付録２　2.1　国際共同研究 Modern2020 成果報告書

補足資料

目次

1.　国際共同研究 Modern2020 プロジェクト　成果概要報告 ..... 付 2-1
1.1.　Modern2020 プロジェクトの概要 ..... 付 2-1
1.1.1.　実施目標 ..... 付 2-1
1.1.2.　参加機関 ..... 付 2-1
1.1.3.　ワークパッケージごとの概要 ..... 付 2-2
1.1.4.　Modern2020 プロジェクトの WP の相関関係 ..... 付 2-6
1.2.　WP2：モニタリング戦略 ..... 付 2-7
1.2.1.　成果報告書 D2.1「処分場モニタリング戦略及びスクリーニング方法」 ..... 付 2-7
1.2.2.　成果報告書 D2.2：モニタリングパラメータのスクリーニング：テストケース ..... 付 2-19
1.2.3.　成果報告書 D2.3：モニタリング結果への対応 ..... 付 2-59
1.3.　WP3：モニタリング技術の研究開発 ..... 付 2-63
1.3.1.　成果報告書 D3.1：地層処分モニタリング関連技術統合報告書 ..... 付 2-63
1.3.2.　成果報告書 D3.2：処分場モニタリングのための無線データ送信システム ..... 付 2-65
1.3.3.　成果報告書 D3.3：処分場モニタリングのための長期電力供給源 ..... 付 2-68
1.3.4.　成果報告書 D3.4：処分場モニタリングのための新規センサ ..... 付 2-71
1.3.5.　成果報告書 D3.5：処分場モニタリングのための地球物理学的手法 ..... 付 2-73
1.3.6.　成果報告書 D3.6：構成機器の信頼性及び適格性確認 ..... 付 2-75
1.4.　WP4：モニタリングの実証 ..... 付 2-79
1.4.1.　成果報告書 D4.1：EBS モニタリング計画－結晶質岩での使用済燃料処分概念 ..... 付 2-79
1.4.2.　成果報告書 D4.2：HA モニタリング計画の開発 ..... 付 2-81
1.4.3.　成果報告書 D4.3：長期岩盤・緩衝材モニタリング（施工完了時） ..... 付 2-83
1.4.4.　成果報告書 D4.4：FE 及び TEM の結果 ..... 付 2-85
1.4.5.　成果報告書 D4.5：モニタリング実証試験及び追加ケースの統合 ..... 付 2-87
1.5.　WP5：地元ステークホルダの関与 ..... 付 2-89
1.5.1.　成果報告書 D5.1「地下のモニタリング：核廃棄物の地層処分のガバナンスにおける処分場モニタリングの役割は何か？」 ..... 付 2-89
1.5.2.　成果報告書 D5.2：地層処分におけるモニタリングと公衆参加：ステークホルダ・ガイド ..... 付 2-91
1.5.3.　成果報告書 D5.3：処分場のガバナンスの文脈における処分場モニタリング ..... 付 2-93
1.6.　WP6 ..... 付 2-95

1.6.1. 成果報告書 D6.1：プロジェクト結果の普及と活用の計画 .....付 2-95
1.6.2. 成果報告書 D6.2：Modern2020 公開ウェブサイト .....付 2-97
1.6.3. 成果報告書 D6.3：Modern2020 最終会議プロシーディングス.....付 2-98
1.6.4. 成果報告書 D6.4：Modern2020 トレーニングスクール報告書.....付 2-100
1.6.5. 成果報告書 D6.5：Modern2020 プロジェクト統合報告書、処分場モニタリング：戦略、技術、実施 .....付 2-102
2. 参考資料.....付 2-105

# 1.　国際共同研究 Modern2020 プロジェクト　成果概要報告

## 1.1.　Modern2020 プロジェクトの概要

Modern2020 プロジェクト（Development and Demonstration of Monitoring Strategies and Technologies for Geological Disposal Project）は、欧州委員会（EC）による研究フレームワークである Horizon 2020 の一環として実施された、地層処分に関するモニタリングの共同研究プログラムであり、2009～2013 年に実施された MoDeRn プロジェクトの後継プログラムである。

実施期間は 2015 年 6 月から 2019 年 5 月であり、予算額は EC からの補助金の最大額として約 6 百万ユーロである。なお、EC からの補助金は EU 加盟国からの参加機関に配布され、EU 外の日本及びスイスからの参加機関には配布されない。

Modern2020 プロジェクトによる報告書等は、公開ウェブサイトにて入手可能となっている（http://www.modern2020.eu/）。

以下に、Modern2020 プロジェクトの実施目標、参加機関、実施事項等について記載する。

### 1.1.1.　実施目標

Modern2020 プロジェクト全体の実施目標は、各国固有の地層処分計画の要求事項（インベントリ、母岩、処分コンセプト、規制等）や公衆ステークホルダ（特に潜在的処分候補地の地元ステークホルダ）の期待に対応した、セーフティケースに基づく、地層処分場操業段階の効果的、効率的なモニタリングプログラムの開発・実施手法を提供することである。

検討内容は、操業段階での人工バリアを含むニアフィールドのモニタリングに焦点を当てており、以下の具体的な目的を持つ。

- 地層処分事業を先行する国で、2020 年代に開始される処分場操業でのモニタリングシステムの設計を可能とする。
- 地層処分事業が進んでいない国や、ステークホルダに対し、 各国固有の要求事項をどのようにモニタリングプログラムに組み入れるかを例示する。

### 1.1.2.　参加機関

Modern2020 プロジェクトには 2015 年 6 月時点で 28 機関、2019 年 5 月時点で 29 機関が参加しており、その内訳は実施主体が 8 機関、TSO（規制支援研究機関）が 1 機関、技術的研究を行う機関及び企業が 9 機関（途中で 1 機関が解散し、2 社が研究を継続）、廃棄物発生者が 2 機関、コンサルタント会社が 2 機関、及び 8 大学である。参加機関について、過去に実施された MoDeRn プロジェクトへの参加と合わせて付表 1-1 に示す。

付表 1-1　Modern2020 プロジェクトへの参加機関

| | 機関名 | 区分 | 国 | MoDeRn 参加 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ANDRA（幹事） | 実施主体 | フランス | ○（幹事） |
| 2 | Orano 社（旧 AREVA 社） | 企業 | フランス | |
| 3 | AITEMIN（2016 年まで） | 研究機関 | スペイン | ○ |
| 4 | チェコ工科大学 | 大学 | チェコ | |
| 5 | DBE テクノロジー社 | 研究機関 | ドイツ | ○ |
| 6 | EDF 社 | 企業 | フランス | |
| 7 | ENEA | 研究機関 | イタリア | |
| 8 | ENRESA | 実施主体 | スペイン | ○ |
| 9 | チューリッヒ工科大学 | 大学 | スイス | ○ |
| 10 | EURIDICE | 研究機関 | ベルギー | ○ |
| 11 | Galson Sciences 社 | コンサルタント会社 | 英国 | ○ |
| 12 | IRSN | TSO | フランス | |
| 13 | NAGRA | 実施主体 | スイス | ○ |
| 14 | Nidia 社 | コンサルタント会社 | イタリア | |
| 15 | NRG | 研究機関 | オランダ | ○ |
| 16 | ONDRAF/NIRAS | 実施主体 | ベルギー | ○ |
| 17 | POSIVA 社 | 実施主体 | フィンランド | ○ |
| 18 | NDA | 実施主体 | 英国 | ○ |
| 19 | 原環センター | 研究機関 | 日本 | ○ |
| 20 | SKB | 実施主体 | スウェーデン | ○ |
| 21 | RAWRA/SURAO | 実施主体 | チェコ | ○ |
| 22 | リベレツ工科大学 | 大学 | チェコ | |
| 23 | アントワープ大学 | 大学 | ベルギー | ○ |
| 24 | ヨーテボリ大学 | 大学 | スウェーデン | ○ |
| 25 | モンス大学 | 大学 | ベルギー | |
| 26 | リモージュ大学 | 大学 | フランス | |
| 27 | ストラックライド大学 | 大学 | 英国 | |
| 28 | VTT | 研究機関 | フィンランド | |
| 29 | ARQUIMEA 社（2016 年より） | 企業 | スペイン | |
| 30 | AMBERG 社（2016 年より） | 企業 | スペイン | |

### 1.1.3. ワークパッケージごとの概要

Modern2020 プロジェクトでは、6 つのワークパッケージ（WP）を構成して研究を実施した。各 WP の概要を付表 1-2 に、各 WP による報告書を付表 1-3 に示す。

付表 1-2　Modern2020 プロジェクトのワークパッケージ（WP）の概要

| WP | 課題 | リーダー | 概要 |
|---|---|---|---|
| WP1 | 組織運営 | ANDRA | 契約や予算等に関する作業の実施 |
| WP2 | モニタリングプログラム設計、モニタリング戦略と意思決定 | SKB 社 | WP2 の目標は、セーフティケース及び広範な科学的プログラムに明確なリンクを持ち、最適化されたモニタリングプログラムにおいて、モニタリングすべきパラメータに関して、モニタリングシステムに対する要件を定義することである。この作業には、意思決定の要件、モニタリング戦略、初期のモニタリングパラメータのリストのスクリーニング、性能の尺度（performance measures）、及びモニタリング結果への対応計画に関する考察が含まれている。鍵となる側面は、実際的(practical)、実行可能(implementable)、効率的、効果的なモニタリングプログラムの設計基準をどのようにして確立するかである。<br>WP2 の具体的目標は以下の通りである。<br>－ セーフティケースの考察に基づいた、異なった国の処分計画におけるバリアシステムのモニタリングに関する具体的な目的の記述<br>－ 高水準のモニタリング戦略（例：パイロット施設、廃棄物定置領域のモニタリング、バッチ試験、模擬廃棄体の使用）の評価、及びこれらの戦略の特定の処分場設計と地質環境における潜在的な実施内容の記述<br>－ モニタリングによる情報を必要とする処分実施中の意思決定の範囲の特定、及び意思決定を支えるモニタリングからの情報やデータの特定<br>－ モニタリングデータを意思決定に用いる、またはモニタリングデータに興味を示すステークホルダ（例、WMO 職員、規制者）、及びモニタリングデータの利用に関与する職務の理解と範囲の考察<br>－ 異なった国のモニタリングに関する背景における、初期のモニタリングパラメータのリストのスクリーニング<br>－ 実際的で実施可能なモニタリングプログラムにおける、モニタリングすべきパラメータの特定<br>－ モニタリング期間において期待される処分システムの変化の、特定されたモニタリングパラメータとの関係としての記述<br>－ 対応を必要とするモニタリング結果の識別、及びこれらの結果について意思決定の文脈において考察された対応のタイプの設定<br>－ 意思決定にモニタリングデータを用いるためのアプローチ（方法、道具、ワークフロー）の識別 |
| WP3 | モニタリング技術の研究開発 | AMBERG 社 | WP3 では、処分場でのモニタリングに関する顕著な技術的課題を解決することを目的としており、以下の技術開発に取り組んでいる。<br>－ 地中無線モニタリング技術について、高周波を用いたシステムと低周波を用いたシステムの組み合わせを含む技術の向上。<br>－ 地中無線モニタリング装置に必要な、従来の一次電池に代わる電源の調査。<br>－ センサ技術の長期的な性能。<br>－ 光ファイバをベースにした新しいセンサ、及び水分含有量、水の化学組成、pH、線量をモニタリングするセンサを含む、バリアへの機器設置による影響を低減したモニタリング技術。<br>－ 人工バリア等への機器設置による影響のないモニタリングのための、最も有望な地球物理学的手法の改良。 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | – モニタリングシステムの構成要素を検証するための共通の方法論の確立。 |
| WP4 | 実規模現地試験におけるモニタリング技術の実証 | EURIDICE | WP4 では、処分場と同様の条件を持つ環境下で新規のモニタリング技術を実証することを目標とし、以下の事項に取り組んでいる。<br>– 複数の技術を活用した、特定のセーフティケースに関連したモニタリングシステム設計の開発結果の実証<br>– 既存のモニタリング技術が、必要なパラメータと必要な情報を必要な頻度と精度で提供できるかどうかを調べること等による、ニアフィールドのモニタリングにおける既存の経験を活用した、モニタリングシステム設計に関するガイダンスの提供<br><br>モニタリング技術を実証する実規模現地試験は以下の通りである。<br>– フィンランド、ONKALO 地下特性調査施設：実規模原位置試験施設<br>– フランス、ビュール地下研究所：高レベル放射性廃棄物（HA）産業パイロット試験施設<br>– フランス、Tournemire 試験施設（地下研）：長期岩盤 - 緩衝材モニタリング（LTRBM）<br>– スイス、モン・テリ岩盤研究所（地下研）：実規模定置（FE）試験施設グリムゼル試験サイト（地下研）：TEM 施設 |
| WP5 | 社会的関心とステークホルダの関与 | アントワープ大学（UA） | WP5 では、国による処分場のモニタリング計画への、公衆ステークホルダの関心事と社会的な期待を統合するための方法を開発し、評価することを目標とし、以下の事項に取り組んでいる。<br>– 地域の公衆ステークホルダを国内及び国際的な処分場モニタリングの研究開発に関与させ、ステークホルダの関与と Modern2020 参加機関の両方に及ぼす影響を分析する。この取り組みに協力して頂いている公衆ステークホルダは以下の自治体のグループである。<br>スウェーデン、オスカーシャム自治体<br>ベルギー、デッセル及びモル自治体<br>フィンランド、エウラヨキ自治体<br>– 公衆ステークホルダの懸念と期待を国の処分場モニタリングプログラムに統合するための、より具体的な方法を定義する。この取り組みの対象は、上記各国とフランスである。<br>– 原位置モニタリングを通して収集されたデータを公衆ステークホルダに伝達する方法に関する考え方を開発する。 |
| WP6 | 成果の普及 | ANDRA | WP6 では、Modern2020 の成果普及のための活動を実施する。主な活動として、以下を含む。<br>– 国際会議の開催<br>– モニタリング・スクールの開催<br>– 総括報告書の作成 |

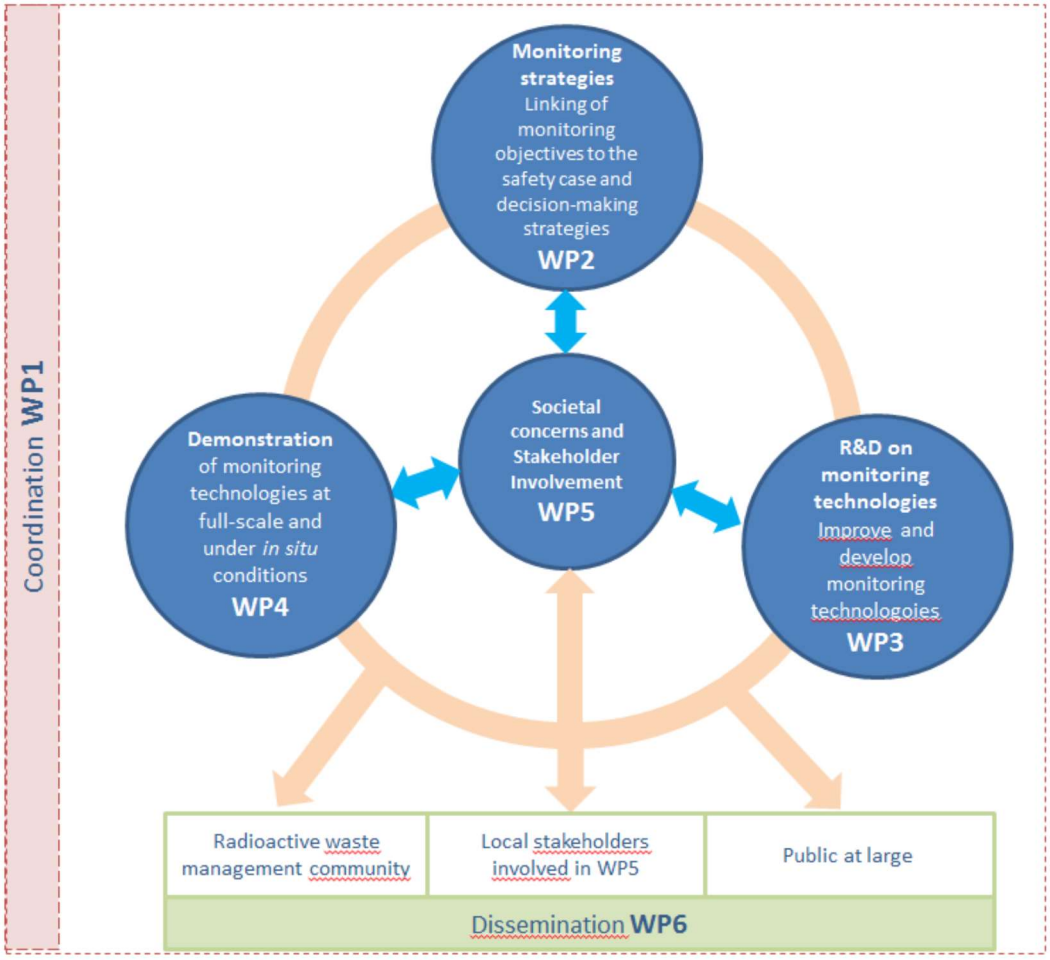
付表 1-3　Modern2020 による報告書（配布レベルが Public のもの）

| WP | 番号 | 報告書名 | 作成リーダー | 発行日 |
|---|---|---|---|---|
| WP2 | D2.1 | Repository Monitoring Strategies and Screening Methodologies | GSL 社、英、（コンサルタント） | 2017.8 |
| | D2.2 | Monitoring Parameter Screening: Test Cases | SKB 社、スウェーデン | 2019.3 |
| | D2.3 | Responding to Monitoring Results | Nidia 社、伊（コンサルタント） | 2019.6 |
| WP3 | D3.1 | Synthesis report on relevant monitoring technologies for repository | AMBERG 社（スペイン） | 2019.7 |
| | D3.2 | Wireless data transmission systems for repository monitoring | NRG、オランダ | 2019.3 |
| | D3.3 | Long-term power supply sources for repository monitoring | VTT、フィンランド | 2019.5 |
| | D3.4 | New sensors for repository monitoring | ANDRA、仏 | 2019.5 |
| | D3.5 | Geophysical methods for repository monitoring | チューリッヒ工科大学、スイス | 2019.4 |
| | D3.6 | Reliability and qualification of components | IRSN、仏 | 2018.8 |
| WP4 | D4.1 | EBS monitoring plan - Spent fuel disposal concept at crystalline host rock | POSIVA 社、フィンランド | 2019.5 |
| | D4.2 | Development of HA monitoring plan | ANDRA、仏 | 2019.5 |
| | D4.3 | Long Term Rock Buffer Monitoring (As-built ) | IRSN、仏 | 2019.8 |
| | D4.4 | FE and TEM results | NAGRA、スイス | 2019.8 |
| | D4.5 | Synthesis on monitoring demonstrators and additional cases | EURIDICE、スペイン | 2019.9 |
| WP5 | D5.1 | Monitoring the Underground: What role for repository monitoring in the governance of geological disposal for nuclear waste? | ヨーテボリ大学、スウェーデン | 2018.3 |
| | D5.2 | Monitoring in Geological Disposal & Public Participation: A Stakeholder Guide | アントワープ大学、ベルギー | 2019.5 |
| | D5.3 | Repository monitoring in the context of repository governance | アントワープ大学、ベルギー | 2019.9 |
| WP6 | D6.1 | Plan for the dissemination and exploitation of the project's results | ANDRA、仏 | 2016.3* |
| | D6.2 | Modern2020 public website | ANDRA、仏 | 2015.12 |
| | D6.3 | Modern2020 Final Conference Proceedings<br>Second International Conference on Monitoring in geological disposal of radioactive waste: Strategies, technologies, decision-making and public involvement | GSL 社、英（コンサルタント） | 2019.7 |
| | D6.4 | Report on the Training Session | ANDRA、仏 | 2019.7 |
| | D6.5 | Modern2020 Project Synthesis<br>Repository Monitoring: Strategies, Technologies and Implementation | ANDRA、仏 | 2019.9 |

*：Modern2020のウェブサイト上で公開されているファイルの配布レベルがConfidentialとされているが、本来の配布レベルはPublicである。

### 1.1.4. Modern2020 プロジェクトの WP の相関関係

Modern2020 プロジェクトの各 WP の関係について、付図 1.1-1 に示す。WP のうち、研究を実施しているのは WP2～WP5 であるが、これらは互いに時協力しながら研究を進めている。特に、戦略的、技術的側面を扱う WP2～WP4 が、社会的側面を扱う WP5 との密接な関係を持っていることが特徴と言える。




付図 1.1-1　Modern2020 プロジェクトの各 WP の関係図

### 1.2. WP2：モニタリング戦略

第2章から第6章では、Modern2020プロジェクトのWP2からWP6による各報告書の概要について記載する。

#### 1.2.1. 成果報告書 D2.1「処分場モニタリング戦略及びスクリーニング方法」

成果報告書 D2.1 は、モニタリングプログラムの設計基準、モニタリング戦略及び意思決定に焦点を合わせた Task2.1 に関する報告書である。Task2.1 の目的は、過去の複数の国際共同プロジェクトで取り扱われずに残っていたいくつかのジェネリックな問題に対処することにある。本報告書では、以下の目標に関連する作業を通じて、これらの問題を取り扱う。

- 閉鎖後セーフティケースの枠内でのモニタリングの役割の評価を行うこと。
- 高水準のモニタリング戦略の評価を行うこと。
- 処分場実現期間( during repository implementation)にわたって行われる一定範囲の決定で、モニタリング情報を必要とするものに関する検討を行うこと。
- モニタリングパラメータ・リストの開発に使用するスクリーニング方法論の開発を、国ごとに異なるモニタリング背景状況を考慮に入れて行うこと。

付表 1-4 に D2.1「処分場モニタリング戦略及びスクリーニング方法」の構成を記載する。

付表 1-4　成果報告書 D2.1「処分場モニタリング戦略及びスクリーニング方法」の構成

1　序文
1.1　背景
1.2　本報告書の目的
1.3　本報告書の範囲
1.4　アプローチ
1.5　本報告書の構成
2　Modern2020プロジェクト以前に得られた理解と残された鍵となる問題
2.1　モニタリングに関して以前に実施された国際的な作業
2.1.1　IAEA安全基準
2.1.2　IAEA技術文書（TECDOC）
2.1.3　NEA
2.1.4　欧州テーマ別ネットワーク
2.1.5　MoDeRnプロジェクト
2.2　既存のモニタリングプログラム
2.3　Modern2020で追加的な作業を実施する必要性
3　処分場モニタリング及び閉鎖後セーフティケース
3.1　閉鎖後セーフティケースの範囲及び目的
3.2　閉鎖後セーフティケースにおける不確実性への配慮
3.2.1　閉鎖後セーフティケースに含まれる不確実性のタイプ
3.2.2　不確実性の管理及び信頼の醸成
3.2.3　限度、規制管理及び条件の適合性のチェック
3.3　セーフティケースにおける処分場モニタリングの役割
4　高水準のモニタリング戦略
4.1　戦略の諸要素
4.2　エンド・メンバー戦略
4.2.1　比較的広範囲の原位置モニタリング：ANDRA
4.2.2　EBS要素/模擬パッケージに焦点を合わせた限定的なモニタリング：KBS-3V
4.2.3　パイロット施設内でのモニタリング：NAGRA
4.3　まとめ
5　モニタリングに関する意思決定要件
5.1　管理決定を支援するモニタリング
5.2　プログラム決定
5.3　工学的決定
5.3.1　工学的意思決定におけるモニタリング情報の利用に関する一般的な議論
5.3.2　工学的な意思決定におけるモニタリングの役割の例：ドイツの粘土岩概念
5.4　まとめ
6　Modern2020スクリーニング方法論
6.1　Modern2020スクリーニング方法論のアプローチと背景状況
6.2　Modern2020スクリーニング方法論
6.2.1　方法論の概要と支援ダイヤグラム
6.2.2　各ステップの説明
6.2.3　PRO2、PRO4及びTEC1に関する補足的ガイダンス質問
7　結論
7.1　共通テーマ
7.2　プログラム間の相違
7.3　スクリーニング方法論
8　参考文献
付属書A　Modern2020のTask2.1で使用した質問表
付属書B：既存のモニタリングプログラムに関するレビュー

### 1) セーフティケースにおける処分場モニタリングの役割

成果報告書D2.1「処分場モニタリング戦略及びスクリーニング方法」では、セーフティケースにおける処分場モニタリングの役割について、以下のように述べている。

放射性廃棄物処分場の安全性を明示するためのセーフティケースには、不確実性の特定と取り扱いや、処分場の現況の諸要件（設計目標）への適合性のチェックが含まれているが、これらのアプローチはいずれもモニタリングに依拠するものではなく、すなわち処分場の安全性の明示はモニタリングに依拠するものではない。しかし処分場は、その操業期間である数十年間にわたり、閉鎖されず、部分的にアクセス可能な状態に維持されるため、この期間に、廃棄物の定置及びEBSの設置後の処分システムの性能に関する追加情報の収集を行う機会がもたらされる。この機会に、モニタリング結果をセーフティケースで設定されている様々な論拠と比較対照し、当該処分場システムが事前に安全であることが明示されている方法で変遷するかどうかを、チェックすることを目的としたモニタリングを実施することができる。この種のモニタリングは、セーフティケースに対する信頼醸成の強化をはかるためのモニタリングと述べることができる。

安全評価は、バリアが満たすように設計されている安全機能面での性能に関する理解に基づくものであるが、処分システムの詳細な変遷の予測を行うものではない。これに加えて、一般に概念的及び数学的なモデルを用いた安全評価計算が実施され、これらのモデルは多数のプロセスを組み合わせ、悲観的な仮定を設定（安全側の設定）するものである。これらの仮定は一般に全てのサブシステムの挙動を取り扱うものではなく、したがって通常はモニタリング結果との比較に適したものではない。このことから、モニタリング結果と定量的な安全評価との比較には十分な注意を払う必要がある。システムに関する理解が得られていることを明示する際には、すなわち信頼醸成の強化を支援するためには、処分場性能に関する予測モデルを用いる必要がある。この予測モデルには、モニタリング結果との比較を行うことのできる予想を確保するために操業期間にわたりモニタリングされるパラメータが含まれていなければならない。

モニタリングはさらに、特に人工バリアへのアクセスが可能であり、当該モニタリング期間中に何らかの変化が生じる可能性が予想されるケースにおいて、設計要件への適合性を検証する作業の一環として実施することもできる。したがってモニタリングは、性能に対する信頼を高めるために、また処分場変遷の一定の特徴をチェックするために使用することができる。

モニタリングパラメータの選定に当たっては、モニタリングがシステム性能に有意な影響を及ぼすべきでないというIAEAの原則が常に考慮に入れられなければならない。モニタリングは、処分場の多重バリアシステムの性能に影響を及ぼす可能性のある活動である。

処分場で行われるモニタリングは、閉鎖後セーフティケースに対する信頼醸成の強化のためのモニタリングだけでなく、規制組織またはその他のステークホルダの関心事に対処するために実施する必要が生じる場合もある。

全体として、何に関するモニタリングを行うべきかの決定はかなりの程度まで専門家の判断のプロセスの一つであり、このプロセスでは提案されているモニタリング活動がもたらす利益と不利益の比較及び対比が行われるほか、セーフティケースにもたらされうる利益の検討が、特に操業期間中のセーフティケースの定期的な更新と閉鎖後期間への支援の面から行われる。モニタリングは、セーフティケースに対する信頼を高めるたるめに、さらには第三者の懸念をチェックするために実施される場合がある。操業許可が発給されるためには、実施主体と規制組織の双方が処分場の安全性に対する信頼を抱く必要がある。

### 2) 高水準のモニタリング戦略

本報告書では、処分場のマネジメントに関する意思決定と、閉鎖後セーフティケースにおける

信頼醸成の強化を支援する目的で行われる、操業期間中のモニタリングに関する高水準の戦略的アプローチに関するレビューを行っている。

本報告書では、処分場モニタリングにおいて、高水準の戦略から詳細な設計までの範囲は連続したつながりとなっている。この連続したつながりの各ポイントにおいて、何に関するモニタリングを行うのか、またモニタリングをどこで、いつ、またどのような方法で行うのかに関する検討を、徐々に詳細レベルを上げながら行うことができる。高水準の戦略では、モニタリングプログラムの主要な側面について記述するために、これらの要素を組み合わせる方法に関する記述が行われるとしている。

性能確認に資するモニタリングに関する戦略要素を付表 1-5に、モニタリングの実施場所（どこで）、対象（なにを）及び実施時期（いつ）におけるモニタリングの長所と短所を付表 1-6～付表 1-8に示す。同報告書では、これらの戦略要素を様々な方法で組み合わせることにより、当該国に固有の条件（地質、処分概念、法令等）に対応する、カスタムメイドの高水準のモニタリング戦略を作り上げることができるとしている。

### 付表 1-5　高水準の戦略のさまざまな要素

| 観点 | 上位レベルの戦略的な要素 |
|---|---|
| どこで | ・処分場にてモニタリング、モニタリング期間終了時の対象物（廃棄体等）の回収なし<br>・処分場にてモニタリング、モニタリング期間終了時に対象物（廃棄体等）は回収、または解体（廃棄体は再処分）<br>・パイロット施設でのモニタリング<br>・オンサイトの地下特性調査施設でのモニタリング |
| なにを | ・廃棄体（及び周囲の EBS とニアフィールド岩盤）<br>・模擬廃棄体（及び周囲の EBS とニアフィールド岩盤）<br>・EBS の特定要素（例えば、（緩衝材等の）小規模バッチ試験）<br>・天然バリア（ニアフィールド岩盤及びファーフィールド岩盤）<br>・生物圏 |
| いつ | ・処分場の操業以前または試験操業期間中<br>・廃棄体定置期間中<br>・処分場の閉鎖後 |
| どのように | （Modern2020 の WP3 および WP4 において検討） |

### 付表 1-6　回収の有無、実施場所によるモニタリングの長所と短所

| 戦略的な要素 | 潜在的な長所 | 潜在的な短所 |
|---|---|---|
| 原位置（回収なし） | ・実際の処分場の条件を反映する<br>・廃棄体パッケージの回収に伴う安全リスクを避ける<br>・モニタリング期間はモニタリング機器の寿命によってのみ制限される | ・EBS への潜在的に有害な影響（ただし、セーフティケースへの影響は重大ではない）<br>・モニタリング可能なのは限られたパラメータのみである<br>・モニタリング結果の信頼性が疑問視される可能性がある<br>・適切な装置を開発するには時間と費用がかかる |
| 原位置（回収あり） | ・実際の処分場の条件を反映する<br>・最終的な EBS への悪影響はない<br>・有線システムを使用し、より多くのパラメータのモニタリングが可能である | ・廃棄体パッケージの回収に伴う安全リスク<br>・有線システム（使用される場合）がモニタリング対象のプロセスに影響を与える可能性がある<br>・モニタリング期間は処分場閉鎖前に回収する必要性によって制限される |
| パイロット施設 | ・廃棄体を回収し再処分する選択肢（EBS に悪影響を与えない;有線システムを使用してより多くのパラメータをモニタリングすることができる）<br>・メンテナンス/調査のためのアクセスが潜在的に容易である | ・岩盤は均質でなければならず、処分場の状態を反映していないかもしれない<br>・廃棄体パッケージが回収された場合の安全リスク<br>・有線システム（使用される場合）がモニタリング対象のプロセスに影響を与える可能性がある |
| オンサイト URCF* | ・処分場の操業に相当する期間、運用することができる<br>・比較的容易なアクセス | ・岩盤は均質でなければならず、処分場の状態を反映していないかもしれない<br>・定置された廃棄物（及び周囲の EBS）は、URCF ではモニタリングすることができない |

※URCF（Underground Rock Characterisation Facility）：将来の処分場の一部を構成することを意図した地質環境特性の調査を目的とした施設

