

高レベル放射性廃棄物処分の事業化技術 —その2 処分事業の実施手順—[†]

河西 基¹ 駒田広也¹ 土野 進¹ 塩崎 功¹ 北山一美²
赤坂秀成² 稲垣祐亮³ 河村秀紀⁴

高レベル放射性廃棄物処分の事業化は2000年頃に予定されている実施主体設立後にいよいよ本格化することになるが、その実施主体により進められることになる「処分地の選定」、「処分場の建設・操業」、「処分場の解体・閉鎖」、「閉鎖後管理」などの一連の処分事業に関して、それぞれの段階に沿って考慮すべき処分事業の実施手順を技術的な観点から詳細に検討し、マスタースケジュール案を作成した。また、それらの当面のサイト選定などの処分事業化を円滑に進める上で重要な地層処分の概念や安全確保の基本的考え方、サイト選定にあたっての要件、さらには処分技術への信頼性を得るために実証の考え方についても取りまとめてるとともに、本事業化検討全体の基本条件となる地質環境条件の設定を行った。

Keywords: 高レベル放射性廃棄物、地層処分、処分事業化、実施手順、マスタースケジュール、処分技術実証

The making high activity of the high-level radioactive waste disposal business shall be fully started after establishing of the implementing organization which is planned around 2000. Considering each step of disposal business, in this study, the implementation procedure for a series of disposal business such as the selection of the disposal site, the construction and operation of the disposal facility, the closure and decommissioning of the disposal facility and the management after closure, which are carried forward by the implementation body is discussed in detail from the technical viewpoint and an example of the master schedule is proposed.

Furthermore, we investigate and propose the concept of the geological disposal which becomes important in carrying forward to making of the business of the disposal, such as the present site selection smoothly, the fundamental idea of the safe securing for disposal, the basic idea to get trust to the disposal technique and the geological environmental condition which is the basic condition of this whole study for the disposal business making.

Keywords: high-level radioactive waste, geological disposal, disposal execution implementation procedure, master schedule, confidence building

1 はじめに

わが国では、2000年を目安に高レベル放射性廃棄物処分のための実施主体を設立し、2030年代から遅くとも2040年代半ばまでには処分事業を始めるという方針が、平成6年度の原子力長計で提示されている[1]。また、原子力委員会は、技術的侧面および社会・経済的な側面から高レベル放射性廃棄物最終処分に対するわが国の基本的な取り組みの考え方を示している[2,3]。さらに、わが国における地層処分研究開発の中核的推進機関との位置づけがなされている核燃料サイクル開発機構（旧、動力炉・核燃料開発事業団；以下、サイクル機構と略称する）においては、2000年前までには第2次成果取りまとめを公表する予定であり、1998年9月にはその第1ドラフト[4]が公表されており、わが国における地層処分の技術的信頼性とともに、処分予定地選定および安全基準の策定に資する技術的拠り所が示されることとなっている。

このような状況の中で、特に原子力委員会の原子力バ

ックエンド対策専門部会および高レベル放射性廃棄物処分懇談会により示されている高レベル廃棄物処分の進め方においては[2,3]、実施主体の設立からサイトの選定、処分場の操業・閉鎖に至るスケジュール展開と国等の対応に関わる基本的な考え方が示されている。

今後、2000年頃に予定されている実施主体の設立において、処分事業を円滑に推進していくためには、処分スケジュールに沿って準備しておくべきことを明確にし、事業化のための技術的課題の抽出やその課題を解決するための技術開発計画を含め、包括的な事業計画を策定することが不可欠となる。

本報告では、実施主体が設立された後の、実施主体による「処分地の選定」、「処分場の建設・操業」、「処分場の解体・閉鎖」、「閉鎖後管理」、「処分事業に関わる広報活動、地域振興策の検討・実施、予算および確保資金の管理、人材育成、事業計画の策定、各種プロジェクト管理」などの一連の行為を「処分事業」と定義付け、それぞれの段階に沿って考慮すべき処分事業実施手順について現状の技術をもとに検討した結果を述べる。また、本研究を実施するにおいて前提とすべき地層処分の概念や安全確保等に関わる基本的な考え方とともに、必要となる処分技術の実証のあり方やサイト選定にあたっての地質環境要件の考え方についても検討を行い、さらに本事業化検討での基本となる地質環境条件の設定を行った[5,6]。

[†] Execution techniques for high-level radioactive waste disposal : II Fundamental concept of geological disposal and implementing approach of disposal project, by Motoi Kawanishi (kawanisi@criepi.denken.or.jp), Hiroya Komada, Susumu Tsuchino, Isao Shiozaki, Kazumi Kitayama, Hidenari Akasaka, Yusuke Inagaki and Hideki Kawamura

1 (財)電力中央研究所 我孫子研究所 バックエンドプロジェクト Nuclear Fuel Cycle Back-End Project, Abiko Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) 〒270-1194 我孫子市我孫子 1646

2 東京電力(株) Tokyo Electric Power Company 〒100-0011 千代田区内幸町 1-1-3

3 (財)原子力環境整備センター Radioactive Waste Management Center 〒105-0001 港区虎ノ門 2-8-10 第15森ビル

4 (株)大林組 Obayashi Corporation 〒108-8502 港区港南 1-15-2

2 処分事業実施手順の検討

処分事業実施手順の検討にあたっては、あくまでも原子力長計[1]の「2030 年代から遅くとも 2040 年代半ばまでの操業開始を目指」という記述に則り、操業開始を 2035 年と仮定し、2000 年以降の処分事業実施のマスタースケジュールの設定を行った。したがって、現時点ではやや厳しいスケジュールにならざるを得ない面もあるが、それぞれの実施期間等については、今後の具体的な処分事業の進展に伴って柔軟に対応すべきであるとの考えにもとづいた設定となっており、これを以下に述べる処分事業実施手順の詳細検討の基礎とした。

また、処分地の選定に至る段階については、「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方」(原子力委員会、高レベル放射性廃棄物処分懇談会、1998 年 5 月 29 日。以下、「処分懇報告書」という)[3]に従うこととし、「処分候補地の選定」「処分予定地の選定」「処分地の選定」の 3 段階に分けた。以下にそれぞれの段階における実施手順を示す。

2.1 処分候補地の選定段階

処分懇報告書の記述に基づけば[3]、2000 年以降の処分候補地の選定作業は、下記の手順で進むものと想定される。

- ① 国による「処分地の立地および処分施設に係る安全確保の基本的考え方」の作成と公表
- ② 実施主体による「処分候補地の要件」の設定
- ③ 地元の立候補を促すための、国による地域振興策の提示と実施主体による広報活動
- ④ 実施主体による、処分候補地選定のための調査を受け入れる地域の全国規模での公募、応募がない場合に備えた全国規模での既存資料調査、選定した有望地域に対する処分候補地選定のための調査申し込みの準備
- ⑤ 地元からの誘致表明、あるいは実施主体からの申し入れとその受諾
- ⑥ 実施主体による「処分候補地の要件」に照らした候補地としての適合性評価、候補地の絞り込み
- ⑦ 国による処分候補地選定結果の確認

2.2 処分予定地の選定段階

処分予定地の選定段階では、選定された処分候補地に対して実施主体が予備的に調査を行い、処分予定地を選定し、その結果を国が確認する。

処分予定地の選定は、基本的には対象地域における広域の地質学的適合性や社会経済的な環境としての適合性を有しているかを判断することであり、処分地としての適合性を決定する段階ではない。しかし、実施主体としては、処分事業を円滑に推進するためには単なる予定地

としてではなく、事実上の処分地としての適性を有する見通しをこの段階で得ておくことが望ましい。

このような理由で、処分予定地の選定段階において調査結果に基づく処分施設の概念設計および予備的な安全評価をこの段階で実施し、事業者としての一応の概略的な成立性見通しを得ておくものとする。

以下、処分予定地選定段階を「処分候補地調査期間」と「国による確認期間」に分けてその手順を示す。

2.2.1 処分候補地調査期間

処分候補地調査期間においては、サイクル機構によりまとめられる地層処分研究開発第 2 次取りまとめ報告書および国による「安全確保の基本的考え方」等に基づき、国が「処分予定地選定の基準」を策定するものとされている[2,3]。また、実施主体による予定地の選定にあたっては国が確認を行うこととされている[2,3]。したがって、国の確認に向けては「処分予定地の選定基準」に照合し得るデータの収集とそれらの評価結果の取りまとめが重要になる。処分候補地調査期間における実施主体として実施すべき主な行為をとりまとめ Table1 に示す。

2.2.2 国による確認期間

実施主体が処分予定地を選定した時点から、実施主体は「用地取得、補償交渉等」を開始し、各種協議書等の作成を行っていく。一方、この期間において国は、処分候補地調査報告書および環境影響評価報告書等をベースとし、実施主体による予定地選定の経緯、地元の意見の反映結果等の報告を受け、実施主体による処分予定地の選定結果を確認する。

以上、実施主体設立から「処分候補地の選定」、「処分予定地の選定」を経て「国による確認」にまで至る期間は、国内外における類似原子力施設の調査状況等から約 10 年程度と想定する。

2.3 処分地の選定段階

処分地の選定段階は、選定された処分予定地において処分施設の設置位置を絞り込むために行う「地上詳細調査期間」、および地下特性調査施設を建設し、その施設を用いたサイト特性調査および処分技術の実証を行う「地下施設での調査期間」に分ける。

サイト特性調査の結果に基づき実施主体が選定した処分地は、この段階においても国による確認を受ける。ここでの確認は、選定された地点が処分地になることが決定されることを意味するために、その手続きはより慎重に進める必要がある。

2.3.1 地上詳細調査期間

実施主体は、処分施設の建設予定地として特定された区域について、処分候補地調査の結果を基に、さらに「地上からの詳細調査」を実施する。処分候補地調査および

地上詳細調査の結果に基き、「地下特性調査施設のレイアウト計画の立案」を行い、さらに処分候補地調査の期間に実施された処分施設の概念設計に基づいて「地下特性調査施設の詳細設計」を行うものとする。これらの地上詳細調査期間における実施主体の行為をとりまとめたものをTable 2に示す。

なお、国により、この前段階から「安全確保の基本的考え方」に基づいて「安全審査指針類」の策定のための検討が行われ、遅くともこの期間内までには策定されている必要がある。

2.3.2 地下施設での調査期間

実施主体は、この期間において「地下特性調査施設の

建設」を行うとともに、地下における岩盤特性、水理特性、地球化学的特性等を把握する「サイト特性調査」、深部地下掘削技術をはじめとする建設施工技術の実証、あるいは、オーバーパック、緩衝材、埋戻し材等のハンドリング、原位置での性能確認等を行うことを目的とした調査および「処分技術の実証」を行う。また、調査および実証試験等によって得た情報・データに基づいて、「処分施設の基本設計」、「線量当量評価および安全評価」等が実施され、「事業許可申請書および添付書類」の作成を経て事業許可申請が行われる。この期間における実施主体の主な行為をとりまとめたものをTable 3に示す。

Table 1 Major assumable act executed by implementing body during investigating period at candidate disposal site

実施主体の行為	内 容
① 処分候補地調査	地表踏査、物理探査、測量等の地表調査、並びにボーリング調査等により、地形、地質、地下水等の特性を広域的に把握し、処分候補地調査書を作成する。
② 環境調査	自然環境および社会環境の現況を把握し、環境調査書を作成する。
③ 処分施設の概念設計	処分施設の規模、位置、形状、主要構築物の諸元、人工バリアの仕様、インフラ施設の概要等を検討し、概念設計図書を作成する。
④ 予備的安全評価	地下水シナリオに基づき、処分場閉鎖後の長期にわたる放射性核種の挙動、線量当量等を予備的に評価する。
⑤ サイト特性調査および処分技術の実証に関する基本計画の立案	サイト特性調査および処分技術の実証段階で実施する地上および地下における調査計画、並びに処分技術の実証に関する計画を立案し、計画書を作成する。

Table 2 Major assumable act executed by implementing body during above ground investigating period at planned disposal site.

