

本資料は 年 月 日付で登録区分、  
変更する。

[技術情報室]

# 放射性廃棄物処分における モニタリングの調査研究(II) 成果概要

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1994年2月

財団法人 原子力環境整備センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

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

限定資料

PNC  J1561 94-001

1994年2月



放射性廃棄物処分におけるモニタリングの調査研究（Ⅱ）

田代晋吾\* 平野真孝\*

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国内外のモニタリングの考え方、技術の現状調査結果の成果を踏まえて、地層処分のあり方の整理からモニタリングの目的、要件をとりまとめ、さらに、モニタリングの必要性、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を順次実施して、わが国におけるモニタリングのあり方の検討を実施した。

その結果として、モニタリングに関する課題の抽出を実施し、それら課題解決のための方策の検討を行い、スケジュールを提示した。特に、閉鎖のための基礎的な判断材料を提供する実証用廃棄体を提示し、それに対するモニタリングを提案した。

---

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：050D0137

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 (II)

\* Shingo Tashiro and Masataka Hirano \*

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, the study of the Japanese concept of the monitoring has been conducted due to the examination of what the geological disposal should be and what the purposes and requirements of the monitoring would be, followed by the study of necessities, objects and purposes, way of implementation, requirements as to data acquisition techniques, state of the art and feasibility, and way of using data, based on the results of the domestic and overseas survey of the monitoring related to the geological repositories in last year.

As a result, problems as to the monitoring have been abstracted, and how to resolve them has been studied and the schedule of the solution has been presented. Especially, the monitoring to waste packages for demonstration have been newly recommended by reason that there will be the possibilities that they can provide fundamental data for the judgement of closure. Details of the state of the art of monitoring techniques and the results of some literature surveys as to monitoring 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調査検討	2
1.1. 各目的毎のモニタリングの要件の整理	2
1.1.1. 地層処分のあり方の整理	2
1.1.2. モニタリングの目的の検討	4
1.1.3. モニタリングの要件の整理	8
1.2 わが国におけるモニタリングのあり方の検討	10
1.2.1. 処分場概念の整理	10
1.2.2. モニタリングを必要とする理由	16
1.2.3. モニタリング対象と目的の検討	17
1.2.4. 実施項目及び実施方法の検討	18
1.2.5. データ取得技術に係る要件の検討	26
1.2.6. 現状の技術レベル及び将来の実現可能性の検討	29
1.2.7. 取得したデータの利用方法の検討	41
2. モニタリングに関する課題の抽出	43
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	43
2.2. モニタリングに関する課題	44
3. 課題解決のための方策の検討	47
3.1. 技術開発の余地とその予測可能性	47
3.2. 平常値と異常値の識別の仕方	47
3.3. モニタリングデータの対策行動への反映方法	48
3.4. 測定データの品質保証の方法	49
3.5. 実証用廃棄体に対する具体的モニタリング方法	49
3.6. モニタリングの長期継続方法	50
3.7. 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	50
3.8. モニタリング実施位置の詳細化の検討	51
3.9. モニタリングデータの整理と公表の仕方	51
3.10 放射線管理区域の設定のモニタリングへの影響	52

3.11	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 する上での問題 .....	52
3.12	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 .....	53
3.13	モニタリングの集中管理システムのあり方 .....	53
4	まとめ .....	55
	あとがき .....	56
	謝辞 .....	57

## 目 次

図1.1. - 1	地層処分場の事業形態の進展を考慮したモニタリングの関わり方 .....	6
図1.2. - 1	坑道横置方式による人工バリアシステム施工例 .....	12
図1.2. - 2	地層処分場のレイアウト .....	14
図1.2. - 3	坑道及び処分区画のレイアウト .....	15
図1.2. - 4	地表及び立坑付近におけるモニタリング実施箇所の例 .....	23
図1.2. - 5	連絡坑道及び処分区画付近におけるモニタリング実施箇所の例 .....	24
図1.2. - 6	実証用廃棄体周辺におけるモニタリング実施箇所の例 .....	25
図2.1. - 1	処分のスケジュールの例 .....	43
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） .....	47
図3.2. - 1	平常値と異常値の識別のための検討フロー（案）及びスケジュール （案） .....	48
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）及 びスケジュール（案） .....	48
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） .....	49
図3.5. - 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） .....	49
図3.6. - 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） .....	50
図3.7. - 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） .....	50
図3.8 - 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） .....	51
図3.9 - 1	モニタリングデータの整理と公表の仕方に係る検討フロー（案）及 びスケジュール（案） .....	51
図3.10- 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） .....	52

図3.11-1	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検討フロー (案) 及びスケジュール (案) -----	52
図3.12-1	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に 係る検討フロー (案) 及びスケジュール (案) -----	53
図3.13-1	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) -----	54



## 表 目 次

表1.1. - 1 処分事業に係る処分段階の主要な組合せ .....	5
表1.1. - 2 モニタリングの目的項目別の段階との対応 .....	8
表1.2. - 1 考慮する地質・地質構造 .....	11
表1.2. - 2 水理定数 .....	11
表1.2. - 3 地下水水質 .....	12
表1.2. - 4 モニタリング対象物及び実施の場 .....	17
表1.2. - 5 項目別のモニタリング実施箇所の検討例 .....	22
表1.2. - 6 気象要素測定機器の主要機能特性 .....	29
表1.2. - 7 岩盤・岩石（物理現象）測定機器の主要機能特性 .....	30
表1.2. - 8 岩盤・岩石（地質現象）測定機器の主要機能特性 .....	31
表1.2. - 9 地下水（水理）測定機器の主要機能特性 .....	31
表1.2. - 10 単一孔による流向・流速試験 .....	32
表1.2. - 11 水質測定方式の比較 .....	33
表1.2. - 12 地下水・地表水（地球化学）測定機器の主要機能特性 .....	34
表1.2. - 13 溶存成分の濃度分析法一覧 .....	35
表1.2. - 14 坑道空間（大気の状態）測定機器の主要機能特性 .....	36
表1.2. - 15 入室管理システムの比較 .....	37
表1.2. - 16 緩衝材（物理現象）測定機器の主要機能特性 .....	38
表1.2. - 17 周辺岩盤（水理）測定機器の主要機能特性 .....	39

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。

## 1 わが国における処分場のモニタリングのあり方の調査検討

平成4年度の調査検討結果をもとに、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た。

### 1.1 各目的毎のモニタリングの要件の整理

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。

#### 1.1.1 地層処分のあり方の整理

高レベル放射性廃棄物の処分の目的は、OECD/NEA(1982)が示すように、「人間の健康と環境を守り、かつ、社会的、経済的要因を考慮しつつ、将来世代に対するいかなる負担も最小限とするような方法で廃棄物を取り扱うことを保証すること」である。

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は以下のとおりである。

- ① 地層処分は、人間の継続的な関与を必要とせず、閉鎖後においても安全を確保することのできる完全に受動的な処分システムである。
- ② 地層処分の大きな特徴の一つはその安全性にある。放射性廃棄物が処分場に留まる限り害はなく、地下深部であるために人間の偶然の侵入も起こりにくい。さらに、悪意による侵入の可能性も除外することができる。ただし、ある環境条件においては緩慢に自然のプロセスによって放射性核種が移行する可能性もある。そのような場合においても、安全性が長期的に信頼性を有しているものであることを示すのは、核種移行を予測するモデルの作成とそれによる放射線学的解析結果である。これは地下深部の核種挙動についての正しい科学的理解に基づくものでなければならない。
- ③ 地層処分に適合する地質環境は多様であることから、地層処分は柔軟性と利便性を備えたものである。これは核種移行シナリオを考慮しても処分場を選定できること、そしてまた、処分場に適したサイトが廃棄物を有する個々の国においても選定できることを意味している。

- ④ 地層処分の実現性は鉱業と土木工学の永年の経験に基づくものである。したがって、処分場は安全に係る一部技術を除いて既存技術を用いて建設される。
- ⑤ 処分は廃棄物の回収の意図がないことを意味しており、回収可能性は処分場の設計においては通常必要ではないが、閉鎖前における回収可能性を有する地層処分概念もある。また、その後の期間においても、回収の意図がないことは必ずしも回収可能性がないことを意味するものではない。

このような特徴を有する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整理すると以下のとおりになると考えられる。

- 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
- 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
- ③ 国内の地質環境を考慮した実現性を示すこと
- 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

この他、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を付け加えるとすると以下のとおりとなる。

- 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

上記の検討や行為がなされた後に現実的に地層処分場を建設し、操業し、閉鎖することが可能になると考えられる。

## 1.1.2 モニタリングの目的の検討

本項では、前1.1.1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、目的を整理した。

### (1) 地層処分におけるモニタリングの関わり方の検討

前項に示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は以下のようにまとめられる。

- ① 安全性の長期予測に資すること
- ② 地質環境の長期的バリア性能の把握に資すること
- ③ 技術的実現性の確立に資すること
- ④ 法整備に資すること
- 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
- ⑥ 地層処分場の操業、閉鎖の円滑な実施に資すること

### (2) モニタリングの目的

地層処分のモニタリングの目的の検討の参考として、前年度に実施した事例調査におけるモニタリングの目的項目について検討・整理した。

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と考えられる。以下においては、(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した。

