

# 安全確保構想 2009

安全な地層処分の実現のために

2010年3月  
原子力発電環境整備機構

2010年3月

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

〒108-0014 東京都港区芝4丁目1番地23号 三田NNビル2階  
原子力発電環境整備機構 技術部  
電話 03-6371-4004 (技術部) FAX 03-6371-4102

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Science and Technology Department  
Nuclear Waste Management Organization of Japan  
Mita NN Bldg, 1-23, Shiba 4-chome, Minato-ku, Tokyo 108-0014 Japan  
Phone +81-3-6371-4004 Fax +81-3-6371-4102

©原子力発電環境整備機構  
(Nuclear Waste Management Organization of Japan) 2010

# 安全確保構想 2009

～安全な地層処分の実現のために～

2010年3月  
原子力発電環境整備機構



# 「安全確保構想 2009～安全な地層処分の実現のために～」

## 目 次

1.	はじめに	1
1.1	背景と本報告書作成の目的	1
1.2	本報告書の概要	1
1.3	本報告書の構成	3
2.	地層処分事業における安全確保の考え方	5
2.1	地層処分の特性	5
2.2	わが国の地層処分事業の前提	6
2.2.1	地層処分の対象とする放射性廃棄物	6
2.2.2	わが国の地質環境の特徴	7
2.2.3	三段階のサイト選定と公募	8
2.2.4	長期間にわたる事業	9
2.2.5	段階的に整備される安全規制	10
2.2.6	役割分担による技術開発	11
2.3	安全確保の目標	11
2.3.1	閉鎖後長期の安全確保	12
2.3.2	事業期間中の安全確保	17
2.4	安全確保の目標を達成するための方針	18
3.	方針1「安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進」	20
3.1	事業全体を俯瞰した計画の策定	21
3.2	閉鎖後長期の安全性の繰り返し確認	22
3.3	事業期間中の安全対策と環境保全	23
3.3.1	事業期間中の安全対策	23
3.3.2	環境保全	23
3.4	方針1にかかわる方策の具体的展開	24
3.4.1	サイト選定および安全審査の段階	25
3.4.2	建設～事業廃止までの段階	32
4.	方針2「信頼性の高い技術を用いた事業推進」	37
4.1	計画的な技術の整備	38
4.1.1	技術開発課題の体系的な整理	39
4.1.2	信頼性向上に向けた技術開発への取り組み	41
4.1.3	技術の実証	44
4.2	技術に関する品質保証の的確な実施	46
4.2.1	地層処分における品質保証の考え方	46
4.2.2	原環機構における品質保証への取り組み	46
4.3	原環機構の組織および国内外協力体制の整備	48
4.3.1	人材の確保・育成・技術継承	48

4.3.2	国内外の関係機関との協力体制の整備と技術移転.....	49
5.	方針3「安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取り組み」.....	51
5.1	事業の各段階における意思決定にかかわる情報提供.....	52
5.2	安全性や技術の信頼性にかかわる日常的な情報提供と対話活動.....	53
5.2.1	現在の具体的な取り組み.....	54
5.2.2	今後の取り組み.....	55
5.3	将来世代が適切な判断を行うための環境整備.....	56
6.	おわりに.....	58

## 付録

付録1	安全確保に向けたロードマップ（詳細版）.....	付1-1
付録2	原環機構設立以降の地層処分技術の整備状況.....	付2-1
付録2.1	概要調査地区選定に必要な技術の確立.....	付2.1-1
付録2.2	精密調査地区選定に必要な技術の計画的な準備.....	付2.2-1
付録2.3	事業期間を通して必要とされる技術の整備状況.....	付2.3-1

## 参考文献

## 用語集

## － 図目次 －

図 1.3-1 「安全確保構想 2009」の全体構成 .....	4
図 2.2-1 第一種特定放射性廃棄物および第二種放射性廃棄物のイメージ（形態）...	6
図 2.2-2 三段階のサイト選定過程 .....	9
図 2.3-1 サイト選定段階で提示するセーフティケースにかかわる文書のイメージ..	14
図 4.1-1 技術開発スケジュールと基盤研究開発との関連 .....	38
図 4.1-2 技術開発課題の体系的整理の手順 .....	39
図 4.1-3 基盤研究開発機関と緊密に連携した技術開発の取り組み .....	41
図 4.1-4 NUMO-GIS による日本全国の地質と第四紀火山の分布の表示 .....	42
図 4.1-5 処分場概念構築支援システム .....	42
図 4.1-6 LBNL 構内における現地調査の実施状況 .....	43
図 4.1-7 緩衝材の運搬・定置技術の開発状況 .....	44
図 4.1-8 ボーリング調査などの実施による地質環境モデル（地質モデル）の更新例	45
図 5.2-1 ホームページで提供している活断層や第四紀火山の存在の例 .....	54
図 5.2-2 ナチュラルアナログを用いた説明の例 .....	54
図 5.2-3 地層処分の概念や安全性を体感できる実規模施設（予定図） .....	55
図 5.2-4 バーチャル処分場の画面イメージ .....	56

## － 表目次 －

表 3.4-1 安全確保に向けたロードマップ .....	36
表 4.1-1 開発課題の整理例 .....	40

# 1. はじめに

## 1.1 背景と本報告書作成の目的

原子力発電環境整備機構（以下、「原環機構」という）は、2000年10月、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（以下、「特廃法」という）に基づき、高レベル放射性廃棄物の地層処分を行う実施主体として設立された。その後、2007年の同法改正に伴い、TRU廃棄物<sup>1</sup>の一部も地層処分の対象とされたことを受け、原環機構はこれを事業の対象に加えた。原環機構の業務は、地層処分を事業として安全に行うことであり、その最初の取り組みは、国民の理解を得て、適切な処分施設の建設地を選定することである。この選定については、特廃法により、文献調査から開始し、三段階の選定過程、即ち①概要調査地区選定、②精密調査地区選定、③処分施設建設地選定を経て行うこととされている。

原環機構は、2000年の設立以降、事業の安全な実施に向けた技術の整備に努めるとともに、今日まで様々な立地・広報活動を展開してきたが、市町村からの応募を受け文献調査を開始する状況には至っていない。現在、原環機構の総力を挙げて、国や関係機関と連携して、文献調査開始に向けて国民への理解活動などに取り組んでいるところであるが、地層処分事業の安全性にかかわる問題への理解は必ずしも十分とはいえないと認識している。

このような状況を鑑みて、原環機構は「2010年技術レポート」（仮称）を作成し、原環機構が事業を推進するに当たって基本としてきた安全確保に向けた取り組み方針を、広く提示することとした。また、地層処分の実現に必要な技術の整備状況についても、国内の関係する研究機関の成果を含めて詳細に記述する予定である。

本報告書は、2010年技術レポートの核である「安全な地層処分を事業としていかに実現するか」という安全確保に向けた取り組み方針を先行的に取りまとめたものである。

## 1.2 本報告書の概要

地層処分の安全確保の目標は、廃棄物に起因する影響が処分場閉鎖後の遠い将来にわたって人間とその生活環境に有意な影響を及ぼさないようにすること、閉鎖に至るまでの事業期間中においても周辺住民や作業員の安全を確保することである。従って、原環機構が進める地層処分事業における安全確保には、「閉鎖後長期の安全確保」と「事業期間中の安全確保」の二つの目標を達成することが含まれる。

「閉鎖後長期の安全確保」については、

---

<sup>1</sup> TRU廃棄物：再処理工場やMOX燃料工場の操業および解体に伴って発生する低レベル放射性廃棄物。ウランより原子番号が大きい放射性核種（TRU核種：Trans-uranic nuclides）を含む廃棄物であることからTRU廃棄物と呼ばれる。このうち、TRU核種などを一定量以上含むものなどが地層処分の対象となるが、原環機構はこれを「地層処分低レベル放射性廃棄物」と呼ぶこととしている。

- ①適切なサイト選定と確認
- ②処分場の設計施工などの適切な工学的対策
- ③地層処分システムの長期安全性の評価

という三つの実施方策（以下、「安全確保策」という）を着実に実施することが求められる。これらの三つの安全確保策を適切に実施することにより地層処分の安全性が確保できるということは、1999年に核燃料サイクル開発機構（以下、「サイクル機構」という）から国へ提出された「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—」（以下、「第2次取りまとめ」という）で示されており、原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会によるレビューにおいてその妥当性が評価されている（原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会，2000）が、本報告書では、100年間にわたる事業の流れの中でこれら三つの安全確保策をいかに実施し、安全性を確保していくかについて事業者の視点で取りまとめた。

また、調査・建設・操業・閉鎖段階などの「事業期間中の安全確保」については、閉鎖後長期の安全確保のための上記三つの安全確保策と放射線安全・一般労働安全の確保と、周辺環境の保全を両立させるよう取り組む考えである。

地層処分事業は長期間にわたる事業であり、技術的な安全への取り組みとともに、国民の理解を得ながら進めることが求められる事業である。原環機構は、最新の知見を踏まえた信頼性の高い技術を用いてサイト調査、建設、操業、閉鎖などを行い、各段階において安全性を繰り返し確認し国民に提示しながら、安全性への国民の信頼感を醸成しつつ事業を推進することが重要と考えている。このため、以下の三項目を安全確保に向けた事業の推進方針としている。

**方針1：安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進**

**方針2：信頼性の高い技術を用いた事業推進**

**方針3：安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取り組み**

本報告書では、事業全体を俯瞰した「安全確保に向けたロードマップ」（以下、「安全確保ロードマップ」という）を作成し、安全な地層処分を実現する上で必要な、各段階、各分野の事業目標や、目標達成の要件、主要な実施事項などを整理して示した。これにより、原環機構が事業をどのように進め、どのように安全を確保していくのかを概括的に示す。

この安全確保ロードマップは、文献調査開始に向けた現時点におけるものであり、今後事業の進展に応じて適宜内容を更新していく。また、地層処分事業を推進していく上で解決していく必要のある様々な技術的課題に関して、現時点での原環機構の考え方についても本報告書に示した。

### 1.3 本報告書の構成

本報告書は五つの章から構成されている。

第2章では、地層処分事業における安全確保の考え方として、原環機構が掲げる地層処分事業の目標とその実現のための安全確保策を説明する。その上で、原環機構が安全な地層処分事業を推進していくための三つの方針を提示する。

第3章では、方針1「安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進」について紹介し、この方針を具体化する方策を示す。また、安全確保ロードマップとそれに基づいた事業計画の概要についても示す。

第4章では、方針2「信頼性の高い技術を用いた事業推進」について紹介し、この方針を具体化する方策を示す。

第5章では、方針3「安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取り組み」について紹介し、この方針を具体化する方策を示す。

第6章では、本報告書の結論を整理し、2010年技術レポートの取りまとめに向けた考え方を述べる。

付録1では、第4章で示した各段階の具体的な実施事項を記述した安全確保ロードマップの詳細版を添付した。

付録2では、原環機構が設立された2000年以降の技術開発により、安全確保構想を支える技術の信頼性が向上し、原環機構が事業を着実に遂行できる準備が整っていることを、いくつかの代表的な事例によって示した。

