

放射性廃棄物処分における モニタリングの調査研究Vol. 2

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)



1993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 Vol.2

田代晋吾*, 平野真孝*, 渡辺弘行*

要 旨

高レベル放射性廃棄物の処分においては、その処分システムの閉鎖後の安全性は制度的な管理に依存してはならないとされているが、国民の理解を得るためには、何らかの管理方法を検討しておくことが求められる可能性がある。

このような観点から、本研究では放射性廃棄物処分場のモニタリングをとりあげ、国内外におけるモニタリングの概念、実施方法等を調査した。

その結果、国際機関及び諸外国に関する文献調査からは、地層処分場の場合と浅層処分場の場合とでモニタリングの位置づけが異なること、及び、モニタリングの種類としては性能確認のためのモニタリングと環境モニタリングがあることがわかった。

また、わが国におけるモニタリングの事例についての現地調査からは、各施設ともに相応の環境モニタリングが実施されていることがわかった。そのうち、六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおいては、段階管理の考え方のもとに、性能に関わるモニタリングとして、地下水の監視システムが組みまれていることがわかった。

さらに、上述の調査結果に基づいて、今後のわが国における高レベル放射性廃棄物処分場のモニタリングのあり方の基本要件を検討した。

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：040D0268

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 Vol.2

Shingo Tashiro*

Masataka Hirano *

Hiroyuki Watanabe *

Abstract

It is said that the safety of a high level waste repository in the post-sealing period shall not rely on active monitoring, surveillance or other institutional controls or remedial actions after the time when the control of the repository is relinquished. However, it may be needed to study some controls to promote people's understanding of disposal.

From this point of view, in this study, concepts and methods of the monitoring in the foreign countries and in Japan have been investigated by means of literature and/or interview on each site.

As a result, in foreign cases, it has been shown that there is a difference about monitoring between high level disposal and shallow land disposal, and that the objectives of monitoring are classified mainly into performance confirmation and environmental safety.

Also it has become clear that appropriate environmental monitorings have been conducted at each site, and that the groundwater surveillance system has been equipped as a performance-relating monitoring system on the basis of the concept of stage control at Rokkasho low-level radioactive waste disposal center.

The scope and concepts of monitoring of a high level waste repository, which should be conducted in Japan, have been investigated based on the knowledge acquired by investigations above.

Work performed by Radioactive Waste Management Center, juridical foundation, under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.
PNC Liaison : Radioactive Waste Management Project, Isolation System Research Program (Noriaki Sasaki)

* : Second Research Division

目 次

まえがき	1
1. 本調査研究の位置づけ	2
2. 諸外国におけるモニタリングの現状	3
2.1 モニタリングの考え方	3
2.1.1 国際機関	3
(1) IAEA	3
(2) OECD/NEA	23
(3) ICRP	33
文献	39
2.1.2 諸外国	40
(1) アメリカ	40
(2) イギリス	78
(3) フランス	88
(4) ドイツ	100
(5) スイス	104
(6) スウェーデン	107
(7) カナダ	112
文献	120
2.2 まとめ	122
3. わが国におけるモニタリングの現状	140
3.1 日本原燃(株) 六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター	140
3.1.1 施設の概要	140
3.1.2 モニタリングに関する基本的考え方	147
3.1.3 モニタリングの現状	149
3.1.4 今後の地下水モニタリングに関する計画	163

3.1.5	事業者と国・県との関係について	163
3.2	(株)日本アイソトープ協会 茅記念滝沢研究所	166
3.2.1	施設の概要	166
3.2.2	モニタリングに関する基本的考え方	167
3.2.3	モニタリングの現状	167
3.2.4	滝沢村、岩手県との関係	172
3.3	東京電力(株) 柏崎刈羽原子力発電所	177
3.3.1	施設の概要	177
3.3.2	モニタリングに関する基本的考え方	177
3.3.3	モニタリングの現状	179
3.3.4	今後のモニタリング計画	186
3.3.5	廃棄物貯蔵庫を対象としたモニタリング	186
3.3.6	モニタリングの実施における事業者と国・県との関係について	186
3.4	わが国の放射性廃棄物のモニタリングに関連した基本的考え方	189
3.4.1	「環境放射線モニタリングに関する指針」の概要	189
3.4.2	「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」の概要	195
3.5	まとめ	201
	文献	205
4.	モニタリング技術の研究	206
4.1	モニタリングの位置づけの検討	206
4.1.1	モニタリングの位置づけの検討において考慮すべき事項	206
4.1.2	モニタリングの位置づけ	211
4.1.3	わが国において考えられるモニタリングの検討	214
4.2	モニタリング技術の検討要件	215
4.2.1	モニタリング技術の検討に必要な項目	215
4.2.2	モニタリング技術の検討方法	217
5.	今後の課題	219

6. まとめ 220

あとがき 222

謝辞 223

図 目 次

図2.1-1	ヤッカマウンテンサイト及び想定されている地下施設の位置	55
図2.1-2	ヤッカマウンテンサイトの簡略化した地質層序断面	56
図2.1-3	不飽和体における地下水流動の概念	57
図2.1-4	ヤッカマウンテンサイトにおける地表及び地下施設の概念図	59
図2.1-5	ヤッカマウンテンにおける垂直定置型の地下施設の概念	60
図2.1-6	ヤッカマウンテンにおける水平定置型の地下施設の概念	60
図2.1-7	WIPPサイトの位置	63
図2.1-8	WIPPサイトの地質断面	64
図2.1-9	WIPP地下施設の概観	65
図2.1-10	WIPPサイトにおける調査用試錐孔の分布	67
図2.1-11	水理測定用試錐孔の位置	68
図2.1-12	サバンナリバープラントの位置	73
図2.1-13	サバンナリバープラントにおける埋設箇所の位置	73
図2.1-14	ナイアガラフォールズ貯蔵サイトの断面形状	76
図2.1-15	ナイアガラフォールズ貯蔵サイトにおける性能モニタリング用間隙水 圧計の提案された設置位置	79
図2.1-16	ドリッグにおける処分概念	86
図2.1-17	ドリッグにおける処分概念の改良案	86
図2.1-18	ドリッグ処分場のサイトモニタリング	87
図2.1-19	ドリッグ処分場周辺の環境モニタリング	89
図2.1-20	ラマンシュセンターの平面図	93
図2.1-21	埋設用トレンチの断面	95
図2.1-22	コンクリート壁トレンチの平面図	95
図2.1-23	無筋コンクリートモノリス	96
図2.1-24	鋼製補強モノリス	96
図2.1-25	ウラン水酸化物用の特殊トレンチ	97
図2.1-26	中レベルのセシウム廃棄物用特殊施設	97
図2.1-27	ピット内貯蔵	98

図 2.1-28	照射化を受けた容器の貯蔵タンク	99
図 2.1-29	処分した状態のチュムリ	101
図 2.1-30	処分施設の概観	101
図 2.1-31	SFR の概念図	111
図 2.1-32	チョークリバー原子力研究所サイト	116
図 3.1-1	埋設施設の設置位置及び周辺の地形	142
図 3.1-2	埋設設備の概要	142
図 3.1-3	排水・監視設備位置図	153
図 3.1-4	地下水監視設備配置図	154
図 3.1-5	第 1 段階における排水・監視設備に係わる監視手順	155
図 3.1-6	第 1 段階における地下水監視設備に係わる監視手順	156
図 3.1-7	空間放射線の敷地外測定地点	164
図 3.1-8	環境試料の敷地外採取地点	165
図 3.2-1	茅記念滝沢研究所周辺における環境放射能測定及び環境試料採取地点	171
図 3.3-1	柏崎刈羽原子力発電所の全体配置図	178
図 3.3-2	環境放射線モニタリング地点図	181

表 目 次

表 2.1 - 1	閉鎖後モニタリングプログラムの概要	71
表 2.1 - 2	ナイアガラフォールズ貯蔵サイトにおけるサイト構成要素とそれに対するモニタリング内容	77
表 2.2 - 1	「高レベル廃棄物処分及びアルファ廃棄物処分に関する地層処分場の操業と閉鎖のためのガイドライン, IAEA-TECDOC-630」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ	125
表 2.2 - 2	「高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する安全原則と技術規準, IAEA Safety Series No.99」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ	126
表 2.2 - 3	「放射性廃棄物の浅層処分における操業経験, IAEA Technical Reports Series No. 253」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ	126
表 2.2 - 4	「低レベル及び中レベル放射性廃棄物の空洞内処分に関するサイト調査、設計、建設、操業、閉鎖及び監視, IAEA Safety Series No.62」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ	127, 128
表 2.2 - 5	「低レベル及び中レベル放射性固体廃棄物の空洞内処分, IAEA Safety Series No.59」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ	129
表 2.2 - 6	「放射性廃棄物の浅層処分, 長半減期放射性核種の受入れのための参考水準, NEA(1987)」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ	130
表 2.2 - 7	「放射性廃棄物の処分, 関連原則についての概観, NEA(1982)」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ	131
表 2.2 - 8	「放射性固体廃棄物処分に関する放射線防護の諸原則, ICRP Publication 46」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ	131
表 2.2 - 9	「公衆の放射線防護に関するモニタリングの諸原則, ICRP Publication 43」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ	132
表 2.2 - 10	「高レベル放射性廃棄物の地層処分, 10 CFR Part 60」に示されてい	

るモニタリングに係わる考え方のまとめ	133
表 2.2-11 「放射性廃棄物の陸地処分のための許認可要件, 10 CFR Part 61」に 示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ	134
表 2.2-12 「使用済燃料、高レベル廃棄物、TRU廃棄物の管理と処分のための 環境放射線防護基準, 40 CFR Part 191」に示されているモニタリン グに係わる考え方のまとめ	135
表 2.2-13 WIPPにおける環境影響評価のためのモニタリングプログラムのま とめ	136
表 2.2-14 ヤッカマウンテン、サバンナリバー、ナイアガラフォールズにおける モニタリングに係わる事例調査のまとめ	137
表 2.2-15 イギリス、フランス、ドイツにおけるモニタリングに係わる考え方 のまとめ	138
表 2.2-16 スイス、スウェーデン、カナダにおけるモニタリングに係わる考え方 のまとめ	139
表 3.1-1 各段階における管理内容	148
表 3.1-2 モニタリングの依拠する法令等	148
表 3.1-3 主なモニタリング項目	150
表 3.1-4 モニタリングの管理段階との対応	150
表 3.1-5 指定核種の選定における考慮事項	152
表 3.2-1 環境試料の採取及び調整	173
表 3.5-1 六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおけるモニタリングに係 わる事例調査のまとめ	203
表 3.5-2 柏崎刈羽原子力発電所及び茅記念滝沢研究所におけるモニタリングに 係わる事例調査のまとめ	204

写 真 目 次

写真 3. 1 - 1	埋設設備 5 基よりなる埋設設備群	143
写真 3. 1 - 2	埋設設備北側の排水・監視設備	143
写真 3. 1 - 3	埋設設備南側の排水・監視設備	145
写真 3. 1 - 4	地下水監視設備	145
写真 3. 1 - 5	地下水監視設備内の井戸	157
写真 3. 1 - 6	空間放射線量率監視用モニタリングステーション	157
写真 3. 2 - 1	200 ℓ ドラム缶による廃棄物の貯蔵状態	169
写真 3. 2 - 2	茅記念研究所入口にあるモニタリングポスト	169
写真 3. 2 - 3	測定用環境試料	175
写真 3. 3 - 1	モニタリングポストおよび T L D ポスト	187
写真 3. 3 - 2	固体廃棄物貯蔵庫	187

まえがき

通常の原子力施設に対しては、放射線あるいは放射性物質を対象とした環境放射線モニタリングは重要な地位を占めている。低レベル放射性廃棄物の埋設施設に対しても、環境放射線モニタリングは重要な地位を占める。

特に、諸外国における低レベル廃棄物の埋設施設の一部においては、敷地内における放射性核種の漏洩が認められ、敷地外への漏洩を制御するために実施するモニタリングは重要な地位を占めていると思われる。しかしながら、漏出の認められない（認められていない）低レベル廃棄物の埋設施設に対しても、モニタリングは重要である。

このようなことが実際意味を持つのは、法規制上、放射能濃度がある基準値以下であることの保証を求めており、それに対して上記のような現実的な対応をとる必要があるためと考えられる。しかしながら、高レベル廃棄物においては、地下深部に埋設すること、低レベル廃棄物に比べ短期間では放射性核種が漏出しない物理的、化学的に頑健な人工バリアで囲まれていること等から、従来の施設に対するような短期間での漏出は考えられない状況にある。このような短期間を対象としたモニタリングには、技術的観点からの実質的な意味は減じるものの、従来の原子力施設、特に低レベル廃棄物の埋設施設との対比等を考慮すると、同様のモニタリングの実施を求められることが考えられる。その際、高レベル廃棄物の埋設に特有のモニタリングも合わせて考慮する必要が生じてくるものと考えられる。

高レベル廃棄物の地層処分場に対して、閉鎖後のモニタリングの実施は極めて政策的な要素が反映される性格を有しているものといえる。本研究は技術的、政策的な観点で、高レベル廃棄物の地層処分場を対象として、特に操業以後におけるモニタリングに焦点を当て、諸外国とわが国を対象に文献調査と現地調査を行い、その結果をもとにモニタリングのあり方と概略的な技術的検討を行ったものである。

1. 本調査研究の位置づけ

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、人の管理下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も考えられることから、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。その場合に問題となるのは、管理の手段、すなわちモニタリングの考え方とその実施方法である。

これらを考慮して、高レベル放射性廃棄物の地層処分の研究開発において、上記のような閉鎖後の管理・監視方策の一つとしてのモニタリングの考え方とその実施に必要な技術を検討しておくことが必要である。本調査研究では、処分場のモニタリングに関する概念について、参考として低・中レベルをも含めた放射性廃棄物に関わる諸外国の例を調査検討するとともに、わが国におけるモニタリングの考え方について、原子力施設等のモニタリング例を整理し、わが国における高レベル放射性廃棄物の地層処分場のモニタリングのあり方の検討に資するものとする。

2. 諸外国におけるモニタリングの現状

放射性廃棄物の処分を計画している国々及び国際機関における処分に関わるモニタリングについて、文献等の公開資料を調査し、モニタリングの考え方、モニタリングの対象・範囲・実施項目等をまとめた。

2.1 モニタリングの考え方

処分に関してのモニタリングを行う目的、基準について、国際機関およびアメリカ・イギリス・フランス・ドイツ・スイス・スウェーデン・カナダを対象に整理した。

2.1.1 国際機関

IAEA（国際原子力機関）、OECD/NEA（経済協力開発機構／原子力エネルギー機関）、ICRP（国際放射線防護委員会）について、放射性廃棄物の処分における処分場閉鎖後の管理の考え方、その考え方に影響を与えると思われる基本的考え方等について規準表現を主体に以下にまとめた。

(1) IAEA

以下に示す規準等についてまとめた。

- ・「高レベル廃棄物処分及びアルファ廃棄物処分に関する地層処分場の操業と閉鎖のためのガイドライン (Guidelines for the operation and closure of deep geological repositories for the disposal of high level and alpha bearing wastes), IAEA-TECDOC-630, IAEA (1991)」
- ・「高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する安全原則と技術規準 (Safety Principles and Technical Criteria for the Underground Disposal of High-Level Radioactive Wastes, Safety Series No.99), IAEA (1989)」
- ・「放射性廃棄物の浅層処分における操業経験 (Operational Experience in Shallow Ground Disposal of Radioactive Wastes, Technical Reports Series No. 253, IAEA, Vienna (1985))」
- ・「低レベル及び中レベル放射性廃棄物の空洞内処分場に関するサイト調査、設計、建設、操業、閉鎖及び監視 (Site Investigations, Design, Construction, Operation, Shutdown and Surveillance of Repositories for Low- and Intermediate-Level Radioactive Wastes in Rock Cavities, Safety Series

No.62, IAEA, Vienna (1984) 」

・「低レベル及び中レベル放射性固体廃棄物の空洞内処分 (Disposal of Low- and Intermediate-Level Solid Radioactive Wastes in Rock Cavities: A Guidebook, Safety Series No.59, IAEA, Vienna (1983) 」

(a) 高レベル廃棄物処分及びアルファ廃棄物処分に関する地層処分場の操業と閉鎖のためのガイドライン (IAEA, 1991)

本文献では、操業と閉鎖の段階における環境モニタリング及び性能確認のためのモニタリング、試験が示されており、それらについて検討した。

なお、以下においては、枠内の記載は全て対象とした文献の該当部分の翻訳である。

(i) 通常操業のための放射線防護原則との関係における基本的考え方

通常操業時における管理の考え方は、モニタリングとの関係においては次のように記述されている。

包括的な放射線防護プログラムには安全な操業手順と共に、評価プログラムと放射線モニタリングのための準備作業が含まれる必要がある。放射線モニタリングの主要な目的は、作業者と公衆の放射線防護を確実にする (ensure) ためであり、国家当局により定められた放出限度に適合することを実証するためである。そして (通常の連続操業に関連した) 日常のモニタリング、(特別の操業に適用される) 操業のモニタリング、(実際の、あるいは疑いのある異常事態における) 特別のモニタリングという明確に分けられた三つの目的に対して行うべきである。モニタリングプログラムには人のモニタリングと環境への通常放出のモニタリングの両者が含まれる。放出のモニタリングはまた、異常状況の検知に役立つ可能性がある。例えば、処分場での事故後の異常事態における放出をモニタリングすることにより、その状況を評価し、対策の必要性について決定するために必要な情報を得るという原則的な目的を有しているべきである。

ここでは、通常操業時の放射線モニタリングの主要な役割として、日常の監視 (モニタリング) と異常事態への対応に役立てることの必要性が示されている。

る。

(ii) 操業中の事故時における放射線防護原則との関係における基本的考え方

操業時の事故との関係においては、モニタリングは作業者と公衆への安全の観点から次のように位置づけられている。

作業者に対しては、考えうる過度の放射線場及び／あるいは放射性物質の放出を検知するために地表及び地下の環境をモニタリングする。

公衆に対しては、考えうる過度の放射線あるいは放射性物質の放出を検知するために敷地外の環境をモニタリングする。

作業者と公衆という安全防護の対象の違いにより、特に重要なモニタリングの領域が異なるのが特徴となっている。

(iii) 継続的なモニタリング及び試験

ここでは、特に性能確認のためのモニタリング・試験についての位置づけが次のように示されている。

処分場の操業段階を通じて、モニタリングと試験が継続されるようなプログラムが立てられるべきである。それには、処分場環境の放射線モニタリングプログラムと、処分場システムの性能特性を確認する目的で初期段階から開始されたモニタリングや試験を継続するためのプログラムが含まれる。後者の操業段階のモニタリング・試験プログラムは、最後の廃棄体の定置後から閉鎖 (closure) 段階まで継続されるべきである。

モニタリング・試験プログラムにより、安全評価 (safety assessment) に対して継続した情報が提供される。予備的な性能規準 (criteria) は個々のシステム要素ごとに既に決められているはずであり、追加される情報により再評価される必要があるかもしれない。

モニタリングや試験の継続により、得られたデータをシステム構成要素の性能評価に反映させうることを述べている。

(iv)放射線モニタリング

通常操業時における放射線モニタリングプログラムは地表と地下で行われ、それは他の原子力施設と類似したものであるべきとしている。ただし、汚染箇所の特定に及ぼす換気の影響の低減のために、地下空洞におけるエリア・モニタリングと大気の採取および水の採取が考慮されるべきとしている。

異常時あるいは事故時においても、通常のモニタリングの継続は必要で、予防措置や修復措置の採用のために用いられるべきことを指摘している。

(v) 性能の確認

処分場操業時に行われる性能確認 (confirmation) プログラムは、処分場の閉鎖に対して十分な信頼性を与えるために必要となる付加的情報を得ることを目的としている。温度、湿度、ガス・水の組成、力学的水理的特性に関する情報は性能評価に有益となる。

廃棄物の定置作業が終了した後においても、処分場の最終的な閉鎖 (closure)が始まるまで性能確認のためのモニタリング・試験プログラムを継続するよう、国家当局が処分場操業者に求めるかもしれない。この期間は非常に短期間かもしれないし、数十年と長期間かもしれない。

放射線防護の適用範囲は、通常操業時と類似したものである必要があろう。

施設の安全性に関するモニタリングが行われるものの、この付加的モニタリング期間における主要な焦点は、性能の確認、すなわち処分場システムの長期性能予測の信頼性を増すことに向けられる。これも同様に操業期間に行われることの継続となろう。

この性能確認プログラムの実施において考慮されるべきことは、それまでのモニタリング情報、信頼性のレベル、モニタリングの実施に必要な地下へのアクセスの程度、地下空洞の埋戻しの程度、換気の程度、計画そのものが隔離性能に与える潜在的影響などである。

国家当局は、性能確認プログラムが完遂されるまで、定置した廃棄物を回収するオプションを維持するよう求めるかもしれない。万一、その結果が期待した性能を示しえないのであれば、この回収可能性 (retrievabili

ly) が考慮されることになる。

ここで述べられているのは、最後の廃棄体の定置が終了した後の閉鎖開始までの期間におけるモニタリングの役割である。この期間においては、性能の確認がモニタリングの技術的に主要な役割となるとしている。ただし、この期間を設けることの理由は示されていない。

(vi) 処分場の閉鎖 (closure)

処分場の閉鎖がなされる時の処分場の空洞状態には、埋戻し (backfilling) や密閉 (sealing) の様々な形態が考えられる。

しかしながら、処分場事業者や適切な国家当局者は、処分場システムが廃棄物長期隔離の予期機能を十分示すということの信頼性を確かなレベルで持つことが必要である。

国家当局により要求される程度になるまでは、モニタリングプログラムが埋戻しや密閉による閉鎖段階を通じて行われるかもしれない。

地表施設の解体プログラムもサイト状態が国家当局の規準 (criteria) に合うように回復した時に完了する。また、解体過程においては、汚染物を対象としたモニタリングは行われなければならない。

地下の処分場の存在が将来の地表部の利用に重大な制限となるものであってはならない。

ここでの閉鎖に関する表現においては、地表施設の撤去に、地表で行うモニタリング施設の撤去が含まれる可能性が読み取れるが、継続される可能性も読み取れる。ただし、継続されるとしても要件を満たしたことを確認した後での行為となり、技術面での本質的な意味はないものと考えられる。

(vii) まとめ

操業期間および最終の定置作業後の閉鎖が決定されるまでの期間、処分場性能を確認するためのモニタリングが継続されるとしている。また、閉鎖段階において、国の規準に適合することが基本的にはモニタリングの終了条件とされている。

(b) 高レベル放射性廃棄物の地層処分にに関する安全原則 (principles) と技術規準 (criteria) (IAEA, 1989)

(i) 安全原則No.1: 将来世代に対する負担

将来の世代に対する負担は、技術的、社会的、経済的な要因を考慮に入れた適切な時期に高レベル放射性廃棄物を安全に処分することによって最小限としなければならない。

この原則においてモニタリングを考えると、技術的、社会的、経済的には以下のような関わり方を考慮する必要があると考えられる。

- ① 技術的には、モニタリング技術そのものが、原則的には放射性廃棄物の安全な処分を損なうことがあってはならないということであり、少なくとも、そのような観点での十分な検討が必要であるということである。
- ② 社会的には、モニタリングを行う目的とその現状が、放射性廃棄物の安全な処分に対して有益な意識の高まりを提供するものであれば、十分その程度が検討される必要があるということである。
- ③ 経済的には、モニタリングの実施がそれほどの経済的負担をもたらすものでない限りは、モニタリングは考慮されうることである。

(ii) 安全原則No.2: 制度的な管理 (control) によらない安全性の確保

密閉 (sealing) 後の高レベル放射性廃棄物処分場の安全性は、処分場の管理が放棄された後、積極的なモニタリング、監視 (surveillance) あるいはその他の制度的な管理や修復措置の必要性に頼るものであってはならない。

この原則では積極的なモニタリング (active monitoring)、監視 (surveillance)、制度的管理 (institutional control)、修復措置 (remedial action) の項目が特に取り上げられ、それらに頼るべきではないとしている。ここで重要なことは、処分場の管理 (control) が放棄された後とされていることである。すなわち、処分場の密閉後の期間 (post-sealing period) にも、処

分場の管理は行われている期間があり、その期間においてはモニタリング等の上記の各手段はむしろ主要な管理手段であると読むこともできる。

例えば、国家当局の要請として、記録の保持が期待され、モニタリングが行われるかもしれないが、処分場の安全性はこれらの手段に頼るべきでない。

この表現は補足説明表現である。ここで言う処分場とは管理が放棄された後の処分場のことである。この表現は“管理後”の処分場の安全性の判断を左右する手段として、モニタリングなどが用いられてはならないとしているものであり、社会的な面でのモニタリング等の利用を制限しているものではないと考えられる。

(iii) 技術規準No.1：全体システムのアプローチ

高レベル放射性廃棄物処分の長期安全性は、多重バリア概念に基づき、処分システム全体としての性能を基礎に評価しなければならない。

この表現からは、モニタリングが、処分の長期安全性確保のための技術的方策として考えられる限り、処分システム全体としての性能評価に資する機能を有していなければならないと読むことができる。ただし、モニタリング自体に安全性に影響を与える側面があるため、両者を適切に考慮することが必要となる。

(iv) 技術規準No.5：処分場の設計と建設

高レベル放射性廃棄物処分場は、密閉（sealing）後も母岩とその周囲が安全機能を維持できるように設計、建設、操業そして閉鎖（closure）されなければならない。

さらに補足説明として以下の表現がある。

サイト確認 (confirmation) の初期段階とその後の処分場の建設閉鎖段階において、サイトの隔離能力ができる限り減じられないことがないよう、現場作業の実行と使用する技術に特別な注意を払わねばならない。これらの作業による擾乱の影響は安全性を考慮して評価する必要がある。処分場内に定置された工学的な構造物と廃棄物が、周辺環境の地下水文特性に影響を与えることによって、安全性に関係する母岩の特性を損ねないようにすべきである。

これらの表現は、前述したように、モニタリング自体が処分場の安全性を損なうようなことがなってはならない、あるいは、その程度が最小限に抑えられなければならないということを述べているものである。

(v) 技術規準No. 9 : 安全評価

放射線安全目標に対する総合的な処分システムの適合性は、可能な限り確証 (validate) されたモデルに基づく安全評価 (safety assessment) によって実証 (demonstrate) されなければならない。

さらに補足説明の一部として以下の表現がある。

使用するモデルは、実行可能な限り、実験室試験やナチュラル・アナログ、サイト調査 (investigation) を含む野外観察 (observation) による証拠と比較することにより、できる限り確証されなければならない。

モニタリングが技術的に行われる限り、どのような段階にあらうとも、モニタリングは安全評価モデルの確証のためのデータを取得し、提供する性格を有しているとみることができる。これは、実際問題、システムの変更が不可能に近いほどの状態であり、十分安全であることが常態として示されてきている、さらに、引き続いて十分な裕度を持って安全であることを示すことが求められる可能性があるためである。そのような役割は錦の御旗として挙げておく必要

があるものと思われる。

(vi) 技術規準No.10:品質保証 (quality assurance)

処分システムの構成要素、及び建設や操業を通してのサイトの確認から処分施設の閉鎖 (closure) に至るまでの全ての作業に関する品質保証プログラムを、関連する基準 (standards)・規準 (criteria) への適合を確実なものにするよう立案しなければならない。

技術的には品質保証行為の一環と見ることのできるモニタリングについても、基準・規準への適合がなされるよう検討される必要があることを示している。

(vii) まとめ

モニタリングを地層処分の長期安全性を評価するための技術的な方策の一つとして考える限りは、それは必要な技術要素ではあるものの、それ自体が長期安全性を損なう可能性を有しているがゆえに、適用方法に十分な注意が必要といえる。また、モニタリングを、データを取得し、評価解析に用いることに意味を見いだす積極的なモニタリングと、実質的に技術的な意味を持たせない消極的なモニタリングに分けうることを述べているものと考えられ、両者の使い分けが重要と思われる。

(c) 放射性廃棄物の浅層処分における操業経験 (IAEA, 1985)

本文献は浅層処分の操業に関する技術面での記述をしたものであり、そのうちのモニタリングに関連する監視 (surveillance) について以下にまとめた。

(i) 監視 (surveillance)

操業者は、修復措置が可能な限り素早くできるように、廃棄物の封じ込め (containment) システムのどんな欠陥も検知するための監視プログラム (surveillance programme) を実行するよう求められている。このプログラムはまた、それまでの安全評価を確証 (validate) する情報をも提供すべきである。そして、それは公衆を再度安心させ、操業期間と操業後の期間においてサイトが引き続いて安全であることの確信を増すことの一助となるであろう。

監視 (surveillance) プログラムは、放射能の放出の大きさと拡がりを決定し、地下水や他の経路中の移行による放射性核種の長期放出の予測を容易にするようなデータを収集するように立てられなければならない。監視 (surveillance) プログラムは、放射性核種がサイト境界を越える前に、処分施設からの移行について早期に警告を与えるものでなければならない。

対象が浅層処分であるために、また、諸外国の浅層処分における漏出の経験に基づいているために、監視 (surveillance) プログラムはある程度の漏出を前提としたものとなっている。バリア機能を嚴重に考慮している地層処分においては、この考え方はあまり適用できないであろう。

(ii) 操業後の監視 (surveillance)

処分場システムが十分に機能し、そして全ての操業が完了したならば、少なくとも初期の段階で、依然として、ある監視 (surveillance) を行う必要がある。操業後管理 (control) が必要な主要な理由は、放射線防護の要件に適合していることを保証 (ensure) することである。他の理由としては、規制側の要求、公衆の認知及び研究行為が挙げられる。この段階においては、地下水や他の試料のためのモニタリング箇所は最適な場所に位置している。モニタリングは処分場システムが予測した通りに挙動していることを引き続いて確認するために、恐らく頻度は下がるであろうが、続けるべきである。時折、目視による監視 (surveillance) を行うことは、制度的管理期間を通じて、フェンスや境界の標識などの特性に規則的に注意を払いつつ、様々な侵入者に対する障害物の健全性を確認するために必要である。

浅層処分であるために、処分場の性能が予測と合致しているか否かを確認しやすいという面がある。したがって、モニタリングも技術面での必要性が高いことを示していると言える。地層処分においては、性能の予測との合致の確認は、その変化の度合いが非常に低いものであると思われるため、信頼性あるも

のとしてどのように示すのかの検討は十分なされるべきであろう。また、モニタリング項目によってもその程度は異なるものとなろう。

- (d) 低レベル及び中レベル放射性廃棄物の空洞内処分場に関するサイト調査、設計、建設、操業、閉鎖及び監視 (IAEA, 1984)

本文献は次の(e)で示すIAEA(1983)をより技術的に示したものである。一連の段階について記述されているもののうち、閉鎖後の安全性と監視 (surveillance) についてまとめる。本文献に示された内容は空洞内処分場を対象としたものであるため、前記(c)項で扱った浅層処分よりは地層処分に近い側面があるものと考えられる。

- (i) 操業後段階の安全評価において考慮する期間

操業後の段階を、積極的な管理と監視 (surveillance) を維持することの出来る期間、処分場周辺における人間の活動が制限される制度的管理期間及びアクセスを制限しない期間という三つの期間に分けることが可能である。積極的な監視 (surveillance) は、全ての場合において实际的でなく、また技術的に正当と認められないかもしれない。しかし、操業段階から残存している機器のうちの幾つかは、さらにある期間維持できるかもしれない。その継続期間は第9章(処分場の監視)で示されている要因によって決定される。サイトの使用が制限される期間については、主として、重大な放射能の崩壊が生じるまでは、廃棄物への直接的なアクセスが存在するという、ありうるかもしれないが実際には起こりそうもないシナリオを除外することによって、システムの安全に貢献する。最後の期間の長さは、廃棄物の内容に依存する。もし、長寿命核種がある重大な量含まれているのであれば、この期間は、増大する重要性を地質学的な展開の中で考慮することとなるほどの十分な長さになりうる。

中低レベル廃棄物の空洞内処分の場合であるが、操業後の段階を、積極的な管理・監視の期間、制度的管理の期間、アクセスを制限しない期間に分けているのが特徴である。

- (ii) 操業後の管理 (post-operational controls)

操業後の長期安全性は、主として地質学的バリアによって支配され、工学バリアにより補足される。しかしながら、施工された密閉材の性能は、その質に応じて時間とともに劣化するかもしれない。

それゆえ、密閉された (sealed) 施設とその周囲の監視 (surveillance) は、バリアの健全性をさらに検証 (verify) するために、一定の期間にわたって継続されうるであろう。

そのようなモニタリングプログラムは操業期間中のモニタリングよりも広範なものではないかもしれない。しかしながら、そのプログラムは密閉した処分場からの放射能の放出や地質学的、水理学的状況の変化を検知するために十分感度の良いものでなければならない。

モニタリグの対象として、放射性核種と地質学的、水理学的特性を挙げ、一定期間のモニタリングの実施の可能性を挙げている。特に、人工バリアの想定される劣化状況の把握が要点として挙げられている。しかしながら、実際の施工前に行われると予想される人工バリアの中長期的性能予測が、初期の段階での劣化をあまり示さない結果を示すものであれば、この意味でのモニタリングの重要性は減じたものとなる。

(iii) 記録の保存 (record keeping)

設計、建設、操業の間に取得された記録は全ての監視 (surveillance) プログラムに必要である。その監視 (surveillance) にとっては、廃棄物中の重要核種のインベントリと化学組成などの特性と埋設位置が重要である。また、それまでのモニタリングプログラムの内容、結果とサイト特性も重要である。

記録に値する項目は以下の通りである。

(a) 母岩と被覆層の地球科学的調査データ

- ・地質層序
- ・岩石学的情報
- ・岩石と土壌の地球化学的特性
- ・水理地質学的状況と流向
- ・地質構造学的事象と地震事象
- ・地層の力学的挙動

(b) 処分場の設計データ

- ・立坑、試錐孔、空洞の大きさ、位置、深さ
- ・処分場が位置する地層の大きさ
- ・鉱床の探査データ
- ・鉱床の開発データ
- ・処分場周辺の資源
- ・採掘箇所と安全用残柱の位置
- ・残余の資源
- ・安全解析
- (c)処分場の操業データ
 - ・施設の歴史
 - ・使用した処分技術
 - ・処分した廃棄物の位置と量
 - ・埋戻し材と埋戻し技術
 - ・操業期間中の特別な発生事象と難儀した事項
 - ・残存空洞
 - ・敷地内、敷地外モニタリングデータ
- (d)処分した廃棄物の記載
 - ・廃棄物容器の数
 - ・放射性核種のインベントリ
 - ・放射能濃度
 - ・廃棄物の化学的、物理的組成
 - ・固化材、凝固材
 - ・包装物質とオーバーパックの種類と安定性
 - ・浸出率と予想される流出物
- (e)操業後データ
 - ・最後の密閉に関するデータ
 - ・施設に関する情報が保存されている位置
 - ・サイトの再利用に対する制限

上記項目のうち、操業後において経時的に変化する可能性のある項目 ((a)・

(d)の一部) が閉鎖後モニタリングにおいて必要となると考えられる。

(iv)処分場の監視 (surveillance)

監視 (surveillance) という用語は、処分場が前もって規定した条件や制限の範囲内で機能することを確認するために行われる全ての行為を示すために用いられる。放射線学的及びその他の監視 (surveillance) は操業段階においては明瞭に要求されるであろう。原則として、処分場の設計はどんな操業後の監視 (surveillance) にも依存したものであってはならない。しかしながら、処分場概念が受け入れられるようにするために、閉鎖 (shutdown) 後の監視 (surveillance) を含めることは必要であるかもしれない。

監視 (surveillance) に関連したモニタリングプログラムは次の三つの基本機能を満足するものである。

- ・作業者と周辺居住者の安全を保証すること

- ・どのような異常状況や事故も検知すること
- ・国の規則とICRP勧告に沿って環境汚染を計測すること

放射能以外に、処分場の隔離機能にとって重要な処分場とサイトの状況やパラメータをモニタリングすることが重要かもしれない。

…（途中省略）…。

機器の配置など多くの詳細事項はサイト固有のものであるので、モニタリングの程度や期間に対しての正確な勧告を系統立てて述べることはできない。モニタリング計画（plan）の評価において、規制主体は、正確さや精度などの測定結果の品質管理に対して特別の注意を払わなければならない。モニタリングデータは将来の性能についての予測能力や、その結果としての長期安全評価（assessment）に本質的に貢献するであろう。政府当局は制限された期間において必要となる操業後の監視（surveillance）のための規則を確立しなければならない。また、そのような監視（surveillance）のための法的規定を保証しなければならない。実施主体と政府当局の間で責任は明瞭に区別されなければならない。

ここでは、監視（surveillance）という用語がモニタリングよりも広い意味で用いられていることがわかる。また、操業後の監視（surveillance）に依存した設計を行ってはならないとしているが、処分概念の受容のためには閉鎖後の監視（surveillance）が必要かもしれないことを述べている。そのような閉鎖後の監視（surveillance）において、放射能と共に処分場やサイトの状況をモニタリングする重要性を示している。また、そのようなモニタリングデータは長期安全評価に用いるものであることを述べている。

（v）操業段階の監視（surveillance）

放射性物質を扱うどのような施設でもそうであるように、処分場に対しても放射線モニタリングは必要となる。このモニタリングは主として作業者の安全を保証するためのものであるが、容器の損傷やバリア機能の変化などを反映した、放射能レベルの変化を検知するという第2の目的もある。加えて、監視（surveillance）は、例えば処分場の健全性に関連する

ような様々な種類のバックグラウンドデータに必要な様々な非放射線モニタリングを含む。

それゆえ、監視 (surveillance) を次に示す調査 (investigation) とモニタリングに分けると都合が良い。

(a) 処分場とその周辺における放射線測定

- ・ 作業者の被ばく
- ・ 放出物のモニタリング
- ・ 周辺環境のモニタリング

(b) その他の測定

- ・ 地下水の酸性度や流量のような水理地質学的パラメータ
- ・ 降水量のような気象学的要因
- ・ 地震や処分場に起因する地盤の動き
- ・ ライニングへの負荷やグラウトバリアの健全性に関係した岩盤力学パラメータ
- ・ 安全解析 (analysis) に必要と思われるその他のパラメータ

重要なことは、処分場操業に先立って、これらパラメータの多くの初期値が確立されていなければならないかもしれないということである。操業期間中にはこの初期値との比較がなされる。操業期間の最後に埋戻し材に関連した調査などの、新しい局面をモニタリングするために新たな機器が導入される必要があるかもしれない。その結果、最終段階における処分場特性を閉鎖 (shutdown) と密閉 (sealing) に先立ってそろえることができる。

モニタリングプログラムの結果は操業後の監視 (surveillance) データとの比較に重要となろう。さらに、そのデータは事故を含む全ての異常状況の解析、評価に必要となろう。それゆえ、結果の記録と保存の適切な方法に注意が払われる必要がある。

… (途中省略) …。

原則的に、敷地内モニタリングは、どのような放出の検知や定量に対しても十分でなければならないので、敷地外モニタリングは必要とはならない。しかしながら、国の環境モニタリング網の一環としての他の機関によ

る敷地外モニタリングはあるかもしれない。

…（途中省略）…。

事故に対してのモニタリングプログラムの主要な目的は以下の項目である。

- ・事故の拡がりを局部的に食い止めることと拡がりの程度の決定
- ・作業者と周辺居住者に対する放射線の影響評価
- ・環境に対する放射線影響の評価

…（途中省略）…。

作業者に対する放射線モニタリングの標準的システムと日常作業としてのモニタリングの例は以下の項目である。

- ・携帯線量率計
- ・TLDのような被ばく線量計
- ・表面線量率のレベルの直接、間接測定機器
- ・空間線量及び／あるいは被ばく量の視覚的、聴覚的指示器を有する室内警告システム

ここでは、操業段階の監視（surveillance）について、放射線学的測定と施設の性能に関係するパラメータの把握に分けているのが特徴である。また、操業期間中のモニタリングデータが操業後のデータの評価にとって重要であることを述べている。これは、操業段階から操業後にかけて継続してモニタリングを行うことの重要性を述べているものである。

(vi) 操業後の監視（surveillance）

操業後の監視（surveillance）は必要かもしれないが、必要でないかもしれない。積極的な監視（surveillance）は实际的でなく、また技術的にも正当化されないかもしれない。一方、操業段階から存続しているいくつかの機器については、技術的に、あるいはその他の理由から決定される引き続く期間において維持されるかもしれない。そのような操業後監視（surveillance）のどのようなものも、その継続期間は、サイト状況と、移行シナリオ、事故シナリオの数学モデルにより決定されるだろう。

操業後の監視 (surveillance) の付加的要因は、閉鎖 (shutdown) 後のサイトの利用が許認可期間に規定された非常に厳格な制限を受けるであろうということである。監視 (surveillance) によって、未解体の地表施設は当局により認められていない目的に使用することができないことと、全ての必要な予防措置が処分場への侵入を避けるためにとられていることが確認されるべきである。同様に、ある一定期間はサイトの再利用は管理されるだろう。… (途中省略) …。

操業後のモニタリングプログラムが確立されるのであれば、放射能の予期しない放出の検知は可能となろう。この放出は起こりそうもないが、地質学的、水理地質学的変化や侵入の結果として生じることがあるかもしれない。自然に発生する変化の例としては、地層の地質学的不安定性 (沈降など) と地下水流路の変化 (岩石の溶解やバリアの喪失により新しい経路が生じることなど) がある。もし予期しない放射性核種の放出が検知された場合には、モニタリングプログラムは人間と環境への事故の影響を評価することを目的として、拡張されなければならないかもしれない。影響を軽減する措置や修復する措置が必要になるかもしれない。

操業後の監視 (surveillance) については、必要かもしれないが、必要でないかもしれないという立場をとっているが、積極的な監視 (surveillance) 行為は否定している。ただし、操業段階からのモニタリングの継続の可能性はありうるとしている。

放射性核種の放出の可能性は起こりそうもないとしているが、それがあろうる場合もあるとしている。これは中深度の処分場を想定しているからであり、より深部の高レベル地層処分場の場合には、技術的な対応がより十分であるため、放出の可能性はさらに十分に低いものとなろうし、万が一放出を想定したとしても、特定の期間内に放出を検知する可能性は相対的にさらに低いものとなろう。

(vii) サイトの将来

立坑とトンネルを密閉(sealing)し地表施設の解体をした後は、処分場の上部とその周辺での地表の利用に制限を課す必要があるかもしれない。また、再度の農耕などを含む地表面の復元があるかもしれない。しかし、全ての地下活動は制限されるだろう。

バリアとしての地層の機能が、処分場近傍における鉱業活動や試錐活動あるいは開削により、悪い方向に変化することがないように保証しなければならない。

ここでは、地表施設の解体後は地表と地下の土地利用を制限すべきことを述べている。この段階では技術的なモニタリングはなく、何らかの方法による監視(surveillance)のみがなされることを述べている。

(e) 低レベル及び中レベル放射性固体廃棄物の空洞内処分(IAEA, 1983)

本文献は前述(d)の元となった勧告表現を記述したものである。規制面での考え方を主体にまとめた。

(i) 操業後監視(surveillance)に関する規制面の考慮

空洞内処分概念は、閉鎖(shutdown)と密閉(sealing)後においては、最終的な信頼をどのような継続的な関与に対しても置いていない。操業後の監視(surveillance)は制限された期間においてのみありうる。また、それは通常業務としての環境監視(surveillance)プログラムに含まれる。規制者はそれゆえ、そのような監視(surveillance)のための規則を設ける必要がある。その際、サイトに対する責任が監視(surveillance)期間中に新しい組織体に引き継がれるかもしれないということは留め置く必要がある。

密閉(sealing)作業の終了後は、密閉(sealing)した施設について詳述した報告書が作られるべきである。その報告書は記録と共に、将来にわたって保存されるべきである。

閉鎖、密閉後は、人間のどのような行為にも最終的な信頼を置いてはいけないことを述べている。したがって、閉鎖後のモニタリングを、もし行ったとしても空洞内処分であるがゆえに、その目的は性能の担保を確認するような目的であってはならないということになる。

(ii) 作業時の安全性

放射線防護：線量率の敷地内モニタリングは、廃棄物がハンドリングされ、貯蔵されるエリアで必要となる。作業者に対するモニタリングは放射線防護の規則に適合するものでなければならない。また、適切な規制主体により線量限度が確立されなければならない。

サイトの汚染は廃棄物容器がハンドリングの間に損傷を受ける場合に限り起こりうる。そして、換気システムにより拡大する可能性がある。それゆえ、汚染の敷地内モニタリングの必要性は一定のエリアや状況に限定される。

従来の安全性：処分場と関連する施設の作業は既存の産業や鉱業の安全規則に適合するものでなければならない。

作業中の作業者に対する放射線モニタリングは換気システムの影響を受けるものであり、ハンドリングなどの作業と換気システムを考慮して、放射線モニタリングシステムが設けられるべきとしている。放射線の防護以外の安全性については、地下利用に関して既に適用されている法律の遵守を定めている。

(iii) 作業時のモニタリング

敷地内モニタリング：作業中の処分場サイトからの予想される核種放出のモニタリングは、作業許可において明記された放出限度を超えていないことを確認する必要がある。

処分場周囲と上位の母岩の状況がもし変化すれば、バリアの隔離・封じ込め機能(isolating and containment function)の劣化をもたらす可能性があるために、その状況をモニタリングすることは重要かもしれない。

そのような例としては、母岩内で生じる岩盤破壊の地震計による記録、

処分場直上の地表面の沈降の正確な測定、あるいは母岩内あるいは周辺における地下水流れの上流部や下流部での地下水化学組成の分析がある。

そのようなモニタリングはサイト確認 (confirmation) 段階から開始され、操業期間を通じて行われるべきである。それにより、サイト特性のバックウクラウンドとベースラインとなる値が設けられ、関連当局により指示される限り続けられる。

敷地外モニタリング：敷地外モニタリングは、敷地内モニタリングがどのような放出も検知し、定量するのに十分なものである必要があるため、必要とすべきでない。しかしながら、国の環境モニタリング網の一環としての他の機関による敷地外モニタリングはあるかもしれない。

敷地内モニタリングとして、放射線と共に、バリア機能に影響を与えると考えられる母岩内の力学的、水理的、化学的特性のモニタリングが挙げられている。

(iv) 閉鎖 (shutdown) の条件

処分場の密閉 (sealing) を正式決定する前に、規制当局は通常、次の条件が実行されていることをチェックすることとなる。

- (a) 廃棄物の定置作業が実施主体に示された操業許可の意図に合致した方法で行われてきていること
- (b) 最新の安全解析 (analysis) の結果が、短期的にも長期的にも密閉された処分場の十分な挙動を予測すること
- (c) 埋設された廃棄物とサイトモニタリングの結果の記録が利用できること

モニタリングデータが閉鎖の条件として挙げられていることは、操業期間中におけるモニタリングの重要性を示すものと考えられる。

(v) 操業後の安全性

操業後の長期間の安全性は主として、地質学的バリアにより担保され、

工学バリアで補足される。政府は、処分場が安全解析 (analysis) の予測に従った性能を示しているという保証を与えるために、サイトとその周辺の放射線に関する監視 (surveillance) を行うかもしれない。

ここではモニタリングという表現でなく、監視 (surveillance) という表現が用いられているが、処分場の性能が予測通りであることを示すために、そのためのデータを取得する手段として監視 (surveillance) が行われる可能性を示している。ただし、保証を与えることが目的であるため、その保証の程度が問題になると思われる。すなわち、真に技術的な保証を与えるというよりも、心理的な保証を与える意味合いが大きいと解釈すべきであろう。その意味で、どういうレベルでの保証を与えるためのモニタリングなのかを明らかにしておく必要がある。

(2) OECD/NEA

OECD/NEA (Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development) により、最近10年余りの期間において出版された放射性廃棄物に関する文献のうち、モニタリングに係わる考え方をまとめた文献を調査した結果として、以下に示す文献を対象とした管理の考え方や規準等についてまとめた。

- ・「放射性廃棄物の浅層処分、長半減期放射性核種の受入れのための参考水準 (Shallow Land Disposal of Radioactive Waste, Reference Levels for the Acceptance of Long-lived Radionuclides, Report of an NEA Expert Group, NEA(1987).
- ・「放射性廃棄物の長期管理、法的、行政的、財政的な側面 (Long-Term Management of Radioactive Waste; Legal, Administrative and Financial Aspects, NEA(1984) 」
- ・「放射性廃棄物の処分、関連原則についての概観 (Disposal of Radioactive Waste, An Overview of the Principles Involved), NEA (1982) 」

(a) 放射性廃棄物の浅層処分、長半減期放射性核種の受入れのための参考水準 (NEA, 1987)

基本的な放射線防護の概念と目標を放射性廃棄物の処分に適用するためには、個々の処分の選択肢の中においてそれぞれの廃棄物のタイプの放射線学的な受入

れのための特別な参考水準あるいは規準を開発する必要がある。本文献は、浅層処分施設における長半減期放射性核種を含む低レベル放射性廃棄物の処分のための受入れ規準を確立するための方法論について提案したものである。そのうち、処分施設の非放射線規準についての記述を以下に示す。

(i) 廃棄物受入れ規準の確立における非放射線規準

浅層処分のための一般的な廃棄物の受入れ規準(criteria)については、IAEAの文書(Safety Series No. 71)で広範に述べられている。示された問題を表(省略)に示す。これらの問題のいくつかは、操業段階においても操業後の長期の段階においても、明らかに埋設における放射線に関係しており、原則的に量を定めることのできるものである。その他はより細心の問題と正しい実行の問題である。後者の中で、専門家グループは特に構造的な安定性の要件の重要性を強調したい。そのような要件が重要なのは、廃棄体、廃棄物容器及びその他の処分施設の工学的特徴が損なわれない状態でより長くもてばもつほど、制度的管理期間において施設をモニタリングし、維持することが益々容易になるからである。そしてまた、そのような安定性の要件は一般的に総合的なシステム性能に対してプラスの影響を与えるであろう。それゆえ、そのような要件によって浅層埋設施設の性能と安全性の面で信頼を増すことができるであろう。

この表現は、浅層埋設処分においては、操業後の制度的管理期間において、構造的安定性をモニタリングすることにより、システム性能や安全性を推し量ることが可能になることを述べているものといえる。

(b) 放射性廃棄物の長期管理、法的、行政的、財政的な側面 (OECD/NEA, 1984)

本文献は放射性廃棄物長期管理の制度面での問題を扱ったものである。モニタリングとの関連においてその内容を検討した。

(i) 制度的管理の役割と本質

36. 他の原子力活動の場合と同様に、廃棄物貯蔵施設と処分施設の計画、建設、操業は一連の特定の規制の対象となる。これらには次のものが含ま

れる。

- ・封じ込め(containment) システムの安全性に寄与する技術的要件
- ・それらの要件が実際に遵守されていることをチェックする規定
- ・封じ込めシステムの期間にわたって効果を維持する上で役立つ規定

最初の二つの分類は全ての原子力設備に適用される典型的な規制（許認可発行体制と検査）である。三番目の分類は、ここでは「制度的管理(institutional controls)」という一般的用語で記述されるもので、長期の放射性廃棄物管理に特有のものである。

… (37. 省略) …

38. 技術的な封じ込めシステムに適用される制度的管理には三つの明瞭な目標がある。

- (i) 技術的な封じ込めシステムの健全性に直接あるいは間接的な形で好ましくない影響を及ぼすことのある人間の侵入を防止すること
- (ii) 施設、構造物、装置が優れた作動条件にあるようにすること
- (iii) 封じ込め施設からの放射能のコントロールされない放出がないことを確認するために周辺の環境をモニタリングすること

39. 管理については二つに分類できるかもしれない。

(a) 「積極的な(active)」 (あるいは、技術的な) 管理については、サイトの物理的な保護、保守作業、環境放射線のモニタリング、および、もし必要なら、修正処置を含む。

(b) 「受動的な(passive)」 (あるいは、行政的な) 管理については、侵入からサイトを守ることに関連した措置を含み、以下のものからなる。

- ・フェンスを張ること、標識や看板の設置
- ・地方、国、国際的なレベルでの公文書保管所に廃棄物についての詳細な記録（種類、量、場所）を保管しておくこと
- ・処分システムの場所と設計についての知識を永続させるその他の手段
- ・土地利用に関する制限

これら二つの分類の管理手段は片方しか使えないものではなく、様々な封じ込めシステムの技術的な特徴や時間の経過に伴う変化に応じて、単独あるいは組み合わせた形で適用することができる。これらの他、作業の中止

と閉鎖のための条件、解体、他の目的のためのサイトの再編および開放に関する特定の要件を付け加えることができよう。

40. 一連の技術的な管理作業における諸段階は明瞭には分けられないが、制度的管理の適用においては二つの主要な段階が識別可能である。

(a)処分あるいは貯蔵サイトの閉鎖 (closure) に先立つ段階 (すなわち、施設の操業段階)

(b)それに引き続く段階 (すなわち、施設が操業を止めた後の段階)

41. 閉鎖前の段階における制度的管理は他の原子力活動と非常に類似した条件のもとで適用され、それゆえ特に問題は生じない。

42. 閉鎖後の段階においては二つの可能性がある。

(a)第1の可能性：管理システムにおいて、技術的な障壁で達成される封じ込めを強化するための人間による管理が定められる。地表での貯蔵や浅層埋設はこの分類に入ろう。

(b)第2の可能性：ここでの管理システムは、かなりの程度まで廃棄物を隔離するよう (例えば、深地層中での高レベル廃棄物処分場)、また、制度的管理が実際必要とならないような固有の安全性を提供するよう設計される。しかしながら、制度的管理は安全性の目的のためには厳密な意味では必要ないという事実は、適切な記録を保持することによって処分サイトへの意識度を維持する目的で、あるいは心理学的な理由で、管理当局が管理活動のために望ましいと判断した場合には、管理当局はそのような整理をしてはいけないということを意味するものでないことは明らかである。

… (以下省略) …

制度的管理の目標の一つとして、環境放射線モニタリングを挙げ、それが積極的な管理の分類に含まれるとしている。

制度的管理の段階については、閉鎖前と閉鎖後に分けることができ、後者の閉鎖後の段階においては、高レベルの地層処分場の場合には、制度的管理が厳密な意味では必要ないことを認めているものの、意識的、心理的な理由からの必要性も認めている。

(ii) 制度的管理の浅層埋設への適用

(b) 閉鎖後の段階

56. 埋設作業が終了し、サイトが閉鎖された場合には、管理手段(control measure)としては以下のものが考えられる。

- ・サイトの警備（現地の条件により必要な場合）
 - ・操業段階に始められた放射線モニタリングプログラムの継続
 - ・埋設区域と設備の保守（時の経過とともに、自然の侵食、水の浸透、生物活動による損傷により損なわれる可能性がある。）
- …（途中省略）…

浅層処分の場合には、閉鎖後のモニタリングに関する制度的管理として、操業段階から引き続く放射線モニタリングを挙げている。

(iii) 制度的管理の地層処分への適用

58. 深部の地層中での廃棄物処分の安全性は、母岩となる地質環境、廃棄物の処理と梱包、およびサイトの工学的特徴で構成される物理的バリアの組合せに全体として依存している。原則として、この処分法は、どのような積極的な制度的管理も操業後では必要としない程、本質的には安全である。（主として、廃棄物近傍における浸透を避けるために行われる）サイトの閉鎖後に適用されるどのような管理手段も、余分な予防措置としてのみ見なすことができる。

(a) 閉鎖前の段階

59. この段階で行われる管理の目的は、施設の建設、運転開始、及び操業が、定められた安全条件に適合した形で行われるようにチェックすることにある。さらに、長期的な観点から、サイトの適性や処分システムの特徴、工学的な特徴ならびに廃棄物の定置条件に特別な注意を払う必要がある（採掘、廃棄物の形態、梱包とハンドリング、施設の運転上の安全性、サイト及びその周辺の放射線モニタリングなど）。

(b) 閉鎖段階

60. サイトの閉鎖が影響を受ける条件は、封じ込めシステムの安全性の重要な一部となる。サイトが実際に適しており、施設が適切な形で建設され、操業されていることが確認できるように、操業が終了した後のある期間にはアクセス用立坑は閉塞されず、施設も閉鎖されないであろう。この期間においては、許可されない接近を避けるために、サイトの警備及び監視 (supervise) が必要となる。また、施設を永久に閉鎖し (close down)、密閉する (seal) 決定が下されるまで、サイトの放射線モニタリングはなされるべきであるとも考えられる。

(c) 閉鎖後の段階

61. 施設が閉鎖された後は、サイトへの人員の配置の技術的な必要性は実際には存在しない。しかしながら、技術的な隔離システムは本質的な安全性を有しているという主張に重きが置かれているにもかかわらず、ある種類の監視 (surveillance) は実行されるかもしれない。これによって、管轄当局は、サイトを完全に放棄したわけではないという印象を与えることができるであろうし、象徴的なレベルにせよ、特定の期間についてはサイトの直接的な監視 (surveillance) も行われよう。

62. しかしながら、制度的な管理の主要な目的は、処分システムの健全性を損ねる可能性のある侵入を防止することである。実際には、廃棄物処分場の上の地表での多くの活動は、無害なものと考えられるが、こうした場所での地下深部での擾乱から、遠い将来において放射能が環境内に放出される可能性がある。こうしたサイトの健全性に間接的な影響を及ぼす可能性のある処分サイトの近くあるいは遠く離れた場所の全ての活動についてはできる限り考慮にいれなければならない。

(以下省略)

地層処分場を対象とした場合、まず操業段階においては、放射線モニタリングが挙げられている。

さらに、閉鎖中の段階が設けられており、その段階においては、閉鎖の決定がなされるまで立坑や坑道の閉鎖はなされず、接近を防ぐ監視が必要であり、

環境放射線モニタリングも行われるかもしれないとしている。

閉鎖後の段階においては、処分システムはどのような積極的な管理も本質的には不要であり、安全であるにもかかわらず、ある種の監視 (surveillance) は行われるかもしれないとしている。ただし、これらの表現の中に技術的な意味をもたせる監視 (surveillance) は含まれていない。システムの健全性を損なう恐れのある人間侵入を防ぐために監視 (surveillance) を含む制度的な管理が行われるべきであるとしている。

(c) 放射性廃棄物の処分、関連原則についての概観 (OECD/NEA, 1982)

本文献では、廃棄物処分の目標、処分の選択肢、原則の適用、許容性という極めて原則的な事項が示されている。これらの原則的な事項について、モニタリングの観点、モニタリングとの関わりについて検討した。