実施主体の行為	内 容
① 地上詳細調査	処分施設建設用地として特定された区域について、地表踏査、物理探査、測量等の地表調査、ボーリング調査等により、地形、地質、地下水等の特性を詳細に把握し、また必要に応じて断層トレンド調査等を実施して地上詳細調査書を作成する。
② 地下特性調査施設のレイアウト計画および詳細設計	処分候補地調査と地上詳細調査の結果に基づいて、地下特性調査施設のレイアウト計画の立案を行い、さらに、処分施設の概念設計に基づいて、地下特性調査施設の詳細設計を行う。
③ 地下特性調査施設によるサイト特性調査および処分技術の実証に関する詳細計画の立案	前段階で立案されたサイト特性調査および処分技術の実証に関する計画に基づき、地下特性調査施設によるサイト特性調査および処分技術の実証に関する詳細計画の立案を行う。
④ 処分事業化技術開発	アクセス坑道および水平坑道の掘削技術、緩み領域の抑制／評価技術、止水技術、高速施工技術（機器および施工法）、地下空洞建設に関する各種計測技術、廃棄体ハンドリング技術等に加え、地下深部で発見される小断層／破碎帯の評価および対策施工技術等の開発を行う。

2.4 処分場の設計・安全審査段階

実施主体は、前段階で作成した事業許可申請書を国に提出するとともに、安全審査に向けた各種の対応を行っていく。また、処分施設の基本設計図書に基づき、処分施設の建設に向けた詳細設計に着手する。国は、前段階に引き続き「必要な地域振興策等の実施」とともに、提出された書類等に対して「事業許可に係る安全審査」を行う。

以上、実施主体設立から「処分候補地の選定」、「処分予定地の選定」、「処分地の選定」、「処分場の設計・安全審査」を経て「国による事業許可」に至る期間は、約 25 年程度と設定する。

2.5 建設および操業段階

建設および操業段階は、操業を開始できる時点までの「建設期間」、および操業開始後の「操業期間」とに分けて、その手順を下記に示す。

① 建設期間

事業許可を取得した後、実施主体は、「処分施設建設に係る各種申請等」を行い、「保安規定等の整備」を進める。また、前段階に着手していた「処分施設の詳細設計」を継続しつつ「地上および地下の処分施設の建設」を開始し、所要の段階ごとに「設工認等の申請」を行う。

建設の所要期間としては、地上施設の主要部分、並びに立坑、主要・連絡坑道、2 区画分の処分区画の建設を想

定し、既存の地下発電所等の建設期間を参考にして約 10 年と設定する。

② 操業期間

実施主体は、保安規定の申請、使用前検査等を経て「操業（廃棄体定置、緩衝材の設置および処分坑道の埋戻し）」を開始するが、同時に、処分区画の増設等「地下施設の建設」を継続する。操業中は「保安措置、記録の作成」を行い、必要のある度に「廃棄体の確認申請」、「地下施設の確認申請」等を行う。また、実施主体は、この期間に「施設閉鎖計画書の作成」を行い、閉鎖に先立って国にこれを確認申請する。

処分施設の操業期間のうち、廃棄体の定置作業を行う期間は、ガラス固化体を発生後の貯蔵期間（30 年～50 年間程度）を経過した後に順次速やかに処分していくものとし、貯蔵期間と同程度の 40 年とする。第 3.1 項で後述するガラス固化体 37,800 本を 40 年間で定置する場合、操業日数を 200 日として 1 日当たり平均で 4.7 本となり、これを丸めた 5 本を 1 日当たりの定置本数とする。定置方式に関しては、3.2.2 における地層処分概念において後述するような処分坑道内に廃棄体を横に定置する場合（横置き定置方式）と処分坑道底部に処分孔を掘り、その中に縦に定置する場合（縦置き定置方式）の 2 種類を考えた。

横置き定置方式の場合、定置作業と埋戻し作業が同時に行われるが、縦置き定置方式の場合、処分坑道内の全処分孔の廃棄体定置が終了した後で、処分坑道を埋め戻

Table 3 Major assumable act executed by implementing body during period for demonstration of investigation and disposal techniques in underground investigating facilities.

実施主体の行為	内 容
① 地下特性調査施設建設	地上詳細調査の結果特定された位置において、地下特性調査施設を建設する。建設は先進ボーリング調査に引き続き、立坑掘削、水平坑道掘削の手順で実施される。
② 地下特性調査施設を使用したサイト特性調査および処分技術の実証	地下における岩盤特性、水理特性、地球化学特性等を把握するサイト特性調査を地下特性調査施設内で実施する。また、深部地下掘削技術等の建設施工技術の実証、あるいは、オーバーパック、緩衝材、埋戻し材等のハンドリングや原位置での性能評価を行うことを目的とした調査および処分技術の実証を実施する。
③ 処分施設の基本設計	地上詳細調査および実証試験等によって得た情報／データに基づき、安全審査に向けた処分施設の基本設計を行い、基本設計図書を作成する。
④ 線量当量評価、安全評価	地上詳細調査および実証試験等によって得た情報／データに基づき、安全審査に向けた操業時および処分場閉鎖後の平常時評価および安全評価を行う。
⑤ 事業許可申請書および必要な添付書類の作成	事業許可申請に向け、処分施設の基本設計、線量当量評価、安全評価、その他必要な添付書類と共に、事業許可申請書を作成する。
⑥ 環境影響評価	環境影響評価法（平成九年法律第八十一号）の対象となる環境影響評価を実施し、「環境影響評価書」を作成する。
⑦ 処分事業化技術開発	水平坑道掘削技術、緩み領域の抑制と評価、止水／プラグ技術、埋戻し技術等の開発を行う。

すものとする。したがって、縦置き定置方式の場合は、処分坑道の埋戻し期間として約10年を設定する。

③ 建設および操業段階におけるその他の実施事項

建設および操業段階の全体を通じて、実施主体は「地質環境等の各種データの取得」を行い、取得データに基づき適時「性能評価」を実施して、人工バリア、天然バリア性能の確認を行う。また、建設施工中の岩盤計測、廃棄体定置終了区域の環境計測等、必要と考えられる「モニタリング」等を実施する。特に操業中においては、処分施設内の作業上の安全確保、並びに周辺地域の環境基準を満たすことを確認するため、大気汚染、水質汚染、騒音・振動、放射線等のモニタリングが必要である。

2.6 解体・閉鎖段階

本報告では、処分事業における「解体」「埋戻し」「閉鎖」を下記のように定義する。

【解体】: 処分場の操業終了までに建設・設置された「地上施設の解体・撤去」

【埋戻し】: 閉鎖時における地下施設内の坑道（主要・連絡坑道、アクセス坑道）の埋戻し行為

【閉鎖】: 坑道内の支保やモニタリング施設を除いた「地下施設の解体・撤去」、「地下施設内の坑道の埋戻し」「プラグの構築」

なお、「埋戻し」という用語は、操業段階における処分孔、処分坑道の「埋戻し」行為に対しても使用されるが、この場合は、一般的な行為としての用い方であり、上記で定義した処分事業における「埋戻し」とは区別する。

解体・閉鎖段階では、国による施設の開鎖確認を受けた実施主体が、「地上施設の解体・撤去」、「主要・連絡坑道、アクセス坑道等の埋戻し」を開始するが、それに先立ち、操業段階から継続されている性能確認、環境モニタリング等の結果に基づき、処分施設がその設計時の安全性を確保していることを確認する。また、必要と考えられる「モニタリング」等は引き続き所要期間実施することも考えられる。また、広く国民や地元関係者の理解や信頼を得るために、「処分場の解体・閉鎖に係る広報活動」等を継続する必要がある。

2.7 閉鎖後管理段階、事業廃止後段階

国による措置命令の後、実施主体は、別途検討される閉鎖後管理モニタリングを開始する。このモニタリングは、地質、水理地質環境等が、安全評価の前提として当初に設定していた状態に回復していく状況を確認する等のために行われるものと想定した。

閉鎖後管理モニタリングが終了した時点で、実施主体は事業廃止届を国に提出し、国による措置命令を受け、実施主体は、モニタリング施設を解体・撤去し、処分場の位置を示す標識類を設置する等、必要な措置を施した

後、跡地管理、記録の保存等を国の担当機関等に委ね、処分事業をすべて廃止するものとする。

本検討で設定した処分事業における実施段階、実施項目の概要をTable 4にまとめる。

3 地層処分の基本的な考え方

本節では、我が国における処分事業化のための技術的な検討を行うにあたって前提となる地層処分の基本的な考え方に関し、原子力委員会において示されている基本的な考え方・進め方[2,3]に基づき、さらに海外の処分計画の動向も踏まえ、我が国における処分施設の概念、安全確保方策（安全評価シナリオを含む）、閉鎖後管理などの考え方について検討した結果の概要を述べる。また、目標とする目標線量当量に関する海外状況を概観し、本検討での目標線量当量を暫定的に設定する。

3.1 高レベル放射性廃棄物の基本特性

高レベル放射性廃棄物とは、原子力発電所で発生する使用済燃料の再処理過程で発生する抽出残液を基液とする高レベル放射性廃液、あるいはそれをガラス固化したものであり、核分裂生成物（ストロンチウム-90、セシウム-137等）と、アクチニド（アメリシウム-241、ネプツニウム-237等の原子番号89から103までの元素）を含む。

核分裂生成物の多くは、半減期が比較的短く放射能レベルが高いのが特徴で、 β 線、 γ 線を放出し、発熱しながら放射能が減衰する。アクチニドの多くは、半減期が非常に長く α 線を放出する。Fig.1に、ガラス固化体の放射能と発熱量の時間変化を示す。

処分スケジュールの設定や施設の設計等に必要なガラス固化体の処分量については、2000年から2035年までに日本原燃（株）再処理施設から発生するガラス固化体（約31,300本）、サイクル機構の東海再処理工場から発生するガラス固化体（約3,000本）、および海外委託再処理の返還分（約3,500本）を考慮して、約37,800本と設定する。