図1.3-1に本報告書の全体構成を示す。

第1章 はじめに  
 第2章 地層処分事業における安全確保の考え方

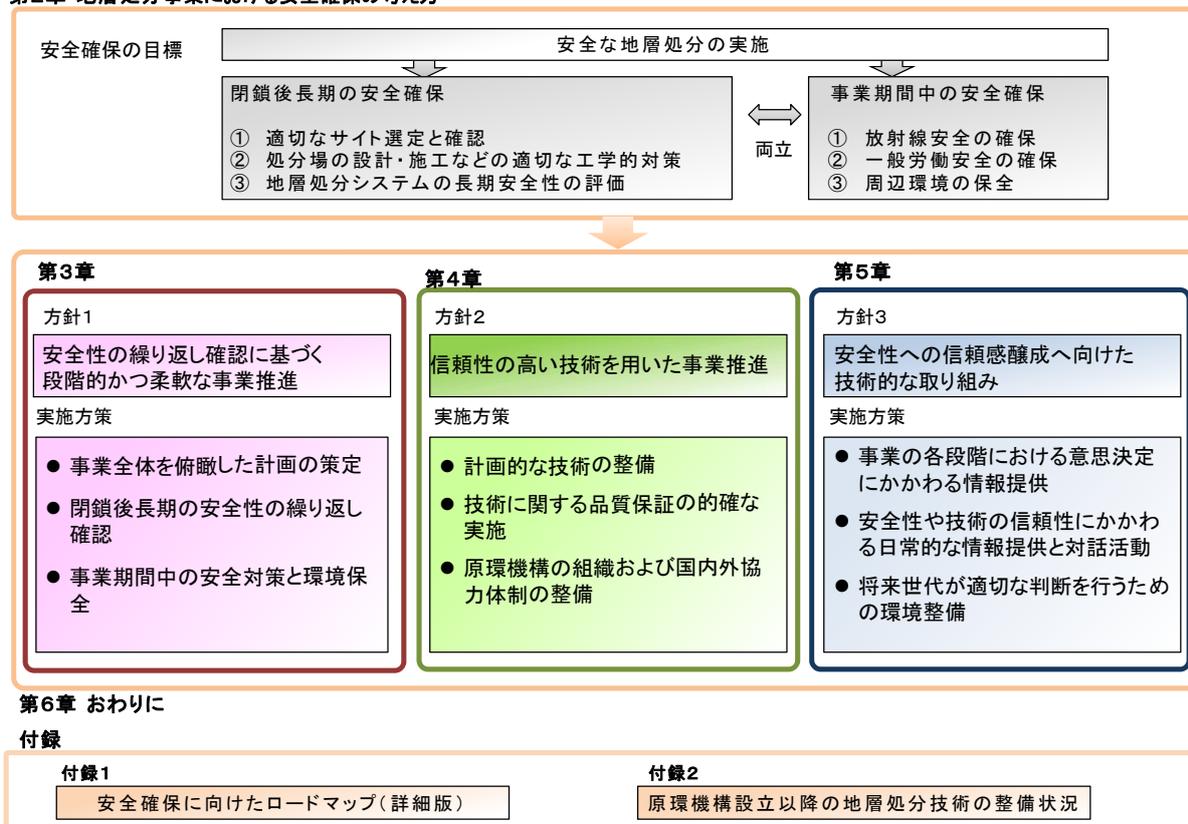


図 1.3-1 「安全確保構想 2009」の全体構成

## 2. 地層処分事業における安全確保の考え方

### 2.1 地層処分の特性

高レベル放射性廃棄物などの地層処分対象廃棄物は、放射能レベルが高いものや半減期が極めて長い放射性物質を多く含むため、長期間にわたって人間とその生活環境に有意な影響を及ぼす潜在的な危険性を有している。そのような危険性の顕在化を回避するためには、廃棄体を人間環境から半永久的に隔離する処分方法が最も有効であるという考え方が議論され、国際的にも定着している（OECD/NEA, 1995）。これまでに、宇宙空間、海洋底下、極地の氷床、深部の地層などに処分する概念が検討されてきたが、現在では、多くの国で深部の地層を利用する地層処分が最も安全で有効な方法と考えられている。その理由は、地層処分の以下のような好ましい特性による（OECD/NEA, 1984）。

- ・ 人間の継続的な関与なしに長期的に隔離することで安全が確保できること（受動的安全性）。
- ・ 長期にわたる安全性を評価できる見通しがあること。
- ・ 自国の領土内において実現可能であること。
- ・ 処分の実施に際して既存の技術や知見が利用できること。
- ・ 一旦処分された廃棄物の回収が何らかの理由で必要となった場合、技術的に対応が可能であること。

このように、地層処分は高レベル放射性廃棄物などを隔離し、受動的安全性を確保するために適した特性を有するが、固有の課題も存在する。具体的には、地層処分ではこれまで実施されてきた大規模な土木事業や原子力事業などとは異なる以下のような課題があげられる。

- ・ 安全性の評価を極めて長い時間スケールに対して行わなければならない。
- ・ 天然の地層という不均質で大きな空間領域を対象とする必要がある。
- ・ 事業が長期にわたるため事業を取り巻く環境が変化する可能性がある。
- ・ 世界中で地層処分を実現した国は限られており、経験の蓄積が限られている。

地層処分の安全性を十分に確保するためには、これらの特性を考慮し、地層処分固有の課題を十分に認識した上で、多くの分野の関係者がかかわる複雑な事業を合理的に推進していくことが必要である。

以上のような問題に対して、原環機構がいかに安全性を確保しながら事業を推進していくかに関しての基本方針や、展開の具体的方策については、2.4, 第3章, 第4章, 第5章, および付録に記載する。

## 2.2 わが国の地層処分事業の前提

2002年12月に原環機構が公募を開始して以降、特廃法および核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下、「炉規法」という）の改正や安全規制に関する議論の進展など、地層処分事業を取り巻く環境には様々な変化があった。そこで、本節では、安全確保構想を実現していく上で考慮すべきわが国の地層処分事業の前提となる事項を整理する。

### 2.2.1 地層処分で対象とする放射性廃棄物

2007年の特廃法の改正により、国の基本方針として、高レベル放射性廃棄物（特廃法では「第一種特定放射性廃棄物」）に加えて、使用済み燃料の再処理などに伴って発生する半減期の長い核種を一定量以上含む低レベル放射性廃棄物（特廃法では「第二種特定放射性廃棄物」）が地層処分対象の廃棄物（以下、「地層処分低レベル放射性廃棄物」という）として定義され、地層処分事業の対象に追加された。図2.2-1にこれらの廃棄物のイメージ（形態）を示す。

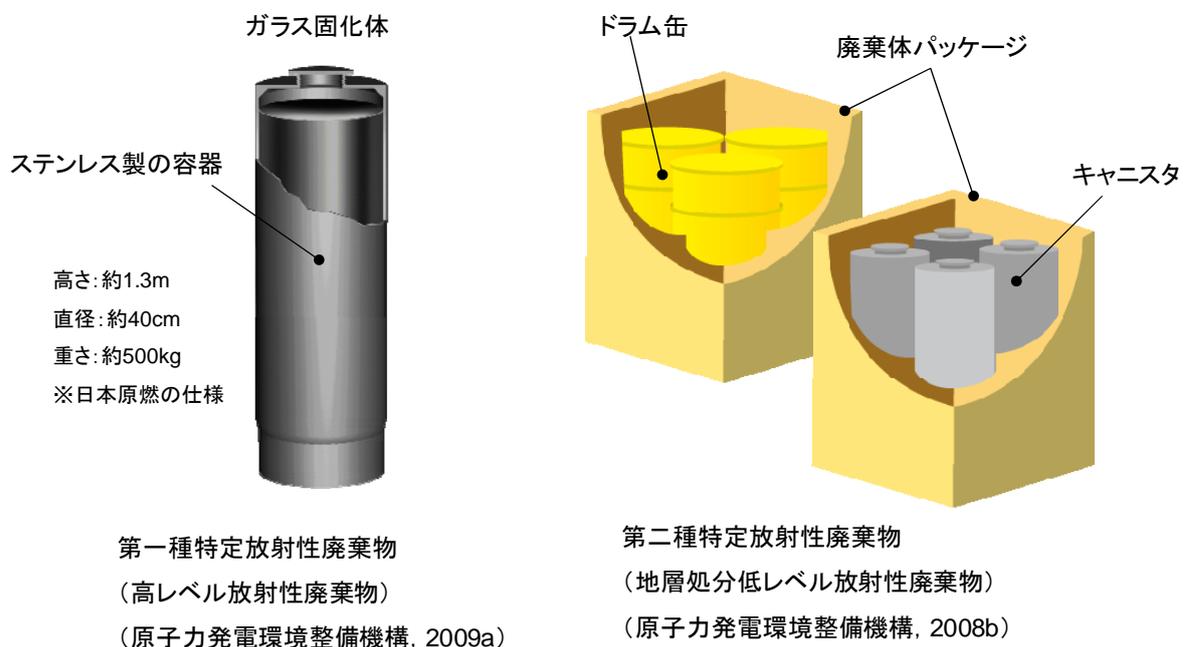


図 2.2-1 第一種特定放射性廃棄物および第二種放射性廃棄物のイメージ（形態）

再処理・リサイクル政策を採用しているわが国においては、高レベル放射性廃棄物は、再処理過程で発生する高レベル放射性廃液をガラスと混合して固めたガラス固化体である。ガラス固化体は、固化直後においては極めて高い放射能を有するが、放射能は時間とともに

に減衰し、50年後には固化直後の50分の1以下に、また500年後には千分の1以下に減衰する。しかしその後は半減期の長い放射性核種が残存し、放射能がさらに一桁減衰し1万分の1以下になるまでには1万年近くを要する。

また、発熱を伴うことから、冷却のため30～50年程度貯蔵管理した後、順次最終処分する。国が示した最終処分計画では、最終処分施設の規模を年間約1,000本の割合で合計4万本以上のガラス固化体を受け入れることのできる能力とすることなどが示されている（通商産業省、2000）。

一方、地層処分低レベル放射性廃棄物は、大部分が再処理施設とMOX燃料加工施設において発生し、一部は海外からの返還廃棄物である。高レベル放射性廃棄物に比べて放射能および発熱量は相対的に低いが、半減期の長い核種を一定量以上含む。また、操業に伴い発生するプロセス廃棄物や、運転、保守および補修に伴い発生する種々雑多な雑廃棄物といった多様な廃棄物により構成され、発熱量の多いもの、半減期の長い放射性核種を含むもの、再処理に伴って含まれる化学物質を含むものなど様々な種類がある。これらは、処分に適した形状に加工され、キャニスタやドラム缶などに封入された上で、順次最終処分する。国が示した最終処分計画では、最終処分施設の規模として19,000m<sup>3</sup>以上の廃棄物を埋設できるとされている（経済産業省、2008a）。

高レベル放射性廃棄物と地層処分低レベル放射性廃棄物を処分する地下施設は、それぞれ独立して設置することも可能であるが、原環機構は両者を併置する（以下、「併置処分」という）ことも選択肢として検討を進めている。併置処分という概念については、海外の実施主体においても検討されているが（例えば、Nagra, 2002 ; ANDRA, 2005）、わが国においても、原子力委員会 長半減期低発熱放射性廃棄物処分技術検討会において併置処分に関する技術的成立性が示されている（原子力委員会 長半減期低発熱放射性廃棄物処分技術検討会、2006）。なお、地層処分低レベル放射性廃棄物の地層処分に関する技術的根拠は、別途報告書（原子力発電環境整備機構、2010）において示す予定である。

