

放射性廃棄物処分における モニタリングの調査研究(Ⅲ)

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書)

技術資料		
開示区分	レポート No.	受領日
Σ	J1561 95-002	1995.5.18
この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室		

1995年2月

財団法人 原子力環境整備センター

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

放射性廃棄物処分におけるモニタリングの調査研究（Ⅲ）

田代晋吾	伊藤賢治
平野真孝	小山田潔

要 旨

本調査研究は、高レベル放射性廃棄物地層処分場の閉鎖の判断、及び閉鎖後の状況の把握等の方策として、処分のモニタリングを位置づけ、モニタリングの考え方、技術等について調査検討することを目的としたものである。

本年度は、前年度実施したモニタリングの要件、必要性、対象と目的、実施方法、データ取得技術に係る要件、現状の技術レベルの調査と将来の実現可能性、データの利用方法の検討、モニタリングの課題の抽出と解決方策及びスケジュールの検討の一連の調査研究内容の検討の前提条件とした処分概念・処分スケジュールを基本ケースとし、その基本ケースに対して種々の個別の条件を変動させて、モニタリングに係る前年度と同様の内容の検討を行った。変動させた内容は、処分事業を構成する段階の採用の有無やその長さ、地質環境条件、地下施設のレイアウト、実証用廃棄体の有無やその概念で、計13の変動ケースとした。

その結果として、モニタリングに係る各検討内容についてケースごとの変動内容を明らかにするとともに、基本ケースの場合を含め計26の課題の抽出とその解決方法、スケジュールを示した。

また、モニタリングに関する新たな文献調査の結果を付録にとりまとめた。

本報告書は、（財）原子力環境整備センターが動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：060D0144

事業団担当部課室および担当者：環境技術開発推進本部処分研究グループ（佐々木憲明）

* 研究第二部

Study on the Monitoring of Radioactive Waste Disposal (III)

* *
Shingo Tashiro Kenji Ito

* *
Masataka Hirano and Kiyoshi Oyamada

Abstract

The purpose of this work is to make research and study about the concept, technique, etc. of the monitoring of high-level radioactive waste repository, which should be considered to be the method of judgement of the closure of the repository and understanding of the environmental conditions after the closure.

In this fiscal year, various conditions considered in the study of monitoring concept were changed sensitively compared to those of the reference case studied in last fiscal year, and the variant cases, totally of thirteen, whose main variant contents were of HLW disposal phases, geological conditions, layout of underground facility, and treatment of waste package for demonstration, were examined thoroughly in the light of requirements for monitoring, necessities, objects and purposes, way of implementation, requirements as to data acquisition, state of the art and feasibility, way of using data, and problems to be resolved and the ways.

As a result, detailed contents of variation in each variant cases were made clear as to all of the above items studied for accomplishment of monitoring philosophy and concept, and twenty-six problems were finally presented, followed by the clarification of ways of resolution for them and the schedules.

Results of some literature surveys have been shown in appendices.

Work performed by Radioactive Waste Management Center under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison ... Isolation System Research Program, Radioactive Waste Management Project, (Noriaki Sasaki)

* Second Research Division

目 次

まえがき	1
1. わが国における処分場のモニタリングのあり方の検討・整理	2
1.1 検討対象とする変動ケース内容の検討	2
1.1.1 処分事業の段階が変動する場合の変動ケース	2
1.1.2 地質環境条件が変動する場合の変動ケース	4
1.1.3 地下施設のレイアウトが変動する場合の変動ケース	6
1.1.4 実証用廃棄体の概念が変動する場合の変動ケース	8
1.2 各目的毎のモニタリングの要件の整理	13
1.2.1 地層処分のあり方の整理	13
1.2.2 モニタリングの目的の検討	14
1.2.3 モニタリングの要件の整理	35
1.3 わが国におけるモニタリングのあり方の検討	38
1.3.1 処分場概念の整理	38
1.3.2 モニタリングを必要とする理由	53
1.3.3 モニタリング対象と目的の検討	57
1.3.4 実施項目及び実施方法の検討	64
1.3.5 データ取得技術に係る要件の検討	88
1.3.6 現状の技術レベル及び将来の実現可能性の検討	93
1.3.7 取得したデータの利用方法の検討	151
2. モニタリングに関する課題の抽出	158
2.1 課題抽出における前提条件としてのスケジュールの検討	158
2.2 モニタリングに関する課題	163
3. 課題解決のための方策の検討	180
3.1 技術開発の余地とその予測可能性及び適用性の検討	180
3.2 平常値と異常値の識別方法の確立	181
3.3 モニタリングデータの対策行動への反映方法の検討	182

3.4	測定データの品質保証の検討	183
3.5	サイト特性調査段階における調査用試錐孔をその後のモニタリングに供 する方法論の確立	183
3.6	地表からのモニタリング孔の配置及び数量に関する最適化の検討	184
3.7	モニタリングの長期継続方法の検討	185
3.8	モニタリング終了時のモニタリング機器撤去に係る問題の明確化の検討	185
3.9	モニタリング孔の閉塞技術の確立	186
3.10	モニタリング実施位置の詳細化の検討	187
3.11	モニタリングデータの整理及び公表のあり方の検討	187
3.12	放射線管理区域の設定のモニタリングへの影響の検討	188
3.13	閉鎖のための許認可あるいは長期安全評価へのモニタリングデータの反 映方法の検討	189
3.14	モニタリングの集中管理システムのあり方の検討	189
3.15	実証用廃棄体に対する具体的モニタリング方法の検討	190
3.16	ニアフィールドモニタリングにより異常と判断された場合の対策行動の 検討	191
3.17	300年間に渡る閉鎖後管理段階における地表からのモニタリングの長期 継続方法の検討	192
3.18	100年間に及ぶ操業後監視段階における最適モニタリングシステムのあ り方の検討	193
3.19	海水のモニタリングに及ぼす影響の検討	193
3.20	高温地下環境のモニタリングに及ぼす影響の詳細検討	194
3.21	地下水流動が極めて低い岩盤に対する地下水モニタリングのあり方の検 討	194
3.22	処分坑道縦置方式におけるニアフィールドモニタリングのあり方の検討	195
3.23	処分区画を区切る断層構造に対するモニタリングのあり方の検討	195
3.24	4処分区画ずつの上下2層配置のモニタリングシステムに及ぼす影響の 検討	196
3.25	1処分区画を実証に供する場合のあり方の検討	197
3.26	実証終了の判断のあり方の検討	198

4. まとめ	200
あとがき	201
付録	203
付録（文献調査1）：DRAFT Post-closure Issues	
Discussion Paper developed at Consultants Meeting	
28 to 30 July 1993 (October 1993)	203
付録（文献調査2）：The Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste :	
Public Involvement and Social	
Aspects(AECL-10712, COG-93-3; July 1994)	231
付録（文献調査3）：Environmental Protection Agency 40 CFR Part 191-	
Environmental Radiation Protection Standards for	
Management and Disposal of Spent Nuclear Fuel,	
High-Level and Transuranic Radioactive Wastes,	
Code of Federal Regulations 10 Parts 191,	
Office of the Federal Register (1990).	245
謝辞	248

目 次

図1.2-1	地層処分場の事業形態の進展を考慮した基本ケース及び変動ケース5～11におけるモニタリングの関わり方	22
図1.2-2	地層処分場の事業形態の進展を考慮した変動ケース1におけるモニタリングの関わり方	23
図1.2-3	地層処分場の事業形態の進展を考慮した変動ケース2におけるモニタリングの関わり方	24
図1.2-4	地層処分場の事業形態の進展を考慮した変動ケース3におけるモニタリングの関わり方	25
図1.2-5	地層処分場の事業形態の進展を考慮した変動ケース4におけるモニタリングの関わり方	26
図1.2-6	地層処分場の事業形態の進展を考慮した変動ケース12におけるモニタリングの関わり方	27
図1.2-7	地層処分場の事業形態の進展を考慮した変動ケース13におけるモニタリングの関わり方	28
図1.3-1	坑道横置方式による人工バリアシステム施工例	45
図1.3-2	坑道縦置方式による人工バリアシステム施工例	45
図1.3-3	基本ケースとしての地層処分場のレイアウト	46
図1.3-4	基本ケースとしての坑道及び処分区画のレイアウト	47
図1.3-5	変動ケース9の地層処分場の概念的レイアウト例	48
図1.3-6	変動ケース10の地層処分場の概念的レイアウト例	49
図1.3-7	変動ケース11の地層処分場の概念的レイアウト例	51
図1.3-8	基本ケース及び変動ケース1～4・6・8～13における地表からの、及び地表でのモニタリング実施箇所例	78
図1.3-9	変動ケース5における地表からの、及び地表でのモニタリング実施箇所例	79
図1.3-10	変動ケース7における地表からの、及び地表でのモニタリング実施箇所例	80

図1.3-11	基本ケース及び変動ケース1～9についての連絡坑道及び処分区画 における地表でのモニタリング実施箇所の例	81
図1.3-12	変動ケース10についての連絡坑道及び処分区画における地表でのモ ニタリング実施箇所の例	82
図1.3-13	変動ケース11についての連絡坑道及び処分区画における地表でのモ ニタリング実施箇所の例	83
図1.3-14	変動ケース12についての連絡坑道及び処分区画における地表でのモ ニタリング実施箇所の例	84
図1.3-15	基本ケース及び変動ケース1～7・9～12についてのニアフィールド ドモニタリングでの実施箇所の例	85
図1.3-16	変動ケース8についてのニアフィールドモニタリングでの実施箇所 の例	85
図2.1-1	基本ケース及び各変動ケースの想定した処分スケジュール	162
図3.1-1	計測機器の耐久性に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）	181
図3.2-1	平常値と異常値の識別のための検討フロー（案）とスケジュール （案）	182
図3.3-1	モニタリングデータの対策行動への反映方法の検討フロー（案）と スケジュール（案）	182
図3.4-1	測定データの品質保証に関する検討フロー（案）及びスケジュール （案）	183
図3.5-1	サイト特性調査用試錐孔のモニタリングへの転用に係る方法論の検 討フロー（案）及びスケジュール（案）	184
図3.6-1	地表からのモニタリング孔の配置及び数量に関する最適化のための 検討フロー（案）及びスケジュール（案）	185
図3.7-1	モニタリングの長期継続方法に係る検討フロー（案）及びスケジ ュール（案）	185
図3.8-1	モニタリング機器の撤去の影響に係る検討フロー（案）及びスケジ ュール（案）	186
図3.9-1	モニタリング孔の閉塞技術の確立に係る検討フロー（案）及びスケ ジュール（案）	187

図3.10-1	モニタリング実施位置の詳細化のための検討フロー（案）及びスケジュール（案）	187
図3.11-1	モニタリングデータの整理及び公表のあり方に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）	188
図3.12-1	放射線管理区域の設定のモニタリングへの影響に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）	188
図3.13-1	閉鎖のための安全評価及び許認可へのモニタリングデータの反映方法に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）	189
図3.14-1	モニタリングの集中管理システムのあり方に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）	190
図3.15-1	実証用廃棄体に対するモニタリングに係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）	191
図3.16-1	ニアフィールドモニタリングにより異常と判断された場合の対策行動に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）	192
図3.17-1	300年間に渡る閉鎖後管理段階における地表からのモニタリングの長期継続方法に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）	192
図3.18-1	100年間に及ぶ操業後監視段階における最適モニタリングシステムのあり方に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）	193
図3.19-1	海水のモニタリングに及ぼす影響の検討フロー（案）とスケジュール（案）	193
図3.20-1	高温地下環境のモニタリングに及ぼす影響に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）	194
図3.21-1	地下水流動が極めて低い岩盤に対する地下水モニタリングのあり方に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）	194
図3.22-1	処分坑道縦置方式におけるニアフィールドモニタリングの実施方法の確立に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）	195
図3.23-1	処分区画を区切る断層構造に対するモニタリングのあり方に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）	196
図3.24-1	上下2層構造におけるモニタリングシステムの確立のための検討フロー（案）とスケジュール（案）	197

図3.25-1	1 処分区画を実証に供する場合のあり方に係る検討フロー（案）と スケジュール（案）	198
図3.26-1	実証終了の判断のあり方に係る検討フロー（案）とスケジュール （案）	199

表 目 次

表1.1-1	基本ケース及び各変動ケースの比較（処分事業の段階）	10
表1.1-2	基本ケース及び各変動ケースの比較（地質環境条件）	11
表1.1-3	基本ケース及び各変動ケースの比較（地下施設のレイアウト及び実証用廃棄体の概念）	12
表1.2-1	基本ケース及び各変動ケースの処分事業に係る処分段階の主要な組合せ	21
表1.2-2	モニタリングの目的項目別の段階との対応	31
表1.3-1	考慮する地質・地質構造	41
表1.3-2	水理定数	42
表1.3-3	地下水水質	43
表1.3-4	地層処分場のレイアウト	50
表1.3-5	モニタリング対象物及び実施の場	58
表1.3-6	項目別のモニタリング実施箇所の検討例	77
表1.3-7(1)	変動ケース別モニタリング実施段階(1)	86
表1.3-7(2)	変動ケース別モニタリング実施段階(2)	87
表1.3-8	空間放射線測定機器の主要機能特性	94
表1.3-9	気象要素測定機器の主要機能特性	99
表1.3-10	環境放射能測定機器の主要機能特性	100
表1.3-11(1)	海水モニタリング	102
表1.3-11(2)	海底土モニタリング	102
表1.3-11(3)	海底生物モニタリング	103
表1.3-12	岩盤・岩石（物理現象）測定機器の主要機能特性	107
表1.3-13	岩盤・岩石（地質現象）測定機器の主要機能特性	110
表1.3-14	地下水（水理）測定機器の主要機能特性	112
表1.3-15	単一孔による流向・流速試験	114
表1.3-16	水質測定方式の比較	118
表1.3-17	地下水・地表水（地球化学）測定機器の主要機能特性	119
表1.3-18	溶存成分の濃度分析一覧	121

表1.3-19	坑道空間（大気の状態）測定機器の主要機能特性	129
表1.3-20	入室管理システムの比較表	133
表1.3-21	緩衝材（物理現象）測定機器の主要機能特性	137
表1.3-22	周辺岩盤（水理）測定機器の主要機能特性	140
表1.3-23(1)	取得データの段階別利用方法と対応する目的	155
表1.3-23(2)	取得データの段階別利用方法と対応する目的	156
表1.3-23(3)	取得データの段階別利用方法と対応する目的	157
表1.3-24	モニタリングに関する課題（1／2）	178
表1.3-24	モニタリングに関する課題（2／2）	179

まえがき

高レベル放射性廃棄物の地層処分は、処分システムの健全性を維持する責任を将来世代に特に依存することなく、高レベル放射性廃棄物を安全に処分することを基本としたものであり、閉鎖後の安全性については制度的な管理に依存してはならないものとされている。

しかしながら、高レベル放射性廃棄物が処分によって、人の管理から離れることに対する国民の不安は小さくないものと考えられることから、将来、国民の理解を得る社会的な判断として閉鎖後の監視、記録の維持等の制度的な管理の考え方を導入することが求められる可能性も否定できない。その場合に、高レベル放射性廃棄物の地層処分の研究開発において、閉鎖後の管理・監視方策の一つとしてのモニタリングの考え方と技術を検討しておくことが重要である。

本研究は、処分のモニタリングを、処分場の閉鎖の判断を行うため、及び閉鎖後の状況の把握等の方策として位置づけ、モニタリングの考え方、基準、技術等について調査検討することを目的として平成4年度から実施しているものである。

平成4年度は、国内外における原子力関連施設での、環境モニタリングの考え方や技術の現状を調査・整理し、これに基づいて、放射性廃棄物処分場のモニタリングの要件を整理した。

平成5年度は、上記の成果を踏まえて、わが国における処分場のモニタリングのあり方を検討し、モニタリング手法を例示的に提案するとともに、今後の検討課題の抽出を行った。

平成6年度は、平成5年度の実施内容を基本ケースとし、それとの対比で処分事業の段階、地質環境条件、地下施設のレイアウト、実証用廃棄体の概念の各項目内容を変化させた場合の計13の変動ケースを合わせた検討を行った。

1. わが国における処分場のモニタリングのあり方の検討・整理

平成5年度の調査検討結果を基本ケースとし、さらに以下に示す変動ケースをも考慮して、わが国の国情を考慮した、将来の地層処分場に対するモニタリングのあり方についてとりまとめる。

1.1 検討対象とする変動ケース内容の検討

平成5年度の検討結果を基本ケースとし、今年度はそれに対する変動ケースを検討するものである。モニタリングに影響を与える事項として、処分事業の段階、地質環境条件、地下施設のレイアウト、実証用廃棄体の概念の4項目を挙げた。

1.1.1 処分事業の段階が変動する場合の変動ケース

平成5年度の検討においては、処分事業に係る処分段階の主要な組み合わせを表でとりまとめ、以下に基本ケースとして示す内容のものを検討ケースとし、その他の組み合わせは例示するに止めた。今年度の検討ではこの検討ケースを基本ケースとして扱い、その他の組み合わせを今年度の検討対象とする変動ケースとして扱う。

【基本ケース】

建設及び操業段階（操業期間45年間）：処分区画ごとに順次建設・定置・埋戻しを実施

↓
する。

操業後監視段階（10年間）：許認可取得のため閉鎖前の一定期間監視を行う。

↓

閉鎖段階（5年間）：許認可取得後閉鎖する。

↓

閉鎖後管理段階（300年間）：閉鎖後一定期間管理を行う。

上記のうち、操業期間（ここでは第1処分区画の建設から最終処分区画の定置・埋戻しまでの期間をいう）45年の設定根拠についての詳細は2.1節に示したが、45年間は処分場規模（総廃棄体数40,000本、8処分区画）、処分稼働率（稼働日数200日/年、6本/日）から1処分区画の稼働年数を安全性を見込んで5年と算出し、8区画であることと、処分区画の建設期間を操業期間と同一に仮定して求めたものである。

操業後監視段階の期間10年は、閉鎖期間よりは長く、操業期間よりは短い期間として設定したものである。閉鎖期間5年は処分区画の操業期間の長さに相当する期間を当てたものである。最後の閉鎖後管理段階の期間300年は下北における低レベル埋設施設の管理期間設定の考え方（埋設保全区域の設定、廃棄物埋設地の巡視、環境モニタリングの実施、掘削等の制約を行う第3段階の長さを第1段階終了後300年と設定）を適用したものである。すなわち、技術的には数100年の単位では低レベル施設よりも高レベル施設の方が核種漏洩に対してはより頑健なシステムであると判断されるものの、社会学的側面からは少なくとも同等期間の管理を求められることも考えられることから、本検討ではその同等の期間を用いたものである。なお、AECLのEIS報告書（AECL-10711, COG-93-1）では、人間侵入シナリオの評価における前提として500年間にわたって徐々に制度的管理のレベルが減少することを挙げており、少なくとも500年間の何らかの管理を行うことがわかる。また、文献調査1ではフランス及びスペインでは低レベル廃棄物に対して300年間の監視期間を設定していることが述べられている。

上記の基本ケースのうち、建設及び操業段階と閉鎖段階は変更ないものとして扱う。このような前提の下、その他の操業後監視段階と閉鎖後監視段階の有無についてまず検討した。両段階の内容を考慮すると状況によってはこれらの段階がない場合も考えることから、両段階の両者あるいは一方がない状態を変動ケースと捉えるものとする。

さらに、操業後監視段階を100年間とするケースを変動ケースの一つとして加えるものとする。これは、最終廃棄体の定置終了後に回収可能性を維持する期間として100年間を考えるとというもので、米国の考え方（同様に100年間）に倣うものである。基本ケースで考慮している10年間は閉鎖許可申請に要する期間として考慮したものであり、その許可申請期間10年間で100年間に延びるという考え方ではなく、90年間回収可能な状態を維持し、最後の10年間でその前の期間での取得データも含めて閉鎖許可申請のための作業をするという考え方で検討を行うものとする。

以上の検討の結果を以下に整理する

【変動ケース1】

建設及び操業段階（操業期間45年間）⇒閉鎖段階（5年間）

【変動ケース 2】

建設及び操業段階（操業期間45年間）⇒閉鎖段階（5年間）⇒閉鎖後管理段階(300年間)

【変動ケース 3】

建設及び操業段階（操業期間45年間）⇒操業後監視段階（10年間）⇒閉鎖段階（5年間）

【変動ケース 4】

建設及び操業段階（操業期間45年間）⇒操業後監視段階(100年間) ⇒閉鎖段階（5年間）
⇒閉鎖後管理段階(300年間)

1. 1. 2 地質環境条件が変動する場合の変動ケース

平成5年度の検討内容においては、地質環境条件（地形、地質・地質構造、水理、水質）を以下のように設定した。今年度の検討においてはこれらの条件を比較のための基本ケースとする。

【基本ケース】

地形：後背地に山地を有する平野部に繋がる地形形状

地質・地質構造：堆積岩—処分場内に割れ目なし、処分場外に断層あり

結晶質岩—処分場内に1本/1mのオーダ、処分場外に断層あり

水理：降水量1,000～3,000mm、涵養量500～2,000mm、動水勾配0.001～0.1、

透水係数 10^{-6} cm/s（岩盤）、 10^{-1} cm/s（地表）、 10^{-2} cm/s（断層）

水質： $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ 型地下水、還元性、弱アルカリ性

熱：地表平均温度 15°C 、1,000m深さで 45°C 、地下増温率 $3^\circ\text{C}/100\text{m}$

（注：H3報告書では平均的な地下増温率として $3\sim 4^\circ\text{C}/100\text{m}$ 、日本国内のばらつきとして $0.5\sim 8^\circ\text{C}/100\text{m}$ の数値が示されている。）

上記基本ケースに対して、考えうる処分場立地に係る主要な地質環境条件を想定し、変動ケースを検討するものとする。そのような地質環境条件としては、

- ・海岸立地/孤島立地
- ・地下増温率の高い地質環境

・ 拡散支配の水理環境

が挙げられる。

「海岸立地／孤島立地」は、地形・水質に主要な変化のある変動ケースとして海の関わりを考慮するものである。主要な陰イオンとして HCO_3^- の他に Cl^- をも考慮する。

「地下増温率の高い地質環境」は、熱環境に主要な変化のある変動ケースとして考慮するものである。通常地下増温率は $3^\circ\text{C}/100\text{m}$ で考えられているので、 $5^\circ\text{C}/100\text{m}$ を考慮するものである。熱環境の高さは地下の熱水作用の高さの表れであり、その熱水作用では通常火成活動の影響を受け SO_4^{2-} イオンが高いことから、水質面で SO_4^{2-} イオンも考慮する。

「拡散支配の水理環境」は、動水勾配が十分0に近い環境で、移流支配ではなく、拡散支配である状態を変動ケースとして考慮するものである。

以上の検討結果を元に、各変動ケースをとりまとめると以下の通りとなる。

【変動ケース5】

* 地形：後背地に山地を有する海岸あるいは中央部に山を有する孤島

地質・地質構造：堆積岩—処分場内に割れ目なし、処分場外に断層あり

結晶質岩—処分場内に1本/1mのオーダ、処分場外に断層あり

水理：降水量1,000～3,000mm、涵養量500～2,000mm、動水勾配0.001～0.1、

透水係数 10^{-6}cm/s （岩盤）、 10^{-1}cm/s （地表）、 10^{-2}cm/s （断層）

* 水質： Na^+ —($\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-$)型地下水、還元性、弱アルカリ性～中性

熱：地表平均温度 15°C 、1,000m深さで 45°C 、地下増温率 $3^\circ\text{C}/100\text{m}$

（注：*印は変動のあった項目、以下同様）

【変動ケース6】

地形：後背地に山地を有する平野部に繋がる地形形状

地質・地質構造：堆積岩—処分場内に割れ目なし、処分場外に断層あり

結晶質岩—処分場内に1本/1mのオーダ、処分場外に断層あり

水理：降水量1,000～3,000mm、涵養量500～2,000mm、動水勾配0.001～0.1、

透水係数 10^{-6}cm/s （岩盤）、 10^{-1}cm/s （地表）、 10^{-2}cm/s （断層）

* 水質： Na^+ —($\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$)型地下水、還元性、弱アルカリ性～中性

*熱 : 地表平均温度15°C、1,000m深さで65°C、地下増温率5°C/100m

【変動ケース7】

*地形 : 後背地の影響を受けない平野部の地形形状

地質・地質構造 : 堆積岩—処分場内に割れ目なし、処分場外に断層あり

結晶質岩—処分場内に1本/1mのオーダ、処分場外に断層あり

*水理 : 降水量1,000 ~3,000mm、涵養量500~2,000mm、動水勾配0、

透水係数 10^{-6} cm/s (岩盤)、 10^{-1} cm/s (地表)、 10^{-2} cm/s (断層)

水質 : $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ 型地下水、還元性、弱アルカリ性

熱 : 地表平均温度15°C、1,000m深さで45°C、地下増温率3°C/100m

1.1.3 地下施設のレイアウトが変動する場合の変動ケース

平成5年度の検討内容においては、地下施設レイアウト等を以下のように設定した。
今年度の検討においてはこれらの条件を比較のための基本ケースとする。

【基本ケース】

定置方式 : 処分坑道横置方式

アクセス方式 : 立坑

平面的拡がり : 約2,150m×2,500m

処分区画のレイアウト : 密に配置した8処分区画の単一平面配置

上記基本ケースに対して、考えうる地下施設レイアウトの変動状態を想定し、変動ケースを検討するものとする。そのような変動状態としては、

- ・処分孔縦置方式
- ・斜坑によるアクセス
- ・8処分区画のそれぞれが断層により境され、各処分区画間は断層を横切る連絡坑道により連結される単一平面配置
- ・4処分区画ずつの上下二層配置

「処分孔縦置方式」は、横置方式と並ぶ代表的な方式として変動ケースで取り扱うものである。

「斜坑によるアクセス」は、立坑と並ぶ代表的なアクセス方式として変動ケースで取り扱うものである。

「8 処分区画のそれぞれが断層により境され、各処分区画間は断層を横切る連絡坑道により連結される単一平面配置」は、基本ケースでは8 処分区画の展開領域では処分区画の配置に影響を与える断層はないものとして密に配置しているのに対し、スイスの Kristallin-1で考慮しているように、断層を避けて、そして断層に境されるように処分区画を配置することも考えられるために、そのようなレイアウトを考慮するものである。なお、処分区画間の距離は、その間に挟む断層から処分区画までの距離を Kristallin-1での条件設定と同じ200mを考慮するものとする事から各400mとなる。

「4 処分区画ずつの上下2層配置」は、基本ケースで考慮している単一平面配置以外の配置形態である多重配置を代表するものとして二層配置を考慮するものである。

以上の検討結果を元に、各変動ケースをとりまとめると以下の通りとなる。

【変動ケース8】

*定置方式：処分坑道縦置方式

アクセス方式：立坑

平面的拡がり：約2,150m×2,500m

処分区画のレイアウト：密に配置した8 処分区画の単一平面配置

(注：*印は変動のあった項目、以下同様)

【変動ケース9】

定置方式：処分坑道横置方式

*アクセス方式：斜坑

平面的拡がり：約2,150m×2,500m

処分区画のレイアウト：密に配置した8 処分区画の単一平面配置

【変動ケース10】

定置方式：処分坑道横置方式

アクセス方式：立坑

*平面的拡がり：約3,200m×2,800m

*処分区画のレイアウト：各処分区画間距離400mの8処分区画の単一平面配置

【変動ケース11】

定置方式：処分坑道横置方式

アクセス方式：立坑

*平面的拡がり：約1,050m×2,500m

*処分区画のレイアウト：密に配置した4処分区画ずつの上下2層配置

1.1.4 実証用廃棄体の概念が変動する場合の変動ケース

平成5年度の検討内容においては、各処分区画ごとにモニタリング用の廃棄体定置場所を設けた。今年度の検討においてはこの条件を比較のための基本ケースとし、その他の実証概念を考慮することとする。

【基本ケース】

各処分区画ごとに1廃棄体をモニタリング用に併置すること

上記基本ケースに対して、前年度文献調査で把握したスウェーデンの考え方（10%分を実証用に定置し、実証確認後その他の分を定置するという考え方）を一つの変動ケースとして考慮する。ただし、本検討においては、検討のし易さを考慮して1処分区画を全て実証用にまず供するという考え方を採用することとする。このような考え方を採用しても実体的にはスウェーデンの考え方と同じである。この場合、残りの廃棄体に対しては直接的なモニタリングは考えないことになる。もう一つの実証用廃棄体概念としては、モニタリング用の実証用廃棄体を設けない概念を考えることができる。これはオーバーパック・緩衝材からなる人工バリアシステムが1,000年以前には核種放出をもたらさないことを他の研究で明示できるという立場をとることにより、そしてまた、直接的なモニタリングは、それがむしろ好ましくない影響を与える可能性を排除できないことから、行わないという立場をとることにより考える概念である。したがって、廃棄体周囲のニアフィールドに対するモニタリングは考慮しないという考えである。

以上の検討結果を元に、各変動ケースをとりまとめると以下の通りとなる。

【変動ケース12】

1 処分区画を実証エリアとしてそこに定置される実廃棄体に対するモニタリングを実施する。ある一定期間後残余の廃棄体を残りの7処分区画に定置する。残余の7処分区画の廃棄体に対するモニタリングは実施しない。この場合、操業後監視段階は考慮する場合も考慮しない場合も考えられるが、実質的な考慮の意味合いは薄いと考えられることから、本検討では操業後監視段階は伴わないものとして考えることとする。

【変動ケース13】

廃棄体周囲のニアフィールドに対する直接的なモニタリングは実施しない。このケースの場合も、上記ケースと同様操業後監視段階は考慮する場合と考慮しない場合が考えられる。ニアフィールドモニタリングを行わない場合、操業後監視段階で収集するデータの全体的価値は下がるものの天然バリアについてのデータの収集を行うことは可能であることや技術面以外の理由での操業後監視段階の継続も考えうることから、本検討では本変動ケースにおいては操業後監視段階を設けるものとする。

以上、基本ケース及び各変動ケースの設定条件を比較してとりまとめたものを表1.1-1～3に示す。

表1.1—1 基本ケース及び各変動ケースの比較（処分事業の段階）

	建設及び操業段階	操業後監視段階	閉鎖段階	閉鎖後管理段階
基本ケース	操業期間45年	10年	5年	300年
ケース1	操業期間45年	0年	5年	0年
ケース2	操業期間45年	0年	5年	300年
ケース3	操業期間45年	10年	5年	0年
ケース4	操業期間45年	100年（注1）	5年	300年
ケース5～11	基本ケースに同じ。			
ケース12	実証期間10+ α 年 操業期間35年（注2）	0年（注3）	5年	300年
ケース13	基本ケースに同じ。			

注1：ケース4における操業後監視段階は、回収可能性を維持する期間として100年間を考慮する。これは米国の考えに倣うものである。

注2：ケース12は1区画のみを実証用区画として供するもので、第1処分区画の建設期間5年+定置期間5年に正味の実証期間 α 年を加えたものが実証期間10年に相当する。残りの7処分区画については、第2処分区画の建設が第1処分区画の実証期間中に行われるとして、定置期間5年×7が操業期間35年となる。

注3：第1処分区画で実証された後は、操業後速やかに閉鎖に移行するものとし、操業後監視段階を設けない。

表1.1-2 基本ケース及び各変動ケースの比較（地質環境条件）

	地形	地質	水理	水質	熱
基本ケース	後背地に山地を有する平野部に繋がる地形形状	堆積岩：処分場内に割れ目なし、処分場外に断層あり 結晶質岩：処分場内に1本/mのオーダー、処分場外に断層あり	降水量 1,000～3,000mm 涵養量 500～2,000mm 動水勾配 0.001～0.1 透水係数（岩盤） 10^{-8} cm/s （地表） 10^{-1} cm/s （断層） 10^{-2} cm/s	Na ⁺ - HCO ₃ ⁻ 型地下水 還元性 弱アルカリ性	地表平均温度15℃ 1,000m深さで45℃ 地下増温率 3℃/100m
ケース1～4	基本ケースに同じ。				
ケース5	後背地に山地を有する海岸あるいは中央部に山を有する孤島	（基本ケースに同じ）	（基本ケースに同じ）	Na ⁺ -(HCO ₃ ⁻ + Cl ⁻) 型地下水 還元性 弱アルカリ性～中性	（基本ケースに同じ）
ケース6	（基本ケースに同じ）	（基本ケースに同じ）	（基本ケースに同じ）	Na ⁺ -(HCO ₃ ⁻ + SO ₄ ²⁻) 型地下水 還元性 弱アルカリ性～中性	地表平均温度15℃ 1,000m深さで65℃ 地下増温率 5℃/100m
ケース7	後背地の影響を受けない平野部の地形形状	（基本ケースに同じ）	降水量 1,000～3,000mm 涵養量 500～2,000mm 動水勾配 0 透水係数（岩盤） 10^{-6} cm/s （地表） 10^{-1} cm/s （断層） 10^{-2} cm/s	（基本ケースに同じ）	（基本ケースに同じ）
ケース8～13	基本ケースに同じ。				

表1.1-3 基本ケース及び各変動ケースの比較（地下施設のレイアウト及び実証用廃棄体の概念）

	定置方式	アクセス方式	処分場規模	処分区画のレイアウト	実証用廃棄体の概念
基本ケース	処分坑道横置方式	立坑	約2,150m×2,500m	8 処分区画の単一平面配置	各処分区画ごとに1 廃棄体をモニタリング用に併置する。
ケース1～7	(基本ケースに同じ)	立坑	(基本ケースに同じ)	(基本ケースに同じ)	(基本ケースに同じ)
ケース8	処分坑道縦置方式	立坑	(基本ケースに同じ)	(基本ケースに同じ)	(基本ケースに同じ)
ケース9	(基本ケースに同じ)	斜坑	(基本ケースに同じ)	(基本ケースに同じ)	(基本ケースに同じ)
ケース10	(基本ケースに同じ)	立坑	約3,350m×2,800m	8 処分区画の単一平面配置 各処分区画間の距離400m	(基本ケースに同じ)
ケース11	(基本ケースに同じ)	立坑	約1,050m×2,500m	4 処分区画、上下2層配置	(基本ケースに同じ)
ケース12	(基本ケースに同じ)	立坑	(基本ケースに同じ)	(基本ケースに同じ)	1 処分区画全体を実証エリアとし、モニタリングを実施する。他の処分区画ではモニタリングを実施しない
ケース13	(基本ケースに同じ)	立坑	(基本ケースに同じ)	(基本ケースに同じ)	モニタリング用の実証用廃棄体を設けない。ニアフィールドに対する直接的なモニタリングは実施しない。

1.2 各目的毎のモニタリングの要件の整理

前年度は、地層処分の目的とその目的実現においてなすべきことを整理し、そこにおけるモニタリングの関わり方を検討した。その結果としてモニタリングの目的を整理するとともに、その整理したモニタリングの目的に対応させて、地層処分場の操業段階から閉鎖後段階までの4段階ごとにモニタリングの要件をまとめた。この整理は基本的に今年度扱う基本ケースについてのものであり、その検討内容が各変動ケースにおいてはどのように変わりうるのかについて以下に検討を行った。

1.2.1 地層処分のあり方の整理

前年度の検討においては、OECD/NEA(1984)が挙げている高レベル放射性廃棄物の地層処分が成立する理由を参考にして、地層処分の目的の実現のためにわが国としてなすべきことを以下のように整理した。

- ① 人間の継続した関与なしでも安全が確保できるシステムを確立し、その成立性を提示すること

このためには、天然バリア（地層）と人工バリア（廃棄体、オーバーパック、緩衝材）からなる多重バリアシステムの長期成立性を示すことが必要である。

- ② 人間の侵入や突発的な自然事象の発生、あるいは、地下水等の物質を媒介とした放射性核種の緩慢な移動によって引き起こされるかもしれない安全性の変化を、科学的な理解に基づいて長期的に予測すること

このために、将来の長期安全性に関わるシナリオ解析と影響解析の手法を確立し、一方、バリア性能及び地層の安定性に関するデータを取得して、それら安全性に係る将来予測を行うことが必要である。

- ③ 国内の地質環境を考慮した実現性を示すこと

このためには、国内の地質環境を調査・把握して、適切な天然バリア（地層）を選定することが必要である。

- ④ 既存技術や実現性の高い将来技術を用いて技術的实现性を示すこと

このためには、将来の安全性を担保する設計性能を満足する人工バリアシステムを既存技術あるいは実現しうる将来技術を用いて設計し、施工できることを示すことが必要である。

さらに、地層処分の実現に向けた環境の整備の観点、及び整備された環境との関係の観点から、地層処分の目的実現のためになすべきこととして以下の事項を加えた。

- ⑤ 基準（や規準、法律等）を整備すること
- ⑥ 予測評価の結果を基準と照らし合わせ、最終的に基準を満足する結果を得ること
- ⑦ 国家当局／社会構成員に関連情報を提供し、地層処分実施のための合意を得ること

上記各事項を、処分事業の段階、地質環境条件、地下施設のレイアウト、実証用廃棄体の概念という各変動項目によってどのような影響を受けるのかを個別に検討した結果、上記①～⑦の事項はこれらの変動項目による影響を受ける以前の基本的な内容であることが確認される。

1.2.2 モニタリングの目的の検討

本項では、前1.2.1項で整理した地層処分の目的実現においてなすべきこととの関連でモニタリングの関わりを検討し、目的を整理する。

(1) 地層処分におけるモニタリングの関わり方の検討

前項で整理した地層処分の目的実現においてなすべきこととして整理した各事項に対するモニタリングの関わりを整理すると以下のようにまとめられるが、さらに各々に対し各変動ケースの観点での検討を行った。

① 安全性の長期予測に資すること

そのあり方としては、モニタリングにより必要なデータを取得すること、予測手法の開発・改良に有効な予測対象物（天然バリア及び人工バリア）に関する知見を取得することが挙げられる。この場合、原位置において処分システムが成立している状態での知見が基本的に重要である。取得したデータの利用の仕方として、予測手法の開発・改良に用いることと確立された予測手法に入力する情報の基礎的情報として用いることの二つに分けられると表現することもできる。

各変動ケースの変動内容を考慮しても、本関わりが地層処分の基本に関わる表現であるため、基本的に本関わり方に対する実質的な意味合いの変化はないと言

える。

「安全性の長期予測に資すること」に対する関わり方

基本ケース及び 変動ケース1～13	基本ケース及び各変動ケースとも実質的な意味合いの 変化はない。
----------------------	------------------------------------

② 地質環境の長期的バリア性能の把握に資すること

地質環境の情報の多くはサイト選定及びサイト特性調査の段階で把握されることが基本であるが、それに充てられる期間は30～40年程度の期間であろう。この期間の長さの把握で充分であれば、それはサイト特性調査で対応可能であるが、ある項目についてはより長期の観測が好ましい場合もある。あるいは、処分場の建設以後に生じる周辺地層の変化を把握しておく必要がある事項もある。建設段階以後においては、モニタリングによってそれら事項の長期的変化を把握することとなる。

各変動ケースの変動内容のうち、処分事業の段階に係る変動ケース1～4が本項目には関係がある。ただし、操業期間45年とした建設及び操業段階は不変なので、特に操業後監視段階（10年間）が欠如する変動ケース1・2とその段階の長さが100年に変化する変動ケース4が関係すると言える。サイト選定及びサイト特性調査段階の30～40年をも考慮すると、10年間の操業後監視段階は最大75～85年間に対しては大きな影響を与える時間的長さではないと考えられる。一方、操業後監視段階として100年間を考慮する場合には、その100年間のプラスは75～85年間のみに較べて十分有意な長さであると言える。特に廃棄体の発熱によるニアフィールドの温度変化の特にピークを確認する意味では十分な長さである。

「地質環境の長期的バリア性能に資すること」に対する関わり方

基本ケース及び変動 ケース3, 5～13	: これらの変動ケースは基本ケースと変わらない。
変動ケース1, 2	: 10年間の欠如は基本ケースに対し大きな影響を与える ものではない。
変動ケース4	: 100年間の操業後監視段階の考慮はニアフィールドの 温度変化の確認においては有意な長さであり、この点 で基本ケースと意味合いが異なる。

③ 技術的実現性の確立に資すること

技術的実現性を示すことの一環として、原位置に施工した人工バリアシステムが設計性能を満たしていることを提示することが挙げられる。その手段としてモニタリングが考えられる。モニタリングが、そのシステムが技術的に実現していることの確証手段となりうることを保証する必要がある。そのためには、要求される情報を取得できる信頼性あるモニタリング技術であることが必要である。

さらに、天然バリアに対しても技術的実現性は議論されるべきであると考えられる。天然バリアは人工バリアと異なり、サイトと深度を選定した時点で天然バリア特性は定まるものであるから、この場合の技術的実現性とは、その与えられる天然バリア特性が設計で考慮した当初の性能と同等かそれ以上の性能を有していることを確認することと言えるであろう。

各変動ケースの変動内容のうち、実証用廃棄体の概念に係る変動ケース12・13が本項目に関係すると言える。変動ケース12は1処分区画全体を一定期間モニタリングに供するものであるが、5,000本/処分区画という数量の廃棄体全体に対し1本ずつモニタリングを行うのは現実的ではないだろう。現実性を考慮するならば、5,000本のうち、主要坑道に連なる各処分坑道の両端に位置する合計60本の廃棄体に対するモニタリングの実施が現実的である。ただし、これも考える最大の数値に近いものであろう。なお、埋設後の初期の変動状態を測定することとなるため、測定データは変動幅を有するものとなるだろうが、それが予測解析の結果と異なろうとも一概に予測が誤りであったことを示すことにはならない。設計性能を満たすということはいかなることなのかを個別に検討する必要がある。

一方、変動ケース13は廃棄体周囲のニアフィールドに対する直接的なモニタリングは行わないケースであるが、このような直接的なモニタリングが技術的実現性の確立において必要な行為なのかどうかの検討がなされるべきである。この観点では先に述べた技術的実現性のうち、天然バリア性能の確認はこの変動ケース13においても必ず行われるであろうことから、この変動ケースにおいても関連するモニタリングは技術的実現性の確立に資すると言えるであろう。

「技術的実現性の確立に資すること」に対する関わり方

基本ケース及び変動 ケース1～11	: これらの変動ケースは基本ケースと変わらない。
変動ケース12	: モニタリングの対象となる廃棄体数量が増えるため、むしろデータ数量の増大が技術実現性の確立のための方法論に与える影響に注視する必要がある。
変動ケース13	: 天然バリアに対しては依然としてモニタリング対象であることから、基本的には同様の関わり方であると言える。

④ 法整備に資すること

法的な整備に必要な情報がモニタリングによって取得されることも考えられる。この場合、時期・段階を考慮すれば、閉鎖あるいは閉鎖後管理に係るものとなる。

各変動ケースの変動内容のうち、処分事業の段階に変動のある変動ケース1～4が本項目に関係すると言える。操業後監視段階の10年間を考慮しない変動ケース1・2は、操業期間の45年間のみで閉鎖段階に移行する状況を考えるものである。この場合、最終の埋設に近い廃棄体については実質的に法整備に資するデータを提供しえない。すなわち、より初期の段階で埋設した廃棄体周辺のデータのみが用いられることとなろう。この場合には一部のデータ、換言すれば長期にわたる操業のうちの後期を除外した期間におけるデータを用いることの代表性が十分議論されるべきであろう。

一方、操業後監視段階として100年間を考慮する変動ケース4の場合には、全ての廃棄体に対して（それらがモニタリング対象である限り）、閉鎖のための法整備という観点からはある十分なレベルでのデータの取得が図れる期間であると言える。特に、前述のように、廃棄体の発熱によるニアフィールドの温度変化の特にピークを確認する意味では十分な長さである。

閉鎖後管理段階を考慮しない変動ケース3は、法整備に資するという観点からは、基本ケースと同じ扱いとなる。

「法整備に資すること」に対する関わり方

基本ケース及び変動 ケース 3, 5～13	: これらの変動ケースは基本ケースと変わらない。
変動ケース 1, 2	: 操業後監視段階としての10年間の欠如は、定置した廃棄体のうち一部のデータの使用を実質的に不可能にする。処分場全体に対する情報を使用できないことの影響が評価されるべきである。
変動ケース 4	: 100年間に渡る操業後監視段階の考慮は、法整備に資する観点からは十分な長さである。特に、ニアフィールドの熱的側面を反映させる場合には十分な長さであると言える。

⑤ 国家当局／社会構成員の地層処分実施に対する合意の取得に資すること

この場合、様々なレベル、内容のモニタリングを関連させることが考えられるであろう。各段階において、“事業”が安全に執り行われていることの公報に用いる情報の基礎となるデータの取得にモニタリングが用いられることとなる。

本事項に関しては、各々の変動ケースは大なり小なり関わりがあると言える。まず、処分事業の段階に変動がある変動ケース1～4については、操業後監視段階を10年間設けるのかどうか、あるいはその段階を100年とするのかどうかは合意の取得にある程度の影響があろう。ただし、操業後の段階の問題であるため、十分な長さの操業期間中に最終的な判断をするという方法論もとれると考えられることから、重大な関わりを有するものとは考えられない。

地質環境条件に変動がある変動ケース5～7については、特に立地点の相違や熱的、水理的環境の相違は合意の取得に影響があると言える。どのケースにおいても、環境条件の相違が評価上どのような相違をもたらすのかを明確にする必要がある。これらは適切な条件設定のもとに行われるであろう安全評価結果の影響を受けると言える。

地下施設のレイアウトに変動がある変動ケース8～11については、縦置き・横置きの相違を除けば、その施設形態そのものの相違よりは、その相違がどのような地質環境条件の相違を受けてのものなのかが、合意の取得において影響があると言えるだろう。それは結局天然バリアをどのように評価するのかに帰結するものと言える。

実証用廃棄体の概念に変動がある変動ケース12・13については、実証という問題をどのように捉えるのかの考え方の相違が合意の取得に影響を与えられ

る。ケース12は1処分区画全体を実証に資するものであるが、その実体的な方法論の中身が問題となろう。ケース13はニアフィールド周辺に対してモニタリングしないことの十分な意味ある説明ができるかどうかにかかっていると見える。

「国家当局／社会構成員の地層処分実施に対する合意の取得に資すること」
に対する関わり方

変動ケース1～4	：操業段階において最終的な判断を下すことも可能であることから、操業後監視段階と閉鎖後管理段階の有無は重大な関わりを有するものとは考えられない。
変動ケース5～7	：環境条件の相違が評価上どのような相違をもたらすかの明示内容の結果に影響される。
変動ケース8～11	：施設レイアウトの相違は主として地質環境条件の相違の影響を受けるものと思われ、その内容が本項目に対する関わり方に影響を与えるものと思われる。
変動ケース12・13	：1処分区画を実証用に供する場合にはその“実証”の方法論の中身が問題となる。ニアフィールドに対して直接的なモニタリングを行わない場合には、それを行わなくても安全の確保に問題がないことの十分な説明が必要である。

上記各事項は特に地層処分場であることを意識した場合のものであり、通常の子力施設の一つとして見れば、次の関連性が述べられる必要がある

⑥ 地層処分場の操業、閉鎖の円滑な実施に資すること

この場合の視点としては、技術面での円滑な進行と非技術面、例えば作業面での円滑な進行に資することが必要となる。

各変動ケースの変動内容のうち、処分事業の段階に関わる変動ケースについては操業後監視段階の欠如やその期間が100年に渡ることなどはそれらが閉鎖の前段階に位置するものであるため関連性が予想されるが、技術的な観点での実体的な変化はあまり想定しえないと言える。

地質環境条件に関わる変動ケースについては、温度条件が高い変動ケース6が操業、閉鎖の実施に対しては実質的な影響を与えられる。ただし、温度は恒常的なものであるため、実体的には作業員にとって好ましい作業環境の維持（冷却により作業環境の温度を好ましい温度レベルまで下げる）が図られていることを確認する手段としてのモニタリングの機能保全が重要となるであろう。

地下施設のレイアウトに関わる変動ケースについては、特に変動ケース11について作業管理、閉鎖作業管理のためのモニタリングの重要性は基本ケースに較べて高まるであろうが、その実体的な意味合いはあまり大きくはないと思われる。

実証用廃棄体の概念に関わる変動ケースについては、ニアフィールドへの直接的なモニタリングを実施しない変動ケース13においては、地層処分場の作業はより円滑に進めることが可能であろう。

「地層処分場の作業、閉鎖の円滑な実施に資すること」に対する関わり方

基本ケース及び変動 ケース1～5, 7 ～12	: これらの変動ケースは基本ケースと実体的に変わらない。
変動ケース6	: 高いバックグラウンド温度に対して、冷却による作業環境の維持が図られていることを確認する手段としてのモニタリングの機能保全が重要である。
変動ケース13	: ニアフィールドへの直接的なモニタリングを実施しない場合には、地層処分場の作業に対してはより円滑な実施を可能にするとと言える。

(2) モニタリングの目的

前年度検討したように、中・低レベル放射性廃棄物処分に係るモニタリングの目的は、地層処分に対しては直接的には有用ではない。以下においては、まず前(1)の検討に基づき高レベル放射性廃棄物の地層処分に係るモニタリングの目的を“処分事業”の段階を考慮して整理することとする。

表1.2-1に基本ケースと変動13ケースの処分段階に関わる整理の結果を示した。

表1.2-1 基本ケース及び変動ケースの処分事業に係る処分段階の組合せ

ケース	建設及び操業段階	⇒操業後監視段階	⇒閉鎖段階	⇒閉鎖後管理段階
(基本ケース)	(操業期間45年) ———— 処分区画ごとに順次 建設・定置・埋戻し を実施する。	(10年) ———— 許認可取得のため 閉鎖前の一定期間 監視を行う。	(5年) ———— 許認可取得後 閉鎖する。	(300年) ———— 閉鎖後一定期間 管理を行う。
(変動ケース)				
変動ケース1	(操業期間45年) ————	(0年) ———— 本段階を設けない。	(5年) ————	(0年) ———— 本段階を設けない。
変動ケース2	(操業期間45年) ————	(0年) ————	(5年) ————	(300年) ————
変動ケース3	(操業期間45年) ————	(10年) ————	(5年) ————	(0年) ————
変動ケース4	(操業期間45年) ————	(100年) ————	(5年) ————	(300年) ————
変動ケース 5～11・13	(操業期間45年) ————	(10年) ————	(5年) ————	(300年) ————
変動ケース12	(実証期間10+ α 年) ———— + (操業期間35年)* 1 処分区画で定置後 モニタリングを行い、 一定期間経過後残余 の定置を行う。	(0年) ————	(5年) ————	(300年) ————

*：第1処分区画の建設期間5年、定置期間5年の和が実証期間10年に相当、第2処分区画の建設期間は第1処分区画の実証期間(10+ α 年)に行うものとし、したがって残りの7処分区画の定置期間の和が35年となる。

地層処分の“事業”自体が、サイト選定・サイト特性調査、建設、操業、閉鎖と大きく分けられ、さらに、処分区画ごとにその建設、廃棄体・緩衝材の定置、処分坑道の閉鎖が行われるという操業形態を考慮すると、基本ケース及び変動各ケースにおける時間の進展に伴う段階の変化と対応するモニタリングのあり方は概略として図1.2-1～7のように整理できる。