3.2 地層処分の概念

我が国では、昭和51年に原子力委員会により高レベル放射性廃棄物の処分は「地層処分」に重点をおくという考え方方が初めて示され[7]、昭和62年の原子力長計では[8]、「高レベル放射性廃棄物は、安定な形態に固化した後、30年から50年間程度冷却のための貯蔵を行い、その後、地下数百メートルより深い地層中に処分する（「地層処分」と呼ぶ）ことを基本的な方針とする。」という考えが正式に提示された。現在では、地下の安定な地層中に高レベル放射性廃棄物を長期にわたり閉じ込めておく地層処分が、諸外国も含めた高レベル放射性廃棄物の基本概念となっている。Table 5に、諸外国の地層処分計画の現状

Table 4 Stage and item of implementation for HLW disposal business

西暦	実施段階	実施項目
2000	処分候補地の選定	実施主体設立 ①広報活動、公募、申し込み ②候補地選定のための調査（現地に立ち入らない調査） ③候補地要件への適合性評価
		実施主体による処分候補地の選定／国による確認 ①処分候補地での調査（地表調査、ボーリング調査） ②環境調査と予備的な安全評価 ③処分予定地の選定基準への適合性評価 ④処分施設の概念設計 ⑤土地取得・補償交渉
2010	処分予定地の選定 地上詳細調査	実施主体による処分候補地の選定／国による確認 ①地上からの詳細調査 ②環境影響評価 ③地下特性調査施設の建設 ④地上および地下特性調査施設での調査 ⑤処分技術の実証 ⑥処分施設の基本設計 ⑦線量当量評価、安全評価 ⑧事業許可申請書の作成
		実施主体による処分地の選定／国による確認／事業許可申請 ①処分場の詳細設計 ②安全審査への対応 ③国による安全審査
2025	処分場の設計・安全審査 建設	国による事業許可／処分場建設開始 ①地上および地下施設の建設 ②サイト周辺の整備
		廃棄体受入開始 ①操業と並行した地下施設の建設 ②廃棄体輸送・受入れ・検査、オーバーパックへの封入 ③地下施設への搬入および定置・埋戻し、処分坑道の埋戻し ④廃棄体確認、記録の管理
2035	操業* *約4万本の廃棄体を50年間で定置・埋戻し	廃棄体埋設終了 ①地下施設（主要坑道、連絡坑道、アクセス坑道）の埋戻しとプログラの構築 ②地上施設の解体・撤去
		施設の閉鎖終了 ①閉鎖後管理モニタリング ②事業廃止届けの提出 ③モニタリング施設の解体 ④標識類の設置 ⑤記録の保存と跡地管理を国に移管
2085	閉鎖後管理、事業廃止後	①広報活動 ②地域振興策の検討・実施 ③予算および確保資金の管理、人材育成 ④事業計画の策定、各種プロジェクト管理など
		処分事業全般

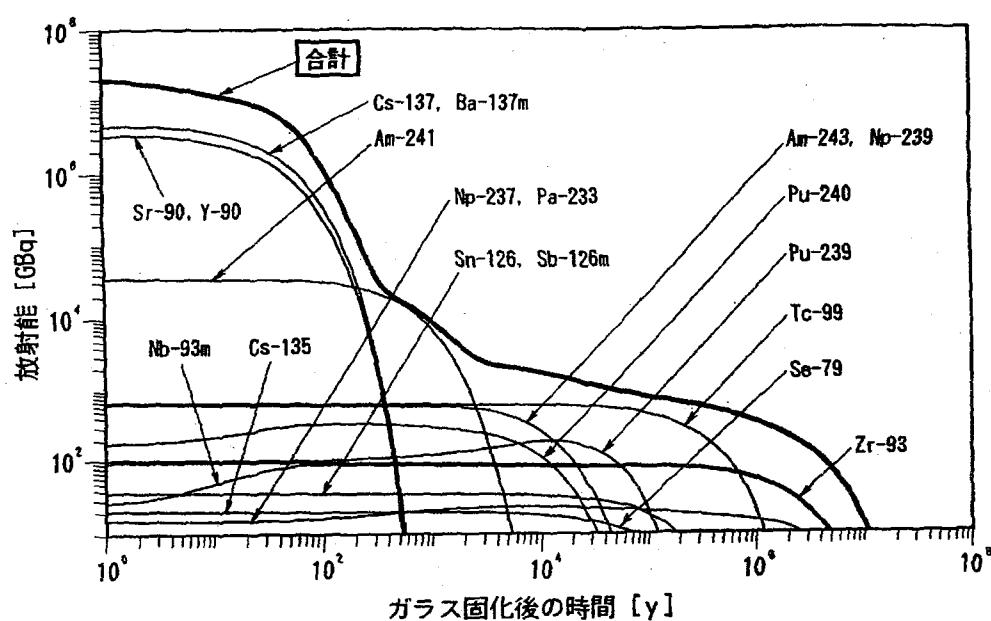
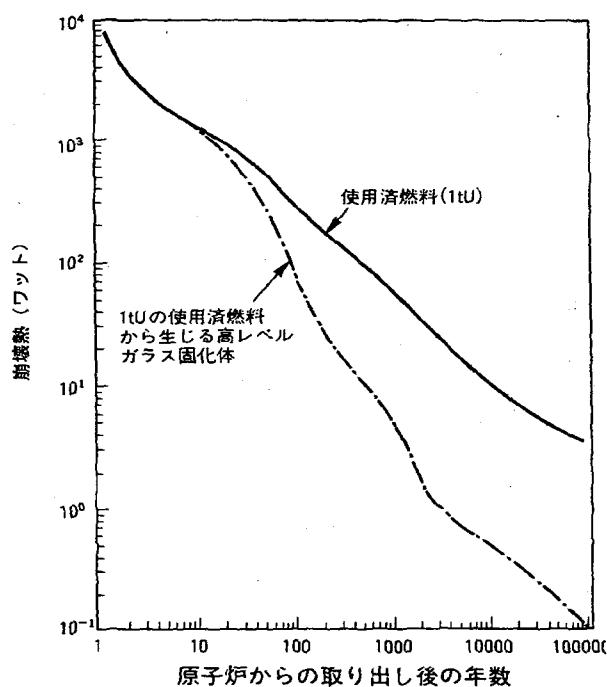
ガラス固化体の1本当たりの放射能の時間変化¹⁾使用済燃料およびガラス固化体の崩壊熱の時間変化²⁾

Fig.1 Period variation between radioactivity and collapse heat of vitrified wastes

を示し、Fig.2 に地層処分場の概念図を示す。

地層処分の方法については、平成元年の原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会による「地層処分の研究開発の重点項目とその進め方」[9]において、廃棄物の影響を直接受けることがないよう安定な深地層の空間を確保す

るとともに、このような深地層中に普遍的に存在する地下水によって放射性核種が生物圏に運ばれる可能性に対しては、「多重バリアシステム」を構築するという基本概念が示され、これが我が国における高レベル放射性廃棄物処分施設のバリアシステムの根幹となっている。

Table 5 Present status of geological disposal plan in major foreign countries

	アメリカ	カナダ	スウェーデン	ドイツ	スイス	フランス	ベルギー	イギリス
事業主体	連邦エネルギー省(DOE)	未定	核燃料廃棄物管理会社(SKB)	連邦放射線防護庁(BfS)	放射性廃棄物管理共同組合(NAGRA)(サイト選定まで)	放射性廃棄物管理機関(ANDRA)	放射性廃棄物・核分裂性物質国家機関(NIRAS/ONDRAF)	未定
事業主体の形態	政府機関	—	民間原子力発電事業者が共同出資	政府機関	原子力発電事業者と連邦政府による共同組合	産業省、研究省および環境省の3機関の管轄	政府機関	未定
廃棄物の形態	使用済燃料ガラス固化体	使用済燃料	使用済燃料	ガラス固化体使用済燃料	ガラス固化体使用済燃料	ガラス固化体	ガラス固化体	ガラス固化体
中間貯蔵期間	未定	約50年	約40年	30~40年	約40年	30年以上	50年以上	50年以上
候補地層	凝灰岩	結晶質岩	結晶質岩	—	結晶質岩または堆積岩	堆積岩、結晶質岩	粘土(アームクレイ)	未定
候補地	ヨカマウソテン(ネバダ州)	未定	未定	ゴアレーベンを全面的に見直し	北部結晶質岩系サトおよび堆積岩系サトを候補地点として調査を実施	未定	モル	未定
処分深度	約350m	500~1000m	約500m	660~900m	結晶質岩: 約1000m 堆積岩: 約800m	400~1000m	220m	未定
現状	1987 放射性廃棄物政策修正法によりヨカマウソテンを選定 1991 サト特性調査開始 1998 サト実現性評価	地下研究施設URLにおける研究を継続中 1994 環境影響評価書(EIS) 1996-1997 公聴会 1998 環境評価レビュー・セルの答申	HRLにおける研究を継続中。 1993年より、Storuman, Mälå, Nyköping, Östhammar、Oskarshamn、Tierp でフィーリング調査を実施、1995年 Storuman撤退、1997年 Malå撤退	1977 ゴアレーベンを候補サトとして選定 1979-1983 地上調査 1984 処分に関する安全研修報告書(PSE) 1986~ 採査孔掘削 1991 ゴアレーベン安全評価書 1998 ゴアレーベンでの活動停止	1977 ゴアレーベンを候補サトとして選定 1978 原子力法に対する連邦決議 1984 計画見直し(パリセイ報告) 1985 保証プロジェクト報告書(Gewähr) 1988 上記報告書を議会承認、堆積岩系サトの調査開始 1992 放射性廃棄物管理計画 1994 評価報告書(Kristalin I) 1998 堆積岩系サトのゴアレーベン調査開始	1990 計画見直し開始(パリセイ報告) 1991 地下研究施設候補サト公募開始 1993 8県を勧告 1995 4県3地点絞込(オーマルス県とムーズ県にまたがる地域、ガール県、ゲイエンヌ県) 1996 ANDRAが地下研究施設建設許認可申請 1997 公衆アンケート調査(公聴会)終了 1998 地下研究サト決定(堆積岩2地点)	1974~1989 モル地下研究所での処分の安全性評価研究 1989 安全評価書(SAFIR I) 1993 議会、燃料サイクル新政策声明 1994 深地層処分研究プロジェクト策定開始	従来、処分についての意志決定は将来世代に委ねるとの考えであったが、1995年の白書において地層処分が好ましいとの見解を初めて示す。
スケジュール(計画)	2001 大統領サト勧告 2002 NRCへ許認可申請 2010 処分場操業開始	成立性判断の後、実施主体を設立し、サイト選定を開始	2012 全体の10%の実証処分を開始 その後正式操業開始	見直し中	2000 サト存在の証明と連邦評議会(内閣)の承認 2000~ 国内処分場と国際共同処分の両方の検討 2050 国内処分場操業開始	2001 地下研究施設操業 2006 國家評価委員会、総括報告書提出	2000~2015 実廃棄物による実証試験 2025 王命で処分場許認可取得 2035 操業開始	
研究実施機関	連邦エネルギー省(DOE)	カナダ原子力公社(AECL)	核燃料廃棄物管理会社(SKB)	連邦放射線防護庁(BfS)	放射性廃棄物管理共同組合(NAGRA)	放射性廃棄物管理庁(ANDRA)	モル原子力研究センター(SCK/CEN)	未定
地下研究施設(場所)	ヨカマウソテン(ネバダ州)	URL(マニトバ州)	HRL(エスピボ島)	ゴアレーベン(ニーダーザクセン州)	GTS(ゴリヤセル)、Mt. Terri	東部の3候補地	HADES(モル)	未定
研究施設の岩種	凝灰岩	花崗岩	花崗岩	岩塩	花崗岩、頁岩	泥岩、花崗岩	粘土(アームクレイ)	—
研究施設の深度	300m	実験エリア: 240m、420m	465m	探査レベル: 840m	被り450m、300m	500m	220m	—

