

平成29年度
高レベル放射性廃棄物等の
地層処分に関する技術開発事業

可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発

報告書
(別冊)

可逆性・回収可能性の確保に向けた
論点整理について

平成30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29年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発のうち、可逆性・回収可能性の意義及び確保のあり方の整理 および 回収可能性の維持についての検討の開発成果を取りまとめたものです。

可逆性・回収可能性の確保に向けた 論点整理について

平成30年3月

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

本報告書は、経済産業省資源エネルギー庁からの委託調査等事業として、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 年度及び平成 28 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）の下に設置した「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」における検討成果をとりまとめたものです。

可逆性・回収可能性の確保に向けた論点整理について

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
(1)	地層処分の段階的な進め方.....	3
(2)	段階的な進め方における可逆性・回収可能性の考え方.....	4
2.2	検討の背景と目的.....	6
2.3	検討の進め方.....	6
第3章	検討会で得られた成果.....	8
3.1	可逆性・回収可能性の制度としてのあり方.....	8
(1)	可逆性・回収可能性の概念とそれを必要とする動機との関係.....	8
(2)	可逆性・回収可能性に関する制度整備状況と今後の課題.....	9
3.2	回収可能性に関する技術的な取組（技術的アプローチ）のあり方.....	11
(1)	回収可能性に関する技術的アプローチの考え方.....	11
(2)	我が国における回収可能性に関する技術的アプローチのあり方.....	14
(3)	当面の技術的な対応.....	15
3.3	当面の進め方と関係組織の役割.....	23
第4章	おわりに.....	26
	参考文献.....	28

資料集

- 資料1 検討会の委員構成と検討の経緯
- 資料2 諸外国における可逆性・回収可能性に係る論点や課題
- 資料3 諸外国における可逆性・回収可能性に係る制度整備状況
- 資料4 諸外国における検討から示唆される可逆性・回収可能性を必要とする動機
- 資料5 諸外国における回収概念や回収技術等に係る検討状況
- 資料6 諸外国における回収後の廃棄体管理に係る検討事例
- 資料7 諸外国における可逆性・回収可能性に係る戦略・計画の策定や進め方
- 資料8 諸外国における可逆性・回収可能性とモニタリングの関係に係る検討状況
- 資料9 諸外国における回収費用に係る検討状況

可逆性・回収可能性の確保に向けた論点整理について

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¹、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²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。

我が国では、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に着手され、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（原子力委員会, 1976）。その後、我が国における地層処分の実現可能性について、核燃料サイクル開発機構（現日本原子力研究開発機構（JAEA））を中心に、我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³において「我が国でも地層処分が実現可能である」と評価された（原子力委員会, 2000）。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の在り方などに関する制度的な検討が行われ、1998 年に原子力委員会⁴において、制度的な枠組みに関する基本的な考え方が示されている（原子力委員会, 1998）。これを踏まえ総合エネルギー調査会⁵において制度の具体化が検討され（総合エネルギー調査会, 1999）、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、2)3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」（以下、「基本方針」という。）及び「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」の策定、4)電気事業者等による毎年の原子力発電電力量等に応じた原子力発電環境整備機構への処分費用の拠出、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）など、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、地層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。

¹ 地層処分（坑道掘削型）、地層処分（超深孔処分）、地層処分（島内地層処分）、宇宙処分、核種分離・変換（消滅処理）、中間貯蔵（段階的地層処分）、長期貯蔵（永久貯蔵）といったオプションが検討された。次ページの注釈 2 に示す放射性廃棄物 WG 中間とりまとめ（総合エネルギー調査会, 2014）において、それらの国際的な検討経緯が整理されている。

² 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）。

³ 原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会

⁴ 原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会

⁵ 総合エネルギー調査会原子力部会

一方で、制度の創設以降 10 年以上を経た現段階においても、最終処分法が定める 3 段階の調査ステップの最初の段階である文献調査の実施に至っていない。更に、平成 23 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震や東京電力福島第一原子力発電所事故の結果として、原子力発電や科学技術に対する国民の不安や懸念が高まるなど、地層処分事業を取り巻く社会環境の変化も見られる。

このような中、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であるかを追求することが必要であるとの認識のもと、我が国の最終処分政策の再構築に向けた議論が行われた⁶。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 月に改定された基本方針では、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ため⁷、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、及び機構（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）を確保することが定められた。

こうした背景を踏まえ、可逆性・回収可能性（以下、「可逆性・回収可能性」または「R&R⁸」という。）に関する我が国における今後の具体的な制度の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の整理を目的として、平成 27 年度及び平成 28 年度の経済産業省資源エネルギー庁の委託事業⁹のもとで「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。）を設置した（2.2 節及び 2.3 節に詳述）。

本書は、上記の目的で設置した本検討会での議論の結果をとりまとめたものである。

⁶ 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。2014 年 5 月に「放射性廃棄物 WG 中間とりまとめ」が行われ（総合資源エネルギー調査会, 2014）、下記 URL で公開されている。

http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/denryoku_gas/genshiryoku/houshasei_haikibutsu_wg/report_001.pdf

⁷ 本検討会では、基本方針によって導入された可逆性・回収可能性について、前ページの脚注 1 に示す代替管理方策のみならず、現時点で想定されていない新たな管理方策や将来世代の多様な選択を許容するものと整理している（3.1 節に詳述）。

⁸ R&R は「Reversibility（可逆性） and Retrievalability（回収可能性）」を略した表現であり、その用語の定義については、2.1 節を参照されたい。

⁹ 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）（平成 27、28 年度）

第2章 検討の背景と目的

本章では、本検討会が検討の対象とする可逆性・回収可能性について、地層処分概念や段階的な進め方との関係を含めて、これまでに国際的に共有されてきた議論等を引用しつつ、その意義や考え方を紹介する（2.1 節）。そのうえで、本検討会における検討の背景と目的ならびに検討の進め方について述べる（2.2 節及び 2.3 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、国際原子力機関（以下、「IAEA」という。）や経済協力開発機構／原子力機関（以下「OECD/NEA」という。）における議論や意見集約が行われてきており、人間及び環境の防護という安全目標（IAEA, 2006）の達成に向けた次のような管理原則が国際的に合意されている¹⁰。

- 人間の健康の防護：人間の健康に対して許容できるレベルの防護を確保するような方法で管理する
- 環境の防護：許容できるレベルの環境防護を提供するような方法で管理する
- 将来世代の防護：将来世代の健康に対して予測される影響が、現状で許容されるレベルを超えないような方法で管理する
- 将来世代に対する負担：将来世代に過度な負担を課すことがないような方法で管理する

現時点において、これらの管理原則を満足させる放射性廃棄物の管理方策として、隔離、閉じ込め、多重安全機能ならびに受動的な管理手法といった安全確保の基本概念を有する地層処分を選択することが国際的に合意されている¹¹。

以上のような管理原則に加えて、放射性廃棄物の管理方策の選択において、世代間及び世代内の公平性といった倫理的な側面に考慮する必要性が示されている¹²。“世代間の公平性”については、将来世代へ繰り越すリスクや負担の最小化という観点から、上述した能動的な管理手法に依存しない地層処分を選択することが支持されている。一方、“世代内の公平性”については¹³、施設を受け入れる地域とそうでない地域との間の公平性などが、意思決定プロセスにも関連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

¹⁰ 放射性廃棄物管理に関して、上記に示したものを含む9つの観点から管理原則が示されている（IAEA, 1995；OECD/NEA, 1995）。：1)人間の健康の防護、2)環境の防護、3)国境を越えた防護、4)将来世代の防護、5)将来世代に対する負担、6)国家の法的枠組み、7)放射性廃棄物発生抑制、8)放射性廃棄物発生及び管理の相互依存性、9)施設の安全性

¹¹ 廃棄物WGの中間とりまとめにおいて（総合資源エネルギー調査会, 2014）、最終処分の必要性に関する国際的な考え方として、地層処分の選択を支持する国際機関等の主要なレポートを整理しているので参照されたい。

¹² OECD/NEAの意見集約として、将来世代の負担ならびに原子力や放射線を利用してきた現世代の責任といった世代間及び世代内の公平性などの課題への考え方に加えて、放射性廃棄物の管理方策を選択する際の指針として、次のような倫理的な考え方が示されている（OECD/NEA, 1995）。

- ・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

¹³ ここで“世代内”とは、サイト選定から建設・操業といった事業期間中に関与する数世代を含む。

提起されている (OECD/NEA, 1995)。

こうした状況を踏まえ、長期に及ぶ処分事業の実施過程において、地層処分の信頼性を段階的に向上させるという技術的な観点に加え、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。OECD/NEA では、公衆（なかでも処分施設を受け入れる地元の公衆）が意味のある形で計画立案プロセスに参与できる段階的な意思決定プロセス¹⁴を導入することで、次のようなメリットが期待できると結論付けている (OECD/NEA, 2004)。

- 処分事業の実施に柔軟性を与える
- 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する
- 決定の透明性や追跡性を強化し、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ができる

(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に始まったものではなく、既に 1980 年代より議論がなされている。当初の議論は、安全上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、主に技術的な不確実性への対処の観点から回収可能性に焦点を当てたものであった¹⁵。その後、特に上述した 1995 年の OECD/NEA のとりまとめ以降は、段階的な進め方に関する関心の高まりとともに、新たな管理技術が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、回収可能性が地層処分の安全確保の考え方や倫理的課題への対処との関係から論じられている。