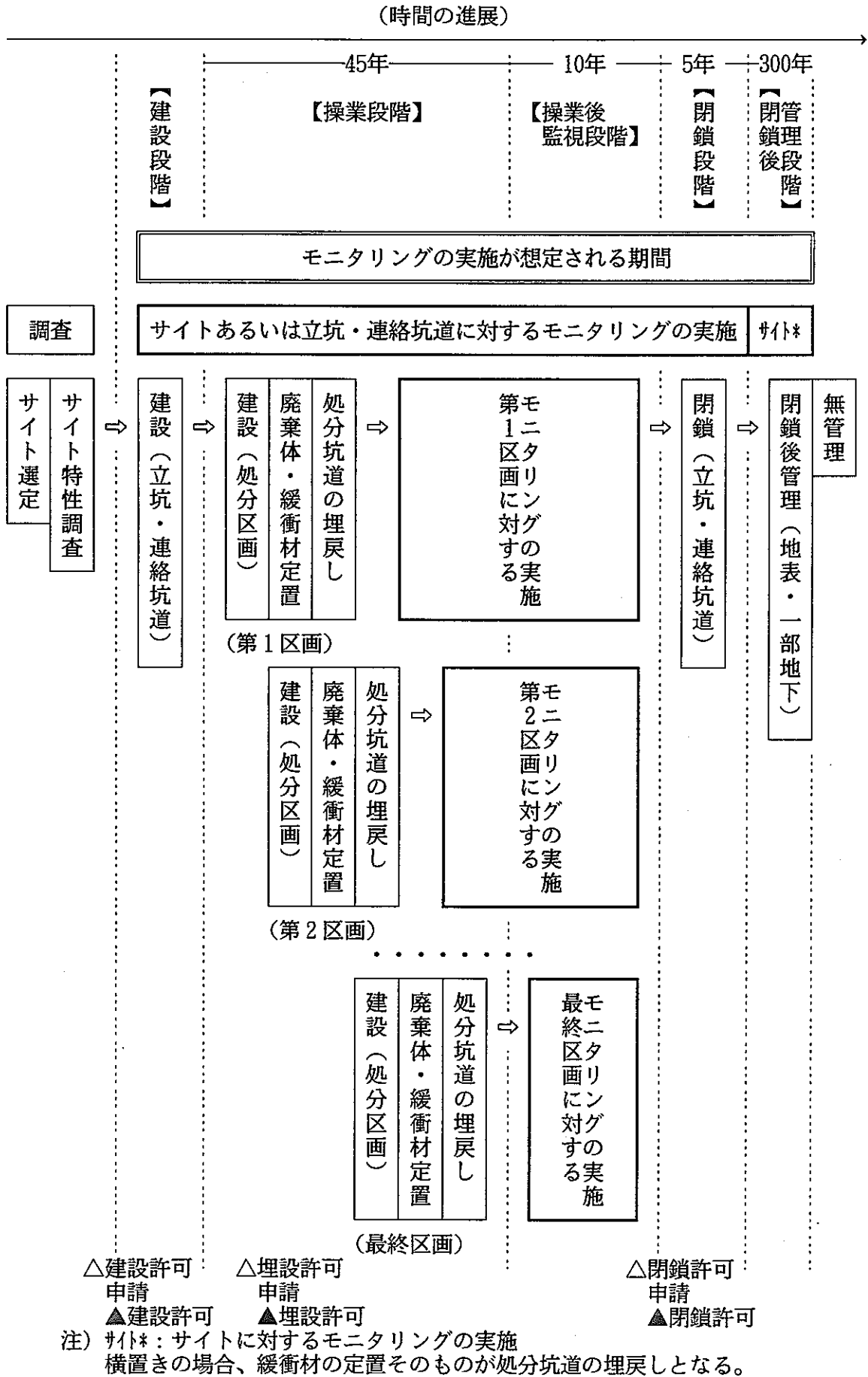


図1.2-1 地層処分場の事業形態の進展を考慮した基本ケース及び変動ケース5~11におけるモニタリングの関わり方

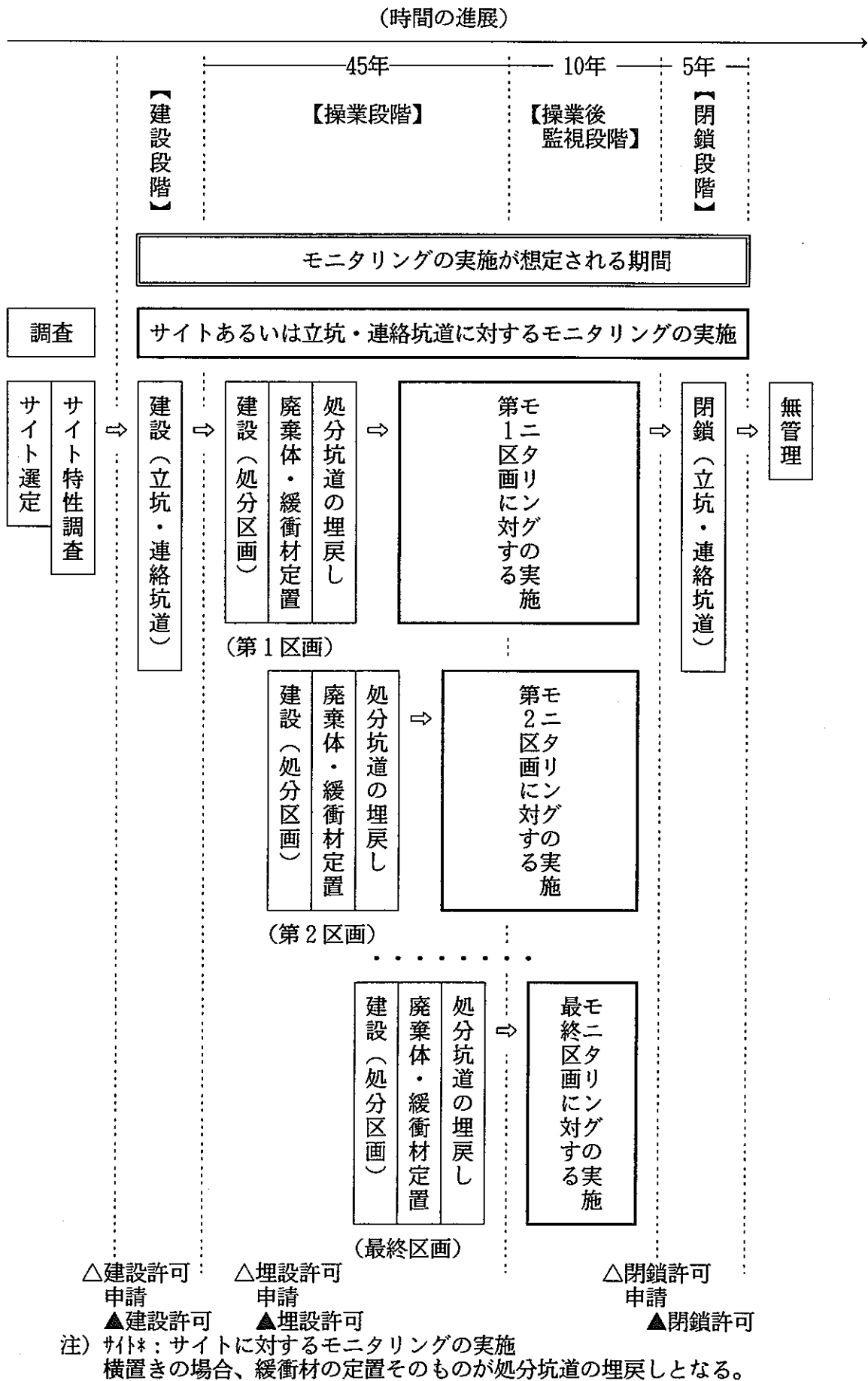


図 1.2 - 4 地層処分場の事業形態の進展を考慮した変動ケース 3 におけるモニタリングの関わり方

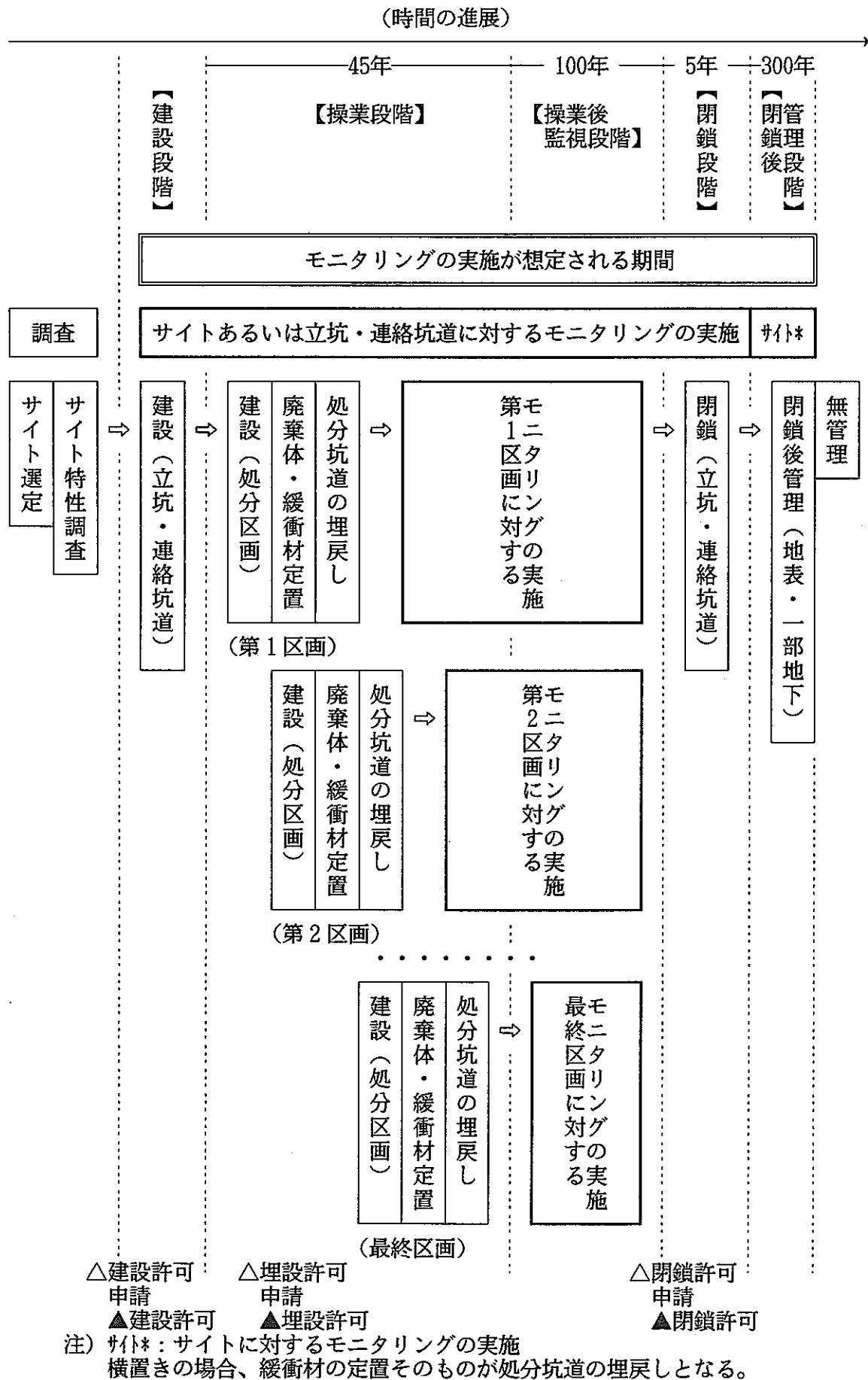


図1.2-5 地層処分場の事業形態の進展を考慮した変動ケース4におけるモニタリングの関わり方

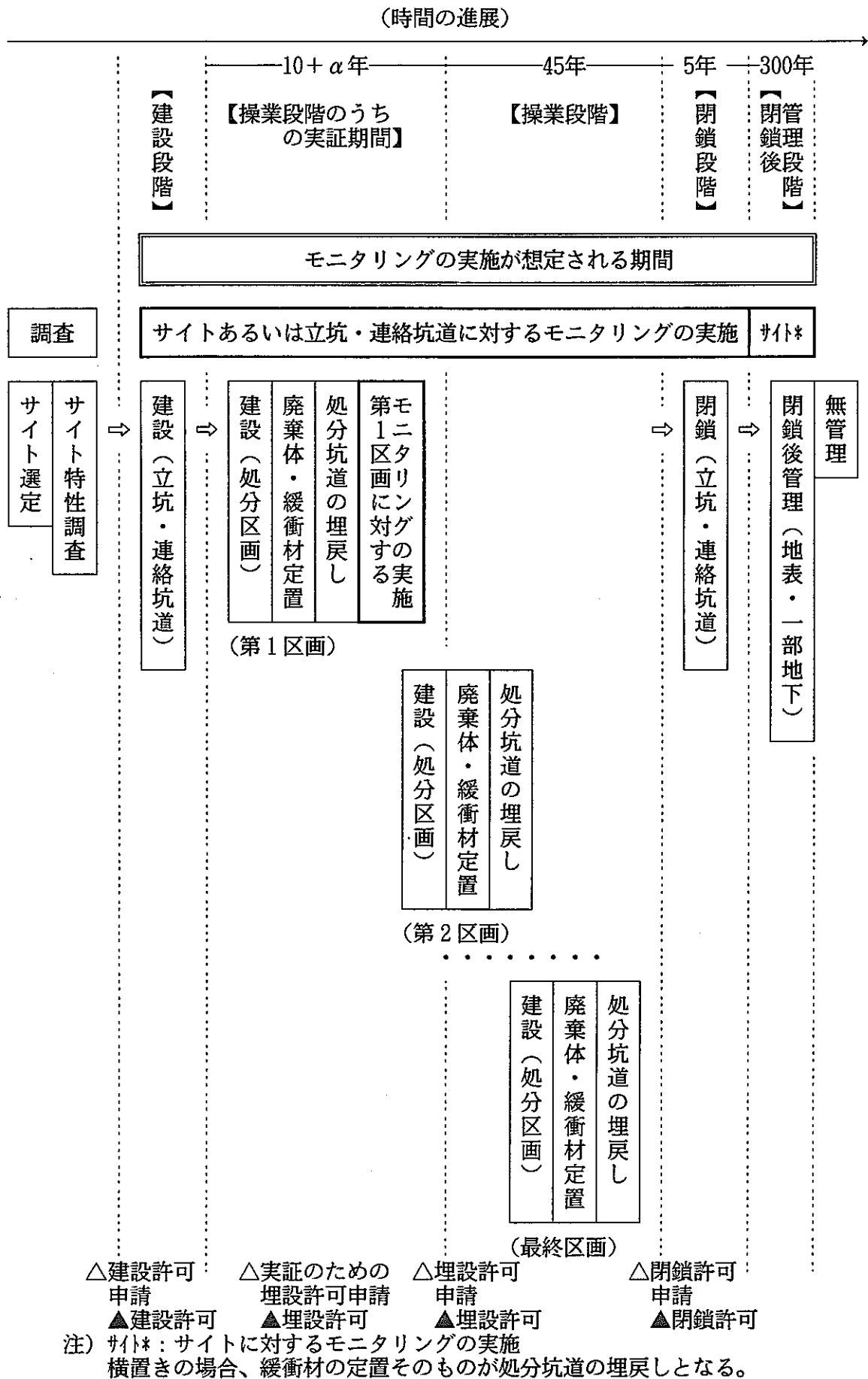


図1.2-6 地層処分場の事業形態の進展を考慮した変動ケース12におけるモニタリングの関わり方

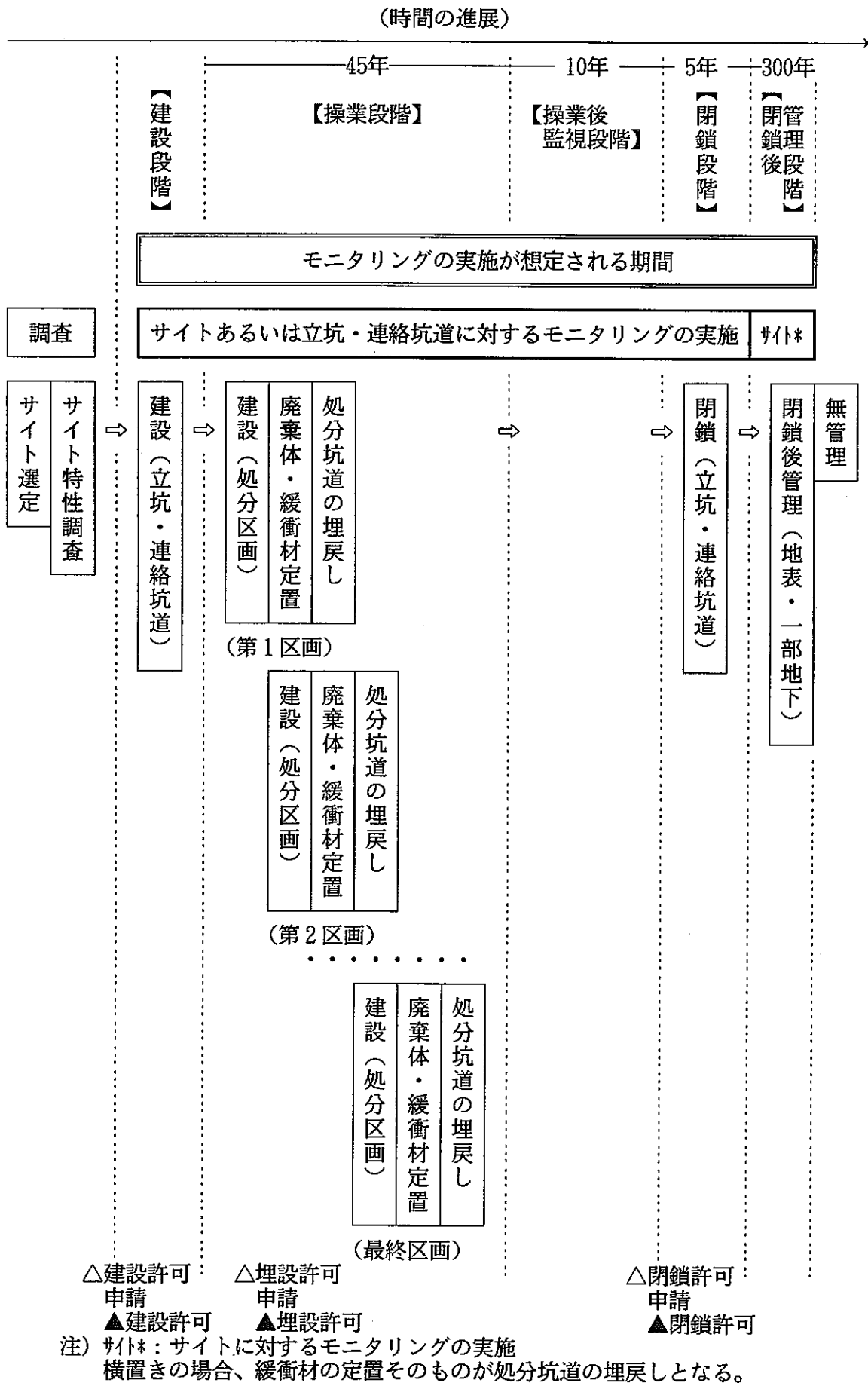


図1.2-7 地層処分場の事業形態の進展を考慮した変動ケース13におけるモニタリングの関わり方

ここで、図1.2-1～7で示した各段階の模式的な定義は以下の通りである。なお、建設段階は本調査研究の対象からは除外されている。

① 操業段階

立坑と連絡坑道の建設が終了した後で、廃棄体埋設用の最初の区画の建設が開始されてから最終の区画における埋戻しが終了するまでの段階をいう。この段階においては、各区画ごとの坑道掘削、廃棄体・緩衝材の定置、坑道の埋戻しという一連の作業が含まれるものとする。また、処分区画に対するモニタリングを行うケースの場合には、最初の区画から最終前の区画での坑道の埋戻し後の各区画ごとに実施されるモニタリングは、最終区画でのモニタリングが開始されるまではこの段階に含まれる。処分区画に対するモニタリングを実施しない場合には最初の区画の建設から最終区画の処分坑道の埋戻しまでの一連の作業のみが含まれることになる。また、最初の区画に対する実証期間を設ける変動ケース12の場合には、第2処分区画から最終処分区画についての建設～処分坑道の埋戻しの一連の作業を含むが、第2処分区画の建設のみは、実証用の最初の処分区画の実証期間に掘削作業を済ませておくものとして含めていない。なお、サイトと立坑・連絡坑道を対象としたモニタリングは継続されている。

② 操業段階のうちの实証期間

立坑と連絡坑道の建設が終了した後で、廃棄体埋設用でかつ実証用に供される最初の区画の建設、廃棄体・緩衝材定置、処分坑道の埋戻しの一連の作業とそれら区画あるいは同区画内の廃棄体全体に対する実証のためのモニタリングが継続される期間を言う。建設から埋戻しまでの一連の作業に10年かかることから、それに実証期間を加えた $10 + \alpha$ 年が本期間の長さとなる。

③ 操業後監視段階

最終区画での坑道の埋戻しが終了してから、主要坑道・立坑の閉鎖が開始されるまでの段階をいう。この段階においては、処分区画に対するモニタリングを行うケースの場合には、全ての区画を対象としたモニタリングが継続されており、モニタリングの継続のため立坑・及び連絡坑道のアクセスは維持されることとなる。処分区画に対するモニタリングを実施しない場合（変動ケース12・13）のうち、1処分区画に対する実証期間を設ける変動ケース12の場合には本段階は不要となるが、単にニアフィールドに対するモニタリングを実施しない返答ケース13

の場合には、そのモニタリング以外のモニタリングの実施の可能性を考慮して本段階を考慮する。なお、サイトと立坑・連絡坑道を対象としたモニタリングは継続されている。

④ 閉鎖段階

立坑及び連絡坑道の埋戻しを実施している段階をいう。各区画を対象としたモニタリングは前段階の終了時、すなわち閉鎖許可を受けた段階で終了しているものとする。また、サイトを対象としたモニタリングについては一部が継続しており、立坑・連絡坑道を対象としたモニタリングは埋戻しの進展に応じて終了するものとする。

⑤ 閉鎖後管理段階

立坑及び連絡坑道の埋戻しが終了した後で、地表での管理が行われている段階をいう。この段階の初期においては、閉鎖段階において必要であった地上施設のデコミッションが行われ（容器封入施設等の操業段階においてのみ必要な地上施設は操業段階終了後速やかにデコミッションされるものとする。）、最低限必要な施設のみが維持されてモニタリングや監視等の管理が行われるものとする。なお、閉鎖後管理段階を考慮しないケース（変動ケース1・3）の場合には立坑の閉鎖と地上施設のデコミッション終了後は無管理の状態に移行する。

閉鎖後管理段階の後に無管理の段階を設けることも可能ではあるが、モニタリングの実施を考慮しないため本研究においては考慮しないものとする。

このような“処分事業”の各段階に対するモニタリングの関わりを考慮しつつ、モニタリングの目的を整理すると以下のようにまとめられる。

まず段階を考慮しない場合の目的は以下の通りである。

- ① 作業の安全に資するため（作業者の安全確保）
- ② 施設の長期安全評価に資するため（安全評価計算の入力データの取得、許認可用データの取得）
- ③ 操業、閉鎖行為の円滑な進展に資するため（法規制／設計要件との適合の確認）
- ④ 閉鎖及び閉鎖後管理に係る法的整備に資するため（法律の制定に資するデータ

の取得)

⑤ 環境安全に資するため（サイト外周辺における放射線による公衆の線量当量評価に資するデータの取得）

⑥ 社会的受容に資するため（公衆に対する広報資料のためのデータの取得）

これらの目的が、基本ケースの場合も各変動ケースの場合も基本的に共通のものであることは明らかである。

次に、図1.2-1～7に示すように、段階との対応で整備すると表1.2-2の通りとなる。

表1.2-2 モニタリングの目的項目別の段階との対応

目的項目 \ 段階	【操業段階】	実証期間を設ける【操業段階】の場合		【操業後監視段階】	【閉鎖段階】	【閉鎖後管理段階】
		実証期間	操業期間			
作業安全						
施設の長期安全					---	---
操業・閉鎖の円滑な進展		---				
法的整備				---		
環境安全						
社会的受容						

注) —— : 確実な対応が考えられる。 - - : 対応の可能性が考えられる。

それぞれの目的項目の段階に対応した補足説明を以下に示す。なお、各説明ともそれぞれの段階を有するケースについて述べるものとする。操業後監視段階のない変動ケース1・2・12と閉鎖後管理段階のない変動ケース1・3については該当箇所の目的は有しないことになる。

① 作業安全の目的に対して

(操業段階)

立坑・連絡坑道における保守点検作業、資材運搬作業、処分区画における掘削作業、廃棄体・緩衝材定置作業、埋戻し作業、保守作業、資材運搬作業に係る安全の確保に必要な情報の収集、及び異常時における救急対策に必要な情報の収集
変動ケース12の場合には、実証のためのモニタリングの実施に係る作業の安全

確保に必要な情報の収集

(操業後監視段階)

立坑・連絡坑道の保守点検作業、モニタリングの実施に係る作業上の安全の確保に必要な情報の収集、及び異常時における救急対策に必要な情報の収集

100年に及ぶ監視期間を有する変動ケース4の場合、モニタリング機器の劣化による更新が考えられるが、それによって上記情報の収集に影響がないようにする必要はある。

(閉鎖段階)

立坑・連絡坑道の埋戻し・密封作業、及び非密封区間の保守点検作業、モニタリングの実施に係る作業上の安全の確保に必要な情報の収集

② 施設の長期安全評価の目的に対して

(操業段階)

立坑・連絡坑道周辺における人工構築物・天然バリアの性能評価パラメータ関連データの収集、処分区画の建設後のニアフィールド（人工バリア・天然バリア）の性能評価パラメータ関連データの収集、及びサイトおよびサイト外周辺における地表での性能評価パラメータ関連データの収集

操業期間の最初に実証期間を設ける変動ケース12の場合、その実証期間においては最初の処分区画（の廃棄体）に対するニアフィールドデータの取得、ニアフィールドに対するモニタリングが第一義的に重要となる。

(操業後監視段階)

上記操業段階に基本的に同じ。閉鎖許可申請に必要と判断されるまで、あるいは法規制上の必要年限が経過するまでデータの収集が行われる。

100年に及ぶ監視期間を有する変動ケース4の場合、モニタリング機器の劣化による更新が考えられるが、それによって上記情報の収集に影響がないようにする必要はある。

(閉鎖段階)

施設の長期安全性は閉鎖許可申請に対する閉鎖許可で確認されるものとするのが妥当である。したがって、この段階においては、閉鎖許可内容に適合するよう埋戻し・密封プロセスが採用される必要があるが、個々の箇所が埋戻し・密封されるまでは立坑・連絡坑道周辺における人工構築物・天然バリアの性能評価関連

データの収集、及びサイトおよびサイト外周辺における地表での性能評価パラメータ関連データの収集が行われる。

(閉鎖後管理段階)

サイトおよびサイト外周辺における地表での性能評価パラメータ関連データの収集

③ 操業・閉鎖の円滑な進展の目的に対して

(操業段階)

処分区画の建設、立坑・連絡坑道・処分区画での資材搬出入、廃棄体・緩衝材の定置作業、埋戻し作業等の進捗管理のための情報の管理・収集

操業期間の最初に実証期間を設ける変動ケース12の場合、最初の（すなわち実証のための）処分区画における廃棄体の定置等よりは埋戻し後の実証のためのモニタリングに重点が置かれるため、本目的に対する関わりは相対的に薄いものとなる。

(閉鎖段階)

立坑・連絡坑道での埋戻し・密封作業の進捗管理のための情報の管理・収集

④ 法的整備の目的に対して

(操業段階)

閉鎖に係る法的整備が操業段階においても継続してなされていることも考えられる。この場合、実際の操業から得られる情報が法整備に用いられることも考えられる。この場合のデータとしては②の目的で得られるものに基本的に同等と考えるのが妥当である。

操業期間の最初に実証期間を設ける変動ケース12の場合、実証期間中に得られるニアフィールドデータは十分法的整備にも用いられると考えるのが妥当であろう。

(操業後監視段階)

ある事業行為に対する法的整備は、その事業の開始が予想される時期よりもある程度前の時期までになされんとするのが妥当である。したがって、この段階における法的整備は閉鎖後管理に係る整備ととらえるが、この段階に固有の関係を有しているものではない。また、必ずしも必然性があるものでもない。この場合のデータとしては地表におけるサイトデータと坑内の関連データが収集対象とな

りうる。

100年に及ぶ監視期間を有する変動ケース4の場合、モニタリング機器の劣化による更新が考えられるが、それによって上記情報の収集に影響がないようにする必要はある。

⑤ 環境安全の目的に対して

(操業段階～閉鎖後段階)

立坑・連絡坑道・処分区画は地下施設を構成している。したがって、地表での敷地内外における環境放射線・環境試料中の放射能データが収集対象となる。

基本ケース及び全ての変動ケースにおいて同等に言いうるものである。

⑥ 社会的受容の目的に対して

(操業段階～閉鎖後段階)

地下施設内で取得する性能評価パラメータ関連データ、作業安全関連データ、地表での環境安全関連データ、地表での地層の安定性関連データを含む性能評価パラメータ関連データが収集の対象となる。各段階での特徴に応じて、取得するデータの範囲は異なる。

操業期間の最初に実証期間を設ける変動ケース12の場合、その実証期間中に得られる実証用処分区画でのニアフィールドデータは大いに社会的受容のために利用されることとなろう。

1.2.3 モニタリングの要件の整理

前項でのモニタリングの目的の検討を受けて、段階を考慮したモニタリングの要件について、基本ケース及び各変動ケースの特徴を考慮して検討し、整理する。

モニタリングの要件とは、モニタリングの各目的が果たされるために必要な条件のことである。以下に前述の各目的に対応させた要件の検討結果を示す。

① 作業安全の目的に係る要件

(操業段階)

坑内の保守点検作業、資材運搬作業、掘削作業、定置作業、埋戻し作業、モニタリングのための坑内業務における作業安全に必要な項目がモニタリングの対象でなければならない。また、異常時においては、救急対策が速やかに採られるモニタリングシステムでなければならない。

変動ケース12においては、実証のためのモニタリングプログラムが安全に遂行できるよう必要な作業安全に係る項目が組み込まれていなければならない。また、そのプログラムにおいて異常を検知した場合には、その対策行動が安全に執り行われるシステムでなければならない。

(操業後監視段階)

保守点検作業、モニタリングのための坑内業務における作業安全に必要な項目がモニタリングの対象でなければならない。また、異常時においては、救急対策が速やかに、かつ安全に採られるモニタリングシステムでなければならない。

変動ケース4においては、100年にわたる本段階の継続期間において、正常な作動が確認されるモニタリングシステムでなければならない。

(閉鎖段階)

埋戻し・密封作業、保守点検作業、モニタリングのための坑内業務における作業安全に必要な項目がモニタリングの対象でなければならない。また、異常時には、救急対策が速やかに、かつ安全に採られるモニタリングシステムでなければならない。

② 施設の長期安全評価の目的に対して

(操業段階)

国による許認可への対応を目的とした、あるいは事業者自らの安全確認を目的と

した、施設及びサイトの長期安全評価（性能評価）のための入力パラメータに必要な情報を提供するモニタリングでなければならない。さらに、データの信頼性が評価可能であり、時間的、空間的な変動が充分把握できるモニタリングシステムでなければならない。また、当該段階を通じて、必要なデータの収集が継続されなければならない。モニタリングの行為自体の及ぼす影響を適切に評価できなければならない。

変動ケース12においては、実証期間中における実証のためのモニタリングプログラムは“実証”に必要な情報を提供しうる項目と内容でなければならない。

（操業後監視段階）

上記段階に同じ。

なお、変動ケース4においては、100年にわたる本段階の継続期間において、正常な作動が確認されるモニタリングシステムでなければならない。

（閉鎖段階）

閉鎖許可に必要な安全評価上の前提条件を埋戻し・密封行為が損なうことがないよう確認できるシステムでなければならない。また、サイトの安定性に係る評価パラメータに関する情報を継続して提供するものでなければならない。

（閉鎖後管理段階）

サイトの安定性に係る評価パラメータに関する情報を継続して提供するものでなければならない。

③ 操業・閉鎖の円滑な進展の目的に対して

（操業段階）

建設、資材搬出入、定置作業、埋戻し作業を円滑に進展させるために必要な情報が質的、及び時間的に適切に把握されるシステムでなければならない。

変動ケース12においては、実証期間中に行われる第2処分区画の建設は第1処分区画での実証に対して影響を与えるものであってはならない。

（閉鎖段階）

埋戻し・密封作業を円滑に進展させるために必要な情報が質的、及び時間的に適切に把握されるシステムでなければならない。

④ 法的整備の目的に対して

(操業段階)

閉鎖に係る法的整備に必要な項目に関するデータを取得するシステムであり、取得データに必要な精度と信頼性が得られるシステムでなければならない。

変動ケース12においては、実証期間中のモニタリングシステムは想定される必要な法的整備に資するデータを取得するシステムであり、必要な精度と信頼性が伴うものでなければならない。

(操業後監視段階)

閉鎖後管理に係る法的整備に必要な項目に関するデータを取得するシステムであり、取得データに必要な精度と信頼性が得られるシステムでなければならない。

⑤ 環境安全の目的に対して

(操業段階～閉鎖後管理段階)

国・地方自治体が定める環境安全の基準、地方自治体と事業主体が結ぶ環境安全に関する協定、IAEA・ICRP等が示す国際的ガイドラインに定める事項に適合するものでなければならない。

変動ケース4においては、100年にわたる本段階の継続期間において、正常な作動が確認されるモニタリングシステムでなければならない。

⑥ 社会的受容の目的に対して

(操業段階～閉鎖後管理段階)

一般公衆、規制当局者、オピニオン集団の信頼を損なうデータの取得方法、解析方法、公表方法であってはならない。社会と共存する事業主体であることの提示に資するシステムでなければならない。

変動ケース12においては、実証期間中に適用されるデータ取得システム及びデータ解析システムと関連する情報の公開システムは社会の信頼性を得るものでなければならない。

1.3 わが国におけるモニタリングのあり方の検討

わが国において想定される将来の処分場概念を、動燃事業団の平成3年度技術報告書を考慮して、基本ケース及び変動13ケースについて整理した。さらに、その結果と前1.1節及び1.2節の結果を踏まえて、処分場の操業から閉鎖後までの各段階におけるわが国の将来の処分場におけるモニタリングのあり方を、その必要性、対象物と目的、実施項目と実施方法、データ取得技術の要件、現状の技術レベル及び将来の実現可能性、データの利用方法の各項目を対象にして検討した。

1.3.1 処分場概念の整理

わが国において想定される将来の処分場概念を、動燃事業団の平成3年度技術報告書（以下H3レポートという。）に示されている地形、地質・地質構造、水理、水質、人工バリアシステム、施設の規模・形状等を考慮して整理する。

地層処分場は地層処分の目的が適切に達成されるシステムでなければならない。その際の第1に重要な指標は安全性である。地層処分に伴う安全性は、隆起侵食や火山活動などの自然現象や人間の掘削活動などにより廃棄物と人間との距離が接近することにより人間に影響を及ぼす可能性（そのすじ道を総括して接近シナリオという）と、そのような可能性がないとした場合においても、地下の定常的な、あるいは非定常であっても非常に緩慢に変化する環境において、いつかは廃棄物中の放射性核種が地下水等の流体中に溶出し、その流体を移行媒体として人間環境に移行し、人間に影響を及ぼす可能性（地下水シナリオ）を検討することによって評価される。

接近シナリオのうち、自然現象に起因するものはサイトを適切に選定することによりその安全が確保されると考えられている。また、人間侵入に起因するものはその動機づけを低減させること（地下資源賦存の潜在的可能性が低い場所を選定すること、あるいは到達がより困難であるより深部に埋設すること等）により確保されると考えられている。

一方、地下水シナリオについては、多重バリアシステムの考え方を適用することにより、放射性核種の人間への有意な影響を長期的に低減することが可能であると考えられている。

わが国の地層処分場はこれらの要件を備えたシステムとして捉えられることが必要である。以下に上記事項を考慮した結果として動燃事業団でとりまとめられた地層処

分場概念を基本ケースとして、そして本研究用に提示した変動13ケースの地層処分場概念として関連する事項をまとめる。

(1) 地形

(基本ケースの検討)

わが国の地形形状を概括的に記述してはいるが、特定の地形が好ましい地形として定められていることはない。水理モデル解析においては、地形形状が動水勾配として重要な影響を与えるため、二次元断面モデルにおいて山地と平野部の組合せが提示されている。

一方、わが国の地形形状を概括すれば、列島の中央部に山地を有する地形であるのが一般的である。

したがって、少なくとも後背地に山地を有する平野部に繋がる地形形状を基本ケースとして考慮する。

(変動ケースの検討)

変動13ケースのうち、基本ケースと異なる地形の変動を扱ったものは以下の変動ケース5及び7である。

【変動ケース5：後背地に山地を有する海岸あるいは中央部に山を有する孤島】

【変動ケース7：後背地の影響を受けない平野部の地形形状】

わが国の国土は弧状列島、火山列島などと呼称されており、山地を主体とし、海岸沿いに平野部の散在する地形が主要な地形である。この意味で基本ケースは代表的な地形形状を示したものであるが、変動ケース5は山地からそのまま平野部を経ずに海外に到達する地形（北海道、本州、四国、九州という陸地において）あるいは平野のない小規模な島で中央に山を有する地形を示したもので、このような地形形状もわが国では容易に認めうるものである。一方、変動ケース7は大きな平野部で、あるいは非常に小規模な起伏のあるなだらかな丘陵部で、後背地の水理的な影響を受けない地形形状を示したものである。特に水理的な観点（ある深度以降は動水勾配0）から設けたケースであるが、一部の特徴的な地域で考えうるケースである。

(2) 地質・地質構造

(基本ケースの検討)

わが国には様々な岩石が存在する。H3レポートではわが国の地質を第四紀の堆積層、第四紀の火山岩類、新第三紀の地層群、カコウ岩類と流紋岩類、古生代～古第三

紀の地層群とその広域変成岩として分類している。これらのうち、接近シナリオを考慮した場合に火山活動の可能性を排除できないことから除外される岩石は第四紀の火山岩である。また、地下水シナリオを考慮した場合、高地下水流速の可能性等を排除できないことから除外される岩石は第四紀の堆積層である。これら以外の新第三紀の地層群、カコウ岩類と流紋岩類、古生代～古第三紀の地層群とその広域変成岩は候補となりうる岩石である。

一方、地下空洞を掘削して処分場を設ける立場からは、空洞の安定性が確保されることが重要である。この立場からは、処分場の母岩を結晶質岩系岩盤、堆積岩系岩盤に分類し、両者を可能性ある地層としている。前パラグラフでの地質分類と対応させれば、花崗岩類と流紋岩類及び古生代～古第三紀の広域変成岩が結晶質岩系岩盤に相当し、新第三紀の地層群と古生代～古第三紀の地層群が堆積岩系岩盤に相当する。ただし、固結性の高い古生代～古第三紀の地層群はその割れ目分布の形態から結晶質岩系岩盤に分類することもありうる。

また、天然バリア中の核種移行解析を行う立場からは、多孔質媒体と亀裂性媒体に分類して解析している。この多孔質媒体は堆積岩系岩盤に相当し、亀裂性媒体は結晶質岩系岩盤に相当する。

以上の検討を考慮すると、結晶質岩（花崗岩類と流紋岩類及び古生代～古第三紀の広域変成岩）と堆積岩（新第三紀の地層群と古生代～古第三紀の地層群）という二種類の地質を考慮するのが妥当であると考えられる。

地質構造を断層や割れ目と捉えたと、処分場スケールでの断層等の把握については地域性等もあり、充分把握されていないのが現状である。二次元水理解析においては母岩と透水性の異なる断層を考慮しているが、処分場との位置関係については触れられていない。また、亀裂性媒体を対象とした天然バリア中の核種移行解析においては、亀裂頻度0.1、1、10本/m、亀裂開口幅 10^{-3} ～ 10^{-1} mmの割れ目を考慮している。

以上の検討から、基本ケースにおいては堆積岩では処分場規模では割れ目がなく、結晶質岩では1mのオーダで小規模割れ目が存在するものとする。また、処分場の外側にはある規模の断層の存在を考慮するのは妥当であろう。

（変動ケースの検討）

基本ケースでは結晶質岩と堆積岩の両者を対象としたことから、それらと異なる岩石種類を対象とする変動ケースは設けていない。一方、割れ目・断層については、変

動ケース10において考慮した。

【変動ケース10：各処分区画相互の距離を400mとし、中心に断層を想定する。】

これは、基本ケースでは8処分区画からなる処分場の外側に断層を考慮したのに対し、この変動ケースでは1処分区画をぎりぎりに収納しうる規模で断層が存在することを仮定しているものである。断層からの水平距離200mを想定したのはKristallin-1での検討例を参考としている。1処分区画は約500m×1,200mであることから、処分区画との会合を避けるこのような規模の断層の分布間隔を900m及び1,600mと見なしていることになる。

以上を整理すると以下の通りとなる。

表1.3-1 考慮する地質・地質構造

地質	地質構造	
	割れ目 (処分場規模)	断層 (処分場周辺規模)
【基本ケース及び変動ケース1～9, 11～13】		
堆積岩	なし	処分場外側にあり
結晶質岩	1本/1mのオーダ	処分場外側にあり
【変動ケース10】		
堆積岩	なし	処分区画の外側200mにあり (900mあるいは1,600m間隔)
結晶質岩	1本/1mのオーダ	処分区画の外側200mにあり (900mあるいは1,600m間隔)

(3) 水理

(基本ケース)

水理に関しては、評価上重要なパラメータである動水勾配と透水係数について考察する。なお、降水量、涵養量は日本列島で認められる幅を考慮して、H3レポートより降水量は1,000mm～3,000mm、涵養量は最大涵養量として500mm～2,000mmとするものとする。

動水勾配は(1)で検討した地形によって定まる定数として捉える。水理解析からは地下500m～1,500mの動水勾配は0.001～0.1の間に分布しているとしている。したがって、このような動水勾配の範囲にあるものとする。

透水係数については、(2)で選定した地質に関しての透水係数の分布をとりまとめると、亀裂性岩盤では $10^{-2} \sim 10^{-8}$ cm/sに分布し、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/sが最頻値である。また、

多孔質岩盤（新第三紀堆積岩）についても同様の分布と最頻値が得られている。なお、これらの多くは浅部（100m以浅）のデータであることに注意が必要である。また、試験区間長が様々な長さとなっており、様々な断層や割れ目を介在する区間の平均的な数値と言える。

一方、水理解析において用いた透水係数は、岩石の種類分けをせずに岩盤の透水係数として 10^{-6} cm/s、表層の透水係数として 10^{-1} cm/s、断層の透水係数として 10^{-2} cm/sを考慮している。

両者を比較検討して、本基本ケースではH3レポートにおける水理解析と同様の設定をすることとする。

（変動ケース）

変動ケースにおいて水理的観点からの変動を考慮したのは変動ケース7である。変動ケース7は後背地の影響を受けない地形形状を考慮したものであり、水理定数のうち動水勾配が0であることを考慮したものに相当する。なお、透水係数については変動の考慮をしていない。

以上を整理すると以下の通りとなる。

表1.3-2 水理定数

降水量 (mm)	涵養量 (mm)	動水勾配	透水係数(cm/s)		
			岩盤	地表	断層
【基本ケース及び変動ケース1～6, 8～13】					
1,000～3,000	500～2,000	0.001～0.1	10^{-6}	10^{-1}	10^{-2}
【変動ケース7】					
1,000～3,000	500～2,000	0	10^{-6}	10^{-1}	10^{-2}

注) 結晶質岩、堆積岩の区別なし。

(4) 水質

（基本ケース）

降水起源と海水起源の地下水が地球化学的変遷モデルで扱われているが、本基本ケースでは地形の検討の箇所の後背地として山地を考慮していることから、降水起源の地下水を考慮するものとする。

新第三紀堆積岩の地下深部の実測値としての水質は $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ 型である。これに対し、結晶質岩については水質を述べる程の十分なデータはない。一方、酸化還元電

位についての測定データは少ない。僅かに事例的に測定された地下約165mでの値は300mVであった（この時のpHは8.6）。一方、地質が不明であるものの、温泉水の影響を除外した地下水データ約7,100件（深度不明）のpHの最頻値は7で、ほとんど5～10の範囲に渡っていることが分かっている。

一方、降水を起源とした地下水地球化学モデルによる地層との反応計算の結果ではどれも還元的な地下水が生成されている。基本ケースではこの還元的環境を考慮するものとする。

（変動ケース）

変動ケースのうち、水質の変動を扱っているのは変動ケース5及び6である。変動ケース5では地形的に海水の影響を受けやすい海岸あるいは孤島を考慮したものであり、水質面ではCl⁻イオンを更に考慮している。海水水質の影響を考慮してpH領域は弱アルカリ性～中性とした。変動ケース6は基本ケースと同様の地形形状であるものの、地下増温率の高い環境を考慮したものである。地下増温率の高さは地下深部での熱水活動の影響を受けているものと考え、熱水活動に一般的に認められるSO₄²⁻イオンをも考慮するものである。同イオンの考慮からpH領域を弱アルカリ性～中性としている。

以上を整理すると、処分場深度での地下水の水質は以下の通りとなる。

表1.3-3 地下水水質

地下水のタイプ	酸化還元電位	水素イオン濃度
【基本ケース及び変動ケース1～4, 7～13】 Na ⁺ - HCO ₃ ⁻ 型	還元性	弱アルカリ性
【変動ケース5】 Na ⁺ - (HCO ₃ ⁻ + Cl ⁻) 型	還元性	弱アルカリ性～中性
【変動ケース6】 Na ⁺ - (HCO ₃ ⁻ + SO ₄ ²⁻) 型	還元性	弱アルカリ性～中性

(5) 人工バリアシステム

（基本ケース）

人工バリアの基本概念はガラス固化体、オーバーパック、緩衝材より構成されるも

のである。その形態としては、坑道横置方式と処分孔竖置方式が提案されている。本基本ケースではH3レポートの基本概念として示されている坑道横置方式に依拠するものとする。同方式の仕様例を図1.3-1に示す。

(変動ケース)

人工バリアシステムとして、竖置方式を考慮するのは変動ケース8である。この竖置方式はH3レポートでも上記のように横置方式とともに示されている形態である。同方式の仕様例を図1.3-2に示す。

(6) 施設の規模・形状

(基本ケース)

地層処分場の地下施設の形状を考える際の視点としては、処分区画の配置形態（平面配置、多重配置等）、アクセス形態（立坑、斜坑、スパイラル斜坑）が挙げられる。本基本ケースにおいては、大きな断層に会合しない均質な地層を想定して、各区画が均等に平面的に配置され、立坑がアクセスとなる地下施設を採用することとする。本施設のレイアウトを図1.3-3に示す。また、坑道及び処分区画のレイアウトを図1.3-4に示す。

また、施設の規模としては、40,000本の処分量を基本とし、それを8処分区画で分割して埋設するとした場合、廃棄体の埋設間隔が7mとして、約2,150m×2,500mの広さの地下施設の平面配列となる。

(変動ケース)

施設の規模・形状の変動を考慮している変動ケースは変動ケース9～11である。

【変動ケース9：アクセス坑道として斜坑を考慮する。】

【変動ケース10：各処分区画が断層を境として独立して設けられている。】

【変動ケース11：密に配置した4処分区画ずつ上下2層に配置する。】

これら各変動ケースに相当する概念はH3レポートで示されているものである。アクセス坑道として斜坑と立坑の両者を設ける場合も十分考えうるが、ここでは検討の明確化のため斜坑のみのアクセス坑道を考慮するものである。変動ケース9の概念的レイアウトを図1.3-5に示す。変動ケース10は前述の通り、断層に境されるものであり、直交する2方向に等間隔（900m及び1,600m間隔）に断層配置を考え、よって処分区画配置が等間隔になるものである。このケースも理想的かつ単純化された配置を想定している。変動ケース10の概念的レイアウトを図1.3-6に示す。変動ケース11

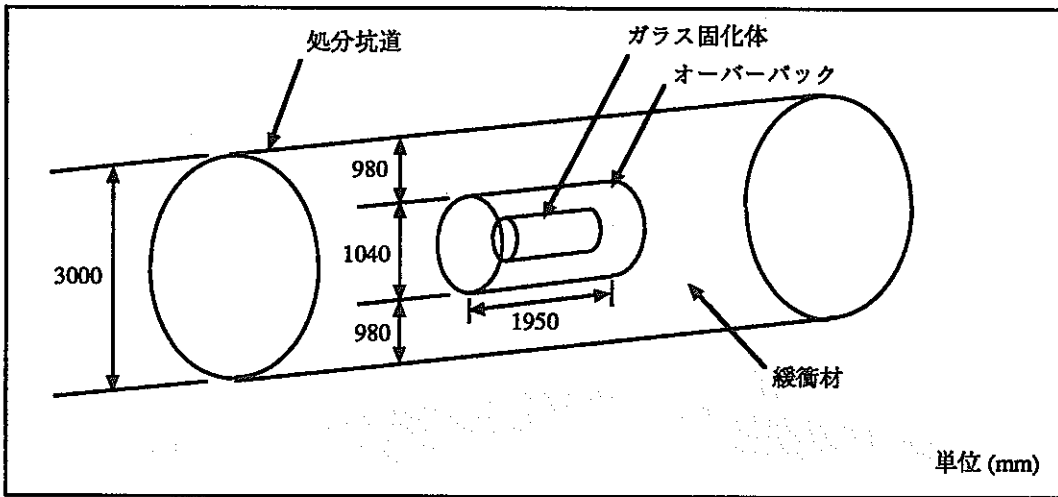


図1.3-1 坑道横置方式による人工バリアシステム施工例(動燃事業団, 1992を参考)
(基本ケース及び変動ケース1~7, 9~13で考慮)

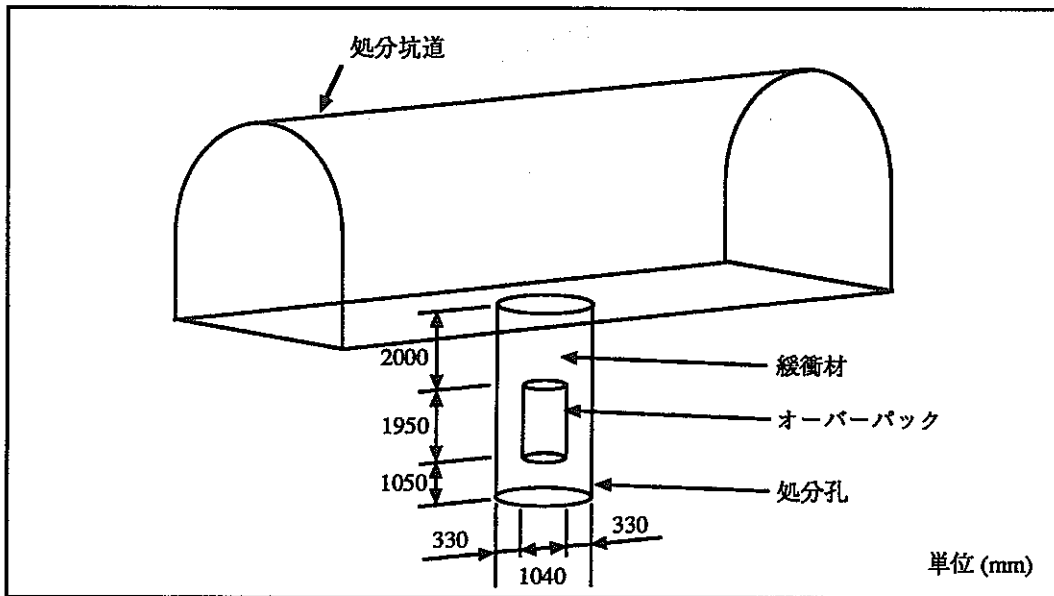


図1.3-2 坑道縦置方式による人工バリアシステム施工例(動燃事業団, 1992を参考)
(変動ケース8で考慮)

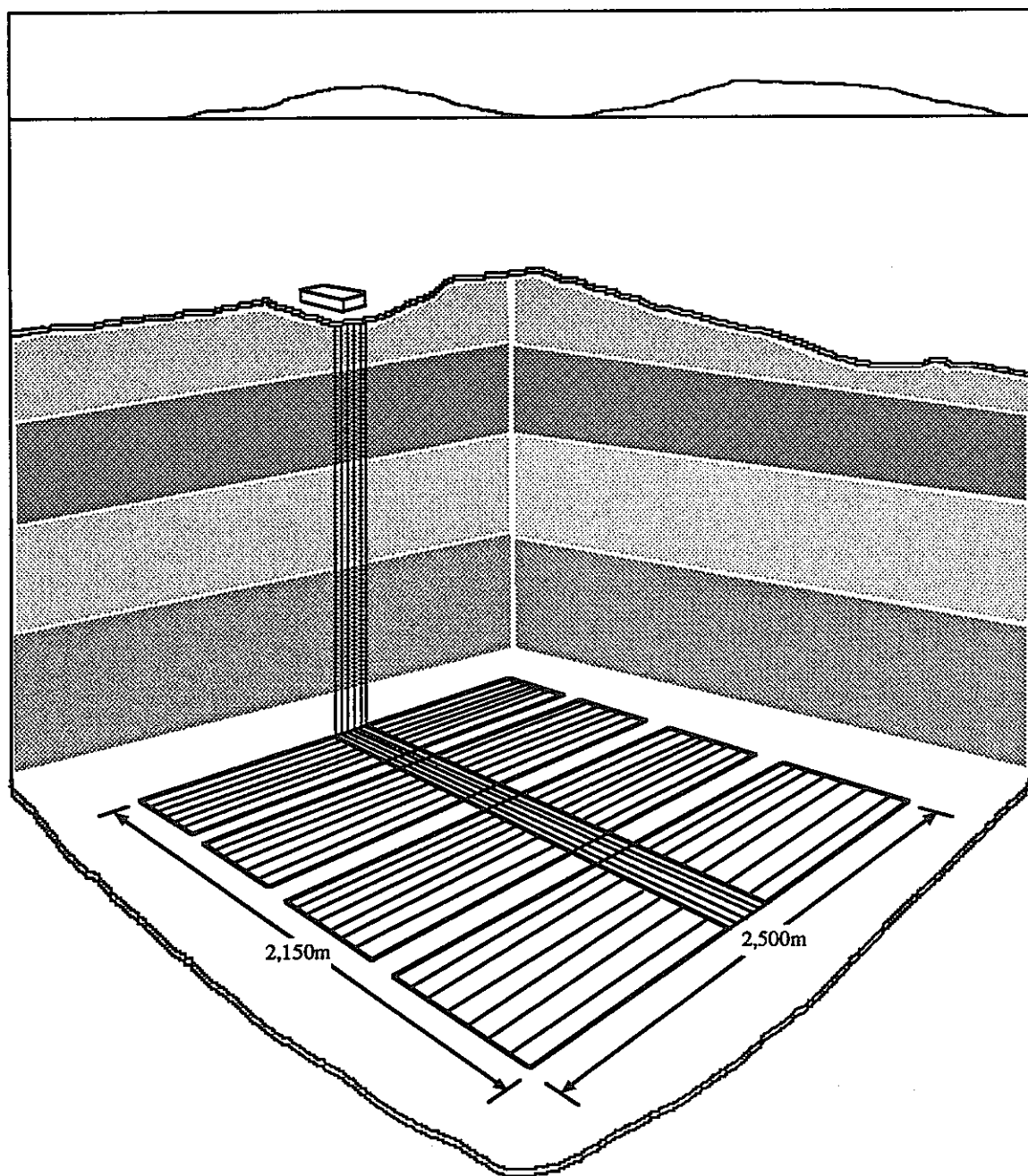


図1.3-3 基本ケースとしての地層処分場レイアウト（動燃事業団，1992を参考）

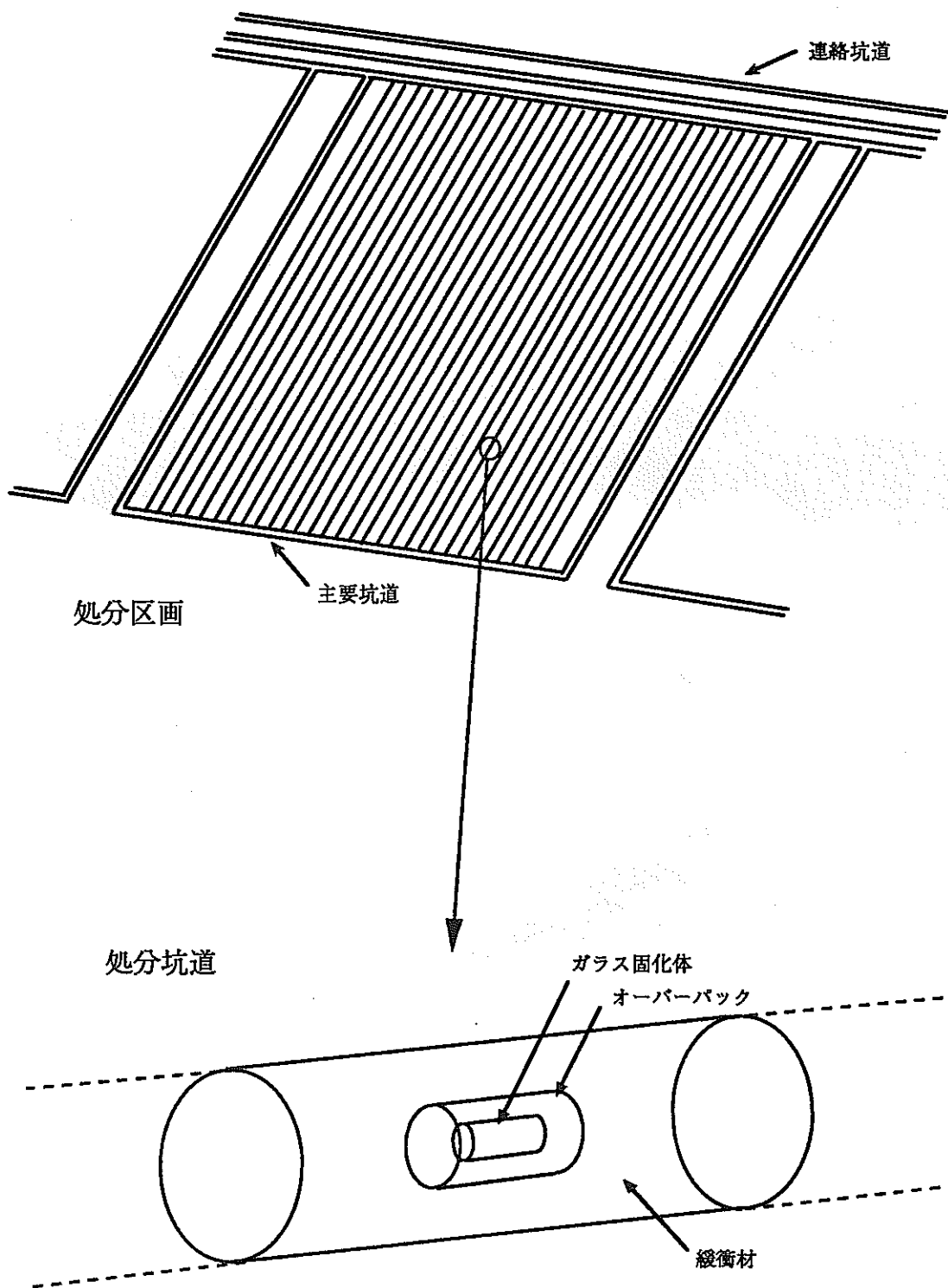


図1.3-4 基本ケースとしての坑道及び処分区画のレイアウト
 (動燃事業団, 1992を参考)

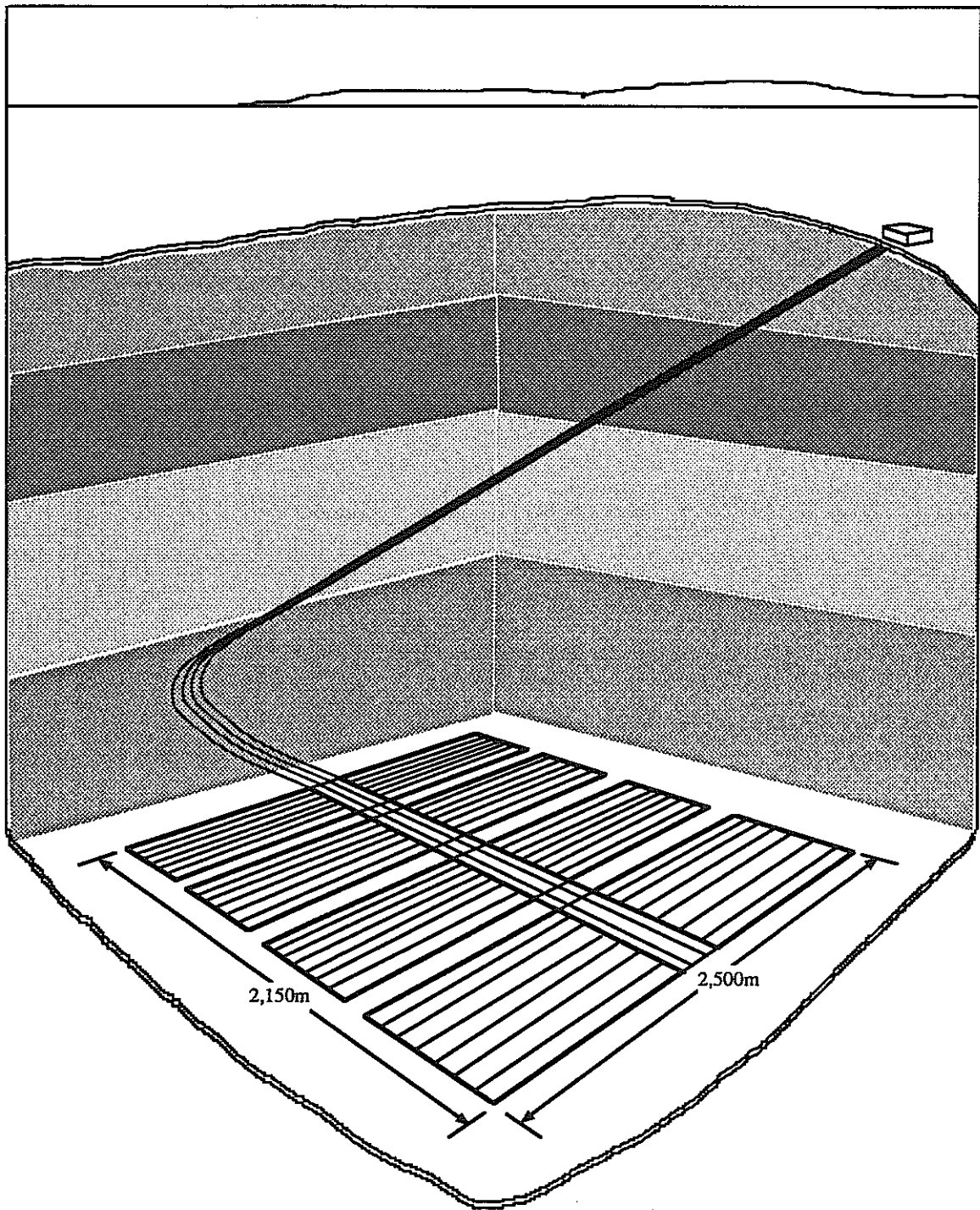


図1.3-5 変動ケース9の地層処分場の概念的レイアウト例

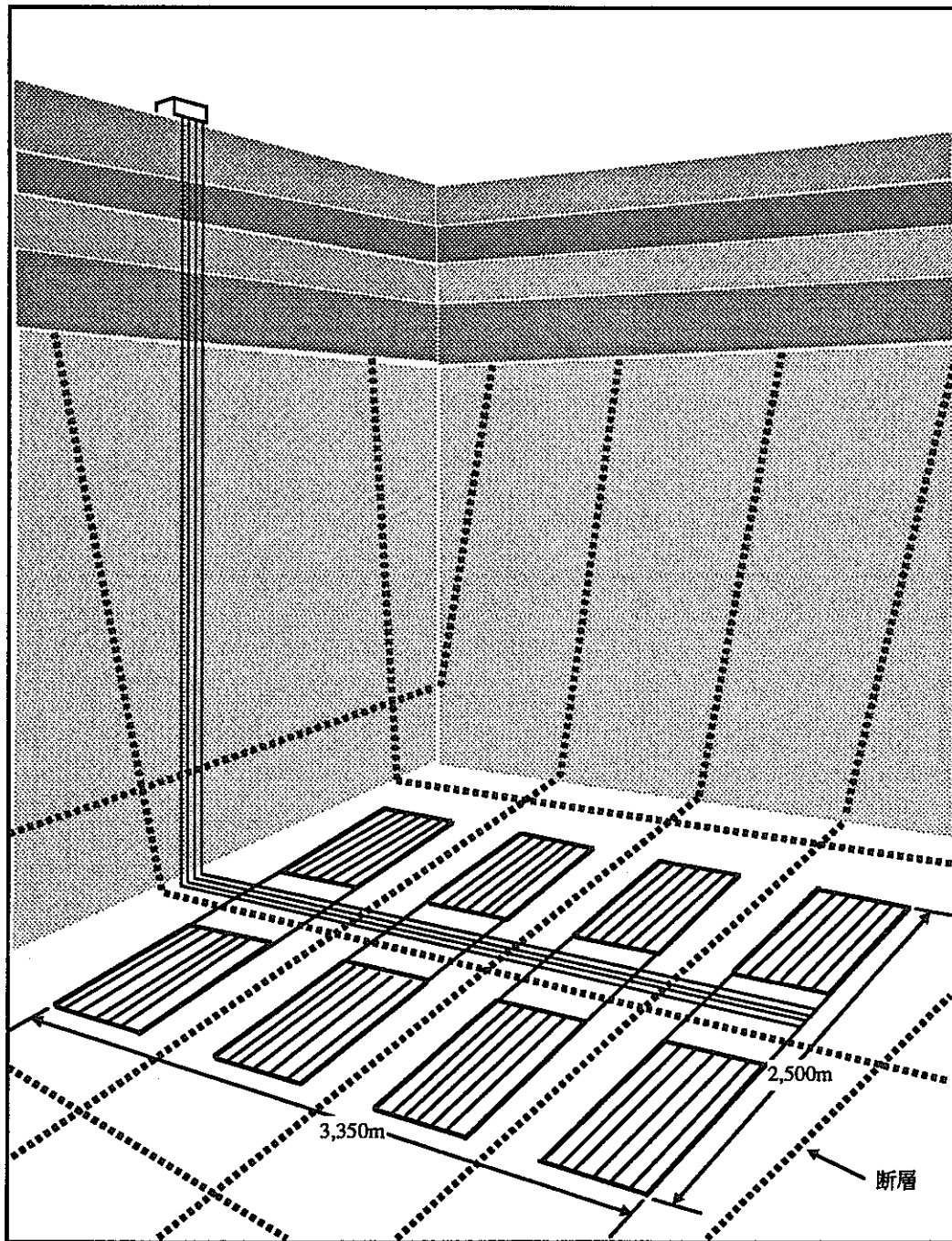


図1.3-6 変動ケース10の地層処分場の概念的レイアウト例

も単純化した概念として4処分区画ずつ上下に同様に配置するものとする。レイアウトを図1.3-7に示す。

以上の各ケースの内容を整理して以下に示す。

表1.3-4 地層処分場のレイアウト

アクセス坑道	処分区画の配置	地下施設の平面的拡がり
【基本ケース及び変動ケース1～8, 12, 13】 立坑	8処分区画の密な平面的配置	約2,150m×2,500m
【変動ケース9】 斜坑	8処分区画の密な平面的配置	約2,150m×2,500m
【変動ケース10】 立坑	各処分区画が断層で境された 8処分区画の粗な平面的配置	約3,200m×2,800m
【変動ケース11】 立坑	4処分区画の密な平面的配置 の上下2層配列	約1,050m×2,500m

図1.3-3～7を参照しつつ、操業段階以後の各段階ごとの施設形態の変遷を考慮すると以下の通りとなる。

① 操業段階

アクセス坑道（立坑あるいは斜坑）と連絡坑道（連絡坑道）が建設段階において建設されているものとする。第1区画の建設が完了後、建設は第2区画に移動する。第1区画は廃棄体及び緩衝材の定置がなされる。緩衝材の定置により処分坑道の埋戻しも完了する。このような2区画で建設と定置・埋戻しが並列的に行われる。最終区画の建設と定置・埋戻しが終了して、操業段階は終了する。なお、埋戻しが終了した区画では、その区画を対象としたモニタリングが開始され、継続されている。

変動ケース12においては、第1区画の埋戻し終了後モニタリング等の実施による実証期間が設けられる。所定の“実証”がなされた後に第2区画以後の定置以降が進められることになる。このケースの場合には第1区画において実証がなされたことにより、第2区画以降に対する直接的なモニタリングはなされない。

変動ケース13においては、各処分区画に対するモニタリングは実施しないことが基本ケースと異なる。

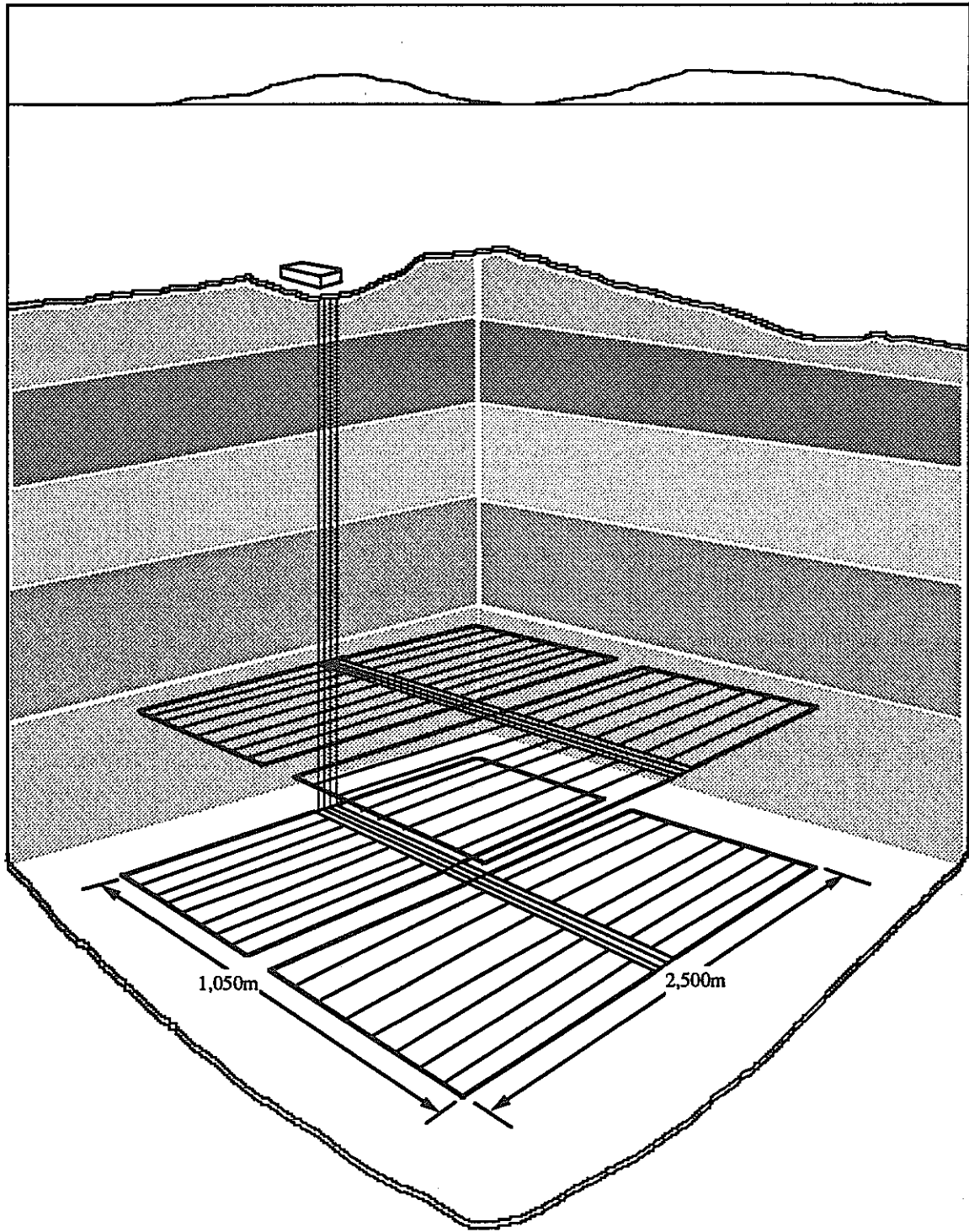


図1.3-7 変動ケース11の地層処分場の概念レイアウト例

② 操業後監視段階

立坑あるいは斜坑と連絡坑道の通行が可能で、処分区画は埋戻され、モニタリングが継続されていることになる。図1.3-3～7のうち全処分区画が埋め戻された状態である。

なお、変動ケース1・2においては本段階は考慮していない。

③ 閉鎖段階

処分区画へのモニタリングは終了し、連絡坑道、立坑あるいは斜坑と順次、埋戻し・密封がなされている段階である。

④ 閉鎖後段階

図1.3-3～7に示す立坑あるいは斜坑以下の地下施設へのアクセスは全て不可能となっている段階である。

1.3.2 モニタリングを必要とする理由

1.2.3で検討したモニタリングの要件と1.3.1で検討した基本ケース及び変動ケースの処分場概念を照らし合わせ、わが国の将来の処分場においてモニタリングが必要とされる理由について、技術的及び社会的・政策的観点から検討する。