(SHP: 高レベル放射性廃棄物ホットフック(1997)、PNC: TN1450 96-006、原子力白書(H10)を加筆・修正)

3.2.1 多重バリアシステム

多重バリアシステムは、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材などの人工的な製作物（人工バリア）と、天然の地層（天然バリア）のバリア機能を多重に組み合わせることにより、高レベル放射性廃棄物を長期間にわたり、地下水による放射性核種の溶解と運搬を抑制することによって、廃棄物に含まれる放射性物質による影響が人間環境に及ばないようにするシステムである。多重バリアシステムの概念図をFig.3に示す。

3.2.2 処分施設の概念

本研究では、我が国で広く分布する堆積岩と結晶質岩の2種類の地質環境条件を設定し、固化体の定置方式としては、処分孔での縦置きと処分坑道での横置きの両方を想定し、処分施設の設計、安全評価などを検討している（「その3」以降で報告）。処分施設の概念図をFig.4に、処分場を構成する主な施設をTable 6に示す[5,6]。

3.3 高レベル放射性廃棄物処分の安全確保方策

3.3.1 安全確保の要件

我が国における高レベル放射性廃棄物の地層処分は、地下深部の安定な地層にガラス固化体を定置し、その周

辺をオーバーパック、緩衝材などの人工的なバリア機能と、その周辺の地質環境が有する天然のバリア機能を組み合わせた多重バリアシステムを構築することによりその安全性が確保される隔離型処分が基本となっている[1,7-9]。したがって、その安全確保のためには下記の要件が必要と考えられる。

- ① 隔離型処分の形態が損なわれないことを保証する長期に安定な地層を処分地として選定
- ② 人間侵入を排除するよう有用な地下資源の存在の可能性が低い場所を選定
- ③ 所定の機能が確保できるような人工バリアの設計／製作、および処分施設の設計／施工
- ④ 多重バリアシステムによる防護を前提とし、放射性物質の漏出、移行等を適切に評価
- ⑤ 処分場を閉鎖するにあたっては、所要の性能が得られる見込みであることを確認

3.3.2 安全評価シナリオ

高レベル放射性廃棄物処分の安全性を評価するには、廃棄物から漏出した放射性核種が人間環境に到達するプロセスを検討し、評価すべき安全評価シナリオを設定することが必要である。

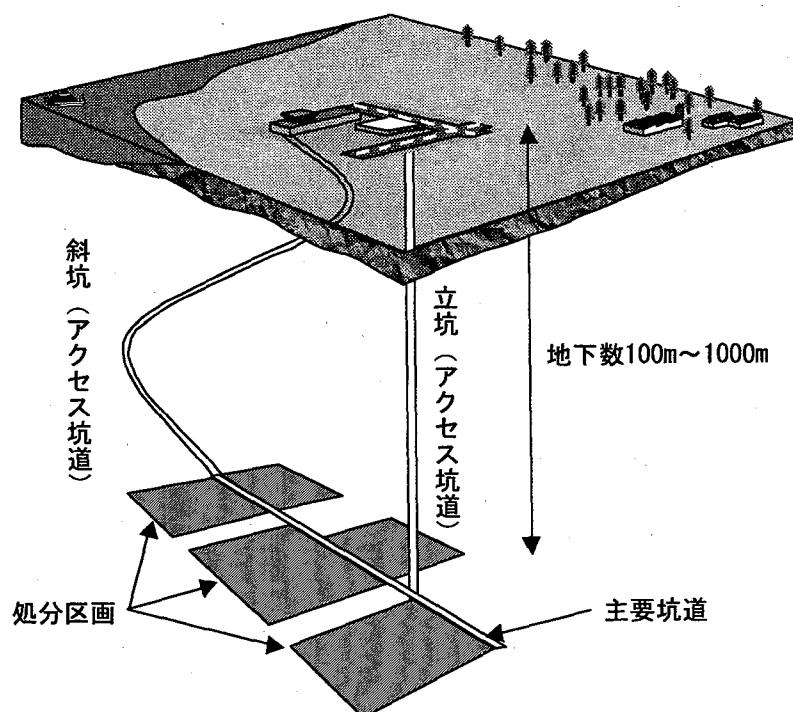


Fig.2 Conceptual diagram of site and facility for geological disposal

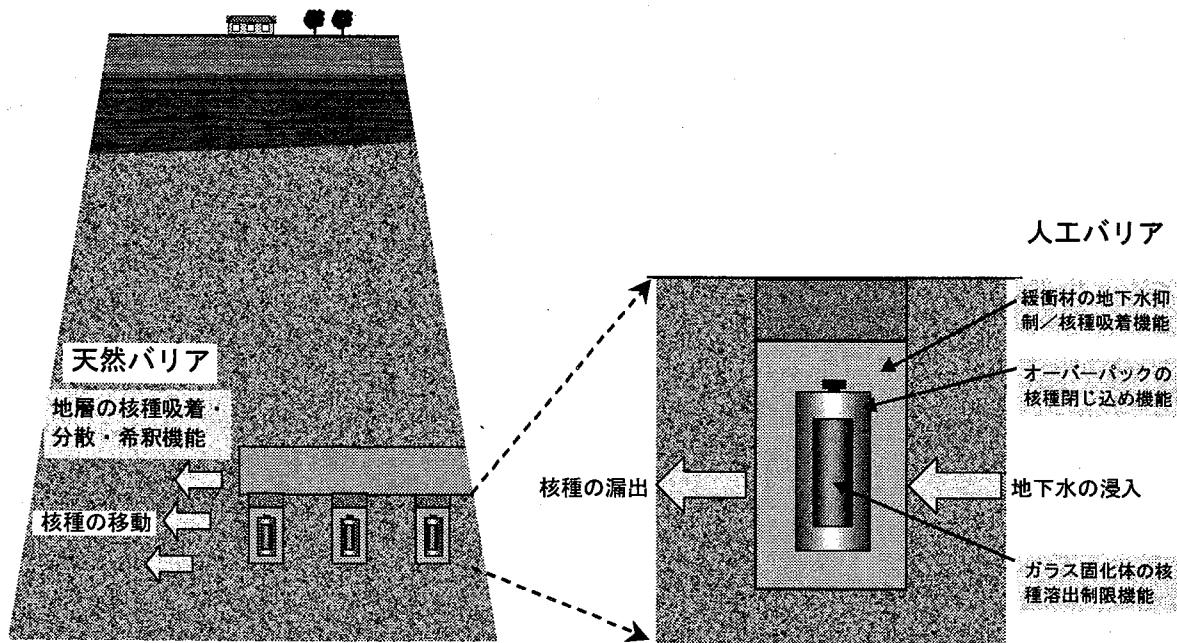


Fig.3 Conceptual diagram for multi-burriers system

安全評価で考慮するシナリオは、地下水シナリオと接近シナリオに分類される。地下水シナリオは、十分な時間経過の後に放射性核種が地下水に溶け出し、緩慢な地下水の移動に伴って地表まで運ばれるプロセスを記述するものであり、基本シナリオ、変動シナリオに分けられる。接近シナリオは、放射性核種が地下水による輸送プロセスを経ずに、何らかの原因で放射性廃棄物が直接人間環境に接近するプロセスを記述するものであり、天然事象シナリオと人間侵入シナリオとに分けられる。天然事象シナリオについては、このような事象が予想されるサイトはサイト選定の段階に除外できるものとし、定量的な評価は行わない。地下水シナリオと接近シナリオからなる安全評価シナリオをFig.5に示す。

3.3.3 線量当量限度

1) 施設操業時の線量当量限度

地層処分施設は、既存の原子力施設と同等の安全性を有するように建設し、操業することが必要である。したがって、施設操業時の目標線量としては、現行の原子力施設に対する安全審査指針類と同等の線量当量限度を設定することが妥当であると考えられる。これらの線量当量限度は、ICRP（国際放射線防護委員会）が1977年に勧告した値がベースになっており、公衆に対する実効線量限度として、 1 mSv/y が示されている。

2) 施設閉鎖後の線量当量限度

処分施設閉鎖後の安全評価を行う際には、線量当量限度の設定が必要となる。ICRP、IAEA等の国際機関、並

びに諸外国で検討されている高レベル放射性廃棄物処分に対する放射線防護の基準をTable 7にまとめる。

今後、我が国においても高レベル放射性廃棄物処分の安全評価のための線量当量限度等が規定されると考えられる。本報告では、Table 7に示す諸外国の基準と比較してもかなり厳しい $10 \mu \text{Sv/y}$ を基本シナリオと変動シナリオの目標とする線量当量限度として設定する。

一方、廃棄物が将来地表に露出するような事象が予測されるサイトは、サイト選定の段階で除外することとし、天然事象シナリオに関する定量的な評価は行わないで、目標線量は設定しない。人間侵入シナリオについても、サイト選定、処分場の管理等によって生起しないことを説明するが、処分の安全裕度を確認すること目的とした安全評価が実施されることも想定し、その場合の判断のめやすとしては上述の一般公衆線量当量限度 1 mSv/y を設定する。

3.3.4 安全評価の評価期間

操業時の評価期間は、平常時および異常時・事故時のいずれについても、廃棄体受入開始から廃棄体埋設終了までの50年とする。

閉鎖後の安全評価では、廃棄体の埋設後1000年間はオーバーパックの閉じ込め機能により放射性物質が漏洩しないと仮定する[10]。したがって、操業期間を50年とした場合、処分場閉鎖後950年後を安全評価の開始時期とする。終了時期は特に定めず、線量の評価値がピークを示す時点以降までを評価する。

Table 6 Composition of major disposal facilities

中央管理棟、入出門、守衛所		
地上施設	廃棄体定置坑道用換気設備	
	排水処理施設（坑道内地下水、雨水、生活排水）	
	受変電設備	
廃棄体・人工バリア関連施設	キャニスター受入・検査施設	
	オーバーパック受入・検査施設	
	廃棄体封入・検査施設	
	緩衝材製作検査施設	
	埋戻し材製作施設	
廃棄物処理施設		
資材置き場（支保材料、コンクリート骨材、他）		
掘削ズリ置き場		
地下施設	廃棄体搬入用坑道	
	換気用坑道	
	作業員用坑道	
	建設・閉鎖用坑道	
主要坑道		
処分区画	処分孔内 縦置き定置方式	連絡坑道
	処分坑道内 横置き定置方式	処分坑道
	換気施設	連絡坑道
	排水施設	処分坑道
地下共用施設	監視・通信・モニタリング施設	
	保安施設	