## 2.2.2 わが国の地質環境の特徴

わが国は、変動帯に位置し、安定大陸に比べてプレート運動に起因する断層活動、火成活動、隆起・侵食などの自然現象が活発である。わが国の地層処分における長期的な安全性を確保するためには、まず、将来にわたりこれらの自然現象の著しい影響が見込まれる場所を回避する必要がある。

また、山がちで海に囲まれた地形・地理条件、変動帯に特有な複雑な地質構造や多種多様な岩種、豊富な地下水や高い地下水位などの地質環境の特性を把握し、それらの長期的な変遷を考慮して、地層処分にとってより好ましい条件を有する場所を選定することが重要である。

これらの要件に対して、自然現象は過去数十万年程度の地質学的記録を基に、将来 10 万年程度の予測が可能であることや、変動帯に位置するわが国においても、地層処分に必要な条件を満たす地質環境が広く存在することが示された（核燃料サイクル開発機構，1999）。また、概要調査地区選定に関する基本的考え方、サイト選定における様々な条件も具体的に示されている（土木学会原子力委員会地下環境部会，2001）。これらを踏まえて、原環機構は概要調査地区選定上の考慮事項（原子力発電環境整備機構，2002）および技術的背景（原子力発電環境整備機構，2004b）を公表した。

原環機構は、これらの知見や考え方に基づき、わが国における地層処分の長期的な安全性を確保するために、断層活動や火成活動などの自然現象の著しい影響を回避するとともに、地層処分にとって好ましい地質環境を選定する（2.3.1 参照）。

### 2.2.3 三段階のサイト選定と公募

サイト選定のプロセスは特廃法において規定されており、「概要調査地区の選定」、「精密調査地区の選定」、「処分施設建設地の選定」の三段階の選定過程を経て、処分施設建設地が決定される（図 2.2-2）。サイト選定においては、各段階において「法定要件」が定められ、それら要件への適合が求められる。

最初の段階である概要調査地区の選定に当たっては、あらかじめ文献調査を行うことが求められており、原環機構は、「特定放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域」を全国の市町村から公募し、応募獲得に向けて様々な取り組みを行っている（原子力発電環境整備機構，2002）。

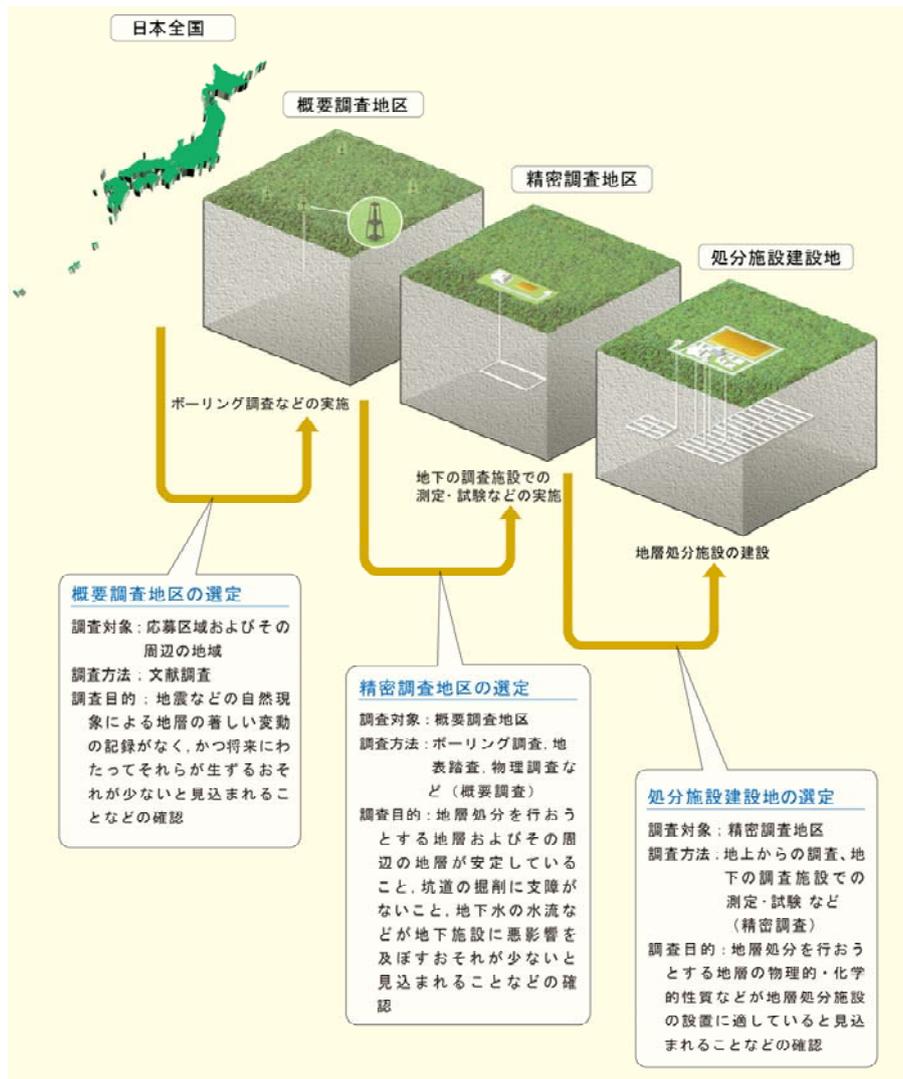


図 2.2-2 三段階のサイト選定過程

2.2.1 で述べたように、原環機構の処分事業に地層処分低レベル放射性廃棄物が加わったことにより、2008 年から高レベル放射性廃棄物と地層処分低レベル放射性廃棄物の両者を対象とした公募を進めている（原子力発電環境整備機構，2009b）。

また、2007 年 11 月に公表された「放射性廃棄物小委員会報告書 中間とりまとめ」（廃棄物小委員会，2007）を受け、国が市町村に対して文献調査の実施を申し入れる方式も併用されることとなった。

#### 2.2.4 長期間にわたる事業

地層処分事業は、サイト選定、安全審査、処分場の建設、操業、閉鎖および閉鎖後の管理を経て事業廃止に至る段階に分けられる。各段階に必要な期間は、サイト選定で 20 年程

度、処分場の建設と操業を併せて 60 年程度、処分場の閉鎖で 10 年程度が見込まれ、事業全体では 100 年に及ぶ長期プロジェクトとなる（原子力発電環境整備機構，2009a）。

このため、あらかじめ事業全体を俯瞰し、各段階での目標とそれを達成するための実施事項を明確にし、必要な技術開発を計画的かつ段階的に進めていくことが重要となる。

### 2.2.5 段階的に整備される安全規制

安全規制については、原子力安全委員会が 2000 年 11 月に公表した「高レベル放射性廃棄物の処分にかかわる安全規制の基本的考え方について（第 1 次報告）」（原子力安全委員会，2000）において、安全規制に関する基準・指針などは、サイト選定の進捗、サイト固有の状況、科学技術の進歩に応じて、段階的により詳細なものとなっていくことが重要である、との考え方が示されている。

また、原子力安全委員会は、2004 年 6 月に、「放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について」（原子力安全委員会，2004）をまとめ、極めて長期にわたる期間の安全評価にはそれに付随する不確実性は避けられず、これを踏まえた評価としてリスク論的考え方の適用が有効であることを示すとともに、判断に用いる基準は国際放射線防護委員会の勧告も参考にすることなど、放射線防護基準などの今後の検討の方向性を示した。

総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会の下に設置された廃棄物安全小委員会が、2006 年 9 月に取りまとめた「放射性廃棄物の地層処分にかかわる安全規制制度のあり方について」（廃棄物安全小委員会，2006）においては、サイト選定段階における規制機関の役割や基本設計から建設、操業、閉鎖、事業廃止までの各段階における安全規制の法的枠組みが検討されるとともに、閉鎖に関しては、最終的に閉鎖を判断するまでは、不測の事態への適切な対応などのために廃棄体の回収可能性を維持することが重要であると指摘されている。この報告書を技術的背景とした 2007 年 6 月の炉規法の改正では、地層処分事業の実施にかかわる許可、設計および工事の方法の認可、使用前検査、定期検査、保安のための措置義務、閉鎖措置（坑道埋め戻し）計画の認可、閉鎖までのモニタリングの実施、核物質防護など、地層処分事業の段階的進展を踏まえた安全規制の法的枠組みが整備された。

また、同小委員会において、改正された炉規法の施行に必要な埋設規則の策定に資することを目的として、2008 年 1 月「高レベル放射性廃棄物等の地層処分にかかわる安全規制について」（廃棄物安全小委員会，2008）がまとめられた。これに基づき、「第一種廃棄物埋設の事業に関する規則」が新たに制定され、事業許可後、20 年を超えない期間ごとに廃棄物埋設施設の定期的な評価（以下、「安全レビュー」という）を行うことなど、安全規制に求められる基本的な要件が規定された。

原環機構は、処分事業を進めていく上で、これら安全規制から示される要件への適合性

について確認していくとともに、安全確保をより確かなものとするために、自主的な基準（以下、「自主基準」という）を策定する。自主基準は、地層処分事業を安全に進めるための重要な要素（主に技術的な観点）に関して、原環機構が意思決定を行うための考え方、判断指標などをまとめるものであり、現段階では「概要調査地区選定上の考慮事項」（原子力発電環境整備機構，2009b）がその例である。

## 2.2.6 役割分担による技術開発

原環機構が設立された 2000 年以降の地層処分に関する技術開発の進め方については、原子力長期計画（原子力委員会，2000）および原子力政策大綱（原子力委員会，2005）で規定されている。例えば原子力政策大綱では「NUMO には、高レベル放射性廃棄物の最終処分事業の安全な実施，経済性および効率性の向上などを目的とする技術開発を計画的に実施していくことを期待する。また，日本原子力研究開発機構を中心とした研究開発機関は，深地層の研究施設などを活用して，深地層の科学的研究，地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化などに向けた基盤的な研究開発，安全規制のための研究開発を引き続き着実に進めるべきである。」と述べられている。

この役割分担に沿って，原環機構は，安全に事業を進めていく上で必要な実務的な技術の整備を進めるとともに，経済性や効率性の向上を目指した技術開発を進めている。一方，国や研究開発機関が進める基盤研究開発については，資源エネルギー庁と独立行政法人 日本原子力研究開発機構（以下，「原子力機構」という）が中心となって全体計画を策定し，処分事業を支える基盤技術の強化を効率的に進めるよう努めている（資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構，2008a，2008b）。原環機構は，これら基盤研究開発の成果が処分事業に効果的に活用できるよう，技術開発ニーズを明示するとともに，得られた成果の評価を行い事業に活用していく。

## 2.3 安全確保の目標

地層処分の安全確保の究極的な目標は，廃棄物が処分場閉鎖後の遠い将来にわたって人間とその生活環境に有意な影響を及ぼさないようにすることであるが，同時に事業としては，閉鎖完了までの事業期間中において周辺住民や作業員の安全を確保することも重要である。すなわち，原環機構が進める地層処分事業における安全確保とは，「閉鎖後長期の安全確保」と「事業期間中の安全確保」の二つの目標を達成することである。

