sandén/Clay Technology AB Esther Jonsson/Svensk Kärnbränslehantering AB Johanna Hansen/Posiva Oy：Backfilling of deposition tunnels: Use of bentonite pellets P-11-44 SKB（2011）
[19] Anna Johnsson/ES Konsult AB Torbjörn Sandén/Clay Technology AB：System design of backfill Pellet optimization R-13-47 SKB（2013）
[20] 竹ヶ原竜大高尾肇／日揮佐藤由子和田英孝荒岡邦明中嶋幸房／基礎地盤コンサルタンツ植田浩義木元宗宏／東京電力:すきま充填材としてのベントナイト特性に関する研究（その 1）―すきま充填材の充填特性評価―（2000）
[21] 高尾肇竹ヶ原竜大／日揮佐藤由子和田英孝荒岡邦明中嶋幸房／基礎地盤コンサルタンツ幾世橋広／東北大学植田浩義木元宗宏／東京電力:すきま充填材としてのベントナイト特性に関する研究（その 2）―すきま充填材の熱物性値評価―（2000）
[22] 杉田裕／核燃料サイクル開発機構千々松正和雨宮清／ハザマ:ベントナイトペレットを用いた緩衝材の隙間充填性に関する検討（その 1）ベントナイトペレット膨潤後の止水性に関する検討（2001）
[23] 千々松正和雨宮清／ハザマ杉田裕／核燃料サイクル開発機構:ベントナイトペレットを用いた緩衝材の隙間充填性に関する検討（その 2）楔形状の隙間に対する充填性に関する検討（2001）
[24] 高尾肇増田良一／原子力環境整備促進・資金管理センター上坂文哉竹ヶ原竜大／日揮雨宮清千々松正和／ハザマ：ベントナイトペレットの特性試験（その 1）―ベントナイトペレットの製作方法の検討及び製作―（2002）
[25] 高尾肇増田良一／原子力環境整備促進・資金管理センター雨宮清千々松正和／ハザマ竹ヶ原竜大／日揮：ベントナイトペレットの特性試験（その 2）―ベントナイトペレットの熱物性および膨潤特性―（2002）
[26] 九石正美川口光夫／産業創造研究所竹ヶ原竜大高尾肇／日揮：緩衝材の膨潤・透水特性―隙間の影響―（2005）
[27] 杉田 裕／核燃料サイクル開発機構菊池広人／検査開発：人工バリアにおける緩衝材の隙間充填挙動に関する基礎試験 JNC TN8430 2002-003 December（2002）

[28] 杉田 裕棚井憲治／核燃料サイクル開発機構菊池広人／検査開発：人工バリアにおける緩衝材の隙間充填挙動に関する基礎試験（Ⅱ）JNC TN8430 2003-007 November（2003）

[29] 北川義人：テーマ 2: 技術の保有・移転に向けた関係機関との共同研究　人工バリア施工技術適用試験の実施－SKB との共同研究－NUMO.

[30] 大槻影良／石川島播磨重工：高レベル廃棄物処分孔の隙間充填装置（特開平 10-186095）IHI 14.07（1998）

[31] 山下亮／ハザマ：放射性廃棄物の埋設場所における隙間充填材の充填方法（特開 2012-132867）間組 12.07（2012）

[32] 中山雅澤田純之棚井憲治杉田裕／原子力機構：幌延 URL における人工バリアの性能確認試験:（1）試験計画の全体概要（2013）

[33] 澤田 純之中山 雅棚井 憲治／原子力機構森川 義人／大成建設城 まゆみ／大成・大林・三井住友 JV：幌延 URL における人工バリアの性能確認試験:（2）堆積岩の掘削ズリを用いた坑道の埋め戻し材の締固め特性と透水性に関する検討（2013）

[34] 菊池広人棚井憲治澤田純之前川恵輔／原子力機構：幌延 URL における人工バリアの性能確認試験:（3）堆積岩の掘削ズリを用いた坑道の埋め戻し材の膨潤圧特性に関する検討（2013）

[35] 白瀬光泰／大成建設丹生屋純夫／大成・大林・三井住友 JV 澤田 純之中山 雅棚井 憲治松崎達二／原子力機構：幌延 URL における人工バリアの性能確認試験:（4）堆積岩の掘削ズリを用いた埋め戻し材ブロックの検討（2013）

[36] 澤田 純之中山 雅棚井 憲治松崎達二／原子力機構本島貴之城まゆみ／大成・大林・三井住友 JV：幌延 URL における人工バリアの性能確認試験:（5）堆積岩の掘削ズリを用いた埋め戻し材の 転圧締め固め特性（2013）

[37] 中山 雅澤田 純之棚井 憲治杉田裕松崎達二／原子力機構城まゆみ／大成・大林・三井住友 JV：幌延 URL における人工バリアの性能確認試験:（6）堆積岩の掘削ズリを用いた埋め戻し材による坑道埋め戻しの基本的考え方（2013）

[38] 丹生屋純夫下原正弘城まゆみ名合牧人／大成・大林・三井住友 JV 中山 雅棚井 憲治橋本祐太捻金礎人／原子力機構：幌延 URL における人工バリアの性能確認試験:（7）大口径掘削機による試験孔の掘削（2014）

[39] 城まゆみ本島貴之丹生屋純夫／大成・大林・三井住友 JV 白瀬光泰／大成建設中山雅棚井憲治／原子力機構：幌延 URL における人工バリアの性能確認試験:（8）緩衝材中の計測計画（2014）

[40] 中山雅／原子力機構三浦律彦石田知子竹田宣典／大林組丹生屋純夫城まゆみ／大成・大林・三井住友 JV：幌延 URL における人工バリアの性能確認試験:（9）低アルカリ性セメントのプラグコンクリートへの適用（2014）

[41] 丹生屋純夫白瀬光泰名合牧人／大成・大林・三井住友 JV 佐藤伸／大林組中山雅／原子力機構：幌延 URL における人工バリアの性能確認試験:（10）プラグ部形状に関する解析的検討（2015）

[42] 中山雅大野宏和棚井憲治／原子力機構白瀬光泰丹生屋純夫下原正弘／大成・大林・三井住友 JV：幌延 URL における人工バリアの性能確認試験:（11）緩衝材埋め戻し材およびコンクリートプラグの施工（2015）
[43] 棚井憲治菊池広人中山雅大野宏和／原子力機構白瀬光泰高橋昭博丹生屋純夫栗山政徳／大成・大林・三井住友 JV：幌延 URL における人工バリアの性能確認試験:（12）埋め戻し材の原位置締固め施工における品質管理手法の検討（2015）
[44] 白瀬光泰丹生屋純夫矢吹義生名合牧人／大成・大林・三井住友 JV 中山雅大野宏和／原子力機構：幌延 URL における人工バリア性能確認試験　堆積岩の掘削ズリを用いた埋め戻し材による坑道埋め戻しの検討及び施工（2015）
[45] 本島 貴之臼井 達哉坂本 淳／大成建設三浦律彦丹生屋純夫石田知子／大林組中山雅大野宏和／原子力機構：幌延 URL における人工バリア性能確認試験　高流動・低アルカリプラグコンクリートの配合検討および温度応力解析・躯体温度測定結果（2015）
[46] 電気事業連合会核燃料サイクル機構：TRU 廃棄物処分技術検討書（2005）
[47] 田中幸久長谷川琢磨中村邦彦:海水の濃度が各種ベントナイトの透水係数ならびに膨潤圧に及ぼす影響のモデル化土木学会論文集 C 65（1）66-84（2009）
[48] 原子力環境整備促進・資金管理センター：H21 遠隔技術高度化
[49] 原子力環境整備促進・資金管理センター:地層処分回収技術高度化開発）（H23～H26）
[50] 第一カッター興業ホームページより引用（http://www.daiichi-cutter.co.jp/）
[51] Pal Kalbantner and Rolf Sjöblom ÅF Energikonsult AB：Techniques for freeing deposited canisters Final report TR-00-15 June（2000）
[52] Bo Nirvin Svensk Kärnbränslehantering AB：Äspö Hard Rock Laboratory Retrieval of deposited canister for spent nuclear fuel Freeing – slurrying of saturated bentonite buffer around a canister at Äspö HRL Technology equipment and results in connection with freeing　for the Canister Retrieval Test　IPR-08-04 January（2007）
[53] Ola Kristensson Lennart Börgesson Clay Technology AB：Canister Retrieval Test　Final report　TR-14-19　January（2015）
[54] 松永 浩一;田村 彰教：幌延深地層研究計画 地下施設実施設計 -設計報告書- JNC-TJ5410 2005-002（2005）

第7章　回収可能性の維持についての検討

7.1　背景と目的

7.1.1　背景

(1) 回収可能性にかかわる国内の動向

高レベル放射性廃棄物処分における廃棄体の回収可能性に関して、平成 27 年 5 月 22 日に閣議決定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」[1]（以下、「基本方針」）において、実施主体は、特定放射性廃棄物が最終処分施設に搬入された後においても、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保するものとされており、国及び関係研究機関は、最終処分施設を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査研究を進め、最終処分施設の閉鎖までの聞の特定放射性廃棄物の管理の在り方を具体化することが求められている。さらに、最終処分に関する国民との相互理解を深め、最終処分事業を円滑に推進するための社会的側面に関する調査研究も進めていくことが重要であることが記されている。

(2) 回収可能性にかかわる国際的な動向

OECD/NEA の Reversibility and Retrievability (R&R)プロジェクトでは、高レベル放射性廃棄物および使用済燃料の深地層処分のための可逆性と回収可能性に関し、その概念に関する問題の範囲と考え方について NEA 加盟国による調査・議論が行われた。2011 年に発行された最終報告書[2]の中では、廃棄物貯蔵～処分場操業～閉鎖後長期における事業段階ごとに、回収可能性（回収の容易性)、安全確保の考え方等の関係を整理している（図 7.1.1-1)。同報告書では、回収可能性に関係する地層処分場の構成要素や、回収可能性を検討していくために事業段階ごとに考慮すべき要因についても検討されている。回収可能性維持に関する検討では、大きく二つのアプローチが提唱されている。

- 回収の容易性を考慮せず構築された処分場の概念を対象に、廃棄体を安全かつ合理的に回収するための技術を準備する
- 回収の容易性を考慮した処分場の概念を構築し、廃棄体を安全かつ合理的に回収する技術を準備する

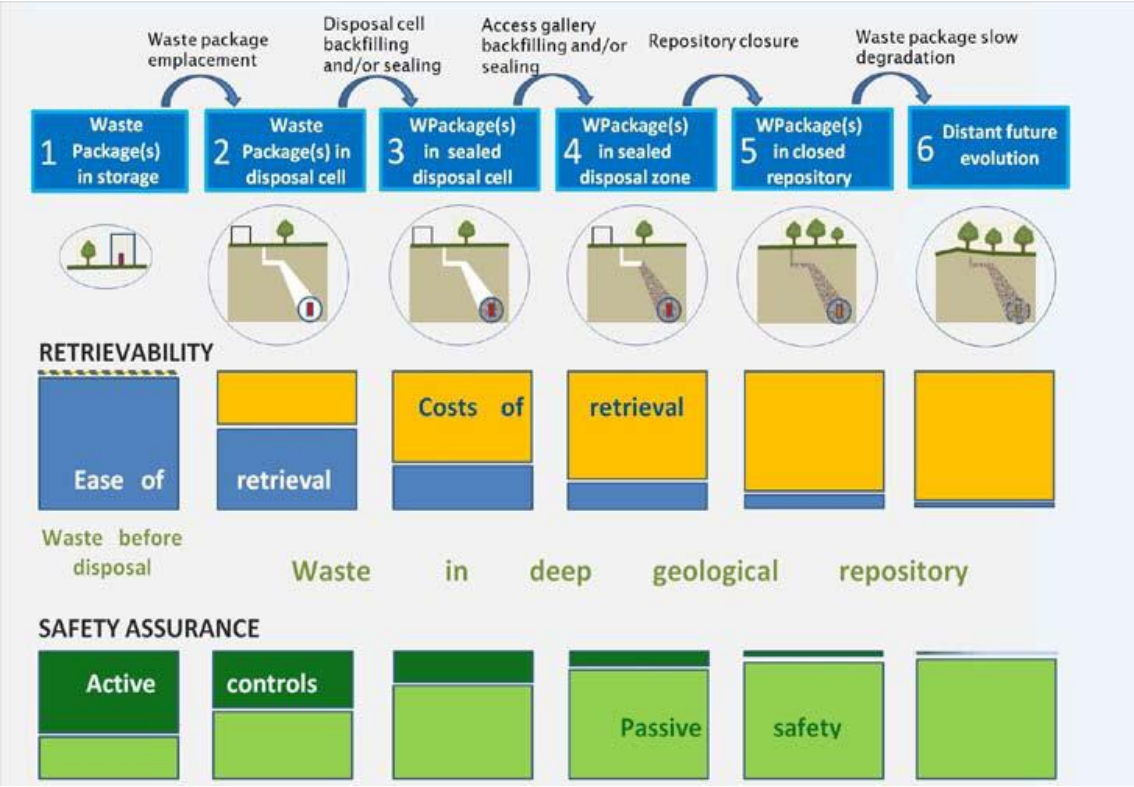


図 7.1.1-1　処分の全事業段階における回収可能性の変化を表したスケール
〔OECD/NEA　R（回収可能性）スケール（OECD/NEA、2011)〕

(1) これまでの検討

平成 25 年度から平成 26 年度に「地層処分技術調査等事業（地層処分回収技術高度化開発)」の中で、回収維持期間の検討を実施した。この調査は、(1)項で述べた平成 27 年度に閣議決定された「基本方針」に先立ち、処分施設における回収維持期間を検討したものである。目的は、処分施設を完全に埋め戻さずに、廃棄体を回収するための維持期間についての検討であり、平成 25 年度には処分施設を埋め戻さずに一定期間維持することで、処分施設の安全性に及ぼす影響について、周辺岩盤の力学的な観点、水理的な観点及び化学的な観点等から調査・整理を行った。また、平成 26 年度には、抽出した処分施設の安全性能に影響を及ぼす要因について、人工バリアの性能維持が可能な期間の観点から分析を行い、主たる影響要因について、その影響の程度を定量的に把握するとともに回収維持期間を設定することを目的とした。さらに、設定した回収維持期間に対し処分施設を維持管理するための具体的な方策と残される課題を整理した。

表 7.1.1-1 に、安全性に及ぼす影響を整理したものを示す。表中に示したように、定性的に評価をした結果、埋め戻しをしない期間がある場合には、周辺岩盤の変化が増大し人工バリア性能への影響のリスクも増大する可能性があることが明らかとなった。空洞の安定性確保のためには岩盤や坑道の複雑な挙動や劣化現象を解明・予測する研究に加えて、工学的な対策としての適切な維持管理が重要である。

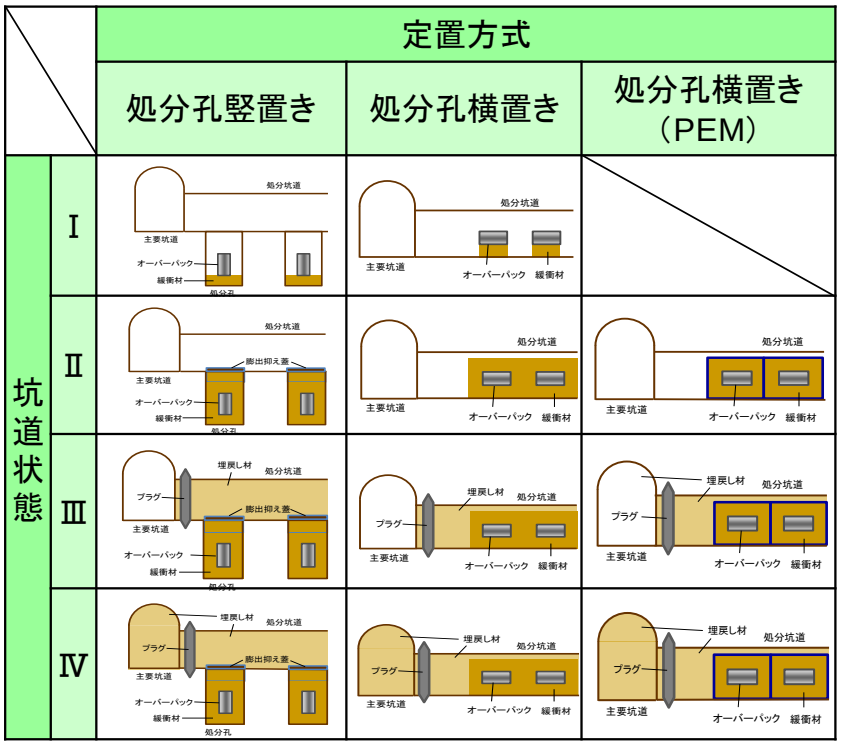
抽出した影響について定量的な把握を行うために、坑道状態を表 7.1.1-2 のように設定し、各状態において、維持期間の例示のための検討を行った。熱解析、オーバーパックの腐食、緩

衝材の流出量を既往の状態設定（「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第２次取りまとめ」、以下、第 2 次とりまとめ[4]）に基づいて算出した[3]。

表 7.1.1-1　一定期間埋め戻さない状態の設定と施設の安全性に及ぼす影響

影響項目	周辺岩盤	人工バリア
力学的影響	・経時変化による岩盤剛性の低下 ・支保や覆工の劣化による坑道の耐力低下	・腐食進行による材料の減肉 ・緩衝材変形による密度低下
水理学的影響	・岩盤の劣化による透水性の変化	・湧水による緩衝材の密度低下
化学的な影響	・支保材料など鋼材の腐食	・腐食による緩衝材の劣化 ・地下水質の変化による腐食速度の変動
熱的な影響	・温度上昇による化学反応の促進	・地下水質の変化による腐食速度の変動
評価	一定期間埋め戻ししない期間がある場合，周辺岩盤の変化が増大する。さらに，人工バリア性能への影響リスクも増大する可能性がある。	

表 7.1.1-2　坑道状態の設定



平成 26 年度に行った定量的な検討により得られた知見と課題のまとめを以下に示す。

・坑道状態Ⅰ（オーバーパックのみ設置した状態）：回収の容易性は高いものの、オーバーパックの長期健全性を維持するための工学的対策が必要となり、その実現性や信頼性について検討が必要となる。

・坑道状態Ⅱ（緩衝材を定置した状態）：竪置き方式において、緩衝材を定置することにより、オーバーパックの長期健全性を確保する観点からは、合理的な状態であると考えられる。

しかし、横置き方式（原位置）の処分坑道については、緩衝材を定置することにより維持管理のための空間を確保することが難しくなるため、湧水抑制対策の維持管理の実現性と信頼性の確保に向けた検討が必要である。

・坑道状態Ⅲ（処分坑道までを埋め戻した状態）：坑道内が還元環境に移行し、人工バリア性能が維持されている状態であると考えられる。しかし、Ⅱ（緩衝材を設置した状態）と同様に主要坑道が空いている状態であることから、岩盤中の動水勾配の変化に対応した湧水抑制対策の検討が必要である。

・技術的要素だけではなく社会的要素を含めて決定されるものであるが、回収維持期間の長さに柔軟性を持たせるためには、各坑道の維持管理の成立性や信頼性が技術的な論点である。

・回収維持期間については、一定期間処分施設を埋め戻さない条件の場合、第 2 次取りまとめにおける人工バリアの要件とは異なることから、人工バリア性能に及ぼす影響の程度と維持期間の設定の考え方について継続的な検討が必要である。

これらの知見と課題のもとに、平成 27 年度の研究内容を決定し、方針を設定した。

7.1.2　目的

本業務は、地下環境における高レベル放射性廃棄物の回収可能性の維持に関して、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響等について検討することを目的としている。

前項で示したように、平成 26 年度までに実施した搬送定置・回収技術や上述の回収維持期間についての検討[3]をしており、これを踏まえ、処分施設の安全性に影響を及ぼす要因について、人工バリアの性能維持が可能な期間の観点から分析し、影響要因について網羅的に整理する。さらに、これらの結果に基づき、処分場の長期的な安全性を損なうことなく坑道を維持できる期間を設定するための具体的な方策とリスク、状態観察、回収後の対応等の要素をまとめ、回収可能性に係わる技術要素マップを作成する。

7.2　検討の概要

7.2.1　検討方針

本業務の目的は前述したとおり、「地下環境における高レベル放射性廃棄物の回収可能性の維持に関して、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響等について検討すること」である。この目的を達成するためには、まず「処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響」の理解が重要である。そこで検討方針を示す前に、「回収可能性とバリアの長期的な安全性への影響」の概念、および「処分場の閉鎖時期の違いによるバリアの性能維持」に関する基本的な考え方を述べる。

① 回収可能性とバリアの長期的な安全性への影響に対する基本的な考え方ついて

本業務での検討対象となる、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響の概念を図 7.2.1-1 に示す。建設・処分スケジュールにより、人工バリアとその周辺の岩盤および坑道は、熱的（T）、水理的（H）、力学的（M）、化学的（C）な特性が変化するとともに、相互に影響を及ぼし合う。例えば、岩盤および坑道は建設開始から時間の経過とともに掘削影響や風化などの劣化現象により熱的、力学的、水理学的、化学的な特性が変化して坑道の維持に影響を及ぼし、坑道内の環境は人工バリアの定置後に緩衝材やオーバーパックに影響を及ぼす。人工バリア自体もガラス固化体の発熱等により、オーバーパックや緩衝材が影響を受ける。このことから、回収可能性維持および人工バリアの長期性能を維持するためには、人工バリアおよびそれらを取り巻く岩盤・坑道環境の状態を維持する必要がある。これらの状態維持のためには、安全性を損なう要因となる各因子の把握・評価や、その結果に基づいた工学的対策の検討が必要となる。

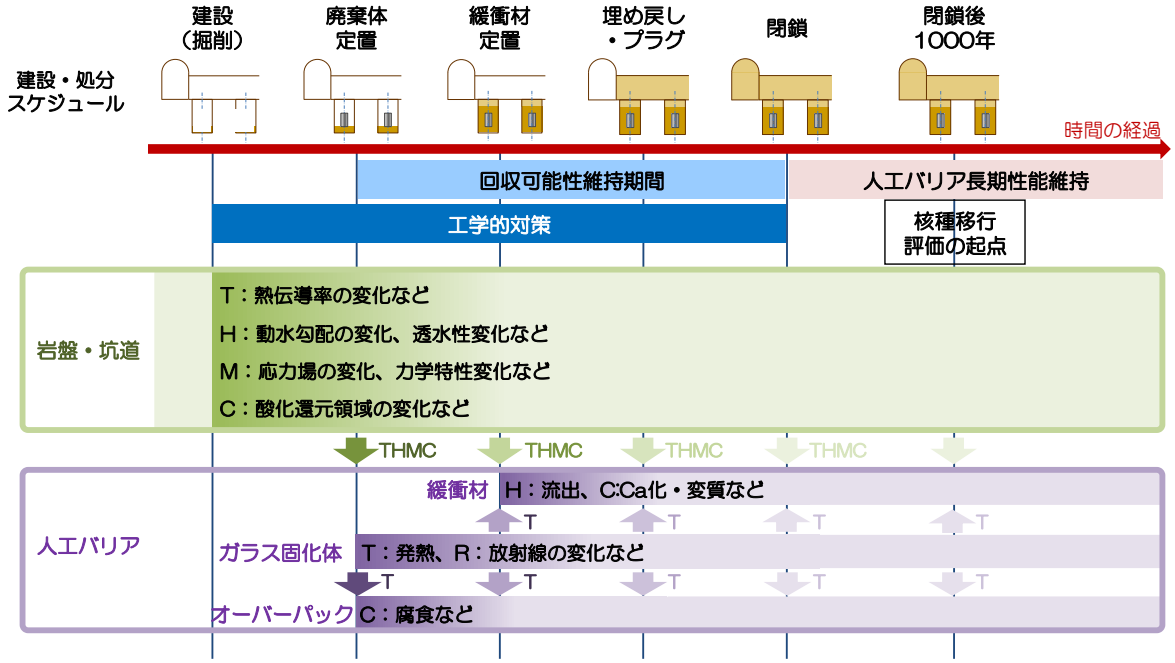


図 7.2.1-1　処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響の概念

② 閉鎖時期の違いによるバリアの性能維持の基本的考え方について

バリアの状態が建設・処分スケジュールや時間の経過とともに変遷することは前述のとおりである。廃棄体の定置直後に処分場を閉鎖する場合と処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持する場合とを比較すると、バリアの状態変化は処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持する場合の方が大きくなると考えられる。従って、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持し、かつ安全評価で求められるバリアの要求性能を満足するためには、回収可能性維持期間に生じる状態変化に対応するための対策が必要となる。対策には、回収可能性を維持するための施工による方法と、回収可能性を維持するための工学的な対策を含んだ施工により状態変遷を低減させる方法が考えられる。閉鎖時期の違いと工学的対策によるバリアの状態変遷の概念を図 7.2.1-2 に示す。

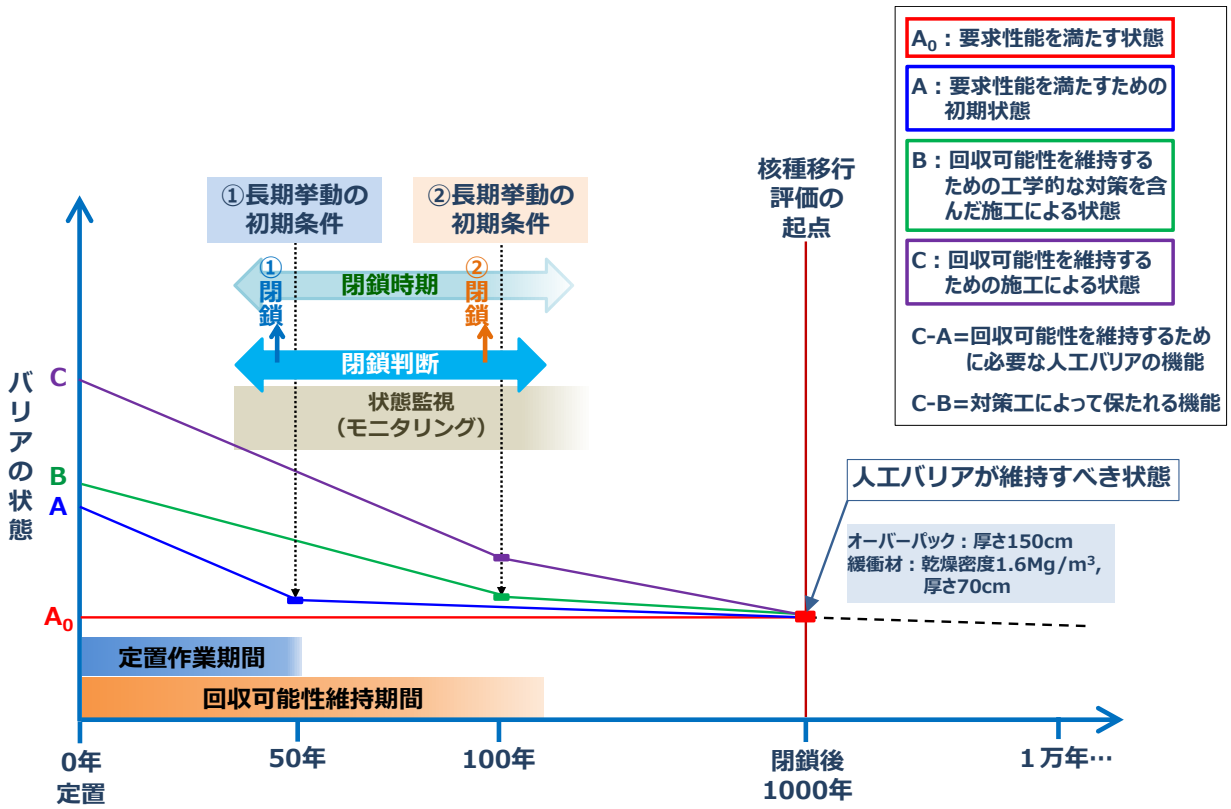


図 7.2.1-2　閉鎖時期の違いと工学的対策によるバリアの状態変遷の考え方

以上のような回収可能性維持と人工バリア長期性能維持に関する基本的な考え方、および前章で述べた回収可能性（容易性）に関する国内外の背景を踏まえ、実施内容に対して、次の検討方針のもとで検討を行うこととした。

【検討方針１】「長期的な安全性に与える影響」の理解と整理に基づく検討

本業務の目的は「地下環境における高レベル放射性廃棄物の回収可能性の維持に関して、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響等について検討すること」である。この目的を達成するためには、まず「長期的な安全性に与える影響」についての考え方を明らかにして示すことが重要である。

「長期的な安全性」とは、直接的には人工バリアの長期性能を保つことを意味する。ただし、人工バリアの長期性能としての要件を閉鎖後に達成するためには、坑道環境の作用により影響を受ける人工バリアの状態を回収可能性維持期間中にわたり保持する必要がある。すなわち、「回収可能性を維持した場合の長期的な安全性」は、長期性能としての要件を閉鎖後に達成できる人工バリアおよび坑道環境の状態を維持することと考えられる。ここで、回収を考慮すると、人工バリアおよび坑道環境の状態は回収作業により影響を受け、また、回収（の容易性）も坑道環境の作用の影響を受けることが考えられる。

よって、本業務の目的に示されている「処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響」とは、坑道環境の作用によるバリア性能への影響、坑道環境の作用による回収（の容易性）への影響、回収作業による人工バリアと坑道環境への影響に大別できると

考える。この 3 つの影響についてさらに整理し、以下に述べる。

① 坑道環境の作用によるバリア性能への影響は「処分場の成立性への影響」であり、以下の二つに整理できる。
・閉鎖後長期の安全確保
・操業期間中の安全確保

② 坑道環境の作用による回収（の容易性）への影響は「回収可能性を視点とした時の国内外の処分場の整理（処分場の性能として回収の容易性を積極的に付加しているか)」により、OECD/NEA R&R Report（2011）[2]により以下のアプローチが提案されている。
・回収の容易性を考慮せず構築された処分場の概念を対象に、廃棄体を安全かつ合理的に回収するための技術を準備する
・回収の容易性を考慮した処分場の概念を構築し、廃棄体を安全かつ合理的に回収する技術を準備する

③ 回収作業による人工バリアと坑道環境への影響は「回収の対象となる廃棄体の量による整理」ができる。
・一部回収
・全量回収

本業務では「長期的な安全性に与える影響」について、ここで示した 3 つの影響を考える必要性があるという方針のもと、検討を実施する。

【検討方針 2】時間・場所・場合（TPO）を明確にした包括的な検討

本業務においては多様かつ複雑な影響を包括的に取りまとめる。そこで、時間・場所・場合（以下、TPO）を基軸にした検討を進める。

T（時間）：処分場の閉鎖せずに維持する時間の影響

人工バリアおよび坑道環境の状態は、熱的、水理学的、力学的、化学的な観点の影響を受けて時間とともに変遷していく。各観点の影響は、建設から定置、埋め戻し、回収、閉鎖などの各イベントにより変化するため、各イベントで変化する各観点での影響を連続する時間の経過を考慮して検討を進める。

P（場所）：回収可能性維持の状態（物理的な状態）の影響

人工バリアおよび坑道環境の状態は、熱的、水理学的、力学的、化学的な観点の影響を受けるが、これらの影響の大きさは回収可能性維持の物理的な状態により異なる。また、回収作業が人工バリアと坑道環境に与える影響は、回収時に存在する人工バリアおよび坑道の構成要素や、それに応じて選択される回収技術、回収対象となる廃棄体の量などにより異なることが考えられる。これらを考慮するために回収可能性維持の状態について物理的に異なるオプションを設定した検討を行う。これにより、回収については放射線影響の観点も加える

ことが可能となり、回収時の放射線安全などのリスク評価も検討できる。

O（場合）：回収作業の影響（回収しない場合、回収した場合の影響）

回収は人工バリアおよび坑道環境の状態に影響を及ぼすため、回収可能性を維持しつつ回収しない場合と回収した場合に分けて影響を整理する。回収しない場合の人工バリアおよび坑道環境の状態は、回収可能性維持期間の影響を受けた変遷となり、閉鎖へと進む。一方、回収した場合の人工バリアおよび坑道環境の状態には、回収維持期間の影響に加えて回収の影響が加わる。回収の影響については、回収時の作業や、回収後の対応等を検討する必要がある。これらは回収の対象となる廃棄体の量や回収後に求められる処分場の性能などを考慮した検討となる。

【検討方針 3】並行して進む検討会や研究開発と密接な連携をとった検討

本業務の背景である「基本方針」[1]において、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性(回収可能性)を確保することが求められていること、さらに、最終処分に関する国民との相互理解を深め、最終処分事業を円滑に推進するための社会的側面に関する調査研究も進めていくことが重要であることを意識した検討を実施する。

また、本年度の業務により整理した技術課題は、回収可能性を維持するために必要な工学的対策や回収技術の検討として 5 ヵ年計画を策定する。この 5 ヵ年計画を、処分事業の推進に資する社会的貢献度の高いものとなるよう、これまで個々に実施されてきた技術開発の成果を統合して検討を進める。具体的には、本業務である「高レベル放射性廃棄物処分関連：可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発」の中で行われる「地下環境での搬送定置・回収技術の高度化開発」や「処分システム工学確証技術開発　人工バリア品質／健全性評価手法の構築」と連携をとり、監視・予測技術等の整理も含めて、広く最新の知見や研究成果を取り込む。「長期的な安全性」の検討をより現実的なものとするために、事業期間を通して時間的・空間的に途切れの無い連続させた検討とする。

7.2.2　検討方法

処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響は、作業（検討）で扱う条件や想定される状態が様々かつ複雑となり、目標とする成果の達成が不透明なものに成りかねない。これに対し、本業務において実施する作業内容は、検討方針で示したように、評価や整理の際の基軸を明確にした検討（例えば、TPO や温度・水理・力学・化学（以下、THMC）を基軸とした検討）を展開するとともに、既往の検討で実績のある手法（例えば、Features, Events and Processes （以下、FEP）や Process・Infuence・Diagram（以下、PID）作成）を用いて行う。すなわち、「評価や整理の基軸の明確化」および「既往検討で実績（および経験・知見）のある手法の展開」のもとで作業することにより、効率的に目標達成に向けた作業を進めることが可能であると考える。

また、多様な状態を想定した網羅的な検討を行うことを目標とするため、検討ケースを明確に

する必要がある。そのため、はじめに基本ケースを設定し、基本ケースを始点として検討のケースを展開する。展開し、整理することを考慮し、基本ケースは処分場の概念として既存の知見が多く、標準的と言えるものをし、検討すべき要素をできるだけ多く含んでいる状態を選択する。

(1) 技術要素マップ作成の方針の具体化と 5 ヵ年の計画策定の進め方

人工バリアの長期性能は、処分場の建設・処分スケジュールの各段階における人工バリアの状態および坑道環境の作用などから影響を受けると考えられることから、「処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性」とは、「閉鎖までの間は廃棄体の回収可能性を維持した場合に、人工バリアの長期性能としての要件を閉鎖後に達成できる状態を人工バリア・坑道環境ともに維持すること」と考えられる。ただし、人工バリアおよび坑道環境の状態は、処分場の建設・処分スケジュールにおける建設、操業（廃棄体定置、緩衝材定置、埋め戻し・プラグ設置）、閉鎖までの各段階で様々な要因により時間の経過に伴って変わっていくため、「長期的な安全性」を検討する際には要因や時間による状態の変遷を考慮していく必要がある。そのため、以下の 4 つのステップで作業を進める。

① 処分施設の安全性に影響を及ぼす要因とその要素の抽出

処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響に及ぼす要因とその要素について、TPO を基軸にした抽出作業を行う。また、処分施設の状態変遷については、THMC を軸とした整理と FEP による分類と妥当性の検討を行う。

② 分析と整理による、要素の妥当性検討

抽出された影響因子と影響先について、PID 作成により、状態変遷の理解と、閉鎖前と閉鎖後のセーフティケースへの影響の分析と整理を図り、妥当性を検討する。

③ 技術要素マップの具体化と作成

影響評価、対応策の検討成果に基づき、回収可能性維持期間と回収時の状態オプションに対する必要技術を設定し、それらの区分を整理することにより、技術要素マップの枠組みを構築していく。

④ 5 ヵ年計画の策定（影響評価と影響低減策を考慮した検討計画の策定）

②で整理した PID を用い、それらの評価方法と対応策（影響やリスクの低減策）を検討するための 5 ヵ年計画を策定する。

図 7.2.2-1 に検討の進め方を示す。冒頭述べたように、はじめに「基本ケース」を設定し、その後に上記の 4 つのステップで検討を行う。「① 処分施設の安全性に影響を及ぼす要因とその要素の抽出」と「② 分析と整理による、要素の妥当性検討」は技術要素マップの作成方針の具体化と 5 ヵ年の計画策定の双方の作成のベースとなる情報の整理となる。また、技術要素マップの作成により、得られた技術課題はさらに 5 ヵ年の計画の策定に反映する。

なお、検討を行う際に考慮する項目は、以下の 5 項目を含めたものとする。

・処分概念

・長期性能
・閉鎖前の状態
・回収可能性維持の影響
・その影響の評価

各検討項目に対する具体的な検討対象や検討内容をまとめて表 7.2.2-1 に示す。表に示した検討項目のうち、「処分概念」について本年度は「従来の処分概念」を対象として検討を行い、その結果を踏まえた上で、「回収容易性を考慮した処分概念」については影響低減の対策として必要性を検討する。これに伴い、「その影響の評価」の「坑道環境の作用による回収（の容易性）への影響の評価」のうち、「回収容易性を考慮した場合の影響」については次年度以降の検討項目とする。

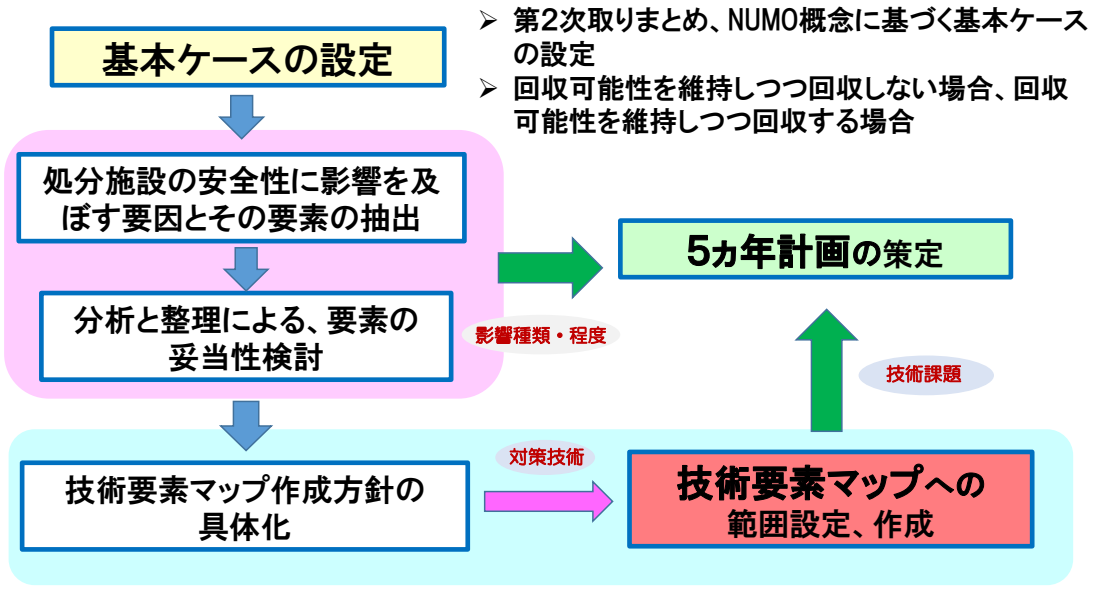


図 7.2.2-1　検討の進め方

表 7.2.2-1　検討項目に対する具体的な検討対象や検討内容

検討項目	具体的な検討対象や検討内容
処分概念	○従来の処分概念 ○回収容易性を考慮した処分概念
長期性能	○人工バリア長期性能としての要件を閉鎖後に達成できる人工バリアの状態 ○人工バリア長期性能としての要件を閉鎖後に達成できる坑道環境の状態
閉鎖前の状態	（処分スケジュールの中で回収可能性を維持する状態） ○廃棄体（オーバーパック）定置状態 ○緩衝材設置状態 ○処分坑道まで埋め戻し状態 ○主要坑道まで埋め戻し状態
回収可能性維持の影響	○処分場の閉鎖をしない時間の影響 ○回収可能性維持の状態の影響 ○回収した場合の影響
その影響の評価	○坑道環境の作用によるバリア性能への影響の評価 ・閉鎖後長期の安全確保への影響 ・操業期間中の安全確保への影響 ○坑道環境の作用による回収（の容易性）への影響の評価 ・回収（の容易性）を考慮しない場合の影響 ・回収（の容易性）を考慮した場合の影響 ○回収作業による人工バリアと坑道環境への影響の評価 ・回収する対象量が全量の場合の影響 ・回収する対象量が一部の場合の影響 ・回収後の処分場に求められる性能を考慮した影響

(2) 技術要素マップの作成

(1)の方針・計画の基に回収可能性維持に関連する要素の網羅的な抽出と共に、その関連性を可視化し、安全性確保の要素、回収シナリオの整理も含めて、技術要素マップを作成する。

技術要素マップ作成にあたり、初めに、検討対象範囲を明確にするために、技術要素マップ作成の対象範囲の設定を実施したうえで、技術要素マップの作成と技術課題の整理を行う。整理した技術課題は 5 ヵ年計画に集約させる。

上記に対して以下の 3 つのステップで作業を進める。

① 技術要素マップ作成の対象範囲の設定

技術要素マップ作成方針と枠組み（テンプレート）を念頭に、技術要素マップ作成に際して検討対象範囲（考慮するパラメータとその幅）を設定する。

② 技術要素マップの作成と技術課題の整理

(1)で作成した技術要素マップの作成方針と技術要素マップの枠組みを用い、基本ケースに対する技術要素マップを作成したのち、状態のオプションや回収のオプションに対する技術要素マップを拡張していく。また、技術課題について、各技術要素を展開した技術要素展開表を用いて整理する。

③ 5ヵ年計画への集約（技術課題の評価に資する予備検討）

技術要素マップおよび技術要素展開表の作成の過程で得られた、各技術要素グループで重要と考えられる技術に着目し、技術要素展開表で整理した技術課題を分析して、今後開発すべき事項を明らかにし、実施事項を5ヵ年計画に集約する。

なお、検討項目については前述のように回収可能性維持に関連する要素について網羅的に調査し、技術要素マップを作成する。技術要素マップは以下の内容を含むものとし、各項目に示す要目を含んだものとする。

a) 回収可能性の維持状態と技術課題
- ・処分概念
- ・定置方式
- ・回収可能性維持の状態
- ・工学的対策

b) 回収維持の工学的対策案
- ・10～30年
- ・50年
- ・100年
- ・100年以降

c) 処分場を閉鎖しないことによる安全性への影響
- ・操業期間中の安全に係わる付加要因、およびリスク
- ・閉鎖後長期の安全への影響

d) 回収に至るシナリオ
- ・回収時期
- ・回収の理由
- ・回収判断
- ・回収技術
- ・定性的な経済性

a) 「回収可能性の維持状態と技術課題」に含まれる要目に対する具体的な内容

・処分概念については、7.1.1の背景で述べたOECD/NEAのR&Rプロジェクトの回収可能性維持に関する検討[2]で示されている二つの回収にかかわる処分概念の考え方のうち「回収容易性を考慮しない従来の処分概念」を検討内容に含める。

・定置方式については、従来概念の竪置き方式を対象とする。横置き方式はPEM

（Prefabricated Engineered barrier system Module）方式を対象とし、竪置き方式の検討結果を応用・展開して、次年度以降の検討内容に含める。

・回収可能性維持の状態については、人工バリアおよび坑道環境の状態の違いによる影響を考慮するため、処分スケジュールの中から廃棄体（オーバーパック）定置、緩衝材設置、処分坑道まで埋め戻し、主要坑道まで埋め戻し、の 4 つのオプションを検討内容に含める。

・工学的対策については、「長期的な安全性に与える影響」に対する低減策として、坑道環境の作用によるバリア性能への影響を低減させる対策（閉鎖後長期の安全性確保対策、操業期間中の安全性確保対策）、坑道環境の作用による回収（の容易性）への影響を低減する対策、回収作業による人工バリアと坑道環境への影響を低減する対策（回収量と回収後の処分施設に求める性能ごとの違いによる対策）を考慮する。

「回収可能性の維持状態と技術課題」に含まれる要目に対し、具体的な内容をまとめて表 7.2.2-2 に示す。

表 7.2.2-2　「回収可能性の維持状態と技術課題」に含まれる要目に対する具体的な内容

要目	具体的な内容
処分概念	○従来の処分概念 ○回収容易性を考慮した処分概念
定置方式	○竪置き方式 ○横置き方式 ○PEM 方式
回収可能性維持の状態	（処分スケジュールにおける 4 つの状態をオプションとして設定） ○廃棄体（オーバーパック）定置状態 ○緩衝材設置状態 ○処分坑道まで埋め戻し状態 ○主要坑道まで埋め戻し状態
工学的対策	○坑道環境の作用によるバリア性能への影響を低減する対策 （閉鎖後長期の安全性確保対策、操業期間中の安全性確保対策） ○坑道環境の作用による回収（の容易性）への影響を低減する対策 ○回収作業によるバリア性能への影響を低減させる対策（回収量と回収後の処分施設に求める性能ごとの違いによる対策）

b)　「回収維持の工学的対策案」に含まれる要目に対する具体的な内容

・回収維持の工学的対策案については、7.2.1 の検討方針の冒頭で示した「処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響の概念」および「閉鎖時期の違いと工学的対策によるバリアの状態変遷の考え方」を踏まえ、人工バリアや坑道環境の状態の時間による変遷に対する影響に着目した対策案を考慮する。

・要目「10～30 年」は、第 2 次取りまとめ[4]の検討において人工バリアの上昇温度が最高と

なる経過時間であるため、特に廃棄体の発熱による影響に着目した工学的対策案を検討対象とする。

・要目の「50 年」は、第２次取りまとめ、および NUMO[5]の処分スケジュールにおける操業期間であることを踏まえ、廃棄体の発熱影響に加えて、劣化現象を考慮した坑道維持、および周辺環境影響に着目した対策案を検討する。

・要目の「100 年」は、日本のトンネルの供用実績年数[7]であることを踏まえ、坑道維持および周辺環境影響に着目した対策案を検討対象とする。

・要目の「100 年以降」は、諸外国の政策における維持期間での上限が 300 年[7]であることから、概ね 300 年を目安とした坑道維持および周辺環境影響に着目した対策案とする。

「回収維持の工学的対策案」に含まれる要目に対し、具体的な内容をまとめて表 7.2.2-3 に示す。

表 7.2.2-3　「回収維持の工学的対策案」に含まれる要目に対する具体的な内容

要目	具体的な内容
10～30 年	○特に廃棄体の発熱による影響に着目した対策案 （10～30 年：第 2 次取りまとめの検討において人工バリアの上昇温度が最高となる経過時間）
50 年	○廃棄体の発熱影響、坑道維持、および周辺環境影響に着目した対策案 （50 年：NUMO の処分スケジュールにおける操業期間）
100 年	○坑道維持および周辺環境影響に着目した対策案 （100 年：日本での主要なトンネルの供用実績年数）
100 年以降	○概ね 300 年を目安とした坑道維持および周辺環境影響に着目した対策案 （300 年：諸外国の政策における回収維持期間の上限等）

c) 「処分場を閉鎖しないことによる安全性への影響」に含まれる要目に対する具体的な内容

・操業期間中の安全に係わる付加要因、およびリスクのうち、操業への付加要因については、想定される作業、処置、養生、設備などを抽出する。リスクについては事故・災害・付加的作業の発生の可能性とその影響を抽出し、これらをシナリオとして記述する。

・回収可能性維持のために対応が必要になる事項や考慮が必要となる事項については、いずれも新たな要因として抽出していく。

・付加要因はその内容と物量からコストへの影響を意識し、シナリオの一部として（維持等に必要な設備、状態監視、廃棄物の回収・搬出・貯蔵、回収後の坑道等の処置など）記述する。

・閉鎖後長期の安全への影響は、人工バリアの状態変遷と処分坑道周辺の状態変遷の視点から留意事項を抽出する。影響の大きさ、修復の可能性、それらに要する時間などの視点からの抽出となる。

「処分場を閉鎖しないことによる安全性への影響」に含まれる要目に対し、具体的な内容をまとめて表 7.2.2-4 に示す。

表 7.2.2-4　「処分場を閉鎖しないことによる安全性への影響」に含まれる要目に対する具体的な内容

要目	具体的な内容
操業期間中の安全に係わる付加要因、およびリスク	○付加要因：想定される作業、処置、養生、設備など（内容と物量からコストへの影響） ○リスク：事故・災害・付加的作業の発生の可能性とその影響
閉鎖後長期の安全への影響	○人工バリアの状態変遷と処分坑道周辺の状態変遷の視点からの留意事項 ・長期性能への影響 ・修復の可能性 ・それらに要する時間など

d) 「回収に至るシナリオ」に含まれる要目に対する具体的な内容

・回収時期については、「回収維持の工学的対策案」に含まれる要目（10～30 年、50 年、100 年、100～300 年）を考慮する。

・回収の理由については、検討会での議論の方向性を踏まえた内容とするが、施工の不具合、予期せぬ環境変化（地震や火山等）、社会的変化（技術の進歩による概念の変更、政策的な変更による方針転換等）などが考えられる。

・回収判断についても検討会での議論の方向性を踏まえた内容とするが、状態監視、科学的提言、エネルギー政策、社会的要請などが考えられる。

・回収技術については、廃棄体回収時と回収後の技術を検討する。回収時の技術には、廃棄体取り出し・搬出、緩衝材除去、プラグ・キャップ（緩衝材の膨出対策として，処分孔の孔口に設置する部材）の除去等を検討内容に含める。回収後の技術としては、廃棄体一時保管・再設置、緩衝材再施工、再埋め戻し等を検討内容に含める。

・定性的な経済性については、数段階の定性的な費用比較（例えば、多くの費用がかかる、または少ない費用で実現できる、など）による検討を行う。

「回収に至るシナリオ」に含まれる要目に対し、具体的な内容をまとめて表 7.2.2-5 に示す。

表 7.2.2-5　「回収に至るシナリオ」に含まれる要目に対する具体的な内容

要目	具体的な内容
回収時期	②の要目（10～30 年、50 年、100 年、100～300 年）を考慮
回収の理由※	○施工の不具合 ○予期せぬ環境変化（地震や火山等） ○社会的変化（技術の進歩による概念の変更、政策的な変更による方針転換等）
回収判断※	○状態監視 ○科学的提言 ○エネルギー政策 ○社会的要請　など
回収技術	○回収時技術：廃棄体取り出し・搬出、緩衝材除去、プラグ・キャップの除去等 ○回収後技術：廃棄体一時保管・再設置、緩衝材再施工、再埋め戻し等
定性的な経済性	○定性的標記による概略費用比較

※回収の理由と回収判断については、特に検討会での議論の方向性を踏まえた内容とする。

7.3　技術要素マップ作成の方針の具体化

7.3.1　処分施設の安全性に影響を及ぼす要因とその要素の抽出

処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の処分施設の安全性への影響を及ぼすと推定される要因（影響因子）とその要素を抽出し、それらを特質に応じて分類した。

影響因子の抽出は、はじめに回収可能性維持期間の考え方を整理した上で、バリアの構成要素が多様に含まれる状態を考慮した標準的な基本ケースを設定する。次に、閉鎖前の状態をオプションとして、複数の回収可能性維持期間を考慮した回収シナリオを作成し、シナリオごとの影響因子とその影響先を抽出する。さらに、基本ケースのバリエーションを考慮して網羅的に影響因子を検討したのち、抽出した因子を影響先ごとに分類する。なお、これら一連の作業は、安全評価での FEP の設定とプロセス・ダイアグラム作成作業に類似するものである。

(1)　回収可能性維持期間の考え方

事項の基本ケースの設定にあたり、考慮すべき回収可能性維持期間の考え方を以下に示す。

初めに、第 2 次取りまとめ[4]で示された例を基にした回収可能性を考慮していない、竪置き方式の処分概念における処分スケジュールを整理して図 7.3.1-1 に示す。

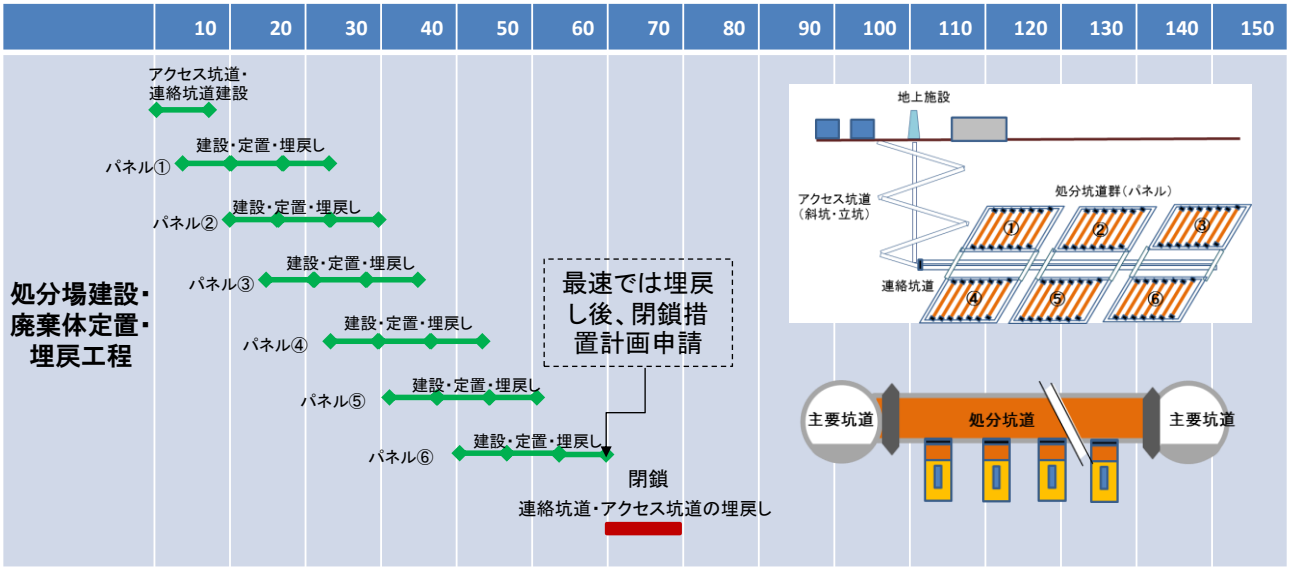


図 7.3.1-1　第 2 次取りまとめに基づく処分スケジュール（軟岩系岩盤、竪置き方式）の例

ここに示した処分スケジュールでは、処分場のアクセス坑道および第 1 パネルの建設開始から 10 年後に第 1 パネルにおいて廃棄体の定置が開始され、その後埋め戻しが行われる。また、第 1 パネルの操業（定置、埋め戻し）と並行して第 2 パネル建設が進められ、その後も各パネルにおける建設、定置、埋め戻しの作業が並行して進められ、第 6 パネルの埋め戻しの完了は建設開始から 60 年後と示されている。その後、地下施設の閉鎖の工程として、連絡坑道の埋め戻し、アクセス立坑埋め戻し、周辺ボーリング孔の埋め戻し、の作業で計 10 年の工程が示されている。

「基本方針」においては、「特定放射性廃棄物が最終処分施設に搬入された後においても、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保するものとする」と述べられている。すなわち、廃棄物の回収可能性を確保する期間は、地上から最終処分施設への搬入後から閉鎖措置が開始されるまでの期間である。「基本方針」における回収可能性維持の考え方をまとめ、図 7.3.1-2 に示す。

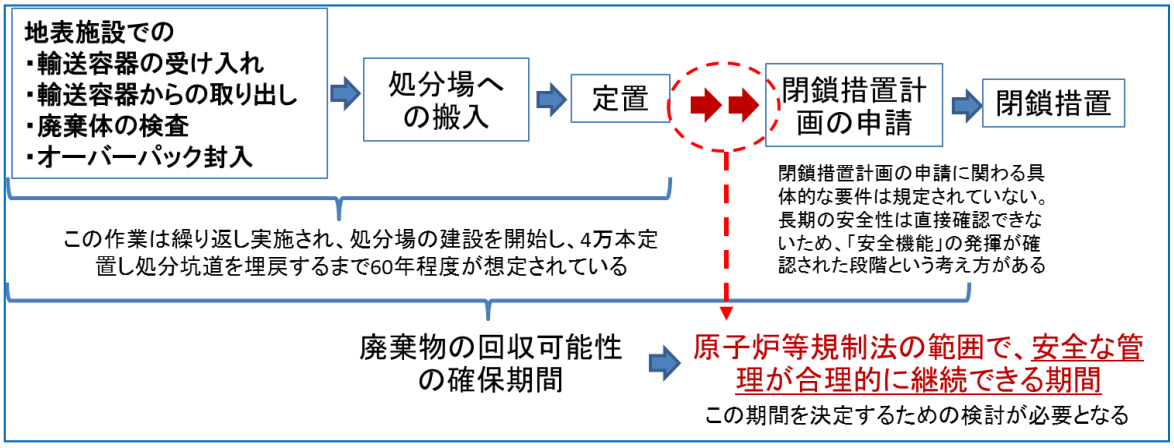


図 7.3.1-2 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（H27 年 5 月 22 日閣議決定）」での回収可能性維持の考え方

「基本方針」に述べられている「安全な管理が合理的に維持される範囲内」を考慮すると、廃棄体の回収可能性を維持するためには廃棄体の搬出経路であるアクセス坑道を維持し続けることとなる。最終処分場においてアクセス坑道は最初に建設が開始される坑道であることを考慮し、図 7.3.1-1 で示した従来のスケジュールを踏まえて「基本方針」で提示された廃棄体の回収可能性の維持期間の概念を具体化するためには、回収した場合の回収作業の期間を考慮する必要がある。

ここで、本検討における回収した場合の回収作業の期間は、1 パネルの廃棄体回収・埋め戻しまで約 17 年と想定し、かつ、複数のパネルで回収作業が並行して行われたと仮定したときの期間として 6 パネルで最大 40 年間と想定した。図 7.3.1-3 に 1 パネルの廃棄体回収・埋め戻しタスクと期間を示す。また、従来スケジュールに回収作業を考慮したスケジュール例を整理して図 7.3.1-4 に示す。

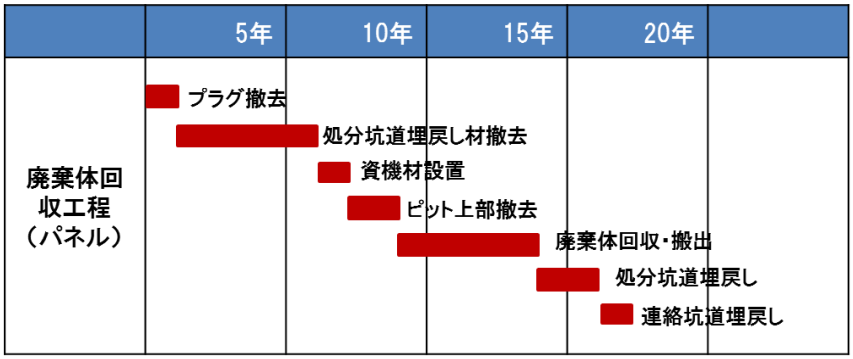


図 7.3.1-3 想定に基づく 1 パネルの廃棄体回収・埋め戻しタスクと期間の例

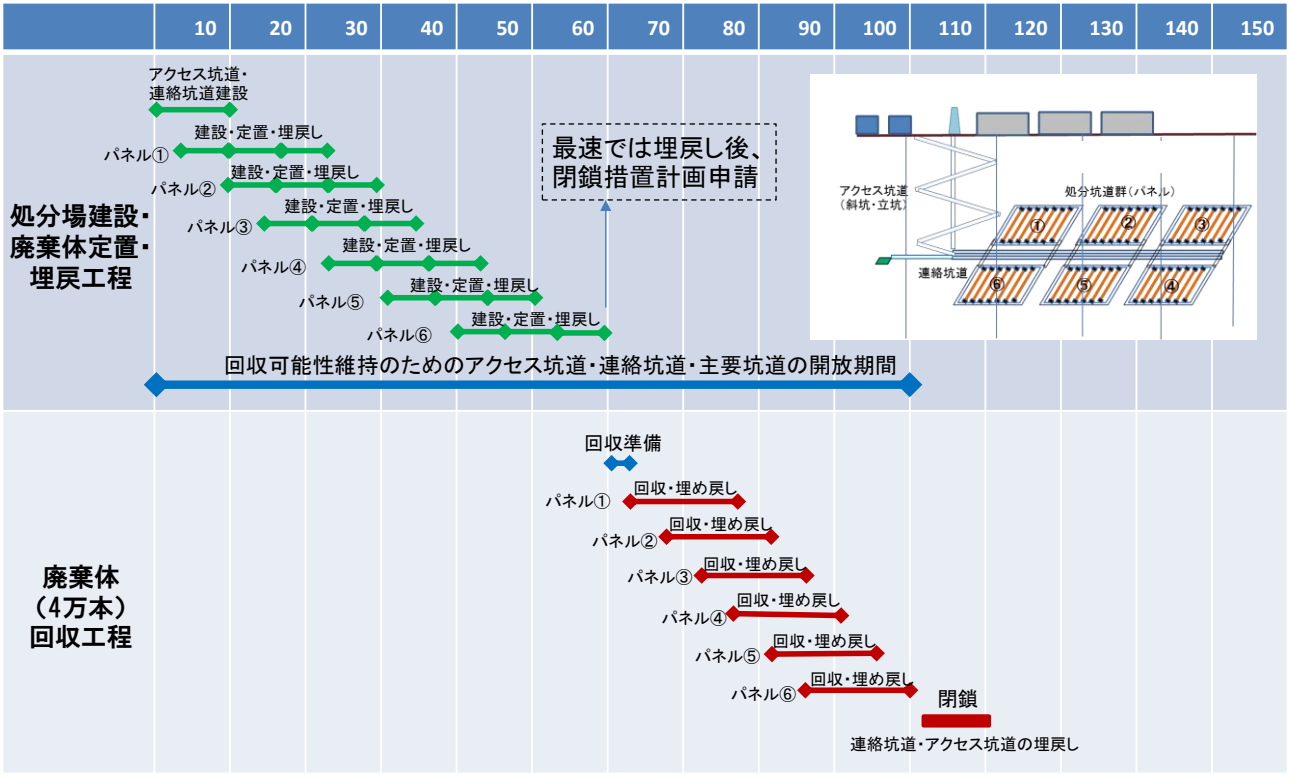


図 7.3.1-4　回収作業を考慮したスケジュールの例

以上より、回収可能性維持期間を検討する際に考慮すべき期間は以下のように整理できる。

a. 処分場のアクセス坑道、第 1 パネル建設期間（約 10 年間）
b. 廃棄体定置・埋戻しの操業、他パネル建設期間（最大約 50 年間）
c. 定置完了後、閉鎖判断の期間
d. 回収した場合の回収作業の期間（最大約 40 年間）

回収可能性維持期間の考え方について上記「a~d」の期間を用いて整理し、図 7.3.1-5 に示す。回収可能性を考慮すると、回収が決定された場合に生じる回収作業の期間を考慮する必要がある。「安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保する」ための維持期間の概念を具体化すると、「a~d」の期間の合計となる。定置完了後、閉鎖判断期間を経て回収する場合には、「c」の閉鎖判断期間が加わることになる。この時、回収の意思決定の期間は、廃棄体定置後から閉鎖判断が終了するまでとなり、「b+c」となる。

回収の意思決定が「b+c」の期間中いつなされるかは回収理由や回収判断に因るところが大きいが、ここでは回収理由は特定しない。そのため、廃棄体の全量定置完了前の操業中に回収する意思決定がなされる可能性も考慮する必要がある。操業中に回収する場合には「c」の閉鎖判断期間はゼロとなり、回収可能性を維持する期間は図 7.3.1-6 のようになる。

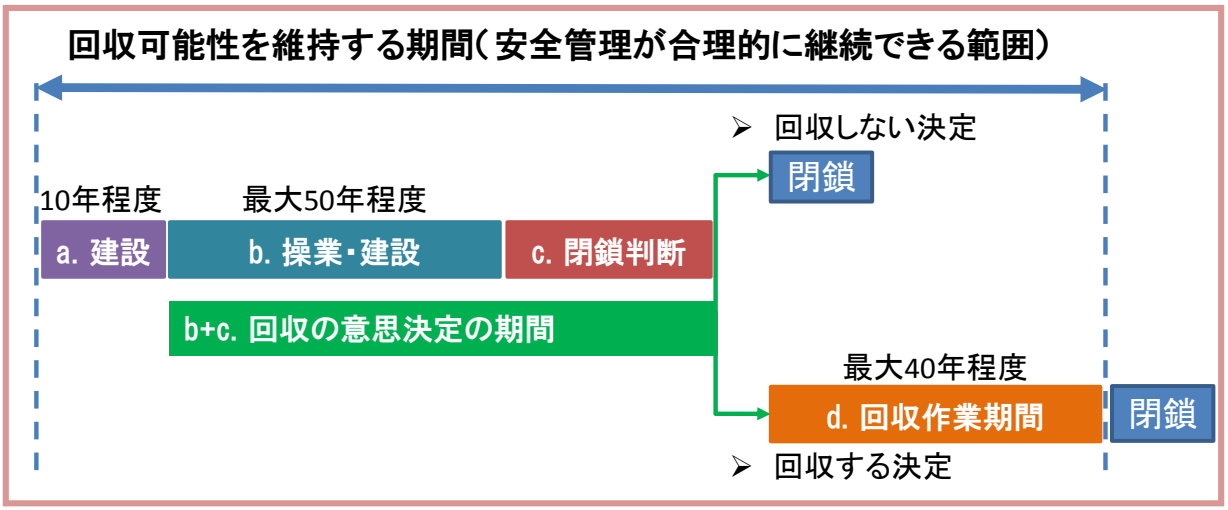


図 7.3.1-5　回収可能性維持期間の考え方①（定置完了後、閉鎖判断期間を経て回収する場合　c > 0）

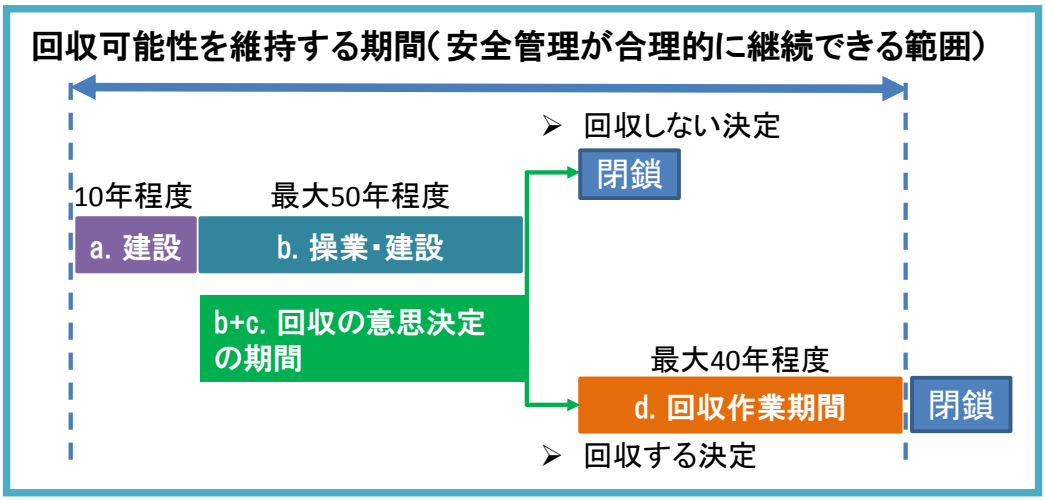


図 7.3.1-6　回収可能性維持期間の考え方②（操業中に回収する場合　c=0）

後述する回収シナリオ設定では、廃棄体の全量定置完了前の操業中に回収する場合と、定置完了後に閉鎖判断期間を経て回収する場合を考慮して設定する必要がある。

(2)　基本ケースの設定

基本ケースの設定にあたっては、処分概念、長期性能、閉鎖前の状態、回収可能性維持の影響およびその影響の評価を考慮した。処分概念および閉鎖前の状態については、第 2 次取りまとめ[4]、および NUMO が示した概念（NUMO-TR-11-01 地層処分事業の安全確保 2010 年度版 3.3.3 可逆性と回収可能性）[5]に基づき設定を行った。長期性能については、人工バリアの安全機能と要件およびそれらを維持するための環境に着目し、人工バリアの長期性能としての要件を閉鎖後に達成できる人工バリアおよび坑道環境の状態を考慮した。また、回収可能性維持の影響については、TPO（時間・場所・場合）を明確にしたまとめにより、処分場の閉鎖をしない時間の影響、回収可能性維持の状態の影響、回収可能性を維持しつつ回収しない場合と

回収した場合の影響を検討していくこととした。

基本ケースは、回収可能性の維持を検討する観点から考慮すべき事項が多いケースを選択し、実証実験の実績の有無も勘案した。設定した項目は以下に示す①~⑩である。基本ケースの設定により、他の処分概念、地質環境条件、定置方式および緩衝材製作・施工方法への応用ができることを前提としている。

以下に各設定項目について述べる。設定条件は全て、第 2 次とりまとめでの設定を基本とした。

① 地質環境条件

第 2 次取りまとめでは処分施設の設計を合理的に行うために、岩盤の物性について硬岩系（結晶質岩）、軟岩系（堆積岩）岩盤グループで分類し、設計に用いる物性を設定している。軟岩系では新第三紀堆積岩の泥質・凝灰質岩の力学的特性値を坑道の設計に用いている。本検討では坑道の構成要素（支保工など）が多い軟岩系の新第三紀堆積岩を対象とする。

② 処分深度

軟岩系岩盤の処分深度として設定されている 500m とする。

③ 処分場レイアウト

平面パネル配置とする。

④ 処分パネル数

硬岩系岩盤・軟岩系岩盤、また、竪置き・横置きとも第２次取りまとめにでは 6 パネルと設定しており、本検討でも 6 パネルと設定する。

⑤ 地上施設からのアクセス

地下施設へのアクセス方法として立坑方式および斜坑方式に大別して長所短所が検討されている。本検討では両者を考慮するものとし、立坑方式および斜坑方式の坑道とする。

⑥ 坑道の構成

第 2 次取りまとめで示されている標準断面を図 7.3.1-7～図 7.3.1-9 に示す。本検討で対象とする軟岩系岩盤・竪置き方式の坑道のうち、アクセス坑道は支保工・覆工が示されており、支保工については吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工が挙げられている。主要・連絡坑道の支保工は吹付コンクリートおよびロックボルト、インバートコンクリートが挙げられている。処分坑道の支保工は主要・連絡坑道と同様としており、処分孔には支保工は示されていない。