処分場の建設以降の各段階において考えられるケースを表1.1-1に示す。なお、同表では処分場の建設段階以後を示した。

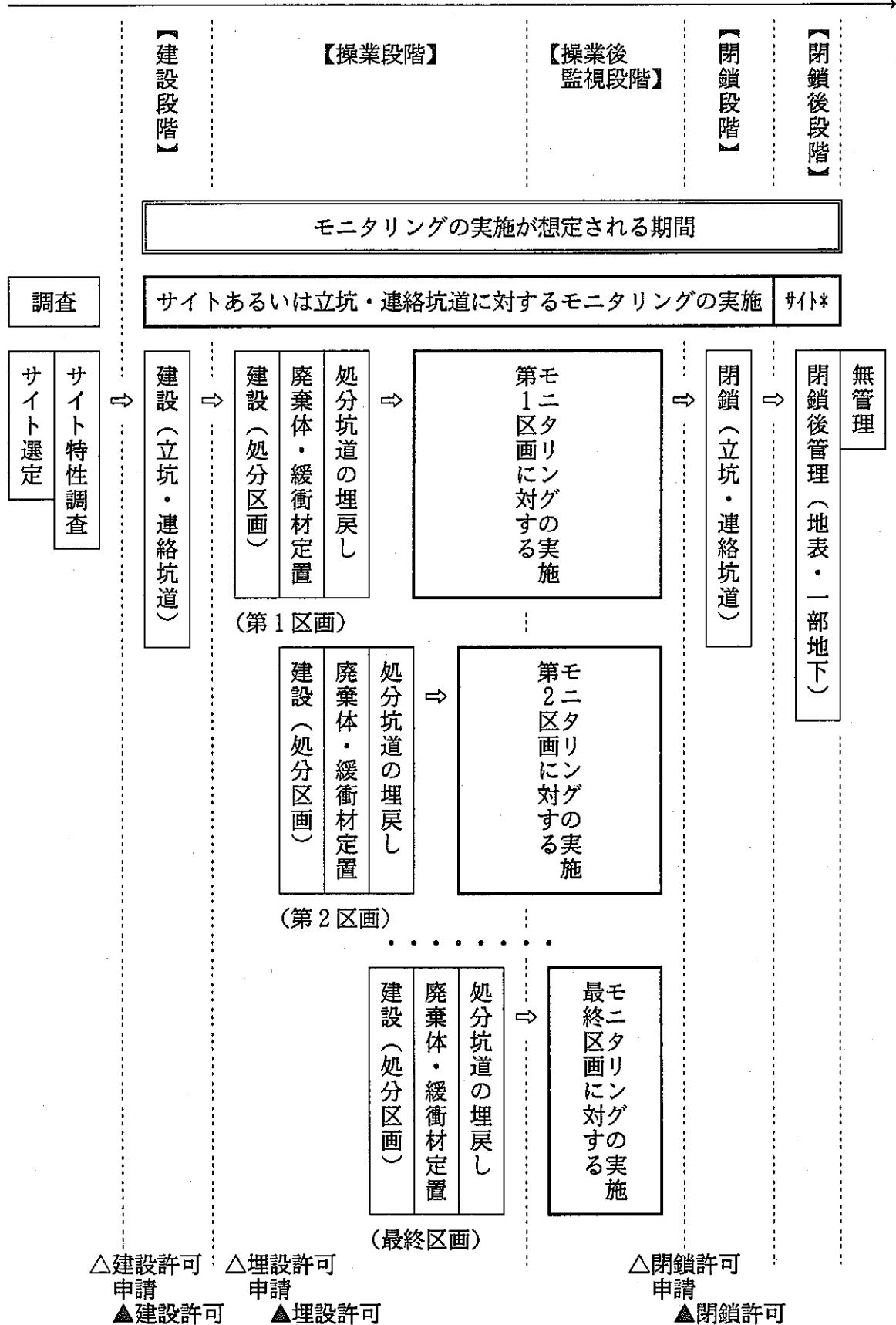
表1.1-1 処分事業に係る処分段階の主要な組合せ

ケース	建設及び操業段階	→操業後監視段階	→閉鎖段階	→閉鎖後段階
(検討ケース)	処分区画ごとに順次建設・定置・埋戻しを実施する。 (通常)	許認可取得のため閉鎖前の一定期間監視を行う。 (有)	許認可取得後閉鎖する。 (有)	閉鎖後一定期間管理を行う。 (有)
(その他ケース)				
ケース①	(同上)	最終の定置後速やかに閉鎖のための許認可を取得する。したがって、実質的にこの段階なし。 (通常)	(同上) (有)	(同上) (有)
ケース②	(同上)	(同上)	(同上)	閉鎖後の管理は行わない。実質的にこの段階はなし。 (通常) (無) (有) (無)
ケース③	(同上)	許認可取得のため閉鎖前の一定期間監視を行う。 (通常)	(同上)	(同上)
ケース④～⑦	一部の処分区画で定置後監視を行い、一定期間経過後残余の定置を行う。	(有) (無)	(有) (有)	(有) (無) (有) (無)

表中のその他ケースは、建設・操業段階、操業後監視段階、閉鎖後段階で、検討ケースにオプションを与えたものである。本報告書では、検討ケースについて考察した。

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、検討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1.1-1のよう整理できる。

(時間の進展)



注) サイト\*：サイトに対するモニタリングの実施  
横置きの場合、緩衝材の定置そのものが処分坑道の埋戻しとなる。

図1.1-1 地層処分場の事業形態の進展を考慮したモニタリングの関わり方

各段階のモデル的な定義は以下のとおりである。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。

② 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。

③ 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。

④ 閉鎖後段階

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。

閉鎖後段階の後に無管理の段階を設けることが可能であるが、モニタリングの実施を考慮しないため本研究の対象からは除外される。

このような“処分事業”の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。

モニタリングの包括的な目的は以下のとおりである。

- 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データの取得）



次に、これらの目的を図1.1-1に示すように、段階との対応で整備すると表1.1-2のようになると考えられる。

表1.1-2 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】	【操業後監視】	【閉鎖】	【閉鎖後】
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。

### 1.1.3 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検討し、整理した。

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、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。

##### (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、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。

##### (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、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。

② 施設の長期安全評価の目的に係る要件

(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信頼性のある情報を継続的に提供するモニタリングでなければならない。また、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。

(操業後監視段階)

上記段階に同じ。

(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係る要件

(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。

(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 法的整備の目的に係る要件

(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。

(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 環境安全の目的に係る要件

(操業段階～閉鎖後段階)

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。

⑥ 社会的受容の目的に係る要件

(操業段階～閉鎖後段階)

公衆、規制当局者等の信頼が得られるようなデータの取得方法、解析方法、公表方法でなくてはならない。

## 1.2 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(以下、「H3レポート」という。)を考慮して整理した。さらに、その結果と前1.1.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。

### 1.2.1 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した。

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、接近シナリオと、地下水シナリオを検討することによって評価される。

わが国の地層処分場はこれらの各シナリオに対応する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。以下に上記事項を踏まえて現在動燃事業団で考慮されている地層処分場概念をまとめる。

### (1) 地形

ここでは、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モデルとして考慮することとする。

### (2) 地質・地質構造

わが国において現存する地質・岩石を考慮すると、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。

また、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。以上を整理すると以下のとおりとなる。

表1.2-1 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）
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

### (3) 水理

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した。動水勾配、透水係数ともに、水理解析において設定されたものと同様の設定をした。設定したパラメータを表1.2-2に示す。

表1.2-2 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
1,000~3,000	500~2,000	0.001~0.1	$10^{-6}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$

注) 結晶質岩、堆積岩の区別なし。

### (4) 水質

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、本研究で

は地形の検討の箇所では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し、処分場深度での地下水の水質を次表のように設定するものとする。

表1.2-3 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
Na <sup>+</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 型	還元性	弱アルカリ性

(5) 人工バリアシステム

人工バリアの基本概念はガラス固化体、オーバーバック、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縦置方式が提案されている。本検討では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1.2-1に示す。

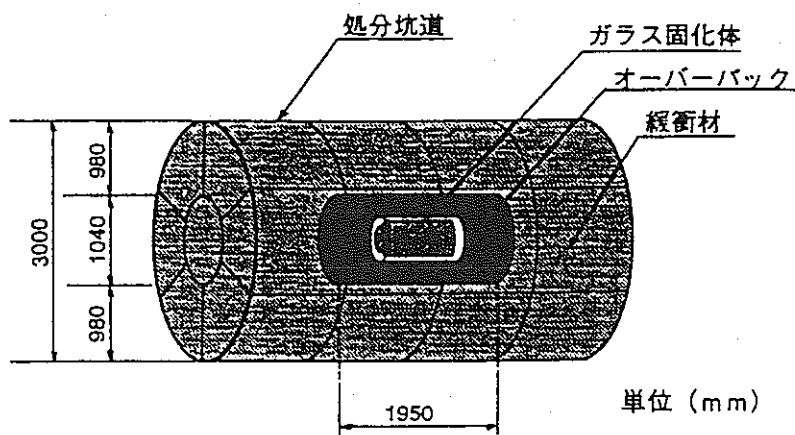


図1.2-1 坑道横置方式による人工バリアシステム施工例 (動燃事業団, 1992)

(6) 施設の規模・形状

本検討においては、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1.2-2に示す。また、坑道及び処分区画のレイアウトを図1.2-3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7 mとして、約2,150m×2,500mの広さの地下施設の平面配列となる。

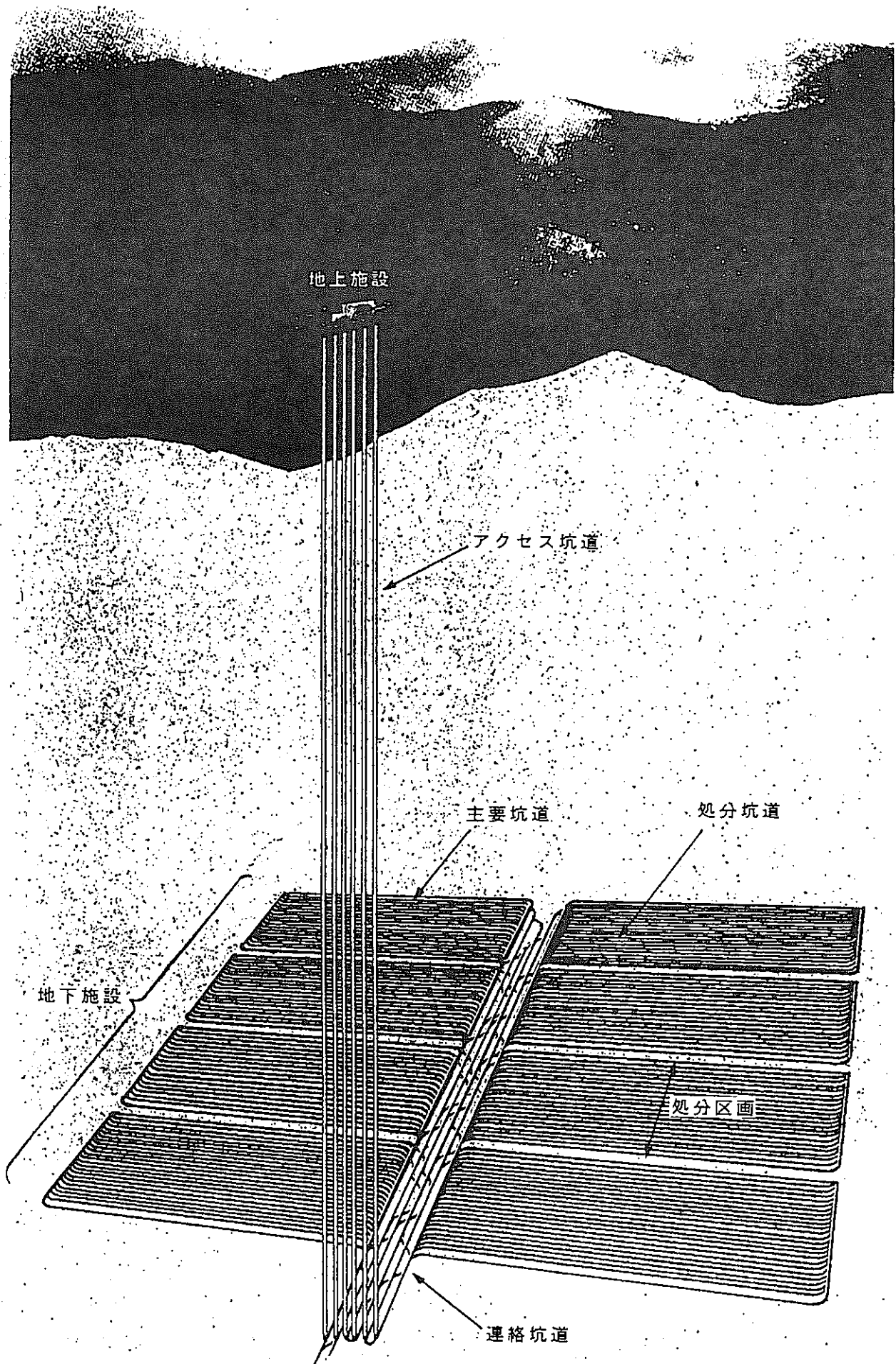


図1.2-2 地層処分場のレイアウト (動燃事業団, 1992)