(i) 廃棄物処分の目標

廃棄物処分の目標は、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。

ここでは、「健康の防護」、「環境の保護」、「将来世代に対する責任」を守るべき重要な事項としている。

1) 健康の防護

健康の防護は現代世代に対するものであり、原子力関連施設周辺における環境放射線モニタリングとして、モニタリングの実施における基本思想となっている。

2) 環境の保護

環境の保護の観点で重要なことは、生物種全体の連続的な生存に対する脅威が存在してはならないということである。どのような影響が生じているのかを決定するために、また、生態系の長期的な安定性が乱されていないことを保証するために、注意深くモニタリングを行うことが必

要であろう。

環境放射線モニタリングにおいては、人の被ばくに直接関係がない場合でも、放射性核種の分布、蓄積状況等の把握に役立つ環境試料を採取し、放射能の測定を行うことの必要性が挙げられている。したがって、上記NEA の考え方は環境放射線モニタリングに取り入れられている考え方である。

3) 将来世代に対する責任

将来世代に対する現世代の関わり方として、社会的、経済的な側面から導出される異なる考え方を紹介しつつも、現世代は将来世代に対して自分達が受けたものよりも悪くならない状況を残すよう努めるべきだとの一般論でまとめている。

モニタリングに関しては、その行為自体が、将来世代に対して、経済的、社会的にどのような影響を与えるのかの検討が必要ということになる。モニタリングが大規模に行われることは経済的な負担を増すことであり、そうならない配慮が必要となろう。また、社会が許容可能なリスクレベルをどのように定義するのかにより、モニタリングの重要性が影響を受けるということであろう。

(ii) 処分の選択肢

処分の選択肢を考える上において挙げている項目は、分散と封じ込め (Dispersal and Containment)、受動的なシステムと永続的な配慮 (Passive Systems and Perpetual Care) である。

1) 分散と封じ込め

現実面を考慮すると、処分は分散と封じ込めの二つの概念で成り立つとしている。この観点からすれば、どの概念で安全を担保しているのかによって、モニタリングの基本的な適用方法が定まるといえる。

2) 受動的なシステムと永続的な配慮

処分の捉え方として、さらに、人間の関与に信頼を置かない方法（受動的なシステム）と行政面での管理の継続したバックアップを必要とする方法（永続的な配慮）の相反する二つの方法を紹介している。

継続的な人間の関与を必要とする処分方法を設計すべきだ、という考え、すなわち、永続的な配慮を優先した意見は、場合によっては「無期限の貯蔵 (indefinite storage)」とも呼ばれ、廃棄物は監視 (surveillance) 下に置くべきであり、何らの管理も考慮しない処分形態は利用すべきでないという考えに基づいている。

… (途中省略) …。

監視 (surveillance) 及び保守 (maintenance) を無限に行う必要のない方法は、受動的な方法と呼ばれている。(将来の世代に対する考え方としては、将来の世代に廃棄物管理の責任を負わせるべきでないこと、制度的管理 (institutional control) は結局は消滅するものだと考えることにまとめられる。)

ただし、監視 (surveillance) を継続しては信頼しない人も、将来の一定期間にわたって行政面での管理を維持することができ、また、受動的な工学バリアまたは天然バリアの部分的な肩代わりとして利用することの妥当性を認めている。問題はその期間の長さで、数百年よりも長くないことで合意が得られつつあるように思われる。したがって、この比較的短い期間に無害なレベルまで崩壊する廃棄物は、制度的な管理に頼った方法で処分できることになる。その他の全ての廃棄物に関しては、この種の制度的な管理に頼らない受動的な処分方法の開発が目標となる。

受動的な方法が放射性廃棄物の処分に関する現在の研究の主流となっているという事実から、制度的管理を、その継続的な存続と有効性が信頼できる限りにおいて、処分方法の基本的な要素として利用することになるだろう。

ここでは、処分に受動的な側面と積極的に関与する側面がありうることを示しつつも、1982年前後における潮流が受動的な処分方法を採用することに傾いていることを挙げ、継続的な存続と有効性が信頼できる範囲内においてのみ、制度的管理を認めている。したがって、この文脈からは、制度的管理

の一手法としてモニタリングを見る限りは、その有効性の存続性が重要な鍵となることが読み取れる。そして、その場合の有効性とは精確なデータが得られるという技術的有效性と人間が管理するという観点での制度的有効性であろう。

3) 回収可能性 (retrievability)

本項目においても、モニタリングに関連して重要な考え方が示されている。その内容の概略を以下に示す。

処分の定義の重要な点は、廃棄物を回収する (retrieve) 意図がないということである。したがって、封じ込め (containment) を意図した施設の場合、回収可能性は施設の閉鎖後の段階 (post-closure phase) に関しては必要条件ではない。このことは、廃棄物の定置を行っているか、閉鎖 (close) の決定を待っている状態で、処分施設が開かれている間においては、回収システムが確保されるべきではないことを意味するものではない。また、必ずしも処分された廃棄物が回収可能でないことを意味するものでもない。回収の意図がないことは、必ずしも回収が不可能であること (irretrievability) を意味するものでもない。

… (途中省略) …。

技術的理由以外の理由によって、処分施設に廃棄物の回収を容易にする機構を含めることが決定された場合には、封じ込め (containment) システムの健全性 (integrity) に悪影響を与えないように配慮しなければならない。処分施設の安全評価 (assessment) によって明示すべきことは、回収を容易にする機構の存在が、放射性核種の放出 (release) の可能性を許容できないほどに増大させるものではないということである。

技術的以外の例えば社会的な理由によって、定置したものの、密閉されずに、あるいは閉鎖されずに留め置かれる場合には、回収の可能性が考慮されることが考えられる。その場合、モニタリングは回収の判断の手段として重要な位置を占めるであろう。しかしながら、回収機構の一部と考えることのできるモニタリングシステム自体がバリア性能を著しく損なうことがあって

はならず、そのような観点での注意深い検討が必要であることを示している。

(3) ICRP

ICRP (International Commission of Radiation Protection) により示された諸原則のうち、以下のモニタリングに係わる諸原則についてまとめた。

- ・「放射性固体廃棄物処分に係る放射線防護の諸原則 (Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste, ICRP Publication 46), ICRP(1985)」
- ・「公衆の放射線防護に関するモニタリングの諸原則 (Principles of Monitoring for the Radiation Protection of the Population, ICRP Publication 43), ICRP(1985)」

(a) 放射性固体廃棄物処分に係る放射線防護の諸原則 (ICRP, 1985)

本文献では、操業上の見地の一部として、閉鎖前と閉鎖後のモニタリングのあり様を示している。主な主張点は、国家当局及び関連する国際機関により設定された環境モニタリングに係る標準的規則は、処分施設での操業期間 (active phase) に対して適用されること、処分施設閉鎖以後にもなお制度的及び技術的管理の必要なことは考慮されるべきであることである。

(i) 閉鎖前期間における公衆の防護のためのモニタリング

95. 処分の操業期間中には、現行の委員会勧告及び国の監督官庁と適切な国際機関が設定した規則に従って、環境と作業場所のモニタリングを行うべきである。モニタリングプログラムの基礎とすべき一般原則は、最近の刊行物(ICRP Publication 43) において委員会により再評価されている。処分のモニタリングの一般目標は以下のようにあるべきである。

- (i) 決定グループ及び決定集団の受ける可能性のある線量を評価(assess)すること
- (ii) 認定限度 (authorised limits)及び法的要件 (legal requirements) に適合していることを証明 (demonstrate)すること

上記表現は、操業期間中のモニタリングは、作業者の防護と公衆の防護のために、線量評価に資すべきこと及び規制に適合していることの実証に資すべき

ことを述べている。すなわち、モニタリングは安全評価の入力データを提供するとともに、評価結果の比較対象データを提供する役割も与えられている。

96. ある処分の事例においては、放射性核種の日常的な放出が大きい可能性はなく、全く起こらないかもしれない。このような場合、線源(source)のモニタリングは最小限にとどめるべきである。例えば、浅層処分 (shallow land burial) の場合、予想した放出率 (release rates) の確認 (confirm) 及びより大きな放出をもたらす予期しない事象のチェックを目的として、表面流出水中 (run-off waters) 及び最も近くにある帯水層中の放射能レベルの測定を行うことで十分であろう。

バリア性能が十分機能していると判断される場合には、線源（廃棄体あるいは複数の廃棄体を埋設した一体化した埋設設備）そのもののモニタリングでなく、地表水及び地層中の地下水を対象としたモニタリングで十分であるとしている。

97. 環境モニタリングの実際上の要件は、他の原子力施設のものと同じである。この要件は、環境中の物理的及び生物的に異なった区画部分における放射性核種、及び決定経路に沿った移行過程に関係したものである。この観点から、他の原子力施設と同様に、廃棄物処分場の場合の基礎となる値を算定評価しておく必要がある。その際、ベースラインの研究 (base-line study) に関連した実験的調査 (experimental investigations)、例えば多数の調査孔を掘ることによって、将来における処分場の長期間の健全性 (integrity) 及び安全性を危うくすることのないよう注意しなければならない。

ここでは、モニタリングの実際的行為自体が処分場の健全性や安全性を損なうことがあってはならないとしている。すなわち、モニタリングの実施が処分場の健全性や安全性に対してどのような影響を与えるのかを評価する必要があると言える。

(ii)閉鎖後期間における制度的及び技術的管理

98. 例え、モニタリングプログラムをいつまでも維持することが可能であったとしても、長期間にわたる廃棄物処分場の安全性が、十分な将来にとられる対策に依存できないものであることは一般に認められている。まさに、これが貯蔵と処分との違いの一つである。一般的な考え方では、このような管理 (control) は数十年間、あるいは百年間であっても信頼しうるものであるが、数百年後においては信頼性は低いものとなり、数千年後には全く無くなることになる。

モニタリングを伴う管理の期間として百年間は信頼しうるとしている。

99. 委員会では、処分場はその安全性が閉鎖 (closure) 以後の長期間において制度的管理 (institutional control) に依存しないように設計、建設しなければならないという原則を支持しているが、実際問題としてモニタリングと管理 (control) が処分場閉鎖 (closure) 後のある期間は恐らく維持されるであろうことは認識している。その理由は主に特定の社会的、政策的 (political) 要件を満たす必要性のためである。また、これらのプログラムが、人工バリアと地質学的バリアの挙動に関連したいくつかのフィールドデータを科学界に最終的には提供できるという可能性もある。

ここでは、明確に閉鎖後モニタリングの存在の可能性を認めている。そして、その理由は技術的な理由ではなく、社会的、政策的な理由であるとしている。ただし、その波及効果としては、技術面での貢献の可能性もありうることを示している。これは、モニタリングの実施理由とデータの利用においては別個の検討をすべきであることを示していると言える。

100. 前述の議論から、処分場閉鎖 (closure) 以後の一定期間にわたって、ある一定レベルのモニタリングが継続される可能性のあることがわかる。その方法は操業期間中に採用されていたものが引き続き行われることにな

ろうが、それにかかる労力の程度は徐々に縮小していくであろう。モニタリングの種類、実施程度、及び期間は、処分施設の種類の依存するであろう。例えば、深部の施設と浅部の施設とでは大いに異なるであろう。この段階では、モニタリングはサンプリングや分析のような積極的な測定 (measurement)を含む。

閉鎖後も行われるモニタリングは基本的には操業中のモニタリングが継続されるであろうとしている。そして、モニタリングの行為としてサンプリングや分析という積極的な測定行為も含まれることを述べている。

また、重要な考え方として、モニタリングの種類、実施程度及び期間が施設の種類のより異なることを挙げていることである。すなわち、浅層処分あるいは陸地処分等と呼ばれる主に低レベルを対象とした処分場に対するモニタリングシステムの地層処分場への適用については、基本的な相違を十分に考慮することが必要といえる。

101. 積極的なモニタリングの期間中やその期間後においては、閉鎖された処分場への人間の侵入 (intrusion)及び干渉 (interference) の可能性を減らすための受動的な手段がとられることになる。最も簡単な手段は、処分場の存在及び特性についての情報を保管しておくことであり、このことは、土地利用に関わるデータの中央及び地方での登記を通じて行われるであろう。さらに用心のために、敷地に標識や表示等の設置の方策を講ずるべきである。これらは、処分場についての情報が失われたり、場所が特定できなくなったりした場合に、将来の世代による処分場への不注意な侵入に対する防護となるであろう。

ここでは、閉鎖後の管理形態として、受動的な手段である標識や表示等の方策があることを挙げ、その実施の可能性を示している。当然のことながら、モニタリング期間中においても行われるとしている。

(b) 公衆の放射線防護に関するモニタリングの諸原則 (ICRP, 1985)

本文献は、原子力関連施設に対するモニタリングに関する原則を広範に説明し

たものである。特に、地層処分等に関連させた記述はない。そのため、ここでは用語の説明を主体に記述した。

(i) モニタリングとモニタリング計画

6. モニタリングとは、放射線や放射性物質の被ばくの推定、あるいはその管理に関連した理由からの放射線あるいは放射能の測定をいう。この言葉は測定(measurements)の意味を含む。モニタリングプログラムでは、測定のタイプと頻度、測定やサンプリングの方法、実験室における分析法、統計的検定手法、データ処理、解釈、記録の方法を明細に記す必要がある。試料採取網は線源と被ばくの経路に関連して注意深く選定されなければならない。モニタリングプログラムの最後には、個人あるいは集団に対する線量当量の評価がなされる。または、単に測定値を、適当に設定されたあるいは認定された限度と比較することが要求される。

いわゆる環境放射線モニタリングについてのモニタリングの詳細な定義であるが、その他のモニタリングに対しても基本的にはこの定義で扱っている事項を考慮すべきと考えられる。その際、被曝の経路の観点においては、取得するデータのパラメータが、線源とその取得する位置との間でどのような影響を有する関係にあるのかを検討することが重要となろう。

(ii) 操業の各段階

11. 操業の諸段階は、操業前 (pre-operational)、操業開始時 (commissioning)、操業 (operational)、解体 (decommissioning)、操業後 (post-operational) という実際の様々な段階で識別するのが便利である。

… (途中省略) …。

操業段階においては、モニタリングは認定された限度に適合していることを示すために適切でなければならない。それに対して、解体の段階においては、より集中的な、あるいは異なったプログラムが必要である。操業後の段階においては、非常な長期間についてのモニタリングのための要件が存在するかもしれないということは可能ではあるが、あまり考えられな

い。

地層処分場に当てはめてみれば、操作中と（閉鎖後と同義と考えた）操作後の段階におけるモニタリングは異なるということである。なお、一般的に処分においては閉鎖後の期間を対象としたモニタリングは考えてよいであろう。

(iii) 品質保証 (quality assurance)

79. 品質保証は、モニタリングプログラムの結果に適切な信頼を与えるために必要な、計画された、総合的な諸行為を含むものとして記述できる。品質保証は、装置、機器及び手続きそれぞれの適切さが、確立されている要件に対して評価されるような全ての諸行為を包含する品質管理 (control) を含む。どのようなモニタリングプログラムも、統合された部分としては次に述べるような品質保証プログラムを含むべきことが重要である。その品質保証プログラムとは、装置や機器が正常に機能し、手順が正しく確立され、実施されており、解析が正しく行われており、エラーが限定されており、記録が適切かつ迅速になされており、要求される測定精度が維持されており、系統的なエラーが生じていないということを保証するのに役立つものである。

上記に示す品質保証プログラムがモニタリングプログラムに組み入れられる必要があり、本研究においても検討すべきと考えられる。

文 献

ICRP Publication 43, Principles of Monitoring for the Radiation Protection of the Population, Annals of the ICRP 15, No.1, Pergamon Press, Oxford, 1985.

ICRP Publication 46, Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste, Annals of the ICRP 15, No.1, Pergamon Press, Oxford, 1985.

International Atomic Energy Agency(1983) : Disposal of Low-and Intermediate-Level Solid Radioactive Wastes in Rock Cavities: A Guidebook, Safety Series No.59, IAEA, Vienna.

International Atomic Energy Agency (1984) : Site Investigations, Design, Construction, Operation, Shutdown and Surveillance of Repositories for Low- and Intermediate-Level Radioactive Wastes in Rock Cavities, Safety Series No.62, IAEA, Vienna.

International Atomic Energy Agency (1985) : Operational Experience in Shallow Ground Disposal of Radioactive Wastes, Technical Reports Series No.253, IAEA, Vienna.

International Atomic Energy Agency (1989) : Safety Principles and Technical Criteria for the Underground Disposal of High-Level Radioactive Wastes, Safety Series No.99 , IAEA, Vienna.

International Atomic Energy Agency (1991) : Guidelines for the operation and closure of deep geological repositories for the disposal of high level and alpha bearing wastes, IAEA, Vienna, IAEA-TECDOC-630.

Nuclear Energy Agency (1982) : Disposal of Radioactive Waste, An Overview of the Principles Involved, OECD/NEA, Paris.

Nuclear Energy Agency (1984) : Long-Term Management of Radioactive Waste; Legal, Administrative and Financial Aspects, OECD/NEA, Paris.

Nuclear Energy Agency (1987) : Shallow Land Disposal of Radioactive Waste, Reference Levels for the Acceptance of Long-lived Radionuclides, Report of an NEA Expert Group, OECD/NEA, Paris.

2.1.2 諸外国

下記の各国における放射性廃棄物の管理に関する法規制、目的、項目及びその内容について調査した。

- ・アメリカ
- ・イギリス
- ・フランス
- ・ドイツ
- ・スイス
- ・スウェーデン
- ・カナダ

(1) アメリカ

アメリカでは、原子力発電所から発生する使用済燃料は再処理せず、直接、地層処分する計画であり、軍事施設から発生する高レベル放射性廃液は、ガラス固化、中間貯蔵した後に地層処分する計画である。

民間施設から発生した高レベル廃棄物及び使用済燃料は、連邦政府が国の責任として引取り、軍事施設から発生した高レベル廃棄物とともに処分することが定められており、その管理はエネルギー省の民間放射性廃棄物管理局 (Office of Civilian Radioactive Waste Management) が担当している。

(a) 放射性廃棄物の管理に関する法規制

(i) 法規制の概要 (Burholt and Martin, 1988)

アメリカの処分計画の策定及びその推進は、1982年の核廃棄物政策法 (Nuclear Waste Policy Act, 1982)、及び同法に基づきエネルギー省の民間放射性廃棄物管理局が1985年にまとめたミッションプラン (DOE, 1985)による。両者とも、予算上の問題やサイト住民の反対等により、計画の変更や遅れがあるものの、公式にはなお基本計画として認められている。なお、もともとの基本となった法律は原子力法 (Atomic Energy Act, 1954)であり、低レベル廃棄物に関しては、低レベル廃棄物政策法 (Low Level Radioactive Waste Policy Act, 1980)がある。

アメリカにおいては、エネルギー省が核廃棄物の管理、貯蔵、輸送、処分のための技術開発と計画立案に主導的な責任を有している。

核廃棄物政策法の用語の定義によれば、処分 (disposal) は「高レベル放射性廃棄物、使用済燃料、もしくは他の高放射性物質を、それらが状況によって回収可能かどうかを問わず、将来回収する意図なく処分場に定置すること」とされている。10 CFR Part 60 (NRC, 1983)における定義によれば、処分は「放射性廃棄物を接近可能な環境から隔離すること」とされている。ミッションプランでは処分の用語自体の定義はないが、地層処分の基本概念として、「現存する機関に長期的に依存することなく、廃棄物を人間環境から隔離すること」とされている。

これらの内容からアメリカにおける処分の定義は、

- ・回収の意図がないこと
- ・特定組織に長期的に依存しないこと
- ・人間環境から隔離すること

にあると判断される。

さらに、核廃棄物政策法やミッションプランにおいては、監視付回収可能貯蔵 (Monitored Retrievable Storage, MRS) 計画が示されている。これは、発電所における使用済燃料貯蔵能力の不足を補うものであって処分の代替案ではなく、また、処分計画の遅れに対応するものではないが、現実的に見て一時的には処分計画の遅れに対応することができるという点で注目される。しかし、名称からも、また、施設概念からみても、回収を意図したものであり、その点で処分に代わるものではない。

1) 廃棄物の分類

環境保護庁 (Environmental Protection Agency, EPA) は、原子力規制委員会 (Nuclear Regulatory Commission) が 10 CFR Part 61 で規定した浅層処分サイトで受け入れる最大濃度を超える廃棄物を高レベル廃棄物としている。このEPAの基準は使用済燃料、再処理した高レベル廃棄物、ある種の長寿命核種を含む廃棄物に適用される。

低レベル廃棄物は、核廃棄物政策法により次のような廃棄物としている。

- ・高レベル廃棄物、使用済燃料、TRU 廃棄物あるいは1954年原子力法で定義した副産物でないもの
- ・既存の法律に整合して、NRC がLLW として分類したもの

2) 組織構造

連邦段階では、次の三つの省庁が廃棄物管理政策の実施に責任を有している。

- ・原子力規制委員会は、処分方法が長期の廃棄物管理にとって安全であることを保証するための規則を定め、実施する。
- ・エネルギー省は、商業用使用済燃料、高レベル廃棄物、全ての軍事廃棄物のハンドリング、処理、貯蔵、輸送、処分の技術を開発し、計画を立案する主導的責任を有している。
- ・環境保護庁は、NRC が詳細な規則を定める元となる環境基準を定める。

州政府は州内において発生した低レベル廃棄物の処分容量に備える責任を有している。高レベル廃棄物は州政府の責任となっている。

3) 1980年低レベル廃棄物政策法

この法律はそれぞれの州政府に州内で発生した低レベル廃棄物の処分容量に備える責任を与えたものである。

4) 1982年核廃棄物政策法

この法律は高レベル放射性廃棄物と使用済燃料の影響処分に対する連邦政府の責任を制定しているものである。そして、DOE に対して地層処分場を建設し権限を与えている。中間貯蔵計画も述べられており、DOE に対して監視付回収可能貯蔵施設の申請書の提出を求めている。これらの計画はDOE の内部組織である民間放射性廃棄物管理局によって監督される。

5) 基準と規準

高レベル廃棄物及び使用済燃料に関しては、核廃棄物政策法に基づき、EPA は1985年に「使用済燃料、高レベル廃棄物、TRU 廃棄物の管理と処分に關する環境放射線防護基準 (40 CFR Part 191)」を發布した。この規則には、使用済燃料と処分に先立つ廃棄物の管理による公衆の放射線被ばくの基準が定められ、また処分システムの包蔵の基準とこの包蔵が適合していることの保証をする要件が定められている。

1983年にはNRC は核廃棄物政策法に基づき、「地層処分場における高レベル放射性廃棄物の処分に關する規則と規制 (10 CFR Part 60)」を發布した。この規則は地層処分場を建設する許認可のためのDOE の申請をレビューする

ために使われる技術規準を含むものである。この規則は、また、立地、設計、廃棄物容器の性能の要件を示し、人工バリア性能の規準、処分場と容器の設計規準を定めている。

これらの規準や規則はDOE が1984年に発布した「核廃棄物処分場のためのサイトの推薦に関する一般的ガイドライン (10 CFR Part 960)」に組み入れられている。このガイドラインは、環境と社会経済的な受容性を決定する要因とともに、廃棄物の隔離に潜在的に重要な要因（水理地質、地球化学、テクニクス、幾何学的配置）などを含むものとなっている。

WIPP地下処分施設で扱われる予定の“contact handled” TRU廃棄物についての廃棄物受入れ規準（WIPP-WAC）も制定されている。

低レベル廃棄物については、NRC が「放射性廃棄物の陸地処分に関する許認可要件 (10 CFR Part 61)」を発布している。この規則は陸地処分のための性能目標と技術的要件を含むもので、放射能の放出による公衆への許容被ばく線量レベル（年間0.25mSv を限度）を示している。

以下、NRC の10 CFR Part 60, 10 CFR Part 61及びEPA の40 CFR Part 191 の各法規について、モニタリングに関連する記述について検討を行った。

(ii) 10 CFR Part 60—Disposal of High-Level Radioactive Wastes in Geologic Repositories

本法律は高レベル放射性廃棄物の地層処分に関しての、サイト特性調査、許認可、建設、閉鎖、性能目標、設計規準、性能確認要件などについて広範に規定したものである。これらに関連して、モニタリングに関する諸規定が定められており、それらについてまとめた。

1) § 60.51 永久閉鎖のための許認可修正条項

(a)DOE は永久閉鎖 (permanent closure)に先立って、許認可を修正するための申請書を提出しなければならない。その具申は§ 60.21(申請内容について規定) と § 60.22(申請の記入と区分について規定) に基づいて提出された最新の許認可申請書であり、次の事項を含まなければならない。

(1)地層処分場の永久閉鎖後のモニタリングプログラムについての記述

(2)土地利用管理、記念碑の建設、記録の保存などの、地層処分場内に定置した廃棄物の長期隔離 (long-term isolation)を損なう可能性のある活動を規定し、あるいは避けるために、そして関連情報が将来世代の利用のために保存されるのを保証するために採用される手段を詳述したもの… (途中省略) …

(3)定置した放射性廃棄物の長期隔離に関しての操業期間の間に取得された地質学的、地球物理学的、地球化学的、水理的、そしてその他のサイトに関するデータ

(4)開削領域の埋戻し (backfill)、立坑の密閉 (sealing)、廃棄物の母岩との相互作用に関連した試験、実験、その他の分析の結果、及び地層処分場内の定置した廃棄物の長期隔離に関してのその他の全ての試験、実験、分析

(5)永久閉鎖のための計画の実質的な改訂版

(6)許認可が出された時に利用できなかった、永久閉鎖に係るその他の情報… (以下省略) …

(Feb. 25, 1981, as amended at June 21, 1983; July 3, 1989)

この条項によれば、閉鎖後のモニタリング計画は永久閉鎖の許認可を得るために必要な事項となっている。

2) § 60.132地層処分場の操業地域における地表施設のための付加的設計規準

(a)廃棄物の受入れと再取り出しのための施設… (内容省略) …

(b)地表施設の換気… (内容省略) …

(c)放射線管理と放射線モニタリング

(1)放出物の管理 (effluent control). 地表施設は § 60.111(a)の性能目標に合致するように、通常操業の間は放出物中の放射性物質の放出を管理するように設計されなければならない。

(2)放出物のモニタリング. 放出物のモニタリングシステムは、放出が放出物管理の設計要件に適合しているかどうかを決定するために、十分な精度でもってどんな放出物であってもその中の放射性核種の量と

濃度を測定するよう設計されなければならない。

(d)廃棄物の処理…（内容省略）…

(e)解体の考慮…（内容省略）…

(Feb 25, 1981)

この条項では、操業期間中は地表施設で換気や排水中の放射性核種の濃度と量をモニタリングしなければならないとしている。

3) § 60.140性能確認プログラムについての一般的要件

…（省略）…

(c)このプログラムは、上述した性能目標を達成するために適切であるかもしれないので、原位置でのモニタリング、実験室および野外での試験（testing）、原位置試験（in situ experiments）を含まなければならない。

(d)このプログラムは以下のように実施されなければならない。

(1)性能目標に合致させるために、地層処分場の天然バリア及び人工バリアの機能に悪い影響を与えない。

(2)サイト特性調査（characterization）、建設、操業活動により変化するかもしれない地質環境に関連したパラメータと天然のプロセスについての情報のベースラインとなる情報と解析を与える。

(3)地層処分場の性能に影響を与えるかもしれないパラメータの基礎となる状態からの変化をモニターし、解析する。

(4)データのフィードバックと解析のための確立された計画（plan）及び適切な行為の実施を準備するものとなる。

(June 21, 1983)

この条項では、性能の確認の手段の一つとして、原位置において必要なパラメータをモニタリングすることを要件としている。

4) § 60.141地質工学的パラメータと設計パラメータの確認

(a)処分場の建設と操業の間、監視 (surveillance)、測定、試験、地質調査 (mapping)を継続するプログラムが、地質工学パラメータと設計パラメータが確認されることを保証するために、そして適切な行為が、実際に得た現場条件 (field conditions) を適応するための設計において必要とされる変化について委員会に知らせるために、行われるということを保証 (ensure) するために実行されなければならない。

(b)地下の条件は設計の仮定 (assumptions)と対照してモニターされ、評価されなければならない。

(c)、(d)… (内容省略) …

(e)地下施設の熱的、力学的応答性の原位置モニタリングは、天然バリアと人工バリアの性能が設計の限度 (design limits)内にあることを保証 (ensure) するため、永久の閉鎖まで実施されなければならない。

(June 21, 1983)

地質工学的条件が設計条件を確認し、保証するために行われる必要があるとしている。また、地質工学的パラメータに関するモニタリングの実施が、性能が設計の範囲内であることを確認するためであることを示している。

5) § 60.143廃棄物容器のモニタリングと試験

(a)廃棄物容器の状態 (condition)をモニタリングするためのプログラムが、地層処分場操業地域で確立されなければならない。そのプログラムのために選定した廃棄物容器は、地下施設で定置される容器を代表するものでなければならない。

(b)～(d)… (内容省略) …

(June 21, 1983)

性能確認プログラムには廃棄物容器のモニタリングも含まれている。

(iii) 10 CFR Part 61 — Licensing Requirements for Land Disposal of
Radioactive Waste

本法律は陸地処分のための許認可要件を規定したものである。これらに関連して、モニタリングに関する諸規定が定められており、それらについてまとめた。

1) § 61.2 定義

… (途中省略) …

モニタリングとは、処分サイトの性能 (performance) 及び特性 (characteristics) を評価するためのデータを供給する観察と測定を行うこと (observing and making measurements) をいう。

… (途中省略) …

サイトの閉鎖と安定化 (site closure and stabilization) とは、処分サイトを保護するために行う準備作業に関してとられる諸活動、及び処分サイトが安定な状態で止まり、進行中の積極的な維持管理を必要としないことを保証する諸活動をいう。

… (途中省略) …

監視 (surveillance) とは、補修の必要性、管理上の注意、侵入の証拠、及び他の許認可及び法的要件への適合の目視による検出 (visual detection) を目的とした処分サイトの観察 (observation) をいう。

… (途中省略) …

(Dec. 27, 1982, as amended at May 25, 1989)

この条項では、監視 (surveillance) は目視を伴う観察であり、モニタリングはデータ取得のための観察、測定行為であることを述べている。

2) § 61.29 閉鎖後の観察と保守

§ 61.28 (閉鎖の申請について規定) に規定された閉鎖の完了に引き続いて、被認可者は許認可が § 61.30 (許認可の譲渡について規定) に従って委員会によって譲渡されるまで、処分サイトにおいて観察 (observe)、

モニタリング、必要な保守、修復 (maintenance and repairs)を行わなければならない。処分サイトに対する責任は被認可者が5年間負わなければならない。閉鎖後の観察と保守の期間として、より短い、あるいはより長い期間が、サイト固有の条件に基づいて決定され、かつサイト閉鎖計画の一部として認定されることもありうる。

(Dec. 27, 1982)

この条項は陸地処分では閉鎖後も処分サイトの観察やモニタリング、保守などを行わなければならないことを定めている。また、その期間を基本的に5年間としている。

3) § 61.44 閉鎖後の処分サイトの安定性 (stability)

処分施設は、処分サイトが長期的に安定であり、かつ閉鎖後の処分サイトの将来にわたる実質的補修の必要性を実際的な範囲で除き、監視 (surveillance)、モニタリングあるいは最小限の管理上の注意 (care) ですむよう立地、設計、使用、操業及び閉鎖を行わなければならない。

(Dec. 27, 1982)

この条項では、施設の一連の事業を行う上において、閉鎖後に行う監視 (surveillance) とモニタリングを考慮する必要性を述べたものとも解釈できる。

4) § 61.53 環境モニタリング

(a)許認可申請書を提出する時、その申請者は、処分サイトの特性についての基本的な環境データを提供する操業前モニタリング計画を実施していなければならない。申請者は処分サイトの生態、気象、気候、水理、地質、地球化学、地震についての情報を取得しなければならない。季節変動を受ける特性については、データは少なくとも12カ月の期間を網羅していなければならない。

(b)被認可者は、放射性核種の移行がsubpart C の性能目標に合わないか

もしれないことを示すのであれば、修正措置を行う計画をたてなければならない。

(c)陸地処分施設の建設と操業の期間中に、被認可者はモニタリングプログラムを実施しなければならない。施設の建設と操業の両期間中における環境への影響と潜在的な健康状態を評価するためのデータを提供し、そして長期影響の評価と影響を緩和する手段の必要性の評価を可能にするために、測定と観察 (measurements and observations)が行われ、記録されなければならない。モニタリングシステムは、放射性核種がサイト境界に達する前に、処分サイトからの漏出 (releases) に対し早期に警告を与えることができるものでなければならない。

(d)処分サイトが閉鎖された後、処分サイトの操業後監視 (surveillance) に対して責任を負う被認可者は、操業経過と処分サイトの閉鎖及び安定化作業 (closure and stabilization) に基づくモニタリングシステムを継続しなければならない。モニタリングシステムは、放射性核種がサイト境界に達する前に、処分サイトからの漏出に対し早期に警告を与えることができるものでなければならない。

(Dec. 27, 1982)

環境モニタリングの一部として、操業前モニタリングの実施が義務づけられ、その対象として処分サイトの生態、気象、気候、水理、地質、地球化学、地震が挙げられている。また、建設、操業期間中におけるモニタリングも環境への影響と健康を守るための手段として行うことが定められている。閉鎖後のモニタリングも操業時の状態を考慮して継続されるべきとしている。

モニタリングシステムそのものは、放射性核種の漏出をある程度前提としていると思われるため、放射性核種の早期の検知システムであるべきとしている。

5) § 61.59 制度上の要件 (institutional requirements)

(a)土地所有権：他の者から受け取った放射性廃棄物の処分は、連邦あるいは州政府が無条件に所有している土地でのみ許される。

(b)制度的管理：土地所有者あるいは管理機関は、処分サイト事業者からの処分サイトの管理の譲渡に引き続き、処分サイトへの接近を物理的に管理するための制度的管理のプログラムを実行しなければならない。制度的管理プログラムは、さらに、処分サイトにおける環境モニタリングプログラム、定期的な監視 (surveillance)、最小限の管理上の注意 (custodial care)、及び委員会によって定められた他の要件の実施、及びこれらの活動のための費用を賄うための基金の管理を含まなければならないが、これらに限定されるものではない。制度的管理の期間は委員会によって決定されることになるが、所有者への処分サイトの管理の譲渡の後、100年以上にわたっては制度的管理に頼らなくてもよい。

(Dec. 27, 1982)

処分事業者から土地所有者あるいは管理機関に管理が譲渡された後においても、環境モニタリングは制度的管理の一環として実施されなければならないとしている。その期間としては、一応 100年を定めている。

(iv) 40 CFR Part 191 – Environmental Radiation Protection Standards for Management and Disposal of Spent Nuclear Fuel, High-Level and Transuranic Radioactive Wastes

1) § 191.02 定義

… (途中省略) …

(k) 「貯蔵」とは、使用済燃料あるいは放射性廃棄物を、その後の利用、処理 (processing)、あるいは処分のために、直ちに回収する (retrieve) ための意図と能力を備えて、使用済燃料あるいは放射性廃棄物を保有 (retention) することをいう。

(l) 「処分」とは、永遠の隔離 (permanent isolation) が使用済燃料あるいは放射性廃棄物の取り出し (recovery) を可能とするにせよそうでないにせよ、取り出しの意図なく接近可能な環境から使用済燃料あるいは放射性廃棄物を永遠に隔離することをいう。例えば、坑道開削した地層処分場内の廃棄物の処分は、その処分場への全ての立坑が埋戻しされ、

密閉された (backfilled and sealed) ときに生じる。

… (以下省略) …

(Sept. 19, 1985)

ここでは、結果として埋設した廃棄物を将来取り出すことになろうとなるまいと、取り出すことの意図なく廃棄物を永遠に埋設するという行為を処分と定義している。したがって、処分を考える限り、設計においては再取り出し性については考慮しなくてよいことになる。

また、処分は、地層処分場が完全に埋戻された時に初めてそう言えるのだとしている。これは、操業中はまだ、埋戻し等以外の選択肢も残されているといえるため、厳密に述べたものであろう。必ず埋戻し、密閉が行われる一連の作業の一部として定置などの操業をみるのであれば、広い意味で処分行為の一部としてよいであろう。

2) § 191.12 定義

… (途中省略) …

(e) 「受動的な制度的管理 (passive institutional control)」とは、(1) 処分サイトに置かれた永久の標識、(2) 公的記録と公文書、(3) 土地と資源利用に関しての政府の所有と規則、及び(4) 位置、設計及び処分システムの内容についての知識を保存する他の方法、のことをいう。

(f) 「積極的な制度的管理 (active institutional control)」とは、(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 (cleaning up)、あるいは(4) 処分システム性能に係るパラメータのモニタリングを行うこと、をいう。

… (以下省略) …

(Sept. 19, 1985)

ここでは、性能評価に係わるモニタリング行為は積極的な制度的管理行

為の一つとして定義されている。また、技術的な意味をあまり持たせずに、政策的に行うモニタリング（もしそれがあるとすれば）については、そのモニタリングを行うことにより、同時に処分サイトへの接近を制限するのであれば、積極的な制度的管理の一部になるものと考えられる。

3) § 191.13 封じ込め要件

(a)使用済燃料あるいは高レベル放射性廃棄物あるいはTRU 廃棄物の処分システムは、性能評価に基づいて合理的な期待値を用意するものであるように設計されねばならない。その性能評価とは、その処分システムに影響を与えと思われる全ての重要なプロセスと事象からの、処分後一万年間における接近可能な環境への放射性核種の累積した放出が：

(1)表 1（付録 A；省略）に従って計算した量を越える可能性として10分の1未満であること、及び

(2)表 1（付録 A；省略）に従って計算した量の10倍を越える可能性として1,000 分の1未満であること、である。

(b)性能評価は、§ 191.13(a)の要件に合致する完全な保証を提供する必要はない。関係する期間が非常に長期であることと、関係する事象とプロセスの特質のために、処分システム性能の描写においては実質的な不確実性の存在が避けられないだろう。処分システムの将来性能は、より短い時間枠を扱うような状況でのその用語の通常の意味において立証されるべきではない。その代わり、要求されているのは、実施当局よりはむしろその記録に基づいた、§ 191.13(a)への適合が達成されるだろうという合理的な期待である。

(Sept. 19, 1985)

ここでは、一万年間における放出量の目標が要件として示されている。

4) § 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用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)

ここでは、処分開始後の性能評価は 100年以内であれば、積極的な制度的管理に依存してよいことを述べているといえる。また、モニタリングを処分後、すなわち、立坑の埋戻しと密閉の後行わなければならないとしている。しかも、その役割としては、行為を明瞭に示してはいないが、技術的なものであることを述べている。

このような主張は国際機関が示した規準における考え方とは異なる。次の § 191.15の個人防護要件、§ 191.16の地下水保護の要件に示されている 1,000 年間の被ばく線量限度や濃度限度をも考え合わせると、将来の長期間を扱うことに伴う不確実性への理解を示しつつも、性能評価とその行為にあまりに信頼を置き過ぎたものであり、また、枠組み作りが先行した感がある。

(b) ヤッカマウンテン (Yucca Mountain)

(i) 位置と環境条件 (Buono and Hayes, 1991)

高レベル廃棄物使用済燃料の処分場としては、ネバダ州のヤッカマウンテンが唯一の処分場候補地に指定されている。ヤッカマウンテンはネバダ州のラスベガスの北西約140km、南カリフォルニア州のデスバレーの東約50kmの所に位置している。同サイトはネバダ州にあるエネルギー省のネバダ試験場の西側境界付近にあり、西側は空軍と土地管理局の管理地に及んでいる (図2.1-1)。

同サイトは西側が急で、東側がゆるやかな地形を示し、周辺の砂漠より200～300m高い。気候は夏は暑く、冬は温和で、降雨は冬に認められる。サイト付近の年平均降水量は155～175mmと推定されている。

サイトの地質は3000m程の厚さを有する第三紀の火山岩 (溶結凝灰岩) で、下位に不整合で古生代の岩石が分布している。現在考えられている処分場の位置は、地下水面より上のTopopah Spring Member of Raintbrush Tuff中 (厚さは320m～350m以上) に設けられることが考えられている (図2.1-2)。

一般に、同サイトの水理環境は厚い不飽和帯を有することで特徴付けられている。地下水面は地表から300m～約750m程の深さに位置する第三紀火山岩内にある。不飽和帯における地下水流動は、溶結凝灰岩中の割れ目内と溶結部と非溶結部の間の隙間に液相あるいは気相の流れとして存在している。不飽和帯から下位の飽和帯への年間の涵養量は非常に少なく0.5mm/yと見積もられている。これは処分場を設けた場合における想定浸透量でもある。広域的には、飽和帯の地下水はデスバレーに流出するものと想定されている。同サイトの不飽和帯での地下水流動概念を図2.1-3に示す。

(ii) 施設の概要 (Hunter et al., 1989)

現在の設計レベルでは、民間の原子力発電所からの使用済燃料と軍事操業による高レベル廃棄物を受け入れる予定である。使用済燃料はMRS (Monitored Retrievable Storage) を経由して、あるいは直接送られてくることが考えられている。概念設計レベルでの処分場の受入れ容量は70,000MTU 相当量とされている。

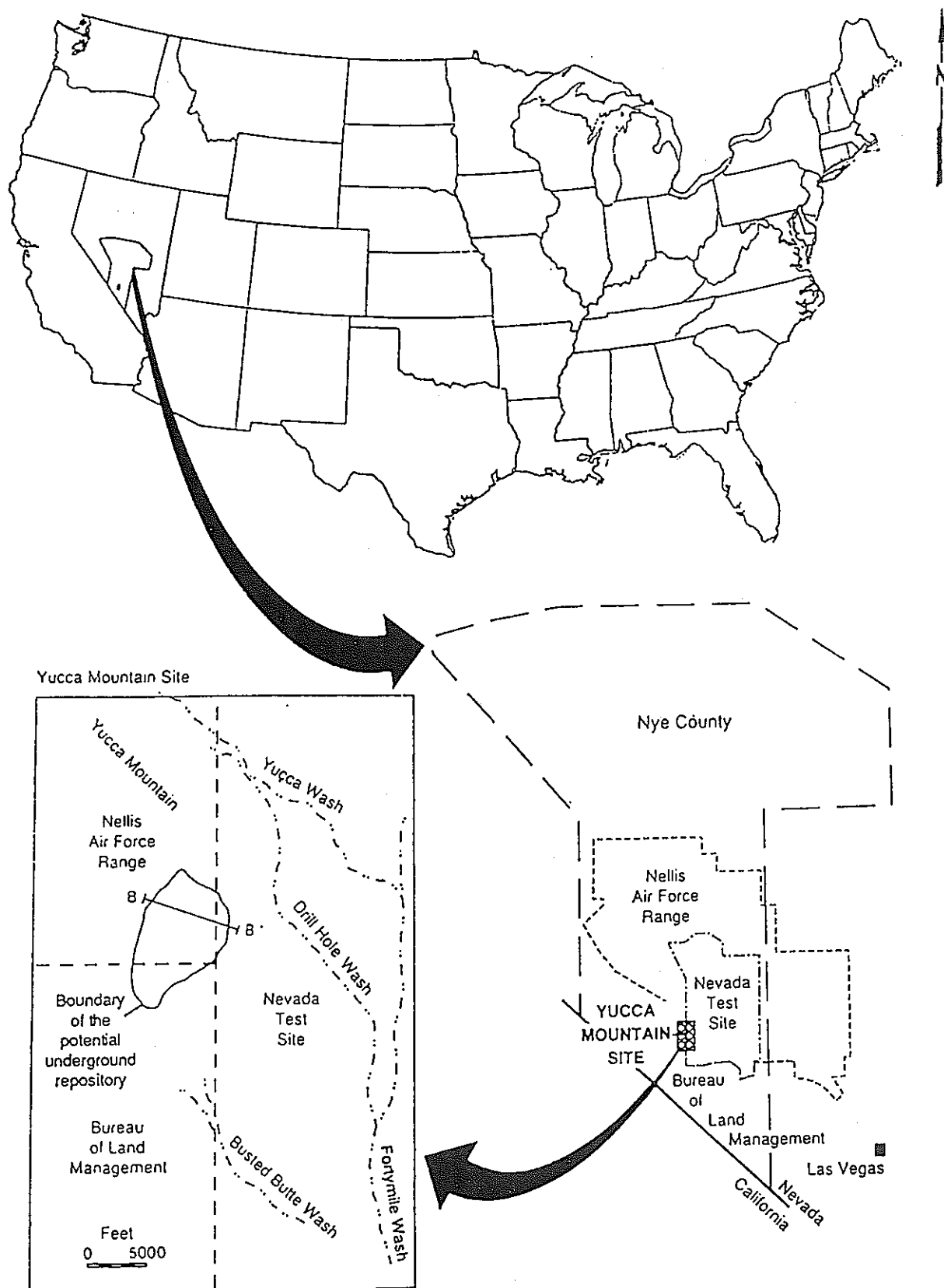


図 2.1 - 1 ヤッカマウンテンサイト及び想定されている地下施設の位置

(Buono and Hayes, 1991)

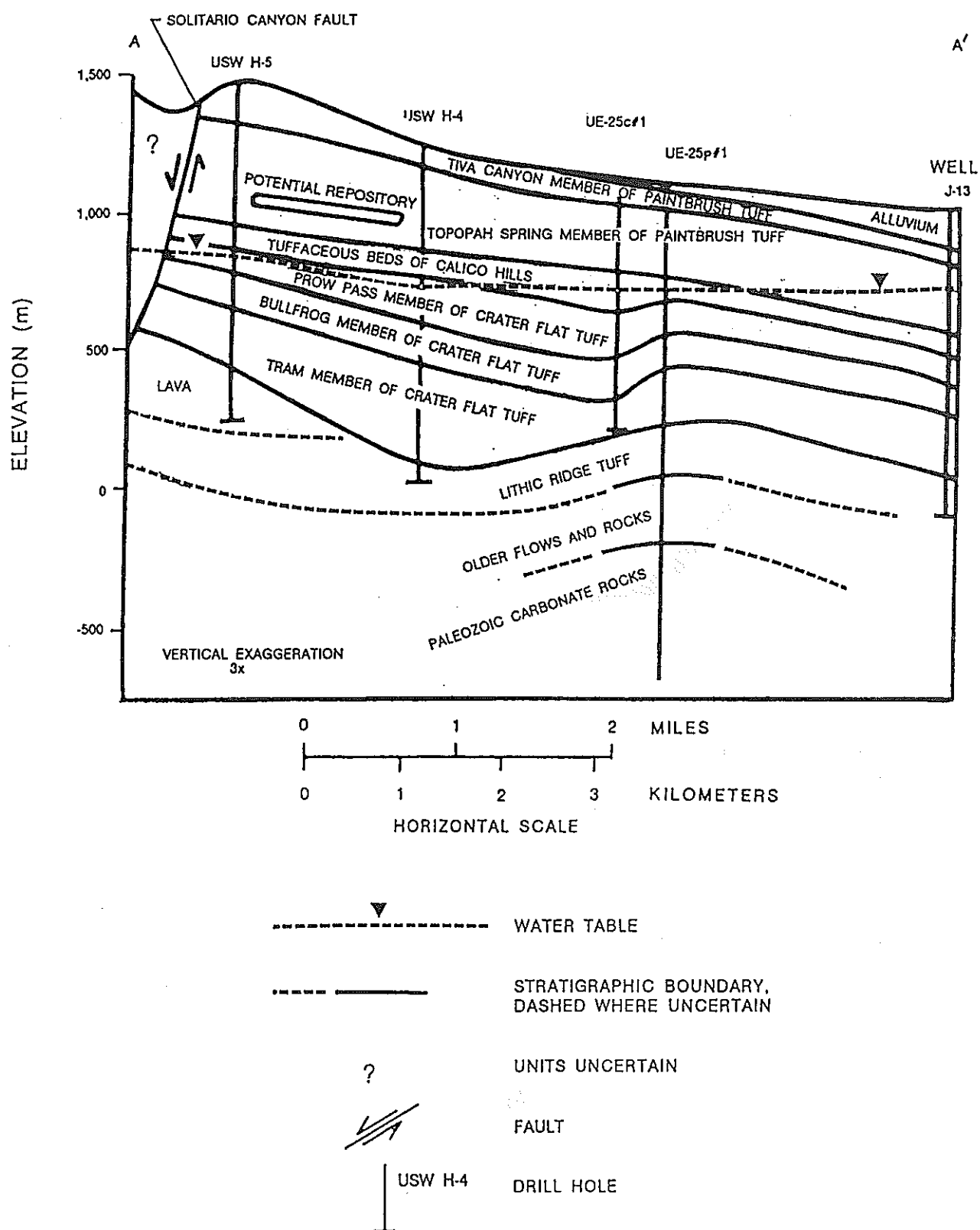


図2.1-2 ヤッカマウンテンサイトの簡略化した地質層序断面(Buono and Hayes, 1991)

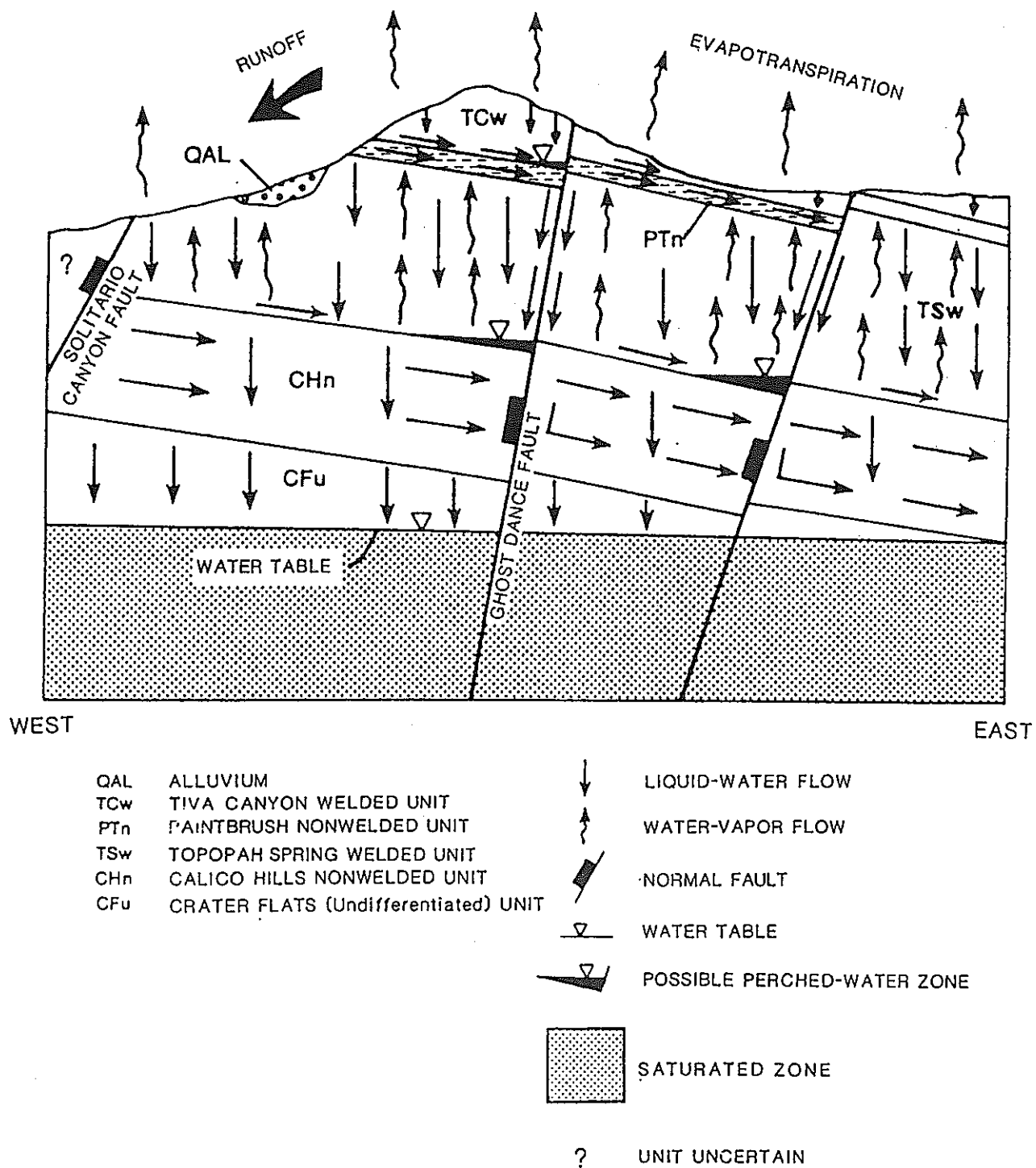


図2.1-3 不飽和帯における地下水流動の概念(Buono and Hayes, 1991)

地表施設および地下の埋設施設を鳥瞰した図を図2.1-4に示す。これはサイトの地形を利用した形状となっており、地下施設には東部の位置する地表施設からゆるやかな斜坑によりアクセスする形になっている。地表の受入れ施設は二つの施設が考えられており、2段階に分けて受け入れる予定である。

現在の地下施設における埋設形態としては、水平定置と垂直定置の二種類が考えられている。垂直定置の場合には、単体の廃棄物容器が処分坑道の床面に垂直に掘られた孔の一つずつ定置され、水平定置の場合には、処分坑道の壁面に水平に掘られた孔内に数個ずつ定置されることが考えられている。垂直定置の場合と水平定置の場合の概念図を図2.1-5, 6に示す。

地下施設の掘りかきの大きさは、一部はサイトの地質構造条件に基づいている。地下施設の坑道は傾斜しており、不飽和帯内の空洞の維持を考慮して決められている。坑道の大きさとしては高さ16~25ft、幅13~22ftが考えられている。

地下施設の概念検討レベルで考慮されているのは、地下水の関与の低減である。まず、地下水面からの距離（175m以上）を保つこと、地表からの被りの距離（少なくとも200m）を保つこと（これは侵食への対処が含まれている）、立坑と斜坑の入口を河川よりも高くすること、立坑の最下底を処分場の最深部と同じにし、核種の漏洩経路とならないようにしたこと、埋設エリアから地下水が流出するよう坑道に傾斜をつけたこと、探査用試験孔の位置を坑道から少なくとも15m 離れたこと、必要なら立坑のコンクリートライナを除去しうる設計としていることなどである。熱の流動に与える影響や熱応力による割れ目の生成も評価対象としている。

(iii) 現在実施しているモニタリング研究 (Buono and Hayes, 1991)

米国地質調査所により、サイト特性調査の一環として、継続されている“モニタリング”研究の内容を記す。

1) 地表流水のモニタリング

本調査の目的は以下の通りである。

- ・不飽和帯への浸透水源、飽和帯への涵養源としての地表流水の評価
- ・地表水系の飽和帯の地下水流れに影響を与える可能性の評価
- ・洪水の影響の評価

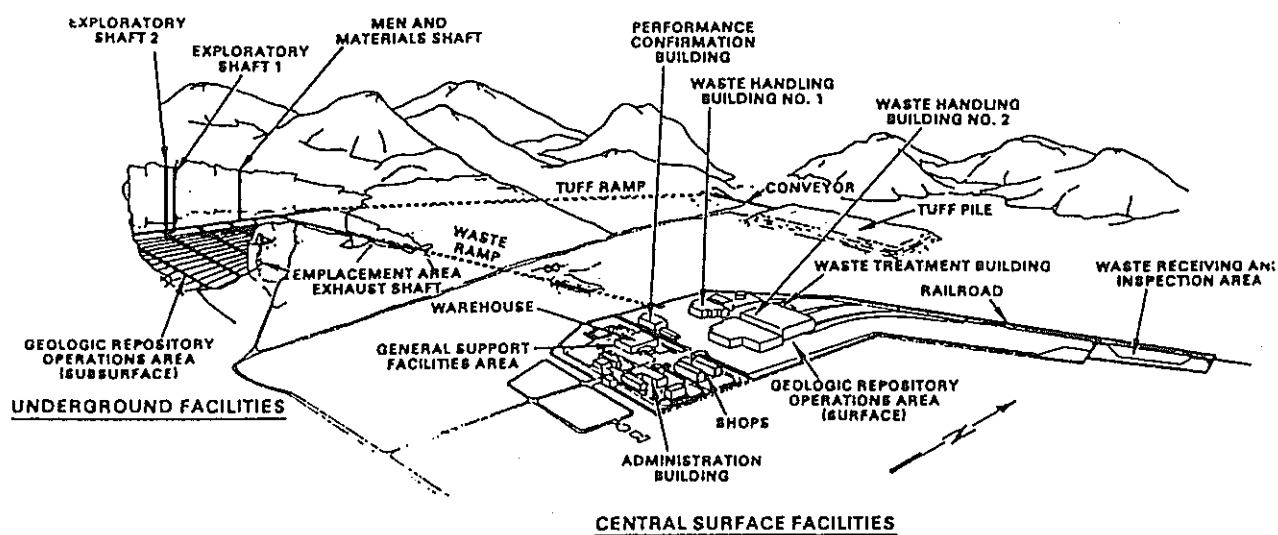


図2.1-4 ヤッカマウンテンサイトにおける地表及び地下施設の概念図

(Hunter et al., 1989)

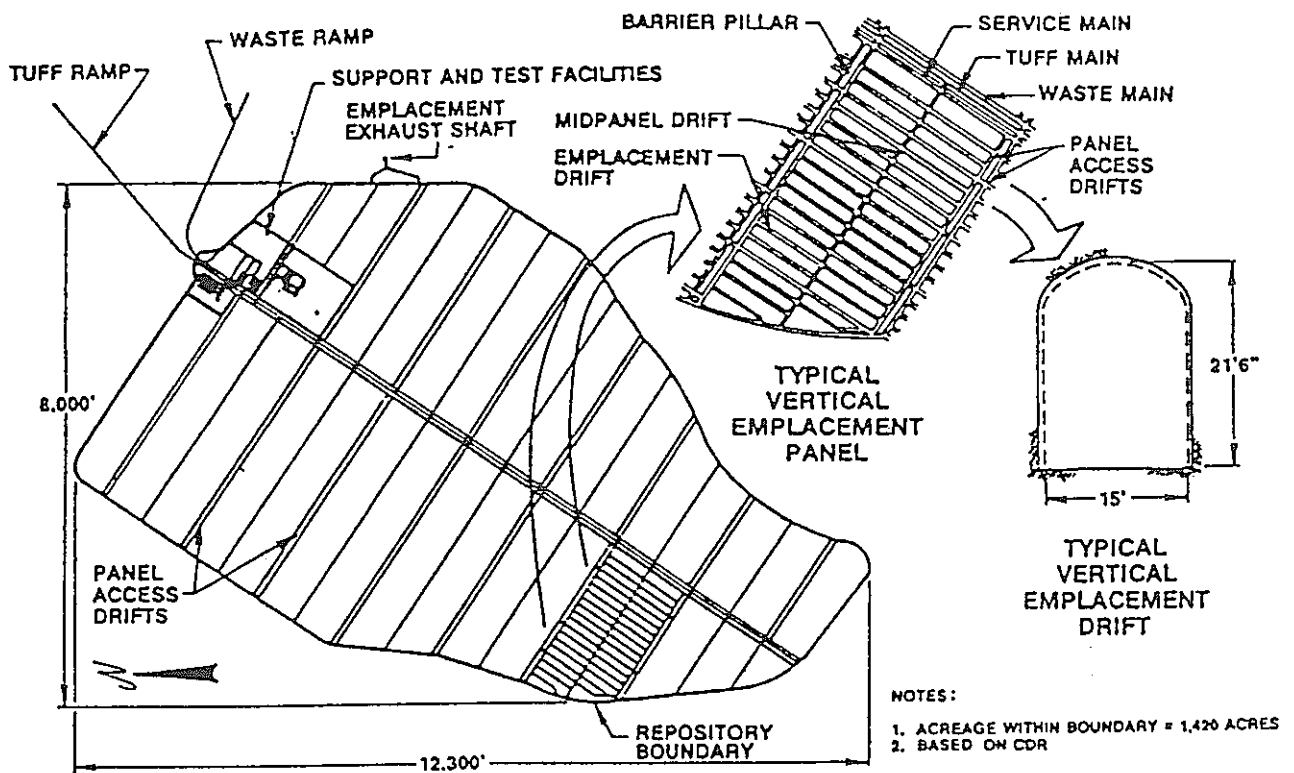


図2.1-5 ヤッカマウンテンにおける垂直定置型の地下施設の概念(Hunter et al., 1989)