2000 年代に入り、国内外で可逆性・回収可能性に関する更なる議論が進められるなかで、OECD/NEA が 2007 年から 4 ヶ年にわたって主導したプロジェクト¹⁶（以下、「R&R プロジェクト」という。）をとおして、これまでの議論を総括する形で、処分事業の段階的な進め方における可逆性・回収可能性の位置付けや考え方に関する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・回収可能性を表 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、可逆性と回収可能性に関する次の概念について図 2.1-1 のように整理している (OECD/NEA, 2011a)。

- 可逆性を有する段階的な意思決定の各ポイント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ならびに安全確保に係る管理概念との関係を定性的に説明）

¹⁴ 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、技術的な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）。

¹⁵ 例えば、1982 年に OECD/NEA が回収可能性について次のような考えを示している (OECD/NEA, 1982)。これらは、技術的な不確実性への対処の観点から回収可能性に焦点を当てたものであるが、技術的ではない理由による回収の可能性を示唆するとともに、回収の容易性を高め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を示している。

- ・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。
- ・回収の作業性や費用は廃棄物の種類や場所などにも依存するが、既に存在する最新の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。
- ・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。

¹⁶ "The Reversibility and Retrievalability (R&R) Project" (<http://www.oecd-nea.org/rwm/rr/#documents>)

表 2.1-1 可逆性・回収可能性の定義

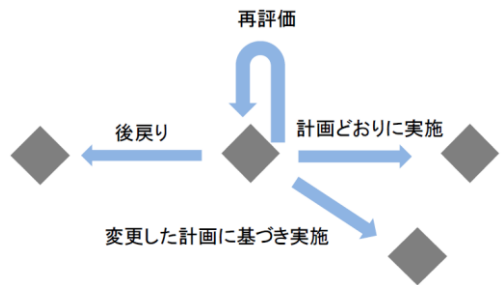
可逆性 (Reversibility)

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：段階的に進めていくうえでの各ポイントにおいて（図内中央の四角形的位置）、従前に策定した計画に基づくこれまでの取組を再評価し、結果に応じて柔軟に次のステップを選択する様子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との関係及び回収の容易性や費用との関係を模式的に示したもの。



(図出典：文献 (OECD/NEA, 2011a) の公式和訳資料を一部編集)

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 検討の背景と目的

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。

（「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。

（「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、我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確保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、我が国における今後の具体的な制度の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。そのような整理が、今後の取組への活用、社会への発信・共有をとおして、最終処分政策の推進に資することを目的として、本検討会において議論を進めた。

2.3 検討の進め方

上記の目的に資する議論を進めるため、大学等に所属する外部有識者の協力のもとで本検討会を設置し、技術及び社会科学の双方に配慮しつつ議論を展開した¹⁷。

具体的な進め方として、最初に、前節までに示した可逆性・回収可能性の導入に至る我が国の議論や制度を整理・共有するとともに、国際機関を含む諸外国において先行的に行われた検討や取組の動向等を参照し¹⁸、そこで論点や課題とされた事項等を本検討会における検討項目として抽出した（表 2.3-1）。

これらの個々の検討項目に対して、以下に留意しつつ順次議論を進めた。

○基本方針の規定内容を出発点として、これまでの廃棄物WGや安全規制制度に係る議論を含

¹⁷ 資料1を参照。

¹⁸ 資料2を参照。

めた我が国におけるこれまでの検討経緯（表 2.3-2）などに留意しつつ議論を展開する。
 ○安全性の観点で、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共通する部分があり得ることに留意する。

なお、可逆性・回収可能性の定義に関して、廃棄物WGでは 2.1 節に示した国際的な共通理解として得られた定義を参照しつつ議論が進められてきた。そのような経緯を踏まえ、本検討会でも同様に、可逆性及び回収可能性について、表 2.1-1 に示す R&R プロジェクトで示された定義を踏襲した。

表 2.3-1 本検討会で議論の対象として抽出した 13 の検討項目

● 可逆性・回収可能性を必要とする動機*	● 回収可能性に係る戦略・計画の策定
● 可逆性・回収可能性を必要とする動機の事業段階に応じた変化	● 研究開発・実証
● 可逆性・回収可能性の実行に係る判断基準・判断指標	● 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
● 回収の技術的な実現性	● モニタリング等の役割
● 回収の容易性	● 費用
● 回収後の廃棄体の管理	● 意思決定のホールドポイントに係る留意事項
● 処分場設計への技術的要求	

※本書における“動機”の意味合いについては、次節 3.1 の(1)を参照されたい。

表 2.3-2 我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3章 検討会で得られた成果

前述した手順に沿って、表 2.3-1 に示した 13 の検討項目について議論を進めた。ここでは検討会で得られた成果を、個々の検討項目の関連性や類似性を踏まえて、次の 3 つの観点から整理する。

- 可逆性・回収可能性の制度としてのあり方（3.1 節）
- 回収可能性に関する技術的アプローチのあり方（3.2 節）
- 当面の進め方と関係組織の役割（3.3 節）

3.1 可逆性・回収可能性の制度としてのあり方

(1) 可逆性・回収可能性の概念とそれを必要とする動機との関係

既に述べたように、改定された基本方針によって可逆性・回収可能性が導入されたところであるが、その将来の実行にあたっては、関連するどの制度のもとで検討や判断が行われるべきかといったことなど、他の制度との関係を整理しておく必要がある。後述の表 3.1-1 に示す諸外国の制度整備に至る検討過程を踏まえると、それぞれの制度における可逆性・回収可能性の位置付けは、それを必要とする個々の動機[※]に対応するように設計されている¹⁹。ここでは、諸外国の法規制文書や先行的な検討動向の把握をとおして、可逆性・回収可能性を必要とする動機として想定されている事項を把握するとともに、可逆性・回収可能性の導入に至る廃棄物 WG の議論を再確認し、我が国における関連する各制度との関係を以下のように整理した。

※ 動機：本書では、可逆性・回収可能性を必要とする理由、或いは実施を判断しなければならない場面に至る原因やその時の状況など、これらを総称するものとして“動機”と表現している。

基本方針によって導入された可逆性・回収可能性は、近年の国際的な議論と同様に、“将来世代の意思決定の柔軟性の確保”という観点からの議論に基づくものである(2.1 節及び 2.2 節を参照)。このような考え方のもとで導入された可逆性・回収可能性は、将来の予見できない事項に対して、将来世代が柔軟性を持って対処が可能な概念を取り入れることと整理できる。言い換えれば、将来の可逆性・回収可能性の実行は、図 3.1-1 に例示するような現時点で想定される幾つかの動機を特定(限定)するのではなく、将来世代による自らの新たな動機付けを含む多様な動機を許容するものである。

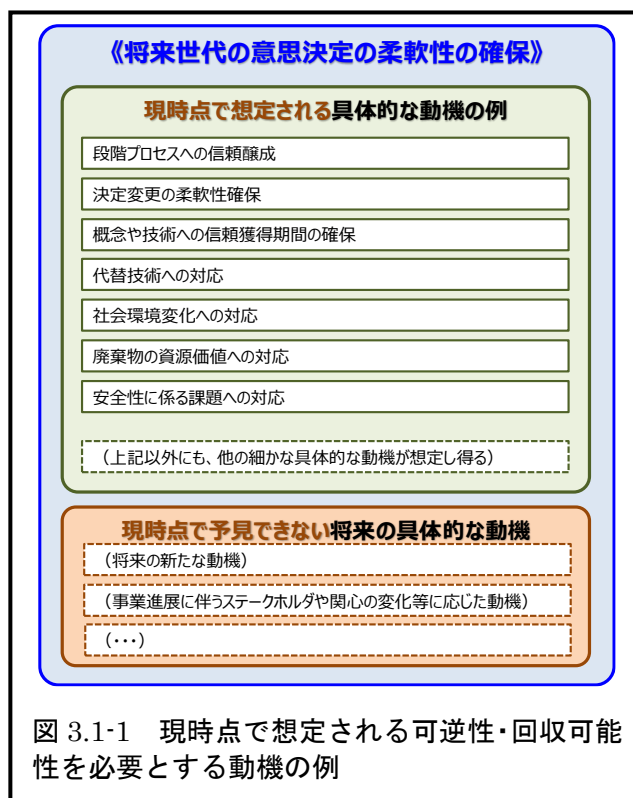


図 3.1-1 現時点で想定される可逆性・回収可能性を必要とする動機の例

¹⁹ 資料 3 及び資料 4 を参照（これらの資料に可逆性・回収可能性に関する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を整理している）。

このような概念を有する可逆性・回収可能性とは別に、多様な動機の一部をカバーする他の関連する制度がある。つまり、基本方針によって導入された可逆性・回収可能性の適用範囲が、将来のあらゆる動機を許容することに対して、最終処分法に基づくサイト選定段階における地域に配慮した制度や今後検討が進められる安全規制制度は、動機や期間を限定して可逆性・回収可能性を担保するものである。将来の可逆性・回収可能性の実行に至る検討の場面では、その動機に応じて、対応する制度のもとで対処がなされると考えられる。

なお、制度としての信頼性を得るためには、将来の可逆性・回収可能性の実行判断に係る基準や指標ならびに判断に至る評価の方法や枠組みを予め定めておくべきといった考え方もある。しかしながら、上述した可逆性・回収可能性の概念を踏まえれば、将来の可能性のある動機の全てを予測して、それらに適用可能な判断基準ならびに適切な評価方法や評価の枠組みを予め定めることには限界があることから、それらについても将来世代に委ねるのが適切と考える。そのような考えは、国際的な共通理解とも整合しており²⁰、また、例えばドイツのアッセ II 研究鉱山に関する閉鎖オプションの検討のように、後世代が適切な評価の枠組みを構築して検討を進めている事例もある²¹。