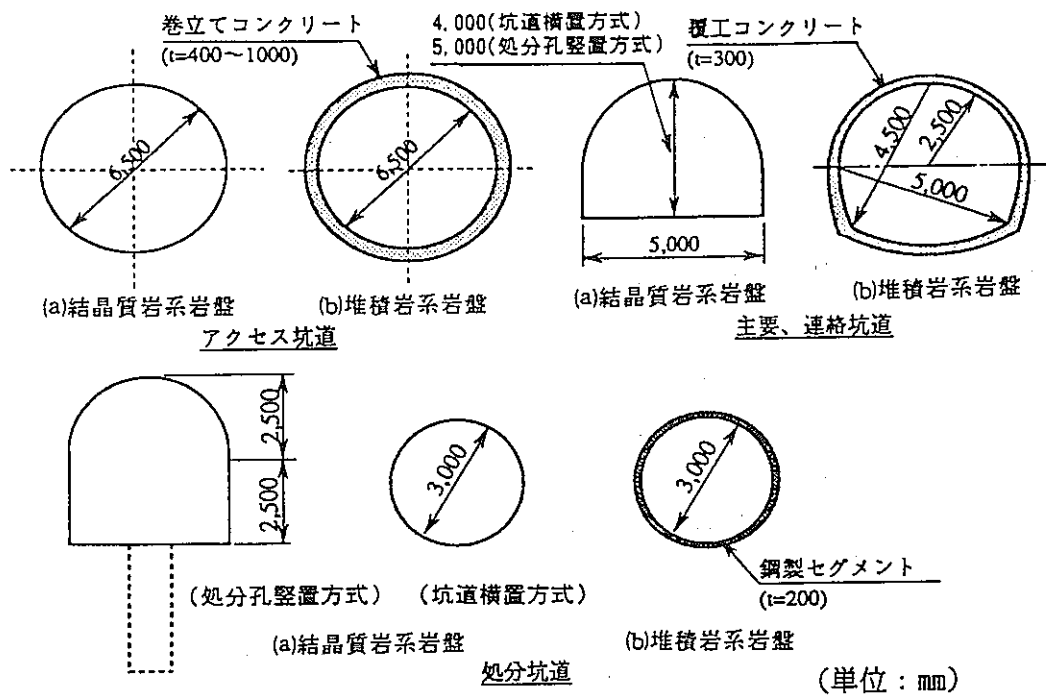


図 坑道の断面例

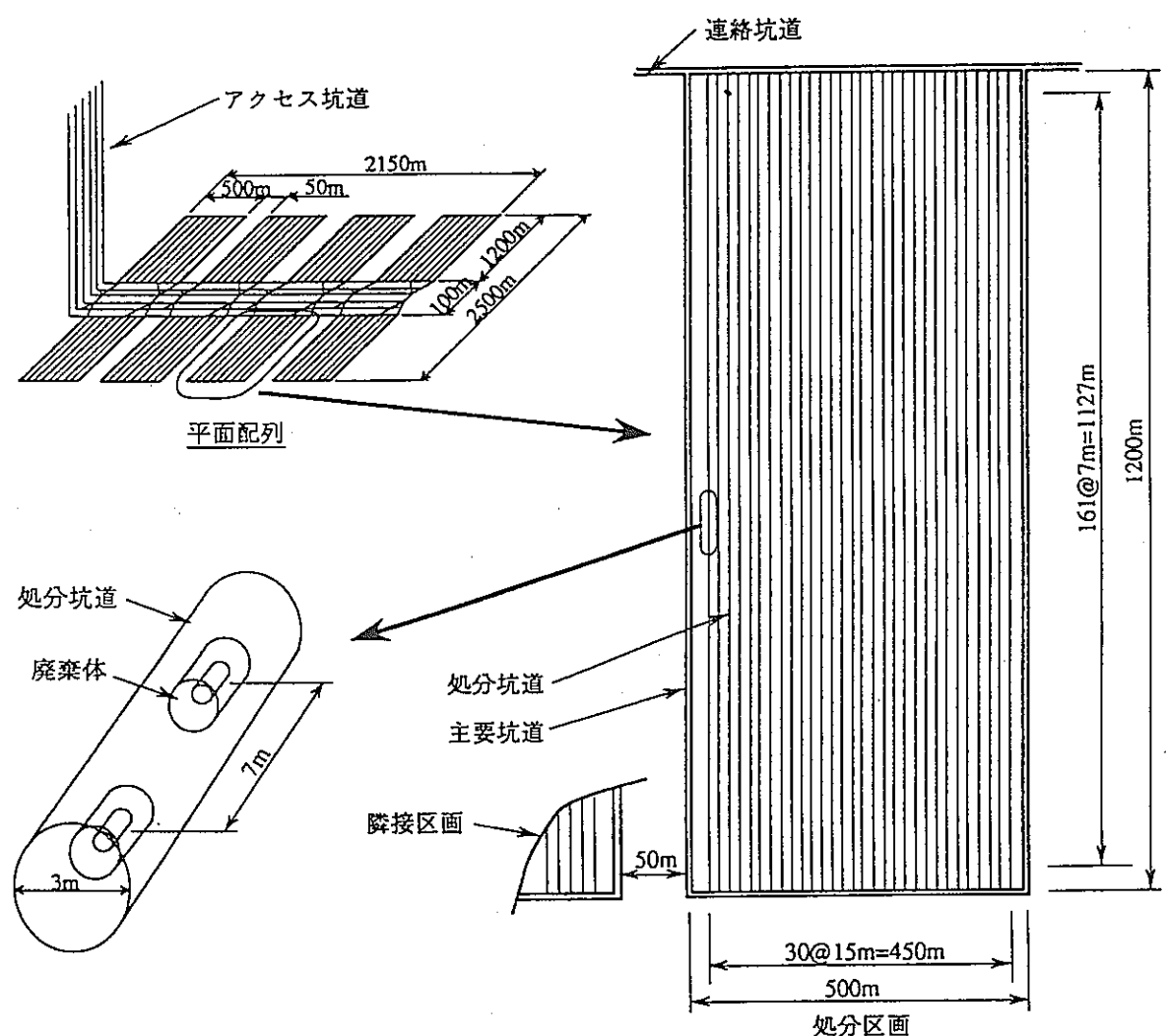


図1.2-3 坑道及び処分区画のレイアウト (動燃事業団, 1992)



## 1.2.2 モニタリングを必要とする理由の検討

1.1.3 で検討したモニタリングの要件と1.2.1 で検討したわが国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した。

### (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必要性ということであり、以下のような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

モニタリングは特に測定対象値が変動する場合に、その変動を正確に把握するために必要である。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についてのモニタリングの必要性を挙げることができる。

- ① 地層中の地下水の流れ方
- ② 地層中の地下水の水質
- ③ ニアフィールド特性
- ④ テクトニクス

### (2) わが国の処分場概念を考慮した社会的、政策的必要性

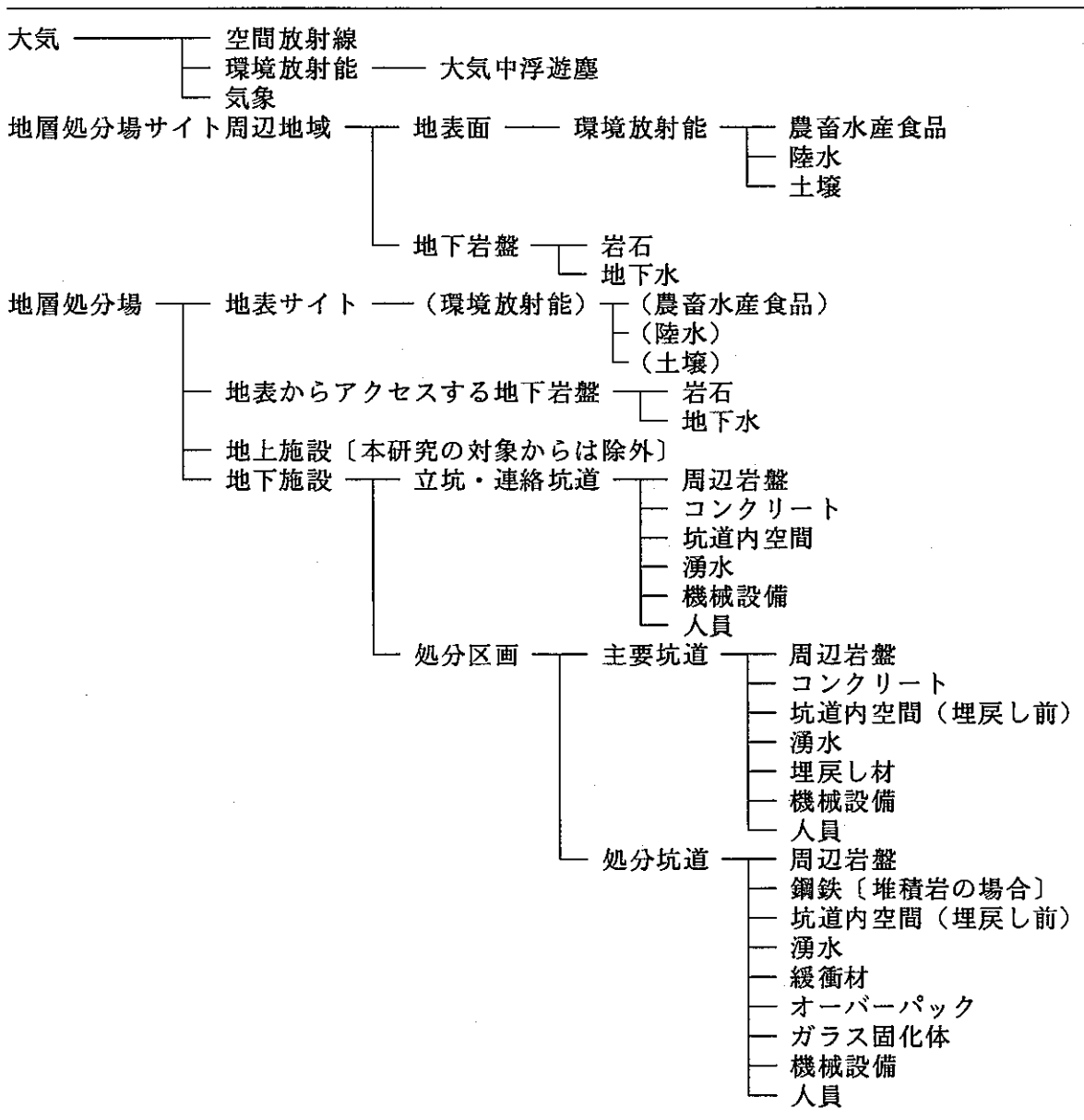
原子力問題に対するわが国の国民性や国家としての対応の仕方、地層処分場の設置に係る人文地理学的環境、自然的環境等を考慮すると、以下のようなモニタリングの必要性を挙げることができる。

- ① 地層処分事業に対する国の許認可行為への対応
- ② 一般国民への、事業が安全に行われていることの周知
- 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
- 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