閉鎖後長期の安全を確保するために，原環機構は「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」（経済産業省，2008b）に基づき段階的な調査を通じて処分施設建設地を選定し，人工的に設けられる障壁（人工バリア）と天然の地層（天然バリア）を組み合わせた

多重バリアシステムにより処分を実施する。この際、処分場の閉鎖後における人間の関与の必要性が最小限となるように（受動的安全性）、処分施設の立地、設計、建設、操業および閉鎖を実施することが必要である（IAEA, SSR-5）。原環機構はこのような基本的考え方に従って、処分場閉鎖に至るまでの間に、閉鎖後長期の安全確保のために必要なすべての対策を講じていく（閉鎖後長期の安全確保）。

一方、調査から閉鎖完了までの事業期間中においても、放射性廃棄物からの放射線や建設・操業時の事故などにより周辺住民や作業者の安全が損なわれることがないようにしなければならない（事業期間中の安全確保）。

なお、事業期間中の安全確保のために講じる様々な対策（例えば、建設段階での止水対策など）は、長期的な安全確保策との両立性を考慮することが必要である。すなわち、事業期間中の安全確保のために講じる対策により、閉鎖後長期の安全機能を有意に損なうことがないように十分配慮して、設計・施工を進めていく（原子力発電環境整備機構, 2004c）。

以下、原環機構が設定した安全確保の目標を詳述する。

### 2.3.1 閉鎖後長期の安全確保

放射性廃棄物が長期にわたり人間とその生活環境に有意な影響を及ぼさないようにするという地層処分事業の目標を達成するために、放射性廃棄物を閉じ込め、人間の生活環境から隔離することを基本とし、対象廃棄物を安定な地下深部に埋設し、人工バリアと天然バリアから構成される多重バリアシステムによってその機能を担保する。閉じ込め機能は、放射性核種の放出を防ぐ、あるいは最小限に抑えるための機能で、主として人工バリアなどの工学的対策で担保される。隔離は放射性廃棄物とそれに関連する危険性を人間環境から遠ざけておくことを意味し、安定な母岩内の適切な処分深度に処分場を設置することによって担保される。このような閉じ込めと隔離の組み合わせにより、人間の生活圏への放射性核種の移行は放射線学的に容認できる量に制限される。

処分場閉鎖後の潜在的な危険性としては、以下の事象が考えられる。

- (a) マグマや活断層の処分場への直撃、隆起・侵食による廃棄体の地表への露出などの自然現象の著しい影響に起因する被ばく
- (b) 地下水の移行を介した放射性核種の移行による被ばく
- (c) 地下深部での人間活動による廃棄体と人との接触による被ばく

(a) の危険性に対しては、適切なサイトを選定（深さも含む）することにより著しい影響を回避し、(b) に対してはサイト選定と工学的対策で容認できるレベルに低減し、(c) に対してはサイト選定や設計（深さも含む）と記録保存や掘削制限などの制度的管理によっ

て対処することが基本である。

このような閉鎖後長期の安全確保は、下記の三つの安全確保策により達成できることが第2次取りまとめで示されており、その妥当性が原子力委員会の評価（原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会，2000）によって確認されている。この考え方は原子力安全委員会が示した安全確保原則（原子力安全委員会，2000）とも整合している。

- 1) 地層処分にとって適切な地質環境を選定し、建設段階以降はサイト選定時における評価の妥当性を確認する（適切なサイト選定と確認）。
- 2) 選定された地質環境に対して人工バリアや処分施設を適切に設計・施工する（処分場の設計・施工などの適切な工学的対策）。
- 3) 構築された地層処分システムの安全性を評価する（地層処分システムの長期安全性の評価）。

これらの安全確保策を施し、様々な証拠や論拠に基づいて、地層処分システムが長期にわたって安全性を確保することができることを示すものが、近年国際的に幅広く受け入れられているセーフティケース<sup>2</sup>の概念である。

原環機構は、2.2.4 で示した事業の流れや経済性を考慮しながら、上述の三つの安全確保策を、段階的な事業の展開にしたがって繰り返し実施し、安全性に関する証拠や論拠を逐次統合化していくことによりセーフティケースを構築し、段階的に精緻化していく。サイト選定段階においては、法令で定められた報告書と、それらに付随する処分場設計や安全評価に関する文書は、それぞれの段階におけるセーフティケースを構成する中核的文書となる。図 2.3-1 にサイト選定の段階ごとに提示するセーフティケースにかかわる文書のイメージを示した。

セーフティケースを構成する文書中の主要な記述内容は、以下のものである。

- ・ 適切なサイトが選定されていること。
- ・ 処分場が適切に設計され適切な工学的対策がとられていること。
- ・ 信頼できる安全評価が実施されていること。
- ・ これら三つを統合しその段階で求められる安全性と信頼性が確保されていること。
- ・ 課題の特定とそれに対する次段階以降での具体的対策が妥当であること。

事業許可以降の建設から閉鎖に至る各段階においても新たに得られる情報に基づきセ

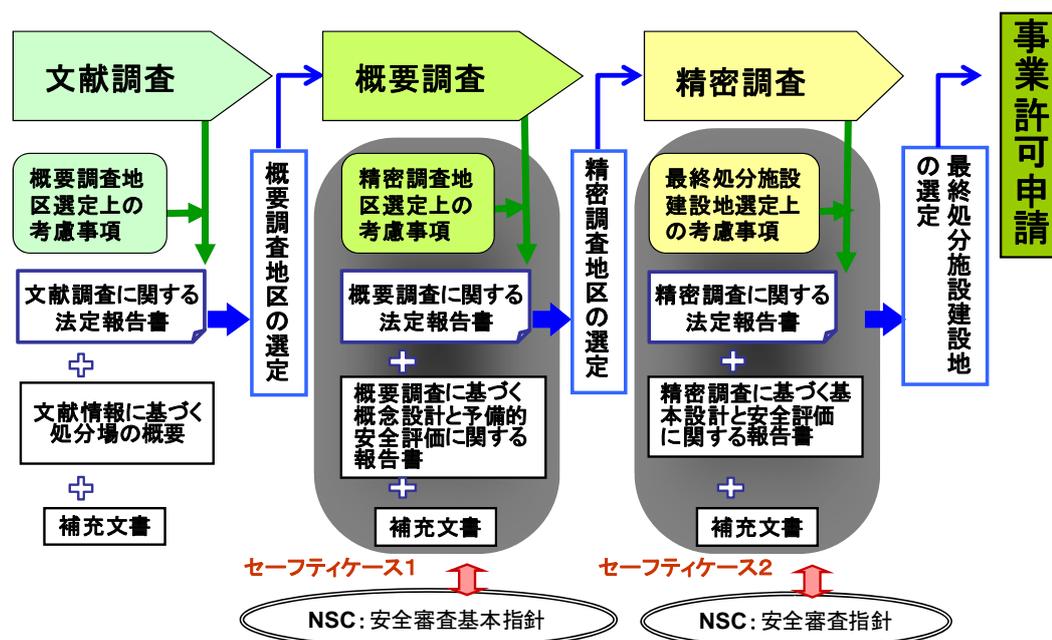
---

<sup>2</sup> OECD/NEA では、セーフティケースは、「A safety case is the synthesis of evidence, analyses and arguments that quantify and substantiate a claim that the repository will be safe after closure and beyond the time when active control of the facility can be relied on.（セーフティケースは閉鎖された後の制度的な管理の維持が保証できないような時間枠においても、処分場が安全であり続けるとする主張を定量化し立証するための証拠、解析さらには論拠の統合体である）」と定義されている（OECD/NEA, 2004）。なお、セーフティケースは、操業期間中の作業者の安全など、事業各段階の安全性についても含まれる場合がある（IAEA, SSR-5）。

ーフティケースを更新していく。

なお、国の地層処分にかかわる安全規制制度のあり方に関する報告書（廃棄物安全小委員会、2006）の中でも、安全について様々な論拠などを収集した総合安全説明書（セーフティケースに相当）を事業の各段階で策定することを事業者に期待しており、原環機構としてもこれらの文書を提示することによってそれに依っていく。

以下に、閉鎖後長期の安全確保策に関する原環機構の基本的考え方を述べる。



NSC:原子力安全委員会

図 2.3-1 サイト選定段階で提示するセーフティケースにかかわる文書のイメージ

### (1) 適切なサイト選定と確認

わが国は変動帯に位置していることから、地層処分システムを成立させるための前提条件として、将来にわたり断層活動、火成活動、隆起・侵食などの自然現象の著しい影響を回避すると同時に、地層処分システムの場合となる地質環境の特性を把握し、その長期的な変遷を理解することにより、下記の二つの安全確保策（処分場の設計・施工などの適切な工学的対策および地層処分システムの長期安全性の評価）を講ずる上で好ましい条件を有する場所を処分施設建設地として選定する。

- ・ 坑道掘削や人工バリアの構築など、工学的対策にとって好ましい条件（力学的安定性、施設を通過する地下水流量が小さいなど）。
- ・ 人工バリアや天然バリアの核種の移行抑制など、地層処分システムの長期安全性にとって好ましい条件（還元性、地下水流速が遅い、移行距離が長いなど）。

また、将来の人間活動による偶発的な処分場への侵入を回避する観点から、経済的に価値が高い鉱物資源が存在する地域は含めないことも必要である。

このようなサイト選定における基本的考え方は、すでに公募関係資料や概要調査地区選定上の考慮事項の技術的背景(原子力発電環境整備機構, 2002, 2004b)などで述べており、従来からの変更はない。

さらに、建設段階以降も、閉鎖後長期の安全確保の観点から重要と考えられる地質環境特性について調査し、データの取得を行いその時点で得られる最新の知見に基づいて適宜安全性を確認していく。

## (2) 処分場の設計・施工などの適切な工学的対策

選定されるサイトの地質環境の条件や廃棄物の特性に応じて、人工バリアおよび処分施設などの工学的対策を適切に講じることにより、閉鎖後長期の安全性を確保する。

具体的には、バリアを構成する要素のそれぞれに、廃棄体と地下水との接触抑制、核種の溶出制限や移行抑制など安全確保にかかわる重要な安全機能を割り当て、それらに十分な安全裕度を持たせることにより、頑健な地層処分システムを設計する(地層処分システムに期待する具体的な安全機能の内容については、2010年技術レポートに記述)。この際、頑健性確保の観点から、一つのバリア要素の安全機能に過度に期待することがないように留意し、一つのバリア要素の安全機能が期待されたとおり有効に働かない場合でも、ほかのバリア要素の安全機能により相互に補完されることで十分な安全裕度が保てるように設計する。なお、ここで述べた安全機能は地層処分システムの長期安全性の評価においても、重要な視点となる。

人工バリアの構成と各構成要素に持たせるべき安全機能の設定は、サイトの地質環境特性や対象廃棄物の特性を十分に考慮するとともに、調査の進展とともに情報の詳細さが増す地質環境特性に応じて、バリア全体の安全機能が有効に発揮されるように人工バリアと処分施設の設計を行うことが重要である。