(2) 可逆性・回収可能性に関する制度整備状況と今後の課題

上記のような整理とともに、現時点における我が国の可逆性・回収可能性に関する制度整備状況について、諸外国の状況を参照しつつ次のように整理した。

主要国の法規制文書における可逆性・回収可能性に関する扱いは以下のように要約できる（主要国の法規制文書における規定概要を表 3.1-1 に示す）。

○事業規制制度（事業推進に係る制度）の観点では、フランスが可逆性、スイス及び米国が回収可能性を確保すべきことを法規制文書で明示的に要求している。フィンランド及びカナダは法規制文書ではないものの、それに準じた取組のなかで回収可能性の確保を位置付けている。また、事業が先行している一部の国では、その進展に応じて回収可能性の位置付けに変化も見られる。R&R プロジェクトでは、可逆性・回収可能性を必要とする動機について、“動機の数には時間が経過し、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”と結論付けており（OECD/NEA, 2011a）、既にサイトを特定して建設許可段階にあるフィンランドでは、1999年に策定された当初の安全規則で要求されていた回収可能性は、2008年の規則改訂に伴い廃止されている。スウェーデンでも、法規制文書の変化ではないものの、1992年のサイト選定活動開始段階から、本格操業の前に5年間の初期操業期間（実証定置処分）を設けることと関連して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していたが、現在ではそのような実証定置処分の概念はない²²。

○安全規制制度の観点では、①地層処分の安全性に及ぼす影響の観点から要求を示す場合と、

²⁰ R&R プロジェクトでは、将来の可逆性・回収可能性の実行に至る検討の場面では、様々な事項に対する判断基準や基準間の重み付けを行う必要性を指摘しているが、それらは、その時点における安全性に対する基準や考え方等に依存する可能性があり、予め予測して設定することは不可能であるとしている（OECD/NEA, 2011a）。

²¹ 1967～1978年まで低中レベル放射性廃棄物が試験的に処分されたドイツのアッセ II 研究鉱山では、2009年の閉鎖方針を受けて、3種類の閉鎖オプションについて、地域政治家、市民有志、環境グループ代表等から構成される市民団体と実施主体との協働により評価項目の設定等が行われた（資料6を参照）。

²² 資料3を参照。

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から要求を示す場合の2つの要求が存在する。主要国の多くが①の観点から回収可能性の確保を要求しており、ドイツ、スイス、カナダならびに米国では、②の観点から回収可能性の確保を安全規制に係る文書の中で明示的に要求している（以前はフィンランドも安全規則で要求していた）。

表 3.1-1 主要国の法規制文書における可逆性・回収可能性に関する規定概要

※表内の色付き文字は安全規制制度としての2つの観点からの規定概要を示す（**太字**：地層処分の安全性に及ぼす影響の観点、**太字斜体**：地層処分の安全性に係る不測の事態への対応等の観点）。なお、原子力法・原子力令など、事業規制と安全規制の両観点を包含した法規制文書体系を構成している国もあることに留意されたい（下表では文脈から判断して色分けしている）。

国名	可逆性、回収可能性に係る制度的要求（法規制文書、或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年に改訂された現行の安全規制制度では、当初要求されていた回収可能性の規定が外された。但し、オルキオ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（2006年及び2016年）で、可逆性の確保を要求（少なくとも100年以上確保）。 ○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	○サイト選定法（2017年改正）において、安全性の観点から 操業期間中及び処分場閉鎖後500年間、回収可能性を維持することを要求。 ○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	○法令及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な安全性を損なわないこと。 ・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）。

我が国では、最終処分法に基づく処分地選定プロセスや原子炉等規制法²³に基づく定期安全レビューなど、事業の段階的な進め方が制度化されている。更に、改定された基本方針によって、可逆性・回収可能性の維持を規定して将来世代の柔軟性を確保するとともに、可逆性・回収可能性を維持すべき期間（最終処分施設の閉鎖までの間）、必要となる調査研究の実施（閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等に関する調査研究）、ならびに地層処分事業に係る施策に関する定期的な評価の枠組みについて明らかにされている。

²³ 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律

以上のように、主要国の多くの国の法規制文書で可逆性・回収可能性が位置付けられているものの、将来の実行に不確実性のある可逆性・回収可能性に対する規定は、“可逆性・回収可能性を確保する”、或いは“可逆性・回収可能性の確保に係る措置が安全性に影響を与えないようにする”といった内容であり、一部の国における可逆性・回収可能性の維持期間に関する規定を除き、詳細な要求は示されていない。このような状況から、改定された基本方針の規定を含めた可逆性・回収可能性に係る現時点における我が国の制度は、諸外国と同様の整備状況にあるといえる。

一方、このような整理をとおして、将来の可逆性・回収可能性の実行に係る費用負担のあり方や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あり方、更に、今後検討が進められる安全規制制度との関係において必要となる制度間での調整など、今後の事業進展の状況によって課題となる可能性のある事項が存在し得ることが認識された。例えば、可逆性・回収可能性に係る費用に関して、現時点では諸外国においても、将来の実行に不確実性のある回収費用を現世代が負担する処分費用として積み立てている事例はない²⁴。但し、費用負担のあり方に関して議論の余地が残されていることが国際的に認識されている²⁵。これらに関する更なる議論を深めるためには、可逆性・回収可能性の維持に係る費用や回収作業に要する費用といった定量的な情報が、議論の前提或いは議論に資する技術情報として必要となる。また、施設閉鎖までの管理のあり方については、施設を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の安全性への影響や追加的な費用といった情報が必要となる。このような考え得る課題への今後の技術的な取組のあり方については次節 3.2 で述べる。

可逆性・回収可能性の制度としてのあり方について以上のように整理した。基本方針によって導入した可逆性・回収可能性は、将来世代が柔軟性を持って対処が可能な概念ではあるものの、その実行の際には、将来世代にも応分の負担が伴うことに留意が必要である。基本方針の改定に至る廃棄物 WG における議論において、現世代の責任として可逆性・回収可能性を担保する形で安全な地層処分を着実に進めることが確認されたことを鑑みれば、事業の進展とともに将来の柔軟性は制約され、将来の政策転換に伴う負担が想定される^{*}。

^{*} 地域の意向を尊重した制度が適用されるサイト選定段階以降や安全規制制度の要件を達成した段階以降など、事業進展に伴い将来世代の柔軟性は制約される。また、将来の政策転換（可逆性・回収可能性の実行）の際には、政策転換に係る費用やリスクなどが発生する（廃棄物の回収・移動に係る費用や作業リスクなど）。

3.2 回収可能性に関する技術的な取組（技術的アプローチ）のあり方

(1) 回収可能性に関する技術的アプローチの考え方

2.1 節で述べたように、R&R プロジェクトの議論をとおして、地層処分が有する特徴や概念に対して、“閉鎖後の一定期間までは回収が技術的に可能である”との国際的な共通認識がある。そのような認識のもと、回収の実現性に関する議論が回収の容易性に関する議論へと帰結する可能

²⁴ 資料 9 を参照。

²⁵ R&R プロジェクトでは、回収作業そのものに係る費用と回収可能性の維持に係る費用を区別して考える必要性を示しており、それらの費用を誰が、どの世代が負担するかについて、更なる議論が必要であるとしている（OECD/NEA, 2011a）。（資料 2 を参照。）

性が示唆されるとともに、回収可能性の実現性を示していくうえでの2つの技術的な取組の方向性（戦略）[※]が示されている（OECD/NEA, 2011a）。

※ R&R プロジェクトでは、回収可能性に関する戦略について次のように記している（OECD/NEA, 2011a）。

“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重点をおくのか**という点である（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”

上記の“回収可能性に関する戦略”とは、地層処分が持つ安全確保の基本概念（受動的に安全な状態への速やかな移行）に対して、新たに追加された回収可能性の確保という要求への技術的な対応の方向性を示すものである。ここではこれを“技術的アプローチ”と称し、上述した国際的に共有されている考え方を踏まえると²⁶、今後、我が国でも採用し得るものとして、次の2つの共存可能な技術的アプローチが存在し得る。

技術的アプローチ1：回収方法（技術・装置）の開発に重点をおくアプローチ

技術的アプローチ2：回収をより容易にするための方法を設計に考慮するアプローチ

技術的アプローチ1は、処分場の設計の種類や内容を問わず、**図 3.2-1** に示すような回収実施の際に必要な回収方法（技術・装置）を開発しておくアプローチである。例えば、受動的に安全な状態への速やかな移行を前提とした処分場の設計開発を先行させてきたスウェーデンやフィンランドがこれに相当する取組を進めてきたと言える。