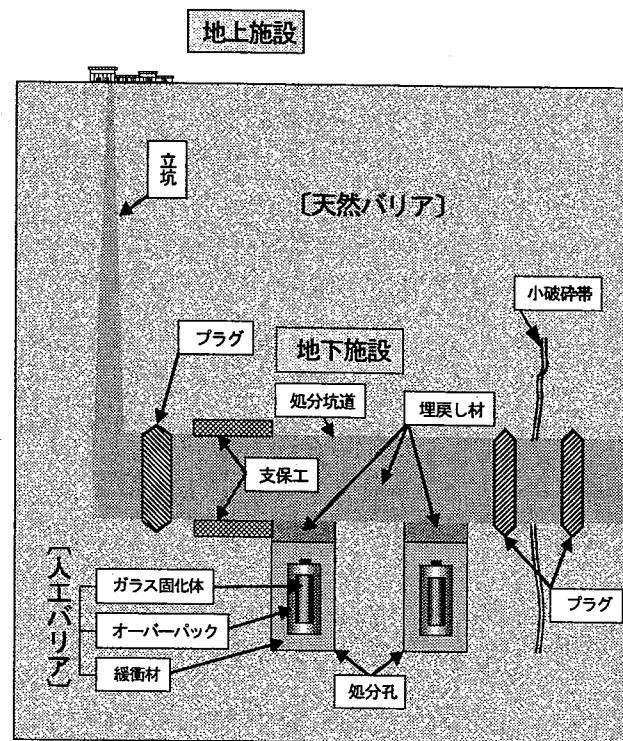


Fig.4 Conceptual diagram for disposal facilities

Table 7 Radiation protection standard for high-level radioactive disposal in major international authorities and foreign countries

機関／国名	目標／基準
OECD/NEA (1984)	個人最大リスク : $10^{-5}/y$
ICRP Publication 46 放射性固体廃棄物処分に関する放射線防護の諸原則 (1985)	個人最大線量 : $1 \text{ mSv}/y$ 個人最大リスク : $10^{-5}/y$
カナダ AECB 規則文書 R.104 (1987)	個人最大リスク : $10^{-6}/y$ (個人の最大線量に換算すると $0.05 \text{ mSv}/y$ に相当)
フランス 安全基本原則 III.2.f (1991)	個人最大線量 : $0.25 \text{ mSv}/y$ (将来生じる可能性が高いシナリオに対して)
ドイツ 放射線防護条例 part.1, 34 (1989)	個人最大線量 < $0.3 \text{ mSv}/y$ (あらゆる合理的なシナリオに対して)
北欧諸国協議文書 (1989)	個人最大線量 < $0.1 \text{ mSv}/y$ (将来生じる可能性が高いシナリオに対して) 個人最大リスク < $10^{-6}/y$ (突発的な事象によるシナリオに対して)
スペイン 原子力安全委員会声明 (1987)	個人最大線量 < $0.1 \text{ mSv}/y$ 個人最大リスク < $10^{-6}/y$ (いかなる状況でも)
スイス 規制文書 R-21 (1980)	個人最大線量 < $0.1 \text{ mSv}/y$ (合理的な確率シナリオにおいて、いかなる場合でも) 個人最大リスク < $10^{-6}/y$ (上記より確率の低いシナリオについて)

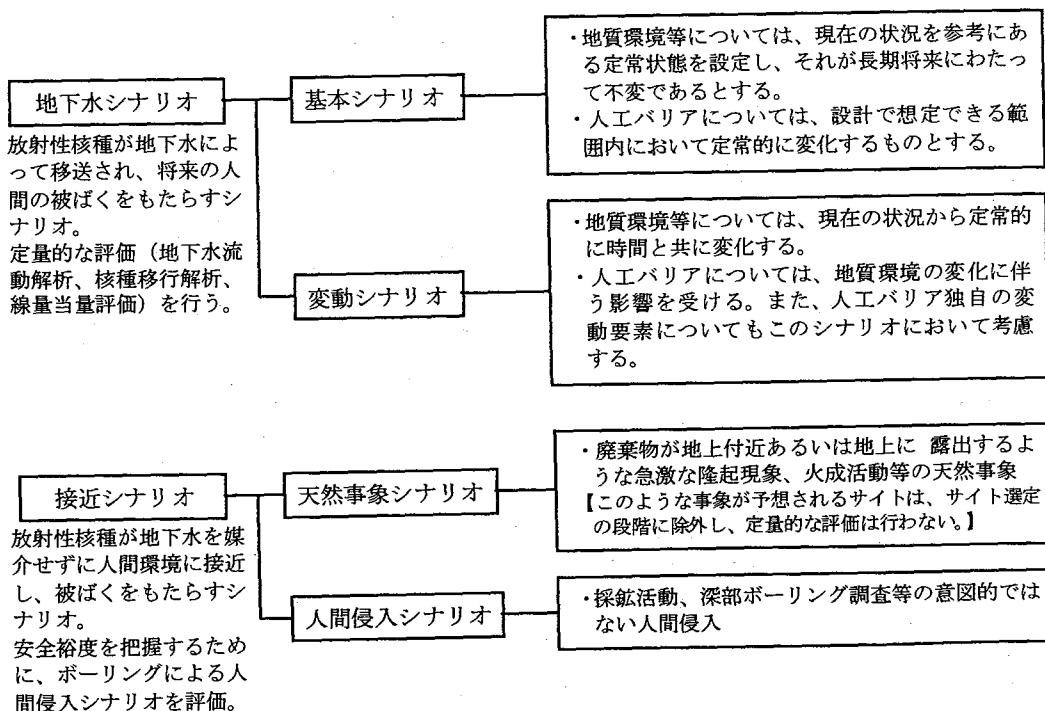


Fig.5 Safety assessment scenario

3.4 処分場の閉鎖後管理の考え方

廃棄体の定置・埋設が終了した後、操業から閉鎖に移行するために、地下施設である処分坑道、主要・連絡坑道、アクセス坑道等の埋戻し、並びに地上施設の解体・撤去が実施される。上記作業が終了した後、環境モニタリング等の結果に基づいて処分施設が設計時の安全性を確保していることが確認できれば、処分場の閉鎖となる。

Table 8に、閉鎖後の制度的管理の考え方に関する各国の考え方を調査した結果を示す。制度的管理の位置づけに関する各国の共通した認識は、閉鎖後に実施する制度的管理は処分の安全性確保方策の一部ではないという点である。平成4年8月の原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会「高レベル放射性廃棄物対策について」[11]によれば、閉鎖後の安全性については制度的な管理等に依存する必要のないことが国際的な考え方になっているとしながらも、閉鎖後の監視、記録の維持等の制度的管理の考

え方を導入することは、国民の理解を得る上で有力なものになり得るとの考え方から、技術的観点を踏まえつつ、我が国における制度的な管理の意義、内容、期間の考え方等について引き続き検討を行うこととしている。

本報告では、閉鎖後の制度的管理として、地質、水理地質環境等が、性能評価の前提として当初設定されていた状態に回復していく過程を確認するためのモニタリングを行うものとし、その期間としては暫定的に50年程度と設定する。

約50年を経過した時点で実施主体は事業廃止届を国に提出し、国による措置命令を受け、モニタリング施設を解体・撤去し、処分場の位置を示す標識類を設置する等、必要な措置を施した後、跡地管理、記録の保存等を国の担当機関等に委ね、国の指導に従い処分事業をすべて廃止するものと想定する。

Table 8 Basic concept for institutional control after closure of disposal facilities

機関／国名	規制法規等	制度的管理の考え方
IAEA	Safety Series, No.99, 1989	【安全原則2】 埋戻し後の処分場の安全性は、処分場の管理が終了した後、モニタリング・監視あるいはその他の制度的管理や修復行為の必要性に依存してはならない。
カナダ	R-104, 1987	【基本的規制要件：将来世代への負担】 安全性を示すために長期の制度的管理に依存してはならない。
アメリカ	40 CFR 191, 1985 (EPA) 10 CFR 60, 1987 (NRC)	【EPA : sec.191.14保証要件】 処分の封じ込め要件を保証するのに数100年を超える積極的な制度的管理によるべきでない。 積極的な管理は、100年程度とする。それ以上は信頼性が乏しくなる。 このような管理は、処分場が十分性能を有していることを確認するために実施する。
フランス	Goguel Report, 1987	【勧告として】 閉鎖後300年間サバに関する規制措置を取ることは、合理的である。(例えば防護区域の立入制限、活動規制)その後はマーカー等消極的な管理とする。
スイス	R-21, 1980	【防護目標2】 処分場は、いつでも数年内に閉鎖できるように設計しなければならない。閉鎖後、安全に係わる行為(監視、干渉)は全て停止できるようにしなければならない。
スウェーデン	Nordic Countries Basic Criteria, 1989	【安全原則：基準2】 将来世代への負担を限定するために、処分の安全性は長期の制度的管理や安全を確保するための救済策に依存してはならない。
ドイツ	Safety Criteria, 1983	【安全基準】 処分場閉鎖後、特別な管理とかモニタリングを必要としない処分とすべきである。 定期的に環境測定は実施されるかもしれないが、それらは地質の状態についての情報を与えるだけである。 廃棄体の状況に関しては、操業中の記録を残し、分散して保管しなければならない。
日本 (低レベル放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方, 1988)	原子力安全委員会；放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方, 1988	【段階的管理と管理期間の終了】 廃棄物の放射能レベルが安全上支障のないレベル以下になるまでの間、廃棄物埋設地の管理を行う。基本的には3段階がある。 被曝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。

4 処分技術の実証

わが国において高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化を円滑に進めていくためには、処分技術の「実証」という行為が処分に対する信頼を得る上で大きな役割を果たすものと考える。原子力長計(1994)[1]においては、「処分予定地の地下調査施設においてサイト特性調査および処分技術の実証を行う」という記述がなされ、また原子力委員会・高レベル放射性廃棄物処分懇談会(1998)においては[3]、処分選定プロセスがより細分化され、各段階毎に国による確認等の必要性が指摘されている一方、欧米各国では地下研究施設での実証的研究等が精力的に進められている。そこで、このような内外の状況を踏まえて、わが国における処分事業を円滑に進めるのに必要な処分サイトの調査技術、処分施設の建設・操業・閉鎖のための技術や安全性評価手法等の妥当性を実証する考え方について、特に処分の実施手順や実証の場などとの関連を考慮して以下の検討を行った。