(1) わが国の処分場概念を考慮した技術的必要性

モニタリングの技術的必要性とは、地層処分を技術的側面からみた場合のモニタリングの必要性ということである。そのようなモニタリングの技術的必要性としては以下の項目を挙げることができる。

- ① 地層処分の安全性の確保
- ② その安全性を確保するための地層処分場の運営の確立
- ③ 操業が正常に進んでいる旨の確認

上記のうち、③は処分事業の進展を技術的に捉え、かつ、モニタリングの範囲を監視の意味合いも含めた広範なものを見なした場合に挙げられる必要性である。①～③のモニタリングの技術的必要性とは、モニタリングという手法あるいは行為を通じて①～③の事項を確かなものにするための必要性と捉えることができる。以下においては、技術的必要性として本来的である①の事項に関連する解説を付す。

①で示す地層処分の安全性確保のためには、対象物の安全性に係る特性の把握が必要であり、対象物として通常変動するものはもちろん、緩慢であっても変化することもモニタリングによる把握が必要となる。あるいは、変化がないと想定されるものも、その変化がないことをモニタリングにより確認することが必要かもしれない。そして、この変化の問題は考慮する期間の長さの採り方で変化、あるいは無変化として認識されるという特性がある。

このように長期安全性に関するモニタリングは変化する、あるいは変化しない事象・プロセスに広く対応するものと捉えることができるが、モニタリングは特に測定対象値が変動する場合に、その数値を把握し、変動の意味を正確に解釈するための数値把握の手段として必要である。この観点でわが国の処分場概念の特徴を概観すると、変動する特徴、あるいは変動に連なる特徴としては特に以下の事項を挙げるることができる。

・地層中の地下水の流れ方

(基本ケース及び変動ケース1～6, 8～13)

結晶質岩中の割れ目、処分場外の断層の位置や、その透水性が不明であるため、地下水の幾何的流れ方も不明である。さらに、0.001～0.1の動水勾配や透水係数が岩盤で 10^{-6} cm/sと高いことは溶質の移動が移流支配であることを示している。また、万が一、拡散支配の水理場と想定されたとしても、移流支配が現出する状況に対処できる対応を示すことは、それが保守的な条件設定であるがゆえに重要である。

処分場の建設・操業・閉鎖に伴う処分場周辺地下環境の水理的变化も大きいと想定される。したがって、地下水の流れ方は変動する可能性が高いため、モニタリングの対象となる。

(変動ケース7)

動水勾配が0の環境を想定しているため、溶質の移動は拡散支配となる。この場合には性能評価において移流の効果が扱われないことになる。移流の効果が扱われるか否かは性能評価結果に大きな影響を及ぼすため、実際的に拡散支配であることを確認できることが望ましい。この確認を行う手段としてモニタリングが必要となる。

・地層中の地下水の水質

(基本ケース及び変動ケース1～4, 7～13)

まず、通常酸化還元電位は鋭敏なパラメータである。また、わが国の地下水中の水素イオン濃度の分布範囲は広い。溶存物質の濃度も変化に富んでいる。また、水質に影響を与える地質や植生、風化帯の発達も認められる。処分場の建設・操業・閉鎖に伴う処分場周辺地下環境の地球化学的变化も大きいと想定される。したがって、地下水の水質はバックグラウンド自体の変化と事業の進展に伴う変化を被る可能性が高いため、モニタリングの対象となる。

(変動ケース5及び6)

海水水質の影響を考慮する変動ケース5と、熱水活動の影響を考慮する変動ケース6においては、水質が性能評価上の核種挙動評価に重大な影響を与える因子であるがゆえに、評価上の初期条件、境界条件をより確かなものにするためにモニタリングによる数値の確認が必要である。水質は地下水シナリオの影響解析に

おける重要因子であるため基本ケース、変動ケースの区別なく、数値を把握するという意味での広義のモニタリングは必要である。

- ・ニアフィールド特性

(基本ケース及び変動ケース1～11)

処分区画ごとに建設及び廃棄体・緩衝材の定置が順次なされ、かつ、立坑、連絡坑道がアクセス可能な状態で維持されると仮定すると、処分区画ごとに廃棄体の埋設後の年数が順次異なることになる。これは、埋設後の数十年間のニアフィールドにおける諸特性の変化をそれぞれの区画を対象に把握し、予測と比較することによって、短期ではあるが予測の正しさを評価することが可能となることを表している。これは、予測の信頼性を提示するためには一つの好ましい方法論である。したがって、温度や応力、ひずみ、水分率などのニアフィールド特性は埋設直後は変化することが考えられているため、その変化の幅を把握し、あるいは合理性ある変化の範囲内に納まっていることを示すためにモニタリングが必要となる。

(変動ケース12・13)

変動ケース12の場合には、第1区画に対して廃棄体定置後“実証”期間中実証のためのモニタリングを実施するもので、むしろニアフィールドに係わる情報把握のために積極的にモニタリングを位置づけているといえる。変動ケース13の場合は、本研究のための1ケースとして、ニアフィールド特性把握のためのモニタリングを実施しないものである。この場合の基本的考え方は、室内試験や個別の実規模試験、及び解析から定置直後の期間では核種漏洩などの事象は生じず、生じる熱的、力学的変化も予測の範囲に納まることを確認できていることにより、むしろモニタリングの負の影響（モニタリング用の孔自体が影響評価に不確実性をもたらす可能性があること等）低減を考慮して実施しないとするものであるとまとめることができる。

- ・テクトニクス

(基本ケース及び各変動ケース)

わが国は地層処分の実施を考えている諸外国と比較し、自然現象の発生の密度が高く、種類も多い。隆起・沈降や侵食は日本列島全体に認められるものであり、また、地震動も観測されない地点はない。非火山帯においても熱水の存在の可能

性があげられている。隆起やその相対的な運動に伴う傾動は長期にわたって緩慢に変化するものであり、地震動は発生時に観察されるものである。これらは坑内や地表サイトにおいてモニタリングの対象となりうるものである。基本ケース変動ケースの相違はない。

(2) わが国の処分場概念を考慮した社会的、政策的必要性

原子力問題に対するわが国の国民性や国家としての対応の仕方、地層処分場の設置に係る人文地理学的環境、自然的環境等を考慮すると、以下のようなモニタリングの必要性を挙げることができる。

① 地層処分事業に対する国の許認可行為への対応

地層処分事業に対する法的整備がなされれば、建設、操業（埋設）、閉鎖等の地層処分における次段階への新たな事業展開がなされる前に、法律の定める行為（次段階へ移行して良いことの確認のための安全評価）を履行するために必要なデータをモニタリングで取得する必要がある。

この必要性に対しては、基本ケース及び各変動ケース間の内容の相違の影響はない。

② 一般国民への、事業が安全に行われていることの周知

作業の安全性、事業の円滑な進展、環境の安全性に係るモニタリングが必要である。

本必要性に対しても、基本ケース及び各変動ケース間の内容の相違の影響はない。

③ 地域住民への、事業が安全に行われていることの確認の伝達

環境の安全性に係るモニタリングによって得られたデータが確かに安全であることを確認し、伝達する必要がある。

本必要性に対しても、基本ケース及び各変動ケース間の内容の相違の影響はない。

④ わが国で発生する自然現象の特徴（特に、テクトニクス）の影響が十分安全であることの伝達

諸外国と比較した時の公衆の懸念は、わが国での自然現象の活動が相対的に活発であり、その活動が地層処分の安全性に与えるかもしれない影響を心配するというものである。その心配に応える方法はモニタリングによる関連するデータを

取得し、また、現実に影響を受けていないことを示していくことである。

本必要性に対しても、基本ケース及び各変動ケース間の内容の相違の影響はない。

1.3.3 モニタリング対象と目的の検討

本項においては、モニタリングを行う対象物（あるいは実施する場）及び対象とする現象、並びにそれらを対象とする理由について、基本ケース及び変動ケースの条件を考慮して検討する。

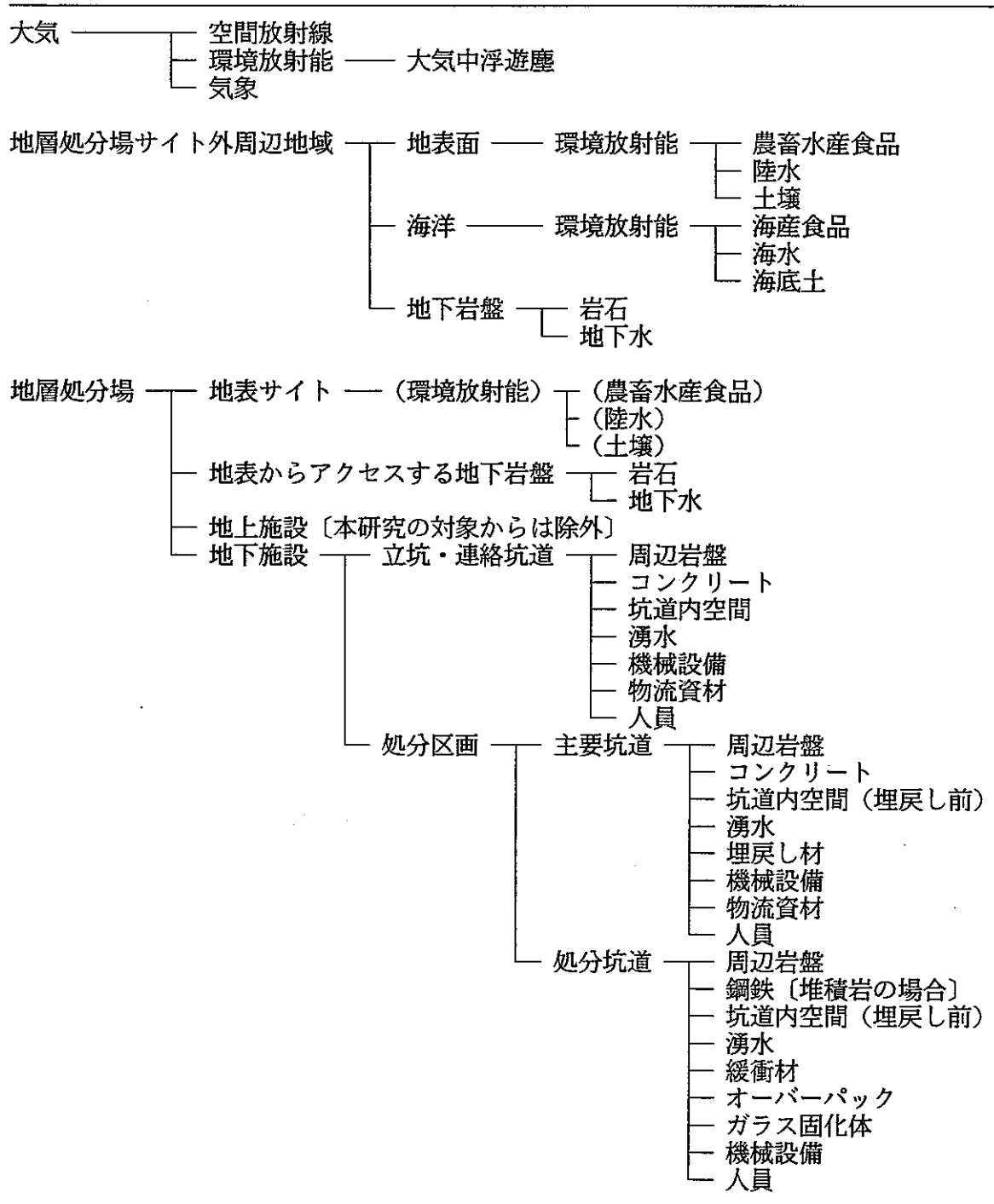
まず、地層処分場に対するモニタリングであることから、基本ケース及び変動ケース5以外の変動ケースにおいては、実施の場としては大きな規模で見ると地層処分場とそのサイト外周辺地域（地表及び地下）、及びそれら地域の気象となる。変動ケース5の場合には海洋も含まれる。

地層処分場を有する境界を有する地表サイトと地上施設（受入れ施設、容器封入施設他）、地下施設からなるとすると、地上施設は本研究の対象ではないので、地層処分場は本研究では地表サイトと地下施設に二分類される。さらに地下施設は、立坑・連絡坑道と処分区画に大別される。このうち、立坑・連絡坑道は周辺岩盤、人工構造物、空洞部分に、処分区画は処分坑道（、処分孔）、周辺岩盤、人工構造物、空洞に、さらに処分坑道（処分孔）は廃棄体・緩衝材の埋設後はガラス固化体、オーバーパック、緩衝材（、埋戻し材）よりなる。また、H3レポートでは人工構造物はコンクリート製として示されている。また、堆積岩の場合、処分坑道のライニングとして鋼製セグメントが記されている。

海洋の関わりが考慮される変動ケース5を除いたその他の変動ケースについては、基本ケースと対比してモニタリング対象に基本的な変化はない。

以上の検討の結果を表1.3-5にまとめる。なお、同表では監視（surveillance）の意味合いも含めてとりまとめた。

表 1.3-5 モニタリング対象物及び実施の場



前表は個々のモニタリング対象物あるいは実施の場を示したが、下記のような対象物としての分類が可能である。

- ・地表環境（空間放射線・環境放射能・気象）
- ・海洋環境（環境放射能）
- ・地質環境（岩盤・岩石・地下水）
- ・作業環境（坑道内空間・人員・機械設備・湧水・物流資材）
- ・ニアフィールド（ガラス固化体・オーバーパック・緩衝材・周辺岩盤）
- ・人工構築物（鋼鉄・埋戻し材・コンクリート）

これらにおいて観測対象となる現象及び対象とする理由は以下のようにまとめられる。

- ① 地表環境
- 空間放射線
 - 環境放射能：農畜水産食品・陸水・大気中浮遊塵・土壌
 - 気象

【理由】自然環境中には空間放射線として大地からの γ 線と宇宙からの宇宙線などが存在する。農畜水産食品・陸水・大気中浮遊塵・土壌中にも自然状態で放射性物質が含まれている。自然環境のモニタリングはこれら自然放射線（能）のバックグラウンドレベルを常時監視し、把握するとともに、原子力施設からの予期しない放射性物質の放出による地表環境への影響の評価に役立てるものである。また、気象データは地表環境への影響評価の解析及び予測にとって必要な情報である。測定の対象場所は、事業所（地層処分場サイト）内の施設周辺及び近隣（地層処分場周辺地域）の一般公衆の生活圏である。

地表環境に対しては、基本ケース・変動ケース共に当てはまるものである。

- ② 海洋環境 — 環境放射能：海産食品・海水・海底土

【理由】海洋環境を構成する海水・海底土及びワカメ・ホンダワラ・サザエ・魚類などの海産食品中には自然状態で放射性物質が含まれている。自然環境のモニタリングはこれら自然放射線（能）のバックグラウンドレベルを常時監視し、把握するとともに、原子力施設からの予期しない放射性物質の放出による地表環境への影響の評価に役立てるものである。

この海洋環境に対しては、変動ケース5が当てはまる。

- ③ 地質環境
- 岩盤・岩石：物理現象、地質現象
 - 地下水：水理、地球化学、（微）生物活動

【理由】日本列島は地質構造運動を受けている場であり、岩盤・岩石はその影響を受けて、また、設けた地層処分場自身の影響を受けて、長期的に緩慢に変動するため、その変動現象を示す物理現象、地質現象の把握が必要である。また、地下水は流体としてその存在の場を変化させる可能性のあるものであり、また、移動に伴い新たな条件での安定な熱力学的状態へ移行するため化学特性も変化する。それらの変化はまた、地層処分場の設置に起因する影響も受ける。さらに、地下水には物質移動や化学特性に影響を与える（微）生物が存在している可能性もある。したがって、これらによる変動の影響を把握する必要がある。

測定的位置的な範囲は、処分場サイト外周辺においては、浅地下を主とし、一部処分場深度（廃棄体の埋設深度）に達する試錐孔内、サイト内においては、地下施設（立坑、連絡坑道、処分区画）周辺（深度は地表より埋設深度まで）の坑道壁面及び坑壁近傍の試錐孔内、及び浅地下あるいは一部処分場深度に達する（ただし、処分場へは貫通させないことを基本とする）地表からの試錐孔内である。

地質環境については、基本ケース・変動ケースとも当てはまるものである。

- ④ 作業環境
- 坑道内空間：大気の状態（空間放射線、大気濃度、温度他）、空間変位
 - 物流資材：廃棄体・緩衝材・埋戻し材・ズリ・その他の物流
 - 人員：入出坑、作業状態、被ばく状態
 - 機械設備：作動状況
 - 湧水：湧水状況

【理由】坑内の閉ざされた空間での人員と機械設備の作動状況を把握することは事業の円滑な進展のために必要である。廃棄体・緩衝材・埋戻し材の搬入やズリの搬出等の進行を確認することも事業の円滑な進展のために望まれる。また、その作業環境における大気状態を把握しておくことは酸欠や火災等が発生して作業

員の安全や操業の維持に影響がないよう予防するために必要である。変動ケース6の場合には1,000m深さでの温度65℃を想定しているため、作業員の作業する温度環境まで冷却できていることの確認が必要である。

また、作業環境における放射線管理も重要であり、空間放射線の測定（線量率・積算線量）、空気中の気体状、粒子状の放射性物質の測定等が必要である。特に、坑道内においては、地上に比較して岩盤割れ目からのラドンの発散が多く、ラドン及びその娘核種の測定も必要となる。さらに、廃棄体を取り扱う区域（必要に応じて放射線管理区域とする）においては作業員の被ばく管理が必要となってくる。変動ケース12の1処分区画に対して実証を行う場合には、その処分区画に直接アクセスする区域における作業員の被ばく管理が必要となろう。

また、坑道内空間変位は地下構造物の力学的安全性や作業環境の安全性の維持に必要である。湧水状況やその特性を把握することは、作業の円滑な進展や岩盤内の水質把握に必要である。

測定の位置的な範囲は、地下施設（立坑、連絡坑道、処分区画）の作業員が作業する坑道内（深度は地表より埋設深度まで）である。

- ⑤ ニアフィールド
 - ガラス固化体〔直接のモニタリングなし〕
 - オーバーパック〔直接のモニタリングなし〕
 - 緩衝材：物理現象〔実証用廃棄体に関連して〕
 - 周辺岩盤：物理現象、水理、地球化学〔同上〕

【理由】処分区画に埋設される廃棄体の定置システムは研究開発の段階で確立されているものとする。また、廃棄体自身の健全性も搬入前に検査されているものとする。したがって、この段階で必要なモニタリングはハンドリングの要素の影響を受ける定置状況の把握であり、定置エリアごとに変わる微妙な地質特性の影響の把握であり、圧縮体としてのブロックで定置が考えられている緩衝材の定置後の状況、特に力学的特性である。

基本ケース及び変動ケース1～11においては、これらのニアフィールド特性の把握は全ての廃棄体に対して行うのではなく、各処分区画ごとに代表的な“実証用廃棄体”1体を当該処分区画内のその他の廃棄体と同様の施工方法で定置し、その実証用廃棄体周辺の緩衝材及び周辺岩盤に対して行うものである。それによ

り、当該処分区画に係るニアフィールドを対象としたモニタリングに代えるというものである。この考え方は、全ての廃棄体に係るニアフィールドに対してモニタリングを行うのは実質的に不可能であり、実施した場合にはむしろモニタリングの実施そのものによる大きな影響が考えられ、却って不確実性を高めることにもなりかねないために、同様の施工方法で定置した廃棄体1体に対してのみモニタリングを行い、その結果でもって全体の評価に代えるというものである。この方法を採用するに当たっては、定置システムが十分裕度のあるものであることが事前に確認されているという前提が必要となるが、この前提は現状のシステム開発の方向性からは十分成り立つものである。

変動ケース12においては、第1の処分区画への定置が終了したらその区画に対して“実証”のためのモニタリングを実施するものであるが、前述の通り、第1処分区画内の全廃棄体に対してモニタリングを行うのは現実的でないため、最大限処分区画内の各処分坑道の両端の廃棄体周辺に対して行う（数量最大60箇所）ことが考えられる。このケースは基本ケースに比べ、廃棄体の定置による実質的な影響がないことを操業の最初の段階でより強く訴える内容であり、その実証がなされることにより、第2区画以後の廃棄体のニアフィールドへのモニタリングはむしろ除外される考え方である。

基本ケース及び変動ケース1～11においては、モニタリングの対象としては、定置後の数十年間（各処分区画での定置は数年ずつずれるため、実証用廃棄体1体ごとに期間の長さは異なる）において変化が観察される物理現象（緩衝材・周辺岩盤）、水理・地球化学（周辺岩盤）である。なお、モニタリングの対象とした実証用廃棄体は、モニタリング期間終了後はそのままに放置するか、場合によっては閉鎖前に再定置することが考えられる。変動ケース12においては、第2処分区画の操業開始をあまり遅延させるのは考えられないため、モニタリング期間はむしろ相対的に短期間なものとなろう。緩衝材・周辺岩盤が対象となろうが、より短期間であるがゆえに、物理現象の変化の把握もさることながら、廃棄体の定置による環境放射線の増大が認められることはないことの確認がより重要になる可能性がある。

変動ケース13はニアフィールドに対するモニタリングを実施しないケースであるが、これは、室内における試験や処分技術の実証試験、及び感度解析により埋

設後の数十年間を含む1,000年間は完全なオーバーパック内への放射性核種の隔離が保証されることにより、実際のモニタリング行為によるニアフィールドに対する確認は不要であると判断される場合である。発熱の影響や設置に伴う影響はあるものの処分の本質的な問題ではないため、それらに係わるモニタリングの実施は除外されるものである。

- ⑥ 人工構築物
- └ 埋戻し材〔モニタリングなし〕
 - └ 鋼鉄・コンクリート：力学現象

【理由】鋼鉄・コンクリートについては、空洞が健全に保持されていることを確認するためのモニタリングが必要と考えられる。埋戻し材については、施工時に施工状況の検査がなされるものの、施工後の状況については廃棄体からの距離があることや施工量が多いこと、密封されることを考慮するとモニタリングは考慮しないと考えるのが妥当と思われる。

測定的位置的な範囲は、地下施設のうちの立坑、連絡坑道であり、深度は地表より埋設深度までとなる。

基本ケース、変動ケースの相違による基本的な相違はない。

1.3.4 実施項目及び実施方法の検討

前1.3.3項での検討項目に対して、個々の実施項目の検討を行う。また、適用が考えられる段階を検討する。

(1) 地表環境

① 空間放射線：空間線量率・積算線量（ γ 線）

【実施方法】連続モニタ・積算式線量計による測定。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】操業（前段階にても必要）・操業後監視・閉鎖・閉鎖後管理の各段階。これは基本ケース及び変動ケース4～11・13に当てはまるが、変動ケース1においては操業・閉鎖段階に、変動ケース2においては操業・閉鎖・閉鎖後管理段階に、変動ケース3においては操業・操業後監視・閉鎖段階に、変動ケース12においては実証期間を含む操業・操業後監視・閉鎖・閉鎖後管理段階に当てはまる。

【実施箇所】サイト内の地上施設周辺、サイト外の一般公衆の生活箇所の複数箇所において実施する。これらは施設を中心にしてその周囲をとりまくように配置される。基本ケース・変動ケースの相違による実施箇所の相違はこのような概括的レベルにおいてははない。

② 気象要素：風向・風速・降水量・気温・気圧等

【実施方法】気象測定設備による測定。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】操業（前段階にても必要）・操業後監視・閉鎖・閉鎖後管理の各段階。上記①の項目と同様、本項目は基本ケース及び変動ケース4～11・13に当てはまるが、変動ケース1においては操業・閉鎖段階に、変動ケース2においては操業・閉鎖・閉鎖後管理段階に、変動ケース3においては操業・操業後監視・閉鎖段階に、変動ケース12においては実証期間を含む操業・操業後監視・閉鎖・閉鎖後管理段階に当てはまる。

【実施箇所】地下施設で万が一の事故が生じた場合には排気立坑から汚染大気が拡散する。その他、地上のハンドリング施設を汚染源とすることもありうる。地上のハンドリング施設と排気立坑（廃棄物の搬入立坑を兼務）は近接して設けられるものであり、その近傍一箇所で気象観測を行う。基本ケース・変動ケ

ースの相違による実施箇所の相違はない。

③ 農畜水産食品・陸水・大気中浮遊塵・土壌： $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ 核種濃度

【実施方法】試料を採取し、測定のための試料調整を行って核種分析を行う。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】操業（前段階にても必要）・操業後監視・閉鎖・閉鎖後管理の各段階。
上記①・②の項目と同様、本項目は基本ケース及び変動ケース4～11・13に当てはまるが、変動ケース1においては操業・閉鎖段階に、変動ケース2においては操業・閉鎖・閉鎖後管理段階に、変動ケース3においては操業・操業後監視・閉鎖段階に、変動ケース12においては実証期間を含む操業・操業後監視・閉鎖・閉鎖後管理段階に当てはまる。

【実施箇所】サイト外の一般公衆の生活箇所の複数箇所において実施する。事業者の判断でサイト内で実施することもありうる。①と同様、施設を中心にしてその周囲をとりまくように配置される。基本ケース・変動ケースの相違による実施箇所の相違はない。

(2) 海洋環境

① 海洋食品・海水・海底土： $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ 核種濃度

【実施方法】試料を採取し、測定のための試料調整を行って核種分析を行う。変動ケース5において適用される項目である。

【段階】操業（前段階にても必要）・操業後監視・閉鎖・閉鎖後管理の各段階。
上記①の項目と同様、本項目は変動ケース5において適用される。

【実施箇所】地上ハンドリング施設・排気立坑近傍の沿岸において実施する。確認のために行うものである。変動ケース5において適用される。

(3) 地質環境

① 岩盤・岩石（物理現象）：温度・ひずみ・変位・加速度

【実施方法】試錐孔を設けて岩盤内に、あるいは空洞面に測定ゲージを埋め込む。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】基本ケース及び変動ケース4～11・13においては以下の通りとなる。

イ. 操業・操業後監視・閉鎖・閉鎖後管理の各段階（サイト外周辺地域及びサイト内での地表からアクセスする場合）

ロ. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

ハ. 操業・操業後監視の各段階（処分区画周辺）

変動ケース1においては以下の通りとなる。

イ. 操業・閉鎖の各段階（サイト外周辺地域、サイト内での地表からアクセスする場合及び立坑・連絡坑道周辺）

ロ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース2においては以下の通りとなる。

イ. 操業・閉鎖・閉鎖後管理の各段階（サイト外周辺地域及びサイト内での地表からアクセスする場合）

ロ. 操業・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

ハ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース3においては以下の通りとなる。

イ. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（サイト外周辺地域、サイト内での地表からアクセスする場合及び立坑・連絡坑道周辺）

ロ. 操業・操業後監視の各段階（処分区画周辺）

変動ケース12においては、基本的に基本ケースと同様であるが、操業段階が実証期間を含む操業段階となる。

【実施箇所】 サイト内の地表からの浅部試錐孔内、地下施設内の立坑・連絡坑道・処分区画周辺坑道の壁面、それら坑道からの試錐孔内で実施する。アクセス可能な坑道で幅広く測定する。概括的レベルにおいては基本的に基本ケース・変動ケースの相違による実施箇所の相違はない。

② 岩盤・岩石（地質現象）：傾動・隆起沈降量

【実施方法】 試錐孔を設けて、測定ゲージを埋め込む。あるいはレーザーによる遠隔測定を行う。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】 基本ケース及び変動ケース4～11・13においては以下の通りとなる。

イ. 操業・操業後監視・閉鎖・閉鎖後管理の各段階（サイト外周辺地域及びサイト内での地表からアクセスする場合）

ロ. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

変動ケース1においては以下の通りとなる。

イ. 操業・閉鎖の各段階（サイト外周辺地域、サイト内での地表からアクセスする場合及び立坑・連絡坑道周辺）

変動ケース2においては以下の通りとなる。

1. 操業・閉鎖・閉鎖後管理の各段階（サイト外周辺地域及びサイト内での地表からアクセスする場合）
2. 操業・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

変動ケース3においては以下の通りとなる。

1. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（サイト外周辺地域、サイト内での地表からアクセスする場合及び立坑・連絡坑道周辺）

変動ケース12においては、基本的に基本ケースと同様であるが、操業段階が実証期間を含む操業段階となる。

【実施箇所】 サイト内外の地表面あるいは試錐孔内（傾動及び隆起沈降量）、立坑内あるいは地下の坑道からの鉛直試錐孔内（傾動）で少なくとも1箇所ずつ実施する。概括的レベルにおいては、基本ケース・変動ケースの相違による実施箇所の相違はない。

③ 地下水（水理）：地下水位・間隙水圧・流向流速

【実施方法】 試錐孔を設けて、測定機器を設置する。または、地表への、あるいは坑内への流出量を直接測定する。

【段階】 基本ケース及び変動ケース4～11・13においては以下の通りとなる。

1. 操業・操業後監視・閉鎖・閉鎖後管理の各段階（サイト外周辺地域及びサイト内での地表からアクセスする場合）
2. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

変動ケース1においては以下の通りとなる。

1. 操業・閉鎖の各段階（サイト外周辺地域、サイト内での地表からアクセスする場合及び立坑・連絡坑道周辺）

変動ケース2においては以下の通りとなる。

1. 操業・閉鎖・閉鎖後管理の各段階（サイト外周辺地域及びサイト内での地表からアクセスする場合）
2. 操業・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

変動ケース3においては以下の通りとなる。

1. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（サイト外周辺地域、サイト内での地表からアクセスする場合及び立坑・連絡坑道周辺）

変動ケース12においては、基本的に基本ケースと同様であるが、操業段階が実証期間を含む操業段階となる。

【実施箇所】 サイト内においては浅部試錐孔内（ただし、立坑近傍では深部試錐孔内も考えられる）、サイト外においては深部試錐孔内及び湧水がある地表部、地下施設内では立坑・連絡坑道からの試錐孔内で実施する。流向流速測定の実施を考慮して、これらは地形・地質構造等から想定される大局的な地下水流動方向に配列する。基本ケース・変動ケースとも基本的に同じであるが、変動ケース5のみについては、陸地部分に限られる。

④ 地下水（地球化学）：溶存成分の濃度・pH・Eh・放射性核種濃度

【実施方法】 試錐孔を設けて、測定機器を設置する。湧水を測定する。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】 基本ケース及び変動ケース4～11・13においては以下の通りとなる。

- イ. 操業・操業後監視・閉鎖・閉鎖後管理の各段階（サイト外周辺地域及びサイト内での地表からアクセスする場合）
- ロ. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）
- ハ. 操業・操業後監視の各段階（処分区画周辺）

変動ケース1においては以下の通りとなる。

- イ. 操業・閉鎖の各段階（サイト外周辺地域、サイト内での地表からアクセスする場合及び立坑・連絡坑道周辺）
- ロ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース2においては以下の通りとなる。

- イ. 操業・閉鎖・閉鎖後管理の各段階（サイト外周辺地域及びサイト内での地表からアクセスする場合）
- ロ. 操業・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）
- ハ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース3においては以下の通りとなる。

- イ. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（サイト外周辺地域、サイト内での地表からアクセスする場合及び立坑・連絡坑道周辺）
- ロ. 操業・操業後監視の各段階（処分区画周辺）

変動ケース12においては、基本的に基本ケースと同様であるが、操業段階が実

証期間を含む操業段階となる。

【実施箇所】基本的に上記③の地下水（水理）の場所と同一場所、あるいは近傍で実施する。化学的特性は地下水の流れの方向への変化を想定しうることから、上記③と同様、地形・地質構造等から想定される大局的な地下水流動方向に測定孔を配列する。基本ケース・変動ケースとも基本的に同じであるが、変動ケース5のみについては、海底下岩盤内での実施は困難を伴うため、陸地部分に限られるものとする。

⑤ 地下水（微生物活動）：微生物の同定と定量

【実施方法】試錐孔を設けて、採水し、分析する。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】基本ケース及び変動ケース4～11・13においては以下の通りとなる。

- イ. 操業・操業後監視・閉鎖・閉鎖後管理の各段階（サイト外周辺地域及びサイト内での地表からアクセスする場合）
- ロ. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）
- ハ. 操業・操業後監視の各段階（処分区画周辺）

変動ケース1においては以下の通りとなる。

- イ. 操業・閉鎖の各段階（サイト外周辺地域、サイト内での地表からアクセスする場合及び立坑・連絡坑道周辺）
- ロ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース2においては以下の通りとなる。

- イ. 操業・閉鎖・閉鎖後管理の各段階（サイト外周辺地域及びサイト内での地表からアクセスする場合）
- ロ. 操業・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）
- ハ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース3においては以下の通りとなる。

- イ. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（サイト外周辺地域、サイト内での地表からアクセスする場合及び立坑・連絡坑道周辺）
- ロ. 操業・操業後監視の各段階（処分区画周辺）

変動ケース12においては、基本的に基本ケースと同様であるが、操業段階が実証期間を含む操業段階となる。

【実施箇所】基本的に地表及び浅部地下を除いた地下水（地球化学）の場所と同場所、あるいは近傍で実施する。上記④と同様、基本ケース・変動ケースとも基本的に同じであるが、変動ケース5のみについては、海底下岩盤内での実施は困難を伴うため、陸地部分に限られるものとする。

(3) 作業環境

坑内の作業環境のうち、廃棄体搬入立坑（排気立坑を兼務）、廃棄体埋設処分区画及び両者を結ぶ連絡坑道については、高レベルガラス固化体の坑内輸送、ハンドリング・定置を扱っている領域であり、管理区域としての扱いを受けるものと考えられる。一方、ズリ搬出立坑、人員立坑、資材搬出入立坑や廃棄体定置と埋戻しの終了した処分区画や建設中処分区画、及びそれら両者を結ぶ連絡坑道については、ラドンの取扱いが現状のままであれば非管理区域としての扱いになるものと考えられる。

- ① 坑道内空間（大気の状態）：空間線量率・積算線量・ラドン濃度・空气中浮遊塵・酸素濃度・二酸化炭素濃度・一酸化炭素濃度・有機ガス濃度・粉塵濃度・気圧・風向・風量・温度・湿度

【実施方法】立坑・坑道分岐・作業箇所等での機器測定。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】操業段階～閉鎖段階（立坑・連絡坑道周辺）

操業段階（処分区画周辺）

【段階】基本ケース及び変動ケース3～11・13においては以下の通りとなる。

ⅰ. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

ⅱ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース1・2においては以下の通りとなる。

ⅰ. 操業・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

ⅱ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース12においては、基本的に基本ケースと同様であるが、操業段階が実証期間を含む操業段階となる。

【実施箇所】地下施設内の作業員が立ち入る場所は基本的に実施する。実施場所としては、立坑口、立坑底、連絡坑道の分岐箇所、建設中処分区画の施工箇所、

施工済坑道内複数箇所、定置用処分区画における廃棄体定置作業箇所、定置済埋戻し部の両端あるいは一方端（連絡坑道の一部）、実証用廃棄体へのアクセス箇所、廃棄体搬送ルートと廃棄体非取扱い区域との連絡坑道で実施する。概括的レベルにおいては、基本ケース変動ケースの相違による実施箇所の相違はない。

② 坑道内空間（空間変位）：壁間距離

【実施方法】立坑・坑道に測定機器をセットする。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】基本ケース・変動ケース3～11・13においては以下の通りとなる。

- イ. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）
- ロ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース1・2においては以下の通りとなる。

- イ. 操業・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）
- ロ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース12においては、基本的に基本ケースと同様であるが、操業段階が実証期間を含む操業段階となる。

【実施箇所】地下施設内の立坑、連絡坑道、施工済で廃棄体定置前の処分用坑道で行われる。概括的レベルでは基本ケース・変動ケースの相違による実施箇所の相違はない。

③ 人員（入出坑・作業状態）：位置・状況

【実施方法】TVカメラによる監視、認識装置による自動確認。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】基本ケース・変動ケース3～11・13においては以下の通りとなる。

- イ. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）
- ロ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース1・2においては以下の通りとなる。

- イ. 操業・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）
- ロ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース12においては、基本的に基本ケースと同様であるが、操業段階が実証期間を含む操業段階となる。

【実施箇所】入退坑管理のために、立坑口と作業箇所、廃棄体搬送ルートと廃棄体非取扱い区域との連絡坑道、その他アクセス部の任意箇所での監視を行う。概括的レベルでは基本ケース・変動ケースの相違による実施箇所の相違はない。

④ 機械設備（作動状況）：機能

【実施方法】自動監視、TVカメラによる監視。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】基本ケース・変動ケース3～11・13においては以下の通りとなる。

イ. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

ロ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース1・2においては以下の通りとなる。

イ. 操業・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

ロ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース12においては、基本的に基本ケースと同様であるが、操業段階が実証期間を含む操業段階となる。

【実施箇所】立坑内の主要サービス設備（配電盤、ポンプ、搬送機器、廃棄体・緩衝材等の搬入用及びズリ搬出用の立坑ケージ等）に対して実施する。概括的レベルでは基本ケース・変動ケースの相違による実施箇所の相違は基本的にない。

⑤ 湧水（湧水状況）：湧水箇所・湧水量

【実施方法】堰による自動観測、揚水量測定。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】基本ケース・変動ケース3～11・13においては以下の通りとなる。

イ. 操業・操業後監視・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

ロ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース1・2においては以下の通りとなる。

イ. 操業・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

ロ. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース12においては、基本的に基本ケースと同様であるが、操業段階が実証期間を含む操業段階となる。

【実施箇所】立坑・連絡坑道内の湧水割れ目会合部（シーリングあり）で設けたサンプリング用試錐孔、掘削箇所近傍の坑道で実施する。概括的レベルでは基

本ケース・変動ケースの相違による実施箇所の相違は基本的でない。

(4) ニアフィールド

① 緩衝材（物理的現象）：温度・ひずみ

【実施方法】実証用廃棄体箇所での緩衝材に測定機器を埋め込む。基本ケース・変動ケース1～12の相違による実施方法の相違はない。

【段階】基本ケース・変動ケース3～11においては以下の通りとなる。

1. 操業・操業後監視の各段階（処分区画周辺）

変動ケース1・2においては以下の通りとなる。

1. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース12においては、操業段階のうちの実証期間に限定される。

【実施箇所】実証用廃棄体周囲の緩衝材中で実施する。基本ケース・変動ケース1～12の相違による実施箇所の相違は基本的レベルにおいては無いが、変動ケース8においては廃棄体の横置き定置に伴う詳細レベルでの実施箇所の相違がある。変動ケース12においては、実証期間における第1処分区画に定置した全廃棄体に対して本モニタリングを実施するのは現実的でないため、第1処分区画の処分坑道の両端の廃棄体周辺に実施箇所が限定されるものとする。なお、変動ケース13はニアフィールドモニタリングを実施しないケースである。

② 周辺岩盤（物理的現象）：温度・ひずみ

【実施方法】実証用廃棄体箇所の緩衝材周辺の岩盤に測定機器を埋め込む。基本ケース・変動ケース1～12の相違による実施方法の相違はない。

【段階】上記①と同様、基本ケース・変動ケース3～11においては以下の通りとなる。

1. 操業・操業後監視の各段階（処分区画周辺）

変動ケース1・2においては以下の通りとなる。

1. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース12においては、操業段階のうちの実証期間に限定される。

【実施箇所】実証用廃棄体周囲の岩盤中で実施する。上記①と同様、基本ケース・変動ケース1～12の相違による実施箇所の相違は基本的レベルにおいては無いが、変動ケース8においては廃棄体の横置き定置に伴う詳細レベルでの実施箇所の相違がある。変動ケース12においては、実証期間における第1処分区画に

定置した全廃棄体に対して本モニタリングを実施するのは現実的でないため、実証用第1処分区画の処分坑道の両端の廃棄体周辺に実施箇所が限定されるものとする。なお、変動ケース13はニアフィールドモニタリングを実施しないケースである。

③ 周辺岩盤（水理）：間隙水圧

【実施方法】実証用廃棄体箇所の緩衝材周辺の岩盤に測定機器を埋め込む。基本ケース・変動ケース1～12の相違による実施方法の相違はない。

【段階】上記①・②と同様、基本ケース・変動ケース3～11においては以下の通りとなる。

1. 操業・操業後監視の各段階（処分区画周辺）

変動ケース1・2においては以下の通りとなる。

1. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース12においては、操業段階のうちの実証期間に限定される。

【実施箇所】実証用廃棄体周囲の岩盤中で実施する。上記①・②と同様、基本ケース・変動ケース1～12の相違による実施箇所の相違は基本的レベルにおいては、変動ケース8においては廃棄体の横置定置に伴う詳細レベルでの実施箇所の相違がある。変動ケース12においては、実証期間における第1処分区画に定置した全廃棄体に対して本モニタリングを実施するのは現実的でないため、実証用第1処分区画の処分坑道の両端の廃棄体周辺に実施箇所が限定されるものとする。なお、変動ケース13はニアフィールドモニタリングを実施しないケースである。

④ 周辺岩盤（地球化学）：溶存成分の濃度・pH・Eh・放射性核種濃度

【実施方法】実証用廃棄体箇所の緩衝材周辺の岩盤中に設けた孔内に地下水サンプリング機器を埋め込む。基本ケース・変動ケース1～12の相違による実施方法の相違はない。

【段階】上記①～③と同様、基本ケース・変動ケース3～11においては以下の通りとなる。

1. 操業・操業後監視の各段階（処分区画周辺）

変動ケース1・2においては以下の通りとなる。

1. 操業段階（処分区画周辺）

変動ケース12においては、作業段階のうちの実証期間に限定される。

【実施箇所】実証用廃棄体周囲の岩盤中で実施する。上記①～③と同様、基本ケース・変動ケース1～12の相違による実施箇所の相違は基本的レベルにおいては、変動ケース8においては廃棄体の横置定置に伴う詳細レベルでの実施箇所の相違がある。変動ケース12においては、実証期間における第1処分区画に定置した全廃棄体に対して本モニタリングを実施するのは現実的でないため、実証用第1処分区画の処分坑道の両端の廃棄体周辺に実施箇所が限定されるものとする。なお、変動ケース13はニアフィールドモニタリングを実施しないケースである。

(5) 人工構築物

① 鋼鉄（力学現象）：ひずみ・変位

【実施方法】堆積岩の処分坑道を掘削し、鋼製セグメントを施工した時に測定機器を埋め込む。基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】各ケースとも以下の段階に限定される。

作業段階（処分区画周辺）

【実施箇所】立坑・連絡坑道内の鋼鉄使用の複数箇所で実施する。概括的レベルにおいては、基本ケース・変動ケースの相違による実施箇所の相違はない。

② コンクリート（力学現象）：ひずみ・変位

【実施方法】堆積岩の場合に坑道を掘削し、巻立てコンクリートあるいは覆工コンクリートを施工した時に測定機器を埋め込む。上記①と同様、基本ケース・変動ケースの相違による実施方法の相違はない。

【段階】基本ケース・変動ケース3～11・13においては以下の通りとなる。

1. 作業・作業後監視・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

変動ケース1・2においては以下の通りとなる。

1. 作業・閉鎖の各段階（立坑・連絡坑道周辺）

変動ケース12においては、基本的に基本ケースと同様であるが、作業段階が実証期間を含む作業段階となる。

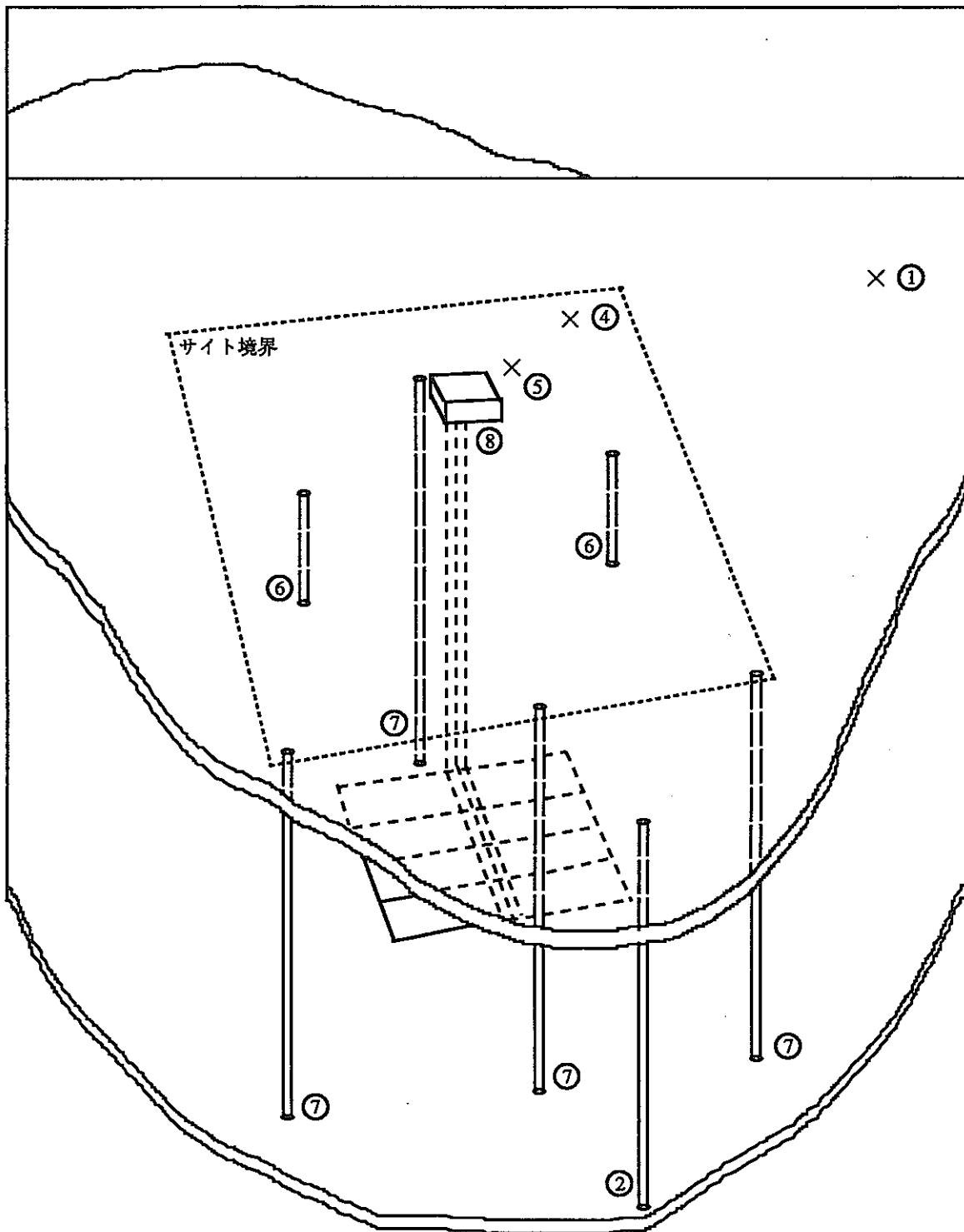
【実施箇所】立坑・連絡坑道内のコンクリート使用の複数箇所で実施する。上記①と同様、基本ケース・変動ケースの相違による実施箇所の相違は概括的レベルではない。

(6) 実施箇所の例示

以上検討した実施箇所の一覧を表1.3-6に示す。また、それらの設置箇所例を図1.3-8~16に示す。それらの図には表1.3-6に示す実施箇所例を○付数字で示した。これらの図のうち、図1.3-8は基本ケース及び変動ケース1~4・6・8~13についての地表及び立坑付近におけるモニタリング実施箇所例である。図1.3-9は変動ケース5についての、図1.3-10は変動ケース7についての地表及び立坑付近におけるモニタリング実施箇所例である。図1.3-11~14は連絡坑道及び処分区画についての実施箇所例を示したものである。このうち、図1.3-11は基本ケース及び変動ケース1~9についての、図位置3-12は変動ケース10についての、図1.3-13は変動ケース11についての、図1.3-14は変動ケース12についてのモニタリング実施箇所例である。また、変動ケース13はニアフィールドに対するモニタリングを実施しない例であるので、図1.3-11のうち実証箇所を示す⑤~⑦がないものとして見ることができる。図1.3-15は基本ケース及び変動ケース1~7・9~12についての、図1.3-16は変動ケース8についてのニアフィールドモニタリングの実証用廃棄体1体に対する実施箇所例である。なお、図1.3-11~13には1処分区画に対する実証用廃棄体1体の設置箇所を例示した。同図に示す実証用廃棄体の設置箇所は、その他の廃棄体への影響を避けるため処分区画の内側ではなく、処分区画外側のごく近傍の同一環境条件箇所でアクセス可能な部分に設けるものとしている。

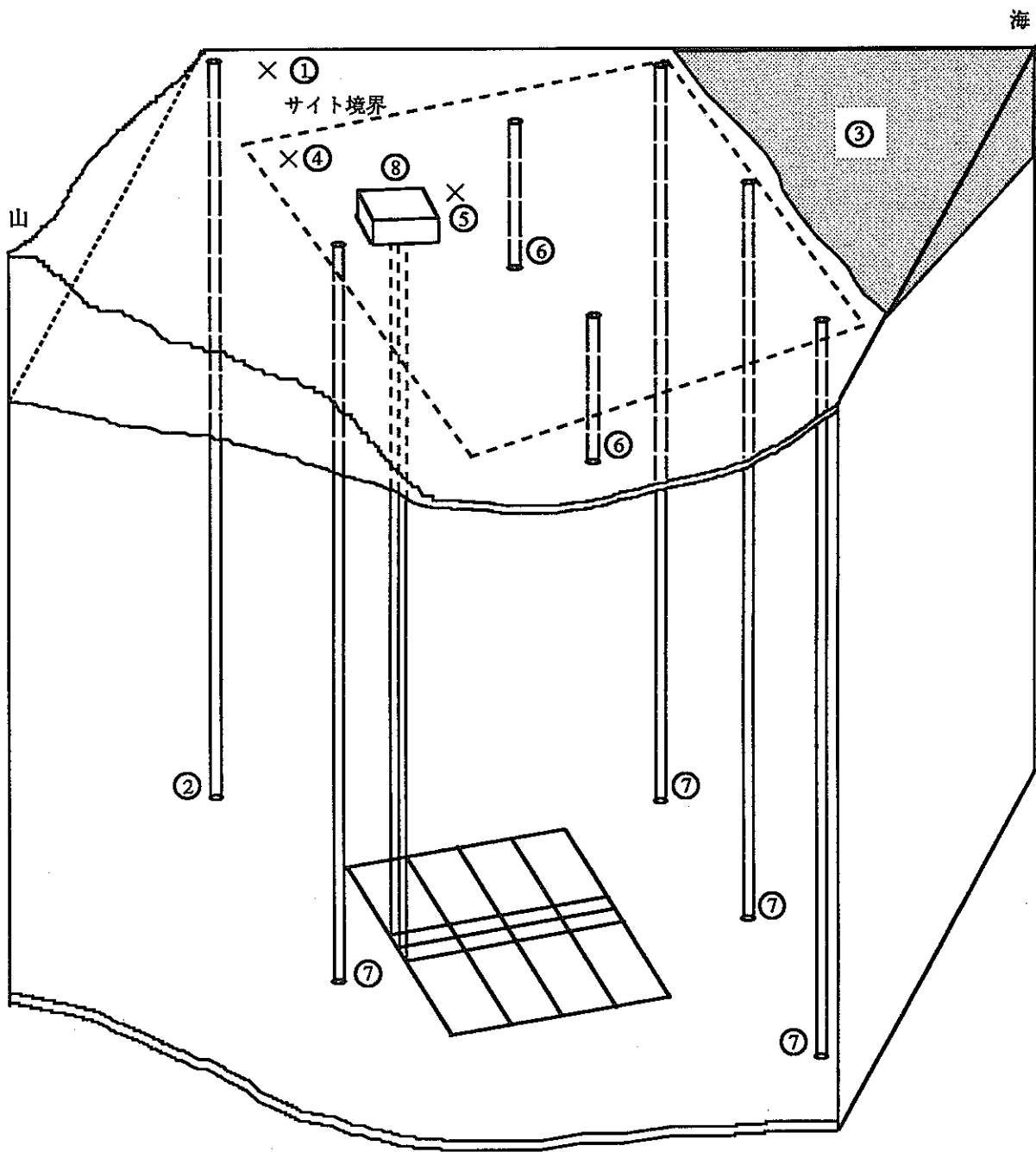
表1.3-6 項目別のモニタリング実施箇所の検討例

項目	地 表			地下のアクセス部分							建設用処分区画					定置用（実証用）処分区画					人員								
	サイト外		沿岸	サイト内			立坑口	立坑壁	立坑底	連絡坑道分岐	連絡坑道壁	短い試錐孔	鉛直試錐孔	透水性断層	任意箇所	連絡坑道入口	掘削箇所	掘削後空洞	湧水箇所	廃棄物との連絡		部	連絡坑道入口	定置箇所	定置端埋設部	両端or片端	実証用緩衝材	周辺岩盤	廃棄体アクセス部
	地表	深部試錐孔		地表	地上施設周辺	浅部試錐孔																							
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗		
(位置：図1.3-8~16に対応)																													
地表環境																													
・空間放射線	○				○																								
・気象要素					○																								
・環境放射能	○			○																									
海洋環境																													
・環境放射能			○																										
地質環境																													
・岩盤・岩石（物理現象）						○			○			○	○		○		○					○							
・岩盤・岩石（地質現象）	○	○		○			○		○				○		○														
・地下水（水理）	○	○		○			○					○			○														
・地下水（地球化学）	○	○		○			○					○			○														
・地下水（微生物活動）		○					○					○			○														
作業環境																													
・坑道内空間（大気の状態）								○		○	○					○	○	○	○	○			○	○	○			○	
・坑道内空間（空間変位）									○			○						○											
・人員（入出坑・作業状態）								○							○		○			○			○					○	
・機械設備（作動状況）									○	○					○		○						○	○					
・湧水（湧水状況）												○					○		○										
ニアフィールド																													
・緩衝材（物理的現象）																										○			
・周辺岩盤（物理的現象）																											○		
・周辺岩盤（水理）																											○		
・周辺岩盤（地球化学）																											○		
人工構築物																													
・鋼鉄（力学現象）									○			○																	
・コンクリート（力学現象）									○			○																	



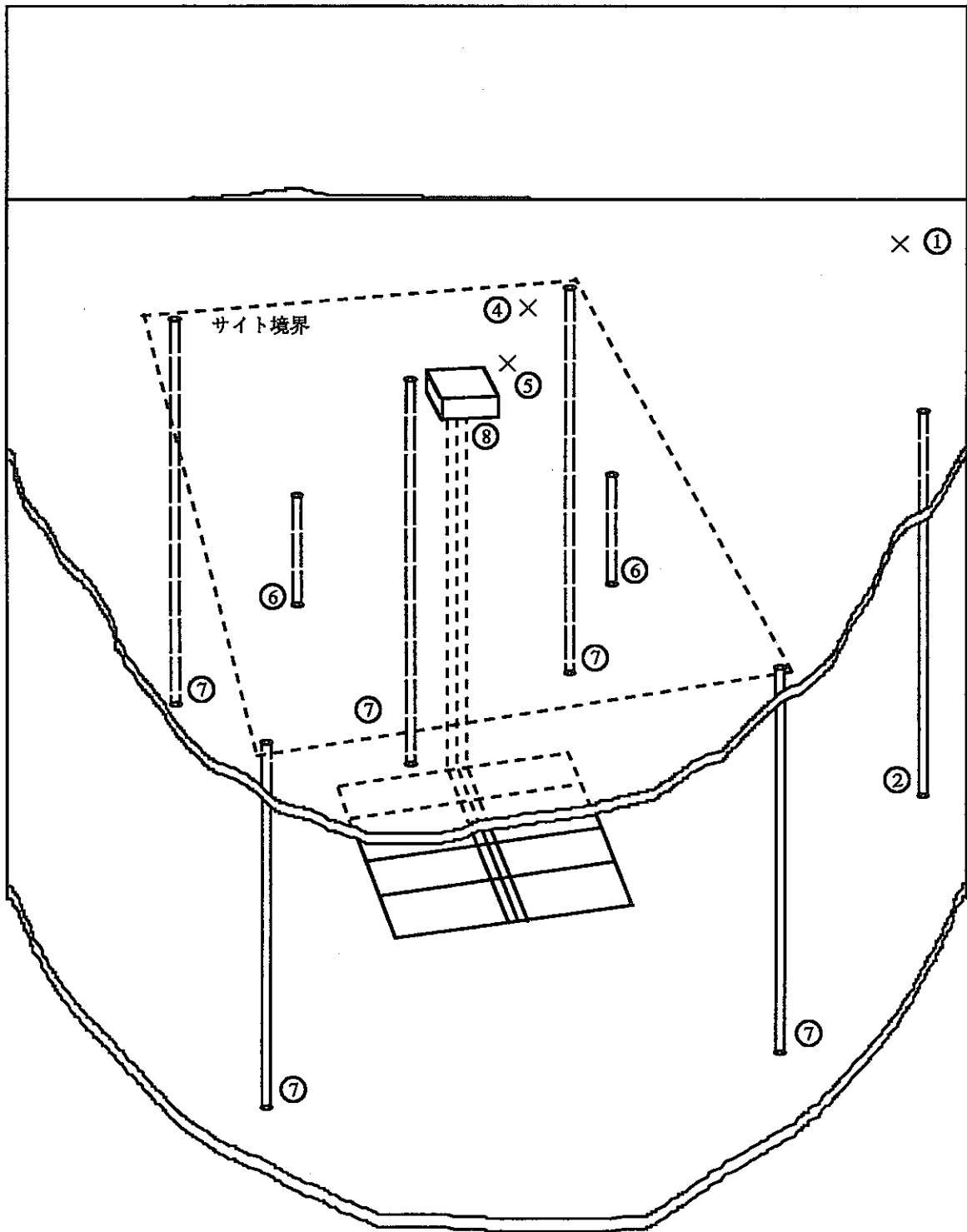
(○付数字のモニタリング項目は表1.2-6を参照)

