

平成29年度  
高レベル放射性廃棄物等の  
地層処分にに関する技術開発事業  
処分システム工学確証技術開発

報告書  
(第4分冊)

モニタリング関連技術の整備

平成30年3月

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

本報告書は、経済産業省からの委託研究として、公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センターが実施した、平成29年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 処分システム工学確証技術開発の開発成果を取りまとめたものです。

## 報告書の構成

平成29年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 処分システム工学確証技術開発の報告書は、以下の分冊により構成されている。

当該報告書	分冊名	報告書の標題
	第1分冊	処分システム工学確証技術開発 人工バリア品質／健全性評価手法の構築－オーバーパック
	第2分冊	処分システム工学確証技術開発 人工バリア品質／健全性評価手法の構築－緩衝材
	第3分冊	人工バリアと周辺岩盤の長期挙動評価手法の構築
○	第4分冊	処分システム工学確証技術開発 モニタリング関連技術の整備

# 目次

第1章 はじめに .....	1-1
1.1 本事業の背景および目的 .....	1-1
1.2 本事業の構成および全体計画 .....	1-1
1.2.1 研究開発項目の構成 .....	1-1
1.2.2 本事業における設定課題と5カ年の計画 .....	1-1
1.3 モニタリング関連技術の整備に関するこれまでの開発成果 .....	1-3
1.3.1 第1、第2フェーズ .....	1-3
1.3.2 第3フェーズ（平成25～28年度） .....	1-4
1.4 本年度の実施内容 .....	1-10
1.5 報告書の構成 .....	1-11
第2章 モニタリングの枠組みに関する検討 .....	2-1
2.1 背景および目的 .....	2-1
2.2 実施概要 .....	2-3
2.2.1 諸外国の品質保証／性能確認プログラムの具体的事例の調査 .....	2-5
2.2.2 品質保証／性能確認プログラム体系の構築に資する知見の体系化 .....	2-133
2.2.3 性能確認に資するモニタリングの国際共同研究 Modern2020 プロジェクト .....	2-140
2.2.4 わが国における今後の検討要素及び制約条件の抽出並びに課題の整理 .....	2-155
2.2.5 まとめ .....	2-160
参考文献 .....	2-164
第3章 地中無線伝送技術の開発 .....	3-1
3.1 目的および実施概要 .....	3-1
3.2 無線伝送技術の開発 .....	3-2
3.2.1 概要 .....	3-2
3.2.2 中継装置の動作確認 .....	3-3
3.2.3 国内外の無線伝送技術に関する開発状況の調査 .....	3-34
3.2.4 URL で実施中の適用試験の整理 .....	3-44
3.2.5 瑞浪超深地層研究所における無線通信試験 .....	3-47
3.2.6 無線通信試験 .....	3-48
3.3 電磁波による給電技術の検討 .....	3-53
3.3.1 概要 .....	3-53
3.3.2 本実施内容の位置づけと前提条件 .....	3-54
3.3.3 海水等を介した無線給電試験 .....	3-58

3.3.4	処分孔を想定した無線給電試験及び検討 .....	3-76
3.3.5	課題の抽出と今後の方針 .....	3-106
3.4	技術メニューの整備 .....	3-107
3.4.1	技術メニューの概要 .....	3-107
3.4.2	実施内容 .....	3-108
	参考文献 .....	3-113
第4章	記録保存に関する調査 .....	4-1
4.1	目的および実施概要 .....	4-1
4.2	OECD/NEA の検討状況の調査・整理 .....	4-1
4.2.1	RK&M イニシアチブの概要 .....	4-1
4.2.2	RK&M イニシアチブ会合における検討状況 .....	4-8
4.3	Nucleus 記録保存施設 .....	4-15
4.4	フランス ANDRA による記録保存に関する検討 .....	4-16
4.5	まとめ .....	4-19
	参考文献 .....	4-21
第5章	まとめと今後の課題 .....	5-1
5.1	モニタリングの枠組みに関する検討 .....	5-1
5.1.1	諸外国の品質保証／性能確認プログラムの具体的事例の調査 .....	5-1
5.1.2	品質保証／性能確認プログラム体系の構築に資する知見の体系化 .....	5-1
5.1.3	性能確認に資するモニタリングの国際共同研究 Modern2020 プロジェクト .....	5-2
5.1.4	わが国における今後の検討要素及び制約条件の抽出並びに課題の整理 .....	5-2
5.2	地中無線モニタリング技術の検討 .....	5-3
5.2.1	無線伝送技術の開発 .....	5-3
5.2.2	無線給電システム設計手法の検討 .....	5-4
5.2.3	技術メニューの整備 .....	5-5
5.3	記録保存に関する動向調査 .....	5-5

# 目 次

図 2.2.1-1	「品質保証／性能確認プログラム」の構成要素に関する概念図[1].....	2-2
図 2.2.1-1	「長期健全性の確認等に関する検討:品質保証／性能確認プログラムに関する調査・検討」の実施項目及び作業の流れ.....	2-3
図 2.2.1-2	「長期健全性の確認等に関する検討:品質保証／性能確認プログラムに関する調査・検討」の実施項目及び作業の流れ.....	2-4
図 2.2.1-1	事業段階[24].....	2-8
図 2.2.1-2	事業段階[28].....	2-8
図 2.2.1-3	SKB が実施を予定するモニタリングの概要.....	2-10
図 2.2.1-4	Production Report 群の構成[11].....	2-11
図 2.2.1-5	設計前提条件(design premise)、ソース及び詳細度の例[12].....	2-12
図 2.2.1-6	製造及び操業にかかる設計前提条件 (design premise) の立証方法手順[12].....	2-13
図 2.2.1-7	バリア材の製造から設置に至る活動概要[12].....	2-13
図 2.2.1-8	Production reports における QM、QC および QA の関係性.....	2-15
図 2.2.1-9	緩衝材の製造ライン.....	2-16
図 2.2.1-10	処分孔に設置される保護シートの様子.....	2-19
図 2.2.1-11	キャニスタの上部と底部に設置される緩衝材の寸法.....	2-23
図 2.2.1-12	埋戻材の製造ライン.....	2-26
表 2.2.1-16 図 2.2.1-13	ベントナイトの掘削及び輸送段階とブロック及びペレットの製造段階 における製造・検査スキーム.....	2-32
表 2.2.1-17 図 2.2.1-14	操業及び定置段階における製造・検査スキーム.....	2-33
図 2.2.1-15	ペレット製造機器.....	2-36
図 2.2.1-16	特別設計のパレットに設置した埋戻材ブロック.....	2-36
図 2.2.1-17	処分孔上部の接続傾斜部の様子.....	2-37
図 2.2.1-18	底部ペレット充填の様子.....	2-37
図 2.2.1-19	処分坑道ブロック定置の様子.....	2-38
図 2.2.1-20	底部/ペレットユニットを用いたペレットの充填の様子.....	2-38
図 2.2.1-21	プラグの全容[14].....	2-41
図 2.2.1-22	プラグの製造過程.....	2-42
図 2.2.1-23	SKB による処分場設計のための the Observational Method の実行フロー[16].....	2-53
図 2.2.1-24	処分孔上部の傾斜に関する寸法[16].....	2-59
図 2.2.1-25	処分孔の底部プレート設置について[16].....	2-59
図 2.2.1-26	処分孔の穿孔における幾何公差[16].....	2-60

図 2.2.1-27	フィンランドの使用済燃料処分のスケジュール[34]	2-63
図 2.2.1-28	我が国の事業段階[28]	2-63
図 2.2.1-29	フィンランド(SF)の一連のセーフティケース[31]	2-66
図 2.2.1-30	セーフティケース構築のためのアプローチ[31]	2-68
図 2.2.1-31	緩衝材の設計に関する一連の文書構成[32]	2-68
図 2.2.1-32	安全理念 (Safety Concept) のアウトライン[31]	2-69
図 2.2.1-33	処分システムの構成要素[31]	2-70
図 2.2.1-34	緩衝材の生産工程における検査フェーズ[32]	2-78
図 2.2.1-35	緩衝材の実規模実証試験装置のセットアップ例[30]	2-89
図 2.2.1-36	緩衝材の実規模実証試験装置のセットアップ例[30]	2-90
図 2.2.1-37	米国における廃棄物パッケージの種類[24]	2-93
図 2.2.1-38	定置坑道と廃棄物パッケージの概念[24]	2-94
図 2.2.1-39	遠隔制御の検査ガントリのイメージ[21]	2-117
図 2.2.1-40	性能確認プロセス[21]	2-119
図 2.2.1-41	性能確認活動のスケジュール区分[20]	2-130
図 2.2.1-42	性能確認プログラム計画[20]	2-131
図 2.2.1-43	長期性能確認プログラム計画[20]	2-132
図 2.2.2-1	品質保証/性能確認プログラムのイメージ (スウェーデンの例)	2-137
図 2.2.2-2	現段階でのフィンランドにおけるモニタリング内容	2-138
図 2.2.2-3	調査対象国の品質保証/性能確認プログラムのイメージ	2-139
図 2.2-4	Modern2020 プロジェクトの各ワークパッケージの関係図[28]	2-142
図 2.2-5	Modern2020 スクリーニング方法論[27]	2-145
図 2.2-6	Modern2020 により改定された MoDeRn モニタリング・ワークフロー[27]	2-146
図 3.2.2-1	一般的な機械や装置の故障率曲線イメージ図	3-3
図 3.2.2-2	アンテナの構成 (断面模式図)	3-4
図 3.2.2-3	動作試験：小型送信器の測定・定期通信	3-7
図 3.2.2-4	動作試験：中継装置 1 の定期通信	3-7
図 3.2.2-5	動作試験：中継装置 2 の定期通信	3-8
図 3.2.2-6	動作試験：経路変更の指令通信	3-9
図 3.2.2-7	動作試験：中継装置 3 の定期通信	3-9
図 3.2.2-8	小型送信器と中継装置 1	3-10
図 3.2.2-9	中継装置 2&3 と受信器	3-10
図 3.2.2-10	受信器	3-11
図 3.2.2-11	受信強度確認用受信器	3-11
図 3.2.2-12	電池電圧、消費電流測定装置の配置図	3-12
図 3.2.2-13	電池電圧・消費電流測定機器	3-12
図 3.2.2-14	通信状況の確認 (全期間)	3-20
図 3.2.2-15	小型送信器 1 による温度測定データ	3-21

図 3.2.2-16	小型送信器 1 に直射光が当たっている様子 .....	3-21
図 3.2.2-17	経路変更試験の動作スケジュール (2017 年 11 月 14 日の例) .....	3-22
図 3.2.2-18	経路変更状況 (指令通信状況) .....	3-23
図 3.2.2-19	経路変更状況 (詳細) .....	3-24
図 3.2.2-20	経路変更の通信試験状況 .....	3-25
図 3.2.2-21	簡易通信チェック機の発光状況 .....	3-26
図 3.2.2-22	経路変更後の試験結果 (測定データ) .....	3-26
図 3.2.2-23	経路変更の指令通信状況 (計 5 回) .....	3-27
図 3.2.2-24	電池電圧の時間変化 .....	3-28
図 3.2.2-25	消費電流の変化 (詳細) .....	3-28
図 3.2.2-26	実距離通信試験レイアウト .....	3-30
図 3.2.2-27	実距離通信試験状況 (全体) .....	3-30
図 3.2.2-28	実距離通信試験状況 (中継装置 3 側) .....	3-31
図 3.2.2-29	実距離通信試験状況 (受信器側) .....	3-31
図 3.2.2-30	ノイズレベル (受信器側) .....	3-32
図 3.2.2-31	実距離通信試験結果 .....	3-33
図 3.2.3-1	高周波無線通信システム (左:無線ノードと受信器、右:制御器) [5] .....	3-34
図 3.2.3-2	無線ノード模式図[5].....	3-35
図 3.2.3-3	グリムゼル試験サイトでの試験レイアウト[5] .....	3-35
図 3.2.3-4	HADES URL での送信アンテナ (ECN-1) [6] .....	3-36
図 3.2.3-5	Äspö HRL での通信試験結果【8】 .....	3-36
図 3.2.3-6	小型送信器 A .....	3-37
図 3.2.3-7	送信器 C.....	3-37
図 3.2.3-8	送信器 E.....	3-37
図 3.2.3-9	中距離送信器 .....	3-37
図 3.2.3-10	底部緩衝材に設置された地中無線送信器 (左) と通信試験結果 (右) [16] .....	3-38
図 3.2.3-11	吹付工法による小型地中無線器の緩衝材への設置状況[24] .....	3-39
図 3.2.3-12	地中無線システムの地層処分への適用概念[27] .....	3-40
図 3.2.3-13	地中無線システム適用の優位性[27].....	3-40
図 3.2.3-14	ワイヤレス間隙水圧計[34] .....	3-41
図 3.2.3-15	地中無線のダムへの適用事例 (左:ダム概観、右:設置平面図) [35].....	3-42
図 3.2.3-16	地中無線の海中埋立工事への適用事例[37].....	3-42
図 3.2.3-17	除染土壌等の現場保管への適用事例[39] .....	3-43
図 3.2.4-1	測定データ (002 局)【幌延 URL】 .....	3-45
図 3.2.4-2	測定データ (003 局)【幌延 URL】 .....	3-45
図 3.2.4-3	測定データ (004 局)【幌延 URL】 .....	3-45
図 3.2.4-4	測定データ (005 局)【幌延 URL】 .....	3-46
図 3.2.4-5	測定データ (006 局)【幌延 URL】 .....	3-46

図 3.2.4-6 測定データ (007 局)【幌延 URL】 .....	3-46
図 3.2.4-7 測定データ (008 局)【幌延 URL】 .....	3-46
図 3.2.5-1 測定データ【瑞浪 URL】 .....	3-47
図 3.2.6-1 トウルミヌール地下研究所における試験概要 .....	3-48
図 3.2.6-2 送信器の部品交換 .....	3-49
図 3.2.6-3 脚設置前のアンテナ (左)、脚設置後のアンテナ (右) .....	3-49
図 3.2.6-4 送信器 (トンネル)、受信器 (山頂) による送信結果 .....	3-50
図 3.2.6-5 送信器 (山頂)、受信器 (トンネル) による送信結果 .....	3-50
図 3.2.6-6 送信器、受信器 (山頂) による試験結果 (図 3.2.6-6) .....	3-51
図 3.2.6-7 冠水坑道内の小型送信器 .....	3-52
図 3.2.6-8 撤去後の小型送信器 .....	3-52
図 3.3.2-1 これまでの実施内容と本業務の流れ .....	3-55
図 3.3.2-2 磁界共振結合のイメージ図 .....	3-57
図 3.3.3-1 水道水を介した給電実験装置[49] .....	3-58
図 3.3.3-2 水道水の有無および給電効率と伝送距離の関係 ([49]に加筆) .....	3-59
図 3.3.3-3 水道水-共振器の距離と給電効率の関係 ([49]に加筆) .....	3-59
図 3.3.3-4 水道水と塩水を介した給電実験装置[51] .....	3-60
図 3.3.3-5 水道水-共振器の距離と給電効率の関係[51] .....	3-60
図 3.3.3-6 塩水-共振器の距離と給電効率の関係[51] .....	3-60
図 3.3.3-7 マリンアート SF-1 の概要 .....	3-61
図 3.3.3-8 マリンアート SF-1 の処方内容 .....	3-61
図 3.3.3-9 人工海水濃度と電気伝導度の関係 .....	3-62
図 3.3.3-10 伝送媒体とした純水 .....	3-63
図 3.3.3-11 磁界共振結合の等価回路 .....	3-64
図 3.3.3-12 試験に使用するコイル (処分孔用の 1/6 サイズ) .....	3-65
図 3.3.3-13 試験のセットアップ .....	3-66
図 3.3.3-14 コイル間距離 400mm のコイルと水槽の位置関係 .....	3-66
図 3.3.3-15 コイル間距離 500mm のコイルと水槽の位置関係 .....	3-67
図 3.3.3-16 コイル間距離 500mm の給電試験状況 (伝送媒体なし) .....	3-67
図 3.3.3-17 コイル間距離 300mm の給電試験状況 (左:水槽中身なし、右:水槽中身あり) .....	3-67
図 3.3.3-18 コイル間距離 500mm の給電試験状況 (左:水槽中身なし、右:水槽中身あり) .....	3-67
図 3.3.3-19 人工海水濃度とコイル間距離および給電効率の関係 .....	3-69
図 3.3.3-20 自己インダクタンス .....	3-70
図 3.3.3-21 相互インダクタンス .....	3-70
図 3.3.3-22 給電効率低下の原因 .....	3-71
図 3.3.3-23 人工海水濃度とコイル抵抗の関係 .....	3-72

図 3.3.3-24	人工海水濃度とインダクタンスの関係 .....	3-73
図 3.3.3-25	人工海水濃度と Q 値の関係 .....	3-74
図 3.3.4-1	中継方式の処分孔への適用イメージ[6] .....	3-76
図 3.3.4-2	インナー方式の処分孔への適用イメージ[6] .....	3-76
図 3.3.4-3	中継方式に利用するコイル .....	3-77
図 3.3.4-4	インピーダンスアナライザ E4990A .....	3-78
図 3.3.4-5	中継方式に利用するコイルのインダクタンス .....	3-79
図 3.3.4-6	中継方式に利用するコイルの内部抵抗 .....	3-79
図 3.3.4-7	中継方式に利用するコイルの Q 値 .....	3-80
図 3.3.4-8	中継方式の試験イメージ .....	3-80
図 3.3.4-9	インナー方式に利用する中コイル .....	3-82
図 3.3.4-10	インナー方式に利用する中コイルのインダクタンス .....	3-82
図 3.3.4-11	インナー方式に利用する中コイルの内部抵抗 .....	3-83
図 3.3.4-12	インナー方式に利用する中コイルの Q 値 .....	3-83
図 3.3.4-13	インナー方式に利用する小コイル .....	3-84
図 3.3.4-14	インナー方式に利用する小コイルのインダクタンス .....	3-84
図 3.3.4-15	インナー方式に利用する小コイルの内部抵抗 .....	3-85
図 3.3.4-16	インナー方式に利用する小コイルの Q 値 .....	3-85
図 3.3.4-17	(i)の試験イメージ .....	3-86
図 3.3.4-18	(ii)の試験イメージ .....	3-86
図 3.3.4-19	3つのコイルを利用した無線給電 .....	3-87
図 3.3.4-20	3つのコイルを利用した無線給電の等価回路 .....	3-87
図 3.3.4-21	中継方式における無線給電の等価回路 .....	3-88
図 3.3.4-22	送受電コイルの位置関係 .....	3-89
図 3.3.4-23	送電コイル (大) 1つ受電コイル (大) 1つにおける送電距離と給電効率の 関係 .....	3-90
図 3.3.4-24	中継コイルの位置と給電効率の関係 (送電距離 185mm) .....	3-91
図 3.3.4-25	中継コイルの位置と給電効率の関係 (送電距離 370mm) .....	3-92
図 3.3.4-26	中継コイルの位置と給電効率の関係 (送電距離 555mm) .....	3-93
図 3.3.4-27	中継コイルの位置と給電効率の関係 (送電距離 740mm) .....	3-94
図 3.3.4-28	インナー方式における無線給電の等価回路 .....	3-95
図 3.3.4-29	送電コイル (大) 1つ受電コイル (大) 1つにおける送電距離と給電効率の 関係 .....	3-97
図 3.3.4-30	受電コイル (中) におけるインナー方式の給電効率 .....	3-98
図 3.3.4-31	受電コイル (小) におけるインナー方式の給電効率 .....	3-99
図 3.3.4-32	送電コイル 1つ受電コイル (大) 1つの給電実験状況 .....	3-100
図 3.3.4-33	送電コイル 1つ受電コイル (大) における給電効率の理論値と実験値 .....	3-100
図 3.3.4-34	中継方式の給電実験状況 .....	3-101

図 3.3.4-35	中継方式における送電距離 185mm の理論値と実験値.....	3-102
図 3.3.4-36	中継方式における送電距離 370mm の理論値と実験値.....	3-102
図 3.3.4-37	中継方式における送電距離 555mm の理論値と実験値.....	3-103
図 3.3.4-38	中継方式における送電距離 740mm の理論値と実験値.....	3-103
図 3.3.4-39	2 段階の無線給電.....	3-104
図 3.3.5-1	技術メニューの目標[60].....	3-107
図 3.4.2-1	「技術メニューの整備」の実施項目及び作業の流れ.....	3-109
図 3.4.2-2	操作性向上のためのシステム改良前後の画面比較.....	3-111
図 4.2.1-1	NEA 組織図 (RK&M イニシアチブ会議資料より抜粋) .....	4-3
図 4.2.1-2	放射性廃棄物管理委員会 (RWMC) 組織図.....	4-4
図 4.2.2-1	RK&M イニシアチブの提唱する処分場に関する記録の構造 .....	4-9
図 4.2.2-2	監視 (Oversight) と事業段階の関係 (ICRP-122) .....	4-10
図 4.2.2-1	Nucleus 記録保存施設 外観.....	4-16
図 4.2.2-2	Nucleus 記録保存施設 書庫.....	4-16

# 目 次

表 1.2.2-1	5 年間の研究開発計画 .....	1-2
表 1.2-1	平成 27 年度に見直した 5 年計画 .....	1-8
表 1.3-1	平成 29 年度の実施内容 .....	1-10
表 2.2.1-1	各対象についての調査の視点.....	2-5
表 2.2.1-2	スウェーデンの調査対象文献.....	2-6
表 2.2.1-3	性能確認／品質保証プログラム構築に資する情報調査・整理に係る基本情報（スウェーデン） .....	2-7
表 2.2.1-4	高レベル放射性廃棄物の安全機能と構成要素の関係[28].....	2-9
表 2.2.1-5	KBS-3 処分場に関する設計・製造報告書（TR-10-12） [12]の構成.....	2-12
表 2.2.1-6	製造前及び製造中の品質管理活動、その結果及び関連する品質保証活動[12] .....	2-14
表 2.2.1-7	各製造段階における処理方法.....	2-18
表 2.2.1-8	緩衝材に要求される特性、設計パラメータ及び参照設計値 .....	2-21
表 2.2.1-9	ブロック及びペレットの参照設計 .....	2-23
表 2.2.1-10	ベントナイトの掘削及び輸送段階とブロック及びペレットの製造段階における製造-検査スキーム .....	2-24
表 2.2.1-11	操業及び定置段階における製造-検査スキーム .....	2-24
表 2.2.1-12	SKB における緩衝材の製造段階と品質管理内容（検査、計測） .....	2-25
表 2.2.1-13	検査されるパラメータと検査方法 .....	2-28
表 2.2.1-14	埋戻材の設計パラメータ（定置後のブロック、ペレット、床材） .....	2-31
表 2.2.1-15	要求される特性、設計パラメータ及び検査されるパラメータとそれらの関係性 .....	2-31
表 2.2.1-16	図 2.2.1-13 ベントナイトの掘削及び輸送段階とブロック及びペレットの製造段階 における製造-検査スキーム .....	2-32
表 2.2.1-17	図 2.2.1-14 操業及び定置段階における製造-検査スキーム .....	2-33
表 2.2.1-18	埋戻材の掘削、製造、定置に係るプロセス.....	2-34
表 2.2.1-19	埋戻材用の低グレードベントナイトの材料組成.....	2-35
表 2.2.1-20	SKB における埋戻材の製造段階と検査パラメータ .....	2-39
表 2.2.1-21	性能と前準備、定置、検査に関する方法の design premises.....	2-43
表 2.2.1-22	プラグ製造の際に行われるプロセスと検査.....	2-44
表 2.2.1-23	閉鎖材製造の際に行われるプロセスと検査.....	2-46
表 2.2.1-24	『地下開口部の設計、建設及び初期状態報告書（TR-10-18）』の文章構成 .....	2-48
表 2.2.1-25	評価対象となるジオハザードとモニタリング位置[16] .....	2-54
表 2.2.1-26	処分坑道建設に用いられる参照方法.....	2-56

表 2.2.1-27	処分孔の建設で用いられる参照方法.....	2-57
表 2.2.1-28	地下開口部における design premises と設計される特性及び機能[16] .....	2-58
表 2.2.1-29	フィンランドに関する調査対象文献.....	2-61
表 2.2.1-30	性能確認／品質保証プログラム構築に資する情報調査・整理に係る基本情報 (フィンランド) .....	2-61
表 2.2.1-31	高レベル放射性廃棄物の安全機能と構成要素の関係[28].....	2-64
表 2.2.1-32	フィンランド(SF)のセーフティケース文書(概要版)の目次構成[31].....	2-67
表 2.2.1-33	要件管理システム (VAHA) の階層及び内容[31] .....	2-69
表 2.2.1-34	長期安全原則[31].....	2-69
表 2.2.1-35	EBS 構成要素及び母岩に割り当てられた安全機能[31] .....	2-70
表 2.2.1-36	フィンランドの緩衝材設計にかかる性能要件 (性能目標) –設計要件–設計仕 様の連関[32] .....	2-71
表 2.2.1-37	STUK の規則及び安全指針における品質管理／品質保証活動の規定 .....	2-74
表 2.2.1-38	Posiva の建設許可申請書における品質管理に関する記載内容.....	2-75
表 2.2.1-39	Buffer Production Line 2012 (POSIVA2012-17[32]) 目次.....	2-76
表 2.2.1-40	緩衝材に要求される特性、設計パラメータ、及び緩衝材の生産時に検査される パラメータとそれらの関連 (材質や製造に関連するもの) [32].....	2-77
表 2.2.1-41	緩衝材に要求される特性、設計パラメータ、及び緩衝材の生産時に検査される パラメータとそれらの関連 (設置に関連するもの) [32].....	2-77
表 2.2.1-42	緩衝材の生産工程における各検査フェーズでの検査内容とその方法[32] ...	2-79
表 2.2.1-43	ベントナイト材料の組成や特性に関する検査の方法、頻度及び サンプル数の候 補[27][32].....	2-80
表 2.2.1-44	STUK の規則及び安全指針における性能確認／モニタリングの規定[1].....	2-82
表 2.2.1-45	Posiva の建設許可申請書及び報告書における性能確認モニタリングに関する 記載内容[1] .....	2-83
表 2.2.1-46	POSIVA 2012-01 の目次構成[30] .....	2-84
表 2.2.1-47	長期安全性の観点で重要な人工バリアシステムの変遷に関連するプロセス[30] .....	2-86
表 2.2.1-48	人工バリア中での移行に関連するプロセス及び特性[30].....	2-86
表 2.2.1-49	人工バリアモニタリングのターゲット案[30] .....	2-87
表 2.2.1-50	人工バリアの実証試験スケジュール[30] .....	2-88
表 2.2.1-51	米国ユッカマウンテン地層処分場に関する調査対象文献.....	2-92
表 2.2.1-52	米国ユッカマウンテン地層処分場に係る品質保証プログラムの要件(部分)[25] .....	2-97
表 2.2.1-53	品質関連活動に適用する品質保証プログラムの要件(QARD:version20) のうち モニタリングに関連する項目 .....	2-105
表 2.2.1-54	米国ユッカマウンテン地層処分場に係る性能確認プログラムの要件[25] .	2-113
表 2.2.1-55	米国ユッカマウンテン地層処分場に係る性能確認プログラム内容の規定	2-116

表 2.2.1-56	DOE による性能確認プログラムに関する 8 段階のアプローチ[23]	2-120
表 2.2.1-57	性能確認プログラムに関する“トラップ (Traps)”[23]	2-120
表 2.2.1-58	NRC 規則に関する専門家ワークショップでの主なコメント[23]	2-122
表 2.2.1-59	DOE による性能確認プログラムに関する 8 段階のアプローチ[20]	2-124
表 2.2.1-60	性能確認プログラムに含められる試験およびモニタリング活動[20]	2-125
表 2.2.1-61	性能確認プログラムに含められる試験およびモニタリング活動[20]	2-126
表 2.2.1-62	性能確認活動とバリア及びモデルとの関係[20]	2-127
表 2.2.1-63	10 CFR Part 63 と性能確認活動との関係[20]	2-128
表 2.2.1-64	10 CFR Part 63 と性能確認活動との関係[20]	2-129
表 2.2.2-1	調査対象国の品質保証及び／又は性能確認に関する規制要求	2-134
表 2.2.2-2	調査対象国の品質保証／性能確認プログラムに関する考え方の整理	2-135
表 2.2.3-1	Modern2020 プロジェクトへの参加機関	2-143
表 2.2.3-2	Modern2020 スクリーニング方法論の各ステップの説明 ([27]より作表)	2-147
表 2.2.3-3	Modern2020 スクリーニング方法論の補足的質問 ([27]より作表)	2-149
表 2.2.3-4	バリア固有の安全機能、指標、基準の例[29]	2-152
表 2.2.3-5	閉鎖後安全性に係る EBS (容器／緩衝材／埋め戻し材／プラグ) のモニタリング可能なパラメータの例[29]	2-153
表 2.2.3-6	SKB によるテストケースに採用された安全機能とパラメータ (29)より作表)	2-153
表 2.2.4-1	原子力規制委員会での L1 にかかる議論のうちモニタリングに関する規制の意見等	2-156
表 2.2.4-2	「第二種廃棄物埋設に係る規制基準等の骨子案」における モニタリングに関する記述	2-157
表 2.2.4-3	閉鎖後安全性に係る EBS システム (容器／緩衝材／埋戻材／プラグ) の モニタ可能な一連のパラメータ[26]	2-158
表 2.2.4-4	モニタリングパラメータ、代替パラメータ及び計画[26]	2-159
表 2.2.5-1	各国の人工バリアに係わる品質保証／性能確認プログラムの比較 (考え方)	2-162
表 2.2.5-2	諸外国調査結果を踏まえた品質保証／性能確認プログラムの構成要素	2-163
表 3.2.2-1	動作試験の計測・通信条件	3-5
表 3.2.2-2	各動作の消費電流量 (試算)	3-6
表 3.2.2-3	データ収録状況	3-20
表 3.2.2-4	各動作の消費電流量の試算時と実測値の比較	3-29
表 3.2.2-5	実距離通信試験結果	3-33
表 3.3.2-1	地層処分におけるモニタリングに無線給電を適用する特有の課題	3-56
表 3.3.2-2	給電方式の分類 (赤枠は本検討対象)	3-57
表 3.3.3-1	人工海水濃度と電気伝導度の関係	3-62

表 3.3.3-2	伝送媒体人工海水濃度と電気伝導度の関係.....	3-63
表 3.3.3-3	給電試験に用いる 1/6 スケールのコイル.....	3-65
表 3.3.3-4	伝送媒体（空気・水道水・純水）とコイル間距離および給電効率の関係 ....	3-68
表 3.3.3-5	人工海水濃度とコイル間距離および給電効率の関係 .....	3-68
表 3.3.3-6	人工海水濃度とコイル抵抗の関係 .....	3-72
表 3.3.3-7	人工海水濃度とインダクタンスの関係 .....	3-73
表 3.3.3-8	人工海水濃度と Q 値の関係 .....	3-74
表 3.3.4-1	中継方式に利用するコイルの大きさ と巻数.....	3-77
表 3.3.4-2	インナー方式に利用するコイルの大きさ と巻数.....	3-81
表 3.3.4-3	送電コイル（大） 1 つ受電コイル（大） 1 つにおける送電距離と給電効率の関係 .....	3-90
表 3.3.4-4	中継コイルの位置と給電効率の関係（送電距離 185mm） .....	3-91
表 3.3.4-5	中継コイルの位置と給電効率の関係（送電距離 370mm） .....	3-92
表 3.3.4-6	中継コイルの位置と給電効率の関係（送電距離 555mm） .....	3-93
表 3.3.4-7	中継コイルの位置と給電効率の関係（送電距離 740mm） .....	3-94
表 3.3.4-8	送電コイル（大） 1 つ受電コイル（中） 1 つにおける送電距離と給電効率の関係 .....	3-96
表 3.3.4-9	送電コイル（大） 1 つ受電コイル（小） 1 つにおける送電距離と給電効率の関係 .....	3-96
表 3.3.4-10	受電コイル（中）におけるインナー方式の給電効率 .....	3-98
表 3.3.4-11	受電コイル（中）におけるインナー方式の給電効率（マトリクス表） .....	3-98
表 3.3.4-12	受電コイル（小）におけるインナー方式の給電効率 .....	3-99
表 3.3.4-13	受電コイル（小）におけるインナー方式の給電効率（マトリクス表） .....	3-99
表 3.3.4-14	送電コイル 1 つ受電コイル（大）におけるコイル間距離と給電効率の関係 .....	3-100
表 3.3.4-15	中継方式における給電効率の実験値.....	3-101
表 3.3.5-1	これまでの進捗と新たな課題.....	3-106
表 3.4.1-1	技術メニューの全コンテンツ .....	3-108
表 3.4.2-1	検索条件からの「リリース日」の削除のためのプログラム変更点 .....	3-109
表 3.4.2-2	検索結果における「型番」や「商品名」の非表示のためのプログラム変更点 .....	3-110
表 3.4.2-3	計測／伝送方法比較表の非表示化のためのプログラム変更点.....	3-110
表 4.2.1-1	RK&M イニシアチブへの参加機関.....	4-2
表 4.2.1-2	NEA 技術委員会の名称.....	4-3
表 4.2.2-1	鍵となる情報ファイル（KIF）の構成案[12].....	4-10
表 4.2.2-2	SER の目次案（オプション 1） .....	4-11
表 4.2.2-3	SER の目次案（オプション 2） .....	4-12
表 4.2.2-4	記録、知識、記憶の保存に関する戦略的構成要素 .....	4-13

表 4.2.2-5	RK&M イニシアチブ最終報告書目次案 .....	4-14
表 4.2.2-1	ANDRA による記憶保存のレファレンス策([13]より作表) .....	4-18
表 4.2.2-2	ANDRA による 2010 年以降の記憶プログラムの概要([13]より作表) .....	4-18
表 4.2.2-3	ANDRA による記録保存に関する社会科学的側面を持つ研究テーマ([13]より作表) .....	4-19

# 第1章 はじめに

## 1.1 本事業の背景および目的

我が国において、これまでの原子力発電の利用に伴って放射性廃棄物が既に発生しており、その処理・処分対策を着実に進める必要がある。高レベル放射性廃棄物等の地層処分については、事業実施に向けた取組が進められており、処分技術のさらなる信頼性の向上にむけた基盤技術の開発が、事業の段階的なプロセスを考慮して実施されている。

これまでに、処分場の操業期間中におけるガラス固化体のオーバーパックへの封入・検査技術、オーバーパックの周囲に設置される緩衝材の施工技術及び人工バリアのモニタリング技術等の要素技術について、必要となる基盤技術が整備されてきた。今後、さらなる処分技術の信頼性向上のためには実際の深部地下環境での活用を通して、これらの工学的な要素技術の信頼性を高める必要がある。さらに、東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、操業期間中における自然災害である巨大地震や巨大津波等の安全対策に関する基盤技術の整備も喫緊の課題となっている。

平成 27 年 5 月には“特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針”が改定され、「国および関係研究機関は、最終処分の安全規制・安全評価のために必要な研究開発、深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発及び最終処分技術の信頼性の向上に関する技術開発等を積極的に進めていくものとする。」ということが示された[1]。

本事業では、平成 25 年度から 5 年程度の期間で処分場の操業期間中における人工バリアの製作・施工技術及びモニタリング技術等の工学技術を、地下研究施設を活用して確証していくとともに、自然災害に対する操業期間中の工学的対策に関する基盤技術の整備を行う。

## 1.2 本事業の構成および全体計画

### 1.2.1 研究開発項目の構成

上記の目的を達成するために、本事業は以下の 5 つの研究開発項目で構成されている。各研究開発項目の内容については、それぞれの分冊に記載する。

- 1) (第 1 分冊) 人工バリア品質／健全性評価手法の構築－オーバーパック
- 2) (第 2 分冊) 人工バリア品質／健全性評価手法の構築－緩衝材
- 3) (第 3 分冊) 人工バリアと周辺岩盤の長期挙動評価手法の構築
- 4) (第 4 分冊) モニタリング関連技術の整備
- 5) 自然災害に対する操業期間中の安全対策に関する基盤技術の開発※

※平成 27 年度に取りまとめを実施したため、平成 28 年度からは成果普及に取り組んだ。

### 1.2.2 本事業における設定課題と 5 年間の計画

本事業では、地層処分における工学技術に対する信頼性を向上させるために、人工バリアのうちのオーバーパックおよび緩衝材の品質／健全性評価手法の構築やモニタリング関連技術の整備、自然災害に対する操業期間中の安全対策に関する基盤技術の開発に取り組む。人工バリアに要求される機能は、それぞれが単独で達成するものではなく、各要素が相互に影響をおよぼし合い、

人工バリアシステムとしての要求機能が達成される。そのため、平成 27 年度からは、周辺岩盤挙動を含めて人工バリアの長期挙動を評価するための手法の構築に向けた取り組みを開始した。本事業の 5 カ年の実施計画を表 1.2.2-1 に示す。

一般的な構造物とは異なり、オーバーパックと緩衝材に対しては共用後（埋設後）の検査や必要に応じた補修を行うことが想定されていない。そのため、オーバーパックと緩衝材の品質/健全性は、定置前の段階で確認しておく必要がある。また、処分場の掘削・操業期間から人工バリア定置後の地下水位の回復にともなう擾乱期（再冠水過程）には、緩衝材の流出や地下水の浸潤による変質などによる材料劣化も想定される。したがって、検査や補修を必要とせず人工バリアの健全性を確保するためには、埋設後に想定される劣化事象を考慮した上で要求される機能を満足できる設計を行い、製作・検査・施工の各プロセスで品質管理を実施することによりそれらの品質を保証する必要がある。

一方で、埋設後の人工バリアの性能を確認するためには、処分場の環境条件を把握する必要がある。また、処分場の環境条件を把握することは、処分場閉鎖の判断要因の一つとして利用されることも考えられる。そのためには、人工バリアおよびモニタリングに関する個別および境界の課題を抽出し、相互に共有され検討を進める必要がある。さらに、処分場の操業期間中に大規模な自然災害が発生することも考えられるため、想定される災害事象に対する安全確保対策について検討しておくことが重要となる。

長期間の健全性を有する人工バリアシステムの工学的実現性を示すためには、オーバーパック、緩衝材、人工バリアの長期挙動、モニタリング、自然災害に対する安全対策の 5 つの検討項目について、それぞれの境界にある課題や個々の成果などを共有しつつ研究開発を進める。

表 1.2.2-1 5 カ年の研究開発計画

	H25	H26	H27(計画更新)	H28	H29
(1) 処分システム工学確証技術開発					
1) 人工バリア品質／健全性評価手法の構築－オーバーバック	・判断指標の抽出 ・健全性評価モデル案の作成 ・研究開発計画策定	・判断指標に影響する劣化事象の抽出	・破壊評価に基づく限界欠陥寸法の提示	・材料劣化を考慮した品質評価法の提案	・品質評価／健全性評価手法の提案 ・健全性判断指標および基準値設定の考え方の例示
2) 人工バリア品質／健全性評価手法の構築－緩衝材	・緩衝材の品質評価項目の抽出 ・研究開発計画策定	・エロージョンによる性能劣化事象(流入量、液種)の定量化	・ウォーターマネジメント(人工注水、グラウト等)の実施方法・課題の提案	・緩衝材の設計・施工仕様策定に資する指標範囲の提示	
3) 人工バリアと周辺岩盤の長期挙動評価手法の構築			・試験研究計画の立案 ・遠心力模型試験による加速データの取得、および要素試験による解析パラメータの取得	データの検証および長期挙動評価手法への課題の提示	再冠水後の試験データによる長期挙動の評価方法論、および検証データの提示
3) モニタリング関連技術の整備	・性能確認モニタリングの課題抽出 ・研究開発計画策定	・操業安全等に関するモニタリングの課題抽出	・地下調査施設による地中無線モニタリング技術の確証	・性能確認モニタリング結果反映方法提案	・実現可能な技術選択肢による人工バリア等のモニタリング計画の例示
(2) 自然災害に対する操業期間中の安全対策に関する基盤技術の開発	・検討手法等の適用性の確認 ・研究開発計画策定	・火災事象に対する人工バリアの健全性の把握	・火災事象に対する施設計画時の制約事項等の提案		

- 5年間の成果目標
- ・人工バリアの健全性を確保するための判断指標および人工バリア製作・施工手法の提示
  - ・技術的实现性と結果の反映方法が確保されたモニタリング計画立案手法の提示
  - ・自然災害に対する工学的対策技術に裏付けられた施設計画手法の提示

### 1.3 モニタリング関連技術の整備に関するこれまでの開発成果

地層処分モニタリングに関する開発は平成 12 年度に開始された。平成 12 年度から 18 年度の期間を第 1 フェーズ、平成 19 年度から平成 24 年度の期間を第 2 フェーズとして、開発、検討を行っており、平成 25 年度からの 5 年間の第 3 フェーズとしている。

#### 1.3.1 第 1、第 2 フェーズ

モニタリングに係る調査研究は、資源エネルギー庁調査等委託事業として平成 12 年度に開始した。以降、わが国におけるモニタリング方策や計画等の策定に資する情報や基盤技術等の整備に向けて、モニタリングの位置付けや目的等に係る検討とともに、技術の適用性に関する体系的な情報整備を進めてきた。併せて、記録保存についても、本事業の調査研究の対象として、国際的な議論などの最新動向の調査を実施している。

このような調査研究の取組は、委託事業の節目とも整合させつつ段階的に進めており、第 1 フェーズ（平成 12 年度～平成 18 年度）及び第 2 フェーズ（平成 19 年度～平成 24 年度）の調査研究を経て、それらの地層処分事業における位置付けに関する国内外の検討動向等の整理を行い、モニタリングについては次の 4 つの反映先の観点からその意義や目的等を整理した。

- 1) ベースライン構築（サイト調査と関連）
- 2) 環境データベース構築（サイト調査と関連）
- 3) 規制等遵守（放射線学的、非放射線学的、防護措置の遵守）
- 4) 性能確認（安全評価結果に影響を及ぼす FEPs (Features, Events and Processes)に  
関連するパラメータの確認）

また、技術的側面に関する検討（技術開発）では、技術メニューの整備を進めるとともに、モニタリングに関連する要素技術のうち、共通的かつ中核技術であるデータ伝送技術に着目し、特にケーブルを用いないことから処分場の安全機能への擾乱の抑制が期待できる無線通信技術について、要素試験から地下環境での実証試験へと段階的に取り組んできた。

### 1.3.2 第3フェーズ（平成25～28年度）

平成25年度からの5ヵ年計画では、上記のこれまでの調査研究成果を踏まえ、主に技術的観点から以下の取組を進めている。

- ①長期健全性の確認等に関する検討：地層処分事業に特徴的な（特有の）取組となる上記の「性能確認」について、モニタリングを含めた取組の全体枠組みの具体化に向けた検討を進める。併せて、技術メニューの整備・拡充を進める。
- ②状態確認技術の検討：モニタリングに関連する要素技術の開発として、引き続き無線通信技術の信頼性や実用性（適用性や冗長性）の向上に取り組むとともに、無線通信技術に関連する電源供給技術や他の状態確認に係る技術の調査や検討を進める。
- ③記録保存に関する調査：地層処分事業における記録保存について、国や関連機関による取組計画等の策定の際に活用可能な基盤情報等の整備に向けて、特に最新の国際的な検討動向等の調査を行い、その目的や具体的方策ならびに技術的可能性等に関する検討動向等の整理・分析を進める。

#### (1) 平成25年度

平成25年度は当該年度から5年間のモニタリング関連技術の整備に関して、①目的や実施場所、パラメータ、そして結果の反映方法などの枠組みに関する検討と、②技術的実現性の向上に関する検討に分けて計画した。計画にあたっては、第2フェーズの取りまとめにあたり抽出した課題に加え、国際共同研究 MoDeRn プロジェクトにおいて抽出した課題を参照した。これに加え、モニタリング結果を含む地層処分に関する様々な記録の保存についても調査計画を示した。

長期健全性の確認等に関する検討では、地層処分モニタリングの枠組みに関する検討として、地層処分における各種のモニタリングについてその分類を示し、本検討で重点を置く処分場の閉鎖後の安全性に関するモニタリング（性能確認モニタリング）の国際共同研

究 MoDeRn プロジェクトが作成した主要報告書（リファレンスフレームワーク報告書）について概要を整理した。また、地下特性調査施設、パイロット施設、処分パネルの各箇所ですべて人工バリアの性能確認モニタリングを行う場合について、バリア機能の阻害、地質学的・水理学的な代表性、放射線影響の観点から比較し、その得失を示した。さらに、人工バリアの構成要素の品質とこれにより達成される性能に関するモデルにより、事前に予測されたあるパラメータの範囲とモニタリング結果の比較を基に性能確認モニタリングの結果の反映方法を検討した。

状態確認技術の検討では、平成 24 年度に開発した地中無線モニタリング機器の中継システムを用いて、原子力機構の幌延深地層研究所にて深度 250m の坑道と深度 140m の坑道間、及び深度 250m の坑道と地表間にて中継試験を実施し、通信の成功を確認した。これにより小型地中無線送信装置によるモニタリングデータを同送信装置の通信距離である 20 数 m を越えて遠方に送信可能であることが確認できた。また、小型地中無線送信装置によるモニタリングの適用範囲拡大のため、中継装置の概念設計を行うとともに、緩衝材の全圧、間隙水圧、水分（飽和度）、温度を測定する水分センサの接続アダプタを開発した。これにより、処分坑道の埋戻しやプラグの設置が行われる環境での地中無線による緩衝材モニタリングの実現性が向上した。

## (2) 平成 26 年度

長期健全性の確認等に関する検討では、地層処分に関するモニタリングの目的について概略を示し、この中で人工バリアの長期健全性に関連する、処分場閉鎖後の安全性に関するモニタリング（性能確認モニタリング）を中心として検討を実施し、性能確認モニタリングに関する国際的な動向として、国際共同研究 MoDeRn の主要成果、及び OECD/NEA における検討の概要を整理した。

また、性能確認モニタリングのうち技術的な困難を有する人工バリアのモニタリングに関して考察を行うとともに、ニアフィールドのモニタリングにより人工バリアの性能確認に資する方法について検討した。さらに、操業期間中の安全に関するモニタリングについて検討するとともに、廃棄体の回収可能性に関わるモニタリングについても検討した。

状態確認技術の検討では、地中無線技術に関する重要な課題である長寿命化について、各種の電源供給技術の文献調査を実施した。地中無線モニタリング装置に現在用いている電源である化学反応による一次電池については、センサの寿命に相当する 10~15 年の間電力供給が可能な電池が市販されており、現状で最も現実的な電源といえる。しかしながら、これ以上の期間にわたって電力を供給するためには、放射性同位体熱電気変換器や電磁波による電力供給等の適用を検討すべきであると結論づけた。また、地中無線送信装置に使用している電源（リチウム系電池）の高温環境での耐久性に関する試験を実施した。その結果、現在使用している電池は高温環境（80~90℃）において、室内温度環境（20℃）と比較して 94.5%の期間電力が供給可能であることを確認した。

また、幌延深地層研究所での人工バリア性能試験、及び瑞浪超深地層研究所での冠水試

験に対し、平成 25 年度に開発した装置等を設置して計測し、地中無線モニタリング技術の地下研究施設での適用性検証を開始した。

さらに、平成 23 年度から実施している地中無線モニタリング装置の開発に関するフランスの ANDRA と共同研究では、ビュール地下研究所の坑道から掘削したボーリング孔にて緩衝材の膨潤挙動に関する長期モニタリングを実施した。また、平成 25 年度の中継試験の結果を基に、ビュール地下研究所における 490m 坑道と地表との長距離通信の実現可能性の確からしさ（不確実性）について Evidential support logic (ESL)を用いて評価し、試験方法を検討した。

記録保存に関する調査では、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する記録保存についての最新動向の調査を実施し、OECD/NEA-RWMC が 2009 年より実施している記録保存に関するプロジェクトの 3 文書について内容を整理した。本プロジェクトは進行中であるが、議題となる内容は、制度的管理の一環である記録保存、マーカー・モニュメント等に加え、閉鎖までの記録管理について含むこととなる予定であり、今後公開される報告書等の情報は非常に重要であると考えられる。英国の地層処分に関する記録保存については、2009 年の規制要件及び事業者の対応策を整理するとともに、わが国において平成 23 年に施行された「公文書管理法」について、内閣府等により公表された具体的な運用方法についての文書（管理法施行例や運用マニュアル等）の内容を調査・整理した。

### (3) 平成 27 年度

平成 25 年度に策定した調査研究計画について、長期健全性の確認等に関する検討および性能確認技術の検討の観点から更新した。平成 27 年度に更新した 5 ヵ年計画を

表 1.3-1 に示す。

性能確認技術の検討では、無線通信技術の検討として、地中無線の冗長化手段としてのデータの伝送経路を複数確保することの有効性について、システム全体の信頼性を計算することで検証した。その結果、単一の伝送経路に比べ、複数の方がシステム全体の信頼性が飛躍的に向上することが確認できた。

また、中継装置の要求される通信距離、信頼性に応じて、必要な段数、系統数の算出方法についても確認した。平成 26 年度の検討結果と開発課題をもとに、各回路とプログラムの詳細設計およびプログラム開発を実施した。そして、通信同期、中継動作、異常復旧時の指令通信や系統変更などの機能について確認した。さらに、地下研究施設等における地中無線通信技術の適用性試験の評価では、設置した小型送信器が正常に動作していることを確認した。

無線給電技術の検討では、地層処分事業における非接触給電の適用に向けた課題を整理し、開発目標を明確にするため、コイル直径やコイル間隔をパラメータとした給電効率の理論値を算出した。その結果、例えば、プラグ部分に設置可能な最大寸法である直径 4m の 1 次コイルと 2 次コイルにおいて、コイル寸法比=1 の場合、離間距離 3m に対する給電効率は 76%となるなどの結果が得られ、コイル直径やコイル間隔をパラメータとした給電効率の理論的特性を把握することができた。

記録保存に関する調査では、放射性廃棄物の処分における記録保存に関する動向、海外の記録保存に関する最新の考え方、方策について、OECD/NEA-RWMC（経済協力開発機構原子力機関・放射性廃棄物管理）が検討している Records, Knowledge and Memory（RK&M）イニシアチブの概要、位置付け、方針、話題等を整理した。

なお、平成 24 年度末に運用を中止した地層処分モニタリング技術メニューの運用は平成 25 年度に再開するとともに、毎年、原環センターにおける地層処分モニタリングに関する検討結果及び国際共同研究 MoDeRn プロジェクトにおける検討結果を反映し、情報を更新してきた。

表 1.3-1 平成 27 年度に見直した 5 か年計画

		平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度
①5年間の研究計画立案		・計画立案		・進捗確認、計画更新		
②長期健全性の確認等に関する検討	i) 長期健全性の確認に関する検討	・詳細計画検討 ・性能確認モニタリングの課題抽出 ・モニタリング結果反映方法の検討	・人工バリアの長期健全性に関わる技術要件とFEPによるパラメータの抽出 ・状態確認結果反映方法の検討	・状態確認結果の反映方法に関する検討	・実際の操業段階に留意した、5WHの整理 ・人工バリアの性能評価における計測結果の取り扱い方法の提示（人バリア品質と連携） ↑地質環境条件 ・処分場の段階的な進捗に合わせたベースライン/状態変遷把握方法の提示	・段階的な進捗、それに伴う様々な実際の処分事業における人工バリアの性能確認プログラム構築の方法論の提示 ・各目的に対する計測技術ごとの特性に着目した技術選択方法の提示
		・MoDeRn成果取りまとめ		・国際的な共同研究への参画などによる性能確認モニタリング事例の検討	・国際的な共同研究への参画などによる性能確認モニタリング事例の情報収集	
	ii) その他の状態確認に関する検討	・詳細計画検討	・操業安全及び回収可能性に係るモニタリングの調査・検討		・操業安全、可逆性・回収可能性の維持に係る状態確認方法の調査・検討 ・制度的管理等に係る状態確認の調査・検討	
	iii) 技術メニューの整備	・詳細計画検討	・技術メニューへの記録保存成果反映	・調査・開発成果の反映	・性能確認プログラムに基づく、対象・技術の整理	・技術メニューへの実装
③状態確認技術の検討	i) 地中無線モニタリング技術の開発	・詳細計画検討	・国際WS共催	・進捗確認、計画更新	・無線伝送技術の開発 ・中継装置のパッケージ化の検討・実装、複数段の中継試験 ・無線伝送技術の運用方法の検討、実際の地層処分事業における仕様の推奨例	・無線伝送技術の開発 複数段・複数系統の中継試験による、無線伝送技術の信頼性の提示
		・中継機等耐圧化検討 ・小型送信機水分計アダプタ開発	・多段中継方法検討	・多段中継機詳細設計		
	ii) 電源供給技術等の調査	・課題抽出 ・耐熱性試験	・電磁波による電力供給の基礎試験 ・放射性同位体熱電気変換器の熱影響等の検討	・電磁波による電力供給の基礎試験	・理論的な性能評価に基づく、無線給電技術の適用範囲の提示	・無線伝送装置と組み合わせた、使用方法の提示
	iii) 地下研等における検証	・中継技術検証 ・モニタリング技術検証準備	・緩衝材・埋戻し材膨潤挙動、水圧モニタリングへの適用性検証	・緩衝材・埋戻し材膨潤挙動、水圧モニタリングへの適用性検証	・地下調査施設における地中無線伝送技術の実証 ・計測計画の自薦的検討 ・地下施設の環境回復確認（予定）	・地下調査施設における地中無線伝送技術の実証
④記録保存に関する調査		・詳細計画検討 ・動向調査分析	・OECD/NEAの動向調査・分析	・記録保存に関する動向調査・分析	・記録保存事項の検討	・記録保存システム案の提示

(4) 平成 28 年度

IAEA の特定安全要件、特定安全指針では性能確認プログラム、またはその一部であるモニタリングが要求されており、地層処分事例が先行する諸外国では、性能確認プログラムは規制要件との関係で国により異なった形で行われようとしている。また、MoDeRn プロジェクトや MoDeRn2020 プロジェクトではモニタリングのあり方について検討されている段階である。国際的動向の調査結果から、以下の要点を整理した。

- ・処分場の構成要素（人工バリア等）の安全機能、性能や品質に影響する事象を対象として実施される。
- ・処分概念や確認すべき事象の特性により、人工バリア等の製造時の品質管理、建設・操業時の品質管理、室内試験や現地試験、モニタリングという異なった手法を組み合

わせて実施される。

- ・モニタリングや室内試験等の個別の計画のみでなく、性能確認プログラム、品質管理計画の全体を俯瞰し、個々の手法の役割を把握する必要がある。

また、上記の調査結果をふまえ、わが国で検討されている処分概念と共通した処分概念を有し、処分事業が先行しているスウェーデンとフィンランドについて具体的内容を調査し、品質保証／性能確認プログラムを検討するための情報整理を課題として抽出した。

地中無線モニタリング技術の検討では、地層処分場でのモニタリングに際し、配線による処分安全性能への影響を低減することが可能な地中無線通信技術について、モニタリングデータの無線伝送技術の開発と、モニタリング関連機器へ無線で電力を供給する無線給電技術の地層処分システムへの適用性について検討した。

無線伝送技術の開発では地下施設での設定条件を整理するとともに、伝送距離を延ばす中継装置製作の設計フローを作成し、動作検証によりデータ通信ができることを確認した。今後の課題として、無線伝送技術の機器やプログラムの初期不良が発生しやすい 6 カ月程度の長期にわたる動作確認を行う必要がある。

無線給電技術の地層処分システムへの適用性についての検討では、施工時に発生する送電コイルの設置位置ずれ（変位、偏角）による給電効率への影響を室内試験で評価した。コイル間距離がコイル直径と同じ場合、変位ずれおよび偏角ずれの給電効率への影響は小さく、送受電コイル施工時においては、変位、偏角に対して高い設置精度を必要としない。また、プラグを介した無線給電の影響評価として、鉄筋及びコンクリートがそれぞれの材料が無線給電に与える影響を評価した。プラグ内の鉄筋を模擬した金網を介する給電試験では、給電効率が 66%低下し、共振周波数や負荷抵抗を調整することで 34.4%低下まで改善ができるものの、鉄筋などの金属がコイル間にあることによる給電効率の低下は無視できない。一方、コンクリートを介した影響は、3%程度の給電効率の低下であり、プラグを介した無線給電では、鉄筋に対する影響軽減策を検討することが重要である。今後は、塩水による給電効率への影響や処分孔を想定した複数機器への給電効率について試験を実施し、適用性について検討を行う。

地放射性廃棄物の処分における記録保存に関する動向、海外の記録保存に関する最新の考え方、方策について、OECD/NEA-RWMC（経済協力開発機構原子力機関・放射性廃棄物管理）が検討している Records, Knowledge and Memory (RK&M) イニシアチブに参画し、概要、位置付け、方針等の情報収集を行った。本イニシアチブは、フェーズ 2 の取りまとめを準備しており、各国にて実施される記録保存に共通して適用し得る記録の階層構造や階層構造での上位の記録内容等について、報告書の作成に取り組んでいる。また、記録保存に関わる各種の手法の位置付けや相互関係についても取りまとめられる予定である。

## 1.4 本年度の実施内容

平成 29 年度の実施内容を表 1.4-1 に示す。①長期健全性の確認等に関する検討については、性能確認プログラムを指向した国際動向の調査および技術メニューの整備を、②地中無線モニタリング技術の検討については無線伝送技術の開発および無線給電技術の開発を実施し、また、③記録保存に関する調査については、国際的な動向を継続して実施した。

表 1.4-1 平成 29 年度の実施内容

実施項目 (大項目)	個別実施項目	実施内容
①長期健全性の 確認等に関する 検討	性能確認プログラム を指向した国際的動 向の調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>国際的な視点から、地層処分施設の安全確保に対する取り組みの先行事例（性能確認プログラムや品質保証諸外国）について調査を行い、整理を行う。</li> </ul>
②地中無線モニ タリング技術の 検討	無線伝送技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>過年度までに製作・開発した地中無線の送信器、受信器、中継装置を組み合わせ、長期運用の検証等を目的に動作試験を実施するとともに、これらの開発内容の取りまとめに向けた情報整理等を行う。</li> <li>中継装置によるシステムとしての冗長化：多段他系統に係る地上での確認試験</li> <li>無線伝送：地下での実証（瑞浪、幌延）</li> </ul>
	無線給電技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>前年度に提示した課題を踏まえ、水（塩水）等を介した無線給電試験や処分功を想定した無線給電試験を実施して、無線給電技術の知見を取りまとめる。</li> </ul>
③記録保存に関する調査		<ul style="list-style-type: none"> <li>主に制度的管理に係る取組として、最新の国際的な検討動向を整理する。</li> </ul>
④技術メニューの整備		<ul style="list-style-type: none"> <li>5 ヶ年の節目に向けて、上記の取組で得られた成果の反映や既整備データのアップデートを実施。</li> </ul>

## 1.5 報告書の構成

本報告書は、第1章から第5章までの構成となっている。

第1章では「研究の目的及び概要」として、本調査の目的や概要を示した。

第2章では「モニタリングの枠組みに関する検討」として、人工バリアの長期健全性に関連し、性能確認モニタリングを包含する性能確認プログラムについて、国際機関、各国での事例、国際共同研究での国際的な検討の動向を調査した。

第3章では「地中無線モニタリング技術の検討」として、無線伝送技術、無線給電技術の開発を実施するとともに、国内外における地中無線モニタリング技術について調査を実施した。また、地下研究施設における地中無線モニタリングを継続実施した。

第4章では「記録保存に関する調査」として、OECD/NEAにおける検討状況に関する文献調査等を実施した。

第5章では第2章から第4章までの調査研究を取りまとめた。

## 第1章 参考文献

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁, 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針, 平成 27 年 5 月 22 日閣議決定, (2015).

## 第2章 モニタリングの枠組みに関する検討

### 2.1 背景および目的

わが国における人工バリアの長期健全性の確認等（性能確認に資するモニタリング）についての検討の一環として、国際共同研究 MoDeRn (Monitoring Developments for safe Repository operation and staged closure) 及び後続の Modern2020 (処分場の操業段階におけるニアワールドのモニタリングに着目) の主要成果や OECD/NEA における検討結果\*1などの国際的な検討動向を調査・整理している。また、平成 28 年度に実施した「モニタリングの枠組みに関する検討」では、処分場閉鎖後の安全性に関するモニタリング（性能確認モニタリング）を包含する性能確認プログラムについて、国際機関 (IAEA、OECD/NEA)、諸外国 (米国、フィンランド、スウェーデン、フランス)、および国際共同研究等での国際的な動向を調査している。その結果、性能確認プログラムは、地質環境や処分概念の違いや規制要件との関係で国により異なった形で行われていること (例：米国やフィンランド) や、国によっては閉鎖前の品質管理／品質保証プログラムとして取り組んでいる事例もあることが明らかとされた (例：スウェーデン)。一方で、これらの国によって異なるプログラムの中にも、ある一定の共通する考え方や取組があることが示された。このような性能確認モニタリングを含む各国の様々な取組みについて、「品質保証／性能確認プログラム」と仮称し、その概要を整理した (図 2.2.1-1)。

加えて、将来のわが国における性能確認プログラムを検討するためには、処分事業の先行する各国の事例のうち、わが国で検討されている処分概念と共通した処分概念を有するスウェーデンとフィンランドについて具体的内容を調査し、わが国での品質保証／性能確認プログラムを検討するために必要な情報を整理する必要がある[1]。

---

\*1 記録保存に関する検討「世代を超えた記録、知識及び記憶 (RK&M) の保存」に関する報告書では、性能確認に資するモニタリングについて、MoDeRn プロジェクトの成果を基に監視 (oversight) という概念について示されている。

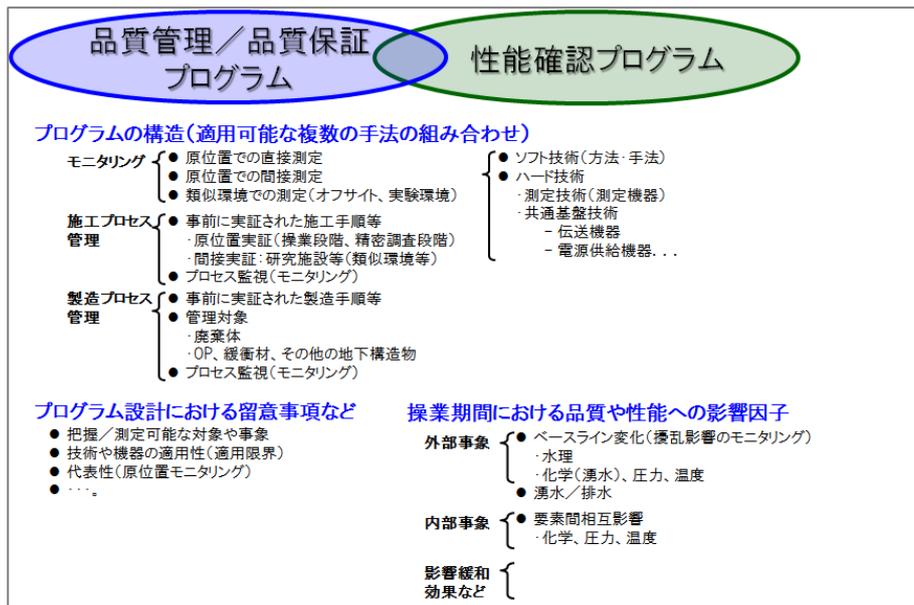


図 2.2.1-1 「品質保証/性能確認プログラム」の構成要素に関する概念図[1]

このような背景を踏まえ、本章では、わが国の品質保証/性能確認プログラムの構築に資する知見体系を整備する。具体的には、処分事業が先行する諸外国のうち、わが国の処分概念と類似した処分概念を有する国を中心に、具体的な事例を調査し、プログラム体系の構築に資する知見の体系化を行う。併せて、今後わが国の品質保証/性能確認プログラムを構築する際に、検討すべき要素や制約条件を抽出し、課題を整理することを目的とする。

## 2.2 実施概要

わが国の品質保証／性能確認プログラムの構築に資する知見体系を整備する。具体的には、以下の調査・整理を実施する。

- ① 処分事業が先行する諸外国のうち、わが国の処分概念と類似した処分概念を有する国を中心に、具体的な事例を調査する。
- ② プログラム体系の構築に資する知見の体系化を行う。
- ③ 今後わが国の品質保証／性能確認プログラムを構築する際に、検討すべき要素や制約条件を抽出し、課題を整理する。

なお、③においては、廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合（以下、「L1に係る規制検討」という）におけるモニタリングに関する要求事項についても調査・整理し、検討すべき要素や制約条件とする。

本業務の実施手順を図 2.2.1-1 に示す。本業務の実施内容である「長期健全性の確認等に関する検討：品質保証／性能確認プログラムに関する調査・検討」と「技術メニューの整備」を並行して実施する。

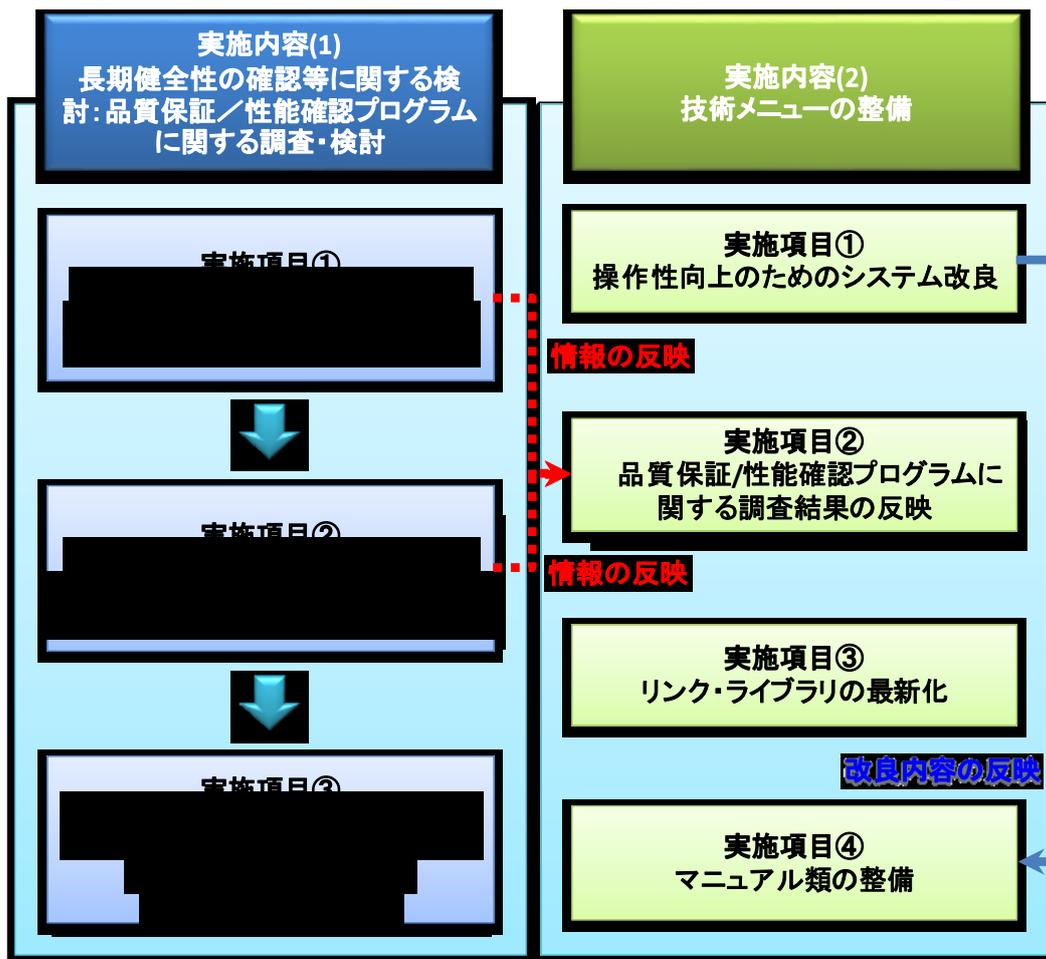


図 2.2.1-1 「長期健全性の確認等に関する検討：品質保証／性能確認プログラムに関する調査・検討」の実施項目及び作業の流れ

以上を踏まえ、本実施内容の個別具体的な実施項目として、以下の調査・整理を行った。

- ① 諸外国の品質保証／性能確認プログラムの具体的事例の調査（§0）
- ② 品質保証／性能確認プログラム体系の構築に資する知見の体系化（§2.2.2）
- ③ わが国における今後の検討要素及び制約条件の抽出並びに課題の整理（§2.2.4）

図 2.2.1-2 に作業の流れを示す。



図 2.2.1-2 「長期健全性の確認等に関する検討：品質保証／性能確認プログラムに関する調査・検討」の実施項目及び作業の流れ

## 2.2.1 諸外国の品質保証／性能確認プログラムの具体的事例の調査

諸外国の調査対象は、処分概念、処分計画の進捗、過年度報告書\*2などを踏まえ、以下の3か国を対象国とした。

- ① スウェーデン SKB による SR-Site 及びそれ以降の技術文書類
- ② フィンランド Posiva による TURVA2012 及びそれ以降の技術文書類
- ③ 米国 DOE 及び SANDIA 研究所等による Yucca Mountain Project における性能確認プログラム関連の文書類

上記の調査対象に関して、本業務の目的に照らし、各対象についての調査の視点を表 2.2.1-1 に示す。

表 2.2.1-1 各対象についての調査の視点

調査対象	調査の主な視点
① スウェーデン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人工バリア注1の製造時の品質管理／品質保証プログラムの具体的内容（何を、どうやって）</li> <li>・プログラムの実施によりどのように閉鎖後安全性を確保するかに至る一連の考え方や課題（限界）（何のために）</li> <li>・定置後の人工バリアシステムのモニタリング方法等</li> </ul>
② フィンランド注2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人工バリア注1の変遷に係るプロセスや、閉鎖までに期待される性能（ただし、現時点での Posiva による計画では、性能確認プログラムの具体的内容は将来決定）</li> <li>・性能評価結果の閉鎖後安全評価への適用方法</li> <li>・定置後の人工バリアシステムのモニタリング方法等</li> </ul>
③米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>・性能確認プログラムの構成及び各構成要素の役割</li> <li>・性能確認プログラムの具体的内容（いつ、どこで、何を、どうやって）</li> </ul>

**注1** わが国の処分概念と照らし、緩衝材、埋戻し材、プラグ、シール材等を中心に調査を行う。

**注2** フィンランド Posiva による現時点での計画では、「性能確認プログラムの具体的内容は将来決定される」としているため、「調査の主な視点」に記した関連する内容としている。

\*2 過年度報告書においては、フランスも対象とされているが、ANDRA による人工バリア関連のモニタリングは回収可能性を中心とした計画であることから、本業務からは対象外とした。

## (1) スウェーデン

### 1) 調査対象文献

スウェーデンに関する主な調査対象文献を表 2.2.1-2 に示す。スウェーデンでは、使用済燃料の地層処分場を対象とした一連のセーフティケース文書が 2011 年に作成されており、基本情報については、その総論である SR-Site メインレポート[11]を基に調査した。SR-Site のセーフティケースはメインレポートを支える複数のサブレポートで構成されており、処分場及びその構成要素の設計、製造、建設、初期状態にまつわるレポートとして構成要素ごとに 7 つのプロダクション報告書がある。本調査ではその中から処分場全体、緩衝材、埋戻材及びプラグ、閉鎖材、地下開口部のプロダクション報告書を対象とした。文献調査の結果は一件一葉の形で添付資料 1 に付した。

表 2.2.1-2 スウェーデンの調査対象文献

文献名称	主な調査内容
① SR-Site 安全評価メインレポート[11]	・ SR-Site の安全評価に関する考え方
② KBS-3 処分場に関する設計・製造報告書 (TR-10-12) [13]	・ 人工バリアの品質に関する考え方 ・ 各人工バリア構成要素の品質管理
③ 緩衝材の設計、製造及び初期状態報告書 (TR-10-15) [13]	
④ 埋戻材及びプラグの設計、製造及び初期状態報告書 (TR-10-16) [14]	
⑤ 閉鎖材の設計、製造及び初期状態報告書 (TR-10-17) [15]	
⑥ 地下開口部の設計、建設及び初期状態報告書 (TR-10-18) [16]	・ 地下開口部建設時のモニタリングについて

### 2) 調査結果

#### a. 基本情報

スウェーデンの使用済燃料を対象とした地層処分に関して、本検討に資する基本的な情報を表 2.2.1-3 に整理した。スウェーデンの場合、既往調査検討において示されているように、人工バリアについてのモニタリングや性能確認はほとんど実施せず、バリア設置前の品質保証でその安全性は担保することが特徴的である。

表 2.2.1-3 性能確認／品質保証プログラム構築に資する情報調査・整理に係る基本情報  
(スウェーデン)

項目		スウェーデン	(参考) 日本
処分サイト	候補サイト地域	Forsmark (エストハンマル自治体)	未定
	候補岩種	結晶質岩	未定
	処分深度 (計画)	約 500m	300m 以深
事業計画	現況	立地・建設許可申請 (2011 年 3 月～)	科学的特性マップ提示(2017 年 7 月)*
	処分開始予定	2029 年頃	平成 40 年代後半 (目処)
	操業期間	処分場操業 (約 40 年間) : 2030 年から試験操業としてキャニスタを年間 25～50 本のペースで処分を開始。その後徐々に処分ペースを増加し、通常操業 (年間 150～160 本を処分) へ移行する計画 (図 2.2.1-1 参照)	NUMO(2011)によれば、操業期間は 50 年間程度とされている (図 2.2.1-2 参照)。*
地下研究施設		エスポ岩盤研究所 (1995 年供用)	<ul style="list-style-type: none"> <li>幌延深地層研究センター (2001 年開設)</li> <li>瑞浪超深地層研究所(2002 年開設)</li> </ul>
処分対象廃棄物		使用済燃料	ガラス固化体／TRU 廃棄物
処分概念		<p>KBS-3 概念 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料をキャニスタ (外側 : 銅製 / 内側 : 鋳鉄製) に封入し、その周囲を緩衝材 (ベントナイト粘土) で取り囲んで、力学的及び化学的に安定した岩盤内に定置</li> <li>複数の人工バリアと天然バリアを組み合わせた多重バリアシステムにより、放射性廃棄物を長期に隔離し、隔離ができなくなった場合でも処分場からの放射性核種の放出を遅延</li> </ul> <p>※SKB は縦置き方式を主として技術開発を実施してきたが、フィンランドと共同で横置き方式の実現可能性も検討中</p>	<p>NUMO (2004) では、次のように述べている*。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>わが国における地層処分概念は諸外国と同様、地質環境が本来的に有する天然バリアとしての機能と人工バリアを組み合わせた多重バリアシステムに基づくが、サイトや岩種を特定しない研究開発段階では、日本の地質学的な特徴を考慮して、安定な地質環境を確保したうえで性能に余裕を持たせた人工バリアを中心としたニアフィールド性能に焦点をあててセーフティーケースの構築を行うというアプローチがとられている。</li> <li>第 2 次取りまとめにおいて設計と性能評価の参照ケースとして設定したレファレンスシステムは、炭素鋼オーバーバックに封入されたガラス固化体の周囲にベントナイトを主成分とする緩衝材を充填することによって形成される人工バリアを、安定な地質環境を有する地下深部の岩盤に設置</li> </ul> <p>NUMO (2011) では、次のように述べている*。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>処分概念・技術オプションとは、人工バリアの形態や組み合わせ、廃棄体の定置方式、処分坑道の断面などの処分概念と、操業技術の組み合わせのことで定義 (表 2.2.1-4)</li> <li>ガラス固化体の処分概念・技術オプションとして、処分孔縦置き定置方式 / 処分坑道横置き定置方式 (原位置施工方式 / PEM 方式) が提示</li> </ul>

項目	スウェーデン	(参考) 日本
人工バリアの性能確認3 / モニタリングに関する考え方	SKB(2011)には、次の記載がある。 <ul style="list-style-type: none"> <li>最終的に処分された廃棄体の人工バリア (キャニスタ、緩衝材、埋め戻し材) のモニタリングは、人工バリアの安全機能を損なう為、意図していない</li> <li>計器類やセンサにつながるケーブル・リードによって人工バリアの安全機能が損なわれることが見込まれるため、最終的に定置された廃棄物に関連する人工バリアシステム、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は予定していない</li> </ul>	NUMO(2011)では、設定した処分概念・技術オプションにおける下記に関しては、「今後明確化していく」としている。 <ul style="list-style-type: none"> <li>工学的信頼性</li> <li>サイト調査とモニタリング</li> </ul>
人工バリアの品質に関する考え方	SKB(2011)には、次の記載がある。 <ul style="list-style-type: none"> <li>処分場の人工構造物の仕様を詳細化し、所定の仕様を満足する構築物の品質を保証し製造する技術を立証し、安全評価で用いる初期状態の品質保証を準備が可能となった。</li> </ul> SKB(2010)には、ISO 9000:2005 に基づき、次の記載がある。 <ul style="list-style-type: none"> <li>品質管理(QC)は、品質要件を満足することに焦点が当てられる。</li> <li>一方、品質保証(QA)は、将来的に品質要件が満足することの証明に焦点が当てられる。</li> </ul>	NUMO(2011)では、ISO 9000:2005 の定義が示されているものの、具体的な内容は明確化されていない。

注記 「\*」記載の情報以外は、RWMC (2017)「諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について」に記載の2016年12月の情報による。

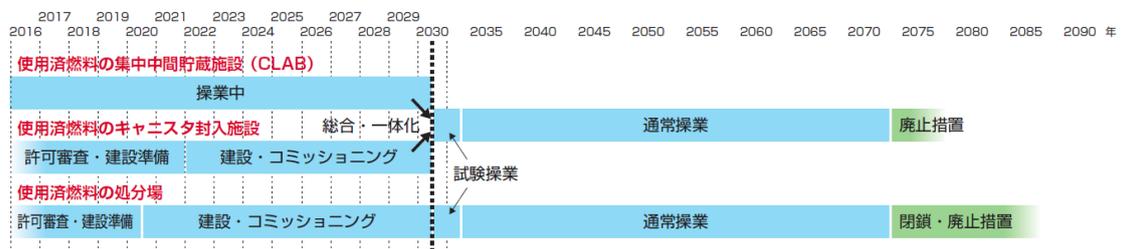


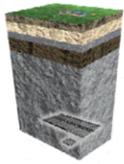
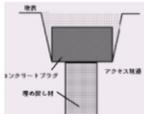
図 2.2.1-1 事業段階[24]

段階	概要調査地区 選定段階 (概要調査の段階)	精密調査地区 選定段階 (精密調査の段階)	処分施設建設地選定段階 (精密調査の段階)		安全審査の段階	建設段階	操業段階		閉鎖段階	閉鎖後～事業終了
			地上からの調査 20年程度	地下施設建設での調査			操業開始中 10年程度	操業の終了・閉鎖措置 設計・確認申請 50年程度		
各段階における事業目標	概要調査地区選定	精密調査地区選定	基本レイアウトの決定	処分施設建設地選定	事業許可の取得	処分施設の建設	操業の実施	閉鎖措置計画の認可	閉鎖措置の実施	廃止措置の実施と確認
安全確保にかかわる目標	自然現象の著しい影響の回避 (明らかに不適格な地域を避ける)	自然現象の著しい影響の回避 ・長期安全性確保の見通し ・事業期間中の安全性確保の見通し	自然現象の著しい影響の回避を確保 ・長期安全性の確保 ・事業期間中の安全性の確保	自然現象の著しい影響の回避を確保 ・長期安全性の確保 ・事業期間中の安全性の確保	長期安全性の確保な確保 ・事業期間中の安全性の確保な確保	新たな知見を踏まえた長期安全性の繰り返し確認 ・建設段階における安全性の確保な確保	新たな知見を踏まえた長期安全性の繰り返し確認 ・操業段階における安全性の確保な確保	すべての情報を統合した長期安全性の確認	閉鎖段階における安全性の確保な確保	新たな知見を踏まえた長期安全性の確認 ・閉鎖後の段階における安全性の確保な確保
目標達成にかかわる要件	・法定要件への適合性 ・概要調査地区選定の環境要件への適合性 ・自主基準 (考慮事項含む) への適合性	・法定要件への適合性 ・精密調査地区選定の環境要件への適合性 ・安全審査基本指針への適合性 ・自主基準 (考慮事項含む) への適合性	・法定要件への適合性 ・処分施設建設地選定の環境要件への適合性 ・安全審査基本指針への適合性 ・自主基準 (考慮事項含む) への適合性	・法定要件への適合性 ・処分施設建設地選定の環境要件への適合性 ・安全審査基本指針への適合性 ・自主基準 (考慮事項含む) への適合性	・安全審査指針への適合性 ・安全審査基本指針への適合性	・技術上の基準への適合性 (設計、建設、確認、使用前検査) ・自主基準への適合性	・技術上の基準への適合性 (施設確認、廃棄物確認、使用前検査) ・自主基準への適合性	・閉鎖措置計画の認可の基準への適合性	・閉鎖措置計画の認可の基準への適合性 ・自主基準への適合性	・廃止措置計画の認可の基準への適合性 ・廃止措置の終了確認の基準への適合性

図 2.2.1-2 事業段階[28]

<sup>3</sup> NUMO(2011)では、性能確認のためのモニタリングのほかに、性能確認シナリオ (将来予測が可能な期間 A について、最新の知見に照らして科学的に確からしいと予見する標準的なシナリオ) を設けているが、ここでは前者のみを該当とする。

表 2.2.1-4 高レベル放射性廃棄物の安全機能と構成要素の関係[28]

基本概念	安全機能		構成要素		
隔離	地質の長期的な変動からの防護		天然バリア		
	人の接近の抑制				
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の浸出抑制	ガラスマトリクスによる浸出抑制	廃棄体		
		発熱が著しい期間の地下水接触の防止	オーバーバック		
	放射性物質の移行抑制	放射性物質の溶解度制限	還元環境を保つことなどにより機能として発現		
		移流による移行の抑制	緩衝材		
		コロイド移行の防止・抑制			
		収着による放射性物質の移行遅延			
		放射性物質の移行抑制	分散による移行率の低減	天然バリア	
			アクセス坑道およびその周辺が卓越した移行経路となることの抑制	埋め戻し材プラグ	

(a) 人工バリアの性能確認／モニタリングに関する考え方

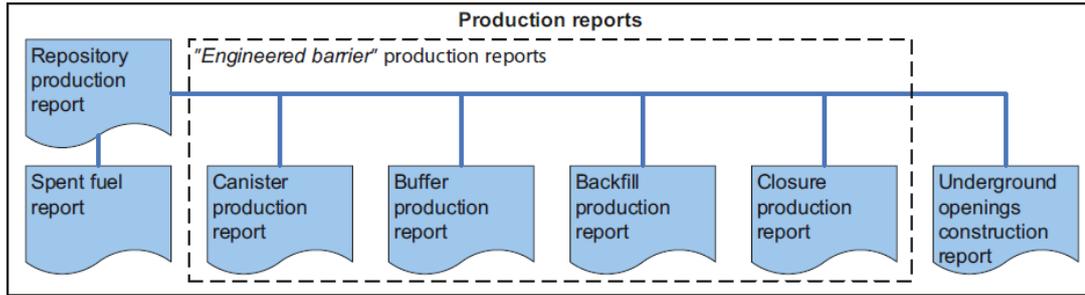
処分場の建設及び操業によって引き起こされる擾乱のうち、処分場の安全性に関連の高いものについては、詳細調査プログラムの中でモニタリングが行われる。但し、処分場閉鎖後のモニタリングについては法的要件が存在せず、基本的な要件の一つとして、最終処分場が保守及びモニタリングを必要としない形でその機能を履行すべきというのが挙げられる。したがって SKB 社のモニタリング戦略は現在でも開発が進められているものの、最終的に定置された廃棄物に関連する人工バリアシステムのモニタリングは、人工バリアのバリア機能が損なわれる見込みがあるため予定していない。図 2.2.1-3 にそれぞれのモニタリングに関する情報をまとめた。

<b>ベースラインの記述に関するモニタリング(サイト記述モデルと同義)</b> 目的: 処分場の開発によって新たに生じた変化を識別したうえで、処分場環境における自然の時間的、空間的な変動と人為的な変動を区別できるようにするための基準を定義すること ✓地球科学パラメータ ✓生態学パラメータ
<b>処分場建設の影響に関するモニタリング</b> 目的: 処分場の建設及び操業が環境にどのような影響を及ぼすのかを調査すること ✓きわめて長期間にわたって実施される ✓測定するパラメータの選定、モニタリング対象、測定頻度など定期的に再評価を実施する ✓環境管理プログラムや処分場建設管理に関するニーズも満たす必要がある
<b>処分場建設・操業に関する管理プログラム</b> 目的: 建設作業及び操業に関連する design premises 及びそのほかの要件が確実に満たされているようにすること ✓検討事項 物質の納入/作業者の技能等/操業活動の設計及び仕様に関連する、建設完了時及び稼働中の施設管理 ✓品質文書を伴う管理プログラムは、建設及び操業作業が所定の design premises に加え、効率及び品質に関する様々な要件にも適合しているかどうかを評価するうえでの基礎となる。 ✓この管理プログラムの目的及び内容は地下建設作業の開始に先立って定義することになるが、作業を通じて得られた経験に対応して更なる改善及び調整を進める予定である
<b>廃棄物定置後のモニタリング</b> ✓SR-siteでは、廃棄物定置後のモニタリングについては何の検討もしていない。その理由は、現時点では閉鎖後モニタリングを規定する法令が存在しないこと、この種のモニタリングが安全性を確保できないためである。 ✓但し、上記のモニタリング作業は、全ての廃棄物が定置され、処分場の閉鎖が開始するまで継続する計画となっている。その時点で、閉鎖プロセス自体をどの程度までモニタリングする必要があるのかについて、検討しなければならない。こうした閉鎖後モニタリングに関する決定は、閉鎖を実行する時点の意思決定者が下すのが適切だと考えられる。

図 2.2.1-3 SKB が実施を予定するモニタリングの概要

(b) 人工バリアの品質に関する考え方

スウェーデンの最新セーフティケースである SR-Site の設計技術図書は、図 2.2.1-4 に示す体系となっており、その概要が『KBS-3 処分場に関する設計・製造報告書 (TR-10-12) [12]』に示されると共に、下位文書として、6 種類からなる Production Report がある。これらは、Design premises を満足する基本設計の開発結果であるとともに、SR-Site における処分場システムの人工構築物についての安全評価で必要となる情報を含んでいる。



注記 これらのレポート群は、KBS-3 処分場が如何に設計、製造及び検査されているかを示している。キャニスタ、緩衝材、埋め戻し材及び閉鎖材に関するレポートは、いわゆる人工バリアレポートに該当する。

Full title	Short name used within the Production reports	Text in reference lists
Design and production of the KBS-3 repository	Repository production report	<b>Repository production report, 2010.</b> Design and production of the KBS-3 repository. SKB TR-10-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.
Spent nuclear fuel for disposal in the KBS-3 repository	Spent fuel report	<b>Spent fuel report, 2010.</b> Spent nuclear fuel for disposal in the KBS-3 repository. SKB TR-10-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.
Design, production and initial state of the canister	Canister production report <sup>1</sup>	<b>Canister production report, 2010.</b> Design, production and initial state of the canister. SKB TR-10-14, Svensk Kärnbränslehantering AB.
Design, production and initial state of the buffer	Buffer production report <sup>1</sup>	<b>Buffer production report, 2010.</b> Design, production and initial state of the buffer. SKB TR-10-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.
Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels	Backfill production report <sup>1</sup>	<b>Backfill production report, 2010.</b> Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels. SKB TR-10-16, Svensk Kärnbränslehantering AB.
Design, production and initial state of the closure	Closure production report <sup>1</sup>	<b>Closure production report, 2010.</b> Design, production and initial state of the closure. SKB TR-10-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
Design, construction and initial state of the underground openings	Underground openings construction report	<b>Underground openings construction report, 2010.</b> Design, construction and initial state of the underground openings. SKB TR-10-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.

<sup>1</sup> Commonly referred to as the "Engineered barrier" production reports.

図 2.2.1-4 Production Report 群の構成[11]

設計・製造に関する概要が示された『KBS-3 処分場に関する設計・製造報告書 (TR-10-12)』[12]の構成は、以下の通りである。ここで、特に本検討に資する内容としては、§5 の品質管理に関する考え方である。

表 2.2.1-5 KBS-3 処分場に関する設計・製造報告書 (TR-10-12) [12]の構成

§		主な記載内容
1	概要	KBS-3 システムの概要 (§ 1.1)、セーフティケースにおける本報告書の位置づけ (§ 1.2)、目的、目標及び範囲 (§ 1.3)、報告書構成 (§ 1.4) 及び概念に関する用語の定義(Central concepts) (§ 1.5) が示される。 なお、品質管理に関する用語の定義は、ISO 9000:2005 に基づくことが明示される。
2	設計前提条件(design premise)の立証	設計に際しての様々なレベルに応じた設計前提条件(design premise)とその根拠 (例えば法規制など) が示される (図 2.2.1-5) とともに、その立証方法の概要 (図 2.2.1-6) が提示される。
3	KBS-3 処分場	KBS-3 処分場概念及び各構成要素について次の概要が示される。 ・ 定義及び目的 ・ バリア機能 ・ 基本設計
4	KBS-3 システム及び製造工程	各バリア構成要素及び坑道建設に関する手順の概要 (図 2.2.1-7 図 2.2.1-7) が示されるとともに、他の構成材との設計にかかる相互作用の概要が示される (例えば、緩衝材の設計の場合は、定置孔の設計や掘削と関連があるとの説明がなされる)
5	品質管理(QM)、安全性分類及びその適用性	設計・製造に係わる SKB の品質マネジメントの考え方(表 2.2.1-6) では、製造開始前と製造中とのそれぞれについて実施される品質管理活動、それらの結果及び関連する品質保証活動が示されている。KBS-3 処分場に関する様々な人工バリア、地下開口部及びその他の部材のための品質計画では、表 2.2.1-6 の品質保証活動に適用する手順書を特定する必要がある。  表 2.2.1-6、表 2.2.1-3)、人工バリア要素や設計についての安全性分類 (バリア機能/バリア機能への影響)、及び品質マネジメントの適用性と計画について示される。

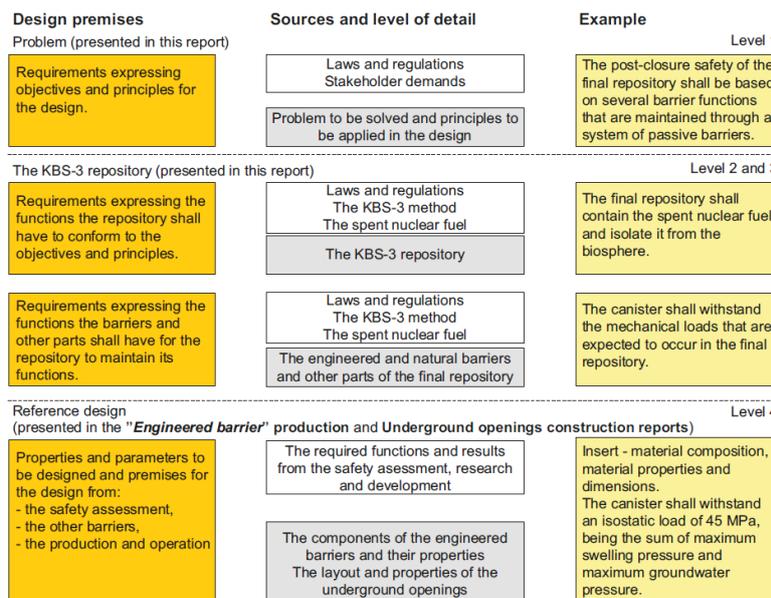


図 2.2.1-5 設計前提条件(design premise)、ソース及び詳細度の例[12]

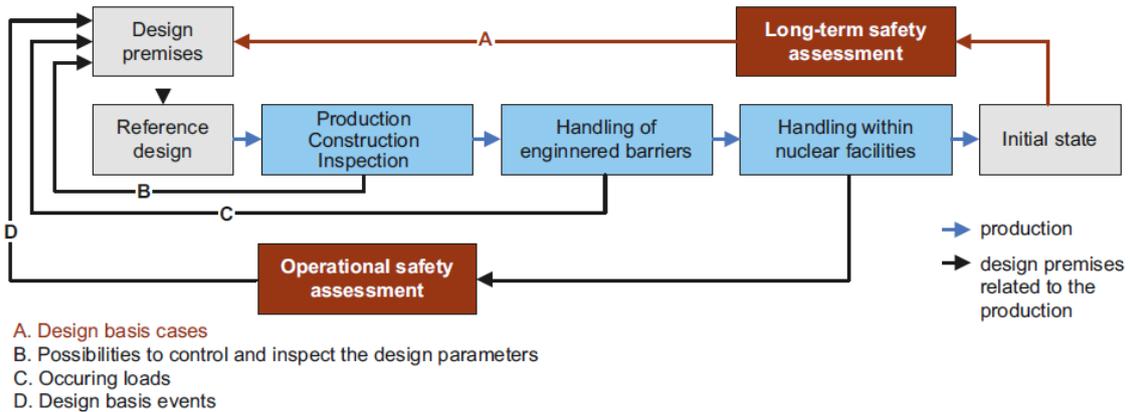


Figure 2-4. Substantiation of design premises from the production and handling of the engineered barriers and construction of the underground openings. Design basis cases and design basis events are design premises from the assessments of the long-term and operational safety respectively (see Sections 2.5.2 and 2.5.5).

図 2.2.1-6 製造及び操業にかかる設計前提条件（design premise）の立証方法手順[12]

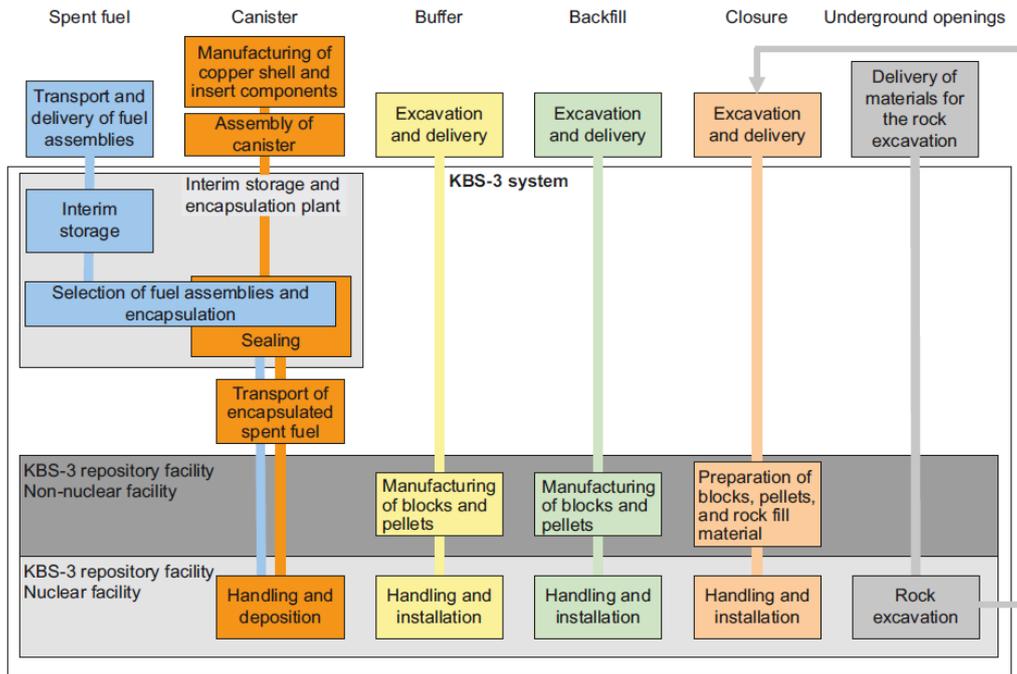


Figure 4-5. Overview of the main activities in the handling of the spent nuclear fuel, the production of the engineered barriers and the construction of the underground openings.

図 2.2.1-7 バリア材の製造から設置に至る活動概要[12]

表 2.2.1-6 では、製造開始前と製造中とのそれぞれについて実施される品質管理活動、それらの結果及び関連する品質保証活動が示されている。KBS-3 処分場に関する様々な人工バリア、地下開口部及びその他の部材のための品質計画では、表 2.2.1-6 の品質保証活動に適用する手順書を特定する必要がある。

表 2.2.1-6 製造前及び製造中の品質管理活動、その結果及び関連する品質保証活動[12]

Table 5-3. Quality controlling activities performed before the production commences and during the production respectively, their results and the related quality assuring activities.

Quality controlling activity	Result	Quality assuring activity	
<b>Before the production is initiated</b>			
Substantiate design premises	Record document	Analyses and evaluations Documentation and handling in requirement management system <sup>1</sup>	Review and approval Documentation of procedure
	Specification		
Design	Record document	Verifying analyses Documentation and handling in requirement management system <sup>1</sup>	
	Specification		
Development of technical systems for production and inspection	Specification	Documentation and handling in requirement management system <sup>1</sup> Qualification of system	
	Validated system		
Development of processes for production and inspection	Qualified process	Qualification of process	
	Test certificate		
Purchasing of executing organisation	Qualified suppliers and operators	Qualification of executing organisation	
	Test certificate		
<b>During the production</b>			
Delivery to process	Input to process	Delivery inspection	Documentation of process parameters and results from tests and inspections
Preparations of process	Systems ready for duty Available organisation	Test of system Competence inspection	
Realisation of process	Product	Control and steering	Documentation of procedure
		Extraction of test specimens and samples for analyses and destructive tests Non-destructive testing	

<sup>1</sup> Includes for instance determination of wording and relation to other requirements and design premises, and performed verification and inspection.

<p>表 5-3 では、製造開始前と製造中とのそれぞれについて実施される品質管理活動、それらの結果及び関連する品質保証活動が示されている。</p> <p>KBS-3 処分場に関する様々な人工バリア、地下開口部及びその他の部材のための品質計画では、表 5-3 の品質保証活動に適用する手順書を特定する必要がある。</p>	<p>In Table 5-3 quality controlling activities performed before the production commences and during the production respectively, their results and the related quality assuring activities are presented.</p> <p>The quality plans for the different engineered barriers, underground openings and other parts of the KBS-3 repository shall specify the procedure documents to be applied for the quality assuring activities in Table 5-3.</p>
---	--

また、品質管理に関する § 5 では、SKB は ISO 9000:2005 に従い、品質マネジメント(QM)を行う決定をしたことを宣言した上で、品質管理(QC)及び品質保証(QA)の考え方が次のように示されている。

品質マネジメント(QM)、品質管理(QC)及び品質保証(QA)の関係について、図 2.2.1-8 に示す。

<p>ISO 9000:2005 に拠れば、品質マネジメント(QM)は、品質に関して組織を指揮し、管理するための活動である、としている。Production reports における品質は、KBS-3 処分場の長期安全性に関しての重要な機能を維持させるため、KBS-3 処分場を構成する設置された人工バリア、地下坑道及びその他の要素の特性がどの程度寄与するかを示している。</p> <p>品質管理(QC)と品質保証(QA)は、Production reports に関する品質マネジメント(QM)の一部である。<u>品質管理(QC)は、品質要件を満足することに重点が置かれており、品質保証(QA)は品質要件を将来的に満足させる証明を提供することに焦点が当てられている。</u></p> <p>Production reports において、品質マネジメントは、KBS-3 処分場を構成する設置された人工バリア、地下坑道及びその他の要素の特性に影響を与える活動に関する管理が含まれるが、品質保証は達成された結果を検証する検査やその他の方法に関する活動に関する管理が含まれる。</p>	<p>According to /ISO 9000:2005/ quality management refers to activities to direct and control an organization with regard to quality. Within the Production reports quality refers to the degree to which the characteristics of the finished engineered barriers, underground openings and other parts of the KBS-3 repository contribute towards sustaining the functions of importance for the long-term safety of the KBS-3 repository.</p> <p>Quality control and quality assurance are parts of the quality management relevant for the Production reports. <u>The quality control is focused on fulfilling the quality requirements while the quality assurance is focused on providing confidence that quality requirements will be fulfilled.</u></p> <p>Within the Production reports the quality management comprises direction and control of the activities that impact the properties of the finished engineered barriers, underground openings and other parts of the KBS - 3 repository, while quality assurance comprise direction and control of activities intended to inspect or by other means verify achieved results.</p>
--	--



図 2.2.1-8 Production reports における QM、QC および QA の関係性

以下では、このうちの、①緩衝材、②埋め戻し材及び③閉鎖材のバリア材に関して、その設計／製作に関する品質管理及び品質保証についての考え方や具体的内容について調査・整理する。

## b. 品質管理／品質保証活動

### (a) 緩衝材

『緩衝材の設計、製造及び初期状態報告書 (TR-10-15)』[13]より、緩衝材に関して整理した。

緩衝材とは、KBS-3 処分場で使用される人工バリアの一つであり、膨潤性鉱物を含む粘土で構成される。この緩衝材は、キャニスタを取り囲み、キャニスタと基盤岩の間の隙間を充填する。緩衝材の目的は、水の流動を防ぎ、キャニスタを保護すること、キャニスタによる閉じ込め機能が破たんした場合、緩衝材が基盤岩に至るまでの放射性物質の移行を阻害し、遅延させる役割を担う。

緩衝材の製造及び定置は大きく 3 つ、細かく 12 の段階からなる。この製造ラインについて図 2.2.1-9 に示す。

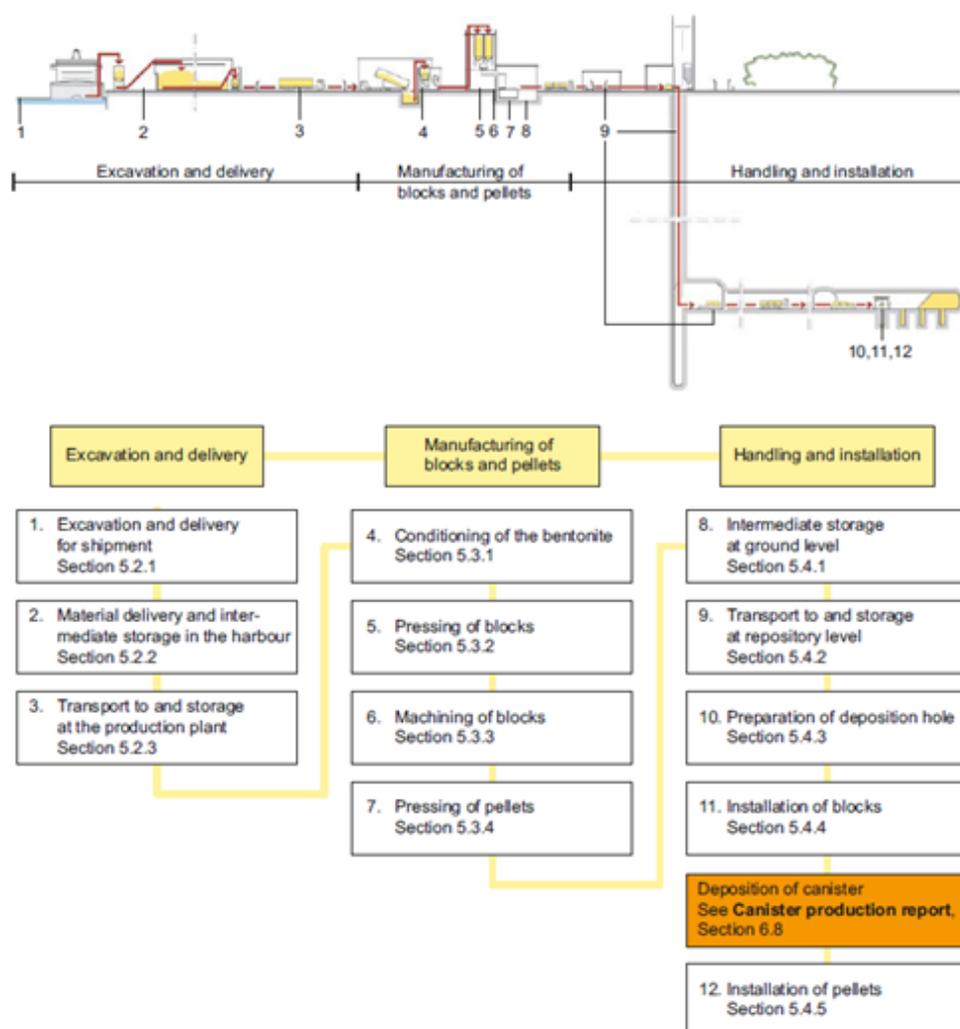


図 2.2.1-9 緩衝材の製造ライン

上の図：物質の提供から定置孔への設置に至る緩衝材製造ラインの概要を示すイラスト。

下の図：緩衝材製造ラインの主要部分（黄色）と全ての段階を示すフローチャート。ここにはイラストの番号とその説明が行われる原文[13]のセクション番号が記されている。

図 2.2.1-9 に示した各段階で検査及び行われている。検査の目的について、次のように示されている。

- ▶ 緩衝材の製造結果が適合可能な範囲に収まっていることを保証すること
- ▶ 欠陥頻度を低減し、信頼性及びコスト効果の高い製造を実現すること

また、検査内容、検査の数及びサンプリング方策（採取する部位、数等）は、次の多くの要素（factors）に起因するとしている。

- ▶ 選定されたサプライヤ及びベントナイト鉱床の特性
- ▶ 検査すべき特性（properties）
- ▶ 測定の精度及び適用方法の信頼性
- ▶ 要求される情報（例えば、平均値／極値、又は、時間／空間的なばらつき）
- ▶ 試験の目的（例えば、処理段階を管理するインプットデータ／特性の最終検査）
- ▶ 利用可能な情報や経験（例えば、サプライヤの信頼性、既往の輸送や処理段階の結果）
- ▶ 検査の実施可能時間（要求される製造能力に関して）

これらの要素は、緩衝材の検査計画を立てる時点で考慮される必要がある。また、この計画には、次の内容が含まれるべきである。

- ▶ 検査パラメータ
- ▶ 適用方法
- ▶ サンプリング方策
- ▶ 時期や場所の分布

SKB はこのような検査計画を緩衝材の品質保証(QA)の一部として開発する予定である。開発段階である現段階においては、緩衝材に関し、測定対象となるパラメータ、製造の各段階で適用される参照方法(reference method)、測定の精度、サンプリング方策が示されている。

図 2.2.1-9 で示した各段階で行われる処理（processing）について、表 2.2.1-7 に示す。緩衝材の製造に関する参照方法は、類似した産業で確立された慣行的な手法に SKB のニーズに合わせて調整された形で作成された。これらは、1980 年代のストリパ、1990 年代及び 2000 年代のエスポ HRL で実施された実験及びエスポ HRL のプロトタイプ処分場で得られた結果に基づいている。

表 2.2.1-7 各製造段階における処理方法

段階	Processing	Reference*	
掘削及び輸送	①サプライヤによる掘削と輸送	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ベントナイト鉱床は世界各地に存在しており、SKBの承認を受けたサプライヤが委託を受けて、必要に応じた掘削及び提供を行う。おそらく市販製品を選択、指定する形で発注する。</li> <li>● 掘削されたベントナイトは処理工場に運ばれ、品質属性ごとに選別され、貯蔵される。</li> <li>● 注文の使用に適合する製品を実現するための混合、粉砕、乾燥が実施される。</li> <li>● SKBは供給業者の資格認定のための所定の手続きを開発する予定。内容として、サプライヤが適用する品質保証措置及びシステムの検査、ベントナイトサンプルの研究室試験（物質組成測定、物質特性調査）を含む。</li> <li>● サプライヤは貨物区域及び貨物スペースの検査及びクリーニングにも責任を持つ。</li> </ul>	§ 5.2.1
	②材料の輸送と湾岸における一時貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ベントナイトは自動荷揚げ装置を装備した船舶で処分場サイト近傍の港へ輸送される。</li> <li>● 検査を実施したのちに荷揚げ、貯蔵建屋に収容する。</li> <li>● 貯蔵建屋の保管場所は0℃以上に保たれ、湿度調整が行われる。</li> <li>● 品質の均等性を見るためにランダムに複数のサンプリングをSKBが実施する。サンプル件数は、当該積荷のサイズ及び供給業者（すなわち、鉱床、供給業者が適用した方法、それ以前に提供された物質に関する経験など）に応じて異なるものとなる。</li> <li>● 提供された材料が受け入れられない場合でも、工程が中断することがないように十分量の納品済みベントナイトが蓄積されるように配慮する。</li> </ul>	§ 5.2.2
	③製造工場への輸送及び貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 港の貯蔵建屋から製造工場の受け入れ建屋へ、製造工場から要請された量の材料がトラックで輸送される。</li> <li>● 積み下ろしエリアは、浸潤化の回避及び作業面から換気管理がされている室内とする。</li> </ul>	§ 5.2.3
ブロック及びペレットの製作	④ベントナイトの調整	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 提供された材料をブロック及びペレットの加圧成形に適した粒サイズ分布と含水率にする処理が行われる。方法は以下の通り。 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 粉砕に適した含水率となるまで乾燥を行う。</li> <li>(2) 圧縮に適した粒サイズとなるように粉砕を行う。</li> <li>(3) 粉砕済の物質を貯蔵する。</li> <li>(4) 圧縮に適した含水率まで粉砕された物質の湿潤化を行う。</li> <li>(5) 圧縮の準備が整った物質を貯蔵する。</li> </ol> </li> </ul>	§ 5.3.1
	⑤ブロックの加圧成形	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ブロックの成形は一軸圧縮法で行われる。 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 金型のクリーニング及び潤滑剤の塗布。</li> <li>(2) 金型にベントナイトを入れる。</li> <li>(3) 圧縮とブロックの金型からの取り出し。</li> <li>(4) 最終的な密度を管理得するため圧力に関する記録する。</li> <li>(5) 個々のブロックに識別記号 (identity) が与えられ、寸法、重量、かさ密度、乾燥密度と共に記録される。</li> <li>(6) 機械加工に進む前に目視確認を行う。</li> </ol> </li> </ul>	§ 5.3.2/ § 5.3.4
	⑥ブロックの機械加工	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 表 2.2.1-9、図 2.2.1-11 の寸法に機械加工される。</li> <li>● 機械加工を行った後、ブロックはパレット上に置かれ、貯蔵期間及び処分場レベルへの運搬期間にわたって水分含有量が維持されるよう、プラスチックの覆いが被せられる。</li> <li>● 割れ目や損傷がないことを目視検査する。ブロックの強度を低下させる密度の低下や割れ目の兆候が存在しない場合、ブロックは承認され、識別記号の元にその重量と寸法、かさ密度の計算結果が記録される。</li> </ul>	§ 5.3.3
	⑦ペレットの加圧成形	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ペレットの成形は小型ブリケットによる圧縮で行われる。 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 1台のスクリーと2代のローラーで圧縮。</li> <li>(2) 加圧整形後、ペレットは特別設計の容器に収容され、中間貯蔵場へ輸送される。</li> </ol> </li> </ul>	

\* TR10-15, Buffer Production Reports の該当箇所を示す。

作業及び定置	⑧地上レベルでの中間貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 目的としては、製造作業が停止した場合にも最終処分場での緩衝材設置作業が中断されないようにするため。</li> <li>● 貯蔵中にブロック及びペレットの含水率の変化を回避するため、気密性フード（検査のため透明）を備えた特別設計のパレット上で保管する。</li> <li>● ペレットは容器に収納されたうえで、同様のパレットに置かれる。</li> <li>● 処分場深度への輸送前に識別記号、覆い、ブロック及びペレットの目視確認。覆いやブロック又はペレットに損傷があった場合、廃棄されるか、再度重量及び寸法の検査が行われる。</li> </ul>	§ 5.4.1
	⑨処分場レベルへの運搬とそこでの貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ブロック及びペレットはスキップと用いて処分場レベルまで運搬される。</li> <li>● 処分場レベルでは、スキップの故障や一時的な容量不足が生じた場合に緩衝材設置作業が中断されることを回避するために、ブロック及びペレットの減最小限の在庫が確保される。</li> <li>● 取り扱い及び貯蔵時にブロックに水分の取り込みやその他の変質が生じていないことを確認する目的で、一定数のブロックを選択し、計量及び計測を実施することができる。</li> </ul>	§ 5.4.2
	⑩定置孔の準備	<p>※地下開口部建設報告書[16]の範囲</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)処分孔の除水と洗浄</li> <li>(2)処分孔への流入量の検査</li> <li>(3)処分孔に交わる亀裂の検査</li> <li>(4)保護シート付底部プレートとの設置と検査（図 2.2.1-10）</li> <li>(5)保護シートと処分孔の壁の間に排水システム（パイプ、排水ポンプ、アラームシステム）を設置</li> <li>(6)処分孔の寸法検査（半径、深さ方向の横断面、底部の傾き、全体的中心線）</li> </ol>	§ 5.4.3
	⑪ブロックの定置	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 頭上クレーン及びガンマゲートの搬入</li> <li>● ブロックの識別記号の確認</li> <li>● 底部ブロック・最初のリングブロックを中心線に合わせて定置</li> <li>● 続くリングブロックを最初のブロックをガイドに定置</li> <li>● 一番上のリングブロックが入ったらガンマゲートを閉じ、クレーンを撤去し、キャニスタを定置</li> <li>● キャニスタの定置が終わり、ガンマゲートが閉じたら再度クレーンを設置</li> <li>● 上部ブロック 3 つと埋戻材として 2 つのブロックを中心線に合わせて設置</li> <li>● 以上を遠隔で行う</li> </ul>	§ 5.4.4
	⑫ペレットの充填	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 処分坑道の埋戻しが処分孔に差し掛かったら開始</li> <li>● 充填の前に排水システム、保護シート、センサを取り外す</li> <li>● 計量したペレットを上部の円錐形から隙間に流し込む</li> <li>● 充填が終わったら即時埋戻しを再開する</li> </ul>	§ 5.4.5

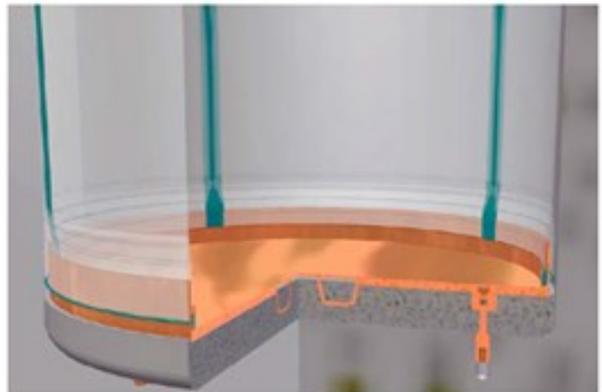


図 2.2.1-10 処分孔に設置される保護シートの様子

設計パラメータとは、緩衝材の参照設計を指定するために使用されたパラメータのことであり、これらのパラメータは、製造された緩衝材が参照設計に適合していることを検証するために、緩衝材の製造中に、直接的又は間接的な方法によって検査される。長期安全性と製造に関して必要とされる諸特性、設計パラメータ及び製造時に検査されるパラメータ、その検査方法について表 2.2.1-8 にまとめた。

表 2.2.1-8 緩衝材に要求される特性、設計パラメータ及び参照設計値

Property	Design parameter	Reference design		Parameter inspected in the production	Method for test and inspection
		Nominal design	Accepted variation		
ベントナイト材料組成	モンモリロナイト (wt-%)	80-85	75-90	X線回折	<p>鉱物の特定及び定量化は、ランダムな粉末として前処理されたサンプルのエクス線回折に基づいて行われる。この方法は、サンプルをきわめて波長の短い電磁放射線にさらし、面格子間隔のセットを分析する方法によるものである。この面格子間隔は、それぞれの鉱物種に特有のものである。回折パターン分析には、コンピュータに基づく手順が適用される。この手順では、観察されたパターンが、スメクタイト混合物に含まれるその他の鉱物の既知の格子パラメータと照合される。この方法については文献 [Karnland et al. 2006] で詳しく取り扱われている。</p> <p>X線回折分析の結果として、サンプル内に存在する鉱物と、重量%で示されたその内容物のリストが入手される。測定の精度は鉱物によって異なり、またサンプルの特性にも依存する。文献 [Karnland et al. 2006] において、ワイオミング・ベントナイトの同一物質中の少量の体積から採取された6件のサンプルに含まれるモンモリロナイト含有量の評価が行われている。記録されたモンモリロナイト含有量の統計的な分析により、平均値が83.5%であり、標準偏差が1.7%であることが示された。これらのサンプルが1つの閉込め容量から採取されていることから、これらの結果は使用された方法が伴う不確実性を見積りと見なすことができる。この試験方法における不確実性の値をより精密に表現するためには、より多くのデータを入手する必要がある。そのためにはX線回折法の精度を見積もるために特別に設計された試験プログラムを実行しなければならない。</p>
	有機炭素含量	Limited	<1	燃焼ガス	<p>有機炭素、硫化物及び全硫黄の含有量は、加熱炉内でサンプルを加熱し、燃焼ガスを分析することによって決定される。炭素、硫化物及び硫黄の検出のため、サンプルはそれぞれ定義された異なる温度荷まで加熱される。専用加熱炉と分析装置が利用可能である [Karnland et al. 2006]。加熱期間中に温度が記録され、IR検出器によって燃料ガスが検出される。有機炭素の含有量はCO<sub>2</sub>の量を測定することによって決定される。硫酸塩の量は1つのサンプルを加熱することによって決定される。全硫黄は、別のサンプルにおいて全ての硫黄を燃焼させ、SO<sub>3</sub>とすることによって分析される。その後、硫黄の総量から明らかにされた硫酸塩含有量を差し引くことにより、硫化物の量が計算することができる。</p> <p>ワイオミング・ベントナイトの同じ提供物質の少量の体積から採取されたサンプルに基づく4回の有機炭素測定において記録された平均含有量は0.24 wt-%であり、それに対応する標準偏差は0.04%であった。やはり同じ提供物質の少量の体積から採取された硫化物の5回の測定において記録された平均含有量は喪失量の0.13wt-%であり、標準偏差は0.05%であった。エクス線回折試験については、1つのベントナイト閉込め容量からサンプルが採取されていることから、これを使用された方法に存在する不確実性を見積りと見なすことができる。エクス線回折試験についても、データはこの方法の精度を表すには不十分なものであり、この目的のために1件の試験プログラムを特別に設計し、実施しなければならない。</p>
	硫化物含量	Limited	<0.5	燃焼ガス	
	全硫黄 (硫化物を含む)	Limited	<1	燃焼ガス	
ベントナイト組成の特徴	顆粒サイズ			ふるい曲線	<p>物質の顆粒サイズは、1組の入れ子構造の「ふるい」を使用したふるい分けによって検査される。これは、顆粒サイズが75μmまでの粒子分布を決定する際にごく標準的に使用されている手順である。その測定精度はここでの目的にとって十分なものである。</p> <p>物質の含水率は、サンプルを105°Cの温度に過熱したオープンに24時間入れて乾燥させた後、サンプルの重量喪失量を重量測定法によって測定する方法によって検査される。これはすでに十分に確立され、広範に使用されている方法の1つである。含水率が受け入れ可能なばらつきのある範囲にあることを保証するために、この測定は±0.05%の精度で実行可能なものとされるべきである。</p> <p>結果を迅速に入手する必要がある場合（たとえば船から荷下ろしの前など）、この乾燥はサンプルを通常の電子レンジで5分間加熱する方法で実施される。オープン内での加熱については、含水率はサンプルの計量によって決定される。</p>
	含水量	17	±1	乾燥前後での計量	

Property	Design parameter	Reference design		Parameter inspected in the production	Method for test and inspection
		Nominal design	Accepted variation		
ブロック	かさ密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2000	±20	重量及び寸法	<p>ペレット及びブロックの重量の検査のためには、異なる種類の計量機械が使用される。計量機械は、通常の手順を適用して必要な精度まで校正される。かさ密度が受け入れられる限度内に収まっていることを検証するために、ブロックの重量は精度±2 kg で測定されるべきである。ペレットのかさ密度は、緩い充填材の定義された体積を計量することによって直接的に決定される。ペレット及びブロックの塊を伴う物体の重量を必要な精度で測定することは、確立されたよく知られた手法である。</p> <p>ブロックの長さ、直径、そして特別に設計された細部の測定は、キャリパを使って行われる。ブロックの寸法は±1 mm の精度で測定される。ブロックのサイズの物体の寸法を必要な精度で測定することは、さまざまな同様の用途からの、確立されたよく知られた手法である。</p> <p>ペレットの寸法もキャリパを使って決定される。必要な精度は、ブロックの場合と同様であり、ブロックについては、この方法はよく知られた確立された手法に基づいている。</p> <p>かさ密度は、記録された重量及び寸法に基づいて計算される。計算された密度の精度は、重量及び寸法の測定精度によって決まる。かさ密度の容認される変動範囲は約±1%である。ブロックの重量を±2 kg の精度で、そして寸法を±0.1 mm の精度で測定できると仮定すると、密度は±約0.15%の精度で決定できる。</p>
	寸法 (mm)	高さ 500 外半径 1650	±1	寸法 (高さ、外半径)	
リング状ブロック	かさ密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2070	±20	重量及び寸法	
	寸法 (mm)	高さ 800 トップブロックの高さ 860 外半径 1650 内半径 1070	±1	寸法 (高さ、内外半径)	
ペレット	寸法 (mm)	16×6×8	—	個別のペレットの厚さ、幅、長さ	
	かさ密度 (loose filling) (kg/m <sup>3</sup> )	1035	±40	減った材料の重量と容積	
設置時密度	ブロックのかさ密度			(重量と寸法) 目視及び必要に応じて計量	
	充填ペレットのかさ密度			重量と充填されたペレットの容積 目視及び必要に応じて計量	
	充填されたペレットの幅			処分孔の幾何学性 処分孔内の定置されたブロックの位置	
定置時幾何学性	緩衝材の厚さ			処分孔の寸法 定置したブロックの寸法 処分孔内に定置されたブロックの位置	
	緩衝材の厚さ			処分孔の寸法 定置されたブロックの寸法 処分孔内の定置されたブロックの位置	
	充填されたペレットの幅			処分孔の寸法 定置されたブロックの寸法 処分孔内の定置されたブロックの位置	
	ブロックが定置された処分孔の直径			定置されたブロックの寸法 処分孔内の定置されたブロックの位置	

表 2.2.1-9 ブロック及びペレットの参照設計

Design parameter	Nominal design	Accepted variation
<b>Solid blocks</b>		
Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	2,000	±20
Water content	As in the material ready for compaction.	As in the material ready for compaction.
Dimensions (mm)	Height: 500 Outer diameter: 1,650	±1
<b>Ring shaped blocks</b>		
Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	2,070	±20
Water content	As in the material ready for compaction.	As in the material ready for compaction.
Dimensions (mm)	Height: 800 Height of top block: 760 Outer diameter: 1,650 Inner diameter: 1,070	±1
<b>Pellets</b>		
Dimensions (mm)	16×6×8	-
Bulk density loose filling (kg/m <sup>3</sup> )	1,035	±40
Water content	As in the material ready for compaction.	As in the material ready for compaction.

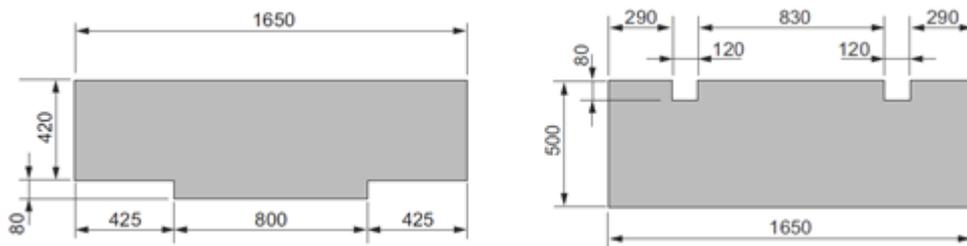


図 2.2.1-11 キャニスタの上部と底部に設置される緩衝材の寸法

上述の製造で行われる処理と、検査が段階ごとに「製造・検査スキーム」という形でまとめられている。ベントナイトの掘削から緩衝材製造までの製造・検査スキームを表 2.2.1-10 に、定置段階の製造・検査スキームを表 2.2.1-11 に示した。これら図表について、緩衝材の最終検査については濃いオレンジ色で示されており、原則として最終検査以降はそれらの項目についての検査は行わないこととされている。

つまり、スウェーデンにおいては、緩衝材についての原位置での経時的な性能確認は、実施せず、定置前の品質保証においてその性能を担保している。

各製造段階で行われる検査等の品質管理活動について、表 2.2.1-12 にまとめた。

表 2.2.1-10 ベントナイトの掘削及び輸送段階とブロック及びペレットの製造段階における製造・検査スキーム

Property	Design parameter	4.2 Excavation and delivery			4.3 Manufacturing of blocks and pellets		
		Excavation and delivery for shipment	Material delivery and intermediate storage	Transport to and storage at production plant	Conditioning of the bentonite	Pressing of blocks / Pressing of pellets	Machining of blocks
Material composition	Montmorillonite	Excavation					
		(By supplier)	X-ray diffraction	-	-	X-ray diffraction	
	Organic carbon	Excavation					
		(By supplier)	Heating in furnace	-	-	Heating in furnace	
Sulphide	Excavation						
	(By supplier)	Heating in furnace	-	-	Heating in furnace		
Total sulphur	Excavation						
	(By supplier)	Heating in furnace	-	-	Heating in furnace		
Compaction properties	Granule size distribution	Grinding	-	-	Grinding		
		(By supplier)	Sieving	-	-	Sieving	
	Water content	Drying	Storage	Transport and storage	Mixing		
		(By supplier)	Drying in micro wave oven	-	-	Drying in oven Drying in micro wave oven	
Density and dimensions of blocks	Bulk density	-	-	-	-	Pressing	
		-	-	-	-	Weighing and calliper	Weighing
	Dimensions	-	-	-	-	Pressing	Machining
		-	-	-	-	Calliper	Calliper
Density and dimensions of pellets	Dimensions	-	-	-	-	Pressing	
		-	-	-	-	Calliper	
	Bulk density loose filling	-	-	-	-	Pressing	
		-	-	-	-	Weighing of defined volume	-

表 2.2.1-11 操業及び定置段階における製造・検査スキーム

Property	Design parameter	4.4 Handling and installation				
		Intermediate storage	Transport to and intermediate storage at repository level	Preparation of deposition hole	Installation of blocks	Installation of pellets
Installed density	Bulk density of blocks	Storage	Storage	-	Installation	
		Visual inspection of cover and if required weighing	Visual inspection of cover and if required weighing	Visual inspection and functional test of protective sheet and drainage system	-	
	Bulk density of pellet filling	Storage	Storage	-	-	Installation
		Visual inspection of cover and if required weighing	Visual inspection of cover and if required weighing	-	-	Weighing and volume
Width of pellet filled gap	-	-	-	Installation		
	-	-	Measuring in of deposition hole geometry <sup>1</sup>	Position of installed blocks		
Installed geometry	Buffer thickness	-	-	-	Installation	
		-	-	-	Position of installed blocks	
	Width of pellet filled gap	-	-	-	Installation	
		-	-	-	Position of installed blocks	
	Diameter of hole within the installed blocks	-	-	-	Installation	
		-	-	-	Position of installed blocks	

<sup>1</sup> From Underground openings construction report.

表 2.2.1-12 SKBにおける緩衝材の製造段階と品質管理内容（検査、計測）

	ベントナイトの掘削及び輸送			ブロック及びペレットの製作				操業及び定置				
	①サプライヤによる掘削と輸送	②材料の輸送と湾岸における一時貯蔵	③製造工場への輸送及び貯蔵	④ベントナイトの調整	⑤ブロックの加圧成形	⑥ブロックの機械加工	⑦ペレットの加圧成形	⑧地上レベルでの中間貯蔵	⑨処分場レベルへの運搬とそこでの貯蔵	⑩定置孔の準備	⑪ブロックの定置	⑫ペレットの充填
ベントナイト	(サプライヤ) ● モンモリロナイト含量 ● 硫化物含量 ● 全硫黄量 ● 有機炭素量 ● 含水率 ● 粒サイズ分布	(SKB) ● モンモリロナイト含量 ● 硫化物含量 ● 全硫黄量 ● 有機炭素量 ● 含水率 ● 粒サイズ分布		● 含水率 ● 粒サイズ分布	(成形前) ● モンモリロナイト含量 ● 硫化物含量 ● 全硫黄量 ● 有機炭素量							
ブロック					(成形後) ● 寸法 ● 重量 ● かさ密度 ● 乾燥密度 ● 識別番号管理 ● 目視確認	● 目視検査 ● 識別記号による管理		● 識別番号管理 ● 目視検査 ● 必要に応じて重量及び寸法 ● 損傷したものは廃棄	● 目視確認 ● 必要に応じて重量及び寸法		● 識別記号管理 ● 定置したブロックの位置	
ペレット							● 寸法 ● かさ密度					● 重量 ● かさ密度
その他	(サプライヤ) ● 貨物スペースのクリーニング	(SKB) ● 貯蔵建屋の温度湿度管理 ● 貯蔵量の管理	● 積み下ろしエリアの換気管理			● 乾燥・浸潤防止のためのプラスチックの覆い	● 乾燥・浸潤防止のため特別設計用機で保管	● 貯蔵量の管理 ● 気密性フード付き特性パレットで保管 ● 覆いの目視検査	● 貯蔵量の管理	(地下開口部範囲) ● 保護シート付底部プレート設置、地下水量検査 ● 排水システム設置 ● 処分孔の寸法検査		● 排水システム、保護シート、センサの取り外し

(b) 埋戻材、プラグ

『埋戻材及びプラグの設計、製造及び初期状態報告書 (TR-10-16) [14]』より、埋戻材及びプラグに関する品質保証活動の内容を整理した。

ア) 埋戻材

埋戻材とは、KBS-3 処分場で使用される人工バリアの 1 つである。また埋戻材は定置坑道に設置される物質であり、定置坑道を充填するために使用される。定置坑道に埋戻材を使用する目的とその機能は、緩衝材をその所定の位置に維持することによって多重バリア原則の履行を支援することに、さらには定置坑道を通じた地下水の流動を限定することにある。

埋戻材の製造及び定置は大きく 3 つ、細かく 14 の段階からなる。この製造ラインについて図 2.2.1-12 に示す。

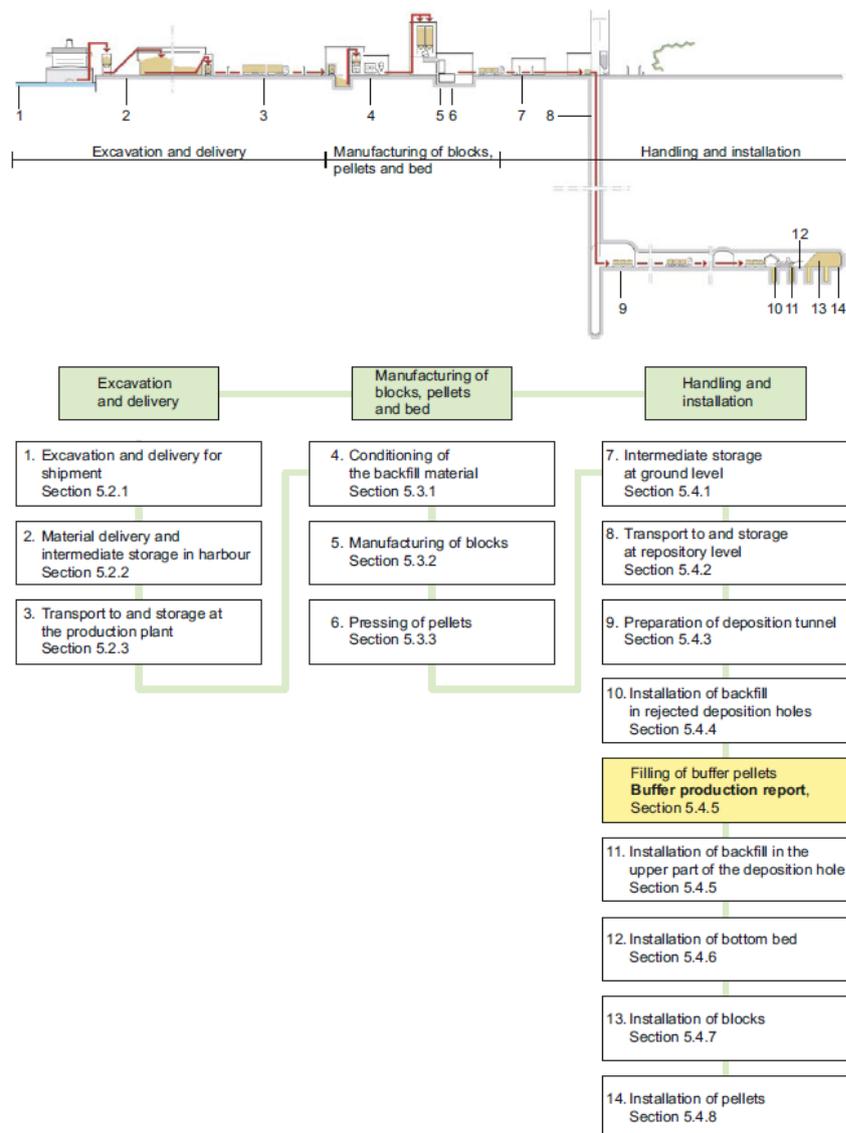


図 2.2.1-12 埋戻材の製造ライン

上の図：物質の提供から定置孔への設置に至る埋戻材製造ラインの概要を示すイラスト。

下の図：埋戻材製造ラインの主要部分（黄色）と全ての段階を示すフローチャート。ここにはイラストの番号とその説明が行われる原文[14]のセクション番号が記されている。

図 2.2.1-12 に示した各段階で検査が行われている。また、ブロック等の製造に対する要件に関して、検査の目的は次のように示されている。

- ▶埋戻材の製造結果が適合可能な範囲に収まっていることを保証すること
- ▶欠陥頻度を低減し、信頼性及びコスト効果の高い製造を実現すること

また、検査内容、検査の数及びサンプリング方策（採取する部位、数等）は、次の多くの要素（*factors*）に起因するとしている。

- ▶選定されたサプライヤ及びベントナイト鉱床の特性
- ▶検査すべき特性（*properties*）
- ▶計測の正確性及び適用方法の信頼性
- ▶要求される情報（例えば、平均値／極値、又は、時間／場所のばらつき）
- ▶試験の目的（例えば、処理段階を管理するインプットデータ／特性の最終検査）
- ▶利用可能な情報や経験（例えば、サプライヤの信頼性、既往の輸送や処理段階からの結果）
- ▶検査の実施可能時間（要求される製造能力に関して）

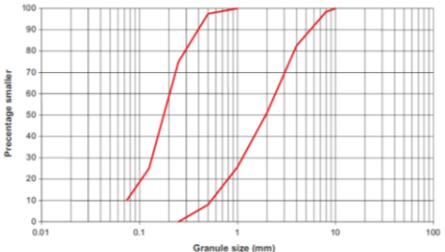
これらの要素は、埋戻材の検査計画を立てる時点で考慮される必要がある。また、この計画には、次の内容が含まれるべきであり、埋戻材の品質保証（QA）の一部として、このような検査計画を SKB は開発する予定である。

- ▶検査パラメータ
- ▶適用方法
- ▶サンプリング方策
- ▶時期や場所の分布

試験及び検査の方法は類似する産業のアプリケーションから構築された技術を基にするべきである。これらの計測の正確性は検査される特性の許容される幅以内に収まるべきであり、一般に、計測の正確性を十分に持つ慣行的な技術や機器は利用可能である。

設計パラメータの詳細をその検査方法と共に表 2.2.1-13、表 2.2.1-14 に示す。これらの設計パラメータを用いて参照設計（Reference design）が明確化される。なお、設計パラメータ設定の際には初期状態（Initial state）が理解されている必要がある。長期安全性及び製造に関して要求される特性、設計パラメータ、製造中に検査されるパラメータとその関係性について表 2.2.1-15 に示す。

表 2.2.1-13 検査されるパラメータと検査方法

Property	Design parameter	Reference design		Parameter inspected in the production	Method for test and inspection
		Nominal design	Accepted variation		
ベントナイト材料組成	モンモリロナイト (wt-%)	50-60	45-90	X線回折	<p>鉱物の特定及び定量化は、ランダム粉末として前処理されたサンプルのエックス線回折 (XRD) に基づいて行われる。この方法は、サンプルをきわめて波長の短い電磁放射線にさらし、面格子間隔セットを分析する方法によるものである。この面格子間隔は、それぞれの鉱物種に特有のものである。回折パターンの分析には、コンピュータに基づく手順が適用される。この手順では、観察されたパターンが、スメクタイト及び混合物に含まれるその他の鉱物の既知の格子パラメータと照合される。この方法については文献 [Karlund et al. 2006] で取り扱われている。</p> <p>エックス線回折分析の結果として、サンプル内に存在する鉱物と、重量%で示されたその含有率のリストが作成される。測定精度は鉱物によって異なり、またサンプルの特性にも左右される。ワイオミング・ベントナイトの同一物質中の少量の容積から採取された 6 件のサンプルに含まれるモンモリロナイト含有量の評価に基づき、この方法に含まれる不確実性が見積りが行われている [Karlund et al. 2006]。統計的な分析により、その平均値が 83.5%であり、標準偏差が 1.7%であることが示された。しかし、ミロス島埋戻材を対象とするこの試験方法に伴う不確実性に関する値をより精密に示すために、特別に設計された試験プログラムがエックス線回折法の精度の評価を目的として実施される予定である。</p>
ベントナイト組成の特徴	顆粒サイズ	 <p>Figure 3-1. Granule size distribution – accepted variation for Milos backfill. The registered grain size distribution in the material ready for compaction shall lie between the two red lines.</p>		ふるい曲線	<p>物質の顆粒サイズは、1組の入れ子構造の「ふるい」を使用したふるい分けによって検査される。これは、顆粒サイズが 75 μm までの粒子分布を明らかにするためにごく一般的に使用されている手順である。またその測定精度はここでの目的にとって十分なものである。</p> <p>物質の含水率の検査は、サンプルを 105℃の温度に加熱したオープンに 24 時間入れて乾燥させた後、サンプルの重量喪失量を重量測定法によって測定する方法によって行われる。これもすでに十分に確立され、広範に使用されている方法の一つであり、含水率が受け入れ可能なばらつき範囲、すなわち±2%の範囲内にあることを保証する上で十分な精度を備えている。結果を迅速に入手する必要がある場合、この乾燥はサンプルを通常の電子レンジで 5 分間加熱する方法によって実施される。</p>
	含水量	17	±2	乾燥前後の重量	
ブロック密度と寸法	乾燥密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1700	±50	重量と寸法	<p>ペレット及びブロックの重量の検査を行うために、異なる種類の計量機械が使用される。これらの計量機械は、通常の手順を適用して必要な精度に校正される。乾燥密度が容認可能な限度内に収まっていることを確認するために、ブロック (含水率が明らかになっている) の重量は±1 kg の精度で測定されるべきである。緩く充填されたペレットの乾燥かさ密度 (含水率が明らかになっている) は、緩い充填材の定義された容積を計量することによって直接的に決定される。こうした物体の重量測定は、すでに確立され、よく知られている手法である。</p> <p>ブロックの高さ、長さ及び幅の測定は、キャリパを使って行われる。ブロックの寸法は±0.5 mm の精度で測定される。これらのブロックのサイズの物体の寸法をここで必要とされる精度で測定することは、さまざまな用途ですでに確立され、よく知られている手法である。個別のペレットの寸法もキャリパを使って測定される。必要とされる精度はブロックの場合と同様であり、この方法はよく知られ、確立された手法に基づいている。</p> <p>寸法の測定で想定されている精度 (±0.5 mm) において、大型のブロックと小型のブロックに関する容積の不確実性はそれぞれ±0.25%と±0.35%となる。重量測定で想定される精度である±1 kg の場合、大型のブロックと小型のブロックに関する重量の不確実性はそれぞれ±0.25%と±0.6%となる。記録された寸法及び重量に基づく、大型ブロックと小型ブロックに関するかさ密度の精度は±0.5%と±1%となる。これらの数字は、乾燥密度 1,700±50kg/m<sup>3</sup>において容認される変動範囲が±3%であることと比較される。</p> <p>乾燥密度は、記録された質量及び容積、そして調整段階で測定された含水率に基づいて計算される。この精度は、かさ密度における精度に加えて、含水率測定の精度にも左右される。</p>
	寸法 (mm <sup>3</sup> )	700×667×510 700×600×250	±2×2×2 ±2×2×2	高さ (H)、長さ (L)、幅 (W) の計測	
ペレット密度と寸法	乾燥密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1700	±50	個別のペレットの重量	
	寸法 (mm <sup>3</sup> )	~16×16×8	—	個別のペレットの寸法	
	乾燥かさ密度 (loose filling) (kg/m <sup>3</sup> )	1000	±100	決められた体積の計量	

Property	Design parameter	Reference design		Parameter inspected in the production	Method for test and inspection
		Nominal design	Accepted variation		
処分孔上部ブロック「密度と寸法」	乾燥密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1710	±17	カバーの目視確認及び必要であれば重量  重量及び寸法	定置孔上部は、緩衝材と同時に、緩衝材ブロックを用いた充填される（『緩衝材プロダクション報告書』のセクション 5.4.4 を参照）。エスポ HRL において、ベベルの埋め戻し方法に関する試験が行われている。これらの試験の基本的な概念は、顆粒又はペレットの形でベントナイト物質を設置し、振動コンパクタと電動式のジャンピングジャック式の装置を用いて手作業で圧縮するものである。 圧縮を行わない試験も同時に実施された。これらの試験では、圧縮は必要であるという結論が得られている。 これらの結果により、ここで使用したベントナイト物質（Minelco 顆粒と Cebogel ペレット）をブロック設置時の沈下を回避する上で十分な乾燥密度（1,029～1,208 kg/m <sup>3</sup> ）まで圧縮する作業が実施可能であることが示された。
	寸法 (mm)	高さ 500 直径 1650 (緩衝材上部ブロックと同様)	±1	寸法	ブロックの高さ、直径、そして特別に設計された細部の測定は、キャリパを使って行われる。ブロックの寸法は±1 mm の精度で測定される。ブロックのサイズの物体の寸法を必要な精度で測定することは、さまざまな同様の用途からの、確立されたよく知られた手法である。
	含水率	17	±1	乾燥前後の重量	物質の含水率は、サンプルを 105℃の温度に過熱したオーブンに 24 時間入れて乾燥させた後、サンプルの重量喪失量を重量測定法によって測定する方法によって検査される。これはすでに十分に確立され、広範に使用されている方法の 1 つである。含水率が受け入れ可能なばらつき範囲にあることを保証するために、この測定は±0.05%の精度で実行可能なものとされるべきである。 結果を迅速に入手する必要がある場合（たとえば船から荷下ろしの前など）、この乾燥はサンプルを通常の電子レンジで 5 分間加熱する方法で実施される。オーブン内での加熱については、含水率はサンプルの計量によって決定される。
処分坑道への定置後	ペレットの体積	定置されたブロックとトンネルの岩壁の間	—	処分孔、処分坑道のスキャンニング計量	ペレットの設置に用いるいくつかの手法に関する調査が実施されており、これらの手法が実施可能であることが確認されている。設置時には主として岩盤輪郭に存在する不規則部分において良好な充填が実現しなければならない。 エスポのベントナイト研究所において、多数の実規模試験が実施されている [Wimelius and Pusch 2008]。図 5-18 に、指標に示す機器を用いた試験の 1 つで撮影された写真を示した。 実施された試験により、選定された方法が実現可能なものであることが示されている。これらの試験によれば、設置容量は約 5 m <sup>3</sup> /h であるが、この数字の改善は可能であると考えられている。 ペレット充填物に予定されている乾燥密度は 1,000 kg/m <sup>3</sup> である（含水率が 16% の Cebogel ペレット）。しかし設置状態のペレット充填物の乾燥密度は 907 kg/m <sup>3</sup> であることが確認された。これは、人工岩盤の露出部分のすぐ下に位置する空間が充填されていない事実によってある程度まで説明することができよう。2 分の 1 スケールの坑道で実施された試験では、ペレットを乾燥密度 980～1,080kg/m <sup>3</sup> で 150 mm の幅の隙間に設置することに成功したが、この隙間には不規則部分は存在しなかったため、プロセスが単純化されている [Keto et al. 2009]。これらの試験において比較的高い密度が達成されたことにより、処分場環境で設置されるペレットで達成される乾燥密度を改良する余地があることが示された。設置状態のペレットにおいて実際に達成可能な密度を明らかにするために、さらなる取り組みが行われることになっている。 ブロックと岩盤壁との間の空間全体の充填に関しては、ペレットを坑道天盤に接触するよう充填することは可能であるものの、ペレット充填物はある程度まで自己圧縮を起こすため、充填物が水飽和状態となり、隣接する開口部に向けて膨潤するまでは、隙間が開いた状態が維持されるという結論が示されている。

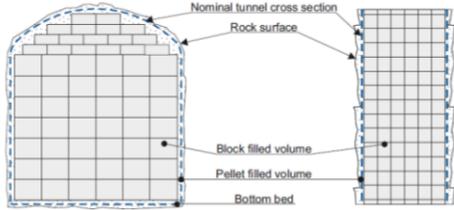
Property	Design parameter	Reference design		Parameter inspected in the production	Method for test and inspection
		Nominal design	Accepted variation		
底部の厚さ	10 cm	—	—	処分坑道配置のスキャンニング 底部設置後のスキャンニング	<p>ベントナイト・ペレット／顆粒の取り扱い利用可能な手法の試験と、安定した基層を実現するための圧縮手法の試験を行うために、さらには設置された基層の性能を試験するために、中規模及び大規模試験が実施されている [Wimelius and Pusch 2008]。後者の試験としては、基層に埋戻材ブロックが設置された時点に（沈下などに関して）行う性能試験や、岩盤からの水の流入があった場合の性能試験が挙げられる。これらの試験は、2種類のベントナイト物質（すなわち「Minelco 顆粒」及び「Cebogel ペレット」）を使用して実施されたものである。大規模試験は、底部層の設置及び挙動に焦点が合わせていたため、ベントナイト・ブロックの代わりにコンクリート・ブロックを用いて人工坑道内で実施された。またブロック物質が結果に影響を及ぼすかどうかを明らかにするために、底部層と直接接したベントナイト・ブロックを用いた試験も実施されている。この試験により、結果とブロックの物質（ベントナイトであるかコンクリートであるか）の間には関係がないことが示された。</p> <p>ベントナイト物質は、基層上に積み上げられたブロックの沈下が有意なものにならないようにするために、高い度合いの均質性と十分に高い密度を備えたものとして圧縮されるべきである。試験では、150 kg の振動コンパクタを4回走らせた場合に最良の結果が得られている。</p> <p>圧縮後の乾燥密度は、Minelco 基層の場合には約 1,250 kg/m<sup>3</sup>、Cebogel 基層の場合には約 1,150 kg/m<sup>3</sup>であった。要約すれば、いずれの基層物質であっても、床沿いに水が流入する前に設置された場合、積み重ねられたブロックの安定性を損なうことはない。実際問題として、Minelco 基層は湿潤条件下では Cebogel 物質よりも長期間にわたりその安定性を維持することから、水流入時の Minelco 基層の支持力は Cebogel 基層よりも大きい。効果的かつ均等な圧縮を実現することにより、基層が早期の崩落を起こすことなく毎分 1 リットルの滴下状の水の流入に耐えられるようになる [Wimelius and Pusch 2008]。他の試験条件では別の水流入量が適用されているため、この結果は今回の試験条件にのみ有効なものである。作業のこの部分に関する特定の流入量に関する要求事項は、今後決定されることになる。大部分の試験において、水はブロックの下のベントナイトを通じて埋戻材のない表面を上昇した上で表面を上向きに移動し、最後に積み上げられたブロックの正面へと進んだ。このことは、湿潤の主要部分は上方から生じることを意味している。ブロックより下にある水の緩衝作用は低く、おそらくは埋戻材ブロックからの圧力に依存している。このため、水は別の方向へと進むことになる。</p> <p>物質は標準的な装置を用いて取り扱い、設置することになっている。実施された試験での設置量は 5 分間に 900 kg と見積もられた。圧縮後の最終的な層の厚さは 0.3 m であり、このことは、長さ 6 m、幅が平均で 4.5 m の坑道区画に基層を設置するのに約 1 時間を要することを意味する。</p> <p>レーザが装備された標準的な取鍋（レイドル）を用いた物質の水平化作業に関する試験も行われた。時間的な見積りは約 30 s/m<sup>2</sup> とされている。水平化の精度は +5 mm ~ -20 mm であった。埋戻材ブロックを受け入れ可能な方法で積み重ねるためには、表面の均等化面での改善が実現されなければならない。</p>
底部の傾き	—	—	< 3 mm/坑道幅	底部設置後のスキャンニング	
圧着された底部の乾燥密度	> 1200kg/m <sup>3</sup>	—	—	底部設置後のスキャンニング	
処分坑道のブロックの体積	 <p>Figure 3-2. Reference geometry of the installed backfill in a schematic tunnel. V<sub>blocks</sub> ≥ 60%</p>		<p>処分坑道配置の計測 処分孔上部（傾部）の計測 坑道区画内のブロックの数 配置の目視確認</p>	<p>エスポ HRL で、ブロックの積み上げ試験が実施された [Wimelius and Pusch 2008]。図 5-17 を参照のこと。これらの試験により、容量や安定性に関して、また使用する技術が設置時に必要とされる精度を満たす必要性に関して、多くの有益な情報がもたらされた。これらの試験は、床からの水の流量や基層に使用する物質を変化させて実施されたものである。こうして得られた結果により、異なる物質や流量から導き出されるさまざまな前提条件も示されている。</p> <p>試験及び研究後の評価によれば、上述した方法は実現可能であるが、技術の進歩に左右される。ブロックの吊上げのための真空手法に関しては、取り扱いにおけるブロックの品質の場合と同様に、より一層の試験を実施する必要がある。「1 日当たりで定置孔間の平均距離に対応する長さの埋め戻しを行う」という設計要領を順守するためには、その他の活動に消費される時間を考慮に入れた場合、1つのブロックを 60 秒以内に積み上げられなければならない。試験においてこれが可能であることは立証されているものの、そのためには設置チェックの結果の承認が高い頻度でなされ、ペレットが設置されるまで水の流入がブロックに影響を及ぼさないことが前提となる。</p> <p>この結論を裏付けると共にこの技術の性能を検証するために、加圧成形されたベントナイト・ブロックを使用した実規模の試験が追加されることになっている。</p>	
ブロックと岩壁の隙間のフリースペース	—	—	≥ 10 cm	—	—

表 2.2.1-14 埋戻材の設計パラメータ（定置後のブロック、ペレット、床材）

Design parameter	Nominal design	Accepted variation
<b>Blocks</b>		
Block part of blast round volume <sup>1</sup>	According to Figure 3-2	$V_{\text{blocks}} \geq 60\%$
Free space between blocks and tunnel walls	–	Free space $\geq 10$ cm
<b>Pellet filling in gap between blocks and tunnel walls</b>		
Pellet part of blast round volume	The volume between the installed blocks and deposition tunnel walls	–
<b>Bottom bed</b>		
Thickness	10 cm from nominal tunnel floor	–
Inclination perpendicular to the tunnel axis	–	$< 3$ mm/tunnel width
Inclination along the tunnel axis	Inclination of nominal tunnel floor	–
Dry density compacted bed	$> 1,200$ kg/m <sup>3</sup>	–

<sup>1</sup> Including blocks in the upper part of the deposition hole and excluding slots between blocks.

表 2.2.1-15 要求される特性、設計パラメータ及び検査されるパラメータとそれらの関係性

Required property	Design parameter	Parameter inspected in the production
Material composition	Montmorillonite content	X-ray diffraction pattern
Compaction properties of material ready for compaction	Granule size distribution	Sieving curve
	Water content	Weight before and after drying
Density and dimensions of blocks	Dry density <sup>1</sup>	Weight and dimensions
	Dimensions	Height, length and width (H x L x W)
Density and dimensions of pellets	Dry density separate pellets <sup>1</sup>	Weight and dimensions of separate pellet
	Dimensions separate pellets	Thickness, length and width of separate pellet (T x L x W)
	Dry density loose filling <sup>1</sup>	Weight and volume of loose material
Installed density – upper part of the deposition hole	Dry density of buffer blocks <sup>1,3</sup>	Weight and dimensions of blocks
	Dry density of pellets <sup>1</sup>	Weight of loose material
	Buffer block and pellet part of volume	Geometry of deposition hole <sup>2</sup> Geometry of installed buffer <sup>3</sup> Positions of installed blocks
Installed density – deposition tunnel	Bottom bed thickness	Geometry of deposition tunnel <sup>2</sup> Geometry of deposition tunnel after installation of the bottom bed
	Bottom bed inclination	Geometry of deposition tunnel after installation of the bottom bed
	Dry density compacted bed <sup>1</sup>	Weight of loose material Geometry of deposition tunnel <sup>2</sup> Geometry of deposition tunnel after installation of the bottom bed
	Dry density of blocks <sup>1</sup>	Weight and dimensions of blocks
	Block part of tunnel volume	Geometry of deposition tunnel <sup>2</sup> Geometry of deposition tunnel after installation of the blocks
	Dry density of pellets <sup>1</sup>	Weight of loose material
	Pellet part of tunnel volume	Geometry of deposition tunnel <sup>2</sup> Block part of tunnel volume

<sup>1</sup> Water content as determined for material ready for compaction.

<sup>2</sup> From the Underground openings construction report.

<sup>3</sup> From the Buffer production report.

これらの設計パラメータは、参照設計（Reference design）に適しているかを検証するために埋戻材製造過程の中で、直接あるいは間接的に計測される。製造の成果を示すために製造一検査スキームが製造ステージごとに構成されている。掘削、輸送、貯蔵及び製造のステージに係る製造一検査スキームを表 2.2.1-16 に、操作及び定置のステージに係る製造一検査スキームを表 2.2.1-17 に示す。

なお、表 2.2.1-16 及び表 2.2.1-17 について、青色は設計パラメータが処理されるステージを示し、濃い色はパラメータの確定を意味する。パラメータの確定とは、そのステージの中で設計パラメータが確定し、それ以降のステージにおいてパラメータ値の変動のための努力はなされない（プロセスに従う）。オレンジ色は、そのステージで行われる試験及び検査を示す。濃いオレンジ色は最終検査を意味し、更なる検査は行われぬ。すなわち、スウェーデンにおいては、埋戻材についての原位置での経時的な性能確認は、実施せず、定置までの品質保証及び品質管理においてその性能を担保している。

表 2.2.1-16 図 2.2.1-13 ベントナイトの掘削及び輸送段階とブロック及びペレットの製造段階における製造-検査スキーム

Property	Design parameter	5.2 Excavation and delivery			5.3 Manufacturing of blocks and pellets	
		Excavation and delivery for shipment	Material delivery and intermediate storage	Transport to and storage at production plant	Conditioning of the bentonite	Pressing of blocks / Pressing of pellets
Material composition	Montmorillonite content	Excavation				
		(By supplier)	X-ray diffraction	-	X-ray diffraction	
Compaction properties	Granule size distribution	Grinding	-	-	Grinding	
		(By supplier)	Sieving	-	Sieving	
	Water content	Drying	Storage	Transport and storage	Mixing	
	(By supplier)	Drying in microwave oven	-		Drying in microwave oven Drying in oven	
Density and dimensions of blocks	Dry density <sup>1</sup>	-	-	-	-	Pressing
		-	-	-	-	Weighing and calliper
	Dimensions	-	-	-	-	Pressing
		-	-	-	-	Calliper
Density and dimension of pellets	Dry density <sup>1</sup> separate pellets	-	-	-	-	Pressing
		-	-	-	-	Weighing of individual pellets
	Dimensions	-	-	-	-	Pressing
		-	-	-	-	Calliper of individual pellet
	Dry bulk density <sup>1</sup> of loose filling	-	-	-	-	Pressing
-		-	-	-	Weighing of defined volume	

<sup>1</sup> Water content as material ready for compaction.

表 2.2.1-17 図 2.2.1-14 操業及び定置段階における製造・検査スキーム

Property	Design parameter	Intermediate storage at ground level	Transport to and storage at repository level	5.4 Handling and installation				
				Preparation of deposition tunnel	Installation of backfill material in the deposition hole	Installation of bottom bed	Installation of blocks in deposition tunnel	Installation of pellets in deposition tunnel
Installed density <sup>1</sup>	Dry density of blocks in deposition holes	Storage	Storage	-	Installation <sup>2</sup>			
		Visual inspection of cover and if required weighing	Visual inspection of cover and if required weighing	-	Weighing and calliper <sup>2</sup>			
	Pellet part of volume	Storage	Storage	-	Installation	Installation		Installation
		Visual inspection and if required weighing	Visual inspection and if required weighing	-	Weighing Scanning of deposition hole	Weighing Scanning of deposition tunnel		Weighing
	Bed thickness	-	-	-	-	Installation		
					Scanning of deposition tunnel geometry <sup>1</sup>	Scanning (after installation of bed)		
	Bed inclination	-	-	-	-	Installation		
-		-	-	-	Scanning (after installation of bed)			
Dry density compacted bottom bed	-	-	-	-	Installation			
	-	-	-	-	Scanning (after installation of bed)			
Block part of deposition tunnel volume	-	-	-	-	-	-	Installation	
	-	-	-	Measuring of deposition tunnel geometry <sup>1</sup>	Measuring of upper part of deposition hole geometry <sup>1</sup> (incl. bevelling)	-	Number of blocks in tunnel section Visual inspection of geometry	
Free space between blocks and tunnel walls	-	-	-	-	-	-	Installation	
	-	-	-	-	-	-	Inspection of geometry	

<sup>1</sup> Calculated from the inspected weights and volumes.