4.1 実証の定義と範囲の設定

実証の定義はその内容によっていろいろな考え方があるため、先ず実証の定義と範囲とを次のように分類・設定することとした[12-14]。

- ① 「検証／Verification」：予測手法、解析コードが基本的な機能、数式通りに作成されていること。
- ② 「確認／Validation」：評価モデルを主対象としてプロセス・事象が適切にモデル化されていること。
- ③ 「実演／Demonstration」：機器、設備、施設等が実際の環境下でその機能を十分発揮できることを示すこと。
- ④ 「確認／Confirmation」：予測・評価モデル、設計・施工・操業・閉鎖技術等の適用性が示されること。

→ 「信頼性の構築/ Confidence Building」：信頼できる技術・結果として容認されるものを提示すること。

本報告においては、上述のような考え方を幅広くとらえて処分技術の“実証”と定義付け、以下のような検討を行った。

4.2 実証の対象

一連の処分事業で必要とされる手法・技術の中で、特に実証の対象として重要と考えられるものを次のように抽出した。

- ① 「サイト特性評価技術」：処分候補地、処分予定地の地質環境調査・評価技術（地質環境の長期安定性を含む）

- ② 「性能評価技術」：多重バリアシステムの性能評価技術（人工バリア・処分施設の健全性評価技術を含む）
- ③ 「設計・施工・製作技術」：人工バリア、処分場の設計・施工・製作技術、閉鎖技術
- ④ 「その他の技術」：モニタリング技術、品質管理・保証技術

4.3 実証の展開と方策

上述のような分類により抽出されたそれぞれの項目について、サイトの調査・選定から処分に至る各段階でのマイルストーンごとに、必要とされる調査検討の成果物や想定される「国の確認」等を念頭に、各段階において目標とすべき実証のレベルとその方策について、実証の場、期間、方法や社会情勢等との関連性も考慮して整理・検討を行い、さらに実証全体のフレームワークとして集約したものがFig.6である。その結果、処分技術の実証は、処分予定地の地下調査施設等で実施主体が主として行うものだけでなく、既存空洞や予定地以外の地下研究施設（国内および国外）において予定地選定前の段階から実施できる項目も多いことから、これらも積極的に活用した総合的な実証の推進が重要であることが再認識された。また、実証の目標とすべきレベルに関しては、実施主体、国のみならず地域住民、学識経験者も交えた広範な議論を踏まえたコンセンサスの枠組み作りが不可欠と考えられるところから、現在の技術レベルの分析や今後開発が必要とされる技術の目標設定をさらに詳細に行うとともに、わが国としての実証の考え方・プロセス等を早い段階で示して実証方策を確立しておくことが重要と考える。Fig.7は、処分予定地が選定された後にサイトで展開されることとなる実証の概念図を示したものである。

5 処分候補地／処分予定地選定要件の検討

処分事業の推進にあたっての当面の大きな課題は、処分候補地および処分予定地の選定作業をいかに円滑に進めるかということであり、そのためにも、これらの処分地選定に至る各段階における選定の拠り所となる要件を検討してみた。

5.1 処分候補地の選定要件

処分候補地の選定にあたっては、公募方式、申し入れ方式のどちらの方式を選択するにしても、「処分候補地の要件」をあらかじめ策定し、それに基づいて行われる必要がある。このような「処分候補地の要件」は、対象地点およびその周辺地域に最低限度要求される自然環境

条件および社会環境条件から構成される。自然環境条件は、地下深部の情報（地質媒体の水理特性、地下水の化学的性質等）が十分に調査把握される前の段階であるため、主として既存の情報（大縮尺の地形、地質、地質構造、水文、地史等）に基づき、処分候補地としての適性が大略的に判断できるものであることが必要となる。

また、処分候補地の選定は、基本的に実施主体の独自の判断によるものと考えられる。したがって、この段階での国の確認行為は、国が許可を与えるというようなものではなく、処分候補地の選定結果に対して、実施主体と地元との十分な協議をしたかということを国が確認できるようなレベルであると想定される。

5.2 処分予定地の選定要件

処分予定地の選定基準は、処分候補地において実施主体が地表調査やボーリング調査による地質・地下水調査を行い、その結果をもとに処分予定地としての適性を判断する際の指針として、最終的に国により策定されるものである。したがって、これらの基準は、処分予定地の選定結果を国が確認する際の目安ともなる。

一方、実施主体としては、上述のような基準に適合するような処分予定地を円滑に選定できるようにするために、国が策定する基準に対応する「処分予定地選定の要件」をあらかじめ策定しておき、地元あるいは国に対して選定結果について了承あるいは確認を得る上での技術的な取り所とする必要がある。

以上のような観点においてわが国で必要とされる情報のデータのレベルを考慮し、さらに米国 10 CFR Part960 の「可能性あるサイトの適格審査の段階」[15]などの諸外国のガイドラインを参考にして、わが国における「処分候補地の選定要件」および「処分予定地の選定要件」の試案的なものを検討した結果を Table 9 に示す。

6 処分事業化検討のための地質環境条件の設定

本研究では、現時点では我が国には特定の処分サイトが決まっていないため、我が国に多く存在するような地質環境条件を備えた処分サイトを仮想的に想定して、そこで処分場の設計、安全評価等の一連の処分事業を模擬した検討を行っている。

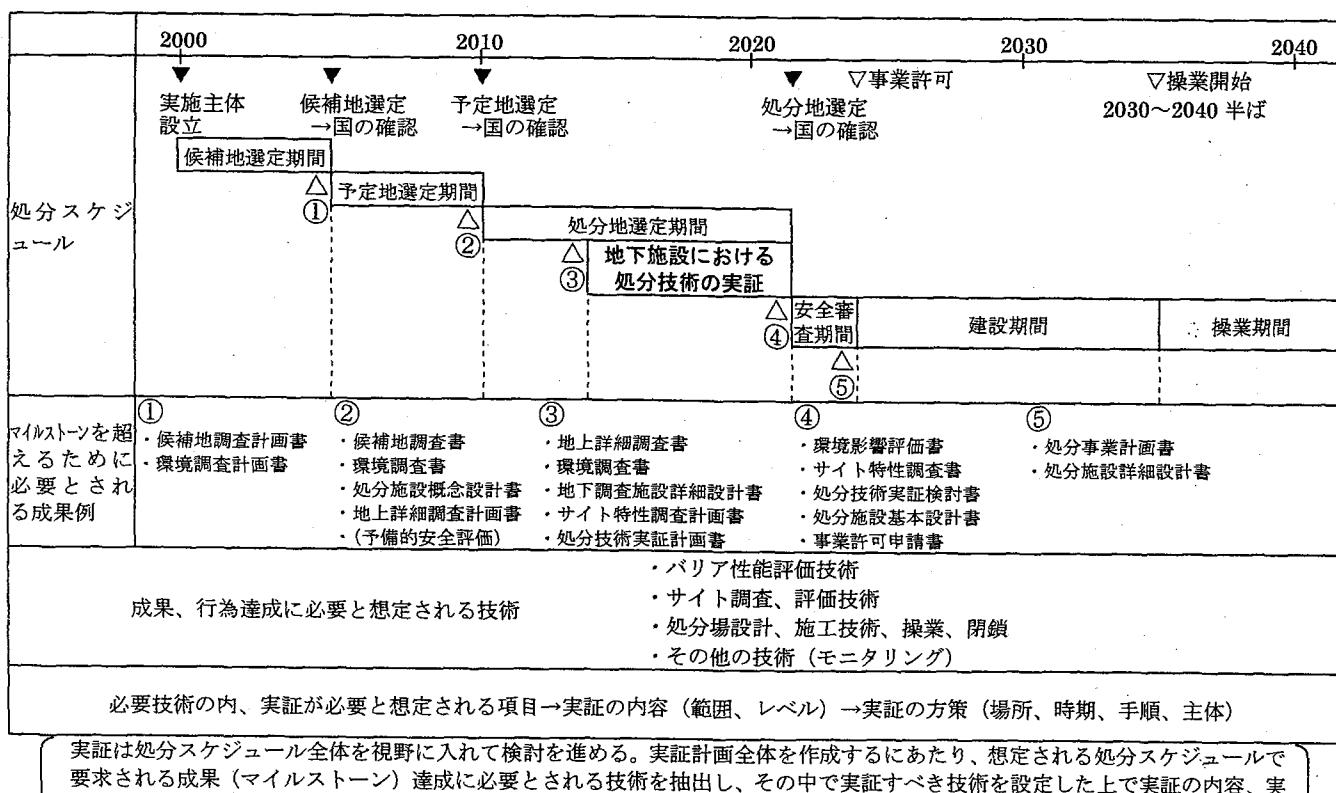


Fig.6 Framework of confidence building on execution techniques for high-level radioactive waste disposal

1 地表からの調査予測段階 (2010～2012年)

2 アクセス坑道掘削を伴う段階 (2013～2015年)

目標：

- ① 検証、確認された調査、評価手法を用いて、サイトスケールの地質／地質構造、水理地質構造モデルを推定するとともに、アクセス坑道掘削時の影響を予測する

目標：

- ① 前段階での推定とアクセス坑道掘削時の計測結果の比較による、サイトスケールの推定手法の適用性の確認
② 処分深度の岩体のブロックスケールの水理地質／地球科学／力学特性の予測
③ 処分技術（設計／建設）の確認と実演

3 実証エリアを利用する段階 (2015年以降)

目標：

- ① 人工バリア、閉鎖システムの品質確認と性能確認
② 処分技術（設計／建設・操業）の品質確認・実演
③ 性能評価モデル（各スケール）の適用性確認

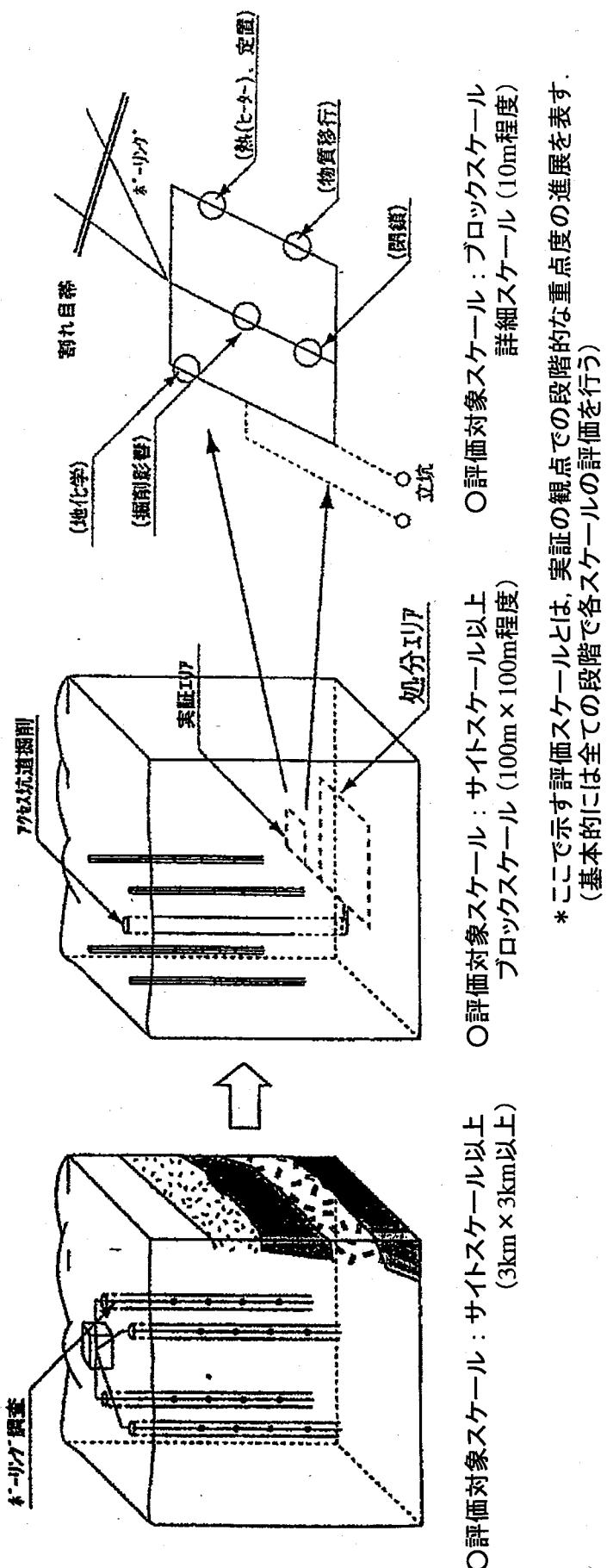


Fig.7 Conceptual diagram for demonstration of disposal techniques at planned disposal site