図1.3-8 基本ケース及び変動ケース1~4・6・8~13における地表からの、及び地表でのモニタリング実施箇所例



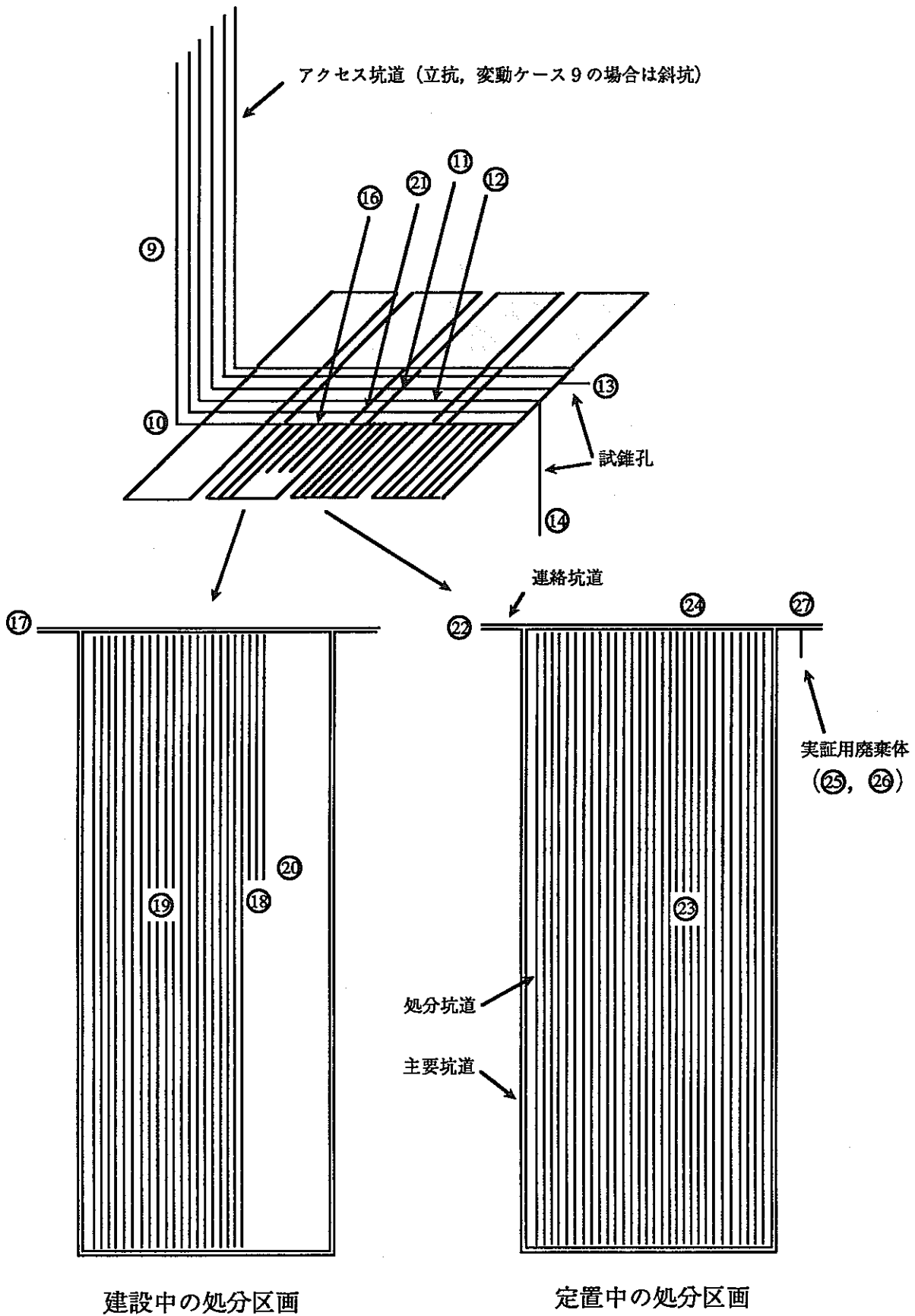
(○付数字のモニタリング項目は表1.2-6を参照)

図1.3-9 変動ケース5における地表からの、及び地表でのモニタリング実施箇所例



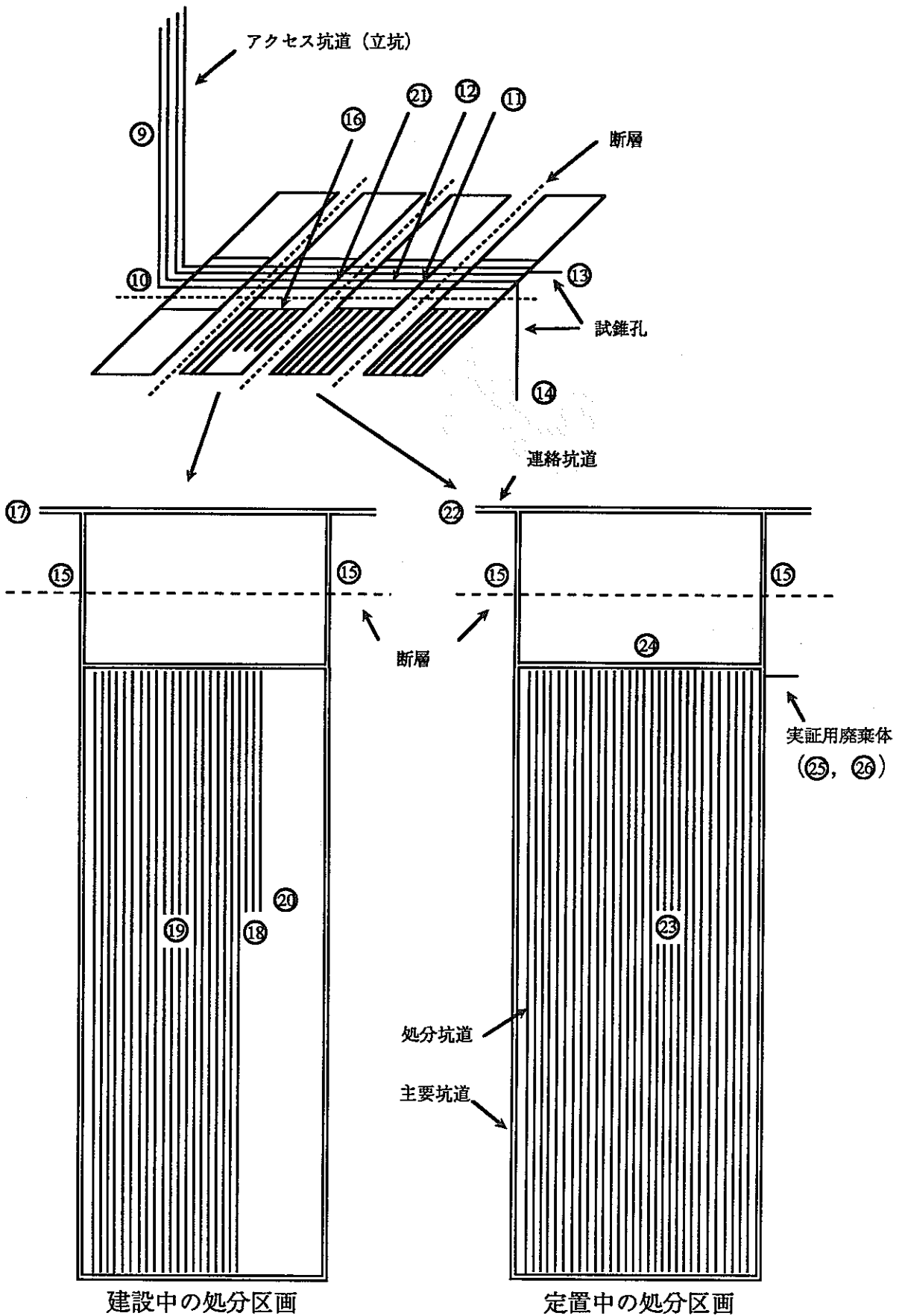
(○付数字のモニタリング項目は表1.2-6を参照)

図1.3-10 変動ケース7における地表からの、及び地表でのモニタリング実施箇所例



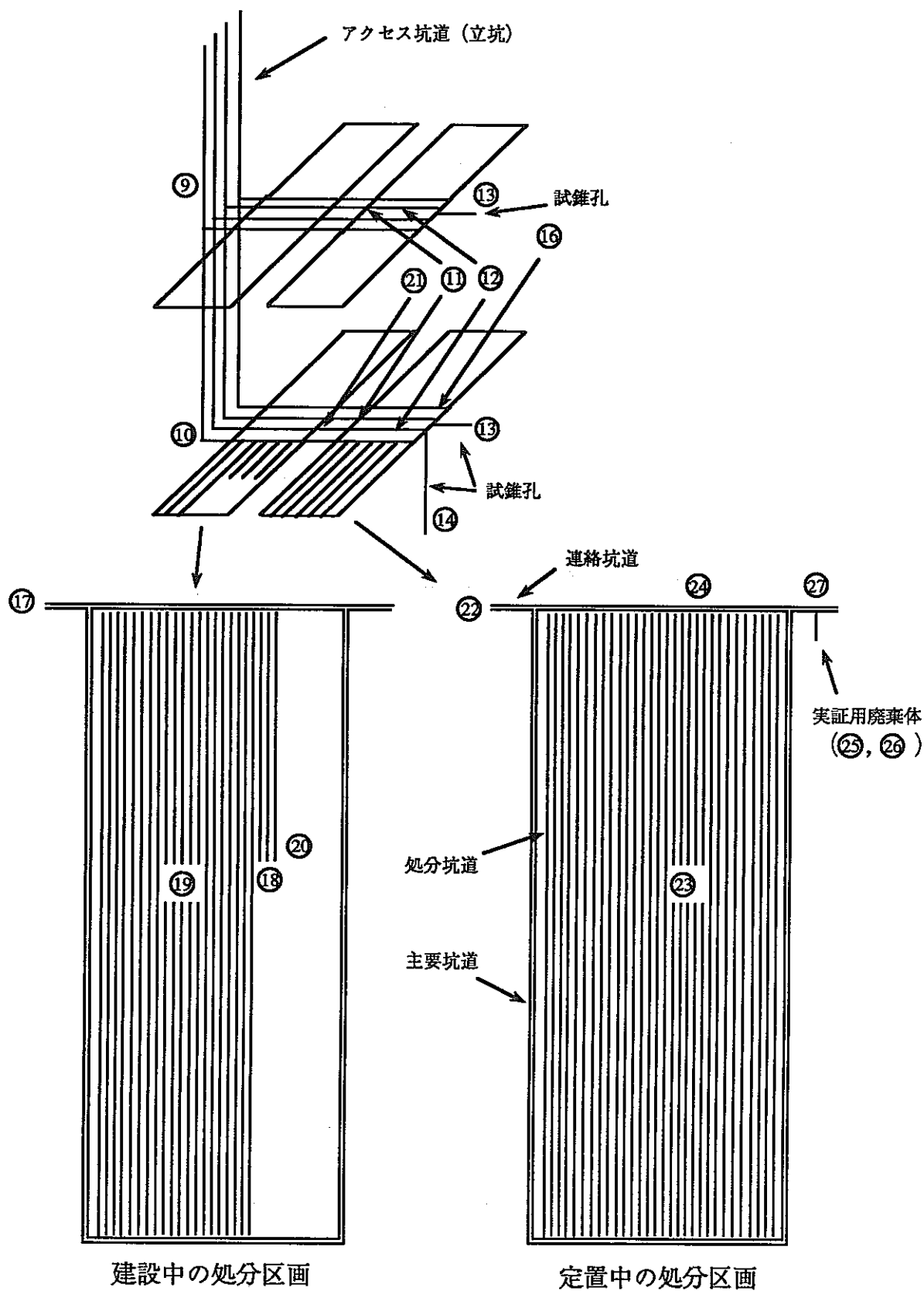
(○付数字のモニタリング項目は表1.2-6を参照)

図1.3-11 基本ケース及び変動ケース1～9についての連絡坑道及び処分区画におけるモニタリング実施個所の例



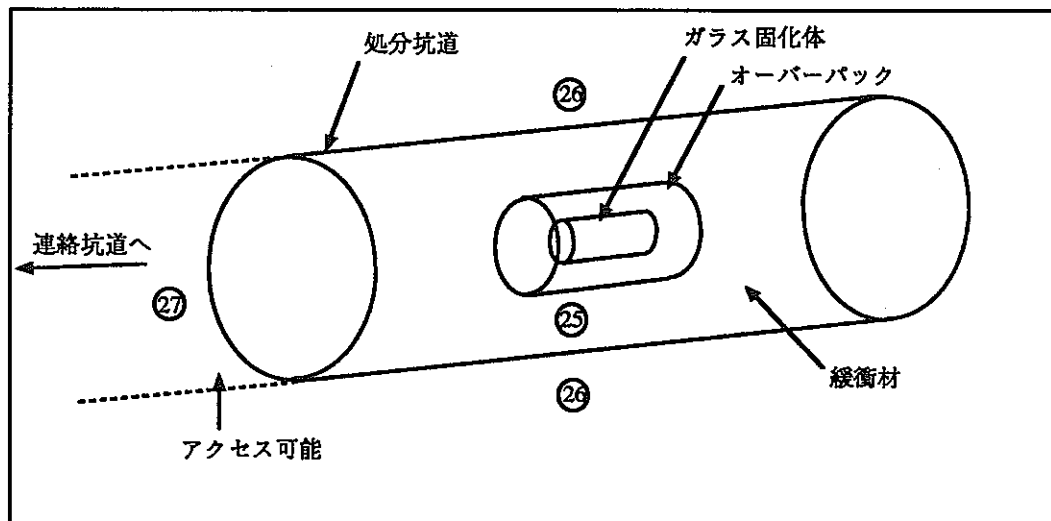
(○付数字のモニタリング項目は表1.2-6を参照)

図1.3-12 変動ケース10についての連絡坑道及び処分区画におけるモニタリング実施個所の例



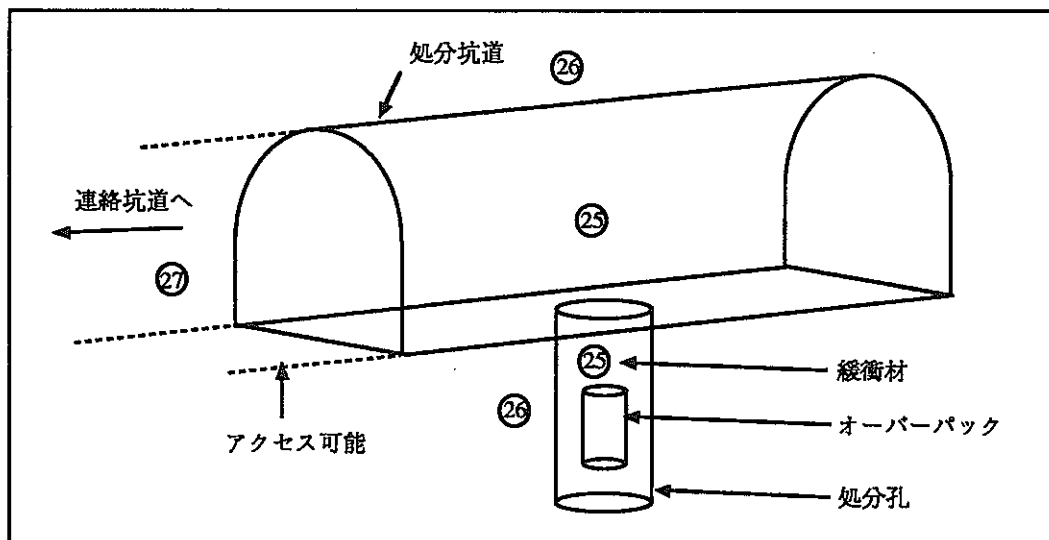
(○付数字のモニタリング項目は表1.2-6を参照)

図1.3-13 変動ケース11についての連絡坑道及び処分区画におけるモニタリング実施個所の例



(○付数字のモニタリング項目は表1.2-6を参照)

図1.3-15 基本ケース及び変動ケース1~7・9~12についてのニアフィールドモニタリングでの実施箇所の例



(○付数字のモニタリング項目は表1.2-6を参照)

図1.3-16 変動ケース8についてのニアフィールドモニタリングでの実施箇所の例

表1.3-7(1) 変動ケース別モニタリング実施段階(1)

段 階 基本ケースでの実施期間	建設&操業 (45年間)	操業後監視 (10年間)	閉鎖 5年間	閉鎖後管理 (300年間)	備 考
(1) 地表環境					
基本ケース					
変動ケース1		設定なし		設定なし	
変動ケース2		設定なし			
変動ケース3				設定なし	
変動ケース4		100年間			操業後監視段階 100年間
変動ケース5~11, 13					基本ケースと同じ
変動ケース12		実証期間			実証期間 (10+ α) 年間
(2) 海洋環境					
基本ケース					全段階で実施しない
変動ケース5					
変動ケース5以外					基本ケースと同じ
(3) 地質環境					
① サイト外周辺地域及びサイト内での地表からアクセスする場合					
基本ケース					
変動ケース1		設定なし		設定なし	
変動ケース2		設定なし			
変動ケース3				設定なし	
変動ケース4		100年間			
変動ケース5~11, 13					基本ケースと同じ
変動ケース12		実証期間			実証期間 (10+ α) 年間
② 立坑・連絡坑道周辺					
基本ケース					
変動ケース1, 2		設定なし			
変動ケース3, 5~11, 13					基本ケースと同じ
変動ケース4		100年間			
変動ケース12		実証期間			実証期間 (10+ α) 年間
③ 処分区画(岩盤・岩石(物理現象), 地下水(地球化学), 地下水(微生物))					
基本ケース					
変動ケース1, 2		設定なし			基本ケースと同じ
変動ケース3, 5~11, 13					
変動ケース4		100年間			
変動ケース12		実証期間			実証期間 (10+ α) 年間

表1.3-7(2) 変動ケース別モニタリング実施段階(2)

段 階 基本ケースでの実施期間	建設&操業 (45年間)	操業後監視 (10年間)	閉鎖 5年間	閉鎖後管理 (300年間)	備 考
(4) 作業環境 ① 立坑・連絡坑道周辺 基本ケース 変動ケース1, 2 変動ケース3, 5~11, 13 変動ケース4 変動ケース12		設定なし			基本ケースと同じ 実証期間(10+α)年間
		100年間			
		実証期間			
② 処分区画周辺 基本ケース 変動ケース12以外 変動ケース12					基本ケースと同じ 実証期間(10+α)年間
	実証期間				
(5) ニアフィールド ① 処分区画周辺 基本ケース 変動ケース1, 2 変動ケース3, 5~11 変動ケース4 変動ケース12 変動ケース13		設定なし			実証期間(10+α)年間 全段階で実施しない
		100年間			
		実証期間			
(6) 人工構築物 ① 鋼鉄(実証箇所のコンクリートを含む) 基本ケース 変動ケース12以外 変動ケース12					基本ケースと同じ 実証期間(10+α)年間
	実証期間				
② コンクリート 基本ケース 変動ケース1, 2 変動ケース3, 5~11, 13 変動ケース4 変動ケース12		設定なし			基本ケースと同じ 実証期間(10+α)年間
		100年間			
		実証期間			

1.3.5 データ取得技術に係る要件の検討

前1.3.4項において、モニタリングの対象物及び現象とその実施方法について検討した。本項においては、モニタリングの実施、すなわちデータの取得において留意すべき事項を検討する。そのような事項として、モニタリング自体の及ぼす影響、取得するデータの精度を挙げた。

(1) モニタリング自体の及ぼす影響

モニタリングはそれ自体に対象事象やバリア性能へ影響を及ぼす可能性を有している。したがって、ここでは個々のモニタリングにどのような影響の可能性があるのかを検討し、データ取得に関する技術に求められる要件としてまとめることとする。

(a) 地表環境

地表環境における測定においては、その採取方法や採取自体が環境に与える影響やバリア性能に与える影響はないと考えられる。本事項は基本ケース・変動ケースのそれぞれについて適用可能である。

(b) 海洋環境

上記(a)と同様である。本事項は変動ケース5に適用可能である。

(c) 地質環境

岩盤・岩石での物理現象や地質現象の測定、及び地下水の水理の測定については、基本的にその測定自体が地質環境に与える影響はないと考えられる。

しかしながら、地下水の地球化学のうち酸化還元電位等、その測定行為が化学反応によるものについては測定行為自体が測定対象の化学的特性を変化させる可能性がある。また、わずかな環境の変化で測定値が大きく変動する可能性もある。

(微)生物の同定・定量についても試料の採取行為が(微)生物の導入をもたらすことがないよう注意が必要であると考えられる。本事項は基本ケース・変動ケースのそれぞれについて適用可能である。

(d) 作業環境

坑道内大気測定や空間変位測定、湧水調査が基本的に環境に与える影響やバリア性能に与える影響はないものと考えられる。人員や機械設備についても同様である。本事項は基本ケース・変動ケースのそれぞれについて適用可能である。

(e) ニアフィールド

緩衝材やその周辺岩盤に対する測定については、その測定箇所とアクセス可能な空洞との距離がある程度近い場合、アクセス可能な空洞の存在による水理的、力学的、地球化学的、熱的影響が測定箇所に及ぶ可能性がある。その理由としては、アクセス可能な坑道（連絡坑道）は人員のアクセスが可能であるよう換気冷却されている可能性があるからであり、人員のアクセスが制限されていたとしても、そのアクセス坑道の内部空間を保護するライニングの影響が考えられるからである。

また、埋め込み式の場合、継続的測定を上位に位置づければ、長期間の測定の場合更新が必要となる。更新を行う場合には、孔の再掘削、孔内物質・機器の除去と再設置などの行為が必要となる。そのような更新行為が及ぼす様々な影響として水理的、地球化学的、力学的な擾乱があるものと考えられる。したがって、この場合には一つの埋設機器による測定がなるべく長期に可能であることが望まれる。ニアフィールドにおける測定は基本的にアクセスやモニタリング行為の影響を正当に評価する必要があり、予測においてもその効果を取り入れておく必要がある。

上記問題は、基本ケース及び変動ケース1～11に適用可能である。変動ケース12に対しては、第1処分区画に対する実証期間の長さが有意に短い場合には、更新が不要となる可能性もある。変動ケース13はニアフィールドモニタリングを想定していないため、本検討は適用されない。

(f) 人工構築物

人工構築物のうち、堆積岩用処分坑道のライニングとして用いる鋼製セグメントはその地球化学的影響評価がなされてある必要があるが、力学特性の把握におけるモニタリング行為の影響についてはないものと考えられる。本事項は基本ケース・変動ケースのそれぞれについて適用可能である。

(2) 取得するデータの精度

モニタリングにおけるデータの取得において留意すべき事項の一つは、データの精度の問題である。基本的には、個々のモニタリングの目的を達成する上において求められる精度で取得すべきであろうが、同一測定項目であるにもかかわらず目的ごとに取得精度を変えるのも合理的でない。したがって、以下においては、適切と

思われるデータの精度について項目ごとに検討することとする。なお、このデータの精度に関しては、基本ケース・変動ケースの相違による相違はない。

(a) 周辺環境

① 空間放射線：空間線量率・積算線量（ γ 線）

測定は「環境放射線モニタリングに関する指針（原子力安全委員会，平成元年3月）」に従う。基本的には、バックグラウンドの変動が識別できる精度での測定ができれば十分であると考えられる。なお、一例として精度を示せば、空間線量率は100nGy/hr、積算線量は10 μ Gy/3ヶ月である。

② 気象要素：風向・風速・降水量・気温・気圧等

風向は16方位、風速はm/s、降水量はmm、気温は $^{\circ}$ C、気圧はhPaが単位となるが、従来の気象観測の精度で十分であろう。

③ 農畜水産食品・陸水・大気中浮遊塵・土壌： α ・ β ・ γ 核種濃度

①と同様、測定は「環境放射線モニタリングに関する指針（原子力安全委員会，平成元年3月）」に従う。基本的には、バックグラウンドの変動が識別できる精度での測定ができれば十分であると考えられる。なお、 β 線計測における定量可能レベルは大気浮遊塵（供試量10⁴ m³）で0.004 mBq/m³、降下物（0.5 m³の月間全量）で0.08 Bq/m³、陸水（100 l）で0.4 mBq/l、土壌（100g乾土）で0.4Bq/kg乾土、農水産生物（1kg生）で0.04 Bq/kg生、牛乳（2 l）で0.02 Bq/lである。

(b) 海洋環境

① 海洋食品・海水・海底土： α ・ β ・ γ 核種濃度

上記(a)の③に同じ。

(c) 地質環境

① 岩盤・岩石（物理現象）：温度・ひずみ・変位・加速度

温度は地表温度（平均15 $^{\circ}$ C）から処分場深度までの温度（地下増温率3 $^{\circ}$ C/100mとして1,000mの深さで約45 $^{\circ}$ C）の温度範囲においては0.5～1 $^{\circ}$ Cの精度で十分であろう。なお、変動ケース6は1,000m深さで65 $^{\circ}$ Cを想定しているが、この範囲においても同様である。力学特性については既存の精度範囲で十分と考えられる。例えば、ひずみは10⁻⁶、変位は0.1mmのオーダーの精度、加速度は約5mV/galまでの感度での把握となる。

② 岩盤・岩石（地質現象）：傾動・隆起沈降量

傾動（水平変位量／鉛直距離）及び隆起沈降量（上下変位量）は、短期間では変化が通常認められないものであり、変化のないことを示すこととなる。

その際の精度は0.1mmの精度で十分であろう。

③ 地下水（水理）：地下水位・間隙水圧・流向流速

地下水位は天候により変動するが、一般に変動幅は小さく、1mmの精度が必要であろう。また、間隙水圧より求める場合には水位差1mmの変化に相当する 10^{-4} kgf/cm²の精度となる。地下水流速は現在の所 10^{-5} cm/sまでの精度であるが、その1～2桁上の精度が望まれる。流出量は1ccの精度で十分である。

④ 地下水（地球化学）：溶存成分の濃度・pH・Eh・放射性核種濃度

従来の測定精度（溶存濃度は0.1ppm、pHは0.1、Ehは10mV）で十分である。放射性核種濃度については(a)③に同じ。

⑤ 地下水（微生物活動）：微生物の同定と定量

今後の研究の進展に依存することとなる。

(d) 作業環境

① 坑道内空間（大気の状態）：空間線量率・積算線量・ラドン濃度・酸素濃度
・二酸化炭素濃度・一酸化炭素濃度・有機ガス
濃度・粉塵・気圧・風向・風量・温度・湿度

ラドン濃度の測定感度は一例としては3,000Bq/m³と示せる。これは以下のよう
に求めた。ICRP 32では平衡等価ラドン濃度に対する誘導空气中濃度＝DAC
を 1.5×10^3 Bq/m³、娘核種を含まないラドン濃度に対するDACを 1.5×10^5 Bq/
m³としており、両者の比は100である。わが国の法令による管理区域内におけ
る平衡等価ラドン濃度の濃度限度は 1×10^3 Bq/m³であるので、娘核種を含ま
ない場合の濃度限度は 1.5×10^3 Bq/m³と推定できる。要求される測定感度をその
3/10倍、さらに裕度として1桁見込むと3,000Bq/m³となる。

大気については労働安全衛生法で定める坑内作業環境の基準に従うものとする（なお、鉱山保安法に従うとした場合はこの限りではない）。例えば、酸素濃度は18%以上、二酸化炭素濃度は1.5%以下であることが確認できることである。温度は0.5℃目盛りの精度が必要である。

② 坑道内空間（空間変位）：壁間距離

本モニタリングは、坑道掘削工事による坑道の変形が落ちついた後に実施されるため、また、有意である変動の範囲を考慮して1mmの精度の測定となろう。

③ 人員（入出坑・作業状態）：位置・状況

精度の問題ではなく、測定の継続が必要である。

④ 機械設備（作動状況）：機能

精度の問題ではなく、測定の継続が必要である。

⑤ 湧水（湧水状況）：湧水箇所・湧水量

湧水量は1ℓの精度で十分であろう。

(e) ニアフィールド

① 緩衝材（物理的現象）：温度・ひずみ・水分率

水分率については1%の精度で十分であろう。温度・ひずみは既に述べた。

② 周辺岩盤（物理現象）：温度・ひずみ

③ 周辺岩盤（水理）：間隙水圧

④ 周辺岩盤（地球化学）：溶存成分の濃度・pH・Eh

以上まとめて前出と同様である。

(f) 人工構築物

① 鋼鉄（力学現象）：ひずみ・変位

② コンクリート（力学現象）：ひずみ・変位

以上まとめて前出と同様である。

1.3.6 現状の技術レベル及び将来の実現可能性の検討

まず、1.1で基本ケースとされた平成5年度の調査結果を整理し、1年間に調査・測定技術の進展があるものについては合わせて述べる。次に、1.3.4で検討されたモニタリング実施項目について、想定された変動ケース1～13の条件の変動によりモニタリング調査・測定方法が受ける影響を考察し、技術的な対応について検討する。

(1) 現状の技術レベルのとりまとめ

a. 地表環境

地表環境のモニタリングは、現在稼働中の原子力関連施設で実施されており、現状のレベルで対応は可能であると考えられる。高レベル放射性廃棄物地層処分の場合、極めて長期にわたるモニタリングが必要となるが、測定は地上で実施され、計測機器の交換は容易であると想定できるため、モニタリング期間が延長されても影響を受けることはないと考えられる。

(a) 空間放射線

空間放射線に関するモニタリングは、建設および操業段階から閉鎖後管理段階まで実施する。

【基本ケース】

i. 施設内設置モニタ

測定機種は、円筒形電離箱あるいはシリコン半導体検出器を用い、 γ 線を対象として行う。検出エネルギー範囲は60keV～3MeV、測定範囲は、 $1 \sim 10^4 \mu\text{Sv}$ 及び $0.1 \sim 10^4 \mu\text{Sv/h}$ 程度である。

ii. 施設周辺設置モニタ（モニタリングポスト）

線量当量レベルの低い範囲には球形NaI(Tl)シンチレーション検出器（DBM回路付）、線量当量レベルの高い範囲には球形電離箱というように測定範囲の異なる検出器をあわせて用いることにより、より広い範囲のモニタリングを行う。それぞれの測定範囲は、 $10^{-2} \sim 10 \mu\text{Sv/h}$ 及び $10^{-2} \sim 10^5 \text{nGy/h}$ 程度である。

NaI(Tl)シンチレーション検出器の場合、温度依存性があるので温度を一定に保つ必要がある。

iii. 個人モニタ

γ 線を対象とした測定は、フィルムバッチ、TLD、ガラス線量計、シリコン半

導体検出器により行い、中性子線を対象とした測定は、フィルムバッチ、バブルディテクタ、アルベド線量計により行う。

γ 線の測定範囲は、TLDで $1 \sim 10^5 \mu\text{Sv}$ 程度、ガラス線量計で $1 \sim 10^6$ シリコン半導体検出器では $1 \sim 10^4 \mu\text{Sv}$ 、フィルムバッチでは $0.1\text{m} \sim 300\text{mSv}$ 程度である。

また、中性子線の測定範囲は、TDLで $0.1\text{m} \sim 10^4 \mu\text{Sv}$ 程度である。

以上をとりまとめて、表1.3-8に空間放射線測定機器の主要機能特性を示す。

表1.3-8 空間放射線測定機器の主要機能特性

	測定対象	測定機種	測定範囲
施設内設置 モニタ	γ 線	円筒形電離箱	$1 \sim 10^4 \mu\text{Sv}$
	γ 線	シリコン半導体検出器	$0.1 \sim 10^4 \mu\text{Sv}$
施設周辺設置 モニタ	γ 線 (低)	球形 NaI(Tl) シンチレーション検出器	$10^{-2} \sim 10 \mu\text{Sv/h}$
	γ 線 (高)	球形電離箱	$10^{-2} \sim 10^5 \text{nGy/h}$
個人モニタ	γ 線	フィルムバッチ	$0.1\text{m} \sim 300\text{mSv}$
		TDL	$1 \sim 10^5 \mu\text{Sv}$
ガラス線量計		$1 \sim 10^6 \mu\text{Sv}$	
シリコン半導体検出器		$1 \sim 10^4 \mu\text{Sv}$	
	中性子線	TDL	$0.1\text{m} \sim 300\text{mSv}$

【変動ケース1】

操業後監視段階および閉鎖後管理段階が設定されないため、モニタリング期間が基本ケースより短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース2】

操業後監視段階が設定されないため、モニタリング期間が基本ケースより短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース3】

閉鎖後管理段階が設定されないため、モニタリング期間が基本ケースより短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース4】

操業後監視段階が100年間設定されるためモニタリング期間が基本ケースより90年間長くなる。しかし、空間放射線のモニタリングは、地上で実施するため計測機器の交換が可能であるため、機器の交換回数が多くなるがモニタリングの長期化には対応可能である。

【変動ケース5～7】

地上で実施する空間放射線のモニタリングは、地質環境条件の変動の影響を受けないため基本ケースで対応可能である。

【変動ケース8～11】

地上で実施する空間放射線のモニタリングは、地下施設のレイアウトの変動の影響を受けないため基本ケースで対応可能である。

【変動ケース12】

実証用廃棄体の概念に変動があり、基本ケースよりモニタリング期間が実証期間で(+ α)年間長く設定されている。しかし、変動ケース4と同様、機器の交換が可能であるため機器の交換回数は多くなるが、モニタリングの長期化には対応可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに係わるモニタリングではないため基本ケースと同じである。

(b) 気象要素

気象要素（風向、風速、降水量、気温、湿度等）の観測は、操業段階から閉鎖後管理段階終了まで地表の適切な場所で行う。

観測の品質を維持するために、一般的な気象観測機器は、5年毎に気象庁による検定が必要とされていることから、耐用年数は5年以上と考えられる。実際に、湿度計を除いては、検定期間をすぎても十分使用が可能であることが多いようである。観測機器類の交換は、地上観測であるため容易であると考えられる。

データは自記記録計（3か月可能）に記録し、定期的に収集する方式が多いが、テ

レメータ等による送信も可能である。

【基本ケース】

i. 風向の測定

風向の測定方法として次のようなものがある。

① 矢羽根式の回転による測定

風向により矢羽根が回転し、方位盤に風向位を示す矢羽根式風向計と水平風向、上下風向の2つの風向を同時測定できるバイベーンがある。

② ふきながしによる測定

目視に頼るため精度が低く、モニタリングには適さない。

ii. 風速の測定

風速の測定方法として次のようなものがある。

① 風杯、風車の回転による測定

三杯風速計とピラム式風速計がある。三杯風速計には、風杯の回転で発電機を回し、出力電圧から風速を求める発電式と風杯の回転数を係数記録する風程式がある。前者は瞬間風速の測定に用いられ、後者は一定時間内の風程から平均風速を算出するのに適している。

一方、ピラム式風速計は、矢車状の軽い羽根が風程に比例して指針が動くしくみになっており、微風平均風速を求めるのに使用される。

② 風圧による測定

ピトー管風速計およびダインス風速計がある。共に、風圧を利用して瞬間風速を測定するが、取扱・使用環境条件が難しく一般的ではない。

③ 温度降下による測定

熱線式風速計がある。温度降下と風速の関係から風速をわりだす方式であり、低風速の乱流時の測定に用いる。野外の固定観測ができない。

iii. 風向・風速の同時測定

上記 i、ii の他に風向・風速を1台で同時に測定する計器として以下のようなものがある。

① 超音波パルスの伝播速度による測定

超音波パルスの伝播速度が、風速によって変化する原理を応用した超音波式風向風速計がある。微風測定に適している。

② 風車（プロペラ）の回転、尾翼の回転による測定

風車型（飛行機型）風向風速計は、風速をプロペラの回転を電圧またはパルスとして検出し、風向を尾翼のポテンショメータまたはエンコーダ方式により求める。各種風データ処理システムの応用に適している。

③ 風杯型風向風速計

三杯型の風速計や矢羽根型の風向計を同軸上にまとめた測定器である。矢羽根の動きに関係なく安定した感度を示す。

風向風速計で一般に最も実用に供されているのは回転式であり、風杯型と風車（プロペラ）型に大別される。風杯型は、垂直成分よる風でも水平風に近い応答を示すこと、風車型の尾翼が風向に追従するのに時間的な遅れがありプロペラが常に風向に直面しないこと等により、一般に風車型より風杯型の方がやや大きい値を示す傾向にある。なお、観測のためには、観測鉄塔に類するものが必要である。

iv. 降水量

降水量を測定する雨量計には、貯水型雨量計と転倒ます型雨量計があるが、貯水型雨量計は一般に目視に頼るためモニタリングには転倒ます型が適していると考えられる。転倒ます型雨量計は、受水部に入った降水を転倒ますで受け、1転倒 0.5 mmまたは 1.0mm毎にパルス出力する。使用環境は、非凍結～40℃が一般的である。日本の気候を考えた場合、降雨時に40℃を越えることは稀であるが、凍結状態になることは充分考えられるため温度調節器としてヒータを組み込む必要がある。ただし、ヒータを組み込むためには外部電源が必要である。

v. 温度計

気温の測定には以下のような温度計が用いられている。この内、目視に頼らない

②または③がモニタリングには適していると考えられる。

① ガラス製棒状温度計

水銀式、アルコール式があり、温度の変化を目盛り上で読み取る。

② 自記温度計（バイメタル式）

バイメタルの温度による変化を拡大してペンに伝え記録する。測定範囲は、-30～50℃であり、乾電池による水晶式の時計を内蔵する場合が多い。また、自記記録方式であり、記録紙は3ヵ月記録可能なものが多い。

③ 隔測式温度計（白金測温抵抗体）

白金抵抗体の温度変化による抵抗変化を電気信号に変換して記録する。白金抵抗体の測定範囲は $-50\sim 50^{\circ}\text{C}$ であり、バイメタル式に比べやや広い。ただし、変換器用の外部電源が必要である。

vi. 湿度

湿度の測定方式には以下のようなものがある。最も一般的な方式は、②の毛髪方式である。測定記録は、乾電池による水晶式時計を内蔵した3ヵ月程度の自記記録の可能なものが多い。温度計との一体型も多い。

① 乾湿球の温度差から求める方式

乾球と湿球の温度差を測定し、気象常用表で湿度を求める。

一般的な方法がオーガスト乾湿計であり、通風式のことをアスマン乾湿計と呼ぶ。いずれも、湿球に水を供給する必要があるため長期のモニタリングには向かない。他に、測温抵抗体の感部を湿球と乾球にして測定し、相対湿度を求める方法がある。

② 人間の毛髪の伸縮を利用した方式

湿度の変化によって毛髪の長さが伸縮する特性を利用した湿度計である。毛髪の伸縮を機械的に拡大して指針を動かす指示湿度計（ポリメータ）や円筒ドラム上に巻かれた用紙上に湿度を記録する自記湿度計がある。毛髪を用いた湿度計は多方面で利用されているが、感部が毛髪であるため清潔に保つ必要がある他、伸縮特性が 5°C 以下になると急に大きくなる。

③ 露点温度を計測して湿度に換算する方式

塩化リチウムの吸湿電導性を利用した湿度計である。露点から表を用いて絶対温度、飽和蒸気圧を求めるられる。また、湿球温度との関係から相対湿度も求められる。ただし、数日ごとに塩化リチウムを塗布する必要があり、塗布直後は精度がよくない。

④ その他

静電容量による方式、抵抗式などがあるが、公的な気象観測にはあまり用いられていない。

以上をとりまとめて、表1.3—9に気象要素測定機器の主要機能特性を示す。

表 1.3—9 気象要素測定機器の主要機能特性

	風向	風速	降水量	気温	湿度
測定範囲	16方位	2～70m/s	0.5 mm	-30～40℃	0～100 %
測定精度	±5°	±5 %	±3 %	±1℃	±5 %
使用条件	非凍結	非凍結	0～40℃ 非凍結	————	————
耐用年数	5～10年あるいはそれ以上 ただし、5年に1度気象検定がある				

【変動ケース1～3】

「(a)の変動ケース1～3」と同様、モニタリング期間が基本ケースより短くなるため基本ケースで対応可能である。

【変動ケース4, 12】

気象観測は地上で行うので観測機器の交換は容易である。従って、「(a)の変動ケース4, 12」と同様、機器の交換回数は多くなるが、モニタリングの長期化には対応可能である。

【変動ケース5～11】

気象観測は地上で行うので地質環境条件の変動および地下施設のレイアウトの変動の影響を受けない。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース13】

「(a)の変動ケース13」と同様、基本ケースと同じである。

(c) 環境放射能

地下水、地下水湧水、地表水、排水および植物、動物、岩石、土壌、緩衝材あるいは粉塵などについてのモニタリングは、基本的に採取したサンプルについて室内で測定する。地表で取り扱う測定機器およびサンプリング機器の更新は容易である。また、

地下水あるいは地下湧水のサンプリング機器についても地下施設内のアクセス可能区間をサンプリング対象としているため可能である。

【基本ケース】

i. 地下水、地下水湧水、地表水、排水

水中放射線濃度の測定は、NaI(Tℓ)シンチレーション検出器、プラスチック検出器、液体シンチレーション検出器により測定するが、連続通水サンプリング式のものもある。ただし、連続通水サンプリング方式は、モータ、ポンプ等のメンテナンスについて多くの問題がある。

ii. 植物、動物、岩石、土壌、緩衝材

地表、一部坑内でサンプリングし、適当な化学処理をした後測定する。

iii. 粉塵

空気中の粉塵をフィルタで捕集し、α線についてはZnS(Ag)、β線についてはプラスチックシンチレーション検出器またγ線についてはNaI(Tℓ)シンチレーション検出器により測定する。

以上をとりまとめて、表1.3—10に環境放射能測定機器の主要機能特性を示す。

表1.3—10 環境放射能測定機器の主要機能特性

	検出器	検出感度
水中放射線濃度	β線：プラスチックシンチレーション検出器 γ線：NaI(Tℓ)シンチレーション検出器	7×10^{-1} Bq/m ³ 4×10^{-4} Bq/m ³
粉塵放射能濃度	α線：ZnS(Ag)シンチレーション検出器 β線：プラスチックシンチレーション検出器 γ線：NaI(Tℓ)シンチレーション検出器	4×10^{-8} Bq/m ³

【変動ケース1～3】

「(a), (b)の変動ケース1～3」と同様、モニタリング期間が基本ケースより短くなるため基本ケースで対応可能である。

【変動ケース4, 12】

環境放射能モニタリングのためのサンプリングは、地上で実施するのでサンプリング機器の交換は容易である。従って、「(a), (b)の変動ケース4, 12」と同様、機器の交換回数は多くなるが、モニタリングの長期化には対応可能である。

【変動ケース5】

孤島という地形条件から、処分場から海洋に漏洩した放射性物質に関するモニタリングを行う。実際には、天然、人工の多重のバリアをめぐらせている高レベル放射性廃棄物処分場から漏洩する放射性物質は、海岸に立地する原子力施設からのそれと比較してもはるかに小さいと考えられるため、現在、海岸に立地する原子力施設で実施している海洋に放出あるいは漏洩した放射性物質についてのモニタリングに準拠すれば十分である。

i. 海水

処分施設から海洋に漏洩した放射性物質の拡散の傾向を把握する目的で行う。海水のサンプリングは、通常表面海水（深さ1 mまで）を対象として行う。試料採取量は対象とする核種により異なるが、少なくとも100 lを必要とする。採取方法は、船を停止させ定点で採取するポイント採取と船を航行させながら一定野距離間で採取するライン採取とがある。試料採取は水中ポンプにより行い、採取後は直ちに塩酸を加える。

分析方法も対象核種により異なるが、一般的には蒸発乾固してから酸で溶解し、目的の元素を分離する操作を行う。対象核種と分析方法および使用放射線測定器を表1.3—11(1)に示す。

ii. 海底土

処分施設から海洋に漏洩した放射性物質の蓄積の傾向を把握する目的で行う。通常海底面から一定の深度までの海底土を対象としてサンプリングを行う。試料採取量は対象とする核種により異なるが、少なくとも3 kgを必要とする。試料採取は、スミスマッキンタイア型のグラブ式採泥器により海底土を船上から掘り取る。

分析方法も対象核種により異なるが、一般的には採取後乾燥、粉碎してから酸で溶解し、目的の元素を分離する操作を行う。対象核種と分析方法および使用放射線測定器を表1.3—11(2)に示す。

表1.3—11(1) 海水モニタリング

対象核種	供試量	分析方法および使用放射線測定器	定量可能レベル
β核種	10ℓ	GM計数管／プラスチックシンチレーション検出器	0.004Bq/kg
γ核種	20ℓ	蒸発濃縮—ゲルマニウム半導体検出器	0.008Bq/kg
トリチウム	2ℓ	電解濃縮—液体シンチレーションカウンタ	0.1Bq/kg
ウラン	2ℓ	キレート樹脂法—シリコン半導体検出器	0.01Bq/kg
プルトニウム	100ℓ	イオン交換樹脂法—シリコン半導体検出器	10 ⁻⁵ Bq/kg
超ウラン元素	100ℓ	イオン交換樹脂法—シリコン半導体検出器	10 ⁻⁵ Bq/kg

表1.3—11(2) 海底土モニタリング

対象核種	供試量	分析方法および使用放射線測定器	定量可能レベル
β核種	100g	GM計数管／プラスチックシンチレーション検出器	0.4Bq/kg
γ核種	100g	乾燥—ゲルマニウム半導体検出器	3Bq/kg
ウラン	2ℓ	キレート樹脂法—シリコン半導体検出器	2Bq/kg
プルトニウム	100ℓ	イオン交換樹脂法—シリコン半導体検出器	0.04Bq/kg
超ウラン元素	100ℓ	イオン交換樹脂法—シリコン半導体検出器	0.04Bq/kg

iii. 海産生物

処分施設から海洋に漏洩した放射性物質が生体に蓄積する傾向を把握する目的で行う。海産生物のサンプリングは、魚類、イカ类等沿岸を遊泳する生物、貝類、甲殻類、ウニ類等の底生生物あるいは岩礁に生息する貝類、甲殻類、海藻類等を対象として行う。試料採取量は対象とする核種により異なるが、一般的に生で数kgを必要とする。試料採取は漁業権の問題もあるので、漁業関係者に依頼する。

分析方法も対象核種により異なるが、一般的には採取後乾燥、粉碎してから酸で溶解し、目的の元素を分離する操作を行う。対象核種と分析方法および使用放射線測定器を表1.3-11(3)に示す。

表1.3-11(3) 海底生物モニタリング

対象核種	供試量	分析方法および使用放射線測定器	定量可能レベル
β 核種	生 1kg	GM計数管/プラスチックシンチレーション検出器	0.04Bq/kg
γ 核種	生 1kg	乾燥—ゲルマニウム半導体検出器	0.4Bq/kg
ウラン	生500g	T B P抽出法—シリコン半導体検出器	0.05Bq/kg
プルトニウム	生500g	イオン交換樹脂法—シリコン半導体検出器	0.004Bq/kg
超ウラン元素	生500g	イオン交換樹脂法—シリコン半導体検出器	0.004Bq/kg

【変動ケース6～11】

地上でのサンプル採取、地下施設内のアクセス可能区間を対象とした地下水および地下湧水の採取は、地質環境条件の変動および地下施設のレイアウトの変動に影響されない。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース13】

「(a), (b)の変動ケース13」と同様、基本ケースと同じである。

b. 地質環境

本モニタリングは、立坑・連絡坑道内では閉鎖段階まで、処分区画では操業後監視段階まで実施する。一方、地震観測は、サイト外周辺およびサイト内の地表で実施するため閉鎖後管理の段階まで継続する。

温度、ひずみ、変位の各センサーの耐用年数は、使用環境にも依存するが、通常数年～数10年程度と考えられている。しかし、一般的に、センサーよりも先にケーブルの結合部の腐食・劣化等による絶縁の低下あるいは浸水などによりに計測不能となるケースが非常に多い。ケーブルにはパイプをかぶせたり、特殊なコーティングを施すなどして強度をもたせることは可能であるが、最も劣化しやすい結合部の保護は極めて難しい。

測定機器を岩盤に埋設する場合、機器の交換は不可能であるが、周辺の適当な場所に代替測定器を設置することによるモニタリングの継続は可能であると考えられる。

(a) 岩盤・岩石（物理現象）

【基本ケース】

i. 温度

岩盤温度の測定は、岩盤内に設けた測定孔にセンサーを挿入して測定する。センサーは保護管に封入されているが、長期間に渡るモニタリングでは測定孔壁の崩壊によってセンサーを損傷する恐れがある。そこで、孔壁をケーシングチューブで保護し、センサーの周囲をモルタル等で固定するように埋設する必要がある、センサーの交換は不可能である。

センサーはその測定原理の違いにより、抵抗温度式、熱電温度式、光ファイバー温度式などに分類できる。センサーの耐用年数は使用環境に大きく依存するが、いずれも通常数年～数10年とされている。

① 抵抗温度式

金属や半導体の電気抵抗が温度によって変化することを利用する。

② 熱電温度式

2種類の金属の先端を結び温度に応じて生じる起電力の差を利用する。

③ 光ファイバー温度式

光ファイバー自身の温度特性を利用して、温度変化を波長の変化あるいは屈折率の変化として検出する。

①と②の方式は、センサーから計測器までの距離が大きくなるとケーブルによる

抵抗が増大するため測定精度が低下する。距離の限界は、数10m～100m程度とされている。また、測定範囲は、通常-20～70℃、測定精度は、±0.3℃である。

これに対し、③の方式は、信号の減衰が極めて小さく、ケーブルの最大延長は約8kmである。測定は、1m間隔で可能であり、ケーブルの直径が数mm～数cmと小さいため小径の測定孔にも対応可能である。測定範囲は、通常-50～150℃（使用によっては-140～460℃）、精度は、±1℃程度である。

ii. ひずみ

岩盤内に測定ゲージを埋設、あるいは空洞表面に測定ゲージを取り付けるなど固定して測定を行う。測定範囲は、±500～2,000×10⁻⁶である。一般的な測定機器の許容温度範囲は、-10～60℃程度であり、平均的な地温勾配（3℃/100m）による温度上昇であれば、地下1,000mで45℃程度であると考えられるため長期的なモニタリングに問題はないと考えられる。また、ひずみ計内部に抵抗式温度計を埋め込み、温度補正のために用いることも可能である。

計器の交換については、埋設型、壁面取り付け型のいずれも、同一の場所に再度計器を取り付けることはできない。しかし、測定対象が岩盤であることから、周辺の適当な位置に代替の測定器を設置すればモニタリングの継続に差し支えないと考えられる。

iii. 変位

対象となる岩盤に取り付け、固定点からの変位の絶対量を測定する。測定方法には埋設型と壁面取り付け型がある。測定範囲は、0～2ないし3mm程度のものから1,000mm以上のものまで目的に応じて様々な種類がある。測定機器の許容温度範囲は一般的に-10～60℃であり、平均的な地温勾配（3℃/100m）による温度上昇であれば地下1,000mでも問題はない。また、変位計内部に抵抗式温度計を埋め込み、温度補正のために用いることも可能である。交換により同一の場所に再度測定器を取り付けることは不可能であるが、周辺の適当な場所に設置することによりモニタリングは継続可能であると考えられるなどひずみ計と共通する点が多い。

iv. 地震

地震計は、地面に固定された台に振り子を取り付けたもので、台に対する振り子の相対変位を記録する。地震動を増幅する手段により、機械式、光学式および電磁式があるが、現在は、電磁式地震計が主流である。

地震計の測定する対象は、その固有周期の違いにより次のように異なる。

① 変位地震計

固有振動数より十分短い周期の地震動に対して変位を記録する。

② 加速度地震計

固有振動数より十分長い周期の地震動に対して加速度を記録する。

③ 速度地震計

固有振動数付近の周期を有する地震動に対して速度を記録する。

地震計の記録から地動を求めるには、地震計の周波数特性と位相特性を知る必要がある。一般に、震源解析等の理学的な目的には、速度を測定する方式を用いることが多いようであるが、岩盤の挙動など物体自体をモニタリングする場合は加速度を測定する方式を用いることが多いようである。また、地中埋設型と据付け型があるが、長期モニタリングの場合ノイズを避けるためにも埋設型が望ましいと考えられる。

地震計の耐用年数は30年以上と考えられるが、一般にケーブルの劣化が早く、保護管を巻くなどして耐用年数の長期化を図った場合でも10年程度と考えられる。モニタリングが長期にわたる場合、据え付け型の地震計は、ケーブルおよび地震計を交換することにより対処する。一方、地中埋設型の地震計は交換不可能であるため、近くの適当な位置に再度埋設することにより対処することになる。

以上をとりまとめ、表1.3—12に岩盤・岩石（物理現象）測定機器である温度計、ひずみ計、変位計および地震計の主要機能特性を示す。

表1.3—12 岩盤・岩石（物理現象）測定機器の主要機能特性

	温度計	ひずみ計	変位計	地震計
測定範囲	-20~70℃	$\pm 2,000 \times 10^{-6}$	0~200 mm	~3 G, ~15G
測定精度	± 0.3 °C	2% 非直線性	2% 非直線性	————
使用条件	数10~数 100m	-20~60℃	-20~60℃	-20~70℃
耐用年数	数年~数十年	数年~数十年	数年~数十年	30年以上

【変動ケース1】

操業後監視段階と閉鎖段階が設定されないため、モニタリング期間が基本ケースより短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース2】

操業後監視段階が設定されないため、モニタリング期間が基本ケースより短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース3】

閉鎖段階が設定されないため、モニタリング期間が基本ケースと同じあるいは短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース4】

操業後監視段階が 100年間設定されるためモニタリング期間が基本ケースより90年間長くなる。測定機器が使用不能になった場合は、据え付け型地震計は交換によりモニタリングの継続は可能である。また、交換不可能な温度計、ひずみ計、変位計および埋設型地震計は、近くの適当な位置に代替の測定機器を設置することによりモニタリングの継続が可能であると考えられる。従って、交換の回数あるいは代替測定器の設置の回数は多くなるが、モニタリングの長期化には対応可能である。

【変動ケース5】

温度、ひずみ、変位および地震の観測は、地形条件の変動の影響を受けない。

地下水の水質が海水の影響により $[\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-]$ 型の弱アルカリ性から $[\text{Na}^+ - (\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-)]$ 型の弱アルカリ性～中性に変動した場合、センサーやケーブルの腐食・劣化等が、問題になるほど早まるとは考えられない。また、必要であればセンサーとケーブルの繋ぎ目やケーブルに耐腐食性の高い材質を使用し、耐用年数を延ばすことも可能である。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース6】

地下水の水質が、 $[\text{Na}^+ - (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})]$ 型の弱アルカリ性～中性に変動した場合も、センサーあるいはケーブルの腐食・劣化等が問題になるほど早まるとは考えられない。また、必要であれば、「変動ケース5」と同様、センサーとケーブルの繋ぎ目やケーブルに耐腐食性の高い材質を使用することにより耐用年数を延ばすことも可能である。

地下増温率（5℃/100m）、地表温度15℃を想定した場合、深度 1,000mで岩盤温度が65℃に達する。水温の上昇により水質が変化することも考えられるが、上記の水質が変動する場合と同様に、センサーとケーブルの繋ぎ目やケーブルに耐腐食性の高い材質を使用することにより耐用年数を延ばすことも可能であり、地熱地域で過酷な条件下での温度観測などが実施されていることを考えあわせれば、特に問題とはならない。

一方、各測定機器の耐熱性は以下のとおりである。

① 温度

温度センサーにとって、65℃は特に問題になる温度ではない。

② 地震計

現状で70℃までの耐熱性は実績がある。

③ ひずみ計、変位計

現状では65℃での使用実績はないようであるが、温度に応じて測定機器の素材を選定すれば、現状の技術で70℃程度の耐熱性を得ることが可能であると考えられる。さらに、センサーに抵抗式温度計を埋め込むことにより、温度補正を行い精度を維持することが可能である。

【変動ケース7～11】

岩盤の温度、ひずみ、変位および地震動の測定は、地形形状の変動、動水勾配の変動および地下施設のレイアウトの変動の影響を受けないため基本ケースで対応可

能である。

【変動ケース12】

実証用廃棄体の概念に変動があり、基本ケースよりモニタリング期間が実証期間の(+ α)年間長く設定される。しかし、変動ケース4と同様、代替機器の再設置(据え付け型地震計の場合は交換)回数が多なるが、モニタリングの長期化には対応可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに係わるモニタリングではないため基本ケースと同じである。

(b) 岩盤・岩石(地質現象)

【基本ケース】

基本的に立坑・連絡坑道周辺および処分区画において実施する。従って、閉鎖後監視段階のモニタリングは考えない。ただし、地表において隆起・沈降量を測定する場合は、閉鎖後管理段階まで実施する。

i. 傾動

傾斜計により測定する。傾斜の変換方式は、差動トランス型、静電容量型、ポテンショメータ型あるいは気泡による目視など様々である。土木工事では、試錐孔内にガイド管を埋設しその中に設置する埋設型の傾斜計が多く用いられている。測定範囲は4~10分程度まで可能である。使用温度範囲は-10~60℃程度が多く、一般的な地温勾配による岩盤温度の上昇は、特に問題にならない。一方、水圧に対しては、最大10~20kgf/cm²(深度100m~200m)程度の実績しかなく、地表から深度1,000mの試錐孔を利用して傾斜計を設置した例はない。従来のように、傾斜計をケーブルにより吊り下げたり、埋設する方式では、水圧やケーブルの自重が大きな障害となるため、深度1,000mで測定可能な機器の開発は見通しがつかないのが現状である。従って、立坑内からモニタリングが必要な深度に横坑を掘削し、その横坑内に測定孔(深さ5m程度)を削孔し、傾斜計を埋設する方式が現実的である。

センサー部の耐用年数は10~数10年以上と考えられるが、(a)のひずみ計、変位計と同様、ケーブルおよび接続部の劣化が早く10年程度と見積もられる。埋設型の傾斜計を用いる場合、同一箇所に再設置することは不可能であるため、モニタリングを長期的に実施する場合、近くの適当な箇所に設置して継続することになる。

ii. 隆起沈降量

地盤沈下計は、機械式と電気式に大別される。機械式は、観測点に打ち込まれた鉄管に測定桿を固定し、桿と基準面との動きの差を拡大機構を介してペンを駆動し記録する。従って、商用電源は不要である。電気式は、鉄管と基準面との動きの差を差動トランスなどを通して電気的な出力とする。いずれの方式で測定にする場合も共通の問題は、「不動点」の設定が不可欠なことである。地上での測定の場合は「不動点」を水準点に求めることが多く、また、坑内等では基盤岩まで鉄杭を打ち込み不動点とすることが多いようである。しかし、地下1,000mの坑道を想定した場合、坑道内あるいは、さらに深部に不動点を求めても全体が1つの岩盤であれば、系全体が「不動点」と同じ動きをする恐れが大きい。従って、地表の別の系に不動点（水準点等）を求め、関係を一定期間毎に測定する必要がある。

沈下計方式とは別に、処分場サイトを1つの岩盤と考え、サイトに固定点を設置しGPS（Global Positioning System）を利用して継続的に岩盤の隆起沈降の程度をモニタリングする方式が考えられる。ディファレンシャル方式で継続的な測定を実施すれば、mm単位の精度が期待できる。なお、測量点は併合差を検証するためにサイト内に3点以上設置する必要がある。ただし、受信器の更新は問題ないが、固定点の更新はデータの連続性がとぎれるおそれがある。

表1.3—13に岩盤・岩石（地質現象）測定機器として傾斜計および隆起沈降計の主要機能特性を示す。

表1.3—13 岩盤・岩石（地質現象）測定機器の主要機能特性

	傾斜計	隆起沈降計
測定範囲	±数分～数度	±25mm
測定精度	2%以内（非直線性）	0.5mm以下（最小読取值）
使用条件	-10～70℃ 湿度90%以下	0～60℃
耐用年数	数年～20年程度	数年以上

【変動ケース1～3】

「(a)の変動ケース1～3」と同様、モニタリング期間が基本ケースと同等または

短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース4, 12】

傾斜計、沈下計あるいはGPS固定点の交換は可能である。従って、「(a)の変動ケース4, 12」と同様、交換回数は多くなるが、モニタリングの長期化には対応可能である。

【変動ケース5～11】

傾斜、隆起沈降の観測は、地質環境の変動および地下施設のレイアウトの変動の影響は受けな。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに係わるモニタリングではないため基本ケースと同じである。

(c) 地下水（水理）

地下水（水理）の観測は、サイト外周辺地域およびサイト内の地表から観測孔（湧水量は地表で直接）を利用して実施するものであり、閉鎖後管理段階まで実施する。

「a. 地表環境」のモニタリングと同様に機器の交換は容易であり、モニタリング期間が延長されても影響を受けることはない。ただし、観測孔自体の耐用年数も10～20年程度と考えられるため、観測がそれ以上に及ぶ場合は、既存の観測孔の影響の及ばない近くの適当な位置に代替の観測孔を掘削しなければならない。

【基本ケース】

i. 地下水位

水位観測は、ある基準面から測った地下水面の高さ（一般に、地表面から地下水面までの深さ、または海拔高度）で表す。観測の方式には、スケールによる直読式、フロート式、触針式（電極式）、圧力式、超音波式、電気式などがあるが、長期間にわたる試錐孔を利用した地下水位のモニタリングには、フロート式が最も適していると考えられる。以下にフロート式水位計の特徴を述べる。

- ① フロートの変化をプーリを介してペン記録するので電源が不要。
- ② 耐用年数は約10年と考えられ、メンテナンスもほとんど不要。
- ③ 精度（±1 cm）も他の方式と較べ劣らない。
- ④ 乾電池式の水晶時計を内蔵し3ヵ月の自記記録が可能。

なお、観測にはフロートの内径に応じた径の観測井と観測小屋が必要である。耐

用年数は、②に示すように10年程度であるが、地上での観測であるため計器の交換によりモニタリングの継続は可能である。

ただし、地下水位の変化は、地下水位以外の原因によっても生じるので、注意が必要である。例えば、気圧変化に伴う井戸水面の昇降あるいは降水や灌漑などにより圧縮された土壌中の空気の圧力変化がによる井戸水面の上昇などである

ii. 間隙水圧

試錐孔を利用して複数の深度についての間隙水圧計を測定する。従来から使用されている開放型の間隙水圧計（オープンスタンドパイプ式ピエゾメータ、別名カサグランデ型）はスタンドパイプを孔内にシールして設置する必要があるが、閉鎖型の間隙水圧計は、直接孔内にシールして設置する必要があるため、複数の深度についての測定が不可能である。

これに対して、カナダにおいて開発されたMPシステム（多点式間隙水圧計測装置）は、同一ボーリング孔内で同時に多数の測定・採水区間を設定でき、区間毎の間隙水圧の測定が可能である。カナダでは、既に深度 1,000mまでの機器が実用化されており、国内でも 500mまでの実績がある。ただし、パッカーが高温に弱く、使用温度範囲は一般的には40℃以下、ウレタン・ゴムを使用した特殊なものでも50℃までである。測定時には、外気圧導入チューブにより外気を感部に導入し、外気圧の変動による測定誤差を軽減する必要がある。