図出典：（原環センター, 2015）より

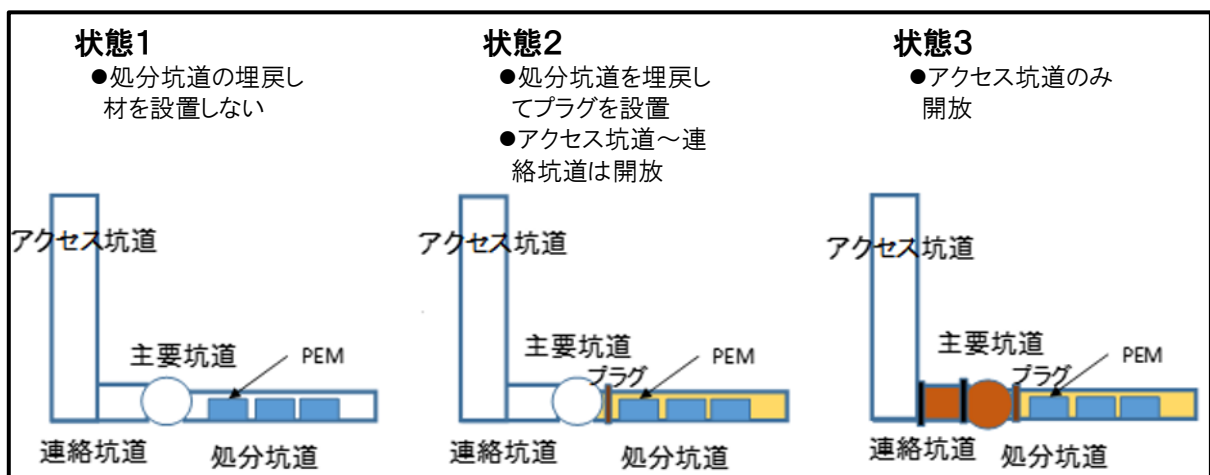
図 3.2-1 回収方法の開発例

技術的アプローチ2は、回収をより容易にするための方法や程度との関係で、**表 3.2-1** に示すような多様な考え方や方法が想定される。例えば、回収の容易性を坑道の埋め戻し状態の工夫によって考慮する方法の例を**図 3.2-2** に示す（同図は、施設の最終閉鎖迄の回収可能性の維持期間内において想定し得る、埋め戻し状態の種類を概念的に示すものである）。

²⁶ 資料5及び資料7に、海外主要国における回収概念や回収技術等に関する検討・開発動向やそれらの動向から窺える回収可能性に関する技術的な取組において留意すべき事項を整理している。

表 3.2-1 回収の容易性を設計に考慮する際の多様な方法の例

設計への考慮の考え方	設計への考慮の方法の例（作業手順の設定等を含む）
①回収可能性の維持期間内において、廃棄体へのアクセスを容易にしておく	○回収の容易性を坑道の埋め戻し状態を工夫することで考慮する（廃棄体を完全に埋め戻さない設計など：図 3.2-2） ○作業手順を工夫する
②回収可能性の維持期間内において、可能性のある将来の回収作業が容易となるようにしておく	○回収時に解体・破壊しやすい地下構造物を導入する（材料選定の工夫など） ○回収の容易性を念頭に置いたレイアウトや坑道寸法設計、定置方法を工夫する、など



※ PEM : Prefabricated Engineered barrier system Module の略。地上施設で廃棄体を人工バリアと一体化したモジュールを地下施設に搬送・定置する方法。

図 3.2-2 回収の容易性を坑道の埋め戻し状態を工夫することで考慮する方法の例

また、上記の技術的アプローチ 2 を具体化したものとして、廃棄体を完全に埋め戻さないフランスの処分場の設計例がある（図 3.2-3）。同図に示すフランスの設計例は、回収可能性に関する要求への技術的な対応のみではなく、同国内で特定された粘土質岩という地質環境条件や法規制要件へ適合させるための設計開発プロセスの中で最適化^{*}された結果であり、廃棄体を完全に埋め戻さない設計であるだけでなく、その他の設計上の工夫も施されている。その工夫の 1 つとして廃棄体に施されたセラミックス製の突起物は、金属製スリーブ内での廃棄体の回収操作を容易なものとするだけでなく（滑り出し易くする）、作業時の廃棄体の定置作業の合理化にも寄与するものである。このような設計の工夫を積み重ねて最適化された処分場の設計は、

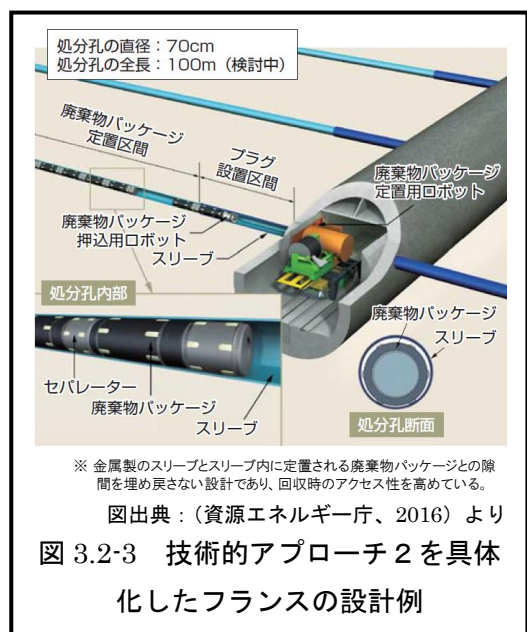
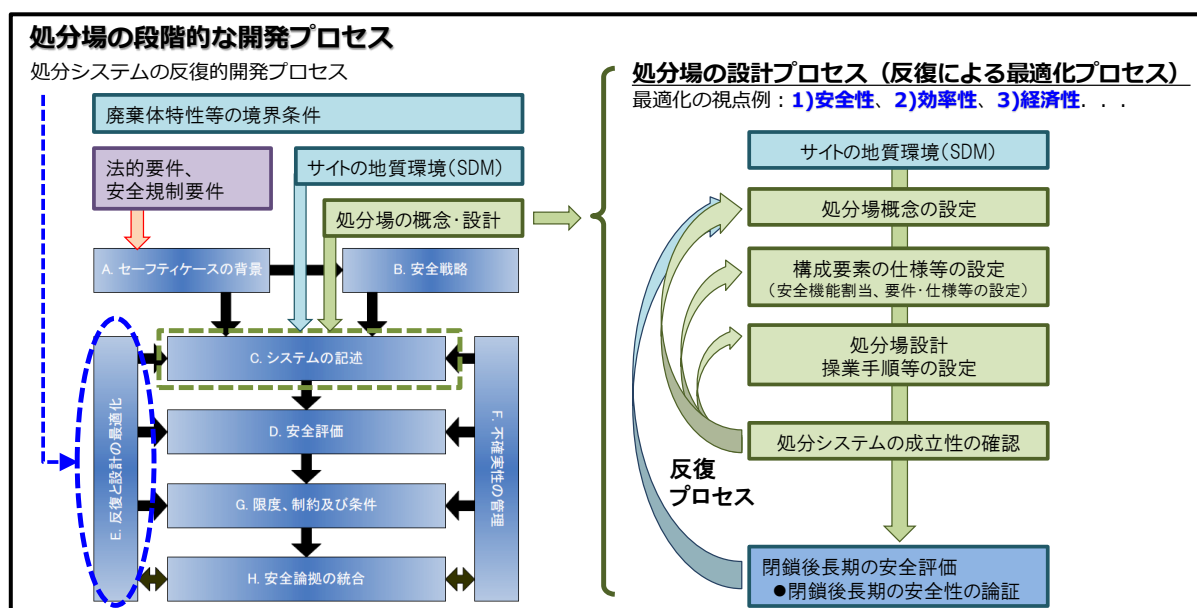


図 3.2-3 技術的アプローチ 2 を具体化したフランスの設計例

操業時及び閉鎖後長期の安全性を確保できるものとなっている。

※ 処分場の設計は、一般的に図 3.2-4 に示すような反復的な開発プロセスを経て、システム全体としての最適化が行われる。つまり、与条件となる候補サイトの地質環境条件や法規制要件へ適合させることを前提として、安全性に加えて効率性や経済性など、事業を進めるうえでの合理性の視点も含めた多様な観点から最適化が行われる。そのような設計の最適化プロセスでは、多様な設計オプションの導入や組合せの可否などが、同図のフローに示す反復プロセスのもとで検討される（反復プロセスの一断面では、その時点における設計案の成立性の確認が行われ、必要となる設計の見直し作業にフィードバックされる）。回収可能性に関する技術的アプローチは、こうした処分場の一般的な設計開発プロセスの中で、これらと整合性を持って扱われることとなる。



左図：国際原子力機関（IAEA）の個別安全指針 SSG-23 の図（IAEA, 2012）を一部編集
 図 3.2-4 処分場開発における設計の反復的開発プロセス

(2) 我が国における回収可能性に関する技術的アプローチのあり方

我が国では、基本方針で示されている回収可能性を維持した場合の影響等に関する調査研究や回収技術の開発が進められているところである（図 3.2-5）。今後、候補サイトの地質環境の具体化に併せて、処分場の設計とともに回収可能性に関する技術的アプローチを具体化していく必要がある。

上述した回収可能性に関する技術的アプローチの考え方や特徴を踏まえると、今後、我が国で採用し得る技術的アプローチについて次のように考えられる。

- 2つの技術的アプローチが共存可能なものであることから、これらを効果的に組合せて進めていける。特に、表 3.2-1 に示すような多様な方法が想定される技術的アプローチ 2 については、今後の事業展開に伴う設計開発の進展や社会のニーズに留意しつつ、これらの導入の可否に関する検討を進めていくことが望ましい。これについては、今後、候補サイトの地質環境条件の具体化に伴い、様々な考え方が出てくることが想定される。
- これらの採用し得る技術的アプローチの種類や内容に応じて、技術的に留意すべき事項が異なる。例えば、後述の図 3.2-6 に示すような処分概念オプションや坑道の埋め戻し状態オブ

ションの違いによって、技術的に留意すべき事項は異なる。

○また、2.1節で述べた国際的な共通理解から示唆されるように（図 2.1-1）、回収可能性を維持することに関して、安全性、回収の容易性、回収の実施時期（回収可能性の維持期間）や費用などの間で、トレードオフの関係が存在し得る。これらの関係は、採用する技術的アプローチの種類や内容によって異なる。