本検討では、アクセス坑道は支保工、覆工および覆工設置に伴い必要となる裏面排水システムを考慮し、連絡坑道、主要坑道、処分坑道は支保工を考慮する。

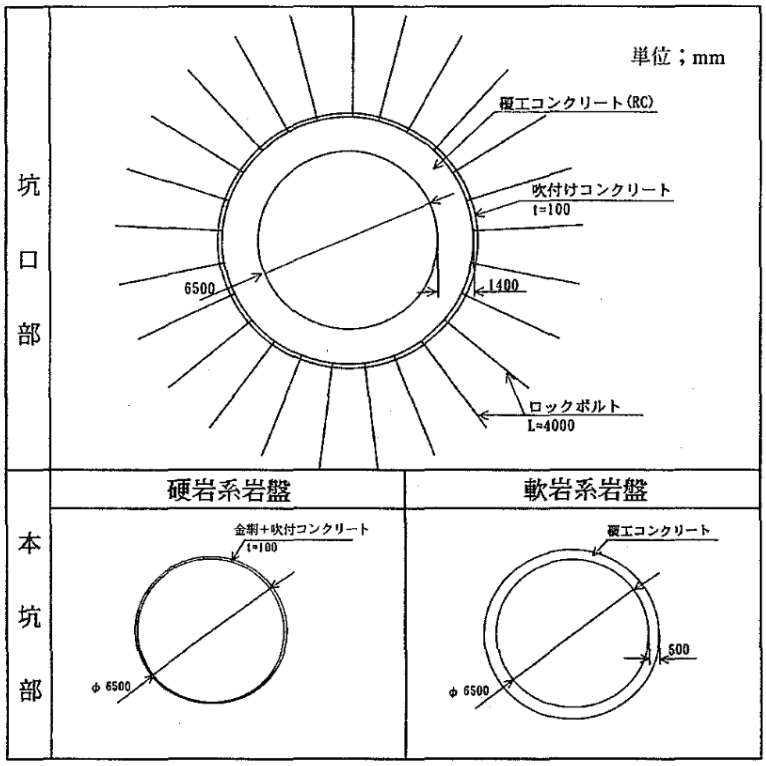
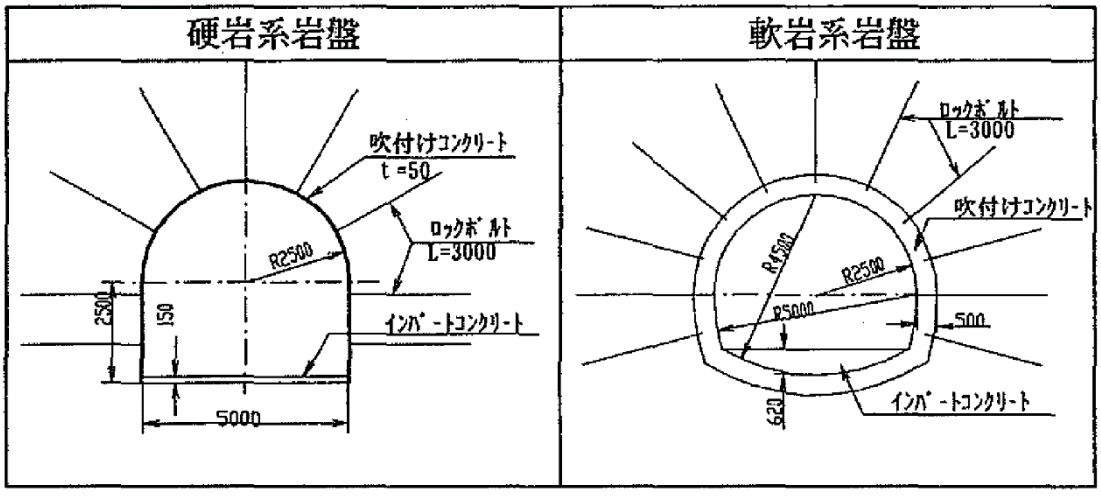


図 7.3.1-7　アクセス坑道における標準断面（第 2 次取りまとめ）



単位：mm

図 7.3.1-8　主要・連絡坑道における標準断面（第 2 次取りまとめ）

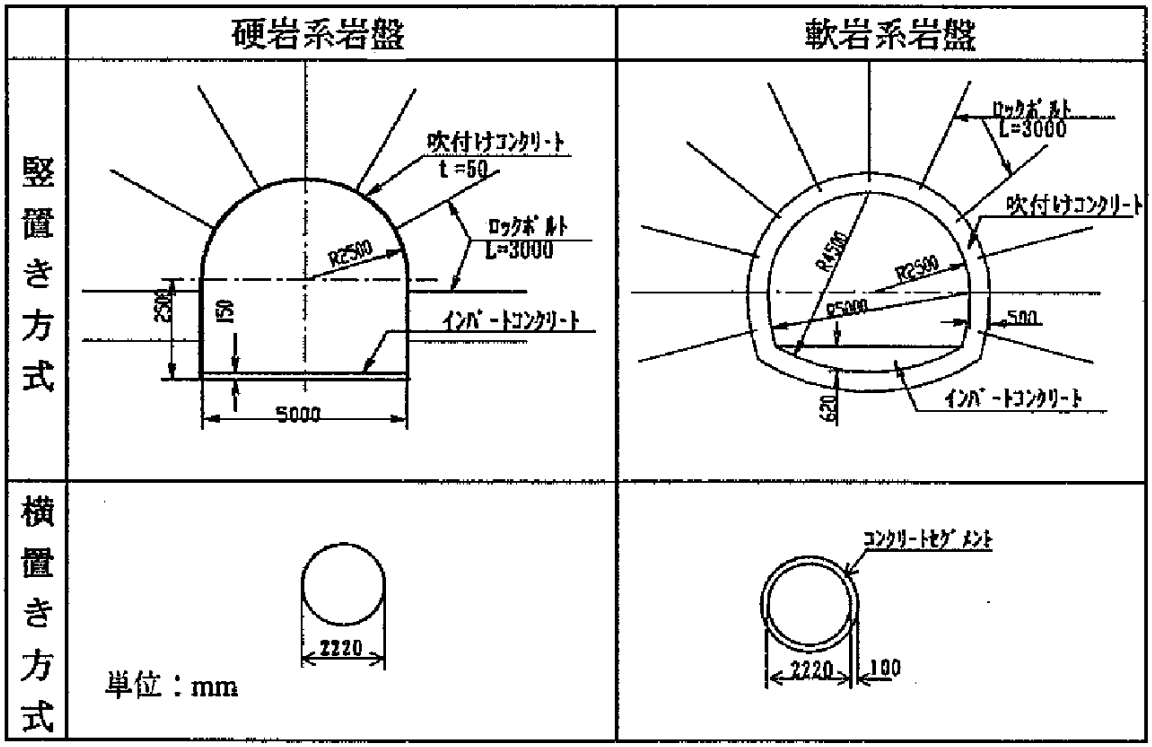


図 7.3.1-9　処分坑道における標準断面（第 2 次取りまとめ）

⑦ 建設・操業（定置・埋め戻し）期間

0 の回収可能性維持期間の考え方で整理した内容に基づき、建設開始から操業開始まで約 10 年、操業開始から主要坑道の埋め戻し完了まで約 50 年、計約 60 年とする。

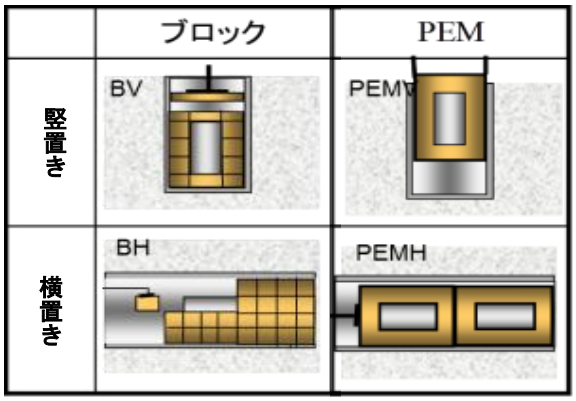
⑧ 廃棄体数

第 2 次取りまとめにおいては年間 1000 本受け入れ可能な設備を持つ処分施設を想定し、処分施設の規模(処分場に埋設されるガラス固化体の本数)を 4 万本に設定している。本検討の廃棄体数も 4 万本（5 体/日で定置）とする。

⑨ 人工バリア定置方式

人工バリア定置方式については、表 7.3.1-1 に示すように定置方式として竪置き方式、横置き方式が検討されており、緩衝材製作・施工方法としてブロックや PEM などが検討されている。本検討は、「処分孔」という要素が多い竪置き方式を対象とする。また、緩衝材製作・施工方法については、ブロック式と PEM が挙げられるが、竪置き方式の PEM は定置・回収の実証実験の実績が無いことから、ブロック竪置き方式を検討の対象とする。

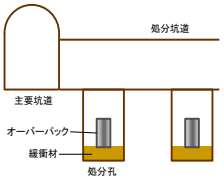
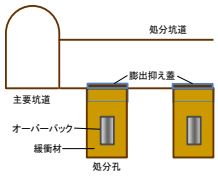
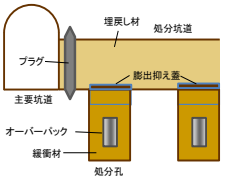
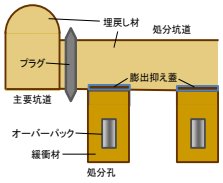
表 7.3.1-1　人工バリア定置方式の例



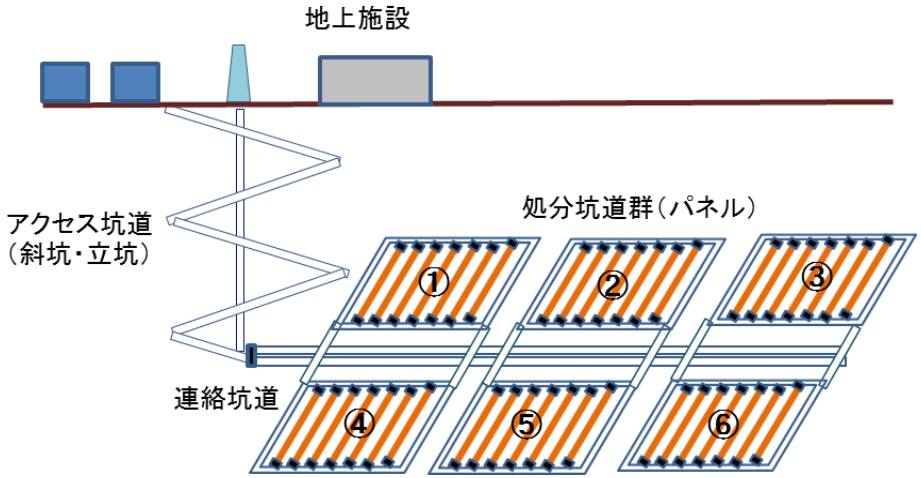
⑩ 回収可能性を維持する処分場状態

回収可能性を維持する処分場の状態は、閉鎖までの回収可能性維持の影響では最も重要な要素となる。回収可能性を維持する状態は、アクセス坑道、主要坑道、処分坑道、処分孔の空間確保の状態を考慮して表 7.3.1-2 に示す 4 つのオプションを考えた。

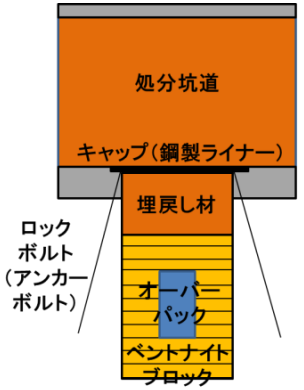
表 7.3.1-2　閉鎖前の状態（回収可能性維持状態）

回収可能性維持状態	オプション① オーバーパック定置	オプション② 処分孔に緩衝材を設置	オプション③ 処分坑道まで埋め戻し	オプション④ 主要坑道まで埋め戻し
状態のイメージ				
状態の説明	・処分孔に緩衝材が定置され、オーバーパックが緩衝材上に定置されている。 ・オーバーパック表面が部分的に露出している。	・緩衝材が全て定置され、処分孔が埋め戻されている。 ・処分孔上部に膨出抑え蓋などが設置されている。	・処分孔および処分坑道が埋め戻されている。 ・処分坑道端部にはプラグが設置されている。	・処分孔、処分坑道および主要坑道が埋め戻されている。
バリアへの影響	人工バリア、坑道・岩盤、処分孔ともに大きい	人工バリアやや大きく、坑道・岩盤：大きい	人工バリア：小さい 坑道・岩盤：やや大きい	影響はほとんどない
回収時対象構成要素	オーバーパック	オーバーパック、緩衝材、抑え蓋	オーバーパック、緩衝材、抑え蓋、埋戻し材、プラグ	オーバーパック、緩衝材、抑え蓋、埋戻し材、プラグ

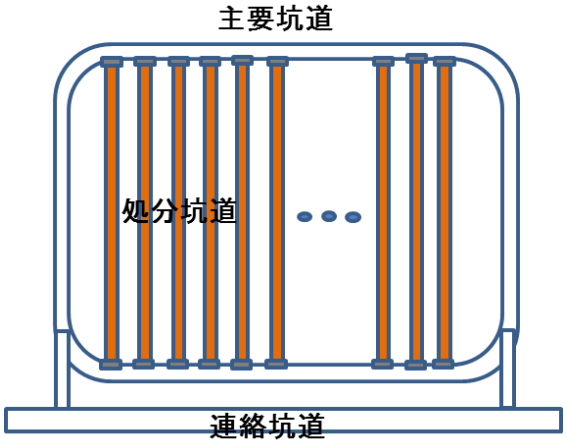
NUMO の概念[5]では、回収可能性維持の段階として、廃棄体を定置した処分坑道はすでに埋め戻されており、処分坑道の端部には処分坑道内に定置したバリア材を保持する目的でプラグが設置された状態である、と示されている。これは表 7.3.1-2 のオプション③の状態に相当する。オプション③の状態は、回収作業を考慮したときに回収時に対象となる構成要素の多様性からも影響の網羅性が確保されていると考えられる。従って、本検討における回収可能性維持状態も、アクセス坑道、主要坑道、連絡坑道は開放され、処分坑道の埋戻しは完了しているオプション③と設定する。基本ケースで回収可能性を維持する処分場の状態（オプション③）の概念を図 7.3.1-10 に示す。

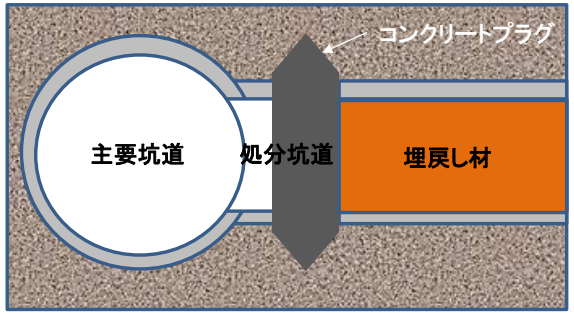


(a) 処分場スケール



(c) 処分孔スケール





(b) パネルスケール

図 7.3.1-10　回収可能性を維持する処分場の状態の概念（状態オプション③）

以上をまとめ、各項目に対する基本ケースの設定を表 7.3.1-3 示す。

表 7.3.1-3　基本ケースにおける設定

項目	基本ケースにおける設定
① 地質環境条件	軟岩系岩盤（新第三紀堆積岩）
② 処分深度	500m
③ 処分場レイアウト	平面パネル配置
④ パネル数	6 面
⑤ 地上施設からのアクセス	立坑および斜坑
⑥ 坑道の構成	アクセス坑道は支保工、覆工および裏面排水システム 連絡坑道、主要坑道、処分坑道は支保工
⑦ 建設・操業（定置・埋め戻し）期間	約 60 年
⑧ 廃棄体数	4 万本（5 体／日で定置）
⑨ 人工バリア定置方式	ブロック竪置き方式
⑩ 回収可能性を維持する処分場状態	アクセス坑道、主要坑道、連絡坑道は開放され、処分坑道の埋戻しは完了していると設定 →状態オプション③

(3) 回収シナリオの設定

(1)で述べた回収可能性維持期間の考え方に基づき、本検討における回収シナリオを設定した。設定にあたっては、回収可能性維持期間の影響および回収可能性維持の工学的対策案を検討するため、7.2.1 の検討方針の冒頭で示した「処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響」および「処分場の閉鎖時期の違いによるバリアの性能維持」を踏まえる。人工バリアや坑道環境の状態の時間による変遷に対する影響に着目した期間を検討するために、回収シナリオの設定にあたっては以下の事項を考慮した。

・定置後 10～30 年：回収作業開始から完了時までが第 2 次取りまとめの検討において人工バリアの上昇温度が最高となる経過時間
・建設後 100 年：回収作業完了時に建設開始からの期間が日本でのトンネルの供用実績年数
・定置後 150 年～200 年：回収技術検討のためのベントナイト緩衝材の飽和予測期間例
・建設後 300 年：回収作業完了時に諸外国の政策における回収維持期間の上限

ここで、上記の事項に(1)で述べた回収作業の想定期間を加え、回収シナリオを設定する。回収作業期間は概ね定置作業と同程度と想定して設定した。また、操業中に回収する場合、および定置完了後、閉鎖判断期間の後に回収する場合の回収シナリオを考慮してまとめ、表 7.3.1-4 に示す。表中、回収シナリオ①および回収シナリオ②は操業中に回収する場合、回収シナリオ③および回収シナリオ④は定置完了後、閉鎖判断期間の後に回収する場合のシナリオとなる。表中の「a～d」は図 7.3.1-5 で示した期間に相当する。

表 7.3.1-4　回収シナリオの設定と考え方

回収シナリオ（回収するタイミング）	a	b	c	d	b+c	a+b+c+d	設定にあたり考慮した事項
	ｱｸｾｽ坑道・第1パネル建設期間	操業・建設期間（定置開始からの期間）	閉鎖判断期間（定置完了後回収開始までの期間）	回収作業期間	回収の意思決定の期間（定置開始から回収作業開始まで）	回収可能性維持期間	
回収シナリオ①（定置後 10 年）	10	10	0	10	10	30	定置後 10～30 年：回収作業開始から完了時までが第 2 次取りまとめの検討において人工バリアの上昇温度が最高となる経過時間
回収シナリオ②（定置後 50 年）	10	50	0	40	50	100	建設後約 100 年：回収作業完了時に日本での主要なトンネルの供用実績年数
回収シナリオ③（定置後 150 年）	10	50	100	40	150	200	定置後 150 年～200 年：ベントナイト緩衝材の飽和予測期間例
回収シナリオ④（定置後 250 年）	10	50	200	40	250	300	建設後 300 年：回収作業完了時に諸外国の政策における回収維持期間の上限

基本ケースとしての回収シナリオは、処分場建設、最終パネルの廃棄体定置・埋戻し後、回収の準備を開始し、40 年程度の期間で廃棄体を回収するシナリオである回収シナリオ②とした。回収シナリオ②は、回収作業完了時に日本での主要なトンネルの供用実績年数 100 年としたシナリオであり、本検討の回収可能性維持期間の考え方である「安全な管理が合理的に維持される範囲内」に対して、我が国の実積を考慮したものである。基本ケースの回収シナリオ②において設定した建設・操業工程と回収（全てのパネルの定置・埋戻し直後に回収の意思決定をした場合）の工程は図 7.3.1-4 図 7.3.1-4　回収作業を考慮したスケジュールの例で示した工程と同じとなる。図 7.3.1-11 に再掲する。回収シナリオ②では、アクセス坑道等は 100 年程度解放した状態となるため、周辺環境への影響、回収作業への影響（回収作業環境維持への影響や回収作業へのリスク）、閉鎖後の長期安全確保への影響因子と影響先等を検討対象とした。

また、回収可能性維持期間の影響および回収可能性維持の工学的対策案の網羅的な検討のため、状態オプションおよび回収シナリオについて基本ケースからの展開を行う。基本ケースにおける状態オプションと回収シナリオの設定と、基本ケースからの展開を表 7.3.1-5 に示す。

表 7.3.1-5　基本ケースにおける状態オプションと回収シナリオの設定と展開

	回収シナリオ ①	回収シナリオ ②	回収シナリオ ③	回収シナリオ ④
状態オプション ①		○		
状態オプション ②		○		
状態オプション ③	○	基本ケース	○	○
状態オプション ④		○		

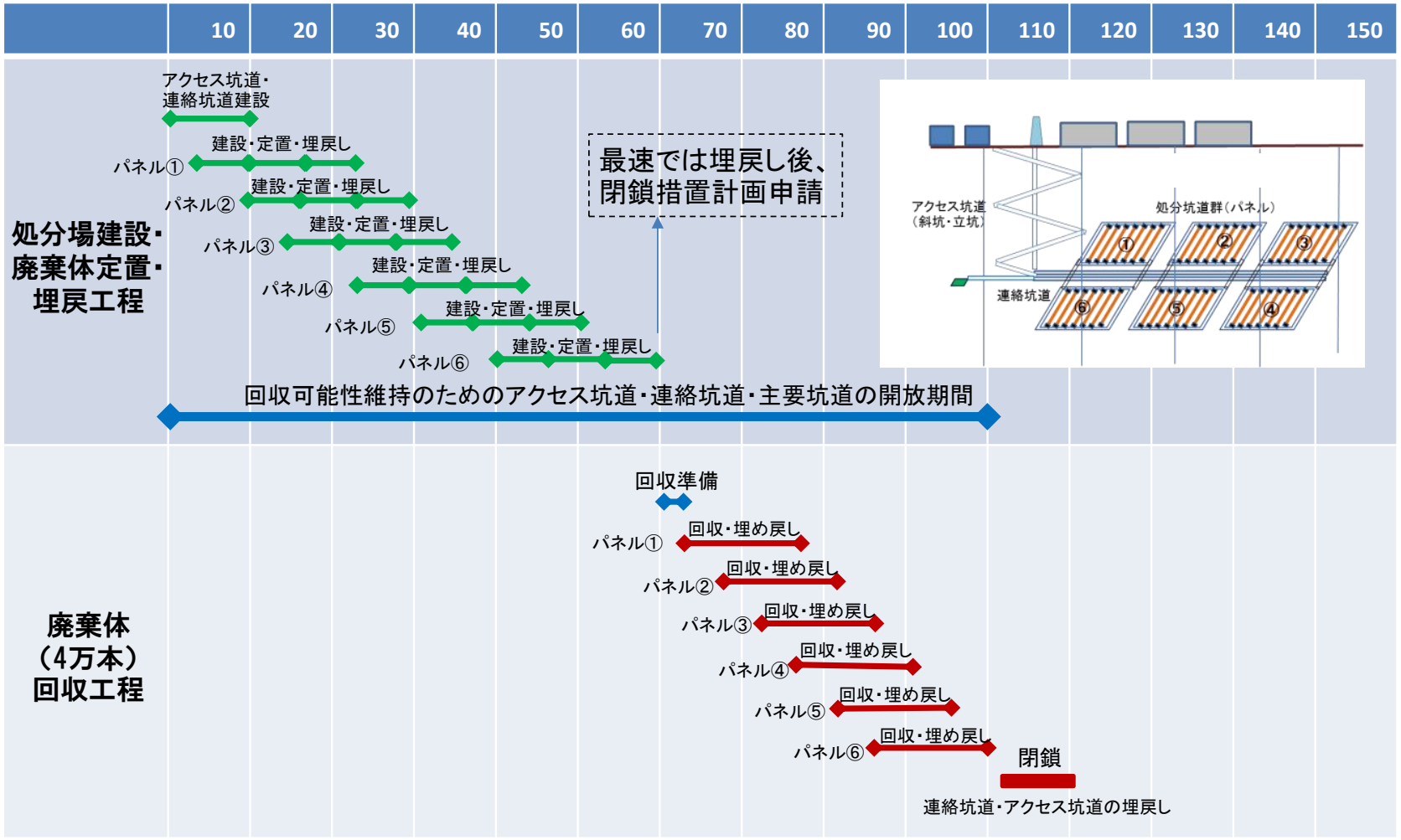


図 7.3.1-11　回収シナリオ②において設定した工程（再掲）

(4) 基本ケースにおける影響要因とその要素の抽出と分類

基本ケースでの影響要因とその要素（影響因子）の抽出は、回収可能性の維持の形態（オプション③）をベースに、100 年までの回収可能性維持に伴う処分システムの状態変遷の理解と回収シナリオに基づき、処分施設の安全性に影響を及ぼす影響因子を影響の大きさに関わらず網羅的に抽出する。

処分場の状態変遷は、熱的（T）、水理的（H）、力学的（M）、化学的（C）な影響を受け、それらの相互影響により生じることから、抽出した影響因子を T,H,M,C の観点で整理する。影響因子の整理は、想定される場や材料の特質（Feature）、事象（Event）、プロセス（Process）について行い、抽出した影響因子は影響先ごとに分類していく。

また、影響因子の抽出は、回収による影響を考慮して「回収しない場合」と「回収した場合」について分けて行う。回収しない場合は、維持している期間に影響を受けた状態が、閉鎖行為により境界条件が変化し、維持したことによる影響を引きずりながら変遷していく。回収した場合は、回収可能性維持期間の影響に加え、回収したことによる影響を受けながら、閉鎖行為により境界条件が変化しつつ変遷していく。加えて、回収した場合には、回収の対象となる廃棄体の量（全量または一部）および回収後の処分場に求められる性能についても検討する。

なお、それぞれの状態変遷はトップダウンで作成し、影響先を考慮してその影響因子を抽出していく。

1) 影響因子の抽出と分類の作業の手順

定置した廃棄体の回収可能性を維持する期間による地層処分への影響は、以下に示す閉鎖前の影響と閉鎖後の影響の大別できる。

・閉鎖前の影響：回収可能性を維持することによる作業安全性、処分場周辺環境、費用などの処分事業への直接的な影響
・閉鎖後の影響：回収可能性を維持したことによる閉鎖後の長期安全性に対する潜在的な影響

これらの影響に対する要素（「影響因子」という）の抽出と分類は、(2) で設定した処分システムの基本ケースを対象に、図 7.3.1-12 に示す手順で実施する。

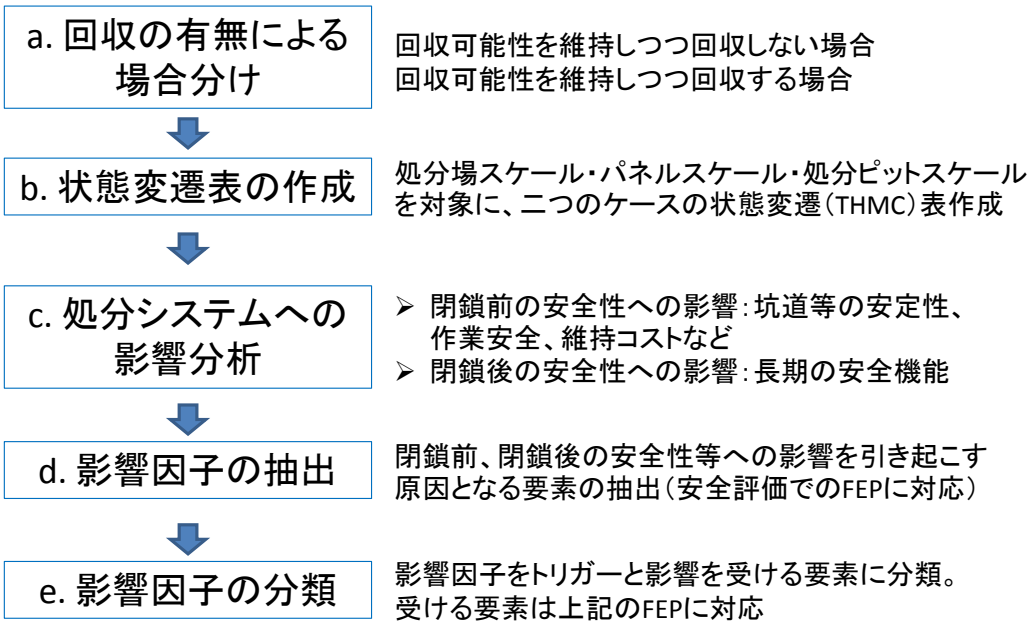


図 7.3.1-12　影響因子抽出と分類までの手順と作業概要

2)　回収の有無による場合分け

回収可能性維持期間の影響を検討するにあたり、回収の有無による二つの場合分けを設定する。

回収しない場合：閉鎖段階まで回収可能性を維持するが結果的に廃棄体を回収することがなく処分場が閉鎖される場合。特定の坑道が閉鎖されず開放しておくことの作業や周辺環境（坑道、アクセス坑道、天然バリア等）への影響や費用の発生、また閉鎖後の長期安全性への影響などが考えられる。

回収する場合：閉鎖段階までに廃棄体が回収される場合。この場合は、一部の回収と全数の回収があり得る。回収可能性維持に伴う上記の影響の他に、回収作業に伴う作業安全や地表環境への影響（リスク）や費用の発生、閉鎖後の回収行為の影響を含めた長期安全性への影響などが考えられる。

これらの場合分けによる影響の大きさは、処分場が立地する地形や地質環境、定置概念を含む処分場の概念やレイアウト、回収可能性を維持している状態（前出の「状態オプション」）、および回収可能性の維持期間（前出の「シナリオ」）により異なる。本検討の影響因子の抽出では、影響の大きさについては言及せず、影響を及ぼす因子（トリガー）と影響を受ける因子（レセプター）を抽出することとする。設定した２つの場合分けとそれぞれの影響（閉鎖前、閉鎖後）の関係を図 7.3.1-13 に示す。

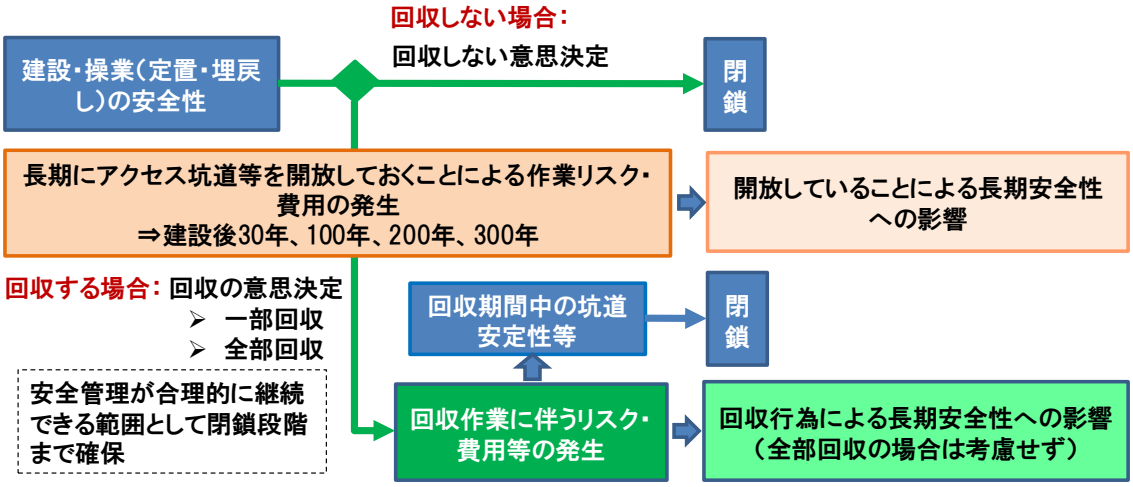
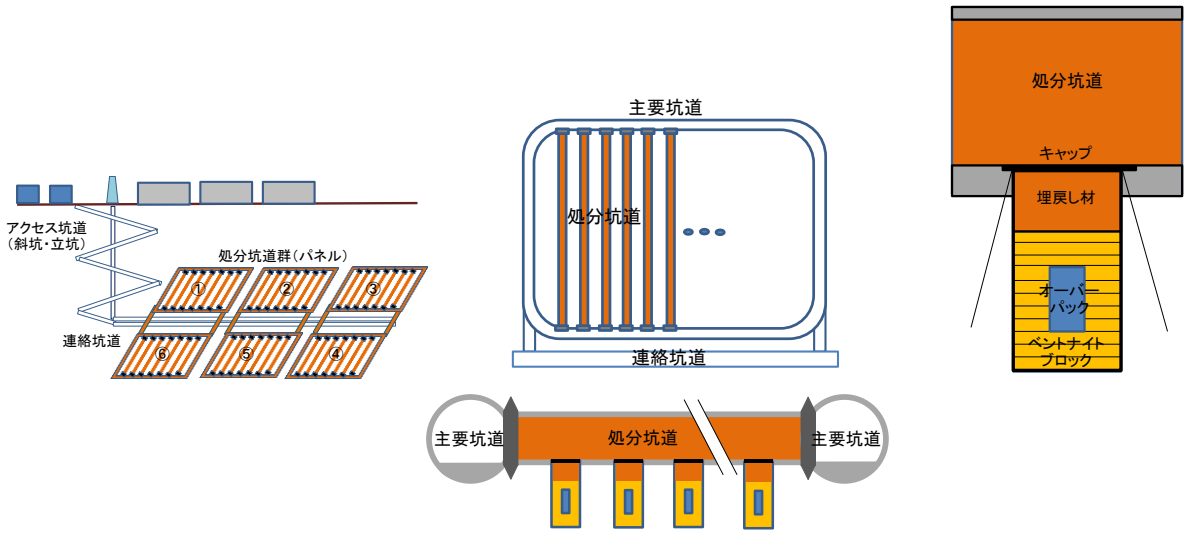


図 7.3.1-13　回収可能性維持期間の影響検討における場合分けの設定

回収可能性を維持している期間中に廃棄体を回収した場合は、回収しない場合の開放坑道の維持作業やその影響に対し、回収した場合の作業安全や環境への影響（リスク）および長期安全に及ぼす潜在的な影響が加味されたことで表すことができる。

3)　処分システムの状態変遷表の作成

処分システムへの状態変遷表は、基本ケースを対象に、図 7.3.1-14 に示す三つのスケールを勘案し、回収しない場合と回収する場合について作成する。処分場スケールではおおよそ 10km² の規模、パネルスケールでは 1km²、処分ピット（人工バリア）スケールでは 100m² 程度の規模を想定する（NUMO-TR-04-01）[8]。



処分場スケール　　パネルスケール　　処分孔スケール

図 7.3.1-14　状態変遷表作成の対象とするスケール

a　回収しない場合

回収可能性の維持をしつつ、最終的に回収しないことを決定した場合（回収しない場合）の処分システムの状態変遷を表 7.3.1-6 に示す。横軸に時間の経過、縦軸に異なるスケールでの状態変遷（THMC）を記述している。

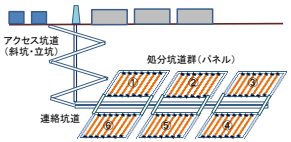
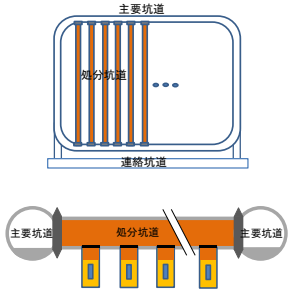
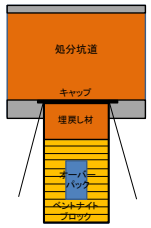
この状態変遷表の縦軸は、三つの対象スケール、横軸は建設を開始してからの時間の経過を示す。

坑道を開放しておくことによる状態変遷については、THMC に分類し、定性的な変遷を既往の知見に基づき記述した。この状態変遷表作成に当たり、着目したスケールでの THMC それぞれの変化概念と影響先を表 7.3.1-7 に整理した。

処分場坑道群の規模はおおよそ 300km 程度の長さ（処分孔が約 7m 間隔で建設され、4 万本定置されるとした場合）になるが、基本ケースにおける各パネルの処分坑道は、廃棄体が定置されたのちパネルごとに速やかに埋め戻されることから、定置終了後には処分場の規模（約 10km^2）の約 95%が埋め戻された状況となり、処分場周辺の地質環境（特に水理環境）は元の状態に回復する傾向にあると推定される。そのため、アクセス坑道と連絡坑道および主要坑道を 100 年程度開放したまま維持することによる周辺地質環境への間隙水圧の低下、酸化還元状態等の影響は存在するもののその影響は小さいと想定される。その他への影響についても、開放されている空間の面積が少ないこともあり、閉鎖後長期への影響は小さいと推定される。

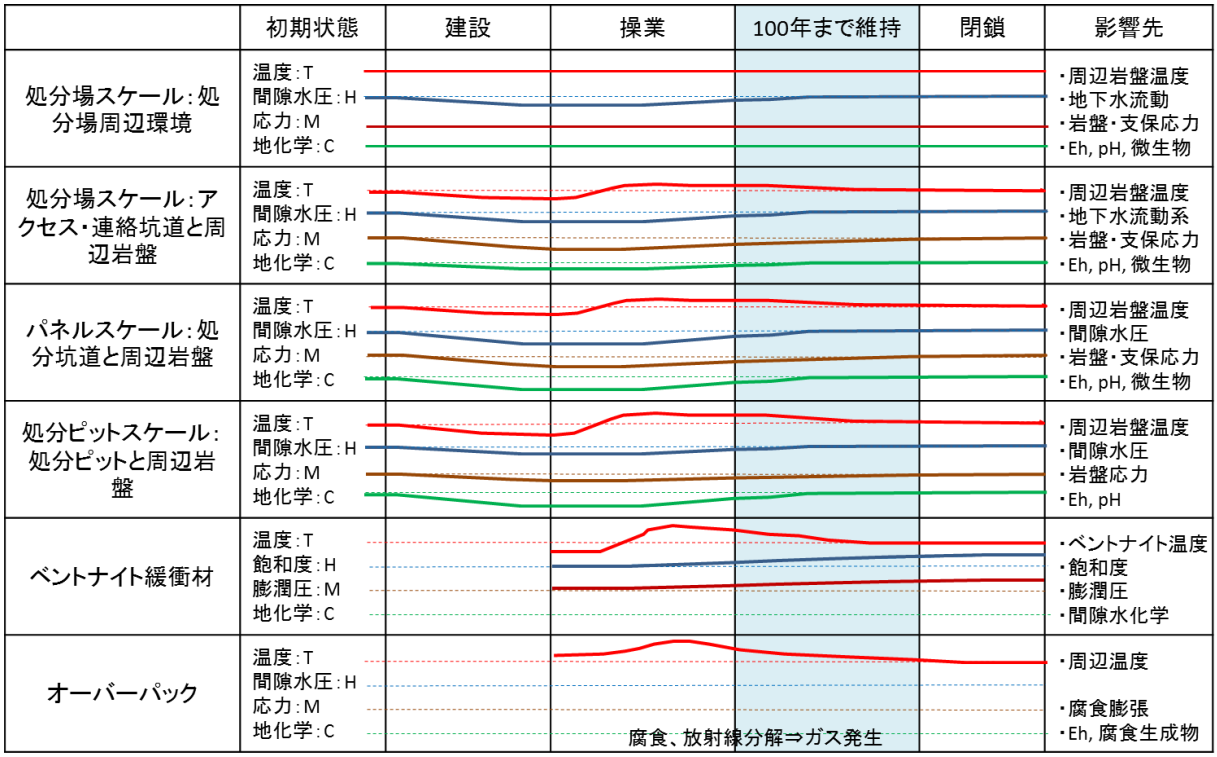
一方、回収可能性を 100 年間維持していることによる、閉鎖前の作業安全やコスト、および周辺環境への負荷は確実に増加する。

表 7.3.1-6　処分システムの状態変遷表（回収しない場合：回収可能性を維持しつつ回収しない場合）　：開放坑道、　：閉鎖後の状態変遷

	オプション③の状態	構成要素	建設（10 年）	操業(50 年) 定置	操業(50 年) 埋戻し	（回収可能性維持）※（40 年）	閉鎖（10 年）	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝搬
	検討ケースⅢ（基本ケース）の工程		←	回収可能性維持期間(100 年)		→			
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元雰囲気	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保等の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度に回復 H:EZD 間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、不飽和領域 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度に回復 H:EZD 間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:発熱による温度上昇 H:埋戻しによる間隙水圧上昇 M:応力回復傾向 C:酸化⇒還元、支保の劣化	T:温度低下 H:飽和、地下水流動系の回復傾向 M:応力回復傾向 C:酸化⇒還元、支保の劣化	T:周辺温度に回復 H:飽和、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	
		【プラグ】 ・コンクリートプラグ			【プラグ設置】				
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:還元⇒酸化	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:温度低下 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:飽和過程 M:応力回復 C:還元	T:周辺温度 H:飽和 M:応力回復 C:還元	掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ 埋処分ピット戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		ベントナイト（圧縮ブロック、充填ペレット）		【ベントナイト設置】 T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化	T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化⇒還元	T:温度低下 H:飽和過程 M:膨潤圧発生 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:初期飽和度 M:初期応力 C:還元	T:周辺温度 H:地下水浸透⇒飽和 M:膨潤圧発生 C:還元	
		オーバーパック		【オーバーパック設置】 T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:温度低下 M:初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:周辺温度に低下 M::初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:周辺温度に低下 M::初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	
		処分孔上部埋戻し・キャップの設置		【埋戻し・キャップの設置】 T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	T:温度低下 H:飽和過程 M::初期強度 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:飽和 M:初期強度 C:還元	T:周辺温度 H:飽和 M:初期強度 C:還元	

※（回収可能性維持）：回収する決定が下された場合に作業に必要となる期間を意味する。回収しない場合にはこの 40 年を経ずに閉鎖することになるが、維持期間の検討のためには前提として考える必要がある。

表 7.3.1-7　回収しない場合の THMC 変遷の考え方と影響先



b　回収する場合

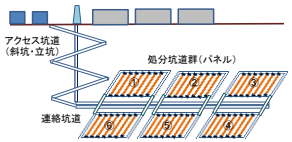
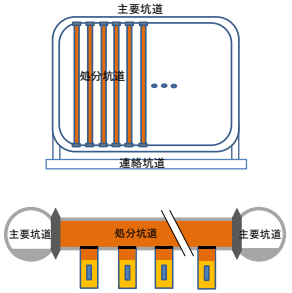
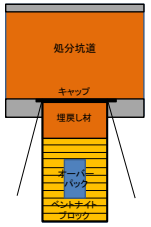
回収可能性を維持しつつ廃棄体の回収に関する意思決定がなされた場合（回収する場合）に対する基本ケースの処分システムの状態変遷を表 7.3.1-8 に示す。アクセス坑道等は開放状態としたまま回収作業が行われる 40 年間回収可能性を維持しつつ、その間、処分坑道が再度掘削され、廃棄体が回収されるとしている。このため、坑道を開放しておくことによる状態について、THMC に分類し、また、この間に廃棄体が回収されることによる環境の変遷を技術的な知見に基づき記述している。この状態変遷表作成に当たり、着目するスケールでの THMC の変化の概念と影響先を表 7.3.1-9 に整理した。

アクセス坑道と連絡坑道および主要坑道を 100 年程度開放したまま維持したことによる周辺地質環境への処分場スケールへの影響は、存在するもののその影響は小さいと想定される（回収しない場合と同様）。

回収が開始されると処分坑道の再掘削による排水や換気の影響で、処分パネル規模での地質環境への影響が発生するが、回収後速やかにパネルが埋め戻されることによりこれらの影響は解消されていくと推定できる。

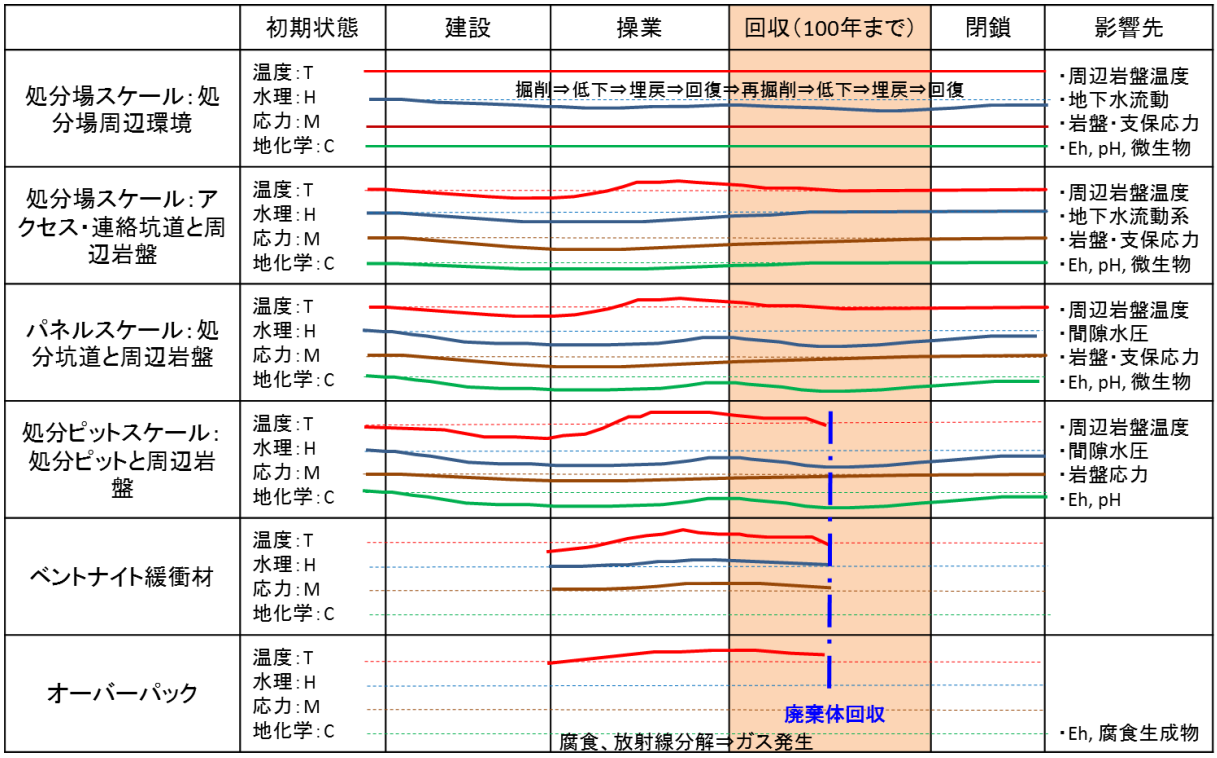
一方、回収可能性を維持しつつ廃棄体を回収する行為により、作業時の安全性や地表環境への影響および関連する費用が発生し、処分事業に与える影響は相当大きくなると考えられる。

表 7.3.1-8　基本ケースの処分システムの状態変遷表（回収する場合：回収可能性を維持しつつ回収する場合）

	オプション③の状態	構成要素	建設（10 年）	操業(50 年) 定置	操業(50 年) 埋戻し	回収（40 年）	閉鎖（10 年）	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝播
	検討ケースⅢ（基本ケース）の工程		←→	回収可能性維持期間(100 年)			開放坑道・処分孔の埋戻し		
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、不飽和領域 M:支保応力発生 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻しで環境回復 ↓ 再掘削の環境の変化 ↓ 埋戻しで環境回復
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:発熱による温度上昇 H:埋戻しによる間隙水圧上昇 M:応力回復傾向 C:酸化⇒還元、支保材の劣化	【掘削】 T:温度低下 H:飽和、地下水流動系の回復傾向 M:応力回復傾向 C:酸化⇒還元、支保の材劣化	【埋戻し】		
		【プラグ】 ・コンクリートプラグ	—	—	【プラグ設置】	【プラグ撤去】			
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:還元⇒酸化	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	【掘削】 T:周辺温度 H:排水による不飽和領域発生 M:孔壁変形 C:酸化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ ピットの埋戻しで周辺環境回復 ↓ 回収の掘削で環境変化 ↓ 埋戻しで回復
		ベントナイト（圧縮ブロック、充填ペレット）	—	【ベントナイト設置】 T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化	T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化⇒還元	上部、側部の一部撤去			
		オーバーパック	—	【オーバーパック設置】 T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:還元、腐食⇒ガス	回収			
		処分孔上部埋戻し・キャップの設置		【埋戻し・キャップの設置】 T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	撤去			

：開放坑道、　：埋め戻された状態変遷、　：回収時の状態変遷

表 7.3.1-9　回収する場合の THMC 変遷の考え方と影響先



4)　処分への閉鎖前、閉鎖後の影響分析

処分システムへの状態変遷表をもとに、回収しない場合と回収する場合の処分への閉鎖前の影響と閉鎖後の影響を分析する。前述したように、影響には作業リスクや地表への環境影響および費用など顕在化する影響と長期の安全性への潜在的な影響に分類できる。本検討では、後者の長期の安全性への潜在的な影響に関わる因子について検討する。

a　回収しない場合

基本ケースの回収可能性を維持しつつ回収しない場合（回収しない場合）では、通常の建設・操業後 50 年程度、アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道を開放しておくことになる。長期安全性への影響は、これらの通常の影響に開放していることの影響を加味するため、影響のトリガー（擾乱因子）と処分環境への影響（THMC）の流れは程度の差はあるものの同じ形態で記述することができる（図 7.3.1-15）。坑道を長期に開放することでの影響は、擾乱因子における「掘削・支保・排水・換気」の項目が相当する。特に回収しない場合、回収可能性維持の期間の影響は、開放坑道の維持管理方法が閉鎖後の影響へのトリガー（擾乱因子）となる。THMC への影響の大きさと継続時間は、前述したように処分サイトの地質環境条件、定置方式や処分場概念、維持期間中の状態、維持期間にも依存する。総じて、状態オプション③では、40 年程度坑道を開放しておくことの閉鎖後への影響は存在するものの、影響の程度と範囲は小さいと推定される。

一方、閉鎖までは、回収可能性維持に伴うアクセス坑道等を安全に維持するための作業リスク、地表環境への影響、事業費用の増加などの顕在的な影響が発生する。

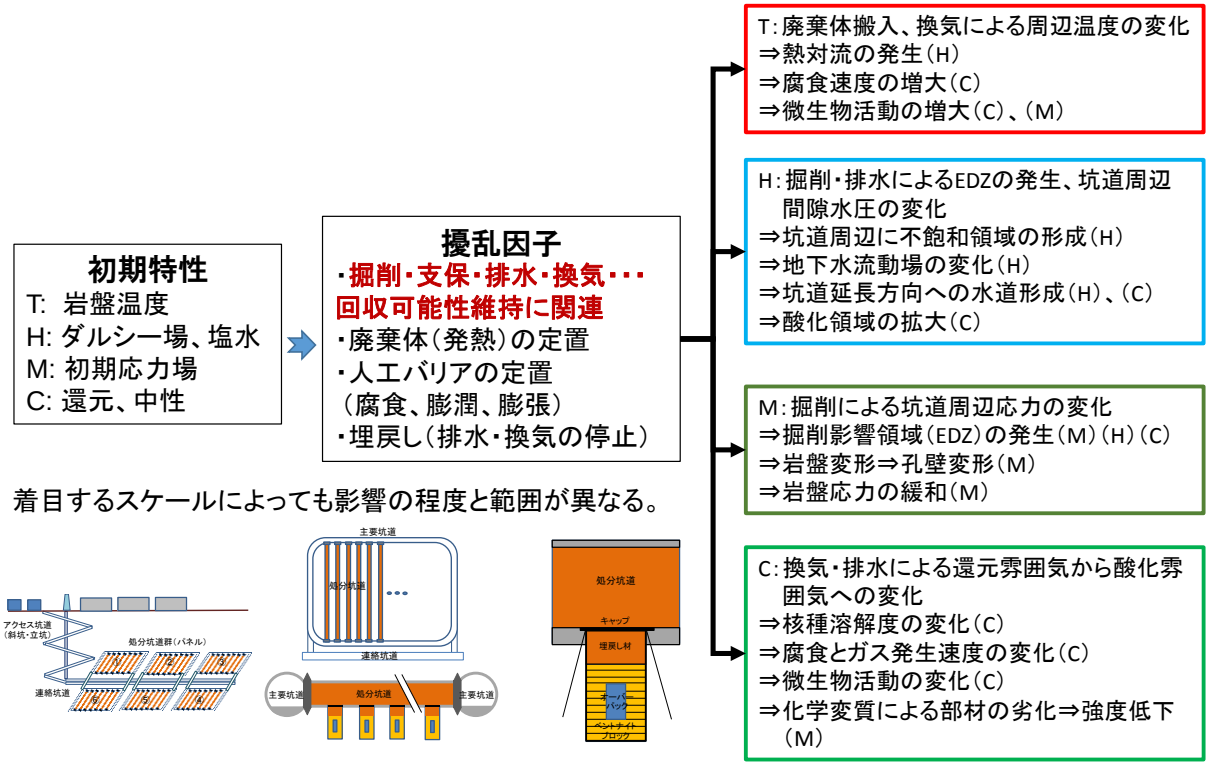


図 7.3.1-15　回収しない場合：回収可能性維持が処分システムに与える影響の伝播

b　回収する場合

基本ケースの回収可能性を維持しつつ回収する場合（回収する場合）では、通常の建設・操業後と 60 年程度、アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道を開放しておくとともに、パネル単位で廃棄体を 40 年間かけて回収していくことになる。このため、長期安全性への影響は、これらの通常の影響に開放していることの影響、および廃棄体を回収するために一度埋め戻した処分坑道を再掘削することによる影響を加味していくことになる。このため、影響のトリガー（擾乱因子）には、回収しない場合に加えて廃棄体回収に伴う、掘削、排水、換気のトリガーが追加される。

これらの擾乱因子によると処分環境への影響（THMC）の流れは程度の差はあるものの、回収しない場合と同じ形態で記述することができる（図 7.3.1-16）。廃棄体を回収することで周辺温度への影響は解消され、換気による大気温度に変化し、その後埋戻しにより周辺岩盤温度に戻っていく。基本ケースにおける状態オプション③の状態での廃棄体の回収は、パネル単位で実施され、回収が終了すればパネルは埋め戻されることから、その影響の範囲は限定される可能性がある。もちろん、影響の大きさと範囲は、回収しない場合と同様に処分場の地質環境条件、処分場概念および回収可能性維持の状態オプション、回収可能性維持の期間にも依存する。

閉鎖前においては、回収可能性維持のための坑道維持と回収に伴う作業リスク、環境影響および事業費用に顕在的な影響を及ぼすことになる。その影響は、回収しない場合のケースに比較して大きくなることが想定される。

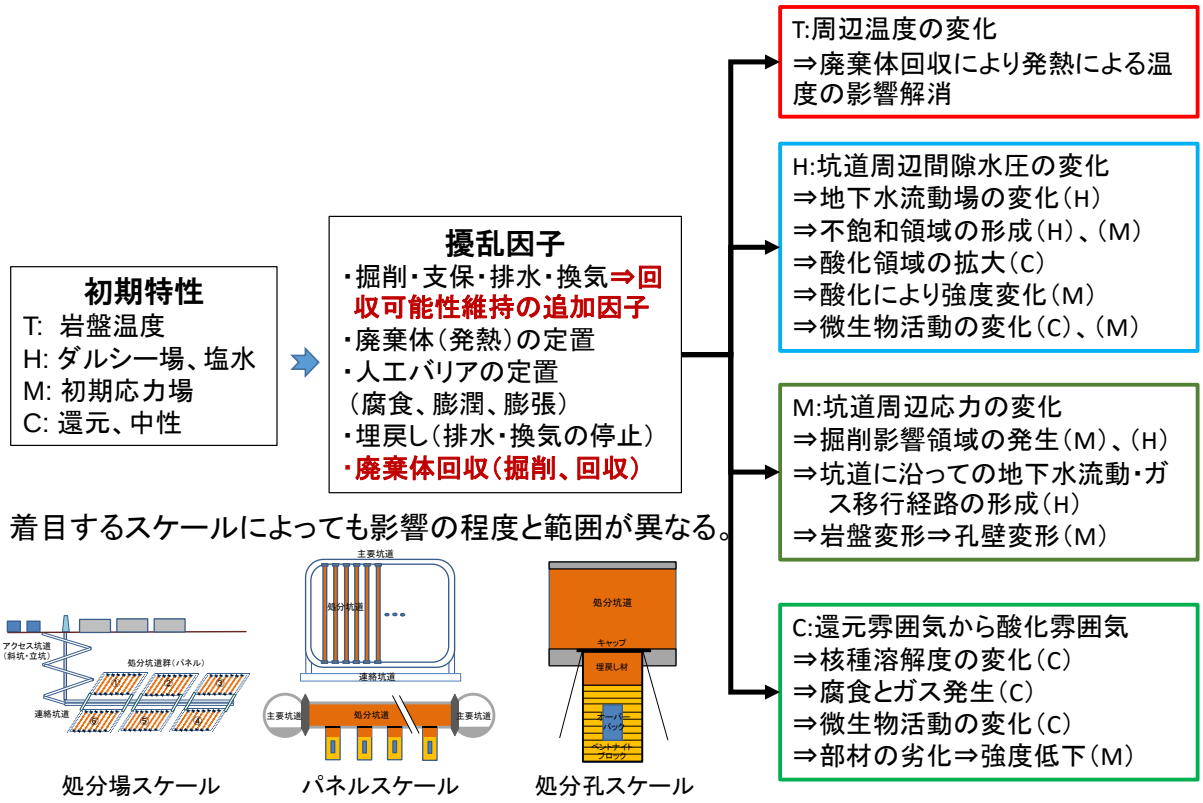


図 7.3.1-16　回収する場合：回収可能性の維持と回収作業が処分システムに与える影響の伝搬

5)　基本ケースの影響要素（因子）の抽出と分類

回収可能性維持による影響要素の抽出では、前述の状態変遷に基づく影響伝搬の分析結果を出発点として、回収する場合（回収しない場合）としない場合（回収する場合）に分け、影響を引き起こすトリガーとなる擾乱因子と影響を受ける要素（レセプター）を抽出する。

a　回収しない場合

回収しない場合、状態オプション③では、廃棄体と人工バリアが定置され処分坑道が埋め戻されたのち、アクセス坑道（斜坑と立坑）、連絡坑道、主要坑道が 100 年程度開放されることになり、回収の有無に関わらず、処分場立地領域の初期の地質環境（THMC）は、処分場の建設や操業により影響を受ける。その影響の程度や範囲は、処分場概念や定置方法・形態により、また処分場の建設・排水・換気方法により異なる。すなわち、処分場を立地する領域の地質環境が建設・操業の方法や手順により擾乱され、それらが様々な形で長期安全性確保に関わる地質環境や安全機能に影響を及ぼす可能性があることが予測される。

影響を評価する場合の要素は、図 7.3.1-17 に示すように大きく 3 つに分類できる。

① 立地領域の初期地質環境と処分場概念や人工バリア定置概念・・・主として特質（F）に相当

② 建設や操業など初期の特質に擾乱を与える因子・・・主として事象（E）やプロセス（P）に相当

③ 擾乱を受けることで変化する要素・・・主として特質（F）に相当

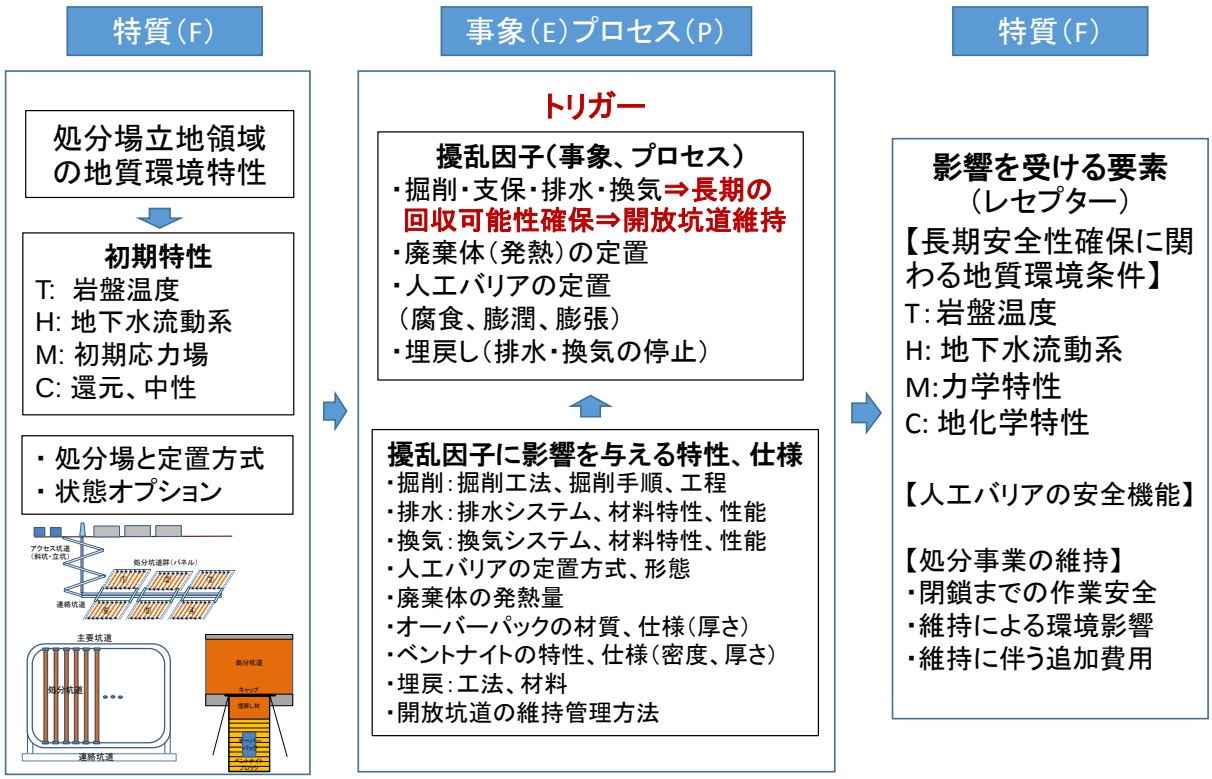


図 7.3.1-17　回収しない場合における影響要素（因子）の抽出と分類

それぞれのグループごとに、FEP として影響評価のための要素を抽出することができる。この分類で回収可能性維持に関わる事項は、「状態オプション」、「回収可能性確保に関わる開放坑道の維持」その結果としてのレセプターとなる。

b　回収する場合

回収しない場合と同様に影響要素は、図 7.3.1-18 に示す 3 つのグループに分類できる。このうちトリガーとなる擾乱因子には、回収可能性維持に関わる因子の他に廃棄体の回収に関わる事項が追加される。影響を受ける要素のうち、人工バリアの安全機能への影響要素は廃棄体を回収することで消滅する。

特徴的な事項は、長期の回収可能性確保のための坑道を開放していることの影響と回収作業により、新たに坑道を開放する影響が追加される点である。これらのトリガーは、同様の影響（レセプター）を及ぼすと想定されるが、その程度（範囲と大きさ）は異なる。

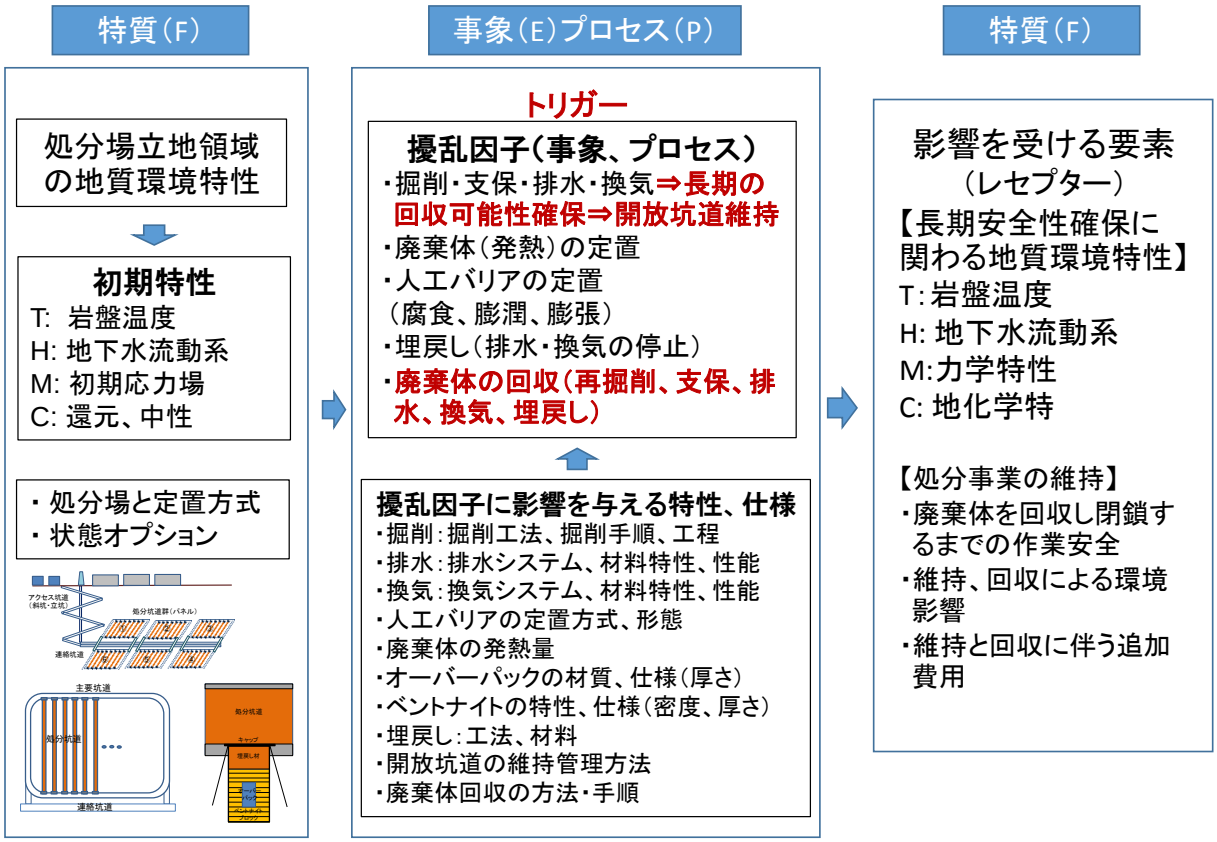


図 7.3.1-18 回収する場合における影響要素（因子）の抽出と分類

(5) 影響因子とその要素の抽出と分類（他のケースへの展開）

前節までの基本ケースにおける影響因子と要素の抽出及び分類の流れに従い、本節では、図 7.3.1-19 に示す他のケース（基本ケースを含めて 7 ケース）について検討を実施する。

	回収シナリオ①	回収シナリオ②	回収シナリオ③	回収シナリオ④
状態オプション①		検討ケースⅠ		
状態オプション②		検討ケースⅡ		
状態オプション③	検討ケースⅤ	検討ケースⅢ（基本ケース）	検討ケースⅥ	検討ケースⅦ
状態オプション④		検討ケースⅣ		

図 7.3.1-19 検討ケース

それぞれ検討ケースは以下の状態と回収シナリオの組合せで構成される。

検討ケースⅠ：各パネルで廃棄体は処分孔に定置されるが周辺ベントナイトは設置せず処分孔は開放状態を維持した状態で作業を終了。その後、アクセス坑道から処分坑道まで

開放された状態を維持。回収可能性維持期間 100 年。

検討ケースⅡ：処分孔には廃棄体、ベントナイト緩衝材、処分孔上部埋戻し材（放射線遮へい上必要な埋め戻し材)、キャップが設置された状態で定置作業が終了。その後、処分坑道を含め全ての坑道は開放された状態で維持。回収可能性維持期間 100 年。

検討ケースⅢ（基本ケース）：処分孔への廃棄体、ベントナイト等の定置が終了し、処分坑道が埋戻され端部にはプラグが設置された状態で定置作業を終了。その後、アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道が開放された状態で維持。回収可能性維持期間 100 年。

検討ケースⅣ：処分孔への廃棄体等定置後、処分坑道が埋戻され端部にはプラグが設置され、主要坑道が埋め戻され定置作業を終了。その後、アクセス坑道および連絡坑道が開放された状態で維持。回収可能性維持期間 100 年。

検討ケースⅤ：操業期間中に定置された廃棄体を回収するケースで、廃棄体と人工バリアが定置され、処分坑道が埋め戻され、プラグが設定された状態で定置開始から 10 年後に回収を想定。アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道は開放。回収可能性維持期間 30 年。廃棄体の発熱により周辺は最も高温になっている。

検討ケースⅥ：処分孔に廃棄体等が定置され、処分坑道が埋戻され端部にはプラグが設定された状態で定置作業を終了。その後アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道まで開放された状態で維持。回収可能性維持期間 200 年。

検討ケースⅦ：処分孔に廃棄体等が定置され、処分坑道が埋戻され端部にはプラグが設定された状態で定置作業を終了。その後アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道まで開放された状態で維持。回収可能性維持期間 300 年。

それぞれの検討ケースにおける状態オプションの概念を図 7.3.1-20 に示す。

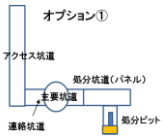
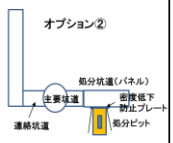
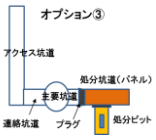
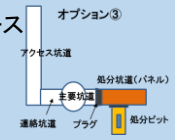
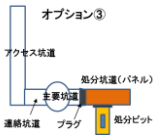
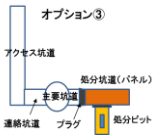
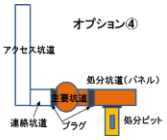
	回収シナリオ① （廃棄体定置開始後10年）	回収シナリオ② （廃棄体定置開始後50年）	回収シナリオ③ （廃棄体定置開始後150年）	回収シナリオ④ （廃棄体定置開始後250年）
	回収可能性維持期間30年 （アクセス坑道等開放期間）	回収可能性維持期間100年 （アクセス坑道等開放期間）	回収可能性維持期間200年 （アクセス坑道等開放期間）	回収可能性維持期間300年 （アクセス坑道等開放期間）
状態オプション①		ケースⅠ 		
状態オプション②		ケースⅡ 		
状態オプション③	ケースⅤ 	ケースⅢ 基本ケース 	ケースⅥ 	ケースⅦ 
状態オプション④		ケースⅣ 		

図 7.3.1-20　検討ケースの状態オプションの概念

検討ケースに対応した検討項目を表 7.3.1-10 に整理して示す。検討ケースⅤ～Ⅶの一部は検討ケースⅢ（基本ケース）と同様となる。

表 7.3.1-10　検討ケースと検討項目整理表

	a. 検討ケースの概念	b. 状態変遷表作成	c. 影響伝搬分析	d. 影響要素抽出	e. PID作成*	f 影響の程度
		b-1 回収しない	c-1 回収しない	d-1 回収しない	e-1 回収しない	回収しない
		b-2 回収する	c-2 回収する	d-2 回収する	e-2 回収する	回収する
検討ケースⅠ	○	○	○	○	○	○
検討ケースⅡ	○	○	○	○	○	○
検討ケースⅢ（基本ケース）	○	○	○	○	○	○
検討ケースⅣ	○	○	○	○	○	○
検討ケースⅤ	○	○	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ	○
検討ケースⅥ	○	○	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ	○
検討ケースⅦ	○	○	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ	基本ケースと同じ	○

＊PID 作成では処分場スケール、処分パネルスケール、処分孔スケールに分けて検討

1)　検討ケースⅠ

a　検討ケースⅠの処分場概念

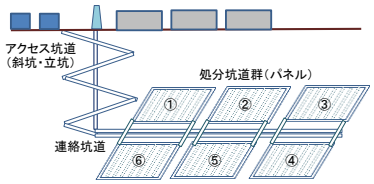
検討ケースⅠの異なるスケールでの処分場概念を以下に図 7.3.1-21 として示す。

各パネルで廃棄体は処分孔に定置されるが周辺ベントナイトは設置せず一旦作業が終わる。処分ピットは開放状態を維持した状態で50年間は、アクセス坑道から処分坑道まで開放された状態が維持されている。建設段階からすると坑道は約100年間開放された状態にある。
ベントナイトの残りは、閉鎖が決定されたのち定置される。

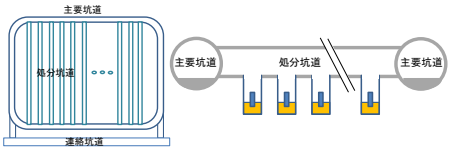
第2次取りまとめやNUMOの処分概念検討ではこのような状態を設定していない（処分ピットにはオーバーパック、ベントナイト、埋戻し材が隙間なく定置されていることが前提）

底部のベントナイトが定置され、その上にオーバーパックが置かれているような状態オプション①で、50年程度安定性や品質を維持するには、特別な対応をしないと第2次取りまとめと同様な長期の安全性を確保することは困難となる。

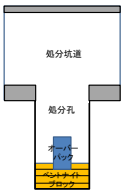
閉鎖までの坑道の安定性の確保と人工バリアの初期品質を担保するための対策が必要



処分場スケール



パネルスケール



処分孔スケール

図 7.3.1-21　検討ケースⅠの処分概念

b　処分システムの状態変遷表の作成

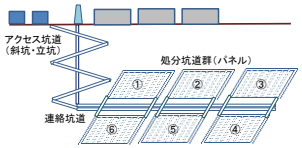
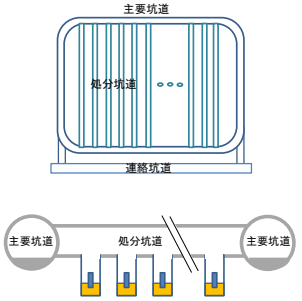
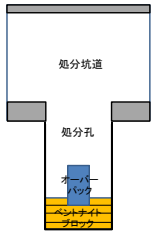
(a)　回収しない場合

検討ケースⅠにおける回収しない場合の状態変遷表を表 7.3.1-11 に示す。基本ケースと同様に横軸に経過時間を、縦軸に処分場の異なるスケールでの THMC の状態を記述している。表中の薄青色のボックスは処分坑道等が開放されている状態、薄緑色のボックスは埋め戻された状態を示す。検討ケースⅠでは、アクセス坑道が建設され、処分孔に廃棄体が定置された後の回収可能性維持期間を含めた約 100 年間アクセス坑道から処分孔まで開放された状態が維持される。特に処分孔では、処分概念で示したように、定置された人工バリアの初期品質が開放期間中担保されるような対策が講じられていることを前提としている。表の最後の欄には、これらの建設、開放期間、埋戻しに至るそれぞれの影響の伝播を簡単に記述している。詳細は、次節以降の PID で記述する。