2.2.1で述べたように、高レベル放射性廃棄物と地層処分低レベル放射性廃棄物の処分施設を併置することも選択肢としているが、その場合は、施設全体の安全機能が単独の処分の場合に比べて有意な影響を受けることのないように、個々の施設の設計および全体の設計を適切に行う必要がある。

地層処分低レベル放射性廃棄物は、高レベル放射性廃棄物に比べて、放射能レベルや発熱量が十分低く危険性が低いことから、基本的には高レベル放射性廃棄物処分の技術を応用することで安全な処分は可能と考えられる。ただし、対象となる廃棄物の種類が多様であるため、廃棄物に含まれる物質などの影響を詳細に検討し、安全性を確保する必要がある。

また、国の「TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体基本計画」（資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構，2006）において、より幅広い地質環境に柔軟に対応するための代替技術が示されており、今後のサイト選定段階で得られる地質環境条件によっては、それら代替技術を適用することも視野に入れた検討により、処分場の頑健性の向上を図る。なお、具体的なサイトが特定できるまでの段階では、想定しうる多様な地質環境に対しても、単独の処分システムおよび併置の場合の全体システムの頑健性が確保されるような処分概念を構築・整備することとする。さらに、人工バリアの製作・搬送・定置および処分施設の施工などについては、必要な安全機能が確実に発揮されるよう、十分な信頼性を有する技術を用いる。

### (3) 地層処分システムの長期安全性の評価

地層処分においては、その影響が顕在化する可能性を考慮しなければならないのは、処分場が閉鎖されてから非常に長い時間を経た遠い将来であり、その安全性を実証することができない。従って、予測的な手法に基づく評価によって長期的な安全性を確認する必要があり、この点がほかの原子力施設の安全評価と大きく異なる。具体的には、まず地層処分システムの科学的理解をもとに将来のシステム挙動の可能性を描いたシナリオを構築し、そのシナリオに従って、数学モデルやデータを用いた核種移行解析を行い、その結果を安全基準と比較することによって、閉鎖後の安全性が長期にわたって確保ができることを確認する。

なお、安全評価には地質環境が不均質であることや安全性の評価期間が長期であることなどに起因する様々な不確実性が含まれており、このような不確実性は、サイト調査の進展や適切な処分場の設計などによって低減することができるが完全には取り除くことはできない。従って、地層処分の安全評価においては安全性にかかわるシステムの不確実性を認識し、それらをできる限り低減あるいは回避し、ある程度の不確実性が残ったとしてもそれを適切に考慮した上で安全性が示される必要がある。安全評価による安全性の確認は、セーフティケースにおける安全性の主張を裏付ける主要な論拠となるが、更に、線量の安全基準との比較だけでなく、補完的安全指標の適用やナチュラルアナログ事例との比較など、多面的な論拠（例えば、原子力発電環境整備機構，2004a）に基づいてセーフティケースを補強することにより、安全性に対する信頼性の向上を図る。

安全評価の時間スケールに関しては、第2次取りまとめのガイドラインとなった原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会報告書（原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会，1997）や、原子力安全委員会「第1次報告」（原子力安全委員会，2000）において、言及されている。例えば、原子力安全委員会「第1次報告」では、「一般公衆に対する評価線量が最大となる時期においても、あらかじめ基準値として定められた放射線防護レベル

を超えていないこと等を確認することがその基本」とされている。一方、時間の経過とともに、地質環境特性の長期変遷や地層処分システムの長期挙動の不確実性に起因して安全評価の不確実性は増加する。このため、線量が最大となる時期が、科学的な観点から合理的に判断できる時間スケールを超えた時間となることも考えられる。

このような問題については、国際的にも議論されており（OECD/NEA, 2009a）、各国の地質環境の特徴や安全規制からの要求によって安全評価で考慮する時間スケールが異なっていることが指摘されている。わが国においても、安全規制の観点からの検討が進められる予定であるが、原環機構としても、科学技術的な観点に加えて、社会的、倫理的、放射線防護など、多角的な観点からこの問題について考察し、合理的な時間スケールの考え方について検討を進める。

### 2.3.2 事業期間中の安全確保

原環機構は、サイト選定から事業廃止までの事業各段階において、施設周辺の一般公衆や作業従事者の放射線安全および一般労働安全の確保を徹底する。

これらの安全対策については、一般の土木工事や原子力施設の建設や操業などで実績を有する安全対策を有効に活用することができる。それらの対策をより適切なものとするためには、事業期間中に発生が懸念される様々なリスクを分析し、それらを施設設計や調査・工事計画などに反映し、適切な安全確保の対策を講じることが重要である。

また、処分事業においては、地下坑道の掘削、掘削残土の仮置きなど、大規模な土木工事に伴う周辺環境への様々な影響を回避・低減することも重要である。

以上のことを考慮して、事業各段階の安全確保策のそれぞれについて、基本的な対策について述べる。

#### (1) 放射線安全の確保

放射線安全の確保については、基本的には通常原子力施設における従来の考え方と同様であり（原子力発電環境整備機構, 2004a）、炉規法などの関連する法律を遵守し、地層処分施設に起因する放射線被ばくから一般の公衆および作業従事者を防護するため、十分な対策を講じる。この際、ALARA<sup>3</sup>の考え方の下に、放射線影響の低減に努める。

施設の設計では、地層処分施設に起因する一般公衆が受ける線量および作業従事者が受ける線量を合理的に達成可能な範囲で低くする方針で、遮へい設備、放射線管理設備など必要な設備を設ける。また、管理区域や周辺監視区域などの区域管理を適正に行う。

施設の操業においても、原子力関連施設における安全確保策を基に対策を講じる。例え

---

<sup>3</sup> ALARA (As Low As Reasonably Achievable)：ICRP が 1977 年勧告で示した「すべての被ばくは社会的、経済的要因を考慮に入れながら合理的に達成可能な限り低く抑えるべきである」放射線防護の基本的概念。

ば、ガラス固化体の受け入れ、検査、封入のプロセスにおいては、中間貯蔵施設などにおけるガラス固化体の遠隔操作などの技術を適用することができる。また、火災や地震などの事象に対しては、二次的な事象として設備の破損などによる放射性物質の漏えいなどの可能性が考えられるが、火災に関しては発生防止策や影響緩和策、地震に関しては耐震設計の検討などを行う。

## (2) 一般労働安全の確保

一般労働安全を確保する期間は、現地で地質調査などを開始する精密調査地区選定段階から事業の廃止に至るまでの期間が対象となる。

一般労働安全に関しては、建設工事における従来の考え方を適用することができ（原子力発電環境整備機構，2004a）、土木工事（トンネル工事など）や鉱山の操業などの安全対策を基に対策を検討することで安全を確保する。

例えば、坑道内の落盤、水没などの事象については、トンネル工事における対策などが有効である。また、敷地外においても、資材搬入車両による交通災害などの防止を徹底する。地下施設における火災、爆発などの事象に関しても、地下坑道が長大であることなどに留意して既設の長大トンネルや鉱山の例を参考に適切な対策を講じる。

## (3) 周辺環境の保全

わが国における環境への影響の評価については、1997年に制定された「環境影響評価法」により法的枠組みが整備されている。また、最近では戦略的環境アセスメントの導入に向けた議論がなされている。

現在、処分事業は環境影響評価法の対象事業とはなっていないが、法定の環境影響評価の適用の有無にかかわらず、サイト選定の早い段階から事業の各段階を通じて処分場を建設する地域の環境に十分配慮する方針である。この際の対策は、既存の環境影響評価の考え方を参考とし、常に事前に計画をたて、そこに盛り込まれた保全措置の効果についてモニタリングなどを通じて確認しつつ、段階を踏んで計画的かつ柔軟に進めていく（原子力発電環境整備機構，2004a）。

## 2.4 安全確保の目標を達成するための方針

前節で述べた安全確保の二つの目標を確実に達成するためには、2.1に述べた地層処分が有する固有の課題や、2.2に述べたわが国固有の前提条件を十分に考慮して事業を進める必要がある。

地層処分の閉鎖後長期の安全性については、考慮すべき時間が長く、不均質な地下環境

を活用するため、避けがたい不確実性を伴う。そのため、念入りな調査や評価を行い、不確実性をできるだけ低減しながら安全性に関する信頼性を向上させていく必要がある。また、ほかの原子力施設のように安全を直接実証して見せることができないことから、社会的合意形成の観点からも、不確実性の管理に重点を置き、段階的に安全性にかかわる様々な論拠に基づき、安全性とその信頼性に関する情報を総合的に取りまとめるセーフティケースの考え方（2.3.1 参照）を適用することが有効である。また、地層処分は、サイトの選定から処分場閉鎖に至るまでの間に 100 年間近くの長い時間を要するため、この間に処分事業を取り巻く社会環境条件が変化することもありうる。

このように複雑で長期的な事業を着実に遂行するためには、全体を俯瞰しつつ、事業を段階的、かつ柔軟に進めることが肝要である。そうすることにより、安全性にかかわる論拠を段階的に拡充することができるとともに、社会環境の変化にも適切に対応でき、事業への信頼性を段階的に高めていくことができる。特に安全性に関しては、事業の各段階ごとに、それぞれの段階で得られる情報にもとづく安全評価を繰り返し実施し、結果を公表していくことで、国民や地元関係者の理解を段階的に深めていくことが求められる。以上により、原環機構は、

#### **「安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進」**

を安全確保に向けた事業方針とする。

また、上述のように数万年以上にわたる閉鎖後安全性は、従来の実証的な手法で確認できないため、安全評価においては、科学技術などの知見を集約したモデリングとデータに基づく予測的安全評価手法を採用することになる。このため、その評価の前提となるサイト調査や工学的対策においては、信頼性の高い技術を用いることが重要である。また、安全評価の手法やその基となる科学技術などの知見について、それぞれの時点において可能な限り信頼性の高い技術を用いることが必要である。そのための努力は、遠い将来の世代の健康と環境を守るために現世代が果たすべき責務ともいえる。以上により、原環機構は、

#### **「信頼性の高い技術を用いた事業推進」**

を安全確保に向けた事業方針とする。

地層処分事業においては、技術的な検討により示された安全性をいかに国民や地域住民の安心感につなげ、事業を受け入れてもらうかが、事業を実現させるための重要な要件である。そのため、信頼感醸成活動は、地層処分事業においては欠くことのできない重要な要素であり、技術面においても計画的に取り組んでいく必要がある。以上により、原環機構は、

#### **「安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取り組み」**

を安全確保に向けた事業方針とする。

### 3. 方針1「安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進」

地層処分事業では、地下の地質環境を利用して放射性廃棄物を生物圏から隔離し、処分場閉鎖後の長期間にわたり安全性を確保することが求められる。地層処分システムの長期安全性の評価においては、評価期間の長期性や地質環境の不均質性に起因する時間的、空間的な不確実性に適切に対処していく必要がある。そのためには、三段階のサイト選定プロセスを経ながら、段階的にサイトの地質環境に関する情報を蓄積・詳細化するとともに、地下施設の建設や地下での操業時においても同様に地質環境の情報を更新し、上記の不確実性を徐々に低減していくことが有効である。さらに、科学・技術の最新知見を適切に取り込みつつ段階ごとに更新、拡充される地質環境の情報に基づき、処分場設計の最適化と安全評価を繰り返し実施することで、地層処分システムの長期安全性と技術的信頼性を向上・強化していくことが可能となる。(安全性の繰り返し確認)