以上のような考え方を踏まえ、今後、我が国における回収可能性に関する技術的アプローチの具体化を行い、技術的な取組を進めていく必要がある。その際、特に回収をより容易にするための方法を設計に考慮する際には、事業進展に伴い最適化される処分場設計の開発プロセスのなかで整合性を確保するだけでなく、可逆性・回収可能性に関する社会のニーズの変化への対応などに留意しつつ、柔軟に進めていく必要がある。

我が国では現在、図 3.2-1 に示したような技術的アプローチの種類を問わず必要となる回収技術の開発や基本方針で示されている回収可能性を維持した場合の影響等に関する調査研究が進められている。後者の調査研究では、これまでに、下図に示すような回収可能性を維持した場合の影響に関する定性的な分析結果等が得られている（原環センター、2015；2017）。

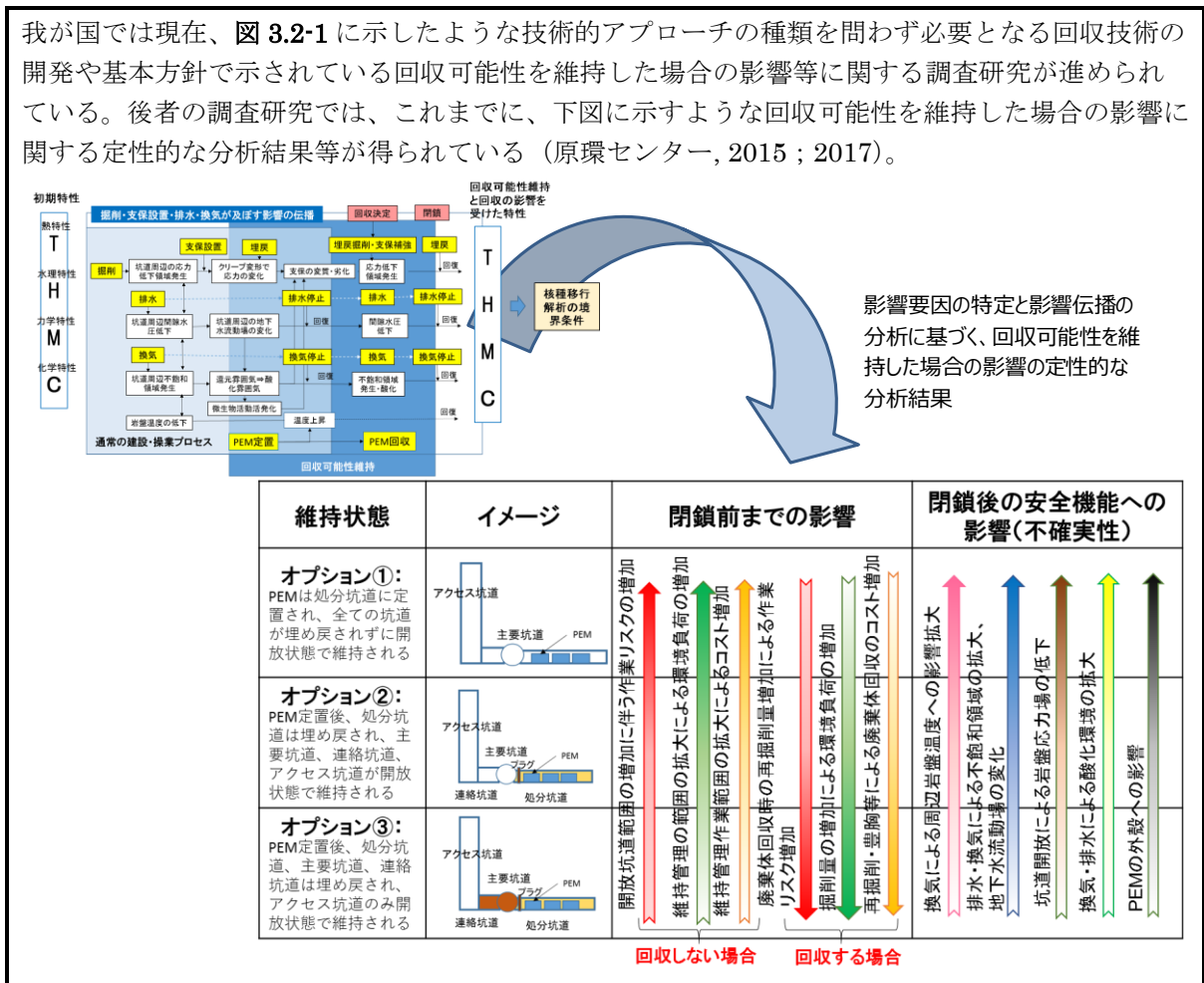


図 3.2-5 我が国で取り組まれている回収可能性の維持に関連する調査研究

(3) 当面の技術的な対応

上述したように、当面の課題として、今後、我が国における回収可能性に関する技術的アプローチの具体化を行う必要がある。また、将来的には、基本方針で示された課題である施設閉鎖までの管理のあり方の具体化が必要であり、更に、可逆性・回収可能性の実施の可否を判断しな

ればならない場面も想定される。このような具体化や判断の場面では、最終判断や決定に至る検討や評価に資する定量的な技術情報が必要となる。特に、当面の課題である技術的アプローチの具体化においては、採用する技術的アプローチの種類や内容によってトレードオフの関係が異なることから、適切な技術的アプローチを選択するためには、これらの関係をより定量的に示していく必要がある。今後そのような定量的な情報を示していくことで、更なる議論を深めることが可能となる。

このような課題認識のもと、これらの定量化に向けた技術的な検討を進めるうえでの出発点として、今後の技術的アプローチの具体化に必要な定量的な情報を想定し、それらの定量化に必要な技術検討項目を具体化した。これらの整理においては、以下に留意しつつ検討を進めた。

○今後採用し得る技術的アプローチの種類や内容によって異なる個々のトレードオフの関係を具体化でき、且つ、それらの総合的な比較評価を可能とする枠組みとして整理する。これを満足させるために、次の2つの項目を組み合わせたマトリックス形式で整理する。

①定量化すべき情報

②今後採用し得る技術的アプローチ

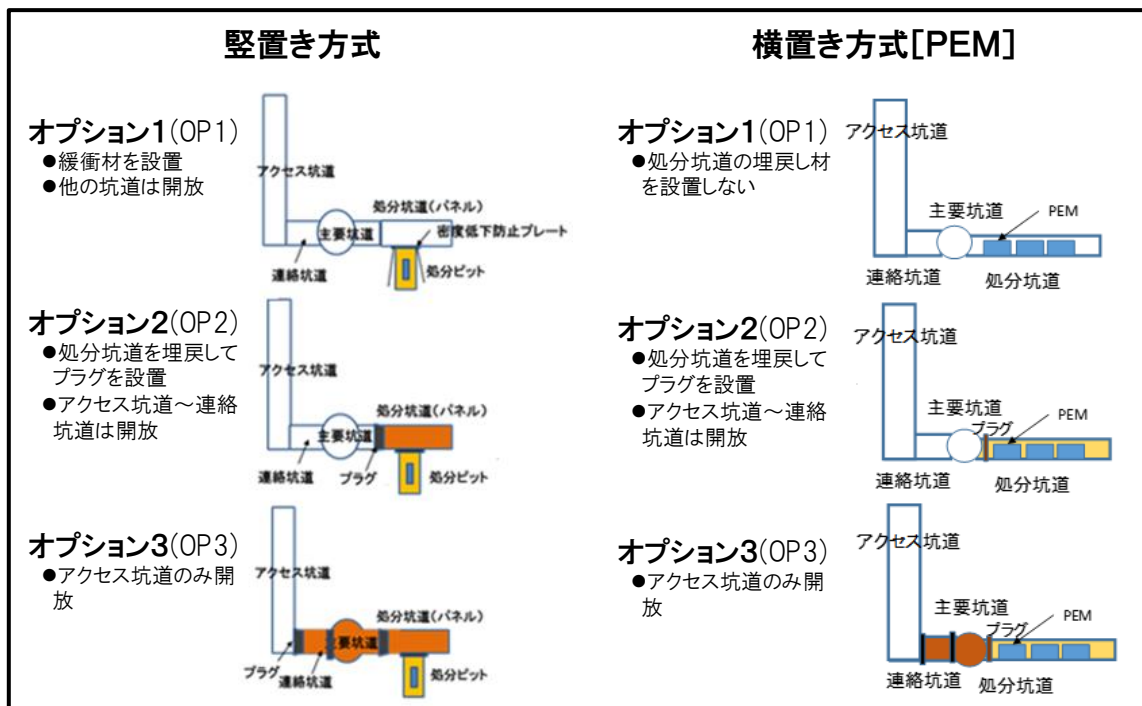
○ここでは検討の出発点として、①については“安全性”、“回収の容易性”、“回収の実施時期（回収可能性の維持期間）”ならびに“費用”の4つの項目を設定する。上述したように、これらは現時点でトレードオフの関係にあると想定される項目である。②については、現時点で想定し得る2つの処分概念オプションと坑道の埋め戻し状態オプションに関する6つの組合せを設定する（図 3.2-6）²⁷。これらを、現時点における、今後我が国で採用し得る技術的アプローチの種類（選択肢）と位置付ける。

○上記の①と②を組み合わせたマトリックスに次の項目を加えて、①の定量化に向けて必要となる技術検討項目を具体化する。

③定量化に必要な技術検討項目

注) 以上の①及び②に関する項目設定の考え方、ならびに抽出した③の技術検討項目に関する検討の視点や考え方については、後掲した表 3.2-2 の後に、解説1～解説3として整理しているので参照されたい。