付表 1-7　対象によるモニタリングの長所と短所

| 戦略的な要素 | 潜在的な長所 | 潜在的な短所 |
|---|---|---|
| 廃棄体<br>（EBS の有／無） | ・実際の廃棄体を反映し、放射線影響を含む全システムのモニタリングが可能となる | ・機器の維持管理や予期しない結果の調査に伴う潜在的な放射線安全のリスク |
| 模擬廃棄体<br>（EBS の有／無） | ・モニタリングセンサを廃棄体パッケージ内に配置できる<br>・EBS の機能喪失の場合にも放射線リスクはない<br>・維持管理や調査に関わる放射線リスクはない | ・廃棄体の重要な特性の全てを反映していない可能性がある（熱－水－応力－化学（THMC）、生物学的特性は概ね反映されるが放射線は含まない）<br>・追加の（放射性でない）廃棄体を作り、追加の地下空間を使用する |
| 特定の EBS の要素 | ・柔軟性：必要に応じて調整することができ、システム全体にわたる広範な計画を必要としない。<br>・放射線リスクはない<br>・維持管理と調査のためのアクセスが容易 | ・システム全体にわたる試験ではない<br>・放射線学的影響や要素間の相互作用が見逃される可能性がある<br>・代表性を証明する必要がある |
| 天然バリア | ・潜在的に（処分場内からではなく）遠方でモニタリングすることができるため、処分場を閉じた後にモニタリングすることができる | ・システム全体にわたる試験ではない<br>・予期せぬ挙動の前兆は天然バリアでは起こりにくい |

付表 1-8　実施時期によるモニタリングの長所と短所

| 戦略的な要素 | 潜在的な長所 | 潜在的な短所 |
|---|---|---|
| 操業前／試運転中 | ・経験知を設計/定置活動に反映することができる<br>・柔軟性が高くアクセス性が良い | ・事業全体を通じて進展していく状況が正確に反映されない可能性がある<br>・プロセスをモニタリングするには時間枠が短い |
| 廃棄体定置段階 | ・プロセスをモニタリングするうえで最長の時間枠が提供でき、広範囲のパラメータをモニタリングできる可能性がある | ・経験知を設計に反映させることは難しい |
| 閉鎖後 | ・定置された廃棄体やニアフィールドにアクセスできなくなった段階以降も、期待される性能への信頼性を継続的に与える | ・幾つかのパラメータに関する継続的なモニタリングの実施に、技術的な不確実性がある<br>・結果への応答が困難である（機器にアクセスできない）<br>・閉鎖後の期間全体と比較して限られた時間枠である |

各国のWMO（放射性廃棄物管理機関）にて検討されてきた戦略には様々なものがあるが、これらのエンド・メンバーとしてフランス・ANDRAによる「比較的広範囲の原位置モニタリング」、フィンランド・POSIVA社とスウェーデン・SKB社によるKBS-3V概念における「EBS要素／模擬パッケージに焦点を合わせた限定的なモニタリング」、スイス・NAGRAによる「パイロット施設内でのモニタリング」が例示されている（付表 1-9～付表 1-11）

## 付表 1-9　比較的広範囲の原位置モニタリング：ANDRA

ANDRA は現在、一部の定置が行われた廃棄物セルと EBS 要素のモニタリングを含め、比較的広範囲のモニタリングプログラムを計画している。その動機として、規制の遵守（操業期間中、すなわち最長で約 100 年間にわたって回収が可能な状態が維持される条件を含む）を検証する必要があることと、処分プロセスの観察を通じて処分場の変遷の理解に関する信頼を高める必要があることが挙げられる。

ANDRA は、処分場の操業開始時にパイロット操業フェーズを設定する計画を立てている。これは処分場操業の予備的なフェーズであり、特に操業プロセスの試験と、処分場システムに関するパラメータがセーフティケースに適用されている領域の範囲内で推移していることの検証を目的として、約 10 年間にわたり継続されることになっている。

ANDRA は、処分場操業の主要フェーズ（すなわち廃棄物の定置）において、処分場内にモニタリングが実施されるセルのいくつかのレベルが設定されたシステムを採用することにしている。この中には、次のものが含まれる。

- 監視構造物：これらは高度な計装が施されたセルであり、広範なパラメータに関するモニタリングが実施され、計装が比較的少ないセルにとっての「比較対照用の構造物」としての役割を果たす。この種の構造物から廃棄物が定期的に回収されることはなく、したがっていかなるモニタリング設備も EBS に悪影響を及ぼしてはならない。
- カレント構造物：これらの処分セルは、最小限の計装が施されたものである。計器の性能較正は、鍵となるパラメータを用いて、監視構造物から得られた結果に照らして行われる。
- 標準処分セル：この種のセルには計装は施されないのが一般的である。これらのセルには操業安全性にとって不可欠な設備のみが設置され、目視検査が随時行われることになる。

このシステムは、モニタリングの必要性と、実施面での制約やモニタリング設備に関連するコストとの間の釣り合いをものとして設計されている。さまざまなタイプの構造物では、埋め込みセンサの数が少なくなるのに比例して、目視検査と非破壊試験が重視されるようになる。さまざまな構造物の間には類似性があり、計装水準の低いカレント構造物の変遷は、「比較対照」用の監視構造物から推論することができる。

監視構造物とカレント構造物の数及び配置は、モニタリング対象となるプロセスに予想される不均一性に応じて決定され、モニタリングプログラムの進展に応じて、時の経過と共に修正してゆくことができる。これらは処分場全体に分散して設置され、最初に廃棄物が収容されるセル群となることから、モニタリングデータの収集に利用可能な期間を最大限にすることができる。モニタリングが実施されるセルの階層構造の設計及び設定は、パイロット操業フェーズの期間に最終決定されることになっている。

付表 1-10　EBS 要素や模擬パッケージに焦点を合わせた限定的なモニタリング：KBS-3V

ベントナイトバリアの健全性の維持は KBS-3V 概念の鍵となる要素であり、このためモニタリング活動がこのバリアに擾乱を起こさないようにする強い動機が存在する。その結果、POSIVA 社も SKB 社も、定置後の廃棄物を対象とする直接的なモニタリングを行う計画はなく、計画されたモニタリングの範囲は全体的に見て ANDRA のプログラムのそれを大幅に下回っている。また POSIVA 社も SKB 社も、設計が計画通りに（すなわち技術設計要件が満たされる形で）実行されるようにするためには、またそれによって閉鎖後セーフティケースの信頼を醸成するためには、モニタリングではなく品質管理が主要な手段になると考えている。

POSIVA 社と SKB 社は、処分場全体に配置された EBS 要素のモニタリングを行う予定である。たとえば、設置済の処分坑道プラグは中央アクセス坑道からモニタリングされるが、それらは操業フェーズの期間にわたりアクセス可能な状態に維持される。これに加えて、同様に EBS の間接的なモニタリングとなる母岩のモニタリングが、開かれた状態の処分区域で実施されることになる。この種のモニタリングは閉鎖後のある程度の期間にわたって継続される可能性がある。

処分場の操業フェーズに、加熱された模擬キャニスタや、実際の廃棄物キャニスタが定置される場合と同じ緩衝材及び埋め戻し材の配置を用いて、実規模の原位置試験のモニタリングが行われる予定である。この試験は、操業期間全体を通じてアクセスが可能な状態を確保するために、ONKALO URCF で実施されることになっている（処分場建設の一部を構成するもので、実規模試験設備から最も近い処分坑道までの距離が約 30 m になる）。模擬キャニスタは、追加データを収集するために試験終了時に回収される。これが代表性を備えていることが証明されれば、プロセス固有の原位置試験も、おそらくは比較的小さなスケールで実施される可能性がある。この種の試験設備の解体後に採取されるサンプルから、関連プロセスの変遷に関する情報を、安全性を損なうことなく入手することができよう。

長期間にわたる実規模原位置試験は、SKB 社のモニタリング戦略の一部として採用されることが見込まれている。この種の試験の詳細はまだ決定されていないが、その試験設備は、母岩内の稼動中の処分坑道と同じ部分に位置する横坑に設置されることが見込まれている。その中には、キャニスタの変遷との関連性の高い物質（銅など）のモニタリングが含められる可能性がある。

また SKB 社は、非放射性「バッチ試験」を利用する計画も立てている。これらの容積の小さいプロセスまたは要素固有の原位置実験は、処分場内に位置するが、定置された廃棄物からは離れている場所（2 つの定置孔の間など）で実施され、そのモニタリングによって EBS の変遷のいくつかの側面に関する情報を入手することができる。

SKB 社のプログラムでは、計器及びセンサにつなげる必要のあるケーブル線の設置によって人工バリアの安全機能が損なわれる可能性が高いと判断されているため、最終的に定置された廃棄物を対象とする EBS 全体（すなわち、キャニスタ、緩衝材及び埋め戻し材）のモニタリングを実施することは考えられていない。しかし、SKB 社の許認可申請書のレビュー担当者たちは、いかなる EBS のモニタリングも行われるべきではないという考え方に疑問を呈している。

この意見表明では、処分場サイトに関する知識と、処分場人工バリアの製造管理及び制御に関する知識が、処分場の閉鎖後安全性の評価にとって最も重要だという認識に加えて、廃棄物の定置と処分場の閉鎖が完了した後の処分場バリアの変遷に関するモニタリングによってこの知識をさらに強化できるという認識が示されている。しかし、この種のモニタリングを行えるようになるためには、適切な方法及び技術を開発する必要があるほか、達成可能なことに関する制約と、誤ったシグナルによって生じうる結果的影響の検討を行っておく必要がある。

付表 1-11　パイロット施設内でのモニタリング：NAGRA

NAGRA はそのモニタリング戦略の基礎をパイロット施設の利用に置いている。このパイロット施設は処分場を代表する領域の一つであるが、定置区域から離れた場所に配置される。同施設では、バリアシステムの挙動に関する情報を入手し、予測モデルのチェックを行うために、小量だが代表性を伴う廃棄物を定置し、そのモニタリングを行うことができる。

スイスでは、スイス安全当局が専門家グループによる所見を受けてパイロット施設の設置を規定した。このパイロット施設は、それと主処分場の間に THMC 相互作用は生じてはならないものの、主処分場の直接的なアナログとなるものと考えられている。このパイロット施設では、主処分場の操業と並行して、廃棄物、埋め戻し材及び母岩の挙動に関する情報を入手するためのモニタリングが実施されることになっている。しかし廃棄物のパイロット施設からの回収は予定されていない（ただし回収自体は可能である）ため、同施設でも主処分場と同じ安全要件が履行されなければならない。このため、大量のワイヤの設置や計装を行うことは予定されていない。ただし、EBS への効果が無視できるレベルだと証明できる場合には、ワイヤを接続したセンサを用いて特定のパラメータのモニタリングを行うことができる。全てのモニタリング活動は、アクセス坑道と立坑が閉鎖された時点で終了する。

また NAGRA は、処分場サイトに URCF を建設することを計画している。この URCF では放射性廃棄物は取り扱われないものの、これにより他のいくつかの要素のモニタリングを実施する場所が提供される。たとえば、地質学的プロセスや水理学的プロセスのモニタリングを行うことで、処分場内に生じることが見込まれる諸条件に関する情報を入手することができよう。

### 3) Modern2020 スクリーニング方法論

Modern2020 プロジェクトによる成果報告書 D2.1「処分場モニタリング戦略及びスクリーニング方法」では、モニタリングプログラムは、ある特定の処分プログラムにおいて実際面で実行可能で、その処分プログラムでの実施の正当化が可能なものであるべきであり、そのため、次に示す目的でモニタリングを行うパラメータを特定しておく必要があるとしている。

- 閉鎖後安全性（適用される場合には回収可能性）との関連性の高いプロセスに関する情報を提供すること。
- より広範な科学プログラムのその他の側面で得られるものを上回る形で、閉鎖後セーフティケースの裏付けとなる数値を提供すること。
- モニタリングが技術的に実行可能であること。
- モニタリングに関して提案されているその他のパラメータとの関連においても適切であること。

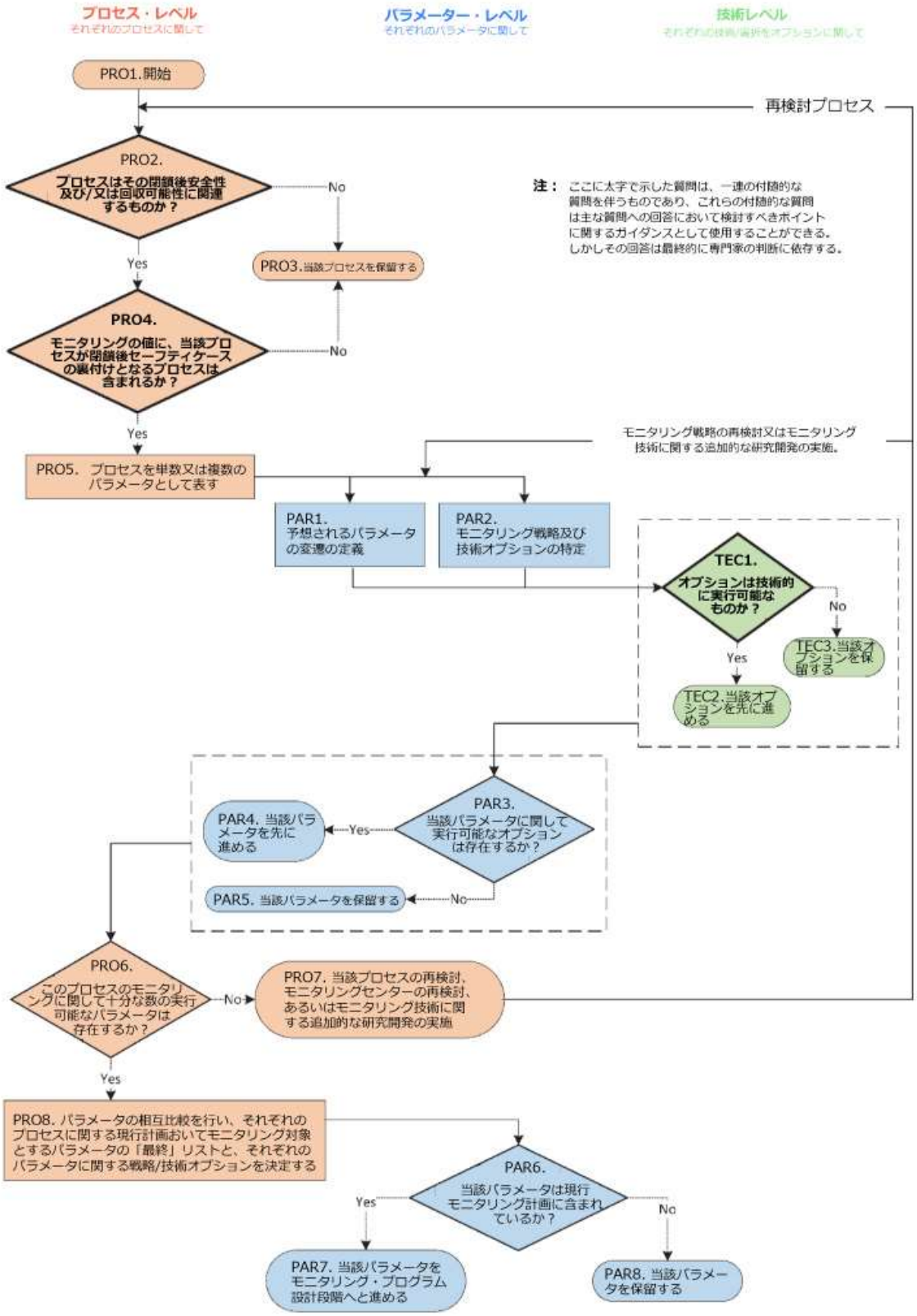
この種のパラメータの特定に役立つジェネリックなアプローチとして「Modern2020 スクリーニング方法論」が開発された。この方法論は、反復的に実行されることを意図したものであり、規制組織及び公衆ステークホルダの比較的高水準の関与プロセスに組み込むことが見込まれている。公衆ステークホルダや規制機関との対話を行う順序は、国がこの種の対話に関して設定した具体的戦略によって決まり、またこれらを並行して進めることも可能である。

Modern2020 スクリーニング方法論方法論はダイヤグラム（付図 1.2-1）に模式的に示されている。この方法論は、規範的というよりもむしろ示唆的かつ柔軟性を伴うものであることが意図されており、個々の処分実施主体がそれぞれの固有のニーズに合わせて調整することができる。また、この方法論は、MoDeRn モニタリング・ワークフロー（付図 1.2-2）の「モニタリング対象となる可能なプロセスを特定する」ステップと「モニタリングプログラムを設計する」ステップの間に組み込まれるものとして、MoDeRn プロジェクトの成果との整合性を維持している。

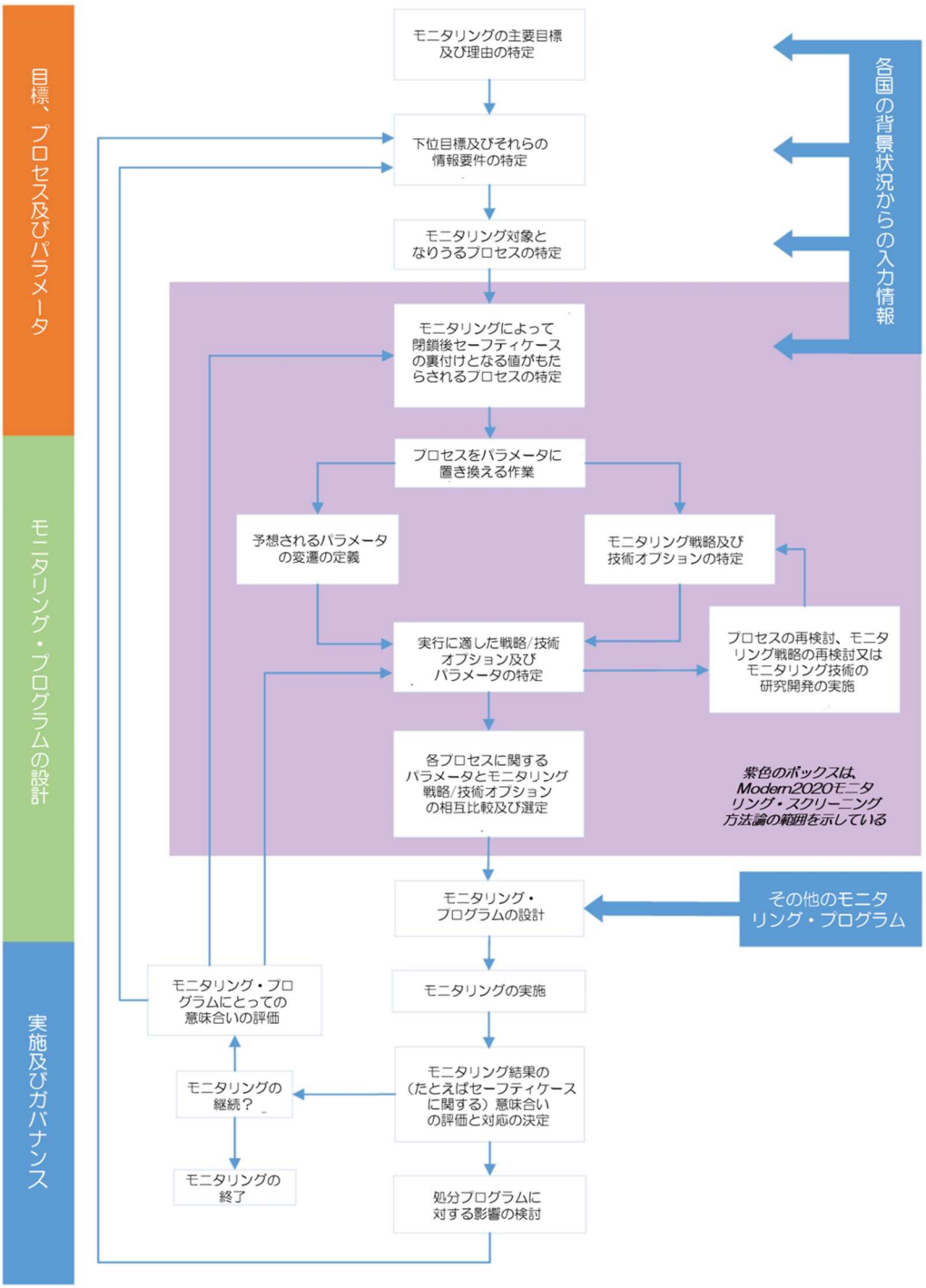
Modern2020 スクリーニング方法論のダイヤグラムは、プロセスとパラメータと技術の間の相互関係を考慮に入れた 3 つのカラムから成っている。ダイヤグラム中の各ステップの略号の意味

は以下の通りである。

- 「PRO」: 検討対象となる各プロセスに適用されるステップ
- 「PAR」: 検討対象となる各パラメータに適用されるステップ
- 「TEC」: 検討対象となる各技術に適用されるステップ




付図 1.2-1　Modern2020 スクリーニング方法論




付図 1.2-2　Modern2020 により改定された MoDeRn モニタリング・ワークフロー

### 1.2.2. 成果報告書 D2.2：モニタリングパラメータのスクリーニング：テストケース

#### (1) テストケースの概要

本報告書は、「Modern2020 スクリーニング方法論」の適用に関する試験を行うことを目的とする Task2.2 の成果をまとめたものである。本報告書の目標として次のものが示されている。

- □ 7 カ国のプログラムにおける処分場モニタリングパラメータの「スクリーニング方法論」の適用について明確な形で示すこと。
- □ それぞれの国のプログラムで適用された「スクリーニング方法論」とその適用の成果の文書化を行うこと。
- □ プログラムの成熟度が実際のモニタリングプログラムを定義する可能性に及ぼす影響を反映させること。
- □ 実施の異なる段階に対応したモニタリングプログラムを開発するさまざま利点について検討すること。
- □ 実施のそれぞれの段階（たとえば立地、建設、試験操業（commissioning）及びさまざまな操業段階）においてモニタリングプログラムのどのような側面の開発を進めることができるのかに関するガイダンスを提供すること。
- □ Modern2020 スクリーニング方法論の改訂版を、テストケースからのフィードバックを考慮に入れた上で提示すること。

Task2.2 では、Task2.1 にて開発された「Modern2020 スクリーニング方法論」の適用に関する試験を行うため、7 ヵ国の処分概念に沿って、処分場モニタリングの対象となりうるパラメータを特定するテストケースが実施された。また、この Task では処分場モニタリングと閉鎖後セーフティケースの間の関係性についても調査された。

Task2.2 で取り扱うテストケースは、付表 1-12 に挙げるものである。**これらのテストケース（ANSICHT テストケースを除く）で得られた結果は今回の作業のみにかかわるものであり、WMO が将来実施するモニタリングプログラムでモニタリング対象となるかその対象から外されるパラメータに関する十分な根拠を伴う決定に対応するものでないことには、留意する必要がある。**例外となる ANISICHT テストケースは、ドイツの地層処分場プログラムで実行される可能性のあるモニタリングプログラムの 1 回の予備的な反復作業に対応するものである。

付表 1-12　　Task2.2 で取り扱われたテストケースに関する詳細情報

| WMO | セーフティケース | 参照文書 | 説明 |
|---|---|---|---|
| Andra | Cigéo | Andra (2016a; 2016b) | Cigéo、すなわちフランスにおいてカロボ・オックスフォーディアン粘土層内に高レベル廃棄物（HLW）及び長寿命中レベル廃棄物（ILW-LL）を処分するために計画されている処分場を対象に、『2016 年安全オプション報告書』（Safety Options Report 2016）に基づいて行われた安全評価。 |
| DBETEC 社 | ANSICHT | Jobmann et al. (2017) | ドイツの粘土層内に立地される処分場に関して新たに開発された安全評価概念。 |
| Nagra | オパリナスクレイ | Nagra (2002a; 2002b) | スイスの粘土母岩における使用済燃料、高レベル廃棄物（HLW）及び長寿命中レベル廃棄物（ILW）の処分の実現可能性の実証。 |
| NRG | OPERA | Verhoef and Schröder (2011) | オランダのブームクレイにおける低・中レベル廃棄物（L/ILW）及び HLW を対象とする処分場の技術的な実現可能性及び安全性能の評価。 |
| Posiva 社 | TURVA 2012 | Posiva (2012) | Posiva 社が 2012 年に作成したフィンランドのオルキルオトにある結晶質岩における使用済燃料処分に関するセーフティケース。 |
| SKB 社 | SR-Site | SKB (2011) | スウェーデンのフォルスマルクにおける使用済核燃料最終処分場の長期安全性に関する活動。 |
| チェコ放射性廃棄物管理庁（SURAO） | レファレンス・プロジェクト 2011 | Pospíšková et al. (2012) | チェコ共和国の仮想サイトの花崗岩層における地質処分レファレンス・プロジェクトの更新。 |

それぞれテストケースに対し、その作業及び作業結果の全体を 1 つのテストケース報告書にまとめるため、次に示す共通のアウトラインが使用された。また、付表 1-13 に列記した検討項目がこれらの枠内で取り扱われた。

1. はじめに
2. モニタリング目標
3. EBS/母岩システム
4. モニタリングパラメータの特定
5. 予想される EBS の挙動
6. モニタリングシステムの記述及び実現
7 信頼醸成及び意思決定プロセスにおけるモニタリング

## 付表 1-13 テストケースで取り扱われるべき検討項目

| 検討項目 | コメント |
|---|---|
| 1. システムの記述 | |
| a) システムの記述に採用されたアプローチはどのようなものか？：セーフティケース、安全機能、「特質、事象及びプロセス」(FEP)、代理法（proxies）のいずれか。 | |
| b) EBS 及び母岩プロセスに関する説明を行う。 | ここでの目的は、概括及び背景状況を提示することにある。より詳細な情報については、参照文書を示すことが望ましい。 |
| c) EBS/母岩プロセスに関与するパラメータ・セットに関する説明を行う。 | この説明では、測定可能なものに対応する包括的なセット（すなわち暫定パラメータ・リスト)が取り扱われるべきである。これは、モニタリングを実施しなければならない関連性の高いパラメータの 1 件のサンプルが導き出される母集団である。 |
| 2. パラメータ | |
| a) パラメータスクリーニングのプロセスに関する方法論やワークフローの実行に関する説明を、すなわち、どのような方法により実際にモニタリング対象とするパラメータに到達するかに関する説明を行う。 | ここで取り扱われるのは、Task2.1 で開発されたジェネリックな「スクリーニング方法論」の各国及びサイト固有の状況への適応である。 |
| b) 実際にどのパラメータがモニタリングの対象とされることになるのか（すなわち、スクリーニング後のパラメータ・リスト）に関する説明を行った上で、その理由を示す。 | 選定されたパラメータは、関連性が高く、測定可能なものであるべきであり、またそのモニタリングは当該システムの安全性に有害な影響を及ぼすものであってはならない。 |
| c) 予想されるシステム挙動/プロセス変遷、さらには測定された EBS モニタリングパラメータに関する記述を行う（全体論的な記述）。 | この「システム挙動」とは、岩石-EBS 連成系のモニタリング対象とされるパラメータの集合の空間的及び時間的な進展のことをいう。 |
| d) 予想される挙動に関する性能尺度はどのようなものか？ | 「性能尺度」とは、モニタリング結果を先験的な形でモデル化された挙動と比較するために使用する 1 つの定性的な方法又は定量的な尺度又はその両方の組み合わせのことをいう。その例として、温度の変遷、空間内の所定のポイントに関する温度時系列の間の比較/相関及び/又は異なる時点の空間内の多くのポイントにおけるスナップショット（絶えず変化するデータなどに関するある時点の全体像）などが挙げられる。 |
| e) 予想されるシステム挙動との比較を行うために測定されたパラメータから実際の挙動へと到達する方法論に関する説明を行う。 | ここで意図されているのは、モニタリング対象とされたパラメータの集合に基づいて測定された単一のパラメータから出発してシステム挙動の解釈へと至る作業の段階的なプロセスとその基礎となる検討/動機について透明性の高い記述を行うこと、さらにはその結果と先験的にモデル化された結果に基づく予想との比較を示すことである。 |
| f) 測定された「逸脱」への対応として講じうる一定範囲の措置に関する記述を行う。 | この部分では、「ベースライン」、すなわち予想される挙動の説明を行った上で、モニタリングされたパラメータとそのベースラインとを関連付ける必要があり、その上で「受け入れ可能」と見なされた実現可能/起こりうる境界に関する議論を行う。これらの境界の外に位置するのは「逸脱」と考えることができるものであり、直接的な対応策などの一定の措置によって対処することができる。 |

| | |
|---|---|
| g) EBS モニタリングの実施及び関連作業に関する方法論と品質管理（QC)及び品質保証（QA)手順に関する説明を行う。 | QC 措置が EBS モニタリングシステムの実行との関連性が高いものである場合、これらの措置に関する記述と説明が行われるべきである。 |
| h) EBS モニタリングの実行及び運用に伴う不確実性がどのようなものであり、またこれらの不確実性はどのように取り扱われるのか？　その例として、パラメータ、冗長性、システム挙動（及び意思決定)などが挙げられる。 | これらは、たとえば、長期間にわたってモニタリングされたデータの信頼性にかかわるものである。これらの不確実性はどのようなものであり、どのように低減されるのか？　パラメータの冗長性は一方通行のものなのか？　その他の不確実性として、モニタリングの結果に関する規制組織や市民ステークホルダの連携が挙げられる － これらの人々の解釈はどのようなものであり、どのような措置が講じられることが期待されているのか？　この点に関する対処はどのように行うべきなのか？ |
| i) パラメータのスクリーニングプロセス及び報告書 D2.2 の付属書 B に示したスクリーニング・テンプレート（付図 1.2-1 等）の改良/見直しに関する提案を行う。 | 「スクリーニング方法論」の試行によって貴重な経験がもたらされ、この経験が改善のために役立てられなければならない。 |
| j) モニタリングシステムが EBS の長期安全性に影響を及ぼす可能性があるかどうかの評価をどのように行ったのか関する説明を行う。その際にどのような検討や慎重な協議が行われたのか？ | この検討項目は「スクリーニング方法論」の全体を通じて暗黙裡のものであるが、明示的な形で対処されなければならない。 |
| **3. 付加価値** | |
| a) EBS のモニタリングを実施する動機はどのようなものか？ | |
| b) EBS のモニタリングにより、信頼醸成及び意思決定プロセスがどのように支援される可能性があるのかに関する説明を行う。 | |
| c) EBS のモニタリングが信頼醸成に役立つ市民のステークホルダとの連携の実現に向けてどのように寄与できるのかに関する説明を行う。 | |
| **4. 決定の支援** | |
| a) どの決定がモニタリング結果による裏付けをえられるのかに関する説明を行う（該当するものがある場合)。 | |
| b) モニタリングデータが処分場の操業及び長期安全性（閉鎖後安全性)に関して予想される挙動についての理解をどのように裏付ける可能性があるかに関する説明を行う。 | |
| c) 意思決定プロセス及び関連する決定にとって必要な管理機能（ジェネリックなもの）に関する記述を行う。 | |

付表 1-14 に 7 件のテストケースに関する背景情報、パラメータのスクリーニング活動にかかわるさまざまな側面、さらには鍵となる成果についてまとめた比較概要表を示す。