各段階の節目や途中で安全性の確認を繰り返すことで、安全確保の目標を達成しているかどうか、その時点で優先的に取り組むべき課題が何かを抽出する。これにより、次段階以降の適切な技術開発計画などの策定にも反映することが可能となる。ただし、地層処分の安全性は数万年以上の長期間を対象とした評価を行う必要があり、実証して見せることができない。従って、各段階で行う安全性の確認に関しては安全性に関する様々な論拠の集合体であるセーフティケースを構築することで安全性を示すことが有効な手段だと考えられている。セーフティケースは各事業段階で得られている情報に基づいて構築されることになるため、段階的に更新されていくものである。(段階的な事業推進)

また、長い事業期間の中では、2.2.5 に述べたように社会的な環境が変化するなど、事業を取り巻く環境・条件などが変化することも予想され、事業開始時点で策定した計画を、安全性を確保しつつ柔軟に適切なものへと変更していくことも重要である。このため、あらかじめ事業全体を俯瞰した計画を策定して着手し、事業の進展とともに各段階で得られる情報を活用して事業を取り巻く環境・条件などの変化に柔軟に対応するとともに、そのたびごとに安全性の確認を行いその信頼性を高めていく必要がある。また、段階的に事業を進める中で、国民や地域住民の理解を得ながら進めていくことが必須である。(柔軟な事業推進)

以上のことから、事業の安全確保のための一連の検討に当たっては、2.3.1 に述べた三つの安全確保策（適切なサイト選定と確認、処分場の設計・施工などの適切な工学的対策、地層処分システムの長期安全性の評価）の連携の仕組みを整えるとともに、事業全体を俯瞰した安全確保の目標を達成するための事業推進計画を策定し、この計画に従って、2.3 で述べた閉鎖後長期の安全確保および事業各段階の安全確保を実現する。具体的な進め方においては、以下の三つの実施方策により事業を推進することで安全性を確保する。

- 1) 事業全体を俯瞰した計画の策定
- 2) 閉鎖後長期の安全性の繰り返し確認
- 3) 事業期間中の安全対策と環境保全

以下に、上記の実施方策について具体的に記述する。

### 3.1 事業全体を俯瞰した計画の策定

長期間にわたる事業を円滑に推進し、安全を確保していくためには、事業をあらかじめ俯瞰して計画を策定した上で、段階的かつ柔軟に進めることが肝要である。それにより、安全性を段階的に強化することができるとともに、社会環境の変化にも適切に対応でき、事業への信頼性を段階的に高めていくことができる。

原環機構では、事業全体を俯瞰した計画策定のために「安全確保ロードマップ(表 3.4-1)」を作成した。安全確保ロードマップは、各段階における事業目標、安全確保にかかわる目標、目標達成にかかわる要件、実施事項(安全確保のための実施事項)を各段階について記述したものであり、事業の進展とともに、それまでの技術の進展や新たな状況変化を反映しつつ詳細な内容に改訂していく必要がある。現時点では事業全体を10の段階に分類している。

具体的には、①概要調査地区選定段階、②精密調査地区選定段階、処分施設建設地選定段階(③地上からの調査、④地下施設での調査)、⑤安全審査の段階、⑥建設段階、操業段階(⑦操業期間中、⑧操業の終了・閉鎖措置計画認可申請)、⑨閉鎖段階、⑩閉鎖後～事業廃止の段階である。

各段階で実施する内容は、その段階における安全確保の目標のために直接必要なものに加え、一部は次段階以降の検討に活用されるものも含む。

また、100年程度の長期間においては、社会的、制度的、技術的な変化があり得ることから、原環機構では様々な事態を想定し、必要な技術オプションを検討、準備しておくなどの対応策をたてておく。また、想定外の事態にも柔軟に対応できる体制や仕組みも併せて構築する。

具体的には、事業を推進していく上で考えられるリスク要因について十分に検討し、想定できるリスク事象に対しては技術的な選択肢を準備しておくこと、変化に対して迅速かつ的確に対応できる仕組みづくりをしておくこと(例えば、要件管理システム(原子力発電環境整備機構, 2009d)などの準備)などの対応方針や対応策を検討しておく。

また、過去の意思決定の根拠を記録として残すなどの準備や、チェックポイントでの判断基準の検討など、最善の対応をする対策を構築しておく。その上で、技術的に安全性が

担保できないと判断された場合には、事業の段階を止める、あるいは逆戻りする場合もあり得るため、組織としての意思決定に柔軟性を持たせておくことも必要である。このような場合は、原環機構のみではなく、地元関係者、規制関係機関、国、廃棄物発生者などと十分に協議の上で意思決定する。

このようなリスク管理的な手法については、精密調査地区選定段階から取り入れて事業を推進していく予定である。

## 3.2 閉鎖後長期の安全性の繰り返し確認

3.1 では事業全体を俯瞰した計画の策定と、安全確保ロードマップの作成について述べた。原環機構では、安全確保ロードマップに基づいて、閉鎖後の長期安全性を確保するために、2.3.1 に述べた三つの安全確保策（適切なサイト選定と確認、処分場の設計・施工などの適切な工学的対策、地層処分システムの長期安全性の評価）を緊密に連携させ、得られた情報を逐次統合しながら、地層処分システムの安全性を各段階の節目や途中で繰り返し確認する。これにより、地層処分システムの安全性に関する信頼性を継続的に向上させる。

三つの安全確保策の連携の具体的な方法に関しては、サイト選定段階では、まず将来にわたり自然現象の著しい影響を回避できると見込まれるサイトに対して、安全性を確保するための処分場概念を明らかにし、その概念を対象とした安全評価を行う。その結果と安全基準との比較により、安全性の評価を行うとともに評価の信頼性を向上させるために、次段階のサイト選定や工学的対策で取り組むべき課題を明らかにし、その対策を次段階以降の実施計画に盛り込み、実行していく。

サイト選定段階以降も含めた各段階でこれら一連の取り組みを繰り返し行うことで、不確実性を段階的に低減し、処分施設の安全性への信頼性を高めていく。また、サイト選定以降の段階においても、建設・操業・閉鎖時に得られると考えられる新たな知見に基づき、安全性の確認を行う。原環機構では、このような一連の作業を体系的に実施する手法の一つとして要件管理システムの開発を進め、現在、試運用を行っている。その詳細は別途技術レポートに示す（原子力発電環境整備機構、2009d）。

万一、安全性の点からそれまで予期しえなかった重要な問題が明らかになった場合には、追加対策などにより安全性が確認できるまで次の段階に進まないか、あるいは段階を逆戻りさせることもあり得る。

以上に述べたような進め方によって、閉鎖後長期の安全性を各段階で繰り返し確認する。そして、その結果を安全規制当局に報告し、各段階でのセーフティケースを示す文書を公表していく。

### 3.3 事業期間中の安全対策と環境保全

#### 3.3.1 事業期間中の安全対策

事業期間中の安全確保のために必要な安全対策と環境保全策の計画を策定し実行するとともに、各段階の実施途中において現場から得られる情報や最新の技術を活用することにより、計画を適宜見直すことで事業期間中の安全性を向上させ、周辺環境への影響を回避・低減する。この際、事業期間中の安全確保策が閉鎖後長期の安全機能を有意に損なうことがないように十分に配慮する。

サイト選定段階と建設段階では、放射性廃棄物の持ち込みはないため、一般の産業災害の防止対策を実施する。この対策は、一般産業（地下での土木工事など）の安全対策を適用できるものとするが、例の少ない地下深部での大規模な工事であることから、その時点での信頼性の高い技術を用いて、地下の調査施設や処分場の建設を安全に進める。地下深部に構造物を構築するという経験は、国内外の地下研究所の建設、地下発電所の建設、先行している諸外国における処分施設の構築（例えば米国の WIPP<sup>4</sup>など）においても経験が蓄積されてきているため、原環機構としてはこれらの経験を事業に反映できるよう情報収集や人材交流を積極的に行う。

操業段階から閉鎖段階では、放射性廃棄物が持ち込まれるため、上記対策に加えて、放射線安全を確保するための対策を実施する。この対策は、ほかの原子力施設の安全対策と基本的に同様であるが、これまでに例のない地下深部の環境下において放射性物質を取り扱い作業を伴うため、その特殊性を考慮して、その段階までに必要な信頼性の高い設備の設計、建設を行うとともに、必要な技術開発を進め、安全な操業に万全を尽くす。例えば、遠隔操作技術を用いて廃棄体を輸送、定置する技術に関しては、再処理施設や貯蔵施設の操業で蓄積された知見を活用するが、地下深部の限られた空間スペースでの作業など処分事業固有の課題に対しては技術開発を計画的に実施していく。

なお、実際の地下施設は分割された複数の埋設区域からなり、それらの地下坑道の建設は、1 区域ずつ順次進め、それに従い廃棄体の埋設作業も完成した区域から順次進める。このため、操業段階では完成した区域における廃棄体の搬送・定置作業と、次の区域の坑道建設作業を並行的に進めることになり、この段階では放射線管理を要する作業区域と、それを要しない作業区域を分離できるような適切な管理を行う。

#### 3.3.2 環境保全

環境保全に関しては、処分事業の長期間にわたる継続性や広い敷地の地上と地下の利用といった特徴を十分に考慮し、事業の各段階で生じる環境への影響について、それぞれの

---

<sup>4</sup> WIPP のホームページ, <http://www.wipp.energy.gov/>

段階の前段階で調査、予測および評価を行い、環境に与える影響を回避、低減する。

各段階においては、必要に応じて代償措置（復元、創出）を含めた適切な保全措置を講ずることができるようあらかじめ準備を行うとともに、環境への影響を総合的に評価しておく。また、実際にモニタリングを行うなどして、その効果を確認し、必要があれば保全措置の改善もしくは追加の措置を講ずるといった、計画的かつ柔軟な対応を行う。

処分事業のうち、特に建設、操業、閉鎖の実施に伴い環境保全が必要と考えられる項目は、一般的な環境要素として、「大気環境」、「水環境」、「動物・植物、生態系」などが挙げられる。それらの予測評価や保全措置については、一般的に実施されている既往の評価手法や環境技術が適用できることから、これらを適切に組み合わせて処分場を立地する地点の環境への影響の低減を図る（原子力発電環境整備機構，2004a；高橋ほか，2006，2008）。

さらに、上記の対策が適切であることを客観的に確認できるよう、環境保全の計画やモニタリングの結果を公開する。

### 3.4 方針1にかかわる方策の具体的展開

本節では、方針1「安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進」を実現するための方策を事業の中で具体的に展開する方法を提示する。

具体的には、安全確保ロードマップを作成し、事業全体を俯瞰した計画を策定し、目標達成に向けた統合化への取り組みの概要と、閉鎖後長期および事業期間中の安全性確保に向けた段階的取り組みを提示する（表 3.4-1）。なお、各段階での各専門分野での実施事項の詳細や、専門分野間での連携の詳しい手順については2010年技術レポートの中で記述することとし、本報告書では取り組みの全体像を示す。