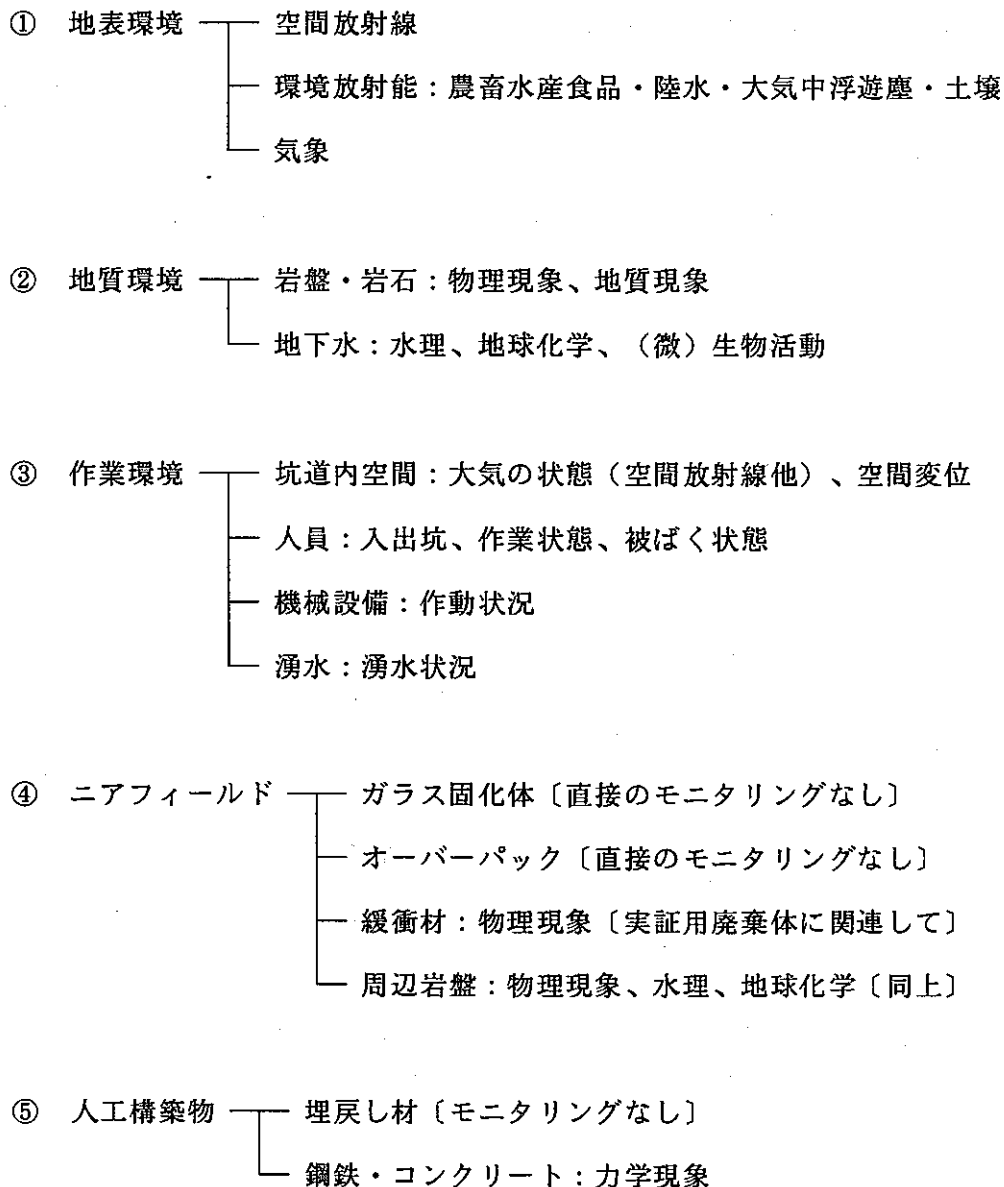
### 1.2.3 モニタリング対象と目的の検討

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検討した。モニタリング対象物を表1.2-4にまとめた。なお、同表では監視の意味合いも含めてとりまとめた。

表1.2-4 モニタリング対象物及び実施の場



上記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、次のような対象物としての分類が可能である。



#### 1.2.4 実施項目及び実施方法の検討

前1.2.3 項での検討項目に対して、個々の実施項目の検討を行った。

##### (1) 地表環境

- ① 空間放射線：空間線量率・積算線量（ $\gamma$ 線）

【実施方法】連続モニタ・積算式線量計による測定

【段階】 操業段階（前段階にても必要）～閉鎖後段階

- 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

【段階】 操業段階（前段階にても必要）～閉鎖後段階

- ③ 農畜水産食品・陸水・大気中浮遊塵・土壌： $\alpha$ ・ $\beta$ ・ $\gamma$ 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。

【段階】 操業段階（前段階にても必要）～閉鎖後段階

## (2) 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、或いは空洞面に測定ゲージを埋め込む。

【段階】 操業段階～閉鎖後段階 （サイト周辺地域）

操業段階～閉鎖後段階 （地表サイトからアクセスする場合）

操業段階～閉鎖段階 （立坑・連絡坑道周辺）

操業段階～操業後監視段階（処分区画周辺）

### 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。

【段階】 操業段階～閉鎖後段階 （サイト周辺地域）

操業段階～閉鎖後段階 （地表サイトからアクセスする場合）

操業段階～閉鎖段階 （立坑・連絡坑道周辺）

### 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】 操業段階～閉鎖後段階 （サイト周辺地域）

操業段階～閉鎖後段階 （地表サイトからアクセスする場合）

操業段階～閉鎖段階 （立坑・連絡坑道周辺）

### 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。湧水中の溶存成分濃度等を測定する。

【段階】 操業段階～閉鎖後段階 （サイト周辺地域）

操業段階～閉鎖後段階 （地表サイトからアクセスする場合）

操業段階～閉鎖段階 （立坑・連絡坑道周辺）

操業段階～操業後監視段階（処分区画周辺）

### 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。

【段階】	操業段階～閉鎖後段階	(サイト周辺地域)
	操業段階～閉鎖後段階	(地表サイトからアクセスする場合)
	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)

### (3) 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・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

【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)

- 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。

【段階】	操業段階～閉鎖段階	(立坑・連絡坑道周辺)
------	-----------	-------------

- 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

【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)

- 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

【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)

- 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

【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)

### (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】実証用定置廃棄体箇所での緩衝材に測定機器を埋め込む。

【段階】 操業段階～操業後監視段階（処分区画周辺）

② 周辺岩盤（物理的現象）：温度・ひずみ

【実施方法】実証用定置廃棄体箇所への緩衝材周辺の岩盤に測定機器を埋め込む。

【段階】 操業段階～操業後監視段階（処分区画周辺）

③ 周辺岩盤（水理）：間隙水圧

【実施方法】実証用定置廃棄体箇所への緩衝材周辺の岩盤に測定機器を埋め込む。

【段階】 操業段階～操業後監視段階（処分区画周辺）

④ 周辺岩盤（地球化学）：溶存濃度・pH・Eh・放射性核種濃度

【実施方法】実証用定置廃棄体箇所への緩衝材周辺の岩盤に測定機器を埋め込む。

【段階】 操業段階～操業後監視段階（処分区画周辺）

(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。

【段階】 操業段階（処分区画周辺）

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。

【段階】 操業段階～閉鎖段階（立坑・連絡坑道周辺）

(6) 実施箇所の例示

以上検討した実施箇所の一覧を表1.2-5に示す。また、それらの設置箇所例を図1.2-4～6に示す。それらの図には表1.2-5に示す実施箇所例を○付数字で示した。

表1.2-5 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					定置用処分区画					人員					
	事業所外		事業所内					立坑壁	立坑底	連絡坑道分岐	連絡坑道壁	短い試験錐孔	鉛直試験錐孔	任意箇所	連絡坑道入口	掘削箇所	掘削後空洞	湧水箇所	廃棄物と搬送連絡	連絡坑道入口	定置箇所	定置端or埋設方端	実証用緩衝材	周辺岩盤		廃棄体アクセス部				
地表	深部試験錐孔	地表	地上施設周辺	浅部試験錐孔	深部試験錐孔	立坑口	①																		②		③	④	⑤	⑥
(位置：図1.2-4-6に対応)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕						
地表環境																														
・空間放射線	○			○																										
・気象要素				○																										
・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）								○			○																			

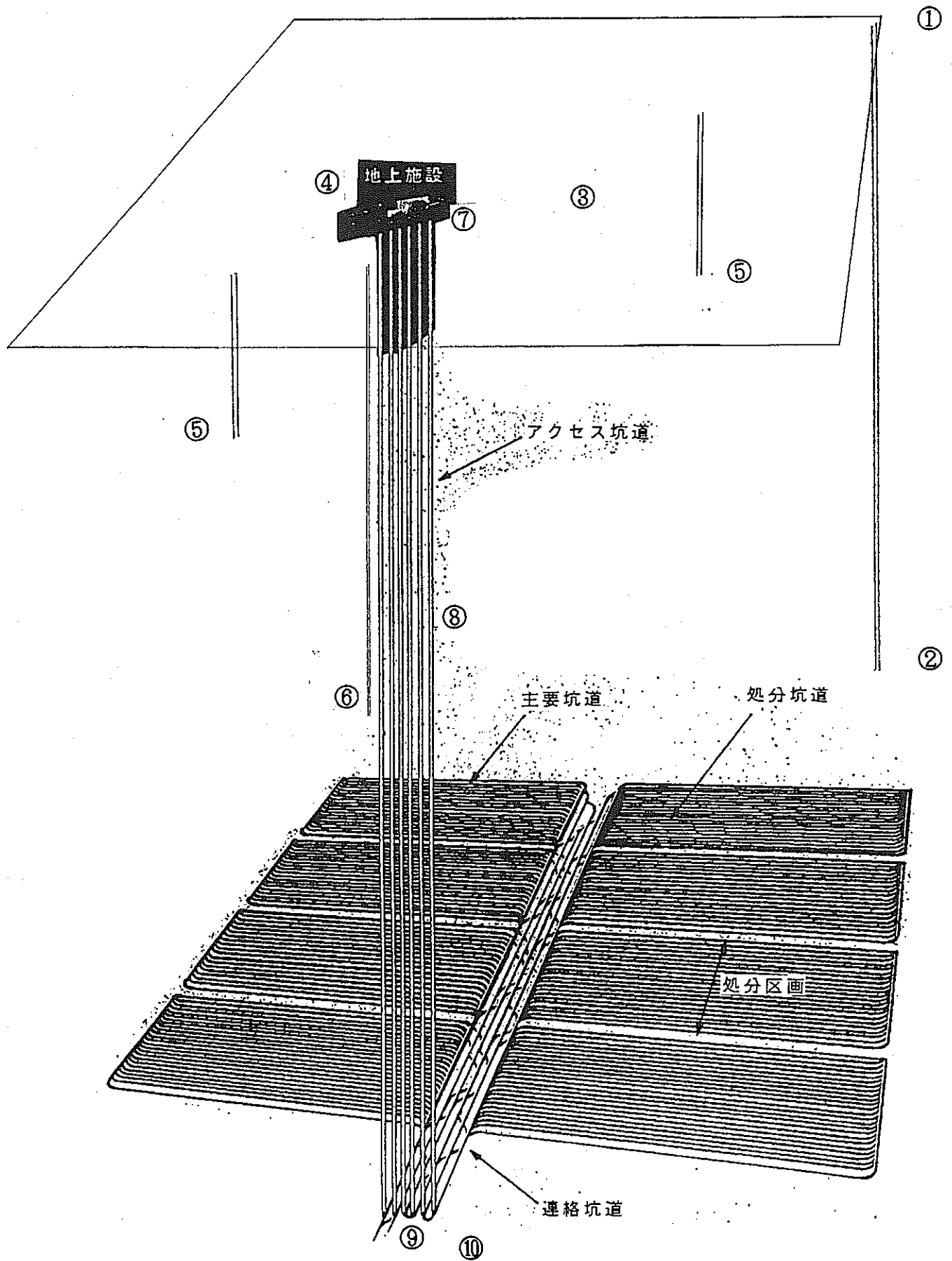
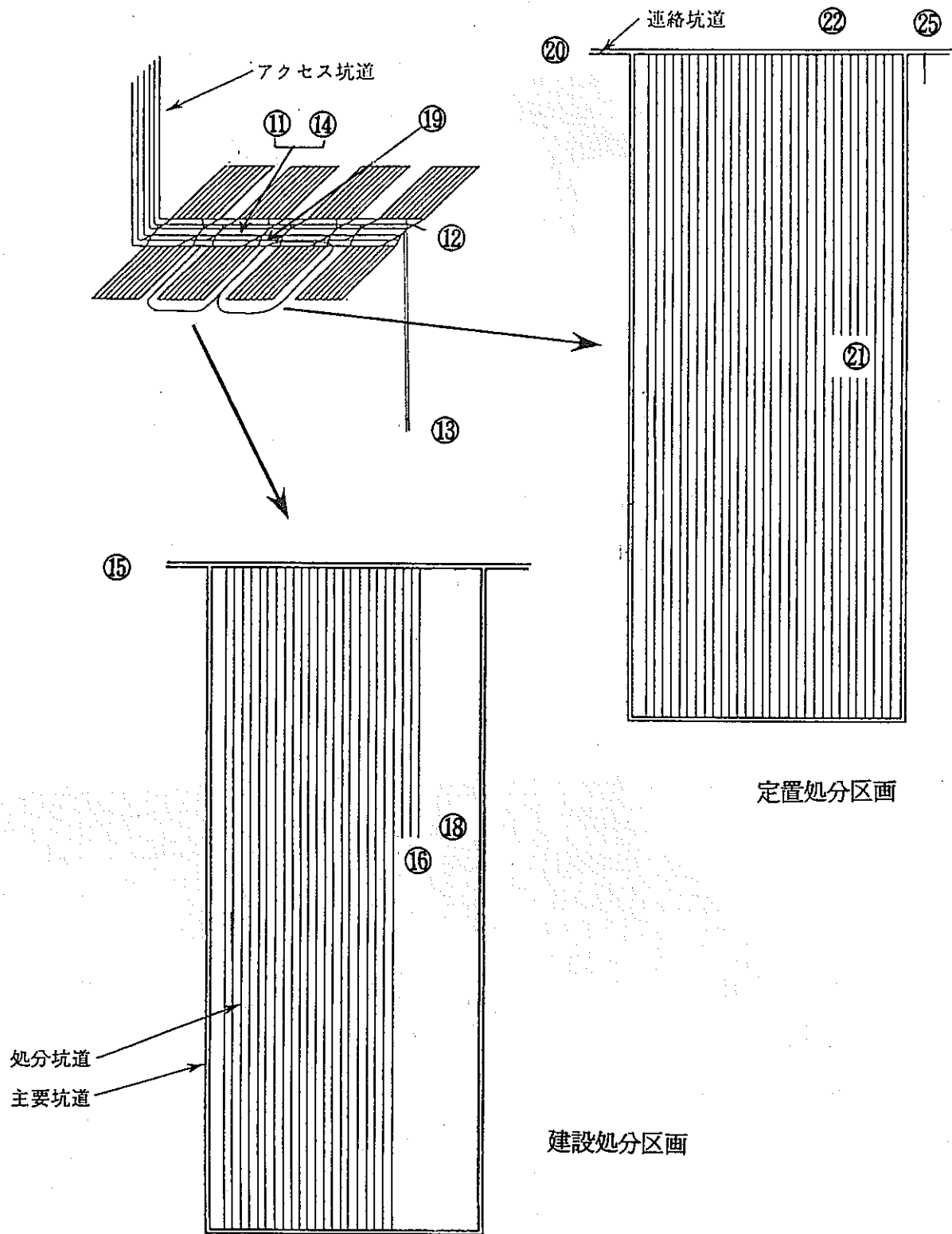