表 1.3—14に地下水位と間隙水圧の測定機器の主要機能特性を示す。

表 1.3—14 地下水（水理）測定機器の主要機能特性

	地下水位	間隙水圧
測定範囲	～20m, ～ 100m	～20kgf/cm ²
測定精度	± 1 cm以内	0.5%以内（非直線性）
使用条件	-10 ～40℃ 非凍結	0 ～50℃
耐久性	10年以上	1～3年

iii. 流向・流速

地下水の流向や流速を調べる場合、複数の観測井を設けて地下水位の分布状況やトレーサ剤の投入により測定を行っている。いずれの方法も多数の観測井を必要と

し、労力・時間のかかる高価な試験の割りに精度が低い。

一方、近年、単一孔を用いて自然地下水流の速さと方向を求める方法の開発が急速に進んでおり既に実用に供されている測定器も数種類存在する。

以下に、現在用いられている各種単孔式流速流向測定方法の原理と特徴について述べるとともに表1.3—15にまとめて示す。これらの内、最も小さな流速の測定範囲をもつ③あるいは④の方法でも 10^{-6} cm/sより小さい流速の測定は、不可能とされている。実際、高レベル放射性廃棄物処分場となるべきサイトにおける深度 1,000 mの地下水の流速は、 10^{-6} cm/sより小さいことが十分考えられるため、単一孔を用いて処分場サイトにおいて深度 1,000mの地下水の流速をモニタリングする方法は現状では未開発であると判断される。

① 中性子検出型

熱中性子吸収面積の大きいほう素をトレーサとして用い、測定孔内で中性子水分計のカウント数を計測して流速・流向を求める。

② 熱量式

センサーの中心部に置かれた発熱部から地下水に熱を与え、その加熱平衡量や移流拡散を計測して流速・流向を求める。

③ 電位差式

センサー部にφ 2mmのガラスビーズを充填したゾンデがあり、センサー中心にトレーサ（蒸留水）を注入するストレナ電極があり、その電極内に置換された蒸留水の移動によって生じる比抵抗の変化を電位差で検出する。

④ 画像追跡式

地下水が流れるセルの中に地下水の密度よりわずかに小さい密度をもつプラスチック粒子をトレーサとして投入し、その移動をテレビカメラで観測して流速・流向を求める。

⑤ レーザドップラ式

レーザ光の回折光を所定の部分に収束させ、それによって形成される干渉縞を地下水の中に含まれる懸濁物質が通過する際に生じる散乱光の強度変化を検出して流速・流向を求める。

これらの方式による測定では、次の事項に留意することが必要である。

・流速により測定手法が異なる機種がある。

- ・充てん物のない孔内の流速を検出しているため、地盤中の流速を判断するには周囲地盤の粒度分布の影響に注意する。
- ・原データが直接出力されない機種は、結果の判定に注意する。
- ・方位検出に地球磁場を利用する機種は注意する。

いずれの測定も観測井を使用するが、一般に孔井の耐用年数は10～20年程度と考えられ、同一の孔を利用して50～450年間のモニタリングの継続は不可能である。従って、モニタリング継続のためには周辺の適当な箇所に再掘削が必要となるが、この場合、以前に使用した孔井の影響を評価し、影響が及ばない位置を選定する必要がある。

表1.3—15 単一孔による孔内流向・流速試験

方式	測定範囲 (cm/s)	測定精度	孔径(mm)	その他
中性子検出型	$3 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-1}$	±15% 流向±10%	150	観測孔井は80mm、開孔率40%のトレーナ仕上げ
熱量式	$1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$ $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-1}$	±10%以下 ±80%以下	66	φ50mmのVPパイプにストレーナを加工
電位差式	$3 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-2}$	±10% 流向±7.5%	86	開孔率30%以上のストレーナ
画像追跡式	$5 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^0$	未公表	150以上	ストレーナは、内径125mm、長さ1m、開孔率30%以上
レーザドップラ式	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-2}$	未公表	66以上	深度200mまで

iv. 湧水量（地表）

地表における湧水量を正確に測定することは非常に難しい。簡便な方法としては、湧水を一旦くみ出し、新たな湧水量を測定する方法があるが、一般には、常時湧水があり精度が低く、長期的なモニタリングには不向きである。そこで、湧水を観測用の堰に導き、その水位を測定することにより湧水量を求める。観測用の堰および水位計は地表に設置するため、機器の交換によるモニタリングの継続は可能である。

【変動ケース 1～3】

「(a), (b)の変動ケース 1～3」と同様、モニタリング期間が基本ケースと同等または短くなるため基本ケースで対応可能である。

【変動ケース 4, 12】

地表での観測であるため、水位計、間隙水圧計および湧水量測定用の堰と水位計の交換は可能である。また、試錐孔が耐用年数に達した場合も、近くの適当な位置に掘削することにより、水位、間隙水圧および流向・流速観測の観測を継続することは可能である。従って、「(a)変動ケース 4, 12」と同様、交換回数は多くなるが、モニタリングの長期化には対応可能である。

【変動ケース 5】

試錐孔を利用した地下水位、間隙水圧、地下水の流向・流速および堰を利用した地表の湧水量の観測は、いずれも地形条件の変動の影響を受けない。

水質が $[\text{Na}^+ - (\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-)]$ 型弱アルカリ～中性に変化した場合の影響も「(a)の変動ケース 5」と同様、ケーブルなどの劣化が若干早まる可能性はあるが、測定値に影響を与えることはない。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース 6】

水質が、 $[\text{Na}^+ - (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^-)]$ 型弱アルカリ～中性に変化した場合の影響は、「(a)の変動ケース 6」と同様、ケーブルなどの劣化が若干早まる可能性はあるが、測定値に影響を与えることはない。

地下増温率が $5^\circ\text{C}/100\text{m}$ になった場合、MP システムの使用温度限界が現状で 50°C であることから、地表で 15°C と仮定すると深度 700m 以上の間隙水圧の観測は不可能となる。

【変動ケース7】

試錐孔を利用した地下水位、間隙水圧、地下水の流向・流速および堰を利用した地表の湧水量の観測は、いずれも地形条件の変動の影響を受けない。しかし、動水勾配0の水理条件のもとでは、地下水の流向・流速は測定できない。

【変動ケース8～11】

試錐孔を利用した地下水位、間隙水圧、地下水の流向・流速および堰を利用した地表の湧水量の観測は、地下施設のレイアウトの変動の影響を受けないため基本ケースで対応可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに係わるモニタリングではないため基本ケースと同じである。

(d) 地下水・地表水（地球化学）

一般的な水質の測定項目として、水温・pH（水素イオン濃度）・酸化還元電位・電気伝導度・溶存酸素・濁度・塩分などが挙げられる。その他に、陰イオン（塩素イオン・重炭酸イオン・硫酸イオン）や、陽イオン（カリウムイオン・ナトリウムイオン・カルシウムイオン・マグネシウムイオン）などの主要イオン濃度も測定するケースが多い。上記の測定項目の中で、放射性核種の移行挙動に影響を与える化学的な特性は、pH・酸化還元電位・イオン濃度であると考えられている。

地下水・地表水の化学的な観測は、原位置測定が可能な直接方式と採水器またはポンプで採取した水を測定する間接測定方式に大別される。

直接測定方式は、センサーを直接水中に設置し、地表または孔内に設置した計測器でリアルタイムに水質を把握する。しかし、水中に放置されるセンサーから計測器までのケーブルは、周囲の温度・水圧に大きく影響を受けるため、特に試錐孔内での測定に制約がある。現状の測定器は、数10m～100m程度の測定深度を対象としたものが大部分であるが、近年は最大深度1,500mまで対応可能なものもある。センサーの耐用期間は測定項目により異なり通常1年～数年程度であるが、交換は容易である。

間接測定方式は、多項目にわたる精度の高い測定が可能である。しかし、採取したサンプルは、採水から測定に至るまでの時間経過および圧力変化による水質変化の影響を受けることになる。採水筒の上下に蓋を取り付けた簡素な採水器によるサンプリングでは、河川の表層部や比較的浅部の試錐孔内の地下水を採取する場合には影響は

小さいが、深部の試錐孔内水を採取する際には著しい圧力変動を受け、信頼性のある測定値を得ることが難しくなる。この影響をできるだけ小さくするために、近年、特に深部の試錐孔内において採水区間の上下をパッカーで遮断して、他深度の地下水の混入を防ぎ、さらに原位置での圧力を保持した状態で採取できる採水器が開発されている。「(c) ii. 間隙水圧」で述べたようなMPシステム（多点式間隙水圧測定装置）が、その代表例であり、取り付け式の採水器により、深度1,000mまでの地下水を被圧・不活性状態で採取することが可能である。なお測定の精度を保持するため、試錐孔をなるべく裸孔の状態に近づけるため、測定深度や採水深度周辺に、ケーシングパイプにスリットを施したスリット管を設置する必要がある。表1.3—16に直接および間接測定方式による測定機器の比較を示す。

モニタリングが長期化する場合、孔壁の崩壊、ケーシングパイプの腐食・劣化等、試錐孔の維持管理に問題が生じる。試錐孔の耐用期間は、対象岩種・孔径・ケーシング材の種類等により大きく変化するが、一般的に10～20年程度であると考えられ、耐腐食性に優れたケーシングパイプを選定するなどの維持・延命は可能であるが50～450年間のモニタリングに使用することは不可能である。試錐孔が耐用期間を越えた場合は、隣接した適当な場所に代替用の試錐孔を掘削することによりモニタリングを継続する。ただし、代替の試錐孔は、既存試錐孔の影響の及ばない位置に選定する必要がある。

なお、透水性断層が存在する場合、貴重な深部の地下水のサンプルとなると考えられ、積極的にサンプリングし分析を行う。

【基本ケース】

モニタリングは、サイト外周辺地域およびサイト内での試錐孔を利用して採水する場合、閉鎖後管理段階まで実施する。一方、処分区画周辺で直接的に採水する場合、モニタリングは操業後監視段階までで終了となる。

i. pH（水素イオン濃度）

pH値のモニタリングは、直接測定と間接測定が可能である。いずれの方式も、測定精度は、 $\pm 0.01 \sim \pm 0.1$ 程度である。メンテナンスは、センサーに付いた汚れや水あか等を洗浄し、連続的に観測する場合には、数ヶ月～半年毎に測定液を補充する必要がある。

一般に、地下水の二酸化炭素の分圧は大気中の二酸化炭素分圧よりも高く、採水

表1.3-16 水質測定方式の比較

	直接（原位置）測定方式		間接測定方式	
	携帯型測定器	定置型測定器	卓上型測定器	汲み上げ型測定器
測定方式	センサー・ケーブル・測定器を現場まで持ち運び、センサーを直接水中に投げ込んで測定。	センサーを水中に投げ込み、測定部を地表に設置する。測定器は、収納盤を入れて屋外に設置、あるいは室内に設置。	採水器で採取した水を、室内あるいは野外で分析。	水中ポンプで揚水して、設置された測定器内で分析。
長所	小型で、安価。	多項目の連続的な測定が可能	多項目かつ精度の高い測定ができる。	多項目の連続的な測定が可能である。
短所	測定項目が少ない。	測定器の設置場所に制約がある	採水器によるサンプリングが必要。	測定器の設置場所や揚水の高低差に制約を受ける。
	センサーから計測部までのケーブル長に制約がある。センサーやケーブルの材質が、周囲の温度水圧などの使用環境に大きく影響を受ける。耐水圧構造・高抗張力コードの開発が進んでいる。		採水から測定に至るまでの時間経過に伴う水温・濁度の変化、また圧力変動によるpH・溶存酸素などの水質が変化する。	

器等で採取した試料を大気にさらすと、試料中の二酸化炭素は大気と平衡になるまで放出され、pH値が1～2上昇する。このため、間接測定の際には、採水区間をパッカーで遮断し圧力状態を保持できる採水器を使用する必要がある。

ii. 酸化還元電位

酸化還元電位のモニタリングは、直接測定と間接測定が可能である。酸化還元電位は、酸化還元反応によって生じる電位であり、水中に挿入した電極と水との間に生じる電位差を測定する。従来、酸化還元系におかされない不反応電極として使用されていた飽和甘コウ電極（塩化第一水銀）は、測定自体による水質の変化と周辺地域への汚染等の問題があり、使用は極力避けるべきである。これに代わって、現在では白金金属が一般的に使用されている。測定範囲は、通常±1,000～2,000mVで、精度は±1～数10mV程度である。

pH値と同様に、大気中の酸素や二酸化炭素の影響によって変化するため、不活性状態で採水できる装置が必要となる。

表1.3—17にpHおよび酸化還元電位の測定機器の主要機能特性を示す。

表1.3—17 地下水・地表水（地球化学） 測定機器の主要機能特性

	pH	酸化還元電位
測定範囲	0.00～14.00	±1,000～2,000mV
測定精度	±0.01～0.2	±1～数10mV
測定方法	ガラス電極法	白金・金属電極
使用条件	水深 10～100 mまで 温度 - 5.0～50.0℃	
耐久性	1～3年	

iii. 溶存成分の濃度

溶液中の溶存成分の定量分析は、採水器で採取したサンプルを室内で分析するのが一般的である。以下に主な分析法について述べる。さらに、それらの原理と特徴を表1.3—18溶存成分の濃度分析一覧に示す。

① 分光光度法

分光測光によって分光エネルギー組成・試料物体の反射率・透過率を測定する方法で、検出レベルは ppm～% である。他の分析機器と比較して、コストが低く熟練したオペレーターを必要としない。

② 蛍光X線分析法

試料にX線を照射し、試料に含まれている元素特有の蛍光X線の波長・強度を測定する方法で、検出レベルは ppm～%オーダーである。

③ ICP発光分光分析法

霧化させた試料をICP（高周波誘導結合プラズマ）で発光させ、その光を分光器で元素毎に分光して、各元素の濃度を測定する方法で、検出レベルは ppb～ppm である。元素間の干渉が少なく、分析濃度範囲が広い。

④ 原子吸光分析法

試料を熱分解、蒸気化させ、特定波長の吸光度を光電測光することで元素濃度を定量化する方法である。検出レベルは、ppt～ppb である。溶液測定分野では最もオーソドックスな測定方法である。

⑤ ICP質量分析法

ICP（高周波誘導結合プラズマ）を用いて試料物質をイオン化させ、各イオンを質量毎に分離し、イオンの個数を計数する方法で、検出レベルは ppq～ppt である。

【変動ケース1～3】

「(a)～(c)の変動ケース1～3」と同様、モニタリング期間が基本ケースと同等または短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース4, 12】

直接方式、間接方式、いずれの場合も測定および分析は地上で行うため、機器の交換は可能である。従って、「(a)～(c)の変動ケース4, 12」と同様、交換回数は多

表 1.3 - 18 溶存成分の濃度分析一覧

	測定原理	特徴
① 分光光度法分析	分光測光によって分光エネルギー組成・試料物体の反射率・透過率をはかる方法。分光透過率の測定は試料物体を通過したビームと通過しないビームとの測光バランスをとるか（ダブルビーム式）、あるいは試料物体を通過した光によって生じる光電流を測定することにより分析する。	他の分析装置と比較してコストが低く、熟練したオペレーターを必要としない。 (検出レベル：%～ppm)
② 蛍光X線分析	試料にX線を照射し、その時に出る試料に含まれている元素特有の蛍光X線の波長・強度を測定する方法。蛍光X線の強度は、元素濃度に比例するので、定量分析ができる。	試料を非破壊で分析可能。固体・粉体・液体のすべてに対応する。 (検出レベル：%～ppm)
③ ICP 発光分光分析	霧化した試料をICP（高周波誘導結合プラズマ）で発光させ、その光を分光器で元素毎に分光して、各元素ごとの濃度を測定する方法。	元素間の干渉が少なく、分析濃度範囲が広い。 (検出レベル：ppm～ppb)
④ 原子吸光分析	前処理として試料を捕集したガラス繊維フィルタを溶出、または溶媒抽出し、これを熱分解により原子化すると、原子の蒸気層はその元素特有な波長の光を吸収するので、個々の特定波長についての吸光度を光電測光することで元素の濃度を定量化する。試料を原子化するために、炎を使用する方法（フレイム方式）とヒーターを用いる方法（フレイムレス方式）とがあるが、少量の試料を瞬時に原子化できるフレイムレス方式のほうが高い精度が得られる。	発光分光分析計と比較して、分析操作が簡単で優れた検出感度と精度をもつ。析溶液測定分野では最もオーソドックスな測定方法で、重金属を扱う工場の廃液は、この方法で測定することが法令化されている。 (検出レベル：ppb～ppt)
⑤ ICP質量分析	ICP（高周波誘導結合プラズマ）を用いて試料物質をイオン化し、4重極質量分析部でイオンを質量毎に分離し、イオンの数を計数する。つまり、イオン一個の単位で測定できる。	 (検出レベル：ppt～ppq)

くなるが、モニタリングの長期化には対応可能である。

【変動ケース5】

試錐孔からのサンプリングは、地形条件の変動の影響を受けない。水質は基本ケースよりも地下水の塩素イオンの濃度が高くなるが、弱アルカリ性～中性であるため「(a), (c)の変動ケース5」と同様、センサー、ケーブルおよび採水器の腐食、劣化等についての影響は極めて小さいと考えられる。必要であれば、耐食性材料を選択することにより耐用年数を延ばすことも可能であるため基本ケースで対応可能である。

【変動ケース6】

水質は硫酸イオンの影響を受けて弱アルカリ性～中性を示すが、「(a), (c)の変動ケース6」と同様、センサー、ケーブルおよび採水器に耐食材料を使用すれば問題はないと考えられる。一方、地下増温率が5℃/100mになった場合、採水に使用するMPシステムの使用温度限界が現状で50℃であることから、「(c)の変動ケース6」と同様、(地表で15℃として)深度700m以上のサンプリングはできないので採水を測定する間接方式の観測には支障が出る。その他の測定は基本ケースで対応可能である。

【変動ケース7～11】

試錐孔からのサンプリングは、地形条件の変動、水理条件の変動および地下施設のレイアウトの変動の影響を受けない。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに係わるモニタリングではないため基本ケースと同じである。

(e) 地下水（微生物活動）

処分場内で微生物により分解された有機物によりコロイドが形成され、放射性核種の移動性を高めることが考えられるため微生物の活動状況についてのモニタリングが必要となる。

【基本ケース】

微生物のモニタリングは、地下水を採水器で採取して室内で分析するのが一般的である。生物活動は水質の変化に影響を受けるので、採水の際には前述した水質測定の場合と同様に、原位置での圧力状態を保持した状態で採取できるMPシステム

を用いる必要がある。一般的には、採取した地下水内の微生物の同定・定量は、光学顕微鏡やより高分解能の電子顕微鏡を用いた検鏡観察により微生物を特定し、カウンターなどを使用して個体数を計数する。しかし、地下 1,000m に棲息する微生物が未知であるため同定・定量化の方式および微生物活動の影響評価は研究途上にある。

現在、スウェーデンのストリパ鉱山において、深度 1,000m の試錐孔から採取した地下水中の微生物についての研究が行われている。今後、その研究成果を参考にすると共に、国内においても微生物活動の影響による放射性核種の移動性の変化に関する様々な基礎データを蓄積し、知見の向上を図る必要がある。

【変動ケース】

地下水の採取については、「(d)の間接方式」と同様である。しかし、微生物の同定・定量および活動の影響の評価については、研究段階にあり方式は確定されていない。

c. 作業環境

作業環境モニタリングは、坑内の作業環境の安全性を保証するために、建設段階から閉鎖段階まで実施する。本項目に関する測定は、作業環境の安全を保証するために実施するものであり中断はできない。従って、測定機器が使用不能になった場合は、測定機器を速やかに交換し、モニタリングを継続しなければならない。

(a) 坑道空間（大気の状態）

坑内の作業環境は、労働安全衛生法施行令第二十一条第四号の坑内作業場（働安全衛生規則第五百八十九条に掲げる坑内作業場）

- ① 炭酸ガスが停滞し、又は停滞するおそれのある坑内の作業場
- ② 気温が28度をこえ、又はこえるおそれのある坑内の作業場
- ③ 通気設備が設けられている坑内の作業場

に相当し、炭酸ガス濃度、気温、通気量の測定が必要となることが考えられる。

また、労働安全衛生法施行令第二十一条第一号の「鉱物等の粉じんを発散する作業場」および同第六号の「酸素欠乏危険場所」に該当することも考えられ、粉じん量および酸素濃度に関しても測定が必要と考えるべきである。さらに、一酸化炭素及び有機ガスの測定が必要な場合も想定される。

以下にこれらのガス濃度の測定に関する規定と測定機器について述べる。

【基本ケース】

i. 炭酸ガス濃度

炭酸ガス濃度の測定は、坑内作業場において以下のような法的制約を受ける。

① 坑内の作業場における炭酸ガスの測定点の位置

坑内における切羽と坑口（切羽と坑口との間に坑の分岐点がある場合には、当該切羽に最も近い坑の分岐点との中間の位置及び切羽に、それぞれ1以上とすること（作業環境測定基準第五条一）。

② 測定機器

検知管方式による炭酸ガス検定器又はこれと同等以上の性能を有する測定機器を用いて行うこと（同第五条二）。

③ 測定頻度

測定は、1月以内ごとに1回、定期的に行うこと（労働安全衛生規則第五百九十二条）。

④ 記録

測定の都度、測定日時、測定方法、測定箇所、測定条件、測定結果、測定を実施した者の氏名および測定結果に基づいて改善措置を講じたときは当該措置の概要を記録して、これを三年間保存しなければならない（同第五百九十二条2）。

⑤ 定められた環境

坑内の作業場における炭酸ガス濃度は1.5%以下としなければならない（同第五百八十三条）。

現在主流となっている炭酸ガスの測定は、非分散赤外線吸収方式である。これは、炭酸ガスがある特定波長の赤外線を吸収するという性質を利用したものであり、分析ガスに赤外線を放出し、高性能フィルターにより特定波長を選択し分析ガス中の炭酸ガスに吸収された赤外線の吸収度から炭酸ガス濃度を算出する方式である。この方式による炭酸ガス濃度の測定は、「②の検知管方式による炭酸ガス検定器又はこれと同等以上の性能」を有している。一般に、測定精度は、炭酸ガス濃度の±5%以内である。

ii. 坑内の気温

炭酸ガス濃度と同様に、以下のような制約を受ける。

① 気温の測定位置

「炭酸ガス濃度」と同じ基準により測定点を配置する（作業環境測定基準第五条一）。

② 測定機器

0.5度目盛りの温度計又はこれと同等以上の性能を有する測定機器を用いて行う（同第五条二）。

③ 測定頻度

測定は、半月以内ごとに1回、定期的に測定する（労働安全衛生規則第六百十一条）。

④ 記録

炭酸ガスと同様の事項（炭酸ガスの④参照）を記録し、保存しなければならない（同第六百十二条）。

⑤ 定められた環境

坑内の気温は、特別な場合を除き37度以下としなければならない（同第六百十一条）。

上記の項目の中の、0.5度より精度のよい温度計は、一般にも使用されており問題はない。

iii. 坑内の通気量

測定における制約は、以下のとおりである。

① 測定位置と測定頻度

坑内の通気量は、半月以内ごとに1回、定期的に、当該作業場において測定しなければならない（労働安全衛生規則第六百三条）。

特に通気量・通気方向を測定するための計器はないようであるが、測定すべき地点に微風向計、微風速計を設置すれば、坑内の空気の流れを把握することが可能となり、坑道の断面積から通気量を計算できるものと考えられる。一般に、微風向風速計の感度は0.2～0.4m/s以上である。

iv. 粉じん量

測定における制約は、以下のとおりである。

① 測定位置

測定点は、単位作業場所（当該作業場の区域のうち労働者の作業中の行動範囲、有害物の分布状況等に基づき定められる作業環境測定のために必要な区域）の1辺6m以下の格子点に配し、5以上とする。また、測定は、床上50cm以上150cm以下の位置で作業が定常的に行われている時間に行う（作業環境測定基準第二条一・例外規定あり）。

② 測定方法

測定は、次のいずれかの方法による（同第二条四）。

ア. 分粒装置を用いるろ過捕集方法及び重量分析方法

イ. 相対濃度指示方法（当該単位作業場における1以上の測定点においてアに掲げる方法を同時に行う場合に限る。）

アに相当する測定機器としてβ線吸収方式、イに相当する測定機器として光散乱方式がある。β線吸収方式は、ろ過式により捕集し、サイクロン方式により10μm以上の粉じんを100%カットし質量濃度(mg/m³)が得られる。一方、

光散乱方式は、相対濃度測定であり、0.001～10.0あるいは100.0mg/m³の範囲をカバーする。測定精度はいずれの方式も±10%である。

v. 坑内酸素濃度

測定における制約は、以下のとおりである。

① 測定位置

酸素欠乏危険場所の作業場（例えば、岩盤の酸化反応により酸欠になる恐れのある場所など）における空気中の酸素の濃度の測定点は、当該作業場における空気中の酸素の濃度の分布の状況を知るために適当な位置に、5以上とする（作業環境測定基準第十二条一）。

② 測定機器

測定は、酸素計又は検知管方式による酸素検定器を用いて行う（同第十二条二）。

③ 定められた環境

酸素濃度が18%に満たない場所は、立ち入りを禁止する必要がある（労働安全規則第五百八十五条四）。

酸素濃度の主な測定方式には、ジルコニア固体電解質方式（限界電流方式）とガルバニ電池式がある。いずれの方法も、測定範囲は1～25%、精度は±1%以内である。また、安全確保のための警報機の設置も可能である。

ジルコニア固体電解質方式は、良好な酸素イオン導電体であるジルコニア固体電解質でできたセンサ素子に電圧を与えると、酸素イオンをキャリアとするイオン電流が流れる。この出力電流には、測定雰囲気からセンサ素子に流れ込む酸素量が気体拡散孔で制限されるため、限界電流特性が観察される。限界電流値は、測定雰囲気中の酸素濃度とともに変化し、酸素濃度が低い時は、限界電流は近似的に酸素濃度に直接比例する。従って、限界電流の変化を調べることにより酸素濃度を測定できる。この方式には、次のような特徴があるが、可燃性ガス、フロンガス、SO_x、H₂S等がふくまれるガス、及びダストやミストは、誤差及び劣化の原因となるのでフィルターで除去する必要がある。

① 校正、基準ガスが不要である（メンテナンスフリー）

② 長寿命（3年以上）

③ 炭酸ガスの影響を受けない

④ 小型、低消費電力

⑤ ウォームアップ時間が短い（5分程度）

一方、ガルバニ電池式の酸素検知素子は、卑金属陽極と貴金属陰極が電解質中に浸されており、これを酸素のみ透過する隔膜で隔離し、隔膜を透過した酸素が陰極において酸化還元反応をおこし電流を発生する。この電流は、酸素量に比例する。小型、軽量であるうえ、酸素検知素子の交換が簡単であるなどの特徴がある。

vi. 坑内一酸化炭素濃度

一酸化炭素の測定方式は、非分散赤外線吸収法（NDIR法）が主流であり、試料を採取して測定を行う。測定範囲は0～50ppm程度が一般的であり、警報機の設置が可能なものが多い。測定点は、炭酸ガス濃度、酸素濃度の測定に準拠して配置すればよい。

vii. 坑内有機ガス濃度

有機ガスの測定は、対象とするガスの種類により用いる方法が異なるが、一般に炭化水素（非メタン系、メタン系）は、ガスクロマトグラフ法による直接方式を用いる。その他、白金線に接触し、触媒作用により接触燃焼した際に生じた熱により白金線の電気抵抗が増大することを利用した接触燃焼式あるいは熱伝導度がガスの種類によって異なることを利用した熱伝導式などが用いられる。測定点は、炭酸ガス濃度、酸素濃度の測定に準拠して配置すればよいと考えられる。

viii. 空間線量率・積算線量

作業場は、確実に管理区域に属するため電離放射線障害防止規則により線量当量率等の測定に関して、種々の規制を受けるが、測定機器に関しては、「a. (a)空間放射線」を参照のこと。

ix. ラドン濃度

ラドン濃度は、日および季節変化があり、人体への障害の程度はラドンガスに対する被曝時間の増加に伴って増大するため、長時間にわたるラドンの平均濃度の測定が必要である。

表1.3—19に各測定機器の主要機能特性を示す。上記項目に関する測定機器のほぼ共通した使用環境条件は、温度0～40℃、湿度90%で結露しないことである。温度条件については、「ii. 温度」で示したように、坑内の気温は「37度以下としなければ

ならない」と規定されており、何らかの気温低減策が施されることが想定される。従って、坑内は必然的に上記機器の使用温度条件を満足すると考えられる。一方、地下約 1,000mでは、湿度が 100%に近いことが予想されるが、現状では、結露するような高湿度に耐えられる測定機器はなく、将来的な開発課題である。しかし、湿度 100%は、作業環境としても適切であるとは言いがたく、坑内環境の整備（湿度の低減策）が必要となるものと考えられる。

電源については、坑内での他の作業にも必要であり十分確保されるものと考えられる。なお、上記のモニタリングは、作業場内の適当な位置に測定機器を設置して行うため、機器のメンテナンス（管理・維持・更新）のためのアクセスには、問題は生じないと考えられる。

表 1.3—19 坑道空間（大気の状態）測定機器の主要機能特性

	炭酸ガス	粉じん量	一酸化炭素	酸素
測定範囲	0～5,000ppm	0～10/100mg	0～100ppm	0.00～25.0%
測定精度	±2～5%	±10%	±0.5～5%	±0.5～0.7%
使用環境	温度：0～40℃ 湿度：90%以下	温度：-10～40℃	温度：0～40℃	温度：0～40℃ 湿度：30～80%

【変動ケース 1, 2】

閉鎖段階までのモニタリングであるため変動ケース 1 と 2 は同じ条件である。操業後監視段階が設定されないためモニタリング期間は基本ケースより短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース 3】

閉鎖段階までのモニタリングであるため基本ケースと同じである。

【変動ケース4】

操業後監視段階が100年間設定されるためモニタリング期間が基本ケースより90年間長くなる。各種の測定機器は作業場内の適当な位置に設置されるため、メンテナンス（維持・管理・更新）は容易であると考えられる。従って、測定機器の更新回数が多くなるが、メンテナンスによりモニタリングの長期化に対応可能である。

【変動ケース5, 7~11】

作業空間に測定器を設置するため地形条件の変動、地下水の水質の変動、水理条件の変動および地下施設のレイアウトの変動の影響を受けない。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース6】

作業空間に測定器を設置するため水質の変動の影響を受けない。測定機器の使用温度条件は、対象とするガスの種類により多少異なるが、ほぼ共通して0~40℃、坑内で温度変化がないという条件を加味しても上限は、45℃である。従って、地下増温率が大きくなり、地下坑道の温度が65℃となるような環境ではモニタリングは不可能である。

一方、労働安全衛生法には、坑内の気温は「特別な場合を除き37℃以下としなければならない」とされている。実際、坑内温度65℃は人間の作業環境という観点からも現実的でなく、何らかの温度低減策が施されるものと考えられる。

【変動ケース12】

実証用廃棄体の概念に変動があり、基本ケースよりモニタリング期間が実証期間の(+ α)年間長く設定されている。しかし、変動ケース4と同様、測定機器のメンテナンスは容易であるため、測定機器の交換回数が多くなるが、モニタリングの長期化には対応可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに係わるモニタリングではないため基本ケースと同じである。

(b) 坑道内空間（空間変位）

【基本ケース】

坑道の空間変位は坑道建設の段階で必ず測定される項目であるが、ここでは、建設段階の空間変位が修まった状態でのモニタリングについて考える。従って、測定は

月1～2回程度で十分であり、レーザ光を用いた測定方法もあるが、バーニアスケールやワイヤーを用いた目盛り直読式の測定とする。スケールやワイヤーを坑道断面に常時張っておくことは、作業の障害になるため現実的でないので、側壁の計測ポイントに接続金具をはめ込みメジャーテープにより測定する。

測定は、目盛り直読式で行うため、人間が作業可能な環境であれば変動ケースの影響を受けない。また、メジャーテープなどの測定機器は、測定時のみ使用し、交換も可能であるため、測定の長期化や使用環境の変化には影響されない。一方、側壁の計測ポイントは10年程度で交換が必要となる恐れがあるが、近くの適当な位置に計測ポイントを再設置しモニタリングを継続することになる。

【変動ケース1～3】

「(a)の変動ケース1～3」と同様、モニタリング期間が基本ケースと同等または短くなるため基本ケースで対応可能である。

【変動ケース4, 12】

計測ポイントが老朽化した場合、近くの適当な位置に再設置することによりモニタリングを継続可能である。従って、「(a)の変動ケース4, 12」と同様、交換回数は多くなるが、モニタリングの長期化には対応可能である。

【変動ケース5】

坑道壁に計測ポイントを設置するので、地形条件の変動の影響を受けない。水質が弱アルカリ性～中性になることにより、計測ポイントの腐食、劣化が早まり使用可能年数を若干短縮する可能性もあるが、無視できるものと考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース6】

水質の変動の影響は変動ケース5と同様で無視できるものと考えられる。温度条件の変動によっても計測ポイントの劣化が早まる可能性はあるが、大きく影響されることはないと考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース7】

坑道壁に計測ポイントを設置するので、地形条件の変動の影響を受けない。動水勾配0という水理条件は、むしろ計測ポイントの劣化を遅らせる可能性も考えらる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース8～11】

坑道壁に計測ポイントを設置するので、地下のレイアウトの変動の影響を受けないため基本ケースで対応可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに係わるモニタリングではないため基本ケースと同じである。

(c) 坑内人員

【基本ケース】

i. 入出坑

一般的な入室管理システムとしては、ホログラムカード、磁気カード、バーコードカード、指紋、網膜、非接触式などの方式が考えられる。各方式の価格、偽造の難易、汚れに対する強弱、使用環境の制約などによる特徴を入室管理システム比較表に示す。いずれの方式を採用する場合でも、入出坑のチェックは地上の立坑入口において行うと考えられ、モニタリングの長期化には管理システムの更新により対応可能であると考えられる。表1.3—20に入出管理システムの比較を示す。

ii. 作業状況

TVカメラを設置して監視を行う。カメラの耐用年数は、使用環境が過酷なこともあり、数年（3～7年）程度と考えられる。テレビカメラは、作業箇所に設置するため交換によりモニタリングを継続することは可能である。

温度については、現状では40℃程度が使用限界であると考えられが、電子冷却あるいはエアパージにより冷却機能を付加すれば、65℃程度までは使用可能である。一方、湿度の問題が非常に大きく、TVカメラの使用環境としては、現状では90%程度が利用限界である。特に結露する環境では使用不可能である。現実的には、人間が作業可能な環境を提供する必要があるため、空調により湿度は90%未満に下げられることが期待されるが、この状態は非作業時も維持する必要がある。ここでは、湿度90%未満のTVカメラ設置環境が提供されるという仮定で、変動ケースを考えることにする。

【変動ケース1～3】

「(a), (b)の変動ケース1～3」と同様、モニタリング期間が基本ケースと同等あるいは短くなるため基本ケースで対応可能である。

表1.3-20 入室管理システムの比較表

方式	長 所	短 所	コスト
ホログラムカード	<ul style="list-style-type: none"> ・磁界の影響を受けない ・汚れに強い ・リーダーが比較的安価 ・偽造は不可 	<ul style="list-style-type: none"> ・カードの発行はメーカーに依頼する必要がある ・専用の制御機が必要 	○
磁気カード	<ul style="list-style-type: none"> ・Read/Writeが容易 ・データ容量が比較的大 ・リーダーが比較的安価 ・偽造が難しい 	<ul style="list-style-type: none"> ・高温での保存が不可 ・高磁場の場所は不可 ・有機用材の環境下は不可 	◎
バーコード	<ul style="list-style-type: none"> ・媒体が安価 ・磁界の影響を受けない ・リーダーが比較的安価 	<ul style="list-style-type: none"> ・偽造が容易（コピーでも読取り可） ・汚れに弱い（カード及びカード読取り部） 	◎
孔カード	<ul style="list-style-type: none"> ・磁界の影響を受けない ・透過光のためバーコードよりは汚れに強い 	<ul style="list-style-type: none"> ・読取り部の汚れに弱い ・データの改ざんが容易 	○
指 紋	<ul style="list-style-type: none"> ・偽造は不可 ・磁界の影響を受けない 	<ul style="list-style-type: none"> ・汚れに弱い（読取り部） ・リーダーが高価 ・登録が困難 ・指先R I 汚染の可能性有 	×
網 膜	<ul style="list-style-type: none"> ・偽造は不可 ・磁界の影響を受けない 	<ul style="list-style-type: none"> ・汚れに弱い ・リーダーが高価 ・登録が困難 	×
非接触式	<ul style="list-style-type: none"> ・偽造は不可 ・磁界の影響を受けにくい ・機械的（近づくだけ） 	<ul style="list-style-type: none"> ・複数者が同時に近づいた場合の識別が困難 ・リーダー、カードとも比較的高価 	△

【変動ケース4, 12】

入出坑管理は管理システムは地上に設置するため、管理システムの交換を含めたメンテナンスは可能である。また、TVカメラは、作業場内に設置するため交換は容易である。従って、「(a), (b)の変動ケース4, 12」と同様、交換回数は多くなるが、モニタリングの長期化には対応可能である。

【変動ケース5, 7~11】

入出坑管理は管理システムは地上に設置し、TVカメラは作業空間内設置する。従って、地形条件の変動、水質の変動に、水理条件の変動および地下施設のレイアウトの変動に影響されないため基本ケースで対応可能である。

【変動ケース6】

入出坑管理は管理システムは地上に設置するため、水質の変動および熱条件の変動の影響を受けない。従って、基本ケースで対応可能である。

一方、TVカメラは、変動ケース5と同様、水質の変動の影響を受けないが、地下増温率の変動により坑内温度が40℃を越える場合は、電子冷却あるいはエアパージによりカメラ部分の温度を下げる必要がある。さらに、65℃を越える場合、現状の技術ではTVカメラを用いたモニタリングは不可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに係わるモニタリングではないため基本ケースと同じである。

(d) 機械設備

【基本ケース】

機械設備は自動制御とし、TVカメラによる作動状態の監視を行う。TVカメラについては、「(c)のii. 作業状況」と同様である。

【変動ケース】

「(c)のii. 作業状況」と同様である。

(e) 湧水（湧水状況）

【基本ケース】

i. 湧水箇所

坑壁へのしみ出しを目視により観察する。湧水箇所の特定は、目視によるため人

間が作業可能な環境が保証される限り変動ケースの影響を受けない。

ii. 湧水量

坑道の壁面からしみだしてくる地下水を一定区間について排水溝に集め、流量観測用堰を利用して測定する。あるいは、くみ上げ流量から求める。また、試錐孔を掘削して、孔からのしたたりを容器等により受けて測定し湧水量とすることも考えられる。いずれの方法にしても、精度はかなり粗いものとならざるおえない。

その他、坑道壁面付近の温度勾配を測定し水分蒸発量を測定し湧水量を推定する方法も開発されている（動燃式）が、地下1,000m付近は、ほぼ確実に地下水面より下にあり、坑内の湿度は100%に近いと推定され、モニタリングとしてこの方式により継続的に測定することは難しいと考えられる。

流量またはくみ上げ量の測定による方法は、坑道が維持されている限り、堰などの交換によりモニタリングの継続は可能である。一方、試錐孔からの採取による方法は、孔が耐用年数を過ぎた場合、代替孔の近くの適当な位置に掘削し、モニタリングを継続することになる。

【変動ケース1～3】

「(a)～(c)の変動ケース1～3」と同様、モニタリング期間が基本ケースと同等あるいは短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース4, 12】

堰および流量計は坑道内に設置されるため交換は可能である。従って、「(a)～(c)の変動ケース4, 12」と同様、交換回数は多くなるが、モニタリングの長期化には対応可能である。また、湧水箇所の特定期間は目視により行うため、人間がアクセス可能な環境が確保されている限りモニタリングの長期化には対応できる。

【変動ケース5～11】

堰を用いた流量の測定および試錐孔を利用した湧水量の測定は、地質環境の変動および地下施設のレイアウトの変動に影響されないため基本ケースで対応可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに係わるモニタリングではないため基本ケースと同じである。

d. ニアフィールド

ニアフィールドに係わるモニタリングは、操業段階から操業後監視段階終了時まで実施される。観測は、緩衝材あるいは周辺岩盤内に測定機器を埋設して行うため、できる限りニアフィールド環境を乱すことのない方式で設置する必要がある。また、ニアフィールドの環境を乱すことなく測定機器を交換することは不可能であるため、モニタリング時間の長短によらず埋設後の交換はおこなわないものとする。

(a) 緩衝材（物理現象）

観測は緩衝材内に測定孔を設け、測定器を埋設して実施するものである。使用する測定機器は、「b. (a) の i」で述べた岩盤・岩石の温度測定と同様であるが、使用期間条件が異なる。特に緩衝材の温度は廃棄体からの発熱により100℃近くに達するため、長期間のモニタリングを行うためには、耐熱性の高いセンサーやケーブルを利用する必要がある。

【基本ケース】

i. 温度

「b. (a) の i」で述べた岩盤・岩石の温度測定と同様である。ただし、上述のように廃棄体からの発熱により緩衝材の温度は、100℃近くに達するため適切な素材を選定する必要がある。実際、地熱調査では、温度100～200℃以上の環境下で長期間の温度検層が行われており、現実に数年間データを取得している例もあることから適切な素材を選定すれば全く問題はないと考えられる。

ii. 緩衝材膨潤圧

緩衝材に土圧計あるいはひずみ計を埋設することにより測定可能であると考えられる。土圧計は、計測部にシリコンオイル等が注入されており、そこにかかる圧力を換算して土圧を測定する。土圧計そのものの耐圧強度は、地下1,000mでも使用可能なものを作成する事は可能である。しかし、他の埋設型の計測機器と同様、長期的に使用する場合は、ケーブル及び計測部とケーブルの結合部の劣化による絶縁の低下が問題となる。ケーブル自体は、パイプをかぶせたり、特殊なコーティングを施すことにより、強度を持たせることが可能であるが、最も劣化しやすい結合部の保護は極めて難しい。この部分の絶縁が保てれば10～20年程度あるいはそれ以上使用することも可能であると考えられる。

一方、廃棄体の発熱により緩衝材内の温度は、100℃近くに達すると考えられる

が、このような高温条件での使用実績はなく、素材を含めた開発が必要となる。ケーブルの耐熱性については、「i. 温度」で述べたように、被覆の素材を選べば問題は解決するものと考えられる。表1.3-21に土圧計の主要機能特性を示す。

表1.3-21 緩衝材（物理現象）測定機器の主要機能特性

	土圧計
測定範囲	～20kgf/cm ²
測定精度	1%以内（非直線性）
許容温度範囲	地下 1,000m用作成可能
耐圧深度	-20 ～60℃
耐用年数	10～20年程度

【変動ケース1, 2】

操業後監視段階が設定されないため、変動ケース1と2は同じ条件である。操業段階のみのモニタリング対象となるためモニタリング期間が基本ケースより短くなり、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース3】

操業後監視段階終了までのモニタリングであるため基本ケースと同じである。

【変動ケース4】

操業後監視段階が100年間設定されるためモニタリング期間が基本ケースより90年間長くなる。モニタリング期間が延長された場合でも、埋設後の交換は不可能であるため基本ケースで対応する以外にはない。

【変動ケース5】

ニアフィールドでの測定は、地形条件の変動の影響は受けない。また、緩衝材内部であるため水質の変動の影響は、「b. (a)の変動ケース5」で考えられる水質の変動の影響より小さいと考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース6】

緩衝材内部であるため水質の変動の影響は、「b. (a)の変動ケース6」で考えられる水質の変動の影響より小さいと考えられる。また、地下増温率が5℃/100mに変動した場合、深度1,000mの岩盤温度は65℃程度と見積もられ、廃棄体の発熱に

よる温度上昇の方が大きいと考えられるため問題とならない。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース7】

ニアフィールドで測定は、地形条件の変動の影響は受けない。動水勾配が小さくなる方向の変動は、むしろ、モニタリングの継続には好ましいと条件であると考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース8～11】

ニアフィールドに係わるモニタリングは、地下施設のレイアウトの変動の影響を受けない。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース12】

実証用廃棄体の概念に変動があり、基本ケースよりモニタリング期間が実証期間の $(+a)$ 年間長く設定されている。 a の大きさにもよるが、「変動ケース4」と同様、埋設後の交換は不可能であるため基本ケースで対応する以外にはない。

【変動ケース13】

ニアフィールドに対する直接的なモニタリングを実施しない。

(b) 周辺岩盤（物理現象）

測定は、緩衝材の周辺の岩盤に測定孔を設け、測定機器を埋設して実施する。廃棄体の発熱による影響は、緩衝材および周辺の岩盤を通して伝わる。測定機器を埋設する箇所の環境は、緩衝材および岩盤の熱伝導率にもよるが、80℃程度までは岩盤温度が上昇することを想定する必要がある。

【基本ケース】

i. 温度

「b. (a) の i」で述べた岩盤・岩石の温度測定と同様である。80℃程度は温度計にとって問題になることはない。

ii. ひずみ

「b. (a) の ii」で述べた岩盤のひずみ測定と同様である。また、温度に対しては、「b. (a) の変動ケース6の③」と同様、適切な素材を選定することにより、現状技術でもこの程度の耐熱性をもつひずみ計を開発することは可能である。

【変動ケース1～3】

「(a)の変動ケース1～3」と同様、モニタリング期間が基本ケースと同等または短く設定されているため基本ケースで対応可能である。

【変動ケース4, 12】

埋設後は、測定機器の交換を行わないためモニタリングが長期化した場合も基本ケースで対応する以外にはない。

【変動ケース5】

ニアフィールドの測定は、地形条件の変動の影響は受けない。また、「b. (a)の変動ケース5」と同様、水質の変動による影響は問題にならないと考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース6】

「b. (a)の変動ケース6」と同様、水質の変動による影響は問題にならないと考えられる。また、岩盤の熱伝導率にもよるが、地下増温率が変動しても廃棄体の発熱による温度上昇の方が大きいと考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース7】

ニアフィールドで測定は、地形条件の変動の影響は受けない。動水勾配が小さくなる方向の変動は、むしろ、モニタリングの継続には好ましいと条件であると考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース8～11】

ニアフィールドでの測定は、地下施設のレイアウトの変動の影響を受けない。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに対する直接的なモニタリングは実施しない。

(c) 周辺岩盤（水理）

【基本ケース】

i. 間隙水圧

緩衝材の周辺岩盤に5 m程度の測定孔に間隙水圧計を埋設して測定する。ニアフィールドでの測定は、「b. 地質環境」よりも、さらに遠隔計測および自動計測の

必要性が高いことから閉鎖型の間隙水圧計が適していると考えられる。閉鎖型のセンサーは、間隙水圧の変動を圧力変換器の受感部での水圧としてとらえ、ダイヤフラムの変形を電気抵抗または誘起電圧に変換し、電流や電圧として計測する。この方式は、マイコンやデータロガーによって制御することにより、非定常および長期間の計測が正確なサンプリングタイムで可能である。

一般に、圧力変換器にはコーティングを施したり、シリコンオイルの封入により耐腐食性をもたせている。「b. (c)のii」でも述べたように、現状の測定範囲は、最大20ないし30kgf/cm²と地下 1,000mの間隙水圧の測定実績はないが、開発は可能である。また、温度条件については、現状の機器の許容温度は70℃程度までであるが、ひずみ計などと同様、耐熱性の素材を考慮するれば現状技術で実現可能であると考えられる。

表 1.3—22に周辺岩盤の間隙水圧を測定する間隙水圧計の主要機能特性を示す。

表 1.3—22 周辺岩盤（水理）測定機器の主要機能特性

	間隙水圧計
測定範囲	～20kgf/cm ²
測定精度	1%以内（非直線性）
許容温度範囲	0～70℃
耐用年数	数年

【変動ケース1～3】

「(a), (b)の変動ケース1～3」と同様、モニタリング期間が基本ケースと同等または短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース4, 12】

「(a), (b)の変動ケース4, 12」と同様、埋設後の交換を行わないためモニタリングが長期化した場合も基本ケースで対応する以外にはない。

【変動ケース5】

ニアフィールドでの測定は、地形条件の変動の影響は受けない。「b. (a)の変動ケース5」と同様、水質の変動による影響は問題にならないと考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース6】

「b. (a)の変動ケース6」と同様、水質の変動による影響は問題にならないと考えられる。また、「d. (b)の変動ケース6」と同様、地下増温率が変動しても廃棄体の発熱による温度上昇の方が大きいと考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース7】

ニアフィールドでの測定は、地形条件の変動の影響は受けない。動水勾配が小さくなる方向の変動については、むしろモニタリングの継続には好ましいと考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース8～11】

ニアフィールドでの測定は、地下施設のレイアウトの変動の影響を受けない。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに対する直接的なモニタリングは実施しない。

(d) 周辺岩盤（地球化学）

【基本ケース】

i. 溶存成分の濃度

溶存成分の濃度をモニタリングするには、「b. (d)地下水・地表水」の水質分析と同様に採水器で地下水を採取して室内で分析するのが通例である。

ニアフィールドにおけるモニタリングでは、緩衝材周辺の岩盤中に設けた測定孔内に採水器を埋め込むことはできるが、実証廃棄体処分坑道内に定置する埋戻し材が障害となり、採水器で集水した地下水試料を直接回収することはできない。そこで、採水器に管を取り付けてアクセス可能空間まで導水し、採水する方法が考えられる。場合によっては、ポンプによる汲み上げが必要と思われる。ただし、緩衝材や埋戻し材内に導水管を設けることによって、人工バリアの性能が低下することが懸念される。

耐用年数は、採水器や導水管については数10年と考えられるが、ポンプは故障し易いので長期間のモニタリングにはあまり適さない。

耐熱性については、廃棄体の発熱により 100℃近くまで達する環境下での実績が

なく、耐熱性材料の機器の開発が必要である。

ii. pH（水素イオン濃度）

pH値を正確に測定するには、原位置での測定が基本となる。pHセンサーを周辺岩盤の測定孔に埋設して測定することはできるが、埋設後の測定機器の交換およびセンサーの洗浄は不可能である。耐用年数は数年程度であるので、長期的なモニタリングは現状では無理である。埋設型の長期使用に耐えるセンサーの開発が必要である。センサーやケーブルの耐熱性については、地熱調査で熱水についての測定例があるので、適切な素材を選定すれば問題にならないと考えられる。

【変動ケース1～3】

「(a)～(c)の変動ケース1～3」と同様、モニタリング期間が基本ケースと同等あるいは短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース4, 12】

「(a)～(c)の変動ケース1～3」と同様、埋設後の交換を行わないためモニタリングが長期化した場合も基本ケースで対応する以外にはない。

【変動ケース5】

ニアフィールドでの測定は、地形条件の変動の影響は受けない。「b. (a)の変動ケース5」と同様、水質の変動による影響は問題にならないと考えられるが、必要であれば、センサーやポンプ等に耐腐食性の材質を使用することで対応できる。

【変動ケース6】

「b. (a)の変動ケース6」と同様、水質の変動による影響は問題にならないと考えられる。また、岩盤の熱伝導率にもよるが、地下増温率が変動しても、廃棄体の発熱による温度上昇の方が大きいと考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース7】

ニアフィールドでの測定は、地形条件の変動の影響は受けない。動水勾配が小さくなる方向の変動については、むしろモニタリングの継続には好ましいと考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース8～11】

ニアフィールドでの測定は、地下施設のレイアウトの変動の影響を受けない。従

って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに対する直接的なモニタリングは実施しない。

e. 人工構築物

地下施設の鋼鉄およびコンクリートに対するモニタリングである。

(a) 鋼鉄（力学現象）

処分坑道を掘削し、鋼製セグメントを施工した時点で測定機器を装着する。操業段階のみに限定されたモニタリングである。

【基本ケース】

i. ひずみ

測定対象となる鋼材にひずみ計を固定して測定する。測定範囲、許容温度範囲および耐用年数は、「b. (a)のii」で述べた岩盤を対象としたひずみ計と基本的には同じである。また、鋼材と同じ線膨張係数を持った自己温度保障型のものが多い。

計測は対象となる鋼材が露出している間は、交換あるいは周辺の適当な箇所に計測器を再設置しモニタリングを継続することが可能であるが、覆工されている場合は計測不能になった時点で終了となる。

ii. 変位

測定対象となる鋼材に固定して測定する。測定範囲、許容温度範囲および耐用年数などは、「b. (a)のiii」で述べた岩盤を対象とした変位と同様である。

【変動ケース1～4】

操業段階のみに限定されたモニタリングであり、基本ケースと同じである。

【変動ケース5, 7～11】

鋼材に装着するので地形条件の変動、水質の変動、水理条件の変動および地下施設のレイアウトの影響を受けない。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース6】

鋼材に装着するので水質の変動については影響を受けない。一方、地下増温率が大きくなる場合は、「b. (a)」で述べたように素材を選定して耐熱性を得る必要がある。

【変動ケース12】

実証用廃棄体の概念に変動があり、操業期間が35年と基本ケースより短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース13】

ニアフィールドに係わるモニタリングではないため基本ケースと同じである。

(b) コンクリート（力学現象）

【基本ケース】

i. ひずみ

ひずみ計を覆工コンクリートの中に埋込み測定する。測定範囲および許容温度範囲は、耐用年数などは「b. (a)のii」および「e. (a)のi」と同様である。さらに、変換器自体の線膨張係数をコンクリートに近似させた自己温度保証型もある。

計測機器をコンクリートに再度埋め込むことは行わず、計測不能になった時点でモニタリングは終了となる。

ii. 変位

コンクリートに変位計をはりつけるか、埋め込んで計測を行う。測定範囲および許容温度範囲は、耐用年数などは「b. (a)のiii」および「e. (a)のii」と同様である。計測機器をコンクリートに再度埋め込むことは行わず、計測不能になった時点でモニタリングは終了となる。

【変動ケース1, 2】

閉鎖段階までのモニタリングであるため変動ケース1と2は同じ条件である。操業後監視段階が設定されないためモニタリング期間が基本ケースより短くなる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース3】

閉鎖段階までのモニタリングであるため基本ケースと同じである。

【変動ケース4】

操業後監視段階が100年間設定されるためモニタリング期間が基本ケースより90年間長くなる。モニタリング期間が延長された場合でも、埋設後の交換は不可能であるため基本ケースで対応する以外にはない。

【変動ケース5】

コンクリート内に埋設するため、地形条件の変動の影響は受けない。また、水質の変動の影響は無視できると考えられる。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース6】

コンクリート内に埋設するため、水質の変動の影響は無視できると考えられる。また、地下増温度率が変動し、深度 1,000mの岩盤温度は65℃程度となる場合についても「b. (a)の変動ケース6」と同様、耐熱性の向上は可能である。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース7～11】

コンクリート内に埋設するため、地形条件の変動、水理条件の変動および地下施設のレイアウトの変動の影響は受けない。従って、基本ケースで対応可能である。

【変動ケース12】

実証用廃棄体の概念に変動があり、基本ケースよりモニタリング期間が実証期間の(+ α)年間長く設定されている。 α の大きさにもよるが、「変動ケース4」と同様、埋設後の交換は不可能であるため基本ケースで対応する以外にはない。

【変動ケース13】

ニアフィールドに係わるモニタリングではないため基本ケースと同じである。

(2) 将来の実現可能性の検討

モニタリングの各項目に対する要件と前(1)項で整理した各項目に対応する技術の現状から、各技術の将来の実現可能性について考察する。モニタリングの実現可能性の検討において必要な考慮事項は、

- ・耐用年数の延長可能性／諸機能面の耐久性の向上
- ・モニタリングに要求される精度を満足する測定技術の向上
- ・測定自身の影響度の低減のためのセンサー等の機器の小型化

である。しかし、三つ目の小型化の問題は測定方法の向上のための問題であり、実現しうるかどうかについての本質的な問題ではない。ここでは、一つ目の耐久性の向上について述べる。さらに、第二の項目である現状の測定技術では不十分なものについて将来的な技術の向上を検討する。

計測期間が長期にわたるものもあることから、そのような計測機器に対しては測定機能が長期に保証されることが必要である。坑道壁面のように、人間のアクセスが容易であるために、計測機器の交換が可能である場合にはこの問題はない。この問題が生じるのは、深い試錐孔内に機器を設置する場合、試錐孔内に機器を埋め込む場合、及び実証用廃棄体周辺の岩盤・緩衝材中に機器を埋め込む場合である。

熱的耐久性に関しては、計測環境が地表温度から廃棄体周辺の高温（100℃）まで変化する。通常地下増温率（3℃/100m）の場合（基本ケース及び変動ケース1～5・7～13）には、地表温度が平均15℃とすれば、1,000mで45℃であり、問題はない。地下増温率5℃/100mを想定した変動ケース6では1,000mで65℃となるが、この範囲においても使用可能範囲である。問題があるのは、実証用廃棄体周辺である。H3レポートではニアフィールドの温度の経時変化を解析した結果（乾燥条件）では、10年経過時に緩衝材内側で最高温度（100℃）に到達し、その後時間の経過とともに温度は降下している。また、さらに数m外側の部分では数10年経過時点が最高温度（70～80℃）となっている。これらの温度での耐久性の向上が必要となる。

耐圧性に関しては、圧力が大気圧から1,000m深度の間隙水圧（100kgf/cm²）あるいは1,000m深度の地圧（200数10kgf/cm²）まで変化する可能性を想定する必要がある。地表面下10mに地下水面があるとすれば、1,000mの深さでは100kgf/cm²の間隙水圧となる。また、1,000mの深さにおける初期地圧は岩石の密度2.7とすれば上載

荷重のみを考慮する場合 270kgf/cm²となる。地表から設けた試錐孔内ではこのような圧力環境下での計測が必要となる。

化学的耐久性に関しては、本検討では基本ケース・各変動ケースとも還元性、中性～弱アルカリ性を考慮したが、地質条件によっては水質が酸化性から還元性及び弱酸性からアルカリ性へ幅広くわたる可能性があるため、このような領域での計測機器の材料（センサーおよび配線の材料）の化学的耐久性が要求される。また、溶存成分との反応や析出による影響についても長期的に考慮する必要がある。

以下、上記問題に係わる主要な項目として温度、間隙水圧、ひずみ、地下水の流向・流速、岩盤の化学的な測定、微生物の同定と定量、作業環境および緩衝材膨潤圧各項目を挙げ、それらに関する実現可能性と技術開発の必要性について検討を行う。

① 温度

岩盤温度や緩衝材温度の測定方法には、抵抗温度式、熱電温度式、光ファイバー温度式があるが、測定精度は抵抗温度式と熱電温度式が±0.3℃、光ファイバー式は、±1℃である。耐用年数は使用環境にもよるが、数年～数10年と考えられる。ただし、光ファイバー式は、近年実用化されたため実績は少ない。測定範囲は、抵抗温度式と熱電温度式が通常-20～70℃程度であるのに対し、光ファイバー温度式はより高温での測定が可能である。測定可能温度範囲が広い後者で考えると、後者では光ファイバーケーブルで信号を送信するのでケーブルの耐久性が問題となる。ケーブル被覆は現在、10年程度までの寿命であるが、地中の化学的な腐食特性に関する知見をケーブルのコーティングなどの開発に利用することにより、耐久性を数倍に延長できる可能性はあると考えられる。

② ひずみ

ひずみ測定ゲージの測定範囲は±500～2,000×10⁻⁶、許容温度範囲は-10～60℃程度である。測定ゲージを埋め込む場合にはその交換は不可能である。したがって、岩盤内あるいは緩衝材内に埋め込むひずみ計は、長期に機能する測定機器の開発が必要であろう。緩衝材内での測定についてはさらに、より高温の70～80℃程度までの計測が可能であることが必要となる。

③ 間隙水圧

間隙水圧の測定範囲は0～20kgf/cm²ないし30kgf/cm²、耐圧範囲は測定範囲の4

倍程度である。間隙水圧の測定は差動トランスあるいは圧力ゲージによるものが多いが、測定範囲を向上させることは可能である。なお、H3レポートによればMPシステムによる水圧計測はカナダで1,000mまでの適用性が示されている。ただし、遮水用パッカーには耐熱性に問題があり、現在、特殊なウレタン・ゴムを用いても50℃が上限である。従って、地下増温率5℃/100mの変動を考慮した場合、現状の技術レベルでは、地下1,000mの測定は不可能である。今後、パッカーの素材の開発による耐熱性を向上が必要となろう。

差動トランスあるいは圧力ゲージによる使用可能な温度の上限は70℃程度である。ニアフィールドでの廃棄体周囲の岩盤中の間隙水圧の測定においては70℃程の温度領域に達するものも考えられ、許容温度付近での使用では耐久性や精度の低下が考えられる。高温環境での測定については、材質の変更などにより使用可能な温度を数十℃向上させることは十分可能であると考えられる。

④ 地下水の流向・流速

複数孔を利用した観測は、規模・時間・費用などの点から、長期間にわたるモニタリングとして適切な手法とは言い難く、単一孔での観測となろう。1.3.6でも述べたように、現状の技術レベルでは、単一孔を利用した地下水の流速の測定は、 10^{-6} cm/s程度が測定下限である。しかし、処分場環境での地下水の流速は、 10^{-8} cm/s \approx 3mm/year程度以下であることが考えられ、より遅い地下水流速の測定技術の研究開発が必要である。