<sup>2</sup> Described in the Buffer production report.

各ステージで製造処理及び検査・管理方法は埋戻材報告書の § 5 に記載されている。表 2.2.1-18 に各ステージの製造処理について示す。また、各プロセスで行われる検査内容については表 2.2.1-13 にまとめた。各製造段階で行われる検査等の品質管理活動について、表 2.2.1-20 にまとめた。

表 2.2.1-18 埋戻材の掘削、製造、定置に係るプロセス

段階	Process	Reference*	
掘削及び輸送	①掘削及び船舶への輸送	<ul style="list-style-type: none"> <li>● サプライヤが SKB の要望に適したベントナイトを選択する。</li> <li>● 埋戻材に用いられるベントナイトは低グレードな(スメクチック系の鉱物の含有量が低い)ものである。</li> </ul>	§ 5.2.1
	②材料輸送及び港での中間貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ベントナイトは処分サイト近くの港に輸送される。</li> <li>● 許可が下りれば貯蔵建屋に陸揚げされる。</li> <li>● 輸送係に許可されなくてもプロセスを遮断しない十分な量の裁量が運ばれてある。</li> <li>● 貯蔵建屋は 0°C に保たれ、湿度も空調によって管理される。</li> <li>● 粘土材料の船舶輸送は従来型の一般に適用される技術である。</li> </ul>	§ 5.2.2
	③製造工場への輸送と貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 許可が下りた後、材料は処分場サイトにある製造工場の受け取り建屋に従来型のトラックで輸送される。</li> <li>● 濡れるのを防ぎ、労働状況について、積み下ろしエリアは屋内で、空調管理が行われる。</li> <li>● 貯蔵は建屋かサイロで行われる。異なる船舶で運ばれた生の材料は分けられ続ける。</li> </ul>	§ 5.2.3
ブロック及びペレットの製作	④埋戻材料の調整	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 運ばれた材料をブロック及びペレットの形成に適した粒径の分布及び含水量に調整する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 粉碎に適した含水量に乾燥</li> <li>✓ 圧形成に適した粒径に粉碎</li> <li>✓ 地上物質の貯蔵</li> <li>✓ 圧形成に適した含水量に湿らす</li> <li>✓ 圧形成に向け貯蔵</li> </ul> </li> <li>● 圧形成に向けた粒径分布及び含水量はこの段階で最終検査とする。</li> </ul>	§ 5.3.1
	⑤ブロック及びペレットの圧縮	<ul style="list-style-type: none"> <li>● この段階でブロック及びペレットの密度及び寸法が最終決定する。</li> <li>● 圧縮作業は既定の特性を産出するために管理される。</li> <li>● ブロックの圧形成に関する参照方法は短軸圧縮である。</li> <li>● ブロックの寸法は型枠の寸法と詰められた材料の量で決定する。</li> <li>● ペレットは処分孔上部、処分坑道の底部、岩壁とブロックの隙間で同様の型の参照設計を用いる。</li> <li>● ペレットは 2 つの歯車の回転で形成される。</li> </ul>	§ 5.3.2/ § 5.3.3
操業及び定置	⑥地上レベルでの中間貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製造されたブロック及びペレットは処分場に運ばれるまで地上で一時的(数日程度)に貯蔵される。</li> <li>● 最終処分場の産業エリア内にある生産建屋内で貯蔵し、原子力施設の防護エリアの建屋はスキップする。</li> <li>● 地上での操作及び移動は慣行法で用いられている頭上クレーンや引っ掛けユニット、運搬装置を用いる。</li> <li>● 仮に製造がストップした場合にも埋戻材定置作業が中止することを防ぐ必要がある。</li> <li>● 操作、輸送中にブロック及びペレットが変形してはいけない。そのためには貯蔵中に水分含量が変化してはいけないため、ブロックは図 2.2.1-16 に示す特別設計のペレットに、ペレットは特別設計で貯蔵する。(内圧を低く抑える分散型のプラスチックカバー)</li> </ul>	§ 5.4.1
	⑦処分場レベルでの輸送と貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 一日ブロック 40 パレットとペレット 15 コンテナが輸送される。</li> <li>● ブロックは処分坑道の埋戻しマシーンへ運ぶ輸送車に積み替えられる。</li> <li>● ペレットは処分坑道に充填する特別コンテナに運ばれる。</li> </ul>	§ 5.4.2

\* TR10-16, Backfill and plug Production Reports の該当箇所を示す。

⑧処分坑道の準備	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 処分孔への緩衝材の設置、キャニスタの定置の前に以下の処分坑道の準備を行う。</li> <li>✓坑道の岩壁調査、必要に応じて計測とロックボルト</li> <li>✓トンネルの交差部分に係るルーフボルトとワッシャーの後ろで切断</li> <li>✓トンネルをクリーンにし、空にする</li> <li>✓トンネルの底（床）を砂利及びその他の物質でクリーンにし、検査</li> <li>● トンネルへの流入量を検査</li> <li>● 岩壁のスキャン</li> <li>● 一時的な換気システム、電源供給、照明の設置</li> </ul>	§ 5.4.3
⑨却下された処分孔の埋戻し	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 処分坑道手順の埋戻材の定置の前に、却下された処分孔は埋め戻す。</li> <li>● 材料及び技術はキャニスタの定置が始まる前に決定するが緩衝材か埋戻材に準じると考えられる。</li> </ul>	§ 5.4.4
⑩処分孔上部の埋戻し	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 処分孔の緩衝材定置が終わり、処分坑道の埋戻材が定置される前に、処分孔上部の接続傾斜部の埋戻しを行わなければならない。（図 2.2.1-17）</li> <li>● 処分孔の上部 2 つのブロックは埋戻材の一部とされている。しかし、最新の参照設計において、それらは緩衝材と同様の材料を用い、緩衝材と同じタイミングで定置することになっている。</li> <li>● ペレットは処分坑道と同対応を用いる</li> </ul>	§ 5.4.5
⑪底部の充填	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 底部を水平にするために底部にペレットを扱う。</li> <li>● スクリューフィーダを用いて充填し、振動プレートで調整する。（図 2.2.1-18）</li> </ul>	§ 5.4.6
⑫ブロックの定置	<ul style="list-style-type: none"> <li>● トンネルの輪郭に合わせるために 2 種類の大きさのブロックを用いる。（図 2.2.1-19）</li> <li>● 図 2.2.1-19 が示すように、コンベアーとリフティングツールを用いてブロックを一つ一つ配置する。</li> </ul>	§ 5.4.7
⑬ペレットの充填	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ブロックと岩壁の間をペレットで充填する。</li> <li>● 参照方法では乾式スプレー機器を用いることになっている。（図 2.2.1-20）</li> <li>● ダストを防ぐため、少量の水を充填時に加える可能性がある。</li> </ul>	§ 5.4.8

表 2.2.1-19 埋戻材用の低グレードベントナイトの材料組成

**Table 5-3. Material composition of Milos backfill measured on one delivery of this low-grade bentonite product /Olsson and Karnland 2009/.**

Parameter	Content in Milos backfill
Montmorillonite (wt%)	58
Cation	Ca
CEC (meq/100 g)	73
Sulphide (%)	0.03
Total sulphur (%)	0.06
Organic carbon (%)	0.38



図 2.2.1-15 ペレット製造機器



図 2.2.1-16 特別設計のパレットに設置した埋戻材ブロック

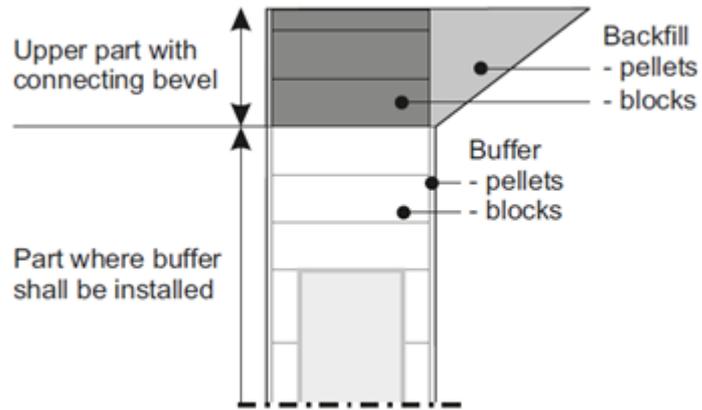


図 2.2.1-17 処分孔上部の接続傾斜部の様子

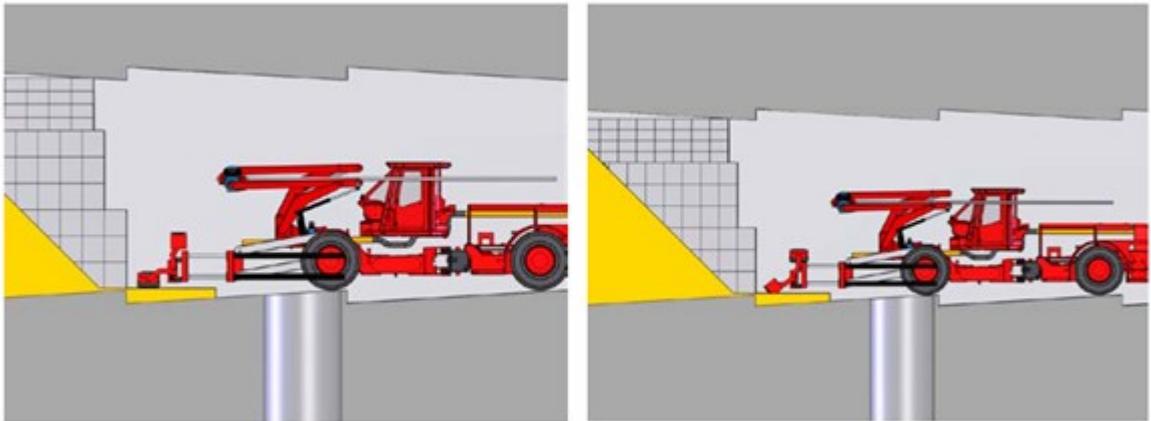


図 2.2.1-18 底部ペレット充填の様子

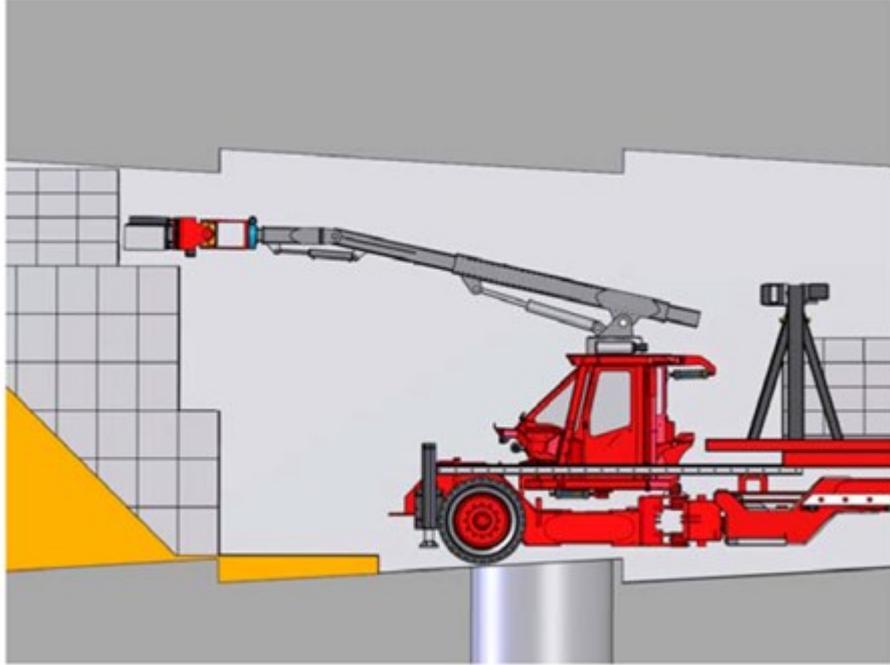


図 2.2.1-19 処分坑道ブロック定置の様子

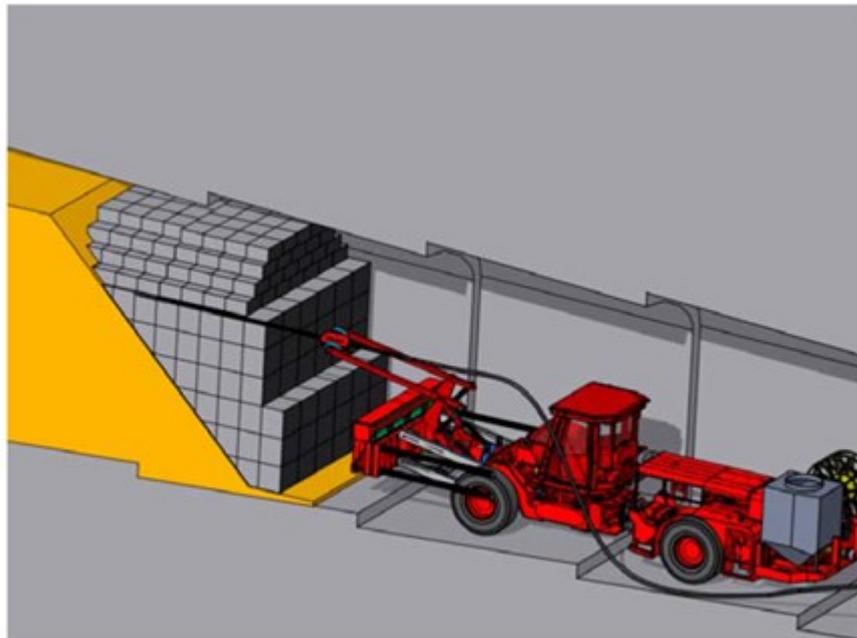


図 2.2.1-20 底部/パレットユニットを用いたペレットの充填の様子

表 2.2.1-20 SKBにおける埋戻材の製造段階と検査パラメータ

	ベントナイトの掘削及び輸送			ブロック及びペレットの製作		操業及び定置						
	①掘削及び船舶への輸送	②材料輸送及び港での中間貯蔵	③製造工場への輸送と貯蔵	④埋戻材材料の調整	⑤ブロック及びペレットの圧縮	⑥地上レベルでの中間貯蔵	⑦処分場レベルでの輸送と貯蔵	⑧処分坑道の準備	⑩処分孔上部の埋戻し	⑪底部の充填	⑫ブロックの定置	⑬ペレットの充填
ベントナイト	(サプライヤ) ● モンモリロナイト含量 ● 含水率 ● 粒サイズ分布	(SKB) ● モンモリロナイト含量 ● 含水率 ● 粒サイズ分布		● モンモリロナイト含量 ● 含水率 ● 粒サイズ分布	●							
ブロック					● 寸法 ● 重量 ● かさ密度 ● 乾燥密度 ● パレットに識別記号、管理 ● 目視検査	● 目視検査 ● (重量)	● 目視検査 ● (重量)		● 重量		● ブロックの数 ● 目視検査 ● 岩壁との隙間の幾何学性	
ペレット					● 寸法 ● 重量 ● かさ密度 ● 単独の密度 ● 乾燥密度 ● 特別陽気で識別記号、管理	● 目視検査 ● (重量)	● 目視検査 ● (重量)		● 重量 ●			● 重量 ● 設置重量を帰属
底部層								● 厚さ		● 重量 ● 厚さ ● 傾き ● 乾燥密度		
その他	(サプライヤ) ● 貨物スペースのクリーニング	(SKB) ● 貯蔵建屋の温度湿度管理 ● 貯蔵量の管理	● 積み下ろしエリアの換気管理			● 拡散防止型密閉プラスチックの覆いが付けられた特別設計のパレット ● 覆いの目視検査	● 覆いの目視検査	● 処分坑道及び処分孔上部の幾何学性 ● 坑道への流入量	● 処分孔上部の幾何学性			埋戻し作業が最終区画に到達したら、以下を識別記号と共に管理 ● 定置孔上部底部層の埋戻材密度 ● 基層の定置後に検査された坑道区画の総容積 ● ブロックの数・重量 ● ペレットの充填量 ● 坑道内のかさ密度 ● 構想内の乾燥密度



## イ) プラグ

定置坑道内のプラグは、KBS-3 処分場においていかなるバリア機能も備えていない。定置坑道に設置されるプラグは、定置坑道を操業フェーズの期間にわたり閉鎖する構造物である。このプラグは、主要坑道での充填が終了し、飽和状態となるまで、定置坑道を閉鎖し、その内部の埋戻材を所定の位置に保ち、プラグを通じた水の流動を阻止するものとする。

プラグは以下のカテゴリの物質及び構成要素で成り立つ。

- コンクリートまたはコンクリート材料
- フィルタ物質
- 水密性シール用粘土
- プレハブ構成要素（鉄筋ケージ、コンクリート・ビーム、冷却用配管など）
- 補助機器及び物質（ジオテキスタイル、加熱装置、計器など）

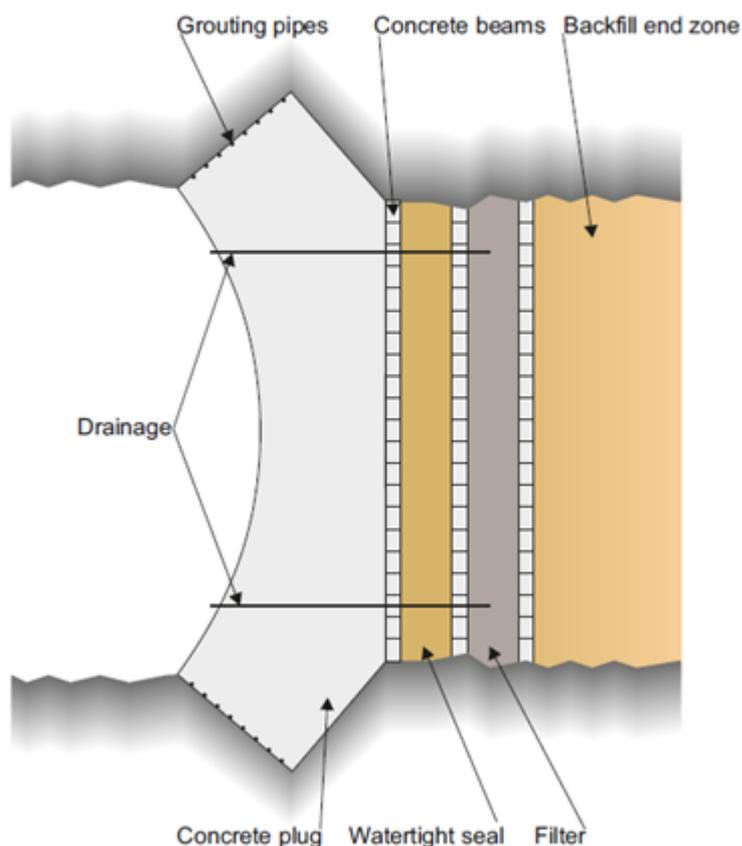


図 2.2.1-21 プラグの全容[14]

プラグの製造及び定置は大きく 4 つの段階からなっており（図 2.2.1-22）、各段階で検査が行われている。プラグの建設、試験及び検査の方法の開発に関する design premises の結果を表 2.2.1-15 示す。

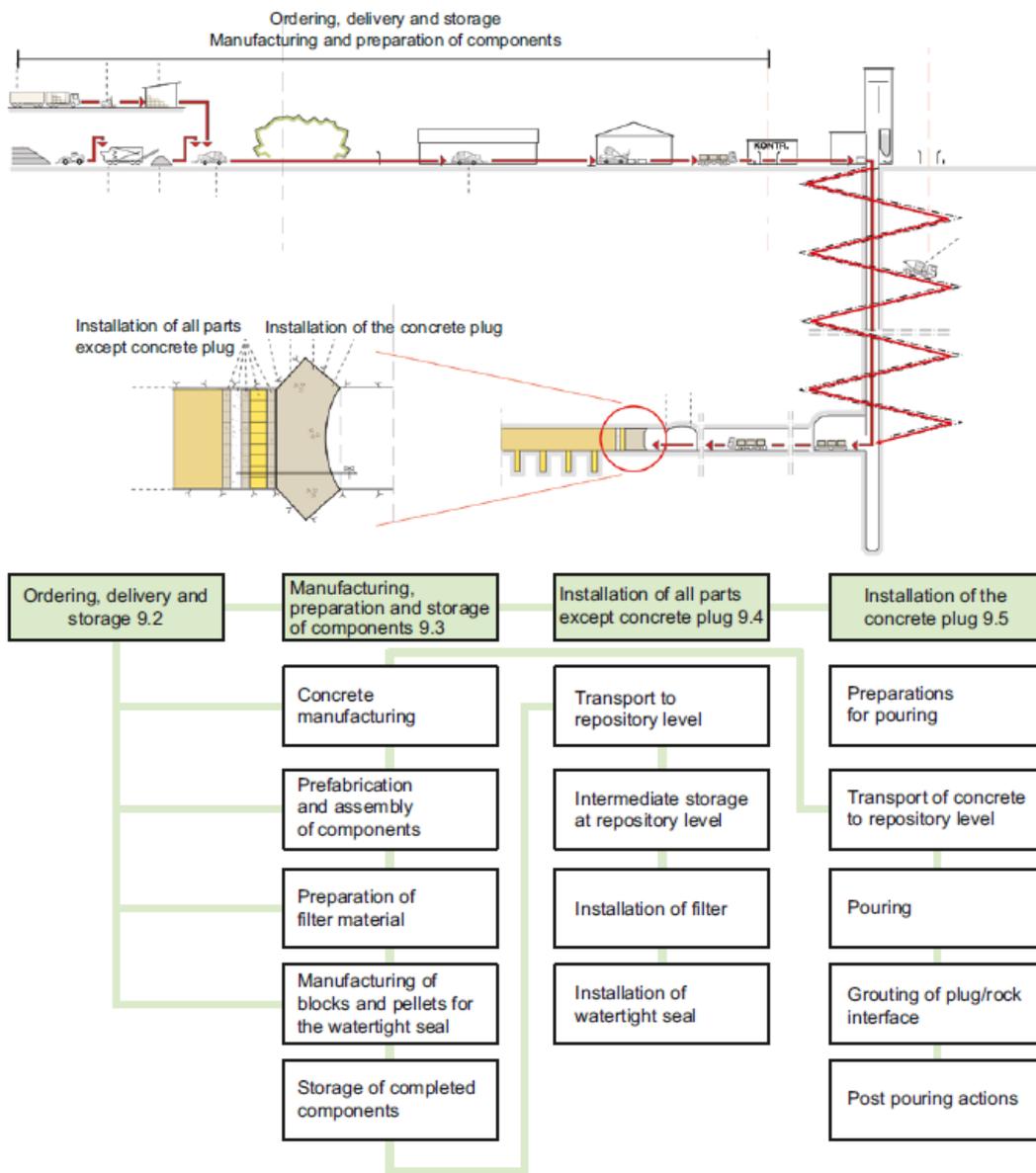


図 2.2.1-22 プラグの製造過程

表 2.2.1-21 性能と前準備、定置、検査に関する方法の design premises

Required function, property or design consideration	Required capability of method/ production	Design premise
<i>The plug must not significantly impair the barrier functions of the engineered barriers or rock. Installation of the plug shall be possible to perform in the prescribed rate.</i>	<i>To limit the transport of clay material out from the deposition tunnel the time until the plug has been installed and gained its full strength and water tightness shall be as short as possibly achievable.</i>	<i>Allowed inflow to deposition holes and deposition tunnel. Volume of water accepted to be transported out from the deposition tunnel.</i>
<i>The plug must not significantly impair the barrier functions of the engineered barriers or rock.</i>	<i>Material composition and amounts shall be recorded.</i>	–
<i>The plug and methods for preparation, installation, test and inspection shall be based on well-trying or tested technique.</i>	<i>The methods for construction and inspection of the plug shall as far as possible be based on experiences and established practice from similar applications.</i>	–
	<i>If there is a lack of experiences the reliability of the methods shall be tested and demonstrated.</i>	–
<i>Plugs with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability. The plug and methods to install, control and verify the plug shall be cost-effective.</i>	<i>The curing of the concrete plug shall take place without the formation of cracks.</i>	–
	<i>The full pressure against the concrete plug must not appear until it has cured and gained sufficient strength.</i>	–
	<i>The construction shall result in a plug with acceptable properties and be repeatable and reliable.</i>	–
	<i>The frequency of the event: "Malfunction of the plug causing retrieval of installed backfill." shall be low.</i>	<i>Frequency 10<sup>-3</sup> or less per installed plug in deposition tunnels.</i>

プラグの製造は、類似した産業用途において確立している慣行的な手法に基づくとされている。製造に伴う手順についてもすでに広範に適用されているものである。また、設置や関連する検査についても広範に適用されている通常の方法を採用する予定である。但し、コンクリート作業については、低 pH コンクリートに合わせたカスタマイズを行うとしている。水密性シールの構成要素の製作路シールの設置作業について、埋戻材と同じ方法が適用される。

緩衝材及び埋戻材の特性は、それぞれが設置された後、速やかにプラグが設置されることで完全な強度及び健全性を発揮することができる。使用に適した材料及び構成要素が製造のそれぞれの段階の作業が実施される時期に間に合うように提供されることが重要である。

各段階で行われるプロセス（処理）及び検査について、表 2.2.1-22 に示す。

表 2.2.1-22 プラグ製造の際に行われるプロセスと検査

段階	プロセス	検査	Reference*
発注、提供及び貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> <li>● プラグのための物質及び製品は、詳細な設計文書、図面及び使用に基づいて購入される。</li> <li>● それぞれの物質あるいは製品は、標準化されたプロトコルで製造される。</li> <li>● プラグの設置に遅延や中断が起きてはならないため、適切なストックを保持する。貯蔵環境は、材料及び製品のために適切な防護と環境が整っているものとする。</li> <li>● それぞれの構成要素の購入等については以下の通り。 <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ プレハブ構成要素及びコンクリート： 処分場施設の産業用区域内部で製作、あるいは外部サプライヤから納品</li> <li>▶ フィルタ物質：納品、あるいは浅層施設から掘削された岩石を用いてサイトで前処理</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● サプライヤからの提供時にプロトコルと製品の検査が行われる。</li> <li>● 発注及び提供については、同様な建設作業及び担当部署の経験に基づいて確立された手順、プロトコル及び検査が利用可能である。</li> </ul>	§ 9.2
構成要素の製作及び前処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>● サプライヤに頼らず、政策あるいは組み立て絵を行うプラグ構成要素は以下の通り。 <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ コンクリート・ビーム： プレハブ（コンクリート原料は地上レベルで混合）</li> <li>▶ ビーム支持物： 建造</li> <li>▶ 鉄筋ケージ： 建造</li> <li>▶ 配管： 処分場深度に運ぶ前に組み立て</li> <li>▶ 型枠： 建造</li> <li>▶ 水密性シール（ブロック及びペレット）： 埋戻材と同じ寸法のブロック及びペレット</li> <li>▶ フィルタ物質： 必要な粒子サイズ分布を得るために混合されてから処分場レベルに運ばれる</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● プラグ構成要素の製造、前処理及び検査と、コンクリート及びフィルタ物質の前処理及び検査は慣行的な手順に従う。</li> </ul>	§ 9.3
コンクリートプラグ以外の設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>● コンクリート・ビーム、排水管、フィルタ及び水密性シールは以下の順序で設置される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ コンクリート・ビーム第1壁を埋戻し終了ゾーン内で埋戻材と並行して設置。</li> <li>▶ フィルタ、コンクリート・ビーム第2壁、排水管の最初の区画を設置。</li> <li>▶ 水密性シール、コンクリート・ビーム第3壁、排水管の第2の区画を設置。</li> <li>▶ コンクリート・ビーム第3壁に吹付コンクリートを施す。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 物質及び構成要素の設置及び検査は、従来の手順に従って行われる。</li> </ul>	§ 9.4

\* TR10-16, Backfill and plug Production Reports の該当箇所を示す。

コンクリートプラグの設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>● コンクリートプラグ設置のためには岩盤に凹部が用意されていなければならない (TR-10-18 参照)</li> <li>● コンクリートプラグは以下の順序で設置される。</li> <li>● 岩盤表面を清掃し、鉄筋ケージを設置する。冷却管、力学的反応及び温度のモニタリング用計器もこの段階で設置する。</li> <li>● 型枠、コンクリート設置用の管、エア抜き管景気、排水管の第 3 の区画、グラウチング配管が設置</li> <li>● 機器の試験が行われ、コンクリートの混合及び注入を実施。</li> <li>● プラグの養生を行う。プラグへの圧力を軽減するなど必要に応じて排水を行う。</li> <li>● コンクリートプラグと岩壁面との境界面をグラウチングする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 設置及び検査については、従来の手順に従って行われる。</li> <li>● セメントの水和によって内部に割れが生じないようにするために、温度を持続的に記録し、必要に応じてプラグを冷却することが重要。</li> <li>● プラグが意図されているように機能していることを確認するための検査が実施される。たとえば、漏出が観察された場合、プラグを通過する漏出量が測定されることになる。</li> </ul>	§ 9.5
--------------	---	---	-------

### (c) 閉鎖材

閉鎖材とは、処分坑道以外のボアホール及び地下開口部を埋める材料である。その目的と昨日は、最終処分場への予期しない人間侵入を防ぎ、地下開口部への地下水の流入を阻止することである。処分場の閉鎖は、一部のボアホールの閉鎖を除いて、全ての使用済み燃料が処分されるまで実行されない。すなわち閉鎖に関する活動は将来の話であり、SKB は処分坑道の埋戻材及びプラグの開発を優先としている。そのため、閉鎖材の製造に関する情報は上述の緩衝材、埋戻材に比べ少ない。

処分場の閉鎖の主な段階は以下の通りである。

- 外部換気シャフトの埋戻し及び必要に応じてプラグの設置
- 主坑道及び輸送坑道の埋戻し及び必要な個所にプラグの設置
- 輸送坑道と中央エリアの境界にプラグの設置
- 中央エリアの埋戻し
- 中央エリアとシャフト及び傾斜面の境界にプラグの設置
- 傾斜面及び残っているシャフトの埋戻し及び必要な個所にプラグの設置  
；これらの活動はとても適切に組み合わせられ、段階的に遂行される。
- トップシールの設置
- ボアホールシールは、他の閉鎖活動の前あるいは活動中の適切な場面で設置される。

各段階におけるプロセス（処理）について表 2.2.1-23 に示す。

表 2.2.1-23 閉鎖材製造の際に行われるプロセスと検査

段階	プロセス	検査	Reference*
閉鎖 主坑道及び輸送坑道の	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ブロック及びペレットの製造及び操作、充填は、大部分は埋戻材のために開発された方法が踏襲される。</li> </ul>		§ 4.2
中央エリアの閉鎖	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶中央エリアの閉鎖材の製造及び設置は以下の通りである。</li> <li>▶貯蔵されていた掘削時に出てきた砕石をクラッシュャーへ運ぶ</li> <li>▶砕石を清掃する</li> <li>▶圧縮を促進する前決定された粒サイズ分布に破碎、篩がけ</li> <li>▶破碎れた岩を中央エリアに隣接する中間貯蔵庫へ輸送する</li> <li>▶坑道及び空洞に岩を埋める</li> <li>▶傾斜部の砕石を圧縮する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●材料の品質が検査される。項目は以下の通り。</li> <li>✓重量</li> <li>✓鉱物組成</li> <li>✓粒サイズの分布</li> <li>✓水分率</li> <li>✓密度</li> </ul>	§ 4.3
傾斜部及びシャフトの閉鎖	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶処分坑道の地下水の流入量よりも傾斜部における流入量の方が多いと考えられる。坑道の高い透水係数の範囲には水管理システムとプラグによって対応しなければならない。</li> <li>▶立坑についてはほかの圧縮技術（振動プレートを用いたスタンピング、重力による落下重及び侍従など）が用いられる。地下水流入量は処分坑道よりも多いと予想され、傾斜部と同様にプラグと排水セクションで対処する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●立坑における特別な水の遮断及び採取システムについては今後設計される予定である。</li> </ul>	§ 4.4
トップシーリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>●傾斜部及び立坑の上部 50m を効果的に圧縮した非常に荒い岩石（中央エリアと同様）で埋める。</li> <li>●傾斜部及び立坑の最浅部はとともよくフィットした結晶質岩のブロックで埋められる。これらの岩石ブロックは採石場から持ち出された後、それぞれにそのロケーションに合わせた整形がなされる。</li> </ul>	—	§ 4.5

\* TR10-17, Closure and plug Production Reports の該当箇所を示す。

ボアホールシーリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>● その活動がモニタリング計画に適合される限りボアホールの閉鎖は近い将来行われる。</li> <li>● ボアホールの閉鎖に関する活動は以下の通り。 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 古い機器や岩片のような障害を必要に応じて取り除く</li> <li>➢ 必要に応じて孔を広げる</li> <li>➢ 脆弱なパスゾーンのボアホール壁を安定化させる。(孔の拡張、シリカコンクリートで埋める)</li> <li>➢ ボアホールの幾何学性を試験ダミーで確認する</li> <li>➢ 穿孔銅チューブにスクメタイトリッチな粘土を高圧で詰められたものを定置する。</li> <li>➢ コンクリートプラグは主に破断帯との交点に設置される。粘土を含むプラグをへの悪影響を最小限にするために、コンクリートに含まれるセメントはごく少なく、低 pH セメントが用いられる予定である。</li> <li>➢ ボアホールを閉塞する。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 左記の方法はうまく機能するが、500m よりも深い孔で試験する必要がある。</li> </ul>	§ 4.6
プラグ	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 多くのプラグが処分場の閉鎖には用いられる。</li> <li>● そのプラグの目的、及び定置される環境に応じて設計される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製造及び検査の詳細な記述が提供される前に開発作業が行われる。</li> </ul>	§ 4.7

c. 性能確認／モニタリング

スウェーデンでは、前述のとおり、定置した廃棄体や人工バリアについて事前に品質保証活動は行うとしているものの、定置、埋戻しを行った後の人工バリアモニタリングによる性能確認は行わない方針である。

一方で、建設・操業段階での処分坑道や処分孔（総称して「地下開口部」と呼ばれる）のモニタリング等の活動は実施され、これらの活動に関しては、『地下開口部の設計、建設及び初期状態報告書（TR-10-18）[16]』に記されている。

このため、ここでは、当該文書に記載されている地下開口部に関するモニタリング及び品質に関する管理プログラム（Control Program）の内容について整理した。

『地下開口部の設計、建設及び初期状態報告書（TR-10-18）』の文章構成を以下に示す。ここで、本調査の主眼となる内容は、第3章と第5章であり、次項にその内容を整理した。

表 2.2.1-24 『地下開口部の設計、建設及び初期状態報告書（TR-10-18）』の文章構成

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	はじめに
<b>1.1</b>	<b>General basis</b>	一般基礎
1.1.1	This report	本報告書
1.1.2	The design of the underground openings	地下開口部の設計
1.1.3	The production of the underground openings	地下開口部の製造
<b>1.2</b>	<b>Purpose, objectives and delimitations</b>	目的、目標、限界設定
1.2.1	Purpose	目的
1.2.2	Objectives	目標
1.2.3	Limitations	限界
<b>1.3</b>	<b>Interfaces to other reports included in the safety report</b>	安全報告書に含まれる他の報告書との境界
1.3.1	The safety report for the long-term safety	長期安全性のための安全報告書
1.3.2	The safety report for the operational safety	操業上の安全性のための安全報告書
1.3.3	The other production reports	他のプロダクション報告書
<b>1.4</b>	<b>Supporting site descriptive reports and underground openings design reports</b>	サイト調査報告書及び地下開口部設計報告書のサポート
1.4.1	Site descriptive reports	サイト調査報告書
1.4.2	Underground design reports	地下開口部設計報告書
<b>1.5</b>	<b>Structures and content</b>	構造と内容
1.5.1	Overview	全容
1.5.2	Design premises	設計要領
1.5.3	Rock engineering	岩盤エンジニアリング
1.5.4	Reference design and its conformity to the design premises	参照設計及びその設計要領との確認
1.5.5	The methods for construction and inspection	建設と検査の方法
1.5.6	Initial state of the underground openings	地下開口部の初期状態
<b>2</b>	<b>Design premises for the underground openings</b>	地下開口部の設計要領
<b>2.1</b>	<b>General basis</b>	一般基礎
2.1.1	Identification and documentation of design premises	設計要領の特性及び文書化（証拠書類）
2.1.2	Definition, purpose and basic design	定義、目的、基本設計
<b>2.2</b>	<b>Required functions and design considerations</b>	バリア機能及び設計考慮
2.2.1	Functions of the underground openings in the KBS-3 repository	KBS-3 処分場における地下開口部の機能

2.2.2	Design considerations	設計考慮
<b>2.3</b>	<b>Design premises</b>	<b>設計要領</b>
2.3.1	Design premises related to the functions in the KBS-3 repository	KBS-3 処分場における機能に関する設計要領
2.3.2	Design premises from the engineered barriers	人工バリアからの設計要領
2.3.3	Design premises related to the production and operation	製造及び操業に関する設計要領
<b>2.4</b>	<b>Design premises imposed by the underground openings</b>	<b>地下開口部によって強いられる設計要領</b>
<b>3</b>	<b>Rock engineering</b>	<b>岩盤エンジニアリング</b>
<b>3.1</b>	<b>General</b>	<b>概要</b>
<b>3.2</b>	<b>The Observational Method</b>	<b>観察メソッド</b>
3.2.1	Description	説明
3.2.2	Monitoring	モニタリング
<b>3.3</b>	<b>Stepwise development of the underground facilities</b>	<b>地下施設の段階的開発</b>
<b>3.4</b>	<b>Control programme</b>	<b>プログラム管理</b>
<b>3.5</b>	<b>Documentation of as-built /initial-state conditions</b>	<b>施工完了時/初期状態の記述</b>
<b>4</b>	<b>The reference design at Forsmark and its conformity to the design premises</b>	<b>フォルスマルクにおける参照設計及びその設計要領への適合性</b>
<b>4.1</b>	<b>Repository depth</b>	<b>処分場深度</b>
<b>4.2</b>	<b>Deposition area – placement of deposition holes</b>	<b>処分エリア - 処分孔の配置</b>
4.2.1	Thermal conditions	熱学的状態
4.2.2	Mechanical conditions	力学的状態
4.2.3	Hydrogeological conditions	水理学的状態
<b>4.3</b>	<b>Deposition holes</b>	<b>処分孔</b>
<b>4.4</b>	<b>Deposition tunnels</b>	<b>処分坑道</b>
<b>4.5</b>	<b>Other underground openings</b>	<b>他の地下開口部</b>
<b>4.6</b>	<b>Engineered and residual materials</b>	<b>工学材料及び余剰材料</b>
4.6.1	Rock support in underground openings	地下開口部の岩盤支保
4.6.2	Grouting measures in underground openings	地下開口部のグラウチング計測
4.6.3	Quantities of engineered and residual materials	工学材料及び余剰材料の量
<b>5</b>	<b>Reference methods</b>	<b>参照方法</b>
<b>5.1</b>	<b>General basis</b>	<b>一般基礎</b>
<b>5.2</b>	<b>Reference methods used for the construction of deposition tunnels</b>	<b>処分坑道の建設に用いられる参照方法</b>
5.2.1	The excavation damaged zone using drill and blast techniques	ドリル及び発破法を用いた掘削影響範囲
5.2.2	Geometrical tolerances	幾何公差
5.2.3	Tunnel floor contour	坑道フロアの形成
5.2.4	Grouting techniques and grouting results	グラウチング技術及びグラウチングの結果
5.2.5	Recess for the plug in deposition tunnels	処分坑道におけるプラグの凹所
5.2.6	Preparation of deposition tunnels	処分坑道の準備
<b>5.3</b>	<b>Reference methods used in construction of deposition holes</b>	<b>処分孔の建設に用いられる参照方法</b>
5.3.1	Excavation damaged zone using mechanical excavation techniques	ドリル及び発破法を用いた掘削影響範囲
5.3.2	Geometrical tolerances	幾何公差
5.3.3	Acceptable inflow	許容流入量
5.3.4	Methodology for accepting deposition holes on the basis of a discriminating fracture	許容される処分孔のための亀裂の判別の基礎に関する方法
5.3.5	Bevel in the upper part of the deposition hole	処分孔の上部の傾き
5.3.6	Preparation of deposition holes	処分孔の準備
<b>5.4</b>	<b>Reference methods associated with other underground openings</b>	<b>そのほかの地下開口部に付随する参照設計</b>
<b>6</b>	<b>Initial state of the underground openings</b>	<b>地下開口部の初期状態</b>

<b>6.1</b>	<b>Introduction</b>	はじめに
<b>6.2</b>	<b>Reference design at the Forsmark site</b>	フォルスマルクサイトにおける参照設計
6.2.1	Repository depth and deposition areas	処分場深度および処分エリア
6.2.2	Deposition tunnels	処分坑道
6.2.3	Deposition holes	処分孔
<b>6.3</b>	<b>Geometry and properties of importance for the initial state of the engineered barriers</b>	人工バリアの初期状態の重要な幾何学性及び特性
6.3.1	Buffer and deposition holes	緩衝材と処分孔
6.3.2	Backfill and deposition tunnels	埋戻材と処分坑道
<b>6.4</b>	<b>Uncertainty and risk relative to the initial state</b>	初期状態の不確実性及びリスク関連
6.4.1	General basis	一般基礎
6.4.2	Geohazards, design methodologies and reference methods	ジオハザード、設計方法および参照方法
6.4.3	Risk matrix	リスクマトリクス
6.4.4	Qualitative risk assessment of the initial state for repository depth	処分場深度に関する初期状態の品質リスク評価
6.4.5	Qualitative risk assessment of the initial state of the deposition tunnels	処分坑道の初期状態の品質リスク評価
6.4.6	Qualitative risk assessment of the initial state of the deposition holes	処分孔の初期状態の品質リスク評価
<b>References</b>		<b>参考文献</b>
<b>Appendix A</b>	Tabulation of data from measurements of as-built volumes in the tunnel excavated by means of smooth-blasting techniques at the Äspö Hard Rock Laboratory	表_Äspö 硬岩研究所におけるスムーズ発破法による掘削坑道の施工完了時体積の計測データ
<b>Appendix B</b>	Tabulation of data from measurements of cross-sectional centre points and diameters in 6 deposition holes drilled at the Prototype Repository at the Äspö Hard Rock Laboratory	表_Äspö 硬岩研究所におけるプロトタイプ処分場で掘られた6つの処分孔の中心軸及び寸法の計測データ

第3章 (Rock engineering) では、処分施設のサイトに適したレイアウトが建設時、施工完了時も同様に design premises に適していることを保証することを目的に、地下開口部の建設・施工に際しての一連の考え方が示されている。

SKB では、本サイトに適したレイアウト設計を考慮するに当たり、地質環境に対する技術に関する規格<sup>4</sup> (Eurocode 7/EN 1997-1 : 2004[18]) にある The Observational Method (当該規格 § 2.7) を参考とすることとしている。

The Observational Method は、地下の設計及び建設におけるリスクベースのアプローチであり、モニタリングや計測技術を含む適切な管理 (management) を採用することとし、地質学的な挙動の予測が難しい場合には、建設中に設計を見直す手法である。以下に The Observational Method の主要な要件を示すが、この中でモニタリング計画の策定を要求している。(太字は TR-10-18 に従った。)

Eurocode 7/EN 1997-1 : 2004(TR10-18)	対訳
acceptable limits of behaviour shall be established	挙動の許容限度が確立されなければならない
the range of possible behaviour shall be assessed and it shall be shown that there is an acceptable probability that the actual behaviour will be within the acceptable limits	可能な挙動の範囲が評価され、実際の挙動が許容範囲内に収まる可能性があることが示されなければならない
a plan of monitoring the behaviour shall be devised, which will reveal whether the actual behaviour lies within the acceptable limits	実際の挙動が許容限界内にあるかどうかを明らかにするためにその挙動のモニタリング計画を策定しなければならない
the response time of the monitoring and the procedures for analysing the results shall be sufficiently rapid in relation to the possible evolution of the system	モニタリングの応答時間および、結果を分析する手順は、システムの可能な開発に関連して十分に迅速でなければならない
a plan of contingency actions shall be devised, which may be adopted if the monitoring reveals behaviour outside acceptable limits	不測の措置の計画が策定されなければならない。これは、モニタリングが許容範囲外の挙動を明らかにする場合に採用される

SKB は、サイト条件に処分場を適応させるために The Observational Method を適用し、施工完了時のレイアウト及び地下開口部は design premises を順守させる。The observational Method の適用には下表の要件が求められ、詳細な設計の基礎に用いられるサ

<sup>4</sup> EUROCODEs (EC : 欧州規格) は、欧州共同体により 1976 年に欧州で自由貿易市場を築くための一つの方策として合意された建築物の設計、土木工事及び建設における産物に関する域内共通の規格である。EC7 は土木分野に関する EUROCODE である。

イト状態を評価すること、その状態の偏差を定量化するためのモニタリングを含めることとした。

TR-10-18	対訳
<p>One must be able to define an action plan for possible adverse conditions. This implies that <b>the method cannot be used if a predictive model for the behaviour cannot be developed</b>, i.e. one must be able to establish a model that can calculate the parameters that will subsequently be observed during construction.</p>	<p>可能性のある悪条件について行動計画を定義することができなければならない。これは、<b>挙動の予測モデルが開発できない場合にこの方法は使用できないことを意味する</b>。すなわち、建設中に連続して観察されるパラメータを計算できるモデルを確立できなければならない</p>
<p><b>One must be able to monitor the parameters that can predict behaviour.</b> This is not a trivial problem as often we can measure what we cannot calculate and vice versa. This means that the monitoring plan must be chosen very carefully with a good understanding of the significance to the problem. Erroneous preconceptions about the dominant phenomena that control the behavior can lead to choosing irrelevant observational parameters.</p>	<p><b>挙動を予測できるパラメータがモニタリングできなければならない</b>。これは、しばしば我々が計算できないものを測定することができ、逆もまた同様に測定することができるので、ささいな問題ではない。これは、問題の意義を十分に理解したうえで、モニタリング計画を非常に慎重に選択する必要があることを意味する。挙動を制限する支配的な現象に関する誤った先入観は、無関係の観測パラメータを選択することにつながる可能性がある。</p>

SKBによる、処分場設計のための the Observational Method の実行フローを図 2.2.1-23 に示す。The observational method を実行するために求められる詳細なモニタリングプログラムは、処分場の機能要件やモニタリングされるジオハザード（後述する）に左右されることから、継続して開発される。地下水流入量及び、掘削周辺の地下水柱頭の関連した水位低下はモニタリングが求められる。また、SDM（Site Description Model）の検証のために、亀裂に流入が起こるかどうか、その立体的な分布の評価についても求められる。結果的な地下水条件は正式な施工完了時報告のガイドラインを用いて文書化される。施工完了時の状態については、建設開始前に作られた予測と比較され、その比較基準は建設の前に詳細な設計中に作成された基準が使用される。仮に実測値が予測値を逸脱し、その偏差が重要な場合、SIP（Safety in Profect）で報告され、見直し、緩和策の検討が行われる。

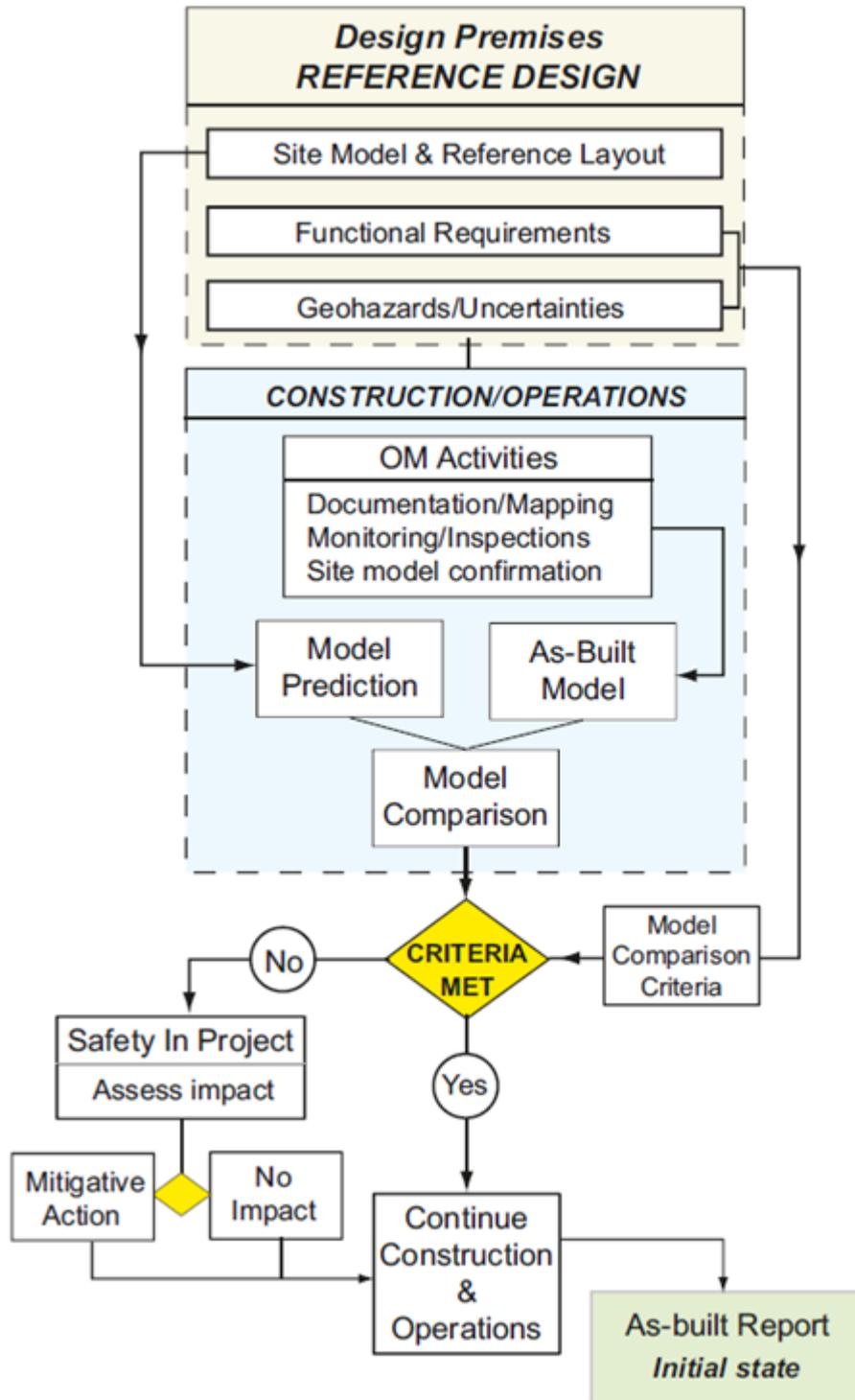


図 2.2.1-23 SKB による処分場設計のための the Observational Method の実行フロー[16]

ここでいうジオハザードとは、予備設計 D2<sup>5</sup>で定められたサイトにおける地質状態に関する不確実性のことを示す。参照設計に対して評価されるジオハザード及びジオハザードがモニタリングされる処分場内での場所の概要を表 2.2.1-25 に示す。

表 2.2.1-25 評価対象となるジオハザードとモニタリング位置[16]

<b>Geohazard: Geology</b>	<b>Monitoring location</b>
(G1) Distribution of rock types	All excavations
(G2) Geological boundaries	All excavations
(G3) Frequency of large fractures	Deposition tunnels and deposition holes
(G4) New deformation zones between 1km and 3km trace length or equivalent size	All excavations
(G5) New deformation zones requiring respect distance	All excavations
(G6) Thickness of minor deformation zones (MDZ<1km)	All excavations
<b>Geohazard: Hydrogeology</b>	<b>Monitoring location</b>
(H3) Frequency of discrete flowing fractures, with flows unsuitable for deposition holes or deposition tunnels	Deposition tunnels and deposition holes
<b>Geohazard: Rock mechanics/in situ stress</b>	<b>Monitoring location</b>
(R1) Properties of the major and minor deformation zones	All excavations
(R2) Orientation of major horizontal stress	Skip shaft & ramp Deposition tunnels
(R3) Horizontal stress magnitudes	Skip shaft & ramp Deposition tunnels
<b>Geohazard: Thermal</b>	<b>Monitoring location</b>
(T1) Geometrical distribution of thermal rock domains	Deposition tunnels and deposition holes
(T2) Rock containing mafic (Amphibolite) dykes (low T properties)	Deposition tunnels and deposition holes

<sup>5</sup> SKB, 2009b. Underground design Forsmark. Layout D2. SKB R-08-116,

建設は段階的に行われ、まず中央エリア、試験操業（the test operation）のための処分坑道及び処分孔の建設に続く処分場深度へのアクセスの開発があり、ルーティーン操業の間に段階ごとの処分場建設が行われる。すなわち、①詳細なサイト状態の調査、②処分坑道及び処分孔の建設、③キャニスタの処分、緩衝材の設置、埋戻材、エンドプラグの設置の3つの状態が並行して行われるということである。

SKBは design premises を順守する参照方法は、技術的に可能なものであるとみなしているが、いくつかの技術については更なる開発が必要であるとしている。Design premises への適合性は、the observational method と品質管理（quality control）及び保証手順の一部として操作される。参照方法の性能を監視する方法とアプローチの概要については R-10-8<sup>6</sup>報告書に述べられている（スウェーデン語の報告書しかないため未調査）。

The observational method の枠組みにおいて参照方法の性能の予測は、処分場の地下開口部建設作業が行われる前に完全に設定される必要がある。それに加え、操業における参照方法が考慮される前に、性能を予測するのにもちいられるパラメータとその基準も設定されなければならない。参照方法の性能を予測する可能性のある観測可能で定量化できるパラメータは以下のようにまとめられている。

#### 〈処分坑道〉

- ドリル及び発破を用いる EDZ(The excavation damaged zone using drill and blast techniques)
- 幾何公差(Geometrical tolerances)
- トンネルの成形(Tunnel floor contour)
- グラウト技術および結果(Grouting techniques and grouting results)
- 処分坑道プラグのための凹部(Recess for the plug in deposition tunnels)
- 処分坑道の準備(Preparation of deposition tunnels)

#### 〈処分孔〉

- 力学的掘削技術を用いた EDZ(Excavation damaged zone using mechanical excavation techniques)
- 幾何公差(Geometrical tolerances)
- 許容される流入量(Acceptable inflow)
- 断層上で許容される処分孔の方法論(Methodology for accepting deposition holes on the basis of a discriminating fracture)
- 処分孔上部の傾き(Bevel in the upper part of the deposition hole)
- 処分孔の準備(Preparation of deposition holes)

---

<sup>6</sup> Ramprogram för detaljundersökningar vid uppförande och drift av slutförvar för använt kärnbränsle. SKB R-10-08

表 2.2.1-26 処分坑道建設に用いられる参照方法

パフォーマンス	概要	モニタリング及び管理プログラム
ドリル及び発破を用いる EDZ	<ul style="list-style-type: none"> <li>『Design premises long-term safety(TR-09-22)』において EDZ から処分坑道内の連結有効透水量係数の寄与は制限されると規定されている。</li> <li>EDZ の周辺は典型的に掘削と発破によって発掘される。</li> <li>エスポ HRL の TASQ トンネルの掘削経験より、トンネルの軸方向に沿った連続的な破断が発生しないように、トンネルの掘削及び発破を設計及び制御することが可能である。</li> <li>TASS トンネルのスムーズ発破法の確認より、掘削及び発破の適切な制御が、方向に支配的な発破誘発割れをもたらし、そのような亀裂は、トンネルの軸方向に沿ったいかなる優位な距離にわたっても連続しないことが示された。</li> <li>EDZ の妥当な透水係数は <math>10^{-8}</math>m/s オーダーである (Bäckblom2008)。(飽和状態の結晶岩質)</li> <li>削削が発生した場合、地下開口部を取り囲む EDZ の特性が変化する。このような領域の透水係数は <math>10^6</math>m/s オーダーである。</li> <li>参照方法および決定された基準の性能を予測し、検証する可能性のあるパラメータは、外周に近い発破の量、爆発孔掘削の制度と確度、爆発孔の距離、点火の正確さ及び方法である。</li> <li>参照方法はもっとも可能性の高い条件から逸脱した際と特異的な条件に適応する構成手順を含む。(ドリルパターン調整、雷管タイプの変更など)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SKB は EDZ が design premises に適合することを検証するいくつかの手順を開発する計画である。</li> <li>主にコントロールプログラムに含まれる品質管理 (quality control) 及び保証手順を適用し、掘削、充電及び点火の方法が適切に実行されるか管理し、検査する。</li> <li>EDZ における岩石条件の影響は、The observational method 及び関連するモニタリングプログラムの枠内で得られる。すなわち、地質学的特徴づけ、地質物理学的技術、地質モデルの組み合わせである。</li> <li>局所的な発破ダメージや削削の発生を特定するために、完成した処分孔を目視確認する。</li> <li>連結有効透水量係数の design premises への適合可能性は、岩壁上の緩い岩屑を除去することで改善できる。(削削の強度を定義する基準が必要)</li> <li>参照方法には、処分坑道が主要な水平応力に準平衡に整列する時、削削のリスクを低減させる緩和策が含まれる (§ 4.3)。</li> </ul>
幾何公差	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分坑道の許容可能な幾何公差は埋戻材によって課される。この制約は処分坑道の総容積、トンネル床の最大断面積及び空洞に関係する。</li> <li>岩壁の輪郭が予定されていたものより内部に突き出してはならない。</li> <li>エスポ HRL でスムーズ発破法のデモンストレーションが実施され、掘削と発破の適切な制御が、最大許容横断面及び掘削容積に対する幾何公差に適合することを示した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>レーザースキャンや測地法といった処分孔の寸法検査に適した方法及び機器は存在する。</li> <li>SKB は処分坑道の幾何公差が design premises に適合することを検証する手順を開発する。主に EDZ 対策で考慮された掘削、充填、点火のためのコントロールプログラムが適用可能である。</li> <li>発破後の幾何公差は上記の測定方法の一つ、または組み合わせで検査する。さらに処分トンネルに関連する幾何公差特性を評価できるモデルツールをカスタマイズする。</li> </ul>
トンネルの成形	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分坑道の床の許容可能な幾何学的公差は、埋戻材によって課される。</li> <li>SKB は、埋戻材によって課せられた design premises に適合したトンネルの床の輪郭を提供することができる参照方法を開発する。</li> <li>潜在的な方法の実現可能性試験が進行中であり、スムーズブラスト法およびワイヤソーイング法、またはそれらの組み合わせが評価される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>吹付コンクリートは局部的に許可される。</li> <li>最終的に不適格なものは主坑道と同様の方法で埋戻す。</li> </ul>
グラウト技術および結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分坑道の許容される流入量は、埋戻材によって課される。</li> <li>現状の参照方法では低 pH セメントでプレグラウトを行う。</li> <li>状況によっては亀裂の透過率が非常に低く、必要なシーリング効果に達するために溶液グラウトを用いる必要がある可能性がある。</li> <li>エスポ HRL でシリカゾルを用いた溶液グラウトの試験が行われ、詳細な設計手順と、グラウト操作の適切な制御の組み合わせでシール効果の達成が示された。(Funehag 2008、Fransson 2008)</li> <li>SKB は参照方法の開発を継続する。</li> <li>参照方法の性能を予測し、検証するためのパラメータ及び基準は、特定の目的のために設定される。たとえば、岩石条件及びシール効率、亀裂の分布とグラウトの流動的特性及び消費量の組み合わせによるグラウト圧である。</li> <li>参照方法を校正するための最終テスト及び手段は、代表的な岩の状態及び、処分場レベルでの作業に使用されるグラウト材料及び機器で行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SKB は処分坑道のへの流入量が design premises に適合することを検証する手順を開発する。</li> <li>詳細設計を調整あるいは検証するためのインプットは、The observational method 及び関連するモニタリングプログラムの枠内で得られる。すなわち、異なる水準での水理地質学的特徴づけおよび地質学的なモデリングの結果を組み合わせる。坑道スケールを指すモデルは、処分坑道の計画位置に沿って掘削された少なくとも 1 つの調査孔の水理地質学的特徴づけを包含する。</li> <li>グラウト作業の性能を確認するコントロールプログラムが適用される。</li> <li>坑道の床全体に流入量を測定するための測定堰が作られ、処分坑道の全長あるいは堰間の流入を決定する。</li> <li>処分活動開始までモニタリングは実施される。</li> <li>予期せず不適切な流入量が見られた場合、ポストグラウトを行う</li> <li>緩和策の結果が不十分な場合は、処分坑道の資格を失う。</li> </ul>
処分坑道プラグのための凹部	<ul style="list-style-type: none"> <li>埋戻し後にトンネルの端に設置するプラグのために凹部の掘削を行う。</li> </ul>	-
処分坑道の準備	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分孔への緩衝材の設置、キャニスタの定置の前に以下の処分坑道の準備を行う。 <ul style="list-style-type: none"> <li>坑道の岩壁調査、必要に応じて計測とロックボルト</li> <li>トンネルの交差部分に係るルーフボルトとワッシャーの後ろで切断</li> <li>トンネルをクリーンにし、空にする</li> <li>トンネルの底 (床) を砂利及びその他の物質でクリーンにし、検査</li> </ul> </li> <li>トンネルへの流入量を検査</li> <li>岩壁のスキャン</li> <li>一時的な換気システム、電源供給、照明の設置</li> </ul>	-

表 2.2.1-27 処分孔の建設で用いられる参照方法

パフォーマンス	概要	(モニタリング and) コントロールプログラム
力学的掘削を用いた EDZ	<ul style="list-style-type: none"> <li>『Design premises long-term safety(TR-09-22)』において EDZ から処分孔内の連結有効透水量係数の寄与は制限されなければならないと規定されている。(10<sup>-10</sup>m<sup>2</sup>/s)</li> <li>機械的掘削法で掘削した場合、地下開口部に制限ができた。</li> <li>フルフェイスダウンホール法は周囲の岩壁に対する損傷をほとんど発生させないと期待できる(Bäckblom2008)。(EDZ 数cm、透水係数 10<sup>-10</sup>m/s)</li> <li>掘削後の連結有効透水量係数は、処分孔と交差する自然断層の連結透水係数と削削の頻度及び強度に支配される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>連結有効透水量係数を定量化できる信頼できる方法は現在のところない。</li> <li>EDZ の特徴づけには地球物理学的手法がもちいられるが、EDZ の強度と程度を評価するには不十分である。</li> <li>現状、許容される流入量が適合している場合、連結有効透水量係数に対して処分孔が design premises に適しているとみなす。流入量の基準は『Design premises long-term safety(TR-09-22)』で規定されている、緩衝材が水で飽和した後の処分孔への最大流入量に基づいて設定される。</li> <li>削削の発生を除外するために、完成した処分孔を目視確認する。</li> <li>局所的な削削が発生していた場合、岩壁上の緩い岩屑を除去することで改善できる。(削削の強度を定義する基準が必要)</li> <li>最終的に不適合な場合は埋め戻す。</li> </ul>
幾何公差	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分孔の許容可能な幾何公差は緩衝材によって課される。Design premises は最大直径、最小・最大半径、最大断面積を提示している。特に直径と深さに関しては参照方法の性能に影響するだろう。</li> <li>底部は水平でなくてはならず、底部プレートを設置する。</li> <li>エスポ HRL で行われた実験(Andersson and Johansson 2002)によってフルフェイスダウンホール法の適合性は実証された。この実験で行われた 13 の掘削孔のうち、6 つはプロトタイプ処分場で行われた。</li> <li>SKB はさらに次世代フルフェイスダウンホールドリルリグの研究、開発を進める。</li> <li>掘削される処分孔は 6000 を超えることから、掘削精度と制度の一貫性が重要である。</li> <li>エスポ HLR の実験より、理論的な中心線の変動性の最大偏差は 10 mm 以下であると推定される(図 2.2.1-26 処分孔の穿孔における幾何公差図 2.2.1-26)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>レーザースキャンや測地法といった処分孔の寸法検査に適した方法及び機器は存在する。</li> <li>SKB は処分孔の幾何公差が design premises に適合することを検証する手順を開発する。主に、品質管理及び補償手順を適用し、穿孔作業に関する状態(カッターなど)と同様にドリルリグの位置、列の検査を行う。</li> <li>掘削後の形状は上記の測定方法の一つ、または組み合わせで検査する。</li> <li>削削の発生を除外するために、完成した処分孔を目視確認する。さらに処分孔に関連する幾何学的特性を評価できる 3D モデリングツールをカスタマイズする予定である。</li> <li>適合しないものは埋め戻す。</li> </ul>
許容される流入量	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分孔への許容される流入量は『Design premises long-term safety(TR-09-22)』に明記されている。</li> <li>処分孔のグラウチングは、その結果が長期安全性に対する design premises を準拠する限り、考慮されうが、現在の参照設計では不適合な流入量の処分孔を改善する目的でのグラウチングは考えられていない。</li> <li>EFPC 基準によるスクリーニングによって許容できない流入の可能性のある処分孔の計画位置は除外される可能性が高い。</li> <li>SKB は許容される流入量の処分孔位置の選択のための参照方法を開発する。参照方法の性能を予測し、検証する可能性のあるパラメータや関連する基準がある。たとえば、地質水文学的特徴付けや、処分孔計画位置に掘られるパイロット孔と処分孔の両方で流入量を計測する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SKB は処分孔内の流入が design premises に適合することを検証するための手順を開発する。</li> <li>詳細設計を調整あるいは検証するためのインプットは、The observational method 及び関連するモニタリングプログラムの枠内で得られる。すなわち、異なる水準での水理地質学的特徴づけおよび地質学的なモデリングの結果を組み合わせる。処分孔スケールでは、処分坑道の地質学的マッピングと調査孔(処分孔の計画位置に掘られる)の水理地質学的特徴を包含する。</li> <li>パイロット孔及び処分孔の流入量の基準は『Design premises long-term safety(TR-09-22)』に明記された、緩衝材が水で飽和した後の処分孔への最大流入量の design premises に基づいて設定される。</li> <li>処分孔への流入量は緩衝材を定置するまでのモニタを行う。</li> <li>Design premises に適しない処分孔は埋め戻す</li> </ul>
断層上で許容される処分孔の方法論	<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断及び緩んだ範囲の実際の大きさの決定は不可能であるが、大きさを反映したパラメータによって特定する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>隙間、開口部</li> <li>せん断変位</li> <li>伝導率</li> <li>変形域の厚さ</li> </ul> </li> <li>処分孔の選定に EFPC 基準を適用させることを design premises で明記されている。処分孔に面する断層や変形域の予測や検証のためのパラメータ及び組織化された基準はまとめ続けられる。</li> <li>パラメータ及び基準の最終的な選択は断層や変域の特定に用いる方法に関連する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SKB は識別可能な断層及び変形域を検出する確率を最大化するための手順を開発する。</li> <li>トンネル掘削に先行して調査孔の設計を行う。トンネル及びコアの地質マッピングは、トンネルと交差する構造の詳細な特性を提供する。</li> <li>処分孔の掘削の前に調査孔を掘削する。コア及びボアホールロギングは潜在的に識別可能な構造の位置及び方向に関する情報を提供する。</li> <li>EFPC 基準の適用には地質学的特徴づけ、地質物理学的技術、地質学モデルの結果が必要である。</li> </ul>
処分孔上部の傾き	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分坑道の高さを制限し、放射線防護を持つキャニスタを直立位置に定置することを可能にするために、処分孔の上部に斜面が作られる。この部分は処分孔の一部とする。</li> <li>寸法については図 2.2.1-24 参照</li> <li>斜面はエスポ HRL で実証されているレール結合型処分装置の試験に関連したワイヤソーイング法がもちいられる。</li> </ul>	-
処分孔の準備	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材の定置の前に以下の処分孔準備が行われる。 <ul style="list-style-type: none"> <li>処分孔のクリーニングと除水</li> <li>処分孔への流入量検査(前述)</li> <li>処分孔に面する目立った断層の検査(前述)</li> <li>底部プレートの設置と検査(図 2.2.1-25)</li> <li>処分孔の寸法(半径、深さ方向の横断面、底部の傾き、総体積、中心軸の配置)の決定検査</li> </ul> </li> </ul>	-

表 2.2.1-28 地下開口部における design premises と設計される特性及び機能[16]

A. Repository depth and deposition areas		
Function	Property to be designed	Design premises long-term safety
The underground openings shall accommodate the sub-surface part of the final repository facility with the number of approved deposition holes that are required to deposit all canisters with spent nuclear fuel.	Deposition areas – utilised rock domains, distances between deposition holes and loss of deposition hole positions. Repository depth	The repository volumes and depth need to be selected where it is possible to find large volumes of rock fulfilling the specific requirements on deposition holes. The requirements on deposition holes include acceptable thermal, mechanical, hydrological and transport conditions. The repository shall have sufficient capacity to store 6,000 canisters. <sup>1</sup>
The underground openings shall be adapted to the rock so that thermally favourable conditions are provided and the containment of radioactive substances can be sustained over a long period of time.  The repository depth shall be selected with respect to the human activities which, based on present living habits and technical prerequisites, may occur at the repository site.	Repository depth	With respect to potential freezing of buffer and backfill, surface erosion and inadvertent human intrusion, the depth should be considerable. Analyses in the SR-Can assessments corroborate that this is achieved by prescribing the minimum depth to be as specified for a KBS-3 repository, i.e. at least 400 m.
The underground openings shall be adapted to the rock so that chemically favourable conditions are provided and containment, prevention or retardation of dispersion of radioactive substances can be sustained over a long period of time.	Deposition areas – utilised rock domains, hydrogeochemical conditions. Repository depth	Reducing conditions; Salinity, TDS limited Ionic strength; $[MP] > 1 \text{ mM}$ Concentrations of K, HS <sup>-</sup> , Fe, limited pH; pH < 11 Avoid chloride corrosion; pH > 4 or $[Cl^-] < 3 \text{ M}$ .
<sup>1</sup> This is not a design premise from the long-term safety. It is an estimation based on the number of spent fuel assemblies to be encapsulated and deposited.		
B. Deposition holes		
Function	Property to be designed	Design premises long-term safety
The underground openings shall be adapted to the rock so that thermally favourable conditions are provided and the containment of radioactive substances can be sustained over a long period of time.	Deposition holes – distances between deposition holes.	The buffer geometry (e.g. void spaces), water content and distances between deposition holes should be selected such that the temperature in the buffer is <100°C.
The underground openings shall be adapted to the rock so that mechanically stable conditions are provided and the containment of radioactive substances can be sustained over a long period of time.	Deposition holes – respect distance to deformation zone.  Deposition holes – intersecting fractures (mechanical properties).	Deposition holes are not allowed to be placed closer than 100 m to deformation zones with a trace length longer than 3 km.  Deposition holes should, as far as reasonably possible, be selected such that they do not have potential for shear larger than the canister can withstand. To achieve this, the EFPC <sup>1</sup> criterion should be applied in selecting deposition hole positions.
The underground openings shall be adapted to the rock so that favourable hydrologic and transport conditions are provided and the containment, prevention or retardation of dispersion of radioactive substances can be sustained over a long period of time.	Deposition holes – inflow  Deposition holes – intersecting fractures (hydrogeological properties).	The total volume of water flowing into a deposition hole, for the time between when the buffer is exposed to inflowing water and saturation, should be limited to ensure that no more than 100 kg of the initially deposited buffer material is lost due to piping/erosion. This implies, according to present knowledge, that this total volume of water flowing into an accepted deposition hole must be less than 150 m <sup>3</sup> .  Fractures intersecting the deposition holes should have a sufficiently low connected transmissivity (specific value cannot be given at this point). This criterion is assumed to be fulfilled if the conditions regarding inflow to deposition holes are fulfilled.
The underground openings shall be designed so that they do not significantly impair the barrier functions of the rock or the engineered barriers.	Deposition holes – transmissivity of EDZ.	Before canister emplacement, the connected effective transmissivity integrated along the full length of the deposition hole wall and as averaged around the hole, must be less than 10 <sup>-10</sup> m <sup>2</sup> /s.

<sup>1</sup> EFPC stands for Extended Full Perimeter Intersection Criterion, see Section 4.2.2 and Figure 4-2.

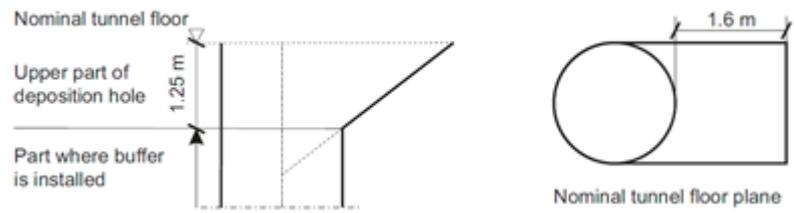


図 2.2.1-24 処分孔上部の傾斜に関する寸法[16]

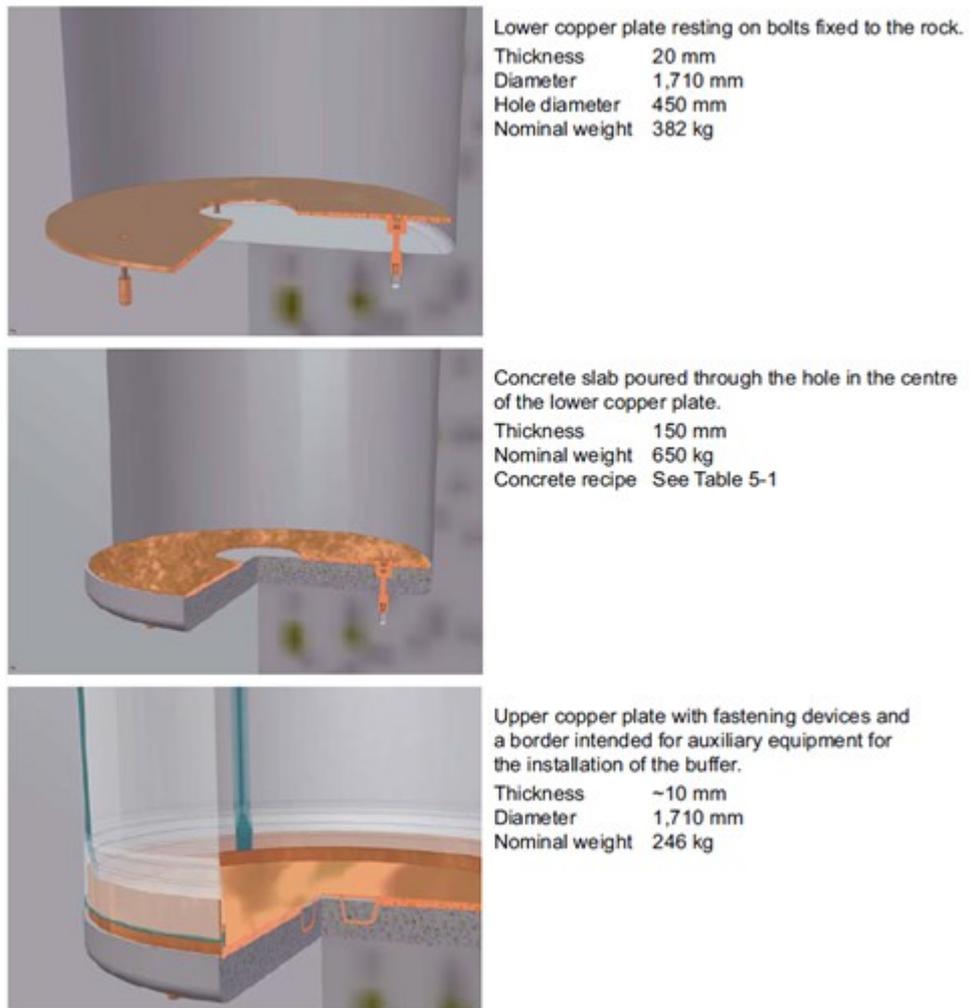


図 2.2.1-25 処分孔の底部プレート設置について[16]

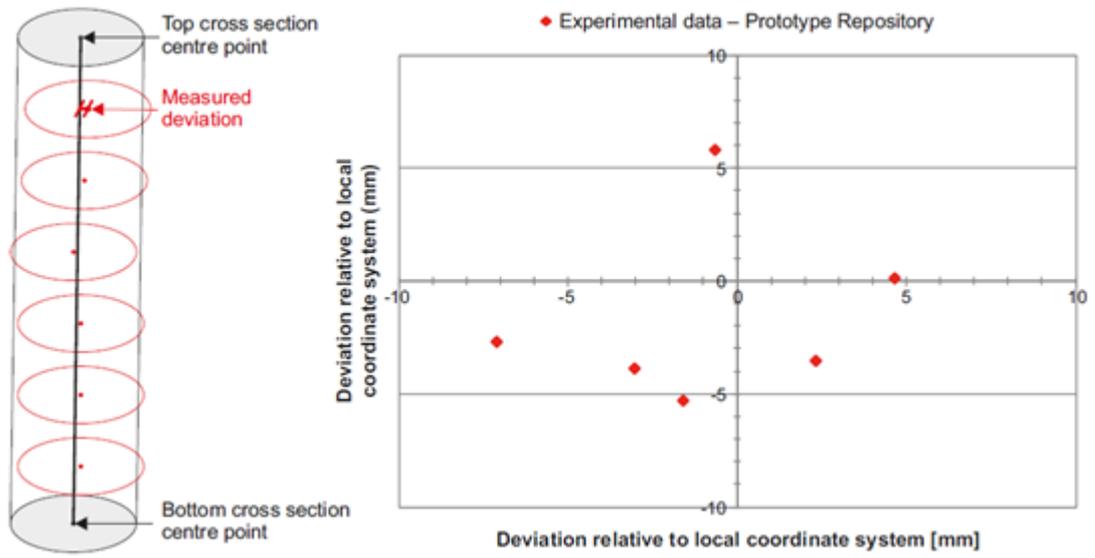


図 2.2.1-26 処分孔の穿孔における幾何公差[16]

## (2) フィンランド

### 1) 調査対象文献

フィンランドに関する主な調査対象文献を表 2.2.1-29 に示す。フィンランドでは、使用済燃料の地層処分場を対象とした一連のセーフティケース文書が 2012 年に作成されており、基本情報については、その総論である Synthesis Report[31]を主な対象とした。また、緩衝材の設計に関する考え方については、緩衝材の材料調達から設置までの一連の流れ（生産ライン）の詳細が示されている Buffer Production Line 2012[32]を対象とし、品質管理／品質保証活動についてもこの文献に基づき、緩衝材を例にその考え方等を調査した。性能確認／モニタリングについては、処分場操業前段階でのモニタリング計画が示されている POSIVA 2012-01[30]を対象に、人工バリアのモニタリングに着目して、その考え方等を調査した。

表 2.2.1-29 フィンランドに関する調査対象文献

文献名称	主な調査内容
① オルキルオトにおける使用済燃料処分のためのセーフティケース 総論 2012 POSIVA 2012-12[31]	・基本情報
② 緩衝材生産ライン 2012 緩衝材の設計、製造及び初期状態 POSIVA 2012-17[32]	・基本情報 ・品質管理／品質保証活動
③ オルキルオトにおけるモニタリング 処分場操業前段階での計画 POSIVA 2012-01[30]	・性能確認／モニタリング

### 2) 調査結果

#### a. 基本情報

##### (a) フィンランドにおける使用済燃料の地層処分事業の基本情報

フィンランドの使用済燃料を対象とした地層処分に関して、本検討に資する基本的な情報を表 2.2.1-30 に整理した。さらに参考として、我が国の情報との比較を行った。

フィンランドの場合、既往調査検討（例：RWMC(2017)[1]）において示されているように、規制文書において、人工バリアのモニタリングについて言及されており、POSIVA において、操業段階前時点でのモニタリングプログラム案について言及している。

表 2.2.1-30 性能確認／品質保証プログラム構築に資する情報調査・整理に係る基本情報（フィンランド）

項目	フィンランド	(参考) 日本	
処分サイト	候補サイト地域	Olkiluoto (エウラヨキ自治体)	未定
	候補岩種	結晶質岩	未定
	処分深度 (計画)	約 400~450m	300m 以深
事業計画	現況	処分場建設中 (2016 年 12 月~)	科学的特性マップ提示(2017 年 7 月)*
	処分開始予定	2020 年代初め頃	平成 40 年代後半 (目処)
	操業期間	Olkiluoto 3 号機で発生する使用済燃料を含めて最大 6,500 トンを処分する計画。操業期間は約 90 年間 (図 2.2.1-27 参照)。	NUMO(2011)[28]によれば、操業期間は 50 年間程度とされている (図 2.2.1-28 参照)。*

項目	フィンランド	(参考) 日本
地下研究施設	地下特性調査施設 (ONKALO) (2004 年から建設開始)	・幌延深地層研究センター(2001 年開設) ・瑞浪超深地層研究所(2002 年開設)
処分対象廃棄物	使用済燃料	ガラス固化体/TRU 廃棄物
処分概念	<p>KBS-3 概念：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・使用済燃料をキャニスタ (外側：銅製/内側：鋳鉄製) に封入し、その周囲を緩衝材 (ベントナイト粘土) で取り囲んで、力学的及び化学的に安定した岩盤内に定置</li> <li>・複数の人工バリアと天然バリアを組み合わせた多重バリアシステムにより、放射性廃棄物を長期に隔離し、隔離ができなくなった場合でも処分場からの放射性核種の放出を遅延</li> </ul> <p>※POSIVA は縦置き方式を主として技術開発を実施してきたが、スウェーデンと共同で横置き方式の実現可能性も検討中</p>	<p>NUMO (2004) [29]では、次のように述べている*。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・わが国における地層処分概念は諸外国と同様、地質環境が本来的に有する天然バリアとしての機能と人工バリアを組み合わせた多重バリアシステムに基づくが、サイトや岩種を特定しない研究開発段階では、日本の地質学的な特徴を考慮して、安定な地質環境を確保したうえで性能に余裕を持たせた人工バリアを中心としたニアフィールド性能に焦点をあててセーフティーケースの構築を行うというアプローチがとられている。</li> <li>・第2次取りまとめにおいて設計と性能評価の参照ケースとして設定したレファレンスシステムは、炭素鋼オーバーパックに封入されたガラス固化体の周囲にベントナイトを主成分とする緩衝材を充填することによって形成される人工バリアを、安定な地質環境を有する地下深部の岩盤に設置</li> </ul> <p>NUMO (2011) [28]では、次のように述べている*。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・処分概念・技術オプションとは、人工バリアの形態や組み合わせ、廃棄体の定置方式、処分坑道の断面などの処分概念と、操業技術の組み合わせのことと定義 (表 2.2.1-31)</li> <li>・ガラス固化体の処分概念・技術オプションとして、処分坑道横置き定置方式/処分坑道横置き定置方式 (原位置施工方式/PEM 方式) が提示</li> </ul>
人工バリアの性能確認/モニタリングに関する考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>・STUK の規制ガイダンス YVL D.5[35]で、建設・操業段階における、調査、試験、モニタリングプログラムの実行を規定しており、その中に人工バリア挙動に関するモニタリングが含まれている。</li> <li>・POSIVA 2012-01[30]に、操業段階前のモニタリングプログラムが示されており、一部に、人工バリアモニタリングについての記述が見られる (3.2.2 及び 9 章)。</li> </ul>	<p>NUMO(2011)[28]では、設定した処分概念・技術オプションにおける下記に関しては、「今後明確化していく」としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・工学的信頼性</li> <li>・サイト調査とモニタリング</li> </ul>
人工バリアの品質に関する考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人工バリアの品質保証や品質管理に関する考え方は、部位毎に、Production Line Report に記載されている。</li> <li>・緩衝材については、試験及び検査のレファレンス戦略として以下のように記載されている。 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 目的は要件を満たすこと</li> <li>- 生産ラインのあらゆる段階で実施</li> <li>- 種類や回数は今後設定</li> <li>- 手法は他の産業分野を参考</li> </ul> </li> </ul>	<p>NUMO(2011)[28]では、ISO 9000:2005 の定義が示されているものの、具体的な内容は明確化されていない。</p>
<p>注記 「*」記載の情報以外は、RWMC (2017) 「諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について」 [24] に記載の 2016 年 12 月の情報による。</p>		

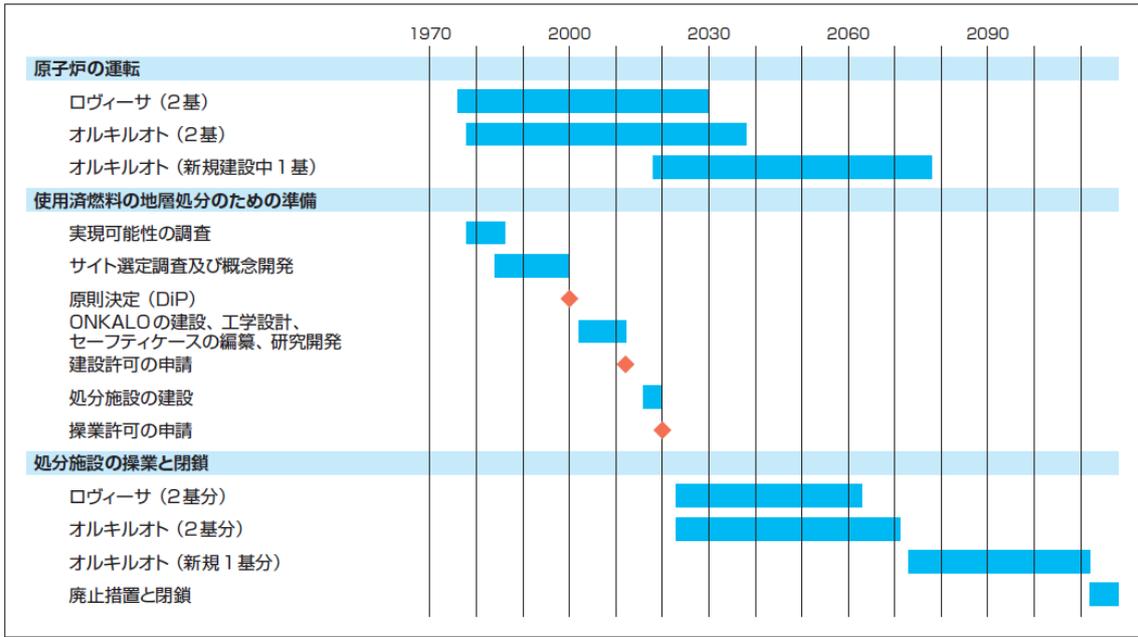
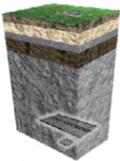
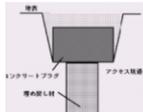


図 2.2.1-27 フィンランドの使用済燃料処分のスケジュール[34]

段階	概要調査地区 選定段階 (文献調査の段階)	精密調査地区 選定段階 (概要調査の段階)	処分施設建設地選定段階 (精密調査の段階)		安全審査の段階	建設段階	操業段階		閉鎖段階	閉鎖後～事業廃止
			地上からの調査	地下調査段階での調査			操業期間中	操業の終了・閉鎖措置計画認可申請		
各段階における事業目標	概要調査地区選定	精密調査地区選定	20 年程度での基本レイアウトの決定		処分施設建設地選定	事業許可の取得	10 年間程度 処分施設の建設	操業の実施	50 年間程度 閉鎖措置計画の認可	10 年間程度 閉鎖措置の実施と検証
安全確保にかかわる目標	・自然現象の著しい影響の回避 (明らかに不適格な地域を避ける)	・自然現象の著しい影響の回避 ・長期安全性確保の見直し ・事業期間中の安全性確保の見直し	・自然現象の著しい影響の回避を確保 ・長期安全性の確保 ・事業期間中の安全性の確保	・自然現象の著しい影響の回避を確保 ・長期安全性の確保 ・事業期間中の安全性の確保	・長期安全性の確保 ・事業期間中の安全性の確保	・新たな知見を踏まえた長期安全性の繰り返し確認 ・建設段階における安全性の確保	・新たな知見を踏まえた長期安全性の繰り返し確認 ・操業段階における安全性の確保	・すべての情報を統合した長期安全性の提示	・閉鎖段階における安全性の確保	・新たな知見を踏まえた長期安全性の確保 ・閉鎖後の段階における安全性の確保
目標達成にかかわる要件	・法定要件への適合性 ・概要調査地区選定の環境要件への適合性 ・安全審査基本指針への適合性 ・自主基準 (考慮事項含む) への適合性	・法定要件への適合性 ・精密調査地区選定の環境要件への適合性 ・安全審査基本指針への適合性 ・自主基準 (考慮事項含む) への適合性	・法定要件への適合性 ・処分施設建設地選定の環境要件への適合性 ・安全審査基本指針への適合性 ・自主基準 (考慮事項含む) への適合性	・法定要件への適合性 ・処分施設建設地選定の環境要件への適合性 ・安全審査基本指針への適合性 ・自主基準 (考慮事項含む) への適合性	・安全審査指針への適合性 ・安全審査基本指針への適合性 ・自主基準への適合性	・技術上の基準への適合性 (設計、建設確認、使用前検査) ・自主基準への適合性	・技術上の基準への適合性 (追加確認、健康材料確認、使用前検査) ・自主基準への適合性	・閉鎖措置計画の認可の基準への適合性	・閉鎖措置計画の認可の基準への適合性 ・自主基準への適合性	・廃止措置計画の認可の基準への適合性 ・廃止措置の終了確認の基準への適合性

図 2.2.1-28 我が国の事業段階[28]

表 2.2.1-31 高レベル放射性廃棄物の安全機能と構成要素の関係[28]

基本概念	安全機能		構成要素		
隔離	地質の長期的な変動からの防護		天然バリア		
	人の接近の抑制				
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の浸出抑制	ガラスマトリクスによる浸出抑制	廃棄体		
		発熱が著しい期間の地下水接触の防止	オーバーバック		
	放射性物質の移行抑制	放射性物質の溶解度制限	還元環境を保つことなどにより機能として発現		
		移流による移行の抑制	緩衝材		
		コロイド移行の防止・抑制			
		収着による放射性物質の移行遅延			
		分散による移行率の低減	天然バリア		
		アクセス坑道およびその周辺が卓越した移行経路となることの抑制	埋め戻し材プラグ		

(b) フィンランドにおける処分場設計の考え方

ここでは、調査の中心となる設計技術図書（Production Line Report）に至る 2012 年の一連のセーフティケース文書の全体構成を示す。

フィンランドの使用済燃料のための地層処分に関する 2012 年のセーフティケースの文書体系（TURVA-2012）を、図 2.2.1-29 に示す。また、図 2.2.1-29 のうち、最上位の Synthesis Report[31]の目次構成を、表 2.2.1-32 に示す。

Synthesis Report は、スウェーデンのように手続き的な構成とはされていないが、「§ 2.2 設計手法」において、安全原則から設計要件に至る一連の方法論の概要が示されている。また、「セーフティケース構築における設計の位置付け」として、図 2.2.1-30 が示されている。

設計と性能・安全評価は、繰り返しアプローチが採用されている。

設計技術図書（Production Line Report）は、処分場の設計に関する一連の検討内容を、処分場の構成要素ごとに取りまとめたものであり、例えば、緩衝材の場合には、設計に関する一連の文書構成が、図 2.2.1-31 のように示されている。フィンランドにおいては、設計に関する一連の検討は、性能評価（いわゆる、核種移行解析や被ばく評価は含まれない）のインプットとして取り扱われ、性能評価は、定置後の初期状態から閉鎖までの期間の状態を含んでいる。

フィンランドでは、表 2.2.1-32 に示したとおり、設計の方法論において、処分安全性から設計仕様に至る以下の要件を「要件管理システム (VAHA)」により階層構造で管理している。

VAHA の階層及び内容を、表 2.2.1-33 に示す。

- ① ステークホルダ要件
- ② 長期安全原則（安全理念&安全機能）
- ③ 性能要件（性能目標／目標特性）
- ④ 設計要件
- ⑤ 設計仕様

長期安全原則は、安全理念や安全機能の導出の際の基本的な考え方である（表 2.2.1-34）。安全理念は、ロバストなシステム設計に基づくとされている（図 2.2.1-32）。図 2.2.1-32 におけるオレンジの柱やブロックは、安全に関わる主要な特性・特徴であり、緑の柱やブロックは、キャニスタから放射性核種が放出された場合に重要となる二次的な特性・特徴である。安全機能は、フィンランドの処分システムの構成要素（図 2.2.1-33）のうちの EBS 構成要素及び母岩に対して導出されている（表 2.2.1-35）。

性能要件から設計仕様までは、連関を持って設定されている。緩衝材の場合の、性能要件から設計仕様までの連関を、表 2.2.1-36 に示す。

TURVA-2012	
<b>Synthesis</b>	
Description of the overall methodology of analysis, bringing together all the lines of arguments for safety, and the statement of confidence and the evaluation of compliance with long-term safety constraints	
<b>Site Description</b>	<b>Biosphere Description</b>
Understanding of the present state and past evolution of the host rock	Understanding of the present state and evolution of the surface environment
<b>Design Basis</b>	
Performance targets and target properties for the repository system	
<b>Production Lines</b>	
Design, production and initial state of the EBS and the underground openings	
<b>Description of the Disposal System</b>	
Summary of the initial state of the repository system and present state of the surface environment	
<b>Features, Events and Processes</b>	
General description of features, events and processes affecting the disposal system	
<b>Performance Assessment</b>	
Analysis of the performance of the repository system and evaluation of the fulfillment of performance targets and target properties	
<b>Formulation of Radionuclide Release Scenarios</b>	
Description of climate evolution and definition of release scenarios	
<b>Models and Data for the Repository System</b>	<b>Biosphere Data Basis</b>
Models and data used in the performance assessment and in the analysis of the radionuclide release scenarios	Data used in the biosphere assessment and summary of models
<b>Biosphere Assessment: Modelling reports</b>	
Description of the models and detailed modelling of surface environment	
<b>Assessment of Radionuclide Release Scenarios for the Repository System</b>	<b>Biosphere Assessment</b>
Analysis of releases and calculation of doses and activity fluxes.	
<b>Complementary Considerations</b>	
Supporting evidence incl. natural and anthropogenic analogues	
	Main reports
	Main supporting documents

図 2.2.1-29 フィンランド(SF)の一連のセーフティケース[31]

表 2.2.1-32 フィンランド(SF)のセーフティケース文書(概要版)の目次構成[31]

目次構成	主な内容	主な関連レポート
§ 1	概要	
§ 2	方法論	
§ 2.1	KBS-3 概念及びオルキルオトサイト	<i>Site Description</i> <i>Biosphere Description</i>
§ 2.2	設計手法	※ロバストなシステム設計を <i>requirements management</i> <i>system (VAHA)</i> を使用して開発
§ 2.2.1	安全原則(Safety principles)、 安全概念(safety concept)、 安全機能(safety functions)	
§ 2.2.2	性能目標(Performance targets)	<i>Design Basis</i>
§ 2.2.3	設計要件(Design requirements)、 岩盤適合性区分(rock suitability classification)、 設計仕様(design specifications)	<i>Production Line reports</i> <i>Description of the Disposal</i> <i>System</i>
§ 2.3	評価手法	
§ 2.4	不確実さの取扱い	
§ 2.5	品質マネジメント	
§ 3	処分システムの説明	<i>Production Line reports</i> <i>Description of the Disposal</i> <i>System</i>
§ 3.1	母岩	<i>Site Description</i>
§ 3.2	表層環境	<i>Biosphere Description</i>
§ 3.3	地下空洞及び処分場レイアウト	<i>Design Basis</i>
§ 3.4	使用済燃料	<i>Description of the Disposal</i> <i>System</i>
§ 3.5	キャニスタ	
§ 3.6	緩衝材	
§ 3.7	埋戻材及びプラグ	
§ 3.8	閉鎖材	
§ 4	FEP	<i>Features, Events and</i> <i>Processes</i>
§ 5	モデル及びデータ	<i>Models and Data for the</i> <i>Repository System</i> <i>Biosphere Data Basis</i> <i>Biosphere Assessment</i>
§ 6	処分システムの性能評価	<i>Formulation of Radionuclide</i> <i>Release Scenarios</i>
§ 7	核種放出シナリオの定式化及び解析ケース	<i>Assessment of Radionuclide</i> <i>Release Scenarios for the</i> <i>Repository System</i> <i>Biosphere Assessment</i>
§ 8	核種放出シナリオの評価	
§ 9	処分の長期安全性に関する補完的な考察及び追加の論拠	
§ 10	法規制要件の遵守及び今後の課題	
§ 11	信頼性に関する議論 (論拠)	

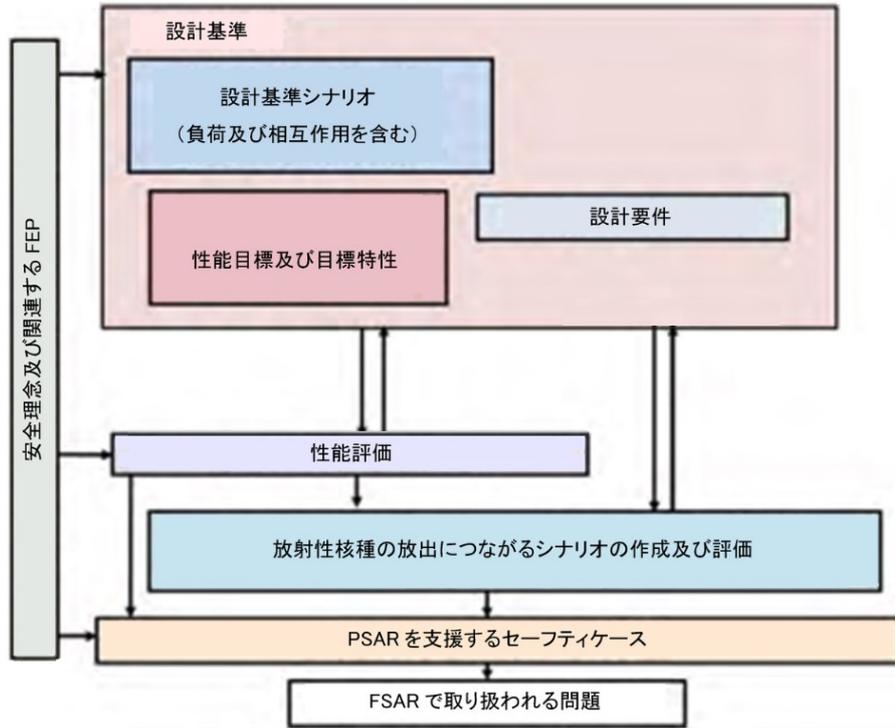


図 2.2.1-30 セーフティケース構築のためのアプローチ[31]

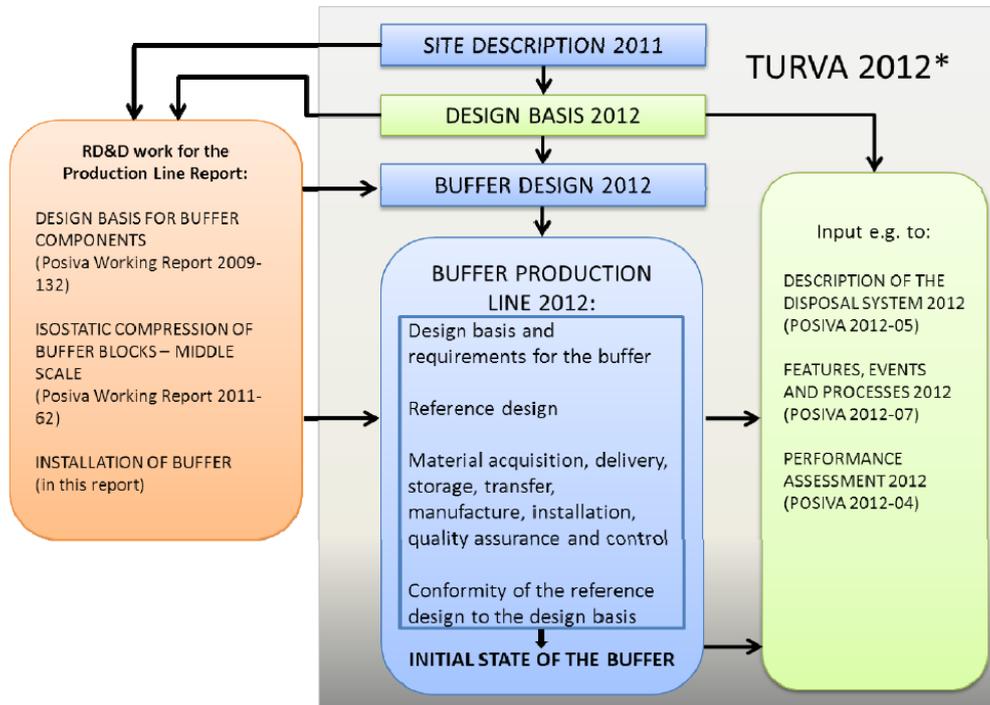


図 2.2.1-31 緩衝材の設計に関する一連の文書構成[32]

表 2.2.1-33 要件管理システム (VAHA) の階層及び内容[31]

レベル	要件	内容
1	ステークホルダ要件 (Stakeholder Requirements)	法律、原則決定、規制要件及びその他のステークホルダ要件に基づくもの。
2	長期安全原則 (Long-term Safety Principles)	<u>安全理念 (Safety Concept) 及び安全機能 (Safety Functions)</u> の定義につながる。
3	性能要件 (Performance Requirements)	安全機能の確実な履行に向けた、人工バリアの性能目標 ( <u>Performance Targets</u> ) 及び母岩の <u>目標特性 (Target Properties)</u>
4	設計要件 (Design Requirements)	性能要件を充たすための人工バリア及び地下開口部の設計要件
5	設計仕様 (Design Specifications)	設計、建設及び製作で使用する詳細仕様

表 2.2.1-34 長期安全原則[31]

1.	使用済燃料はオルキルト岩盤の地下深部に位置する処分場に処分される。人工バリアと母岩により構成されるマルチバリアシステムにより放射性核種の移行を妨げることにより、生活環境から放射性核種を効果的に隔離する。
2.	人工バリアは以下の構成とする。 a) <u>キャニスタ</u> ：環境に悪影響を及ぼす可能性がある放射性核種を閉じ込める。 b) <u>緩衝材</u> ：キャニスタを保護するためにキャニスタと母岩の間に設置される。 c) <u>埋戻材及びプラグ</u> ：緩衝材を保持し、母岩の条件が回復することを助ける。 d) <u>閉鎖材</u> ：地表から処分場を隔離するための埋戻・シーリング材。
3.	母岩と処分深度は EBS(Engineer Barrier System)が上記閉じ込め機能や隔離機能を満たすよう選定される。
4.	仮に放射性核種がキャニスタから漏れいしても、処分システム全体として長期安全基準を満たすよう、地表環境への放射性核種の移行を遅らせる。

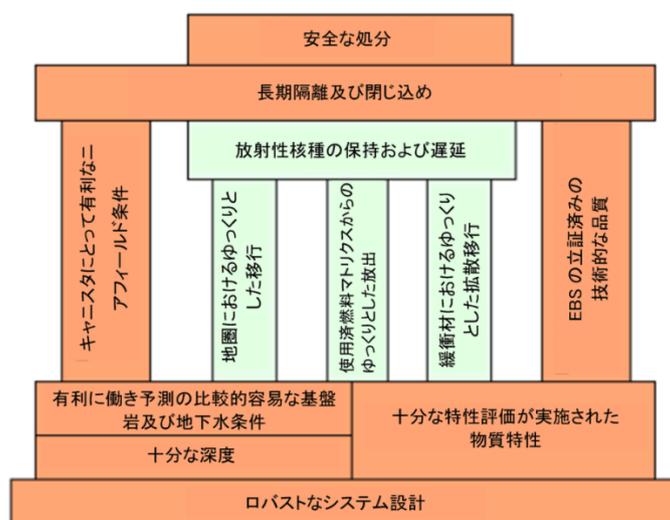


図 2.2.1-32 安全理念 (Safety Concept) のアウトライン[31]



図 2.2.1-33 処分システムの構成要素[31]

表 2.2.1-35 EBS 構成要素及び母岩に割り当てられた安全機能[31]

バリア	安全機能
キャニスタ	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 使用済燃料の長期間にわたる閉じ込めを確保する。この安全機能は、キャニスタ 鋳鉄インサートの力学的な強度とそれを取り囲む銅の耐食性に基づくものである。</li> </ul>
緩衝材	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 予測の比較的容易でキャニスタにとって有利に働く力学的、地球化学的及び水理地質学的な条件に寄与する。</li> <li>➤ キャニスタを、使用済燃料及び関連する放射性核種の完全な閉じ込めという安全機能を損なう可能性のある外的プロセスから保護する。</li> <li>➤ キャニスタの破損が生じた場合にも、放射性核種の放出を制限し、遅延させる。</li> </ul>
定置坑道 埋戻材	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 緩衝材及びキャニスタにとって良好かつ予測の比較的容易な力学的、地球化学及び水理地質学的な条件に寄与する。</li> <li>➤ 起こり得るキャニスタ破損事象の発生後に、放射性核種放出を制限し、遅延させる。</li> <li>➤ 定置坑道周辺岩石の力学的な安定性に寄与する。</li> </ul>
母岩	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 地表環境及び人間、植物及び動物にとっての通常の居住/生息地から使用済燃料処分場を隔離し、人間侵入の可能性を制限し、地表での様々な条件の変化から処分場を隔離する。</li> <li>➤ 人工バリアにとって良好かつ予測の比較的容易な力学的、地球化学及び水理地質学的な条件をもたらす。</li> <li>➤ 移行を制限し、処分場から放出される可能性のある有害物質の移動を遅延させる。</li> </ul>
閉鎖材	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 地下開口部によって、地表環境及び人間、植物及び動物の通常の居住/生息地からの処分場の長期的な隔離が損なわれる事態を防止する。</li> <li>➤ 開口部を通じた重要な透水性流動経路の形成を防止することにより、その他の人工バリアにとって良好かつ予測の比較的容易な地球化学及び水理地質学的な条件に寄与する。</li> <li>➤ 処分場からの有害物質への流入及び放出を制限し、遅延させる。</li> </ul>

表 2.2.1-36 フィンランドの緩衝材設計にかかる性能要件（性能目標）－設計要件－設計仕様の連関[32]

Level 3 Performance Targets	Level 4 Design Requirements	Level 5 Design Specifications
<p>Unless otherwise stated, the buffer shall fulfil the performance targets listed below over hundreds of thousands of years in the expected repository conditions except for incidental deviations (L3-BUF-4).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The main component of the buffer material shall consist of natural swelling clays (L4-BUF-2).</li> <li>- The buffer shall be so designed that the possibility of corrosion of a canister by sulphide and other corrodants including microbially-induced processes will be limited (L4-BUF-5).</li> <li>- The buffer shall be so designed that it will mitigate the mechanical impact of postulated rock shear displacements on the canister to the level that the canister integrity is preserved (L4-BUF-7).</li> <li>- The buffer shall be designed in such a way as to make diffusion the dominant transport mechanism for solutes (L4-BUF-9).</li> <li>- The buffer shall have sufficiently fine pore structure so that transport of radiocolloids formed within or around the canister is limited (L4-BUF-18).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The buffer material being considered is MX-80 type bentonite, containing mainly mineral Montmorillonite (L5-BUF-2).</li> <li>- The thickness of bentonite buffer from canister bottom to the bottom of deposition hole shall be at least 500 mm (L5-BUF-3).</li> <li>- The target thickness of bentonite buffer on top of the canister shall be 2500 mm (L5-BUF-4).</li> <li>- The thickness of saturated bentonite buffer between canister wall and rock shall be 350 mm ± 25 mm (L5-BUF-5).</li> <li>- The montmorillonite content of the dry buffer material shall be 75-90% by weight (L5-BUF-7).</li> <li>- The total sulphur content shall be less than 1 wt.-%, with sulphides making, at most, half of this (L5-BUF-10).</li> <li>- The organics content in the bentonite shall be lower than 1 wt.-% (L5-BUF-11).</li> <li>- The target density of buffer at saturation shall be 2000 kg/m<sup>3</sup> with tolerances defined in (Juvankoski 2012) (L5-BUF-9).</li> </ul>
<p>The buffer shall mitigate the impact of rock shear on the canister (L3-BUF-10).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The main component of the buffer material shall consist of natural swelling clays (L4-BUF-2).</li> <li>- The buffer shall be so designed that it will mitigate the mechanical impact of postulated rock shear displacements on the canister to the level that the canister integrity is preserved (L4-BUF-7).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The montmorillonite content of the dry buffer material shall be 75-90% by weight (L5-BUF-7).</li> <li>- The target density of buffer at saturation shall be 2000 kg/m<sup>3</sup> with tolerances defined in (Juvankoski 2012) (L5-BUF-9).</li> </ul>
<p>The buffer shall limit microbial activity (L3-BUF-8).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The main component of the buffer material shall consist of natural swelling clays (L4-BUF-2).</li> <li>- The buffer shall be designed to be self-sealing after installation and self-healing after any hydraulic and mechanical disturbance (L4-BUF-16).</li> <li>- The buffer shall be so designed that the possibility of corrosion of a canister by sulphide and other corrodants including microbially-induced processes will be limited (L4-BUF-5).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The buffer material being considered is MX 80 type bentonite, containing mainly mineral Montmorillonite (L5-BUF-2).</li> <li>- The montmorillonite content of the dry buffer material shall be 75-90% by weight (L5-BUF-7).</li> <li>- The target density of buffer at saturation shall be 2000 kg/m<sup>3</sup> with tolerances defined in (Juvankoski 2012) (L5-BUF-9).</li> </ul>

表 2.2.1-36 フィンランドの緩衝材設計にかかる性能要件（性能目標）－設計要件－設計仕様の連関[32]

Level 3 Performance Targets	Level 4 Design Requirements	Level 5 Design Specifications
<p>The buffer shall be impermeable enough to limit the transport of radionuclides from the canisters into the bedrock (L3-BUF-12)</p> <p>The buffer shall be impermeable enough to limit the transport of corroding substances from host rock onto the canister surface (L3-BUF-13).</p> <p>The buffer shall limit the transport of radiocolloids to the rock (L3-BUF-14).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The main component of the buffer material shall consist of natural swelling clays (L4-BUF-2).</li> <li>- The buffer shall initially provide a good contact with host rock (L4-BUF-12).</li> <li>- The buffer shall be designed to be self-sealing after installation and self-healing after any hydraulic and mechanical disturbance (L4-BUF-16).</li> <li>- The buffer shall be designed in such a way as to make diffusion the dominant transport mechanism for solutes (L4-BUF-9).</li> <li>- The buffer material must be selected in a way that favours the retardation of the transport of radionuclides by sorption (e.g. cation exchange) at the clay and other mineral surfaces (L4-BUF-10).</li> <li>- The buffer shall have sufficiently fine pore structure so that transport of radiocolloids formed within or around the canister is limited (L4-BUF-18).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The buffer material being considered is MX-80 type bentonite, containing mainly mineral montmorillonite (L5-BUF-2).</li> <li>- The montmorillonite content of the dry buffer material shall be 75-90% by weight (L5-BUF-7).</li> <li>- The gap between buffer block and deposition hole shall be filled with bentonite (L5-BUF-13).</li> <li>- The target density of buffer at saturation shall be 2000 kg/m<sup>3</sup> with tolerances defined in (Juvankoski 2012) (L5-BUF-9).</li> </ul>
<p>The buffer shall provide support to the deposition hole walls to mitigate potential effects of rock damage (L3-BUF-16).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The main component of the buffer material shall consist of natural swelling clays (L4-BUF-2).</li> <li>- The buffer shall initially provide a good contact with the host rock (L4-BUF-12).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The buffer material being considered is MX-80 type bentonite, containing mainly mineral montmorillonite (L5-BUF-2).</li> <li>- The montmorillonite content of the dry buffer material shall be 75-90% by weight (L5-BUF-7).</li> <li>- The gap between buffer block and deposition hole shall be filled with bentonite (L5-BUF-13).</li> <li>- The target density of buffer at saturation shall be 2000 kg/m<sup>3</sup> with tolerances defined in (Juvankoski 2012) (L5-BUF-9).</li> </ul>
<p>The buffer shall be able to keep the canister in the correct position (to prevent sinking and tilting) (L3-BUF-17).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The main component of the buffer material shall consist of natural swelling clays (L4-BUF-2).</li> <li>- The buffer shall be designed to be self-sealing after installation and self-healing after any hydraulic and mechanical disturbance (L4-BUF-16).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The buffer material being considered is MX-80 type bentonite, containing mainly mineral montmorillonite (L5-BUF-2).</li> <li>- The montmorillonite content of the dry buffer material shall be 75-90% by weight (L5-BUF-7).</li> <li>- The gap between buffer block and deposition hole shall be filled with bentonite (L5-BUF-13).</li> <li>- The target density of buffer at saturation shall be 2000 kg/m<sup>3</sup> with tolerances defined in (Juvankoski 2012) (L5-BUF-9).</li> </ul>

表 2.2.1-36 フィンランドの緩衝材設計にかかる性能要件（性能目標）－設計要件－設計仕様の連関[32]

Level 3 Performance Targets	Level 4 Design Requirements	Level 5 Design Specifications
The buffer shall transfer the heat from the canister efficiently enough to keep the buffer temperature < 100°C (L3-BUF-6).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The gap between the canister and buffer and buffer blocks and rock should be made as narrow as possible without compromising the future performance of the buffer (L4-BUF-21).</li> <li>- The buffer shall initially provide a good contact with the host rock (L4-BUF-12).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The gap between buffer block and deposition hole shall be filled with bentonite (L5-BUF-13).</li> <li>- The water content of the buffer material shall be at least 15 wt.-% (L5-BUF-8)</li> </ul>
The buffer shall allow the gases to pass through it without causing damage to the repository system (L3-BUF-19).	-	-
The amount of substances in the buffer that could adversely affect the canister, backfill or rock shall be limited (L3-BUF-21).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The buffer material shall be selected so as to limit the contents of harmful substances (organics, oxidising compounds, sulphur and nitrogen compounds) and microbial activity (L4-BUF-19).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The total sulphur content shall be less than 1 wt.-%, with sulphides making, at most, half of this (L5-BUF-10).</li> <li>- The organics content in the bentonite shall be lower than 1 wt.-% (L5-BUF-11).</li> </ul>

b. 品質管理／品質保証活動

(a) 規制要件

フィンランドの品質管理／品質保証活動に関しては、規制文書において、表 2.2.1-37 に示すように規定されている。

表 2.2.1-37 STUK の規則及び安全指針における品質管理／品質保証活動の規定

規則等	規定
<p>STUK-Y-4-2016[36] 原子力廃棄物の最終処分 の安全性に関する STUK 規則、 2015 年 12 月 22 日</p>	<p>第 2 章 安全性一般 第 5 条 安全等級分け 1.～3. (略) 4. <u>長期安全性のための安全機能を構成するシステム、構造物及び設備は、その品質レベルが、さらにはその品質レベルの確認に必要な評価、検査及び試験が、当該対象物の安全面での役割にふさわしいものとなる方法で計画し、製造し、設置しなければならない。</u> 第 9 章 組織及び従業者 第 38 条 原子力施設の管理者、組織及び従業者による安全性の確保 1. (略) 2. <u>原子力廃棄物施設の設計、建設、操業及び廃止措置又は最終的な閉鎖に関与する組織は、原子力安全性と放射線安全性、さらには安全及び品質管理を確保するためのマネジメントシステムが備わっていなければならない。このマネジメントシステムの目的は、原子力安全性が常に優先されるようにすることと、当該機能に関する品質管理要件をその安全面での重要性にふさわしいものとするところにある。またマネジメントシステムに関する評価を実施し、体系的な発展が可能となるようにしなければならない。</u> 3. <u>マネジメントシステムには、原子力廃棄物施設における原子力安全性及び放射線安全性に影響を及ぼす組織内の全ての機能が含まれていなければならない。安全面で重要な要件はそれぞれの機能について認識されなければならない。また要件を満たすために計画された措置によって当該要件の順守が確保されるかどうかの記述がなされなければならない。組織に関する手順及び手法は体系的なものでなければならない。またそのための指示が設定されていなければならない。</u> 4. (略) 5. <u>許可保持者は、安全性に影響を及ぼす活動に関与する従業者及び供給業者、下請業者並びにその他の協力業者が安全管理及び品質管理に携わるだけでなく、それらを体系的に適用する義務を果たすようにしなければならない。</u> 6.～9. (略)</p>
<p>STUK YVL D.5[35] 原子力廃棄物の処分 (安全指針、2013.11.15)</p>	<p>6 処分施設の操業 606. <u>使用済燃料処分施設の操業に係る許認可取得者は、キャニスタの定置及びそれら周囲の緩衝材の設置、定置領域の埋戻しが許容できる方法で行われることを確実にするために、品質管理文書をレビューしなければならない。</u> 8 STUK による規制監視 8.2 処分施設の建設、操業及び閉鎖の監視 809. 岩盤の空洞および構造物の使用を開始する際の検査では、STUK は下記を検査する。 a. 岩盤の空洞および構造物が、設計文書と一致していること（文書審査および目視検査） b. 不適合部が全て、許容できるやり方で既に扱われていること c. <u>品質管理記録が検査され、承認されていること</u> d. 許認可取得者が操業開始時の検査を終えていること 812. 使用済燃料処分キャニスタの定置位置への搬送は、STUK が、キャニスタ定置位置の周辺の岩盤の様々な特性が十分に受容可能なものであることを確認した後に、実施できる。最低限、<u>STUK は段落 606 で言及した品質管理文書、並びにそれぞれの処分キャニスタの定置及び緩衝材の設置、定置領域の埋戻しが許容可能な方法で行われたことを確認するための処分記録を検査する。</u></p>

(b) 処分実施主体 POSIVA の取組

フィンランドの処分実施主体である Posiva の地層処分場の建設許可申請書には、品質管理に関して、表 2.2.1-38 に示すような記載がみられる。また、人工バリアの品質保証や品質管理に関する考え方は、部位毎に、Production Line Report に記載されている。ここでは、人工バリアのうちの緩衝材に着目し、その Production Line Report (POSIVA2012-17[32]) に記載されている品質管理/品質保証活動に関わる記載内容をまとめる。

表 2.2.1-38 Posiva の建設許可申請書における品質管理に関する記載内容

文書名	記載内容
使用済燃料のためのオルキルオト・キャニスタ封入及び最終処分施設の建設許可申請、POSIVA OY、2012 年 12 月 31 日[33]	附属書 8 申請者が従う予定の安全性原則に関する説明並びに原則の実施に関する評価 [YEA 第 32 条第 6 項] 8.2 安全及び品質管理 (VNA 736/2008、第 20 条) (前略) ポシヴァ社はその統合的な活動システムに品質、環境及び安全面での管理組織を統合しており、その中で操業安全性の管理が包括的かつ計画的なものとされている。このシステムの品質、環境及び安全面での能力は全体として、記述された手順を通じて改善される。この中には活動計画、実施、指示、追跡調査及び評価並びに開発が含まれる。 原子力廃棄物管理の作業が安全性に影響を及ぼすリスクはすでに活動の計画段階から認識され、安全及び品質管理の焦点は、安全性にとって最も重要な事柄に合わせられている。 ポシヴァ社の活動システムの一部として逸脱の取り扱いが含まれており、その中では逸脱が分類され、対処される。ある逸脱が安全面で重要なものと分類される理由を認識した上で、それを取り除くか是正措置を講じることが優先される。 ポシヴァ社では、最終処分の安全性を強調する企業文化を会社の全ての活動に根付かせ、維持することを目的とする活動を行っている。

フィンランドにおける緩衝材の Production Line Report (POSIVA2012-17[32]) の目次構成を表 2.2.1-39 に示す。緩衝材の生産 (材料調達からキャニスタ周囲への設置まで) については、5 章に示されており (5 章以外については、大項目のみを示している)、赤フォントで表記した箇所が、緩衝材の生産における品質管理/品質保証活動に関わる記述がある箇所である。表 2.2.1-39 からわかるように、緩衝材の生産は、材料の掘削・調達、ブロックやペレットの製造、運搬・輸送、キャニスタ周囲への設置といったフェーズ毎に実施されるが、その全てにおいて、品質管理/品質保証活動が含まれている。

これら品質管理/品質保証活動の目的は、緩衝材に設定されている品質要件を満たすことであり、用いられる試験や検査の方法は、他の産業分野ですでに信頼を得ている手法に基づいたものを適用することとしている。例えば、測定精度は、検査対象となる特性に関して許容可能なばらつきの範囲内でなければならないが、十分な精度を備えた従来型の手法及び装置がすでに利用可能になっている。

なお、試験や検査の種類や回数などの詳細は、今後の品質計画で定義される予定であるとしており、それら試験や検査によって、品質要件を満たす物質及び構成要素のみが生産に使用されるようになっている。

表 2.2.1-39 Buffer Production Line 2012 (POSIVA2012-17[32]) 目次

1	<b>INTRODUCTION</b>	はじめに
2	<b>DESIGN BASIS FOR THE BUFFER</b>	緩衝材に関する設計基準
3	<b>REFERENCE DESIGN OF THE BUFFER</b>	緩衝材の参照設計
4	<b>CONFORMITY OF REFERENCE DESIGN WITH DESIGN BASIS</b>	参照設計の設計基準への適合性
5	<b>PRODUCTION OF THE BUFFER</b>	緩衝材の生産
5.1	<b>Overview</b>	概要
5.1.1	Requirements on the production of the buffer	緩衝材の生産に関する要件
5.1.2	Production line for the buffer	緩衝材のための生産ライン
5.1.3	Reference methods for manufacturing and installation	製造及び設置に関するレファレンス方法
5.1.4	Reference strategy and methods for test and inspection	試験及び検査のレファレンス戦略と方法
5.1.5	Design parameters and production inspection schemes	設計パラメータと生産時検査方法
5.2	<b>Excavation and delivery</b>	採掘及び納入
5.2.1	Procurement of buffer material - purchase	緩衝材材料の調達：購入
5.2.2	Excavation and pre-processing	採掘及び前処理
5.2.3	Material delivery and intermediate storage in the harbour	物質の納入と港湾における中間貯蔵
5.2.4	Transport to storage at the production plant	生産施設での貯蔵のための運搬
5.2.5	Methods for testing and inspection of material composition	物質組成に関する試験及び検査の方法
5.2.6	Methods for testing and inspection of grain size distribution and water content	粒径分布と含水率に関する試験及び検査の方法
5.2.7	Experiences and results	経験及び結果
5.2.8	Test methods and frequency of sampling	試験方法とサンプリングの頻度
5.3	<b>Manufacturing of blocks and pellets</b>	ブロック及びペレットの製造
5.3.1	Conditioning of the bentonite	ベントナイトの調整
5.3.2	Compression of blocks	ブロックの圧縮
5.3.3	Machining of blocks	ブロックの機械加工
5.3.4	Pressing of pellets	ペレットの圧縮成形
5.3.5	Methods for testing and inspection of material composition	物質組成に関する試験及び検査の方法
5.3.6	Methods for testing and inspection of grain size distribution and water content	粒径分布及び含水率の試験及び検査の方法
5.3.7	Methods for testing and inspection of weight, dimensions and density	重量、寸法及び密度に関する試験及び検査の方法
5.4	<b>Transport and storage of bentonite blocks and pellets</b>	ベントナイト・ブロック及びペレットの運搬及び貯蔵
5.4.1	Transport in the repository site and intermediate storage at ground level	地上レベルでの処分場サイト及び中間貯蔵施設での運搬
5.4.2	Transport to and storage at the repository level	処分場レベルへの運搬と貯蔵
5.5	<b>Handling and installation</b>	取り扱い及び設置
5.5.1	Preparation of deposition hole	定置孔の準備
5.5.2	Installation of blocks	ブロックの設置
5.5.3	Filling of outer gap with pellets	ペレットによる外側の隙間の充填
5.5.4	Methods for testing and inspection of weight, dimensions and density of blocks and pellets	ブロック及びペレットの重量、寸法及び密度の試験及び検査の方法
5.5.5	Methods for test and inspection of installed buffer geometry and density	設置された状態の緩衝材の幾何学的形状及び密度に関する試験及び検査の方法
5.6	<b>Filling the upper part of the deposition hole</b>	定置孔上部の充填
6	<b>INITIAL STATE OF THE BUFFER</b>	緩衝材の初期状態
7	<b>SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	概要及び結論
APPENDIX 4.	PROPOSED QUANTITY OF TESTS FOR THE BENTONITE RAW MATERIAL TO BE USED FOR BUFFER (MODIFIED FROM AHONEN ET AL. 2008[27])	緩衝材に使用されるベントナイト原料に関する試験に関して提案されている試験量（文献 [Ahonen et al. 2008] の表を修正して使用）。
APPENDIX 5.	METHODS FOR TEST AND INSPECTION OF MATERIAL COMPOSITION.	物質組成の試験及び検査方法
APPENDIX 6.	TEST METHODS TO ASSURE THE QUALITY OF BENTONITE (MODIFIED FROM AHONEN ET AL. 2008[27])	ベントナイトの品質保証を実現するための試験方法（文献 [Ahonen et al. 2008] の表を修正して使用）。

※：APPENDIX 1～3 及び 7～9 は省略

a) 緩衝材の設計パラメータと生産時の検査スキーム

緩衝材の設計パラメータは、生産された緩衝材が参照設計（Reference Design）に適合していることを確認するため、直接または間接的に、緩衝材の生産時に検査しなければならない。表 2.2.1-40 及び表 2.2.1-41 に、緩衝材に要求される特性、設計パラメータ、及び緩衝材の生産時に検査されるパラメータとそれらの関連を示す。

表 2.2.1-40 緩衝材に要求される特性、設計パラメータ、及び緩衝材の生産時に検査されるパラメータとそれらの関連（材質や製造に関連するもの） [32]

要求される特性	設計パラメータ	生産時に検査されるパラメータ
材料組成	モンモリロナイト含有率	X線回折パターン
	硫化物含有率	燃焼ガス
	全硫黄含有率（硫化物含む）	燃焼ガス
	有機炭素含有率	燃焼ガス
圧縮性材料の 圧密特性	粒径分布	ふるい曲線
	含水率	乾燥前重量及び乾燥後重量
ブロックの密度 及び寸法	かさ密度	重量及び寸法に基づく体積
	寸法	高さ、外径、リング状ブロックの孔の直径
ペレットの密度 及び寸法	個々のペレットのかさ密度	個々のペレットの重量及び寸法
	寸法	直径（もしくは厚さ及び幅）及び個々のペレットの長さ
	隙間充填材のかさ密度	隙間充填材の重量及び体積

表 2.2.1-41 緩衝材に要求される特性、設計パラメータ、及び緩衝材の生産時に検査されるパラメータとそれらの関連（設置に関連するもの） [32]

要求される特性	設計パラメータ	生産時に検査されるパラメータ
緩衝材密度 <sup>1)</sup>	ブロックのかさ密度	設置されるブロックの重量
	充填ペレットのかさ密度	設置されるペレットの重量及び体積
	ペレットが充填された隙間の幅 <sup>3)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 処分孔の幾何形状</li> <li>・ 設置されたブロックの位置</li> </ul>
設置形状 <sup>2)</sup>	緩衝材厚さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 処分孔の幾何形状</li> <li>・ 設置されるブロックの寸法</li> <li>・ 設置されたブロックの位置</li> </ul>
	ペレットが充填された隙間の幅	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 処分孔の幾何形状</li> <li>・ 設置されるブロックの寸法</li> <li>・ 設置されたブロックの位置</li> </ul>
	設置されたリング状ブロック内側の孔の直径／幾何形状 <sup>4)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設置されるブロックの寸法</li> <li>・ 設置されたブロックの位置</li> </ul>

1) ブロックやペレットの最後の重量測定はコンテナ収納時に実施される

2) 処分孔の幾何形状及びブロックの寸法は設置に先立って実施される

3) スキャンされた処分孔の容積と緩衝材ブロックの寸法に従って計算される

4) 処分孔のスキャンもしくは3次元写真に基づく

上記の表 2.2.1-40 及び表 2.2.1-41 に示した設計パラメータ等は、緩衝材の生産工程における各フェーズにおいて検査される。緩衝材の生産工程における検査フェーズを図 2.2.1-34 に示す。また、これら各フェーズにおける各設計パラメータの検査方法の一覧を表 2.2.1-42 に示す。表 2.2.1-42 のうち、黄色で塗りつぶした箇所は、表 2.2.1-40 に示した、材質や製造に関連する設計パラメータであり、水色で塗りつぶした箇所は、表 2.2.1-41 に示した、設置に関連する設計パラメータである。

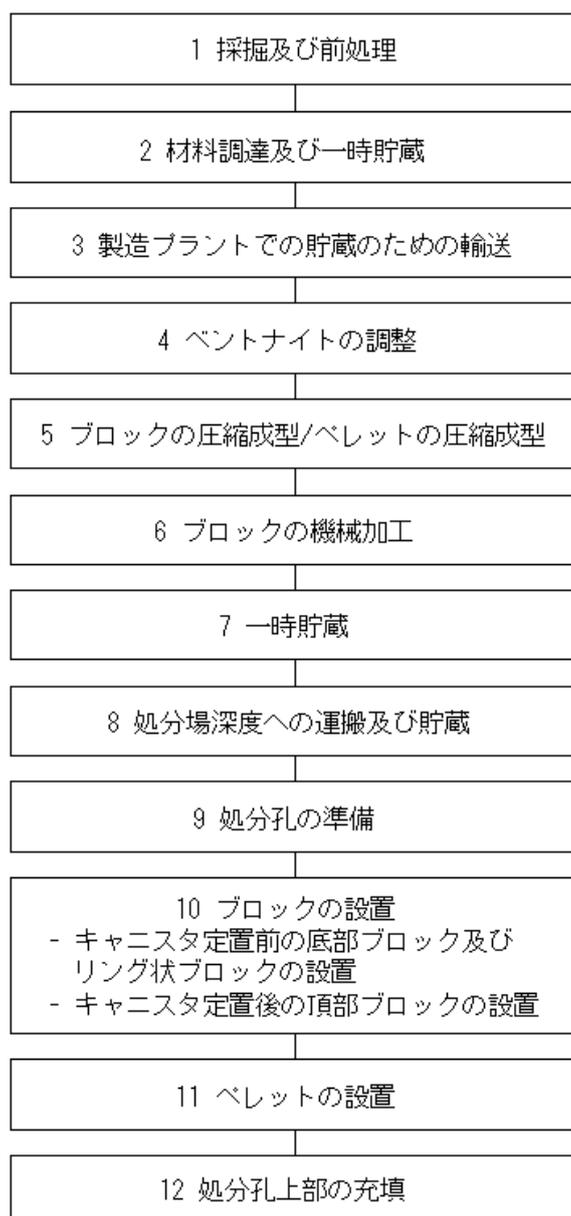


図 2.2.1-34 緩衝材の生産工程における検査フェーズ[32]

表 2.2.1-42 緩衝材の生産工程における各検査フェーズでの検査内容とその方法[32]

特性	設計パラメータ	1. 採掘及び前処理 <sup>5)</sup>	2. 材料調達及び一時貯蔵	3. 製造プラントでの貯蔵のための輸送	4. ベントナイトの調整	5. ブロックの圧縮成型/ペレットの圧縮成型	6. ブロックの機械加工	7. 一時貯蔵	8. 処分場深度への運搬及び貯蔵	9. 処分孔の準備 <sup>4)</sup>	10. ブロックの設置	11. ペレットの設置	12. 処分孔上部の充填
材料組成	モンモリロナイト含有率	MQC	X線回折等	X線回折等									
	有機炭素含有率	MQC	加熱	加熱									
	硫化物含有率	MQC	加熱	加熱									
	全硫黄含有率	MQC	加熱	加熱									
	膨潤指標	MQC	メス・シリンダ内での膨潤	メス・シリンダ内での膨潤									
	陽イオン交換容量	MQC	交換可能な陽イオンの置換	交換可能な陽イオンの置換									
圧密特性	粒径分布	MQC <sup>6)</sup>	ふるい分け	ふるい分け	ふるい分け <sup>6)</sup>								
	含水率	MQC <sup>7)</sup>	オープンでの乾燥 <sup>8)</sup>	オープンでの乾燥 <sup>8)</sup>	オープンでの乾燥 <sup>1)</sup>	オープンでの乾燥							
ブロックの密度及び寸法	かさ密度					重量測定及び寸法	重量測定及び寸法						
	寸法					カリパス <sup>2)</sup>	機械情報 <sup>9)</sup>						
ペレットの密度及び寸法	個々のペレットのかさ密度					重量測定及び寸法 <sup>10)</sup>							
	寸法					カリパス							
	隙間充填材のかさ密度					特定体積での重量測定							
設置された密度	寸法							寸法測定	必要に応じた寸法測定 <sup>3)</sup>				
	ブロックのかさ密度							コンテナ収納前のブロックの重量測定及び目視検査	コンテナの目視検査及び必要に応じたブロックの重量測定 <sup>3)</sup>	湿気防止システムの目視検査及び機能試験	重量測定及び寸法		重量測定及び寸法
	充填ペレットのかさ密度							コンテナ収納前のペレットの重量測定及び目視検査及び又は大型バッグの重量測定	大型バッグの目視検査及び必要に応じた重量測定 <sup>3)</sup>			隙間の全長が同時に充填される場合における設置前の重量測定及び体積の測定	設置前の重量測定及び体積測定
	ペレットが充填された隙間の幅										ブロック設置装置に関する情報		ブロック設置装置に関する情報
設置形状	設置されたブロックの位置										ブロック設置装置に関する情報		ブロック設置装置に関する情報
	ペレットが充填された隙間の幅 <sup>11)</sup>										ブロック設置装置に関する情報		ブロック設置装置に関する情報
	設置されたブロック内側の孔の直径										ブロック設置装置に関する情報		
	処分孔上部チャンファの寸法												ブロック設置装置に関する情報

1) 加水混合後かつ圧縮前 2) 機械加工前 3) コンテナの目視検査後に必要に応じて 4) フェーズ9はベントナイト緩衝材の直接的な検査ではない 5) 業者品質管理 (MQC) システムに従ってベントナイト供給業者が実施  
6) 粉砕後 7) 乾燥後 8) 輸送後 9) CNC-機械加工 (コンピュータ数値制御機械加工) 10) パラフィンオイル内での重量測定により定義された個々のペレットのかさ密度  
11) 設置されたブロックの位置とスキャンされた処分孔の寸法に基づく

b) 緩衝材の検査方法

ア) ベントナイト材料の組成や特性に関する検査の方法

ベントナイト材料の組成や特性に関する検査の方法、頻度及びサンプル数の候補を表 2.2.1-43 に示す。

表 2.2.1-43 ベントナイト材料の組成や特性に関する検査の方法、頻度及び  
サンプル数の候補[27][32]

特性	設計パラメータ	基本 試験 <sup>1)</sup>	定期試験（輸送後） <sup>2)</sup>		
			サンプル数 (21 t あたり)	検査方法	基準
材料 組成	モンモリロナイト 含有率	MQC	3	X線回折 (XRD) 赤外分光分析 (FTIR) 光学偏光顕微鏡	—
	膨潤指標	MQC	3	メス・シリンダ内での膨潤 (自由膨潤試験)	ASTM D5890-06
	陽イオン交換容量	MQC	3	Cu(II)-トリエチレンテトラミン法 メチレンブルー試験	ISO 11260、 ASTM C837-99 (2003)
	有機炭素、硫化物、 全硫黄、等	MQC	3	加熱・燃焼ガス分析 X線回折 (XRD) 蛍光 X線分析 (XRF) ICP-MS/AES、等	—
圧密 特性	粒径分布	MQC	3	乾式ふるい分け 重力沈澱法	ASTM D422-63(2002)e1 ASTM C958-92 (2000)
	含水率	MQC	21	オープンでの乾燥等	ASTM D2216-05、 ASTM D4643-00

1) 業者品質管理 (MQC) システムに従ってベントナイト供給業者が実施

2) 年 1 回

イ) ブロックやペレットの重量、寸法及び密度に関する検査の方法

ブロックの寸法の測定は、カリパスを用いて行われる。ブロックの寸法は、±1 mm の精度で測定される。また、ブロックの測定は機械加工装置によっても自動的に行われる。ペレットの寸法も、カリパスを用いて決定される。

ブロックのかさ密度は、記録された重量及び寸法から計算する。かさ密度に関して容認されるばらつきは約±1%である。ブロックの重量を±2 kg の精度で、寸法を±0.1 mm の精度で測定できると仮定した場合、密度は約±0.15%精度で測定できることになる。寸法が±1.0 mm の精度で測定された場合、密度は約±0.5~0.7%の精度で測定できる。

個々のペレットのかさ密度は、空気中及びパラフィン油中で記録された重量及び体積から計算される。ペレットの重量 (50 g) が 0.1 g 精度のスケールで測定されると仮定すると、個々のペレットの密度は約±25 kg/m<sup>3</sup> の精度で決定することができる。

ウ) 設置された緩衝材の幾何形状及び密度に関する検査の方法

設置された緩衝材の厚さ、密度、及び処分孔内でのそれらのばらつきは、以下の情報に基づいて計算される。

— 処分孔の容積

- － 処分孔の中央軸に沿った半径及び断面積
- － 設置されたブロックの重量、寸法及び位置
- － 設置されたペレットの重量及び体積

処分孔内のブロックの位置は、処分孔の測定プロトコル、ブロック設置装置の持ち上げツールの位置の記録、そして設置されたブロックの上部固定点位置の測定記録に基づいて決定される。設置された緩衝材の厚さ及び密度の計算は、ソフトウェアを用いて行われる。このソフトウェアには、測定された処分孔の幾何形状、ブロックの寸法、そして設置後に記録されたデータが自動的に供給される。

底部のリング状ブロックが、次のリング状ブロックの設置のガイドとなる。底部のリング状ブロックが中心軸に対して不正確な位置に置かれている場合、この逸脱は、処分孔の上向きに伝播する可能性がある。ブロック表面が傾斜している場合にもこうした逸脱の伝播が生じる可能性がある。

板状ブロックと最初のリング状ブロックの設置の精度は、サーボエンジン（ブロック設置装置の持ち上げツールの位置決めを行う）を制御する伝送装置を用いたシステムの精度に依存する。岩屑やその他の物体によって表面に傾斜が生じないようにするために、設置後にそれぞれのブロックの位置が測定される。

処分孔に沿って設置された寸法及び密度のばらつきに関する計算の精度は、記録された位置、質量及び体積の精度によって決まる。位置決定システムの試験は 2012 年末に実施される予定である。処分孔内の平均密度の測定精度は、処分孔容積の測定精度、ブロックのかさ密度及び寸法の精度、さらには設置されたペレットの重量及び体積の測定精度から見積もることができる。

c. 性能確認／モニタリング

(a) 規制要件

フィンランドの性能確認／モニタリングに関しては、既往調査検討(例:RWMC(2017)[1])において示されているように、規制文書において、性能確認／モニタリングについて、表 2.2.1-44 に示すように規定されている。このうち、放射線・原子力安全センター (STUK) の規制ガイダンス YVL D.5[35]では、人工バリアのモニタリングについて規定されている。

表 2.2.1-44 STUK の規則及び安全指針における性能確認／モニタリングの規定[1]

規則等	規定
STUK-Y-4-2016 原子力廃棄物の最終処分の 安全性に関する STUK 規則、 2015 年 12 月 22 日	第 2 章 安全性一般 第 5 条 安全等級分け 1. <u>原子力廃棄物施設の操業に関する安全機能と長期安全性に関する安全機能が示されなければならない。これらを構成するかこれらに結び付くシステム、構造物及び設備は、それらの使用目的に基づき、操業安全性又は長期安全性にとって、もしくは必要に応じてこの両者にとって持ちうる意味に応じて分類されなければならない。</u> 2. この安全面での分類は、システム、構造物及び設備に関する品質要件を決定する際に使用されなければならない。 3. 操業安全性との関連の大きい安全機能を構成するかそれと結び付くシステム、構造物及び設備に設定される要件と、これらが要件への順守を保証するために講じられる措置は、対象物の安全等級に基づくものとされなければならない。 4. <u>長期安全性のための安全機能を構成するシステム、構造物及び設備は、その品質レベルが、さらにはその品質レベルの確認に必要な評価、検査及び試験が、当該対象物の安全面での役割にふさわしいものとなる方法で計画し、製造し、設置しなければならない。</u>
STUK YVL D.5 原子力廃棄物の処分 (安全指針、2013.11.15)	処分施設の建設、操業及び閉鎖 506. <u>処分施設の建設及び操業期間中に、掘削する場所および岩盤が処分に適していることを確実にするために、並びに母岩の安全に関わる特性やバリアの性能に関する補足的情報を得るために、調査、試験及びモニタリング・プログラムを実施しなければならない。このプログラムには、少なくとも次のものを含まなければならない。</u> a. <u>掘削が予定されている岩盤の特性評価。</u> b. <u>定置領域周辺の岩盤の岩盤応力、移動及び変形に関するモニタリング。</u> c. <u>定置領域周辺の岩盤に関する水理地質学的なモニタリング。</u> d. <u>地下水化学に関するモニタリング。</u> e. <u>人工バリアの挙動に関するモニタリング。</u>

(b) 処分実施主体 POSIVA の取組

既往調査検討(例:RWMC(2017)[1])において示されているように、フィンランドの処分実施主体である Posiva の地層処分場の建設許可申請書及び報告書には、性能確認のためのモニタリングに関して、表 2.2.1-45 に示すような記載がみられる。ここでは、このうちの、POSIVA の操業段階前時点でのモニタリングプログラム案について記載されている POSIVA 2012-01[30]について、人工バリアの性能確認／モニタリングに関連する記載に着目して、その記載内容をまとめる。

表 2.2.1-45 Posiva の建設許可申請書及び報告書における性能確認モニタリングに関する記載内容[1]

文書名	記載内容
使用済燃料のためのオルキオト・キャニスタ封入及び最終処分施設の建設許可申請、POSIVA OY、2012年12月31日	附属書 8 申請者が従う予定の安全性原則に関する説明並びに原則の実施に関する評価 [YEA 第 32 条第 6 項] 4.4 最終処分措置 (VNA 736/2008、第 9 条) (前略) ONKALO 及び将来行われる最終処分場の建設は、周辺の岩盤、地下水流動条件及び化学反応、さらには地表環境に影響を及ぼすことになる。これらの影響を最小限とするために、特に水量、水漏れの管理、孔の掘削、掘削中に生じる岩盤の破損、そして最終処分にとっての全ての異物の地下空間及びその近辺での使用に関する指示が設定される。これらの影響の大きさ及び広がり、岩盤力学、水文学、水文地化学及び地表環境に関するモニタリング調査、さらには最終処分施設で使用される異物の質及び量の追跡を含むモニタリング・プログラムを通じて追跡調査される。これらのモニタリングは、最終処分施設からも地表からも手作業によって行われる。2004 年から機能しているプログラムの調査結果及び 2012 年までの計画の詳細は、POSIVA の作業報告書シリーズにおいて、それぞれの分野ごとに 1 年に 1 度公表されている。新しいモニタリング・プログラムには、2012 年～2018 年のモニタリング計画が含まれている。また建設段階のモニタリング・プログラムは、準備中の操業段階のモニタリング・プログラムに適用され、今後補足されてゆく予定である。さらに操業段階における人工的な最終処分システム (すなわちキャニスタ、緩衝材及び埋戻材) の挙動に関するモニタリングを、最終処分システムの性能を脅かすことのない範囲で実施することが目指される。
Posiva 2012-01 : オルキオトにおけるモニタリング: 処分場操業期間前までの計画, 2012年8月	(記載内容の説明) ・安全指針 (当時はドラフト版) による性能確認の指示への対応を含むモニタリング計画を検討 ・モニタリングの目標として下記を提示 1. 長期安全性 (サイト) : 処分場周辺の条件が、処分場を建設及び操業が実施された場合であっても、長期安全性にとって好ましいものであり続けることを実証すること。 2. サイト特性評価及びモデル化に対するフィードバック : 処分場の周囲について様々なモデルを定義し、試験するために利用できるデータを取得すること。これによってサイトの理解とサイトにおける変化の理解が深まる。 3. 環境に対する影響のモニタリングを実施すること。 4. 地圏及び地表環境に対して建設が与える影響を調査し、建設及び設計作業へのフィードバックを行うこと。 5. 人工バリアシステムの性能に関するモニタリングを行うこと。人工バリアシステムの性能をモニタリングして、挙動の予想/予測の根拠の確認を行うこと。 6. 義務づけられている放射線モニタリングを行うこと。処分場から環境への放射性物質の放出と放射線に関するモニタリングの実施が義務づけられており、これを実行する。 天然バリアのモニタリングについて ・プロセス/特徴、パラメータ/対象、方法、測定サイクル、場所を特定するとともに、自然変動の幅、処置限界 (この値を超えると何らかの処置を行う値) を提示。 ・処置限界を超えた場合の対応として、再確認、評価グループ招集、安全分析、操業計画見直し、廃棄体回収の検討を提示。 人工バリアの性能確認モニタリングについて ・処分場操業許認可申請の提出前に更新 ・人工バリアの変遷と核種移行に係るプロセス (FEP) を特定 ・プロセスの確認について、モニタリングによるもの、試験によるもの、直接確認できないものを分類。 ・実際にモニタリングする内容は、将来の手法の研究開発に基づき決定。

フィンランドにおける人工バリアの性能確認／モニタリングに関しては、POSIVA 2012-01[30]（目次構成を表 2.2.1-46 に示す）の 3.2.2 項及び 9 章（表 2.2.1-46 において赤フォントで表記）に、その時点での考え方として、2012 年から 2018 年までの、人工バリアのモニタリングに必要な設備及び方法に関する研究、開発及び試験について示されている。操業期間におけるモニタリング計画は、これら研究、開発及び試験に基づいて計画され、処分場操業許認可申請の提出に先立って示される予定であるとされている。なお、実処分場において、人工バリアをモニタリングするかについては、まだ決定されていないが、不要とされた場合には、プロトタイプ処分場でのモニタリングが考えられるとしている。

表 2.2.1-46 POSIVA 2012-01 の目次構成[30]

1	INTRODUCTION	はじめに
2	CONTEXT	背景
3	DEVELOPING THE MONITORING PROGRAMME	モニタリングプログラムの開発
3.1	Definition and objectives of monitoring	モニタリングの目的及び定義
3.2	Processes affecting long-term safety	長期安全性に影響を及ぼすプロセス
3.2.1	Processes resulting from the ONKALO construction	ONKALO に建設に起因するプロセス
3.2.2	Engineered barriers	人工バリア
3.2.3	Geosphere	地質環境
3.2.4	Surface environment	地表環境
3.3	Providing feedback for site characterisation and modelling	サイト特性やモデル化へのフィードバック
3.4	Environmental impact	環境影響
3.5	Providing feedback for design and construction	設計及び建設へのフィードバック
3.6	Monitoring radiation and radioactive releases	放射線及び放射性物質放出のモニタリング
4	MONITORING PROGRAMME FOR ROCK MECHANICS	岩盤力学のモニタリングプログラム
5	MONITORING PROGRAMME FOR HYDROLOGY	水理のモニタリングプログラム
6	MONITORING PROGRAMME FOR HYDROGEOCHEMISTRY	水理地球化学のモニタリングプログラム
7	MONITORING PROGRAMME FOR THE SURFACE ENVIRONMENT	地表環境のモニタリングプログラム
8	MONITORING PROGRAMME FOR FOREIGN MATERIALS	外来物質のモニタリングプログラム
9	MONITORING PROGRAMME FOR THE ENGINEERED BARRIER SYSTEM	人工バリアシステムのモニタリングプログラム
9.1	Targets	ターゲット
9.2	EBS Monitoring Programme for 2012–2018	2012～2018 年の EBS モニタリングプログラム
9.2.1	Canister	キャニスタ
9.2.2	Bentonite buffer	緩衝材
9.2.3	Backfill	埋戻材
9.2.4	Plugs and seals	プラグ及びシール
9.3	Generic description of engineered barriers monitoring during operation	操業期間における人工バリアモニタリングの一般的記述
10	MANAGEMENT AND REPORTING	管理及び文書化

a) 人工バリアの性能確認／モニタリングの対象プロセス等

POSIVA 2012-01[30]では、安全機能に関わるプロセスのうち、性能確認／モニタリングの対象とするプロセスの選定を実施している。このうち、人工バリアの性能確認／モニタリングの対象プロセスについては、表 2.2.1-47 及び表 2.2.1-48 に示す 7 つのプロセス（モニタリング分野）を選定している。7 つのうちの 5 つのプロセスは、人工バリアの変遷に関連するプロセス（表 2.2.1-47）であり、その他 2 つのプロセスは、人工バリア中での移行に関連するプロセス（表 2.2.1-48）である。その他のプロセス等については、以下の棄却理由から、人工バリアの性能確認／モニタリングの対象から除外されている。

- ・ 規則的：規則的なものであり、厳密にモニタリングすることが妥当ではないもの。例えば、使用済核燃料の放射性崩壊は、放射性核種のインベントリのみ依存する。
- ・ 間接測定：使用済燃料中での熱移動は、処分システムの他の部位の温度変化に影響するものであり、原理的に間接的にモニタリングすることができる。
- ・ 実験室：モニタリングよりも、実験室における研究や、ONKALO での試験に基づく方が妥当であるもの。
- ・ キャニスタ破損：キャニスタが破損した場合にのみ発生しうるものであり、地下水がキャニスタ内に浸入した場合にのみ発生するもの。
- ・ 氷河期：氷河プロセスに基づくもの。氷河プロセスは数千年後にしか発生しない。

上記を踏まえ、POSIVA におけるモニタリングプログラムにおいては、人工バリアの性能確認／モニタリングのターゲットとして、表 2.2.1-49 のような案が示されている。これらのうち、実際にモニタリングする対象や手法については、将来における研究開発に基づいて決定されるとしている。

キャニスタについては、実際に使用済燃料を収納していない実規模キャニスタのモニタリングのみ実施可能であるとしており、キャニスタの表面温度や応力状態等をターゲット候補として挙げている。

緩衝材や埋戻材については、温度及び水分勾配を半径方向においてモニタリングすることが重要であるとしている。また、間隙圧や間隙水化学についても、シミュレーションモデル開発や低 pH グラウトとベントナイトとの相互作用に関する理解に資することから、重要であるとしている。

処分坑道プラグについては、その性能を、地下水流入量などのモニタリングにより、確認することができるとしている。

表 2.2.1-47 長期安全性の観点で重要な人工バリアシステムの変遷に関連するプロセス[30]

分類	プロセス番号	プロセス名	モニタリング分野	棄却理由	
人工バリアの変化に関するプロセス	使用済み燃料				
	3.2.1	放射性壊変		規則的	
	3.2.2	熱生成		規則的	
	3.2.3	熱移動		間接測定	
	3.2.4	燃料ペレットの構造変化		実験室	
	3.2.5	残留水の放射化（キャニスタ内）		実験室	
	3.2.6	間隙水の放射化		実験室	
	3.2.7	燃料被覆管及びその他金属材料の腐食		キャニスタ破損	
	3.2.8	燃料集合体の変質と溶解		実験室	
	3.2.9	インベントリの不安定区分の放出		キャニスタ破損	
	3.2.10	ヘリウムガスの生成		規則的	
	キャニスタ				
	4.2.1	放射線の減衰			規則的
	4.2.2	熱移動		人工バリア	
	4.2.3	変形		人工バリア	
	4.2.4	キャニスタの熱膨張			規則的
	4.2.5	銅製オーバーバックの腐食			実験室
	4.2.6	鋳鉄製インサートの腐食			キャニスタ破損
	4.2.7	応力腐食割れ			実験室
	緩衝材と埋め戻し材				
	5.2.1	6.2.1	熱移動	人工バリア/岩盤力学	
	5.2.2	6.2.2	水の流入と膨潤	人工バリア/水理学	
	5.2.3	6.2.3	パイピングとエロージョン		実験室
	5.2.4	6.2.4	化学的エロージョン		実験室
	5.2.5	-	間隙水の放射化		実験室
	5.2.6	6.2.5	モンモリロナイトの変質		実験室
	5.2.7	6.2.6	随伴鉱物の変質		実験室
	5.2.8	6.2.7	微生物活動		実験室
	-	6.2.8	凍結と解凍		氷河期
	追加的構成要素（プラグ、シール等）				
	7.2.1		化学的劣化		実験室
	7.2.2		物理的劣化	人工バリア	
	7.2.3		凍結と解凍		氷河期

表 2.2.1-48 人工バリア中での移行に関連するプロセス及び特性[30]

分類	番号					名称	モニタリング分野	棄却理由
	燃料	キャニスタ	緩衝材	埋戻材	その他			
人工バリア中での移行に関するプロセス及び特性	3.3.1	4.3.1	5.3.1	6.3.1	7.3.1	核種の溶解度		実験室
	3.3.2	4.3.2	5.3.2	6.3.2		沈澱及び共沈		実験室
	3.3.3	4.3.3	5.3.3	6.3.3		収着		実験室
	3.3.4	4.3.4	5.3.4	6.3.4		拡散		実験室
		4.3.5	5.3.5	6.3.5		移流	人工バリア/水理	
		4.3.6	5.3.6	6.3.6		コロイド移行	人工バリア/化学	
		4.3.7	5.3.7	6.3.7		ガス移行		キャニスタ破損

表 2.2.1-49 人工バリアモニタリングのターゲット案[30]

Objectives						Process	Targets
1: Long-term safety (site)	2: Site characterisation and modelling	3: Environmental impact	4: Feedback for constructors and design	5: EBS performance	6: Compulsory radiological monitoring		
<b>Canister (monitoring possible in a mock-up)</b>							
				X		Radiogenic heat production	Surface temperature
				X		Deformation of the copper overpack	Radial and axial strain
<b>Buffer and backfill</b>							
				X		Heat transfer	Temperature
				X		Water uptake	Moisture in buffer
				X		Swelling	Swelling pressure and pore pressure
				X		Mass redistribution	Buffer displacement and uplift Canister displacement
				X		Chemical changes in pore water	in situ pH (and other possible) measurements
<b>Auxiliary components</b>							
				X		Degradation of plugs and seals	Plug integrity Temperature, moisture, pressure

b) 人工バリアの性能確認／モニタリングプログラム (2012年～2018年)

POSIVA 2012-01[30]では、人工バリアの実証試験について、表 2.2.1-50 に示すような 3 フェーズの試験スケジュールが示されている。

第一フェーズでは、緩衝材の試験として、設置作業の検証と小規模な初期性能試験が行われる。第一フェーズの試験は、特性調査 Niche 「TU」(深度 140 m で ONKALO の入口部分から 1,475 m 離れた位置にある) で実施される。その目的は、小規模な (40%) 緩衝材の試験を実施することにより、厳しい条件下において、どのように実証及び計装を計画・構築するかといった知見を取得することにある。また、小規模な試験により、実規模試験のモニタリングに利用する様々なセンサーの適格性及び信頼性も調査される。

第二フェーズの試験は、処分場深度の実証坑道で実施される。その目的は、設計した緩衝材、埋戻材及びプラグが、要件に基づき定置できること、必要とされる初期状態の実現が可能であること、及びモニタリングが可能であることを試験・検証することにある。この試験は実規模で実施され、同時に、緩衝材や埋戻材の定置設備のプロトタイプが試験され、その機能が検証されることになる。

第三フェーズでは、プロトタイプ処分場を建設し、処分場操業の全体的な実現可能性の実証が行われる。その時点でのプログラムでは、プロトタイプ処分場は 4 つの処分孔、緩衝材及びキャニスタで構成され、それぞれの処分孔に加熱装置 (燃料棒を模擬) を設置し、埋戻材とプラグを設置するとしている。

人工バリアの変遷のモニタリングは、建設段階及び操業段階を通じて実施される。このため、上記の実証試験施設は、それら期間においても閉鎖されずに維持される。ただし、操業

段階に実施される人工バリアの長期モニタリングに実施場所、レイアウト及び規模などは今後計画されることとなるとしている。以下に、操業許認可が発給される以前に計画されている人工バリアの変遷のモニタリングに関する、その時点でのプログラムを示す。

表 2.2.1-50 人工バリアの実証試験スケジュール[30]

実証フェーズ		実施場所	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021～
1	Small-scale (40 %) buffer, Hole 1	特性調査 Niche TU1 : located 1475 metres from the entrance to ONKALO (深度 140 m)	■	■	■	■	■	■	■				
	Small-scale (40 %) buffer, Hole 2		■	■	■								
2	Two full-scale buffers	実証坑道				■	■	■	■	■	■	■	■
	Foundation layer				■								
	Blocks and pellets					■							
	Backfill with all backfill components						■						
	Deposition tunnel plug				■								
3	Four full-scale buffers and backfill	プロトタイプ処分場						■	■	■	■	■	