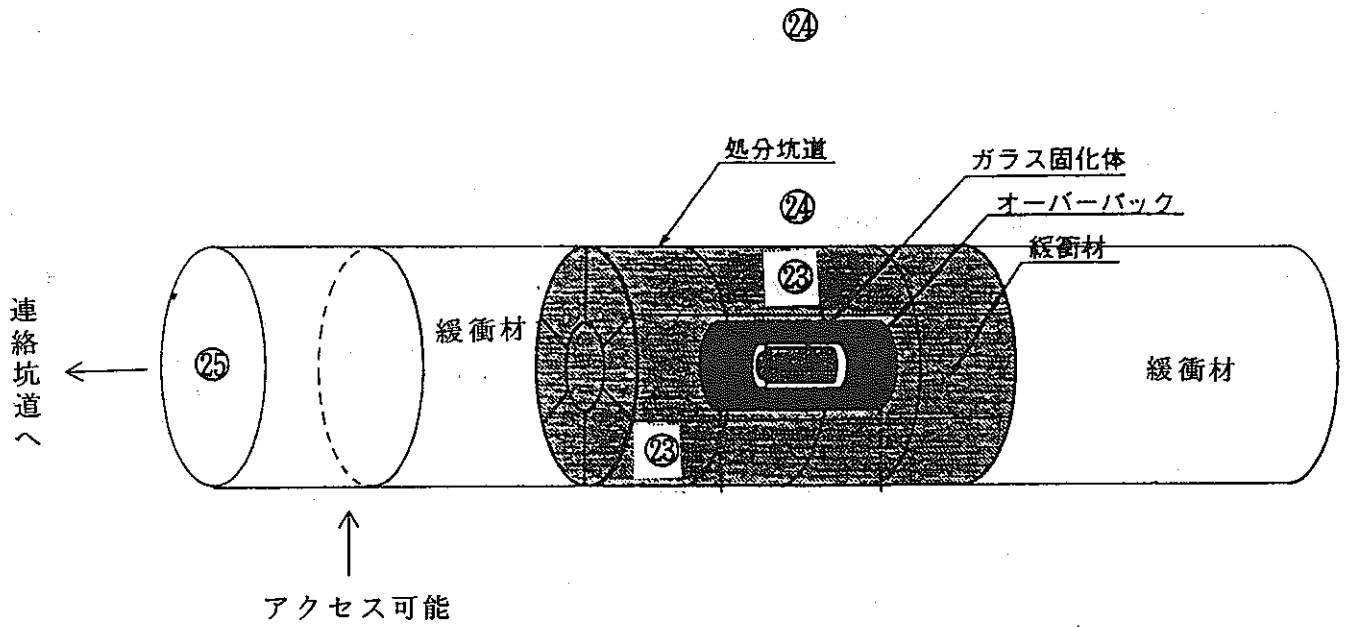
図1.2-4 地表及び立坑付近におけるモニタリング実施箇所例





(○付数字のモニタリング項目は表1.2-5を参照)

図1.2-5 連絡坑道及び処分区画付近におけるモニタリング実施箇所の例



(○付数字のモニタリング項目は表1.2-5を参照)

図1.2-6 実証用廃棄体周辺におけるモニタリング実施箇所例

## 1.2.5 データ取得技術に係る要件の検討

前1.2.4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した。

### (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及ぼす影響の可能性を有している。以下に、個々のモニタリングが及ぼす可能性のある影響、データ取得に関する技術に求められる要件をまとめて示す。

#### (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。

#### (b) 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が、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が化学的特性を変化させる可能性を有するものがあり、注意が必要であると考えられる。

#### (c) 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。

#### (d) ニアフィールド

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當に評価する必要があり、その影響を考慮した対応が必要である。

#### (e) 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。

### (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。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した。

(a) 周辺環境

① 空間放射線：空間線量率・積算線量（ $\gamma$ 線）

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。

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 $^{\circ}\text{C}$ 、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ると考えられる。

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

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。

(b) 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 $15^{\circ}\text{C}$ ）から処分場深度までの温度（地下増温率 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ として、 $1,000\text{m}$ の深さで約 $45^{\circ}\text{C}$ ）の温度範囲においては $0.5 \sim 1^{\circ}\text{C}$ の精度で十分であろう。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。

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、精度は $0.1\text{mm}$ 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る変動を有するものであり、 $1\text{mm}$ の精度で十分であろう。また、間隙水圧より求める場合には水位 $1\text{mm}$ の変化に相当する $10^{-4}\text{kgf}/\text{cm}^2$ の精度となろう。地下水流速は現在の所 $10^{-5}\text{cm}/\text{s}$ 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 $1\text{cc}$ 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 $0.1\text{ppm}$ 、pHは $0.1$ 、Ehは $10\text{mV}$ ）で十分である。

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ろう。

(c) 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 $3,000\text{Bq}/\text{m}^3$ と示せる。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、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 $0.5\text{ }^\circ\text{C}$ 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  
1cmの精度では荒いため、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。

(d) ニアフィールド

- ① 緩衝材（物理的現象）：温度・ひずみ  
温度・ひずみは既に述べたとおりである。
- 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。

(e) 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。

## 1.2.6 現状の技術レベル及び将来の実現可能性の検討

### (1) 現状の技術レベルのとりまとめ

#### (a) 地表環境

##### (i) 空間放射線

###### 1) 施設内設置モニタ

円筒形電離箱あるいはシリコン半導体検出器を用い、 $\gamma$ 線を対象として行う。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。

###### 2) 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は球形電離箱を用いることにより、 $10^{-2} \sim 10 \mu\text{Sv/h}$ 及び  $10^{-2} \sim 10^5 \text{nGy/h}$ 程度である。

###### 3) 個人モニタ

$\gamma$ 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、TLDで  $0.1 \text{m} \sim 10^4 \text{m} \mu\text{Sv}$ 程度である。

##### (ii) 気象要素

気象要素（風向、風速、降水量、気温、湿度等）は、操業段階から積極的な制度的管理の段階が終わるまで地表の適切な場所でモニタリングを行う。現状の機器の主な機能を表1.2-6に示す。

表1.2-6 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				

(iii) 環境放射能

1) 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。

2) 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。

3) 粉塵

空気中の粉塵をフィルタで捕集し、 $\alpha$ 線についてはZnS(Ag)、 $\beta$ 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 $\gamma$ 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。

(b) 地質環境

(i) 岩盤・岩石（物理現象）

現状の岩盤・岩石の物理現象についての測定機器の主な機能を表1.2-7に示す。

表1.2-7 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, ~15 G
測定精度	$\pm 0.3$ °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、ケーブルは10年程度

(ii) 岩盤・岩石（地質現象）

現状の岩盤・岩石の地質現象についての測定機器の主な機能を次表に示す。

表1.2 — 8 岩盤・岩石（地質現象）測定機器の主要機能特性

	傾斜計	隆起沈降量
測定範囲	±数分～数度	±25mm
測定精度	2%以内（非直線性）	0.5mm以下（最小読取値）
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

(iii) 地下水（水理）

現状の地下水の水理についての測定機器の主な性能を次の表に示す。

表1.2 — 9 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 <sup>2</sup>
測定精度	±1cm以内	0.5%以内（非直線性）
使用条件	-10～40℃ 非凍結 湿度90%以下	0～50℃
耐久性	10年以上	1～3年

また、地下水の流向・流速に関する現状の測定方式を表1.2-10に示す。



表1.2 -10 単一孔による孔内流向・流速試験

調 査 法	SWM-K2型	PZ1002型	L 型
ボーリング孔径	150mm	85mm	116mm
ケーシング内径	80mm	55~65mm	100mm
パ ッ カ	エアパッカ	IPパッカとGMパッカ	ゴムパッカ
ト レ ー サ	ホウ素水溶液	放 熱	蒸留水など
方 位 計	機械的制御装置	ホール素子	ホール素子
電 源	AC100V	DC12V	DC12V
観 測 時 間	3時間	3時間	8~10時間
測 定 範 囲	$10^{-1} \sim 10^{-5} \text{cm/s}$	$10^0 \sim 10^{-3} \text{cm/s}$	$10^{-2} \sim 10^{-5} \text{cm/s}$
特 徴	任意深度測定可能 繰り返し測定可能	任意深度で繰り返 し測定可能	任意深度測定可能