²⁷ 検討の出発点として、NUMOの包括的技術報告書（NUMO, 2016）に示される2つの処分概念オプション（縦置き方式、横置き方式）を前提とした。



注1：NUMOの包括的技術報告書（NUMO, 2016）に示される2つの処分概念オプションをベースに埋め戻し状態を設定。
 注2：埋め戻し状態の設定では人工バリア（廃棄物オーバーパックと緩衝材）が設置されている状態を前提。

図 3.2-6 今後採用し得る技術的アプローチの種類
 （処分概念オプションと坑道の埋め戻し状態オプションの組合せ）

以上のような点に留意しつつ検討を進め、表 3.2-2 に示す整理結果を得た。今後、同表内に“白抜き”で示した上記①と②で構成されるマトリックス内に定量的な情報を埋めていくことによって、個々のトレードオフの関係を具体化でき、今後採用し得る技術的アプローチに関する総合的な比較評価が可能となる。同表には更に、量化すべき情報の個々に対応する形で、量化に必要となる技術検討項目を例示している。これらの項目は、今後の検討や調査研究の進捗に応じて、更なる議論や必要な見直しが行われる。

このような表 3.2-2 の整理は、今後の技術的な検討の出発点として、当面の課題である回収可能性に関する技術的アプローチの具体化を念頭において整理したものであるが、将来の判断等の場面でも共通的に利用できる評価の枠組みの基盤を提供するものである。また、同表に例示した量化に必要となる技術検討項目に基づき、今後必要となる研究開発課題の抽出や計画立案が可能となる。このような考えのもと、同表の整理を、回収可能性の維持に関する技術的アプローチの具体化に係る技術検討の枠組みを示す“技術検討のフレームワーク”（以下、「フレームワーク」という。）と位置付け、今後の更なる議論や技術検討を進めるうえでの検討のベースとして活用されることを期待する※1、2。また、今後整備される安全規制制度との関係を含めて、ここで示したフレームワークは、事業推進や安全規制を問わず、可逆性・回収可能性を導入した地層処分事業を今後進めていくうえでの共通的な基盤と考える。

※1 フレームワークに示した技術的アプローチの種類は、現時点で想定し得る処分概念オプションと坑道の埋め戻し状態オプションの組合せ（図 3.2-6）を出発点として設定しているが、今後必要に応じて新たな処分概念を追加することが可能な、技術的アプローチの種類を問わない共通的に適用できる枠組みである。また、本検討会では、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の処分概念オプションを出発点として整理を進めた

が、得られたフレームワークは、地層処分対象の TRU 廃棄物にも共通的に適用することが可能である。

※2 ここで想定した“定量化すべき情報”は、現時点における本検討会での整理であり、将来世代の価値観等の違いに伴い変化することがあり得る。同様に、例示した技術検討項目は、今後の事業進展に伴い具体化される処分概念や設計、或いは今後の技術の進展に伴い変化することが想定される。このような変化の可能性を踏まえて、現時点で想定される処分概念オプションに基づいて整理した本フレームワークを、今後の更なる議論や技術検討を進めるうえでの“検討のベース”と位置付けた。また、例示した技術検討項目に基づいて今後必要となる研究開発課題の抽出や計画立案を行う際には、既に関連する研究成果が得られていることも想定されるため、残された課題に関する技術的な精査が必要となる。これについては、既にそのような技術的な議論を専門とする別の場があることから、そのような場における議論では、本検討会で整理したフレームワークを活用されたい。

なお、これまでの国内外の検討動向を踏まえれば²⁸、安全性の観点からの回収実施の判断に関連して、モニタリングのあり方に議論が及ぶ場面が想定される。これについては、処分事業の特徴的な取組として、閉鎖後長期の安全性を満たす処分場が構築されつつあることを確認するために、操業中に行われる取組の1つと位置付けた包括的なプログラムの開発が国際的に指向されている。可逆性・回収可能性の観点では、このようなプログラムは可逆性・回収可能性の維持を終結して施設の最終閉鎖の実施を判断する際の材料を提供するものと位置付けられる。また、現時点において、閉鎖後長期の安全性の観点で回収実施を判断するための単一のモニタリング項目や指標はないというのが国際的な共通認識である²⁹。

²⁸ 資料2を参照。

²⁹ 資料8を参照。

表 3.2-2 技術検討のフレームワーク（回収可能性の維持に関する技術的アプローチの具体化に係る技術検討の枠組み）

定量化すべき情報		回収可能性の維持に関する技術的アプローチ(図 3.2-6)					左記の定量化に必要となる技術検討項目(例) ^{※1}	
		縦置き方式			横置き方式[PEM]			
		OP1	OP2	OP3	OP1	OP2		OP3
1.安全性への影響	(1)操業期間中の安全性への影響						1)開放坑道内の作業空間の安全性 a.開放坑道の健全性(空間安定性) b.開放坑道内(作業空間)への廃棄体からの熱影響	
	①回収可能性維持期間中の開放坑道の安全性への影響						1)回収時に再利用する坑道内の作業空間の安全性 ※回収作業時に一度埋め戻した坑道を掘削して再利用することを想定した場合 a.埋め戻した坑道の再利用時の健全性 b.再利用する坑道内の安全な作業環境確保策の実施可否	
	②回収作業時の安全性への影響(回収を実施する場合)						2)回収時の廃棄体容器の健全性	
	(2)閉鎖後長期の安全性への影響 :回収可能性維持期間の後に回収せずに最終閉鎖する場合の、人工バリアや天然バリア(母岩)に期待する閉鎖後長期の安全機能への影響						1)回収可能性維持期間中の開放坑道の存在に伴う人工バリア等に期待する安全機能への影響 a.開放坑道を介した空気(酸素)の持ち込みによる人工バリア等の地下構造物の機能劣化等の影響 b.廃棄体からの熱による影響 c.坑道開放期間中に継続する坑内湧水の影響 2)回収可能性維持期間中の開放坑道の存在に伴う天然バリア(母岩)に期待する安全機能への影響 a.化学組成の異なる地下水の引き込み b.開放坑道を介した空気(酸素)の持ち込みによる母岩側への影響、など	
2.回収の容易性(回収作業時間)	(1)単位ユニットあたりの回収時間(廃棄体1体又は処分坑道1本)						1)より合理的な回収作業の実現に向けた技術検討/研究開発 a.回収時間の短縮に向けた回収方法(技術・装置)の高度化 b.回収作業手順の具体化	
	(2)全ての廃棄体回収に係る全体作業時間						2)より回収の容易性を高めた処分場の設計開発	
3.最終閉鎖せずに回収可能性を維持できる期間							(固有の技術検討項目は想定されない。上記 1.の安全性への影響に関する技術検討結果等に基づき定量化する。 ^{※2})	
4.回収可能性に係る費用							(固有の技術検討項目は想定されない。上記 1.~3.の技術検討結果等に基づき定量化する。)	

※1 例示した技術検討項目に係る共通的なものとして、維持期間中における原位置の状態把握技術(モニタリング等)も技術検討の対象となる。また、安全性への影響に関する技術検討では、必要に応じて表 3.2-1 に示すような設計に適用する追加的な取組や施工・維持管理方策(開放坑道の施工・補修方法等)の検討・具体化が行われ、これらの効果が考慮される。

※2 特に項目 1. (2)への留意が必要であるが、1.(1)①の開放坑道の健全性に関する開放坑道の維持管理の制約にも留意が必要である。

解説1：表 3.2-2 内の“定量化すべき情報”の設定の考え方

現時点でトレードオフの関係にあると想定される、以下の4つの項目を定量化すべき情報として設定している。既に述べたように、これらは国際的な共通理解から示唆されている項目である。

1. 安全性への影響：

ここで安全性への影響とは、一定の確保すべき安全性のレベルに対してどのような影響があるかということである。確保すべき安全性のレベルについては、今後整備される安全規制制度からの要求が、その指標の1つになると考える。表 3.2-2 のフレームワークでは、(1)操業期間中の安全性と、(2)閉鎖後長期の安全性の2つに細分し、前者については更に、①回収可能性維持期間中の安全性と、②回収作業時の安全性の2つに分けて、これらを時系列的に整理している。

2. 回収の容易性（回収作業時間）：

回収の容易性を示すものとして、廃棄体へのアクセス性、回収作業の技術的な複雑さ、それに要する時間や費用など、幾つかの次元の異なる指標が想定される。ここでは回収の容易性を示す指標の1つとして、定量化が可能である“回収作業時間”を設定する（回収費用については、それを包含する回収可能性に係る費用として、下記 4. で設定する）。表 3.2-2 のフレームワークでは、回収作業時間を、(1)単位ユニットあたりの回収時間と、(2)全ての廃棄体回収に係る全体作業時間の2つに細分している。例えば、複数の坑道での並行した回収作業の実施や回収作業時の地下の共用施設の利用など、その合理的な回収作業を考える場合に両者は単純比例の関係ではない。

3. 最終閉鎖せずに回収可能性を維持できる期間：

国際的な共通理解では（図 2.1-1）、“回収の実施時期”がトレードオフに関係する項目の1つとして示唆されている。基本方針で示された課題である施設閉鎖までの管理のあり方の具体化との関係から、これを“最終閉鎖せずに回収可能性を維持できる期間”と読み替える。今後、候補サイトの地質環境条件等が与えられ、図 3.2-4 に示した反復的な設計開発プロセスを進めるなかで、上記 1. の安全性への影響（特に閉鎖後長期の安全性への影響）に関する技術検討をとおして、“安全性に有意な影響を及ぼさない期間”として定量化する。