また、付表 1-15 にテストケースで特定されたパラメータのまとめを示す。

なお、フランス、Cigéo テストケース及びフィンランド、TURVA2012 テストケースの概要をそれぞれ(3)および 0 に示す。

## 付表 1-14　　7 件のテストケースに関する比較概要表

（この情報はテストケースにのみ適用されるものであり、将来モニタリングが実施される可能性のある方法を示唆するものではない）

| | Cigéo | ANSICHT | オパリナスクレイ | OPERA | TURVA 2012 | SR-Site | レファレンス・プロジェクト 2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| テストケースの背景状況：：処分概念 | | | | | | | |
| 廃棄物 | HLW（Cigéo は長寿命 ILW 用の施設でもあるが、HLW との関連性の高い要素だけがテストケースで検討されている）。 | HLW、使用済燃料。 | 使用済燃料、HLW 及び ILW。 | 研究炉から取り出された使用済燃料、HLW、ILW、LLW（プロセスを特定するため）。スクリーニングに関しては HLW のみ。 | 使用済燃料。 | 使用済燃料。 | 使用済燃料、HLW、長寿命 ILW（同じサイトに立地される別々の処分フィールド）。 |
| 母岩 | 粘土（カロボ・オックスフォーディアン粘土）。 | 粘土（バレミアン-オーテリービアン粘土）。 | 粘土（オパリナスクレイ）。 | 粘土岩（ブームクレイ）。 | 結晶質岩（主としてフェノスカンジア盾状地のミグマタイト片麻岩）。 | 結晶質岩（主としてフェノスカンジア盾状地の花崗岩質の岩石）。 | 結晶質岩（特定の地層は想定されていない）。 |
| EBS 概念 | HLW 処分パッケージが比較的直径が小さく、低炭素鋼スリーブでランニングされた水平方向のセルに定置される。破砕粘土母岩又はベントナイト・ベースの埋め戻し材とシール材が閉鎖時に設置される（支持を目的とするコンクリート要素を伴う）。 | SF/HLW キャニスタが内部ライナー（空隙は砂で満たされる）、圧縮粘土緩衝材及び外部ライナーに囲まれる形で鉛直方向のボアホール内に定置される（それぞれ 3 体ずつ）。ボアホールは、ベントナイトプラグ及びコンクリート製のアバットメントを用いてシーリングされる。坑道は埋め戻され、シーリングされ | SF/HLW は、横坑内でベントナイトブロック上に水平方向に、ベントナイトペレット及びライナーによって取り囲まれる形で定置される。ILW は、モルタル及びライナーによって取り囲まれる形で地下空洞内に定置される。坑道は埋め戻され、シーリングされる。 | SF/HLW はスーパーコンテナを用いてパッケージングされた形で処分される（1 つの実体としての廃棄物キャニスタ、鋼鉄製オーバーパック及びコンクリート緩衝材）。ILW/LLW はコンクリート/鋼鉄製コンテナに収納された形で処分される。容器は、処分横抗の端から端まで水平に定置される。横抗はグラウトを用い | KBS-3V : SF を収納した荷重強度を高める鋳鉄製インサートを伴う銅製キャニスタが、処分坑道の床に掘削された鉛直方向の処分孔に収容され、ベントナイト粘土によって取り囲まれる。坑道は埋め戻され、シーリングされる。 | KBS-3V : SF を収納した荷重強度を高める鋳鉄製インサートを伴う銅製キャニスタが、処分坑道の床に掘削された鉛直方向の処分孔に収容され、ベントナイト粘土によって取り囲まれる。坑道は埋め戻され、シーリングされる。 | 鋼鉄ベースのキャニスタが鉛直方向又は水平方向のボアホール内に定置され、ベントナイトによって取り囲まれる。全ての空隙は埋め戻され、シーリングされる。 |

| | Cigéo | ANSICHT | オパリナスクレイ | OPERA | TURVA 2012 | SR-Site | レファレンス・プロジェクト 2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | る。 | | て埋め戻され、シーリングされる。 | | | |
| テストケースの背景状況：処分場モニタリング | | | | | | | |
| 処分場モニタリングの目標 | ➢ 設備が予定通りに、また操業安全解析で定義されているように機能していることのチェック。<br>➢ 廃棄物パッケージの回収が可能であることのチェック。<br>➢ 閉鎖後安全性が予想通り確保されていることのチェック（処分場システムの初期変遷に関する追跡調査）。<br>➢ 比較的長期間にわたる安全評価に関する知識に対する信頼の強化。<br>➢ それ以前に行われた予測の確認と関連性の高いプロセスに関する知識の強化。 | ➢ 地質工学的なバリアに関して特定された性能目標を満たすことができるかどうかの検証。<br>➢ 母岩の密封性に問題が生じているかどうかの検証。<br>➢ 地質工学的な処分場構成要素及び/又はモニタリングシステムの改善/最適化を可能にすること。<br>➢ 決定シーケンスのための基本情報の提供（たとえば新規のシールの連続した実施など）。<br>➢ QA 面での冗長性の提供。 | ➢ EBS 挙動に関する情報の提供。<br>➢ 予測モデルのチェック。<br>➢ 予想外/好ましくないシステム変遷が生じた場合の早期検知。<br>➢ 施設全体の操業開始及び最終的な閉鎖に関する決定に必要な入力情報の提供。 | ➢ 系統立った方法ではリストアップされていないが、予想された変遷から逸脱した異常が生じた場合の検知は「モニタリング目標の 1 つ」であると述べられている。 | ➢ EBS が計画通りの機能を果たしていることの検証。<br>➢ 予想された挙動に対する理解を、安全性の再確認又はモデル化パラメータ・フィールドを拡大する必要性を含めることにより支援すること。<br>➢ 定期的に行われるセーフティケースの更新への情報提供。 | ➢ セーフティケースで明示された議会に対する信頼のさらなる強化。<br>➢ 「まだ認識されていない不明点」の特定（Identify “unknown unknowns”）。 | ➢ 性能及び安全評価で設定された諸仮定の正当化。<br>➢ 安全評価の結果の妥当性確認。<br>➢ 安全機能の遵守の検証。<br>➢ 定期的に行われるセーフティケースの更新への情報提供<br>➢ 建設技術、処分場レイアウト又は EBS の諸特性の適応/最適化。 |

| | Cigéo | ANSICHT | オパリナスクレイ | OPERA | TURVA 2012 | SR-Site | レファレンス・プロジェクト 2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 処分場モニタリングプログラムの重点 | 処分セル、EBS 及びニアフィールドの挙動。 | 重要な処分場構成要素の変遷。 | 具体的な重点は特定されていない。 | EBS の性能。 | EBS の性能。 | EBS の性能。 | 具体的な重点は特定されていない。 |
| 高水準の処分場モニタリング戦略 | HLW に関して本格操業に先立って設定されるパイロット操業フェーズ、及び、処分場の主要フットプリント（処分パネル）内に位置し、集中的な計装が施されたセルのモニタリング。 | モニタリング対象として選定された代表的な処分場構成要素（モニタリングフィールド、ボアホール及びシール材）。ダミーボアホール及び/又は犠牲ボアホールを使用することができる。「プロセス概念」は複数のマイルストンを用いて、また得られた教訓を明示的な形で組み込むことにより構成される。早い段階で充填され、シーリングされたフィールドのモニタリングにより、「定置後」モニタリングが可能となる。 | パイロット施設に焦点を合わせた EBS モニタリングに加えて、アクセス可能な期間にわたって行われる可能性のある処分場の主要部分の処分室(disposal rooms)及びアクセス坑道のモニタリング。 | 正式な要件又は計画はまだ設定されていない。原位置モニタリングが、その他のオプション（パイロット施設、URL 実証施設などのもの）とともに優先される。 | 間接的なモニタリングが優先される。理論的に EBS 構成要素の設置時の直接モニタリングの実施は可能であるが、別の構成要素がその上に設置されるまでの期間に限定される。原位置試験も実施可能である。 | バリア内にモニタリングのためのセンサは設置されない。一部の直接モニタリングの実施が可能であり、その例として、坑道プラグを通じた流動に関するモニタリングが挙げられる。さらに、原位置又は(処分場深度の、処分場岩石内の)パイロット施設における長期実験/バッチ試験（たとえば、銅の腐食試験を行うための金属片など）。 | 正式な要件又は計画はまだ設定されていない。可能な場合には直接モニタリングが優先される。 |
| 想定された処分場モニタリングのタイムフレーム | ～100 年間。 | 100～150 年間。 | 明示的な形では言及されておらず、「必要と見なされる期間にわたり」と述べられている。 | 100 年間。 | 100 年間（操業期間）。閉鎖後にモニタリングを行う意図はない。 | 60～100 年間（操業期間）。閉鎖後にモニタリングを行う意図はない。 | まだ指定されていない（操業期間～100 年間）。 |
| 回収可能性/可逆性 | 操業期間（～100 年 | 操業期間にわたり、 | 回収が容易である | 処分場閉鎖後の「長 | 回収可能性に関する | 要件は設定されてい | 言及されていない。 |

| | Cigéo | ANSICHT | オパリナスクレイ | OPERA | TURVA 2012 | SR-Site | レファレンス・プロジェクト 2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 要件 | 間）にわたり処分プロセスの逆転/廃棄物パッケージの回収の可能性を維持することは法定要求事項の 1 つである。 | また処分場閉鎖後の 500 年の期間にわたり回収可能性が確保されている必要がある。 | ことは要件となっていないが、少なくとも回収が実現可能であることが示されなければならない。 | 期間にわたる」回収可能性が要件として定められている。 | 要件が定められている。 | ない | |
| テストケース・プロセス | | | | | | | |
| テストケースに対するアプローチとその範囲 | パラメータスクリーニングに関する独自のアプローチが開発されてきたが、テストケースでは可能な限りの範囲で Modern2020 スクリーニング方法論に従っている。検討対象となっているのは HLW セルのみである。 | ドイツ北部のモデルに限定されている。Modern2020 スクリーニング方法論が採用されている。鉛直方向の定置ボアホールのシール材に関するパラメータが特定されている（この中にはコンクリート製アバットメントが含まれる）。 | 独自のパラメータスクリーニングアプローチが開発され、使用されている。採用されている方法論は Modern 2020 スクリーニング方法論に類似し、両立性を伴うものである。それぞれのステップにおいて例が示されている。 | プロセスの予備的なリストの特定に焦点が合わせられている（EBS や母岩を含む全ての処分場構成要素に影響を及ぼすもの）。1 つのバリア（OPERA スーパーコンテナ）に関するプロセスが、Modern2020 スクリーニング方法論を用いて取り扱われている。 | Modern2020 スクリーニング方法論が、処分孔/坑道内での EBS 構成要素に関連するパラメータのスクリーニングに使用されている。 | Modern2020 スクリーニング方法論が、例として挙げられたパラメータの評価に使用されている：透水係数/膨潤圧（埋め戻し材）、陽イオンの電荷濃度（緩衝材）及び銅の肉厚（キャニスタ）。 | モニタリング対象となる可能性のある候補プロセス及びパラメータの特定に焦点が合わせられている（EBS 構成要素の全てに対して関連性の高いもの）。いかなるスクリーニングも実施されておらず、Modern2020 スクリーニング方法論は使用されていない。 |
| テストケースにおいてパラメータを特定する作業の出発点 | 一連の現象論的プロセス：「処分場の諸状況に関する現象論的分析」（PARS）に基づくもの。 | サイト固有の FEP カタログ。 | オパリナスクレイ FEP リストから、関連性が高い可能性のある現象が特定されている。 | OPERA-FEP データベース（プロセスに関する暫定リストを作成するため）。 | 性能目標はすでに定義されている。 | 安全機能、安全機能指標及び安全機能指標基準はすでに定義されている。 | 安全機能。 |
| モニタリング期間に予想され、スクリーニングで使用さ | 発生が予想される熱-水-力学-化学プロセスに関する高水準の | 単一の鉛直方向定置ボアホールのシール材にかかわる関連性 | 処分場レベルで生じる変遷に関する高水準の記述と。例 | 処分場の変遷期間にわたる鍵となる THMCR プロセスの | 処分場レベルのさまざまな予測に関する高水準の定性的な記 | 緩衝材、埋め戻し材及び処分坑道プラグにおけるパイピング/ | 安全機能が満たされる面での EBS の予想性能に関する高水 |

| | Cigéo | ANSICHT | オパリナスクレイ | OPERA | TURVA 2012 | SR-Site | レファレンス・プロジェクト 2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| れるシステム挙動の定義 | 定性的な記述と定量的なシミュレーション。モニタリングパラメータの実行可能性の評価において明示的に使用されるものではない。 | の高いパラメータに関して記述される詳細なモデル化。この中には圧力の形成と水飽和（ガスの生成及び熱の発生を伴うものと伴わないもの）が含まれる。技術の評価とセンサの選定に必要な情報の提供に使用される。 | として挙げられた 3 件の候補パラメータ（定置室の温度、母岩における流体圧、ベントナイト/岩盤境界面における流体圧）のモデル化。 | 定性的な検討及び説明。技術の評価においてこれらを使用する際の方法論が設定されているが、高い水準でのみ実行されている。 | 述。モニタリングパラメータの実行可能性評価において明示的に使用されいるわけではない。 | エロージョンに関して示された例。モニタリングパラメータの実行可能性評価において明示的に使用されているわけではない。 | 準の記述事項。 |
| テストケースの成果 | | | | | | | |
| スクリーニングの後で実施されるモニタリングのために特定されたパラメータ（詳細については表 4.1 を参照） | ➢ セルの温度。<br>➢ ニアフィールドの温度勾配。<br>➢ 岩石の間隙圧及び pH。<br>➢ 岩石の透水係数。<br>➢ セル・スリーブに対する全圧。<br>➢ セル・スリーブの直径及び応力。<br>➢ セルの雰囲気（$H_2$ 及び $O_2$ の濃度と相対湿度）。<br>➢ セル・スリーブ及びオーバーパックの肉厚と腐食速度。 | ➢ *ベントナイトプラグ及びコンクリート製アバットメントにおいて：*<br>➢ 温度。<br>➢ 間隙圧。<br>➢ 流動速度（透水係数）。<br>➢ 膨潤圧。<br>➢ *ベントナイトプラグにおいてのみ：*<br>➢ 水飽和。<br>➢ *アバットメントにおいてのみ：*<br>➢ 鉛直方向の圧力。 | ➢ *「部分リスト」*<br>➢ ニアフィールド母岩の温度。<br>➢ ニアフィールド母岩における間隙圧。<br>➢ ベントナイトと母岩の境界域におけるガス圧。 | ➢ *炭素高性能オーバーパック、コンクリート緩衝材及び鋼鉄製エンベロープに関して：*<br>➢ 圧力。<br>➢ 変位。<br>➢ 酸化還元電位<br>➢ *オーバーパック及びエンベロープのみに関して：*<br>➢ $H_2$ 圧。<br>➢ *緩衝材のみに関して：*<br>➢ 間隙水の pH。<br>➢ 間隙水の化学的性質。 | ➢ *坑道内において：*<br>➢ 地下水の流量及び化学的性質。<br>➢ 地震活動度及び岩石変位。<br>➢ 温度。<br>➢ *原位置試験の期間：*<br>➢ キャニスタ：幾何学的形状。<br>➢ *緩衝材及び埋め戻し材*：鉱物学的性質、化学的性質、幾何学的形状、乾燥及びかさ密度、含水率、膨潤圧。<br>➢ *緩衝材*：間隙構 | ➢ *例として挙げられたスクリーニングに合格したパラメータのうち。*<br>➢ 処分坑道プラグを通じた流量。<br>➢ 銅の腐食（バッチ実験）。<br>➢ ［処分場レベルにおける地下水の化学的性質はすでに母岩モニタリングプログラムに組み込まれている。］ | ➢ なし（スクリーニングによって除外されたものはない）。<br>➢ 対象となりうるモニタリングパラメータのリストが提供されている（スクリーニングに先立つ時点）。 |

| | Cigéo | ANSICHT | オパリナスクレイ | OPERA | TURVA 2012 | SR-Site | レファレンス・プロジェクト 2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ➢ 鉛直方向の変位。 | | | 造。<br>➢ *埋め戻し材*: 相対密度、パイピング及びエロージョン。 | | |
| モニタリングシステムに関する記述とその実施 | それぞれのパラメータに関して特定された配置（セルのタイプ）及び技術（センサのタイプ）に加えて、技術の選定及び使用に関する指針となる原則。 | 定置ボアホールのシール材及びコンクリート製アバットメントに関する詳細な記述。この中には、センサに関する要件、センサの使用に関する一般原則、センサの配置及び数が含まれる。 | このプログラムは初期段階にあるため、まだ開発されていない。 | このプログラムは初期段階にあるため、まだ開発されていない。 | 使用される異なる戦略に関する記述（QA/QC、実規模実証設備、原位置試験）とそれぞれのパラメータに関していずれが適格であるかの確認。 | 高水準の記述が行われており、処分坑道プラグを通じた流量や銅の腐食のパッチ試験を通じたモニタリングを超えて、いかなる EBS モニタリングも計画されていないと述べられている。 | URL モニタリングにかかわる高水準の記述。URL で得られた結果が処分場の実現に関する決定に使用されることが述べられている。 |
| 意思決定におけるモニタリングの役割（このトピックは Task2.3 で扱われており、本報告書では詳細に取り扱わない） | このテストケースでは検討されていない。 | モニタリングデータの評価が、鍵となるマイルストン/決定ポイントで実施され、それによってプログラム・レベルの決定（たとえば次の操業フェーズへの移行に関する決定）などに役立つ情報が直接もたらされる。これらの決定は、定義された順序で行われるものであり、さまざまなステークホルダで構成される明確 | モニタリングデータは、操業開始や施設全体の最終的な閉鎖に関する決定にとっての入力情報となるだけでなく、次の操業フェーズへの移行に関する決定にとっての入力情報となる可能性もある。不適合となったモニタリング結果に関するジェネリックな対応計画草案が作成されている。 | このテストケースでは検討されていない。 | モニタリングデータは「活動限度」（EBS モニタリングパラメータに関してはまだ設定されていない）と比較されることになり、これはさらなる評価や対応策に関する決定の引き金となる。決定は、当該企業の経営システムで定義されている内部ガイダンスや責任に従って行われる。解釈後のデータは定期的に公表される。 | モニタリング結果は、理想的には、予想される挙動に照らしたチェックに使用されるが、再飽和プロセスはきわめてゆっくりしたものであり、利用可能な結果の入手は困難である可能性がある。予想外の結果が得られた場合、食い違いを説明するためにこれらの結果の評価が行われる必要がある。 | モニタリング結果は、許認可発給/閉鎖に関する決定を行うために使用される。モニタリングプログラムに関する議論を早い時期に行っておくことは、公衆のステークホルダの信頼を醸成する上で役立つ可能性がある。 |

| | Cigéo | ANSICHT | オパリナスクレイ | OPERA | TURVA 2012 | SR-Site | レファレンス・プロジェクト 2001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | に定義されたグループが関与することになる。 | | | 年次報告書も公開されている。 | | |

付表 1-15　テストケースで特定されたパラメータのまとめ

（この情報はテストケースのみに当てはまるものであり、将来モニタリングがどのような方法で実施される可能性があるのかを示唆するものと受け取られるべきではない、黄色：粘土岩概念、緑色：結晶質母岩概念）