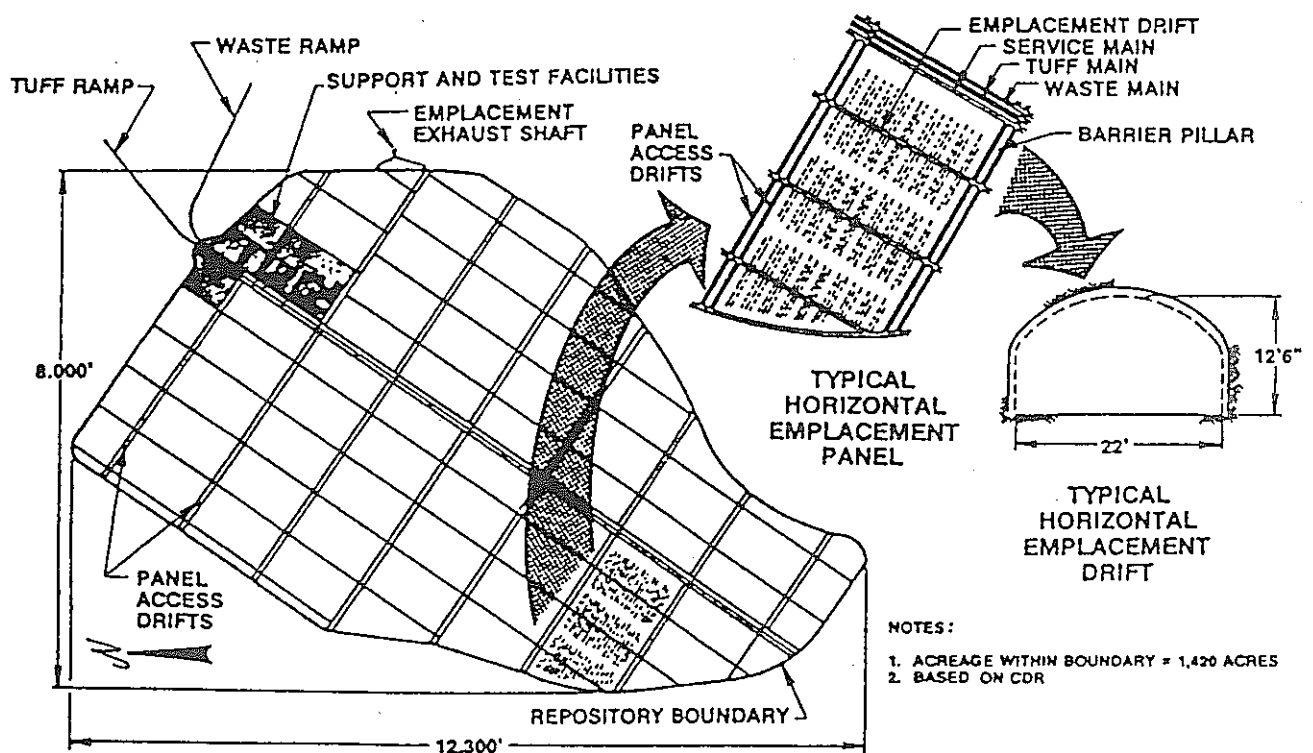


図2.1-6 ヤッカマウンテンにおける水平定置型の地下施設の概念(Hunter et al., 1989)

2) 地下水のモニタリング

地下水流れの方角の決定と地下水面の高さの変動幅や変動頻度を把握することを目的としてモニタリングを実施している。サイトの12km以内に28本の観測孔があり、そのうちの13孔には変換器と記録計が設置されており、さらにそのうちのいくつかは多点観測となっている。さらに9本の観測孔の設置が予定されている。観測は1981年、機器の設置による観測は1985年より行われている。

3) 自然浸透量

サイトを中心とした25km²のエリアで不飽和帯中の自然浸透量を測定している。

4) 気象モニタリング

サイトを中心とした25km²のエリアで、ペンマン型の気象ステーション2箇所、貯蔵型降水量計86箇所、加熱型のfrozen precipitation測定計5箇所、同非加熱型6箇所で行っている。

5) 垂直試錐孔の研究

不飽和帯中の浸透量、不飽和帯の不飽和透水係数の決定を目的とした研究を行っている。

6) 不飽和帯の気相と液相の地下水化学

不飽和帯中の気体と液体を採取し、二酸化炭素を対象として¹⁴C量と¹²C/¹³C比を、水蒸気を対象として³H量、¹⁸O/¹⁶O比、D/H比を、液相を対象として¹⁴C量、³H量、¹⁸O/¹⁶O比、D/H比、陽イオンと陰イオン量を測定している。

7) 地震モニタリング

操業段階の構造と人工バリアへの影響と今後の一万年間の地質、水理状況と工学システムへの影響評価のために、サイトより300km以内の地震動のモニタリングをしている。現在55の観測地点を有しており、今後120地点程度の観測網を組むことにしている。

8) その他

測地観測、方解石とオパール質シリカによる脈石の調査、類似涵養研究を行っている。

(c) WIPP

(i) 施設の位置と環境条件 (Matalucci et al., 1982)

WIPP(Waste Isolation Pilot Plant) サイトはニューメキシコ州南東部 (カールスバッド南方約26マイル) に位置している (図2.1-7)。

同サイトの地形は平坦で、降水量の少ない砂漠気候～草原気候帯に属している。

同サイトの地質層序断面を図2.1-8に示す。サイト下部の地質は砂岩層・岩塩層より主としてなる二疊系と砂岩・泥岩より主としてなる三疊系及び砂岩・石灰岩より主としてなる第四系から構成されている。岩塩層は下位から Castile 層 (約1400m)、Salad 層 (約600m)、Rustler 層 (約80m)よりなり、各々硬石膏・泥岩・石灰岩・マグネサイトなどを挟在している。地下施設は659m深部のSalado層中に設けられている。

Rustler 層中のドロマイト中とRustler 層とSalado層の境界の一部には塩水が認められている。Castile 層下部に分布する地層中を除くと、帯水層は認められていない。Salado層は本質的に不透水性で塩水の流体包有物を鉱染状に含むのみである。

(ii) 施設の概要 (Matalucci and Munson, 1986)

地下施設の概要を図2.1-9に示す。地下施設は三つの主要なエリアに分けられる。それらは技術開発とその試験を行う試験エリア、サイトの特性調査、評価及び実規模TRU 廃棄物の貯蔵のための設計の実証 (SPDV, Site and Preliminary Design Validation) を行うエリア、及びTRU 廃棄物の貯蔵エリアである。

(iii) 地下施設における原位置試験 (Matalucci et al., 1982)

廃棄物の定置の前に地下空洞において精力的な原位置試験が実施された。その試験は、サイト特性調査と評価、処分場の開発 (熱-応力相互作用、ブラッキングとシーリング、操業技術)、廃棄物容器との相互作用 (廃棄物容器の性能、ニアフィールドの影響) を課題として行われているものである。

(iv) 環境モニタリング (USDOE, 1980)

WIPPの環境影響評価のためのモニタリングプログラムについてまとめる。同プログラムは以下の三つのプログラムに分けられている。

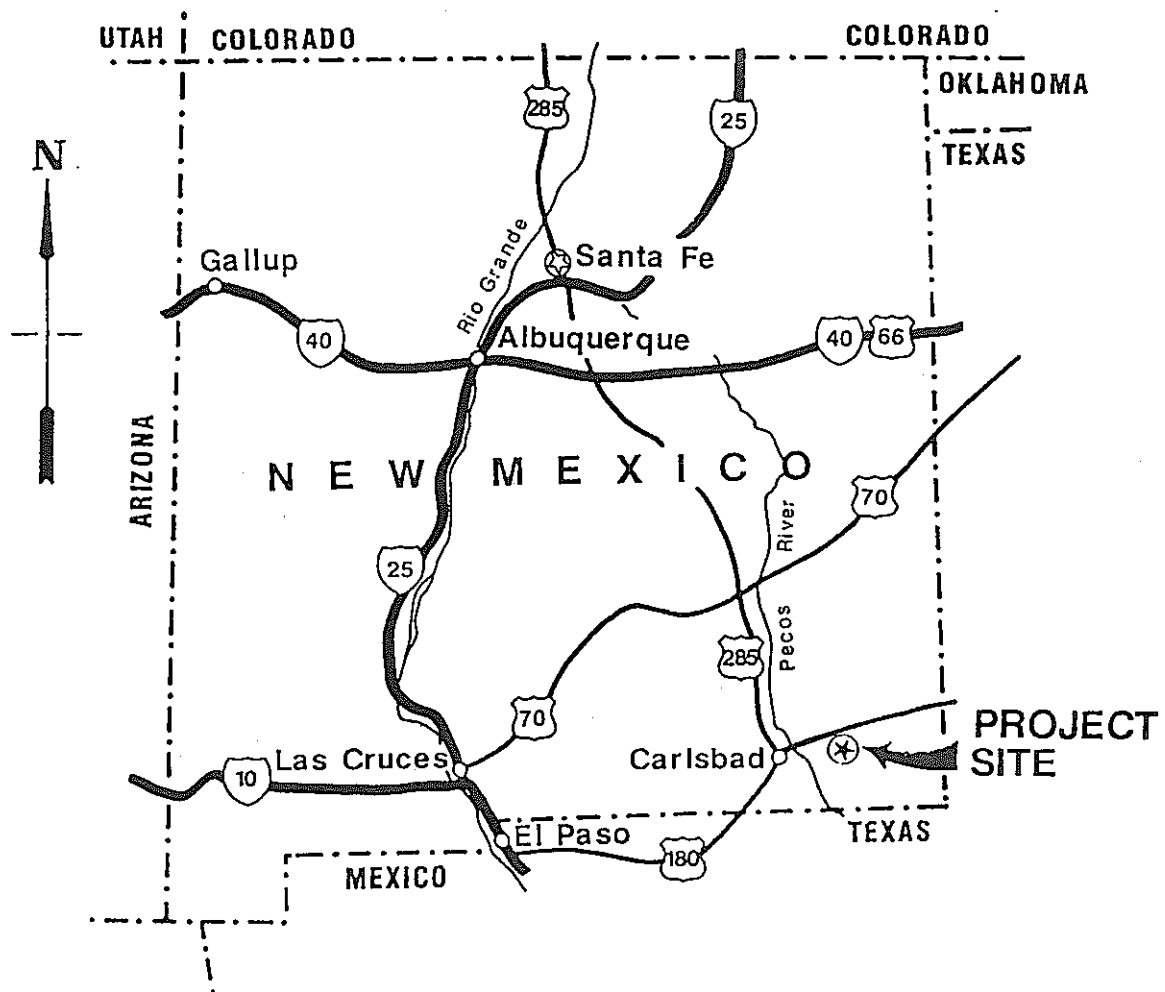


図2.1-7 WIPPサイトの位置 (USD0E, 1986)

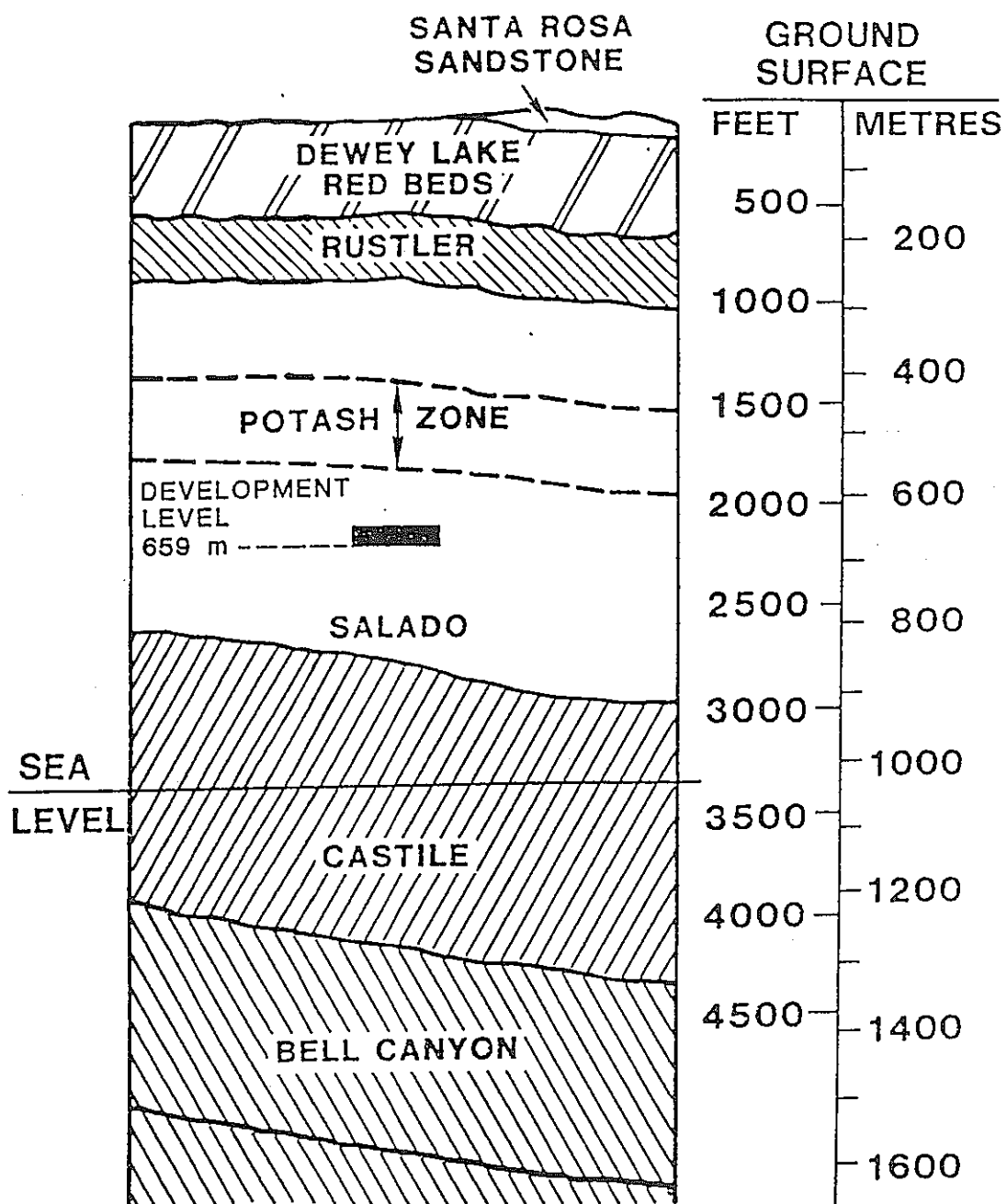


図2.1-8 WIPPサイトの地質断面 (Matalucci et al., 1982)

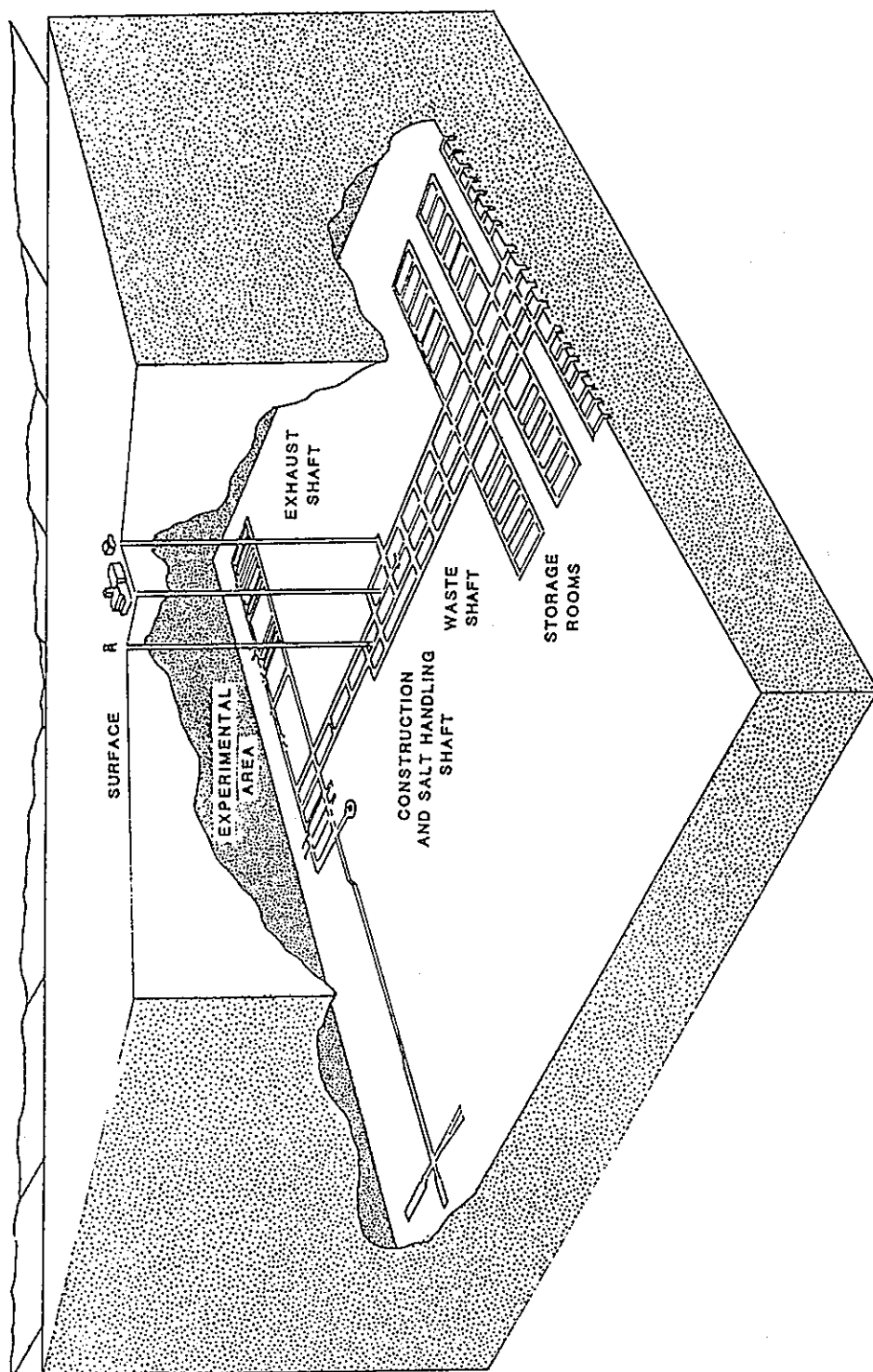


図2.1-9 WIPP地下施設の概観 (USDOR, 1986)

- ・ 操業前の環境評価プログラム
- ・ 操業中のモニタリングプログラム
- ・ 操業後のモニタリングプログラム

1) 操業前の環境評価プログラム

操業前のモニタリングプログラムは、WIPPサイト及びその周辺の地質、水理、気象、生態、放射線の特徴を把握するためである。

地質については、地表地質調査、空中写真解析、衛星写真解析、試錐による地下の地質調査が行われた。図2.1-10に探査用試錐調査の位置を示す。また、物理探査として、比抵抗、磁性、重力が、地化学探査として、鉱物組成、化学組成、流体の量と組成、岩石の年代、再結晶化後の地史、岩石力学調査として、力学特性、透気性、熱特性、放射線特性が、その他、地震動特性などが調べられた。

水理については、溶解の発生の状況、溶解境界の把握、溶解度、動水勾配などの把握を目的としたものである。複数の試錐孔を用いた測定がなされた。図2.1-11に水理測定用試錐孔の位置を示す。

気象については、平均風速、風向、湿度、気圧、降水量、電離放射線、スカイシャイン、温度や結露の温度、気温差を測定した。また、大気中に含まれる、浮遊物質の総量、二酸化硫黄、二酸化窒素、硫化水素、一酸化炭素、オゾンを測定している。

生態については、植物、哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類、無脊椎動物、水生動物の分布、食糧、密度、移動、飲用水質などが調査された。また、指標生物に対しては放射線生態学的な調査も行われた。

放射線モニタリングについては、大気中の粒子（全ベータ濃度）、土壌（ガンマ核種）、直接ガンマ線の測定を行い、また、地下水（全アルファ、全ベータ、ガンマ核種）、地表水（ガンマ核種）、堆積物（ガンマ核種）、果物・野菜（ ^3H ）、牛肉・鳥肉（ガンマ核種）の測定が考えられている。底生生物・水生植物・魚類・貝類については、最も近い河川が14マイル離れているため計画されていない。また、牛乳についても最も近い牧場が40マイル離れているため予定されていない。

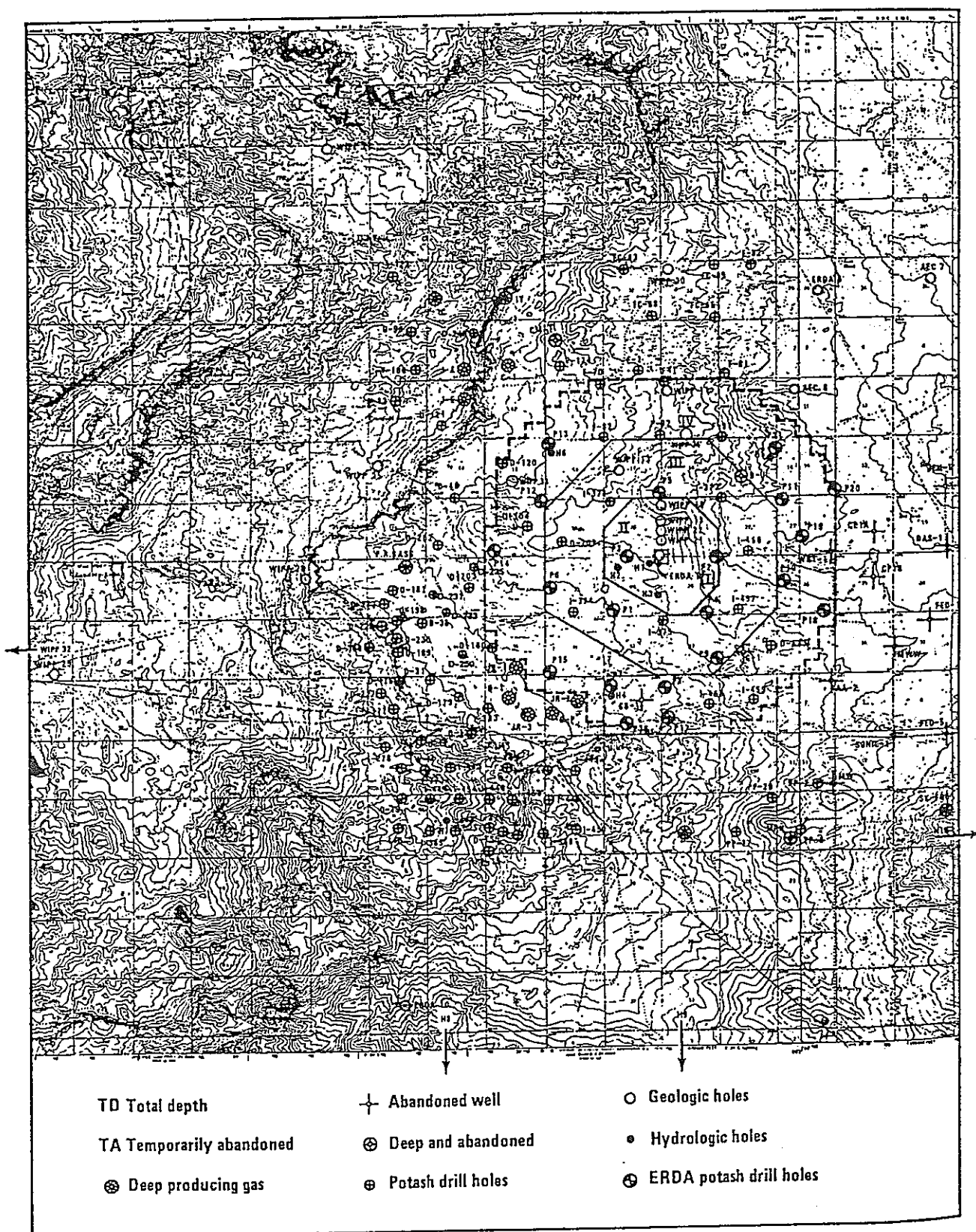


図2.1-10 WIPPサイトにおける調査用試錐孔の分布 (USDOE, 1986)

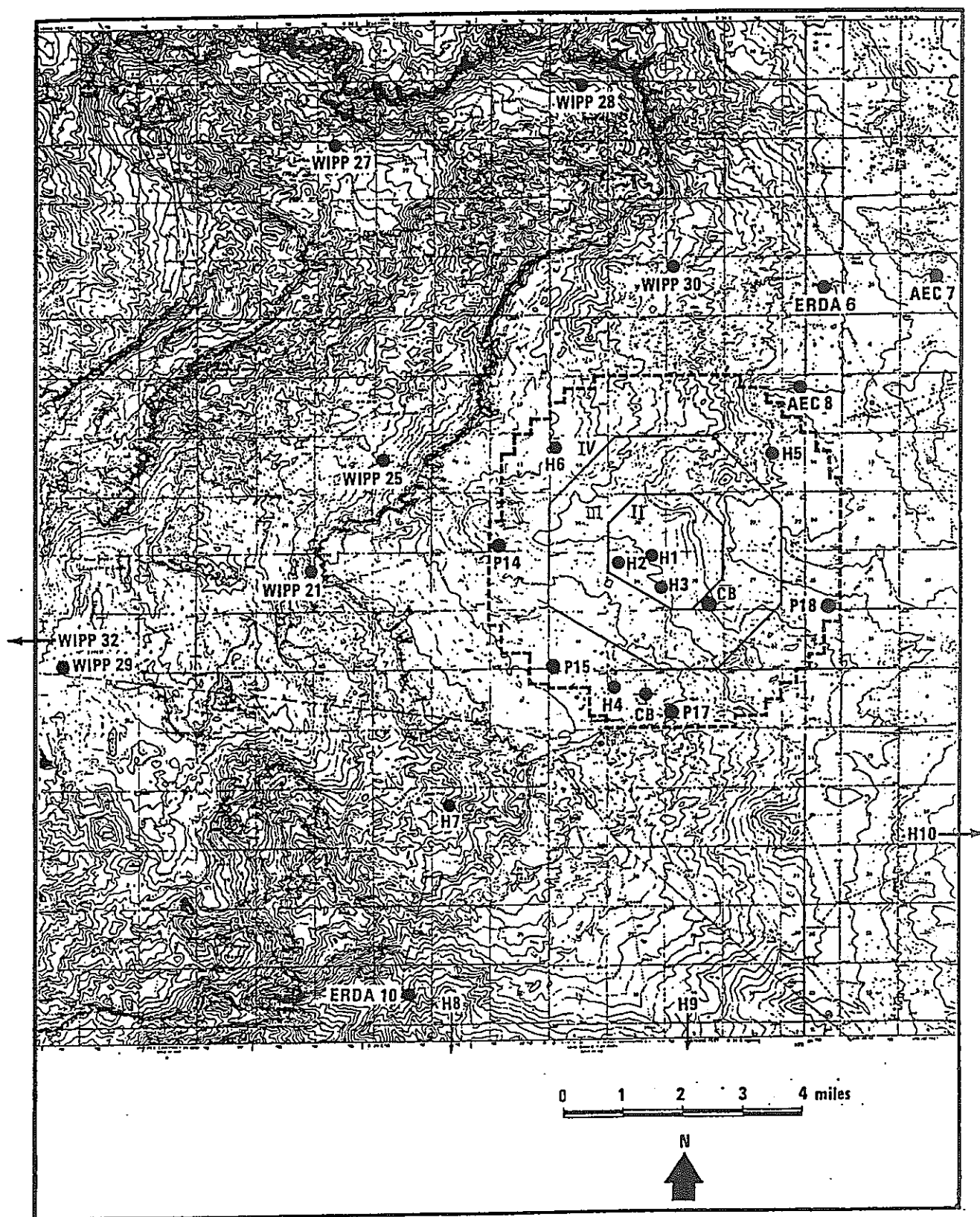


図2.1-11 水理測定用試錐孔の位置 (USD0E, 1980)

2) 操業中のモニタリングプログラム

提案されている操業中のモニタリングには、地下のモニタリングが含まれる。

地下では立坑及び横坑掘削中に層位学的調査、地質構造調査、力学特性調査が行われる。特に、立坑に対しては、壁面の変形が継続して調査される。また、貯蔵サイト、実証試験サイトでの岩塩が、化学組成、塩分含有量、力学特性、熱特性を分析するために採取される。

地表では、地震動のモニタリングと実験等による地表変動の測定が行われる。

水理については、地下水位、湧水、地表流水、水質がモニタリングされる。

気象、大気、生態については、操業前のモニタリングと基本的に同じと考えられている。

放射線モニタリングについては、まず排気中の粉塵等の放出物のモニタリングに重点が置かれる。また、排気を対象として排出口で α 線と β — γ 線の連続特定が行われる。環境放射線モニタリングについては、操業前と基本的に同じである。ただし、必要に応じ、修正される。

3) 操業後のモニタリングプログラム

地層処分の基本的目的は、処分場を閉鎖した後は監視 (surveillance) が必要とならないように生物圏から廃棄物を隔離することである。WIPPでは、閉鎖 (decommissioning) 後のリスクに関して何か重大な懸念がある場合には、閉鎖は行われまいだろう。

WIPPが閉鎖 (decommissioning) された後のある一定の期間において、モニタリングは続けられるであろう。このモニタリングは大部分が操業中のモニタリングプログラムの継続であろう。操業後モニタリングプログラムを行う根拠は以下の通りである。

操業後モニタリングの目的は、放射性核種の放出や、環境への放射性核種の放出より先に生じるかもしれない事象やプロセスの前兆をタイムリーに示すことである。この目標は、著しくリスクを過少評価することがないことを将来の人々に保証する手段を必要とするであろう。これは連続的というよりは定期的な観察によって達成できるということ、また、モニタリングプログ

ラムが複雑とはならないことが期待される。

閉鎖 (decommissioning) 後のモニタリングとして、地質、水理、放射線を対象とした3項目が適当と思われる。表2.1-1に考えられる測定内容を示す。操業中に行う放出物や気象モニタリングは必要ではない。

- ・地質

地質のモニタリングは、放射能の放出が地質的要因によるのか、処分場の存在によるのかを判定することを主体に設定される。測定は、基本的に空洞の閉鎖に伴う沈下の深度方向と地表における拡がり把握するためになされる。また、破碎帯やその他地中の動きを示す指標になるものは周期的に調査される。試錐孔によるモニタリングは廃棄物の近傍や上部では実施しない。

- ・放射線

放射線モニタリングプログラムには指標となる生物種の放射能レベルの測定が含まれる。これらのサンプリングプログラムにより、天然バリア、人工バリアが放射性物質の放出に対して有効に作用しており、地下水流域での測定において放射性核種を見落としてはいないということを直接的に保証することになる。処分場直上の地表では、草や狩猟対象の鳥類が採取されるかもしれない。

- ・水理

水理的なモニタリングは操業段階から継続して実施される。そのモニタリングは基本的には下流域の開放した試錐孔からの地下水の定期的採取と放射線の分析で構成される。この目的に使用しうる孔としては、WIPPサイトの最も広い管理区域 (zone IV) で現在5つ (図2.1-11に示すP-14、P-15、P-17、P-18、H-4) がある。試錐孔間の流出の可能性を排除するため、それらの孔の間にさらに試錐孔が設けられる可能性はある。管理区域Ⅱ内と上流側の孔は閉塞される。

(d) サバンナリバープラント (Savannah River Plant) (IAEA, 1985)

(i) 施設の位置と環境条件

本施設はサウスカロライナ州のサバンナ川に沿って、約 800km²の面積を有して位置している。また、ジョージア州オーガスタからは南東に約35km、サバン

表2.1-1 閉鎖後モニタリングプログラムの概要 (USDOR, 1980)

Measurement	Location	Frequency	Objective
HYDROLOGIC MONITORING			
Borehole measurement and sampling			
Gross alpha activity Gross beta activity Chemistry	Holes down-gradient at a distance of 2 miles or more	5-10 years	To detect migration of radionuclides out of disposal area
Head measurements			To detect any change in hydrology
GEOLOGIC MONITORING			
Resurvey of surface topography	Level lines across surface of site	5-10 years	To detect and measure subsidence and/or uplift
RADIOLOGICAL MONITORING			
Sampling of indicator species	At and near site	5-10 years	To detect releases directly
Sampling of water, indicator species	At groundwater discharge points	5-10 years	To detect releases directly

ナ川河口から約 160km上流にある(図 2.1-12)。固体廃棄物処分サイトは約 48haの広さを有し、本施設の中心付近に位置している(図 2.1-13)。

平均気温は冬季は 9℃、夏季は 27℃で、平均年降水量は 1,200mm である。

地域の表層地質は白亜紀以降の主として未固結の堆積物で、主要な地質は先中生代の変成岩、三疊紀の堆積岩、白亜紀の Tuscaloosa 層よりなる。変成岩は片岩、片麻岩、変珪岩から構成され、Tuscaloosa 層は 150~185m の層厚で砂岩と泥岩よりなる。その層の上位に 100m の厚さの密な泥、砂、シルトよりなる。

廃棄物の埋設地域は二つの小河川の間位置しており、横断する河川はない。埋設地域からの排水は一方の河川である Four Mile Creek の約 0.5 マイル離れた個所に流出している。そこからさらに西方に約 24km 流れ、サバンナ川に注いでいる。埋設地域での平均地下水面は約 12~18m 下部にある。通常の上変動は 1m で 2m が記録されたこともある。年降水量のうち約 460mm 程が地下に涵養する。浸透速度は約 2m/y である。地下水面に達すると横方向に約 12m/y で流動する。Four Mile Creek への移行時間は約 70 年と計算されている。100m 下位にある Tuscaloosa 層は主要な帯水層で、地域の様々な用途に用いられている。埋設地域では粘土層が Tuscaloosa 層への流入を阻止する地層となっている。

(ii) 施設の概要

放射性固体廃棄物の 1953 年以来貯蔵されている。最初の 31ha のエリアが満杯になった 1972 年に、隣接する 48ha のエリアに埋設個所が移った。

固体廃棄物の埋設トレンチは通常 6m の深さ、6m の幅で長さは様々である。粘土を十分含有する土壤中に設けられている。トレンチの底部は地下水面より少なくとも 3m 上にある。形状は水平に保たれている。

敷地内で発生する低レベル廃棄物は梱包されずに、直接トレンチ内にランダムに入れられる。表面線量率の高い廃棄物は遠隔操作される。廃棄物容器中の放射性核種濃度と量は臨界、安全、熱の規準に従って制限されている。圧縮することのできる廃棄物が約 40% を占めるが、十分な空間があるため実際に圧縮されてはいない。廃棄物を埋設後すぐに線量を下げ、汚染や火災を防ぐために土壌をかけられる。最低 1.2m の厚さとするが、表面線量が $1.55 \mu\text{Ci kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ (6mR/h) 以下になることが条件である。

本施設では管理上の制限をベータガンマ放射エネルギーと特別の核種の量に与え

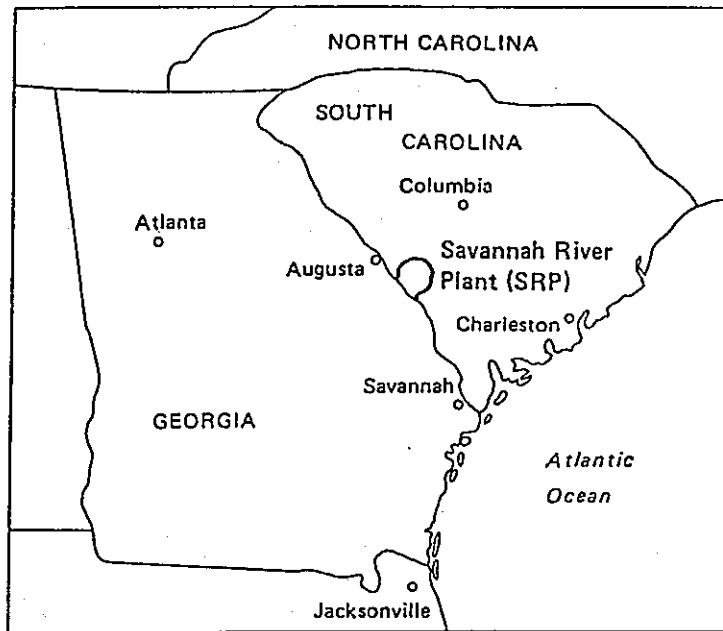


図2.1-12 サバンナリバープラントの位置 (IAEA, 1985)

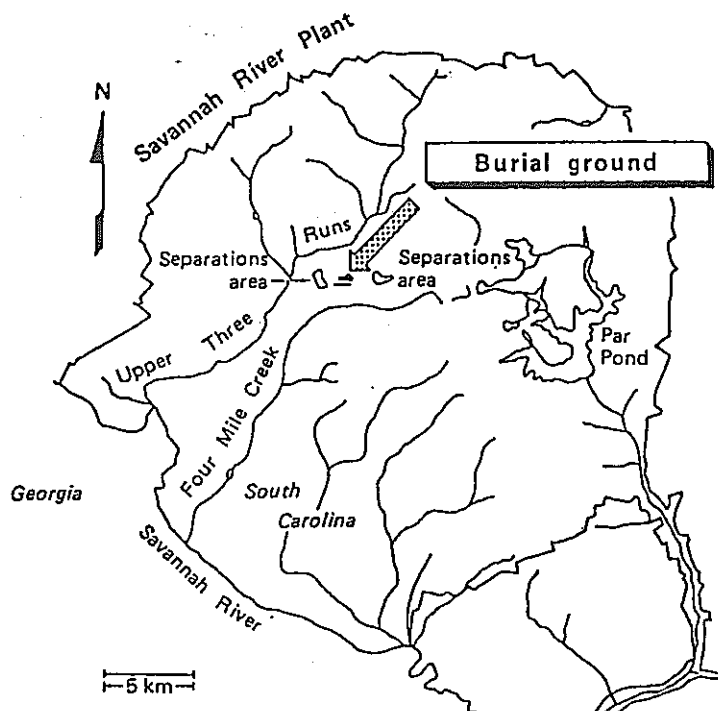


図2.1-13 サバンナリバープラントにおける埋設箇所の位置 (IAEA, 1985)

ている。廃棄物は放射線のタイプにより三つの分類に分けられ、埋設されている。これらはアルファ廃棄物、低レベルのベータガンマ廃棄物、中レベルのベータガンマ廃棄物である。貯蔵した廃棄物のインベントリ、位置、内容の記録が永久に保存される。個々の受入れ廃棄物の内容、放射線レベル、埋設位置が正確にコンピュータ内で保存される。正確な位置は20の区画に分けられた30m格子システムで定められている。1960年以前のトレンチはコンクリートの印が付されている。最初の31haのサイトはフェンスで囲まれており、新しいサイトは同様のフェンスと有刺鉄線で囲まれている。

(iii) モニタリング

本施設の全体的な環境モニタリングプログラムは非常に広範なものである。施設の建設の前にフィラデルフィアの自然科学アカデミーとサウスカロライナ大学、ジョージア大学により現状の調査が行われた。

また、固体廃棄物埋設地域での地下水モニタリング孔の広範な観測網がある。1956年に最初の31haの埋設サイトの周辺に5つの井戸が設置され、さらに6つの井戸が追加された。実際の廃棄物埋設個所で11の地下水に当たっていない井戸が15mまで掘られている。これらは廃棄物そのものが定置された所に留まっていることを測定するために用いられている。1969年には24のトレンチの井戸が充填されたトレンチを通った浸透水よりなる宙水を採取するために設けられた。66の井戸は60m間隔の格子の交点上に設けられている。これらは地下水面を3m突き抜けており、1979年には35の井戸がフェンスの外側の埋設地域周囲に追加された。このうちの16孔は交替用の井戸である。周囲に設けた井戸は地下水面を6m突き抜けている。

格子部の井戸と周囲の井戸からは四半期ごとに地下水を採取しており、地下水に当たっていない孔も年に1回モニターしている。初期の31haの地域の下部のトリチウム濃度は $1.9 \times 10^6 \text{ GBq (50,000 Ci)}$ である。そのうちの約 $3.7 \times 10^4 \text{ GBq (1,000 Ci)}$ はフェンスを越え、南西の7haの地域に移行していた。31haの地域の下部には、約 0.19 GBq (5 mCi) のアルファ核種、約 1.1 GBq (30 mCi) のベータ核種があると推定されている。

埋設地域を特に対象とした大気や土壌の日常的なモニタリングは行われていないが、植物の採取は毎年行われている。

(e) ナイアガラフォールズ貯蔵サイト(Bechtel National, Inc., 1985)

DOE の要請により、ナイアガラフォールズ貯蔵サイト(Niagara Falls Storage Site)の廃棄物貯蔵施設の隔離性能を間接的な方法によって確認できる性能モニタリングシステムの検討が行われた。その内容を以下に示す。

(i) 処分場概念

ナイアガラフォールズ貯蔵サイトはニューヨーク州LewistonにDOE が作った低レベル放射性廃棄物の中間貯蔵サイトである。廃棄物の貯蔵エリアは長さ約975ft、幅約450ftで、面積約10エーカーを占めている。

廃棄物は湖成の灰色粘土層を掘削した場所に定置され、その上には締め固められた粘土と土壌層によって被覆されている(図2.1-14)。表2.1-2に施設の構成要素とその機能を示す。

(ii) モニタリングの適用の考え方

提案した性能モニタリングシステムは、環境モニタリングとは異なるものである。すなわち、環境モニタリングでは環境中の放射性物質(ラドン、ラジウム、ウラン)の濃度や線量を計測しているのに対し、性能モニタリングシステムでは、廃棄物を隔離している構造物の欠陥を早期に検出し、適切な対応策をとることを目的としたものである。

(iii) モニタリングの対象

性能モニタリングシステムの目的は、以下の条件の一つあるいはそれ以上が、封じ込め機能が劣化する前にその位置を修復する措置がとれるよう、発生しているか、発生したことを示す証拠を検知することにある。そのため、本システムは予防的な補修プログラムといえる。

- ・ 廃棄物の差別的沈下
- ・ 粘土質帽岩の乾燥に伴うひび割れ
- ・ 水平方向の変位
- ・ 表面侵食
- ・ 動物による掘削
- ・ 植物根の侵入
- ・ 水位の急激な上昇

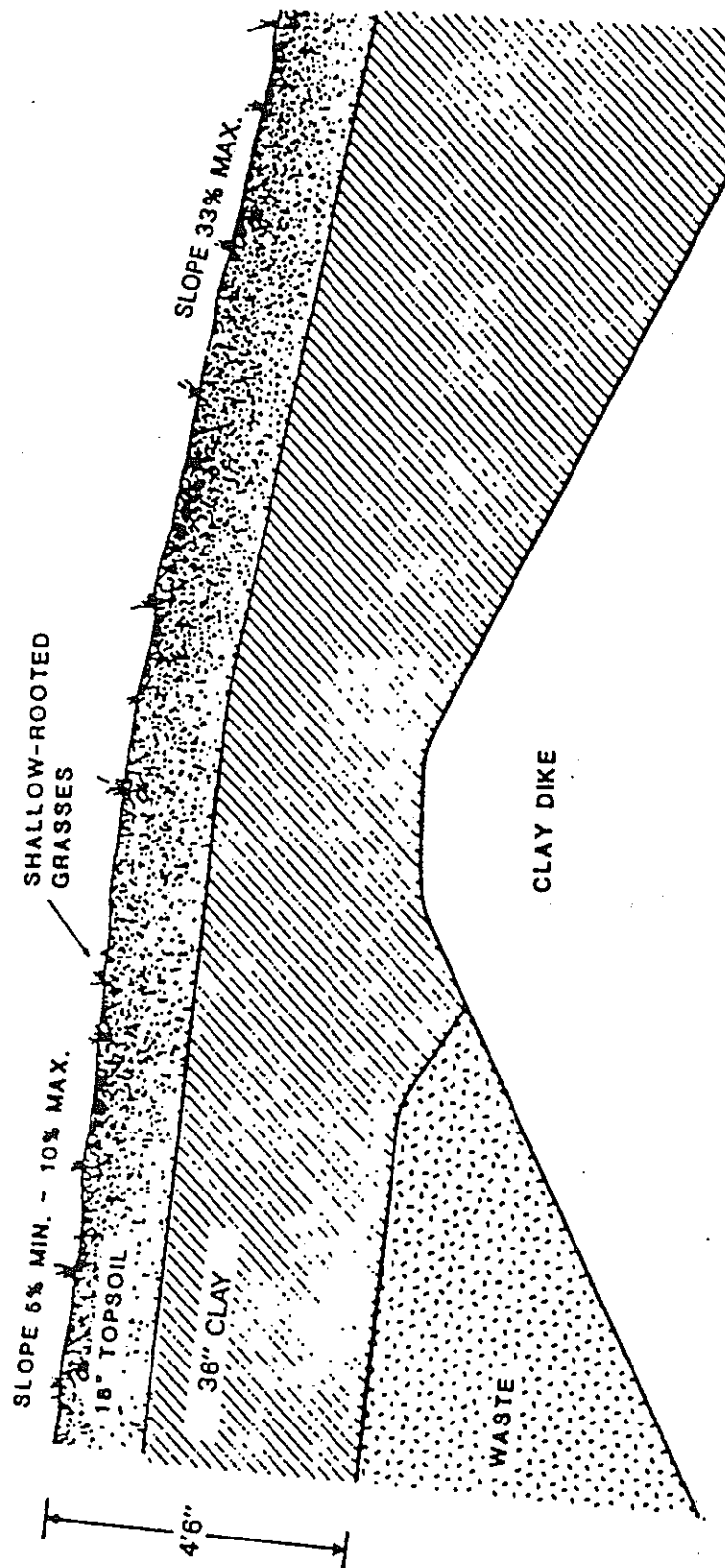


図2.1-14 ナイアガラフォールズ貯蔵サイトの断面形状 (Bechtel National, Inc., 1985)

表2.1-2 ナイアガラフォールズ貯蔵サイトにおけるサイト構成要素とそれに
対するモニタリング内容 (Bechtel National, Inc., 1985)

Design Feature	Purpose	Performance Monitoring Technique/System
Clay cap	- Reduce infiltration of water	Vibrating wire pressure transducers and pneumatic pressure transducers
	- Contain radiation, prevent radon emanation	Radon monitors (environmental monitoring program)
Soil cover	- Prevent drying of clay cap	Visual inspection for cracking
	- Support growth of shallow rooted vegetation	Visual inspection
Cutoff wall/Dike	Prevent escape of contaminated water	Testing of water samples from shallow monitoring wells (environmental monitoring program)
Grouting of contaminated wastes	Prevent settlement of wastes	Grid survey, visual inspection, aerial survey
Compaction of wastes	Prevent settlement of wastes	Grid survey, visual inspection, aerial survey
Connection of cutoff wall to gray clay unit	Prevent escape of contaminated water	Testing of water samples collected from deep monitoring wells (environmental monitoring program)
Exclusion of organics from stored wastes	Prevent decay, formation of gases, and ultimate settlement of wastes	Temperature sensors in vibrating wire pressure transducers
Slope of all sections of outer soil surface	Reduce residence time of precipitation water	Grid survey, visual inspection, aerial survey

(iv) モニタリング実施項目

モニタリングは地表モニタリングと地下モニタリングに分類した。地表モニタリングとして提案されたのは以下の方法である。

- ・地形調査（主に測量）

20ft間隔での測線上の交点に杭を設置し、定期的に杭の標高を測定する。

- ・現地観察調査

専門技術者が現地で目視観察し、地盤沈下、ひび割れ、好ましくない植物の成長やその他望ましくない状況の有無を確認する。

- ・空中写真解析

定期的に空中写真を撮影し、廃棄物貯蔵エリア内の等高線を描くことにより、地表面の変化を検出する。また、赤外線写真撮影により、植生の疎密や地表付近の水分の分布を把握する。

一方、地下モニタリングとして提案されたのは以下の方法である。

- ・間隙水圧測定

間隙水圧計を互いに100ft 以上離れないようにして境界付近と内側に設置する。温度の測定も同時に行う。図2.1-15に提案された間隙水圧計設置位置のレイアウトを示す。

- ・地下水モニタリング（環境モニタリングのシステムを併用）

上部帯水層、下部帯水層、基盤内帯水層を対象とした観測侯孔で、地下水の核種による汚染、移行をモニタリングする。

表2.1-2に構成要素に対応するモニタリング内容を示す。

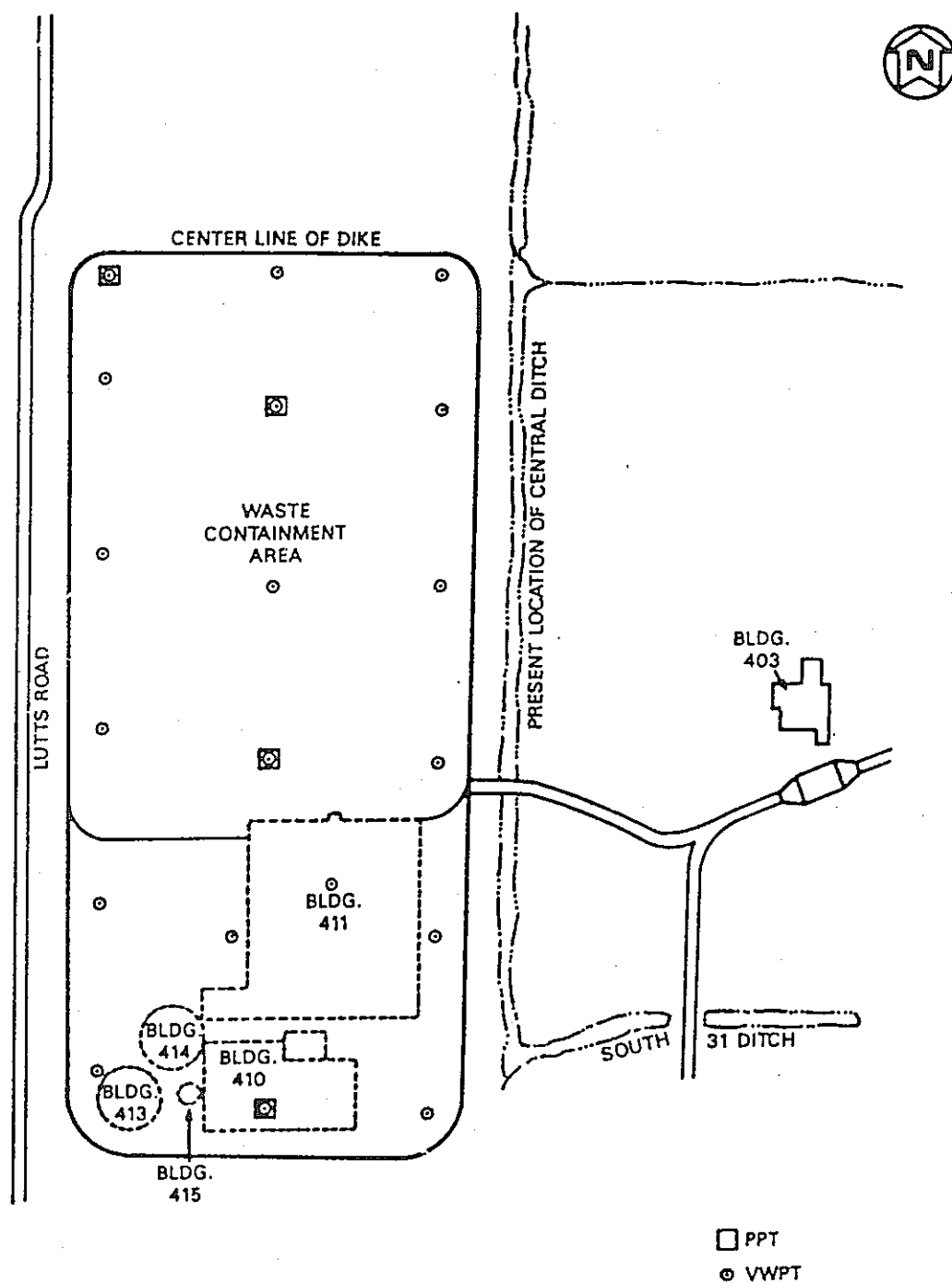
(2) イギリス

(a) 法規制 (Burholt and Martin, 1988)

イギリスは放射性物質の利用、貯蔵、処分を管理するシステムが整っており、基本となる法律は1960年放射性物質法(Radioactive Substances Act of 1960)で、原子力産業に関しては、1965年原子力設備法(Nuclear Installations Act of 1965)である。

(i) 廃棄物の分類 (Burholt and Martin, 1988)

固体放射性廃棄物の分類は放射性廃棄物管理諮問委員会により明らかにされている。



NO SCALE

図 2.1-15 ナイアガラフォールズ貯蔵サイトにおける性能モニタリング用間隙水圧計の
提案された設置位置 (Bechtel National, Inc., 1985)

極低レベル廃棄物 (Very low-level waste) は0.4MBq/t (10^{-5} Ci/t) 以下の濃度の廃棄物である。

低レベル廃棄物は英国核燃料会社 (British Nuclear Fuels plc, BNFL) が所有し、操業するドリッグ (Drigg)の処分サイトで廃棄するもので、それは、

- ・ β γ 廃棄物の表面線量率が7.5mGy/hを超えていないこと
- ・ 一日に埋設する全廃棄物の α 放射能が0.74GBq/m³を超えないか、 β 放射能が2.2GBq/m³を超えないこと

中レベル廃棄物は低レベル廃棄物の濃度を超えるが、発熱しないもので、およそ10～100TBq/tが限度となる。

その他高レベル廃棄物あるいは発熱性廃棄物が分類される。高レベル廃棄物は再処理からの抽出物に対して用いられ、発熱性廃棄物は高レベル廃棄物及び使用済燃料、その他の燃料加工から発生するものが相当する。以上の分類は処分を考慮したものではない。

(ii)1960年放射性物質法 (Burholt and Martin, 1988)

固体、液体、気体の放射性廃棄物に関する最初の包括的で、特別な権限が1960年放射性物質法に規定され、1963年12月1日に発効した。

この法律のもとでの管理は、州の環境長官により行われる。UKAEA の構内においての、あるいは構内からの放射性廃棄物を処分する場合には、また、1965年原子力設備法のもとでの認可されたサイトの場合には、管理は農業漁業食糧省との合同でなされる。ウェールズや北アイルランドでは管理形態は異なる。

この法律の手引きにおいて、処分とは、技術的な理由で、あるいは再保証を提供するために好ましいと思われるどのようなモニタリングも別にして、さらに何らの行為をとる意思を持たずに、環境中に放射性廃棄物を分散すること、あるいは人工、天然を問わず、施設の中に定置することとされている。

この法律の主要な目的は放射性廃棄物全体に対する管理を保証することである。この法律のもとで、基本的に放射性物質を保持し、利用する者はだれでも登録が必要となる。

多くの免除規定を持ちつつも、その法律では環境庁長官の許可なく建造物内に放射性廃棄物を積み置くこと、同じく許可なく全ての建造物（王室に所属するものを除く）での、あるいはそこからの放射性廃棄物を処分することを禁じ

ている (IAEA, 1985)。

(iii) 1965年原子力設備法 (Burholt and Martin, 1988)

この法律においては、正当な手続きを踏んだ原子力サイト許認可がどの原子炉の設備化や運転等にも必要である。

サイトにおける施設の運転の詳細な局面に対する規則は、許認可に対する条件の付与によってなされる。条件はスケジュールにおいて明記され、以下の局面に対する条項を含む。

- ・ サイト内の施設の設計、立地、建設、操業、態様変更、補修
- ・ 放射線と放出物のモニタリングシステム
- ・ 緊急時の計画
- ・ 放射性廃棄物の取扱い、処理、処分

(iv) その他の法規 (International Energy Associates Limited, 1987)

- ・ 1970年放射線防護法 (Radiological Protection Act of 1970)
- ・ 1971年原子力設備規則 (Nuclear Installations Regulations of 1972)
- 1965年原子力設備法を再処理、廃棄物貯蔵施設、処分場に適用させたもの
- ・ 1974年健康安全作業法 (Health and Safety at Work Act of 1974)
- ・ 1974年汚染管理法 (Control of Pollution Act of 1974)

放射性廃棄物による水の汚染の管理に関する条項を含むもの

(v) 実施主体 (Burholt and Martin, 1988)

1982年にイギリス政府はBNFLを始めとする原子力産業の組織によるNIREX (Nuclear Industry Radioactive Waste Executive)の設立を認めた。さらに、1985年にUnited Kingdom Nirex Ltd. という会社組織となった。この組織は処分サイトの調査に係わっている。この組織に委託された権限は、国の戦略に適合するように、低レベル及び中レベル廃棄物の処分の調整と管理を行うことである。高レベル廃棄物は、英国の政策が50年以上にわたる貯蔵であるため、NIREX の免除から除かれている。

(vi) モニタリング、回収可能性等 (International Energy Associates Limited, 1987)

高レベル廃棄物処分場のモニタリングに関する要件はない。また、これまでに、処分場から廃棄物を回収することについての要件も作成されていない。

(b) ドリッグ処分場 (Drigg Disposal Site)

(i) 施設の位置及び環境条件 (IAEA, 1985)

ドリッグ処分場はBNFL (British Nuclear Fuels Limited)によって運営されている。本施設はイギリス西部の典型的な海岸地域に 300エーカーの広さの敷地を有し、BNFLのセラフィールド工場の南西約 4 マイルの所に位置している。ただし、現在、低レベル廃棄物用に法的に承諾されているのは、サイト北側の 88エーカーの広さの場所のみである (Johnson, 1990)。本地域は地震が少なく、洪水が生じるような場所ではない。