(b)　回収する場合

検討ケースⅠにおける回収維持期間中に廃棄体を回収する場合の状態変遷表を表 7.3.1-12 に示す。表の構成は表 7.3.1-11 と同じである。橙色のボックスは回収時の状態変遷を示す。ケースⅠでは、処分孔まで開放された状態で廃棄体が回収されることになるため、廃棄体が回収された処分坑道から順に埋戻しが開始されることになる。本検討では、廃棄体を全数回収した場合、処分場を放棄することになると考え、埋戻し後の影響伝搬は考慮しないこととする。

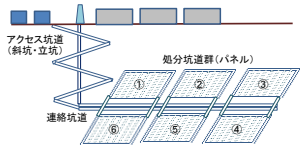
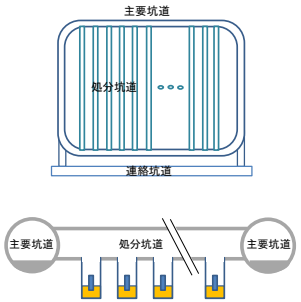
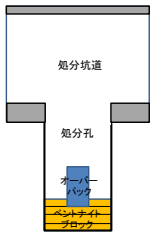
表 7.3.1-11　検討ケースⅠの回収しない場合の状態変遷表

	オプション①の状態	構成要素	建設（10 年）	操業（50 年）		（回収可能性維持）※（40 年）	閉鎖（10 年）	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝搬
				定置	（埋戻し）				
	検討ケース1の工程		←→	回収可能性維持期間(100 年)		←→			
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度に回復 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元雰囲気	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保等の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度に回復 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度に回復 H:間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度に回復 H:間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	
		【プラグ】 ・ベントナイトプラグ ・コンクリートプラグ					【プラグ設置】		
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:酸化環境継続	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:酸化環境継続	【閉鎖】 T:周辺温度 H:飽和過程 M:応力回復 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:周辺温度 H:飽和 M:応力回復 C:還元、腐食⇒ガス発生	掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ 埋戻でこの状態が元に回復
		ベントナイト（圧縮ブロック、充填ペレット）		【下部ベントナイト設置】 T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化	—	【下部ベントナイト設置】 T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化	【側部・上部ベントナイト設置】 T:周辺温度 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化	T:周辺温度 H:地下水浸透⇒飽和 M:膨潤圧発生 C:酸化⇒還元	
		オーバーパック		【オーバーパック設置】 T:発熱による温度上昇 H:遮水機能維持 M:初期強度 C:酸化	—	T:発熱による温度上昇 H:遮水機能維持 M:初期強度 C:酸化	T:周辺温度に低下 H:遮水機能維持 M:初期強度 C:酸化、腐食⇒ガス発生	T:周辺温度に低下 H:遮水機能維持 M:初期強度 C:酸化、腐食⇒ガス発生	

※基本ケース参照。

：開放坑道、　：閉鎖後の状態変遷

表 7.3.1-12　検討ケースⅠの回収する場合の状態変遷表

	オプション①の状態	構成要素	建設 (10 年)	操業(50 年) 定置	操業(50 年) (埋戻し)	回収 (40 年間)	閉鎖 (10 年)	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝播
	検討ケースⅠの工程		←→	回収可能性維持期間(100 年)			開放坑道・処分孔の埋戻し		
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 連絡坑道の埋戻しが終了後、坑底設備が解体撤去され、アクセス坑道が埋め戻される。この間 10 年程度要する。		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 主要坑道の埋戻し完了後、連絡坑道の埋戻しが開始。この間は 10 年以上要すると考えられる。		
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 パネルでの処分坑道埋戻が終了したのち主要坑道は埋め戻される。		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 廃棄体の回収作業と並行して、処分坑道は順次、埋め戻される。		
		【プラグ】 ・ベントナイトプラグ ・コンクリートプラグ ・グラウト	—	—					
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:酸化環境継続	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:酸化環境継続	【埋戻し】 廃棄体の回収作業と並行して処分孔は埋め戻される		掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		ベントナイト (圧縮ブロック、充填ペレット)	—	【底部ベントナイト設置】 T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	—	一部撤去			
		オーバーパック	—	T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:酸化 R:放射線分解⇒ガス発生	—	回収			

：開放坑道、：閉鎖後の状態変遷、：回収時の状態変遷

c　影響伝搬分析

(a)　回収しない場合

アクセス坑道から処分孔まで開放状態して回収可能性を維持する場合、図 7.3.1-22 に示すように様々なスケールで周辺地質環境や岩盤の安定性に影響を与え、それらが THMC の状態変換へと伝播していく。これらの影響は、回収可能性維持期間が延長されると維持管理のための対策の影響も含めて増加していくと考えられる。その影響範囲や大きさは、立地環境、周辺岩盤の地質環境特性、処分場の概念、維持管理のための対策などを総合的に評価する必要がある。

回収可能性維持期間終了後は、元の状態に回復していくと推定されるが、その速度や回復後の状況については不明である。これらの影響が埋戻し後どの程度残るかによって、影響低減のための対策が必要になることから、今後、その影響の定量化に向けた検討が必要である。

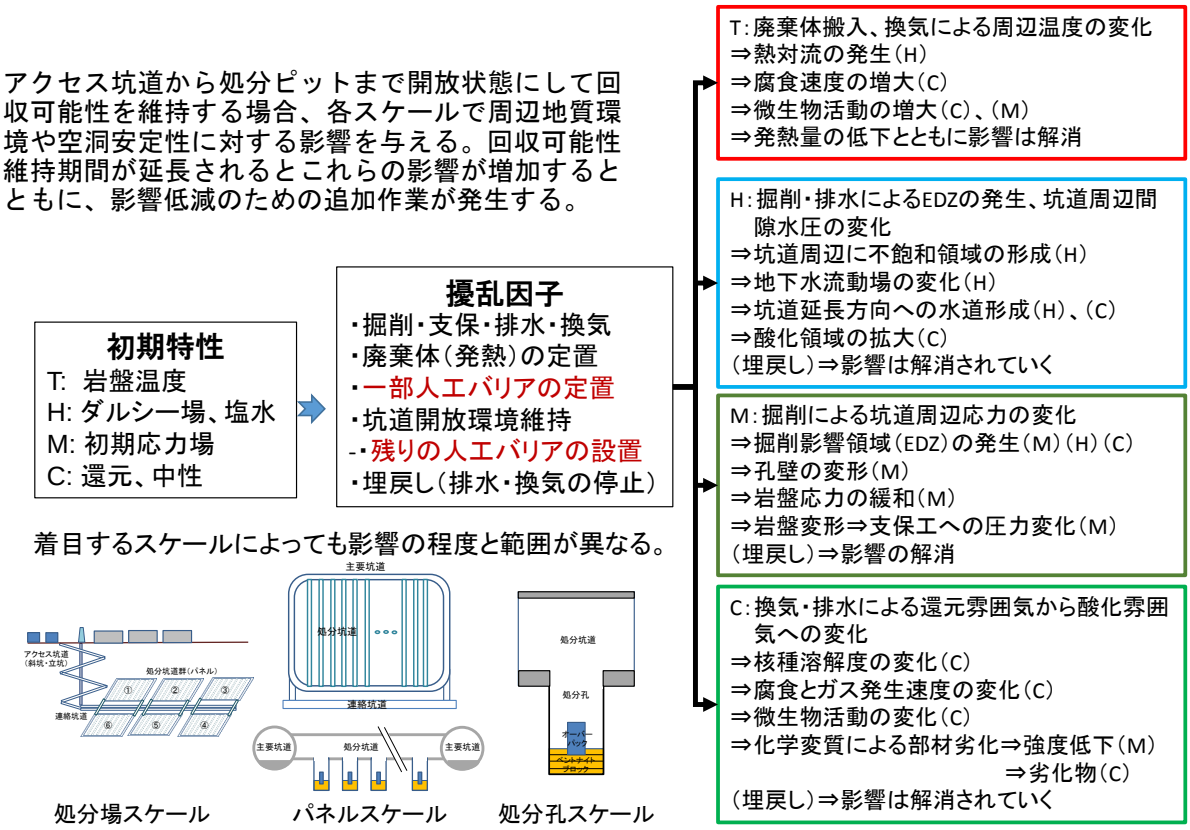


図 7.3.1-22　検討ケースⅠにおける回収しない場合の影響伝搬

(b)　回収する場合

アクセス坑道から処分孔まで開放状態して回収可能性を維持する場合、様々なスケールで周辺地質環境や坑道の安定性に対する影響（THMC）を与える。回収可能性維持期間が延長されるとこれらの影響が増加するとともに、影響低減のための追加作業およびコストが発生する。坑道開放中に廃棄体を回収し、順次埋戻ししていくことでこれらの影響は解消していくと考えられるが、支保工の劣化物等は環境中に残置される。これらの影響は、回収可能性

維持とは直接的に関係なく、これまでの処分場の閉鎖後への影響伝搬と同様である。

廃棄体を全数回収する場合、処分場としての機能は放棄されることになるため、開放坑道等は埋め戻され、回収可能性維持によりもたらされた影響は解消されていく。

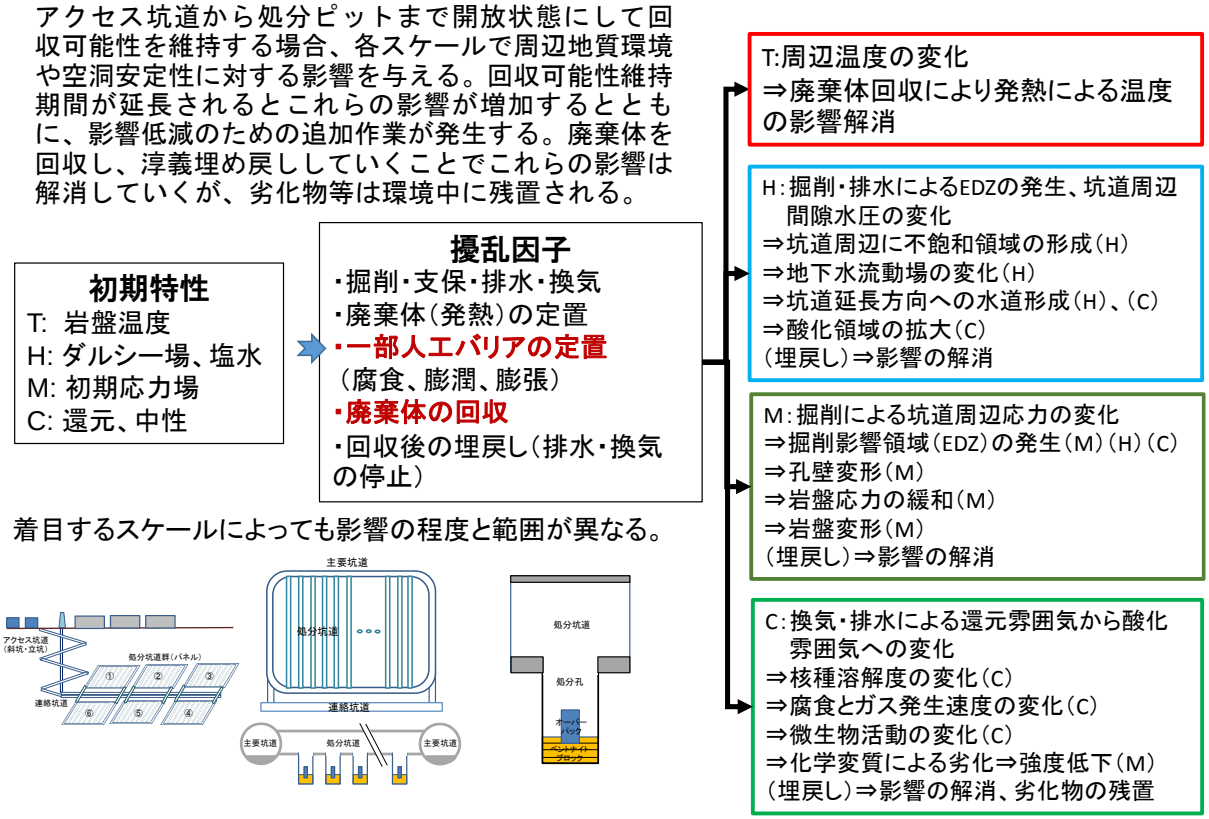


図 7.3.1-23　検討ケースⅠにおける回収する場合の影響伝搬

d　影響因子とその要素の抽出と分類

(a)　回収しない場合

影響伝搬とのつながりを考慮すると図 7.3.1-24 に示すようになる。このような特性は初期条件がベースで影響を受けた結果もふくめて変化していく。

これらの特性の変化 FEP の関連を PID として表わすことができ、そこでの影響発生の蓋然性を考慮した組合せが「評価シナリオ」としてまとめられる。

検討ケースⅠでは、処分孔を開放状態に置くことになるため、人工バリア機能（初期性能）への影響を考慮しなければならない。初期性能を担保するために必然的に対応策が必要となり、それらが閉鎖前と閉鎖後に影響を与える要素となるかどうかの評価が必要となる。

閉鎖前の影響としては、開放坑道の維持管理に伴う作業リスク、周辺環境への影響、影響低減のための追加作業が発生する。

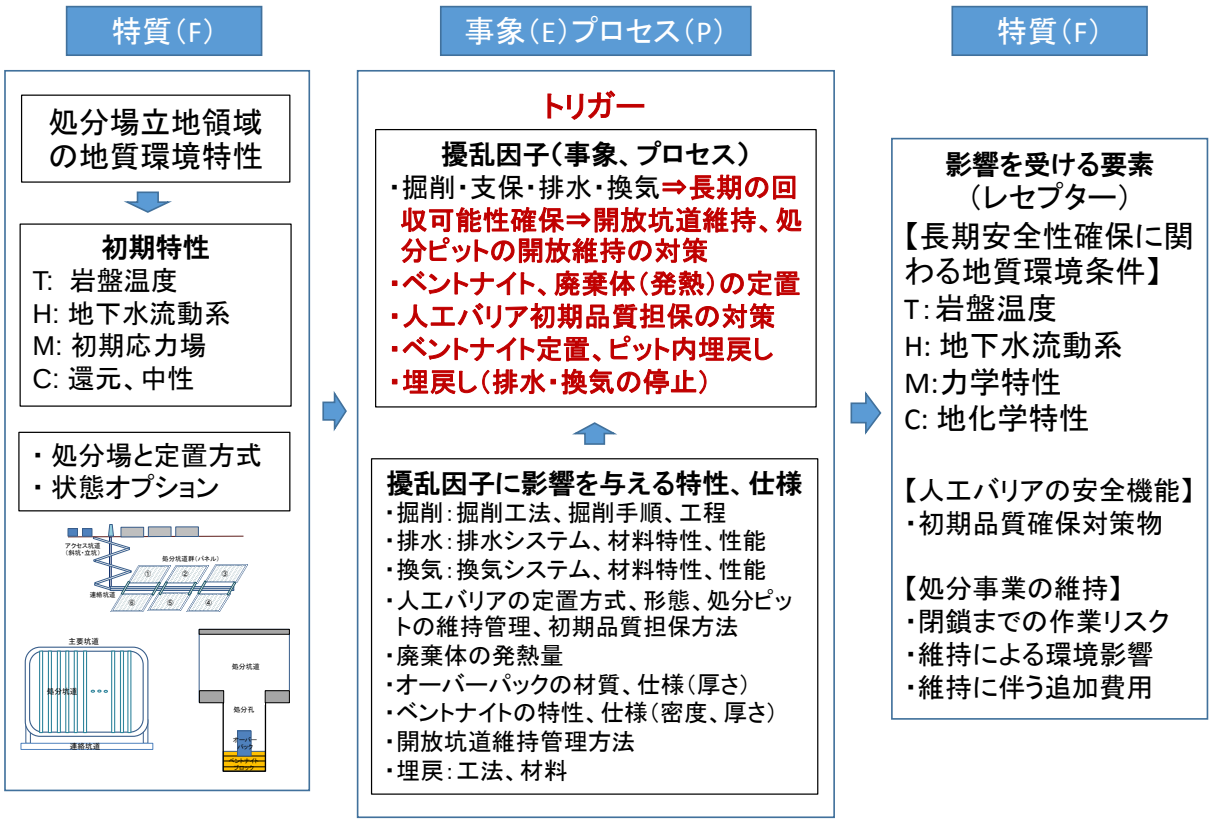


図 7.3.1-24　検討ケースⅠの回収しない場合の影響要素とその分類

(b) 回収する場合

回収する場合の影響要素も同様に整理することができる。回収しない場合と比較して異なることは、廃棄体を全数回収することで、処分場として再利用しないと考えられるため、埋戻し後の長期安全確保に与える影響を考慮する必要がなくなる点である。

閉鎖前への影響としては、回収しない場合と同様に、作業リスクに係わる要素、周辺環境への影響要素、それらの要素の発生に伴って発生する事業コストが追加される。

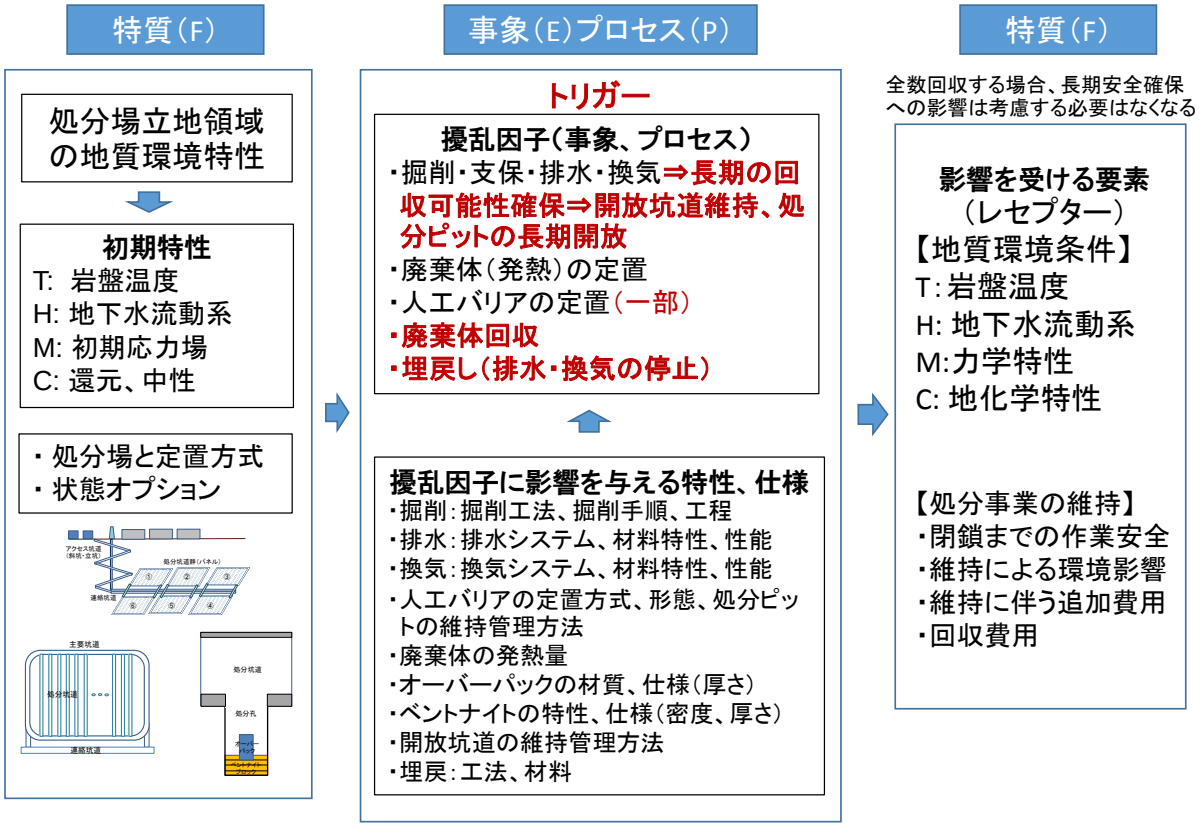


図 7.3.1-25　検討ケースⅠの回収する場合の影響要素とその分類

2)　検討ケースⅡ

a　検討ケースⅡの概念

検討ケースⅡの処分場概念を異なるスケールで図 7.3.1-26 に示す。廃棄体は人工バリア（緩衝材）とともに定置され、処分孔は埋め戻されるが処分坑道は開放されたままで回収可能性を維持する概念である。なお、処分孔の上部には処分坑道の解放期間中、ベントナイトへの地下水浸入に伴う膨潤圧発生への対策としてキャップが設置され、膨潤圧による変形防止のために浮き上がり防止のアンカーボルトが打設される。これらの措置は処分坑道の埋戻し段階で残置の影響を評価していく必要がある。

処分ピットには廃棄体、ベントナイト緩衝材、処分孔上部埋戻し材、キャップ等が設置された状態で一旦作業が終わり、その後40年間は処分坑道を含め全ての坑道は開放された状態で維持される。

廃棄体は、処分孔に所定の人工バリアを設置して定置されているため、初期品質は担保されている。処分坑道は、開放状態で、換気・排水等の維持管理が継続される。

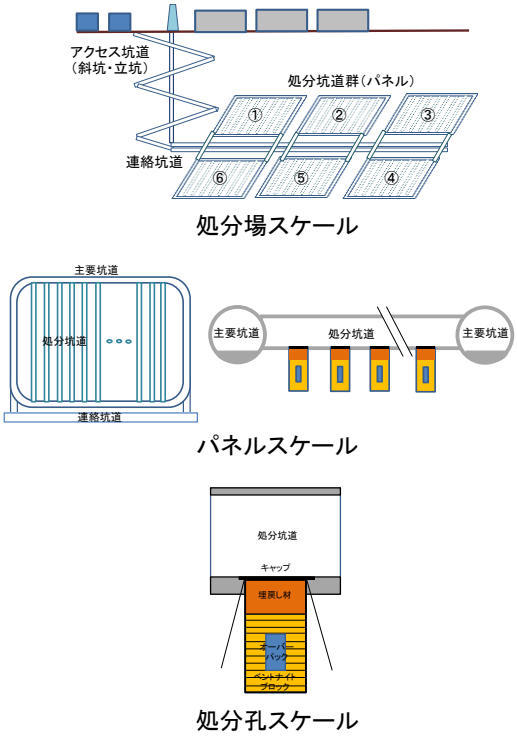


図 7.3.1-26　検討ケースⅡの処分概念

b　処分システムの状態変遷表の作成

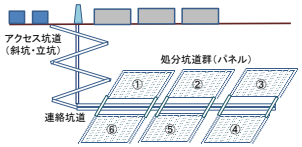
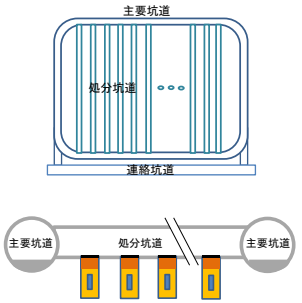
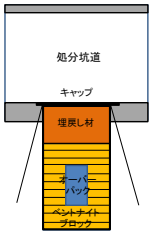
(a)　回収しない場合

検討ケースⅡにおける回収しない場合の状態変遷表を表 7.3.1-13 に示す。基本ケースと同様に横軸に経過時間を縦軸に処分場の異なるスケールでの THMC の状態を記述している。表中の薄青色のボックスは処分坑道等が開放されている状態、薄緑色のボックスは埋め戻された状態を示す。検討ケースⅡでは、アクセス坑道が建設され、処分孔に廃棄体が定置された後の回収可能性維持期間を含めた約 100 年間アクセス坑道から処分坑道まで開放された状態が維持される。

(b)　回収する場合

検討ケースⅡにおける回収維持期間中に廃棄体を回収する場合の状態変遷表を表 7.3.1-14 に示す。橙色のボックスは廃棄体を回収するために処分孔の埋戻し材を撤去し、オーバーパック周辺のベントナイトを撤去する状態を記述している。検討ケースⅡでは、廃棄体を全数回収した場合、それ以降処分場の再利用はしないと考えられるため、埋戻し後の影響伝搬は考慮しないこととする。

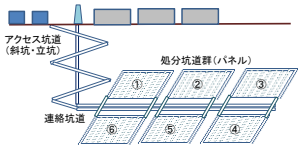
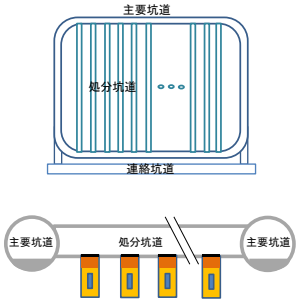
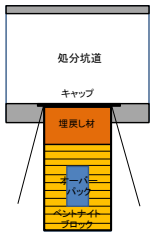
表 7.3.1-13　検討ケースⅡの回収しない場合の状態変遷表

	オプション②の状態	構成要素	建設（10 年）	操業（50 年） 定置	操業（50 年） （埋戻し）	（回収可能性維持）※（40 年）	閉鎖（10 年）	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝搬
	検討ケースⅡの工程		←回収可能性維持期間（100 年）→						
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復傾向 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元雰囲気	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度に回復 H：EZD 間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、不飽和領域 M:支保応力発生 C:酸化⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、不飽和領域 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、不飽和領域 M:初期応力場 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度に回復 H：EZD 間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、不飽和領域、地下水流動系の変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、不飽和領域、地下水流動系の変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、不飽和領域、地下水流動系の変化 M:応力回復傾向 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度に回復 H：EZD 間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	
		【プラグ】 ・コンクリートプラグ					【プラグ設置】		
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:還元⇒酸化	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:温度低下 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:飽和過程 M:応力回復 C:還元	T:周辺温度 H:飽和 M:応力回復 C:還元	掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ 埋処分ピット戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		ベントナイト（圧縮ブロック、充填ペレット）		【ベントナイト設置】 T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化	T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化⇒還元	T:温度低下 H:飽和過程 M:膨潤圧発生 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:初期飽和度 M:初期応力 C:還元	T:周辺温度 H:地下水浸透⇒飽和 M:膨潤圧発生 C:還元	
		オーバーパック		【オーバーパック設置】 T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:還元、腐食⇒ガス	T:温度低下 M:初期強度 C:還元、腐食⇒ガス	T:周辺温度に低下 M:：初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:周辺温度に低下 M:：初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	
		処分孔上部埋戻し・キャップの設置		【埋戻し・キャップの設置】 T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	T:温度低下 H:飽和過程 M:：初期強度 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:飽和 M:初期強度 C:還元	T:周辺温度 H:飽和 M:初期強度 C:還元	

※基本ケース参照。

：開放坑道、：閉鎖後の状態変遷

表 7.3.1-14　検討ケースⅡの回収する場合の状態変遷表

	オプション②の状態	構成要素	建設（10 年）	操業（50 年） 定置	操業（50 年） （埋戻し）	回収（40 年）	閉鎖（10 年）	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝播
	検討ケースⅡの工程		←→	回収可能性維持期間(100 年)		←→	開放坑道・処分孔の埋戻し		
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：酸化、補強材の劣化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：酸化、補強材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：酸化、支保等の劣化	【埋戻し】		
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、不飽和領域 M：応力解放⇒地圧回復傾向 C：酸化、補強材の劣化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、不飽和領域 M：地圧の回復 C：酸化、補強材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、不飽和領域 M：初期応力場 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、不飽和領域、地下水流動系の変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、不飽和領域、地下水流動系の変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、不飽和領域、地下水流動系の変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		
		【プラグ】 ・コンクリートプラグ	—	—					
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T：換気による低下 H：周辺不飽和拡大 M：孔壁変形 C：還元⇒酸化	T：発熱による温度上昇 H：周辺飽和に移行 M：応力回復 C：酸化⇒還元	T：発熱による温度上昇 H：周辺飽和に移行 M：応力回復 C：酸化⇒還元	【掘削】 T：換気による大気温度 H：排水による不飽和 M：孔壁変形 C：酸化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒遮水支保工設置⇒支保応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		ベントナイト（圧縮ブロック、充填ペレット）	—	【ベントナイト設置】 T：温度上昇 H：初期飽和度 M：初期応力 C：酸化	T：温度上昇 H：初期飽和度 M：初期応力 C：酸化⇒還元	上部、側部の一部撤去			
		オーバーパック	—	【オーバーパック設置】 T：発熱による温度上昇 M：初期強度 C：酸化	T：発熱による温度上昇 M：初期強度 C：還元、腐食⇒ガス	回収			
		処分孔上部埋戻し・キャップの設置		【埋戻し・キャップの設置】 T：発熱による温度上昇 H：初期飽和度 M：初期強度 C：酸化	T：発熱による温度上昇 H：初期飽和度 M：初期強度 C：酸化	撤去			

：開放坑道、：閉鎖後の状態変遷、：回収時の状態変遷

c　影響伝搬分析

(a)　回収しない場合

アクセス坑道から処分坑道まで開放状態して回収可能性を維持する場合、図 7.3.1-27 に示すように様々なスケールで周辺地質環境や坑道安定性に対する影響を与え、それらが THMC の状態変換へと伝播していく。これらの影響は、回収可能性維持期間が延長されると維持管理のための対策の影響も含めて増加していくと考えられる。その影響範囲や大きさの推定には、立地環境、周辺岩盤の地質環境特性、処分場の概念、維持管理のための対策などを総合的に評価する必要がある。

回収可能性維持期間終了後は、元の状態に回復していくと推定されるが、その速度や回復後の状況については不明である。これらの影響がどの程度残るかによって、影響低減のための対策が必要になる。

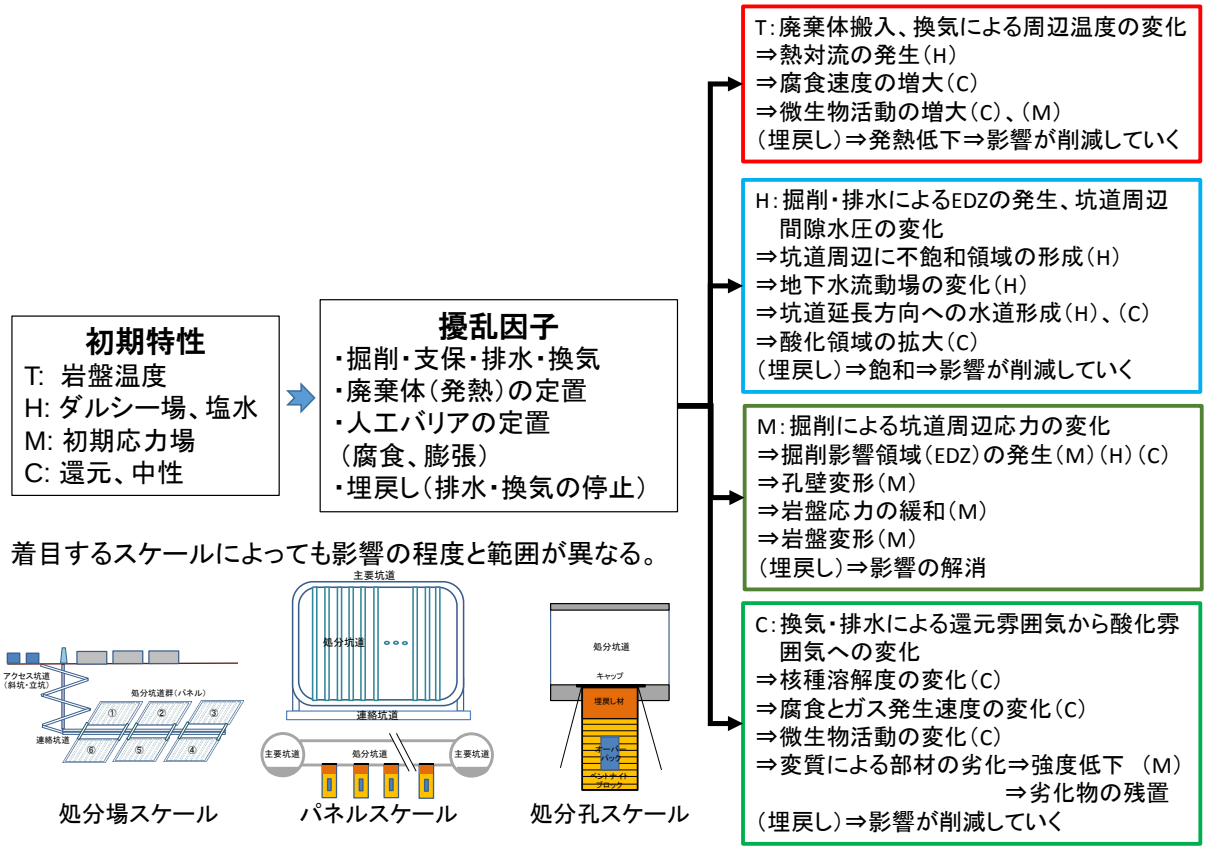


図 7.3.1-27　検討ケースⅡにおける回収しない場合の影響伝搬

(b)　回収する場合

回収しない場合の各スケールで周辺地質環境や空洞安定性に対する影響（THMC）を図 7.3.1-28 に示す。回収可能性維持期間が延長されるとこれらの影響が増加するとともに、影響低減のために追加される対策とそのコストが発生する。坑道開放中に廃棄体を回収し、順次埋戻ししていくことでこれらの影響は解消していくが、支保工の劣化物等は環境中に残置される。これらの影響は、回収可能性維持とは直接的に関係なく、これまでの処分場の閉鎖

後への影響伝搬と同様である。

廃棄体を全数回収する場合、処分場としての機能は放棄されることになるため、開放坑道等は埋め戻され、回収可能性維持によりもたらされた影響は解消されていく。

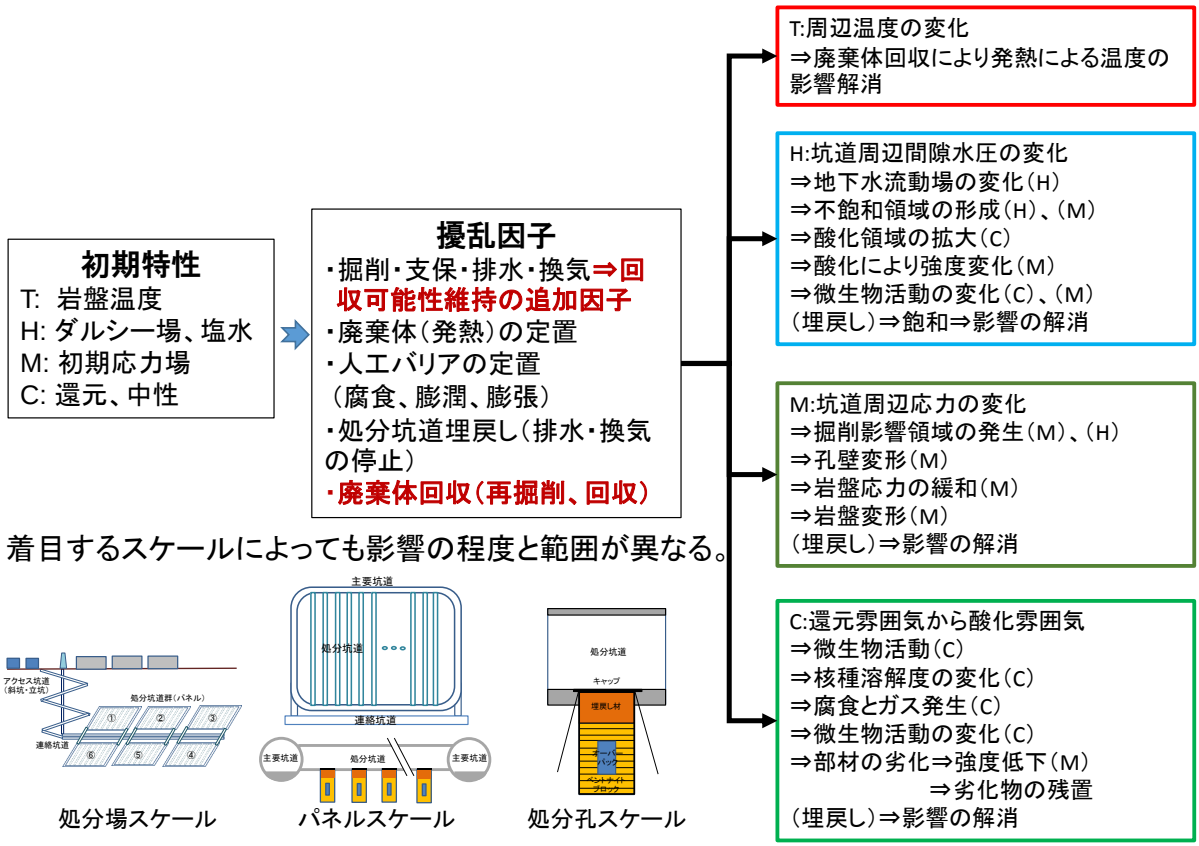


図 7.3.1-28　検討ケースⅡにおける回収する場合の影響伝搬

d　影響因子とその要素の抽出と分類

(a)　回収しない場合

影響伝搬とのつながりを図 7.3.1-29 に示す。

検討ケースⅡでは、処分坑道を開放状態に置くことになるため、人工バリア機能（初期性能）への影響を考慮しなければならない。初期性能を担保するために必然的に対応策が必要となり、それらが閉鎖前と閉鎖後に影響を与える要素となるかどうかの評価が必要となる。

閉鎖前の影響としては、開放坑道の維持管理に伴う作業リスク、周辺環境への影響、事業延長による影響を低減するために追加される対策とそのコストが発生する。

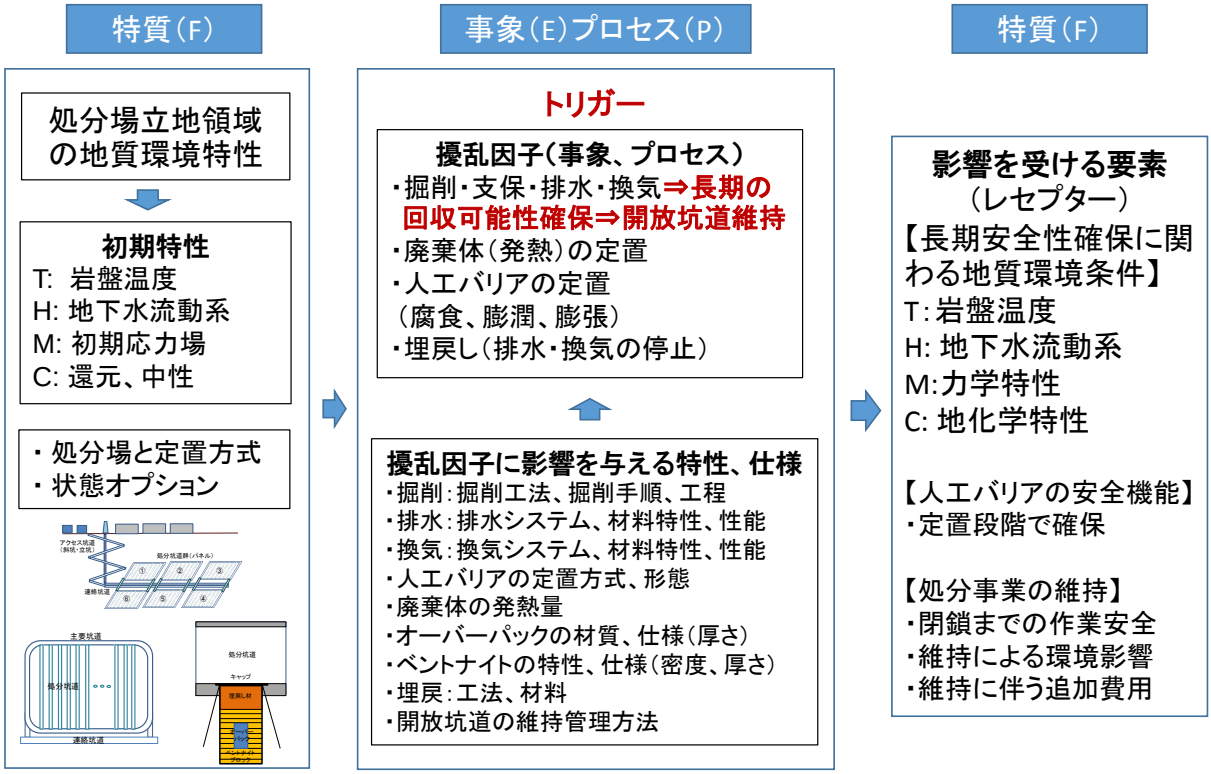


図 7.3.1-29　検討ケースⅡの回収しない場合の影響要素とその分類

(b) 回収する場合

回収する場合の影響要素も同様に整理することができる。回収しない場合と比較して異なることは、廃棄体を全数回収することで、処分場としての機能を放棄することになるので、埋戻し後の長期安全確保に与える影響を考慮する必要がなくなる点である。

閉鎖前への影響としては、図 7.3.1-30 に示すように回収しない場合と同様、作業リスクに係わる要素、周辺環境への影響要素、影響低減ののために追加される対策とそのコストが発生する。

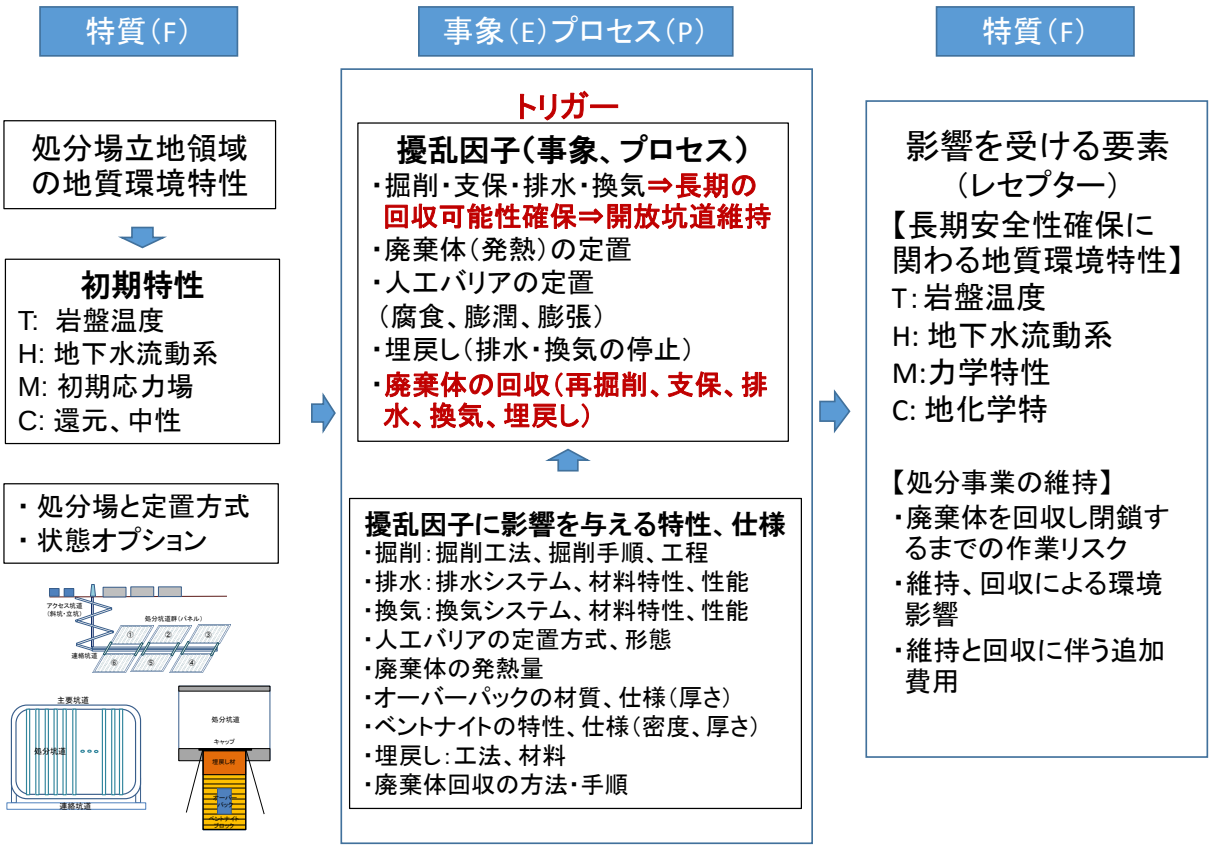


図 7.3.1-30　検討ケースⅡの回収する場合の影響要素とその分類

3)　検討ケースⅢ（基本ケース）

検討ケースⅢは基本ケースの検討例として前節に記載した。

4)　検討ケースⅣ

a　検討ケースⅣの概念

検討ケースⅣの処分場概念を異なるスケールで図 7.3.1-31 に示す。廃棄体は人工バリアとともに定置され、主要坑道は埋め戻され、アクセス坑道が開放状態となり回収可能性を維持する概念である。

廃棄体は、人工バリアとともに処分孔に所定の形式で定置されたのち、順次処分坑道が埋め戻され、パネル周辺の主要坑道、連絡坑道の埋戻しが終わり作業が終了する。操業終了後回収可能性を維持する40年間、アクセス坑道のみを開放状態とし作業環境を維持する。

連絡坑道、主要坑道、処分坑道は、処分仕様で埋戻し、主要坑道との連結部にはコンクリート製のプラグを設置する。

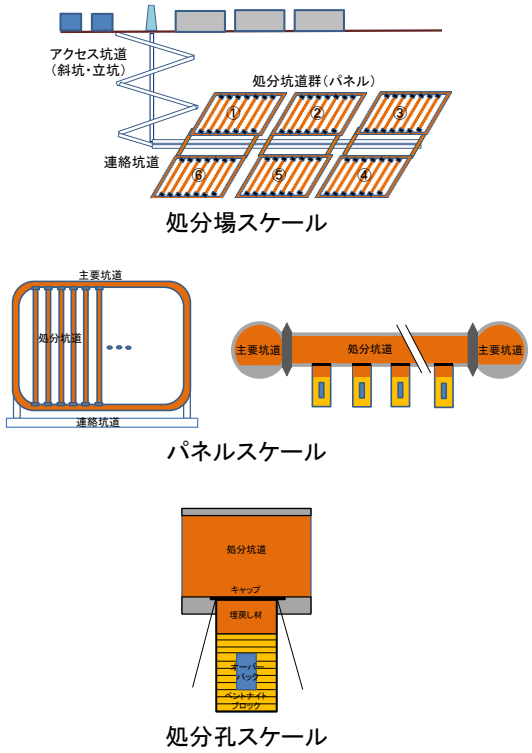


図 7.3.1-31　検討ケースⅣの処分概念

b　処分システムの状態変遷表の作成

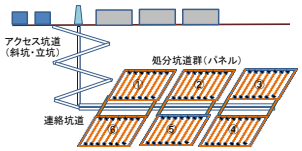
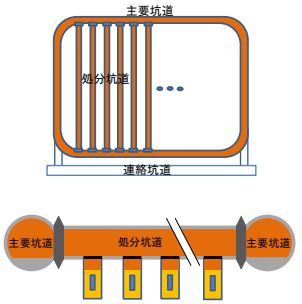
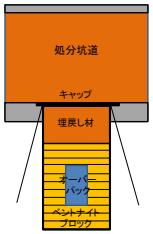
(a)　回収しない場合

検討ケースⅣにおける回収しない場合の状態変遷表を表 7.3.1-15 に示す。基本ケースと同様に横軸に経過時間を縦軸に処分場の異なるスケールでの THMC の状態を記述している。検討ケースⅣでは、アクセス坑道が建設され、処分孔に廃棄体が定置された後の回収可能性維持期間を含めた約 100 年間アクセス坑道が開放された状態が維持される。

(b)　回収する場合

検討ケースⅣにおける回収維持期間中に廃棄体を回収する場合の状態変遷表を表 7.3.1-16 に示す。橙色のボックスは廃棄体を回収するために処分孔の埋戻し材を撤去し、オーバーパック周辺のベントナイトを撤去する状態を記述している。検討ケースⅣでは、廃棄体を全数回収した場合、処分場は再利用しないと考えられるため、埋戻し後の影響伝搬は考慮しないこととする。

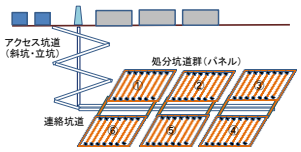
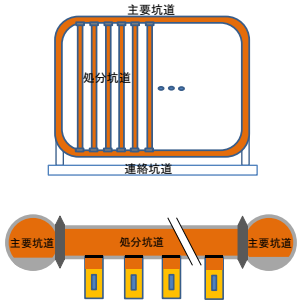
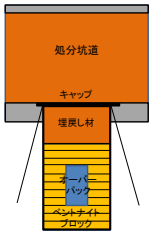
表 7.3.1-15　検討ケースⅣの回収しない場合の状態変遷表

	オプション④の状態	構成要素	建設 (10 年)	操業(50 年) 定置	操業(50 年) 埋戻し	(回収可能性維持)※ (40 年)	閉鎖 (10 年)	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝搬
	検討ケースⅣの工程		←	回収可能性維持期間(100 年)		→			
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、補強材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元雰囲気	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、補強材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度に回復 H:EZD 間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、不飽和領域 M:地圧の回復 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:発熱による温度上昇 H:埋戻しによる間隙水圧上昇 M:応力回復傾向 C:酸化⇒還元、支保劣化	T:温度低下 H:間隙水圧回復 M::初期応力場に回復 C:酸化、支保材の劣化	T:周辺温度 H:EZD 間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:還元⇒酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:発熱による温度上昇 H:埋戻しによる間隙水圧上昇 M:支保応力、変形 C:酸化⇒還元、支保の劣化	T:温度低下 H:飽和、地下水流動系の回復傾向 M:応力回復傾向 C:酸化⇒還元、支保の劣化	T:周辺温度に回復 H:飽和、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	
		【プラグ】 ・コンクリートプラグ			【プラグ設置】				
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:還元⇒酸化	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:温度低下 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:飽和過程 M:応力回復 C:還元	T:周辺温度 H:飽和 M:応力回復 C:還元	掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ 埋処分ピット戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		ベントナイト (圧縮ブロック、充填ペレット)		【ベントナイト設置】 T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化	T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化⇒還元	T:温度低下 H:飽和過程 M:膨潤圧発生 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:初期飽和度 M:初期応力 C:還元	T:周辺温度 H:地下水浸透⇒飽和 M:膨潤圧発生 C:還元	
		オーバーパック		【オーバーパック設置】 T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:温度低下 M:初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:周辺温度に低下 M::初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:周辺温度に低下 M::初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	
		処分孔上部埋戻し・キャップの設置		【埋戻し・キャップの設置】 T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	T:温度低下 H:飽和過程 M::初期強度 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:飽和 M:初期強度 C:還元	T:周辺温度 H:飽和 M:初期強度 C:還元	

※基本ケース参照。

：開放坑道、　：閉鎖後の状態変遷

表 7.3.1-16　検討ケースⅣの回収する場合の状態変遷表

	オプション④の状態	構成要素	建設（10 年）	操業（50 年）		回収（40 年）	閉鎖（10 年）	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝播
				定置	埋戻し				
	検討ケースⅣの工程		←	回収可能性維持期間（100 年）			開放坑道・処分孔の埋戻し		
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T：発熱による温度上昇 H：埋戻しによる間隙水圧上昇 M：応力回復傾向 C：酸化⇒還元、支保劣化	【掘削】 T：換気で大気温度 H：排水⇒間隙水圧低下 M：：支保応力・変形復 C：還元⇒酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T：発熱による温度上昇 H：埋戻しによる間隙水圧上昇 M：応力回復傾向 C：酸化⇒還元、支保の劣化	【掘削】 T：換気で大気温度 H：排水⇒間隙水圧低下 M：：支保応力・変形復 C：還元⇒酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		
		【プラグ】 ・コンクリートプラグ	—	—	【プラグ設置】	【プラグ撤去】			
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T：換気による低下 H：周辺不飽和拡大 M：孔壁変形 C：還元⇒酸化	T：発熱による温度上昇 H：周辺飽和に移行 M：応力回復 C：酸化⇒還元	T：発熱による温度上昇 H：周辺飽和に移行 M：応力回復 C：酸化⇒還元	【掘削】 T：周辺温度 H：排水による不飽和領域発生 M：孔壁変形 C：酸化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ ピットの埋戻しで周辺環境回復 ↓ 回収の掘削で環境変化 ↓ 埋戻しで回復
		ベントナイト（圧縮ブロック、充填ペレット）	—	【ベントナイト設置】 T：温度上昇 H：初期飽和度 M：初期応力 C：酸化	T：温度上昇 H：初期飽和度 M：初期応力 C：酸化⇒還元	上部、側部の一部撤去			
		オーバーパック	—	【オーバーパック設置】 T：発熱による温度上昇 M：初期強度 C：酸化	T：発熱による温度上昇 M：初期強度 C：還元、腐食⇒ガス	回収			
		処分孔上部埋戻し・キャップの設置		【埋戻し・キャップの設置】 T：発熱による温度上昇 H：初期飽和度 M：初期強度 C：酸化	T：発熱による温度上昇 H：初期飽和度 M：初期強度 C：酸化	撤去			

：開放坑道、：閉鎖後の状態変遷、：回収時の状態変遷

c　影響伝搬分析

(a)　回収しない場合

アクセス坑道のみ開放した状態で回収可能性を維持する場合、図 7.3.1-32 に示すように様々なスケールで周辺地質環境や空洞安定性に対する影響を与えるが、その範囲は極めて限定されると想定される。影響は、回収性維持のためにアクセス坑道を開放していることが支配的な因子ではなく、通常の建設、操業時での影響が残っている。これらの影響は、埋戻しされることで時間をかけて解消されていく特徴を有する。

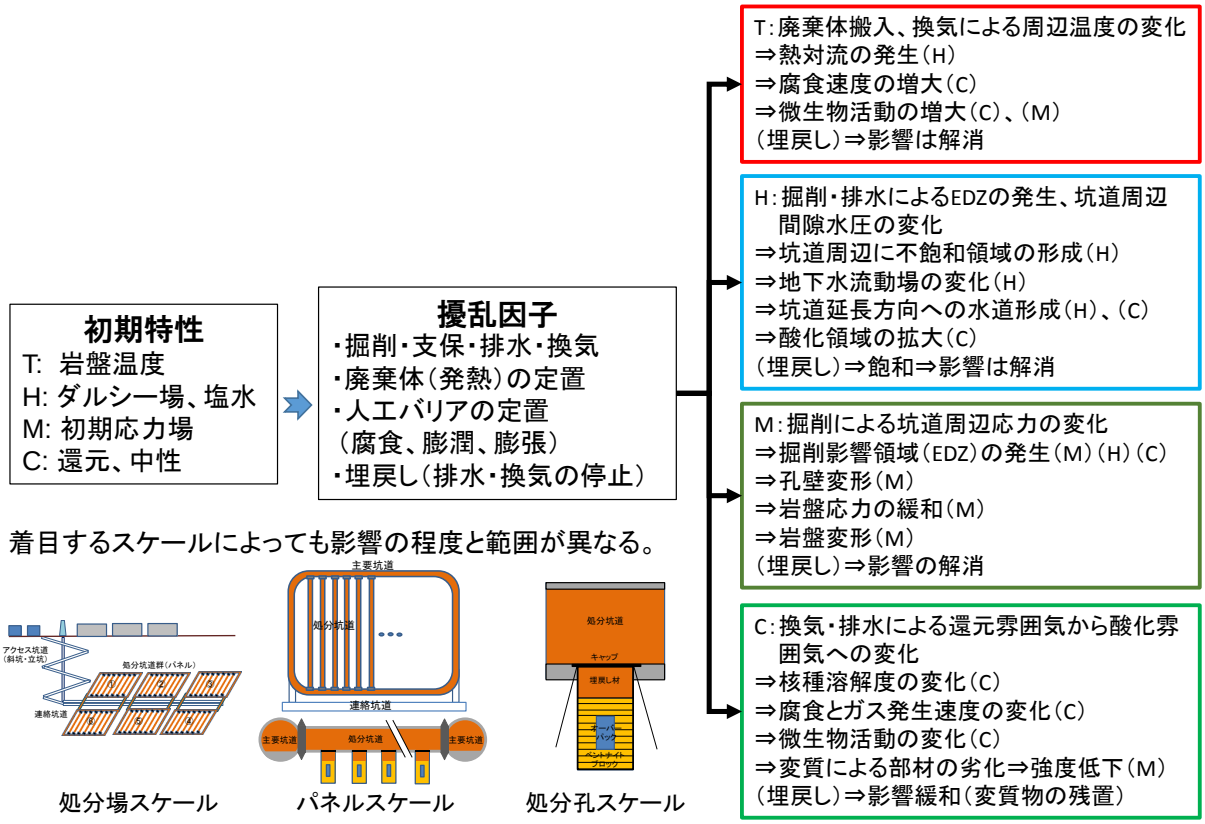


図 7.3.1-32　検討ケースⅣにおける回収しない場合の影響伝搬

(b)　回収する場合

アクセス坑道のみを開放した状態から廃棄体の回収が決定された場合、連絡坑道、主要坑道、処分坑道と廃棄体が埋設された区画まで順次再掘削し、回収する作業が開始されることになる。その影響の伝播は、これまでの検討ケースと同様に様々なスケールで周辺地質環境や空洞安定性に対する影響（THMC）を与える（図 7.3.1-33 参照）。これらの影響は、掘削、埋戻し、再掘削、埋戻しの作業サイクルの中で繰り返し発生する。

廃棄体を全数回収する場合、処分場としての再利用されないと考えられるため、開放坑道等は埋め戻され、回収可能性維持によりもたらされた影響は解消されていく。

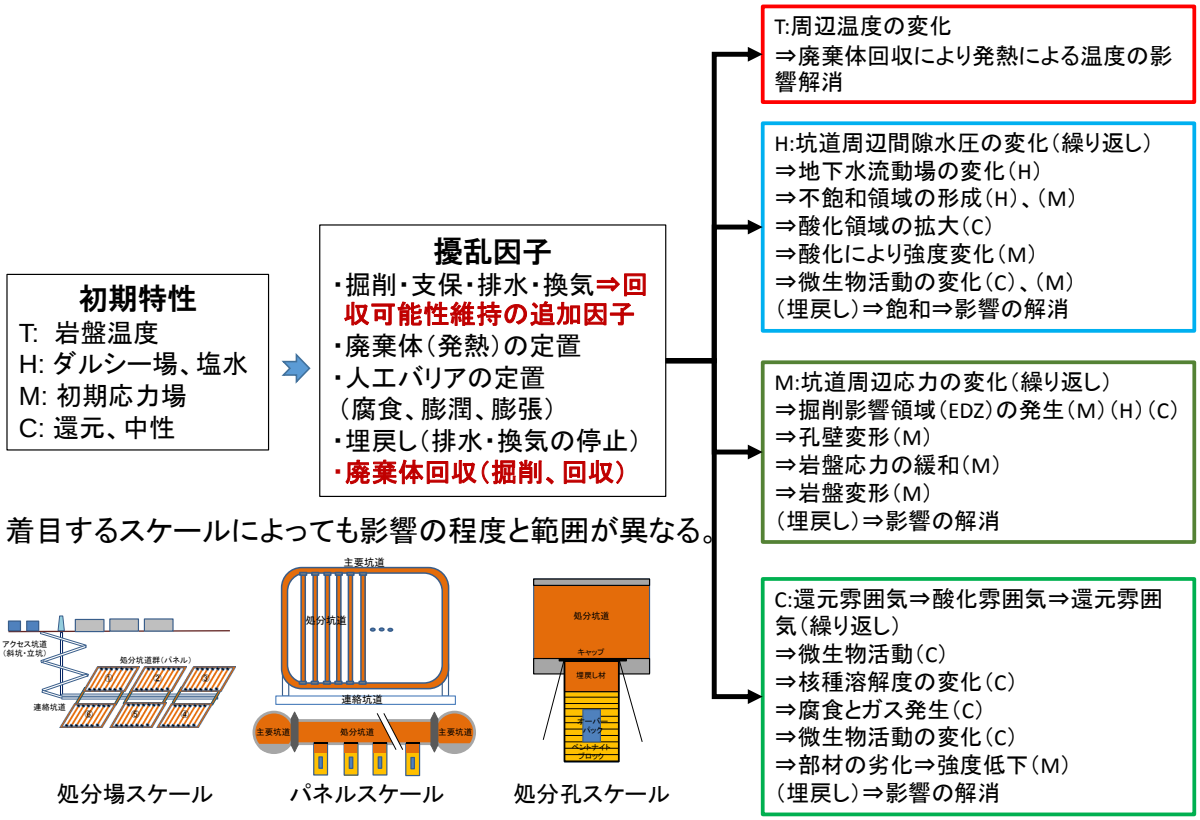


図 7.3.1-33　検討ケースⅣにおける回収する場合の影響伝搬

d　影響因子とその要素の抽出と分類

(a)　回収しない場合

影響伝搬とのつながりを図 7.3.1-34 に示す。

検討ケースⅣでは、アクセス坑道を除き、全ての坑道が埋め戻された状態で回収可能性を維持することになる。このような状態は、建設・操業時の影響が埋戻しにより徐々に解消されていくプロセスが考えられる。

閉鎖前の影響としては、開放坑道の維持管理に伴う作業リスク、周辺環境への影響、事業を延長することによるコストが発生する。

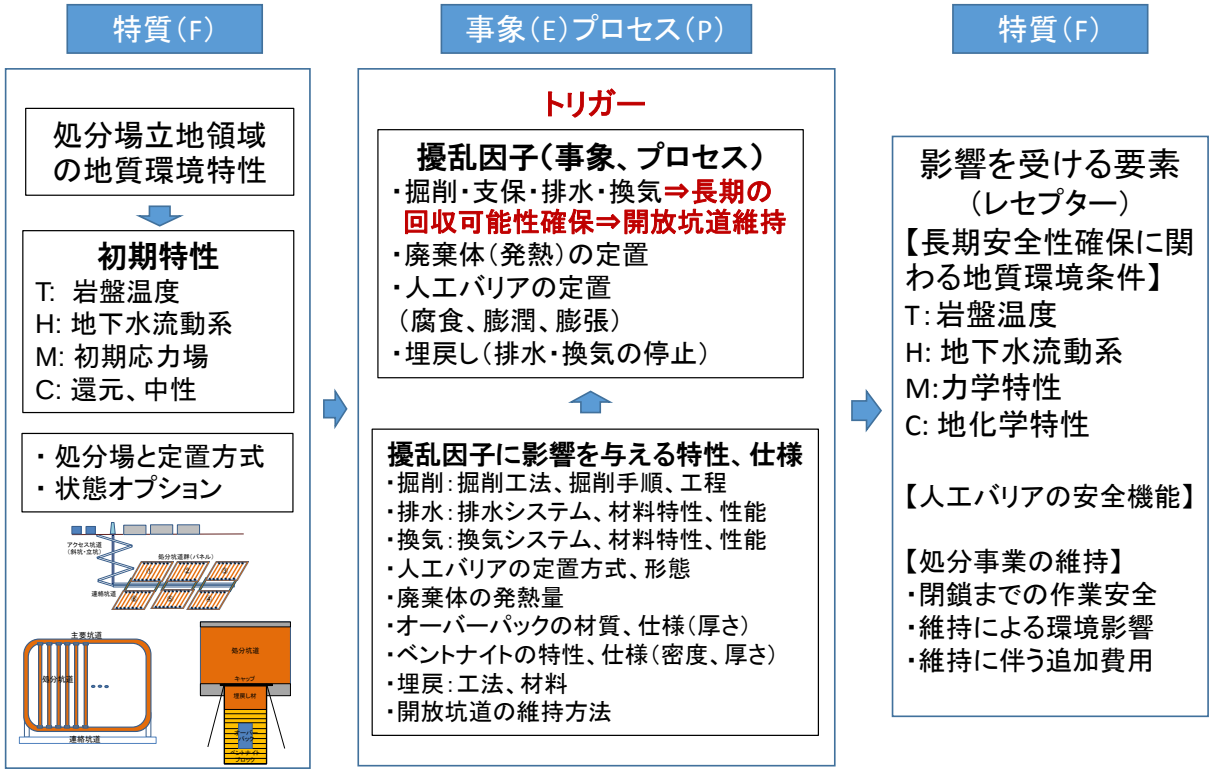


図 7.3.1-34　検討ケースⅣの回収しない場合の影響要素とその分類

(b)　回収する場合

回収する場合の影響要素も同様に整理することができる。回収しない場合と比較して異なることは、廃棄体を全数回収することで、処分場として再利用はされないと想定されるため、埋戻し後の長期安全確保に与える影響を考慮する必要がなくなる点である。

閉鎖前への影響としては、回収しない場合と同様に、作業リスク、周辺環境への影響、影響を低減するのために追加される対策とそのコストが発生する。

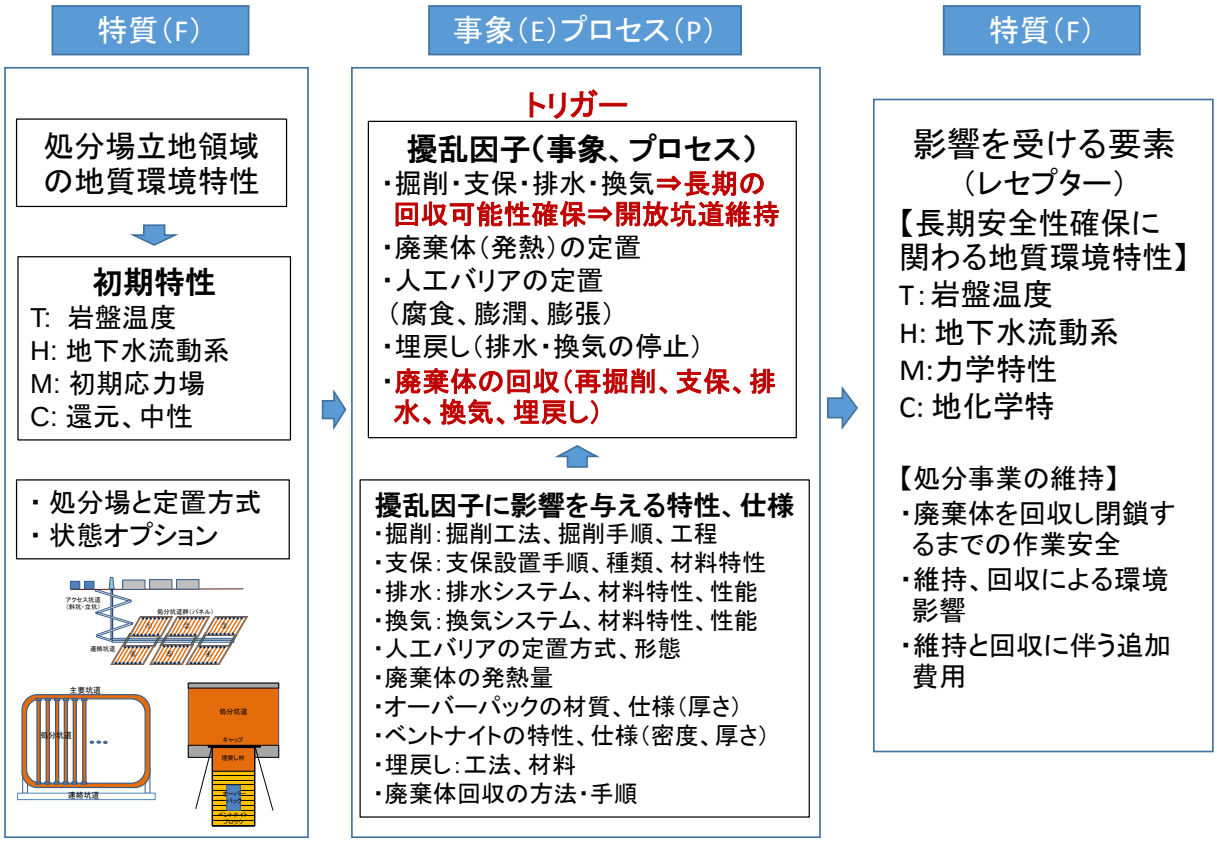


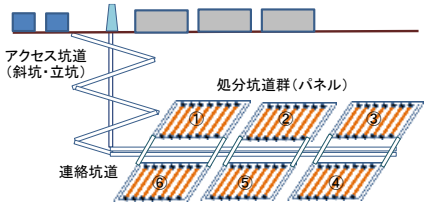
図 7.3.1-35 検討ケースⅣの回収する場合の影響要素とその分類

5) 検討ケースⅤ

a 検討ケースⅤの概念

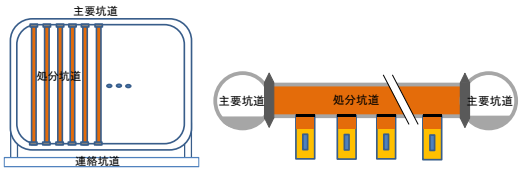
検討ケースⅤの処分場概念は、基本ケースと同様となる（図 7.3.1-36 参照）。廃棄体は定置されてから 30 年内に回収するかどうか決定されるため、発熱による温度が最も高い状態にある。定置後、処分孔、処分坑道は埋め戻されるが、主要坑道、連絡坑道、アクセス坑道は開放された状態が維持される。

廃棄体は、人工バリアとともに処分ピットに所定の形式で定置されたのち、順次処分坑道が埋め戻され、一旦作業が終了する。操業終了後回収可能性を維持する10年間、アクセス坑道、連絡坑道、パネル周辺の主要坑道は開放状態で作業環境を維持する。



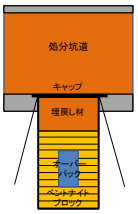
処分場スケール

回収可能性維持期間の処分場の状態は、基本ケースと同じとなる。



パネルスケール

影響伝搬
影響因子 } 基本ケースと同じ



処分孔スケール

図 7.3.1-36　検討ケースⅤの処分概念

b　処分システムの状態変遷表の作成

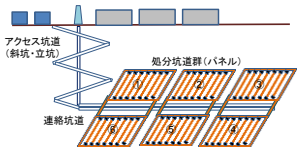
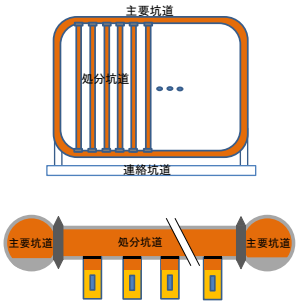
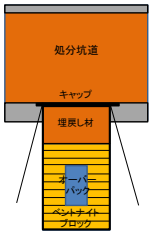
(a)　回収しない場合

検討ケースⅤにおける回収しない場合の状態変遷表を表 7.3.1-17 に示す。基本ケースと同様に横軸に経過時間を縦軸に処分場の異なるスケールでの THMC の状態を記述している。検討ケースⅤでは、アクセス坑道が建設され、処分孔に廃棄体が定置された後の回収可能性維持期間を含めた約 30 年間アクセス坑道が開放された状態が維持される。

(b)　回収する場合

検討ケースⅤにおける回収維持期間中に廃棄体を回収する場合の状態変遷表を表 7.3.1-18 に示す。検討ケースⅤでは、廃棄体を回収している別のパネルでは定置作業が実施されている場合も存在する。そのため、回収の影響を確実に評価しておく必要がある。

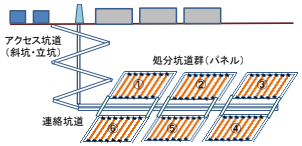
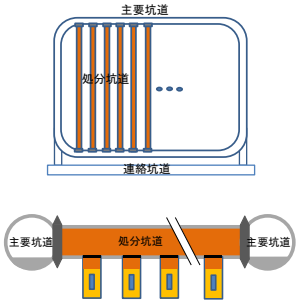
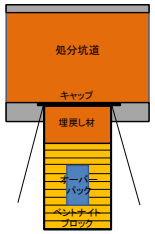
表 7.3.1-17　検討ケースⅤの回収しない場合の状態変遷表