#### ア) キャニスタ

キャニスタについては、銅製部材、鋳鉄製インサート、発熱体（燃料棒を模擬）のそれぞれに温度センサーを取り付け、全体的な温度分布を測定する。測定装置としては、熱電対、光ファイバ、赤外線画像装置などが挙げられる。

また、銅製部材や鋳鉄製インサートの移動に関しては、各種のデフレクション変換器や、ひずみゲージや光ファイバによるひずみ量によって測定することができる。キャニスタ全体の移動や変形については、傾斜計や変位センサにより測定できる。

#### イ) 緩衝材

緩衝材の性能に関するモニタリングには、複数の重要なパラメータが含まれる。これらのうちの一つに、処分孔及びその近傍の岩盤における温度分布がある。

また、半径方向の水分勾配のモニタリングも重要である。このことは、緩衝材の各部における飽和度を把握する必要があることを意味する。軸方向の水分分布は、複数の鉛直方向の場所で同時に測定することによって把握することができる。ベントナイトブロックの湿度及び飽和度は、相対湿度変換器、電気抵抗センサ、TDR 手法などによって測定することができる。全体的な飽和度分布のモニタリングには、電子抵抗トモグラフィを適用できる可能性がある。

緩衝材の最も重要な特性の一つとして、膨潤も挙げられる。ベントナイトの膨潤によって発生する圧力は、軸方向と半径方向の両方について測定する必要がある。半径方向の膨潤圧

は、緩衝材と岩盤の隙間からも、緩衝材とキャニスタの隙間からも、測定すべきである。一方、軸方向の膨潤圧は、各ベントナイトブロックの間や処分孔の頂部及び底部の間で測定すべきである。広い範囲の圧力分布は、単に各点の圧力を測定するのではなく、マトリクスタイプの計装を用いてモニタリングすることができる可能性がある。

また、間隙圧もモニタリングすべきパラメータの一つであり、ピエゾメーターで測定されることになる。その場合、間隙水の圧力は直接測定される。なお、パイピング・エロージョンをモニタリングする可能性についても検討すべきである。

緩衝材の変位や隆起も、モニタリングにおいて考慮に入れるべきである。キャニスタとベントナイトブロックの隆起は、通常の変位変換器を用いて測定できる。積み重ねられたベントナイトブロック全体が傾斜したり、非対称に傾いたりする可能性もあるが、これは緩衝材内に傾斜計を設置することによってモニタリングすることができる。

緩衝材及びその周辺の間隙水化学（pH など）は、シミュレーションモデルに必要なパラメータであり、モニタリング対象とされるべきである。なお、微生物活動をモニタリングする可能性についても検討すべきである。

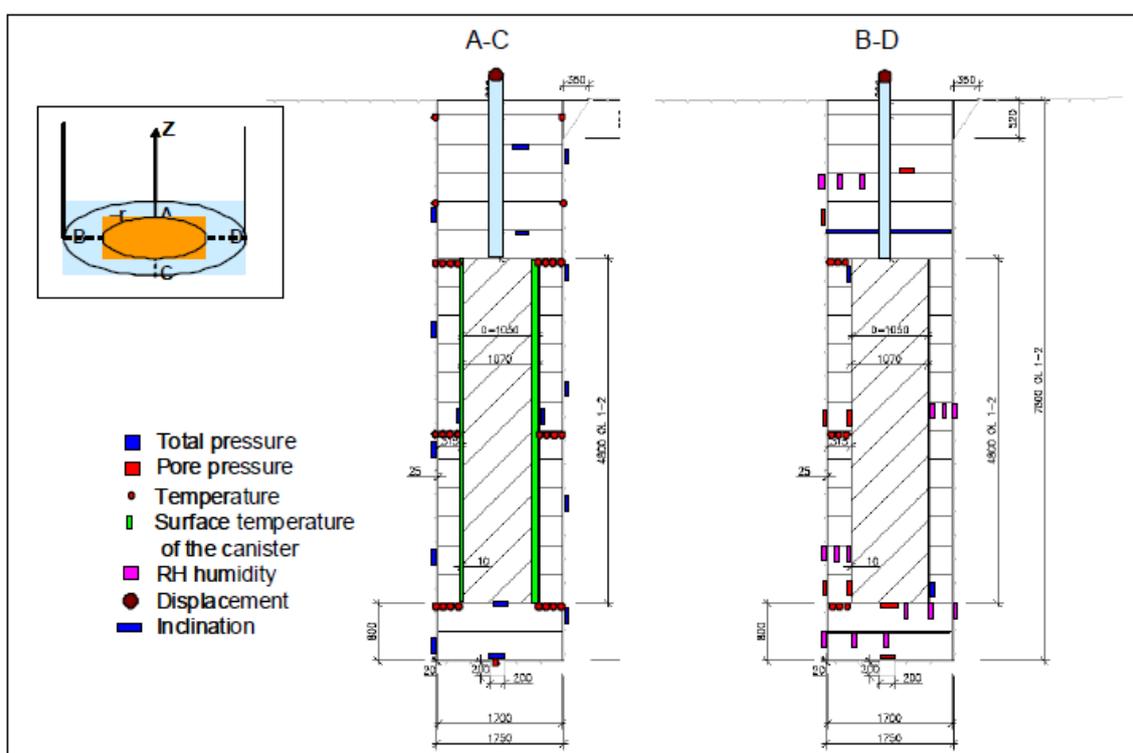


図 2.2.1-35 緩衝材の実規模実証試験装置のセットアップ例[30]

ウ) 埋戻材

埋戻材のモニタリングに関する考え方は、基本的に緩衝材のモニタリングに関する考え方と同等であるとされている。

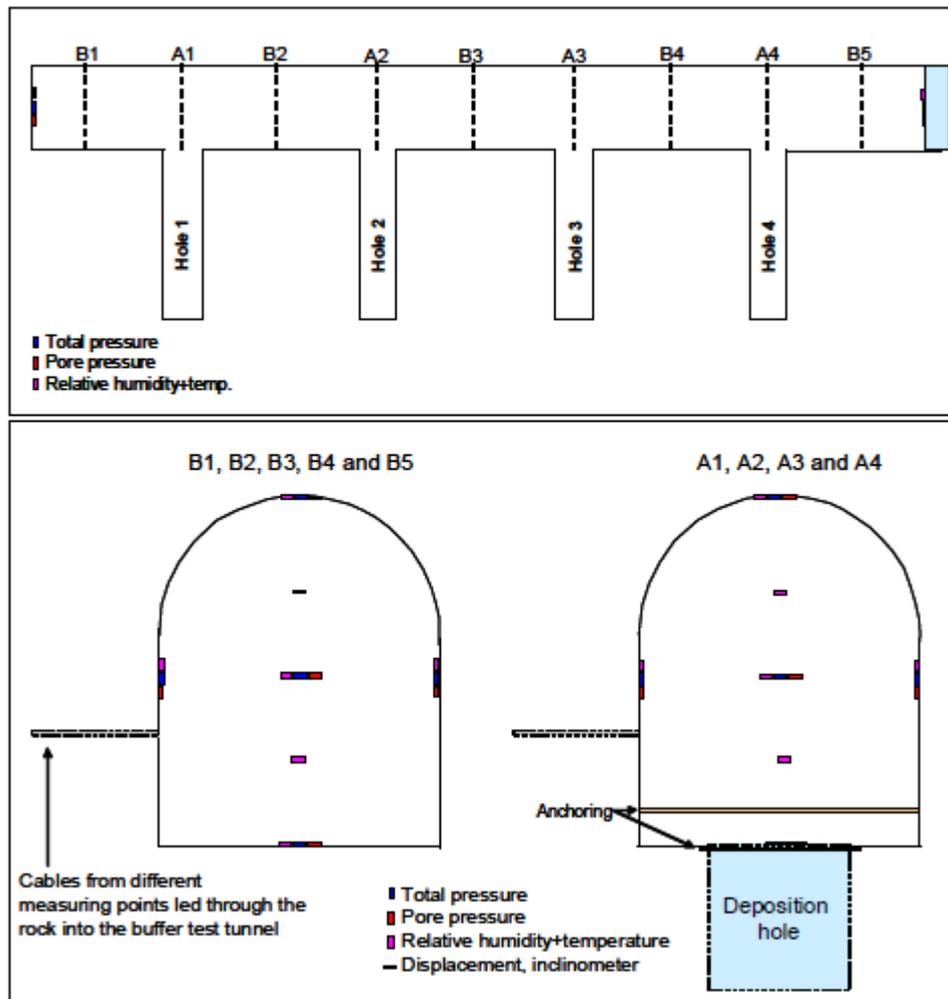


図 2.2.1-36 緩衝材の実規模実証試験装置のセットアップ例[30]

エ) プラグ及びシール

プラグの性能は、プラグを通じた水の流入と近傍の岩盤への水の流入を測定することによってモニタリングできる。また、プラグの変位はタキメータで測定することができる。さらに、温度、水分及び圧力の測定は、必要に応じて、プラグとシールの近傍から性能モニタリングによって測定することができる。

c) 操業期間における人工バリアの性能確認／モニタリングに関する考え方

POSIVA では、規制に基づき、処分場の操業開始前に、人工バリアのモニタリングプログラムを策定しておくことを目的としている。この目的を実現するために、2012年から2018年までのモニタリングプログラムを通じて、人工バリアのモニタリングに必要な設備や手法に関する研究、開発及び試験が実施されるとしている。操業期間における人工バリアのモニタリングプログラムは、上記作業に基づいて計画され、処分場の操業許可申請提出前に提示される予定である。

POSIVA 2012-01[30]の時点では、操業段階での人工バリアのモニタリングについて、以下の戦略的原則が示されている。

- ・ モニタリング施設は、できるかぎり長期間にわたり、可能であれば操業期間全体にわたってアクセス可能とし、数年あるいは数十年の時間スケールで発生するプロセスの研究を可能とするべきである。
- ・ モニタリング施設は、その構成や、水理学的、地質学的環境の観点において、実処分施設を代表するものであるべきである。
- ・ モニタリング対象は、実処分システムを代表するシステムとするべきである。

安全要件において、閉鎖後にはバリアシステムの構成要素以外、いかなる物質も存在してはならないことが規定されているが、実際の処分孔や坑道のモニタリングを何らかの形で実施するかどうかは、まだ決定されていない。このオプションが最終的に不要とされた場合には、モニタリングプログラムは、上記の戦略的原則に従い、そのために設置されるモニタリングモデルシステムに基づくことになる。長期モニタリングを実施できる場所の一つとして、プロトタイプ処分場が挙げられる。このプロトタイプ処分場は、既に掘削されている実証坑道で初期試験が実施された後に、処分システム全体を対象とする実規模試験を実施することを目的として、モニタリングプログラムに含まれている（表 2.2.1-50）。

プロトタイプ処分場での処分孔の位置は、数十年にわたって流入水量が少ない状態を維持できるようにするため、実処分孔の場合と同様、「岩盤適合性基準」(RSC)に基づいて選択されることとなる。このことは、モニタリング期間においては、緩衝材の膨潤圧が十分に大きくなる時間的余裕はないことを意味する。長期モニタリングを実施するために流入水量が大きい処分孔が必要とされる場合には、流入水量が基準値を超過したために放棄された処分孔や、人為的に加水した処分孔などを使用することも考えられるとしている。

### (3) 米国

本項では、昨年度のユッカマウンテン地層処分場<sup>7</sup>における性能確認プログラムに関する規制当局による規定と実施主体であるエネルギー省(DOE)による取組に関する調査[1]に引き続き、具体的な性能確認プログラムの内容に関して調査した。

#### 1) 調査対象文献

米国ユッカマウンテン地層処分場に関する調査対象文献は表 2.2.1-51 とした。昨年度調査結果より、米国ユッカマウンテン地層処分場の概念は、わが国で想定されるものと大きく異なる(例えば、廃棄物パッケージ周りの緩衝材の設置は予定されていない)。しかしながら、規制機関である原子力規制委員会(NRC)により「性能確認プログラム」の実施を明確に規制要件とし、実施主体が検討を進めた事例としての意味を持っていることから、DOEによる関連文書及び研究機関による「性能確認プログラム」の計画内容を主たる調査対象とした。

表 2.2.1-51 米国ユッカマウンテン地層処分場に関する調査対象文献

文献名称	主な調査内容
① ユッカマウンテン科学・工学報告書(SER)[19] DOE/RW-0539(2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 処分場モニタリングの考え方</li> <li>・ 性能確認プログラム(計画)の具体的内容</li> </ul>
② 性能確認プログラム(計画)[20] TDR-PCS-SE-000001 REV 05(2004)	
③ 処分場モニタリング(計画)[21] TDR-MGR-SE-000010 REV 03(2001)	
④ 性能確認プログラムの概要[22] SAND2011-6277(2011)	
⑤ 性能確認プログラムの概要[23] EPRI(2001)	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 性能確認プログラムの考え方</li> </ul>

#### 2) 調査結果

##### a. 基本情報

ユッカマウンテン地層処分場では、次の3種類の廃棄物(合計約70,000トン)を対象としている。

- ① 商業用原子力発電所から発生した使用済燃料: 63,000トン(重金属換算)、
- ② DOE保有の使用済燃料(研究炉や海軍の船舶炉などから発生するもの): 2,333トン、
- ③ 核兵器製造及びかつて実施された商業用原子力発電所からの使用済燃料の再処理によって発生した高レベル放射性廃棄物: 4,667トン

ユッカマウンテンは、噴火によって生じた火山灰が堆積した凝灰岩層が広く分布しており、年間の降水量が少なく蒸発量が多い砂漠地帯である。また、地下水面は、地表から500~800m

<sup>7</sup> 米国では、2009年に発足した前政権が、ユッカマウンテン計画を中止し、代替案を検討する方針を示したため、DOEは2010年、許認可申請の取り下げを申請したが、2016年頃より再開に向けた検討が開始されている。  
<https://www2.rwmc.or.jp/nf/?p=20055>

と深い地点に位置している。処分計画では、処分深度は、凝灰岩層の深度 200m～500m への設置が予定されている。すなわち、地下水面より約 300m 上部に建設される。

処分場規模は、総面積が約 5km<sup>2</sup>、処分坑道の延長距離は約 64km とすることが予定されている。地下施設の主要な構成要素としては、次の通りであり、緩衝材の設置は予定されていない (図 2.2.1-38)。

- ① **処分坑道**：11,000 本の廃棄物パッケージを複数横置きで定置する直径約 5.5m の坑道
- ② **廃棄物パッケージ**：収納する廃棄物の種類に応じて様々な形態となっており (図 2.2.1-37)、処分坑道に設置されたパレットに定置
- ③ **ドリップシールド**：処分場の閉鎖時に設置される計画となっている。廃棄物パッケージの上部に設置されて処分坑道壁面からの液滴・岩石の落下から廃棄体を保護する役割を担う。

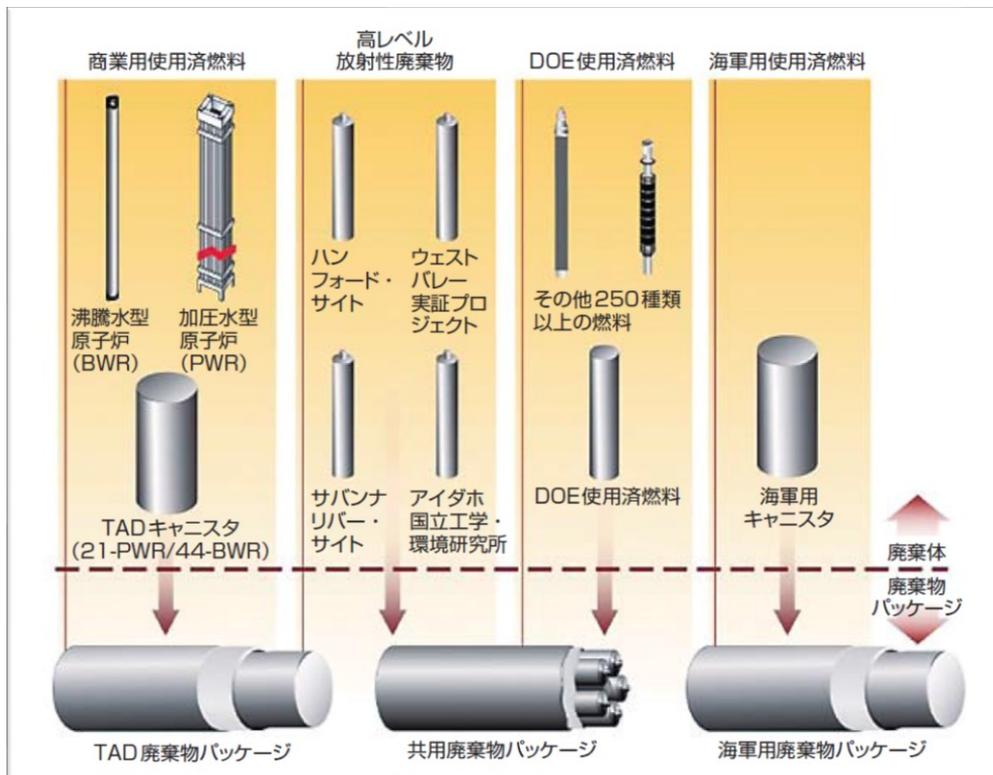
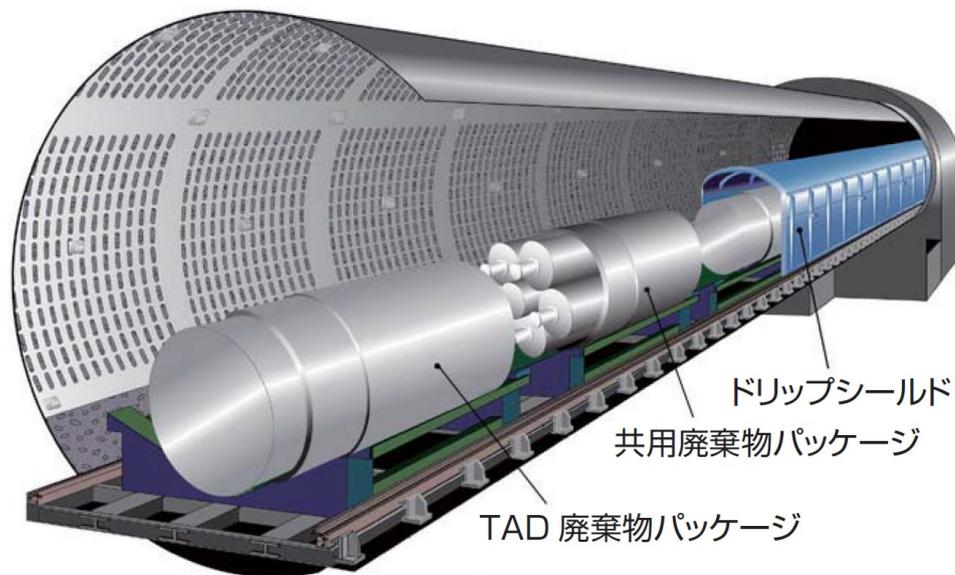


図 2.2.1-37 米国における廃棄物パッケージの種類[24]



注記 TAD : transportation, aging, and disposal (輸送・貯蔵・処分) の略

図 2.2.1-38 定置坑道と廃棄物パッケージの概念[24]

b. 品質管理／品質保証活動

(a) 規制要件

10 CFR Part 63 (ネバダ州ユッカマウンテン地層処分場での高レベル放射性廃棄物の処分、及び修正規則) [25]のサブパート G (品質保証：§ 63.141～144) の内容を表 2.2.1-52 に示す。表 2.2.1-52 を要約すると主に以下の通りであり、品質保証には、サイト特性調査より地上施設の解体の期間、安全性に関する処分場に係わる構成要素やシステムについての品質管理や性能確認 (モニタリング) などを含むものである。

- ・ 品質保証の定義：品質保証 (Quality assurance) には、地層処分場に関する構造物、システム及び／又は構成要素が、所定の通りの性能を発揮するための計画的及び系統だった措置が含まれる (§ 63.141)。
- ・ 品質管理の定義：品質管理 (Quality control) は、品質保証 (Quality assurance) に含まれ、材料、構造物、構成要素又はシステムの物理的な特徴に関連する品質保証措置であり、それらの品質があらかじめ規定された要件に適合したものとなるように管理する手段を実現する措置により構成される (§ 63.141)。
- ・ 品質保証計画に含めるべき範囲：事業者は、安全解析書の中に、安全性にとって重要なすべての構造物、システム及び構成要素、さらに廃棄物の隔離に重要なバリア設計及び特性についての品質保証計画を含める必要がある。品質保証計画に含めるべき主な範囲は、以下の通りであり、さらに適用される品質保証要件への遵守方法も示す必要がある (§ 63.142(a))。
  - サイト特性調査

- サンプル及びデータの取得、管理及び分析
  - 試験及び実験
  - 科学的な調査
  - 施設及び設備の設計及び建設
  - 施設の操業
  - 性能確認
  - 永久閉鎖
  - 地表施設の除染及び解体
- ・ 品質保証の要件が適用される範囲：品質保証の要件は、廃棄物の確認にとって重要な構造物、システム及び構成要素の安全機能に関するあらゆる活動（設計作業、購買、製造、取り扱い、輸送、貯蔵、洗浄、組み立て整備、設置、点検、試験、操作、保守、修理、改造、サイト特性調査、性能確認、永久閉鎖、除染、地表施設の解体などが含まれる）に適用される（**§ 63. 142(a)**）。
  - ・ 設計管理措置：事業者は、構造物、システム及び構成要素に関して適用される規制要件及び設計基準が、仕様、図面、手続き及び指示通りとする措置を講じなければならない。これらの措置により、適切な品質基準が設定され、設計文書に組み込まれると共に、これらの基準からの逸脱の管理が行わなければならない。さらには、廃棄物隔離及び、構造物、システム及び構成要素の安全機能にとって重要な資材、部品、設備及びプロセスを選定し、その適格性を審査する措置も策定しなければならない（**§ 63. 142(d)**）。
  - ・ 設計の適格性検証又は検査措置の策定設定：設計の適格性検証又は検査措置の策定の方法としては、設計審査の実施、代替計算あるいは単純化された計算方法の使用、適切な試験計画の実施などが挙げられる（**§ 63. 142(d)**）。
  - ・ 具体的な設計特性の適格性検証：その他の検証または検査プロセスではなく試験計画が使用される場合、最も不利な設計条件の下でのユニットの適切な品質確認試験が含まれていなければならない。このような設計管理措置には、下記の項目に適用されなければならない（**§ 63. 142(d)**）：
    - 様々な分析（臨界物理学、応力、熱、水理学、閉鎖前／後）
    - 物質間の相容性（compatibility）
    - 点検、保守及び修繕のためのアクセス可能性
    - 検査及び試験の基準に関する概略的な記述
  - ・ 購入資材の管理：事業者は、購入された物質、設備及び役務に関して、調達仕様文書に適合したものとなるための措置を講じる必要がある（**§ 63. 142(h)**）
  - ・ 点検：事業者は、品質に影響を与える活動の点検に関する計画を策定し、計画通りに実施する必要がある（**§ 63. 142(k)**）。
  - ・ 材料または製品の検査、測定または試験が、品質確認のために必要な場合、各工程ごとに実施されなければならない。これらの点検が不可能又は不都合（disadvantageous）を生じさせる場合には、プロセスの方法や設備、モニタリングなどの間接的な管理が実施されなければならない。なお、点検とプロセスモ

モニタリングの両方が実施されなければ管理が不十分な場合、両方とも実施されなければならない（§ 63. 142(k)）。

- ・ (性能確認) 試験の管理：事業者は、安全性にとって重要な構造物、システム及び構成要素がその使用に際して満足のゆく性能を示すことを立証するために必要なあらゆる試験が、書面に示された試験手順（適用される設計文書に含まれる要件及び受け入れ限度が組み込まれたもの）に従って確実に特定及び実施されるようにする試験計画を設定する（§ 63. 142(1)）。
  - 試験計画に含めるべき内容
    - ✓ 設置前の保証試験（proof tests）
    - ✓ 操業前試験（preoperational tests）
    - ✓ 操業期間中の操業試験（operational tests）
  - 試験手順の要件：
    - ✓ 試験の前提条件が満足できること
    - ✓ 適切な試験器具類が利用可能でかつ実際に使用されること
    - ✓ 適切な環境条件の下での試験実施を確保するための諸規定を含めること
  - 試験計画の文書化
- ・ 試験の設備の管理：事業者は、品質に影響を与える活動において使用される工具、ゲージ類、装置類、その他の測定及び試験装置が、必要とされる限度内の精度を維持できるように、指定された間隔において適切に管理、校正及び調整されるようにするための措置を策定する（§ 63. 142(m)）。
- ・ 是正措置：事業者は、品質に悪影響を及ぼすような条件（故障、機能不全、欠陥、逸脱、欠陥を伴う材料や設備、不適合など）を速やかに特定及び是正されるようにする措置を策定する。重要な条件が品質に悪影響を及ぼすものである場合、これらの措置によって原因が特定され、その再発を防止するための是正措置が講じられるようにしなければならない。品質に悪影響を及ぼす重要な条件、これらの条件の発生原因、それに対応して講じられた措置の特定は、文書化された上で、組織幹部の適切なレベルに報告されなければならない（§ 63. 142(q)）。

#### (b) 事業者による取組み

事業者である米国 DOE による“Yucca Mountain Repository License Application (Safety Analysis Report (SAR)) (DOE, 2008)”の Chapter 5 (管理プログラム) の § 5.1 (品質保証) では、ユッカマウンテン処分場における品質関連活動に適用する品質保証プログラムの要件に関しては、The Office of Civilian Radioactive Waste Management (民間放射性廃棄物管理局：OCRWM) の Quality Assurance Requirements and Description (品質保証の要件と解説：QARD) に述べられている。

QARD (version20) のうち、モニタリングに関連する項目を表 2.2.1-53 にまとめた。

表 2.2.1-52 米国ユッカマウンテン地層処分場に係る品質保証プログラムの要件(部分)[25]

原文[25]	和訳
<p><b>Subpart G - Quality Assurance</b>  <b>§ 63.141 Scope.</b>                      As used in this part, quality assurance comprises all those planned and systematic actions necessary to provide adequate confidence that the geologic repository and its structures, systems, or components will perform satisfactorily in service. Quality assurance includes quality control, which comprises those quality assurance actions related to the physical characteristics of a material, structure, component, or system that provide a means to control the quality of the material, structure, component, or system to predetermined requirements.</p>	<p><b>サブパート G : 品質保証</b>  <b>§ 63.141 範囲</b>                      本パートで使用される「品質保証」という言葉の意味には、地層処分場及びその構造物、システムまたは構成要素が、実際の使用において満足のゆく性能を発揮する点について適切な確信を得るために必要なあらゆる計画的及び系統立った措置が含まれる。                      この品質保証には品質管理が含まれ、この品質管理は材料、構造物、構成要素またはシステムの物理的な特徴に関連する品質保証措置で、材料、構造物、構成要素またはシステムの品質があらかじめ規定された要件に適合したものとなるように管理する手段を実現する措置により構成される。</p>
<p><b>§ 63.142 Quality assurance criteria</b>                      (a) Introduction and Applicability.                      DOE is required by § 63.21(c) (20) to include in its safety analysis report a description of the quality assurance program to be applied to all structures, systems, and components important to safety, to design and characterization of barriers important to waste isolation, and to related activities. These activities include: site characterization; acquisition, control, and analyses of samples and data; tests and experiments; scientific studies; facility and equipment design and construction; facility operation; performance confirmation; permanent closure; and decontamination and dismantling of surface facilities. The description must indicate how the applicable quality assurance requirements will be satisfied. DOE shall include information pertaining to the managerial and administrative controls to be used to ensure safe operation in its safety analysis report. High-level waste repositories include structures, systems, and components that prevent or mitigate the consequences of postulated event sequences or that are important to waste isolation capabilities that could cause undue risk to the health and safety of the public. The pertinent requirements of this subpart apply to all activities that are important to waste isolation and important to safety</p>	<p><b>§ 63.142 品質保証基準</b>                      (a) 序及び適用可能性                      DOE は、§ 63.21(c) (20)によって、その安全解析報告書に、安全性にとって重要なすべての構造物、システム及び構成要素に対して、さらに廃棄物の隔離及び関連活動にとって重要なバリアの設計及び特徴に対して適用される品質保証計画の記述を含めることを要求されている。                      上述した活動の中には、「サイト特性調査」、「サンプル及びデータの取得、管理及び分析」、「試験及び実験」、「科学的な調査」、「施設及び設備の設計及び建設」、「施設の操業」、「性能確認」、「永久閉鎖」及び「地表施設の除染及び解体」などが含まれ、さらにこの記述では、適用される品質保証要件がどのように満たされるかについても示されていない。DOE はさらに、その安全解析報告書の中に、安全の操業を確保するために使用される運営及び事務面での管理情報を含めるものとする。                      高レベル放射性廃棄物処分場には、公衆衛生及び安全性に対して過度のリスクを引き起こす可能性のある想定事象シーケンスを防止したりその結果を緩和するための構造物、システム及び構成要素、あるいは廃棄物隔離能力にとって重要な構造物、システム及び構成要素が含まれる。                      本サブパートの関連する要件は、廃棄物の確認にとって重要であると共に、これらの構造物、システム及び構成要素の安全機能にとって重要なあら</p>

原文[25]	和訳
<p>functions of those structures, systems, and components.</p> <p>These activities include designing, purchasing, fabricating, handling, shipping, storing, cleaning, erecting, installing, inspecting, testing, operating, maintaining, repairing, modifying, site characterization, performance confirmation, permanent closure, decontamination, and dismantling of surface facilities.</p> <p>(b) Organization.</p> <p>DOE shall establish and execute a quality assurance program. DOE may delegate to others, such as contractors, agents, or consultants, the work of establishing and executing the quality assurance program, or any part of it, but DOE retains responsibility for it.</p> <p>(1) The authority and duties of persons and organizations performing activities affecting the functions of structures, systems, and components that are important to waste isolation and important to safety must be clearly established and delineated in writing. These activities include both the performing functions of attaining quality objectives and the quality assurance functions. The quality assurance functions are those of:</p> <p>(i) Assuring that an appropriate quality assurance program is established and effectively executed; and</p> <p>(ii) Verifying that activities important to waste isolation and important to safety functions have been correctly performed by checking, auditing, and inspection of structures, systems, and components.</p> <p>(2) (...)</p> <p>(3) (...)</p> <p>(c) Quality assurance program</p> <p>DOE shall establish a quality assurance program that complies with the requirements of this subpart at the earliest practicable time, consistent with the schedule for accomplishing the activities. This program must be documented by written policies, procedures, or instructions and must be carried out throughout facility life in accordance with those policies, procedures, or instructions.</p> <p>(1) DOE shall identify the structures, systems,</p>	<p>ゆる活動に適用される。</p> <p>これらの活動の中には、設計作業、購買、製造、取り扱い、輸送、貯蔵、洗浄、組み立て整備、設置、点検、試験、操作、保守、修理、改造、サイト特性調査、性能確認、永久閉鎖、除染、地表施設の解体などが含まれる。</p> <p>(b) 組織</p> <p>DOE は、品質保証計画を設定及び実施するものとする。DOE は、この品質保証計画を設定及び実施する作業を、さらにはその作業のいずれかの部分を請負業者、代理店またはコンサルタントなどの外部に委託することができるが、最終的な責任はDOEが負うものとする。</p> <p>(1) 廃棄物の確認にとって重要であると共に、安全性にとって重要な構造物、システム及び構成要素の機能に影響を与える活動を実行する個人及び組織の権限及び義務は、明確に設定され、書面上に正確に記述されなければならない。これらの活動の中には、品質目標を達成するための役割の実施と品質保証機能の両方が含まれる。品質保証機能とは、次に関するものである。</p> <p>(i) 適切な品質保証計画が設定され、効果的に実行されるようにすること。及び、</p> <p>(ii) 廃棄物隔離にとって重要であると共に、安全機能にとって重要な活動が正確に実施されていることを、構造物、システム及び構成要素の検査、監査及び点検を通じて確認する。</p> <p>(2) (略)</p> <p>(3) (略)</p> <p>(c) 品質保証計画</p> <p>DOE は、実施可能な限り早期に、また様々な活動を達成するためのスケジュールに従って、本サブパートの要件に従った品質保証計画を策定するものとする。この計画に関する方針、手続きまたは指示は、文書の形で作成しなければならない。またこの計画は、これらの方針、手続きまたは指示に従った形で、当該施設の寿命全体にわたって実施されなければならない。</p> <p>(1) DOE は、品質保証計画によってカバーされる</p>

原文[25]	和訳
<p>and components to be covered by the quality assurance program and the major organizations participating in the program, together with the designated functions of these organizations. The quality assurance program must control activities affecting the quality of the identified structures, systems, and components, to an extent consistent with their importance to safety.</p> <p>(2) Activities affecting quality must be accomplished under suitably controlled conditions. Controlled conditions include the use of appropriate equipment; suitable environmental conditions for accomplishing the activity, such as adequate cleanness; and assurance that all prerequisites for the given activity have been satisfied.</p> <p>(3) The program must take into account the need for special controls, processes, test equipment, tools, and skills to attain the required quality, and the need for verification of quality by inspection and test. The program must provide for indoctrination and training of personnel performing activities affecting quality as necessary to assure that suitable proficiency is achieved and maintained.</p> <p>(4) (...)</p> <p>(d) Design control</p> <p>(1) DOE shall establish measures to assure that applicable regulatory requirements and the design basis, as defined in § 63.2 and as specified in the license application, for those structures, systems, and components to which this subpart applies, are correctly translated into specifications, drawings, procedures, and instructions. These measures must assure that appropriate quality standards are specified and included in design documents and that deviations from such standards are controlled. Measures must also be established for the selection and review for suitability of application of materials, parts, equipment, and processes that are important to waste isolation and important to safety functions of the structures, systems and components.</p> <p>(2) (...)</p> <p>(i) The design control measures must provide for verifying or checking the adequacy of</p>	<p>構造物、システム及び構成要素を、またこの計画に参加する主要な組織を特定すると共に、これらの組織に与えられた役割を明確に示すものとする。この品質保証計画では、特定された構造物、システム及び構成要素の品質に影響を与える活動が、それぞれの安全面での重要性に見合った形で、管理されなければならない。</p> <p>(2) 品質に影響を与える活動は、適切に管理された条件の下で実施されなければならない。この管理された条件としては、設備の適切な使用、活動を達成するための適切な環境条件(適切なレベルの清浄さなど)、当該活動に関するすべての前提条件が満たされていることの保証などが挙げられる。</p> <p>(3) この計画では、要求される品質を実現するための特別な管理、プロセス、試験設備、工具及び技能の必要性、さらには点検及び試験によって品質を検証する必要性が考慮されなければならない。またこの計画の中で、品質に影響を与える活動を実施する要員を対象とし、適切な習熟度が達成及び維持されるようにする上で必要な導入計画や訓練計画が実施されなければならない。</p> <p>(4) (略)</p> <p>(d) 設計管理</p> <p>(1) DOE は、§ 63.2 で定義されたように、また許認可申請において指定されたように、本サブパートが適用される構造物、システム及び構成要素に関して適用される規制要件及び設計基準が、仕様、図面、手続き及び指示に正確に移し替えられるようにする措置を講じなければならない。これらの措置によって、適切な品質基準が指定され、設計文書に組み込まれると共に、これらの基準からの逸脱が管理されなければならない。さらには、廃棄物隔離にとって重要であると共に、構造物、システム及び構成要素の安全機能にとって重要な資材、部品、設備及びプロセスを選定し、その利用の適格性を審査するための措置も設定されなければならない。</p> <p>(2) (略)</p> <p>(i) 設計管理措置では、設計の適切性を検証または検査するための措置が設定されていなければ</p>

原文[25]	和訳
<p>design, such as by the performance of design reviews, by the use of alternate or simplified calculational methods, or by the performance of a suitable testing program. The verifying or checking process must be performed by individuals or groups other than those who performed the original design.</p> <p>These individuals may be from the same organization. If a test program is used to verify the adequacy of a specific design feature in lieu of other verifying or checking processes, it must include suitable qualifications testing of a prototype unit under the most adverse design conditions. Design control measures must be applied to items such as: criticality physics, stress, thermal, hydraulic, and preclosure and postclosure analyses; compatibility of materials; accessibility for inservice inspection, maintenance and repair; and delineation of acceptance criteria for inspections and tests.</p> <p>(ii) (...)</p> <p>(e) Procurement document control. DOE shall establish measures to assure that applicable regulatory requirements, design bases, and other requirements necessary to assure adequate quality are suitably included or referenced in the documents for procurement of material, equipment, and services, whether purchased by the licensee or applicant or by its contractors or subcontractors. To the extent necessary, procurement documents must require contractors or subcontractors to provide a quality assurance program consistent with the pertinent provisions of this section.</p> <p>(f) Instructions, procedures, and drawings. (...)</p> <p>(g) Document control. (...)</p> <p>(h) Control of purchased material, equipment, and services. DOE shall establish measures to assure that purchased material, equipment, and services, whether purchased directly or through contractors and subcontractors, conform to the procurement documents.</p>	<p>ばならない。その方法としては、設計審査の実施、代替計算あるいは単純化された計算方法の使用、適切な試験計画の実施などが挙げられる。こうした検証または検査プロセスは、もともとの設計を実施した個人またはグループに含まれない個人またはグループによって実施されなければならない。</p> <p>これらの個人は、同じ組織の人物であることもできる。具体的な設計特徴の適切性を検証するために、その他の検証または検査プロセスではなく試験計画が使用される場合には、この計画に最も不利な設計条件の下でのユニットの適切な品質認定試験が含まれていなければならない。こうした設計管理措置は、次に示す項目に適用されなければならない:「臨界物理学分析、応力分析、熱分析、水理学的な分析、そして閉鎖前及び閉鎖後分析」、「物質の相容性」、「使用中の点検、保守及び修繕のためのアクセス可能性」及び「検査及び試験のための受け入れ基準の概略的な説明」。</p> <p>(ii) (略)</p> <p>(e) 調達文書管理 DOE は、適用される規制要件、設計基礎 (design bases) 及び適切な品質を確保する上で必要なその他の要件が、それが許認可保持者あるいは申請者によって購入されるか、その請負業者または下請業者によって購入されるかにかかわらず、資材、設備及び役務の調達に関する文書に適切に組み込まれているか参照されているようにするための措置を設定するものとする。またこの調達文書では、必要な範囲において、請負業者または下請業者が本セクションの関連する諸規定に従った形で品質保証計画を実施することが要求されなければならない。</p> <p>(f) 指示、手続き及び図面 (略)</p> <p>(g) 文書管理 (略)</p> <p>(h) 購入された投資、設備及び役務の管理 DOE は、購入された物質、設備及び役務が、それが直接購入されたか請負業者または下請業者を通じて購入されたかにかかわらず、調達文書に適合したものとなるようにするための措置を講じるものとする。</p>

原文[25]	和訳
<p>(1) These measures must include appropriate provisions for source evaluation and selection, objective evidence of quality furnished by the contractor or subcontractor, inspection at the contractor or subcontractor source, and examination of products upon delivery.</p> <p>(2) Documentary evidence that material and equipment conform to the procurement requirements must be available at the high-level waste repository site before the material and equipment are installed or used. This documentary evidence must be retained at the high-level waste repository site and be sufficient to identify the specific requirements, such as codes, standards, or specifications, met by the purchased material and equipment.</p> <p>(3) The effectiveness of the control of quality by contractors and subcontractors must be assessed by the licensee or applicant or designee at intervals consistent with the importance, complexity, and quantity of the product or services.</p> <p>(i) Identification and control of materials, parts, and components. (...)</p> <p>(j) Control of special processes. (...)</p> <p>(k) Inspection. DOE shall establish and execute a program for inspection of activities affecting quality to verify conformance with the documented instructions, procedures, and drawings for accomplishing the activity. The inspection must be performed by individuals other than those who performed the activity being inspected.</p> <p>(1) Examinations, measurements, or tests of material or products processed must be performed for each work operation where necessary to assure quality. If inspection of processed material or products is impossible or disadvantageous, indirect control by monitoring processing methods, equipment, and personnel must be provided. Both inspection and process monitoring must be provided when control is inadequate without both.</p>	<p>(1) これらの措置には、供給業者の評価及び選定、請負業者または下請業者による供給物の品質に関する客観的な証拠、供給元である請負業者または下請業者における検査、引き渡し時の製品の検査に関する適切な規定が含まれていなければならない。</p> <p>(2) 物資及び設備が調達要件に適合していることを示す文書による証拠が、物資及び設備が設置あるいは使用される以前に、高レベル放射性廃棄物処分場サイトにおいて利用可能になっていなければならない。この文書による証拠は、高レベル放射性廃棄物処分場サイトに保管されなければならない、また購入された物資及び設備が満たしている具体的な要件（条例、基準または仕様など）を特定できるものでなければならない。</p> <p>(3) 請負業者及び下請業者による品質管理の有効性は、許認可保持者または申請者または指定された者によって、当該製品または役務の重要性、複雑さ及び量に適合した間隔をもって、評価されなければならない。</p> <p>(i) 資材、部品及び構成部品の特定 (略)</p> <p>(j) 特別プロセスの管理 (略)</p> <p>(k) 点検 DOE は、品質に影響を与える活動の点検に関する計画を、当該活動を実施するための文書に示された指示、手順及び図面の順守を確認する目的で、設定及び実施するものとする。この検査は、検査対象となる活動を実施する要員以外の個人によって実施されなければならない。</p> <p>(1) 処理された材料または製品の検査、測定または試験は、品質を確保するために必要な場合には、それぞれの作業工程ごとに実施されなければならない。処理された材料または製品の点検が不可能であるか、不都合を生じさせる場合には、処理方法、設備及び要員のモニタリングによる間接的な管理が実施されなければならない。またこの点検とプロセスモニタリングは、その両方が実施されなければ管理が十分でない場合には、両方とも実施されなければならない。</p>

原文[25]	和訳
<p>(2) If mandatory inspection hold points that require witnessing or inspecting by the applicant's designated representative and beyond which work may not proceed without the consent of its designated representative are required, the specific hold points must be indicated in appropriate documents.</p> <p>(1) Test control. DOE shall establish a test program to assure that all testing required to demonstrate that structures, systems, and components important to safety will perform satisfactorily in service is identified and performed in accordance with written test procedures which incorporate the requirements and acceptance limits contained in applicable design documents.</p> <p>(1) The test program must include, as appropriate, proof tests prior to installation, preoperational tests, and operational tests during repository operation, of structures, systems, and components.</p> <p>(2) Test procedures must include provisions for assuring that all prerequisites for the given test have been met, that adequate test instrumentation is available and used, and that the test is performed under suitable environmental conditions.</p> <p>(3) Test results must be documented and evaluated to assure that test requirements have been satisfied.</p> <p>(m) Control of measuring and test equipment. DOE shall establish measures to assure that tools, gages, instruments, and other measuring and testing devices used in activities affecting quality are properly controlled, calibrated, and adjusted at specified periods to maintain accuracy within necessary limits.</p> <p>(n) Handling, storage, and shipping. DOE shall establish measures to control the handling, storage, shipping, cleaning and preservation of material and equipment in accordance with work and inspection instructions to prevent damage or deterioration. When necessary for particular products, special protective environments, such as inert gas atmosphere, specific moisture</p>	<p>(2) こうした規定の点検によって、申請者の指定した代表者の立ち会い及び点検が要求されるような留保ポイントが指摘され、申請者の指定した代表者の合意がなければそれ以上の作業を進めることができない場合には、具体的な留保ポイントを適切な文書において示さなければならない。</p> <p>(1) 試験管理 DOE は、安全性にとって重要な構造物、システム及び構成要素がその使用に際して満足のゆく性能を示すことを立証するために必要なあらゆる試験が、書面に示された試験手順（適用される設計文書に含まれる要件及び受け入れ限度が組み込まれたもの）に従って確実に特定及び実施されるようにする試験計画を設定するものとする。</p> <p>(1) この試験計画には適宜、構造物、システム及び構成要素の設置前の保証試験、稼働前の試験及び処分場操業中の稼働試験が含まれていなければならない。</p> <p>(2) 試験手順には、所定の試験に関するあらゆる前提条件が満たされること、適切な試験器具類が利用可能であり、実際に使用されること、さらには試験が適切な環境条件の下で実施されることを確保する上で必要な諸規定が含まれていなければならない。</p> <p>(3) 試験計画に関しては、試験要件が確実に満たされるようにするための文書化及び評価を実施しなければならない。</p> <p>(m) 測定及び試験設備の管理 DOE は、品質に影響を与える活動において使用される工具、ゲージ類、装置類、その他の測定及び試験装置が、必要とされる限度内の精度を維持できるように、指定された間隔において適切に管理、校正及び調整されるようにするための措置を設定するものとする。</p> <p>(n) 取り扱い、貯蔵及び輸送 DOE は、損傷及び劣化を防止する目的で、作業指示及び点検指示に従った形で、資材及び設備の取り扱い、貯蔵、輸送、クリーニング及び保管を管理するための措置を設定するものとする。また特定の製品のために必要となった場合には、特別な防護環境（非活性ガスの雰囲気、特定の湿度レベル、温度レベルなど）が指定及び提供されなければならない。</p>

原文[25]	和訳
<p>content levels, and temperature levels, must be specified and provided.</p> <p>(o) Inspection, test, and operating status. DOE shall establish measures to indicate the status of inspections and tests performed on individual items of the high-level waste repository by markings such as stamps, tags, labels, routing cards, or other suitable means. These measures must provide for the identification of items that have satisfactorily passed required inspections and tests, where necessary to preclude inadvertent bypassing of such inspections and tests. Measures must also be established for indicating the operating status of structures, systems, and components of the high-level waste repository, such as by tagging valves and switches, to prevent inadvertent operation.</p> <p>(p) Nonconforming materials, parts, or components. DOE shall establish measures to control materials, parts, or components which do not conform to requirements in order to prevent their inadvertent use or installation. These measures must include, as appropriate, procedures for identification, documentation, segregation, disposition, and notification to affected organizations. Nonconforming items must be reviewed and accepted, rejected, repaired or reworked in accordance with documented procedures.</p> <p>(q) Corrective action. DOE shall establish measures to assure that conditions adverse to quality, such as failures, malfunctions, deficiencies, deviations, defective material and equipment, and nonconformances are promptly identified and corrected. If significant conditions are adverse to quality, the measures must assure that the cause of the condition is determined and corrective action taken to preclude repetition. The identification of the significant condition adverse to quality, the cause of the condition, and the corrective action taken must be documented and reported to appropriate levels of management.</p> <p>(r) Quality assurance records. DOE shall maintain sufficient records to</p>	<p>(o) 点検、試験及び稼働状態 DOE は、高レベル放射性廃棄物処分場の個別の品目に関して実施された点検及び試験の状態を、スタンプ、タグ、ラベル、工程カードなどの標識類またはその他の適切な手段によって示すための措置を設定するものとする。これらの措置では、必要に応じてこの種の検査及び試験が不注意に迂回されてしまう事態が起こらないようにするため、必要とされる点検及び試験に合格した品目がそれと特定される手段が含まれていなければならない。さらに、誤操作を防止するために、バルブやスイッチ類へのタグの取り付けなどによって、高レベル放射性廃棄物処分場の構造物、システム及び構成要素の稼働状態を示すための措置が講じられなければならない。</p> <p>(p) 不適合の資材、部品または構成部品 DOE は、不注意による利用または設置を防止するために、要件に適合しなかった資材、部品または構成部品の管理を行うための措置を設定するものとする。これらの措置の中にはそれぞれ適宜に、特定、文書化、隔離、処理、そして影響を受ける組織への通知などの手順が含まれていなければならない。不適合とされた品目は、文書化された手順に従って再検査された上で受け入れられるか、廃棄されるか、修繕されるか、作り直されなければならない。</p> <p>(q) 是正措置 DOE は、品質に悪影響を及ぼすような条件（故障、機能不全、欠陥、逸脱、欠陥を伴う材料や設備、不適合など）が速やかに特定及び是正されるようにする措置を設定するものとする。重要な条件が品質に悪影響を及ぼすものである場合、これらの措置によって当該条件の原因が明らかにされ、その再発を防止するための是正措置が講じられるようにしなければならない。品質に悪影響を及ぼす重要な条件、これらの条件の発生原因、それに対応して講じられた措置の特定は、文書化された上で、組織幹部の適切なレベルに報告されなければならない。</p> <p>(r) 品質保証記録 DOE は、品質に影響を与える活動に関する証拠</p>

原文[25]	和訳
<p>furnish evidence of activities affecting quality.</p> <p>(1) The records must include at least the following: Operating logs and the results of reviews, inspections, tests, audits, monitoring of work performance, and materials analyses.</p> <p>(2) The records must also include closely-related data such as qualifications of personnel, procedures, and equipment.</p> <p>(3) Inspection and test records must, at a minimum, identify the inspector or data recorder, the type of observation, the results, the acceptability, and the action taken in connection with any deficiencies noted.</p> <p>(4) Records must be identifiable and retrievable. Consistent with applicable regulatory requirements, the applicant shall establish requirements concerning record retention, such as duration, location, and assigned responsibility.</p> <p>(s) Audits. (...)</p>	<p>を提示する上で十分な記録を保持するものとする。</p> <p>(1) これらの記録には、少なくとも次のものが含まれていなければならない：稼働記録、審査結果、点検結果、試験結果、監査結果、作業実績のモニタリング結果及び物質解析の結果。</p> <p>(2) これらの記録には、密接な関連を持つデータ（作業員の資格、手順及び設備など）も含まれていなければならない。</p> <p>(3) 点検及び試験記録は、最低限でも、点検者またはデータ記録者、所見の種類、結果、受け入れ可能性、注記された何らかの欠陥との関連において講じられた措置を特定するものでなければならない。</p> <p>(4) 記録は特定及び検索可能なものでなければならない。申請者は、適用される規制要件に従い、記録の保持に関する様々な要件（保持期間、場所、責任管轄）を設定するものとする。</p> <p>(s) 監査 (略)</p>
<p><b>§ 63.143 Implementation.</b> DOE shall implement a quality assurance program based on the criteria required by § 63.142.</p>	<p><b>§ 63.143 実施</b> DOE は、§ 63.142 によって要求された基準に基づく品質保証計画を実施するものとする。</p>
<p><b>§ 63.144 Quality assurance program change.</b> (...)</p>	<p><b>§ 63.144 品質保証計画の変更</b> (略)</p>

表 2.2.1-53 品質関連活動に適用する品質保証プログラムの要件(QARD:version20)のうちモニタリングに関連する項目

QARD セクション		内容
10.0 INSPECTION		
10.1 GENERAL		This section establishes requirements for developing an effective inspection program. Inspections required to verify conformance of items and activities to specified requirements shall be planned and executed.
10.2 REQUIREMENTS	10.2.1 Inspection Planning	<p>A. Inspection planning shall be performed and documented. Inspection plans may be separate documents governed by procedural controls, or an integral part of approved implementing documents.</p> <p>B. Representatives of the interested technical organizations and individuals that are trained and qualified in QA practices and concepts shall participate in planning activities.</p> <p>C. Applicable codes, standards, specifications, and design documents shall be used to develop inspection plans.</p> <p>D. The elements of inspection plans identify:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Characteristics to be inspected.</li> <li>2. Description of inspection or process monitoring that will be used.</li> <li>3. Identification of the organization responsible for performing the inspection.</li> <li>4. Identification of mandatory hold points, when required.</li> <li>5. Acceptance criteria.</li> <li>6. Measuring and test equipment to be used to perform the inspection to ensure the equipment is of the proper type, range, accuracy, and tolerance to accomplish the intended function.</li> <li>7. If applicable, identification of a sampling plan in accordance with Subsection 10.2.4.</li> <li>8. Methods to record inspection results.</li> </ol>
	10.2.2 Selecting Inspection Personnel to Perform Inspections	(略)
	10.2.3 Inspection Hold Points	<p>A. When mandatory hold points are used to control work that shall not proceed without the specific consent of the organization placing the hold point, then the specific hold points shall be indicated in implementing documents.</p> <p>B. Consent to waive specified hold points shall be documented before continuing work beyond the designated hold point.</p>
	10.2.4 Statistical Sampling	When statistical sampling is used to verify the acceptability of a group of items, the statistical sampling method shall be based on recognized standard practices and shall comply with the sampling plan requirements delineated in Section 3.2.8.
	10.2.5 In-Process Inspections and Monitoring	A. Items in-process or under construction shall be inspected when necessary to verify quality. If inspection of processed items is impossible or disadvantageous, indirect control

QARD セクション	内容
	<p>by monitoring of processing methods, equipment, and personnel shall be provided.</p> <p>B. Inspection and process monitoring both shall be conducted when control is inadequate with only one method.</p> <p>C. A combination of inspection and process monitoring methods, when used, shall be performed in a systematic manner to ensure that the specified requirements for control of the process and the quality of the item are met throughout the duration of the process.</p> <p>D. Controls shall be established and documented for the coordination and sequencing of the work at established inspection points during successive stages of the process or construction.</p>
10.2.6 Final Inspection	<p>A. Final inspection shall be planned to arrive at a conclusion regarding conformance of the item to specified requirements.</p> <p>B. Finished items shall be inspected for completeness, markings, calibration, adjustments, protection from damage, or other characteristics, as required to verify the quality and conformance of the item to specified requirements.</p> <p>C. Quality records not previously examined shall be examined for adequacy and completeness.</p> <p>D. Final inspections shall include a review of the results and resolution of nonconformances identified by earlier inspections. E. Modifications, repairs, or replacements of items performed subsequent to final inspection shall require reinspection or retest, as appropriate, to verify acceptability.</p>
10.2.7 Accepting Items	<p>A. The acceptance of inspection results shall be documented and approved by qualified and authorized personnel.</p> <p>B. The inspection status of an item shall be identified according to Section 14.0.</p>
10.2.8 Inspection Documentation	(略)
10.2.9 Qualification and Certification of Inspection Personnel	(略)
10.2.10 Commitment Document Positions	(略)
<b>11.0 TEST CONTROL</b>	
11.1 GENERAL	<p>A. This section establishes requirements for planning and executing tests required to demonstrate that items will perform satisfactorily in service.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tests shall be performed in accordance with implementing documents that incorporate requirements and acceptance criteria contained in applicable design documents.</li> <li>2. Examples of such tests include prototype qualification tests, component or feature qualification tests, production tests, proof tests prior to installation, construction tests,</li> </ol>

QARD セクション	内容
	<p>and preoperational tests (i.e., the test program before the start of preclosure operations).</p> <p>B. Testing of computer software supporting a safety or waste isolation function shall be performed in accordance with Supplement I.</p> <p>C. Tests supporting the acquisition of data from samples for scientific investigation, and scientific investigation shall be performed in accordance with Supplement III.</p>
11.2 REQUIREMENTS	<p>11.2.1 Test Planning</p> <p>Test planning shall require that test implementing documents provide for the following:</p> <p>A. Identification of the implementing documents to be developed to control and perform tests and provide criteria for (i) determining the accuracy requirements of test equipment and (ii) determining when tests are required and defining how and when testing activities are performed.</p> <p>B. Provisions for performing prototype, component, or feature qualification testing, including design verification testing, as early as possible before the installation would become irreversible.</p> <p>C. Identification of the item to be tested and the test requirements and acceptance limits contained in applicable design and procurement documents.</p> <p>D. Identification of test methods to be employed and instructions for performing the test.</p> <p>E. Test prerequisites that address the following: calibrated instrumentation; appropriate and adequate test equipment and instrumentation, including accuracy requirements, trained personnel, condition of test equipment, and the completeness of the item to be tested; suitably controlled environmental conditions; and provisions for data acquisition and storage.</p> <p>F. Mandatory inspection hold points for witnessing by the organization placing the hold point.</p> <p>G. Methods to record data and results.</p> <p>H. Provisions for ensuring that test prerequisites have been met.</p> <p>I. Selection and identification of the measuring and test equipment (M&amp;TE) to be used to perform the test to ensure that the M&amp;TE is of the proper type, range, accuracy, and tolerance to accomplish the intended function.</p>
	<p>11.2.2 Performing Tests</p> <p>Tests shall be performed in accordance with implementing documents that address the following requirements, as applicable:</p> <p>A. Provisions for determining when a test is required, describing how tests are performed, and ensuring that testing is conducted by trained and appropriately qualified personnel.</p> <p>B. Inclusion of or reference to test objectives and provisions for ensuring that prerequisites for the given test have been met, adequate calibrated instrumentation is available and used, necessary monitoring is performed, and suitable environmental conditions are maintained.</p>

QARD セクション		内容
		C. Test requirements and acceptance criteria provided or approved by the organization responsible for the design of the item to be tested, unless otherwise designated. D. Test requirements and acceptance criteria based upon specified requirements contained in applicable design or other pertinent technical documents.
	11.2.3 Use of Other Testing Documents	(略)
	11.2.4 Test Results	A. Test results shall be documented, and their conformance with acceptance criteria shall be evaluated, by a qualified individual within the responsible organization to ensure that test requirements have been satisfied. B. The test status of an item shall be identified in accordance with Section 14.0.
	11.2.5 Test Documentation	(略)
	11.2.6 Qualification and Certification of Test Personnel	(略)
	11.2.7 Commitment Document Positions	(略)
<b>12.0 CONTROL OF MEASURING AND TEST EQUIPMENT</b>		
<b>12.1 GENERAL</b>		This section prescribes requirements applicable to the establishment of measures that ensure tools, gages, instruments, and other measuring and testing devices used in activities affecting quality are properly controlled, calibrated, and adjusted at specified periods to maintain accuracy within necessary limits.
<b>12.2 REQUIREMENTS</b>	<b>12.2.1 Calibration</b>	A. M&TE, including equipment that contains embedded software or programmable hardware, shall be calibrated, adjusted, and maintained as a unit at prescribed intervals, or prior to use, against certified equipment, including reference and transfer standards having known valid relationship to nationally recognized standards. If no nationally recognized standards or physical constants exist, the basis for calibration shall be documented. Embedded software developed or modified by the user shall be controlled in accordance with Supplement I. Data acquisition and control applications, integral to the operations, maintenance, or calibration of scientific investigation testing apparatus, shall be verified or validated, and documented, in conjunction with the controlling test plan(s) and in conjunction with the M&TE or test hardware as an operating unit. B. Calibration standards shall have a greater accuracy than the required accuracy of standards being calibrated. 1. If calibration standards with a greater accuracy than required of the standard being calibrated do not exist or are unavailable, calibration standards with accuracy equal to the required calibration accuracy may be used if they can be shown to be adequate for the requirements.

QARD セクション	内容	内容
		<p>2. The basis for the calibration acceptance shall be documented and authorized by responsible management. The level of management authorized to perform this function shall be identified.</p> <p>C. Calibration standards used for the calibration of M&amp;TE shall have an accuracy of at least four times the required accuracy of the equipment being calibrated or, when this is not possible, shall have an accuracy that ensures the equipment being calibrated will be within required tolerance. The basis of acceptance shall be approved by responsible management. The level of management authorized to perform this function shall be identified.</p> <p>D. The method and interval of calibration for each device shall be defined based on the type of equipment, stability characteristics, required accuracy, precision, intended use, degree of use, and other conditions affecting measurement control. For M&amp;TE used in one-time-only applications, the calibration shall be done both before and after use.</p> <p>E. A calibration or calibration check shall be performed:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. When the accuracy of the M&amp;TE is suspect.</li> <li>2. When M&amp;TE has passed its calibration due date or interval and has been used since its last calibration and is removed from service (i.e., retired or surplus).</li> </ol> <p>F. Calibrated M&amp;TE shall be labeled, tagged, or otherwise suitably marked or documented to indicate the due date of the next calibration.</p> <p>G. Calibrated M&amp;TE shall be uniquely identified to provide traceability to its calibration data.</p> <p>H. Updates to software contained in M&amp;TE that affect calibration shall require recalibration of the equipment prior to use.</p>
12.2.2 Documenting the Use of Measuring and Test Equipment		(略)
12.2.3 Out-of-Calibration Measuring and Test Equipment		(略)
12.2.4 Lost or Abandoned-in-Place Measuring and Test Equipment		(略)
12.2.5 Handling, Storage, and Use		<p>A. M&amp;TE shall be properly handled and stored to maintain accuracy.</p> <p>B. Selection of M&amp;TE shall be controlled to ensure that such items are the proper type for the intended use.</p>
12.2.6 Commercial Devices		Calibration and control shall not be required for commercial devices when normal commercial device accuracy is adequate for the intended use of the commercial device.
12.2.7 Measuring and Test Equipment Documentation		(略)

QARD セクション		内容
	12.2.8 Commitment Document Positions	(略)
13.0 HANDLING, STORAGE, AND SHIPPING		
13.1 GENERAL		This section establishes requirements for the handling, storage, cleaning, packaging, shipping, and preservation of items and consumables, in accordance with design and procurement requirements, to prevent damage or loss and to minimize deterioration.
13.2 REQUIREMENTS	13.2.1 Controls	A. Handling, storage, cleaning, packaging, shipping, and preservation of items shall be conducted in accordance with established work and inspection implementing documents, shipping instructions, or other specified documents. B. If required for critical, sensitive, perishable, or high-value articles, specific implementing documents for handling, storage, cleaning, packaging, shipping, and preservation shall be prepared and used.
	13.2.2 Special Equipment, Tools, and Environments	A. If required for particular items, special equipment (e.g., containers, shock absorbers, and accelerometers) and special protective environments (i.e., inert gas atmosphere and specific moisture content levels and temperature levels) shall be specified and provided. B. If special equipment and environments are used, provisions shall be made for their verification. C. Special handling tools and equipment shall be used and controlled, as necessary, to ensure safe and adequate handling. D. Special handling tools and equipment shall be inspected and tested at specified time intervals and in accordance with implementing documents to verify that the tools and equipment are adequately maintained. E. Operators of special handling and lifting equipment shall be experienced or trained to use the equipment.
	13.2.3 Marking and Labeling	A. Measures shall be established for marking and labeling for the packaging, shipping, handling, and storage of items as necessary to adequately identify, maintain, and preserve the item. B. Markings and labels shall indicate the presence of special environments or the need for special controls if necessary.
	13.2.4 Commitment Document Positions	(略)
14.0 INSPECTION, TEST AND OPERATING STATUS		
14.1 GENERAL		This section establishes requirements to identify the inspection, test, and operating status of items throughout fabrication, construction, installation, and testing.
14.2 REQUIREMENTS	14.2.1 Identifying Items	A. Items that have satisfactorily passed required inspections and tests shall be identified. B. The identification methods shall preclude the inadvertent installation, use, or operation

QARD セクション		内容
	14.2.2 Indicating Status	<p>of items that have not passed required inspections and tests.</p> <p>A. The status of required inspection and tests of items shall be indicated when necessary to preclude inadvertent bypassing of such inspections and tests.</p> <p>B. The status of inspections and tests shall be identified either on the items or in documents traceable to the items.</p> <p>C. Status shall be maintained through the use of legible and easily recognizable status indicators (e.g., tags, markings, labels, and stamps) or other means (e.g., travelers, inspection, or test records).</p> <p>D. The authority for applying and removing status indicators shall be specified.</p> <p>E. To prevent the inadvertent use or operation of an item that is out of service (e.g., a nonconforming, inoperative, or malfunctioning item), status indicators such as tags or markings shall be placed at all locations where operation of the item can be initiated (e.g., control panels, switches, breakers, valves, or systems).</p>
	14.2.3 Commitment Document Positions	(略)

c. 性能確認／モニタリング

(a) 規制要件

昨年度の調査結果[1]を踏まえ、10 CFR Part 63（ネバダ州ユッカマウンテン地層処分場での高レベル放射性廃棄物の処分、及び修正規則）[25]の性能確認プログラムの実施を規定する条項を示す（表 2.2.1-54）。

性能確認プログラムについては、技術基準（Technical Criteria）に係るサブパート E（§ 63.102 Concepts）の「(m) Performance confirmation」において次のように規定されている。

- 目的：
  - 処分場の建設及びその後に行われる廃棄物の定置を可能にした調査結果につながる仮定、データ及び分析の適切性を評価するため
  - 永久閉鎖後の地層処分場の性能目標について許認可申請において仮定された条件に重要な変化が起こった場合に、それらを特定するため
- 方法：主要な地質工学及び設計パラメータ（天然及び人工システム及び構成要素の間の何らかの相互作用を含む）のモニタリング
- 期間：サイト特性調査、建設、定置及び操業段階（§ 63.131 General requirements (b)では、「サイト特性調査中に開始し、永久閉鎖まで継続」と規定）

また、性能確認プログラム（Performance Confirmation Program）自体についての規定（表 2.2.1-55）は、サブパート F（§ 63.131～§ 63.134）にあり、表 2.2.1-55 に示す内容が含まれており、人工バリアの性能確認はもとより、処分環境についても許認可申請時の想定範囲内であるかの確認も要求されている。また、性能確認プログラムに含めるべき内容として、下記があげられている。

- ① 地質工学及び設計パラメータの確認（§ 63.132）
- ② 設計試験（§ 63.133）
- ③ 廃棄物パッケージのモニタリング及び試験（§ 63.134）

表 2.2.1-54 米国ユッカマウンテン地層処分場に係る性能確認プログラムの要件[25]

原文[25]	和訳
<p><b>Subpart E: Technical Criteria,</b>  <b>§ 63.102 Concepts</b>                      (m) Performance confirmation.                      A performance confirmation program will be conducted to evaluate the adequacy of assumptions, data, and analyses that led to the findings that permitted construction of the repository and subsequent emplacement of the wastes.                      Key geotechnical and design parameters, including any interactions between natural and engineered systems and components, will be monitored throughout site characterization, construction, emplacement, and operation to identify any significant changes in the conditions assumed in the license application that may affect compliance with the performance objectives specified at § 63.113(b) and (c).</p>	<p><b>サブパート E: 技術基準、</b>  <b>§ 63.102 概念</b>                      (m) 性能確認                      性能確認プログラムは、処分場の建設及びその後に行われる廃棄物の定置を可能にした調査結果につながる仮定、データ及び分析の適切性を評価するために実施される。                       主要な地質工学及び設計面でのパラメータ（天然及び人工システム及び構成要素の間の何らかの相互作用を含む）のモニタリングが、サイト特性調査、建設、定置及び操業段階の全体を通じ、§ 63.113(b)及び(c)で指定された性能目標の順守に影響を及ぼす可能性のある許認可申請において仮定された条件に重要な変化が起こった場合に、それらを特定するために実施される。</p>
<p><b>Subpart F: Performance Confirmation Program,</b>  <b>§ 63.131 General requirements</b>                      (a) The performance confirmation program must provide data that indicate, where practicable, whether:                      (1) Actual subsurface conditions encountered and changes in those conditions during construction and waste emplacement operations are within the limits assumed in the licensing review; and                      (2) Natural and engineered systems and components required for repository operation, and that are designed or assumed to operate as barriers after permanent closure, are functioning as intended and anticipated.                      (b) The program must have been started during site characterization, and it will continue until permanent closure.                      (c) The program must include in situ monitoring, laboratory and field testing, and in situ experiments, as may be appropriate to provide the data required by paragraph (a) of this section.                      (d) The program must be implemented so that:                      (1) It does not adversely affect the ability of the geologic and engineered elements of the geologic repository to meet the performance objectives.                      (2) It provides baseline information and analysis of that information on those</p>	<p><b>サブパート F: 性能確認プログラム、</b>  <b>§ 63.131 一般的な要件</b>                      (a) 性能確認プログラムは、実行可能な限りにおいて、次の点に関するデータをもたらしものでなければならない。                      (1) 建設及び廃棄物定置作業中に実際に遭遇した地表面下の条件やこれらの条件の変化が、許認可審査で想定された限度内に収まっているかどうか。及び、                      (2) 処分場の操業にとって必要であり、永久閉鎖後にもバリアとして機能することが設計に組み込まれているか、想定されている自然体系及び人工システムが、意図及び予測された機能を果たしているかどうか。                      (b) 性能確認プログラムは、サイト特性調査中に開始され、永久閉鎖まで継続されなければならない。                      (c) 性能確認プログラムには、本セクションのパラグラフ(a)で要求されているデータを入手する上で適切と考えられる原位置モニタリング、室内試験及び現場試験、原位置実験が含まなければならない。                      (d) 性能確認プログラムは、次のような形で実施されなければならない。                      (1) このプログラムによって、地層処分場の地質及び人工の要素がそれぞれの性能目標を満たす能力に悪影響が生じることはない。                      (2) このプログラムによって、サイト特性調査、建設及び操業活動によって変化した可能性</p>

原文[25]	和訳
<p>parameters and natural processes pertaining to the geologic setting that may be changed by site characterization, construction, and operational activities.</p> <p>(3) It monitors and analyzes changes from the baseline condition of parameters that could affect the performance of a geologic repository.</p>	<p>のある地質環境に関するパラメータ及び自然プロセスに関する基礎情報と、それらの基礎情報に関する分析がもたらされる。</p> <p>(3) このプログラムによって、地層処分場の性能に影響を与え得るパラメータの基礎条件の変化を対象としたモニタリング及び分析が行われる。</p>
<p><b>§ 63.132 Confirmation of geotechnical and design parameters.</b></p> <p>(a) During repository construction and operation, a continuing program of surveillance, measurement, testing, and geologic mapping must be conducted to ensure that geotechnical and design parameters are confirmed and to ensure that appropriate action is taken to inform the Commission of design changes needed to accommodate actual field conditions encountered.</p> <p>(b) Subsurface conditions must be monitored and evaluated against design assumptions.</p> <p>(c) Specific geotechnical and design parameters to be measured or observed, including any interactions between natural and engineered systems and components, must be identified in the performance confirmation plan.</p> <p>(d) These measurements and observations must be compared with the original design bases and assumptions. If significant differences exist between the measurements and observations and the original design bases and assumptions, the need for modifications to the design or in construction methods must be determined and these differences, their significance to repository performance, and the recommended changes reported to the Commission.</p> <p>(e) In situ monitoring of the thermomechanical response of the underground facility must be conducted until permanent closure, to ensure that the performance of the geologic and engineering features is within design limits.</p>	<p><b>§ 63.132 地質工学的なパラメータと設計パラメータの確認</b></p> <p>(a) 処分場の建設及び操業期間中、サーベイランス、測定、試験及び地質図作成のための連続的な計画が実施されなければならない。この計画の目的は、地質工学的パラメータと設計パラメータの確認を保証すると共に、現場で実際に遭遇した条件に対応する上で必要な設計上の変更に関する情報をNRCに提供するために適切な措置がとられることを保証することにある。</p> <p>(b) 地表面下の条件は、設計で用いられた前提に照らしてサーベイランス及び評価されなければならない。</p> <p>(c) 測定及び観察を行うべき具体的な地質工学及び設計面でのパラメータが、自然体系及び人工システム及び構成要素の間の何らかの相互作用を含めて、性能確認プログラムにおいて特定されなければならない。</p> <p>(d) これらの測定及び観察は、当初の設計の基盤及び前提と比較されなければならない。測定及び観察された結果と、当初の設計の基盤及び前提の間に重要な相違が存在する場合、設計及び建設方法の修正の必要性が明らかにされなければならない。これらの相違点、それらの地層処分場にとっての重要性、さらには勧告される変更が、NRCに報告されるものとする。</p> <p>(e) 地下施設の熱力学的な応答に関する原位置モニタリングは、地質学的な特徴及び人工特徴の性能が設計限度内であることを保証するために、永久閉鎖まで実行されなければならない。</p>
<p><b>§ 63.133 Design testing.</b></p> <p>(a) During the early or developmental stages of construction, a program for testing of engineered systems and components used in the design, such as, for example, borehole and shaft seals, backfill, and drip shields, as well as the thermal interaction effects of the waste packages, backfill, drip shields, rock, and unsaturated zone and saturated zone</p>	<p><b>§ 63.133 設計試験</b></p> <p>(a) 建設の初期及び開発段階では、設計において使用される人工システム及び構成要素（例として、ボーリング孔及び立坑の密閉材、埋戻材、ドリップシールドなどが挙げられる）に加えて、廃棄物パッケージ、埋戻材、ドリップシールド、岩石及び不飽和帯及び飽和帯の水の間の熱相互作用に関する試験を行う計画が実施されなければならない。</p>

原文[25]	和訳
<p>water, must be conducted.</p> <p>(b) The testing must be initiated as early as practicable.</p> <p>(c) If backfill is included in the repository design, a test must be conducted to evaluate the effectiveness of backfill placement and compaction procedures against design requirements before permanent backfill placement is begun.</p> <p>(d) Tests must be conducted to evaluate the effectiveness of borehole, shaft, and ramp seals before full-scale operation proceeds to seal boreholes, shafts, and ramps.</p>	<p>ない。</p> <p>(b) この試験は、実行可能な限り早期に開始されなければならない。</p> <p>(c) 処分場設計に埋め戻しが組み込まれている場合、永久的な埋戻材の設置が開始される以前に、埋戻材の設置及び圧密手段の効果を設計要件に照らして評価するための試験が実施されなければならない。</p> <p>(d) ボーリング孔、立坑及び斜坑を密閉するための本格的な作業が開始される以前に、ボーリング孔、立坑及び斜坑の密閉材の効果を評価するための試験が実施されなければならない。</p>
<p><b>§ 63.134 Monitoring and testing waste packages.</b></p> <p>(a) A program must be established at the geologic repository operations area for monitoring the condition of the waste packages. Waste packages chosen for the program must be representative of those to be emplaced in the underground facility.</p> <p>(b) Consistent with safe operation at the geologic repository operations area, the environment of the waste packages selected for the waste package monitoring program must be representative of the environment in which the wastes are to be emplaced.</p> <p>(c) The waste package monitoring program must include laboratory experiments that focus on the internal condition of the waste packages. To the extent practical, the environment experienced by the emplaced waste packages within the underground facility during the waste package monitoring program must be duplicated in the laboratory experiments.</p> <p>(d) The waste package monitoring program must continue as long as practical up to the time of permanent closure.</p>	<p><b>§ 63.134 廃棄物パッケージのモニタリング及び試験</b></p> <p>(a) 地層処分場操業エリアにおいて、廃棄物パッケージの条件をモニタリングするための計画が設定されなければならない。この計画のために選択される廃棄物パッケージは、地下施設に定置されるパッケージを代表するものでなければならない。</p> <p>(b) 廃棄物パッケージモニタリング計画のために選択された廃棄物パッケージの環境は、地層処分場操業エリアにおける安全な操業と両立する範囲内で、本格操業において廃棄物が定置される環境を代表するものでなければならない。</p> <p>(c) 廃棄物パッケージモニタリング計画には、廃棄物パッケージの内部状況に焦点を絞った室内実験が含まれなければならない。またこの室内実験では、実行可能な限り、廃棄物パッケージモニタリング計画中に地下施設に定置された廃棄物パッケージが実際に経験する環境が作り出されなければならない。</p> <p>(d) この廃棄物パッケージモニタリング計画は、永久閉鎖が行われる時点まで、実行可能な限りの長期にわたって継続されなければならない。</p>

表 2.2.1-55 米国ユッカマウンテン地層処分場に係る性能確認プログラム内容の規定

サブパート F 性能確認プログラム		規定の内容	
		大分類	小分類
§ 63.131 一般要件	(a)項	確認事項 (可能な限り)	① 建設及び操業中の地下環境及び環境の変化が、許認可申請時の想定範囲内であるか ② 操業中及び閉鎖後のバリア機能として設計された天然及び人工バリアシステム及びその構成要素が、意図・予測したとおりに機能しているか
	(b)項	期間	サイト特性調査中に開始され、永久閉鎖まで継続
	(c)項	方法	(a)項に規定されるデータ取得に適切と考えられる方法で次のもの ・ 原位置モニタリング (in situ monitoring) ・ 室内及びフィールド試験 (laboratory and field testing) ・ 原位置実験 (in situ experiments)
	(d)項	実施	① 処分場構成要素の性能低下への悪影響を及ぼしてはならない ② サイト調査から閉鎖までの活動による変化可能性を有するサイト環境パラメータの取得、バックグラウンド情報の取得及び分析の実施 ③ 地層処分場の性能に影響を及ぼすパラメータのモニタリング及び分析
§ 63.132 地質工学及び設計パラメータの確認	(a)項	目的	・ 地質工学及び設計パラメータの確認 ・ 設計上の変更の際に適切な措置が採用されたことを NRC に提供するため
		期間	・ 処分場の建設及び操業期間中
		活動	次のものを連続的に含むプログラムを要求 ・ サーベイランス、測定、試験、地質図作成
	(b)項	地下環境条件	・ 設計時の前提条件を踏まえて実施
	(c)項	パラメータの特定	・ 測定及び観察を行うべきパラメータの特定は、他の構成要素の間との相互作用を含めて行う
	(d)項	結果の取扱い	・ 測定及び観察結果は、当初の設計基礎及び前提との比較されなければならない。 ・ この結果、重要な相違が存在する場合には下記の活動を要求 ・ 設計及び建設方法の修正の必要性 ・ 修正による地層処分場にとっての重要性 ・ 修正内容 (現時点との相違) ・ NRC への報告
(e)項	特定のモニタリング要求	● 地下施設の熱力学的な応答に関する原位置モニタリング ・ 目的：地質学的及び工学的な性能が設計限度内であることを保証するため ・ 終了時期：永久閉鎖まで実施	
§ 63.133 設計試験	(a)項	活動	・ 時期：建設初期～建設段階 ・ 試験内容：次の内容を要求 ・ 工学システム及び構成要素 (例えば、ボーリング孔や立坑のシール材、埋戻材 (backfill)、ドリップシールドなど) に関する試験プログラム ・ 工学システム間や周辺岩盤との熱的相互作用に関する試験プログラム
	(b)項	開始時期	・ 設計試験は、可能な限り早期に開始
	(c)項	埋戻材に関する試験要求	・ 目的：埋戻材の設置及び圧密手段の効果に関する設計要件の確認 (但し、処分場設計に埋戻材が含まれる場合に限定) ・ 時期：埋戻材の設置が開始される以前
	(d)項	シール材に関する試験要求	・ 目的：ボーリング孔、立坑及び斜坑のシール材効果の評価 ・ 時期：ボーリング孔、立坑及び斜坑のシール作業が開始以前
§ 63.134 廃棄物パッケージのモニタリング及び試験 <sup>1</sup>	(a)項	モニタリング要件	廃棄物パッケージモニタリングは、次の内容を含むプログラムを要求 ・ モニタリング場所：地層処分場操業エリア ・ モニタリング対象：廃棄物パッケージの諸条件 ・ 計測の代表性：地下施設に定置されるパッケージを代表するものでなければならない。
	(b)項	モニタリング環境に関する要件	・ 地層処分場操業エリアでの安全操業と両立する範囲での実施 ・ 通常操業において廃棄物が定置される環境を代表するものでなければならない
	(c)項	室内試験の要件	・ 廃棄物パッケージの内部状況に焦点を絞った室内実験を含めること ・ 可能な限り、廃棄物パッケージの定置環境を模擬すること。
	(d)項	モニタリング期間	・ 永久閉鎖が行われる時点までの可能な限り長期に亘る継続性を要求

注<sup>1</sup> 我が国の処分概念と異なり、廃棄物パッケージ周りの緩衝材の施工がないため、計測器の設置などを含む原位置試験が可能な環境であることに留意が必要である。

(b) 事業者による取組み

前項の規制要件を踏まえた、事業者（DOE）や研究機関（SNL や EPRI）の性能確認プログラムに関する取組みとして、調査対象の年段順に主として下記を調査・整理した。

- ▶ 性能確認プログラムに関する考え方
- ▶ 性能確認プログラムの項目
- ▶ 性能確認プログラムの内容（特にバリアモニタリングに関する具体的方法）

a) DOE による初期検討報告書[21]における計画

DOE が 2001 年に公表した「地層処分場に関するレファレンス設計の説明書（第 3 版）」では、1987 年以降に実施されたサイト特性調査による結果を踏まえた、処分場のレファレンス設計に関する説明がなされており、廃棄物定置区画には、「廃棄物定置坑道」とは別に「性能確認坑道（観察坑道）」と呼ばれる坑道が計画されている。また、処分場の開発段階の一環として、操業段階（廃棄物の受け入れ、廃棄物のハンドリング、および廃棄物の定置が含まれる）後にモニタリング段階が設けられており、ここでは、廃棄物パッケージがすべて定置された後に実施され、予測された処分場性能を確認するためのデータ収集と分析のほか、地下施設の保全が含まれる、こととされている。

モニタリング段階では、特定の廃棄物パッケージ、坑道、及び周辺岩盤がセンサーによりモニタされ、解析用データが提供される。但し、廃棄物パッケージから発生する熱や放射線による作業員リスクを抑えるため、遠隔制御の検査ガントリが定置坑道内の状態を調査する計画となっている（図 2.2.1-39）。

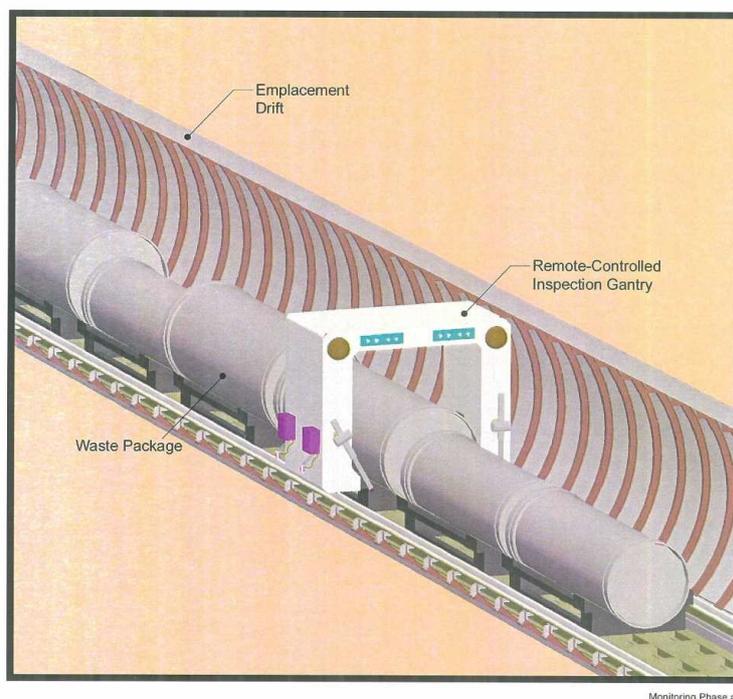


図 2.2.1-39 遠隔制御の検査ガントリのイメージ[21]

また、処分場閉鎖後の性能目標が達成されているかどうかを判断するために用いられる情報の精度と適格性を評価することを目的とした検査、実験、および解析から成る性能確認プログラムについても、規制要件に従い、下記の実施が計画されていることが示されている。

- ▶ 検査と評価の活動からデータを取得し、建設、廃棄物定置作業、およびモニタリング期間中の地下条件が予測された安全限度内に収まるどうかを確認する。さらに性能確認プログラムがデータを取得して、天然バリアと人工バリア系およびその構成要素が当初の設計と予想通りに機能していることを確認
- ▶ 性能確認活動はサイト特性調査から処分場の閉鎖まで継続される

さらに、2001年の段階では、すでに実地と実験室の試験の両方による基礎開発とデータ収集が実施されていること、さらに、今後の計画として下記の項目及び必要な技術開発内容が挙げられている。

- ベースラインデータ（取得）（Baseline Data Development）
  - ▶ 地震モニタリング用ニッチの開発
  - ▶ 地下データを定期的に収集するための定置型制御・モニタリングシステム
- 性能確認／データ収集／評価方法の検討（Performance Confirmation/Data Collection/Evaluation）（図 2.2.1-40）
  - ▶ シミュレートされた閉鎖後坑道内の条件測定値が許認可申請で定められた条件と一致する範囲に収まることを検証し、確認するための閉鎖後シミュレーションテスト施設
- 坑道スケールテストプログラム（Drift Scale Test Program）
  - ▶ 処分場の岩盤の熱／力学／水文学モニタリングを実施するための観察坑道と坑道内試験区画（alcoves）
- 坑道漏水モニタリング及び試験（Drift Water Seepage Monitoring and Testing）
  - ▶ 坑道の漏水モニタリングと試験区画（alcoves）
- 廃棄物及び廃棄物パッケージ試験（Waste Form and Waste Package Testing）
  - ▶ 可搬式性能確認システムを使ってデータを収集し、地上および地下の制御局から機器を遠隔制御するための可搬式車両操作制御システムの開発

## Performance Confirmation Process

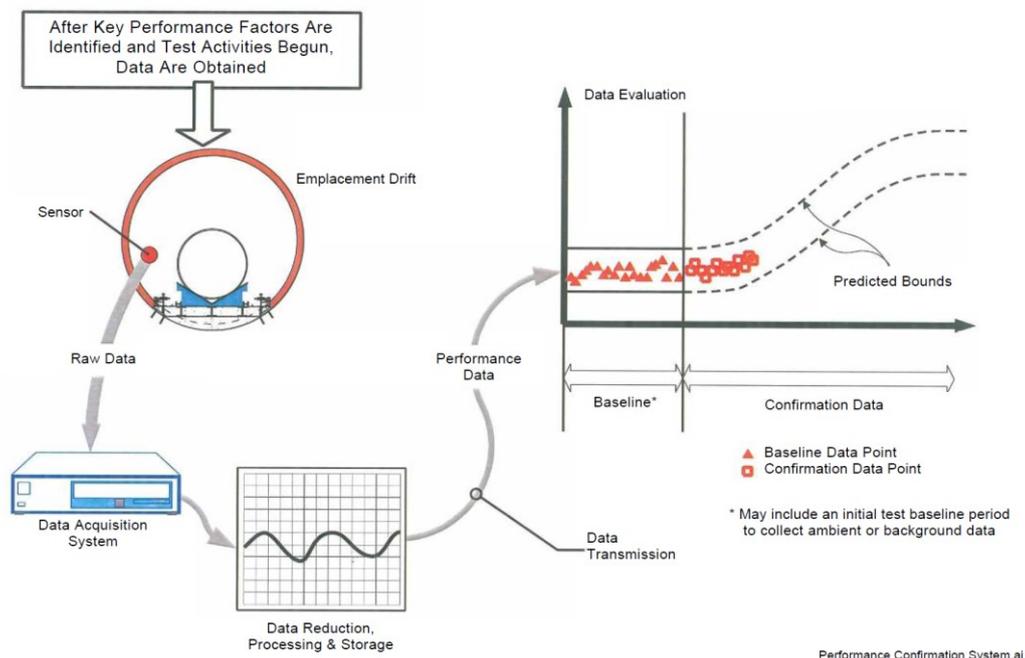


図 2.2.1-40 性能確認プロセス[21]

### b) EPRI による性能確認プログラムに関する勧告[23]

本書は、2001年に公表された EPRI による NRC 及び DOE による性能確認プログラム計画に関するワークショップを踏まえたレビュー及び勧告である。レビュー対象文書は、2000年に報告された前項の DOE 文書[21]や後述する性能評価計画文書[20]の初期版であり、例えば、DOE によるドラフト版の性能確認計画文書では、下記の8段階のアプローチが示されたことが記されている(表 2.2.1-56)。

ただし、これら文書は、その後に改定がなされているため、この段階での性能確認プログラムの詳細は述べない。一方、それ以外、例えば、ワークショップで議論された性能確認プログラムを実施する上での“トラップ (Traps)”については、有用な情報であると考えられる(表 2.2.1-57)。ここでの“トラップ (Traps)”とは、「性能確認で意図された活動が、悪い方向に向かう」ことを意味する。さらに、前述の NRC 規制(サブパート F)についてもレビューが行われている。

表 2.2.1-56 DOE による性能確認プログラムに関する 8 段階のアプローチ[23]

1. Identify performance confirmation principal factors and key parameters;	① 性能確認の対象になる基本的因子と重要パラメータを特定する
2. Predict performance and establish baseline;	② 性能を予測し、ベースラインを確立する。
3. Establish bounds and tolerances for key parameters;	③ 重要パラメータの範囲および裕度を定める。
4. Establish test-completion criteria and variance guidelines;	④ 試験の完了基準と変化の指針を確立する。
5. Plan and implement test program;	⑤ 試験プログラムの計画及び実施
6. Monitor, test and collect data;	⑥ モニタ、試験およびデータを収集する。
7. Analyze and evaluate data; and	⑦ データを分析し、評価する。
8. Recommend corrective action in the case of variance.	⑧ 差異がある場合には是正措置を勧告する

表 2.2.1-57 性能確認プログラムに関する“トラップ (Traps)” [23]

性能確認を実施する上での“トラップ (Traps)”	説明
実施できないことを行なうという合意	試験プログラム又は解析が、技術的理由及び／又は資金的理由から実施できないにも係わらず、実施によって特定の情報が得られるだろうというのは明らかに軽率だろう。
性能とは無関係のパラメータを測定するという合意	あるパラメータを測定できるからといっても、そのような活動が正当化されることを意味するわけではない。 活動の可能性または最小コストで済むかどうかに関係なく、プロジェクトにとって価値がないか、以前確立されていたデータの信頼を高めるのに役立つ情報を得るような性能確認試験を定めれば、時間と限りある資源の浪費に終わるだろう。
時間的又は空間的広がり限定されたモニタリングに基づいて安全を主張すること	ユッカマウンテン処分場に関する性能のいくつかの面は、非常に短期間のデータを外挿して得られている。処分サイトの特性のような他の事項は数百万年さかのぼることができる。 性能のうち限られた期間のデータに基づく事項については、性能確認の期間中に追加データを集めることができても外挿の必要性を著しく減らせないだろう。そのようなデータは性能の解析を確認して校正するために役立つ方法で収集することが望ましいが、早期に観察される不具合がないことを根拠に処分場の安全に関する結論を行なうべきではない。
測定で不必要な精度又は精密さを要求すること	あるパラメータを測定できる精密さまたは精度が、許容可能な性能を保証するために必要なものよりも著しく良いことがある。性能確認の目標は前者ではなく、後者に基づくことが望ましい。
測定できることを保証する（例えば、1000 R/h の放射線場はいくつかの測定を妨げるだろう）	高放射線場の環境で腐食をモニタリングするには“強化した (hardened)”システムが存在するのは明らかであるが、放射線（例えば、電子機器、光学系等）、熱効果（たとえば、ケー

性能確認を実施する上での “トラップ (Traps) ”	説明
	<p>ブルの絶縁材等)、デブリ (例えば、光学系に付着するダスト)、地震等を含む様々な経年変化プロセスによって他のモニタリングと測定システムが劣化する可能性を理解することが必須である。</p> <p>モニタリング機器を選定して設置する前に、長期的な実現可能性に関する他の考察と共に、経年変化の影響を評価しなければならない。</p>
<p>偏狭な関心を満足するために長期的 R&amp;D 又は性能確認のプログラムで何かを維持すること</p>	<p>特定の活動が実際よりも重要であると受け取られることがしばしばある。これらの認識は、プロジェクトに個人または組織の関与を維持しようとする希望、あるいはプロジェクトの総合的な目標と相容れない議題を支持しようとする希望によって高められるだろう。</p> <p>そのような認識とそれに伴う圧力の結果として、そのプロジェクトにとって最適な価値があるといえないか重要と思われない活動の実施に関する個々の決定が行なわれることがある。</p> <p>この行為は、性能確認活動の範囲を確立する責任を負う NRC 職員とそれらのプロジェクトが公式のスクリーニング基準を利用できるようにして、優先度が高い活動と低い活動を容易に区別できるようにする必要性を強調する。</p>
<p>境界の範囲内にとどまることが比較的容易であるという理由だけでサブシステムに過剰なレベルの保守性を割り当てること</p>	<p>リスク情報を与えられた意思決定を行なうという NRC の約束は、可能な場合現実的な解析を実施するという圧力を生み出す。しかしいくつかの例では、現実的な時間とコストの制約の範囲内でなし得る最良のやり方は、性能の境界を保守的に定めることである。過度に保守的な境界を使用すれば、工学的な“余裕”または“安全係数”を食いつぶすことになるだろう。</p>
<p>DOE は作業を行なうために数 10 年をかける</p>	<p>本処分場に対する現在の計画は長い操業期間を要求し、閉鎖は恐らく将来 100 年後かそれ以降に行なわれるだろう。このため、正しく構成された試験プログラムを実施するのに十分な時間があるという認識が可能である。この処分場が計画通りに進行し、性能確認が時間と共にほぼ間違いなく進捗するとすれば、この認識は部分的に正しい。しかし、性能確認プログラムは許認可で大部分定義されると思われることを考えれば、試験を始める前に慎重、且つ良く計画された性能確認のアーキテクチャを確立しておくことが決定的に重要である。</p>
<p>現在の技術的懸念を現時点で受け入れないか論じないこと</p>	<p>現在特定している技術的な問題は、後よりもすぐに解決することが望ましい。例えば、腐食試験はドリップシールドで使用する予定の TiGrade 7 が濃縮 YM 塩溶液中で応力腐食割れを経験する可能性があることを示唆している。予想される環境でこれが潜在的な問題になるかどうかを評価する必要がある、適切なら代替材料を選定する。</p>
<p>技術的な事項を成功させるために制度面を良く確立しなければならない</p>	<p>DOE は恐らく 100 年の期間にわたってこの作業を実施しなければならない、この作業はネバダ州で州知事の 25 回の任期にわたり、その間には郡で選挙によって選出される公職でも政治的に同様の時間が経過し、ユッカマウンテンで作業を実施する科学者と技術者も数世代にわたるだろう。</p> <p>長期的 R&amp;D と性能確認の活動を再教育にどのように組み込み、1 つの世代から次の世代に合意と約束や勧告の歴史をいかに引き継いでいくべきだろうか？長期的な合意と協定で使用される方法には、主要マイルストーンで“報告カード”を作る、</p>

性能確認を実施する上での “トラップ (Traps) ”	説明
	<p>施設がどのように性能を発揮しているかについて議会と他の公共機関に年報を作成する、そして進捗状況を4年ごとにレビューし活動を適応できるようにシフトさせる機会を設ける等のやりかたがある。</p> <p>さらに、以前の世代が定めて発効した処分場関連の合意の根拠とそれらの合意に伴う技術に将来の世代が親しめれば、著しく有利だろう。</p> <p>将来世代が通常の教育活動の過程でそのような情報を紹介されれば、将来の世代が処分場を維持し学ばれた方法で施設の将来の経過に関する自分たちの決定を行なう能力が向上するだろう。</p> <p>NRC と DOE にとって最も関心があるのは、この目標を満たすために効果的なプログラムをどのように実施できるかを可能な限り早い時点で検討することであると考えられる。</p>

注記 表 2.2.1-55 に示した 2009 年の規制要件と本書記載の 2001 年の要件内容は同じであることは確認済みである。

表 2.2.1-58 NRC 規則に関する専門家ワークショップでの主なコメント[23]

10 CFR Part 63 (Subpart F) の条項	専門家ワークショップでの主なコメント
§ 63.131 一般要件	<p>適切なデータを収集することがあらゆる場合に可能と限らないため、“実施できる場合には” データを収集することが望ましい、ことが規定されていることは良いと考える。</p> <p>但し、NRC はいくつかのデータが“許認可申請で仮定された限度の範囲内”に入らないことを承知する必要がある。</p>
§ 63.132～ § 63.134	<p>実施すべき試験またはモニタリングに関していくらか詳しくすぎる。DOE が特定事項を定めることができるようにするために、レベルを引き下げることが適切である。</p> <p>適切な試験とモニタリングを定めるための適切な詳しさのレベルの理解に到達できるように、NRC と DOE が可能な限り早い時点で対話を行なうことが重要である。</p>
全般	<p>性能確認に関連して規則からまだ抜け落ちているのは、良く計画され実施される性能確認プログラムであっても、許認可の根拠を形成するために使用する全ての重要な特性、事象、およびプロセス(FEPs)に関するデータを収集することはできないだろうという一般的な認識である。</p>

c) DOEによる性能確認プログラム(計画)

DOEによる性能確認計画(Performance Confirmation Plan) [20]は、1997年にRevision0が公表され、入手可能な最新版は2004年のRevision05である。前表2.2.1-56に示した性能確認プログラムを開発する際に8段階の系統的アプローチは、以下の通りであり、2002年の段階とほぼ変更はみられない。

具体的な性能確認プログラムの内容に関して、本書[20]では、表2.2.1-60及び表2.2.1-61に示すNRCによるYucca Mountain Review Plan (NUREG-1804)で特定された基準の区分ごとの性能確認活動が記されている。さらに、モデルに直接関係しない地下マッピング、地震活動度モニタリング、及び密封試験を除き、対象とするバリアや構成要素に対する整理も行なわれている(表2.2.1-62)。

さらに、10 CFR Part 63(サブパートF)の各セクションを踏まえた性能確認活動も特定されている(表2.2.1-63及び表2.2.1-64)。

性能確認活動の実施時期に関しては、初期の段階において、現地での地質学的パラメータ取得と廃棄物の室内試験、建設段階で飽和帯の水理やシール材試験、操業以降は、廃棄物パッケージ試験を含む工学バリアの原位置試験も開始される計画となっている(図2.2.1-41～図2.2.1-43)。

上記に示した性能確認すべき内容については、下記を踏まえ、抽出された。

- ① 処分場の安全性にとって重要なプロセス：性能確認プログラムでは、その中心を、処分場の閉鎖後安全性にとって最も重要なプロセス(および関連パラメータ)に置く。そのようなプロセス(「性能確認要因」と呼ぶ)を特定するにあたっては、適用できる性能評価解析、ならびに処分場安全性戦略「ユッカマウンテン・サイトの勧告および許認可考慮事項を支援するために閉鎖後安全性ケースを作成するための計画」を検討する。
- ② 適用される要件：性能確認プログラムでは、許認可プロセスの一環として、適用される規制要件・システム要件にも対処しなければならない。これらの要件から、性能確認プログラムに含めるべき特定の要因または試験が指定(または規定)される。
- ③ 許認可条件：性能確認プログラムは、許認可プロセスの一環として、追加的試験を必要とする要件または問題が、許認可に含められる。その問題が閉鎖後安全性にとって重要である、あるいはそのことが指令で示されている場合には、これらの条件を扱うための試験が、性能確認プログラムの一環として含められることになる。
- ④ 解析およびプロセスモデルのデータ・実証の必要性：影響が想定されている閉鎖後現象に関係するデータは、サイト特性評価段階の完了後も、許認可申請を支援するためにいくらか追加的に必要とされるかもしれない。このような必要データは、申請書において特定される。

表 2.2.1-59 DOE による性能確認プログラムに関する 8 段階のアプローチ[20]

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Select performance confirmation parameters and test methods</b></li> <li>2. Predict performance and establish a baseline</li> <li>3. Establish bounds and tolerances for key parameters</li> <li>4. Establish test completion criteria and variance guidelines</li> <li>5. <b>Plan activities, and construct and install the performance confirmation program</b></li> <li>6. Monitor, test, and collect data</li> <li>7. Analyze and evaluate data</li> <li>8. Recommend corrective action in the case of variance.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① <b>性能確認パラメータ及び試験方法の選定</b></li> <li>② 性能を予測し、ベースラインを確立する。</li> <li>③ 重要パラメータの範囲および裕度を定める。</li> <li>④ 試験の完了基準と変化の指針を確立する。</li> <li>⑤ <b>行動を計画し、性能確認プログラムを組み立て、導入する。</b></li> <li>⑥ モニタ、試験およびデータを収集する。</li> <li>⑦ データを分析し、評価する。</li> <li>⑧ 矛盾がある場合、是正措置を推奨する。</li> </ol>
--	--

注記 **赤フォント**は、2000 年の計画から修正された部分

表 2.2.1-60 性能確認プログラムに含まれる試験およびモニタリング活動[20]

ACTIVITY TITLE	ID #	ACTIVITY DESCRIPTION	BARRIER or PROCESS
<b>1. YMRP GENERAL REQUIREMENTS TESTING AND MONITORING (NATURAL AND ENGINEERED BARRIERS)</b>			
Precipitation monitoring	84	Monitoring of precipitation and composition analysis.	Upper Natural Barrier
Seepage monitoring	133	Seepage monitoring and laboratory analysis of water samples (from bulkheaded alcoves on the intake side of the repository and in thermally accelerated drifts).	Upper Natural Barrier
Subsurface water and rock testing	119	Laboratory analysis of chloride mass balance and isotope chemistry based on samples taken at selected locations of the underground facility.	Upper and Lower Natural Barriers
Unsaturated zone testing	137	Testing of transport properties and field sorptive properties of the crystal-poor member of the Topopah Spring Tuff, in an ambient seepage alcove or a drift.	Upper and Lower Natural Barriers
Saturated zone monitoring	150	Monitoring of water level and hydrochemical sampling of the saturated zone upgradient, beneath and downgradient of Yucca Mountain.	Lower Natural Barrier
Saturated zone fault hydrology testing	159	Hydraulic and tracer testing of fault zone hydrologic characteristics, including anisotropy, in the saturated zone.	Lower Natural Barrier
Saturated zone alluvium testing	225	Tracer testing at the Alluvial Test Complex using multiple boreholes measuring parameters in the alluvium.	Lower Natural Barrier
Drift inspection	59	Regular inspection of nonemplacement drifts and periodic inspection of emplacement drifts, thermally accelerated drifts, and other underground openings using remote measurement techniques, as appropriate.	Engineered Barrier System, Retrievability
Thermally accelerated drift near-field monitoring	125	Monitoring of near-field coupled processes (thermal-hydrologic-mechanical-chemical) properties and parameters associated with the thermally accelerated drifts.	Upper and Lower Natural Barriers
Dust buildup monitoring	52	Monitoring and laboratory testing of quantity and composition of dust on engineered barrier surfaces.	Engineered Barrier System
Thermally accelerated drift in-drift environment monitoring	54	Monitoring and laboratory testing of gas composition; water quantities, composition, and ionic characteristics (including thin films); microbial types and amounts; and radiation and radiolysis within a thermally accelerated drift.	Engineered Barrier System

表 2.2.1-61 性能確認プログラムに含まれる試験およびモニタリング活動[20]

ACTIVITY TITLE	ID #	ACTIVITY DESCRIPTION	BARRIER or PROCESS
<b>2. GEOTECHNICAL AND DESIGN MONITORING AND TESTING</b>			
Subsurface mapping	105	Mapping of fractures, faults, stratigraphic contacts, and lithophysal characteristics.	Upper and Lower Natural Barriers
<b>ACTIVITY TITLE</b>	<b>ID #</b>	<b>ACTIVITY DESCRIPTION</b>	<b>BARRIER or PROCESS</b>
Seismicity monitoring	167	Monitoring regional seismic activity. Observation of subsurface and surface (large magnitude) fault displacement after significant local or regional seismic events.	Disruptive Event, Retrievability
Construction effects monitoring	224	Monitoring construction deformation to confirm mechanical properties.	Upper Natural Barrier, Retrievability
Thermally accelerated drift thermal-mechanical monitoring	60	Monitoring drift and invert shape and integrity in a thermally accelerated drift.	Engineered Barrier System, Retrievability
<b>3. DESIGN TESTING (OTHER THAN WASTE PACKAGES)</b>			
Seal testing	200	Laboratory testing of effectiveness of borehole seals followed by field-testing of effectiveness of ramp and shaft seals. Testing, as appropriate, to evaluate the effectiveness of backfill placement.	Engineered Barrier System, Upper Natural Barrier
<b>4. MONITORING AND TESTING OF WASTE PACKAGES</b>			
Waste package monitoring	83	Remote monitoring for evidence of external corrosion of the waste package.	Engineered Barrier System
Corrosion testing	222	Corrosion testing in the laboratory of waste package and drip shield samples in the range of representative repository thermal and chemical environments. Includes laboratory testing of general corrosion, phase transformations of Alloy 22; and localized corrosion.	Engineered Barrier System
Corrosion testing of thermally accelerated drift samples	223	Corrosion testing in the laboratory of waste package and drip shield samples exposed to conditions in the thermally accelerated drifts. Includes corrosion model applicability and laboratory testing of general corrosion, phase transformations of Alloy 22; and localized corrosion.	Engineered Barrier System
Waste form testing	226	Waste form testing (including waste package coupled effects) in the laboratory under internal waste package conditions.	Engineered Barrier System

NOTE: U = uranium; Sr - strontium; O = oxygen; Cl = chlorine; H = hydrogen; C = carbon; Tc = technetium; I = iodine.

表 2.2.1-62 性能確認活動とバリア及びモデルとの関係[20]

Barrier	Models	Performance Confirmation Activities
Upper Natural Barrier	Infiltration model	Precipitation monitoring
	Unsaturated zone flow	Precipitation monitoring, subsurface water and rock testing, and unsaturated zone testing
	Ambient seepage	Seepage monitoring
	Thermal seepage	Seepage monitoring and thermally accelerated drift in-drift environment monitoring, and near-field environment monitoring
Engineered Barrier System	Drift degradation and rockfall	Drift inspection, construction effects monitoring, and thermally accelerated drift thermal-mechanical monitoring
	Thermal-hydrologic-chemical	Thermally accelerated drift near-field environment monitoring
	Thermal-hydrologic I	Thermally accelerated drift near-field environment monitoring
	In-drift physical and chemical environment	Thermally accelerated drift in-drift environment monitoring
	Drip shield degradation	Corrosion testing and corrosion testing of thermally accelerated drift samples
	Waste package degradation	Corrosion testing, dust buildup monitoring, corrosion testing of thermally accelerated drift samples, and waste package monitoring
	In-package water chemistry	Waste form testing
	Cladding degradation	Waste form testing
	Commercial spent nuclear fuel degradation	Waste form testing
	Defense spent nuclear fuel degradation	Waste form testing
	High-level radioactive waste glass degradation	Waste form testing
	Dissolved concentration limits	Waste form testing
	Colloid transport	Waste form testing and unsaturated zone testing
	Engineered Barrier System flow and transport	Waste form testing, dust buildup monitoring, thermally accelerated drift in-drift environment monitoring
Lower Natural Barrier	Unsaturated zone flow	Subsurface water and rock sampling, unsaturated zone testing
	Radionuclides transport in the unsaturated zone	Subsurface water and rock sampling, unsaturated zone testing
	Saturated zone flow	Saturated zone monitoring, saturated zone fault hydrology testing, saturated zone alluvium testing
	Saturated zone transport	Saturated zone monitoring, saturated zone fault hydrology testing, saturated zone alluvium testing

NOTE: Three performance confirmation activities do not directly relate to models, therefore are not included in this table. These activities are subsurface mapping, seismicity monitoring, and seal testing.

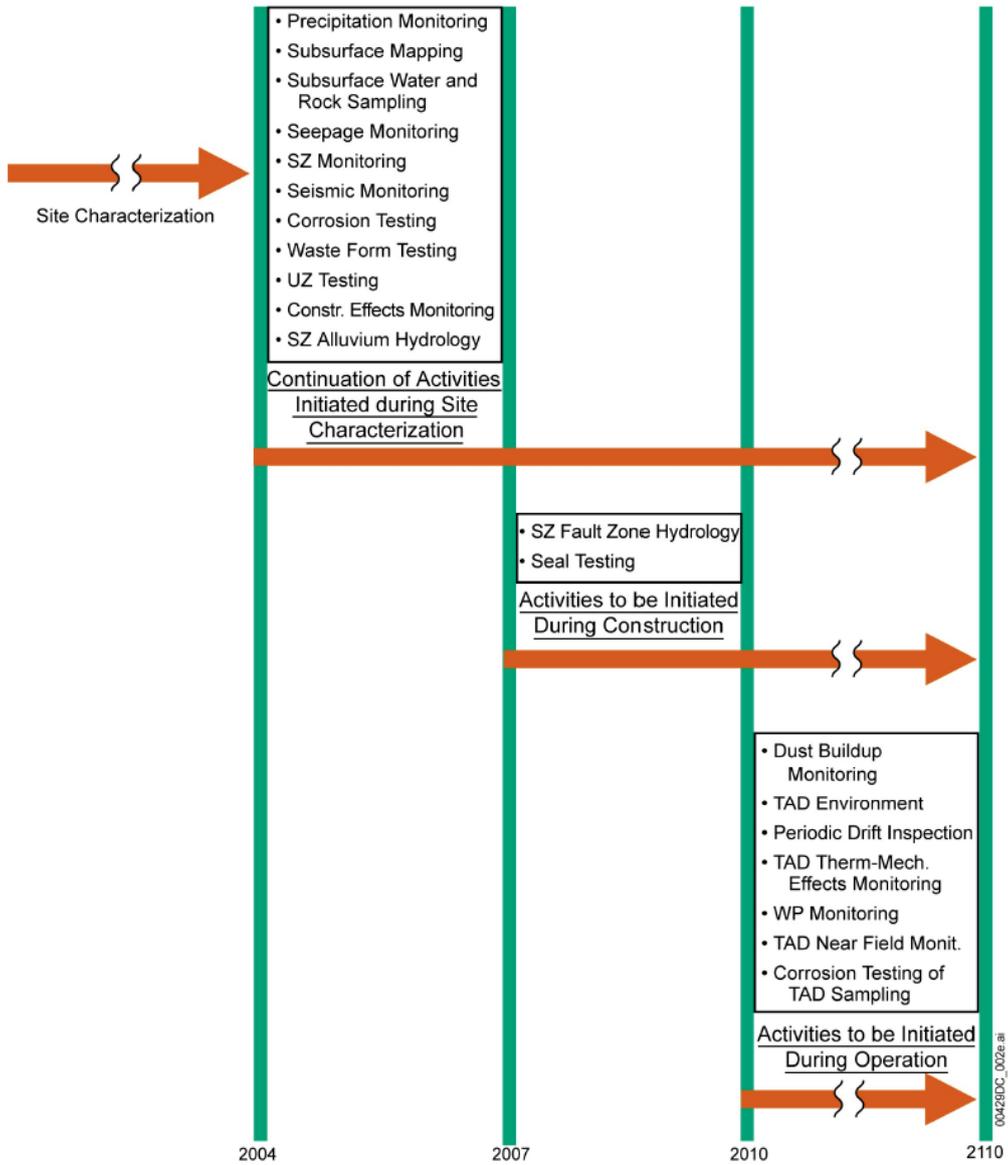
表 2.2.1-63 10 CFR Part 63 と性能確認活動との関係[20]

<b>10 CFR Part 63 Section Performance Confirmation Activities</b>	
<b>Subpart F Performance Confirmation Program</b>	
<b>§ 63.131 General requirements</b>	<b>Regulatory Compliance Activities</b>
(a) The performance confirmation program must provide data that indicate, where practicable, whether:	
(1) Actual subsurface conditions encountered and changes in those conditions during construction and waste emplacement operations are within the limits assumed in the licensing review; and	Seepage Monitoring (3.3.1.2) Drift Inspection (3.3.1.8) Thermally Accelerated Drift Near-Field Monitoring (3.3.1.9) Thermally Accelerated Drift In-Drift Environment Monitoring (3.3.1.11) Subsurface Mapping (3.3.2.1) Seismicity Monitoring (3.3.2.2.) Construction Effects Monitoring (3.3.2.3) Thermally Accelerated Drift Thermal-Mechanical Monitoring (3.3.2.4) Surface Water and Rock Testing (3.3.1.3)
(2) Natural and engineered systems and components required for repository operation, and that are designed or assumed to operate as barriers after permanent closure, are functioning as intended and anticipated.	Precipitation Monitoring (3.3.1.1) Seepage Monitoring (3.3.1.2) Subsurface Water and Rock Testing (3.3.1.3) Unsaturated Zone Testing (3.3.1.4) Saturated Zone Monitoring (3.3.1.5) Saturated Zone Fault Hydrology Testing (3.3.1.6) Saturated Zone Alluvium Testing (3.3.1.7) Drift Inspection (3.3.1.8) Thermally Accelerated Drift Near-Field Monitoring (3.3.1.9) Dust Buildup Monitoring (3.3.1.10) Thermally Accelerated Drift In-Drift Environment (3.3.1.11) Subsurface Mapping (3.3.2.1) Seismicity Monitoring (3.3.2.2) Construction Effects Monitoring (3.3.2.3) Thermally Accelerated Drift Thermal-Mechanical Monitoring (3.3.2.4) Seal Testing (3.3.3.1) Waste Package Monitoring (3.3.4.1) Corrosion Testing (3.3.4.2) Corrosion Testing of Thermally Accelerated Drift Samples (3.3.4.3) Waste Form Testing (3.3.4.4.)
(b) The program must have been started during site characterization, and it will continue until permanent closure.	Performance Confirmation Program Implementation (6.0 Schedule)
(c) The program must include in situ monitoring, laboratory and field-testing, and in situ experiments, as may be appropriate to provide the data required by paragraph (a) of this section.	Performance Confirmation Program Implementation (3.0 Description of Performance Confirmation Activities)
(d) The program must be implemented so that:	
(1) It does not adversely affect the ability of the geologic and engineered elements of the geologic repository to meet the performance objectives.	Performance Confirmation Program Implementation (1.2 Purpose and Objectives of the Performance Confirmation Plan and Program)
2) It provides baseline information and analysis of that information on those parameters and natural processes pertaining to the geologic setting that may be changed by site characterization, construction, and operational activities.	Performance Confirmation Program Implementation (4.0 Data Management, Analyses, and Reporting)
(3) It monitors and analyzes changes from the baseline condition of parameters that could affect the performance of a geologic repository.	Performance Confirmation Program Implementation (4.0 Data Management, Analyses, and Reporting)

表 2.2.1-64 10 CFR Part 63 と性能確認活動との関係[20]

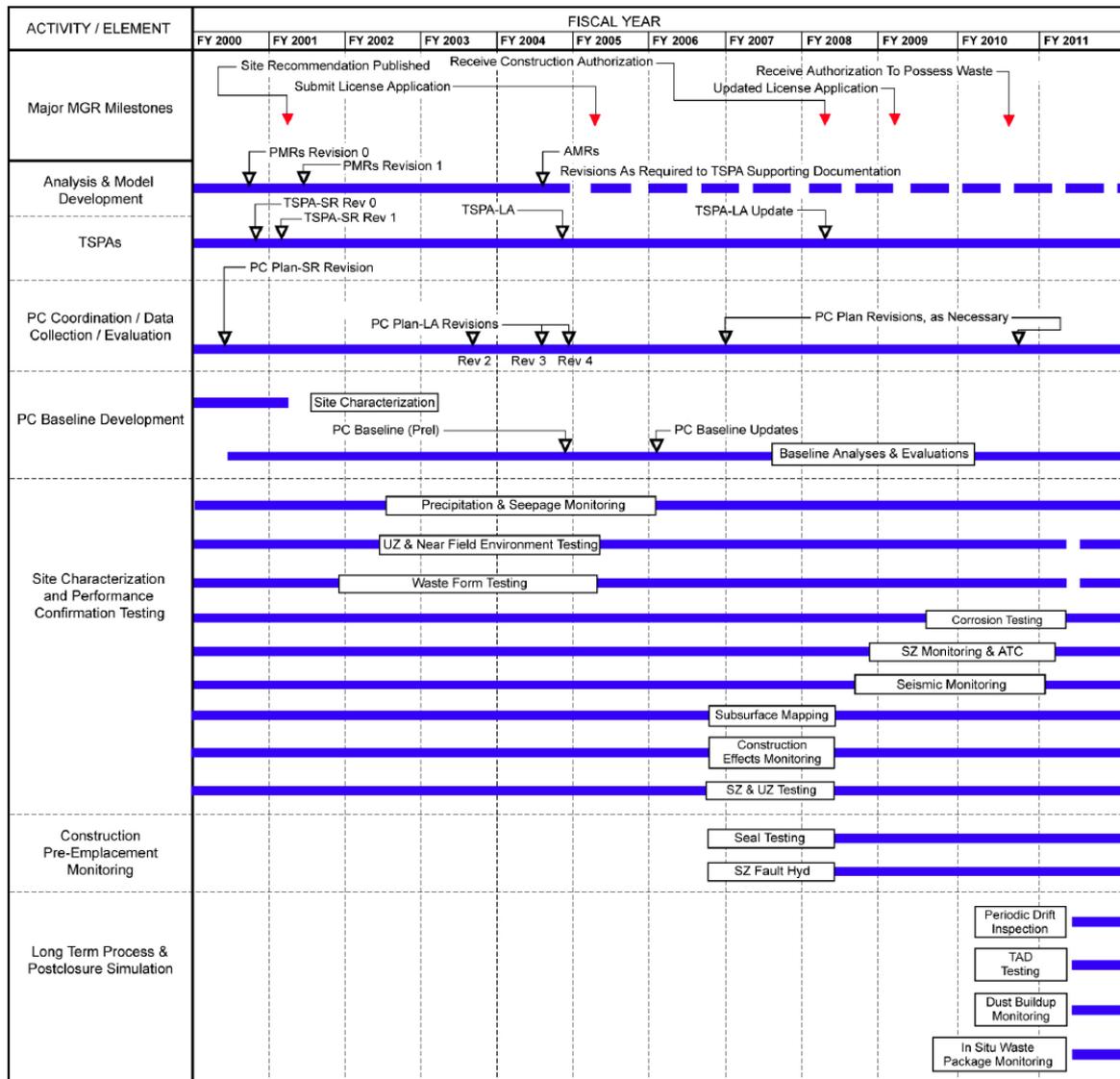
<b>10 CFR Part 63 Section Performance Confirmation Activities</b>	
<b>Subpart F Performance Confirmation Program</b>	
<b>§ 63.132 Confirmation of geotechnical and design parameters</b>	<b>Regulatory Compliance Activities</b>
(a) During repository construction and operation, a continuing program of surveillance, measurement, testing, and geologic mapping must be conducted to ensure that geotechnical and design parameters are confirmed and to ensure that appropriate action is taken to inform the Commission of design changes needed to accommodate actual field conditions encountered.	Seepage Monitoring (3.3.1.2) Drift Inspection (3.3.1.8) Thermally Accelerated Drift Near-Field Monitoring (3.3.1.9) Thermally Accelerated Drift In-Drift Environment (3.3.1.11) Subsurface Mapping (3.3.2.1) Seismicity Monitoring (3.3.2.2) Construction Effects Monitoring (3.3.2.3) Thermally Accelerated Drift Thermal-Mechanical Monitoring (3.3.2.4)
(b) Subsurface conditions must be monitored and evaluated against design assumptions.	Seepage Monitoring (3.3.1.2) Drift Inspection (3.3.1.8) Thermally Accelerated Drift Near-Field Monitoring (3.3.1.9) Thermally Accelerated Drift In-Drift Environment (3.3.1.11) Subsurface Mapping (3.3.2.1) Construction Effects Monitoring (3.3.2.3) Thermally Accelerated Drift Thermal-Mechanical Monitoring (3.3.2.4)
(c) Specific geotechnical and design parameters to be measured or observed, including any interactions between natural and engineered systems and components, must be identified in the performance confirmation plan.	Thermally Accelerated Drift Near-Field Monitoring (3.3.1.9) Subsurface Mapping (3.3.2.1) Construction Effects Monitoring (3.3.2.3) Thermally Accelerated Drift Thermal-Mechanical Monitoring (3.3.2.4)
(d) These measurements and observations must be compared with the original design bases and assumptions. If significant differences exist between the measurements and observations and the original design bases and assumptions, the need for modifications to the design or in construction methods must be determined and these differences, their significance to repository performance, and the recommended changes reported to the Commission.	Performance Confirmation Program Implementation (4.0 Data Management, Analyses, and Reporting)
(e) In situ monitoring of the thermomechanical response of the underground facility must be conducted until permanent closure, to ensure that the performance of the geologic and engineering features is within design limits.	Drift Inspection (3.3.1.8) Thermally Accelerated Drift Near-Field Monitoring (3.3.1.9) Thermally Accelerated Drift Thermal-Mechanical Monitoring (3.3.2.4)
<b>§ 63.133 Design testing</b>	<b>Regulatory Compliance Activities</b>
(a) During the early or developmental stages of construction, a program for testing of engineered systems and components used in the design, such as, for example, borehole and shaft seals, backfill, and drip shields, as well as the thermal interaction effects of the waste packages, backfill, drip shields, rock, and unsaturated zone and saturated zone water, must be conducted.	Seepage Monitoring (3.3.1.2) Thermally Accelerated Drift Near-Field Monitoring (3.3.1.9) Thermally Accelerated Drift In-Drift Environment (3.3.1.11) Construction Effects Monitoring (3.3.2.3) Thermally Accelerated Drift Thermal-Mechanical Monitoring (3.3.2.4) Seal Testing (3.3.3.1)
(b) The testing must be initiated as early as practicable.	Performance Confirmation Program Implementation (6.0 Schedule)
(c) If backfill is included in the repository design, a test must be conducted to evaluate the effectiveness of backfill placement and compaction procedures against design requirements before permanent backfill placement is begun.	Seal Testing (3.3.3.1)
(d) Tests must be conducted to evaluate the effectiveness of borehole, shaft, and ramp seals before full-scale operation proceeds to seal boreholes, shafts, and ramps.	Seal Testing (3.3.3.1)

## PC Testing/Monitoring Activities Activity Timelines



NOTE: Activities start with the origination of the arrow (i.e., construction start = 2007, operation start = 2010), except in the case of the first box, as site characterization activities have been going on well before 2004.

図 2.2.1-41 性能確認活動のスケジュール区分[20]

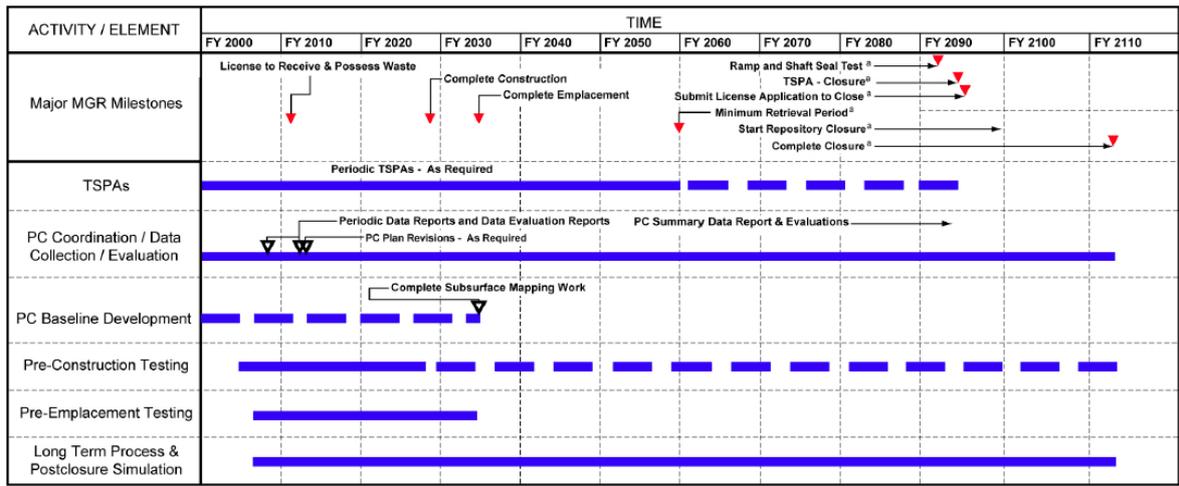


00429DC\_003h.ai

NOTES: Activities include planning procurement and installation of instruments; AMR = analysis model report; MGR= mined geologic repository; PC = performance confirmation; FY = fiscal year; LA = License application; PMR = process model report; SR = site recommendation; SZ = saturated zone; TAD = thermally accelerated drift; TSPA = total system performance assessment; UZ = unsaturated zone.

Site Characterization activities shown continuing from the left side of the schedule are ongoing performance confirmation testing activities.

図 2.2.1-42 性能確認プログラム計画[20]



00429DC\_004b.ai

図 2.2.1-43 長期性能確認プログラム計画[20]

## 2.2.2 品質保証／性能確認プログラム体系の構築に資する知見の体系化

前項までの調査結果を踏まえ、本調査対象である3カ国（スウェーデン、フィンランド及び米国）に関して、品質保証／性能確認プログラムに関する内容を比較表（表 2.2.2-2）として作成し、さらに各国間の相違点や共通点について分析を行った。

### (1) 各国間の相違によるプログラムへの影響

#### 1) 規制要件

調査結果より、各国間の品質保証／性能確認プログラムに関する相違の起点は、規制当局による品質保証及び／又は性能確認に対する要求内容であると考えられた。これらの規制要件に関して、各国内容は表 2.2.2-1 の通りである。

表 2.2.2-1 によれば、品質保証については、いずれの国に関しても要求されているが、米国については、北欧2カ国と異なり、性能確認（モニタリング行為）が品質保証プログラムに明確に含まれている。

また、性能確認（モニタリング行為）に関して、フィンランドの規制要件では、定置後のバリア性能に関するモニタリングを要求しているのに対して、スウェーデンの規制要件では、事業者は、モニタリングの必要性について先ず検討し、（その行為によって）安全性への影響がなければ実施することを求めている。これは、国際的な考え方である、「決してモニタリングの必要性を否定しないが、その措置（行為）により処分の安全性が損なわれてはならない」ことを前提としているためであると考えられる。

なお、スウェーデンと米国とのモニタリング要件に関する考え方の相違は、各国の処分概念や政策によるところも大きいと考えられる。例えば、米国ユッカマウンテンサイトの場合、北欧2カ国と異なり、地下水位が処分場位置よりも下部に位置しているため、地下水による人工バリアへの影響を考慮する程度が低く、緩衝材は施工されない。この概念により廃棄体へのアクセス性は他国に比べて容易であり、定置後のモニタリングによる廃棄体への影響も小さい。また、ユッカマウンテン処分場は、1998年の実現可能性評価書において回収可能性の実現を目的とした「監視付き地層処分場」(Monitored Geologic Repository : MGR)」という名称となっており、規制要件においても点検、保守及び修繕のためのアクセス性の確保が設計管理措置に含まれている。

表 2.2.2-1 調査対象国の品質保証及び／又は性能確認に関する規制要求

国名	品質保証に関する要求	性能確認に関する要求
スウェーデン	品質保証要件を満たすために講じられる措置が、閉鎖後安全性に関しても十分であることを確実に示すことを要求	廃棄体等に対するモニタリング等の措置については、安全性に与える影響を解析し、その措置が処分場の安全性にほとんど影響しない或いは無視できるほどであることを示し、措置が講じられなかった場合の安全性への改善方法を提示することを要求
フィンランド	設計及び操業実施を確実にするための文書作成を要求	建設・操業段階における人工バリア挙動に関するモニタリングプログラムの実行を要求
米国	申請書には安全性に関連するあらゆる活動並びに構成要素に関して、品質保証計画の記述を含めることを要求 なお、品質保証計画には、性能確認プログラム内容を含むことも要求	天然及び人工システム及び構成要素の間の何らかの相互作用を含むモニタリングによる性能確認プログラムの実施をサイト特性調査、建設、定置及び操業段階までの期間実施することを要求

表 2.2.2-2 調査対象国の品質保証／性能確認プログラムに関する考え方の整理

項目	スウェーデン	フィンランド	米国	考察	
基本情報	地質環境	結晶岩質	結晶質岩	凝灰岩層	
	処分概念				<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 北欧2カ国と米国では岩種が異なるとともに、米国の場合、地下水位が処分場位置よりも下部に位置しているため、この影響を考慮する必要がない（人工バリア構成への影響）。</li> </ul>
	人工バリア構成	キャニスタ／緩衝材／埋戻材／閉鎖材	キャニスタ／緩衝材／埋戻材／閉鎖材	廃棄物パッケージ／ドリップシールド／埋戻材／シールド材	
規制の考え方	品質保証	SSMFS 2008:21 第1条の注釈によれば、処分場の許可保有者は、SSMFS 2008:1の規定に基づいた品質保証、安全レビュー、安全プログラム、及び定期安全審査の要件を満たすために講じられる措置が、閉鎖後安全性についても確実にすべきである。	STUKの規制ガイダンス YVL D.5で、キャニスタの定置及びそれら周囲の緩衝材の設置、定置領域の埋戻しが許容できる方法で行われることを確実にするために、品質管理文書をレビューする旨を規定している。	10 CFR Part 63 (サブパート G: 品質保証) では、申請書には安全性に関連するあらゆる活動並びに構成要素に関して、品質保証計画の記述を含めることが規定されている（検査やモニタリングも含められている）。	
	性能確認	SSMFS 2008:21 第8条及びその注釈より、廃棄体等に対するモニタリング等の措置は、安全性に与える影響を解析し、処分場の安全性に少し、または無視できるほどの影響しかないこと、あるいは措置が講じられなかった場合に比べ、措置が安全性の改善をもたらすことを示す。	STUKの規制ガイダンス YVL D.5で、建設・操業段階における、調査、試験、モニタリングプログラムの実行を規定しており、その中に人工バリア挙動に関するモニタリングが含まれている。	10 CFR Part 63 (サブパート F) では、主要な地質工学及び設計パラメータ（天然及び人工システム及び構成要素の間の何らかの相互作用を含む）のモニタリングによる性能確認プログラムの実施をサイト特性調査、建設、定置及び操業段階までの期間実施すること、具体的な内容が規定されている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ スウェーデンについては、モニタリングの必要性について検討し、（その行為によって）安全性への影響がなければ実施する。</li> <li>・ フィンランドについては、バリア挙動のモニタリングの規定がなされている。</li> <li>・ 米国に関しては、品質保証プログ</li> </ul>

項目		スウェーデン	フィンランド	米国	考察
事業者の取組み	基本的な考え方	最終的に処分された廃棄体の人工バリア（キャニスタ、緩衝材、埋戻材）のモニタリングは、人工バリアの安全機能を損なう為、意図していない	初期段階で求められる要件を満たしているかを検査により確認。 その後の変遷をモニタリングにより確認。 実処分場のモニタリング実施については検討中（プロトタイプ処分場での実施が有力？）。	事業者は、10 CFR Part 63の要件に従い、事業初期には、現地での地質学的パラメータ取得と廃棄物の室内試験、建設段階では原位置での飽和帯の水理やシール材試験、操業以降は、廃棄物パッケージ試験を含む工学バリアの原位置試験も開始する性能確認プログラムの策定を行っている。さらに、事業に係わるあらゆる段階での品質保証プログラムを作成し、性能確認プログラムに関わる試験内容を含む文書記録の作成を行う。	ラムの一環として性能確認モニタリングを規定している（但し、「人工バリア構成」に示すとおり、シール材施工までアクセス性は確保されており、みずみちによる影響も少ない）
	品質保証※	①○ ②材料調達、製造、設置の各段階で検査を行う。 ③初期状態を満たすための設計前提条件（design premises）を満たしていることを確認することで健全性を担保する。	①○ ②材料調達、製造、設置の各段階で検査を行う。 ③検査により、初期段階で求められる要件を満たしていることを確認する	①○ ②設計作業、購買、製造、取り扱い、輸送、貯蔵、洗浄、組み立て整備、設置、点検、試験、操作、保守、修理、改造、サイト特性調査、性能確認、永久閉鎖、除染、地表施設の解体などあらゆる段階での安全性に係わる品質管理計画を作成する。 ③品質保証計画は、材料購入や製造に関する内容のみならず、性能確認プログラムを適切に履行できることを示す必要があり、規制側はそれらの内容を含む手順や結果をレビューする。	・スウェーデンについては、原位置での計測行為による処分性能の低下があると評価し、人工バリアについては、原位置試験施設での試験結果とバリア材の製造（例えば、緩衝材の採掘以降）より定置までの様々な段階での品質保証でその性能を担保することとしている。なお、廃棄体定置までの処分孔モニタリングや埋め戻し前までの坑道モニタリングは実施する。 ・米国では、バリア材料の購入から定置までの品質保証プログラムが策定され、各行為については記録を作成し、性能の担保を行うとともに、定置後のバリアについては性能確認モニタリング等を実施し、設計と予想通りに機能していることを確認する。 ・フィンランドは、品質保証については、スウェーデンと同様であるが、定置後のバリアモニタリングは実施することとしている（計画段階）
	性能確認※	①× ②人工バリア設置後は、モニタリング等の性能確認行為は行わない。 ③ただし、設計段階にエスポ HRL 等で試験等を行い、人工バリアの性能や設置方法について事前に確認する。	①○ ②初期段階からの変遷のモニタリングを実施 ③モニタリング対象とするパラメータを抽出し、それらの変遷をモニタリングで確認	①○ ②10 CFR Part 63（サブパート F）で要求されている原位置モニタリングを含む性能確認活動 ③性能確認プログラムのモニタリングにより、バリア構成要素が当初の設計と予想通りに機能していることを確認する。	

## 2) 事業者による取組み

前項に示すとおり、調査対象とした全ての事業者が、規制要件を受け、申請書（セーフティケースや安全解析書を含む）において品質保証に係る措置を取り纏めた文書を含めている。

一方、性能確認行為について、スウェーデンでは、原位置での計測行為による処分性能の低下があると評価し、人工バリアについては、原位置試験施設（エスポなど）での試験結果とバリア材の製造（例えば、緩衝材の採掘以降）より定置までの様々な段階での品質保証でその性能を担保することとしている。但し、廃棄体定置までの処分孔モニタリングや埋め戻し前までの坑道モニタリングは実施することとしている。一例として、スウェーデンの例を図 2.2.2-1 に示した。

フィンランドの品質保証活動については、スウェーデンと同様であるが、人工バリアモニタリングを含む性能確認プログラムについては、今後、具体的検討が実施されることとされている。但し、昨年度までの調査結果（図 2.2.2-2）からは、人工バリア・モニタリングの実施も予定されていることが示唆されることから、今後の具体的内容（実施場所や代替パラメータの利用に関する検討）について注視していく必要があると考えられた。

また、米国については、規制要件を受け、バリア材料の購入から定置までの品質保証プログラムが策定され、各行為については記録を作成し、性能の担保を行うとともに、定置後のバリアについては性能確認モニタリング等を実施し、設計と予想通りに機能していることを確認する。

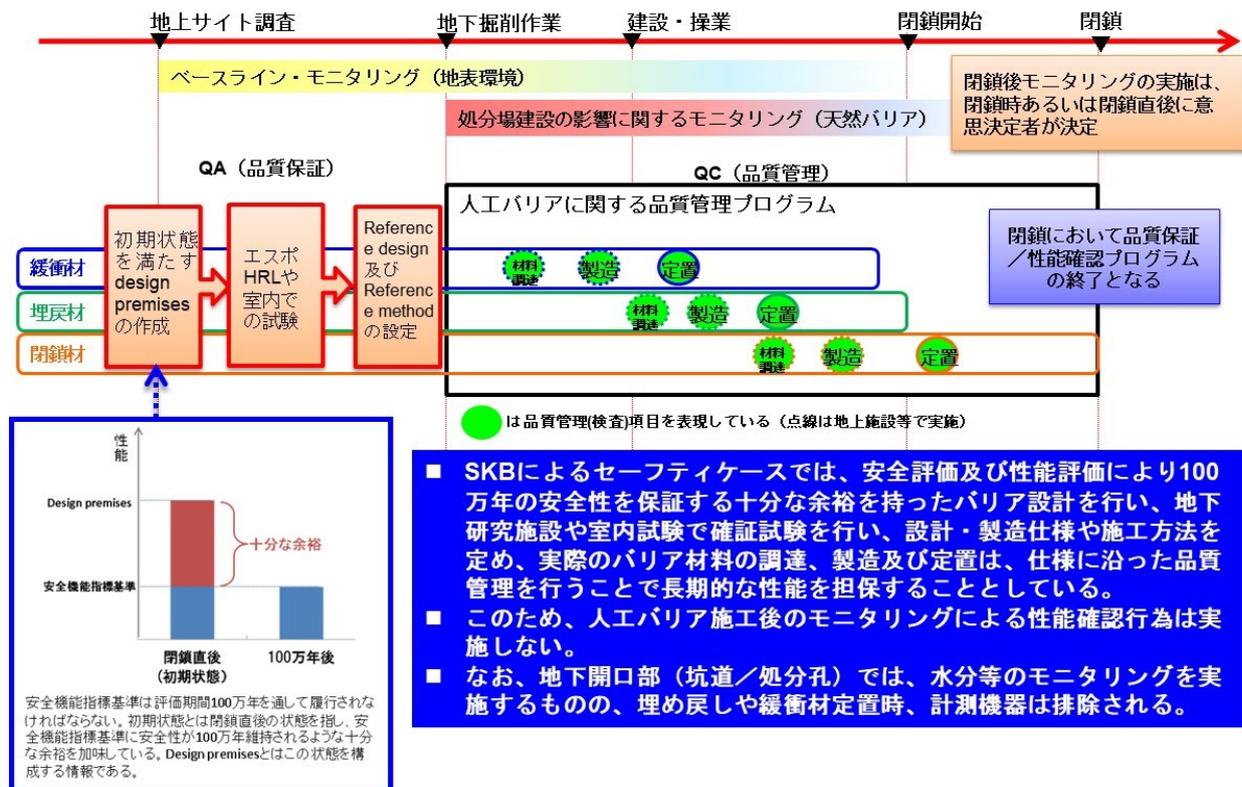


図 2.2.2-1 品質保証／性能確認プログラムのイメージ（スウェーデンの例）

分類	プロセス番号	プロセス名	モニタリング分野	棄却理由	
人工バリアの変化に関するプロセス	<b>使用済み燃料</b>				
	3.2.1	放射性壊変		定常的	
	3.2.2	熱生成		定常的	
	3.2.3	熱移動		間接測定	
	3.2.4	燃料ペレットの構造変化		実験室	
	3.2.5	残留水の放射化(キャニスター内)		実験室	
	3.2.6	間隙水の放射化		実験室	
	3.2.7	燃料被覆管及びその他金属材料の腐食		キャニスター破損	
	3.2.8	燃料集合体の変質と溶解		実験室	
	3.2.9	インベントリの化学的に不安定な区分の放出		キャニスター破損	
	3.2.10	ヘリウムガスの生成		定常的	
	<b>キャニスター</b>				
	4.2.1	放射線の減衰		定常的	
	4.2.2	熱移動	人工バリア		
	4.2.3	変形	人工バリア		
	4.2.4	キャニスターの熱膨張		定常的	
	4.2.5	銅製オーバーバックの腐食		実験室	
	4.2.6	鑄鉄製インサートの腐食		キャニスター破損	
	4.2.7	応力腐食割れ		実験室	
	<b>緩衝材と埋め戻し材</b>				
	5.2.1	6.2.1	熱移動	人工バリア/岩盤力学	
	5.2.2	6.2.2	水の流入と膨潤	人工バリア/水理学	
	5.2.3	6.2.3	バイピングとエロージョン		実験室
	5.2.4	6.2.4	化学的エロージョン		実験室
	5.2.5	-	間隙水の放射化		実験室
	5.2.6	6.2.5	モンモリロナイトの変質		実験室
	5.2.7	6.2.6	随伴鉱物の変質		実験室
	5.2.8	6.2.7	微生物活動		実験室
	-	6.2.8	凍結と解凍		氷河期の事象
	<b>追加的構成要素(プラグ、シール等)</b>				
	7.2.1		化学的劣化		実験室
	7.2.2		物理的劣化	人工バリア	
7.2.3		凍結と解凍		氷河期の事象	

・実施主体はモニタリング計画を策定  
 ・性能確認に関するモニタリングは、室内試験等を含む性能確認プログラムの一部となる

左表:人工バリアのモニタリングの対象プロセスの検討 (Posiva 2012-01)

実規模現場試験に於ける模擬廃棄体のモニタリングを想定

青色:モニタリング対象として選定されたプロセス

図 2.2.2-2 現段階でのフィンランドにおけるモニタリング内容

(2) 各国の品質保証/性能確認プログラムに含まれる因子とその関係

前項の調査結果に基づく、各国の品質保証/性能確認プログラムに含まれる因子とその関係のイメージを図 2.2.2-3 に示した。

この結果より、北欧 2 カ国では、いずれもバリア性能は品質保証で管理し、室内試験や地下研究施設で確認を行う点が共通している。但し、スウェーデンでは、原位置でのモニタリングは実施しないのに対して、フィンランドでは、原位置でのモニタリングは規制で要求されている(詳細は未定)。地表や地下環境モニタリングは実施されるが性能確認とは位置づけられていない。品質に関する考え方は次のとおりである。

一方、米国では、品質保証プログラムにあらゆる管理を含めており、性能確認プログラムもその一つである。規制で要求されている性能確認プログラムに原位置を含むモニタリングが含まれている。品質管理 (Quality control) は、品質保証 (Quality assurance) に含まれると定義づけられている。

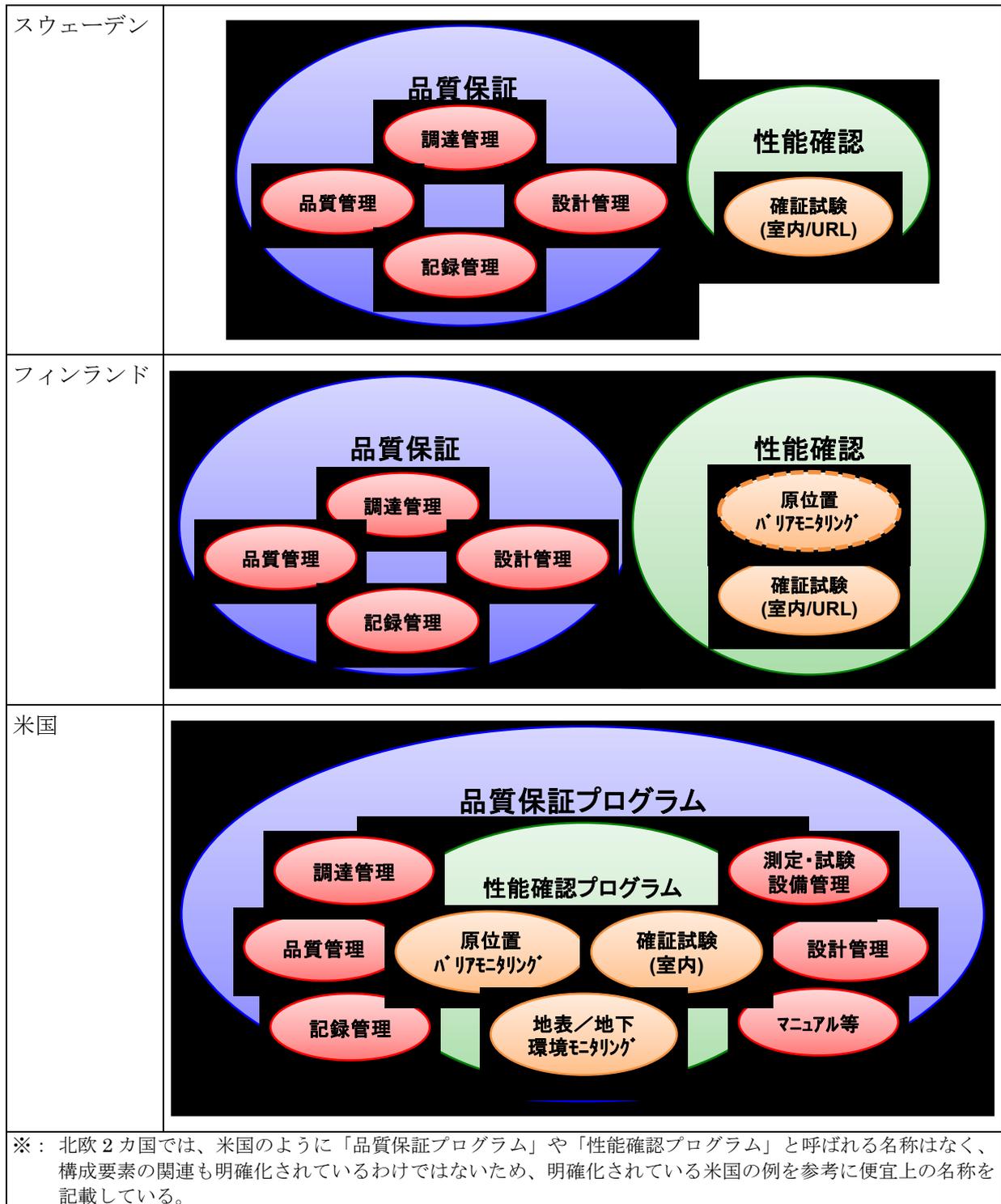


図 2.2.2-3 調査対象国の品質保証／性能確認プログラムのイメージ

## 2.2.3 性能確認に資するモニタリングの国際共同研究 Modern2020 プロジェクト

### (1) Modern2020 プロジェクトの概要

#### 1) 背景

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る、地層処分に  
関するモニタリングの共同研究プログラム。2009～2013年に実施されたMoDeRnプロジ  
ェクトの後継プログラム。実施期間は2015年6月～2019年5月、予算額はECからの補助金  
の最大額として5,997,142.50ユーロ（7.79億円、130円/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、日本（原環センター）及びスイスからの  
参加機関には配布されない。

#### 2) 目的

各国固有の地層処分計画の要求事項に対応した、地層処分場操業段階のモニタリング計画  
の開発・実施手法の提供。

- ・ 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特化。
- ・ 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計画に組み入れるかを例示する。

#### 3) 実施事項

Modern2020 プロジェクトでは、処分場操業時のニアフィールドでのモニタリングに焦点  
をあて、下記の作業を実施している。このうち原環センターは組織運営（全機関参加）、モ  
ニタリング戦略、モニタリング技術、成果普及（全機関参加）に関するワークパッケージ  
（WP1、2、3、6）に参加している。各ワークパッケージの実施事項[26]を以下に示す。ま  
た、各ワークパッケージの関係を図 2.2-4 に示す[28]。

##### ・ WP1 組織運営

WP リーダー：ANDRA

##### ・ WP2 戦略（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）

WP リーダー：SKB 社

- 個別の処分プログラムのニーズを理解し、これらのニーズをモニタリングプログ  
ラムの設計基準に変換する方法論を提供する。
- 意思決定、システムの応答をモニタリングするための性能の尺度、およびモニタ  
リング結果への対応に関する集合的な意見を作成する。
- WP2 の最初の結果として、Modern2020 スクリーニング方法論を作成した。  
Modern2020 スクリーニング方法論[27]は、処分実施主体が処分場の事象（プロ  
セス）にリンクしたパラメータのリストの特定と管理を行うための段階的方法論、  
および処分場のモニタリング戦略と技術の概要を提供するものである。

・ WP3 技術（関係するモニタリング技術の研究開発）

WP リーダー: AMBERG 社

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。

- 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。
- 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。
- センサ技術の長期的な性能。
- 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低侵入モニタリング技術。
- 非侵入型の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 現位置試験（実規模現地試験におけるモニタリング技術の実証）

WP リーダー: EURIDICE

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

- 複数の技術を活用し、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を実証する。
- 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で、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て、モニタリングシステム設計に関するガイダンスを提供する。

・ WP5 社会的関心とステークホルダの関与

WP リーダー: UA

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。

- 地域の公衆ステークホルダを国内およ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。
- 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。
- 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 結果の普及

WP リーダー: ANDRA

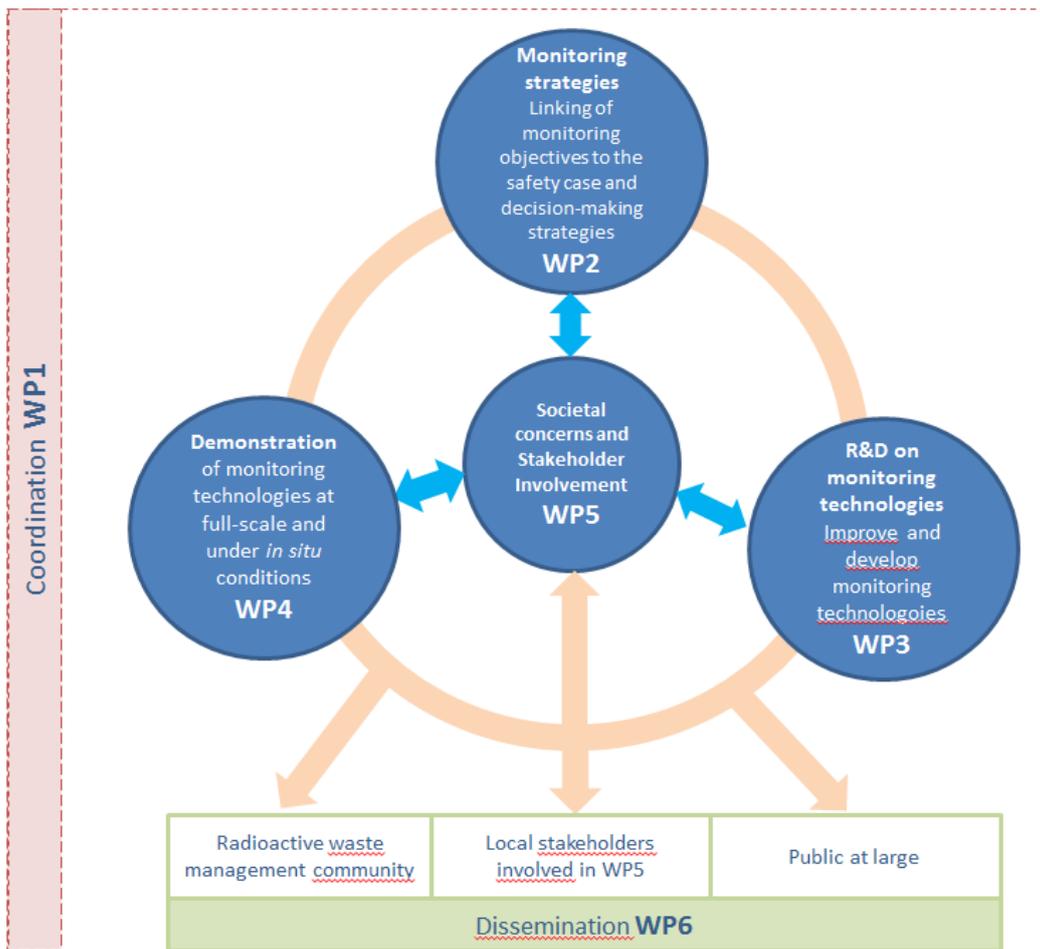


図 2.2-4 Modern2020 プロジェクトの各ワークパッケージの関係図[28]

#### 4) 参加機関

Modern2020 プロジェクトには 29 機関が参加しており、Modern2020 プロジェクトには 29 機関が参加しており、その内訳は実施主体は 8 機関、TSO が 1 機関、技術的研究を行う機関及びコンサルタント会社が 12 機関、及び 8 大学である[26]。各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表 2.2.3-1 に示す。

表 2.2.3-1 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 TEC 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	Galsion 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	

## (2) 性能確認に資するモニタリングパラメータのスクリーニングの方法論

Modern2020 プロジェクトのうち、モニタリングプログラム設計やモニタリング戦略と意思決定について検討する WP2 では、性能確認に資するモニタリングパラメータのスクリーニングのための「Modern2020 スクリーニング方法論」[27] (図 2.2-5) を作成した。この方法論は、処分実施主体が処分場の事象（プロセス）にリンクしたパラメータのリストの特定と管理を行うための段階的方法論を示しており、性能確認のために必要とされ、技術的に測定可能なモニタリングパラメータを特定することで、処分場のモニタリング戦略と技術の概要を提供する。

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」[27]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。

Modern2020 プロジェクトの WP2 では、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」を開発した。この方法論はダイアグラム (図 2.2-5) に模式的に示される。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。また、Modern2020 スクリーニング方法論は、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のできるテンプレートと見なすことができる。なお、Modern2020 スクリーニング方法論は、MoDeRn モニタリング・ワークフロー (図 2.2-6) 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である。

Modern2020 スクリーニング方法論は、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 つのカラムから成るが、これらの要素は基本的につながりがあるため、スクリーニングの目的のために全体が検討される。なお、各ステップの略号の意味は以下の通りである。

- ・ 「PRO」は、検討対象となる各プロセスに適用されるステップのことをいう。
- ・ 「PAR」は、検討対象となる各パラメータに適用されるステップのことをいう。
- ・ 「TEC」は、検討対象となる各技術に適用されるステップのことをいう。

Modern2020 スクリーニング方法論の各ステップの説明と補足質問を表 2.2.3-2 及び表 2.2.3-3 に示す。

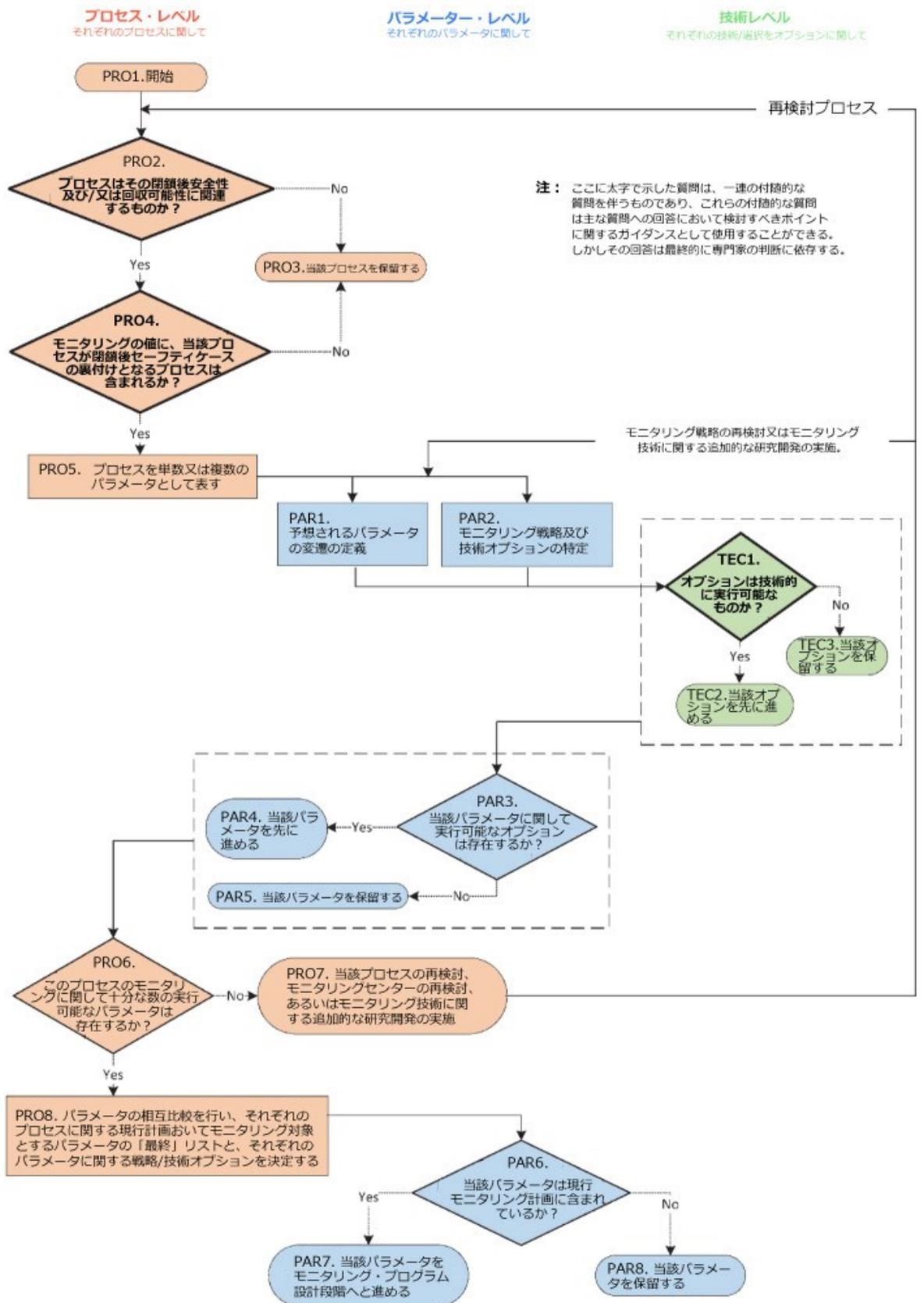


図 2.2-5 Modern2020 スクリーニング方法論[27]