隣接した地域は人口の少ない農地である。唯一の大きな産業はセラフィールド工場で、15マイル離れた所にはWhitehavenとMillomという小さな工業都市がある。

サイトの年降水量は約1200mmで、卓越した風向はない。

サイトの基盤は固結したSt. Bees砂岩で、粘土、砂、礫からなる氷河堆積物がそれを覆っている。砂岩は潜在的な帯水層であり、粘土が効果的な不透水層と期待されている。

サイトの利用に対して課せられた規則面の条件の一つは、トレンチは粘土を含む層を突き抜けないということである。それにより、砂岩に直接水が流れ込まないことになる。粘土の上にはサイトの多くの部分で氷河性の砂が堆積している。トレンチは部分的にはこの砂層中に設けられる。

氷河堆積物は砂岩中に地下水を留めていると思われる。高い透水性を示す層が多く氷河堆積物中に存在し、それらは不連続ではあるが、循環地下水が存在している。全体的に低い透水性を示す厚い氷河性堆積物の分布する場所にトレンチを設けるのが結論である。

(ii) 廃棄物の受入れと廃棄の条件 (Johnson, 1990 ; IAEA, 1985)

ドリッグにおける低レベル廃棄物の処分は、1960年放射性物質法のもとに環境省と農業漁業食料省 (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food)によって認定されている。この認定は、約3年のサイクルで見直されている。現在の認定における主要な条件は以下の通りである (Johnson, 1990)。

- どの一つの積送品における放射能も、アルファ核種が4GBq/t (120mCi/ton)、その他の放射性核種が12GBq/t (360mCi/ton) を超えないこと

- ・処分する前に廃棄物を密に詰めるための最も実地的な手段をとること
- ・処分した廃棄物からのどんな放射性核種の移行をも制限するための最も実地的な手段をとること
- ・サイトから流出する溶解物中の核種の特定のグループについて濃度を特別に制限すること
- ・処分することを認められた特定の放射性核種、あるいはそのグループを年間で制限すること

BNFLはまた、法的要件とともに技術的、放射線学的安全規準に適合することを目指して、ドリッグにおける廃棄物の受入れのための条件を課している。

一方、廃棄物の処分は次の条件を有するものとなっている(IAEA, 1985)。

- ・廃棄物は土壌の少なくとも1 m下部に埋設する。
- ・埋設用の掘削は粘土層を突き抜けない。
- ・ベータ線、ガンマ線を放出する廃棄物で、実質的にシールドを施していないものの表面の線量率が0.75rads/h(7.5×10^{-3} Gy/h)を超えない。
- ・いつの日においても埋設する廃棄物の、
 - ①アルファ放射能が平均して0.74GBq/m³ (20mCi/m³)を超えない。
 - ②ガンマ線を放出しないベータ線放出核種の放射能が平均して2.2GBq/m³ (60mCi/m³)を超えない。

(iii) 廃棄物のタイプ (IAEA, 1985)

本施設で埋設される廃棄物の大半はセラフィールド工場で発生するものである。1972～1982年の間に概して70,000 m³の廃棄物が埋設された。そのうち、約85%がセラフィールドからのもので、建設工事で発生した土壌や割りぐりがかなり含まれている。約4%は他のBNFLサイトからのもので、残りの11%は原子力局、中央電力局などからのものである。

ただし、1980年代後半のセラフィールドからの発生量は平均年間25,000 m³で新工場の稼働により年間40,000 m³に増大すると思われるが、他の施設からの発生量は年間13,000 m³で、将来は6,000 m³に低減されるものと考えられている(Johnson, 1990)。

廃棄物は少量の放射能を帯びたもので、紙タオル、包装材、保護布、電力ケーブル、金属屑、汚染土壌、建設廃材などである。主としてベータ線、ガンマ

線からなる約74TBq(2,000Ci)の放射能を有する廃棄物が年間に埋設されている。
その容積は約 500,000 m³になる。

(iv) 梱包 (Johnson, 1990 ; IAEA, 1985)

適切な所で、廃棄物は 200 ℓ 鋼製ドラム缶か紙袋に梱包され、あるいは大きさや形が合わなければ個別に強固で不透水の容器に入れられる (IAEA, 1985)。

セラフィールド廃棄物と非セラフィールド廃棄物の稠密化の計画が現在開発中である。現在意図されているのは、セラフィールド廃棄物は公称 1 m³の箱に入れられ、さらに強制的に圧密することである。標準的な 200 ℓ ドラム缶よりも 1 m³の箱を利用することにより、より多くの量の廃棄物を圧密機にかけることができ、より高度な減容を達成することができる。プラントの詳細設計が現在なされており、完全な操業は1993年半ば頃に開始される予定である。適合している非セラフィールド廃棄物は既に日常的に 200 ℓ ドラム缶に積み込まれている。これらもまた、個々の荷主の選択により、荷主のサイトで強制的に圧密されるか、セラフィールドでの圧密プラントで処理される予定である (Johnson, 1990)。

(v) 処分場概念 (Johnson, 1990)

図 2.1 - 16 に現在のドリッグでの処分概念を示す。主要な特徴は以下の通りである。

- ・ ISO 貨物容器の独占的な利用
- ・ 自然の粘土層をそのまま利用 (必要な場合には人工的に粘土を増す)。これにより埋設空洞の深度と積み重ねの最大高さを制限する。
- ・ パイプラインにより海へ排出する水平な暗渠の設備
- ・ ドーム状の覆いの採用

これらは中間的な解決策と考えられており、改善策が合わせて検討されている。最も最近の開発はサイトの長期安定性に関連したものである。圧密を導入したにも係わらず、埋設空間内の空間が依然として重要であるとの評価結果が出ている。さらに ISO 貨物容器の劣化が数百年に及ぶ可能性がある。これらから、サイトへの突然の定住と引き続く覆い部分の広範な除去の危険性が指摘された。そのため、容易に接近できる空洞部分は密にグラウトすべきであると現在では考えられている。そして、ISO 貨物容器よりもむしろコンクリート構造の

オーバーパックの利用が考慮されている。その他考慮されている事柄は以下の通りである。

- ・施工された粘土上に完全に基礎を置いたより深い埋設よう空洞の利用
- ・干潮時の海水面レベルより下に流出することが知られている広域的な帯水層へ溶解物を運び込むメンテナンスフリーの垂直暗渠
- ・単一のドームよりも粘土製の嶺を利用した永久的な覆い

図2.1-17に改良案の処分場概念を示す。

(vi) モニタリング (BNFL, 1990b ; IAEA, 1985)

環境省の検査官により適宜検査がなされる。トレンチの傾斜面はTVモニタで観察されている。自動警報装置に接続している火災検知器も使われている。廃棄物容器の表面の線量率と環境試料中の放射性核種濃度は日常的にモニタリングされている。大気中及び河川中の放射性核種濃度はBNFLにより毎年公表されている (IAEA, 1985)。

ドリッグにおける環境モニタリングプログラムの内容は以下の通りである (BNFL, 1990b)。

- ・サイトから流出する、あるいはサイトに近接した地表水やその他の排水としては、図2.1-18に示すように、小河川に沿って、あるいはサイト境界で、採取箇所により期間や測定核種が異なるが、毎週、毎月、あるいは毎四半期に採水し、アルファ、ベータ、 ^3H を主とし、その他、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、ウラン、 ^{232}Th 、プルトニウム、 ^{241}Am などを測定する。
- ・G5粘土の上位の宙水や広域的地下水は四半期ごとに採取し、アルファ、ベータ、 ^3H を測定し、アルファ、ベータ放射能があるレベル以上の場合には、ウラン、 ^{232}Th 、プルトニウム、 ^{241}Am 、 ^{90}Sr を分析する。
- ・大気を対象とした場合には、サイトの境界近くで、大容量サンプラーの場合には毎月 ^{90}Sr 、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 、 ^{106}Ru を、また、毎年プルトニウムと ^{241}Am を分析している。小容量サンプラーの場合には毎月全アルファ、全ベータを分析している。
- ・ミルクは近くの農場で毎日採取し、四半期ごとに6試料として、ガンマと一部 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^3H を測定している。
- ・空間放射線はドリッグ川の南側土手の1mの高さの所で四半期ごとに測定して

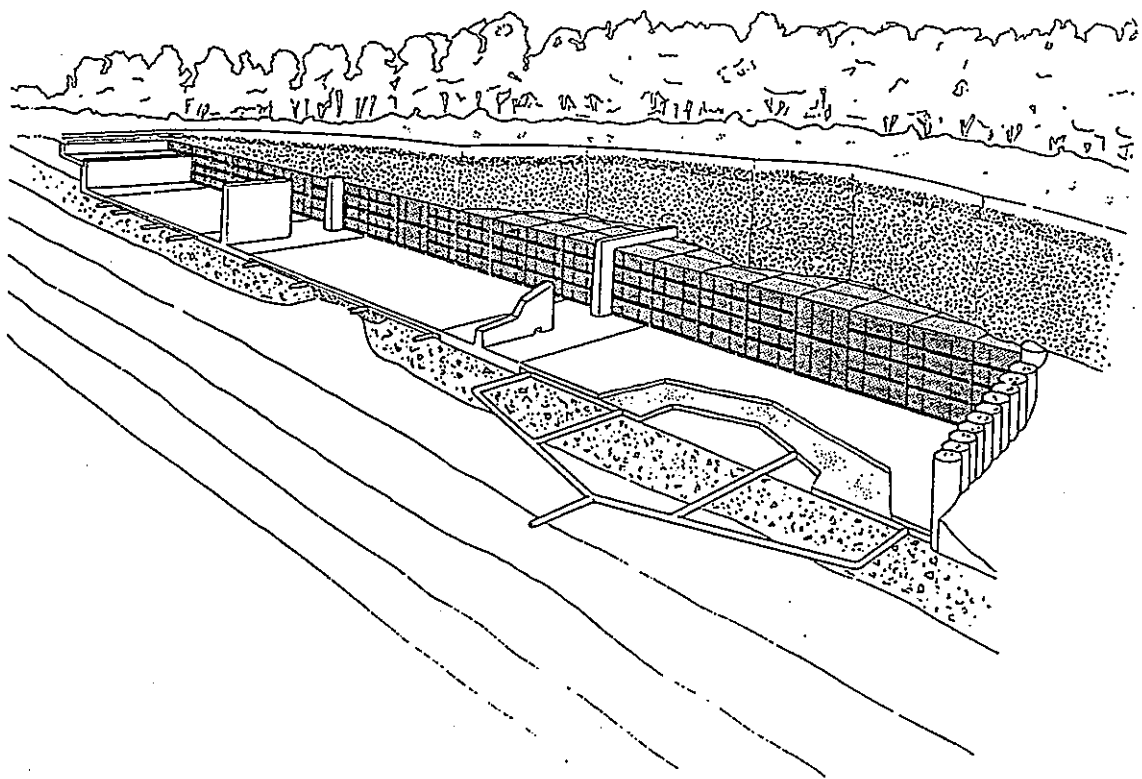


図2.1-16 ドリッグにおける処分概念 (Johnson, 1990)

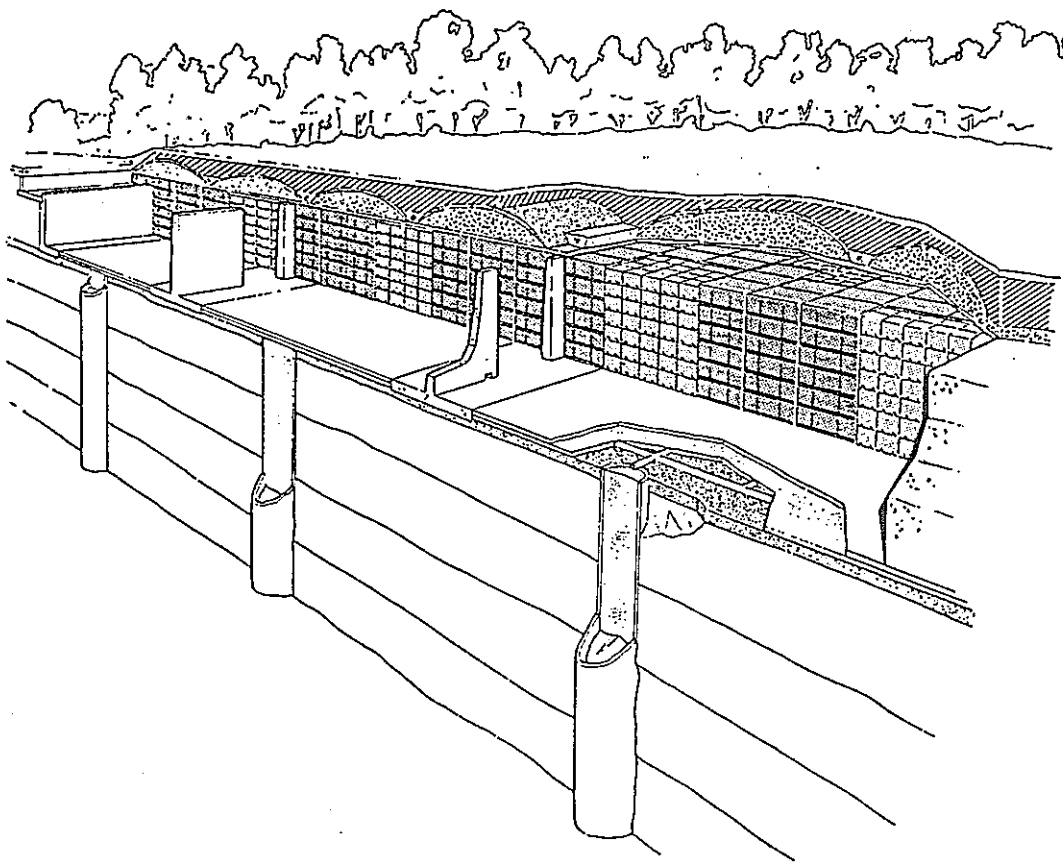


図2.1-17 ドリッグにおける処分概念の改良案 (Johnson, 1990)

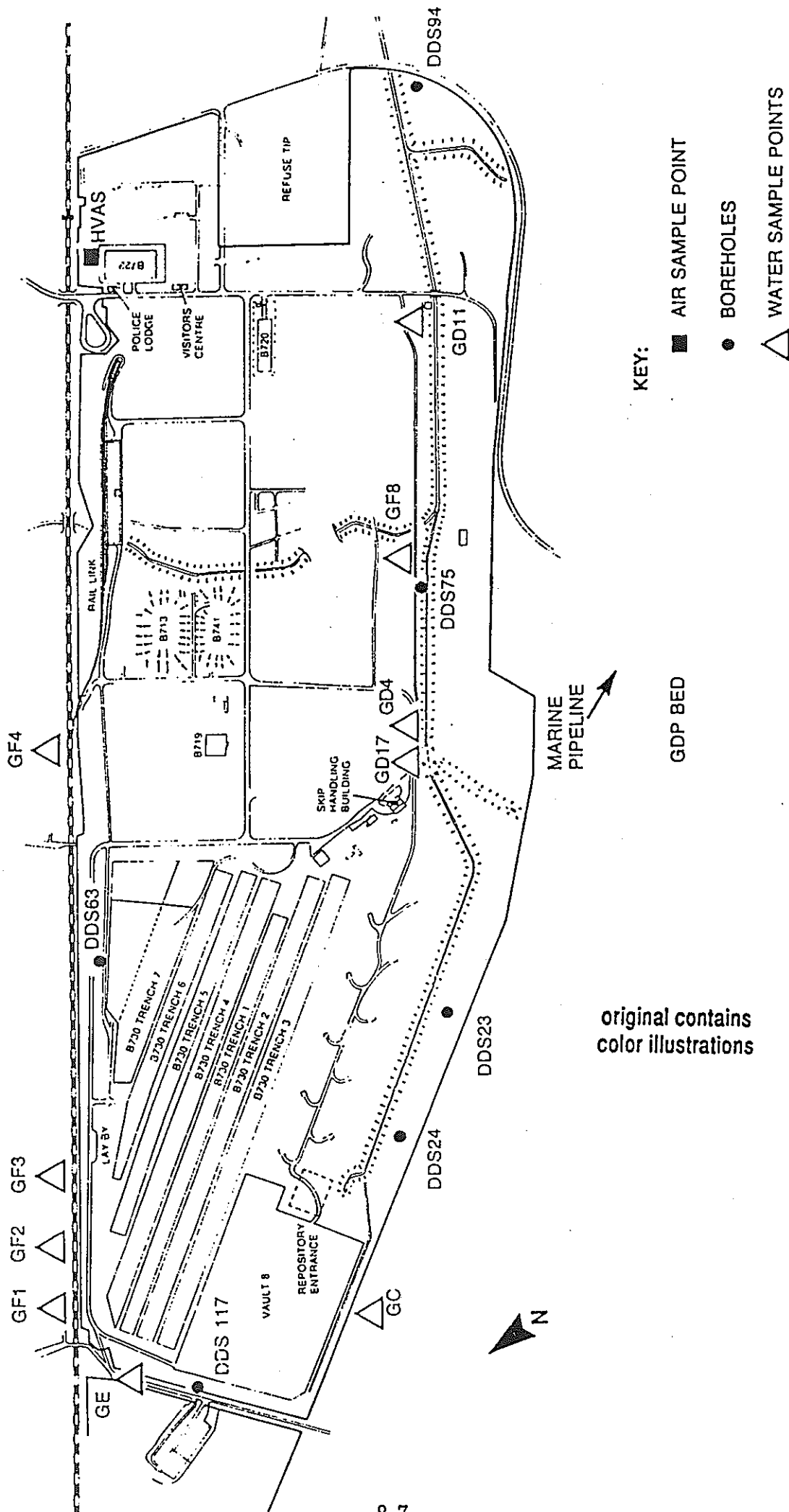


図2.1-18 ドリッグ処分場のサイトモニタリング (BNFL, 1990b)

いる。また、ドリッグ川の川底から採取した堆積物を乾燥し、全アルファ、全ベータ、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{232}Th 、プルトニウム、 ^{241}Am などを測定している。

図2.1-19(BNFL, 1990a)には、主としてドリッグ敷地外の環境試料採取位置を示した。個々の環境試料の採取位置数は必ずしも多くなく、また位置も一定方向に多いように見受けられる。

(3) フランス

(a) 法規制 (Burholt and Martin, 1988)

フランスにおいては、放射性廃棄物の管理を規定する法規は、環境防護についての一般的法規の一部となっている。廃棄物管理に関する全体的な責任は、産業研究省 (Ministry for Industry and Research) にある。

(i) 廃棄物分類と技術規準 (Burholt and Martin, 1988)

「Regles fondamentales de surete (RFS)」が、規制要件に適合させるためのガイドラインを提供するために、そして放射性廃棄物の処理と貯蔵のための将来の施設の安全解析を促進するためにSCSIN (Central Service for the Safety of Nuclear Installations) によって制定された。これは公的な規則とは見なされていないが、規則の運営を考慮した勧告と見なされている。RFSは短半減期及び中半減期の固体廃棄物の長期貯蔵用地表施設の設計と作業のための一般的原則を含んでいる。サイトスペシフィックの安全解析は年間 1mSv の個人被ばく線量に基づいている。処理、貯蔵に適した物理特性が示され、廃棄物が放射エネルギーと線源あるいは発生源の観点で分類されている。

固体廃棄物は長半減期の核種を含むものと含まないものに特性づけられている。後者は三つのタイプの処分場に合わせて三つに分類されている。分類Ⅰは主として30年以下の半減期のベータ/ガンマ核種を主に含み、アルファ核種が 1 t 当たり 0.1Ci を超えないものである。分類ⅡはTRU 廃棄物で、分類Ⅲはガラス固化される高レベル廃棄物である。

処分場における廃棄物容器の受入れは国家放射性廃棄物管理局 (National Radioactive Waste Management Agency, ANDRA) によって提案された品質保証管理システムによって決定される。浅層埋設のための処理済廃棄物の受入れのために、ANDRA は廃棄物特性と容器特性を包含する一連の詳細な仕様を定めた。

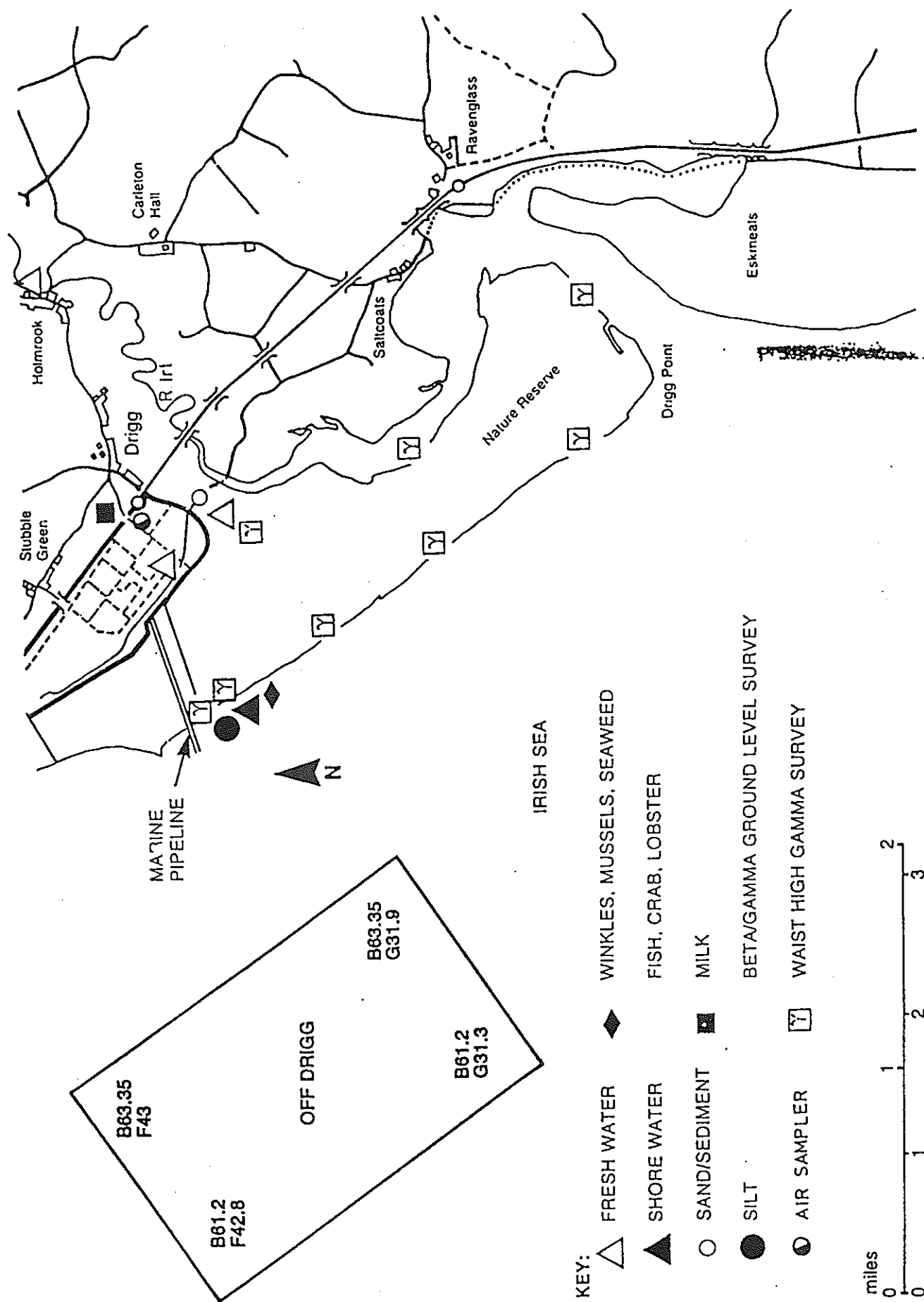


図 2.1-19 ドリッグ処分場周辺の環境モニタリング (BNFL, 1990b)

高レベル廃棄物を対象とした一般的ガイドラインは検討中である。

(ii) 関連法規 (Burholt and Martin, 1988)

以下の法律が放射性廃棄物に関連したものである。

- Act No. 75-633 of 15.7.1975 (廃棄物処分とリサイクルについて)
- Act No. 64-1245 of 16.12.1964 (水の供給、水の汚染管理について)
- Act No. 61-842 of 2.8.1961 (大気汚染とにおいの管理について)
- Act No. 76-629 of 10.7.1976 (自然保護条例)
- Decree No. 66-450 of 20.6.1966 (放射線防護)

(iii) 規制、管理当局及び公的機関 (Burholt and Martin, 1988;

International Energy Associates Limited, 1987)

放射性廃棄物管理に責任を有する省庁は以下のものである。

- 産業研究省
- 健康省 (Ministry of Health)
- 環境省 (Ministry of the Environment)

この中で、環境長官は汚染管理と検査に主導的な役割を有している。また、全ての原子力施設（処分施設を含む）のための申請を伴う環境影響評価研究は環境長官に提出される。

廃棄物管理政策を進め、廃棄物産出装置を監督する責任を有する省庁間組織、多訓練組織として以下のものがある。

- the Intermistial Committee for Nuclear Safety (CISN) : フランス政府内の原子力に係わる事項の全体的調整に責任を有する。
- the Higher Council for Nuclear Safety
- the Central Service for the Safety of Nuclear Installations (SCSIN)
- the CEA Institute for Protection and Nuclear Safety (IPSN)
- the Central Service for the Protection against Ionizing Radiation (SCPRI) : 放射線レベルのモニタリングに責任を有する。
- the Intermistierial Committee for Major Nuclear Installations (CIINB)

原子力委員会 (the Atomic Energy Commission, CEA) は行政的、財政的に独立した機関で基礎研究、防護、原子力法規制、原子力材料と原子力エネルギーの利用に責任を有している。CEA は IPSN を通して放射性廃棄物の実験を行って

いる。

国家放射性廃棄物管理局（ANDRA）の主要機能は、

- ・長期の処分施設の認知、創設、建設；廃棄物の産出量の推定などの研究を含む。
- ・直接的あるいは第三者機関を通じての廃棄物センターの管理
- ・長期処分施設における処分に先立って、廃棄物の処理、貯蔵の仕様を定めること
- ・研究開発への貢献

ANDRA の活動は主に二つに分類される。

- ・存在している処分施設（Center de La Manche）のための廃棄物管理
- ・新しい処分施設の研究と建設

その他、CEA の100%子会社であるCogemaがあり、原子燃料サイクルの事業に責任を有している。

(iv) モニタリング、回収可能性等（International Energy Associates Limited, 1987）

1) 中間貯蔵

ANDRA はガラス固化した高レベル廃棄物を、処分に先立って数十年間（several dozen years）貯蔵する考えである。この期間は、再処理したガラス固化体のIPSNによる安全規則—それには、処分に先立って少なくとも4年間貯蔵すべきことが示されている—に明記されている最小貯蔵期間より十分長いものである。

2) モニタリング

閉鎖に引き続く高レベル廃棄物処分場のモニタリングに関しては、未だ何の要件も定められていない。しかし、将来モニタリングは行なわれるであろう。廃棄物処分の総合的な安全目標は、処分場の閉鎖の後では、人間の行為がさらに必要とならないように、処分場は環境と人々を十分に防護しなければならないというものである。

3) 回収可能性

SCSIN の現在の考え方は、回収可能性についての条項は必要ないというものであるが、将来この見解は変更するかもしれないと述べている。

(b) ラマンシュセンター (Centre de la Manche) (IAEA, 1985)

1969年以来、ラマンシュセンターは原子力発電所、研究機関、大学及び病院において発生する低レベル及び中レベル固体廃棄物のフランスにおける処分施設となっている。

(i) 施設の位置及び環境条件

本施設はフランス西部のラアーグ (La Hague) 半島に位置する。6 億年以前の結晶質岩を基盤とし、上記に砂質、泥質の堆積岩が存在する。一般に割れ目が存在し、地下水の循環系が存在する。地下水面は 6 m から 15 m 下部に認められている。年平均気温は約 10℃ で、0℃ 以下の日が年間で 20% 弱を占める。年間降水量は 1,000 mm で、一年のうち半分は雨日であるが、降雪日は年間 5 日を超えることはない。可能蒸発散量は年間 680 mm である。

本施設周辺の人口は少ない。半径 10 km 以内に居住する人口は約 1,500 で、約八万人居住する町 (Chebourg) は 25 km 東に位置している。サイト周辺では地下水も河川水も飲用水としては用いられていない。

(ii) 施設の概要

本施設の平面図を図 2.1-20 に示す。東西 300 m、南北 600 m 程の敷地面積を有している。

収容能力は約 400,000 m³ で、最終時には ⁹⁰Sr で 3.7×10^8 GBq、¹³⁷Cs で 1.3×10^7 GBq の放射能を有する廃棄物が埋設される。

(iii) 廃棄物のタイプ

本施設で処分される廃棄物は主に、原子力発電所や研究用炉の廃棄物、燃料加工と再処理事業の廃棄物、その他大学他の原子力研究施設や病院で発生する廃棄物で、冷却水を洗浄するためのイオン交換樹脂、使用済フィルタ、除染スラッジ、放射性的機器、使用済の放射線源、解体廃棄物などである。

1981 年には 25,000 m³ 発生した。そのうち、45% が炉、9% が燃料加工、30% が再処理、16% がその他からの廃棄物である。

安全当局により規制されている最大放射エネルギーは ⁶⁰Co で 110,000 GBq/m³、¹³⁷Cs で 7,400 GBq/m³、⁹⁰Sr で 148 GBq/m³、²³⁹Pu で 37 GBq/m³ である。処分する容器表面の放射線量は 2 mGy/h を超えないこととされている。

(iv) 埋設用容器

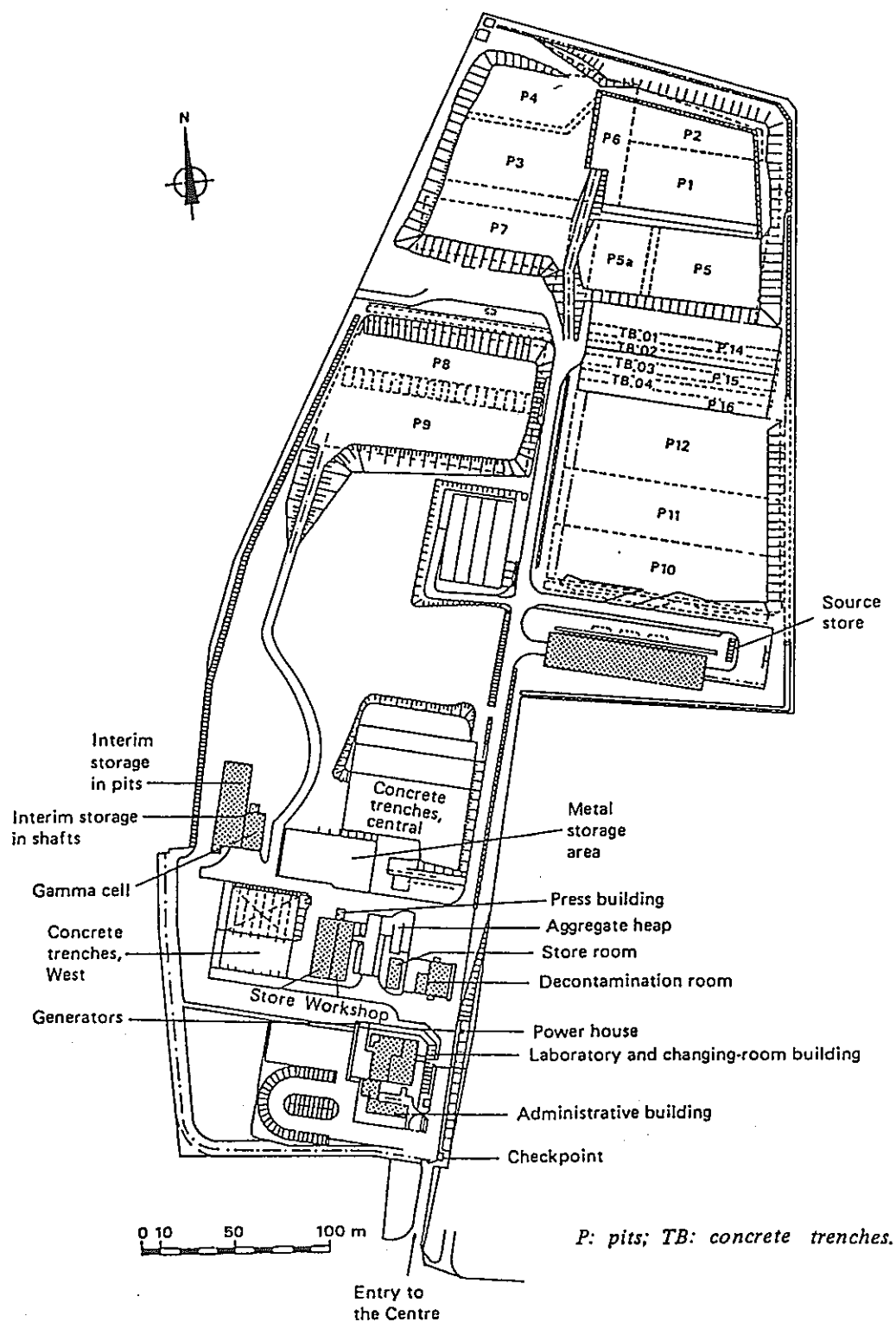


図 2.1 - 20 ラマンシュセンターの平面図 (IABA, 1985)

梱包が不適切なもの、液体状のもの、水を含むもの、爆発性のものなどの廃棄物は受け入れていない。廃棄物は通常発生者により中性化、不動態化された後、ANDRA によって認証された容器に入れられる。埋設可能な容器は以下の通りである。

- ・ 200ℓ、100ℓのドラム缶
- ・ 1.7m×1.7m×1.7m ; 1.7m×1.7m×0.85m ; 1.7m×0.85m ×3.4mの鉄製の箱
- ・ 直径1.4m、高さ1.3mのコンクリート製ブロック

その他特殊な廃棄物に対しては特殊な容器が考慮されている。

(v) 埋設形態

埋設形態としては主に以下の二つの種類がある。

- ・ 地面を掘り下げて造ったトレンチ内に定置する。
- ・ 地面の上にコンクリートあるいはアスファルトの層をひき、その上に大きなチュムリ（マウンド、塚）を設け、その中に入れる。

フランスの安全規則では、中レベル廃棄物はコンクリート容器に入れなければならない。チュムリに置くことができるのは、

- ・ 低レベル廃棄物として十分放射能の低い廃棄物（例えば ^{137}Cs で7.4GBq/m³）
- ・ コンクリートのトレンチの場合と同様に、自身で十分確実な隔離を提供する梱包をした廃棄物、10cm、20cm、30cmの厚さの鉄筋コンクリート製の大きな容器がこれに当てはまる。

1969年に施設の操業が開始されて以来、図2.1-21～28のような埋設が行われてきた。モノリスは現在、下部がコンクリートを打たれてあるトレンチ内に設けられている。集水システムは表流水や建設操業期間中に浸入した水を集めるように設けられている。

ピットはパネルと呼ぶ壁により仕切られている。底部と側壁はモノリスの強度を保つため鉄筋により補強されている。容器はクレーンにより吊り下げられ、準に積まれる。仕切られた部分（コンパートメント）はコンクリートで最後に充填され、コンクリートモノリスが形成される。

チュムリは埋設したモノリスの上に、アスファルトで覆ったコンクリートの台を設けて造られる。境界で仕切られたそのエリアは集水システムで取り囲まれている。集水システムは操業期間中は流出水を集め、完成後は構造内に浸入

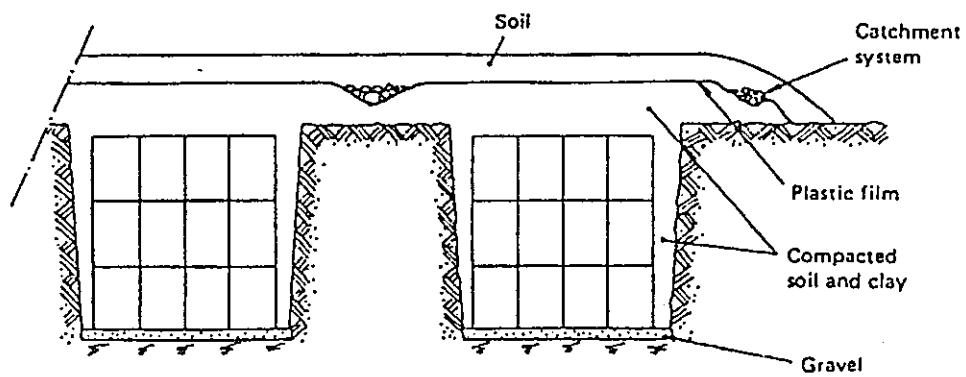


図 2. 1 - 21 埋設用チレンチの断面 (IAEA, 1985)

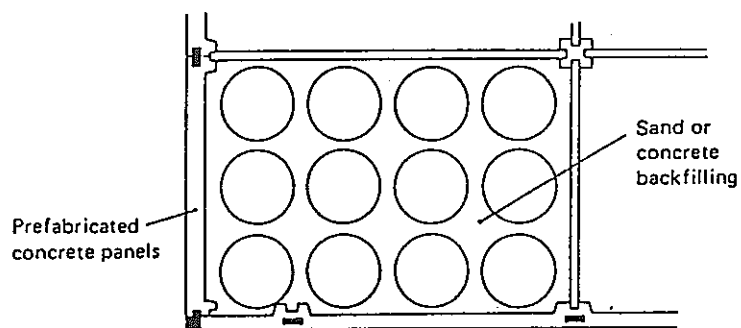


図 2. 1 - 22 コンクリート壁トレンチの平面図 (IAEA, 1985)

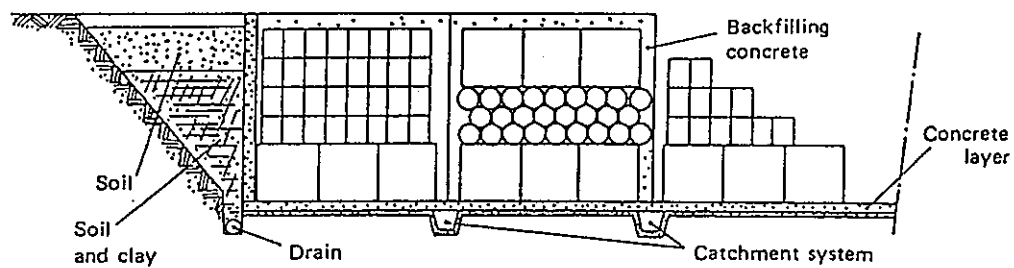


図 2.1-23 無筋コンクリートモノリス (IAEA, 1985)

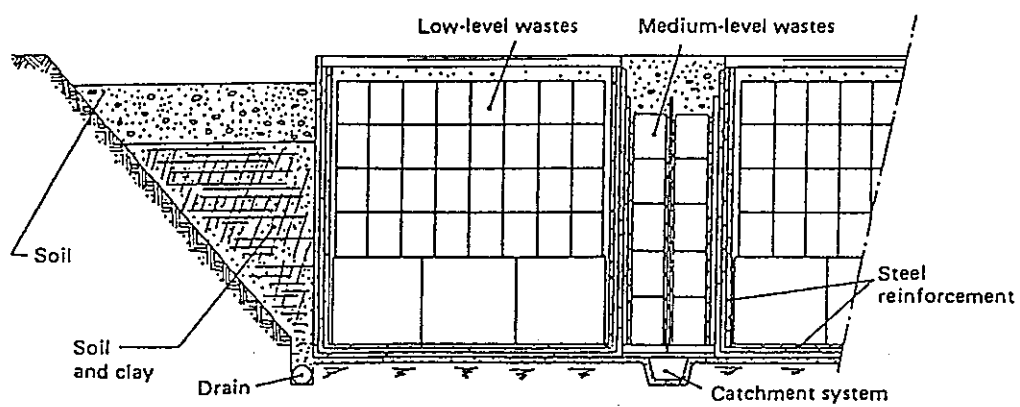


図 2.1-24 鋼製補強モノリス (IAEA, 1985)

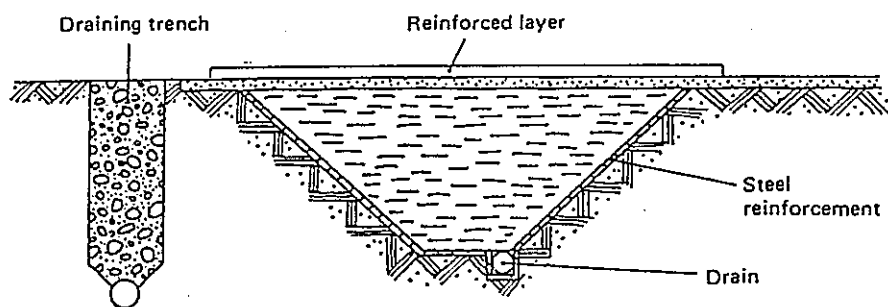


図 2.1-25 ウラン水酸化物用の特殊トレンチ (IAEA, 1985)

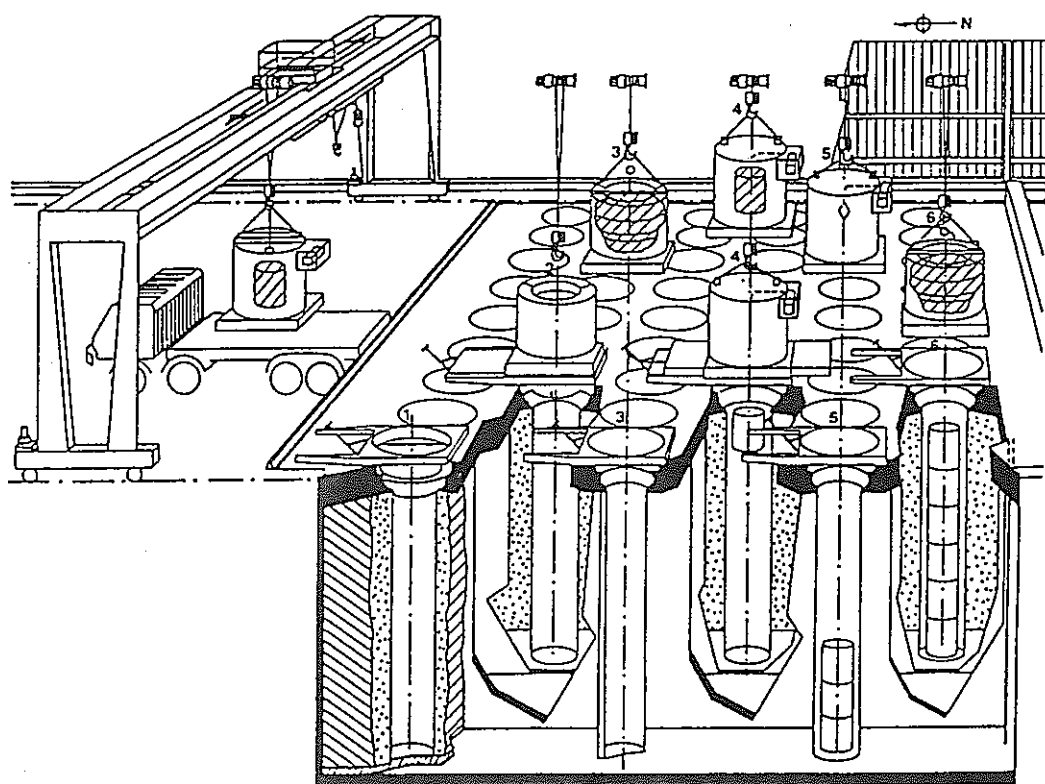


図 2.1-26 中レベルのセシウム廃棄物用特殊施設 (IAEA, 1985)

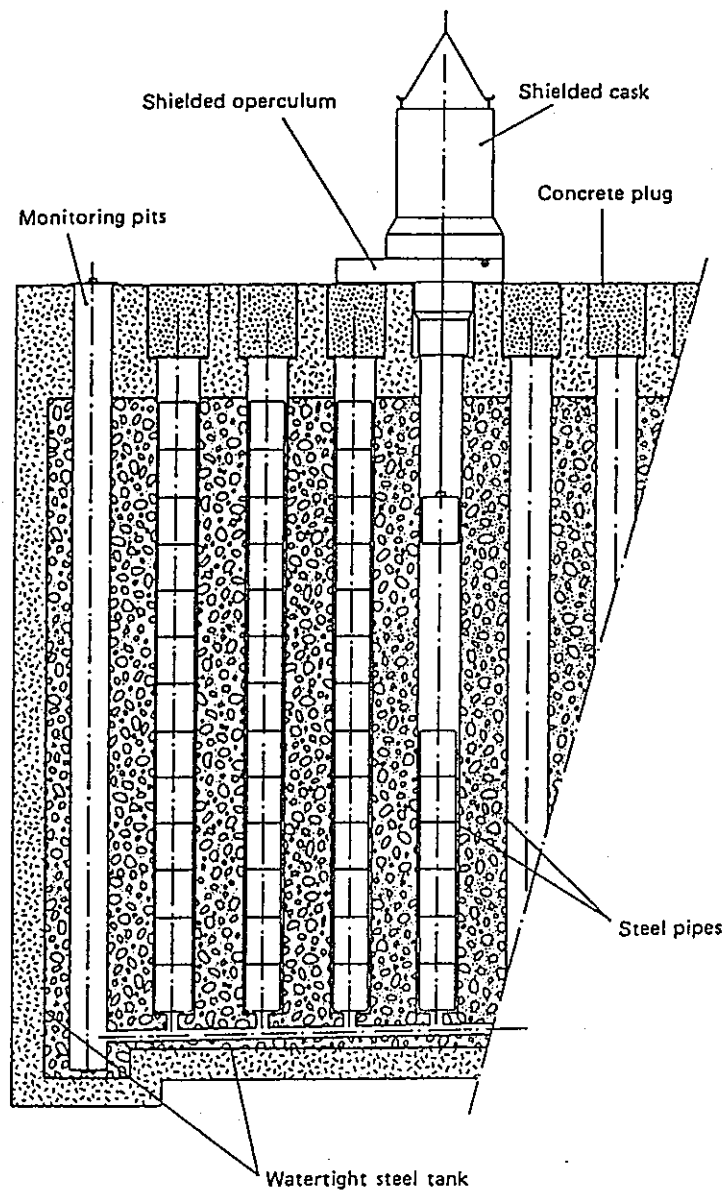


図 2.1-27 ピット内貯蔵 (IAEA, 1985)

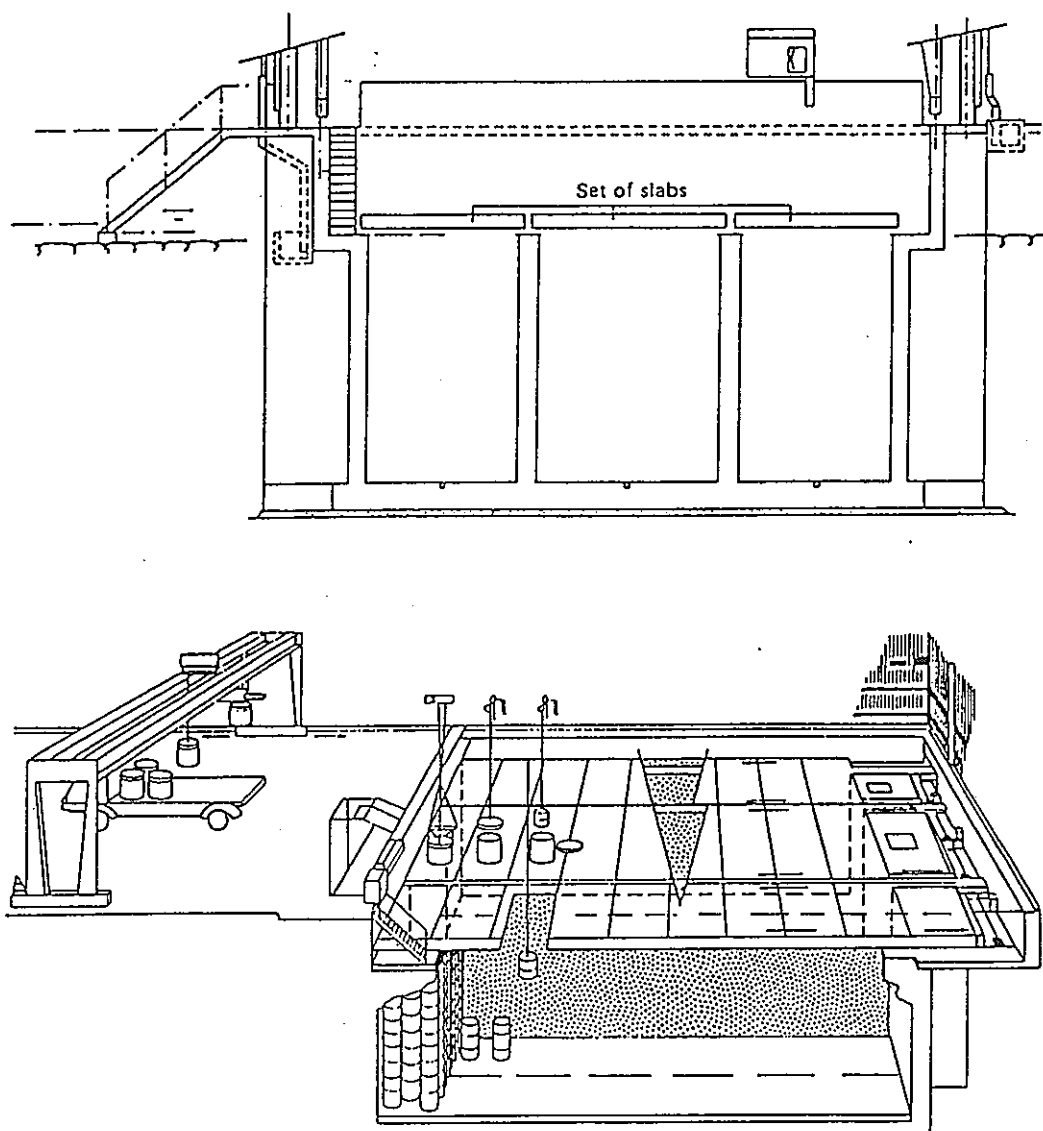


図 2.1 - 28 照射化を受けた容器の貯蔵タンク (IAEA, 1985)

する水がないことを確認するために設けられるものである。

礫や石よりなる埋戻し材は容器の間の隙間を埋め、チュムリの安定性を保つように、積み重ねた容器全体を覆って充填される。最後に、その上部を土壌と粘土よりなる不透水性の厚い層で覆い、植生を施す（図2.1-29, 30）。

(vi) 密閉と埋戻し

気候を考慮して、浅層処分用のシステムとして採用したのは、サイトに特別の特性を要求しない多重バリアシステムである。この選択においては、廃棄物の梱包と埋設施設の建設において、密閉作業と埋戻し作業に特別の注意を必要とする。

梱包プロセスの研究には細心の注意を払い、埋戻し材とそのハンドリングには十分な試験を行った。モノリスの埋戻し材も実験室で試験を行い、現地で規則に従ったチェックを行った。

(vii) モニタリング

操業期間中に、本施設は産業省と保健省の両者によって行われる全体にわたる検査を受ける。水と空気と土壌についての規則に則ったモニタリングが保証される。チュムリとモノリスを囲む集水システムはそれらの構造体を通過したり浸入したりした水を集める。試料は20個所で毎週採取され、アルファ、ベータ、トリチウム濃度が実験室で測定される。地下水面の変動も同じく測定される。その測定は25個所で行われ、放射能が認められないことを確認するチェックが行われる。小規模の気象観測ステーションでは雨量と放射能の測定が行われる。空間放射線の測定も建物の内部と外部で規則的に行われる。本施設内と敷地境界に沿って設けられた線量計では、放射能レベルが測定される。全ての測定の報告が毎月検査当局に送られ、保管される。

(4) ドイツ

(a) 法規制

(i) 廃棄物の分類と技術規準 (Burholt and Martin, 1988)

ドイツでは高レベル、低レベル廃棄物及びそれらに属さない中レベル廃棄物が分類されている。これらはハンドリングの観点からのもので、処分の観点では発熱性のものと非発熱性のものに分けられる。コンラッドでは非発熱性の廃棄物の受け入れが、ゴアレーベンでは両者の廃棄物の受け入れが計画されている。

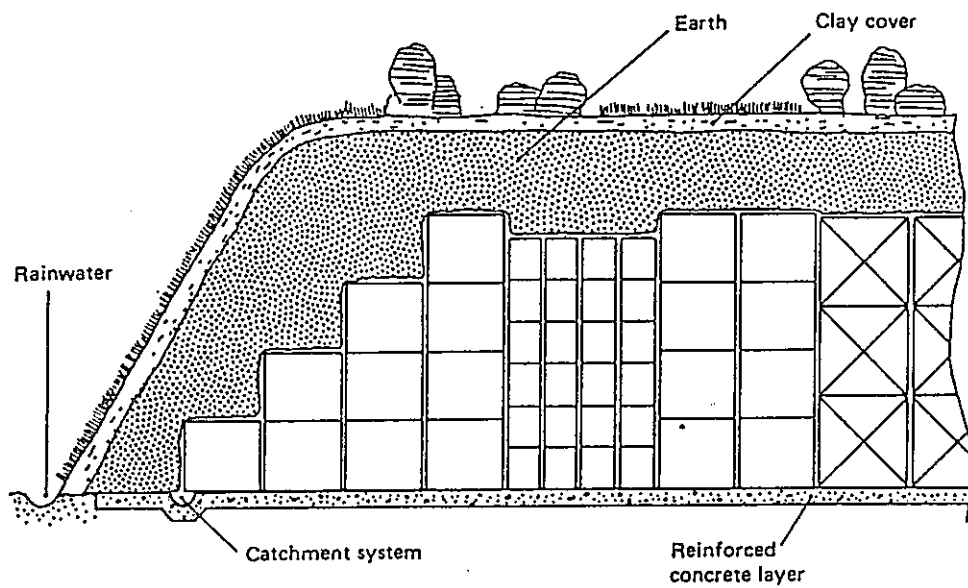


図 2.1 - 29 処分した状態のチュムリ (IAEA, 1985)

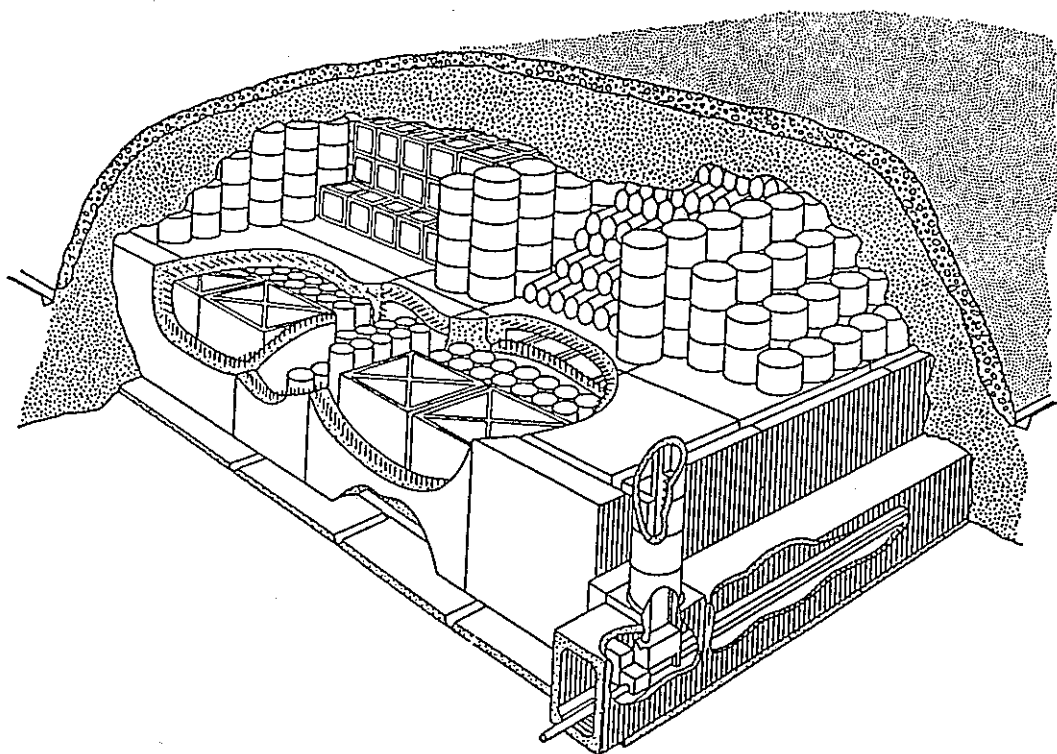


図 2.1 - 30 処分施設の概観 (IAEA, 1985)

ただし、高レベル廃棄物と非高レベル廃棄物を識別する何の特別な方法も定められていない (International Energy Associates Limited, 1987)

基本となる安全規準は、原子炉安全委員会 (Reactor Safety Commission) によって勧告され、連邦内務省 (Federal Ministry of Interior) により1983年に公告された「鉱山における放射性廃棄物の処分のための安全規準」にまとめられている。その規準は、サイトスペシフィックな安全解析に対する全体的なシステムアプローチと、基本的な原子力法 (Atomic Energy Act) と放射線防護法 (Radiation Protection Ordinance) に規定された処分場の操業のための目的を定めている。操業 (閉鎖) 後の段階においては、個人線量率は年間0.3mSvを限度とすべきとしている。

この個人線量率を長期に適用するにおいては、その期間について議論がある。10,000年が提案されているが、当局はまだ受け入れていない (International Energy Associates Limited, 1987)。

中央集荷施設における低レベル廃棄物の受入れは、1985年に原子炉安全会社 (Company for Reactor Safety, GRS) によって発布された「ドイツにおける放射性廃棄物のための州集荷施設の利用における標準規則」で決められている。廃棄物は、最終処分に適した形で分類され、処理されているのならば、最終処分に移すことが出来るとしている。その規則は、元の廃棄物の単位体積当たりの全放射エネルギーとアルファ放射エネルギーに対する限度と、廃棄物容器の局部線量率と汚染に対する限度を明記している。

(ii) 原子力法 (1959 ; amended 1980) (Burholt and Martin, 1988)

本法律は以下のことを目的としている。

- ・原子力の研究、開発、利用を促進する。
- ・原子力に関連した危険から人間と資産を守り、原子力あるいは電離放射線に起因する損害を補償する。
- ・必要な安全を提供する。
- ・原子力と放射線防護の分野において国際的な責務の実行を保証する。

(iii) 原子力安全と廃棄物管理に責任を有する組織 (International Energy Associates Limited, 1987)

- ・環境・自然保護・原子炉安全省 (Ministry of Environment, Protection of

Nature, and Reactor Safety, BMU) 原子力安全と放射線防護に関する全ての事柄に対して責任を有する連邦組織である。BMU は放射性廃棄物処分の安全性について国の政策を定める第1の機関である。