表 3.4-1 に示すように、安全確保ロードマップでは、事業全体の安全確保に向けて各事業段階で達成すべき目標とそれに向けた要件、実施事項などの明確化を目的に以下の項目について記述する。

- ・ 各段階における事業目標
- ・ 安全確保にかかわる目標
- ・ 目標達成にかかわる要件
- ・ 各分野における実施事項
- ・ 安全確保にかかわる主要文書

安全確保ロードマップでは、まず各段階における事業目標およびその主要構成要素である安全確保にかかわる目標を設定し、それを達成するために必要な実施事項を、抽出した。

具体的には、「閉鎖後長期の安全性」にかかわる実施事項と、「事業期間中の安全性」にかかわる実施事項に分け、閉鎖後長期の安全性にかかわる実施事項はさらに、「適切なサイト選定と確認」、「適切な工学的対策」、「地層処分システムの長期安全性の評価」に分けて実施内容を記述している。

事業期間中の安全性にかかわる実施事項に関しては、「一般労働安全の確保」、「放射線安全の確保」、「周辺環境保全」に分けて記述した。

各段階で得られた成果は「安全確保にかかわる主要文書」と「それを支える補充文書」として文書化することになるが、安全確保ロードマップでは「安全確保にかかわる主要文書」として主要なものだけを提示している。補充文書には、関連する技術資料や論文などの広範な資料が含まれる。各段階で構築し、更新するセーフティケースの内容は、これらの文書群によって明示し、公表していく。

なお、この安全確保ロードマップは、技術開発の進展、規制の具体化など今後の原環機構を取り巻く環境の変化を考慮して、必要に応じて柔軟に更新していく必要がある。

以下に、各段階における安全確保のための主な活動を示す。

### 3.4.1 サイト選定および安全審査の段階

#### (1) 概要調査地区選定段階（文献調査の段階）

・ 本段階における事業目標	： 概要調査地区選定
・ 安全確保にかかわる目標	： 自然現象の著しい影響の回避（明らかに不適切な地域を避ける）
・ 目標達成にかかわる要件	： 概要調査地区選定上の考慮事項への適合性（自然現象の著しい影響の回避）
・ 安全確保にかかわる主要文書	： 文献調査に関する法定報告書，文献情報に基づく処分場の概要

この段階の事業にかかわる目標は概要調査地区の選定であるが、安全にかかわる目標としては、自然現象の著しい影響の回避（明らかに不適切な地域を避ける）が挙げられる。これらの目標達成にかかわる要件としては、既に公表済みの法定要件に基づく「概要調査地区選定上の考慮事項」（原子力発電環境整備機構，2009b）への適合性がある。また、付加的に評価する事項などにより、地質環境条件を含む総合的な評価や必要に応じ相対的評価を行う。

概要調査地区選定段階では、開始に先立ち、対象となる区域が「地質的な条件」により文献調査の対象となることを確認する。ここでいう「地質的な条件」とは、全国一律に評価する地震と噴火に関する考慮事項の考え方を適用した回避すべき条件であり、既に公表

している（原子力発電環境整備機構，2009b）。この確認作業の結果，対象となる区域が条件を満足した場合のみ，文献調査を実施することになる。

対象となる区域が「地質的な条件」を満足した場合，原環機構は国に対して事業計画の変更申請を行う。原環機構は，国からの認可が得られ次第，「文献調査計画書」を作成・公表する。文献調査は「文献調査計画書」に基づいて実施するが，文献の収集方法としては，データベース検索，関係機関からの提供，一般の方々からの提供を予定している。収集する文献は，「概要調査地区選定上の考慮事項」の法的要件に関する事項および付加的に評価する事項に対応する内容であり，具体的には対象とする地域の長期安定性，地質環境特性などに関するものである。収集した文献は原環機構で開発した地質環境データ管理システム（付録，付 2.1-2 参照）に入力することにより一元的に管理する。

原環機構は，文献調査により収集した資料を詳細に分析・評価し，断層活動，火成活動，隆起・侵食といった自然現象による著しい影響の記録の有無の確認を行い，「概要調査地区選定上の考慮事項」に基づいて概要調査地区の範囲を設定する。これにより，安全にかかわる目標として設定した自然現象の著しい影響の回避（明らかに不適切な地域を避ける）を達成することができる。この検討結果に基づいて，原環機構は概要調査地区を選定し，「文献調査に関する法定報告書」を作成する。

併せて，収集した一連の文献情報に基づいて広域的な地質環境モデルを構築し，これまで開発してきた処分場概念オプション（原子力発電環境整備機構，2004a）を出発点として，対象区域の地質環境特性に応じた概略的な処分場概念を構築する。これらの情報に基づいて地層処分の閉鎖後長期安全性に関する概略的な評価を行う。この作業から次段階の調査により取得すべき安全性にかかわる重要なサイトの情報を特定し，次段階の概要調査計画の策定に資する。

ただし，これらの作業は公開された文献・資料に基づいており，それらから得られる情報量には限界があるため，不確実性が存在する。そのような不確実性は，安全性に及ぼす影響の程度を考慮し，次段階における調査項目として調査計画に含める。これにより不確実性の低減を図る。

上述したような処分場概念や閉鎖後長期安全性の概略的な検討に基づき，応募区域に処分場を設置した場合の地上・地下施設のイメージを「文献情報に基づく処分場の概要」として取りまとめ公表する。これらの報告書とその補充文書からなる文書群により，安全性に関する検討を行う。この段階での安全性の検討は根拠となる情報が既存の文献に限られることなどから，セーフティケースとして文書化することはせず，その検討結果は，次段階の調査計画の策定に資することを主たる目的とする。

一方，事業期間中の安全性に関しては一般労働安全の確保，放射線安全の確保，周辺環境の保全という三つの観点から検討を行う。

一般労働安全の確保に関しては、建設・操業の実現性確認のための情報を収集・評価するとともに、建設および操業段階で支障となりうる自然現象の有無などを評価する。また、地下構造物の耐震性の検討のための文献情報も収集・評価する。

放射線安全の確保に関しては、廃棄体の地上施設までの運搬時や地上施設における廃棄体取り扱い時の公衆安全および作業員の安全に関する見通しをつける。

周辺環境の保全に関しては、環境保護の観点からの制約を調査する。事業期間中の安全性の検討結果も「文献情報に基づく処分場の概要」の中に含める。

一方、次段階に向けて、精密調査地区選定上の考慮事項を作成して公表し、これに基づき概要調査計画の立案を行う。

## (2) 精密調査地区選定段階（概要調査の段階）

・ 本段階における事業目標	: 精密調査地区選定
・ 安全確保にかかわる目標	: 自然現象の著しい影響の回避 長期安全性確保の見通し 事業期間中の安全確保の見通し
・ 目標達成にかかわる要件	: 精密調査地区選定上の考慮事項への適合性、安全審査基本指針（あるいは自主基準）への適合性
・ 安全確保にかかわる主要文書	: 概要調査に関する法定報告書、概要調査に基づく概念設計と予備的安全評価に関する報告書

この段階における事業目標は「精密調査地区の選定」であるが、安全にかかわる目標としては、「自然現象の著しい影響の回避」、「長期安全性確保の見通し」、「事業期間中の安全確保の見通し」がある。これらの目標達成にかかわる要件としては、「精密調査地区選定上の考慮事項」、「安全審査基本指針（あるいは自主基準）への適合性」がある。これらの要件を考慮した上で、この段階の目標を達成するために、原環機構は以下の事項を実施する。

概要調査の実施に先立ち「概要調査計画書」を公表し、それに基づいて、地域全体の広域的な地質環境情報を得ることを主たる目的として、トレンチ調査、物理探査、ボーリング調査などの概要調査を実施する。

概要調査の結果に基づき、「精密調査地区選定上の考慮事項」に示す断層活動、火成活動、隆起・侵食といった自然現象による著しい影響が回避できることを確認するとともに、「精密調査地区選定上の考慮事項」の中の上記以外の要件に基づいて、精密調査地区を選定する。

精密調査地区選定段階では、概要調査で取得した地質環境情報を踏まえて概要調査地区選定段階で構築した地質環境モデルを更新し、精密調査地区を対象としたスケールの地質

環境モデルを構築し、地質環境の長期変遷についても検討を行う。

更新された地質環境モデルに基づいて、地上・地下施設の基本レイアウトを設定し、人工バリアの工学的成立性確認、長期安全性に関する予備的な評価、事業期間中の安全性の検討を行う。安全性の確認に当たっては、複数のフェーズで段階的に実施する中で、三つの安全確保策（適切なサイト選定と確認、処分場設計・施工などの適切な工学的対策、地層処分システムの長期安全性の評価）を相互に連携させながら、不確実性を低減させる。

さらに、処分施設建設地選定段階以降の技術開発や基盤研究開発への追加すべきニーズを取りまとめる。また、効率的に事業を進めるために、地質環境特性、安全性、経済性などの観点から総合的に判断した上で、処分場概念をレファレンス処分場概念（付録で詳述）として一つに絞り込む。この際に、この段階での不確実性を考慮し、一つに絞り込むことが適当でない場合には、複数の処分概念オプションを示すことも検討する。

事業期間中の安全性について、一般労働安全の確保、放射線安全の確保、周辺環境の保全という三つの分野に分けて検討を行うという点は、前段階の概要調査地区選定段階と同様であるが、前段階が文献情報のみに基づいた検討であったのに対し、この段階では、現地踏査、トレンチ調査、ボーリング調査などからより詳細なサイトの情報が得られているため、より現実的な評価が可能になると考えている。

上記の検討結果を踏まえ、「精密調査地区選定上の考慮事項」に基づいて精密調査地区を選定し、法律に基づく「概要調査に関する法定報告書」を作成するとともに、処分場の設計、長期安全性や事業期間中の安全性などの評価結果を含む「概要調査に基づく概念設計と予備的安全評価に関する報告書」を取りまとめ公表する。

これらの報告書とその補充文書から成る文書群により、この段階のセーフティケースを構成し公表する。また、次段階に向けて、処分施設建設地選定上の考慮事項を作成して公表し、これに基づき精密調査計画の立案を行う。

次段階の後半に予定している地下調査施設の建設が、地質環境や周辺環境に擾乱を及ぼす可能性があることに配慮し、影響を受ける前の状態を把握するためのモニタリングを必要に応じて開始する。

### (3) 処分施設建設地選定段階（精密調査の段階）

#### ① 地上からの調査段階

- |                 |  |
|-----------------|--|
| ・ 本段階における事業目標   | ： 基本レイアウトの決定   |
| ・ 安全確保にかかわる目標   | ： 自然現象の著しい影響の回避を確認<br>長期安全性の確保<br>事業期間中における安全性の確保                  |
| ・ 目標達成にかかわる要件   | ： 処分施設建設地選定上の考慮事項（法的要件＋付加的<br>条件）への適合性，安全審査基本指針への適合性，<br>自主基準への適合性 |
| ・ 安全確保にかかわる主要文書 | ： 精密調査に基づく基本設計と安全評価に関する報告<br>書（経過報告），環境影響にかかわる評価報告書                |