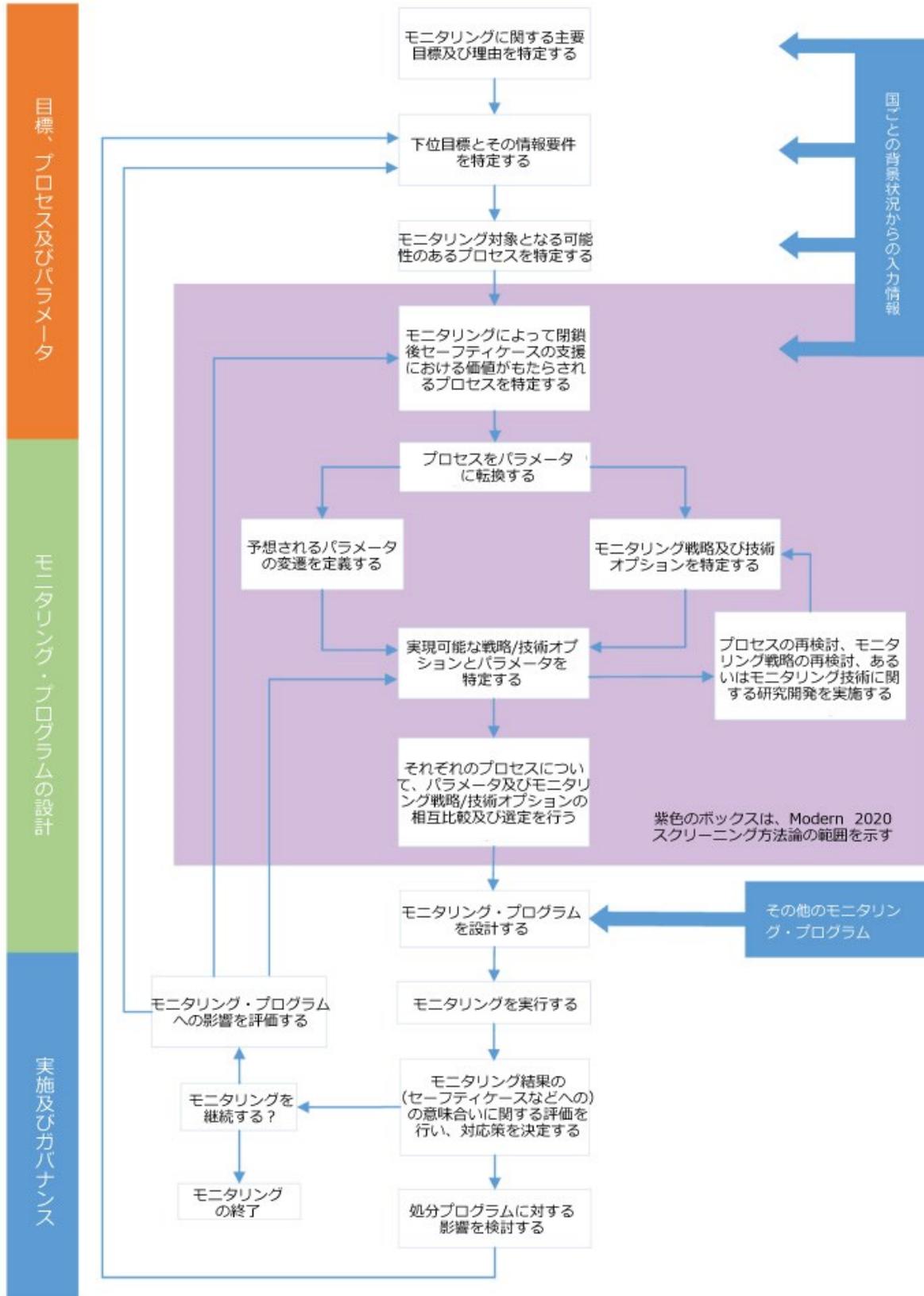


図 2.2-6 Modern2020 により改定された MoDeRn モニタリング・ワークフロー[27]

表 2.2.3-2 Modern2020 スクリーニング方法論の各ステップの説明 ([27]より作表)

ステップ	各ステップの説明
PRO1.	<p>開始</p> <p>多くのケースで WMO はこの時点ですでに、閉鎖後セーフティケースの分析に基づき、処分場モニタリングプログラムでの対処が検討されるプロセスリストを保持している。</p> <p>代替出発ポイントとして、あるパラメータのモニタリング実施の提案（例えば、技術者による提案や規制機関による提案）を挙げることができる。このケースでは、当該パラメータをモニタリング対象とすべきかどうかの決定に先立ち、まずそのパラメータを、当該パラメータが情報をもたらす単数又は複数のプロセスと関連づけなければならない。その上で、この方法論が同じ方法によって先に進められる。</p>
PRO2.	<p>そのプロセスは、閉鎖後安全性及び/又は回収可能性と結び付くものなのか？（補足的質問を参照）</p> <p>この質問により、検討されているプロセスのモニタリングを行う正当化された理由が、その閉鎖後安全性及び/又は回収可能性との関連性の評価を通じて確実に存在するようになる。</p>
PRO3.	<p>プロセスを保留する。</p> <p>検討されているプロセスが（PRO2 の補足的質問リストなどの検討を通じて）閉鎖後安全性又は回収可能性との関連性のないものと判断された場合、このプロセスは「保留」されるべきである。</p> <p>この決定は最終的なものではなく、いかなる時点でも再検討可能であるものの、スクリーニング方法論の残りの部分が、現時点でモニタリング対象として計画されている関連性の高いプロセスに対してのみ実施されるようにする。保留されたプロセスはシステム内にとどめられ、透明性を確保し、将来の再検討を可能にするために、それが保留対象とされる根拠となった理由の記録が残される。</p>
PRO4.	<p>そのプロセスのモニタリングには閉鎖後セーフティケースを支援する上での価値が認められるか？（補足的質問を参照）</p> <p>この質問は、安全関連プロセスのモニタリングによって得られる価値がどの程度のものになるのかという問題を取り扱っている。この質問が必要とされる理由は、安全性との関連はあるものの、そのモニタリングを行った場合でも、閉鎖後セーフティケースのその他の要素を通じて入手される情報/理解を改善する価値ある情報/理解は得られないプロセスが存在しているためである。1 つのプロセスをモニタリング対象とする価値があるかどうかの判断は、専門家の判断と各国の事情に左右される。</p>
PRO5.	<p>プロセスをパラメータに転換する。</p> <p>各プロセスには、そのプロセスに関する情報を入手するためにモニタリング対象とできる 1 件又は複数の関連パラメータが存在することになる。これらは、専門家の知識（例えば、処分場環境内での当該プロセスの活動に関する理解から得られた知識）と、経験（例えば、処分場の研究開発及び実証プログラム内での当該プロセスに関する研究で得られた経験）を通じて特定することができる。</p>
PAR1.	<p>予想されるパラメータの変遷を定義する。</p> <p>検討されているプロセスに関連するパラメータが特定されると、計画されたモニタリング期間にわたる各パラメータのパフォーマンスのモデル化を行う必要がある。目的として、当該モニタリング期間におけるパラメータ値の予測を作成することと、当該パラメータのモニタリングシステムの諸要件を決定することが挙げられる。また、理由として、そのモニタリングに関する潜在的なオプションの適切性の評価を、たとえばモニタリング期間に起こりうる変化の規模を、モニタリングする上で十分な精度、正確さ及び信頼性を備えた手法が利用可能かを理解する必要があるが挙げられる。モニタリング・データを受けて行われる対応において、当該施設の性能が確実に考慮されるため、予測を多くの場合に定量化された不確実性と共に提示する必要がある。このステップは PAR2 と並行して実施されるものであり、また PRO5 で特定されたそれぞれのパラメータに関して実施されるべきである。</p>
PAR2.	<p>このステップでは、対象となるパラメータのモニタリングに関する様々なオプションが特定される。各オプションは、高水準のモニタリング戦略（原位置またはパイロット施設内でのモニタリング、どの処分場要素のモニタリングか等）と技術（物理的な方法）にて構成される。モニタリング戦略の選択は、モニタリングプログラムの開発の基礎となる安全戦略を反映したものとなる。この段階では、使用可能な全てのオプションが対象となるわけではなく、優先的な戦略オプションが特定され、評価される。</p> <p>このステップは PAR1 と並行して実施されるものであり、PRO5 で特定されたそれぞれのパラメータに関して実施されるべきである。</p>
TEC1.	<p>そのオプションは技術的に実現可能か？（補足的質問を参照）</p> <p>このステップでは、PAR2 で特定されたそれぞれの戦略及び技術オプションが、PAR1 で定義されたパラメータに予想される変遷に照らして、技術的に実現可能かどうかの評価が行われる。</p>
TEC2.	<p>オプションを先に進める</p> <p>オプションが（TEC1 の補足的質問への回答又はその他に基づいて）技術的に実現可能と判断された場合、当該オプションは Modern2020 スクリーニング方法論の次の段階へと進めるべきである。</p>

TEC3.	<p>オプションを保留する</p> <p>オプションが (TEC1 の補足的質問への回答又はその他に基づいて) 技術的に実現可能なものではないと判断された場合、当該オプションは保留されるべきである。即ち、当該オプションを現行計画において該当するパラメータのモニタリングに関して検討すべきオプションに含めるべきではない。</p> <p>これは最終決定ではなく、いかなる時点でも再検討可能である。これにより、スクリーニング方法論の残りの部分が技術的に実現可能なオプションのみを対象として実施されることになる。保留されたオプションはシステム内にとどめられ、透明性を確保し、将来の再検討を可能にするために、それが保留対象とされる根拠となった理由の記録が残される (方法論の後の段階になって、必要な場合には技術開発のための研究開発の必要性を特定する機会が存在する: PRO7 を参照のこと)。</p>
PAR3.	<p>このパラメータに関して、何らかの実現可能なオプションがあるか?</p> <p>PAR2 で特定された全ての戦略及び技術オプションが技術的な実現可能性に照らして評価されることで、特定のパラメータに関して特定されたオプションのいずれが実現可能であるのかが明らかになる。</p>
PAR4.	<p>パラメータを先に進める</p> <p>少なくとも 1 つの技術的に実現可能なオプションが存在する場合、当該パラメータを、そのモニタリングに関して技術的に実現可能である判断されたオプションと共に、スクリーニング方法論の次の段階に進めるべきである。</p>
PAR5.	<p>パラメータを保留する</p> <p>パラメータのモニタリングに使用できる技術的に実現可能なオプションが存在しない場合、当該パラメータは保留されるべきである。このことは、現行計画では、それを当該プロセスのモニタリングを行うためのパラメータに含めるべきではないことを意味する。これは最終決定ではなく、いかなる時点でも再検討可能である。これにより、スクリーニング方法論の残りの部分が技術的にモニタリング可能なパラメータのみを対象に実施されることになる。保留されたパラメータはシステム内に留められ、透明性を確保し、将来の再検討を可能にするために、保留対象とされる根拠となった理由の記録が残される。</p>
PRO6.	<p>このプロセスのモニタリングを行うために十分に実現可能なパラメータは存在するのか?</p> <p>この質問は、当該プロセスを実現可能な方法でモニタリングすることが可能かどうかの検討を行うものである。多くのケースにおいて、1 つのプロセスに関して望まれる水準の情報を入手するためには、1 つのパラメータで十分であるが、複数のパラメータが必要になることも考えられる。</p>
PRO7.	<p>プロセス、モニタリング戦略を再検討するか、モニタリング技術に関する追加的な研究開発を行う対象となるプロセスのモニタリングを行う上で実行可能なパラメータが十分に存在しない場合、以下の点に関する再検討を行う必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 当該プロセスのモニタリング。そのプロセスがその後のステップにおける価値を有することが確認されているものの、関連パラメータのモニタリングに使用できる実現可能な手法が存在していない場合、当該モニタリングを行う決定の根拠を再検討する必要がある。</li> <li>・ 異なる高水準モニタリング戦略により、望ましいパラメータのモニタリングを可能とできるか。</li> <li>・ 望ましいパラメータのモニタリングに使用可能な有望なオプションの開発を技術的に実現可能なレベルにまで進めるために、一層のモニタリング技術の研究開発を実施すべきかどうか。</li> </ul> <p>フローチャートには、この再検討の例示としてループが示されているが、現実には、再検討をいかなる時点でも、また方法論のいかなる部分についても実施することができる。</p>
PRO8.	<p>パラメータの相互比較を行う</p> <p>このステップは、各プロセスに関する技術的に実現可能なパラメータと、各パラメータに関する戦略/技術オプションとを、全体論的な方法で検討する。その目的は、各プロセスに提案されている単数又は複数のパラメータと、各パラメータに関する戦略/技術オプションが最適化されるようにすること、すなわち、適切な冗長性レベルを確保した上で、望ましい情報を得るために十分とすることにある。</p> <p>この全体論的な再検討の成果としては、検討されるプロセスに関する情報を示すために (現行のモニタリング計画において) モニタリング対象とされるパラメータの最適化されたリストが、これらのパラメータのモニタリングを行う最適化された戦略/技術の組み合わせと共に、実現されるべきである。</p>
PAR6.	<p>そのパラメータは現行のモニタリング計画に含まれているか?</p> <p>この最後の質問は、それぞれのパラメータを順番に検討し、パラメータのスクリーニング方法論を論理的な結論へと導くものである。</p>
PAR7.	<p>パラメータを、モニタリングプログラムの設計段階に進める</p> <p>ステップ PRO8 の後で、現行計画に組み込むべきパラメータが設計段階へと進められる。前回のエンドポイントと同様に、これは最終決定ではなく、いつでも再検討することができる。</p>
PAR8.	<p>パラメータを保留する</p> <p>ステップ PRO8 の後で、現行の計画に組み込まれないパラメータは、設計段階には進められない。前回のエンドポイントと同様に、これは最終決定ではなく、いつでも再検討することができる。</p>

表 2.2.3-3 Modern2020 スクリーニング方法論の補足的質問 ([27]より作表)

ステップ	各ステップに関する補足質問
PRO2.	<p>そのプロセスは閉鎖後安全性及び又は回収可能性と関連しているか？</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ そのプロセスは、処分場システムの何らかの要素の 1 つ又は複数の安全機能と関連しているか？</li> <li>・ そのプロセスは、何らかの安全機能指標と関連しているか？</li> <li>・ そのプロセスは、安全評価でモデル化されているパラメータで、システム性能に著しい影響を及ぼすものと結び付いているか（線量/リスク）？</li> <li>・ そのプロセスは、廃棄物の回収、あるいは別の方法による処分プロセスの逆転に関する決定につながる可能性のあるシステム性能と関連しているか？</li> </ul>
PRO4.	<p>そのプロセスのモニタリングには閉鎖後セーフティケースの支援面での価値があるか？</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ そのプロセスのモニタリングによって、研究開発及び実証（RD&amp;D）から得られた知識に上乗せする形で、処分場性能に関する不確実性を低減することができるか？（材料科学、手順の開発、実規模実験、ナチュラルアナログ及び根本的な科学的理解が含まれる）。</li> <li>・ モニタリングによって、他の方法で（たとえば品質管理を通じて）得られたものの上乗せする形で、処分場システムが設計通りに実施されているという信頼が高められるか？</li> <li>・ そのプロセスの結果として生じた処分場システムへの変更は、モニタリング期間中に定量化できるか？</li> <li>・ そのプロセスのモニタリングによって対処されるいずれかの不確実性は、処分場設計の変更によってより容易に対処できるか？</li> <li>・ そのプロセスのモニタリングは、処分場設計の改善を支援できるものか？</li> <li>・ そのプロセスのモニタリングを行う結果として、閉鎖後セーフティケースの定期的な更新に組み込まれるシステムの理解を深めることができるか？</li> </ul>
TEC1.	<p>モニタリング技術及び戦略オプションは技術的に実現可能か？</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 提案されている技術は、モニタリング期間におけるそのパラメータのモニタリングに関する感度、精度及び頻度に関する要件を満たすことができるか？</li> <li>・ 提案されている技術は、モニタリング期間におけるそのパラメータのモニタリングに関する信頼性及び耐久性に関する要件を満たすことができるか？</li> <li>・ 提案されている技術は、モニタリング期間にわたり、処分場条件のもとで効果的に機能することができるか？</li> <li>・ 提案されている技術は、処分場システムの受動的安全性に有意の影響を及ぼすことなく適用できるか？</li> <li>・ その技術の設置、データ取得又は保守に伴って生じる可能性のある作業員への放射線量は受け入れ可能なものか？</li> <li>・ その技術の設置、データ取得又は保守に伴って生じる可能性のある作業員への非放射線学的なリスクは受け入れ可能なものか？</li> <li>・ その技術の設置及び/又は通常運転及び/又は保守が実施されることで発生が見込まれる処分場操業への影響（廃棄物定置の中断又は遅延）は受け入れ可能なものか？</li> <li>・ その技術の開発、製造又は配備に伴って発生が見込まれる環境への影響は受け入れ可能なものか？</li> </ul>

### (3) SKBによるモニタリングパラメータのスクリーニングのテストケース

#### 1) スクリーニングのテストケースの概要

Modern2020 プロジェクトでは、「Modern2020 スクリーニング方法論」[27] (図 2.2-5) を、フィンランド、スウェーデン、フランス等の処分概念におけるモニタリングに適用したテストケースを実施している。このテストケースの具体的な目的は次の通りであるが、使用する手法は、各国の処分プログラムに依存しており、モニタリング対象となるパラメータの考察に留まらず、操業フェーズ中のセーフティケース、安全機能指標、FEP の考察を含む可能性がある。

- ・ MoDeRn プロジェクトで特定されたモニタリングの一般的な目的に基づいて、各国の処分プログラムにおけるバリアシステムのモニタリングの具体的な目的を説明する。
- ・ 「Modern2020 スクリーニング方法論」の技法を用い、実践的な（実施可能な）プログラムで監視すべきパラメータを特定する。
- ・ 特定されたモニタリングパラメータに関し、モニタリング期間中に処分システムで予測される変遷を説明する。

テストケースのうち、スウェーデンの SKB によるケース[29]では、KBS-3V 概念による地層処分場において、SR-Site に示された処分場の構成や安全機能等に基づいて、操業期間中に実施される閉鎖後安全性のためのモニタリングを対象とした「Modern2020 スクリーニング方法論」のテストが実施された。

#### 2) SKBによるモニタリングの概要

##### モニタリングに関する既存の取組みから得られた結論

SKB によるテストケース報告書[29]では、SKB の人工バリア等のモニタリングに対する取り組みについて以下のように述べている。

SKB はこれまで Äspö 硬岩研究所で、プロトタイプ処分場の実験等、長期的で大規模なモニタリングも含むバリアの機能に関する多数の実験を行ってきた。そして、これらの実験や、他の同様の実験から導かれる全般的な結論として、以下を示している。

- ・ 緩衝材と容器内に設置した測定機器を用いた直接的な測定値を基に解釈するのは困難で、バリアの機能を台無しにする可能性がある。
- ・ 処分場周辺の地下水の組成を測定し、掘削後の特定の長期的な現場実験や一定の期間後の評価と組み合わせることで、バリアの開発に関して重要な情報が得られる可能性もある。

##### 処分場におけるモニタリング

SKB は EBS のモニタリングの主な目的は、製造や、設置手順／プロセスで欠点、誤り又は逸脱を特定することではないとしている。そして、これらの重要な任務は、品質管理プログラムで扱われるものとしている。一方で、廃棄体の定置後に処分場の機能を監視することにより得られる知識は、処分場開発のきわめて限定的な期間しか網羅しないとしても、これは信頼に関わる重大問題であるとしている。この上で、SKB は MoDeRn 及び Modern2020 への参加は、処分場のモニタリング技法を開発するという意向によるものであるとしている。そしてその目標は、多年

にわたる、あるいは数十年にわたる処分場条件下での技術的（人工）バリアの開発のモニタリングに利用できる技法を開発する事であるとしている。

SKB は、モニタリングに関する既存の取組みから得られた結論に基づき、規制要件としての EIA（環境影響評価）のためのモニタリングとは別に、SKB 自身によるモニタリングとして、以下を実施または検討している。

- サイト選定のためのモニタリング（特徴付け／モデル化）
- ベースラインモニタリング（初期及び境界条件）
- 坑道建設のためのモニタリング（特徴付け／モデル化）
- 操業期間中のモニタリング（検討中）
  - 実規模の原位置長期試験
  - 坑道プラグを通過する流量のモニタリング
  - 銅製クーポンに対するバッチ試験

SKB は、現在、設計済みの EBS のモニタリングシステムはないとしている。

操業期間における実施を検討中のモニタリングのうち、坑道プラグを通過する流量のモニタリングは、処分坑道一端のプラグの設置完了からその処分坑道への放射性廃棄物の処分開始までの期間において実施される。このモニタリングでは、プラグと周辺の母岩を流れる流量に関するデータは、イベント駆動処理ロギング式の機器を用いて、暫定的には一日数回の頻度で、デジタルデータとして収集する。また、銅製クーポンに対するバッチ試験は、処分場と同一の母岩と深度に建設されたパイロット施設で実施する予定であり、銅製クーポンは定期的に回収される。

### モニタリング結果の利用

操業期間中に実施されるモニタリングの結果に利用については以下のような考えを示している。

- 処分場の操業期間が非常に長期間の場合、短期であれば利用できないパラメータの時間的変遷のデータが提供され、既存の実験データを裏付ける可能性がある。
- 理想的には、操業期間中に実施されるモニタリングの結果を予測挙動の確認に利用できる可能性がある。
- 再飽和プロセスは非常に緩速のため、処分場の操業期間（60-100 年）内では、緩衝材と埋め戻し材のバリア機能について有効な結果を得るのは困難である可能性がある。
- EBS の設計では、その建設又は操業に関するデータのモニタリングは不要である。
- 予測挙動の妥当な範囲に該当しない操業期間中のモニタリング結果は、その不一致を説明するために、全体として評価する必要がある。

### 3) SKB によるテストケース

SKB によるテストケース報告書[29]では、Modern2020 スクリーニング方法論[27] (図 2.2-5) の適用性に関するテストとして、KBS-3V 概念による地層処分場への適用結果が示された。このテストケースでは、SR-Site に示された処分場の構成や安全機能等に基づいた、操業期間中に実施される閉鎖後安全性のためのモニタリングを対象としており、その結果は以下のように要約さ

れる。

### 安全機能に基づいたスクリーニングプロセス

KBS-3 概念に基づく処分場では、隔離、閉じ込め、遅延及び他のバリアの保護という主要な安全機能は、容器、緩衝材、埋め戻し材、さらに地下開口部のプラグと岩石に指定されたバリア固有の安全機能によって維持される。安全機能はバリアの条件の形態で、測定や計算可能な量である安全機能指標により定量的に示される。また、安全機能が維持されているかどうか決定するため、安全機能指標を、安全評価対象期間にわたり評価できる定量基準である性能目標（安全機能指標基準）が示される（表 2.2.3-4）。

安全機能は処分場における様々なプロセスと密接に関係しており、安全機能に対する性能目標はパラメータに関係している。表 2.2.3-5 ではこれらのパラメータをモニタリングしやすいパラメータやその代用物に置き換えている。

以上のように、SKB のケースである KBS-3 概念に基づく処分場の閉鎖後安全性に関する主要な要素は、安全機能と関連する基準(性能目標、設計上の特徴、及び技術的な設計要件)である。そして、これらはプロセスとパラメータと直接的に対応している。このため、Modern2020 のスクリーニング技法はプロセスとパラメータが中心であるが、SKB のケースに関しては、安全機能をプロセスの代用とみなして、スクリーニングの出発点として使用できる。

SKB のテストケースでは以上の理由から、安全機能と、閉鎖後安全性ならびに回収可能性との関連性を規定し、最初の時点から PRO2（そのプロセスは、閉鎖後安全性及び/又は回収可能性と結び付くものなのか？）に回答した。

SKB のテストケースでは、この安全機能を出発点とした作業が「Modern2020 スクリーニング方法論」（図 2.2-5）全体を通じて、表 2.2.3-6 の 3 つの安全機能に限定して実施された。

表 2.2.3-4 バリア固有の安全機能、指標、基準の例[29]

バリア構成要素	安全機能	安全機能指標	安全機能指標基準 (TR-11-01) = 性能目標 (SKB-Posiva レポート 01)
容器	腐食に耐える	銅の厚さ	銅の厚さ > 0
緩衝材	移流による質量輸送を制限する	透水係数	透水係数 < $10^{-12}$ m/s
緩衝材	移流による質量輸送を制限する	膨張圧	膨張圧 > 1MPa
埋め戻し材	ライフサイクル中十分な質量を保持する	全電荷が、陽イオンと等価である水と接触した際の安定性	全電荷が、陽イオンと等価である水と接触した際の安定性 $\Sigma q[Mq+] > 8 \times 10^{-3}$ mol/L. (これは等価導電率に置き換えてもよい)
プラグ		処分坑道の入り口を超える水の流れを制限する	

表 2.2.3-5 閉鎖後安全性に関する EBS（容器／緩衝材／埋め戻し材／プラグ）のモニタリング可能なパラメータの例[29]

安全機能を管理するパラメータ	モニタリング可能なパラメータ
透水係数	膨張圧と透水係数の関係は、任意のベントナイト材に関して規定できるため、緩衝材と埋め戻し材中の圧力を代用できる。
膨張圧	緩衝材と埋め戻し材中の圧力
等方圧	岩石応力、総圧力
せん断変位	岩石応力
陽イオンの総等価電荷	水の導電率
銅の厚さ	重量喪失から測定する平均腐食深度
乾燥密度（緩衝材）	?
温度（緩衝材）	温度

表 2.2.3-6 SKB によるテストケースに採用された安全機能とパラメータ（29）より作表）

安全機能	安全機能指標基準（パラメータ）
限定的な移流による質量輸送	緩衝材の透水係数 膨張圧に関するパイピング／浸食プロセス
ライフサイクル中十分な質量を保持する	陽イオンの電荷濃度に関する化学種の輸送プロセス（化学的浸食、希釈水）
容器の腐食に耐える	容器の銅の厚さに関する銅製容器の腐食

### 適用結果から得られた考察

テストケースでは表 2.2.3-6 に示された安全機能に対し、「Modern2020 スクリーニング方法論」（図 2.2-5）の各質問（表 2.2.3-2）に対する回答として作表されたが、ここでは、作業を通じて得られた以下の考察を示す。

- このスクリーニング技法は、操業期間中の処分場のモニタリングに適切なパラメータ（安全機能指標）を、体系化かつ構造化された、追跡可能かつ反復可能な方法で特定するのに有効である。
- EBS の機能は、多数のプロセス／パラメータによって決まる。これらはしばしば結合し、相互依存しているため、ケースによっては、PRO2 の「そのプロセスは閉鎖後安全性に関係があるか」という最初の、そして最も基本的な質問の評価に答えを出すのはきわめて難しい。
- 閉鎖後の関連性について判断するのに一度に一つのプロセスしかスクリーニングできないことは不十分であり、パラメータではなく、安全機能をパラメータのスクリーニングの出発点として採用することが、より確実に意味を成すと考えられる。

### スクリーニング技法の代替案

上記のテストケースの実施とその考察に基づき、スクリーニング技法に対する以下の代替案が提案された。

- PAR3 により、オプションのパラメータを採用する場合は、パラメータのオプションの予測挙動を説明すべきであり、これは現在の作業の流れでは欠落している。

- スクリーニングの作業は、単一のプロセスよりも、安全との関連性が既に確立されている、複合的な機能から開始できるようにすべきである。
- スクリーニング技法の作業は、TEC1 の補足質問である、提案されている技術が処分場システムの受動的安全性に重大な影響を及ぼすことなく採用可能かについて、確認するための手段を提案し、明確にする必要がある。これは非常に重要な点であるため、作業の流れで強調され、直接的に、また単刀直入に扱われるべきである。
- TEC1 の技術的な実現性に関する質問は、設置時点での実現性として理解する。測定からきわめて長期間を経た機器の耐久性とデータの信頼性は、パラメータをモニタリングプログラムの設計段階で利用すべきか決定する前に、証明する必要がある(PAR7)。この点は、作業の流れで一つの確認点とすべきである。
- 「提案されている技術は、処分場システムの受動的安全性に有意の影響を及ぼすことなく適用できるか？」という重要な質問は TEC1 の補足質問の一部だが、TEC1 のレベルでは回答できず、PAR7 以後に対処する必要がある。

#### 2.2.4 わが国における今後の検討要素及び制約条件の抽出並びに課題の整理

平成 27 年 1 月より原子力規制委員会による「廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合」では、中深度処分廃棄物に関する技術基準等の改定に向けた検討が行われている。ここでの議論のうち、モニタリングに関する意見等を表 2.2.4-1 に示す。

また、平成 30 年 2 月現在の最新会合（第 27 回）において公表された「第二種廃棄物埋設に係る規制基準等の骨子案」においては、表 2.2.4-1 での意見も踏まえた表 2.2.4-2 の内容とされており、主な内容は下記の通りである。

- ▶ 規制で要求する「地下水等モニタリング」には、廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地及びその周辺の地質環境に係る物理的・化学的特性、人工バリアの性能や人工バリア及び天然バリアの機能に関係する地下水の状態等の確認のためのデータ取得が含まれる。
- ▶ 地下水等モニタリング設備の設計は、廃棄物の埋設段階、坑道の埋戻し段階及び保全段階における廃棄物埋設地周辺の環境や測定期間に適応して実用上必要な精度で監視・測定ができる性能を有する設備でなければならない。但し、モニタリング設備の設置により、漏出抑制機能を担保する人工バリアの劣化や酸化還元雰囲気擾乱など、放射性核種の移行の促進をもたらすことがないように、最適な設計を講じることが必要となる。
- ▶ 地下水等モニタリングの対象のうち人工バリアの性能については、実際の環境と同等の条件を模擬した環境下での原位置試験又はそれを補完する室内試験等の間接的な方法により確認することが可能であれば、このような設備の設置によって代替することを妨げるものではない。

このように、中深度処分の今後の規制では、「地下水等モニタリング」として人工バリアの性能や機能に関するデータ取得（すなわちモニタリング）が含まれること、但し、モニタリング行為によって処分性能の低下を及ぼすことがない設計が必要であり、原位置試験又はそれを補完する室内試験等の間接的な方法での確認が可能であれば、代替手法でも問題はないとされ、このような状況は、今後の地層処分において同様の議論となることが考えられる。

このような規制の考え方について、前項に示した各国の状況と照らすと、最も近い規制要件の内容としては、スウェーデンであると考えられた。スウェーデンの事業者である SKB はこの要求に基づき、人工バリア材の性能確認について、品質保証プログラムを主とした行為によるとした。この考え方については、例えば、最新の Modern2020 におけるスウェーデンのモニタリングに関するテストケース報告[26]においても基本的に変化は見られない（表 2.2.4-3 及び表 2.2.4-4）。

スウェーデンについては、現在、SR-Site を含む申請がなされており、品質保証／性能確認プログラムに係わる規制当局とのやり取りや、同行を把握することは、我が国にとって有用な情報となると考えられる。

また、規制によって、品質保証及び定置後のバリア性能確認プログラムについても要求されているフィンランドは、今後、性能確認プログラムを作成する予定であり、事業者（Posiva）が、この規制要求に関して、どのような対応を行うのかに関してスウェーデンと同様に我が国にとって有用な情報となると考えられた。

表 2.2.4-1 原子力規制委員会での L1 にかかる議論のうちモニタリングに関する規制の意見等

NRA の意見	備考
<p><u>人工バリアの劣化を直接モニタリングすることは要求しておらず</u>、例えば、模擬された環境下での同じような人工バリアの劣化試験を行い、その結果を踏まえて、定期的な評価に反映し、必要に応じて保全の措置を行うことを要求している。</p>	第 22 回(H29.06.01)
<p>規制基準の地下水の水位等の監視設備に係る規定は、「<u>人工バリアの健全性のモニタリング設備</u>」を要求している。</p>	第 21 回(H29.05.18)
<p>埋設の終了以降の放射線モニタリング設備について下記を要求。            ①設置によって、人工バリア及び天然バリアの機能を著しく損なうことがないこと。            ②撤去後において放射性物質が移行しやすい経路が生じないよう、撤去及び埋戻しを行うことができる見通しがあるものであること。            ③廃棄物埋設地からの放射性物質の漏えいがあった場合、比較的早期に放射性物質が到達すると考えられる地点を選定すること。            ④測定期間及び使用環境に適応したものであること。</p>	同上
<p>操業期間に比べれば、坑道閉鎖までの期間は短い（せいぜい数十年）ことが想定される。</p>	同上
<p>漏洩検知のモニタリングについて、埋設の終了後、閉鎖措置の終了後は、そのときの技術に応じて、合理的な範囲でできる限りのモニタリングが必要であると考えているが、モニタリング数や設置を要求するものではない。</p>	同上
<p><u>モニタリングの実施自体は管理要求だが、モニタリング設備の設置は設計要求になる。</u></p>	第 17 回(H29.02.21)
<p><u>模擬施設で例えば人工バリアの劣化のモニタリングを行い</u>、そこで得られた知見、異常も含めて新しい知見があれば、それを踏まえて定期的な評価を実施し、結果に応じて、必要であれば、適切な保全の措置を講じる、ことが要求されるだろう。</p>	同上 委員からの「模擬施設で異常が起こった場合のアクションについても、規制側として何か指示するのか」との質問に対する回答
<p>地下水等のモニタリングの、<u>人工バリアの劣化モニタリング</u>というのは、<u>設計どおりの性能を発揮しつつあるかどうかということを確認する、知見を得るためのモニタリング</u>である。            最近、スウェーデンなんかの考え方として、例えばいきなり万年オーダーの安全評価をやって、その結果を信じてくださいというのは、なかなか難しい。それよりも、むしろ、例えば 1,000 年ぐらいまでの期間の人工バリアの挙動を例えば予測し、なるべく我々の測れる限りの期間において、数百年の間のデータをとって、1,000 年ぐらいの挙動の予測の結果と比較することによって、モデルの正しさというのを示し、パブリックに説明していこうという、そういう考え方がある。</p>	同上
<p>計測場所については、事業者が決定することであると考えているが、<u>例えば実際の本物の坑道のすぐ横に、試験坑道を建設し、測定を行えば、かなり信頼性は高まるのではないかと考えている。</u></p>	同上 上記の意見について委員より「規制による指示という意味で、長期の健全性を模擬的に調べることについてはあまり意味的がないのではないか。例えば加速試験をするとか、モデリングの不確定性を見るとかという点で、それを規制に盛込むというのに違和感を感じる」との意見について

NRA の意見	備考
<p>事業者には、「最適な設計を講じる」という、ところを一生懸命考えていただくというのが重要なところで、埋設前であれば、かなり精緻に測ることはできるが、埋設後に対象物の近傍で計測するとバリア性能への影響という問題があり、かといって、あまり離れてしまうと、検知不能という状態になる。</p> <p>事業者には、基本的には最適な場所、方法というのを、その時点、その時点のモニタリング技術も反映しながら考えていただくことが考え方の基本である。</p> <p>施設確認はきっちり行うものの、それでも、漏洩は設計どおりであるから、何もしなくていいという考え方はとっていない。</p>	<p>同上</p> <p>上記の意見について委員より「このモニタリングは、非常に難しいというのを実感する。人工バリアの設計上の問題とか施工の不具合については、要する品質保証、品質管理に問題があるかどうかを最終確認する、と読める」との意見について</p>

表 2.2.4-2 「第二種廃棄物埋設に係る規制基準等の骨子案」における  
モニタリングに関する記述

<p>1 4. 地下水の水位等の監視設備に係る規定</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 地下水の状態に加えて、廃棄物埋設地の埋戻し終了後における人工バリアや天然バリアが設計を逸脱することなく性能を発揮しつつあることを事業者が確認し、後述する定期的な評価等に必要なデータを取得するため、<u>廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地及びその周辺の地質環境に係る物理的・化学的特性、人工バリアの性能や人工バリア及び天然バリアの機能に関係する地下水の状態等の確認のためのデータ取得（以下「地下水等モニタリング」という。）を行うための設備を設置することを要求する。</u></li> <li>● 放射線モニタリング及び地下水等モニタリング設備の設計に当たっては、<u>廃棄物の埋設段階、坑道の埋戻し段階及び保全段階における廃棄物埋設地周辺の環境や測定期間に適応して実用上必要な精度で監視・測定ができる性能を有する設備を用いることを要求する。この際、モニタリング設備の設置により、漏出抑制機能を担保する人工バリアの劣化や酸化還元雰囲気擾乱など、放射性核種の移行の促進をもたらすことがないように、最適な設計を講じることを要求する。このため、地下水等モニタリングの対象のうち人工バリアの性能については、実際の環境と同等の条件を模擬した環境下での原位置試験又はそれを補完する室内試験等の間接的な方法により確認することが可能であれば、このような設備の設置によって代替することを妨げるものではない。</u></li> <li>● 閉鎖措置以降における地下水等のモニタリングについては、閉鎖措置計画において、事業者がその時点での最新技術も踏まえて詳細な方法を示し、その妥当性について原子力規制委員会が閉鎖措置計画の認可審査で判断することが適切と考える。</li> <li>● 廃棄物埋設施設には、地下水の水位その他の廃棄物埋設地及びその周辺の状況を監視し、及び測定する設備を設けなければならない。「廃棄物埋設地及びその周辺の状況を監視し、及び測定する設備」とは、次のことをいう。</li> </ul> <p>➤ 定期的な評価等に必要なデータを取得するため、人工バリア及び天然バリアの機能に関係する地下水の状況等の監視及び測定の項目を選定し、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、当該項目を監視及び測定できる設計であること。</p>
---

- 測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視及び測定ができる性能を有するし、人工バリア及び天然バリアの機能を著しく損なうことのない監視設備及び測定設備を用いること。ここで、「測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視及び測定ができる性能を有し、人工バリア及び天然バリアの機能を著しく損なうことのない監視設備及び測定設備」のうち人工バリアの機能に係る設備については、実際の環境と同等の条件の類似の環境下での原位置試験又はそれを補完する室内試験等の間接的な方法により確認することが可能であれば、このような設備の設置によって代替することも含む。

表 2.2.4-3 閉鎖後安全性に関する EBS システム（容器／緩衝材／埋戻材／プラグ）の  
モニタ可能な一連のパラメータ[26]

安全機能を管理するパラメータ	モニタ可能なパラメータ
透水係数※	膨張圧と透水係数の関係は、任意のベントナイト材に関して規定できるため、緩衝材と埋戻材中の圧力を代わりに利用できる。
膨潤圧※	緩衝材と埋戻材中の圧力
静水圧	岩石応力、総圧力
せん断変位	岩石応力
陽イオンの総等価電荷	水の導電率
銅の厚さ※	重量喪失から測定する平均腐食深度
乾燥密度（緩衝材）	?（原文のまま）
温度（緩衝材）	温度

注※表 2.2.4-4 において一部のバリア材に関する代替パラメータ及び計画が示されている。

表 2.2.4-4 モニタリングパラメータ、代替パラメータ及び計画[26]

モニタリングパラメータ	代替パラメータ及びモニタリング計画
パイピング／浸食プロセスに関する緩衝材の透水係数	<p>閉鎖後安全性における、処分坑道と処分孔への様々な流入条件に関する緩衝材の浸食計算では、限定的な流れがプラグを通過すると仮定した。一部のケースでは、プラグが十分に施工されていれば、特定の処分孔内の緩衝材の浸食は減少する。したがって、プラグが閉め固めが十分であれば、処分場のロバスト性は高まる。但し、プラグを通過する流れは、緩衝材又は埋戻材の安全機能に直接的には結び付かない可能性がある。</p> <p>受動的安全性への影響：緩衝材／埋戻材内には設備がないため、モニタリングシステムがモニタリングに影響を及ぼす可能性はない。</p>
緩衝材の膨張圧	<p>緩衝材及び／又は埋戻材中の、有線又は無線の圧力計。このように長期の測定に利用できる、耐久性が証明済みの技術は存在しない。</p> <p>受動的安全性への影響：設備の長期的耐久性と信頼性を証明する必要がある。設備が長期的セーフティケースを損なわないことを保証する方法はない。</p>
化学的浸食に関する埋戻材と緩衝材周辺の水の導電率	<p>処分場深度におけるサンプリングによる地下水の水質モニタリングは既に実施済みである。これは母岩のモニタリングプログラムの枠組み内で実施される。</p> <p>受動的安全性への影響：この戦略には、処分場の動的なモニタリングは含まれないため、それを損なうリスクはない。</p>
容器の銅の厚さ	<p>異なる時間スケールで回収した重量喪失解析について、容器の代わりに銅製クーポンを使用した原位置バッチ実験。モニタリング計画はないが、プランニングでは検討されている。</p> <p>受動的安全性への影響：この戦略には、処分場の動的なモニタリングは含まれないため、それを損なうリスクはない。</p>

## 2.2.5 まとめ

第2章では、わが国の品質保証／性能確認プログラムの構築に資する知見体系を整備した。

- ① 処分事業が先行する諸外国のうち、わが国の処分概念と類似した処分概念を有する国を中心に、具体的な事例を調査
- ② プログラム体系の構築に資する知見の体系化を行った。
- ③ 今後、わが国の品質保証／性能確認プログラムを構築する際に、検討すべき要素や制約条件を抽出し、課題を整理

なお、③においては、L1に係る規制検討におけるモニタリングに関する要求事項についても調査・整理し、検討すべき要素や制約条件の一つとして考慮した。

### (1) 諸外国の品質保証／性能確認プログラムの具体的事例の調査

本調査で対象とした3カ国（スウェーデン、フィンランド及び米国）の品質保証／性能確認プログラムの構成要素に関する規制要求と事業者の取組みに関して調査を行った。調査結果の概要を表 2.2.5-1 に示す。

表 2.2.5-1 に示すとおり、品質保証については、調査全対象の施設で規制要求がなされている。一方、モニタリングを含む性能確認については、フィンランド及び米国については人工バリアの定置後の性能確認モニタリングを要求しているのに対して、スウェーデンの規制（SSM）では、「解析によりモニタリング等の措置による安全性への影響がないことを示した上での実施」との制限付きの要求を行っており、事業者（SKB）は、原位置での人工バリアモニタリングは、処分性能への影響を及ぼすと判断し、実施しないこととしている。

なお、この方針は、スウェーデンの最新情報である Modern2020[26]において実施されたモニタリングパラメータ抽出検討によるテストケース結果（表 2.2.4-3 及び表 2.2.4-4）においても同様であり、本調査対象である2011年のSR-Siteにおける考え方から変化していない。

一方、規制要件で人工バリアモニタリングが規定されているフィンランドに関しては、今後具体的な性能確認計画が策定されることとされており、将来の詳細計画の内容や規制とのやり取りなどについて調査をしていくことは我が国にとって有益な情報となると考えられた。

また、米国（Yucca Mountain）については、規制要件の中で品質保証の一環として性能確認の実施を含めており、さらに、詳細なモニタリング計画についても規則（10 CFR Part 63）の中で明文化されている。事業者（DOE）は、この要件を受け性能確認プログラムの開発がなされている

### (2) 品質保証／性能確認プログラム体系の構築に資する知見の体系化

上記の調査結果を踏まえ、各国の品質保証／性能確認プログラム体系の構築に資する情報の整理を行なった。

品質保証／性能確認プログラム体系の構築に関しては、各国の様々な事情が関与するが、構築の際には、主に考慮すべき要因として下記が挙げられる。

- ① 処分概念（例：人工バリアへのアクセス性）
- ② サイト環境（例：バリアに影響を及ぼす地下水面の位置や地質環境）
- ③ 規制要件における性能確認に対する要求（例：処分性能への影響についての考え方や要求

事項)

- ④ 品質保証の考え方（例：性能確認との関係性や品質保証で担保可能なバリア設計）
- ⑤ 地下研究施設の役割（例：天然環境の代表性）

例えば、本調査において参考として調査対象とした米国（Yucca Mountain）の場合、廃棄体周辺に緩衝材や埋戻材を設置しない処分概念であることから、人工バリアへのアクセス性は閉鎖後も高い。この理由は、Yucca Mountain のサイト環境である地下水面が施設より下にあり、廃棄体に影響を及ぼす水理影響は降水による浸透のみであることによる。一方、前項に示したとおり、スウェーデンの場合は、地下水影響を含む対策として KBS-3 概念（多重バリア構造）を採用しており、この結果、ベントナイト粘土や埋戻材を設置することとなるため、これら構造物の設置後のバリア等へのアクセス性は、極端に低くなり、機器による処分性能への影響は回避が困難な技術的課題となる。

これに関する対策として、スウェーデンでは、室内試験や地下研究施設などでのバリア材料や天然環境中での人工構造物への影響について試験等による性能の把握をしつつ、性能評価及び安全評価によって、バリア材の品質保証を行い、安全評価における評価期間である閉鎖後 100 万年間の安全性を保証する十分な余裕を持ったバリア設計が行われている。さらに設計・製造仕様や施工方法を定め、実際のバリア材料の調達、製造及び定置は、仕様に沿った品質管理を行うことで長期的な性能を担保することとしている。

但し、フィンランドのように規制でバリアの性能確認行為を求められている場合には、これを遵守する必要があるが、詳細なモニタリング計画策定は今後実施されることとされており、その具体的方針や詳細内容、さらには、規制機関とのやり取りなどの動きは、我が国の今後の品質保証／性能確認プログラム体系の構築の際にも有益な情報となると考えられた。

### (3) 性能確認に資するモニタリングの国際共同研究 Modern2020 プロジェクト

Modern2020 プロジェクトでは、各国に共通する課題として性能確認に資するモニタリングについて取り組んでいる。昨年度はモニタリングパラメータのスクリーニング方法に関する報告書が公開されたが、本年度は、スウェーデンの SKB によるスクリーニング方法を自国の処分概念に適用したテストケースについての報告が行われた。

SKB は、基本的な考えとして、EBS のモニタリングの主な目的は、製造や、設置手順／プロセスでの欠点、誤り又は逸脱を特定することではなく、これらの重要な任務は、品質管理プログラムで扱われるものとしている。一方で、アクセス可能な状態にあるプラグ等のモニタリングを行うと仮定した場合のモニタリングパラメータの抽出とスクリーニング方法をテストケースとして示している。

### (4) わが国における今後の検討要素及び制約条件の抽出並びに課題の整理

諸外国の調査・整理結果を踏まえ、我が国における最近の規制動向を踏まえつつ、品質保証／性能確認プログラム体系の構築の際の課題等の整理を行なった。調査対象国のすべての品質保証／性能確認プログラムは、上記の通り、最終的には、規制要件の記載内容に拠るところが大きく、現段階で、単純に我が国の事業に反映することは困難ではあるが、例えば、中深度処分廃棄物に

関する技術基準等の改定に向けた検討調査結果等を踏まえると、表 2.2.5-2 に示す概括的な案が考察された。

今後は、我が国における、室内試験や地下研究施設でのバリア仕様研究（緩衝材のパイピングエロージョン試験やオーバーパックスの腐食試験、地下研究施設での緩衝材定置試験結果など）を踏まえつつ、実施主体との連携を行いながら、我が国に適した品質保証／性能確認プログラム体系（案）を策定し、将来の地層処分に関する規制検討の際の事業者からの説明に資するものとする。

表 2.2.5-1 各国の人工バリアに係わる品質保証／性能確認プログラムの比較（考え方）

項目	スウェーデン	フィンランド	米国
規制要求	品質保証 要求している (SSMFS 2008:21)	要求している (YVL D.5)	要求している (10 CFR Part 63) 検査やモニタリングも品質保証の一環
	性能確認 要求していない (SSMFS 2008:21) 解析によりモニタリング等の措置による安全性への影響がないことを示した上での実施を言及	要求している (YVL D.5)	要求している (10 CFR Part 63) モニタリング内容（確認事項／期間／方法等）を詳細に規定
事業者の取組み	品質保証 材料調達、製造、設置の各段階で検査を実施し、施工後初期状態を満たすための設計前提条件を満たしていることを確認	同左	材料購入や製造に関する検査等の内容のみならず、性能確認プログラムの適切な履行も含まれる。
	性能確認 人工バリア（キャニスタ、緩衝材、埋め戻し材）の性能は、地下研究施設での試験等の確認では実施するが、 <b>実処分場でのモニタリングは、安全機能を損なう為、実施せず</b> 処分坑道や処分孔の岩盤特性モニタリングは実施	初期段階からのバリア変遷のモニタリングを実施 モニタリング対象とするパラメータを抽出し、それらの変遷をモニタリングで確認 ただし、 <b>実処分場でのモニタリング実施については検討中</b>	バリア構成要素が当初の設計通りに機能していることを原位置モニタリングを含む性能確認活動により確認 ただし、 <b>閉鎖までアクセス性は確保される処分概念であることから廃棄体周辺モニタリングは容易</b>

表 2.2.5-2 諸外国調査結果を踏まえた品質保証／性能確認プログラムの構成要素

案	品質保証／性能確認プログラムの構成要素				考 察 (特徴／長所・短所など)
	品質保証	性能確認 (バリア設置～閉鎖前まで)			
		URLや室内での確認試験	原位置モニタリング (バリア周辺)	原位置モニタリング (バリア自体)	
①	実施	実施			<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ スウェーデンと同様。処分性能への影響は考慮する必要はなく、アクセス困難なバリアへの計測機器開発も不要であるが、地質環境の代表性を説明した上で、バリア性能が想定どおりであるかを示すことが課題となる。</li> <li>▶ また、現在の中深度処分に対する規則改定状況を踏まえるとモニタリング実施の要求可能性が高く、我が国においては現実的ではない。</li> </ul>
②	実施	実施		実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ フィンランド (計画段階) と同様。アクセス困難なバリアへの長期計測機器開発や記録等による処分性能への影響についての検討や異常値の対応などが課題となるが、規制要求への説明は容易となる。</li> <li>▶ サイト内にパイロット施設し、原位置モニタリングを実施することも考えられるが、サイト環境の代表性についての課題</li> </ul>
③	実施	実施	実施	実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 上記①及び②と同様の特徴や課題がある。</li> </ul>
参考	実施	実施	実施		<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ①よりも機器開発等の課題は低減されるものの、同様の課題 (地質環境の代表性やモニタリング結果の解釈) の克服が必要となる。</li> </ul>

## 参考文献

- [1] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター (2017) 平成 28 年度地層処分技術調査等事業 処分システム工学確証技術開発 報告書 (第 4 分冊) モニタリング関連技術の整備 (平成 29 年 3 月)
- [2] 江藤ほか (2010) 地層処分に関するモニタリング技術メニューの整備、日本原子力学会 2010 年秋の大会
- [3] MoDeRn (2014). Monitoring During the Staged Implementation of Geological Disposal: The MoDeRn Project Synthesis. MoDeRn Project Deliverable D-6.1.
- [4] 原子力環境整備促進・資金管理センター (2014), 平成 25 年度地層処分技術調査等事業処分システム工学確証技術開発報告書 (第 3 分冊) モニタリング関連技術の整備.
- [5] MoDeRn (2013a). Development Report of Monitoring RTD. MoDeRn Project Deliverable D-2.3.1.
- [6] MoDeRn (2013b). Wireless Sensor Network Demonstrator Report. MoDeRn Project Deliverable D-3.3.1.
- [7] MoDeRn (2013c). Wireless Data Transmission Demonstrator: from the HADES to the surface. MoDeRn Project Deliverable D-3.4.2.
- [8] MoDeRn (2013d). WP2 State of Art Report on Monitoring Technology. MoDeRn Project Deliverable D-2.2.2.
- [9] 原子力環境整備促進・資金管理センター: 「平成 27 年度地層処分技術調査等事業処分システム工学確証技術開発報告書 (第 4 分冊) モニタリング関連技術の整備」 (2016)
- [10] 核燃料サイクル開発機構: 「わが国における高レベル放射性廃棄物 地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—」 (1999)
- [11] SKB (2011) Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, Main report of the SR-Site project, TR-11-01
- [12] SKB (2010) Design and production of the KBS-3 repository, TR-10-12
- [13] SKB (2010) Design, production and initial state of the buffer, TR-10-15
- [14] SKB (2010) Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16
- [15] SKB (2010) Design, production and initial state of the closure, TR-10-17
- [16] SKB (2010) Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18
- [17] SKB (2009) Design premises for a KBS-3V repository based on results from the safety assessment SR-Can and some subsequent analysis, TR-09-22
- [18] CEN (2004) Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules, ENV1997-1:1994
- [19] DOE: Yucca Mountain Science and Engineering Report, Technical Information Supporting Site Recommendation Consideration Rev.1, DOE/RW-0539, (2002)
- [20] DOE: Performance Confirmation Plan, TDR-PCS-SE-000001 REV 05, (2008)

- [21] DOE: Monitored Geologic Repository Test & Evaluation Plan, TDR-MGR-SE-000010 REV 03 ICN 01, (2001)
- [22] SNL: Repository Performance Confirmation, SAND2011-6277, (2011)
- [23] EPRI: Performance confirmation for the candidate Yucca Mountain Repository, Interim Report, (2001)
- [24] 原子力環境整備促進・資金管理センター:「諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について (2017年度版)」(2017)
- [25] NRC: 10 CFR Part 63: Disposal of High-Level Radioactive Wastes in a Geologic Repository at Yucca Mountain, Nevada, (2001/2009)
- [26] Modern (2017). WP2, Task 2.2 Screening of test cases Test case report SKB (SR-Site)
- [27] Ahonen, L., Korkeakoski, P., Tiljander, M., Kivikoski, H., Laaksonen, R., Quality Assurance of the Bentonite Material, POSIVA Working Report 2008-33 (2008)
- [28] NUMO: 地層処分事業の安全確保 (2010年度版) — 確かな技術による安全な地層処分の実現のために —, NUMO-TR-11-01 (2011年9月)
- [29] NUMO: 高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性 — 「処分場の概要」の説明資料 —, NUMO-TR-04-01 (2004年5月)
- [30] Posiva: Monitoring at Olkiluoto - a Programme for the Period Before Repository Operation, POSIVA 2012-01, (2012)
- [31] Posiva: Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Synthesis 2012, POSIVA 2012-12, (2012)
- [32] Posiva: Buffer Production Line 2012, Design, Production and Initial State of the Buffer, POSIVA 2012-17, Markku Juvankoski and Kari Ikonen (VTT), Tiina Jalonen (Posiva Oy), (2012)
- [33] Posiva: RAKENTAMISLUPAHAKEMUS, Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamiseksi käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta varten, (2012)
- [34] Posiva: Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon ohjelma vuosille 2016-2018, YJH-2015, (2015)
- [35] STUK, Guide YVL D.5 DISPOSAL OF NUCLEAR WASTE, (2013)
- [36] STUK, Y/4/2016 Radiation and Nuclear Safety Authority Regulation on the Safety of Disposal of Nuclear Waste, (2016)

平成 29 年度

高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業

(処分システム工学確証技術開発) のうち

(4/4) モニタリング関連技術の整備

－技術メニューのデータ整備－

SR-Site に関する文献調査結果

平成 30 年 3 月 20 日



下記の文献について、モニタリングや性能評価に関する部分を抜粋した結果を示す。

- TR-11-01 SR-Site メインレポート
- TR-10-12 KBS-3 処分システムプロダクション報告書
- TR-10-15 緩衝材プロダクション報告書
- TR-10-16 埋戻し材及びプラグプロダクション報告書
- TR-10-18 地下開口部建設報告書

表 1 性能確認等に関する文献調査結果-1

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, TR-11-01, Volume I -III			
発行年	2011			
<b>本検討に資する内容</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 規制の考え方において、処分場の安全機能を阻害しかねないモニタリング活動は許容されない。SKB はモニタリングによって引き起こされる、長期安全性にとって有害な効果に関連する FEP については、これ以上の解析から除外された。すなわち最終的に定置された人工バリアに対するモニタリング活動は実施されない。</li> <li>● 閉鎖後モニタリングに関する決定は、閉鎖を実行する時点の意思決定者が下すのが適切としている。</li> <li>● 安全機能、安全機能指標、安全機能指標基準の設定が行われた。</li> <li>● 長期安全性を見込んだ Design premises の設定が行われ、これを満足する参照設計の開発がすすめられた。</li> </ul>				
該当箇所	記載内容	備考		
要約	<p>安全評価 SR-Site の中心的な結論は、長期安全性の要求事項を満たす KBS-3 処分場をフォルスマルクの地に建設できる、ということである。この結論は、KBS-3 処分場のバリアの長期的な耐久性は、フォルスマルクの良好な特性によって確実なものとなる—という理由から導出したものである。特に、鑄造インサートを内部に備える銅製キャニスタは、処分場環境で受けると考えられる機械的・化学的負荷に十分な抵抗性を備えることを立証している。</p> <p>この結論は、以下の事項から裏付けられたものである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ KBS-3 処分場は次の 2 点に立脚していること。第 1 の立脚点は、長期安全性にとって重要な特性の観点から見た場合に、長期的な安定性を示す地質環境である。具体的には、力学的に安定であること、処分場深度での地下水流動速度が低いこと、地下水中に安全機能阻害物質が高い濃度で含まれていないことがある。第 2 の立脚点は、人工バリアの材料として天然起源の材料（銅とベントナイト粘土）を使用していることである。それらの人工バリア材料は、処分場環境において、安全確保に必要となるバリア寿命を提供する上で十分な耐久性を有する材料である。</li> <li>➢ 長期安全性に影響する現象の理解。SKB 社は数十年の自社の研究活動を通じて、また国際協力を通じて、安全評価のための知識ベースを成熟させた。</li> <li>➢ サイト特性の理解。処分場深度での条件について、地表からの調査実施及び取得データの科学的解釈に少なからずの年月を費やすことにより、サイトのモデル及びその安全評価での使い方を成熟させた。</li> </ul> <p><u>処分場の人工構築する部分の仕様を詳細化し、所定の仕様を満足する構築物を品質保証できる方法で製造する技術を立証したこと。</u>これにより、安全評価で用いる初期状態を品質保証がある形で用意できた。</p>			
S2 安全性の達成—サイト特性並びに処分場の設計と建設				
S2.2 フォルスマルク・サイト				

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, TR-11-01, Volume I-III			
発行年	2011			
Design premisses, reference design and Production reports	<p>KBS-3 処分場の概念の開発は、その最初の考案時点から続けられてきた。現行設計は、1983年にKBS-3報告書で提示した設計を下地にしたものである。設計を洗練していく上で、長期安全性解析からのフィードバックは重要なインプットである。SR-Can安全評価からのフィードバックは、SR-Site安全評価及び許可申請のためのdesign premissesへと結実させている。この「<u>design premisses</u>」とは、通常、バリアは如何なる力学的負荷にたえなければならぬかに関する仕様、バリア材料の組成に関する制約事項、あるいは、<u>地下掘削に課せられる許容基準</u>といった格好のものである。SR-Can安全評価及びその後実施した解析の結果に基づいて、キャニスタ、緩衝材、処分孔、処分坑道、埋め戻し材のほか、主要坑道、搬送坑道、アクセス坑道、シャフト、中央エリア及び閉鎖について、<u>総数で約30項目になる「design premisses」を作り上げた</u>。開発した「<u>design premisses</u>」は設計制約事項となり、<u>それらが全て満足できた場合には、処分場の安全性を立証する上での良い根拠(good basis)を形成することになる</u>。</p> <p><u>Design premisses</u>を満足する基本設計の開発を進めており、その結果を『<u>プロダクション報告書</u>』と呼ぶ複数の報告書で提示している。プロダクション報告書は、燃料、キャニスタ、緩衝材、処分坑道埋め戻し材、処分場閉鎖、地下開口部、という〔6つの〕報告書で構成しており、SR-Siteにおける処分場システムの人工構築物についての安全評価で必要となる情報を含んでいる。</p> <p>各『プロダクション報告書』では、i) 満足すべき design premisses、ii) 要求事項を達成するために選定した基本設計(reference design)、iii) 基本設計が design premissesを満足することの検証を目的とした解析、iv) <u>基本設計を達成するための製造方法及び品質管理手順</u>、v) <u>前述の手順が基本設計を達成するか</u>の検証を目的とした解析、vi) 達成される初期状態についての説明、を行っている。最後の項目は安全評価への主要インプットである。</p> <p>初期状態は各『プロダクション報告書』で提示しており、安全評価に帯する主要なインプットについての定量的な情報を示している。それらを『データ報告書』において批判的に評価しており、安全評価に用いるインプットデータについての公式適格性確認(formal qualification)は、初期状態データに影響する不確実性の評価に基づいて行っている。</p>			
S4				
S4.4 評価結果に対する信頼度、確からしさ				
	<p>SR-Site 評価は、SKB 社が行う最終処分場の許可申請—使用済燃料の管理に対するSKB社のプログラムの主要な意思決定ポイント—を裏付けるものである。したがって、SR-Site において得られた結果に対する信頼度の表明文(statement on the confidence in ~)は「妥当である」(= appropriate)ということである。以下の事項に基づいて、得られた結果に対する信頼度は「当座の決定を行う上で十分である」と評価した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ フォルスマルクでの「地上からの調査」の完了段階から取得した知識は、長期安全性を評価する上で十分なものである。サイトは安全性にとって良好な条件を備えており、安全性を立証する上で、サイトに関連した未解決の課題は識別されていない。サイト記述モデルに対する信頼度、及びサイトの理解に対する信頼度は、サイト調査及びサイトのモデル化のための体系的かつ品質保証されたプログラムを通じて得たものである。サイトのモデルに対する信頼度を詳細な評価して、『サイト記述：フォルスマルク』に文書化している。</li> <li>➢ 基本設計について、その生産管理手順を特定し、かつそれらの手順を通じて、フォルスマルクにおいて長期安全性にとって良好な特性を備えた処分場システムの初期条件を達成できる水準まで確立している。システムの初期状態を達成するために、処分場システムの人工構築部分は、実証した技術と確立した品質保証手順に基づいている。このことは『プロダクション報告書』及びそれらの参考文献において、体系的に文書化している。<u>人工バリアの初期状態と係わる重要な側面</u>として、以下のものが例示できる。 <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 銅製キャニスタの密封品質</li> </ul> </li> </ul>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, TR-11-01, Volume I-III			
発行年	2011			
	<p>b. 鋳鉄製インサートの鋳造品質</p> <p>c. 密度、モンモリロナイトや不純物の含有量などの緩衝材特性。</p> <p>d. 緩衝材が所定の位置で膨潤することを確実にするための埋め戻し材特性</p> <p>e. 処分場を地下で検出された詳細条件に適応させるためのアプローチの品質、並びに掘削技術の品質</p> <p>f. 定置技術の品質</p> <p>今後、基本設計の開発が進み、実施段階に向かう時には、追加的な最適化ができる可能性がある。</p>			
2.方法論 (Methodology)				
2.2 安全性				
2.2.2 安全機能と安全措置 ¶6	<p>第8章では、バリアに対する多くの安全機能指標を示して議論する。<u>緩衝材の温度、及び緩衝材と埋め戻し材の密度、透水係数、膨潤圧力のような特性に対する基準を示す。これらの基準への順守状況を立証することは、処分場システムが将来変遷していくのに伴ってバリアが意図したとおりに機能するだろうか</u>という議論を提起する。逆に、安全機能指標基準が満たされない場合、これは1つの経路かその他で安全性が潜在的に危うくされる可能性があり、事後経過 (consequence) をさらに検討する必要があることを意味する。しかしながら、そのことだけをもって、総合的なシステム性能が許容できないということにはならない。</p>			
2.4 時間スケール (Timescales)				
2.4.1 規制規則及び一般勧告 ¶2	<p>放射線安全機関 (SSM) の「<u>SSMFS 2008:37 規則</u>」では「<u>処分場を閉鎖後最初の 1,000 年間に対しては、処分場のバリア性能の評価は人の健康と環境に対する影響の定量的な解析に基づかなければならない</u>」、「<u>処分場を閉鎖後最初の 1,000 年間の過ぎた後の期間に対しては、処分場のバリア性能の評価は処分場の特性、その環境、及び生物圏が変遷するさまざまな考え得るシーケンスに基づかなければならない</u>」と述べている。</p>			
2.4.2 安全評価でカバーする時間スケール ¶5	<p>“SSMFS 2008:37 規則の適用に関する一般勧告”で述べられているように、<u>定量的なリスク基準は最初の約 10 万年の期間中には定量的な規制度として適用でき、その後は処分場のバリア性能を議論するための基盤として使用できる</u>。したがって、SR-Site のリスク計算は 100 万年まで延長し、SSM の一般勧告にしたがって、その結果を第 15 章で述べる適合の議論で使用する。リスク計算は、処分場安全性の補完的指標の計算によって補完する。詳細はセクション 2.6.3 を参照のこと。</p>			
5.処分場の初期状態				
5.1 はじめに				
¶5	<p><u>モニタリングによって引き起こされる、長期安全性にとって有害な効果に関連する FEP については、これ以上の解析から除外された。その理由として、処分場の安全機能を阻害しかねないモニタリング活動は許容されないことが挙げられる。</u></p>			
5.2 サイト状況に適応した処分場 - 地下開口部				
5.2.2 処分場の設計及びその結果として得られるレイアウト				
段階な設計 (design stages) ¶3	<p>処分場施設の最終的なレイアウトの開発をサイトへの適応に基づく形で進めるためには、「<u>観察手法</u>」に基づいた反復的な設計プロセスを採用する必要がある。この「<u>観察手法</u>」とは、地下施設の設計及び建設に用いられるリスク情報に基づくアプローチであり、先進的なモニタリング及び測定技術を含む適応管理方法を利用する。詳細は『<u>地下開口部建設報告書</u>』の第 3 章を参照のこと。</p>			
¶5	<p>実際に建設されるレイアウトでは、詳細設計において開発されたレイアウトとの比較において、さほど重要ではない変更しかなされないと予想している。さらにサイトへの適応を図る作業は主として、岩盤支保、グラウト活動、さらには処分坑道及び処分孔の最終的な位置決めに関するものとなると予想される。後者に関する決定を下すためには、<u>所定の位置にある岩体の特性評価を行う必要がある</u>。そしてこれは、<u>調査、検査及びモニタリング・プログラムにとっての重要なトピックの一つ</u>である。また最終的に掘削された処分孔が全ての設計要領に適合したものであり、<u>意図された通りに利用可能であることを検証するためには、掘削完了時から定置までの期間に実施され</u></p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, TR-11-01, Volume I-III			
発行年	2011			
	るモニタリング及び検査作業からの追加的な入力情報が必要となる可能性がある。			
5.2.3 地下開口部の初期状態				
処分孔周辺の水理条件 ¶3	<p>処分孔への流入の監視を行い、初期状態の評価を実施することは、比較的単純な作業である。『地下開口部建設報告書』のセクション 5.3.3 を参照のこと。測定された流入量が設計要領に適合するものでない場合、当該処分孔は排除される。処分孔への水の流入の評価を行う測定技術を選定するプログラムと、こうした流入量の測定及び評価方法に関する詳細は、詳細調査に関するプログラム [SKB 2010b] で取り扱われている。</p>			
処分孔の幾何学形状	<p>エスポ岩盤研究所において 10 ヶ所の定置位置の全断面ダウンホール掘削を行った際に入手された結果が、処分孔のレファレンス掘削方法の性能を調査するために使用された。処分孔の平均直径に対する平均断面直径のばらつきは、現在設定されている幾何学形状の裕度の範囲に十分収まるものである。</p> <p>幾何学形状に関する裕度を確保する効果的な方法は、様々な作業の実行時の品質保証を、施行完了時の寸法を決定するための測定手法と組み合わせることであろう。例えば、レーザー・スキャニングや測地法など、掘削後の処分孔の幾何学形状の測定に適していると考えられる方法や装置が既に存在している。ただし、現在想定されている方法は概念的なものに見なされており、実証済みの技術に基づくものであるものの、現場で使用する適切な方法を開発するためには、『地下開口部建設報告書』のセクション 5.3.2 で検討されているように、一定水準の新技術及び技術革新が必要になることが見込まれている。</p>			
処分坑道及びその他の開口部における掘削影響領域 (EDZ) ¶5	<p>(略)SKB は、処分坑道内の損傷が設計要領に適合した範囲のものであることを確認するために、幾つかの手順を開発する計画である。この計画では、ボーリング/装薬/起爆順序の管理及び点検のための手順を開発した上で、これを地下開口部に関するモニタリング・管理プログラムに組み込むことになっている。岩盤条件が EDZ に及ぼす影響の評価が、観察方法及びそれに関連するモニタリング・プログラムの枠内で、すなわち、地質学的な特性評価、地球物理学的手法及び地質学的なモデル化によって得られる結果を組み合わせる形で、実施される予定である。</p>			
5.8 モニタリング				
	<p>処分場の建設及び操業によって、サイトに擾乱が生じる。この点に関し、安全性にとって関連性の高い側面については、評価で取り扱われることになっている。サイト及び予定される処分場に関する理解を深めるために、これらの擾乱のモニタリングが重要になる。この点については、詳細調査プログラム [SKB 2010b] においてさらに詳しくまとめられている。ただし、処分場閉鎖後のモニタリングについては、何の法的要件も存在していない。基本的な要件の一つとして、最終処分場が保守及びモニタリングを必要としない形でその機能を履行すべきであることが挙げられる。長期安全性ならびに適用される規制の順守に関する評価は、これらの仮定のもとで行われる。閉鎖後期間にもモニタリングの実施は検討する可能性があるが、それが処分場の安全機能を阻害するものであってはならない。SKB 社のモニタリング戦略は、現在でも開発が進められているものの、基本的には SR-Can 報告書 [SKB 2006a] に示されたものと変わらない。このことは、先に挙げた報告書 [Bäckblom and Almén 2004] が依然として、これらの点に関する現行 SKB 戦略に関する有効な総括となっていることを意味する。</p>			
5.8.1 ベースラインの記述に関するモニタリング				
¶2	<p>モニタリングに関する総合的な SKB 戦略 [Bäckblom and Almén 2004] において設定され、詳細調査プログラム [SKB 2010b] でさらなる詳細が示されているように、地表からのサイト調査が実施される期間中にベースライン条件を設定しておく目的は、処分場の開発によって新たに生じた変化を識別した上で、処分場環境における自然の時間的、空間的な変動と人為的な変動を区別できるようにするための、一つの参照基準を定義することにある。</p>			
¶3	<p>ベースライン条件の記述は基本的に、サイト記述モデルと同一のものであり (『サイト記述フォルスマルク』を参照)、サイト特性評価プログラムで得られるデータに基</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, TR-11-01, Volume I - III			
発行年	2011			
	づく。この特性評価の一部は、時の経過とともに変動する幾つかの特性に関するものである。このため、サイト調査の期間中に、地球科学パラメータと生態学パラメータの両方を取り扱うモニタリング・プログラムが開始された。この点については、『サイト記述フォルスマルク』のセクション 2.4 と文献 [SKB 2007a] を参照のこと。少数の例外を除き、このプログラムはフォルスマルクで地上サイト調査が完了した後も継続されており、今後地下掘削作業が開始された後も継続することになっている。			
5.8.2 処分場建設の影響に関するモニタリング				
	<p>処分場建設の影響に関するモニタリングは、地下掘削活動が開始された後に実施することになっている「詳細調査プログラム」[SKB 2010b] の欠くことのできない部分となる。このモニタリングの目的は、処分場の建設及び操業が環境にどのような影響を及ぼすのかを調査することとなる。またこうして得られた観察結果から、水理地質モデル化や水理地球化学モデル化にとって、さらにはこの種のモデルの確証にとって重要なデータが入手できる可能性もある。こうしたモニタリングは、前のセクションで説明した既存のモニタリング・プログラムを基礎として構築されることになっている。詳細調査の実施に先立ち、既存のモニタリング・プログラムの妥当性の評価を行うとともに、必要に応じて見直しを行う。この際に特に注目すべきこととして、このプログラムが、建設及び操業が環境に及ぼす影響を把握するというその主要目的にとっての妥当性を維持しながら、きわめて長期間にわたって実施することを意図しているという事実が挙げられる。建設及び操業作業が進行する中で、モニタリング・パラメータの選定、モニタリング対象及び測定頻度などについて定期的に再評価を実施してゆく必要が生じることになる。またのプログラムは、環境管理プログラムや処分場建設管理に関するニーズも満たすべきものである。</p>			
5.8.4 廃棄物定置後のモニタリング				
¶ 1	<p>処分場の閉鎖は、1本の処分坑道を連続して閉鎖してゆく作業から開始され、一つまたは複数の定置区域の閉鎖を経て、処分場全体の閉鎖へと至る、段階的なプロセスである。前のセクションで説明したように、<u>モニタリング作業は、全ての廃棄物が定置され、処分場施設の閉鎖が開始されるまで、継続する計画となっている。閉鎖時には、モニタリング・システムも引き続いて廃止される。その時点で、閉鎖プロセス自体をどの程度までモニタリングする必要があるかについて、検討しなければならない。</u></p>			
¶ 2-4	<p><u>最終的に定置された廃棄物に関連する人工バリアシステム、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は、予定していない。これは、計器類やセンサーにつながるケーブル・リードによって人工バリアの安全機能が損なわれることが見込まれるためである。</u></p> <p><u>上述したように、閉鎖後のモニタリングの実施に関しては何の法的要件も設定されていない。しかし文献 [Bäckblom and Almén 2004] で指摘されているように、例えば保障措置要件の検証を行うなどの面で、閉鎖後段階のモニタリングを実施する論理的根拠が生じる可能性もある。閉鎖後モニタリング・プログラムの範囲は、基本的に、閉鎖時、あるいは閉鎖直後に下される決定によって設定されることになる。こうした閉鎖後モニタリングに関する決定は、閉鎖を実行する時点の意思決定者が下すのが適切であろう。</u></p> <p>ただし、閉鎖後のモニタリングの検討を実施する場合、放射線安全機関 (SSM) が設定したこの問題に適用可能な規則を考慮すべきである (SSMFS 2008:218 §)。この規定は、「<u>モニタリングの実施あるいは処分された核物質または原子力廃棄物の処分場からの回収を比較的容易にするために、さらには処分場への立ち入りを困難なものとするために採用されるこの種の措置が安全面で及ぼす影響を解析し、その結果を当局に報告するものとする</u>」というものである。さらに、この段落に関する勧告において、次のように述べられている：「9 § に従って当該施設に関して作成される安全報告書においては、<u>これらの措置が、処分場の安全性にとってさほど重要ではないか無視できる程度の影響しか及ぼさないこと、あるいはこれらの措置により、当該措置が採用されなかった場合に生じる状況よりも安全面での改善がはかられることが示されるべきである。</u>」</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, TR-11-01, Volume I-III			
発行年	2011			
¶5	<p><u>SR-Siteでは、廃棄物定置後のモニタリングについては何の検討もしていない。その理由として、現時点では閉鎖後モニタリングに関する計画が存在しないこと、この種のモニタリングが安全性の確保にとって必要ではないことが挙げられる。またこの種のモニタリングが実施されることになった場合、それによって長期安全性に悪影響が及ぶことはない</u>と想定している。</p>			
8 安全機能と安全機能指標				
8.2 安全機能、安全機能指標及び安全性機能指標基準：総論				
まとめ	<p>次に挙げる定義を導入している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ <u>安全機能とは、処分場の構成要素が安全性に寄与する上で果たす役割である。</u></li> <li>➢ <u>安全機能指標とは、一つの安全機能が履行される範囲を示す処分場構成要素の測定可能かつ計算可能な特性である。</u></li> <li>➢ <u>安全機能指標規準とは、それが関連する安全機能指標が規準を履行する場合に、対応する安全機能が維持されるような一つの定量的な限度である。</u></li> </ul> <p>安全機能は安全性の評価の一助となるものであるが、全ての安全機能指標規準が履行されていること自体が、安全性の実現に関する論拠を示す上で必要なわけでも、十分なわけでもない。様々な安全機能指標規準はさらに、受け入れ可能な性能に対する様々な程度の余裕が設定される形で決定されている。</p> <p><u>安全機能指標規準は、設計要領と関連するものであるが、それと同一のものではない。</u>設計要領が処分場の初期状態に、また主としてその人工的な構成要素に関連するものであるのに対し、安全機能指標規準は評価期間全体を通じて履行されるべきものであり、人工的な構成要素に加えて自然体系とも関連づけられる。</p> <p>SR-Siteで使用される一連の安全機能は、KBS-3 処分場の長期安全性に関する研究を通じて、数十年の期間にわたって蓄積されてきた経験及びその文書化に基づいて、導き出されたものである。</p>			
12.選定したシナリオに関する閉じ込め能力の解析				
12.2 緩衝材における移流				
12.2.2 “緩衝材における移流”を引き起こす経路の定量的な評価				
設置当初の乾燥状態の緩衝材量	<p>緩衝材の組成が変動することによって生じる効果は、基本的変遷では議論していない。<u>明確に定義された引き渡し及び品質管理システム（QC）によって、全ての物質が指定要求事項を満たすことが確保されると想定している。</u>これらの材料要件については、まだ全面的に定義している状況ではない。しかし、SR-Siteで検討した2種類のレファレンス物質の重要な特性における相異は目標密度においてきわめて小さいことを考慮すると（セクション 5.5を参照）、物質組成のばらつきはむしろ緩衝材の性能に限定的な効果しか及ぼさないという結論を出すことができよう。セクション 10.3.8 及び文献 [Sena et al. 2010] に示された緩衝材の地球化学的な変遷の評価を見てもわかるように、緩衝材の組成（特に交換性陽イオン）は、フォルスマルクの地下水との相互作用の結果として、両方のレファレンス物質に関して類似した値で釣り合う傾向がある。何らかの材料選定をした後では、選定した緩衝材の組成に関して許容される変動の範囲は、当該緩衝材を購入する際に定義することになる。いかなる状況においても、この変動範囲は小さなものになると想定できる。設置当初の緩衝材の乾燥質量に関して示された全体的な結論は、初期の緩衝材の質量及び組成は十分に設計仕様の範囲内に収まると想定できるというものである。</p>			
14.補助的な解析と裏付けとなる根拠				
14.2 将来の人間活動に関するシナリオ				
14.2.1 はじめに				
¶4	<p>処分場に核分裂性物質が含まれている点も、重要な側面の一つである。現在の状況を見ると、保障措置の規制管理は、国家機関や国際機関（SSM、IAEA及びユーラトムなど）によって遂行される見込みが最も高い [Fritzell 2006 pp.11～14]。さらに当局は SR-Can [Dverstorp and Strömberg2008] の審査において、<u>シーリング後の処分場の監督及びモニタリングについては、SKB社ではなく、国家が責任を負うことが期待される、という見解を示している [SKI 2007]。</u></p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, TR-11-01, Volume I -III			
発行年	2011			

(本調査検討に関連すると判断された)本文中に含まれる図表



Figure 8-2. Safety functions (bold), safety function indicators and safety function indicator criteria related to containment. When quantitative criteria cannot be given, terms like "high", "low" and "limited" are used to indicate favourable values of the safety function indicators. The colour coding shows how the functions contribute to the canister safety functions Can1 (red), Can2 (green) and Can3 (blue).

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, TR-11-01, Volume I - III			
発行年	2011			

**Table 8-1. Summary of margins for safety function indicator criteria for containment.**

Indicator	Criterion	Notes on margin
Minimum copper coverage	0	No margin, for trivial reasons.
Isostatic load on canister	45 MPa	Criterion from design premises. Shown in design analysis to be fulfilled with a margin that could possibly be considerable (up to roughly 100 MPa) for global collapse. See further /Raiko et al. 2010/.
<b>Shear</b>		
Fracture shear distance	5 cm	Set of criteria from design premises. Shown in design analysis to be fulfilled, but 5 cm shear is without a margin to calculated failure for the most unfavourable fracture locations and angles with the maximum buffer density. For buffer densities obtained in the evaluation of the reference design, the margin may be considerable in many situations, although these were not fully evaluated in the design analysis. See further /Raiko et al. 2010/.
Maximum buffer density	2,050 kg/m <sup>3</sup>	
Shear velocity	1 m/s	
Minimum temperature	0°C	
Buffer hydraulic conductivity	10 <sup>-12</sup> m/s	The margin is related to the hydraulic gradient and the diffusivity of species in question. The margin is considerable.
Buffer swelling pressure	1 MPa	As the swelling pressure drops, the possibility for pathway formation in the buffer increases. There is an effect of the hydraulic gradient and possibly of salinity. Laboratory samples show piping at ~60 kPa, i.e. the margin to observed malfunction is considerable.
Buffer maximum temperature	100°C	The extent of mineral transformations in the buffer is related to both the temperature and to the duration of the thermal pulse. Since the duration of the thermal pulse is short (on a geological timescale) the margin is considerable.
Buffer maximum swelling pressure (to limit isostatic load on canister)	15 MPa	Contributes to isostatic load on canister. See above for a discussion of margins on limits for isostatic load.
Buffer freezing temperature	-4°C	The freezing point of compacted bentonite depends strongly on density. For the lowest accepted buffer density the freezing point is c. -4°C and for nominal buffer density, the freezing point is lower than -6°C as shown both experimentally and theoretically /Birgersson et al. 2010/. For a given temperature drop below the freezing point, only a portion of the water in the bentonite turns into ice, i.e. any possible pressure build-up occurs gradually with decreasing temperature and will be less than 13.5 MPa/°C, which defines the phase boundary between ice and liquid bulk water. Furthermore, the lowering of the freezing point of water in the buffer will have additional contributions from the hydrostatic pressure at repository depth as well as from any dissolved salts in the ground water.
Buffer minimum swelling pressure (to prevent canister sinking)	0.2 MPa	Modelling has been done for swelling pressures down to 80 kPa, a value for which the consequences of canister sinking could be considered to be acceptable.
Groundwater ionic strength (avoid buffer erosion)	q[M <sup>2+</sup> ] > 4 mM	The experimental margin on this value is a factor of two. However, there could be other factors that could limit erosion.
Groundwater pH	< 11	The value is a practical limit. The duration of the conditions with increased pH and mass balances of involved reactions need to be evaluated when consequences are analysed.
Groundwater pH and chloride concentration (to avoid chloride assisted corrosion of copper)	pH > 4 and [Cl <sup>-</sup> ] <sup>FW</sup> < 2 M	No margin to onset of chloride assisted corrosion, but considerable margin to conditions ever expected in ground-water at repository depth at Forsmark.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, TR-11-01, Volume I -III			
発行年	2011			

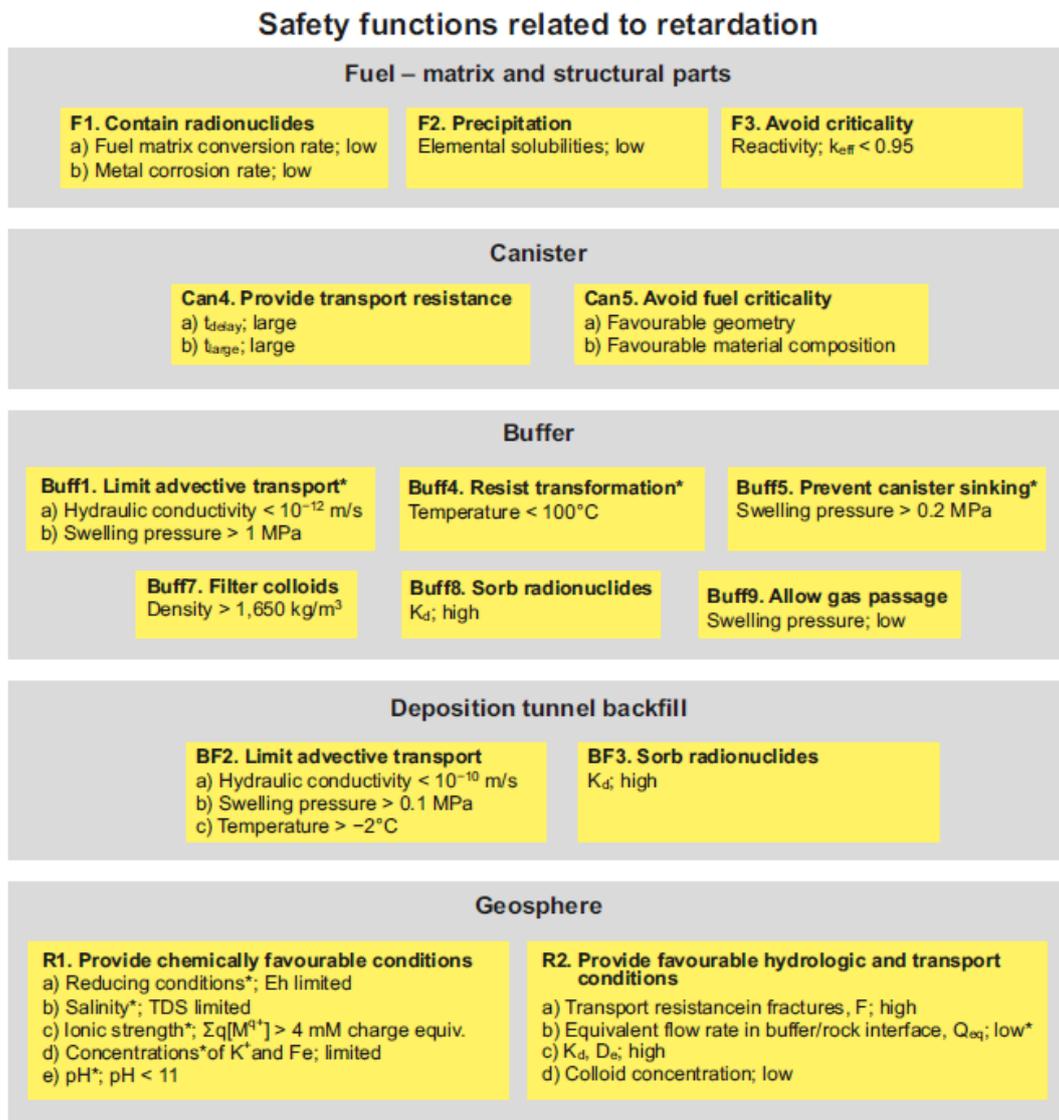


Figure 8-3. Safety functions (bold), safety function indicators and safety function indicator criteria related to retardation. When quantitative criteria cannot be given, terms like “high”, “low” and “limited” are used to indicate favourable values of the safety function indicators. Safety functions marked with an asterisk (\*) apply also to containment, see Figure 8-2.

国名又は機関名	スウェーデン																	
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他														
文書名	Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, TR-11-01, Volume I -III																	
発行年	2011																	
<p><b>Table 8-2. Summary of margins for safety function indicator criteria for retardation.</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Indicator</th> <th>Criterion</th> <th>Notes on margin</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fuel reactivity</td> <td><math>k_{eff} &lt; 0.95</math></td> <td>Established according to principles generally applied for handling of nuclear fuel, see further the <i>Spent fuel report</i>.</td> </tr> <tr> <td>Backfill hydraulic conductivity</td> <td><math>k &lt; 10^{-10}</math> m/s</td> <td>The criterion is defined to ensure limited overall transport (not to guarantee diffusion). The margin is largely dependent on the characteristics of the rock.</td> </tr> <tr> <td>Backfill swelling pressure</td> <td><math>P_{sw} &gt; 0.1</math> MPa</td> <td>Piping has been observed at ~60 kPa, however at gradients much higher than those projected to occur in the repository.</td> </tr> <tr> <td>Backfill temperature</td> <td><math>&gt; -2^{\circ}\text{C}</math></td> <td>According to Table 5-21 the minimum density in a cross-section the backfill will be 1,458 kg/m<sup>3</sup>. According to Figure 5-19 this would give a swelling pressure of ~2.5 MPa and a critical temperature of <math>-2^{\circ}\text{C}</math>.</td> </tr> </tbody> </table>				Indicator	Criterion	Notes on margin	Fuel reactivity	$k_{eff} < 0.95$	Established according to principles generally applied for handling of nuclear fuel, see further the <i>Spent fuel report</i> .	Backfill hydraulic conductivity	$k < 10^{-10}$ m/s	The criterion is defined to ensure limited overall transport (not to guarantee diffusion). The margin is largely dependent on the characteristics of the rock.	Backfill swelling pressure	$P_{sw} > 0.1$ MPa	Piping has been observed at ~60 kPa, however at gradients much higher than those projected to occur in the repository.	Backfill temperature	$> -2^{\circ}\text{C}$	According to Table 5-21 the minimum density in a cross-section the backfill will be 1,458 kg/m <sup>3</sup> . According to Figure 5-19 this would give a swelling pressure of ~2.5 MPa and a critical temperature of $-2^{\circ}\text{C}$ .
Indicator	Criterion	Notes on margin																
Fuel reactivity	$k_{eff} < 0.95$	Established according to principles generally applied for handling of nuclear fuel, see further the <i>Spent fuel report</i> .																
Backfill hydraulic conductivity	$k < 10^{-10}$ m/s	The criterion is defined to ensure limited overall transport (not to guarantee diffusion). The margin is largely dependent on the characteristics of the rock.																
Backfill swelling pressure	$P_{sw} > 0.1$ MPa	Piping has been observed at ~60 kPa, however at gradients much higher than those projected to occur in the repository.																
Backfill temperature	$> -2^{\circ}\text{C}$	According to Table 5-21 the minimum density in a cross-section the backfill will be 1,458 kg/m <sup>3</sup> . According to Figure 5-19 this would give a swelling pressure of ~2.5 MPa and a critical temperature of $-2^{\circ}\text{C}$ .																
(本調査検討に関連すると判断された)本文中に含まれる参考文献																		
モニタリングに関する総合的な SKB 戦略 R-4-13 [Bäckblom and Almén 2004]																		
SSMFS 2008 [SKI 2007]																		

注記 「  」は、本調査検討に関連する情報、「  」は、本調査検討に資する周辺情報を意味する。

表 2 性能確認等に関する文献調査結果-2

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design and production of the KBS-3 repository, TR-10-12			
発行年	2010			
本検討に資する内容				
<ul style="list-style-type: none"> <li>●SKB 社は、ISO 規格 [ISO 9001:2008] に従って認証を受けている。</li> <li>●品質マネジメント、品質管理、品質保証の定義。</li> <li>●全体的な Design premises の設定について。</li> </ul>				
該当箇所	記載内容	備考		
Summary	本報告書では、安全報告書の範囲におけるプロダクション報告書の役割と、これらの報告書に共通する目的及び目標について説明する。本報告書の重要な部分の 1 つでは、KBS-3 処分場の設計及び機能、さらには人工バリア及び岩盤のバリア機能に適用される諸原則に関する背景及びこれらの原則の根拠となる情報源について説明する。また KBS-3 処分場の人工バリア、地下開口部及びその他の部分に関する詳細な設計前提条件の具体化に用いられる方法論についても説明する。本報告書ではさらに、KBS-3 システムとその施設、さらには使用済燃料、人工バリア及び地下開口部に関するプロダクションラインに関する概括も示す。そして最後に、品質マネジメント、安全クラス分類及びそれらの適用に関する導入となる説明を行う。			
KBS-3 システム及びプロダクションライン	(略) プロダクションラインとは、使用済燃料を取り扱い、人工バリアを「実現」し、検査し、さらには KBS-3 処分場に人工バリアを設置するめに必要とされる全ての活動及び段階のことをいう。このプロダクションには、引き渡される構成要素の仕様と、			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design and production of the KBS-3 repository, TR-10-12			
発行年	2010			
	その製造及び検査に使用される方法も含まれる。地下開口部に関しては、サイトのさまざまな条件に設計を逐次的に適合させてゆく方法や、さまざまな地下開口部を建設する方法、さらにはこれらの方法の設計前提条件に適合した地下開口部を実現する能力が示される。(略)			
品質マネジメント、安全クラス分類及びそれらの適用	<p>プロダクション報告書において、品質とは、<b>KBS-3 処分場の完成した部分の諸特性が長期安全性にとって重要な機能を維持する上で寄与する度合いのことをいう。</b>また品質マネジメントとは、品質に関与する組織を指揮し、管理する活動のことをいう。<b>品質管理及び品質保証は、プロダクション報告書との関連性の高い品質マネジメントの一部である。品質管理の焦点は品質要件を履行することに合わせられるが、品質保証の焦点は品質要件が履行されることへの信頼をもたらすことに合わせられる。</b><b>KBS-3 処分場のプロダクションに関して、品質管理及び品質保証は、完成後の KBS-3 処分場の品質に影響を及ぼし、この品質に対する信頼を構築するさまざまな活動が実行される際に適用すべき手順文書が、品質マネジメント・システムにおいて利用可能でなければならないことを意味する。</b></p> <p>KBS-3 処分場のさまざまな部分を、それぞれの安全面での重要性に見合ったものとするために、SKB 社は 1 つのクラス分類体系を適用する予定である。KBS-3 処分場のさまざまな部分は、放射性物質の閉じ込め、この主の物質の分散の防止又は遅延を行う KBS-3 処分場の機能にとっての重要性に応じてクラス分類される。この安全クラスはそれぞれ、B「バリア機能」及び PB「バリア機能への影響」と呼ばれている。品質保証措置の範囲は、この安全クラスに応じて決定される。このことは、安全クラス PB の部分よりも、安全クラス B で部分の方がより広範な品質保証措置が必要とされることを意味する。<b>SKB 社は、KBS-3 処分場の人工バリア、地下開口部及びその他の部分に関する品質計画を設定する予定である。その品質計画書では、品質に影響を及ぼすさまざまな活動に関して、どの手順及び関連する資源が、誰により、またどの時点で適用されなければならないのかが指定されなければならない。</b></p>			
1. はじめに				
1.3 目的、目標及び範囲の限定				
1.3.1 目的及び目標	<p>一連のプロダクション報告書の目的は、使用済核燃料がどのように取り扱われるのか、また <b>KBS-3 処分場の人工バリア及び地下開口部が、KBS-3 処分場の安全性にとってのそれぞれの重要性に見合った形でどのように設計され、「実現」され、検査されるのかを示すことにある。</b></p> <p>SKB 社は、これらのプロダクション報告書を用いて、<b>KBS-3 処分場に関する設計前提条件とその根拠となる情報源を示すだけでなく、人工バリア及び地下開口部をどのように提示された設計前提条件に適合した形で設計し、「実現」することができるのかを明示する</b>予定である。プロダクション報告書は、現行レファレンス設計及びプロダクション方法を示すだけでなく、<b>KBS-3 処分場をその設計前提条件に従って「実現」できるという裏付けを得るための研究及び開発活動の総括を示すものである。</b></p> <p>本報告書『<b>処分場プロダクション報告書</b>』の目的は、KBS-3 処分場のバリア及びバリア機能の概括を示すとともに、その設計に関する包括的な設計前提条件を提示することにある。本報告書はまた、<b>KBS-3 システムだけでなく、使用済核燃料の取り扱い、人工バリアのプロダクション、地下開口部の建設に関するプロダクションラインに関する概括を提示し、設計とプロダクションの相互作用に関する説明も行うものである。</b>本報告書の目標は、以下に関する説明を行うことである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>安全報告書に含まれるさまざまなプロダクション報告書の役割。</li> <li>中心的な概念とこれらの概念の定義。</li> <li>KBS-3 処分場及びその人工バリアや地下開口部に関する包括的な設計前提条件。</li> <li><u>設計前提条件を導き出し、管理するための方法論。</u></li> <li><u>KBS-3 処分場、そのバリア及びこれらのバリア機能。</u></li> <li>KBS-3 システムと、使用済燃料の取り扱い、KBS-3 処分場のプロダクション。その際の焦点は、いくつかの共通側面と、プロダクションライン間の相互作用及び相互依存関係に合わせられる。</li> <li>人工バリア、地下開口部及び <b>KBS-3 処分場のその他の部分に関する品質マ</b></li> </ul>			

国名又は機関名	スウェーデン		
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施
文書名	Design and production of the KBS-3 repository, TR-10-12		
発行年	2010		
	ネジメント及び安全クラス分類に関する概括と、プロダクション報告書におけるそれらの適用。		
1.5 中心的な概念			
	本セクションでは、プロダクション報告書にとって重要な概念の一部を定義した上で、説明を加える。「概念」は太字の斜体を用いて示し、「定義」は斜体を用いて示し、説明の部分は通常の字体を用いて示す。概念は、アルファベット順に取り扱う。品質マネジメントに関して SKB 社は、ISO 規格「ISO 9000:2005」の用語を採用することを決定している。		
適合性	要件の履行のことをいう [ISO 9000:2005]。		
設計前提条件 (design premises) :	設計のために必要な基礎の 1 つを構成する情報のことをいう。設計前提条件には設計に関する諸要件及びその他の前提条件が含まれる。この「要件」とは、必要とされること又は期待されることのことをいう。その他の前提条件には、特徴、性能、事象、荷重、応力、荷重と応力の組み合わせに関する定量的な情報やその他の情報が含まれ、その例として、環境に関するものや設計にとって必要な隣接するシステムに関するものが挙げられる。プロダクション報告書において、設計前提条件という言葉は、設計に必要とされる全ての情報を表す一般的な用語として用いられ、要件 (requirements) と前提条件 (premises) の間の区別はなされない。		
初期状態	封入が実施された時点の使用済燃料の諸特性だけでなく、最終処分場に最終的な形で設置され、処分施設の内部でそれ以上の取り扱い作業が行われない状態にある人工バリアの諸特性、また緩衝材、埋め戻し材又は閉鎖材が最終的に設置された状態における地下開口部の諸特性のことをいう。		
検査	観察及び判断による適合性の評価で、必要に応じて測定、試験又は計測を伴うもののことをいう [ISO 9000:2005]。		
プロセス	相互に関連付けられているか相互に作用する一連の活動で、入力情報を出力情報に変えるもののことをいう [ISO 9000:2005]。		
生産物	1 つのプロセスの成果のことをいう [ISO 9000:2005]。		
プロダクションライン	使用済核燃料の取り扱いと人工バリアのプロダクションにおける順序付けられた一連の段階のことをいう。岩盤における諸条件に関するより詳細な情報が利用可能になるにつれて、逐次的に行われる地下開口部の設計、サイト適応及び建設。		
適格性確認	1 人の人物又は試験、処理あるいは統合プロセスがそれに指定されたタスクを履行することができることを示す調査及び実証作業のことをいう [SSMFS 2008:13]。		
適格性確認プロセス	指定された要件を履行する能力を明示するプロセスのことをいう [ISO 9000:2005]。		
品質計画	いずれの手順及び関連する資源が誰により、またどの時点である特定のプロジェクト、生産物、プロセス又は契約に適用されるのかを指定する文書のことをいう [ISO 9000:2005]。		
参照設計	別の通知があるまで 1 つの明示された時点から有効である 1 つの設計のことをいう。確立されたレファレンス設計は、技術開発、それ以降の設計、安全分析、放射線防護及び環境への影響にとつての前提となる条件として使用されることになる。レファレンス設計は、ジェネリックなものである場合も、サイト固有のものである場合もある。		
試験	1 つの手順に従った 1 件又は複数の特性を明らかにする作業のことをいう [ISO 9000:2005]		
検証	指定された要件が履行されていることを示す客観的な証拠の提示を通じた確認作業のことをいう [ISO 9000:2005]。		
妥当性確認	ある特定の意図された利用又は適用に関する要件が履行されたことを示す客観的な証拠の提示を通じた確認のことをいう [ISO 9000:2005]。		
2 design premises の具体化			
2.4 KBS-3 処分場の機能及び設計面での検討事項			
2.4.1 KBS-3 処分場の機能			
	(略) 最終処分場のバリアの機能は、1 つ又は複数の方法により、放射性物質の閉じ込めに寄与するか、これらの物質の分散の防止又は遅延に寄与することであると述べられている [SSMFS 2008:21、第 3 条]。KBS-3 概念に基づく最終処分場では、放		

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design and production of the KBS-3 repository, TR-10-12			
発行年	2010			
	放射性物質の閉じ込めが、さらにはその分散の防止又は遅延が、人間及び環境を放射線から保護するために用いられる。このアプローチは、他の多くの国々で開発されている最終処分場に共通するものである。			
2.4.2 設計面	での検討事項			
	<p>一部の設計前提条件に関しては、設計前提条件に対する設計の適合性の評価に用いる定量的な規準が提示される。最終処分場の諸機能に基づき、人工バリア及び地下開口部の設計に関する定量的な前提条件を具体化することができる。一部のケースでは、これらの機能自体を定量的な規準に照らして検証することができる、すなわち、人間及び環境の電離放射線からの保護に関して、定量的な線量及び/又はリスク規準が示される。しかし同時に、設計の適合性に関する絶対的な定量規準を示すことのできないいくつかの設計前提条件も存在する。その例として、技術的な解決策が十分に吟味されたか試験されたものであるだけでなく、費用対効果の高いものでなければならないことが挙げられる。プロダクション報告書において、これらの設計前提条件は、「設計検討事項」(design considerations)と呼ばれている。</p>			
2.5 安全評価、設計及び技術開発からの設計前提条件				
2.5.1 一般的なアプローチ				
	<p>KBS-3 処分場、その人工バリア及び地下開口部に関する設計前提条件及び設計の開発は、これまでも、また現時点でも、いくつかの設計、技術開発及び評価のループを伴う1つの反復的なプロセスである。これに加えて、地下開口部に関しては、逐次的かつより詳細なサイト記述モデルが、設計の開発にとって重要な設計前提条件の1つとなる。</p> <p>高い水準の設計前提条件は、原則として法律及び規制に示されているか、使用済核燃料に諸特性に基づくものであるか、使用済核燃料の最終的な処分に関して選択された方法に基づくものである。(略)</p> <p>諸特性の設計に関する比較的低い水準の人工バリア及び地下開口部の設計前提条件の具体化、たとえば幾何学的形状、物質組成及び強度などの具体化には、技術開発及び安全評価からの入力情報及びフィードバックが必要となる。これらの特性は、要求されている機能をもたらすだけでなく、その達成が技術的に実行可能なものでなければならない。図2-3に、設計前提条件、設計及び技術開発、さらには安全評価の具体化に使用される反復的なプロセスに関するフローチャートを示した。</p>			
2.5.2 KBS-3 処分場の諸機能に関連する設計前提条件				
¶ 3	<p>原子力物質及び原子力廃棄物との関連における安全性に関するSSMの規制に対する一般勧告(2008:21 SSMFS)では、次のように述べられている:「安全評価はまた、異なる期間における処分場性能についての基本的な理解をもたらすことを、さらには異なる処分場構成要素の性能及び設計に関する諸要件を特定することを目指すべきである」。</p>			
2.5.4 製造及び操業に関する設計前提条件				
	<p>KBS-3 処分場における機能にとって重要となるさまざまな特性は、プロダクションにおいて達成したり、検査したりすることが可能でなければならない。さらに、信頼に足るプロダクションを達成するために、取り扱い作業及び移送時に発生する荷重が、キャニスタ、緩衝材、埋め戻し材及び閉鎖材構成要素の設計において検討されなければならない。</p> <p>(略)</p> <p>図2-4に、操業からの設計前提条件、さらには人工バリアのプロダクションや地下開口部の建設からの設計前提条件の具体化に関する諸原則を示した。この図には、長期安全性の評価を通じて予想されるプロダクションの結果により、設計前提条件の開発にとっての入力情報がどのようにもたらされるのかに関する説明も示されている。設計は、諸特性を信頼に足る方法によって達成することが、また調査することができるものでなければならない、プロダクション及び検査の方法によって設計に前提条件が課される可能性もある(図2-4におけるフィードバックB)。取り扱い作業時に発生する荷重は、KBS-3 処分場における諸機能の重要な特性を著しく損なうものであってはならない。したがって、人工バリアに対し、KBS-3 処分場の諸機能にとって重要な特性を著しく損なう荷重が生じることがあってはならない。さらに、人工バリアは</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design and production of the KBS-3 repository, TR-10-12			
発行年	2010			
	通常操業で発生する荷重に耐えられるよう設計されなければならない(図 2-4 におけるフィードバック C)。			
3. KBS-3 処分場	各人工バリアの概要が述べられているが、TR-10-15 以降の報告書と重複する。			
4. KBS-3 システム及びプロダクションライン	同上			
5 品質マネジメント、安全クラス分類及びそれらの適用				
5.1 品質マネジメント	<p>SKB 社は、ISO 規格 [ISO 9001:2008] に従って認証を受けており、ISO 規格 [ISO 9000:2005] の基本事項及び用語を採用している。本章では、SKB 社がプロダクション報告書の目的と目標の範囲に入るさまざまな問題に当該 ISO 規格をどのように適用する予定であるのかについての導入的な説明を行う。</p> <p><u>ISO 規格 [ISO 9000:2005] によれば、品質マネジメントとは、品質に関して 1 つの組織への指示及び管理を行う活動のことをいう。プロダクション報告書において「品質」とは、完成した人工バリア、地下開口部、さらには KBS-3 処分場のその他の部分の諸特性が、KBS-3 処分場の長期安全性にとって重要な機能を維持するよう寄与する度合いのことをいう。</u></p> <p><u>品質管理と品質保証は、プロダクション報告書との関連性の高い品質マネジメントを構成する要素である。品質管理では品質要件の履行が重視されるが、品質保証では品質要件が達成されるという信頼をもたらすことが重視される。プロダクション報告書において、品質管理は、完成した人工バリア、地下開口部、そして KBS-3 処分場の他の部分の諸特性に影響を及ぼす諸活動の指示及び管理で構成されるが、その一方で品質保証は、達成された結果の検査又はその他の手段による検証を目的とする活動の指示及び管理で構成される。</u></p> <p>KBS-3 処分場のプロダクションにおいて、品質管理と品質保証とは、完成した KBS-3 処分場の品質に影響を及ぼすだけでなく、その品質への信頼をもたらす活動を実施する際に適用される手順文書が、品質マネジメント・システムの範囲内で利用可能でなければならないことを意味する。表 5-1 に、プロダクション報告書との関連性が高く、そのために手順文書が利用可能でなければならない品質を管理し、保証するための活動を示した。これらの活動は、プロダクションの開始に先立って行われるものと、プロダクションの実施期間に行われるものに分けられる。</p> <p>表 5-1 に示した活動に加えて、品質管理活動と品質保証活動は全て、品質保証の目的から、トレーサビリティを伴う方法を用いて文書化されなければならない。</p>			
5.3 KBS-3 処分場プロダクションにおける適用				
5.3.1 全体的な基礎	<p>全般的に見て、逐次的に開発されてきた SKB 社のマネジメント・システムが適用される。このマネジメント・システムでは、品質マネジメントの目的及び目標が定められている。また SKB 社のマネジメント・システムに基づき、品質マネジメントが、責任、権限及び協力の段取りを含めた SKB 社の組織構造とどのように結び付けられているのが明確にされている。操業フェーズの期間に KBS-3 処分場施設の原子力部分で実施される活動(すなわち、試験操業と平操業)については、『SR-Operation』(一般的な部分)の第 4 章「施設の品質保証及び操業」が該当する。</p> <p>さらに SKB 社は、人工バリア、地下開口部、さらには KBS-3 処分場のその他の部分に関する品質計画を設定する予定である。この品質計画では、表 5-1 に示した活動に対して、どのような手順及び関連資源が、また誰により、どの時点で適用されるかが指定されなければならない。またこの品質計画により、品質管理と品質保証のための活動の指示及び管理の簡略な全体像が提示されなければならない。この中には、プロダクションの開始に先立って行われる活動と、当該部分に定義された初期状態に至るプロダクション期間における活動が含まれることになる。</p> <p><u>多くのケースにおいて、品質保証のためにすでに確立されている手順を利用することができる。これらを以下の部分で「標準型」手順と呼ぶが、この種の手順は一般に「基準」として文書化されている。SKB 社は、たとえば、重量、寸法及び配置に関する検査に、また鋼鉄やコンクリートなどの建築資材の検査に使用する測定設備の適格性確認などにおいて、そうすることが可能かつ合理的である限り、標準手順を適用</u></p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design and production of the KBS-3 repository, TR-10-12			
発行年	2010			
	<p>することにしている。一部のケースにおいて、SKB社は、KBS-3処分場に固有の手順を設定する計画であり、この手順がたとえばキャニスタの密封性の検査に使用する設備及びプロセスに適用される。またその他のケースでは、標準手順をSKB社のニーズに合わせて調整することが可能である。この方法はたとえば粘土物質の鉱物組成や特性を検査する設備及び方法に適用可能である。手短に言えば、SKB社が計画している品質管理及び品質保証のための措置は、次のように分類することができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•固有措置：KBS-3処分場に固有のもの。</li> <li>•適合措置：基準として文書化され、すでに確立されている手順をSKB社のニーズに適合させたもの。</li> <li>•標準措置：基準として文書化され、すでに確立されている手順。</li> </ul>			
5.3.2 品質計画とその範囲	<p>表 5-3 に、それぞれプロダクションの開始前とプロダクション期間中に実施される品質管理活動、その結果、そして関連する品質保証活動を示した。</p> <p>さまざまな人工バリア、地下開口部、さらには KBS-3 処分場のその他の部分に関する品質計画では、表 5-3 に示した品質保証活動に適用される手順文書が指定されることになる。プロダクション開始前に実施される活動については、その結果として作成される文書、システム及びプロセスが指定されなければならない、またプロダクション期間中に実施される活動については、検査及び試験の対象が指定されなければならない。さらに、品質計画には、品質保証活動がいつ、また誰によって実行されるかを示す計画が含まなければならない。品質保証のための活動の実施計画は、安全クラス分類によって規制される。文献 [SKI 2006] では「コントロール・オーダー」(control order) という用語が使用されている。このコントロール・オーダーは、SKB 社と供給業者による自己検査、独立した組織によるいわゆる第三者検査、さらには SSM の手順に関する審査及び検査のことを意味する。品質計画では、SKB 社の自己検査のための手順文書、いずれの自己検査を供給業者が行わなければならないか、いずれの文書、システム、プロセス、供給業者、実施組織、引き渡し及び製品が第三者検査の対象とされなければならないかが指定されなければならない。</p> <p>(略)</p> <p>これまでに検討した問題に加えて、品質計画には不適合の取り扱いに関する指示が含まれていなければならない。不適合の扱いは、表 5-3 に示した全ての活動について記述されなければならない。KBS-3 処分場施設の原子力部分の操業と、施設内で実施される活動に関わる不適合の取り扱いについては、『SR- Operation』（一般的な部分）の第 4 章「施設の操業及び品質保証」で検討されている。</p> <p>プロダクション報告書において、人工バリア、地下開口部、さらには KBS-3 処分場のその他の部分の設計前提条件とレファレンス設計が指定される。これらの報告書では、レファレンス設計の設計前提条件への適合を検証する分析の説明又は概要が示される。これらの報告書に含まれているプロダクションに関する説明において、いずれの技術システム、プロセス及び供給業者が品質保証の対象とならなければならないかが明確に示される。さらにプロダクション報告書では、計画中のプロダクションが、その品質保証措置と、その時点での経験に基づき当該プロダクションから予想できる結果とともに示される。</p>			
(本調査検討に関連すると判断された)本文中に含まれる図表				

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design and production of the KBS-3 repository, TR-10-12			
発行年	2010			

Design premises	Sources and level of detail	Example
Problem (presented in this report) Requirements expressing objectives and principles for the design.	Laws and regulations Stakeholder demands Problem to be solved and principles to be applied in the design	Level 1 The post-closure safety of the final repository shall be based on several barrier functions that are maintained through a system of passive barriers.
The KBS-3 repository (presented in this report) Requirements expressing the functions the repository shall have to conform to the objectives and principles.	Laws and regulations The KBS-3 method The spent nuclear fuel The KBS-3 repository	Level 2 and 3 The final repository shall contain the spent nuclear fuel and isolate it from the biosphere.
Requirements expressing the functions the barriers and other parts shall have for the repository to maintain its functions.	Laws and regulations The KBS-3 method The spent nuclear fuel The engineered and natural barriers and other parts of the final repository	The canister shall withstand the mechanical loads that are expected to occur in the final repository.
Reference design (presented in the "Engineered barrier" production and Underground openings construction reports) Properties and parameters to be designed and premises for the design from: - the safety assessment, - the other barriers, - the production and operation	The required functions and results from the safety assessment, research and development The components of the engineered barriers and their properties The layout and properties of the underground openings	Level 4 Insert - material composition, material properties and dimensions. The canister shall withstand an isostatic load of 45 MPa, being the sum of maximum swelling pressure and maximum groundwater pressure.

Figure 2-1. Different kinds of design premises, their sources and the corresponding degree of detail in the design with an example from SKB's RMS.

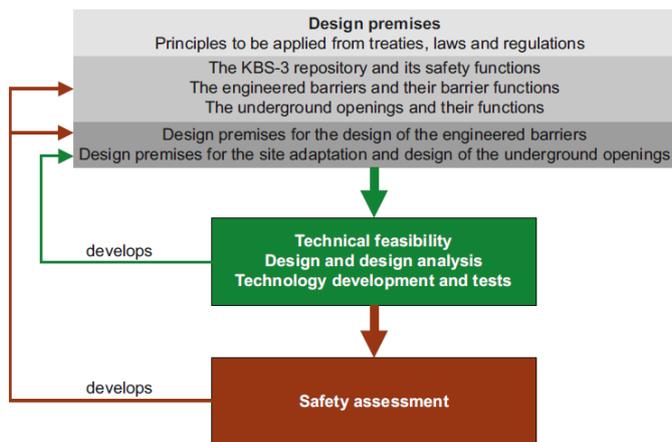


Figure 2-3. The iterative process of substantiation of design premises from design, technology development and safety assessment.

国名又は機関名	スウェーデン		
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施
文書名	Design and production of the KBS-3 repository, TR-10-12		
発行年	2010		

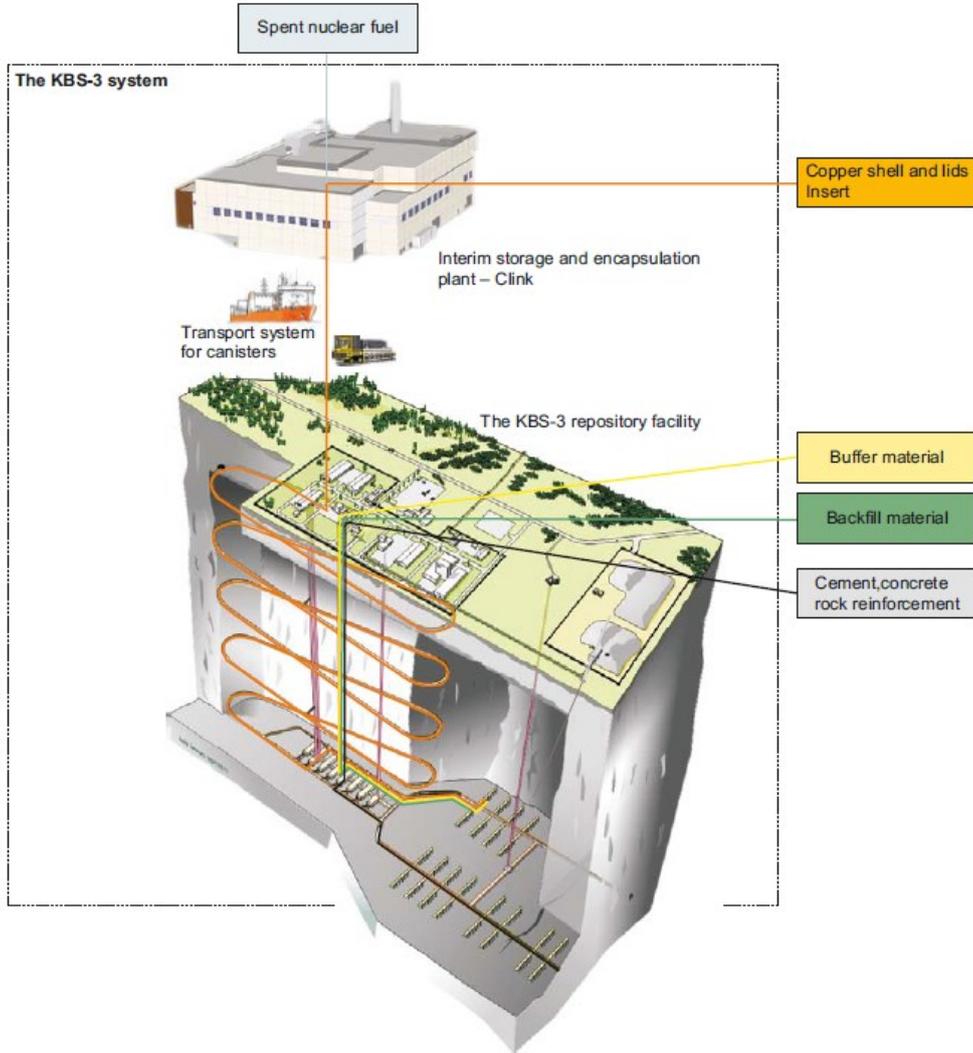


Figure 4-1. The KBS-3 system and its facilities and an overview of the spent fuels way through the system and the production of the KBS-3 repository.

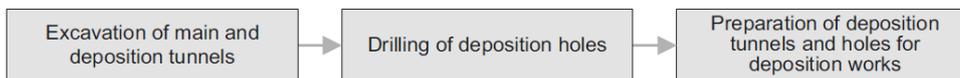


Figure 4-2. The main activities of the rock construction works. Each main activity comprises several stages.

国名又は機関名	スウェーデン		
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施
文書名	Design and production of the KBS-3 repository, TR-10-12		
発行年	2010		

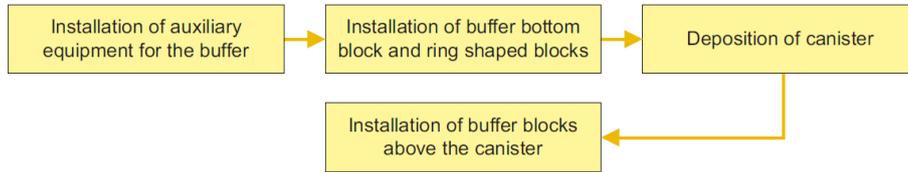


Figure 4-3. The main activities of the deposition sequence.

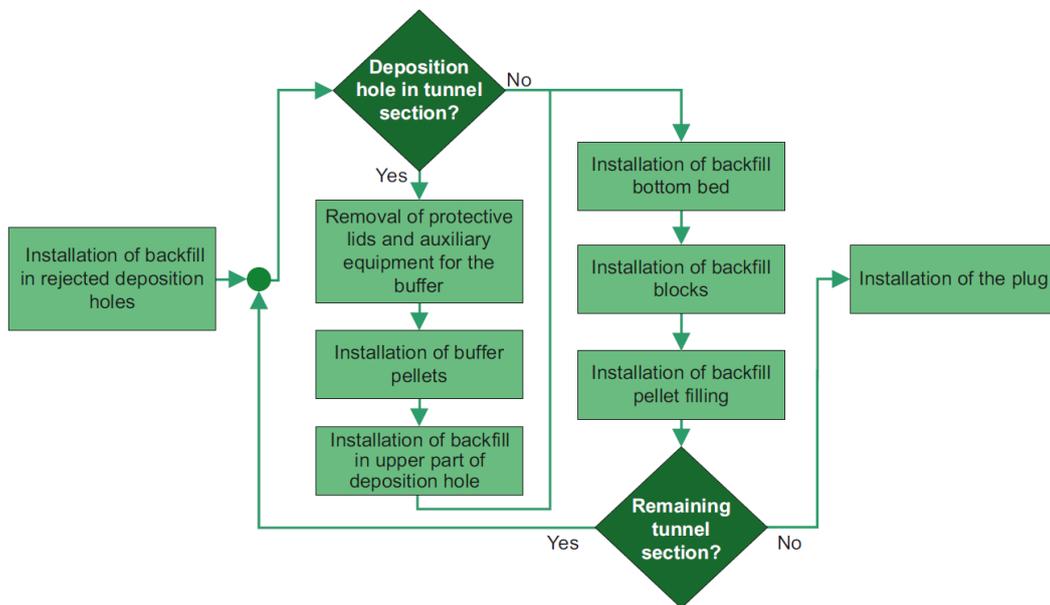


Figure 4-4. The main activities of the backfill sequence.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design and production of the KBS-3 repository, TR-10-12			
発行年	2010			

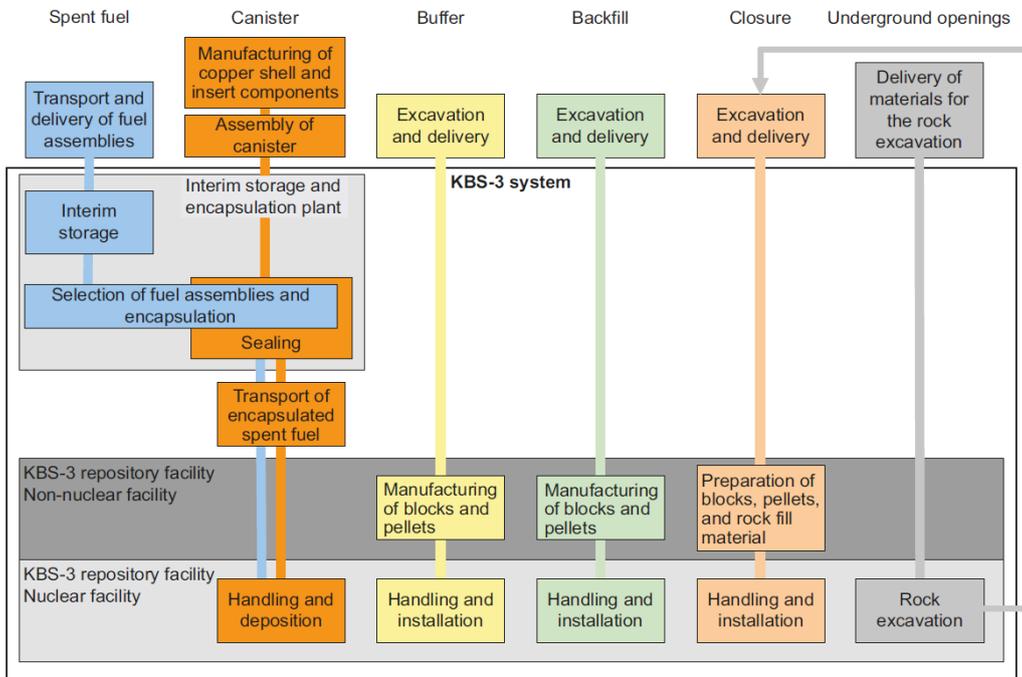


Figure 4-5. Overview of the main activities in the handling of the spent nuclear fuel, the production of the engineered barriers and the construction of the underground openings.

Table 5-1. Activities controlling or assuring quality relevant for the Production reports and for which procedure documents shall be included in the management system.

Quality controlling activities (Impact the fulfilment of quality requirements)	Quality assuring activities (Provide confidence in achieved results)
<b>Before the production commences</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– substantiation of design premises</li> <li>– design resulting in design specification</li> <li>– development of systems and processes for production</li> <li>– development of systems and processes for inspection</li> <li>– purchasing of executing organisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– investigations and analyses</li> <li>– review and acceptance</li> <li>– analyses verifying the conformity of the design to the design premises</li> <li>– qualification and validation of technical systems and processes for production, handling and inspection</li> <li>– qualification of executing organisation</li> </ul>
<b>During the production</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– deliveries to the production processes</li> <li>– preparations before carrying out the production processes</li> <li>– execution of the production processes</li> <li>– deliveries from the production processes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– acceptance inspections of inputs to the production processes</li> <li>– inspections and tests of systems used in the production processes</li> <li>– inspection of competence of executing organisation</li> <li>– controlling and steering of production processes</li> <li>– inspections of outputs from the production processes</li> </ul>

国名又は機関名	スウェーデン																																																				
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他																																																	
文書名	Design and production of the KBS-3 repository, TR-10-12																																																				
発行年	2010																																																				
<p>Table 5-3. Quality controlling activities performed before the production commences and during the production respectively, their results and the related quality assuring activities.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Quality controlling activity</th> <th>Result</th> <th colspan="2">Quality assuring activity</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4"><b>Before the production is initiated</b></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Substantiate design premises</td> <td>Record document</td> <td rowspan="2">Analyses and evaluations Documentation and handling in requirement management system <sup>1</sup></td> <td rowspan="2">Review and approval Documentation of procedure</td> </tr> <tr> <td>Specification</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Design</td> <td>Record document</td> <td rowspan="2">Verifying analyses Documentation and handling in requirement management system <sup>1</sup></td> <td rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Specification</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Development of technical systems for production and inspection</td> <td>Specification</td> <td rowspan="2">Documentation and handling in requirement management system <sup>1</sup> Qualification of system</td> <td rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Validated system</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Development of processes for production and inspection</td> <td>Qualified process</td> <td rowspan="2">Qualification of process</td> <td rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Test certificate</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Purchasing of executing organisation</td> <td>Qualified suppliers and operators</td> <td rowspan="2">Qualification of executing organisation</td> <td rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Test certificate</td> </tr> <tr> <td colspan="4"><b>During the production</b></td> </tr> <tr> <td>Delivery to process</td> <td>Input to process</td> <td>Delivery inspection</td> <td rowspan="2">Documentation of process parameters and results from tests and inspections</td> </tr> <tr> <td>Preparations of process</td> <td>Systems ready for duty Available organisation</td> <td>Test of system Competence inspection</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Realisation of process</td> <td rowspan="2">Product</td> <td>Control and steering</td> <td rowspan="2">Documentation of procedure</td> </tr> <tr> <td>Extraction of test specimens and samples for analyses and destructive tests Non-destructive testing</td> </tr> </tbody> </table> <p><sup>1</sup> Includes for instance determination of wording and relation to other requirements and design premises, and performed verification and inspection.</p>					Quality controlling activity	Result	Quality assuring activity		<b>Before the production is initiated</b>				Substantiate design premises	Record document	Analyses and evaluations Documentation and handling in requirement management system <sup>1</sup>	Review and approval Documentation of procedure	Specification	Design	Record document	Verifying analyses Documentation and handling in requirement management system <sup>1</sup>		Specification	Development of technical systems for production and inspection	Specification	Documentation and handling in requirement management system <sup>1</sup> Qualification of system		Validated system	Development of processes for production and inspection	Qualified process	Qualification of process		Test certificate	Purchasing of executing organisation	Qualified suppliers and operators	Qualification of executing organisation		Test certificate	<b>During the production</b>				Delivery to process	Input to process	Delivery inspection	Documentation of process parameters and results from tests and inspections	Preparations of process	Systems ready for duty Available organisation	Test of system Competence inspection	Realisation of process	Product	Control and steering	Documentation of procedure	Extraction of test specimens and samples for analyses and destructive tests Non-destructive testing
Quality controlling activity	Result	Quality assuring activity																																																			
<b>Before the production is initiated</b>																																																					
Substantiate design premises	Record document	Analyses and evaluations Documentation and handling in requirement management system <sup>1</sup>	Review and approval Documentation of procedure																																																		
	Specification																																																				
Design	Record document	Verifying analyses Documentation and handling in requirement management system <sup>1</sup>																																																			
	Specification																																																				
Development of technical systems for production and inspection	Specification	Documentation and handling in requirement management system <sup>1</sup> Qualification of system																																																			
	Validated system																																																				
Development of processes for production and inspection	Qualified process	Qualification of process																																																			
	Test certificate																																																				
Purchasing of executing organisation	Qualified suppliers and operators	Qualification of executing organisation																																																			
	Test certificate																																																				
<b>During the production</b>																																																					
Delivery to process	Input to process	Delivery inspection	Documentation of process parameters and results from tests and inspections																																																		
Preparations of process	Systems ready for duty Available organisation	Test of system Competence inspection																																																			
Realisation of process	Product	Control and steering	Documentation of procedure																																																		
		Extraction of test specimens and samples for analyses and destructive tests Non-destructive testing																																																			

表 3 性能確認等に関する文献調査結果-3

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
<b>本検討に資する内容</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 緩衝材に求められるバリア機能とそれに関連する Design premises</li> <li>● 緩衝材の製造、操業に関する Design premises</li> <li>● 緩衝材のプロダクションラインは3つのメインパートに分けられ、それぞれの段階で検査（品質管理）が行われる。</li> <li>● 検査では、ベントナイトの物質組成、ベントナイトの特性、製造物（ブロック及びペレット）の寸法・重量・密度、設置された緩衝材の幾何学形状が調べられる。</li> <li>● 製造されたブロック及びペレットは識別記号（identity）で管理される。</li> </ul>				
該当箇所	記載内容			備考
	2.緩衝材に関する Design premises			
	2.1 一般的な基礎事項			
	(略)			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
	KBS-3 処分場の緩衝材のバリア機能に関連する <b>Design premises</b> は、最新の長期安全評価及びそれ以降のいくつかの分析で得られた成果に基づいている。緩衝材に関するこれらの <b>design premises</b> は設計要領長期安全性報告書に示されており、本報告書のセクション 2.3.1 でも取り扱った。			
2.1.2 定義、目的及び基本設計	緩衝材は、KBS-3 処分場で使用される人工バリアの 1 つである。緩衝材は膨潤性鉱物を含む粘土で構成される。この緩衝材は、キャニスタを取り囲み、キャニスタと基盤岩の間の隙間を充填する。また緩衝材は水の流動を防ぐだけでなく、キャニスタを保護する役割も果たすものとする。キャニスタによってもたらされる閉じ込めが破綻した場合に備えて、 <u>緩衝材がキャニスタから基盤岩に至る放射性物質の移行を防止し、遅延させる役割を担うものとする。</u> (略)			
2.2 バリア機能及び設計面での検討事項				
2.2.1 KBS-3 処分場におけるバリア機能	<p>KBS-3 処分場が放射性物質を閉じ込め、その分散を防止するか遅延させるために、緩衝材は次に示す役割を果たすものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 処分孔における水の流動 (移流による移送) を防止すること。</li> <li>• 最終処分場の安全性のために必要とされる限の期間にわたり、キャニスタの処分孔内での位置をその中心に維持すること。</li> </ul> <p>またキャニスタを保護し、閉じ込めを維持するために緩衝材は、次に示すことを実現するものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 微生物活動を限定する能力を備えていること。</li> </ul> <p>放射性物質の分散の防止及び遅延に寄与するために、緩衝材は次に示すことを実現するものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 緩衝材を通じたコロイドの移送を防止すること。</li> </ul> <p>KBS-3 処分場が多重バリア原則を維持すると共に、そのバリア機能を維持するために個々に、又は全体として寄与する複数のバリアを備えているようにするために、緩衝材は次に示すことを実現しなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• その他のバリアのバリア機能を有意なレベルで損なわないこと。</li> </ul> <p>最終処分場が使用済核燃料の放射能毒性に関して要求される限りの期間にわたって放射線の有害な効果に対する防護をもたらすようにするために、さらに最終処分場がバリア・システムに影響を及ぼす可能性のある事象及びプロセスに耐えうるものとなるよう、緩衝材は次に示すことを実現するものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• そのバリア機能を維持すると共に、最終処分場において予想される環境における長期的な耐久性を確保すること。</li> <li>• キャニスタの定置作業が、キャニスタ又は緩衝材のバリア機能を著しく損なう損傷を引き起こすことなく行えるようにすること。</li> </ul> <p>後者の役割は、KBS-3 処分場施設の操業安全性との関連でも必要とされるものである。</p>			
2.2.2 設計面での検討事項	<p>(略) 設計指標が決定された際には、この設計指標が設計面でのさまざまな検討事項と共に、セクション 5.1.1 で説明する緩衝材を製作し、設置し、試験し、検査するために用いる方法に関して設定される詳細な要求事項の根拠となる。</p> <p>最終処分場バリアシステム及びバリア機能は、それらの機能に影響を及ぼす可能性のある破損及び条件、事象及びプロセスに対する耐性を備えているものとする。したがって、次に挙げる事項が検討されるものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>緩衝材と、その製作、設置、試験及び検査に使用される方法は、すでに十分試されているか試験された手法に基づくものとされるものとする。</u></li> <li>• <u>最終処分場のバリアの建設、製作、定置及び非破壊試験は信頼性の高いものとされる。また次に挙げるものが検討されるものとする。</u></li> <li>• <u>指定された特性を伴う緩衝材を製作し、高い信頼性をもって設置することが可能であるものとする。</u></li> <li>• <u>緩衝材の特性に関しては、指定された受入れ規準に照らした検査が実施可能であるものとする。</u></li> </ul>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
	<p><u>信頼性のあるプロダクション（製造）の実現は、高い品質及び費用対効果を達成するという SKB 社の目標にとっても必要なものである。さらに費用対効果の面で、次に挙げる事柄が検討されるものとする。</u></p> <p><u>・緩衝材設計と製作、設置、試験及び検査の方法は、費用対効果の高いものとする。</u></p> <p><u>・規定された速度で緩衝材を製造し、検査し、設置することが可能であるものとする。</u></p> <p>さらに設計においては、環境に対する影響、すなわち騒音や振動、空気及び水中への放出、さらには物質及びエネルギーの消費などに関する検討が実施されるものとする。（略）</p>			
2.3 Design premises				
2.3.1 KBS-3 処分場のバリア機能に関連する Design premises				
	<p>（略）表 2-1 に示した設計要領は、キャニスタ、埋め戻し材、処分孔及び坑道がそれらの設計指標に基づいて建設されているだけでなく、それぞれに関して設定されている Design premises に適合しているという仮定に基づくものである。</p>			
2.3.3 製造及び操業に関連する設計要領				
	<p>（略）表 2-2 に、緩衝材及びその構成要素に関する設計要領のうち、製造及び操業に関連するものを示した。</p>			
5. 緩衝材の製造				
	<p>この章では緩衝材のプロダクションラインを示す。プロダクションラインはどのように緩衝材が製造され、定置され、最近の参照方法（current reference methods）で検査されるかを示し、説明する。説明される製造物の詳細のレベルは参照方法（reference methods）、ソリューション、設備を提供する。</p>			
5.1 概要				
5.1.2 The production line for the buffer				
	<p>緩衝材のプロダクションラインは以下の 3 つのメインパートで構成される。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 掘削及び輸送</li> <li>➤ ブロック及びペレットの製造</li> <li>➤ 操業及び定置</li> </ul> <p>緩衝材のプロダクションラインを図 5-1 に示す。左から右へ材料が輸送され処分孔に定置されるまでを図示している。図には描かれたステージとそれらが示すセクションの参照を含むプロダクションラインのフローチャートも含まれている。</p>			
5.1.3 前処理及び設置に使用される参照方法				
	<p><u>製造に関する要件について、ブロック及びペレットの製作のための参照方法は、類似した産業用途において確立された手法に基づいている。設計指標に従ったブロック及びペレットが実現されるよう、従来型の方法が SKB 社のニーズに合わせて調節された上で使用されている。SKB 社は、1980 年代にストリパで実施された試験、1990 年代及び 2000 年代にエスポ HRL で実施された複数の大規模な実験において多大な経験を得た。本報告書に示されている方法は主として、エスポ HRL における「プロトタイプ処分場」で得られた結果に基づいている [Johannesson 2002]。</u></p> <p><u>ブロック及びペレットの輸送や貯蔵などの取り扱い作業は、従来型の手法を適用して実施される。またブロック及びペレットの設置方法は SKB 社が開発し、試験したものが採用されている。</u></p> <p>緩衝材の設計は、ベントナイト製ブロック及びリングを処分孔に積み重ね、ブロックと岩盤との間の隙間をベントナイト・ペレットで埋める方法に基づいている。</p> <p>緩衝材ブロックの前処理に関する指標に示す法は、個別のブロックを一軸圧縮する方法である。またペレット製作に関する指標に示す法は、小型ブリケットのローラー圧縮である。</p> <p>ブロックの設置に関する指標に示す法は、それぞれのブロックをガントリークレーンを用いて設置するものである。設置されたブロックは、ゴムシートで保護される。また処分孔では、設置されたブロックと岩盤との隙間がペレットで満たされるまでの期間にわたり、排水が行われる。隙間にペレットが充填される作業に先立ち、このゴムシートは取り外される。ペレットの設置に関する指標に示す法は、隙間にペレットを注入する方法である。</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
<b>5.1.4 Reference strategy and methods for test and inspection</b>				
¶ 1	<p>製造の要求に関して、プロダクションラインの異なるステージで行われる試験と検査の目的は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 緩衝材の製造結果が適合可能な特性に収まっていることを保証すること</li> <li>拒絶頻度 (rejection frequency) が低く、信頼でき、コスト効果の高い製造に到達すること</li> </ul>			
	<p>行われる試験及び検査、検査の数、及びサンプリングの空間分布は、要素 (factors) の数に依存する。以下に要素の例を示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 選ばれたサプライヤーとベントナイト位置の特徴</li> <li>➤ 点検される特性</li> <li>➤ 計測の正確さ及び適用される方法の信頼性</li> <li>➤ 要求された情報、たとえば平均値または極値、あるいは時間またはスペースによるバリエーション</li> <li>➤ 試験の目的、たとえばプロセスステージの管理の入力、あるいは特性の最終点検</li> <li>➤ 利用可能な情報及び経験、たとえばサプライヤーの信頼性、前輸送 (previous deliveries) またはプロセスステージの結果</li> <li>➤ 望まれる製造キャパシティに関する検査を実施する利用可能な時間</li> </ul> <p>これらの要素は緩衝材の検査の計画を開発する際に考慮される必要がある。<u>このような計画は検査されるパラメータ、適用される方法、サンプルの数や量を含むサンプリングの戦略と、時間及びスペースの分布を包含するものである。SKB は、緩衝材の品質保証パートとしてそのような計画を開発する。試験結果の信頼性は総じてこのプログラムに依存するだろう。計測されるパラメータの開発の段階である今ステージでは、製造のそれぞれのステージに適用される参照方法 (the reference methods) 及び計測の正確性が示される。さらに、製造のそれぞれのステージでのサンプリング戦略も検討される。</u></p> <p><u>試験及び検査の方法は類似した工業的な申請で確立された技術を基礎とする。これらの計測の正確性は検査される特性の適用可能なバリエーション以内になければならない。一般に、計測の効果的な正確性を付随した従来の技術及び機器は利用可能である。</u></p>			
<b>5.1.5 The design parameters and production-inspection schemes</b>				
¶ 1	<p>設計パラメータはセクション 3.1 (表 3-1、3-3、3-4、図 3-1、3-2、3-3) にて緩衝材の参照設計 (the reference design) を特定するのに用いられたパラメータである。これらのパラメータは、製造された緩衝材が参照設計 (the reference design) と一致していることを検証するために、緩衝材の製造の間に直接的あるいは間接的に検査される。設計パラメータの結果は初期設定 (initial state) へ知られている必要がある。長期安全性及び製造に関して要望された特性 (§ 2.3)、設計パラメータ及び製造及びそれらの関連で検査されるパラメータは表 5-2 に示す。</p>			
¶ 2	<p>製造に関する概要を示すために、製造の主要な部分とそれらに含まれるさまざまな段階の具体的に示す「製造-検査スキーム」が設定されている。(略) 図 5-2 に、掘削及び提供、さらにはブロック及びペレットの製作に関する製造-検査スキームを、また図 5-3 には緩衝材の取り扱い及び設置に関する製造-検査スキームを示した。</p>			
¶ 3-5	<p>製造検査スキームの中で、設計パラメータが処理される段階は青色にマークした。薄い青色は設計パラメータのいずれの処理でも用いられ、濃い青は最終決定した一つあるいはいくつかの設計パラメータに用いられる。パラメータの決定とは、パラメータがその段階で決定され、後に続く製造段階でそれを変更する積極的な努力がなされない (または可能である) ことを意味する。</p> <p>試験及び点検のためにオレンジの色は用いられる。薄い色は製造中どの設計パラメータの検査にも用いられ、濃いオレンジは最終試験及び検査に用いられる。<u>最終検査の後には更なる点検は実施できない。</u></p> <p>設計パラメータが処理されないが影響を受ける段階ではグレーの色付けをしている。グレーは設計パラメータに影響する可能性のある状態の点検にも用いられる。</p>			
<b>5.2 掘削及び提供</b>				

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
5.2.1 掘削及び輸送のための提供				
プロセス	<p><u>この段階において、モンモリロナイト、硫化物、全硫黄及び有機炭素の含有量が最終的に決定される。したがってこれ以降の段階においてベントナイト物質は（混合や内容物を均一化する作業は実施される可能性があるものの）、物質の組成を変更するために積極的な活動が行われることはない。</u></p> <p>ベントナイト鉱床は世界各地の多くの場所に存在しており、必要に応じて掘削及び提供を代替企業に委託することは可能である。ベントナイトの供給業者はSKB社の承認を受けることになる。SKB社は供給される物質を、おそらく高い確率で供給業者が提示する市販製品を選択する形で、発注時に指定することになる。</p> <p>ベントナイトは露天鉱において掘削される。正確にどのように掘削が行われるかはそれぞれの鉱床によって異なる。本報告書で記述する手順は、<u>American Colloid Company</u>社によって供給されるワイオミング・タイプのベントナイトに基づくものとなっている。しかしこの手順は他の供給業者の場合にも同様のものとなる。</p> <p>掘削に先立ち、土壌層が除去され、ベントナイト鉱床が完全に露出される。粘土組成を明らかにするために、鉱床のさまざまな異なる部分からサンプルが採取される。粘土が掘削された上で、処理工場に運ばれる。この工場において、ベントナイトは各種の品質属性ごとに選別され、貯蔵庫に移される。それぞれの特定の物質が別々に保管され、相互の汚染が生じないようにするために、品質検査官が建屋とこれらの貯蔵庫の使用状況に関する指示を与える。貯蔵庫からいくつかのタイプのベントナイトが集められ、注文に示された仕様に適合する製品を実現するための混合、粉砕及び乾燥が実施される。</p>			
検査	<p><u>SKBは、供給業者の資格認定のための所定の手続きを開発する予定である。この中には、供給業者が適用する品質保証措置及びシステムの検査や、ベントナイト・サンプルの研究室試験が含まれる。またこれらの試験には、物質組成の測定と物質特性の調査とが含まれる。ベントナイト供給業者は、適切に文書化された品質管理システムを設定していなければならない。</u></p> <p><u>それぞれの提供が行われる前に、ベントナイトは供給業者による検査を受ける。これらの検査は、SKB社が指定するパラメータセットを用いるだけでなく、特定の方法を提供することによって実施される。また供給業者は、積み込みに先立って貨物区域の検査と、必要に応じて貨物スペースの浄化を実施する責任も担う。</u></p>			
5.2.2 物質の提供と港湾における一時貯蔵				
プロセス	<p>ベントナイトは、自動荷揚げ装置を装備した船から処分場サイトに近い港へと運ばれる。<u>まずベントナイトの検査が実施され、受け入れられた場合には荷揚げされた上で貯蔵建屋に収容される。この貯蔵建屋の保管場所は温度が0℃を上回るように維持され、凝縮を避けるために湿度調整が行われる。荷揚げに伴って物質の計量が行われる。荷揚げの後、品質が均等であるかどうかを検査するために、荷物のさまざまな異なる部分からサンプルが採取される。提供された物質が受け入れられない場合であってもプロセスが中断することのないようにするため、常に十分な量の納品済ベントナイトが蓄積されているよう配慮される。</u></p>			
検査	<p>ベントナイトのそれぞれの輸送に関して、提供される物質の実際の組成を記述した供給業者のプロトコルが作成される。<u>提供される物質に関しては、受け入れの根拠としてSKB社が検査を実施する。製造のための検査は、提供物質の含水率及び顆粒サイズ分布の測定と、その総重量の測定とによって構成される。緩衝材のバリア機能にとって重要な設計パラメータに関する検査には、緩衝材物質の鉱物学的組成の検査が含まれる。</u></p> <p><u>鉱物学的組成、含水率、そして膨潤鉱物の特定の特性に関する分析が、提供物質のさまざまな部分から収集されたサンプルを対象に実施される。この試験の目的は仕様に従った物質が提供されたかどうかを検査することであり、物質組成と含水率のばらつきの見積りを行い、その後のプロセス段階にとっての入力情報として顆粒サイズ分布が明らかにされる。サンプル件数は、当該積荷のサイズ及び供給業者（すなわち、鉱床、供給業者が適用した方法、それ以前に提供された物質に関する経験など）に応じて異なるものとなる。</u></p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
5.2.3 製造工場への移送及び貯蔵				
プロセス	製造工場から要請された量の緩衝材物質が、トラックによって港の貯蔵建屋から製造工場の受入れ建屋へと運ばれる。 <u>浸潤化を回避するためにも、また作業条件の面からも、積下ろしエリアは室内とされるべきであり、また換気制御がなされているべきである。</u> 貯蔵には、建屋又はサイロを使用することができる。図 5-4 に、自動搬出装置を装備した貯蔵設備の例となる写真を示した。			
検査	この段階では物質の流れのみが検査され、このため港湾と受入れ建屋内に車両計量機が設置される。 <u>全ての車両が1度計量されるものと予想されている。</u>			
5.2.4 物質組成の試験及び検査方法				
X 線回折：モンモリロナイト含有量	<p>鉱物の特定及び定量化は、ランダムな粉末として前処理されたサンプルのエクス線回折に基づいて行われる。この方法は、サンプルをきわめて波長の短い電磁放射線にさらし、面格子間隔のセットを分析する方法によるものである。この面格子間隔は、それぞれの鉱物種に特有のものである。回折パターンの分析には、コンピュータに基づく手順が適用される。この手順では、観察されたパターンが、スメクタイトお混合物荷含まれるその他の鉱物の既知の格子パラメータと照合される。この方法については文献 [Karnland et al. 2006] で詳しく取り扱われている。</p> <p>X 線回折分析の結果として、サンプル内に存在する鉱物と、重量%で示されたその内容物のリストが入手される。測定精度は鉱物によって異なり、またサンプルの特性にも依存する。文献 [Karnland et al. 2006] において、ワイオミング・ベントナイトの同一物質中の少量の体積から採取された 6 件のサンプルに含まれるモンモリロナイト含有量の評価が行われている。記録されたモンモリロナイト含有量の統計的な分析により、平均値が 83.5%であり、標準偏差が 1.7%であることが示された。これらのサンプルが 1つの閉込め容量から採取されていることから、これらの結果は使用された方法が伴う不確実性が見積りと見なすことができる。<u>この試験方法における不確実性の値をより精密に表現するためには、より多くのデータを入手する必要がある。そのためには X 線回折法の精度を見積もるために特別に設計された試験プログラムを実行しなければならない。</u></p>			
有機炭素、硫化物、及び硫黄	<p>有機炭素、硫化物及び全硫黄の含有量は、加熱炉内でサンプルを加熱し、燃焼ガスを分析することによって決定される。炭素、硫化物及び硫黄の検出のため、サンプルはそれぞれ定義された異なる温度荷まで加熱される。専用加熱炉と分析装置が利用可能である [Karnland et al. 2006]。加熱期間中に温度が記録され、IR-検出器によって燃料ガスが検出される。有機炭素の含有量は CO<sub>2</sub> の量を測定することによって決定される。硫酸塩の量は 1つのサンプルを加熱することによって決定される。全硫黄は、別のサンプルにおいて全ての硫黄を燃焼させ、SO<sub>3</sub> とすることによって分析される。その後、硫黄の総量から明らかにされた硫酸塩含有量を差し引くことにより、硫化物の量が計算することができる。</p> <p>ワイオミング・ベントナイトの同じ提供物質の少量の体積から採取されたサンプルに基づく 4 回の有機炭素測定において記録された平均含有量は 0.24 wt-%であり、それに対応する標準偏差は 0.04%であった。やはり同じ提供物質の少量の体積から採取された硫化物の 5 回の測定において記録された平均含有量は喪失量の 0.13wt-%であり、標準偏差は 0.05%であった。エクス線回折試験については、1つのベントナイト閉込め容量からサンプルが採取されていることから、これを使用された方法に存在する不確実性を見積りと見なすことができる。<u>エクス線回折試験についても、データはこの方法の精度を表すには不十分なものであり、この目的のために 1 件の試験プログラムを特別に設計し、実施しなければならない。</u></p>			
適用されたその他の方法	<p>SKB 社は、モンモリロナイト、有機炭素、硫化物及び全硫黄の含有量の検査に加えて、<u>主要な元素分布、物質の陽イオン交換容量 (CEC)、自由膨潤容量及び液体限度に関する試験を実施する。</u>これらの試験は、信頼性の高い製造を実現するための物質の品質管理プログラムの一環として行われるものである。これらの試験の結果は、<u>初期状態に関する設計パラメータの検査のために直接使用されるわけではないものの、製造された緩衝材に生じるばらつきを狭める上で役立つ。</u></p> <p>主要元素分布は、「誘導結合プラズマ」(ICP/EAS) からの原子発光分析法を使用し</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
	<p>て測定される。この方法については文献 [Karnland et al. 2006] で記述されている。その結果は、X 線回線によって測定された鉱物組成に基づき、計算された組成と比較対照するために用いられる。</p> <p>物質の陽イオン交換容量 (CEC)、自由膨潤容量及び液体限度は、物質の膨潤能力、透水係数、圧縮特性などの重要な物質特性の指標となるものである。これらの特性がモンモリロナイト含有量に依存しているだけでなく、支配的な陽イオンにも依存していることから、モンモリロナイト含有量と支配的な陽イオンの間接的な検査にも使用されている。</p> <p>CECはCu-トリエン法を使用して測定される。これは、文献[Karnland et al. 2006] に記述されているように、ベントナイトに使用するために SKB 社が採用している従来型の方法の 1 つである。</p> <p>自由膨潤容量は、従来型の手順の 1 つを適用して決定される。この方法ではまず、目盛り付きの計量コップに、定義された体積の脱イオン水が入れられる。その上で定義された量の粘土をこの水に注ぎ、個別の粒子として底に沈殿するようにする。粘土が膨潤するまで計量コップをそのまま放置し、その後膨張したサンプルの変化後の体積を記録する。</p> <p>液体限度は、粘土と水の混合物の中に円錐体を落とし、その円錐体がサンプルに入り込む深さを調査することによって測定される。この方法はすでに確立されているものであり、文献 [Swedish Geotechnical Society 1988] の研究室マニュアルシリーズにおいて記述されている。この方法は、測定対象がベントナイトであることから、試験ペーストの混合を行ってから時間を経過させる方法が採られている。この時間が追加された理由として、ベントナイトの物理特性がモンモリロナイト成分と水との相互作用によって決定付けられることと、反応速度が有意なものであることが挙げられる。</p> <p>自由膨潤試験と液体限度試験から得られるデータは、当該物質のモンモリロナイト含有量と支配的な陽イオンの指標となる。このデータは物質組成の絶対値としてではなく、提供物質に含まれる物質の相対的なばらつきを検出するための試験として用いられる。</p>			
5.2.5	顆粒サイズ分布及び含水率の試験方法と検査方法			
	<p>物質の顆粒サイズは、1組の入れ子構造の「ふるい」を使用したふるい分けによって検査される。これは、顆粒サイズが 75 <math>\mu</math> m までの粒子分布を決定する際にごく標準的に使用されている手順である。その測定精度はここでの目的にとって十分なものである。</p> <p>物質の含水率は、サンプルを 105°C の温度に過熱したオープンに 24 時間入れて乾燥させた後、サンプルの重量喪失量を重量測定法によって測定する方法によって検査される。これはすでに十分に確立され、広範に使用されている方法の 1 つである。含水率が受け入れ可能なばらつき範囲にあることを保証するために、この測定は <math>\pm 0.05\%</math> の精度で実行可能なものとされるべきである。</p> <p>結果を迅速に入手する必要がある場合（たとえば船から荷下ろしの前など）、この乾燥はサンプルを通常の電子レンジで 5 分間加熱する方法で実施される。オープン内での加熱については、含水率はサンプルの計量によって決定される。</p>			
5.2.6	経験と結果			
	<p>ベントナイトはすでに多くの産業用途で使用されている製品の 1 つである。指定された特性を備えたベントナイトの掘削及び提供は、すでになじみ深い実証済の手法であり、手順である。SKB 社はこうした従来型の方法及び手順の信頼性は高いものと判断している。(略)</p>			
5.3	ブロック及びペレットの製作			
5.3.1	ベントナイトの調整			
プロセス	<p>この段階において、提供された物質をブロック及びペレットの加圧成形に適した物質固有の顆粒サイズ分布と含水率を伴うものとする処理が行われる。圧縮準備が整った物質に固有の顆粒サイズ分布及び含水率が最終的に決定される。</p> <p>物質の調整作業には次に示す作業が含まれる。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 粉砕に適した含水率となるまで乾燥を行う。</li> </ol>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
	<p>2 圧縮に適した顆粒サイズとなるように粉砕を行う。</p> <p>3 粉砕済の物質を貯蔵する。</p> <p>4 圧縮に適した含水率まで粉砕された物質の湿潤化を行う。</p> <p>5 圧縮の準備が整った物質を貯蔵する。</p> <p>提供時に測定された含水率を用いて、当該物質を粉砕に適した水分含有量まで乾燥させる必要があるかどうかの判断がなされる。乾燥当該は大容量の乾燥機を用いて行われる。図 5-6 に、その乾燥機の一例を示した。</p> <p>乾燥後、物質は加工工場へと運ばれ、必要な顆粒サイズまで粉砕される。この粉砕はハンマーミルで行われる（図 5-6 を参照）。粉砕後、粉砕済の物質はサイロに運ばれ、そこで貯蔵される。</p> <p>ブロック及びペレットの加圧成形に必要な含水率を実現するために、粉砕済物質はミキサー内で水と混合される。ベントナイトの含水率の調整は、高効率ミキサーを用いて行われる。図 5-6 のその一例を示した。指定量の粉砕されたベントナイト物質がミキサーに入れられ、その含水率が測定され、指定された含水率を実現するために必要な水の量が計算される。スプレーノズルを通じてミキサー内のベントナイトに水が加えられる。ブロック及びペレットの加圧成形に必要な密度及び含水率を得るためには、混合後のベントナイトが均一であり、塊となっている部分がないことと、含水率のばらつき範囲が±1%未満であることが重要である。</p> <p>混合がなされた後、圧縮準備が整った物質のバッチは、ブロック及びペレットの製作に使用される加圧成形機器の隣接する比較的小型のサイロに貯蔵される。このサイロの貯蔵容量は、必要とされる緩衝材ブロック及びペレットの製造ペースに適合したものとされる。</p> <p>検査を除く調整プロセス全体が、未加工物質を貯蔵してから圧縮準備の整った物質を加圧成形機器に隣接するサイロに貯蔵する時点まで、自動化されている。加圧成形作業者が、その必要に応じて物質の機器への供給を要請する。</p>			
検査	<p><u>提供された未加工物質の含水率は、粉砕に適したレベルを確保するために、乾燥前と乾燥後の両方で検査を受ける。</u></p> <p><u>圧縮準備が整った物質の含水率及び顆粒サイズの分布が、この混合に伴って最終検査される。顆粒サイズ分布の検査は、混合に先立って実施される。また同じく混合前に、追加される水の量を決定するために含水率の検査が実施される。それぞれの混合物から物質サンプルが採取される。</u></p> <p><u>さらに、加圧成形機器に隣接するサイロに移された混合済のバッチのそれぞれを対象として、含水率と顆粒サイズ分布の検査が行われる。この際に、平均含水率を決定する上で十分な数のサンプルが使用されるものとする。</u></p>			
<b>5.3.2 ブロックの加圧形成</b>				
プロセス	<p><u>この段階において、ブロックの乾燥密度が最終的に決定される。加圧成形プロセスは、指定された密度が実現されるように制御される。</u></p> <p>ブロック密度は、圧縮される顆粒サイズ分布及び含水率に、さらには圧縮圧に左右される。ブロックの加圧成形に関する指標に示す法は「一軸圧縮法」である。この一軸圧縮法では、ベントナイトが硬い金型に充填され、軸方向に圧縮される。その圧縮は、1本のピストンを用いるか、上部及び下部の2本のピストンを用いるかのいずれかによって行われる。2本のピストンが使用される場合、均一性を維持した上でブロックの厚さを大きくすることができる。均一なブロックを実現するために、金型には潤滑剤が使用される（潤滑剤が接触したベントナイトは機械過去によって切断される：セクション 5.3.3 を参照）。さらに、ブロックを取り出しやすいように、この金型はわずかに円錐形となっている。図 5-7 に、エスポ HRL における「プロトタイプ処分場」実験用のブロックの製作に使用された金型を示した。</p> <p>ブロックの加圧成形は、次に示す3つのステップで構成される。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 金型の清掃及び潤滑剤の塗布。</li> <li>• 金型にベントナイトを入れる。</li> <li>• 圧縮とブロックの金型からの取り出し。</li> </ul> <p>金型にベントナイトが充填される前に、それ以前の加圧成形作業で残ったベントナイトや潤滑剤を除去するために金型のクリーニングが行われる。このクリーニングは手</p>			