4. 回収可能性に係る費用：

費用はトレードオフの関係にある項目の1つであるとともに、将来の可逆性・回収可能性の実行に係る費用負担のあり方に関する議論（3.1 節参照）を深めるためにも、その定量化が必要となる。回収可能性に係る費用は、操業期間中の回収可能性の維持に要する費用と、回収実施が決定された場合の回収作業に要する費用で構成される。上記 1.～3. の技術検討を含め、今後の事業進展に伴って最適化・具体化される処分場の設計に基づき定量化する。

解説2：表 3.2-2 内の“定量化すべき情報”の設定の考え方

今後採用し得る技術的アプローチに関する総合的な比較評価を行うためには、既に述べた技術的アプローチ1及び技術的アプローチ2、更にそれらの組み合わせなど、考え得る多種多様な技術的アプローチの種類が網羅的に抽出・整理されなければならない。

ここでは今後の検討の出発点として次のように設定しているが、今後新たな処分概念オプションや設計案が示される際には、それらを追加して比較検討することが可能である。

- ・回収方法（技術・装置）は既に存在することを前提として、ここでは技術的アプローチ2を対象として（回収をより容易にするための方法を設計に考慮するアプローチ）、表 3.2-1 に示す多様な方法のうち、現時点で想定が可能な方法を考慮する（回収の容易性を坑道の埋め戻し状態を工夫することで考慮する方法）。
- ・上記を踏まえ、現時点で想定し得る2つの処分概念オプション（縦置き方式、横置き方式 [PEM]）と坑道の埋め戻し状態オプションに関する6つの組合せ（図 3.2-6）を、今後採用し得る技術的アプローチの例として設定する。

解説3：表 3.2-2 内の“定量化に必要となる技術検討項目(例)”に関する技術検討の視点と考え方

上記の解説1に示す各項目の定量化に向けて、今後必要となる技術検討項目例を抽出・整理している。それぞれの技術検討の視点や考え方は以下のとおりである。

1.安全性への影響

(1)操業期間中の安全性への影響

①回収可能性維持期間中の開放坑道の安全性への影響

1)開放坑道内の作業空間の安全性：

保守管理のために開放坑道内に人が出入りするため、開放坑道内の作業空間の安全性確保の観点から、以下の評価・検討や技術の具体化を行う。

- a.開放坑道の健全性（支保や覆工等の健全性、補修*の実施可否など）
- b.開放坑道内（作業空間）への廃棄体からの熱影響（埋め戻し状態に応じた作業空間への熱影響、換気系統の効果や健全性など）
- c.操業段階に適用する技術の具体化

②回収作業時の安全性への影響（回収を実施する場合）

1)回収時に再利用する坑道内の作業空間の安全性：

一度埋め戻した坑道の再掘削／再利用を前提とする場合に、回収時に再利用する坑道内の作業空間の安全性確保の観点から、以下の評価や検討を行う。

- a.埋め戻した坑道の再利用時の健全性（再利用時の支保や覆工等の健全性、再利用時の補修*の実施可否など）
- b.再利用する坑道内の安全な作業環境確保策の実施可否（廃棄体近傍を再掘削することから、廃棄体からの放射線影響等に留意して、狭隘空間での作業となる可能性のある再掘削後の支保や覆工等の補修や打ち直し*、坑内湧水対策の施工可否ならびに放射線影響抑制対策の実施可否などを評価する）

c. 操業段階に適用する技術の具体化

2) 回収時の廃棄体容器の健全性：

回収装置による把持・取り出しの際には、廃棄体容器に一定の機械強度が要求されることから、廃棄体容器の健全性に関する評価や検討を行う（回収維持期間中の埋め戻し状態に応じた容器の劣化状態など）。

(2) 閉鎖後長期の安全性への影響（回収可能性維持期間の後に回収せずに最終閉鎖する場合）

1) 回収可能性維持期間中の開放坑道の存在に伴う人工バリア等に期待する安全機能への影響：

回収可能性維持期間中の開放坑道の存在を踏まえ、人工バリア（及び他の地下構造物）に期待する閉鎖後長期の安全機能への影響を下記観点から評価する。

a. 開放坑道を介した空気（酸素）の持ち込みによる人工バリア等の機能劣化等の影響：回収維持期間中は開放坑道を介して地上の空気が地下に持ち込まれるため、酸素の供給や乾燥環境の持ち込みによる人工バリア等への影響を評価する（酸化性雰囲気を持ち込みによる影響、緩衝材等の再冠水過程への影響、それらに伴う人工バリア等の状態変遷プロセスへの影響など）。

b. 廃棄体からの熱による影響：坑道の埋め戻し状態の違いによって廃棄体から発生する熱の伝播環境が変わるため、それらを踏まえた人工バリア等への熱影響を評価する（断熱効果の高い空気の存在を踏まえた、熱による緩衝材等の機能に対する影響、再冠水過程への影響など）。

c. 坑道開放期間中に継続する坑内湧水の影響：回収維持期間中の開放坑道の存在によって継続される坑内湧水に伴う人工バリア等への影響を評価する（緩衝材等の流出現象、再冠水過程への影響、それに伴う人工バリア等の状態変遷など）。

2) 回収可能性維持期間中の開放坑道の存在に伴う天然バリア（母岩）に期待する安全機能への影響：

回収可能性維持期間中の開放坑道の存在を踏まえ、天然バリア（母岩）に期待される閉鎖後長期の安全機能に係わる次のような影響を評価する。

a. 地下水の引き込みによる擾乱影響の範囲と程度（化学組成の異なる地下水の引き込みの影響など）

b. 開放坑道を介した酸素の供給や乾燥環境の持ち込みによる母岩側への影響範囲と程度

c. ベースライン（建設前の元の地下環境の状態）への回復過程と回復の程度、など

※以上のような安全性への影響に関する評価や検討に加え、操業段階（及び回収実行時）に適用する技術の見通しを得ておくことが必要である。

なお、ここで“補修”とは、定置済みの人工バリアを回収して補修することは想定していない。

2. 回収の容易性（回収作業時間）

(1) 単位ユニットあたりの回収時間／(2) 全ての廃棄体回収に係る全体作業時間：

1) より合理的な回収作業の実現に向けた技術検討／研究開発：

a. 回収時間の短縮に向けた回収方法（技術・装置）の高度化：

回収作業時間の算定には単位ユニットあたり（廃棄体1体或いは処分坑道1本当たりの

複数廃棄体)の回収作業時間が必要となる。単位ユニットあたりの回収作業時間は、定置概念オプションや設計に応じて適用される回収方法に依存する。より合理的な回収作業の実現に向けた回収方法(技術・装置)の高度化に係る検討や研究開発が望まれる。

b.回収作業手順の具体化:

上記 a.で検討が進められる回収方法を踏まえ、より合理的な全体回収作業の実現に向けて、施設レイアウト設計や坑道寸法設計等の工学的対策や回収作業手順の具体化が必要となる。これらの具体化検討では、機器の故障対応(補修)や複数坑道での同時作業を念頭に置いた合理化方策など(地下施設内での再掘削ズリや回収廃棄体の一時置き場の利用等)が考慮される。

2)より回収の容易性を高めた処分場の設計開発:

解説②に示したように、今回のフレームワークの整理では、検討の出発点として現時点で想定し得る2つの処分概念オプションを前提としている。今後、表 3.2-1 に示した回収の容易性を設計に考慮する際の多様な方法の導入や組合せに関する検討を進め、前提とした2つの処分概念オプション以外の新たなものを含めて、より回収の容易性を高めた処分場の設計開発に係る検討を進める。前提とした2つの処分概念オプション以外の新たな設計を考慮する際には、併せて、新たな設計に適用可能な上記 1)の技術検討/研究開発のみならず、上述した安全性への影響に関する技術検討が行われる。

注) 表 3.2-2 内の「3.最終閉鎖せずに回収可能性を維持できる期間」及び「4.回収可能性に係る費用」については、固有の技術検討項目は想定されない。

3.3 当面の進め方と関係組織の役割

今後、候補サイトの地質環境条件及びそれに応じた処分場の設計が具体化できる段階となれば、回収可能性に関する技術的アプローチの具体化が可能となる。前節 3.2 で整理したように、今後の技術的アプローチの具体化に向けた検討や将来の判断等に資するべく、先行的に着手できる研究開発があり得る。当面はこれらの研究開発を着実に進めていく必要がある。

また、今後の具体的な進め方について、回収可能性に関する技術的アプローチを含む戦略・計画の策定や進め方に関する諸外国の動向等は次のように要約できる³⁰。

- 国(議会や関係省庁を含む政府等)が、可逆性や回収可能性に関する方針(導入の可否や関連する技術的な取組の方向性)を提示
- 実施主体が主導的に戦略や計画を具体化(可逆性・回収可能性に特化した計画ではなく、包括的な処分場開発計画を策定するなかで、その一部として可逆性・回収可能性に係る戦略や計画を提示)
 - ・スウェーデン、フィンランド: 制度に基づき3年毎に実施主体が研究開発計画を策定
 - ・フランス: 計画策定の枠組み(政府が設置する委員会やワーキンググループ)に実施主体が関与するとともに、実施主体が可逆性の運用状況を5年毎に報告(2016年の法律に基づき可逆性の運用状況を定期的に評価)