- ・研究技術省 (Federal Ministry for Research and Technology, BMFT) 基礎的な原子力エネルギーの研究開発に責任を有している。また、放射性廃棄物の最終処分等に関して安全研究と安全技術の主管当局である。
- ・州レベルの当局は連邦政府の管轄が及ばない限り、原子力法の実施上の責任を有している。
- ・ドイツの12の原子力利用者の協会であるDWK は使用済燃料の貯蔵、再処理、処理、解体に産業界としての責任を有している。
- ・最終処分に関する連邦レベルの責任は連邦経済省の一部局である連邦物理工学研究所 (Physical Technical Institute, PTB ; 現在はその処分担当部署は連邦放射線防護局, Bundesamt für Strahlenschutz, BfS に吸収改組されている) にあり、高レベル廃棄物処分場の開発において私企業であるDBB と契約を結んでいる。

(iv) モニタリング・回収可能性等 (International Energy Associates Limited, 1987)

1) 中間貯蔵

処分に先立つ中間貯蔵に関する戦略も要件も明らかにされていない。

2) モニタリング

処分場の操業期間中には、モニタリングによって、環境に放出される放射能で汚染された空気と水による被ばくを評価するよう求められている。このモニタリングは処分場内においても、地表においても核種に密接なものとなる。閉鎖後の期間においては、モニタリング要件は特にはない。加えて、人間の侵入も主要な関心事とはみなされていない。不注意による人間の侵入が処分場に関する文書の喪失により起こりうると考えられている。しかしながら、FRG 当局によれば、1,000mを超える深さまで掘削する人間は放射線を検知する能力を有しているものと仮定できるとしている。

3) 回収可能性

閉鎖後の廃棄物の回収は実行可能な廃棄物処分概念の一部とは考えられて

いない。定置エリアが埋戻され、密閉された後では、回収可能性は求められていない。特に、岩塩処分場における意図的な廃棄物の回収は逆効果であると考えられている。それは、孔内のキャニスタは著しいクリープと高温のために約数カ月で周囲の岩塩により完全に包まれると思われるからである。

(5) スイス

(a) 法規制 (Burholt and Martin, 1988)

原子力の法体系は基本的に、原子力の平和的利用と放射線に対する防護に関しての1959年連邦原子力法 (Federal Atomic Energy Act 1959) に基づいている。

(i) 廃棄物の分類と技術規準 (Burholt and Martin, 1988)

全てのタイプの放射性廃棄物の安全な処分が原則的に実現可能であるということを実証するための要件として、1980年に「放射性廃棄物の処分の防護目標 (Protection goals for the disposal of radioactive wastes)」が明らかにされた。この規準は全体的な処分システムの性能を定義し、公衆への放射線学的放出限度 (操業後において年間0.1mSv未満) と監視 (surveillance) が示されている。詳細な規準 (criteria) は個々のサイトに対してこの目的に合うよう定められる予定である。3種類の処分場が元々挙げられていた。すなわち、高レベル廃棄物とアルファ核種を含む原子炉燃料の廃棄物を対象としたタイプC (type C) の処分場と、その他全ての中レベル及び低レベル廃棄物を対象とした (タイプAと一体となっている) タイプB (type B) の処分場である。

全ての廃棄物は最終の処理形態を定める発生源と廃棄物の型に従って、4つに基本的に分類されている。これらは、使用済燃料を再処理したもの、原子力発電所の操業で発生するもの、原子力発電所の解体で生じるもの、医療機関、産業界、大学で発生するものである。

現時点で、HSK (Nuclear Safety Inspectorate) により示されている唯一のガイドラインは、廃棄物の安全なハンドリングと中間貯蔵に対するもの (Guidelines R-14) である。これは定性的な処理と梱包の要件と受入れ可能な浸出率の数値的限度である。

(ii) 規制、管理当局 (International Energy Associates Limited, 1987)

廃棄物管理に関係する組織としては以下のものがある。

- ・政府の大臣よりなる連邦評議会 (Federal Council) は、議会の承認のもとに、

処分場の建設に先立つ準備手段のためと、建設、操業のための許認可を与える。

- ・輸送・通信・エネルギー省 (Department of Transport, Communications, and Energy, EVED) は関連法規を整え、連邦評議会に許認可申請について推薦し、HSK と KSA (Federal Commission for the Safety of Nuclear Installations) を通して、安全についての技術的専門意見を述べ、原子力事業を規制する。
- ・内務省 (Department of Interior) は放射線防護法規を実施するための規則を定める。
- ・原子炉研究所 (Institute of Reactor Research) は廃棄物管理と処分に関する技術的研究を行う。
- ・国家放射性廃棄物貯蔵協同組合 (National Cooperative for the Storage of Radioactive Waste, NAGRA) は利用者と政府による協同組合で、立地を行い、放射性廃棄物の最終処分場を建設し、操業する予定である。NAGRA はまた、放射性廃棄物を安全に処分する能力を保証するための実証プロジェクト (Project Gewähr) を系統だてて示す責任を有している。
- ・核廃棄物管理に関する省庁間作業グループ (Interagency Working Group on Nuclear Waste Management, AGNEB) は連邦評議会と EVED に対して技術的支援を行う。

(iii) 法規と実施母体 (Burholt and Martin, 1988)

1976年連邦評議会放射線防護条例 (Federal Council's Radiation Protection Ordinance of 1976) は放射性物質と装置の所有と利用を規定した。1978年連邦命令 (Federal Order of 1978) は許認可手続きを修正し、許認可申請に必要な要件を付した。放射性廃棄物の管理と処分に対しては、1978年連邦命令により次の原則が適用される。

- ・廃棄物の発生者はその安全な処分に責任を持つ。連邦は、必要であれば、その発生者の費用で廃棄物を処分してもらう権利を持つ。
- ・連邦議会は特別な手続きのもとに放射性廃棄物処分場の建設のための準備に掛かる許可をあたえることができる。
- ・連邦議会は廃棄物発生者に公的機関のメンバーになるよう、また処分費用に

対して公正な貢献をするよう要求することができる。

- ・原子力プラントの一般的許認可は放射性廃棄物の永遠で安全な貯蔵が保証される条件でのみ与えられることになろう。

NAGRA は廃棄物発生者によった放射性廃棄物の研究と最終処分を引き受けるために1972年に設立された民間の協同企業体で、前述のごとく放射性廃棄物の貯蔵に適したサイトを探し、準備し、操業する業務を有している。

NAGRA により提案された廃棄物管理戦略は、二つの処分場、すなわち低レベル及び中レベル廃棄物のためのかなりのかぶりを有する岩盤内に設けた水平のアクセス坑道を有する空洞と、高レベルガラス固化体あるいは使用済燃料を収納する結晶質岩中の深地層処分場である。前者は1990年代、後者は2020年以降の操業を目指している。1985年にNAGRA は長期にわたる廃棄物処分の可能性と安全性についての報告書を連邦当局に提出した。その報告書で示されているのは特定のサイトではなくモデルサイトを対象とした概念である。

(iv) モニタリング、回収可能性等 (International Energy Associates Limited, 1987)

1) 中間貯蔵

高レベル廃棄物の処分に先立つ中間貯蔵期間に関する要件は何も定められていない。ただし、NAGRA は処分に先立つ30年～40年の高レベルガラス固化体の貯蔵を意図している。

2) モニタリング

HSK は廃棄物の定置期間においても、閉鎖後の期間においても処分場のモニタリングの要件は定めていない。実際、Guideline R-21の第2の防護目標は処分場閉鎖後において次のように監視 (surveillance) の手段に頼ることを禁じている。

「処分場は、いつであっても、数年以内に密閉することができる方法で設計されなければならない。最終処分場が数年以内に密閉された後は、安全手段と監視 (surveillance) 手段をなしで済ますことが可能でなければならない。(Protection Goals for Permanent Storage of Radioactive Wastes, Publication No. R-21, 1980)」

HSK は密閉された処分場の監視 (surveillance) がこの目標によっては除

外されることはないが、そのような監視 (surveillance) は選択肢の一つでなければならないし、それなくして第1の防護目標 (年10mremの目標) が満たされないという条件ではないと述べている。当局は監視 (surveillance) は許容しうるものと考えてはいるが、設計の中で考慮すべきものとは考えていない。それは、監視 (surveillance) を考慮することは、最終であるという意味を欠いたものであり、将来の世代に負担を負わせる可能性があるからである。

スイスの原子力の平和利用についての法令は大きく改訂されているところであり、この問題に関しての修正条項は、不注意な侵入を避けるために、処分場の回りに防護ゾーンを設けるという要件を含むことになる。

3) 回収可能性

Guideline R-21の第2の防護目標は、いつでも数年以内に密閉することが可能であるように設計されるべきことを要求している。NAGRA のProject Gewährでは最終処分の目的は回収の意図なく廃棄物を最終的に撤去することであると述べている。HSK によれば、もし何かまずいことが起きるのならば、廃棄物の回収は最後の安全手段として考慮されるべきではない、そしてまた、廃棄物処分システムの安全に信頼を置けないのであれば、そのシステムはまだ十分に開発されたものでなく、管理された貯蔵のような別の立証された方法を一方で追求するべきであるとのことである。回収可能性は依然として社会的、政策的利用から必要とされているかもしれないが、この決定は安全当局のみによってなされるべきではなく、そして、この理由からR-21は回収可能性を必要としておらず、また除外もしていないとのことである。

(6) スウェーデン

(a) 法規制 (Burholt and Martin, 1988)

原子力に係わる活動の包括的な枠組みは、1958年放射線防護法 (Radiation Protection Act 1958) と1984年核活動法 (Act on Nuclear Activities 1984) に基づいている。

(i) 廃棄物分類と技術規準

スウェーデンには放射性廃棄物のどのような一般的分類も存在していない。

ただし、SKB (Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company) は、

特別な防護手段を採らない単純な容器に入れた低レベル廃棄物、放射線の防護がなされている中レベル廃棄物、放射線防護の手段が採られ、一定期間の冷却がなされる高レベル廃棄物に識別している (International Energy Associates Limited, 1987)。

1984年に政府は使用済燃料の地層処分概念についてのKBS-3 安全解析報告書を受け取った。KBS-3 プロジェクトのレビューのために使用した様々な安全に関する要件は、次の三つの基準 (standard) に含まれている。それは、個人と公衆に対する被ばく線量限度 (閉鎖 (closure) 後において年間0.1mSv未満) の観点での放射線防護、処分場の長期安全性はモニタリングや監視 (surveillance) に依存してはいけないこと、及び長期の安全性は多くの独立したバリアに基づくべきことである。

(ii) 法規制と制度的管理

1984年核活動法は放射性物質と核燃料、廃棄物、装置の所有と貿易を扱っている。1984年に修正された1958年放射線防護法は、免除が許可されていなければ、放射線を受ける作業は許可なく行うことができないことを規定したものである。

1984年核活動法は放射性廃棄物のハンドリングと最終貯蔵あるいは処分に関する条項を有している。

核設備に関する許認可手続きは主として1984年核活動法とその補足条例に定められている。

産業省は核設備の許認可手続きを監督する一般的責任がある。しかしながら、許認可手続きの執行の責任を有する国家機関は、産業省の監督を受けるSKI (Swedish Nuclear Power Inspectorate) である。SKI の規制局が技術的安全の規則をレビューし、規定する。また、検査局が規則が遵守されるのを保証する。1958年放射線防護法の執行に責任を有するのが農業省の監督を受けるSSI (National Institute of Radiation Protection) である。SKI は操業期間中の設備の技術的安全に係わるのに対して、SSI は放射線防護の観点から環境影響に係わるのが異なる。

(iii) 実施母体

使用済燃料と放射性廃棄物の実際の管理は、必要な研究開発とともに、特別

な合併組織である電力会社の設立によるSKB (Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company) で実施されている。SKB の任務は全てのスウェーデンの原子炉に対する燃料供給と再処理サービスを調整し、整理することと、全ての必要な貯蔵施設と処分施設の設計、建設、操業のための研究開発と責任を管理し、資金を支出することである。SKB はCLAB (使用済燃料の中間貯蔵施設)、SFR (中低レベルの発電所廃棄物) とHRL (硬岩研究施設) を運営している。

SKB の現在の廃棄物戦略は、燃料を取り出した後最低六ヵ月間原子炉サイトで使用済燃料の貯蔵を行い、CLABに輸送して40年間貯蔵した後、銅製容器に入れ、地層処分場に処分することである。中低レベル原子炉廃棄物はSFR に処分されている (SKB, 1992)。

CLABはOskarshamnに位置し、1985年に操業が開始された。現在の収容能力は5,000 トンで21世紀には8,000 トンに拡大される予定である。SFR はForsmarkに位置し、50m の厚さの岩盤の下に結晶質岩中に設けられている。1988年に操業が開始され、190,000 m³の容量の処分が計画されている (SKB, 1992)。

(iv) モニタリング・回収可能性等 (International Energy Associates Limited, 1987)

放射線防護目標に適合していることを実証する期間は依然として検討中である。1,000 年以上の期間が、線量率に対するものとしての放出率を特に予測するために、高レベル廃棄物処分場に対して考慮されるかもしれない。精確な期間は処分場閉鎖の許認可の時まで特定されないであろう。

処分場の全体的なシステム性能は、人に対しての最終的な線量として反映されるよう強調されている。個々の特別なバリアを支配する定量的規準は開発されないであろう。

SKI は最小限の使用済燃料の貯蔵期間のための要件を示すことはありそうもないと考えている。約40年という中間貯蔵期間はKBS-3 で述べられているが、それは受け入れられやすい廃棄物管理戦略を示すために行われたもので、将来の変更はありうる。

SKI は最終処分場の安全性は閉鎖後のモニタリングプログラムに依存してはいけなと考えている。しかしながら、SKI はモニタリングプログラムは科学的理由あるいは他の理由から有益かもしれないとも述べている。また、記念碑

に対する要件は議論されているが、明らかにされてはいない。環境モニタリングに対して第1の責任を有しているのはSSIである。

処分場からの廃棄物の回収可能性についての規制要件は開発されていない。ただし、KBS-3に描かれている処分場は操業期間中における使用済燃料の回収を認めている。操業期間中における回収は考えられるかもしれない。

(b) SFR (Neretnieks, 1989)

中低レベル廃棄物用のSFR 処分場は最大 10^{18} Bqの総放射エネルギーを収容し、バルチック海底下に位置する。第1段階では、SFRは鉄筋コンクリート製のサイロと四つのトンネルよりなる。サイロには中レベル廃棄物の多くが、すなわち大部分のイオン交換樹脂がコンクリートと混合してコンクリートボックスの中に入れられる。トンネルのうちの一つは相対的に放射能含有量の低い中レベル廃棄物を収容し、残りの三つのトンネルには低レベル廃棄物が入れられる。図2.1-31に第1段階での処分場概念を示す。

岩盤の被りは50m以上で水深は10m程である。現在の海底が数先年後には地表になると考えられている。海底下にある状態では漏洩核種は海水で希釈される。

トンネルの長さはほぼ160mで14~18mの幅を有する。廃棄物の種類によりコンクリートの構造は異なる。透水性に関しては長期の健全性は有していない。

図2.1-31に示すサイロは数千年間は非常に低い透水性であるよう設計されている。サイロは70mの高さ、30mの直径を有する空洞内に設けられる。サイロ自身は0.8mの厚さを有し、高さ53m、直径27.5mの鉄筋コンクリート製の円筒である。円筒の内部は廃棄物を入れたコンクリート製のボックスを詰め込む垂直の立孔よりなる。サイロは90:10の割合の1.5mの厚さの砂-ベントナイト混合物の上に置き、回りを1.2mの厚さの純粹のベントナイトで覆う。サイロの上部も1.5mの厚さの混合物で覆う。その上にはズリを埋め戻す。

このような処分場の健全性を損なうと考えられるいくつかのシナリオを評価しても、海底下にある間は最も被ばくを受けるグループに対する線量評価は $1\mu\text{Sv/y}$ より低い値であると推定されている。地表にある間でも、最大被ばく線量は $100\mu\text{Sv/y}$ を十分下回ると予想されている。

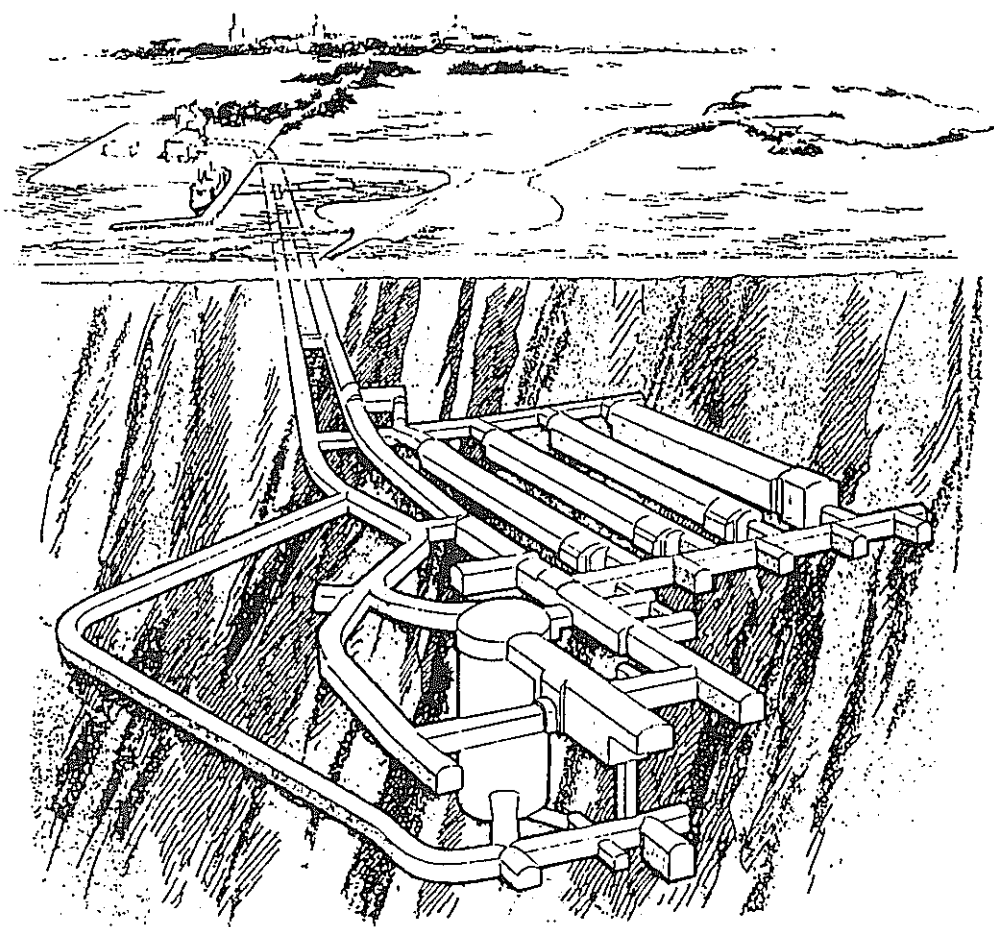


図2.1-31 SFRの概念図 (Neretnieks, 1989)

(7) カナダ

(a) 法規制(International Energy Associates Limited, 1987)

原子力事業の規制に対するカナダのアプローチは、性能に依拠した一般的な要件に適合していることを示すことである。許認可申請者は被許認可者のシステムが実際に性能要件に適合していることを規制者に示す責務を有している。

(i) 制度的、法的枠組み

原子力管理局 (Atomic Energy Control Board, AECB) は、原子燃料サイクルの全ての段階を規制する主体として1946年に設立された。その他の連邦レベルでの関係機関は原子炉技術を開発する責任を有する王立会社であるカナダ原子力公社 (Atomic Energy of Canada Limited, AECL) である。AECBもAECLもともにエネルギー・鉱山資源省に報告する立場にある。廃棄物管理の分野では、AECBはAECLの研究プログラムと廃棄物貯蔵、輸送、処分事業の許認可についての規制面での評価に責任がある。カナダでは、核廃棄物管理に特に関係する国の法規制はない。また、ほとんどの使用済燃料はオンタリオ州で発生するため、国のレベルでの法規制は必ずしも必要ではない。連邦とオンタリオ州政府の間の責任の分割が1978年の合意によりなされた。その合意において、オンタリオ州政府は州所有の公益事業体であるオンタリオ水力会社 (Ontario Hydro) を通して、使用済燃料の中間貯蔵と輸送に責任を持ち、一方、連邦政府はAECLを通して、高レベル廃棄物の固定化と処分についての研究に責任を有している。

(ii) 使用済燃料と廃棄物管理の戦略

AECBは処分概念の評価プロセスにおいて主導的であり、それは1990年代半ばに完成が予定されている。AECBは連邦環境省とオンタリオ環境省に支援されている。将来の処分場の立地については現在何の政策もなく、どの省庁も責任を課せられていない。また、廃棄物の処分スケジュールもなく、数十年間は開始されないと思われる。廃棄物形態を使用済燃料とするか、高レベル廃棄物とするかの決定はされていない。50年間までの使用済燃料の冷却期間がAECLの処分場の概念設計では仮定されている。花崗岩質の結晶質岩が高レベル廃棄物の処分場母岩として調査されている。

(iii) 廃棄物管理の規則

カナダの原子力管理規則 (Atomic Energy Control Regulations) は全ての使

用済燃料と廃棄物管理事業に適用される。廃棄物管理の領域における補足的な手引は以下を通して準備されている。

- ・Regulatory Policy Statement R-71 (1985年1月29日に公布され、概念評価段階での規制要件を示している。)
- ・Regulatory Policy Statement R-104 (1985年6月5日に公布され、放射性廃棄物処分の目的、要件、指針を示している。)
- ・Proposed Regulatory Guide C-72 (1984年1月24日に公布され、地下処分場立地における考慮を示している。)

廃棄物処分概念に対する是認に引き続いて、恐らく1990年代半ばまでに次の規制要件をAECBが開発することが期待されている。それにより、どんな活動を行うのか、どんな付加的規則が必要なのか明らかになるだろう。

処分場の安全性の定性的な全体目標はR-71に示されている。

R-104 は、廃棄物処分施設からの個人に対する放射線リスクの予測値を年間の重篤な健康に対する影響として 1×10^{-6} に制限している。AECBは、先に線量限度に適合させることは長期には強制しえないことを理由に、線量限度を処分に適用すべきではないと述べている。しかし、 10^{-6} のリスク目標は年間5 mremの被曝に相当するリスクであるとしている。さらに、R-104 は個人リスク要件に実証的に適合させる期間としては、10,000年を超える必要はないとしている。

処分場の操業や閉鎖後に対するモニタリングに関しての特別な要件は何も公布されていない。ただし、AECB (1985) ではR-71の説明の中でモニタリングに触れており、次項でその内容について検討する。

回収可能性については処分場の操業期間を通じて維持されるべきである。そして被許認可者は回収がどのようになされうのかを決定するよう求められる。閉鎖後の回収可能性は必要ではなく、閉鎖後の回収のためのどのような準備も処分場の有効性を傷つけてはならないと考えられている。

(iv) 規制文書R-71に関連したモニタリング表現 (Atomic Energy Control Board, 1985)

AECB (1985) では規制文書R-71についてRegulatory Policy Statement を示している。その中で、R-71の「核燃料廃棄物の地層処分への適用要件」の7番目の項目の中でモニタリングについて触れている。

7. 処分システムの有効性は、以下の項目のために作られるかもしれないどのような規定によっても損なわれてはならない。

(a)閉鎖前の測定 (pre-closure measurements)

(b)閉鎖後の取り出し (post-closure retrieval)

(c)閉鎖後の測定 (post-closure measurements)

「(a)閉鎖前の測定」に関しては以下の説明がある。

閉鎖後期間における廃棄物処分場の性能は、予測モデルに基づいて評価されるであろう。したがって、そのモデルに入力するデータが十分に完全であり、処分場環境を代表するものであることを保証するために、閉鎖前の期間に測定が行われることが要求されるであろう。

「(b)閉鎖後の取り出し」に関しては以下の説明がある。

閉鎖後の廃棄物の回収可能性を含めるような設計要件はないであろうが、もしそのような規定が設けられねばならない場合には、それらの規定は処分場の有効性を損なわない性質のもでなければならない。

「(c)閉鎖後の測定」に関しては以下の説明がある。

十分な証拠によって、処分場を閉鎖後モニタリングの必要性なく放棄することができるという結論に、十分なレベルの確信をもって導くことができる時のみ、処分場を閉鎖することが許可されるであろう。もし閉鎖後モニタリングがそれにもかかわらず考慮されるのであれば、提案される方法は処分場の健全性が損なわれないようなものでなければならない。

これらの表現が意味することは、閉鎖は予測モデルの評価結果に基づいて行われるものであり、閉鎖前モニタリングはその予測モデルへの入力値を得るために行われるとされていることである。閉鎖後の取り出しと閉鎖後のモニタリングは必要ないとの立場をとっているが、それを禁止してはおらず、何らかの理由でそれらが考慮されうる状況も考慮している。しかしながら、そのような状況においても、処分場の健全性を損なうものであってはならないとしている。技術的に意味のあるデータを取得するためには、それによるシステムへの有意

な影響は0でないとは言えないであろう。したがって、この条項は、実質的には、政策的な意味では行うが技術的には意味のないモニタリングのみを認めたものと解釈できるであろう。

(b) チョークリバー原子力研究所 (IAEA, 1985)

(i) 施設の位置及び環境条件

チョークリバー原子力研究所 (Chalk River Nuclear Laboratories) はオタワの北西約 180kmの、オタワ川の河畔に位置し、半径20kmの範囲内においては1 km²当たり平均15人の人口密度しかない。15,000人の居住人口を有する町は約30km離れたところにある。

施設は四つの研究炉と多くの研究開発施設からなる。この中にはサイトで発生する固体、液体廃棄物の減容と安定化を図る廃棄物処理センターもある。多くの施設はオタワ川の河畔に集中しているが、廃棄物管理施設は37km²の敷地の多くを占める外側地域 (Outer Area) と呼ばれる地域に散在している (図2.1-32)。

平均気温は1月の-12℃から7月の19℃に及ぶ。年降水量は840mmで、そのうちの60%は蒸散で失われる。降水量の約28%は降雪である。

基盤岩は先カンブリア時代の黒雲母とざくろ石を含むカコウ岩質片麻岩を主とする複合岩体である。基盤岩は割れ目が発達しており、上位を固結した砂質の水レキ粘土 (漂礫土) と砂、礫、少量の粘土質シルト、有機物が覆っている。

水レキ粘土 (漂礫土) は多くの大きな礫を含む固結したシルト-砂-礫混合物よりなり、透水性を有しているが、表層物の中では最も透水性は低い。砂は通常細粒から中粒で、カコウ岩に似た鉱物組成を示す。

廃棄物管理施設はこの砂質地域に位置しており、この地域では透水性が高い。地下水流速は30~60m/年が普通であるが、セシウムやストロンチウムの移行速度は遅い。地域内は大きく、二つの水系に分けられるが、どちらもともにオタワ川に注いでいる。

(ii) 施設の概要

廃棄物は通常、砂のトレンチとコンクリート施設内に貯蔵され、場合によりコンクリート製モリス内に貯蔵されている。これら全ての施設は砂の高まりの中に設けられ、少なくとも地下水面より1 m以上の位置にある。その他のバ

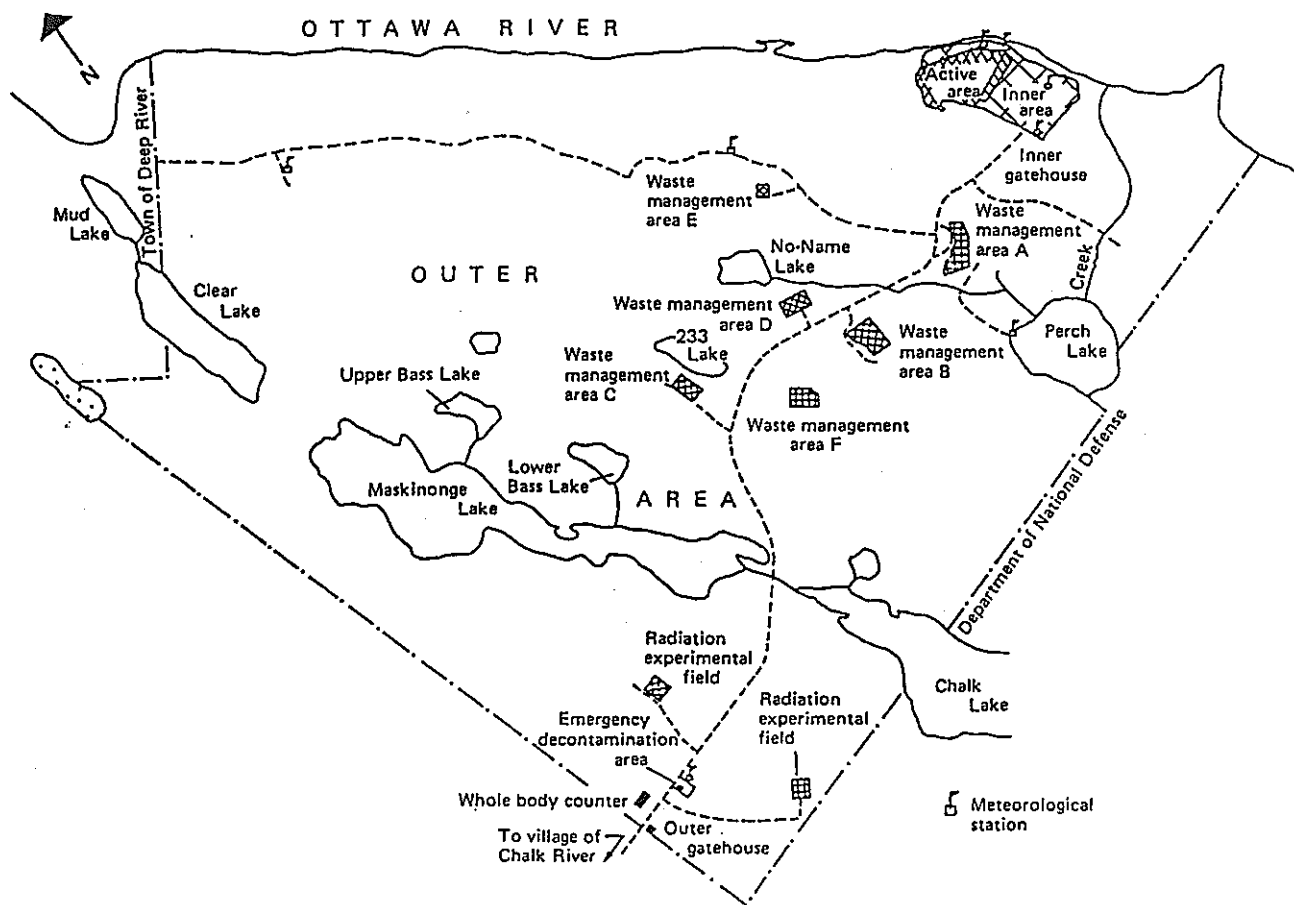


図2.1-32 チョークリバー原子力研究所サイト (IAEA, 1985)

管理サイトは OUTER AREA にある。

リアのない状態で、固体と一部の液体廃棄物を直接砂の中に定置することは、廃棄物処理センターの運転とともに中止されつつある。

(iii) 環境モニタリング

公衆と環境を防護する必要性は非常に初期から認められていた。そして、モニタリングプログラムが継続して再評価され、改善されてきている。現在のプログラムではサイトからの全ての液体、気体放出物のモニタリング、周辺居住地と水の調査及びモニタリング、及び廃棄物管理地域近傍での精力的なサンプリングである。

全ての廃棄物管理地域から流出した表層水の試料はトリチウム、全ベータ・ガンマ放射能及び ^{90}Sr が分析される。地下を対象としたモニタリングは、放射性核種が何か貯蔵地域から流出しているかどうかをチェックするため、既知のソースからの放射性核種の移行もモニターするため、これらの放射性核種が地表水に移行するかどうか、あるいはそれがいつなのかを決定するため行われる。土壌及び／あるいは水の試料は特別に開発された掘削機器を用いて採取される。試料の分析は標準的な放射化学分離と計測技術を使って行われる。

モニタリング結果には廃棄物管理地域の監視 (surveillance) とサイトからの放出物の監視 (surveillance) によるもののみでなく、広範に行われる研究開発計画によるものも含まれる。これにより、地域の理解が進み、将来の処分施設の位置選定に役立つと考えられている。

過去に行われた集中的なモニタリングプログラムによれば、地域内の施設から公衆に放出された放射能の量は測定可能なレベルであるが、有意なものではない。

(c) 高レベル廃棄物処分場の予備的研究 (Acres Consulting Services Limited, 1978)

本研究はAECLのために行われた予備的研究であり、カナダ核燃料プログラムにより生じる廃棄物を処分する高レベル廃棄物処分場の要件をまとめたものである。研究年代はやや古いがモニタリングに対する検討結果があり、それをまとめた。

(i) モニタリング適用における考え方

廃棄体の取り出し、遮蔽の適切さ、あるいはデコミッショニングの可能性を評価するために、モニタリングが不可欠であるとしている。

そして、モニタリングを、操業中のモニタリングと閉鎖後の長期間のモニタリングとに区分している。また、坑道の掘削や廃棄体の搬入などが人員に対して影響が大きいことから、操業中のモニタリングのほうがむしろ重要であるとしている。

長期間のモニタリングについては、本報告書では「地上または地下施設から、処分場環境に対して遠隔操作で行うもの」であるとしている。

モニタリングに関する定量的な評価・検討は、実際にサイトが選定されてサイトの構造や地質が定まらなると詳細には行えないとしている。

(ii) モニタリングの対象

モニタリングの対象として、各ステージごとに次の項目が挙げられている。

① 操業中モニタリング

・放射能レベルのモニタリング

処分場内の空気中の浮遊汚染物質と地表における汚染物質を対象に行う。

・温度のモニタリング

廃棄体容器、容器に隣接した部分、処分場の構造物及び坑道内空気の温度を測定する。

・変形及び応力のモニタリング

計器の設置位置は、処分場の構造と岩石物性に応じて決定される。

② 閉鎖後モニタリング

・地表面の水平及び垂直変動

・地下の温度環境

・水理的環境中の放射能レベル

・地下水の大局的な流れ

(iii) モニタリングの実施領域

処分場と緩衝地帯がカバーされる範囲にモニタリング孔を掘削すべきであるとしている。

(iv) モニタリング機器

操業中モニタリングに関しては、操業期間を30年程度としており、この程度の期間の計測機器については、現状で入手可能であるとしている。

閉鎖後モニタリングに関しては、操業中のモニタリングに利用できる機器を

流用可能であるとしているが、長期間にわたって作動するか否かを実証するための実験や分析の方法論を開発する必要も述べている。

(v) モニタリングの検討例

処分場閉鎖後の温度のモニタリングを例として、熱伝導解析から最適測定深度を見積もる方法を述べている。具体的には、熱伝導解析の結果から、廃棄体定置から55年後に1℃の温度上昇を検出するための計測器設置深度を廃棄体深度が1,000mの場合に深度850mと見積もっている。

文 献

Acres Consulting Services Limited (1978) : Radioactive Waste Repository Study Part I, AECL-6188-1.

Atomic Energy Control Board (1985) : Regulatory Document R-71, Deep Geological Disposal of Nuclear Fuel Waste : Background Information and Regulatory Requirements Regarding the Concept Assessment Phase, INIS-mf--11507.

Bechtel National, Inc. (1985) : Report on the Performance Monitoring System for the Interim Waste Containment at the Niagara Falls Storage Site, DOE/OR/20722--71.

British Nuclear Fuels plc (1990a) : Annual Report on Radioactive Discharges and Monitoring of the Environment 1990, Vol I : Report on Discharges and Environmental Monitoring, INIS-GB-433.

British Nuclear Fuels plc (1990b) : Annual Report on Radioactive Discharges and Monitoring of the Environment 1990, Vol II : Certificates of Authorisation and Environmental Monitoring Programmes, INIS-GB-434.

Buono, A. and Hayes, L. R. (1991) : Overview of the Geology and Hydrology of the Yucca Mountain Area and a Summary of the U.S. Geological Survey On-going Studies for the Yucca Mountain Site Characterization Project, Waste Management '91, Vol.2, pp.201-213.

Burholt, G.D., Martin, A. (1988) : The Regulatory Framework for Storage and Disposal of Radioactive Waste in the Member States of the European Community, Graham & Trotman, 121p.

Hunter, T.O., Tillerson, J.R., and Stevens, A.L. (1989) : A Conceptual Design for a Nuclear Waste Repository at the Yucca Mountain Site SAND88-0001C, Waste Management '89, Vol.1, pp.531-536.

International Atomic Energy Agency (1985) : Operational Experience in Shallow Ground Disposal of Radioactive Wastes, Technical Reports Series No.253, IAEA, Vienna.

International Energy Associates Limited (1987) : Regulatory Strategies For High-Level Radioactive Waste Management in Nine Countries, Final Report, PNL-6354.

Johnson, L.F. (1990) : Solid Low Level Radioactive Waste Management within British Nuclear Fuels plc, Waste Management '90, Vol.2, pp.413-417.

Matalucci, R.V., Christensen, C.L., Hunter, T.O., Molecke, M.A., and Munson, D.E. (1984) : Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) Research and Development Program: In Situ Testing Plan, March 1982, SAND81-2628, 139p.

Matalucci, R.V. and Munson, D.E. (1986) : Planning, Developing, and Organizing In Situ Tests for the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP), SAND84-1390, 36p.

Neretnieks, I. (1989) : The Swedish Repository for Low and Intermediate Reactor Waste-SFR. Radioactivity Release and Transport Calculations, Scientific Basis for Nuclear Waste Management X II, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 127, pp. 537-544.

Office of the Federal Register (1990) : 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 51 to 199, pp.7-16.

Office of the Federal Register (1991a) : Nuclear Regulatory Commission 10 CFR Part 60 - Disposal of High-Level Radioactive Wastes in Geologic Repositories, Code of Federal Regulations 10 Parts 51 to 199, pp.85-118.

Office of the Federal Register (1991b) : Nuclear Regulatory Commission 10 CFR Part 61 - Licensing Requirements for Disposal of Radioactive Waste, Code of Federal Regulations 10 Parts 51 to 199, pp.118-142.

SKB, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co (1992) : RD&D-Programme 92 Treatment and Final Disposal of Nuclear Waste, Programme for Research, Development, Demonstration and Other Measures, 143p.

United States Department of Energy (1980) : FINAL ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT Waste Isolation Pilot Plant Volume 2 of 2, DOE/EIS-0026, 39p.

United States Department of Energy (1986) : Waste Isolation Pilot Plant, 17p.

2.2 まとめ

2.1 節で調査した国際機関及び諸外国の法規や処分場等で示されているモニタリングに係わる基本的考え方、モニタリングの対象、実施項目等をそれぞれまとめた。その結果を表2.2-1～16に示す。これらをもとにまとめるべきと思われる重要な事項は以下の通りである。

① 高レベル廃棄物や使用済燃料のための地層処分場と中低レベル廃棄物処分場あるいは埋設施設との相違

地層処分場に対しては、基本的に将来の世代に対する負担をなくすため、あるいは最小限とするため、モニタリング等の閉鎖後の積極的管理を避ける考えを示している機関が多い。まだ、地層処分が実用化されているところがないため、モニタリングに対する考え方が確立されていない国もあるが、多くの国際機関や一部の国ではこの考え方でまとまっているといえる。ただし、技術的理由以外の、例えば社会的、政策的理由によって、行われる可能性までは否定していない。

一方、中低レベルの浅層埋設施設の場合、管理の思想自体が、漏出が生じたとしてもそれがサイト境界外への影響のないように対処できればよいとの考え方、すなわち、ある程度の漏出を容認し、漏出したとしても、モニタリング等の管理方法で環境への影響を最小限に抑えることができるという考え方であるということである。すなわち、法令に定める基準値未満であれば、放出があったとしても環境への影響の問題はクリアされているという考え方に立つものである。この考え方では、閉鎖後のモニタリングや監視あるいは回収技術などの積極的な制度的管理は重要な意味を持つ。

中低レベル廃棄物を浅い土壌内でなく、ある程度の深さの空洞内に埋設する処分方法においては、浅層処分と地層処分の間に位置する考え方を採用しているのがわかる。

このような管理の考え方の相違は、廃棄物自体の潜在的毒性の大きさと持続性の相違、及び天然バリアの厚さとそれに起因する天然バリアの長期性能への信頼性の相違に起因していると考えられる。

したがって、本調査研究においても、閉鎖後には基本的に積極的な制度的管理、すなわち、天然バリアの性能を損なう恐れのあるモニタリングには依拠しない考え方を採用すべきと考えられる。

② 地層処分場の性能確認のためのモニタリングと環境モニタリングの位置づけ

浅層埋設の場合には、性能確認のためのモニタリングが明瞭に確立していない事例

がある。その場合には環境モニタリングのみとなっている。すなわち、ある程度の性能の劣化は認めるものの、環境への影響についてはモニタリングの手段できちんと対処するというものである。ただし、一部の検討例としては、浅層埋設施設であっても、モニタリングや監視の導入により施設性能の確認に努め、その施設性能をなるべく維持しようとする考えもある。今後は浅層埋設であっても、人工バリアの機能を高めることにより、なるべく漏出を抑制する方向にあると考えるべきであろう。その時、性能確認のためのモニタリングは浅層埋設施設においても重視されてくるであろう。

一方、地層処分場に対しても、それが放射性物質を扱う施設であることと、特に操業期間中にはハンドリング時の事故を否定しえないことから、環境モニタリングを含んだ検討がなされている。環境モニタリングは、WIPPの検討例でもあるように、閉鎖後においても含まれるようである。ただし、それは社会的、政策的な意味においてと考えるべきであろう。一方、性能確認のためのモニタリングは、地層処分場では操業期間中に精力的に行われるようである。それは、閉鎖の判断が、安全解析によるものであり、その解析への入力値がモニタリングにより提供されと考えられているからである。したがって、安全解析の結果として閉鎖の判断が下されるのであれば、その後の性能確認のためのモニタリングは不要ということになる。ただし、処分場性能に悪い影響を与えないと判断される場合には、性能確認のためのモニタリング網の一部は継続されとの考えもある。この場合も、その意味は社会的、政策的な意味において考えられているということであろう。

③ 操業後の閉鎖までの段階の考慮

地層処分場における予定数量の埋設が完了したとしても、すぐ安全解析が行われるかどうか、あるいは、安全解析で十分な回答が得られるかどうかは必ずしも不明なところもある。あるいは、安全解析の実施前に、埋設完了後のモニタリングの実施を義務づけることも考えられる。例えば、IABA-TECDOC-630 では埋設完了後も性能確認プログラムを継続することが指針として示されている。

施設性能に与える影響を考慮すれば、操業完了後はなるべく速やかに閉鎖すべきと考えられるが、その閉鎖の判断の根拠として安全解析等の結果が用いられるのは上述した通りである。したがって、操業終了後の閉鎖までの段階を考慮することは、研究の上では必要であろう。

④ 法制度について

地層処分場の実現が具体化されるにつれ、地層処分の実施に必要な法制度の整備が進められるものと思われるが、現時点においては、わが国には特に法的な規制はない。諸外国、特にアメリカの事例を見ると、先ず法的な整備を進め、その法的要件に合わせて処分の事業を進めることになっている。すなわち、将来のモニタリングの実施内容の検討も法令に規定されていることの具体化の検討といえる。しかしながら、わが国では法的な環境が整っておらず、そのような方法論はとれない。法的要件との対応については本調査研究では考慮の対象外である。

表 2.2-1 「高レベル廃棄物処分及びアルファ廃棄物処分に關する地層処分場の操業と閉鎖のためのガイドライン, IAEA-TECDOC-630」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
放射線モニタリングの目的	: ①作業者と公衆の放射線防護を確保にすること。 ②国家当局により定められた放出限度に適合することを実証すること。
放射線モニタリングの実施上の分類	: ①通常の連続操業に關連した日常的なモニタリング ②特別の操業に適用される操業モニタリング ③異常事態に対応する特別のモニタリング
性能確認プログラムの目的	: 処分場閉鎖に十分な信頼性を与えるために必要となる情報を得ること。処分場システムの性能特性を確認すること。
性能確認プログラムで取得すべき情報	: 温度、湿度、ガス・水の組成、力学的・水理的情報
性能確認プログラムの継続期間	: 操業終了後で、かつ埋戻しや密閉を行う閉鎖段階までの期間（非常に短期間～数十年間）継続されるべきである。
性能確認プログラムで行う目的	: 処分場システムの長期性能予測の信頼性を増すこと。
性能確認プログラムでの考慮事項	: それまでのモニタリング情報、信頼性のレベル、モニタリングの実施に必要な地下へのアクセスの程度、地下空洞の埋戻しの程度、換気の程度、プログラムの結果が期待した性能を示さない場合
回収可能性の考慮の条件	: 性能確認プログラムの結果が期待した性能を示さない場合
地表施設の解体の条件	: サイト状態が国家当局の規程に合うよう回復した場合
閉鎖後の処分場の位置づけ	: 処分場の存在が将来の地表部の利用に重大な制限となるものであってはならない。

表 2.2-2 「高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する安全原則と技術規準, IAEA Safety Series No. 99」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
将来世代に対する負担 制度的な管理によらない安全の確保	: 技術的、社会的、経済的な要因を考慮し、将来世代に対する負担を最小限にする。 : 密閉後の処分場の安全性は、処分場の管理が放棄された後は、積極的なモニタリング、監視、制度的管理や修復措置の必要性に頼るものであってはならない。国家当局の要請から、記録が保持され、モニタリングが行われるかもしれないが、処分場の安全性はこれらに頼るものであってはならない。 : サイト確認の初期段階から、建設、閉鎖段階において、サイトの隔離能力ができる限り減じられることがないよう、現場作業の実行と使用する技術に特別の注意を払う必要がある。
安全評価	: 放射線安全目標に対する総合的な処分システムの適合性は、可能な限り確認されたモデルに基づく安全評価によって実証されなければならない。その使用するモデルは実行可能な限り、サイト調査を含む野外観察、実験室試験、ナチュラログによる証拠と比較することにより、できる限り確認されなければならない。
品質保証	: 処分システムの構成要素、及びサイトの確認から処分施設の閉鎖に至るまでの全ての段階に関する品質保証プログラムを、関連する基準、規準への適合を確保なものにするよう立案しなければならない。

表 2.2-3 「放射性廃棄物の浅層処分における操業経験, IAEA Technical Reports Series NO. 253」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
監視プログラムの目的	: ①修復措置が可能な限り素早くできるように、廃棄物の封じ込めシステムの欠陥を検知すること。 ②安全評価を確認する情報を提供すること。
監視プログラムの立案方法	: 放射能の放出の大きさと拡がりを見定め、地下水や他の経路中の移行による放射性核種の長期放出の予測を容易にするようなデータを収集するように行う。
監視プログラムの性格 操業後管理の必要性の理由	: 放射性核種がサイト境界を越える前に、処分施設からの移行について早期に警告を与えるものでなければならない。 : ①放射線防護の要件に適合していることを保証する。 ②規制側の要求に応える。 ③公衆の認知を得る。 ④研究行為として行う。
モニタリングの継続理由 監視による監視の必要性の理由	: 処分場システムが予測した通りに挙動していることを引き続いて確認するため。ただし、頻度は下がるかもしれない。 : 制度的管理期間を通じて、フェンスや境界の標識などの特性に定期的に注意を払いつつ、様々な侵入者に対する障害物の健全性を確認するため。

表 2.2-4 (1) 「低レベル及び中レベル放射性廃棄物の空洞内処分に關するサイト調査、設計、建設、操業、閉鎖及び監視, IAEA Safety Series No. 62」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
監視による操業後の管理	: 密閉された施設とその周囲に対する監視は、バリアの健全性をさらに実証するために一定期間にわたって継続することが考えられる。
モニタリングプログラムの感度	: 操業期間中のものよりは広範でないかもしれないが、処分場からの核種の放出や地質学的、水理学的状況の変化を検知するために十分感度の良いものでなければならぬ。
監視プログラムに必要な事項	: ①母岩と被覆層の地球科学的調査データ (層序、岩石学的情報、岩石と土壌の地球化学的特性、水理地質情報、地層の力学特性、地質構造的事象・地震事象) ②処分場の設計データ (立坑・試錐孔・空洞の大きさ・位置・深さ、母岩の大きさ、鉋床探査・開発データ、処分場周辺の資源、採掘箇所と安全用残柱の位置、残された資源、安全解析) ③処分場の操業データ (施設の歴史、使用した処分技術、廃棄物の位置と量、埋戻し材と埋戻し技術、操業期間中の特別な発生事象、残存空洞、敷地内・敷地外モニタリングデータ) ④処分した廃棄物データ (容器の数、放射性核種のインベントリ、放射能濃度、廃棄物の化学的、物理的組成、固化材・凝固材、包装物質とオーバーバックの種類と安定性、浸出率と予想される流出物) ⑤操業後データ (密閉情報、施設情報の保存位置、サイトの再利用に対する制限) : 処分場が、前もって規定した条件や制限の範囲内で機能することを確かめるために行われる全ての行為をいう。 : ①原則として、処分場の設計はどのような操業後の監視にも依存したものであってはならない。 ②しかしながら、社会的受容のために、閉鎖後の監視を含める必要があるかもしれない。 : ①作業者と周辺居住者の安全を保証すること。 ②どのような異常状況や事故も検知すること。 ③国の規制と ICRP 勧告に沿って環境汚染の程度を計測すること。及び、その他の可能性として、 ④放射能以外に隔離機能に重要となる処分場とサイトの状況やパラメータをモニタリングすること。 : 将来の性能についての予測能力や、その結果としての長期安全評価に貢献する。 操業段階の放射線モニタリングの目的: ①主として作業者の安全を保証すること。 ②容器の損傷やバリア機能の変化などを反映した放射能レベルの変化を検知すること。
監視の定義	
監視の位置づけ	
モニタリングプログラムの基本機能	
モニタリングの役割	

表 2.2-4 (2) 「低レベル及び中レベル放射性廃棄物の空洞内処分に關するサイト調査、設計、建設、操業、閉鎖及び監視, IAEA Safety Series No. 62」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
操業段階の監視の内容	: ①処分場とその周辺における放射線測定(作業、放出物・周辺環境) ②その他の測定 (pHや流量などの水理地質学的パラメータ、降水量などの気象学的要因、地震や処分場に起因する地盤の動き、ライニングやグラウトの健全性に保るる岩盤力学パラメータ、安全解析に必要なと思われるその他のパラメータ) : 敷地内モニタリングが放出の検知や定量に対して十分である必要がある、敷地外モニタリングは必要ではない。しかし、国の行う環境モニタリングの一環としてはあるかもしれない。 : ①事故の拡がりを局部的にくく止めることと拡がりの程度の把握 ②作業者と周辺居住者に対する放射線の影響評価 ③環境に対する放射線の影響評価
敷地外モニタリングの位置づけ	
事故時のモニタリングの目的	
作業者に対する日常的モニタリングシステム、機器の内容	: ①携帯線量率計 ②被ばく線量計 (TLD) ③表面線量率のレベルの直接、間接測定機器 ④空間線量及び/あるいは被ばく量の視覚的、聴覚的指示器を有する室内警告システム
操業後監視の必要性	: 必要かもしれないし、必要でないかもしれない。積極的な監視は必要ではなく、技術的にも正当化されないかもしれない。しかしながら、操業段階から存続している機器については技術的に、あるいはその他の理由で継続されるかもしれない。
操業後監視の継続期間 操業後監視の実施事項	: サイト状況と移行シナリオ、事故シナリオの数学モデルにより決定される。 : ①未解体の地表施設の認可目的以外の目的での使用制限の確認 ②全ての必要な予防措置が処分場への侵入を避けるために採られていることの確認 ③一定期間におけるサイトの再利用の管理
操業後モニタリングプログラムの役割 考えられる核種放出の原因	: 同プログラムが確立されるのであれば、放射能の予期しない放出の検知が可能となる。 : まず、核種の放出は起こりそうにないが、地質学的、水理地質学的変化や侵入の結果としての放出が考えられる。 ①地質学的変化としては、沈降などの地質学的不安定性 ②水理地質学的変化の例としては、岩石の溶解や新しい経路の生成などによる地下水流路の変化

表 2.2-5 「低レベル及び中レベル放射性固体廃棄物の空洞内処分, IAEA Safety Series No. 59」に示されているモニタリングに係わる考
え方のまとめ

項 目	内 容
操業後監視の位置づけ	: 空洞内処分概念は、閉鎖・密閉後においては、どのような継続的な関与に対しても最終的な信頼を置いていない。操業後の監視は一定期間においてのみ考えられる。
操業時の敷地内モニタリングの場所	: 線量率については、廃棄物がハンドリングされ、貯蔵されるエリアで必要となる。
サイトの汚染の特徴	: ハンドリングの間、容器が損傷を受ける場合に起こりうる。換気システムの影響を受ける。一定のエリアや状況に限定されるのが特徴である。
操業時の核種放出に対応した敷地内モニタリングの目的	: 操業許可において明記された放出限度を超えていないことを確認すること。
操業時のバリア機能の劣化に対応したバリアの封じ込め機能の劣化に影響を与える可能性のある処分場周囲、あるいは、上位の母岩の状況の変化の把握のため。	
敷地内モニタリングの目的	: ①母岩内の岩盤破壊の地震計による記録
上記モニタリングの事例	②処分場上部の地表の沈下の測定 ③母岩内あるいは周辺岩盤内における上流側、下流側地下水の化学組成の分析
敷地外モニタリングの必要性	: 敷地内モニタリングがどのような放出も検出し、定量するのに十分なものである必要があるため、敷地外モニタリングは必要とすべきではない。ただし、国の行う環境モニタリングの一環としてはあるかもしれない。
処分場閉鎖の条件	: ①廃棄物の定置作業が操業許可の意図に合致した方法で行われてきていること ②最新の安全解析の結果が、短期的にも長期的にも閉鎖後の処分場の挙動を十分に予測すること ③埋設された廃棄物とサイトモニタリングの結果の記録が利用できること
操業後の安全性に対して	: 政府は、処分場が安全解析の予測に従った性能を示しているという保証を与えるために、サイトとその周辺の放射線に関する監視を行うかもしれない。

表 2.2-6 「放射性廃棄物の浅層処分、長半減期放射性核種の受入れのための参考水準、NEA(1987)」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
施設等の構造的安定性とモニタリングとの関係	：構造的な安定性の要件が重要なものは、廃棄体、廃棄物容器、その他の処分施設の工学的特徴が損なわれずに長く持つべき、制度的管理期間において施設をモニタリングし、維持することが容易になるからである。
制度的管理の技術面での目標	：①システムの健全性に直接的、間接的に好ましくない影響を及ぼす人間の侵入を防止すること。 ②施設、構造物、装置が優れた作動条件にあるようにすること。 ③封じ込め施設からの放射能のコントロールされない放出がないことを確認するために周辺の環境をモニタリングすること。
積極的な管理の内容	：サイトの物理的な保護、保守作業、環境放射線のモニタリング、修正処置
受動的な管理の内容	：フェンスを張ること、標識や看板の設置、廃棄物に関する記録（種類、量、場所）の保管、処分システムの場所と設計についての知識の永続を図ること、土地利用の制限
制度的管理の適用段階	：①閉鎖前の段階（施設の操業段階） ②その後の段階（施設の操業停止後の段階）
閉鎖後段階における制度的管理の分類	：①（貯蔵や浅層埋設に対応するもの）技術的な障壁で達成される封じ込めを強化するために人間による管理が追加される。 ②（地層処分に対応するもの）制度的管理が実際必要とならないような固有の安全性を提供するように設計される。したがって、制度的管理は安全性の目的のためには厳密な意味では必要ないものの、適切な記録を保持することによって、処分サイトへの意識度を維持するためや、心理的理由から、制度的管理を行うことは考えられる。
浅層埋設における閉鎖後の制度的管理	：①サイトの警備 ②放射線モニタリングプログラムの継続 ③埋設区域と設備の保守
地層処分における制度的管理	：原則として、地層処分はどのような積極的な制度的管理も操業後では必要としない程本質的に安全である。閉鎖後に適用されるどのような管理手段も、予防措置としては余分なものである。
閉鎖前における管理の目的	：施設の建設、運転開始及び操業が安全条件に適合した形で行われるようにチェックすること。
閉鎖段階の期間となすべき事柄	：サイトが実際に適しており、施設が適切に建設され、操業されていることが確認できるときに、操業が終了した後のある期間はアクセス立坑は閉塞されず、施設が閉鎖されるまでは、サイトの放射線モニタリングは継続されるべきと考えられる。サイトの警備と監視が必要になる。閉鎖されるまでは、サイトの放射線モニタリングは継続されるべきと考えられる。
閉鎖後の管理の内容	①閉鎖後は、技術的には本質的に安全であるとしても、ある種の監視は実行されるかもしれない。象徴的なレベルでの、特定期間におけるサイトの直接的な監視はありうる。 ②処分システムの健全性を損ねる可能性のある侵入を防止するために制度的管理が行われる。

表 2.2-7 「放射性廃棄物の処分、関連原則についての概観、NEA(1982)」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
廃棄物処分の目標	: 人間の健康と環境を守り、社会的、経済的要因を考慮して、将来世代に対す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。
環境の保護	: 生態系にどのような影響が生じているのかを決定するために、また、生態系の長期的な安定性が乱されていないことを保証するために、注意深くモニタリングを行うことが必要であろう。
制度的管理の期間	: その長さは数百年よりも長くならないことで合意が得られつつあるように思われる。この比較的短い期間に無害にならない廃棄物に関しては、制度的な管理に頼らない受動的な処分方法の開発が目標となる。
回収可能性の位置づけ	: ①封じ込めを意図した施設の場合、回収可能性は施設の閉鎖後の段階に関しては必要条件ではない。 ②技術的理由以外の理由によって、回収を容易にする機構を含めることとなった場合、封じ込めシステムの健全性に影響を与えるものであってはならない。