⑤ 緩衝材周辺岩盤の化学的な測定

周辺岩盤内の溶存成分の濃度は、採水器で地下水を採取して室内で分析するのが一般的である。したがって、緩衝材周辺の岩盤中に設けた測定孔から緩衝材や埋戻し材内に導水管を通し、アクセス可能空間まで導水することになる。この場合、採水器や導水管の耐熱・耐食性については適当な素材を選定すれば問題はないと思われる。むしろ、緩衝材や埋戻し材内に導水管を埋設することにより、人工バリアの性能を低下させる恐れがあるので、測定孔からアクセス可能空間までの適切な採水のあり方を新たに開発する必要がある。

周辺岩盤内のpH測定は、センサーを緩衝材周辺の測定孔に埋設して測定するため、廃棄体による発熱により100℃程度の高温にさらされることになる。しかし、耐熱性の問題については、地熱調査に用いられる耐熱性の高いpH測定器が

存在することから、適切な素材を選定することによりは解決すると考えられる。

これに対し、長期間測定するには、センサーの汚れ・水あか等の洗浄や、測定液の補充等の定期的なメンテナンス（数ヶ月～半年程度）が必要不可欠である。したがって、機器の交換が不可能な岩盤内での測定では、自動的あるいは遠隔操作でメンテナンスが行えるような、長期使用に適した測定機器の開発が求められる。

⑥ 微生物活動

微生物により分解された処分場内の有機物によりコロイドが形成され、放射性核種の移動性を高めることが考えられる。そのため、地下水内の微生物の活動についての分析が必要である。分析は、採取した地下水内の微生物について実施するが、棲息する微生物が未知なため研究途上の段階にある。

現在、ストリパ鉱山では、微生物についての研究が実施されており、その研究結果を参考にすることはいうまでもないが、国内においても微生物活動の影響による放射性核種の移動性の変化について様々な基礎データを蓄積し、知見の向上を図る必要がある。

⑦ 作業環境

作業環境の安全を確保するために坑道内の大気の状態について監視が必要である。しかし、それらを測定する計器は、地下 1,000mでの使用を前提としておらず、使用環境としては温度40℃以下、湿度は最大90%以下（結露しない）が一般的である。一般的な地下増温率を想定した場合、地下 1,000mの温度は45℃程度、湿度はほぼ 100%と考えられ、現状の測定機器によるモニタリングは不可能である。作業状況、機械設備の監視用テレビカメラについても同様に、温度・湿度の問題がある。作業者のために、冷却および除湿を行ない良好な環境を整えることを期待すれば、現状の技術で対応可能であるが、それでは、作業停止期間中も測定機器維持のために環境を保持することが必要となる。従って、温度45℃（場合によっては65℃）、湿度 100%の環境に耐えうる測定装置を開発することが良策であると思われる。それらの耐性を持つ機器の開発は、今後の研究に負うところが大きい。

⑧ 緩衝材膨潤圧

緩衝材膨潤圧測定用の土圧計の測定範囲は20kgf/cm²までである。耐圧強度に関

しては、地下1,000mでも使用可能なものを作成することは可能である。むしろ、長期にわたる使用上の問題は、ケーブル及び計測部とケーブルの結合部の劣化による絶縁の低下で、この結合部の絶縁が保てれば、10～20年程度あるいはそれ以上使用することも可能であろう。センサーの耐熱性については60℃程度の高温までは材料の選定により問題は解決するものと思われる。ケーブルの耐熱性についても材料選定により問題はない。

上述したモニタリングの実現可能性を実際に確認する場としては、今後設置することが考えられる深地層研究室がまず挙げられる。深地層研究室が設けられれば、その運営は地層処分場の建設段階までは継続されると考えることもできる。その場合、運営期間は20～30年程度にまで及ぶ可能性がある。そのような長期間運営される深地層研究室においては、モニタリングに係る諸研究のうち、実環境下で長期にわたる継続した測定（例えば、抵抗温度式あるいは熱電対式温度計、埋め込み式の土圧計・ひずみ計・変位計、坑壁に埋設する間隙水圧計などによる測定）を行い、実際に機器やケーブルの耐久性を評価する研究開発がなされるべきであろう。

1.3.7 取得したデータの利用方法の検討

モニタリングにより取得したデータの利用方法について、モニタリングの対象物の分類ごとに段階と検討ケースの内容を考慮してまとめる。

(1) 環境試料に係るデータの利用方法

環境試料に関するモニタリングについては、立坑と地上施設を中心にサイト外及び一部サイト内で実施され、事業主体と自治体との協定に基づいてデータの収集、解析がなされ、公表されることとなろう。公表されるデータは特定ポイントの空間放射線、特定ポイントにおける環境試料中の放射能量及び補助データとしての気象データであろう。この環境試料に係るデータの利用の仕方は基本的に段階にかかわりなく実施されると考えられる。なお、気象データのうち、降水に関するデータは地下水流動解析の涵養量に関するデータとして参照されることとなろう。上記事項は基本ケース・各変動ケースの相違に関わるものではない。

(2) 地質環境に係るデータの利用方法

地質環境のうち、長期に緩慢な変動を示す地質現象：傾動・隆起沈降量については、段階を通じて、データの蓄積がなされ、定期的に公表されることとなろう。基本的にこれらの数値については変化がほとんどないこと、あるいはごく小規模な変化を確認する程度であろう。このような地質事象の変動に対しては、基本ケース・変動ケース5～13（共に計360年）と変動ケース2（計350年）・4（計450年）の間に相違はなく、変動ケース1（計50年）・3（計60年）についても同様の扱いが可能であろう。

物理現象：温度・ひずみ・変位・加速度のうち、温度については上記の地質現象と同様に長期にわたり変化がないか、緩慢な変化を示すことを確認することとなろう。断続的に発生する地震動や長期にわたる地殻のひずみの蓄積については、平常時と地震動発生時とに分け、特に地震動発生時のデータの解析がなされ、操業～閉鎖段階においては地上施設、地下施設の目視や計器による監視結果との対比がなされることとなろう。閉鎖後管理段階（基本ケース及び変動ケース2・4～13の場合）においては、サイト周辺のモニタリング孔で得られたデータを蓄積し、閉鎖前までに蓄積されたデータとの対比がなされ、問題がないことを示すこととなろう。

地下水（水理）：地下水位・間隙水圧・流向流速については、操業段階、操業後監視段階（変動ケース1・2を除く）においては、地下水流動解析のデータとして

用いられ、閉鎖段階、閉鎖後管理段階（変動ケース1・3を除く）では、閉鎖による地下水位の復元と一部流速データの変化が追跡され、閉鎖後地下水流動予測解析結果との対比がなされることとなろう。

地下水（地球化学）：溶存成分の濃度・pH・Ehについては、操業段階、操業後監視段階（変動ケース1・2を除く）においては、閉鎖許認可のための安全評価用データとして継続して取得されることとなろう。閉鎖段階以後は、地表のモニタリング孔で得たデータを用いて予測解析の結果との対比、あるいは好ましくない環境条件に変化しないことを確認することがなされることとなろう。

地下水（微生物活動）：微生物の同定と定量については、主に操業段階、操業後監視段階（変動ケース1・2を除く）において、それまでの研究に準じた測定がなされ、安全評価への反映がなされることとなろう。

(3) 作業環境に係るデータの利用方法

坑道内空間（大気の状態）：空間線量率・積算線量・ラドン濃度・酸素濃度・二酸化炭素濃度・一酸化炭素濃度・有機ガス濃度・粉塵・気圧・風向・風量・温度・湿度については、操業段階においては、基本ケース・各変動ケースとも作業者の安全のためにリアルタイムに計測データが用いられることとなろう。具体的には、計測結果から、異常と判断された場合には特定エリアの閉塞、対策行動の開始、避難誘導等がとられることとなろう。平常時は、異常エリアの予知のためのデータ取得となろう。操業後監視段階においては（変動ケース1・2を除く）、アクセス坑道でのアクセスの安全の監視のためにモニタリングデータが用いられることとなろう。閉鎖段階においては、閉鎖作業エリア及びそこまでのアクセスの安全の監視のためにモニタリングデータが用いられることとなろう。

実証用廃棄体埋設部に近いアクセス坑道における空間線量率・積算線量・ラドン濃度については、バックグラウンドレベルの継続的把握と実証用廃棄体に起因する放射能の漏出が確かでないことを確認する一つ的手段として計測されることとなろう（変動ケース13を除く）。

坑道内空間（空間変位）：壁間距離については、操業段階から閉鎖段階を通じて、坑道の力学的安定性確保のためにデータの取得と監視が継続的になされることとなろう（基本ケース・各変動ケース共）。また、同じく、地震動のような突発的事象に係るデータとの対比・検討もなされることとなろう。

人員（入出坑・作業状態）：位置・状況については、操業段階から閉鎖段階を通じて、安定した操業と安全な作業を維持するため、坑内に入坑した人員の勤務状態、位置等の監視が行われることとなろう（基本ケース・各変動ケース共）。

機械設備（作動状況）：機能については、操業段階から閉鎖段階を通じて、巻き揚げ機、坑内搬送機器、配電設備、空調設備、揚水設備、その他付帯設備の作動状況が良好であることを常時監視することとなろう（基本ケース・各変動ケース共）。

湧水（湧水状況）：湧水箇所・湧水量は、操業段階、操業後監視段階（変動ケース1・2を除く）において、地下水流動解析に用いるデータとして取得及び監視がなされるであろう。

(4) ニアフィールドに係るデータの利用方法

ニアフィールドに係るデータとしては、緩衝材（物理現象）：温度・ひずみ、周辺岩盤（物理的現象）：温度・ひずみ、周辺岩盤（水理）：間隙水圧、周辺岩盤（地球化学）：溶存成分の濃度・pH・Ehがあるが、基本ケース及び変動ケース1～11の場合、これらは各処分区画での定置・埋戻しが終了した後に設置される実証用廃棄体の周辺に設置される計測機器により測定されるもので、操業後監視段階終了時まで実施される。変動ケース12の場合には、実証用区画としての第1処分区画での定置・埋戻し時に、処分坑道（両）端部の実証用廃棄体定置箇所において、それらの実証用廃棄体の周辺に設置される測定機器により測定されるもので、これらはアクセス可能な状態と距離であることが条件となる。これらのデータは操業のための許認可取得時に実施した安全評価結果を実証し、あるいは、解析以下のレベルであることを確認するために行われることとなろう。また、それら取得したデータ自体は、前者の場合各パネルごとの時間差を有する相対的な比較評価に用いられるとともに、閉鎖のための許認可取得に必要な安全評価のための入力データあるいは安全評価手法の改良のための基礎データとして一部が用いられることとなろう。これらのデータは主として短期予測に用いられるが、一部のデータについては長期予測のための入力データとしても利用されるかもしれない。後者の場合には、第2処分区画他への本格的な廃棄体定置のための技術的な（そして恐らく政策的な）判断を提供するものとして、測定データが用いられることとなろう。

(5) 人工構築物に係るデータの利用方法

鋼鉄（力学現象）：ひずみ・変位、コンクリート（力学現象）：ひずみ・変位に

については、坑道内空間（空間変位）：壁間距離に関するデータと同様、作業段階から閉鎖段階を通じて、坑道の力学的安定性確保のためにデータの取得と監視がなされることとなろう（基本ケース・各変動ケース共）。また、地震動に係るデータとの対比・検討もなされることとなろう。

以上の検討結果をとりまとめ表1.3-23(1)~(3)に示す。

表 1.3-23(1) 取得データの段階別利用方法と対応する目的

データ	作業段階	作業後監視段階	閉鎖段階	閉鎖後管理段階
環境試料に係るデータ	<p>【全ケースに対応】</p> <p>事業主体と自治体との協定に基づく、特定地点の空間放射線、環境試料中の放射線量、気象データの公表 【環境安全及び社会的受容】</p>	<p>【基本ケース及びケース3～11, 13に対応】</p> <p>(同左)</p>	<p>【全ケースに対応】</p> <p>(同左)</p>	<p>【基本ケース及びケース2, 4～13に対応】</p> <p>(同左)</p>
地質環境に係るデータ	<p>長期に緩慢な変化を示す地質現象データ（傾動・隆起沈降）は定期的に公表 【施設の長期安全評価及び社会的受容】</p> <p>温度についても緩慢な変化、あるいは変化がないことを確認し、公表 微生物の同定と定量については基礎的データとして安全評価へ反映 【施設の長期安全評価及び法的整備、社会的受容】</p> <p>ひずみ・変位・加速度については長期にわたる変化のないことの確認と地震動発生時には目視や計器による監視結果との対比 【施設の長期安全評価及び法的整備、社会的受容】</p> <p>地下水位・間隙水圧・流向流速については地下水流動解析用として利用 【施設の長期安全評価及び法的整備、社会的受容】</p> <p>溶存成分濃度・pH・Ehについては閉鎖許認可のための安全評価用として利用 【施設の長期安全評価、法的整備、社会的受容】</p>	<p>(同左)</p> <p>(同左)</p> <p>(同左)</p> <p>(同左)</p>	<p>(同左)</p> <p>なし</p> <p>(同左)</p> <p>閉鎖後地下水流動予測解析結果との対比 【施設の長期安全評価、社会的受容】</p> <p>閉鎖後予測解析結果との対比 【施設の長期安全評価、社会的受容】</p>	<p>(同左)</p> <p>なし</p> <p>閉鎖前までに得られたデータとの対比 【社会的受容】</p> <p>(同左)</p> <p>(同左)</p>

表 1.3-23(2) 取得データの段階別利用方法と対応する目的

データ	作業段階	作業後監視段階	閉鎖段階	閉鎖後管理段階
作業環境に係るデータ	<p>【全ケースに対応】</p> <p>坑道内の大気に係るデータについては、地下施設内で、リアルタイムに計測データを把握し、異常時には対策行動に反映し、平常時にはベースとなるデータの蓄積に用いる。 【作業安全、操業・閉鎖の円滑な進展、社会的受容】</p>	<p>【基本ケース及びケース3～11, 13に対応】</p> <p>同左データについて、アクセス坑道での作業の安全に反映させる。 【同左】</p>	<p>【全ケースに対応】</p> <p>同左データについて、閉鎖作業エリア及びアクセス坑道での作業の安全に反映させる。 【同左】</p>	<p>【基本ケース及びケース2, 4～13に対応】</p> <p>なし</p>
	<p>実証用廃棄体埋設部近傍においては、放射能の漏出がないことの確認 【作業安全、操業・閉鎖の円滑な進展、社会的受容】</p>	<p>(同左)</p>	<p>なし</p>	<p>なし</p>
	<p>空間変位（壁間距離）については、空間の安定性の確認、突発的事象発生時の関連データとの対比、解析 人員の位置・状況についてはリアルタイムでの勤務状態の監視 機械設備の作動状況についてはリアルタイムの監視 【作業安全、操業・閉鎖の円滑な進展、社会的受容】</p>	<p>(同左)</p>	<p>(同左)</p>	<p>なし</p>
	<p>湧水箇所、湧水量は地下水流動解析用及び監視用データとして利用 【施設の長期安全評価、法的整備、社会的受容、作業安全】</p>	<p>(同左)</p>	<p>閉鎖後地下水流動予測解析結果との対比 【施設の長期安全評価、社会的受容】</p>	<p>なし</p>

表1.3-23(3) 取得データの段階別利用方法と対応する目的

データ	操業段階	操業後監視段階	閉鎖段階	閉鎖後管理段階
ニアフィールドに係るデータ	<p>【全ケースに対応】</p> <p>緩衝材の温度・ひずみ、周辺岩盤の温度・ひずみ・間隙水圧・水質については、事業許可申請時の安全評価結果を実証し、あるいは安全なレベルであることを確認するために用いられる。さらに、閉鎖のための許認可取得に必要な安全評価データとして用いられる。</p> <p>【施設の長期安全評価、操業・閉鎖の円滑な進展、法的整備、社会的受容】</p>	<p>【基本ケース及びケース3～11, 13に対応】</p> <p>(同左)</p>	<p>【全ケースに対応】</p> <p>なし</p>	<p>【基本ケース及びケース2, 4～13に対応】</p> <p>なし</p>
人工構築物に係るデータ	<p>鋼鉄・コンクリートのひずみ・変位、坑道内空間の壁間距離については、坑道の力学的安定性確保のために、また、地震動発生時の解析の実証用に用いられる。</p> <p>【作業安全、操業閉鎖の円滑な進展、社会的受容】</p>	<p>(同左)</p>	<p>(同左)</p>	<p>なし</p>

2. モニタリングに関する課題の抽出

本章では1.章「わが国における処分場のモニタリングのあり方の検討・整理」での検討及び整理内容を受けて、モニタリングを実施するとした場合に想定されるモニタリングの実現に向けての課題を抽出し、整理する。その際、検討ケース・変動ケースの内容を考慮する。

2.1 課題抽出における前提条件としてのスケジュールの検討

地層処分事業は非常に長期に渡ることが予想される事業であり、前章で検討したように、建設、操業、操業後監視、閉鎖、閉鎖後管理の各段階での実施が想定されるモニタリングも非常に長期にわたる行為となる。また、本調査研究では対象とはしていない建設前の段階に行う試錐もモニタリングに密接に関わるものとなることは想像に難くない。したがって、想定される処分事業スケジュールの検討を行っておくことがモニタリングの課題の抽出・検討においては必要となる。

まず、国の原子力長期計画において定められているスケジュールは、

2030年代～2040年代半ばに操業開始

である。これは現在よりも35～50年程後の事である。

また、処分場の操業段階の期間をH3レポートの内容と本調査研究で設定する前提条件より検討すると以下の通りとなる。

(前提) 一つの処分場の規模：廃棄体40,000本

処分区画数と規模：8区画、5,000本/区画

処分場の稼働日数：200日/年 [≒17日/月]

(5日/週の稼働に保守点検による休業3日/月を想定)

廃棄体埋設処理能力：6本/日

(結果) 1処分区画埋設年数：4.17年 [=5,000/(200×6)]

⇒付随する補完作業等を含めて5年を想定する。

処分区画を単位とする建設及び定置がスムーズに進行するものとし、そのための最適な方策として1処分区画の建設期間を埋設期間と同様の年数に設定する。この時、実証期間を設ける変動ケース12を除いたその他の変動ケース及び基本ケースにおいては、8処分区画全部が連続的に順次廃棄体の埋設に供されるとする。この時、図1.2-1～7に示したように8処分区画分の操業と1処分区画分の建設期間からなる操業段階の期間

は、

45年 [= $8 \times 5 + 5$] [基本ケース及び変動ケース1～11・13の場合]

となる。変動ケース12に関しては、第1処分区画に対する実証期間 α 年を加算して、

(45 + α) 年 [変動ケース12の場合]

となる。

したがって、上記の前提における操業段階の終了については、基本ケース及び変動ケース1～11・13の場合には、

2070年代半ば～2090年頃に操業終了

[基本ケース及び変動ケース1～11・13の場合]

(2070年代半ば + α) 年～(2090 + α) 年頃に操業終了

[変動ケース12の場合]

となる。

操業後監視段階の長さについては、直ちに閉鎖に移る変動ケース1・2・12の場合には0年、基本ケース及び変動ケース3・5～11・13の場合には10年、変動ケース4の場合には100年を想定した。このように操業後監視段階の長さを短期間のものを主とし、100年と長いものをオプションとしたのは、

- ・元々処分の概念は一つにはこのような監視を不要とするシステムであるが故に採用されるものであること、
- ・長期にわたり監視されるということであれば、処分ではなく貯蔵と考えるべきこと、
- ・閉鎖のための許認可期間（閉鎖前の操業後監視段階においては閉鎖のための許認可に必要な情報を取得することと、それまでに取得したデータと合わせて最終的な申請用データをそろえることが主要な目的である）が長期になることは、閉鎖後に得られるデータに大きな変動があるとは想定されない（廃棄体に起因する放射能の検出は勿論のこと、地層の諸特性に対しても）ことから技術的な理由からは考えられないこと、等の理由からである。すなわち、あまりに長期にわたる操業後監視段階を想定することは適当ではないという結論が得られる。

操業後監視段階として10年を想定する場合、

2080年代半ば～2100年頃に閉鎖後監視段階終了

[基本ケース及び変動ケース3・5～11・13の場合]

操業後監視段階を想定しない場合、

2070年代半ば～2090年頃に操業段階終了後閉鎖段階に移行

[変動ケース1・2の場合]

(2070年代半ば+ α)年～(2090+ α)年頃に操業終了

[変動ケース12の場合]

操業後監視段階として100年を想定する場合、

2170年代半ば～2190年頃に閉鎖後監視段階終了

[変動ケース4の場合]

となる。

各ケースとも閉鎖に係る期間を5年と想定していることから、

2090年代～2100年代半ば頃に閉鎖段階終了

[基本ケース及び変動ケース3・5～11・13の場合]

2080年代～2090年代半ば頃に閉鎖段階終了

[変動ケース1・2の場合]

(2080年+ α)年～(2090年代半ば+ α)年頃に閉鎖段階終了

[変動ケース12の場合]

2180年代～2190年代半ば頃に閉鎖段階終了

[変動ケース4の場合]

となる。

その後の閉鎖後管理段階の継続期間を現在の低レベル廃棄物と同じ300年としているのは基本ケース及び変動ケース2・4～13であり、閉鎖後管理段階を設けていないのは変動ケース1・3である。したがって、

2390年代～2400年代半ば頃に閉鎖後管理段階終了

[基本ケース及び変動ケース5～11・13の場合]

2090年代～2100年代半ば頃に閉鎖後管理段階終了

[変動ケース3の場合]

2380年代～2390年代半ば頃に閉鎖段階終了

[変動ケース2の場合]

2080年代～2090年代半ば頃に閉鎖後管理段階終了

[変動ケース1の場合]

(2380年+ α)年～(2390年代半ば+ α)年頃に閉鎖後管理段階終了

〔変動ケース12の場合〕

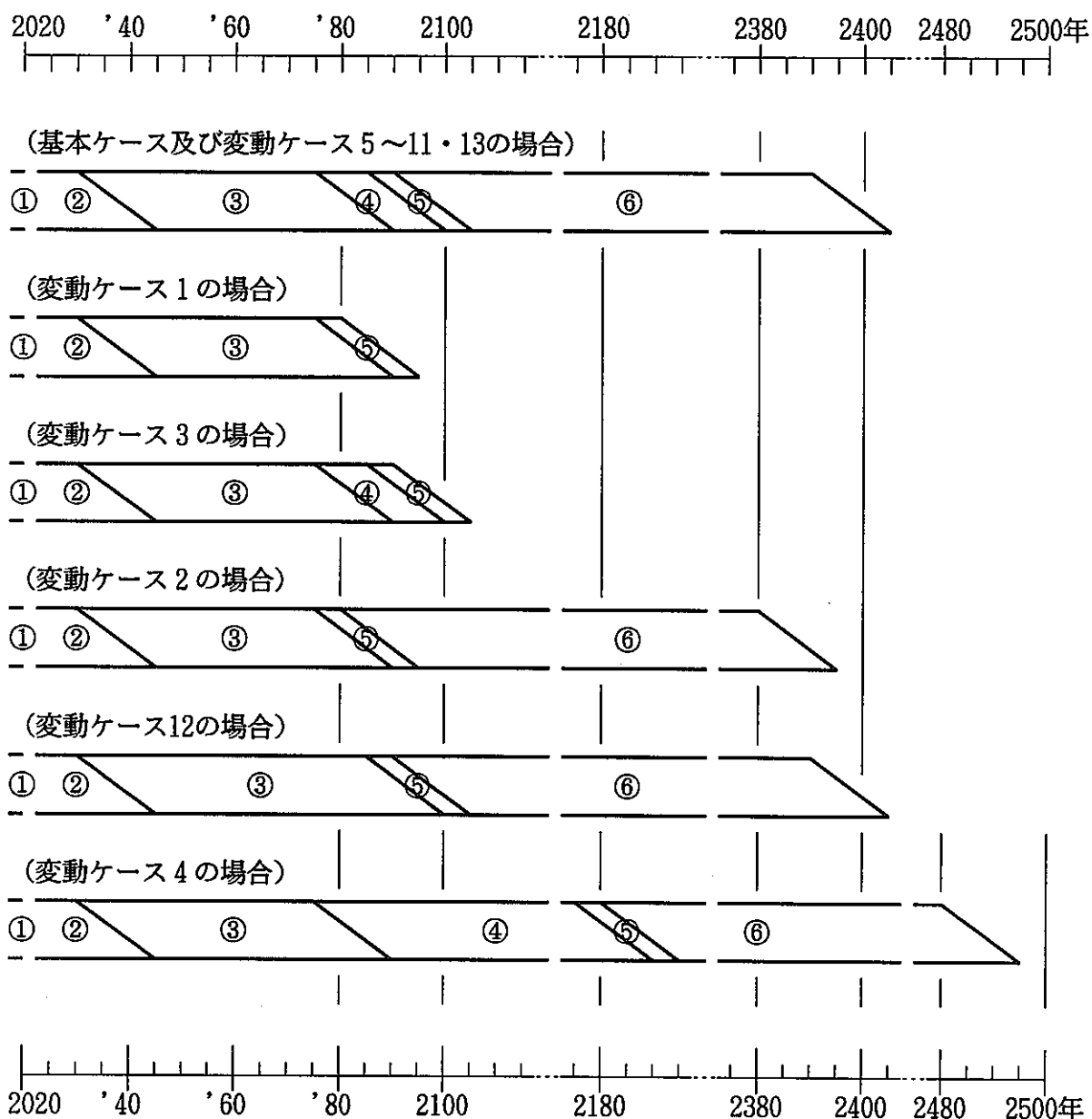
2480年代～2490年代半ば頃に閉鎖後管理段階終了

〔変動ケース4の場合〕

となる。

一方、2000年を目処に処分の実施主体が設立されることとされている。実施主体は、操業の開始までにサイト（処分予定地）選定とサイト特性調査・処分技術の実証、設計及び建設を行うこととしている。

上記の各基本ケース及び検討ケースの検討結果をまとめて図2.1-1に示す。オプションとして示したのは、操業後監視段階を0年とした場合と、1処分区画埋設年数を4年として全体の操業段階の年数を36年にした場合である。



- ①：サイト選定・サイト特性調査段階
- ②：設計及び建設段階
- ③：操業段階
- ④：操業後監視段階
- ⑤：閉鎖段階
- ⑥：閉鎖後管理段階

注：・各段階間の斜線は各段階開始あるいは終了時期の想定しうる変動の範囲を示す。
 ・変動ケース12における実証のための操業延長期間（ α ）を10年とした。

図2.1-1 基本ケース及び各変動ケースの想定した処分スケジュール

2.2 モニタリングに関する課題

2.1で検討したスケジュールを考慮しつつ、モニタリングに関する課題を抽出し、その内容を示す。

モニタリングの実現を前提に、そのために今後必要と思われる課題としては以下の項目が挙げられる。

【基本ケース及び各変動ケースに共通に適用される課題】

- ① 技術開発の余地とその予測可能性及び適用可能性の検討
- ② 平常値と異常値の識別方法の確立
- ③ モニタリングデータの対策行動への反映方法の検討
- ④ 測定データの品質保証方法の検討
- ⑤ サイト特性調査段階における調査用試錐孔をその後のモニタリングに供する方法論の確立
- ⑥ 地表からのモニタリング孔の配置及び数量に関する最適化の検討
- ⑦ モニタリングの長期継続方法の検討
- ⑧ モニタリング終了時のモニタリング機器撤去に係る問題の明確化の検討
- ⑨ モニタリング孔の閉塞技術の確立
- ⑩ モニタリング実施位置の詳細化の検討
- ⑪ モニタリングデータの整理及び公表のあり方の検討
- ⑫ 放射線管理区域の設定のモニタリングへの影響の検討
- ⑬ 閉鎖のための許認可あるいは長期安全評価へのモニタリングデータの反映方法の検討
- ⑭ モニタリングの集中管理システムのあり方の検討

【基本ケース及び変動ケース1～12に適用される課題】

- ⑮ 実証用廃棄体に対する具体的モニタリング方法の検討
- ⑯ ニアフィールドモニタリングにより異常と判断された場合の対策行動の検討

【基本ケース及び変動ケース2・4～13に適用される課題】

- ⑰ 300年間に渡る閉鎖後管理段階における地表からのモニタリングの長期継続方法の検討

【変動ケース4に適用される課題】

- ⑱ 100年間に及ぶ操業後監視段階における最適モニタリングシステムのあり方の検討

【変動ケース5に適用される課題】

- ⑱ 海水のモニタリングに及ぼす影響の検討

【変動ケース6に適用される課題】

- ⑳ 高温地下環境のモニタリングに及ぼす影響の詳細検討

【変動ケース7に適用される課題】

- ㉑ 地下水流動が極めて低い岩盤に対する地下水モニタリングのあり方の検討

【変動ケース8に適用される課題】

- ㉒ 処分坑道縦置方式におけるニアフィールドモニタリングのあり方の検討

【変動ケース10に適用される課題】

- ㉓ 処分区画を区切る断層構造に対するモニタリングのあり方の検討

【変動ケース11に適用される課題】

- ㉔ 4 処分区画ずつの上下2層配置のモニタリングシステムに及ぼす影響の検討

【変動ケース12に適用される課題】

- ㉕ 1 処分区画を実証に供する場合の実証のあり方の検討

- ㉖ 実証終了の判断のあり方の検討

以下、上記各項目について抽出した理由を述べる。

【基本ケース及び各変動ケースに適用される課題】

- (1) 技術開発の余地とその予測可能性及び適用性の検討

スケジュールの検討で述べたように、操業の開始が30数年～50年程、また処分場閉鎖が100年後程もの将来に予想されるものであるため、各段階で必要なモニタリングが実際に適用されるにはかなりの時間の経過が必要である。近代～現在における科学技術の向上の歴史を考慮すれば、数10年～100年に渡る期間は技術の向上に十分期待しうる長さの期間である。

したがって、より将来に適用されるべきモニタリング程、その適用時期までの期間における関連モニタリング技術レベル／モニタリング基礎技術レベルの向上による新規技術の適用可能性が考慮されるべきである。期間の長さを考慮して個々のモニタリング技術向上の可能性を検討することが課題となる。

(2) 平常値と異常値の識別方法の確立

モニタリングは、その種類と目的により、測定後の素早い対策に反映されるものから長期に継続してデータを取得することに意味のあるものまで様々である。また、公衆への説明に用いられるデータもある。これらにおいて、取得したデータが平常値なのか異常値なのかの判定は重要である。モニタリングはその測定のみで完結するのではなく、それに基づく対策行動が採られることによって完結すると考えるのが妥当であり、その対策行動はデータが異常を示したものかどうかによって異なるものとなる。

異常かどうかを判断すべき対象事例を挙げれば以下の通りとなろう。

- ・ある方向にデータが変化を続けた時
- ・突然、明瞭に異なる数値を示した時
- ・日変化あるいは季節変化（項目によってある場合）のパターンと異なる変化を示した時、等

変化を検知する要因としては、以下の項目を挙げることができる。

- ・実際に生じた変化を正常に検知した時
- ・機器（センサー、配線、表示装置等）が故障した時
- ・取扱いを誤った時、等

異常と判断すべきかどうかの事態が生じた時の対策としては以下のものが挙げられる。

- ・継続して測定を続け、多くの測定データを蓄積させた後、最終的な判断をする。その際、ある程度の時間経過は許容するものとする。
- ・周辺の同様の測定機器やシステムによるデータを動員して異常かどうかの判断を行う。この場合には、比較的速やかな判断を行うものとする。
- ・直接安全に関わるモニタリングに関しては、取りあえず安全を確保する対策を講じる。この場合には、可及的速やかな対応を行うものとする。等

これら事項は、各モニタリング項目に固有の特性や使用する機器の固有の性能や特徴等により異なるため、個別に考えられるケースを検討することが必要である。

(3) モニタリングデータの対策行動への反映方法の検討

モニタリング項目によっては、直後の、あるいは一定期間の間における対策行動へ反映させなければならないものもある。これらの項目については、どのような数値を

得た場合に、あるいはどのような数値の変化パターンを得た場合にどのような内容の対策行動に反映させるのか、その考え方と方法論及び具体的反映システムを明らかにしておくことが課題となる。

(4) 測定データの品質保証方法の検討

測定データが真に正しい値であることは、対策行動に適切に反映させるために、安全評価に適切に反映させるために、また、適切な内容の公表を行うために必要である。すなわち、測定データの品質保証はモニタリングが適切なものとして完結するために必須の事項である。モニタリングデータが適切であることを示すためには、

- ・ 機器が正常に作動していること
- ・ 計測が正確になされていること
- ・ データ処理が適切になされていること、等

が必要である。また、測定からそのデータの処理、利用に至る過程で携わる個人や機関の信頼も必要である。すなわち、種々の測定データを信頼あるものとする品質保証の方法・システムを検討し、確立することが課題となる。

(5) サイト特性調査段階における調査用試錐孔をその後のモニタリングに供する方法論の確立

選定された処分予定地に対しては、そのサイトの特性を評価するためのサイト特性調査が実施される。サイト特性調査における主要な行為は、試錐と調査用立坑・横坑の掘削とそれらに引き続く特性調査である。調査用立坑は将来の処分場の立坑の一部に供することが想定されるが、試錐孔については、その目的の達成後は基本的には閉塞されると考えるべきものである。しかしながら、その後の建設段階以後において、モニタリング孔として継続して供することも可能である。また、モニタリングに供することを前提にサイト特性調査段階に試錐を行うことも考えられる。なお、サイト特性調査段階前のサイト選定段階において実施するかもしれない試錐のうち、対象領域内にあるものも基本的に同様の考慮がなされるべきと考えられる。

上記を考慮すると、サイト特性調査段階を主体にした調査用試錐と建設段階以後の地表から行うモニタリングは密接に関連するものとみなすべきであり、さらにはサイト特性調査段階の試錐の実施はそれらの孔が将来のモニタリングに供されることを想

定して、位置選定や試錐規模、試錐調査プログラムの決定などがなされる必要がある。将来のモニタリングに供するために必要な調査用試錐の配置や数量、規模を検討することが課題となる。その際に必要な留意事項は、地形形状・地質構造・土地所有及び利用形態・水利状況等である。

(6) 地表からのモニタリング孔の配置及び数量に関する最適化の検討

上記事項と関連するが、地表からのモニタリング孔の配置と数量は最適化されることが望ましい。モニタリング孔において地下水流動状況を把握するのであれば、その想定される流れ方向を十分考慮した配置である必要がある。また、数量についても、必要な解析が信頼できるレベルで可能となるような数量であることが望ましい。これらは通常数量を増大させることにより対応可能であるが、

- ・モニタリング孔の存在自体が地下水流動や地下水化学環境に影響を与えるものであり、数量が増大すればどこかで取得データの有意な影響を受けるレベルを超え、本来的特性からの偏りによる信頼性の低下を招く、
- ・数量の増大により知見の量は増すが、知見が多くなればなる程新たな知見の全体情報に対する寄与のレベルは低下する。必然的にその寄与が有意な効果を示さないレベルがある、
- ・被ばく評価の観点からの直接的なデータ（核種濃度等）の取得は本来ありえず、間接的なデータ（水質・流速・間隙水圧等）を取得するのみである、
- ・数量の増大は様々なコスト増をもたらす、

等の問題がある。

また、数量が少ない場合にはそれらをどのように配置するのが重要な要素となる。したがって、その他の制限要因やモニタリング内容の検討の実施も含めて、モニタリング孔の配置と数量の最適化を図る必要がある。

(7) モニタリングの長期継続方法の検討

モニタリング機器は1章で示したように、長期にわたる使用が継続されることになる。モニタリングの長期継続における問題は、計測機器の長期に渡る使用可能性の問題と置き換えることが可能である。耐用年数が10数年～20数年等の期間の場合には、機器の更新がなされる必要がある。センサーを埋め込んでいる場合には、その取り出

しによる更新、あるいはさらに別途同様の方法で埋設するなどの対策が必要となる。また、ある十分な数量を埋設した後、機能の劣化により使用可能機器が減少してもその減少した数量のみで所要の期間、測定を継続することも考えられる。これら、モニタリングを長期間継続する際に考えられる問題とその解決策を明らかにすることが課題となる。なお、人間がアクセス可能で機器の交換も容易であるモニタリング項目についてはこの問題はない。

(8) モニタリング終了時のモニタリング機器撤去に係る問題の明確化の検討

モニタリング終了時に、埋設済のモニタリング機器（センサーや配線）を撤去すべきか、そのまま放置して良いかは検討すべき課題である。特に、安全評価に関連して、シナリオ上の評価経路を構成したり、プロセスの一部に影響を与える要素のあるものについては、それらの影響度が事前に評価されることが必要であり、放置した場合にはそれによる有意な影響があるとの評価がなされれば、適切な方法で撤去される必要がある。その評価結果によっては、モニタリングシステムの内容や数量に影響を与える可能性もある。

(9) モニタリング孔の閉塞技術の確立

地表や地下での深度の大きいモニタリング孔は、その用途が終了した時には閉塞する必要がある。通常、ボアホール・プラグギングと呼ばれている技術であり、ベントナイトを詰め、その膨潤により閉塞するなどの技術開発がなされている。しかしながら、その化学的影響評価や透水性割れ目に会合した部分での流失等による影響評価、単位容積当たりの圧縮ベントナイトの割合、圧縮ベントナイトの挿入時に用いる穴空きケーシングの材料・形状・挿入技術等の開発・確認を行う必要がある。海外で開発された技術に対しては我が国での適用性評価を行う必要がある。

(10) 地下施設におけるモニタリング実施位置の詳細化の検討

モニタリングを効率的に行うためには、地下施設内においてモニタリング箇所を適切に選定する必要がある。1章で検討した様々なモニタリング項目について、適切な数量で、あるいは項目によってはなるべく少ない数量で、所要の情報が得られるモニタリングシステムの確立が必要である。今後の地層処分システムの具体化に伴って、

モニタリングシステムの配置も具体的、かつ詳細に検討される必要がある。

(1) モニタリングデータの整理及び公表のあり方の検討

モニタリングデータは、作業の安全、環境の安全、安全評価、適切な事業の運営等のために使用される。これらデータの反映の仕方によって、データの整理方法やデータの公表の仕方が異なる。また、データの取得や管理に係る主体が処分事業の進展により異なることも考えられる。これらを考慮した上でのモニタリングデータの整理と公表の仕方について検討がなされることが必要である。

(2) 放射線管理区域の設定のモニタリングへの影響の検討

「核燃料物質または核燃料物質によって汚染された物の廃棄物埋設の事業に関する規則」（昭和63年1月13日総理府令第1号第1条）によれば、廃棄物埋設施設及びその周辺は外部放射線の線量当量及び空気中の放射性物質の濃度により管理区域、周辺監視区域等に区分される。管理区域は廃棄物埋設施設の場所で、線量当量及び放射性物質の濃度、放射性物質で汚染された物の表面の放射性物質密度が規制値を超える恐れのある区域で、当該区域内では放射線管理、作業者の被ばく管理、防護対策等を行う必要がある。周辺監視区域は当該区域外（管理区域を除く）の場所において、線量当量が規制値を超えない区域とされている。

H3レポートによれば、炭素鋼オーバーパック表面の線量当量率はオーバーパック側面で0.84mSv/h、蓋面で0.34mSv/yである。このようなオーバーパックを地上施設から定置エリアまで搬送するのに、特別な輸送容器に入れるのか、そのまま輸送するのか定かではないが、上記の規則を考慮すれば、少なくとも、地下施設内においては、定置作業エリアが、そして考えられるケースとしてはその搬入立坑からその定置エリアまでの搬送経路が、管理区域として区分される可能性がある。この場合の区域の範囲や放射線管理、被ばく管理、放射線防護対策の程度は、廃棄体表面の線量当量や廃棄体の損傷の可能性等に依存する。損傷による空気汚染の恐れのある場合には、坑内の換気・排水システム等に係る安全対策も必要となる。また、坑内における管理区域以外は周辺監視区域に設定される可能性がある。

これらの区域が地下施設内に設定される場合、地下施設全体のスケジュールを考慮すると、設定される区域が定置に供されている処分区画の移動と共に空間的に移動す

ることとなる。通常の原子力関連施設では、管理区域等の設定は設計の段階で国の許認可が必要であり、また、施設設置後でも管理区域を変更する場合は同様である。したがって、地下施設においても管理区域の設定は施設の設計段階で決められるものと考えられ、施設の建設・操業・閉鎖の作業スケジュールや作業領域の区分に多く影響される。

建設と廃棄体の定置・埋戻しが処分区画を異にして同時平行的になされることを考慮すると、作業員の被ばく管理の面からの複雑さにも留意が必要となる。すなわち、管理区域内での作業員に加えて、管理区域外での作業員の管理区域への立入り等の監視や管理区域とそれ以外の領域の隔離の必要性等を考慮する必要がある。このため、被ばく管理対象者の増大や管理区域境界での仕切りの設置等の放射線管理、防護対策は複雑になる。

管理区域の設定のモニタリングに対する影響としては、管理区域の移動による換気システムや排水システムの変更に伴うモニタリング箇所の変更、作業員の管理システムの変更に伴うモニタリング・監視システムの変更などが検討されることになろう。また、地質環境やニアフィールド環境を対象としたモニタリングシステムの管理区域を考慮したあり方の検討がなされる必要があろう。

(13) 閉鎖のための許認可あるいは長期安全評価へのモニタリングデータの反映方法の検討

操業段階は数10年に渡るものであるため、その間に取得するモニタリングデータは十分に操業後の閉鎖のための許認可の基礎データあるいは閉鎖後の長期安全評価に用いられることとなろう。モニタリングの長期継続に伴う問題、例えば、機器の更新、モニタリング位置の変更、関連技術の向上、安全評価モデルの向上はモニタリングデータを閉鎖のための許認可、あるいは長期安全評価において、どのように反映させることとなるのかについて十分な検討が必要であろう。これらを考慮した反映方法を明らかにすることが課題となる。

(14) モニタリングの集中管理システムのあり方の検討

環境試料、海洋環境、地質環境、作業環境、ニアフィールド、人工構築物という種々の項目をモニタリングし、その実施箇所も広く、長期に渡るため、計測からデータ

の処理、保管、対策行動への反映等について集中的に管理するシステムの構築が望まれる。また、何らかの予定外の事象が発生したためにモニタリングシステムを変更するようなことが生じるかもしれない。その際、それまでに蓄積されたモニタリングデータを解析し、新たな適切な配置・性能のモニタリングを構築できることが望まれる。そのような場合においても、集中的な管理システムが構築されていれば適切な対応が図れることとなろう。したがって、モニタリングの集中管理システムの検討が課題となる。

【基本ケース及び変動ケース1～12に適用される課題】

(15) 実証用廃棄体に対する具体的モニタリング方法の検討

前章で検討した実証用廃棄体に対するモニタリングシステムは事例的に示したものである。高レベルガラス固化体パッケージを封入するオーバーパックは当然のことながら数十年程度では十分健全であるよう設計されている。しかしながら、それでもなお、実廃棄体に対するモニタリング、すなわち実廃棄体に実際に何も生じていないことを明らかにするモニタリングが要求されることが十分考えられる。

オーバーパックは数十年程度では十分安全なシステムであるものの、安全評価の手法の予測の信頼性を実際に示すことを求められる可能性がある。これは、すなわち、間接的な安全評価手法の検証と考えることも可能である。そして、閉鎖のための安全評価のあり方に関わる問題でもある。したがって、実際に核種が漏洩するかどうかに関わらず、廃棄体埋設後のニアフィールドにおける温度分布、応力分布、再冠水の程度などの事象の将来予測が核種漏洩に代わって検証の対象となる可能性がある。すなわち、これらのパラメータの将来予測結果を実証することにより、安全評価の実証に代える、換言すれば、閉鎖のための安全評価に用いるという論旨が採用される可能性があるということである。

したがって、これらパラメータに係る近未来の将来予測モデルを適切に作成するとともに、モニタリングによって適切にデータが取得される必要がある。モニタリング対象の実廃棄体は、その他の実廃棄体とは、埋設位置とアクセス可能な空間との距離や配置関係が異なるため、十分その相違が配慮された適切なモデルの作成が必要となると言える。また、別項で示すように、数十年に渡るデータの取得に係る問題であるため、データを継続して取得する上での問題も生じるため、これらを適切に考慮して、

実廃棄体に対するモニタリング方法を明らかにすることが課題となる。

また、閉鎖前の期間においては、埋設した実廃棄体が回収可能であることを示すことが求められる可能性もある。その回収可能性を示すためにも、あるいは回収する必要があることを示すために、モニタリングによる実証用廃棄体を対象としたデータ取得が適切であることを示す必要がある。

なお、各処分区画に対して1箇所の実証用廃棄体の定置を考えている。本検討では各処分区画の操業は5年ずつずれたものになるため、実証用廃棄体の定置は第1処分区画のものと最終処分区画のものとは35年の開きとなる。このような5年ごとの最大35年の時間のずれが及ぼす影響についても十分検討されるべき課題である。これらもたらず影響としては技術革新が関連技術（掘削方法・定置方法・モニタリング機器仕様等）に及ぼす影響が挙げられる。また、場所の相違による影響、すなわち細かい規模での割れ目の性状・分布、岩質の相違などがモニタリングに及ぼす影響についても検討する必要がある。

(16) ニアフィールドモニタリングにより異常と判断された場合の対策行動の検討

平常値と異常値の識別に係る問題は(2)でとりまとめた。本項はニアフィールドモニタリングによって異常と判断された場合に、どのような対策行動をとるべきかの方法論を確立することを目的としている。

まず、ニアフィールドモニタリングにおける異常として考えうるのは以下の通りである。

- ・設計、製作ミス及び検査ミスにより、定置後ベントナイト中に浸入した地下水にガラスの溶解が生じた。
⇒操業条件と操業期間内において幾重にもあり得ないこと（設計・製作ミス、検査ミス、定置後の急速な地下水浸入）を想定しており、シナリオからは除外される。
- ・断層運動により、実証用廃棄体が破損し、浸入した地下水にガラスの溶解が生じた。
⇒十分な長さの将来を見込んだ期間において断層運動がないと想定される箇所をサイトとして選定しており、発生する確率は十分低い。なお、万が一発生したとした場合、実証用廃棄体のみ問題には止まらない。破損した廃棄体の全て

あるいは埋設廃棄体の全てが回収の対象となる可能性がある。しかし、この事象は極めて重大な結果をもたらすものであり、モニタリング技術としての問題を越えたものとなる。本事象は発生確率の低さと影響の重大さから、本検討からは除外する。

- ・十分信頼しうる機器を埋設したにも関わらず、機能の劣化により取得データが十分な異常値を示し、回収の判断をせざるを得ない場合
⇒機器の異常な作動の可能性はありうると考えられる。したがって、本課題の発牛理由としては、この機器の誤作動を挙げることにする。

まず、機器の誤作動であることを確認するために、異常値を示したモニタリング機器の回収を行い、それを確認することが必要となる。この場合の方法論及び確認後の再埋設等の方法、このようなディスタバンスが生じた場合のディスタバンス前後のデータを用いた解析のあり方の検討などが課題となる。

【基本ケース及び変動ケース2・4～13に適用される課題】

(17) 300年間に渡る閉鎖後管理段階における地表からのモニタリングの長期継続方法の検討

閉鎖後管理段階においては、地表における環境モニタリング及び地下を対象とした地下水モニタリングが考えられるが、本課題における対象は地下水モニタリングである。300年にもわたる継続した測定を仮定すれば、そのデータを取得する手段であるモニタリング孔の健全性の維持が重要となる。現時点では、そのような長期間に渡って試錐孔を維持した経験がないため、基本的には孔を近傍に設ける、すなわち更新することで対処することになる。その際解決すべき問題としては以下の事項が挙げられるであろう。

- ・更新（再掘削）という判断をどのようにして下すのか
- ・再掘削はどのような位置に行えば、その後取得されるデータと以前に取得したデータの整合が図れるのか
- ・長い年月の間に想定される技術の向上を反映できるのか、あるいはどのように反映するのか
- ・異常と判断されるデータを取得した時、どのような対策行動をとれば良いのか

【変動ケース4に適用される課題】

- (18) 100年間に及ぶ操業後監視段階における最適モニタリングシステムのあり方の検討
閉鎖前に100年間に及ぶ操業後監視段階を設けることによるモニタリングへの影響としては以下の事項が考えられる。

- ・100年間の予測をどのような事象についてどのように行うのか
- ・どのように100年間に渡る実証プログラムを確立し、モニタリングによってどのようにデータを得ていくのか
- ・100年間に渡るモニタリングの継続によって、どのようなモニタリング事項がどのような影響を受けるのか
- ・モニタリングの終了を決定する根拠あるいは論旨をどのように確立するのか

この操業後監視段階における主要な“事業”はモニタリングである。そのモニタリングの適切な継続が第1に重要な事項であるが、アクセス坑道を保持するためになすべき事項もある。これら付随事項からの影響も含めて、操業後監視段階におけるモニタリング及びモニタリングシステムのあり方が検討されるべきである。

【変動ケース5に適用される課題】

- (19) 海水のモニタリングに及ぼす影響の検討

変動ケース5においては、後背地に山地を有する海岸あるいは中央部に山を有する孤島を立地場所とした。このような場合、処分場の立地場所によっては地下水が海水水質であることも考えられ、本検討でもそのような水質を設定した。海水のモニタリングに及ぼす影響としては、モニタリング設備、特にセンサーとケーブルの継ぎ目やケーブル自体に対する腐食の問題がある。1.3.6項で示したように耐腐食性材料の採用により耐用年数を延ばしうる可能性が論じられているが、それを実際に確認することが取得データの信頼性を得る上で必要である。

【変動ケース6に適用される課題】

- (20) 高温地下環境のモニタリングに及ぼす影響の詳細検討

変動ケース6で想定する岩盤温度65℃という高温地下環境でのモニタリングにおいては以下のような問題が特に挙げられる。

- ・人間が常時入ることを想定すれば、冷却のための換気が必要である。かなりの蓄

熱量であることから、冷却を可能とするシステムが必要であり、それはモニタリングに影響を及ぼす可能性がある。

- ・冷却により、熱を奪うことのモニタリングデータに及ぼす影響を検討する必要がある。
- ・耐熱性のあるモニタリング機器を使用する必要がある。現状ではひずみ計、変位計に65℃での使用実績は内容であるが、適切な素材の選定により正常な作動を確保できると思われる。しかしながら、その正常な作動を確認するための試験が必要となろう。

【変動ケース7に適用される課題】

(21) 地下水流動が極めて低い岩盤に対する地下水モニタリングのあり方の検討

本変動ケース7においては、動水勾配が0の環境を想定した。そこでは、地下水の流れは認知しうるレベルでは0である。このような環境では、処分場の存在あるいはモニタリング行為（採水など）自体のみが地下水流動の駆動力となる。また、自然環境における地下水流れに影響を与える事象としては、海水準の変動、熱流量の変化、地形の変化、地震動などが考えられる。しかしながら、地震動を除く事象は数10年～数100年規模では有意な影響はあまり考えられないであろう。地震動については地下における空洞分布を変化させるのであれば、それによる地下水流動が生じることになろう。このような地震動は断続的なものであることから、地下水モニタリングの水理的側面については、動きのない平常の測定を継続しつつ、突発的な流動を探るというモニタリングのあり方が想定される。そのような状況でのモニタリングの進め方の検討が求められるであろう。

化学的には、センサーやモニタリング孔に導入した物質による水質への影響が溶出及び拡散により徐々に進行することとなろう。そして、その累積の影響と採水による影響を合わせた評価を行っておく必要がある。とくに、サンプリング間隔、当該箇所における間隙率との関係で把握されるべきと考えられる。

【変動ケース8に適用される課題】

(22) 処分坑道縦置方式におけるニアフィールドモニタリングのあり方の検討

処分坑道横置方式では人工バリアのジオメトリが単純であり、予測との対比も容易

である。対して、縦置方式では人工バリアのジオメトリが単純でなくなるため、予測と実測値の対比が十分有意であるよう解析モデルの開発、モニタリングシステムのあり方の検討が必要である。特に、ニアフィールドモニタリングは予測と実測値が合致することが信頼の獲得の上において重要である。縦置方式における予測と実測の合致のレベルを横置方式との対比において把握しておくことが必要である。

【変動ケース10に適用される課題】

(23) 処分区画を区切る断層構造に対するモニタリングのあり方の検討

本変動ケース10で考慮しているのは、処分区画の設置において避けるべき規模と特性を有する断層である。このような断層は、地下水シナリオに関しては透水性断層であり、自然現象に係る直接接近シナリオに関しては活断層である。しかしながら、後者の特性を有する断層は、サイト選定の段階で影響のない十分な距離を置いて除外されていると考えるべきであり、本検討においては前者の透水性断層を意味するものとする。

このような透水性断層から有意な距離を置いて処分区画を設置できることが地下施設建設の要件となる。そのような扱いをするのはどの程度の規模以上と特性の場合なのか、またそれ以下の規模及び特性の場合にはどのような工学的対処をするのかは、そのサイトを処分場と決定する段階以前において検討されるべき課題である。

本検討においては、地下水シナリオ上の移行経路となるその透水性断層に対して、どのようなシステムでどのようなデータをどのように取得するのかを、モニタリングに関わる課題とする。また、そのようなモニタリングが実施される場合には、力学的な特性や面に沿った変位がないことなどについても合わせてモニタリングすることが望まれるであろう。

【変動ケース11に適用される課題】

(24) 4処分区画ずつの上下2層配置のモニタリングシステムに及ぼす影響の検討

基本ケース他の平面1層配置と本変動ケース11の上下2層配置で異なるのは、上下方向に連なる構造（断層やその他地質学的特徴）が前者においては1回の出現であるのに対して、後者においては基本的に2回出現することである。

これは、モニタリングに対しては、情報の解析において、鉛直方向の二次元的解析

をより可能にするという影響を与える。地下水シナリオ上重要な構造は、処分場深度から地表への連絡経路の特徴である。地表方向への断層や地質学的特徴を数10年に渡りモニタリングできることはより好ましい状況である。したがって、どのような地質学的特徴に対して、どのようなシステムでどのようにモニタリングを実施すれば良いのか、また、そのデータをどのように解析していけば良いのか、平面1層配置の場合との対比において明らかにしていくことが課題となる。

【変動ケース12に適用される課題】

(25) 1 処分区画を実証に供する場合の実証のあり方の検討

変動ケース12においては、第1 処分区画を実証に供するものとしている。これは、前年度文献調査で示したスウェーデンの例にならったものであるが、この実証のあり方については明確ではなく、我が国の条件や考え方等を考慮した内容の検討が必要であると考えられる。そして、その際には“実証”できたことを示す手段の一部としてのモニタリングの役割は重要であると考えられる。

本変動ケースの図示においては、廃棄体を定置した処分坑道の両端の廃棄体に対しては、基本ケースの場合における実証用廃棄体と同様の処置を行うものとした。これは一つの考え方であるが、その外にも色々な実証のあり方があるものと考えられる。本項目においては、そのような考えうる実証のあり方の検討を広範に行い、諸条件を考慮した上での好ましい実証のあり方を提案することを課題とするものである。

(26) 実証終了の判断のあり方の検討

本課題は上記(25)の課題と密接に関わるものである。上記が具体的な実証のあり方(行い方)についての提案であるのに対して、本項目はどのような判断や根拠にもとづいて、実証を終了し、その実証されたことをもって、残りの廃棄体の埋設にゴーサインを出すかを明らかにする課題として提案するものである。このようなケースの場合には、基本ケース等における閉鎖のための判断と同等の重みの判断が実証の終了時に必要になるものと考えられる。そして、このケースでは、最後の処分場閉鎖に係る判断よりは、実証されたことの確認と残りの本体の廃棄体の埋設の許可に係る判断の方が重みが大きいと考える方が妥当かもしれない。

表1.3-24 モニタリングに関する課題（1/2）

課 題	基本ケース	変 動 ケ ー ス												
		処分事業段階が変動				地質環境条件が変動			地下施設のレイアウトが変動				実証用廃棄概念が変動	
		監視段階なし	監視後の操作なし	閉鎖後の管理なし	百年後の監視	海 孤洋島・	熱環境	動 な水	縦置	斜坑	断層を横断を	上 2下 層	事業段階	実証なし
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(1)技術開発の余地とその予測可能性及び適用可能性の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(2)平常値と異常値の識別方法の確立	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(3)モニタリングデータの対策行動への反映方法の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(4)測定データの品質保証方法の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(5)サイト特性調査段階における調査用試錐孔をその後のモニタリングに供する方法論の確立	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(6)地表からのモニタリング孔の配置及び数量に関する最適化の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(7)モニタリングの長期継続方法の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(8)モニタリング終了時のモニタリング機器撤去に係る問題の明確化の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(9)モニタリング孔の閉塞技術の確立	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(10)モニタリング実施位置の詳細化の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(11)モニタリングデータの整理及び公表のあり方の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(12)放射線管理区域の設定のモニタリングへの影響の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(13)閉鎖のための許認可あるいは長期安全評価へのモニタリングデータの反映方法の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(14)モニタリングの集中管理システムのあり方の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表1.3-24 モニタリングに関する課題（2/2）

課 題	基本ケース	変 動 ケ ー ス												
		処分事業段階が変動				地質環境条件が変動			地下施設のレイアウトが変動				実証用廃棄概念が変動	
		段監視 な管理	監操業 後なし	管閉鎖 後なし	百操業 後監視	海孤洋 島	熱環 境	動 な水	縦 置	斜 坑	断 横層 断を	上 2下 層	事 段業 階	実 証 なし
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(15)実証用廃棄体に対する具体的モニタリング方法の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
(16)ニアフィールドモニタリングにより異常と判断された場合の対策行動の検討	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
(17)300年間にわたる閉鎖後管理段階における地表からのモニタリングの長期継続方法の検討	○		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(18)100年間に及ぶ操業後監視段階における最適モニタリングシステムのあり方の検討					○									
(19)海水のモニタリングに及ぼす影響の検討						○								
(20)高温地下環境のモニタリングに及ぼす影響の詳細検討							○							
(21)地下水流動が極めて低い岩盤に対する地下水モニタリングのあり方の検討								○						
(22)処分坑道縦置方式におけるニアフィールドモニタリングのあり方の検討									○					
(23)処分区画を区切る断層構造に対するモニタリングのあり方の検討											○			
(24)4処分区画ずつの上下2層配置のモニタリングシステムに及ぼす影響の検討												○		
(25)1処分区画を実証に供する場合の実証のあり方の検討													○	
(26)実証終了の判断のあり方の検討													○	

3. 課題解決のための方策の検討

前2.章では、基本ケース及び変動13ケースの類似点、相違点を考慮して、モニタリングの具体化に向けて検討すべき事項を想定し、その解決に向けた課題を整理した。本章においては、2.1節での処分事業のスケジュールを考慮した上で、それらの課題の解決のための方策について検討し、課題解決のための検討フロー案及びその実施のための概略スケジュール案を提案する。

3.1 技術開発の余地とその予測可能性及び適用性の検討

1.2.6(2)での将来の技術的実現可能性での主要検討事項は、人間の直接的アクセスが困難で計測機器の交換が不可能な、あるいは非常に難しい埋め込み型あるいは深孔計測型の測定項目であった。それらは地表から地下深部へ行う試錐孔内での間隙水圧、ニアフィールド岩盤での間隙水圧、ニアフィールド岩盤・緩衝材中の温度・ひずみ、緩衝材中の緩衝材膨潤圧であった。

これらに共通する技術開発の余地は、ニアフィールドを対象とすることによる70℃以上での使用可能性の開発あるいは向上、耐用年数の向上である。基本的に埋め込み放置型であるため、なるべく長期間正常に機能する計測機器であることが望まれる。なお、一部の機器については、従来需要がなかったために開発されていないというものもある。したがって、研究によって技術が開発されうるものと、今後の基盤的技術の進展によって技術開発の進展が図れるものに大きく2区分されると思われる。後者については、実際に使用に供するまでの期間を予測し、その期間における技術開発の可能性を予測することが必要であろう。そして、それらの予測は適宜実施される必要があろう。これらの技術開発に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）を図3.1-1に示す。なお、本課題の解決は個々のモニタリングの実施がなされるまでに行われるべきと考えられるが、当面の目標としては、処分事業の安全性と実現可能性を示す段階であるサイト特性調査及び処分技術の実証段階までに行い、それ以後の期間においては最適化等を図っていくことが考えられる。

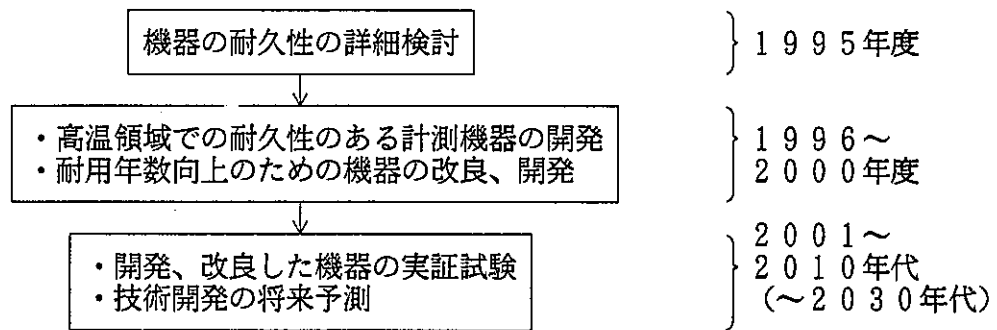


図3.1-1 計測機器の耐久性に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

3.2 平常値と異常値の識別方法の確立

これは取得データの評価方法に係わるものであり、モニタリングの開始時には本課題に係る技術面での検討がなされている必要がある。環境試料（海洋環境試料を含む）に対しては、現行の環境放射線モニタリングの指針に従うことで十分であろう。地質環境、作業環境、ニアフィールド、人工構築物に関連するモニタリング事項に対しては、従来の類似施設はないため、新たなデータ識別の方法が検討される必要がある。遅くとも建設段階以後は継続してデータの取得がなされるため、これらの検討は少なくとも建設開始前にはなされていることが望ましい。しかしながら、サイト特性調査及び処分技術の実証段階においては、処分事業に係る全ての技術的な見通しを示す必要があると考えられるため、その段階までに開発しておくことが望ましい。また、評価の対象とする機器についてはなるべく新しい技術的知見が用いられるべきである。これらを考慮して、図3.2-1に解決のための検討フロー（案）と概略のスケジュール（案）を示す。