	オプション④の状態	構成要素	建設 (10 年)	操業(50 年) 定置	操業(50 年) 埋戻し	(回収可能性維持)※ (40 年)	閉鎖 (10 年)	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝搬
	検討ケースⅣの工程		←	回収可能性維持期間(100 年)		→			
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、補強材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元雰囲気	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、補強材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度に回復 H:EZD 間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、不飽和領域 M:地圧の回復 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:発熱による温度上昇 H:埋戻しによる間隙水圧上昇 M:応力回復傾向 C:酸化⇒還元、支保劣化	T:温度低下 H:間隙水圧回復 M::初期応力場に回復 C:酸化、支保材の劣化	T:周辺温度 H:EZD 間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:EDZ 酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力発生、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による低下 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:還元⇒酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:発熱による温度上昇 H:埋戻しによる間隙水圧上昇 M:支保応力、変形 C:酸化⇒還元、支保の劣化	T:温度低下 H:飽和、地下水流動系の回復傾向 M:応力回復傾向 C:酸化⇒還元、支保の劣化	T:周辺温度に回復 H:飽和、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	
		【プラグ】 ・コンクリートプラグ			【プラグ設置】				
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:還元⇒酸化	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:温度低下 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:飽和過程 M:応力回復 C:還元	T:周辺温度 H:飽和 M:応力回復 C:還元	掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ 埋処分ピット戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		ベントナイト (圧縮ブロック、充填ペレット)		【ベントナイト設置】 T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化	T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化⇒還元	T:温度低下 H:飽和過程 M:膨潤圧発生 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:初期飽和度 M:初期応力 C:還元	T:周辺温度 H:地下水浸透⇒飽和 M:膨潤圧発生 C:還元	
		オーバーパック		【オーバーパック設置】 T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:温度低下 M:初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:周辺温度に低下 M::初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:周辺温度に低下 M::初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	
		処分孔上部埋戻し・キャップの設置		【埋戻し・キャップの設置】 T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	T:温度低下 H:飽和過程 M::初期強度 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:飽和 M:初期強度 C:還元	T:周辺温度 H:飽和 M:初期強度 C:還元	

※基本ケース参照。

：開放坑道、：閉鎖後の状態変遷

表 7.3.1-18　検討ケースⅤの回収する場合の状態変遷表

	オプション③の状態	構成要素	建設（10 年）	操業（10 年）		回収（10 年）	閉鎖（10 年）	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝播
				定置	埋戻し				
	検討ケースⅤの工程		←→	回収可能性維持期間（30 年）			開放坑道・処分孔の埋戻し		
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、不飽和領域 M：支保応力発生 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻しで環境回復 ↓ 再掘削の環境の変化 ↓ 埋戻しで環境回復
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T：発熱による温度上昇 H：埋戻しによる間隙水圧上昇 M：応力回復傾向 C：酸化⇒還元、支保材の劣化	【掘削】 T：温度低下 H：飽和、地下水流動系の回復傾向 M：応力回復傾向 C：酸化⇒還元、支保の材劣化	【埋戻し】		
		【プラグ】 ・コンクリートプラグ	—	—	【プラグ設置】	【プラグ撤去】			
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T：換気による低下 H：周辺不飽和拡大 M：孔壁変形 C：還元⇒酸化	T：発熱による温度上昇 H：周辺飽和に移行 M：応力回復 C：酸化⇒還元	T：発熱による温度上昇 H：周辺飽和に移行 M：応力回復 C：酸化⇒還元	【掘削】 T：周辺温度 H：排水による不飽和領域発生 M：孔壁変形 C：酸化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ ピットの埋戻しで周辺環境回復 ↓ 回収の掘削で環境変化 ↓ 埋戻しで回復
		ベントナイト（圧縮ブロック、充填ペレット）	—	【ベントナイト設置】 T：温度上昇 H：初期飽和度 M：初期応力 C：酸化	T：温度上昇 H：初期飽和度 M：初期応力 C：酸化⇒還元	上部、側部の一部撤去			
		オーバーパック	—	【オーバーパック設置】 T：発熱による温度上昇 M：初期強度 C：酸化	T：発熱による温度上昇 M：初期強度 C：還元、腐食⇒ガス	回収			
		処分孔上部埋戻し・キャップの設置		【埋戻し・キャップの設置】 T：発熱による温度上昇 H：初期飽和度 M：初期強度 C：酸化	T：発熱による温度上昇 H：初期飽和度 M：初期強度 C：酸化	撤去			

：開放坑道、：閉鎖後の状態変遷、：回収時の状態変遷

c　影響伝搬分析

影響伝搬の分析は、基本ケースと同様の流れとなる。異なる点は、処分パネルで建設や廃棄体定置作業がなされている段階で、定置が終了したパネルで回収が可能な状態を維持している点である。このため、あるパネルで回収作業が実施されたとしても他のパネルでは建設・操業が継続している状態が発生している。

d　影響因子とその要素の抽出と分類

影響因子も基本ケースと同様となる。回収しない場合は、通常の建設・操業のプロセスと同様な影響因子となる。回収する場合、他のパネルでは建設や操業が実施されていることもあるため、回収による影響の伝播とともに因子が抽出できる。

6)　検討ケースVI

a　検討ケースVIの処分概念

検討ケースVIの処分概念は、基本ケースと同様、アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道を開放したままで 150 年回収可能性を維持する概念である。長期にわたり、坑道を開放状態で維持するために、継続して維持管理を実施していくことを基本とする。

b　処分システムの状態変遷表の作成

(a)　回収しない場合

検討ケースVIの回収しない場合は、 表 7.3.1-19 に示す基本ケースと類似の状態変遷となる。異なる点は、開放している坑道での排水や換気による周辺岩盤への影響がより広がっていく。影響範囲の広がりとその規模は、状態変遷表では表現することが難しい。

(b)　回収する場合

回収する場合、基本ケースと同様に処分坑道の再掘削が開始される。このため、埋戻し後、影響が徐々に解消された坑道周辺の地質環境が再度掘削の影響を受けることになる。このような繰り返しの影響は表 7.3.1-20 の回収時の状態変遷に記述されている。検討ケースVIでは、全数の廃棄体が回収されるとしているため、処分場としての機能は放棄される。回収後は埋戻しされるが、処分場としての長期の安全性への影響の評価は必要がなくなる。

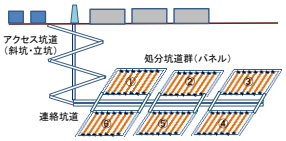
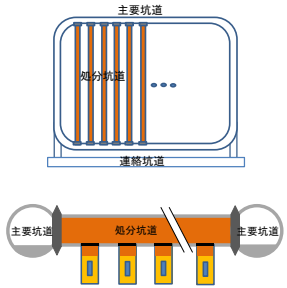
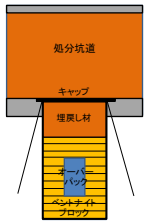
c　影響伝搬分析

検討ケースVIの影響伝搬の分析は、基本ケースと同様となる。開放期間が長くなるが、影響伝搬は同じでその影響の範囲と大きさが異なる。回収する場合も同様に、再掘削による影響が発生するが、影響の種類は同一でその範囲や大きさが異なる。

d　影響因子とその要素の抽出と分類

検討ケースVIの回収しない場合、回収する場合の影響因子と関連する要素も基本ケースと同様である。長く回収可能性を維持することで変化する影響は、閉鎖前の作業リスク、環境影響、事業のためのコストの増加である。

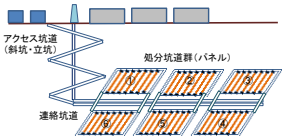
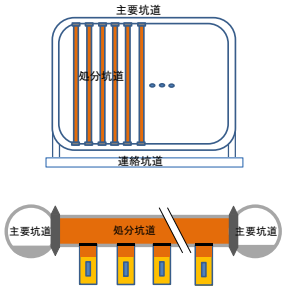
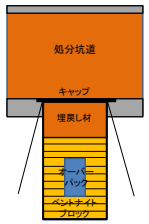
表 7.3.1-19　検討ケースVIの回収しない場合の状態変遷表

	オプション③の状態	構成要素	建設（10 年）	操業（50 年）		閉鎖判断期間（100 年）（回収可能性維持※（40 年））	閉鎖（10 年）	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝搬
				定置	埋戻し				
	検討ケースVIの工程		←→	回収可能性維持期間（200 年）					
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T：周辺温度 H：間隙水圧回復、地下水流動系の回復傾向 M：初期応力場への回復 C：EDZ 酸化⇒還元雰囲気	T：周辺温度 H：間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M：初期応力場への回復 C：酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T：周辺温度に回復 H：EZD 間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M：初期応力場への回復 C：EDZ 酸化⇒還元	T：周辺温度 H：間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M：初期応力場への回復 C：酸化⇒還元⇒pH 上昇	
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T：周辺温度に回復 H：EZD 間隙水圧回復、地下水流動系回復傾向 M：初期応力場への回復 C：EDZ 酸化⇒還元	T：周辺温度 H：間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M：初期応力場への回復 C：酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力発生、変形 C：還元⇒酸化	【埋戻し】 T：発熱による温度上昇 H：埋戻しによる間隙水圧上昇 M：応力回復傾向 C：酸化⇒還元、支保の劣化	T：温度低下 H：飽和、地下水流動系の回復傾向 M：応力回復傾向 C：酸化⇒還元、支保の劣化	T：周辺温度に回復 H：飽和、地下水流動系回復傾向 M：初期応力場への回復 C：酸化⇒還元	T：周辺温度 H：間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M：初期応力場への回復 C：酸化⇒還元⇒pH 上昇	
		【プラグ】 ・コンクリートプラグ			【プラグ設置】				
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T：換気による低下 H：周辺不飽和拡大 M：孔壁変形 C：還元⇒酸化	T：発熱による温度上昇 H：周辺飽和に移行 M：応力回復 C：酸化⇒還元	T：発熱による温度上昇 H：周辺飽和に移行 M：応力回復 C：酸化⇒還元	T：温度低下 H：周辺飽和に移行 M：応力回復 C：酸化⇒還元	T：周辺温度 H：飽和過程 M：応力回復 C：還元	T：周辺温度 H：飽和 M：応力回復 C：還元	掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ 埋処分ピット戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		ベントナイト（圧縮ブロック、充填ペレット）		【ベントナイト設置】 T：温度上昇 H：初期飽和度 M：初期応力 C：酸化	T：温度上昇 H：初期飽和度 M：初期応力 C：酸化⇒還元	T：温度低下 H：飽和過程 M：膨潤圧発生 C：酸化⇒還元	T：周辺温度 H：初期飽和度 M：初期応力 C：還元	T：周辺温度 H：地下水浸透⇒飽和 M：膨潤圧発生 C：還元	
		オーバーパック		【オーバーパック設置】 T：発熱による温度上昇 M：初期強度 C：酸化	T：発熱による温度上昇 M：初期強度 C：還元、腐食⇒ガス発生	T：温度低下 M：初期強度 C：還元、腐食⇒ガス発生	T：周辺温度に低下 M：：初期強度 C：還元、腐食⇒ガス発生	T：周辺温度に低下 M：：初期強度 C：還元、腐食⇒ガス発生	
		処分孔上部埋戻し・キャップの設置		【埋戻し・キャップの設置】 T：発熱による温度上昇 H：初期飽和度 M：初期強度 C：酸化	T：発熱による温度上昇 H：初期飽和度 M：初期強度 C：酸化	T：温度低下 H：飽和過程 M：：初期強度 C：酸化⇒還元	T：周辺温度 H：飽和 M：初期強度 C：還元	T：周辺温度 H：飽和 M：初期強度 C：還元	

※基本ケース参照。

：開放坑道、：閉鎖後の状態変遷

表 7.3.1-20　検討ケースVIの回収する場合の状態変遷表

	オプション③の状態	構成要素	建設（10 年）	操業（50 年）		閉鎖判断期間（100 年）回収（40 年）	閉鎖（10 年）	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝播
				定置	埋戻し				
	検討ケースVIの工程		←→	回収可能性維持期間（200 年）		←→	開放坑道・ピットの埋戻し		
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻しで環境回復 ↓ 再掘削の環境の変化 ↓ 埋戻しで環境回復
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・覆工コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、流動系変化 M：支保応力、変形 C：還元⇒酸化	【開放状態】 T：換気による低下 H：排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M：支保応力、変形 C：酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T：発熱による温度上昇 H：埋戻しによる間隙水圧上昇 M：応力回復傾向 C：酸化⇒還元、支保材の劣化	【掘削】 T：温度低下 H：飽和、地下水流動系の回復傾向 M：応力回復傾向 C：酸化⇒還元、支保材の劣化	【埋戻し】		
		【プラグ】 ・コンクリートプラグ	—	—	【プラグ設置】	【プラグ撤去】			
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T：換気による低下 H：周辺不飽和拡大 M：孔壁変形 C：還元⇒酸化	T：発熱による温度上昇 H：周辺飽和に移行 M：応力回復 C：酸化⇒還元	T：発熱による温度上昇 H：周辺飽和に移行 M：応力回復 C：酸化⇒還元	【掘削】 T：周辺温度 H：排水による不飽和領域発生 M：孔壁変形 C：酸化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ ピットの埋戻しで周辺環境回復 ↓ 回収の掘削で環境変化 ↓ 埋戻しで回復
		ベントナイト（圧縮ブロック、充填ペレット）	—	【ベントナイト設置】 T：温度上昇 H：初期飽和度 M：初期応力 C：酸化	T：温度上昇 H：初期飽和度 M：初期応力 C：酸化⇒還元	上部、側部の一部撤去			
		オーバーパック	—	【オーバーパック設置】 T：発熱による温度上昇 M：初期強度 C：酸化	T：発熱による温度上昇 M：初期強度 C：還元、腐食⇒ガス	回収			
		処分孔上部埋戻し・キャップの設置		【埋戻し・キャップの設置】 T：発熱による温度上昇 H：初期飽和度 M：初期強度 C：酸化	T：発熱による温度上昇 H：初期飽和度 M：初期強度 C：酸化	撤去			

：開放坑道、：閉鎖後の状態変遷、：回収時の状態変遷

7) 検討ケースⅦ

a 検討ケースⅦの処分概念

検討ケースⅦの処分概念は、基本ケースと同様、アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道を開放したままで 300 年間回収可能性を維持する概念である。長期にわたり、坑道を開放状態で維持するために、繰り返し継続して維持管理を実施していくことを基本とする。

b 処分システムの状態変遷表の作成

(a) 回収しない場合

検討ケースⅦの回収しない場合は、表 7.3.1-21 に示す基本ケースと類似の状態変遷となる。異なる点は、開放している期間が長くなることで、坑道での排水や換気による周辺岩盤への影響がより広がっていくことになる点である。

(b) 回収する場合

回収する場合、基本ケースと同様にある期間を経てから処分坑道の再掘削が開始される。このため、埋戻し後、影響が徐々に解消された坑道周辺の地質環境が再度掘削の影響を受けることになる。このような繰り返しの影響は表 7.3.1-22 の回収時の状態変遷に記述されている。検討ケースⅦでは、全数の廃棄体が回収されるとしているため、処分場としての再利用は考えられない。回収後は埋戻しされるが、処分場としての長期の安全性への影響の評価は必要がなくなる。

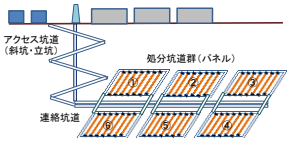
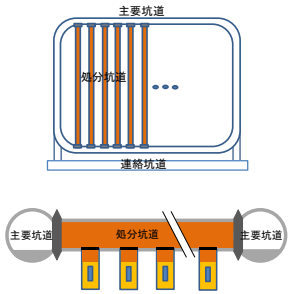
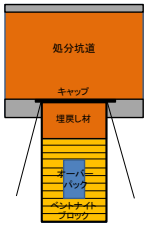
c 影響伝搬分析

検討ケースⅦの影響伝搬の分析は、基本ケースと同様となる。開放期間がより長くなるが、影響伝搬は同じで、その影響の範囲と大きさが異なっていく。回収する場合も同様に、再掘削による影響が発生するが、その影響の種類は同一で、その影響伝搬の範囲や大きさが異なる。

d 影響因子とその要素の抽出と分類

検討ケースⅥの回収しない場合、回収する場合いの影響因子と関連する要素も基本ケースと同様である。長く回収可能性を維持することで最も異なることは、閉鎖後の影響よりも閉鎖前の作業リスク、環境影響、事業にかかるコストが増加していく点となる。

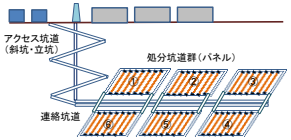
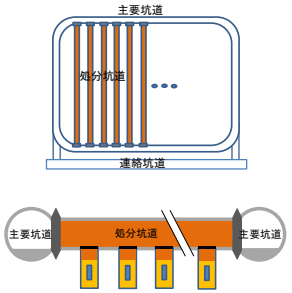
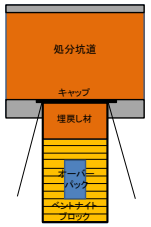
表 7.3.1-21　検討ケースⅦの回収しない場合の状態変遷表

	オプション③の状態	構成要素	建設（10 年）	操業(50 年) 定置	操業(50 年) 埋戻し	閉鎖判断期間(200 年)（回収可能性維持※40 年）	閉鎖（10 年）	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝搬
	検討ケースⅦの工程		←→	回収可能性維持期間(300 年)					
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による大尉温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、不飽和領域発生地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復傾向 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元雰囲気	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による大尉温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、不飽和領域発生地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復傾向 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元雰囲気	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による大尉温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、不飽和領域発生地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復傾向 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元雰囲気	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒EDZ 内不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復傾向 コンクリートの変質劣化による高 pH 環境
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による大尉温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:発熱による温度上昇 H:埋戻しによる間隙水圧上昇 M:応力回復傾向 C:酸化⇒還元、支保の劣化	T:温度低下 H:飽和、地下水流動系の回復傾向 M:応力回復傾向 C:酸化⇒還元、支保の劣化	T:周辺温度に回復 H:飽和、地下水流動系回復傾向 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:間隙水圧回復、地下水流動系の回復 M:初期応力場への回復 C:酸化⇒還元⇒pH 上昇	
		【プラグ】 ・コンクリートプラグ			【プラグ設置】				
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:還元⇒酸化	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:温度低下 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:飽和過程 M:応力回復 C:還元	T:周辺温度 H:飽和 M:応力回復 C:還元	掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ 埋処分ピット戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		ベントナイト（圧縮ブロック、充填ペレット）		【ベントナイト設置】 T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化	T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化⇒還元	T:温度低下 H:飽和過程 M:膨潤圧発生 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:初期飽和度 M:初期応力 C:還元	T:周辺温度 H:地下水浸透⇒飽和 M:膨潤圧発生 C:還元	
		オーバーパック		【オーバーパック設置】 T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:温度低下 M:初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:周辺温度に低下 M:：初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	T:周辺温度に低下 M:：初期強度 C:還元、腐食⇒ガス発生	
		上部埋戻し・キャップの設置		【埋戻し・キャップの設置】 T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	T:温度低下 H:飽和過程 M:：初期強度 C:酸化⇒還元	T:周辺温度 H:飽和 M:初期強度 C:還元	T:周辺温度 H:飽和 M:初期強度 C:還元	

※基本ケース参照。

：開放坑道、：閉鎖後の状態変遷

表 7.3.1-22　検討ケースⅦの回収する場合の状態変遷表

	オプション③の状態	構成要素	建設 (10 年)	操業(50 年) 定置	操業(50 年) 埋戻し	閉鎖判断期間(200 年) 回収(40 年)	閉鎖 (10 年)	閉鎖から 300 年後	影響因子の伝播
	検討ケースⅦの工程		←→	回収可能性維持期間(300 年)			開放坑道・処分孔の埋戻し		
処分場スケール		【アクセス坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、不飽和領域発生地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻し・閉鎖でこの状態が元に回復
		【連絡坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、不飽和領域発生地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		
処分パネルスケール		【主要坑道】 ・ロックボルト ・吹付コンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	—	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、不飽和領域発生地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒支保応力発生・変形⇒不飽和領域⇒間隙水圧低下⇒地下水流動系変化 ↓ 埋戻しで環境回復 ↓ 再掘削の環境の変化 ↓ 埋戻しで環境回復
		【処分坑道】 ・ロックボルト ・吹付エコンクリート ・排水ドレーン ・EDZ	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:還元⇒酸化	【開放状態】 T:換気による大気温度 H:排水による間隙水圧低下、地下水流動系変化 M:支保応力、変形 C:酸化、支保材の劣化	【埋戻し】 T:発熱による温度上昇 H:埋戻しによる間隙水圧上昇 M:応力回復傾向 C:酸化⇒還元	【掘削】 T:温度低下 H:飽和、地下水流動系の回復傾向 M:応力回復傾向 C:還元⇒酸化	【埋戻し】		
		【プラグ】 ・コンクリートプラグ	—	—	【プラグ設置】	【プラグ撤去】			
処分孔スケール		処分孔	【開放状態】 T:換気による低下 H:周辺不飽和拡大 M:孔壁変形 C:還元⇒酸化	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	T:発熱による温度上昇 H:周辺飽和に移行 M:応力回復 C:酸化⇒還元	【掘削】 T:周辺温度 H:排水による不飽和領域発生 M:孔壁変形 C:酸化	【埋戻し】		掘削・排水⇒応力解放⇒応力発生・変形⇒周辺間隙水圧の回復⇒岩盤応力の回復傾向 ↓ ピットの埋戻しで周辺環境回復 ↓ 回収の掘削で環境変化 ↓ 埋戻しで回復
		ベントナイト(圧縮ブロック、充填ペレット)	—	【ベントナイト設置】 T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化	T:温度上昇 H:初期飽和度 M:初期応力 C:酸化⇒還元	上部、側部の一部撤去			
		オーバーパック	—	【オーバーパック設置】 T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 M:初期強度 C:還元、腐食⇒ガス	回収			
		処分孔上部埋戻し・キャップの設置		【埋戻し・キャップの設置】 T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	T:発熱による温度上昇 H:初期飽和度 M:初期強度 C:酸化	撤去			

：開放坑道、：閉鎖後の状態変遷、：回収時の状態変遷

7.3.2　分析と整理による、要素の妥当性検討

(1)　妥当性の検討方法

7.3.1 の検討で得られた処分施設の安全性に影響を及ぼす要因とその要素（影響因子）に対し、その妥当性について検討を行った。

妥当性の検討は、影響因子と影響先を PID の作成等による分析と整理により実施する。回収可能性維持の影響を評価する手順は、状態変遷の理解から開始し、の対象とする閉鎖前と閉鎖後のセーフティケースへの影響とその因子を抽出・整理し、さらに、重要な因子と影響先をリンクした PID を作成し、評価モデルと評価パラメータを設定することで実施した（図 7.3.2-1 参照）。

PID は、基本ケースに対して影響先ごとに作成し、その後、影響先相互の関連性を考慮して全体系に組み立てていく。また、PID は評価対象に応じて、閉鎖前と閉鎖後の安全性に分類できる。今年度は、既往の知見をもとにベースとなる案を作成した。

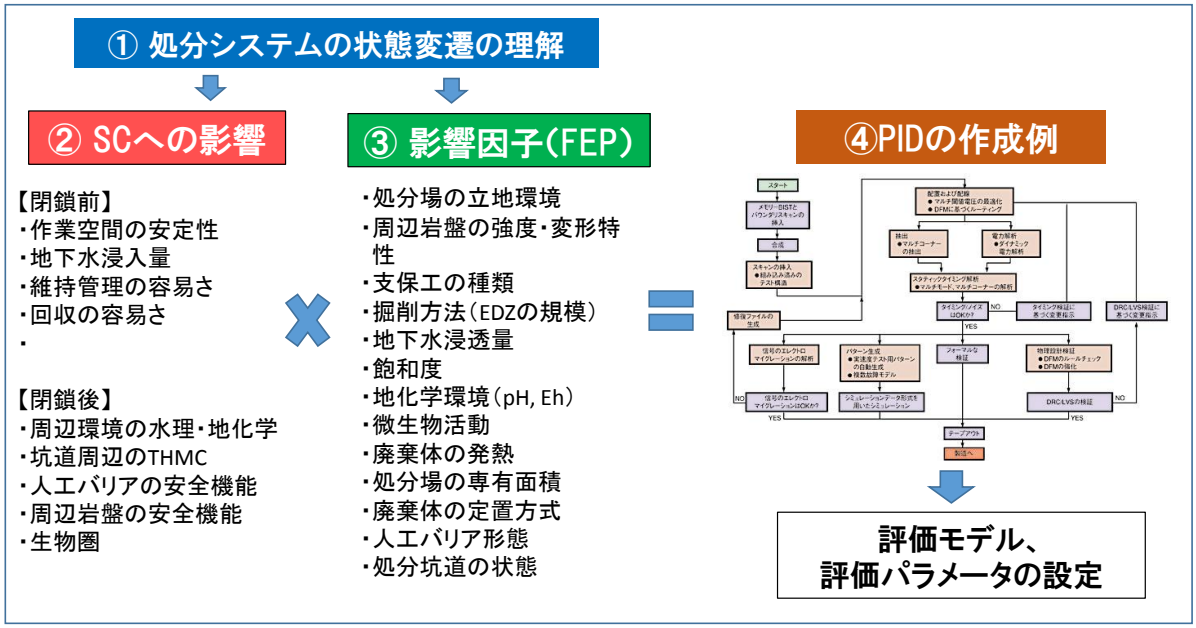


図　7.3.2-1　影響評価に至る手順

(2)　PID による分析

1)　PID の作成方法

長期の安全機能（放射性核種移行遅延等）に影響を及ぼす影響要素の内、掘削・支保設置・排水・換気による影響伝搬を PID として整理すると図 7.3.2-2 に示すようになる。これらの PID を着目しているスケール（処分場、パネル、処分孔）ごとに作成し、それらを時空間で連携すると影響評価のシナリオとして構築できる。

基本的に PID は、時間の経過を表わすことができないが、本検討では、時間領域の異なる複数の PID を組み合わせることで、経過時間を考慮した PID を作成することとする。PID はトリガーに対する影響伝搬を示すことができるが、その影響の大きさと範囲を示すことがで

きない。影響の大きさと影響の範囲は、PID に基づく評価シナリオを作成し、評価ケースを設定したのち、定量評価のモデルを構築し解析することになる。一方、下図に示す坑道掘削および維持による影響については、現存するトンネル等の構造物の経年変化を調査することで坑道周辺の状態変遷を把握することは可能である。

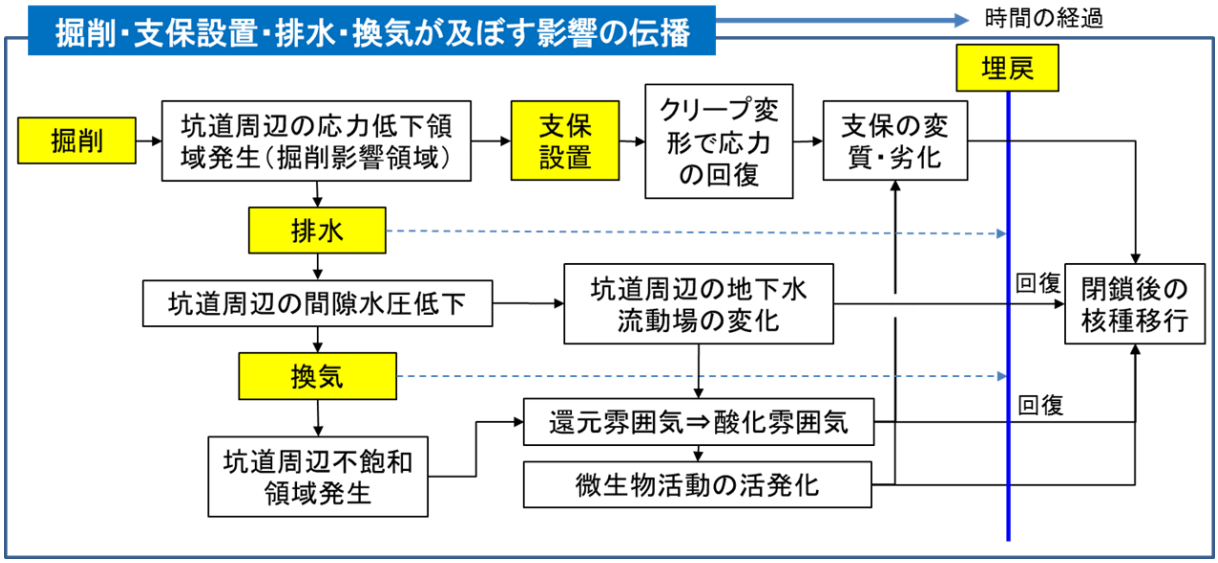


図 7.3.2-2　坑道の掘削・支保設置・排水・換気が及ぼす影響の伝播図（PID）の例

2)　検討ケースに対応する PID の作成

a　検討ケース I の PID

検討ケース I では、アクセス坑道から処分孔まで開放された状態が約 100 年間維持される。このような状態での PID 作成では、着目する 3 種類のスケール（処分場スケール、パネルスケール、処分孔スケール）を対象に、回収可能性を維持しつつ回収せずアクセス坑道等を開放した状態で維持する場合（回収しない場合）と回収可能性を維持している状態で廃棄体を回収する場合（回収する場合）について、トリガーとなる要素と影響伝搬の様子を時系列的に整理して示す。作成する PID では、影響の伝播の流れを示すものの影響の規模や範囲については言及できない。これらの影響の規模や範囲は、PID をベースに作成する影響評価モデルにより定量的に求めることができる。

(a)　回収しない場合

回収可能性を維持しつつ回収しない場合の状態変遷表を参照し、抽出した FEP を用いて異なるスケールで作成した PID をそれぞれ図 7.3.2-3、図 7.3.2-4、図 7.3.2-5 に示す。

(b)　回収する場合

回収可能性を維持している状態で廃棄体を回収する場合の PID では、回収しない場合の状態をベースに廃棄体を回収するための処分坑道掘削に伴う排水や換気などの新たな要素（トリガー）による影響伝搬する様子を表わすことになる。対象とするスケールごとに作成した PID をそれぞれ図 7.3.2-6、図 7.3.2-7、図 7.3.2-8 に示す。

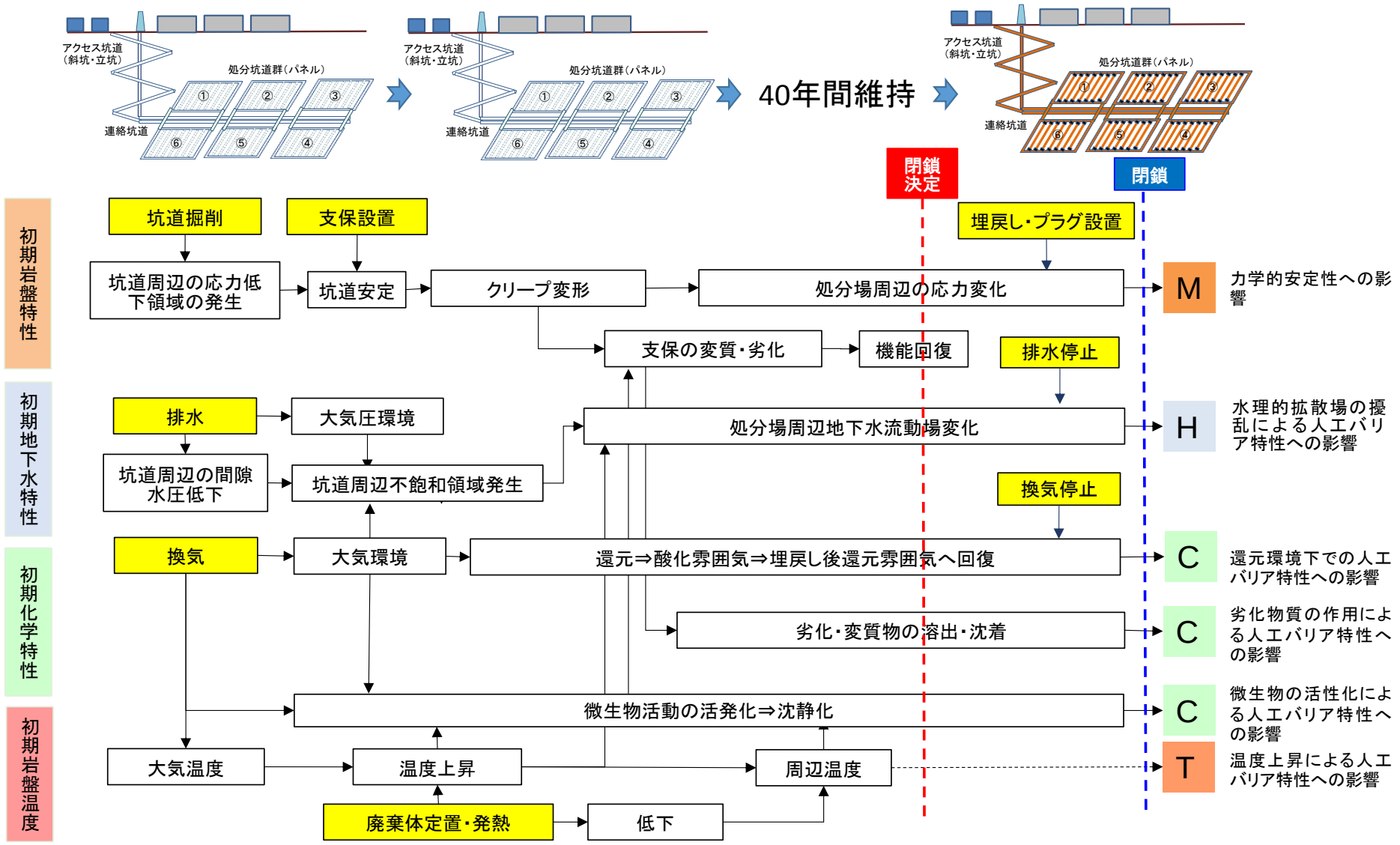


図 7.3.2-3　検討ケースⅠ：処分場スケールにおける回収しない場合の PID

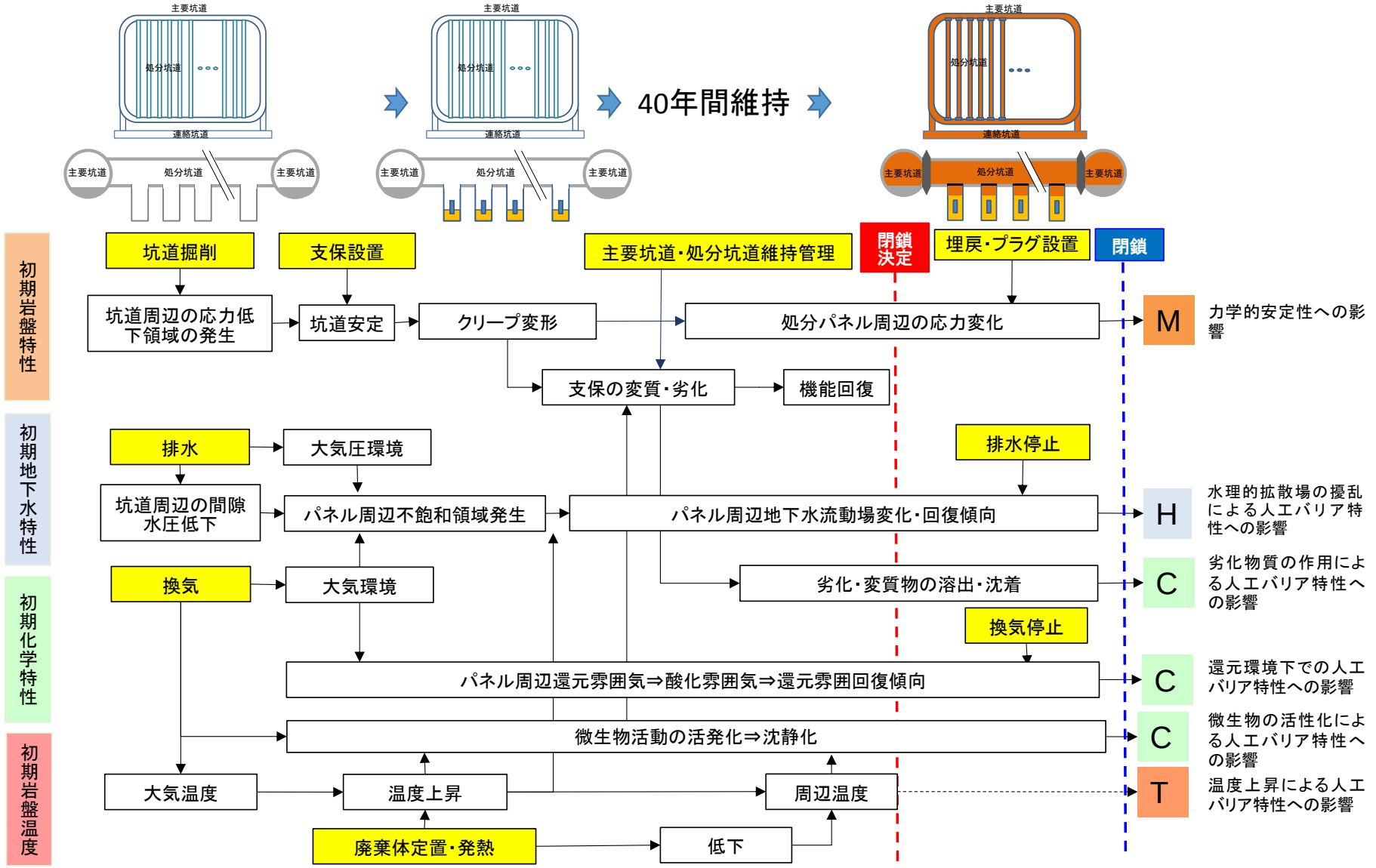


図 7.3.2-4　検討ケースⅠ：パネルスケールにおける回収しない場合の PID

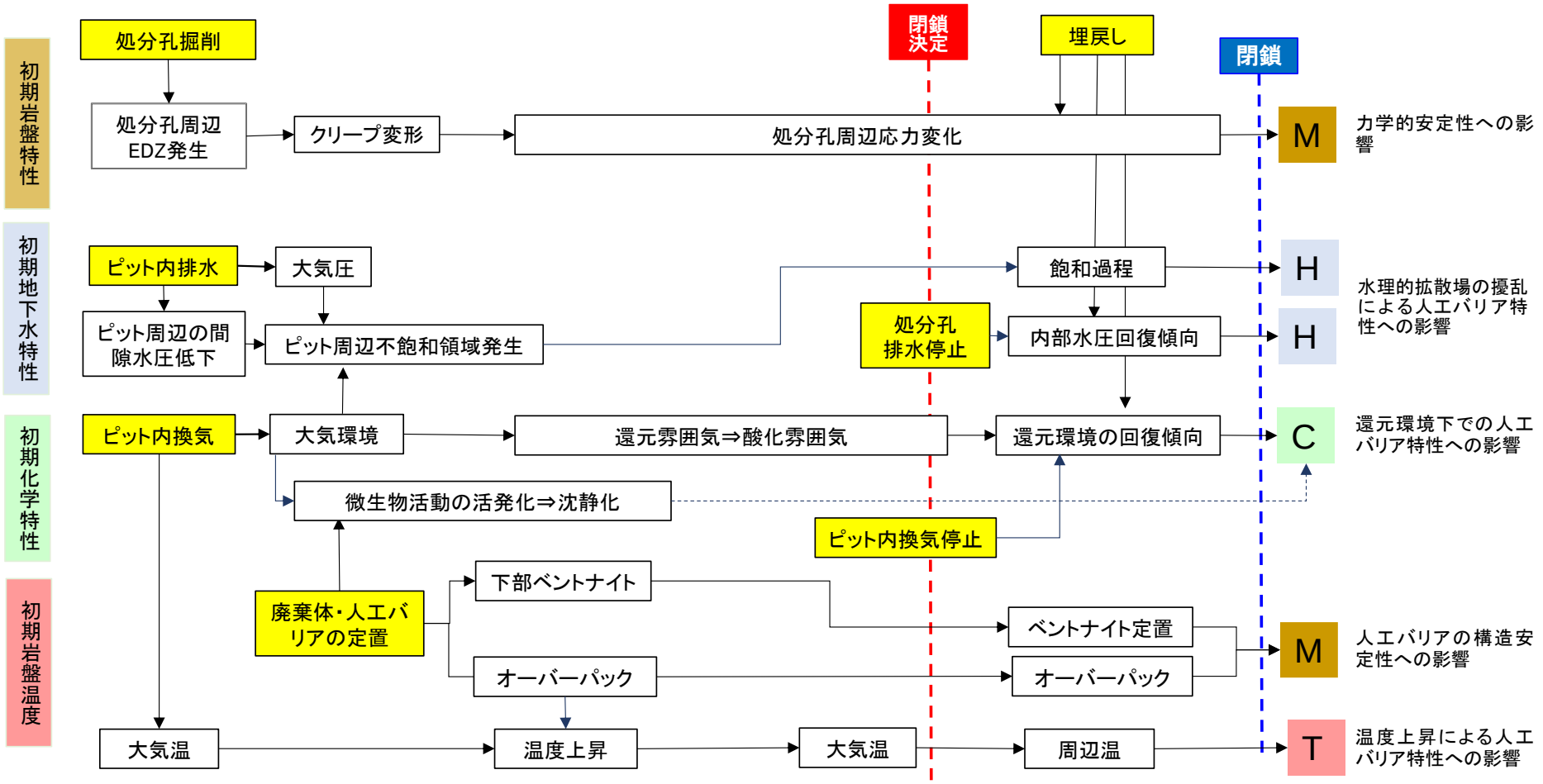


図 7.3.2-5　検討ケースⅠ：処分孔スケール（人工バリアスケール）における回収しない場合の PID

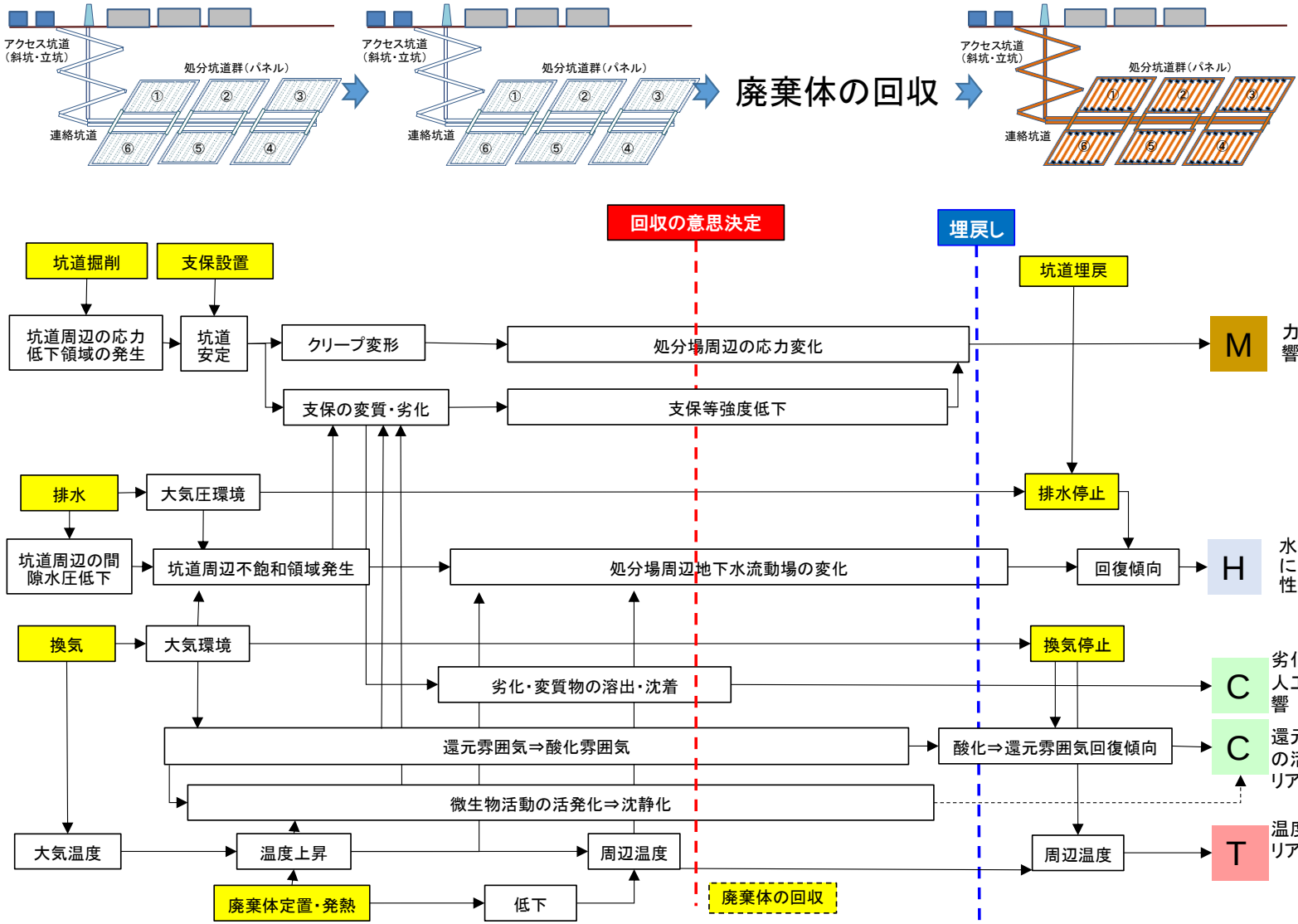


図 7.3.2-6　検討ケースⅠ：処分場スケールにおける回収する場合の PID

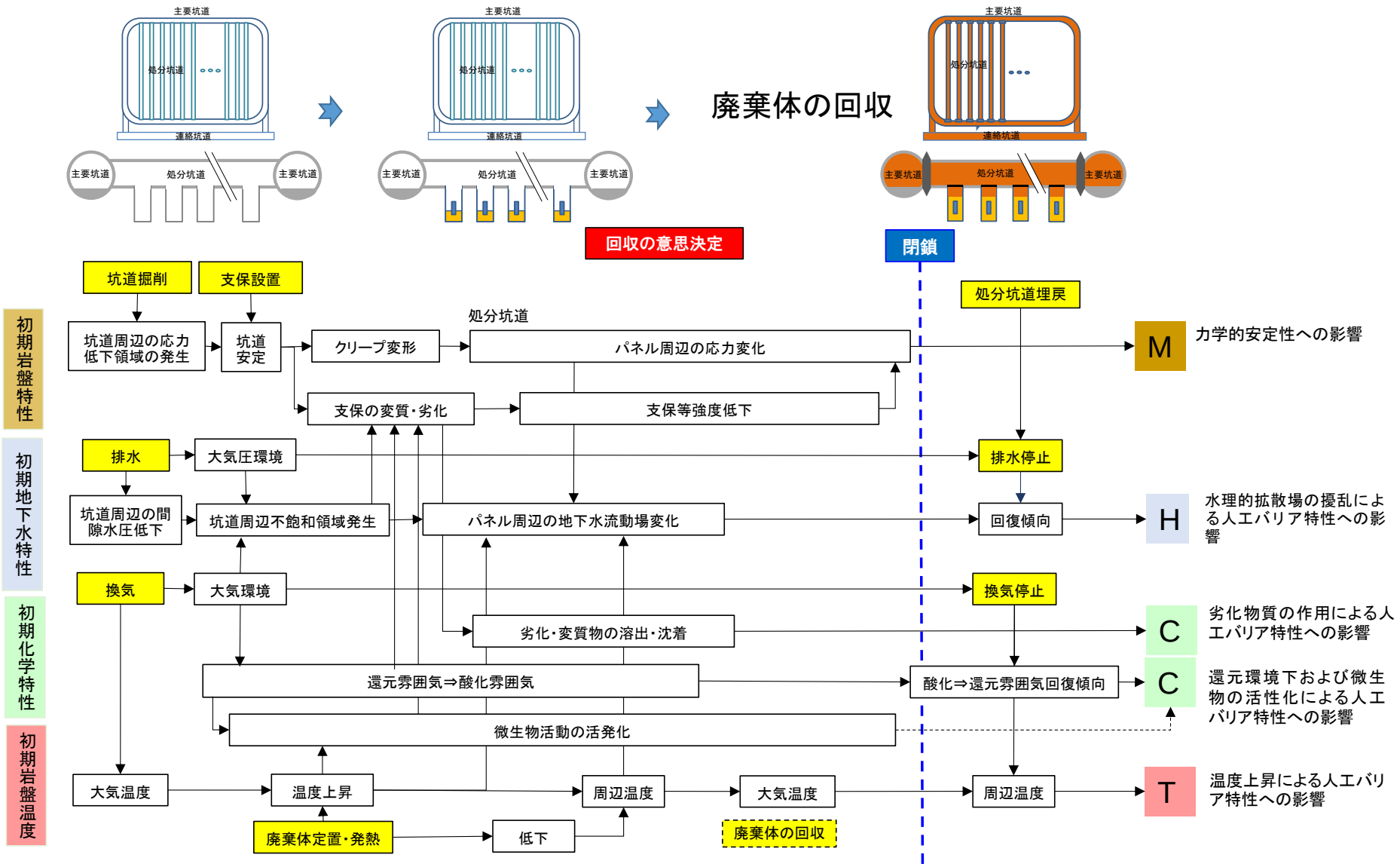


図 7.3.2-7　検討ケースⅠ：パネルスケールにおける回収する場合の PID

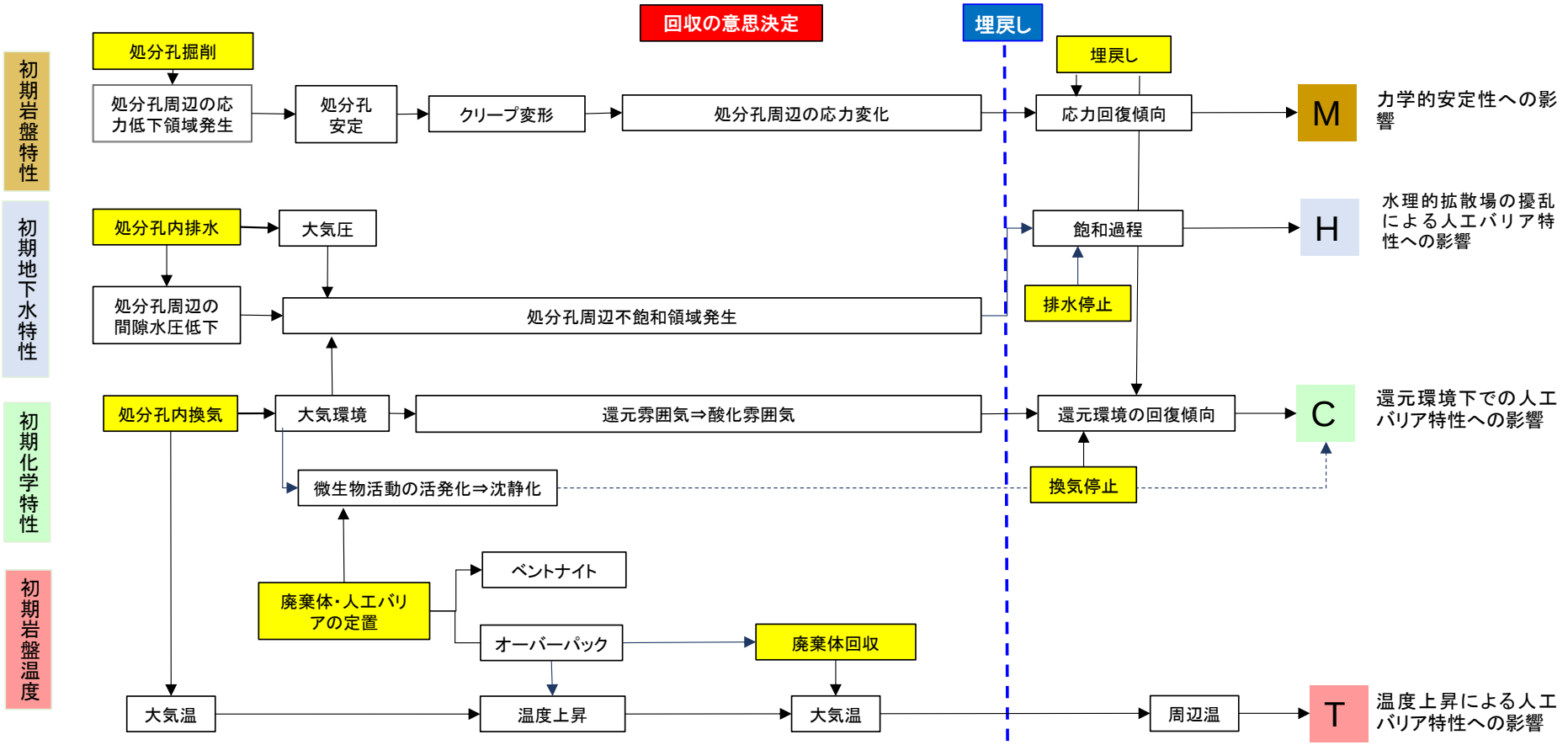


図 7.3.2-8　検討ケースⅠ：処分孔スケールにおける回収する場合の PID

b　検討ケースⅡの PID

前項と同様に以下、検討ケースごとに PID を示す。

(a) 回収しない場合

回収可能性を維持しつつ回収しない場合の状態変遷表と影響要素（FEP）を用い、異なるスケールで作成した PID をそれぞれ図 7.3.2-9、図 7.3.2-10、図 7.3.2-11 に示す。

(b) 回収する場合

回収可能性を維持している状態で廃棄体を回収する場合の PID では、回収しない場合の状態をベースに廃棄体を回収するための処分坑道掘削に伴う排水や換気などの新たな要素（トリガー）による影響伝搬する様子を表わすことになる。スケールごとに作成した PID をそれぞれ図 7.3.2-12、図 7.3.2-13、図 7.3.2-14 に示す。廃棄体の回収が決定された場合、処分孔内の埋戻しが撤去されることで、処分孔回りの岩盤は影響を受けるが埋戻しによりそれらの影響が回復していく様子を表わしている。

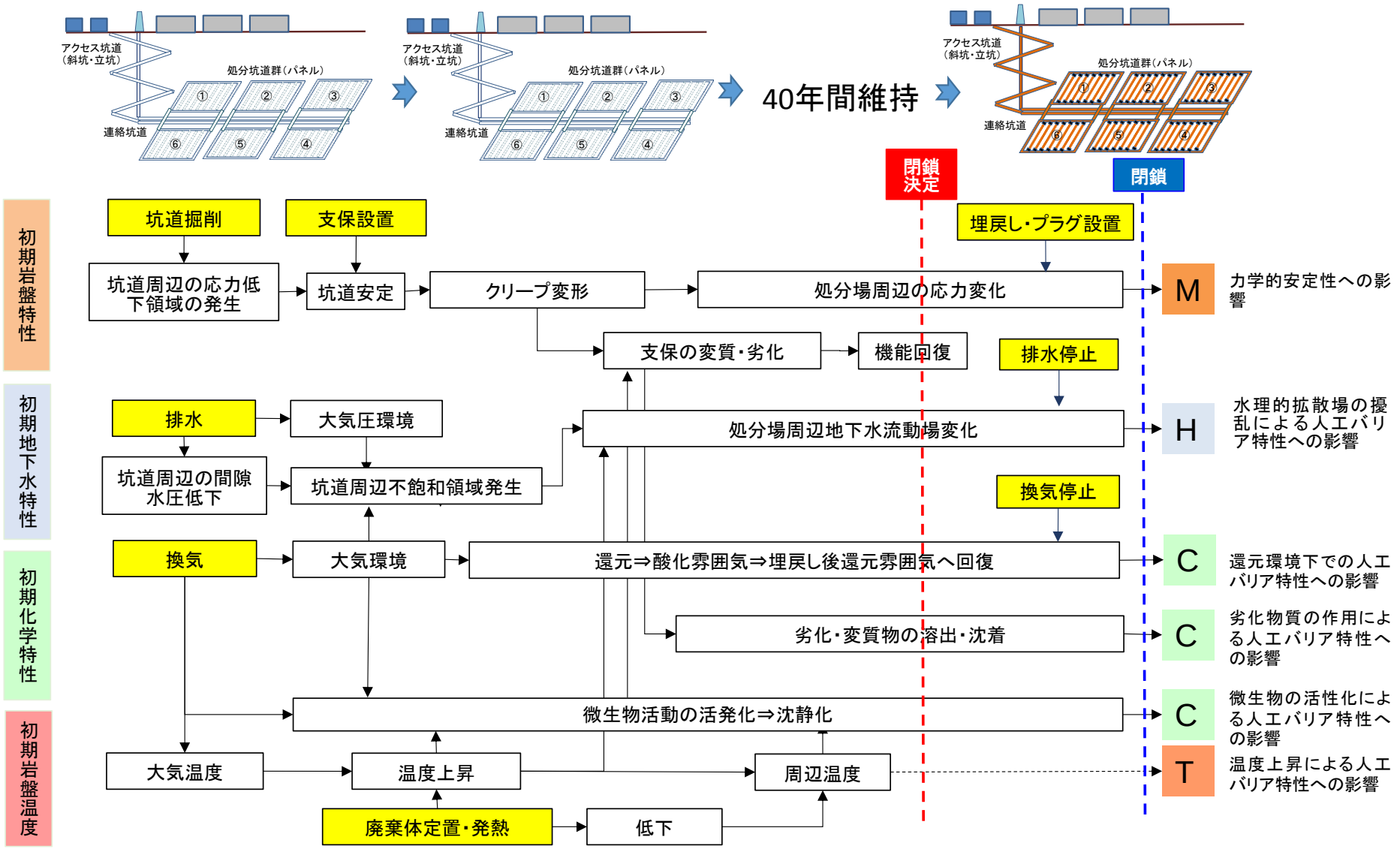


図 7.3.2-9　検討ケースⅡ：処分場スケールにおける回収しない場合の PID

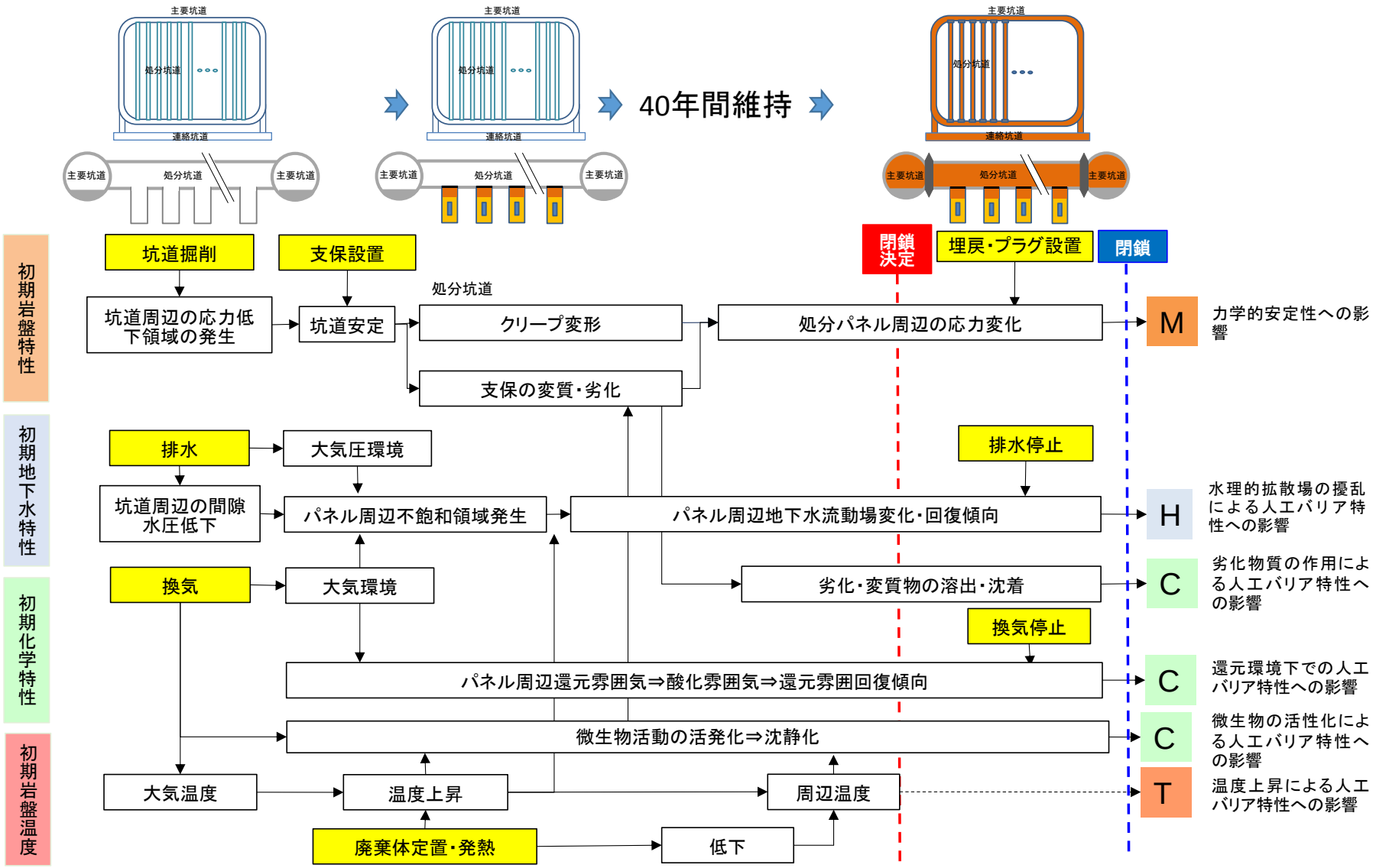


図 7.3.2-10　検討ケースⅡ：パネルスケールにおける回収しない場合の PID

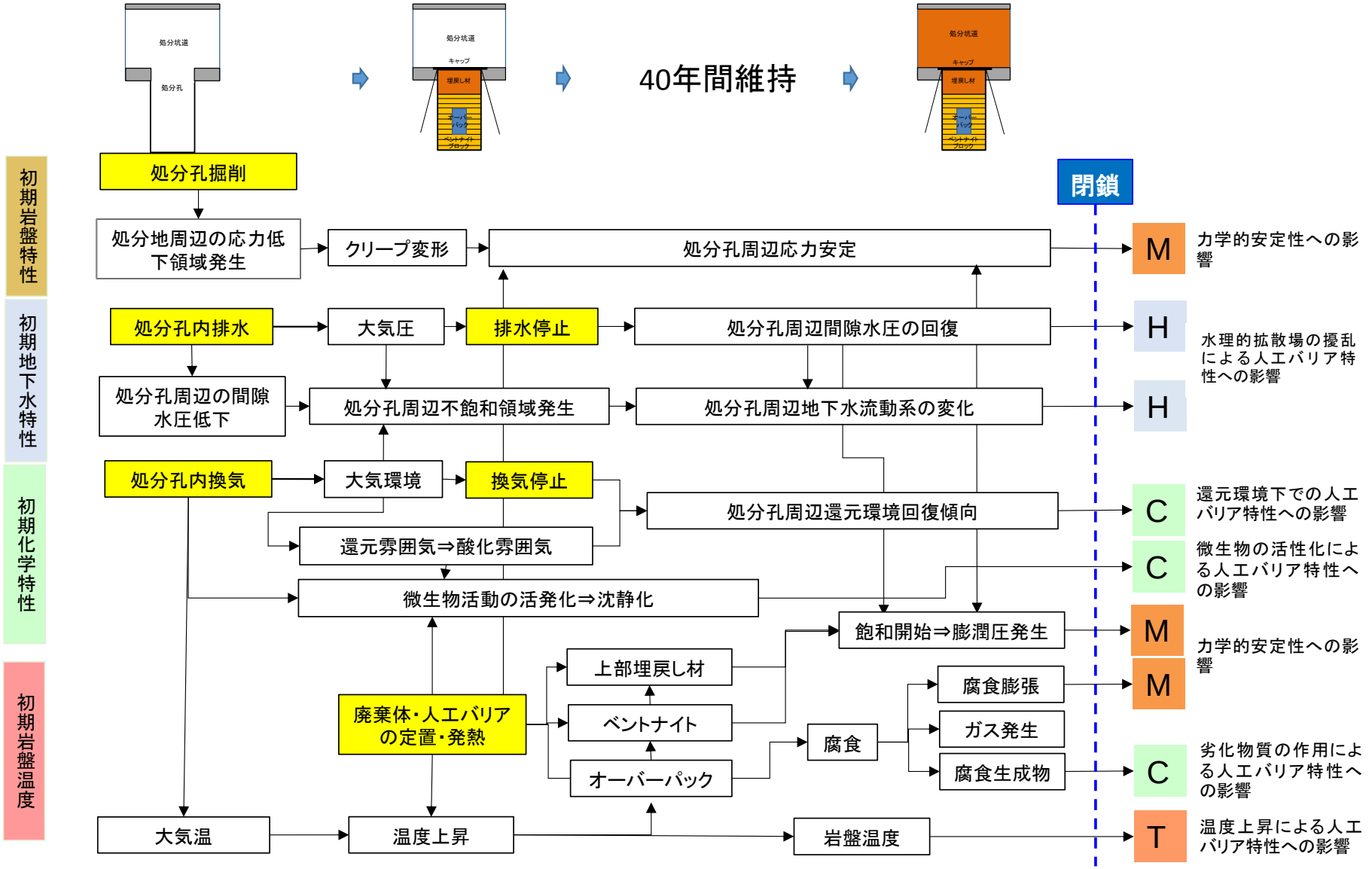


図 7.3.2-11　検討ケースⅡ：処分孔スケールにおける回収しない場合の PID

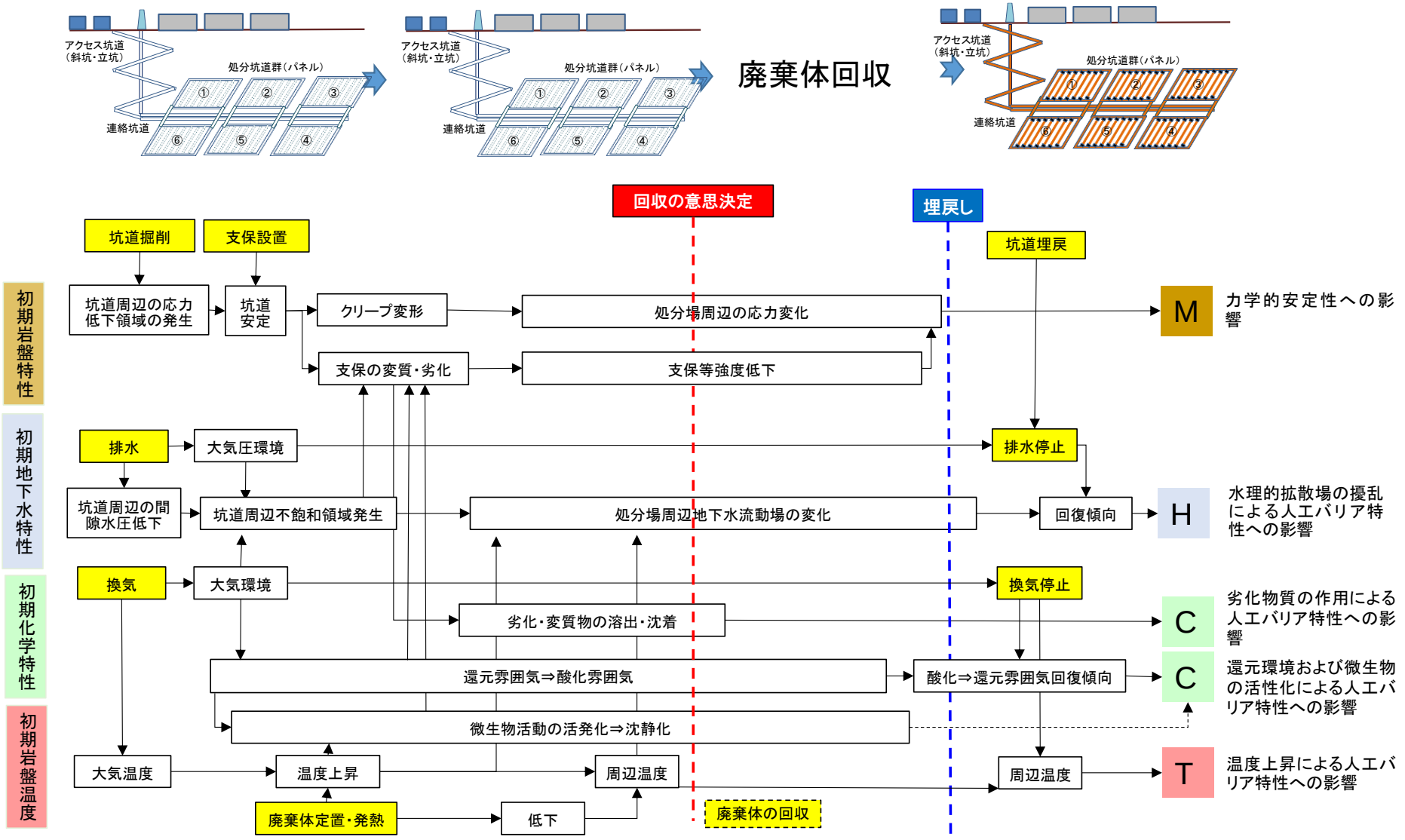


図 7.3.2-12　検討ケースⅡ：処分場スケールにおける回収する場合の PID

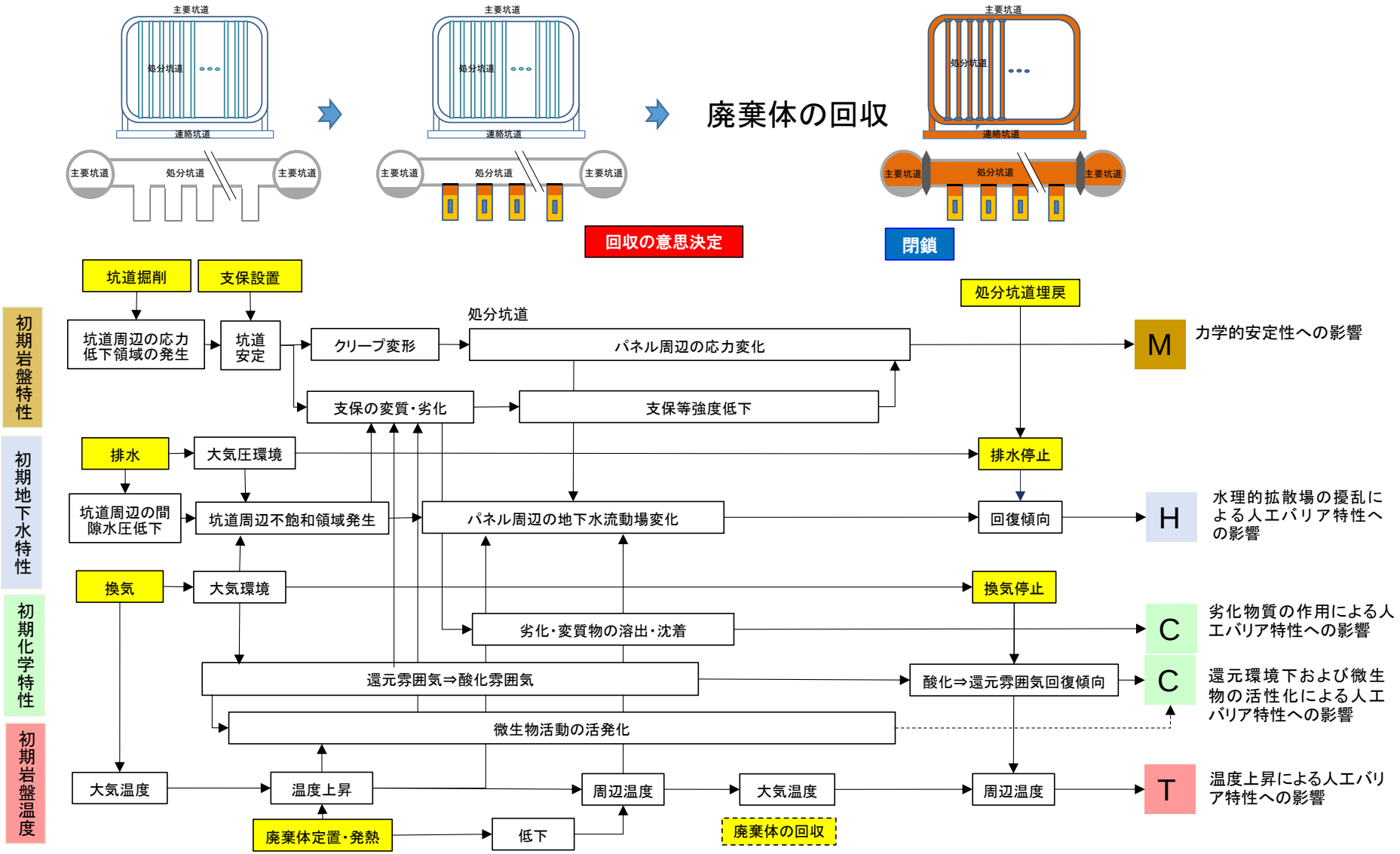


図 7.3.2-13　検討ケースⅡ：パネルスケールにおける回収する場合の PID

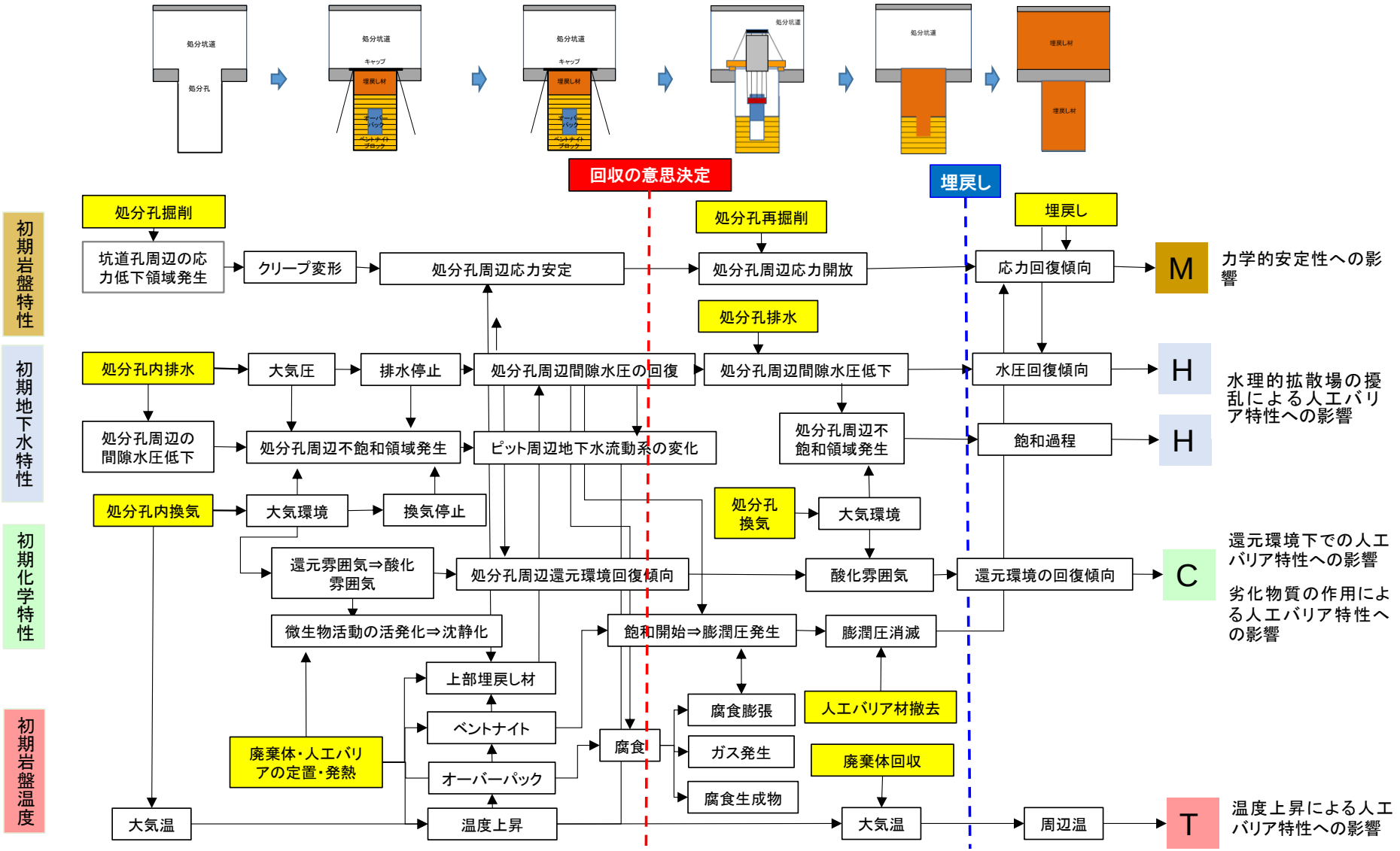


図 7.3.2-14　検討ケースⅡ：処分孔スケールにおける回収する場合の PID

c　検討ケースⅢ（基本ケース）の PID

検討ケースⅢでは、アクセス坑道から主要坑道まで開放された状態が約 100 年間維持される。このような状態での PID 作成では、着目する 3 種類のスケール（処分場スケール、パネルスケール、処分孔スケール）を対象に、回収可能性を維持しつつ回収せずアクセス坑道等を開放した状態で維持する場合（回収しない場合）と回収可能性を維持している状態で廃棄体を回収した場合（回収する場合）について、トリガーとなる要素と影響伝搬の様子を時系列的に整理して示す。作成する PID では、影響の伝播の流れを示すものの影響の規模や範囲については言及できない。これらの影響の規模や範囲は、PID をベースに作成する影響評価モデルにより定量的に求めることができる。