| パラメータ | パラメータが関連する要素 | このパラメータを選定したテストケース | モニタリングパラメータに関する論拠 | テストケースで当該パラメータのモニタリングに選択された戦略/技術 |
|---|---|---|---|---|
| 温度 | 定置セル及びその周囲のニアフィールド岩盤 | Cigéo | 閉鎖後安全性及び回収可能性との関連性がきわめて高い（これにより起こり得る岩盤変形に関する情報を提供されるため）。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示しているという信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善に必要な情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に必要な情報を提供することが可能となる。 | 一部の処分セルにおいて、Pt プローブ及び/又は光ファイバセンサを用いて直接的なモニタリングが行われる。 |
| | 処分孔シール材（ベントナイトプラグ及びコンクリート製アバットメント） | ANSICHT | シール材内での熱流量及び温度変遷に関する情報を提供する。この情報は、ベントナイトは引張応力を伴わないものでなければならないという性能目標との関連性の高いものである。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示すことに対する信頼をもたらすことができる。 | 一定数の「モニタリングレベル」における定置ボアホールのモニタリングにおいて直接的なモニタリングが行われる。たとえば、「抵抗温度検出器」（RTD）又は光ファイバベースのシステムなどが使用される。 |
| | ニアフィールド母岩 | オパリナスクレイ | 母岩の温度は、当該母岩が過去に経験したことのある古温度の最大値未満に維持されるべきであるという規準が設定されている（この規準が満たされる限り、熱誘起性の鉱物学的変化が生じる可能性を排除することができる）。モデル化に基づき、この規準がモニタリングのタイムフレーム内でどの程度満たされるのかに関して一定の不確実性が存在することが示されており、このためモニタリングの実施は有益なものと見なされている。 | パイロット施設で、シーリングの前と後に、有線光ファイバ分布温度検知システム及び/又は有線、あるいは無線の熱電対を使用したモニタリングが行われる。 |
| | キャニスタ（しかし坑道内で測定） | TURVA 2012 | キャニスタはその他のバリアの安全機能を損なうべきではないという目標にかかわるものであり、したがって閉鎖後安全性との関連性が高い。しかしその検証は主として設計、寸法決定及び QC を通じて行われる（したがってモニタリングの価値は限定的なものである）。 | 坑道から間接的なモニタリングが行われる（キャニスタに関する特定の要件に直接関連するものではない）。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 間隙水圧 | ニアフィールド母岩 | Cigéo | 温度とともに、ニアフィールド母岩の割れ目で生じた過剰圧に関する情報がもたらされる。この情報は閉鎖後安全性との関連性が高い。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示していることに関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善に役立ち情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に必要な情報を提供することが可能となる。 | 一部の処分セルにおいて、振動弦又は光ファイバピエゾメータを用いて直接的なモニタリングが行われる。 |
| | 処分坑道シール材（ベントナイトプラグ及びコンクリート製アバットメント） | ANSICHT | 下方からの（熱膨張及びガスの発生に起因する）流体圧に関する情報がもたらされる。この情報はシール材の全体的な安全機能と、さらにはこれにかかわるベントナイトは引張応力を伴わないものでなければならないという性能目標と関連性の高いものである。モニタリングの実施により、不確実性を低減させること及び/又はより広範な RD&D プログラムで得られる知識を超えた水準に知識を高めること及び/又は処分場が予想通りの挙動を示す点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善を支援すること及び/又は定期的なセーフティケースへの更新に必要な情報を提供することが可能となる。 | 一定数の「モニタリングレベル」における定置ボアホールのモニタリングにより直接的なモニタリングが行われる。たとえば、振動弦及び/又は光ファイバセンサが使用される。 |
| | ニアフィールド母岩 | オパリナスクレイ | 母岩間隙水圧に関して 1 件の規準が設定されており、この水圧は、処分場深度における岩圧を下回る水準に維持されるべきだとされている（この規準が満たされる限り、優先的な放出経路が水圧破砕によって形成される可能性を排除することができる）。モデル化に基づき、この規準がモニタリングのタイムフレーム内で満たされるという合理的な信頼が得られているが、その後の期間に関する信頼性は低くなる。したがって、モニタリングはその後の変遷を正確に予測するモデルの能力をチェックするために役に立つ可能性がある。 | サイト内の地下岩石特性調査施設（URCF）におけるモニタリングが行われる。 |
| 流体（ガス）圧 | ベントナイト/母岩の境界面 | オパリナスクレイ | ガス圧は、岩圧の 80%未満に維持されるべきである。この規準は、経路拡張が起こる可能性を排除できる限り満たすことができ、当該システムに関する分析を単純化することができる。モデル化に基づき、この規準が少なくともモニタリングのタイムフレームより後の期間に、また場合によっては当該期間内にも満たされるかどうかに関する不確実性が存在しており（保守的なガス発生率が使用されるかどうかに左右される）、したがってモニタリングを実施することが有用であると見なされる。 | サイト内の試験施設（URCF）、パイロット施設（シーリングの前及び後）、さらには場合によって定置室に配置された光ファイバ及び/又は圧力センサを用いたモニタリングが行われる。 |
| 透水係数/地下水の流速 | 処分孔シール材（ベントナイトプラグ及びコンクリート製アバットメント） | ANSICHT | 処分孔シール材を通じたボアホール内への、またボアホール外への流体の流れに関する情報がもたらされる。これらは、シール材の全体的な安全機能との間で、またベントナイト要素の透水係数及び膨潤圧にかかわる関連性能目標に対して直接的な関連性の高さを備えているだけでなく、モデル化されたシステム性能に影響を及ぼすプロセスである。モニタリングの実施により、不確実性を低減させること及び/又はより広範な RD&D プログラムによって得られる知識を超えて知識をたかめること及び/又は処 | ダミーボアホールの異なるモニタリングレベルにおいて、さらにはモニタリングボアホールにおいて、圧力センサを用いた間接的な方法によるモニタリングが行われる。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 分場が予想通りの挙動を示す点に関する信頼をもたらすこと及び/又は設計改善を支援すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に必要な情報を提供することが可能となる。 | |
| | 坑道及び処分場の周囲の母岩 | TURVA 2012 | これらの要素が特定の境界条件の範囲内で機能するよう設計されていることから、キャニスタ、緩衝材及び埋め戻し材に間接的にかかわるものである。地圏内でこれらの条件が維持される限り、キャニスタ、緩衝材及び埋め戻し材が設計通りの性能を発揮することへの信頼が存在し、したがってこれらに関するモニタリングの実施は有益なものと見なされる。<br>この中には、処分坑道プラグを通じた流動に関する「軽度の」モニタリングが含まれる場合がある。 | 坑道から（処分坑道から離れた位置で）直接的なモニタリングが行われる。処分坑道プラグについては、アクセス可能な期間にわたり目視でのモニタリングが行われる。 |
| | 処分坑道プラグ | SR-Site | 緩衝材におけるパイピング/エロージョンに関する情報がもたらされる。その理由として、プラグを通じた流動が未飽和状態の処分孔を通じた流動とかかわるものであり、したがってパイピングを示唆する可能性があることが挙げられる。このプロセスは移流による物質移送を限定する緩衝材の安全機能と直接かかわるものである。処分場開発の早い段階でモニタリングを実施することには価値がある。 | 操業期間にわたり、坑道の埋め戻しが行われるまでの期間、堰を用いた直接的なモニタリングが行われる。 |
| 封圧 | セル・スリーブに対する全圧 | Cigéo | セル・スリーブに作用する力学的な負荷に関する情報がもたらされる。この情報は処分パッケージの回収可能性を明示する作業との関連性が高い。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示している点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善に役立つ情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に役立つ情報を提供することが可能となる。 | 一部の処分セルにおける直接的なモニタリングが行われる。光ファイバセンサが使用される。 |
| | 処分孔シール材（コンクリート製アバットメント）に対する鉛直方向の圧力 | ANSICHT | 上方からアバットメントにかかる力学的な負荷に関する情報がもたらされる（この中に埋め戻し材の質量及び後の段階における地圧が含まれる）。この情報はベントナイト要素の膨張（プラグ長の拡大）に関する性能目標との関連性が高い。モニタリングの実施により設計改善を支援することができる。 | 一定数の「モニタリングレベル」における定置ボアホールのモニタリングにより直接的なモニタリングが行われる。たとえば、振動ワイヤ及び/又は光ファイバセンサが使用される。 |
| | スーパーコンテナ － 炭素鋼製オーバーパック | OPERA | 腐食に起因する形でオーバーパックに生じる力学的擾乱、低温割れ又は溶接に関する情報がもたらされる。この情報は施設の放棄やシーリングの品質が低いことに関する代替変遷シナリオにおいて汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナの安全機能に対して直接的な関連性を伴う。モニタリングは、より広範な RD&D プログラムから導き出される知識を超えて不確実性を低減させることができる。 | 定義されていない。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | スーパーコンテナ － コンクリート緩衝材 | OPERA | 緩衝材に（外力によって）かかる力学的な負荷に関する情報がもたらされる。この情報は施設の放棄やシーリングの品質が低いことに関する代替変遷シナリオにおいて汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナ安全機能に対して直接的な関連性を伴う。モニタリングは、より広範な RD&D プログラムから導き出される知識を超えて不確実性を低減させることができる。 | 定義されていない。 |
| | スーパーコンテナ － 鋼鉄製エンベロープ | OPERA | エンベロープに（外力によって）かかる力学的な負荷に関する情報がもたらされる。この情報は施設の放棄やシーリングの品質が低いことに関する代替変遷シナリオにおいて汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナ安全機能に対する間接的な関連性を伴う。モニタリングは、より広範な RD&D プログラムから導き出される知識を超えて不確実性を低減させることができる。 | 定義されていない。 |
| 膨潤圧 | 処分孔シール材（ベントナイトプラグ及びコンクリート製アバットメント） | ANSICHT | ベントナイト・プラグの膨潤圧の変遷に関する情報がもたらされる。ベントナイト要素の膨潤圧に関する性能目標との関連性が高く、モデル化されたシステム性能に影響を及ぼす。モニタリングの実施により、より広範な RD&D プログラムによって知識を超えて不確実性を低減させること及び/又は処分場が予想通りの挙動を示す点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善を支援することが可能となる。 | 一定数の「モニタリングレベル」における定置ボアホールのモニタリングによって直接的なモニタリングが行われる。たとえば、振動弦及び/又は光ファイバセンサが使用される。 |
| | 緩衝材 | TURVA 2012 | いくつかの緩衝材性能目標に対する直接的な関連性が高い。その例として、緩衝材の膨潤圧からの等方荷重が緩衝材の下部で＜10 MPa であるべきことが挙げられる。膨潤圧は、銅製キャニスタ及びオルキルオト母岩の降伏強さを下回る水準に維持されるべきである。 | 実規模及び/又は原位置試験におけるセンサを用いたモニタリングが実施される。 |
| | 緩衝材 | TURVA 2012 | いくつかの埋め戻し材性能目標に対する直接的な関連性が高い。その例として、全面的な飽和状態において処分坑道のあらゆるポイントにおける膨潤圧が＞0.1 MPa であることが挙げられる。埋め戻し材は、処分坑道の力学的な安定性に寄与するものでなければならない。 | 実規模及び/又は原位置試験におけるセンサを用いたモニタリングが行われる。 |
| 直径 | セル・スリーブ | Cigéo | スリーブの変形に関する情報がもたらされる。この情報は処分パッケージの回収可能性を明示することとの関連性が高い。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示す点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善な役立つ情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に役立つ情報を提供することが可能となる。 | 一部のセルにおいて、また光ファイバセンサを用いて直接的なモニタリングが行われる。スリーブの変遷も 3D スキャニングにより直接測定される。 |
| 応力 | セル・スリーブ | Cigéo | スリーブの変形に関する情報がもたらされる。この情報は処分パッケージの回収可能 | 一部のセルにおいて、また光ファイ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 性を明示することに対する関連性が高い。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示す点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善な役立つ情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に役立つ情報を提供することが可能となる。 | バセンサを用いて直接的なモニタリングが行われる。 |
| 幾何学的形状 | キャニスタ | TURVA 2012 | いくつかのキャニスタ性能目標に対する直接的な関連性が高い。これらの性能目標として、キャニスタは損傷のない状態を維持しなければならないこと、銅製シェルは＞0 mm の肉厚を維持し、緩衝材の膨潤圧が及ぼす 3～10 MPa の非対称負荷に耐えられるべきであることなどが挙げられる。このことは、放射性核種放出を防止するという全体的な安全機能との関連性が高い。 | 実規模及び/又は原位置試験におけるモニタリングが行われる（設置時及び解体時）。 |
| | 緩衝材 | TURVA 2012 | 緩衝材による水の取り込みに関する情報がもたらされる。関係する性能目標として、緩衝材の変位が限定されるべきであること、拡散が支配的な移送メカニズムとなるべきであること、緩衝材の膨潤に伴って生じる等方荷重が限定されるべきであることが挙げられる。このプロセスは長い期間を要するものであるが、原位置試験により性能モデルの確証を行うことができる。 | 実規模及び/又は原位置試験におけるモニタリングが行われる（設置時及び解体時）。 |
| | 埋め戻し材 | TURVA 2012 | 埋め戻し材による水の取り込みに関する情報がもたらされる。この情報は埋め戻し材の透水係数、膨潤圧、変形の限定及び坑道の力学的な安定性に寄与する要件に関する性能目標にかかわるものである。このプロセスは長い期間を要するが、原位置試験により性能モデルの確証を行うことができる。 | 実規模及び/又は原位置試験におけるモニタリングが行われる（設置時及び解体時）。 |
| 変位 | 処分孔シール材（コンクリート製アバットメントの鉛直方向の変異） | ANSICHT | 上方に位置する横抗に向けたコンクリート・アバットメントの移動に関する情報がもたらされる。この情報は、ベントナイト要素の拡張（プラグの長さの拡大）に関する性能目標との関連性が高い。モニタリングの実施により、より広範な RD&D プログラムから得られる知識を超えて不確実性を低減させること及び/又は処分場が予想通りの挙動を示す点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善を支援することが可能となる。 | 一定数の「モニタリングレベル」における定置ボアホールのモニタリングにより直接的なモニタリングが行われる。たとえば、特定の変位センサが使用される。 |
| | スーパーコンテナ －炭素鋼製オーバーパック | OPERA | 腐食に起因する形でオーバーパックに生じる力学的擾乱、低温割れ又は溶接に関する情報がもたらされる。この情報は、施設の放棄時又は貧弱なシーリングに関する代替変遷シナリオにおける汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナの安全機能に対して直接的な関連性の高いものである。モニタリングの実施により、より広範な RD&D プログラムから導き出された知識を超える不確実性の低減が可能となる。 | 定義されていない。 |
| | スーパーコンテ | OPERA | 緩衝材に（外力によって）かかる力学的負荷に関する情報がもたらされる。この情報 | 定義されていない。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ナ　ーコンクリート緩衝材 | | は施設の放棄時又は貧弱なシーリングに関する代替変遷シナリオにおける汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナ安全機能に対する間接的な関連性を伴うものである。モニタリングの実施により、より広範な RD&D プログラムから導き出された知識を超える不確実性の低減が可能となる。 | |
| | スーパーコンテナ　ー鋼鉄製エンベロープ | OPERA | エンベロープに（外力によって）かかる力学的負荷に関する情報がもたらされる。この情報は施設の放棄やシーリングの品質が低いことに関する代替変遷シナリオにおいて汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナ安全機能と間接的な関連性を伴うものである。モニタリングの実施により、より広範な RD&D プログラムから導き出される知識を超えて不確実性を低減させることができる。 | 定義されていない。 |
| | 坑道及び処分場周囲の母岩 | TURVA 2012 | 地震活動度（この中には潜在的な岩盤変位も含まれる）は、キャニスタ、緩衝材及び埋め戻し材と間接的な関連性を伴うものである（たとえば、キャニスタが損傷を伴わない状態を維持する性能目標や、銅製シェルの肉厚が＞0 mm に維持される線量目標などに関するもの）。この点において適格な処分孔の位置が重視されている。この種の位置が地震の観点から適格である場合、当該バリア要素が設計通りの性能を発揮することへの信頼が存在することになる。 | 間接的な広域モニタリングが行われる。同様に、RSC 方法論を用いて取り扱われる。 |
| 水素濃度 | セルの雰囲気 | Cigéo | 処分パッケージの回収可能性を明示する作業との関連性が高いものである。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示す点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善に役立つ情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に役立つ情報を提供することが可能となる。 | 一部のセルにおいて、LiDAR 及び/又は熱透気係数及び/又はガス密度及び粘度測定を用いて間接的なモニタリングが行われる。 |
| | スーパーコンテナ　ー炭素鋼製オーバーパック | OPERA | 水の進入に続いて起こるオーバーパックの鋼鉄の腐食に関する情報がもたらされる。この情報は施設の放棄やシーリングの品質が低いことに関する代替変遷シナリオにおいて汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナの安全機能との直接的な関連性が高いものである。モニタリングの実施により、当該システムが設計通りに実現されている点に関する信頼をもたらすことが可能となる。 | 定義されていない。 |
| | スーパーコンテナ　ー　鋼鉄製エンベロープ | OPERA | ブームクレイ間隙水との相互作用に起因するエンベロープの鋼鉄の腐食に関する情報がもたらされる。この情報は施設の放棄やシーリングの品質が低いことに関する代替変遷シナリオにおいて汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナの安全機能との間接的な関連性が高いものである。モニタリングの実施により、当該システムが設計通 | 定義されていない。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | りに実現されている点に関する信頼をもたらすことが可能となる。 | |
| 酸素濃度 | セルの雰囲気 | Cigéo | 処分パッケージの回収可能性を明示する作業との関連性が高い。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示す点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善に役立つ情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に役立つ情報を提供することが可能となる。 | 一部のセルにおいて、ルミネセンス法に基づいたセンサを用いたモニタリングが行われる。 |
| 相対湿度 | セルの雰囲気 | Cigéo | セルの雰囲気の爆発性に関する情報がもたらされる。この情報は処分パッケージの回収可能性を明示する作業との関連性が高い。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示している点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善に役立つ情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に役立つ情報を提供することが可能となる。 | 一部の処分セルにおいて、容量センサを用いたモニタリングが行われる（電気容量に基づく方法が使用される）。 |
| | 埋め戻し材 | TURVA 2012 | 水の取り込み及び膨潤に関する情報がもたらされる。この情報は、いくつかの埋め戻し材性能目標との関連性が高いものである。 | 実規模及び/又は原位置試験におけるモニタリングが行われる（センサが使用される）。 |
| 含水率/飽和 | 処分孔シーリング材（ベントナイト・プラグ） | ANSICHT | ベントナイトプラグの飽和状態の変遷に関する情報がもたらされる。この情報は、シール材の全体的な安全機能との関連性が、またベントナイト要素の透水係数及び膨潤圧にかかわる関連性能目標との関連性が高いものであり、モデル化されたシステム性能に影響を及ぼす。モニタリングの実施により、より広範な RD&D プログラムで得られる知識を超えて不確実性を低減できる点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場が予想通りの挙動を示す点への信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善を支援することが可能となる。 | 一定数の「モニタリングレベル」における定置ボアホールのモニタリングにより直接的なモニタリングが行われる。たとえば、「方位角深部比抵抗」（ADR）又は土壌水分計が使用される。 |
| | 緩衝材 | TURVA 2012 | 緩衝材の性能に影響を及ぼすさまざまな特徴及びプロセスにかかわるものである。その例として、水の取り込みや膨潤などが挙げられる。 | 実規模及び/又は原位置試験におけるモニタリングが行われる（設置時及び解体時）。 |
| | 埋め戻し材 | TURVA 2012 | 緩衝材の性能に影響を及ぼすさまざまな特徴及びプロセスにかかわるものである。たとえば水の取り込みや膨潤などが挙げられる。 | 実規模及び/又は原位置試験におけるモニタリングが行われる（設置時及び解体時）。 |
| 間隙水の pH | ニアフィールド岩盤 | Cigéo | 充填物質の中和に関する情報がもたらされる。この情報は、閉鎖後安全性との関連性が高いものである。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示している点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善に役立つ情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に役立つが提供されることが可能 | 定義されていない。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | となる。 | |
| | スーパーコンテナ － コンクリート緩衝材 | OPERA | 間隙水/コンクリート相互作用に起因する地球化学的な変遷に関する情報がもたらされる。この情報は、施設の放棄やシーリングの品質が低いことに関する代替変遷シナリオにおいて汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナの安全機能と直接的な関連性の高いものである。モニタリングの実施により、より広範な RD&D プログラムから導き出される知識を超えて不確実性を低減させることができる。 | 定義されていない。 |
| 間隙水/地下水の化学的性質 | スーパーコンテナ － コンクリート緩衝材 | OPERA | 間隙水/コンクリート相互作用に起因する地球化学的進化についての情報がもたらされる。この情報は、施設の放棄やシーリングの品質が低いことに関する代替変遷シナリオにおいて汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナの安全機能と直接的な関連性の高いものである。モニタリングの実施により、より広範な RD&D プログラムから導き出される知識を超えて不確実性を低減させることができる。 | 定義されていない。 |
| | 処分場の周囲の母岩 | TURVA 2012 | キャニスタ、緩衝材及び埋め戻し材と間接的にかかわるものである。その理由として、これらの要素が特定の境界条件において性能を発揮するように設計されていることが挙げられる。これらの条件が維持される限り、設計通りの性能が発揮されることに対する信頼が存在し、したがってこれらのモニタリングを行うことは有用であると見なされる。 | 坑道から直接的なモニタリングが行われる（処分孔から離れた場所）。 |
| | | SR-Site | 埋め戻し材及び緩衝材が、それらのライフサイクルにわたり十分な質量を保持することが規定されている安全機能との関連性が高いものである。そのためには埋め戻し材及び緩衝材が一定の総電荷当量陽イオンを伴う地下水と接触した状態で安定した状態を維持しなければならない。したがって関連性の高いパラメータは母岩地下水の電気伝導率である。関連性の高いプロセスがきわめてゆっくりとしたものであるため、閉鎖後セーフティケースの信頼性の強化にとってのモニタリングの価値は限定的なものである。しかし地下水の化学的性質に関するモニタリングはすでに母岩モニタリングプログラムの一環として処分場レベルでのサンプリングを通じて行われている。 | ボアホールサンプリングを通じたモニタリングが行われる。 |
| 酸化還元電位 | スーパーコンテナ － 炭素鋼製オーバーパック | OPERA | 水の進入後に生じるオーバーパックの鋼鉄の腐食に関する情報がもたらされる。この情報は、施設の放棄やシーリングの品質が低いことに関する代替変遷シナリオにおいて汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナの安全機能と直接的な関連性の高いものである。モニタリングの実施により、当該システムが設計通りに実現されている点に関する信頼をもたらすことができる。 | 定義されていない。 |
| | スーパーコンテナ － コンクリ | OPERA | 間隙水/コンクリート相互作用に起因する地球化学的変遷に関する情報がもたらされる。この情報は、施設の放棄やシーリングの品質が低いことに関する代替変遷シナリ | 定義されていない。 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ート緩衝材 | | オにおいて汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナの安全機能と直接的な関連性の高いものである。モニタリングは、より広範な RD&D プログラムから導き出される知識を超えた不確実性の低減をもたらすことができる。 | |
| | スーパーコンテナ － 鋼鉄製エンベロープ | OPERA | ブームクレイ間隙水との相互作用に起因するエンベロープの鋼鉄の腐食に関する情報がもたらされる。この情報は、施設の放棄やシーリングの品質が低いことに関する代替変遷シナリオにおいて汚染物質の放出を防止するスーパーコンテナの安全機能と間接的な関連性が高いものである。モニタリングの実施により、当該システムが設計通りに実現されている点に関する信頼をもたらすことができる。 | 定義されていない。 |
| 肉厚 | セルのスリーブ | Cigéo | 処分パッケージの回収可能性を明示する作業との関連性が高いものである。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示している点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善に役立つ情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に役立つ情報を提供することが可能となる。 | 一部のセルにおいて、腐食試験片を用いたモニタリングが行われる。 |
| | オーバーパック | Cigéo | 閉鎖後安全性との関連性が高いものである。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示している点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善に役立つ情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に役立つ情報を提供することが可能となる。 | 一部のセルにおいて、腐食試験片を用いたモニタリングが行われる。 |
| 腐食速度 | セルのスリーブ | Cigéo | 処分場パッケージの回収可能性を明示する作業との関連性が高いものである。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示している点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善に役立つ情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に役立つ情報を提供することが可能となる。 | 一部のセルにおいて、電気抵抗プローブ及び試験片の質量喪失を用いた間接的なモニタリングが行われる。 |
| | オーバーパック | Cigéo | 閉鎖後安全性との関連性が高いものである。モニタリングの実施により、処分場が予想通りの挙動を示している点に関する信頼をもたらすこと及び/又は処分場設計の改善に役立つ情報を提供すること及び/又は定期的なセーフティケースの更新に役立つ情報を提供することが可能となる。 | 一部のセルにおいて、電気抵抗プローブ及び試験片の質量損失を用いたモニタリングが行われる。 |
| | キャニスタ | SR-Site | 耐食性に関するキャニスタの安全機能に直接かかわるものである（指標規準：銅の厚さが＞0 mm に維持されなければならない）。腐食について早い段階で理解しておくことにより以前に実施された RD&D では入手されていない追加的な詳細及び/又はサイト固有の理解がもたらされる可能性があるため、モニタリングを実行する価値がある。 | 腐食試験片を用いて間接的なモニタリングが行われる（原位置バッチ試験）。 |
| 鉱物学的及び | 緩衝材 | TURVA | 性能目標として示されたいくつかの緩衝材性能にかかわるものである（その例として、 | 実規模及び/又は原位置試験におい |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 化学的性質 | | 2012 | 有利に働く化学的条件の維持や、キャニスタがその密封性を維持できるだけの変形を起こすべきことなどが挙げられる）。 | てモニタリングが行われる（設置時及び解体時）。 |
| | 埋め戻し材 | TURVA 2012 | 埋め戻し材の性能と関係している（たとえば、埋め戻し材に関する硫化物の発生源となる可能性が限定されているべきだという性能目標など）。 | 実規模及び/又は原位置試験におけるモニタリング（設置時及び解体時）。 |
| 密度（乾燥密度及びかさ密度） | 緩衝材 | TURVA 2012 | 性能目標に示されている緩衝材の性能に影響を及ぼすさまざまな特徴及びプロセス（たとえば水の取り込み）にかかわるものである（その例として、緩衝材の変位が限定的なものであるべきこと、拡散が支配的な移送メカニズムであるべきこと、緩衝材の膨潤に伴って生じる等方荷重が限定されていること、キャニスタがその密封性を維持できるだけの変形を起こすべきことなどが挙げられる）。 | 実規模及び/又は原位置試験においてモニタリングが行われる（設置時及び解体時）。 |
| | 埋め戻し材 | TURVA 2012 | 性能目標に示されている緩衝材の性能に影響を及ぼすさまざまな特徴及びプロセス（たとえば水の取り込み）にかかわるものである（その例として、埋め戻し材透水係数、膨潤圧、変形の限定、坑道の力学的安定性に寄与する要件などが挙げられる）。 | 実規模及び/又は原位置試験においてモニタリングが行われる（設置時及び解体時）。 |
| 間隙構造 | 緩衝材 | TURVA 2012 | 緩衝材が放射能を伴うコロイドの濾過を可能にする上で十分に微細な間隙構造を備えているべきだという性能目標と直接かかわるものであり、閉鎖後安全性に対して直接的な関連性が高いものである。 | 実規模及び/又は原位置試験においてモニタリングが行われる（設置時及び解体時）。 |
| パイピング及びエロージョン | 埋め戻し材 | TURVA 2012 | 性能目標の対象となっている埋め戻し材の透水係数に対して、また密度の均質化に対して、直接的な関連性が高いものである。 | 実規模及び/又は原位置試験において目視でのモニタリングが行われる（設置時及び解体時）。 |

付表 1-16 に「成果報告書 D2.2：モニタリングパラメータのスクリーニング：テストケース」の構成を示す。

**付表 1-16「成果報告書 D2.2：モニタリングパラメータのスクリーニング：テストケース」の構成**

| |
|---|
| 概要<br>頭字語リスト<br>Modern2020 プロジェクトパートナーのリスト<br>1　はじめに<br>　1.1　背景<br>　1.2　本報告書の目標<br>　1.3　範囲及びアプローチ<br>　1.4　本報告書の構成<br>2　Modern2020 スクリーニング方法論<br>　2.1　はじめに<br>　2.2　Modern2020 スクリーニング方法論の概要<br>3　テストケースの概要<br>　3.1　テストケースの概要<br>　3.2　テストケースの範囲、背景状況及び成果の概括<br>4　テストケースに関する検討<br>　4.1　テストケースで採用されたプロセス<br>　4.2　テストケースの結果<br>5　改訂版の Modern2020 スクリーニング方法論<br>　5.1　Modern2020 スクリーニング方法論の説明<br>　5.2　Modern2020 スクリーニング方法論<br>6　パラメータの特定及びスクリーニングに関する全体的な結論<br>　6.1　テストケースから得られた結論<br>　6.2　Modern2020 スクリーニング方法論に関して得られた結論<br>参照文書 |
| 付属書 A：テストケースに関する「指針となる要領書」 |
| 付属書 B：Modern2020 スクリーニング方法論<br>　B.1　Modern2020 スクリーニング方法論に対するアプローチとその背景状況<br>　B.2　Modern2020 スクリーニング方法論 |
| 付属書 C：Cigéo テストケース（ANDRA）<br>1　はじめに<br>　1.1　背景<br>　1.2　本報告書の目標<br>2　システムに関する記述<br>　2.1　Cigéo<br>　2.2　一般的な安全なアプローチ<br>　2.3　閉鎖後安全機能<br>　2.4　操業期間の安全性と閉鎖後安全性の間の協調的なアプローチ<br>3　Cigéo における EBS と粘土母岩の THMC プロセスに関する記述<br>　3.1　地質媒体と粘土母岩<br>　3.2　EBS<br>4.　モニタリング目標及び戦略<br>　4.1　規制枠組み<br>　4.2　処分モニタリング戦略<br>5　モニタリング対象とすべきパラメータの特定<br>　5.1　ANDRA が採用した、モニタリング対象とすべきパラメータの選定方法<br>　5.2　Modern2020 で提案されているワークフローの試験にとっての出発点<br>　5.3　Cigéo テストケース：Modern2020 スクリーニング方法論の評価 |

6　結論

付属書 D : ANSICHT テストケース（DBETEC）
概要
1.　はじめに
2.　システムの記述
　2.1　EBS/母岩システム
　2.2　予想される EBS の挙動
3.　モニタリング目標及び戦略
　3.1　規制枠組み
　3.2　DBETEC の処分場モニタリング戦略
4.　モニタリングパラメータの特定
　4.1　モニタリングを実施する価値のあるプロセスの選定
　4.2　スクリーニング・ワークフローの試験
5.　モニタリングシステムの記述
　5.1　アバットメントのモニタリング
　5.2　ベントナイト要素のモニタリング
　5.3　具体的なシステム要件
6.　結論及び勧告
7.　参照文書

付属書 E : NAGRA/オパリナスクレイ
概要　　157
参照文書　170

付属書 F :　OPERA テストケース(NRG)
概要
1.　はじめに
　1.1　背景
　1.2　本報告書の目的
　1.3　本報告書の範囲
　1.4　アプローチ
　1.5　報告書の構成
2.　ドイツの OPERA 処分概念
　2.1　はじめに
　2.2　ドイツの廃棄物管理戦略の基礎
　2.3　多重バリアシステム
　2.4　安全機能
　2.5　廃棄物の特徴
　2.6　OPERA レファレンス概念
3.　OPERA におけるシナリオ開発
　3.1　はじめに
　3.2　特質、事象及びプロセス（FEP）
　3.3　Modern2020 で検討されるシナリオ
4.　プロセスの予備リスト
　4.1　一般的な検討事項
　4.2　因子分析
　4.3　評価
5.　安全機能及び関連性の高いプロセス
　5.1　一般的なスクリーニングプロセス
　5.2　廃棄体
　5.3　廃棄物容器（OPERA スーパーコンテナ）
　5.4　埋め戻し材
　5.5　処分セル・プラグ
　5.6　ライニング
　5.7　母岩ニアフィールド

5.8　母岩ファーフィールド
5.9　立坑シール材
6.　Modern2020 スクリーニング方法論の試験
6.1　PRO1. スクリーニングの開始
6.2　PRO2. そのプロセスは閉鎖後安全性及び/又は回収可能性との関連性の高いものか？
6.3　PRO3. 保留プロセス
6.4　PRO4. 閉鎖後セーフティケースを支援する上でそのプロセスのモニタリングを行う価値があるか？
6.5　PRO5. プロセスのパラメータへの置き換え
6.6　PAR1. 予想されるパラメータ変遷の定義
6.7　PAR2. モニタリング戦略及び技術オプションの特定
6.8　TEC1. そのオプションは技術的に実行可能なものか？
6.9　TEC2. オプションに関する作業を先に進める
6.10　TEC3. オプションの保留
6.11　PAR3. このパラメータに関して何らかの実行可能なオプションは存在するか？
6.12　PAR4. パラメータに関する作業を先に進める
6.13　PAR5. パラメータの保留
6.14　PRO6. このプロセスのモニタリングを行う上で実行に適したパラメータは十分に存在するか
6.15　PRO7. プロセス、モニタリング戦略の再検討又はモニタリング技術に関する追加的な R&D の実行
6.16　PRO8. パラメータの相互比較
6.17　PAR6. そのパラメータは現行モニタリング計画に含まれているか？
6.18　PAR7. パラメータに関する作業をモニタリングプログラムの設計段階へと進める
6.19　PAR8. パラメータの保留
6.20　Modern2020 のフローチャートに関して提案された修正
7.　結論及び勧告
8　参照文書.

付属書 G　TURVA 2012 テストケース（POSIVA 社）
概要
1　はじめに
2　システム記述
2.1　EBS/母岩システム
2.2　予想される EBS の挙動
3　モニタリングの目標
4　モニタリングパラメータの特定
5　モニタリングシステムの記述及び実施
6　信頼醸成と意思決定プロセスへのモニタリング結果の寄与
7　結論及び勧告
8　総括
参照文書
付属文書 1　テストケースによって扱われる検討項目
付属文書 2　Posiva 社のキャニスタ、緩衝材及び埋め戻し材に関する VAHA L3 性能目標　（ドラフト、2017 年 2 月）

付属書 H：テストケース報告書 SKB 社（SR-Site）
概要
1.　はじめに
2.　システムに関する記述
2.1　EBS/母岩システム
2.2　予想される EBS の挙動
2.3　緩衝材、埋め戻し材及びプラグに予想されるパイピング/エロージョン挙動
3　モニタリング目標
3.1　背景
3.2　適切な EBS モニタリング方法論の開発
3.3　制約及び可能性

4　モニタリングパラメータの特定
4.1　全てのパラメータの特定を行うためのワークフロー
4.2　安全機能に基づくスクリーニングプロセス
4.3　Modern2020 スクリーニング方法論の適用
4.4　Modern2020 スクリーニング方法論に関するコメント及び検討作業
5　モニタリングシステムの記述及び実行
6　信頼醸成及び意思決定プロセスにおけるモニタリング結果
7　結論及び勧告
参照文書
付属文書 1.　Modern2020 スクリーニング方法論 v1.1.［White et.al., 2017］
付属文書 2.　EBS におけるプロセス
付属文書 3.　EBS に関する安全機能とその指標
付属文書 4.　Modern2020-SKB スクリーニングケース

付属書 I.　レファレンス・プロジェクト 2011 テストケース（SURAO）
概要
1.　はじめに
2.　システムに関する記述
2.1　EBS/母岩システム
2.2　EPS に予想される挙動
3.　モニタリング目標
4.　モニタリングパラメータの特定
4.1　スクリーニング方法論
4.2　T2.1 スクリーニング方法論と SURAO のアプローチとの間の関係
4.3　規制組織及びその他のステークホルダの関心
5　モニタリングシステムの記述及び実行
6.　信頼醸成及び意思決定プロセスにおけるモニタリング結果
7　結論及び勧告

### (2) テストケースの主要な結論

7 件のテストケースの開発及び結果に基づき、処分場モニタリングパラメータのスクリーニングに関して、以下の結論が示された。

- □ 実行可能かつ論理的な処分場モニタリングプログラムにおいて、「人工バリアシステム」（EBS）やニアフィールドに関するモニタリング対象とするパラメータを決定する作業は、難易度は高いものの、達成可能なものである。鍵となる課題の 1 つとして、「可能な限り全てのもののモニタリング行うこと」と「モニタリング対象を（データ収集に必要な資源と潜在的な安全面での意味合いを考慮に入れた上で）それを行う価値が認められるものに限定すること」の間で（それぞれの国の背景状況や動機にとって適切な）バランスを見いだすことが挙げられる。IAEA と NEA のガイダンスに従って処分場はモニタリングに依存しない受動的安全性を備えたものとされるべきであり、そのためには全てのモニタリング活動に関して慎重な検討が行われているだけでなく、その実施の必要性が正当化されていることが重要である。

- □ モニタリング対象とされるパラメータは、次に示すいずれかに適合する場合に、正当な形でスクリーニングに合格したと判断することができる：1）当該パラメータが、たとえば安全機能と直接的なつながりが示されることにより、閉鎖後安全性及び/又は回収可能性に対して直接的な関連性を備えるものである、2）閉鎖後安全性に間接的にかかわるものである。たとえば操業フェーズにわたりモニタリングを実施することで、セーフティケースに対する信頼を、全般的な「熱、水、力学、化学及び放射線」（THMCR）面での理解を明示することにより、さらには（一部の WMO にとって）性能の客観的証拠を示すことにより高めることができる。このことは、1 件のパラメータのモニタリングを行う価値が認められる上で安全性との直接的なつながりは必ずしも必要とされないことを示している。

- □ 現在、いずれの WMO も、実行可能なモニタリングプログラムの開発を進めているところである。テストケースで実施されたさまざまな活動は、地下処分システムの全ての構成要素に拡げられる必要がある。同様に、大部分のプログラムにおいて、モニタリングプログラムの設計のより詳細な側面（たとえば、センサ・タイプの選定、数及び配置場所など）に焦点を合わせる必要がある。またモニタリングシステムが閉鎖後安全性に関するセーフティケースに及ぼす影響に関する詳細な評価も実施する必要がある（たとえばモデルへのセンサの組み込みなど）。

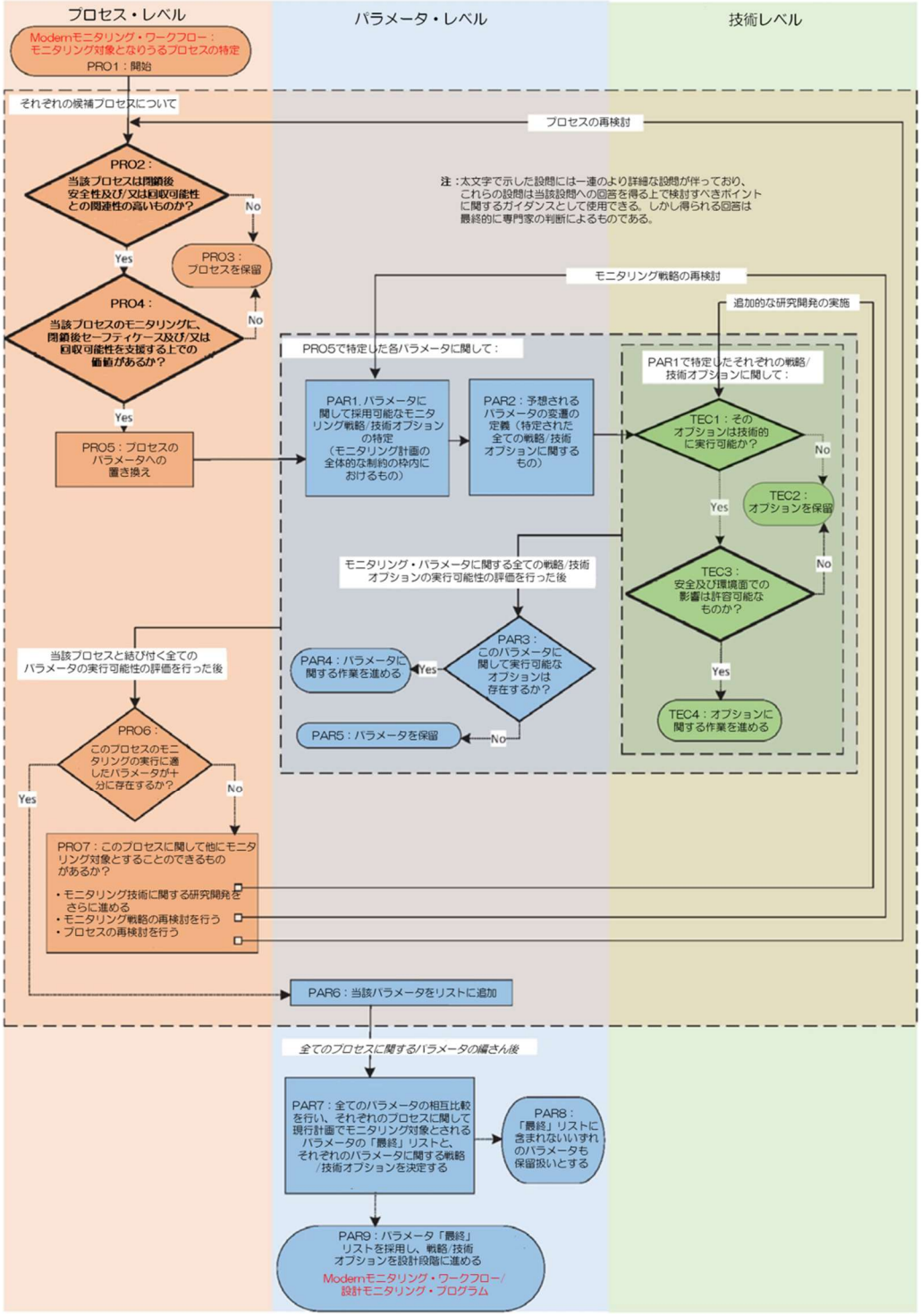
- □ 全ての処分場モニタリングプログラムにおいてモニタリングの対象とすべきパラメータ・グループというものは存在しない。実際のところ、それぞれのプログラムでモニタリング対象とすべきパラメータは、各国固有の、また処分場固有の背景状況に基づいて特定される具体的な動機、制約及び目標に強く左右される。

- □ スクリーニングプロセスとその結果は、将来役立つために、またトレーサビリティを伴うものとなるために、将来の世代及び外部ステークホルダにとって透明性が高く、理解しやすいものとならなければならない。したがって WMO は、得られた結果やその根拠となる正当化を示す際に用いる書式と詳細さのレベルの両方に関する検討を十分に行っておかなければならない。

- □ それぞれのプログラムにおいて、パラメータスクリーニングに関する決定は、詳細なセーフティケースアプローチ及び処分場性能モデルを伴うだけでなく、モニタリングに関するステークホルダの期待についての理解が深まっているプログラムの場合に、より容易に実施する

ことができる。その一方で、早い段階から処分場モニタリングに関する計画設定を行うことにはいくつもの利点があり、その例として、技術開発のための時間が十分確保されること、設計においてモニタリング面でのニーズが考慮に入れられること、ステークホルダの信頼が醸成されること、さらにはモニタリングの代わりに、あるいはモニタリングに追加して長期実験が行われることによって一部の情報/信頼面での要件が満たされることなどが挙げられる。同様に、早い時点からモニタリングについて考えておくことにより、さまざまな段階（たとえば立地、建設、試験操業及び操業段階など）との関連性の高いモニタリングの側面が適切な時点で開発され、実施されるようになる。

Task2.2 におけるテストケースで得られたフィードバックを受け、Modern2020 スクリーニング方法論の改訂版が作成された。この図は、この「方法論」がどのように組織されているのかを 3 つのカラムに分けて示すものであり、プロセス、パラメータ及び技術の間の相互作用が考慮に入れられている。なお、モニタリング戦略に関する検討は、技術面での検討と並行して進められる。




付図 1.2-3　Task2.2 におけるテストケースの成果をフィードバックした Modern2020 スクリーニング方法論（改訂版）の概要

### (3) フランス、Cigéo テストケースの概要

各国のテストケースの例の一つとして、多くの原位置でのモニタリングを行う傾向を示したフランス、ANDRA による Cigéo 処分概念に関するテストケースの概要を示す。