国名又は 機関名	スウェーデン			
発行機関・ 著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
	<p>作業で行われ、金型は目視検査される。その上でシリンダー（内側及び外側）に潤滑剤が塗布され、汚れのないフィルタが底板に設置される。潤滑剤は高圧に耐えられるものとし、ブラシ又はスプレーによって塗布される。加圧成形されたブロックごとに同じ量の潤滑剤が使用される。潤滑剤が少なすぎるとベントナイトと金型の間に摩擦が生じるため、ブロックに損傷が生じたり、不均一な部分が生じたりする可能性がある。また潤滑剤が多すぎると圧縮中に外側のシリンダーの上方への移動が生じる可能性があるため、金型に損傷が生じる可能性がある。それぞれのブロックに同量の潤滑剤を使用することにより、それぞれのブロックごとの密度のばらつきが抑えられる。</p> <p>金型に注入される調整済物質は、天秤を用いて計量される。ブロックの高さのばらつきを最小限にするために、質量は正確に測定されなければならない。また均一なブロックを実現するためには、ベントナイトが金型内で均等に分配されることが重要である。これは金型内でベントナイトを振動させることによって達成される。必要な場合、金型に注ぎ込まれたベントナイトから、物質組成と含水率の検査のためにサンプルが採取される。</p> <p>ベントナイトで満たされた金型はプレス機へと運ばれる。クリーニングされたフィルタがピストン内に設置される。ピストンは金型内のベントナイトの真上に置かれる。真空ポンプが、金型の底板上とピストン上のフィルタに接続される。フィルタを通じてベントナイト内の空気が排出された後、金型はプレス器内に設置される。</p> <p>ブロックは1つのステップで圧縮される。圧縮圧は必要な負荷が成立するまで高められる。必要な負荷がブロックにかけられると、負荷が解除される。最終的な密度を制御するため、圧力に関する記録がとられる。圧縮後、ブロックはプレス機を用いて金型から取り出される。リング状のブロックが圧縮された場合、天井クレーンを使用して内側のシリンダーがブロックから取り外される。ブロックにはそれぞれ固有の識別記号が与えられ、金型の底板から持ち上げられ、特別に設計されたパレット上に置かれる。それと同時に、ブロックの計量が行われる。図 5-8 に、この吊り上げ作業と計量とを組み合わせさせた装置の例を示した。</p> <p>望ましい処理能力を得るためには、複数の金型を使う必要がある。現在のところクリーニング、充填及び圧縮という3つのプロセスを順番に実施するために、3組の金型を使用することが提案されている。</p>			
検査	<p><u>圧縮準備が整った物質の含水率と、加圧成形後のブロックの物質組成及び乾燥密度に関する最終検査は、この段階で実施される。</u></p> <p>圧縮中の金型とベントナイトとの間の摩擦を最小限に抑えるために、金型表面が鏡面となっており、擦り傷その他の損傷を伴っていないことが重要である。金型は、ベントナイトの注入に先立って目視検査される。金型には潤滑剤が塗布され、加圧成形されたブロックの密度が均等になるようにするため、またブロック機械加工にとっての入力情報を得るために、潤滑剤の量が計量される。</p> <p><u>物質組成と含水率の測定に使用されるサンプルは、ブロックに加圧成形される前のベントナイトから採取される。これらのサンプルは圧縮されたブロックから採取されるサンプルに対する参照サンプルとして保存される。サンプルの個数は、以前と同じ提供物質に対して実施された検査の回数とその結果に応じて決定される。管理プログラムの一環としてサンプリング戦略の作成が進められる予定である（セクション 5.1.4 を参照）。最終的に、ブロックの物質組成と含水率の両方が検査される。</u></p> <p><u>その上でそれぞれのブロックの重量及び寸法（高さ及び直径）が検査される。また記録された含水率、重量及び寸法に基づいてブロックの乾燥密度が計算される。この試験は、圧縮によって望ましいかさ密度及び乾燥密度が実現されていることを検証するために実施されるものである。ブロックにはそれぞれ固有の識別記号が付けられ、かさ密度と乾燥密度、重量及び寸法が記録される。</u></p> <p><u>ブロックは、機械加工装置に運ばれる前に、割れ目や損傷がないことを確認するために目視検査される。ブロックの強度を低下させる可能性のある密度の低下や割れ目が存在する兆候が見られないブロックのみが機械加工装置へと運ばれる。</u></p>			
5.3.3	ブロックの機械加工			
プロセス	この段階において、ブロックは表 3-4 に示されている寸法に機械加工される。機械加工プロセスにより、処分孔にブロックを直線的に積み重ねる上で必要とされるそれぞ			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
	<p><u>れのブロックが均等なものであることと、必要な設置後のかさ密度が保証される。キャニスタの底部と頂部の形に合わせるために、キャニスタが垂直に設置される底部ブロックと、キャニスタの頂部に置かれるブロックは、図 3-2 に図示した形と寸法に機械加工される。</u></p> <p>(略)</p> <p><u>機械加工を行った後で、ブロックはパレット上に置かれ、貯蔵期間及び処分場レベルへの運搬期間にわたって水分含有量が維持されるよう、プラスチックの覆いが被せられる。(略)</u></p>			
検査	<p><u>この段階において、ブロックのかさ密度、すなわち重量及び寸法の最終検査が実施される。</u></p> <p><u>これらのブロックに対しては、機械加工を行った後で、割れ目や損傷がないことを確認するための目視検査が行われる。ブロックの強度を低下させる密度の低下や割れ目の兆候が存在しない場合、ブロックは承認され、その重量と寸法(すなわち高さや直径)、さらには特別に設計された細部の検査が行われる。承認されたブロックは全て計測及び計量され、かさ密度の計算が実施される。検査及び計量で得られたデータは、それぞれ固有の識別記号が付けられたブロックごとに記録される。</u></p>			
5.3.4 ペレットの加圧成形				
プロセス	<p><u>ペレットの製作のために採用された参照方法は、調整済の物質を小型ブリケットに圧縮するというものである。ペレットはさまざまに異なるサイズのものとして製作することができ、図 5-11 にその一例を示した。ペレットの加圧成形を行う機械は、1 台のスクリューと 2 台のローラーで構成される(図 5-10 を参照)。まず、ペレットに加圧成形される 1 回のバッチ分の調整済物質が加圧成形機へと運ばれる。ローラーが回転している間にスクリューによって物質が圧縮される。右のローラーは時計回りに、左は反時計回りに回転する。ローラーの速度とスクリューの圧力を変化させることにより、ペレットの密度を変えることができる。加圧成形の後、ペレットは特別に設計された容器に収納され、この容器は中間貯蔵場に運ばれる。</u></p>			
Inspections	<p><u>この段階において、圧縮の準備が整った物質の含水率、加圧成形されたペレットの物質組成及び寸法が、最終的に検査される。</u></p> <p><u>ペレットに加圧成形される調整済物質のそれぞれのバッチから、ベントナイトのサンプルが採取される。サンプルの物質組成と含水率が検査される。サンプルは、それぞれのペレットのバッチに関する参照サンプルとして保管される。サンプルの個数は、以前に同じ提供物質に対して実施された試験の回数及び結果に応じて決定される。管理プログラムの一環としてサンプリング戦略の作成が進められる予定である(セクション 5.1.4 を参照)。</u></p> <p><u>ペレットの寸法は、キャリパーを使って一定数のペレットを測定する方法で検査される。検査されるペレットの個数は、同じ未加工物質の提供物質と、圧縮の準備が整った物質のバッチに基づいてペレットの加圧成形から得られたデータによって決定される。記録されたプロセス・データによって、必要な寸法を備えていないペレットが存在する可能性があることが示された場合、検査するペレットの個数が増やされる。</u></p> <p><u>緩く充填されたペレットの重量は、既知の重量及び体積を備えた、ペレットで充填された容器を計量することで検査される。緩い充填材のかさ密度は、その体積と、記録された重量から計算される。この試験は、製造された全てのペレット・バッチを対象に実施される。</u></p>			
5.3.7 重量、寸法及び密度の試験方法と検査方法				
	<p><u>ペレット及びブロックの重量の検査のためには、異なる種類の計量機械が使用される。計量機械は、通常の手順を適用して必要な精度まで較正される。かさ密度が受け入れられる限度内に収まっていることを検証するために、<u>ブロックの重量は精度±2 kg</u>で測定されるべきである。ペレットのかさ密度は、緩い充填材の定義された体積を計量することによって直接的に決定される。<u>ペレット及びブロックの塊を伴う物体の重量を必要な精度で測定することは、確立されたよく知られた手法である。</u></u></p> <p><u>ブロックの高さ、直径、そして特別に設計された細部の測定は、キャリパーを使って行われる。ブロックの寸法は±1 mm の精度で測定される。ブロックのサイズの物</u></p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
	<p>体の寸法を必要な精度で測定することは、さまざまな同様の用途からの、確立されたよく知られた手法である。</p> <p><u>ペレットの寸法もキャリパーを使って決定される。必要な精度は、ブロックの場合と同様であり、ブロックについては、この方法はよく知られた確立された手法に基づいている。</u></p> <p><u>かさ密度は、記録された重量及び寸法に基づいて計算される。</u>計算された密度の精度は、重量及び寸法の測定精度によって決まる。かさ密度の容認される変動範囲は約±1%である。ブロックの重量を±2 kgの精度で、そして寸法を±0.1 mmの精度で測定できると仮定すると、密度は±約0.15%の精度で決定できる。</p>			
5.3.8 経験と結果	<p><u>ベントナイトの調整のために提案されている全ての機器は市販されており、代替供給業者から購入できる。</u>エスポ HRL の大規模試験のために使用された物質は、供給業者によって、特別な顆粒サイズ分布になるまで乾燥され、粉砕された。粉砕された物質の含水率は、大型ミキサーを用いて調節され、良好な結果が得られている [Johannesson 2002]。このことは、上述の乾燥及び粉砕プロセスが実現可能であることを示している。</p> <p><u>ブロックの一軸圧縮の経験と機器は、類似した産業用途で使用されているものを利用できる。</u>これは、エスポ HRL における大規模試験のためのブロック（合計で 130 ブロック超）を製造する目的で、SKB 社によって使用されてきた [Johannesson 2002]。これらの試験は、ブロックを加圧成形した後に機械加工によってブロックの表面から潤滑剤を除去し、その寸法を調整すれば、設計指標に従ってブロックを製作できることを示している。製造されたブロックは、高さが 500 mm であったが、設計指標におけるリング状ブロックの高さは 800 mm である。<u>その他の調査から、不均一なブロックを生み出すことなく、ブロックの直径と同じ範囲でブロックの高さを圧縮できることが示されている</u> [Johannesson et al. 1995 のセクション 4.2.3]。これは設計指標の選択を正当化するものである。</p> <p>(略)</p> <p>表 5-3 に、「プロトタイプ処分場」内の 6ヶ所の処分孔に定置された 2 タイプのブロックの平均乾燥密度を示した。圧縮されたブロックの平均乾燥密度は設計指標の容認される変動範囲内に収まっている。しかし、製作された全てのブロックを考えると、観察された 95%信頼区間は設計指標の容認される変動範囲よりも大きい。これはリング状ブロックと立方体ブロックの両方に当てはまる。ブロックの乾燥密度が望ましい変動範囲よりも大きくなったのは、それらが製作された機会が異なることと、原材料が異なるベントナイト提供物質に由来していることが原因である。<u>試験製造においては、圧縮の準備が整った物質の含水率と顆粒サイズ、そして加圧成形プロセスを、提供された物質に合わせる可能性は限られていた。</u>それぞれの処分孔における提供物質内の変動範囲は、1つを除く全ての孔で受け入れ可能な限度内に収まっている。</p> <p>(略) 表 5-4 に、機械加工された 7 個のベントナイト・ブロックの直径の測定結果を示した。これらのブロックは標準的な回転旋盤で機械加工されたものであり、その上でブロックの直径が測定された。この表において、直径の平均値は 800.5 mm であり、その標準偏差は 0.4 mm であることが示されている。このことは、<u>変動幅を±1 mm として指定された寸法のブロックを機械加工するために、従来型の手法を適用できることを示している。</u></p>			
5.4 操業と設置				
5.4.1 地上レベルでの中間貯蔵				
プロセス	<p><u>製造作業が停止された場合に、最終処分場での緩衝材の設置作業も中断されることを回避する目的で、地上レベルで緩衝材ブロック及びペレットの一定量の在庫を確保しておく必要がある。</u>また貯蔵期間中にブロック及びペレットの含水率が変化しないことも重要である。この目的のために、<u>ブロックは、気密フードを備えた特別設計のパレット上に置かれる。</u>ペレットは容器に収納された上で、同じタイプのパレット上に置かれる。<u>ブロック及びペレットの検査を容易にするために、このフードは透明のものとする。</u>貯蔵設備は、最終処分場施設の産業区域と原子力施設の防護区域に設置することが計画されている。取り扱い及び運搬は、従来型の天井クレーン、グラブ</p>			

国名又は 機関名	スウェーデン			
発行機関・ 著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
検査	ル装置及び貨物運搬車によって実施される。 パレットに対しては、 <u>貯蔵設備から処分場深度への運搬に先立ち、識別記号、覆い、ブロック及びパレットの目視検査が実施される。覆いに損傷があった場合やブロック又はパレットに目視される損傷があった場合には、これらは廃棄されるか、それらの重量及び寸法の検査が再度実施される。【貯蔵施設への提供時にも同様の検査が実施される。(5.4.2)】</u>			
5.4.3 処分孔の準備				
プロセス	<p>緩衝材の設置作業にとって、地下開口部建設ラインにおいて仕様に従った処分孔が用意されていることが前提となる。定置のための処分孔の準備及び承認については、『<u>地下開口部建設報告書</u>』のセクション 5.3.6 で記述されており、次に挙げる項目で構成される。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>水の除去及び処分孔のクリーニング。</u></li> <li>• <u>処分孔への水の流入状況の検査。</u></li> <li>• <u>処分孔と交差する亀裂の検査。</u></li> <li>• <u>底板の設置及び検査。</u></li> <li>• <u>処分孔の寸法（すなわち、半径及び深さの関数としての横断面積、底部の傾斜、総容量、中央線の測定）の検査。</u></li> </ul> <p>緩衝材が空気中の水分を取り込んでより浸潤化したり、処分孔が乾燥している場合に乾燥度を高めたりしないようにするため、ブロック設置前に処分孔に防護シートが取り付けられる。この防護シートには、<u>厚く弾力性と耐久性のある水密性のゴムが使用される。このシートは底板に取り付けられる。底板は、縁及び中心穴を伴う銅製プレート</u>を伴うもので、<u>コンクリートの基礎の上に置かれる。シートは銅製プレートの縁に取り付けられる（図 5-12 を参照）。</u></p> <p>シートと処分孔の壁との間に、排水システムが設置される。このシステムは 1 本のパイプ、1 台の吐出ポンプ及び警報システムで構成される。このパイプは処分孔の底部に設置され、吐出ポンプは坑道床に設置される。警報システムは、<u>処分孔の水位が高くなった場合に警報を発する</u>ためのものである。ポンプの揚水及び揚水容量は、<u>容認される流入量と処分孔の深度とに合わせて設定される。銅製プレートの縁と処分孔壁との間の空間は、水の貯留場所となる。この貯留場所の容量が、最大揚水容量だけでなく排水システムの設計をも決定付けることになる。ポンプ及び排水システムの詳細な配置構成は、今後決定される予定である。</u></p>			
検査	<p>防護シートと排水システムの設置前に、<u>処分孔の目視検査が実施される。処分孔内に遊離した物質や一定量以上の水、あるいは処分孔が設計指標に適合しないその他の兆候が見いだされた場合、処分孔の寸法の新たな検査及びスキヤニングが行われる。</u></p> <p><u>緩衝材の設置の先立ち、排水システムに組み込まれた警報システムの機能検査が行われる。</u></p>			
5.4.4 ブロックの設置				
プロセス	<p>この段階において、<u>処分孔内でのブロックの位置、キャニスタの周囲、下及び上に設置される緩衝材の厚さ、そしてリング状ブロックの穴の直径が決定される。ブロックの位置及び重量は、処分孔の寸法とそこに設置されるパレットの重量と共に、設置される緩衝材のかさ密度を決定付ける。</u></p> <p>(略)</p> <p>キャニスタが定置され、ガンマゲートが閉じられると、ガントリークレーンが処分孔の上に再び置かれる。ガンマゲートが開かれ、3 個の最上部の緩衝材ブロックと、埋め戻し材の一部と考えられている 2 個のブロックが設置される。これらのブロックの位置決めは、<u>底部ブロックと同じ方法で行われる。緩衝材設置作業のこの部分は遠隔操作によって行われる。ブロックの積み上げ状態が目視検査され、温度及び水分を測定するセンサが防護シートの内側に設置される。その上で防護シートがブロック全体に被せられ、閉じられる。ガントリークレーンとガンマゲートが移動させられ、防護蓋が処分孔の頂部に置かれる。</u></p>			
検査	<p>この段階において、<u>処分孔内に設置されたブロックのそれぞれの位置に関する最終検査が実施される。</u></p> <p>設置に先立ち、個別の処分孔に設置される予定のブロックの識別記号が確認され、</p>			

国名又は 機関名	スウェーデン			
発行機関・ 著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
	<p><u>記録される。設置作業中に、設置されたそれぞれのブロックの処分孔内の位置が、ガントリークレーンのサーボエンジンの制御システムによって記録される。設置されたブロックの座標は、処分孔の測定プロトコルと吊り上げ装置の位置に関する記録に基づいて計算される。</u></p> <p><u>ブロックの寸法とその位置から、緩衝材の厚さと、処分孔容積のうちのブロックによって満たされた容積が算出される。リング状ブロックの位置及び寸法により、ブロック内部の孔の直径が決定付けられるだけでなく、キャニスタがこの孔の中心に設置された場合には、キャニスタ周囲の緩衝材の厚さも決定付けられる。また処分孔の寸法とブロックの位置及び寸法により、ブロックと岩盤表面との間の隙間の幅が決定付けられる。これらのデータは、ブロック及びペレットの重量と共に、設置される緩衝材のかさ密度と、処分孔内でのそのばらつきの大きさを算出するための入力情報として使用される。</u></p> <p><u>緩衝材と岩盤との間の隙間の水位は、排水システムに組み込まれた警報システムによって監視される（セクション 5.4.3 も参照のこと）。防護シートの内側に設置されたセンサが、温度及び水分を継続的に記録する。高い水分含有量が検知された場合、緩衝材の防護シートに欠陥がある兆候と見なされる。設置されたブロックが水にさらされた場合には膨潤が開始される可能性があり、その結果として防護シートを取り除くことができなくなるか、十分な量のペレットを設置できなくなる可能性がある。緩衝材がこうした状態となった場合には、キャニスタ自体も回収する必要が生じる可能性がある。受け入れ可能な水分含有量に関する規準については、今後決定されることになっている。</u></p>			
5.4.5 ペレットの充填				
プロセス	<p><u>この段階において、設置されるペレットの重量及び体積が決定される。これにより、ブロックの位置、重量及び体積と共に、設置され。緩衝材のかさ密度と処分孔内でのそのばらつきの範囲が決定付けられる。</u></p> <p><u>緩衝材ペレットの充填は、キャニスタ頂部の3番目の緩衝材ブロックのレベルまで行われる（図 5-13 を参照）。</u></p> <p><u>処分坑道の埋め戻しが処分孔区画に達した時点で、ペレットの設置作業が開始される。このペレットの設置作業に先立ち、排水システム、防護シート及び当該シートの内側に設置されたセンサが取り除かれる。設置されるペレットは、計量された上で容器に入れられる。最後に設置されたベントナイトブロックの上に円錐形のフードを取り付け、処分孔にペレットを注入する方法によってペレットが隙間に充填される。隙間がペレットによって充填されるとすぐに、処分坑道の埋め戻し作業が継続される。これにより、埋め戻し材が、ペレット充填材の急速な水の取り込みによって緩衝材の膨潤及び膨張を引き起こされる事態が防止される。</u></p>			
検査	<p><u>処分孔内に設置されたペレットの重量及び体積を決定するために、設置作業の前後に容器に収納されたペレットの重量及び体積が測定される。また隙間に注入された重量及び体積が記録される。</u></p>			
5.4.7 設置された緩衝材の幾何学的形状と密度の試験方法と検査方法				
	<p><u>設置された緩衝材の厚さと密度、さらには処分孔容積内でのそのばらつきの範囲が、次に挙げるものに基づいて計算される。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>処分孔の容積（『地下開口部建設報告書』によって提供される）。</u></li> <li>• <u>処分孔の半径とその中心軸沿いの横断面積（『地下開口部建設報告書』から提供される）。</u></li> <li>• <u>設置されたブロックの重量、寸法及び位置。</u></li> <li>• <u>設置されたペレットの重量及び体積。</u></li> </ul> <p><u>処分孔内部のブロックの位置は、処分孔の測定プロトコルに従った測定、吊り上げ装置の位置記録、設置されたブロック上の固定点の位置の測定によって決定される。設置された緩衝材の厚さ及び密度の計算は、ソフトウェアを使用して行われる。このソフトウェアには、測定された処分孔の幾何学的形状、ブロックの寸法、そして設置作業の前後に記録されたデータが自動的に供給され、解釈を受ける。</u></p> <p>(略)</p> <p><u>立方体ブロックと最初のリング状ブロックの設置精度は、吊り上げ装置の位置決め</u></p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
	<p>を行うサーボエンジンを制御するトランスミッタを伴うシステムの精度に左右される。設置された位置に関する検査を行い、デブリやその他の物体によって表面に傾斜が生じていないことを確認するために、<u>設置後にブロックの位置が測定される。</u></p> <p><u>処分孔沿いの設置寸法及び密度に関して算出されたばらつきの精度は、記録された位置、質量及び体積の精度に左右される。しかし位置決めシステムはまだ建造も試験もなされていないため、その精度を見積もることのできるデータは存在しない。</u></p> <p><u>処分孔の平均密度の測定精度は、処分孔容積の測定の精度、ブロックのかさ密度や寸法の精度、そして設置状態のペレットの重量及び体積の測定の精度に基づいて見積もられる。</u></p>			
5.4.8 経験及び結果	<p><u>緩衝材ブロック及びペレットの荷積み、輸送及び貯蔵に使用される手法は、類似した産業用途ですでによく知られているものである。また SKB 社は、エスポ HRL において独自の経験も積んできた。ブロックは数ヶ月間の期間にわたって気密性フードに覆われたパレットに収納され、貯蔵されたが、それによっていかなる変化も示さなかった [Johannesson 2002, Johannesson et al. 2004]。輸送システムの場合、まだ実規模で試験されたことはないが、この手法自体はよく知られ、確立されているものである。</u></p> <p><u>緩衝材の設置前に処分孔内に取り付けられる防護シートの機能は、エスポ HRL で試験されている。「プロトタイプ処分場」の 6ヶ所の処分孔への緩衝材の設置に伴い、単純なタイプのプラスチック製防護シートの試験が行われ、良好な結果が得られている [Johannesson 2002, Johannesson et al. 2004]。しかしこれらの処分孔の底部スラブは、設計指標と同じ設計のものではなかった。プレートは低 pH コンクリート製ではなく、打設後に単純なツールを用いて平坦化が施された。エスポ HRL ではゴム製の防護シートを用いた実規模試験も実施されている。シートの設置と取り外しの両方の作業が実施され、良好な結果が得られた [Wimelius and Pusch 2008]。警報システムを組み込んだ排水システムに関する試験が行われ、同じく良好な結果が得られている [Wimelius and Pusch 2008]。</u></p> <p>(略)</p> <p><u>「プロトタイプ処分場」に設置された 6ヶ所の処分孔における緩衝材の設置状態におけるかさ密度の統計的な分析が行われた [Birgersson and Johannesson 2006]。この設置密度を決定する際には、処分孔の寸法のばらつきの範囲、圧縮ブロック密度のばらつきの範囲、そしてペレット充填材の密度が考慮に入れている。計算は、処分孔内では緩衝材の鉛直方向の膨潤は起きなかったという仮定に基づいて行われている。表 5-6 に設置状態のペレット充填材の平均乾燥密度の計算値を、表 5-3 (セクション 5.3.8) にはブロックに関するデータを、そして表 5-7 には設置密度の計算結果を示した。</u></p> <p>6ヶ所の処分孔全てに関するペレット充填材の平均乾燥密度は 1,100 kg/m<sup>3</sup> であり、この場合に含水率が 10%であると、かさ密度は約 1,200 kg/m<sup>3</sup>に相当する。この値は設計指標における限度を上回っている。しかしペレットの充填材の密度を評価するために実施されたその他の試験では乾燥密度は約 1,000 kg/m<sup>3</sup>とされており、「プロトタイプ処分場」で達成されたものを下回る乾燥密度が示されている [Sandénet al. 2008]。</p> <p>ブロックの含水率とペレットの含水率が異なっていることから、平均設置密度の計算では、それらの乾燥密度が使用された。その結果として得られた飽和密度として、95%信頼区間が示されている。</p> <p>設置状態の緩衝材には 2タイプの区画が認められる。1つはキャニスタ周囲のものであり、もう 1つはキャニスタの上と下に位置するものである。この 2つのタイプの区画内で同様の密度を実現するためには、リング状ブロックと立方体ブロックを異なる密度に圧縮しなければならない (セクション 3.1.3 を参照)。表 5-7 に示した 95%信頼区間から見て取れるように、設置状態において最も高いかさ密度が得られたのは、キャニスタの上部及び下部の区画 (すなわち立方体ブロック) であった。95%信</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			
	<p>頼区間の上限は、密度に最も大きなばらつきが見られる処分孔の場合には 2,066 kg/m<sup>3</sup>であり、全ての処分孔に関しては 2,058 kg/m<sup>3</sup>となっている。すなわちこれは、設計指標で指定された受け入れ可能な最大密度である 2,050 kg/m<sup>3</sup>を上回っている。その原因として、立方体ブロックが過度に高い密度まで加圧成形されていたことが挙げられる。しかし、平均値に対する変動範囲は、容認される変動範囲である±50 kg/m<sup>3</sup>よりも低く、±12.5 kg/m<sup>3</sup>となっている。このことは、製造過程において指定密度を備えたブロックを十分な信頼性をもって製作できることを、その一方で製造プロセスを選定された物質に合わせて調整する必要があることを示している。リング状ブロックの場合、その設置密度は設計指標に従って容認される範囲に収まっており、平均値に対する最も大きな変動範囲は約±20kg/m<sup>3</sup>となっている。</p> <p>(略)</p> <p><u>キャニスタの周囲に設置される緩衝材の厚さは、処分孔の寸法、処分孔内部でのリング状ブロックの位置、リング状ブロックの内径、さらにはリング状ブロックの中心に定置されるキャニスタの位置に左右され、またキャニスタの直径にも左右される。</u></p> <p>(略) キャニスタの上及び下に位置する緩衝材の厚さは、緩衝材の立方体ブロックの高さのばらつきの範囲にのみ左右される。</p>			
(本調査検討に関連すると判断された) 本文中に含まれる図表				

国名又は機関名	スウェーデン		
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15		
発行年	2010 (updated 2013-01)		

**Table 2-1. The barrier functions, the related properties and design parameters to be designed and the design premises for the buffer.**

Barrier function	Property and design parameters to be designed	Design premises long-term safety
<i>The buffer shall prevent flow of water (advective transport) in the deposition hole.</i>	Properties that affect swelling pressure and hydraulic conductivity. Material composition: montmorillonite content. Installed density: bulk density, water content and dimensions of the installed buffer components.	Fulfilled for the densities required with respect to capacity to eliminate microbes and not damage the canister for expected shear movements.  (The conductivity should be less than $10^{-12}$ m/s and the swelling pressure should exceed 1 MPa.)
<i>The buffer shall have ability to limit microbial activity.</i>	Properties that affect swelling pressure. Material composition: montmorillonite content. Installed density: bulk density, water content and dimensions of the installed buffer components.	The initially deposited buffer mass should be such that it corresponds to a saturated buffer density in the volume initially filled with buffer that is higher than $1,950 \text{ kg/m}^3$ , i.e. sufficiently high to ensure a swelling pressure of 2 MPa with margin for possible loss of material. The montmorillonite content of the dry buffer material shall be 75-90% by weight. (Elimination of microbes will occur at swelling pressures exceeding 2 MPa.)
<i>The buffer shall prevent that colloids are transported through it.</i>	Properties that affect tortuosity and size of pores. Installed density: bulk density, water content and dimensions of the installed buffer components.	Fulfilled for the densities required with respect to capacity to eliminate microbes and not damage the canister for expected shear movements.  (The judgement is that colloid transport in the buffer can be neglected if the density at saturation exceeds $1,650 \text{ kg/m}^3$ .)
<i>The buffer shall keep the canister in its centred position in the deposition hole as long as required with respect to the safety of the final repository.</i>	Properties that affect swelling pressure. Material composition: montmorillonite content. Installed density: bulk density, water content and dimensions of the installed buffer components.	Fulfilled for the densities required with respect to capacity to eliminate microbes and not damage the canister for expected shear movements.  (The swelling pressure shall exceed 0.2 MPa.)
<i>The buffer must not significantly impair the barrier functions of the other barriers.</i>	Properties that affect swelling pressure and its distribution, stiffness and shear strength. Material composition: montmorillonite content. Installed density: bulk density, water content and dimensions of the installed buffer components. Installed geometry: dimensions and position of blocks and width of pellet filled gap.	The initially deposited buffer mass should be such that it corresponds to a saturated buffer density in the volume initially filled with buffer that is less than $2,050 \text{ kg/m}^3$ to prevent too high shear impact on canister. The montmorillonite content of the dry buffer material shall be 75-90% by weight.
	Properties that affect the chemical conditions around the canister. Material composition: organic carbon, sulphide, total sulphur.	The content of organic carbon should be less than 1 wt-% The sulphide content should not exceed 0.5 wt-% of the total mass, corresponding to approximately 1% of pyrite. The total sulphur content (including the sulphide) should not exceed 1 wt-%.
<i>The buffer shall maintain its barrier functions and be long-term durable in the environment expected in the repository.</i>	Properties that affect the ability of the buffer to uphold and maintain the minimum swelling pressure, maximum hydraulic conductivity, acceptable stiffness and shear strength, tortuosity and size of pores and chemical composition. Installed geometry: dimensions and	The buffer dimensions used as reference dimensions in SR-Can shall be used, in addition to other requirements affecting the buffer and deposition hole geometry (i.e. initially deposited mass and saturated density).
Barrier function	Property and design parameters to be designed	Design premises long-term safety
	Properties that affect the ability of the buffer to uphold and maintain the minimum swelling pressure, maximum hydraulic conductivity, acceptable stiffness and shear strength, tortuosity and size of pores and chemical composition. Material composition: montmorillonite content. Installed density: the bulk density, water content and dimensions of the installed buffer components.	After swelling the buffer should uphold the minimum swelling pressure 2 MPa and the hydraulic conductivity should not exceed $10^{-12}$ m/s independently of dominating cation and for chloride concentrations up to 1 M. After swelling the shear strength of the buffer must not exceed the strength used in the verifying analysis of the canisters resistance against shear loads.
	Properties that affect the heat transport through the buffer. Material composition: montmorillonite content. Installed density: the bulk density, water content and dimensions of the installed buffer components. Installed geometry: dimensions and position of blocks and width of pellet filled gap.	The buffer geometry (e.g. void spaces), water content and distances between deposition holes should be selected such that temperature in the buffer is $<100^\circ\text{C}$ .

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			

**Table 2-2. Design premises for the buffer and its components related to the production and operation.**

Design consideration	Required property	Design premises
<i>The buffer and methods for manufacturing, installation, test and inspection shall be based on well-tried or tested technique. Buffer with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability.</i>	<i>The buffer material must be possible to compact to required density.  The dimensions, weight and water content of the buffer components shall be designed so that manufacturing, handling and installation can be performed with high reliability.</i>	–  <i>The reference sequence for deposition of the canister and installation of the buffer and backfill.  The reference design of deposition holes.</i>

**Table 3-1. Reference buffer material.**

Design parameter	Nominal design (wt-%)	Accepted variation (wt-%)
Montmorillonite content	80–85	75–90
Sulphide content	Limited	< 0.5
Total sulphur content (including the sulphide)	Limited	< 1
Organic carbon	Limited	< 1

**Table 3-2. Dominant cation, CEC and accessory minerals for MX-80 and Ibeco-RWC /Karnland et al. 2006/.**

Parameter	Nominal content MX-80	Nominal content Ibeco RWC
Cation (%)		
Na	72	24
Ca	18	46
Mg	8	29
K	2	2
CEC (meq/100g)	75	70
Calcite + Siderite (wt-%)	0–1	10
Quartz (wt-%)	3	1
Cristobalite (wt-%)	2	1
Pyrite (wt-%)	0.07	0.5
Mica (wt-%)	4	0
Gypsum (wt-%)	0.7	1.8 (anhydrite)
Albite (wt-%)	3	0
Dolomite (wt-%)	0	3

**Table 3-3. Reference processed material ready for compaction (based on MX-80).**

Design parameter	Nominal design	Accepted variation
Granule size distribution	See Figure 3-1	See Figure 3-1
Water content (wt-%)	17	±1

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			

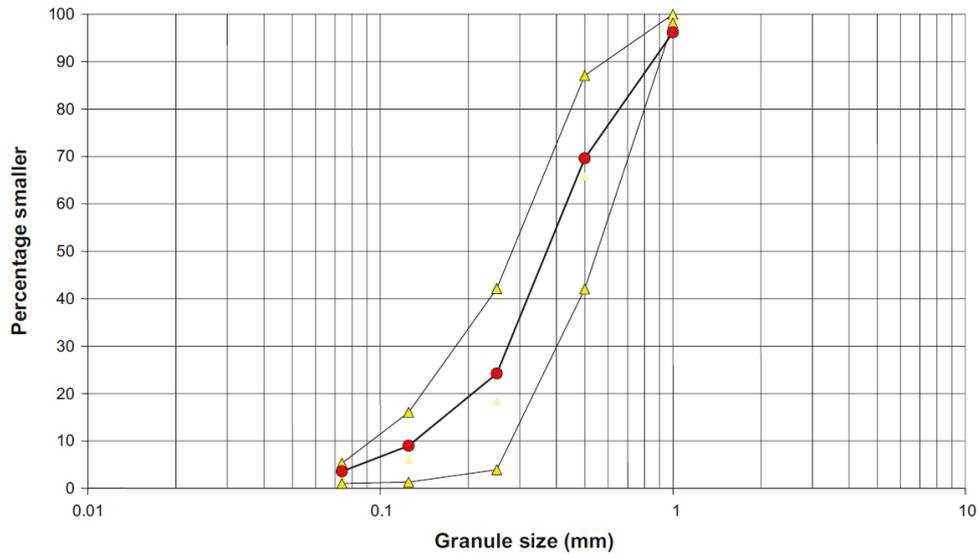


Figure 3-1. Nominal granule size distribution and acceptable variation (based on MX-80).

Table 3-4. Reference design of buffer blocks and pellets.

Design parameter	Nominal design	Accepted variation
<b>Solid blocks</b>		
Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	2,000	±20
Water content	As in the material ready for compaction.	As in the material ready for compaction.
Dimensions (mm)	Height: 500 Outer diameter: 1,650	±1
<b>Ring shaped blocks</b>		
Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	2,070	±20
Water content	As in the material ready for compaction.	As in the material ready for compaction.
Dimensions (mm)	Height: 800 Height of top block: 760 Outer diameter: 1,650 Inner diameter: 1,070	±1
<b>Pellets</b>		
Dimensions (mm)	16×6×8	-
Bulk density loose filling (kg/m <sup>3</sup> )	1,035	±40
Water content	As in the material ready for compaction.	As in the material ready for compaction.

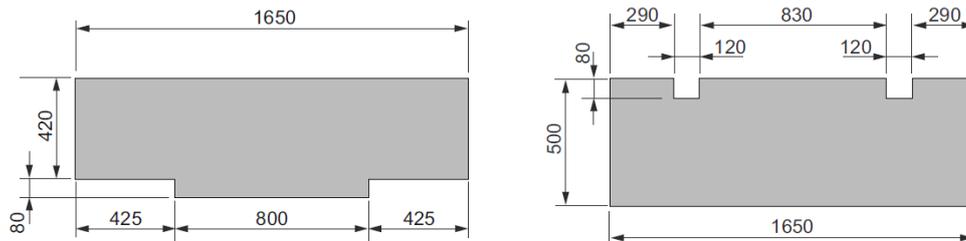


Figure 3-2. The nominal dimensions of the blocks placed on top (left) and beneath (right) the canister. The accepted deviation is ±1 mm for all specified dimensions.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			

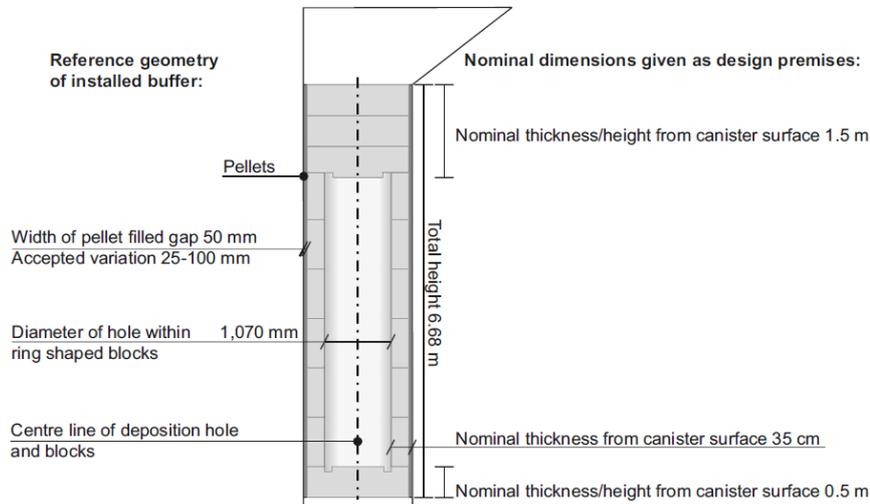


Figure 3-3. Reference geometry of the installed buffer and the nominal dimensions given as design premises. Note that the installed dimensions and density will depend on the geometry of the deposition hole. (The upper part of the deposition hole is regarded as part of the deposition tunnel and will be backfilled, see Figure 5-13).

Table 5-1. Design premises for the development of methods for preparation, installation test and inspection of the buffer.

Design consideration	Required capability	Design premise
<i>The buffer and methods for preparation, installation, test and inspection shall be based on well-trying or tested technique.</i>	<i>The methods for manufacturing, installation, test and inspection of the buffer shall as far as possible be based on experiences and established practice from similar applications.</i>	–
	<i>If there is a lack of experiences the reliability of the methods shall be tested and demonstrated.</i>	–
<i>Buffer with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability.</i>	<i>Methods used in the manufacturing and installation shall result in buffer with acceptable properties.</i>	Reference design according to Sections 3.1 and 3.2 .
	<i>The rejection frequency of prepared buffer material and components shall be low.</i>	–
	<i>Methods for inspections shall have an accuracy of measurement that lies within the acceptable variations of the parameter to be inspected.</i>	Reference design according to Sections 3.1 and 3.2.
	<i>The frequency of the event: "Retrieval of installed buffer after completed installation." shall be low.<sup>1</sup></i>	Frequency $10^{-3}$ or less per deposition hole.
<i>The buffer design and methods for manufacturing, installation, test and inspection shall be cost-effective. It shall be possible to produce, inspect and install the buffer in the prescribed rate.</i>	<i>The overall buffer installation rate shall be adapted to the specified canister deposition rate.</i>	<i>In average blocks and pellets in one deposition hole shall be possible to install per working day. Based on: A canister deposition rate of one per working day or 200 canisters per year during the life time of the repository facility.</i>

<sup>1</sup> This capability is also a consequence of SKB's objective to minimise the doses during the operation of the KBS-3 repository facility (also see the Repository production report).

国名又は機関名	スウェーデン		
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15		
発行年	2010 (updated 2013-01)		

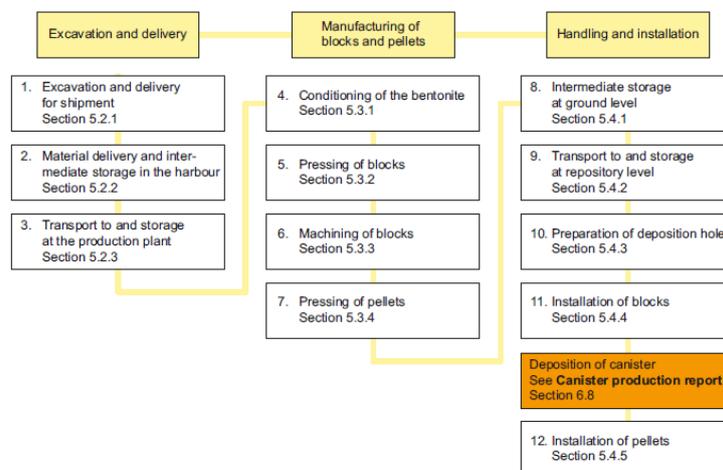
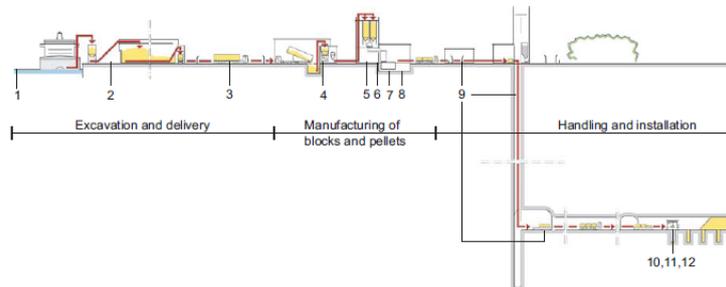


Figure 5-1. Upper panel: Illustration of the buffer production line from the delivery of the material to the installation in the deposition hole. Lower panel: The main parts of the buffer production line (yellow) and flow chart for all stages, including references to the numbers in the illustration and sections in the text where they are described.

Table 5-2. Buffer – required properties and related design parameters and parameters inspected in the production.

Required property	Design parameter	Parameter inspected in the production
Material composition	Montmorillonite content	X-ray diffraction pattern
	Sulphide content	Combustion gases
	Total sulphur content (including the sulphide)	Combustion gases
	Organic carbon	Combustion gases
Compaction properties of material ready for compaction	Granule size distribution	Sieving curve
	Water content	Weight before and after drying
Density and dimensions of blocks	Bulk density	Weight and dimensions
	Dimensions	Height Diameter (outer) Hole diameter (ring shaped blocks) Details according to Figure 3-2
Density and dimensions of pellets	Dimensions	Thickness of individual pellet Width of individual pellet Length of individual pellet
Installed density	Bulk density loose filling	Weight and volume of loose material
	Bulk density of blocks	Weight and dimensions of installed blocks
	Bulk density of pellet filling	Weight and volume of installed pellets
Installed geometry	Width of pellet filled gap	Geometry of deposition hole <sup>1</sup> Position of installed blocks in the deposition hole
	Buffer thickness	Dimensions of deposition hole <sup>1</sup> Dimensions of installed blocks Positions of installed blocks in the deposition hole
	Width of pellet filled gap	Dimensions of deposition hole <sup>1</sup> Dimensions of installed blocks Positions of installed blocks in the deposition hole
	Diameter of hole within the installed blocks	Dimensions of installed blocks Positions of installed blocks in the deposition hole

<sup>1</sup> From the Underground openings construction report.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			

Property	Design parameter	4.2 Excavation and delivery			4.3 Manufacturing of blocks and pellets		
		Excavation and delivery for shipment	Material delivery and intermediate storage	Transport to and storage at production plant	Conditioning of the bentonite	Pressing of blocks / Pressing of pellets	Machining of blocks
Material composition	Montmorillonite	Excavation	X-ray diffraction	-	-	X-ray diffraction	
		(By supplier)					
	Organic carbon	Excavation	Heating in furnace	-	-	Heating in furnace	
		(By supplier)					
Sulphide	Excavation	Heating in furnace	-	-	Heating in furnace		
	(By supplier)						
Total sulphur	Excavation	Heating in furnace	-	-	Heating in furnace		
	(By supplier)						
Compaction properties	Granule size distribution	Grinding	-	-	Grinding		
		(By supplier)	Sieving	-	Sieving		
	Water content	Drying	Storage	Transport and storage	Mixing		
		(By supplier)	Drying in micro wave oven	-	Drying in oven	Drying in micro wave oven	
Density and dimensions of blocks	Bulk density	-	-	-	-	Pressing	
		-	-	-	-	Weighing and calliper	Weighing
	Dimensions	-	-	-	-	Pressing	Machining
		-	-	-	-	Calliper	Calliper
Density and dimensions of pellets	Dimensions	-	-	-	-	Pressing	
		-	-	-	-	Calliper	
	Bulk density loose filling	-	-	-	-	Pressing	
		-	-	-	-	Weighing of defined volume	-

Figure 5-2. Production-inspection scheme for the excavation and delivery and manufacturing of blocks and pellets. Blue colour is used for processing of the design parameter and orange for inspection, darker colour illustrate final processing or inspection. Grey colour show stages where the design parameters may be affected but no processing occurs (also see explanation to the colours is given in text above).

Property	Design parameter	4.4 Handling and installation				
		Intermediate storage	Transport to and intermediate storage at repository level	Preparation of deposition hole	Installation of blocks	Installation of pellets
Installed density	Bulk density of blocks	Storage	Storage	-	Installation	
		Visual inspection of cover and if required weighing	Visual inspection of cover and if required weighing	Visual inspection and functional test of protective sheet and drainage system	-	
	Bulk density of pellet filling	Storage	Storage	-	-	Installation
		Visual inspection of cover and if required weighing	Visual inspection of cover and if required weighing	-	-	Weighing and volume
Installed geometry	Width of pellet filled gap	-	-	-	Installation	
		-	-	Measuring in of deposition hole geometry <sup>1</sup>	Position of installed blocks	
	Buffer thickness	-	-	-	Installation	
		-	-	-	Position of installed blocks	
Diameter of hole within the installed blocks	Width of pellet filled gap	-	-	-	Installation	
		-	-	-	Position of installed blocks	

<sup>1</sup> From Underground openings construction report.

Figure 5-3. Production-inspection scheme for the handling and installation of finished blocks and pellets. Blue colour is used for processing of the design parameter and orange for inspection, darker colour illustrate final processing or inspection. Grey colour show stages where the design parameters may be affected but no processing occurs (also see explanation to the colours is given in text above).

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			



Figure 5-4. Store with scraper for automatic discharge (Minelco AB, Luleå).

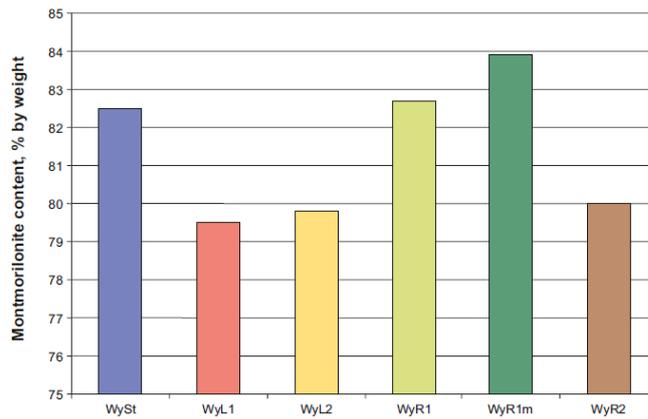


Figure 5-5. Results of X-ray diffraction inspections and analysis of diffraction patterns showing the montmorillonite content in the five consignments representing over 20 years of production of MX-80 bentonite /Karland et al. 2006/. The Stripa (WySt) material represents material delivered around 1980, and the others were delivered 1995 (WyL1), 1999 (WyL2), and 2001 (WyR1 and WyR2).

国名又は 機関名	スウェーデン			
発行機関・ 著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			



Figure 5-6. Examples of equipment for conditioning the bentonite a) drying oven from Hazemag b) a hammer mill from Hazemag c) a mixer from Eirich.



Figure 5-7. The mould used for making ring shaped blocks for the Prototype Repository.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			



Figure 5-8. A bentonite block lifted with the vacuum oak used at the production of the blocks of the Prototype Repository. Note the weighing machine hanging in the over head crane.

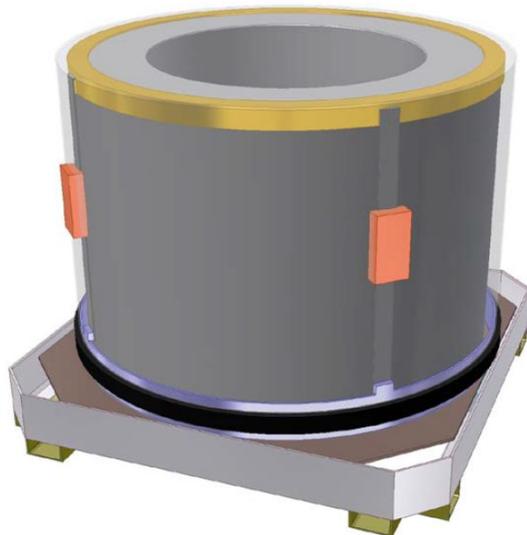


Figure 5-9. Bentonite block on the transfer pallet with locking device and a transparent protection cover.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			



Figure 5-10. A machine for pressing of briquette shaped pellets (BEPEX test equipment).



Figure 5-11. Pellets made by the briquette pressing machine used for the Prototype Repository.

**Table 5-3. Calculated dry density based on measurements of the blocks compacted for the Prototype Repository /Birgersson and Johannesson 2006/.**

Hole No.	Dry density of ring shaped blocks (kg/m <sup>3</sup> )				Dry density of solid blocks(kg/m <sup>3</sup> )			
	mean	std	95% C.I.		mean	std	95% C.I.	
DA3587G05	1,788	7.6	1,773	1,803	1,711	5.1	1,701	1,721
DA3581G01	1,783	8.8	1,766	1,800	1,704	12.5	1,679	1,728
DA3575G01	1,786	8.2	1,770	1,802	1,717	6.3	1,705	1,730
DA3569G02	1,793	6.8	1,780	1,806	1,713	3.9	1,705	1,720
DA3551G01	1,756	14.8	1,727	1,785	1,703	11.1	1,682	1,725
DA3545G01	1,758	8.4	1,742	1,775	1,701	7.6	1,686	1,716
All Holes	1,777	17.4	1,743	1,811	1,708	11.4	1,686	1,731

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			

**Table 5-4. Measurements of the diameter at two positions of the compacted bentonite blocks.**

Block No	Diameter 1 (mm)	Diameter 2 (mm)
1	800.9	800.5
2	800.6	800.6
3	801.0	801.0
4	800.0	800.0
5	800.3	800.2
6	800.3	800.3
7	800.8	800.6
	mean:	800.5
	std:	0.4

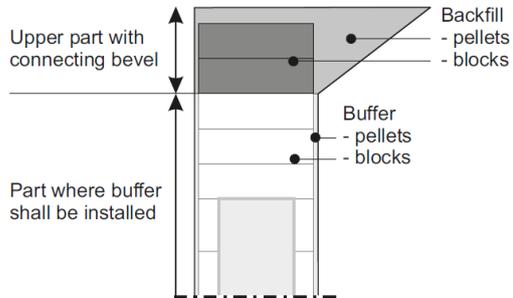
**Table 5-5. Bulk density of loose pellets filling of investigated buffer materials /Sandén et al. 2008/.**

Sample	Water ratio (%)	Bulk density of filling (kg/m <sup>3</sup> )
MX-80 pellets (typical value)	11.3	1,038
Minelco (big bags at Äspö HRL)	18.8	1,159
CEBOGEL QSE	18.9	1,121
Friedland granules	7.1	1,118



**Figure 5-12.** The protection sheet installed in a deposition hole. The sheet is attached to the border of the copper plate in the bottom of the deposition hole.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			



*Figure 5-13. The upper part of the buffer and the connection to the backfill in the deposition tunnel. The two dark grey blocks are made of buffer material but are regarded as a part of the backfill. The upper part of the deposition hole down to the level where the buffer is installed is regarded as a part of the deposition tunnel.*



*Figure 5-14. The gantry crane and the lifting tool for buffer blocks. The solid blocks are lifted with vacuum only but the rings are also supported from below during the installation.*

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of buffer, TR-10-15			
発行年	2010 (updated 2013-01)			

Table 5-6. The average dry density of the installed pellets filling in the Prototype Repository /Birgersson and Johannesson 2006/.

Hole No.	Hole diameter (m)	Block diameter (m)	Weight of installed pellets (kg/m <sup>3</sup> )	Dry density of installed pellets (kg/m <sup>3</sup> )
DA3587G05	1.760	1.637	364	1,113
DA3581G01	1.760	1.638	374	1,147
DA3575G01	1.761	1.638	340	1,032
DA3569G02	1.761	1.638	361	1,103
DA3551G01	1.760	1.638	373	1,143
DA3545G01	1.759	1.638	357	1,104
			Average	1,107

Table 5-7. Results of calculations of the mean dry density and corresponding saturated density in the six deposition holes in Prototype Repository /Birgersson and Johannesson 2006/.

Hole no.	Section around the canister			Section above and below the canister				
	Dry density, $\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )		Resulting saturated density, $\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )		Dry density, $\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )		Resulting saturated density, $\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	
	mean	std	95% C.I.		mean	std	95% C.I.	
DA3587G05	1,605	7.5	2,018	2,037	1,636	5.6	2,041	2,055
DA3581G01	1,610	7.6	2,021	2,040	1,636	10.2	2,035	2,060
DA3575G01	1,589	7.0	2,009	2,026	1,630	5.5	2,037	2,051
DA3569G02	1,608	7.4	2,021	2,039	1,635	15.0	2,028	2,066
DA3551G01	1,587	11.4	2,002	2,030	1,634	11.1	2,032	2,060
DA3545G01	1,581	9.2	2,000	2,023	1,626	8.0	2,031	2,051
All Holes	1,597	14.9	2,003	2,041	1,633	10.1	2,033	2,058

Table 5-8. Results from calculation of average installed buffer density in a deposition hole /Birgersson and Johannesson 2006/.

Deposition holes in the Prototype Repository				
Dry density, $\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )		Resulting saturated density, $\rho_m$ (kg/m <sup>3</sup> )		
mean	std	mean	95% C.I.	
1,610	5.8	2,031	2,024	2,038

表 4 性能確認等に関する文献調査結果-4

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			

本検討に資する内容

- 埋戻し材に求められるバリア機能とそれに関連する Design premises
- 埋戻し材の製造、操業に関する Design premises
- 埋戻し材のプロダクションラインは3つのメインパートに分けられ、それぞれの段階で検査（品

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
<p>質管理)が行われる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●検査では、ベントナイトの物質組成、ベントナイトの特性、製造物（ブロック及びペレット）の寸法・重量・密度、設置された緩衝材の幾何学形状が調べられる。</li> <li>●製造されたブロック及びペレットは識別記号（identity）で管理される。</li> <li>●ブロック及びペレットの製造、検査方法は緩衝材とほぼ同様であるが、基準や検査方法が緩い傾向にある。</li> <li>●プラグに求められる機能とそれに関連する Design premises</li> <li>●プラグの製造、操業に関する Design premises</li> <li>●プラグの製造方法及び検査方法の多くは他の産業で確立された慣行的な方法を採用する。</li> <li>●プラグには力学反応及び温度のモニタリング用計器と排水管も含まれており、プラグに係る力学反応、プラグの温度を計測する。また漏出が認められた場合、計測する。</li> </ul>				
該当箇所	記載内容	備考		
2.埋め戻し材及びプラグの Design premises				
2.1.2 埋戻し材の定義、目的及び基本設計				
	<p>埋め戻し材は、KBS-3 処分場で使用される人工バリアの 1 つである。また埋め戻し材は処分坑道に設置される物質であり、処分坑道を充填するために使用される。処分坑道に埋め戻し材を使用する目的とその機能は、緩衝材をその所定の位置に維持することによって多重バリア原則の履行を支援することに、さらには処分坑道を通じた地下水の流動を限定することにある。</p> <p>埋め戻し材に関する設計要領は、この埋め戻し材が処分坑道に設置される圧縮されたベントナイト粘土ブロック及びペレットによって構成されるという事実に基づくものである。</p>			
2.1.3 プラグの定義、目的及び基本設計				
	<p>処分坑道内のプラグは、KBS-3 処分場においていかなるバリア機能も備えていない。処分坑道に設置されるプラグは、処分坑道を操業フェーズの期間にわたり閉鎖する構造物である。このプラグは、主要坑道での充填が終了し、飽和状態となるまで、処分坑道を閉鎖し、その内部の埋め戻し材を所定の位置に保ち、プラグを通じた水の流動を阻止するものとする。</p> <p>プラグに関する設計要領は、プラグが 1 つのコンクリートのプラグ、1 つの水密性シール、そして 1 つのフィルタによって構成されるという事実に基づくものである。</p>			
2.2 バリア機能及び設計面での検討事項				
2.2.1 KBS-3 処分場における埋め戻し材のバリア機能				
	<p>KBS-3 処分場が多重バリア原則を維持すると共に、さまざまなバリア機能が維持される上でそれぞれ個別に、また全体として寄与するいくつかのバリアを備えているようにするために、埋め戻し材は次に示すことを実現するものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●処分坑道における水の流動（移流による移送）を限定すること。</li> <li>●緩衝材の上向きの膨潤／膨張を限定すること。</li> <li>●その他のバリアのバリア機能を有意な水準で損なわないこと。</li> </ul> <p>最終処分場が、使用済核燃料の放射能毒性との関連において必要とされる期間にわたって放射線の有害な効果からの防護をもたらすことができるようにするために、さらには等処分場がバリアシステムに影響を及ぼす可能性のある事象及びプロセスに耐えられるようにするために、埋め戻し材は次のことを実現するものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●最終処分場において予測される環境のもとで長期間にわたる耐久性を実現するだけでなく、そのバリア機能を維持すること。</li> </ul>			
2.2.2 KBS-3 処分場及び処分場施設におけるプラグの機能及び特性				
	<p>最終処分場のバリアシステムが、その機能に影響を及ぼす可能性のある条件、事象及びプロセスに耐えられるようにするために、プラグは次のことを実現するものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●主要坑道の充填が終了するまでの期間にわたり、処分場深度における静水圧と埋め戻し材からの膨潤圧に耐えること。</li> <li>●プラグを通過する水の流動を、隣接する主要坑道の充填が終了し、飽和状態が成</li> </ul>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
	<p>立するまでの期間にわたって限定すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 主要坑道が閉鎖され、飽和状態となるまでの期間にわたり、処分場施設及び処分場に予想される環境のもとでその耐久性を確保し、機能を維持すること。</li> </ul> <p>最終処分場に関する長期的な観点においてプラグは、処分場が多重バリア原則を維持するために、次のことを実現しなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 人工バリア又は岩盤のバリア機能を有意な水準で損なわないこと。</li> </ul> <p>これらの機能及び特性は、プラグ存続期間のさまざまな時期にわたって確保され、維持されるものとする。詳細については、セクション 2.5 を参照のこと。</p>			
2.2.3 設計面での検討事項				
	<p>(略)</p> <p>最終処分場のバリアシステムは、それらの機能に影響を及ぼす可能性のある破損及び条件、事象及びプロセスに対する耐性を備えるものとする。したがって、埋め戻し材及びプラグの概念の開発において、次に挙げることが検討されるものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>準備、設置、テスト及び検査のための設計及び方法は、十分に試されているか試験された手法に基づくものとする。</u></li> </ul> <p><u>最終処分場のバリアの建設、製作、設置及び非破壊試験は信頼性の高いものでなければならず、次に挙げる事項が検討されるものとする。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>指定された特性を伴う埋め戻し材及びプラグは、高い信頼性をもって準備し、設置することができるものとする。</u></li> <li>• <u>埋め戻し材及びプラグの諸特性は、指定された受け入れ規準に対して試験し、検査することが可能であるものとする。</u></li> </ul> <p>信頼性の高い製造は、高い品質及び費用対効果を達成するという SKB 社の目標との関連においても必要とされる。この費用対効果の面では、次に挙げる事項が検討されるものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>埋め戻し材及びプラグの設計、さらにはその準備、設置、試験及び検査のための方法は費用対効果の高いものとする。</u></li> <li>• <u>埋め戻し材及びプラグの設置作業は、規定された速度で実行可能なものとする。</u></li> </ul> <p>さらに、環境面での影響（すなわち、騒音や振動、大気及び水中への放出など）、物質及びエネルギーの消費に関する検討が、設計に伴って行われるものとする。埋め戻し材及びプラグの準備及び設置を行う方法では、労働安全面での規制も順守されていなければならない。これらの側面に関連する設計要領は一般に、安全性及び放射線防護面での設計要領を順守した埋め戻し材及びプラグの設計に関するいくつかの代替法によって満たすことができる。効率及び柔軟性に関連する設計要領と共に、これらの要領は、埋め戻し材及びプラグの製造に使用される技術システム及び設備の設計にとって重要なものである。技術装置の設計については、本報告書では取り扱わない。</p>			
2.3 埋め戻し材の Design premises				
2.3.1 KBS-3 処分場のバリア機能に関連する Design premises				
	<p>(略) 表 2-1 に示した設計要領は、緩衝材、処分孔及び坑道がそれらの設計指標に基づいて建設されているだけでなく、それぞれに関して設定されている設計要領に適合しているという仮定に基づくものである。</p>			
2.3.3 製造及び操業に関連する Design premises				
	<p>表 2-2 に、プロダクション（製造）及び操業に関連した設計要領を示した。最も左側の列にはセクション 2.2.3 で取り扱った設計面での検討事項を再録した。</p>			
2.4 埋戻し材によって設定された Design premises				
2.4.2 処分坑道におけるプラグ				
	<p>プラグは、緩衝材及び埋め戻し材の諸特性及び機能との関連において特別に設計されるものである。緩衝材及び埋め戻し材によってプラグに関して設定される設計要領は、セクション 2.5.2 で取り扱う。</p>			
2.5 プラグの Design premises				
	<p>プラグの設計にとって重要なものとして、その存続期間は次に示す 3 つのフェーズに分けられる。</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•養生フェーズ。</li> <li>•シーリング・フェーズ、</li> <li>•閉鎖後フェーズ。</li> </ul> <p>この「養生フェーズ」とは、プラグが最大限の強度を得る効果が実現するフェーズであり、プラグ製造の一環と見なされる。設計面での前提はこのフェーズに関するものであり、セクション 2.5.3 において示す。</p> <p>また「シーリング・フェーズ」とは、この最大限の強度が実現した時点から、隣接した主要坑道が充填され、飽和状態となるまでの期間のことをいう。このシーリング・フェーズの期間にわたってプラグは、発生する圧力に耐えるだけでなく、埋め戻された坑道からの水の外向きの移行を限定する機能を維持するものとする。これらの機能に関連する設計要領は緩衝材及び埋め戻し材によって設定されるものであり、セクション 2.5.2 「人工バリアからの設計要領」において取り扱われる。</p> <p>さらに「閉鎖後フェーズ」は、最終的にプラグが最終処分場内に残される閉鎖後のフェーズのことをいう。このフェーズに関連する設計面での前提条件は、セクション 2.5.1 で取り扱う。</p>			
2.5.1	KBS-3	処分場のプラグの諸特性に関連する設計要領		
		最終処分場においては、閉鎖後フェーズの期間にプラグが人工バリア又は岩盤のリア機能を有意な水準で損なうことがあってはならない。表 2-4 に、この機能に関連する設計要領を示した。		
2.6	プラグによって設定される設計要領			
2.6.1	処分坑道			
		表 2-7 に、プラグによって地下開口部に設定される設計要領を示した。		
5.	埋戻し材の製造			
5.1	概要			
5.1.2	埋戻し材の製造ライン			
		埋め戻し材に関する製造ラインは、次に挙げる 3 件の主要部分で構成される（図 5-1 を参照）。 <ul style="list-style-type: none"> <li>•掘削及び提供。</li> <li>•ブロック、ペレット及び底部層物質の製作。</li> <li>•取り扱い及び設置。</li> </ul> <p>図 5-1 に、物質の提供（左側の図）から処分坑道への設置（右側の図）に至る埋め戻し材の製造ラインを示した。またこの図の下に、ここに示した段階とその説明がなされるセクションの参照を添えた製造ライン・フローチャートを示した。</p>		
5.1.4	試験及び検査のための指標に示す戦略及び方法			
		<p>製造面での要求事項に関しては、製造ラインの異なる段階に実施される試験及び検査の目的は次のようになっている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•製造の結果として受け入れ可能な特性を備えた埋め戻し材が実現するという保証をもたらすこと。</li> <li>•不合格の頻度の低く、信頼性が高く、費用対効果の高い製造を実現すること。</li> </ul> <p>実施される試験及び検査、検査の回数、そしてサンプリングの空間的分布は、一定数の要素に依存するものである。以下に、この種の要素の一部の例を挙げる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•選定された供給業者及びベントナイト鉱床がどのような性格のものであるのか。</li> <li>•<u>検査対象となる特性。</u></li> <li>•<u>測定の精度と適用される方法の信頼性。</u></li> <li>•<u>必要とされる報（たとえば平均値又は極端な値、あるいは時間又は空間的なばらつきなど）。</u></li> <li>•<u>試験の目的（たとえば 1 つの処理段階を管理するための入力情報、あるいは特性に関する最終検査など）。</u></li> <li>•<u>利用可能な情報及び経験（たとえば、供給業者の信頼性、それ以前の提供物質又は処理段階の結果など）。</u></li> <li>•<u>望ましい製造容量の面から見た、検査の実施に利用可能な時間。</u></li> </ul>		

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
	<p><u>埋め戻し材の検査計画を開発する時には、上記の要素を考慮に入れる必要がある。この種の計画の中には、検査対象となるパラメータ、適用される方法、サンプリングのための戦略（サンプル件数や容積、さらにはそれらの時間及び空間的な分布などを含む戦略）が含まれているものとする。SKB 社は、埋め戻し材の品質保証の一環として、検査に関するこの種の計画を開発することになっている。</u></p> <p><u>試験及び検査方法は、類似した産業用途において確立された手法に基づいている。それらの測定精度は、検査対象となる特性に関して受け入れ可能なばらつき範囲に収まっているものとする。一般的に見て現時点ですでに十分な測定精度を備えた従来型の手法及び機器の利用が可能である。</u></p>			
5.1.5	設計パラメータと処理スキーム			
	<p>「設計パラメータ」とは、セクション 3.1 及び 3.2 において、埋め戻し材の設計指標を指定するために使用されたパラメータのことをいう（表 3-1、表 3-3、表 3-4、表 3-5、図 3-1、及び図 3-2 を参照のこと）。これらのパラメータは、<u>製造された埋め戻し材が設計指標に適合していることを検証するために、埋め戻し材の製造中に、直接的又は間接的な方法によって測定されるものとする。初期状態を明らかにするためには、設計パラメータが将来どうなるのかが明らかにされている必要がある。</u>表 5-2 に、長期安全性と製造に関して必要とされる諸特性（セクション 2.3）、設計パラメータ及び製造時に測定されるパラメータ、またそれらの関係を示した。</p> <p>製造に関する概要を示すために、製造の主要な部分とそれらに含まれるさまざまな段階を具体的に示す「製造-検査スキーム」が設定されている。<u>具体的に示されたそれぞれの段階について、設計パラメータとそれらの変更及び/又は検査のために実施されるプロセスが示されている。</u>製造プロセスの詳細は、各段階に関する文章において示される。それぞれの段階に関する文章には、当該段階で実施される検査に関する説明も含まれている。試験及び検査方法は、製造の主要部分それぞれに関して個別に示される。図 5-2 に、掘削及び提供、さらにはブロック及びペレットの製作に関する製造-検査スキームを、また図 5-3 には埋め戻し材の取り扱い及び設置に関する製造-検査スキームを示した。</p> <p>これらの製造-検査スキームでは、設計パラメータが処理される段階を青色で示した。設計パラメータの何らかの処理には薄い青色を、また 1 つ又は複数の設計パラメータを最終的に決定するプロセスには濃い青色を使用した。パラメータの決定とは、そのパラメータが当該段階において決定され、その後の製造段階においてその変更に向けた積極的な活動は実施されないことを、あるいは実施できないことを意味する。</p> <p>試験及び検査には、オレンジ色を使用した。明るいオレンジ色は製造中に実施される設計パラメータの何らかの検査に、また濃いオレンジ色は最終試験及び検査に使用した。最終検査が終了した後には、それ以上の検査は実施されない。</p> <p>設計パラメータは処理されないが、影響が及ぶ可能性のある段階は灰色で示した。また設計パラメータに影響を及ぼす可能性のある条件の検査にも、灰色が使用されている。</p>			
5.2	掘削及び提供			
5.2.1	掘削及び輸送のための提供			
プロセス	【緩衝材と同様である。埋戻し材特有な点は以下。】			
	<u>埋め戻し材の製造の説明に使用した物質は、低品位ベントナイト（すなわちスメクタイト族鉱物の含有量が低いもの）である。</u>			
検査	【緩衝材と同様である。】			
5.2.2	物質の提供と港湾施設における一時貯蔵			
プロセス	【緩衝材と同様である。】			
検査	【緩衝材と同様である。】			
5.2.3	製造工場への運搬及び貯蔵			
プロセス	【緩衝材と同様である。】			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
検査	【緩衝材と同様である。】			
5.2.4 物質組成の試験及び検査方法				
X線回折：モンモリロナイト含有量	【緩衝材と同様である。但し、埋戻し材の参照材料となっているミロス島埋戻し材を対象としたばらつき試験はされていない。ミロス島埋め戻し材を対象とする試験方法に伴う不確実性に関する値をより精密に示すために、特別に設計された試験プログラムがエックス線回折法の精度の評価を目的として実施される予定である。】			
その他の鉱物のパラメータ設定	製造時には、モンモリロナイト含有量以外にもその他の鉱物、すなわち、硫化物、硫黄及び有機炭素の含有量が測定される。また支配的な陽イオン組成と陽イオン交換容量（CEC）も測定される。これらのパラメータはいずれも重要な物質パラメータであるが、初期状態においては、それらの仕様への適合に関する検証を行う必要はない。これらのパラメータの決定方法は、『緩衝材プロダクション報告書』のセクション5.2.4で記述されている。			
5.2.5 顆粒サイズ分布及び含水率の試験方法と検査方法				
【緩衝材と同様である。】				
5.2.6 経験と結果				
<p><u>ベントナイトはすでに多くの産業用途で使用されている製品の1つである。したがって指定された特性を備えたベントナイトの掘削及び提供はなじみ深い実証済の手法及び手順に従って行われている。SKB社はこうした従来型の方法及び手順の信頼性は高いものと判断している。</u></p> <p>SKB社の経験は主としてアメリカン・コロイド社が供給する市販のベントナイト製品の1つである「MX-80」の提供を受けてきたことに基づいている。SKB社は過去数十年にわたりMX-80に関する試験を実施してきた。これらの試験により、さまざまな機会に提供された物質の間での当該ベントナイトの組成のばらつきがきわめて小さいことが明らかになっている（『緩衝材プロダクション報告書』のセクション5.2.6を参照）。</p> <p>表5-3に、ミロス島埋め戻し材の物質組成を示した。ミロス島埋め戻し材を対象として実施された検査を、提供されたMX-80から得られた経験と組み合わせることにより、設定された仕様や在来型の品質保証手順により、仕様に適合した物質が提供されることが裏づけられている。</p>				
5.3 ブロック、ペレット及び底部層の製作				
5.3.1 埋め戻し材物質の調整				
プロセス	【概ね緩衝材と同様である】			
検査	【概ね緩衝材と同様である。ただし含水率の検査は電子レンジを用いて乾燥させる方法で実施される。】			
5.3.2 ブロックの加圧成形				
プロセス	<p>この段階において、<u>ブロックの密度及び寸法が最終的に決定される。加圧成形プロセスは、指定された特性が実現されるように制御される。</u></p> <p>ブロックの加圧成形の指標に示す法は「一軸圧縮法」である。プレス機は、固定された下部ダイス（押し抜き機）、可動式の上部ダイス、そして可動式の金型枠で構成されている。上部ダイスと金型枠の移動速度は連動していない。この方法により、埋め戻し材物質と金型壁との間の摩擦が低減され、寸法の大きなブロックを製作する場合であっても、圧縮された物質内で均等な密度が得られることになる。（略）<u>正確な工具と精密に調整された加圧成形パラメータを用いることにより、ブロックの寸法及び密度を高い確率で再現できることが保証される。必要とされる最大限のブロックの加圧成形に適したプレス機が用意される計画である。これらのプレス機は、加圧成形機内に中間的な壁を設けることで、より小さな寸法のブロックにも使用される。ここに記述した手法は、以前からさまざまな寸法のベントナイトブロックの製造のために使用されてきたものである。（略）</u></p> <p>ブロックの密度は、圧縮される顆粒サイズ分布及び含水率に、さらには圧縮圧に左右される。またブロック密度は、金型の寸法と金型に注ぎ込まれる物質質量とによって決定される。</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
	<p>必要なブロック寸法を実現するために、加圧成形機に注ぎ込まれる物質の質量は正確なものでなければならない。このため埋め戻し材物質は、加圧成形機に注入される前に計量される。均質なブロックを実現し、空気を取り込みや積層の問題を回避するために、プレス機には排出装置が装着される。ブロックは、加圧成形機から取り出されると、特別に設計されたパレットに載せられ、パレット倉庫へと運ばれ、さらなる取り扱いまで保管される。ブロックを載せたそれぞれのパレットは固有の識別記号を付けられ、ブロックに関して記録された情報とリンクされる。</p> <p>必要な容量を得るために、2台のプレス機と、加圧成形機の充填制御システム、フイーダ・ベルト、そしてブロック及びパレットの取り扱いを伴う自動化プロセスが設置される計画である。加圧成形に関する制御システムには、製造及び検査データの保存が含まれる。</p>			
検査	<p>この段階において、加圧成形されたブロックの密度及び寸法の最終検査が行われる。検査計画の一環として、検査対象となるブロックの選定戦略が開発されることになっている（セクション 5.1.4 を参照）。選定されたブロックは、目視検査され、計量され、その寸法が測定された上で、ブロックのかさ密度が計算される。これに加えて調整段階に記録された含水率に基づいてブロックの乾燥密度の計算が行われる。</p>			
5.3.3 ペレットの加圧成形				
	<p>設計指標では、底部層、処分坑道内のブロックと岩盤壁との間の隙間の充填、そして処分孔の上部（ベベル部分）に同じタイプのペレットが使用される。</p>			
プロセス	<p>この段階において、ペレットの密度及び寸法が最終的に決定される。</p> <p>ペレットの製作に採用されている参照方法は、調整済の物質を小型ブリケットに圧縮するものである。ペレットはさまざまな異なるサイズのものとして製作することができる。ペレットの加圧成形を行う機械は、1台のスクリーと2台のローラーで構成される（図 5-8 を参照）。ペレットに加圧成形される調整済の埋め戻し材物質が加圧成形機へと運ばれる。ローラーが回転している間にスクリーによって物質が圧縮される。右のローラーは時計回りに、左は反時計回りに回転する。このローラーの速度とスクリーの圧力を変化させることにより、ペレットの密度を変えることができる。加圧成形の後、ペレットは特別に設計された容器に収納される。この容器は固有の識別記号を付けられた上で中間貯蔵施設に運ばれる。</p>			
検査	<p>この段階において、緩く充填されたペレットのかさ密度と、単独のペレットの密度とが最終検査される。ペレットの製造に使用された埋め戻し材物質の顆粒サイズ分布と含水率は、所定の仕様に適合しているべきであり、すでに調整段階において検査が行われている（セクション 5.3.1 を参照）。</p> <p>個別のペレットの重量及び容積は、空気中及び既知の密度のオイル中で一定数のペレットを計量する方法を用いて検査される。個別のペレットの乾燥密度は、記録された含水率、重量及び容積から計算される。</p> <p>緩く充填されたペレットの重量は、既知の重量及び容積を備え、ペレットで充填された容器を計量することで検査される。緩い充填材のかさ密度は、その容積と、記録された重量から計算される。それに加えて、緩く充填されたペレットの乾燥密度が、既知の含水率から計算される。</p> <p>埋め戻し材の品質保証に含まれる検査計画の一環として、試験及び検査の回数の設定を含むサンプリング戦略が開発されることになっている。</p>			
5.3.6 重量、寸法及び密度の試験方法と検査方法				
	<p>ペレット及びブロックの重量の検査を行うために、異なる種類の計量機械が使用される。これらの計量機械は、通常の手順を適用して必要な精度に較正される。乾燥密度が容認可能な限度内に収まっていることを確認するために、ブロック（含水率が明らかにしている）の重量は±1 kg の精度で測定されるべきである。緩く充填されたペレットの乾燥かさ密度（含水率が明らかになっている）は、緩い充填材の定義された容積を計量することによって直接的に決定される。こうした物体の重量測定は、すでに確立され、よく知られている手法である。</p> <p>ブロックの高さ、長さ及び幅の測定は、キャリパを使って行われる。ブロックの寸</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
	<p>法は±0.5 mmの精度で測定される。これらのブロックのサイズの物体の寸法をここで必要とされる精度で測定することは、さまざまな同様の用途ですでに確立され、よく知られている手法である。個別のペレットの寸法もキャリパを使って測定される。必要とされる精度はブロックの場合と同様であり、この方法はよく知られ、確立された手法に基づいている。</p> <p>寸法の測定で想定されている精度 (±0.5 mm) において、大型のブロックと小型のブロックに関する容積の不確実性はそれぞれ±0.25%と±0.35%となる。重量測定で想定される精度である±1 kgの場合、大型のブロックと小型のブロックに関する重量の不確実性はそれぞれ±0.25%と±0.6%となる。記録された寸法及び重量に基づく、大型ブロックと小型ブロックに関するかさ密度の精度は±0.5%と±1%となる。これらの数字は、乾燥密度 1,700±50kg/m<sup>3</sup>において容認される変動範囲が±3%であることと比較される。</p> <p>乾燥密度は、記録された質量及び容積、そして調整段階で測定された含水率に基づいて計算される。この精度は、かさ密度における精度に加えて、含水率測定の精度にも左右される。</p>			
5.3.7 経験及び結果				
	<p>ベントナイト・ブロックは以前から、ミロス島埋め戻し材を含む一定数の物質を使用して、実験室スケールで加圧成形されてきた。こうした実験室スケールの試験では、ブロックにとって最適な含水率と最大乾燥密度を明らかにするために、2つの異なる圧縮圧(すなわち 25 及び 50 MPa)及び複数の含水率が使用されている[Johannesson and Nilsson 2006]。(略) 一般に、含水率の小規模のばらつきが、実現可能なブロック密度に著しい変動をもたらすことはない。しかし、粘土物質の相違によって生じる圧縮率の違いがある。このため、製造に使用される含水率、粒子サイズ分布及び荷重に関する仕様では、選定された物質の諸特性を考慮に入れる必要がある。おそらく提供されたそれぞれの物質ごとに微調整を行うことができよう。</p> <p>SKB社が実施したさまざまな試験のために、合計で約 1万 5,000本の小型ブロックが製作されてきた。これらの小型ブロックは、ビューブ(Bjuv)にある Höganäs Bjuv AB社で製作されたものである。(略)</p> <p>IBECO-RWC-BFを使用して合計で 7,500個の小型ブロックが加圧成形された。1つのブロック内における、また複数のブロック間での密度のばらつきを明らかにする目的で、これらのブロックの調査が実施されている。この調査の結果により、こうして製造されたブロックがきわめて均質なものであり、さまざまなブロック間の密度のばらつきもごく小さいことが示されている [Johannesson et al. 2010]。</p> <p>300×300×150 mmの寸法のブロックが、フリーランド粘土と IBECO-RWC-BFを使用して、数回にわたりアーヘンの Alpha Ceramics社で加圧成形された。含水率が 19%の IBECO-RWC-BFを使用して 36個の試験ブロックが加圧成形された。それぞれのブロックの測定及び計量が行われた。(略)</p> <p>ブロックは、金型から出された直後にわずかに膨張する(粘土の弾性反発)。(略) 最終的なサイズが指定された寸法に合わせて金型のサイズを 1~2 mmの範囲で調節することにより、この現象を相殺できる。</p> <p>指標に示す、ブロックサイズのミロス島埋め戻し材を使ってブロックの製作が行われたことはないが、表 5-4に示したサイズ及び密度の範囲は、埋め戻し材に関する設計指標に示された容認される変動範囲に収まっている。</p> <p>さまざまな物質とブロックサイズを用いたブロック製造が行われており、得られた結果に著しいばらつきは見られなかった。結論として、ベントナイト物質からのこの種のブロック加圧成形は、十分に試された信頼性の高い方法だと言うことができる。こうした結果は一定数の調節可能なパラメータに依拠するものであり、容認される公差範囲内のブロックを提供する信頼性の高いプロセスを確立するために、プレス機と使用する物質に合わせて加圧成形プロセスを調節しなければならぬ。</p> <p>ペレット成形加工の手法については、このタイプの製造装置の供給業者 2社、すなわちドイツの BEPEX-Hoskawas社とフランスの Sahut-Conreur S:A社においてすでに試験されている。またこの手法は他の産業用途でよく知られているものであり、</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
	エスポ HRL における現場試験のためのペレットの製造のために使用されてきた。			
5.4 操業及び設置				
5.4.1 地上レベルでの中間貯蔵				
プロセス	<p>(略) <u>ブロック及びペレットの製造が停止された場合に埋め戻し材の設置作業が中断される事態を回避するために、地上に一定量の在庫を確保する必要がある。</u>  <u>取り扱い及び運搬中にブロック及びペレットの特性に変化が生じることがあってはならない。</u>またブロック形状が変化することもあってはならず、ブロックが亀裂を生じさせるような衝撃にさらされてはならない。貯蔵中にブロック及びペレットの含水率が変化しないことが重要である。このため<u>ブロックは、内部圧力が低く、拡散防止型密閉プラスチックの覆いが付けられた特別設計のパレット上に置かれる。</u>これらのペレットは<u>拡散防止型の密閉容器内に収納される。</u>貯蔵時間が数日と短いことから、これ以上の高度な覆いを設ける必要ない。</p>			
検査	<p>パレットに対しては、<u>貯蔵設備から処分場深度への運搬に先立ち、識別記号、覆い、ブロック及びペレットの目視検査が実施される。</u><u>覆いに損傷があった場合やブロック又はペレットに目視される損傷があった場合には、これらは廃棄されるか、重量及び寸法の検査が再実施される。</u></p>			
5.4.2 処分場レベルへの運搬とそこでの貯蔵				
プロセス	<p>埋め戻し材物質は、スキップを用いて処分場レベルに運ばれる。規定された設置速度を達成するためには、毎日合計で約 40 台のブロックを載せたパレットと約 15 台のパレットを収納した容器を運搬する必要がある。</p> <p>ブロックを載せたパレットとパレットを収納した容器は、地下の中間貯蔵設備で一時貯蔵される。</p> <p>この中間貯蔵設備でブロックは運搬車両に積み替えられ、この車両によってブロックは処分坑道内の埋め戻し機械へと運ばれる。ペレットは特別設計容器に収納されて設置のために処分坑道に運ばれる。あるいはこのペレットは、処分孔の上部の充填、底部層の設置、さらにはブロックと岩盤壁との間の隙間の充填に使用される設置装置に適したユニットに充填される。</p>			
検査	【地上での検査と同様】			
5.4.3 処分坑道の準備				
	<p>埋め戻し材の設置作業にとっての前提条件となるのが、地下開口部建設ラインにおいて仕様に従った処分坑道が用意されていることである。定置のための処分坑道の準備については、『<u>地下開口部建設報告書</u>』のセクション 5.2.6 で記述されており、次に挙げる項目で構成される。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•坑道の岩盤壁の検査が行われるものとし、また必要な場合にはスケーリング及びロックボルトの設置が実施されるものとする。</li> <li>•坑道の公称横断面の内部まで達するローフボルトは、ワッシャーのうしろで切断されるものとする。</li> <li>•坑道は清掃され、以前の活動で残った機器は撤去されるものとする。</li> <li>•坑道底部は、砂利やその他の物質を除去した上で検査されるものとする。</li> <li>•坑道への流入量に関する検査が行われるものとする。</li> <li>•坑道容積、坑道輪郭、さらにはベベルの幾何学的形状を明らかにするために、<u>岩盤壁のスキャニング検査が実施されるものとする。</u></li> <li>•坑道内に、臨時の換気、給電及び照明装置が設置されるものとする。</li> </ul> <p>ペレットの設置作業時に生じる煙霧や粉塵の排出を行うために、坑道が十分に換気されていることが重要である。水の流入や設置後の埋め戻し材の回収の可能性に対応する準備を整えておくためにも、作業に使用可能な緊急用バックアップ電源システムが必要とされる可能性がある。</p>			
5.4.4 不合格となった処分孔への埋め戻し材の設置				
	<p>処分坑道への埋め戻し材の設置に先立ち、不合格となった処分孔があった場合に、それらを埋め戻す作業が行われる。そのための物質及び手法はキャニスタの定置が開始される前に決定される予定であり、緩衝材又は埋め戻し材に使用される物質及び手法</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
	と同様のものとなる可能性がある。			
5.4.5 処分孔上部への埋め戻し材の設置				
プロセス	この段階において、処分孔の上部に存在する埋め戻し材の設置状態の密度が決定される。 処分孔のベベル部分（図 5-11 を参照）は坑道に使用されたものと同じタイプのペレットで充填される。このペレット充填物は、坑道内の埋め戻し材ブロックの沈下を防ぐ上で十分な密度まで圧縮される。			
検査	<u>ペレットが設置される前に、岩盤表面の検査が行われ、ベベル部分の容積が計算される。さらにペレット充填物の識別記号の検査が行われる。ベベルに設置されたペレットの重量が最終検査される。この計測作業は、ペレットを収納した容器を設置作業の前後に計量する方法によって行われる。重量の相違、すなわち設置されたペレットの質量が記録される。</u> <u>記録された設置状態のペレット質量と、計算されたベベル容積に基づき、ベベルに設置されたペレット充填物の設置状態のかさ密度が算出される。ペレットの識別記号から明らかにされる含水率に基づき、このかさ密度から平均乾燥密度が明らかにされる。</u>			
5.4.6 底部層の設置				
	指定された幾何学的形状に合わせた埋め戻し材ブロックの積み上げの実施を可能にするために、坑道床は平坦かつ十分な支持力を備えるようにする必要がある。底部層はこれを実現するために設置される。			
プロセス	この段階において、底部層の設置状態の密度、傾斜及び支持力が決定される。 底部層のペレットの設置は、スクリーフィーダを用いて実施される。これに加えて、基層は圧縮され、表面が平坦となるよう調節される。この作業は振動コンパクタを用いて実施される（図 5-12 を参照）。			
検査	<u>物質の設置作業に先立ち、岩盤表面が、さらには当該区画に存在する可能性のある埋め戻された処分孔の表面が検査され、処分坑道の実際の区画の容積が計算される。ペレット充填物の識別記号が検査されるほか、設置時には設置されたペレットの重量が記録される。基層の圧縮と最終的な調節の後で、坑道容積がもう一度検査され、底部層の容積が計算される。記録された質量及び容積から、底部層の設置状態のかさ密度が計算される。次に既知の含水率を用いて、底部層の設置状態の乾燥密度が算出される。表面スキャニング検査により、底部層の傾斜及び均等さが検査される。</u>			
5.4.7 ブロックの設置				
プロセス	この段階において、実際の処分坑道区画容積のブロック部分が決定される。 坑道の輪郭に合わせるために、2つのサイズの埋め戻し材ブロックが使用される。図 5-13 に、これらのブロックをどのように設置するのかを示す例を挙げた。埋め戻し材ブロックはコンベアに載せられ、そのコンベアがブロックを、吊上げ装置の位置にまで運ぶ。そこで吊上げ装置がブロックをつかみ、坑道内の所定の位置へと運ぶ。ブロックは1個ずつ処分坑道の端から端へと、鉛直方向の層全体が設置されるまで積み上げられる。			
検査	この段階において、処分坑道のうちの現在埋め戻しが行われている区画のブロック部分の最終検査が行われる。この検査は、その区画に設置された異なるサイズのブロックの数を明らかにし、それらの総容積を算出し、それを設置が開始される前に検査された坑道容積と比較する方法によって行われる。さらに、それぞれのブロックの層が設置された後に、当該層の均等性に関する目視検査が実施される。またブロックと岩盤壁との間の距離が少なくとも 10 cm あることがチェックされる。			
5.4.8 ペレットの設置				
プロセス	この段階において、埋め戻し材ブロックと岩盤表面との間のペレット充填物の重量が決定される。 設置された埋め戻し材の密度との関連においては、ペレットを自由に充填するだけで十分である。指標に示す法は、乾式噴霧機器を使用することである。粉塵防止のためにペレットの設置作業中に少量の水が添加されることも考えられる。設置機器は正			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
	面にビームを備えた運搬機によって構成され、このビームは旋回して異なる位置に伸ばすことも、折り畳むこともできる。ビームの前面にはチューブ付きの「ランス」が装備されている。またチューブの寸法は、ブロックと岩盤との間の狭い空間に入り込めるだけでなく、規定された設置速度を実現できるように設定される。図 5-14 に、ペレットの設置に使用される機器の概略図を示した。			
検査	<p>設置中に、開かれた空間へのペレット設置重量が記録される。設置中に水が添加された場合、容積／重量も記録される。</p> <p>充填の度合いは、フィーダーの正面に取り付けられたカメラを用いて目視検査される。カメラに直接（すなわちレンズの周囲に）接続される方法で、照明のために集中灯が取り付けられている。操作員がランスを岩盤に向けると、ブロックの端部と以前に設置されたペレット充填物の画像がディスプレイに表示される。この表示は設置作業に大いに役立つものである。</p> <p>必要に応じて、実際の坑道区画内の設置状態の密度を策定することができる。そのためには、ペレット設置後に容積が検査されるか、ペレット充填物最前部の表面が鉛直とされるかのいずれかを実現しなければならない。坑道区画に設置された状態の密度は、それ以前に決定されている底部層の密度、ブロックの個数及び重量、底部層の設置後に検査された（さらには可能ならばペレット充填物の設置後にも検査された）設置済ペレットの重量、さらには坑道容積に基づいて算出することができる。</p> <p>埋め戻し作業が処分坑道内の最終区画に到達した時点で、処分孔及び底部層内の埋め戻し材の密度、基層の定置後に検査された坑道区画の容積の合計、ブロックの数及び重量、さらにはペレット充填物の記録された重量に基づき、処分坑道内の設置状態のかさ密度が算出される。設置状態の乾燥密度は、ブロック及びペレットの含水率から計算することができる。これはブロック及びペレットの識別記号と共に文書化される。</p>			
.4.10 設置密度の検査方法				
	<p>処分坑道内に設置された埋め戻し材の密度のばらつきは、測定済の重量及び幾何学的形状／寸法から計算される。ブロックの重量及び寸法は、加圧形成時に記録されている（セクション 5.3.2 を参照）。またペレットの重量は設置時に記録される。その計量方法はセクション 5.3.6 において記述した。</p> <p>設置が開始される前の処分坑道の容積は『地下開口部建設報告書』のセクション 5.2.2 及び付録 A に示されている。底部層設置後の容積も同じ方法を用いて検査される。</p> <p>設置密度は、測定されたデータを直接記録して解釈するソフトウェアを用いて計算される。算出された設置密度の精度は、記録された質量及び容積の精度に左右される。</p>			
5.4.11 経験及び結果				
底部層の設置	<p>ベントナイト・ペレット／顆粒の取り扱い利用可能な手法の試験と、安定した基層を実現するための圧縮手法の試験を行うために、さらには設置された基層の性能を試験するために、中規模及び大規模試験が実施されている [Wimelius and Pusch 2008]。後者の試験としては、基層に埋め戻し材ブロックが設置された時点で（沈下などに関して）行う性能試験や、岩盤からの水の流入があった場合の性能試験が挙げられる。これらの試験は、2種類のベントナイト物質（すなわち「Minelco 顆粒」及び「Cebogel ペレット」）を使用して実施されたものである。大規模試験は、底部層の設置及び挙動に焦点が合わせられていたため、ベントナイト・ブロックの代わりにコンクリート・ブロックを用いて人工坑道内で実施された。またブロック物質が結果に影響を及ぼすかどうかを明らかにするために、底部層と直接接触したベントナイト・ブロックを用いた試験も実施されている。この試験により、結果とブロックの物質（ベントナイトであるかコンクリートであるか）との間には関係がないことが示された。</p> <p>ベントナイト物質は、基層上に積み上げられたブロックの沈下が有意なものとならないようにするために、高一度合いの均質性と十分に高い密度を備えたものとして圧縮されるべきである。試験では、150 kg の振動コンパクタを 4 回走らせた場合に</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
	<p>最良の結果が得られている。</p> <p>圧縮後の乾燥密度は、Minelco 基層の場合には約 1,250 kg/m<sup>3</sup>、Cebogel 基層の場合には約 1,150 kg/m<sup>3</sup>であった。要約すれば、いずれの基層物質であっても、床沿いに水が流入する前に設置された場合、積み重ねられたブロックの安定性を損なうことはない。実際問題として、Minelco 基層は湿潤条件下では Cebogel 物質よりも長期間にわたりその安定性を維持することから、水流入時の Minelco 基層の支持力は Cebogel 基層よりも大きい。効果的かつ均等な圧縮を実現することにより、基層が早期の崩落を起こすことなく毎分 1 リットルの滴下状の水の流入に耐えられるようになる [Wimelius and Pusch 2008]。他の試験条件では別の水流入量が適用されているため、この結果は今回の試験条件にのみ有効なものである。作業のこの部分に関する特定の流入量に関する要求事項は、今後決定されることになる。大部分の試験において、水はブロックの下のベントナイトを通じて埋め戻し材のない表面を上昇した上で表面を上向きに移動し、最後に積み上げられたブロックの正面へと進んだ。このことは、湿潤の主要部分は上方から生じることを意味している。ブロックより下にある水の緩衝作用は低く、おそらくは埋め戻し材ブロックからの圧力に依存している。このため、水は別の方向へと進むことになる。</p> <p>物質は標準的な装置を用いて取り扱い、設置することになっている。実施された試験での設置量は 5 分間に 900 kg と見積もられた。圧縮後の最終的な層の厚さは 0.3 m であり、このことは、長さ 6 m、幅が平均で 4.5 m の坑道区画に基層を設置するのに約 1 時間を要することを意味する。</p> <p>レーザが装備された標準的な取鍋（レイドル）を用いた物質の水平化作業に関する試験も行われた。時間的な見積りは約 30 s/m<sup>2</sup> とされている。水平化の精度は +5 mm ~ -20 mm であった。埋め戻し材ブロックを受け入れ可能な方法で積み重ねるためには、表面の均等化面での改善が実現されなければならない。</p>			
処分孔上部への埋め戻し材の設置	<p>処分孔上部は、緩衝材と同時に、緩衝材ブロックを用いた充填される（『<b>緩衝材プロジェクト報告書</b>』のセクション 5.4.4 を参照）。エスポ HRL において、ベベルの埋め戻し方法に関する試験が行われている。これらの試験の基本的な概念は、顆粒又はペレットの形でベントナイト物質を設置し、振動コンパクタと電動式のジャンピングジャック式の装置を用いて手作業で圧縮するものである。</p> <p>圧縮を行わない試験も同時に実施された。これらの試験では、圧縮は必要であるという結論が得られている。</p> <p>これらの結果により、ここで使用したベントナイト物質（Minelco 顆粒と Cebogel ペレット）をブロック設置時の沈下を回避する上で十分な乾燥密度（1,029~1,208 kg/m<sup>3</sup>）まで圧縮する作業が実施可能であることが示された。</p>			
ブロックの設置	<p>エスポ HRL で、ブロックの積み上げ試験が実施された [Wimelius and Pusch 2008]。図 5-17 を参照のこと。これらの試験により、容量や安定性に関して、また使用する技術が設置時に必要とされる精度を満たす必要性に関して、多くの有益な情報がもたらされた。これらの試験は、床からの水の流量や基層に使用する物質を変化させて実施されたものである。こうして得られた結果により、異なる物質や流量から導き出されるさまざまな前提条件も示されている。</p> <p>試験及び研究後の評価によれば、上述した方法は実現可能であるが、技術の進歩に左右される。ブロックの吊上げのための真空手法に関しては、取り扱いにおけるブロックの品質の場合と同様に、より一層の試験を実施する必要がある。「1 日当たりで処分孔間の平均距離に対応する長さの埋め戻しを行う」という設計要領を順守するためには、その他の活動に消費される時間を考慮に入れた場合、1つのブロックを 60 秒以内に積み上げられなければならない。試験においてこれが可能であることは立証されているものの、そのためには設置チェックの結果の承認が高い頻度でなされ、ペレットが設置されるまで水の流入がブロックに影響を及ぼさないことが前提となる。</p> <p>この結論を裏付けると共にこの技術の性能を検証するために、加圧成形されたベントナイト・ブロックを使用した実規模の試験が追加されることになっている。</p>			
ペレットの	ペレットの設置に用いるいくつかの手法に関する調査が実施されており、これら			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
充填	<p>の手法が実施可能であることが確認されている。設置時には主として岩盤輪郭に存在する不規則部分において良好な充填が実現しなければならない。</p> <p>エスボのベントナイト研究所において、多数の実規模試験が実施されている [Wimelius and Pusch 2008]。図 5-18 に、指標に示す機器を用いた試験の 1 つで撮影された写真を示した。</p> <p>実施された試験により、選定された方法が実現可能なものであることが示されている。これらの試験によれば、設置容量は約 5 m<sup>3</sup>/h であるが、この数字の改善は可能であると考えられている。</p> <p>ペレット充填物に予定されている乾燥密度は 1,000 kg/m<sup>3</sup> である（含水率が 16% の Cebogel ペレット）。しかし設置状態のペレット充填物の乾燥密度は 907 kg/m<sup>3</sup> であることが確認された。これは、人工岩盤の露出部分のすぐ下に位置する空間が充填されていない事実によってある程度まで説明することができよう。2 分の 1 スケールの坑道で実施された試験では、ペレットを乾燥密度 980~1,080kg/m<sup>3</sup> で 150 mm の幅の隙間に設置することに成功したが、この隙間には不規則部分は存在しなかったため、プロセスが単純化されている [Keto et al. 2009]。これらの試験において比較的高い密度が達成されたことにより、処分場環境で設置されるペレットで達成される乾燥密度を改良する余地があることが示された。設置状態のペレットにおいて実際に達成可能な密度を明らかにするために、さらなる取り組みが行われることになっている。</p> <p>ブロックと岩盤壁との間の空間全体の充填に関しては、ペレットを坑道天盤に接触するよう充填することは可能であるものの、ペレット充填物はある程度まで自己圧縮を起こすため、充填物が水飽和状態となり、隣接する開口部に向けて膨潤するまでは、隙間が開いた状態が維持されるという結論が示されている。</p>			
9. プラグの製造				
9.1 概要				
9.1.2 プラグの製造				
	<p>プラグの製造は、次に挙げる 3 つの主要部分で構成される（図 9-1 を参照）。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•発注、提供及び貯蔵。</li> <li>•構成要素の製作、前処理及び貯蔵。</li> <li>•コンクリートプラグ以外の全ての部分の設置。</li> <li>•コンクリートプラグの設置。</li> </ul> <p>図 9-1 に、物質の提供から処分坑道への設置に至るプラグの製造プロセスを示した。またこの図には、製造フローチャートも示した。</p>			
9.1.3 建設及び検査のための参照方法				
	<p>製造面での要求事項については、<u>プラグ建設のための参照方法は、類似した産業用途においてすでに確立されている手法に基づいている。</u>（略）<u>水密性シールの構成要素の製作とシールの設置作業については、埋め戻し材の場合と同じ方法が適用される</u>（§ 5.1.3 を参照）。<u>フィルタの前処理及び設置、ビーム及び配管の製作及び設置、さらにはコンクリートプラグの設置について SKB 社は、関連するプロセスと検査の両方において、広範に適用されている通常の方法を採用する予定である。</u>また<u>コンクリート作業については、SKB 社はこの種の手順を低 pH コンクリートに合わせてカスタマイズする必要がある。</u></p> <p>緩衝材及び埋め戻し材の特性については、埋め戻し材が完成した後可能な限り早くプラグが設置され、その完全な強度及び健全性を獲得することが重要である。<u>仕様に適合した物質及び構成要素が、製造のそれぞれの段階の作業が実施される時期に間に合うよう提供されることに、特別な注意が払われる。</u></p>			
9.1.4 プラグの製造において鍵となる段階				
	<p>人工バリアに関して、長期的安全性評価を行うために初期状態における設計パラメータの予想値を入手する必要がある。また製造全体を通じた設計パラメータの処理及び検査が、プロセス-検査スキームにおいて示されている。この点については、たとえば図 5-2 などを参照のこと。プラグに関する長期的安全性評価は、処分坑道の端に水</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
	<p>密プラグが存在しており、このプラグがそのまま放置され、閉鎖後の処分場内にとどまるという仮定に基づいている。このことと、<u>プラグの設置が従来型の建設手順に従って行われることの両面で、プラグ製造に関する単純化された製造スキームが提示されている。</u>図 9-2 にこのスキームを示した。製造の主要な段階のそれぞれについて、結果として得られる完成したプラグの水密性及び強度にとって最も重要な段階と、処分場内に望ましくない物質が残されないようにするための活動が示されている。また製造の主要段階のそれぞれについて、製造面での要求事項がどのように満たされるのかに焦点を合わせた活動の概要が示されている。</p>			
9.2 発注、提供及び貯蔵				
9.2.1 プロセス及び検査の概要				
	<p>プラグに関しては、次に挙げるカテゴリの物質及び構成要素が必要である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•コンクリート又はコンクリート原材料。</li> <li>•フィルタ物質。</li> <li>•水密性シール用の粘土。</li> <li>•プレハブ構成要素（鉄筋ケージ、コンクリート・ビーム及び冷却用配管など）。</li> <li>•<u>補助機器及び物質（ジオテキスタイル、加熱装置、計器など）。</u></li> </ul> <p>プレハブ構成要素とコンクリートは、最終処分場施設の産業区域内部で製作するか、外部供給業者から納品させることができる。フィルタ物質は、納品させるか、浅層施設から掘削された岩石を用いてサイトで前処理することができる。</p> <p><u>プラグのための物質及び製品は、詳細な設計文書、図面及び仕様に基づいた仕様に従って購入される。それぞれの物質又は製品は、製造全体を通じて物質又は製品が従うものとされる、標準化されたプロトコル内で指定されるものとする。提供時に、プロトコルと提供された製品の検査が行われ、計器の機能の試験が実施される。</u></p> <p><u>プラグの設置に遅延や中断が起きないようにするためには、物質及び機器の適切なストックを保持することが重要である。貯蔵設備には、物質のための適切な防護と環境が用意されるものとする。</u></p> <p>発注と提供については、同様な建設作業と担当部署による実践から得られた経験に基づいて確立された手順、プロトコル及び検査が利用可能である。</p>			
9.2.2 結果として得られるプラグの特性にとって重要な問題				
	<p><u>注文した物質の物質組成は、供給業者が実施する活動によって決定付けられ、その後の段階で加工することはできない。このため供給業者が適切な資格を有していることと、提供される物質が提供時に検査されることが重要である。また、注文書において、いずれかの物質を避けなければならないかどうか、さらには供給業者がどの物質を指定するのかが明確に述べられていることも重要である。</u></p>			
9.3 構成要素の製作及び前処理				
9.3.1 プロセス及び検査の概要				
	<p>製作されるか組み立てられるプラグ構成要素として、コンクリートビーム、ビーム支持物、鉄筋ケージ、<u>配管及び型枠が挙げられる。さらに水密性シールのためのブロック及びペレットが製造され、フィルタ用の物質が前処理されるものとする。</u></p> <p>現行計画によると、コンクリートビームはプレハブのものとなる。型枠、ビーム支持物及び鉄筋ケージは建造され、<u>配管は処分場深度に運ばれる前に組み立てられる。モニタリングのための計器及び機器は、鉄筋又は型枠と共に組み立てることができる。</u></p> <p><u>水密性シールには、埋め戻し材と同じ寸法のブロック及びペレットが使用される予定である。これらはセクション 5.3 に記述されたように製作され、検査される。</u></p> <p>フィルタのための物質は、必要な粒子サイズ分布を得るために混合され、処分場レベルに運ばれる。</p> <p>コンクリートの乾燥原料は、処分場レベルに運ばれる前に、地上レベルで混合される。</p> <p><u>プラグ構成要素の製作、前処理及び検査、そしてコンクリート及びフィルタ物質の前処理及び検査は、従来型の手順に従って行われる。</u></p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
9.3.2 結果として得られるプラグの特性にとって重要な問題	<p>プラグの設置作業が中断されないようにするために、事前に構成要素のセットを完成させた上で、サイト内に蓄積しておくべきである。そのための貯蔵設備は、損傷のリスクを最小限に抑える構成とされるものとする。</p> <p>低 pH コンクリートに対して実施された試験により、コンクリートの諸特性にとって骨材の水分濃度の正確な決定と原料の正しい混合順序が重要であることが裏付けられている。この点において満足のゆく混合を、標準的な機器を用いて実施することができる。[Vogt et al. 2009]。</p>			
9.4 コンクリートプラグ以外の全ての部分の設置				
9.4.1 プロセス及び検査の概要	<p>コンクリートビーム、排水管、フィルタ及び水密性シールは、次に示す順序で設置される。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.コンクリートビームの最初の壁が、埋め戻し終了ゾーン内の埋め戻し材の設置と並行して設置される。</li> <li>2.フィルタ、コンクリートビームの 2 番目の壁、そして排水管の最初の区画が設置される。フィルタ物質の圧縮を比較的容易にするために、ビームとフィルタは並行して設置される。</li> <li>3.水密性シール、コンクリートビームの 3 番目の壁、そして排水管の 2 番目の区画が設置される。水密性シールのためのベントナイトブロックが、処分坑道内の埋め戻し材ブロックと同様のパターンで、コンクリートビームの 2 番目の壁に密着する形で定置される。コンクリートビームの 3 番目の壁は、ベントナイトブロックに密着して設置され、ベントナイトブロックと岩盤壁との間の空いた空間がペレットで充填される。</li> <li>4.コンクリートビームの 3 番目の壁に吹付コンクリートが塗布される。これによりこの壁はコンクリートプラグの打設時に型枠として機能し、コンクリートビーム間の隙間を塞ぎ、コンクリートとベントナイトが混ざらないようにすることができる。</li> </ol> <p>物質及び構成要素の設置及び検査は、従来型の手順に従って行われる。</p>			
9.4.2 結果として得られるプラグの特性にとって重要な問題	<p>埋め戻し材の膨潤が原因となって生じる可能性のあるフィルタの変形を最小限に抑えるために、フィルタ物質は設置中に圧縮される。設置中に指定されたレベルへの圧縮を確実に実現できるようにするために、フィルタ物質内の含水率が検査される。</p> <p>水密性シールが設置される処分坑道の容積を測定するために、岩盤表面が検査される。設置されたブロック及びペレットの重量が記録されるほか、既知の含水率に基づいて水密性シールの乾燥密度を計算することができる。この乾燥密度は、シールがシーリング・フェーズにおいて必要とされる指定透水係数を実現する上で十分なものとする。</p>			
9.5 コンクリートプラグの設置				
9.5.1 プロセス及び検査の概要	<p>(略)</p> <p>コンクリートプラグは、次に示す順序で設置される。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.岩盤表面が清掃され、組み立てられた鉄筋ケージが設置される。このケージはボルトで岩盤に留められる。冷却管と、化学反応及び温度のモニタリング用計器もこの段階で設置される。</li> <li>2.型枠、コンクリート設置用の管、エア抜き管、計器、排水管の第 3 の区画、そしてグラウチング配管が設置される。型枠は、木材、合板及びプレキシグラス製の型を収納する鋼鉄ビームの枠によって構成される。射出／注入管は 2 つのレベルに設置され、注入時に型枠から空気を逃がせるよう、型枠の最上部にエア抜き管が設置される。またコンクリートプラグと岩盤表面との間の領域のグラウチングに使用するグラウチング管が設置される。</li> <li>3.機器の試験が行われ、コンクリートの混合及び注入が実施される。全ての機器がその正確な機能を発揮することを確認するために試験される。コンクリートの乾燥原</li> </ol>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			
	<p>料は地上レベルで混合され、水及び可塑剤を添加した後、処分場レベルでコンクリートの最終的な混合が行われる。コールドジョイントが生じる可能性をなくするために、プラグは連続的な注入を行うことによって打設される。コンクリートがエア抜き管から外に出ていることが観察されると、コンクリートが型枠を満たしていることになり、管のバルブが閉じられる。</p> <p>4.プラグの養生が行われ、<u>プラグへの圧力を軽減する必要がある場合、水を排水管を通じて排出する。必要とされる場合、セメントの水和を原因とする内部割れの発生を回避するために、養生中に配管内に冷水を循環させることにより、プラグの冷却が行われる。こうしたコンクリートの冷却は、水和による熱のピークが過ぎるまで継続されるものとする。</u></p> <p>5.コンクリートプラグと岩盤表面との境界面はグラウチングされる。養生に伴ってコンクリートが収縮するため、養生後にコンクリートプラグと岩盤表面との境界面をシーリングするためのグラウチングが行われる。養生後のプラグは周囲の温度よりも約 10℃低い温度に至るまで冷却される。その上でグラウチングが行われる。プラグの冷却はグラウトの成熟期間が終了するまで継続され、その後で中止される。コンクリートプラグはその後膨張し、プラグにプレストレスを与える。</p> <p><u>コンクリートプラグの設置及び検査は、従来型の手順に従って実施される。</u></p>			
9.5.2	結果として得られるプラグの特性にとって重要な問題			
	<p><u>注入に先立ち、機器が正確に機能していることを確認するため、全ての機器の試験が行われるものとする。注入時に機器が故障すると、プラグを設置できず、コンクリートプラグのすでに設置されている区画を取り除いて設置し直さなければならないリスクが生じる。また処分坑道の末端に水密性シールが設置されている期間を可能な限り短くするためには、コンクリートプラグの設置に遅延が生じないことが重要である。</u></p> <p><u>セメントの水和によって内部に割れが生じないようにするために、<u>温度を継続的に記録し、必要に応じてプラグを冷却することが重要である。</u></u></p> <p>プラグを通じた漏出及び/又はプラグと岩盤表面との境界面を通じた漏出を防ぐために、プラグはその全長にわたって岩盤と接触していなければならない。さらに、プラグ内の割れが水理学的経路として作用することがあってはならない。このため、プラグと岩盤との境界面にグラウチングを施すと共に、プラグにプレストレスを与えることが重要である。</p> <p><u>プラグが意図されているように機能していることを確認するための検査が実施されるものとする。たとえば、漏出が観察された場合、プラグを通過する漏出量が測定されることになる。</u></p>			
(本調査検討に関連すると判断された)本文中に含まれる図表				

国名又は機関名	スウェーデン																		
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他															
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16																		
発行年	2004																		
<p><b>Table 2-1. Barrier functions, properties to be designed and design premises for the backfill.</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Barrier function or property</th> <th>Property and design parameters to be designed</th> <th>Design premises long-term safety</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>The backfill shall limit flow of water (advective transport) in deposition tunnels.</i></td> <td>Properties that affect swelling pressure and hydraulic conductivity of the saturated backfill. Material composition – montmorillonite content. Installed density – dry density and water content of blocks, pellet filling and bottom bed; portions of the deposition tunnel filled with blocks, pellet filling and bottom bed.</td> <td>Hydraulic conductivity &lt; 10<sup>-10</sup> m/s. Swelling pressure &gt; 0.1 MPa.</td> </tr> <tr> <td><i>The backfill shall restrict upwards buffer swelling/expansion.</i></td> <td>Properties that affect the compactability of the un-wetted and saturated backfill. Material composition – montmorillonite content. Installed density – dry density and water content of blocks, pellet filling and bottom bed; portions of the deposition tunnel filled with blocks or pellets.</td> <td>Packing and density of the backfill, both at initial dry state and after complete water saturation must be sufficient to ensure a compressibility that results in a minimum buffer saturated density according to the conditions set out (i.e. 1,950 kg/m<sup>3</sup>) with sufficient margin to loss of backfill and uncertainties.</td> </tr> <tr> <td><i>The backfill must not significantly impair the barrier functions of the other barriers.</i></td> <td>Properties that affect the chemical conditions around the buffer and canister. Material composition.</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td><i>The backfill shall be long-term durable and maintain its barrier functions in the environment expected in the final repository.</i></td> <td>Properties that affect swelling pressure and hydraulic conductivity of the saturated backfill and compactability of the un-wetted and saturated backfill. Material composition – montmorillonite content. Installed density – dry density and water content of blocks, pellet filling and bottom bed; portions of the deposition tunnel filled with blocks, pellet filling and bottom bed.</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>					Barrier function or property	Property and design parameters to be designed	Design premises long-term safety	<i>The backfill shall limit flow of water (advective transport) in deposition tunnels.</i>	Properties that affect swelling pressure and hydraulic conductivity of the saturated backfill. Material composition – montmorillonite content. Installed density – dry density and water content of blocks, pellet filling and bottom bed; portions of the deposition tunnel filled with blocks, pellet filling and bottom bed.	Hydraulic conductivity < 10 <sup>-10</sup> m/s. Swelling pressure > 0.1 MPa.	<i>The backfill shall restrict upwards buffer swelling/expansion.</i>	Properties that affect the compactability of the un-wetted and saturated backfill. Material composition – montmorillonite content. Installed density – dry density and water content of blocks, pellet filling and bottom bed; portions of the deposition tunnel filled with blocks or pellets.	Packing and density of the backfill, both at initial dry state and after complete water saturation must be sufficient to ensure a compressibility that results in a minimum buffer saturated density according to the conditions set out (i.e. 1,950 kg/m <sup>3</sup> ) with sufficient margin to loss of backfill and uncertainties.	<i>The backfill must not significantly impair the barrier functions of the other barriers.</i>	Properties that affect the chemical conditions around the buffer and canister. Material composition.	–	<i>The backfill shall be long-term durable and maintain its barrier functions in the environment expected in the final repository.</i>	Properties that affect swelling pressure and hydraulic conductivity of the saturated backfill and compactability of the un-wetted and saturated backfill. Material composition – montmorillonite content. Installed density – dry density and water content of blocks, pellet filling and bottom bed; portions of the deposition tunnel filled with blocks, pellet filling and bottom bed.	–
Barrier function or property	Property and design parameters to be designed	Design premises long-term safety																	
<i>The backfill shall limit flow of water (advective transport) in deposition tunnels.</i>	Properties that affect swelling pressure and hydraulic conductivity of the saturated backfill. Material composition – montmorillonite content. Installed density – dry density and water content of blocks, pellet filling and bottom bed; portions of the deposition tunnel filled with blocks, pellet filling and bottom bed.	Hydraulic conductivity < 10 <sup>-10</sup> m/s. Swelling pressure > 0.1 MPa.																	
<i>The backfill shall restrict upwards buffer swelling/expansion.</i>	Properties that affect the compactability of the un-wetted and saturated backfill. Material composition – montmorillonite content. Installed density – dry density and water content of blocks, pellet filling and bottom bed; portions of the deposition tunnel filled with blocks or pellets.	Packing and density of the backfill, both at initial dry state and after complete water saturation must be sufficient to ensure a compressibility that results in a minimum buffer saturated density according to the conditions set out (i.e. 1,950 kg/m <sup>3</sup> ) with sufficient margin to loss of backfill and uncertainties.																	
<i>The backfill must not significantly impair the barrier functions of the other barriers.</i>	Properties that affect the chemical conditions around the buffer and canister. Material composition.	–																	
<i>The backfill shall be long-term durable and maintain its barrier functions in the environment expected in the final repository.</i>	Properties that affect swelling pressure and hydraulic conductivity of the saturated backfill and compactability of the un-wetted and saturated backfill. Material composition – montmorillonite content. Installed density – dry density and water content of blocks, pellet filling and bottom bed; portions of the deposition tunnel filled with blocks, pellet filling and bottom bed.	–																	
<p><b>Table 2-2. Design premises for the backfill related to the production and operation.</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Design consideration</th> <th>Required property</th> <th>Design premises</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>The design and methods for preparation, installation, test and inspection shall be based on well-tried or tested technique. Backfill with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability.</i></td> <td><i>The backfill material must be possible to compact to required density. The backfill components shall be designed so that installation can be performed with high reliability. The combination of the geometrical configuration of the backfill material and the installation technique shall be such that the seepage into the deposition tunnels and the resulting hydraulic processes that take place during installation do not impair the barrier functions of the backfill.</i></td> <td>–  The reference sequence for deposition of the canister and installation of the buffer and backfill. The reference design of the deposition tunnels.  The backfill shall yield the required properties given the accepted inflow imposed on the deposition tunnels (see Table 2-3).</td> </tr> </tbody> </table>					Design consideration	Required property	Design premises	<i>The design and methods for preparation, installation, test and inspection shall be based on well-tried or tested technique. Backfill with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability.</i>	<i>The backfill material must be possible to compact to required density. The backfill components shall be designed so that installation can be performed with high reliability. The combination of the geometrical configuration of the backfill material and the installation technique shall be such that the seepage into the deposition tunnels and the resulting hydraulic processes that take place during installation do not impair the barrier functions of the backfill.</i>	–  The reference sequence for deposition of the canister and installation of the buffer and backfill. The reference design of the deposition tunnels.  The backfill shall yield the required properties given the accepted inflow imposed on the deposition tunnels (see Table 2-3).									
Design consideration	Required property	Design premises																	
<i>The design and methods for preparation, installation, test and inspection shall be based on well-tried or tested technique. Backfill with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability.</i>	<i>The backfill material must be possible to compact to required density. The backfill components shall be designed so that installation can be performed with high reliability. The combination of the geometrical configuration of the backfill material and the installation technique shall be such that the seepage into the deposition tunnels and the resulting hydraulic processes that take place during installation do not impair the barrier functions of the backfill.</i>	–  The reference sequence for deposition of the canister and installation of the buffer and backfill. The reference design of the deposition tunnels.  The backfill shall yield the required properties given the accepted inflow imposed on the deposition tunnels (see Table 2-3).																	
<p><b>Table 2-3. Design premises imposed on the deposition tunnels by the backfill.</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Required property</th> <th>Design premises</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>The deviations of floor and wall surfaces in deposition tunnels from the nominal must be limited in order to allow backfilling according to specification.</i></td> <td><i>For each blast round the total volume between the rock wall contour and the nominal contour of the deposition tunnel shall be less than 30% of the nominal tunnel volume. The maximum cross section shall be less than 35% larger than the nominal cross section. To achieve a dependable backfill installation the tunnel floor must be even enough for the backfill installation equipment to drive on it. Underbreak is not accepted. See Figure 2-1.</i></td> </tr> <tr> <td><i>The floor and wall surfaces in deposition tunnels shall for the most part consist of rock surface so that the backfill will be in direct contact with the rock.</i></td> <td><i>Limited areas may be covered with construction materials. The areas must not extend over the full tunnel width.</i></td> </tr> <tr> <td><i>The seepage into deposition tunnels during backfill installation and saturation must not significantly impair the backfill barrier functions.</i></td> <td><i>Based on current experiences the maximum distributed inflow to the deposition tunnel is set to be less than or equal to 1.7 l/min 100 m (based on 5 l/min in a 300 m long deposition tunnel) and the maximum point inflow less than or equal to 0.1 l/min /Sandén et al. 2008, Dixon et al. 2008a, Dixon et al. 2008b/.</i></td> </tr> </tbody> </table>					Required property	Design premises	<i>The deviations of floor and wall surfaces in deposition tunnels from the nominal must be limited in order to allow backfilling according to specification.</i>	<i>For each blast round the total volume between the rock wall contour and the nominal contour of the deposition tunnel shall be less than 30% of the nominal tunnel volume. The maximum cross section shall be less than 35% larger than the nominal cross section. To achieve a dependable backfill installation the tunnel floor must be even enough for the backfill installation equipment to drive on it. Underbreak is not accepted. See Figure 2-1.</i>	<i>The floor and wall surfaces in deposition tunnels shall for the most part consist of rock surface so that the backfill will be in direct contact with the rock.</i>	<i>Limited areas may be covered with construction materials. The areas must not extend over the full tunnel width.</i>	<i>The seepage into deposition tunnels during backfill installation and saturation must not significantly impair the backfill barrier functions.</i>	<i>Based on current experiences the maximum distributed inflow to the deposition tunnel is set to be less than or equal to 1.7 l/min 100 m (based on 5 l/min in a 300 m long deposition tunnel) and the maximum point inflow less than or equal to 0.1 l/min /Sandén et al. 2008, Dixon et al. 2008a, Dixon et al. 2008b/.</i>							
Required property	Design premises																		
<i>The deviations of floor and wall surfaces in deposition tunnels from the nominal must be limited in order to allow backfilling according to specification.</i>	<i>For each blast round the total volume between the rock wall contour and the nominal contour of the deposition tunnel shall be less than 30% of the nominal tunnel volume. The maximum cross section shall be less than 35% larger than the nominal cross section. To achieve a dependable backfill installation the tunnel floor must be even enough for the backfill installation equipment to drive on it. Underbreak is not accepted. See Figure 2-1.</i>																		
<i>The floor and wall surfaces in deposition tunnels shall for the most part consist of rock surface so that the backfill will be in direct contact with the rock.</i>	<i>Limited areas may be covered with construction materials. The areas must not extend over the full tunnel width.</i>																		
<i>The seepage into deposition tunnels during backfill installation and saturation must not significantly impair the backfill barrier functions.</i>	<i>Based on current experiences the maximum distributed inflow to the deposition tunnel is set to be less than or equal to 1.7 l/min 100 m (based on 5 l/min in a 300 m long deposition tunnel) and the maximum point inflow less than or equal to 0.1 l/min /Sandén et al. 2008, Dixon et al. 2008a, Dixon et al. 2008b/.</i>																		

国名又は機関名	スウェーデン										
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他							
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16										
発行年	2004										
<p><b>Table 2-4. Design premises for the plug related to its properties in the final repository during the post closure phase.</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Function or property</th> <th>Property and design parameters to be designed</th> <th>Design premises</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2"><i>The plug must not significantly impair the barrier functions of the engineered barriers or rock.</i></td> <td>Volume and compressibility of the plug (all parts)</td> <td><i>The decrease in volume must not cause loss in backfill density that significantly reduce its barrier functions.</i></td> </tr> <tr> <td>Concrete plug material composition Concrete recipe: composition of binder and additional ingredients</td> <td><i>Low pH concrete shall be used. The leachates from the concrete must have a pH ≤ 11.  The amount of organic materials shall be limited. Organic superplasticizer, but no other organic components, are accepted.</i></td> </tr> </tbody> </table>				Function or property	Property and design parameters to be designed	Design premises	<i>The plug must not significantly impair the barrier functions of the engineered barriers or rock.</i>	Volume and compressibility of the plug (all parts)	<i>The decrease in volume must not cause loss in backfill density that significantly reduce its barrier functions.</i>	Concrete plug material composition Concrete recipe: composition of binder and additional ingredients	<i>Low pH concrete shall be used. The leachates from the concrete must have a pH ≤ 11.  The amount of organic materials shall be limited. Organic superplasticizer, but no other organic components, are accepted.</i>
Function or property	Property and design parameters to be designed	Design premises									
<i>The plug must not significantly impair the barrier functions of the engineered barriers or rock.</i>	Volume and compressibility of the plug (all parts)	<i>The decrease in volume must not cause loss in backfill density that significantly reduce its barrier functions.</i>									
	Concrete plug material composition Concrete recipe: composition of binder and additional ingredients	<i>Low pH concrete shall be used. The leachates from the concrete must have a pH ≤ 11.  The amount of organic materials shall be limited. Organic superplasticizer, but no other organic components, are accepted.</i>									

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			

**Table 2-5. Design premises related to the functions the plug shall maintain during the sealing phase.**

Function or property	Property and design parameters to be designed	Design premises
<i>The plug shall resist the hydrostatic pressure at repository depth and the swelling pressure of the backfill until the main tunnel is filled.</i>	The strength of the concrete plug. Concrete recipe: amount and composition of binder. Reinforcement: quality and amount.	<i>The sum of the hydrostatic water pressure at the repository level and the swelling pressure from the backfill in the tunnel section adjacent to the watertight seal. 5 MPa water pressure and the swelling pressure from the backfill in the section adjacent to the plug.</i>
	<i>Maximum applied swelling pressure. Length and installed density (block filled part of the volume) in the tunnel section adjacent to the plug.</i>	<i>The strength and dimensioning load of the concrete plug.</i>
<i>The plug shall limit water flow until the adjacent main tunnel is filled and saturated.</i>	The watertightness of the plug. Watertight seal: Material composition: montmorillonite content. Installed density: the bulk density, water content and dimensions of the components (blocks and pellets), the geometry of the installed components.	<i>The amount of water accepted to pass the plug. The accepted water volume will depend on the acceptable transport of clay material out from the deposition tunnel during this phase and remains to be determined.</i>
	The watertightness of the plug. Properties of the interface rock/grouting/concrete.	
<i>The plug shall be durable and maintain its functions in the environment expected in the repository facility and repository until the closure in the main tunnel is saturated.</i>	Concrete plug deformation properties and bond between concrete plug and the rock. Concrete recipe: amount and composition of binder. Reinforcement: quality and amount.	<i>The sum of the hydrostatic water pressure on repository level and the swelling pressure from the backfill and the watertight seal. 5 MPa water pressure and the swelling pressure from the backfill in the backfill adjacent to plug. The displacement of the concrete plug that can be accepted with respect to the decrease in density and resulting increase in conductivity of the watertight seal.</i>
	Bond between concrete plug and the rock (water conductive features must not be formed).	<i>See design premise for limitation of water flow.</i>
	The strength of the concrete plug. Concrete recipe: amount and composition of binder. Reinforcement: quality and amount.	<i>Thermal loads from the decaying fuel causing expansion of the rock and concrete. The temperature variations that can be expected at repository depth, i.e. the increase in repository temperature caused by the decay power of the spent nuclear fuel, and situations where repository temperature does not increase due to ventilation related heat transfer in the main tunnels.</i>
	Concrete plug durability. Concrete recipe. Reinforcement: quality. Drainage pipes durability. Material corrosion class.	<i>Humidity and groundwater composition occurring in the final repository facility.</i>
	Concrete plug design working life. Drainage pipes design working life.	<i>The design working life is 100 years.</i>

国名又は機関名	スウェーデン															
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他												
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16															
発行年	2004															
<p><b>Table 2-6. Design premises related to the production of the plug.</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Design consideration</th> <th>Required property</th> <th>Design premises</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Plugs with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability.</i></td> <td><i>The thermal, viscoelastic and shrinkage properties of the concrete shall be such that internal cracking in the young concrete will not compromise the ability of the plug to achieve its functional requirements.</i></td> <td><i>Tensile stresses resulting from the thermal expansion due to cement hydration during the curing and subsequent contraction as it cools.</i></td> </tr> <tr> <td></td> <td><i>The filter material, its grain size distribution and compaction shall be such that the filter can collect and drain water so that the concrete plug is not exposed to high water pressures until it has gained sufficient strength.</i></td> <td><i>Volume and inflow rate of water to be drained.</i></td> </tr> </tbody> </table>					Design consideration	Required property	Design premises	<i>Plugs with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability.</i>	<i>The thermal, viscoelastic and shrinkage properties of the concrete shall be such that internal cracking in the young concrete will not compromise the ability of the plug to achieve its functional requirements.</i>	<i>Tensile stresses resulting from the thermal expansion due to cement hydration during the curing and subsequent contraction as it cools.</i>		<i>The filter material, its grain size distribution and compaction shall be such that the filter can collect and drain water so that the concrete plug is not exposed to high water pressures until it has gained sufficient strength.</i>	<i>Volume and inflow rate of water to be drained.</i>			
Design consideration	Required property	Design premises														
<i>Plugs with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability.</i>	<i>The thermal, viscoelastic and shrinkage properties of the concrete shall be such that internal cracking in the young concrete will not compromise the ability of the plug to achieve its functional requirements.</i>	<i>Tensile stresses resulting from the thermal expansion due to cement hydration during the curing and subsequent contraction as it cools.</i>														
	<i>The filter material, its grain size distribution and compaction shall be such that the filter can collect and drain water so that the concrete plug is not exposed to high water pressures until it has gained sufficient strength.</i>	<i>Volume and inflow rate of water to be drained.</i>														
<p><b>Table 2-7. Design premises imposed by the plug on the design of deposition tunnels.</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Required property</th> <th>Design premises</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Curing and sealing phases Inflow/seepage of water to the part of the deposition tunnel where the plug shall be installed must be limited since excessive water inflow during construction of the concrete plug may impact the properties of the finished plug.</i></td> <td><i>Accepted inflow rate (has not been determined at this stage of development).</i></td> </tr> <tr> <td><i>A recess for foundation of the concrete plug shall be prepared in the rock.</i></td> <td><i>Geometry of the reference concrete plug.</i></td> </tr> <tr> <td><i>Anchoring for structures for the installation of the plug shall be prepared in the rock.</i></td> <td><i>Geometry and loads according to the reference design of the plug.</i></td> </tr> <tr> <td><i>The strength and properties of the rock in the area of the recess for the concrete plug and the anchoring for temporary structures shall be suitable for the construction, i.e. sufficient to resist the pressure transmitted from the plug without fracturing.</i></td> <td><i>The forces transmitted from the plug to the rock.</i></td> </tr> </tbody> </table>					Required property	Design premises	<i>Curing and sealing phases Inflow/seepage of water to the part of the deposition tunnel where the plug shall be installed must be limited since excessive water inflow during construction of the concrete plug may impact the properties of the finished plug.</i>	<i>Accepted inflow rate (has not been determined at this stage of development).</i>	<i>A recess for foundation of the concrete plug shall be prepared in the rock.</i>	<i>Geometry of the reference concrete plug.</i>	<i>Anchoring for structures for the installation of the plug shall be prepared in the rock.</i>	<i>Geometry and loads according to the reference design of the plug.</i>	<i>The strength and properties of the rock in the area of the recess for the concrete plug and the anchoring for temporary structures shall be suitable for the construction, i.e. sufficient to resist the pressure transmitted from the plug without fracturing.</i>	<i>The forces transmitted from the plug to the rock.</i>		
Required property	Design premises															
<i>Curing and sealing phases Inflow/seepage of water to the part of the deposition tunnel where the plug shall be installed must be limited since excessive water inflow during construction of the concrete plug may impact the properties of the finished plug.</i>	<i>Accepted inflow rate (has not been determined at this stage of development).</i>															
<i>A recess for foundation of the concrete plug shall be prepared in the rock.</i>	<i>Geometry of the reference concrete plug.</i>															
<i>Anchoring for structures for the installation of the plug shall be prepared in the rock.</i>	<i>Geometry and loads according to the reference design of the plug.</i>															
<i>The strength and properties of the rock in the area of the recess for the concrete plug and the anchoring for temporary structures shall be suitable for the construction, i.e. sufficient to resist the pressure transmitted from the plug without fracturing.</i>	<i>The forces transmitted from the plug to the rock.</i>															
<p><b>Table 3-1. Reference backfill raw material.</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Design parameter</th> <th>Nominal design (wt-%)</th> <th>Accepted variation (wt-%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Montmorillonite content</td> <td>50–60</td> <td>45–90</td> </tr> </tbody> </table>					Design parameter	Nominal design (wt-%)	Accepted variation (wt-%)	Montmorillonite content	50–60	45–90						
Design parameter	Nominal design (wt-%)	Accepted variation (wt-%)														
Montmorillonite content	50–60	45–90														
<p><b>Table 3-3. Reference processed material ready for compaction for Milos backfill.</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Design parameter</th> <th>Nominal design</th> <th>Accepted variation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Granule size distribution</td> <td>–</td> <td>See Figure 3-1</td> </tr> <tr> <td>Water content block material (wt-%)</td> <td>17</td> <td>±2</td> </tr> <tr> <td>Water content pellet material (wt-%)</td> <td>17</td> <td>±2</td> </tr> </tbody> </table>					Design parameter	Nominal design	Accepted variation	Granule size distribution	–	See Figure 3-1	Water content block material (wt-%)	17	±2	Water content pellet material (wt-%)	17	±2
Design parameter	Nominal design	Accepted variation														
Granule size distribution	–	See Figure 3-1														
Water content block material (wt-%)	17	±2														
Water content pellet material (wt-%)	17	±2														

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			

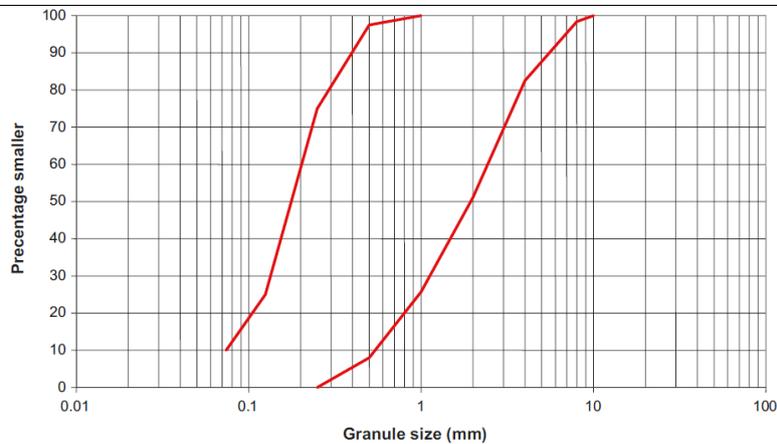


Figure 3-1. Granule size distribution – accepted variation for Milos backfill. The registered grain size distribution in the material ready for compaction shall lie between the two red lines.

Table 3-4. Reference block, pellet and bottom bed material ready for installation (based on Milos backfill).

Design parameter	Nominal design	Accepted variation
<b>Blocks</b>		
Dry density (kg/m <sup>3</sup> )	1,700	± 50
Water content (wt-%)	As in the material ready for compaction	As in the material ready for compaction
Dimensions (mm <sup>3</sup> )	700×667×510	± 2×2×2
	700×600×250	± 2×2×2
<b>Blocks in deposition hole bevel<sup>1</sup></b>		
Dry density (kg/m <sup>3</sup> )	1,710	± 17
Water content (wt-%)	17	± 1
Dimensions (mm)	Height: 500	± 1
	Diameter 1,650	
<b>Pellets and bottom bed pellets<sup>2</sup></b>		
Dry density separate pellets (kg/m <sup>3</sup> )	1,700	± 50
Dimensions (mm <sup>3</sup> )	~16×16×8	–
Dry density of loose filling (kg/m <sup>3</sup> )	1,000	± 100
Water content (wt-%)	As in the material ready for compaction	As in the material ready for compaction

<sup>1</sup> In the reference design buffer blocks are used and the design parameters are the ones specified for solid blocks in the Buffer production report, Table 3-4.

<sup>2</sup> In the reference design the same kind of pellets are used for the bottom bed and the gap between the blocks and tunnel walls. This may be changed.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			

Table 3-5. Reference design of installed backfill (based on Milos backfill).

Design parameter	Nominal design	Accepted variation
<b>Blocks</b>		
Block part of blast round volume <sup>1</sup>	According to Figure 3-2	$V_{\text{blocks}} \geq 60\%$
Free space between blocks and tunnel walls	-	Free space $\geq 10$ cm
<b>Pellet filling in gap between blocks and tunnel walls</b>		
Pellet part of blast round volume	The volume between the installed blocks and deposition tunnel walls	-
<b>Bottom bed</b>		
Thickness	10 cm from nominal tunnel floor	-
Inclination perpendicular to the tunnel axis	-	< 3 mm/tunnel width
Inclination along the tunnel axis	Inclination of nominal tunnel floor	-
Dry density compacted bed	> 1,200 kg/m <sup>3</sup>	-

<sup>1</sup> Including blocks in the upper part of the deposition hole and excluding slots between blocks.

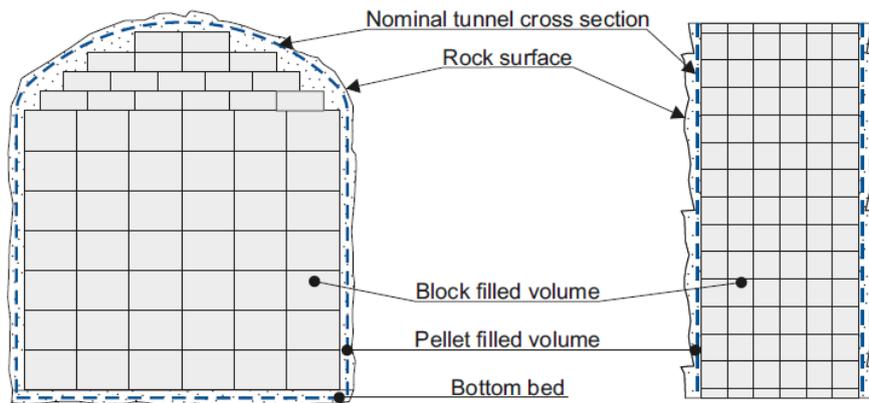


Figure 3-2. Reference geometry of the installed backfill in a schematic tunnel.

国名又は機関名	スウェーデン																								
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他																					
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16																								
発行年	2004																								
<p><b>Table 5-1. Design premises for the development of methods for manufacturing, installation, test and inspection.</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Design consideration</th> <th>Required capability of method/production</th> <th>Design premise</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2"><i>The design and methods for preparation, installation, test and inspection shall be based on well-tried or tested technique.</i></td> <td><i>The methods for manufacturing, installation, test and inspection of the backfill shall as far as possible be based on experiences and established practice from similar applications.</i></td> <td>–</td> </tr> <tr> <td><i>If there is a lack of experiences the reliability of the methods shall be tested and demonstrated.</i></td> <td>–</td> </tr> <tr> <td rowspan="4"><i>Backfill with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability.</i></td> <td><i>The combination of the geometrical configuration of the backfill material and the installation technique shall be such that the seepage into the deposition tunnels and the resulting hydraulic processes that take place during installation do not impair the barrier functions of the backfill.</i></td> <td><i>The backfill shall yield the required properties given the accepted inflow in deposition tunnels according to Section 2.3.3.</i></td> </tr> <tr> <td><i>Methods used in the manufacturing shall, when applied at the repository facility result in backfill pellets and blocks with acceptable properties.</i></td> <td><i>Reference design according to Sections 3.1 and 3.2.</i></td> </tr> <tr> <td><i>The rejection frequency of prepared backfill material and components shall be low.</i></td> <td>–</td> </tr> <tr> <td><i>Methods used for testing shall have an accuracy of measurement that lies well within the acceptable variations of the property to be inspected.</i></td> <td><i>Reference design according to Sections 3.1 and 3.2.</i></td> </tr> <tr> <td rowspan="2"><i>The backfill and methods for manufacturing, installation, test and inspection shall be cost-effective. Backfill installation shall be possible to perform in the prescribed rate.</i></td> <td><i>The frequency of the event: "Retrieval of installed backfill in a tunnel section or a whole deposition tunnel after installation." shall be low.</i></td> <td><i>Frequency 10<sup>-2</sup> or less per deposition tunnel.</i></td> </tr> <tr> <td><i>The backfill installation rate shall be adapted to the required canister deposition rate.</i></td> <td><i>A tunnel length corresponding to the average distance between deposition holes shall be backfilled per working day. Based on: A canister deposition rate of 200 per year corresponding to one per working day. The reference sequence for deposition of canister and buffer and installation of backfill see Repository production report, Section 4.1.4.</i></td> </tr> </tbody> </table>				Design consideration	Required capability of method/production	Design premise	<i>The design and methods for preparation, installation, test and inspection shall be based on well-tried or tested technique.</i>	<i>The methods for manufacturing, installation, test and inspection of the backfill shall as far as possible be based on experiences and established practice from similar applications.</i>	–	<i>If there is a lack of experiences the reliability of the methods shall be tested and demonstrated.</i>	–	<i>Backfill with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability.</i>	<i>The combination of the geometrical configuration of the backfill material and the installation technique shall be such that the seepage into the deposition tunnels and the resulting hydraulic processes that take place during installation do not impair the barrier functions of the backfill.</i>	<i>The backfill shall yield the required properties given the accepted inflow in deposition tunnels according to Section 2.3.3.</i>	<i>Methods used in the manufacturing shall, when applied at the repository facility result in backfill pellets and blocks with acceptable properties.</i>	<i>Reference design according to Sections 3.1 and 3.2.</i>	<i>The rejection frequency of prepared backfill material and components shall be low.</i>	–	<i>Methods used for testing shall have an accuracy of measurement that lies well within the acceptable variations of the property to be inspected.</i>	<i>Reference design according to Sections 3.1 and 3.2.</i>	<i>The backfill and methods for manufacturing, installation, test and inspection shall be cost-effective. Backfill installation shall be possible to perform in the prescribed rate.</i>	<i>The frequency of the event: "Retrieval of installed backfill in a tunnel section or a whole deposition tunnel after installation." shall be low.</i>	<i>Frequency 10<sup>-2</sup> or less per deposition tunnel.</i>	<i>The backfill installation rate shall be adapted to the required canister deposition rate.</i>	<i>A tunnel length corresponding to the average distance between deposition holes shall be backfilled per working day. Based on: A canister deposition rate of 200 per year corresponding to one per working day. The reference sequence for deposition of canister and buffer and installation of backfill see Repository production report, Section 4.1.4.</i>
Design consideration	Required capability of method/production	Design premise																							
<i>The design and methods for preparation, installation, test and inspection shall be based on well-tried or tested technique.</i>	<i>The methods for manufacturing, installation, test and inspection of the backfill shall as far as possible be based on experiences and established practice from similar applications.</i>	–																							
	<i>If there is a lack of experiences the reliability of the methods shall be tested and demonstrated.</i>	–																							
<i>Backfill with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability.</i>	<i>The combination of the geometrical configuration of the backfill material and the installation technique shall be such that the seepage into the deposition tunnels and the resulting hydraulic processes that take place during installation do not impair the barrier functions of the backfill.</i>	<i>The backfill shall yield the required properties given the accepted inflow in deposition tunnels according to Section 2.3.3.</i>																							
	<i>Methods used in the manufacturing shall, when applied at the repository facility result in backfill pellets and blocks with acceptable properties.</i>	<i>Reference design according to Sections 3.1 and 3.2.</i>																							
	<i>The rejection frequency of prepared backfill material and components shall be low.</i>	–																							
	<i>Methods used for testing shall have an accuracy of measurement that lies well within the acceptable variations of the property to be inspected.</i>	<i>Reference design according to Sections 3.1 and 3.2.</i>																							
<i>The backfill and methods for manufacturing, installation, test and inspection shall be cost-effective. Backfill installation shall be possible to perform in the prescribed rate.</i>	<i>The frequency of the event: "Retrieval of installed backfill in a tunnel section or a whole deposition tunnel after installation." shall be low.</i>	<i>Frequency 10<sup>-2</sup> or less per deposition tunnel.</i>																							
	<i>The backfill installation rate shall be adapted to the required canister deposition rate.</i>	<i>A tunnel length corresponding to the average distance between deposition holes shall be backfilled per working day. Based on: A canister deposition rate of 200 per year corresponding to one per working day. The reference sequence for deposition of canister and buffer and installation of backfill see Repository production report, Section 4.1.4.</i>																							

国名又は機関名	スウェーデン		
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16		
発行年	2004		

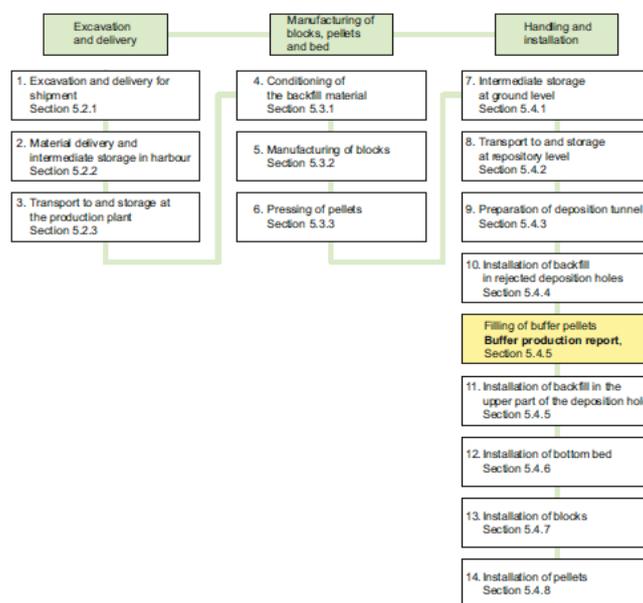
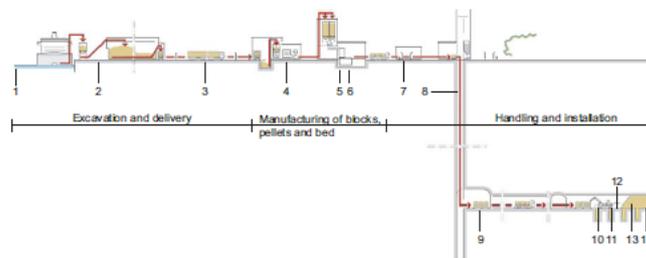


Figure 5-1. Upper panel: Illustration of the backfill production line from the delivery of the material to the installation in the deposition tunnel. Lower panel: Flow chart for the backfill production line including references to the illustrated stages and sections in the text.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			

Table 5-2. Backfill – required properties and related design parameters and parameters inspected in the production.

Required property	Design parameter	Parameter inspected in the production
Material composition	Montmorillonite content	X-ray diffraction pattern
Compaction properties of material ready for compaction	Granule size distribution	Sieving curve
	Water content	Weight before and after drying
Density and dimensions of blocks	Dry density <sup>1</sup>	Weight and dimensions
	Dimensions	Height, length and width (H x L x W)
Density and dimensions of pellets	Dry density separate pellets <sup>1</sup>	Weight and dimensions of separate pellet
	Dimensions separate pellets	Thickness, length and width of separate pellet (T x L x W)
Installed density – upper part of the deposition hole	Dry density loose filling <sup>1</sup>	Weight and volume of loose material
	Dry density of buffer blocks <sup>1,3</sup>	Weight and dimensions of blocks
	Dry density of pellets <sup>1</sup>	Weight of loose material
	Buffer block and pellet part of volume	Geometry of deposition hole <sup>2</sup> Geometry of installed buffer <sup>2</sup> Positions of installed blocks
Installed density – deposition tunnel	Bottom bed thickness	Geometry of deposition tunnel <sup>2</sup>
		Geometry of deposition tunnel after installation of the bottom bed
	Bottom bed inclination	Geometry of deposition tunnel after installation of the bottom bed
		Weight of loose material
	Dry density compacted bed <sup>1</sup>	Geometry of deposition tunnel <sup>2</sup>
		Geometry of deposition tunnel after installation of the bottom bed
	Dry density of blocks <sup>1</sup>	Weight and dimensions of blocks
		Block part of tunnel volume
	Dry density of pellets <sup>1</sup>	Weight of loose material
Pellet part of tunnel volume		Geometry of deposition tunnel <sup>2</sup> Block part of tunnel volume

<sup>1</sup> Water content as determined for material ready for compaction.  
<sup>2</sup> From the Underground openings construction report.  
<sup>3</sup> From the Buffer production report.

Property	Design parameter	5.2 Excavation and delivery			5.3 Manufacturing of blocks and pellets	
		Excavation and delivery for shipment	Material delivery and intermediate storage	Transport to and storage at production plant	Conditioning of the bentonite	Pressing of blocks / Pressing of pellets
Material composition	Montmorillonite content	Excavation				
		(By supplier)	X-ray diffraction		X-ray diffraction	
Compaction properties	Granule size distribution	Grinding			Grinding	
		(By supplier)	Sieving		Sieving	
	Water content	Drying	Storage	Transport and storage	Mixing	
		(By supplier)	Drying in microwave oven		Drying in microwave oven Drying in oven	
Density and dimensions of blocks	Dry density <sup>1</sup>					Pressing
						Weighing and calliper
	Dimensions					Pressing
						Calliper
Density and dimension of pellets	Dry density <sup>1</sup> separate pellets					Pressing
						Weighing of individual pellets
	Dimensions					Pressing
						Calliper of individual pellet
	Dry bulk density <sup>1</sup> of loose filling					Pressing
					Weighing of defined volume	

<sup>1</sup> Water content as material ready for compaction.

Figure 5-2. Production-inspection scheme for the excavation and delivery and manufacturing of backfill blocks, pellets and bottom bed. Blue colour is used for processing of the design parameter and orange for inspection, darker colour illustrate final processing or inspection. Grey colour show stages where the design parameters may be affected but no processing occurs. (Explanations to the colours are also given in text.)

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			

Property	Design parameter	Intermediate storage at ground level	Transport to and storage at repository level	5.4 Handling and installation				
				Preparation of deposition tunnel	Installation of backfill material in the deposition hole	Installation of bottom bed	Installation of blocks in deposition tunnel	Installation of pellets in deposition tunnel
Installed density <sup>1</sup>	Dry density of blocks in deposition holes	Storage	Storage	–	Installation <sup>2</sup>	–	–	–
	Visual inspection of cover and if required weighing	Visual inspection of cover and if required weighing	Visual inspection of cover and if required weighing	–	Weighing and caliper <sup>2</sup>	–	–	–
Pellet part of volume	Storage	Storage	Storage	–	Installation	Installation	–	Installation
	Visual inspection and if required weighing	Visual inspection and if required weighing	Visual inspection and if required weighing	–	Weighing Scanning of deposition hole	Weighing Scanning of deposition tunnel	–	Weighing
Bed thickness	–	–	–	–	–	Installation	–	–
	–	–	–	Scanning of deposition tunnel geometry <sup>1</sup>	–	Scanning (after installation of bed)	–	–
Bed inclination	–	–	–	–	–	Installation	–	–
	–	–	–	–	–	Scanning (after installation of bed)	–	–
Dry density compacted bottom bed	–	–	–	–	–	Installation	–	–
	–	–	–	–	–	Scanning (after installation of bed)	–	–
Block part of deposition tunnel volume	–	–	–	–	–	–	Installation	–
	–	–	–	Measuring of deposition tunnel geometry <sup>1</sup>	Measuring of upper part of deposition hole geometry <sup>2</sup> (incl. beveling)	–	–	Number of blocks in tunnel section Visual inspection of geometry
Free space between blocks and tunnel walls	–	–	–	–	–	–	Installation	–
	–	–	–	–	–	–	Inspection of geometry	–

<sup>1</sup> Calculated from the inspected weights and volumes.  
<sup>2</sup> Described in the Buffer production report.

Figure 5-3. Production-inspection scheme for the handling and installation of finished blocks, pellets and bottom bed. Blue colour is used for processing of the design parameter and orange for inspection, darker colour illustrate final processing or inspection. Grey colour show stages where the design parameters may be affected but no processing occurs. (Explanations to the colours are also given in text.)

**Table 5-3. Material composition of Milos backfill measured on one delivery of this low-grade bentonite product /Olsson and Kamland 2009/.**

Parameter	Content in Milos backfill
Montmorillonite (wt%)	58
Cation	Ca
CEC (meq/100 g)	73
Sulphide (%)	0.03
Total sulphur (%)	0.06
Organic carbon (%)	0.38



Figure 5-8. A machine for pressing of briquette shaped pellets, BEPEX test equipment.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			



Figure 5-10. Backfill blocks placed on a special designed pallet.

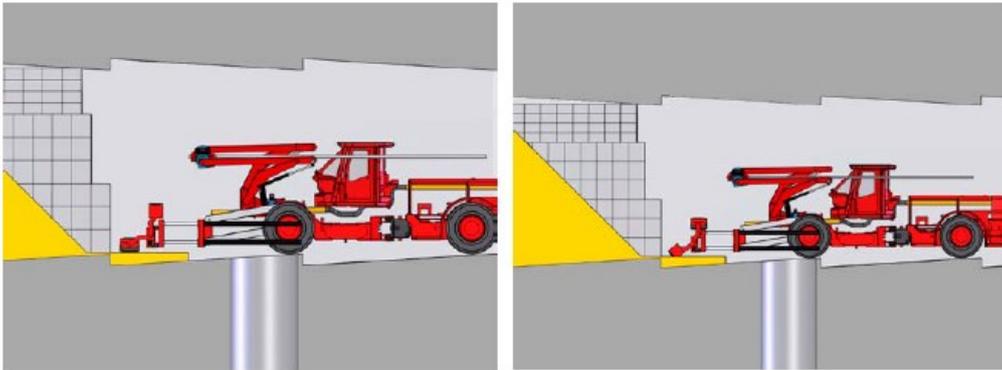


Figure 5-12. Installation, compaction (left) and adjustment (right) of the bottom bed.

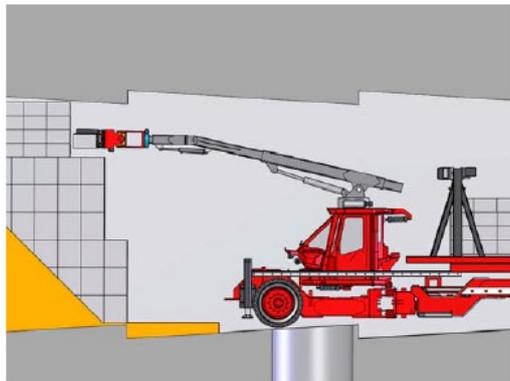


Figure 5-13. Figure illustrating the positioning of blocks.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			

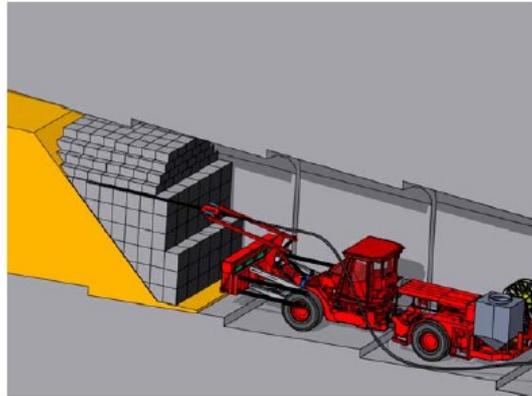


Figure 5-14. Installation of pellets using the bed/pellets unit.



Figure 5-16. Backfilling of bevel at Äspö HRL



Figure 5-17. A stacking test being performed on a bentonite bed with a water inflow.



Figure 5-18. Pellet installation test with the reference equipment, at the Bentonite Laboratory at Äspö.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			

Table 9-1. Design premises for the production and methods for preparation, installation and inspection.

Required function, property or design consideration	Required capability of method/production	Design premise
<i>The plug must not significantly impair the barrier functions of the engineered barriers or rock. Installation of the plug shall be possible to perform in the prescribed rate.</i>	<i>To limit the transport of clay material out from the deposition tunnel the time until the plug has been installed and gained its full strength and water tightness shall be as short as possibly achievable.</i>	<i>Allowed inflow to deposition holes and deposition tunnel. Volume of water accepted to be transported out from the deposition tunnel.</i>
<i>The plug must not significantly impair the barrier functions of the engineered barriers or rock.</i>	<i>Material composition and amounts shall be recorded.</i>	–
<i>The plug and methods for preparation, installation, test and inspection shall be based on well-trying or tested technique.</i>	<i>The methods for construction and inspection of the plug shall as far as possible be based on experiences and established practice from similar applications.  If there is a lack of experiences the reliability of the methods shall be tested and demonstrated.</i>	– –
<i>Plugs with specified properties shall be possible to prepare and install with high reliability. The plug and methods to install, control and verify the plug shall be cost-effective.</i>	<i>The curing of the concrete plug shall take place without the formation of cracks.  The full pressure against the concrete plug must not appear until it has cured and gained sufficient strength.  The construction shall result in a plug with acceptable properties and be repeatable and reliable.</i>	– – –
	<i>The frequency of the event: "Malfunction of the plug causing retrieval of installed backfill." shall be low.</i>	<i>Frequency 10<sup>-3</sup> or less per installed plug in deposition tunnels.</i>

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, TR-10-16			
発行年	2004			

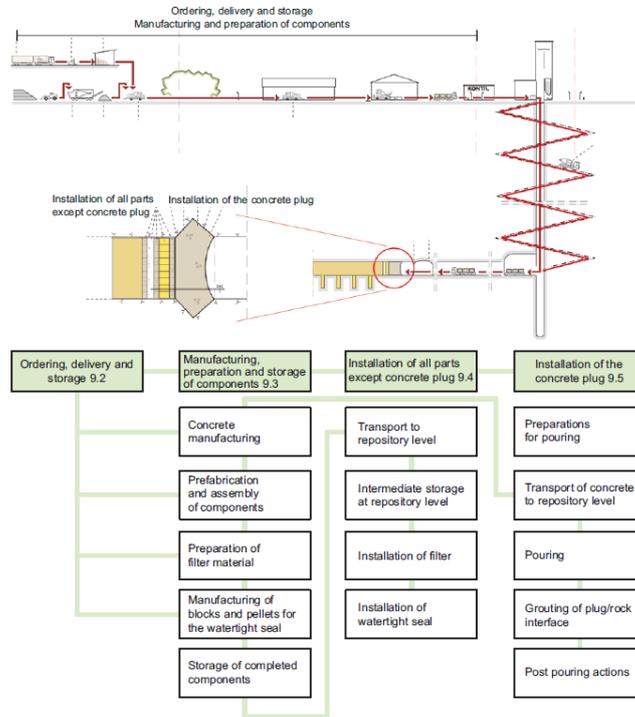


Figure 9-1. Upper panel: Illustration of the production of the plug from the delivery of the material to the installation in the deposition tunnel. Lower panel: The main parts of the production (green) and sections in the text where they are described, and a flow chart for all stages in the production.

Part of the plug	Ordering, delivery and storage	Manufacturing, preparation and storage of components	Installation of all parts except concrete plug	Curing phase
				Installation of the concrete plug
Concrete plug	Specification and delivery of material	Mixing of ingredients	-	Preparations for pouring
	Storage time and environment			Pouring
		Control of temperature		
		Inspection of pressure		
Watertight seal	Specification and delivery of material	Pressing of blocks	Installation	
Filter	Specification and delivery of material	-	Installation (compaction)	
Concrete beams	Specification and delivery of material			
Drainage pipes	Specification and delivery	-	Installation	
Grouting pipes	Specification and delivery of material	-	-	Grouting

Figure 9-2. The key activities ensuring that a watertight plug with properties acceptable in a long-term perspective is installed.