(a) 回収しない場合

回収可能性を維持しつつ回収しない回収しない場合の状態変遷表を参照し、抽出した FEP を用いて異なるスケールで作成した PID をそれぞれ図 7.3.2-15、図 7.3.2-16、図 7.3.2-17 図に示す。閉鎖が決定された後、主要坑道から連絡坑道、アクセス坑道と順に埋め戻されていく。この間に排水や換気が停止されることで坑道周辺の水理特性や化学特性が回復に向かう。

(b) 回収する場合

回収可能性を維持している状態で廃棄体を回収する場合の PID では、回収しない場合の状態をベースに廃棄体を回収するための処分坑道掘削に伴う排水や換気などの新たな要素（トリガー）による影響伝搬する様子を表わすことになる。対象とするスケールごとに作成した PID をそれぞれ図 7.3.2-18、図 7.3.2-19、図 7.3.2-20 に示す。廃棄体の回収が決定されると処分坑道の端部に設置したプラグが撤去され、坑道の再掘削が開始される。再掘削による換気と排水により再度、坑道周辺の水理や化学特性が変化する。廃棄体が回収された後、処分場は埋戻しされるため、影響を受けた環境は徐々に回復していくと考えられる。

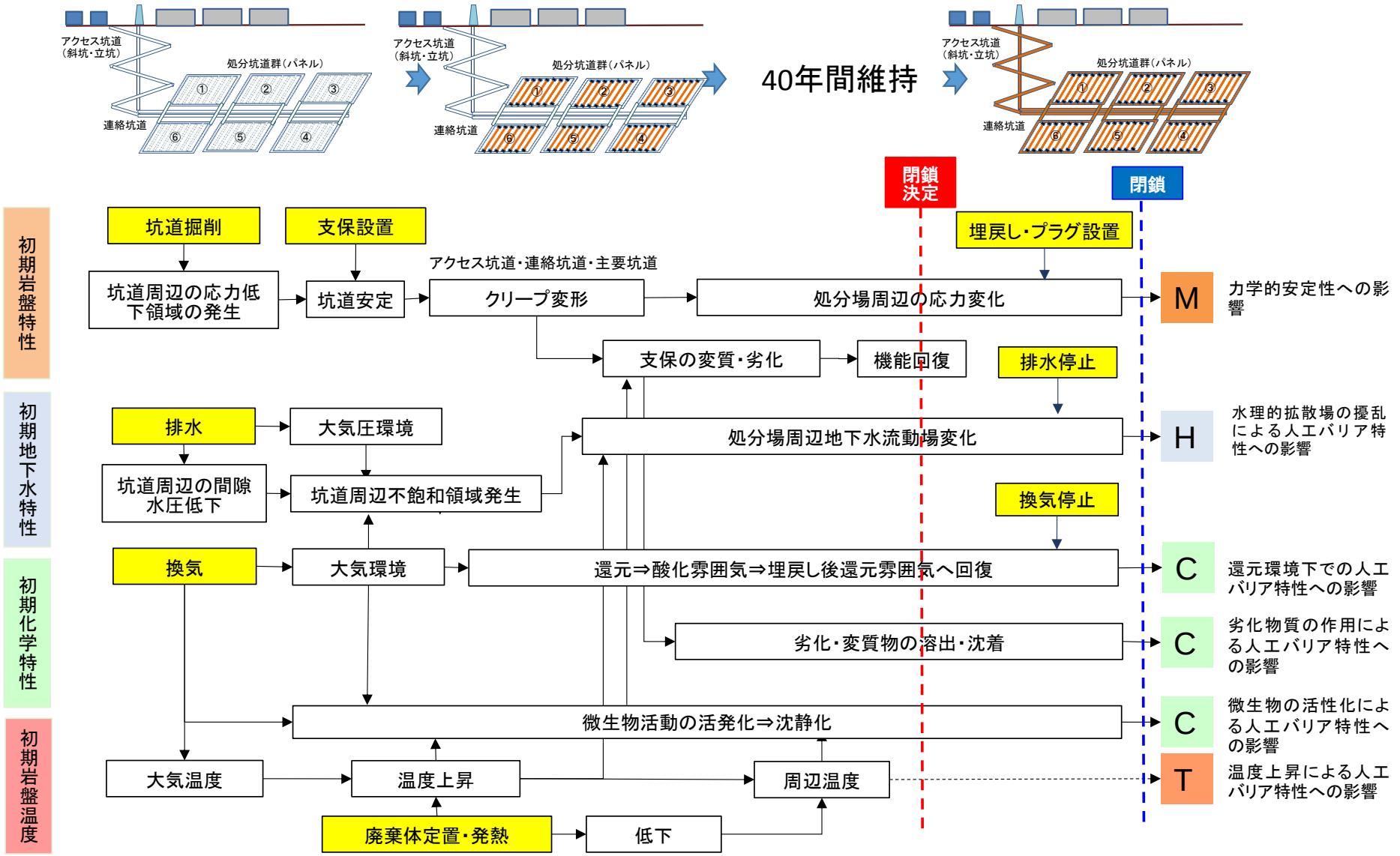


図 7.3.2-15　検討ケースⅢ：処分場スケールにおける回収しない場合の PID

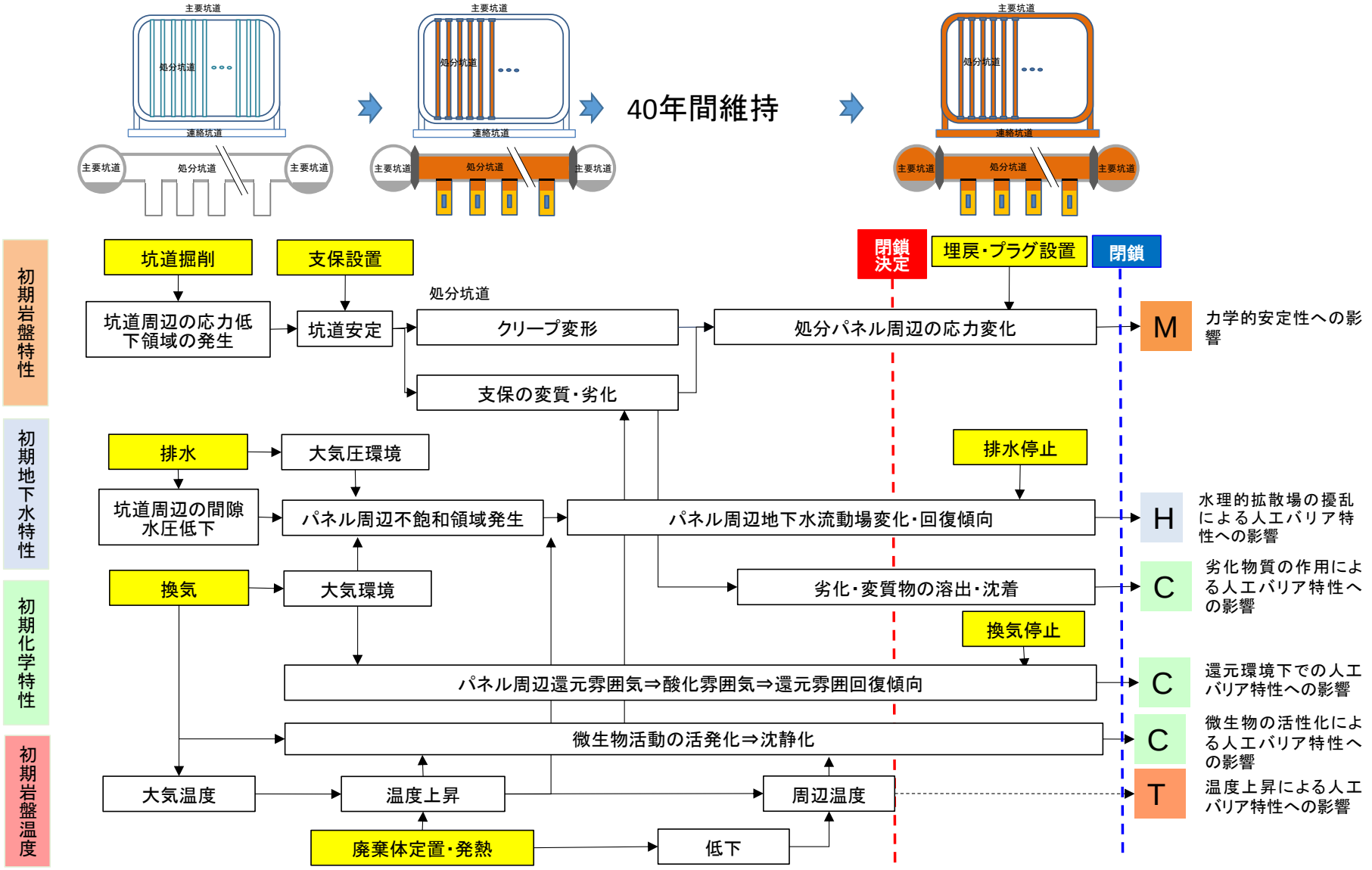


図 7.3.2-16　検討ケースⅢ：パネルスケールにおける回収しない場合の PID

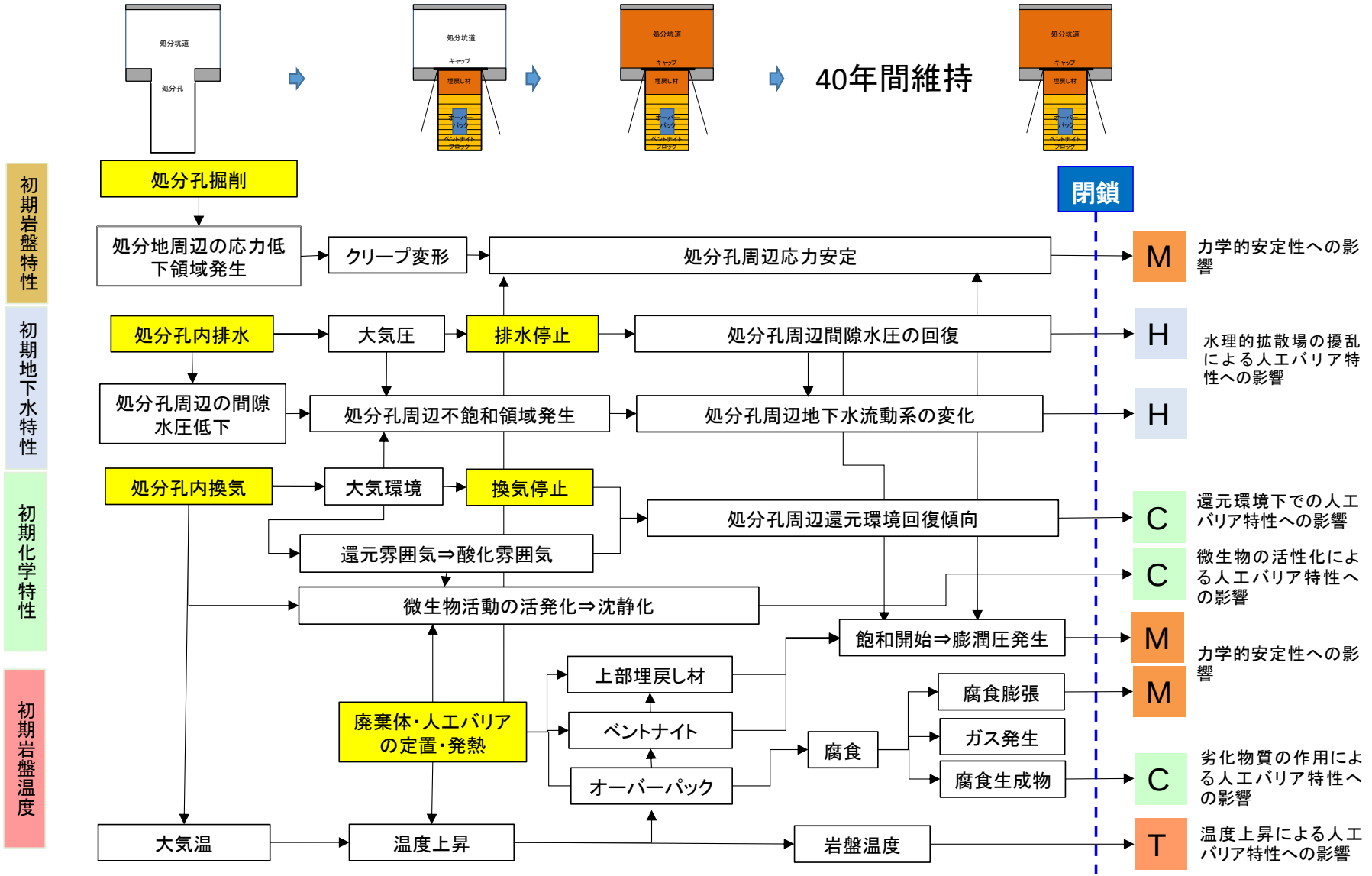


図 7.3.2-17 検討ケースⅢ：処分孔スケールにおける回収しない場合の PID

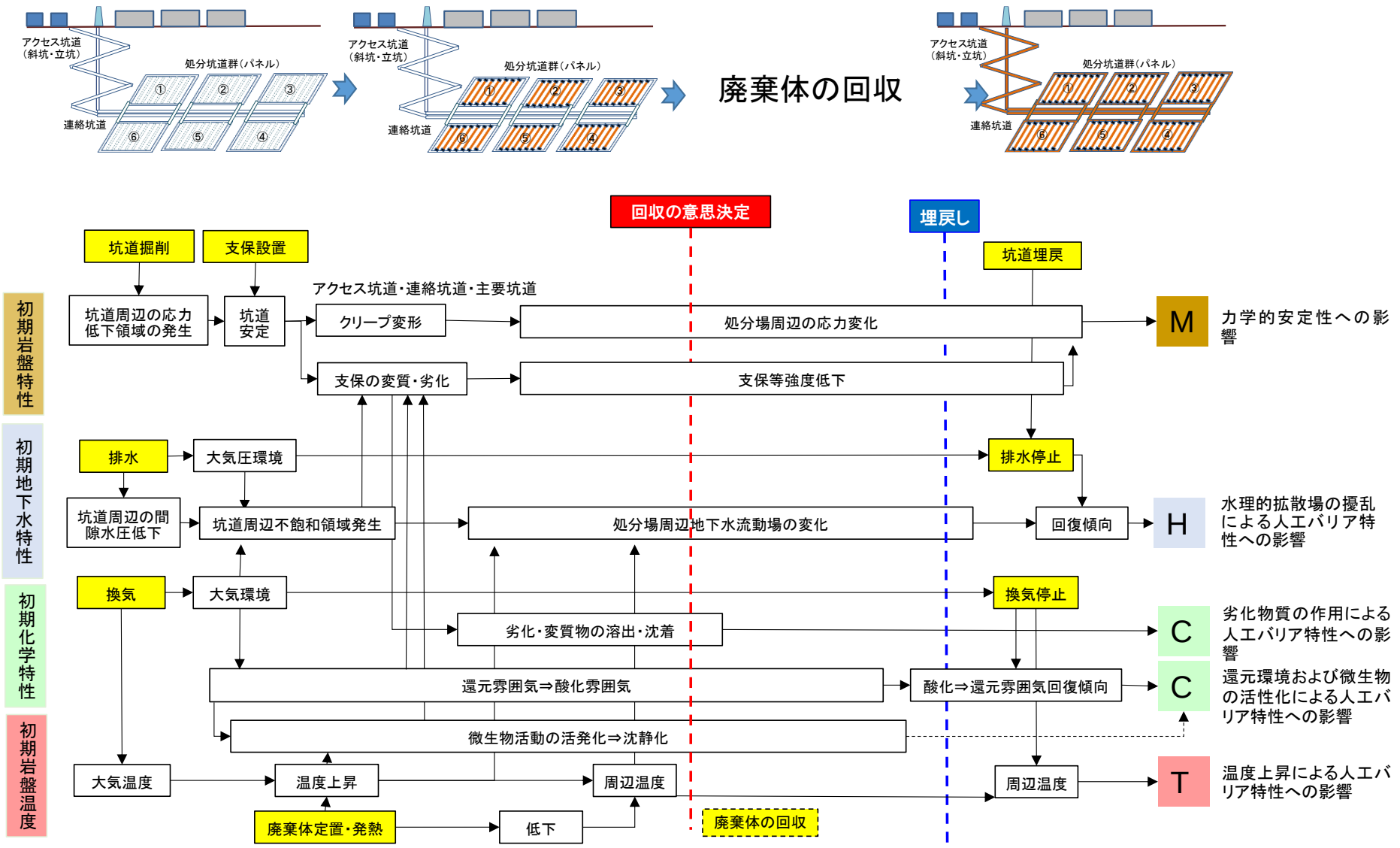


図 7.3.2-18　検討ケースⅢ：処分場スケールにおける回収する場合の PID

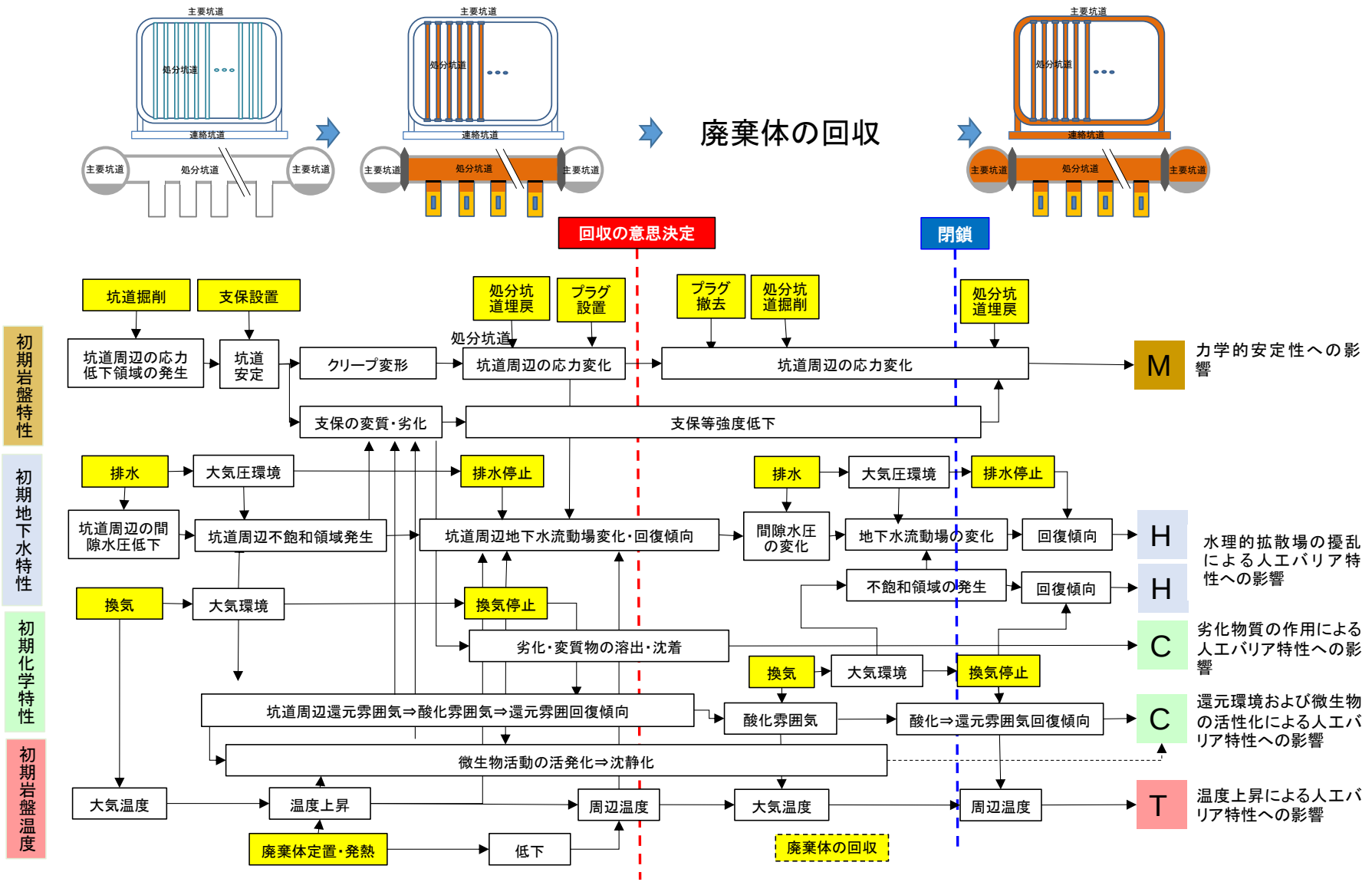


図 7.3.2-19　検討ケースⅢ：パネルスケールにおける回収する場合の PID

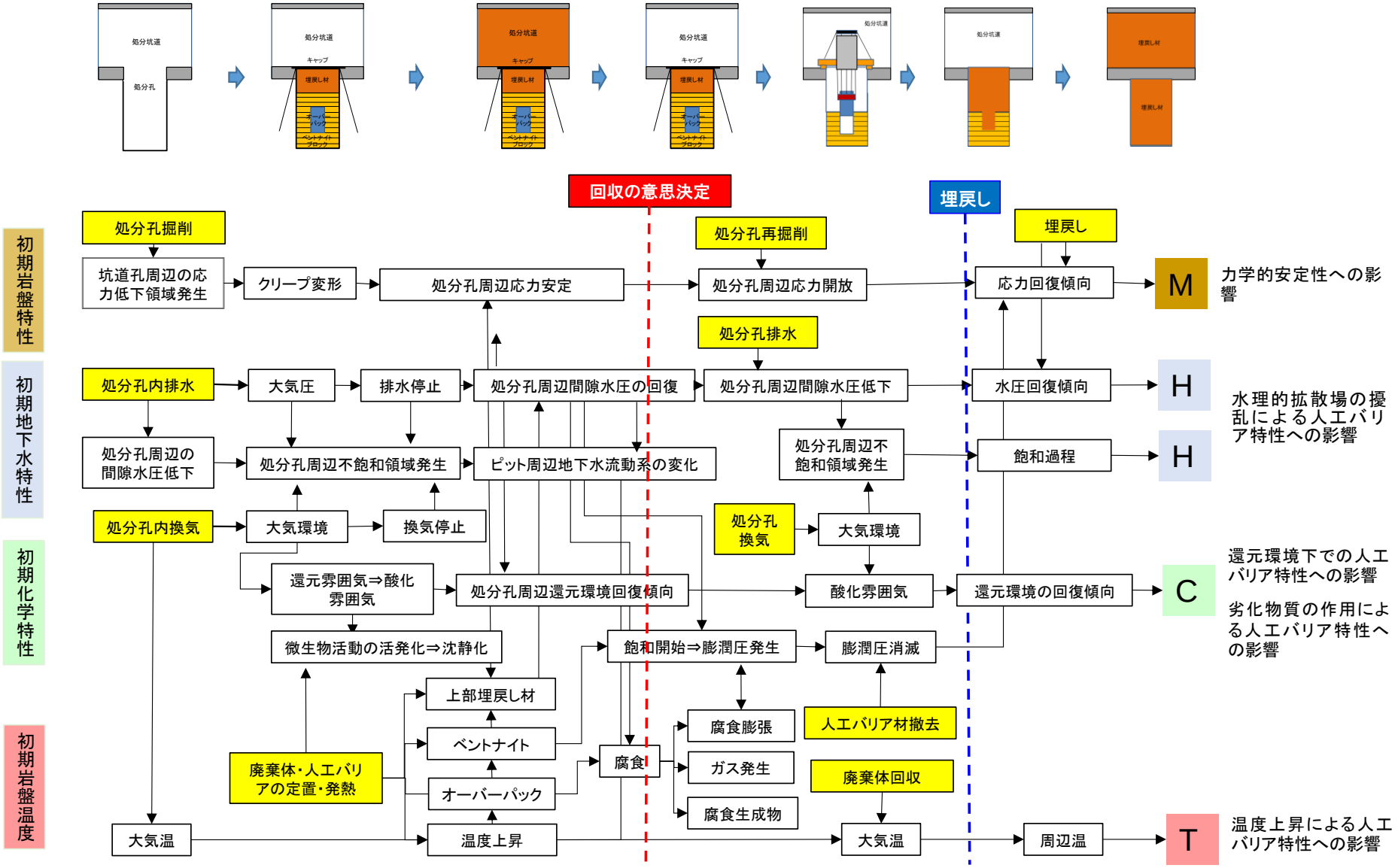


図 7.3.2-20　検討ケースⅢ：処分孔スケールにおける回収する場合の PID

d　検討ケースⅣの PID

検討ケースⅣでは、アクセス坑道と連絡坑道が主要坑道まで開放された状態が約 100 年間維持される。

(a) 回収しない場合

回収可能性を維持しつつ回収しない場合の状態変遷表を参照し、抽出した FEP を用いて異なるスケールで作成した PID をそれぞれ図 7.3.2-21、図 7.3.2-22、図 7.3.2-23 図に示す。閉鎖が決定された後、連絡坑道、アクセス坑道の順に埋め戻されていく。この間に排水や換気が停止されることで坑道周辺の水理特性や化学特性が回復に向かう（影響が低減していく）と推定される。

(b) 回収する場合

回収可能性を維持している状態で廃棄体を回収する場合の PID では、回収しない場合の状態をベースに廃棄体を回収するための処分坑道掘削に伴う排水や換気などの新たな要素（トリガー）による影響伝搬する様子を表わすことになる。対象とするスケールごとに作成した PID をそれぞれ図 7.3.2-24、図 7.3.2-25、図 7.3.2-26 図 7.3.2-18 に示す。廃棄体の回収が決定されると主要坑道の再掘削から開始され、処分坑道の端部に設置したプラグを撤去したのち、処分坑道の再掘削が開始される。これらの掘削による換気と排水により、再度、坑道周辺の水理や化学特性が変化する。廃棄体が回収された後、処分場は埋戻しされるため、影響を受けた環境は徐々に回復していくと考えられる。

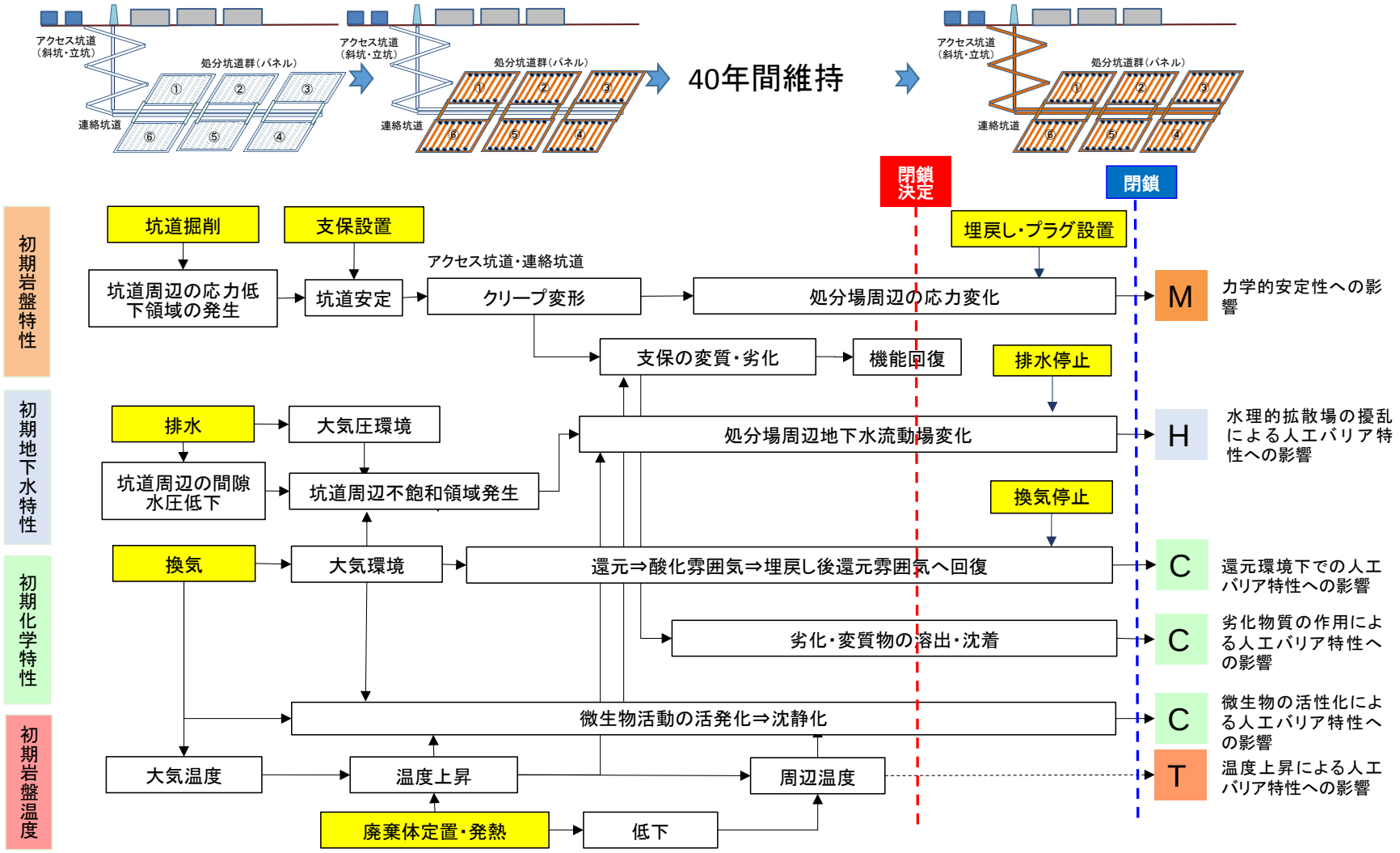


図 7.3.2-21　検討ケースⅣ：処分場スケールにおける回収しない場合の PID

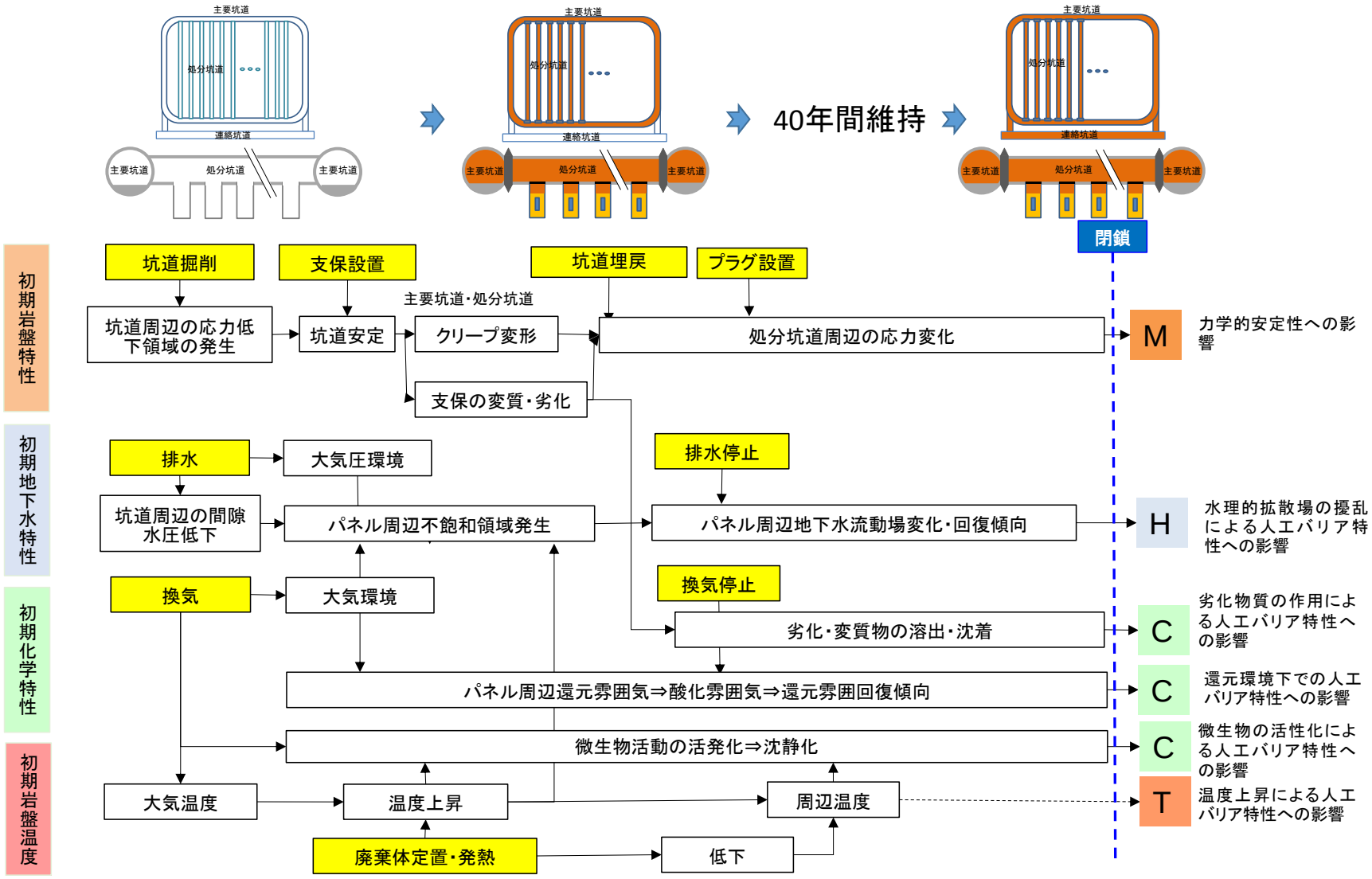


図 7.3.2-22　検討ケースⅣ：パネルスケールにおける回収しない場合の PID

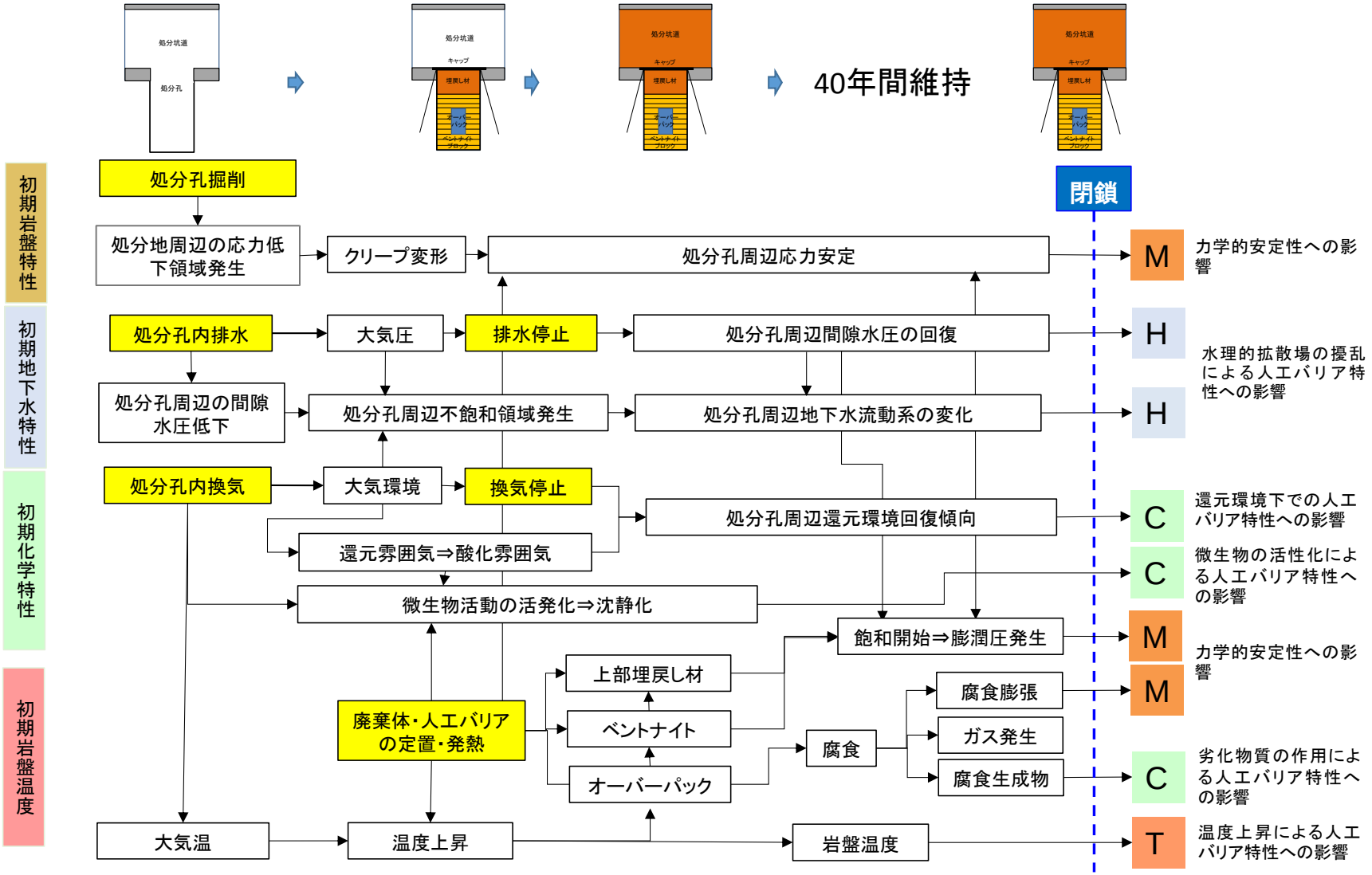


図 7.3.2-23　検討ケースⅣ：処分孔スケールにおける回収しない場合の PID

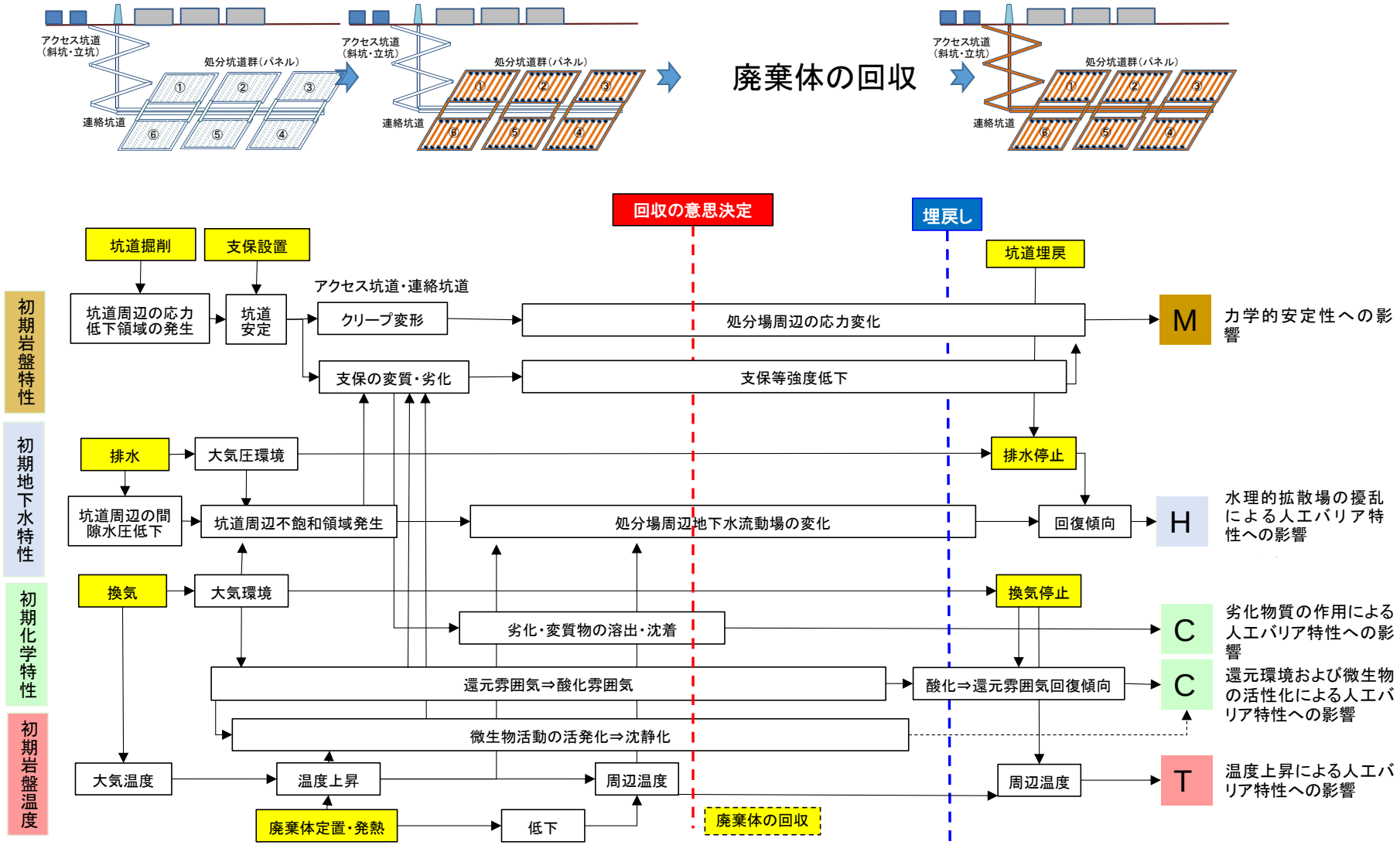


図 7.3.2-24　検討ケースⅣ：処分場スケールにおける回収する場合の PID

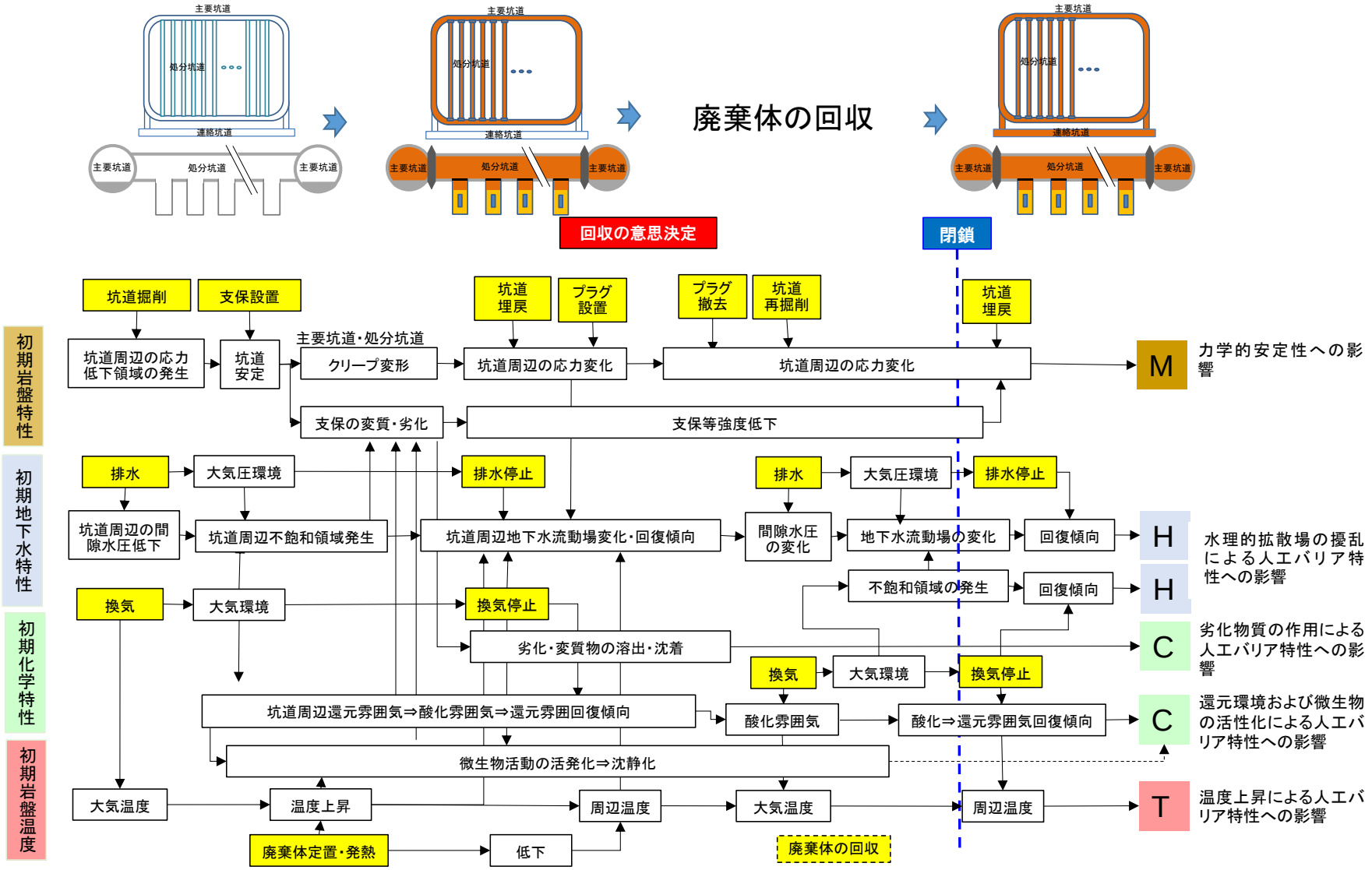


図 7.3.2-25　検討ケースⅣ：パネルスケールにおける回収する場合の PID

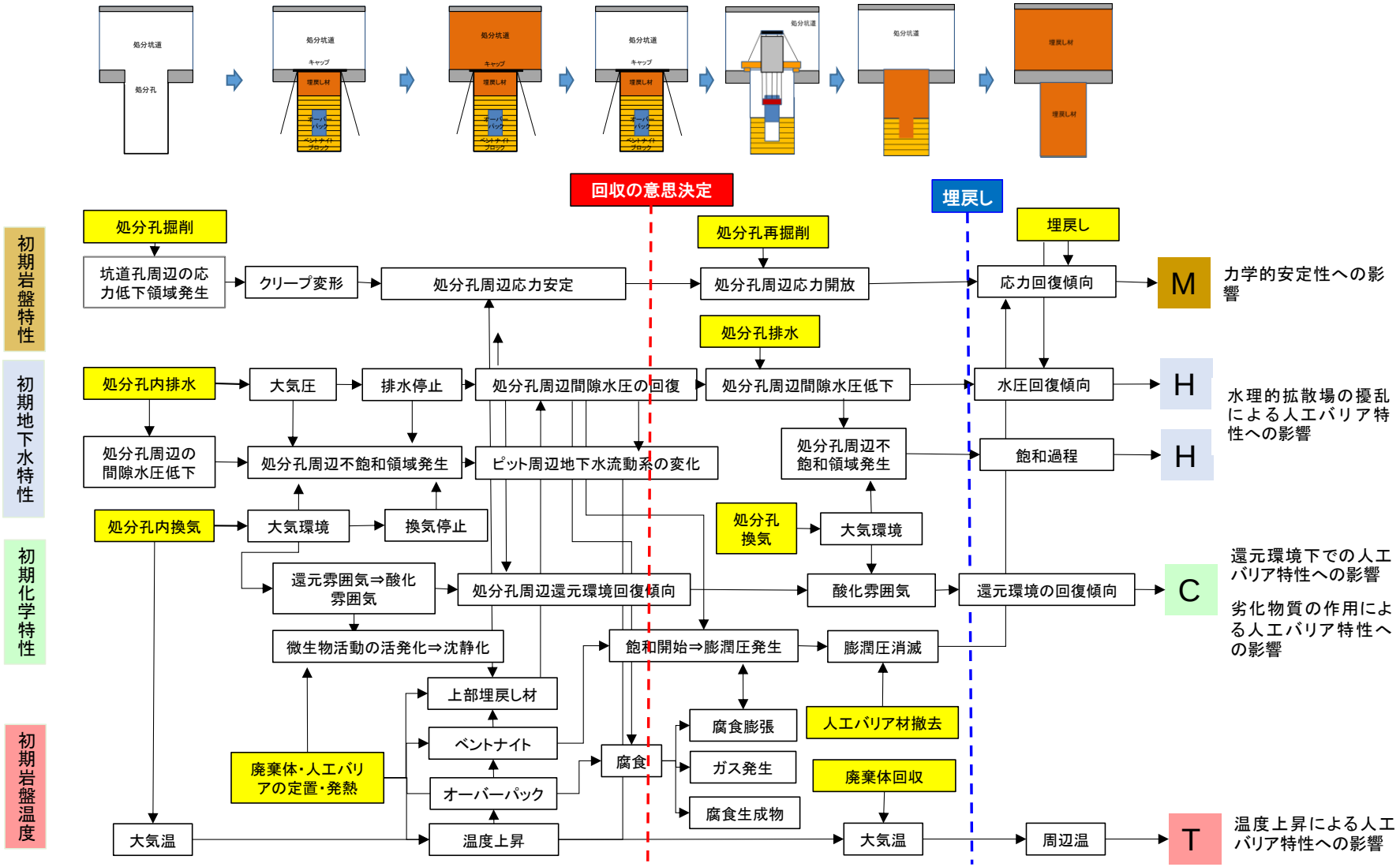


図 7.3.2-26　検討ケースⅣ：処分孔スケールにおける回収しない場合の PID

e　検討ケースⅤ

検討ケースⅤにおける PID は、検討ケースⅢ（基本ケース）と同様となる。回収維持の期間が短くなるため、影響の範囲や程度は小さくなると推定されるが、影響要素による状態変化の進展は同じ PID を用いて表わすことができる。

f　検討ケースⅥ

検討ケースⅥにおける PID も検討ケースⅢ（基本ケース）と同様となる。回収維持の期間が長くなることで、影響の範囲や大きさは大きくなると推定されるが、影響要素による状態変化の進展は同じ PID を用いて表わすことができる。

g　検討ケースⅦ

検討ケースⅦも同様に検討ケースⅢ（基本ケース）と同じ PID で表わすことができる。回収維持期間がさらに長くなることで、影響の範囲や程度は大きくなると推定されるが、影響を及ぼす要素の地質環境特性に及ぼす影響の時系列的変化は同じ PID で表わすことができる。

(3) 検討ケースの影響要素と影響の程度の定性的評価

検討ケースそれぞれの影響要素の妥当性検討について、影響要素と状態変遷を結びつけた PID を、回収可能性を維持しつつ最終的に回収しない場合と回収する場合に分けて作成することで実施してきた。本節では、これらの妥当性検討から導かれる影響を閉鎖前と閉鎖後に分け、想定される影響の範囲や程度について整理する。

1)　検討ケースⅠの定性的な影響評価

表 7.3.2-1 に検討ケースⅠにおける閉鎖前と閉鎖後の影響評価結果を、回収しない場合とする場合に整理して示す。この表の中で、閉鎖前の影響については、PID で取り扱った影響要素をベースに、想定される作業リスクや環境影響、事業コストに係わる事項をとりまとめている。閉鎖後については、PID から導かれた閉鎖後の THMC への影響等を文書化している。

2)　検討ケースⅡの定性的な影響評価

表 7.3.2-2 に検討ケースⅡにおける閉鎖前と閉鎖後の影響評価結果を回収しない場合と回収する場合に整理して示す。以下、表作成の考え方は検討ケースⅠと同様である。

3)　検討ケースⅢの定性的な影響評価

表 7.3.2-3 に検討ケースⅢ（基本ケース）における閉鎖前と閉鎖後の影響評価結果を回収しない場合と回収する場合に整理して示す。

4) 検討ケースⅣの定性的な影響評価

表 7.3.2-4 に検討ケースⅣにおける閉鎖前と閉鎖後の影響評価結果を回収しない場合と回収する場合に整理して示す。

5) 検討ケースⅤの定性的な影響評価

表 7.3.2-5 に検討ケースⅤにおける閉鎖前と閉鎖後の影響評価結果を回収しない場合と回収する場合に整理して示す。

6) 検討ケースⅥの定性的な影響評価

表 7.3.2-6 に検討ケースⅥにおける閉鎖前と閉鎖後の影響評価結果を回収しない場合と回収する場合に整理して示す。

7) 検討ケースⅦの定性的な影響評価

表 7.3.2-7 に検討ケースⅦにおける閉鎖前と閉鎖後の影響評価結果を回収しない場合と回収する場合に整理して示す。

表 7.3.2-1　検討ケースⅠの定性的な影響評価結果

各パネルで廃棄体は処分孔に定置されるが周辺ベントナイトは設置せず一旦作業が終わる。処分孔は開放状態を維持した状態で50年間は、アクセス坑道から処分坑道まで開放された状態が維持されている。ベントナイトの残りは、閉鎖が決定されたのち定置される

	回収シナリオ①	回収シナリオ②	回収シナリオ③	回収シナリオ④
状態オプション①		検討ケースⅠ		
状態オプション②		検討ケースⅡ		
状態オプション③	検討ケースⅤ	検討ケースⅢ（基本ケース）	検討ケースⅥ	検討ケースⅦ
状態オプション④		検討ケースⅣ		

回収の有無	閉鎖までの影響	閉鎖後の影響
回収しない場合	【作業リスク】 100年にわたり、アクセス坑道から処分孔まで開放状態を維持することで、支保工の破損による落盤、排水システム損傷による地下水の浸入、換気システムの故障等による作業リスクが徐々に増加、検討ケース中作業リスクは最大 【周辺環境への影響】 事故や災害の発生リスクが漸増するに従い環境影響へのリスクも増加。各検討ケースで最大。 【コスト】 回収可能性維持のための開放坑道の維持管理費用は確実に増加（全ての坑道が開放されているため、維持管理の費用は検討ケースの中で最大）	・影響先とその大きさはTHMCで認識 ・全数回収する場合は、処分場を放棄することから長期の安全確保への影響は考慮しない。 【温度：T】 ・廃棄体からの熱は開放期間中に低減 ・換気により環境は大気温、閉鎖後岩盤温度 【水理：H】 ・換気・排水の継続により操業時の影響（不飽和領域の範囲、地下水流動系の変化）の程度が検討ケースの中で最大。埋戻し・閉鎖後の回復状況は立地環境に依存。 【力学：M】 ・長期に坑道を開放しておくことで坑道周辺はクリープ現象により応力の回復が起こる。人工バリア周辺応力としては問題ない。 【化学：C】 ・長期に坑道を開放しておくことで、支保工等の劣化・変質による溶出物が処分環境に残置される。この影響は検討ケースⅠが最大 ・換気・排水により処分環境が酸化状態になり、その影響範囲は検討ケースⅠが最大となる。埋戻し後の回復は立地条件に依存
回収する場合	回収しない場合の影響＋回収する場合の影響 【作業リスク】 廃棄体回収に伴うリスクは存在。検討ケースⅠは最小 【周辺環境への影響】 回収廃棄体を地表に搬出・貯蔵することで環境への潜在的なリスクは増加。各検討ケースはほぼ同じ。 【コスト】 回収のための費用が確実に増加（廃棄体までのアクセス坑道が開放されているため、廃棄体回収費用は検討ケースの中で最小）	

表 7.3.2-2　検討ケースⅡの定性的な影響評価結果

処分孔への廃棄体、ベントナイト等の定置が終了し、処分坑道が埋戻され端部にはプラグが設置された状態で一旦作業終了、その後、50年間はアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道が開放された状態で維持されている。建設開始からすると約100年坑道は開放されていることになる。

	回収シナリオ①	回収シナリオ②	回収シナリオ③	回収シナリオ④
状態オプション①		検討ケースⅠ		
状態オプション②		**検討ケースⅡ**		
状態オプション③	検討ケースⅤ	検討ケースⅢ（基本ケース）	検討ケースⅥ	検討ケースⅦ
状態オプション④		検討ケースⅣ		

回収の有無	閉鎖までの影響	閉鎖後の影響
回収しない場合	【作業リスク】 100年にわたり、アクセス坑道から処分坑道まで開放状態を維持することで、支保工の破損による落盤、排水システム損傷による地下水の浸入、換気システムの故障等による作業リスクが徐々に増加、検討ケース中作業リスクは二番目 【周辺環境への影響】 事故や災害の発生リスクが漸増するに従い環境影響へのリスクも漸増。各検討ケースはほぼ同じ。 【コスト】 回収可能性維持のための開放坑道の維持管理費用は確実に増加（全ての坑道が開放されているため、維持管理の費用は検討ケースの中で二番目）	・影響先とその大きさはTHMCで認識 ・全数回収する場合は、処分場を放棄することから長期の安全確保への影響は考慮しない。 【温度：T】 ・廃棄体からの熱は開放期間中に低減 ・換気により環境は大気温、閉鎖後岩盤温度 【水理：H】 ・換気・排水の継続により操業時の影響（不飽和領域の範囲、地下水流動系の変化）の程度が検討ケースの中でケースⅠに次いで大。埋戻し・閉鎖後の回復状況は立地環境に依存。 【力学：M】 ・長期に坑道を開放しておくことで坑道周辺はクリープ現象により応力の回復が起こる。人工バリア周辺応力としては問題ない。 【化学：C】 ・長期に坑道を開放しておくことで、支保工等の劣化・変質による溶出物が処分環境に残置される。この影響は検討ケースⅠが最大 ・換気・排水により処分環境が酸化状態になり、その影響範囲は検討ケースⅠに次いで大きくなる。埋戻し後の回復は立地条件に依存
回収する場合	回収しない場合の影響＋回収する場合の影響 【作業リスク】 廃棄体回収に伴うリスクは存在。検討ケースⅡはケースⅠより大きいが、他のケースより小さい。 【周辺環境への影響】 回収廃棄体を地表に搬出・貯蔵することで環境への潜在的なリスクは増加。各検討ケースはほぼ同じ。 【コスト】 回収のための費用が確実に増加（廃棄体までのアクセス坑道が開放されているため、廃棄体回収費用は検討ケースの中で二番目に少ない）	

表 7.3.2-3　検討ケースⅢの定性的な影響評価結果

処分孔への廃棄体、ベントナイト等の定置が終了し、処分坑道が埋戻され端部にはプラグが設置された状態で一旦作業終了、その後、40年間はアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道が開放された状態で維持されている。建設開始からすると約100年坑道は開放されていることになる。

	回収シナリオ①	回収シナリオ②	回収シナリオ③	回収シナリオ④
状態オプション①		検討ケースⅠ		
状態オプション②		検討ケースⅡ		
状態オプション③	検討ケースⅤ	検討ケースⅢ（基本ケース）	検討ケースⅥ	検討ケースⅦ
状態オプション④		検討ケースⅣ		

回収の有無	閉鎖までの影響	閉鎖後の影響
回収しない場合	【作業リスク】 100年にわたり、アクセス坑道から処分坑道まで開放状態を維持することで、支保工の破損による落盤、排水システム損傷による地下水の浸入、換気システムの故障等による作業リスクが徐々に増加、検討ケース中作業リスクは三番目 【周辺環境への影響】 事故や災害の発生リスクが漸増するに従い環境影響へのリスクも漸増。各検討ケースは同じレベル。 【コスト】 回収可能性維持のための開放坑道の維持管理費用は確実に増加。処分坑道は埋め戻されているので開放坑道延長は短く、維持費用はケースⅠ、Ⅱよりかなり少ない。	・影響先とその大きさはTHMCで認識 ・全数回収する場合は、処分場を放棄することから長期の安全確保への影響は考慮しない。 【温度：T】 ・廃棄体からの熱は開放期間中に低減 ・換気により環境は大気温、閉鎖後岩盤温度 【水理：H】 ・換気・排水の継続により操業時の影響（不飽和領域の範囲、地下水流動系の変化）の程度が検討ケースの中でケースⅠに次いで大。埋戻し・閉鎖後の回復状況は立地環境に依存。 【力学：M】 ・長期に坑道を開放しておくことで坑道周辺はクリープ現象により応力の回復が起こる。人工バリア周辺応力としては問題ない。 【化学：C】 ・長期に坑道を開放しておくことで、支保工等の劣化・変質による溶出物が処分環境に残置される。この影響は検討ケースⅠが最大 ・換気・排水により処分環境が酸化状態になり、その影響範囲は検討ケースⅠに次いで大きくなる。埋戻し後の回復は立地条件に依存
回収する場合	回収しない場合の影響＋回収する場合の影響 【作業リスク】 廃棄体回収に伴うリスクは存在。処分坑道の再掘削による作業リスクが新たに発生。回収リスクを含めるとケースⅡより大 【周辺環境への影響】 回収廃棄体を地表に搬出・貯蔵することで環境への潜在的なリスクは増加。各検討ケースはほぼ同じ。 【コスト】 回収のための費用が確実に増加（処分坑道の再掘削・維持管理・埋戻し費用が発生するため、検討ケースⅠより大）	

表 7.3.2-4　検討ケースⅣの定性的な影響評価結果

処分孔への廃棄体等定置後、処分坑道が埋戻され端部にはプラグが設置され、主要坑道、連絡坑道が埋め戻され一旦作業が終了、その後、40年間はアクセス坑道のみが開放された状態で維持されている。建設段階からの期間では約100年間、開放状態となる。

	回収シナリオ①	回収シナリオ②	回収シナリオ③	回収シナリオ④
状態オプション①		検討ケースⅠ		
状態オプション②		検討ケースⅡ		
状態オプション③	検討ケースⅤ	検討ケースⅢ（基本ケース）	検討ケースⅥ	検討ケースⅦ
状態オプション④		検討ケースⅣ		

回収の有無	閉鎖までの影響	閉鎖後の影響
回収しない場合	【作業リスク】 100年にわたり、アクセス坑道のみを開放状態を維持することで、支保工の破損による落盤、排水システム損傷による地下水の浸入、換気システムの故障等による作業リスクが発生するが検討ケース中最小 【周辺環境への影響】 事故や災害の発生リスクが漸増するに従い環境影響へのリスクも増加。各検討ケースで最小。 【コスト】 回収可能性維持のための開放坑道の維持管理費用は増加するが、アクセス坑道のみなので費用は最小	・影響先とその大きさはTHMCで認識 ・全数回収する場合は、処分場を放棄することから長期の安全確保への影響は考慮しない。 【温度：T】 ・廃棄体からの熱は維持期間中に低減 ・換気により環境は大気温、閉鎖後岩盤温度 【水理：H】 ・換気・排水の継続により操業時の影響（不飽和領域の範囲、地下水流動系の変化）の程度が検討ケースの中で絵教範囲と大きさは最も少ない。戻し・閉鎖後の回復状況は立地環境に依存。 【力学：M】 ・長期に坑道を開放しておくことで坑道周辺はクリープ現象により応力の回復が起こる。人工バリア周辺応力としては問題ない。 【化学：C】 ・長期に坑道を開放しておくことで、支保工等の劣化・変質による溶出物が処分環境に残置される。この影響は最小 ・換気・排水により処分環境が酸化状態になり、その影響範囲は最小。埋戻し後の回復は立地条件に依存
回収する場合	回収しない場合の影響＋回収する場合の影響 【作業リスク】 廃棄体回収に伴い廃棄体までの坑道の再掘削に伴うリスクは最大。回収リスクは同じ。 【周辺環境への影響】 回収廃棄体を地表に搬出・貯蔵することで環境への潜在的なリスクは増加。各検討ケースはほぼ同じ。 【コスト】 連絡坑道、主要坑道、処分坑道の再掘削・維持管理・埋戻し費用が発生するため、回収費用は最大。	

表 7.3.2-5　検討ケースⅤの定性的な影響評価結果

操業期間中に定置された廃棄体を回収するケースで、廃棄体と人工バリアが定置され、処分坑道が埋め戻され、プラグが設定された10年後を想定したケース。処分坑道までのアクセス坑道は開放されている。坑道開放の期間は最大で60年程度

	回収シナリオ①	回収シナリオ②	回収シナリオ③	回収シナリオ④
状態オプション①		検討ケースⅠ		
状態オプション②		検討ケースⅡ		
状態オプション③	検討ケースⅤ	検討ケースⅢ（基本ケース）	検討ケースⅥ	検討ケースⅦ
状態オプション④		検討ケースⅣ		

回収の有無	閉鎖までの影響	閉鎖後の影響
回収しない場合	【作業リスク】 10～60年にわたり、アクセス坑道から処分坑道まで開放状態を維持することで、支保工の破損による落盤、排水システム損傷による地下水の浸入、換気システムの故障等による作業リスクが徐々に増加、検討ケース中作業リスクはケースⅢと同様 【周辺環境への影響】 事故や災害の発生リスクが漸増するに従い環境影響へのリスクも増加。各ケースで同レベル。 【コスト】 回収可能性維持のための開放坑道の維持管理費用は確実に増加。維持管理の費用は検討ケースⅢより小。	・影響先とその大きさはTHMCで認識 ・全数回収する場合は、処分場を放棄することから長期の安全確保への影響は考慮しない。 【温度：T】 ・廃棄体からの熱は維持期間中に低減 ・換気により環境は大気温、閉鎖後岩盤温度 【水理：H】 ・換気・排水の継続により操業時の影響（不飽和領域の範囲、地下水流動系の変化）の程度が検討ケースの中で最も小さい。埋戻し・閉鎖後の回復状況は立地環境に依存。 【力学：M】 ・長期に坑道を開放しておくことで坑道周辺はクリープ現象により応力の回復が起こる。人工バリア周辺応力としては問題ない。 【化学：C】 ・長期に坑道を開放しておくことで、支保工等の劣化・変質による溶出物が処分環境に残置される。この影響は最小。 ・換気・排水により処分環境が酸化状態になり、その影響範囲は最小。埋戻し後の回復は立地条件に依存
回収する場合	回収しない場合の影響＋回収する場合の影響 【作業リスク】 廃棄体回収に伴うリスクは存在。処分坑道の再掘削による作業リスクが新たに発生。回収リスクを含めるとケースⅢと同様 【周辺環境への影響】 温度が高い廃棄体を地表に搬出・貯蔵することで環境への潜在的なリスクは増加。最も負荷が大きくなる。 【コスト】 回収のための費用が確実に増加（処分坑道の再掘削・維持管理・埋戻し費用が発生するため、検討ケースⅢと同様	

表 7.3.2-6　検討ケースⅥの定性的な影響評価結果

処分孔に廃棄体等が定置され、処分坑道が埋戻され端部にはプラグが設定された一旦作業終了。その後100年間、アクセス坑道から主要坑道まで開放された状態が維持されている。建設段階からすると150年間アクセス坑道等を開放しておくことになる。

	回収シナリオ①	回収シナリオ②	回収シナリオ③	回収シナリオ④
状態オプション①		検討ケースⅠ		
状態オプション②		検討ケースⅡ		
状態オプション③	検討ケースⅤ	検討ケースⅢ（基本ケース）	検討ケースⅥ	検討ケースⅦ
状態オプション④		検討ケースⅣ		

回収の有無	閉鎖までの影響	閉鎖後の影響
回収しない場合	【作業リスク】 150年にわたり、アクセス坑道から処分坑道まで開放状態を維持することで、支保工の破損による落盤、排水システム損傷による地下水の浸入、換気システムの故障等による作業リスクが徐々に増加、検討ケース中作業リスクはケースⅢより大きくなる。 【周辺環境への影響】 事故や災害の発生リスクが漸増するに従い環境影響へのリスクも漸増。各検討ケースで同レベル。 【コスト】 回収可能性維持のための開放坑道の維持管理費用は確実に増加（全ての坑道が開放されているため、維持管理の費用は検討ケースⅢより大きくなる。	・影響先とその大きさはTHMCで認識 ・全数回収する場合は、処分場を放棄することから長期の安全確保への影響は考慮しない。 【温度：T】 ・廃棄体からの熱は維持期間中に低減 ・換気により環境は大気温、閉鎖後岩盤温度 【水理：H】 ・換気・排水の継続により操業時の影響（不飽和領域の範囲、地下水流動系の変化）の程度は検討ケースⅢより大。埋戻し・閉鎖後の回復状況は立地環境に依存。 【力学：M】 ・長期に坑道を開放しておくことで坑道周辺はクリープ現象により応力の回復が起こる。人工バリア周辺応力としては問題ない。 【化学：C】 ・長期に坑道を開放しておくことで、支保工等の劣化・変質による溶出物が処分環境に残置される。この影響はケースⅢより大。 ・換気・排水により処分環境が酸化状態になり、その影響範囲はケースⅢより大。埋戻し後の回復は立地条件に依存
回収する場合	回収しない場合の影響＋回収する場合の影響 【作業リスク】 廃棄体回収に伴うリスクは存在。処分坑道の再掘削による作業リスクが新たに発生。回収リスクを含めるとケースⅢより大 【周辺環境への影響】 廃棄体を地表に搬出・貯蔵することで環境への潜在的なリスクは増加。各検討ケースで同レベル。 【コスト】 回収のための費用が確実に増加（処分坑道の再掘削・維持管理・埋戻し費用が発生するため、検討ケースⅢよりやや大	