表 2.2-8 「放射性固体廃棄物処分に関する放射線防護の諸原則、ICRP Publication 46」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
公衆の防護のための操業期間中のモニタリングの一般目標	①決定グループ及び決定集団の受ける可能性のある線量を評価すること。 ②認定限度及び法的要件に適合していることを証明すること。
放射性核種の放出が大きくないか、全く起こらない場合	全: 線源のモニタリングは最小限にとどめ、浅層処分の場合には、予想放出率の確認と予期しない事象のチェックを目的として、表面流出水中及び最も近くにある常水層の放射能レベルを測定することによって十分であろう。 環境モニタリング実施上の要件: 多数の調査孔を掘ることによって、将来における処分場の長期間の健全性、安全性を危うくすることのないようにしなければならない。
閉鎖後管理の期間と信頼性	: 長期間にわたる廃棄物処分場の安全性が、十分な将来にとられる対策に依存できないものであることは一般に認められている。一般論として、管理は数十年間、あるいは百年間であっても信頼しうるものであるが、数百年後においては信頼性は低いものとなり、数千年後には全く無くなることになる。
閉鎖後の制度的管理の扱いとその理由	処分場は、その安全性が閉鎖以後の長期間において制度的管理に依存しないよう設計、建設しなければならないという原則を支持するが、実際問題としては、モニタリングと管理が処分場閉鎖後のある期間に維持されるであろう。それは、主に特定の社会的、政策的要件を満たす必要性のためである。ただし、人工バリアと地質学的バリアの挙動に関連したいくつかのフィードバックが役に立つ可能性はある。
閉鎖後のモニタリングの形態	: 閉鎖以後の一定期間にわたって、ある一定レベルのモニタリングが継続される可能性がある。それは操業期間中のモニタリングが引き続き行われるというものであるが、徐々に縮小していくであろう。モニタリングの種類、実施時期、期間は処分の種類に依存する。この段階でのモニタリングには、サンプリングや分析のような積極的な測定を含む。
受動的な制度的管理の実施	: 積極的なモニタリングの期間中や期間後においては、人間の侵入や干渉の可能性を減らす受動的な手段が採られるだろう。その手段としては、廃棄物の存在と特性についての情報の保管であり、敷地への標識や表示の設置もある。

表2.2-9 「公衆の放射線防護に関するモニタリングの諸原則, ICRP Publication 43」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
公衆の放射線防護に関するモニタリングの定義	放射線や放射性物質の被ばくの推定、あるいはその管理に関連した理由からの放射線あるいは放射能の測定をいう。測定の意味が含まれる。
モニタリングプログラムの内容	：測定タイプと頻度、測定やサンプリングの方法、実験室における分析方法、統計的検定手法、データ処理、解釈、記録の方法を明細に記す必要がある。
試料採取網の選定における留意	：線源と被ばくの経路に関連して注意深く選定されなければならない。
モニタリングプログラムの最終行為	：プログラムの最後に個人あるいは集団に対する線量当量の評価がなされる。または、単に測定値を、適当に設定された、あるいは認定された限度と比較することが要求される。
段階の識別	：操業前、操業開始時、操業、解体、操業後に識別。
モニタリングの品質保証の定義	：モニタリングプログラムの結果に適切な信頼を与えるために必要な、計画された、総合的な諸行為を含むもの。
品質保証プログラムの内容	：装置や機器が正常に機能し、手順が正しく確立され、実施されており、解析が正しく行われており、エラーが限定されており、記録が適切かつ迅速になされており、要求される測定の精度が維持されており、系統的なエラーが生じていないということを保証するものである。

表 2.2-10 「高レベル放射性廃棄物の地層処分, 10 CFR Part 60」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
永久閉鎖のための許認可申請書の内容	①永久閉鎖後のモニタリングプログラムについての記述 ②土地利用管理、記念碑の建設、記録の保存などの手段を詳述したもの ③廃棄期間中に取得した地質学的、地球物理学的、地球化学的、水理的データ、及びその他サイトに関するデータ ④埋戻し、密閉、廃棄物-母岩相互作用に関連した試験、実験や、廃棄物の長期隔離に係わる全ての試験、実験、分析。
操業中の放出物の管理	: 地表施設は、性能目標に合致するように、通常操業の期間中、放出物中の放射性物質の放出を管理するように設計しなければならぬ。
放出物のモニタリング	: 放出が放出物管理の設計要件に適合しているかどうかを決定するために、十分な精度でもって、どんな放出物であっても、その中の放射性核種の量と濃度を測定するよう設計されなければならない。
性能確認プログラムが含む範囲	: 原位置でのモニタリング、実験室および野外での試験、原位置試験を含む。
性能確認プログラムの実施における留意事項	: ①天然バリア及び人工バリアの機能に悪い影響を与えないこと。 ②サイト特性調査、建設、操業により変化する可能性のある地質環境パラメータと天然のプロセスについてのベースラインとなる情報と解析を与えること。 ③処分場の性能に影響を与える可能性のあるパラメータの変化を元の状態からモニターし、解析すること。
地質工学パラメータと設計パラメータ	: ①地下の条件は設計の仮定と対照してモニターされ、評価されなければならない。 ②地下施設の熱的、力学的なモニタリングは、天然バリアと人工バリアの性能が設計の限度内にあることを保証するため、永久の閉鎖まで実施されなければならない。
廃棄物容器のモニタリング	: 廃棄物容器の状態をモニタリングするためのプログラムが必要である。

表2.2-11 「放射性廃棄物の陸地処分のための許認可要件, 10 CFR Part 61」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
モニタリングの定義	: 処分サイトの性能及び特性を評価するためのデータを取得するために行う観察と測定をいう。
サイトの閉鎖と安定化の定義	: 処分サイトを保護するために行う準備作業に関与せられる諸活動、及び処分サイトが安定な状態で止まり、進行中の積極的な維持管理を必要としないことを保証する諸活動をいう。
監視の定義	: 補修の必要性、管理上の注意、侵入の証拠、及び他の許認可及び法的要件への適合の目視による検出を目的とした処分サイトの観察をいう。
閉鎖後の観察と保守	: 閉鎖の完了後、被認可者は、委員会によって譲渡されるまで、処分サイトにおいて観察、モニタリング、必要な保守、修復を行わなければならない。処分サイトに対する責任は被認可者が5年間負わなければならない。観察、保守の期間はサイト条件により変わる可能性がある。
操業前モニタリングの実施	: 申請者は、処分サイトの特性についての基本的な環境データを提供する操業前モニタリングプログラムを実施していなければならない。
操業前モニタリングの内容	: 申請者は、処分サイトの生態、気象、気候、水理、地質、地球化学、地震についての情報を取得しなければならない。
建設、操業期間中のモニタリングプログラムの目的	: 環境への影響と潜在的な健康状態を評価するためのデータを提供し、長期影響の評価と影響を緩和する手段の必要性の評価を可能にするため、測定、観察、記録が行われなければならない。
モニタリングシステムの特徴	: 放射性核種がサイト境界に達する前に、処分サイトからの漏出に対し、早期に警告を与えることができるものでなければならない。
閉鎖後のモニタリングの実施	: 閉鎖後に処分サイトの操業後監視に対して責任を負う被認可者は、操業経過と処分サイトの閉鎖及び安定化作業に基づきモニタリングシステムを継続しなければならない。
閉鎖後の制度的管理プログラムの内容	: 制度的管理プログラムは、環境モニタリングプログラム、定期的な監視、最小限の管理上の注意等を含まなければならない。
制度的管理の期間	: 制度的管理の期間は委員会によって決定されることになるが、所有者への処分サイトの管理の譲渡の後、100年以上にわたっては制度的管理に頼らなくてもよい。

表 2.2-12 「使用済燃料、高レベル廃棄物、TRU廃棄物の管理と処分のための環境放射線防護基準, 40 CFR Part 191」に示されているモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
処分の定義	: 廃棄物の回収可能性に関わりなく、取り出しの意図なく接近可能な環境から使用済燃料あるいは放射性廃棄物を永遠に隔離することを行う。例えば、坑道開削した地層処分場内の廃棄物の処分は、その処分場への全ての立坑が埋め戻され、密閉された時に生じる。
受動的な制度的管理の定義	: 処分サイトに置かれた永久の標識、公的記録と公文書、土地と資源利用に関しての政府の所有と規制、位置や設計、処分システムの内容についての知識を保存する他の方法のことをいう。
積極的な制度的管理の定義	: ①受動的な制度的管理以外のどのよう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。 ④処分システム性能に關係するパラメータのモニタリングを行うこと、をいう。
処分実施のための保証要件	: ①積極的な制度的管理は、実際に行うことができるかぎりには、処分後なるべく長い期間維持されなければならない。ただし、性能評価は処分後 100 年以上の期間に対しては積極的な制度的管理に依拠したものであってはならない。 ②処分システムに対しては、期待性能からの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ぬ。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、何も重要なことが示されなくなるまでモニタリングを行わなければならない。 ③処分サイトは、最も永遠に存在する標識、記録と、廃棄物のその場所の危険性を示す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。

表2.2-13 WIPPにおける環境影響評価のためのモニタリングプログラムのまとめ

項 目	内 容
操業前の環境評価プログラム内容	①地質（地表地質調査、空中写真解析、衛星写真解析、試験調査、物理探査〔比抵抗、磁性、重力〕、地化学探査〔鉱物組成、化学組成、流体の量と組成、岩石年代、再結晶化後の地史〕、岩石力学調査〔力学特性、透気性、熱特性、放射線特性〕、地震動特性） ②水理（溶解発生状況、溶解境界の把握、溶解度、動水勾配） ③気象（平均風速、風向、湿度、気圧、降水量、電離放射線、スカイシャイン、温度、結露の温度、気温差、大気中の浮遊物質の総量、二酸化イオウ、二酸化窒素、硫化水素、一酸化炭素、オゾン） ④生態（植物、哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類、無脊椎動物、水生動物の分布、食糧、密度、移動、飲用水質、指標生物に対する放射線学的調査） ⑤放射線（大気中の粒子の全ベータ濃度、土壌のガンマ核種、直接ガンマ線、地下水の全アルファ、全ベータ、ガンマ核種、地表水と堆積物のガンマ核種、果物と野菜の³H、牛肉・鳥肉のガンマ核種）（底生生物、水生植物、魚介類、牛乳については、生息箇所が遠いため実施せず。）
操業中のモニタリングプログラム	①坑内（層位的調査、地質構造調査、力学特性調査、壁面の変形、貯蔵及び実証試験サイトでの岩塩の化学組成、塩分含有量、力学特性、熱特性） ②地表（地震動、坑内の実験等による地表面の変動） ③水理（地下水位、湧水、地表流水、水質） ④気象／生態（操業前と同じ。） ⑤放射線（排気中の粉塵、排出口での排気のアルファ線、ベータガンマ線、その他の環境放射線モニタリングは操業前と同じ。）
操業後のモニタリングの実施について	閉鎖後のリスクに関して、何か重大な懸念がある場合には閉鎖は行われない。また、閉鎖後のある一定期間においては、モニタリングは続けられる。その内容は大部分操業中のモニタリングが継続される。
操業後のモニタリングの内容	①地質（閉鎖に伴う沈下の深度方向の変化と水平的広がり、破碎帯等の地下の動きを示すものの調査）（廃棄物の直上や近傍での試験孔における観測はしない。） ②放射線（指標生物種） ③水理（地下水下流域での試験孔での地下水採取と放射線測定）（近傍と上流側試験孔は閉塞される。）

表2.2-14 ヤッカマウンテン、サバンナリバー、ナイアガラフォールズにおけるモニタリングに係わる事例調査のまとめ

項 目	内 容
(ヤッカマウンテンにおけるサイト特性調査段階でのモニタリングの内容) モニタリング対象項目	: ①地表流水 (不飽和帯への浸透水源、飽和帯への涵養源としての評価、飽和帯の地下水流れへの影響評価、洪水の影響評価) ②地下水 (流れの方向、地下水面の高さの変動幅と変動頻度; 半径12km以内に28の観測孔) ③自然浸透量 (25km²の範囲での不飽和帯中の自然浸透量) ④気象 (25km²の範囲で、ペンマン型気象ステーション2箇所、貯蔵型降水量計86箇所、加熱型のfrozen precipitation 測定計5箇所、同非加熱型6箇所) ⑤垂直試錐孔 (不飽和帯中の浸透量と不飽和透水係数) ⑥不飽和帯の気相と液相の地下水化学 (CO₂ の¹⁴C/¹²C、水蒸気の³H量、¹⁸O/¹⁶O、D/H、液相の¹⁴C量、³H量、¹⁸O/¹⁶O、D/H、陽イオンと陰イオン量) ⑦地震 (300km 以内の地震動、観測地点数55、将来は 120点を加える。) ⑧その他 (測地観測、脈石調査、涵養研究)
(サバンナリバープラントにおけるモニタリングの実施内容) 地下水モニタリングの内容	: ①浸透水採取のための宙水用の井戸 (1969年に24孔) ②地下水面下3mの深さの井戸 (66孔、1979年に6mの深さの35孔追加) ③その他 (植物の採取) (大気や土壌の日常的なモニタリングは行われていない。)
(ナイアガラフォールズ貯蔵サイトにおける性能モニタリングシステムの検討内容) 性能モニタリングシステムの目的	: 廃棄物を隔離している構造物の封じ込め機能が劣化する前に、その箇所を修復する措置がとれるように、発生しているか、発生したことを示す証拠を検知すること。予防的な補修プログラムである。
モニタリングの対象	: 廃棄物の差別的沈下、粘土質帽岩の乾燥に伴うひび割れ、水平方向の変位、表面侵食、動物による掘削、植物根の侵入、水位の急激な上昇
モニタリング項目	: ①地形調査 (杭の標高測定) ②現地観察調査 (目視観察) ③空中写真解析 (等高線の描写による地表面の変化の把握、赤外写真撮影による植生の粗密や地表付近の水分布の把握) ④間隙水圧測定 (試錐孔内に設置、温度測定も行う。) ⑤地下水モニタリング (上部、下部、基盤内の各帯水層を対象とした観測孔で核種を測定)

表2.2-15 イギリス、フランス、ドイツにおけるモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
イギリスにおける考え方 (ドリッグにおける環境モニタリングプログラムの内容)	: モニタリングに関する要件は定められていない。
地表水	: 小河川沿いに、あるいはサイト境界で、毎週、毎月あるいは毎四半期ごとに採水し、アルファ・ベータ放射能、 ^3H を主とし、その他 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 U 、 ^{232}Th 、 Pu 、 ^{241}Am などを測定する。
宙水、広域的地下水	: 四半期ごとに採水し、アルファ・ベータ放射能、 ^3H を測定し、アルファ・ベータ放射能があるレベル以上の場合、 U 、 ^{232}Th 、 Pu 、 ^{241}Am 、 ^{90}Sr を分析する。
大気	: サイト境界近くで、大容量サンプラーの場合、毎月 ^{90}Sr 、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 、 ^{106}Ru を、また毎年 Pu 、 ^{241}Am を測定し、小容量サンプラーの場合には毎月全アルファ、全ベータを分析する。
牛乳	: 近くの農場で毎日採取し、四半期ごとに6試料として、ガンマと一部 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^3H を測定する。
空間放射線	: ドリッグ川の南側土手の1mの高さの所で、四半期ごとに測定する。
堆積物	: ドリッグ川の底から採取した堆積物を乾燥し、全アルファ、全ベータ、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{232}Th 、 Pu 、 ^{241}Am などを測定している。
フランスにおける考え方 (ラマンシュセンターにおけるモニタリングの内容)	: モニタリングに関する要件は定められていないが、将来なされる可能性がある。
モニタリングの対象	: 水、大気、土壌
排水	: チュムリとモノリスを囲む集水システムは内部を通過したり、浸入した水を集めるもので、20箇所で採取され、アルファ、ベータ、 ^3H 濃度の測定が行われる。
地下水	: 25箇所で地下水面の変動と放射能の測定が行われる。
気象	: 小規模の気象観測ステーションで雨量と放射能の測定が行われる。
空間放射線	: 建物の内部と外部で規則的に行われる。また、施設内と敷地境界では線量計による放射能の測定が行われる。
ドイツにおける考え方	: ①操業期間中はモニタリングにより、環境に放出される放射能で汚染された空気と水による被ばくを評価することが求められている。処分場内においても、地表においても、核種に密着なモニタリングとなる。 ②閉鎖後の期間においては、モニタリング要件はない。FRG 当局は、1,000mを超える深さまで掘削する人間は放射線を検知する能力を有しているものと仮定できるとしている。したがって、人間の侵入も主要な関心事とはなっていない。

表2.2-16 スイス、スウェーデン、カナダにおけるモニタリングに係わる考え方のまとめ

項 目	内 容
スイスにおける考え方 指針R-21に示されている表現	: ① ISKは廃棄物の定置期間においても、閉鎖後の期間においても、処分場のモニタリングの要件は定めていない。 ②当局は監視は許容しうものと考えてはいるが、設計の中で考慮すべきものとは考えていない。その理由は、監視を考慮することは、最終であるという意味を欠いており、将来の世代に負担を負わせる可能性があるからである。 : 処分場は、いつであって、数年以内に密閉することができする方法で設計されなければならない。最終処分場が数年内に密閉された後は、安全手段と監視手段なしで済ますことが可能でなければならない。(処分場閉鎖後において、監視の手段に頼ることの禁止)
スウェーデンにおける考え方	: ① KBS-3のレビューにおいて国が設けた基準の一つは、処分場の長期安全性はモニタリングや監視に依存してはいけな いということである。 ② SKIは、最終処分場の安全性は閉鎖後のモニタリングプログラムに依存してはいていないと考えているが、モニタリン グプログラムは科学的理由あるいは他の理由から有益かもしれないとの考えである。
カナダにおける考え方	: ①規制文書R-71のモニタリングに関連する表現として、「処分システムの有効性は、(a)閉鎖前の測定、(b)閉鎖後の取り 出し、(c)閉鎖後の測定のために作られるかもしれないどのような規定によっても損なわれてはならない。」がある。 ②AECBの上記R-71表現に対する意見 ・閉鎖後期間における処分場の性能は予測モデルに基づいて評価されるところである。そのため、入力データが処分場 環境を代表するものであることを保証するために、閉鎖前の期間に測定することを要求されるであろう。 ・閉鎖後の廃棄物の回収可能性を含めるような設計要件はないであろうが、もし、そのような規定が含まれねばなら ない場合には、処分場の有効性を損なわない性質のものでなければならない。 ・十分な証拠によって、閉鎖後モニタリングの必要性なく処分場を放棄することができるという結論に十分な確信を持 って達することができるときにのみ、閉鎖が許可されるであろう。閉鎖後モニタリングがそれにもかかわらず考慮され るのであれば、その方法は処分場の健全性が損なわれないようなものでなければならない。
(チャークリバー原子力研究所におけるモニタリングの内容) 環境モニタリングの対象	: ①サイトからの全ての液体、気体放出物 ②周辺居住地と水の調査、モニタリング ③廃棄物管理地域近傍での精力的なサンプリング
表層流出水の分析項目 地下水モニタリングの目的	: ^3H、全ベータ・ガンマ放射能、^{90}Sr : 放射性核種が流出しているかどうか、流出した核種が地表水に移行するかどうか、また、それがいつなのかを決定す ること。
過去のモニタリングの結果	: 地域内の施設から公衆に放出された放射能の量は測定可能なレベルであるが、有意なものではない。

3. わが国におけるモニタリングの現状

わが国におけるモニタリングの実施事例として下記に示す原子力施設等を選定し、それらの文献調査、現地調査及びヒアリングを行って、モニタリングの考え方や具体例を整理した。

- ① 日本原燃(株) 六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター（青森県）
- ② (株)日本アイソトープ協会 茅記念滝沢研究所（岩手県）
- ③ 東京電力(株) 柏崎刈羽原子力発電所（新潟県）

これらを調査の対象とした理由は次の通りである。すなわち、①については、日本で唯一の実現している放射性廃棄物の埋設施設であること、②については、放射性廃棄物の発生箇所でないところにそれを集約しており、社会的な受容のためのモニタリングの観点で参考としよう情報が得られると判断したこと、③については、まず、原子力発電所は最も数が多い原子力施設であり、そこにおけるモニタリングの考え方は確立していると考えられ、数ある原子力発電所の中で柏崎刈羽原子力発電所は新しい、集約された大きな施設であることによる。

さらに、これら施設で行われている環境放射線モニタリングは、原子力安全委員会が平成元年3月に定めた「環境放射線モニタリングに関する指針」及び同じく昭和63年3月に定めた「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」に準拠しているものであるため、これらの本研究に係る箇所をまとめることとする。

3.1 日本原燃(株) 六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター

本施設に関しては、モニタリングの実施に関わる担当者からのヒアリング結果を主体に、その他現地調査、下田他(1991)、飯村(1992)を参考にしてまとめる。また、施設周辺に居住する一般公衆の保護を目的としたモニタリングを主体に記述することとする。さらに、敷地外、すなわち本施設外での環境モニタリングに関しては青森県（1992）の資料に依った。

なお、ヒアリングは日本原燃(株)濃縮・埋設本部環境整備部建設課佐々木規行氏に対して実施したものである。

3.1.1 施設の概要（下田他, 1991）

本施設は低レベル放射性廃棄物を約20万 m^3 （200ℓドラム缶約100万本相当）受入

れ、埋設する計画の施設であり、最終的には約60万 m^3 の受け入れが計画されている。
第1期分として200 ℓ ドラム缶20万本相当の廃棄物埋設施設の事業許可を得て、平成4年12月上旬に操業が開始された。

施設の設置位置及び敷地周辺の地形を図3.1-1に示す。施設は北側の沢と南側の沼に挟まれた標高30~60mの台地上に位置し、北西から南東にかけて緩く傾斜している。敷地中央には小沢が存在し、東方には太平洋がある。

周辺の地質は新第三系中新統の鷹架層、第四系更新統の段丘堆積層及び火山灰層、第四系完新統の沖積低地堆積層等からなり、施設周辺においては、比較的浅い位置に鷹架層とそれを覆う第四系が分布している。埋設設備はこの鷹架層を掘り下げて設置されている。

廃棄体4万 m^3 （200 ℓ ドラム缶20万本相当）を埋設する設備群は、1埋設設備群当たり廃棄体約5,000 m^3 を埋設する8群より構成され、各々の埋設設備群は、1基当たり廃棄体約1,000 m^3 を埋設する埋設設備5基で構成されている。1埋設設備の内部は16区画に分割されており、1区画には廃棄体64 m^3 （200 ℓ ドラム缶320本相当）を収納できる。北より2番目の、埋設設備5基で構成される1群の南側面を写真3.1-1に示す。

各埋設設備には排水・監視設備が備えられている。排水・監視設備は埋設設備の外周仕切設備及び覆いとセメント充填材との間に設けるポーラスコンクリート層（ 10^{-1} cm/s程度の透水係数）と、これに接続して設ける排水管ならびに排水管からの排水状況を監視・点検するために埋設設備周囲に設ける点検路とから構成されている。埋設設備及び付随する設備の概要を図3.1-2に示す。また、埋設設備の北側と南側の排水・監視設備をそれぞれ写真3.1-2、3に示す。埋設設備周囲の地盤面が北から南にかけて緩く傾斜しているため、北側の排水・監視設備は取り出し口が地表面より下にあるのに対し、南側のそれは地上数十cmの高さに位置している。

埋設設備は埋設終了後に覆土で覆われる予定である。覆土は、廃棄物埋設地周辺の土壌等に比して透水性が大きくならないよう、土砂等を締め固めながら埋設設備上面から6m以上の厚さを確保される予定である。覆土のうち、埋設設備上面から2mの高さまでがベントナイトの混入により、その透水性が鷹架層の平均的な透水係数値（ 1.1×10^{-5} cm/s）よりも小さい 10^{-7} cm/s程度になるように調整される（飯村，1992）。

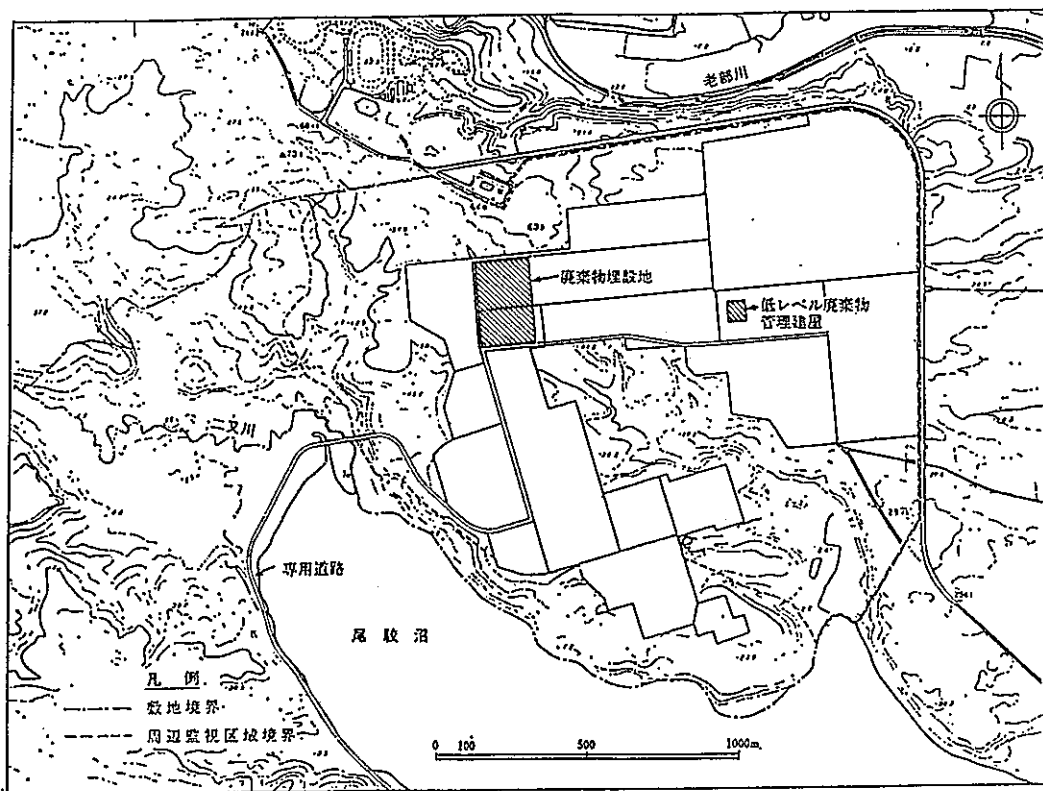


図3.1-1 埋設施設の設置位置及び周辺の地形（下田他，1991）

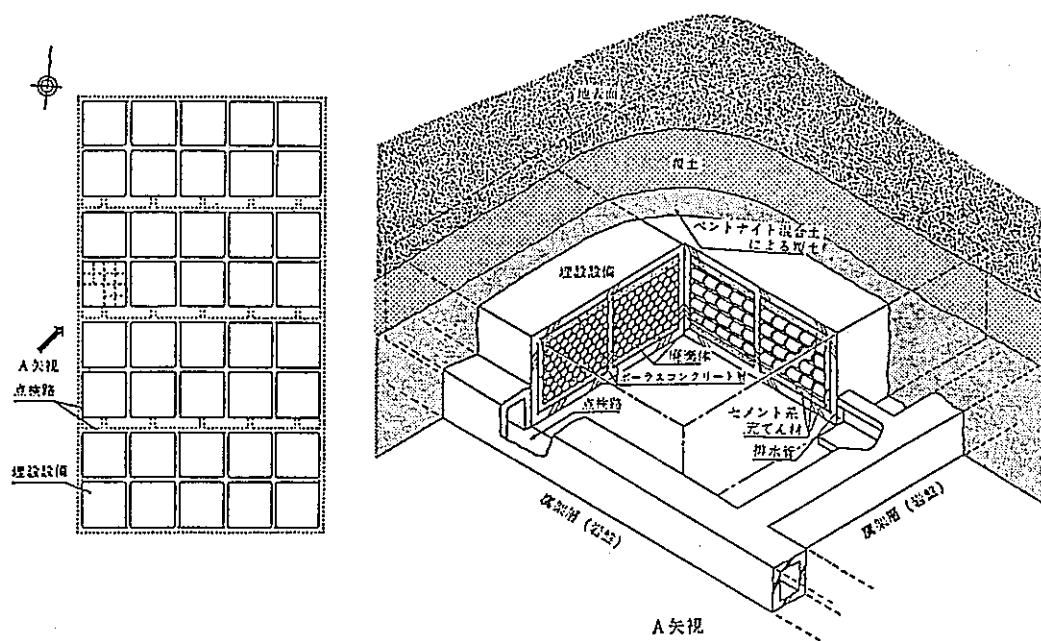


図3.1-2 埋設設備の概要（下田他，1991）

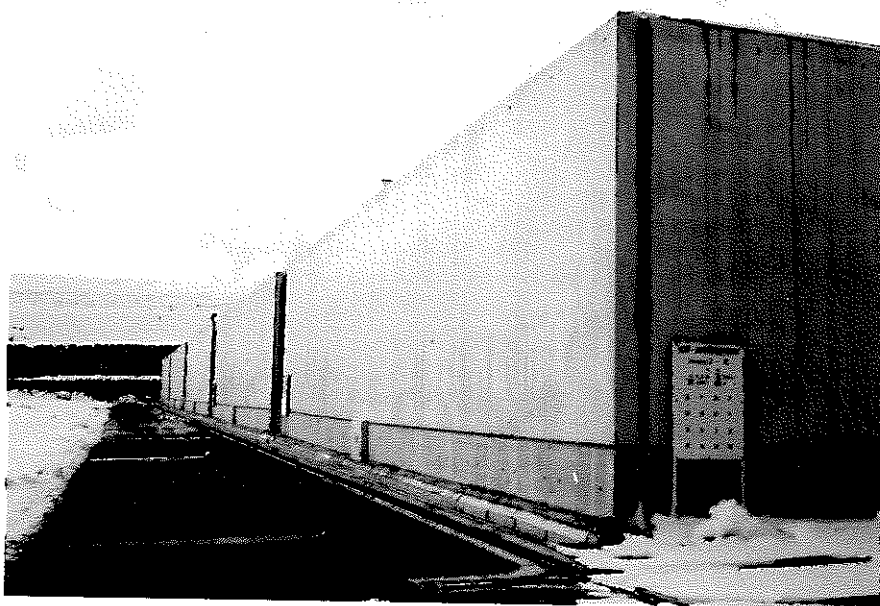


写真3.1-1 埋設設備5基よりなる埋設設備群



写真3.1-2 埋設設備北側の排水・監視設備

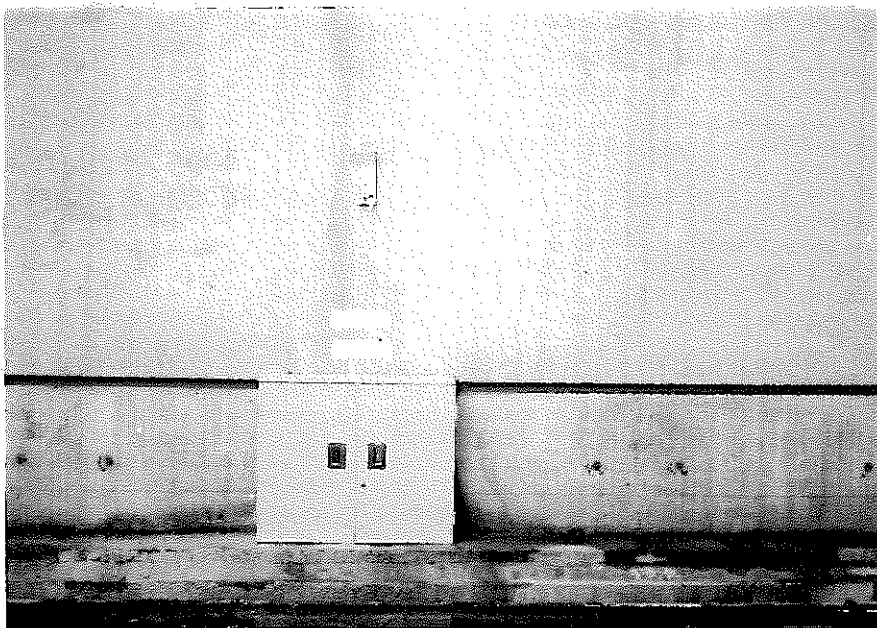


写真3.1－3 埋設設備南側の排水・監視設備



写真3.1－4 地下水監視設備

3.1.2 モニタリングに関する基本的考え方

モニタリング計画を立てる際に基本となった廃棄物の段階管理の考え方を主体にまとめるとめる。

(1) 廃棄物の管理の考え方

半減期の短い核種が大半を占める低レベル放射性廃棄物を対象とするため、放射能の減衰に応じて以下のような管理内容の軽減を経て、最終的に管理不要とする段階に移行する予定としている。段階を第1～第3の各段階に分け、それぞれの実施期間は次のように示されている（下田ら，1991）。

第1段階：埋設設備開始以降10～15年以内

第2段階：第1段階終了後30年

第3段階：第1段階終了後約300年

それぞれの段階における管理内容を表3.1-1に示す。

第1段階は、埋設設備（人工バリア）による閉じ込めを行い、人工バリア外への放射性物質の漏出がないようにする段階である。主として、漏出していないことの確認を目的とした監視が行われる。この段階においては、埋設設備への廃棄体定置作業等が行われている。

第2段階は、人工バリアと周辺土壌により移行の抑制がなされ、人工バリア外への放射性物質の漏出（の状況）を監視する段階である。この段階においては天然バリアを含めた必要な全バリア材は備えられているが、施工後における一時的な水理系変化や覆土の圧密沈下等が予想される。

第3段階は、主に周辺土壌により移行の抑制がなされ、核種の漏出に関する一切の監視（モニタリング）を不要とする段階である。ただし、人為的掘削行為に対する監視は必要と考えられている。

(2) 第1及び第2段階における操業等に関する管理（飯村，1992）

事業者は原子炉等規制法第22条に基づき、設計及び安全評価等で想定した安全上の諸条件が確実に維持されるよう所要の管理を行っている。主な管理は以下の通りである。そのうち、前二者は操業管理上で必要な要件である。

- ・ 廃棄体の受入れ検査及び埋設管理
- ・ 放射性廃棄物管理及び放射線管理
- ・ 地下水モニタリング

表 3.1-1 各段階における管理内容（下田他，1991）

第 1 段階	第 2 段階	第 3 段階
・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		
・周辺監視区域の設定 ・地下水中の放射性物質の濃度の監視 ・排水・監視設備による排水		・掘削等の制約
・漏出のないことの監視 ・埋設設備の修復等	・漏出の状況の監視	

表 3.1-2 モニタリングの依拠する法令等

①〔原子炉等規制法 埋設規則*1：第 13 条〕

周辺監視区域内における地下水中放射性物質濃度の記録

周辺監視区域における空間線量の記録

②〔原子炉等規制法 埋設規則*1：第 17 条〕

埋設設備からの放射性物質の漏出監視

③〔原子炉等規制法 埋設規則*1：第 19 条〕

周辺監視区域外において地下水中放射性物質濃度限度を超えないことに関する監視

④〔基本的考え方*2 段階管理の定義〕

第 1 段階は、人工バリアからの放射性物質の漏出有無に関する監視

（漏出していないことの監視）

⑤〔基本的考え方*2 環境安全〕

廃棄物埋設施設地から地下水等に漏出し、生活環境に移行する放射性物質の濃度等を適切に監視する。

注）*1：核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の廃棄物の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）

*2：放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方（昭和 63 年 3 月 17 日原子力安全委員会決定）

(3) 対応する法規

モニタリングは敷地内でなされる敷地内モニタリングと、敷地外でなされる敷地外モニタリングに分けられる。敷地内モニタリングに関しては、表3.1-2に示す法令等に対応するものとして位置づけられる。一方、敷地外モニタリングは青森県との分担で履行する「原燃サイクル3施設」を合わせて監視するためのモニタリングである。「六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター周辺地域の安全確保及び環境保全に関する協定書」（青森県－六ヶ所村－日本原燃㈱の三者間で結ばれた協定で、平成4年12月7日より施行）等の取決めにおいて実施される。

(4) まとめ

上記の管理段階をスムーズに移行し、最終的に第3段階が監視不要の状況にあることをそれまでの段階において随時証明する必要があると考えられており、そのためには各段階の管理の思想及び逐次行う安全評価に合わせてモニタリング計画を適切に定め、データの収集を図る必要がある。

3.1.3 モニタリングの現状

(1) 考慮するシナリオ

H-3、C-14等の一部ガスの成分となりうる可能性がある核種以外については、移行媒体は地下水と考えられている。地下水シナリオとして考慮している漏洩核種の移行シナリオは以下の通りである。

地下水の浸入⇒廃棄体との接触⇒地下水への核種の漏洩⇒人工バリア（排水・監視設備）を漏洩核種が通過⇒周囲の流動系に移行⇒（大半が）敷地中央部の沢へ移行⇒尾駁沼へ流入

(2) モニタリングの種類と項目

主なモニタリング項目（監視項目及び測定対象項目）を表3.1-3に示す。また、地下水モニタリングの管理段階との対応を表3.1-4に示す。

(a) 地下水モニタリングにおける分析項目

地下水モニタリングで指標とする対象核種は ^3H で、それを補完する核種は ^{60}Co 、 ^{137}Cs としている。この選定においては、検知の容易さを重視し、移行しやすい

表3.1-3 主なモニタリング項目（飯村，1992）

監視項目	場 所	特 記
排水・監視設備からの排水	埋設設備内	排水状況：週1回以上 H-3 分析：3ヶ月に1回以上 Co-60, Cs-137分析：1年1回以上
地下水中の核種濃度	周辺監視区域 境界付近	H-3, Co-60, Cs-137分析：1ヶ月 1回
地下水位	敷地内	1ヶ月1回
環境放射線（能）測定	周辺監視区域 境界	週1回の集積線量
外部線量当量率		
土 壌		
敷地外環境資料	尾駱沼老部川等	四半期1回程度

表3.1-4 モニタリングの管理段階との対応（飯村，1992）

	期 間	施設性能監視用	周辺公衆への影響監視用
第1段階	操業開始～ (10～15年)	①排水・監視設備	周辺監視区域境界付近の井戸
		②設備近傍の井戸	
第2段階	第1段階終了 ～30年	①排水・監視設備	周辺監視区域境界付近の井戸
		②設備近傍の井戸	
第3段階	第1段階終了 ～300年	—	敷地内地下水等の監視

こと、廃棄体内に相対的に多く存在すること等が考慮されている。指標核種の選定における考慮事項の一覧を表3.1-5に示す。

これら核種の測定頻度は、核種漏出の可能性が検知された場合に、想定される地下水の漏出に伴う核種の移行速度等から十分な対策が講じられるように考慮し定められたものである。なお、これらが有意に検知された場合には、人体に対する評価において重要となるその他、 ^{14}C 等の分析・監視を速やかに実行することとしている。

(b) 地下水モニタリングの位置

第1～2段階を通じて管理される排水・監視設備と地下水監視設備（設備近傍の井戸及び周辺監視区域境界付近の井戸）は、直接的に施設からの核種漏出とその影響に係る監視を目的としたものである。排水・監視設備の位置を図3.1-3に、地下水監視設備の位置を図3.1-4に示す。また、写真3.1-4に埋設設備南側200m程に位置する地下水監視設備を、写真3.1-5に同設備内の井戸（深井戸と浅井戸）を示す。

(c) 地下水モニタリングの監視手順

排水・監視設備は、施設性能の監視に係るモニタリングに関するもので、1埋設設備全周をとりまくように設置され、排水管が各々1箇所設けられる。ここで異常な濃度の排水を検知した場合には、埋設設備直近に地下水監視用の井戸を設けて、設備外への漏出を監視することとしている。第1段階における排水・監視設備に関する監視手順を図3.1-5に示す。

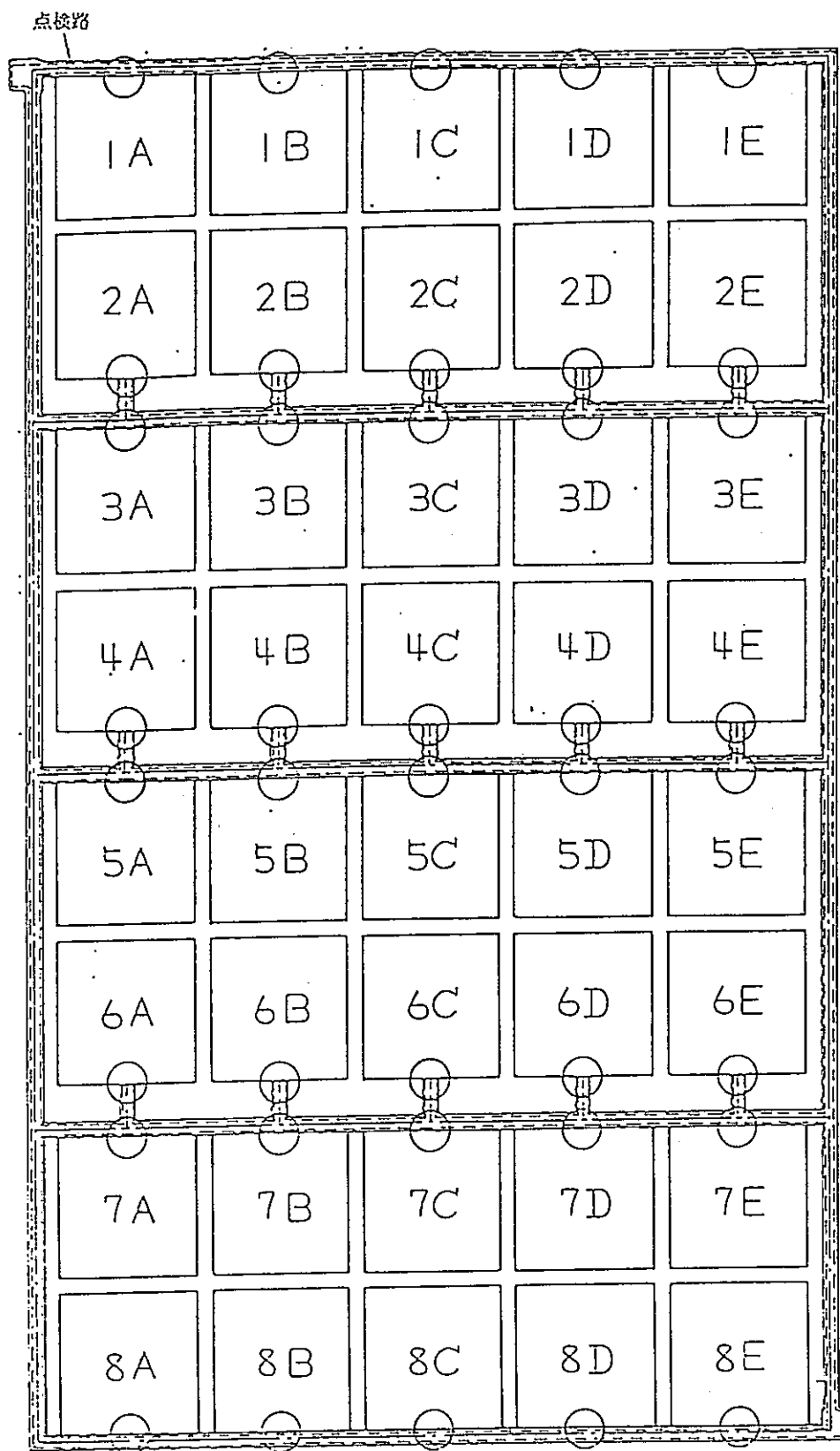
周辺監視区域境界付近の井戸の位置（計7地点、そのうち3地点では深井戸（採水深度は8m～20m）のみ、4地点では深井戸と浅井戸（採水深度は0～8m）の併設）は、地下水流動解析の結果と地層の分布を考慮して決められた。この地下水監視設備は周辺公衆への影響に係るモニタリングに関するもので、法令に則って1カ月1回行うこととされている。地下水の流れに伴う核種移行速度が遅いので、十分な頻度と考えられている。国・県へは年2回、相対的に地下水流速の大きい地層を監視対象としている浅井戸の3カ月の平均値と最大値が報告される。第1段階における地下水監視設備に関する監視手順を図3.1-6に示す。

(d) 空間線量

第1～2段階において、周辺監視区域境界付近の計13地点において、TLD

表3.1-5 指定核種の選定における考慮事項（飯村，1992）

(1)廃棄体中の相対的存在量 (確実性)	Co-60（約64%） Ni-63（約26%） H-3（約7%）
(2)廃棄体からの漏出のしやすさ (早期性)	① H-3 ② Tc-99 ③ I-129 ④ Cs-137
(3)バリア材中の移行のしやすさ (早期性)	① H-3 ② I-129 ③ Tc-99 ④ C-14
(4)測定のしやすさ (測定の容易性)	① Co-60, Cs-137等 γ 核種 ② H-3
(5)他の核種量を推定可能 (他核種推定の容易性)	Co-60 腐食生成代表核種 Cs-137 核分裂生成代表核種



○ : 排水・監視設備
(点検路完成前については保護工で代替する)

図3.1-3 排水・監視設備位置図

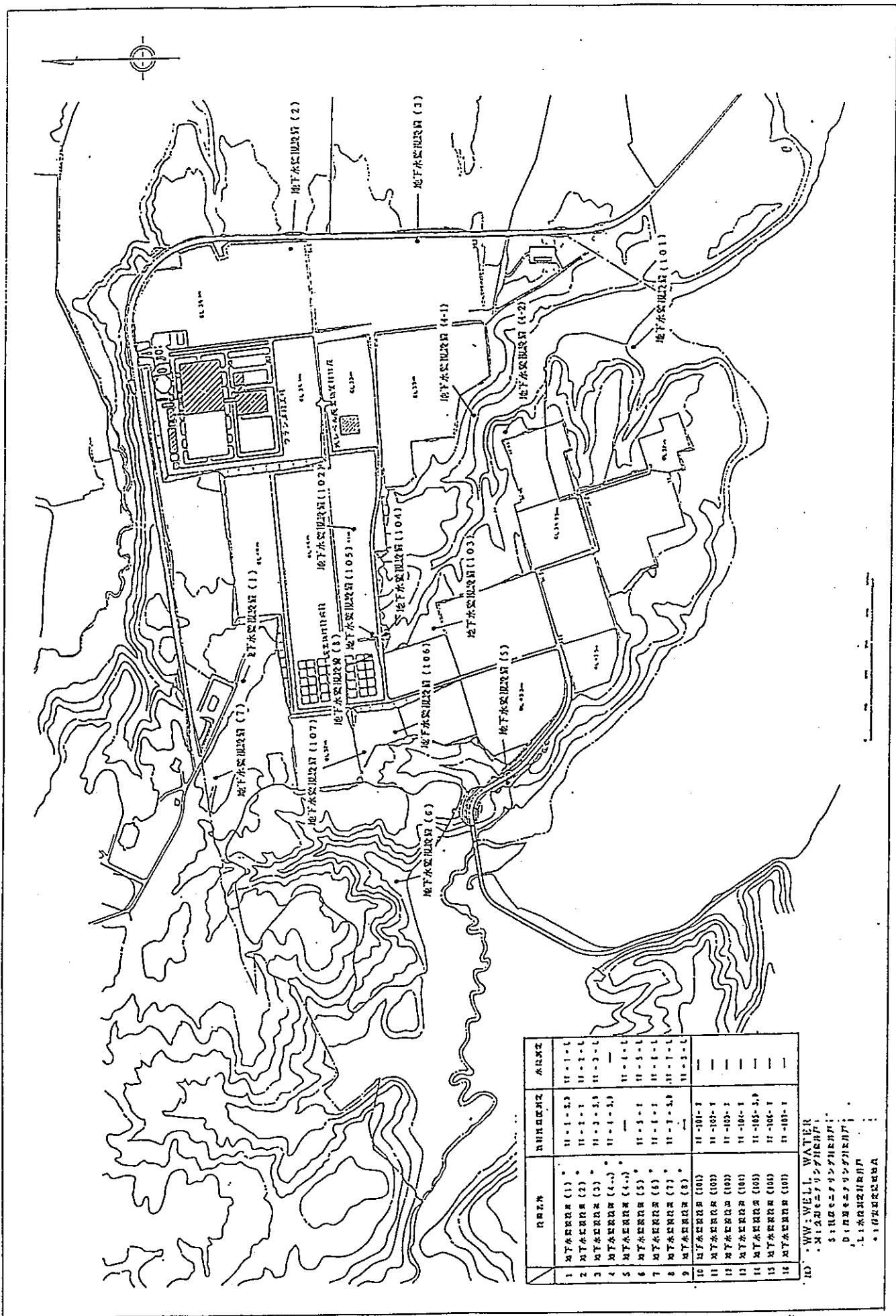


図 3.1 - 4 地下水監視設備配置図

井番号	井名	井深	井径
1	地下水位観測点 (1)	11-1-1	11-1-1
2	地下水位観測点 (2)	11-2-1	11-2-1
3	地下水位観測点 (3)	11-3-1	11-3-1
4	地下水位観測点 (4)	11-4-1	11-4-1
5	地下水位観測点 (5)	11-5-1	11-5-1
6	地下水位観測点 (6)	11-6-1	11-6-1
7	地下水位観測点 (7)	11-7-1	11-7-1
8	地下水位観測点 (8)	11-8-1	11-8-1
9	地下水位観測点 (9)	11-9-1	11-9-1
10	地下水位観測点 (10)	11-10-1	11-10-1
11	地下水位観測点 (11)	11-11-1	11-11-1
12	地下水位観測点 (12)	11-12-1	11-12-1
13	地下水位観測点 (13)	11-13-1	11-13-1
14	地下水位観測点 (14)	11-14-1	11-14-1

WW: WELL WATER
 MW: MONITORING WELL
 OW: OBSERVATION WELL
 PW: PNEUMATIC WELL

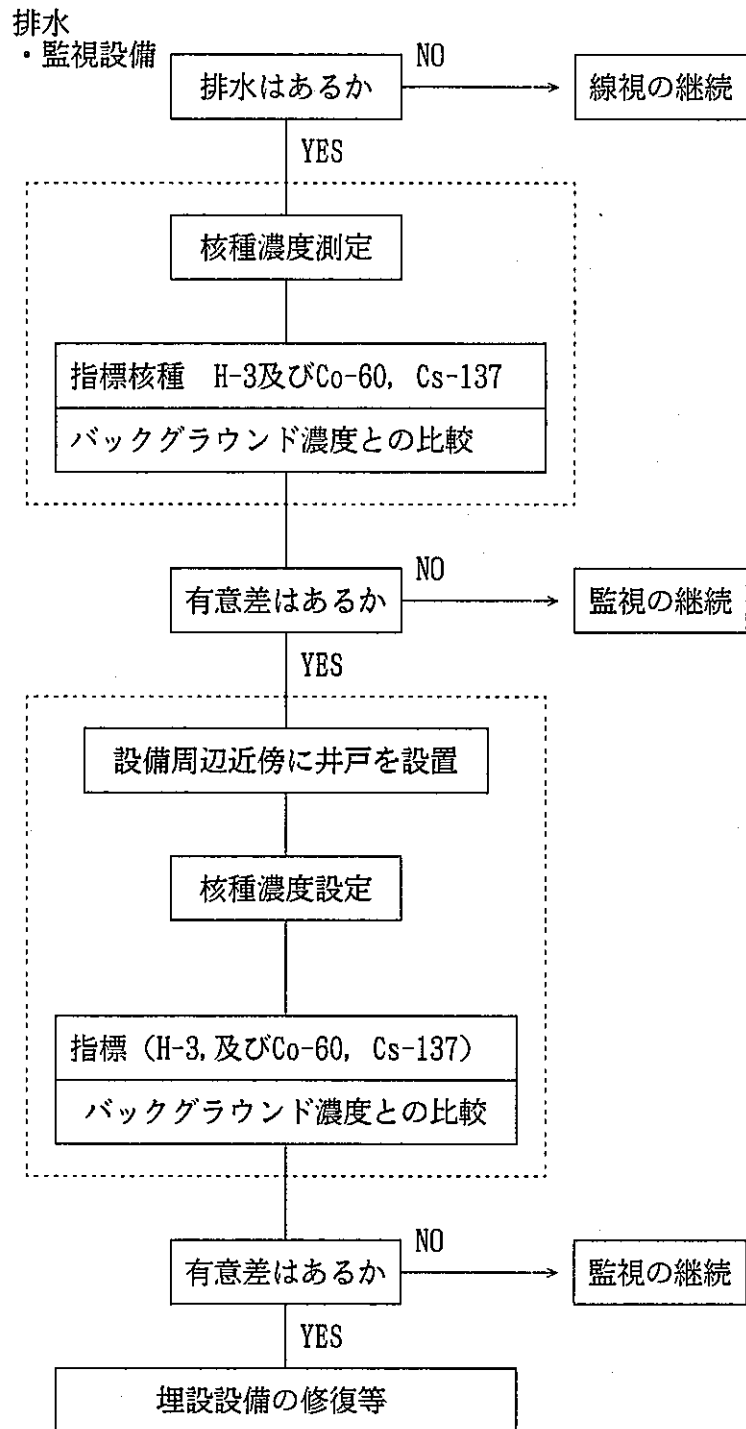


図3. 1 - 5 第1段階における排水監視設備に係わる監視手順（飯村，1992）

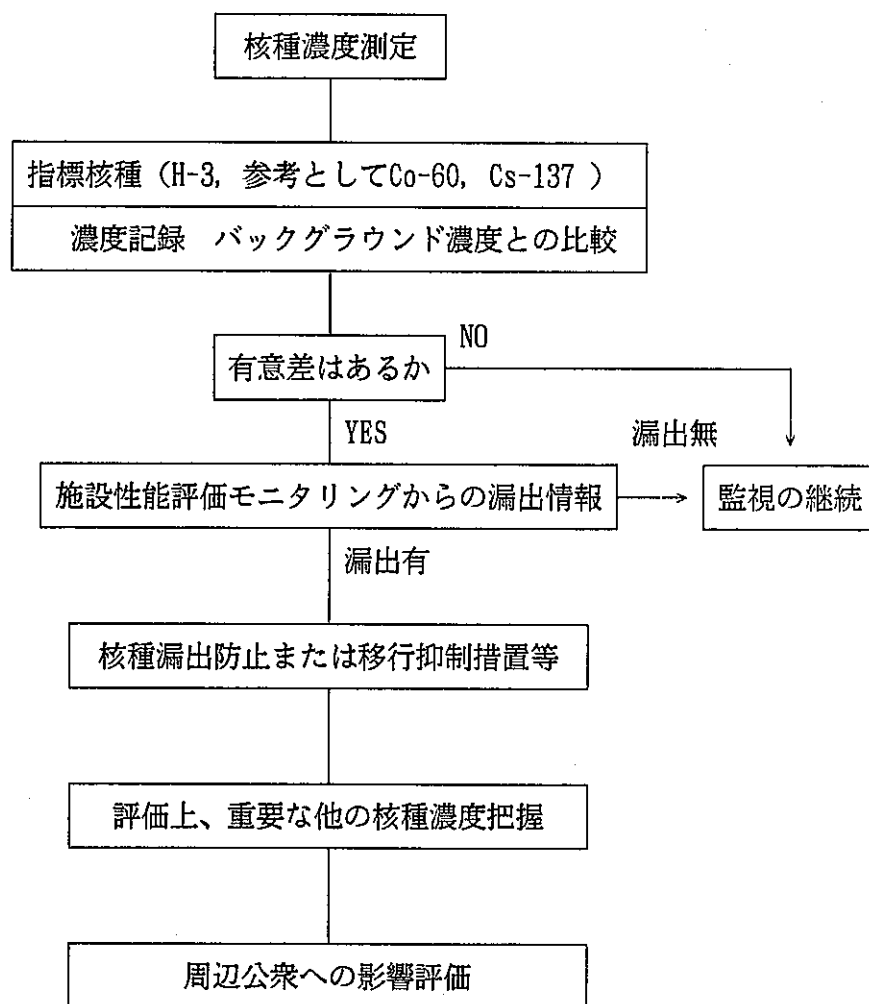


図3. 1—6 第1段階における地下水監視設備に係わる監視手順（飯村，1992）

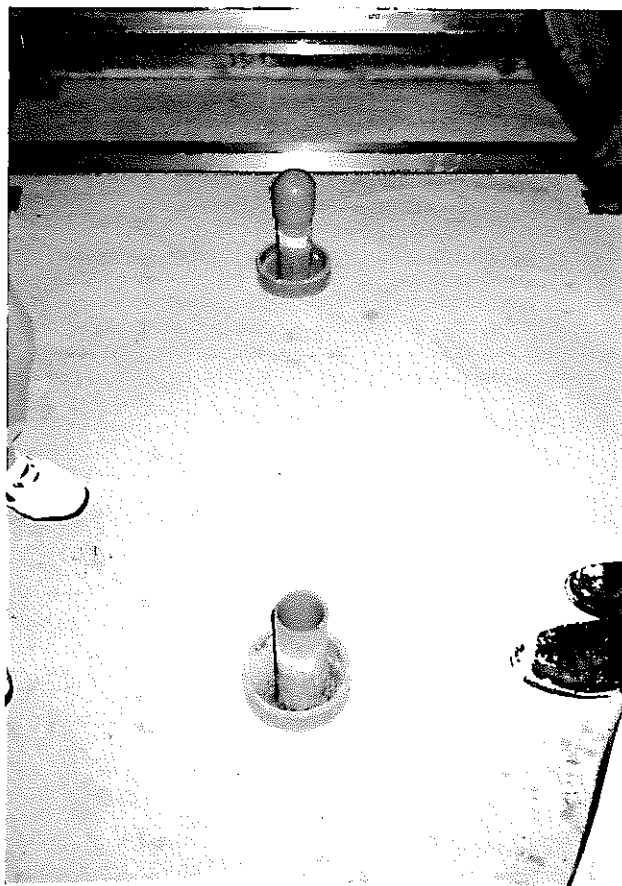


写真3.1－5 地下水監視設備内の井戸



写真3.1－6 空間放射線量率監視用モニタリングステーション

(熱蛍光線量計)を用いて、廃棄体を定置している時等に問題となるスカイシャイン対策として週間線量を記録している。なお、覆土が完了した後は月間線量の記録となる予定である。

(e) 雨水中の放射能測定

万一の地下水中の核種濃度変化を埋設設備に起因したものであるかどうか判定する参考資料として総合事務棟の屋上にて収集した雨水を対象として監視している。

(f) 地表水の放射能測定

最も湧水しやすい地点の沢水を中心に監視している。

(g) 土壌中の放射能測定

長期の蓄積傾向を把握するため、湧水しやすい地点の沢底土を対象としている。覆土後は設備直上の表土の測定も計画されている。

(3) 環境試料の採取における考え方

液体中の ^3H 分析を行う際には、分析への供試料量は1ℓ未満で良いが、試料の均質性を考慮して、その10倍以上の地下水を採取している。

井戸中の採取深度に関しては、埋設設備の影響を受ける可能性のある深度が比較的浅いことや、敷地外で利用される可能性のある井戸が浅いため、監視井戸の深さを12mとし、その区間長において流出する地下水を平均的な試料として採取している。

地下水中のコロイド成分(マイクロメータ単位)に関しては、例えば、鉄分が地表条件ではコロイドを形成し、沈澱してしまうため、それがなるべく除外されないよう、荒いメッシュのろ過(No.5A)を行い、データの規格化を図っている。

環境試料のサンプル量については、法令の濃度上限値や人工バリアが健全な状態にある場合を想定した拡散評価値を参考として保守的に定め、そのレベルを維持できる量で実施している。