³⁰ 資料7を参照。

- ・スイス、カナダ、英国：重要な政策・方針（法令や政府文書など）に基づき、実施主体が作成
- 国が実施主体や研究開発機関による技術的な取組や調査研究等の進捗等を評価するための枠組みを整備し、適時に評価等を実施
 - ・スウェーデン、フィンランド、フランス：実施主体が策定する研究開発計画（前計画に基づく取組の成果を含む）或いは研究開発の進捗状況を評価する枠組みを制度化
 - ・フランス：国家評価委員会（CNE）が毎年、研究や調査の進捗状況を評価
 - ・スウェーデン：原子力廃棄物評議会は、SKBが3年毎に作成するRD&Dプログラムを評価
 - ・米国：放射性廃棄物技術審査委員会（NWTRB）は、DOEが実施している活動のうち、技術面について毎年評価
 - ・第三者と位置付けられる組織の活用：スウェーデン：原子力廃棄物評議会（旧名KASAM）、フランス：国家評価委員会（CNE）、英国：放射性廃棄物管理委員会（CoRWM）、カナダ：核燃料廃棄物管理機関（NWMO）／諮問評議会、米国：放射性廃棄物技術審査委員会（NWTRB）
- 研究開発等の技術的な取組に係る戦略や計画は、回収可能性に関する方針及び地質条件を具体的に想定できる状況（候補サイト、地下研など）のもとで具体化される傾向
 - ・スウェーデン（及びフィンランド）：硬岩系の母岩環境を前提に、回収方法の実証的な研究開発に重点を置き、エスポ岩盤研究所で回収方法の開発（緩衝材除去）に焦点を当てた回収試験等を展開
 - ・フランス：粘土層を対象とした処分場の概念設計等において、回収の容易性を考慮した処分場の設計に重点を置いた取組を展開
 - ・英国（サイトや地質環境条件が決まっていない段階）：特有の地質条件に応用できる回収可能性のレベルを詳細に開発するには、サイトスペシフィックな調査が必要と認識

以上のような諸外国の先行的な取組事例を踏まえれば、研究開発成果の提示を含めた今後の進め方として、次のような進め方を想定し得る³¹。

- 1)国が可逆性や回収可能性に関する方針（導入の可否や関連する技術的な取組の方向性）を提示
- 2)回収可能性に関する技術的な取組の考え方ならびに戦略や計画を実施主体が先行的に提示（回収可能性に関する技術的アプローチの具体化）
- 3)今後具体化される候補サイトの地質環境条件に応じた処分場の概念や設計が、回収可能性に関する社会のニーズを、どの程度のレベルで達成できるかを実施主体が提示
- 4)国は上記の計画や戦略に基づく実施主体や関係研究機関等の取組を評価する枠組みを提供

上記のような進め方を踏まえれば、先行的に着手できる研究開発を着実に進め、回収可能性に関する技術的アプローチや処分場の設計を具体化させていくことが肝要である。また、それらの

³¹ 一般的に、回収可能性の維持に関する技術的検討を進めるには、回収可能性の維持に関する要件（例えば地下坑道を開けておく期間）や具体的なサイトの地下環境情報など、安全性を満たす処分場の概念や設計開発の前提となる条件が揃うことで、与えられた要件等の達成に向けた技術的な方法を検討できる。前者の要件について、これを社会的合意事項として先行的に示すのは容易ではなく、その対処として上記のように進められていることが諸外国の先事例から窺える。

具体化の際には、その段階で有望とされる処分概念や設計における回収の技術的な実現性や容易性を併せて示し、その適切性などが評価されることが望ましい³²。このような取組をとおして、残された課題や対応策等が明確化されていくと考える。

³² 改定された基本方針によって、地層処分事業に係る施策に関する定期的な評価の枠組みが定められている。平成 28 年に行われた原子力委員会（放射性廃棄物専門部会）による評価では、基本方針や最終処分関係関係会議決定事項等に照らして、施策（関係組織による取組の状況など）の評価が行われ、その一部として、可逆性・回収可能性に関連する取組の評価も行われた（原子力委員会, 2016）。

第4章 おわりに

本検討会では、我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うえで、今後の具体的な制度の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の整理に向けて、多様な観点から議論を進めた。第3章に得られた成果を整理しているが、ここで再度、それらを要約するとともに、特に今後の取組への活用の観点から、本検討会としての考えを整理する。

制度面では、我が国では既に、事業の段階的な進め方が制度化されており、更に改定された基本方針で可逆性・回収可能性の維持を規定して将来世代の柔軟性を確保するとともに、可逆性・回収可能性に関する諸規定や要件ならびに評価の枠組みの明確化も行われており、諸外国と同様の制度整備状況にあるといえる。

一方で、例えば将来の可逆性・回収可能性の実行に係る費用負担のあり方や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あり方など、今後の事業進展の状況によって課題となる可能性のある事項が存在し得ることが認識された。これらに留意して更なる議論を深めるためには、議論に資する定量的な技術情報の提示に向けた検討を進めていく必要がある。

技術面では、基本方針で示されている回収可能性を維持した場合の影響等に関する調査研究や回収技術の開発が進められている。

一方で、回収可能性に関する技術的アプローチのあり方やそれを具体化するために必要となる技術検討や研究開発等に関する議論をとおして、安全性、回収の容易性、回収の実施時期ならびに費用などが、回収可能性を維持することに関してトレードオフの関係にあり、これらの関係が回収可能性の維持に関する技術的アプローチによって異なることが認識された。今後の技術的アプローチの具体化や将来の可逆性・回収可能性の実施判断等の場面においては、これらのトレードオフの関係をより定量的に示していく必要性が認識された。

このような認識のもと、本検討会において、今後の技術的アプローチの具体化や将来の判断等の場面で必要となる定量的な情報を想定し、これらの定量化に必要な技術検討項目を抽出して、“**技術検討のフレームワーク**”（回収可能性の維持に関する技術的アプローチの具体化に係る技術検討の枠組み）として整理した（表 3.2-2）。このような整理が今後の更なる議論や技術検討を進めるうえでの検討のベースとして活用されることを期待する。

なお、同フレームワークのうち、安全性に関するものは、その技術的な要件或いは評価や判断における指標など、今後の安全規制制度の検討とともに具体化されていくことが想定される。技術検討のフレームワークに基づく今後の技術的な取組においては、それらと整合性を持って進めていくことが肝要ではあるが、ここで示したフレームワークは、事業推進や安全規制を問わず、可逆性・回収可能性を導入した地層処分事業を進めていくうえでの共通的な基盤と考える。

当面の進め方としては、上記のフレームワークの中で例示した“定量化に必要な技術検討項目”から展開される研究開発を着実に進めていく必要がある。また、そのような研究開発成果の提示を含む技術的アプローチ等の具体化の際には、その段階で有望とされる処分概念や設計に

おける回収の技術的な実現性や容易性を併せて示し、その適切性などが評価されることが望ましい。今後、基本方針によって整備された評価の枠組みも活用しつつ、このような取組や評価を重ねることで、残された課題や対応策等が明確化されていくと考える。

以上のように、制度、技術、当面の進め方といった観点から、本検討会の考え方を整理した。可逆性・回収可能性の確保というものを今後具体的に運用していくうえでは、改定された基本方針の規定を含めた可逆性・回収可能性に係る現時点における我が国の制度整備状況は諸外国と同様のレベルにあると考えられるが、今後の事業進展の状況によって課題となる可能性のある事項への対応を含めて、必要となる技術検討や研究開発を着実に進めていく必要がある。

また、本検討会で再確認した可逆性・回収可能性の導入の意義を踏まえれば、今後の事業進展やそれに伴うステークホルダーの変化などに留意しつつ、柔軟に運用していくことが肝要と考える。

参考文献

- IAEA(1995) : Safety Series No. 111-3, Safety Fundamentals “The Principles of Radioactive Waste Management”
- IAEA(2006) : Safety Standards Series No. SF-1 “Fundamental Safety Principles”
- IAEA(2012) : Safety Standards Series, Specific Safety Guide No. SSG-23 “The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste”
- 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”
- OECD/NEA(2004) : “Stepwise Approach to Decision Making for Long-term Radioactive Waste Management Experience, Issues and Guiding Principles”
- OECD/NEA(2011a), “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)”
- OECD/NEA(2011b), “INTERNATIONAL UNDERSTANDING OF REVERSIBILITY OF DECISIONS AND RETRIEVABILITY OF WASTE IN GEOLOGICAL DISPOSAL
- 原子力委員会 (1976) : 原子力委員会決定 “放射性廃棄物対策について”
- 原子力委員会 (1998) : “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”、原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会
- 原子力委員会 (2000) : “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”、原子力委員会バックエンド対策専門部会
- 原子力委員会 (2016) : “最終処分関係行政機関等の活動状況に関する評価報告書”、原子力委員会放射性廃棄物専門部会
- 原子力環境整備促進・資金管理センター (原環センター) (2015) : 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
- 原子力環境整備促進・資金管理センター (原環センター) (2017) : 平成 28 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
- 原子力発電環境整備機構 (NUMO) (2016) : NUMO セーフティケースに関する外部専門家ワークショップ 配布資料-4 “(3)処分場の設計と工学技術”
- 資源エネルギー庁 (2016) : 諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について (2016 年版)
- 総合エネルギー調査会 (1999) : 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”、総合エネルギー調査会原子力部会
- 総合資源エネルギー調査会 (2014) : 放射性廃棄物 WG 中間とりまとめ、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
- 地層処分基盤研究開発調整会議 (2013) : 地層処分基盤研究開発に関する全体計画 (平成 25～平成 29 年度)
- 地層処分基盤研究開発調整会議 (2014) : 地層処分基盤研究開発に関する全体計画【研究開発マップ】 (平成 25 年度～平成 29 年度)