表 5 性能確認等に関する文献調査結果-5

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他

文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18	
発行年	2010	
<b>本検討に資する内容</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 「観察法」(Observational Method) (『EN 規格』) を、処分場のレイアウト及び地下開口部の建設を、当該サイトの逐次的に開発された記述に適応したものとするために適用する予定。</li> <li>● 観察法の中で、モニタリング及び管理プログラムが設定されている。</li> <li>● 処分孔の位置および適用性に関しては EFPC が用いられる。</li> <li>● 地下開口部に関連する Design premises</li> <li>● 地下開口部建設で行われるモニタリング及び管理プログラム</li> <li>● 初期状態における不確実性及びリスクを示すジオハザードのモニタリング</li> </ul>		
該当箇所	記載内容	備考
Summary		
	<p>本報告書は一連のプロダクション報告書に含まれるものであり、<u>KBS-3 処分場の設計、プロダクション及び点検調査を行う方法について説明する。</u>この一連の報告書は、KBS-3 処分場及び処分場施設に関する安全報告書に含まれるものである。</p> <p>本報告書は、長期安全性評価 (『SR-Site』) を行うために地下開口部の初期状態に関する入力情報をもたらす。ここでいう「初期状態」とは、最終処分、埋め戻し又は閉鎖時の地下開口部の諸特性のことをいう。これに加えて本報告書は、<u>地下開口部がどのように建設され、点検調査されなければならないかに関する入力情報を、操業安全報告書である『SR-Operation』にもたらす。</u></p> <p>本報告書では、設計要領について、さらには地下開口部を設計し、それらを設計要領に適合したものとするためにサイト条件に合わせて調節するために用いる方法論について説明する。本報告書では、フォルスマルクにおけるリファレンス設計に関する説明を行った上で、同設計が設計要領に適合していることを示す。同報告書ではさらに、異なる種類の地下開口部を建設し、点検調査する際に適用される「参照方法」について記述する。また最後に、地下開口部の初期状態とこの初期状態が設計要領に適合することが示される。</p>	
岩盤工学	<p><u>岩盤工学の目標は、サイトに適合するレイアウトを実現するだけでなく、建造物及びその時点での地下開口部の現況状態が設計要領に確実に適合したものとなるようにすることにある。</u>SKB 社は、いわゆる「観察法」(Observational Method) を、<u>処分場のレイアウト及び地下開口部の建設を、当該サイトの逐次的に開発された記述に適応したものとするために適用する予定である。</u>設計は常に最新のサイト記述モデルに基づくものとされ、成立する見込みが最も高い地盤条件だけでなく、最も有利に働く条件から考えうる最悪の条件までの範囲の起こりうる逸脱に関する検討を行う。この「観察法」が適用されるということは、設計要領への不適合に伴うリスクに寄与するハザードが特定されることを、またその後の建設期間中に観察されるハザードの予測やパラメータ計算を行うモデルが確立されることを、さらには起こりうる悪条件の取り扱い方法を定義する行動計画が定義されることを意味する。指定されたマイルストーンにおいて、設計に使用した仮定や遭遇する地盤条件の正式な比較が実施される。</p>	
参照方法	<p><u>建設に関する参照方法が適用されることにより、EDZ、幾何学的形状及び水の流入量に関する設計要領に適合した地下開口部が実現される。</u>処分坑道の掘削にとつての参照方法は、削孔及びスムーズブラスティング (抑制発破) 手法を用いるものである。これまでの経験により、削孔-発破手順の適切な管理が実施される場合、当該坑道を受け入れ可能な EDZ 及び幾何学的形状を伴う形で建設できることが示されている。処分坑道のシーリングに関する参照方法は、低 pH セメントを用いて掘削切り羽の向こう側の岩盤にグラウチング (すなわちプレ・グラウチング) を施すものである。「エスポ硬岩研究所」(HRL) で得られた経験により、<u>詳細な設計手順とグラウチング作業の適切な管理との組み合わせにより、埋め戻し材によって設定される流入制限を達成できることが示されている。</u></p> <p>処分孔の掘削に用いられる参照方法は「全断面ダウンホール掘削手法」である。機械掘削工法で得られた経験により、設計要領に適合する EDZ の達成が可能であることが示されている。またエスポ HRL での経験に基づき、<u>幾何的なばらつきが受け入れ可能な許容差の範囲に収まるものと考えられている。</u></p> <p>参照方法には点検調査のための方法も含まれている。処分孔の位置の選定に適用された方法及び規準は、キャニスタが耐えうる範囲を超える剪断移動が生じる事態の回避を定めた設計要領への適合に影響が及ぼすことになる。適用される規準では、<u>処分孔と交差する亀裂及び坑道の全周、さらには 5 本又はそれ以上の処分孔と交差する亀裂は重要なものとなる可能性があり、これによる影響を受ける全ての処分孔位置は除</u></p>	

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			
地下開口部の初期状態	<p>外されなければならない。許容外の流入量が生じる可能性のある処分孔は、この基準によるスクリーニングによって除外される見込みが高いと考えられている。</p> <p>地下開口部の初期状態とは、緩衝材、埋め戻し材、閉鎖剤又はプラグが最終的に設置された状態における地下開口部の諸特性のことをいう。この初期状態は、フォルスマルク・サイトへの適応がはかられた設計、参照方法に関して得られた経験に基づいて予想可能な諸特性、さらには地下開口部の初期状態が設計要領に適合しないリスクの評価などをまとめた文書として提示される。リスク評価では、サイトの諸条件、ジオハザード（geohazard）及び参照方法にかかわるハザードの検討が行われる。この評価は、現段階では定性的なものである。特定されたハザードの発生の見込みとモニタリング及び管理プログラムの信頼性の両方に関する検討が行われた。これらのリスクに関しては、「無視できる」及び又は「受け入れ可能」、あるいは「有意のもの」及び又は「受け入れられない」という分類が設定されている。「有意のもの」及び又は「受け入れられない」に該当するものは確認されなかった。しかし評価において、設計要領への適合の面で重要ないくつかの問題が、設計及び参照方法の将来の開発に伴って検討されるべきものとして特定されている。</p>			
2. 地下開口部に関する Design premises				
2.1.2 定義、目的及び参照設計				
<p>地下開口部は岩盤内に建設される空洞であり、最終処分場施設の浅層部分を収容するために必要である。地下開口部には、次に挙げるものが含まれる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•空洞の実際の幾何学的形状及び位置。</li> <li>•岩盤内での建設工事による影響を受ける当該開口部を取り囲む岩盤。及び</li> <li>•シーリング及び岩盤補強に使用する人工物質と、最終処分場施設内でのさまざまな活動に伴って処分場内に残される物質。これらの残留物質は、定置、埋め戻し又は閉鎖作業時に、開口部を取り囲む岩盤の中及び岩盤表面に残されるものである。</li> </ul> <p>地下開口部は、それ自体で KBS-3 処分場の安全性に寄与するものではなく、いかなるバリア機能も備えていない。しかし岩盤の熱、水、力学、化学特性との関連における定置エリア及び処分孔の位置は、バリアとしての岩盤の利用にとって、したがって処分場の安全性にとって重要な意味を持つ。さらに、坑道を取り囲む岩盤に生じる擾乱、すなわち「掘削損傷領域」(EDZ) と、岩盤内に残る人工物質及び残留物質は岩盤及び又は人工バリアのバリア機能に影響を及ぼす可能性があり、したがって処分場の安全評価時に明らかになっていなければならない。</p> <p>(略)</p>				
2.2 要求される機能と設計面での検討事項				
2.2.1 KBS-3 処分場に関する地下開口部の機能				
<p>KBS-3 処分場が現時点で承認されているスウェーデンの原子力発電計画において生じる全ての使用済核燃料を収容できる用にするために、地下開口部は次に示す条件を満たさなければならない</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•最終処分場施設の浅層部部分において、使用済核燃料が収納された全てのキャニスタを定置する上で必要であると判断された数の処分孔を提供すること。</li> </ul> <p>最終処分場が放射性物質を閉じ込めるか、分散を防止するか遅延させるために、岩盤は安定性が高く、有利に働く諸条件を人工バリアに対して提供し、それによって人工バリアの機能が使用済核燃料の放射能毒性を考慮に入れた上で必要と判断される期間にわたって持続するようにならなければならない。キャニスタが提供する閉じ込めに破損が生じた場合であっても、岩盤が放射性物質の分散を防ぐか、遅延させることによって最終処分場の安全性に寄与する。岩盤がそのバリア機能を持続させ、多重バリア原則を維持するために、地下開口部は、次に示すことが実現されるよう、処分場サイトの諸条件に適応したものとならなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•熱の面で有利に働く条件がもたらされ、放射性物質の閉じ込めを長期間にわたって持続させることができる。</li> <li>•機械的に安定した条件がもたらされ、放射性物質の閉じ込めを長期間にわたり持続させることができる。</li> <li>•有利に働く水理条件及び移行条件がもたらされ、放射性物質の閉じ込め、その分散の防止又は遅延を長期間にわたり持続させることができる。</li> </ul>				

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			
	<p>・<u>化学的に有利に働く条件がもたらされ、放射性物質の閉じ込め、その分散の防止又は遅延を長期間にわたり持続させることができる。</u></p> <p>KBS-3 処分場が多重バリア原則を維持し、別に、また全体としてバリア機能の維持に、寄与する複数のバリアを備えている用にするために、地下開口部は次に示す条件を満たさなければならない。</p> <p>・<u>地下開口部は、それによって岩盤又は人工バリアのバリア機能が著しく損なわれることのないよう設計されなければならない。</u></p> <p>KBS-3 処分場の設計において、処分場施設閉鎖後の処分場サイトが将来の世代の行為の自由、必要性及び希望を損なうことなく利用できるようにするために、意図的でない侵入に関する検討を行っておかななければならない。この点に関して、また最終処分場が地表環境から使用済燃料を隔離しなければならないという事実に関して、次のことが指摘される。</p> <p>・<u>処分場深度は、現在の生活習慣や技術的な前提条件に基づき、処分場サイトで起こりうる人間の活動を考慮に入れた上で選定されなければならない。</u></p> <p>最終処分場のバリアシステムが、その機能に影響を及ぼす可能性のある破損及び条件、事象並びにプロセスに耐えられるようにするため、地下開口部は次に示す条件を満たさなければならない。</p> <p>・<u>キャニスタ及び緩衝材の定置/設置の実行が、望まれるバリア機能が実現する形で可能でなければならない。</u></p> <p>・<u>埋め戻し材及び閉鎖の設置が、望ましいバリア機能が実現される形で実行可能でなければならない。</u></p> <p>後者はまた、閉鎖後の最終処分場バリアを受動的なものとする上で、また定置作業が実施された後の最終処分場施設の閉鎖及びシーリングを技術的に実行可能なものとする上で、必要である。</p> <p>最終処分場施設の原子力操業を安全なものとするために、地下開口部は次に示す条件を満たさなければならない。</p> <p>・<u>原子力操業に関わる機能停止及び偶発的な事態が防止されるよう設計されなければならない。</u></p> <p>地下開口部はまた、<u>最終処分場施設のその他の活動が安全な方法で実施できるよう設計されなければならない。</u></p>			
2.2.2 設計面での検討事項				
	<p>本セクションでは、地下開口部の設計や工法の開発に伴って考慮に入れなければならない設計面での検討事項と、地下開口部のモニタリング及び点検調査に関する方法に関する説明を行う。</p> <p>最終処分場のバリアシステム及びバリア機能は、その機能に影響を及ぼす可能性のある破損、条件、事象及びプロセスに耐えうるものでなければならない。したがって、次に挙げる点に関する検討が行われなければならない。</p> <p>・<u>掘削、シーリング及び岩盤の補強は、十分に試験されるか試験済の手法に基づくものでなければならない。</u></p> <p><u>地下開口部の建設及び点検調査は信頼に足るものでなければならず、次に挙げることが検討されなければならない。</u></p> <p>・<u>地下開口部は、これらの地下開口部が十分な信頼度をもって指定された特性を備えるような方法を用いて設計され、建設されなければならない。</u></p> <p>・<u>地下開口部の諸特性は、指定された規準に照らした点検調査を実行できるものでなければならない。</u></p> <p>また、騒音や振動などの環境面での影響、空気及び水への排出、地下水への影響、さらには物質及びエネルギーの消費の問題が、設計において検討されなければならない。地下開口部の建設や点検調査を実施する方法は、職業安全分野の規制も遵守しなければならない。一般的見て、これらの側面に関する諸要件を満たすためには、<u>安全性や放射線防護に関するさまざまな要件に適合する設計を実現するために使用可能な一定数の代替方法を用いることができる。</u></p>			
3 岩盤工学				
3.2 The Observational Method				

国名又は機関名	スウェーデン		
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18		
発行年	2010		
	この「観察法」(Observational Method)とは、 <u>適応管理法を用いる地下設計及び建設に関するリスク情報に基づくアプローチのことをいい、この中にはモニタリングや測定のための手法も含まれる</u> [SKB 2009b]。この「観察法」は、 <u>地質条件の複雑さと空間面でのばらつきが原因となって実際の建設に先立って詳細なサイト条件に関する知識を得ることのできない大規模プロジェクトのために開発された方法</u> である。その結果として「観察法」では、 <u>建設と並行してサイト情報の収集が進められること</u> になっている。		
3.2.1 記述	<p>「観察法」で正式に設定されている要件は、『建設及び地質工学的な設計に関する欧州規格』(『Eurocode 7/EN 1997-1:2004』のセクション 2.7)に見出すことができる。「観察法」の主な要素として、次のものが挙げられる。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><u>1.挙動に関する受け入れ可能な限度が設定されなければならない。</u></li> <li><u>2.起こりうる挙動の範囲が評価されなければならない、また実際の挙動が許容範囲内に収まる確率が受け入れ可能なものであることが示されなければならない。</u></li> <li><u>3.挙動のモニタリング計画が策定されなければならない、この計画により、実際の挙動が許容範囲内に収まるかどうか明らかにされる。</u></li> <li><u>4.モニタリングの応答時間や、結果の分析手順は、当該系に起こりうる変遷に対して十分に迅速なものでなければならない。</u></li> <li><u>5.モニタリングによって許容範囲外の挙動が起こっていることが明らかになった場合に対応措置計画が策定されなければならない。</u></li> </ol> <p>SKB社は、処分場のサイト諸条件への適合を、そしてその時点での現況レイアウト及び地下開口部の設計要領への適合を確保するために、この「観察法」を適用することとしている。「観察法」の適用に当たり、次に示す条件が成立している必要がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 起こりうる悪影響をもたらす条件に備えた行動計画の定義が可能となっていないなければならない。このことは、<u>挙動予測モデルを開発できなければこの方法は使用できないことを、すなわちその後の建設期間にたわり観察されるパラメータの計算を可能にするモデルを実現できなければならないことを意味する。</u></li> <li>(2) <u>挙動の予測を行うことのできるパラメータのモニタリングが可能でなければならない。</u>これは、我々は自分たちが計算できないものを測定することはできない(またその逆も当てはまる)ことから、些細な問題でない。このことは、このモニタリング計画が、当該問題の重要性を十分に理解した上できわめて慎重に選択されなければならないことを意味する。<u>挙動を制御する支配的な現象についての誤った先入観は、関連性を伴わない観察パラメータの選択につながりかねない。</u></li> </ol> <p>詳細な設計は「サイト記述モデル」(SDM)に基づくものとされ、存在する見込みが最も高い地盤条件だけでなく、<u>考えうる最良の条件から最悪の条件に至る範囲の起こりうる逸脱が考慮に入れられる。</u>「観察法」の適用は、ハザードの特定に、すなわち設計要領に対するレイアウト及び地下開口部の不適合が生じるリスクに寄与する可能性がある不確実性の特定に基づくものとなる。予備設計 D2 では、処分場の設計及びレイアウトに影響を及ぼす可能性のあるサイト地質学的条件に関連する不確実性が特定されており、これらはと質面でのハザードという意味で「ジオハザード」(geohazard)と呼ばれている。予備設計において、これらのジオハザードが及ぼす影響は、定性的なリスク評価方法を用いて評価されている。これと類似した手順は、<u>詳細設計の期間にも適用されることになる。</u></p> <p>この「観察法」は、指定されたマイルストーンにおいて、設計に関する仮定や遭遇する地盤条件の正式な比較の実施が必要とされる正式な設計手順の1つである。この比較では、サイト条件に対応するために採用されたレイアウトが設計要領に適合しているかどうかの判断が行われなければならない。設計からの逸脱が生じる場合、「プロジェクト安全」(SIP) チームがその点に関する正式なレビューを実施する必要がある。このことは、<u>レイアウトの設計要領への適合をモニタリングするために使用されるパラメータが明確な形で特定されなければならないことを、さらには受け入れ規準(しきい値レベル)が前もって定量化されなければならないことを意味する。</u>図 3-2 に、SKB社が用いている「観察法」の適用方法について示した。</p>		

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			

### 3.2.2 モニタリング

	<p>「<u>観察法</u>」の実行に必要なモニタリング活動は、<u>モニタリング対象となる処分場機能に関する諸要件及び特定のジオハザードに左右される。モニタリング・プログラムの細部の開発は逐次的に行われることになる。</u>たとえば文献[SKB 2009b]では、処分場へのアクセスに関して最も大きな結果的影響をもたらすジオハザードとして、透水可能亀裂が存在する頻度及びそれに関わる亀裂領域「FFM02」における流入量が特定されている。したがって、アクセス斜坑への地下水の流入とそれに関連する掘削部分の周辺域における地下水頭の低下を対象としたモニタリングを行う必要がある。これに加えて、「<u>サイト記述モデル</u>」(SDM)の検証を行うために、流入が起こっている亀裂の方向性と、これらの亀裂の空間的な分布に関する評価も実施する必要がある。遭遇する地下水条件は、正式な現況報告ガイドラインに従って文書化される。また現況条件は、建設開始に先立って行われた予測の結果と比較される。この比較は、建設に先立つ詳細設計の期間に開発された規準を使用して行わなければならない。処分場へのアクセスが特定のマイルストーン又はチェックポイントに到達した時点で行われる。この比較により、実際のサイトの諸条件が事前に予想されたばらつき範囲外となることが判明し、しかもこの種の逸脱が有意のものである場合、当該現況条件に関する報告がSIPに対して行われ、そのレビューを受けるほか、実行可能な軽減措置が講じられる。この点については図3-2を参照のこと。<u>現況条件と事前に予測された条件との比較に適用される規準は、細部に至るまで開発された上で、その全体が明記されていないなければならないことは明白である。この例において、処分場へのアクセスのために掘削された場所に関して予想される地盤条件が確認された時点で初めて、この種の規準の設定が可能となる。</u>したがって規準を確立するために十分な詳細さで地盤条件を確認する調査を前もって設定しておく必要がある。</p> <p>ここに示した例のジオハザード、すなわち地下水の流入は予測可能なものであり、直接測定することもできる。しかし、その他の状況におけるジオハザードには直接的な測定を行えないものもある。たとえば、原位置応力がジオハザードの1つと認められる場合、最大水平応力の間接的な測定を、水圧破碎、オーバーコアリング又は取れん法のいずれかを用いて実施することになる。この例において、<u>予測結果と遭遇する現況条件との比較に用いる規準において、間接測定の結果の解釈に使用する方法論も指定されていないなければならない。</u>測定やモニタリングに関する諸要件とは関わりなく、手順及びガイドラインの開発作業は、調査及びモニタリングの主な目的が、詳細設計にとっての基礎として用いられたサイト諸条件の評価を行うことだけでなく、逸脱が生じた場合に、これらの逸脱の当該条件からどの程度逸脱しているのかを定量化することにあることを理解した上で行うべきである。</p>
--	--

### 3.3 地下施設の段階的な開発

	<p>地下施設の開発は、いくつかの段階に分けて行われる。最初に処分場深度へのアクセス手段が開発され、その後試験操作のために1つの中央区画、複数の処分坑道及び処分孔が設置される。またその後の処分場では、平常操作の期間にわたり段階的な開発が進められる。それぞれ段階の期間に、定置作業及び岩盤建設工事が隔壁を隔てて並行して進められることになる。この点については『<u>処分場プロダクション報告書</u>』のセクション4.1.4を参照のこと。各段階において、所定の数のキャニスタを処分するために必要な数の処分坑道及び処分孔が建設される。それぞれ開発期間に、それ以前の段階で工事が終了している定置エリア部分で定置作業が実施されるだけでなく、次の段階で建設される処分坑道及び処分孔に関する詳細なサイト調査も行われる。したがって1つの定置エリアの開発段階では、次に示すように、<u>関連する3件の独立した活動が進められることになる。</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>詳細なサイト条件の調査と、これらの条件へのレイアウトの適応。</u></li> <li>2. <u>処分坑道及び処分孔の建設工事。</u></li> <li>3. <u>定置作業。この中には、キャニスタを定置する作業と、緩衝材、埋め戻し材、さらには処分坑道末端部にプラグを設置する作業が含まれる。</u></li> </ol> <p>こうした定置エリアの開発が段階的に進められることにより、<u>設計及び建設活動に関する系統的な監査の実施が可能となる。</u></p>
--	---

### 3.4 管理プログラム

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			
	<p><u>管理プログラムは、標準品質検査及び品質保証手順を用いて、建設工事及び建設方法の参照方法への適合を確保するものである。この管理プログラムの主な目標は、参照方法が、設計要領、品質及び効率面での条件を満たす方法によって実行されるようにすることにある。</u></p> <p><u>長期安全性の面で、この管理プログラムには次に挙げる事項が含まれるが、これらに限定されるわけではない。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><u>•引き渡された物質に関する、その量と質の面での点検調査。</u></li> <li><u>•建設工事、たとえばグラウチング及び掘削活動に関する検査及び点検調査。</u></li> <li><u>•建設工事の成果に関する点検調査。その例として、流入量、幾何学的形状及び掘削損傷域に関する点検調査が挙げられる。</u></li> </ul> <p><u>管理プログラム及びその品質文書の作成は、参照方法の性能が長期安全性の面で受け入れ可能であった場合に、評価にとっての基礎となるものである。品質文書は次に挙げるもので構成されるが、これに限定されるわけではない。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><u>•物質及び参照方法の性能に関する文書化。</u></li> <li><u>•設計要領に関する、また何らかの不適合又はそれに関連する是正措置に関する文書化。</u></li> <li><u>•配置、幾何学的形状及び物質を含む現況図。</u></li> </ul> <p><u>管理プログラムの全体的な要件及び目標は、建設工事の開始に先立って定義される。処分場の掘削が進められる期間にわたりさまざまな経験が逐次的に得られるが、それに基づいて、設計要領を満たすために、参照方法に修正が加えてゆくことができる。</u></p>			
4	フォルスマルクの参照設計と、その設計要領に対する適合			
4.2	定置エリア — 処分孔の配置			
4.2.2	力学的な条件			
	<p><u>『設計要領長期安全性』で取り扱われている処分孔の力学的な条件に関する設計要領として、次のものが挙げられる。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><u>•処分孔は、トレース長が3 km より長い変形帯との距離が100 m を下回る場所に設置することはできない。</u></li> <li><u>•処分孔の場所は、合理的に可能な限り、キャニスタが耐えることのできる水準を上回る剪断が生じることのない場所に選定されるべきである。この条件を満たすために、EFPC 規準が処分孔位置の選定に当たって適用されるべきである。</u></li> </ul> <p>これらの設計要領とあらかじめ定められた処分場区域の境界線により、最終処分場の総収容能力が決定付けられる。リファレンス設計がこれらの設計要領に適合していることの検証に使用する方法論は、すでに SKB 社によって設定されている [Munier 2006, 2007, 2010]。</p> <p>(略)</p> <p><u>将来起こりうる地震の影響を軽減するために、処分孔の位置は、それらが除外要因となる亀裂と交差しないように選定される。定置位置は、「拡張全周交差規準」(EFPC) [Munier 2010] を満たしていなければならない。理論的には、尊重距離の設定が必要とされる区域への距離に応じて、半径が約 60~200 m を上回る亀裂は回避されるべきであるが、亀裂のサイズの測定はきわめて難しい作業となる可能性があるため、よりロバスタな規準を適用する必要がある。この目的のために、次に示す方法で作成される EFPC 規準が用いられている。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><u>•坑道の全周と交差する亀裂、そして処分孔のキャニスタ定置位置と交差する亀裂は潜在的な重要なものと見なされ、影響を受ける全ての位置が排除されることになる。図 4-2-a を参照のこと。</u></li> <li><u>•これに加えて、坑道の全周と交差しない大型亀裂に関する対策を立てるために、5カ所又はそれ以上の数の処分孔と交差する亀裂が存在する場合、その亀裂は潜在的に重要なものと見なされ、影響を受ける全ての位置が除外される。図 4-2-b を参照のこと。</u></li> </ul> <p>(略)</p>			
5	参照方法			
5.1	一般的な基礎			

国名又は機関名	スウェーデン		
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18		
発行年	2010		
	<p>(略)</p> <p>使用される技術、操業に関するいくつかの側面、そして参照方法が操業環境などは全て、参照方法の性能に関して生じる可能性のある不確定性の発生源となる。セクション 3.4 で概略を示したように、設計要領への適合の問題は、「観察法」と品質管理及び品質保証手順の開発の一環として取り扱われる。参照方法の性能をモニタリングする方法及びアプローチに関する一般的な記述は、文献 [SKB 2010]【スウェーデン語】に示されている。</p> <p>「観察法」の枠組みにおいて、予測される参照方法の性能は、それらが処分場施設の地下開口部の建設作業に適用される以前に、充分確立されている必要がある。さらに、参照方法が実用可能なものと見なされるためには、性能予測に使用するパラメータ及び規準(しきい値水準)も確立されていなければならない。(略)</p>		
5.2 処分坑道の建設に用いられる参照方法			
5.2.1 掘削発破工法手法を使用した場合の掘削損傷領域			
モニタリング及び管理プログラム	<p>SKB 社は、EDZ の設計要領への適合を検証するためにいくつかの手順を開発する予定である。まず、管理プログラムに含まれる主として品質管理及び品質保証を行う手順が、掘削、爆薬の装填及び点火シーケンスが適切に実行されるよう管理し、点検調査するために適用される。岩盤の諸条件が EDZ に及ぼす影響は、「観察法」及び関連するモニタリング・プログラムの枠内で(すなわち、地質学的な特性調査の結果、地球物理学的な手法及び地質学的モデル化を組み合わせることにより)、評価される。</p> <p>完成状態の処分坑道は、局所的な爆発による損傷又はスポーリングが発生しているかどうかを確認するために目視検査される。岩盤壁における緩んだ岩石片を取り除くことにより、連結実効透水量係数に関する設計要領への適合が実現する可能性を向上させることができる。この緩和措置を採用するためには、どの程度までなら緩んだ岩石片の受け入れが可能なかを定義する規準を設定することが求められる。参照設計には、スポーリングのリスクを、処分坑道を主要水平応力の方向とほぼ平行方向に配置することにより低減するための緩和措置が含まれている。</p>		
5.2.2 幾何学的な許容差			
管理プログラム	<p>処分坑道の幾何学的形状の調査を行う適切な方法及び計器がすでに存在する(たとえばレーザースキャニング法や測地的な方法など)。SKB 社は、処分坑道の幾何学的な許容差が設計要領に適合するものであることを点検調査するための手順を開発する予定である。EDZ のために開発される予定の掘削、爆薬装填及び点火に関する管理プログラムを適用することができる。発破後の幾何学的許容差の調査は、上記の測定方法の 1 つ又は組み合わせによって行われる。これに加えて SKB 社は、処分坑道の関連性の高い幾何学的特性の評価を行うことのできるモデル化ツールをカスタマイズして作成することになっている。</p> <p>指定された最大横断面積及び最大容積に対する不適合に関しては、緩和措置が実施されるものと予想される。必要な場合、何らかの不連続又は落石によって必要となった岩盤表面の平滑化を行うために、吹付けコンクリートが局所的に適用される。過小掘削の解消は、機械装置の使用によって行われる。最終的な対応措置は、軽減することのできない幾何学的許容差への不適合が生じている場合に、当該処分坑道を不適格と見なして除外することである。不適格と見なされた処分坑道は主要坑道と同様の方法によって埋め戻される。この点については『閉鎖プロダクション報告書』を参照のこと。</p>		
5.2.4 グラウチング手法及びグラウチングの結果			
モニタリング及び管理プログラム	<p>SKB 社は、処分坑道への流入量が設計要領に適合したものとなることを確認するために、いくつかの手順を開発する予定である。詳細設計への入力情報は、「観察法」及び関連するモニタリング・プログラム枠組みにおいて、すなわち、異なるスケールで実施される水理地質学的な特性調査と地質学的モデル化の結果を組み合わせることによって入手される。「坑道」スケールを参照するモデルには、計画されている処分坑道の位置沿いに掘削される少なくとも 1本の調査孔における水理地質学的な特性調査が含まれる。1つの管理プログラムが、グラウチング作業の性能を検証するために適用される。</p> <p>掘削完了後には、流入量の調査を比較的容易に行えるようになる。通常は流入量を</p>		

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			
	<p>測定するために、<u>量水堰が坑道床にわたって建設される。モニタリング結果は、静的な条件に関して高い信頼度を備えており、坑道の全長にわたる、あるいは堰と堰の間の流入量を明らかにするために用いることができる。モニタリング・プログラムは、定置作業が開始されるまで設定されることが予想されている。</u></p> <p><u>流入量が設計要領に適合しない場合に講じられる対応措置は、ポスト・グラウチングである。このポスト・グラウチングはセメント・グラウト又は溶液グラウチングを使用して実施される。緩和策を実施しても不十分な成果しか得られない場合、最終的な対応措置は処分坑道を不適格と見なして除外することであろう。</u></p>			
5.2.6	処分坑道の準備			
	<p>処分坑道の準備作業は緩衝材が設置される前に、またキャニスタの定置が坑道で開始される前に行われる。処分坑道の準備は次に挙げる活動によって構成される。この点については『<u>埋め戻し材プロダクション報告書</u>』のセクション 5.4.3 を参照のこと。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>坑道の岩盤壁の点検調査が実施され、必要に応じてスケーリング及びロックボルト打ちが行われる。</u></li> <li>• <u>坑道の公称断面積内に到達するルーフボルトは、座金の後ろで切断される。</u></li> <li>• <u>坑道が浄化され、それまでに実施された活動で使用された設備類が排除される。</u></li> <li>• <u>坑道底の砂利及びその他の物質が取り除かれ、点検調査がわれる。</u></li> <li>• <u>坑道への流入量の点検調査が行われる。</u></li> <li>• <u>岩盤壁のスキャニングが、ベベルの坑道容積、坑道輪郭及び幾何学的形状を明らかにするために実施される。</u></li> <li>• <u>仮設の換気装置、電源及び照明装置が坑道に設置される。</u></li> </ul>			
5.3	処分孔の建設に用いられる参照方法			
	<p>処分孔の掘削に使用される参照方法は、全断面ダウンホール掘削手法である。KBS-3 処分場における処分孔の役割に関連する処分孔設計要領は表 2-1 に、また緩衝材によって設定される設計要領は表 2-2 に見いだすことができる。<u>緩衝材の設置に先立ち、処分孔と交差している亀裂、流入量、連結透水量係数及び幾何学的許容差が設計要領に対して適合しているかどうかの検証が行われなければならない。また孔が緩衝材の設置のために準備された処分孔についても同様である。この点については『<u>緩衝材プロダクション報告書</u>』のセクション 5.4.3 を参照のこと。</u></p>			
5.3.1	機械掘削手法を採用した場合の掘削損傷領域			
管理プログラム	<p><u>現時点で、連結実効透水量係数を高い信頼度をもって定量化できる方法は存在しない。いくつかの地球物理学的手法が EDZ の特性調査を行うために使用されてきたが、そのいずれも、それ単独では EDZ の強度及び範囲の評価を行う上で十分なものではない。現在のところ、処分孔が受け入れ可能な流入量に関する条件に適合していれば、当該処分孔は連結実効透水量係数に関する設計要領にも適合するものと考えられている。緩衝材が水にさらされた後時点から飽和状態が成立するまでの期間にわたり処分孔に入ることが許容される水の最大量を規定する『<u>設計要領長期安全性</u>』に示された設計要領に基づいて、流入量規準が設定されることになっている。</u></p> <p><u>完成状態の処分孔の目視検査は、スポーリングの発生を排除するために必要である。局所的なスポーリングが起こっている場合でも、岩盤壁上の緩んだ岩石片を取り除くことにより、連結実効透水量係数に関する設計要領への適合が実現する可能性を向上させることができる。この緩和措置のために、<u>受け入れ可能なスポーリング強度を定義する規準が設定されることが求められる。最終的な対応措置は、当該処分孔を除外し、埋め戻すことである。</u></u></p>			
5.3.2	幾何学的許容差			
管理プログラム	<p><u>処分孔の寸法の調査にとって適切な方法及び計器が存在している（たとえばレーザー・スキャニング法や測地的な方法など）。SKB 社は、処分孔の幾何学的許容差が設計要領に適合していることの検証を行う手順を開発する予定である。掘削装置の位置決め及び配置調整に関する、さらにはボーリング作業に関するさまざまな条件の点検調査を行う際には、主として品質管理及び品質保証手順が適用されることになり、その一例としてカッター条件のチェックが挙げられる。掘削の結果として得られる幾何学的形状は、上述した測定方法のいずれか又はその組み合わせを用いて点検調査される。完成状態の処分孔の目視検査も、スポーリングが発生する可能性を排除するため</u></p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			
	<p>に必要である。これに加えて SKB 社は、処分孔にとって関連性の高い幾何的特性の評価の実施を可能にする 3次元モデリング・ツールをカスタマイズして作成する予定である。幾何学的許容差に適合しないいかなる処分孔も除外され、埋め戻されなければならない。</p>			
5.3.3 受け入れ可能な流入量				
モニタリング及び管理プログラム	<p>SKB 社は、処分孔への流入量が設計要領に適合していることを検証する手順を開発する予定である。処分孔の設置が予定される位置は詳細設計で決定されることになる。詳細設計の調整又は検証に必要な入力情報は、「観察法」及び関連するモニタリング・プログラムの枠組みにおいて、すなわち、異なるスケールにおける水理地質学的な特性調査と地質学的なモデル化で得られる結果を組み合わせることによって入手される。処分孔-スケールを参照するモデルは、処分坑道の地質マッピングや処分孔の設置が予定される位置に掘削される調査孔での水理地質学的特性調査によって構成される。</p> <p>パイロット孔及び処分孔に関する流入量規準は、『設計要領長期安全性』に示されている設計要領に基づいて設定される。設計要領には、緩衝材が水にさらされた時点から緩衝材が飽和状態となるまでの期間にわたり流入が許容される水の最大量が明記される。掘削後の処分孔への流入量のモニタリングは緩衝材の設置が完了するまで実施されるものと考えられている。設計要領に適合しないいづれの処分孔も除外され、埋め戻されることになる。</p>			
5.3.4 除外要因となる亀裂に基づいて処分孔を受け入れるための方法論				
	<p>(略)</p> <p>1 件報告書 [Cosgrove et al. 2006] において、(略) 亀裂帯及び変形帯の実際の寸法を明らかにするのは不可能だと思われるという結論が示されている。しかし、おそらく亀裂帯及び変形帯のサイズを反映すると考えられるパラメータは特定されている。これらのパラメータは次に挙げるものである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 開口径。</li> <li>• 剪断移動幅。</li> <li>• 透水係数。</li> <li>• 変形帯の厚さ。</li> </ul> <p>設計要領では、処分孔位置の選定に当たり EFPC 規準が適用されることが規定されている。処分孔と交差する除外要因となる亀裂帯又は変形帯の存在を予測し、検証するために使用可能なパラメータ及び関連規準が、今後完成することになる。大型亀裂及び変形帯を検出に利用可能な最も重要な手法の 1 つとして、複数のボアホール又は坑道における亀裂帯又は変形帯を認識するやり方が挙げられる。亀裂充填物 (鉱物又は水) 及び壁を構成する岩石の変質作用はいずれも亀裂が高い透水係数を備える結果として生じるものであり、亀裂サイズの良好な指標になると考えられている。さらに、充填物はしばしば亀裂に対して明確な地球物理学的シグネチャーをもたらすものであり、これらは地球物理学的な方法を用いてその範囲を明らかにすることができる。したがってパラメータ及び規準の最終的な選択は、この種の亀裂又は亀裂帯の特定に使用される方法と結び付いている。</p>			
モニタリング及び管理プログラム	<p>SKB 社は、除外要因となる亀裂帯及び変形帯が検出される確率を最大限とするための手順を開発する予定である。この中には主として、坑道掘削に先行する調査用のブロー孔の設計が含まれる。坑道地質マッピング及び岩心検層により、坑道と交差する構造の詳細な特性調査がもたらされる。処分孔の掘削より前にパイロット孔が掘削される。岩心検層及びボアホール検層により、潜在的な除外要因となる構造の位置及び方向性に関する情報がもたらされる。外挿を行った場合に隣接する処分孔又は坑道と交差すると考えられるいかなる構造も、当該構造が十分な長さを備えるものである場合、調査対象とされるべきである。処分孔と坑道との間及び/又はボアホールとの間の亀裂帯及び変形帯のマッチングを行うために用いる方法の信頼度に関する評価は、今後実施される予定である。これらの方法にはクロスホール相関 (運動学的な指標を利用するもの) や地球物理学的な手法が含まれ、後者の例としては、孔の周囲の岩盤内に向かう亀裂の範囲に関する良好な検出結果をもたらす「ボアホールレーダー」が挙げられる。したがって、EFPC 規準の適用には、地質学的な特性調査、地球物理学</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			
	的な手法及び地質学的なモデル化を通じて得られた結果が必要となる。EFPC 規準に適合しない全ての処分孔は除外され、埋め戻されなければならない。			
5.3.6	処分孔の準備			
	<p>緩衝材の設置に先立ち、処分孔の準備が行われる。この処分孔準備作業には次に挙げるものが含まれる。この点については、『<u>緩衝材プロダクション・ライン</u>』のセクション 5.4.3 を参照のこと。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 水の排除及び処分孔の浄化。</li> <li>• <u>処分孔への流入量の点検調査</u>（セクション 5.3.3 を参照のこと）。</li> <li>• <u>処分孔と交差する潜在的な除外要因となる亀裂の点検調査</u>（セクション 5.3.4 を参照のこと）。</li> <li>• <u>底板の設置及び点検調査</u>。</li> <li>• <u>処分孔の寸法を明らかにするための点検調査。対象となるのは、深さの関数としての半径及び断面積、底部の傾斜、総容積及び中心線の位置である</u>（セクション 5.3.2 を参照のこと）。</li> </ul> <p>処分孔の掘削に参照方法を使用した場合、その底部は平坦なものとはならない。処分孔の底部を十分平坦なものとするために、底板が設置されることになっている。レファレンス底板は、<u>低 pH セメント・コンクリート・スラブを下と上から銅板によって挟むものである</u>。（略）</p> <p><u>レファレンス底板はすでに利用可能になっている知識と従来型の手法に基づくものであり、SKB 社は仕様に従ってそれを製造し、設置することにかかる困難も見いだしていない。しかし SKB 社は、処分孔の底部を十分に平坦にするために用いる方法に対する代替案の検討も行っている。</u></p>			
6.	地下開口部の初期状態			
6.4	初期状態に関連する不確実性及びリスク			
6.4.2	ジオハザード、設計の方法論及び参照方法			
	<p>サイトの地質学的条件、ジオハザード、さらにはこれらのジオハザードが設計に及ぼす結果的影響に伴う不確実性については、文献 [SKB 2009b] にまとめられている。また表 6-1 に、レファレンス設計に関して評価されたジオハザードに加えて、これらのジオハザードに関するモニタリングが実施される処分場の一般的な位置についてまとめた。</p> <p>初期状態において設計要領に対する不適が生じるリスクを評価する最初のステップは、特定されたジオハザードと参照方法にかかわるハザードの発生の見込みに関する評価を行うことである</p> <p>（略）</p> <p>参照方法の性能に関わるハザードの発生の見込みは、上述したのと同じ 4 件の見込みを示す記述子、すなわち「きわめて見込みが低い」、「見込みが低い」、「見込まれる」及び「著しく見込みが高い」を用いて評価された。これらの記述子を使用する目的は、リスクが定置エリアに位置する地下開口部の初期状態に関して持ちうる意味合いの評価を行うことにある。「きわめて見込みが低い」という記述子は、参照方法が設計要領との関連において信頼度が高いことを示す文書化された証拠が存在することを、すなわち操業において証明されているか機能面で実証されていることを意味し、「著しく見込みが高い」という記述子は、参照方法に関わるハザードが発生すると予想されることを、すなわち当該性能が受け入れ可能ではないことを意味する。</p> <p>ジオハザード及び参照方法に関わるハザードを、さらにはそれらの発生の見込みを特定した後でも、初期状態における地下開口部が設計要領に関して不適合となるリスクを評価する作業が残っている。初期状態は、<u>モニタリング・プログラムを用いて、また建設工事の品質管理及び品質保証を含む管理プログラムを実施することにより、評価しなければならない。この点については第 3 章を参照のこと。この種のプログラムで得られる結果の信頼度は、その背景となる技術に、すなわち調査、特性調査、モデル化及びモニタリングの手段及び方法に左右される。信頼度は、明示された性能に基づいてカテゴリ分類される。この点については第 5 章を参照のこと。表 6-2 に、定性的な信頼性クラスの定義を示した。</u></p> <p>したがって、<u>設計要領に対する不適合に係わる初期状態のリスク評価は、2 つの基</u></p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			
	<p>本的な構成要素の組み合わせによって形成される。すなわち、(1) 地質学的サイト条件 (ジオハザード) 又は参照方法に関連するハザードの発生の見込みと、(2) モニタリング及び管理プログラムで得られ、初期状態の評価に使用しなければならない結果に対する信頼性である。1 度に検討されるのは 1 つの構成要素だけであり、その他の構成要素は所期の機能を備えているものと仮定される。</p>			
6.4.3	リスク・マトリクス			
	<p>見込み-信頼性分析の結果は、リスク・マトリクスに示される。図 6-1 を参照のこと。このリスク・マトリクスにより、ハザードのランク付けを行う手段がもたらされるだけでなく、分析されたそれぞれの設計要領に関する結果が視覚化され、また緩和措置の決定にとっての根拠の 1 つとして望ましくない事象が特定される。その例として、参照方法のさらなる開発に当たって解決する必要のある技術的問題を指摘することが挙げられる。図 6-1 に示したリスク・マトリクスに関して特定されているリスク・カテゴリは、次に示す 2 件のみである。</p> <p>1. リスク・クラス N/A: この種のリスクは無視できる程度及び/又は受け入れ可能なものと見なされる。及び</p> <p>2. リスク・クラス S/U: この種のリスクは有意である及び/又は容認できないものと見なされる。</p> <p><u>リスク・カテゴリ「N/A」は、初期状態が不適合と判断される地下開口部を受け入れるリスクが無視できる程度であるか、いくつかの条件に基づいて受け入れ可能であるかを示すものであり、この条件としては、<u>現行レファレンス設計の範囲内で緩和策が実施可能であること、参照方法のために計画されている開発作業において対処可能であること、あるいはモニタリング及び管理プログラムのために計画されている技術開発において対処可能であることが挙げられる。</u></u></p> <p><u>リスク・カテゴリ「S/U」は、設計要領に適合しない初期状態のリスクが差し迫ったものであることを反映している。このことは、<u>レファレンス設計において大きな変更の実施が余儀なくされる可能性があることを、あるいは当該リスクが参照方法で計画されている開発作業において対処できないことを、あるいはモニタリング及び管理プログラムに計画されている開発作業において対処できないことを示している。</u>このリスク・カテゴリ「S/U」に関しては個別評価を実施する必要があるが、これにより次のいずれかが示される。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>ジオハザードに関する不確実性を解消するために、追加的なサイト情報の収集ができるだけ速やかに行われるべきである。</u></li> <li>• <u>参照方法の性能は不確定なものであり、現在も継続されている開発作業において、参照方法が根拠とする技術プラットフォームの改善を検討する必要がある。</u></li> <li>• <u>モニタリング及び管理プログラムの背景となる技術の性能が信頼度の高いものではなく、現在も進められている開発作業を加速させるか、その見直しを行う必要がある。</u></li> </ul>			
6.4.4	処分場深度及び定置エリアとの関わりにおける初期状態に関する定性的なリスク評価			
	<p>表 2-1 に示した処分場深度及び定置エリアとの関連性の高い設計要領について、参照を容易にするために、以下に再録する。レファレンス設計及び初期状態についてはセクション 6.2.1 にまとめた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>緩衝材及び埋め戻し材の凍結、地表面の侵食及び意図的でない人間侵入の可能性を考慮に入れた上で十分なものとして設定されるべきである。『SR-Can』の評価で行われた分析により、これが <u>KBS-3 処分場に関して指定されている最小限の深度、すなわち少なくとも 400 m を採用することによって達成されることが裏付けられている。</u></u></li> <li>• <u>還元条件: 塩分濃度 - 全溶含有濃度 (TDS) の制限。イオン強度 - <math>[M^{2+}] &gt; 1 \text{ mM}</math>。K 水準、HS<sup>-</sup> Fe<sup>2+</sup>、制限される。pH - <math>\text{pH} &lt; 11</math>。塩化物腐食の回避 - <math>\text{pH} &gt; 4</math> 又は <math>[Cl^-] &lt; 3 \text{ M}</math>。</u></li> <li>• <u>処分場岩体及び深度の選定は、処分孔に関する特定の要求事項が履行される上で十分な大きさを伴う岩体を見いだすことが可能なものとして行う必要がある。</u></li> </ul> <p>上記の箇条書きの最後の項目に示した内容は、この点で処分孔に関する特定の設計</p>			

国名又は機関名	スウェーデン		
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18		
発行年	2010		
	<p>要領の検討が行われなければならないことを意味している。処分孔に関しては、処分場レイアウト及び定置エリアの利用に著しい影響を及ぼす4件の主要な設計面での制約が存在している：(1) 尊重距離の設定が必要とされる変形帯、(2) さほど重要ではない変形帯、除外要因となる構造、あるいは透水可能亀裂の頻度、(3) 岩体の熱特性と、熱に関連する寸法決定に使用されるアプローチ、(4) 主要水平応力の方向及び大きさ。</p> <p>処分場深度及び定置エリアに関して初期状態に生じる不確実性は、地質学的なサイト条件と、したがってジオハザードの潜在的な影響と結びつくものである。表 6-3 に、ジオハザードの発生の見込み、モニタリング・プログラムに関する信頼性クラス、そしてそれらの現時点での信頼度に関する簡略な注釈を示した。見込み・信頼性分析の結果は、図 6-2 に示したリスク・マトリクスに示されている。特定されたジオハザードのいずれも、その参照方法における発生や信頼性を考慮に入れた場合、処分場深度及び初期状態の定置エリアが設計要領に対して不適合となることを示唆するリスク・レベル水準を伴うものではない。</p> <p>ジオハザード R2、R3 及び R4 (岩石力学/原位置応力 - 最大水平応力の方向性及び大きさ) に関しては、また T1 (熱 - 熱岩盤領域の分布) に関しては、それらを特定し、特性調査を行うことを目的としたモニタリング・プログラムによって得られる結果に関して受け入れ可能な水準の信頼が存在しているものと判断されている。このことは、現場で使用される方法の現状が概念的なものとならざることを、また追加的な開発が、さらにはそれらの信頼度の実証が必要とされていることを示している。追加的な開発の目標は、リファレンス設計レイアウト (すなわち「最も見込みがある」応力モデル) におけるさまざまな仮定の検証、また最大水平応力の方向性が±15度以上変動しないことの検証、さらには熱岩盤領域の幾何学的な分布が設計値から逸脱していないことの検証を行うことにある。</p>		
6.4.5	処分坑道に関する初期状態の定性的なリスク評価		
	<p>セクション 2.3 に示した関連性の高い設計要領の参照を容易にするために、以下に再録する。参照設計及び予想される初期状態については、セクション 6.2.2 及び 6.3.2 にまとめた。最終処分場のさまざまな機能にかかわる設計要領は、以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>低い pH 物質のみ (pH &lt; 11)。</u></li> <li>• <u>吹付けコンクリートは連続して使用されない。</u></li> <li>• <u>坑道周辺部より外側でのボアホールの連続的なグラウチングは回避されるべきである。</u></li> <li>• <u>掘削によって損傷が誘発される事態は限定されるべきであり、この種の損傷が起きた結果として、処分坑道の有意の部分 (少なくとも 20 m ~ 30 m) 沿いに、坑道床にわたり平均された値として <math>10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}</math> を超える連結実効透水量係数が成立するべきではない。この規準は予備的な性質のものであり、その妥当性が『SR-Site』において検証される必要がある。</u></li> </ul> <p>埋め戻し材によって設定される設計要領は、以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>これまでの経験に基づき、処分坑道への最大分散流入量は、100 m 当たりで 1.7 l/min 以下に設定され (300m の長さの処分坑道で 5 l/min という総量に基づく)、またポイントごとの最大流入量は 0.1 l/min 以下とされる。</u></li> <li>• <u>それぞれの発破ラウンドにおいて、岩盤の壁の輪郭と処分坑道の公称形状の間に存在する総容積は、公称坑道容積の 30% 未満でなければならない。図 2-2 を参照のこと。</u></li> <li>• <u>最大限の断面積が公称断面積を上回る比率は、35% 未満でなければならない。図 2-2 を参照のこと。</u></li> <li>• <u>信頼性の高い埋め戻し材設置を達成するために、坑道床は埋め戻し材設置装置がその上で走行できるだけの平坦さを備えていなければならない。</u></li> <li>• <u>過小掘削は受け入れられない。</u></li> <li>• <u>建設材料で覆うことができる面積は限定される。この面積は、坑道幅の全体にわたるものであってはならない。</u></li> </ul> <p>処分坑道の初期状態に関して生じる不確実性は、処分場施設の建設で使用される参照方法の性能に関わるハザードの潜在的影響と結びつくものである。表 6-4 に、この</p>		

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			
	<p>ハザードの発生の見込み、モニタリング及び管理プログラムに関する信頼性クラス、さらには現時点での信頼度に関する簡略な検討についてまとめた。見込み・信頼性分析の結果は、図 6-3 に示したリスク・マトリクスに図示されている。参照方法との関連において特定されたハザードのいずれも、初期状態が設計要領に適合しないことを示すリスク・レベルを伴うものではない。</p> <p><u>ハザード RM5 (特性調査又は EDZ に関する受け入れ規準にとって必要なもの) の管理を目的とするモニタリング及び管理プログラムで得られる結果には、受け入れ可能な信頼性が存在することが明らかになった。このことは、現場で使用する方法の現状が概念的なものであり、追加的な開発が必要とされることを、また信頼度の実証が必要とされることを意味している。この点についてはセクション 5.2.1 を参照のこと。</u></p>			
6.4.6	処分孔に関する初期状態の定性的なリスク評価			
	<p>本セクションでは、参照を容易にするために、セクション 2.3 で扱った関連性の高い設計要領を再録する。処分孔のレファレンス設計及び予想される初期状態については、セクション 6.2.3 及び 6.3.1 にまとめた。最終処分場の諸機能に関わる設計要領は、次に示すとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>緩衝材の幾何学的な形状 (たとえば空隙)、水の含有量、そして処分孔間の距離は、緩衝材の温度が &lt;math&gt;100^{\circ}\text{C}&lt;/math&gt; となるように設定されるべきである。</u></li> <li>● <u>処分孔の設置場所については、合理的に可能な限り、処分孔がキャニスタの耐えうる水準を超える大きさの剪断を受ける可能性がないよう選定されるべきである。これを達成するために、処分孔位置の選定に当たり EFPC 規準が適用されるべきである。</u></li> </ul> <p>(略)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>緩衝材が流入する水と接触する時点から飽和状態が成立する時点までの期間に処分孔に流れ込む水の総量は、貫孔作用/浸食が原因となって当初設置された緩衝材のうちの 100 kg を超える量の喪失が起こることのないよう、制限されるべきである。このことは、現在の知識によると、受け入れ可能な処分孔に流れ込む水の総量が <math>150\text{ m}^3</math> 未満に維持されなければならないことを意味している。</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>キャニスタの定置に先立ち、処分孔壁の全長沿いに積分され、処分孔の全周で平均された連結実効透水量係数は <math>10^{-10}\text{ m}^2/\text{s}</math> 未満でなければならない。</u></li> </ul> </li> <li>● <u>緩衝材によって設定される設計要領は以下のとおりである。</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>処分孔の直径及び高さは、緩衝材及びキャニスタを収容する上で十分な空間を実現するの でなければならない。その結果として設定される公称径は 1.75 m であり、最小深度は 6.68 m である。</u></li> <li>● <u>底部緩衝材ブロックが設置される断面部分の傾斜は、1/1,750 未満でなければならない。</u></li> <li>● <u>緩衝材が定置される処分孔部分における直径は少なくとも 1.745 m でなければならない。公称直径は 1.75 m となっている。</u></li> <li>● <u>キャニスタの上の緩衝材ブロックから処分孔底部まで、緩衝材のリング状ブロックの中央に位置する鉛直線から測定した半径は、少なくとも 840 mm でなければならない。</u></li> <li>● <u>キャニスタの上の緩衝材ブロックから処分孔底部まで、緩衝材のリング状ブロックの中央に位置する鉛直線から測定した半径は、925 mm を超過してはならない。</u></li> <li>● <u>緩衝材が定置される処分孔部分において、それぞれ水平断面図の最大面積は公称断面積 7.0% を超えて上回ってはならない。</u></li> </ul> </li> </ul> <p>処分孔の初期状態に関する不確実性は、ジオハザードと関連するだけでなく、参照方法の性能に関わるハザードにも関連する。表 6-5 に、ハザードの発生の見込み、調査及びモニタリング及び管理プログラムに関する信頼性クラスについてまとめた上で、それらの信頼度に関する簡略な検討内容を示した。見込み・信頼性分析の結果は、図 6-4 に示したリスク・マトリクスに図示されている。参照方法における発生及び信頼性を考慮に入れた場合、特定されたジオハザードのいずれも、処分場深度及び初期状態の定置エリアが設計要領に対して不適合となることを示唆するリスク水準を伴うものではない。</p> <p>「剪断移動」(RM7)、「連結実効透水量係数」(RM5、RM6) 及び「幾何学的許容</p>			

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			
	差] (RM8) に関連するハザードの管理を意図した調査及びモニタリング及び管理プログラムで得られた結果については、受け入れ可能な信頼性が存在することが明らかになっている。このことは、現場で使用する方法の現時点で概念的なものとなされることを、またさらなる開発の実施がそれらの信頼度の実証とともに必要とされることを示している。			

**(本調査検討に関連すると判断された) 本文中に含まれる図表**

**Table 2-1. The functions, the related properties and parameters to be designed and the design premises for the underground openings.**

**A. Repository depth and deposition areas**

Function	Property to be designed	Design premises long-term safety
<i>The underground openings shall accommodate the sub-surface part of the final repository facility with the number of approved deposition holes that are required to deposit all canisters with spent nuclear fuel.</i>	Deposition areas – utilised rock domains, distances between deposition holes and loss of deposition hole positions. Repository depth	<i>The repository volumes and depth need to be selected where it is possible to find large volumes of rock fulfilling the specific requirements on deposition holes.</i>  The requirements on deposition holes include acceptable thermal, mechanical, hydrological and transport conditions. <i>The repository shall have sufficient capacity to store 6,000 canisters.<sup>1</sup></i>
<i>The underground openings shall be adapted to the rock so that thermally favourable conditions are provided and the containment of radioactive substances can be sustained over a long period of time.</i>	Repository depth	<i>With respect to potential freezing of buffer and backfill, surface erosion and inadvertent human intrusion, the depth should be considerable. Analyses in the SR-Can assessments corroborate that this is achieved by prescribing the minimum depth to be as specified for a KBS-3 repository, i.e. at least 400 m.</i>
<i>The repository depth shall be selected with respect to the human activities which, based on present living habits and technical prerequisites, may occur at the repository site.</i>		
<i>The underground openings shall be adapted to the rock so that chemically favourable conditions are provided and containment, prevention or retardation of dispersion of radioactive substances can be sustained over a long period of time.</i>	Deposition areas – utilised rock domains, hydrogeochemical conditions. Repository depth	<i>Reducing conditions; Salinity; TDS limited Ionic strength; <math>[M^{2+}] &gt; 1 \text{ mM}</math> Concentrations of K, <math>HS^-</math>, Fe; limited pH; <math>pH &lt; 11</math> Avoid chloride corrosion; <math>pH &gt; 4</math> or <math>[Cl^-] &lt; 3 \text{ M}</math>.</i>

<sup>1</sup> This is not a design premise from the long-term safety. It is an estimation based on the number of spent fuel assemblies to be encapsulated and deposited.

**B. Deposition holes**

Function	Property to be designed	Design premises long-term safety
<i>The underground openings shall be adapted to the rock so that thermally favourable conditions are provided and the containment of radioactive substances can be sustained over a long period of time.</i>	Deposition holes – distances between deposition holes.	<i>The buffer geometry (e.g. void spaces), water content and distances between deposition holes should be selected such that the temperature in the buffer is <math>&lt; 100^\circ\text{C}</math>.</i>

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			

Function	Property to be designed	Design premises long-term safety
<p><i>The underground openings shall be adapted to the rock so that mechanically stable conditions are provided and the containment of radioactive substances can be sustained over a long period of time.</i></p>	<p>Deposition holes – respect distance to deformation zone.</p>	<p>Deposition holes are not allowed to be placed closer than 100 m to deformation zones with a trace length longer than 3 km.</p>
	<p>Deposition holes – intersecting fractures (mechanical properties).</p>	<p>Deposition holes should, as far as reasonably possible, be selected such that they do not have potential for shear larger than the canister can withstand. To achieve this, the EFPC<sup>1</sup> criterion should be applied in selecting deposition hole positions.</p>
<p><i>The underground openings shall be adapted to the rock so that favourable hydrologic and transport conditions are provided and the containment, prevention or retardation of dispersion of radioactive substances can be sustained over a long period of time.</i></p>	<p>Deposition holes – inflow</p>	<p>The total volume of water flowing into a deposition hole, for the time between when the buffer is exposed to inflowing water and saturation, should be limited to ensure that no more than 100 kg of the initially deposited buffer material is lost due to piping/erosion. This implies, according to present knowledge, that this total volume of water flowing into an accepted deposition hole must be less than 150 m<sup>3</sup>.</p>
	<p>Deposition holes – intersecting fractures (hydrogeological properties).</p>	<p>Fractures intersecting the deposition holes should have a sufficiently low connected transmissivity (specific value cannot be given at this point). This criterion is assumed to be fulfilled if the conditions regarding inflow to deposition holes are fulfilled.</p>
<p><i>The underground openings shall be designed so that they do not significantly impair the barrier functions of the rock or the engineered barriers.</i></p>	<p>Deposition holes – transmissivity of EDZ.</p>	<p>Before canister emplacement, the connected effective transmissivity integrated along the full length of the deposition hole wall and as averaged around the hole, must be less than 10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>/s.</p>

<sup>1</sup> EFPC stands for *Extended Full Perimeter Intersection Criterion*, see Section 4.2.2 and Figure 4-2.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			

**C. Deposition tunnels, other underground openings and engineered and residual materials**

Function	Property to be designed	Design premises long-term safety
<i>The underground openings shall be designed so that they do not significantly impair the barrier functions of the rock or the engineered barriers.</i>	Deposition tunnels – transmissivity of EDZ.	<i>Excavation-induced damage should be limited and not result in a connected effective transmissivity, along a significant part (i.e. at least 20–30 m) of the disposal tunnel and averaged across the tunnel floor, higher than <math>10^{-8}</math> m<sup>2</sup>/s. Due to the preliminary nature of this criterion, its adequacy needs to be verified in SR-Site.</i>
	Shafts and ramp, rock caverns and tunnels other than deposition tunnels – transmissivity of EDZ.	<i>Below the location of the top sealing, the integrated effective connected hydraulic conductivity of the backfill in tunnels, ramp and shafts and the EDZ surrounding them must be less than <math>10^{-8}</math> m/s. This value need not be upheld in sections where e.g. the tunnel or ramp passes highly transmissive zones. There is no restriction on the hydraulic conductivity in the central area.</i>
	Grouting and rock reinforcement in deposition tunnels – extent/design, leaching product of grouting material.	<i>Only low pH materials (pH&lt;11) No continuous shotcrete Continuous grouting boreholes outside tunnel perimeter should be avoided.</i>
	Grouting and rock reinforcement in boreholes shafts and ramp, rock caverns and tunnels other than deposition tunnels – leaching product of grouting material.	<i>Only low pH (&lt;11) materials are allowed below the level of the top seal.</i>
	Engineered and residual materials in all underground openings – amounts and composition.	<i>Other residual materials must be limited – but the amounts considered in SR-Can are of no consequence.</i>

**Table 2-2. Design premises imposed by the buffer for the deposition holes.**

Required property	Design premises
The diameter and height of the deposition hole shall allow sufficient room to accommodate the buffer and canister.	<i>Nominal thickness of the buffer around, below and above the canister (0.35 m; 0.5 m and 1.5 m). Nominal dimensions of the canister, <b>Canister production report</b>, Section 3.2.3. Resulting diameter 1.75 m Resulting height 6.68 m</i>
The deposition hole bottom inclination shall with respect to the dimensions of the buffer blocks allow deposition of the canister.	<i>The inclination over the part of the cross section where the bottom buffer block is placed shall be less than 1/1,750.</i>
Variations in deposition hole geometry must not be larger than to allow deposition of buffer according to specification.	<i>In that part of the deposition hole where buffer is going to be installed the maximum area in each horizontal cross section must not exceed the nominal cross section by more than 7%. In that part of the deposition hole where buffer is going to be installed the diameter shall be at least 1.745 m. The nominal diameter is 1.75 m. From the height of the buffer block on top of the canister to the bottom of the deposition hole the radius from a vertical line in the centre of the deposition hole shall be at least 0.84 m. From the height of the buffer block on top of the canister to the bottom of the deposition hole the radius from a vertical line in the centre of the deposition hole must not exceed 0.925 m.</i>

国名又は機関名	スウェーデン		
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18		
発行年	2010		

Table 2-3. Design premises imposed by the backfill for the deposition tunnels.

Required property	Design premises
<i>The deviations of floor and wall surfaces in deposition tunnels from the nominal must be limited in order to allow backfilling according to specification.</i>	<i>For each blast round the total volume between the rock wall contour and the nominal contour of the deposition tunnel shall be less than 30% of the nominal tunnel volume. The maximum cross section shall be less than 35% larger than the nominal cross section. To achieve a dependable backfill installation the tunnel floor must be even enough for the backfill installation equipment to drive on it. Underbreak is not accepted. See Figure 2-2</i>
<i>The floor and wall surfaces in deposition tunnels shall for the most part consist of rock surface so that the backfill will be in direct contact with the rock.</i>	<i>Limited areas may be covered with construction materials. The areas must not extend over the full tunnel width.</i>
<i>The seepage into deposition tunnels during backfill installation and saturation must not significantly impair the backfill barrier functions.</i>	<i>Based on current experiences the maximum distributed inflow to the deposition tunnel is set to be less than or equal to 1.7 l/min 100 m (based on 5 l/min in a 300 m long deposition tunnel) and the maximum point inflow less than or equal to 0.1 l/min.</i>

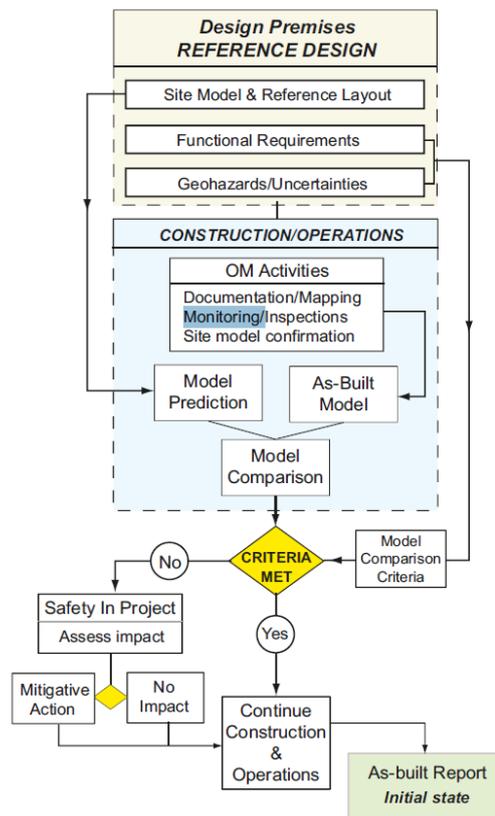


Figure 3-2. Illustration of SKB's implementation of the Observational Method for repository design.

国名又は機関名	スウェーデン		
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18		
発行年	2010		

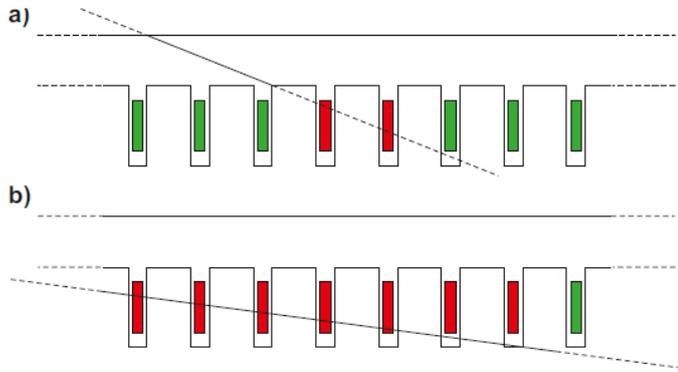


Figure 4-2. Illustration of a) the FPC criterion (Full Perimeter Intersection criterion) and b) the EFPC criterion (Extended Full Perimeter Intersection criterion). Red positions are rejected, green positions are accepted.

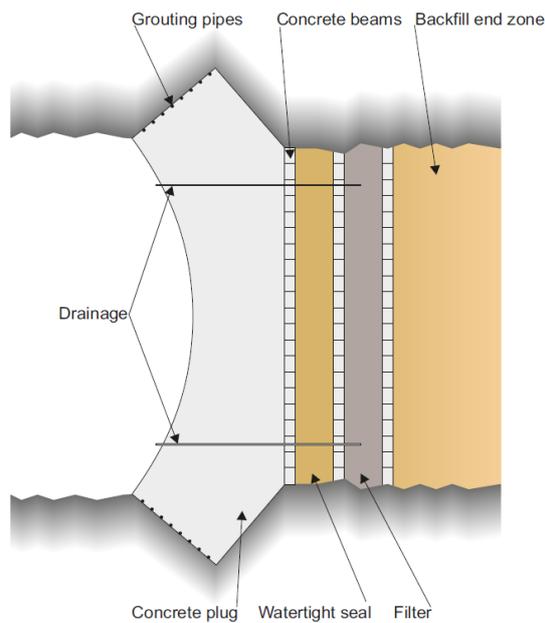


Figure 5-1. Schematic illustration of a reinforced plug that is anchored in a recess in the rock around the deposition tunnel.

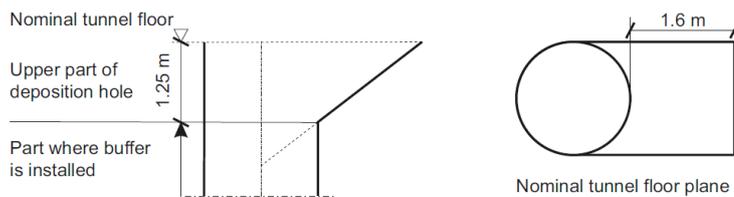
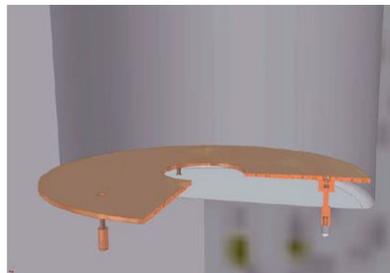


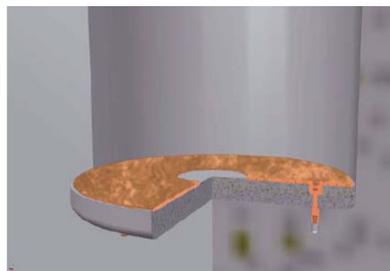
Figure 5-2. The nominal dimensions of the bevel. This upper part of the deposition hole is regarded as part of the deposition tunnel.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			



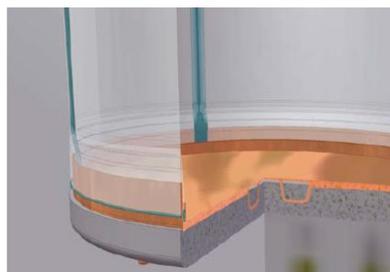
Lower copper plate resting on bolts fixed to the rock.

Thickness 20 mm  
Diameter 1,710 mm  
Hole diameter 450 mm  
Nominal weight 382 kg



Concrete slab poured through the hole in the centre of the lower copper plate.

Thickness 150 mm  
Nominal weight 650 kg  
Concrete recipe See Table 5-1



Upper copper plate with fastening devices and a border intended for auxiliary equipment for the installation of the buffer.

Thickness ~10 mm  
Diameter 1,710 mm  
Nominal weight 246 kg

Figure 5-3. The bottom plate in the deposition hole.

Table 5-1. Concrete recipe for the foundation of the bottom plate /Pusch and Ramqvist 2007/.

Components	Amount (kg/m <sup>3</sup> concrete)	Manufacturer
White cement	60	Aalborg Portland
Silica Fume	60	Elkem
Fine ground α-quartz M300	200	Sibelco
Fine ground cristobalite M6000	150	Sibelco
Superplasticizer Glenium® 51	4.375 (dry content)	Degussa
Granitic aggregates 0–4 mm	1,700	Jehanders grus
Water	244.27	local

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			

**Table 6-1. Catalogue of geohazards evaluated for the reference resign as well as the monitoring locations associated with the hazards. The table also includes the identifiers for the assessed hazards, a letter followed by an integer number, G1, H1, etc. (adapted from /SKB 2009b, Table 8-3/).**

Geohazard: Geology	Monitoring location
(G1) Distribution of rock types	All excavations
(G2) Geological boundaries	All excavations
(G3) Frequency of large fractures	Deposition tunnels and deposition holes
(G4) New deformation zones between 1km and 3km trace length or equivalent size	All excavations
(G5) New deformation zones requiring respect distance	All excavations
(G6) Thickness of minor deformation zones (MDZ<1km)	All excavations
Geohazard: Hydrogeology	Monitoring location
(H3) Frequency of discrete flowing fractures, with flows unsuitable for deposition holes or deposition tunnels	Deposition tunnels and deposition holes
Geohazard: Rock mechanics/in situ stress	Monitoring location
(R1) Properties of the major and minor deformation zones	All excavations
(R2) Orientation of major horizontal stress	Skip shaft & ramp Deposition tunnels
(R3) Horizontal stress magnitudes	Skip shaft & ramp Deposition tunnels
Geohazard: Thermal	Monitoring location
(T1) Geometrical distribution of thermal rock domains	Deposition tunnels and deposition holes
(T2) Rock containing mafic (Amphibolite) dykes (low T properties)	Deposition tunnels and deposition holes

**Table 6-2. Qualitative confidence classes are used for categorising the status of monitoring and control programmes which are employed to evaluate the initial state.**

Confidence category	Status of monitoring and control programmes
High	Operational and/or successfully demonstrated
Acceptable	Conceptual with proven technology and/or demonstrated feasible
Low	Conceptual with new technology or unproven application

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			

Likelihood of occurrence for identified hazards	Very likely	N/A	S/U	S/U
	Likely	N/A	N/A	S/U
	Unlikely	N/A	N/A	S/U
	Extremely Unlikely	N/A	N/A	N/A
		High	Acceptable	Low
Confidence in results from monitoring and control programmes				

Figure 6-1. Illustration of the risk matrix used for presenting the results of evaluating the likelihood-confidence analyses for the initial state.

Likelihood	Very likely			
	Likely	G2		
	Unlikely	G1, G4, G6, R1	R2, R3, T1	
	Extremely Unlikely	G3, G5, H3	R4	
		High	Acceptable	Low
Confidence in results from monitoring and control programmes				

Figure 6-2. Risk matrix showing likelihood of occurrence for the identified hazards and the confidence in detecting that the initial state of underground openings does not conform to the design premises listed in Section 6.4.4.

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			

**Table 6-4. Qualitative risk assessment showing likelihood of occurrence for the identified hazards and the confidence in detecting that the initial state of deposition tunnels does not conform to the design premises listed in Section 6.4.5.**

Hazard <sup>a</sup>	Likelihood of occurrence	Confidence in results	Current reliability
(RM1) The grouting methodology need to be further developed relative to the current performance and the specified inflows	Very Likely	High	There are uncertainties whether the performance of the grouting methodology is reliable relative to the very low inflows specified for the initial state. It is relatively straightforward to monitor the inflow to deposition tunnels and to evaluate the initial state as discussed in Section 5.2.4.
(RM2) The drilling and smooth blasting techniques need to be further developed relative to the current performance and the specified connected effective transmissivity from EDZ	Unlikely	High	The EDZ can be controlled by applying control programmes for drilling, charging and ignition. No specific method or combination of methods can yet be recommended for quantifying the connected effective transmissivity. The procedures and results from inspections, geological characterisation, geophysical techniques and geological modelling will be applied to verify that the damage in deposition tunnels conforms to the design premises. Although the basis is proven technology a certain degree of new technology and innovation is likely to be involved to develop the monitoring and control programmes, Section 5.2.1.
(RM5) Practical characterisation or acceptance criteria relative to EDZ need to be further developed	Likely	Acceptable	The geometrical tolerances can be controlled by applying control programmes for drilling, charging and ignition. There are suitable methods and instruments for inspecting the geometry of deposition tunnels, e.g. laser scanning and geodetic methods. These methods and techniques are proven, their performance is demonstrated and the degree of new technology involved in further development is not foreseen to introduce unforeseen uncertainties, Section 5.2.2.
(RM3) The drilling and smooth blasting techniques need to be further developed relative to the current performance and the specified geometrical tolerances for maximum cross-section, excavated volume and underbreak	Extremely Unlikely	High	There are uncertainties relative to the performance of the current conceptual reference method. There are suitable methods and instruments for inspecting the geometry of the deposition tunnel floor, e.g. laser scanning and geodetic methods. These methods and techniques are proven, their performance is demonstrated and the degree of new technology involved in further development is not foreseen to introduce unforeseen uncertainties, Section 5.2.2.
(RM4) The excavation technique for providing a sufficiently smooth tunnel floor contour need to be further developed relative to the current performance and the specified geometrical tolerances	Very Likely	High	There are uncertainties relative to the performance of the current conceptual reference method. There are suitable methods and instruments for inspecting the geometry of the deposition tunnel floor, e.g. laser scanning and geodetic methods. These methods and techniques are proven, their performance is demonstrated and the degree of new technology involved in further development is not foreseen to introduce unforeseen uncertainties, Section 5.2.2.

Likelihood	Very likely	RM1, RM4		
	Likely		RM5	
	Unlikely	RM2		
	Extremely Unlikely	RM3		
		High	Acceptable	Low
		Confidence in results from monitoring and control programmes		

**Figure 6-3. Risk matrix showing likelihood of occurrence for the identified hazards and confidence in detecting that the initial state of deposition tunnels does not conform to the design premises listed in Section 6.4.5.**

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			

**Table 6-5. Qualitative risk assessment showing likelihood of occurrence for the identified hazards and the confidence in detecting that the initial state of deposition holes does not conform to the design premises listed in Section 6.4.6.**

Hazard <sup>4</sup>	Likelihood of occurrence	Confidence in results	Current reliability
(T2) Rock containing mafic (Amphibolite) dykes (low thermal properties) occurs more frequently causing the thermal conductivity distribution in the up-scaled model to be less than the design value.	Unlikely	High	The hazard is associated with exclusion of potential deposition positions as well as verifying the distance between deposition holes. The effective way of ensuring that the thermal properties are determined correctly would be to combine geological characterisation with measurement techniques. These dark rock types are discrete in nature and can be identified with techniques that were implemented during the site investigations. The instruments and measurement techniques are judged to produce reliable results, their performance is demonstrated and the degree of new technology involved in the development programme is not foreseen to introduce new uncertainties. In addition, it is also possible to verify the reference design by in situ tests at repository depth.
(RM7) The current methodology for accepting or rejecting deposition holes on the basis of discriminating fractures need to be further developed relative to the current performance and the specified EFPC criterion.	Likely	Acceptable	No specific method or combination of methods can yet be recommended for quantifying the size of fractures or deformation zones. Results from investigations, geological characterisation, geophysical techniques and geological modelling will be required to apply the EFPC criterion. The tool box is considered to be conceptual and although the basis is proven technology a certain degree of new technology and innovation is likely to be involved to develop the monitoring programme, see Section 5.3.4.
(H3) Frequency of discrete flowing fractures, with flows unsuitable for deposition holes or deposition tunnels, below 400 m in FFM01 exceeds the hydrogeological DFN prediction used in the design.	Extremely Unlikely	High	It is foreseen that most of the planned positions for deposition holes having a potential for unacceptable inflows are likely to be screened out by the EFPC criterion. Combining results from hydrogeological characterisation and geological modelling in different scales will provide additional confidence in the selected deposition hole positions. Measuring inflow to deposition holes is relatively straightforward and to establish such a monitoring programme is not foreseen to introduce new uncertainties, Section 5.3.3.
(RM8) The current full face down-hole drilling technology and the methods to verify the performance need to be further developed relative to the specified geometrical tolerances.	Unlikely	Acceptable	The geometrical tolerances can be controlled by applying a control programme for the drilling operations. There are suitable methods and instruments for inspecting the dimensions of deposition holes, e.g. laser scanning and geodetic methods. However the current methods are considered to be conceptual and although the basis is proven technology a certain degree of new technology and innovation is likely to be involved to develop the control programme, Section 5.3.2.

<sup>4</sup> Abbreviations used in Table 6-5 and 6-4: (H3), (RM7) etc. are identifiers, where (H) is short for Hydrogeological model and (T) Thermal model /SKB 2009b/. (RM) is short for Reference methods, see Chapter 5.

Hazard <sup>4</sup>	Likelihood of occurrence	Confidence in results	Current reliability
(RM6) The current full face down-hole drilling technology and the methods to verify the performance need to be further developed relative to the specified connected effective transmissivity.	Extremely Unlikely	Acceptable	No specific method or combination of methods can yet be recommended for quantifying the connected effective transmissivity. It is assumed that the deposition holes conform to the design premises for connected effective transmissivity if they conform to the design premise for acceptable inflow. Results from inspections, geological characterisation, geophysical techniques and geological modelling will be applied to verify that the connected effective transmissivity in deposition holes conforms to the design premises. These methods are considered to be conceptual and although the bases is proven technology a certain degree of new technology and innovation is likely to be involved to develop the monitoring programme, Section 5.3.1.
(RM5) Practical characterisation or acceptance criteria relative to EDZ need to be further developed.	Likely	Acceptable	

国名又は機関名	スウェーデン			
発行機関・著者	SKB	<input type="checkbox"/> 規制	<input checked="" type="checkbox"/> 実施	<input type="checkbox"/> その他
文書名	Design, construction and initial state of the underground openings, TR-10-18			
発行年	2010			

Likelihood	Very likely			
	Likely		RM5, RM7	
	Unlikely	T2	RM8	
	Extremely Unlikely	H3	RM6	
		High	Acceptable	Low
		Confidence in results from monitoring and control programmes		

*Figure 6-4. Risk matrix showing likelihood of occurrence for the identified hazards and confidence for detecting that the initial state of deposition holes does not conform to the design premises listed in Section 6.4.6.*

## 第3章 地中無線伝送技術の開発

### 3.1 目的および実施概要

本章では、配線ケーブル（以下、「有線」という）による系の擾乱を防ぐ無線技術を基盤技術の1つと考え、適用性の検討を行った上で抽出した課題（無線通信技術、電源技術）に対し、段階的に開発を実施している。

無線通信技術の開発では、送受信アンテナの送信効率、受信効率の向上、電磁波伝播挙動を評価するための解析手法の構築、岩盤中における電磁波伝播特性の把握、小型化送信装置の開発を実施した。また、これらの技術の成立性を実証するため、フランスでは地下研究所における小型化した地中無線送信装置の製作を行い、試験を行っている。国内では、日本原子力研究開発機構との共同研究による幌延深地層研究センターや瑞浪超深地層研究所の地下での無線通信試験を行っている。

電源技術の開発では、長期間においてモニタリングを実施するために、平成26年度から電源技術の調査を実施し、放射性同位体熱電気変換器の適用に関する検討、及び電磁波による地中無線モニタリング装置への給電技術に関する検討・試験を実施してきた。

本年度は、昨年度の結果を踏まえ、残された課題について実施した。無線通信技術の開発では故障等におけるシステムの冗長性を持たせる中継器の開発・製作を行ったため、長期の稼働に耐え得る性能を確保しているか試験を実施した。また、無線給電技術の検討では、塩水における給電効率への影響、処分孔を想定した複数の受電コイルに対して給電する場合の適用性を検討するために試験を実施した。

## 3.2 無線伝送技術の開発

### 3.2.1 概要

本業務では、ケーブルを必要としない地中無線通信技術の検討、試験を行い、地層処分システムへの適用性を検証する。平成 14 年度から平成 28 年度まで段階的に整備を進め、日本原子力開発機構（以下、JAEA）・幌延深地層研究センターや東濃地科学センター瑞浪超深地層研究所の地下研究施設（以下、URL）において JAEA と共同研究を行い、実証的な取り組みを進めている。平成 23 年度からは、地中無線通信技術に残された課題の 1 つである伝送距離への対応として、中継装置の開発を進めている。

平成 29 年度は、平成 28 年度までに製作・開発した地中無線の送信器、受信器、中継装置を組み合わせ、長期運用の検証等を目的に動作試験を実施するとともに、これらの開発内容の取りまとめ（無線伝送技術に関する国内外の開発状況や課題等、現状の技術レベルの取りまとめを含む）に向けた情報整理等を行った。以下に実施項目を示す。

#### ① 地中無線伝送技術の動作試験等

長期運用の検証等を目的に送信器、受信器、中継装置を組み合わせた動作試験を実施した。また実距離通信試験を行い、中継装置の通信性能を確認した。試験結果を踏まえ、地中無線伝送技術の設計仕様をとりまとめた。

#### ② 国内外の無線伝送技術に関する開発状況の調査と取りまとめ

無線伝送技術に関して、国内外の開発状況を整理した。

#### ③ URL で実施中の適用試験の整理

幌延 URL、瑞浪 URL での実証試験の計測データを取りまとめ、運用マニュアルを作成した。

### 3.2.2 中継装置の動作確認

#### (1) 試験目的

一般に機械や装置の故障率は、図 3.2.2-1 の故障率曲線で表される。機器の故障は使用開始直後の一定期間で高く（初期故障期間と呼ぶ）、安定して使用可能な期間（偶発故障期間と呼ぶ）を経て、摩耗故障期間において再び故障率が高くなる。摩耗故障期間での故障の原因は、部品等の摩耗、疲労、劣化等であり、製品としての寿命である。一方で、初期故障期間での故障の原因は、部品不良や製造不良、あるいは設計（プログラム）不良等の初期不良である。したがって、無線通信機器の実施においては、初期故障期間で発生する可能性のある初期不良に着目し、試験を行った。

平成 28 年度は、個々の部品の不良や製造不良等がないことを確認するために 2 週間の動作試験を実施し、正常に動作することを確認した。しかしながら、瑞浪 URL 実証試験では坑道内に地中無線システムを設置してから約 5 ヶ月後に内部プログラムが原因の通信トラブルが発生していることから、設計（運用モデル設計、動作プログラム設計、電機設計）については、平成 28 年度の動作試験で十分確認しているとはいえない。そこで平成 29 年度は、主に設計不良等がないことを確認するため、初期故障期間を前述の 5 ヶ月を上回る 6 ヶ月間と設定して動作試験を実施した。

動作試験では、平成 28 年度業務において設計条件とした 10 年間の通信回数を上回る回数の通信を実施して動作状況を確認した。また電池容量の試算方法の検証のため、6 ヶ月間の動作試験で電池容量を使い切るように必要電池量を設定した。さらに、中継装置の冗長性を確保するため途中で故障した場合の通信経路の変更機能の検証を行った。検証方法としては、試験の途中で通信経路を人為的に変え、通信経路変更のための指令通信が正常に機能するか、さらに通信経路変更後も送信器から中継装置、受信器までデータ通信が行われたかを確認した。

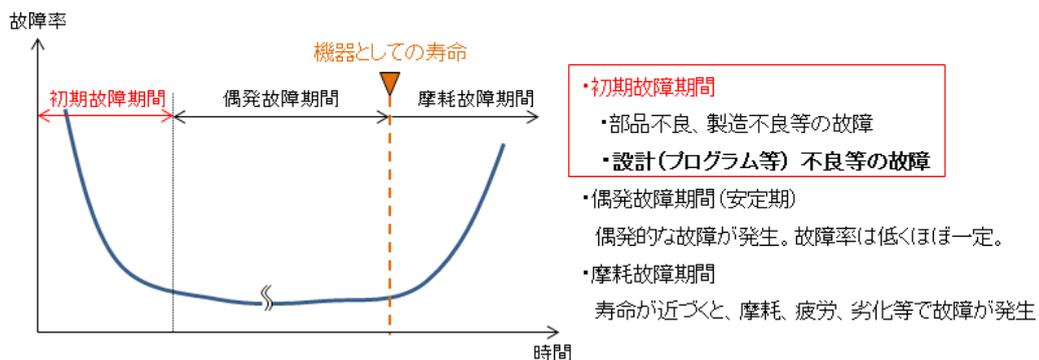


図 3.2.2-1 一般的な機械や装置の故障率曲線イメージ図

## (2) 試験概要

### 1) 試験期間

瑞浪 URL で実施中の試験で、装置を坑道内に設置して約 5 ヶ月後に通信トラブルが発生した事例も報告されていることから、同程度の期間の検証が必要と考え、試験期間を 6 ヶ月に設定した。

### 2) 試験レイアウト

本試験で使用した機材は、以下の通りである。

- 中継装置 3 台（中継装置 1、中継装置 3 は筐体有、中継装置 2 は基板のみ）
- 小型送信器 2 台
- 受信器 1 台
- 受信強度確認用受信器 1 台 ※試験中、各定期通信時の受信電圧を測定
- 消費電流計測器 1 台 ※中継装置に使用している塩化チオニルリチウム電池は、電池容量が減っても電圧が一定の特性を持つため、消費電流を測定することによって、電池残量を推定することにした。本試験では、中継装置 2 に消費電流計測器を接続し、試験中の電池電圧・各動作の消費電流を計測した。

初期不良に対する試験レイアウトを、図 3.2.2-2 に示す。本試験は 2 段 2 列の通信とし、通信経路は、基本経路と中継装置 2 が故障した場合の迂回経路の 2 ルートを設定した。

基本経路：「小型送信器→中継装置 1→中継装置 2→受信器」

迂回経路：「小型送信器→中継装置 1→中継装置 3→受信器」

なお、今回は設計（プログラム）の動作試験であり、通信距離は関係ないため、設計時の地中無線通信距離（～100m）より短くして試験を行っている。

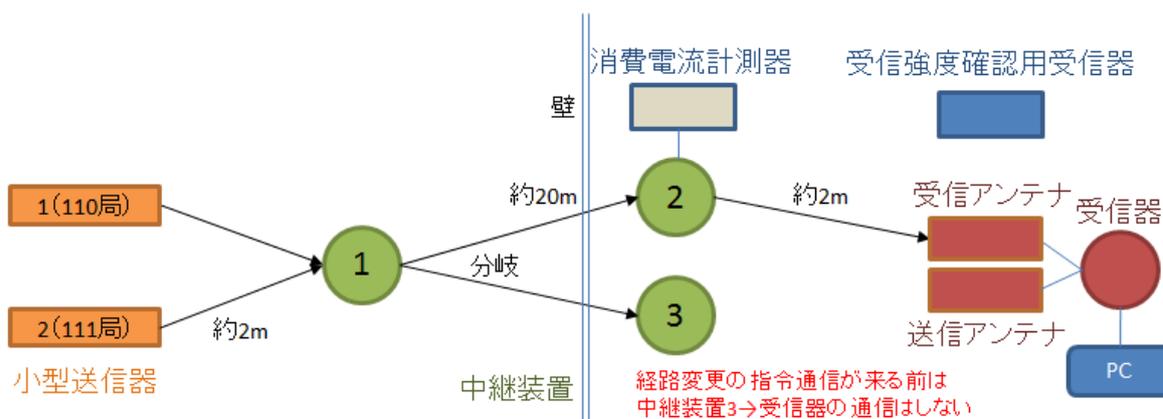


図 3.2.2-2 アンテナの構成（断面模式図）

### 3) 計測・通信条件

本試験の計測・通信条件を表 3.2.2-1 に示す。1 日に 24 回計測した温度と電池電圧のデータを小型送信器が 1 日 24 回中継装置へデータ送信する。送信するデータ量は、過去 24 回分（過去 1 日分）の計測値である。中継装置は、1 日 24 回の頻度で通信を行った。前述したように、試験用に各小型送信器、及び中継装置の通信時の電圧を受信強度確認用受信器で計測し、また中継装置 2 については、試験中に電池電圧・消費電流を計測した。

表 3.2.2-1 動作試験の計測・通信条件

	計測データ	計測頻度 (計測時刻)	通信頻度 (通信時刻)	試験用 記録項目	備考
小型送信器 1	温度・電池 電圧(2ch 分)	24 回/日 (毎正時)	24 回/日 (毎時 5 分)	・通信時刻 ・受信強度	・定期通信の受信強度 を受信強度確認用受信 器で計測
小型送信器 2	温度・電池 電圧(2ch 分)	24 回/日 (毎正時)	24 回/日 (毎時 10 分)	・通信時刻 ・受信強度	・定期通信の受信強度 を受信強度確認用受信 器で計測
中継装置 1 ※1	-	-	24 回/日 (毎時 15 分)	・通信時刻 ・受信強度	・定期通信の受信強度 を受信強度確認用受信 器で計測
中継装置 2 (基板のみ) ※1	-	-	24 回/日 (毎時 20 分)	・通信時刻 ・電池電圧 ・消費電流 ・受信強度	・定期通信の受信強度 を受信強度確認用受信 器で計測 ・電池電圧、消費電流 を常時計測
中継装置 3 ※2	-	-	24 回/日 (毎時 20 分)	・通信時刻 ・受信強度	・定期通信の受信強度 を受信強度確認用受信 器で計測
受信器	-	-	-	・計測デー タ	・指令通信の受信強度 を受信強度確認用受信 器で計測

※1 中継装置 1、2 は、平成 28 年度業務において設計条件とした 10 年間の通信回数（520 回）を上回る回数を 6 ヶ月間に実施する設定とした。

※2 中継装置 3 は、通信経路変更時のみ受信器へ通信し、中継装置 3 が受信器へ送信している期間は、中継装置 2 を停止した。

#### 4) 電池容量の試算

本試験では、電池容量試算方法の検証も兼ねて、中継装置が概ね6ヶ月間動作したところに電池容量を使い切るように必要電池容量を試算し、その結果をもとに必要な電池の数を決定した。

必要電池容量は、本試験開始前に測定した各動作の消費電流値と表 3.2.2-1 に示す各動作の実施回数から算出される動作時間を考慮して試算した。表 3.2.2-2 に示す試算結果から、本試験条件の場合、年間約103Ahの容量が必要となる。

本試験期間である6ヶ月程度で電池を消費させるために、試算した年間消費電流量104Ahの半分程度(52Ah弱)を設計値として必要な電池数を求めた。試験で使用する塩化チオニルリチウム電池は、公称値で3.6V、11.5Ahの容量を持つため、4並列接続の場合は容量46Ahで約5.3ヶ月、5並列接続の場合は容量57.5Ahで約6.6ヶ月動作する計算となる。そのため、6ヶ月の動作試験で電池を使い切るために、4並列接続46Ahの電池を搭載して試験することとした。なお、中継装置は標準電圧10.8Vで動作するので、電池を3直列4並列の12本使用して試験を実施した。

表 3.2.2-2 各動作の消費電流量 (試算)

動作種類	消費電流 (mA)	1日当たりの 平均動作時間 (sec)	1日当たりの 消費電流量 (mAh)	年間動作 時間 (h) ※	年間消費 電流量 (Ah) ※
スリープ	0.005	78781.2	0.109	7993.0	0.040
低消費起動コード・受信	5	5760.0	8.000	584.4	2.922
定期通信・受信	220	1109.6	67.809	112.6	24.767
定期通信・送信	1000	744.0	206.667	75.5	75.485
中継指令・送信	700	2.6	0.502	0.3	0.185
中継指令・受信	220	2.6	0.158	0.3	0.058
合計	-	86400.0	283.249	8766.0	103.457

※年間日数は、365.25日として計算

### (3) 試験手順

#### 1) 小型送信器 (2 台) の計測、小型送信器→中継装置 1 への定期通信 (図 3.2.2-3)

- 毎正時、小型送信器内部温度・電池電圧を計測。
- 各々の小型送信器は、1 時間に 1 度、過去 24 回分のデータを中継装置 1 へ通信。
- 受信強度確認用受信器で、各小型送信器の通信時の電圧を計測。

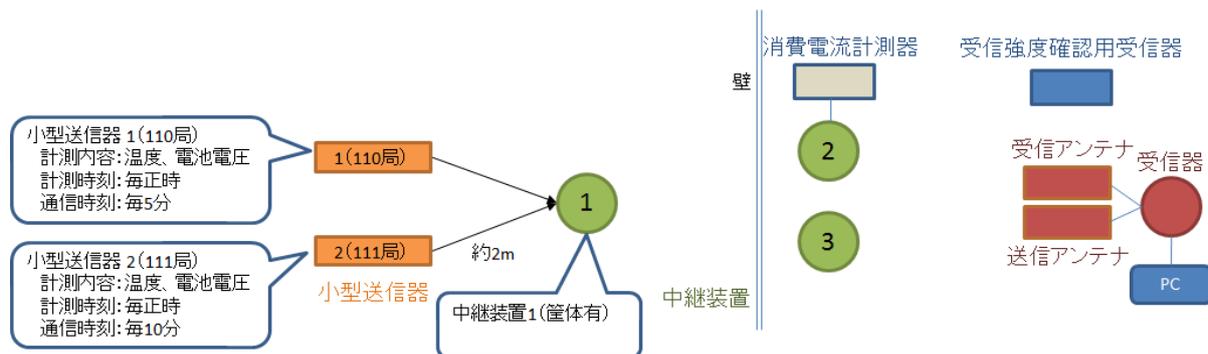


図 3.2.2-3 動作試験：小型送信器の測定・定期通信

#### 2) 中継装置 1→中継装置 2、中継装置 3 への定期通信 (図 3.2.2-4)

- 小型送信器 2 台分のデータを中継装置 2、中継装置 3 へ通信
- 受信強度確認用受信器で、中継装置 1 の通信時の電圧を計測。

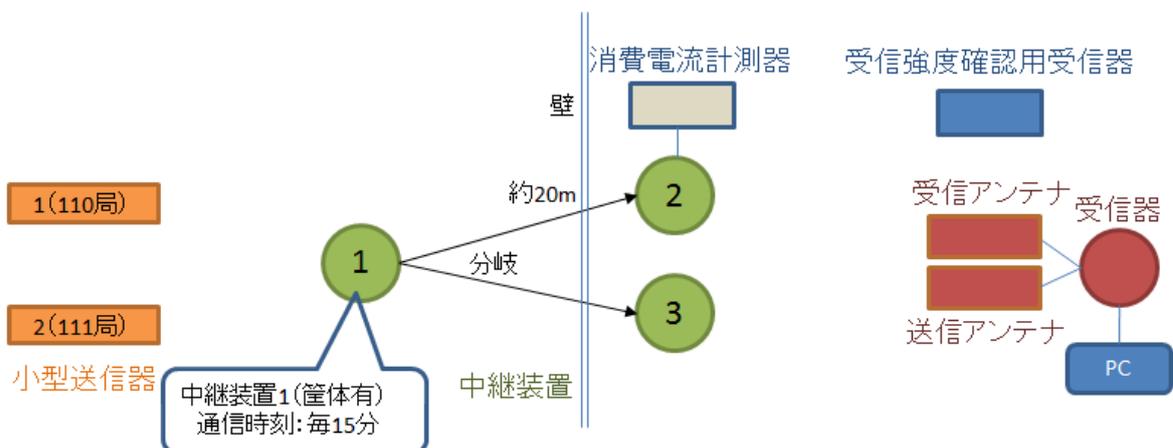


図 3.2.2-4 動作試験：中継装置 1 の定期通信

3) 中継装置 2→受信器への定期通信 (図 3.2.2-5)

- 中継装置 2 は、受信器へ通信。中継装置 3 は受信器への通信は行わない。
- 中継装置 2 は、試験用の基板のみ (アンテナは中継装置用のものを使用)。試験中、消費電流計測器で各動作の消費電流を計測。
- 受信強度確認用受信器で、中継装置 2 の通信時の電圧を計測。
- 試験手順 1～3 (図 3.2.2-3～図 3.2.2-5) を繰り返し行う。

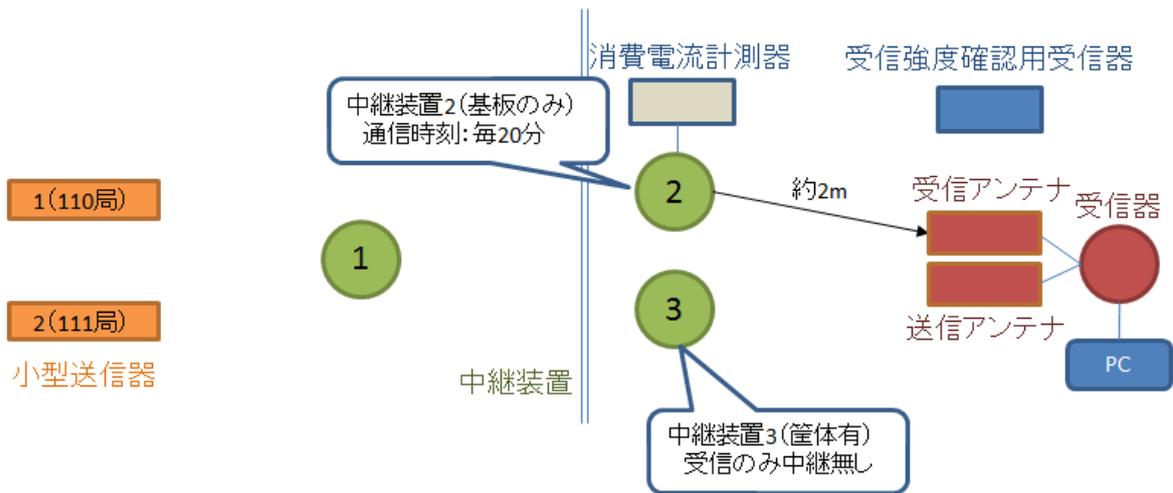


図 3.2.2-5 動作試験：中継装置 2 の定期通信

#### 4) 通信経路変更の動作確認（中継装置 3→受信器の定期通信）

- 受信器から中継装置 2 へ動作停止の指令通信を、中継装置 3 へ経路変更の指令通信をそれぞれ送信（図 3.2.2-6）。
- 中継装置は、5 分間隔で低消費起動コード受信態勢となるので、そのタイミングで指令通信を受信。
- 経路変更後、中継装置 3→受信器への通信時の電圧を受信強度確認用受信器で計測（図 3.2.2-7）。
- 定期通信を確認後、経路を図 3.2.2-5 の状態へ戻すため、受信器から中継装置 3 へ動作停止の指令通信を、中継装置 2 へ経路変更の指令通信をそれぞれ送信。

以上の動作確認を試験期間中に 5 回実施し、経路変更の動作確認を実施。

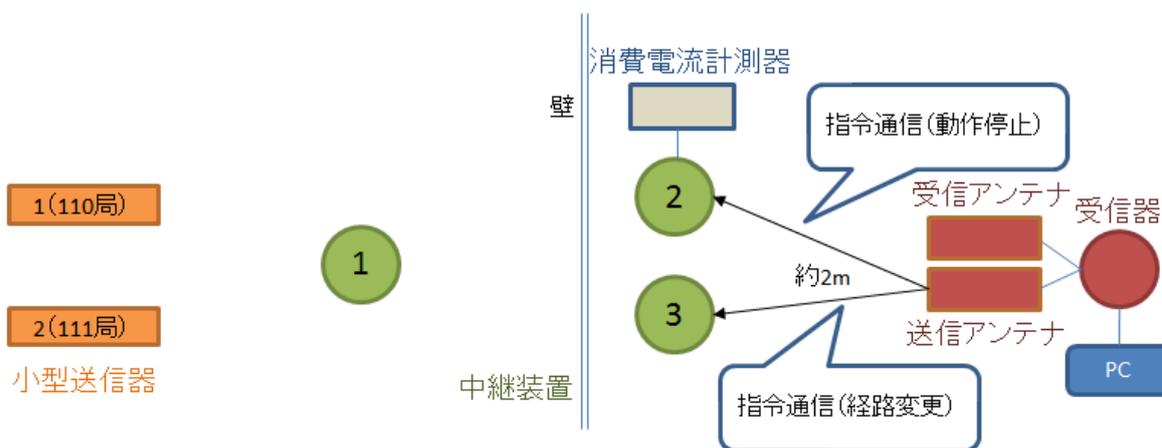


図 3.2.2-6 動作試験：経路変更の指令通信

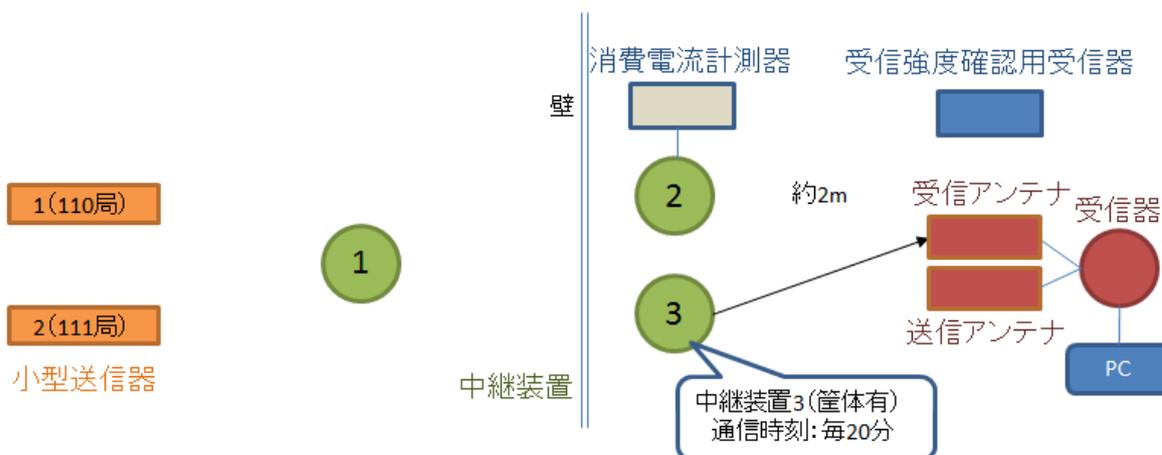


図 3.2.2-7 動作試験：中継装置 3 の定期通信

#### (4) 試験状況

試験時の機器、配置等を示す写真を図 3.2.2-8～図 3.2.2-13 に示す。小型送信器 2 台と中継装置 1 を図 3.2.2-8 に示す。図 3.2.2-9 は中継装置 2 と中継装置 3、および受信器である。受信器については、図 3.2.2-10 に示すようにアンテナを 2 つ使用しており、1 つは中継装置からの定期通信を受信するためのアンテナ、もう 1 つは中継装置へ指令通信等を送信するためのアンテナである。

受信強度確認用受信器は、試験中の小型送信器および中継装置の定期通信時の受信電圧を計測するための装置である（図 3.2.2-11）。図 3.2.2-12、図 3.2.2-13 は、中継装置 2 の試験中の電池電圧および消費電流を計測するための装置である。試験中は、中継装置 2 の電池に電池電圧と消費電流を測定するために、これらの測定器を接続し、電池電圧は 10 分ごと、消費電流は 0.1 秒ごとに測定値を記録した。

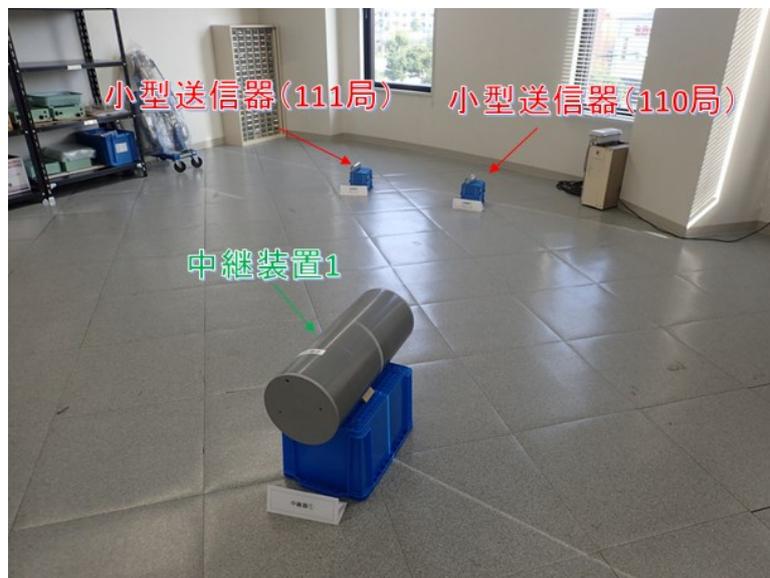


図 3.2.2-8 小型送信器と中継装置 1

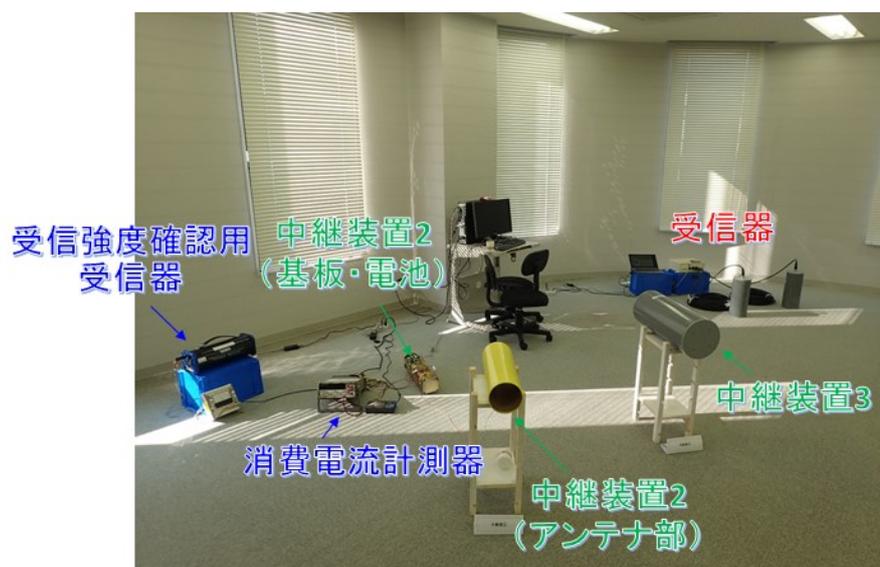


図 3.2.2-9 中継装置 2&3 と受信器



図 3.2.2-10 受信器



図 3.2.2-11 受信強度確認用受信器

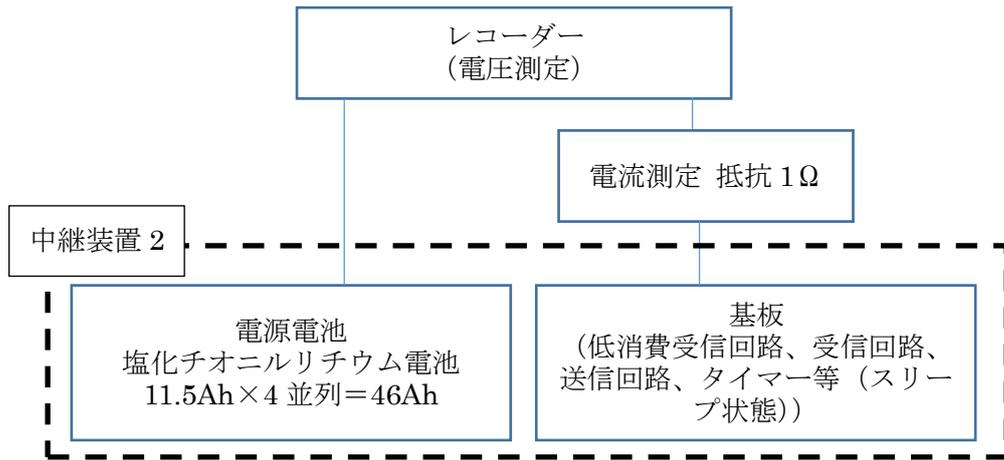


図 3.2.2-12 電池電圧、消費電流測定装置の配置図

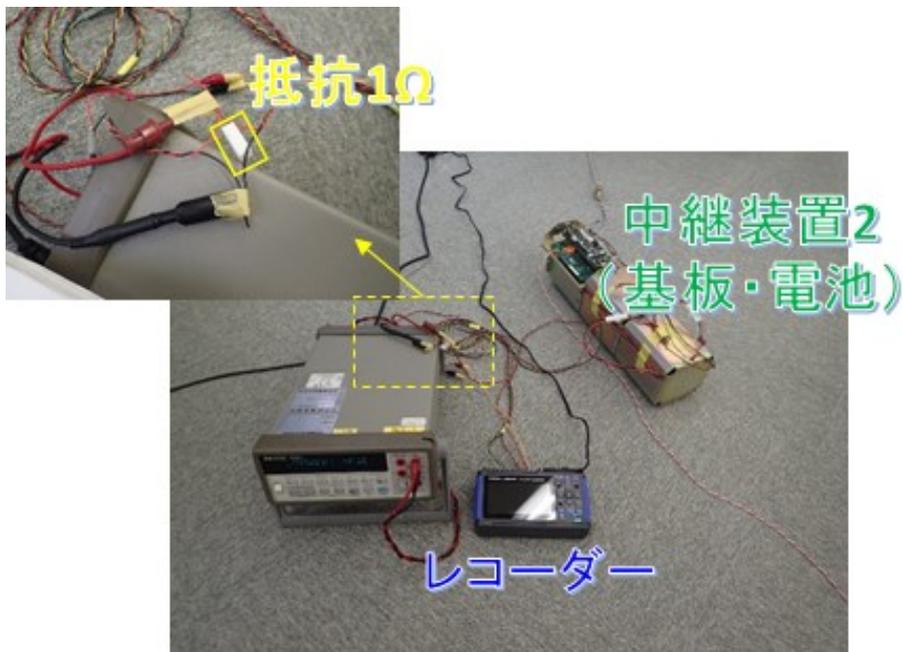


図 3.2.2-13 電池電圧・消費電流測定機器

## (5) 試験結果

### 1) 中継装置の通信状況の確認

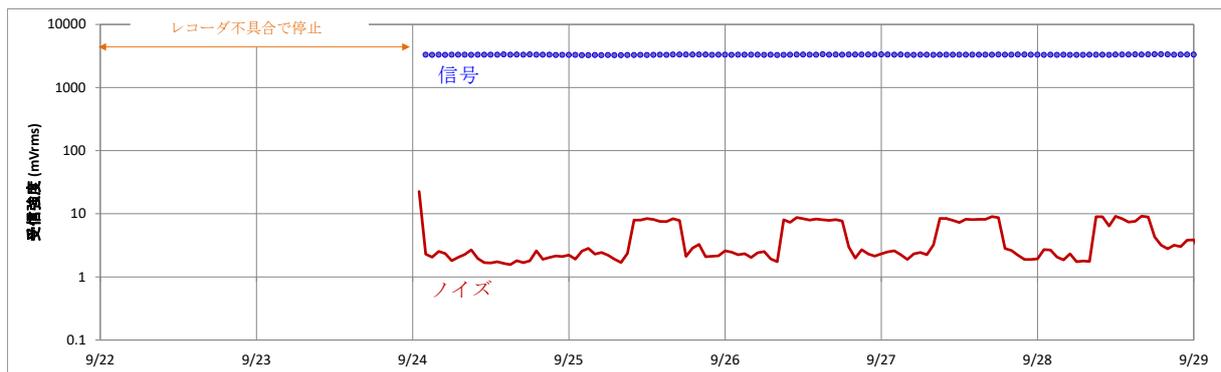
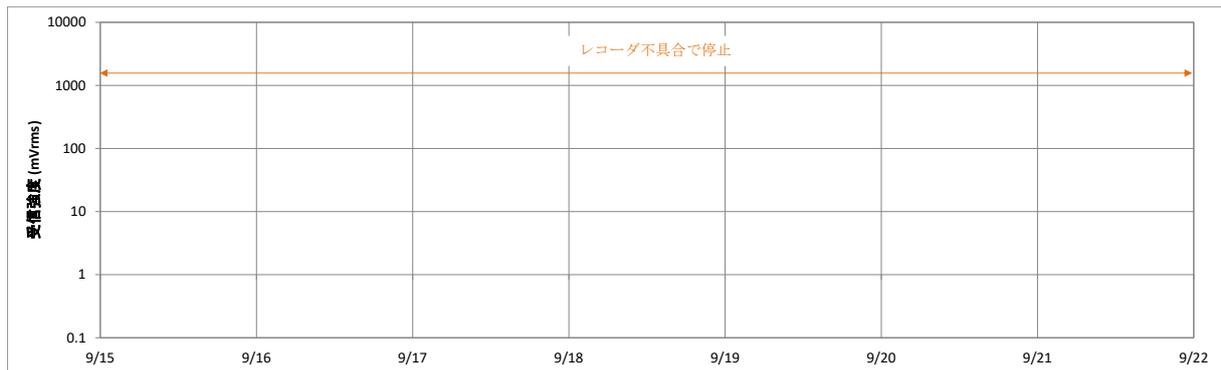
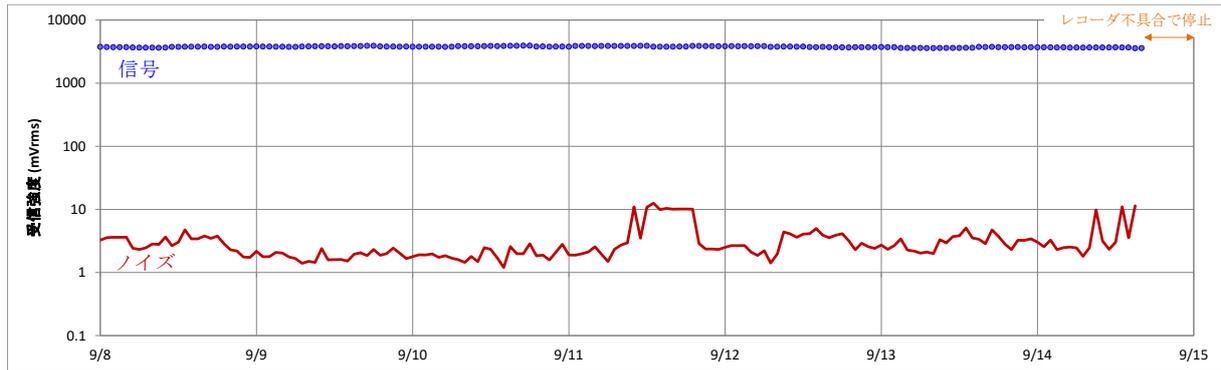
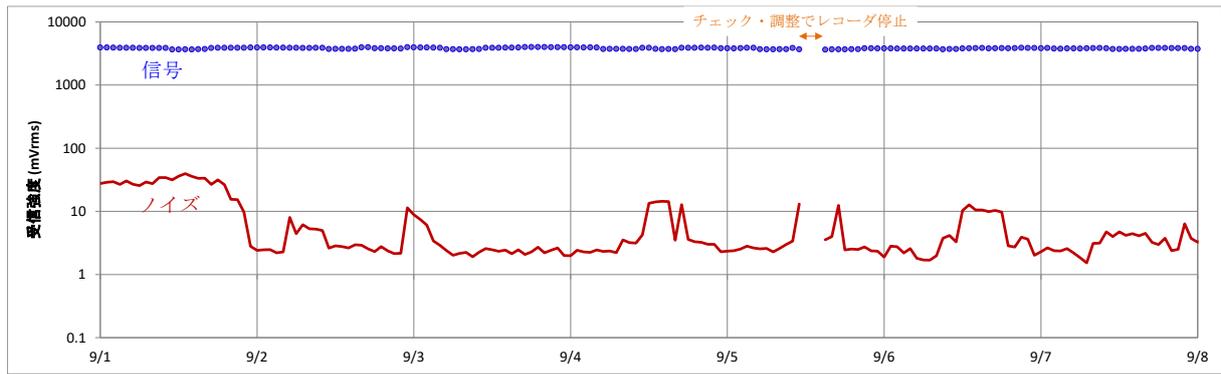
受信強度確認用受信器により記録した6ヶ月間の各中継装置の通信状況を図 3.2.2-14 に示す。

中継装置の定期通信の信号として、1時間ごとの受信強度の最大値をプロットし、ノイズレベルは代表値として毎正時の値を示した。試験期間中、周辺の機械設備等の稼働状況によりノイズレベルは変動していたが、概ね 100 mVrms 以下であった。定期通信の受信強度については、これまでの実績から SN 比（ノイズレベルに対する定期通信の受信強度比）3 以上で正常な通信が可能と判断でき、図 3.2.2-14 の結果では中継装置の定期通信は、SN 比が 10~100 と正常な通信を行うのに十分な値であった。なお、中継装置の受信強度に多少の変動があるのは、試験中に装置の場所を変更したことで通信距離が変わったためであり、通信距離が短くなれば受信強度は高くなる。

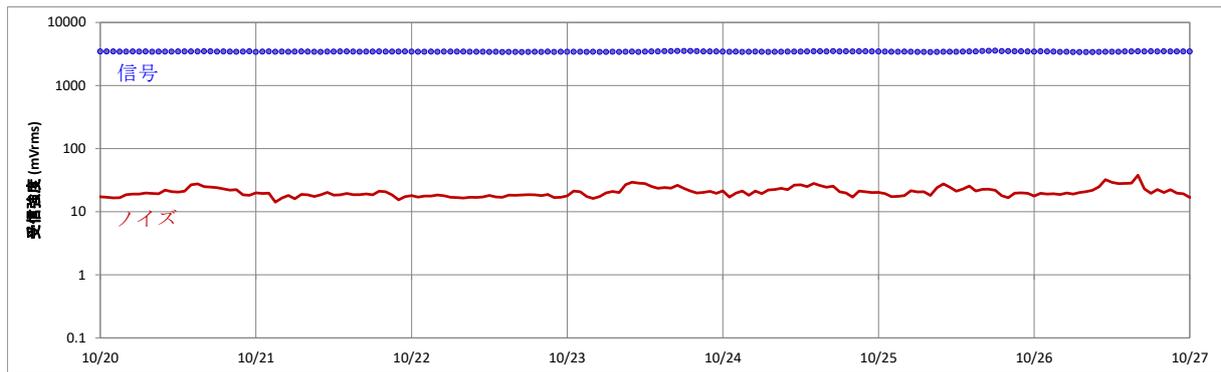
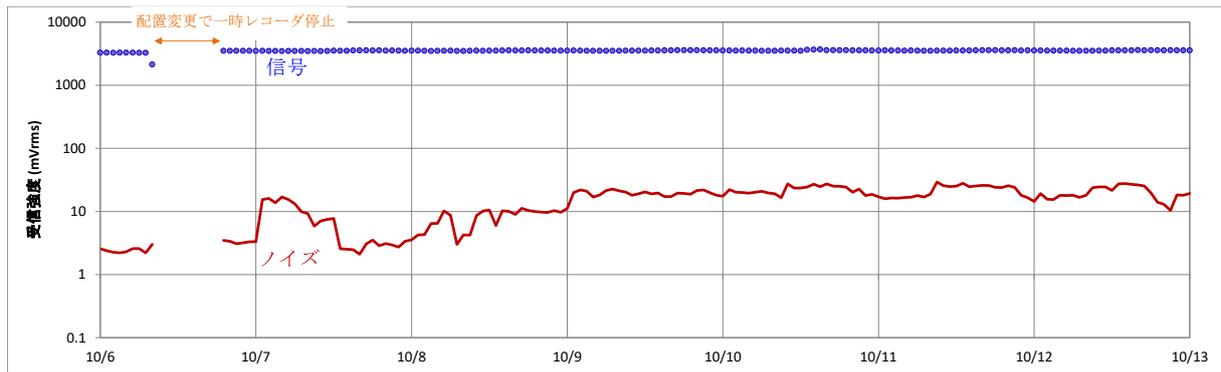
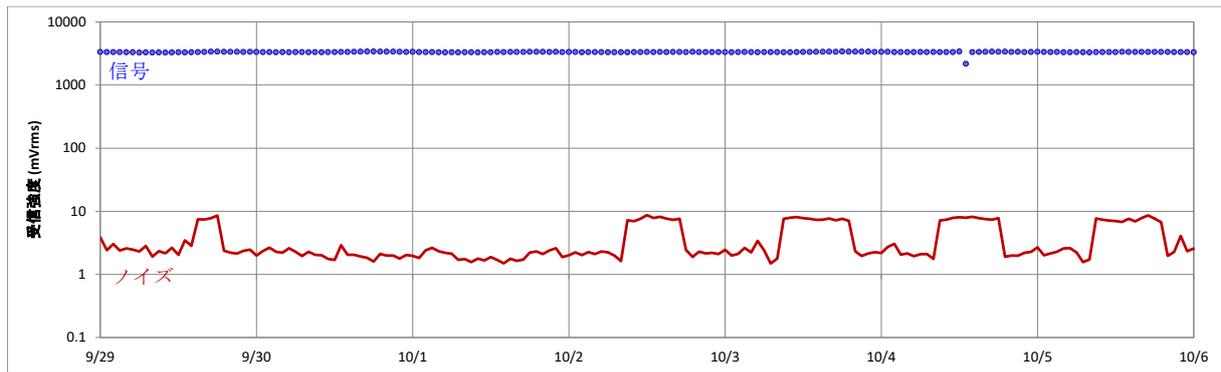
通信状況については、図 3.2.2-14 から受信強度の記録用レコーダの不具合で一時収録が停止した期間や、装置類の配置換え等に伴う収録停止期間を除いて、中継装置の定期通信が継続的に実施した。各中継装置のデータ収録状況を表 3.2.2-3 に示す。試験時間は 4,353 時間で、中継装置 1 は 4,353 回の定期通信を実施し、通信成功率 100% であった。中継装置 2、中継装置 3 についても、通信経路変更試験を行ったため中継装置 1 より回数は少ないものの、通信成功率 100% であった。

また、小型送信器から中継器を経由して受信器まで通信された温度データを図 3.2.2-15 に示す。データに欠損や異常値がなく連続してデータ取得できていることを確認した。以上から、10 年間で想定した通信回数を行える機能を保持していることを確認した。

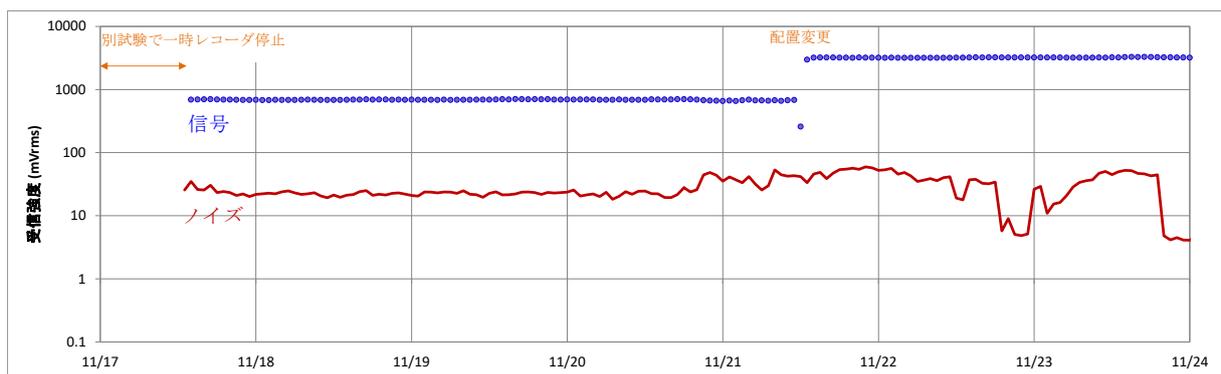
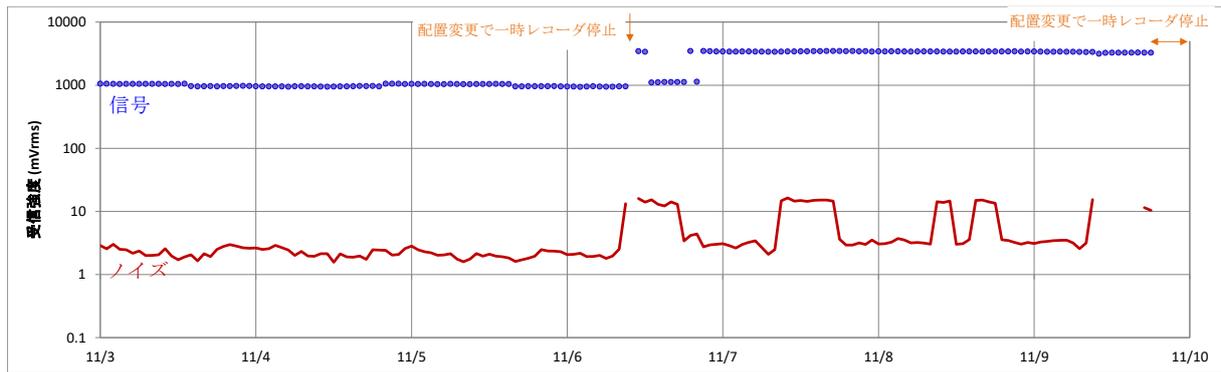
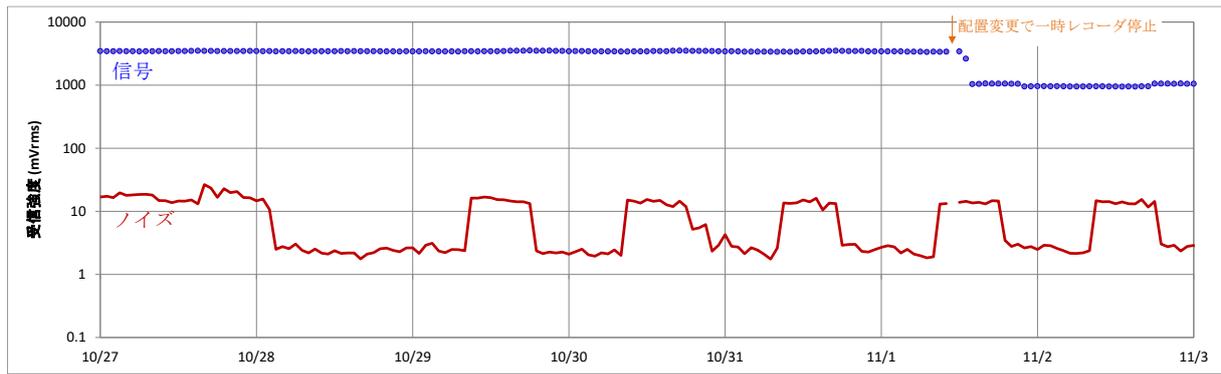
なお、温度が急上昇しているのはデータ異常ではなく、小型送信器に窓から差し込む太陽光が直接当たったためである（図 3.2.2-16）。



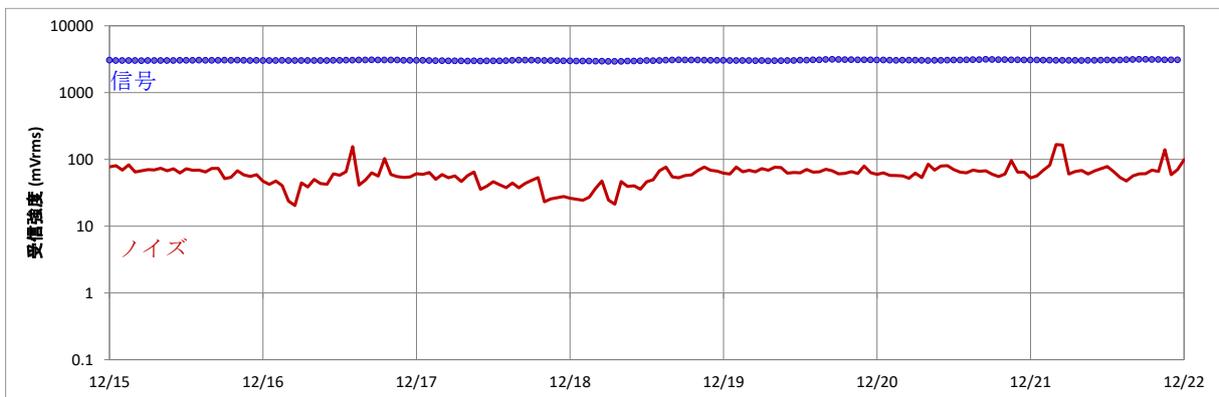
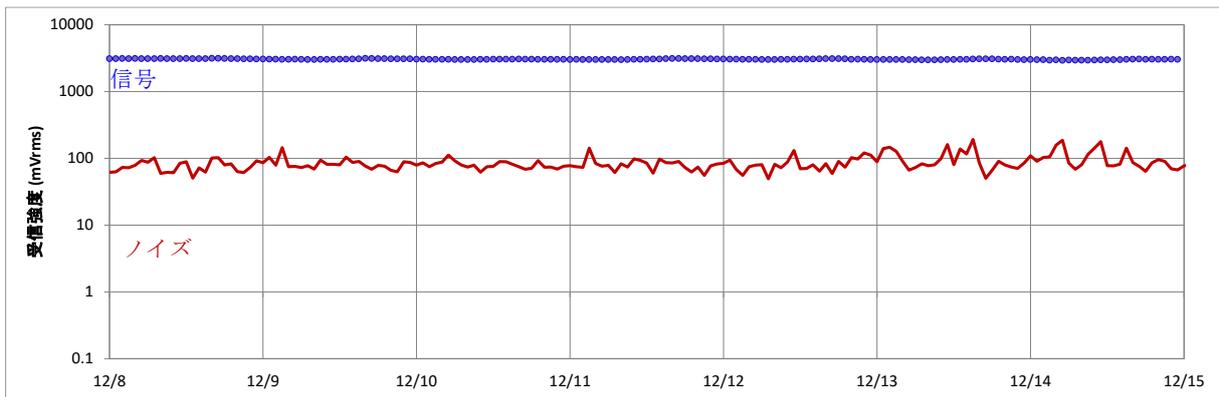
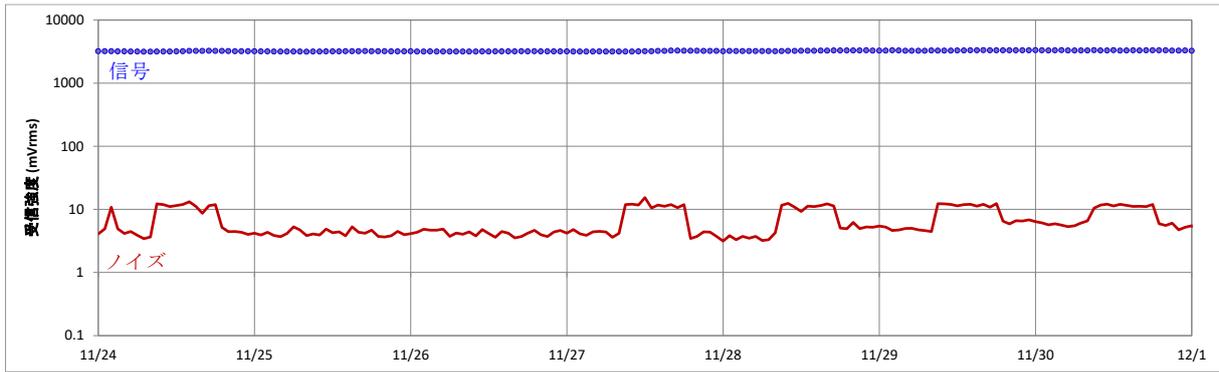
(次頁以降へ続く)



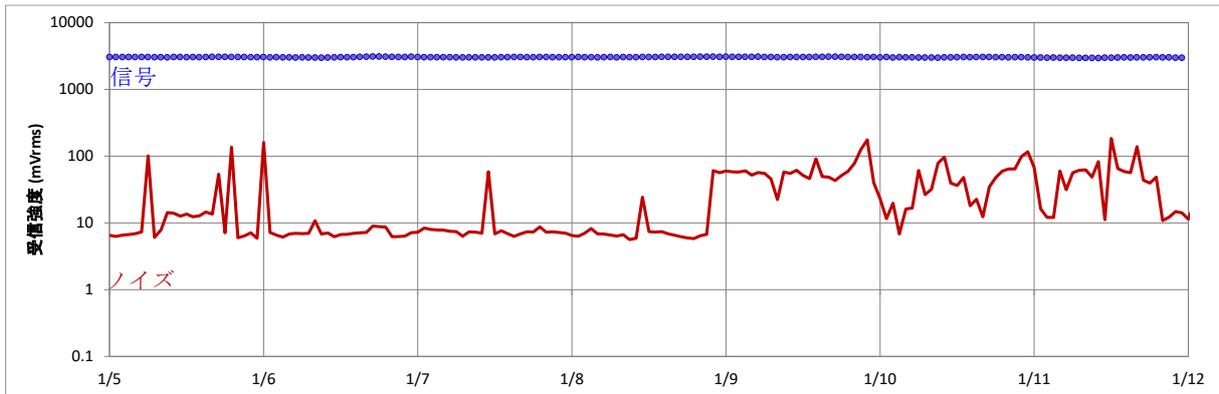
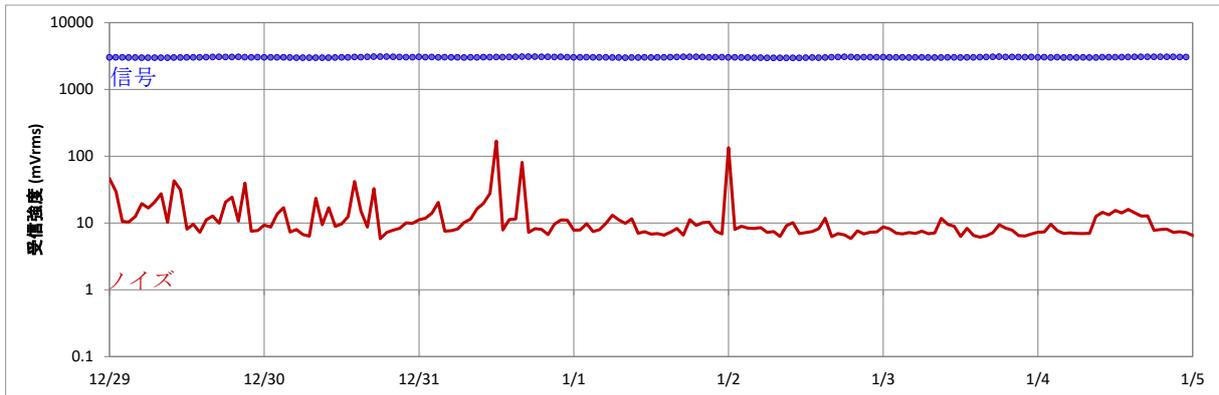
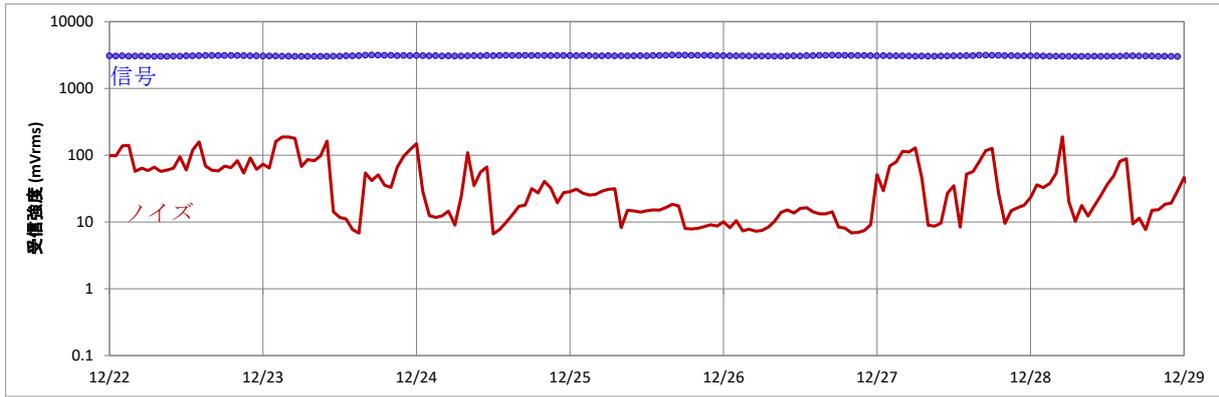
(次頁以降へ続く)



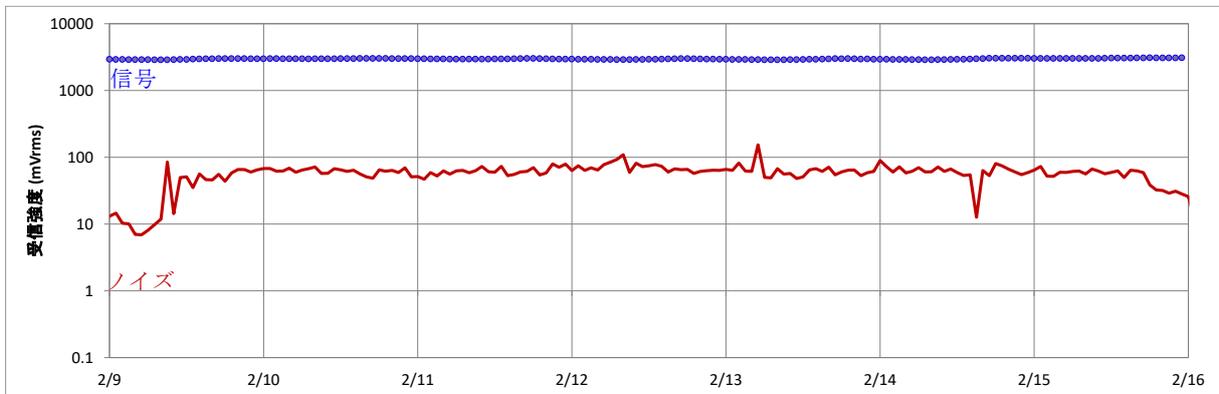
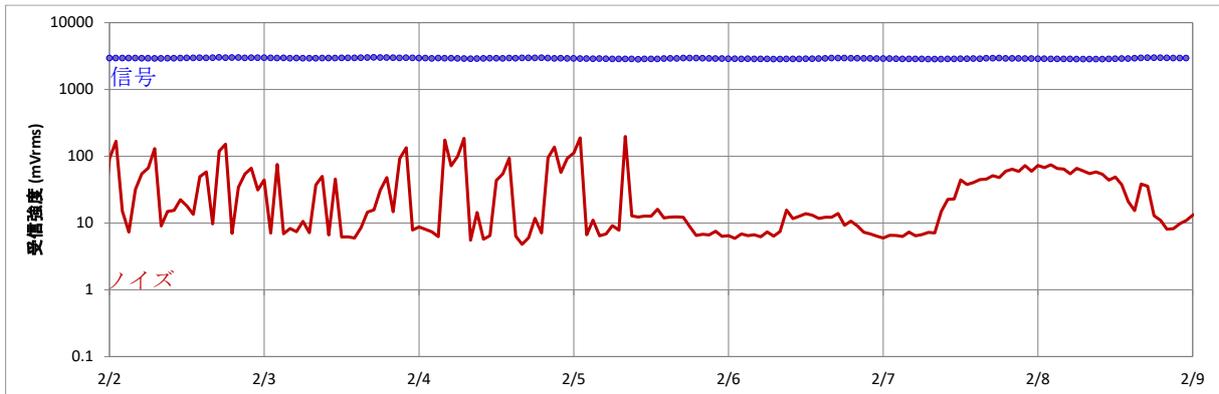
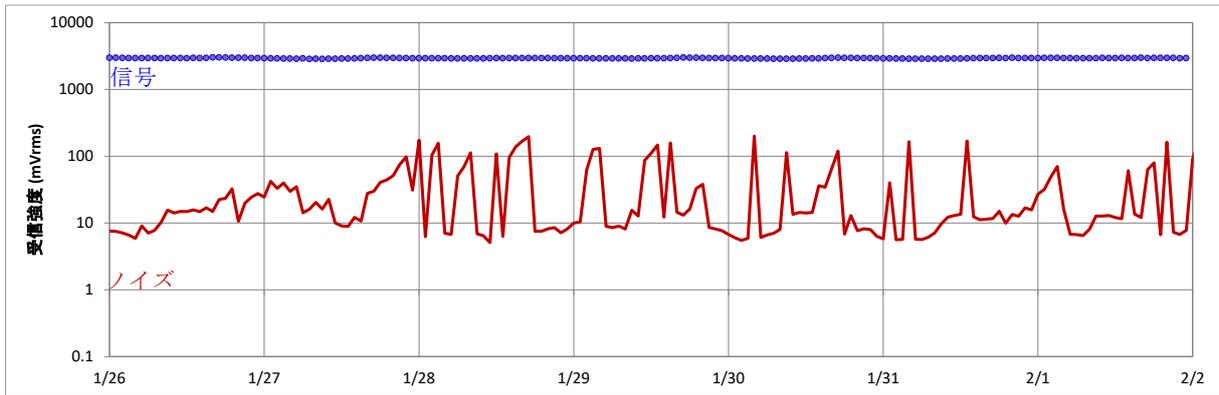
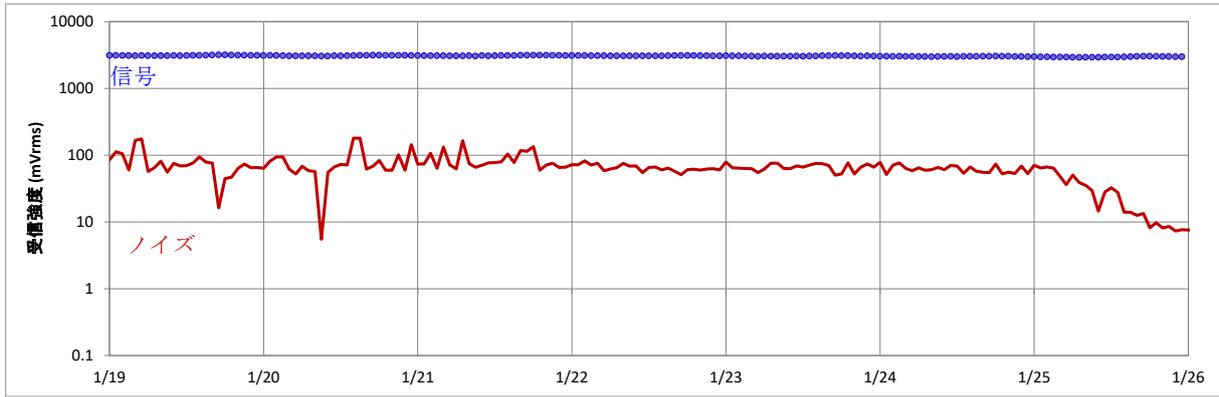
(次頁以降へ続く)



(次頁以降へ続く)



(次頁以降へ続く)



(次頁へ続く)

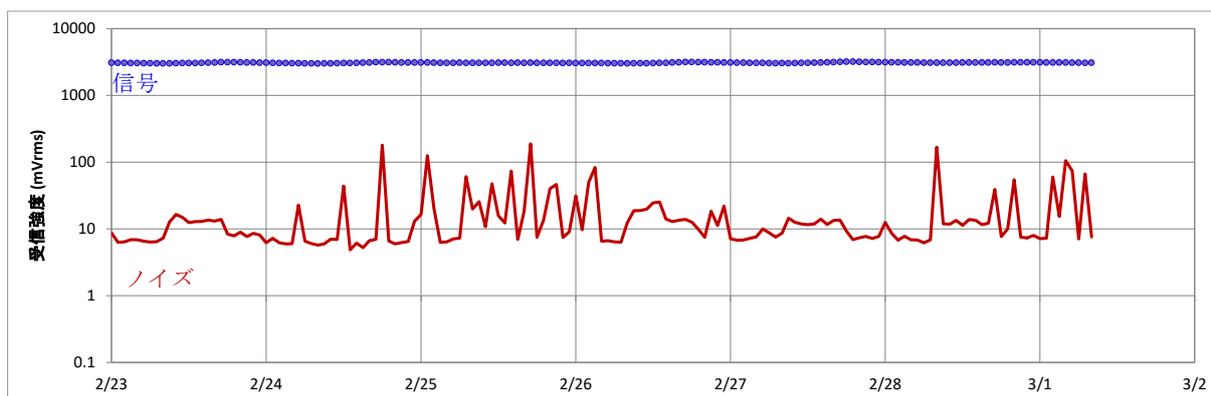
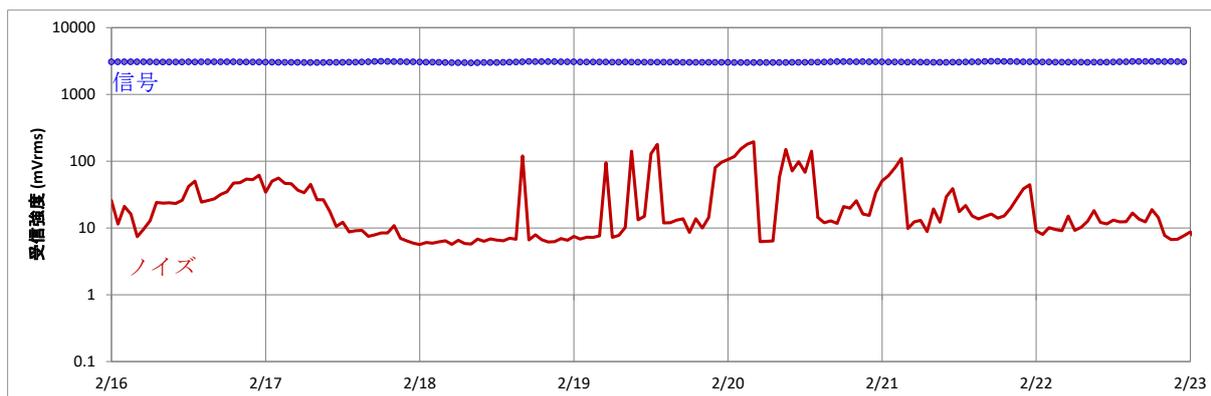


図 3.2.2-14 通信状況の確認（全期間）

表 3.2.2-3 データ収録状況

			試験期間（日数） 試験時間
中継装置 1	定期通信想定回数【設計】	4,353 回	2017/9/1 0:00～ 2018/3/1 8:00 (181 日間)
	定期通信中継回数【実績】	4,353 回	
	通信成功率 ※1	100%	
中継装置 2 ※2	定期通信想定回数【設計】	4,293 回	4,353 時間
	定期通信中継回数【実績】	4,293 回	
	通信成功率※1	100%	
中継装置 3 ※2	定期通信想定回数【設計】	60 回	
	定期通信中継回数【実績】	60 回	
	通信成功率※1	100%	

※1 実施率は、試験中、各中継装置が定期通信を担当する中継回数（1 時間に 1 回の定期通信）に対する実際の定期通信の中継回数の比率

※2 通信経路変更中は、中継装置 2 に代わり中継装置 3 が受信器への定期通信を実施。動作試験中、計 5 回の通信経路変更を実施。

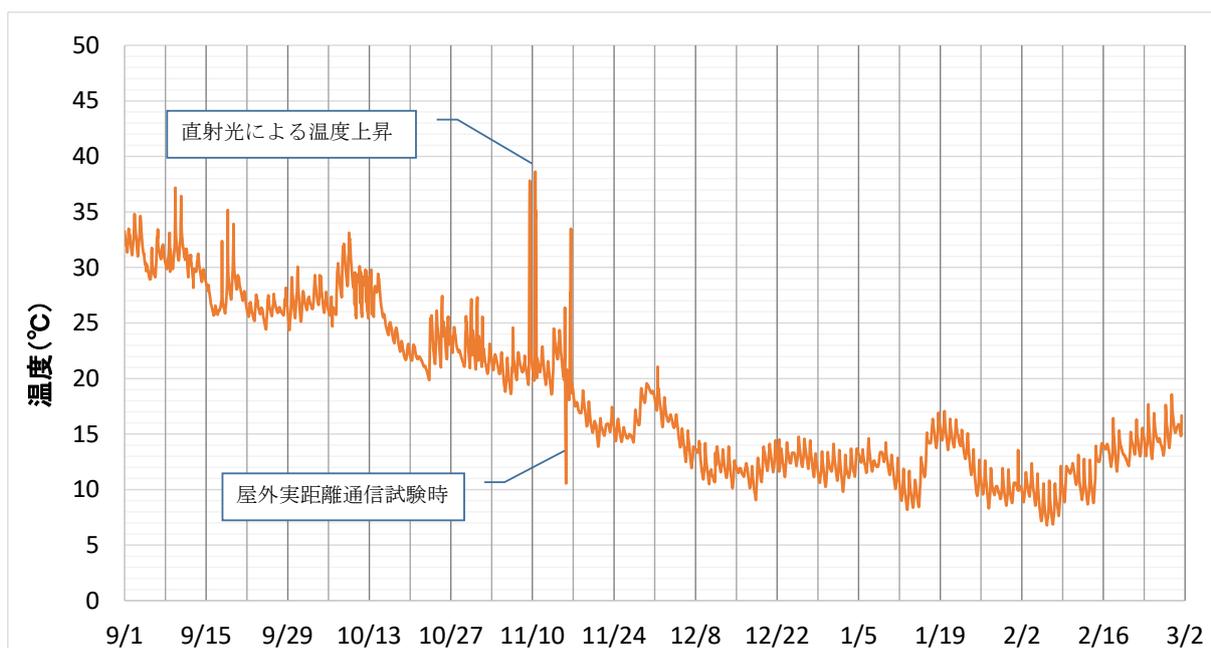


図 3.2.2-15 小型送信器 1 による温度測定データ

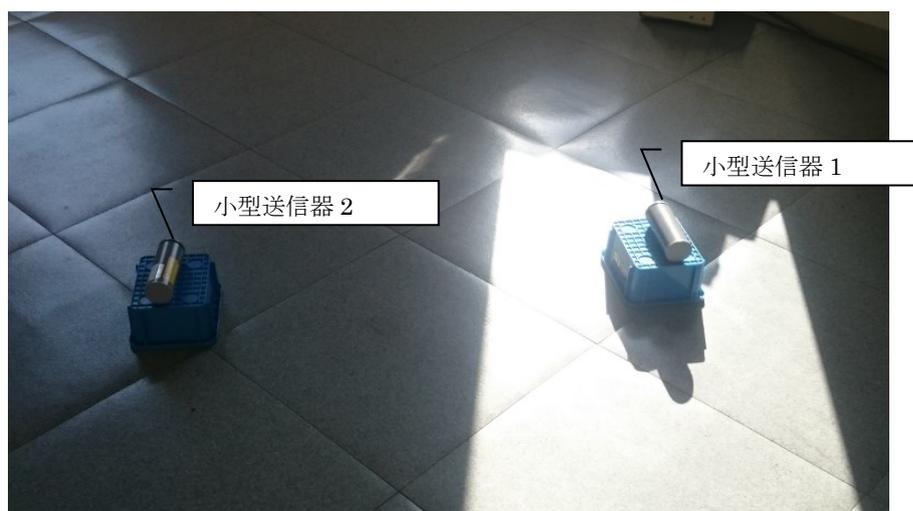


図 3.2.2-16 小型送信器 1 に直射光が当たっている様子

## 2) 通信経路変更の動作確認

経路変更時の試験状況例として、図 3.2.2-17 に動作スケジュールを示す。経路変更を実施するため、まず受信器から中継装置 2 へ動作停止の指令通信を送信する (16:25)。中継装置は 5 分ごとに受信待機状態となるので、このタイミングで指令通信を受信すれば、中継装置から受信器へ指令通信を受信した返答の信号が送信され、中継装置 2 は動作停止となる。同じように、受信器から中継装置 3 へ経路変更の中継動作を行う指令を送信し、中継装置 3 が送信動作を行うようにする。なお、これらの指令通信の送信に関して、どの中継装置へ、どのような指令通信を送るかは PC 側から操作して行う。

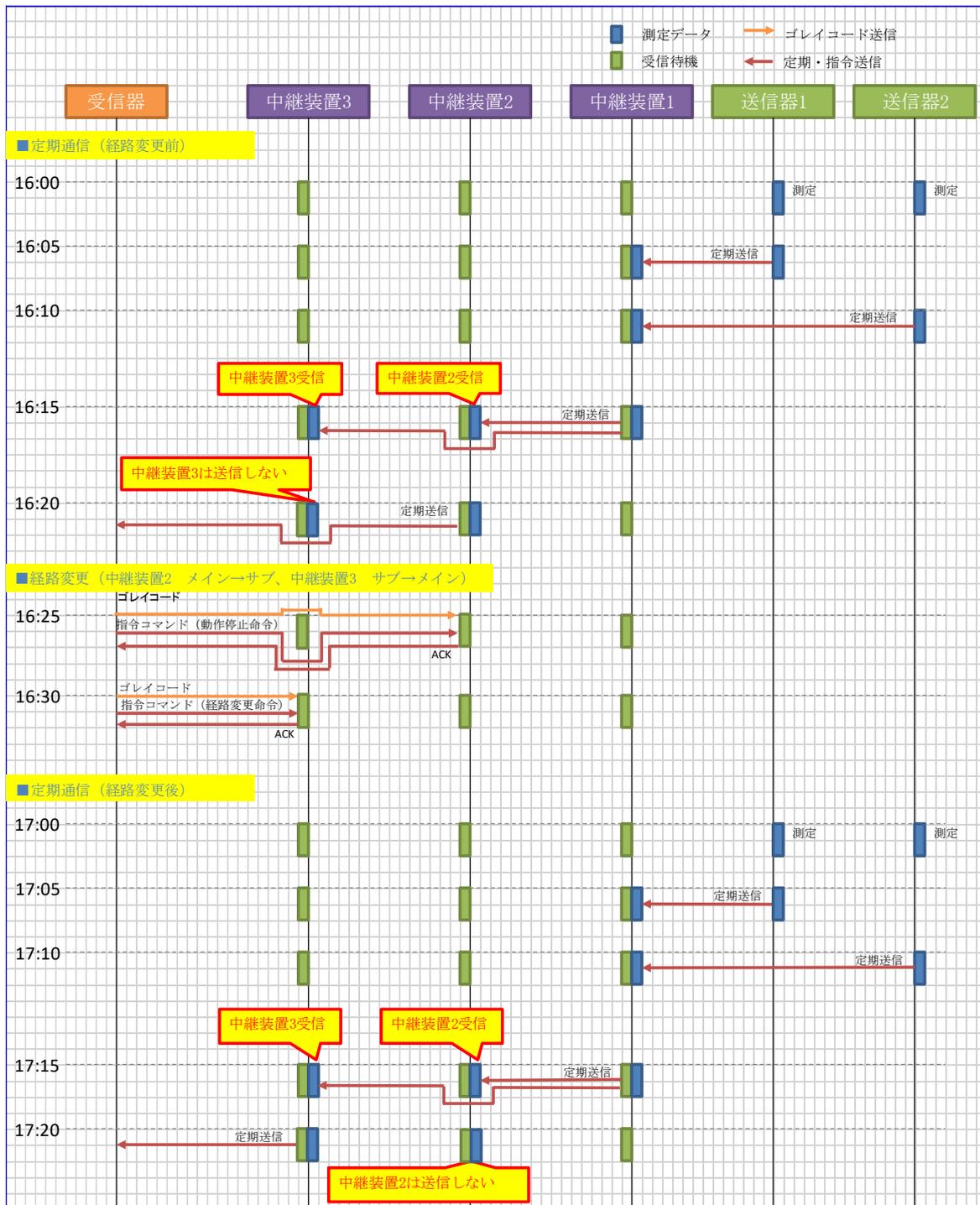


図 3.2.2-17 経路変更試験の動作スケジュール (2017年11月14日の例)

経路変更時の通信状況を図 3.2.2-18、図 3.2.2-19 に示す。図 3.2.2-19 から、16:20 の中継装置 2 の定期通信の後、16:22~16:25 の中継装置 2 の受信待機状態のタイミングに合わせて受信器から動作停止の指令通信を送信している。その後、中継装置 2 は、16:25 の受信待機時に指令通信を受け取り、受信したことを返答している。同様に、受信器から中継装置 3 に対し経路変更の指令通信を繰り返し送信し、16:30 の中継装置 3 の受信待機で指令通信を受け取り、返答していることを確認した。