(4) 自主的なモニタリング

地下水のpH・Bhを自主的に測定している。その他の自主測定データとしては、水の成分に関してはNa・Ca・Mg・K・ SO_4 ・ HCO_3 ・Cl・水温・電気伝導度であり、核種濃度に関しては、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{99}Tc 、 ^{129}I 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am である。なお、これは事業者の定める保安規定の対象ではない。

(5) モニタリング情報の処理

濃度情報は、各試料間のデータの相対的比較や各種統計処理を行い、さらには埋

設された廃棄体そのもののデータ等、その他安全評価に必要な情報を加えて、総合的な将来予測が可能となるようなモデル構築のために利用している。情報の全ては、総合環境影響評価システムの中で事業の終了まで保存することとしている。第2段階終了以降は、破棄できるモニタリング情報もあると思われるが、第3段階においても環境モニタリングを自主的に行うこととしており、関連情報として保存する予定とされている。

(6) 異常の判定の考え方とその処置

法的な異常とは、周辺監視区域外で「濃度上限値」以上の地下水が検知された場合のみであるが、それ以外にも各段階において、監視の結果を受けて行わなければならない項目を定めている。

(a) 排水・監視設備

排水・監視設備では、埋設設備の修復あるいは核種の移行抑制のための措置を行うために、以下の濃度を基準として各種の判断、処置が行われる。

^3H : 1×10^0 (Bq/cm³)

^{60}Co : 検出限界以下 (法令濃度上限の1/100 程度)

^{137}Cs : 検出限界以下 (法令濃度上限の1/100 程度)

H-3 の上記値は、健全な状態での拡散評価値であり、法令に定めるものと比べ、1/50となっている。

図3.1-5に示すように、排水・監視設備ではまず、排水の状況(有無)が監視され、排水が認められる場合には、その量の把握と排水中の放射性物質の濃度の測定が行われる。

排水そのものに対しては、排水の発生原因の調査及び必要に応じ埋設設備の修復が行われる。

放射性物質の濃度の測定において、「放射性物質の漏出あり」と認められるかどうかの判定がなされる。その認定は、排水中の放射性物質がバックグラウンドレベル(上記基準値)を有意に超えることが認められた場合になされる。バックグラウンドレベルの濃度が検知されているのみの時は、濃度の変化の把握が調査対象となる。

基準値を超える濃度が検知(「漏出のおそれ」の検知)された時は、前述の通り、埋設設備直近での監視井戸の掘削等が行われ、監視体制が強化される。そし

て、その井戸で上記濃度が検知された場合には埋設設備外への漏出が判定されることになる。

(b) 地下水監視設備

地下水監視設備では、

$$^3\text{H} : 6 \times 10 \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$$

$$^{60}\text{Co} : 1 \times 10^{-1} \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$$

$$^{137}\text{Cs} : 7 \times 10^{-2} \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$$

が基準となる濃度である。

図3.1-6に示すように、地下水監視設備では定期的に地下水中の放射性物質の濃度（及び地下水位）を測定し、通常は地下水中の放射性物質濃度が法令に定める濃度上限を上回らないことを確認する。万一、濃度の上昇傾向が把握され、濃度上限を超える濃度が観測される場合には、排水・監視設備での監視結果を中心とした敷地内データと合わせ、総合的に判断されることとしている。その結果により、必要に応じ、設備の修復等の措置がとられることになる。

(7) 地下水水文データ、気象観測データ

その他、地下水水文データとして、地下水位、流向・流速データを、気象観測データとして、気温、風向、風速、降水量のデータを収集している。

図3.1-4に示すように、地下水位は8ヵ所の地下水監視設備で測定されている。地下水位の観測は、埋設設備が将来的に監視不要の段階に至るまでに行わなければならない証明行為の一環として行われるものである。地下水位の観測により、地下水の流向を推し量ることが可能となる。法令・保安規定等においてもその記録、観測が義務づけられている。

(8) 環境放射線等モニタリング（青森県，1992）

原子力施設から放出される放射性物質に伴う施設周辺公衆への実効線量当量限度は、年間1 mSv 以下と法令で定められており、原子力施設に起因する放射線による公衆の線量当量が、その法令で定められた年線量当量限度を充分下回っていることを確認するために行われるのが、環境放射線等モニタリングである。環境放射線等モニタリングは、原子力施設の周辺に放射線測定器を設けて、常に放射線量を連続的に測定するとともに、農産物や海産物などの放射性物質の量を定期的に測定している。

県と日本原燃㈱は、「原子燃料サイクル施設に係る環境放射線等モニタリング構想、基本計画及び実施要領」に基づき、平成元年4月から本施設を含む原子燃料サイクル施設周辺地域の操業前調査を実施している。操業前調査結果は、今後の環境放射線等のレベルの変動が施設の影響によるものかどうかを判断するうえでの比較データとして用いられる。

(a) 空間放射線

環境の放射線については、モニタリングステーションで γ 線を連続的に測定し、熱蛍光線量計(TLD)で三ヵ月間ごとの積算線量を求めている。空間放射線等の測定地点図を図3.1-7に示す。写真3.1-6には、周辺監視区域北側境界近傍にあるモニタリングステーションを示した。事業者は施設から半径10km程の地域内で測定を行っており、県はその地域内も含め、半径30kmの範囲の測定をカバーしている。また、比較対照として、青森市においても測定が行われている。

モニタリングステーションは青森市を除いて8ヵ所にあり、10~70nGy/時(平均は20~25nGy/時)がバックグラウンドとして測定されている。モニタリングポイント(積算線量計設置地点)は37ヵ所で、80~130 μ Gy/91日の測定値となっている。

(b) 環境試料中の放射能

環境の放射性物質については、大気浮遊じん、水、土壌、農産物や海産物などの環境試料を採取して、実験室で処理した後その放射能を測定するものである。環境試料の採取地点を図3.1-8に示す。

環境試料の種類と採取ヵ所数及び年採取回数は以下の通りである。

陸上試料

大気浮遊じん(8ヵ所、4回)、環境大気(2ヵ所、4回)、降下物(1ヵ所、毎月)、陸水(雨水、毎月;湖沼水、水道水、井戸水、以上4回;河川水、2回)(9ヵ所)、陸土(河底土、2回;湖底土、土壌、以上1回)(9ヵ所)、牛乳(6ヵ所)、野菜等(馬鈴薯、精米、白菜、大根、長イモ、キャベツ)(8ヵ所、収穫期1回)、牧草等(牧草、デントコーン)(5ヵ所、2回)、指標生物(松葉)(1ヵ所、2回)、淡水産食品(ワカサギ、シジミ)(2ヵ所、漁期1回)

海洋試料

海水（六ヶ所村前面海域、4回）、海底土（同、1回）、海産食品（ヒラメ、カレイ、コンブ、ホタテ、ホッキ貝、イカ、ヒラツメガニ、ウニ）（むつ湾との2ヵ所、漁期1回）、指標生物（ムラサキイガイ、チガイソ）（六ヶ所村前面海域、漁期1回）

また、比較対照として、青森市で大気浮遊じん、環境大気、土壌、指標生物の測定が行われている。

3.1.4 今後の地下水モニタリングに関する計画

第2段階では、埋設設備近傍の井戸を増設し、監視体制を強化することとしているが、モニタリングシステムの詳細は未だ検討段階にある。

第2段階において、核種の濃度プルームが観測された場合は、その移行状況の空間的、時間的広がりへの把握のための調査がなされることとされている。この時、周辺監視区域境界付近の井戸では、第1段階と同様に、「法令の濃度上限」を超えないことの監視を行うこととされている。

将来のサイトの閉鎖のためには安全解析を行い、安全であることの確認がなされることが必要である。約45年後に想定される最終の安全解析に向けて、現在の地下水モニタリング等によるデータの取得と解析コードの開発が行われている。

3.1.5 事業者と国・県との関係について

事業者と国とは、いずれも周辺監視区域境界内の状況に責任があり、国の承認を得た「保安規定」に則った事業者による監視が行われる。国は、法的に報告義務を有する項目や記録義務を有する項目について、定期的あるいは必要に応じて監察を行うことができる。

「保安規定」は段階の移行において、監視の内容を変更することとしているが、監視内容の妥当性等については、その都度、国の承認を得、最終的に監視の必要がなくなるまで継続される。

地方自治体については、周辺監視区域境界外の状況について、既述の通り、事業者とともにモニタリングを実施している。この行為は、法的な拘束力を持たないものの、「安全協定」「公害防止協定」のような別途の取決めのもとに遂行されている。

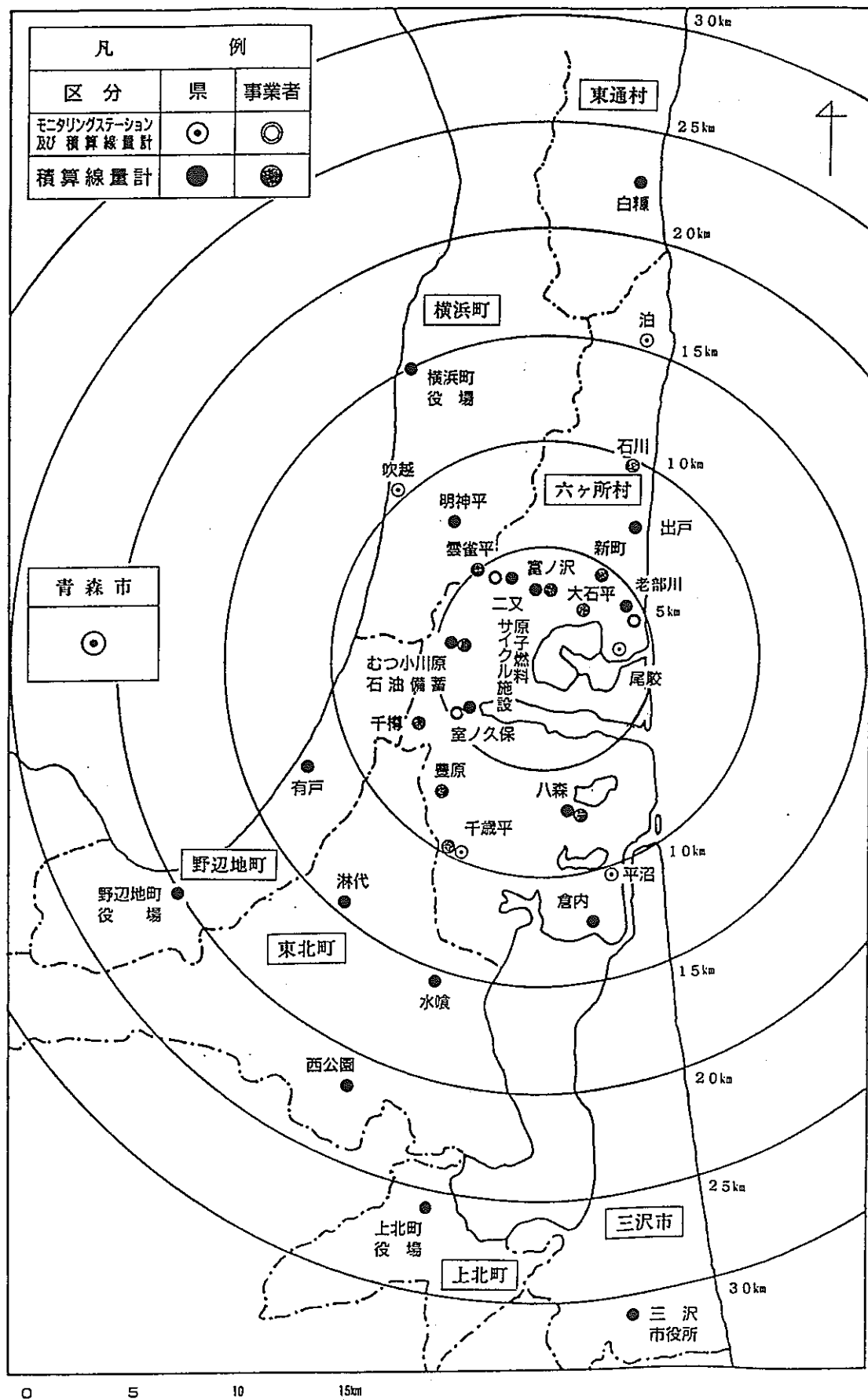


図3.1-7 空間放射線の敷地外測定地点（青森県，1991）

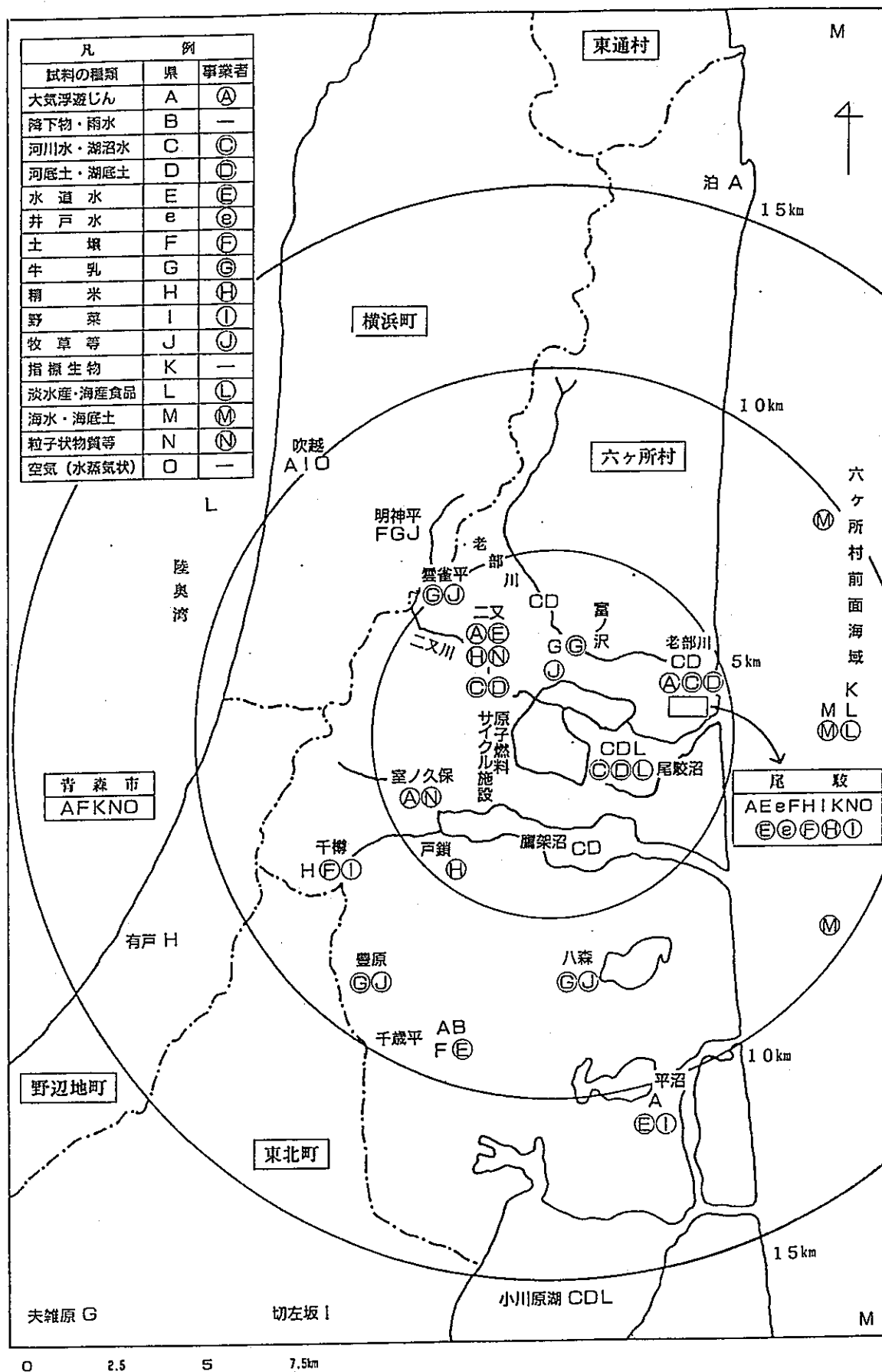


図3.1-8 環境試料の敷地外採取地点（青森県，1991）

3.2 (株)日本アイソトープ協会 茅記念滝沢研究所

本施設に関しては、モニタリングの実施に関わる担当者からのヒアリング結果を主体に、現地調査と(株)日本アイソトープ協会（以下、協会という）資料を参考にしてまとめる。ヒアリングは協会の茅記念滝沢研究所放射線管理課長二ツ川章二氏に対して実施したものである。

3.2.1 施設の概要（(株)日本アイソトープ協会資料）

本施設は事務管理棟、環境整備棟、貯蔵庫の三棟よりなり、医療用アイソトープ廃棄物の処理、貯蔵を行う施設である。

本施設では昭和62年7月から医療用アイソトープ廃棄物の処理を行っている。基本的に、協会が各医療機関に提供したアイソトープを使用した後に発生する廃棄物を受け入れているものである。したがって、汚染源となる核種は以下の19核種に固定されたものとなっている。

^{32}P , ^{51}Cr , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{59}Fe , ^{67}Ga , ^{75}Se , ^{81}Rb - $^{81\text{m}}\text{Kr}$, ^{85}Sr , ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$,
 ^{111}In , ^{123}I , ^{125}I , ^{131}I , ^{133}Xe , ^{197}Hg , ^{198}Au , ^{201}Tl , ^{203}Hg

処理される廃棄物は固体廃棄物と液体廃棄物に分けられる。各廃棄物は指定の50ℓドラム缶に入れられ、搬送されてくる。

固体廃棄物はその内容物により、プラスチック・紙・布・木片、金属、ガラスやせともの、フィルタの4種類に分けられる。プラスチック・紙・布・木片などの可燃物あるいは難燃物よりなるものは全体の9割を占め、重量測定と放射能測定（核種の種類と上限値以上か以下かの確認）を行った後、上限値以下のものについてはそのまま焼却炉に入れられ、焼却処理される。上限値以上のものはさらに2年間そのまま保管し減衰させる。焼却灰は200ℓドラム缶に詰められ、貯蔵される。その際発生する排ガス中の粉塵も集められ、同様に処理される。金属は圧縮処理され、ガラスやせとものも以前は破碎処理されていたが、現在は圧縮処理されている。圧縮処理は200トンプレスで行われ、200ℓドラム缶に入れられて貯蔵される。フィルタは木枠とフィルタ濾材に分離し、木枠は焼却処理、フィルタ濾材は圧縮処理される。減容率は焼却で約1/150、圧縮で約1/5である。

液体廃棄物は医療機関で発生する実験廃液と、本施設環境整備棟内の管理区域で発生する床洗浄廃水、機器洗浄廃水に分けられるが、現在は後者のみとのことである。

医療機関で発生する実験廃液を扱っていない理由は、気体・液体は基準を下回れば自ら廃棄できるものであるため、医療機関は希釈や減衰により、基準値以下にして廃棄しているためである。ただし、固体についてはそのような濃度基準がないため、本施設に送られてくることになる。液体廃棄物の処理は、蒸発濃縮と攪拌乾燥によってなされる。濃縮倍率は約 1,000倍で、攪拌乾燥を経て含水率約10%の乾燥体とされ、200ℓドラム缶に詰められ貯蔵される。（写真3.2-1）

なお、非管理区域で発生する雑廃水は、凝集沈澱、急速濾過、活性炭吸着、中和消毒の工程を経て浄化し、水質を測定した後、放出されている。

3.2.2 モニタリングに関する基本的考え方

本施設に適用される法律は、科学技術庁が管轄する「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」と厚生省が管轄する「医療法」のみであり、これらにモニタリングの記述はない。したがって、法的にはモニタリングの義務を負っていない。単に、排気、排水の濃度を測定し、限度以下であることを確認すれば良いとのことである。また、これらの法律で規定しているのは処理までであり、したがって、本施設で行われている業務が保管（中間貯蔵）までとなっている。処分については未定であるとのことである。

しかしながら、実際にはモニタリングが行われている。それは、地元の滝沢村と協会が昭和62年度に結んだ「公害防止協定」に基づくものである。以下においては、この公害防止協定に基づくモニタリングを主体に報告する。

3.2.3 モニタリングの現状

(1) 対象核種

廃棄物中に含まれる核種は前述の19核種に限定されている。これは公害防止協定に規定されている。これらの核種のうち、半減期約6時間の ^{99m}Tc が一番多く含まれ、次に半減期60日の ^{125}I が多い。また、最長の半減期を有するのは ^{57}Co で271日である。

(2) 排気口におけるモニタリング

スタックより放出される排気については、Iとその他のグロスのβ線の連続サンプリング、連続測定（5秒ごとのデータを1時間データに換算）を行っている。フ

フィルタへの吸着物は2週間毎にサンプリングし、ゲルマニウム半導体検出器による γ 線測定を行っている。

液体廃棄物のうち、蒸発凝縮させた水はIと γ 線の測定を行い、基準値以下であることを確認して放出している。これらは、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律に基づく行為である。また、データの保管義務は5年間となっている。

(3) 環境モニタリング

(a) 測定項目と測定方法

モニタリング項目は3.3節で示す原子力発電所周辺を対象とする環境モニタリングの項目と基本的に同じである。空間放射線（本施設では環境 γ 線と呼称）の測定と環境試料を対象とした放射能（本施設では環境放射能と呼称）の測定に分けられる。

環境 γ 線は本施設の敷地境界の入口に設置したモニタリングポスト（写真3.2-2）における連続測定と、「放射能測定シリーズ18・熱ルミネッセンス線量計を用いた環境 γ 線測定法（科学技術庁）」に準じてTLD素子による積算測定を行っている。

モニタリングポストによる連続測定は、温度補償型2" $\phi \times 2$ " ℓ NaIシンチレーション検出器を用いた5秒毎の線量当量（ $\mu\text{Sv/h}$ ）として表示しているものである。記録データは1時間毎の平均線量当量を用いている。

TLD測定は、各地点に設置した測定用のポストに3本のTLD素子を配置し、3ヶ月毎の積算線量を測定している。測定器（TLD素子）はナショナルUD-200S（ CaSO_4 ）を使用している。また、比較のため、自己照射線量及び宇宙線寄与の測定のためのTLD素子を鉛容器内に設置している。

環境放射能は、「環境試料採取法（科学技術庁）」に準じて試料を採取し、「ゲルマニウム半導体検出器を用いた機器分析法（科学技術庁）」に準じて γ 線核種分析を実施している。

(b) 測定地点

TLDによる空間積算線量の測定点15箇所と環境試料採取箇所を図3.2-1に示す。多くの箇所は本施設を中心としたほぼ半径1kmの範囲内にある。

積算線量測定15箇所のうち、敷地内が6箇所、滝沢村内が4箇所、玉山村（本



写真3.2-1 200ℓドラム缶による廃棄物の貯蔵状態

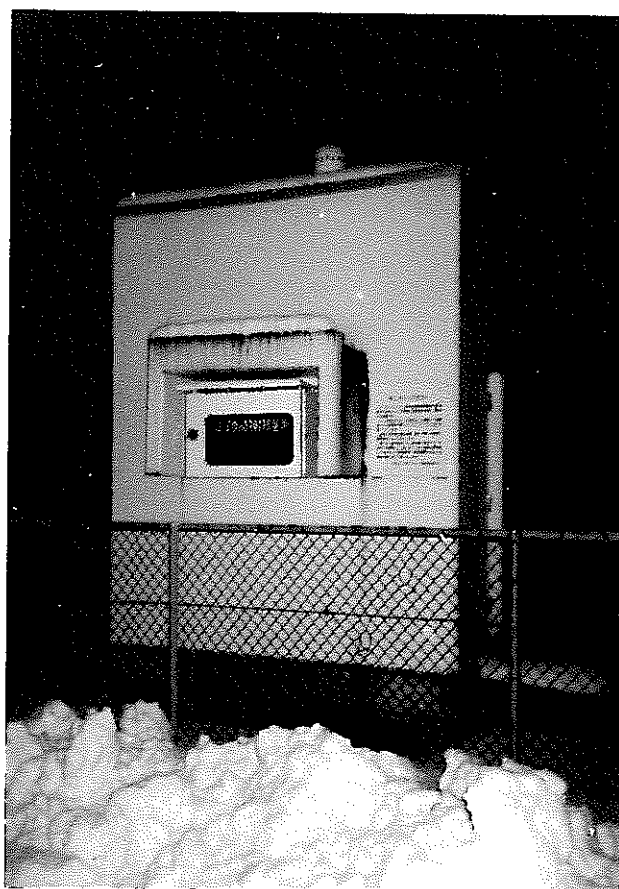


写真3.2-2 茅記念研究所入口にあるモニタリングポスト

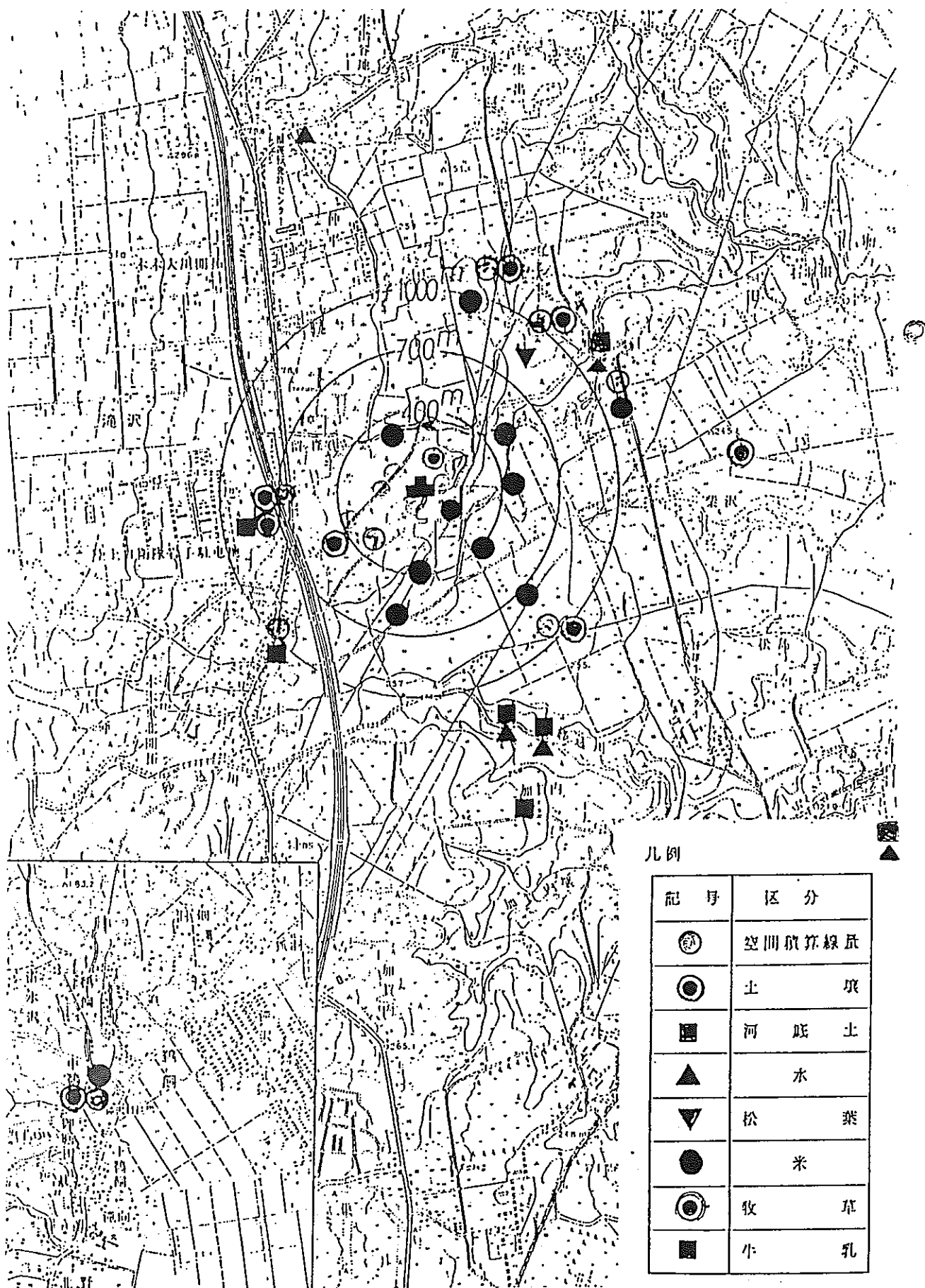


図3.2-1 茅記念滝沢研究所周辺における環境放射能測定及び環境試料採取地点（二ツ川他）

施設の北東方向に位置) 内で4箇所(その他鉛容器内で1箇所)である。

河底土と河川水は同一の個所で採取しており、そのうち1箇所は敷地付近より流出する河川の下流に位置している。環境試料の採取個所のうち、北西方向に位置しているものは少ない。

(c) 環境試料の処理方法

環境試料の種類、採取頻度、採取地点数及び調整方法を表3.2-1に示す。松葉、玄米、牧草については灰化せず、自然乾燥状態で測定に供しているのが特徴である。写真3.2-3中の右側容器に入っているのは玄米の試料である。

(d) 平成3年度の環境モニタリングの結果

各月ごとの線量当量値は1時間毎の値の平均値と最小値、最大値を求め、滝沢村には平均値と最大値を報告している。各月の平均値は $1.62 \times 10^{-2} \sim 2.09 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ の範囲にあり、最大値は $1.74 \times 10^{-2} \sim 2.43 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ の範囲にあった。共に、11月で最大となり、積雪のある2月で最小となった。

四半期ごとの積算線量は鉛容器内の測定を除いて、79~145 $\mu\text{Sv}/90$ 日の範囲にあった。地点間でバラツキが見られるが、同一個所ではほぼ一定である。

環境試料のうち、土壌の γ 線スペクトルから自然界に存在するU系列(^{226}Ra 、 ^{214}Bi など)、Th系列(^{208}Tl など)、 ^{40}K のピークとフォールアウトに起因する ^{137}Cs のピークが見られたが、操業以前のデータと変化はない。なお、操業以前から取得しているのはTLDデータと米、土、河川水のデータである。

3.2.4 滝沢村、岩手県との関係

試料の採取には滝沢村の係官が立会い、試料を分割している。米、牛乳、河底土については協会と滝沢村との間でクロスチェックを行っている。滝沢村に報告される環境試料の対象核種は前述の19核種と ^{137}Cs と ^{40}K となっている。

環境試料データは滝沢村の監視委員会(学識経験者、地域代表、農業経験者、村・県職員で構成)により評価され、広報に記載されている。ただし、最近は広報による周知はされていないとのことである。また、排水、排気についても村に報告されている。排水については平均値と最大値を月ごとに、排気については1週間の積算値の平均値と最大値を月ごとに報告している。岩手県は国が担保しているのでよしとする立場をとっており、もっぱら村と協会の仲介役となっているとのことである。

表3.2-1 環境試料の採取及び調整（二ツ川他）

測定試料	採取頻度	採取地点数	試料形態	測 定 供 試 料 量	
土 壌	2回／年	8	乾 土	乾土40 g 以上	セキュリティナー (100mℓ)
河底土	2回／年	4	乾 土	乾土40 g 以上	セキュリティナー (100mℓ)
河川水	2回／年	4	蒸発濃縮物	10ℓ 以上	セキュリティナー (100mℓ)
水道水	2回／年	1	蒸発濃縮物	10ℓ 以上	セキュリティナー (100mℓ)
松 葉	1回／年	1	自然乾燥物	100 g 以上	マリネリ (2ℓ)
玄 米	1回／年	11	自然乾燥物	1000 g 以上	マリネリ (2ℓ)
牧 草	1回／年	1	自然乾燥物	200 g 以上	マリネリ (2ℓ)
牛 乳	4回／年	3	液体無調整	2ℓ 以上	マリネリ



写真3.2 - 3 測定用環境試料

3.3 東京電力㈱ 柏崎刈羽原子力発電所

本施設に関しては、モニタリング（環境放射線モニタリング）の実施に関わる担当者からのヒアリング結果を主体に、その他現地調査、平成3年度柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査結果報告書（新潟県・東京電力㈱、1992）、平成4年度柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査年度計画（東京電力㈱、1992）、柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査基本計画（東京電力㈱、1989）、環境放射線モニタリング（東京電力㈱）パンフレット資料）を参考にしてまとめる。ヒアリングは東京電力㈱柏崎刈羽原子力発電所技術部保安課の保安課長伊藤幸彦氏及び副長竹之内秀樹氏の両氏に對するものである。

3.3.1 施設の概要

東京電力㈱柏崎原子力発電所は新潟県柏崎市ならびに刈羽村に位置し、日本海に面して約420万㎡の敷地面積を有している。計画では最終の発電規模は8,212kWで、7号機までの原子炉および発電機が建設される予定である。現在、1、2、5号機が営業運転を開始している。残りの3、4、6、7号機も全て着工しており、平成9年度には全ての発電機で営業運転の実施が予定されている。

敷地内において、1～4号機が寄り添う形で設けられており、5～7号機はその北東方向に約1km離れてまた集中させて設けられている（図3.3-1）。なお、間を離してあるのは岩盤の深さが中央部で深いことによる。

5～7号機の陸側に15,000本の貯蔵容量を有する固体廃棄物貯蔵庫（許可は45,000本）が設けられている。平成5年1月14日時点で約2,500本のドラム缶が貯蔵されている。そのうち、固化廃棄物は0本、不燃雑固体廃棄物は2,187本、難燃雑固体廃棄物は286本、可燃雑固体廃棄物は36本の計2,509本であり、貯蔵能力が十分あること、発生量が低減していること、搬出に必要な検査設備がまだないことなどから、貯蔵されている廃棄物が六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターへ運ばれるのは10年程後のことと予想されている。

3.3.2 モニタリングに関する基本的考え方

本施設におけるモニタリングの実施は、原子力安全委員会が平成元年3月にまとめた「環境放射線モニタリングに関する指針」に準拠している。同指針において示され

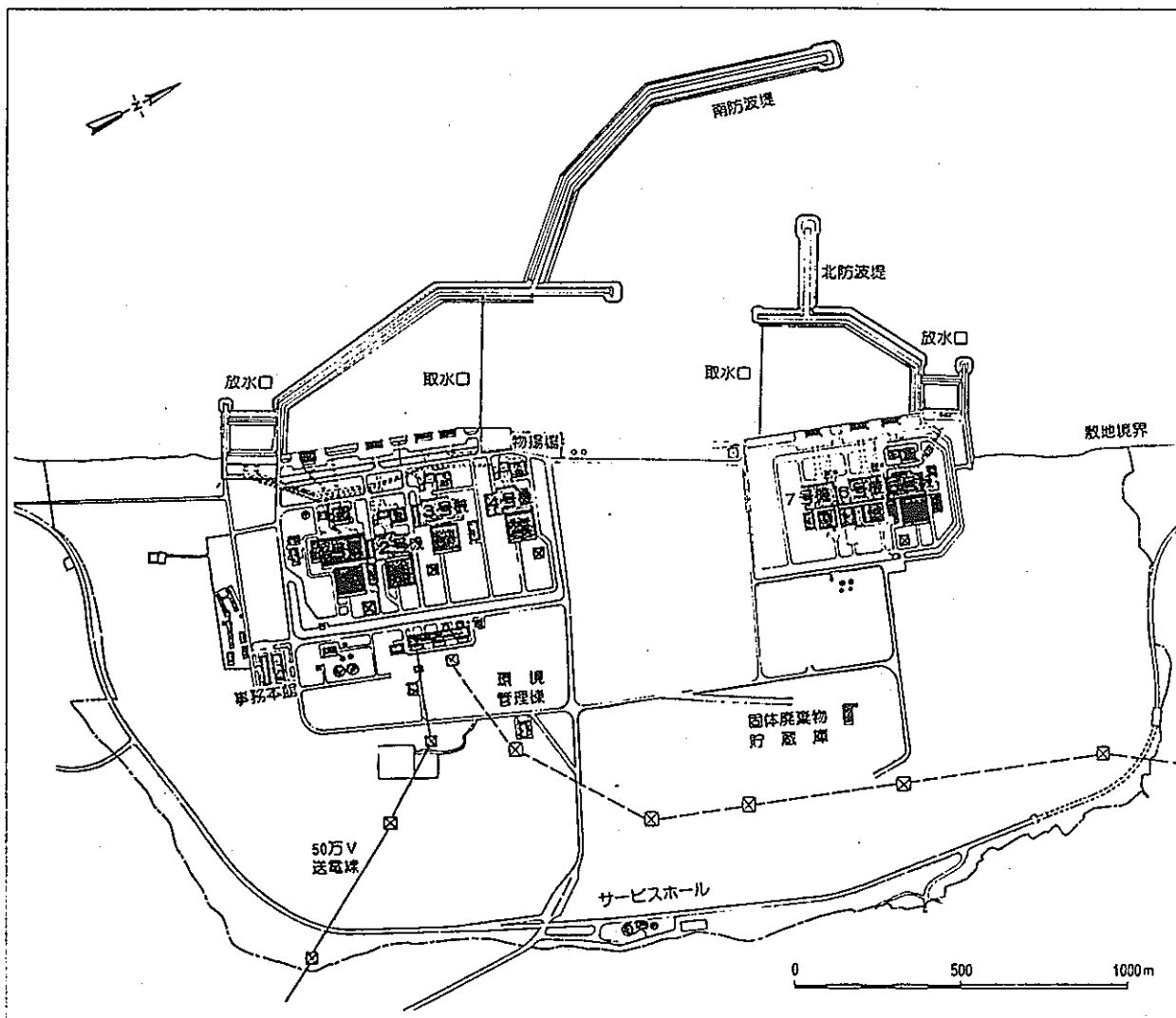


図 3. 3 - 1 柏崎刈羽原子力発電所の全体配置図（東京電力資料No. 2）

ているモニタリングの基本目標は、原子力施設周辺公衆の健康と安全を守るため、環境における原子力施設起因の放射線による公衆の線量当量が、年線量当量限度を十分下回っていることを確認することである。

この目標は具体的には、次の3項目において実施される。

- ① 公衆の線量当量を推定、評価すること
- ② 環境における放射性物質の蓄積状況を把握すること
- ③ 原子力施設からの予期しない放射性物質の放出による周辺環境への影響の評価に資するとともに、平常時のモニタリングを強化するか否かの判断に資すること

3.3.3 モニタリングの現状

前項に示す通り、本施設においてはモニタリングとは環境放射線モニタリングのことであり、以下においてはその環境放射線モニタリングの現状についてまとめる。

(1) モニタリングの対象項目とそれらの項目を対象とする理由

モニタリングは大きく空間放射線の測定と環境試料中の放射能の測定に分けられる。

(a) 空間放射線の測定

空間放射線は低線量率測定器と高線量率測定器を用いて行う空間線量率の連続測定と、TLDで行う積算線量の測定（年4回；4～6月、7～9月、10～12月、1～3月の3ヵ月積算）に分けられる。空間放射線の測定は、原子力施設に起因する外部被ばくによる線量当量の推定、評価に資するために行うもので、 γ 線を対象とする。本測定は、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、1989）に基づくものである。

(b) 環境試料中の放射能の測定（新潟県・東京電力㈱、1992）

環境試料は陸上試料と海洋試料に分けられ、陸上試料としては、大気浮遊じん（3地点、連続と年12回）、陸水（飲料水；2地点、年4回）、土壌（陸土；2地点、年2回）、農産物（キャベツ、大根、米；各2地点、年1回）、牛乳（2地点、年4回）、松葉（2地点、年4回）であり、海洋試料は海水（表層水；南と北の放水口付近2地点、年4回）、海底土（表層土；南と北の放水口付近2地点、年2回）、海洋生物（マダイ、ヒラメ；以上発電所前面海域で年1回、サザエ；1地点で年1回、ワカメ；南と北の放水口付近で年1回、ホンダワラ類；南

と北の放水口付近で年4回)である。なお、新潟県は上記項目(採取頻度はほぼ同様、地点数はやや異なる)に、さらに降下物(2地点、年12回)と陸水(河川水; 1地点、年2回)を加えている。

環境試料中の放射能を測定する理由は、空間放射線と同じく、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, 1989)に基づく。同指針には以下のことが示されている。

「原子力施設から放出される放射性核種は環境中に拡散し、その一部はいろいろな経路により人に被ばくをもたらすことが想定される。このため、この経路に沿って人の被ばくに直接関係のある環境試料を採取するとともに、人の被ばくに直接関係がなくても、放射性核種の分布、蓄積状況等の把握に役立つ環境試料を採取し、これら試料中の放射能の測定を行うことが必要である。天然の放射性核種等参考となるものについても把握しておくことが望ましい。」

環境試料の放射能の測定項目は、全ベータ核種及び ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{144}Ce と一部試料について ^{131}I 、 ^3H の核種とし、さらに、機器分析(γ 線スペクトロメトリーによる)によって有意に検出された人工放射性核種についても測定される(東京電力㈱, 1989)。

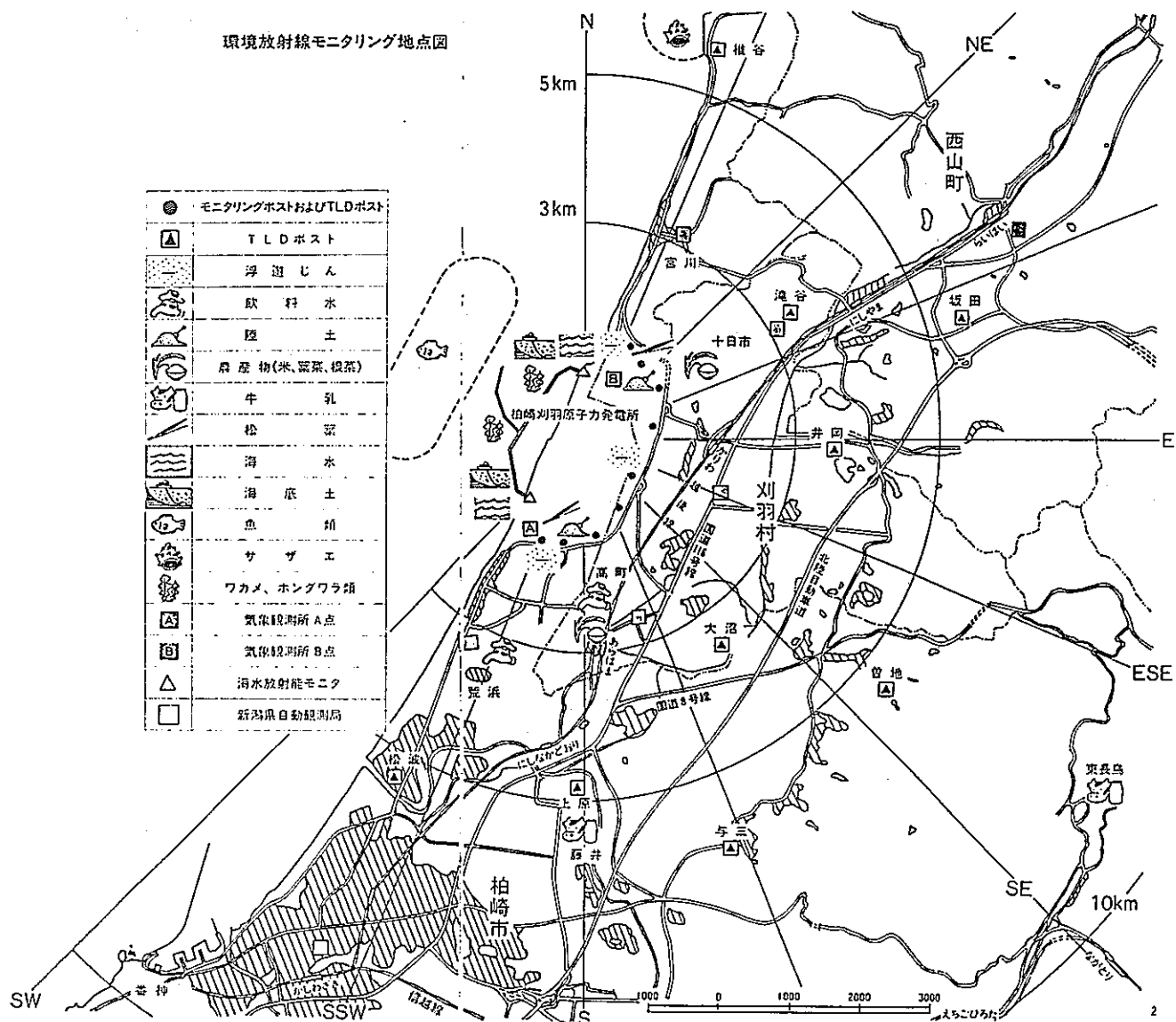
(2) モニタリング施設のレイアウト

モニタリングポスト、TLDポストの設置位置及び環境放射線モニタリングの実施箇所(環境試料の採取箇所)を図3.3-2に示す。

モニタリングポストの位置選定において考慮した事柄は、

- ① 周辺監視区域境界(敷地境界と一部で同一で、多くは敷地境界のやや内側に位置)付近に設置する。
- ② 風配(16方位)を考慮する。
- ③ 排気筒中心から等間隔とする。
- ④ 事故時に敷地周辺の集落への影響をモニタリングできること。
- ⑤ 最終規模においても十分モニタリングできること。

である。これらを考慮して、荒浜側(1~4号機側)及び大湊側(5~7号機側)の各々の排気筒の中心を基点として、30度間隔となる周辺監視区域境界付近の点とする案(ただし、両基点から求めた位置が近い場合は共用する)、敷地中心から16方位のうち、陸側となる周辺監視区域境界付近の点とする案、各排気筒を中心とし



て16方位の陸側をとり、各々の重なる部分の点とする案を作成し、これらを考慮して最終的に周辺監視区域境界付近の9ヵ所の位置が決められた（写真3.3-1参照）。

TLDポストはモニタリングポスト9ヵ所と敷地外の9ヵ所の計18ヵ所に設置されている。敷地外に設置されているTLDポストの位置は、基本的に、モニタリングポストの延長線上に決められており、半径約5km程の範囲に設けられている。

なお、新潟県は空間線量率の測定のために、敷地外の2～8km程の半径の中の7ヵ所に自動観測局を設置している。また、積算線量は自動観測局を含む19ヵ所で監視調査を行っている。それらに対する対照地点は4ヵ所設けている。

(3) 環境試料の採取における考え方

環境試料の採取方法等については、「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、1989）及び「環境放射能測定基本指針（東京電力㈱原子力保安部、1974）に基づいている。採取における留意事項は以下の通りである。

- ① 採取方法自体は、科学技術庁放射能測定法シリーズ「環境試料採取法」及び当該発電所作成の「環境試料採取手順」に基づいている。
- ② 試料採取に使用するポリエチレン製タンク及びビンは、あらかじめ硝酸及び塩酸で洗浄後、純水で洗浄しておく。
- ③ 降雨の影響を受けやすい試料（陸水、海水、土壌及び松葉）の採取は、降雨時に行わない。
- ④ 土壌は10年程度同一場所から採取しない。10×20m程のエリア内で位置を変えて採取する。
- ⑤ 松葉は地面に落とさないようにする。
- ⑥ ホンダワラ類は、極力同一種類のものを採取する。
- ⑦ よう素を測定する試料は、採取から測定までの時間が極力短くなるようにする。

(4) モニタリングデータの異常の定義とそれを感知した場合の対応方法

本項目は「環境放射線モニタリングに関する指針」に基づいている。

空間放射線については、

- ① （累積データの）平均値±3×標準偏差を「平常の変動幅」とし、これを外れた時
- ② 過去のデータの最小値と最大値の範囲を「平常の変動幅」とし、これを外れた

時

のデータを異常値としている。ただし、チェルノブイリ関係のデータは対象からは除外している。

環境試料放射能については、上記②のデータを異常値としている。

測定値が平常の変動幅を外れた場合は、以下の項目について調査を行い、原因を明らかにするとともに、原子力施設からの寄与の有無の判断及びその環境への影響の評価に資することとしている。

- ① 測定系及びデータ伝送処理系の健全性
- ② 降雨等による自然放射線の増加による影響
- ③ 地形、地質等の周辺環境条件の変化
- ④ 核実験等の影響

(5) モニタリング情報の保存の仕方

空間放射線については、帳票（日報、月報、四半期報、年報）で永久保存するが、中央処理装置の生データについては2年で更新される。ただし、チャート紙に記録されたデータは現在の所保存される。

環境試料放射能については、分析・測定結果表で永久保存し、生データは磁気テープで保存される。なお、測定用の環境試料そのもののうち、核種分析用の土壌・海底土については蓄積傾向の把握のため永久保存とし、その他の試料は翌年の評価会議終了までの1年間保存する。

また、後述の「柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査結果報告書」としても、新潟県と東京電力㈱のデータが保存される。

(6) モニタリングによる平成3年度調査結果（新潟県・東京電力㈱, 1992）

平成3年度の環境放射線監視調査結果は、「柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査結果の評価」として、新潟県原子力発電所周辺環境監視評価会議により平成4年10月に公表された。その結果を(a)～(c)に示す。(a)～(c)以外に、発電所の運転状況も示されている。また、同時に元資料として新潟県による調査結果が「平成3年度柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査結果」として、東京電力㈱による調査結果が同名で公表された。それらの概要を(d)に示す。

(a) 空間放射線

空間線量率については、測定値の範囲は10分計測値及び1時間計測値として公

表されており、新潟県の測定では7地点全体で、10分値が25～113nGy/h、1時間値が26～101nGy/hの範囲にあり、東京電力㈱の測定では9地点で、10分値の最高値が95～137nGy/h、1時間値が24～120nGy/hの範囲にあり、共に、過去の測定値の範囲内であった。

積算線量については、四半期ごと及び年間の積算値として公表しており、新潟県の測定では19地点の年間積算線量で平均0.49 mGy/365日、最高0.55 mGy/365日、最低0.43 mGy/365日であり、東京電力㈱の測定では18地点の年間積算線量で0.45～0.54mGy/365 日の範囲にあり、共に、過去の測定値の範囲内であった。

(b) 環境試料中の放射能

東京電力㈱では陸水及び海水は機器分析法と放射化学分析法により、その他は機器分析法により測定が行われ、新潟県では土壌、松葉、魚類、藻類は機器分析法により、その他は機器分析法と放射化学分析法により測定が行われた。測定値は1㎡当たり、1ℓ当たり、1kg乾あるいは1kg生当たりのBq数として、検出された人工放射性核種の測定値の範囲が公表されている。

機器分析からは、各種の試料でCs-137が検出されたが、それまでの測定値と同程度であり、過去に行われた核実験等に由来するものと判断されている。放射化学分析からはH-3、Sr-90、Puが測定されたが、従来の測定値と同程度であり、同様の判断が示されている。

(c) 放射性物質の放出実績による推定実効線量当量

東京電力㈱は発電所からの気体状放射性物質（放射性希ガス及び放射性よう素）及び液体状放射性物質（H-3を除く全核種及びH-3）の放出実績（前三者では検出限界以下、H-3で 4.2×10^{10} Bq）を公表して、それに基づく周辺公衆の推定実効線量当量（「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」により算出）を示し（液体状放射性物質で0.0μSv/年）、線量目標値（実効線量当量で年間50μSv）に対し、十分低い値であることを示している。

(d) 付随するその他の公表値

東京電力㈱は、監視調査方法として項目、地点、頻度、環境試料の放射能測定試料数、測定装置及び測定方法、表示単位及び測定値の取扱い方法を、また、監視調査結果として空間線量率、積算線量、浮遊じんの全ベータ放射能、浮遊じん以外の試料の全ベータ放射能、核種分析結果を公表している。さらに、参考資料

として、運転保守状況、放射性物質の放出状況とそれによる推定実効線量当量、気象記録（風向、風速、気温、降雨雪量、大気安定度、最大積雪深月別記録、気象要素の観測時間、風配図）を添えている。

新潟県は、監視調査方法は同様の項目を、また、監視調査結果は東京電力㈱の調査項目に大気（希ガス・よう素）の放射能を加えた項目を公表している。また、気象要素（風向、風速、感雨、降水量及び積雪量、気温、湿度、大気安程度）と巡回監視車による空間線量率の測定（定点測定及び走行測定）も監視調査結果の一部として示されている。

(7) モニタリングデータの公表に至るプロセス（東京電力㈱パンフレット資料）

昭和58年10月に新潟県、柏崎市、刈羽村と東京電力㈱との間で、「東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所周辺地域の安全確保に関する協定書（以下安全協定という）」が締結され、それに基づいて、当発電所周辺の環境放射線モニタリングが実施されている。

まず、東京電力㈱と新潟県それぞれのモニタリングの実施に関する基本計画をもとに、年度計画が作成される。例えば、東京電力㈱は、安全協定に基づき昭和58年12月に「柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査基本計画」を制定し、監視調査を行う基本方針、監視調査業務、年度計画及び監視調査結果の取扱い等を定めている。同基本計画に基づき、東京電力㈱は平成4年3月に平成4年度分として、

「平成4年度柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査年度計画（以下年度計画という）」を立てている。同計画には、平成4年度に行う「調査項目、地点及び頻度」、「測定装置及び測定方法」、「表示単位及び測定値の取扱い方法」が示されている。東京電力㈱の年度計画策定に関しては、新潟県との間で調整等が図られることとなっている。

年度計画に基づき、東京電力㈱と新潟県はそれぞれ、試料採取と測定を行い、年4回四半期ごとに開催する「新潟県原子力発電所周辺環境放射線測定技術連絡会議」（県、柏崎市、刈羽村、西山町、東京電力㈱で構成）で調査結果の技術的な比較検討を行う。検討結果は、次の年度計画における技術的調整等に利用される。

技術連絡会議の結果は「新潟県原子力発電所周辺環境監視評価会議」（県知事、学識経験者、県関係部長、刈羽村長、柏崎市長、関係団体長、西山町長で構成）での評価を経た後、公表されている。同評価会議は3月の7月の年2回開催され、3

月には年度計画の審議、評価が行われ、7月には前年度の結果のデータが審議される。

3.3.4 今後のモニタリング計画

モニタリングポスト及びTLD収納箱の増設や設置場所の変更の予定はない。環境試料の採取場所については、農家や酪農家の廃業等により、採取場所の変更の可能性はある。基本的には、同一条件でのモニタリングが継続される予定である。

3.3.5 廃棄物貯蔵庫を対象としたモニタリング

固体廃棄物貯蔵庫（写真3.3-2）の建屋内外にTLDを設置し、定期的に回収し、測定しているのみである。貯蔵庫の中は管理区域となっているため、貯蔵庫内では1週間の積算線量を法令に基づいて計測している。貯蔵内庫への搬入、定置作業は無人工化されている。

3.3.6 モニタリングの実施における事業者と国・県との関係について

データの公表までの過程においては、東京電力㈱と新潟県は3.3.3(7)に示した役割を担う。データの公表については、新潟県は新聞紙上に調査結果を掲載し、東京電力㈱は「ニュースアトム」として新聞に折り込んで公表する。公表における取決めや役割分担は特にない。

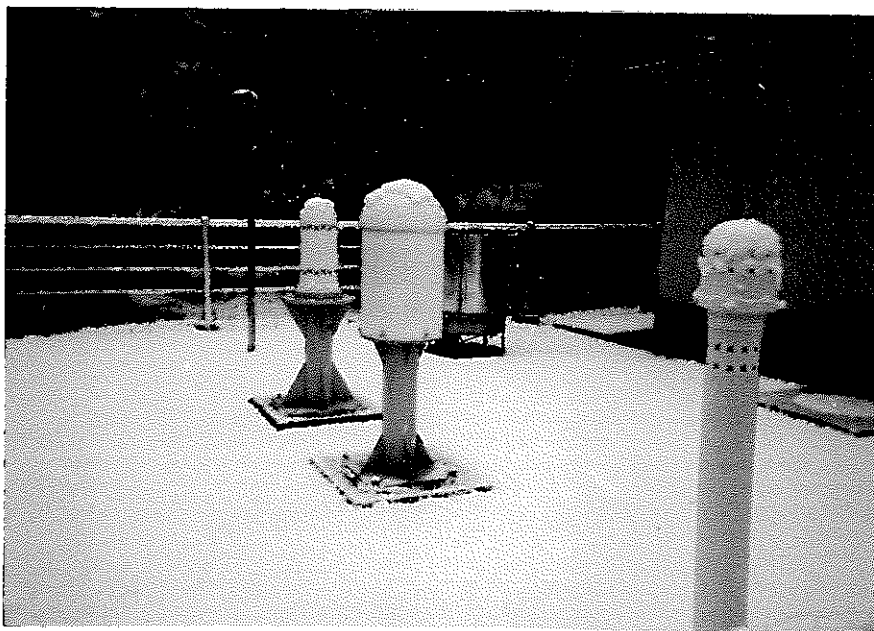


写真3.3－1 モニタリングポストおよびTLDポスト



写真3.3－2 固体廃棄物貯蔵庫

3.4 わが国の放射性廃棄物のモニタリングに関連した基本的考え方

前述のわが国の事例調査において挙げられたように、放射性廃棄物のモニタリングに関する基本的考え方に影響を与える指針・基本的考え方として、「環境放射線モニタリングに関する指針」及び「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」が重要であると考えられる。以下、この二つの資料に関して、モニタリングのあり方の検討に係わる部分について考察する。

3.4.1 「環境放射線モニタリングに関する指針」の概要

原子力安全委員会が平成元年3月にまとめた「環境放射線モニタリングに関する指針」（以下、本指針という）は、昭和53年に原子力委員会が取りまとめた「環境放射線モニタリングに関する指針」を、国際放射線防護委員会の新勧告（ICRP Pub. No. 26）を取り入れて、改定したものである。以下に重要と思われる表現を記述し、地層処分場への適用に対する考察を行う。

(1) 本指針の基本的考え方

(a) モニタリングの基本目標

モニタリングの基本目標は原子力施設周辺公衆の健康と安全を守るため、環境における原子力施設起因の放射線による公衆の線量当量が、年線量当量限度を十分下回っていることを確認することにある。

この目標は具体的には、次の三項目に要約される。

- ① 公衆の線量当量を推定、評価すること
- ② 環境における放射性物質の蓄積状況を把握すること
- ③ 原子力施設からの予期しない放射性物質の放出による周辺環境への影響の評価に資するとともに、平常時のモニタリングを強化するか否かの判断に資すること

地層処分場が操業中において原子力関連施設とされることは間違いのないであろう。したがって、本指針が将来適用になることは十分考えられる。しかしながら、周辺に居住している公衆と埋設個所は十分なバリアで隔絶されており、廃棄体の搬入に伴うモニタリングの適用は同様に考えられるとしても、埋設廃棄体による