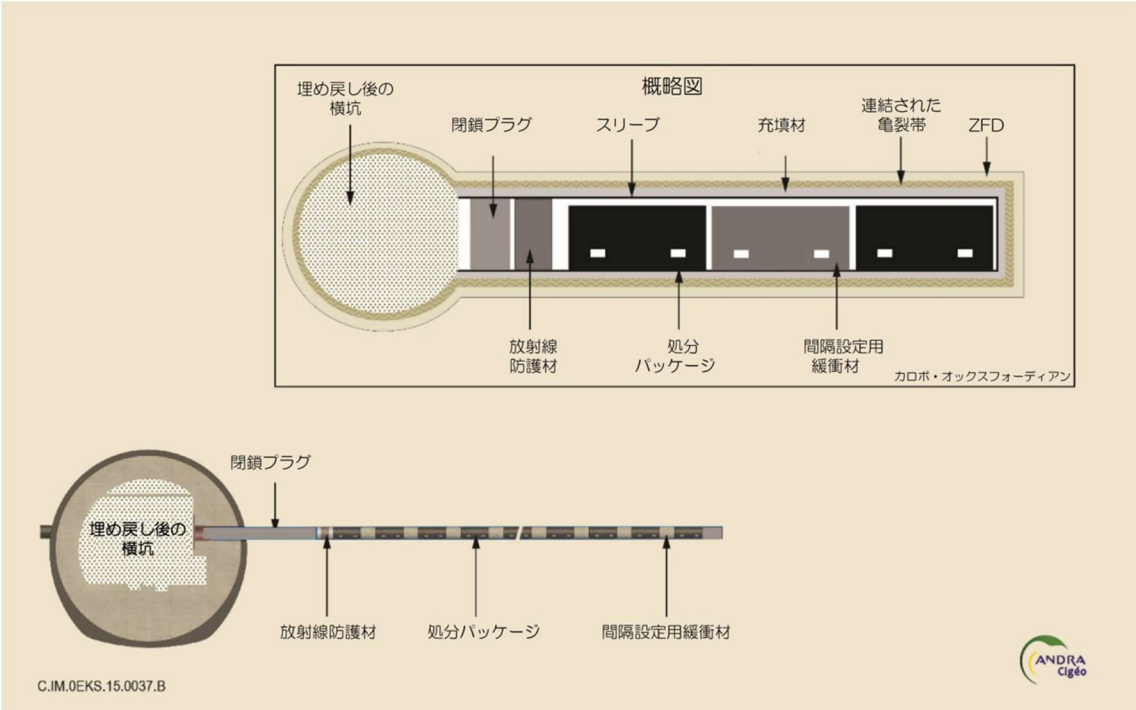
本テストケースでは、フランスにおけるモニタリング関連の規制要件としては、フランスの規制当局である ASN による「安全指針」等が示されている。この指針では Andra が、処分場建設時に実施してその閉鎖時まで継続する、また場合によっては閉鎖後にも実施するモニタリングプログラムを、事前に期待されていたことを確認するだけでなく、関連性の高いプロセスに関する知識を強化することを目的として作成することが勧告されている。

2016 年に Andra は、さまざまな安全オプションに関する説明を行う文書として Cigéo プロジェクトの『安全オプション文書』をフランスの規制当局である ASN に提出した。同文書では、施設の安全性を確保するために選択された目標、概念及び原則が提示されている。また同文書を提出することで Andra は、操業期間及び閉鎖後期間における安全確保の考え方及びアプローチに関する許認可申請の準備に関する助言を ASN から受け取ることができる。2019 年現在、Andra と規制組織の間で、モニタリングに関する規制枠組みに関する議論が進められているところである。

Andra は、「高レベル廃棄物」（HLW）をパリ盆地のカロボ・オックスフォーディアン粘土層内に立地される Cigéo 地層処分施設に処分する計画を立てている。同施設の設計では、HLW が処分セル（付図 1.2-4）と呼ばれる小口径坑道内に定置される。処分セルには、将来の決定次第で、廃棄物の定置プロセスを容易にし、回収可能性を強化するために低炭素鋼のスリーブを用いたライニングが施される。

Andra のモニタリングプログラムに設定された閉鎖後安全性と回収可能性に関する目標として、次のものが挙げられる。

- □ 廃棄物パッケージを回収する可能性のチェックを行うこと。
- □ 次に示すものによって閉鎖後安全性が予想通り確保されることのチェックを行うこと。
  - □ 操業期間にわたる処分場システムの変遷の追跡調査。その目的は、このシステムの変遷が予想通りのものであると確認することにある。
  - □ 長期安全性に影響を及ぼすさまざまなプロセスの理解に対する信頼の強化。




付図 1.2-4　フランスにおける HLW 処分セル設計の模式図（図中の「ZFD」は、掘削損傷領域の一部を構成する「離散亀裂域」）

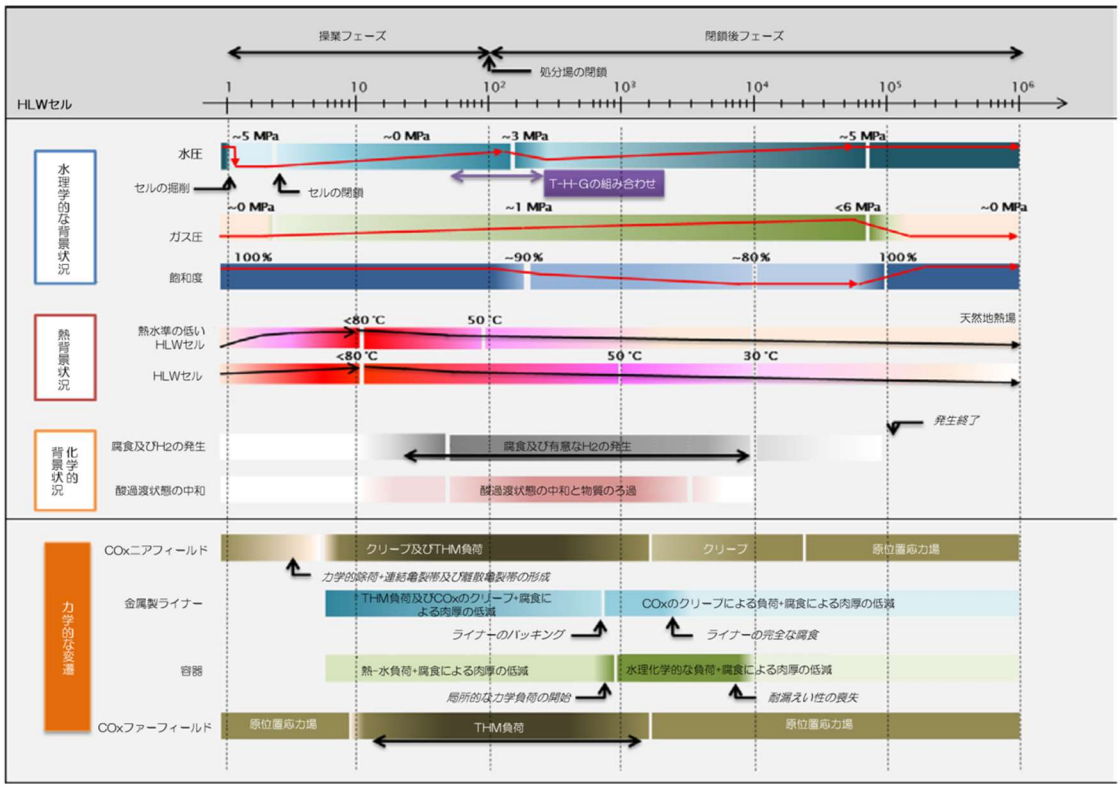
現在のところ、処分場モニタリングプログラムは、限られた数の処分セルに計装を施す方法が考えられている。モニタリング作業は、処分場操業期間に最初に設定された「パイロット操業フェーズ」と呼ばれる期間に開始されることになっており、このフェーズ中に、選択された全てのパラメータのモニタリングを可能にする計装が一部のセルに施される。

Andra は、パラメータを特定するため、処分セルとその周囲のニアフィールド岩盤で起こる可能性のある主要な現象論的プロセスに関する検討をもって開始する方法を採用している。これらのプロセスの組み合わせは、操業フェーズと閉鎖後フェーズにわたり処分セルとニアフィールドに予想される変遷に対応するものである。HLW セルに関しては次に示す 5 件の主要プロセスが特定されている。

- □ HLW ガラスによる発熱。
- □ 粘土母岩の経時的な変形。
- □ 熱-水-ガス過渡状態。
- □ 粘土母岩の酸化。
- □ 金属構成要素の腐食。

これらのプロセスは、4 つの主要素、すなわち「粘土母岩」、「処分セルの雰囲気」、「スリーブ」及び「オーバーパック」にかかわるものである。

付図 1.2-5 に、さまざまなプロセスに関する総括を示す。また、付表 1-17 に閉鎖後安全機能又は回収可能性機能とのつながりにおいて、何らかの実行可能な技術の検討に先立つ段階で選定されたパラメータを示す。さらに、付表 1-18 に技術的実現性の評価後のパラメータと技術オプションを示す。




付図 1.2-5　フランスの処分概念におけるさまざまなプロセスと、処分セル及びニアフィールドの変遷に影響を及ぼすこれらのプロセスの組み合わせに関する説明

付表 1-17　Cigéo テストケースに於いて閉鎖後安全機能又は回収可能性との関連で選定されたパラメータ（技術的実行可能性の検討前）

| 現象論的なプロセス | 機能（閉鎖後安全性又は回収可能性） | 下位機能 | 1 つの構成要素及び複数の機能と結びつく現象論的なプロセス | 選定されたパラメータ |
|---|---|---|---|---|
| HLW が発生させる熱 | 粘土母岩の有利に働く特性の維持。 | 熱及び熱力学的な擾乱の限定。 | ニアフィールド粘土母岩の熱変遷。 | 粘土母岩の温度。 |
| | | | 粘土母岩の熱誘発加圧。 | 粘土母岩の有効応力。 |
| | | 熱-水擾乱の限定。 | 処分セルの熱変遷。 | のオーバーパックの表面温度。 |
| | | | 粘土母岩の熱誘発加圧。 | 粘土母岩内の圧力。 |
| TH ガス過渡状態 | 廃棄物パッケージの回収。 | | 処分セルにおける $H_2$ の発生。 | $H_2$ の濃度。 |
| | 粘土母岩の有利に働く特性の維持。 | 熱-水擾乱の限定。 | 処分セルにおける $H_2$ の発生 ＝ 操業期間においては関連性が高くない。 | |
| | 放射性核種の放出の限定と、放射性核種の処分場内での固定化。 | 廃棄物の水からの保護。 | オーバーパックの腐食。 | 腐食反応速度。 |
| 粘土母岩の時間依存性の変形 | 廃棄物パッケージの回収。 | | 金属製スリーブの変形。 | スリーブの変位。 |
| | 放射性核種の放出の限定と、放射性核種の処分場内での固定化。 | 廃棄物の水からの保護。 | 金属製スリーブの変形。 | スリーブにかかる熱力学的な負荷。 |
| | 粘土母岩の有利に働く特性の維持。 | 長期的な力学的変遷の把握。 | 粘土母岩の力学的な変遷。 | 粘土母岩のクリープ。 |
| 金属製構成要素の腐食 | 放射性核種の放出の限定と、放射性核種の処分場内での固定化。 | 廃棄物の水からの保護。 | スリーブの腐食。 | 腐食反応速度。 |
| | 放射性核種の放出の限定と、放射性核種の処分場内での固定化。 | 廃棄物の水からの保護。 | オーバーパックの腐食。 | 腐食反応速度。 |
| 粘土母岩の酸化 | 放射性核種の放出の限定と、放射性核種の処分場内での固定化。 | 廃棄物の水からの保護。 | 充填物質による酸過渡状態の中和。 | 処分場セル内の水の pH。 |

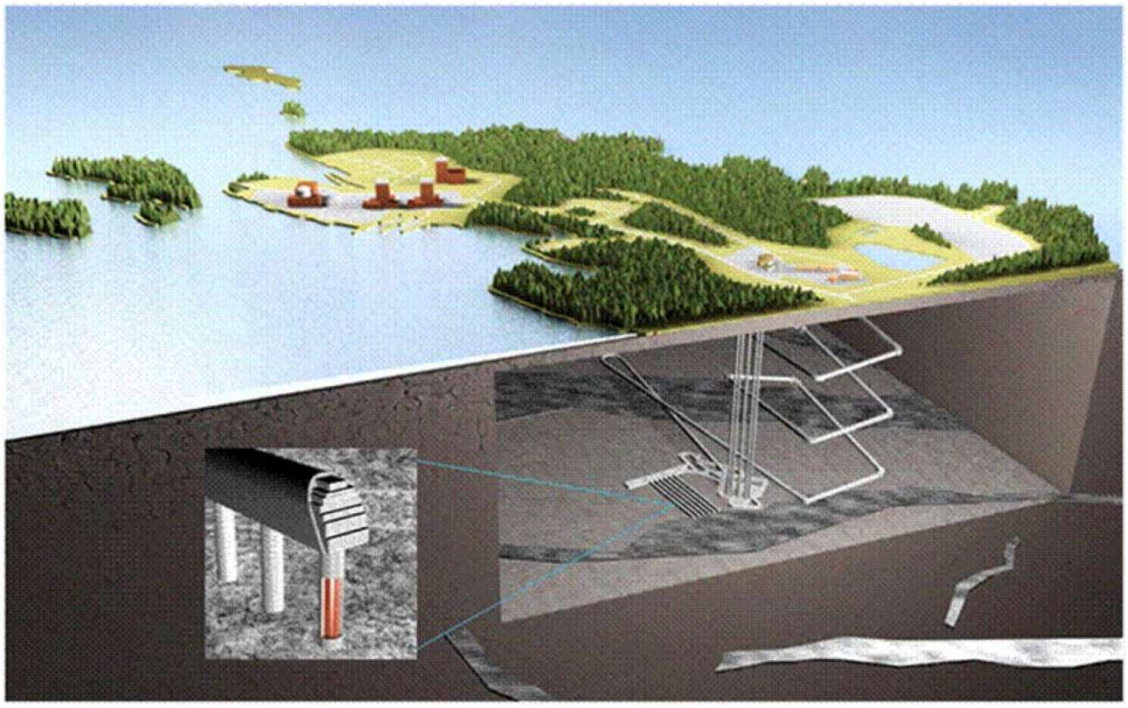
付表 1-18　Cigéo テストケースによるモニタリングパラメータ及び技術オプション

| パラメータ | 構成要素 | モニタリング・パラメータの論拠 | このテストケースの結果としてのモニタリングに関する技術オプション |
|---|---|---|---|
| 温度 | 処分セル/ニアフィールド岩盤 | 閉鎖後安全性及び回収可能性との関連性が高い（発生が見込まれる岩石変形に関する情報）。 | 一部のセルにおける、Pt プローブ及び/又は光ファイバセンサを使用した直接モニタリング。 |
| 間隙水圧 | ニアフィールド岩盤 | 閉鎖後安全性との関連性が高い（粘土母岩における熱誘発加圧に関する情報）。 | 振動弦又は光ファイバピエゾメータを使用した直接モニタリング。 |
| 封圧 | セルのスリーブに対する全圧 | 処分パッケージの回収可能性を明示する作業との関連性が高い（セルのスリーブにかかる力学的負荷に関する情報）。 | 一部のセルにおける、光ファイバセンサを使用した直接モニタリング。 |
| 変位 | セルのスリーブ | 処分パッケージの回収可能性を明示する作業との関連性が高い（セルのスリーブにかかる力学的負荷に関する情報）。 | 一部のセルにおける、光ファイバセンサ及び 3D スキャンを使用した直接モニタリング。 |
| 応力 | セルのスリーブ | 処分パッケージの回収可能性を明示する作業との関連性が高い（セルのスリーブにかかる力学的負荷に関する情報）。 | 一部のセルにおける、光ファイバセンサを使用した直接モニタリング。 |
| 水素濃度 | セルの雰囲気 | セルの雰囲気に関する情報を、処分パッケージの回収可能性に関するデータとして、また腐食の環境条件に関するデータとして提供する。 | 一部のセルにおける、LiDAR 及び/又は熱透気係数及び/又はガス密度及び粘度測定値を使用した直接モニタリング。 |
| 酸素濃度 | セルの雰囲気 | セルの雰囲気に関する情報を、処分パッケージの回収可能性に関するデータとして、また腐食の環境条件に関するデータとして提供する。 | 一部のセルにおける、LiDAR を使用したモニタリング。 |
| 相対湿度 | セルの雰囲気 | スリーブ及びオーバーパックの腐食に関する情報を提供する。この情報は、処分パッケージの回収可能性の明示と閉鎖後安全性（環境条件）との関連性の高いものである。 | 一部のセルにおける、容量センサを使用したモニタリング（電気コンデンサの基づくもの）。 |
| 間隙水の pH | ニアフィールド岩盤 | 閉鎖後安全性との関連性が高い（充填材の中和に関する情報）。 | 一部のセルにおける（pH 計に基づく）モニタリング。 |
| 肉厚 | セルのスリーブ | 処分パッケージの回収可能性を明示する作業との関連性が高い。 | 一部のセルにおける、腐食試験片を使用したモニタリング。 |
| | オーバーパック | 閉鎖後安全性との関連性が高い。 | 一部のセルにおける、腐食試験片を使用したモニタリング。 |
| 腐食速度 | セルのスリーブ | 処分パッケージの回収可能性を明示する作業との関連性が高い。 | 一部のセルにおける、電気抵抗プローブ及び試験片の質量喪失を用いた間接モニタリング。 |
| | オーバーパック | 閉鎖後安全性との関連性が高い。 | 一部のセルにおける、電気抵抗プローブ及び試験片の質量喪失を用いたモニタリング。 |

### (4) フィンランド、TURVA2012 テストケースの概要

各国のテストケースの例の一つとして、原位置でのモニタリングを少数に留め、実規模実証施設でのモニタリングや品質保証や品質管理による安全確保を行う傾向を示したフィンランド、Posiva 社による TURVA2012 処分概念に関するテストケースの概要を示す。

Posiva 社の使用済核燃料の地層処分概念は、KBS-3V という名称の処分場設計と現在処分場の建設が進められているオルキルオト・サイトのさまざまな特徴に基づくものである。この KBS-3V 設計（付図 1.2-6）において、使用済核燃料集合体は荷重強度を高める鋳鉄製インサートを伴う銅製キャニスタ内に収納され、これらのキャニスタが結晶質母岩内に掘削された処分坑道の床に掘削されたそれぞれの処分孔に鉛直方向に定置されることになっている。その上でキャニスタは膨潤性ベントナイト粘土緩衝材によって取り囲まれ、これによりキャニスタが基盤岩から分離される。



付図 1.2-6　TURVA 2012 テストケースで検討されたオルキルオト処分場の解説図

Posiva 社は下記のサブプログラムで構成されるモニタリングプログラムを設定している。

- □ 水理地球化学的状況。
- □ 岩石力学的状況。
- □ 地上環境。
- □ 水理学及び水理地質学的状況。
- □ EBS のモニタリング。

現在のところ EBS モニタリングに関するサブプログラムの開発はさほど進んでいない。Posiva 社のセーフティケース戦略では、処分場システムとその変遷に関する知識の大部分は研究所試験と原位置試験の組み合わせを通じて入手されるものと想定されている。また品質管理及び品質保

証手順が、処分場の施工完了時の状態が閉鎖後セーフティケースで設定された諸仮定に適合していることをチェックするために適用される。EBS 構成要素を対象に直接的に行われるモニタリングが果たす役割は限定的なものと見込まれている。この種のモニタリングは、当該 EBS へのアクセスが可能な状況においてのみ、すなわちその次のバリアが設置されるまでの期間のみ実施可能なものである。一部の EBS モニタリングについては、モニタリングを EBS 性能に影響を及ぼす母岩特性のモニタリングを通じて間接的に実施できるものと考えられている。

本テストケースに於いて、モニタリングパラメータのスクリーニング作業の出発点とされたのは、Posiva 社の要件管理システムの枠内で EBS のそれぞれの構成要素に設定されている性能目標であった。これらの性能目標は、当該目標が満たされた場合、その安全機能も果たされるものとして定義されている。それぞれの性能目標に関して、モニタリング対象とすべきプロセス及びパラメータを決定するため、Task2.1 で作成されたスクリーニング方法論ダイアグラム（付図 1.2-1）、Task2.2 における検討項目のリスト（付表 1-13）、Posiva 社の Modern2020 タスク・グループがこの目的のために事前に作成し､付表 1-19 の項目から成るテンプレートが用いられた。スクリーニングの例を付表 1-20 に示す。

スクリーニング結果としては、それぞれのパラメータに関して、次に示すような結果が提示されている（付表 1-21）。

- パラメータが保留される。
- 当該パラメータの調査が、品質保証（QA）/ 品質管理（QC）、実規模試験/実証設備、あるいは原位置単一構成要素試験を用いて行われる。
- 当該パラメータは操業フェーズの期間にわたりモニタリングされる。

このテストケースでは、スクリーニングの結果、キャニスタ、緩衝材及び埋め戻し材について、全てのパラメータを対象として QA/QC、実規模実証設備及び原位置試験を用いた調査が行われ、操業期間中の直接的なモニタリングは行われない。

地下水流動とその化学的な性質に関するモニタリングは（キャニスタ、緩衝材及び埋め戻し材に間接的に関係）、建設及び操業期間を通じて行われることになっている。これに加えて、坑道における地震活動度及び温度のモニタリングが（キャニスタ及び緩衝材に間接的に関係）、建設及び操業期間を通じて行われる。

原位置試験がキャニスタの幾何学的形状に関する知識を入手するために（設置時及び解体時に）適用されるだけでなく、緩衝材と埋め戻し材の両方にも、鉱物学、化学、幾何学的形状、乾式密度及びかさ密度、含水率（いずれも設置時及び解体時）、そして膨潤圧（センサを使用）に関する知識を取得するために、適用される。さらに、設置時及び解体時の多孔質構造のモニタリングが緩衝材とのかかわりにおいてのみ実施されるほか、相対湿度に関する（センサを使用した）モニタリングと、パイピング（水みち形成）及びエロージョン（浸食）に関する（解体時の目視検査による）モニタリングが、埋め戻し材のみを対象として行われる。

付表 1-19　モニタリング対象とすべきプロセス及びパラメータ決定のためのテンプレートに含まれる項目

1. EBS（キャニスタ/緩衝材/埋め戻し材）：モニタリングの必要性に関する要件が生じる EBS を決定する。
2. 性能目標（VAHA のレベル 3、2017 年 2 月付のドラフトに基づく）：目標又は限度、またモニタリングを行う必要性を示す。
3. プロセス：いずれのプロセスが性能目標に影響を及ぼすかを定義する。
4. 閉鎖後安全性との関連性が高く、価値のあるものか？：場合によって当該プロセスは関連性が高いものである可能性があるが、そのモニタリングによって付加価値が得られるわけではない場合、これらの設問はこのフェーズで検討される。
5. パラメータ：特定されたプロセスのモニタリングにいずれのパラメータを使用できるかを決定する。
6. 予想される変遷（パラメータ、プロセス）：プロセス/パラメータに何が起きると予想されているか、またそれが起きるのは操業フェーズ中なのか閉鎖後フェーズなのか。
7. モニタリング戦略及び技術オプション：モニタリングが実施可能な場合、それをどのように実施できるのかについて記述する。
8. 当該オプションは技術的に実行可能か？：この設問に対する「yes」又は「no」の回答は、モニタリング戦略と技術オプションにかかわるものである。
9. このプロセスのモニタリングのために十分かつ実行に適したパラメータが存在しているか？（この設問は試験の上で除外された。）：設問 8 の場合とほぼ同様に、当該パラメータのモニタリングは可能なのか？
10. 当該パラメータ/プロセスはモニタリング計画に含まれているか？：yes/no の回答を示し、可能な場合には詳細な説明を付け加える。
11. 不確実性及びこれらの不確実性にどのような対処がなされるのか：プロセスの展開、パラメータ測定、パラメータのプロセスへのつながりの提示、その他の同様の検討項目に関してどのような不確実性が存在するのかを列記

付表 1-20　緩衝材に関するモニタリングパラメータのスクリーニングの例

| EBS | 緩衝材 |
|---|---|
| 性能目標 | 緩衝材内の溶質にとって、拡散が支配的な移行メカニズムとなるべきである。このことは、透水係数が＜$10^{-12}$ m/s であることに対応する（L3-BUF-29）。 |
| プロセス | 1. 水の取り込み及び膨潤（均一化）。<br>2. エロージョン。 |
| 閉鎖後安全性との関連性が高く、価値のあるものか？ | 関連性は高いが、当該プロセスは時間を要するものであるため、モニタリングは価値をもたらさない。 |
| パラメータ | 1 と 2 の両方に関して、実規模/原位置試験において：<br>－ 開始時及び解体時の幾何学的形状。<br>－ 開始時及び解体時の密度（均一性）。<br>操業フェーズにおいて：開始時のさまざまな特徴、QA/QC（モニタリングは行われない）、処分孔 RSC からの入力情報のみ。 |
| 予想される変遷（パラメータ、プロセス） | システムは、長期的に見た場合には要求されている性能を発揮すると想定されており、拡散が支配的な移行メカニズムであり続ける。 |
| モニタリング戦略と技術オプション | － 設置フェーズと解体フェーズにおいて、モニタリングは実規模又は原位置試験の前後に実行可能である。<br>－ 操業フェーズ中にモニタリングは行われない。<br>－ QA/QC。<br>－ 建設後、処分孔の特性調査が行われる。<br>すでに特性調査済の孔を対象としてさらにモニタリングを行うかどうかは、当該孔が使用に先立ってどの程度の期間にわたって開かれた状態に維持されていたかに左右される。 |
| オプションは技術的に実行可能か？ | 実規模又は原位置試験では実行可能である。操業フェーズでは QA/QC のみ。 |
| パラメータ/プロセスはモニタリング計画に含まれているか？ | モニタリングプログラムには含まれないが、QA/QC によって取り扱われる。 |
| 不確実性及びこれらの不確実性にどのような対処がなされるのか | サンプルの代表性。<br>実規模/原位置試験からは、きわめて初期のフェーズ変遷に関する情報しか得られない。 |
| 測定されたパラメータから挙動まで | 実規模/原位置試験時のモニタリングにより、緩衝材挙動の予測に対する信頼を醸成することができる。 |

付表 1-21　TURVA 2012 テストケースで特定されたプロセス及び関連パラメータ。括弧内に示したパラメータは、実規模試験又は原位置試験に関して間接的な方法で実施される（たとえば周囲の地下水おいて）。

| プロセス | パラメータ | 構成要素 | スクリーニングの結果：どのように対処するか | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 保留 | QA/QC | 実規模試験 | 単一構成要素原位置試験 | 操業モニタリング |
| 地震事象、再活性化/変位 | 地震活動度モニタリング | キャニスタ | | | | | × |
| | 岩盤変位 | キャニスタ | | × | | | × |
| | 岩盤変位速度* | キャニスタ | × | | | | |
| 金属腐食 | 地下水化学（硫化物、酸素など） | キャニスタ | | | （×） | （×） | × |
| | 腐食電位 | キャニスタ | × | | | | |
| | 組成 | （キャニスタ）緩衝材及び埋め戻し材 | | × | × | × | |
| 氷河作用 | 最大限の長期的な圧力負荷、設計に関する検討項目 | キャニスタ | | × | | | |
| 応力再分布 | キャニスタの幾何学的形状の変化 | キャニスタ | | | × | × | |
| 熱伝達 | 温度** | キャニスタ | | × | × | × | |
| 鉱物の変質 | 緩衝材の組成 | （キャニスタ）/緩衝材 | | × | × | × | |
| 水の取り込み及び膨潤（密度の均質化） | 幾何学的形状 | 緩衝材 | | × | × | × | |
| | | 埋め戻し材 | | | × | × | |
| | 密度（乾燥密度及びかさ密度） | 緩衝材 | | × | × | × | |
| | | 埋め戻し材 | | × | × | × | |
| | 含水率、飽和度 | 緩衝材 | | × | × | × | |
| | 膨潤圧 | 緩衝材 | | | × | × | |
| | | 埋め戻し材 | | | × | × | |
| | 鉱物学的状況 | 緩衝材 | | × | | | |
| | | 埋め戻し材 | | × | | | |
| | パイピング及びエロージョン | 埋め戻し材 | | | × | × | |
| | 間隙構造 | 緩衝材 | | × | （×） | （×） | |
| 水の取り込み及び膨潤（飽和） | 含水率及び分布 | 埋め戻し材 | | | × | × | |
| | 相対湿度 | 埋め戻し材 | | | × | × | |
| | 圧力（埋め戻し材のさまざまな部分） | 埋め戻し材 | | | × | × | |
| | 鉱物学的状況 | 埋め戻し材 | | × | | | |
| | 乾燥密度 | 埋め戻し材 | | × | | | |

| プロセス | パラメータ | 構成要素 | スクリーニングの結果：どのように対処するか | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 保留 | QA/QC | 実規模試験 | 単一構成要素原位置試験 | 操業モニタリング |
| | 含水率 | 埋め戻し材 | | × | | | |
| | 相対密度 | 埋め戻し材 | | | × | × | |
| 水の取り込み及び膨潤（膨潤圧の発生） | 圧力（膨潤圧） | 埋め戻し材 | | | × | × | |
| | 圧力（プラグを通じて） | 埋め戻し材 | × | | | | |
| エロージョン | 密度（開始当初及び解体時） | 緩衝材 | | | × | × | |
| | | 埋め戻し材 | | | × | × | |
| | 漏出水の量及び組成（プラグを通じて/通過） | 埋め戻し材 | | | | | × |
| | 地下水組成 | 埋め戻し材 | | | （×） | （×） | × |
| | 膨潤性粘土の含有率 | 埋め戻し材 | | × | | | |
| | 幾何学的形状 | 埋め戻し材 | | × | | | |
| 浸出 | 鉱物学的状況 | 緩衝材 | | × | × | × | |
| | 化学的状況 | 緩衝材/地下水 | | × | × | × | × |
| 地下水涵養及び水の交換（希釈） | 地下水の化学的性質 | 緩衝材 | | | （×） | （×） | × |
| 変形 | 密度 | 緩衝材 | | × | | | |
| | 鉱物学的状況 | 緩衝材 | | × | × | × | |
| 水溶解度及び種分化 | 地下水の化学的性質 | 埋め戻し材 | | | （×） | （×） | × |
| | 化学的性質 | 埋め戻し材 | | × | | | |
| | 鉱物学的性質 | 埋め戻し材 | | × | | | |

* 岩盤変位速度は、閉鎖後セーフティケースに対する信頼度をさらに高めるためのモニタリングについては保留されているが、他の目標（たとえば保障措置理由）を満たすためにのモニタリング対象とされている。

** 温度は、非侵襲型の方法を用いてアクセス坑道から測定されることになる。

### 1.2.3. 成果報告書 D2.3：モニタリング結果への対応

成果報告書 D2.3「モニタリング結果への対応」は、Task2.3 の報告書である。本報告書の概要を、報告書の要旨より以下に示す。

Task2.3 の目的は以下の通りである。

- モニタリング結果の評価と対応のための計画に関する推奨事項と所見を設定する。
- 閉鎖後セーフティケースに対するさらなる信頼の構築に焦点を合わせたモニタリングが、処分場の操業および閉鎖中の意思決定にどのように貢献できるかを検討する。

モニタリング結果の評価では、個々の結果（つまり、潜在的に複数の場所および/または複数の種類のセンサを使用できる、同じパラメータのモニタリング）と、モニタリングデータの全範囲の統合的考察の両方を考慮する必要がある。個々の結果の評価は、処分場操業中に継続的に実施する必要があるが、統合評価は定期的に（たとえば、5～10 年ごとに、または特定のモニタリング結果によって促されたときに）実施する。

特定のパラメータを継続的に評価する場合、主な側面は、結果をパラメータ値の予測された領域と比較することである。 この評価では、次の 3 つのタイプの結果が想定される：

- モニタリング値と傾向は、パラメータ値の予測された領域と調和的である。
- 結果はパラメータ値の予測された領域と一致しないが、安全性には重要でない。
- 結果はパラメータ値の予測された値と一致せず、さらなる評価が求められる。