(iv) 地下水・地表水（地球化学）

地下水・地表水の観測は、原位置での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。各方式の特徴を表1.2-11に比較して示す。

表1.2-11 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。	

一般的な水質の測定項目には、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が測定されている。

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。

表1.2-12に地下水・地表水のpH及び酸化還元電位測定機器の機能の概要を、また、表1.2-13に、溶存成分についての主な測定法の概要を示す。

表1.2-12 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	

表1.2 - 13 溶存成分の濃度分析法一覧

	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)

(c) 作業環境

(i) 坑道空間（大気の状態）

坑内の作業環境では、炭酸ガス濃度、粉じん量、酸素濃度、一酸化炭素に関して測定が必要と考えるべきである。これらについての測定機器の主な機能を次表に示す。

表1.2 —14 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%

また、他に測定すべきであると考えられる項目として、気温、通気量、有機ガス、空間線量率、積算線量が挙げられる。

(ii) 坑道内空間（空間変位）

坑道の変位の測定には、バーニアスケールまたはワイヤーあるいはレーザ光による変位計を用いる。

ただし、スケール、ワイヤーを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。従って、測定は目視となる。

(iii) 坑内人員

入出坑に際しての管理システムを表1.2-15に示す。

(iv) 湧水（湧水状況）

1) 湧水箇所

坑壁へのしみ出しを目視により観察する。

2) 湧水量

坑道の壁面からしみだしてくる地下水は、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が、精度はかなり粗いものとなる。

表1.2 —15 入室管理システムの比較

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

(d) ニアフィールド

(i) 緩衝材（物理現象）

緩衝材内に測定孔を設け、測定器という異質物を埋設して観測を実施することにより、緩衝材を破壊することになり、人工バリアの性能を多少なりとも低下させることは避けられない。表1.2-16に、緩衝材における物理現象の測定機器の主な機能を示す。

表1.2-16 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 <sup>2</sup>
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

(ii) 周辺岩盤（物理現象）

1) 温度

(a) の (i) で述べた岩盤・岩石の温度測定と同様である。

2) ひずみ

(b) の (i) で述べた岩盤のひずみ測定と同様である。

(iii) 周辺岩盤（水理）

1) 間隙水圧

坑壁等に間隙水圧計を埋設して測定する。周辺岩盤の水に関する測定機器の主な機能を表1.2-17に示す。

表1.2 —17 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 <sup>2</sup>
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

(iv) 周辺岩盤（地球化学）

1) 溶存成分の濃度

分析方法は、(a) の (iv) で述べた地下水・地表水の溶存成分の濃度測定と同様であるが、岩石試料の場合は、前処理が必要となる。

2) pH（水素イオン濃度）

分析方法は、(a) の (iv) で述べた地下水・地表水のpH値の測定と同様であるが、前述の岩石試料のように液体試料に加工する必要がある。

(e) 人工構築物

(i) 鋼鉄（力学現象）

1) ひずみ

測定対象となる鋼材に固定して測定する。測定範囲は± 500～1,000 × 10<sup>-6</sup>である。許容温度範囲は、-20～70℃と広く、鋼材と同じ線膨張係数を持つなど自己温度補償型のものが多い。

2) 変位

測定対象となる鋼材に固定して測定する。測定範囲および許容温度範囲は、(b) の (i) の3)で述べた岩盤の変位と同様である。

(ii) コンクリート（力学現象）

1) 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、(b) の (i) の2)で述べた岩盤のひずみと同様である。計器の寿命は、10～20年と考えられる。



## 2) 変位

測定対象となる鋼材に固定して測定する。測定範囲および許容温度範囲は、(b)の(i)の3)で述べた岩盤の変位と同様である。

### (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した。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
- ・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

であるが、モニタリングの長期間実施の観点から、より本質的な問題は耐用性の向上であると考えられるので、ここでは耐久性の向上について述べる。

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。機器の交換が容易ではない場合は、耐久性は重要な問題となる。

熱的耐久性に関しては、ニアフィールドでの温度が最高100℃にまで到達することから、このような温度での耐久性の向上が必要となる。

さらに、観測位置が地下1,000m程度の深部であることや、地下水の水質に起因する化学的環境を考慮した耐圧性、化学的耐久性も求められる。

以下、上記問題に係る主要な項目として間隙水圧、温度、ひずみ、緩衝材膨潤圧の各項目を挙げ、それらに関する実現可能性の検討を行う。

#### ① 間隙水圧

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。また、材質の変更などにより使用可能な温度を数十度向上させることは十分可能であると考えられる。

#### ② 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り、測定可能温度範囲が広い光ファイバー温度式で考えると、光ファイバー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。

### ③ ひずみ

ひずみ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ため、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。

### ④ 緩衝材膨潤圧

緩衝材膨潤圧測定用の土圧計の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。センサー及びケーブルの耐熱性については材料の選定により問題は解決するものと思われる。

上述の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挙げられる。

## 1.2.7 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を考慮してまとめた。

### (1) 地表環境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、各段階において立坑と地上施設を中心に実施され、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、公表されることが考えられる。

### (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が考えられる。

多くのデータについては、各段階において測定して相互のデータを確認することになるものと考えられるが、地下水の水質については、閉鎖許認可のための安全評価用データとして利用されることが考えられる。

### (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）については、操業段階においては、作業者の安全確保

のためにリアルタイムに計測データが用いられると考えられる。坑道内空間（空間変位）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なされることとなろう。人員（入出坑・作業状態）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。機械設備（作動状況）については、操業段階から閉鎖段階を通じて、そ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。湧水（湧水状況）は、操業段階、操業後監視段階において、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ことが考えられる。

#### (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と考えられる。また、それら取得したデータ自体は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。

#### (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、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なされることとなろう。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。

## 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調査検討」での検討内容を受けて、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分けての課題を抽出し、整理した。

### 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、閉鎖後の各段階での実施が想定されるモニタリングも長期にわたる事業となる。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考えられる。したがって、処分事業の想定される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。

国の原子力開発利用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。これと、H3レポートの内容及びそれを踏まえて設定した種々の前提条件から処分のスケジュールの例（複数）を示すと図2.1-1のようになる。

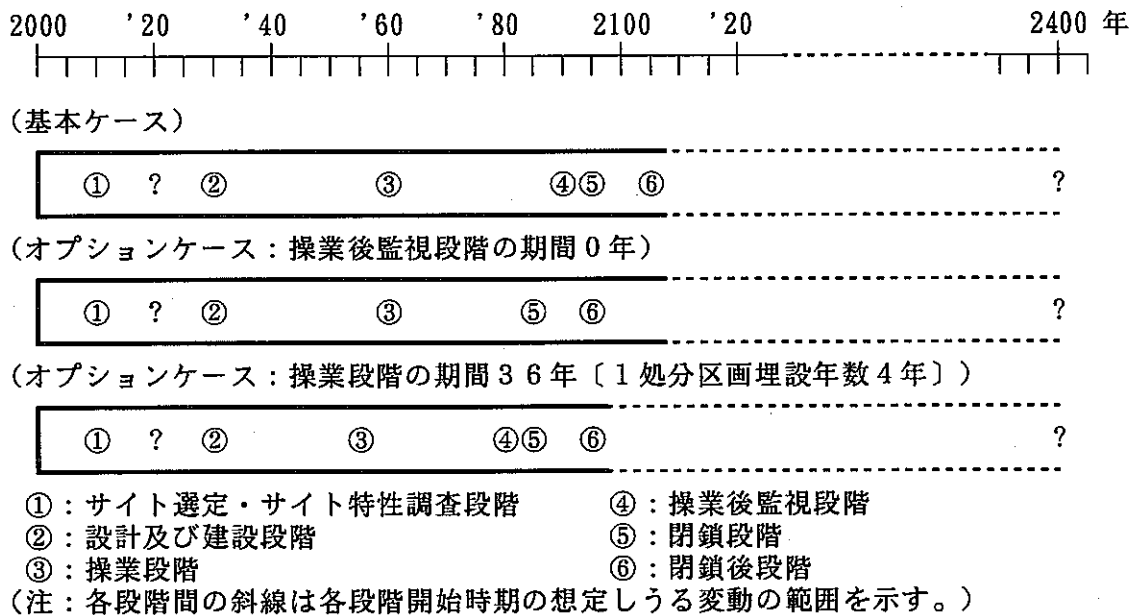


図2.1-1 処分のスケジュールの例

## 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考えられる課題としては以下の項目が挙げられる。

- ① 技術開発の余地とその予測可能性
- ② 平常値と異常値の識別の仕方
- ③ モニタリングデータの対策行動への反映方法
- ④ 測定データの品質保証の方法
- ⑤ 実証用廃棄体に対する具体的モニタリング方法
- ⑥ モニタリングの長期継続方法
- ⑦ 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
- ⑧ モニタリング実施位置の詳細化の検討
- ⑨ モニタリングデータの整理と公表の仕方
- ⑩ 放射線管理区域の設定のモニタリングへの影響
- ⑪ 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上で  
の問題
- ⑫ 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
- ⑬ モニタリングの集中管理システムのあり方

以下、上記各項目について抽出した理由を簡単に述べる。

### (1) 技術開発の余地とその予測可能性

モニタリングの実施までの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の仕方

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とられることによって完結すると考えられるため、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。

(3) モニタリングデータの対策行動への反映方法

モニタリング項目によっては、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の方法

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。

(5) 実証用廃棄体に対する具体的モニタリング方法

前章では、ニアフィールドでのモニタリングは実証用廃棄体を対象として行うこととしているが、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ためのモニタリングが要求されることが十分考えられる。

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り、そのためにも、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。

(6) モニタリングの長期継続方法

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と、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。

(7) 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

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、特に安全評価に関連して検討すべき課題である。

(8) 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、モニタリング箇所を適切に選定し、モニタリングシステムの配置も具体的、かつ詳細に検討する必要がある。

(9) モニタリングデータの整理と公表の仕方

モニタリングデータは、その反映の仕方や処分事業の進展を考慮した上で、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。

(10)放射線管理区域の設定のモニタリングへの影響

管理区域の設定のモニタリングに対する影響としては、管理区域の移動等に伴うモニタリング箇所の変更、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ると考えられる。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ると考えられる。

(11)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上での問題

サイト特性調査段階における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と考えるのが合理的であり、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可能性があることを想定してなされる必要がある。

(12)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

操業段階に取得するモニタリングデータは、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になると考えられるため、このことを考慮した反映方法を明らかにすることが課題となる。

(13)モニタリングの集中管理システムのあり方

モニタリングは、項目が多いうえ、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検討が課題となる。

なお、今後の研究においては、閉鎖後のモニタリングについて技術的な観点から求められる可能性があることも念頭に置く必要があると考えられる。

### 3 課題解決のための方策の検討

前2章では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、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

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。これに対する技術開発の余地は、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り、今後の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区分されると考えられる。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。