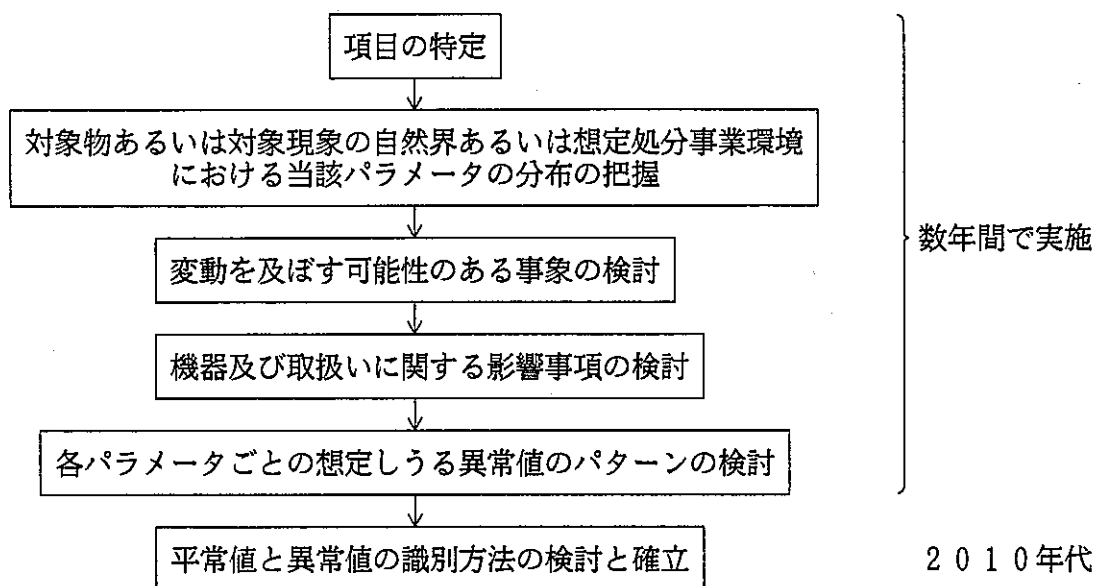


図3.2-1 平常値と異常値の識別方法の確立のための検討フロー（案）とスケジュール（案）

3.3 モニタリングデータの対策行動への反映方法の検討

基本的には個々の対策行動へ反映されるべきモニタリング項目ごとに、最終的にはその実施時期前までに反映方法が確立されていることが必要であろうが、処分技術の実証段階においては処分事業の実現可能性を示す一環として、そして公衆への安心に答える方策として、本課題が確立されていることを示す必要があると考えられるため、その時期までの確立を第1に考えるべきであろう。解決のための検討フロー（案）とスケジュール（案）を図3.3-1に示す。

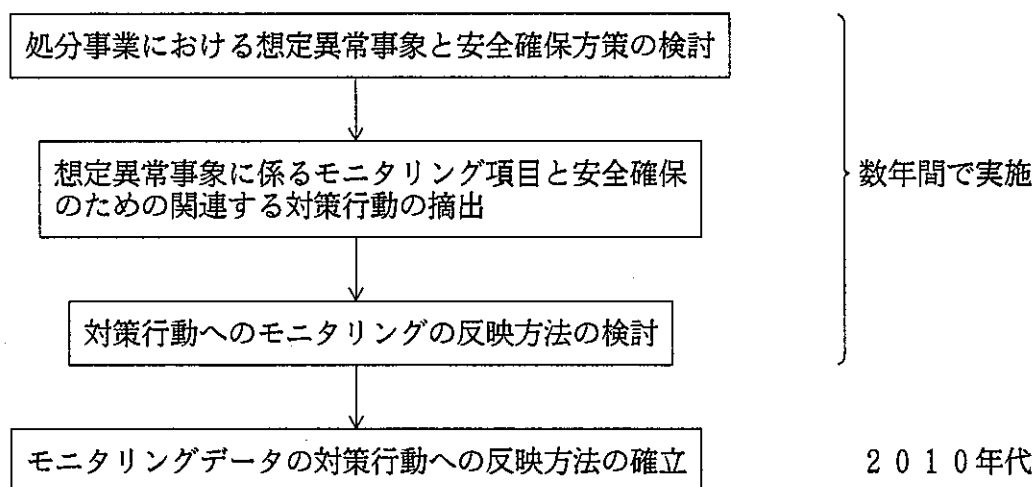


図3.3-1 モニタリングデータの対策行動への反映方法の検討フロー（案）とスケジュール（案）

3.4 測定データの品質保証方法の検討

安全評価のためにも、公衆に対するPA（安心を与えること）のためにも、取得データの品質保証は必要不可欠である。品質保証のためには、機器の正常作動、計測の適切さ、データ処理の適切さ、関与する機関及び作業者の正当な信頼性が必要であり、それらの適切な組み合わせによって、総合的な品質保証が得られることを明らかにしておく必要がある。そのための検討フロー（案）とスケジュール（案）を図3.4-1に示す。なお、段階を通じて行われるモニタリングに広く係わる事項であるため、少なくとも建設段階前までに検討されておく必要があるが、前述の通り、処分技術の実証段階においては、処分事業の実現可能性を示す必要があると考えられ、その重要な根幹をなす本課題もその段階までには明らかにされておく必要があるだろう。なお、なるべく実際に適用される機器についての検討が行われる必要がある。

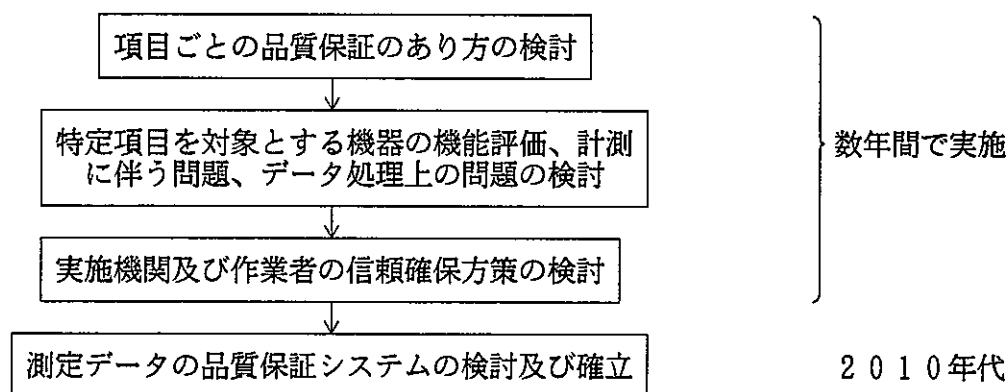


図3.4-1 測定データの品質保証方法に関する検討フロー（案）及びスケジュール（案）

3.5 サイト特性調査段階における調査用試錐孔をその後のモニタリングに供する方法論の確立

処分予定地選定後に実施するサイト特性調査で行う試錐は、基本的にその後の長期間の使用（例えばモニタリング）を考慮して実施計画が立てられるべきである。この場合のモニタリングは主に地表から実施する試錐孔を利用したものとなる。これらに係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）を図3.5-1に示す。

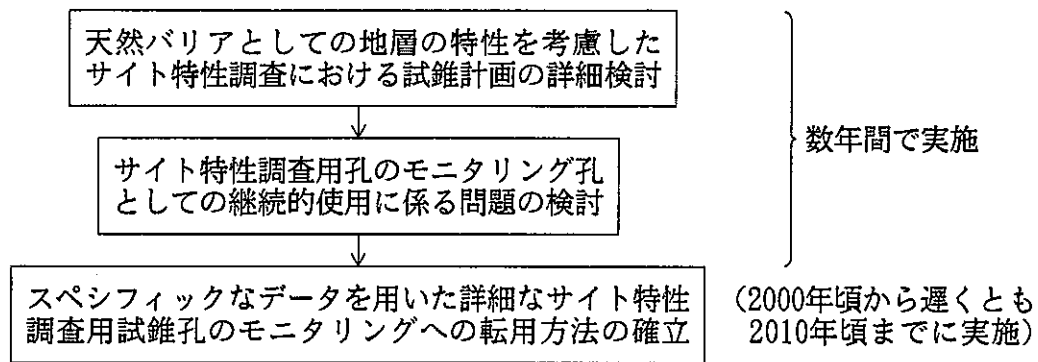


図3.5-1 サイト特性調査用試錐孔のモニタリングへの転用に係る方法論の検討フロー（案）及びスケジュール（案）

3.6 地表からのモニタリング孔の配置及び数量に関する最適化の検討

サイト特性調査計画（ボーリングの実施が考えられる場合には処分予定地選定調査計画も含む）との密接な連携のもと、あるいは同計画へのモニタリングの観点を反映させる考え方のもと、本課題が検討されるべきである。本課題の検討に影響を与えると考えられる事項として、

- ・ 地形
- ・ 地質、地質構造
- ・ 水理構造
- ・ 考えうる地下施設（サイト特性調査及び処分技術の実証段階の施設）及び将来の処分場の配置及び向き
- ・ モニタリング内容（1孔内での実施項目、数量、期間等）
- ・ 安全評価上のデータ要件

が考えられる。これらの考慮のもと、地表からボーリング孔を用いて行うモニタリングについての、そのモニタリング孔の配置及び数量のサイトスペシフィックな最適化の検討を行う。

サイト特性調査で行うボーリング孔の配置は本課題の視点を含んで行うべきと考えられるため、開発時期としてはサイト特性調査の開始までを考える。これらに係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）を図3.6-1に示す。

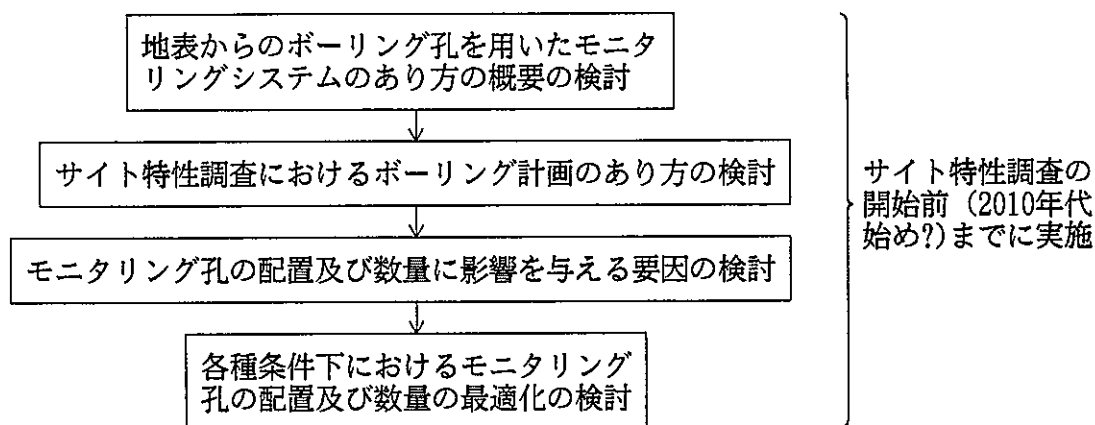


図3.6-1 地表からのモニタリング孔の配置及び数量に関する最適化のための検討フロー(案)及びスケジュール(案)

3.7 モニタリングの長期継続方法の検討

多くのモニタリング項目は長期に渡って継続されるものである。その中には建設段階あるいはサイト特性調査段階から継続されるものがあるかもしれない。特に、地表から行うボーリング孔を利用して行うモニタリングにはその可能性が高い。したがって、サイト特性調査が開始されるまでに本課題の解決がなされている必要がある。モニタリングの長期継続方法に係る検討フロー(案)及びスケジュール(案)は図3.7-1の通りである。

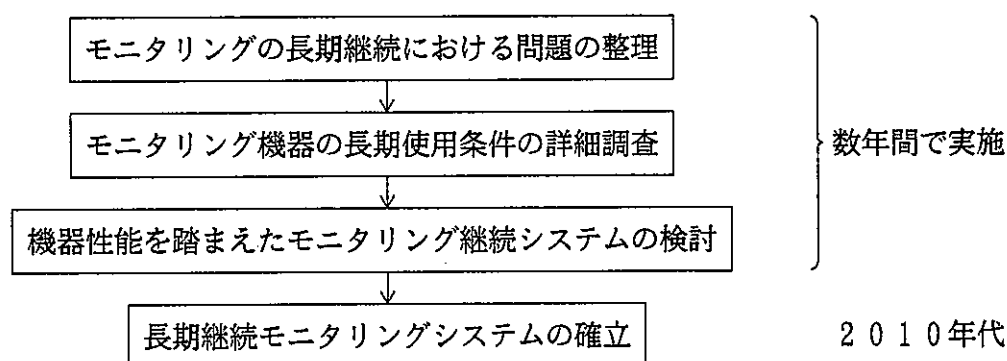


図3.7-1 モニタリングの長期継続方法に係る検討フロー(案)及びスケジュール(案)

3.8 モニタリング終了時のモニタリング機器撤去に係る問題の明確化の検討

モニタリングはその終了時に使用した機器の処置がきちんとなされる必要がある。特に地下環境においては、放置した場合に安全評価上その存在が影響を与えるかどうか検

討される必要がある。その影響度を評価することにより撤去かそのままの放置かが決定されることとなろう。撤去することとなれば、試錐孔そのものに対しては主としてプラグギングの技術で対応、埋め込み機器に対してはその撤去方法の検討が必要である。そのままの放置の場合には、放置可能な条件の検討が必要である。これらのうち、プラグギング技術については次節で述べることとする。これらはモニタリング孔等の掘削やモニタリング機器の施工の時点で、本検討結果が反映されることが望ましいため、研究開発は建設段階までに実施されていることが望ましいが、処分技術の実証段階における処分事業の実現可能性を示す一環として位置づけられる可能性があるため、その処分技術の実証までに開発されるスケジュールを考える。本課題に係る検討のフロー（案）及びスケジュール（案）を図3.8-1に示す。

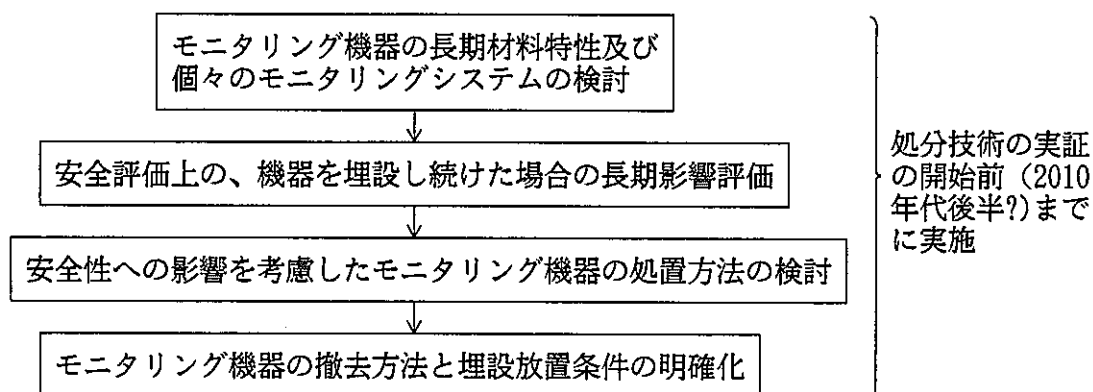


図3.8-1 モニタリング機器の撤去の影響に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

3.9 モニタリング孔の閉塞技術の確立

閉塞しなければならない条件を有するモニタリング孔のプラグギングは地下施設空洞の密封作業とともに、長期安全性の確立のために必要な事項である。どのような性状（深度、径、孔壁状態、周辺地質環境、地下施設との距離・位置関係）を有するモニタリング孔が存在し、それら異なる条件のモニタリング孔に対して、どのようなプラグギング技術を適用すれば、所要の要件を満足するのかを明らかにすることが必要である。図3.9-1に本課題に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）を示す。開発スケジュールとしては、処分事業の実現可能性、安全性を示す処分技術の実証段階までに確立されていることが必要となろう。

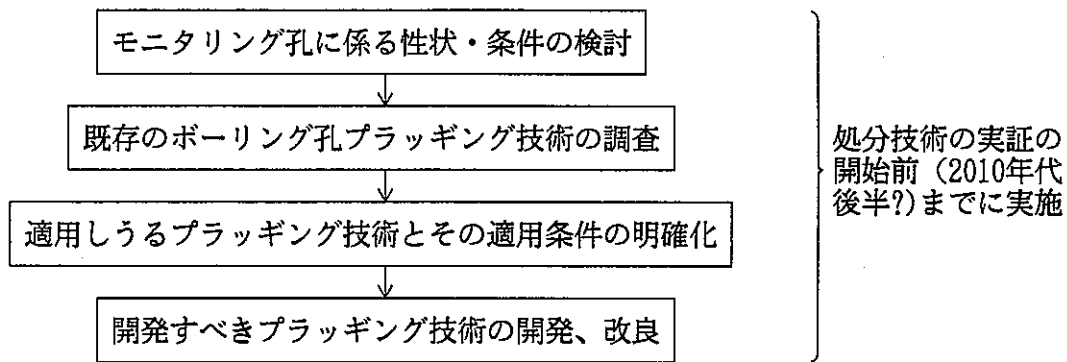


図3.9-1 モニタリング孔の閉塞技術の確立に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

3.10 モニタリング実施位置の詳細化の検討

各段階において実施するモニタリングはその段階が始まる前に適切なレイアウトについて検討しておく必要がある。地表からのモニタリング孔の配置については3.5節で述べた。ここでは、地下施設内でのモニタリング位置を対象とする。この地下施設内でのレイアウトはサイトスペシフィックな情報の蓄積と設計の詳細化に伴ってより具体的に検討されてゆくべき性格のものである。操業段階におけるモニタリングの実施規模が実質最大となるため、その段階を想定したモニタリング実施位置についての検討結果が処分事業の実現可能性を示す処分技術の実証段階で示しておく必要がある。図3.10-1にその検討フロー（案）とスケジュール（案）を示す。

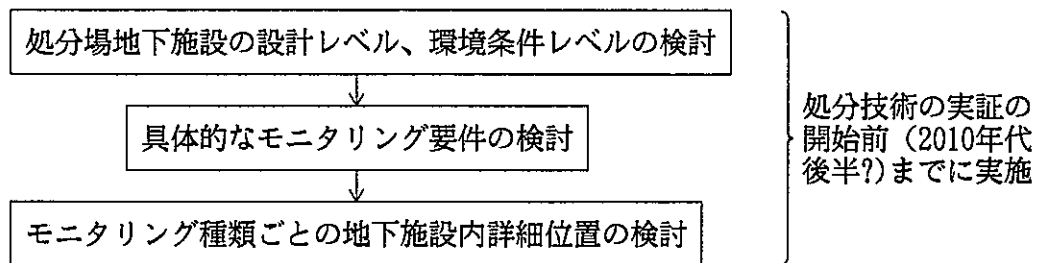


図3.10-1 モニタリング実施位置の詳細化のための検討フロー（案）及びスケジュール（案）

3.11 モニタリングデータの整理及び公表のあり方の検討

モニタリングデータの整理と公表のあり方については、処分事業とモニタリングについての同一の主体が整理と公表を担うのであれば、整合をもって継続的にモニタリングを実施してゆくことが求められるであろう。また、実施期間が長期にわたるため、実施

項目に変動がある段階ごとに整理・公表の仕方をまとめるという考え方もあろう。ここでは、実施主体＝モニタリング主体と捉え、処分事業の実現可能性を示す処分技術の実証段階までに課題の開発がなされるものとする。これらに係る検討のフロー（案）とスケジュール（案）を図3.11-1に示す。

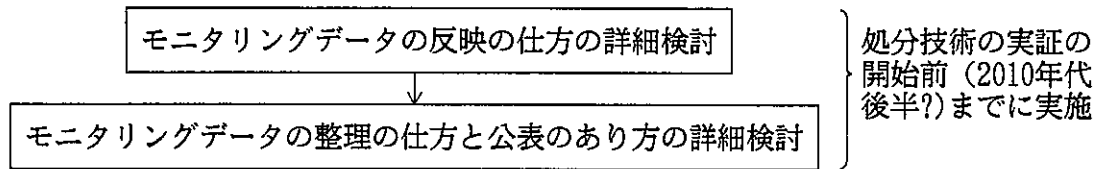


図3.11-1 モニタリングデータの整理及び公表のあり方に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

3.12 放射線管理区域の設定のモニタリングへの影響の検討

放射線管理区域等の設定は設計の段階で国の許認可が必要であるため、処分場施設的设计段階前までに管理区域設定に係る検討がなされていることが必要であるが、さらに、処分技術の実証の段階で処分事業の実現可能性を示す一環として本課題に関しても解決策を示すのだとすれば、その段階前までに検討されていることが必要になる。また、モニタリングシステムも設計要件の一つと捉えれば、管理区域設定に係る検討を受けたモニタリングへの影響の検討もなされている必要がある。これらに係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）は以下の通りである。

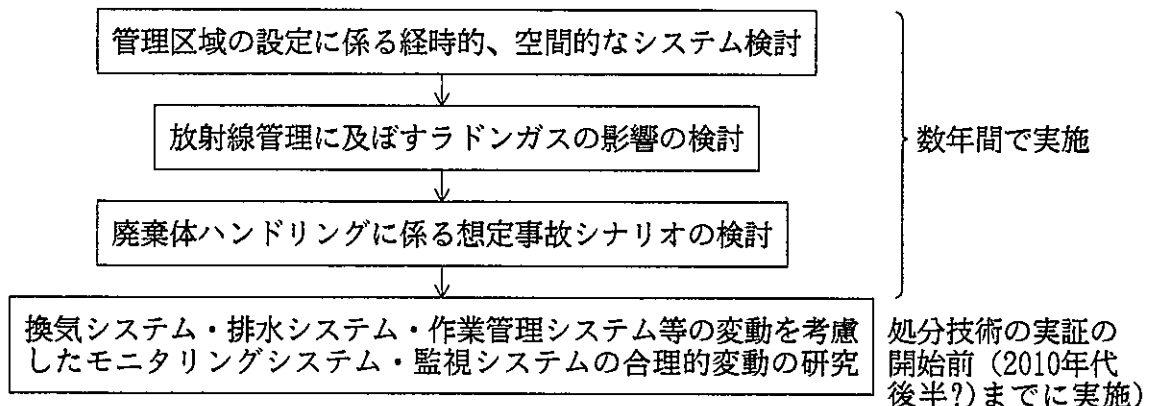


図3.12-1 放射線管理区域の設定のモニタリングへの影響に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

3.13 閉鎖のための許認可あるいは長期安全評価へのモニタリングデータの反映方法の検討

モニタリングデータの反映方法の検討は、モニタリングの実施そのものの影響を受けるものであるため、基本的には操業開始前の事業許可申請までに検討がなされている必要がある。しかしながら、処分技術の実証の段階で処分事業の実現可能性、安全性を示すのであれば、本課題に関してもその段階前までに検討されておくことが求められることになる。モニタリングの長期継続による問題等を考慮した当該事項の検討フロー（案）及びスケジュール（案）は図3.13-1の通りである。

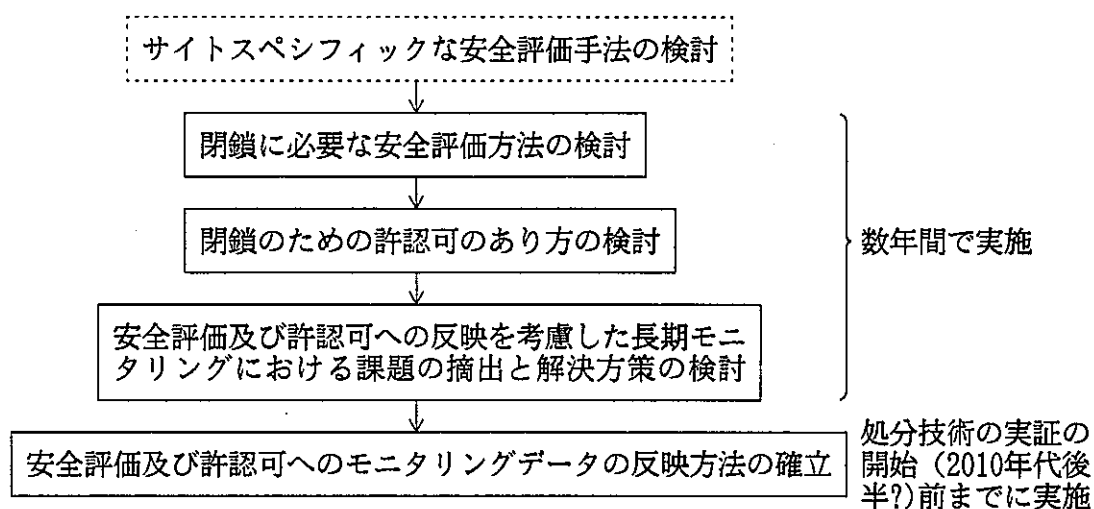


図3.13-1 閉鎖のための安全評価及び許認可へのモニタリングデータの反映方法に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

3.14 モニタリングの集中管理システムのあり方の検討

モニタリングの集中管理システムは全ての段階にわたって統一的、整合的に構築される必要がある。その意味では、遅くとも建設段階においては集中管理システムの構築が望まれる。しかしながら、処分技術の実証段階に求められる処分事業の実現可能性の提示のためには、本課題の解決が図られていることが望まれる。モニタリングの集中管理システムの構築に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）は図3.14-1の通りである。

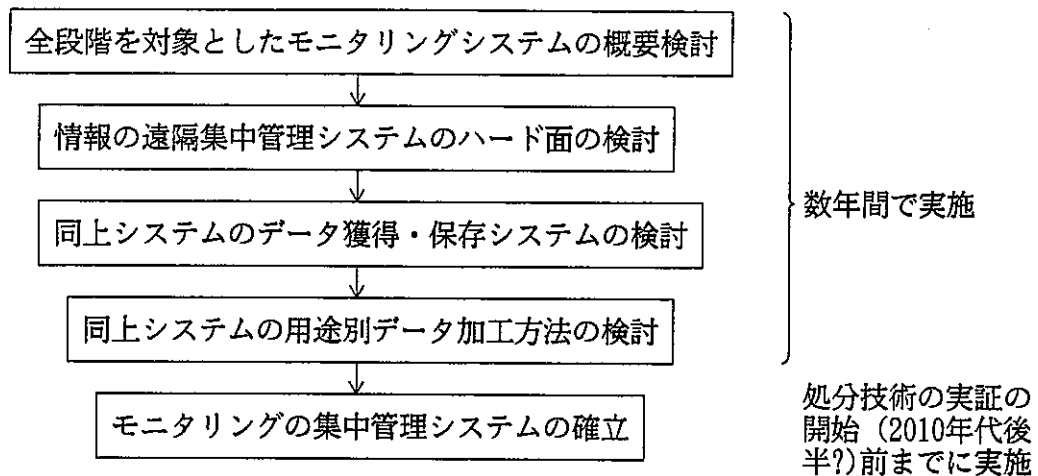


図3.14-1 モニタリングの集中管理システムのあり方に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

3.15 実証用廃棄体に対する具体的モニタリング方法の検討

実証用廃棄体に対するニアフィールドモニタリングは処分場の設計に十分影響を与えるものであるため、そして、安全性と経済性及び社会の安心の獲得に影響を与えるものであるため、なるべく早めにその実施方法について検討される必要がある。また、処分場の設計研究の一部として実施される必要もあり、処分場の建設前までの長期間にわたる設計研究の中で適宜修正のための検討がなされることがあるかもしれない。しかしながら、前項まで述べたように、処分技術の実証段階において処分事業の実現可能性と安全性を示すためには、その段階までにその考え方と方法論の確立がなされているべきと考えられる。本実証用廃棄体に対する具体的モニタリング方法についての検討フロー（案）及びスケジュール（案）を図3.15-1に示す。

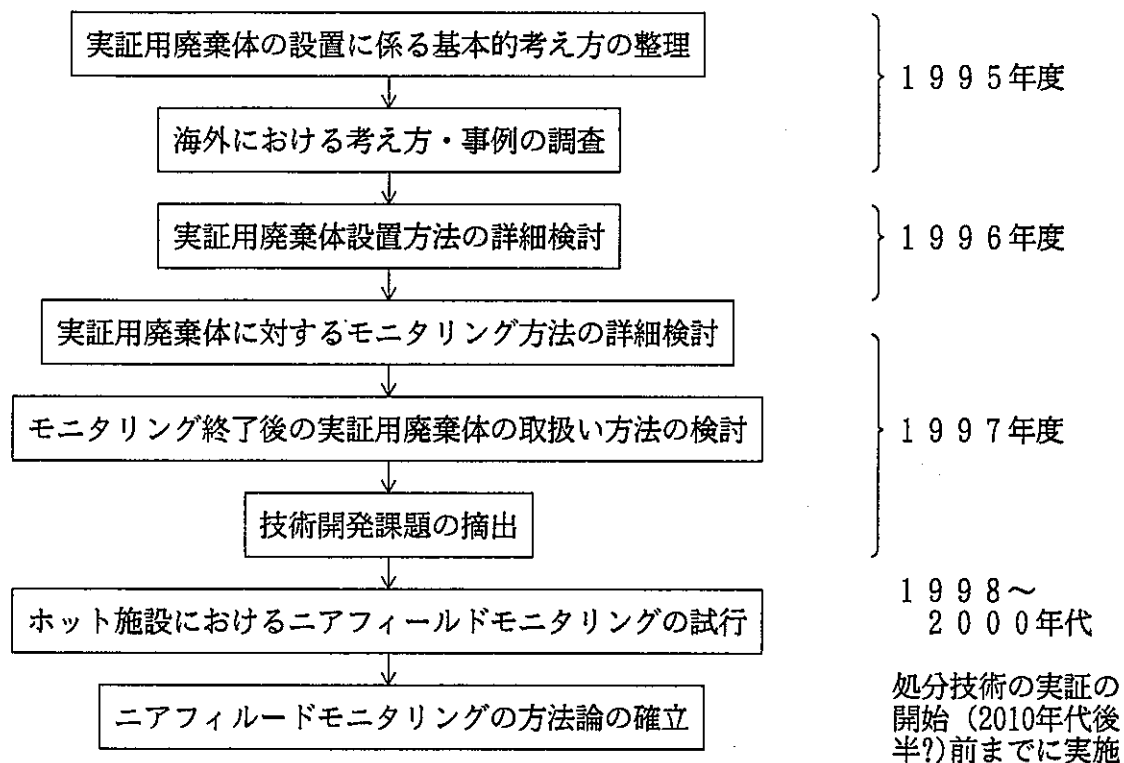


図3.15-1 実証用廃棄体に対するモニタリングに係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

3.16 ニアフィールドモニタリングにより異常と判断された場合の対策行動の検討

ニアフィールドモニタリングは廃棄体に直接関わるモニタリングであるため、技術的に十分安全なシステムであるとしても、その結果として異常が判断された場合の対策行動については検討されなければならない。検討内容は、異常と判断される様々なケースを挙げ、それぞれに対して実施可能な適切な対策行動を示すことである。本検討は処分技術の実証段階までには、処分事業の実現可能性、安全性を示すために、確立されておく必要がある。本検討に関わる検討フロー（案）とスケジュール（案）を図3.16-1に示す。

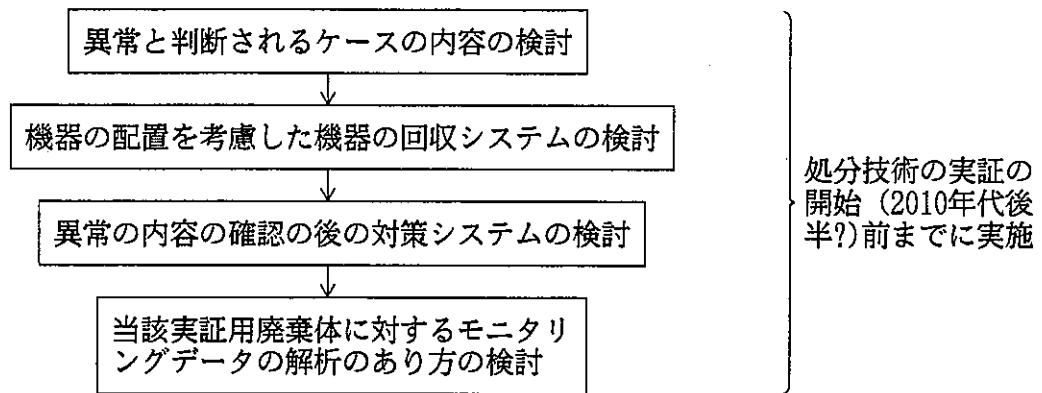


図3.16-1 ニアフィールドモニタリングにより異常と判断された場合の対策行動に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）

3.17 300年間に渡る閉鎖後管理段階における地表からのモニタリングの長期継続方法の検討

300年間に渡る閉鎖後管理段階においてどのような地表からのモニタリングがありうるのか、300年間に渡ってどのようなモニタリングを行えば信頼性あるデータの取得が図れるのか、それを維持するためにはどのような設備の更新が必要なのかを検討する。これらは公衆の安心の確保のために行うものと位置づけられ、処分事業の実現可能性、安全性を示す処分技術の実証段階までに確立されておく必要があると考えられる。本課題に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）を図3.17-1に示す。

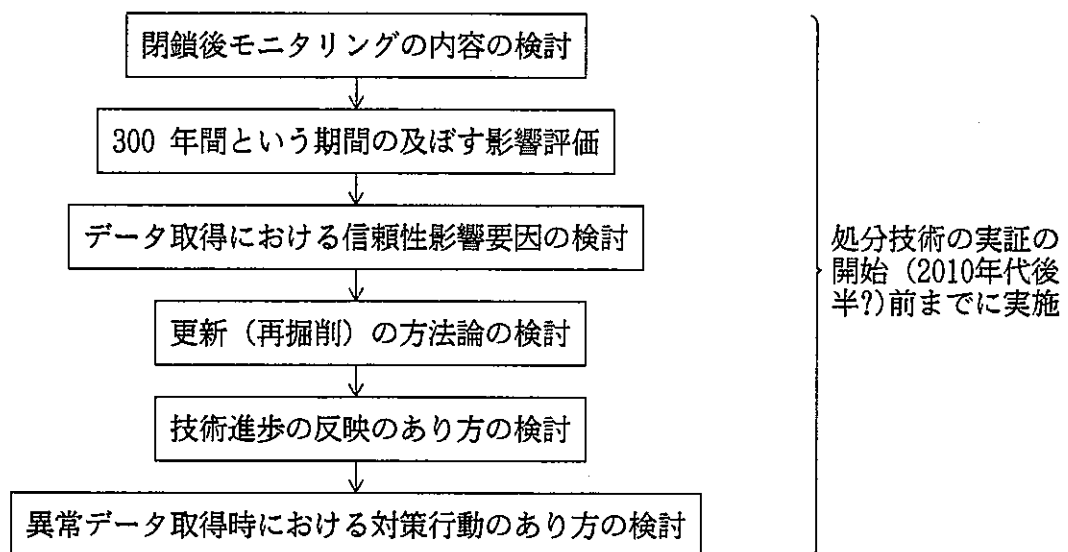


図3.17-1 300年間に渡る閉鎖後管理段階における地表からのモニタリングの長期継続方法に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）

3.18 100年間に及ぶ操業後監視段階における最適モニタリングシステムのあり方の検討

本モニタリングを行う目的としては、閉鎖許可申請に必要なデータの取得と公衆への安心の提供が挙げられる。前者においては、必要なデータを必要な信頼性のもとに取得する必要があり、後者においては、漏出していないことを示すなるべく直接的なデータを取得する必要がある。本モニタリングも処分事業の実現可能性、安全性を示す処分技術の実証段階の前までに技術的な確立がなされておく必要がある。本課題に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）を図3.18-1に示す。

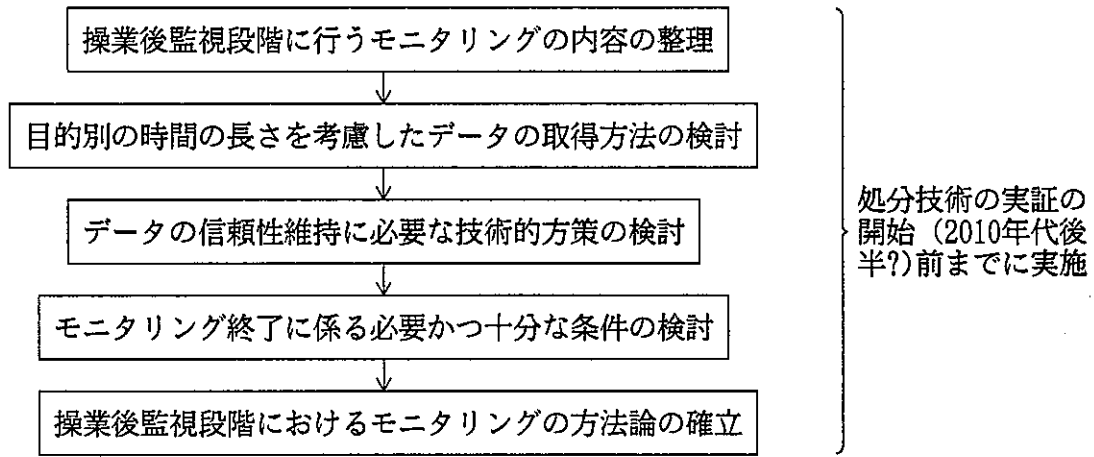


図3.18-1 100年間に及ぶ操業後監視段階における最適モニタリングシステムのあり方に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）

3.19 海水のモニタリングに及ぼす影響の検討

海水水質の影響を受ける場所が処分予定地に含まれる可能性のある場合、あるいは含まれた場合には、処分技術の実証の段階までに本課題の検討がなされておく必要がある。本課題に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）を図3.19-1に示す。

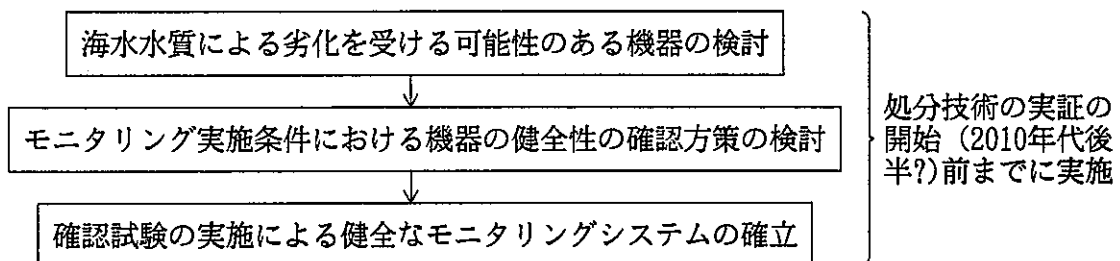


図3.19-1 海水のモニタリングに及ぼす影響の検討フロー（案）とスケジュール（案）

3.20 高温地下環境のモニタリングに及ぼす影響の詳細検討

前節と同様、高温地下環境の場所が処分予定地に含まれる可能性のある場合、あるいは含まれた場合には、処分技術の実証の段階までに本課題の検討がなされておく必要がある。本課題に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）を図3.20-1に示す。

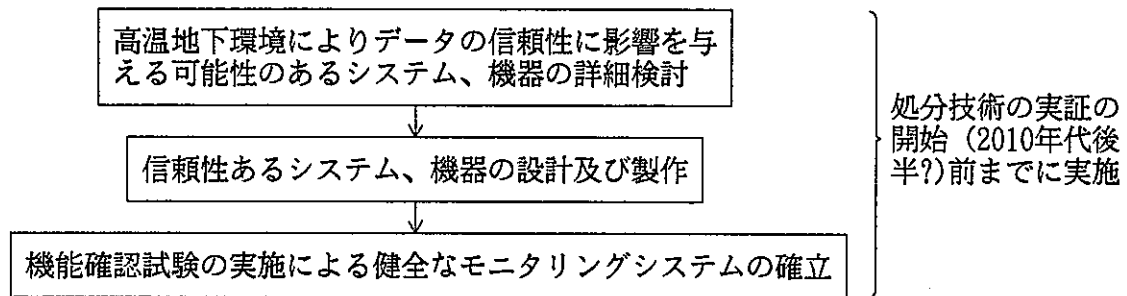


図3.20-1 高温地下環境のモニタリングに及ぼす影響に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）

3.21 地下水流動が極めて低い岩盤に対する地下水モニタリングのあり方の検討

有意なレベルで地下水流動がない岩盤に対しては、万が一微細な流動が観察された場合にはそれが自然の系での事象なのか、モニタリングという行為あるいは処分の行為に起因するものなのかの判定が重要になる。また、化学的には、測定値に対して機器そのものや測定行為による擾乱の影響評価などが相対的に重要になる。これらも、モニタリングの信頼性に影響を与える事項であることから、処分技術の実証段階における安全性の提示前までには内容の検討が行われておくべきであろう。本課題に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）を図3.21-1に示す。

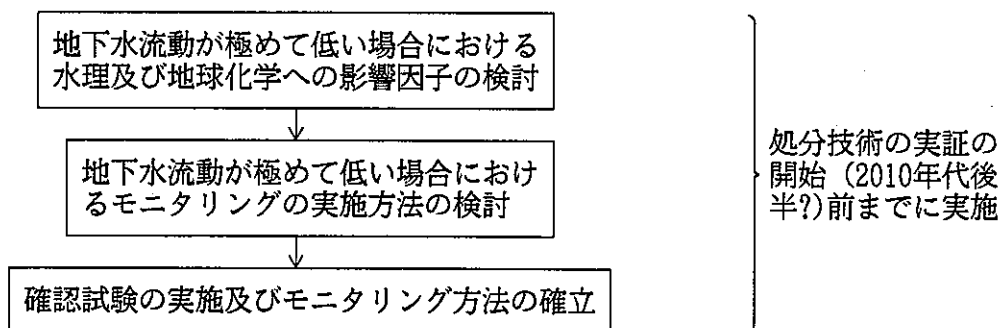


図3.21-1 地下水流動が極めて低い岩盤に対する地下水モニタリングのあり方に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）

3.22 処分坑道縦置方式におけるニアフィールドモニタリングのあり方の検討

処分坑道の定置の形態が定まるのは遅くとも処分技術の実証の段階であると考えられる。その前の段階において縦置方式が採用される可能性がある場合には、ニアフィールドモニタリングの実施方法の検討がその予測と実測の対比における合致のレベルを向上させるために必要である。本課題に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）を表3.22-1に示す。

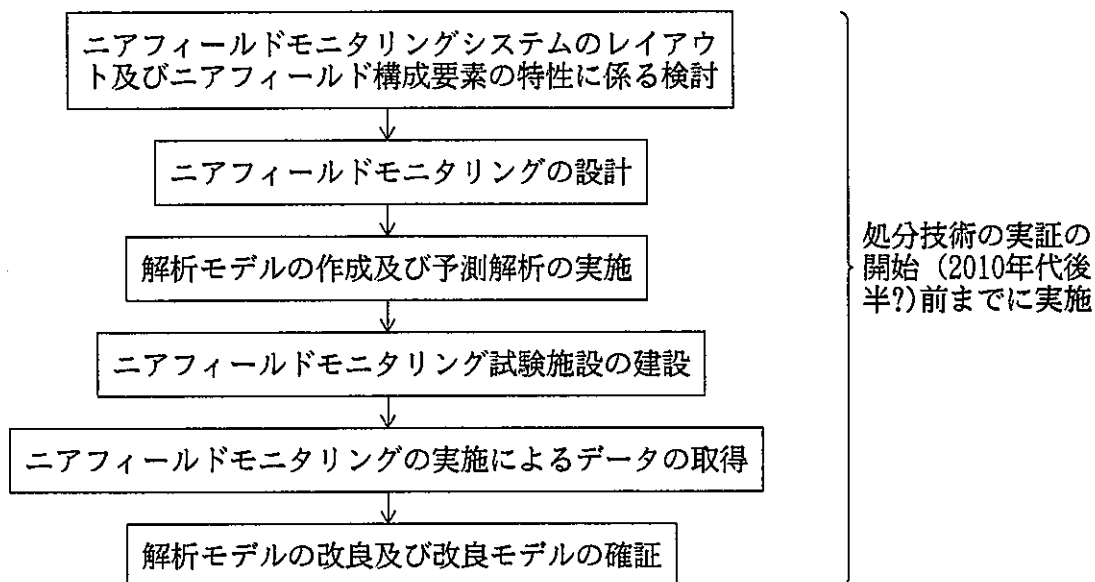


図3.22-1 処分坑道縦置方式におけるニアフィールドモニタリングの実施方法の確立に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）

3.23 処分区画を区切る断層構造に対するモニタリングのあり方の検討

処分予定地選定の段階においては、比較的明瞭ではない状態で、サイト特性調査の段階においては、明瞭に、対象とする岩盤の割れ目分布特性（特に規模の大きい透水性断層の特性）が把握され、処分区画の中に含まれる断層か、さけるべき断層かの判断がなされる。避けるべき特性の断層がある場合にはそれに対するモニタリング方法が速やかに検討され、確立されるべきである。サイト特性調査に引き続く処分技術の実証段階においてはこのモニタリングシステムについても実証されることとなろう。本課題に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）を図3.23-1に示す。

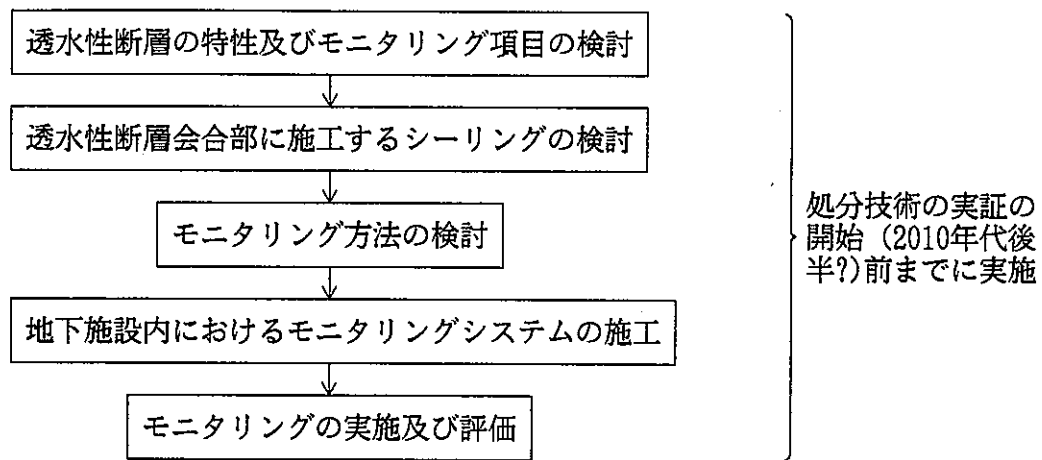


図3.23-1 処分区画を区切る断層構造に対するモニタリングのあり方に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）

3.24 4 処分区画ずつの上下2層配置のモニタリングシステムに及ぼす影響の検討

本課題はスペシフィックなレベルでなされる設計に固有のものである。上下2層配置が決定される理由は色々考えるが、モニタリングに係る問題はその決定を受けたものとして考えるべきであろう。その時に与えられる情報としては、設計内容、処分場設置周辺環境条件である。これらの情報の詳細化に合わせ、安全評価上、どのような評価シナリオが考慮されるべきなのか、どのような評価結果が得られるのかが検討されようが、モニタリングは短期的ではあっても、関連する構造情報のバックグラウンドとしての情報収集が行われる可能性があり、公衆の安心のための確認情報の取得が図られるかもしれない。これらの方法論を平面一層配置との相違をもとに確立してゆくことが必要である。本課題の開発は、設計研究、安全性評価研究の進展と密接であり、設計概念の確立や処分予定地選定の進捗に合わせなされるべきであろう。具体的には、処分予定地の選定前には研究がなされておくことが望ましい。本課題に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）を図3.24-1に示す。

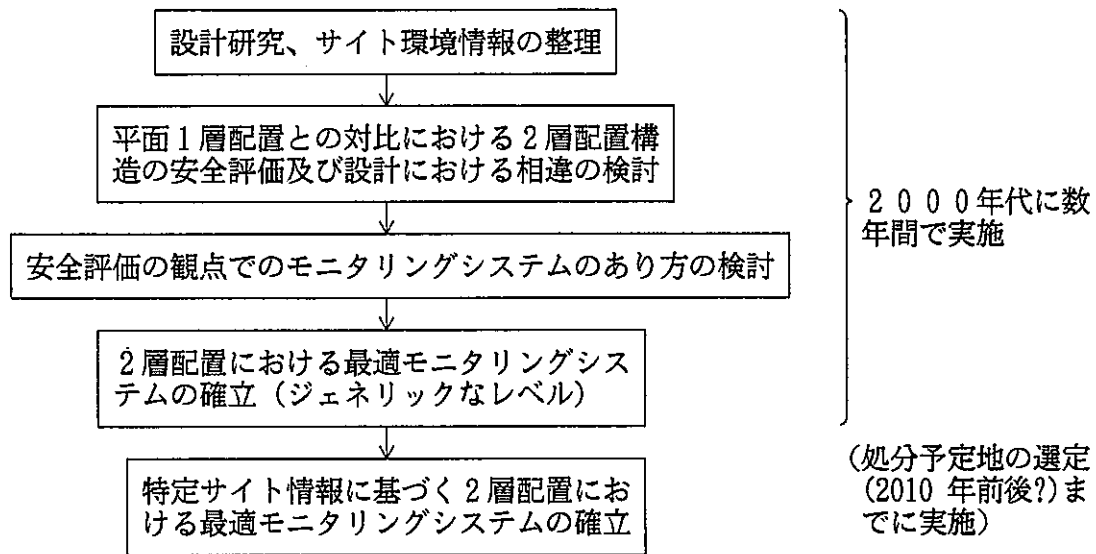


図3.24-1 上下2層配置構造におけるモニタリングシステムの確立のための検討フロー(案)とスケジュール(案)

3.25 1 処分区画を実証に供する場合の実証のあり方の検討

5000本の廃棄体を埋設した1処分区画を対象に、本格的操業前に実証を行う方法論は十分検討すべきである。その際“実証”をどのように定義するのは大きな問題であるが、現実的にどのような実証確認のためのモニタリングが可能なのかその判断に大きな影響を及ぼすと考えられる。技術的な観点(どのような情報がどのような信頼性のもとに取得でき、どのように利用可能なのか等)と社会的な観点(公衆に安心を提供するための適切な実施方法、情報の提示方法はどうあるべきなのか、公衆の安心の獲得の観点からどのような効果が期待できるのか等)から検討されるべきである。そして、このような方法論が選択肢の一つとして考えられ、処分事業の安全性を保障する一つの有力な方法であることを早期の段階で示しておくことが望まれるであろう。そのため、本課題の実施時期は、設計研究進展の早期、具体的には2000年代の始めにはなされておくことが望ましい。本課題に係る検討フロー(案)とスケジュール(案)を表3.25-1に示す。

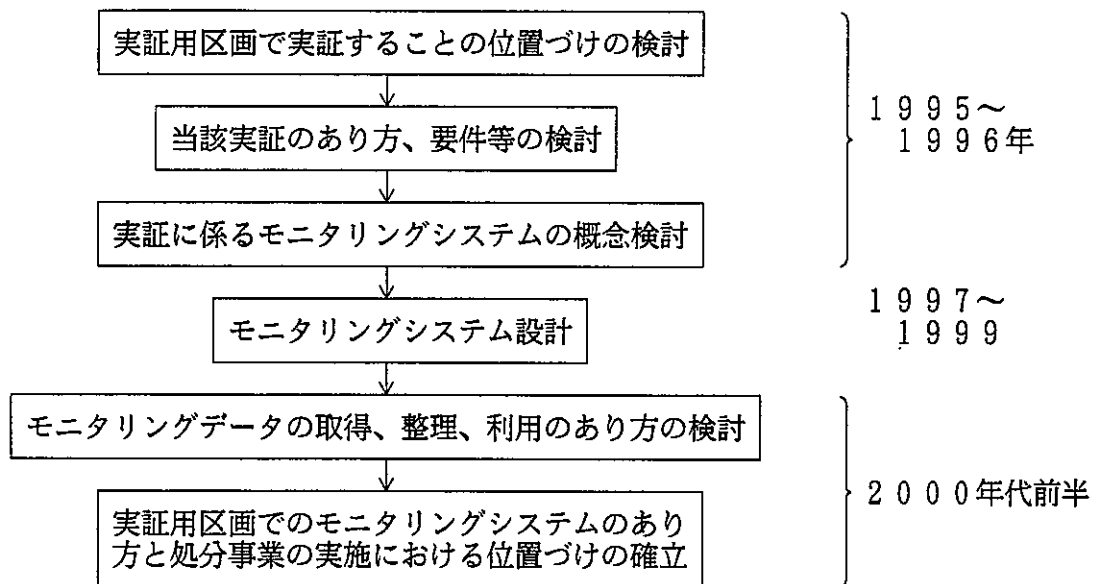


図3.25-1 1 処分区画を実証に供する場合の実証のあり方に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）

3.26 実証終了の判断のあり方の検討

3.25節で述べた課題と密接に関わるものの、実証用処分区画で実施している実証行為をどのような判断基準のもとに行うかの検討であり、技術的にはモニタリング情報から、社会的には社会の反応状態を考慮して行われることが想定される。また、終了に係る所要の手続きを定めておくのか、あるいは実証の進展の状況を見定めつつある判断のもとに行われるのか検討されることとなろう。本実証の終了の判断は、処分場の閉鎖の判断に勝るとも劣らない可能性があり、十分な検討が必要である。検討スケジュールは上記課題と同様とすべきであろう。本課題に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）を図3.26-1に示す。

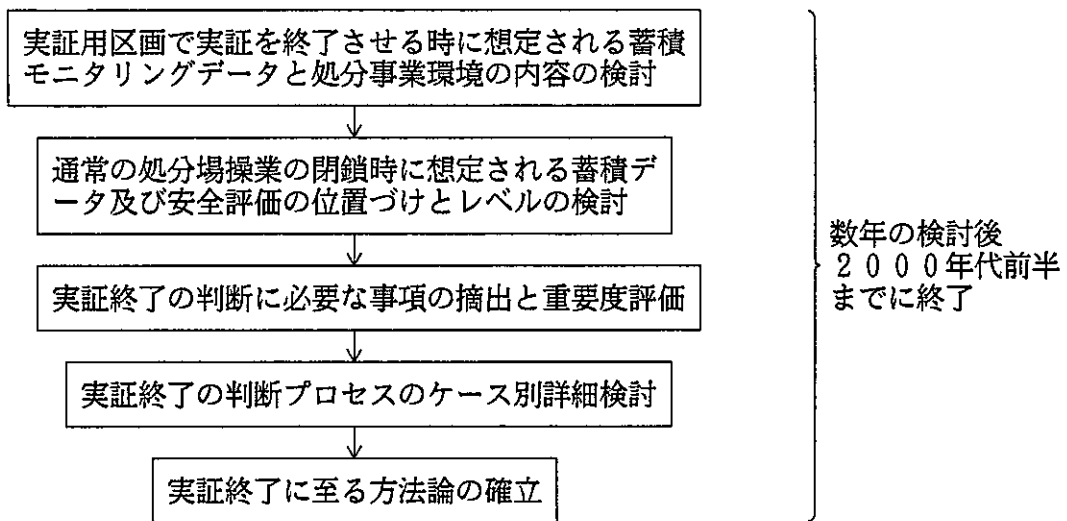


図3.26-1 実証終了の判断のあり方に係る検討フロー（案）とスケジュール（案）

4. まとめ

今年度は、初年度実施したモニタリングの考え方、現状に関する国内外の文献調査と国内の現地調査、前年度実施したモニタリングのあり方の調査検討、モニタリングに関する課題の抽出、課題解決のための方策の検討を受けて、モニタリングに関わる様々な変動条件を与えた場合のモニタリングのあり方、課題、その解決方策の検討を総括的に行った。

前年度の検討ケースを基本ケースとしてとらえ、スケジュール、処分場形態、地質環境条件、処分事業の進め方等をパラメータとして13の変動ケースを設定し、様々な観点からの包括的な検討を行った。各変動ケースの多くに対してはそれぞれ固有の課題を挙げる事が出来た。

前年度の報告書でも述べたように、モニタリングの内容の検討は、基本的に処分を我が国としてどのように捉えるのかという考え方の検討と、安全性研究・設計研究の進捗と地質環境条件の把握状況に密接に繋がるものである。また、概念レベルの検討もあれば、個別の具体的な検討もある。文献調査に述べられているように、各国の間ではモニタリング等の閉鎖後管理の取扱いについては見解が異なる。

我が国においては、処分の見通しを述べている段階であり、処分概念や処分サイト条件を決めるまでには至っていない。このような状況においては、モニタリングの内容を詳細に詰めることは必ずしも十分にはできない可能性がある。しかしながら、モニタリングの研究（概念的なものを主とする）の成果が安全性の研究や処分のあり方の検討に資することも十分ありうることである。それらを考慮すれば、今回の検討で挙げた課題とその解決は相互の比較と優先性の考慮のもとに今後鋭意進めていくことが望まれる。

あとがき

本調査研究は前年度までの検討内容を受け、モニタリングに関してさらに包括的な内容の検討と課題の洗い出しを実施したものである。今年度以上に検討を深めていくためには、処分事業のあり方、処分による安全確保の考え方、環境条件の特定等の環境整備がなされていくことがより不可欠であると考えられる。それらが進展しない場合には、それらの関連事項について考える絞り込みを行い、関係する条件設定を行った上で実施していくことが必要となろう。さもなければ、より個別的な課題についての検討を深めてゆくことに当面重点を置くこととなろう。モニタリングに係る課題のうちいくつかは比較的将来に解決されることが許容されるものもあろうが、安全性の確保と安全性を示す方策に影響を与えると考えられる事項については、なるべく早めの検討がなされるべきであろう。

文献

Nuclear Energy Agency (1982): Disposal of Radioactive Waste, An Overview of the Principles Involved, OECD/NEA, Paris.

Nuclear Energy Agency (1984): Geological Disposal of Radioactive Waste; An Overview of the Current Status of Understanding and Development, OECD/NEA, Paris.

動力炉・核燃料開発事業団 (1992): 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書 -平成3年度-, PNC TN 1410 92-081.

International Atomic Energy Agency (1993): DRAFT Post-closure Issues, Discussion Paper, 36p.

Greber, M.A., Frech, E.R., and Hillier, J.A.R. (1994): The Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste: Public Involvement and Social Aspects, AECL, AECL-10712 (COG-93-2), pp. 85-92.

AECL(1994): AECL-10711 (COG-93-1), pp. 307-308.

付 録

付録（文献調査1）：DRAFT Post-closure Issues

Discussion Paper developed at the Consultants Meeting

28 to 30 July 1993

(October 1993)

本文献は I A E A により、1993年7月28日～30日に開催されたコンサルタント会議での討論用に用意された「閉鎖後の課題」と題するドラフトである。ドラフト版ではあるが、ほぼこの内容で完成版が作成されるものと想定し、本研究に関する内容を記述することとする。

目 次

1. 序論
 - 1.1 範囲及び目的
 - 1.2 処分場プログラムにおける閉鎖後活動の基本的理由
 - 1.2.1 公衆の安心
 - 1.2.2 パラメータ測定値のデータベースの拡張
 - 1.2.3 情報及び知識の保存
 - 1.2.4 閉鎖後活動についての特別プログラムの開発
2. モニタリング活動
 - 2.1 序論
 - 2.2 閉鎖後モニタリングに関して取り組むべき課題
 - 2.3 モニタリングの対象
 - 2.3.1 一般的考察
 - 2.3.2 特別な主要対象
 - 2.3.3 処分場上部での地表モニタリング
 - 2.4 モニタリング方法
3. 制度的管理の意味と義務
 - 3.1 人間侵入
 - 3.2 処分場情報の公文書としての保管
 - 3.3 修復活動
4. 結論

1. 序論

1.1 範囲及び目的

.....

考慮の対象とする廃棄物のタイプ及び処分概念：

原則として、文書の作成は全ての放射性廃棄物に適用される。しかしながら、廃棄物の毒性レベルと危険性が存続する期間及び選定する基礎的な処分概念は議論すべき多くの課題に影響を与える。したがって、ここでは異なる処分概念に関するいくつかの特別な側面とそれらの閉鎖後の課題に対する関係に特に焦点を当てた。

廃棄物の深層処分—深層処分に関しては、地質媒体は一つの重要な安全バリアを提供する。そして、閉鎖後の位置づけが通常達成されるのは、このバリアの人による貫通部（立坑、トンネル、空洞、ボーリング孔）が適切に密封され、閉鎖後段階への移行が適切な当局によって公式に承認された時である。この埋戻し及び／あるいは密封は最後の廃棄体の定置に引き続いて直ちになされる。さもなければ、モニタリング段階が予測したシステム挙動の特別な局面を確認するために導入される。このモニタリング段階は、通常、サイト特性調査初期段階から操業期間を通じて実行されているモニタリング活動の連続したものである。例え、定置後モニタリングが処分の操業が終了した後の多くの年月の間続くとしても、その施設は閉鎖後のものとして位置づけられることはない。この状態への移行の公式の承認は、恐らく、施設の存続期間の間に集積された全てのデータを用いて行う性能評価に基づくであろう。

.....