表 7.3.2-7　検討ケースⅦの定性的な影響評価結果

処分孔に廃棄体、ベントナイトが定置され、処分坑道が埋戻され端部にはプラグが設定された一旦作業終了。その後250年間、アクセス坑道から主要坑道まで開放された状態が維持されている。建設段階からすると坑道は、約300年間開放した状態にある。

	回収シナリオ①	回収シナリオ②	回収シナリオ③	回収シナリオ④
状態オプション①		検討ケースⅠ		
状態オプション②		検討ケースⅡ		
状態オプション③	検討ケースⅤ	検討ケースⅢ（基本ケース）	検討ケースⅥ	検討ケースⅦ
状態オプション④		検討ケースⅣ		

回収の有無	閉鎖までの影響	閉鎖後の影響
回収しない場合	【作業リスク】 300年にわたり、アクセス坑道から処分坑道まで開放状態を維持することで、支保工の破損による落盤、排水システム損傷による地下水の浸入、換気システムの故障等による作業リスクが徐々に増加、検討ケース中作業リスクはケース中最大。 【周辺環境への影響】 事故や災害の発生リスクが漸増するに従い環境影響へのリスクも漸増。検討ケース中ほぼ同じ。 【コスト】 回収可能性維持のための開放坑道の維持管理費用は確実に増加（全ての坑道が開放されているため、維持管理の費用は検討ケースⅥより大きくなる。	・影響先とその大きさはTHMCで認識 ・全数回収する場合は、処分場を放棄することから長期の安全確保への影響は考慮しない。 【温度：T】 ・廃棄体からの熱は維持期間中に低減 ・換気により環境は大気温、閉鎖後岩盤温度 【水理：H】 ・換気・排水の継続により操業時の影響（不飽和領域の範囲、地下水流動系の変化）の程度は検討ケース中最大。埋戻し・閉鎖後の回復状況は立地環境に依存。 【力学：M】 ・長期に坑道を開放しておくことで坑道周辺はクリープ現象により応力の回復が起こる。人工バリア周辺応力としては問題ない。 【化学：C】 ・長期に坑道を開放しておくことで、支保工等の劣化・変質による溶出物が処分環境に残置される。この影響は検討ケース中最大。 ・換気・排水により処分環境が酸化状態になり、その影響範囲は検討ケース中最大。埋戻し後の回復は立地条件に依存
回収する場合	回収しない場合の影響＋回収する場合の影響 【作業リスク】 廃棄体回収に伴うリスクは存在。処分坑道の再掘削による作業リスクが新たに発生。回収リスクを含めるとケースⅥより大 【周辺環境への影響】 廃棄体を地表に搬出・貯蔵することで環境への潜在的なリスクは増加。各検討ケースで同様。 【コスト】 回収のための費用が確実に増加（処分坑道の再掘削・維持管理・埋戻し費用が発生するため、検討ケースⅥよりやや大	

(4) 検討ケースの影響評価結果の定性的な比較

本節では、各検討ケースにおける回収しない場合と回収する場合の閉鎖前と閉鎖後への定性的な影響評価結果をベースに、想定される影響の範囲や大きさに着目し、定性的な比較を実施する。

1) 閉鎖前の影響比較

閉鎖前の影響について、検討ケースそれぞれの比較結果を表 7.3.2-8 に示す。回収しない場合の作業リスク、環境影響、コストに関しては、処分坑道の解放範囲の大きさと開放している期間に比例して大きくなっていく。検討ケースの中では検討ケースⅠが作業リスク、環境影響、コストが最も大きくなる。

回収する場合、作業の複雑さは、埋め戻している坑道の範囲と期間に比例する。検討ケースの中ではケースⅣ（アクセス坑道のみが開放されている場合）が回収時の作業リスク、環境影響、コストが高くなる。この傾向は、回収可能性を維持している期間の長さに比例して大きくなる。

表 7.3.2-8 検討ケースの影響評価結果の比較（閉鎖前の影響）

回収の有無	閉鎖前の影響
回収しない場合	回収可能性維持のために、アクセス坑道等を長期にわたり開放することの閉鎖前の影響（多くは処分事業への影響）を取りまとめる。 【作業リスク】 アクセス坑道から処分孔まで異なる状態オプションで開放状態を維持することで、支保工の破損による落盤、排水システム損傷による地下水の浸入などの作業環境に与える影響、あるいは作業リスクが検討ケースⅣ⇒Ⅲ⇒Ⅱ⇒Ⅰの順に大きくなる。類似の仕様で坑道設計がなされている場合、このリスクは開放坑道の延長に比例する。また、開放している期間に比例するため、期間的に見れば、検討ケースⅤ⇒Ⅲ⇒Ⅵ⇒Ⅶの順にリスクは大きくなるが、坑道延長からⅡやⅠ比較して小さい。 【周辺環境への影響】 開放坑道の延長、期間に対応して事故や災害の発生リスクが漸増するに従い地表の周辺環境影響も変化するが、各検討ケースでは、ほぼ同じ。 【コスト】 回収可能性維持のための開放坑道維持のための費用は作業リスクに比例する。
回収する場合	回収性を維持しつつ回収作業による影響を考慮する。 【作業リスク】 廃棄体回収作業に伴うリスクは、坑道の再掘削が伴う埋戻し延長に比例する。回収維持期間が長くなると支保材等の劣化・変質が進むことになるため、アクセスする場合のリスクが増加する。またベントナイトの再冠水が進み、撤去に伴う作業負荷が増える。検討ケースⅣが最大で、次に検討ケースⅦ⇒Ⅵ⇒Ⅲの順にリスクは小さくなる。 【周辺環境への影響】 廃棄体を地表に搬出・貯蔵することで環境への潜在的なリスクは増加。各検討ケースで同様。 【コスト】 作業リスクに比例して費用が増加する。

2) 閉鎖後の影響比較

閉鎖後の影響に関して、回収しない場合と回収する場合の検討ケースの結果をそれぞれ、表 7.3.2-9 と表 7.3.2-10 に示す。閉鎖後への影響は処分システムのセーフティケースに着目し、安全評価の前提となる地下水流動場やフラックス、地化学特性への影響を取りまとめた。

回収しない場合は、開放の範囲が大きく、かつ開放期間が長い場合に影響が大きくなると推定される。この影響には二つのケースが考えられる。一つは、開放していることの影響範囲の広がり、もう一つは閉鎖後の埋戻しによる影響の回復の可能性である。開放範囲が狭く、開放期間が短ければ、影響回復の可能性は高くなる。影響の程度と回復の速さは、処分場の立地環境に依存する。

表 7.3.2-9 検討ケースの影響評価結果の比較（閉鎖後：回収しない場合）

回収の有無	閉鎖後への影響（主として安全確保）
回収しない場合	・閉鎖後への影響の規模（範囲、大きさ）は、立地環境、レイアウト、開放している坑道の延長、開放期間に比例する。影響を受けた環境が元の状態に回復するかどうか、する場合その速度については、処分場が立地する地形と地質環境に依存する。場合によっては、元の状態に戻らない場合も想定される。この場合、安全評価に与える影響は大きくなる。このような閉鎖後の安全確保への影響は、地質環境特性（THMC）と人工バリア品質への影響に分別できる。 【温度：T】 ・回収維持期間中に廃棄体の発熱は低下するとともに換気により温度は下がり、周辺に与える影響は無視できるレベルとなる。 【水理：H】 ・建設・操業段階から継続して換気・排水をするため、坑道周辺の間隙水圧が低下、不飽和領域が発生し、地下水流動場の変化が発生する可能性がある。この影響は、開放坑道延長が長くなる検討ケースⅣ⇒Ⅲ⇒Ⅱ⇒Ⅰの順で大きくなる。影響の範囲は処分場スケールとなるが、その規模や閉鎖後の回復状況は立地環境に依存する。ケースⅥ、Ⅶでは、アクセス坑道等が長期にわたり開放されるがその影響の範囲はケースⅠやⅡに比較して小さい。 【力学：M】 ・坑道開放期間の延長により、岩盤応力状態は変化するが、長期的には初期応力に回復すると想定されるため安全確保に与える影響は無視できる。 【化学：C】 ・開放期間の換気・排水の影響で坑道周辺が酸化状態が継続し、また大気中に含まれる微生物の活動が活発になる。これらの影響は、維持期間が長くなれば顕著となる。埋戻し後どの程度期間で元の還元雰囲気に回復するかは、水理環境の回復と関係する。腐食や微生物活動により酸素が消費されるプロセスも考えられる。 【人工バリア品質】 ・検討ケースⅠでは、処分孔を長期に開放することでの水理、化学的な影響が発生する可能性がある（ベントナイトの偏膨張、オーバーパックの腐食など）。

表 7.3.2-10　検討ケースの影響評価結果の比較（閉鎖後：回収する場合）

回収の有無	閉鎖後への影響（主として安全確保）
一部の廃棄体を回収する場合（回収された廃棄体は再度同じ処分場に定置される）	一部を回収する場合、二つの状態を考慮する必要がある。 ①廃棄体回収後、処分孔の状態を確認し、再度同じ処分孔に定置しなおす場合 ②あるエリア（例えば１パネル）の廃棄体を回収し、他のパネルに定置しなおす場合。この場合、回収されたパネルは放棄される。 状態①：回収された元の位置に再定置される場合 【温度：T】廃棄体は発熱したまま回収される。処分孔周辺には発熱の影響は残存するが速やかに再定置されればその影響は小さい。 【水理：H】再定置されることで回収されたことの影響はない。 【力学：M】再定置されることで回収されたことの影響はない。 【化学：C】再定置されることで回収されたことの影響はない。 【人工バリア品質】回収された廃棄体の品質は検査され、適切な処置を施されることから回収の影響は残らない。 状態②：回収された別の場所に再定置される場合（パネル単位で建設・定置・埋戻しが展開される場合と類似の影響となる） 【温度：T】パネルの温度の影響は速やかに解消され、周辺岩盤温度に戻る。 【水理：H】回収のための再掘削での影響は発生するが、速やかに埋め戻されることで影響の規模は限定され、他のパネルに影響を及ぼすことはない。 【力学：M】回収のための再掘削によりパネル規模での岩盤応力分布は影響を受けるが速やかに埋め戻すことで影響は緩和されていく。隣接するパネルへの影響は限定的である。 【化学：C】水理学的な影響と換気により化学環境は変化するが、速やかに埋め戻すことで隣接するパネルへの影響は限定的となる。 【人工バリア品質】回収された廃棄体の品質は検査され、適切な処置を施されることから回収の影響は残らない。

回収をする場合、廃棄体の回収には、一部を回収する場合と全数を回収する場合があり、その影響の程度は異なる。一部を回収する場合は、通常の建設・操業の逆くのプロセスで回収後の処分孔の再使用の有無も含め、回収と再定置にかかる作業時間が短いため、それらの作業の影響の程度は小さいと推定される。全てを回収する場合、処分場としての再利用はしないと考えられることから、閉鎖後への処分システムのセーフティケースへの影響は考慮する必要がなくなる。

3)　影響の程度の考え方

回収可能性を維持しつつ回収しない場合と回収する場合の閉鎖前と閉鎖後の影響の程度を処分場の維持形態（状態オプション）と回収維持期間（回収シナリオ）に着目して模式的に表示した。図 7.3.2-27 には、回収可能性維持形態の違いによる影響の程度を閉鎖前と閉鎖後について記している。回収しない場合、閉鎖前の影響（作業リスク、環境影響および事業コスト）は、開放している範囲が大きくなるに従い増大していく。一方、回収する場合、閉鎖前の影響は開放範囲が小さい場合ほどその影響は大きくなる。

回収しない場合の閉鎖後の影響は、各スケール（処分場スケール、パネルスケール、処分孔スケール）とも維持形態の開放範囲が大きくなるほど程度が大きくなっていく。一方、回収する場合は、再掘削が多いほど影響があると考えられ、開放範囲が小さくなるほど、再掘削による影響が大きくなると予測できる。

回収維持期間の長さについては、図 7.3.2-28 に、基本ケースの場合の回収しない場合と回収する場合の閉鎖前と閉鎖後の影響の程度の変化について示す。回収しない場合は、閉鎖前の影響、閉鎖後の影響はいずれも維持期間が長くなるに従い、影響の程度が大きくなると考えられる。回収する場合、閉鎖前の影響は、維持期間の長さに従い、回収しない場合よりも回収作業が発生することからより影響は大きくなる。閉鎖後のセーフティケースに関わる地質環境への影響は、維持管理による影響が支配的で、回収作業では数年間処分坑道が開放、その後速やかに埋戻されることから、その影響は小さいと予測できる。

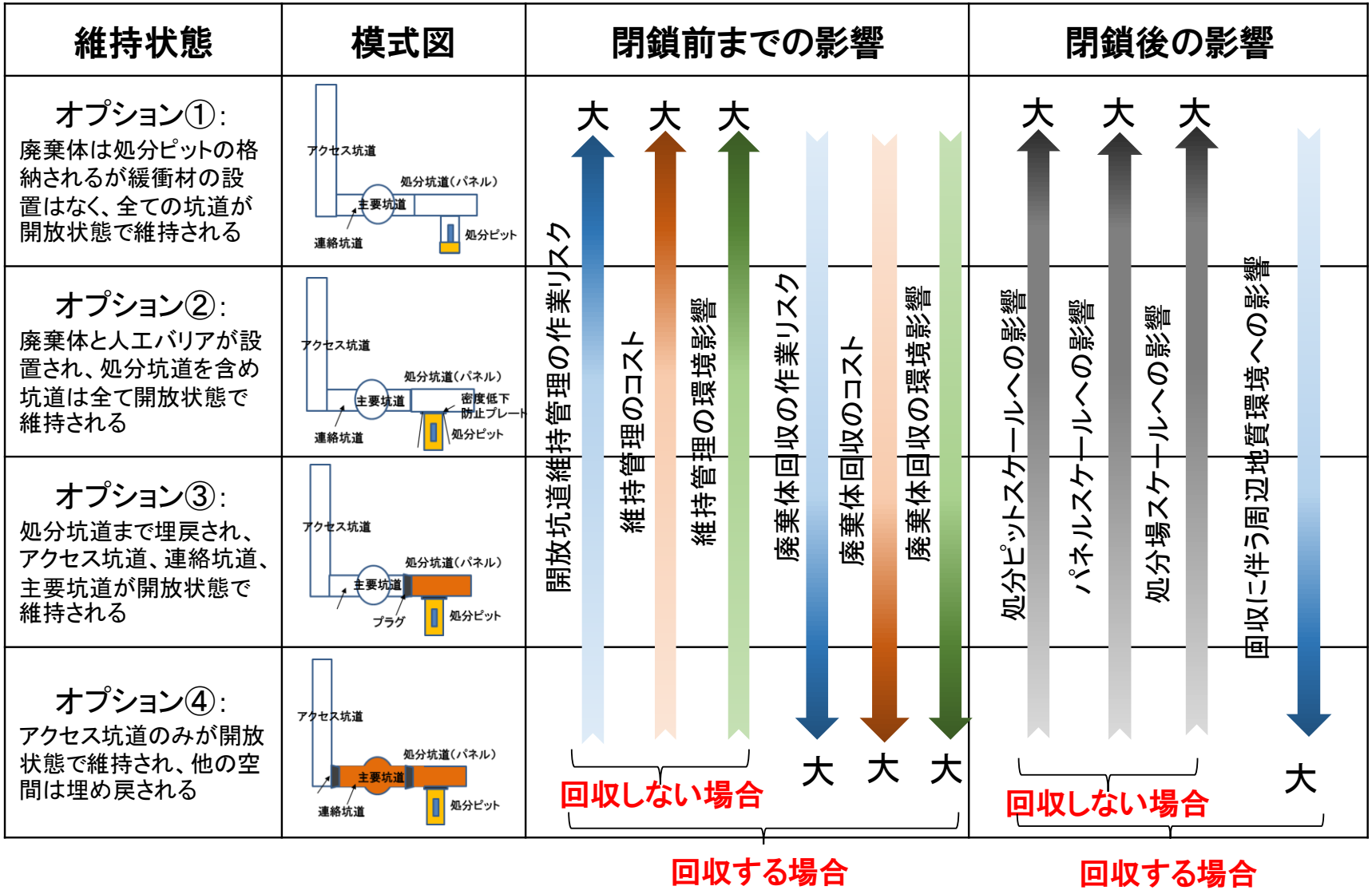


図 7.3.2-27　処分場の状態オプションの違いによる影響の程度の比較

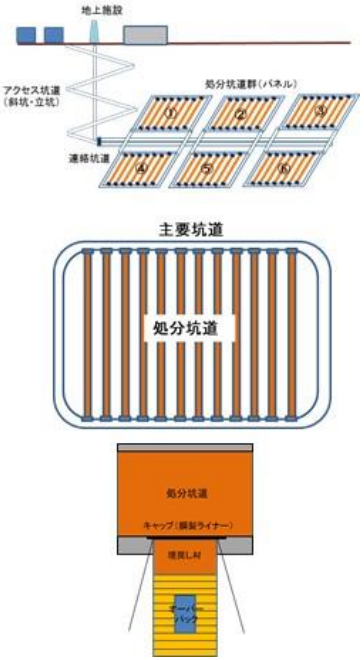
状態オプション③			閉鎖前の影響				閉鎖後の影響			
	定置後		10年	50年	100年	250	10年	50年	100年	250年
	アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道を定置後開放した状態で維持し、回収する場合は、パネルごとに処分坑道を再掘削することで廃棄体を回収していく。 	回収しない場合	坑道維持管理作業のリスク 維持管理による地表への環境影響 維持管理による費用				維持管理による地下温度への影響 維持管理による力学的影響 維持管理による地下水理への影響 維持管理による地下化学への影響		
		回収する場合	回収作業のリスク 回収による地表への環境影響 回収による費用 回収する場合いの影響は、坑道の維持管理との合計となる。回収作業が追加されることで全ての影響は、維持期間に比例して大きくなる。				回収による地下温度への影響 回収による力学的影響 回収による地下水理への影響 回収による地下化学への影響 閉鎖後の安全確保に関わる地質環境への影響は、維持管理による影響が支配的で、回収作業では数年間処分坑道が開放、その後速やかに埋戻されるから影響は小さいと推定される。			

図 7.3.2-28　回収維持期間の違いによる影響の程度の比較

7.3.3　技術要素マップ作成方針の具体化、手順、方法、例の原案作成

7.3.1 および 7.3.2 の検討内容をもとに、技術要素マップ作成方針の具体化として、手順、方法、例の原案となる枠組みの作成を行った。

(1)　技術要素マップ作成方針の具体化、手順、方法

技術要素マップ作成方針は、基本ケースを対象とした影響評価、対応策の検討成果に基づき、回収可能性維持期間と回収時の状態オプションをシナリオとした必要技術（維持管理、廃棄体回収、回収後補修、影響評価、影響低減対策等の技術）を設定し、それらの区分を整理することにより技術要素マップの枠組みを構築することとした。

基本ケースでの技術体系と要素技術例を図 7.3.3-1 に示す。技術要素マップは、「回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響を評価する」ために必要となる技術の相互関係を視覚的に結び付けるとともに、関連する技術を体系的に示していくことを目指し、想定される処分概念や維持期間および回収シナリオを考慮して必要技術と技術課題を取りまとめた。

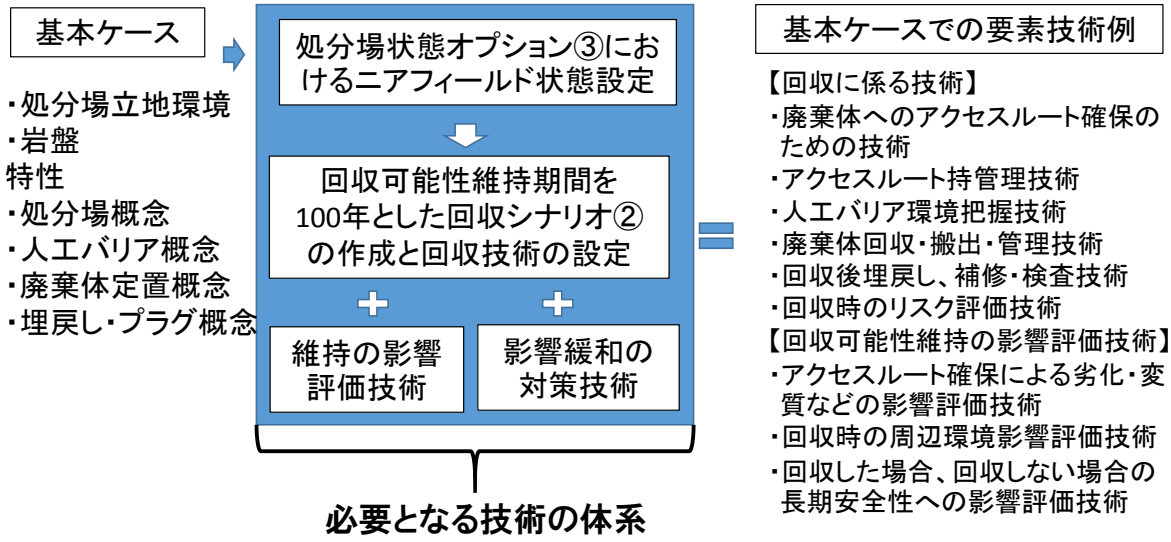


図 7.3.3-1　基本ケースでの技術体系と要素技術例

技術要素マップ作成の考え方に基づく技術要素マップ作成手順および方法は図 7.3.3-2 に示す通りである。本節では技術要素マップ作成方針の具体化、手順、方法、例の原案作成を示すことを目的としているため、作成手順ⅳまでの内容を記すこととし、残りの手順ⅴ～ⅷは次章に記す。

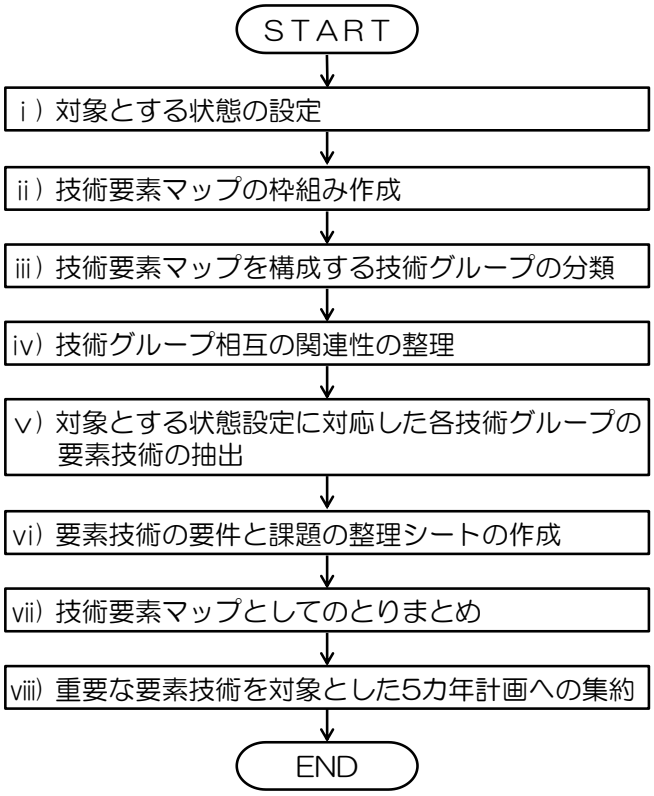


図 7.3.3-2　技術要素マップの作成手順

(2) 技術要素マップの枠組み

技術要素マップは、技術群を系統的に整理したものとする。回収可能性維持に係わる技術は、状態オプションにより変化する回収対象を考慮した技術要素群のマトリクスにより整理する。技術要素マップの枠組みの例を図 7.3.3-3 に示す。技術要素マップの縦軸は各スケールでの対象とする坑道（アクセス坑道および連絡坑道、主要坑道、処分坑道）、処分孔、人工バリアとそれぞれの構成要素（構成部材等）とし、横軸は回収可能性維持に係る技術グループとし、各技術グループは技術要素を含むものとする。ここで、技術要素マップに示される技術要素の網羅性・確実性をさらに高めるために、各坑道等の使用部材とそれらの経時変化を整理して技術要素マップの構成要素として考慮した。すなわち、ある役割を有する構成要素が時間の経過による劣化等により、本来期待された役割が果たせなくなったときには何らかの対策工が必要となり、対応する工学的対策が技術要素マップに示されることとなる。本検討では第 2 次取りまとめを基本としているため、第 2 次取りまとめで示された部材を構成要素として技術要素マップの縦軸に考慮した。また、各構成要素の変化（劣化）は平成 25 年度に実施された地層処分回収技術高度化開発報告書 [9] を参照して整理した。

検討ケース毎に作成された技術要素マップを比較することにより、状態オプションや回収シナリオの違いによる技術要素の違いが明らかとなる。基本ケースを対象とした技術要素マップを図 7.3.3-4 に示す。なお、回収可能性維持に伴う技術グループの詳細は次項で述べる。

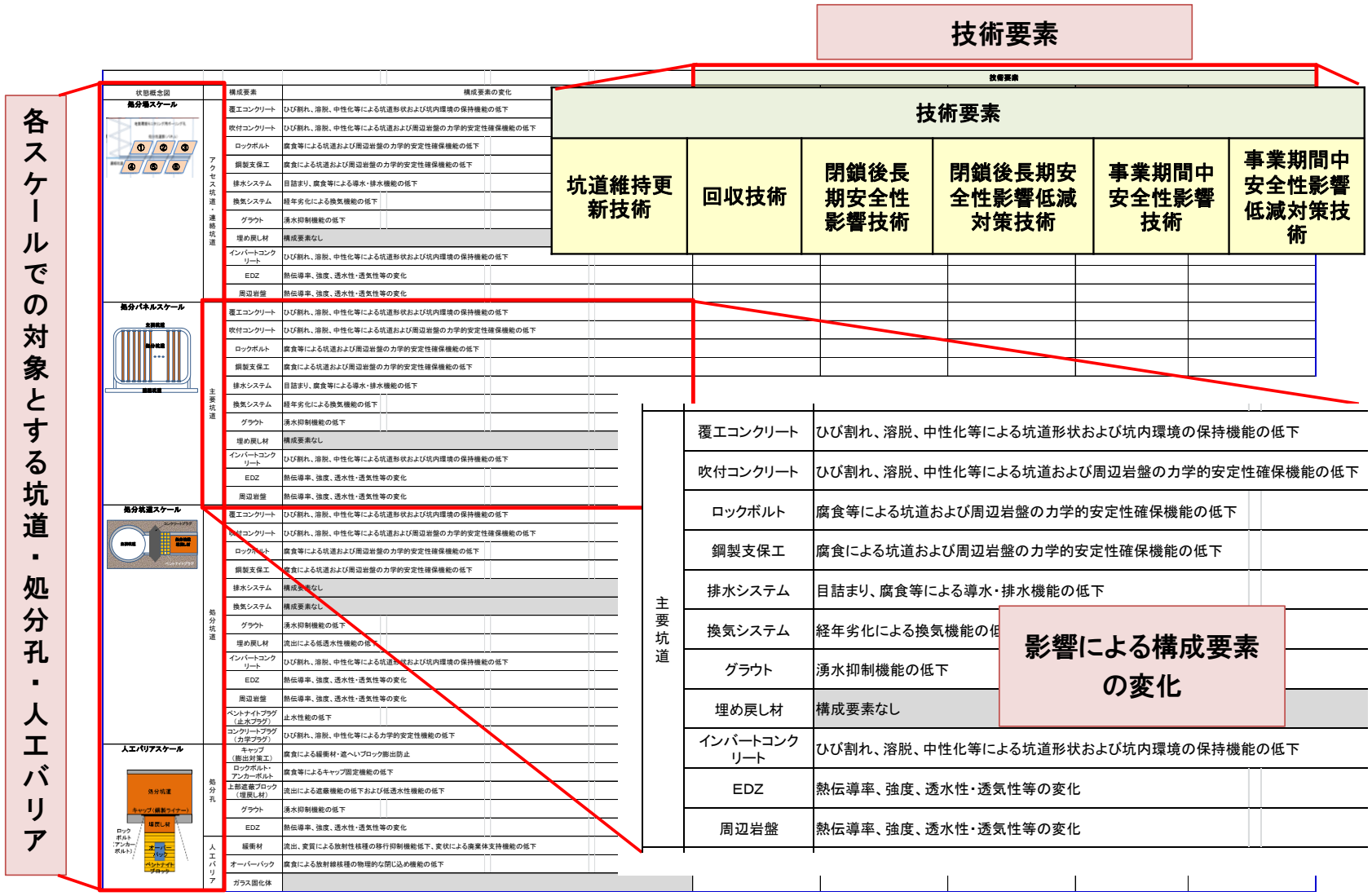


図 7.3.3-3　技術要素マップの枠組み

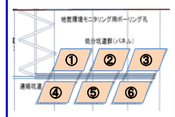
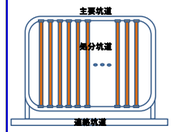
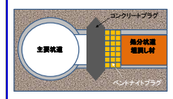
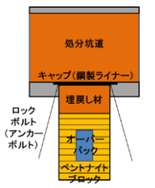
技術要素マップ：検討ケースⅢ（基本ケース、状態オプション③、回収シナリオ②）				技術要素　青字：坑道維持更新に係る技術、赤字：回収に係る技術、黒字：坑道維持更新、回収ともに係る技術					
状態概念図	構成要素		構成要素の変化	A. 坑道維持更新技術 A-1.支保工等維持管理・更新技術 A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術	B. 回収技術 B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術 C-1.バリア性能評価技術	D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術 D-1.坑道維持更新技術高度化 D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E. 事業期間中安全性への影響評価技術 E-1.作業リスク評価技術 E-2.環境影響評価技術 E-3.コスト評価技術	F. 事業期間中安全性への影響低減対策技術 F-1.坑道維持更新技術高度化 F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
処分場スケール 	アクセス坑道・連絡坑道	覆工コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分パネルスケール 	主要坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分坑道スケール 	処分坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	流出による低透水性機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ベントナイトプラグ（止水プラグ）	止水性能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		コンクリートプラグ（力学プラグ）	ひび割れ、溶脱、中性化等による力学的安定性機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
人工バリアスケール 	処分孔	キャップ（膨出対策工）	腐食による緩衝材・遮へいブロック膨出防止		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト・アンカーボルト	腐食等によるキャップ固定機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		上部遮蔽ブロック（埋戻し材）	流出による遮蔽機能の低下および低透水性機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
	人工バリア	緩衝材	流出、変質による放射性核種の移行抑制機能低下、変状による廃棄体支持機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		オーバーパック	腐食による放射線核種の物理的な閉じ込め機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ガラス固化体							

図 7.3.3-4　基本ケース（回収維持状態オプション③、回収シナリオ②）の技術要素マップ

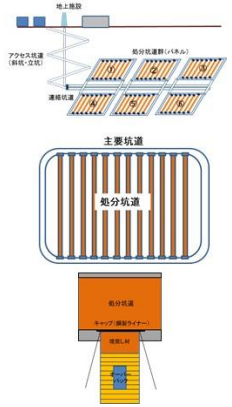
(3) 技術要素マップを構成する技術グループの分類と技術グループの相互の関連性の整理

技術要素マップを構成する技術グループについて分類および整理を行った。技術グループの分類は、これまで検討した PID による影響伝搬の分析結果や、回収可能性維持の状態・期間の違いによる、閉鎖後長期および事業期間中の安全性への影響種類と程度のまとめを踏まえたものである。回収可能性維持に係わる技術体系は、維持状態と回収対象によって選択される技術要素が異なるものの、図 7.3.3-5 に示す A～F の 6 つの技術群から構成されるものとした。技術群は、ハード技術とソフト技術からなる。

回収可能性維持に伴う技術要素は、回収可能性を維持しつつ回収しない場合と回収する場合に大別でき、それらは、坑道の維持管理・更新技術群と回収技術群からなる。維持管理・更新技術群には、初期品質向上技術や維持管理・更新技術がある。坑道の維持管理・更新と回収の影響として閉鎖後長期の安全性への影響と事業期間中の安全性への影響があると考えられる。さらにそれぞれの安全性への影響について、影響評価技術（ソフト）および影響低減対策技術（ハード）が存在すると考えられる。回収可能性維持による閉鎖後長期の安全性への影響（多重バリアシステムの安全機能への影響）評価技術は、評価対象スケールの違いはあるものの回収しないケースも回収したケースも同様となる。影響低減対策技術は、維持管理・更新技術や回収技術の高度化もしくは合理性向上技術となる。

従って、技術要素のグループは坑道維持更新と回収技術に関する技術、閉鎖後長期の安全性への影響に関する技術、事業期間中の安全性に関する技術に大別され、坑道維持更新と回収技術に関する技術は「坑道維持更新技術（ハード)」、「回収技術（ソフト)」、閉鎖後長期の安全性への影響に関する技術は「閉鎖後長期の安全性への影響評価技術（ソフト)」、「閉鎖後長期の安全性への影響低減対策技術（ハード)」、さらに事業期間中の安全性に関する技術は「事業期間中の安全性への影響評価技術（ソフト)、「事業期間中の安全性への影響低減対策（ハード)」の技術群に分類するものと設定する。技術要素マップの技術体系を構成する技術群の内容と要件をまとめ、表 7.3.3-1 に示す。ここで示す技術群の技術内容や必要技術例は、前章において検討した状態変遷表、概念成立のための対策工および対策工を考慮した際の PID による影響伝搬の分析に基づき整理した内容となっている。

維持状態と回収対象



構成部材	
坑道環境	坑道
岩盤	支保コンクリート
EDZ	ロックボルト
人工バリア	埋め戻し材
上部埋め戻し材	ベントナイトプラグ（止水プラグ）
緩衝材	
オーバーパック	コンクリートプラグ（力学プラグ）

図 7.3.3-5　回収可能性維持に係わる技術体系

表 7.3.3-1　技術要素マップの技術体系を構成する技術群の内容と要件

	技術の分類	技術内容	必要技術例	技術に求められる要件
維持更新と回収技術	A. 坑道維持更新技術	アクセス坑道等を長期に開放した状態を維持するために、坑道の力学的安定性や環境を維持するための技術 ・坑道内環境の維持と更新	・支保工等の維持管理・更新技術 異常発生監視・点検技術、劣化診断技術、補強・修復技術 ・排水・換気設備の維持管理・更新技術	・現状技術の延長線上で対応できる技術であること（影響評価のため）
	B. 回収技術	廃棄体回収時に用いる一連の技術 ・廃棄体へのアクセス、回収、搬出、管理等	・廃棄体へのアクセス技術 （プラグ・埋め戻し材除去技術） ・廃棄体回収・搬出技術 ・回収後の維持管理技術	・現状技術の延長線上で対応できる技術であること（影響評価のため）
閉鎖後長期の安全性	C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術	坑道開放と回収が長期安全性に与える影響を評価するための技術 ・坑道等開放による影響（程度、範囲）予測	・バリア性能評価技術（評価手法（シナリオ作成）、モデル化技術、データベース開発）	・多重バリアシステムの安全機能への影響が定量的に評価できること （処分サイトの条件、維持管理・補修対策、維持管理期間に依存）
	D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術	坑道開放と回収による長期安全性への影響を低減するための技術 ・周辺坑道の水理学的影響低減 ・地化学的影響低減 ・人工バリア初期性能への影響低減	・坑道維持更新技術の高度化 （A.維持更新技術の高度化 ：初期品質向上、維持・更新高度化） ・回収技術の合理性向上 （B.回収技術の高度化） ・計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化	・安全機能への影響を低減できる可能性のある技術であること ・長期への影響を考慮した合理性（高度化や容易性の向上）の追求
事業期間中の安全性	E.事業期間中安全性への影響評価技術	坑道開放および回収作業時の作業リスク、周辺環境影響、コスト評価のための技術 ・放射線安全、一般労働安全性の評価 ・周辺環境影響の評価 ・コストの評価	・作業リスク評価技術 ・環境影響評価技術 ・コスト評価技術	・労働安全衛生法 ・電離放射線障害防止規則 ・環境影響防止法 ・コスト評価では根拠が必要
	F.事業期間中安全性への影響低減対策技術	坑道開放および回収に伴う影響を低減するための対応技術	・坑道維持更新技術の高度化 （A.維持更新技術の高度化 ：初期品質向上、維持・更新高度化） ・回収技術の合理性向上 （B.回収技術の高度化） ・計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化	・安全機能（安全対策）への影響を低減できる可能性のある技術であること ・事業期間中の安全性への影響を考慮した合理性（高度化やの容易性の向上）の追求

7.4　技術要素マップの作成

7.4.1　技術要素マップ作成の対象範囲の設定

前節で示した技術要素マップ作成方針と枠組みに基づき、技術要素マップを作成する。技術要素マップの作成にあたり、はじめに対象範囲を設定した。技術要素マップの作成は図 7.4.1-1 に示すように、PID による分析を行った検討ケースⅠ～Ⅷの全てのケースを対象とする。図中の赤枠で示した全ての検討ケースを対象とすることにより、回収可能性を維持する状態および期間の違いによる技術要素の変化の傾向が明らかとなる。

また、技術要素マップで取り扱う技術要素は、回収の容易性を考慮しない概念から始めるが、将来的な展開も考慮して回収可能性維持に係る合理性（高度化や容易性）を考慮する対策についても検討範囲に含める。

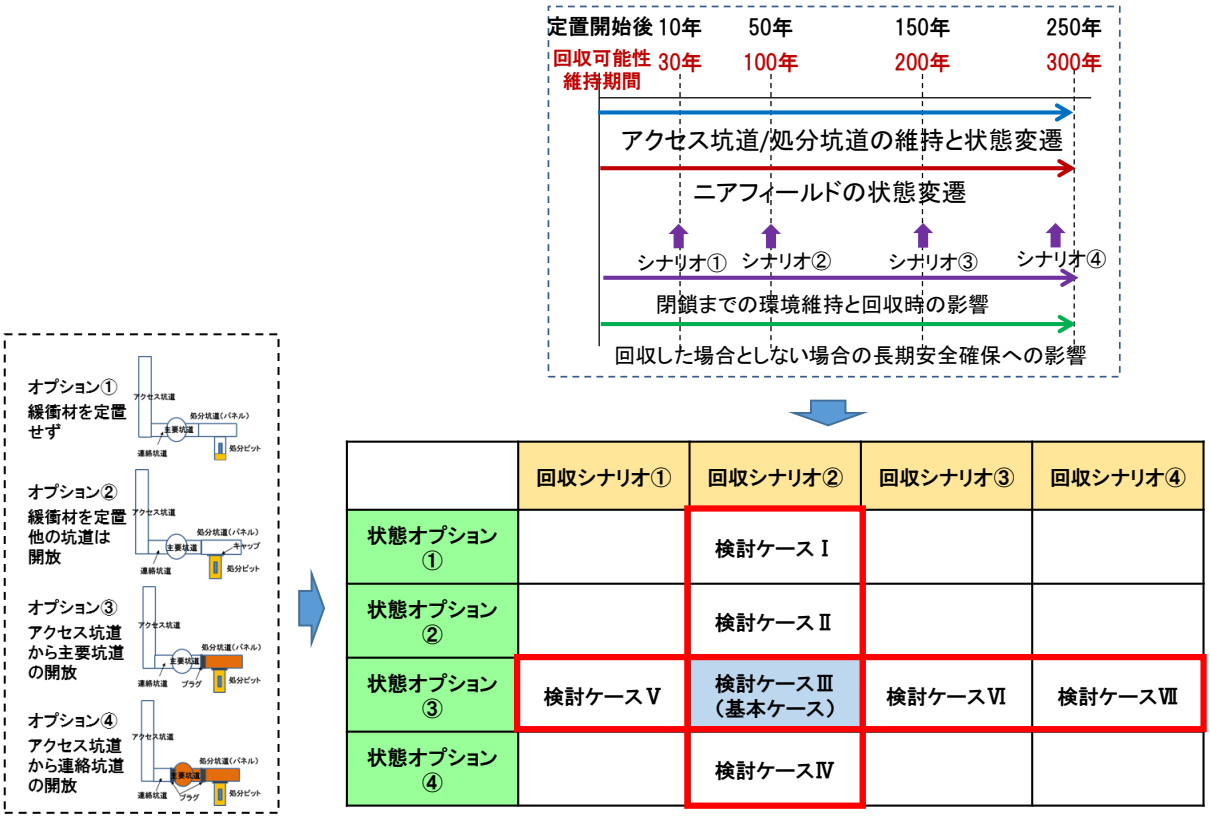


図 7.4.1-1　技術要素マップ作成の対象範囲の設定

7.4.2　技術要素マップの作成と技術課題の整理

(1) 技術要素マップにおける技術群の展開

7.3.3(3)で技術要素マップの技術体系を構成する技術群を図 7.3.3-5 に示した。表中の技術群の技術内容や必要技術例は、前章において検討した状態変遷表、概念成立のための対策工および対策工を考慮した際の PID による影響伝搬の分析を踏まえた内容となっている。これらの技術群について、技術要素マップ上に示すために技術内容や必要技術例、技術に求められる要件に基づき展開を行い、技術の要素として整理したものを表 7.4.2-1～表 7.4.2-3 に示す。

表 7.4.2-1 は「維持更新と回収技術」の「A. 坑道維持更新技術」、「B. 回収技術」についての展開を示している。この二つの技術群は現状技術の延長線上で対応できる技術であることが要件である。「A. 坑道維持更新技術」はハード技術であり、一般的なトンネルで適用されている「A-1：支保工等の維持管理・更新技術」、「A-2：排水・換気設備、その他（電源・防災・避難等）の維持管理・更新技術」へと展開した。技術要素の具体的な内容は、「A-1：支保工等の維持管理・更新技術」、「A-2：排水・換気設備、その他の維持管理・更新技術」共に異常発生監視・点検技術、劣化診断技術、補強・修復技術となる。「B. 回収技術」は廃棄体回収時に用いる一連のハード技術であり、「B-1：廃棄体へのアクセス技術」、「B-2：廃棄体回収・搬出技術」、「B-3：回収後の維持管理技術」に展開した。技術要素の具体的な内容は、「B-1：廃棄体へのアクセス技術」については、プラグ撤去技術、埋め戻し材除去技術となり、「B-2：廃棄体回収・搬出技術」については、回収用設備・機材設置技術、処分孔上部の緩衝材撤去技術、オーバーパック回収技術となる。「B-3：回収後の維持管理技術」については、埋め戻し技術、廃棄体管理技術となる。この「B.回収技術」についての必要な一連のタスクの詳細は後述する。

表 7.4.2-2 は「閉鎖後長期の安全性」の「C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術」、「D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術」についての展開を示している。「C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術」はソフト技術であり、多重バリアシステムの安全機能への影響が定量的に評価できることが要件である。技術の展開としては「C-1：バリア性能 評価技術」にまとめられる。技術要素の具体的な内容は、評価手法〔シナリオ設定〕、モデル設定、データベース開発となる。「D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術」は、坑道開放と回収による長期安全性への影響を低減するためのハード技術である。これは安全機能への影響を低減できる可能性のある技術であることや、長期への影響を考慮した合理性（高度化や容易性の向上）に関する技術であり、「D-1：坑道維持更新技術の高度化」、「D-2：回収技術の合理性向上」、「D-3 ：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」に展開した。技術要素の具体的な内容は、「D-1：坑道維持更新技術の高度化」については、技術群「A. 坑道維持更新技術」の高度化であり、初期品質向上と維持・更新高度化となる。「D-2：回収技術の合理性向上」については、「B. 回収技術」の高度化となる。「D-3 ：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は坑道維持、周辺環境影響、回収に係る計測・測定技術となる。

表 7.4.2-3 は「事業期間中の安全性」の「E.事業期間中安全性への影響評価技術」、「F.事業期間中安全性への影響低減対策技術」についての展開を示している。「E.事業期間中安全性への影響評価技術」は、坑道開放および回収作業時の作業リスク、周辺環境影響、コスト評価のためのソフト技術であり、「E-1：作業リスク評価技術」、「E-2：環境影響評価技術」、「E-3：コスト

評価技術」に展開した。技術要素の具体的な内容は、「E-1：作業リスク評価技術」については、放射性安全評価、一般労働安全評価であり、「E-2：環境影響評価技術」は環境影響評価、「E-3：コスト評価技術」はコスト評価となる。「F.事業期間中安全性への影響低減対策技術」は、坑道開放および回収に伴う影響を低減するためのハード技術である。すなわち、安全機能（安全対策）への影響を低減できる可能性のある技術であることや、事業期間中の安全性への影響を考慮した合理性（高度化や容易性の向上）に関する技術であり、「F-1：坑道維持更新技術の高度化」、「F-2：回収技術の合理性向上」、「F-3　：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」へと展開した。技術要素の具体的な内容は、「F-1：坑道維持更新技術の高度化」については、技術群「A. 坑道維持更新技術」の高度化であり、初期品質向上と維持・更新高度化となる。「D-2：回収技術の合理性向上」については、「B. 回収技術」の高度化となり、「D-3　：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は坑道維持、周辺環境影響、回収に係る計測・測定技術となる。

表 7.4.2-1　技術要素マップにおける技術群の展開
（技術群 A および技術群 B：維持更新と回収技術）

	技術の分類
維持更新と回収技術	A. 坑道維持更新技術
	B. 回収技術
閉鎖後長期の安全性	C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術
	D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術
事業期間中の安全性	E.事業期間中安全性への影響評価技術
	F.事業期間中安全性への影響低減対策技術

	技術の分類（技術群）	技術内容	技術に求められる要件	技術群の展開
維持更新と回収技術	**A. 坑道維持更新技術**	アクセス坑道等を長期に開放した状態を維持するために、坑道の力学的安定性や環境を維持するための技術 ・坑道内環境の維持と更新	・現状技術の延長線上で対応できる技術であること（影響評価のため）	**A-1：支保工等の維持管理・更新技術** （異常発生監視・点検技術、劣化診断技術、補強・修復技術）
				A-2 ： 排水・換気設備、その他（電源・防災・避難等）の維持管理・更新技術 （異常発生監視・点検技術、劣化診断技術、補強・修復技術）
	B. 回収技術	廃棄体回収時に用いる一連の技術 ・廃棄体へのアクセス、回収、搬出、管理等	・現状技術の延長線上で対応できる技術であること（影響評価のため）	**B-1 ：廃棄体へのアクセス技術** （プラグ撤去技術、埋め戻し材除去技術）
				B-2：廃棄体回収・搬出技術 （回収用設備・機材設置技術、処分場上部埋戻撤去技術、オーバーパック回収技術）
				B-3：回収後の維持管理技術 （埋め戻し技術、廃棄体管理技術）

表 7.4.2-2　技術要素マップにおける技術群の展開

（技術群 C および技術群 D：閉鎖後長期の安全性）

	技術の分類
維持更新と回収技術	A. 坑道維持管理技術
	B. 回収技術
閉鎖後長期の安全性	C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術
	D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術
事業期間中の安全性	E.事業期間中安全性への影響評価技術
	F.事業期間中安全性への影響低減対策技術

	技術の分類（技術群）	技術内容	技術に求められる要件	技術群の展開
閉鎖後長期の安全性	**C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術**	坑道開放と回収が長期安全性に与える影響を評価するための技術 ・坑道等開放による影響（程度、範囲）予測	・多重バリアシステムの安全機能への影響が定量的に評価できること （処分サイトの条件、維持管理・補修対策、維持管理期間に依存）	**C-1：バリア性能 評価技術** （評価手法〔シナリオ設定〕、モデル設定、データベース開発）
	D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術	坑道開放と回収による長期安全性への影響を低減するための技術 ・周辺坑道の水理学的影響低減 ・地化学的影響低減 ・人工バリア初期性能への影響低減	・安全機能への影響を低減できる可能性のある技術であること ・長期への影響を考慮した合理性（高度化や容易性の向上）の追求	**D-1 ：坑道維持更新技術の高度化** （A.維持更新技術の高度化：初期品質向上、維持・更新高度化）
				D-2：回収技術の合理性向上 （B.回収技術の高度化）
				D-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化 （坑道維持、周辺環境影響、回収に係る計測・測定技術）

表 7.4.2-3　技術要素マップにおける技術群の展開

（技術群 E および技術群 F：事業期間中の安全性

	技術の分類
維持更新と回収技術	A. 坑道維持管理技術
	B. 回収技術
閉鎖後長期の安全性	C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術
	D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術
事業期間中の安全性	E.事業期間中安全性への影響評価技術
	F.事業期間中安全性への影響低減対策技術

	技術の分類（技術群）	技術内容	技術に求められる要件	技術群の展開
事業期間中の安全性	**E.事業期間中安全性への影響評価技術**	坑道開放および回収作業時の作業リスク、周辺環境影響、コスト評価のための技術 ・放射線安全、一般労働安全性の評価 ・環境影響の評価 ・コストの評価	・労働安全衛生法 ・電離放射線障害防止規則 ・環境影響防止法 ・コスト評価では根拠が必要	**E-1：作業リスク評価技術** （放射性安全評価、一般労働安全評価）
				E-2：環境影響評価技術
				E-3 ：コスト評価技術
	F.事業期間中安全性への影響低減対策技術	坑道開放および回収に伴う影響を低減するための対応技術	・安全機能（安全対策）への影響を低減できる可能性のある技術であること ・事業期間中の安全性への影響を考慮した合理性（高度化やの容易性の向上）の追求	**F-1 ：坑道維持更新技術の高度化** （A.維持更新技術の高度化：初期品質向上、維持・更新高度化）
				F-2：回収技術の合理性向上 （B.回収技術の高度化）
				F-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化 （坑道維持、周辺環境影響、回収に係る計測・測定技術）

前述した技術群のうち表 7.4.2-1 の「B.回収技術」についてはこれまでに一連作業として取りあげられた例がないため、回収時に想定される必要なタスクと作業内容をまとめて表 7.4.2-4 に示す。なお、回収は「一部を回収する場合」と「全量回収する場合」に分けられるが、両者は回収の対象となる廃棄体の量は異なるが、必要となる回収技術群は同じと考えられる。

タスク 1 および 2 は回収の前段階として必要なタスクを示している。タスク 3～10 は回収技術であり、これらは「廃棄体へのアクセス技術（撤去・補強技術）」、「廃棄体回収・搬出技術」、「回収後の維持管理技術（埋め戻し技術等）」に大別される。タスク 1～10 のそれぞれの作業の項目を図 7.4.2-1～図 7.4.2-10 に示し、基本ケースにおける回収シナリオの展開例を表 7.4.2-5 に示す。

また、回収に係るタスクごとの必要技術、技術要件、課題を整理して表 7.4.2-6 に示す。すべてのタスクで求められる必要技術について要素技術または類似技術は存在するが、効率性という観点からみると技術開発の余地が残ると考えられる。

表 7.4.2-4　想定される回収に必要なタスクと作業内容

タスク No.	タスク	作業内容
1	回収作業の準備	地表での回収廃棄体貯蔵施設の建設、性能確認エリアの廃棄体の回収・状態確認、回収のための事業認可申請
2	アクセス坑道の健全性確認・補強	斜坑、立坑、主要坑道、連絡坑道の支保工の状態確認、排水・換気等設備の健全性確認、状態によっては補強、補修
3	処分坑道プラグ撤去	連絡坑道と処分坑道間のプラグ撤去、撤去箇所の補強
4	処分坑道埋戻し材撤去	支保工の状態確認および補強しつつ埋戻し材の撤去、排水、換気
5	回収用設備・機材の設置	遠隔での回収・搬出用の器材を処分坑道に設置
6	処分孔上部撤去	処分孔上部のキャップ、埋戻し材の撤去、補強
7	オーバーパックの回収	オーバーパック上部、周囲のベントナイト（数 cm）を撤去後、オーバーパックを回収、地表まで搬出、地表貯蔵施設に保管、処分孔の埋戻し
8	処分坑道の埋戻し	回収埋戻し材で埋戻し、プラグ設置せず
9	主要坑道の埋戻し	回収埋戻し材で埋戻し、プラグ設置せず
10	連絡坑道・アクセス坑道の埋戻し	埋戻し、上部にキャップ用コンクリート打設
11	回収用地上施設の解体撤去	回収用地上施設の解体撤去および撤去後の整備

1.1 廃棄体の状態の確認：別途設置した性能確認エリア（スイスEKRAの概念を踏襲）での廃棄体を回収し、オーバーパックの腐食状態、表面線量、ベントナイトの状態を確認する（この行為の認可が必要かどうかは別途検討が必要）。
1.2 回収技術の確認：別途準備した遠隔による回収装置の機能を性能確認エリアでのオーバーパック回収を通じて確認する（同上）。
1.3 処分場周辺の地質環境モニタリングの状態確認：建設前から継続して実施している地質環境モニタリング結果から処分場全体の水理環境を確認し、回収時の排水等の計画を立案する。
1.4 回収廃棄体貯蔵施設の建設：回収する廃棄体を貯蔵する施設（遮蔽あり）を設計・建設する。
1.5 廃棄体回収計画の立案：作業計画、安全計画、工程管理等の計画など
1.6 回収に伴う許認可申請：作業時の安全評価、環境影響評価など

【必要技術】
・回収廃棄体貯蔵施設建設技術
・モニタリング情報の分析・評価技術
・遠隔回収技術（性能確認エリアで適用性確認）
・回収廃棄体状態分析・評価技術
・回収計画立案技術
・回収認可申請のための安全評価等技術

【留意事項】
・廃棄体回収時のリスク評価が不可欠
・性能確認エリアの廃棄体回収で情報と技術の適用性確認が重要

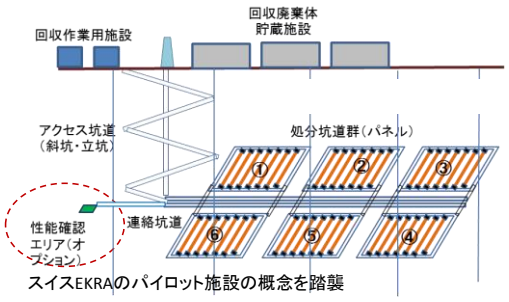
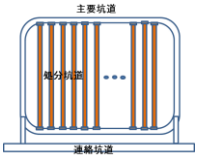


図 7.4.2-1　回収に係るタスクの作業項目（タスク 1：回収作業の準備）

2.1 アクセス坑道の健全性確認・補強：アクセス坑道の支保材の劣化状況の確認、支保背面の岩盤状態の確認、必要に応じて補修・補強。立坑では、昇降設備、安全設備等の確認・補修。
2.2 連絡坑道の健全性確認：連絡坑道の支保工の劣化状況の確認、支保背面の岩盤状況等の確認、必要に応じて補修・補強。坑道にそった排水、換気、電気系統の健全性確認・補修
2.3 主要坑道の健全性確認：主要坑道の支保工の劣化状況の確認、支保背面の岩盤状況等の確認、必要に応じて補修・補強。坑道にそった排水、換気、電気系統の健全性確認・補修
2.4 回収に伴う埋戻し材撤去に関わる機器・設備の準備：最初のパネルの処分坑道内埋戻し材等の撤去のための搬送設備、換気・排水等の設備の準備

【必要技術】
・支保工の劣化診断技術
・支保工背面の状態把握技術
・支保工の補修・補強技術
・排水・換気技術

【留意事項】
・アクセス坑道等は最終的に110年程度の健全性維持が要求される。
・埋戻し材は転用することから撤去材の物流と貯蔵スペースの維持が必要



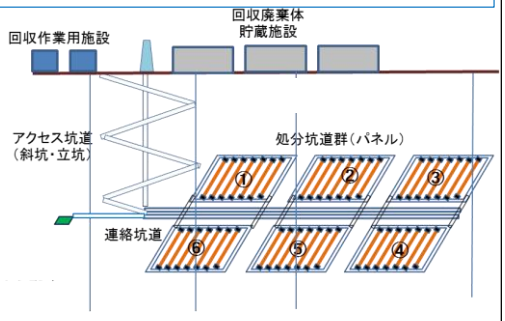
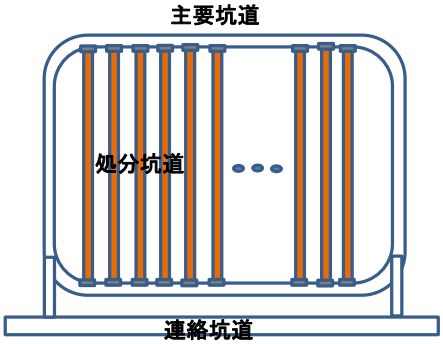
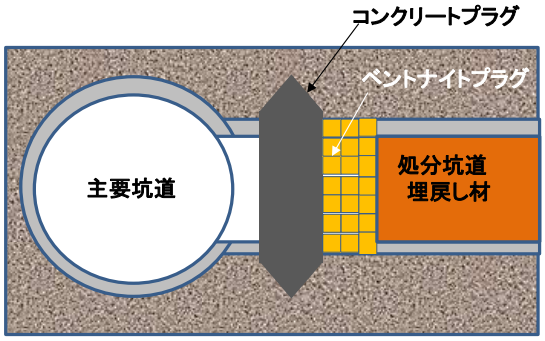


図 7.4.2-2　回収に係るタスクの作業項目（タスク 2：アクセス坑道等の健全性確認・補強）

（プラグの仕様：コンクリートとベントナイトの併用）
3.1 プラグ撤去の準備：プラグ撤去用の機器材の投入、プラグ内応力状態の把握
3.2 プラグ撤去・撤去材の搬出：端部の処分坑道コンクリートプラグの撤去、撤去材の搬出
3.3 撤去部の状態確認・補強：撤去部岩盤の状態確認、吹付などによる補強





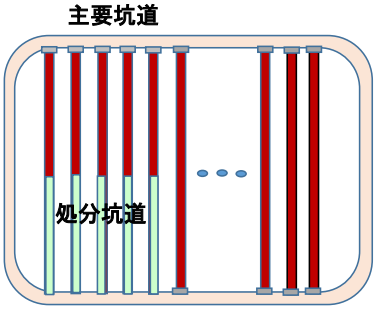
プラグ概念例

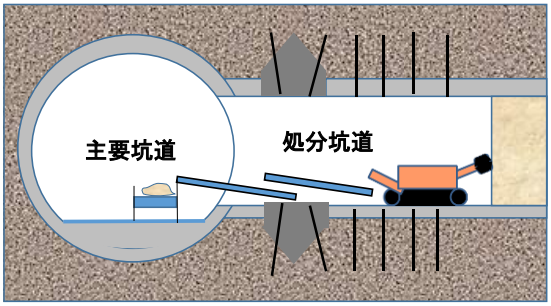
【必要技術】
・プラグに負荷されている応力状態の把握技術
・コンクリートプラグ撤去技術（発破以外）
・ベントナイトプラグ飽和状態の確認
・ベントナイトプラグの撤去技術
・撤去後の岩盤状況把握技術
・岩盤補強技術

【留意事項】
・プラグの構造にも依存するが、プラグ撤去時の岩盤の緩み、出水に留意が必要
・周辺岩盤への最少とするプラグ撤去技術の準備が必要

図 7.4.2-3　回収に係るタスクの作業項目（タスク 3：処分坑道プラグ撤去）

パネル内の処分坑道の掘削は、5本ずつ実施する。5本分の埋戻し材を撤去したのち、処分ピット内の廃棄体の回収作業に移行する。
4.1 パネル内の処分坑道の埋戻し材の撤去：自由断面掘削機を用いた埋戻し材の撤去
4.2 処分坑道支保の確認、補強：撤去部の支保・岩盤の補強：埋戻し材撤去部の支保、岩盤の状態を調査し、吹付、ロックボルトなどで補強
4.3 排水、換気：処分坑道内の排水、換気システムの再構築





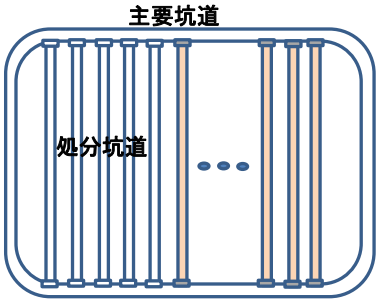
【必要技術】
・埋戻し材の撤去・搬出技術
・支保・岩盤診断技術
・支保・岩盤の補強技術
・排水・換気技術

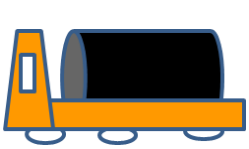
【留意事項】
・岩盤応力および水圧の作用により支保工への応力は建設時より増加している可能性あり
・劣化状況の調査が不可避

図 7.4.2-4　回収に係るタスクの作業項目（タスク 4：処分坑道埋戻し材撤去）

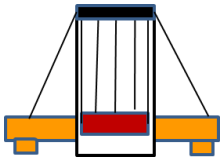
処分坑道5本分の埋戻し材が撤去されたのち、5系統で廃棄体の回収作業を開始する。基本的な工程は5本/日の回収とする。回収のための器材は、処分ピット上部のキャップ撤去機材、上部埋戻し材撤去機材、オーバーパック周辺ベントナイト（数cm）撤去機材、オーバーパック回収・搬出機材、回収後のピット埋戻し機材からなる。埋戻し材の撤去は次の5本の処分坑道に移動

5.1 処分坑道内の安定性維持
5.2 必要機材の設置

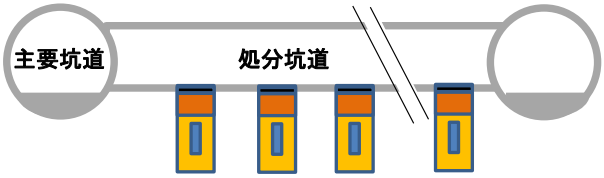




回収廃棄体搬送車両例



廃棄体回収装置例



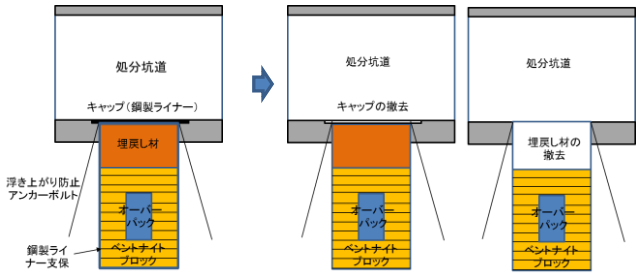
【必要技術】
・オーバーパックを回収するための遠隔操作機材の準備
・処分坑道内の安定性維持技術

【留意事項】
・遠隔回収技術は性能確認エリアの廃棄体回収時に適用性を確認
・物流・動線の維持
・安全維持の設備の維持

図 7.4.2-5　回収に係るタスクの作業項目（タスク 5：回収用設備・機材の設置）

廃棄体（オーバーパック）は、5本の処分坑道からそれぞれ1体/日で回収することを基本とする。定置後100年程度のオーバーパックの発熱量は低下、表面は腐食が進んでいる。回収作業は以下のシナリオで実施する。

6.1 処分ピット周辺下盤コンクリートの補強
6.2 処分ピット上部のキャップの撤去：アンカーボルトは残置して鋼製ライナーのみ撤去
6.3 処分ピット上部の埋戻し材の撤去：機械掘削により上部埋戻し材の撤去
6.4 処分ピット上部の支保の健全性確認・補強



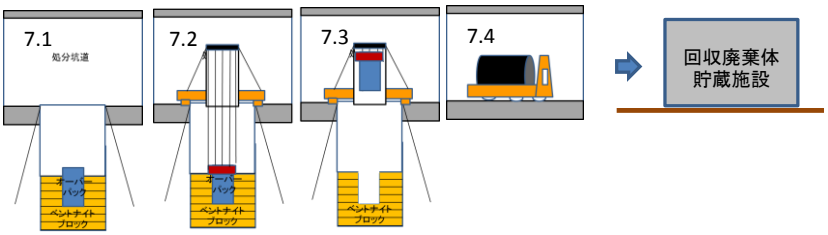
【必要技術】
・処分ピット周辺下盤の補強技術
・上部キャップ（鋼製ライナー）の撤去技術
・埋戻し材撤去技術
・処分ピット上部支保の補強技術

【留意事項】
・遮蔽の必要性の吟味

図 7.4.2-6　回収に係るタスクの作業項目（タスク 6：処分孔上部撤去）

廃棄体（オーバーパック）は、5本の処分坑道からそれぞれ1体/日で回収することを基本とする。定置後100年程度のオーバーパックの発熱量は低下、表面は腐食が進んでいる。回収作業は以下のシナリオで実施する。

7.1 オーバーパック上部のベントナイトの撤去（引き揚げようカプラー設置のため30cm程度の撤去、オーバーパック周辺のベントナイト（数cm幅）の撤去
7.2 オーバーパック引き揚げ用カプラーの設置
7.3 オーバーパックの引き上げ、搬送装置への積み込み
7.4 地表への搬出、貯蔵施設への格納



【必要技術】
・ベントナイトブロック撤去技術
・オーバーパック周辺ベントナイト撤去技術
・オーバーパック回収技術
・回収オーバーパック搬出技術
・処分ピット埋戻し技術

【留意事項】
・埋戻し以外の作業は遠隔作業となる
・廃棄体（OP）の状態は、性能確認エリアでの廃棄体回収で確認済み
・廃棄体をどのような形態で貯蔵するかは未定

図 7.4.2-7　回収に係るタスクの作業項目（タスク 7：オーバーパックの回収）

5本分の処分坑道内のオーバーパックを回収したのち、順次処分ピットの埋戻しを行い、同時に処分坑道の埋戻しを行う。埋戻しの手順や仕様は操業段階と同じとする。主要坑道との間にはプラグは必要としない。

8.1 処分孔の埋戻し
8.2 処分坑道の埋戻し
8.3 処分坑道端部のセメント吹付（安定性維持）

【必要技術】
・処分ピット埋戻し技術
・処分坑道埋戻し技術
・坑道端部セメント吹付技術

【留意事項】
・処分孔のベントナイト緩衝材は残置する
・処分坑道の埋戻しの仕様は、回収後のサイトの利用形態により異なる

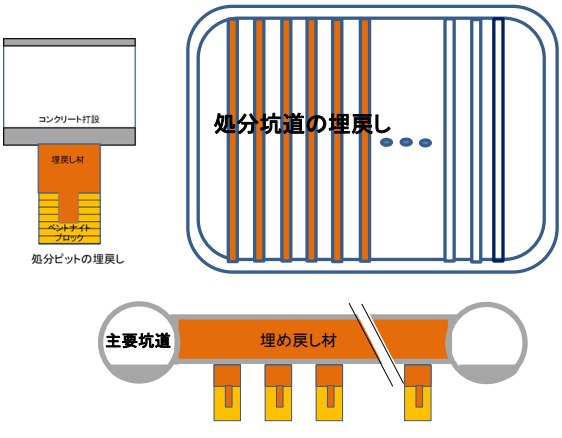


図 7.4.2-8　回収に係るタスクの作業項目（タスク 8：処分坑道の埋戻し）

処分坑道の埋戻し終了後、パネル周辺の主要坑道を埋め戻す。埋戻し材の仕様は、サイトへの要件により異なる。
9.1 パネル周辺の主要坑道の埋戻し
9.2 連絡坑道との坑道埋戻し
9.3 主要坑道の端部のセメント吹付

【必要技術】
・坑道埋戻し技術（埋め戻し材は撤去材を転用）
・坑道端部セメント吹付技術

【留意事項】
・坑道埋戻し仕様は、回収後のサイトの利用形態により異なる、

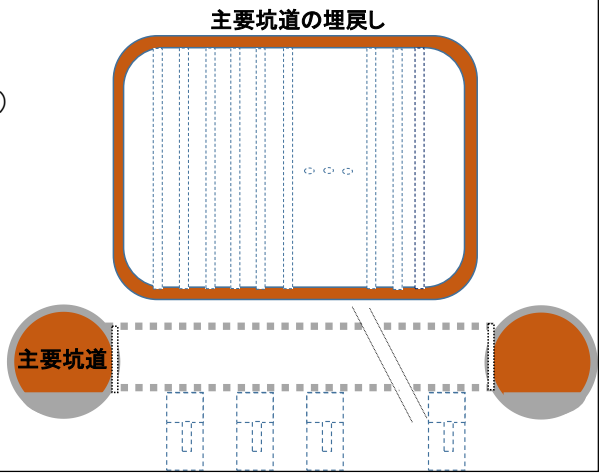


図 7.4.2-9　回収に係るタスクの作業項目（タスク 9：主要坑道の埋戻し）

全ての廃棄体を回収したのち、連絡坑道、アクセス坑道を埋め戻す。アクセス坑道は、地表部にコンクリートキャップを設置する。
10.1 連絡坑道の埋戻し
10.2 斜坑の埋戻し
10.3 立坑の埋戻し
10.4 斜坑、立坑の地表接近部にコンクリートキャップの設置

【必要技術】
・坑道埋戻し技術
・坑道地表接近部コンクリートキャップ設置技術

【留意事項】
・坑道埋戻しの仕様は、回収後のサイト利用形態により異なる

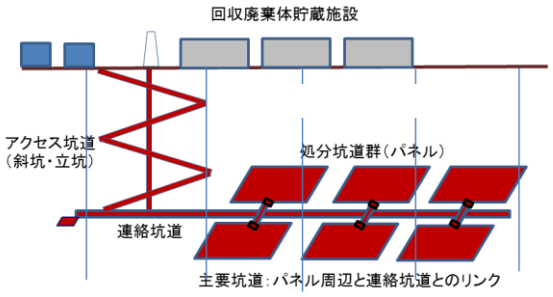
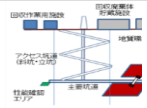
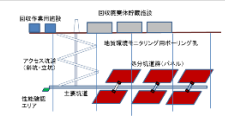
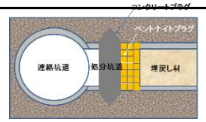
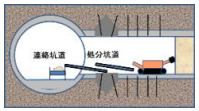
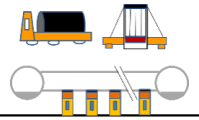


図 7.4.2-10　回収に係るタスクの作業項目（タスク 10：連絡坑道・アクセス坑道の埋戻し）

表 7.4.2-5　基本ケースの回収シナリオの展開（例）

タスク	1	2	3	4	5
作業名	回収作業準備	アクセス坑道の健全性確認・補強	処分坑道プラグ撤去	処分坑道の掘削・支保確認・補強	回収用設備・機材の設置
タスクイメージ					
作業内容	・廃棄体回収・確認 ・回収廃棄体貯蔵施設の建設 ・回収事業認可申請	・アクセス、主要、連絡坑道の健全性確認 ・排水・換気設備の確認 ・補修・補強、更新	・パネルの処分坑道プラグの撤去 ・撤去部の補強	・処分坑道埋戻し材撤去・搬出 ・支保確認・補修・補強 ・排水・換気	・処分坑道内安全性・安定性確保 ・回収用資器材の投入・設置 ・廃棄体回収物流・動線の確保
想定工程	3年	2年	1年/パネル	5年/パネル	1年/パネル
必要技術	・性能エリアでの廃棄体回収技術 ・廃棄体の状態分析・評価技術 ・許認可申請図書作成 ・回収廃棄体貯蔵施設建設技術	・アクセス坑道支保・設備の健全性確認技術 ・維持補修・補強技術（回収開始後50年程度の健全性確保）	・プラグの状態確認技術 ・コンクリートプラグの解体技術（地山の影響小） ・ベントナイトプラグの解体・撤去技術 ・撤去部補強技術	・坑道内埋戻し材撤去・搬出技術 ・支保の状態確認技術 ・補修・補強技術 ・排水・換気技術	・廃棄体回収用の装置・設備 ・廃棄体搬出動線の確保 ・処分坑道内安全性・安定性確保技術