ここでは、その前提となる地質環境条件について、我が国に広く分布し、処分場母岩候補として有力視されている花崗岩と堆積岩からなる2地域をそれぞれ丘陵部、海岸部に位置するものとして、次のように設定した[10,16-27]。

花崗岩地域については我が国には様々な規模の破碎帯が一般的に発達することから破碎帯を処分地に取り込んだやや厳しい条件（実際には避けるように選ぶことが十分に考えられる）で場所を選定した。一方、堆積岩地域については、地下処分施設の建設にとって、比較的新しい地質年代である新第3紀の砂岩、泥岩の互層構造を成している海岸部を想定した。

地質環境条件を設定する項目は、「設計（建設・操業・閉鎖）において考慮すべき地質環境要件」、「人工バリア性能評価および安全評価において考慮すべき地質環境要件」および「天然バリア性能評価および安全評価において考慮すべき地質環境要件」を受けて選定した。また、物理的および力学的特性を示す項目としては、密度、弾性波速度、含水比、間隙率、一軸圧縮強度、せん断強度、

内部摩擦角、弾性係数およびポアソン比、さらに、熱特性を示す項目として、比熱、熱伝導率、熱膨張率が必要である。物性値データは、原則として、処分候補地選定段階で文献調査による一般値、処分予定地選定・処分地選定（地上詳細調査）段階では地表からの調査により得られた代表値分布幅（処分予定地選定段階）、平均値および標準偏差（処分地選定段階）、さらに地下施設での処分地選定段階では、地下施設を利用した原位置試験結果として得られるものと想定し、設定した。その他、初期地圧、地温分布、地下水位および間隙水圧分布、透水係数および水質条件を設定した。Table 10, Table 11 にこれらの主な物性値を示す。また、Fig.8, Fig.9 に本報告において各調査段階毎の調査データに基づいて設定されると想定した地質環境条件の概念図を示す。

なお、ここで設定された地質環境条件は、本事業化検討における設計、施工、評価等に関する一連の技術検討（「その3」以降の技術報告）において基本条件として用いられている。

Table 9 Requirements for selection of candidate disposal sites and planned disposal sites (tentative proposal)

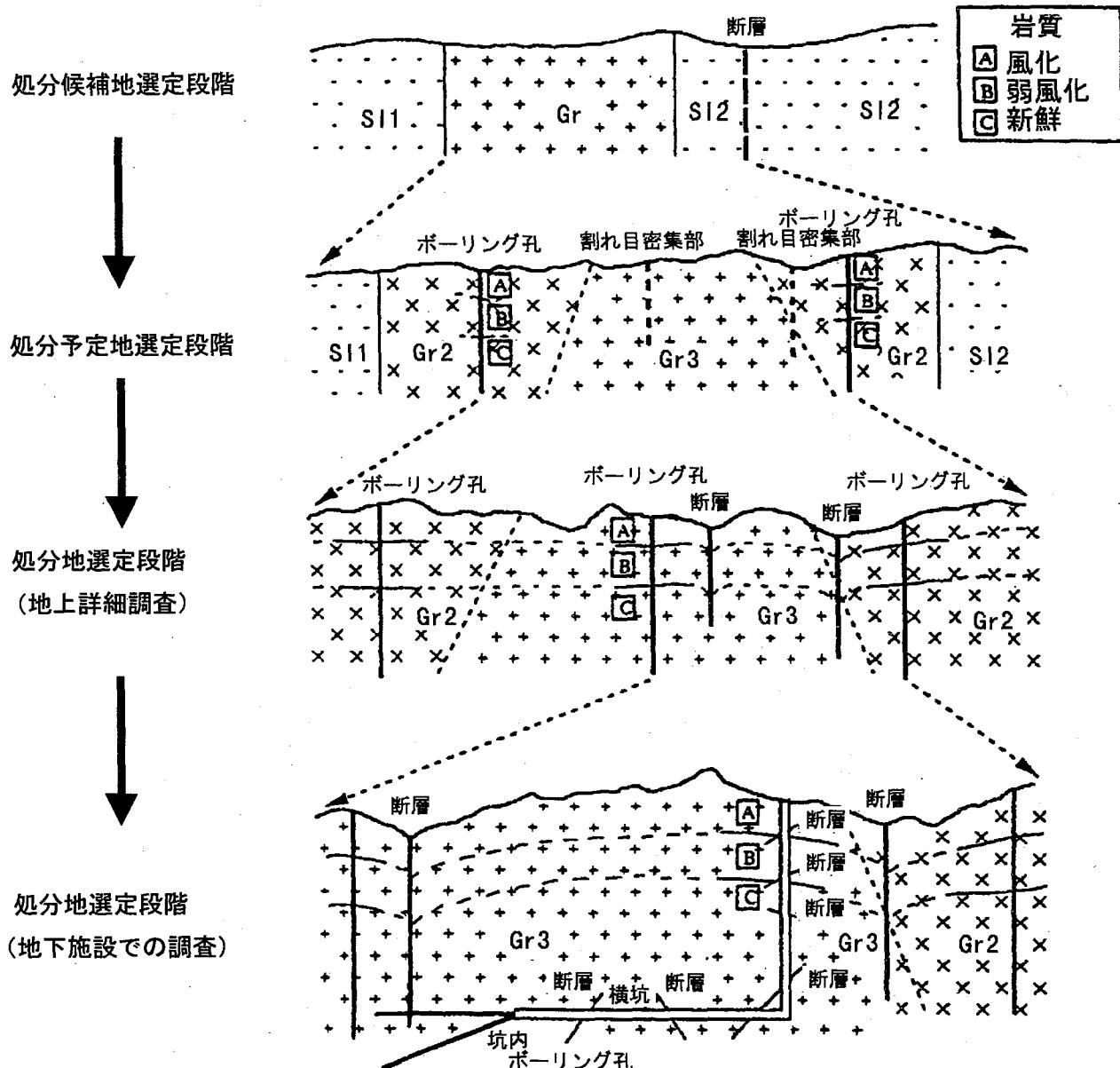
実施主体による処分候補地の要件（案）	国による処分予定地の選定基準（案）
(1) 地質環境の適合性 下記の自然現象の活動的な証拠が見られない地域であること。 ①隆起/侵食、②断層運動、③火山活動	(1) 地質環境の適合性 下記の自然現象の将来予測評価を実施し、これらの現象が発生しないか、発生しても影響が十分低い見通しを有する地域であること。 ①隆起/侵食、②断層運動、③火山活動
(2) 母岩の特性 十分な広がりおよび強度を持つ岩体が明らかに存在しない地域でないこと。	(2) 母岩の特性 十分な広がりを持ち、人工バリアシステムの使用を前提とした地層処分により、合理的に高レベル放射性廃棄物の閉じ込めと隔離の目的を達成することが可能な下記の地質環境条件を有する地域であること。 ①地質・地質構造、②地盤構造、③地熱構造、④水理地質構造、⑤水質形成機構
(3) 資源賦存状況 有用資源の存在が明らかな地域でないこと。	(3) 資源賦存状況 有用資源が存在しないか、あっても明らかに量および品位的に開発等の可能性が予想されない地域であること。
(4) 環境保護・重要史跡等 国および地方公共団体により保護・保全されてはいる区域であること。	(4) 環境保護・重要史跡等 国および地方公共団体により、保護・保全されてはいる区域であり、地元へ環境保全対策を講じても、処分場の立地が望めない所ではない地域であること。

Table 10 Values set in this study for dynamic, permeability and heat transfer characteristics at area of granite rock formation

		力学特性						透水特性		熱伝導特性	
		湿潤密度 (kg/m³)	1軸圧縮 強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ボ'アソン比	せん断強度 (MPa)	内部摩擦角 (度)	透水係数 (m/sec)	熱伝導率 (W/mK)	比熱 (J/kgK)	
候補地選定段階		1050～ 2900	15.8～ 282	0.0～77.5	0.06～ 1.12	3.7～35.0	48～61	$10^{-5} \sim 10^{-14}$	1.67～ 4.60	710～870	
予定地 選定 段階	岩質A	2400	13.7	4.9	0.45	1.8	51	1×10^{-6}	2.30	795	
	岩質B	2500	54.9	29.4	0.20	7.8	52	1×10^{-7}			
	岩質C	2600	82.4	39.2	0.30	12.8	51	1×10^{-8}			
処分地 選定 段階	岩質A	2400～ 2430 平均:2420	5.88～ 12.6 平均:13.9	4.31～ 7.26 平均:5.4	0.29～ 0.83 平均:0.48	予定地選定 段階と同じ	予定地選定 段階と同じ	6×10^{-6} ～ 7.2×10^{-8} 平均： 8.4×10^{-7}	1.63～ 3.31	774～850	
	岩質B	2500～ 2590 平均:2570	17.0～ 78.1 平均:54.7	8.83～ 47.4 平均:29.7	0.06～ 0.34 平均:0.22			2.2×10^{-6} ～ 7.2×10^{-9} 平均： 1.4×10^{-7}			
	岩質C	2580～ 2600 平均:2590	44.6～ 120 平均:82.3	30.6～ 52.9 平均:39.8	0.24～ 0.44 平均:0.33			1.3×10^{-7} ～ 8.9×10^{-10} 平均： 1.4×10^{-8}			

Table 11 Values set in this study for dynamic, permeability and heat transfer characteristics at area of sedimentary rock formation.