以上の経路変更作業が終了した後、17:00 以降の通信試験で、中継装置 2 の代わりに中継装置 3 が通信していることを受信強度から確認した。

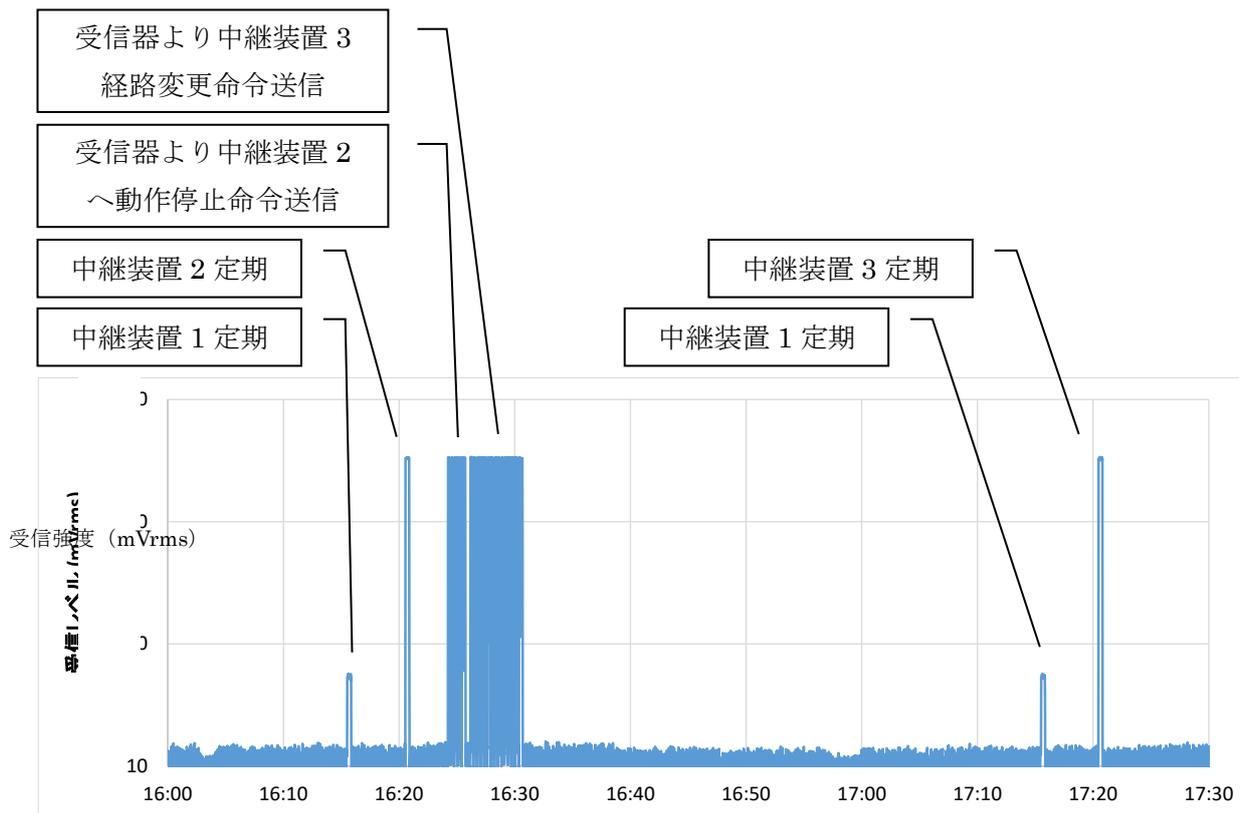


図 3.2.2-18 経路変更状況 (指令通信状況)

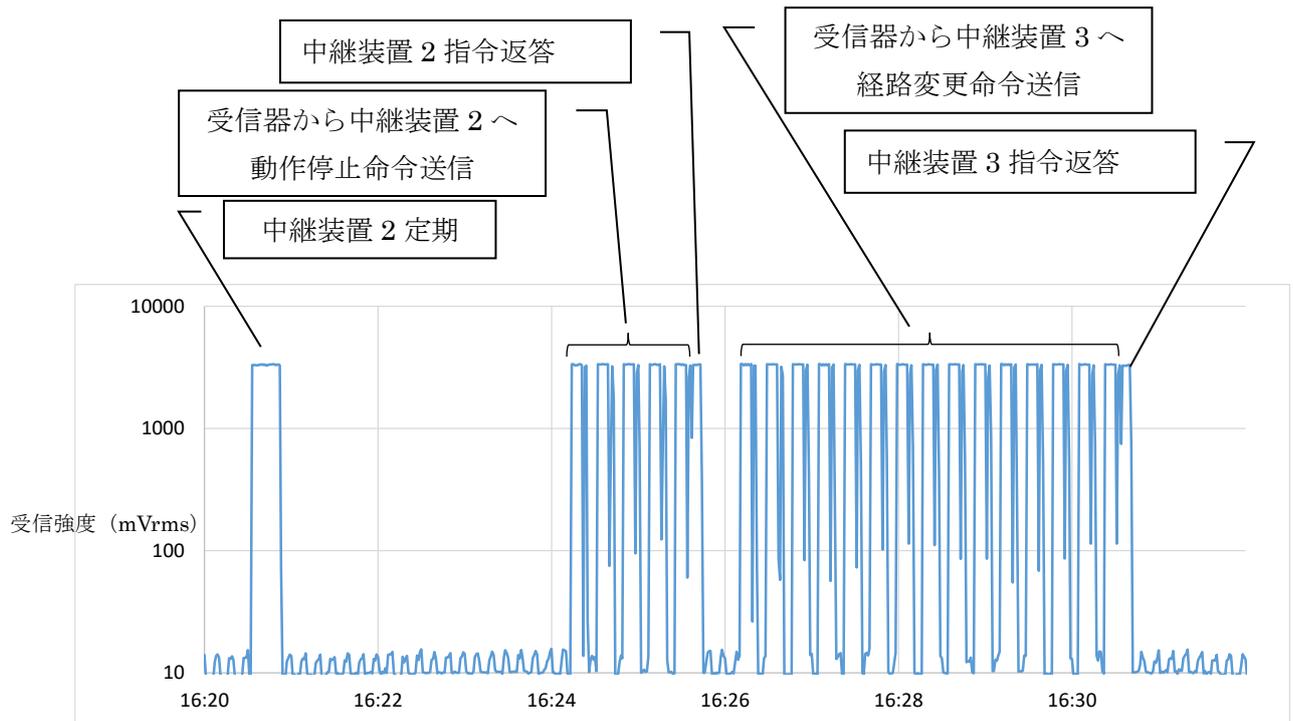


図 3.2.2-19 経路変更状況 (詳細)

経路変更の通信試験状況の一例を図 3.2.2-20 に示す。受信強度確認用受信器で計測した受信強度では、どの中継装置が動作しているか確認できないため、図 3.2.2-21 に示すように、近傍に電磁波を検知すると発光する簡易な通信チェック機を中継装置 2 と中継装置 3 に設置した。これにより、どの中継装置が通信を行っているのかを確認できる。図 3.2.2-20 から、経路変更前の通常経路の場合は、中継装置 2 の定期通信時に簡易通信チェック機が反応し、中継装置 3 は反応していない様子を確認した。一方、経路変更後は、反対に中継装置 2 のほうが反応せず、中継装置 3 のほうが反応している様子を確認した。

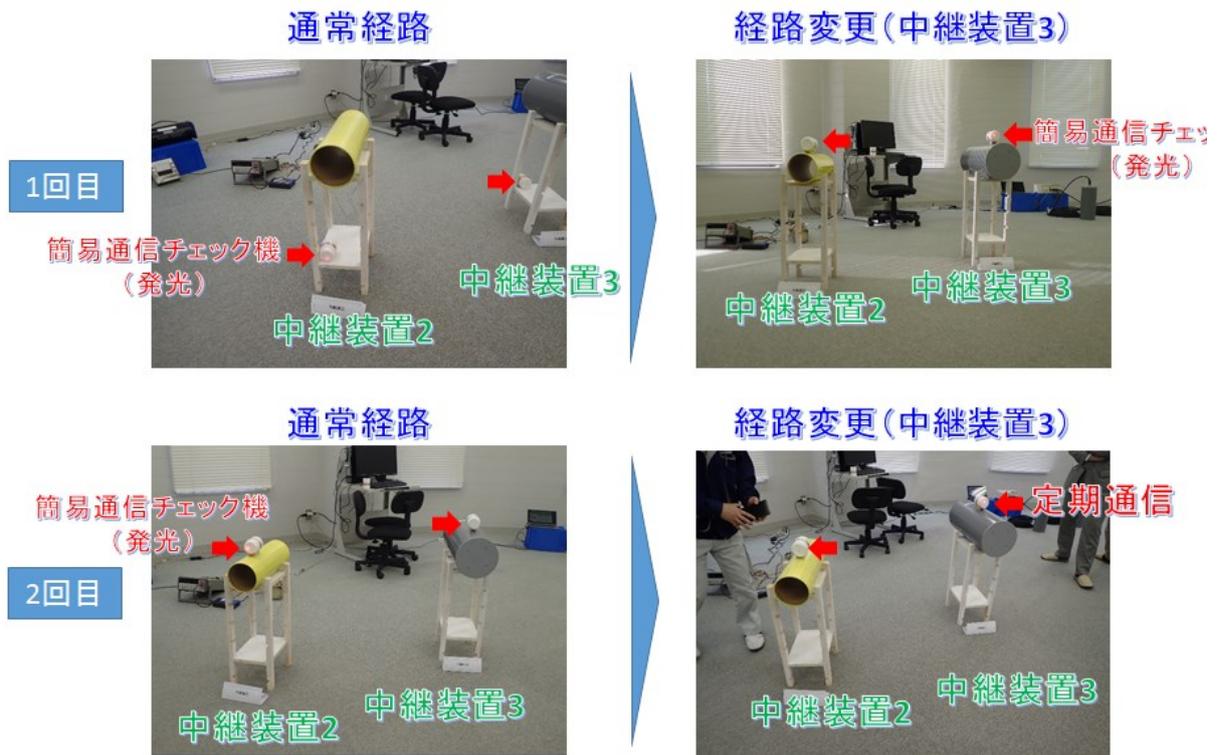


図 3.2.2-20 経路変更の通信試験状況

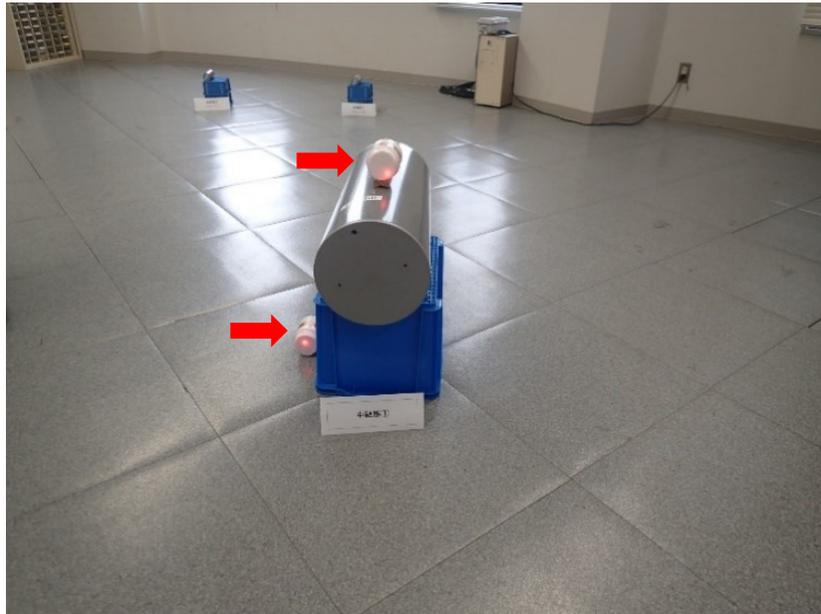


図 3.2.2-21 簡易通信チェック機の発光状況

中継装置から受信した受信器のデータを PC で確認した時の画面である (図 3.2.2-22)。PC 画面にて測定した温度データが受信できていることを確認した。以上から、経路変更後に、中継装置 2 の代わりに中継装置 3 が定期通信を実施したこと、送信されたデータが受信器で受信されたことを確認した。経路変更後の通信が確認できた後、再び、受信器から指令通信を送信し、経路変更前の通常経路に戻して通信試験を継続した。

以上の経路変更試験を図 3.2.2-23 に示すように計 5 回実施し、問題なく通信が実施されたことから冗長性を持たせた中継装置を開発することができた。

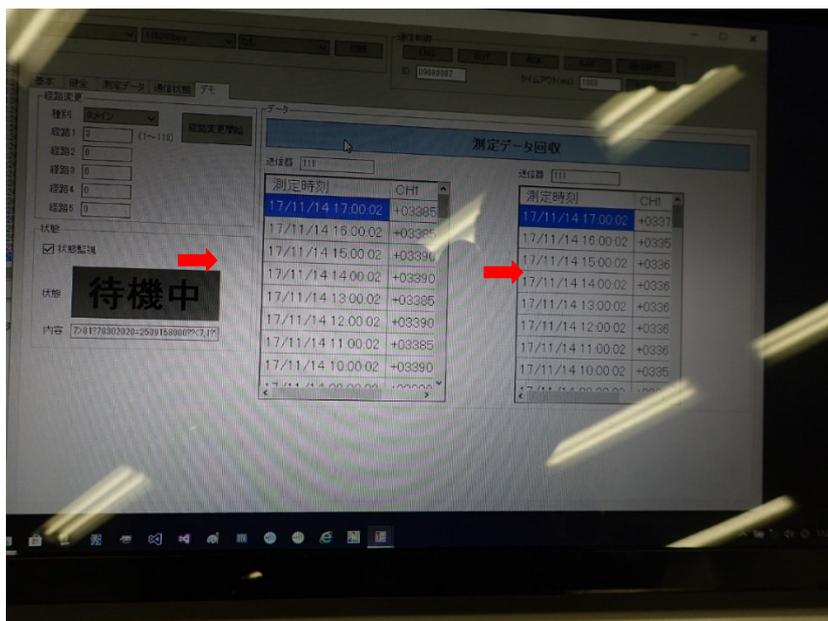


図 3.2.2-22 経路変更後の試験結果 (測定データ)

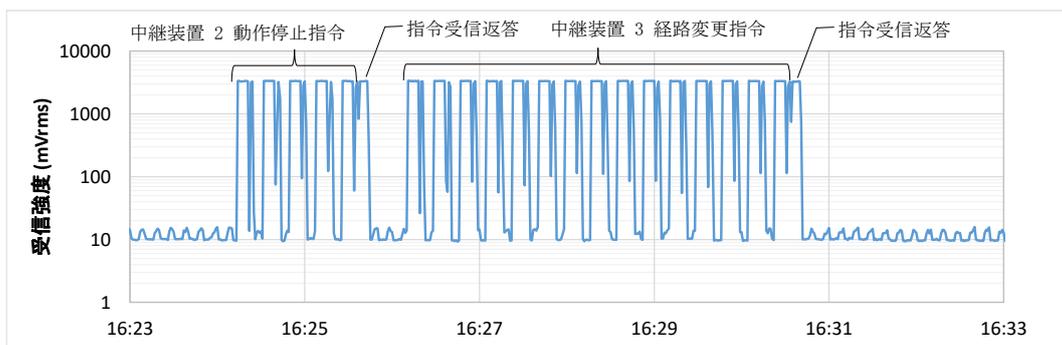
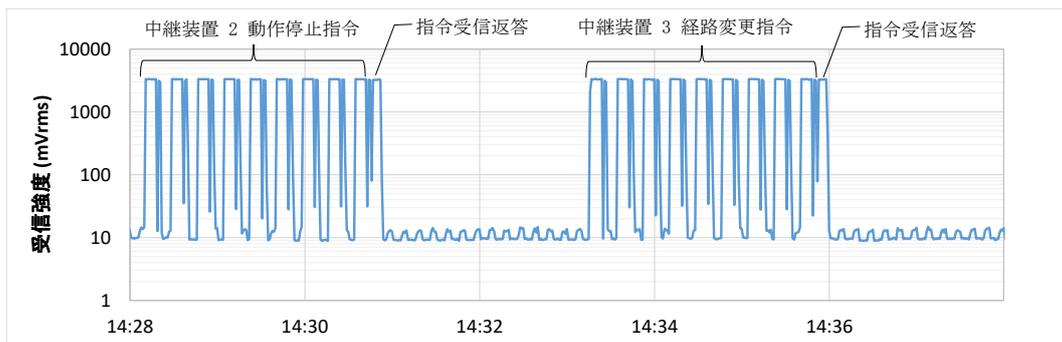
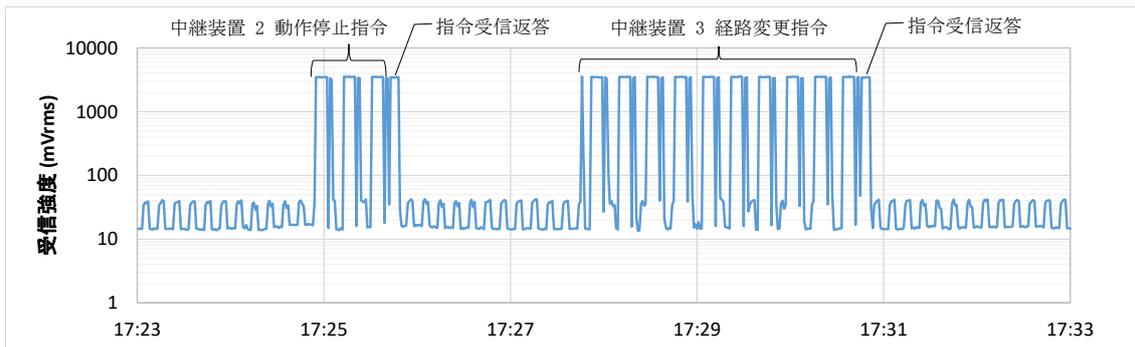
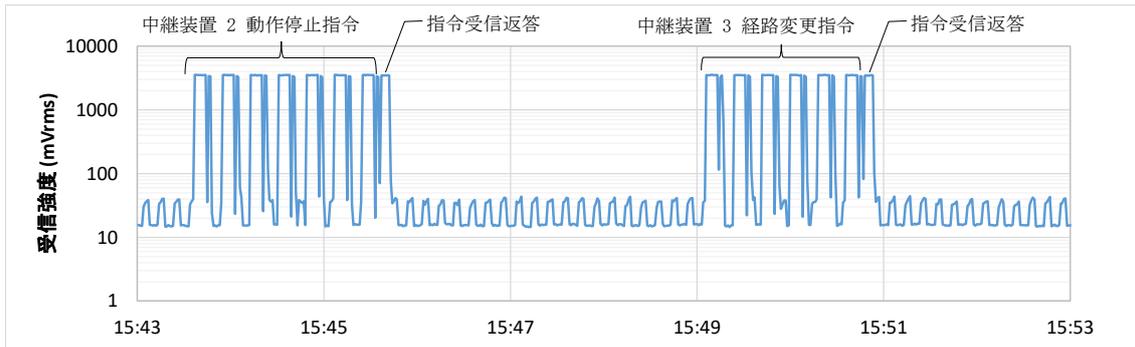
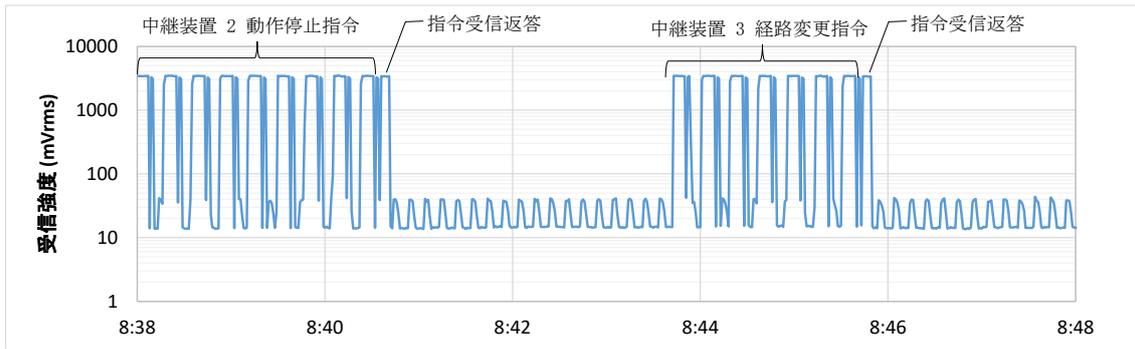


図 3.2.2-23 経路変更の指令通信状況 (計 5 回)

### 3) 電池容量確認・試算方法の検証

記録した電池電圧の時間変化を図 3.2.2-24 に示す。電源に採用している塩化チオニルリチウム電池は、容量が減少しても電圧低下はほとんどせず、寿命が近づくと急激に電圧低下することが特徴である。記録した結果から、推定で半分程度は消費しているにもかかわらず、電圧はほとんど変化せず、公称値の 10.8V とほぼ等しい値で推移している様子が確認できる。なお、時折電圧が下がっている様子が記録されているが、これは電池の特性で、電流が流れているときは一時的に電圧低下するためである。

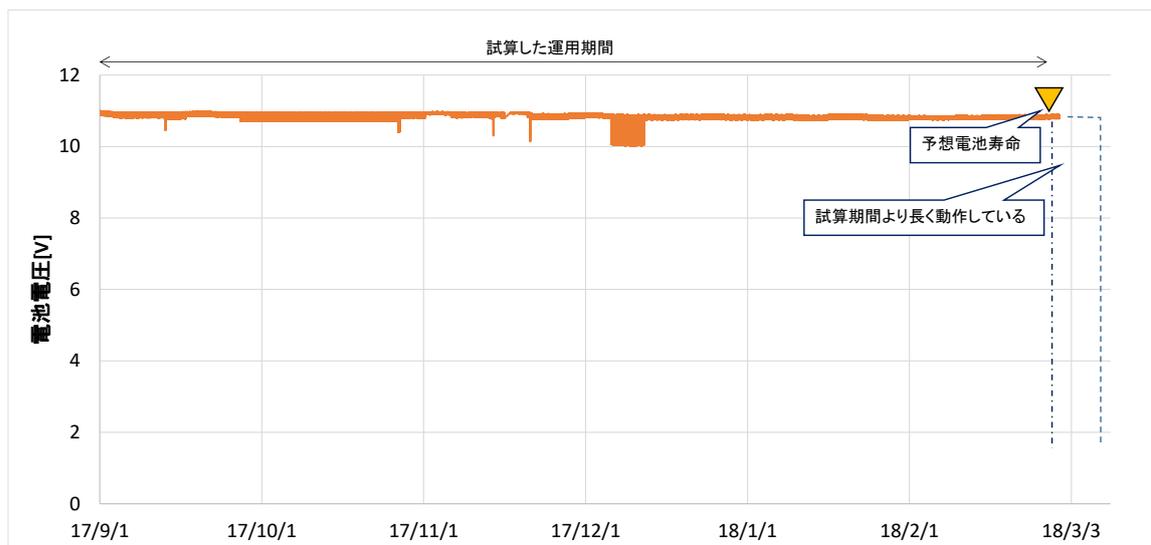


図 3.2.2-24 電池電圧の時間変化

試験中の消費電流の計測例を図 3.2.2-25 に示す。図から、5 分ごとにスリープ状態から起動して低消費受信回路に通電されている様子、中継装置 1 から送られてきたデータを受信している様子、データを受信器に送信している様子が消費電流の変化として確認できる。また低消費受信回路の消費電流が極めて小さいことを確認した。

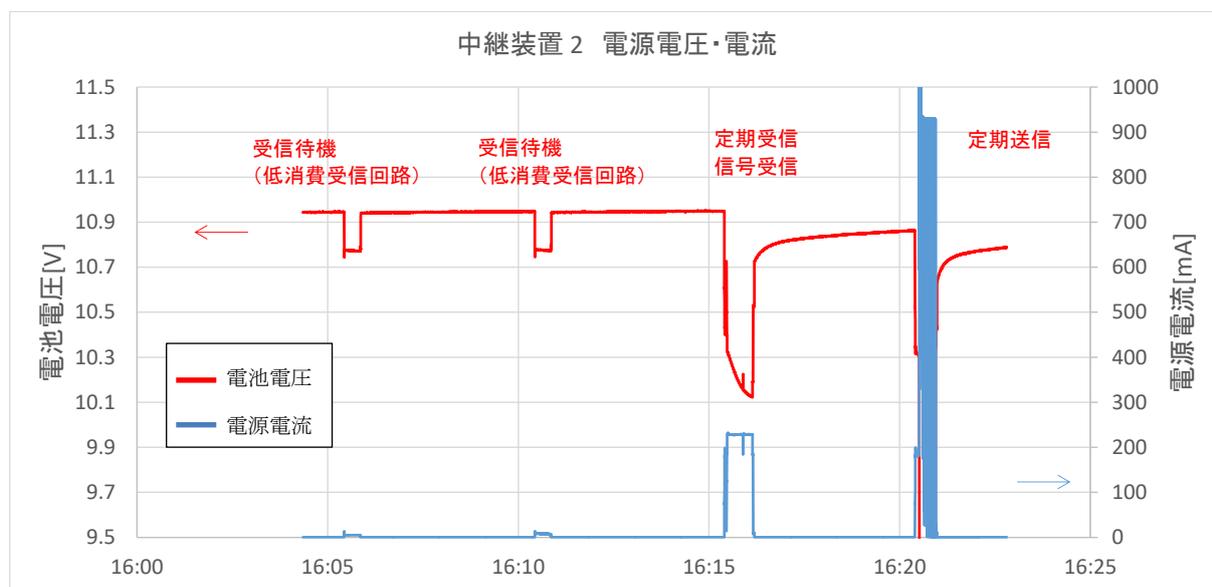


図 3.2.2-25 消費電流の変化 (詳細)

各動作の消費電流量の試算値と実測値の比較結果を表 3.2.2-4 に示す。1 日当たりの消費電流量は、試算値 283mAh に対して実測値 187mAh と 100mAh 程度の差が生じていた。個々の動作で比較すると、スリープ、低消費起動コード受信、定期通信の受信は概ね同じ値であり、差が大きかったのは定期通信の送信である。この要因について調べたところ、定期通信の送信動作は、CPU でデータ処理をする準備の動作と実際にアンテナのコイルに電流が流れデータ送信される動作の 2 段階に分けられるが、各々で消費電流が大きく異なることが分かった。具体的な消費電流（実測値）は、準備の動作が 47.8mA、送信の動作が 929.3mA であり、1 日当たりの消費電流量ではそれぞれ 3.58mAh、115.93mAh となり、定期通信の送信としては 119.5mAh となる。これに対して、試算時は送信の動作の消費電流 1000mA で計算したため、1 日当たりの消費電流量は約 206.7mAh であった。定期通信の送信の 1 日当たりの平均動作時間は、試算時と実測でほぼ同じであったが、前述のとおり、試算時はより電池を消耗する条件で計算して電池の数を決めていたため、6 ヶ月の動作試験期間中に電池が切れなかったと考えられる。なお、実測値の消費電流量で電池寿命を計算すると、約 8 ヶ月となる。

今回の結果を踏まえて、各動作の詳細な実測消費電流値を用いて試算することにより、より必要な電池容量を正確に算出することが出来るため、電池の容量を減らすことによる小型化も可能となる。

表 3.2.2-4 各動作の消費電流量の試算時と実測値の比較

	試算時 (表 3.2.2-2)			実測値			
	消費電流 (mA)	1 日当たりの平均動作時間 (sec)	1 日当たりの消費電流量 (mAh)	消費電流 (mA)	1 日当たりの平均動作時間 (sec)	1 日当たりの消費電流量 (mAh)	
スリープ	0.005	78781.2	0.109	0.007	78479.5	0.153	
低消費起動コード・受信	5	5760.0	8.000	4.951	6027.3	8.289	
定期通信・受信	220	1109.6	67.809	179.600	1174.5	58.595	
定期通信・送信	準備 (CPU 処理)	1000	744.0	206.667	47.800	269.6	3.580
	送信				929.300	449.1	115.930
	計	1000	744.0	206.667	-	718.7	119.510
中継指令・送信	700	2.6	0.506	5 回の経路変更指令の送信・受信は、定期通信の送信・受信に含む			
中継指令・受信	220	2.6	0.159				
合計	-	86400.0	283.249	-	86400.0	186.546	

## (6) 実距離通信試験

### 1) 試験目的

中継装置の通信性能を確認するため、実距離（設計値で 100m 程度）での通信試験を実施した。

### 2) 試験方法

試験レイアウトを図 3.2.2-26 に示す。



図 3.2.2-26 実距離通信試験レイアウト



図 3.2.2-27 実距離通信試験状況（全体）

2 台の小型送信器のデータを中継装置 3 で中継動作させ、中継装置 3 と受信器の間の距離を変えながら、各通信距離における受信強度を測定した。通信距離は 20m から 95m まで概ね 10m ピッチで変更した。試験状況を図 3.2.2-28～図 3.2.2-29 に示す。



図 3.2.2-28 実距離通信試験状況（中継装置 3 側）



図 3.2.2-29 実距離通信試験状況（受信器側）

試験場所周辺のノイズレベルは、概ね 2 mVrms 程度であった。

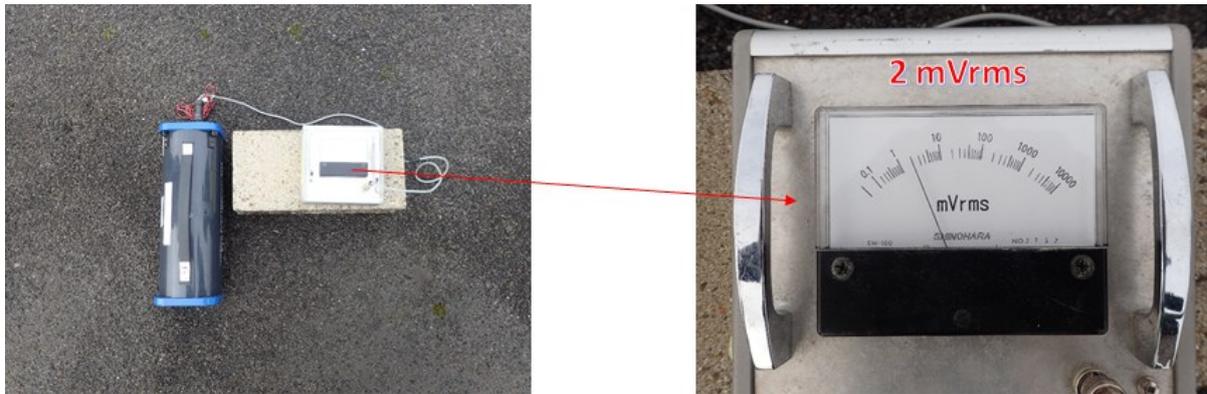


図 3.2.2-30 ノイズレベル (受信器側)

### 3) 試験結果

試験結果を表 3.2.2-5、および図 3.2.2-31 に示す。過去の実績から、通信可能な SN 比（ノイズレベルに対する受信強度の比）は 3 以上である。表 3.2.2-5 から通信距離 95m のとき、受信強度は 11 mVrms であり、ノイズレベルが 2 mVrms 程度であった場合は、SN 比が 3（受信強度で 6 mVrms）以上であるため、通信可能と判断できる。また図中の直線は理論値で、小型送信器の場合は通信距離 10m の受信強度を、中継装置の場合は通信距離 20m の受信強度を基準として、受信強度が距離の 3 乗で反比例するとして計算したものである。

測定値は、概ね理論値の直線に一致していることを確認した。ただし、通信距離が長くなり受信強度がノイズレベルに近づくと理論値よりも実測値が高くなる傾向がある。これは、受信アンテナには信号の他にノイズも重畳して受信されるので、受信強度がノイズレベルに近づくとこの影響が顕著になるためと考えられる。

表 3.2.2-5 実距離通信試験結果

通信距離 (m)	10	15	20	30	40	50	60	75	80	85	90	95
受信強度 (mVrms) 小型送信器	95	29	16									
受信強度 (mVrms) 中継装置3			580	171	80	45	26	17	14	13	11	11

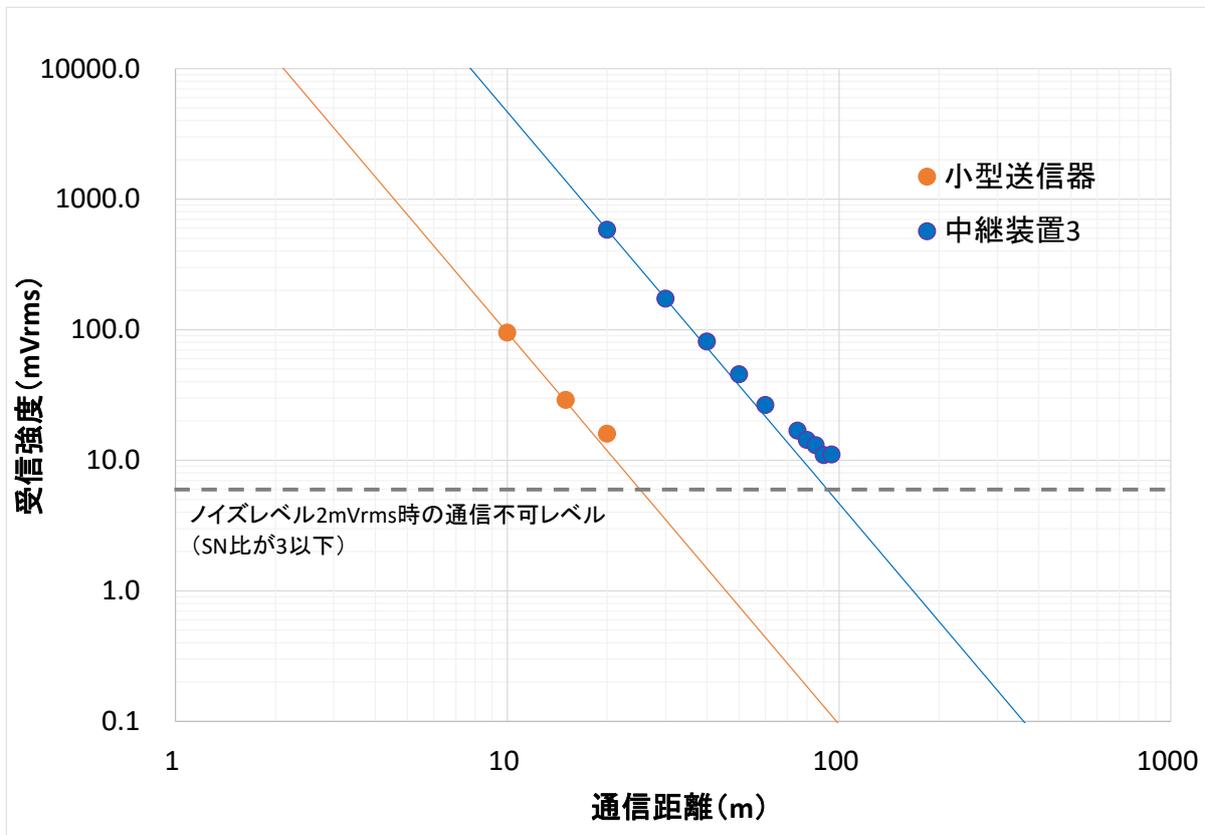


図 3.2.2-31 実距離通信試験結果

### 3.2.3 国内外の無線伝送技術に関する開発状況の調査

#### (1) 国内外の地層処分施設における無線伝送技術の開発状況

地層処分に関する海外の開発状況に関しては MoDeRn プロジェクトにおいてこれまでの成果がまとめられている。MoDeRn (2014) [2]や原環センター (2014) [3]によると、地層処分に関する地中無線開発に関しては、大きく高周波無線データ通信と低周波無線データ通信に分けられる。高周波無線データ通信では、超短波 (VHF) 帯 (周波数 30MHz~300MHz) と極超短波 (UHF) 帯 (周波数 300MHz~3GHz) での利用が検討されてきた。これらの周波数帯は、低周波の通信と比べてデータ速度能力が高いため、通信時間の短縮、消費電力量の減少というメリットがある。

一方で、デメリットとしては高周波の電磁波は岩盤内で減衰しやすいため通信距離が短くなる。MoDeRn (2013a) [4]では、様々な媒体の各周波数に対する通信距離について調査している。室内試験では、周波数 868MHz と 433MHz の試験が行われ、通信距離はベントナイトで 50cm、塩水で 25cm、珪質粘土岩で 40cm であった。さらに高周波の 2.4GHz の場合は、通信距離はもう少し短くなる。原位置試験 (スペインのエル・カブリル低レベル放射性廃棄物処分施設とフランスのトゥルヌミール URL) では、周波数 169MHz での試験が行われ、通信距離は粘性岩盤で約 3.5m、飽和したベントナイトでは 5m 以上であった。また MoDeRn (2013b) [5]では、実環境下での高周波無線データ通信の実証試験結果が報告されている。試験場所はスイスのグリムゼル試験サイトで、図 3.2.3-1 に示す高周波無線通信システムが使用された。



図 3.2.3-1 高周波無線通信システム (左：無線ノードと受信器、右：制御器) [5]

※図左で無線ノードは 6 台あるが、実際に設置されたのは 5 台

システムは、無線ノード (送信器)、受信器、制御器で構成され、この内、無線ノードは直径 75mm、高さ 190mm で、内部に間隙水圧、全圧、相対湿度・温度を計測するためのセンサーが組み込まれている (図 3.2.3-2)。

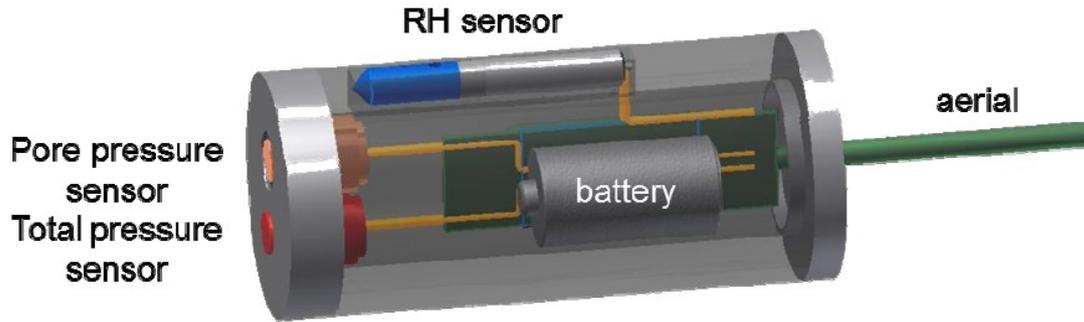


図 3.2.3-2 無線ノード模式図[5]

なお周波数について MoDeRn (2013a) [4]の試験結果を踏まえて設定された。設置場所は、図 3.2.3-3 に示すように、ベントナイト緩衝材に 2 台、ショットクリート・プラグ (厚さ 4m) に 2 台、周辺岩盤に 1 台であった (図中の青三角マーク)。

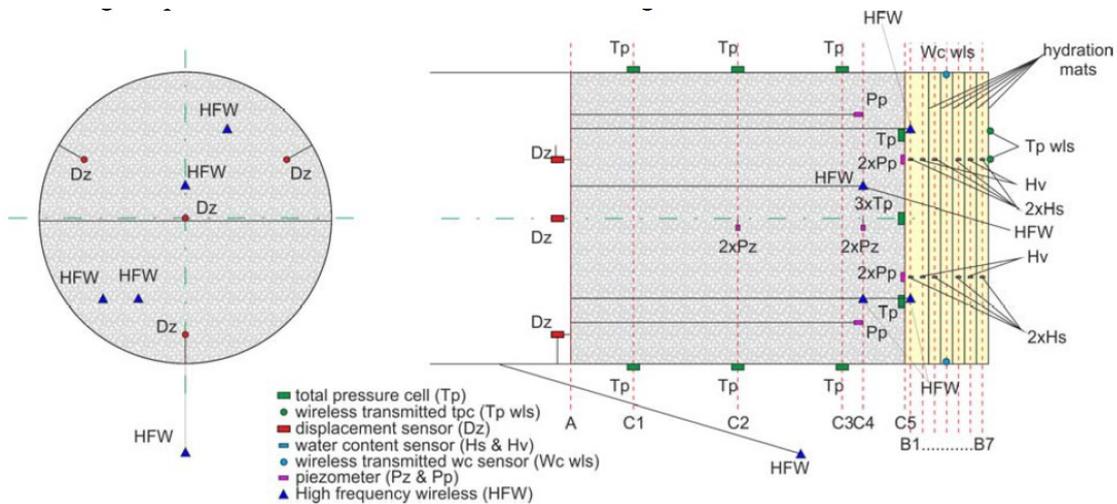


図 3.2.3-3 グリムゼル試験サイトでの試験レイアウト[5]

試験の結果、全無線ノードにおいて継続的にデータ取得でき、無線通信の有効性が確認された。低周波無線通信に関しては、高周波と比べて岩盤内での減衰が小さいため、通信距離は数百 m まで適用できると考えられている [2]。低周波無線データ通信システムの実証試験については、MoDeRn (2013c) [6]で報告されている。試験場所は、ベルギーの HADES URL (古第三紀の軟質泥岩：ブームクレイ) で、地下坑道から地上への通信試験が実施された。送信アンテナは半径 1.7m~1.8m (図 3.2.3-4) で、約 225m の通信に成功したと報告されている。また複数の周波数においてデータ通信に成功しており、この内、最適な周波数は 1.4kHz~1.7kHz であったと報告されている。

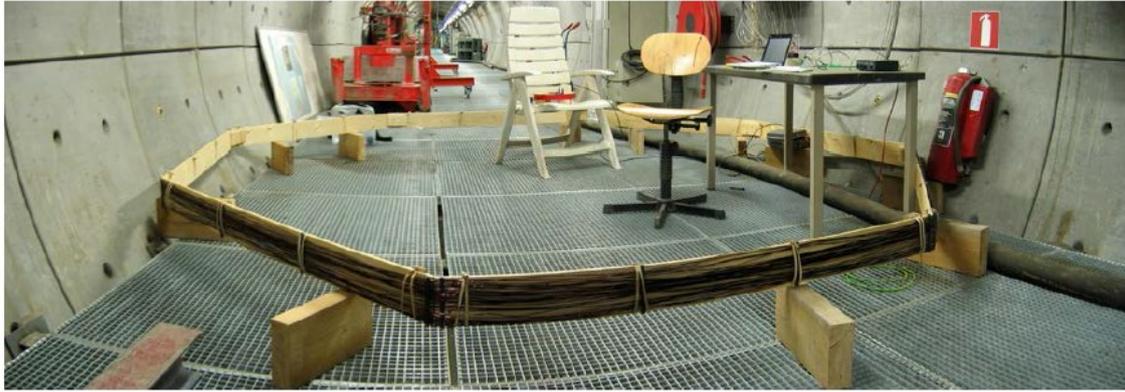


図 3.2.3-4 HADES URL での送信アンテナ (ECN-1) [6]

そのほか、原環センターでは、これまでに国内外の地下研究施設等において地中無線の原位置試験を数多く実施している。吉村ら (2003) [8]や Takamura et al. (2009) [9]は、Äspö Hard Rock Laboratory (スウェーデン核燃料廃棄物管理会社 (SKB) の地下研究施設) において、送信器 E (図 3.2.3-8) を使った坑道間での通信試験を実施し、100m 程度の通信が可能であることを報告している (図 3.2.3-5)。

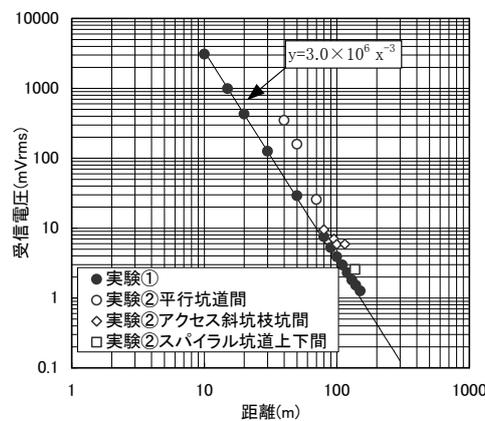
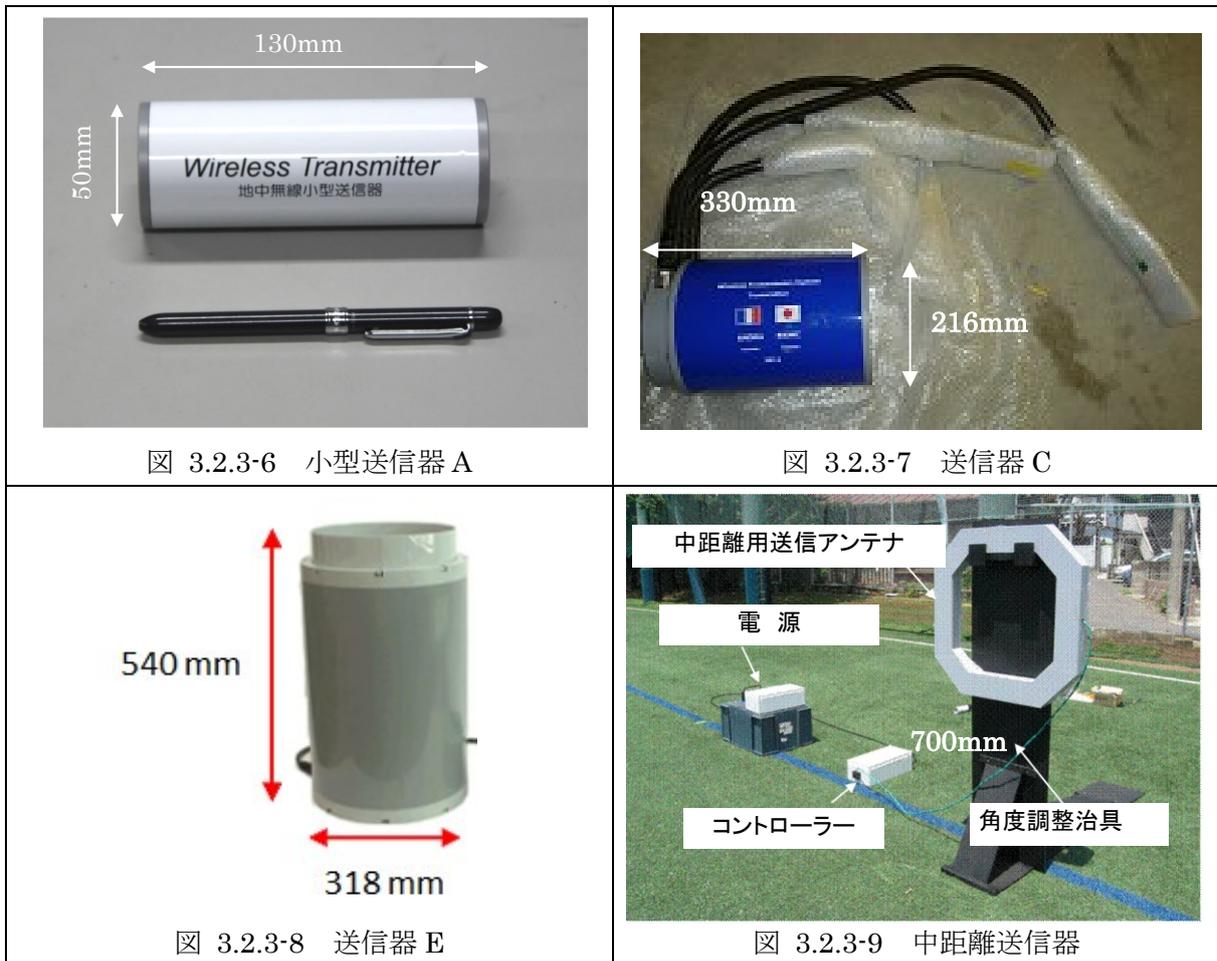


図 3.2.3-5 Äspö HRL での通信試験結果 [8]

羽根ら (2011) [10]や Suzuki et al. (2012a) [11]は、フランスの Meuse/Haute-Marne Underground Research Laboratory (CMHM URL)において、小型送信器 A (図 3.2.3-6) と中距離送信器 (図 3.2.3-9) の通信試験を坑道間でそれぞれ実施し、小型送信器 A では 25m、中距離送信器では鋼製支保等による影響を強く受けたものの 40~50m の通信が可能であったと報告している。江藤ら (2013) [12]は、岩盤中で 100m の通信距離を確保するため、長距離送信器 (3m×3m の面積を持つアンテナ) を製作し、幌延 URL において長距離送信器の通信試験を実施した[13]。送信器は深度 250m 坑道に設置し、受信器を深度 250m 坑道、深度 140m 坑道、地表の 3ヶ所に設置して通信試験を行い、いずれの場所でも送信器からの信号を受信したことが確認されている。なお、地表に設置した受信器の位置は送信器の直上から約 200m 水平方向に離れた位置であったため、

実通信距離としては約 300m の通信が行われたことになる」と報告されている。新保ら (2008a) [14]は、ビュール地下研究所において地中無線装置の予備試験を実施している。



また実際に地中無線送信器が埋設された事例として、六ヶ所の地下空洞型処分施設性能確証試験の試験空洞内において、模擬施設の底部緩衝材中に送信器 C (図 3.2.3-7) が設置されている (図 3.2.3-10)。設置前に坑道内の通信状況が確認され[15]、底部緩衝材へ送信器が設置された。設置後の定期通信の受信電圧は、理論値とほぼ一致することが確認されている[16]。

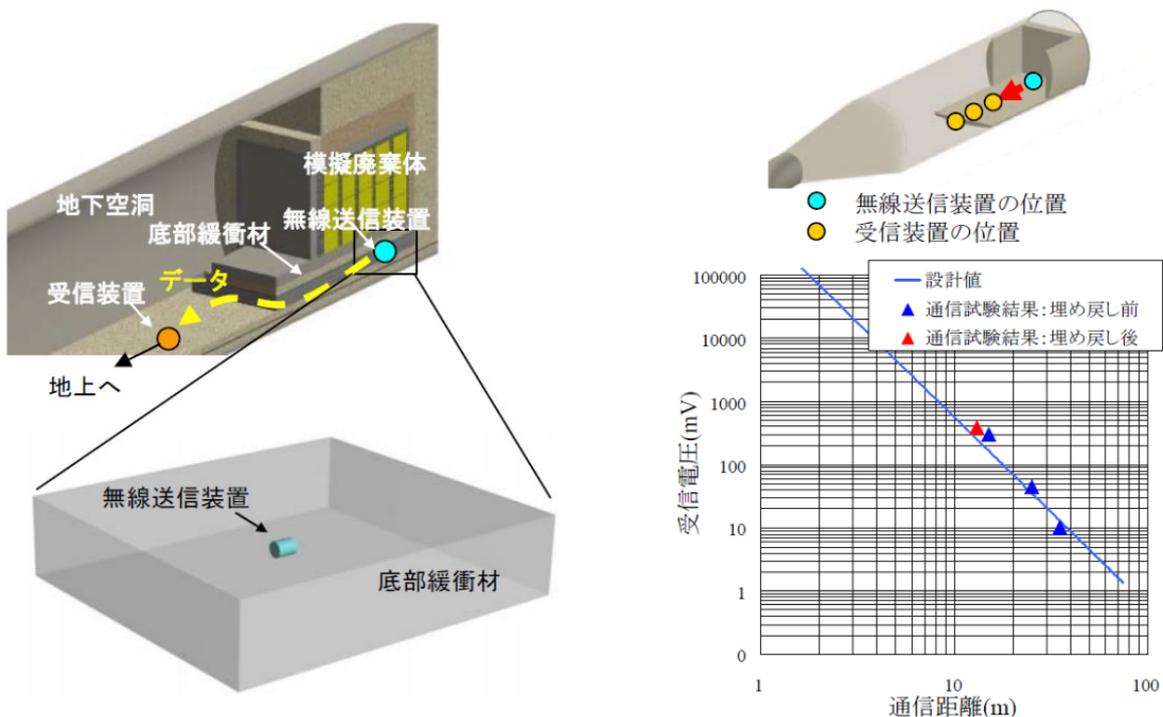


図 3.2.3-10 底部緩衝材に設置された地中無線送信器 (左) と通信試験結果 (右) [16]

そのほかの試験としては、地中無線の通信性能に鋼製部材が与える影響について実験的な検討事例が報告されている[17] [18]。

原位置等での試験だけでなく、低周波電磁波の伝播挙動に関する解析的評価についても試みられている。理論的な議論は、高村ら (2006b) [19]に詳しく、低周波電磁波 (100Hz~10kHz) の伝播理論について Maxwell の波動方程式から電磁界の近似解を導出し、均質な岩盤における電磁界は距離の三乗に反比例すること、花崗岩や堆積岩中の低周波電磁波の距離減衰は空気中と比べ小さいことを示した。また導出した電磁界の近似解と Äspö HRL で実施した無線データ通信試験の結果を比較しており、同一坑道内での通信試験 (1本の坑道内に送信器と受信器を設置) では、通信距離 10m~100m において、理論値 (岩盤の導電率 0S/m) と計測値がほぼ一致し、電磁波は距離の 3 条に反比例する傾向が確認されている。また二本の平行な坑道間での通信試験 (1本の坑道に送信器、もう 1本の坑道に受信器を設置) では、低周波電磁波の伝播特性は送信器と受信器のアンテナ向きに依存すること、坑道内の電源ケーブル類等が伝播特性に影響を及ぼすことが報告されている。また高村ら (2009b) [20]は、鋼製部材が電磁波伝播挙動に与える影響について、須山ら (2013) [21]は地下深部から地上までの長距離通信の実現可能性についてそれぞれ解析的な検討を報告している。また竹ヶ原ら (2004) [22]は、2次元 FEM 解析により、電磁波の伝搬は周波数と媒質の導電率に依存すること、周波数が高いほど、また導電率が高いほど減衰が大きくなることを報告している。

地中無線装置自体の開発についても報告がある。例えば、高村ら (2007) [23]や Takamura et al. (2009) [9]は、地中無線の通信効率を高めるために、送信と受信アンテナの径・材質・形状等について検討を行い、送信アンテナの面積が大きいほど通信効率が高くなること、受信アンテナの

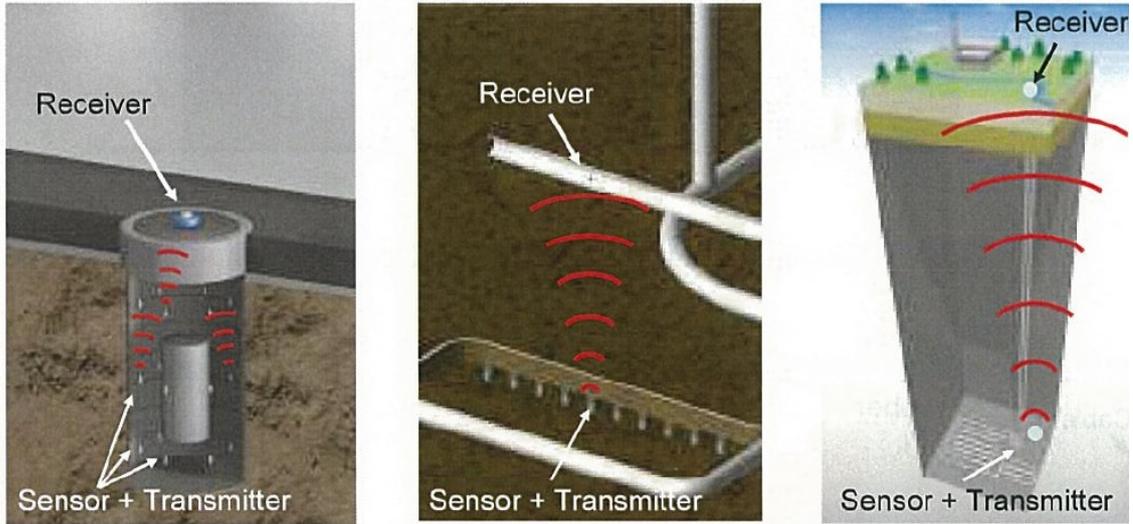
面積が大きいほど受信する磁界強度が大きくなること、さらに受信アンテナは細長い形状ほど SN 比が大きくなることを報告している。江藤ら (2013) [12]は、地中無線小型送信器へ各種センサを接続するため、差動トランス型圧力センサ、及び振動弦型ひずみセンサのための接続アダプタを開発している。奥津ら (2010) [24]は、地中無線装置の設置方法の検討として、吹付ベントナイト工法を用いて、装置を緩衝材ブロック内部に設置する方法を実証し、装置周りに密実に緩衝材を施工できることを確認している (図 3.2.3-11)。



図 3.2.3-11 吹付工法による小型地中無線器の緩衝材への設置状況[24]

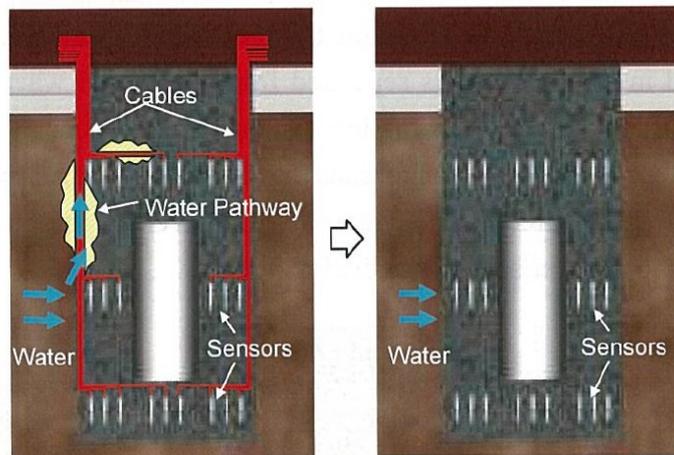
さらに最近では、Tsubono et al. (2017) [25]が、地中無線の長距離化、及び通信経路冗長性確保のために、地中無線の中継装置を開発した。これにより、多段多系統での通信ネットワークを構築することが可能となった。

以上の各種原位置試験や解析検討等を踏まえ、地層処分へ地中無線を適用する際の概念 (図 3.2.3-12) や優位性 (図 3.2.3-13) について、Suyama et al. (2009a) [26] (2009b) [27]、Suzuki et al. (2012b) [28]等の論文にまとめられている。

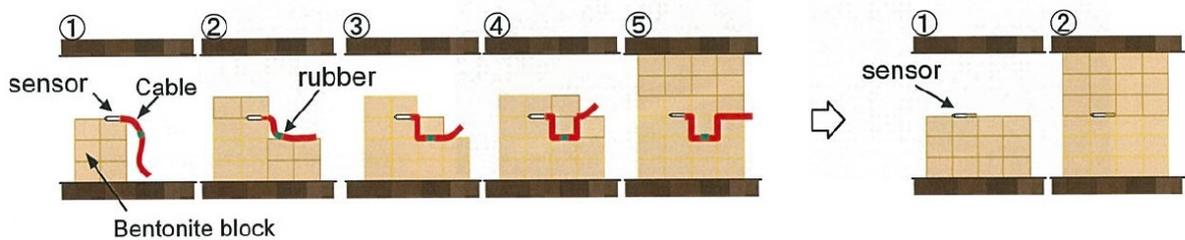


Transmission Distance: 5m    Transmission Distance: 100m    Transmission Distance: 5

図 3.2.3-12 地中無線システムの地層処分への適用概念[27]



(a) Avoiding disturbance of the barrier by transmission cables



(b) Simplifying the installation

図 3.2.3-13 地中無線システム適用の優位性[27]

## (2) 国内の類似施設における開発状況

地層処分以外では、鉱山用通信・救助（閉じ込められた鉱山労働者の位置を検出）、洞窟探査／通信（洞窟用無線）、トンネルやダム等の土木分野、及び軍事用通信での開発が進められている[7]。

鉱山用通信に関しては、1930年代の初期実験で、既に地中無線通信は原理的に可能であるといわれていたが、当時は要件を満たすハードウェアの開発が遅れており、70年代になってシステムの開発が進められた。まず開発されたのが、鉱山労働者が持ち運びできる携帯型のもので、閉じ込められた鉱山労働者の居場所を割り出すために利用された（Powell [29]）。アンテナ用コイルはバック等に収納されており、鉱山内で閉じ込められた際に、バックから取り出し送信アンテナとして地上へ信号を送る。送信アンテナの直径は約8.7mで、周波数は1kHz～3kHzである。いくつかの鉱山で実証試験が行われ、地下坑道から地表まで180m程度の通信に成功したと報告されている。

また Mine Site Technologies 社は、鉱山労働者にメッセージを送信するための PED（Personal Emergency Device）と呼ばれるシステムを開発している[7]。このシステムでは、直径150-3000m（現場の状況に依る）の大型のループ・アンテナを適用しており、約1.2kWの電力供給が必要である。Bandtopadhyay[30]らは、鉱山内の労働者の安全及び採鉱生産性向上に重要な要素となる坑道内通信方式についてまとめている。その中で、各種有線通信は有事の際に機能停止を受けやすいと有線通信の限界について述べている。無線通信の事例の1つに、Flex Alert を上げている。これは鉱山上に10~120mのループコイルを設置しておき、有事の際には地下で作業する鉱夫に避難信号ランプを点灯させる単方向通信である。また PED Communication System は、超低周波通信により岩盤を通して通信を行っており、安全性、生産性に寄与している。通信範囲は設置するループ・アンテナの大きさに左右され、大きくなると通信範囲が改善される。最大で12kmものループ・アンテナを用いる。ループ・アンテナには250V、5Aもの高出力信号を駆動できる。Tele Mag は3000Hzから8000Hzの間で作動するSSB変調された搬送波技術が用いられた固定局間通信用システムであり、可搬型ではない。2000年にNIOSHの研究鉱山の地下100mで試験された。

土木分野の適用事例として、ダム現場では、ワイヤレス間隙水圧計が開発され[31]、現場へ適用されている[32]～[35]。ワイヤレス間隙水圧計は、筐体、基板、電池、アンテナコイル、間隙水圧計で構成される（図3.2.3-14）。

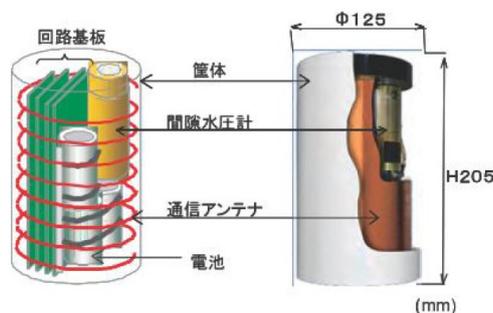


図 3.2.3-14 ワイヤレス間隙水圧計[34]

直径は 125mm、高さは 205mm の円筒形で、通信周波数は 8.5kHz、土中の通信距離は 70m 程度（空中では 100m）である。計測期間は、計測・通信頻度により異なるが、10 年以上としている。図 3.2.3-15 は、ダムへの適用事例で、ワイヤレス（WP-2, 3）と有線ケーブル（P18, 19）による間隙水圧計測を比較し、ワイヤレス計測でも有線ケーブル計測とほぼ同等な結果が得られたこと、ワイヤレス計測のほうが設置時の利便性が高いことが報告されている[34] [35]。

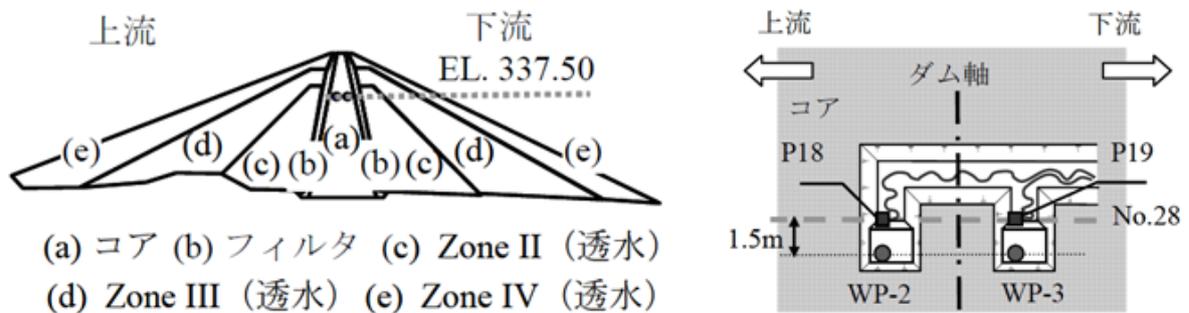


図 3.2.3-15 地中無線のダムへの適用事例（左：ダム概観、右：設置平面図）[35]  
 （WP-2,3 が無線、 P18,19 は有線）

ワイヤレス計測無線による斜面への適用事例については、樋口ら（2009）[36]が斜面崩壊検知センサを開発し、現場へ適用している。センサは、斜面の表層に埋設され、崩壊が発生すると無線で信号が送られる仕組みである。センサの寸法は直径 114mm、高さ 205mm で、地中無線の周波数は 8.5kHz、土中での最大通信距離は最大 30m 程度である。その他の事例については、須賀原ら（2006）[37]や樋口・遠目塚（2010）[38]で紹介されている。例えば埋立工事の現場では、海底に設置した地中無線送信器（沈下計や傾斜計が接続されたもの）から送信される沈下や変位等のデータを海上あるいは埋立後は地上の受信器で受信し、施工中から維持管理までのモニタリング用として地中無線システムを利用している（図 3.2.3-16）。

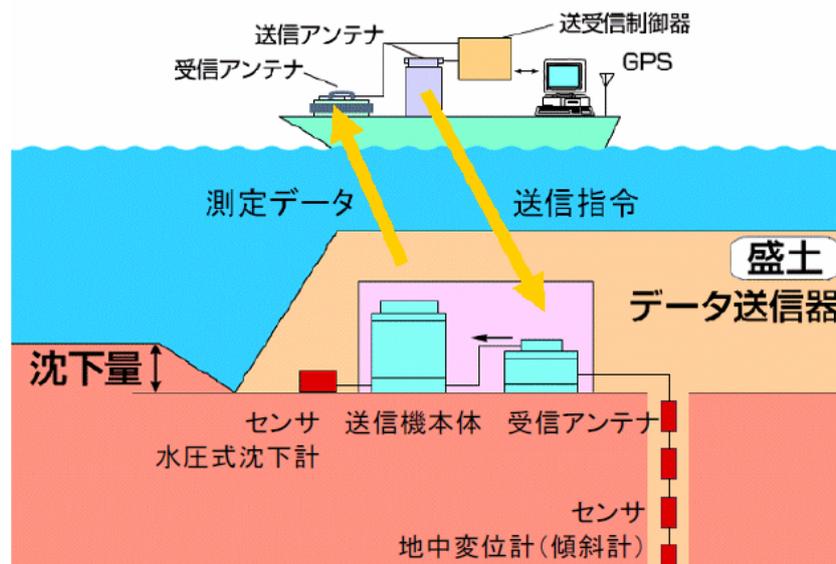


図 3.2.3-16 地中無線の海中埋立工事への適用事例[37]

河川の現場では、堤防の維持管理を目的として、侵食計や水位計が接続された地中無線送信器が堤防内へ埋設されている。また土砂の移動実態調査用のトレーサに地中無線通信技術が適用された事例もある。礫に小型の地中無線送信器を埋め込んでおくことで、洪水等で移動した礫を追跡することができ、特に礫が水中や堆積土砂に埋没しても追跡可能である。トンネルへの適用方法としては、シールドトンネルのセグメント内に地中無線送信器を組み込んだ方法が紹介されている。また富岡町の夜の森公園の除染土壌等の一時保管場所において、発酵による内部温度変化の状況を把握するため除染土壌内に小型地中無線が適用された実績がある（図 3.2.3-17） [39]。

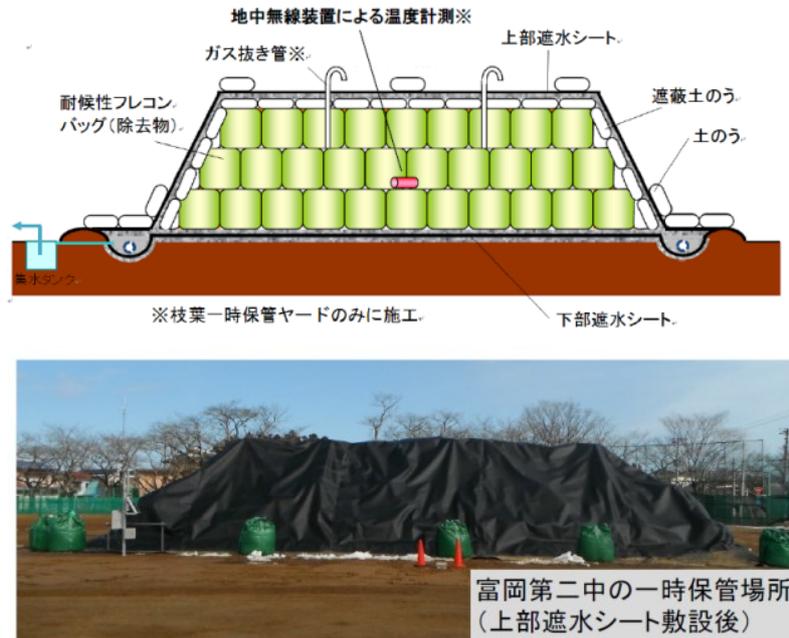


図 3.2.3-17 除染土壌等の現場保管への適用事例[39]

そのほかの適用事例として、軍用通信について、潜水艦との長距離通信のために 20～200Hz の周波数を用いている。アンテナ長さは 60-150km（一部、地中に埋められている）で、消費電力は 100kW 以上である。短距離通信用としては、Ultra Electronics 社が開発した「Rock Phone」 [40]と呼ばれる装置がある。Rock Phone は、直径 3.8m のループ・アンテナが使用され、5kHz 前後の周波数で動作する。双方向の音声・データ通信が可能で、データ伝送速度は最大 2412 bits/sec である。洞窟、トンネル、及び大型建屋構造物で使用でき、最大通信距離は 200m である。

### 3.2.4 URL で実施中の適用試験の整理

平成 26 年度から、幌延深地層研究センターおよび東濃地科学センターの地下調査坑道にて、地下環境での地中無線伝送試験を実施している。本検討では、それぞれの試験における地中無線システムの動作状況について、評価した。

#### (1) 幌延深地層研究センターにおける無線通信試験

幌延深地層研究センターの地下研究施設における人工バリア性能確認試験において、平成 26 年度、地中無線モニタリング装置 7 台を、緩衝材ブロック (Section-11、間隙水圧計 2 台 : 002 局・004 局、土圧計 1 台 : 003 局) と埋戻し材ブロック (間隙水圧計 2 台 : 005 局・008 局、土圧計 2 台 : 006 局・007 局) にそれぞれ設置した。

平成 30 年 2 月末時点までの約 38 ヶ月間の各センサの計測値の経時変化を図 3.2.4-1～図 3.2.4-7 に示す。図から、全てのセンサにおいて継続的にデータが取得できていること、また生データファイルでは、各センサにおいて、所定の頻度 (2 回/日) で計測が行われていることが確認できた。一方で、坑内のノイズレベル上昇に伴うと考えられる通信障害が度々発生している。しかしながら、本システムでは、毎週の定期通信で過去 4 週分のデータを重複して通信しているため、通信障害によるデータ欠損が生じて、4 週以内に受信ができれば欠損データは自動的に補完される。現状、4 週以内のデータ復元率は 100%であるため、特に対応策は必要ないと考えている。

なお、計測値の比較用として、地中無線モニタリング装置の設置場所近傍の有線センサの値も図中に示した。図 3.2.4-1、図 3.2.4-3 には緩衝材ブロック Section-9 の間隙水圧計 (PP015) を、図 3.2.4-2 には緩衝材ブロック Section-9 の土圧計 (TP012) を図 3.2.4-5、図 3.2.4-6 には埋戻し材ブロック E 断面の土圧計 (TPB019) の約 15 ヶ月分のデータを示している。設置場所は必ずしも同じではないので計測値の直接的な比較はできないが、経時変化に関しては概ね一致していることを確認した。

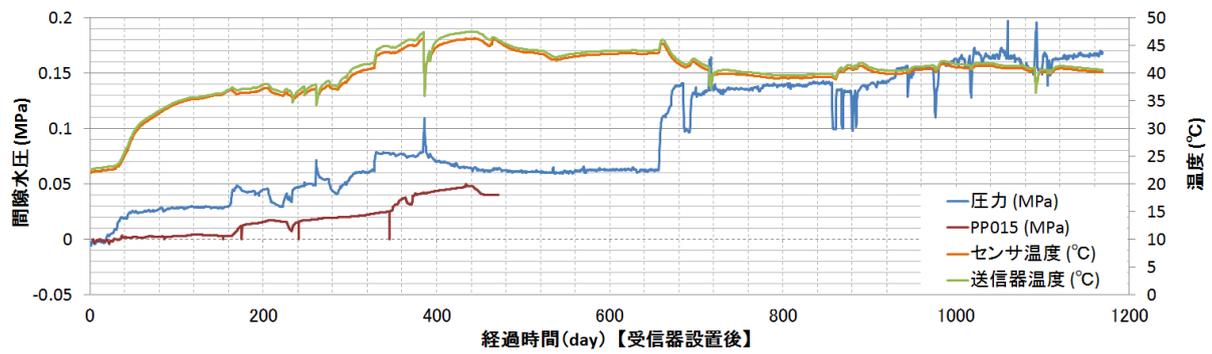


図 3.2.4-1 測定データ (002局) 【幌延 URL】

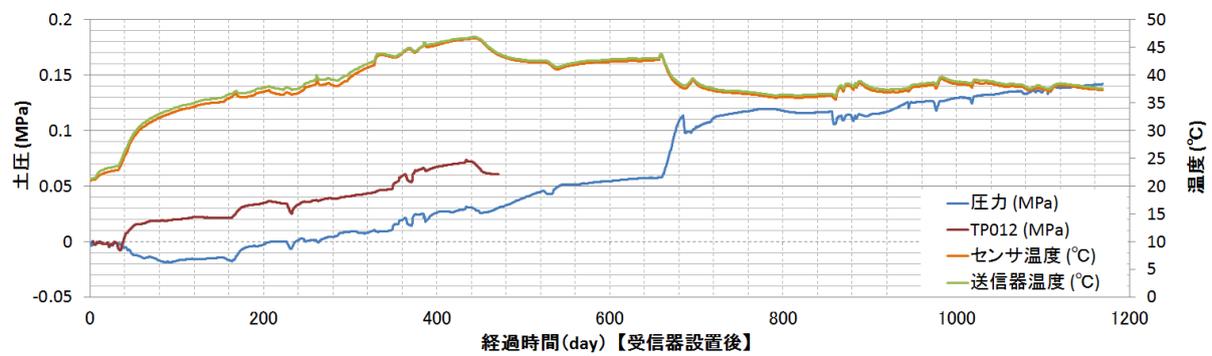


図 3.2.4-2 測定データ (003局) 【幌延 URL】

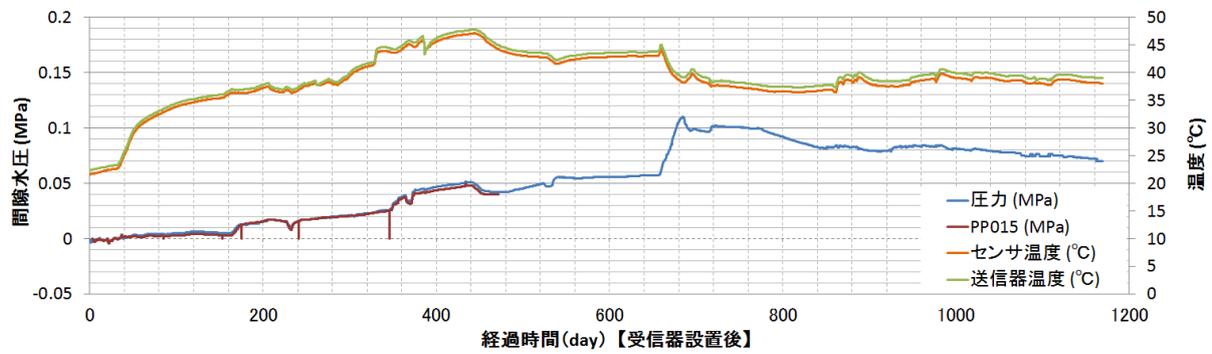


図 3.2.4-3 測定データ (004局) 【幌延 URL】

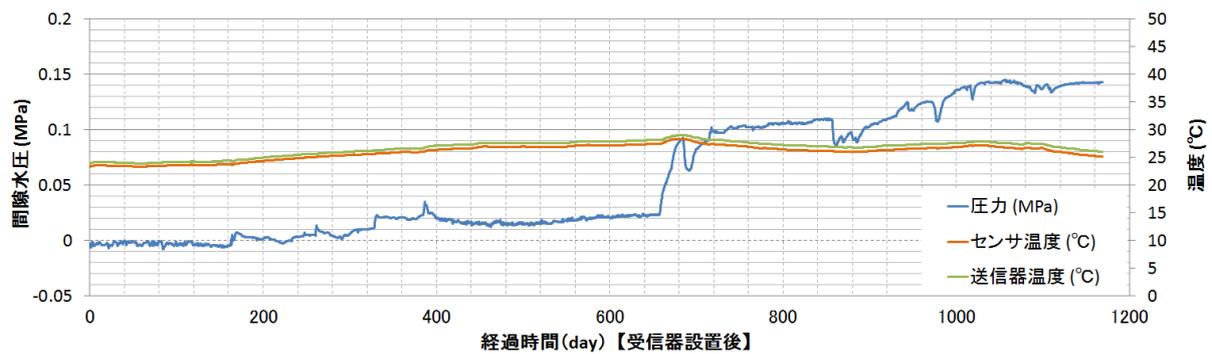


図 3.2.4-4 測定データ (005局) 【幌延 URL】

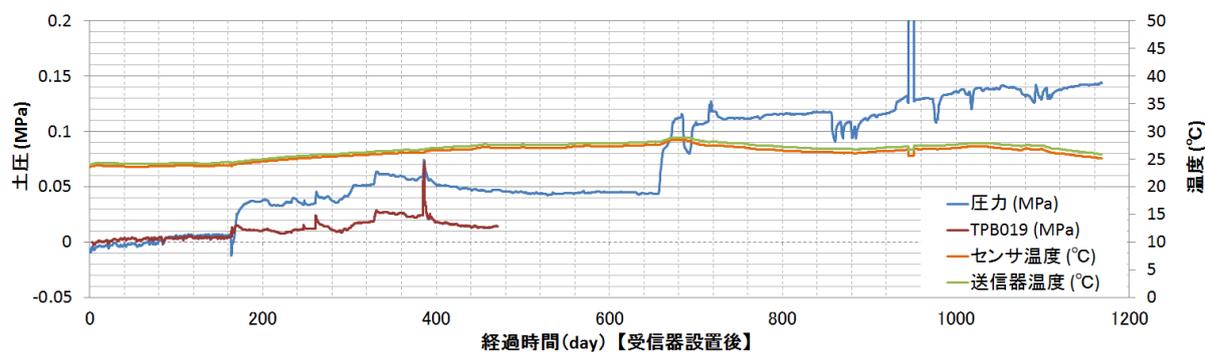


図 3.2.4-5 測定データ (006局) 【幌延 URL】

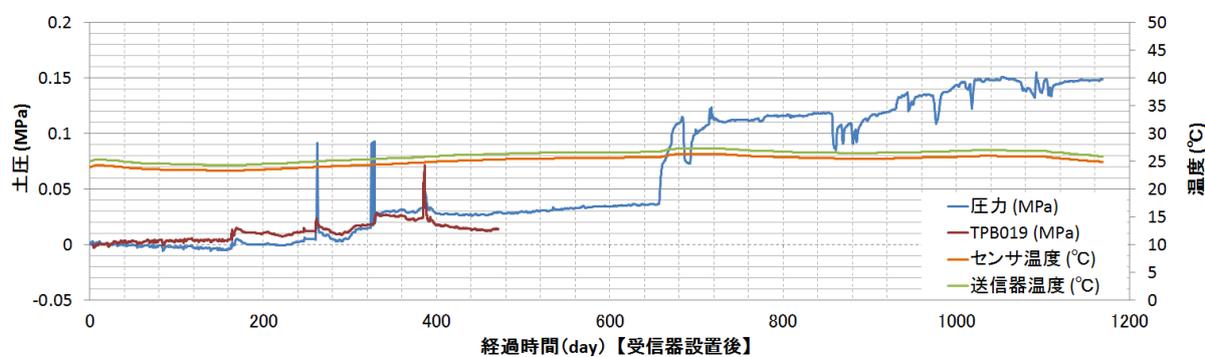


図 3.2.4-6 測定データ (007局) 【幌延 URL】

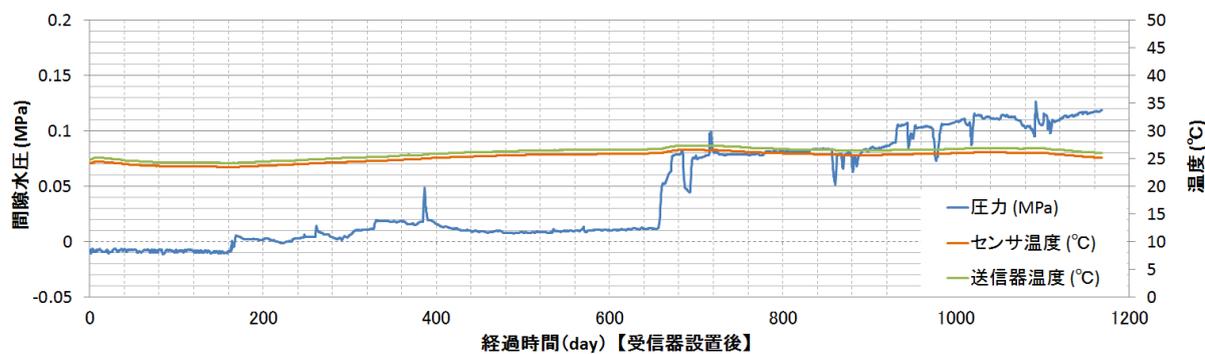


図 3.2.4-7 測定データ (008局) 【幌延 URL】

### 3.2.5 瑞浪超深地層研究所における無線通信試験

瑞浪超深地層研究所の地下 500m 研究アクセス北坑道で実施される再冠水試験において、地中無線を利用したモニタリング（水圧センサ 2 台での計測）を実施するため、平成 26 年度、坑内に装置類の設置作業を行った。

図 3.2.5-1 に測定結果を示す。継続的にデータ取得できている様子を確認した。

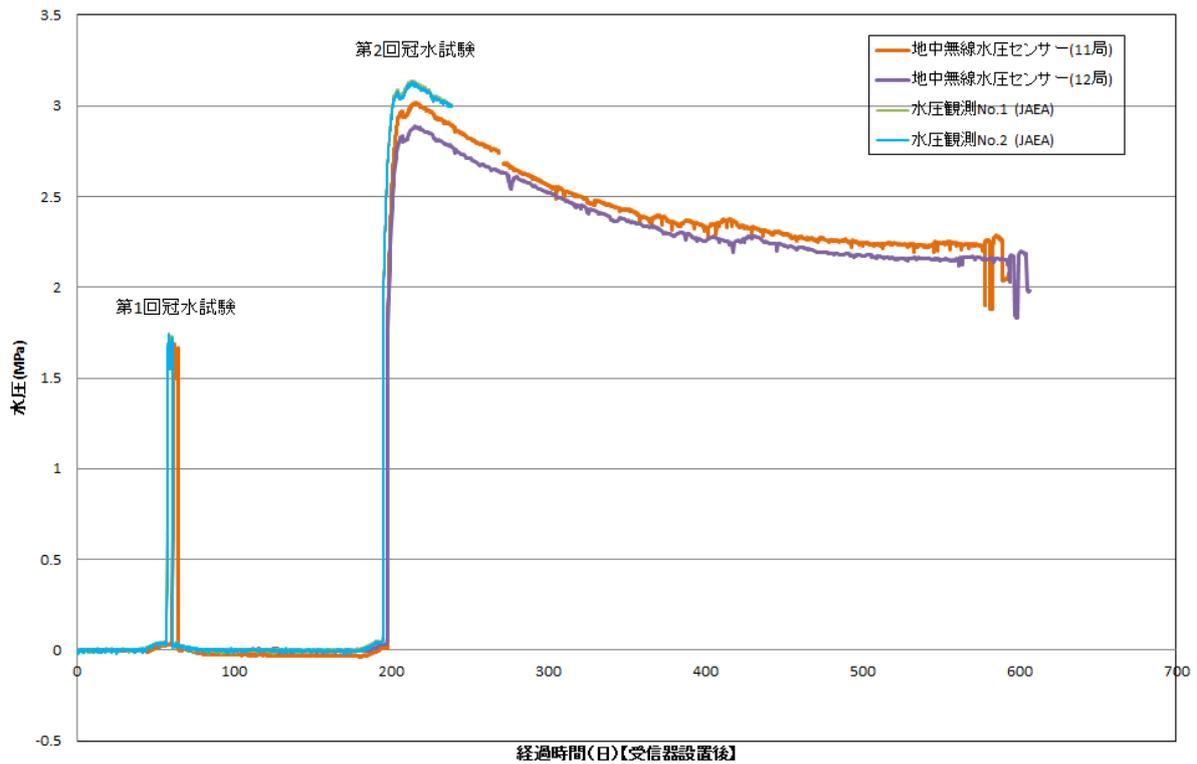


図 3.2.5-1 測定データ【瑞浪 URL】

冠水試験が終了したため、小型送信器の撤去作業を行った。図 3.2.6-7 は冠水坑道側壁に設置した小型送信器の写真、図 3.2.6-8 は撤去後の小型送信器である。

### 3.2.6 無線通信試験

本試験では、地層処分に関するモニタリング技術のうち、ANDRA と共同研究により開発した地中無線送信装置を使用して送信試験を実施し、地中無線送信技術の実証を行う。

#### (1) 試験内容

地中無線送信技術の実証試験を実施するにあたって、以下の順に従って試験を実施する。

試験場所は、フランスのトゥルミヌール地下研究所 (IRSN) にて実施する(図 3.2.6-1)。

①山頂付近は高圧電線があるため、通信試験に影響を与える可能性がある。また、トンネル内には、電界・磁界の影響を与えるレールが現存することから、受信機を山頂に設置する前に個々の機器の動作確認、トンネル内での送信試験を実施して坑内の通信状況を把握する。

※IRSN は事前に山頂付近のノイズを測定し、影響は見られないことを確認している。

②トンネル坑口から 1,200m 地点に送信器 (アンテナ含む) を設置し、約 370m 上の山頂に受信器を配置して送信試験を行う。

③②の送信試験が終了した後、送信器を山頂に受信器をトンネルに設置した逆の試験Bやレールの影響を除いた試験C (山頂に送信器、受信器) 等を実施する。

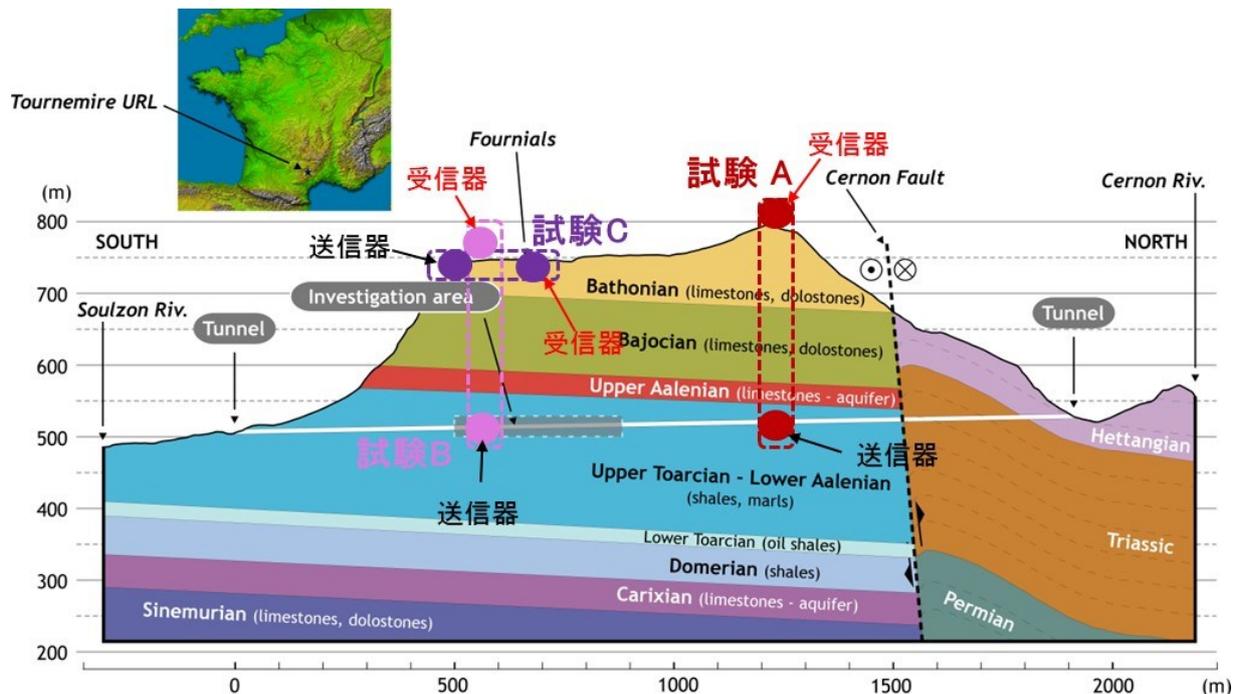


図 3.2.6-1 トゥルミヌール地下研究所における試験概要

## (2) 送信機器の確認、設置

送信器が動作不良であったため、日本から持参した部品を代用品として使用し送信試験を行った(図 3.2.6-2)。



図 3.2.6-2 送信器の部品交換

トンネル内で送信試験を実施し、受信強度を計測したところ計測器の針が振り切れて計測不能であった。レールに電気が伝わって受信器に到達していると考えられる。

アンテナに脚を設置して地上からの高さを約 1m とし、レールとの距離を確保した(図 3.2.6-3)。



図 3.2.6-3 脚設置前のアンテナ (左)、脚設置後のアンテナ (右)

### (3) 試験結果

#### 1) 試験 A ー送信器（トンネル）、受信器（山頂）

試験 A の結果を以下に示す。受信強度が 2~3mVrms を確保できており、無線送信可能な距離であることを確認した。機器の性能を下回っているのは、レールの影響が考えられる(図 3.2.6-4)。

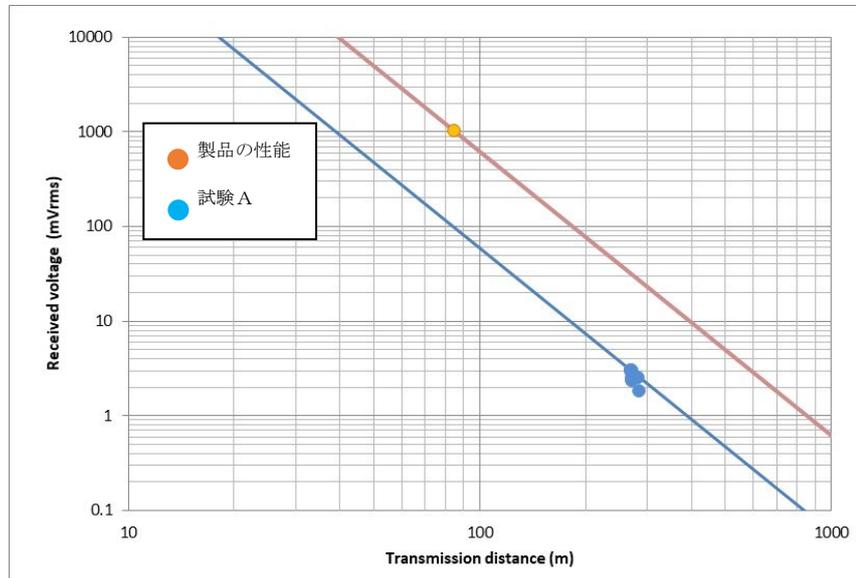


図 3.2.6-4 送信器（トンネル）、受信器（山頂）による送信結果

#### 2) 試験 B ー送信器（山頂）、受信器（トンネル）

試験 B の結果を以下に示す。受信強度が 6.5mVrms と試験 A よりも高い数値となった。送信器側にレールや支保などの無線送信に影響を与える要素がなく、ノイズが小さかったためと考えられる(図 3.2.6-5)。

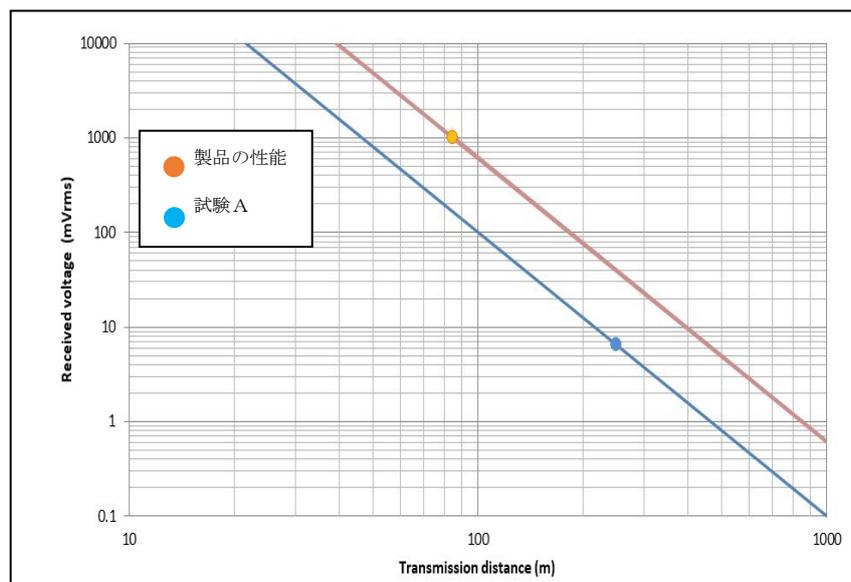


図 3.2.6-5 送信器（山頂）、受信器（トンネル）による送信結果

### 3) 試験 C ー送信器、受信器（山頂）

送信器、受信器を山頂に運んで設置して水平での送信試験を実施したところ、製品本来の性能である受信強度の数値を確認した。このことより、レール、支保等による影響によって受信強度が低下したことが確認できた。

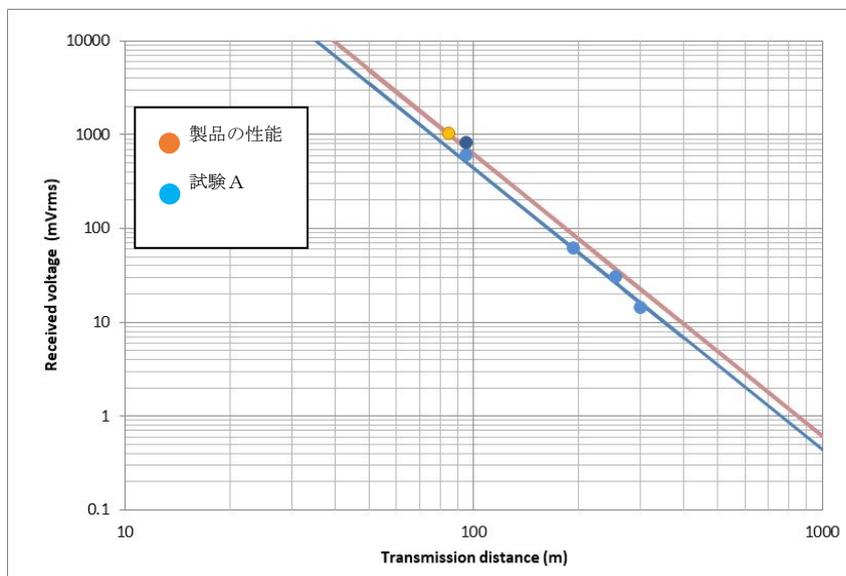


図 3.2.6-6 送信器、受信器（山頂）による試験結果（図 3.2.6-6）



図 3.2.6-7 冠水坑道内の小型送信器



図 3.2.6-8 撤去後の小型送信器

### 3.3 電磁波による給電技術の検討

#### 3.3.1 概要

地層処分にあたっては、処分場の操業中や閉鎖後における人工バリアの状態確認のために超長期間のモニタリング計画が検討されている[41]が、「モニタリングの行為が地下の地質環境やバリア機能を損なってはいけない」という条件がある[42][43]。例えば、人工バリアの性能モニタリングを実施する部位として緩衝材が考えられるが、緩衝材周辺状況のモニタリングを実施することによりバリア機能を害する大きな因子として、モニタリング機器のケーブルの存在が挙げられる。具体的には、処分孔の緩衝材内にセンサを設置すると、そのセンサに電力を供給するケーブルや、センサから情報を受け取るケーブルが緩衝材内に配線されるため、ケーブル沿いにシステムの安全機能に影響を与えるような水みちが形成される可能性が高い。そのため、バリア性能を極力乱さず緩衝材の状態を正確に把握するためには、緩衝材の状況をケーブルレスでモニタリングする手法を確立することが必要となる。本業務では、ケーブルを必要としない地中無線通信技術及び無線給電技術の検討のうち、電磁波による無線給電技術の検討を行うことを目的としている。

これまでの業務として、平成 27～28 年度に、給電効率を評価するための手法を検討するとともに、プラグを跨いだ無線給電や処分孔内のセンサへの無線給電など、原位置における無線給電技術の適用性に関する要素試験や調査を実施した。そこで、平成 29 年度は、前年までに実施した試験調査の結果を踏まえ、水（塩水）等を介した無線給電試験や処分功を想定した無線給電試験を実施して、無線給電技術の知見を取りまとめた。

以下に実施項目を記す。

#### ① 海水を介した無線給電試験

平成 28 年度に実施した業務において、無線給電技術を地層処分へ適用した場合の影響としては、変位・偏角、鉄筋、コンクリートの影響だけでなく、地下水に対する給電効率への影響について課題として抽出した。そこで、埋め戻し後の地下水（海水）の上昇を想定した給電効率への影響について室内試験を抽出し、評価を行った。具体的な内容としては下記を実施した。

- ・ 海水に伴う給電効率への影響調査（文献）
- ・ 検討内容の検討（設定条件、方法等）
- ・ 試験計画の作成
- ・ 室内試験の実施
- ・ 試験結果の評価

#### ② 処分孔を想定した無線給電試験及び検討

平成 28 年度に実施した業務において、処分孔を想定した無線給電技術の中継方式、インナー方式などの概要を整理した。そこで、平成 29 年度に実施すべき室内試験について検討を行い、室内試験及び解析を実施・評価し、今後の地下調査坑道で実施すべく知見を収集し

た。具体的な内容としては下記を実施した。

- ・室内試験の検討（無線給電方式の選定、中継装置を用いた給電技術の検討等）
- ・試験計画の作成（送信器、中継装置の数や位置等）
- ・室内試験の実施
- ・解析の実施
- ・試験結果及び解析結果の評価

### 3.3.2 本実施内容の位置づけと前提条件

この章では、これまでの実施内容を示し、それを踏まえて本業務の位置づけを示す。また、本実施内容の前提内容を示す。

#### (1) これまでの実施内容と本実施内容の位置づけ

これまでの電磁波による給電技術の検討は、図 3.3.2-1 に示すように段階的に実施しており、平成 25 年度から平成 28 年度の 4 年間行っている。本業務は 5 年目の検討業務である。

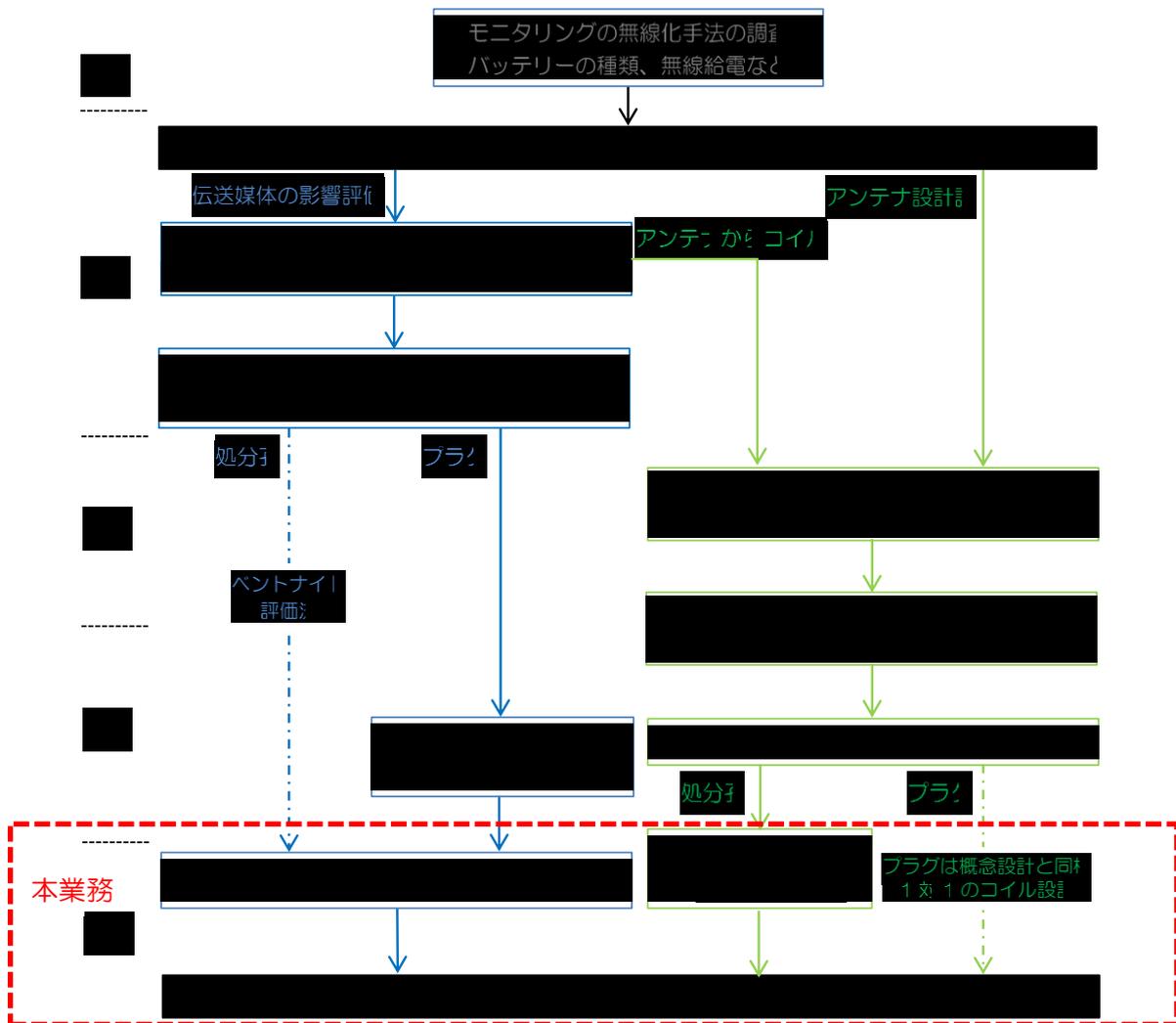


図 3.3.2-1 これまでの実施内容と本業務の流れ

電磁波による給電技術の検討は、平成 25 年度にモニタリングの無線化手法の調査を行い[44]、その調査を踏まえて平成 26 年度には、長期間モニタリングをケーブルレスで行えるように電源部のケーブルレス化に向けた無線給電の検討を始めた。その検討では、電磁界を利用した無線給電の方式うち、室内試験により磁界共振結合方式の無線給電を選定した[45]。この磁界共振結合方式の無線給電技術は、近年、電気学会や電子情報通信学会にて数多く報告がされている。しかし、それらの報告だけでは地層処分におけるモニタリングに無線給電を利用する時に生じる特有の課題を解決できない。この特有の課題を表 3.3.2-1 に示す。表 3.3.2-1 に示した特有の課題の中から、伝送媒体の影響評価、コイル設計を抽出して検討を進めてきた。伝送媒体の影響評価としては、平成 26 年度にベントナイトの影響評価を行い、平成 28 年度に鉄筋およびコンクリートの影響評価を行った[46]。コイル設計としては、平成 27 年度にコイルの概念設計とスケール則の検討を行い[47]、平成 28 年度にコイルの位置ずれ影響評価を行った[46]。

本業務では上記に引続き、磁界共振結合方式の無線給電技術において、伝送媒体の影響評価とコイル設計について検討を進め、伝送媒体の影響評価においては表 3.3.2-1 で示した水や塩水を伝送媒体とした影響評価を行った。また、コイル設計としては、複数コイルを用いた場合における給電効率の評価を行った。

これらの検討や評価を実施することで、地層処分におけるモニタリングに無線給電を利用する場合における課題解決の方策をいくつか明確にすることが出来た。

表 3.3.2-1 地層処分におけるモニタリングに無線給電を適用する特有の課題

適用する箇所	特有の課題	
プラグ・処分孔	無線給電の方式	
プラグ	伝送媒体の影響	鉄
		コンクリート
プラグ・処分孔		ベントナイト
		地下水（水や海水）
プラグ・処分孔	コイルの設計論	巨大コイル
処分孔		異形コイル
		複数コイル
プラグ・処分孔	給電距離の長さ	
プラグ・処分孔	無線給電機器（コイルや電源部）の設置方法	
プラグ・処分孔	無線給電機器（コイルや電源部）の長期間の耐久性、	

(2) 本実施内容における前提条件

電磁界を使用した無線給電技術には表 3.3.2-2 のようにいくつか種類があるが、本報告では 2.1 で示したように磁界共振結合方式を利用して検討などを進めた。

表 3.3.2-2 給電方式の分類 (赤枠は本検討対象)

給電方式	電磁界				電磁波
	磁界		電界		光、電波
原理など	電磁誘導 (電界結合)	磁界共振結合 (磁界共鳴)	電界結合	電界共振結合	レーザー マイクロ波

磁界共振結合は、共振現象を利用するため図 3.3.2-2 ように電源の周波数、送電器の共振周波数、受電器の共振周波数の 3 つの周波数を一致させる必要がある。送受電器 (共振器) は、コイルとコンデンサで構成され、共振周波数は式 1 で示される。

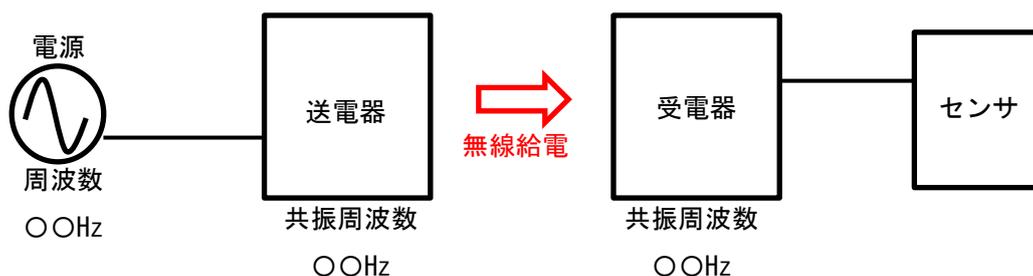


図 3.3.2-2 磁界共振結合のイメージ図

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{式 1}$$

ここで、 $f$  は共振周波数、 $L$  はコイルの自己インダクタンス、 $C$  はコンデンサのキャパシタンスである。

磁界共振結合の無線給電では、送電器のコイルに交流を流すことにより磁束を発生させ、受電器のコイルでそれを受け取ることで、電力を送受電している。そこで、受電電力(W)/送電電力(W)=給電効率(%)として示すこととする。

### 3.3.3 海水等を介した無線給電試験

平成 28 年度までに伝送媒体として、ベントナイト、コンクリート、鉄筋について試験によって評価を行った。この他に地層処分のモニタリングに無線給電を利用する伝送媒体として、再冠水後の地下水が考えられる。

そこで本業務では、地下水を伝送媒体とした無線給電の評価を行った。廃棄物の輸送時の安全性の観点から、沿岸部（島嶼部や海底下を含む）を「より適性の高い地域」とするという考え方が国から示されている[48]ため、評価する伝送媒体を海水とした。

#### (1) 海水に伴う給電効率への影響調査

海水が磁界共振結合方式の無線給電へあたえる影響を示している文献を調査した。海水の代わりに塩水を利用して無線給電の影響評価を行っている文献や、水道水を利用して無線給電の影響評価を行っている文献を下記に示す。

##### 1) 水道水を利用した検討（文献調査結果）

水道水の影響を評価した文献[49]では、図 3.3.3-1 のように水道水を充填したアクリル水槽を共振器付近に設置して給電効率の検討を実施している。図 3.3.3-2 では、共振器付近における水道水の有無と給電効率と伝送距離の関係を示しており、水道水がある場合は水道水が無い場合と比較して給電効率が低下している。また、水道水がある場合の結果として、伝送距離が長くなるほど給電効率の低下が大きい。図 3.3.3-3 では、水道水と共振器の距離  $T_p$  と給電効率の関係を示しており、水道水と共振器の距離が離れると給電効率が上昇する。

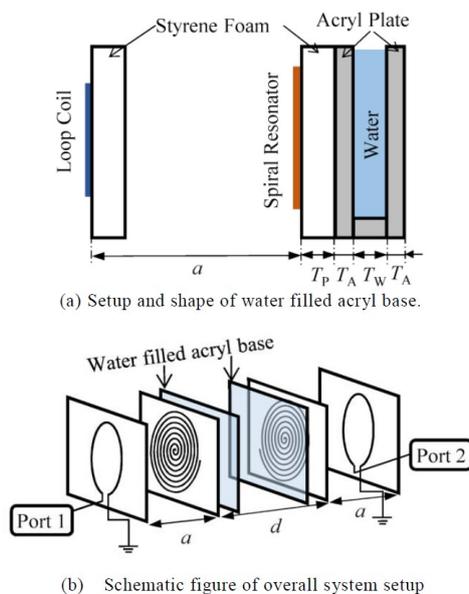


図 3.3.3-1 水道水を介した給電実験装置[49]

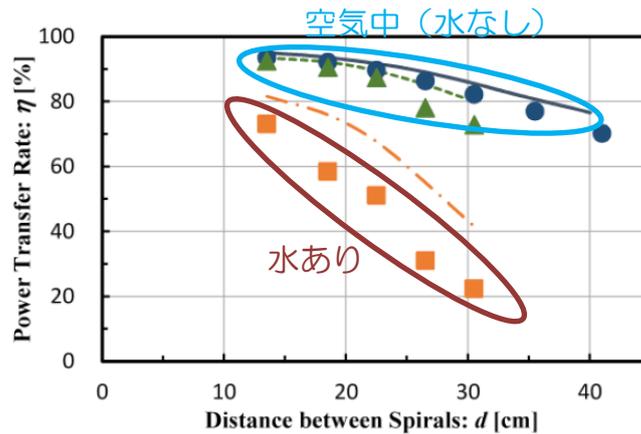


図 3.3.3-2 水道水の有無および給電効率と伝送距離の関係 ([49]に加筆)

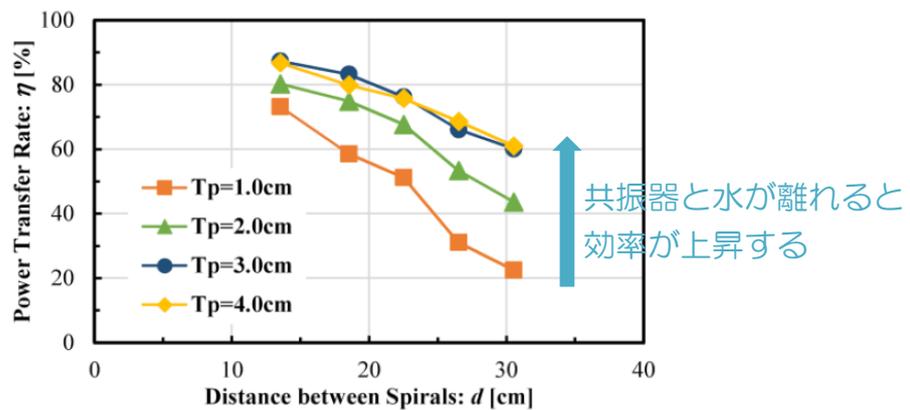


図 3.3.3-3 水道水-共振器の距離と給電効率の関係 ([49]に加筆)

## 2) 塩水を利用した検討 (文献調査結果)

塩水の影響を評価した文献[50][51]では、図 3.3.3-4 のように水を充填した 2L のペットボトルを共振器近傍に設置して、徐々にペットボトルを共振器から遠ざけるようにして給電効率の検討を実施している。また実験では異なるいくつかの共振器を利用している。図 3.3.3-5 はペットボトルの中を水道水とした場合における、共振器とペットボトルの距離と給電効率の関係である。図 3.3.3-6 はペットボトルの中を塩水とした場合における、共振器とペットボトルの距離と給電効率の関係である。図 3.3.3-5 と図 3.3.3-6 を比較すると、ペットボトルが共振器に近い場合は、塩水を介した給電効率の方が水道水の時より低い。しかし、ペットボトルが共振器から離れていくと塩水と水道水を介した給電効率は、ほぼ同じに値になる。

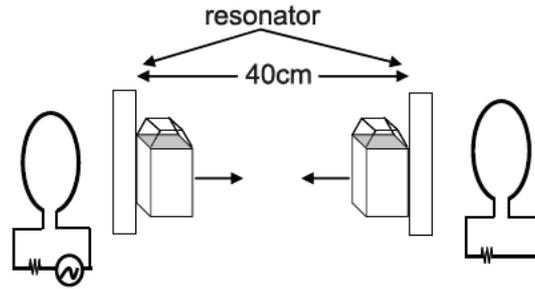


図 3.3.3-4 水道水と塩水を介した給電実験装置[51]

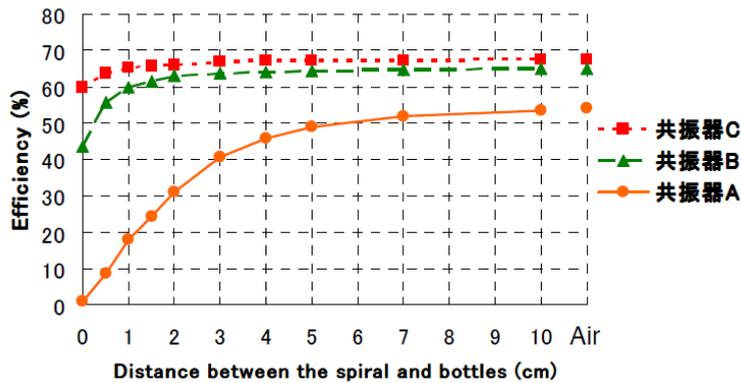


図 3.3.3-5 水道水-共振器の距離と給電効率の関係[51]

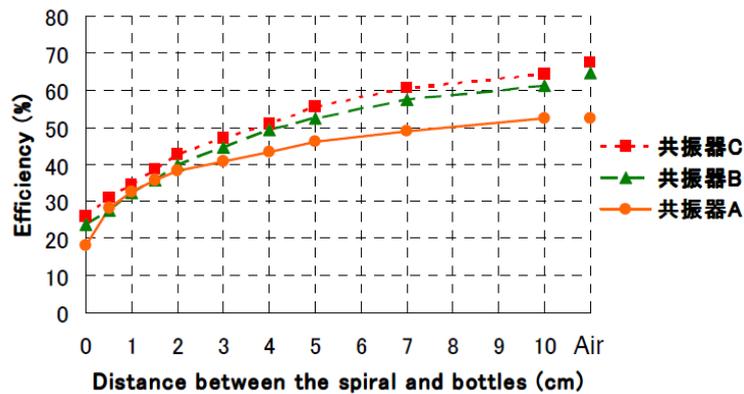


図 3.3.3-6 塩水-共振器の距離と給電効率の関係[51]

### 3) 水（塩水）に伴う給電効率への影響調査のまとめ

水を満たした水槽と共振器の関係性は、距離が近いほど給電効率は低下し、距離が離れると給電効率の低下は改善される。水槽の中身を塩水または水道水とした場合、塩水の方が近い距離では低い値であるが、距離が離れると、水道水とほぼ同程度の給電効率となる。

我が国での地層処分では、地下水の影響を除外することは考えられないため、無線給電技術についても水（塩水）の影響について確認する必要がある。

## (2) 試験の条件設定や考え方

水（塩水）を伝送媒体とした無線給電の試験を行うための条件設定や考え方を示す。

### 1) 送受電コイル間の媒体とした海水などの考え方

伝送媒体である地下水は、濃度が変化した海水（塩水）であると考えた。そこで、海水として人工海水（マリンアート）を使用して濃度を变化させた人工海水を製作し、それを伝送媒体として給電試験を行い、給電効率の評価をすることとした。人工海水はマリンアート以外にもアクアマリンなど数多くあるが、処方が開示してあるためマリンアートを用いた。マリンアートの概要を図 3.3.3-7、処方を図 3.3.3-8 に示す。



図 3.3.3-7 マリンアート SF-1 の概要

原料名	構造式	溶解時 1L あたりの量
塩化ナトリウム	$\text{NaCl}$	22.1g
塩化マグネシウム	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	9.9g
塩化カルシウム	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.5g
無水硫酸ナトリウム	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	3.9g
塩化カリウム	$\text{KCl}$	0.61g
炭酸水素ナトリウム	$\text{NaHCO}_3$	0.19g
臭化カリウム	$\text{KBr}$	96mg
ホウ砂	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	78mg
無水塩化ストロンチウム	$\text{SrCl}_2$	13mg
フッ化ナトリウム	$\text{NaF}$	3mg
塩化リチウム	$\text{LiCl}$	1mg
ヨウ化カリウム	$\text{KI}$	81 $\mu\text{g}$
塩化マンガン	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.6 $\mu\text{g}$
塩化コバルト	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2 $\mu\text{g}$
塩化アルミニウム	$\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	8 $\mu\text{g}$
塩化第二鉄	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5 $\mu\text{g}$
タングステン酸ナトリウム	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2 $\mu\text{g}$
モリブデン酸アンモニウム	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	18 $\mu\text{g}$

マリンアートSF-1の38g中の量です。

図 3.3.3-8 マリンアート SF-1 の処方内容

人工海水は、水道水に加えるマリンアートの量を変化させ、濃度を変えた 6 種類を作成した。濃度は PSU で示す。PSU とは液体 1kg に含まれる固形物質を g で表したものに相当する。

表 3.3.3-1 と図 3.3.3-9 に作成した 6 種類の人工海水と電気伝導度（導電率）の測定結果を示す。表 3.3.3-1 において 38PSU は海水の濃度とほぼ同じのものであり、図 3.3.3-8 の処方のとおり水道水にマリンアートを加え作成したものである。

表 3.3.3-1 に示した 10PSU は、38PSU の人工海水を作成した時に用いたマリンアートの質量を 1/4 倍にして作成した人工海水である。同様に、19PSU には 1/2 倍、29PSU には 3/4 倍、48PSU には 5/4 倍、57PSU には 3/2 倍のマリンアートを水道水に加えて濃度の異なる人工海水を作成した。

表 3.3.3-1 人工海水濃度と電気伝導度の関係

濃度 (PSU)	電気伝導度(S/m)	備考
10	1.40	38PSU を 100%とした場合、25%の濃度
19	2.59	38PSU を 100%とした場合、50%の濃度
29	3.71	38PSU を 100%とした場合、75%の濃度
38	4.78	日本近郊における海水濃度とほぼ同等
48	5.74	38PSU を 100%とした場合、125%の濃度
57	6.70	38PSU を 100%とした場合、150%の濃度

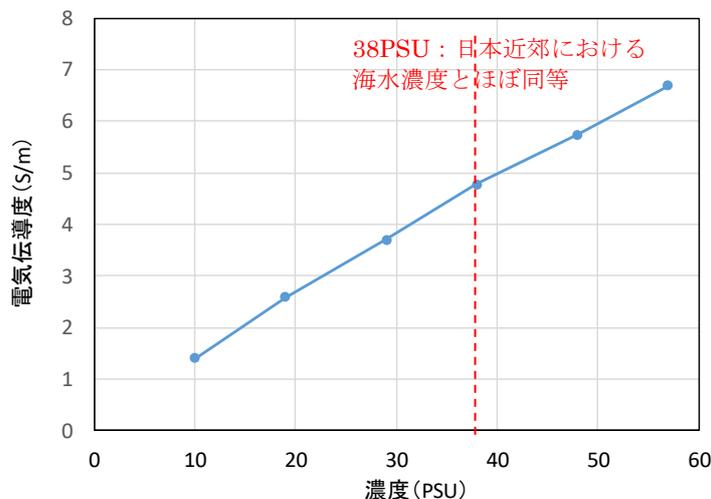


図 3.3.3-9 人工海水濃度と電気伝導度の関係

人工海水の他にも、比較のために水道水と純水の2つを伝送媒体として給電試験を行う。利用する純水を図 3.3.3-10 に示す。伝送媒体としては表 3.3.3-2 に示すように人工海水6種類、水道水、純水と計8種類を利用した。



図 3.3.3-10 伝送媒体とした純水

表 3.3.3-2 伝送媒体人工海水濃度と電気伝導度の関係

No	伝送媒体	備考
1	人工海水	10PSU
2		19PSU
3		29PSU
4		38PSU
5		48PSU
6		57PSU
7	純水	-
8	水道水	-

## 2) 無線給電試験の考え方

空気中における送電コイル1つ受電コイル1つの磁界共振結合方式のうち、インダクタンス(コイル) ( $L$ ) とコンデンサ ( $C$ ) が直列で接続されている (Series-Series) 方式における等価回路を図 3.3.3-11 に示す。図 3.3.3-11 の等価回路における給電効率 ( $\eta_{ss}$ ) は式 2 で表され、その時の最適負荷抵抗は式 3 で表せる[52]。

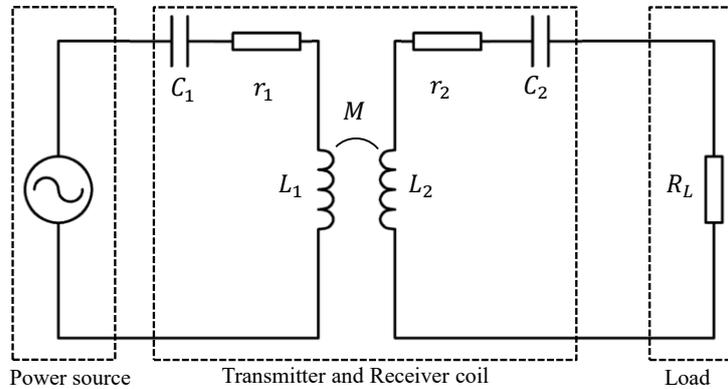


図 3.3.3-11 磁界共振結合の等価回路

$$\eta_{ss} = \frac{k^2 Q_1 Q_2}{(1 + \sqrt{1 + k^2 Q_1 Q_2})^2} \quad \text{式 2}$$

$$R_{Lopt} = r_2 \sqrt{1 + k^2 Q_1 Q_2} \quad \text{式 3}$$

また、式 2 は式 4 に近似することができる[53]。

$$\eta_{ss} = \frac{1}{1 + \frac{2}{k\sqrt{Q_1 Q_2}}} \quad \text{式 4}$$

ここで、 $Q$ はある周波数 ( $f$ ) におけるコイルの性能を表す指標である。 $Q$ は式 5 で表される。 $L$ は  $f$ におけるコイルの自己インダクタンス。 $r$ は  $f$ における損失を表す抵抗成分である。

$$Q = \frac{\omega L}{r} = \frac{2\pi f L}{r} \quad \text{式 5}$$

$k$ は結合係数である。結合係数は1次コイルから出た磁束が2次コイルに入る割合であり、 $0 \leq k \leq 1$ である。また、1次コイルと2次コイルの自己インダクタンス ( $L$ ) と、相互インダクタンス ( $M$ ) を用いて式 6 で表される。

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad \text{式 6}$$

これらより、 $Q$ と結合係数 $k$ が既知であれば給電効率が算出できる。しかし、伝送媒体が空気では

ない場合は、伝送媒体がもつ誘電損失や磁気損失などにより図 3.3.3-11 の等価回路で表せないことが考えられる。そのため、伝送媒体が空気以外の時は、式 2 を用いた給電効率の算出はできない。よって、伝送媒体の影響を評価する初期段階の方法としては給電試験を用いた方法が最適と考え、本業務では給電試験を行うこととした。

### 3) 無線給電試験に利用する送受電器

処分孔の直径 2220mm[54]の 1/6 サイズ（直径：370mm）のコイルを送電側と受電側の 2 つ用意した。表 3.3.3-3 にコイルの仕様を示す。コイルの巻線には被覆直径 2.4mm の KIV 0.5sq を使用した。（コイルの長さ／被覆直径）より巻き数は 29 巻とした。製作したコイルを図 3.3.3-12 に示す。

表 3.3.3-3 給電試験に用いる 1/6 スケールのコイル

縮尺	コイルの直径(mm)	コイルの長さ(mm)	巻数
1/1 サイズ	2220	400	-
1/6 サイズ	370	70	29

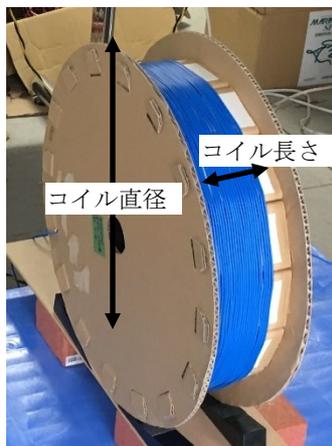


図 3.3.3-12 試験に使用するコイル（処分孔用の 1/6 サイズ）

### (3) 給電試験による給電効率の測定方法と測定（水槽 1 つ利用）

電力伝送を行う給電試験により、海水や純水の影響評価を行った。試験に使用した機器のセットアップを図 3.3.3-13 に示す。図 3.3.3-13 に示すように、送受電コイルにはそれぞれ共振用のコンデンサを接続した。共振周波数は 180kHz となるようにコンデンサの値を選定した。電力はパワーアナライザを通して電源から送電コイルに送り、また、受電コイルで受けとった電力はパワーアナライザを通して負荷抵抗器へと送ることで、電力効率を評価した。負荷抵抗器の値は給電効率が高くなる値を試行錯誤で設定した。送受電コイル間には幅 300mm の水槽を設置して 3.2.1 で示した 8 種類の伝送媒体を利用した試験を行うほか、水槽を利用しない伝送媒体なし（空气中）の給電試験も行った。

給電試験のコイル間距離は、300mm、400mm、500mm の 3 種類とした。300mm のときは図 3.3.3-13 のように水槽に隣接しているが、400mm と 500mm のときは図 3.3.3-14 と図 3.3.3-15 のように水槽を送受電コイル間の中心に設置し、送受電コイルが水槽から等距離に離れるようにした。伝送媒体なし（空气中）における試験状況を図 3.3.3-16 に示す。伝送媒体があるコイル間距離 300mm の試験状況を図 3.3.3-17 に、500mm の試験状況を図 3.3.3-18 に示す。

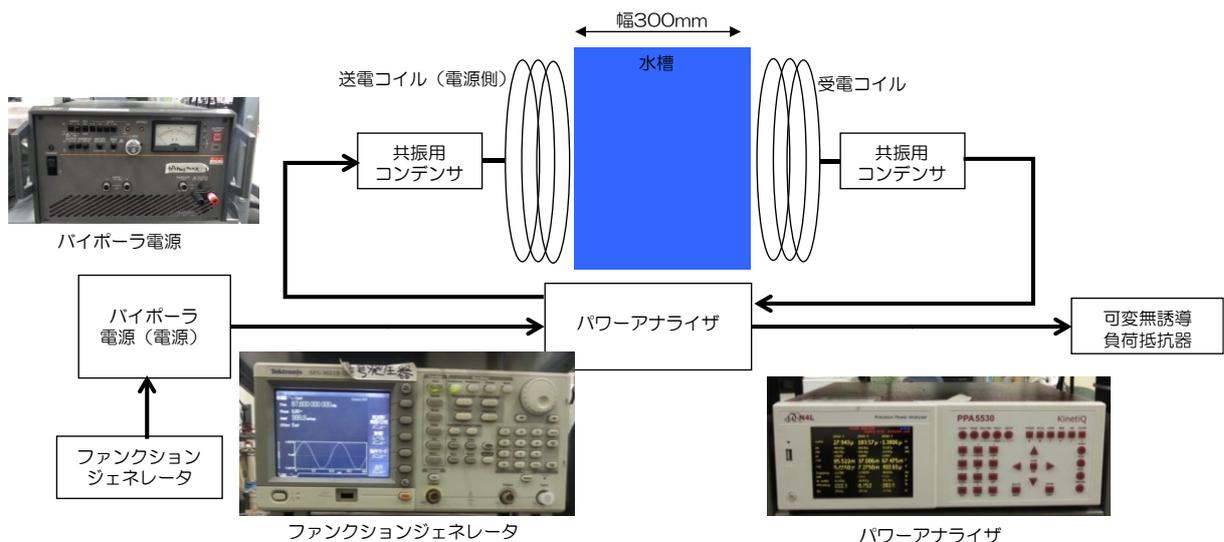


図 3.3.3-13 試験のセットアップ

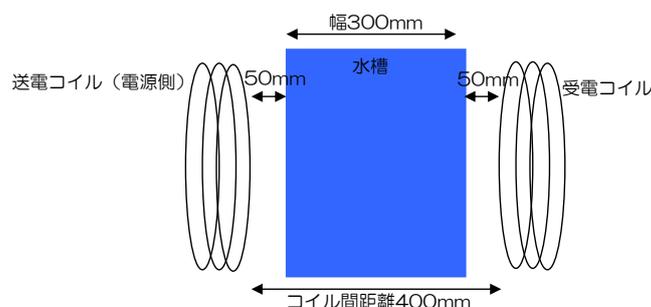


図 3.3.3-14 コイル間距離 400mm のコイルと水槽の位置関係

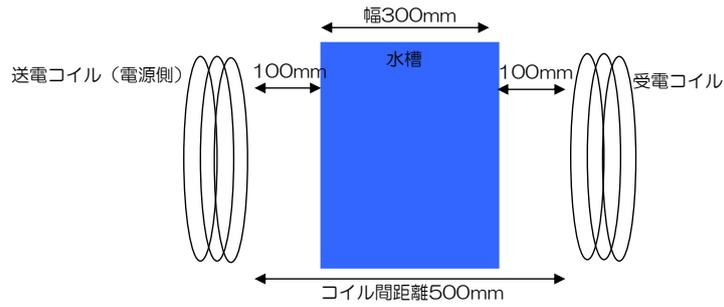


図 3.3.3-15 コイル間距離 500mm のコイルと水槽の位置関係



図 3.3.3-16 コイル間距離 500mm の給電試験状況 (伝送媒体なし)

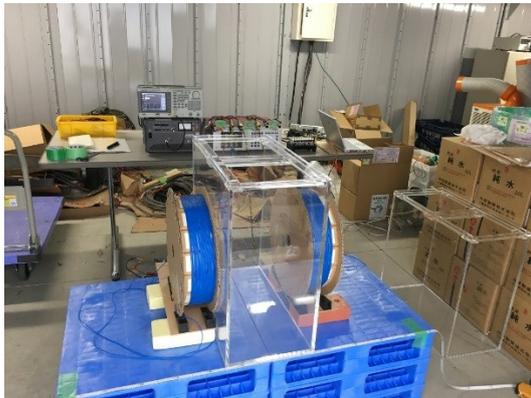


図 3.3.3-17 コイル間距離 300mm の給電試験状況 (左：水槽中身なし、右：水槽中身あり)

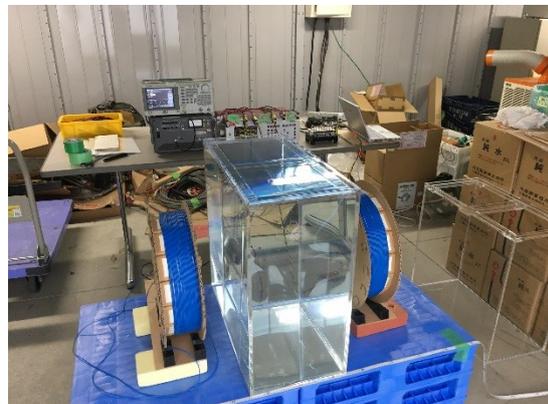


図 3.3.3-18 コイル間距離 500mm の給電試験状況 (左：水槽中身なし、右：水槽中身あり)

(4) 給電試験結果（1つの水槽を利用）

「(3)給電試験による給電効率の測定方法と測定」で実施した給電試験結果のうち伝送媒体なし（空气中）・水道水・純水の3つの結果を表 3.3.3-4 に示す。この結果より空气中・水道水・純水の3つについてはほとんど同じ給電効率であることから、これらの伝送媒体については無線給電に影響が無いといえる。

表 3.3.3-4 伝送媒体（空気・水道水・純水）とコイル間距離および給電効率の関係

	伝送媒体	空気	水道水	純水
コイル間距離 300mm	給電効率(%)	82	81	81
コイル間距離 400mm		71	72	71
コイル間距離 500mm		58	58	58

次に、人工海水を伝送媒体にした給電試験結果を表 3.3.3-5 と図 3.3.3-19 に示す。濃度が0のところには表 3.3.3-4 の純水における給電効率を示した。この結果より、人工海水の濃度が高いほど給電効率は低下する。具体的には、日本近海の濃度に近い38PSUの人工海水を伝送媒体にした場合、コイル間距離300mmの給電効率は、空气中と比較して20%程度低下する。またこの時の給電効率は、低下の度合いが最も大きく、コイル間距離が長くなるほど給電効率は緩やかに低下していく。

表 3.3.3-5 人工海水濃度とコイル間距離および給電効率の関係

	濃度(PSU)	0	19	38	57
コイル間距離 300mm	給電効率(%)	81	69	61	54
コイル間距離 400mm		71	63	57	52
コイル間距離 500mm		58	53	49	46

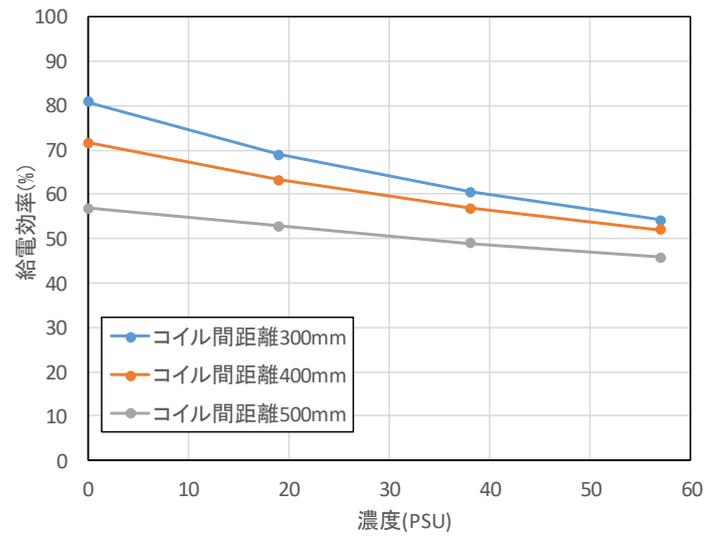


図 3.3.3-19 人工海水濃度とコイル間距離および給電効率の関係

(5) 人工海水を伝送媒体にしたときの給電効率低下の原因

図 3.3.3-19 に示したように人工海水中では給電効率が低下する。この給電効率の低下について考察した。海水中における無線給電を行った場合、給電効率低下の原因として①コイル間距離による給電効率低下、②海水の影響による給電効率低下の 2 つが考えられる。

①については、結合係数の低下（コイル間距離が長くなり送電コイルから出た磁束が、受電コイルに入りづらくなる）に起因することである。結合係数は式 6 のように送受電コイルの自己インダクタンスと自己インダクタンス ( $L$ ) と、相互インダクタンス ( $M$ ) を用いて表される。この自己インダクタンスは、図 3.3.3-20 のように回路  $C$  の線要素  $ds$  と  $ds'$  の距離が  $r$ 、両要素の方向の間の角度を  $\theta$  とすると式 7 で表すことができる。同様に相互インダクタンスは、図 3.3.3-21 のように、回路  $C_1$  と  $C_2$  の線要素  $ds_1$  と  $ds_2$  の距離が  $r$ 、両要素の方向の間の角度を  $\theta$  とすると式 8 で表すことができる。このように結合係数は形状や位置関係により決まるものといえる。

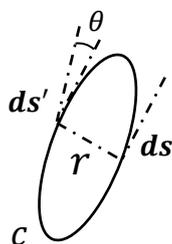


図 3.3.3-20 自己インダクタンス

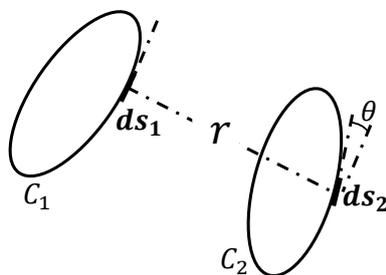


図 3.3.3-21 相互インダクタンス

$$L = \frac{\mu}{4\pi} \int_C \int_C \frac{\mathbf{ds} \cdot \mathbf{ds}'}{r} = \int_C \int_C \frac{\cos \theta ds ds'}{r} \quad \text{式 7}$$

$$L_m = \frac{\mu}{4\pi} \oint_{C_1} \oint_{C_2} \frac{\mathbf{ds}_1 \cdot \mathbf{ds}_2}{r} = \oint_{C_1} \oint_{C_2} \frac{\cos \theta ds_1 ds_2}{r} \quad \text{式 8}$$

②については、以下の2つの要因による給電効率の低下が考えられる。

②-1 コイル近傍に海水があることによるコイル性能の低下に起因する給電効率低下

②-2 海水中を磁束が透過することで海水中に発生する渦電流により損失することに起因する給電効率低下

②-1 は、文献[50][51]にも記載があり、コイルの性能低下を防止できれば給電効率低下を抑制できる可能性がある。②-2 は、避けられない事象であり改善することは不可能である。図 3.3.3-19 より、コイル間距離が長い場合、すなわちコイルと人工海水の距離が離れていくと給電効率の低下は緩やかであることから、コイル間距離 300mm における給電効率の低下は②-1 の理由が支配的であるといえる。

上記の効率低下の原因について図 3.3.3-19 追記して図 3.3.3-22 に示す。

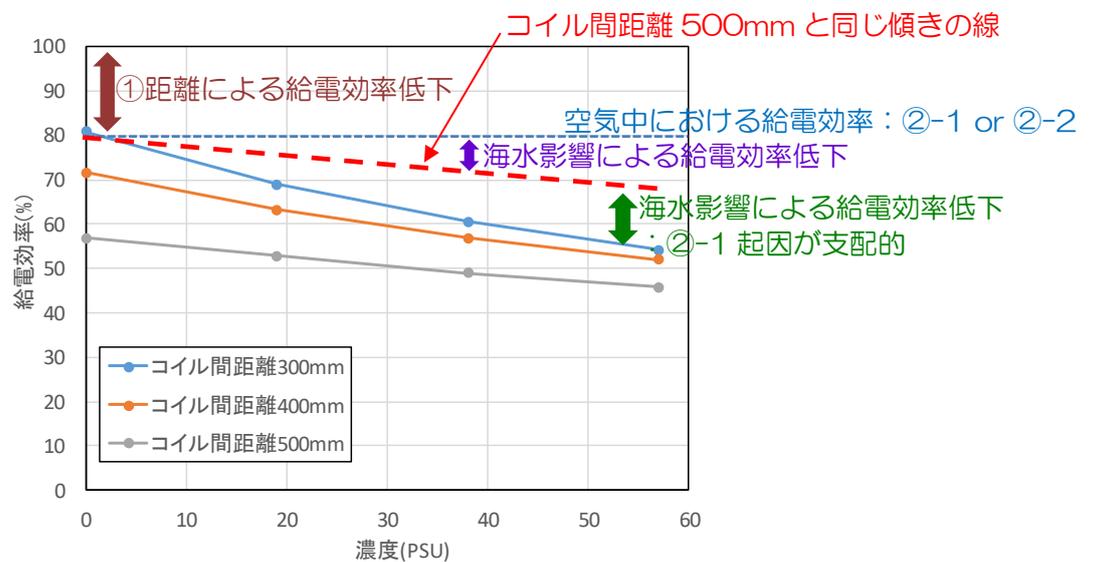


図 3.3.3-22 給電効率低下の原因

3.4 の試験で発生するコイル性能の低下を把握するために人工海水がコイルの近くにあるときのコイル性能を確認した。コイル性能は、式 5 よりコイルの自己インダクタンスと損失を表す抵抗分で表せるため、この 2 つを計測してコイル性能である  $Q$  値を計算した。表 3.3.3-6 と図 3.3.3-23 にコイルの抵抗、図 3.3.3-24 に自己インダクタンス、図 3.3.3-25 に  $Q$  値を示す。図 3.3.3-23 より、人工海水とコイルの距離が近いほど、または人工海水の濃度が濃いほどコイルの抵抗が高い。

図 3.3.3-24 より、人工海水との距離、濃度が変わってもインダクタンスは変化しない。図 3.3.3-25 より、コイルの距離が近いほど、または人工海水の濃度が濃いほど  $Q$  値は低下する。具体的には日本近海の海水濃度と同程度の濃度である 38PSU の人工海水と隣接すると、300 程度あった  $Q$  値が 120 程度と半分以下に性能低下する。しかし、38PSU の人工海水からコイルを 50mm 離すと  $Q$  値が 50 程度改善できることが分かった。以上ことから、コイル間距離が 300mm の時にはコイル性能が大きく低下し (②-1 が支配的な原因となり) 給電効率が低下したと考えられる。

表 3.3.3-6 人工海水濃度とコイル抵抗の関係

人工海水とコイルの距離(m)	濃度(PSU)	10	19	38	57
0	コイル抵抗 (Ω)	3.04	3.90	5.48	6.89
50		2.56	3.04	3.86	4.58
100		2.28	2.53	2.94	3.30
150		2.15	2.30	2.52	2.72
200		2.08	2.17	2.30	2.40
250		2.04	2.10	2.19	2.23
300		2.03	2.06	2.13	2.15

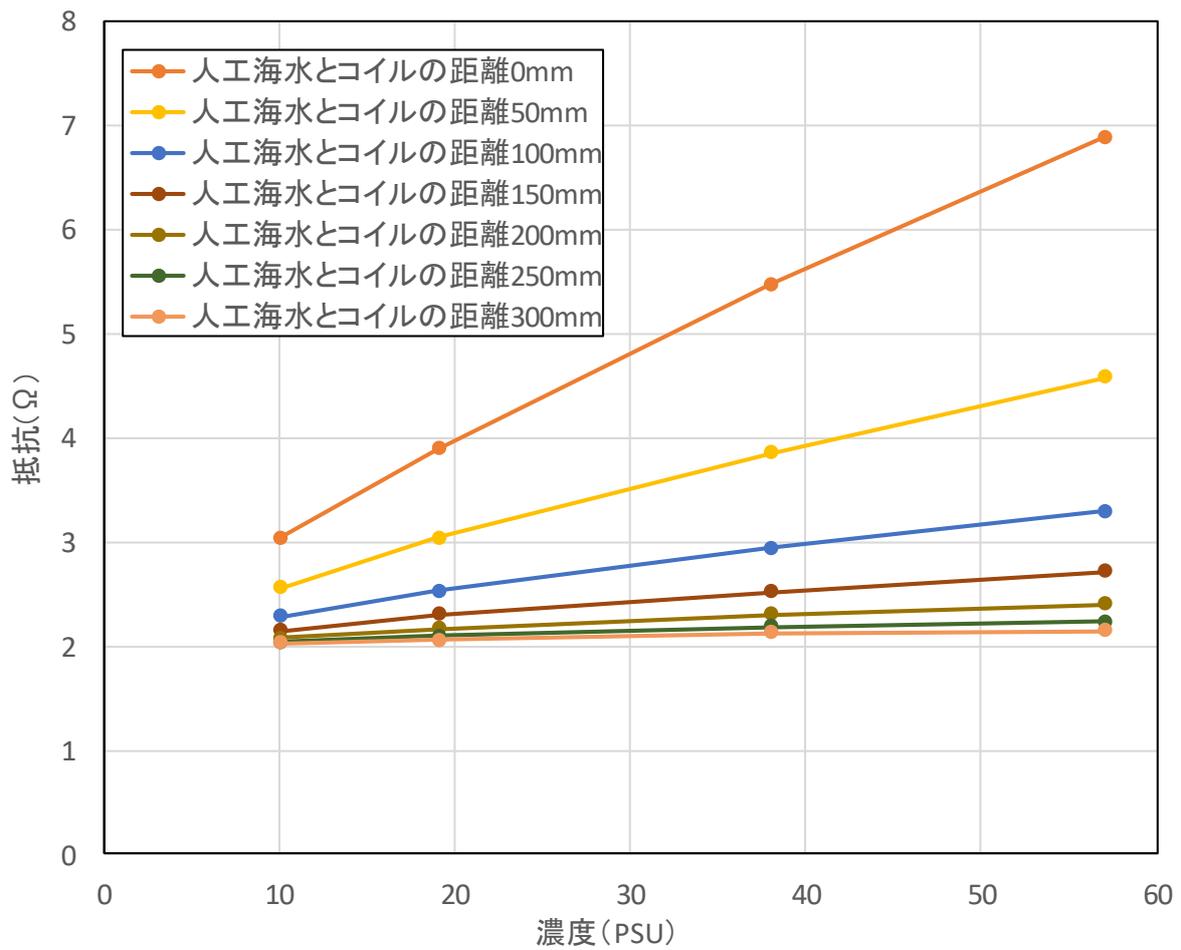


図 3.3.3-23 人工海水濃度とコイル抵抗の関係

表 3.3.3-7 人工海水濃度とインダクタンスの関係

人工海水とコイルの距離(m)	濃度(PSU)	10	19	38	57
0	インダクタンス(uH)	494.5	494.4	494.6	495.1
50		494.4	494.7	494.5	495.0
100		494.5	494.6	494.4	495.1
150		494.2	494.5	494.4	495.2
200		494.1	494.4	494.5	495.2
250		494.0	494.4	494.6	495.0
300		494.1	494.6	494.6	495.3

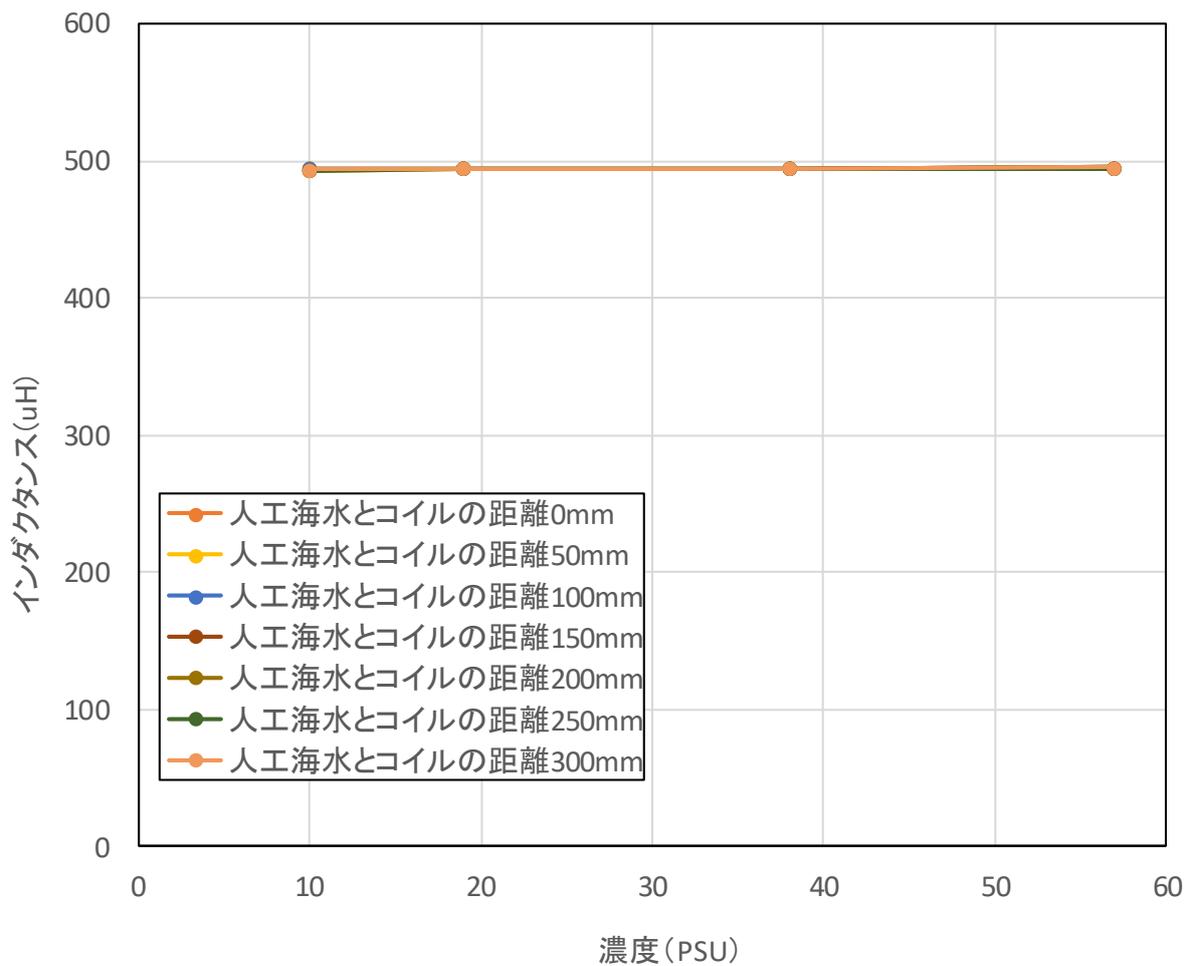


図 3.3.3-24 人工海水濃度とインダクタンスの関係

表 3.3.3-8 人工海水濃度と Q 値の関係

人工海水とコイルの距離(m)	濃度(PSU)	10	19	38	57
0	Q 値	184	143	102	81
50		218	184	145	122
100		245	221	190	170
150		260	243	222	206
200		269	258	243	233
250		274	266	255	251
300		275	272	263	261

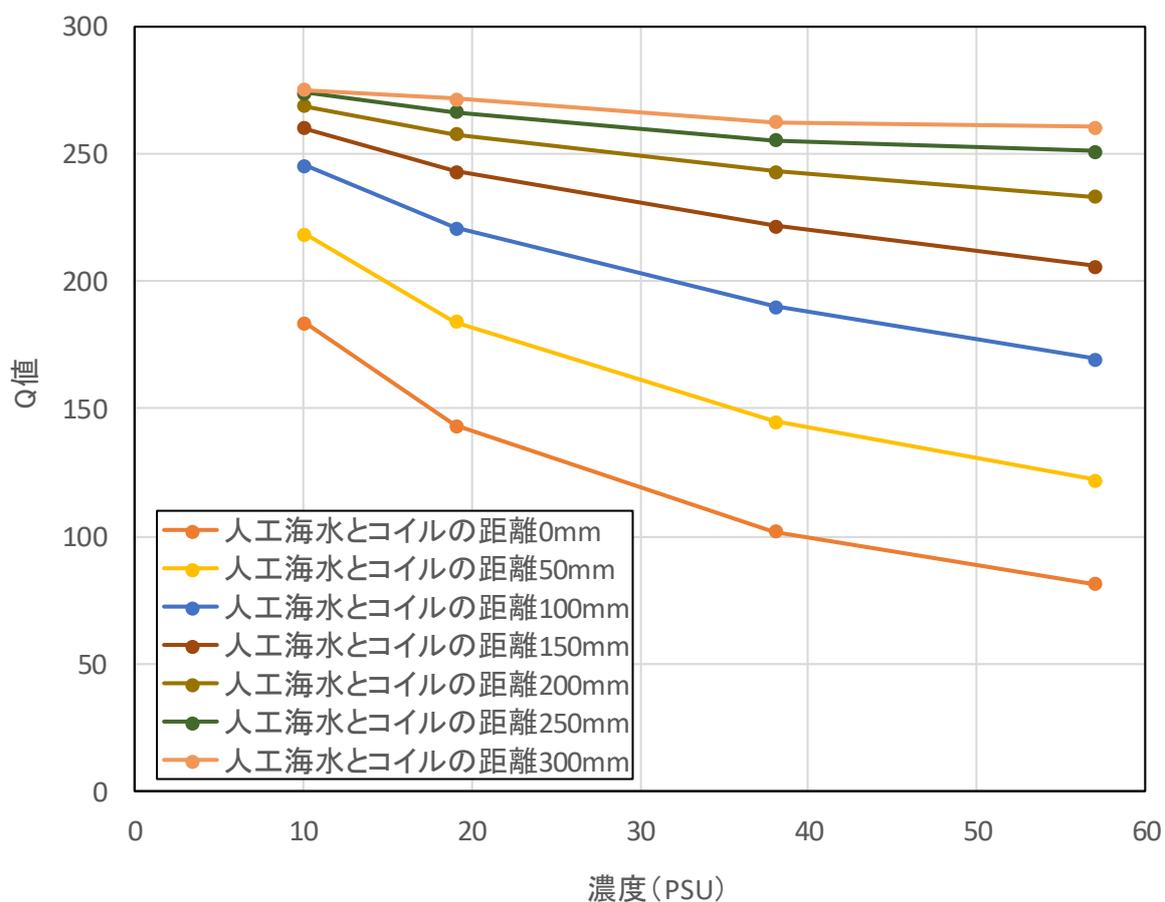


図 3.3.3-25 人工海水濃度と Q 値の関係

## (6) 検討結果のまとめ

地層処分のモニタリングに無線給電を利用する際に考えられる伝送媒体として、再冠水後の地下水として海水を考え、海水を伝送媒体とした無線給電の評価を行った。その評価を行うにあたっては、濃度を変えた人工海水、水道水、純水を伝送媒体として利用した給電効率の変化を試験で確認した。試験の結果では、水道水と純水を伝送媒体とした場合は、空気中の給電効率と同じであった。また、濃度を変えた人工海水を伝送媒体とした場合は、人工海水の濃度が高いほど給電効率は低下した。具体的には、日本近海の濃度に近い 38PSU の人工海水を伝送媒体にした場合、コイル間距離 300mm の給電効率は、空気中と比較して 20%程度低下した。またこの時の給電効率は、低下の度合いが最も大きく、コイル間距離が長くなるほど給電効率は緩やかに低下していった。

海水中における無線給電を行った場合、給電効率低下の原因として 2 つの影響が考えられる。

①コイル間距離による給電効率低下

②海水の影響による給電効率低下

①については、コイルの位置関係コイル形状で決定される結合係数の低下に起因することである。②については、②-1 コイル近傍に海水があることによるコイル性能の低下に起因する給電効率低下、②-2 海水中を磁束が透過することで海水中に発生する渦電流により損失することに起因する給電効率低下が考えられる本業務によりコイルと海水が隣接している場合は②-1 が給電効率低下の大きな理由であることが分かった。これを解決するためには、コイルと海水の距離を取ることが解決策の 1 つとなる。

### 3.3.4 処分孔を想定した無線給電試験及び検討

#### (1) 処分孔におけるモニタリングに無線給電を利用する方法

平成 28 年度において、処分孔におけるモニタリングに無線給電を利用する技術として、中継方式とインナー方式の 2 つを示した[6]。以下に中継方式とインナー方式について示す。

中継方式とは、1 つの送電コイルから、中継コイルを介して、個々の受電コイルに給電を行う方式である。図 3.3.4-1 に中継方式の処分孔（縦置き孔）への適用イメージを示す。中継コイルは電源や負荷がつながっておらず、受けた電力を次に設置されたコイルに伝える役割を持っている。この方式の特徴として、中継コイルを用いることで伝送距離を長くできるという利点がある。

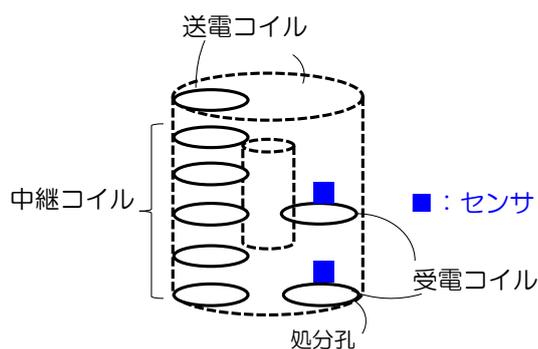


図 3.3.4-1 中継方式の処分孔への適用イメージ[6]

インナー方式とは、1 つの大きな送電コイルを用いて、複数の小さな受電コイルに一括で給電を行う方式である。図 3.3.4-2 にインナー方式の処分孔への適用イメージを示す。この方式の特徴として、受電コイルが増えることで逃す磁束が減り、給電効率が高くなるという利点がある。

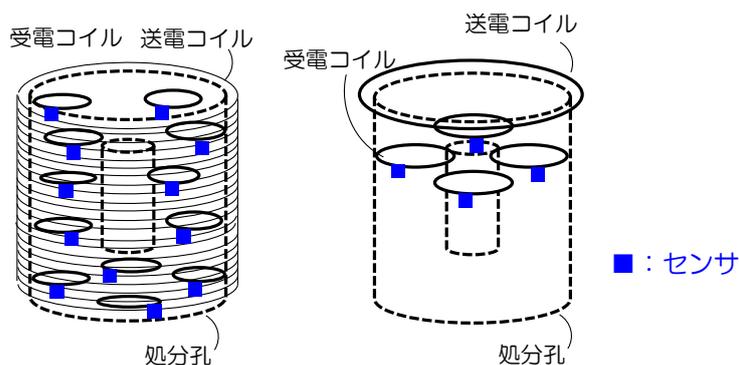


図 3.3.4-2 インナー方式の処分孔への適用イメージ[6]

本業務では、上記に示した 2 つの方式において、室内試験方法の検討、等価回路による理論値の解析、室内試験の実施を行った。

## (2) 試験の条件設定や考え方

### 1) 中継方式

中継方式の試験は送電コイル1つ、中継コイル1つ、受電コイル1つの計3つのコイルを利用する。それぞれのコイルの大きさや巻数は同じものを利用し、表 3.3.4-1 の仕様で作成したコイルを図 3.3.4-3 に示す。自己インダクタンス $L$ 、内部抵抗 $r$ の計測には、インピーダンスアナライザ E4990A を使用し、測定周波数は 60kHz~300kHz とした。図 3.3.4-4 に測定に使用したインピーダンスアナライザを示す。また、コイルの自己インダクタンスの測定結果を図 3.3.4-5 に、コイルの内部抵抗の測定結果を図 3.3.4-6、式 5 から計算した  $Q$  値を図 3.3.4-7 に示す。グラフ中の Coil 1 は送電コイル、Coil 2 は中継コイル、Coil 3 は受電コイルを示す。式 4 より  $Q$  値が高いと給電効率も上昇することから、図 3.3.4-7 において  $Q$  値が高い 300kHz で給電試験を行うこととした。