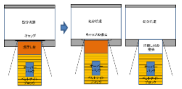
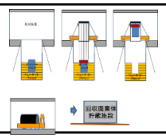
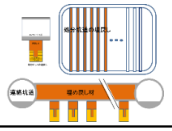
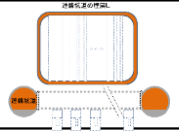
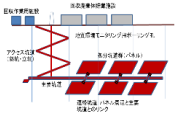
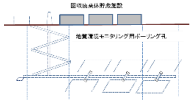
タスク	6	7	8	9	10	11
作業名	処分ピット上部埋戻し材等の撤去	オーバーパックの回収・搬出	処分ピット・処分坑道埋戻し	主要坑道埋戻し	連絡坑道・アクセス坑道の埋戻し	回収用地上施設の解体撤去
タスクイメージ						
作業内容	・処分ピット上部キャップ、埋戻し材撤去 ・ピット周辺の補強	・ベントナイトブロックの撤去、・OP周辺ベントナイトの撤去 ・OP回収・搬出	・処分ピット埋戻し ・処分坑道埋戻し ・端部処理	・連絡坑埋戻し ・端部処理	・坑底設備の解体撤去 ・主要坑道埋戻し ・アクセス坑道埋戻し	・回収事業の廃止措置計画申請 ・回収用地上施設の解体・撤去 ・現状復帰
想定工程	2年/パネル	5年/パネル	2年/パネル	1年/パネル	3年	1年
必要技術	・処分ピット上部キャップ撤去技術 ・処分ピット上部埋戻し材撤去技術 ・処分ピットの健全性確認・補強技術	・遠隔によるベントナイトブロック撤去技術 ・OP周辺のベントナイト除去技術 ・OP回収・搬出技術	・処分ピット埋戻し技術 ・坑道埋戻し技術 ・端部処理技術（セメント吹付）	・坑道埋戻し技術 ・端部処理技術（セメント吹付）	・坑道埋戻し技術 ・端部処理技術（セメント吹付）	・地表施設の解体・撤去技術

表 7.4.2-6　回収に係るタスクごとの必要技術、技術要件、課題の整理

B. 回収技術

タスク	必要技術	技術要件	現状でのレベル	課題
1. 回収作業準備	・回収技術の確認技術 ・廃棄体 の状態確認技術	回収計画作成に必要な情報が準備されていること	確認方法など検討されていない	対応策を講ずるべき
2. アクセス坑道の健全性確認・補修	・調査・診断技術 ・補修・補強技術	安全性確保のための対策が準備されていること	遠隔・非破壊での確認技術はない	対応策を講じるべき
3. 坑道プラグ撤去	・プラグ撤去技術 ・撤去後補強技術	周辺岩盤の損傷を最小限とする技術であること	要素技術は存在	現状技術の延長線上で対応可能
4. 処分坑道の再掘削、換気、排水	・再掘削技術 ・支保点検・補修・補強技術 ・換気、排水技術	作業環境維持を含めて安全性が確保できること	要素技術は存在するが実経験がない	想定される状況への対応策を検討すべき
5. 回収用設備・機材の設置	・遠隔での回収技術 ・搬出技術	効率性、安全性が確保できる技術であること	類似の技術は存在するが遠隔での操作技術はない	対応策を開発すべき
6. 処分ピット上部埋戻材撤去	・遠隔埋戻し材撤去技術 ・ピット周辺補強技術	同上	要素技術は存在するが遠隔での技術はない	現状技術の延長線上で対応可
7. OPの回収・搬出	・ベントナイト撤去技術 ・OP回収・搬出技術	同上	要素技術は存在するが、遠隔で効率性を考慮した技術はない（一部実証中）	ベントナイト撤去を含めた効率性を考慮した開発が必要
8. 処分ピット、処分坑道の埋戻し	・埋戻し技術	空間を確実に閉塞できる技術であること	技術は存在する	課題はない
9. 主要坑道埋戻し	・埋戻し技術	同上	同上	同上
10. 連絡坑道、アクセス坑道の埋戻し	・埋戻し技術	同上	同上	同上
11. 地上施設の解体	・施設解体技術 ・環境修復技術	周辺環境への影響を最小限とする技術であること	同上	同上

(2) 技術要素マップの作成

前節で示した技術要素マップ作成方針と枠組みに基づき、検討ケースⅠ～Ⅶについて作成した技術要素マップを次ページ以降の表 7.4.2-7～表 7.4.2-13 に示す。

次ページに示す表 7.4.2-7 は検討ケースⅢ（基本ケース）の技術要素マップである。検討ケースⅢは状態オプション③、回収シナリオ②であり、アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道が開放され、処分坑道にプラグが設置されて処分坑道および処分孔が埋め戻された状態、回収可能性維持期間を 100 年と想定した検討ケースである。

検討ケースⅢの技術要素マップにおける各技術群の技術要素は以下のとおりと考えられる。

技術群「A. 坑道維持更新技術」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道および処分坑道に設置されたプラグに対して必要となる。その中で、「A-1：支保工等の維持管理・更新技術」は支保工等を対象としており、「A-2：排水・換気設備、その他（電源・防災・避難等）の維持管理・更新技術」は開放された坑道内に設置された排水システムや換気システムに必要となる技術である。

技術群「B.回収技術」のうち、「B-1：廃棄体へのアクセス技術」は埋め戻し状態にある処分坑道に対して必要な技術であり、「B-2：廃棄体回収・搬出技術」は処分孔および人工バリアに対して必要な技術である。「B-3：回収後の維持管理技術」は回収後の埋め戻し技術等であるため、全ての坑道と処分孔に必要となる。

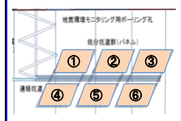
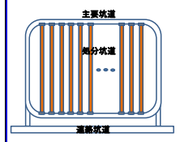
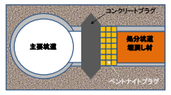
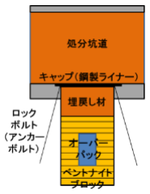
技術群「C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術」は「C-1：バリア性能評価技術」であり、回収可能性維持状態で必要な構成要素のうち、閉鎖後にも残る構成要素に対して必要となる。

技術群「D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術」のうち、「D-1：坑道維持更新技術の高度化」は回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る人工バリア以外の構成要素に対して必要となる技術である。「D-2：回収技術の合理性向上」は埋め戻し状態にある処分坑道、処分孔および人工バリアに対して必要となる。「D-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

技術群「E.事業期間中安全性への影響評価技術」は「E-1：作業リスク評価技術」、「E-2：環境影響評価技術」、「E-3：コスト評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に対して必要となる。

技術群「F.事業期間中安全性への影響低減対策技術」のうち、「F-1：坑道維持更新技術の高度化」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道および処分坑道に設置されたプラグに対して必要となる。「F-2：回収技術の合理性向上」は回収時に作業対象となる埋め戻し状態にある処分坑道、処分孔および人工バリアに対して必要となる。「F-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

表 7.4.2-7　技術要素マップ　検討ケースⅢ（基本ケース、状態オプション③・回収シナリオ②）

技術要素マップ：検討ケースⅢ（基本ケース、状態オプション③、回収シナリオ②）				技術要素　青字：坑道維持更新に係る技術、赤字：回収に係る技術、黒字：坑道維持更新、回収ともに係る技術						
状態概念図	構成要素		構成要素の変化	A. 坑道維持更新技術 A-1.支保工等維持管理・更新技術 A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術	B. 回収技術 B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術 C-1.バリア性能評価技術	D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術 D-1.坑道維持更新技術高度化 D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E. 事業期間中安全性への影響評価技術 E-1.作業リスク評価技術 E-2.環境影響評価技術 E-3.コスト評価技術	F. 事業期間中安全性への影響低減対策技術 F-1.坑道維持更新技術高度化 F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
処分場スケール 	アクセス坑道・連絡坑道	覆工コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分パネルスケール 	主要坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分坑道スケール 	処分坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	流出による低透水性機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ベントナイトプラグ（止水プラグ）	止水性能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		コンクリートプラグ（力学プラグ）	ひび割れ、溶脱、中性化等による力学的安定性機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
人工バリアスケール 	処分孔	キャップ（膨出対策工）	腐食による緩衝材・遮へいブロック膨出防止		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト・アンカーボルト	腐食等によるキャップ固定機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		上部遮蔽ブロック（埋戻し材）	流出による遮蔽機能の低下および低透水性機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
	人工バリア	緩衝材	流出、変質による放射性核種の移行抑制機能低下、変状による廃棄体支持機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		オーバーパック	腐食による放射線核種の物理的な閉じ込め機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ガラス固化体							

次ページに示す表 7.4.2-8 は検討ケースⅠの技術要素マップである。検討ケースⅠは状態オプション①、回収シナリオ②であり、アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道、処分坑道、処分孔が開放され、処分孔に廃棄体が定置された維持状態で、回収可能性維持期間を 100 年と想定した検討ケースである。

検討ケースⅠの技術要素マップにおける各技術群の技術要素は以下のとおりと考えられる。

技術群「A. 坑道維持更新技術」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道、処分坑道および処分孔に対して必要となる。その中で、「A-1：支保工等の維持管理・更新技術」は各坑道の支保工等を対象としており、「A-2：排水・換気設備、その他（電源・防災・避難等）の維持管理・更新技術」は開放された坑道内に設置された排水システムや換気システムに必要となる技術である。

技術群「B.回収技術」のうち、「B-1：廃棄体へのアクセス技術」は埋め戻し状態にある坑道等が無いため検討ケースⅠの技術要素マップには示されない。「B-2：廃棄体回収・搬出技術」は人工バリアに対してのみ必要な技術となる。「B-3：回収後の維持管理技術」は回収後の埋め戻し技術等であるため、全ての坑道と処分孔に必要となる。

技術群「C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術」は「C-1：バリア性能評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る全ての構成要素に対して必要となる。

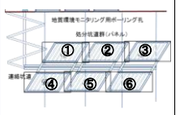
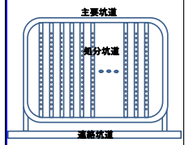
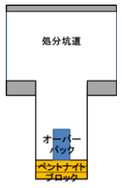
技術群「D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術」のうち、「D-1：坑道維持更新技術の高度化」は回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る人工バリア以外の全ての構成要素に対して必要となる技術である。「D-2：回収技術の合理性向上」は回収の対象である人工バリアに対してのみ必要となる。「D-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

技術群「E.事業期間中安全性への影響評価技術」は「E-1：作業リスク評価技術」、「E-2：環境影響評価技術」、「E-3：コスト評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に対して必要となる。

技術群「F.事業期間中安全性への影響低減対策技術」のうち、「F-1：坑道維持更新技術の高度化」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道、処分坑道および処分孔に対して必要となる。「F-2：回収技術の合理性向上」は回収時に作業対象となる人工バリアに対して必要となる。「F-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

検討ケースⅠの技術要素マップは検討ケースⅢと比較して、坑道の維持と更新に係る技術要素が大幅に増加し、回収に係る技術要素が減少した。これは、状態オプション（埋め戻し状態）が変化したことにより、坑道の維持と更新の技術、および回収のための技術を必要とする構成要素が変化したためである。

表 7.4.2-8　技術要素マップ　検討ケースⅠ　（状態オプション①・回収シナリオ②）

技術要素マップ：検討ケースⅠ（状態オプション①、回収シナリオ②）				技術要素　青字：坑道維持更新に係る技術、赤字：回収に係る技術、黒字：坑道維持更新、回収ともに係る技術					
状態概念図	構成要素		構成要素の変化	A. 坑道維持更新技術 A-1.支保工等維持管理・更新技術 A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術	B. 回収技術 B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術 C-1.バリア性能評価技術	D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術 D-1.坑道維持更新技術高度化 D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E. 事業期間中安全性への影響評価技術 E-1.作業リスク評価技術 E-2.環境影響評価技術 E-3.コスト評価技術	F. 事業期間中安全性への影響低減対策技術 F-1.坑道維持更新技術高度化 F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
処分場スケール 	アクセス坑道・連絡坑道	覆工コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分パネルスケール 	主要坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分坑道スケール 	処分坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術		C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ベントナイトプラグ（止水プラグ）	構成要素なし						
		コンクリートプラグ（力学プラグ）	構成要素なし						
人工バリアスケール 	処分孔	キャップ（膨出対策工）	構成要素なし			C-1.バリア性能評価技術		E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	
		ロックボルト・アンカーボルト	構成要素なし			C-1.バリア性能評価技術		E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	
		上部遮蔽ブロック（埋戻し材）	構成要素なし		B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術		E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術		C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
	人工バリア	緩衝材	流出、変質による放射性核種の移行抑制機能低下、変状による廃棄体支持機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		オーバーパック	腐食による放射線核種の物理的な閉じ込め機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ガラス固化体							

次ページに示す表 7.4.2-9 は検討ケースⅡの技術要素マップである。検討ケースⅡは状態オプション②、回収シナリオ②であり、アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道、処分坑道が開放され、処分孔のみが埋め戻された維持状態で、回収可能性維持期間を 100 年と想定した検討ケースである。

検討ケースⅡの技術要素マップにおける各技術群の技術要素は以下のとおりと考えられる。

技術群「A. 坑道維持更新技術」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道、処分坑道に対して必要となる。その中で、「A-1：支保工等の維持管理・更新技術」は開放された各坑道の支保工等を対象としており、「A-2：排水・換気設備、その他（電源・防災・避難等）の維持管理・更新技術」は開放された坑道内に設置された排水システムや換気システムに必要となる技術である。

技術群「B.回収技術」のうち、「B-1：廃棄体へのアクセス技術」は埋め戻し状態にある処分孔に必要な技術となり、「B-2：廃棄体回収・搬出技術」は人工バリアに対してのみ必要な技術となる。「B-3：回収後の維持管理技術」は回収後の埋め戻し技術等であるため、全ての坑道と処分孔に必要となる。

技術群「C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術」は「C-1：バリア性能評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る全ての構成要素に対して必要となる。

技術群「D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術」のうち、「D-1：坑道維持更新技術の高度化」は回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る人工バリア以外の全ての構成要素に対して必要となる技術である。「D-2：回収技術の合理性向上」は回収の作業対象である処分孔と人工バリアに対してのみ必要となる。「D-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

技術群「E.事業期間中安全性への影響評価技術」は「E-1：作業リスク評価技術」、「E-2：環境影響評価技術」、「E-3：コスト評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に対して必要となる。

技術群「F.事業期間中安全性への影響低減対策技術」のうち、「F-1：坑道維持更新技術の高度化」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道および処分坑道に対して必要となる。「F-2：回収技術の合理性向上」は回収時に作業対象となる処分孔および人工バリアに対して必要となる。「F-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

検討ケースⅡの技術要素マップは検討ケースⅢと比較して、坑道の維持と更新に係る技術要素が増加し、回収に係る技術要素が減少した。これは、状態オプション（埋め戻し状態）が変化したことにより、坑道の維持と更新の技術、および回収のための技術を必要とする構成要素が変化したためである。

表 7.4.2-9　技術要素マップ　検討ケースⅡ　（状態オプション②・回収シナリオ②　）

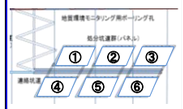
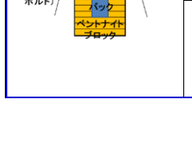
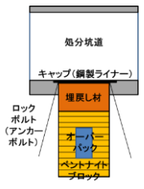
技術要素マップ：検討ケースⅡ（状態オプション②、回収シナリオ②）				技術要素　青字：坑道維持更新に係る技術、赤字：回収に係る技術、黒字：坑道維持更新、回収ともに係る技術					
状態概念図	構成要素		構成要素の変化	A. 坑道維持更新技術 A-1.支保工等維持管理・更新技術 A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術	B. 回収技術 B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術 C-1.バリア性能評価技術	D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術 D-1.坑道維持更新技術高度化 D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E. 事業期間中安全性への影響評価技術 E-1.作業リスク評価技術 E-2.環境影響評価技術 E-3.コスト評価技術	F. 事業期間中安全性への影響低減対策技術 F-1.坑道維持更新技術高度化 F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
処分場スケール 	アクセス坑道・連絡坑道	覆工コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分パネルスケール 	主要坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術		C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分坑道スケール 	処分坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術		C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ベントナイトプラグ（止水プラグ）	構成要素なし						
		コンクリートプラグ（力学プラグ）	構成要素なし						
人工バリアスケール 	処分孔	キャップ（膨出対策工）	腐食による緩衝材・遮へいブロック膨出防止		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト・アンカーボルト	腐食等によるキャップ固定機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		上部遮蔽ブロック（埋戻し材）	流出による遮蔽機能の低下および低透水性機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
	人工バリア	緩衝材	流出、変質による放射性核種の移行抑制機能低下、変状による廃棄体支持機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		オーバーパック	腐食による放射線核種の物理的な閉じ込め機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ガラス固化体							

表 7.4.2-10 は検討ケースⅣの技術要素マップである。検討ケースⅣは状態オプション④、回収シナリオ②であり、アクセス坑道、連絡坑道が開放され、主要坑道、処分坑道および処分孔が埋め戻された維持状態で、回収可能性維持期間を 100 年と想定した検討ケースである。

検討ケースⅣの技術要素マップにおける各技術群の技術要素は以下のとおりと考えられる。

技術群「A. 坑道維持更新技術」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道に対して必要となる。その中で、「A-1：支保工等の維持管理・更新技術」は開放された各坑道の支保工等を対象としており、「A-2：排水・換気設備、その他（電源・防災・避難等）の維持管理・更新技術」は開放された坑道内に設置された排水システムや換気システムに必要となる技術である。

技術群「B.回収技術」のうち、「B-1：廃棄体へのアクセス技術」は埋め戻し状態にある主要坑道と処分坑道に必要な技術となり、「B-2：廃棄体回収・搬出技術」は処分孔および人工バリアに対して必要な技術となる。「B-3：回収後の維持管理技術」は回収後の埋め戻し技術等であるため、全ての坑道と処分孔に必要となる。

技術群「C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術」は「C-1：バリア性能評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る全ての構成要素に対して必要となる。

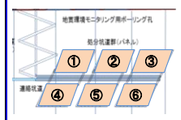
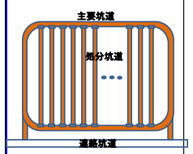
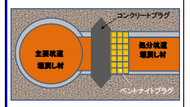
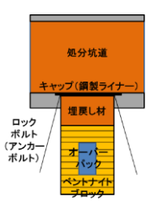
技術群「D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術」のうち、「D-1：坑道維持更新技術の高度化」は回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る人工バリア以外の全ての構成要素に対して必要となる技術である。「D-2：回収技術の合理性向上」は回収の作業対象である主要坑道、処分坑道、処分孔および人工バリアに対して必要となる。「D-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

技術群「E.事業期間中安全性への影響評価技術」は「E-1：作業リスク評価技術」、「E-2：環境影響評価技術」、「E-3：コスト評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に対して必要となる。

技術群「F.事業期間中安全性への影響低減対策技術」のうち、「F-1：坑道維持更新技術の高度化」は開放されているアクセス坑道および連絡坑道に対して必要となる。「F-2：回収技術の合理性向上」は回収時に作業対象となる主要坑道、処分坑道、処分孔および人工バリアに対して必要となる。「F-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

検討ケースⅣの技術要素マップは検討ケースⅢと比較して、坑道の維持と更新に係る技術要素が減少し、回収に係る技術要素が増加した。これは、状態オプション（埋め戻し状態）が変化したことにより、坑道の維持と更新の技術、および回収のための技術を必要とする構成要素が変化したためである。

表 7.4.2-10　技術要素マップ　検討ケースⅣ　（状態オプション④・回収シナリオ②）

技術要素マップ：検討ケースⅣ（状態オプション④、回収シナリオ②）				技術要素　青字：坑道維持更新に係る技術、赤字：回収に係る技術、黒字：坑道維持更新、回収ともに係る技術						
状態概念図	構成要素		構成要素の変化	A. 坑道維持更新技術 A-1.支保工等維持管理・更新技術 A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術	B. 回収技術 B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術 C-1.バリア性能評価技術	D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術 D-1.坑道維持更新技術高度化 D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E. 事業期間中安全性への影響評価技術 E-1.作業リスク評価技術 E-2.環境影響評価技術 E-3.コスト評価技術	F. 事業期間中安全性への影響低減対策技術 F-1.坑道維持更新技術高度化 F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
処分場スケール 	アクセス坑道・連絡坑道	覆工コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分パネルスケール 	主要坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	流出による低透水性機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
処分坑道スケール 	処分坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	流出による低透水性機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ベントナイトプラグ（止水プラグ）	止水性能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		コンクリートプラグ（力学プラグ）	ひび割れ、溶脱、中性化等による力学的安定性機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
人工バリアスケール 	処分孔	キャップ（膨出対策工）	腐食による緩衝材・遮へいブロック膨出防止		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト・アンカーボルト	腐食等によるキャップ固定機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		上部遮蔽ブロック（埋戻し材）	流出による遮蔽機能の低下および低透水性機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
	人工バリア	緩衝材	流出、変質による放射性核種の移行抑制機能低下、変状による廃棄体支持機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		オーバーパック	腐食による放射線核種の物理的な閉じ込め機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ガラス固化体							

次ページに示す表 7.4.2-11 は検討ケースⅤの技術要素マップである。検討ケースⅤは状態オプション③、回収シナリオ①であり、アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道が開放され、処分坑道にプラグが設置されて処分坑道および処分孔が埋め戻された状態、回収可能性維持期間を 30 年と想定した検討ケースである。

検討ケースⅤの技術要素マップにおける各技術群の技術要素は以下のとおりと考えられる。

技術群「A. 坑道維持更新技術」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道および処分坑道に設置されたプラグに対して必要となる。その中で、「A-1：支保工等の維持管理・更新技術」は支保工等を対象としており、「A-2：排水・換気設備、その他（電源・防災・避難等）の維持管理・更新技術」は開放された坑道内に設置された排水システムや換気システムに必要となる技術である。

技術群「B.回収技術」のうち、「B-1：廃棄体へのアクセス技術」は埋め戻し状態にある処分坑道に対して必要な技術であり、「B-2：廃棄体回収・搬出技術」は処分孔および人工バリアに対して必要な技術である。「B-3：回収後の維持管理技術」は回収後の埋め戻し技術等であるため、全ての坑道と処分孔に必要となる。

技術群「C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術」は「C-1：バリア性能評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る全ての構成要素に対して必要となる。

技術群「D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術」のうち、「D-1：坑道維持更新技術の高度化」は回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る人工バリア以外の全ての構成要素に対して必要となる技術である。「D-2：回収技術の合理性向上」は埋め戻し状態にある処分坑道、処分孔および人工バリアに対して必要となる。「D-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

技術群「E.事業期間中安全性への影響評価技術」は「E-1：作業リスク評価技術」、「E-2：環境影響評価技術」、「E-3：コスト評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に対して必要となる。

技術群「F.事業期間中安全性への影響低減対策技術」のうち、「F-1：坑道維持更新技術の高度化」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道および処分坑道に設置されたプラグに対して必要となる。「F-2：回収技術の合理性向上」は回収時に作業対象となる埋め戻し状態にある処分坑道、処分孔および人工バリアに対して必要となる。「F-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

検討ケースⅤの技術要素マップは検討ケースⅢと同じ結果となった。これは、回収維持期間が変化した場合には必要となる技術を適用する頻度は変化するが、必要となる技術自体は変わらないと考えられるためである。

表 7.4.2-11　技術要素マップ　検討ケースⅤ　（状態オプション③・回収シナリオ①）

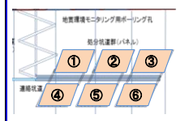
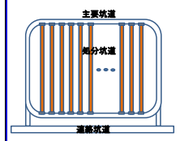
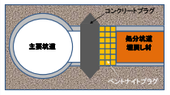
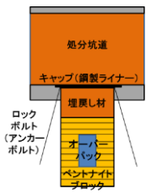
技術要素マップ：検討ケースⅤ（状態オプション③、回収シナリオ①）				技術要素　青字：坑道維持更新に係る技術、赤字：回収に係る技術、黒字：坑道維持更新、回収ともに係る技術						
状態概念図	構成要素		構成要素の変化	A. 坑道維持更新技術 A-1.支保工等維持管理・更新技術 A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術	B. 回収技術 B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術 C-1.バリア性能評価技術	D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術 D-1.坑道維持更新技術高度化 D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E. 事業期間中安全性への影響評価技術 E-1.作業リスク評価技術 E-2.環境影響評価技術 E-3.コスト評価技術	F. 事業期間中安全性への影響低減対策技術 F-1.坑道維持更新技術高度化 F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
処分場スケール 	アクセス坑道・連絡坑道	覆工コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分パネルスケール 	主要坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分坑道スケール 	処分坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	流出による低透水性機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ベントナイトプラグ（止水プラグ）	止水性能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		コンクリートプラグ（力学プラグ）	ひび割れ、溶脱、中性化等による力学的安定性機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
人工バリアスケール 	処分孔	キャップ（膨出対策工）	腐食による緩衝材・遮へいブロック膨出防止		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト・アンカーボルト	腐食等によるキャップ固定機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		上部遮蔽ブロック（埋戻し材）	流出による遮蔽機能の低下および低透水性機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
	人工バリア	緩衝材	流出、変質による放射性核種の移行抑制機能低下、変状による廃棄体支持機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		オーバーパック	腐食による放射線核種の物理的な閉じ込め機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ガラス固化体							

表 7.4.2-12 は検討ケースⅥの技術要素マップである。検討ケースⅥは状態オプション③、回収シナリオ③であり、アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道が開放され、処分坑道にプラグが設置されて処分坑道および処分孔が埋め戻された状態、回収可能性維持期間を 200 年と想定した検討ケースである。

検討ケースⅥの技術要素マップにおける各技術群の技術要素は以下のとおりと考えられる。
技術群「A. 坑道維持更新技術」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道および処分坑道に設置されたプラグに対して必要となる。その中で、「A-1：支保工等の維持管理・更新技術」は支保工等を対象としており、「A-2：排水・換気設備、その他（電源・防災・避難等）の維持管理・更新技術」は開放された坑道内に設置された排水システムや換気システムに必要となる技術である。

技術群「B.回収技術」のうち、「B-1：廃棄体へのアクセス技術」は埋め戻し状態にある処分坑道に対して必要な技術であり、「B-2：廃棄体回収・搬出技術」は処分孔および人工バリアに対して必要な技術である。「B-3：回収後の維持管理技術」は回収後の埋め戻し技術等であるため、全ての坑道と処分孔に必要となる。

技術群「C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術」は「C-1：バリア性能評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る全ての構成要素に対して必要となる。

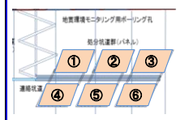
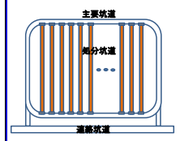
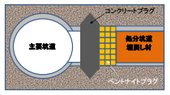
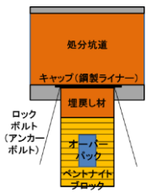
技術群「D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術」のうち、「D-1：坑道維持更新技術の高度化」は回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る人工バリア以外の全ての構成要素に対して必要となる技術である。「D-2：回収技術の合理性向上」は埋め戻し状態にある処分坑道、処分孔および人工バリアに対して必要となる。「D-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

技術群「E.事業期間中安全性への影響評価技術」は「E-1：作業リスク評価技術」、「E-2：環境影響評価技術」、「E-3：コスト評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に対して必要となる。

技術群「F.事業期間中安全性への影響低減対策技術」のうち、「F-1：坑道維持更新技術の高度化」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道および処分坑道に設置されたプラグに対して必要となる。「F-2：回収技術の合理性向上」は回収時に作業対象となる埋め戻し状態にある処分坑道、処分孔および人工バリアに対して必要となる。「F-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

検討ケースⅥの技術要素マップは基本ケースの検討ケースⅢと同じ結果となった。これは、回収維持期間が変化した場合には必要となる技術を適用する頻度は増大するが、必要となる技術自体は変わらないと考えられるためである。ただし、国内のトンネルにおける供用実績は 100 年程度であり、200 年という期間での維持管理の経験は無いことに留意する必要がある。

表 7.4.2-12　技術要素マップ　検討ケースVI　（状態オプション③・回収シナリオ③ ）

技術要素マップ：検討ケースVI（状態オプション③、回収シナリオ③）				技術要素　青字：坑道維持更新に係る技術、赤字：回収に係る技術、黒字：坑道維持更新、回収ともに係る技術					
状態概念図	構成要素		構成要素の変化	A. 坑道維持更新技術 A-1.支保工等維持管理・更新技術 A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術	B. 回収技術 B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術 C-1.バリア性能評価技術	D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術 D-1.坑道維持更新技術高度化 D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E. 事業期間中安全性への影響評価技術 E-1.作業リスク評価技術 E-2.環境影響評価技術 E-3.コスト評価技術	F. 事業期間中安全性への影響低減対策技術 F-1.坑道維持更新技術高度化 F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
処分場スケール 	アクセス坑道・連絡坑道	覆工コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分パネルスケール 	主要坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術		E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	
処分坑道スケール 	処分坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	流出による低透水性機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ベントナイトプラグ（止水プラグ）	止水性能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		コンクリートプラグ（力学プラグ）	ひび割れ、溶脱、中性化等による力学的安定性機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
人工バリアスケール 	処分孔	キャップ（膨出対策工）	腐食による緩衝材・遮へいブロック膨出防止		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト・アンカーボルト	腐食等によるキャップ固定機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		上部遮蔽ブロック（埋戻し材）	流出による遮蔽機能の低下および低透水性機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上,D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
	人工バリア	緩衝材	流出、変質による放射性核種の移行抑制機能低下、変状による廃棄体支持機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		オーバーパック	腐食による放射線核種の物理的な閉じ込め機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ガラス固化体							

次ページに示す表 7.4.2-13 は検討ケースⅦの技術要素マップである。検討ケースⅦは状態オプション③、回収シナリオ④であり、アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道が開放され、処分坑道にプラグが設置されて処分坑道および処分孔が埋め戻された状態、回収可能性維持期間を 300 年と想定した検討ケースである。

検討ケースⅦの技術要素マップにおける各技術群の技術要素は以下のとおりと考えられる。

技術群「A. 坑道維持更新技術」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道および処分坑道に設置されたプラグに対して必要となる。その中で、「A-1：支保工等の維持管理・更新技術」は支保工等を対象としており、「A-2：排水・換気設備、その他（電源・防災・避難等）の維持管理・更新技術」は開放された坑道内に設置された排水システムや換気システムに必要となる技術である。

技術群「B.回収技術」のうち、「B-1：廃棄体へのアクセス技術」は埋め戻し状態にある処分坑道に対して必要な技術であり、「B-2：廃棄体回収・搬出技術」は処分孔および人工バリアに対して必要な技術である。「B-3：回収後の維持管理技術」は回収後の埋め戻し技術等であるため、全ての坑道と処分孔に必要となる。

技術群「C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術」は「C-1：バリア性能評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る全ての構成要素に対して必要となる。

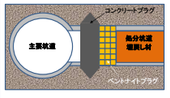
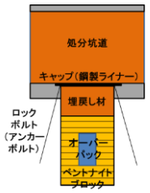
技術群「D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術」のうち、「D-1：坑道維持更新技術の高度化」は回収可能性維持状態で存在する構成要素のうち、閉鎖後にも残る人工バリア以外の全ての構成要素に対して必要となる技術である。「D-2：回収技術の合理性向上」は埋め戻し状態にある処分坑道、処分孔および人工バリアに対して必要となる。「D-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

技術群「E.事業期間中安全性への影響評価技術」は「E-1：作業リスク評価技術」、「E-2：環境影響評価技術」、「E-3：コスト評価技術」であり、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に対して必要となる。

技術群「F.事業期間中安全性への影響低減対策技術」のうち、「F-1：坑道維持更新技術の高度化」は開放されているアクセス坑道、連絡坑道、主要坑道および処分坑道に設置されたプラグに対して必要となる。「F-2：回収技術の合理性向上」は回収時に作業対象となる埋め戻し状態にある処分坑道、処分孔および人工バリアに対して必要となる。「F-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」は対象となる構成要素の埋め戻し状態に関わらず、回収可能性維持状態で存在する全ての構成要素に必要な技術となる。

検討ケースⅦの技術要素マップは基本ケースの検討ケースⅢと同じ結果となった。これは、回収維持期間が変化した場合には必要となる技術を適用する頻度は増大するが、必要となる技術自体は変わらないと考えられるためである。ただし、国内のトンネルにおける供用実績は 100 年程度であり、300 年という期間での維持管理の経験は無いことに留意する必要がある。

表 7.4.2-13　技術要素マップ　検討ケースⅦ　（状態オプション③・回収シナリオ④）

技術要素マップ：検討ケースⅦ（状態オプション③、回収シナリオ④）				技術要素　青字：坑道維持更新に係る技術、赤字：回収に係る技術、黒字：坑道維持更新、回収ともに係る技術					
状態概念図	構成要素		構成要素の変化	A. 坑道維持更新技術 A-1.支保工等維持管理・更新技術 A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術	B. 回収技術 B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術 C-1.バリア性能評価技術	D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術 D-1.坑道維持更新技術高度化 D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E. 事業期間中安全性への影響評価技術 E-1.作業リスク評価技術 E-2.環境影響評価技術 E-3.コスト評価技術	F. 事業期間中安全性への影響低減対策技術 F-1.坑道維持更新技術高度化 F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
処分場スケール 	アクセス坑道・連絡坑道	覆工コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分パネルスケール 	主要坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	目詰まり、腐食等による導水・排水機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	経年劣化による換気機能の低下	A-2.排水・換気設備の維持管理・更新技術			D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	構成要素なし						
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化			C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-1.坑道維持更新技術高度化 F-3.計測・測定技術高度化
処分坑道スケール 	処分坑道	吹付コンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト	腐食等による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		鋼製支保工	腐食による坑道および周辺岩盤の力学的安定性確保機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		排水システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		換気システム	構成要素なし		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理			E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		埋め戻し材	流出による低透水性機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		インバートコンクリート	ひび割れ、溶脱、中性化等による坑道形状および坑内環境の保持機能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		周辺岩盤	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ベントナイトプラグ（止水プラグ）	止水性能の低下		B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		コンクリートプラグ（力学プラグ）	ひび割れ、溶脱、中性化等による力学的安定性機能の低下	A-1.支保工等維持管理・更新技術	B-1.廃棄体へのアクセス技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
人工バリアスケール 	処分孔	キャップ（膨出対策工）	腐食による緩衝材・遮へいブロック膨出防止		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ロックボルト・アンカーボルト	腐食等によるキャップ固定機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		上部遮蔽ブロック（埋戻し材）	流出による遮蔽機能の低下および低透水性機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		グラウト	湧水抑制機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		EDZ	熱伝導率、強度、透水性・透気性等の変化		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-1.坑道維持更新技術高度化,D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
	人工バリア	緩衝材	流出、変質による放射性核種の移行抑制機能低下、変状による廃棄体支持機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		オーバーパック	腐食による放射線核種の物理的な閉じ込め機能の低下		B-2.廃棄体回収・搬出技術 B-3.回収後の維持管理	C-1.バリア性能評価技術	D-2.回収技術合理性向上 D-3.計測・測定技術高度化	E-1.作業リスク評価技術、E-2.環境影響評価技術、E-3.コスト評価技術	F-2.回収技術合理性向上 F-3.計測・測定技術高度化
		ガラス固化体							

(3) 技術群の展開と整理による課題の抽出

技術要素マップに示した各技術群の技術要素について、展開と技術内容の整理を行うことにより、技術課題の抽出を行った。いくつかの技術要素についてはこれまで各事業体、学会、研究機関等がそれぞれの分野で体系的に整理した技術体系や研究成果がまとめられているため、技術要素の展開と技術内容の整理のためにそれらの文献を参照した。技術課題の抽出は回収可能性を維持するための技術の課題という観点で行うが、文献に技術の適用実績や研究成果が示され、回収可能性を維持するための技術としても適用可能と考えられる技術要素については、本検討での技術課題はなしとした。ただし、回収技術に関しては、技術要素としては既往の技術体系や研究成果があっても、さらに回収の維持状態・期間を想定した工程の検討とコストの評価があると考えられるため、※印として追記している。

図 7.4.2-11～図 7.4.2-21 に技術要素展開表として技術要素ごとの詳細な分類と課題を示す。図中の技術内容の文献等参照先は簡略化した表記としているため、以下にまとめて列挙する。（詳細は参考文献を参照）。

A. 坑道維持更新技術

A-1：支保工等の維持管理・更新技術

・トンネルの維持管理（土木学会）[6]

・トンネル補修・補強マニュアル（鉄道総合技術研究所）[10]

A-2：排水・換気設備、その他（電源・防災・避難等）の維持管理・更新技術

・トンネル標準示方書（土木学会）[11]

B. 回収技術

B-1：廃棄体へのアクセス技術、B-2：廃棄体回収・搬出技術、B-3：回収後の維持管理技術

・本報告書 8.4.1(2)1)

・平成 26 年度 地層処分技術調査等事業 地層処分回収技術高度化開発 平成 23 年度～平成 26 年度総括報告書（RWMC）[3]

C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術

C-1：バリア性能評価技術

・第 2 次取りまとめ分冊 3（JNC）[12]

・地層処分事業の技術開発計画（NUMO）[13]

D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術

D-1：坑道維持更新技術の高度化

・トンネル標準示方書（土木学会）[11]

・トンネルの維持管理（土木学会）[6]

・トンネル補修・補強マニュアル（鉄道総合技術研究所）[10]

・「鉄道総研報告」（鉄道総合技術研究所）[14]

D-2：回収技術の合理性向上

・「Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel」（OECD/NEA）[2]

D-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化

・処分場の安全機能と技術要件（NUMO）[16]
・地層処分事業の技術開発計画（NUMO）[13]
・処分システム工学確証技術開発　モニタリング関連技術の整備（RWMC）[19]

E. 事業期間中安全性への影響評価技術

E-1：作業リスク評価技術

・処分場の安全機能と技術要件（NUMO）[16]
・「廃棄物管理施設の保安規定」（日本原燃株式会社）[15]
・トンネル標準示方書（土木学会）[11]

E-2：環境影響評価技術

・処分場の安全機能と技術要件（NUMO）[16]
・地層処分事業の技術開発計画（NUMO）[13]
・改訂・発電所に係る環境影響評価の手引（経済産業省）[17]

E-3：コスト評価技術

・「岩盤構造物の建設と維持管理におけるマネジメント」（土木学会）[18]

F.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術

F-1：坑道維持更新技術の高度化

・トンネル標準示方書（土木学会）[11]
・トンネルの維持管理（土木学会）[6]
・トンネル補修・補強マニュアル（鉄道総合技術研究所）[10]
・「鉄道総研報告」（鉄道総合技術研究所）[14]

F-2：回収技術の合理性向上

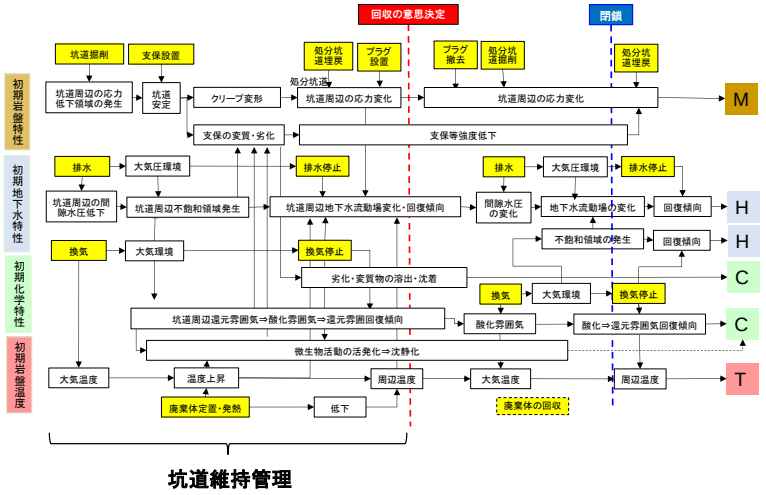
・「Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel」（OECD/NEA）[2]

F-3：計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化

・処分場の安全機能と技術要件（NUMO）[16]
・地層処分事業の技術開発計画（NUMO）[13]
・処分システム工学確証技術開発　モニタリング関連技術の整備（RWMC）[19]

A. 坑道維持更新技術
A-1. 支保工等の維持管理・更新技術
A-2. 排水・換気設備、その他（電源、防災、避難等）の維持管理・更新技術

＜内容＞
回収可能性維持のためにアクセス坑道等を長期に開放した状態を維持するために、坑道の力学的安定性や環境を維持するための技術
＜求められる要件＞
現状技術の延長線上で対応できる技術であること（影響評価のため）

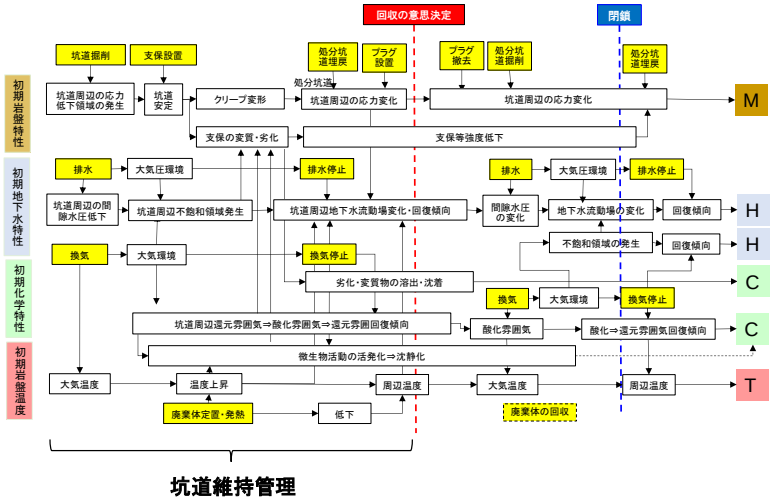


A. 坑道維持更新技術		技術の内容	技術内容の文献等参照先	課題
A-1 支保工等の維持管理・更新技術	A-1-1: 異常発生監視・点検技術	一般的なトンネルで実施されている段階的な点検の実施や非破壊調査、材料試験の技術。	・「トンネルの維持管理」（土木学会） ・「トンネル補修・補強マニュアル」（鉄道総合技術研究所）	― （既存のため）
	A-1-2: 劣化診断技術	点検により坑道の変状が確認された場合、その点検結果に基づいて変状の判定を行う。判定は健全度などの指標を用いる。変状が機能に与える影響の程度や危険度を判断する技術。	・「トンネルの維持管理」（土木学会） ・「トンネル補修・補強マニュアル」（鉄道総合技術研究所）	― （既存のため）
	A-1-3: 補強・修復技術	変状の原因（外力、材料劣化等）を推定し、対策工を選定。対策工には劣化・剥落対策工、湧水対策工、外力対策工などがある。	・「トンネルの維持管理」（土木学会） ・「トンネル補修・補強マニュアル」（鉄道総合技術研究所）	― （既存のため）

図 7.4.2-11　技術要素展開表　技術群 A. 坑道維持更新技術「A-1 支保工等の維持管理・更新技術」の整理と課題

A. 坑道維持更新技術
A-1. 支保工等の維持管理・更新技術
A-2. 排水・換気設備、その他（電源、防災、避難等）の維持管理・更新技術

＜内容＞
回収可能性維持のためにアクセス坑道等を長期に開放した状態を維持するために、坑道の力学的安定性や環境を維持するための技術
＜求められる要件＞
現状技術の延長線上で対応できる技術であること（影響評価のため）

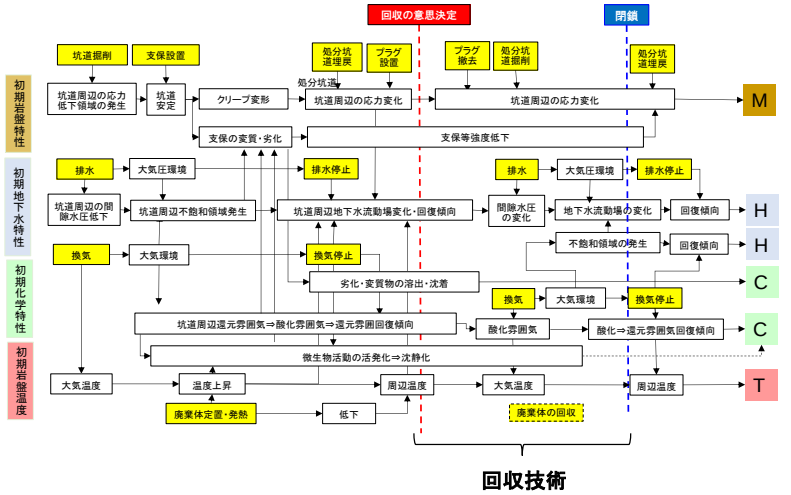


A. 坑道維持更新技術		技術の内容	技術内容の文献等参照先	課題
A-2 排水・換気設備、その他（電源、防災、避難等）の維持管理・更新技術	A-2-1: 異常発生監視・点検技術	各種設備は建設中から設置される。一般的なトンネル等既存の地下施設で実施されている設備点検実施の技術。	・「トンネル標準示方書」（土木学会）	― （既存のため）
	A-2-2: 劣化診断技術	点検による設備劣化の判定を行い、影響程度や危険度を判断する技術。	・「トンネル標準示方書」（土木学会）	― （既存のため）
	A-2-3: 補強・修復技術	判定結果により、設備の補修や更新（置き換え）を実施。	・「トンネル標準示方書」（土木学会）	― （既存のため）

図 7.4.2-12　技術要素展開表　技術群 A. 坑道維持更新技術「A-2. 排水・換気設備、その他（電源、防災、避難等）の維持管理・更新技術」の整理と課題

B. 回収技術
B-1. 廃棄体へのアクセス技術
B-2. 廃棄体回収・搬出技術
B-3. 回収後の維持管理技術

＜内容＞
廃棄体回収時に用いる一連の技術。廃棄体へのアクセス、回収、搬出、管理等の技術。
＜求められる要件＞
現状技術の延長線上で対応できる技術であること（影響評価のため）

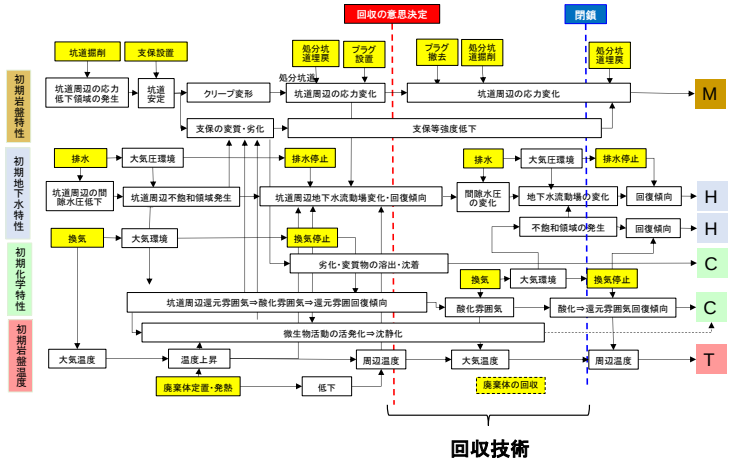


B. 回収技術		技術の内容	技術内容の文献等参照先	課題
B-1 廃棄体へのアクセス技術	B-1-1: プラグ撤去技術	主要坑道と処分坑道間のプラグ撤去、撤去箇所の補強技術。	・（本文4.2.1）回収技術 ・平成26年度 地層処分技術調査等事業 地層処分回収技術高度化開発 平成23年度～平成26年度総括報告書（RWMC） など	― （既存のため） ※ただし、維持状態・期間を想定した工程・コスト評価が必要
	B-1-2: 埋戻し材撤去技術	支保工の状態確認および補強しつつ埋戻し材を撤去する技術。 排水・換気設備の再設置。	・（本文4.2.1）回収技術 ・平成26年度 地層処分技術調査等事業 地層処分回収技術高度化開発 平成23年度～平成26年度総括報告書（RWMC） など	― （既存のため） ※ただし、維持状態・期間を想定した工程・コスト評価が必要

図 7.4.2-13　技術要素展開表　技術群 B. 回収技術「B-1. 廃棄体へのアクセス技術」の整理と課題

B. 回収技術
B-1. 廃棄体へのアクセス技術
B-2. 廃棄体回収・搬出技術
B-3. 回収後の維持管理技術

＜内容＞
廃棄体回収時に用いる一連の技術。廃棄体へのアクセス、回収、搬出、管理等の技術。
＜求められる要件＞
現状技術の延長線上で対応できる技術であること（影響評価のため）

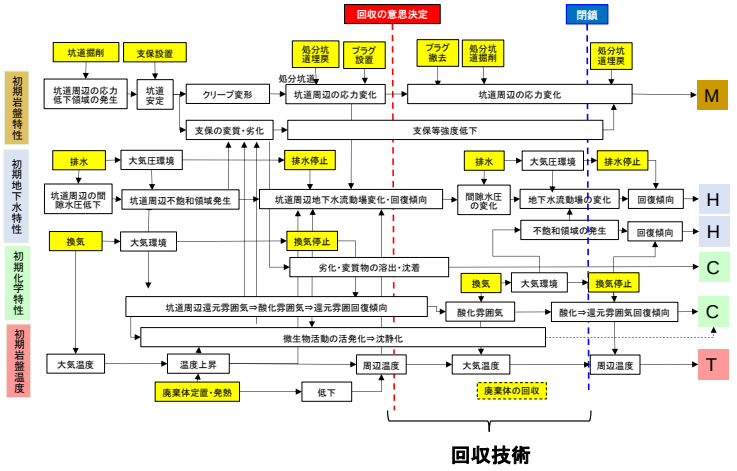


B. 回収技術		技術の内容	技術内容の文献等参照先	課題
B-2 廃棄体回収・搬出技術	B-2-1: 回収用設備・機材設置技術	遠隔での回収・搬出用の器材を処分坑道に設置する技術。	・（本文4.2.1）回収技術 ・平成26年度 地層処分技術調査等事業 地層処分回収技術高度化開発 平成23年度～平成26年度総括報告書（RWMC） など	― （既存のため） ※ただし、維持状態・期間を想定した工程・コスト評価が必要
	B-2-2: 処分ピット上部撤去技術	ピット上部のキャップ撤去、埋戻し材の撤去、ピット補強技術。	・（本文4.2.1）回収技術 ・平成26年度 地層処分技術調査等事業 地層処分回収技術高度化開発 平成23年度～平成26年度総括報告書（RWMC） など	― （既存のため） ※ただし、維持状態・期間を想定した工程・コスト評価が必要
	B-2-3: オーバーパック回収技術	オーバーパック上部、周囲ベントナイトを撤去後、オーバーパックを回収、地表まで搬出する技術。	・（本文4.2.1）回収技術 ・平成26年度 地層処分技術調査等事業 地層処分回収技術高度化開発 平成23年度～平成26年度総括報告書（RWMC） など	― （既存のため） ※ただし、維持状態・期間を想定した工程・コスト評価が必要

図 7.4.2-14　技術要素展開表　技術群 B「B-2. 廃棄体回収・搬出技術」の整理と課題

B. 回収技術
B-1. 廃棄体へのアクセス技術
B-2. 廃棄体回収・搬出技術
B-3. 回収後の維持管理技術

＜内容＞
廃棄体回収時に用いる一連の技術。廃棄体へのアクセス、回収、搬出、管理等の技術。
＜求められる要件＞
現状技術の延長線上で対応できる技術であること（影響評価のため）

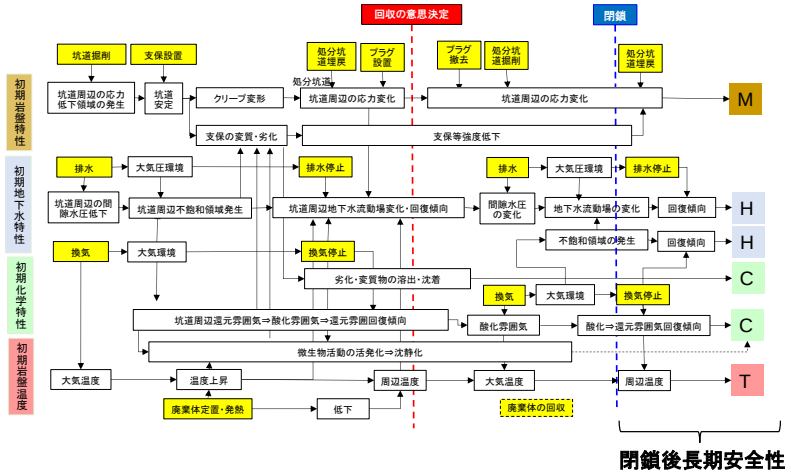


B. 回収技術		技術の内容	技術内容の文献等参照先	課題
B-3 回収後の維持管理技術	B-3-1: 処分坑道・主要坑道埋戻し技術	埋め戻し技術。操業中の埋め戻しと同様。	・（本文4.2.1）回収技術 ・平成26年度 地層処分技術調査等事業 地層処分回収技術高度化開発 平成23年度～平成26年度総括報告書（RWMC） など	ー （既存のため） ※ただし、維持状態・期間を想定した工程・コスト評価が必要
	B-3-2: 連絡坑道・アクセス坑道埋め戻し技術	埋め戻し技術。閉鎖行為と同じ。	・（本文4.2.1）回収技術 ・平成26年度 地層処分技術調査等事業 地層処分回収技術高度化開発 平成23年度～平成26年度総括報告書（RWMC） など	ー （既存のため） ※ただし、維持状態・期間を想定した工程・コスト評価が必要
	B-3-3: 回収後維持管理技術	回収後の維持管理技術。	・（本文4.2.1）回収技術 ・平成26年度 地層処分技術調査等事業 地層処分回収技術高度化開発 平成23年度～平成26年度総括報告書（RWMC） など	ー （既存のため） ※ただし、維持状態・期間を想定した工程・コスト評価が必要

図 7.4.2-15　技術要素展開表　技術群 B. 回収技術「B-3. 回収後の維持管理技術」の整理と課題

C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術
C-1. バリア性能評価技術

＜内容＞
坑道開放と回収が長期安全性に与える影響を評価するための技術
・坑道等開放による影響（程度、範囲）予測
＜求められる要件＞
・多重バリアシステムの安全機能への影響が定量的に評価できること
（処分サイトの条件、維持管理・補修対策、維持管理期間に依存）

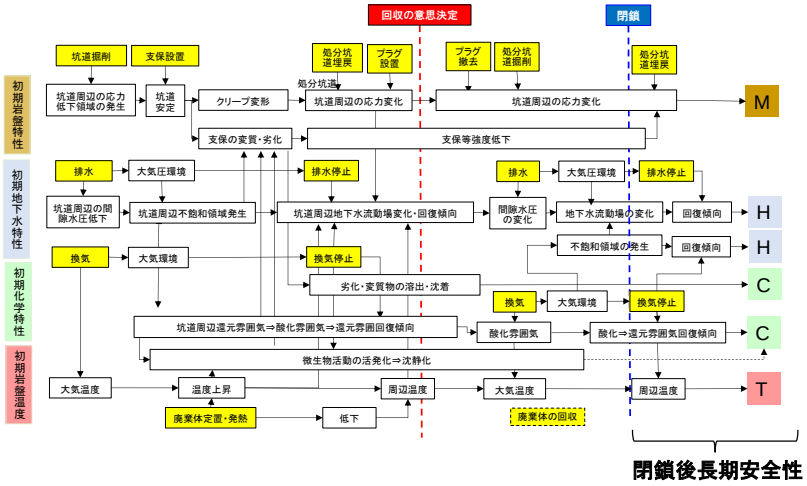


C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術		技術の内容	技術内容の文献等参照先	課題
C-1 バリア性能評価技術	C-1-1: 評価手法	得られる情報に基づく評価をするためのシナリオ設定	・第2次取りまとめ分冊3（JNC） ・地層処分事業の技術開発計画（NUMO）	― （既存のため）
	C-2-1: モデル設定	シナリオを評価するためのモデル設定、解析コードの準備	・第2次取りまとめ分冊3（JNC） ・地層処分事業の技術開発計画（NUMO）	― （既存のため）
	C-3-1: データベース開発	モデルに基づき定量的な評価をするためのデータベース開発	・第2次取りまとめ分冊3（JNC） ・地層処分事業の技術開発計画（NUMO）	回収可能性維持状態・期間による、安全機能への影響を評価するためのデータ整備状況調査、データ整備

図 7.4.2-16　技術要素展開表　技術群 C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術「C-1. バリア性能評価技術」の整理と課題

D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術
D-1. 坑道維持更新技術の高度化
D-2. 回収技術の合理性向上
D-3. 計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化

＜内容＞
坑道開放と回収による長期安全性への影響を低減するための技術
・周辺坑道の水理学的影響低減
・地化学的影響低減
・人工バリア初期性能への影響低減
＜求められる要件＞
・安全機能への影響を低減できる可能性のある技術であること
・長期への影響を考慮した合理性（高度化や容易性の向上）の追求

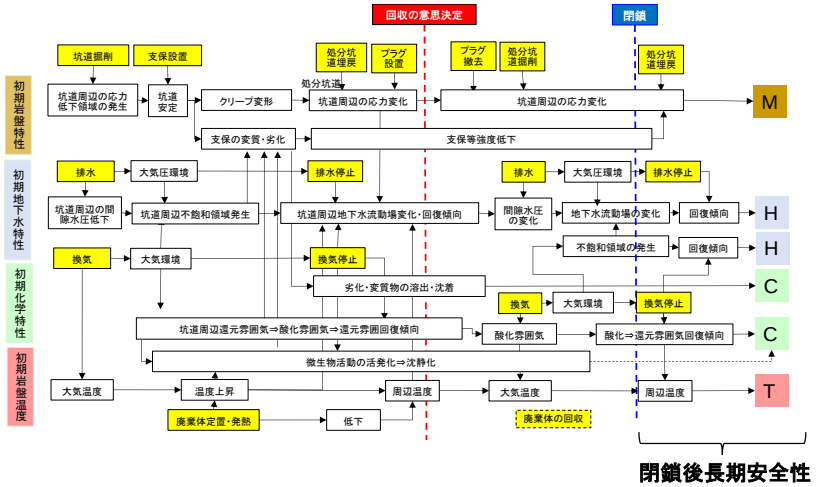


D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術		技術の内容	技術内容の文献等参照先	課題
D-1 坑道維持更新技術の高度化	D-1-1: 初期性能向上	「A.維持更新技術」の高度化。 覆工の処分場への適用性検討、湧水抑制（グラウト）技術、緩衝材流出防止技術（遮水ライナー等）、オーバーパック腐食防止のための坑道環境維持技術、高耐久性材料・設備による更新頻度低減技術等	・「トンネル標準示方書」（土木学会） ・「トンネルの維持管理」（土木学会） ・「トンネル補修・補強マニュアル」（鉄道総合技術研究所） ・「鉄道総研報告」（鉄道総合技術研究所） ・NEXCO総研各種書籍（NEXCO総研）など	回収可能性維持状態・期間を想定した処分場への水理学的・地化学的影響と対策工効果の定量的評価 （高耐久性材料・設備は各事業者等で技術開発・研究実施中）
	D-1-2: 維持・更新高度化	「A.維持更新技術」の高度化。 坑道支保および設備の維持・更新高度化（ユニット化など）	・「鉄道総研報告」（鉄道総合技術研究所） ・NEXCO総研各種書籍（NEXCO総研）など	― （各事業者等で技術開発・研究実施中）

図 7.4.2-17　技術要素展開表　技術群 D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術「D-1. 坑道維持更新技術の高度化」の整理と課題

D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術
D-1. 坑道維持更新技術の高度化
D-2. 回収技術の合理性向上
D-3. 計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化

＜内容＞
坑道開放と回収による長期安全性への影響を低減するための技術
・周辺坑道の水理学的影響低減
・地化学的影響低減
・人工バリア初期性能への影響低減
＜求められる要件＞
・安全機能への影響を低減できる可能性のある技術であること
・長期への影響を考慮した合理性（高度化や容易性の向上）の追求

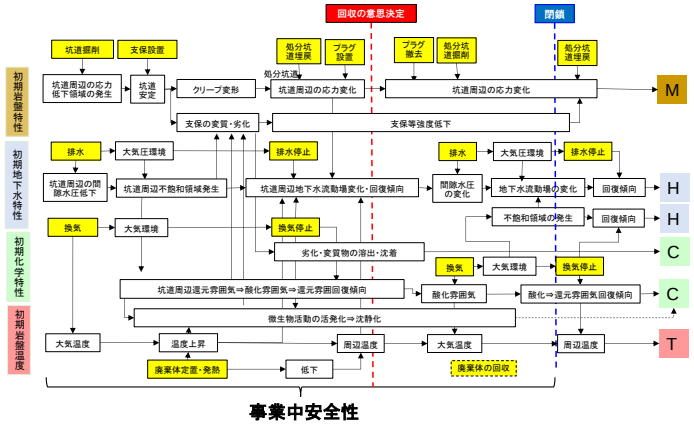


D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術		技術の内容	技術内容の文献等参照先	課題
D-2 回収技術の合理性向上	D-2-1: 回収技術の合理性向上	「B.回収技術」の高度化。回収による長期安全性への影響低減対策	・「Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel」（OECD/NEA）　など	回収技術のさらなる高度化、合理化技術の検討
D-3 計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化	D-3-1: 計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化	坑道維持による影響、周辺環境影響、回収による影響に係る計測・測定技術	・処分場の安全機能と技術要件（NUMO） ・地層処分事業の技術開発計画（NUMO） ・処分システム工学確証技術開発 モニタリング関連技術の整備（RWMC）	回収可能性維持状態・期間を想定した項目や手法に応じた計測・測定技術（モニタリング技術）の整備

図 7.4.2-18　技術要素展開表　技術群 D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術「D-2. 回収技術の合理性向上」、「D-3. 計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」の整理と課題

E. 事業中安全性への影響評価技術
E-1. 作業リスク評価技術
E-2. 環境影響評価技術
E-3. コスト評価技術

＜内容＞
坑道開放および回収作業時の作業リスク、周辺環境影響、コスト評価のための技術
＜求められる要件＞
・労働安全衛生法　・電離放射線障害防止規則　・環境影響防止法
・コスト評価では根拠が必要

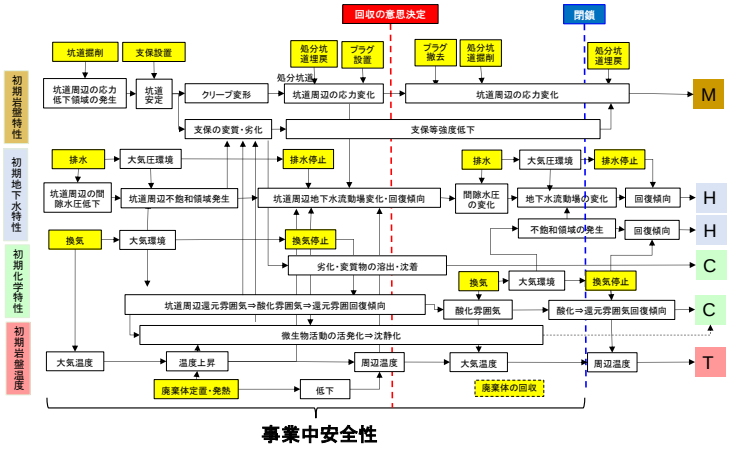


E. 事業中安全性への影響評価技術		技術の内容	技術内容の文献等参照先	課題
E-1 作業リスク評価技術	E-1-1: 放射線安全評価技術	放射線防護（操業時閉じ込め、放射線遮へい）等による放射線被ばく管理技術	・処分場の安全機能と技術要件（NUMO） ・「廃棄物管理施設の保安規定」（日本原燃株式会社）　など	ー （既存のため）
	E-1-2: 一般労働安全評価技術	災害発生・拡大防止、災害時避難経路確保等による作業環境保持管理技術	・「トンネル標準示方書」（土木学会）　など	ー （既存のため）
E-2 環境影響評価技術	E-2-1: 予測・評価技術	環境影響の把握および対策のための予測、評価技術	・処分場の安全機能と技術要件（NUMO） ・地層処分事業の安全確保（NUMO） ・改訂・発電所に係る環境影響評価の手引（経済産業省）　など	ー （既存のため）
E-3 コスト評価技術	E-3-1: コスト評価技術	回収可能性維持に要するコストの評価 LCC算定・指標とするアセットマネジメント等の維持管理マネジメント技術	・「岩盤構造物の建設と維持管理におけるマネジメント」（土木学会）　など	コスト評価のための根拠データ整備

図 7.4.2-19　技術要素展開表　技術群 E. 事業中安全性への影響評価技術「E-1. 作業リスク評価技術」、「E-2. 環境影響評価技術」、「E-3. コスト評価技術」の整理と課題

F. 事業中安全性への影響低減対策技術
F-1. 坑道維持更新技術の高度化
F-2. 回収技術の合理性向上
F-3. 計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化

＜内容＞
坑道開放と回収に伴う影響を低減するための技術
＜求められる要件＞
・安全機能への影響を低減できる可能性のある技術であること
・事業期間中の安全性への影響を考慮した合理性（高度化やの容易性の向上）の追求

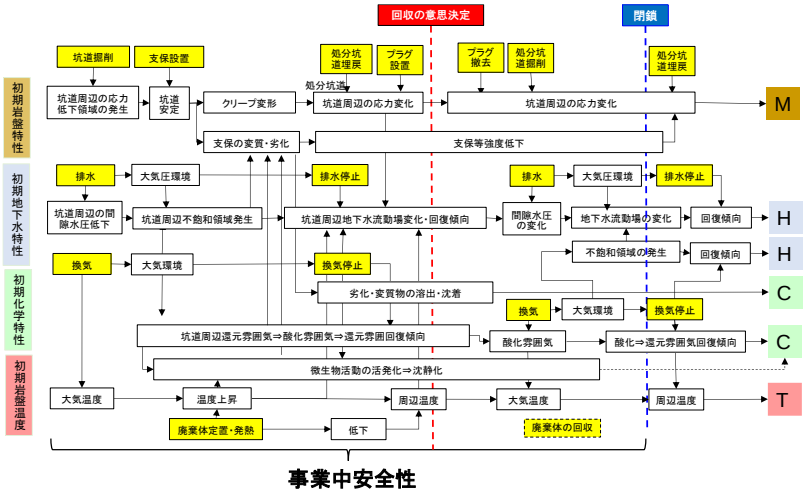


F. 事業中安全性への影響低減対策技術		技術の内容	技術内容の文献等参照先	課題
F-1 坑道維持更新技術の高度化	F-1-1: 初期性能向上	「A.維持更新技術」の高度化。 覆工の処分場への適用性検討、湧水抑制（グラウト）技術、処分孔の力学的安定確保技術（支保工等）、処分孔地下水流入対策技術（遮水ライナー等）、高耐久性材料・設備による更新頻度低減技術、オーバーパック転倒防止対策技術等	・「トンネル標準示方書」（土木学会） ・「トンネルの維持管理」（土木学会） ・「トンネル補修・補強マニュアル」（鉄道総合技術研究所） ・「鉄道総研報告」（鉄道総合技術研究所） ・NEXCO総研各種書籍（NEXCO総研） など	回収可能性維持状態・期間を想定した処分場への水理学的・地化学的影響と対策工効果の定量的評価（力学的安定性確保技術は既存、高耐久性材料・設備は各事業者等で技術開発・研究実施中）
	F-1-2: 維持・更新高度化	「A.維持更新技術」の高度化。 坑道支保および設備の維持・更新高度化（ユニット化など）、環境保全対策技術等	・「トンネル標準示方書」（土木学会） ・「鉄道総研報告」（鉄道総合技術研究所） ・NEXCO総研各種書籍（NEXCO総研） など	回収可能性維持状態・期間を想定した対策工効果の定量的評価（維持・更新高度化は各事業者等で技術開発・研究実施中）

図 7.4.2-20　技術要素展開表　技術群 F. 事業中安全性への影響低減対策技術「F-1. 坑道維持更新技術の高度化」の整理と課題

F. 事業中安全性への影響低減対策技術
F-1. 坑道維持更新技術の高度化
F-2. 回収技術の合理性向上
F-3. 計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化

＜内容＞
坑道開放と回収に伴う影響を低減するための技術
＜求められる要件＞
・安全機能への影響を低減できる可能性のある技術であること
・事業期間中の安全性への影響を考慮した合理性（高度化やの容易性の向上）の追求



F. 事業中安全性への影響低減対策技術		技術の内容	技術内容の文献等参照先	課題
F-2 回収技術の合理性向上	F-2-1: 回収技術の合理性向上	「B.回収技術」の高度化。回収による長期安全性への影響低減対策	・「Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel」（OECD/NEA）　など	回収技術のさらなる高度化、合理化技術の検討
F-3 計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化	F-3-1: 計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化	坑道維持による影響、周辺環境影響、回収による影響に係る計測・測定技術	・処分場の安全機能と技術要件（NUMO） ・地層処分事業の技術開発計画（NUMO） ・処分システム工学確証技術開発 モニタリング関連技術の整備（RWMC）	回収可能性維持状態・期間を想定した項目や手法に応じた計測・測定技術（モニタリング技術）の整備

図 7.4.2-21　技術要素展開表　技術群 F. 事業中安全性への影響低減対策技術「F-2. 回収技術の合理性向上」、「F-3. 計測・測定技術（モニタリング技術）の高度化」の整理と課題

7.5　5ヵ年計画の策定

7.5.1　策定方法（影響評価と影響低減対策を考慮した検討計画の策定）

7.3.2 項で検討した、抽出した影響因子とその影響先との関係を視覚的に表わしたプロセス・インフルエンス・ダイアグラム（以下、PID）を用い、それらの評価方法と対応策（影響やリスクの低減策）を検討するための 5 ヵ年計画を策定する。

5 ヵ年計画には 7.4 で示した技術要素マップの作成より得られる成果も含まれている。また、「地下環境での搬送定置・回収技術の高度化開発」や「処分システム工学確証技術開発　人工バリア品質／健全性評価手法の構築」などの他事業との連携も図り、それらの研究動向も反映した計画案としていくこととしたた。

(1) 5 ヵ年計画策定の流れ

これまでの検討成果を受け、5 ヵ年計画策定の流れを以下に設定する。基本ケースでの検討成果を他の状態オプションと維持期間に展開することで、影響低減の現状での対応策の有効性を吟味し、対応策の整備も含めて 5 ヵ年計画として集約した。

Ⅰ．回収可能性を考慮した際の影響に対する対応技術の現状分析

回収可能性維持に伴う影響要素の抽出	回収維持期間中に回収しない場合と回収する場合の閉鎖までの影響と閉鎖後の影響を状態変遷表から設定し、その影響要素を抽出
回収可能性の状態における影響とその程度（大きさと範囲）の変化	検討対象とした4つの状態オプションに対し、閉鎖前と閉鎖後の影響の変化を定性的に整理
閉鎖前、閉鎖後の影響低減対策の現状整理	閉鎖前、閉鎖後の影響に対し、関連するトリガーや作業に着目し、影響低減対策の現状を整理

Ⅱ．5カ年計画への展開

影響の大きさと範囲の概略検討	影響の及ぼす他の要素・因子についても定性的な議論をし、次年度以降の定量的な評価が必要な事項を抽出しておく
影響低減対策策の分析	影響低減対応策の特徴について整理を図る
開発に資する対応策の選定	開発に資する影響低減対策の判断もしくは評価指標を検討する
対応策の5カ年計画への展開	5カ年計画の展開に向けた基本的な考え方を整理する

図 7.5.1-1　5 ヵ年計画策定の流れ

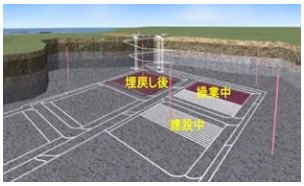
(2) 回収可能性を維持した際の影響に対する対応技術の現状分析

本節では、これまでの検討をまとめる形で、5 ヵ年計画の策定に向けた現況技術について分析を進めた。

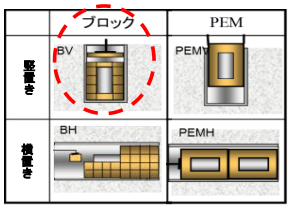
1) 回収可能性維持に伴う影響要素の抽出

今年度の検討では、図 7.5.1-2 に示す組合せを基本ケースとし、a.～e.を固定し、g.～j.をパラメータとして扱い、回収可能性維持に伴う影響要素の抽出を図った。

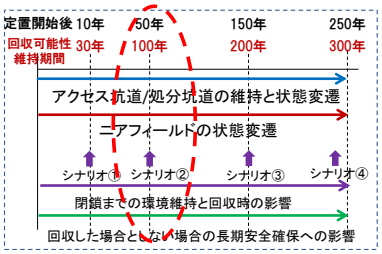
a. 処分場の立地は平野
b. 堆積軟岩、深度は 500m
c. 地質環境特性は、第 2 次取りまとめでのデータセット
d. 処分場は坑道群から構成
e. 平面パネル配置とし、パネル数は 6 面
f. 廃棄体はベントナイトブロックを用いた竪置き方式
g. 操業後閉鎖段階までの回収可能性を維持する状態は、アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道が開放され、処分坑道は全て埋め戻されている状態オプション③
h. 回収可能性を維持する期間としては、建設開始後閉鎖段階までの 100 年（回収シナリオ②）
i. 開放坑道の回収維持は第 2 次取りまとめの坑道仕様を対象に支保等の補強・更新、排水・換気設備の更新など
j. 回収は全数の廃棄体を回収