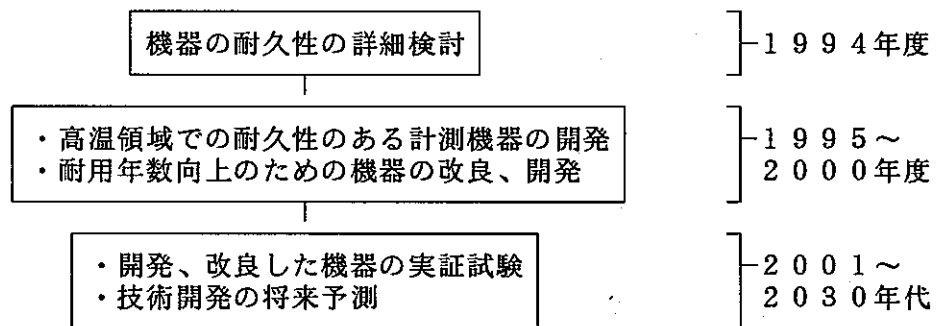


図3.1-1 計測機器の耐久性に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

#### 3.2 平常値と異常値の識別の仕方

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技術面での検討がなされている必要がある。図3.2-1に解決のための検討フローと概略のスケジュールの案を示す。



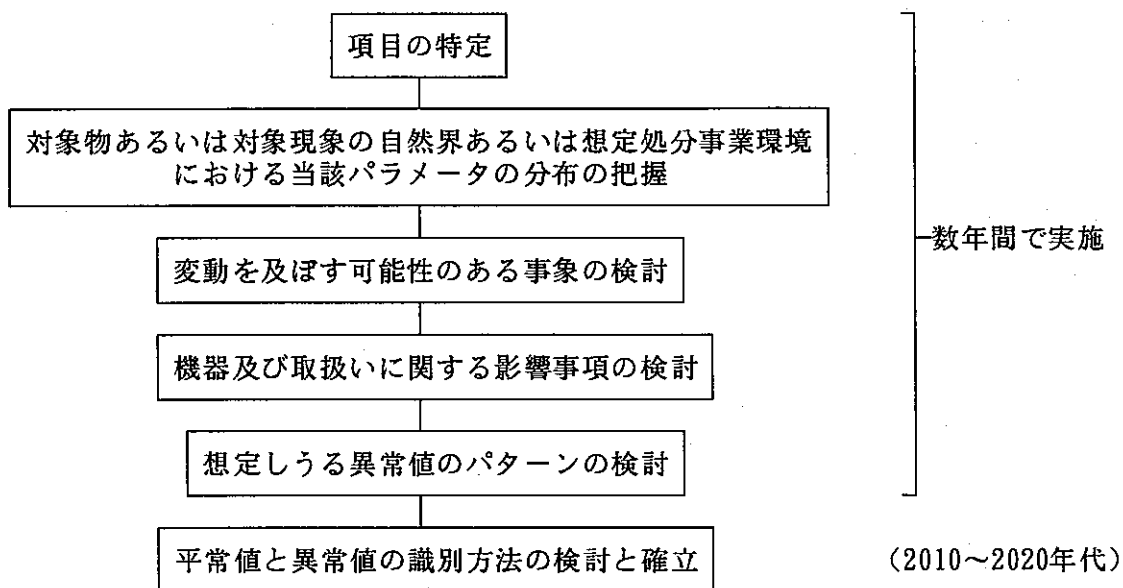


図3.2-1 平常値と異常値の識別のための検討フロー（案）とスケジュール（案）

### 3.3 モニタリングデータの対策行動への反映方法

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、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る。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。

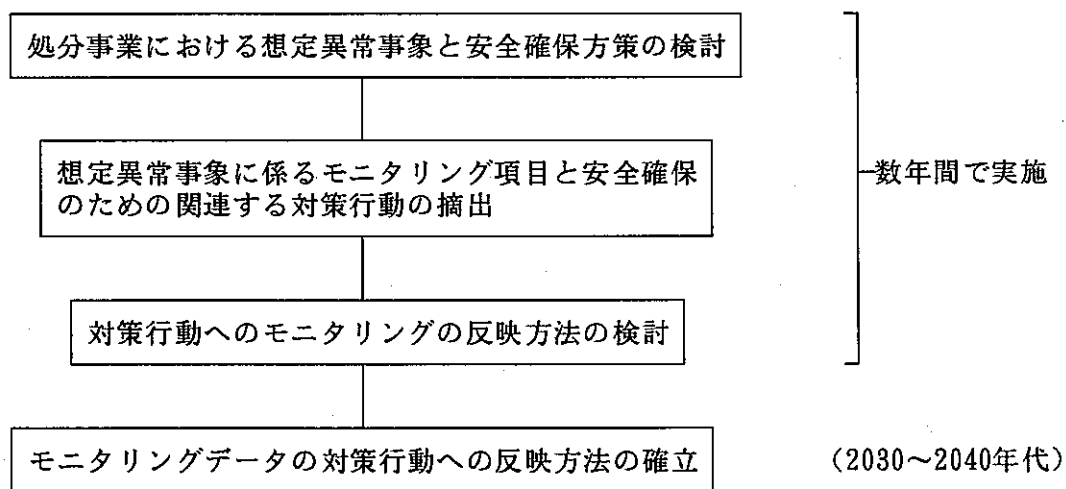


図3.3-1 モニタリングデータの対策行動への反映方法の検討フロー（案）とスケジュール（案）

### 3.4 測定データの品質保証の方法

安全評価のためにも、公衆に対するPAのためにも、取得データの品質保証は必要不可欠である。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。

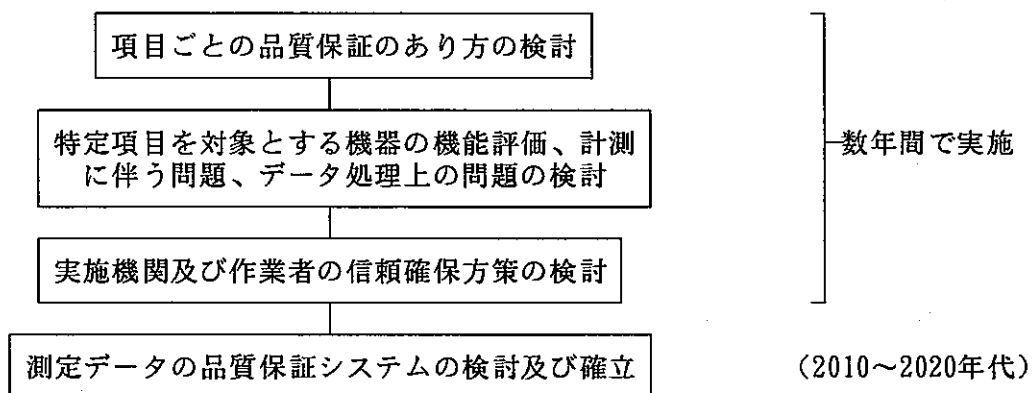


図3.4-1 測定データの品質保証に関する検討フロー（案）及びスケジュール（案）

### 3.5 実証用廃棄体に対する具体的モニタリング方法

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3.5-1に示す。

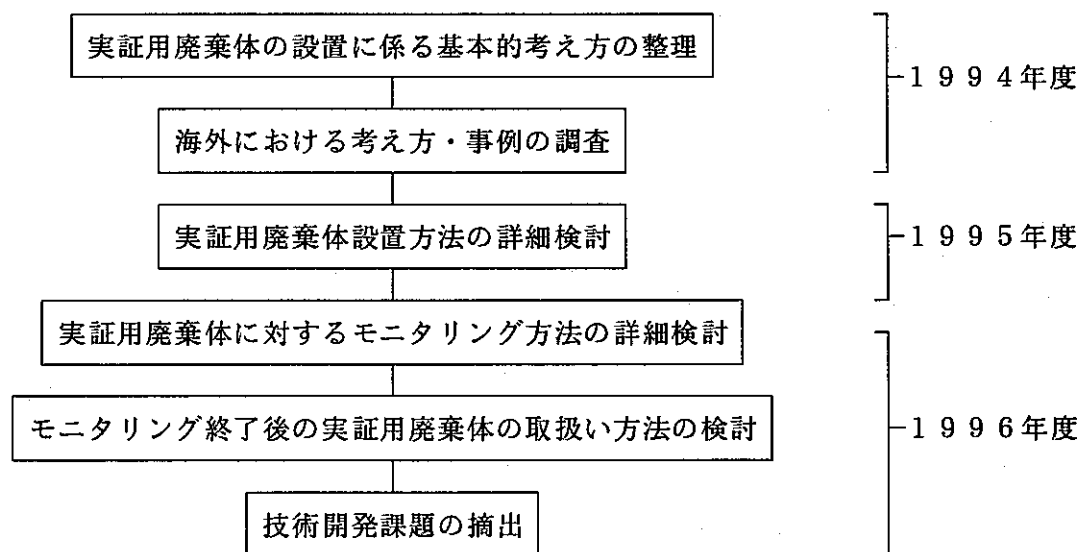


図3.5-1 実証用廃棄体に対するモニタリングに係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

### 3.6 モニタリングの長期継続方法

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と考えられる。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3.6-1のとおりである。

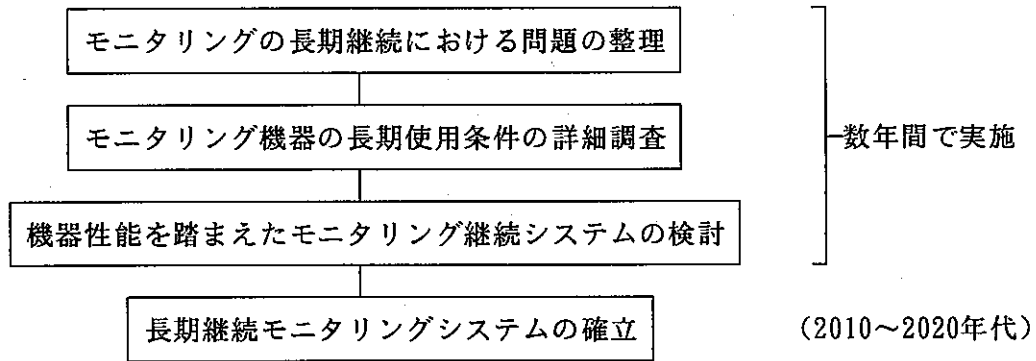


図3.6-1 モニタリングの長期継続方法に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

### 3.7 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

モニタリングはその終了時に使用した機器の処置が適切になされる必要があり、本課題の検討結果は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。本課題に係る検討のフロー（案）及びスケジュール（案）を図3.7-1に示す。