予測されたパラメータ値と矛盾する結果は、統合されたデータセットを考察する定期的な評価を行うための早期トリガーとして機能する可能性がある。

Modern2020 プロジェクトは、モニタリング結果の評価と対応のための計画に関する以下の推奨事項と所見を特定した：

- 全てのモニタリングパラメータ（全ての場所および全ての時間）の安全性への直接リンクを定義することはできない。
- 予期しないモニタリング結果が得られた際に実行できる行動を記述した対応計画を作成する必要がある。
- 予期しない処分場システムの挙動の詳細を事前に予測することはできないため、対応計画は柔軟性を持つ必要があり、対応は処分場システム全体の動作を考慮する必要がある。
- モニタリング結果の評価では、これまでに重要であるとは特定されていないプロセスの考慮が必要となる場合がある（ただし、既に処分場プロセスに関する広範な調査が行われているということは、新しいプロセスが特定されるべきでないことを意味する）。
- 通常、予期しない結果に対する最初の対応は、データの品質／解釈を確認し、安全性への影響を考慮することである。
- モニタリング結果は、時間と空間におけるパラメータ値の予想される変動と比較する必要がある。
- モニタリング結果に対応するには、特定のデータを継続的に評価し、モニタリングのデータセットを定期的に評価する必要がある。
- 定期的な評価は、継続的な評価の結果に応じて、および／または定期的に行われる場合がある。
- 対応計画には、モニタリング結果に対応するための組織構成を含める必要がある。
- モニタリング結果に対応するアプローチは、デスクベースの行動と物理的な行動で構成され

る一般的なアクションリストを考慮することでガイドできます。

- モニタリング結果への対応は、プログラム固有および国固有の手順と規制によって決定されるように、ステークホルダとの対話で行うことができる。
- 意思決定は複雑なプロセスであり、モニタリングは一つのインプットにすぎない。

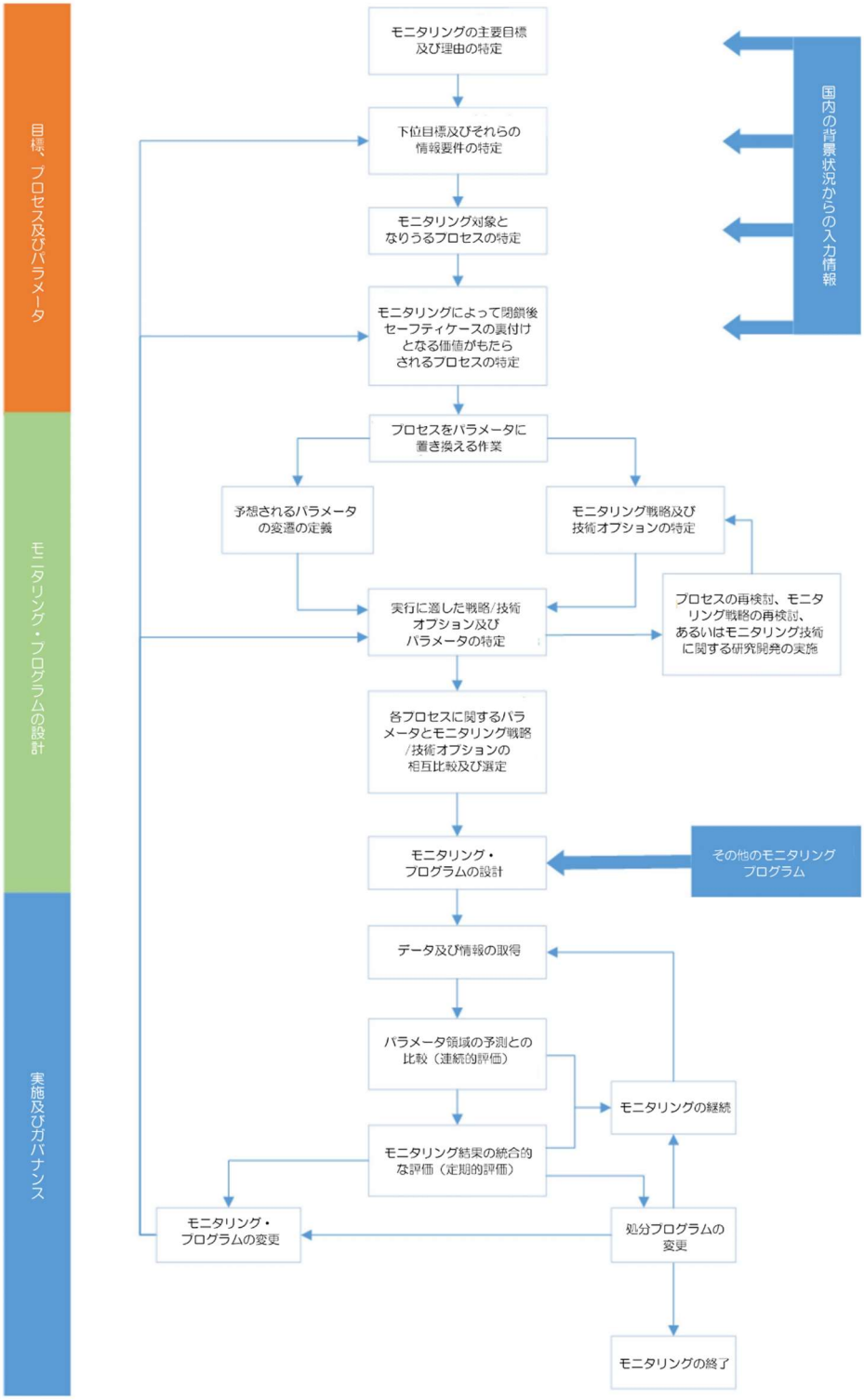
モニタリング結果への対応の計画は、次の一般的な対応の識別と説明に焦点を当てている：

- デスクベースの対応：
  -結果の確認
  -結果の報告
  -センサのパフォーマンスの評価
  -根本原因の分析
  -モデル／安全評価の修正
  -モニタリング計画の更新
- モニタリングプログラムの対応：
  -同じ方法でのモニタリング継続
  -モニタリングの変更
- 処分プログラムの対応：
  -操業の変更
  -設計の変更
  -工学的介入
  -可逆性／回収可能性

モニタリング結果への対応は、次の手順を含む段階的なプロセスと見なされる：

- データと情報の取得
- パラメータの予測値との比較
- モニタリング結果の統合的評価
- 同じ方法でのモニタリング継続
- モニタリングプログラムの変更
- 処分プログラムの変更
- モニタリングプログラムの終了

MoDeRn モニタリングワークフローの実施およびガバナンスの部分について、本報告書に示された推奨事項と所見、およびモニタリング結果への対応に用いられるプロセスの考慮により詳細が追加された（付図 1.2-7）。




付図 1.2-7　成果報告書 D2.3 の成果を反映したに MoDeRn モニタリングワークフロー

付表 1-22 に「成果報告書 D2.3：モニタリング結果への対応」の構成を示す。

付表 1-22「成果報告書 D2.3：モニタリング結果への対応」の構成

1 序文
1.1 背景
1.2 報告書の目的
1.3 報告書の範囲
1.4 アプローチ
1.5 報告書の構成
2 モニタリング結果の評価と対応に関する文脈
2.1 MoDeRn モニタリングワークフローとの関係
2.2 閉鎖後セーフティケースとパラメータの予測
2.3 モニタリングパラメータと技術
2.4 モニタリング結果によりサポートされるべき決定
2.5 要約
3 モニタリング結果の分類と関連する対応
3.1 連続的評価
3.2 定期的評価
3.3 一般的対応
3.4 要約
4 モニタリング結果への対応プロセス
4.1 モニタリング結果への一般的対応プロセス
4.2 MoDeRn モニタリングワークフローへの統合
5 結論
5.1 対応計画への提言と所見
5.2 モニタリング結果への対応
6 参考文献
付属書 A: ワークショップの議事と参加者
付属書 B: 炭素捕捉（Carbon Capture）と貯蔵モニタリングのレビュー
付属書 C: モニタリングにサポートされた意思決定：ANSICHT の例
C.1 模擬廃棄体フェーズ（Dummy Phase）に関する決定
C.2 試験フェーズ（Test Phase）に関する決定
C.3 処分とシーリングに関する決定
C.4 ドイツ ANSICHT ケースにおける信頼醸成（Confidence Building）及び関連する決定

## 1.3. WP3：モニタリング技術の研究開発

### 1.3.1. 成果報告書 D3.1：地層処分モニタリング関連技術統合報告書

成果報告書 D3.1「地層処分モニタリング関連技術統合報告書」は、Modern2020 の活動のうち、処分場や類似環境をモニタリングするための技術の研究開発を行う WP3 の成果を総括するものであり、結果のより詳細な説明は、成果物 D3.2、D3.3、D3.4、D3.5、および D3.6 に記載されている。

WP3 では、以前の MoDeRn プロジェクトにて示されたモニタリング技術のうち、現時点での技術の制限を克服するための研究開発を進めるべきと判断された技術を対象とした活動が実施された。以下に、報告書の要約を基に概要を記載する。

本報告書は、Modern2020 の WP3 で実施された研究の概要と、将来の放射性廃棄物処分場のモニタリングを達成するために残っている課題の概要を記述している。

WP3 では、以下の開発を行い、良好な結果を得た。

- 人工バリア等を対象とし、異なる周波数や通信距離を持つ地中無線データ送信技術
- 地中無線装置を対象とした、現在の一次電池に代わる代替電源技術
- 様々な光ファイバセンサを含む新たなセンサ技術
- 地球物理学的手法に基づく非侵襲的な（センサやケーブルが EBS の性能を低下させない）モニタリングの改善
- モニタリングシステムの構成要素の適格性を認定する方法論の開発

WP3 での活動により得られた進歩は著しいものであったが、以下についてさらに完成度の向上が望まれる。

- 無線データ送信技術に関して得られたソリューションの適格性確認
- エネルギー効率を改善するためのエネルギー供給に関する部品の統合と検証
- 光ファイバセンサの長期信頼性

付表 1-22 に「成果報告書 D3.1：地層処分モニタリング関連技術統合報告書」の構成を示す。

付表 1-23「成果報告書 D3.1：地層処分モニタリング関連技術統合報告書」の構成

1. 序文
  1.1 Modern2020 プロジェクトの構造
  1.2 背景：モニタリング技術の現状-MoDeRn プロジェクト(2009-2013)
  1.3 WP3 の目的
  1.4 本報告書の範囲
  1.5 本報告書の構成
2 WP3 のマネジメント構造
3 モニタリング技術の状況
  3.1 無線データ送信技術
  3.2 代替電源
  3.3 新規センサ
  3.4 地球物理学的手法 Geophysical methods
  3.5 モニタリング構成機器の信頼性及び適格性確認
4 技術成熟度レベル
  4.1 序文
  4.2 TRL レベルの適用と設定
  4.3 結論
5 ステークホルダの関与
6 全体結果と結論
  6.1 主要な結果
  6.2 結論
7 参考文献
8 付属文書
  8.1 宇宙分野において構成機器の適格性確認に使用する部品承認文書
  8.2 モニタリング構成機器適格性確認のための承認文書（ADOC：Approval Document）の例
  8.3 ステークホルダ向けの革新的技術のデータシート

### 1.3.2. 成果報告書 D3.2：処分場モニタリングのための無線データ送信システム

成果報告書 D3.2「処分場モニタリングのための無線データ送信システム」は Modern2020 の WP3 のうち、地中無線データ送信技術の開発を対象とした Task3.2 の成果をまとめたものである。報告書の要旨に基づき、以下に概要を記載する。

本報告書は地中無線データ送信技術の開発に関して、Amberg 社、ANDRA、Arquimea 社、ENRESA、EURIDICE、IRSN、NRG、RWMC、および VTT からの貢献を基に、NRG によって編纂された。

地中無線システムでは、ケーブルを使用せずに、バリアの安全機能を損なうことなく、天然バリアや人工バリアを介してモニタリングデータを送信することができる。対象となるバリアは、スーパーコンテナのコンクリート緩衝材、ボアホールのプラグ、処分セクションのシーリング、またはシャフトのシーリングなど多様であり、このため 1 メートル未満から数百メートルまでの距離を橋渡しできる、地中無線によるソリューションが必要となる。

データの無線伝送には、電磁波が空気中に於いて長距離を簡単に伝送できるため、今日では多くの用途で電磁波が使用されている。しかし、処分場の母岩とその中に含まれる水、または人工バリアシステムの構成要素である固体の媒体は、電磁波の伝播を妨げる可能性があり、従来の無線データ伝送のソリューションは、高周波（数百 MHz から GHz）を利用しているため、地層処分施設への適用が短距離（数メートル）に制限される。このため、より低い周波数（kHz から数 MHz）に基づいた、処分場モニタリングのための固有のソリューションを開発する必要性が高まっている。

Task3.2 は、Modern2020 プロジェクトの前の MoDeRn プロジェクトの結果に基づき、無線テクノロジーに関するニーズと現状の技術のギャップに対処することを目的としている。Task3.2 は 3 つの Subtask に分かれている。

- Subtask1：高周波数または中周波数に基づく既存の短距離（数十メートル）無線システムを改善する
- Subtask2：低周波数に基づく既存の長距離（数百メートル）無線システムを改善する
- Subtask3：さまざまな範囲の無線システムの組み合わせの使用を評価して、完全なデータ送信ソリューションを提供する

本報告書は、Task3.2 に下記のパートナーの作業をまとめたものとなっている。

·Tournemire URL での無線テストベンチ（WTB）の実装（IRSN、ENRESA および Aitemin）
·水和したシーリング材を対象とした短距離データ伝送システムの範囲の拡大（Aitemin 及び Arquimea）
·125 kHz ベースの短距離データ伝送システム（VTT）の開発
·長距離データ伝送システムの理解と改善（ANDRA）
·無線中継戦略の実装によるロバストな長距離データ伝送の実現（RWMC）
·コマーシャルベースの無線技術 Through-the-Earth の適用の評価（Amberg＆ENRESA）
·WTB における振動弦センサ用小型地中無線送信装置のテスト（ANDRA）
·スーパーコンテナ緩衝材の背後にある mINT インテロゲータと無線送信装置のリンク（EURIDICE）
·Tournemire URL における処分セルの内部から地表への無線データ送信システムの組み合わせの評価（Amberg、Arquimea、IRSN、および NRG）

Task3.2 では、EBS の構成要素または母岩を介してデータを送信できるソリューションを理解、設計、および実証する上で大きなステップが達成された。 0.1m から 275 m 以上までの伝送距離をカバーする、さまざまな技術的ソリューションが開発、テストされており、さまざまな適用状況、処分概念、母岩をカバーしている。また、基礎となる技術的および物理的原理のより深い理解が達成され、提供されたソリューションは現実的な条件下でテストされた。

開発された技術の性能は多くの要因に依存しているが、地下での 275 m の距離での消費電力が 5 mWs/bit 未満のデータ送信や、4 m 以上の（部分的に）飽和したバリアにおける消費電力が 1 mWs /bit 未満のデータ送信が可能となった。

Tournemire URL、Hades URL、および ANDRA URL で得られた経験は、300 m を超える距離での長距離伝送も達成できるという確信を高めるものであった。現場での測定から伝送時の挙動を定量化する方法が開発され、成功裏に適用されており、比較的少ない労力で適用対象となる場所でのデータ伝送のための必要電力を推定できるようになった。また、地下の処分場から地表への単一の段階でのデータの直接送信に加えて、処分施設から地表への複数の段階でのデータ送信を特徴とする中継システムが提示された。

1～30 m の距離を対象とした短距離データ伝送に関しては、4 kHz～2.2 MHz の周波数で動作するいくつかのオプションが利用可能である。これらの技術にはそれぞれ独自の利点があり、すべての技術で固体媒体を介したデータ転送の成功が実証されている。

統合アプローチでは、処分セルの内部から Tournemire URL の地表へのデータ伝送を可能にする全体的な伝送チェーンの可能性が評価された。さまざまな短距離および長距離の専門知識とソリューションを組み合わせることで、2 段階の無線伝送チェーンが想定され、Modern2020 の WP4.3 の一部として 2018 年後半に実証されている。

付表 1-24 に「成果報告書 D3.2：処分場モニタリングのための無線データ送信システム」の構成を示す。

付表 1-24「成果報告書 D3.2：処分場モニタリングのための無線データ送信システム」の構成


1. 序文
2. Task 3.2 の目的
3. 報告書の対象範囲
4. 処分場モニタリングにおける無線データ送信
  4.1. 無線データ送信の原理
  4.2. 処分場モニタリングにおける無線技術の現状
5. 短距離無線データ送信システム
  5.1. 無線テストベンチ(WTB)の実施
  5.2. 浸潤するシーリング素材中における動作領域の拡大
  5.3. 125 kHz の無線データ送信システム
  5.4. 商用技術「Through-the-Earth」の適用と試験
  5.5. 考察と結論
6. 長距離無線データ送信システム
  6.1. 長距離送信システムの理解と改良
  6.2.無線モニタリングシステムの改良と中継システムの開発
  6.3. 考察と結論
7. 異なる領域の無線技術の結合
  7.1. 小型化無線送信装置と振動弦式センサ用インターフェースの WTB における試験
  7.2. スーパーコンテナにおけるコンクリート緩衝材内部の無線モニタリングシステムの評価
  7.3. 異なる領域の無線技術の結合に関する評価
  7.4. 考察と結論
8. 全体の結論
  8.1. 序文
  8.2. 短距離データ送信
  8.3. 長距離データ送信
  8.4. 結合による解決策
  8.5. 現在の最新技術
  8.6. 展望
9. 参考文献

### 1.3.3. 成果報告書 D3.3：処分場モニタリングのための長期電力供給源

成果報告書 D3.3「処分場モニタリングのための長期電力供給源」は、無線センサ装置の寿命を現在の電源である化学電池の寿命を越えて、数十年まで延長できる、放射性廃棄物処分場の無線センサ装置のエネルギー供給ソリューションを開発および実証することを目的とした Task3.3 における成果をまとめたものである。

報告書の要旨に基づき、以下に概要を示す。

本報告書は、Andra、Arquimea 社、NRG、Orano 社、RWMC、および VTT による貢献を統合し、VTT によって編纂された。

Task3.3 の目的は、無線センサ装置の寿命を現在の電源である化学電池の寿命を越えて、数十年まで延長できる、放射性廃棄物処分場の無線センサ装置のエネルギー供給ソリューションを開発および実証することであるが、エネルギー供給のソリューションは、バリアの安全機能を損なうような、バリアを通るケーブルの必要性も排除する必要がある。

先行プロジェクトである MoDeRn プロジェクトの結果に基づき、Modern2020 プロジェクトの Task3.3 は、処分場における無線モニタリングセンサに関連する長期電源技術に焦点を当てており、次の Subtask が含まれている。

- Subtask1：低温度勾配からのエネルギー収穫（Energy harvesting：温度差発電）（NRG が実施）
- Subtask2：エネルギー貯蔵（Arquimea 社が実施）
- Subtask3：無線エネルギー伝送（NRG および VTT が実施）
- Subtask4：小型原子力発電装置（放射性同位体熱電気変換器、RTG）（ANDRA、Orano 社、RWMC が実施）

本報告書に於ける分析とパイロットシステムは、提案された 3 つの電力供給技術（熱電エネルギー収穫、無線エネルギー伝送、原子力発電装置）が処分場のモニタリングのため無線センサユニット（WSU）に供給するエネルギーの生成に関連し、実行可能であることを示している。しかしこれらの技術は、出力と適用方法に明確な違いがある。ほとんどの場合、電力の供給に加えて、センサと通信に十分な電力を賄うために、供給されたエネルギーを蓄積する中間エネルギー貯蔵が必要である。また、これには、WSU の低負荷サイクル動作、つまり、センサ測定と無線通信の短い活動サイクル間の長いエネルギー蓄積期間（たとえば数時間または数日間）に基づく動作シナリオが必要である。この動作シナリオでは、センサと通信装置は超低電力のスリープモードに維持されるか、まったく電力が供給されず、超低電力のウェイクアップ回路によって定期的にアクティブとなる。この種の WSU 配置では、10μW 程度までのレベルの電力供給が利用可能である。

処分環境での電源供給技術の具体的なパイロット事例とその検証結果の報告に加え、本報告書では設計パラメータを調整することで電源供給の容量のスケーリングに関する理解を改善した。さらに、電源環境の動作とパフォーマンスに対する処分場環境の影響に関する理解が向上した。これらは、処分場における完全な無線モニタリングシステムに向けた後続の活動において非常に重要である。

また、電力供給能力、センサと通信装置の電力需要、必要な寿命と環境条件に応じた、中間エネルギー貯蔵サブシステムの設計に関する理解を改善した。これは処分場全体をモニタリングする WSU の性能と信頼性の重要な部分となる。これは、特にエネルギー貯蔵コンポーネントの寿

命（エージング）と自己放電に関係している。再充電可能なバッテリ、静電二重層スーパーキャパシタ、新しいタイプの擬似キャパシタなどのいくつかのエネルギー貯蔵技術が市販されているが、処分場モニタリングのための WSU のすべての要件を満たすエネルギー貯蔵サブシステムの設計は困難な作業であり、要件と設計の間での反復作業が必要になる場合がある。

Task3.3 の作業は、センサによる測定や無線通信など、将来の完全な WSU の他の機能を持たない独立したサブシステムとしてのエネルギー供給の開発と実証に主に焦点を当てている。達成された TRL レベルは、調査された技術に応じて 3～5 である。

Modern2020 プロジェクトの後の後続のステップでは、より完全な構成要素としてのエネルギー供給パーツのさらなる開発、実証、および検証を対象とする必要がある。また、包括的な処分場モニタリング戦略に従って、より完全な処分場モニタリングシステムの統合、実証、および検証を対象とする必要がある。これらのパイロットシステムには、エネルギー供給に加えて、センサと通信装置、ターゲットとなる処分場環境に耐えられるカプセル化、および処分場バリアの背後にあるシステムの構成要素も含める必要がある。これらの包括的な処分場モニタリングのパイロットシステムの検証は、最終的な処分場環境を可能な限り模擬する環境で行う必要がある。さらに、処分場環境では設置後のデバイスの修復ができないため、今後の活動では、冗長性、ドリフトのマージンとコンポーネントの出力低下を考慮した設計、認定およびスクリーニング手順など、信頼性を向上させるための手段も含める必要がある。

付表 1-25 に「成果報告書 D3.3：処分場モニタリングのための長期電力供給源」の構成を示す。

付表 1-25「成果報告書 D3.3：処分場モニタリングのための長期電力供給源」の構成

1. 序文
2. Task 3.3 の目的
3. 報告書の対象範囲
4. 処分場モニタリングのための無線センサ装置の電源の概念
5. 低温度勾配場からのエネルギー収穫（Energy harvesting：温度差発電）
  5.1 序文
  5.2 概念の記述
  5.3 実現可能性の分析
  5.4 試験の設定
  5.5 適用事例における性能分析
  5.6 結論
6. 無線電力伝送
  6.1 序論
  6.2 媒体との相互作用が無い場合の実現可能性の分析
  6.3 低導電率の母岩中での通信を伴う無線電力伝送のパイロット試験
  6.4 高伝導率の媒体中での無線電力伝送
  6.5 無線電力伝送に関する全体の結論
7. 小型化原子力発電機（nuclear generators：放射性同位体熱電気転換器（RTG））
  7.1 序論
  7.2 最新技術
  7.3 地層処分のための RTG の設計
  7.4 モデリング
  7.5 経済的側面と潜在的商用化
  7.6 結論
8. 蓄電（Energy storage）
  8.1 序論
  8.2 要件
  8.3 蓄電技術
  8.4 要約と結論
9. 全体の結論
  9.1 主な結論の概要
  9.2 電源
  9.3 蓄電
  9.4 システム総合
  9.5 信頼性の改善
10. 付属文書
11. 参考文献

### 1.3.4. 成果報告書 D3.4：処分場モニタリングのための新規センサ

成果報告書 D3.4「処分場モニタリングのための新規センサ」は、処分場環境でのモニタリングのための新規センサの開発を目的とする Task3.4 の成果をまとめたものである。以下に報告書のエグゼクティブサマリーを基に Task3.4 における開発の概要を示す。

Task3.4 では、地層処分場に予想される電離放射線の存在と腐食性の条件等の過酷な条件下にてセンサの寿命を延長することを目的として、センサコンポーネント（設計、材料、装甲など）の耐久性の向上に焦点を当てている。特に、光ファイバセンサまたは複合センサを組み込んだマルチパラメータケーブルを使用した統合システムの開発を示す。

Task3.4 では、非侵襲的な（センサやケーブルが EBS の性能を低下させない）手法を開発しており、モニタリング結果を相互相関させることを可能にするため、モニタリング可能な物理的特性の範囲の拡大を目指している。

R&D プログラムの概要を以下に示す。

トピック 1：光ファイバ技術：

- 以下に適応するカスタムメイドのファイバブラッググレーティング（FBG）の研究。
  - (i)フェムト秒パルスレーザーにより特殊光ファイバに写真刻印（photo-inscribed）された FBG に基づく放射線センサ
  - (ii) 白金がドープされた酸化タングステン製の触媒感受性層に囲まれた FBG に基づく水素センサの改善
  - (iii) シリカゾルゲルマトリックスにカプセル化された pH インジケーター（ブロモフェノールブルー）からなる微孔性コーティングで覆われた傾斜 FBG に基づく pH センサの開発
- 温度、ひずみ、水素、放射線の 4 つのパラメータの分散測定を個別にまたは同時に提供するためのオプトエレクトロニクスセンシングチェーンの開発（設計、実現、およびテスト）。光ファイバドーパントとプライマリコーティングの大きな影響を利用して、1 つのパラメータのみの影響を強化し、他の 3 つのパラメータの影響をアニーリングする。この野心的な目標を達成するために、システムは 2 つまたは 3 つの散乱測定、つまりブリルアン散乱、レイリー散乱、およびラマン散乱の測定に依存する。
- 加熱可能な光ファイバケーブルによるEBSの熱伝導率、密度、および含水量の光ファイバ分散センシングの方法開発、およびボアホール用の光ファイバ圧力セルの開発。

トピック 2：非接触技術

- バリアシステムに埋め込まれる新しい短距離変位センサの非接触技術の研究。 この種のセンサは、標準的な伸縮計の使用により形成される EBS 中の優先パス（水みち）の問題を解決する。

トピック 3：化学パラメータ

- イオン選択電極の開発と適応。$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$、$Na^{+}$、$K^{+}$、$S^{2-}$、および $H^{+}$イオンの活性により、化学プロセスを長期的に監視する。研究結果は、既存のモデリング、解体サンプルからの化学分析、および圧縮ベントナイトの微細構造に関する研究と比較される。圧縮ベントナイト中で動作する電極をテストした後、実験室または現場試験で化学パラメータを観察するために活用可能とする。
- より正確な露点法で動作する熱電対乾湿計に基づいた新しいセンサの開発。飽和状態に近づいたときのベントナイトバリア内の水分量を測定する。

トピック 4：複合測定

- 処分場に設置されるセンサの体積と必要エネルギーを減らすための、THMC センサを組み合

わせた開発。全圧、温度、間隙水圧、およびオプションの湿度を測定するための小さな複合セルが開発される。 また、同じ精度と正確度（precision and accuracy）を維持しながら、既存の全圧セルの弱点（セルとトランスデューサを接続するチューブ及び大きなサイズ）を排除するように設計される。提案されたトランスデューサと電子機器の統合は、デジタルデータの提供により信頼性を改善する。

付表 1-26 に「成果報告書 D3.4：処分場モニタリングのための新規センサ」の構成を示す。

**付表 1-26「成果報告書 D3.4：処分場モニタリングのための新規センサ」の構成**

| |
|---|
| 1. 概要紹介 |
| 1.1 背景 |
| 1.2 Task 3.4 の目的 |
| 1.3 アプローチ |
| 1.4 文書の対象範囲 |
| 2. 光ファイバ技術の開発 |
| 2.1 光ファイバ及び関連センサ：基本に戻る |
| 2.2 FBG 技術に基づく放射線、H2 及び pH センサ(University of Mons) . |
| 2.3 地層処分環境における放射線、H2、歪み及び温度の分布測定システムの設計と性能(ANDRA, Xlim) |
| 2.4 EBS の熱伝導度、密度及び水分量の調査のためのアクティブ DTS (Nagra) |
| 3. 非貫入性の技術 |
| 3.1 序文 |
| 3.2 目的 |
| 4. 化学センサ |
| 4.1 化学測定に関する改良と新規開発 |
| 4.2 水分量測定のための熱電対サイクロメータ |
| 5. 一体型スマートセンサ |
| 5.1 目的 |
| 5.2 目的（原文ママ） |
| 5.3 機械的構成 |
| 5.4 第 1 バージョン |
| 5.5 第 2 バージョン |
| 5.6 電子機器 |
| 参考文献. |

### 1.3.5. 成果報告書 D3.5：処分場モニタリングのための地球物理学的手法

成果報告書 D3.5「処分場モニタリングのための地球物理学的手法」は、地層処分場のモニタリングへの地球物理学的手法の適用方法を検討する Task3.5 の成果をまとめたものである。以下に報告書の要約より概要を示す。

地球物理学的手法は、放射性廃棄物処分場を非侵襲的にモニタリングするための優れた手段を提供する。Task3.5 では、地震および地電気的手法を検討している。

これまでの研究に於いて、処分場外の安全な距離で取得したデータを使用して、処分場内の物理的特性の微妙な変化を描写するために最も有望なオプションである地震波全波形逆解析（Seismic full waveform inversion, FWI）が特定されている。これまでは、特に粘土環境における母岩の顕著な異方性により、処分場モニタリングへの FWI 技術の適用は不可能であったが、新しいモデルのパラメータ化手法の開発により、この問題は Modern2020 のフレームワークで対処することができた。さらに、構造的制約の組み込み、つまり異なる物理パラメータに構造的類似性を強制することにより、FWI のアルゴリズムの品質と信頼性がさらに向上した。これは、合成データと、Mont Terri 岩盤研究所で取得したフィールドデータセットに於いて実証された。

2 つの連続した試験の間の小さな微分変化のより良い特性評価のために、新しい微分トモグラフィ方法論が開発された。この方法論は、走行時間と振幅の反転が適用されたフィールドデータセットに於いてテストされた。この新しい方法論は、FWI の問題に容易に移行できるものと期待されている。

FWI 技術には、広範なデータ分析と大量のコンピュータリソースが必要である。したがって、処分場の時間的変化を検出できるが、必ずしもイメージ化されない、迅速で安価なツールを使用できるかどうかがチェックされた。そのために、異常検出アルゴリズムが開発され、フィールドデータでテストされる予定である。

地震法に加えて、電気的手法は、処分場のモニタリングに役立つ情報を提供できる。したがって、地電気および誘導分極データのトモグラフィアルゴリズムが確立され、実験室データでテストされた。これらのトモグラフィの逆解析から得られた電気パラメータを温度や水分などの関連する物理パラメータ変換するために、キャリブレーション測定が実行され、これらのパラメータ間の構成的な関係が確立された。Modern2020 プロジェクトの結果として得られた地電気技術の開発は、現在、Tournemire の実証施設における試験の枠組みに於いて検証されている。

付表 1-27 に「成果報告書 D3.5：処分場モニタリングのための地球物理学的手法」の構成を示す。

付表 1-27「成果報告書 D3.5：処分場モニタリングのための地球物理学的手法」の構成

1. 序文
2. 地震波全波形逆解析（Seismic full waveform inversion）（ETH）
   2.1 背景情報
   2.2 方法論的開発
   2.3 実験データによる検証
   2.4 考察、結論及び展望
3. 波形位相データを用いた微分トモグラフィー(ETH)
   3.1 背景情報
   3.2 法論的開発
   3.3 実験データによる検証
   3.4 考察、結論及び展望
4. 異常検出（TUL）.
   4.1 背景情報
   4.2 法論的開発
   4.3 実験データによる検証
   4.4 考察と結論
5. 地電気および誘導分極トモグラフィー（Geoelectric and Induced Polarization Tomography）（VTT）
   5.1 背景情報
   5.2 法論的開発
   5.3 実験データによる検証
   5.4 考察と結論
6. 電気的パラメータと温度及び含水率の構成的関係のキャリブレーションと検証（STRATHCLYDE）
   6.1 背景情報
   6.2 法論的開発
   6.3 実験データによる検証
   6.4 結論
7. 全体の結論
8. 付属文書
   8.1 電気的パラメータと温度及び含水率の構成的関係のキャリブレーションと検証
9. 参考文献