表 3.3.4-1 中継方式に利用するコイルの大きさと巻数

コイル軸の直径(m)	コイルの高さ(m)	巻数
0.37	0.07	29



図 3.3.4-3 中継方式に利用するコイル

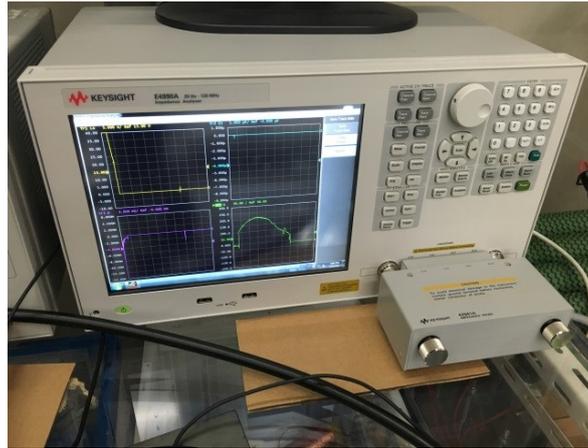


図 3.3.4-4 インピーダンスアナライザ E4990A

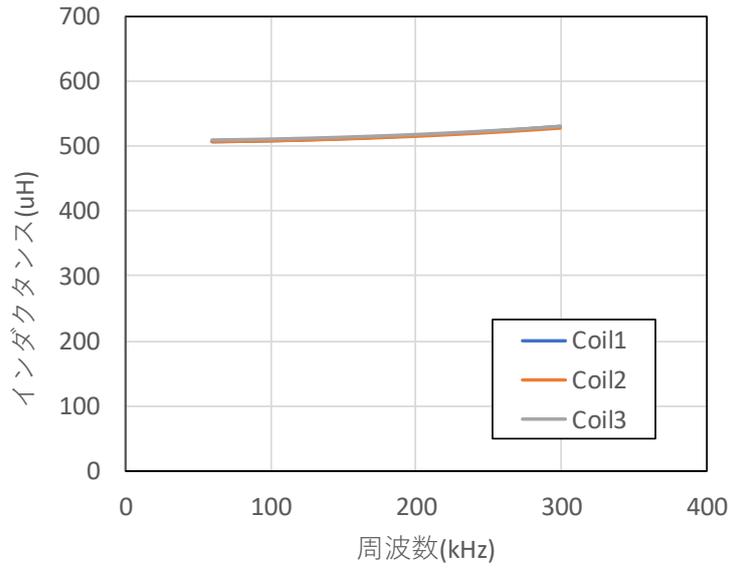


図 3.3.4-5 中継方式に利用するコイルのインダクタンス

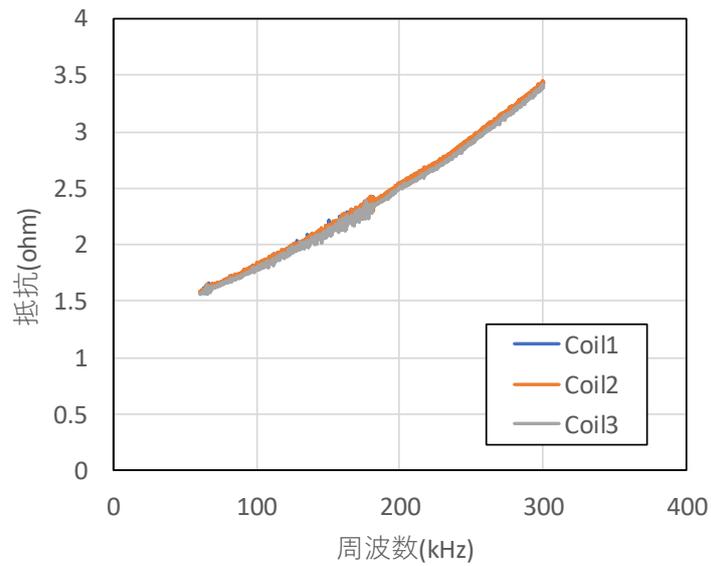


図 3.3.4-6 中継方式に利用するコイルの内部抵抗

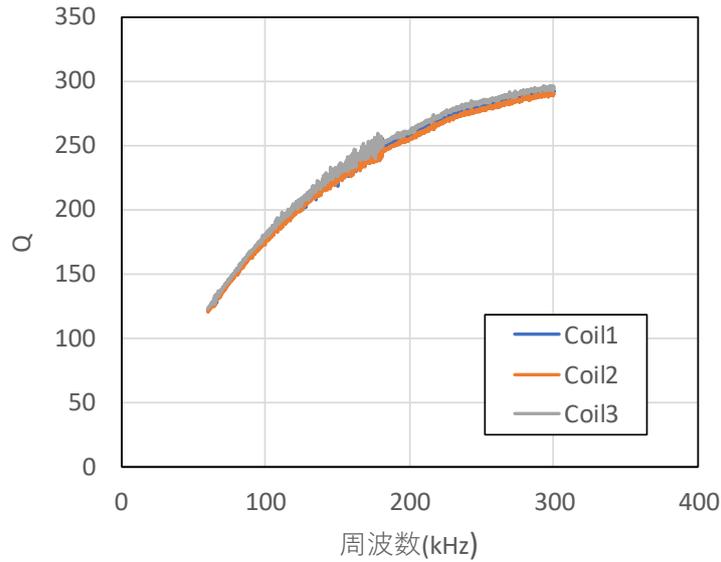


図 3.3.4-7 中継方式に利用するコイルの Q 値

また、中継方式の試験では下記の 2 パターンを実施し、中継コイルの位置と給電効率の関係を把握する

- (i) 送電コイル 1 つと受電コイル 1 つを利用し、コイル間距離を変化させて給電効率を測定する。コイル間距離は送電コイル直径の 1/2 倍、1 倍、3/2 倍、2 倍とする。
- (ii) 送電コイル 1 つ、中継コイル 1 つ、受電コイル 1 つを利用し、コイル間距離を(i)の 4 つとして、中継コイルの位置を変化させた送電試験を行う。中継コイルの位置は、図 3.3.4-8 に示すコイル間距離 3 に対するコイル間距離 1 の関係を 1/4、1/2、3/4 とした 3 ケースとする。

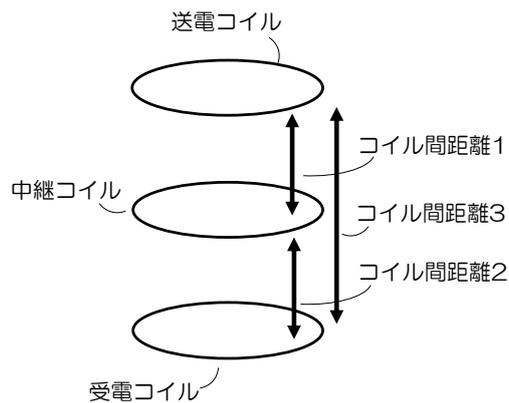


図 3.3.4-8 中継方式の試験イメージ

## 2) インナー方式

インナー方式の試験は送電コイル 1 つ、受電コイル 2 つを利用する。送電コイルは図 3.3.4-3 と同じものを利用した。送電コイル直径の 1/2 (中コイル) と 1/3 (小コイル) の直径の受電コイルを利用した。表 3.3.4-2 のコイルの大きさや巻数で作成した中コイル、小コイルを図 3.3.4-9、図 3.3.4-13 に示す。中コイルの自己インダクタンス、内部抵抗の測定結果を図 3.3.4-10、図 3.3.4-11 に示し、式 5 から計算した Q 値を図 3.3.4-12 に示す。また、小コイルの自己インダクタンス、コイルの内部抵抗の測定結果を図 3.3.4-14、図 3.3.4-15 に示し、Q 値を図 3.3.4-16 に示す。式 4 より Q 値が高いと給電効率も上昇することから、図 3.3.4-12 と図 3.3.4-16 において Q 値が高い 300kHz で給電試験を行うこととした。

表 3.3.4-2 インナー方式に利用するコイルの大きさと巻数

コイルの名前	コイル軸の直径(mm)	コイルの高さ(mm)	巻数
送電コイル (大コイル)	370	70	29
受電コイル (中コイル) 送電コイル直径の 1/2	186	70	29
受電コイル (小コイル) 送電コイル直径の 1/3	125	70	29

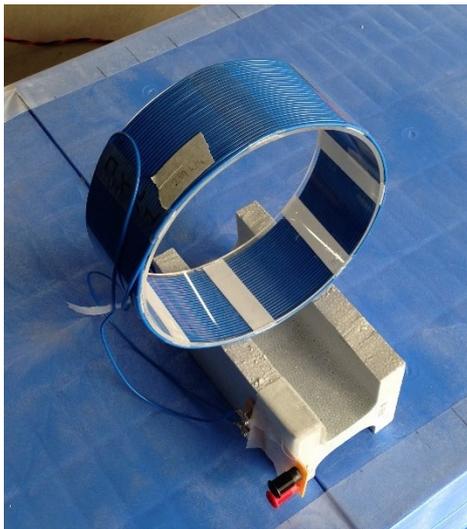


図 3.3.4-9 インナー方式に利用する中コイル

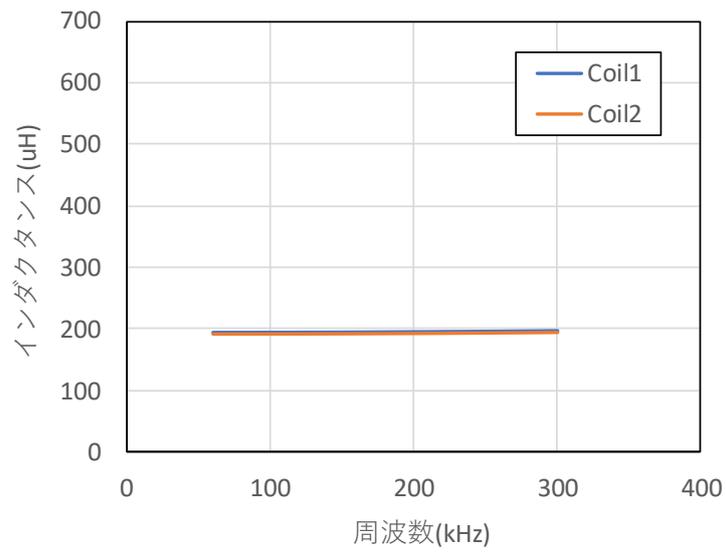


図 3.3.4-10 インナー方式に利用する中コイルのインダクタンス

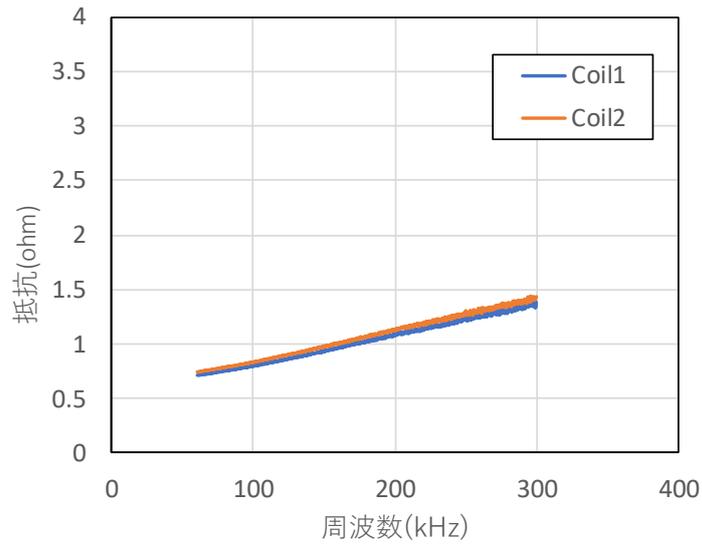


図 3.3.4-11 インナー方式に利用する中コイルの内部抵抗

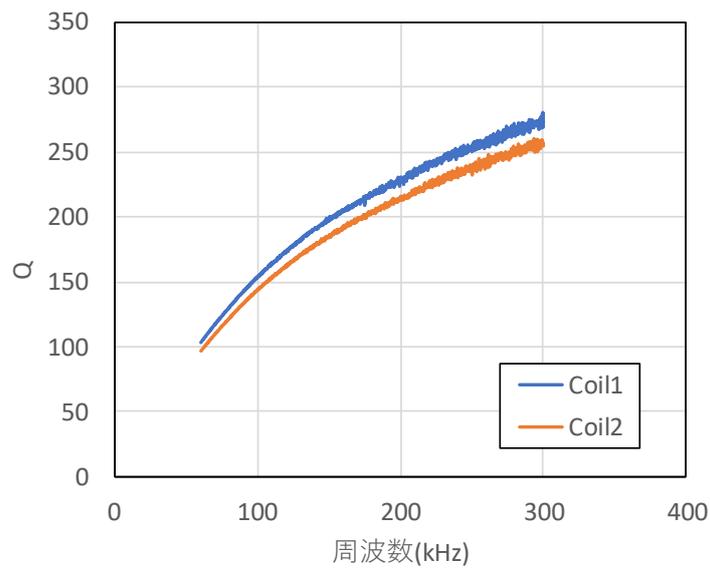


図 3.3.4-12 インナー方式に利用する中コイルの Q 値

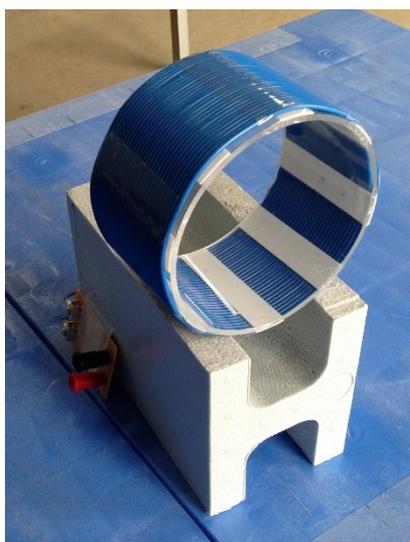


図 3.3.4-13 インナー方式に利用する小コイル

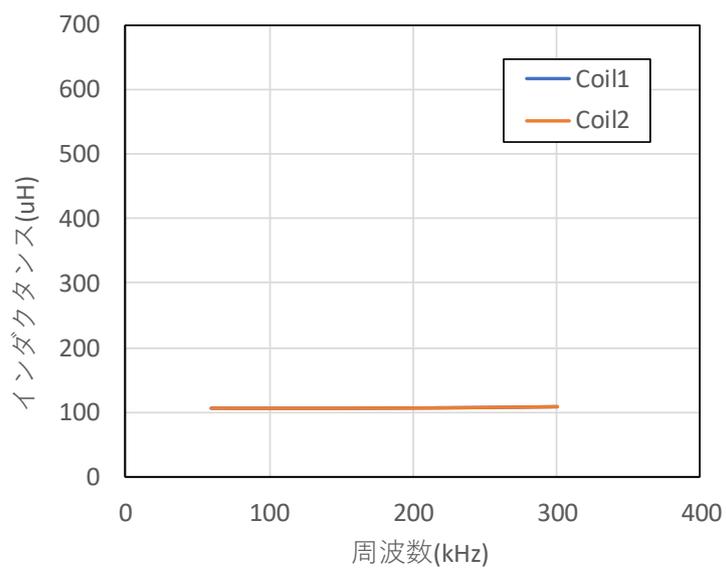


図 3.3.4-14 インナー方式に利用する小コイルのインダクタンス

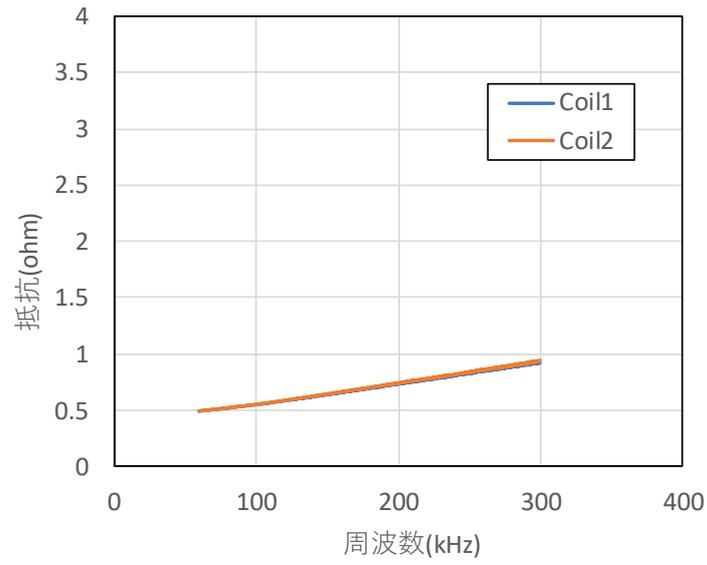


図 3.3.4-15 インナー方式に利用する小コイルの内部抵抗

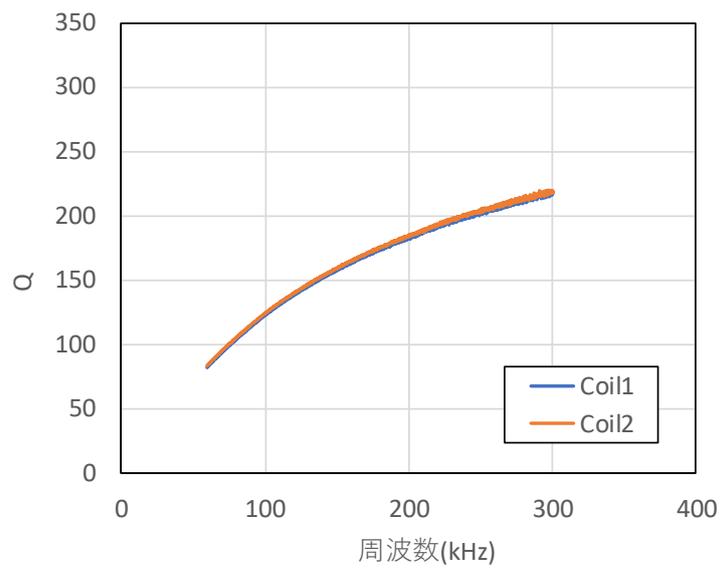


図 3.3.4-16 インナー方式に利用する小コイルの Q 値

インナー方式の試験では下記の 2 パターンを実施し、複数の受電コイルがある場合における給電効率の関係を把握する。

- (i) 送電コイル 1 つと受電コイル（中コイル or 小コイル） 1 つを利用し、コイル間距離を変化させて給電効率を測定する。試験イメージを図 3.3.4-17 に示す。

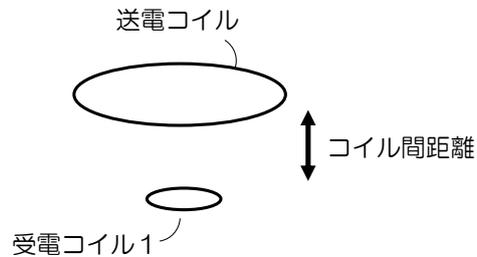


図 3.3.4-17 (i)の試験イメージ

- (ii) 送電コイル 1 つ、受電コイル 2 つを利用し、送電コイルと受電コイル 1、2 を同じ位置にしてコイル間距離を変化させた試験（コイル間距離＝送電コイル直径の 1/2 倍、1 倍、3/2 倍、2 倍）および、送電コイルと受電コイル 1 とのコイル間距離 1 を固定した時の、送電コイルと受電コイル 2 とのコイル間距離 2 を変化させた試験（コイル間距離＝送電コイル直径の 1/2 倍、1 倍、3/2 倍、2 倍）を実施する。それにより、受電コイル位置と給電効率の関係を把握する。試験イメージを図 3.3.4-18 に示す。

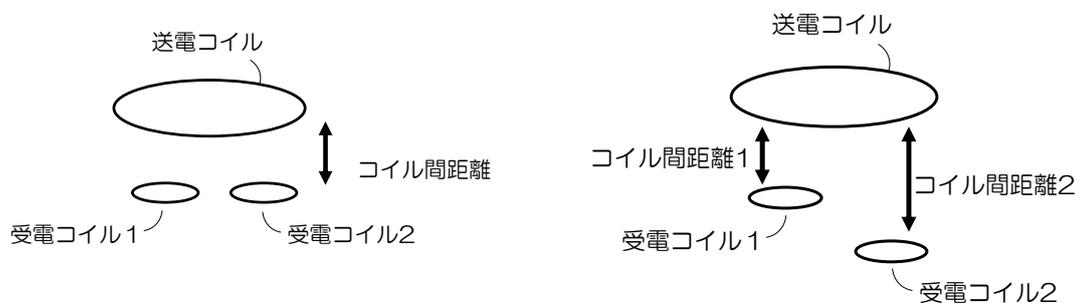


図 3.3.4-18 (ii)の試験イメージ

### (3) 等価回路の解析による給電効率の理論値

地下調査坑道における無線給電の実装のための設計論確立に向けて、中継方式やインナー方式における理論値を等価回路の解析により算出した。中継方式やインナー方式は、複数コイルを利用する無線給電の方式であるため、複数コイルの無線給電における給電効率を等価回路で解析している文献を調査し、「(2) 試験の条件設定や考え方」で設定した試験における給電効率を導出した。これにより、複数給電における給電効率の把握が可能となった。

図 3.3.4-19 に示す 3 つのコイルを利用した無線給電における等価回路は、文献[55]～[59]を参考にすると、図 3.3.4-20 のように示すことができる。図 3.3.4-20 において、 $V_1$  は電源電圧、 $M_{12}$  はコイル 1 とコイル 2 における相互インダクタンス、 $M_{23}$  はコイル 2 とコイル 3 の相互インダクタンス、 $M_{13}$  はコイル 1 とコイル 3 の相互インダクタンスを示す。図 3.3.4-20 における回路方程式をインピーダンス行列で示すと式 9 で示すことができる。

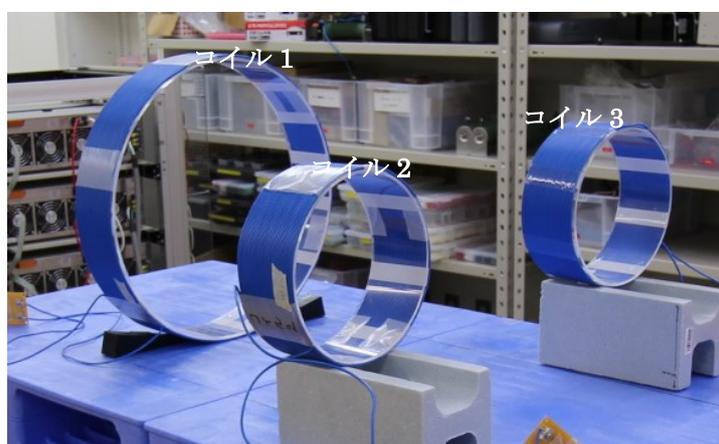


図 3.3.4-19 3つのコイルを利用した無線給電

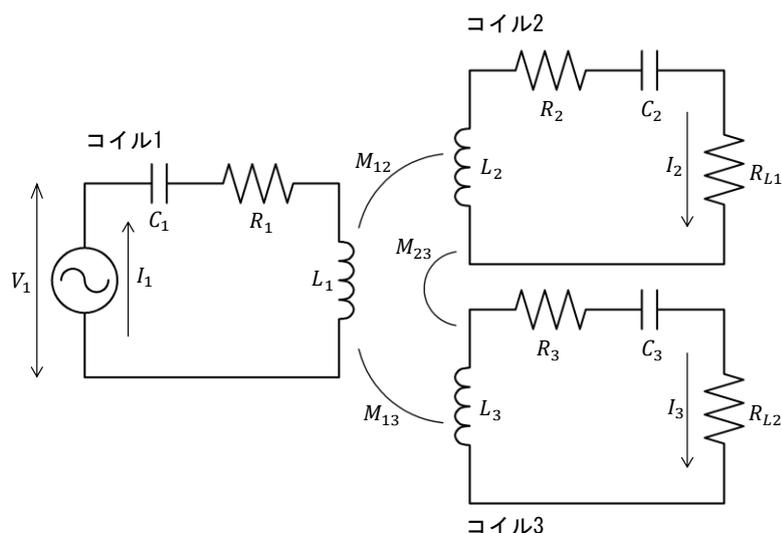


図 3.3.4-20 3つのコイルを利用した無線給電の等価回路

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + j(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}) & j\omega M_{12} & j\omega M_{13} \\ j\omega M_{12} & R_2 + R_{L1} + j(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}) & j\omega M_{23} \\ j\omega M_{13} & j\omega M_{23} & R_3 + R_{L2} + j(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad \text{式 9}$$

1) 中継方式における等価回路化による給電効率の解析方法

図 3.3.4-8 のような中継方式において、中継コイルの負荷が無く、送電コイルと受電コイルの飛び越し結合（クロスカップリング）が無い場合の等価回路は、図 3.3.4-21 のように表される。この場合の回路方程式をインピーダンス行列で表すと式 10 となり、完全に共振していると式 11 が成り立ち、式 12 のように示すことができる。さらに逆行列にすることで、回路の電流値の解析ができ、この電流を利用した式 14 から給電効率を算出できる。

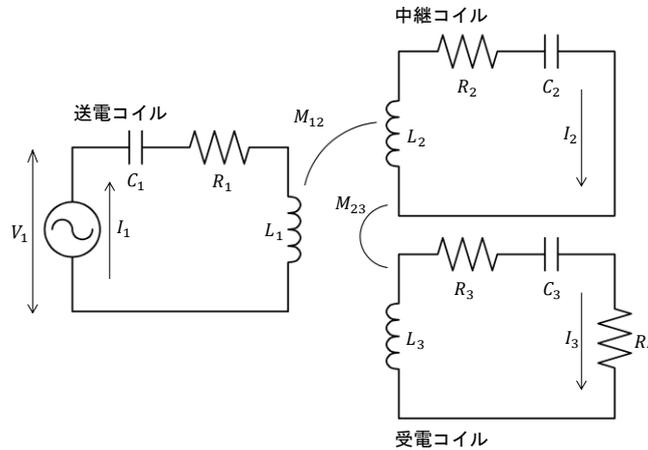


図 3.3.4-21 中継方式における無線給電の等価回路

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + j(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}) & j\omega M_{12} & 0 \\ j\omega M_{12} & R_2 + j(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}) & j\omega M_{23} \\ 0 & j\omega M_{23} & R_3 + j(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}) + R_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad \text{式 10}$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{式 11}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & j\omega M_{12} & 0 \\ j\omega M_{12} & R_2 & j\omega M_{23} \\ 0 & j\omega M_{23} & R_3 + R_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad \text{式 12}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & j\omega M_{12} & 0 \\ j\omega M_{12} & R_2 & j\omega M_{23} \\ 0 & j\omega M_{23} & R_3 + R_L \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{式 13}$$

$$\eta = \frac{R_L I_3^2}{V_1 I_1} \quad \text{式 14}$$

## 2) 中継方式における等価回路化による給電効率の解析

「1) 中継方式における等価回路化による給電効率の解析方法」で示した中継方式における給電効率の解析方法や、式 2 と下記に示す相互インダクタンスの計算式を利用して、図 3.3.4-8 で示した試験方法の理論値解析を行った。図 3.3.4-22 に示す送受電コイルの位置関係において、半径が  $a_1$  と  $a_2$  の円形コイルが中心間距離  $g$  で同軸上に正対している場合の相互インダクタンス  $L_m$  は式 15 で表される。

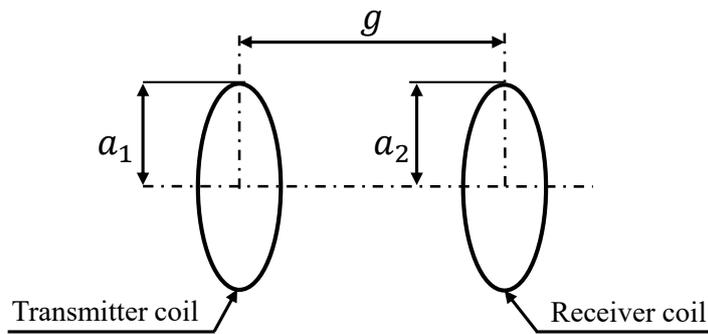


図 3.3.4-22 送受電コイルの位置関係

$$L_m = \mu \sqrt{a_1 a_2} \left\{ \left( \frac{2}{x} - x \right) K(x) - \frac{2}{x} E(x) \right\}$$

$$x = \sqrt{\frac{4a_1 a_2}{(a_1 + a_2)^2 + g^2}}$$

式 15

$$K(x) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{\sqrt{1-x^2 \sin^2 \varphi}} \quad E(x) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1-x^2 \sin^2 \varphi} d\varphi$$

(i)の試験方法における理論値の解析

式 15 と式 6 から求めた結合係数と、図 3.3.4-7 の 300kHz における Q 値を用いて、式 2 により求めた給電効率を表 3.3.4-3 と図 3.3.4-23 に示す。給電距離はコイル直径の 1/2 倍の 185mm、1 倍の 370mm、3/2 倍の 555mm、2 倍の 740mm の 4 つのパターンで行った。

表 3.3.4-3 送電コイル (大) 1 つ受電コイル (大) 1 つにおける送電距離と給電効率の関係

周波数(kHz)	300	300	300	300
コイル直径(mm)	370	370	370	370
コイル Q 値	294	294	294	294
送電距離(mm)	185	370	555	740
相互インダクタンス(uH)	91.4	26.2	10.2	4.8
結合係数	0.172	0.050	0.019	0.009
給電効率(%)	96.1	87.2	70.3	48.0

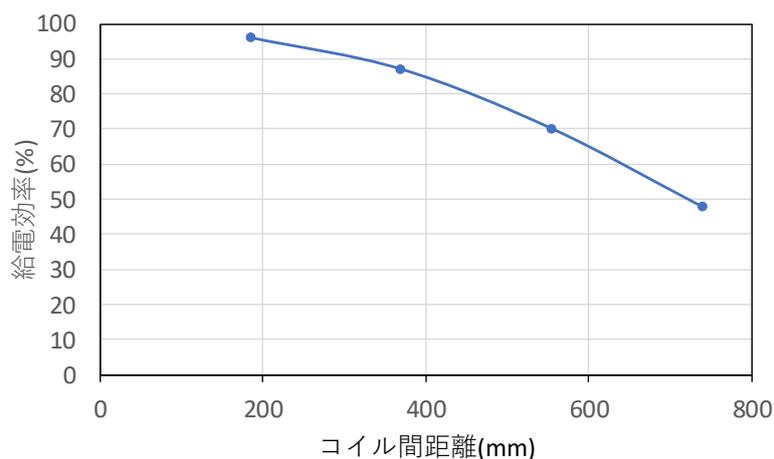


図 3.3.4-23 送電コイル (大) 1 つ受電コイル (大) 1 つにおける送電距離と給電効率の関係

(ii)の試験方法における理論値の解析

式 15 から求めた相互インダクタンス、および式 13、式 14 より、給電効率を求めた。式 13 の $V_1$ は 100V、 $R_{1\sim 3}$ は図 3.3.4-6 の 300kHz におけるコイルの内部抵抗を入力し、 $R_L$ は繰り返し計算から給電効率が最大となる値を最終値とした。送電距離は(i)と同じように 185mm、370mm、555mm、740mm の 4 パターンに中継コイルを送電距離の 1/4、1/2、3/4 の位置に設置した 3 ケースで行った。給電距離 185mm の時の中継コイル位置と給電効率を表 3.3.4-4 と図 3.3.4-24 に、370mm の時の中継コイル位置と給電効率を表 3.3.4-5 と図 3.3.4-25 に、555mm の時の中継コイル位置と給電効率を表 3.3.4-6 と図 3.3.4-26 に、740mm の時の中継コイル位置と給電効率を表 3.3.4-7 と図 3.3.4-27 にそれぞれ示す。

表 3.3.4-4 中継コイルの位置と給電効率の関係 (送電距離 185mm)

周波数(kHz)	300	300	300
送電コイル直径(mm)			
中継コイル直径(mm)	370	370	370
受電コイル直径(mm)			
コイル Q 値	294	294	294
送電距離(mm)	185	185	185
送電コイルと中継コイル 距離(mm)	46.25	92.5	138.75
中継コイルと受電コイル 距離(mm)	138.75	92.5	46.25
$M_{12}$ (uH)	349.3	205.8	133.9
$M_{23}$ (uH)	133.9	205.8	349.3
給電効率(%)	97.16	97.58	97.20

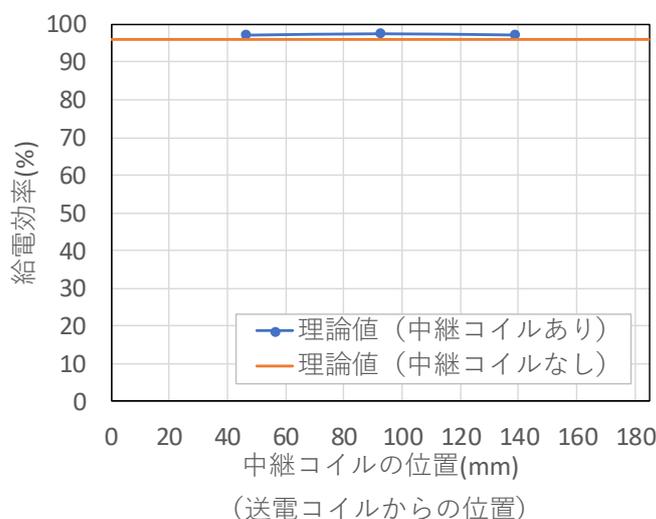


図 3.3.4-24 中継コイルの位置と給電効率の関係 (送電距離 185mm)

表 3.3.4-5 中継コイルの位置と給電効率の関係 (送電距離 370mm)

周波数(kHz)	300	300	300
送電コイル直径(mm)			
中継コイル直径(mm)	370	370	370
受電コイル直径(mm)			
コイル Q 値	294	294	294
送電距離(mm)	370	370	370
送電コイルと中継コイル 距離(mm)	92.5	185	277.5
中継コイルと受電コイル 距離(mm)	277.5	185	92.5
$M_{12}$ ( $\mu$ H)	205.8	91.4	46.8
$M_{23}$ ( $\mu$ H)	46.8	91.4	205.8
給電効率(%)	92.30	94.49	92.39

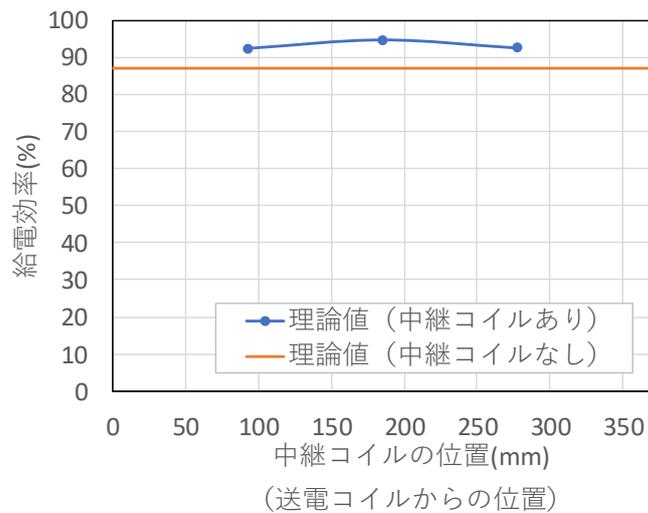


図 3.3.4-25 中継コイルの位置と給電効率の関係 (送電距離 370mm)

表 3.3.4-6 中継コイルの位置と給電効率の関係 (送電距離 555mm)

周波数(kHz)	300	300	300
送電コイル直径(mm)			
中継コイル直径(mm)	370	370	370
受電コイル直径(mm)			
コイル Q 値	294	294	294
送電距離(mm)	555	555	555
送電コイルと中継コイル 距離(mm)	138.75	277.5	416.25
中継コイルと受電コイル 距離(mm)	416.25	277.5	138.75
$M_{12}$ ( $\mu$ H)	133.9	46.8	20.2
$M_{23}$ ( $\mu$ H)	20.2	46.8	133.9
給電効率(%)	83.42	89.67	83.51

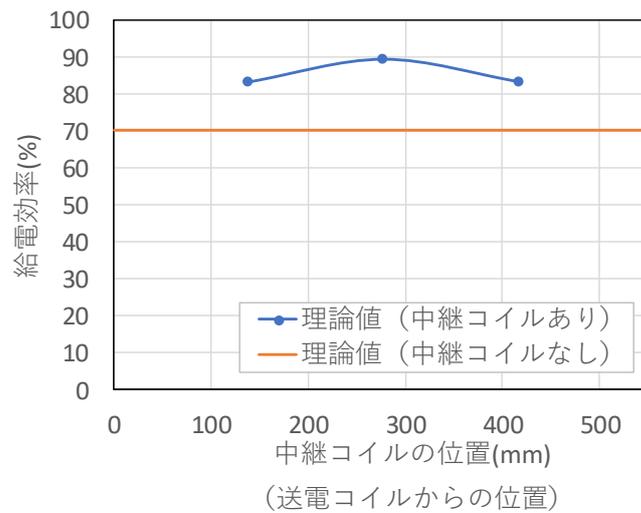


図 3.3.4-26 中継コイルの位置と給電効率の関係 (送電距離 555mm)

表 3.3.4-7 中継コイルの位置と給電効率の関係 (送電距離 740mm)

周波数(kHz)	300	300	300
送電コイル直径(mm)			
中継コイル直径(mm)	370	370	370
受電コイル直径(mm)			
コイル Q 値	294	294	294
送電距離(mm)	740	740	740
送電コイルと中継コイル 距離(mm)	185	370	555
中継コイルと受電コイル 距離(mm)	555	370	185
$M_{12}$ ( $\mu$ H)	91.4	26.2	10.2
$M_{23}$ ( $\mu$ H)	10.2	26.2	91.4
給電効率(%)	70.23	82.28	70.17

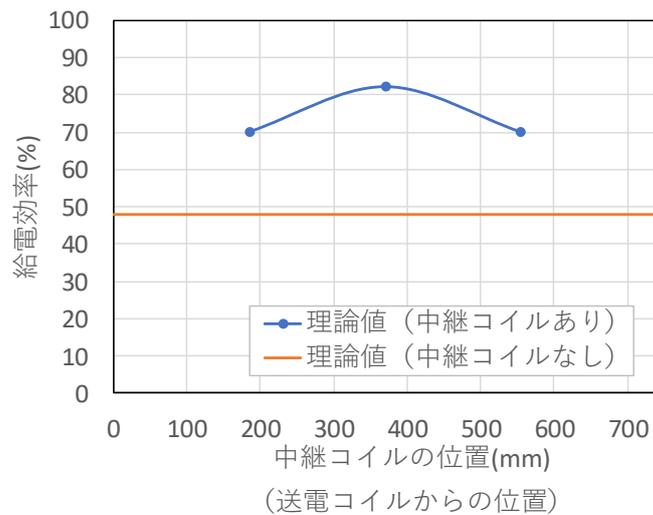


図 3.3.4-27 中継コイルの位置と給電効率の関係 (送電距離 740mm)

### 3) インナー方式における等価回路化による給電効率の解析方法

図 3.3.4-18 のようなインナー方式において、受電コイル 1 と受電コイル 2 の磁気結合が無い場合の等価回路は、図 3.3.4-20 の  $M_{23}$  が 0 となり、図 3.3.4-28 のように表される。この場合の回路方程式をインピーダンス行列で表すと式 16 となり、中継方式と同様に完全に共振している場合は、式 17 のように示すことができる。これにより回路の電流値の解析ができ、この電流値を利用した式 18 から受電コイル 1 と受電コイル 2 で受電した電力を合わせた総合給電効率を算出できる。

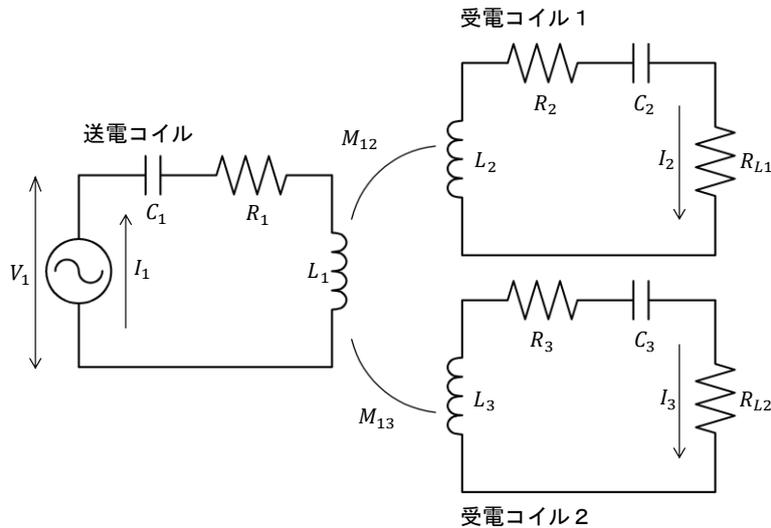


図 3.3.4-28 インナー方式における無線給電の等価回路

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + j(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}) & j\omega M_{12} & 0 \\ j\omega M_{12} & R_2 + j(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}) & j\omega M_{23} \\ 0 & j\omega M_{23} & R_3 + j(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}) + R_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad \text{式 16}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & j\omega M_{12} & j\omega M_{13} \\ j\omega M_{12} & R_2 + R_{L1} & 0 \\ j\omega M_{13} & 0 & R_3 + R_{L2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \quad \text{式 17}$$

$$\eta_{total} = \frac{R_{L1} I_2^2 + R_{L2} I_3^2}{V_1 I_1} \quad \text{式 18}$$

#### 4) インナー方式における等価回路化による給電効率の解析

「3) インナー方式における等価回路化による給電効率の解析方法」で示したインナー方式における給電効率の解析方法や、式 2、式 16 を利用して、「2) 中継方式における等価回路化による給電効率の解析」で示した試験方法の理論値解析を行った。

##### (i) の試験方法における理論値の解析

式 16、式 6 から求めた結合係数と、中コイルを受電コイルとした場合の 300kHz における Q 値(図 3.3.4-11)および小コイルを受電コイルとした場合の 300kHz における Q 値(図 3.3.4-15)を用いて式 2 により求めた給電効率を、表 3.3.4-8、表 3.3.4-9 および図 3.3.4-29 に示す。

表 3.3.4-8 送電コイル (大) 1つ受電コイル (中) 1つにおける送電距離と給電効率の関係

周波数(kHz)	300	300	300	300
送電コイル直径(mm)	370	370	370	370
送電コイル Q 値	294	294	294	294
受電コイル直径(mm)	185	185	185	185
受電コイル Q 値	272	272	272	272
送電距離(mm)	185	370	555	740
相互インダクタンス(uH)	29.94	7.72	2.79	1.28
結合係数	0.0924	0.0238	0.0086	0.0039
給電効率(%)	92.6	74.4	45.0	19.9

表 3.3.4-9 送電コイル (大) 1つ受電コイル (小) 1つにおける送電距離と給電効率の関係

周波数(kHz)	300	300	300	300
送電コイル直径(mm)	370	370	370	370
送電コイル Q 値	294	294	294	294
受電コイル直径(mm)	125	125	125	125
受電コイル Q 値	217	217	217	217
送電距離(mm)	185	370	555	740
相互インダクタンス(uH)	14.26	3.63	1.30	0.59
結合係数	0.0599	0.0153	0.0055	0.0025
給電効率(%)	87.6	59.8	26.0	8.2

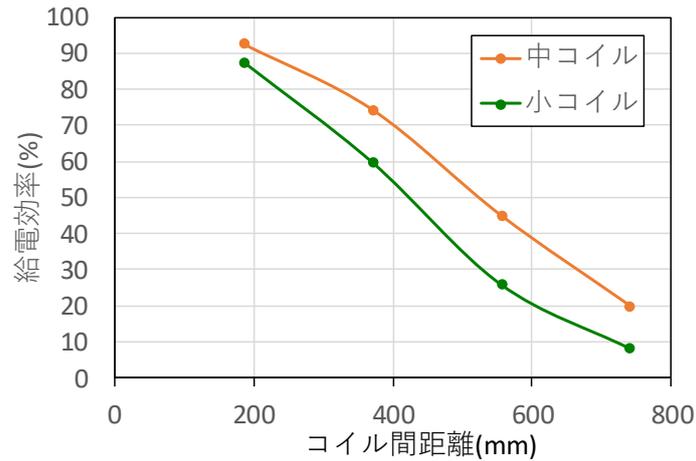


図 3.3.4-29 送電コイル（大）1つ受電コイル（大）1つにおける送電距離と給電効率の関係

(ii)の試験方法における理論値の解析

式 16 から求めた相互インダクタンスおよび式 17、式 18 より、給電効率を求めた。式 13 の  $V_1$  は 100V、 $R_1$  は図 3.3.4-6 の 300kHz におけるコイルの内部抵抗を入力した。この時、中コイル 2 つを受電コイルとした場合は  $R_2$  と  $R_3$  に図 3.3.4-11 の 300kHz におけるコイルの内部抵抗を、小コイル 2 つを受電コイルとした場合は  $R_2$  と  $R_3$  に図 3.3.4-15 の 300kHz におけるコイルの内部抵抗を使用した。 $R_{L1}$  と  $R_{L2}$  は繰り返し計算から給電効率が最大となる値を最終値とした。また、インナー方式では送受電コイルの中心は同軸上に無いが、式 16 から求めることができる相互インダクタンスはコイルの中心軸が同軸上における値となるため、本来の相互インダクタンスとは少し異なる値を利用していることに注意が必要である。中コイルを受電コイルとした場合における給電効率の解析結果を表 3.3.4-10 に、コイル間距離と給電効率についての関係性について表 3.3.4-11 および図 3.3.4-30 に示す。同様に、小コイルを受電コイルとした場合における給電効率の解析結果を表 3.3.4-12 に、コイル間距離と給電効率についての関係性について表 3.3.4-13 および図 3.3.4-31 に示す。

表 3.3.4-10 受電コイル（中）におけるインナー方式の給電効率

周波数(kHz)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
送電コイル直径 (mm)	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370
受電コイル直径 (mm)	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
送受電コイル1 の距離(mm)	185	185	185	185	370	370	370	555	555	740
送受電コイル2 の距離(mm)	185	375	555	740	370	555	740	555	740	740
$M_{12}$ (uH)	29.9	29.9	29.9	29.9	7.7	7.7	7.7	2.8	2.8	1.3
$M_{13}$ (uH)	29.9	7.7	2.8	1.3	7.7	2.8	1.3	2.8	1.3	1.3
給電効率(%)	94.72	92.56	92.30	92.27	80.94	74.50	72.97	56.52	47.87	30.69

表 3.3.4-11 受電コイル（中）におけるインナー方式の給電効率（マトリクス表）

給電効率(%)		送電コイルと受電コイル1の距離(mm)			
		185	370	555	740
送電コイルと 受電コイル2 の距離(mm)	185	94.72	92.56	92.30	92.27
	370	92.56	80.94	74.50	72.97
	555	92.30	74.50	56.52	47.87
	740	92.27	72.97	47.87	30.69

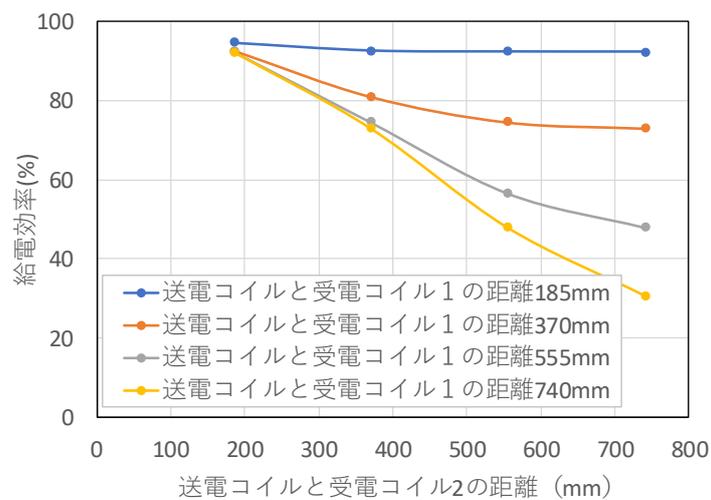


図 3.3.4-30 受電コイル（中）におけるインナー方式の給電効率

表 3.3.4-12 受電コイル（小）におけるインナー方式の給電効率

周波数(kHz)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
送電コイル直径 (mm)	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370
受電コイル直径 (mm)	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
送受電コイル1 の距離(mm)	185	185	185	185	370	370	370	555	555	740
送受電コイル2 の距離(mm)	185	375	555	740	370	555	740	555	740	740
$M_{12}$ (uH)	14.3	14.3	14.3	14.3	3.6	3.6	3.6	1.3	1.3	0.6
$M_{13}$ (uH)	14.3	3.6	1.3	0.6	3.6	1.3	0.6	1.3	0.6	0.6
給電効率(%)	91.10	87.50	87.10	87.05	69.17	60.78	59.14	37.31	28.83	14.53

表 3.3.4-13 受電コイル（小）におけるインナー方式の給電効率（マトリクス表）

給電効率(%)		送電コイルと受電コイル1の距離(mm)			
		185	370	555	740
送電コイルと 受電コイル2 の距離(mm)	185	91.10	87.50	87.10	87.05
	370	87.50	69.17	60.78	59.14
	555	87.10	60.78	37.31	28.83
	740	87.05	59.14	28.83	14.53

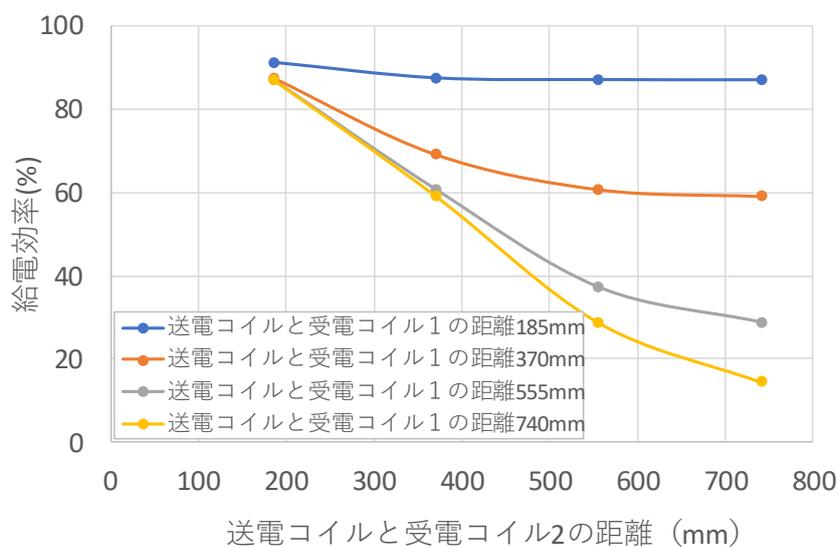


図 3.3.4-31 受電コイル（小）におけるインナー方式の給電効率

#### (4) 給電試験による給電効率の測定と測定結果

中継方式とインナー方式について、等価回路の解析により理論値を把握した。この項目では、複数コイルを用いる方式のうち中継方式の室内試験を行い、把握した理論値との比較を行った。

##### (i)の試験方法における室内試験

送電コイル1つと受電コイル1つを利用し、コイル間距離を変化させて給電効率を測定した。実験状況を図 3.3.4-32 に示す。実験結果を表 3.3.4-14、理論値の比較データを図 3.3.4-33 に示す。

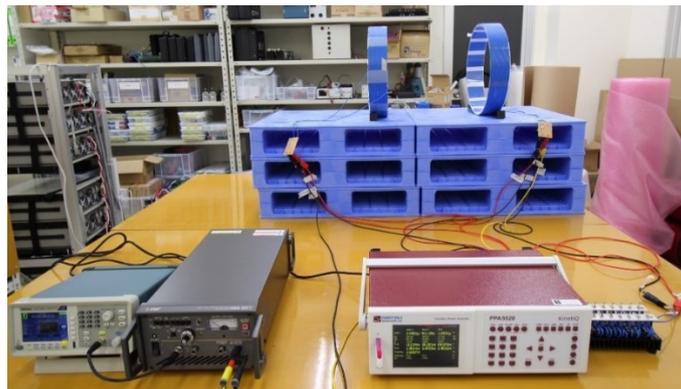


図 3.3.4-32 送電コイル1つ受電コイル（大）1つの給電実験状況

表 3.3.4-14 送電コイル1つ受電コイル（大）におけるコイル間距離と給電効率の関係

コイル間距離(mm)	給電効率(%)
185	91.8
370	78.07
555	51.48
740	25.11

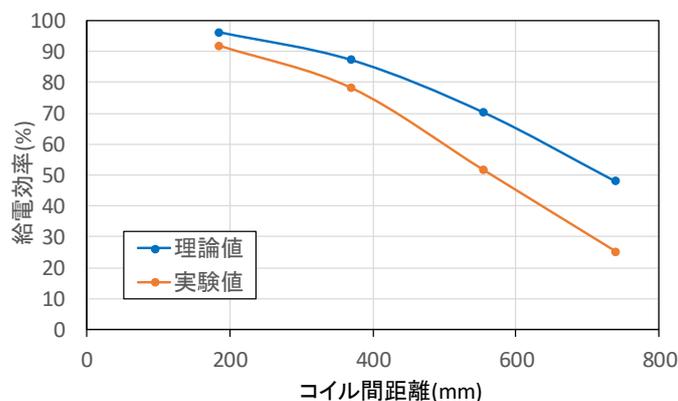


図 3.3.4-33 送電コイル1つ受電コイル（大）における給電効率の理論値と実験値

(ii)の試験方法における室内試験

送電コイル1つ、中継コイル1つ、受電コイル1つを利用し、コイル間距離を表 3.3.4-14 の 4 パターンとし、中継コイルの位置を変化させた送電試験を行った。中継コイルの位置は、図 3.3.4-8 に示すコイル間距離 3 に対するコイル間距離 1 の関係を 1/4、1/2、3/4 とした 3 ケースとした。実験状況を図 3.3.4-34 に、実験結果を表 3.3.4-15 に示す。また、送電距離ごと（180mm、370mm、555 mm、740 mm）の理論値と実験値の比較を図 3.3.4-35～図 3.3.4-38 に示す。

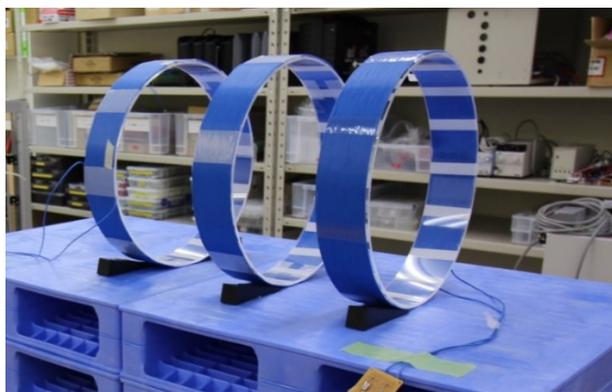


図 3.3.4-34 中継方式の給電実験状況

表 3.3.4-15 中継方式における給電効率の実験値

コイル間距離(mm)	中継コイルの位置(mm) (送電コイルからの位置)	給電効率(%)
185	中継コイルなし	91.8
	62	99.48
	93	94.88
	123	90.65
370	中継コイルなし	78.07
	93	99.74
	185	90.55
	278	79.18
555	中継コイルなし	51.48
	139	81.91
	278	83.72
	416	69.49
740	中継コイルなし	25.11
	185	58.33
	370	72.43
	555	48.58

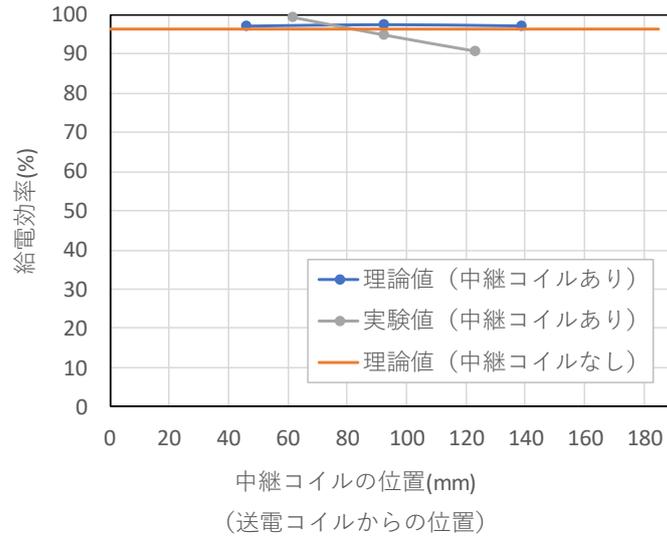


図 3.3.4-35 中継方式における送電距離 185mm の理論値と実験値

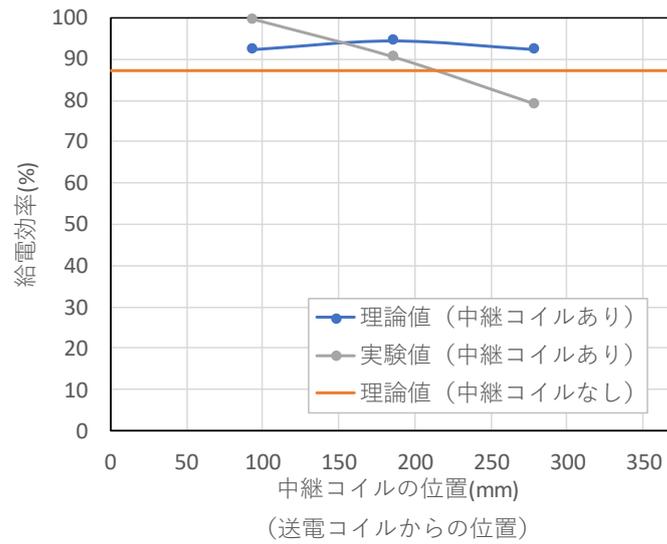


図 3.3.4-36 中継方式における送電距離 370mm の理論値と実験値

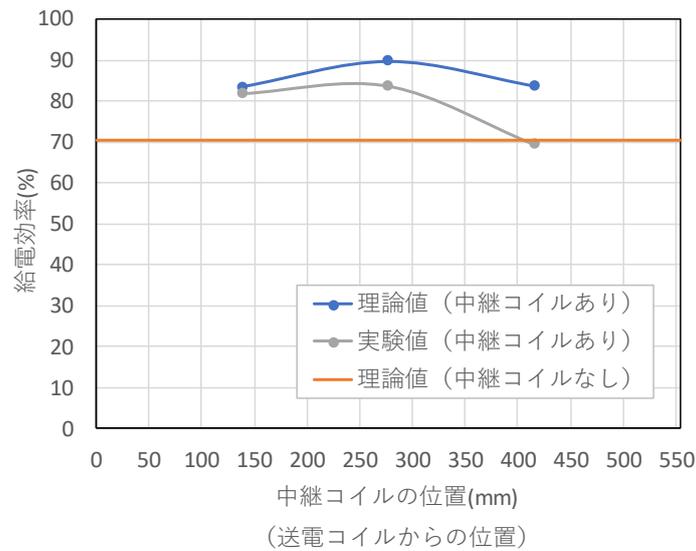


図 3.3.4-37 中継方式における送電距離 555mm の理論値と実験値

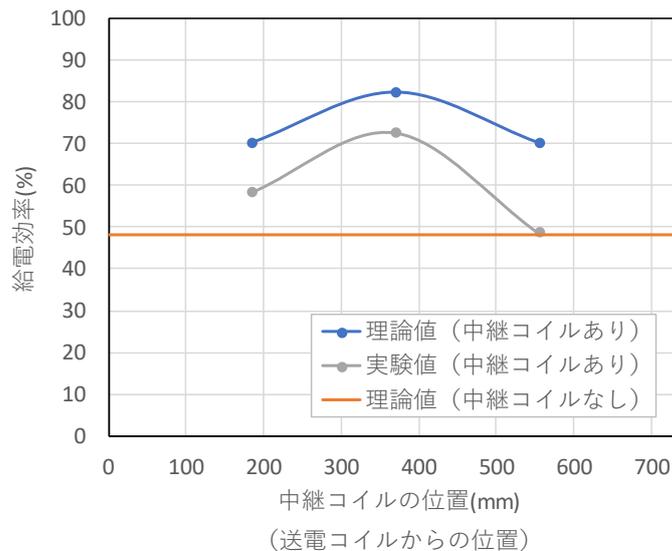


図 3.3.4-38 中継方式における送電距離 740mm の理論値と実験値

### (5) 解析と試験結果の評価

中継方式とインナー方式における給電効率の解析結果と試験結果より評価を行った。

#### 1) 中継方式の解析における評価

送電コイル1つ受電コイル1つにおける無線給電結果(図 3.3.4-23)より、コイル間距離が長くなると給電効率も低下していく。具体的には、コイル直径とコイル間距離が同じ値における給電効率は87%、コイル直径の2倍のコイル間距離における給電効率は48%である。これは、コイ

ル間距離が長くなることで結合係数が小さくなるからである。給電効率は受電電力／送電電力であるため、コイル間距離が長くなる場合は、送電電力を大きくすることで、所望の受電電力を得ることは可能である。例えば、給電効率が48%の時に、10Wの電力をうけとりたい場合は480Wの送電を行えばよい。このように給電効率が低い場合においても電力を送電することは可能である。

中継コイルを利用した無線給電の結果（図 3.3.4-24～図 3.3.4-27）より、下記の3点の評価を行った。

- (i) 中継コイルを利用した場合、利用しない場合と比較して給電効率が高くなることが分かる。また、送受電コイル間距離が長くなるほど、中継コイルを入れることによる給電効率の上昇がみられる。よって、送受電コイル間距離が長い時に、中継コイルを用いる方が効果的である。
- (ii) 中継コイルを利用した場合の給電効率は、送受電コイル間のちょうど中央部に中継コイルを設置した場合に最も高く、山なりのグラフになる。よって、中継コイルを利用する場合は、送受電コイル間の中間点に設置するのが最適である。
- (iii) 送受電コイル間距離が740mmで、中継コイルが送受電コイル間距離の中間点（370mm）にある場合の給電効率は82%程度である。一方、中継コイルなしで送受電コイル間距離370mmの時の給電効率は87%（図 3.3.4-23）であるため、2回送電すると、 $87\% \times 87\% = 75\%$ 程度になると推定できる。このことから、図 3.3.4-39のように2段階に分けて無線給電を行うより、中継コイルを用いて1段階で送電を行った方が給電効率は高くなる。

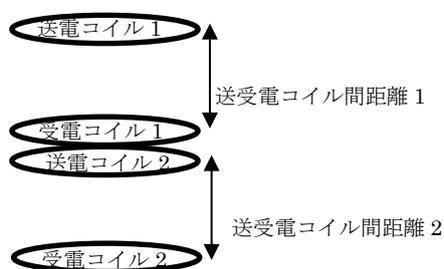


図 3.3.4-39 2段階の無線給電

## 2) インナー方式の解析における評価

送電コイル1つ受電コイル1つにおける無線給電結果(図 3.3.4-29)より、中継方式と同様に、コイル間距離が長くなると給電効率も低下していく。また中コイルよりも小コイルの方がより給電効率は低くなる。これは、小コイルの断面積が中コイルより小さく、磁束鎖交数が少ないために結合係数が小さくなるからである。しかし、4.5.1 で示したように給電効率は受電電力/送電電力であるため、給電効率が低い場合でも送電電力を大きくすることで、所望の受電電力を得ることは可能である。

インナー方式の無線給電の結果(図 3.3.4-30、図 3.3.4-31)より、下記の2点の評価を行った。

- (i) 送電コイル1つと受電コイル1つの給電効率と、送電コイル1つと受電コイル2つ(受電コイル1、受電コイル2)のインナー方式の給電効率を比較すると、送受電コイル間距離が等距離の場合ではインナー方式の給電効率の方が高くなる。これは、受電コイルの数が増え、磁束鎖交数が増えるためである。
- (ii) 受電コイルを2つ使用した場合、一方の送受電コイル間距離が短いと、もう一方の送受電コイル間距離が長くても高い給電効率を維持できる。

## 3) 中継方式の室内試験における評価

図 3.3.4-33 より理論値と実験値を比較すると、コイル間距離による給電効率の傾向は一致するが、コイル間距離が近いときで5%、遠いときには20%の隔たりがある。これは、理論値が完全な共振で計算しているのに対して、室内試験では共振が不完全だったことや、等価回路で考慮できていない共振コンデンサの損失などが原因と考えられる。

中継コイルを利用した無線給電の室内試験結果(図 3.3.4-35~図 3.3.4-38)より、下記の3点の評価を行った。

- (i) 送受電コイル間距離が740mmにおいて、中継コイルの位置による給電効率の傾向は、理論値と実験値がほぼ一致する。
- (ii) 送受電コイル間距離が370mmおよび555mmでは、給電効率が理論値よりも高い値(ほぼ100%)の計測がされる。これは、中継コイルを飛び越えて、送電コイルと受電コイルが磁気結合(クロスカップリング)をしてしまったために起きた現象と考えられる。このことから送電距離が近い場合に中継コイルを設置するときは、クロスカップリングを考慮する必要がある。
- (iii) 送受電コイル間距離が740mmにおいて、中継コイルが送受電コイル間距離の中間点(370mm)にある場合の給電効率は72%程度である。一方、中継コイルなしで送受電コイル間距離370mmの時の給電効率は78%(図 3.3.4-33)であるため、2回送電すると、 $78\% \times 78\% = 61\%$ 程度になると推定できる。理論値と同様に2段階に分けて無線給電を行うより、中継コイルを用いて1段階で送電を行った方が給電効率は高くなる。

### 3.3.5 課題の抽出と今後の方針

電磁波による給電技術の検討では、表 3.3.2-1 に示した地層処分におけるモニタリングに無線給電を利用するときには生じる特有の課題の検討評価を進めてきた。図 3.3.2-1 に示す 5 年間の実施により進捗した内容や、そこから生じたさらなる課題を抽出した表を表 3.3.5-1 に示す。今後はこれまでの進捗を踏まえて新たな課題に取り組んでいく。例えば、次の段階として室内試験だけではなく原位置試験による評価から、方法論の構築や、さらなる課題の抽出を行うことが必要である。これらにより、モニタリング技術を向上させ、モニタリング方法の選択肢を増やすことができる。

表 3.3.5-1 これまでの進捗と新たな課題

適用箇所	特有の課題		5 年間における進捗	新たな課題
プラグ 処分孔	無線給電の方式		○方式の選定は完了 (H26 年度)	-
プラグ	伝送媒体の影響	鉄	○室内試験での簡易な影響評価は完了 (H28 年度)	○鉄の形状や位置による詳細な影響評価 ○原位置試験による影響評価
		コンクリート	○室内試験での影響評価は完了 (H28 年度)	○原位置試験による影響評価
ベントナイト		○室内試験での影響評価は完了 (H26 年度)	○原位置試験による影響評価	
地下水（水や海水）		○室内試験での影響評価は完了 (H29 年度)	○原位置試験による影響評価	
プラグ 処分孔	コイルの設計論	巨大コイル	○スケール則に関する理論値の評価検討は完了 (H28 年度)	○実規模へ適用する方法論の構築 ○原位置試験を利用した実証試験
処分孔		異形コイル	○異形コイルに関する理論値の評価は完了 (H27 年度)	○実規模へ適用する方法論の構築 ○原位置試験を利用した実証試験
		複数コイル	○中継方式の理論値と実験値の評価は完了 (H29 年度) ○インナー方式の理論値と実験値の評価は完了 (H28 年度)	○複雑な系（処分孔内での柔軟な配置）を想定したシステム設計技術の検討 ○システム設計の方法論の適用性評価 ○原位置試験を利用した実証試験
プラグ 処分孔	給電距離の長さ		-	○磁性材料を用いた給電効率の改善手法の評価
プラグ 処分孔	無線給電機器（コイルや電源部）の設置方法		○コイルの設置ずれによる影響評価は完了 (H28 年度)	○無線給電機器の設置方法の検討 ○原位置試験を利用した実証試験
プラグ 処分孔	無線給電機器（コイルや電源部）の長期間の耐久性、		-	○長期間の耐久性に関する検討 ○原位置試験を利用した実証試験

### 3.4 技術メニューの整備

地層処分に関するモニタリング計画策定に資すること等を目的として、技術情報を容易に入手できるように、モニタリングに係る体系的な技術的選択肢を提示するとともに、知識情報マネジメントツールとしての技術メニューの整備・運用を進めている（図 3.3.5-1）。

これまで、将来のモニタリングに利用可能と考えられる計測機器に関して、モニタリングの実施時期と場所ならびに測定項目を基に、技術要件や計測方法候補等を WEB 上で検索・閲覧が可能なシステムとして運用を行い、適宜、これまでに整備した情報やデータ等の確認・更新を行うとともに、技術メニューの操作性向上を目的に現状の課題を整理し、改良等を行ってきた。

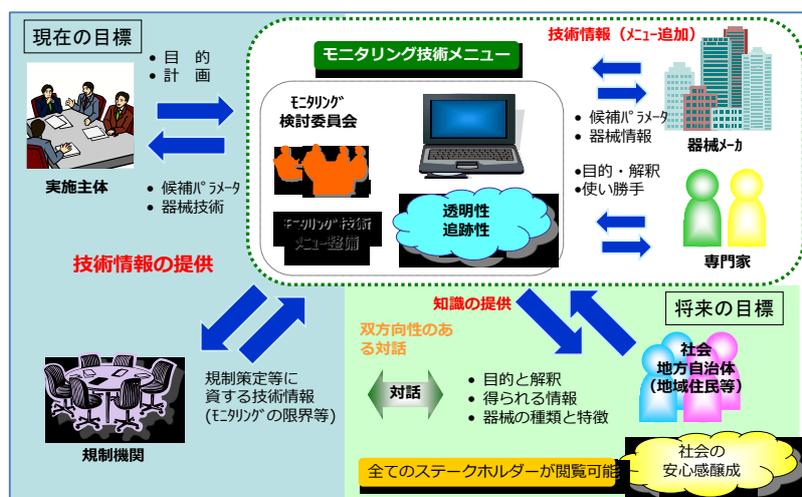


図 3.3.5-1 技術メニューの目標[60]

このような背景を踏まえ、本項では、昨年度整理した技術メニューの操作性に関する課題（わかりにくい機能や、データの未整備による検索結果の非表示等）について、システム改良等の対応策を講じる。また、性能確認プログラムに関する知識情報体系を拡充する目的で、2章による検討結果を技術メニューへ反映する。加えて、次期フェーズ以降における円滑な運用が可能となるよう、マニュアル類の整備等を行う。

#### 3.4.1 技術メニューの概要

本項における実施内容の記述に先立ち、技術メニューの概要について示す。技術メニューは、地層処分に関するモニタリング計画策定に資すること等を目的として、関係者が容易に技術情報を入手できるように、モニタリングに係る体系的な技術的選択肢を提示するとともに、知識情報マネジメントツールとして整備・運用されているものであり、表 3.4.1-1 に示す内容が含まれている。

表 3.4.1-1 技術メニューの全コンテンツ

項目	概要	登録用ファイル	公開方式
技術メニュー (テーブルビュー) (ツリービュー)	わが国の地層処分におけるモニタリングの考え方や技術的可能性等、これまでの検討内容を体系的に整理したもので、今後のモニタリング計画策定に資する技術的選択肢を提供。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Master.xls</li> <li>• Tree.xls</li> <li>• Sequence.xls</li> </ul>	関係者用 限定公開
技術情報 データベース	将来の地層処分モニタリングに利用可能であると考えられる計測機器に関して、これまで調査してきた内容を整理。WEB上での検索・閲覧が可能。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Techinf.xls</li> </ul>	一般公開
記録保存	モニタリングと記録保存とは関連性が高いと考えられることから、これまで検討した地層処分に関わる記録保存に関する情報。	—	関係者用 限定公開
用語説明	本システムにおいて用いられている用語の説明。	—	一般公開
ご意見	ユーザの意見を登録する機能。	—	関係者用 限定公開
リンク	関連ホームページのリンク集。	—	一般公開
ライブラリ	これまで検討した地層処分モニタリングに関する情報をまとめたもの。	—	関係者用 限定公開

### 3.4.2 実施内容

本項では、運用中の技術メニューについて、操作性に関して必要となる修正及びメンテナンスの個別具体的な実施項目として、以下を行った。

- ① 操作性向上のためのシステム改良
- ② 品質保証/性能確認プログラムに関する調査結果の反映
- ③ リンク・ライブラリの最新化
- ④ マニュアル類の整備

図 3.4.2-1 に本項の実施内容の作業の流れを示すととともに、次項(1)～(4)に各実施項目に関する実施内容の詳細を示す。

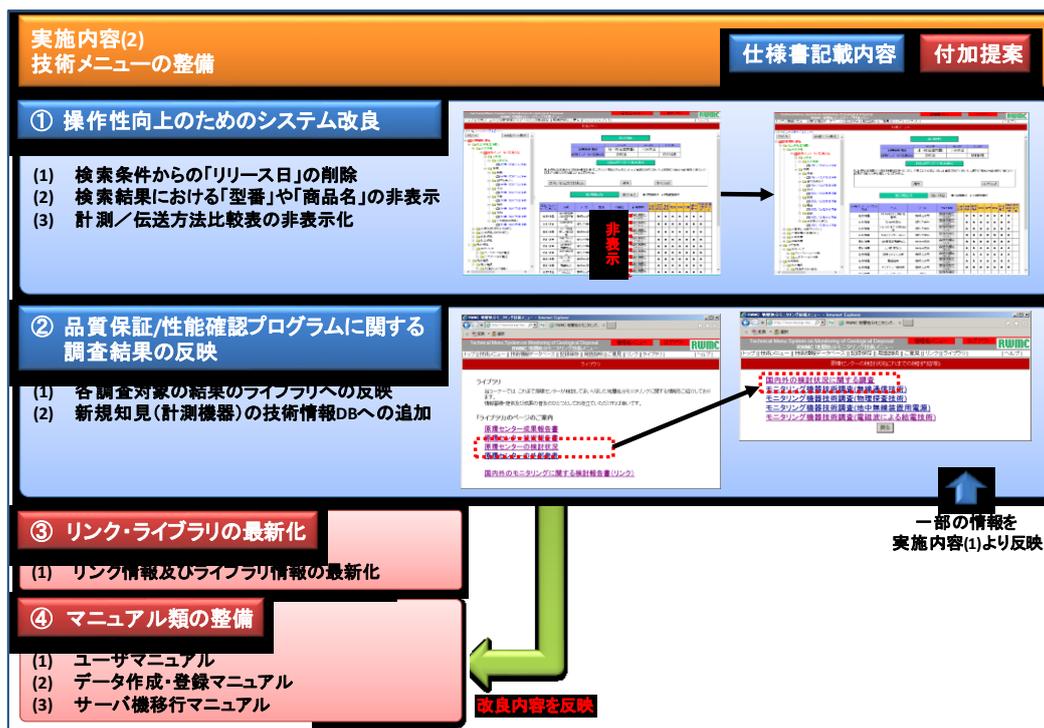


図 3.4.2-1 「技術メニューの整備」の実施項目及び作業の流れ

### (1) 操作性向上のためのシステム改良

本項では、運用中の技術メニューについて、操作性に関して必要となる修正（わかりにくい機能や、データの未整備による検索結果の非表示等）を行った。

具体的には、システム全体を通して、操作性の向上にむけたシステム改良点として抽出した、以下の3項目に対して、システム改良を実施した。システム改良後の機能や画面、改良方法を以下に示す。

#### 1) 検索条件からの「リリース日」の削除

「リリース日」は、技術情報データベース（以下、「技術情報 DB」）の登録用ファイルである Techinf.xls において設定する情報の一つであり、技術情報 DB の検索条件の一つとして使用されている。しかし、実際の運用上、「リリース日」は現状全く登録されていない状況であるため、検索条件から「リリース日」を削除するとともに、検索結果の表示画面からも「リリース日」の表示を削除した。本改良前後の画面は、図 3.4.2-2 の赤色枠部分に相当する。本改良のためのプログラム変更点は表 3.4.2-1 の通りである。

表 3.4.2-1 検索条件からの「リリース日」の削除のためのプログラム変更点

プログラムファイル名	変更部分
program/templates/tdRfnFm.tpl	リリース日入力欄の削除
program/templates/tdRfnRs.tpl	検索結果画面の検索条件で表示されるリリース日欄の削除

## 2) 検索結果における「型番」や「商品名」の非表示

「型番」や「商品名」は、技術情報 DB の登録用ファイルである Techinf.xls において設定する情報の一つであり、技術情報 DB 等の検索結果の表示画面に、機器情報の一つとして表示される。しかし、現状、ほとんどの機器において、「型番」や「商品名」を含む機器の仕様等の詳細情報は、「実績／情報元」において一括して記述する方式を採っており、「型番」や「商品名」については、「情報元参照」と表示される。このため、「型番」や「商品名」については、検索結果の表示画面に表示させないこととした。本改良前後の画面は、図 3.4.2-2 の青色枠部分に相当する。本改良のためのプログラム変更点は表 3.4.2-2 の通りである。

表 3.4.2-2 検索結果における「型番」や「商品名」の非表示のためのプログラム変更点

プログラムファイル名	変更部分
public_html/tdRfnRs.php	検索結果のタイトル行の変更
public_html/stylesheet/pageheader.css	検索結果テーブルのカラム幅を最適なサイズにする

## 3) 計測／伝送方法比較表の非表示化

計測／伝送方法比較表は、ユーザが着目した条件下（例えば、「概要調査段階」の「ファーフィールド岩盤」の「温度」、等）において適用できる可能性がある計測機器や伝送方法の特性を一覧表形式で比較したものであるが、現状は「今後検討」や「検討中」といった文言が散見される状態となっている。今年度が今フェーズの最終年度であることを鑑みると、次年度以降に先送りするような文言は適切ではないと考えられるため、計測／伝送方法比較表自体を表示させないこととした。本改良前後の画面は、図 3.4.2-2 の緑色枠部分に相当する。本改良のためのプログラム変更点は表 3.4.2-3 の通りである。

表 3.4.2-3 計測／伝送方法比較表の非表示化のためのプログラム変更点

プログラムファイル名	変更部分
program/templates/RecmInst_MeasRqr.tpl	計測/伝送比較表ボタンの非表示
program/templates/_recommended_inst.tpl	ツリービュー、テーブルビューから遷移する検索結果テーブルのカラム幅を最適なサイズにする

### 改良前

### 改良後

### 改良前

### 改良後

図 3.4.2-2 操作性向上のためのシステム改良前後の画面比較

改良前

Technical Menu System on Monitoring of Geological Disposal RWMC

管理メニュー ログアウト ヘルプ

技術メニュー

詳細ソリ表示

計測情報

計測場所・部位	大分類	中分類	小分類
計測パラメータ/伝送方法	地上環境(生物圏)	大気環境	--
放射能	放射能	--	放射線量

非表示

推定情報

計測パラメータ/伝送方法	方式	メーカー	型番	商品名	詳細情報	文献	概要	精密	建設	検査	評価	管理
放射線量	BF3中性子比伊勢管式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	GM管式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	He-3中性子比伊勢管式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	NaI(Tl)シンチレーション式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	γ線補償型電離箱式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	比伊勢管式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	液体シンチレーション式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	電離箱式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	カラム法半導体式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*

改良後

Technical Menu System on Monitoring of Geological Disposal RWMC

管理メニュー ログアウト ヘルプ

技術メニュー

詳細ソリ表示

計測情報

計測場所・部位	大分類	中分類	小分類
計測パラメータ/伝送方法	地上環境(生物圏)	大気環境	--
放射能	放射能	--	放射線量

推定情報

計測パラメータ/伝送方法	方式	メーカー	型番	商品名	詳細情報	文献	概要	精密	建設	検査	評価	管理
放射線量	BF3中性子比伊勢管式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	GM管式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	He-3中性子比伊勢管式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	NaI(Tl)シンチレーション式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	γ線補償型電離箱式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	比伊勢管式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	液体シンチレーション式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	電離箱式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*
放射線量	カラム法半導体式	情報元参照	情報元参照	情報元参照	放射線情報元参照	*	*	*	*	*	*	*

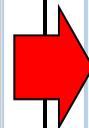


図 3.4.2-2 操作性向上のためのシステム改良前後の画面比較 (続き)

## 参考文献

- [1] 小寺 秀俊：有限要素法の学び方・設計現場に必要な CAE 知識，日刊工業新聞社，pp. 97-101，(2011).
- [2] MoDeRn: Monitoring During the Staged Implementation of Geological Disposal: The MoDeRn Project Synthesis. MoDeRn Project Deliverable D-6.1. (2014).
- [3] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 25 年度地層処分技術調査等事業処分システム工学確証技術開発報告書（第 3 分冊）モニタリング関連技術の整備，(2014).
- [4] MoDeRn: Development Report of Monitoring RTD. MoDeRn Project Deliverable D-2.3.1, (2013a).
- [5] MoDeRn: Wireless Sensor Network Demonstrator Report. MoDeRn Project Deliverable D-3.3.1, (2013b).
- [6] MoDeRn: Wireless Data Transmission Demonstrator: from the HADES to the surface. MoDeRn Project Deliverable D-3.4.2, (2013c).
- [7] MoDeRn: WP2 State of Art Report on Monitoring Technology. MoDeRn Project Deliverable D-2.2.2, (2013d).
- [8] 吉村 公孝・杉山 和稔・奥津 一夫・新保 弘・高村 尚・中山 淳：地中無線通信技術の地層処分モニタリングへの適用性検討，物理探査学会第 109 回（平成 15 年秋季）学術講演会，pp.202-205，(2003).
- [9] Takamura, H., Shimbo, H., Okutsu, K., Suyama, Y., Aoki, K. and Wada, R.: Wireless transmission monitoring in a geological disposal repository (II) Research and Development, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 1193, pp.143-150, (2009). [4] MoDeRn: Monitoring During the Staged Implementation of Geological Disposal: The MoDeRn Project Synthesis. MoDeRn Project Deliverable D-6.1. (2014).
- [10] 羽根 幸司・高村 尚・須山 泰宏・江藤 次郎・鈴木 圭・田辺 博三：地中無線によるモニタリングの原位置試験（1）小型化地中無線装置と中距離無線装置の原位置試験，日本原子力学会「2011 年秋の大会」，B53，pp. 108，(2011).
- [11] Suzuki, K., Eto, J., Tanabe, H., Mayer, S., Takamura, H., Suyama, Y. and Bertrand, J.: Wireless Monitoring Study in the Meuse/Haute Marne Underground Research Laboratory, France, Waste Management Symposia, 12046, (2012a).
- [12] 江藤 次郎・田辺 博三・鈴木 圭・須山 泰宏・J.Bertrand・G.Hermand：地中無線モニタリング技術の開発（1）無線送信装置へのセンサ接続及び無線中継システムの開発，日本原子力学会「2013 年秋の大会」，O19，(2013).
- [13] 江藤 次郎・鈴木 圭・田辺 博三・中山 雅・棚井 憲治・須山 泰宏・J.Bertrand，G.Hermand：地中無線モニタリング技術の開発（3）無線中継システムの原位置試験，日本原子力学会「2014 年秋の大会」，F14，pp. 197，(2014).
- [14] 新保 弘・高村 尚・Londe, L.・Duboi, J. P.・立川 伸一郎・青木 和弘：地中無線モニタリングの地層処分への適用性検討 仏国の処分コンセプトへの適用，日本原子力学会

- 「2008年春の年会」, I58, pp. 461, (2008a).
- [15] 奥津 一夫・高村 尚・和田 隆太郎・須賀原 慶久・鈴木 聡司: 地下空洞型処分施設性能確証試験のうち地中無線計測システムの予備試験, 土木学会第 63 回年次学術講演会, CS05-61, pp. 289-290, (2008a).
- [16] 高村 尚・福田 勝美・奥津 一夫・須賀原 慶久・鈴木 聡司・佐藤 敏文・和田 隆太郎・寺田 賢二: 地下空洞型処分施設性能確証試験のうち地中無線計測装置の設置, 土木学会第 64 回年次学術講演会, CS5-055, pp. 243-244, (2009a).
- [17] 高村 尚・奥津 一夫・Gaussen, J.L.・新保 弘: フランスの放射性廃棄物地層処分場における無線モニタリング概念の構築, 原子力バックエンド研究, Vol. 12, No.1-2, pp. 11-20, (2006a).
- [18] 新保 弘・高村 尚・Londe, L.・Duboi, J. P.・青木 和弘・須山 泰宏: 地中無線モニタリング技術の適用性検討, 土木学会第 63 回年次学術講演会, CS05-60, pp. 287-288, (2008b).
- [19] 高村 尚・奥津 一夫・須賀原 慶久・虎田 真一郎・大内 仁: 地下深部岩盤中における無線データ通信特性に関する検討, 原子力バックエンド研究, Vol. 12, No.1-2, pp. 21-30, (2006b).
- [20] 高村 尚・新保 弘・奥津 一夫・須山 泰宏・和田 隆太郎・青木 和弘: 地層処分モニタリングシステム (その 8) 低周波電磁波を用いたデータ伝送技術の地中構造物における解析的検討, 日本原子力学会「2009年春の年会」, D48, p. 213, (2009b).
- [21] 須山 泰宏・田辺 博三・江藤 次郎・鈴木 圭・Bertrand, J.・Hermand, G.: 地中無線モニタリング技術の開発 (2) 長距離送信の実現可能性調査, 日本原子力学会「2013年秋の大会」, O20, (2013).
- [22] 竹ヶ原 竜大・吉村 公孝・虎田 真一郎・笠嶋 善憲・奥津 一夫・新保 弘: 地中無線通信技術の放射性廃棄物地層処分モニタリングへの適用性検討 (その 2), 物理探査学会第 110 回 (平成 16 年度春季) 学術講演会, 38, (2004).
- [23] 高村 尚・奥津 一夫・須賀原 慶久・遠藤 真一・立川 真一郎・青木 和弘: 放射性廃棄物処分を対象とした無線モニタリングの通信効率向上に関する検討, 土木学会第 62 回年次学術講演会, CS5-072, pp. 303-304, (2007).
- [24] 奥津 一夫・高村 尚・戸井田 克・小林 一三・藤澤 惣・須山 泰宏・江藤 次郎・吉村 公孝・田辺 博三: 小型化地中無線モニタリング装置の開発と緩衝材ブロックへの設置方法の検討, 日本原子力学会「2010年秋の大会」, C46, pp. 169, (2010).
- [25] Tsubono, K., Kobayashi, M., Yamanaka, H., Hasui, A., Masumoto, K., Matsushita, T., Sugahara, N., Tanaka, T. and Nagai, C.: Development of wireless monitoring systems for geological disposal, 6th East Asia Forum on Radwaste Management Conference, 5C-1, (2017).
- [26] Suyama, Y., Aoki, K., Wada, R., Takamura, H., Shimbo, H. and Okutsu, K.: Wireless transmission monitoring in a geological disposal repository (I) Concepts and Advantages, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 1193, pp. 135-141, (2009a).

- [27] Suyama, Y., Yoshimura, K., Eto, J. and Takamura, H.: Wireless transmission monitoring methodology for geological disposal Radioactive, Waste Disposal, Session IV, p349-358, (2009b).
- [28] Suzuki, K., Eto J., Tanabe H., Esaki T., Takamura H. and Suyama Y.: Development of Wireless Data Transmission System for the Monitoring in Geological Disposal of Radioactive Waste, Waste Management Symposia, 12063, (2012).
- [29] Powell, J. A.: An Electromagnetic system for detecting and locating trapped miners. Bureau of Mines Report of Investigations, 8159, United States Department of the Interior, (1976).
- [30] Bandyopadhyay, L.K., Chaulya, S.K. and Mishra, P.K.: Wireless Communication in Underground Mines RFID-Based Sensor Networking, Springer Science, (2009).
- [31] 浅野 勇・坂田 進・矢野 康明・林田 洋一・向後 雄二：低周波電磁波を用いたワイヤレス間隙水圧計の開発，第 38 回地盤工学研究発表会，T-12，pp. 1269-1270，(2003)。
- [32] 浅野 勇・向後 雄二・高橋 章・遠目塚 良一：ワイヤレス間隙水圧計の開発，ダム工学会第 14 回研究発表会講演集，(2004)。
- [33] 樋口 佳意・向後 雄二・高橋 章：ワイヤレス間隙水圧計の開発と現場への適用事例，地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム発表論文集，pp. 61-64，(2004)。
- [34] 林田 洋一・遠目塚 良一・浅野 勇・増川 晋・田頭 秀和：ワイヤレス間隙水圧計の長期計測性能の検証，農村工学研究所技報，第 210 号，pp. 243-254，(2009)。
- [35] 林田 洋一・遠目塚 良一・浅野 勇・増川 晋・田頭 秀和：ロックフィルダムにおける地中無線通信型埋設器の長寿命化に関する検証，土木工学論文集 F3 (土木情報学)，Vol. 69, No. 1, pp. 47-57, (2013)。
- [36] 樋口 佳意・永江 祐・田村 圭司・内田 太郎・伊藤 洋輔・秋山 浩一：地中無線通信システムを活用した斜面崩壊検知センサの開発と現場への適用，第 48 回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp. 120-121，(2009)。
- [37] 須賀原 慶久・樋口 佳意・才田 誠・石坂 周平・川嶋 実：地中無線通信技術による構造物の計測と維持管理計測への適用，地盤工学会関西支部地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム，(2006)。
- [38] 樋口 佳意・遠目塚 良一：地中無線通信システムを用いた地盤の無線調査技術，地盤工学会誌，第 58 巻第 8 号，pp. 22-25，(2010)。
- [39] 内閣府原子力被災者生活支援チーム、福島除染推進チーム、独立行政法人日本原子力研究開発機構、鹿島建設・日立プラントテクノロジー・三井住友建設共同企業体：富岡町富岡第二中学校における除染モデル実証事業の結果概要 (ポスター)、除染モデル実証事業等の成果報告，(2012)。
- [40] Ultra Electronics: Magneto Inductive Rock Phone. Product technical specification brochure, Ultra Electronics Maritime Systems, San Bernadina, USA, (2009).
- [41] 高橋美昭・北山一美・竹内光男：「高レベル放射性廃棄物処分場におけるモニタリング概念の試構築その 1 - 事業期間を通じたモニタリング全体像とモニタリング計画策定手

- 法」, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, B65 (2006)
- [42] 須山泰宏・田辺博三・江藤次郎・吉村公孝:「閉鎖時の意思決定における地層処分モニタリングのあり方に関する検討」, 原子力バックエンド研究, Vol.17, No.2, pp.71-84 (2010)
- [43] 原子力発電環境整備機構:「放射性廃棄物の地層処分におけるモニタリングと初期ベースラインに関する検討」, NUMO-TR-10-01 (2010)
- [44] (公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター:「平成 25 年度 地層処分技術調査等事業処分システム工学確証技術開発 報告書 (第 3 分冊) モニタリング関連技術の整備」 (2014)
- [45] (公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター:「平成 26 年度 地層処分技術調査等事業処分システム工学確証技術開発 報告書 (第 3 分冊) モニタリング関連技術の整備」 (2015)
- [46] (公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター:「平成 28 年度 地層処分技術調査等事業処分システム工学確証技術開発 報告書 (第 3 分冊) モニタリング関連技術の整備」 (2017)
- [47] (公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター:「平成 27 年度 地層処分技術調査等事業処分システム工学確証技術開発 報告書 (第 3 分冊) モニタリング関連技術の整備」 (2016)
- [48] 経済産業省資源エネルギー庁:「研究会の設置及び今後の進め方」沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会第 1 回研究会 (平成 28 年 1 月 26 日) 資料③ (2016)
- [49] 堀田昌志・延彰憲・春山隆行・結城亨・羽野光夫「共鳴型無線給電システムへの水や誘電体の影響」, 産業応用工学会論文誌, Vol. 2, No. 2, pp.23-31 (2014)
- [50] 栗井郁雄・澤原裕一・山口和也・堀田昌志・石崎俊雄「水中のワイヤレス給電に関わるいくつかの新しい現象」, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J96-B, No. 11, pp.1284-1293, (2013)
- [51] 澤原裕一・石崎俊雄・堀田昌志・栗井郁雄「淡水・海水を介するワイヤレス給電の検討」, 信学技報, WPT2013-03
- [52] S. Li and C.C. Mi, “Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications,” IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Vol. 3, pp. 4-17 (2015)
- [53] 遠井敬大, 金子裕良, 阿部茂:「非接触給電の最大効率の結合係数  $k$  とコイルの  $Q$  による表現」, 電気学会論文誌 D, Vol. 132, No. 1, pp. 123-124 (2012)
- [54] 核燃料サイクル開発機構:「わが国における高レベル放射性廃棄物 地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—」 (1999)
- [55] 加藤昌樹, 居村岳広, 堀洋一:「中継器による走行中ワイヤレス給電の相互結合を考慮した等価回路解析」, 信学技報 WPT2012-38 (2012-12)
- [56] 居村岳広, 堀洋一:「磁界共振結合を用いたワイヤレス電力伝送における複数給電の等価回路化」, 平成 23 年電気学会産業応用部門大会講演論文集, pp. 399-402 (2011)
- [57] 居村岳広, 堀洋一:「磁界共振結合のワイヤレス電力伝送における中継アンテナの等価回

- 路化」, 電気学会論文誌 D, Vol. 131, No. 12, pp. 1373-1382 (2011)
- [58] 居村岳広:「磁界共振結合を用いた複数負荷への一括ワイヤレス給電に関する研究」, 電気学会論文誌 D, Vol. 134, No. 6, pp. 625-633 (2014)
- [59] 成田大輝, 古関隆章:「複数送信コイルによる磁界共振結合を用いた非接触給電における高効率化」, 信学技報 115(82), 31-36 (2015-06)
- [60] 江藤ほか (2010) 地層処分に関するモニタリング技術メニューの整備、日本原子力学会 2010 年秋の大会

## 第4章 記録保存に関する調査

### 4.1 目的および実施概要

本調査の目的は、高レベル放射性廃棄物の地層処分における記録保存について、その目的、具体的な方法とその技術的な実現可能性を検討し、国や関連機関等が記録保存に係る取組の計画を具体化する際の基板情報を整備するものである。

我が国の記録保存方策、特に制度的管理としての記録保存に関して、総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会の「放射性廃棄物処理・処分に係る規制支援研究(平成22年度～平成26年度)」[1]において「廃棄物埋設地は、生活環境から隔離され、長期的な制度的管理に依存しなくても安全性が維持されるよう閉鎖されることが必要である一方で、閉鎖後の制度的管理は、廃棄物への不注意な干渉など、人間活動の発生可能性を低減し、安全性や地層処分の社会的受容性を高めるものと考えられる。具体的な制度的管理として、処分に係る記録の保存、処分施設及び敷地の管理、土地利用制限、閉鎖後のモニタリング、マーカーの利用が考えられており、これらについての意義や位置づけ等について検討する」としている。本調査はこのような制度的管理の一環としての記録保存に関する検討材料となるものである。

本章では、放射性廃棄物の処分における記録保存に関する動向、海外の記録保存に関する最新の考え方、方策について、OECD/NEA-RWMC(経済協力開発機構原子力機関・放射性廃棄物管理)が検討している Records, Knowledge and Memory (RK&M) イニシアチブの概要、位置付け、方針等に加え、英国の記録保存施設の動向及びフランスの処分実施主体による記録保存の取組について整理した。

### 4.2 OECD/NEA の検討状況の調査・整理

本検討では、RK&M イニシアチブに関して、公開情報の内容を対象とした調査を平成24年度より平成26年度にかけて実施し([2]～[4])、平成27年度からは同イニシアチブに加入し、会合への参加による検討を実施してきた。

#### 4.2.1 RK&M イニシアチブの概要

経済協力開発機構／原子力機関(OECD/NEA)の放射性廃棄物管理委員会(RWMC)によるRK&M イニシアチブでは、地層処分に関する記録等の保存に関する取組として、世代を超えた記録、知識及び記憶の保存(The preservation of Records, Knowledge & Memory (RK&M) across Generations) イニシアチブ(RK&M イニシアチブ)を実施している。実施期間は、第1フェーズが2011年～2014年、第2フェーズが2014年4月～2018年4月である。RK&M イニシアチブは、OECD/NEA 参加国における地層処分に関する記録等の保存に関して、「単一のメカニズムや技術だけで、知識、記憶を数百年、数千年保存することは不可能であり、様々な時間軸に対応

するために、複数のメカニズムや技術を統合し、相互に補完することが必要である」との考えから、各国の地層処分実施機関、研究機関、公文書保存機関等が協力して課題に取り組んでいる。現在、13 箇国の 18 機関と IAEA が参加しており、日本からは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(JAEA)と当センター（2015 年より）が参加している。地層処分に関する記録、知識、記憶の保存のためには、複数のメカニズムや技術を統合し、相互に補完することが必要であるとの考えから、保存すべき記録の内容と構造、マーカーの役割と限界等の課題に取り組んでいる。

表 4.2.1-1 RK&M イニシアチブへの参加機関

SKB (スウェーデン)、SSM (スウェーデン)、STUK (フィンランド)、ANDRA (フランス)、ONDRAF/NIRAS(ベルギー)、SCK (ベルギー)、BfS (ドイツ)、GRS (ドイツ)、ENRESA (スペイン)、SURA0(チェコ)、PURAM(ハンガリー)、RWM(英国)、SFOE(スイス)、NAGRA(スイス)、USDOE(米国)、NWMO(カナダ)、JAEA(日本)、RWMC(日本)、IAEA
--

#### (1) RK&M イニシアチブの位置付け

NEA における放射性廃棄物管理委員会 (RWMC) の位置付けについて図 4.2.1-1 及び表 4.2.1-2 に示す。また、放射性廃棄物管理委員会における RK&M イニシアチブの位置付けについて図 4.2.1-2 に示す。放射性廃棄物管理委員会は NEA の技術委員会の一つで、RK&M イニシアチブは、放射性廃棄物管理委員会のイニシアチブの一つであり、フェーズ 1 (2011 年~2014 年) とフェーズ 2 (2014 年~2018 年) が実施されている。

# NEA Structure and Technical Committees

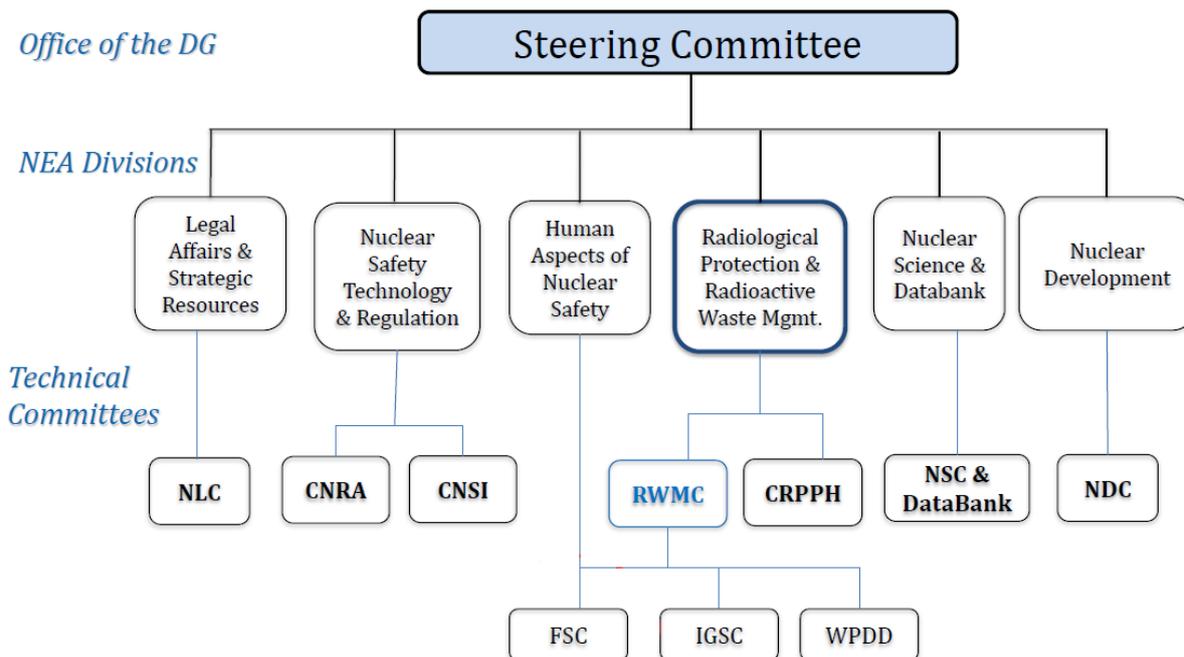


図 4.2.1-1 NEA 組織図 (RK&M イニシアチブ会議資料より抜粋)

表 4.2.1-2 NEA 技術委員会の名称  
(RK&M イニシアチブ会議資料より抜粋)

NEA Technical Committees	
<b>NLC</b>	- Nuclear Law Committee
<b>CSNI</b>	- Committee on the Safety of Nuclear Installations
<b>CNRA</b>	- Committee on Nuclear Regulatory Activities
<b>RWMC</b>	- <b>Radioactive Waste Management Committee</b>
<b>CRPPH</b>	- Committee on Radiation Protection and Public Health
<b>NSC</b>	- Nuclear Science Committee AND -Executive Group of NSC: Data Bank Management Committee
<b>NDC</b>	- Nuclear Development Committee



<b>ABG:</b> National Advisory Bodies to Government	<b>RF:</b> Regulators' Forum
<b>IGSC:</b> Integration Group for the Safety Case	<b>FSC:</b> Forum on Stakeholder Confidence
<b>WPDD:</b> Working Party on Management of Materials from Decommissioning and Dismantling	<b>EGFWMD:</b> Expert Group on Fukushima Waste Management and Decommissioning
<b>EGPMRW:</b> Predisposal Management of Radioactive Waste	<b>EGIRM:</b> Expert Group on Inventorying and Reporting Methodology

図 4.2.1-2 放射性廃棄物管理委員会（RWMC）組織図  
 （RK&M イニシアチブ会議資料より抜粋）

## (2) フェーズ 1 における主な成果

OECD/NEA-RWMC ではフェーズ 1 として 2011 年より RK&M イニシアチブを行い、2014 年 3 月まで継続された。フェーズ 1 における主要な観察結果は以下の通りである[11]。

- ・記録保存の目的が単に処分場への侵入を阻止することと考えられてきた 1980 年代以降、処分場の技術的、社会的情報を将来世代のために、実現可能な範囲で可能な限り長期にわたり保存することを目的とするなど状況は大きく変化している。
- ・放射性廃棄物の分野の外部に、多数の記録保存を助成する仕組みがある。これらは処分実施主体や政府にとっての潜在的な資源である。
- ・処分場の閉鎖後の 1~2 世紀の期間は、RK&M の用語では中期と定義される。この期間はこれまで文献において取り扱われることは稀であったが、RK&M の保存、そしてさらなる将来への準備のためには重要な期間である。
- ・長期の記録保存に関する規制の制定と体系化が必要とされている。
- ・長期の課題を議論するためには用語の定義が重要である。

また、フェーズ 1 における検討の成果として、下記の取り纏め報告書が作成・公開されている。これらの主要報告書の内容は平成 26 年度の処分システム工学確証技術開発報告書にて報告している[4]。

- ①Literature Survey on Markers and Memory Preservation for Deep Geological Repositories  
 （以下、「マーカーに関する文献整理」）[5]

- ②Loss of Information, Records, Knowledge and Memory - Key Factors in the History of Conventional Waste Disposal (以下、「記録の喪失に関する検討」) [6]
- ③Markers - Reflections on Intergenerational Warnings in the Form of Japanese Tsunami Stones (以下、「津波石碑の考察」) [7]
- ④Monitoring of Geological Disposal Facilities: Technical and Societal Aspects (以下、「モニタリングと記録との関連」) [9]

以下に、これらの RK&M による報告書について平成 26 年度の処分システム工学確証技術開発報告書[4]より要約する。

① 「マーカーに関する文献整理」 [5]

「マーカーに関する文献整理」 [5]の目的は、主として、放射性廃棄物処分に責任を有する様々な組織、国家機関、及び関心を有する公衆にマーカーに関する情報を提供するとともに、マーカーに関する問題を伝達することである。1990～2000 年代を中心としたマーカーの概念、実施あるいは要件等に関する技術報告書、学術論文、国の規制等の調査結果より下記の課題や問題点が整理され、検討が実施された。

マーカーに関する基本的な課題として、マーカーには、警告機能を有すべきであるが、処分場の認知を維持するためには“記憶の文化”の必要であることが指摘されている。

人間及び社会に対する問題点に関しては、警告の対象、記憶の保存期間についての調査結果が示されている。また、処分場への侵入の動機を分析し、侵入低減措置を提案している。

地表環境及び地下空間に関しては、予測される時間枠における地表環境の変化に対する情報の耐久性及び安定性の観点から、適切な材料の選定や開発課題が議論された。また、処分場は忘却されるべきかについても議論されている。

マーカーと構造物については、地表設置されたマーカーの耐久性等の技術要件が整理されている。また、マーカー単独での処分場への侵入阻止は困難であることを述べている。

経時的な情報伝達のうち、知識の保存のための伝達方法については、統一的な見解はみられない。また、言語及び文字を介した情報伝達の技術とその問題点が議論されているものの、記号論的な伝達が優位であるとの見解は示されていない。

マーカーシステムの喪失については、一般的に情報の喪失について、意識的及び無意識な行為を通じた多くの原因 ([6]参照) が存在すること、特に社会が中央集権化されている際には意図的操作により情報が消失し得ることが指摘されている。

② 「記録の喪失に関する検討」 [6]

「記録の喪失に関する検討」 [6]では、スイス、米国及びドイツにおける埋立地並びに有害廃棄物の旧工業用地又は処分サイトの事例を参考に、情報の喪失に係る調査・整理が行われている。この情報の調査・整理結果から、情報、記録、知識及び記憶の喪失に関する共通の主要要因が特定され、各事例との比較も行われた。本研究から、廃棄物処分に関する

全ての情報が喪失することは稀であるが細部が最初に失われる傾向にあること、及び、多くの記録は、不十分なデータを用いて作成されているため、一旦失われると記録を再構築することは非常に困難であることが指摘されている。また、知識の喪失の要因分析の結果、以下に示す理由を特定している。

- ・記録なし又はアーカイブス不足
- ・記録の更新なし／不十分
- ・職務遂行のための予算なし／不十分
- ・人事異動

さらに、稀ではあるが防止の困難な要因として下記の2つを挙げている。

- ・不法行為
- ・社会的不連続性（断絶）

このような事例検討を踏まえ、「記録の喪失に関する検討」[6]では、記録保存のためには原子力を利用する各国の法令の整備の重要性を指摘している。

### ③ 「津波石碑の考察」[7]

「津波石碑の考察」[7]では、将来世代に情報及び警告を伝達するための媒体としてのマーカ－の潜在的有効性への理解を深めることを目的として、日本の北東部沿岸に数百個設置されている津波に関する石碑（stone marker）の役割について検討された。その結果、日本の石碑の寿命（最長で千年）は、類似の時間スケールにわたるマーカ－の残存可能性を例証していること、目に見えるマーカ－は記憶の保持に寄与するが、継続的な警戒に実質的影響を及ぼさない、歴史的及び文化的な物体になる可能性があることが示された。

### ④ 「モニタリングと記録との関連」[9]

「モニタリングと記録との関連」[9]では、地元ステークホルダが、施設におけるモニタリングとRK&Mの保存に関心を持っており、モニタリング及びRK&Mの保存は、ステークホルダとの協議を通じて共通理解を形成すべきこと、RK&Mについて、様々な国の地元自治体から関心が向けられつつあることが述べられている。さらに、モニタリングとRK&Mの保存を包含する概念的な枠組みとして「監視（oversight）」を挙げた上で、「監視（oversight）」の組織化や推移に関する決定についてはステークホルダとの議論が行われるべきであるとしている。

## (3) フェーズ2の実施内容

OECD/NEA-RWMCでは、フェーズ1のイニシアチブの成果を受け、さらに4年間（2014年4月～2018年4月）のイニシアチブをフェーズ2として実施している。実施期間については、当初3年間で予定していたが、中途にて延長された。

以下に、フェーズ 2 における実施内容について、趣意書[11]に基づいて記載する。

#### 1) 実施方法

実施方法は以下に挙げるフェーズ 1 のものを継続する。この理由はイニシアチブを OECD/NEA 加盟国の記録保存の領域に関する考え方や目標、実施のリファレンスとなるコミュニティーとするためである。

- ・ RK&M の定例会合とワークショップを通じ、地域のコミュニティー、学会、規制機関のイニシアチブへの調和を継続する。
- ・ ウィキペディアに見られるような技術(wiki 形式：ウェブ上で編集される辞典形式)による、文献を引き続きイニシアチブのメンバーのためのコミュニケーションのプラットフォームとする。

#### 2) 参加機関

現在、12 カ国から 16 の機関が参加している。フェーズ 2 からは、Sandia (米国)、Enresa (スペイン)、BfS (ドイツ)、JAEA (日本)、RWMC (日本) が新規に参加している。IAEA はオブザーバとして参加している。

#### 3) 期間

4 年間 (2014 年 4 月～2018 年 4 月)

#### 4) 作業計画

RK&M イニシアチブは以下の基本的ツールを引き続き維持する。

- ・ 記録保存に関する用語集
- ・ 各国及び国際的な法規制のカタログ
- ・ 記録保存に関する参考文献集
- ・ 内部にメニューを持つ wiki-technology による文献

また、フェーズ 2 では、フェーズ 1 で認識された以下の記録保存の領域で作業が実施される。各参加機関が下記の作業に優先度をつけて実施することとなる。

- ・ アーカイブ
- ・ 国際的なメカニズム
- ・ 規制
- ・ マーカー
- ・ 文化遺産

#### 4.2.2 RK&M イニシアチブ会合における検討状況

本年度、RK&M イニシアチブ（フェーズ2）の第11回目の会合が開催され、原環センターは、この会合に参加し、検討状況について情報収集を行った。

RK&M イニシアチブは、2011年～2014年の第1フェーズ終了後も2014年～2018年4月の第2フェーズとしての活動を行ってきた。第2フェーズの終了にあたり、最終報告書を2018年4月に提出するほか、放射性廃棄物管理委員会（RWMC）の会合にて専用のセッションを設けて報告を行うこととなった。また、RK&M イニシアチブ単独での報告会の開催の可能性について、放射性廃棄物管理委員会と調整を続けていることが報告された。

今後の予定として、第2フェーズの終了までに下記の報告書を公開することが確認された。

- ・最終報告書
- ・鍵となる情報ファイル（KIF: Key Information File）
- ・基本的情報セット（SER: Set of Essential Records）
- ・記録保存に関する各国の法令集

##### (1) 他の検討グループとの協力

RK&M イニシアチブでは、NEA 内外の複数の検討グループに対して、研究協力を呼び掛けている。今回の会合では、このうち UNESCO の Memory of the World より RK&M イニシアチブとの協力について前向きな回答を得たことが報告され、協力の内容について今後協議を進めることとなった。

##### (2) 記録保存に関する各国の法令集

このうち記録保存に関する各国の法令集については、現在の原稿に対し各国の記載内容の改定を行い、編集後、公開の可能性について規制者フォーラム（RF）と議論を行うこととなった。収録内容としては、各国の法律に加え存在する場合は規則やガイドラインも対象とすることとなった。なお、法令の英訳が規制機関との調整等の理由により困難な場合、引用を行わずに内容を解説することとなった。

##### (3) 鍵となる情報ファイル（KIF: Key Information File）

RK&M イニシアチブでは、地層処分に関する記録を4階層に区分することを検討している（図4.2.2-1）。上位の階層の記録ほど、分量が少なく、重要な情報が簡潔にまとめられている。このうち、最上位の区分が「鍵となる情報ファイル」（KIF）であり、一般向けの約50ページ書類である。その構成としては、表4.2.2-1が提案されている。RK&M イニシアチブでは、具体的な事例として、フランスのラマンシュ処分場、米国のWIPP処分場、スウェーデンの地層処分場に関

する KIF を作成している。KIF に次ぐ階層が、基本的記録セット (SER) であり、技術的知見を持った読者を対象としている。SER の下の階層には、「永久保存するために選定された記録」、「処分場の事業期間中発生した全ての記録」がある。

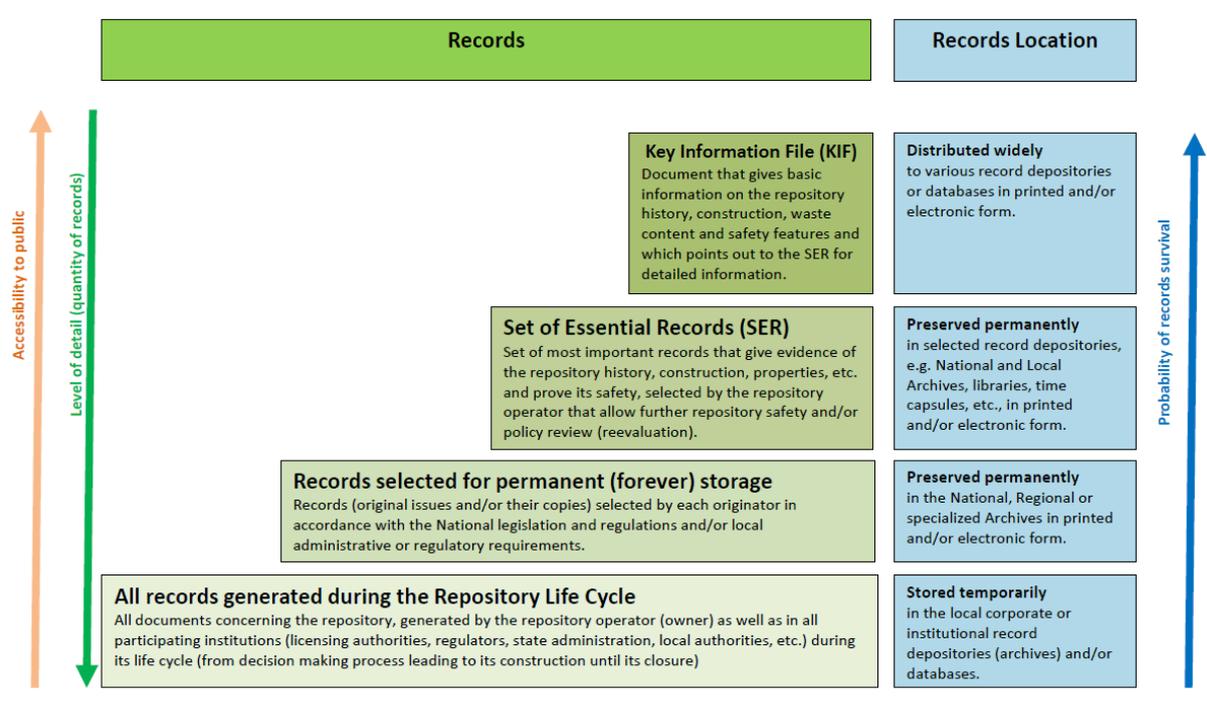


図 4.2.2-1 RK&M イニシアチブの提唱する処分場に関する記録の構造  
(RK&M イニシアチブ会議資料より抜粋)

本報告書には、具体的な事例として、フランスのラ・マンシュ処分場、米国の WIPP 処分場、スウェーデンの地層処分場に関する KIF を作成しているが、米国の WIPP 処分場に関する事例については執筆が中断している。このため、DOE の関係者に執筆の打診を行うこととなった。

また、本報告書に用いる、図表の使用許諾等に関して手続きを行う必要がある。このうち、監視 (Oversight) と事業段階の関係を表す図 4.2.2-2 に関して、原典である ICRP-122 より引用するため、ICRP への打診を行うこととなった。

表 4.2.2-1 鍵となる情報ファイル (KIF) の構成案[12]

節	題名と内容
0	本書の目的と目次 (数種の言語で記述)
1	処分に関する背景 <ul style="list-style-type: none"> <li>放射能と放射性廃棄物の性質</li> <li>この廃棄物はどのようにして形成されたか</li> <li>なぜこの廃棄物は地層処分を必要としたか</li> <li>重要な日付</li> <li>施行された規制条項</li> </ul>
2	施設の位置 <ul style="list-style-type: none"> <li>処分場の座標 (緯度、経度、深度)</li> <li>地質環境</li> <li>閉鎖時の水理 - 地質 - 化学パラメータのベースライン</li> <li>敷地のモニタリングに関する措置 (範囲と時間枠)</li> </ul>
3	容器及び施設の配置 <ul style="list-style-type: none"> <li>使用された容器の形式</li> <li>工学的特性</li> <li>接近手段と閉鎖</li> </ul>
4	処分された廃棄物のインベントリ <ul style="list-style-type: none"> <li>放射性核種</li> <li>有害成分</li> <li>擾乱がない場合の放射能の変遷に関する分析結果</li> <li>情報の再生方法</li> </ul>
5	セーフティケース <ul style="list-style-type: none"> <li>閉鎖後セーフティケースの原則 (隔離と閉じ込め)</li> <li>予測される影響 (通常の変遷)</li> <li>人為的擾乱の影響 (侵入への警告)</li> </ul>
6	処分に関する記録 <ul style="list-style-type: none"> <li>KIF の更新計画</li> <li>KIF の配置</li> <li>詳細記録の位置と配置</li> </ul>
7	世界各国における類似処分場のリスト (数種の言語で記述) <ul style="list-style-type: none"> <li>処分場の座標</li> <li>保存された記録の座標</li> </ul>

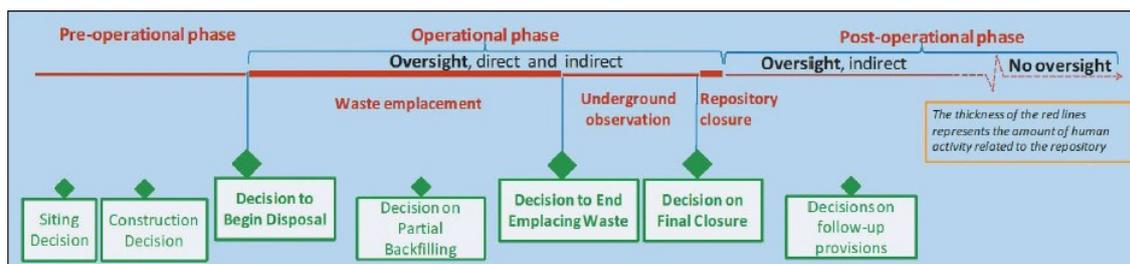


図 4.2.2-2 監視 (Oversight) と事業段階の関係 (ICRP-122)

なお、この図にも用いられている「oversight」という用語に関しては、英国からの参加者より「見過ごし、見落とし」という意味が一般に用いられ、「監視、監督」という意味ではあまり用いられないことが指摘された。「監視、監督」という意味では「overseeing」が適切とのことであったが、「oversight」は既に定着した用語であり、必要に応じて意味を説明しながら用いることとなった。

#### (4) 基本的情報セット (SER: Set of Essential Records)

基本的情報セット (SER) は、RK&M イニシアチブにて検討している地層処分に関する記録の4階層の区分 (図 4.2.2-1) のうち2階層目にあたる記録であり、技術的知見を持った読者を対象としている。今回の会合では、SER の目次案が2案示された (表 4.2.2-2 及び表 4.2.2-3)

表 4.2.2-2 SER の目次案 (オプション 1)

記録グループ	記録サブグループの例
サイトの地表及び地表付近	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地形</li> <li>・ 地域の人口統計</li> <li>・ 地域の施設：産業、農業、送電網、通信網、パイプライン、水道、交通 (道路、鉄道) 等</li> <li>・ 水文学：河川、入江、井戸、湖沼等</li> <li>・ 気象学</li> <li>・ 天然資源：動物相、植物相、保護区域、天然記念物等</li> <li>・ その他関連データ</li> </ul>
サイトの地質及び水門地質学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地震活動</li> <li>・ 地質学的、水門地質学的、地球化学的データ</li> <li>・ その他関連データ</li> </ul>
処分場の設計及び人工バリア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 処分場の初期段階の設計：最終設計の理解に関連する場合</li> <li>・ 処分場の最終設計：変更に伴う定期的更新を実施した完全版</li> <li>・ 建設の仕様と手順、品質保証計画</li> <li>・ 建設日誌、調整会議によるプロトコル、品質管理プロトコル</li> <li>・ 埋戻し材料の特性・使用手順・品質管理等</li> <li>・ 他の関連データ</li> </ul>
廃棄物インベントリ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 廃棄体 (キャニスタ、コンテナ、カプセル) 設計と特性</li> <li>・ 廃棄物受入基準、品質保証計画</li> <li>・ 処分ユニットの記録：廃棄物の内容物の特性、場所、処分実施日、処分前の品質管理プロトコル等</li> <li>・ 他の関連データ</li> </ul>
安全評価及び環境影響評価、許認可申請書類	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事前 (建設前) のセーフティケース、環境影響評価</li> <li>・ 立地の承認書類</li> <li>・ 建設許可書類</li> <li>・ 操業前のセーフティケース、環境影響評価</li> <li>・ 操業許可書類</li> <li>・ 安全評価書の完全版</li> <li>・ その他</li> </ul>
モニタリングデータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 処分場のモニタリングシステムの設計とマニュアル (手順書)</li> <li>・ モニタリング記録、研究所のプロトコル</li> <li>・ その他</li> </ul>
一般事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ SERの目次と文献検索ガイド</li> <li>・ KIF</li> <li>・ 処分を行った社会に関する情報：廃棄物管理、技術、規制等の要約</li> <li>・ 他の関連情報</li> </ul>

表 4.2.2-3 SER の目次案 (オプション 2)

A. 安全評価及び更正措置に関わる記録－事実と「ハード/未加工」データ
A1 処分施設の位置とサイトのデータ
A1.1 閉鎖後の制度的管理における管理区画及び処分領域の境界 (マーカーの位置を含む)
A1.2 国内/国際的な地理的基準の参照
A1.3 サイトのデータ
A1.3.1 地質学的データ
A1.3.2 水文学的データ
A1.3.3 気象学的データ
A1.3.4 地球化学的データ
A1.3.5 地震学的データ
A1.4 水文地質学的モデル：データの解釈及びモデルの開発
A2 処分場建設と人工バリア
A2.1 材料と方法を含む建設に関する仕様/手順
A2.2 建設と各処分ユニット (トレンチ、セル等) の位置を示す施工完了時の図面
A2.3 建設時の不適合/逸脱及び是正処置
A2.4 能動的及び受動的な長期モニタリングシステムの詳細図面と仕様
A2.5 人工バリアのメンテナンスと修復の記録
A3 廃棄物
A3.1 処分の記録
A3.1.1 最終処分の位置
A3.1.2 処分の日付
A3.1.3 廃棄物のデータシート
A3.2 廃棄物の記述
A3.2.1 材料、体積、重量
A3.2.2 核種のインベントリ
A3.2.3 熱発生
A3.2.4 放射線場
A3.2.5 容器の材料と寸法
A4 操業記録
A4.1 モニタリングデータ
A4.1.1 操業時のモニタリングの計画/仕様 (改定を含む)
A4.1.2 大気、地表水、植物相及び動物相、堆積物、地下水の線量と比放射能を含むモニタリング結果
A4.2 操業時の規則遵守の記録
A4.2.1 不適合、是正措置、規則遵守記録等
B. 処分場の安全に関する記録
B1 環境/安全評価
B1.1 記述
B1.2 安全評価モデル及びデータ
B1.3 処分システムの機能と性能
B1.4 重要度解析
B2 セーフティーケースへの追加的論拠等
C. 歴史的、法的、その他の用途に関する記録
C1 概説
C1.1 SERの目次及び記録検索ガイド
C1.2 処分を実施した社会に関する、廃棄物管理の実施と技術に関する概観等の情報
C1.3 安全概念
C2 法的要件と許認可書類
C2.1 (操業時及び) 閉鎖時に適用された法的環境の記述
C2.2 被ばく制限線量を含む性能目標
C2.3 許認可書類、許認可証、要件の記録
C2.4 モニタリング要件
C2.5 施設の受入基準
C2.5.1 廃棄物受入基準
C2.5.2 容器への封入
C2.5.2 品質保証計画
その他

(5) 記録、知識、記憶の保存に関する戦略的構成要素

記録、知識、記憶の保存に関する戦略的構成要素とは、記憶等の保存の手段や要素であり、表 4.2.2-4 のように区分されている。これらの各要素に 2 ページの説明資料を順次作成しており、この説明資料は、「区分」、「定義」、「記録、知識、記憶の保存への貢献」、「実施方法」、「実施者」、「長所」、「短所」、「他の戦略的要素との関係」、「参考文献」、「事例」からなる。

RK&M イニシアチブでは、実際の処分場では容易に喪失することのない記録を保存するため、これらの構成要素を複数組み合わせることになるものと考えている。

表 4.2.2-4 記録、知識、記憶の保存に関する戦略的構成要素

戦略的構成要素のクラス	戦略的要素
記憶施設	公文書保管所、図書館、博物館、国際アーカイブイニシアチブ
文化、教育、芸術	産業遺産としての地表施設、サイトや施設の他目的利用、遺産の目録やカタログ、地域の歴史、無形文化遺産、原子力及び関連事項に関する学術・教育・研究・トレーニング、情報の普及活動、原子力及び関連事項に関する芸術
マーカー	地下マーカー、地表マーカー、地下マーカー、深地層マーカー、地表痕跡、モニュメント
タイムカプセル	大型・可視的タイムカプセル、大型、非可視的タイムカプセル、小型タイムカプセル
国際的メカニズム	国際条約・協定・指令、国際標準・指針、国際的インベントリ・カタログ、国際協力、国際的教育・トレーニングプログラム
法的枠組み	国内法令の枠組み、保障措置
知識マネジメント	知識保持ツール、知識（喪失）リスク分析、知識共有の理念
監視（oversight）	モニタリング、土地利用制限、責任に関する計画、安全及び監視（oversight）のレビュー
処分場の記録セット	KIF、SER

## (6) RK&M イニシアチブ最終報告書

RK&M イニシアチブでは 2018 年 4 月の活動終了に向け、これまで個別に作成した報告書の概要を統合した最終報告書を準備中している。現時点での目次案は表 4.2.2-5 の通りである。

表 4.2.2-5 RK&M イニシアチブ最終報告書目次案

前書き
謝辞
目次
図目次
略語表
要旨
1 序文
1.1 RK&M イニシアチブの背景と範囲
1.1.1 放射性廃棄物管理委員会 (RWMC) の下でのイニシアチブの策定
1.1.2 RK&M イニシアチブの概要説明
1.2 RK&M の保存に関する考えの変化：歴史的レビュー
1.2.1 RK&M の参考文献
1.2.2 RK&M の保存に関する文献のよくあるテーマ
1.2.3 学習事項の要約
2 放射性廃棄物管理に関する世代を超えた RK&M 保存の基本的理由、目的、原則、監視 (Oversight) の概念の紹介
2.1 人間及び環境の保護
2.2 詳細な説明を受けた上での決定に必要な条件の保存
2.3 遺産の助成
3 RK&M 保存の課題
3.1 RK&M 喪失の要因と結果
3.1.1 原子力分野での RK&M 喪失からの教訓
3.1.2 原子力以外の分野での RK&M 喪失からの教訓
3.2 RK&M 保存に関する法令の枠組み
3.2.1 国毎の RK&M 保存に関する法令の枠組み
3.2.2 責任の移管
3.2.3 国際的な緩やかな法令 (soft law)
3.3 RK&M 保存と安全性の関連
3.4 費用と財源
4 RK&M 保存の方法とメカニズムの基本的特性
4.1 基本的要件の同定
4.2 多様な時間枠
4.2.1 短期
4.2.2 中期
4.2.3 長期
4.3 多様な媒体 (有形／無形)
4.4 多様な内容
4.5 多様な伝達形態 (媒介を伴うもの／伴わないもの)
4.6 多様な主体
4.7 多様な場所
5 RK&M の方法
5.1 特定の処分場に関する記録
5.2 記憶施設
5.3 マーカー
5.4 タイムカプセル
5.5 文化、教育、芸術
5.6 知識マネジメント
5.7 監視 (Oversight)
5.8 国際的メカニズム

5.9 法令の枠組み
6 RK&M 戦略に向けて
6.1 体系的戦略
6.2 RK&M 戦略の開発
6.3 例示
7 結論と展望
8 参考文献
9 付属書類
9.1 RK&M 用語集
9.2 メカニズムシート
9.3 メカニズム概要表
9.4 プロジェクト文書
9.5 RK&M プロジェクトメンバー及び組織

#### 4.3 Nucleus 記録保存施設

記録保存に関する処分実施主体による最新の活動として、英国の Nucleus 記録保存施設の運用開始について述べる。

Nucleus 記録保存施設(the Nuclear and Caithness Archives)は、スコットランドのハイランド州ケースネスのウィック空港近傍に位置し、英国の処分実施主体である原子力廃止措置機関(NDA)が運用する原子力利用に関わる記録の保存施設である。本施設は2017年2月より運用が開始された。外観を図4.2.2-1に示す。

本施設での保存の対象となる原子力関係の資料は、NDAのサイトや民間の原子力関係施設から発生した記録、計画書類、写真、図面等の情報である。これらを一元的に管理することで、記録の安全性、完全性、法令や規制機関の要求への対応を可能としている。また、記録の保存期間としては数百年間を意図している。書庫の面積は約2,000m<sup>2</sup>である。本会議では、書庫内を見学することができたが、現時点では収納物のない書庫が多くみられた。英国政府のウェブサイトに掲載された書庫の写真を図4.2.2-2に示す。

現時点では、スコットランドのケースネス地方に位置するドーンレイサイト(低レベル放射性廃棄物処分場及び発電所)に関係する約30万枚の写真と200トンの書類等の記録が収納されており、今後少なくとも5年間をかけて、英国全体から16の原子力施設の記録を輸送し本施設に保存する予定である。なお、Nucleus 記録保存施設は地域の歴史に関する記録の保存施設としての役割も持っており、古地図や新聞、写真等の様々な資料が保管されている。



図 4.2.2-1 Nucleus 記録保存施設 外観



図 4.2.2-2 Nucleus 記録保存施設 書庫

(出典 : <https://www.gov.uk/government/case-studies/nda-archive>)

#### 4.4 フランス ANDRA による記録保存に関する検討

フランスの放射性廃棄物の処分実施主体である ANDRA は、2016 年 4 月に規制機関である ASN に提出した地層処分に関する安全オプション書類[13]において、記録保存（記憶：memoire の保存）に関する取組を述べた。

ANDRA は地層処分に関する安全指針における 500 年間の記録保存という記述に基づき、少なくとも 600 年間にわたり維持されるロバスト性を備えた記憶保存システムを開発している。このシステムは、表 4.2.2-1 の内容を含み、「レファレンス策」と呼ばれている。

ANDRA は、このレファレンス策の分析を基に、2010 年に新たな記憶プログラムを開始した。その目的は、レファレンス策をよりロバスト性の高いものとするのと、数千年間にわたり記憶を保存する方策の検討や研究を実施することである。

この記憶プログラムには、施設に関する記憶を編纂し、改善してゆくことを目指すとともに、「物質の経年劣化」と「人間及び社会科学」の領域における科学研究が含まれている。

表 4.2.2-2 に挙げる作業が、施設の記憶の編纂及び改善を目的として開始されている。

物質の経年劣化に関する研究は、インクと紙の組み合わせに関する標準化された試験により開始されている。現在、より長期間にわたる保存が可能なその他の媒体の耐久性に関する研究が進められている。この活動では、紙以外の媒体に書き留めたり刻印したりする方法について、処分施設の最上部に設置される地上標識や、100 万年までの期間の耐久性を備えることのできるファイヤ・ディスクの生産に関する研究が行われる。

社会科学的側面では、きわめて長いタイムスケールの認知に関する研究所グループが設置されている。また、その他のテーマ（たとえば記録保存、言語学、記号学、博物館学、さらには技術及びランドスケープに関する考古学などの分野について、研究がすでに行われているかどうか、またそれが適切なものであるかどうかを知るための参考文献リストの作成が進められている。研究が存在しない場合、研究プログラムに追加すべき研究の有無と内容を明らかにするため、より詳細な参考文献リストが学術研究者の支援を受けて作成されることになる。これらの研究では、表 4.2.2-3 に挙げるテーマが取り扱われる。

表 4.2.2-1 ANDRA による記憶保存のレファレンス策([13]より作表)

手法の区分	手法
「受動的記憶」手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 廃棄物処分施設のモニタリング、理解及び修正を実現する上で必要となる全ての技術資料によって構成される詳細記録。この詳細記録の編纂は、安全性に関する長期的なアプローチに従って特定された起こりうる変遷のシナリオに基づいて情報の階層を選定し、構築することによって行われる。一連の研究手段（すなわちインベントリ、用語集、索引、要約など）が、アクセス可能性及び容易な理解を確保するために提供される。文書の耐久性は、インク及び記録用紙の適切な選択に左右され、また2部作成された上でそれぞれ別の場所、すなわち処分施設サイトと国立公文書館に保存される。最後に、詳細記録の有効性は、モニタリング・フェーズが終了するまでの期間にわたり、5年おきに補足的な文書の追加を通じて確保され、最新情報が盛り込まれる。</li> <li>- 「概要書」が、意思決定者及び公衆を対象として、技術的及び歴史的な情報の概要を示す文書として作成される。同概要書の更新版は、安全解析報告書のそれぞれの改訂後に作成される。最終版にどの程度の情報が盛り込まれるかはどの程度広範に配布されるかにかかっている（市役所、公証人、さまざまな団体、地元の地方自治体議会、県、省、さらには国及び国際的な機関など）。</li> <li>- 公益地役権が登記されることにより、行政当局がサイトに、当該サイトで何らかの活動を行うことに伴うリスクについて警告する標識を設置することになる。</li> </ul>
「能動的な記録」手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 一般公開日、話し合い、展示及びインタビューなどの開催を通じて、またこの種の記憶に固有のコミュニケーション手段、冊子及びウェブサイトの活用を通じて公衆とのコミュニケーションをはかる活動の展開。</li> <li>- 地域情報委員会（CLI）の役割の強化。このCLIが検討するトピックには記憶の問題が含まれるほか、CLIが地元において記憶を生きた状態で保存してゆく役割を果たすべきである。</li> </ul>

表 4.2.2-2 ANDRA による 2010 年以降の記憶プログラムの概要([13]より作表)

<ul style="list-style-type: none"> <li>・ CSM（ラ・マンシュ短寿命低中レベル放射性廃棄物処分場）記憶保存システムと将来の世代のニーズとの間の関連性の高さに関する分析を、同システムの適格性及び網羅性に関する評価を定期的に行う国際的なステークホルダ・グループを設置することにより、10年おきに実施すること。</li> <li>・ Cigeo（地層処分場）に関する記憶の作成はすでに開始されている。ムーズ/オート＝マルヌ・センター（ビュール地下研究所）に関する詳細記録は、その他の関係書類と共に、Cigeoの建設に先立って編纂されている（この中には、1980年代の初めから作成された全てのものを対象に、Cigeoの建設の決定に使用された情報のうち保存すべきものを選定する作業が含まれる）。</li> <li>・ 当該記憶の「技術的な」有用性が、この記憶を保存することによって長期安全性の面で得られる利益が明確に示される形で説明されなければならない。</li> <li>・ ANDRA は、そのサイトの近くで複数の検討グループを、この問題に関する地元自治体の関心を刺激することを目的として、またこうした記憶をどのように地元割り当てるのかに関するアイデアを集めるために運営している。その最終的な目的は、ANDRA が残す遺産を保存してゆく団体を設立できるようにすることにある。</li> <li>・ □ さまざまな分野のフランス及び国際的な芸術家との間で、それぞれの芸術を通じて処分施設の記録を保存する問題がどのように捉えられるのかに関する情報を集めるために、協力関係が設定されている。</li> <li>・ ANDRA は、記憶の保存の分野で NEA/RWMC/RK&amp;M（長期的な記憶）及び RepMet（メタデータ保存）ワーキング・グループの作業の一環として行われている国際的な活動に参加している。その例として、さまざまな参加国での実施方法に関するベンチマーキング、共通定義や共通参考文献の作成、勧告の作成などが挙げられる。</li> <li>・ ANDRA のビジター・センターにおける記憶専用のスペースの設置。</li> <li>・ 歴史的なアーカイブ及び記憶センターを設置する可能性に関する調査の実施。この調査にはフランス公文書館の代表者も参加している。</li> </ul>
---

表 4.2.2-3 ANDRA による記録保存に関する社会科学的側面を持つ研究テーマ([13]より作表)

テーマ	研究概要
耐久性	<p>言語や記号/シンボルの耐久性。この研究の目的は、現在使われているか廃れた言語に関する知識が存続する合理的な期間の長さを、さらにはどのようなコミュニケーション方法をこれらの言語がもはや理解されなくなった場合に使用することができるのかを、明らかにすることにある。</p> <p>□ 書面として作成された記録、音声、画像、オブジェクトなどに関するフランスの専門組織による、また国際的な組織による制度的保存の耐久期間。この研究の目的は、時の経過とともに生じる劣化を制限するために、さらには将来の世代による充当及び伝達を促すために講じる予防措置について検討することにある。</p> <p>□ 長期的なデジタル・アーカイブの耐久性。この研究は特に、この比較的新しく誕生した、また数十年間のうちに新たな長期的地平を拓く可能性のある分野における進展のフォローアップを通じて行われる。</p>
一時性と遺物	<p>□ 技術及びランドスケープの考古学（この中には人間により、さらには地球力学により引き起こされる変遷が含まれる）と、人間が作り出したものによる記憶保存の可能性（記憶手段の1つとしての地上-底部連絡構造の埋め戻しの利用など）。</p> <p>□ ANDRA の管理対象ではない「歴史的な」処分施設に関する記憶。フランスのさまざまな場所におけるもの（ウラン鉱山、核実験場など）。</p>
社会的な次元	<p>□ きわめて長い（数千年間又はそれ以上にわたる）時間スケールに関する公衆の認知。1つの人間グループ又は複数の社会科学研究所との関わりにおいて。</p> <p>□ 社会に起こりうる科学、技術及び人文科学の面での変遷。これは、3つの主要な方向性に分類される（すなわち、退行、停滞及び進歩）。</p> <p>□ この中には、原子力、遺産及び記憶に関する教育に関するシラバス（学習計画）で廃棄処分施設の記憶の保存を取り扱うことなどが含まれる。</p> <p>□ インターネット・ベースの社会ネットワークを通じて世界規模で廃棄物処分施設の記憶を共有する方法を用いた世代間の記憶の伝達。</p> <p>この記憶プログラムは、Cigeo プロジェクトの意思決定マイルストーンと歩調を合わせる形で、いくつかの段階を経て運営される。またこのプログラムは、処分施設とその段階的な閉鎖に至る展開を支援するために将来拡大されることになる。</p>

#### 4.5 まとめ

本調査の目的は、高レベル放射性廃棄物の地層処分における記録保存について、その目的、具体的な方法とその技術的な実現可能性を検討し、国や関連機関等が記録保存に係る取組の計画を具体化する際の基板情報を整備するものである。

本年度は、放射性廃棄物の処分における記録保存に関する動向、海外の記録保存に関する最新の考え方、方策について、OECD/NEA-RWMC（経済協力開発機構原子力機関-放射性廃棄物管理）が検討している Records, Knowledge and Memory (RK&M) イニシアチブの概要、位置付け、方針等に加え、英国の記録保存施設の動向及びフランスの処分実施主体による記録保存の取組について整理した。

RK&M イニシアチブは2018年4月の活動終了に向け、各種の取組について報告書の作成を進めている。RK&M イニシアチブでは、地層処分に関する記録を4階層に区分することを検討しており（図 4.2.2-1）、上位の階層の記録ほど、分量が少なく、重要な情報が簡潔にまとめられている。このうち、最上位の区分が「鍵となる情報ファイル」(KIF、表 4.2.2-1)であり、基本的情報セット (SER、表 4.2.2-2 及び表 4.2.2-3) がこれに続く。本年度はこれらの構成に関する報告書の作成が進められた。また、記録保存に関する各種の構成要素や方策を分析し、分類する作業も進められ（表 4.2.2-4）、最終報告書（表 4.2.2-5）の準備も進められている。

英国では、Nucleus 記録保存施設(the Nuclear and Caithness Archives、図 4.2.2-1)が、スコットランドのハイランド州ケースネスに建設され、英国の処分実施主体である原子力廃止措置機関 (NDA) が運用する原子力利用に関わる記録の保存が 2017 年 2 月より開始された。

フランスでは、処分実施主体である ANDRA は、2016 年 4 月に規制機関である ASN に提出した地層処分に関する安全オプション書類において、記録保存（記憶：memoire の保存）に関する取組（表 4.2.2-2 等）を示している。

以上のように、各国の実施主体及び国際機関により地層処分の記録保存に関する方策がまとめられ、また、一部では実際の保存施設の運用が開始されている。これらの情報は、将来わが国や関連機関等が記録保存に係る取組の計画を具体化する際の基板情報となるものと考えられる。

## 参考文献

- [1] 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会 (2009) : 放射性廃棄物処理・処分に係る規制支援研究 (平成 22 年度～平成 26 年度)、  
<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g91019d01j.pdf>
- [2] 原子力環境整備促進・資金管理センター (2013) : 平成 24 年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発報告書 (第 3 分冊) -モニタリング技術の開発- 平成 25 年 3 月.
- [3] 原子力環境整備促進・資金管理センター (2014) : 平成 25 年度 地層処分技術調査等事業 処分システム工学確証技術開発報告書 (第 3 分冊) -モニタリング関連技術の開発- 平成 26 年 3 月.
- [4] 原子力環境整備促進・資金管理センター (2015) : 平成 26 年度 地層処分技術調査等事業 処分システム工学確証技術開発報告書 (第 3 分冊) -モニタリング関連技術の開発- 平成 27 年 3 月.
- [5] OECD/NEA-RWMC (2013): Literature Survey on Markers and Memory Preservation for Deep Geological Repositories, Preservation of Records, Knowledge and Memory across Generations (RK&M), NEA/RWM/R (2013)5.  
<https://www.oecd-nea.org/rwm/docs/2013/rwm-r2013-5.pdf>
- [6] OECD/NEA-RWMC (2014): Loss of Information, Records, Knowledge and Memory – Key Factors in the History of Conventional Waste Disposal, Preservation of Records, Knowledge and Memory across Generations, NEA/RWM/R(2014)3.  
<https://www.oecd-nea.org/rwm/docs/2014/rwm-r2014-3.pdf>
- [7] OECD/NEA-RWMC (2014): Markers - Reflections on Intergenerational Warnings in the Form of Japanese Tsunami Stones, Preservation of Records, Knowledge and Memory across Generations, NEA/RWM/R(2014)4.  
<https://www.oecd-nea.org/rwm/docs/2014/rwm-r2014-4.pdf>
- [8] OECD/NEA-RWMC (2014): Articles about strategic aspects of the preservation of Records, Knowledge & Memory (RK&M) across Generations, Preservation of Records, Knowledge and Memory across Generations, NEA/RWM/RKM(2014)5.  
<http://www.oecd-nea.org/rwm/docs/2014/rwm-rkm2014-5.pdf>
- [9] OECD/NEA-RWMC (2014): Monitoring of Geological Disposal Facilities: Technical and Societal Aspects, Preservation of Records, Knowledge and Memory across Generations, NEA/RWM/R(2014)2.  
<http://www.oecd-nea.org/rwm/docs/2014/rwm-r2014-2.pdf>
- [10] OECD/NEA-RWMC Web ページ 「An International Conference and Debate on the Preservation of Records, Knowledge and Memory of Radioactive Waste across Generations」  
<https://www.oecd-nea.org/rwm/rkm/verdun2014/>

- [11] OECD/NEA-RWMC (2014): Expert Group on Preservation of Records, Knowledge and Memory across Generations, Phase-II Vision Document, NEA/RWM/RKM(2014)1/REV2
- [12] Jean-Noël Dumont et al.: Key Information File for Radioactive Waste Repositories – Preliminary Tests – 16169, WM2016 Conference, March 6-10, 2016, Phoenix, Arizona, USA
- [13] ANDRA, Safety Options Report -Post-Closure Part (DOS-AF), 2016.

## 第5章 まとめと今後の課題

### 5.1 モニタリングの枠組みに関する検討

わが国の品質保証／性能確認プログラムの構築に資する知見体系を整備するため、以下の内容について、整理を行った。

- ① 処分事業が先行する諸外国のうち、わが国の処分概念と類似した処分概念を有する国を中心に、具体的な事例を調査
- ② プログラム体系の構築に資する知見の体系化を行った。
- ③ 今後、わが国の品質保証／性能確認プログラムを構築する際に、検討すべき要素や制約条件を抽出し、課題を整理

なお、③においては、L1に係る規制検討におけるモニタリングに関する要求事項についても調査・整理し、検討すべき要素や制約条件の一つとして考慮した。

#### 5.1.1 諸外国の品質保証／性能確認プログラムの具体的事例の調査

本調査で対象とした3カ国（スウェーデン、フィンランド及び米国）の品質保証／性能確認プログラムの構成要素に関する規制要求と事業者の取組みに関して調査を行った。

品質保証については、調査全対象の施設で規制要求がなされている。一方、モニタリングを含む性能確認プログラムについては、スウェーデンの規制（SSM）では、「解析によりモニタリング等の措置による安全性への影響がないことを示した上での実施」との制限付きの要求を行っており、事業者（SKB）は、原位置での人工バリアモニタリングは、処分性能への影響を及ぼすと判断し、実施しないこととしている。

一方、規制要件で人工バリアモニタリングが規定されているフィンランドに関しては、今後具体的な性能確認計画が策定されることとされている。また、米国（Yucca Mountain）については、規制要件の中で品質保証の一環として性能確認の実施を含めており、さらに、詳細なモニタリング計画についても規則（10 CFR Part 63）の中で明文化されている。事業者（DOE）は、この要件を受け性能確認プログラムを開発している。

#### 5.1.2 品質保証／性能確認プログラム体系の構築に資する知見の体系化

調査結果を踏まえ、各国の品質保証／性能確認プログラム体系の構築に資する情報の整理を行った。

品質保証／性能確認プログラム体系の構築に関しては、各国の様々な事情が関与するが、構築の際には、主に考慮すべき要因として以下の点が挙げられる。

- ① 処分概念（例：人工バリアへのアクセス性）
- ② サイト環境（例：バリアに影響を及ぼす地下水面の位置や地質環境）
- ③ 規制要件における性能確認に対する要求（例：処分性能への影響についての考え方や要求事項）
- ④ 品質保証の考え方（例：性能確認との関係性や品質保証で担保可能なバリア設計）

## ⑤ 地下研究施設の役割（例：天然環境の代表性）

スウェーデンの場合は、地下水影響を含む対策として **KBS-3** 概念（多重バリア構造）を採用しており、この結果、ベントナイト粘土や埋戻材を設置することとなるため、これら構造物の設置後のバリア等へのアクセス性は、極端に低くなり、機器による処分性能への影響は回避が困難な技術的課題となる。

これに関する対策として、スウェーデンでは、室内試験や地下研究施設などでのバリア材料や天然環境中での人工構造物への影響について試験等による性能の把握をしつつ、性能評価及び安全評価によって、バリア材の品質保証を行い、安全評価における評価期間である閉鎖後 100 万年間の安全性を保証する十分な余裕を持ったバリア設計が行われている。さらに設計・製造仕様や施工方法を定め、実際のバリア材料の調達、製造及び定置は、仕様に沿った品質管理を行うことで長期的な性能を担保することとしている。

フィンランドの場合は、規制でバリアの性能確認行為を求められているため、これを遵守する必要があり、詳細なモニタリング計画策定は今後実施されることとされている。その具体的方針や詳細内容、さらには、規制機関とのやり取りなどの動きは、我が国の今後の品質保証／性能確認プログラム体系の構築の際にも有益な情報となるため、注視する必要がある。

米国（**Yucca Mountain**）の場合、廃棄体周辺に緩衝材や埋戻材を設置しない処分概念であることから、人工バリアへのアクセス性は閉鎖後も高いため、モニタリングのしやすさ、人工バリアへの影響の低さを考慮していく必要がある。

### 5.1.3 性能確認に資するモニタリングの国際共同研究 **Modern2020** プロジェクト

**Modern2020** プロジェクトでは、各国に共通する課題として性能確認に資するモニタリングについて取り組んでいる。昨年度はモニタリングパラメータのスクリーニング方法に関する報告書が公開されたが、本年度は、スウェーデンの **SKB** によるスクリーニング方法を自国の処分概念に適用したテストケースについての報告が行われた。

**SKB** は、基本的な考えとして、**EBS** のモニタリングの主な目的は、製造や、設置手順／プロセスでの欠点、誤り又は逸脱を特定することではなく、これらの重要な任務は、品質管理プログラムで扱われるものとしている。一方で、アクセス可能な状態にあるプラグ等のモニタリングを行うと仮定した場合のモニタリングパラメータの抽出とスクリーニング方法をテストケースとして示している。我が国の地層処分の性能確認プログラムの在り方を検討していくうえで、各国の共通認識や動向を把握するため、**Modern2020** プロジェクトに参画していく必要がある。

### 5.1.4 わが国における今後の検討要素及び制約条件の抽出並びに課題の整理

諸外国の調査・整理結果を踏まえ、我が国における最近の規制動向を踏まえつつ、品質保証／性能確認プログラム体系の構築の際の課題等の整理を行った。調査対象国のすべての品質保証／性能確認プログラムは、上記の通り、最終的には、規制要件の記載内容に拠るところが大きく、現段階で、単純に我が国の事業に反映することは困難ではある。

今後は、我が国における室内試験や地下研究施設でのバリア仕様研究（緩衝材のパイピングエ

ロージョン試験やオーバーパックの腐食試験、地下研究施設での緩衝材定置試験結果など)を踏まえつつ、実施主体との連携を行いながら、我が国に適した品質保証/性能確認プログラム体系(案)を策定し、将来の地層処分に関する規制検討の際の事業者からの説明に資するものとする。

## 5.2 地中無線モニタリング技術の検討

地層処分場でのモニタリングに際し、配線による処分安全性能への影響を低減することが可能な地中無線通信技術について、モニタリングデータの無線伝送技術と、地層処分システムにおけるモニタリング関連機器へ無線で電力を供給する無線給電技術について検討した。

### 5.2.1 無線伝送技術の開発

地中無線の送信器、中継装置、受信器を組み合わせた動作試験を6ヶ月間実施した。動作試験では、設計条件10年間の通信回数を上回る回数の通信を行うとともに、試験中に通信経路を変更し、動作状況を確認した。また電池容量の試算方法の検証も実施し、以下のことが確認できた。

- 中継装置の通信状況、及び受信状況について、試験中の受信強度確認用受信器の測定結果と受信器まで通信された温度データに欠損がないことから、中継装置は送信・受信ともに問題なく動作する。
- 動作試験中に経路変更試験を計5回実施し、前述の受信強度確認用受信器の測定結果と受信器まで通信された温度データより、経路変更後も問題なくデータ通信し、開発したプログラムが機能している。
- 電池容量の試算方法の検証については、中継装置の消費電流について、試験前の試算値と試験中の実測値を比較したところ、より電池を消耗する条件で試算していたことが分かった。具体的には、定期通信の送信の動作が、CPUでデータ処理をする準備の動作と実際にアンテナコイルに電流が流れデータ送信される動作の2段階に分けられるが、実測値から各々の消費電流が大きく異なることを確認した。運用期間算出時には、今回の結果を踏まえて、各動作の詳細な実測消費電流値を用いて試算することにより、当初より電池のサイズを30%程度コンパクトに設計できることを確認した。

実距離通信試験では、最大95mでの通信試験を行い、ノイズレベルが1 mVrms程度の場合、概ね100m程度の通信が可能であることを確認した。

平成26年度から、幌延深地層研究センターおよび東濃地科学センターの地下調査坑道にて実施している地中無線伝送試験に関して、動作状況等を評価した。

- 幌延深地層研究センター  
平成30年2月末時点までの約38ヶ月間について、全てのセンサにおいて継続的にデータ取得(データ通信)できていることを確認した。
- 東濃地科学センター  
再冠水試験中の水圧データが継続的に通信されていることを確認した。冠水試験が終わっ

たため、地中無線送信器を坑道から撤去した。

### 5.2.2 無線給電システム設計手法の検討

伝送媒体が再冠水後の地下水の場合を想定して、無線給電の評価を行った。廃棄物の輸送時の安全性の観点から、沿岸部（島嶼部や海底下を含む）を「より適性の高い地域」とするという考え方が国から示されているため、伝送媒体の地下水を海水として評価した。

具体的には、濃度を変えた人工海水、水道水、純水を伝送媒体として利用した給電試験を行った。結果として、水道水と純水を伝送媒体とした場合、空気中と同程度の給電効率であったが、濃度を変えた人工海水を伝送媒体とした場合、人工海水の濃度が高いほど給電効率は低下した。この原因として以下の2つが考えられる。

- ①コイル間距離による給電効率低下
- ②海水の影響による給電効率低下

①については、コイルの位置関係やコイル形状で決定される結合係数の低下に起因することである。②については、②-1 コイル近傍に海水があることによるコイル性能の低下に起因する給電効率低下、②-2 海水中を磁束が透過することで海水中に発生する渦電流により損失することに起因する給電効率低下の2つが考えられるが、本業務によりコイルと海水が隣接している場合は②-1 が給電効率低下の大きな理由であることが分かった。これを解決するためには、コイルと海水の距離を取ることが解決策の1つとなる。

また、処分孔におけるモニタリングに無線給電を実装に向けた知見を取りまとめるために室内試験を実施した。中継方式とインナー方式の2つの方式を示し、解析と試験により、以下の6つを明らかにした。

- (1) 給電効率が低い場合でも、送電電力を高くすることで、設定した受電電力を受け取れること。
- (2) 中継方式を利用すると、給電効率を上げることが可能であること。
- (3) 中継コイルは、送受電コイル間の中間点に設置する時が最も給電効率が良いこと。
- (4) 同じ送電距離において、伝送距離を半分にした無線給電を2回行うよりも、中継方式の無線給電を行う方が給電効率が良い。
- (5) インナー方式を利用して、受電コイルを増やすと給電効率が上昇する。
- (6) インナー方式において、一方の送受電コイル間距離が短いと、もう一方の送受電コイル間距離が長くても高い給電効率を維持できる。

今後の課題としては、室内試験だけではなく原位置試験による評価から、処分孔内での柔軟な配置を想定したシステム設計技術の方法論の構築や、さらなる課題の抽出を行うことが必要であることを示した。これらにより、モニタリング技術を向上させ、地層処分におけるモニタリング方法の選択肢を増やすことが可能となる。

### 5.2.3 技術メニューの整備

昨年度に整理した技術メニューの操作性に関する課題（わかりにくい機能や、データの未整備による検索結果の非表示等）について、システム改良等の対応策を講じた。また、性能確認プログラムに関する知識情報体系を拡充する目的で、調査の過程で得られた諸外国の最新の計測機器情報等を技術メニューへ反映した。加えて、次期フェーズ以降における円滑な運用が可能となるよう、マニュアル類の整備、データバックアップ等を行った。

### 5.3 記録保存に関する動向調査

本年度は、放射性廃棄物の処分における記録保存に関する動向、海外の記録保存に関する最新の考え方、方策について、OECD/NEA-RWMC（経済協力開発機構原子力機関・放射性廃棄物管理）が検討している Records, Knowledge and Memory（RK&M）イニシアチブの概要、位置付け、方針等に加え、英国の記録保存施設の動向及びフランスの処分実施主体による記録保存の取組について整理した。

RK&M イニシアチブは 2018 年 4 月の活動終了に向け、各種の取組について報告書の作成を進めている。RK&M イニシアチブでは、地層処分に関する記録を 4 階層に区分することを検討しており、上位の階層の記録ほど、分量が少なく、重要な情報が簡潔にまとめられている。このうち、最上位の区分が「鍵となる情報ファイル」であり、基本的情報セット等がこれに続き、これらの構成に関する報告書の作成が進められた。また、記録保存に関する各種の構成要素や方策を分析し、分類する作業も進められ最終報告書の準備も進められている。

英国では、Nucleus 記録保存施設(the Nuclear and Caithness Archives、**エラー! 参照元が見つかりません。**)が、スコットランドのハイランド州ケースネスに建設され、英国の処分実施主体である原子力廃止措置機関（NDA）が運用する原子力利用に関わる記録の保存が 2017 年 2 月より開始された。

フランスでは、処分実施主体である ANDRA は、2016 年 4 月に規制機関である ASN に提出した地層処分に関する安全オプション書類において、記録保存（記憶：memoire の保存）に関する取組を示している。

以上のように、各国の実施主体及び国際機関により地層処分の記録保存に関する方策がまとめられ、また、一部では実際の保存施設の運用が開始されている。これらの情報は、将来わが国や関連機関等が記録保存に係る取組の計画を具体化する際の基板情報となるものと考えられており、引き続き情報収集を行う必要がある。