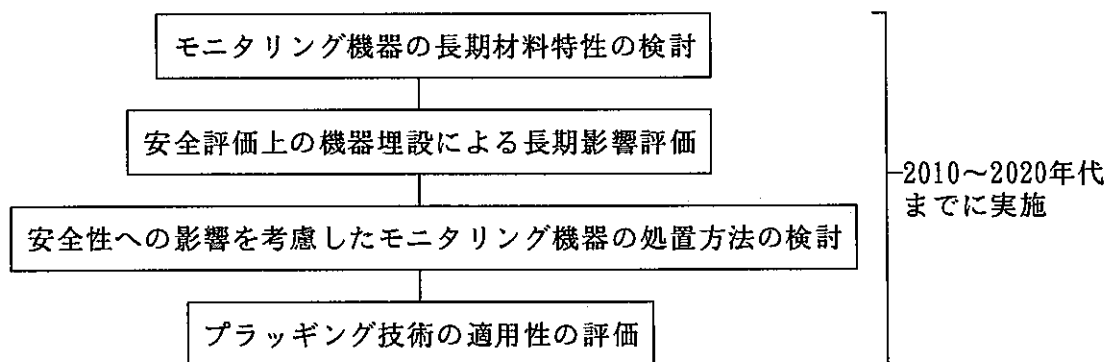


図3.7-1 モニタリング機器の撤去の影響に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

### 3.8 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されておく必要がある。図3.8-1にその検討フロー（案）とスケジュール（案）を示す。

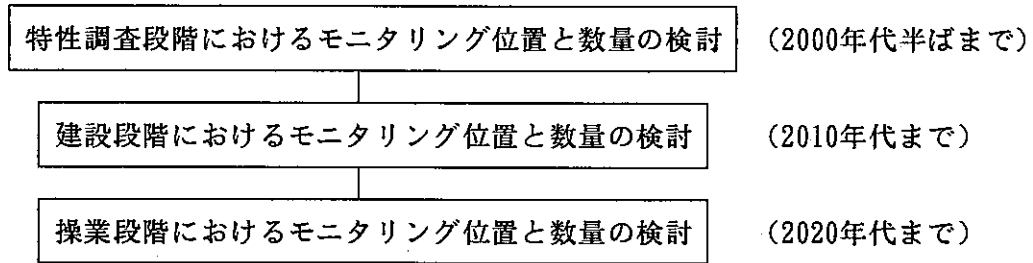


図3.8-1 モニタリング実施位置の詳細化のための検討フロー（案）及びスケジュール（案）

### 3.9 モニタリングデータの整理と公表の仕方

ここでは、モニタリングデータの整理と公表の仕方については、実施主体がモニタリングを主体的に実施すると捉え、そのサイト特性調査までに検討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3.9-1に示す。

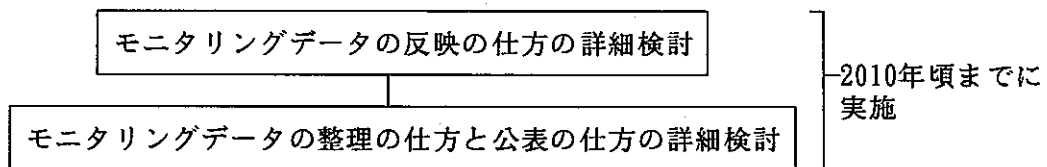


図3.9-1 モニタリングデータの整理と公表の仕方に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

### 3.10 放射線管理区域の設定のモニタリングへの影響

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、処分場施設の設計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。これらに係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）は以下のとおりである。

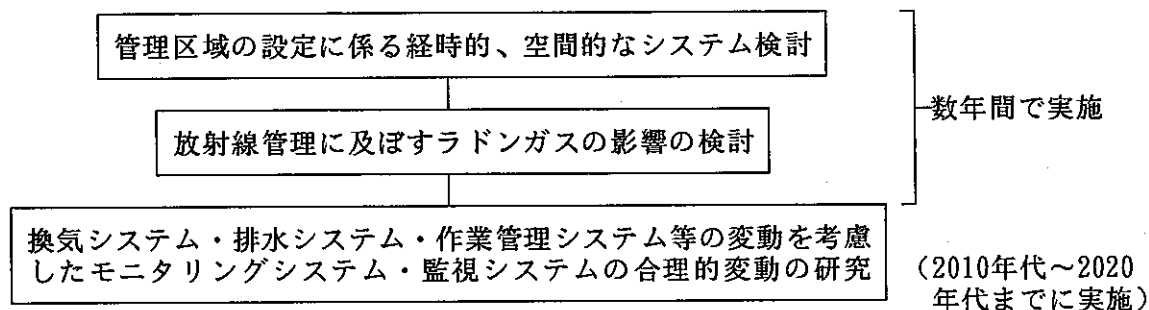


図3.10-1 放射線管理区域の設定のモニタリングへの影響に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

### 3.11 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上での問題

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ことが必要であると考えられる。これらに係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）を図3.11-1に示す。

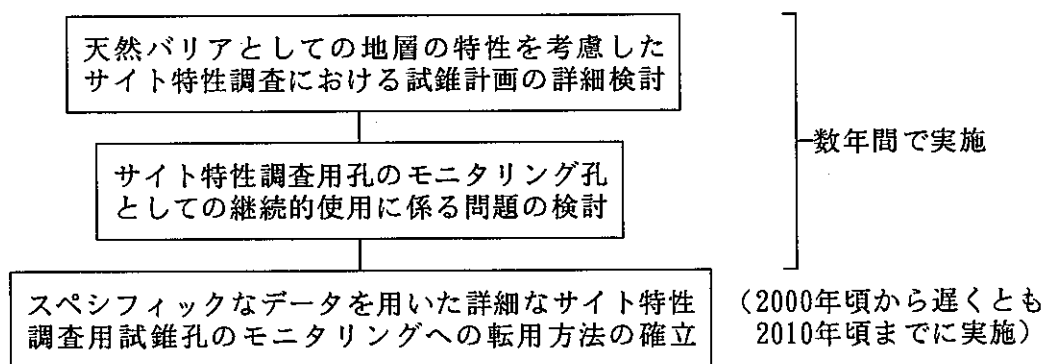


図3.11-1 サイト特性調査用試錐孔のモニタリングへの転用に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

### 3.12 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

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、基本的には操業段階の開始までには検討がなされている必要がある。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3.12-1のとおりである。

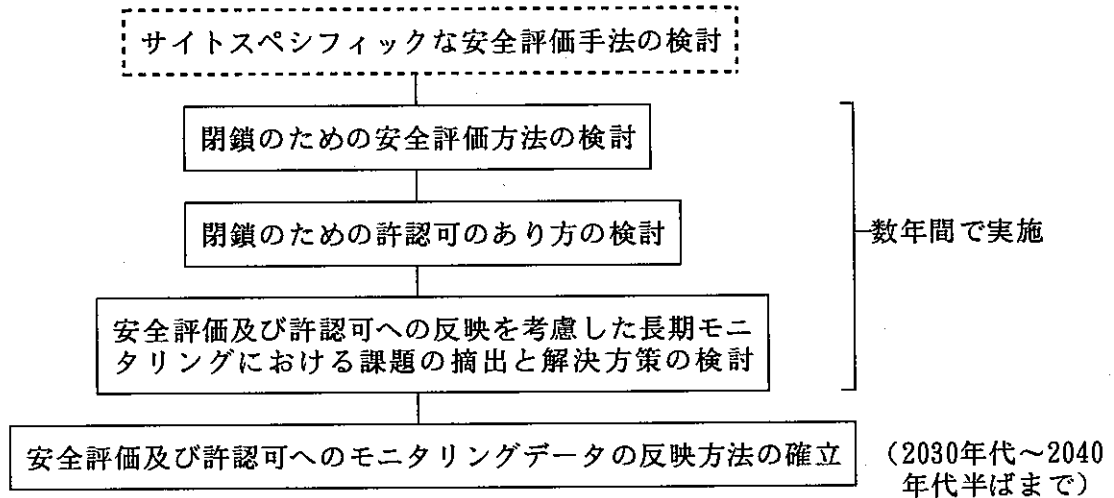


図3.12-1 閉鎖のための安全評価及び許認可へのモニタリングデータの反映に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

### 3.13 モニタリングの集中管理システムのあり方

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。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3.13-1のとおりである。

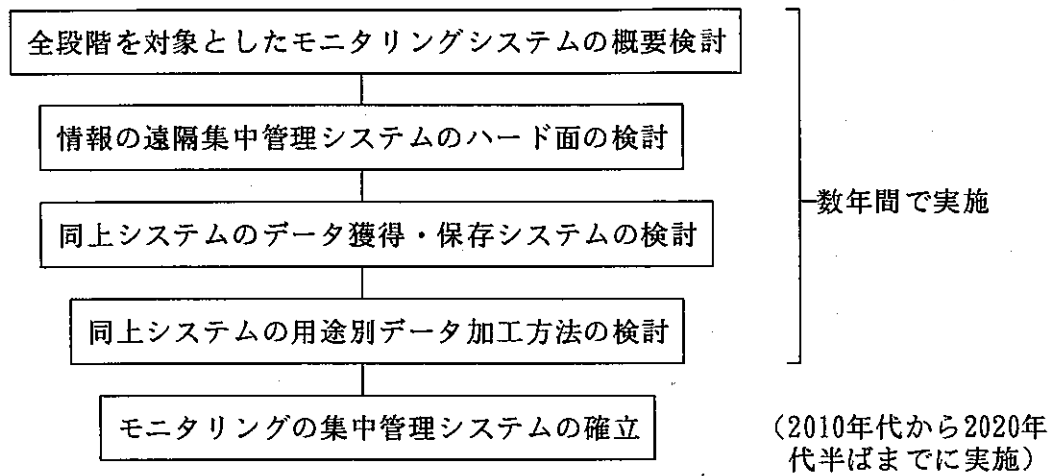


図3.13-1 モニタリングの集中管理システムのあり方に係る検討フロー（案）及びスケジュール（案）

#### 4 まとめ

今年度は、前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を受けて、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行った。

モニタリングは最終的には技術的、政策的にその実施範囲が決定されるものであるが、通常はその施設固有の問題を考慮すれば、広範に実施されると考えるのが妥当であろう。しかも、処分事業の期間が非常に長期にわたるため、モニタリング自体も非常に長期にわたる行為である。長期であるがゆえに、検討すべき課題の検討期限というものも長くとることができる。

しかしながら、処分場を構成する一要素であることに変わりはなく、したがって、処分場の設計時には基本的にモニタリングシステムも定められていることが望ましい。ただ、個々の規模は小規模であるため、実施位置や実施レベルの変更に裕度があることも確かである。また、一つの恐らく早めに検討しておくべき課題として、サイト選定、サイト特性調査で実施するボーリング孔を将来のモニタリング孔に使用する可能性の適否と適の場合の方法論の確立があげられる。

このように、モニタリングは時間を考慮すると、早めの研究開発がなされておくべきものと処分事業の進展を考慮してなされてあればよいものに分けうる。

しかしながら、この観点は技術的観点であり、経済性評価の観点ではシステムが早めに決定されることが望ましい。モニタリングは個々には小規模であるとはいえ、システムとして見、しかも長期間にわたって実施されることを考えると相応のコストがかかることも容易に想像できる。

なお、世界的には、地層処分であるがゆえにモニタリング等の管理はなるべく少なくする考え方もある。これは基本的には各国の地層処分政策ともいうべき基本的な考え方に依拠するものであり、モニタリングの実際の研究開発もその考え方の変遷の影響を受けるものと考えるのが妥当であろう。しかしながら、本研究でとりまとめた課題について検討しておくことは、逆に地層処分の進め方の検討に対しても有益な情報を提供するものと考えられ、今後のモニタリング技術とそのシステムの開発が望まれる。

今後、さらにモニタリングについて詳細な検討を進めていくために、地層処分の管理についての検討、地層処分場の詳細な設計検討、処分に関するスケジュールの検討、サイト条件の検討が行われることが望まれる。



## あとがき

本調査研究はモニタリングに係る包括的な検討を実施したものである。地層処分の実現プロセスにおいてモニタリングが相応の役割を果たすことは十分考えられる。残された課題には技術開発から位置づけや考え方の整理等まで様々なものがある。研究開発の進展と処分事業そのものの進展をにらみつつ、モニタリングに係る課題を明らかにしてゆくことが望まれる。

## 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。