		力学特性						透水特性		熱伝導特性	
		湿潤密度 (kg/m³)	1軸圧縮 強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ボ'アソン比	せん断強度 (MPa)	内部摩擦角 (度)	透水係数 (m/sec)	熱伝導率 (W/mK)	比熱 (J/kgK)	
候補地選定段階		1050～ 2990	0～378	0.01～ 54.3	0.07～ 0.67	0.01～98.1	7～60	$10^{-5} \sim 10^{-9}$	0.84～ 2.93	710～870	
予定地 選定 段階	A層	1700	3.9	0.88	0.49	0.64	8.0	1×10^{-7}	1.67	837	
	B層	1700	4.9	1.07	0.48	0.83	10.0	5×10^{-8}			
	C層	1600	3.2	0.69	0.42	0.59	30	5×10^{-7}			
	D層	1900	10.8	2.26	0.40	0.88	30	1×10^{-8}			
処分地 選定 段階	A層	1530～ 1780 平均:1690	3.87～ 3.97 平均:3.93	0.90～ 1.08 平均:0.92	0.48～ 0.49 平均:0.49	予定地選定 段階と同じ	25.0	5×10^{-6} ～ 1×10^{-8} 平均： 1.0×10^{-7}	0.75～ 2.80	816～ 1088	
	B層	1510～ 2000 平均:1700	1.96～ 7.85 平均:4.90	0.46～ 1.82 平均:1.14	0.47～ 0.49 平均:0.48		26.0	1×10^{-7} ～ 7×10^{-9} 平均： 5.0×10^{-8}			
	C層	1120～ 2160 平均:1640	2.02～ 5.60 平均:3.25	0.33～ 1.34 平均:0.74	0.41～ 0.44 平均:0.42		31.4	2×10^{-6} ～ 6×10^{-8} 平均： 4.0×10^{-7}			
	D層	1710～ 1990 平均:1850	10.2～ 12.4 平均:11.3	1.92～ 2.42 平均:2.24	0.39～ 0.41 平均:0.40		30.6	1×10^{-6} ～ 7×10^{-10} 平均： 1.0×10^{-8}			



凡例 Gr : 花崗岩、SI1 : 粘板岩・チャート互層、SI2 : 砂岩・粘板岩・チャート・石灰岩互層

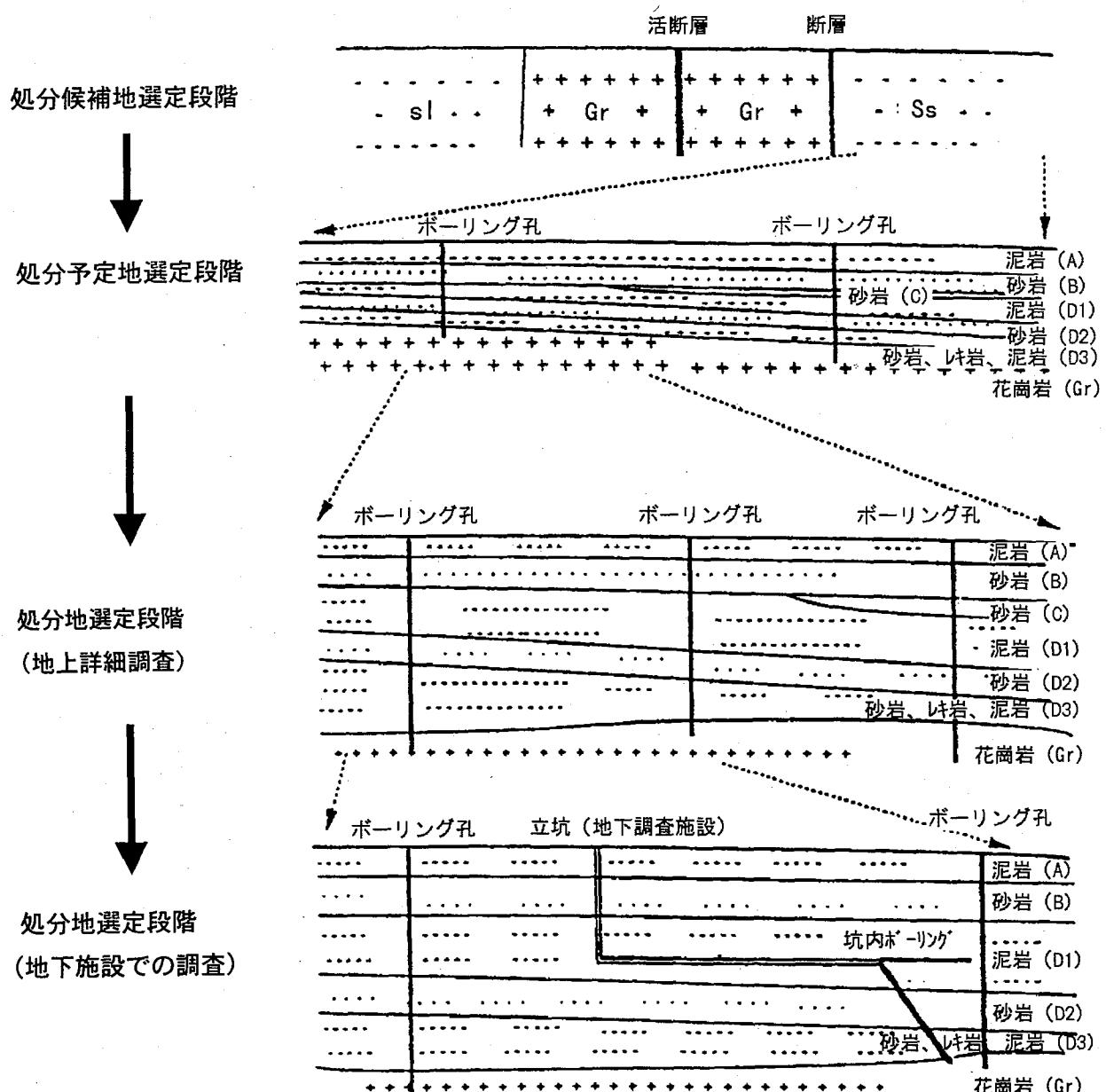
[調査段階の進展に伴い、地質構造特性や断層箇所の詳細化把握が図られる状況を表している]

Fig.8 Conceptual diagram for setting of a geological environment conditions in area of granite rock formation

7まとめ

本報告では、2000年頃に設立される実施主体により進められることになる「処分地の選定」、「処分場の建設・操業」、「処分場の解体・閉鎖」、「閉鎖後管理」などの一連の処分事業に関して、それぞれの段階に沿って考慮すべき処分事業の実施手順を技術的な観点から詳細に検討し、マスタースケジュール案を作成した。また、それらの当面のサイト選定などの処分事業化を円滑に進める上

で重要な地層処分の概念や安全確保方策、サイト選定にあたっての要件、さらには処分技術への信頼を得るために実証の考え方などについて取りまとめた。一方、この事業化技術検討の基本的な条件として必要な地質環境条件の設定も行った。これらの成果は、本研究における事業化技術検討の前提となる基本条件としての位置づけになるものであるが、今後の処分事業の実施に向けて、国あるいは実施主体などにおいて展開されていく処分方策の具体化に反映させることができれば幸いである。



[調査段階の進展に伴い、地質構造特性等の詳細化把握が図られる状況を表している]

Fig.9 Concept diagram for setting of a geological environmental conditions in area of sedimentary rock formation

参考文献

- [1] 原子力委員会：原子力の研究、開発および利用に関する長期計画 (1994).
- [2] 原子力委員会・原子力バックエンド対策専門部会：高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発等の今後の進め方について (1997).

- [3] 原子力委員会・高レベル放射性廃棄物処分懇談会：高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について (1998).
- [4] 動力炉・核燃料開発事業団：地層処分研究開発第2次取りまとめ第1ドラフト (1998).
- [5] 駒田広也 他：高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術(1)～(9)，日本原子力学会 1998 春の年会

(1998).

- [6] 電力中央研究所・電気事業連合会：高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術（1999）。
- [7] 原子力委員会：放射性廃棄物処理処分対策について（1976）。
- [8] 原子力委員会：原子力の研究、開発および利用に関する長期計画（1987）。
- [9] 原子力委員会・放射性廃棄物対策専門部会：高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の重点項目とその進め方（1989）。
- [10] 動力炉・核燃料開発事業団：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書－平成3年度－, PNC TN 1140 92-081 (1992)。
- [11] 原子力委員会・放射性廃棄物対策専門部会：高レベル放射性廃棄物対策について（1992）。
- [12] SKI/SSI/HSK: Regulatory Guidance for Radioactive Waste Disposal - An Advisory Document, (1990)。
- [13] IAEA: TECDOC-447, Radioactive Waste Management Glossary, (1988)。
- [14] Nirex (1995): Annual Report, Nirex, Harwell (1994-1995)。
- [15] US department of energy: 10 CFR part 960, "General guidelines for the recommendation of sites for nuclear waste repositories" (1984)。
- [16] 勘米良亀齋, 橋本光男, 松田時彦編：日本の地質, 岩波講座地球科学 15, 岩波書店 (1980)。
- [17] 久城育夫, 荒牧重雄, 青木謙一郎 (編)：日本の火成岩, 岩波書店 (1989)。
- [18] 宮城秋穂, 久城育夫 : 岩石学 II, 岩石の性質と分類, 共立出版 (1975)。
- [19] 桑原啓三 : 岩石の圧縮強度とせん断強度による分類 の試み, 応用地質特集号 (1984)。
- [20] 建設省水文研究グループ : 最新地下水学, 山海堂, (1980)。
- [21] 渡辺邦夫 : 山地地下水解析上の諸問題 (その3)－岩盤の透水性の評価に関する問題－, 地下水と井戸とポンプ, 26, (1984)。
- [22] 斎藤孝三, 渡辺和夫 : ダム基礎岩盤の地質別透水特性, 第 19 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集 (1987)。
- [23] 緒方信英, 西好一, 本荘静光, 志田原巧, 千木良雅弘, 楠建一郎, 工藤康二, 野崎隆司, 平田和太, 当麻純一, 栄木均 : 原子力発電所の風化軟質岩盤立地に関する耐震安定性評価, 電力中央研究所報告, 総合報告, U21 (1991)。
- [24] 木村重彦 : 水に含まれる放射性同位体による地中水の挙動解析, 農業土木試験場報告, 25 (1986)。
- [25] 馬原保典 : 溶存希ガスを用いた地下水年代測定法の開発—溶存希ガス地下水調査法の体系化—, 電中研研究報告, U97052 (1998)。
- [26] 田中和広, 千木良雅弘 : 我が国の地質環境の長期的変動特性評価 (その1)－将来予測の考え方と課題－, 電中研研究報告, U96027 (1997)。
- [27] 田中和広, 宮川公雄, 千木良雅弘, 鈴木浩一, 駒田広也, 河西基, 馬原保典, 五十嵐敏文, 田中靖治, 安池慎二 : 深部地質・地下水環境の特性評価－結晶質岩を対象とした調査・評価法の体系化－, 電中研報告, U32 (1998)。