ここでは、高レベル廃棄物処分場の場合、最後の廃棄体の定置後、閉鎖されない場合に

はモニタリング段階に移行することになるが、それはサイト特性調査段階から続くモニタリングの継続したものであり、性能評価を行っていないならば、換言すれば、そのモニタリング段階でのデータが性能評価に用いられるのであれば、それはまだ閉鎖後段階ではないとしている。

1.2 処分場プログラムにおける閉鎖後活動の基本的理由

適切な長期性能を保証するための手段はそれ以上必要ないという技術的同意が得られたとしても、処分場プログラムにおいて諸活動を継続する様々な正当化された理由がある。以下に論点を三つに分類した。

- 受容できない結果が生じることはないという安心を公衆に提供すること
- 当該施設において、あるいはその周囲において、パラメータの測定値についてのデータベースを技術面で拡張すること
- 処分場の存続期間を通じて確立された情報あるいは基礎的知識が将来世代に対して失われないということを保証すること

これらのどの議論も以下において個別に、十分に示した。しかしながら、閉鎖後活動に関する全ての提案についての通常の警告を最初に強調しなければならない。処分場は、活動的でない安全バリアによって人間環境から放射性核種を遠ざけることが意図されている。もし、処分場によって提供される防護の程度が受容できない程低下する結果となるのであれば、どんな目的であってもさらなる情報の収集を意図した閉鎖後段階は認められない。長期安全性は他の全ての潜在的な重要性よりも優先する。

閉鎖後活動を正当化する理由として、公衆に対する安心の提供、技術面でのデータベースの拡張、将来世代に対する情報・知識の伝達を挙げている。しかしながら、これらより

も長期安全性の確保が第1に優先されることの基本的考えを強調している。

1.2.1 公衆の安心

処分場システムの長期挙動に関する技術的な安全事例は、当然のことながら予測モデルに基づいている。用いられるモデルは学際的なものであり、しばしば複雑である。専門家が多くの努力を傾注しているのは出来るかぎり最大限度に、モデルによる予測が目的に対して十分信頼できるものであることを確認することである。このプロセスにはモデルの予測を実験室及び野外の結果やナチュラルアナログあるいは考古学的アナログの観察結果との対比が含まれている。処分場事業者によって準備される技術的安全事例は、規制当局によって明確に理解され、受け入れられなければならない。しかしながら、一般公衆に対しては、全ての議論を十分透明にすることは難しい。さらに、我々の知識の主要な欠陥のどれかが全く処分場からの予期しない結果をもたらすものではないということについての公衆の信頼は通常技術者の持つそれよりも低いものである。

したがって、閉鎖した処分場サイトからの予想される放出をある期間直接モニタリングすべきであるという公衆の意見が広範に広がっている。モニタリングシステムを実施する決定は技術面の考慮とともに社会学的な考慮に基づいている。結果として、実施者と規制者は潜在的なモニタリング技術の価値を評価する必要がある。専門家は政策決定者と公衆に対して提案されたモニタリングシステムの長所と影響に関する明瞭で健全な技術的情報を提供する義務がある。これらの重要な問題点については2章でより詳細に述べられている。

ここでは、技術者と公衆との避けられない認識レベルの相違を挙げるとともに、その公衆と政策決定者に対して、専門家はモニタリングシステムの長所とその影響について説明する義務があることを述べている。

1.2.2 パラメータ測定値のデータベースの拡張

将来の予測安全性能の適切さが実施者によって文書化され、規制者によって受け入れられた閉鎖した施設についてのデータをさらに収集するためにどのような技術的議論がありうるだろうか？

一つの明瞭な正当化される答えは、今後の処分施設は実施者が将来のプロジェクトについての考えられる最適化に直接関心を有するように計画されるということであろう。最初の施設で達成された受け入れ可能な性能は、もし閉鎖したシステムについての確認のための測定が、もっと保守的でなく設計できるということを示すのであれば、よりコストの低い方法で達成できることとなる。

もし引き続き匹敵する処分場プロジェクトが想定されないのであれば、さらに安全性に関連したデータを収集するための技術的議論が依然として可能である。もっとも、このような議論は相対的に弱いものではあるが。例えば、技術専門家は、測定可能な安全性への影響を与えるような予測できないプロセスの可能性が極めて低いものであるように、閉鎖前に収集したデータと実施した解析の根拠に十分な信頼を有していなければならない。この安全性を高めるためにさらに測定するようなことは求められるべきではない。起こりそうもないシナリオをカバーする高価なモニタリング計画を技術面で正当化することはそれゆえ困難であるが、最終的な決定は考えられる長所に対するコストの価値判断による。技術的専門家が適切な安全性が保証されていると確信したとしても、システム設計者は、解析の中で採用されている保守性の程度をより良く推量できるようにすることだけを目的として、処分場システムの時間の経過による変化についてより多くのことを学ぶことに関心を示すのもよい。例えば、深層処分場の瞬時の再飽和を保守的に仮定することによって廃棄物容器に関する受容可能な腐食挙動の予測が可能になったとしても、技術的専門家は、正当と認められる努力をして行うのであれば、再飽和の実際の速度をモニタリングすることに直接的な関心を示

してもよい。もしその専門家がどのような目的でもそれに対するモニタリングシステムを提案するのであれば、その検知システム自身が長期安全性を損なうものでないことを当然実証しなければならない。

ここでは、モニタリング自体が長期安全性に影響をあたえるものであってはならないことを述べている。

密封した処分場周囲の物理的／化学的パラメータの測定を継続する理由として、最終的で、より一般化された考えがある。異なる安全バリアからなる全体システムは自然システムの中においてはアノマリーを示すものである。幅広い化学的、物理的プロセスは、そのアノマリーを平衡状態に戻すために長期間にわたって作用する。処分場システム全体を定量的方法で特性づけるために何十年にもわたってなされる注意深く、かつ丹精込めて行われる作業の意味することは、閉鎖時の処分場システム条件を明確にする巨大なデータベースが利用できるということである。この科学的データベースにより、技術者及び科学者にとってのさらなる価値ある情報を収集するための非常に貴重な機会と動機が与えられ、したがってさらに測定されなければならないといえる。科学的方向性を持ったモニタリングプログラムについてのこのような議論は2.2節の最後にさらに詳細に論じられている。

ここでは、何十年にもわたってなされるモニタリングの結果として構築されるデータベースの価値を論じている。

1.2.3 情報及び知識の保存

(省略)

1.2.4 閉鎖後活動についての特別プログラムの開発

上記の議論は放射性廃棄物処分場の公式の閉鎖の時期を過ぎてなされる特別の測定を正当化するためには様々な根拠を提示できることを示している。もしどんな個別の処分場に関する議論が十分確固としたものであるために閉鎖後の手段を正当化できるのであれば、それらの手段はサイトにおけるモニタリング活動及び／あるいは閉鎖時に始まる制度的手段に基づくものであろう。どんな特別の処分場であっても、特別の閉鎖後プログラム—それは同時に公衆に対しては技術的に実現可能なものであり、かつ十分確信しうるものであるとともに、実施者にとっては経済性及び安全性に関連して正当化しうるものである—を開発することは意欲をかきたてる業務である。選定されたプログラムは技術的及び社会的判断に基づくものとなる。第2・3章において、直接的な観察あるいは制度的な手段についての特別な処分場プログラムを開発する際に、取り組むべき戦略的な質問に関するより詳細な議論の誘導を試みる。

2. モニタリング活動

2.1 序論

1章で議論したように、処分場の安全性について公衆に安心してもらうために、あるいは将来の処分場の便益に係る既存データベースをさらに開発するために採用することのできる多くの行為の中にサイト及びシステムに固有のパラメータを対象とするモニタリングが含まれる。

公衆の安心のためのモニタリングは処分場の安全性に関係するパラメータに集中するべきである。データベースを拡張するためのモニタリングは、コスト低減のための設計あるいは多重バリアシステムの最適化に関連したパラメータをも含む。

閉鎖後モニタリングについての以下の議論においては、十分なデータが安全性を立証するために、そして永久に施設を密封（閉鎖）

するための認可を得る要件を満足するために利用できることを仮定している。モニタリングをさらに行うことは、処分場が要求された通りに挙動することを示すこと（確認モニタリング）、あるいは性能評価をより精密にし、様々な保守性を定量化し、あるいは将来の処分場の設計を最適化することを目的とするものである。2.2節においては、閉鎖後モニタリングが着手される前に必要とされる行為あるいは正当化作業を論じる。安全に関連したパラメータとそれらをモニタリングする方法についての概説は2.3節及び2.4節で行う。

公衆の安心のために行うモニタリングは安全性に関わるものであること、データベース拡張のためのモニタリングはその他に設計やシステムの最適化に関わるパラメータも対象とすることを述べている。

2.2 閉鎖後モニタリングに関して取り組むべき課題

放射能を含めた全ての作業における基礎的な原則は、人間に対して危害よりも便益を多くもたらすものであることが示されない限りどんな行為もとるべきではないということである。それ故、リスク便益あるいは費用便益解析が、提案されているどのような閉鎖後モニタリングに対しても要求されるべきである。

性能評価のリスクあるいは費用の面は、モニタリング活動を記述したプランが開発された後に、性能評価において用いられる同様の技術で評価することができる。

性能評価においては、処分場の安全性に関するモニタリングシステム（あるいはその設備）の影響は評価されなければならない。そして、得られる情報の価値はモニタリング設備による費用やリスクにまさるものであることが示されなければならない。この評価は技術的及び社会学的考慮の両者を含む。便益の面は恐らく、公衆の信頼が高度に主観的な特性を有するが故に定量化することは恐らく困難であろう。

ここでは、性能評価においては、処分場の安全性に係るモニタリングの影響評価がなされるべきであること、その影響評価は技術的及び社会的になされるべきであることを述べている。

どんなモニタリング計画も、廃棄物のタイプ、母岩、処分概念に対して、技術面で詳細に明示されなければならない。しかしながら、多くのジェネリックな行為をリストアップすることができる。

確認のための測定に関するモニタリング計画は以下の内容でなければならない。

- 測定するパラメータを同定すること及びそれらのシステム性能との関係を示すこと
- モニタリングを行う手段を同定すること、及び意味ある徴候を得ることが可能であることを示すこと
- 測定がなされるべきポイントを選定すること及びそれらの測定が遠隔であるいは中に入って行われるのかどうかを選定すること
- 信号がどのように解釈されるのかを示すこと
- 通常の読み取りの幅とその時間依存性を示すこと（バックグラウンドのレベルと変動の考慮）
- 通常の読み取りにおける考えうる偏差と安全性に対する重要性を論じること
- モニタリングの継続期間を示すこと
- 安全性によって動機づけられる行動のレベルを同定し、採るべき行動を明細に示すこと
- モニタリングシステムの信頼性を評価すること、その際、誤作動が生じた場合の必要な行動を含む。
- モニタリング計画を文書化すること

ここでは確認のためのモニタリング（要件を満たしていることの確認）を実行する上において、その信頼性の確保のためになすべき事項を定めている。特に、データの信頼性のチェックとモニタリング行為のあるべき姿を論じている。

将来の処分場に関するデータベース拡張のためのモニタリング計画の要件は確認のための測定計画に極めて類似している。確認のための測定について上に挙げたチェックリストからは、通常の読み取りにおける考える偏差を論じることの必要性と、行動レベルと行動内容を同定する必要性に関する2点については抹消あるいは緩めた表現にすることが可能である。費用便益分析は、必要な安全レベルの向上あるいはより費用軽減効果のある方法への到達の可能性の判断によって強く影響を受ける。

最後に、処分場システムは大きな投資であって、小規模な限界原価の場合には、処分場の安全性に全く、あるいはほとんど関係ない様々な種類の長期観察あるいは研究に対して機会を提供することになる可能性がある。例えば、処分場の母岩の応力変化、掘削した施設の地下水による飽和の速度、その飽和期間におけるガスの移行あるいは溶解などについての長期観測である。リスク評価と立案に係る同じ要件は確認のためのモニタリングということでこの種の活動に適用されなければならない。しかしながら、この種の研究に係わる可能性を利用する価値は確立するのが難しく、適切な所管官庁を定めておくことができそうもない。このような一般的関心は処分実施主体の直接的な責任の外にあるので、研究の必要性及び財政的支援を見つけることの必要性を評価するための打合せが明らかに必要である。実施者と規制者は研究行為が安全性に影響を与えるものではないことを保証する必要がある。

実施の立場でも、規制の立場でも、研究行為が安全性に影響しないことを保証する必要を述べている。

2.3 モニタリングの対象

2.3.1 一般的考察

定置後モニタリングの潜在的対象には、密封した処分場の状態を示す測定可能な量（のパラメータ）を含む。これらの量は廃棄物処分場自体あるいはニアフィールド内の物理的、化学的、水理的条件を反映し、それなりに予測した挙動を確認することとなる。

公衆の安心という文脈の中で最大限の価値を示すためには、これらの目標は、公衆が理解することのできるパラメータを含まねばならない。そして、それは、放射性核種が工学的な処分場の内部に安全に含まれていることを示すことに関係したものである。また、プロセスを示す詳細なモデルによって生み出されるパラメータの予測値が、安全性全体を実証するために用いられるよりロバストであるがより単純なモデルによって生み出される保守的な（悲観的な）値よりも比較のためには利用価値が高いということも重要である。測定対象の時間的変化は、処分場システムが予測通りに挙動しているということを確認するために必要である。

定置後モニタリングにおいて考える対象として、処分場の状態を示す測定可能な量のパラメータを挙げている。そして、それらは物理的、化学的、水理学的なものであるとしている。さらに、公衆の安心という観点からはそのパラメータが理解しうるものである必要を述べている。また、ロバストなモデルによる予測値よりもプロセスを記述した詳細なモデルの予測値の方が重要だとしている。

これまでの研究によって、モニタリングできると思われる6つの基礎的なパラメータを明らかにした。それらは母岩に対する熱的、水理学的影響に関連したものであり、具体的には、（処分場の）温度、（処分場とニアフィールド岩盤の）応力場、（処分場及びニアフィールド岩盤の）変位の領域、（ニアフィールド岩盤の）間隙水

圧及び水頭、（ニアフィールド岩盤の）地下水流量及び岩盤の透水係数である。これらに、より一般的な特質である（ニアフィールド岩盤の）地下水組成を、放射性核種濃度、微生物活動及び処分場内のガス発生とともに含めることが可能である。

モニタリングの基礎的な6つの対象パラメータとして、温度、応力、変位、間隙水圧・水頭、地下水流量及び透水係数を挙げている。さらに、地下水組成、核種濃度、微生物、ガスを含みうるとしている。

これらの物理的、水理地質学的プロセスのいくつかは時間とともに比較的速やかに変化すると予想されており、それゆえ、それらにより処分場システムの特徴が適切に把握できることを早期に確認することができる。これらパラメータの例として間隙水の飽和の程度及び局所的応力場とその結果としてのひずみ（動き、緩和）がある。より長期間では、地下水組成のような重要な測定値が、継続する監視プログラムの重要な部分を形成しうるものと考えられる。

モニタリング対象を表1に要約して示す。

表1 定置後モニタリング対象

直接的：処分場の挙動及び／あるいは性能に直接関連する現象

- ・ニアフィールド地下水組成
- ・処分場構造物の変位
- ・処分場ガス発生量
- ・処分場／ニアフィールドの温度

間接的：定量化に利用できるものの、処分場の挙動及び／あるいは安全性に直接関連する解釈を必要とする現象

- ・広域的水頭分布（→地下水流動）
- ・ニアフィールドの応力（→ガス発生、再飽和、膨潤）

- ・流れの電位（→地下水中のイオンの流れ）
- ・微小重力の変化（→飽和のレベル）
- ・地震波速度と減衰（→飽和、温度、岩盤応力、割れ目形成など）
- ・広域的岩盤の電気伝導性（→イオン伝導性、飽和、割れ目、温度、岩盤応力、地下水流動）

必要とされるパラメータに直接関連を有する現象としては、処分場の温度、ガス発生量、処分場の構造物の変位、ニアフィールド地下水組成がある。測定可能であるが、処分場の状態に間接的で解釈可能な現象として、広域的水頭分布あるいはポテンシャル（地下水流動の指標）、流れの電圧（イオン種の流れにより生じる）、微小重力の変化（飽和度の変化により生じる）、地震波速度及び減衰（飽和、温度、応力、割れ目形成等に影響を受ける）がある。個別の処分場が位置する地質特性は明らかに測定の実際的な面と、定置後挙動を確認する際のこれら対象の相対的重要性に影響を与える。

モニタリング対象として、処分場の挙動及び／あるいは性能に直接関連する現象と、定量化に有用であるが解析や解釈を必要とする間接的な現象を示している。

モニタリング手法は、「原位置」及び「遠隔」、あるいは侵入及び非侵入に分類可能である。前者は機器によって得られる位置に固有の測定である（特に、処分場内あるいは近傍でのボーリング孔内の）。その情報は機器のすぐ周囲の領域に関係したものであり、相対的に正確で、明白である傾向がある。非侵入性の測定は物理探査技術とリモートセンシング技術（それは地震、電気あるいは原子力のエネルギーを物質内に投入し、その応答を測定するもの）を利用するものであり、処分場周囲の地圏の感度の低い領域で有効に測

定可能である。

どの場合においても、処分場の掘削（あるいは少なくとも閉鎖）に先立って、環境の重要な変化（そのうちのいくつかは前述の通り相対的に早く変化するものである）が検出され、解釈されるためのベースラインとなるデータを提供するための測定を開始することが重要である。

この項の中で示すべきその他の問題は、処分場近傍における地表及び近地表環境（土壌、地表水、大気）をモニタリングする有益さのことである。処分場閉鎖前後でなされるそのような測定は、引き続き安全性を直接的に実証することにおいては重要性が低いことは議論できるが（深部地下水中の放射性核種の測定よりも十分その傾向がある）、公衆の安心という目的においては有用な確認のための機能となる。

処分場の挙動に対するいくつかの主要なパラメータの関連性を極めて詳細に描く前に、一つのパラメータも処分場の状態の特徴を全く記述することができないということを指摘せねばならない。品質保証の観点からは、二つ以上の技術的手法によって一つのパラメータを独立的に定量化することが望まれる。

モニタリング手法を原位置／遠隔あるいは侵入／非侵入で分類している。さらに、バックグラウンドを把握すべきとしている。地表及び近地表の重要性は公衆の安心という観点において評価している。

2.3.2 特別な主要対象

文献1（閉鎖後モニタリングに関する重要なパラメータと測定方法—現状のレビューと将来の研究のための提案, Morrison, Major and Tsang, 1987）から引用した以下のパラメータリストは、処分場性能を評価する上におけるその関連性についてのコメントとともに再度示した。

i) 温度

高レベル廃棄物を有する処分場においては、これは最も重要である。中低レベル処分場の空洞やニアフィールドにおいては温度を明確にモニタリングする価値はないと考えられている。

中低レベル処分場とは異なり、高レベル処分場では温度が重要であることを述べている。

ii) 応力

処分場が密封されて再飽和し、周囲の岩石が「和らぐ」につれ、周囲の圧力は掘削前のそれに近い値に戻る（上昇する）こととなる。加えて、ある埋戻し材は飽和により膨潤し、ガスが処分場内の化学的、生物化学的プロセスから発生する可能性がある。処分場及びニアフィールド応力の変化は、閉鎖後段階直後においては最も顕著なものであるが、性能評価における計算上十分重要的なものであって、処分場近傍あるいは少々の距離離れた試錐孔内での原位置圧力計により、あるいは直接的ではないが遠く離れて間接的な弾性波探査あるいは電気探査により、測定される。

応力の変化が閉鎖後顕著に変わるパラメータであることと、性能評価計算上重要であることを述べている。また、測定方法として弾性波あるいは電気を用いた間接的な手法も示している。

iii) 変位及び埋戻し材の安定性

ニアフィールド岩盤の動きは処分場に対する圧縮の運動（キャニスタの破壊あるいは移動、ガス発生、岩盤破壊）によって生じる。その動きは周囲の岩盤中に設置したひずみゲージによって、あるいは極端な場合には地表の破壊を測定することによって検知される。

力学的な破壊による変位について述べている。

iv) ニアフィールドにおける地下水分布

間隙水圧と水頭の空間分布は岩盤の透水係数のようなパラメータとともに、処分場通過の、及びニアフィールド内の地下水流動パターンを決定する。間隙水圧及び水頭はピエゾメータのような圧力を感じる機器を用いて測定される。もし適切にキャリブレーションのできるのであれば、いくつかの“遠隔手法”（弾性波及び電気探査が顕著）により定量的測定が可能である。

地下水流動に関わるパラメータとして間隙水圧及び水頭分布を挙げている。しかし、処分場規模あるいはニアフィールド規模でその流動を示すためには、かなりの数量のデータが必要となろう。

v) 流体の流れ

処分場とその周囲の乱された岩盤の物理的な存在は地下水流動に影響を与える。密封した処分場に極めて近い空洞が空気が入った状態で維持されると、その再飽和が妨げられ、周囲の岩盤と処分場における大きな動水勾配をもたらす。局所的及び広域的地下水流動は (iv) で示した水頭測定（及び間隙水圧）から推定される。原位置測定は処分場領域における詳細な地下水流動を論理的に推論するために必要である。

iv) に類似した記述であるが、残存空気は結果として大きな動水勾配をもたらすことを述べている。

vi) 地下水化学、処分場の化学的劣化生成物及び地下水中の放射性

核種

処分場が母岩中に存在することにより、局所的な地下水化学の変化が生じる。廃棄物キャニスタの予期しない早期の腐食や他の処分場物質の劣化により、腐食生成物、セメント水和物、地下水中的のコロイド及び／あるいは放射性核種が生じる。

以前述べたように、公衆の観点からは、処分場性能についての最も意味のある指標は地下水中に処分場を起源とする放射性核種が存在するのか、しないのかである。放射性核種のバックグラウンドレベルをそれに加味される放射能が検出できるように知っておくことはもちろん必要なことである。そのようなレベルは操業前モニタリングプログラムの後で利用されるべきである。

処分場そのものの存在により岩盤中に化学的なアノマリが生じること、放射性核種濃度を公衆に正しく伝えるために、バックグラウンドを把握しておくことが重要であることを述べている。

vii) ガス

処分場内の金属構造物の腐食はガスを発生させる。二つ目の発生源は有機物の生物分解である。低透気性の密封した処分場においては、ガス発生はキャニスタあるいは処分場構造の破壊をもたらす。その結果、安全評価において予測したよりも早期に地下水への放射性核種の浸出をもたらす。関連するガスとしては CH_4 、 CO_2 、 H_2S 、 H_2 、 He 及び O_2 である。

金属及び微生物によるガス発生の可能性を挙げ、それは予測よりも早く放射性核種を浸出させるとしている。ガスとして、 CH_4 、 CO_2 、 H_2S 、 H_2 、 He 及び O_2 を挙げている。

viii) 微生物活動

処分場内での有機物の微生物による分解は放射性核種の移動性を高め（例コロイドにより）、自身は放射性でもあり、非放射性でもありうるガスの発生をもたらす。微生物活動の結果としての地下水化学の変化は（vi）でモニタリングされ、ガスは（vii）でモニタリングされる。

微生物による有機物の分解がコロイド等の形で放射性核種の移動性を高めることを述べている。

処分場挙動の全ての局面をモニタリングしたり、多くの関連技術を用いて有用な対象の測定を繰り返す必要はない。次の現象は深層処分施設の潜在的なモニタリングという文脈において、より詳細に調査されている。

- a) 処分場及び／あるいは母岩中における異常な応力
- b) 処分場及び／あるいは周囲の岩盤中の運動
- c) 地下水流動状況及び閉鎖後のその変化
- d) 処分場の腐食／分解生成物あるいは地下水中の放射性核種の存在
- e) 周囲岩盤中の処分場に起因するガスの存在

もしあるとすれば、これらの対象のうちの、閉鎖後モニタリングプログラム中で測定されるべき事項に関する決定は、前述の2.1節中に概説した指針を用いて、プロジェクト固有の基礎に対してなされることになる。

2.3.3 処分場上部での地表モニタリング

浅層施設での放射性廃棄物の処分という状況においては、地表物質をモニタリングすることは普通である。深層施設においては、短

期間における地下水中（及びその他の地表媒体中）の放射性核種の測定は技術的面からは通常余分のことと考えられている。しかしながら、それらが公衆の安心という面で有用であることから含まれることになる。ここで焦点を当てているモニタリングの公衆の安心という面を強調し、及び浅部、深部に関わらず全ての処分による被ばく線量が自然の照射によるものと比較して小さくなければならないという法的要件を強調するのであれば、潜在的な公衆への照射に直接関連した地表媒体をカバーするよう提案されている深部モニタリングプログラムを拡張することにより有用な状況が生まれる。そのような測定は深部におけるよりも容易であり（例えば、試料は精巧な分析室で分析可能である）、土壌、水、大気及び農産物のような環境媒体中の放射性核種濃度と関連する外部被ばく線量の測定が主として含まれることになる。

公衆の安心という面から地表における環境試料を対象にしたモニタリングが存在するのであり、その内容は環境試料中の放射性核種濃度及び外部被ばく線量の測定であるとしている。我が国で実施されている環境モニタリングはまさにこれに当てはまるものである。

深部での測定の場合と同様に、操業前及び操業中に処分場近傍で放射性核種の濃度をモニタリングすることにより、ベースラインが得られ、想定される環境の変化の判断の基礎が得られる。

考えられる測定の形態としては、様々な環境媒体中の α 及び β 放射能総量、これら媒体中の特別な放射性核種の濃度及び空中放射線量がある。宇宙線は最後の測定形態に影響を与え、宇宙及び地球を起源とする放射性核種は（地球起源はフォールアウト、及び他の原子力施設による）これら三つの事項に影響を与えるということを正しく認識すべきである。放射性核種が自然的にも、人間活動の結果としても生じる場合がある（例 ^{14}C ）。深部における測定なくして、地表付近の放射能の観察されたレベルが処分場からの直接の結

果であるとする可能性を確認することは困難である。

測定対象として、環境試料中の α ・ β 放射能量、特別な核種の濃度及び空中放射線量を挙げている。なお、地表での数値の変動は地下における測定なくして地下の処分場からの影響であることを示すのは困難であるとしている。

2.4 モニタリング方法

表2に閉鎖後段階における深層処分場をモニタリングするために必要な技術的方法を要約した。示した事項には装置と維持の要件、個々の技術により定量化される対象が、結果の解釈における潜在的問題、潜在的侵入及び個々のケースにおいて有用な測定が可能な時間枠という付随する要因とともに含まれている。

表2 閉鎖後段階における深層処分場のモニタリングに関する可能な技術的方法の要約

技術	機器要件	維持要件 (頻度)	対象	解釈/あいまいさ	潜在的侵入性	測定が有効な時間
原位置/ボーリング孔にて岩盤の応力/ひずみ	電気的機械的ゲージ	高い(月/年)	ゲージ位置での応力/ひずみ	他所での同等の測定と岩盤の力学的特性が必要	ボーリング孔の位置に依存	数年
地下水流動	ピエゾメータ/テンシオメータ	高い/中程度(数年) 信頼性: 電气的>機械的	地下水面の評価、ゲージ位置での間隙水圧	サイト調査情報として直接的に提供	ボーリング孔の位置に依存	数年
地下水組成	pH/Eh/イオン計、多チャンネル γ 線検出器	高い/中程度	ゲージ位置での地下水組成	地下水流動状況を提供、かなり明瞭	ボーリング孔の位置に依存、飽和帯中のボーリング孔に要注意	数年/数十年
処分場ガスの検出	ガスプローブ、ガスクロ装置、放射性ガス分析装置	中程度、機器は機械的にも電气的にも複雑ではない	高透水性経路(割れ目)に沿う処分場ガスの流れ	ガス発生量と経路の特性に依存、定量的解釈は容易でない	ボーリング孔が不飽和帯にある時にはかなり低い	微生物活動によるが —数十年、金属腐食によるが —数千年

原位置／監視坑道にて	様々な検出システム、例：放射線、収縮、変位、地震、地下水組成、微生物活動	高い（極端な面倒を見ない限り）	処分場内運動、バリアの喪失	主として直接的解釈、不明確さを小さくすることが可能	潜在的に非常に侵襲的	数十年及びそれ以上、施設はデコミと最終処分に必要な可能性あり
------------	--------------------------------------	-----------------	---------------	---------------------------	------------	--------------------------------

表2 (続き)

技術	機器要件	維持要件 (頻度)	対象	解釈／あいまいさ	潜在的侵入性	測定が有効な時間
遠隔方法にて弾性波検出／生成	地表及びボーリング孔内での弾性波検出器／生成器	高い／中程度	i) 処分場内あるいは近傍での地震動の検出、ii) 介在する媒体を通る弾性波の移行特性	キャリブレーションされたシステムは岩盤応力の空間分布像と地下水分布を提供できる。	ボーリング孔の位置に依存	漸移段階の分析は数年まで可能
電気探査／直流	地表及びボーリング孔内での送信機及び受信電極対	中程度	受信電極設置位置における電場の強さ	地下水、イオンの濃度と移動性、岩盤応力の分布が表示できる。キャリブレーションと解釈は直接的でない。	もし用いるのであればボーリング孔の位置に依存	漸移段階（飽和）の分析は数年＋ニアフィールド地下水のその後の考えられる化学変化
電磁探査	地表及びボーリング孔内での送信機及び受信電極対と受信コイル	中程度	受信電極／コイル設置位置における磁場及び電場の強さ	イメージシステムは開発中、D/C法より品質の高いデータ提供の可能性あり	ボーリング孔の位置に依存	漸移段階（飽和）の分析は数年＋ニアフィールド地下水のその後の考えられる変化

物理探査手法をモニタリングに適用するのは、コストとデータの位置の精度で問題があると考えられる。また、モニタリングの位置を具体的に示していないことから、内容の程度の理解に限界がある。

3. 制度的管理の意味と義務

(省略)

4. 結論

概論

放射性廃棄物処分場に関連した潜在的な閉鎖後活動の目的と意味が実施に先立って十分考察されることと、それらが明瞭にかつ透明性を持って文書化されることは重要である。

閉鎖後段階においては、限定された数量の行為が考えられる。それらは閉鎖後モニタリングと制度的行為に分類される。廃棄物の特性、処分場のタイプ及び国の廃棄物管理戦略に依存して、これらのいくつか、あるいは全部は関係あるものとして、そして適切に考慮される。

閉鎖後モニタリング

1. 閉鎖した処分場はモニタリングの必要がなく安全性が提供できるように設計されている。しかしながら、モニタリングはもしそれが正当化され、処分場の安全性を損なわないのであれば、除外されない。
2. 閉鎖後段階におけるモニタリングは公衆によって処分場の安全性を確認する手段として望まれている可能性がある。地表及び近地表の放射能の測定は公衆の安心の目的に対してモニタリングが最も適合する形態であることを表している。
3. 処分場近傍における他のタイプのモニタリングもまた、有用な科学的、技術的データを提供する。そのようなモニタリングの正当化は、処分場開発とデータ収集の初期の数十年という機会を特に考慮すると、より困難である。その決定はモニタリングを実施する便益と費用の注意深い分析に基づいてなされるべきである。考慮すべき最も重要なことは、モニタリングプログラ

ムは処分場の安全性を損なうものであってはならないということであるべきである。一般的な判断はすべきではない。個々の処分システムは異なり、それゆえ決定の内容は変わりうるものである。

4. 処分場の安全性の確認のためのモニタリング計画は、論理的に考えられる修復行為に関連していなければならない。それゆえ行為のレベルと適切な修復行為を定義することも考慮されなければならない。

制度的行為

(省略)

モニタリングはその正当化がなされ、処分場の安全性を損なわない限り行いうること、閉鎖後段階のそれは公衆の安心のために行いうること、その他のモニタリングも科学的、技術的データを提供するが、便益と費用の分析が必要であること、安全性確認のためのモニタリングは修復行為と関連づけられている必要があることを述べている。

付録 A 閉鎖後活動に対する各国の考え方

以下は閉鎖後期間に対する様々な国の現在の計画について色々な資料からの情報を編集したものである。

放射性廃棄物処分に関する原則と規準についての INWAC サブグループのメンバー諸国は、各国に関する記載事項をチェックするよう、あるいは付録にない場合には適切な材料を提供するよう要請されている。

フランス

浅層廃棄物に関しては、最終の廃棄物の定置後300年間までの監視期間が計画されている (La Manche and L'Aube)。この期間以上に関しては利用できる情報はない。

深層処分は30年以上の半減期を有する中レベルの廃棄物と高レベル廃棄物に対して計画されている。深部廃棄物の対するモニタリング坑道の概念は、フランスにおいては明確に否定されている。その理由はモニタリングが処分場の変化に関する有益な情報を提供できないと考えられているからであり、また、パッシブな安全性の保証という公式的な安全概念と異なるからである。そのような処分場の安全性は閉鎖に先立って得られる地質学的情報の質と処分場そのものの建設に主として依存すべきである。数100年間のモニタリングは、安全性が理想的に研究されるべき時間枠が長期であるが故に処分場性能を保証する上において重要ではないと考えられている。サイトの操業（50年程度）の期間中の広範な原位置モニタリングは積極的に考慮されている。

フランスでは、高レベル廃棄物処分場の場合、処分場の変化をモニタリングは示しえないこと、パッシブな安全性確保の考え方と相いれないこと、安全性を評価すべき期間からは十分短すぎるなどから、閉鎖後モニタリングは考慮されていない。しかしながら、閉鎖前のモニタリングは積極的に考慮されている。

カナダ

現在のカナダの規制の方針は、深層処分場はその安全性が閉鎖後モニタリングによる引き続く必要性なしに保証できないのであれば密封されることはないとしている。しかしながら、モニタリングが考慮されれば、処分場の健全性の維持はその受容性において最も重要な規準である。

イギリス

ドリッグの低レベルサイトでは、現在の操業段階においては積極的な監視とモニタリングプログラムを行っている。これは処分場からの全ての浸出液の制御とモニタリングに関するシステムを含んで

いる。そのプログラムは放出の初期の検知を主として意図しているのではなく、安全性の基本となる仮定を確認することにむしろ主眼が置かれている。

米国

近地表あるいは浅地中施設の場合には、NRC はサイトの安定化を含めて、放出の初期警告を同定するための操業後監視を要求している。この段階の目的はサイト閉鎖要件に適合していることを実証し、長期影響評価、例えば地下水に対するそれなど、を支援するデータを提供し、サイト閉鎖と公衆への情報のための記録を提供することである。

高レベル廃棄物に関しては、NRC は地層処分場の永久閉鎖後モニタリングを要求している。また、処分場内の廃棄物の長期隔離を損なう可能性のある行為（土地利用規制、位置標識）を規制し、あるいは避け、また関連情報が将来世代の利用のために保存されること（記録の保存）を保証するために採るべき手段を要求している。その記録は州政府と連邦政府の公文書保管所と土地記録システム、及び世界のその他地域の公文書保管所に解かれるべきである。

環境保護庁（EPA）の一般規制では閉鎖後モニタリングの必要性を述べている。

DOE は、処分場の制限地域を超える地下水、土壌内の蒸気、地表の隆起あるいは沈降、及び地震動のモニタリングのような非侵入のモニタリング概念を考えている。基本的な前提条件は、侵入のモニタリングは（以下、欠落）

米国ではNRC、EPAとも閉鎖後モニタリングを要求している。DOEが考えているモニタリングは非侵入性のモニタリングである。

処分サイトに印をつけるための要件とその印を記録システムにリンクさせる要件がある。

ドイツ

原子炉安全委員会は「鉱山における放射性廃棄物処分の安全規準」を発行した。この勧告には操業後段階の考慮が含まれている。それは全てのタイプの鉱山の閉鎖に関してドイツで採用された一般的なアプローチに基づいている。

どんな特別な管理もモニタリングプログラムも操業後段階においては必要ではない。しかしながら、むしろ日常的に実行されている一般的な環境測定は地形の測定と同様、処分場地層、被覆層及び母岩の放射線と長期熱的、力学的挙動についての情報を与える。建設、操業及びデコミッション中に採られる処分場調査データ、埋設廃棄物の特性及び技術的手段は、異なる場所で保存されなければならない。地表の位置標識は必要とは考えられていない。

スペイン

El Cabril における低レベル廃棄物浅層処分施設はフランスの概念と類似しており、廃棄物の定置終了後300年間の監視が続けられる。スペインサイトとしての特別な特徴はモノリスのオーバーパックの大きさを制限し、それらの間にコンクリートを入れないことによって回収可能性を残した計画としていることである。

ドイツでは鉱山を対象とした安全勧告において操業後段階のモニタリングを必要とはしていない。スペインはフランスの考え方に倣っており、低レベルの場合には300年間の監視を行うとしている。

段階	モニタリングの目的
サイト特性調査	地表からのベースラインの確立
処分場の建設	地下施設掘削の開始
	ベースラインモニタリング + 過渡的なもの
操業段階	廃棄物定置の開始
	ベースライン + 操業 / 放射線 + 廃棄物パッケージの定置後挙動
閉鎖段階	最後の処分空洞の密封
	要素性能の確認
閉鎖後段階	処分場の密封
	公衆の安心 + (恐らく) システム ↓ 挙動の観察 時間

最後に、処分事業の段階とそれに対応するモニタリングの目的を示した表が示されている。上記のうち、閉鎖段階における要素性能の確認については本文献においては内容が不明確である。

付録（文献調査2） : The Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste: Public
Involvement and Social Aspects

(AECL-10712, COG-93-3; July 1994)

本文献はカナダが1994年に環境影響評価書として作成した11分冊（要約版を含む）のうちの公衆の関与と社会的側面について述べたものである。本文献の中に処分概念に関連した公衆の問題の一部としてモニタリングの問題が述べられているので以下にその内容を記述する。

4. 核燃料廃棄物処分概念に関連して公衆により確認された問題

4.1 序論

4.2 核燃料廃棄物管理に関する公衆の考えに潜在的に影響を与える社会問題

4.3 処分概念の研究開発に対するAECLOのアプローチ

4.4 処分概念に係る問題

4.4.1 公衆の健康と安全に対する放射線の影響

4.4.2 処分技術の有効性

4.4.3 長期評価に関連した不確実性

（以上、省略）

4.4.4 モニタリングと回収可能性

公衆諮問プログラムにおける参加者は、処分システムのモニタリングと廃棄物を回収できることは処分概念の受容性を決定する際の重要な問題として何か誤りであると認めた。

かれらは、廃棄物容器が合理的に、かつ容易に回収できる作業の間の広範なモニタリング期間は、処分施設の作業における信頼を獲得し、閉鎖に関わる将来の決定を可能とするためには重要なものであると感じた。彼らはまた、閉鎖後の廃棄物のモニタリングと回収の困難さに対する関心を表明した。

モニタリング

次のようなコメントが公衆諮問プログラム(Greber and Anderson

1989)において参加者より表明されたが、それらはモニタリングの重要性を課題として反映したものであり、モニタリングについての公衆の期待は多くの方法でかなえられるということを指摘したものである。

—モニタリングは、放射性核種が処分システムの多重バリアを破るとした場合、その検出を可能にするメカニズムであり、その結果、修復行為をとることが可能となる。

—モニタリングは、核廃棄物処分の理解の向上を援助し、処分システムの効果を知らせるメカニズムの役を果たし、そして問題が認められるような事象において人々に警告を与えるものである。

—モニタリングは、処分技術についての信頼を広め、処分の長期安全性を実証し、あるいは保証し、そして空洞内の廃棄物に何が生じているのかについて追跡するための労力が投入されていることを公衆に安心させるものである。

—モニタリングは、地表及び地下からのモニタリングからなり、処分サイトの境界を超えた外側の諸地点を含む。

—空洞からの放射性核種を含んだ地下水が地表に現れる可能性のある放出地点はモニタリングされなければならない。

—井戸はモニタリングされるべきであり、飲料水の水質は定期的に試験されなければならない。

—施設に対する独立したモニタリングが取り決められなければならない。また、健康省のような独立した組織が、当該問題の争いに関わる心配を避けるために健康に関わる研究を行う責任を有していなければならない。

公衆がモニタリングに対してどのように考えているか、何を要求しているかを示している。それによれば、モニタリングとは、核種が漏洩した場合の核種検出のメカニズムであること、処分の理解向上に資するものであること、安全性追求のための労力が投入されていることを公衆に示す手段であること、地表と地下の両方で行い、サイト外でも行われるものであること、可能性ある地下水流出地点ではその測定がなされなければならないこと、

飲用井戸水の水質が定期的に測定されるべきであること、施設に対する独立したモニタリングがなされるべきこととしている。

誰がモニタリングに責任を持つべきであるのかという問題は、公衆諮問プログラムの一部として行われた相互影響ワークショップにおいて参加者によって議論された。表明された見解は、政府は政治的な意思と関心の喪失の結果としてモニタリングの責任を放棄する可能性がある一方で、政府のみがモニタリングに関する責任を有しているべきではないということである。想定されたのは、政府の上級レベルは概括的機能を提供できるであろうが、モニタリングに関与する第三の勢力のメカニズム、地域コミュニティの参加、及び適切な拒否権もまた必要であるということである。加えて、モニタリングシステムの継続した検分と評価が、同システムの正確さと信頼性を保証し、そして改良あるいはより高度化したモニタリング技術の実施を考慮に入れるために不可欠のものであると考察された (Pat Delbridge Associates 1989)。

政府のみにモニタリングの責任を持たせるべきでないという意見も公衆から出されたとしている。

公衆諮問プログラムにおけるあるグループは、空洞が充填され、閉鎖された後の長期延長モニタリングは、何年にもわたる地質学的安定性と水理の潜在的な変化の問題の故に、また将来の人間の活動と土地利用の不確実性の故に重要であるとの見解を表明した。あるグループによる、長期モニタリングは将来世代が地下処分空洞とこのタイプの廃棄物に関連した責任に気付いた状態にいることの保証を与えることができるとの考えも示された。しかしながら、将来世代はモニタリングに関わり続けるべきでなく、さもないとモニタリ

ングに無頓着になるかもしれないとの考えを述べるグループもあった (Greber and Anderson 1989, Pat Delbridge Associates 1989)。長期モニタリングに対する要望はスコーピングミーティングの参加者からも表明された (FEARO 1990a)。

公衆から、閉鎖後の長期モニタリングに対して、地質・水理・土地利用の観点と情報伝達の観点から重要性を述べる意見と将来世代に関わらせるべきでないという意見の両者が出されていることを述べている。

公衆に対するモニタリングの重要性は、集中グループ討論と公衆意識調査の結果として確認された。集中グループ参加者はモニタリングを、処分システムがあるべき姿で作動し、処分に伴う潜在的問題が確認され、解決されることを保証するために不可欠のものであると見た (Pieroni 1984, 1986)。

しかしながら、長期にわたって連続して行うモニタリングに対する公衆の期待は、廃棄物を継続的に世話するために責任を将来世代に渡すという内容が持ち出されると、減少するようである。1988年の調査で意見を求められたオンタリオの住民の多くは閉鎖後の廃棄物のモニタリングの困難さについて関心を示したものの、将来世代が廃棄物の面倒を見なくても済むように永久に空洞を密封することとそれを密封せずに置き、廃棄物をモニタリングするように将来世代に頼ることとの間の選択を与えられた時、永久閉鎖を選択したのは過半をわずかに超える人々 (51%) であった (表4-4) (Angus Reid Group 1989)。

表4—4 閉鎖後モニタリングの困難さについての関心と永久閉鎖
対空洞開放保持についての意見
(Angus Reid Group 1989)

Angus Reid Regional Survey 1988 December
(Ontario Subsample)

モニタリングについての関心		閉鎖についての意見	
非常に関心がある	46 %	処分空洞を永久に閉鎖	51%
いくらか関心がある	33	空洞をモニタリングの	40
あまり関心がない	10	ために開放しておく	
全然関心がない	5	わからない	9
わからない	6		

質問：多くの人々は核廃棄物処分の様々な面について関心があります。私は人々が抱いている幾つかの問題のリストを貴方に読み上げます。以下の問題のそれぞれについて貴方が個人的にどのように関心を持っているのか私に知らせてください。・・・一旦、処分空洞が閉鎖されれば、空洞内の廃棄物をモニタリングすることは難しいであろう。・・・ということについて、非常に関心がある、いくらか関心がある、余り関心がない、あるいは全然関心がないのどれかで答えて下さい。

永久処分の概念は、将来世代は、一旦処分空洞が密封されれば、廃棄物の面倒を見る必要はないという考えに基づいている。代替案としては処分空洞を開放にしておき、将来世代に廃棄物の監視を任せるというものである。処分空洞を永久に密封することとモニタリングのために開放にしておくことのどちらをあなたは好みますか？

ここでは、アンケートの結果をもとに、長期にわたってモニタリングを行う必要性に賛成する人の数は、それが将来世代に責任を持たせることだということを伴うものだと知ると減少すると述べている。

公衆がモニタリングが必要とされると考える程度はどのくらいかをさらに調査するため、1989年の調査において、カナダ人に対して地下処分施設内の核燃料廃棄物をモニタリングすることに関する四つのオプションを提示した。わずかに過半（52%）の人々が地下深部の処分施設のソースに対するモニタリングを選択した。31%は処分施設近傍の地下水と井戸をモニタリングすることを選んだ。わずかな人々が地表モニタリング（6%）あるいは浅部地下モニタリング（4%）を選択した。北部オンタリオ住民は、その他の地域住民と比較してソースに対するモニタリングをより好ましく思う傾向があった。同じ研究の一部として行われた集中グループ討論において、ソ

ースへのモニタリングが最初に選択された。しかしながら、参加者が地層処分の永久的な特徴を論じた後においては、処分サイトの近傍におけるモニタリングが多くの参加者の保証と安楽に対する必要性を満足するものであったようである(Gallup Canada Inc. 1989)。

説明がない場合には廃棄体に対する直接的なモニタリングを挙げる人が多いが、地層処分の特徴を把握した後では、直接的なモニタリングよりは施設近傍でのモニタリングを好ましく思った人が多くなったとしている。

1990年の公衆意識調査によれば、カナダ人5人のうち2人(40%)が40年にわたる操業段階は処分の安全性を実証し、空洞の密封についての決定を可能にするためのモニタリング期間として十分であると信じている。わずかに過半の人々(52%)はさらなるモニタリング期間が必要であると感じている。それらのうち74%は、周辺の環境が空洞が密封された後もモニタリングされ続けるのであれば、空洞を密封する決定に対して安心する考えを示している(Augus Reid Group 1990)。

カナダにおける意識調査結果として、40%の人が40年間の操業期間中のモニタリングで十分と考え、50%を超える人々はさらに長いモニタリング期間が必要と感じていることを示している。

回収可能性

回収可能性に関する以下のコメントが公衆諮問プログラム期間中にABCLに対して表明された(Greber and Anderson 1989, Pat Delbridge Associates 1989)。

- 回収可能性は処分容器が破損する場合に必要である。
- 回収可能性は、モニタリングによって問題、すなわち空洞からの

放射性核種の“漏洩”が検出されるのであれば、必要である。

—我々は、処分システムが予想した通りに機能しないならば、例えば、もし容器や緩衝材が劣化するのであれば、あるいはもし空洞や周囲の岩盤が安定でないことがわかるのであれば、廃棄物を回収することが可能である必要がある。

—核燃料廃棄物は新しい、確かめられていない技術であるので、ある期間処分空洞を開放にしておくことは、処分システムの安全性を確信あるものにすることを助けることになろうし、公衆に対して技術の信頼性を強調することとなろう。

モニタリングによって核種の漏洩が確認されるのであれば、廃棄物を回収することが必要であるとの意見が示されたとしている。

問題がある場合に廃棄物を回収することができることは、AECLによって開始された集中グループ討論への参加者に対しても重要であったし (Pieroni 1986, Gallup Canada Inc. 1989)、スコーピングミーティングの期間中に公衆の意見を示す何人かの発表者に対しても重要なものであった。スコーピングミーティングにおいて、安全なシステムは、施設が廃棄物を適切に包含しない場合には、修復活動を可能にするように廃棄物の回収に係る設計がなされるべきであると提唱する提案者が何人かいた。回収可能性は廃棄物の除去、処分システムに対してなされる修理、及び廃棄物の移動や再定置を可能にするものとみなされている (PEARO 1990a)。

AECLのためになされた調査研究はまた、回収可能性は重要な公の問題であることを確認したものとなっている。1988年に調査した人々の70%が処分空洞が閉鎖された後に核燃料廃棄物を回収することの困難さについて非常な、あるいはいくらかの関心を抱いていた (

Angus Reid Group 1989)。同様に、1991年に調査されたカナダ人の66%が閉鎖後における廃棄物への接近の不可能さについて非常にあるいは中程度に関心を抱いていた (Angus Reid Group 1992a)。

調査回答者は、廃棄物が、地表環境に到達する経路として他に潜在的なものがあるということであるとしても、回収可能であるべきであるという議論に賛成するか、あるいは反対するかについて二分された (表4-5)。北部オンタリオ州居住者は、潜在的な経路が作られるのであれば回収可能性に賛成するよりは反対する傾向にあった (Canadian Gallup Poll 1986, Angus Reid Group 1989)。

表4-5 潜在的経路が生じたとする場合の回収可能性に係る意見 (Canadian Gallup Poll 1986, Angus Reid Group 1989)

	Gallup Ontario Omnibus Study 1986		Angus Reid Regional Study 1988	
	Ontario	北部Ontario	Ontario	北部Ontario
強く賛成	19%	42%	19%	45%
いゝ賛成	23	27	26	22
いゝ反対	17	47	15	43
強く反対	30	34	28	32
不明	11	6	12	10

(質問) 人々は核廃棄物処分問題に様々な意見を持っています。私は陳述のリストを読み上げますので、あなたは個々の意見について賛成か反対かを私に言って下さい。強く賛成、幾らか賛成、幾らか反対、強く反対ということをお次に述べるということについて言って下さい。「廃棄物から外部環境に通じる他の経路が生じるということになったとしても、処分後に廃棄物を回収する方法はなければならない。」

回収可能性のあり方についてのアンケート結果をまとめたものである

公衆諮問プログラムからの入力情報とスコーピングミーティング期間中の意見によって示されるのは、回収可能性を好ましく思うその他の理由として、将来における廃棄物の新しい利用やその新しい管理技術が発見されるかもしれないということである。次の見解がその意見を示している (Greber and Anderson 1989, Pat Delbridge Associates 1989, FEARO 1990a)。

- 廃棄物管理技術と使用済燃料中の物質の価値は時間とともに変わる可能性がある。
- 廃棄物を回収する能力は、リサイクルあるいは再処理が将来実行可能になれば、使用済燃料を回収するオプションが生じる。
- 回収可能性は、廃棄物材料に関する他の利用が見つかるのであれば、考慮されなければならない。
- 回収行為は廃棄物への接近を可能にする結果、新技術がもし開発されていれば、それは使われることとなろう。

公衆諮問プログラムの相互ワークショップの期間中に行われた回収可能性の議論において、廃棄物処分施設の閉鎖は絶対的な決定というよりはオプションとして考慮すべきであると提案された。AECLは空洞は閉鎖されるが、その閉鎖の最終決定に先立って新しい知識、データ、技術を適応可能にするために処分システムの設計の柔軟性を維持するという前提に基づいて前に進むべきであると提案する人もいた (Pat Delbridge Associates 1989)。

討論

公衆のモニタリングに対する欲求は安全に関する関心と安全の保証に対する欲求を反映している。廃棄物中の放射能による潜在的な健康への危害に関連した公衆の関心、安全性を“絶対的に”保証することの不可能さ、及び処分技術についての実証の欠如は全て、処分施設の広範なモニタリングに対する公衆の欲求に影響を与えている。

モニタリングは処分施設、岩盤及び地表環境中の環境条件に対する連続的あるいは断続的測定よりなる。モニタリングの一つの目的は、矯正的な行為を必要とするかもしれない条件における変化を確認することである。矯正的な行為は処分空洞が閉鎖された後よりも

開いている間に行う方が容易である。公衆から受けた情報によれば、処分空洞を完全に閉鎖するという考えにはある程度の不安があるということであった。また、処分概念は廃棄物を回収することを許容すべきであると多くの人が考えていることをも示していた。

公衆のモニタリングに対する考えは、安全とその保証に対する考えに根ざすものであり、放射能の危険さ、安全を絶対的に示すことが不可能なこと、実証がなしえないことがその考えに影響を与えているとしている。

廃棄物をモニタリングし、回収するという欲求は自然なものであり、管理を行う機会を増大することによりリスクを最小にする欲求と密接に関連している（第5章）。

処分空洞が充填されている間の期間で、デコミッションと閉鎖がなされる前においては、廃棄物をモニタリングし、必要なら回収することについてほとんど問題はない。AECBの規制指針は事実、空洞の閉鎖に先立ってそのようなモニタリングと回収可能性を要求している（AECB 1985）。そして処分概念はその要件を考慮して開発された。モニタリングのアプローチはAECL(1994a)によって、さらに広範にはSimmons et al. (1994)によって論じられている。そしてそれは、処分施設自身のモニタリング、作業者の職業上の健康と安全、周囲の環境、輸送経路、岩体とカナダ楕状地の地震動を含んでいる。公衆の健康のモニタリングもまた必要であれば含まれる。それには関係する個人に対する放射線被ばく線量計の配置も含む。

モニタリングの対象として、処分施設、作業員、周囲の環境、輸送経路、地層、地震及び必要であれば公衆の健康を挙げている。

社会経済環境のモニタリングもまた重要な要素であり、処分施設

による環境への影響を管理するプログラム中に組み込まれることとなろう。それには、サイト選定段階においてベースラインとなるデータを確立すること、何らかの変化を確認するために母体となるコミュニティの社会経済的条件をモニタリングすること、及び当該コミュニティ内の処分施設を運営することによる変化の影響を管理するための手段を開発することが必然的に含まれる(Grondin et al. 1994)。コミュニティ内の連絡委員会は社会経済環境をモニタリングするプログラムの設計と管理を支援することとなろう。

将来の人々が、現在の我々の社会構造が継続する限り、施設に対するモニタリングを止めることを決心するということを想定するのは困難である。しかし、処分概念は空洞が一旦閉鎖されれば、もし将来世代がその面倒を見ることを止めたとしても安全であるように設計される。核燃料廃棄物の継続した安全な処分を監督するという将来世代に対する負担を最小限にするという倫理的な問題は第6章でさらに詳細に論じている。

社会経済環境のモニタリング（サイト選定段階におけるベースラインを知るためのモニタリング、コミュニティの社会経済的条件のモニタリング、処分施設運営による変化の影響を管理するための手段の開発）の重要性を述べている。

もし将来世代が空洞を閉鎖しないことを決定したり、廃棄物から地表に到達する経路を造るようなモニタリング機器を設置することを決定し、結果として空洞を放棄するならば、潜在的な問題が発生する。現在の科学者と政策決定者は将来世代によって下されるそのような決定を制御することはできない。彼らができるのはただ、長期保護のために知識と技術を伝え、それらが賢く使用されることを望むことだけである。空洞の建設、充てん、密封に60年かそれ以上の年月を必要とするため、空洞をいつ閉鎖するのか、モニタリングを継続するためにどんな準備をすべきなのかについての決定は必ず

や次の世代によってなされるであろう。

このことを認め、表明された公衆の関心に答えるために、AECLはEISの事例研究に用いられた概念設計において、最終閉鎖に先立って二つのモニタリング延長期間の可能性をスケジュールの中に組み込んだ。これらの期間は、その時期に空洞についての決定に責任を有する人々が、自分たちはさらに継続するに十分な知識を有していると感じるまで、望む限り続く。

現在の科学者、政策決定者は将来世代が行うことを左右することはできない。AECLはEIS中の概念設計において、最終閉鎖に先立って二つのモニタリング延長期間の可能性を組み込んだとしている。これは将来の世代に決定を委ねた考え方である。

これらの期間のうち最初のもは空洞が充てんされた後で、かつデコミッションングされる前のものである。サイトに関する多くの情報は建設と操業の60年あるいはそれ以上の期間中に集められる。そして、この情報は空洞の安全性についての長期予測をする能力における自信を増大させる。しかしながら、もし不十分な情報しかないと感じたならば、モニタリングは次の情報が収集されるまで続けられる。深成岩体を処分媒体とする利点の一つは、岩盤中の空洞が長期に渡って安定のままであり、モニタリングのための継続したアクセスを可能にすることである。

一旦施設をデコミッションングする決定が下されると、デコミッションングのプロセスは10年以上かかるであろうし、それにより付加的な情報が得られるであろう。しかしながら、もし空洞を閉鎖するには情報がまだ十分でないと考えられた場合には、空洞の周囲の岩盤中に地表からのボーリング孔を用いて行うモニタリングは、必要とされる期間、継続可能である。AECLによる長期安全評価における仮定は、制度的管理がない場合に長期安全性を損なうボーリング孔はどんなものでも、最後には密封されるということ、及び現在の

法規制が長期にわたる処分システムの安全性を維持するために将来世代に対する依存を認めていないが故に処分空洞は閉鎖されるということである。地下水と地表環境は、処分空洞の安全性を損なわずに地表付近においてモニタリングすることが可能である。

建設・操業期間中のモニタリングの一つとして空洞の力学的安定性を挙げている。処分空洞の周囲に対して地表から行うモニタリングや地表における地下水と地表環境に対するモニタリングも可能なモニタリング例として挙げている。

処分概念を開発する上において、AECLは、長期にわたる継続した安全性を保証するために将来世代による介入や維持に依存する必要がないが、もし将来世代が望むのであれば、廃棄物を回収する将来世代の能力を必ずしも制限しないシステムを設計することに集中してきた。廃棄物の回収は常に可能であるけれども、空洞がデコミッショニングされ、閉鎖された後では一層困難かつ高価になる。

現代の技術はカナダ楯状地の岩盤からウラン鉱石を回収しうるものであり、同様の岩石から廃棄物を回収することは打ち勝ち難い挑戦を主張しているものではない。遠隔採掘技術は坑夫を保護するために処分空洞内の廃棄物を回収するために用いることができる。多くの廃棄物容器は1000年以上の期間健全なままであるが、その期間廃棄物は最も放射能が強い。容器にピンポイントの漏出が生じたとしても、容器の主要部分は健全なままであり、回収を容易にするであろう。時間とともに、廃棄物の放射能は減衰し、それにより、遠い将来における回収を危険でないものにする。デコミッショニングに先立つ考えうる回収の仕方はSimmons and Baumgartner (1994)に述べられている。

以上は回収可能性についての考えをまとめたものである。

付録（文献調査3） : Environmental Protection Agency 40 CFR Part 191 -
Environmental Radiation Protection Standards for Management
and Disposal of Spent Nuclear Fuel, High- Level and
Transuranic Radioactive Wastes, Code of Federal Regulations
10 Parts 191, Office of the Federal Register (1990).

本文献の「§ 191.14 保証要件」には米国における閉鎖後管理の期間についての考え方が示されているので以下に記述する。

§ 191.14 保証要件 (assurance requirements)

§ 191.13の要件への長期の適合に必要な信頼を与えるために、使用済燃料あるいは高レベル廃棄物あるいはTRU 廃棄物の処分は次の条項に適合して実施されなければならない。ただし、これらの条項は委員会により規定された施設（委員会により規定された施設に適合される比較条項のために10 CFR Part 60を参照）には適用しない。

(a)処分サイトにおける積極的な制度的管理は、それを処分後実際に行うことのできる限りは、なるべく長い期間維持されなければならない。しかしながら、接近可能な環境から廃棄物を隔離する評価を行う性能評価は、処分後100年以上の期間においては積極的な制度的管理による何らの貢献を考慮したものとしてはいけない。

(b)処分システムに対しては、期待性能からの実質的で有害となる偏りを検知するために、処分後にモニタリングをしなければならない。このモニタリングは廃棄物の隔離を危うくしない技術でなされなければならない。また、モニタリングをさらに行っても、何も重要なことが示されなくなるまで行われなければならない。

(c)処分サイトは、最も永遠に存在する標識、記録と、廃棄物とその場所の危険性を実質的に示すようなその他の受動的な制度的管理によって示されなければならない。

(d)～(f)… (省略) …

(Sept. 19, 1985)

「処分後 100年以上の期間においては積極的な制度的管理による何らの貢献を考慮した

ものとしてはいけない」との表現は、逆に、処分後100年間は積極的な制度的管理による貢献を考慮してよい、あるいは考慮すべきであると読める。

§ 191.12では「積極的な制度的管理」を(1)受動的な制度的管理以外のどんな手段によろうとも、処分サイトへの接近を制限すること、(2)サイトで維持のための操業あるいは修復措置を行うこと、(3)サイトからの放出を管理すること、あるいは浄化を行うこと、あるいは(4)処分システム性能に関するパラメータのモニタリングを行うこと、と定義している。

本文中で「操業後の監視段階」の期間として100年間を一つのオプションとして示したのは、操業後の監視段階は上述の積極的な制度的管理の要件を満たしうるものであると考え、それに倣ったことによる。

謝辞

本調査研究は、三菱マテリアル㈱殿のご協力により遂行することができました。また、本調査の進め方、成果のまとめ方について貴重なご助言、ご指導を頂きました動力炉・核燃料開発事業団環境技術推進本部処分研究グループ佐々木憲明主幹、並びに園部一志殿に感謝の意を表します。