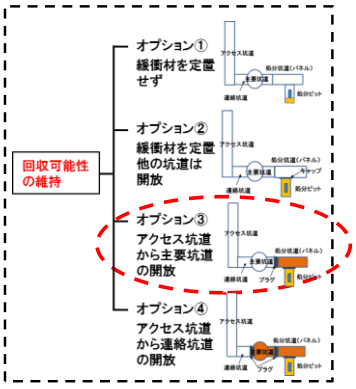
対象母岩と処分場概念



廃棄体定置形態



回収可能性維持期間



回収可能性維持期間中の処分場状態オプション

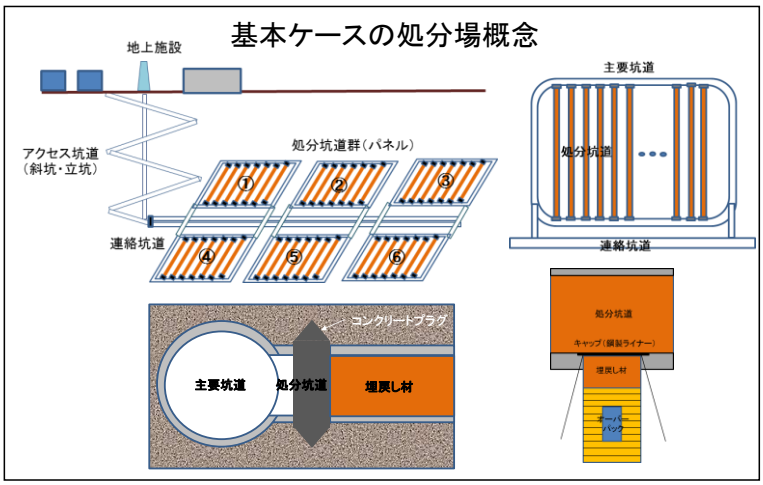


図 7.5.1-2 基本ケースの組合せ

回収可能性維持による影響要素（FEP）の抽出では、最終的に廃棄体を回収しない場合と回収する場合に分けて、閉鎖前の影響要素と閉鎖後の影響要素を抽出した。要素の抽出までの一連の流れと影響との関係を図 7.5.1-3 に示す。

影響要素には、閉鎖前の影響（回収維持作業に伴うリスク、地表への環境影響、費用）と閉鎖後の安全確保に関わる影響（地質環境特性の変化）があり影響受ける要素（レセプター）と呼ばれる。一方、それらに影響を及ぼす要素（トリガー）は、開放坑道の維持のための支保の補強や排水、換気、及び廃棄体の回収のための埋め戻した坑道の掘削、支保補強、排水、換気、回収後の埋戻し等が相当する。

これらのトリガーに当たる要素とレセプターに当たる要素を抽出し、それらの関係（影響伝搬）を結びつけた PID を作成した。

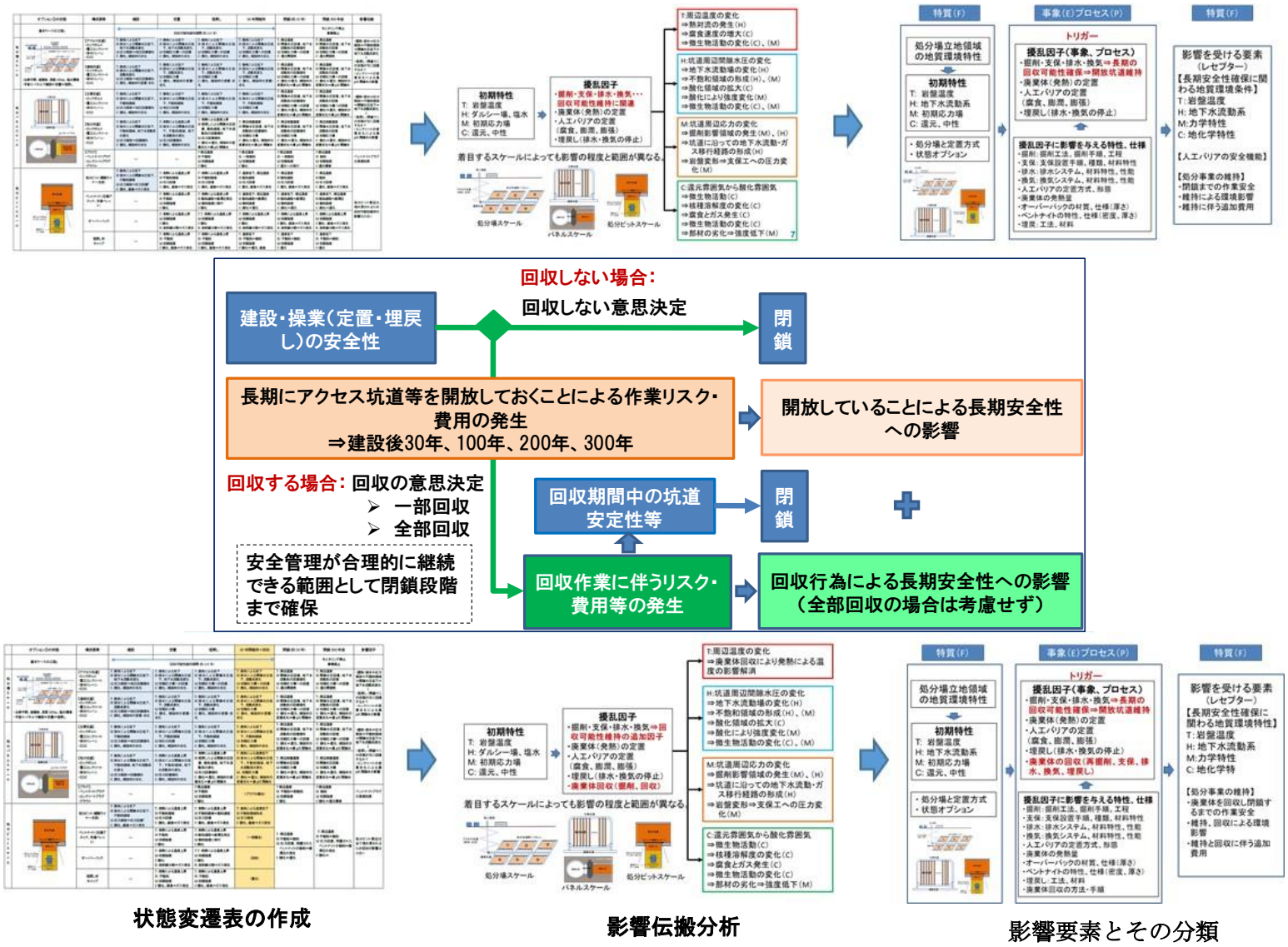


図 7.5.1-3 影響要素抽出の流れ

PID を用いた影響要素の分析は、トリガーとなる要素とレセプターとなる要素を影響伝搬の形で時系列的に記述することで、影響を定量的に評価するためのシナリオに結びつけることができる。PID は図 7.5.1-4 に示すように「回収しない場合」と「回収する場合」の閉鎖後への影響（THMC）を表している（7.3.2(2)項参照）。

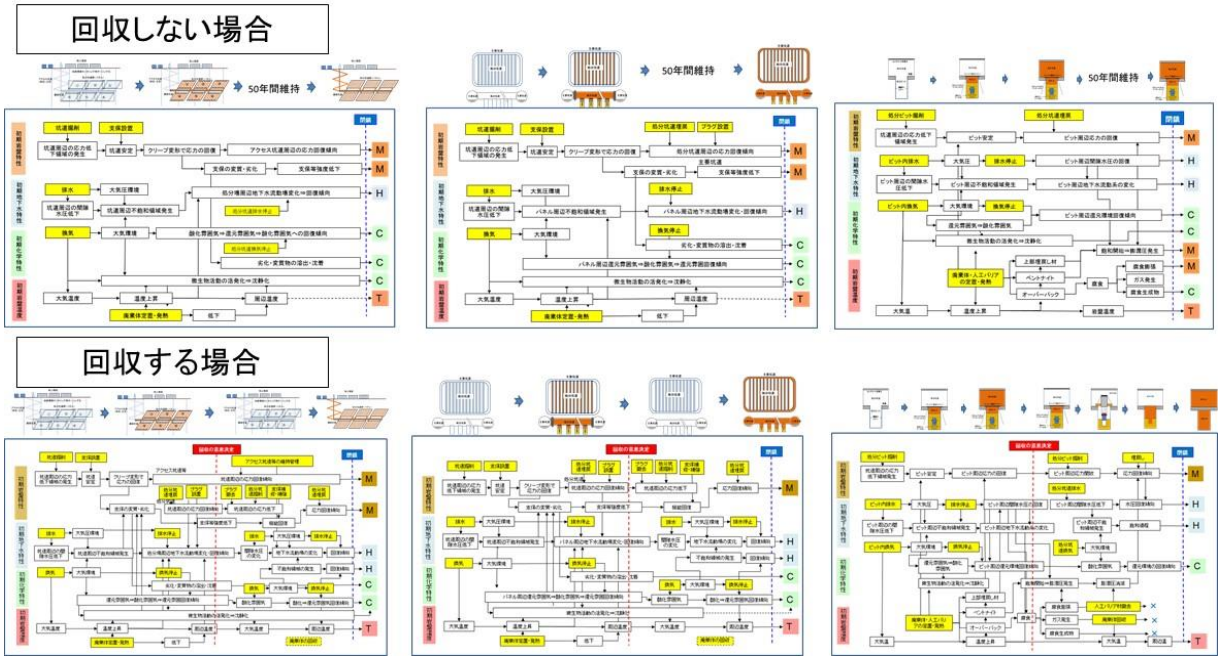


図 7.5.1-4　PID による影響伝搬の分析例

PID は前述したように、影響伝搬を分析し、評価のシナリオや評価モデル整備に結びつけることができるが、PID そのものが影響の程度（大きさや範囲）を示すものではない。また、閉鎖前の影響については、影響の要素（トリガー）は示しているが、作業リスク、環境影響、事業コストなどの異なる影響までの伝播は明示していない。

2)　回収維持の状態における影響とその程度（大きさと範囲）の変化のまとめ

回収可能性を維持するために、処分場をどのような状態にしておくかについては、様々な対応策がある。本検討では、図 7.5.1-5 に示す 4 つの状態オプションを設定してそれぞれの特徴を整理した。

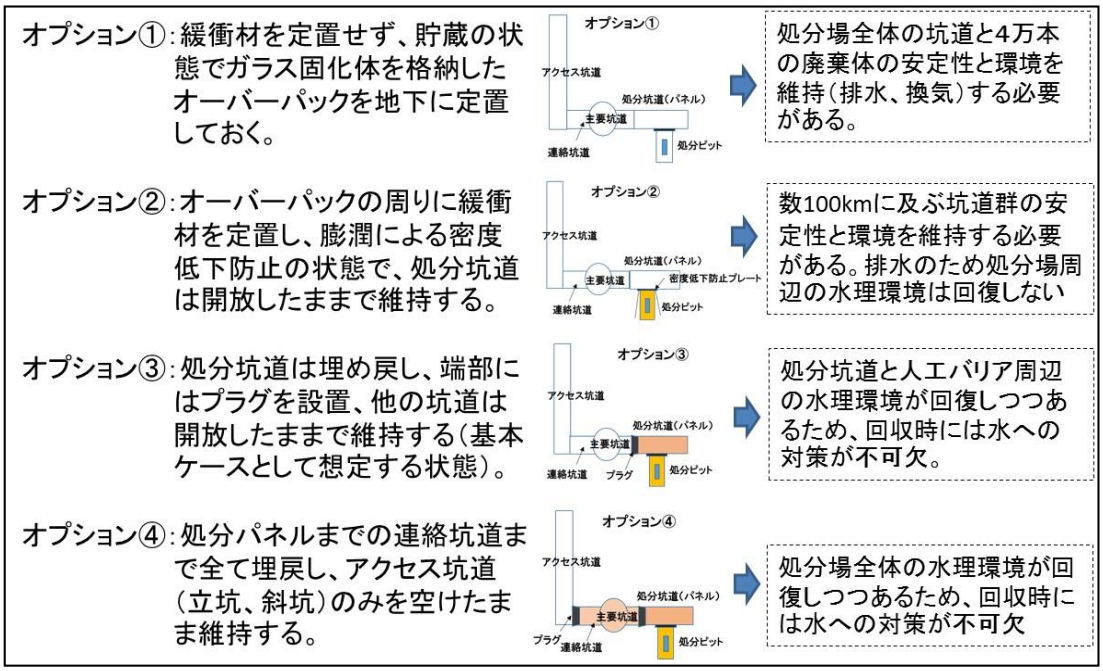


図 7.5.1-5　回収可能性を維持する場合の処分場の状態オプション例

回収可能性を確保した処分場の状態を維持することで発生する影響は、大きく閉鎖前と閉鎖後に分けることができる。維持状態に対する影響の変化（大・小）を模式的に図 7.5.1-6（図 7.3.2-27 再掲）に示す。

図 7.5.1-6（図 7.3.2-27 再掲）では、閉鎖前、閉鎖後いずれも回収しない場合と回収する場合での影響の大きさの変化を定性的にイメージしている。回収をしない場合の閉鎖前の影響では、開放坑道の維持・管理に伴う作業リスク、維持・管理のコスト、維持・管理に伴う地表の環境影響の変化を矢印の方向に大きくなることを示している。一方、回収する場合は、廃棄体のアクセスのために処分坑道等を再掘削し、それらを維持・管理する必要があることから、この傾向は逆転する。

閉鎖後の影響については、回収しない場合、開放坑道の範囲が大きいほど各スケールへの影響は大きくなると考えられる。回収する場合は、埋め戻した坑道を再掘削することになることからオプション④の影響が大きくなる。回収する場合の影響は回収しない場合との組み合わせとなり、その影響の大きさは回収技術の適用性等も考慮して評価する必要があり、定量的な評価が必要である。ただし、回収可能性維持のために開放されている期間と再掘削で開放される期間を比較すると、閉鎖後の影響は、オプション①が最も大きくなると考えられる。どの状態オプションを選択するかについては、今後、総合的に判断する必要がある。

回収可能性維持の期間が変化すると基本ケースでの閉鎖前と閉鎖後の影響がどのように変化するかを定性的に推定した結果を図 7.5.1-7（図 7.3.2-28 再掲）に示す。

状態オプション③を基本に、回収可能性の維持期間の違いによる影響の変化を定性的に推定すると、維持期間が増加するに従い、当然ながら閉鎖前、閉鎖後の影響は大きくなっていく。この傾向は、閉鎖前の場合、回収するほうが作業リスク、環境影響、費用とも増加していく。一方、閉鎖後への影響は、回収する場合の手順と工程に依存するが、基本ケースでパネルごとに短期間で

処分坑道の再掘削、回収、埋戻し作業をすることを想定すれば、周辺地質環境への影響は、坑道を開放しておくことの影響に比較して小さいと考えられる。

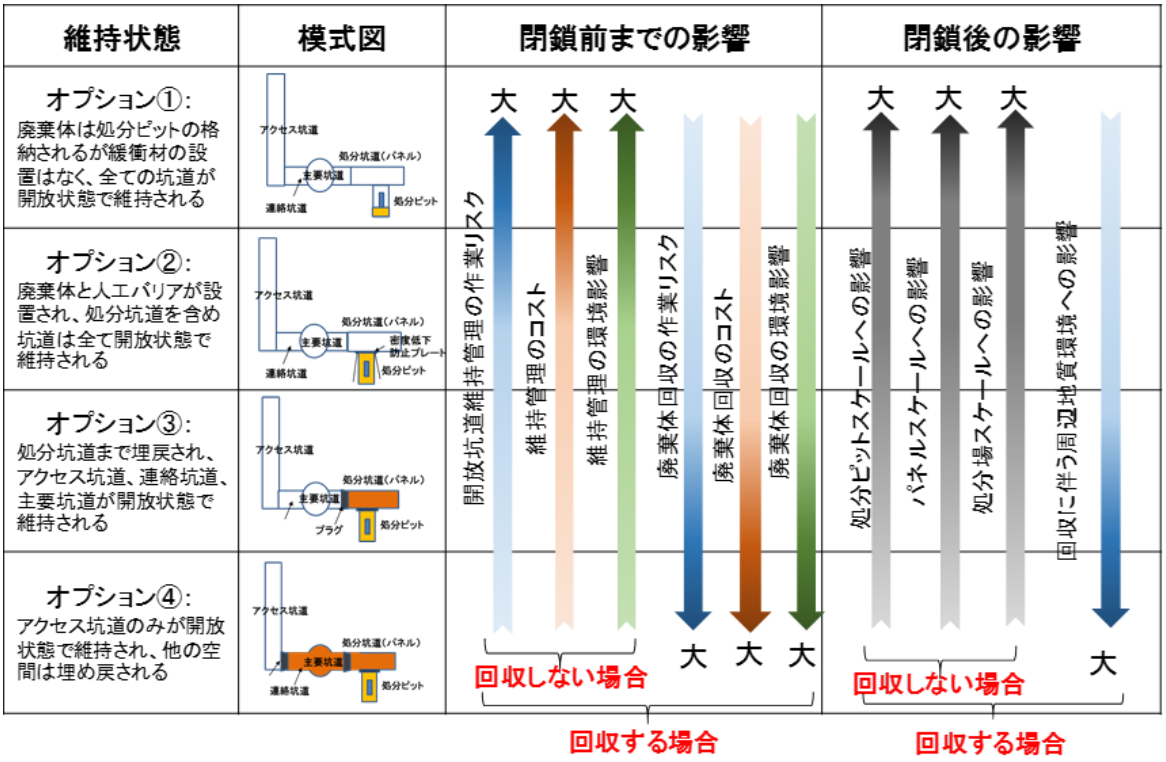


図 7.5.1-6　処分場の状態オプションの違いによる閉鎖前、閉鎖後の影響の変化例（再掲）

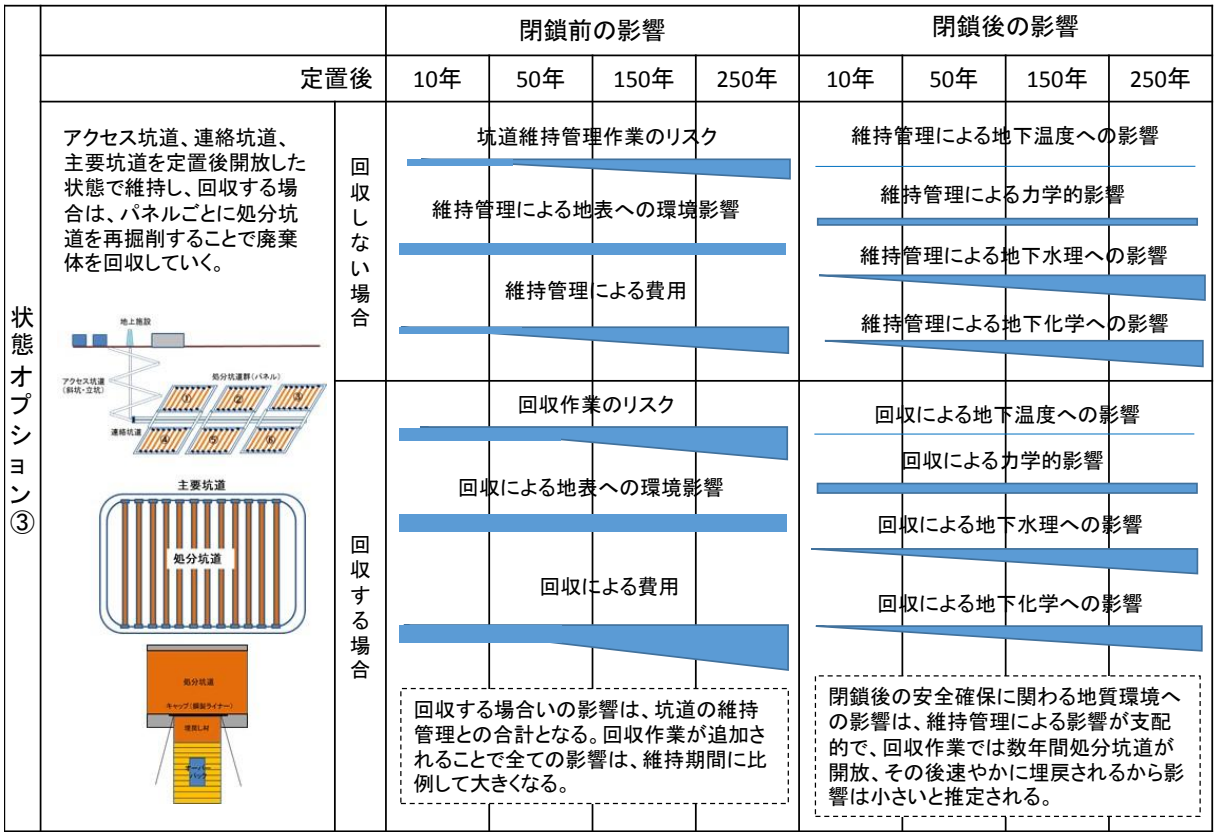


図 7.5.1-7　回収可能性維持期間の違いによる影響程度の変化例

回収可能性維持状態オプションの変化および維持期間の違いによる閉鎖前と閉鎖後の影響の変化を定性的に推定した結果を以下に取りまとめる。

- 回収しない場合の閉鎖前の影響（回収可能性を維持する作業リスク、地表環境への影響、費用）は、維持のために開放しておく坑道の範囲が広い状態オプション①、維持する期間が長い回収シナリオ④が大きくなる。これは、維持管理する坑道の延長が長くなることに起因する。
- 回収しない場合の閉鎖後の影響は、アクセス性のために開放しておく坑道延長の長さにより影響範囲を含めて大きくなると推定される。この傾向は維持期間が長くなるとさらに増加する。閉鎖後の影響が安全確保への影響とした場合、回収可能性を維持することでの周辺環境への影響が、その後閉鎖されたことにより回復していくと予測される場合、その影響の程度は時間の経過とともに減少していく。これらの影響の程度は、処分場の立地環境や処分場概念にも依存し、回復に関わる時間、回復した状態を予測するには不確実性が存在する。
- 回収する場合の閉鎖前の影響は、廃棄体定置後埋め戻された範囲が最も大きい状態オプション④の場合、廃棄体へのアクセスのための再掘削、支保補強、排水等の維持・管理が発生することによりその影響は全て大きくなる。この傾向は、維持期間が長くなることにより、埋め戻された坑道の状態が劣化・変質がすることにより作業の困難さが増加し、大きくなっていく。
- 回収する場合、廃棄体へのアクセス坑道の再掘削、排水、換気により、周辺環境の特性が影響を受けるが、その後埋め戻されるため影響は比較的早く回復すると推定される。もちろんこれらの影響の程度と回復の速さは、処分場の立地環境に依存する。

3) 閉鎖前、閉鎖後の影響低減対策の現状

PID 分析の結果から推定される処分場が閉鎖前と閉鎖後の影響低減に向けての現状（第 2 次取りまとめやトンネル標準示方書等に記載された維持管理策）の対応策を整理したものを表 7.5.1-1 に示す。影響のトリガーは、回収可能性維持のために開放されるアクセス坑道との維持・管理（支保補強、排水、換気など）と回収可能性維持期間中の廃棄体の回収（廃棄体にアクセスのための坑道の再掘削、補強、排水、換気）および回収後の埋戻しとなる。

現状の対応策として、開放坑道の維持・管理の方策は存在するが、回収を前提とした再掘削等の対応策はこれまで系統的には検討されておらず、新たに整備する事項の一つとなる。

表 7.5.1-1　現況での対応策の整理

	閉鎖前の影響	現況での対応	閉鎖後の影響	現況での対応
坑道を長期に開放状態として維持すること ・坑道仕様 ・状態オプション ・維持管理方法 ・維持期間	・設備等の変質や劣化により維持作業（支保等の補強、排水・換気設備の更新）時のリスクが増加 ・維持から発生する廃棄物、排水、換気の処理による環境負荷の増大 ・維持管理方法により費用が大きく変化	⇒定期的点検に基づく支保の補強・更新、排水・換気設備の更新、エレベータ、電気設備の更新 ⇒発生材の敷地内での処理・処分、排水の処理・放流、換気の処理 ⇒定期的な維持・補修による費用発生 【現状は 70 年程度での維持管理を計画し、設計、費用を算定している】	・緩み領域の発生⇒力学強度の低下⇒時間の経過で岩盤応力の回復（強度は不明） ・長期の排水・換気による周辺岩盤の間隙水圧の低下⇒地下水流動場の変化⇒閉鎖後の回復速度や程度は不明 ・換気・排水⇒不飽和領域の発生⇒酸化雰囲気、微生物活動活発化⇒閉鎖後不飽和領域の回復、還元雰囲気の回復速度や程度は不明	⇒NATM 工法による緩み領域を発生しながら安定性確保、劣化・変質の影響を補修・更新での周辺岩盤の緩み拡大を抑制するとしている ⇒背面排水ドレーンを設置し坑道への流入水を排水、高透水ゾーンはグラウトで止水、間隙水圧の低下を考慮していない ⇒強制換気、不飽和領域の発生を考慮していない
回収可能性維持しつつ廃棄体を回収すること ・定置形態 ・状態オプション ・回収方法 ・維持期間	・廃棄体へのアクセス時（再掘削、補強、排水等）、廃棄体回収作業時のリスク増加 ・廃棄体回収による廃棄物の発生による環境負荷の増大 ・回収のための費用が維持期間と状態により大きく変化	⇒回収することを前提とした設計はなされていない。	・一度埋め戻された環境の再掘削、補強、排水、換気による影響が発生するが、パネル単位での回収であれば、その影響の程度と範囲は限定され、埋戻しにより回復する可能性は大きい	⇒再掘削による影響を考慮した設計はなされていない

(3)　5 ヵ年計画への展開

回収可能性を維持することによる影響は、処分場の状態、回収維持期間により変動することが分かった。本節では、これらの影響を削減あるいは低減するための対応策（影響低減対策）を定性的な検討から設定し、それらを整備するための開発ステップを作成するとともに 5 ヵ年計画に展開する。

1)　影響の大きさと範囲の推定

7.5.1(2)で記述したように、回収可能性維持による影響は、閉鎖前と閉鎖後に分類できる。影響の規模（大きさとその範囲）は、図 7.5.1-2 に示す様々な要素と因子に依存し、影響の有

意性を判断するには組合せを考慮した定量的な評価を行う必要がある。

表 7.5.1-2 に示した影響要素は、大きく二つに分類できる。a.～f.は回収可能性の維持に係わらず、通常の建設・操業における閉鎖前と閉鎖後の影響の要素でもある。g.～j.までは、回収可能性を維持することにより発生する影響の要素となる。

影響の規模（大きさと範囲）は、これらの要素と要素を構成する因子によって変動することが推定される。例えば、動水勾配が大きい地形と小さい地形、透水係数の違い、処分深度、処分場の概念等により、建設・操業段階で発生する影響の規模および閉鎖後の回復状況は変動し、回収可能性維持のために坑道を開放している状態とその期間の影響、回収作業により新たに発生する影響などが、追加の影響として考慮する必要が生ずる。これらの影響を定量的に評価する手法は存在するが、その予測の確からしさを証明するのは限定される。例えば、地下研究施設等での坑道周辺等の狭い範囲での影響の発生とその回復に関わる事象に係わるデータの取得でき、そのデータをもとに予測はできるが、処分場規模での影響発生とその回復状況については影響の規模にも依存するが多くの不確実性を伴うと考えられる。

表 7.5.1-2　閉鎖前と閉鎖後の影響要素と影響因子の抽出例

<table>
<tr><th></th><th>影響要素</th><th>因子</th><th>閉鎖前の影響</th><th>閉鎖後の影響</th></tr>
<tr><td rowspan="6">通常の建設・操業の影響</td><td>a. 処分場の立地位置</td><td>・沿岸内陸、・沿岸平野、沿岸海底下、・島嶼、・・・</td><td rowspan="4">立地位置、母岩、地質環境特性の組合せにより、処分場仕様や建設方法が異なり、回収化可能性維持に伴う
・作業安全性
・地表での環境影響
・費用の大きさ、範囲
が異なる。</td><td rowspan="4">立地位置、母岩、地質環境特性の組合せにより、処分場仕様や建設方法が異なり、回収化可能性維持に伴う
・地質環境影響の大きさ、範囲
・回復の傾向・速さ
が異なる。</td></tr>
<tr><td>b. 母岩の種類・深度</td><td>・堆積軟岩（500m）、・硬岩</td></tr>
<tr><td>c. 地質環境特性</td><td>・地温（T）、水理（H）、力学（M）、地化学（C）【H12の設定】</td></tr>
<tr><td>d. 処分場概念</td><td>・坑道定置、空洞定置</td></tr>
<tr><td>e. 定置概念</td><td>・単体定置、複数定置
・竪置き、横置き
・分離型、一体型（PEM）</td><td>定置形態に伴い回収方法も異なることから・作業安全、環境影響、費用への影響が異なる。</td><td>回収維持のための廃棄体がおかれる状況により影響が異なる。</td></tr>
<tr><td>f. 処分場レイアウト</td><td>・平面配置、多段配置
・集中配置、分散配置（パネル）</td><td>レイアウトにより回収維持に伴う影響の程度が異なる。</td><td>地質環境への影響の範囲と回復の傾向が異なる。</td></tr>
<tr><td rowspan="4">回収可能性維持の影響</td><td>g. 回収維持の状態</td><td>・緩衝材定置せず
・処分坑道まで開放
・主要坑道まで開放
・アクセス坑道のみ開放</td><td rowspan="4">維持状態（開放レベル）・維持期間・維持方法・回収方法により作業安全・環境影響・費用が異なる。</td><td rowspan="4">維持状態（開放レベル）、維持期間、維持方法、回収方法・手順により、周辺環境特性への影響の大きさ、範囲が異なる。</td></tr>
<tr><td>h. 回収維持期間</td><td>建設開始から閉鎖まで、
30年、100年、200年、300年。</td></tr>
<tr><td>i. 回収維持方法</td><td>支保補強、排水、換気</td></tr>
<tr><td>j. 回収方法・手順</td><td>回収方法：定置概念に依存
本数：一部・全部の廃棄体</td></tr>
<tr><td colspan="5">赤字は今年度の検討の前提</td></tr>
</table>

2)　影響低減対応策の分析

基本ケースの検討結果を他の状態オプションに展開した場合、あるいは状態オプション③のケースを異なる回収シナリオに展開した場合の定性的な影響規模の変動推定から、現状の知見によりそれらの影響を低減する複数の対応策を設定した上で、開発に資する対応策を選定していくことになる。考えられる影響低減対応策には、以下の特徴がある。

・　閉鎖前の影響（作業リスク、環境影響、事業コスト）低減対策策は、対象とする坑道や

空洞の形状、規模、長さに関係なく、維持期間の長さより発生する影響を低減することに主眼が置かれる。

- 閉鎖後の影響低減対策では、坑道を開放しておくことによる水理学的な影響低減に主眼をおいた対応策が設定される。
- 閉鎖前の対応策を含めて、ライフサイクルを考慮した最適な維持・管理方策を開発することも対応策の一つとなる。
- 回収する場合の影響の対応策は、主として閉鎖前の影響低減に主眼が置かれる。この理由としては、回収に関わる期間を考慮すると、閉鎖後に与える影響は、回収作業によるものよりも処分場をどのような状態にしておくかのほうが大きいと推定されるためのである。
- 回収する廃棄体にアクセスするための坑道の再整備に伴う閉鎖前の影響低減対策は、維持管理と同様である。回収に伴う影響は、閉鎖前の影響に限定されることから、これらの影響を低減するには、回収方法の最適化のみならず、維持管理の状態を含めて処分場概念を対象とした対応も、対応策の一つとなる。

ここで、トンネル標準示方書等に記載されている開放坑道の維持・管理方策は、完成した坑道を想定する期間安全に維持するための方策が例示されている。一方で、本検討で対象とするような長期の影響については考慮されておらず、また一度埋め戻した坑道を再掘削して維持管理する方策についても言及されていない。しかし、既往の知見から、開放坑道を長期にわたり安全に維持する、あるいは一度埋め戻した坑道を安全に再掘削し、維持することは、現状の技術の延長線上で可能であると判断される。従って、ここでの課題となる事項は、これらの対応策が及ぼす閉鎖前と閉鎖後の影響が十分把握されていない、あるいは維持期間が長くなると及ぼす影響が大きくなる可能性を否定できない点にあるものと考えられる。

なお、前述したように、基本ケースを他の状態オプションに展開した場合、あるいは他の回収シナリオに展開した場合、いずれも新たな種類の影響は発生せず、影響の規模（大きさと範囲）が変動するのみであるため、対応策はどのケースにも適用できると考えられる。

3) 開発に資する対応策の選定

抽出された対応策について、重要度および緊急度等の指標を用いた分析により評価を行い、5ヵ年の開発計画として立案していく。

ここでの重要度とは、要素的な技術のみならず、影響要素や因子に直接関連し、最も影響低減に有効であると推定できる方策を示す。すなわち、本業務において取り扱うのに相応しいないかどうかを検討により設定する。

また、緊急度とは、要素技術も含めて現段階まで考慮されておらず、関連する技術についても整備されていない項目を取り上げている。すなわち、検討を実施していくプロセスを考慮した順位を検討により設定していく。

開放坑道の維持管理に関する対応策は、基本的に現状での処分場概念をベースとした現状の維

持・管理技術の延長線上で、建設初期段階から閉鎖までの施設や設備のライフサイクルをベースに、新材料の導入や新たな維持方法を開発することで、坑道を含む周辺の状態変遷の変化速度とトータルコストを比較検証しながら最適化を図っていく方策である。このような最適化には、影響の程度に関連するパラメータの絞りこみと組合せの中での定量化が不可欠となることから、追跡性と透明性を確保できるスクリーニング指標や解析のモデル化を開発していくことが求められると考えられる。

開放坑道を維持しつつ回収する場合の影響低減策は、現状の処分場概念をベースに、閉鎖前と閉鎖後の影響を考慮して、廃棄体にアクセスする方法や回収の手順の最適な方策を開発していくものである。この場合、低減策の最適化に向けた判断指標の取得方法、判断基準の設定方法も並行して準備しておかねばならないと考えられる。一方で、閉鎖前と閉鎖後の影響低減の考慮した処分概念の開発の中で回収の容易性を向上する新たな概念を準備し、それらの設計・施工方法を開発していくものである。この対応策の開発では、先ずどのようなアプローチで処分場概念の開発と回収性の向上を図っていくかの取り組み方から検討を始める必要があると考えられる。

4) 影響低減策の 5 ヵ年計画への展開

回収を維持することによる影響の低減策を 5 ヵ年計画に展開するには、各ステップを詳細化し、開発ステップにかける年数を設定する必要がある。影響の低減策を具現化したのち、必要となる技術等を設定し、その整備に向けた開発計画と実証計画を設定することになる。なお、5 ヵ年計画への具体的な展開については、7.4 節の技術要素マップの作成における技術課題の設定も含めて、5 ヵ年計画を策定する。

7.5.2 5 ヵ年計画の策定

(1) 技術体系を構成する技術群の特徴と課題

前節において技術群の展開と整理によって抽出した技術的課題について、今後開発すべき事項を明らかにして 5 ヵ年計画に集約するため、技術群ごとに再整理して表 7.5.2-1 に示す。

表中の技術群 A. 坑道維持更新技術は、現状技術の延長線上で対応できる技術であることが要件であり、技術は既存であるため課題は特に挙げていない。ただし、後述する技術群 D, F の影響低減効果を評価するためのベースとなる比較対象となるため、第 2 次取りまとめの概念で回収可能性維持状態および期間を想定した処分場への影響の定量的評価が必要となることが考えられる。なお、定量的評価の実施に際しては、表 7.5.1-2 に示した閉鎖前と閉鎖後の影響要素と影響因子を考慮し、回収可能性維持による影響の有意性を判断するために組み合わせを考慮する必要がある。

技術群 B. 回収技術についても、現状技術の延長線上で対応できる技術であることを要件としているため、課題は特に挙げていない。ただし、後述する技術群 D, F の影響低減効果を評価するためのベースとなる比較対象となるため、既存技術の実証実験の結果等を踏まえ、回収可能性維持状態および期間を想定した工程・コストの評価が必要となると考えられる。

技術群 C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術は、多重バリアシステムの安全機能への影響

が定量的に評価できることが要件であるが、評価手法やモデル化技術については既存であることから課題は挙げていない。しかし、回収可能性維持を想定したときの評価手法やモデル化技術で用いるためのデータベースの整備は課題と考えられる。まずはデータ整備の状況を確認し、必要に応じてデータを整備していく必要がある。

技術群 D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術は、安全機能への影響を低減できる可能性のある技術であることや長期への影響を考慮した合理性（高度化や容易性の向上）が要件の技術であり、前章の技術群の展開と整理で挙げた工学的対策に関する維持状態・期間を想定した水理学的・地化学的影響への効果の定量的評価や、回収技術のさらなる高度化、合理化技術の検討が必要と考えられるため課題として挙げた。また、回収可能性維持状態や期間を想定した閉鎖後長期安全性への影響、その影響に対する低減対策効果を確認するための計測・測定技術についての整備も併せて行う必要があるため、これも課題とした。

技術群 E. 事業期間中安全性への影響評価技術は、労働安全衛生法や電離放射線障害防止規則等に対応するための評価が要件であり、各評価手法は既存であるが、回収可能性維持を考慮したコスト評価については根拠となるデータの整備が必要と考えられることから課題として挙げた。

技術群 F. 事業期間中安全性への影響低減対策技術は、安全機能（安全対策）への影響を低減できる可能性のある技術であること、および事業期間中の安全性への影響を考慮した合理性（高度化やの容易性の向上）が要件の技術であり、技術群 D.と同様に、前章の技術群の展開と整理で挙げた工学的対策に関する維持状態・期間を想定した水理学的・地化学的影響への効果の定量的評価や、回収技術のさらなる高度化、合理化技術の検討が必要と考えられるため課題として挙げた。また、回収可能性維持状態や期間を想定した閉鎖後長期安全性への影響、その影響に対する低減対策効果を確認するための計測・測定技術についての整備も併せて行う必要があるため、これも課題とした。

なお、定量的評価にあたっては、影響の大きさとその範囲は、表 7.5.1-2 に示した影響要素と因子に依存することから、影響の有意性を判断するには組合せを考慮する必要がある。

表 7.5.2-1　技術体系を構成する技術群の特徴と課題

・薄い色（D,F）：ハード技術、濃い色（C,E）：ソフト技術

	技術の分類	技術内容	必要技術例	技術に求められる要件	課題
維持更新と回収技術	A. 坑道維持更新技術	アクセス坑道等を長期に開放した状態を維持するために、坑道の力学的安定性や環境を維持するための技術 ・坑道内環境の維持と更新	・支保工等の維持管理・更新技術 ・排水・換気設備の維持管理・更新技術	・現状技術の延長線上で対応できる技術であること（影響評価のため）	ー（既存） ※ただし、維持状態・期間を想定した処分場への影響の定量的評価が必要
	B. 回収技術	廃棄体回収時に用いる一連の技術 ・廃棄体へのアクセス、回収、搬出、管理等	・廃棄体へのアクセス技術・廃棄体回収・搬出技術 ・回収後の維持管理技術	・現状技術の延長線上で対応できる技術であること（影響評価のため）	ー（既存） ※ただし、維持状態・期間を想定した工程・コストの評価が必要
閉鎖後長期の安全性	C.閉鎖後長期安全性への影響評価技術	坑道開放と回収が長期安全性に与える影響を評価するための技術 ・坑道等開放による影響（程度、範囲）予測	・評価手法（シナリオ作成技術） ・モデル化技術 ・データベース開発	・多重バリアシステムの安全機能への影響が定量的に評価できること（処分サイトの条件、維持管理・補修対策、維持管理期間に依存）	・評価のためのデータ整備状況調査、データ整備 【評価手法・モデル化は既存】
	D.閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術	坑道開放と回収による長期安全性への影響を低減するための技術 ・周辺坑道の水理学的影響低減 ・地化学的影響低減 ・人工バリア初期性能への影響低減	・坑道維持更新技術の高度化（A.維持更新技術の高度化：初期品質向上、維持・更新高度化） ・回収技術の合理性向上（B.回収技術の高度化） ・計測・測定技術の高度化	・安全機能への影響を低減できる可能性のある技術であること ・長期への影響を考慮した合理性（高度化や容易性の向上）の追求	・維持状態・期間を想定した水理学的・地化学的影響への対策工効果の定量的評価 ・回収技術のさらなる高度化、合理化技術の検討 ・維持状態・期間を想定した計測・測定技術整備
事業期間中の安全性	E.事業期間中安全性への影響評価技術	坑道開放および回収作業時の作業リスク、周辺環境影響、コスト評価のための技術 ・放射線安全、一般労働安全性の評価 ・周辺環境影響の評価 ・コストの評価	・作業リスク評価技術 ・環境影響評価技術 ・コスト評価技術	・労働安全衛生法 ・電離放射線障害防止規則 ・環境影響防止法 ・コスト評価では根拠が必要	・コスト評価のための根拠データ整備 【各評価手法は既存】
	F.事業期間中安全性への影響低減対策技術	坑道開放および回収に伴う影響を低減するための対応技術	・坑道維持更新技術の高度化（A.維持更新技術の高度化：初期品質向上、維持・更新高度化） ・回収技術の合理性向上（B.回収技術の高度化） ・計測・測定技術の高度化	・安全機能（安全対策）への影響を低減できる可能性のある技術であること ・事業期間中の安全性への影響を考慮した合理性（高度化やの容易性の向上）の追求	・維持状態・期間を想定した水理学的・地化学的影響への対策工効果の定量的評価 ・回収技術のさらなる高度化、合理化技術の検討 ・維持状態・期間を想定した計測・測定技術整備

(2) 重要度および緊急度の分析による技術群の課題整理

5 ヵ年計画へ集約を行うため、前項で整理した技術的課題について重要度および緊急度等の指標を用いた分析により選定を行った。ここで、重要度および緊急度は以下のとおり設定した。なお、Ⅲが最も重要度、緊急度が高い点数となる。

・重要度（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）　：本業務において取り扱うのに相応しい内容かどうか
・緊急度（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）　：検討を実施していくプロセスにおける順番

上記の重要度、緊急度を用いた技術的課題の分析結果を整理して表 7.5.2-2 に示す。ここで、技術群 A および B の技術は既往技術を適応可能であるため、検討対象外とした。ただし、後述する技術群 D, F の影響低減効果を評価するベースとするため、技術群 A については第 2 次取りまとめの概念での定量的評価は必要となり、また、技術群 B については既存の技術を用いた実証実験の結果等を反映した工程・コストの評価が必要となる。

表中の技術群 C および E は影響評価技術であり、評価のためのデータ整備が課題であるが、他の研究機関や研究開発で既に研究が進められていることから重要度はⅡと評価した。緊急度については、まずは他の研究機関等での状況を調査・整理することが必要となり、未実施だった場合に本検討業務で取り扱うかを今後検討することとなることから緊急度はⅡと評価した。

一方、技術群 D および F は影響低減対策技術であり、回収可能性維持期間を対象とした高度化、合理性向上の検討は他研究において未実施であることから、本検討業務において取り扱うに相応しいと考え、重要度はⅢと評価した。緊急度については、それぞれの課題①～③のうち、まずは課題①として挙げた、回収可能性維持状態および期間を想定した処分場への水理学的・地化学的影響の定量的評価と対策工の効果について定量的評価を行うこと、併せて課題②の回収技術のさらなる高度化、合理性向上技術の検討を行うことについて緊急度が高いと評価し、課題①および課題②の緊急度をⅢとした。また、課題③で挙げた回収可能性維持状態および期間を想定した計測・測定技術（モニタリング技術）の整備については、計測・測定項目とそれに対応した手法について整備する必要があり、課題①の成果やこれまでの既往の研究を踏まえて検討していく必要があり、緊急度はⅡと評価した。

以上の重要度および緊急度の分析により、技術群 D および F の技術的課題を 5 ヵ年計画の対象とすることとした。

表 7.5.2-2　技術群の課題に対する重要度および緊急度の分析

・薄い色（D,F）：ハード技術、濃い色（C,E）：ソフト技術

	技術の分類	技術内容	課題	重要度	緊急度
閉鎖後長期の安全性	C. 閉鎖後長期安全性への影響評価技術	坑道開放と回収が長期安全性に与える影響を評価するための技術 ・坑道等開放による影響（程度、範囲）予測	①評価のためのデータ整備状況調査、データ整備	Ⅱ 他の研究機関、技術開発等で既に研究が進められている。	課題①：Ⅱ 他の機関等での研究実施状況の調査・整理が必要。未実施なら整備。
	D. 閉鎖後長期安全性への影響低減対策技術	坑道開放と回収による長期安全性への影響を低減するための技術 ・周辺坑道の水理学的影響低減 ・地化学的影響低減 ・人工バリア初期性能への影響低減	①維持状態・期間を想定した処分場への水理学的・地化学的影響と対策工効果の定量的評価 ②回収技術のさらなる高度化、合理化技術の検討 ③維持状態・期間を想定した計測・測定技術（モニタリング技術）整備	Ⅲ 回収可能性維持期間を対象とした高度化、合理性向上の検討は他研究において未実施。	課題①：Ⅲ 課題②：Ⅲ 課題③：Ⅱ 影響と対策工効果を定量的に把握した後、具体的方策を示す。
事業期間中の安全性	E. 事業期間中安全性への影響評価技術	坑道開放および回収作業時の作業リスク、周辺環境影響、コスト評価のための技術 ・放射線安全、一般労働安全性の評価 ・環境影響の評価 ・コストの評価	①コスト評価のための根拠データ整備	Ⅱ 他の研究機関、技術開発等で既に研究が進められている。	課題①：Ⅱ 他の機関等での研究実施状況の調査・整理が必要。未実施なら整備。
	F. 事業期間中安全性への影響低減対策技術	坑道開放および回収に伴う影響を低減するための対応技術	①維持状態・期間を想定した処分場への水理学的・地化学的影響と対策工効果の定量的評価 ②回収技術のさらなる高度化、合理化技術の検討 ③維持状態・期間を想定した計測・測定技術（モニタリング技術）整備	Ⅲ 回収可能性維持期間を対象とした高度化、合理性向上の検討は他研究において未実施。	課題①：Ⅲ 課題②：Ⅲ 課題③：Ⅱ 影響と対策工効果を定量的に把握した後、具体的方策を示す。

※技術群 A,B は既往技術を適応可能であるため対象外とした。ただし、技術群 D,F の影響低減効果の比較対象としての定量的評価は必要。

(3) 5 ヵ年計画案の策定

図 7.5.2-1 に 5 ヵ年計画の概要を示す。本年度は定置方式については竪置き方式、また緩衝材製作・施工方法はブロック方式とした人工バリア定置方式を対象として、影響因子の検討と人工バリア品質保持および坑道環境維持のための工学的対策について検討を実施し、回収可能性維持状態と期間を考慮した技術要素マップを作成した。また、そこから課題を抽出して 5 ヵ年計画を策定した。

次年度は定置方式を横置き方式、また緩衝材製作・施工方法はブロック方式よりも定置・回収について容易性が高いと考えられる PEM 方式を対象として、本年度と同様の検討を行い、結果について比較を行うこととした。これにより、定置方式および緩衝材製作・施工方法の組み合わせが網羅できると考えられる。

また、来年度以降は、今年度課題として挙げた水理学的・地化学的な影響および対策工効果についての定量的評価を実施していく計画とした。まず、基本となる岩盤の損傷領域の透水性について力学的な解析に基づく評価を行い、その評価結果を用いた非定常地下水流動解析により回収可能性維持状態・期間を考慮した水理学的な影響を評価する。平成 29 年度以降は影響に対する工学的対策の効果を人工バリア定置方式毎に実施していくこととし、地化学的な状態変化の定量的評価も併せて行う。検討ケースを記載し、詳細化した計画案と成果の概要を図 7.5.2-2 に示す。

地層処分技術調査等事業（高レベル放射性廃棄物処分関連：可逆性・回収可能性・技術高度化開発）の事業全体でみると、他の図中の(1)可逆性・回収可能性検討会は本年度および来年度で終了する予定であり、検討会の結果を今後反映していく必要がある。さらに、(3)回収技術高度化の実証実験もその方針等も整合性のあるものとし、5 ヵ年の検討成果として、埋め戻し状態や定置方式等の「維持性」と「回収性」の評価と比較により、回収可能性維持期間の評価、回収維持のための技術的な成立性を示すことを目的とする。

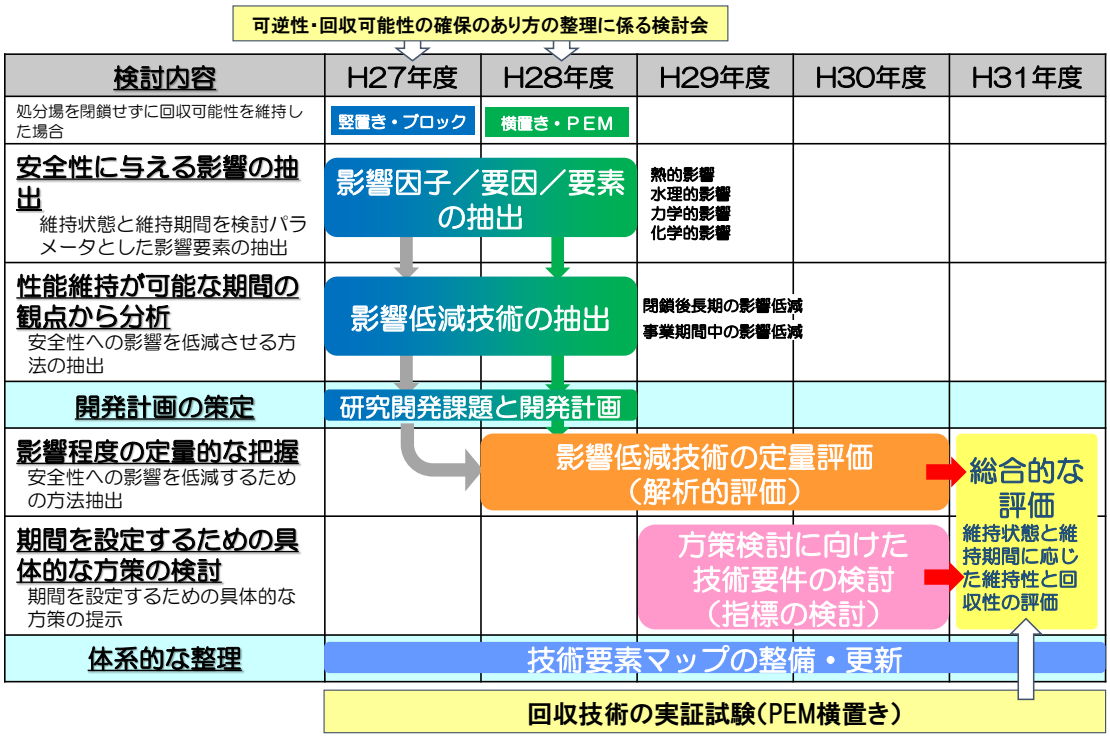


図 7.5.2-1　5ヵ年の計画（概要）

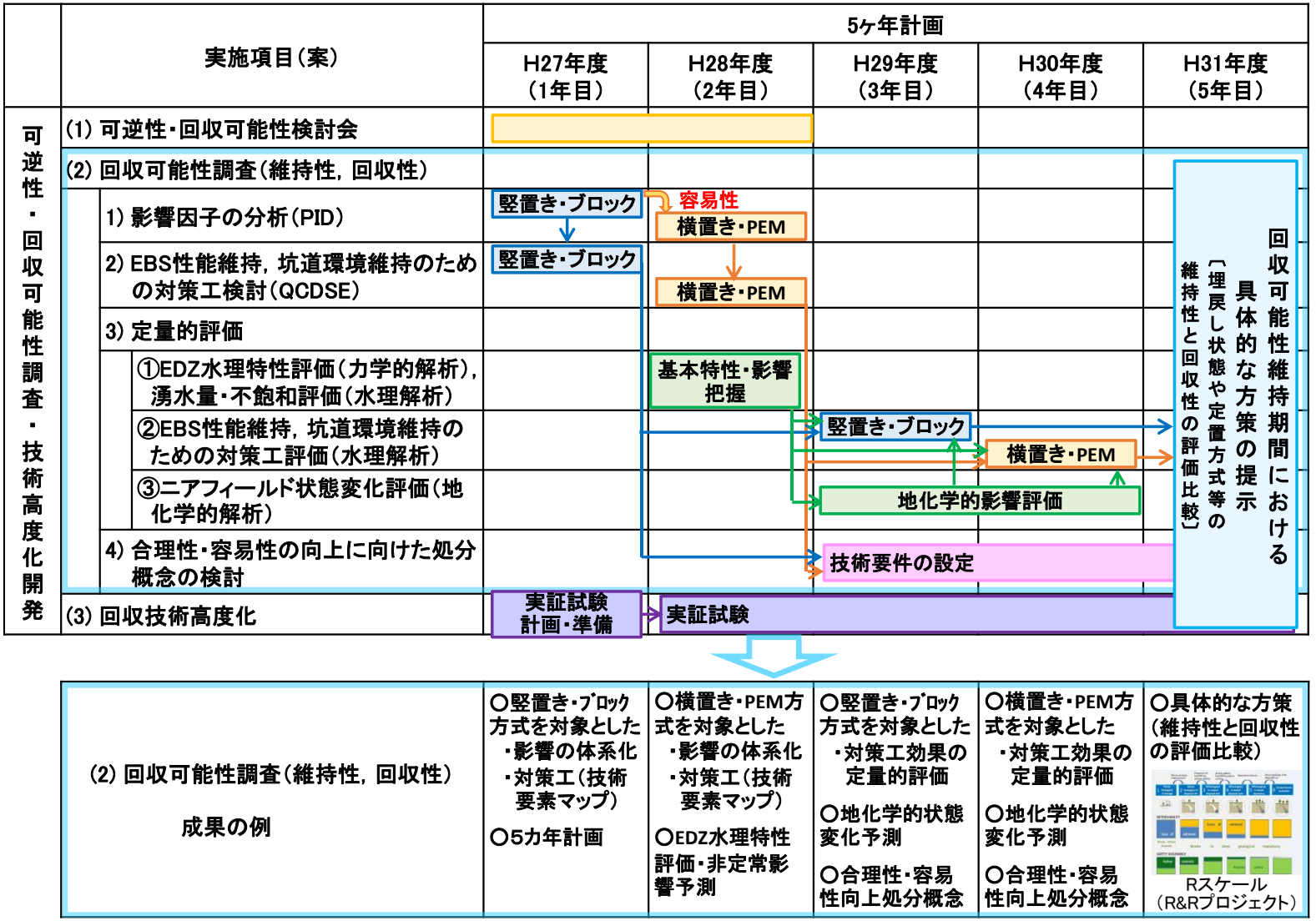


図 7.5.2-2　5 ヵ年計画と成果の例

7.6　検討のまとめと課題の整理

7.6.1　検討のまとめ

地下環境における高レベル放射性廃棄物の回収可能性の維持に関して、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響等について検討することを目的として、(1) 5 ヵ年の計画策定、及び技術要素マップ作成の方針の具体化、計画を検討し、(2) 技術要素マップの作成を実施した。各検討で得られた結果を述べる。

(1) 5 ヵ年の計画策定、及び技術要素マップ作成の方針の具体化、計画の検討

高レベル廃棄物処分の安全性評価の観点から、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響について、5 ヵ年の計画策定、及び技術要素マップ作成の方針の具体化、計画の検討を実施した。検討項目は以下のとおりである。

① 処分施設の安全性に影響を及ぼす要因とその要素の抽出
② 分析と整理による、要素の妥当性検討
③ 5 ヵ年計画の策定（影響評価と影響低減策を考慮した検討計画の策定）
④ 技術要素マップ作成方針の具体化、手順、方法、例の原案作成

各検討項目で得られた結果をまとめて述べる。

① 処分施設の安全性に影響を及ぼす要因とその要素の抽出

処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響に及ぼす要因とその要素の抽出を行った。検討は、回収可能性維持期間を想定した回収シナリオと回収可能性の維持状態を複数パターンずつ設定し、これらの組み合わせから検討ケースを設定し、さらに回収の有無による二つの場合分けをおこなうことにより抽出作業を行った。処分施設の状態変遷については、THMC による整理を行い、FEP による分類と体系化を図った。これらの検討により、長期的な安全性に与える影響は、回収の有無にかかわらず、回収可能性維持状態および回収可能性維持期間に依存することが分かった。また、回収する場合の影響要因とその要素は、回収しない場合のそれに加えて回収作業によるものが加わるため、回収可能性を維持した場合の長期的な安全性に与える影響の検討では回収作業の影響を考慮する必要があることを明らかにした。

② 分析と整理による、要素の妥当性検討

①の検討により抽出された影響因子と影響先について、PID を作成し、状態変遷の理解と、事業期間中（閉鎖前）と閉鎖後のセーフティケースへの影響の分析と整理による妥当性の検討を実施した。基本的に PID は時間の経過を表すことが出来ないが、本検討では時間領域の異なる複数の PID を組み合わせることにより、経過時間を考慮した PID を作成することを可能と

した。PID は着目するスケールごとに作成し、影響要素（トリガー）による影響伝搬の様子を時系列的に整理した。この検討により、処分場への影響を低減させる工学的対策はトリガーに対して施す必要があることが分かった。また、PID では影響の伝搬を示すことができるが、影響の規模や範囲を示すことができないことから、影響低減のために必要となる工学的対策の程度は解析的手法等による定量的な評価が必要であることを明らかにした。

③ 5 ヵ年計画の策定（影響評価と影響低減策を考慮した検討計画の策定）

PID を用いた影響評価方法と対応策（影響やリスクの低減策）を検討するための 5 ヵ年計画策定を実施した。5 ヵ年計画は、(2)技術要素マップ作成の成果を含むことから、ここでは 5 ヵ年計画策定の流れと技術要素マップ作成の成果を踏まえた展開方法を示すこととして、(2)技術要素マップ作成で技術課題を整理して最終的な集約を行うこととした。5 ヵ年計画への展開のため、回収可能性を維持する状態の違いによる事業期間中と閉鎖後の影響の変化と、回収可能性維持期間の違いによる影響程度の変化を整理し、これらの影響を低減する工学的対策を整備するための開発ステップを作成した。

④ 技術要素マップ作成方針の具体化、手順、方法、例の原案作成

影響評価、対応策の検討成果に基づき、回収可能性維持期間と回収維持状態に対する必要技術を設定し、技術要素マップの枠組みを構築した。技術要素マップの縦軸は各スケールでの対象とする坑道（アクセス坑道および連絡坑道、主要坑道、処分坑道)、処分孔、人工バリアとそれぞれの構成要素（構成部材等）とし、横軸は回収可能性維持に係る技術グループ（技術群）とし、各技術群は技術要素を含むものとした。各技術群は坑道維持更新と回収技術に関する技術、閉鎖後長期の安全性への影響に関する技術、事業期間中の安全性に関する技術に大別され、坑道維持更新と回収技術に関する技術は「坑道維持更新技術（ハード)」、「回収技術（ソフト)」、閉鎖後長期の安全性への影響に関する技術は「閉鎖後長期の安全性への影響評価技術（ソフト)」、「閉鎖後長期の安全性への影響低減対策技術（ハード)」、さらに事業期間中の安全性に関する技術は「事業期間中の安全性への影響評価技術（ソフト)、「事業期間中の安全性への影響低減対策（ハード)」の技術群に分類するものと設定した。これらの枠組みにより、技術要素マップの原案を示した。

(2) 技術要素マップの作成

5 ヵ年の計画策定、及び技術要素マップ作成の方針の具体化、計画の検討結果をもとに、技術要素マップの作成を実施した。技術要素マップは回収可能性維持に関連する要素の網羅的な抽出と共に、その関連性を可視化し、安全性確保の要素、回収シナリオの整理も含めたものとした。検討項目は以下のとおりである。

① 技術要素マップ作成の対象範囲の設定
② 技術要素マップの作成と技術課題の整理
③ 5 ヵ年計画への集約（技術課題の評価に資する予備検討）

各検討項目で得られた結果をまとめて述べる。

① 技術要素マップ作成の対象範囲の設定

技術要素マップ作成方針と枠組みを念頭に、技術要素マップ作成に際して検討対象範囲を設定した。回収可能性を維持する状態および期間の違いによる技術要素の変化の傾向を分析するために、検討対象は PID による分析を行った全ての検討ケースとした。

② 技術要素マップの作成と技術課題の整理

検討対象として設定した全検討ケースの技術要素マップを作成した。技術要素マップの技術体系を構成する技術群について、技術要素マップ上に示すために技術内容や必要技術例、技術に求められる要件に基づき展開を行い、技術の要素として整理した。さらに、各技術要素について展開を行い、技術要素展開表にまとめ、技術課題を抽出した。

作成した技術要素マップについて、回収可能性維持状態および回収維持期間に着目した比較を行った。回収可能性維持状態の違いに着目すると、埋め戻しが進んでいない状態で回収可能性を維持すると、維持更新に係る技術要素は多くなり、回収に係る技術要素は少なくなる傾向となることが分かった。一方、回収維持期間の違いに着目した技術要素マップの違いは認められなかった。これは、回収維持期間が変化した場合には必要となる技術を適用する頻度は増大するが、必要となる技術自体は変わらないためと考えられる。ただし、国内のトンネルにおける供用実績は 100 年程度であり、本検討で想定した 200～300 年という期間での維持管理の経験は無いことに留意する必要がある。

③ 5 ヵ年計画への集約

技術要素マップおよび技術要素展開表の整理により得られた技術課題を分析して、実施事項を 5 ヵ年計画に集約した。なお、技術課題の分析は重要度および緊急度の指標を設定により実施した。その結果、5 ヵ年計画では本年度と異なる人工バリア定置方式である横置き・PEM 方式を対象として、本年度と同様の検討を行い、結果について比較を行うこととした。また、今年度課題として挙げた水理学的・地化学的な影響および対策工効果についての定量的評価を実施していく計画とした。さらに、OECD/NEA の Reversibility and Retrievability (R&R)プロジェクト[2]が提唱している大きな二つのアプローチのうち、本年度は「回収の容易性を考慮せず構築された処分場の概念」を検討対象としたため、5 ヵ年計画では「回収の容易性を考慮した処分場の概念を構築し、廃棄体を安全かつ合理的に回収する技術を準備する」ことを視野に入れ、合理性・容易性の向上に向けた処分概念の検討として、合理性・容易性に関する技術要件の検討を実施していく内容として策定した。

7.6.2 課題の整理

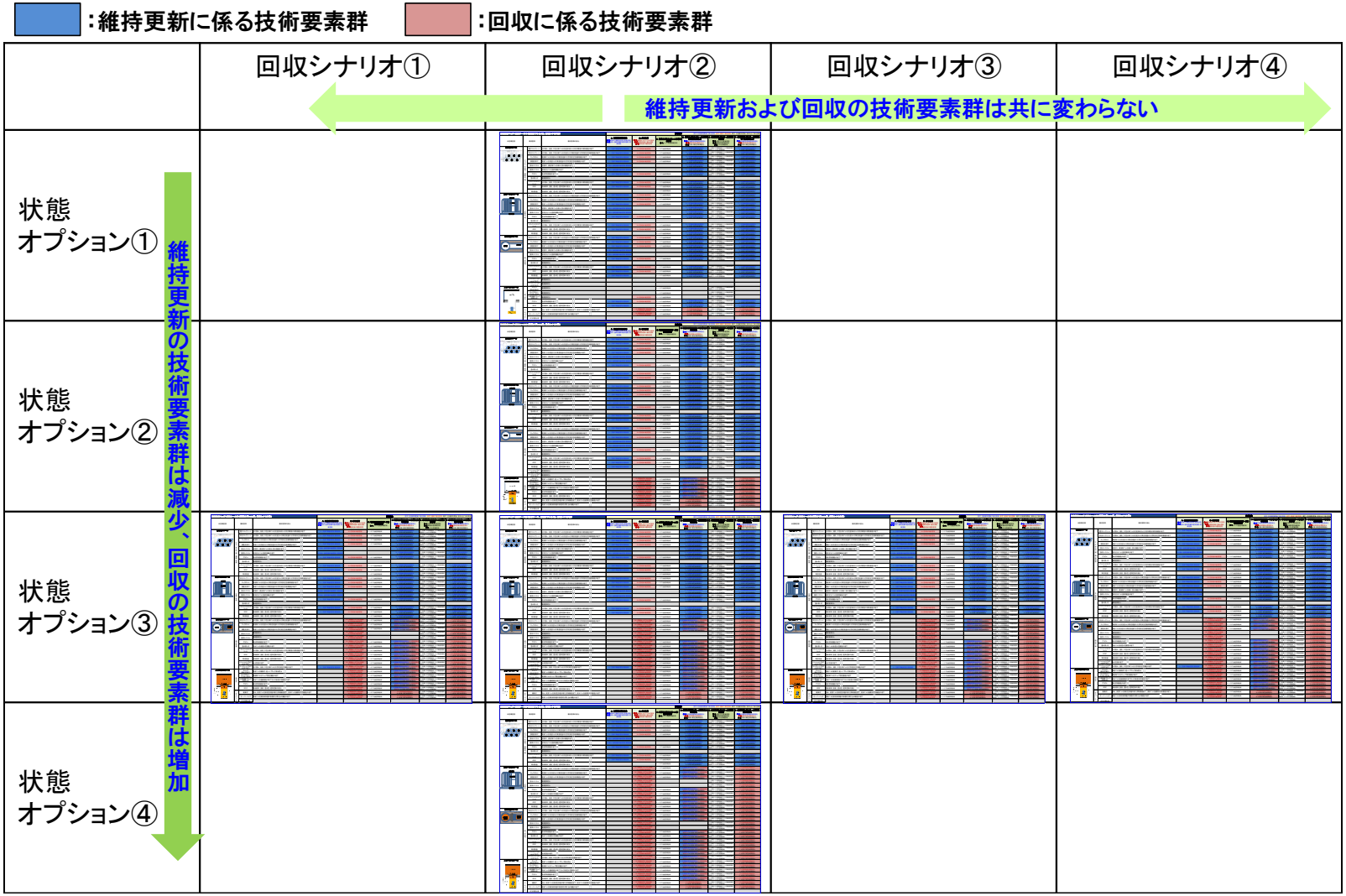
7.4 節で示した各検討ケースの技術要素マップについて、回収可能性を維持する状態（状態オプ

ション）と維持期間（回収シナリオ）で整理して表 7.6.2-1 に示す。技術要素マップの維持更新に係る技術要素については青塗り、回収に係る技術要素については赤塗りで区別して表示した。ここで、状態オプションおよび回収シナリオの違いによる技術要素マップの変化をみる。状態オプションの違いに着目すると、定置後の初期の事業段階の状態（埋め戻しがされない状態）で回収可能性を維持すると、坑道を開放しておくことによる処分施設の安全性への影響が大きくなるため、維持更新の技術要素は多く、施設の維持管理・更新にコストがかかることが考えられる。しかし、回収に係る技術要素は少なく、これは廃棄体を回収するために除去しなくてはならない部材が少ないためであり、回収は定置作業とほぼ逆動線となるため必要な工程も短く、コストは低くなることが予想される。一方、定置後の事業段階が進んだ状態（埋め戻しが進んだ状態）で回収可能性を維持すると、開放される坑道範囲が狭くなることから処分施設の安全性への影響が小さくなるため維持更新に係る技術要素群は減少し、それに伴い施設の維持管理・更新のコストは低くなると考えられる。しかし、回収作業の観点からは、廃棄体を回収するために除去しなくてはならない部材が多くなるため回収に係る技術要素は多くなり、回収作業に時間を要し、コストも高くなることが予想される。一方、回収維持期間の違いに着目した技術要素マップの違いは認められなかった。これは、回収維持期間が変化した場合には必要となる技術を適用する頻度は増大するが、必要となる技術自体は変わらないためと考えられる。

この結果は、本検討書の冒頭で示した OECD/NEA の Reversibility and Retrievability (R&R) プロジェクトの最終報告書[2]における事業段階ごとの回収可能性（回収の容易性）、安全確保の考え方等の関係を整理した図 7.1.1-1 が示している内容と同義であると考えられる。回収可能性維持における事業段階（埋め戻し段階）の進捗において、施設の維持管理・更新の容易性（コスト）と回収の容易性（コスト）は相反する関係にある。また、施設の維持管理・更新の容易性（コスト）と回収の容易性（コスト）は回収可能性維持期間によって、それぞれの増減の傾きが変化することも考えられる。従って今後は、回収可能性維持期間に応じて「維持性」および「回収性」を考慮した品質、コスト、工期、安全、環境（QCDSE）が最適となる回収可能性維持の状態や定置方式について具体的な方策を示していくことが課題として考えられる。

また、「回収性」を考えた場合、OECD/NEA の Reversibility and Retrievability (R&R)プロジェクトが提唱している大きな二つのアプローチのうち、本業務では「回収の容易性を考慮せず構築された処分場の概念を対象に、廃棄体を安全かつ合理的に回収するための技術を準備する」ことを検討対象とし、「回収の容易性」は影響低減策の一環として検討していく。

表 7.6.2-1　技術要素マップの状態オプションおよび回収シナリオの変化に関する整理



参考文献

[1] 経済産業省、“特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（平成 27 年 5 月 22 日閣議決定)”、経済産業省ホームページ
http://www.meti.go.jp/press/2015/05/20150522003/20150522003-1.pdf

[2] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, “Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel”, NEA/RWM/R (2011)4, Paris, 2011 (full report).

[3] 原子力環境整備促進・資金管理センター、“平成 26 年度 地層処分技術調査等事業（地層処分回収技術高度化開発） 平成 23 年度～平成 26 年度 総括報告書”、平成 27 年 3 月

[4] 核燃料サイクル開発機構、“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－、分冊 2 地層処分の工学技術”、JNC TN1400 99-022、平成 11 年 3 月

[5] 原子力発電環境整備機構、“地層処分事業の安全確保（2010 年度版）－確かな技術による安全な地層処分の実現のために－”、NUMO-TR-11-01、2011 年 9 月

[6] 土木学会、“トンネルの維持管理（トンネルライブラリー第 14 号)”、平成 17 年 7 月

[7] 原子力環境整備促進・資金管理センター、“『諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について』(2015 年版)”、平成 27 年 2 月

[8] 原子力発電環境整備機構、“高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性―「処分場の概要」の説明資料―”、NUMO-TR-04-01、2004 年 5 月

[9] 原子力環境整備促進・資金管理センター、“平成 25 年度 地層処分技術調査等事業 地層処分回収技術高度化開発 報告書”、平成 26 年 3 月

[10] 鉄道総合技術研究所、“トンネル補修・補強マニュアル”、平成 19 年 1 月

[11] 土木学会、“トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説”、平成 13 年 5 月

[12] 核燃料サイクル開発機構、“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－、分冊 3 地層処分システムの安全評価”、JNC TN1400 99-023、平成 11 年 3 月

[13] 原子力発電環境整備機構、“地層処分事業の技術開発計画－概査調査段階および精密調査段階に向けた技術開発－”、NUMO-TR-13-02、2013 年 6 月

[14] 鉄道総合技術研究所、“鉄道総研報告”

[15] 日本原燃株式会社、“廃棄物管理施設の保安規定”、2011 年

[16] 原子力発電環境整備機構、“処分場の安全機能と技術要件（2010 年度版)”、NUMO-TR-10-11、2011 年 3 月

[17] 経済産業省、“改訂・発電所に係る環境影響評価の手引き”、平成 27 年 7 月

[18] 土木学会、“岩盤構造物の建設と維持管理におけるマネジメントージオリスクマネジメントへの取り組み－”、平成 21 年 9 月

[19] 原子力環境整備促進・資金管理センター、“平成 26 年度 地層処分技術調査等事業 処分システム工学確証技術開発 報告書（第 3 分冊） モニタリング関連技術の整備”、平成 27 年 3 月