影響評価に対するモニタリングの同様の適用は、少なくとも技術的には考えられない。社会的な要請から同様の行為を行うことは考えられるであろう。

(b) 適用範囲

本指針は主として軽水型原子力発電所周辺のモニタリングに関するものであるが、その他の原子力施設周辺についても基本的にはこれを準用することができる。

操業中の地層処分場は原子力施設と認定されるものと思われ、適用されうることとを示しているといえる。

(c) 地域全体としてのモニタリング

- ① 地方公共団体がモニタリングを計画し、実施するにあたっては、本指針に沿って、原子力施設及び地域の特性を考慮して行われることが望まれる
- ② モニタリングは、地方公共団体の他に原子力施設の設置者（以下「設置者」という。）が行うものもあるが、両者の行うモニタリングは本質的に異なるものではなく、その重点や密度の置き方が異なるだけであり、本指針は設置者がモニタリングを計画し、実施するにあたっても参考となる。
- ③ モニタリングは地域全体として整合性がとられている必要があり、このためモニタリングの計画策定にあたり地方公共団体及び設置者との間で、地域の実情に応じた役割分担を考慮した調整がとられることが望ましい。

環境モニタリングに関しては、事業者と地方公共団体の協同行為として行われることを推奨している。

(2) モニタリング計画

(a) 空間放射線の測定

空間放射線量を把握し、原子力施設に起因する外部被ばくによる線量当量の推定、評価に資するため、空間放射線の測定を行う。なお、空間放射線の測定は、ガンマ線を対象とすれば十分である。

原子力施設に起因する空間放射線は、通常施設からの距離が遠くなるに従って減少するので、敷地境界の近傍及び人口の集中した地点に連続記録式の放射線計測器（以下「連続モニタ」という。）を配置し、…（途中略）…。なおその際、原子力施設からの気体廃棄物による放射線レベルの上昇が予想されない地点にも、上記地点のデータと比較対照するために同種の計測器を配置する。地点の選定、システムの構成にあたっては、その場の線量をできるだけ正確に把握することを目標とし、人為的要因等によるデータの偏りが生じないように配置しなければならない。

（以下略）

地層処分場の地下施設の場合には、操業中においては、排気立坑でのモニタリングを実施することによって、実質的な意味での周辺環境におけるモニタリングの実施を軽減することができる。立坑をも閉鎖した後においては、活性度の極めて低い廃棄体と地表との間には、地層と人工バリアが距離を保って存在しており、空間放射線の測定の実質的な意味はなくなる。

(b) 環境試料の採取及び環境試料中の放射能の測定

原子力施設から放出される放射性核種は環境中に拡散し、その一部はいろいろな経路により人に被ばくをもたらすことが想定される。このため、この経路に沿って人の被ばくに直接関係のある環境試料を採取するとともに、人の被ばくに直接関係がなくても、放射性核種の分布、蓄積状況等の把握に役立つ環境試料を採取し、これら試料中の放射能の測定を行うことが必要である。

測定の対象とする放射性核種は、原子力施設からの放出量、公衆の線量当量の評価及び環境における蓄積状況の把握の観点から重要と考えられるものとするが、天然の放射性核種等参考となるものについても把握しておくことが望ましい。

地層処分場においては、基本的に搬入時における事故を除いては、廃棄体からの放射性核種の放出はない。そこが、希釈拡散により濃度を十分低減させた後で

あれば、環境へ放出することが許されている原子力施設と異なるところである。
したがって、地層処分場の場合には、事故に対応したシステムとなろうが、事故
そのものも廃棄体自体がガラス固化体であり、大きな影響を与えることが考えら
れないこと、事故をリアルタイムで検知するシステムを構築してあれば、換気シ
ステムの変更や立坑口での排気の制御により、地表環境への影響を未然に防ぐこ
とが可能と考えられることから、この場合においても実質的な意味合いはほとん
どないものと考えられる。

(c) 操業前調査

本調査は以下のことを目的とする。

- ① 決定核種、決定経路及び決定グループに関する情報を得て、操業開始後
のモニタリング計画の立案及び線量当量の評価に資すること
 - ② 空間放射線及び環境試料中の放射能のバックグラウンドとその特性を把
握し、かつ採取した環境試料を収集保存することにより操業開始後におけ
る比較に資すること
 - ③ 操業開始後のモニタリングの方法と手順を試行的に実施し、必要な技術
に習熟すること
- (以下、留意事項については省略)

本項目で重要なのは②のバックグラウンドとその特性を把握することであり、
これは放射能以外の項目についても、十分適用されなければならないことである。

(3) モニタリング結果の評価等

モニタリング結果は、(1)測定値の信頼性、(2)測定結果から線量当量を推定す
る際に用いた仮定の妥当性、及び(3)年線量当量限度との関係において推定され
た線量当量の持つ意味を考慮し、総合的に評価する必要がある。

このための具体的指針として、以下に、測定値の取扱い、測定結果の評価、
モニタリングデータの記録、モニタリングの質の保証等について示す。

モニタリング結果の評価において考慮すべき事柄は、地層処分場に対するモニタ

リングにおいても同様に当てはまるものである。

(a) 測定値の取扱い

空間放射線及び環境資料中の放射能の測定結果は、

- ① 試料採取方法・処理方法、測定器の性能、測定方法等の測定条件の変化
- ② 降雨・降雪、逆転層の出現等の気象要因、及び地理・地形上の要因等の自然条件の変化
- ③ 核爆発実験等の影響
- ④ 原子力施設の運転状況の変化

などにより、一般的に変動を示すのが普通である。

(途中略)

1 基の連続モニタから経時的に得られる測定値のように、良く管理された条件のもとで有意な測定値が多数得られる場合には、これを統計処理して、その結果が正規分布と見なせるようであれば、平均値±(3×標準偏差)を「平常の変動幅」とすることができる。

しかし、多くの場合、データ数はそれほど多くなく、また検出限界以下のデータが入ってきて、このような処理はできない。その場合には、過去のデータの最小値と最大値を「平常の変動幅」とするのが一般的である。

(以下略)

ここで示されているデータの分布特性と、それゆえのデータ処理の方法は同様に参考とすべきものと考えられる。

(b) 測定結果の評価

空間放射線の測定値が平常の変動幅を外れた場合は以下の項目について調査を行い、原因を明らかにするとともに、原子力施設からの寄与の有無の判断及びその環境への影響の評価に資する。

- ① 測定系及びデータ伝送処理系の健全性
- ② 降雨等による自然放射線の増加による影響
- ③ 地形、地質等の周辺環境条件の変化

④ 核爆発実験等の影響

また測定値が平常の変動幅を下回る場合は、積雪の影響のほか、機器の故障が考えられるので点検する。

環境試料中の放射能の測定値が平常の変動幅を外れた場合には、まず試料採取、処理、分析、測定について変更がなかったか、あるいはそれらが正しく行われたかどうか、また、核爆発実験等による影響でないかどうか等についてチェックを行い、その原因を調査するとともに、原子力施設からの寄与の有無の判断及びその環境への影響の評価に資する。

(途中略)

③ 蓄積状況の判定においては、試料採取による誤差も含めた変動を考慮した上で有意か否かを定める。

(線量当量の推定・評価については略)

モニタリングの結果及びその総合評価並びにこれらの公表に関しては、関係地方公共団体（都道府県を単位とすることが望ましい）において地域の実情に応じ、地方公共団体、地元住民等関係者をまじえた監視・評価機構を組織して行うことが適切である。

(以下略)

測定値が平常の変動幅を外れた場合には、まず、データの測定、試料の採取、データの処理法、自然環境の変化等をチェックする必要を述べている。これは、諸々の人間の行為に十分な信頼性を置くことができないことに起因し、かつ、その影響が通常無視できない範囲のものであることによると考えられる。

地層処分場のモニタリングにおいても、信頼しうる機器かどうかの判定、評価がまず重要であると言える。

(c) モニタリングデータの記録等

この指針に沿って実施された調査から得られたデータは、処理の自動化にも応じられる的確で統一的な様式に従って記録されることが望ましい。

(以下略)

データの的確な利用を考えれば、上記のことは当然であろう。

(d) モニタリングの質の保証

環境放射線モニタリングにおける質の保証の目的は、得られたデータの質が、客観的にみて、適切なレベルに維持されていることを保証することであり、これによってはじめて各機関の間のデータあるいは1機関の異なった時期におけるデータの統一的な解釈が可能になる。

質の保証は、試料の採取からデータの評価に至る一連の行為のすべての段階において確立されている必要があり、それには次の事項が含まれる；

- ① モニタリングに用いられる各種機器・装置の品質
- ② 計測器の保守・点検及び校正
- ③ 標準となる分析方法の確立
- ④ 国家標準がある場合には、それとのトレーサビリティ（国家標準とのつながり）
- ⑤ 職員の訓練と経験
- ⑥ データの質が必要とされるレベルに維持されていることを示す文書、記録等

以上の項目を総合的に評価するための一つの方法として、クロスチェック（比較分析）を実施することが望ましい。

地層処分場を対象として、長期にわたりモニタリングを実施する場合には、特に上記の①、②が保証される必要がある。あるいは、その実情に応じたモニタリング計画が立てられるべきということになる。

3.4.2 「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」の概要

原子力安全委員会が昭和63年3月17日に決定した「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」（以下、基本的考え方という）は、放射性固体廃棄物の埋設施設の安全性を評価する際の考え方について、「低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基本的考え方について」（昭和60年10月24日原子力安全委員会決定）を基本に、廃棄物埋設施設の安全確保上の特徴を踏まえて取りまとめられたものであ

る。以下に重要と思われる表現を記述し、地層処分場への適用に対する考察を行う。

(1) 段階管理

段階管理とは、一般公衆の被ばく線量を合理的に達成出来る限り低く抑えるため、浅地中に埋設した廃棄物の放射能が時間の経過に伴って低減し放射能のレベルが安全上支障のないレベル以下になるまでの間、廃棄物の種類、放射能レベル等に応じて廃棄物埋設地の管理を行うことをいい、基本的に次の3段階がある。

① 第1段階

人工バリアにより放射性物質が人工バリアの外へ漏出することを防止するとともに、人工バリアから放射性物質が漏出していないことを監視する必要がある段階をいう。

② 第2段階

人工バリアと天然バリアにより放射性物質の生活環境への移行を抑制するとともに、放射性物質の人工バリアからの漏出及び生活環境への移行を監視する必要がある段階をいう。

③ 第3段階

主として天然バリアにより放射性物質の生活環境への移行を抑制するとともに、特定の行為の禁止又は制約をするための措置を講じる必要がある段階をいう。

ここで用いる人工バリアとは、「埋設された廃棄物から生活環境への放射性物質の漏出の防止及び低減を期待して設けられるコンクリートピット（廃棄物を埋設するに当たり、その空隙の充填に用いる土砂等の充填材を含む。）、廃棄物を一体的に固型化して埋設するいわゆるモノリス等の人工構築物をいう。また、廃棄物を容器に固型化する場合に使用する固型化材料及び容器を含む。」とされている。また、天然バリアとは、「人工構築物又は埋設された廃棄物の周囲に存在し、埋設された廃棄物から漏出してきた放射性物質の生活環境への移行の抑制等が期待できるような土壌等をいう。」とされている。

天然バリアがアクセスあるいは除去等が可能な土壌等を指しているため、人工バ

リアからの漏出の確認等の行為をとることも容易に可能となる。対して、地層処分場は地下深くの厚い岩盤内に設けられるものであるため、この点が多いに異なることになる。したがって、地層処分場に対しても広義の意味での段階管理の考え方は適用されるかもしれないが、その内容はP A的なものになるものと考えられる。さらに、漏出することを期待してはいないが、その可能性を排除せず、漏出した場合の対処方法を示している所が地層処分の場合とは大きく異なるであろう。したがって、モニタリングの性格は浅層処分の場合と地層処分の場合では大きく異なると思われるべきであろう。

(2) 被ばく線量評価

4-1 平常時評価

平常時における一般公衆の被ばく線量は、段階管理の計画、廃棄物埋設施設の設計並びに敷地及びその周辺の状況との関連において、合理的に達成できる限り低いものであること。

4-2 安全評価

技術的にみて想定される異常事象が発生するとした場合、一般公衆に対し、過度の放射線被ばくを及ぼさないこと。

漏出するものであることを前提としているため、ALARA (as low as reasonably achievable)の思想が示されたものとなっている。

異常事象が仮に発生するとしても一般公衆に対して安全上支障がないことを確認するため、異常な漏出を技術的見地から仮定して一般公衆の被ばく線量を評価するのだとしている。したがって、異常な事象の発生とそれによる漏出を技術的見地から適切に検討する必要がある。その検討結果が起これないという結果を与えるのであれば、安全評価を行うにしても技術的に正当な意味合いは少なくなることを意味しているといえる。

(3) 放射線管理

5-1 閉じ込めの機能

5-2 放射線防護 (以上、省略)

5-3 放射線被ばく管理

廃棄物埋設施設においては、放射線作業者の被ばく線量を十分に監視し、管理するための対策が講じられていること。

作業者に対する被ばく管理は当然であり、そのためのモニタリングは行う。ただし、主として操業期間中においてである。

(4) 環境安全

6-1 放射性気体廃棄物及び放射性液体廃棄物の放出管理

廃棄物埋設施設においては、廃棄物埋設地の附属施設から発生する放射性気体廃棄物及び放射性液体廃棄物を適切に処理する等により、周辺環境に放出する放射性物質の濃度等を合理的に達成できる限り低くできるようにしていること。

6-2 放射線監視

(1) 廃棄物埋設施設においては、廃棄物埋設地の附属施設から放出する放射性気体廃棄物及び放射性液体廃棄物の放出の経路における放射性物質の濃度等を適切に監視するための対策が講じられていること。

また、放射性物質の放出量に応じて、周辺環境における放射線量、放射性物質の濃度等を適切に監視するための対策が講じられていること。

(2) 廃棄物埋設施設においては、第1段階及び第2段階において、廃棄物埋設地から地下水等に漏出し、生活環境に移行する放射性物質の濃度等について適切に監視するための対策が講じられていること。

地層処分場の地表に受入れ施設や検査施設、修理施設等が設けられれば、操業期間中においては同様に放射性気体廃棄物及び放射性液体廃棄物の放出管理と放出物の放射線監視があるものと考えられる。また、地下施設でのハンドリングの不備等で廃棄物に破損が生じ、微粉等が換気システムに従って放出される可能性も考えられる。ただし、これらは操業中の事象である。

浅層処分においては、埋設終了後の第2段階において、人工バリアからの漏出を

平常時のシナリオとして考えているために、漏出する放射性物質の監視が必要となる。地層処分においては、特にオーバーパックに埋設深度での応力に十分耐えられる力学的特性を与えるため、閉鎖後すぐに漏出を想定することは技術的には考えられない。ガラス固化体中の放射性核種が地下水と接触する時間を閉鎖後の何年間に安全サイドの考え方に基づいて想定し、その長さと閉鎖後の考えうる“監視”期間の長さと比較することを操業段階以前の適切な時期に行っておくことが重要となろう。現在のところ、監視期間を数百年まで延長して設定したとしても、埋設後の埋設廃棄体に起因する放射線管理は技術的には必要ではないと思われる。

(5) その他の安全対策

7-1 地震に対する設計上の考慮

廃棄物埋設施設は、設計地震力に対して、適切な期間安全上要求される機能を損なわない設計であること。

この設計地震力は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」における耐震設計上の重要度分類のCクラスの施設に対応するものとして定めること。

7-2 地震以外の自然現象に対する設計上の考慮

廃棄物埋設施設は、敷地及びその周辺における過去の記録、現地調査等を参照して、予想される地震以外の自然現象を考慮して適切な期間安全上要求される機能を損なわない設計であること。

7-3 火災・爆発に対する考慮

廃棄物埋設施設においては、火災・爆発の発生を防止し、かつ、万一の火災・爆発時にも施設外への放射性物質の放出が過大とならないための適切な対策が講じられていること。

7-4 電源喪失に対する考慮

廃棄物埋設地の附属施設においては、外部電源系の機能喪失に対応した適切な対策が講じられていること。

7-5 準拠企画及び基準

廃棄物埋設施設の設計、工事等については、適切と認められる規格及び基準によるものであること。

地震やそれ以外の自然現象に対する設計上の考慮は高レベル廃棄物の埋設の前に十分行われると考えるべきである。その際、モニタリングに係わるのは、設計において想定した種々の自然現象の発生規模が設計の範囲内にあることを確認するためのデータを取得するという位置づけにおいてであろう。火災・爆発や電源喪失に対する考慮は、操業期間中の主として一般労働安全の観点からなされるものとなろう。

(6) 管理期間の終了

被ばく管理の観点から行う廃棄物埋設地の管理は、有意な期間内に終了し得るとともに、管理期間終了以後において、埋設した廃棄物に起因して発生すると想定される一般公衆の被ばく線量は、被ばく管理の観点からは管理することを必要としない低い線量であること。

ここで、有意な期間としては「300年～400年をめやすとして用いることとする」とある。それは、「原子炉施設から発生する廃棄物中に含まれる放射性物質のうち、放射エネルギーが多く、廃棄物埋設施設の放射線防護上重要なコバルト60、セシウム137等は、300年～400年経過すれば一千分の一から一万分の一以下に減衰しこれらの放射エネルギーは極めて少なくなることや、外国における例を参考として」挙げたとしている。

高レベル廃棄物の場合は固化体のインベントリが元々低レベル廃棄物と較べて十分高いため、この論理の適用はすべきではない。浅層処分の場合には漏出を想定し、かつ人間環境への影響が早期になされとの立場に立っていると思われるため、上記の論理になるものであり、漏出が十分遅く、人間環境への影響が、もし安全サイドで考えたとしても、遠い将来である高レベル廃棄物の場合には別の論理が必要である。

3.5 まとめ

3.1～3.3節において調査した、わが国の原子力関連施設における管理及びモニタリングの事例のうち、モニタリングの実施に係わる考え方とその実施方法を主体にまとめた。その結果を表3.5-1, 2に示す。これらをもとに、重要と思われる事項を以下に記す。

① 環境放射線モニタリングの尊重

環境放射線モニタリングは、六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターと柏崎刈羽原子力発電所においては、原子力安全委員会の定めた「環境放射線モニタリングに関する指針」に基づき、十分に実施されていた。また、法的には義務を負わない茅記念滝沢研究所においても、小規模ではあるものの実施されていた。わが国の原子力施設に対する国民的な感情からすれば、環境放射線モニタリングは、今後とも十分な実施が求められるであろう。地層処分場においても、それが適用されることは明白としてよいであろう。

② 低レベル埋設施設に対する段階管理の考え方

日本で唯一の低レベル放射性廃棄物の安全性の確保は、原子力安全委員会の定めた「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」に基づいている。この基本的考え方は、低レベル埋設施設を対象としたもので、高レベルについては触れられていない。その基本的考え方は、国際機関や諸外国の中低レベル浅層埋設施設に対する安全確保の考え方と同様、漏出するかもしれない事態を想定し、それに対する管理のあり方を定めているものである。ただし、それは操業終了後の第2段階以降であり、操業中の第1段階に対しては、人工バリアによって漏出がないシステムであることとしている。第1段階におけるモニタリングは漏出していないことの確認が目的となっている。

この考え方、特に埋設終了後の第2段階において、あるかもしれない漏出の状況をモニタリングによって確認するという考え方は、地層処分場には直接は適用できないであろう。それは、有意な管理の期間を定めたとしても、その期間内においては人工バリア性能の高さから漏出そのものを想定することが困難であり、また、漏出を確認すること自体も天然バリアの持つ物理的隔離機能（距離）の高さから困難であるからである。

③ 地下水モニタリングの目的

六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおける地下水モニタリングは、第2段階の最後に想定される安全解析の実施に向けて、その解析に資するデータを得ることが最終の目的である。この考え方は、地層処分場の閉鎖の決定に資するために実施されと思われる安全解析に、それまでのモニタリングデータを使用する必要があるという主張と合致する。この基本的考え方は地層処分においても踏襲されるものと考えておくのが妥当と思われる。

ただし、それは行為としての意味あいが強いかもしい。長期間を評価しなければならぬのであれば、相対的に極めて短期のモニタリング期間でしか得られないデータが有意であるかどうかを判断することは難しい面があろう。本調査研究では、この問題には深く立ち入らず、ただ、地層処分場の閉鎖のためには安全解析がなされるものとするという考え方に依るものとする。

表3.5-1 六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおけるモニタリングに係わる事例調査のまとめ

項 目	内 容
六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおける内容	
モニタリングの依拠する法令等	①原子炉等規制法 核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の廃棄物の埋設の事業に関する規則 ②放射性廃棄物の埋設施設の安全審査の基本的考え方
モニタリング立案における考え方	③放射性廃棄物の埋設施設の安全審査の基本的考え方
段階管理の考え方と対応する施設性能	④第1段階（埋設開始以降10～15年以内）においては、埋設設備（人工バリア）による閉じ込めを行い、人工バリア外への放射性物質の漏出がないようにする。主として、漏出していないことの確認を目的とした監視が行われる。
に係わるモニタリングの内容	⑤第2段階（第1段階終了後30年）においては、人工バリアと周辺土壌により移行の抑制がなされ、人工バリア外への放射性物質の漏出（の状況）を監視する。 ⑥第3段階（第1段階終了後約300年）においては、主に周辺土壌により移行の抑制がなされ、核種の漏出に関する一 切の監視（モニタリング）を不要とするとする段階である。ただし、人為的掘削行為に対する監視は必要と考えられている。 施設性能に係わるモニタリングの目的：第2段階終了時に想定される最終の安全解析に入力するデータを取得すること。
施設性能監視のための設備	⑦排水・監視設備（第1・2段階に適用） ⑧設備近傍の井戸（同上）
周辺公衆への影響監視のための設備	⑨周辺監視区域境界付近の井戸（同上） ⑩敷地内地下水等の監視（第3段階に適用）
施設性能に係わるモニタリング項目と実施頻度	⑪排水・監視設備からの排水（排水状況、1回/週以上； ^3H 分析、1回/3ヶ月以上； ^{60}Co 、 ^{137}Cs 分析、1回/年以上） ⑫周辺監視区域境界付近の井戸内地下水核種濃度（ ^3H 、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 分析；1回/月） ⑬敷地内井戸の地下水位（1回/月）
環境放射線測定項目と実施頻度	⑭外部線量当量率（周辺監視区域境界で1回/週の集積線量） ⑮土壌（敷地内で1回/年程度） ⑯敷地外環境試料（尾駁沼、老部川等で1回/四半期程度）

表3.5-2 柏崎刈羽原子力発電所及び茅記念滝沢研究所におけるモニタリングに係わる事例調査のまとめ

項 目	内 容
柏崎刈羽原子力発電所における環境放射線モニタリングの内容	
モニタリングの依拠する法令等	: 環境放射線モニタリングに関する指針
モニタリング対象項目	: ①空間放射線 (空間線量率の連続測定、積算線量は1回/3ヶ月) ②環境試料中の放射能 (全ベータ核種、 ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{144}Ce と一部試料について ^{131}I , ^3H 、及び機器分析により有意に検出された人工放射性核種)
環境試料の対象と測定地点数及び頻度	: 大気浮遊じん (3地点、連続と年12回)、陸水 (飲料水; 2地点年4回)、土壌 (陸土; 2地点年2回)、農産物 (キヤベツ、大根、米; 各2地点年1回)、牛乳 (2地点年4回)、松葉 (2地点年4回)、海水 (表層水; 南と北の放水口付近2地点年4回)、海底土 (表層土; 南と北の放水口付近2地点年2回)、海洋生物 (マダイ、ヒラメ; 以上発電所前面海域で年1回、サザエ; 1地点年1回、ワカメ; 南と北の放水口付近で年1回、ホンダワラ類; 南と北の放水口付近で年4回) (新潟県は、降下物2地点年12回と河川水1地点年2回を加えている。)
モニタリングポストの位置の選定理由	: 周辺監視区域境界付近に設置、風配を考慮、排気筒中心から等距離であること、事故時に敷地周辺の集落への影響をモニタリングできること、最終発電規模においても十分モニタリングできること。
空間放射線の測定箇所数	: ①モニタリングポスト (空間線量率と積算線量) 9箇所 ②TLDポスト (積算線量) 18箇所 ③新潟県による自動観測局 (空間線量率) 7箇所とTLD測定 (積算線量) 19箇所
茅記念滝沢研究所における内容 施設に適用される法令	: ①放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律 ②医療法
施設の業務内容	: 上記法令に基づき、医療廃棄物の保管 (中間貯蔵) であり、処分を実施しているのではない。
モニタリングの依拠する法令等	: 地元の滝沢村と締結した「公害防止協定」に基づいて実施。
モニタリング対象核種	: 医療機関に提供しているアイソトープ19核種 (^{32}P , ^{51}Cr , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{59}Fe , ^{67}Ga , ^{75}Se , ^{81}Rb - ^{81m}Kr , ^{85}Sr , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{111}In , ^{123}I , ^{125}I , ^{131}I , ^{133}Xe , ^{197}Hg , ^{198}Au , ^{201}Tl , ^{203}Hg)
モニタリング対象試料と測定項目	: ①排気 (Iと全ベータ、フィルタ吸着物はγ線) ②廃液 (蒸発凝縮後Iとγ線)
環境放射線モニタリング	: 空間放射線と環境試料を対象。内容と方法は、環境放射線モニタリングに関する指針に準拠し、地域の特性を考慮。
環境試料の対象と測定地点数及び頻度	: 土壌 (8地点2回/年)、河底土 (4地点2回/年)、河川水 (4地点2回/年)、水道水 (1地点2回/年)、松葉 (1地点1回/年)、牧草 (1地点1回/年)、牛乳 (3地点4回/年)

文 献

- 青森県（1991）：原子力環境だより モニタリング つうしんあおもり，No.4，19p.
- 飯村秀文（1992）：六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターの操業と管理，第8回放射性廃棄物研究連絡会夏期セミナー資料.
- 二ツ川章二，吉田亨，角掛雅裕：滝沢研究所周辺における環境調査の実態，R I 協会滝沢研究所.
- 原子力安全委員会（1988）：放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方，4p.
- 原子力安全委員会（1989）：環境放射線モニタリングに関する指針，55p.
- 新潟県，東京電力株式会社（1992）：平成3年度柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査結果報告書.
- (社)日本アイソトープ協会：日本アイソトープ協会茅記念滝沢研究所（パンフレット）.
- 下田秀雄，飯村秀文，黒田輝夫（1991）：六ヶ所低レベル放射性廃棄物貯蔵センターの概要と安全確保，日本原子力学会誌，Vol.33，No.11，pp.1049-1056.
- 東京電力株式会社（1989）：柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査基本計画，5p.
- 東京電力株式会社（1992）：平成4年度柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査年度計画，12p.
- 東京電力株式会社：原子力発電所の環境放射線モニタリング 柏崎刈羽原子力発電所（パンフレット1）.
- 東京電力株式会社：柏崎刈羽原子力発電所のご案内（パンフレット2）.

4. モニタリング技術の研究

2章の海外の事例調査結果から得られたモニタリングの位置づけや目的についての主要な結果は以下の通りである。

- ① 閉鎖後の処分場の安全性はモニタリングや修復措置に依存するものであってはならない。
- ② ただし、国家当局等からの要請として社会的受容のためのモニタリングがなされるかもしれないが、その行為が処分場の安全性を損なうものであってはならない。
- ③ 閉鎖前に行われる主要なモニタリングとして、放射線モニタリングと処分場の閉鎖に十分な信頼性を与えるための情報を得ることを目的とするモニタリングが挙げられる。

本章においては、上記の主要なとりまとめ結果とその他の2.章で示した海外の事例調査結果、3章で示したわが国の事例調査結果をもとにして、モニタリングの位置づけを整理すると共に、わが国において考えられるモニタリングについて考察した。さらに、そのように位置づけたモニタリングの検討要件（項目・方法等）について検討した。

4.1 モニタリングの位置づけの検討

高レベル放射性廃棄物の地層処分場に対してのモニタリングの位置づけと、位置づけの検討を行う際に考慮すべきと思われる検討事項を以下にまとめる。

4.1.1 モニタリングの位置づけの検討において考慮すべき事項

モニタリングが適用されている従来施設と地層処分場との対比や地層処分固有の特徴の検討を行うことにより、モニタリングの位置づけを検討する上において考慮すべき事項とそれを挙げた理由あるいはその説明をとりまとめた。その結果を以下にまとめる。

- ① 地層処分場は原子力施設であり、従来の原子力施設に対する環境放射線モニタリングの適用が検討されるべきであること

高レベル放射性廃棄物は実高レベル廃液のガラス固化体を容器で梱包したものであり、地層処分場はその高レベル放射性廃棄物の受入れ検査、構内搬送、定置、埋戻しという一連の時系列的な作業を行う施設である。したがって、そのような作業期間においては、従来の原子力施設と同様、放射性物質を取り扱うことに対する安全面での十分な配慮が求められることになる。

したがって、この観点からは、従来の原子力施設に対するモニタリングの位置づけと同様の適用が考慮される必要がある。基本的にはそれは環境放射線モニタリングの適用となる。また、閉鎖後においても、高レベル放射性廃棄物を内包する“施設”として、ある一定期間においては環境放射線モニタリングが実施される可能性を考慮する必要がある。ただし、閉鎖後には十分な機能を持った多重バリアシステムが高レベル放射性廃棄物と人間環境との間に存在するため、環境放射線モニタリングは実質、社会的、政策的な意味合いのみのものとなろう。

- ② 地層処分場の本来の機能は、十分な長さの将来において発揮されるべき、放射性核種に対する隔離性能であること、あるいは、閉鎖後の長期の将来における安全の確保であること（長期性の考慮）

地層処分場が原子力施設であるとはいえ、従来の原子力施設とは異なり、その施設としての本来の機能は、高レベル放射性廃棄物を定置し、埋戻した後の、長期の閉鎖後期間における放射性核種の人間環境からの有意なレベルでの隔離である。すなわち、従来の原子力施設は操業期間中にその本来の機能を果たすのに対して、地層処分場は高レベル放射性廃棄物の定置で代表される操業が終了した後の閉鎖後の長期の期間においてその本来的な機能を果たすことになる。

したがって、この観点からは、長期の将来にわたって放射性核種を人間環境から隔離することに対するモニタリングのあり方が検討される必要がある。モニタリングは基本的に積極的な制度的管理の一部を構成するものである。高レベル放射性廃棄物の潜在的な毒性の継続期間が長期にわたるものであり、そのような長期間において積極的な制度的管理に地層処分場の安全性を依存することは国際的に認められていない。このことは、地層処分場の閉鎖の決定に先立って実施される（と考えられている）安全評価を適正に行うことにより、閉鎖後のモニタリングに技術的に依拠する必要性をなくすことで達成されるものとなっている。

- ③ 地層処分場が地下数百mより深い地層中に設けられる施設であること（アクセスの困難さの考慮）

一般の原子力施設やその他の人間が管理する施設のほとんどは地表あるいは地表付近に設けられているものであるため、それら施設に対する人間の接近が容易であり種々の管理もその対象施設の特徴や状況を直接確認しつつ行うことが可能である。しかしながら、地層処分場においては、地表との間に数百mよりも厚い地層が介在

するため、地表から地層処分場の特徴や状況を確認することは容易ではない（もっとも、この特長こそが地層処分が実施されることの理由の一つとなっているのであるが）。地層処分場に対しては、地表からの種々の管理が適切に計画されているかどうか、また、その管理がなされたとして、それが適切であったかどうかに対して適切に確認することが困難な場合がある。

したがって、この観点からは、モニタリングという行為によって対象物の特性が適切に把握しうる条件について検討する必要がある。現時点では、そのような深度におけるモニタリング機器やシステムの適切な維持について、一部特性に対しては適正に判断する手法を有していない可能性がある。すなわち、条件によっては取得データの信頼性が低くなるモニタリング手法が一部に存在すると思われるため、モニタリングへの依拠の度合いは限られたものになると思われる。

④ 地層処分場及びその周辺の地質環境における変化は緩慢であること

地層処分場が定置される地質環境に対しては事前に十分なサイト調査が行われる。地質環境は人間の活動の程度と比較すれば、その変化の度合いは十分に緩慢であるが、その中でもさらに変化の程度が緩慢な場所が地層処分場として選ばれることになる。また、地熱地帯は熱的、水理的活動性が高いがゆえにサイトからは除外されるため、その他一般の非地熱地帯においては、地表よりも地下深部のほうがより変化の程度が緩慢となる。例えば、地層処分場周囲の地質環境は浅層処分で考慮する地質環境よりもその変化の程度が十分緩慢である。

したがって、地層処分場に対するモニタリングとは、地層処分場及びその周辺の地質環境の変化の程度が十分緩慢である場所に対して行われる測定行為であるということであり、そのことに対しての検討がなされる必要がある。モニタリングの対象が状態ではなく微弱な変化である場合には、測定に困難さを伴うことになる。

⑤ ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材から構成される人工バリアシステムは、地下深部での通常の地質環境条件においては、閉鎖後初期の期間、例えば数百年の期間、物理的、化学的に安定であること

現在検討されている人工バリアシステムの隔離性能とは、地下水シナリオ上の透水抑制機能、核種移行抑制機能である。これらは、システム構成要素の物理的、化学的特性により与えられる。地下数百mの地質環境は、地層の被りに相当する初期地圧が作用し、地下水流量は少なく、その動きは緩慢で、地下水特性は弱アルカリ

性かつ還元的である。このような地質環境は数百年程度の期間においては大きく変化しないと考える。この条件においては、人工バリアもまたほとんど変化しない、すなわち、腐食は進行するものの、地下水が放射性核種を含むガラス固化体に接触することはないと考えられている。

このような条件においては、核種の放出を考慮し、それへの対処の一環としてモニタリングを技術的に考える意義は現実的には非常に小さいものとなる。したがって、人工バリアに関連して敢えてモニタリングを実施するとすれば、数百年の期間においては人工バリアの腐食の進行が及ぼす周辺への化学的、力学的な影響が確認事項となる。しかしながら、測定箇所と人工バリアとの間の距離と、距離に応じて変化すると考えられる測定箇所における影響度の大きさを考慮すると、その影響が測定対象として有意か否かの検討が必要となろう。例えば、腐食物質の増大による力学的な影響（応力の増加）は緩衝材とその周囲の岩盤に限定されたものとなろう。また、腐食の進行に伴う水質変化が周囲にどのように及ぶと考えられるのかについては、腐食形態の見積もり方、水理条件、造岩鉱物他の岩盤構成物質の分布状態等の検討とともに、測定行為が水質に与える影響の評価も含めた検討が必要と考えられる。

- ⑥ 地層処分場及びその地質環境は、閉鎖後において、その隔離性能がなるべく劣化しないように保持されるべきであること

地層処分場及びその周囲の地質環境に期待される隔離性能は、どのようなシナリオにおいても、その劣化がなるべく進展しないよう扱われる必要がある。特に、人間の関与に起因する劣化はなるべく避ける必要がある。

モニタリングは広義には、非破壊的なモニタリングと地下に対して測定孔を設けて行うモニタリングとに分けられる。後者においては、その実施の行為自体が地質環境に大気あるいは地下水で飽和された空間を導入し、あるいは、モニタリング終了後においてはボアホールブラッキングによって異質部を形成することとなる。これらの異質な空間は、シナリオ上は天然バリア性能の劣化を促進し、あるいは物質の直接的な移行経路を提供する可能性のあるものとして検討する必要がある。

しかしながら、閉鎖後における廃棄物の隔離を危うくするようなモニタリングは除外されなければならないのはほぼ原則となっている。多重バリアシステムの性能の変化が緩慢であり、また、その変化がシナリオ上人工バリアからその周囲に及ぶ

ものとして扱われているため、有意な変化を把握しようとするれば、そのためのモニタリング行為は影響を及ぼす元となる物質になるべく近づいて行われることが求められることになるが、それは本質的に、より隔離性能に影響を与えるものになるという特徴があるといえる。

- ⑦ 長期間を対象とした場合には、モニタリング機器の耐久性、更新可能性が重要な問題として検討されるべきであること

従来の施設に対するモニタリングにおいては、モニタリング機器の耐久性や更新可能性の問題は、更新が必ずしも困難ではないため大きな問題としては扱われていないと考えられる。しかしながら、地層処分の場合には、耐用年数に基づいて更新という行為を行う他に、経過年数に関わらず測定データが適切なものであるかどうかの判断を適宜行い、その結果が適切な数値が得られておらず、かつ、継続して測定することが必要と判断される場合には、必要な機器について十分な配慮のもとに更新される必要がある。

その際に問題となるのは、更新行為が地層処分場やその周囲の地質環境に及ぼす影響の程度である。更新行為がそれらの隔離性能を劣化させると判断される場合には、更新を行うことにより得られるプラス面との対比がなされ、更新の可否が検討されることとなろう。また、更新されない場合には、機器を撤去する場合と撤去しない場合に分けて、それぞれの場合の周囲に及ぼす影響がその時点で注意深く検討されることになるものと考えられる。

- ⑧ モニタリング行為自体の及ぼす影響が正当に評価されるべきであること

大気や多量に存在する地下水を対象とした場合には、サンプリングや測定行為自体が対象物の特性に与える影響は多くは無視できるものと考えられる。しかしながら、サンプリングや測定の対象物が小規模であったり、サンプリングの対象物（例えば、連絡性の劣る微小有効間隙内の地下水）の量が少ない場合には、サンプリングや測定の行為が対象物の特性に変化を与えることが考えられる。そのため、その変化が適切に把握されるか、なるべく変化が生じないような処置がとられる必要がある。それが不明の場合には、取得データに信頼性がなく、モニタリングの意義は低下する。

すなわち、モニタリング行為自体が取得データ値の信頼性に及ぼす影響について考慮される必要がある。

- ⑨ 地層処分場の閉鎖の決定は、地層処分場の長期の隔離性能を解析によって評価し、その評価結果が前もって規定した条件の範囲内であることを確認することによってなされるものであること

モニタリングは地層処分場の閉鎖という行為により、その性格が基本的に異なることになると考えられる。閉鎖の決定においては、地層処分場に対する長期の隔離性能が評価され、その結果が前もって規定された条件の範囲内となることが確認されることとなろう。その時、その評価計算において用いられるデータの一部は、それまでの操業期間中において取得されたデータとなろう。そのような評価計算に入力するための情報を得るモニタリングは閉鎖の決定によって、それ以後は基本的には不要になるといえる。また、もしそれらのうちの一部が引き続き測定されることになったとしても、その位置づけは閉鎖前の技術的な位置づけとは異なるものになるだろう。

すなわち、閉鎖という行為の意味合いと、それによりモニタリングの位置づけが変化することについて考慮する必要がある。

- ⑩ 地層処分場の性能の確認においては、その性能とは直接関係のない間接的なパラメータをモニタリングにより把握する行為が含まれうること

モニタリングの目的の重要な一部として、地層処分場の隔離性能の確認を挙げることができる。その隔離性能の確認においては、性能評価パラメータを直接対象とする場合と、性能評価パラメータとは直接関係ないもののその変化を推測する上において、あるいは予測手法の適切さを確認する上において、有効と考えられる測定項目を対象とする場合に分けることができるものと考えられる。

後者の例としては、地層の安定性の確認のために地下での地震動や傾動などを測定することや、地下水位や地温の上昇などを測定することが挙げられる。特に、地下水位や地温の上昇の測定結果がそれらの予測解析の結果に合致するか否かは、隔離性能に関する予測解析の信頼性の確保という意味において重要性があるものと考えられる。

4.1.2 モニタリングの位置づけ

前項で示した考慮事項をもとに、地層処分場に対するモニタリングの位置づけの検討を行う。2章、3章の調査結果から、モニタリングには技術的側面と社会的、政策

的側面があることが把握されている。ここでは、この二つの側面からの位置づけの検討を網羅的に、かつできる限り幅広に行うこととする。

さらに、これらの位置づけに対し、モニタリングの目的としては、人の安全確保、施設の保全、品質管理、性能評価、信頼確保、安心の保証、法体系への適合が挙げられる。

(1) 技術的側面での位置づけ

ここで示す技術的側面とは、専門的な立場から技術的に意味があると判断される場合のことを示すものとする。この側面においては以下のような位置づけの整理が可能であると考えられる。

(a) 処分場の閉鎖前の段階（操業段階）

(i) 安全確保

- ・ 作業者と周辺公衆の放射線学的安全を保証する。
- ・ 環境における放射性物質の蓄積状況を把握する。
- ・ 作業者の労働上の安全を保証する。
- ・ 容器の損傷やバリア機能の変化などを反映した放射能レベルの変化を感知する。

(ii) 施設の保全

- ・ 廃棄物のハンドリング、運搬、定置やそれらに付随する補助作業を行う場としての施設の損傷や破壊に至る予兆を事前に感知することにより、施設の保全に資する。

(iii) 品質管理

- ・ 定置、埋め戻しという行為が設計通りに適切になされたかどうかを判断するために、必要な基礎的データを提供する。不適切と判断された場合には回収と再定置、再埋め戻しを含めた諸検討がなされ、速やかに欠陥の修復が図られる。

(iv) 性能評価

- ・ 設計通りに定置、埋め戻しがなされたとして、その箇所周辺の人工バリア天然バリアが前もって規定した条件や制限の範囲内で機能していることを確認するためのデータを提供する。
- ・ 閉鎖の決定のために行われる安全評価に必要な、信頼性あるデータを提供

する。

(b) 処分場の閉鎖後の段階

技術的には、閉鎖後のモニタリングの意義は考えられない。ただし、幅広に考えた場合には純粹の研究行為として、閉鎖時の安全評価や、閉鎖前に実施したシステムの性能評価の結果の確証に資するためのデータを提供するという意味合いでのモニタリングを想定することは可能であろう。しかしながら、他の目的との対比においてはその重要性が劣るのは明らかであり、本検討においては補助的な扱いが適当であると考えられる。

(2) 社会的、政策的側面での位置づけ

ここで示す社会的、政策的側面とは、技術的側面からの重要性が低いか、あるいは意味がないものの、直接的、間接的に、社会的受容性を獲得するという観点においては有意であると思われる場合のことを示すものとする。この側面においては、以下のような位置づけの整理が可能であると考えられる。

(a) 処分場の閉鎖前の段階（操業段階）

(i) 安心の保証

- ・ 事故等の発生のない通常操業のハンドリング期間において、地層処分場の空洞やサイト周辺における大気、水、土壌、岩石、生態系にバックグラウンドとしての変動を超える変動が認められないことをデータによって示す。

(ii) 法体系への適合

- ・ 国家当局により定められた放出限度に適合していることを実証する。

(b) 処分場の閉鎖後の段階

(i) 信頼の確保

- ・ 安全であることの確認を継続していることを示すことにより、公衆の認知を得る。
- ・ 放射性廃棄物の埋設箇所からは離れているものの、発熱による温度上昇が認められてと思われる箇所や、地下水位の上昇が確認しうと思われる箇所において、閉鎖後の温度の上昇、あるいは地下水位の上昇や上昇後の地下水の流れ方を測定し、それらが予測結果に適合していることを示すことにより、間接的に処分の安全評価手法に対する信頼を獲得する。
- ・ 火山活動などが地層処分場の近傍で発生していないことを確認し、また、

地盤の上下変動や傾動、地震動などの影響が予測の範囲内であることを確認する。それにより、自然現象が地層処分場の性能に与える影響が有意でなく、安心できるレベルにあることを示し、地層の安定性が確保されていることに対する信頼を獲得する。

(ii) 安心の保証

- ・地層処分場周辺の地質環境や生態系の放射能に、バックグラウンドとしての変動を超える変動が認められないことをデータによって示す。
- ・処分場への侵入を避けるために、全ての必要な予防措置が有効に機能していることを確認する。

(iii) 法体系への適合

- ・測定の継続という規制側の要求に応える。

4.1.3 わが国において考えられるモニタリングの検討

前項までにおいてはモニタリングの位置づけ、目的とその問題点を幅広く検討した。本項ではわが国において考えうるモニタリングの主要なあり方について検討することとする。

まず、閉鎖前の操業段階に行うべきモニタリングとしては、項目ごとの数量をどの程度のものとするかという問題はあるものの、前項で検討した内容をほぼ同様に挙げるができるものと考えられる。

一方、閉鎖後を対象とした場合には、日本の自然環境条件と安全確保の考え方、及び社会的条件を考慮して検討する必要があるものと考えられる。

まず、自然環境条件としては、その影響は基本的にはサイト選定の段階でクリアされるべき問題であるとみなすことができるが、わが国は種々の自然現象が比較的短い周期で発生する国であり、また、通常的生活感覚においてその影響は重要な関心事となっていることから、問題の影響が専門的には小さい、あるいはないと判断されても、相応の観測は求められる可能性がある。すなわち、具体的には、サイト外で生じた事象が地層処分場に与える影響やサイト内でのそれらの発生自体が予測の範囲内であることを、サイト内外におけるモニタリングにより示していくことが求められる可能性がある。

安全確保の考え方としては、ニアフィールドの隔離性能の発揮に必要な地質環境条

件が継続しているのかどうかを、閉鎖後の一定期間において実測により示すことを求められる可能性があるものと考えられる。また、閉鎖後の比較的短期間に変化するとと思われる事象で、かつ、人工バリアシステムや近傍の母岩の健全性を損なわない範囲で測定が可能と判断される事象（地下水位の上昇、温度上昇など）については、予測手法に対する信頼性の確保のために、その変化がモニタリングにより実測され、予測解析との対比が求められる可能性もあるものと考えられる。その場合、それらの測定の位置づけはあくまで、技術的な厳密さや対応性を求めるものではなく、科学的に十分な根拠を持った上での誤差を考慮した対比に基づく信頼の獲得であろう。

社会的条件としては、わが国は特に原子力の分野において、環境放射能に関する測定の実施の有無に関わらず専門的には安全であると判断されても、念のため測定を実施することが求められることがある（例えば、茅記念滝沢研究所周辺での環境放射線モニタリング）。したがって、社会的、政策的な要請によって、測定箇所が廃棄物の埋設箇所と十分な距離を有しており、立坑という直接的に廃棄物からの影響を伝えやすい施設が閉塞されることによって廃棄物からの有意な影響がなくなると判断されても、地表の適当な箇所においての環境放射線モニタリング等の継続は閉鎖後においてもなされ则认为すべきであろう。

上記以外には、法制度の整備が進んだ場合には、法的要件に応えるモニタリングが当然なされることになる。

4.2 モニタリング技術の検討要件

前節で位置づけたモニタリングについて、その技術的検討を行うための要件（項目や方法等）についてまとめる。なお、閉鎖後期間における検討を主とするものの、継続性や関連性を考慮して操業段階も含めて検討するものとする。

4.2.1 モニタリング技術の検討に必要な項目

前項で検討したモニタリングの目的別にモニタリング項目を挙げる。これらは、2、3章の調査結果と4.1の位置づけから導く。

(1) 処分場の閉鎖前の段階（操業段階）

(a) 安全確保

- ・空間放射線（線量率、積算線量）
- ・環境放射能（地下水、地下水湧水、地表水、排水、植物、動物、岩石、土壌、粉塵、緩衝材、埋戻し材）
- ・気象要素（降水量、風向、風速、大気の温度、湿度、坑内換気量、坑内換気方向、排気量、粉塵量、坑内酸素濃度、坑内一酸化炭素濃度、坑内有機ガス濃度）

これらのうち、線量率、積算線量については、バックグラウンドレベルと同様のレベルの精度での測定ができれば十分と思われる。

(b) 品質管理

- ・設置状況（設置位置、緩衝材／埋戻し材の充填密度）

ここで位置の決定については、1 mmの精度での把握になるものと考えられる。

(c) 性能評価

- ・水理特性（緩衝材の含水率）
- ・熱特性（岩盤内温度、緩衝材内温度）
- ・力学特性（緩衝材の膨潤圧）
- ・地球化学特性（地下水水質、岩石の化学組成）

ここでは、温度については0.1℃での精度が、また、圧力や水分率については、想定される測定値の1 %の精度での把握が望まれる。

(d) 施設の保全

- ・力学特性（地圧、空洞変位、ひずみ）

関係する力学特性は既存の精度範囲で十分と思われる。

(e) 安心の保証

- ・空間放射線（線量率、積算線量）
- ・環境放射能（地下水、地下水湧水、地表水、排水、植物、動物、岩石、土壌、粉塵）

この場合には、バックグラウンドと同様のレベルでの測定精度が得られればよいと思われる。

(f) 法体系への適合

他の目的、特に安全確保と性能評価に対して挙げた項目の一部が相当すると思われるが、ここでは個別には列挙しない。

(2) 処分場の閉鎖後の段階

(a) 安心の保証

- ・空間放射線（線量率、積算線量）
- ・環境放射能（地下水、地下水湧水、地表水、植物、動物、岩石、土壌）
- ・サイト内侵入と土地利用

ここでは、公衆が望む期間、継続して実施することが予想される。低レベル廃棄物の貯蔵との対比を考慮すれば、その期間は数百年に及ぶこともありうると思われる。測定の精度としては、バックグラウンドと同程度で十分と考えられる。

(b) 信頼の確保

- ・水理特性（間隙水圧、地下水位、地下水流速）
- ・熱特性（岩盤温度）
- ・地球化学特性（地下水水質）
- ・テクトニクス（隆起沈降量、傾動量、地震動）
- ・その他（安心の保証項目が同様に適用される）

この場合にも、基本的には安心の保証を目的とする場合と同期間の継続が予想される。ただし、温度や水位などの変化を追うモニタリングであれば最大数十年～百数十年となると考えられる。また、測定誤差を適切に評価することが重要であり、科学的に意味のある範囲内での誤差を明示した精度が必要となると予想される。自然現象の場合には精度よりも測定値の分布の方が重要となるであろう。

(c) 法体系への適合

他の目的に対して挙げた項目の一部が相当すると思われるが、ここでは個別には列挙しない。

4.2.2 モニタリング技術の検討方法

モニタリング技術の検討要件としての方法についてまとめる。

検討方法としては、まず、検討の前提を設ける必要があるとすれば、その条件を定めることが必要であろう。例えば、モニタリングは地層処分場の操業前・操業・閉鎖の各期間に渡って行われるものであるが、現在は地層処分システム自体が定まっていない状態にあるため、地層処分システムをある仮定のもとに定める必要がある。例えば、人工バリアの性能維持期間や地層の特徴などがそれらの事項となる。さらに、具

体的な幾何的検討を行うためには、地層処分場のレイアウトや施工方法、作業条件などがある程度定められている必要がある。特に、これは作業中のモニタリングの検討においては必要な事項となる。

また、作業段階から閉鎖以後の段階にかけて、段階を細かく見直すことも必要であろう。例えば、作業段階を廃棄体及び人工バリア材の定置期間と定義すれば、定置は終了しているものの、閉鎖の決定が下されずに待機している状態も考えられる。その状態が長い場合には一つの段階として考慮する必要があるが生じるであろう。

モニタリングを実施する位置の検討もモニタリング手法の特徴の検討とともに必要である。モニタリング位置はまた、段階によっても大きな影響を受ける。

また、モニタリングの対象項目が期間や位置によりどの程度変化するものなのか、その変化もある幅での変動なのか、ある状態への漸進的变化なのか等について予め注意深い検討が必要である。モニタリングの技術的位置づけが特に性能評価を目的とした場合予測との対比であるため、測定できることが最終の目的ではなく、予測との対比が適切になされることまで含まれなければならない。さらにまた、予測解析の結果がある誤差と信頼性を有するものであることに十分注意する必要がある。その程度によって対比の意味合いが異なるからである。

モニタリングはそのための機器や手法の性能確認が適切になされて始めて意味を持つ。したがって、機器の使用条件やその条件での性能を確認すること、機器を設置する場所、例えば試錐孔の施工による影響を確認すること、また、機器の設置や維持の影響及び更新や廃棄の影響を適切に事前に評価することが重要である。

これらの検討を経ることにより、モニタリングのあり方及びその実施上の技術について適切な検討結果が得られるものと考えられる。

5. 今後の課題

今年度の調査結果をもとに、モニタリングについてさらに検討すべきと思われる課題をまとめる。

まず、技術的に必要と考えられるモニタリング、及び社会的、政策的に必要と考えられるモニタリングについて、個々の項目ごとにその必要性をさらに深く検討することが必要であると思われる。その検討においては、項目ごとの技術的な特徴と適用される環境特性についての考察が伴われるべきであろう。

また、処分シナリオのうちの考えられるケースを検討し、個々のケースごとにより現実的なモニタリングのあり方を検討することも必要であると思われる。

特に、操業時のモニタリングの技術的位置づけが処分場の閉鎖を行うための判断の根拠となる安全評価に有益なデータを提供することであるとされていることについては、操業時の短期間の初期データが真にどのように安全評価に資するのかについて、十分な検討を行う必要がある。

また、モニタリングがバリアの機能にどのように影響を与える可能性があるのかを、モニタリングのあり方に応じてさらに十分検討することも必要であると考えられる。その検討結果はモニタリングのあり方に反映されなければならないであろう。

また、項目によってはモニタリング行為に技術的理由づけと社会的、政策的理由づけをすることが考えられるが、両者の理由づけが相互にどのような影響を及ぼしあうのかを検討し、好ましくない影響については、それをいかに減じるのかについての方法論も検討しておく必要がある。

海外の事例調査結果の一部において、操業段階のモニタリングの一部が閉鎖後においても引き続き継続されることが考えられるとの考え方が示されていた。そのような考え方は現実的であると考えられるが、どのような考え方、判断のもとに、あるモニタリング項目は残され、あるものは中止されるのかについて、検討しておく必要がある。また、所要の期間を経過し、必要性のなくなったモニタリング項目について、そのための施設や設備をどのように処理した場合に、周囲の将来のバリア性能にどのような影響を及ぼすのか、それをどのような考え方で明らかにしていくべきなのか、その検討結果を受けて個々にどのような処置を施せばよいのか等についての検討も必要であろう。

現時点では、処分のありようについて検討し、それに対してモニタリングはどうあるべきなのか、概念上の検討を深めておくことが必要であろう。

6. まとめ

本調査研究の実施内容は以下のようにまとめられる。

① 諸外国におけるモニタリングの現状

IAEA、OECD/NEA、ICRPの3国際機関から出された指針や規準を対象として、モニタリングに関する記載、モニタリングの考え方に影響を与えると思われる記載について調査を行った。その対象としては、高レベル廃棄物のみでなく、中レベル廃棄物、低レベル廃棄物、TRU廃棄物などをも対象とした。

その結果、高レベル処分場に対しての管理の考え方は低レベル処分場に対する考え方と比較して大きくことなることがわかった。後者に対しては、閉鎖後も漏出を前提とした管理を義務づけているのに対し、前者に対しては、閉鎖後には受動的な管理を除いては基本的には何らの管理も不要とするものであった。

さらに、アメリカ、イギリス、フランス、ドイツ、スイス、スウェーデン、カナダの各国について、モニタリングやモニタリングに影響を与えると思われる処分についての法規制について調査を行った。また、事例的に低レベル処分場及び概念的な考えられている高レベル処分場を対象として、モニタリング事例を中心とした文献調査を実施した。

各国とも、アメリカを除いては、モニタリングを高レベル廃棄物処分場に積極的に適用することは考えていないようである。アメリカについては、永久閉鎖のための許認可条項に永久閉鎖後のモニタリングプログラムを明記する定めがある。

② わが国におけるモニタリングの考え方

日本原燃(株)六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター、(社)日本アイソトープ協会茅記念滝沢研究所、東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所の三施設に対して、モニタリングの実施状況とそのための法規制や廃棄物管理の考え方等について、現地調査及びヒアリングを実施した。

日本原燃(株)六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターでは、丁度埋設事業が開始されたところであった。その廃棄物管理の考え方は、地下水の管理を基本としたものである。地下水の水位、排水量、地下水中の核種濃度を測定し、万が一漏出があったとしてもサイト内にて適切な処置がとれるような管理システムが組まれている。段階管理の考え方が基本であり、埋設を行っている第1段階においては、人工バリアからの漏出がないことを確認するものであり、埋設終了後の第2段階においては、漏出があったとした場合にはその漏出状況を確認し、その程度により措置を講ずるというものである。第3段階

においては、核種の漏出に関する監視は行わないが、掘削行為に対する監視は必要と考えられている。

(社)日本アイソトープ協会茅記念滝沢研究所での医療用低レベル固体廃棄物の貯蔵に対しては、所管官庁が異なるため、適用法規も異なり、環境放射線モニタリングは義務づけられたものとはなっていない。しかしながら、地元との自主的な協定により環境放射線モニタリングを実施しているのが現状とのことであった。

東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所では、きちんとした管理のもとに環境放射線モニタリングが実施されていた。それは、日本原燃(株)六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおいても同様であるが、原子力安全委員会が定めた「環境放射線モニタリングに関する指針」に準拠して実施しているものである。処分施設に固有の施設の性能に係わるモニタリングではないが、地層処分場に対しても、同様の環境放射線モニタリングは適用になるものと考えられる。

③ モニタリング技術の研究

海外とわが国のモニタリング及びモニタリングに関連した法規性等に関する事例調査の結果をもとにして、モニタリングの位置づけを検討するとともに、モニタリング技術の検討要件を概略的に示した。特に、モニタリングの位置づけの検討においては、処分場と他の原子力施設との対比や処分に固有の問題等から導かれる検討すべき事項を挙げ、その理由について考察した。

あとがき

立地、建設、操業、閉鎖という高レベル放射性廃棄物の地層処分場の一連の段階も、それが長期間にわたるがゆえに、その他の段階を考える必要が生じてくる。特に、操業から立坑の閉鎖に移る間には様々な長さの待機の時間が考えられる。また、立坑の閉鎖が終了した後も、そのサイトの管理は何らかの形で継続されることが考えられる。

このように段階とその継続期間を様々な考えることのできる現時点において、その段階の長さによる影響を受け、また、その段階に対して影響を与える特徴を有するモニタリングの概略的な検討、特にそのあり方、考え方の検討を行った。

今後は処分場の性能に関わる安全評価手法の調査整理や性能確認のための要件を調査し、その結果と本年度の調査結果からモニタリングの実施における具体的な方法を検討する必要がある。モニタリングの実施においては、その内容がサイトの個別の特性に依存する面があるため、環境条件について仮定を置いて考慮していく必要があるだろう。

一方、地層処分のあり方等についての国等の考え方に進展がある場合には、それを反映させていくことも必要であると考えられる。

モニタリング、特に閉鎖後のモニタリングの実施時期は、その名から推察される通り、数十年後に想定されるものであるが、そのあり方は地層処分の実施に対する公衆の受容を得るためにも、現在の段階で明らかにしておくことが望まれる。技術的な観点では将来、より十分に検討することが可能であるが、公衆の受容の獲得の観点からは早い段階でその意義を明らかにしておくことが必要であろう。

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、国内調査にあたり、日本原燃㈱環境整備部及び同社六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター、(社)日本アイソトープ協会茅記念滝沢研究所、東京電力㈱柏崎刈羽原子力発電所の多くの方々のご協力を得ましたことをここに改めて記すとともに、御礼申し上げます。

さらに、本調査の進め方、成果のまとめ方について貴重な御助言、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。