### 1.3.6. 成果報告書 D3.6：構成機器の信頼性及び適格性確認

成果報告書 D3.6「構成機器の信頼性及び適格性確認」は、地層処分のモニタリングに用いられる機器の信頼性や適格性の確認手法について検討を行った Task3.6 の成果を取りまとめたものである。本報告書の要旨より、本報告書の概要を示す。

報告書は、地層処分場におけるモニタリングの構成要素（センサ、接続ケーブル及び/又はワイヤレスシステム/コントローラ）の適格性確認を行う方法論の検討に関する進捗状況をまとめており、次のものを含む分析の成果として作成された：

i）他の産業分野で入手され、処分場分野への移転が可能な経験に関する調査
ii）処分場で予想されるものに近い条件に対応するケーススタディの分析
iii）モニタリング構成機器の選定及び試験に伴う適格性確認プロセスの開発に関連する取り組み
iv）全てのモニタリング関連状況にとって適切な包括的なプロトコルの提案

別分野の分析を行う目的は、他の産業においてモニタリング構成機器のエイジングを意図的に加速させることで適格性確認を行うプロトコルについてまとめることにある。この分析は、エネルギー分野の EDF 社と及び宇宙分野の「欧州宇宙機関」（ESA）に関する文献調査を通じて行われた。

EDF 社に関する成果により、次に挙げる 3 件の主要タスクを通じて実行される「選定及び適格性確認プロセス」が示されている：

i）技術の進展状況の監視を今後も継続するための追加的な機材及び供給業者の選定
ii）ラボ施設レベルでの適格性確認で、計測特性、影響量に対する感度試験、機能及び人間工学面での特徴の検証、適用されている基準の遵守に関する検証、ロバスト性及びエイジング試験
iii）実際の構造物あるいは大スケール・モックアップを対象に実施されるサイト内適格性確認

宇宙分野に関して欧州では、「宇宙での用途に関する適格性確認」を行うために独自の「認定組織」、すなわち ESCC（European Space Components Coordination：欧州宇宙構成機器協会）が設立されている。ロケットの発射（振動）又は宇宙における諸条件（真空、温度及び放射線など）に起因するさまざまな影響パラメータが存在するにもかかわらず、その適格性確認プロセスはエネルギー分野と類似している。構成機器の選定は、正式認可を受けた企業（すなわち SAFT 社、TRAD 社及び IAS 社）のみが実施することができる。その中には性能、設計、機能役割（operation）、環境、製造及び試験に関する分析が含まれる。構成機器の試験を行うためには、スペースシミュレータ、制御された清浄環境、熱真空空間循環、振動ポット及び照射施設の分野において適格性確認のための一連の活動を実施する必要があり、適格性確認は「部品承認文書」（PAD）への記入が完了し、署名がなされることによって達成されたものと見なされる。地層処分施設に関してはロバスト性、長寿命電源及び情報伝達の最適化などが必要とされることから、地層処分分野とエネルギー及び宇宙分野の間の共通性の存在が示されている。

これらの企業のモニタリング構成機器の適格性確認プロセスでは、常に下記の 3 つの段階が検討されている。

i）構成機器の選定
ii）ラボ施設での適格性確認
iii）サイト内適格性確認

本研究の第 2 の部分では、処分場に近い条件のもとで作動するモニタリング構成機器の運用に関するケーススタディの分析を行う。その主な意図は、エイジング、精度、長期間のうちに起こり得るドリフト、設置されるセンサの頑健性などに関する情報を入手することにある。この作業は、URL 又は大型モックアップで実施された特定の原位置試験、長期試験又は実証試験を用いて行われた（すなわち、GCR、FEBEX、SEALEX、POPLU 及び PROTOTYPE）。試験のタイプ（長期的なものか実証型のものか）、現状（すでに解体されているか進行中であるか）、目標、手段、センサの残存率に関する主な結果、故障原因（存在する場合）、そして実施可能な改善点などの面から分析が行われ、さまざまな教訓が得られている。

最初の所見は、さまざまな試験が数年間（すなわち 10 年未満）にわたるものでしかなく、この期間が地層処分場の操業フェーズの期間をはるかに下回るものだということである。

2 点目として、さまざまな長期試験及び実証試験の分析により、その時点で最善の技術解決策が厳格な方法で選定されているものの、次の改善点が指摘されたことが挙げられる。

1）有線センサに関しては、振動弦手法や光ファイバ分布型センシングなどの受動的な測定方法が優先されており、この種の方法においてケーブル沿いに水の流動経路が存在しないことを明示するためには比較的長い記録期間が必要とされる。漏出の発生が想定される場合には無線技術が使用されるべきであり、またケーブルのサイズ及び数が制限されるべきである。ケーブルは、その耐用年数を長くするために、その外装を強化し、耐食性を高めるべきである。

2）無線センサに関しては、多くの問題は、ベントナイトを主とするシール材の膨潤が起こる期間に生じている。そして大部分の改善点は、自由水による短絡を回避するために送信機とセンサの間の隔離の強化や、バッテリの供用期間の延長に関わるものである。

本研究の第 3 の部分では適格性確認プロセスの開発のためのさまざまな取り組みを扱い、処分場モニタリングシステムで使用される可能性のある構成機器の選定及び試験に関するプロトコルを提示することを目的とする。

最初のステップでは、構成機器の選定を取り扱う。このプロトコルは主として宇宙及びエネルギー分野の活動から着想を得たものである。この選定プロセスによって次に示す点の検証が行われるべきである：

i）計測特性及び性能
ii）機能、作動及び人間工学特性
iii）設計、現行基準の遵守
iv）影響パラメータに対する感度
v）要求される最低限の「技術成熟度レベル」（TRL）の数値
vi）品質及び製品保
vii）試験条件（評価・適格性確認計画、試験方法及びスクリーニングの定義を伴う）

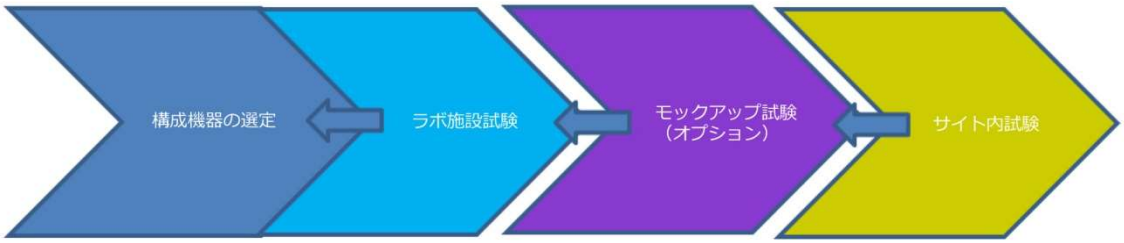
適格性確認プロセスの第 2 のステップでは、ラボ施設条件又は現実の使用条件のもとでの構成機器の試験を取り扱う。ラボ施設試験に関して 2 つのカテゴリ、すなわちロバスト性の試験とエイジング試験が特定されている。これらの試験の目的は、システム又は構成機器が、高いストレスがかかる環境条件が存在する状況においてどの程度まで正しく機能できるかに関する見積りを行うことにある。

エイジング試験は、当該プロセスを人工的に加速することにより、使用期間の経過に応じて生じる通常の劣化が検討対象とされている。その例として特に、Modern2020 の枠組みで IRSN

（IRMA）及び CEN-SCK（RITA）施設においてで開発された新規センサを対象に、「総電離線量」（TID）がそれぞれ 0.1 MGy 未満及び 1 MGy の条件で実施された照射試験の事例が挙げられる。試験の大部分は光ファイバに関するものであり、その DGR への組み込み関してきわめて有望な結果がもたらされている。

現場試験では、現実的な使用条件のもとで測定チェーン全体の試験を計測面及び機能面で行うことが可能となる。しかし当面は、ダミーサイト内試験として役立つことができるのは、サイト内/サイト外のラボ施設における、あるいは大型モックアップにおける地下長期試験に使用される実証装置のみである。Andra が提案しているようなモニタリング戦略では、将来の処分場においてモニタリング目標を達成するために用意された何らかの「犠牲（sacrificial）」、「監視（surveillance）」又は「確認用（witness）」構造物を使用することも示唆されている。

最終的にモニタリングシステムのそれぞれの構成機器に適用可能な適格性確認の多段階方法論は、付図 1.3-1 に示すような全体的な概略図としてまとめることができる。




**付図 1.3-1　地層処分場におけるモニタリング構成機器の適格性確認に関する概略図**

本報告書で提案されている全体的な適格性確認プロトコルは、他の分野と同じ 3 つの連続したステップを、オプションとして大スケール・モックアップ段階と、3 つか 4 つの主要ステップの 1 つに不満が生じた場合に行う改造プロセスとを組み合わせるものである。

最初のステップでは、候補に挙げられる構成機器を厳格な形で、また影響パラメータの測定を行うことを目的として選定する作業を取り扱い、実施される試験のリストが定義される。第 2 のステップの目標は、悪条件のもとでの構成機器/構成機器の組み合わせのラボ施設試験に進むことにある。最後のステップは現実的な使用条件のもとでの試験につながるものである。この方法論パッケージを設定するために、想定される全ての処分場背景状況をカバーする ADOC と呼ばれる文書モデルが提案されている。この文書が完成すれば、DGR におけるモニタリング構成機器の設置の妥当性確認に役立つことになる。

付表 1-28 に「成果報告書 D3.6：構成機器の信頼性及び適格性確認」の構成を示す。

付表 1-28「成果報告書 D3.6：構成機器の信頼性及び適格性確認」の構成

1. 序文
  1.1. 背景
  1.2. 本報告書の目的
  1.3. 本報告書の範囲
  1.4 本報告書の構成
2. 地層処分に特化したモニタリングシステムに関する問題点
  2.1. 地層処分場（DGR）モニタリングの背景状況
  2.2. 地層処分に関するモニタリングシステムに関わる技術的な問題
3. 原位置モニタリング及び適格性確認プロセスの開発
  3.1. 序文
  3.2. 技術の現状：他の分野からの移転可能な経験を収集する
  3.3. 地層処分場（DGR）に関する ANDRA のアプローチ
  3.4. 考察
4. 既存の長期試験から得られた教訓
  4.1. 長期試験の選定
  4.2. 得られた教訓
  4.3. 現在使用されているモニタリング構成機器からの全体的なフィードバック
5. 適格性確認プロセスの開発のためのイニシアティブ
  5.1. 序文
  5.2. モニタリング構成機器の選定に関する方法論
  5.3. モニタリングに関する複合要素の試験及び評価の方法
  5.4. 現場試験
6. 結論
  6.1. 地層処分のモニタリングに関連するモニタリング構成機器を対象とする適格性確認プロセスの作成に適用されるガイドライン
  6.2. ADOC（Approval Document）：モニタリング構成機器適格性確認のための承認文書
7. 参考文献
8. 付属書
  8.1. 付属書 1: 宇宙分野において構成機器の適格性確認に使用する部品承認文書
  8.2. 付属書 2: 実験的試験手順書（Experiment test forms）
  8.3. 付属書 3: エイジング試験手順書
  8.4. 付属書 4: 照射試験の詳細

## 1.4. WP4：モニタリングの実証

### 1.4.1. 成果報告書 D4.1：EBS モニタリング計画－結晶質岩での使用済燃料処分概念

成果報告書 D4.1「EBS モニタリング計画－結晶質岩での使用済燃料処分概念」では、Task4.1 の成果として、フィンランドの Posiva 社が建設中のオルキオト地層処分場における、模擬廃棄体を用いた KBS-3V 概念の人工バリア試験を想定し、人工バリアに関するモニタリング計画を検討している。本報告書の結論を以下に示す。

この EBS モニタリング計画では、モニタリング対象のプロセスについて説明し、モニタリングに使用する計測器を提案し、試験的処分トンネルの例を提案する。これは、モニタリングを含む実規模試験の設計の基礎として使用できる。実際には、EBS モニタリング計画に設定された目標の主要部分は、さまざまな種類のテストの設定と試験に適用できるが、本報告書では 1 例を示している。

モニタリング計画に設定された目標は、モニタリング結果の予測との比較と、セーフティケースの観点からの相違についての議論により検証される。ほとんどの場合、予測とモニタリング結果の相違はセーフティケースに影響を与えないが、これを分析する必要がある。このモニタリング計画の検証を Modern 2020 に於いて行う予定はない。

解体作業および並行して実施される開発作業の結果と組み合わせた、モニタリングデータからの結果は、試験中の THM プロセスの理解を改善するために使用される。この理解は、キャニスタ、緩衝材、埋め戻し材などの EBS の構成要素の詳細設計の調整に使用できる。

本報告書の範囲は、モニタリング対象の結晶質母岩の模擬的な位置における予測を提示し、Modern2020 の WP2 および WP3 での作業に基づいて設定されたモニタリングを提案することである。本報告書の範囲には、モニタリング方法の評価と、模擬処分孔内の水分分布モニタリングのためのモックアップが含まれている。

付表 1-29 に「成果報告書 D4.1：EBS モニタリング計画－結晶質岩での使用済燃料処分概念」の構成を示す。

付表 1-29「成果報告書 D4.1：EBS モニタリング計画－結晶質岩での使用済燃料処分概念」の構成


1 序論
1.1 背景
1.2 モニタリング対象となる処分概念とサイト及びモニタリングの一般的側面
1.3 報告書の目的と限界
2 選定されたモニタリングパラメータの論拠
2.1 モニタリングパラメータのスクリーニング
2.2 EBS モニタリングに関する考察
3 EBS 及び岩盤の期待される変化
3.1 岩盤中の水圧（飽和）
3.2 岩盤の温度 Temperature in the rock
3.3 緩衝材及び埋戻し材の飽和度
3.4 緩衝材の温度
4 EBS モニタリング技術の評価
4.1 目的
4.2 作業の説明
4.3 技術選定の意思決定プロセス
4.4 評価結果
5 実規模試験のための EBS への計装計画
5.1 計画されたセンサ配置
5.2 温度測定
5.3 全圧測定
5.4 間隙水圧測定
5.5 飽和度測定
5.6 変位測定
6 モニタリング計画の実行
6.1 キャニスタ、緩衝材、埋戻し材における温度、水圧及び全圧
6.2 結晶質岩中のボーリング孔断面における温度と水圧
6.3 電気抵抗トモグラフィ（ERT）による緩衝材と埋戻し材の水分
6.4 処分トンネルのプラグにおける温度と圧力
7 計測システムの期待される変化
7.1 熱電対
7.2 PT100 側温抵抗体（RTD）
7.3 全圧及び間隙水圧センサ
7.4 容量性相対湿度トランスデューサ（Capacitive RH transducers）
7.5 乾湿計（Psychrometres）
7.6 電気抵抗トモグラフィ（ERT）の電極群
7.7 傾斜計
7.8 試験の終了と回収
8 水分分布の研究への電気抵抗トモグラフィ（ERT）手法の適用のモックアップ・ケーススタディ
9 結論
10 参考文献

### 1.4.2. 成果報告書 D4.2：HA モニタリング計画の開発

成果報告書 D4.2「HA モニタリング計画の開発」は、フランスの ANDRA の所有する Bure 地下研究所における、高レベル放射性廃棄物（HA、HLW）のモニタリングに関する試験を実施する Task4.2 の成果を取りまとめたものである。以下に本報告書の結論より概要を示す。

Cigéo のモニタリング計画では、モニタリング対象のプロセスとパラメータを説明するとともに、HLW 処分セルのモニタリングに使用する計装を提案し、地下施設で行われた実規模試験に基づいた設計例を提供する必要がある。

「AHA プログラム」は、セル構築と性能評価の技術的実現可能性の評価に特化したものであるが、モニタリングの側面が評価の一部として含まれている。モニタリングパラメータの決定は、長期的な安全性と可逆性の要件に関する分析に基づいて行われた。ANDRA は、プロセスの分析（PARS）に基づいてパラメータを選択する方法を開発している。スクリーニング方法論が、パラメータ選択を統合するためにも使用された。本報告書では、モニタリングパラメータの選択については説明していない（Modern2020 D2.2 参照）。

HLW 処分セルのモニタリング設計は、MHM の URL（ビュール URL）で収集されるプロセス知識、モニタリング技術の成熟度、および建設の制約に基づいて作成された。

モニタリングの設計、実装方法、センサのパフォーマンスを徐々に統合するために、段階的な手順が作成された。このようにして、「AHA プログラム」内の以下の 3 つの HLW プロトタイプ構造を使用して、モニタリングシステムを評価した：

- AHA1604（2017 年 11 月）
- ALC1605（2018 年 11 月）
- AHA1605（2019 年 7 月予定）

試験は、軽度の計装の試験（AHA1604）から重度の計装の試験（AHA1605）に向かって行われているが、本報告書では、最初の 2 つの試験のみが示されている。

付表 1-30 に「成果報告書 D4.2：HA モニタリング計画の開発」の構成を示す。

付表 1-30「成果報告書 D4.2：HA モニタリング計画の開発」の構成

1 序論
1.1 背景
1.2 本報告書の目的
1.3 HLW セル設計の開発のための AHA プログラムの目的
1.4 論拠
1.5 AHA1604 及び ALC1605 実証施設の特定の目的
1.6 本報告書の構成
2 HLW モニタリングのアプローチ
2.1 HLW 概念
2.2 モニタリングパラメータの同定
2.3 センサの適格性認定の手順
2.4 光ファイバセンサに関する背景
3 ANDRA の URL における HA 実証施設の設定
3.1 地下研究施設
3.2 HLW 実証施設の建設に関する一般的原則
3.3 力学的挙動
4 AHA1604 実証施設
4.1 AHA1604 の主要目的
4.2 AHA1604 におけるモニタリングの目的
4.3 AHA1604 の一般的記述
4.4 光ファイバ計装の記述
4.5 AHA1604 実証施設における測定結果
5 ALC1605 実証施設
5.1 ALC 1605 の主要目的
5.2 ALC1605 におけるモニタリングの目的
5.3 ALC1605 実証施設の記述
5.4 充填剤無しの場合(ALC1604) における既存の結果
5.5 モニタリングシステムの記述
5.6 AHA1605 実証施設における測定結果
6 要約、結論及び今後の作業
6.1 AHA 1604 に関する要約と提言
6.2 ALC1605 に関する要約と提言
6.3 今後の作業 AHA1605)
7 参考文献
8 付属文書
8.1 A 1: 光ファイバケーブルの技術仕様
8.2 A2: Neubrescope 機器の技術仕様
付属文書 3: Silixa 機器の技術仕様

### 1.4.3. 成果報告書 D4.3：長期岩盤・緩衝材モニタリング（施工完了時）

成果報告書 D4.3「長期岩盤・緩衝材モニタリング（施工完了時）」は、フランスの IRSN が所有する Tournemire URL に設置された長期岩盤・緩衝材モニタリング原位置試験（LTRBM）について検討を行った Task4.3 についてまとめたものである。本試験は、試験のセットアップが終了した時点での報告書であるため、試験結果等については記載されていない。以下に本報告書の序論より概要を示す。

長期岩盤・緩衝材モニタリング原位置試験（LTRBM）は、WP4 の原位置実証施設の 1 つであり、WP3 で開発された新しいモニタリング機器の一部が設置されている。

LTRBM の主な目的は、WP3 で作成されたプロトタイプを、地層処分場内に於いて予想されるものにできるだけ近い状態で設置することである。本報告書の目的は、調達および設置段階を進めるために、この実証施設の設計を詳述することである。

LTRBM の主な参加者は、IRSN、ENRESA、ARQUIMEA、AMBERG である。また、ANDRA、VTT、CTU、Strathclyde 大学が参加し、新たなモニタリング機器を LTRBM に提供した。

LTRBM は、直径 60 cm、長さ最大 10 m のメイン水平ボアホール（MB）で構成されている。MB には、ベントナイトと砂から成る緩衝材が 4 m、高度に圧縮されたベントナイト・砂ブロック及びベントナイトをベースとした粒状材料から成る 4m の緩衝材が、2 m のベントナイト及びコンクリートプラグにて封入されている。緩衝材には、緩衝材の飽和を促進するための水注入システムが接続されている。使用したベントナイトはすべて、ワイオミング産の Na ベントナイトである MX-80 であり、ベントナイト/砂の比率は、ブロックで 60/40 である。

LTRBM には、VTT による化学センサ、CTU による THMC 複合センサ、ARQUIMEA 社による熱電対サイクロメータ、Strathclyde 大学による ERT/IP 測定電極、ANDRA による光ファイバ全圧センサ、ANDRA 提供による、振動弦型間隙水圧計を接続した小型地中無線送信装置（無線送信装置：原環センター開発、センサアダプタ：ANDRA・原環センター共同開発）、ARQUIMEA 社による短距離地中無線送信装置及びこれと組み合わせて使用される NRG による長距離無線送信装置等が設置されている。

付表 1-31 に「成果報告書 D4.3：長期岩盤・緩衝材モニタリング（施工完了時）」の構成を示す。

付表 1-31「成果報告書 D4.3：長期岩盤・緩衝材モニタリング（施工完了時）」の構成

1. 序論
  1.1 目的
  1.2 内部組織及び役割
  1.3 適用可能な文献及び参考文献
2. LTRBM 実証施設の記述
  2.1 位置
  2.2 原位置の岩盤の地質
  2.3 作業環境
  2.4 一般的試験レイアウト
  2.5 ベントナイト緩衝材の製造
  2.6 ベントナイトブロック
  2.7 粒状混合ベントナイ
  2.8 主要ボーリング孔
  2.9 補助ボーリング孔
  2.10 掘削年表
  2.11 ボーリング孔のケーシング
  2.12 給水システム
  2.13 セメントプラグ
3. 設置された機器の説明
  3.1 WP3 からの光ファイバ以外の機器
  3.2 WP3 からの光ファイバ機器
  3.3 無線装置
  3.1（原文ママ） 他の有線機器
  3.2 （原文ママ）地球物理学的システム(IRSN & U. Strat)
4. LTRBM の設置
  4.1 設置された機器の要約
  4.2 基準座標系
  4.3 記号化体系
  4.4 無線データ収集システム
  4.5 データ収集システムの他の構成要素
  4.1 （原文ママ）年表及び AMBERG 社からの参加者
5. データ収集及び制御システム
  5.1 一般的記述
  5.2 計装ボックス
  5.3 通信に関するレイアウト
  5.4 Scada ソフトウェア
6. 付属文書

### 1.4.4. 成果報告書 D4.4：FE 及び TEM の結果

成果報告書 D4.4「FE 及び TEM の結果」は、スイスの NAGRA によるモン・テリ岩盤研究所における実規模定置(FE) 試験及びグリムゼル試験サイト（GTS）における TEM 試験について、Modern2020 プロジェクトの期間内における進展を、Task4.4 の成果として取りまとめたものである。本報告書は、2 件の NAGRA 作業報告書を合本したものとなっているため、以下にそれぞれの作業報告書の概要を示す。

第 I 部：実規模定置試験：NAGRA 作業報告書 NAB 19-32、Modern2020 WP4.4 実規模定置(FE) 試験,モン・テリ(スイス)-現地における実現、2019 年 8 月

本報告書では、モン・テリ岩盤研究所における実規模定置(FE) 試験における光ファイバモニタリング技術を使用した DTS のデモンストレーションと評価、および含水量計算のためのプロトタイプの時間領域反射率測定（TDR）に焦点を当てている。本報告書では、DTS に関する次のトピックが取り上げられている。

- DTS 測定値と従来型の点測定温度センサとの比較
- 4 年間の試験的な加熱段階のデータと結果の提示
- DTS データによる、母岩と EBS の空間的および時間的に変化する温度分布の考察
- カスタムメイドのセンサ設計、校正、設置、測定技術、および TDR を利用した 4 年間の含水量モニタリングの結果

第 II 部：モニタリングシステムの試験と評価（TEM）：NAGRA 作業報告書 NAB 19-33、Modern2020 プロジェクト期間中のグリムゼル試験サイト（GTS）における TEM 試験の展開、2019 年 7 月

Modern2020 プロジェクトの枠組みでの TEM プロジェクトの目的は、下記の 3 つのモニタリング手法の調査および評価であった。

- 従来型の有線モニタリング技術
- 繰り返し地震測定に基づく地球物理トモグラフィ手法
- Magneto-Inductive Systems Limited（MISL）による無線データ送信技術と Solexperts AG のデータ収集システムを組み合わせた無線モニタリング技術

付表 1-32 に「成果報告書 D4.4：FE 及び TEM の結果」の構成を示す。

## 付表 1-32「成果報告書 D4.4：FE 及び TEM の結果」の構成

第 I 部：実規模定置試験
NAGRA 作業報告書 NAB 19-32、Modern2020 WP4.4 実規模定置(FE) 試験, モン・テリ(スイス) –現地における実現、2019 年 8 月
1 序論
  1.1 Modern 2020 プロジェクト
  1.2 ワークパッケージ 4
  1.3 本報告書の構成
2 スイスにおける放射性廃棄物の処分概念
  2.1 実規模定置(FE) 試験
  2.2 LUCOEX 以来のプロジェクトの履歴
3 モニタリング技術
  3.1 温度分布センシング (DTS) 及び従来型の点測定用温度センサ
4 FE におけるデータ収集及び処理
  4.1 データ収集システム(FE-DAS) 及び FE 情報システム(FEIS)
  4.2 技術的背景及びデータ・パイプライン構造
5 FE に関するデータ分析
  5.1 DTS データ
6 TDR データ
  6.1. TDR プローブの検証
  6.2. TDR 測定における移動時間分析（Travel time analysis）
  6.3 TDR 測定の分析
  6.4 水分量
  6.5 要約及び結果
7 結論
  7.1 光ファイバによるモニタリング
  7.2 TDR によるモニタリング
8 参考文献

第 II 部：モニタリングシステムの試験と評価（TEM）
NAGRA 作業報告書 NAB 19-33、Modern2020 プロジェクト期間中のグリムゼル試験サイト（GTS）における TEM 試験の展開、2019 年 7 月
1 序論及び背景
2 試験の目的
3 試験レイアウト
4 モニタリング技術
  4.1 従来型有線技術
  4.2 非貫入型技術
  4.3 低周波無線送信システム
5 給水システム
6 非貫入型技術による結果
  6.1 低周波無線送信システム
  6.2 高周波無線送信システム
  6.3 クロスホール（Cross-hole）地震波トモグラフィ
7 緩衝材の圧力増加の試み
  7.1 目的
  7.2 システムの概説
  7.3 給水再開のために実施された作業
8 従来型有線技術を用いたセンサからの結果
  8.1 圧力注入及び流入のグラフ
  8.2 全圧のグラフ
  8.3 間隙水圧のグラフ
  8.4 変位のグラフ
9 要約、考察及び提案
10 参考文献

### 1.4.5. 成果報告書 D4.5：モニタリング実証試験及び追加ケースの統合

成果報告書 D4.5「モニタリング実証試験及び追加ケースの統合」は、WP4 の成果を統合することを目的とする Task4.5 の成果報告書である。以下に、報告書のエグゼクティブサマリより概要を示す。

Task4.5 の目的は次のとおりである。

- WP4 の Task4.1～4.4 で開発された 4 件の実証施設の全体的な評価を行うこと。
- Modern2020 プロジェクトに関連すると考えられる既存のケースの同様の評価を実行する。実証施設に加えて他のケースを含めることが提案された理由は、より長期にわたる経験をもたらすためである。
- 最も一般的な問題とその対処方法に対処することにより、この評価の結果を結論にまとめ、関連する場合は、(1) 長期モニタリングシステムの最適化、および (2) モニタリング戦略の実装に関する推奨事項をまとめる。

原位置でのモニタリングの実装（Modern2020 実証施設と追加のケースの両方）を評価することで、これらが他の作業パッケージで報告されている Modern2020 方法論または結果を反映しているかどうか、およびどの程度反映しているかを調べる。より具体的には、WP2、3、および 5 で調査された、モニタリングの戦略的（モニタリングプログラム設計）、技術的および社会的側面が実際の実装で識別できるかどうかを確認する。特に、Task2.2（WP2）で検討されたセーフティケースは、モニタリング計画の開発とともに、この評価に詳細な情報を提供する可能性がある。

この評価により、他の Task によって提示された多くのポイントを確認できた。 各テストケースにおける選択手順は、WP2 で開発されたスクリーニング方法論と相関して分析された。 スクリーニング方法論の適用は、いくつかのケースに実施されている。 この作業は、実験/テストケースのさまざまなステップでの意思決定プロセスに関するモニタリングデータの役割を特定する方法でも行われた。これにより、他の WP で行われた推奨事項の有用性または価値を確認された。さまざまなケースで見つかった唯一の弱点は、市民ステークホルダの関与であった。したがって、（市民）ステークホルダとの対話に実証施設または他の原位置でのモニタリングの実装を使用することに、今後さらに注意を払う必要がある。

付表 1-33 に「成果報告書 D4.5：モニタリング実証試験及び追加ケースの統合」の構成を示す。

付表 1-33「成果報告書 D4.5：モニタリング実証試験及び追加ケースの統合」の構成

1. 序論
  1.1 背景
  1.2 本報告書の目的
  1.3 本報告書の構成
2. 実証施設及び追加ケースの概説
  2.1 WP4 における実証施設
    2.1.1 T4.1: EBS モニタリング計画(POSIVA)
    2.1.2 T4.2: (A)HA 実証施設（ANDRA）
    2.1.3 T4.3: LTRBM (IRSN)
    2.1.4 T4.4: FE 及び TEM (NAGRA)
  2.2 追加（既存）ケース
    2.2.1 PRACLAY (EURIDICE)
    2.2.2 ILW-LL コンクリートライナのモニタリングプログラム（Cigéo テストケース – ANDRA）
    2.2.3 FEBEX (AMBERG)
    2.2.4 Prototype Repository (SKB)
3. 評価の方法論
  3.1 評価基準
    3.1.1 モニタリング戦略に関連する基準(WP2)
    3.1.2 モニタリング技術に関連する基準(WP3)
    3.1.3 地元市民ステークホルダの関与に関連する基準(WP5)
    3.1.4 実装及び／または実証に関する基準(WP4)
  3.2 選定されたケースの評価
4. 評価結果
  4.1 各ケースの評価結果
    4.1.1 T4.1: EBS モニタリング計画（Posiva）
    4.1.2 T4.2: (A)HA 実証施設（ANDRA）
    4.1.3 T4.3: LTRBM (IRSN)
    4.1.4 T4.4: FE 及び TEM (NAGRA)
    4.1.5 PRACLAY (EURIDICE)
    4.1.6 ILW コンクリートライナのモニタリングプログラム（Cigéo テストケース – ANDRA）
    4.1.7 FEBEX (AMBERG) ..
    4.1.8 Prototype Repository (POSIVA)
  4.2 結果の統合
5. 結果及び考察
6. 成果
参考文献

## 1.5. WP5：地元ステークホルダの関与

### 1.5.1. 成果報告書 D5.1「地下のモニタリング：核廃棄物の地層処分のガバナンスにおける処分場モニタリングの役割は何か？」

成果報告書 D5.1「地価のモニタリング：核廃棄物の地層処分のガバナンスにおける処分場モニタリングの役割は何か？」は、モニタリングの社会的側面を取り扱う、Task5.1 の成果をまとめたものであり、ヨーテボリ大学（UGOT）及びアントワープ大学（UA）の社会科学者により執筆されており、実施主体によるモニタリングへの取組を技術者とは異なる視点から分析している点に特徴を持つ。以下に本報告書の要約より概要を示す。

本報告書の目的は、放射性廃棄物の地層処分施設のガバナンスで、モニタリングがどのような役割を果たしているか、又どのような役割を果たせるかの理解を深めることである。

報告書の第 1 部では、法的文書の文書の解析に加え、Modern2020 で処分実施主体用に作成したアンケートに基づき、スウェーデン、フィンランド、ベルギー、フランスの処分実施主体が、高レベル廃棄物を含む将来の処分場をどのようにモニタリングする計画であるかに焦点を当てられている。処分実施主体がどのようにモニタリングの概念の枠組みを作成し、処分場モニタリング計画を報告し、処分場モニタリングにどのような役割と重要性を与えているか、さらに各国にどのような法的要求が存在するかについて説明している。本報告書は、国ごとに法的要求が大幅に異なることを示している。さらに、廃棄物管理におけるモニタリングの概念は均一でないこと、全ての処分実施主体は、いつモニタリングするか、なぜモニタリングするか（なぜモニタリングしないか）、どのようにモニタリングするかについて、異なる考えを持っていることを示している。

第 2 部では、深地層内の有害物質の恒久的保護のために設計された技術の別の例として、二酸化炭素回収・貯留事例における地下のモニタリングの役割と枠組みを考察している。

付表 1-34 に「成果報告書 D5.1：地下のモニタリング：核廃棄物の地層処分のガバナンスにおける処分場モニタリングの役割は何か？」の構成を示す。

付表 1-34「成果報告書 D5.1：地下のモニタリング：核廃棄物の地層処分のガバナンスにおける処分場モニタリングの役割は何か？」の構成


要旨
背景
序論
技法
結果
考察
第 1 章－背景
1.1 序論
1.2 核廃棄物管理の一般原則としてのモニタリング
1.3 方法と経験的資料
1.4 構造
第 2 章－各国の比較
2.1 背景
2.2 構造
2.2.1 核廃棄物管理と処分場モニタリングの分析
2.3 スウェーデン－序論
2.3.1 歴史と背景
2.3.2 法律におけるモニタリング
2.3.3 SKB によるモニタリングの位置付け
2.4 フィンランド - 序論
2.4.1 歴史と背景
2.4.2 法律におけるモニタリング
2.4.3 Posiva によるモニタリングの位置付け
2.5 フランス - 序論
2.5.1 歴史と背景
2.5.2 法律におけるモニタリング
2.5.3 ANDRA によるモニタリングの位置付け
2.6 ベルギー - 序論
2.6.1 歴史と背景
2.6.2 法律におけるモニタリング
2.6.3 ONDRAF/NIRAS によるモニタリングの位置付け
2.7 結論と要約
第 3 章 - 二酸化炭素回収・貯留におけるモニタリング
3.1 序論
3.2 比較可能なケースとしての CCS
3.2.1 分析的観点としての「技術アーキテクチャ」
3.2.2 廃棄物の隔離：危険な廃棄物を安全に収容する方法
3.3 モニタリング
3.3.1 貯留／処分場の挙動の調査
3.3.2 時間的側面
3.3.3 測定値の逸脱
3.4 CCS のモニタリング -バーレンドレヒトのケース
3.4.1 序論と背景情報
3.4.2 操業者のモニタリング戦略
3.4.3 バーレンドレヒト自治体：モニタリングの異なる理解？
3.5 結論
第 4 章 - 結論と考察
参考文献

### 1.5.2. 成果報告書 D5.2：地層処分におけるモニタリングと公衆参加：ステークホルダ・ガイド

成果報告書 D5.2「地層処分におけるモニタリングと公衆参加：ステークホルダ・ガイド」は、モニタリングをステークホルダの地層処分に対する理解を促進するツールとして用いるためのガイドとして、Task5.2 にて取りまとめられたものである。以下に本報告書（ガイド）の序文より概要を示す。

このガイドの目的は、地層処分のプロセスとその課題の一部をより多くの読者に紹介することである。地層処分全般を紹介した後（第 1 章)、地域の同様のプロジェクトに関係する人々にとって関心のある 2 つの側面、つまりモニタリングと一般参加を詳しく見ていく。

このステークホルダ・ガイドは、ベルギー、フィンランド、フランス、スウェーデンの科学専門家と地元の市民を集めてこれらの問題を一緒に考える Modern2020 研究プロジェクトの一環として書かれた。このガイドには 2 つの目的がある。第一に、アクセス可能な方法で高レベル放射性廃棄物処分場のモニタリング技術と戦略の最新技術を提示すること。第二に、核廃棄物管理に関する意思決定プロセスに関与する地元のステークホルダのインスピレーションの源となることを目的としている。このガイドでは、地層処分のモニタリングを社会技術的課題として導入し、市民参加プロセスの内容、方法、理由を検討することで、読者に核廃棄物管理、地層処分、モニタリングを検討および議論するための有益な洞察とツールを提供したいと考えている。このガイドの対象読者は多様であり、ジャーナリスト、核廃棄物管理の分野の政策立案者、NGO、および原子力と放射性廃棄物の管理に関する基本的な知識をすでに持っている関心のある市民が含まれる。

このステークホルダガイドの 2 つの目的は、科学的研究だけでなく、地元市民のステークホルダの経験からも情報を得たという事実に由来している。このガイドは、Modern2020 パートナーの一部と共同で開発された。参加型ワークショップ、専門家や一般のステークホルダで構成される編集委員会との議論、およびこのガイドの初期のドラフトに関するフィードバックを書面で収集した。したがって、この文書は、高レベル放射性廃棄物の地層処分のモニタリングに関するさまざまな視点をまとめた対話型および反復プロセスの結果である。

付表 1-35 に「成果報告書 D5.2 : 地層処分におけるモニタリングと公衆参加 : ステークホルダ・ガイド」の構成を示す。

付表 1-35「成果報告書 D5.2：地層処分におけるモニタリングと公衆参加：ステークホルダ・ガイド」の構成

序文
　本ガイドの「何を」と「なぜ」の紹介
　どのようにして作られたか？
　Modern2020 プロジェクトとは何か？
　ステークホルダ・ガイドの構成と内容
第 I 章　放射性廃棄物と地層処分：専門家と公衆の関心事
　放射性廃棄物の「何を」と「なぜ」
　地層処分とは何か？
　核廃棄物管理の主要関係者
　核廃棄物管理における意思決定段階
第 II 章　地層処分におけるモニタリング
　序文
　地層処分のモニタリングにおける異なる戦略
　なぜ、どこで、いつ、何を地層処分に於いてモニタリングするのか？
　専門家と公衆の視点
　モニタリング技術
第 III 章　モニタリングの研究開発への公衆参加、どのようにして人々と関与するのか？
　序文
　Modern2020 における地元ステークホルダとはだれか？
　研究開発への公衆参加
　実地での公衆参加の探求
参考文献

### 1.5.3. 成果報告書 D5.3：処分場のガバナンスの文脈における処分場モニタリング

成果報告書 D5.3「処分場のガバナンスの文脈における処分場モニタリング」は、モニタリングの社会的側面を取り扱う WP5 のまとめとして、Task5.3 にて作成されたものである。以下に本報告書の要約より概要を示す。

Modern2020 プロジェクトの WP5 には 4 つの目的がある：

i）Modern2020 プロジェクト内の処分場モニタリング R&D に地元の公共のステークホルダを積極的に関与させ、これが参加したステークホルダおよびプロジェクトパートナーの処分場モニタリングに関する理解と期待の両方に与える影響を分析すること。

ii）公共のステークホルダの懸念と期待を特定の処分場モニタリングプログラムに統合するためのより具体的な方法を定義すること。

iii）公共のステークホルダに対するモニタリングデータ（現場モニタリングを通じて収集されたタイプ）のアクセシビリティと透明性を確保する方法に関するアイデアを開発すること。

iv）地元のステークホルダグループが EU レベルで R&D プログラムやプロジェクトに効果的に関与する方法についての教訓を学ぶこと。

R&D プログラムへの市民のステークホルダの関与に関する以下の 5 つの重要な質問が作成された。「市民の関与を行うべき理由」、「誰が関与すべきか」、「どのように組織すべきか」、「いつすべきか」、「どこに根拠を置くべきか？（Where should it be grounded?）」である。これらの質問には明確な、あるいは議論の余地のない答えが見つからないが、実際に管理するために必要であり、参加者の要求や文脈的要因に関連して市民のステークホルダの関与を組織し支援する際に、責任ある主体に感受性が求められる。

「学んだ教訓」と呼ばれる章では、Modern2020 プロジェクトでの地元のステークホルダの関与から学んだ具体的な教訓を活用することにより、市民のステークホルダの関与を同様の R&D プロジェクトにどのように統合できるかについての考察を提示することを目的としている。最後に、第 5 章では、これらの教訓から得られたいくつかの最終的な実践的な推奨事項を示している。

付表 1-36 に「成果報告書 D5.3：処分場のガバナンスの文脈における処分場モニタリング」の構成を示す。

付表 1-36「成果報告書 D5.3：処分場のガバナンスの文脈における処分場モニタリング」の構成

1. 序論
2. 研究の目的及び手法
  2.1 研究目的
  2.2 研究手法
3. 処分場モニタリングの研究開発への地元市民ステークホルダの関与
  3.1 研究開発への関与に関する理論的枠組み
  3.2 プロジェクトの会合及びワークショップへの市民ステークホルダの参加
    3.2.1 プロジェクト・レベルでの関与
    3.2.2 地元での関与活動（Home engagement activities）
  3.3 ステークホルダ・ガイドの開発：協力的プロセス
    3.3.1 どのようにして実施されたか
    3.3.2 何が達成されたか
  3.4 対話をシミュレートするオンライン調査
    3.4.1 どのようにして実施されたか
    3.4.2 何が達成されたか
      3.4.2.1 処分場のガバナンスの文脈における（処分場）モニタリングに関する期待
      3.4.2.2 研究開発への（地元市民）ステークホルダの関与に関する期待
4. 学習された教訓
  4.1 本研究プロジェクトへのステークホルダの関与及び処分場モニタリングへの期待に関する理解への影響
  4.2 モニタリングプログラムへのステークホルダの関心事の統合（モニタリングデータへのアクセス性及び透明性に関する見解を含む）
  4.3 EU レベルでの研究開発プログラム及びプロジェクトにおけるステークホルダの関与
    4.3.1 なぜ地元ステークホルダが関与すべきか？
    4.3.2 誰が（どの地元ステークホルダが）含まれるべきか？
    4.3.3 研究開発計画における地元ステークホルダの役割は何であるべきか？
    4.3.4 地元ステークホルダとしての欧州研究開発プロジェクトへの参加
5. 結びの提言
参考文献
付属文書: Delphi によるオンライン調査の各ラウンドでの質問の全容

## 1.6. WP6

### 1.6.1. 成果報告書 D6.1：プロジェクト結果の普及と活用の計画

成果報告書 D6.1「プロジェクト結果の普及と活用の計画」は、Modern2020 プロジェクトの成果普及等について計画する Task6.1 の報告書である。本報告書は定期的に更新され、18、36、および 48 か月のプロジェクトの定期報告書の添付ファイルとして EC に提出される。この文書により、EC はプロジェクトの影響を評価できる。

本報告書は、Modern2020 のウェブサイト上で公開されているファイルの配布レベルが Confidential とされているが、本来の配布レベルは Public である（本報告書第 3 章参照）。以下に本報告書の要旨より概要を示す。

プロジェクトの結果の普及と活用のための Modern2020 計画（成果報告書 6.1）は、その期間中に Modern2020 の最大の影響を確保し、プロジェクトの終了後に高いレベルの関与と持続可能な利益を達成することを目的とする戦略文書である。普及計画では、内部および外部のコミュニケーションについて説明する。より具体的には、このドキュメントでは、プロジェクトのフレームワークで計画された具体的なアクションだけでなく、普及/活用戦略を確立して、Modern2020 に関する高品質の情報をさまざまなターゲット・オーディエンスに提供し、タイムリーかつ最も効果的な手段により、この情報が適切なオーディエンスと共有されるようにする。

普及と利用（exploitation）は、次の 4 段階のプロセスから成る。

1.プロジェクトのミッションとその目標を明確に説明する（プロジェクトの概要を参照）。
2.適切なチャネルを介して適切なメッセージでターゲット・オーディエンスに対応する
- ・ターゲット・オーディエンスの定義
- ・プロジェクトの利用可能（exploitable）な結果の特定
- ・適切な普及ツールとチャンネルを選択する。

3.利害関係者を関与させ、プロジェクト活動に積極的に参加するよう動機付ける（特に WP5 内）。
4.普及/開発活動のフォローアップ

付表 1-37 に「成果報告書 D6.1：プロジェクト結果の普及と活用の計画」の構成を示す。

付表 1-37「成果報告書 D6.1：プロジェクト結果の普及と活用の計画」の構成

| |
|---|
| 要約<br>プロジェクトの概要<br>1.普及/開発戦略<br>2.対象読者<br>3.利用可能な結果<br>4.各ターゲットグループの普及の具体的な目的<br>5.普及/活用のツールとチャネル<br>　5.1 Modern2020 のロゴ<br>　5.2 EU の資金調達の可視性<br>　5.3 Modern2020 Web サイト<br>　5.4 Projectplace<br>　5.5 他のウェブサイト<br>　　5.5.1 プロジェクトパートナーの機関ウェブサイト<br>　　5.5.2IGD-TP のウェブサイト<br>　5.6 Modern2020 ワークショップ<br>　　5.6.1 内部会議<br>　　5.6.2Modern2020 の公開イベント<br>　5.7 外部の会議およびイベント中のプレゼンテーション<br>　5.8 印刷物<br>　5.9 Modern2020 プロジェクトの統合<br>　5.10 Modern2020 ビデオ<br>6.普及活動の報告とフォローアップ |

### 1.6.2. 成果報告書 D6.2：Modern2020 公開ウェブサイト

Modern2020 では、公開ウェブサイト（http://www.modern2020.eu/）にて、成果物の公開等を行っている。成果報告書 D6.2「Modern2020 公開ウェブサイト」は、このウェブサイト運営を行う Task6.2 の活動を紹介するものであり、以下のウェブサイトの構成が示されている。

- ホームページ（紹介、ニュースと今後のイベント、最新のドキュメント、ロゴ…）
- 我々に関して
  - -Modern2020 について
  - -プロジェクト活動の概要
  - -パートナー
- 活動
  - -WP2 戦略
  - -WP3 R&D
  - -WP4 実証
  - -WP5 地元住民の関与
- ニュースとイベント
- 出版物
  - -Modern2020 の成果物
  - -Modern2020 の出版物
  - -Modern2020 プレゼンテーション
  - -その他の関連文書
- お問い合わせ
- リンク

### 1.6.3. 成果報告書 D6.3：Modern2020 最終会議プロシーディングス

「成果報告書 D6.3 : Modern2020 最終会議プロシーディングス　放射性廃棄物の地層処分のモニタリングに関する第 2 回国際会議 : 戦略、技術、意思決定および市民参加」は、Modern2020 の成果を公開し、討議を行うための最終会議のプロシーディングスであり、会議を運営する Task6.3 の成果として公表された。以下に、本報告書の序文より、国際会議の目的及び範囲を示す。

Modeern2020 プロジェクトによって組織された、放射性廃棄物の地層処分のモニタリングに関する第 2 回国際会議の目的は以下の 2 つである。

- モニタリングが処分場開発プロセスにどのように情報を提供できるか、モニタリングが規制当局との対話をどのように支援できるか、モニタリングがどのように放射性廃棄物の地層処分に関連する信頼醸成に貢献するかについての議論に貢献し、議論に参加するためにモニタリングの分野の専門家を招待すること。
- Modern2020 プロジェクトの結果を提示し、議論すること。

会議の範囲は、長期的な閉鎖後のセーフティケースへの信頼を築くためのアプローチとして、地層処分場における自然および工学的バリアの性能評価をサポートするためのモニタリング活動に焦点を合わせた。モニタリングの全体的な理解と処分プロセスにおけるその潜在的な役割は、予想されるモニタリングのニーズ、関連する技術的要件、モニタリング技術に関する最新技術、および将来の潜在的な用途と制限に照らして提示および議論される。会議は次のテーマを中心に開催された。

- モニタリング技術
- 閉鎖後の安全性とモニタリング戦略
- 長期統合モニタリングプログラム
- モニタリングデータと情報の使用に関する意思決定および対応計画
- 市民のステークホルダの参加

付表 1-38 に「成果報告書 D6.3：Modern2020 最終会議プロシーディングス」の構成を示す。

付表 1-38「成果報告書 D6.3：Modern2020 最終会議プロシーディングス」の構成


前文
謝辞
1.序文
1.1 Modern2020 プロジェクトの背景
1.2 国際会議の目的
1.3 国際会議の範囲
1.4 会議の構成
1.5 プロシーディングスの構成
2. Modern2020 プロジェクトの結果の概要
2.1 報告の背景と範囲
2.2 Modern2020 の出発点と文脈
2.2.1 Modern2020 の開始時のモニタリング状況と目標
2.2.2 Modern2020 プロジェクト内で実行された作業の文脈
2.3 作業パッケージに関する報告者の調査結果
2.3.1 モニタリングプログラム、設計基準、モニタリング戦略および意思決定（WP2）
2.3.2 関連するモニタリング技術の研究開発（WP3）
2.3.3 処分場に類似した条件でのモニタリング実施のデモ（WP4）
2.3.4 地元市民ステークホルダの地層処分のモニタリングの研究開発及び実証への効果的な関与（WP5）
2.4 全体的な結論
2.4.1 Modern2020 内の成果と他の場所から入手可能な情報：インパクトとエンドユーザー
2.4.2 Modern2020 プロジェクト内で開発された GDF のモニタリングに関する成果物の役割：広い視野
2.4.3 モニタリングの現状
2.4.4 Modern2020 および可能な将来の活動の最終決定で行われる作業
2.4.5 最終的見解
参考文献
3.会議論文のリスト-口頭発表
3.1 モニタリング戦略に関するセッション
3.2 市民のステークホルダの参加に関するセッション
3.3 モニタリング技術の概要に関するセッション
3.4 処分場モニタリング技術の新しい開発に関する並行セッション
3.5 長期統合モニタリングシステムに関するセッション
3.6 意思決定プロセスに関するセッション
3.7 閉会セッション
4.会議論文のリスト-ポスター発表
4.1 モニタリング技術に関するトピック
4.2 市民ステークホルダの参加に関するトピック
4.3 閉鎖後セーフティケースとモニタリング戦略に関するトピック
4.4 長期統合モニタリングプログラムのトピック
5.ステークホルダ円卓会議

付属文書 A.詳細な会議プログラム
付属文書 B.参加者のリスト
付属文書 C.完全な会議論文-口頭発表
Ca -モニタリング戦略に関するセッション
Cb -市民ステークホルダの参加に関するセッション
Cc -モニタリング技術の概要に関するセッション
C.d -処分場モニタリング技術の新しい開発に関する並行セッション
Ce -長期統合モニタリングシステムに関するセッション
Cf -意思決定プロセスのセッション
Cg -閉会セッション
付属文書 D.完全な会議論文-ポスタープレゼンテーション
Da -モニタリング技術に関するセッション
Db -市民ステークホルダの参加に関するセッション
D.c -閉鎖後セーフティケースとモニタリング戦略に関するセッション
D.d -長期統合モニタリングプログラムのセッション
付属文書 E.簡単な要約-ポスタープレゼンテーション
Ea -モニタリング技術に関するセッション
E.b -閉鎖後セーフティケースとモニタリング戦略に関するセッション
Ec -意思決定と対応計画に関するセッション
E.d -長期統合モニタリングプログラムに関するセッション

### 1.6.4. 成果報告書 D6.4：Modern2020 トレーニングスクール報告書

成果報告書 D6.4「Modern2020 トレーニングスクール報告書」は、EU 圏内の若手技術者や博士課程の学生、ポスドク研究員等を対象として実施された地層処分のモニタリングに関するトレーニングスクールの概要を示すものであり、トレーニングスクールの運営を行った Task6.4 の成果報告書として公表された。以下に本報告書の要旨より概要を示す。

Modern2020 トレーニングスクールは、地層処分（結晶質および粘土質の母岩）の分野におけるモニタリングの側面の概要と、モニタリング戦略を実施する方法論を提供することを目的としている。

トレーニングスクールは、Modern2020 内の作業に基づいて参加者に一連の能力を提供することを目的としている。参加者は、講義、実習、およびフィールドデモ活動を通じて、以下についての理解を深めた。

- 核燃料サイクルと放射性廃棄物の種類
- 操業段階および閉鎖後の早期段階での地層処分の関連プロセス
- 操業段階および閉鎖後の早期段階での地層処分のモニタリングの役割
- モニタリングパラメータを選択する方法
- モニタリングセンサと技術
- モニタリングシステムの設計、設置、運用
- 意思決定へのモニタリングデータの貢献
- さまざまなステークホルダからの期待

付表 1-39 に「成果報告書 D6.4：Modern2020 トレーニングスクール報告書」の構成を示す。

付表 1-39「成果報告書 D6.4：Modern2020 トレーニングスクール報告書」の構成


要旨
1.はじめに
　1.1 背景
　1.2 本報告書の目的
　1.3 根拠
　1.4 報告書の構成
2.モニタリングトレーニングスクールの準備段階
　2.1 計画
　2.2 サイトの選択
3.実施
　3.1 参加者の選択
　3.2 参加者
4.学習ユニット
　4.1 学習ユニット 1：核燃料サイクルと地質学の概念
　4.2 学習ユニット 2：モニタリング：目標、プロセス、およびパラメータ
　4.3 学習ユニット 3：モニタリングプログラムの設計
　4.4 学習ユニット 4：実装とガバナンス
5.実践的演習
　5.1 実習 1：光ファイバセンサ
　5.2 実習 2：振動弦方式ひずみゲージを使用したコンクリート変形測定
　5.3 実習 3：さまざまなセンサ技術を使用した含水量測定
　5.4 実習 4：ステークホルダ
　　5.4.1 「Into Eternity」ムービー：ステークホルダへの紹介
　　5.4.2 ステークホルダの相互作用に関するさまざまな議論と役割ゲーム
6.トレーニング中の訪問
　6.1 Clab -使用済み核燃料の集中中間貯蔵施設
　6.2 Aspö Hard Rock Laboratory
7. Modern2020 トレーニングスクールの評価
　7.1 設定
　7.2 Modern2020 トレーニングスクールの評価
8.結論と謝辞
付属文書 1：トレーニングスクールのアジェンダ
付属文書 2：トレーナーとコース
付属文書 3：参加者のリスト
付属文書 4：Modern2020 トレーニング資料
付属文書 5：Modern2020 トレーニング評価フォーム
付属文書 6：Modern2020 トレーニングスクールのフライヤー

### 1.6.5. 成果報告書 D6.5：Modern2020 プロジェクト統合報告書、処分場モニタリング：戦略、技術、実施

成果報告書 D6.5「Modern2020 プロジェクト統合報告書　処分場モニタリング：戦略、技術、実施」は、Modern2020 全体の成果をまとめたものであり、統合報告書の作成を行った Task6.5 の成果報告書として公表された。以下に、本報告書のエグゼクティブサマリより概要を示す。

欧州委員会（EC）による地層処分のモニタリング戦略と技術の開発と実証（Modern2020）プロジェクトは、閉鎖後のセーフティケースケースをサポートするため、操業段階で処分場モニタリングを実装する機能をさらに開発するために開始された。特定の廃棄物管理プログラムの要件を考慮して、効果的かつ効率的な処分場モニタリングプログラムを開発および実装する手段を提供することを目的とした。作業の主な焦点は、意思決定をサポートし、閉鎖後のセーフティケースにさらなる信頼を構築するため、操業期間中にバリアシステム（EBS）とニアフィールドの岩盤をモニタリングすることであった。
これらの目的を達成するために求められた活動は以下の通り：

- モニタリングパラメータのリストを選択および維持し、さまざまな処分場の概念と国のコンテキストに適用可能なモニタリング結果に対応するための戦略の開発
- 処分場モニタリングの目的に適したものにすることを目的とした、モニタリング技術に関する研究開発（R&D）の実施
- 処分場モニタリングの現場での実証
- 地元の市民のステークホルダと連携して彼らの意見をより広く理解し、モニタリング戦略や技術研究、開発、実証（RD&D）の開発に早期に関与できるようにするための方法の開発

本報告書は、Modern2020 プロジェクトの統合報告書である。統合の目的は、実施した作業を要約し、主要なメッセージと結果を提示し、結果をより詳細に説明する基礎となる報告書に道しるべを提供することである。

付表 1-40 に成果報告書 D6.5：Modern2020 プロジェクト統合報告書、処分場モニタリング：戦略、技術、実施」の構成を示す。

付表 1-40「成果報告書 D6.5：Modern2020 プロジェクト統合報告書、処分場モニタリング：戦略、技術、実施」の構成


エグゼクティブサマリ
1 序論
1.1 処分場モニタリング及び地層処分実施に関する背景
1.2 Modern2020 プロジェクトに関する背景
1.2.1 Modern2020 プロジェクトの範囲と目的
1.2.2 Modern2020 プロジェクトの構成
1.3 Modern2020 統合報告書の序論
1.3.1 目的と範囲
1.3.2 本報告書の主な読者
1.3.3 構成
2 Modern2020 WP2: モニタリング戦略、パラメータ及び結果への対応
2.1 Modern2020 プロジェクト以前からのモニタリング戦略の理解
2.1.1 国際的ガイダンス及び共同研究
2.1.2 既存のモニタリングプログラム
2.1.3 Modern2020 における追加研究の必要性
2.2 モニタリングに関する閉鎖後セーフティケースと回収可能性の文脈
2.2.1 閉鎖後セーフティケース
2.2.2 回収可能性
2.2.3 モニタリング
2.2.4 モデリング
2.2.5 モニタリングシステムと処分場性能
2.3 テストケースのためのパラメータ選定
2.3.1 テストケースの要約
2.3.2 テストケースの結論
2.4 Modern2020 スクリーニング方法論
2.5 モニタリング結果への対応
2.5.1 序論
2.5.2 対応のタイプ
2.5.3 連続的評価
2.5.4 定期的評価
2.5.5 一般的対応
2.5.6 モニタリング結果への対応に関する一般的プロセス
2.5.7 モニタリング結果への対応に関するガイダンス
2.6 WP2 の結論
2.6.1 Modern2020 プロジェクトにて着手された戦略研究の文脈
2.6.2 WP2 の主要成果と結論
2.6.3 追加研究の必要性
3 Modern2020 WP3: 処分場モニタリング技術
3.1 EBS 定置後の EBS 及びニアフィールドのモニタリング技術
3.2 無線データ送信システム
3.2.1 無線データ送信の背景
3.2.2 Modern2020 プロジェクトにおける無線データ送信の研究
3.2.3 Modern2020 プロジェクトにおける無線データ送信の研究の結論
3.2.4 追加研究の要件
3.3 長期エネルギー供給
3.3.1 長期エネルギー供給の背景
3.3.2 Modern2020 プロジェクトにおける長期エネルギー供給の研究
3.3.3 研究結果の要約
3.3.4 追加研究の要件
3.4 光ファイバセンサ
3.4.1 光ファイバセンサの背景
3.4.2 Modern2020 プロジェクトにおける光ファイバセンサの研究開発
3.4.3 研究結果の要約
3.4.4 追加研究の要件
3.5 新規センサ
3.5.1 非貫入型の短距離変位測定技術
3.5.2 化学測定の技術
3.5.3 水分量測定のための熱電対サイクロメータ
3.5.4 THM 一体型モニタリング技術

3.5.5 新規センサの研究に関する結論
3.5.6 追加研究の要件
3.6 処分場モニタリングのための地球物理学的手法
3.6.1 地球物理学的手法の背景
3.6.2 Modern2020 プロジェクトにおける地球物理学的手法の研究開発
3.6.3 研究結果の要約
3.6.4 追加研究の要件
3.7 処分場モニタリングシステムの信頼性及び適格性確認
3.7.1 適格性確認の方法論の必要性に関する背景
3.7.2 一般的な多段階の適格性確認の方法論
3.7.3 研究結果の要約
3.7.4 追加研究の要件
3.8 モニタリング技術に関する要約と結論
3.8.1 Modern2020 プロジェクトにおけるモニタリング技術研究の文脈
3.8.2 WP3 の主要な成果と結論
4 Modern2020 WP4: モニタリング実証施設
4.1 ONKALO における EBS モニタリング計画の開発、フィンランド
4.1.1 Posiva 社の EBS モニタリングプログラム
4.1.2 モニタリングパラメータの選択
4.1.3 EBS 及び母岩の期待される変化
4.1.4 測定方法及びセンサの配置
4.1.5 EBS モニタリング計画の戦略と実施
4.1.6 結論
4.2 BureURL における Highly-Active (HA)パイロット産業試験のモニタリング計画の開発、フランス
4.2.1 モニタリングパラメータの同定
4.2.2 Bure URL の記述
4.2.3 BureURL における AHA1604 及び ALC1605 実証施設
4.2.4 成果と結論
4.2.5 HA 実証施設の結論
4.2.6 追加研究
4.3 Tournemire URL における LTRBM 試験、フランス
4.3.1 LTRBM 試錐孔のレイアウト
4.3.2 機器の構成
4.3.3 ベントナイト緩衝材への給水
4.3.4 新規センサの性能評価
4.3.5 データ送信装置の結合
4.3.6 要約と結論
4.4 Mont Terri における FE 試験、スイス
4.4.1 FE 試験の試験設定
4.4.2 機器の構成
4.4.3 DTS ユニットの動的キャリブレーション
4.4.4 2014 ～2018 年の FE トンネルの温度変化
4.4.5 地球物理学的モニタリング
4.4.6 データマネジメント
4.4.7 結論
4.5 実証施設に関する要約と結論
5 Modern2020 WP5: 処分場モニタリングの研究開発及び実証へのステークホルダの関与
5.1 Modern2020 以前の処分場モニタリングの研究開発及び実証へのステークホルダの関与に関する理解
5.2 目的
5.3 アプローチ
5.4 モニタリングの研究開発及び実証への地元ステークホルダの関与に関する特定課題の調査
5.5 Modern2020 における地元ステークホルダの役割
5.6 ステークホルダ・ガイドの開発
5.7 モニタリングデータへのアクセス性及び透明性を含む市民ステークホルダのモニタリングプログラムへのステークホルダの関心事
5.8 結論及び提言
6 結論
参考文献

## 2. 参考資料


Johan BERTRAND et, al., （2017）: Overview of the Modern2020 EC-project dedicated to monitoring of a radwaste repository, Clay Conference 2017, 24-27 September 2017, Davos, Switzerland.

Modern2020 ウェブサイト:http://www.modern2020.eu/

Modern2020（2017）: D2.1, Repository Monitoring Strategies and Screening Methodologies

Modern2020（2019a）: D2.2, Monitoring Parameter Screening: Test Cases

Modern2020（2019b）: D2.3, Responding to Monitoring Results

Modern2020（2019c）: D3.1, Synthesis report on relevant monitoring technologies for repository

Modern2020（2019d）: D3.2, Wireless data transmission systems for repository monitoring

Modern2020（2019e）: D3.3, Long-term power supply sources for repository monitoring

Modern2020（2019f）: D3.4, New sensors for repository monitoring ANDRA、

Modern2020（2019g）: D3.5, Geophysical methods for repository monitoring

Modern2020（2018）: D3.6, Reliability and qualification of components

Modern2020（2019h）: D4.1, EBS monitoring plan - Spent fuel disposal concept at crystalline host rock

Modern2020（2019i）: D4.2, Development of HA monitoring plan

Modern2020（2019j）: D4.3, Long Term Rock Buffer Monitoring (As-built )

Modern2020（2019k）: D4.4, FE and TEM results_ NAGRA

Modern2020（2019l）: D4.5, Synthesis on monitoring demonstrators and additional cases

Modern2020（2018b）: D5.1, Monitoring the Underground: What role for repository monitoring in the governance of geological disposal for nuclear waste?

Modern2020（2019m）: D5.2, Monitoring in Geological Disposal & Public Participation: A Stakeholder Guide

Modern2020（2019n）: D5.3, Repository monitoring in the context of repository governance

Modern2020（2016）: D6.1, Plan for the dissemination and exploitation of the project’s results

Modern2020（2015）: D6.2, Modern2020 public website

Modern2020（2019o）: D6.3, Modern2020 Final Conference Proceedings_ Second International Conference on Monitoring in geological disposal of radioactive waste: Strategies, technologies, decision-making and public involvement

Modern2020（2019p）: D6.4, Report on the Training Session