「処分施設建設地選定段階」は、「地上からの調査段階」と「地下調査施設での調査段階」の二つの段階に分けて実施する予定である。

「地上からの調査段階」における事業目標は、処分関連施設の基本レイアウトを決定することである。この基本レイアウトを基準として、地質環境の情報を得るために適した地下調査施設の配置や構成を検討・設定する。この段階の安全確保にかかわる目標は、自然現象の著しい影響の回避を確認、長期安全性の確実な確保、事業期間中における安全性の確実な確保の三つである。これらの目標を達成するために、要件として処分施設建設地選定上の考慮事項への適合性、安全審査基本指針への適合性、自主基準への適合性を満たす必要がある。これらの要件を考慮した上で、この段階の目標を達成するために、以下の事項を実施する。

まず、調査に先立ち「精密調査計画書」を公表し、それに基づき地下調査施設での調査の前段となる地上からの調査を実施する。地上からの調査は、前段階の概要調査によって得られた地質環境情報の確認、詳細化、特に、処分場建設候補地周辺の地下情報の取得を目的として実施する。

また、新たに取得された地質環境の情報に基づき地質環境モデルを更新し、それを踏まえて人工バリアや処分パネルのレイアウトなどの設計を見直し、廃棄体および人工バリア材の運搬・定置にかかわる再検討および長期安全性の評価を行って地層処分施設の基本レイアウトを決定する。それらの結果は、「精密調査に基づく基本設計と安全評価に関する報告書（経過報告）」として取りまとめ、関連する補充文書と併せてこの段階のセーフティケースを示す。

併せて、基本レイアウトに基づき、地下施設での調査や技術の実証などを目的に次段階で建設する地下調査施設の配置を決定し、精密調査計画（地下調査施設での調査）を立案

する。

また、地下調査施設の建設に先立ち環境影響評価を行い、適切な環境保全策を講じる。それらの結果は「環境影響にかかわる評価報告書」として取りまとめる。

## ② 地下調査施設での調査段階

- |                 |  |
|-----------------|--|
| ・ 本段階における事業目標   | ： 処分施設建設地選定  |
| ・ 安全確保にかかわる目標   | ： 自然現象の著しい影響の回避を確認<br>長期安全性の確実な確保<br>事業期間中における安全性の確実な確保  |
| ・ 目標達成にかかわる要件   | ： 処分施設建設地選定上の考慮事項（法的要件＋付加的条件）への適合性，安全審査指針への適合性，自主基準への適合性 |
| ・ 安全確保にかかわる主要文書 | ： 精密調査に関する法定報告書，精密調査に基づく基本設計と安全評価に関する報告書                 |

「処分施設建設地選定段階」の後半として実施する「地下調査施設での調査段階」における事業目標は、「処分施設建設地選定」である。この段階の安全確保にかかわる目標は、自然現象の著しい影響の回避を確認，長期安全性の確実な確保，事業期間中における安全性の確実な確保である。これらの事業目標と安全確保にかかわる目標を達成するための要件は，処分施設建設地選定上の考慮事項（法的要件＋付加的条件）への適合性，安全審査指針への適合性，自主基準への適合性であり，これらの要件を考慮した上で，この段階の目標を達成するために，以下の事項を実施する。

この段階では，前段階の「①地上からの調査段階」で作成した「精密調査計画書」を改定し，地下施設での詳細な調査計画を記述する。この段階では，対象としている母岩が地層処分に適していることを確認するために，対象母岩中まで坑道を掘削し，地下深部における岩盤の特性調査や原位置試験などを行う。また，三つの安全確保策（適切なサイト選定と確認，処分場の設計・施工などの適切な工学的対策，地層処分システムの長期安全性の評価）を相互に連携させながら，不確実性の影響を効率的に低減させ，閉鎖後長期の安全性にかかわる信頼性を向上させる。

地上・地下施設に関しては，基本設計を行い，人工バリアの仕様の決定，製造・施工の実証を行うとともに，地質環境モデルおよび基本設計に基づいて閉鎖後長期の安全評価を実施する。また，建設・操業段階の計画を立案し事業期間中の詳細な安全確保策の検討を行う。

さらに，地下調査施設などの一部を活用して，建設や操業にかかわる技術のうち地層処

分に固有な主要技術については実証試験を行う。また、人工バリアやニアフィールドの長期的な性状変化の予測・評価に資するデータ取得を目的とした実証試験を開始する。また、周辺環境の保全に関しては、環境影響評価を実施し、必要に応じて保全策の策定を行う。

以上の検討結果に基づき、処分施設建設地を選定し、法律に基づく「精密調査に関する法定報告書」と、「精密調査に基づく基本設計と安全評価に関する報告書」を取りまとめ公表するとともに、これらの報告書と関連する補充文書から成る文書群によってこの段階のセーフティケースを構成し公表する。

以上の結果について、炉規法などの関係法令やそれらに基づく指針・基準類への適合性を確認し、「事業許可申請書」を作成する。その一環として、処分場閉鎖にかかわる立案・計画書の策定を行う。

#### (4) 安全審査の段階

・ 本段階における事業目標	: 事業許可の取得
・ 安全確保にかかわる目標	: 自然現象の著しい影響の回避を確認 長期安全性の確実な確保 事業期間中の安全性の確実な確保
・ 目標達成にかかわる要件	: 許可基準への適合性、安全審査指針への適合性（自然現象の著しい影響の回避の確認、長期安全性の確保、事業各段階における作業安全および一般公衆への安全性の確保）
・ 安全確保にかかわる主要文書	: 事業許可申請書、環境影響評価書

この段階では、前の段階で作成した「事業許可申請書」を国へ提出し、事業許可を申請する。また、安全審査期間中においても、必要に応じて補足的な調査・評価を実施する。

また、処分場の建設・操業に伴う周辺環境への影響に関する調査や予測評価、処分場の建設、操業時における保全対策の策定などの環境影響評価を実施し、「環境影響評価書」を作成し公表する。併せて、建設に向けた準備として設計および工事の方法の認可（以下「設工認」という）の申請書などの作成も並行して進める。

### 3.4.2 建設～事業廃止までの段階

#### (1) 建設段階

- |                 |   |
|-----------------|---|
| ・ 本段階における事業目標   | ： 処分施設の建設                                 |
| ・ 安全確保にかかわる目標   | ： 新たな知見を踏まえた長期安全性の確認<br>建設段階における安全性の確実な確保 |
| ・ 目標達成にかかわる要件   | ： 技術上の基準への適合性（設工認，施設確認，使用前検査）             |
| ・ 安全確保にかかわる主要文書 | ： 設工認申請書，施設確認申請書，使用前検査申請書，安全レビュー報告書       |

この段階では，原環機構は国から事業許可を受けた後，地層処分施設建設のための準備工事に着手する。そして，特定廃棄物埋設施設は，随時設工認申請を行い，認可を受けた後，ガラス固化体受け入れ・一時保管施設などの地上施設，並行して，地下施設の建設に着手する。地上・地下施設の建設では，事業許可申請と，設工認申請において示した処分場設計に基づき，要求機能を満足するように品質を適切に管理しながら建設を進める。認可を受けたとおりに適切に建設が行われたことを，国による使用前検査を受検して確認する。

この段階では，建設中に取得する地質環境特性データ，各種のモニタリングデータなど，新たな情報が得られるため，これらの情報に基づき安全評価を行って処分場の安全性を再確認し，「安全レビュー報告書」として取りまとめ公表する。

また，これらの新たに得られた情報を用いて地質環境特性をより正確に地下施設設計に取り込むことにより，法律を遵守した上で，安全確保上の観点から必要に応じて処分坑道の位置や廃棄体の設置位置の変更を行う。また，操業技術・安全評価技術の高度化の観点から，地下調査施設で実証試験を必要に応じて実施する。

地上・地下施設の建設に際しては，原子力施設やトンネル・鉱山などの安全対策を参考として安全計画を立案し，国や地方自治体の承認を得た上で，それに従って建設を進める。

## (2) 操業段階（操業期間中）

- |                 |   |
|-----------------|---|
| ・ 本段階における事業目標   | ： 操業の実施                                   |
| ・ 安全確保にかかわる目標   | ： 新たな知見を踏まえた長期安全性の確認<br>操業段階における安全性の確実な確保 |
| ・ 目標達成にかかわる要件   | ： 技術上の基準への適合性（施設確認，廃棄体確認，<br>使用前検査）       |
| ・ 安全確保にかかわる主要文書 | ： 施設確認申請書，廃棄体確認申請書，安全レビュー<br>報告書          |

この段階では、ガラス固化体の受け入れ、オーバーパックへの封入、廃棄体の搬送、定置などが行われるため、各種基準や指針への適合性を確認するとともに、廃棄物受け入れ施設などの性能、保安規定や核物質防護規定の遵守状況について国の定期的な検査を受ける。この段階においても、モニタリングを通じて得られる情報や新たな科学的知見を踏まえ、安全評価を行って処分場の安全性を再確認するとともに、定期的に「安全レビュー報告書」として取りまとめ公表する。

また、次段階の閉鎖について必要な技術の整備とその信頼性の向上を図るために、閉鎖技術の実証試験を行うとともに、精密調査段階以降から実施している人工バリアシステムの長期試験結果の取りまとめを行う。これらの情報も含め、この段階で得られる新たな情報や知見を加えてセーフティケースを更新し、「安全レビュー報告書」に反映する。

操業段階では、実際の放射性廃棄物を取り扱うため、一般労働安全と併せて、放射線安全のための対策を確実に講じ、操業を安全に進める。処分施設の建設および操業は処分パネル単位で実施するため、隣り合うパネルで建設と操業が同時期に並行して実施される場合もあるが、放射性廃棄物を搬入・定置するパネルでは放射線管理区域として厳格な管理を行うなど、建設にかかわる輸送や作業と明確に区分する。

また、次段階に向けて、安全レビュー結果、各段階における繰り返しの安全確認結果、実証試験成果などに基づき総合的に安全性を評価し、閉鎖措置計画の検討を行う。

## (3) 操業段階（操業の終了・閉鎖措置計画認可申請）

- |                 |                          |
|-----------------|--------------------------|
| ・ 本段階における事業目標   | ： 閉鎖措置計画の認可              |
| ・ 安全確保にかかわる目標   | ： すべての情報を統合した長期安全性の提示    |
| ・ 目標達成にかかわる要件   | ： 閉鎖措置計画の認可の基準への適合性      |
| ・ 安全確保にかかわる主要文書 | ： 閉鎖措置計画の認可申請書，安全レビュー報告書 |

この段階では、操業を終了し、サイト調査から操業終了までに得られたすべての情報に基づき安全評価を行ってセーフティケースを更新することで、閉鎖の意思決定のため安全性の確認を行い、「安全レビュー報告書」を作成する。

炉規法の規定によれば、処分場を閉鎖しようとする場合、原環機構は閉鎖措置計画を定め、経済産業大臣の認可を受けなければならないと規定されている。従って、原環機構は、「閉鎖措置計画の認可申請書」を作成し、国に申請して認可を受ける。

#### (4) 閉鎖段階

- |                 |                     |
|-----------------|---------------------|
| ・ 本段階における事業目標   | ： 閉鎖措置の実施           |
| ・ 安全確保にかかわる目標   | ： 閉鎖段階における安全性の確実な確保 |
| ・ 目標達成にかかわる要件   | ： 閉鎖措置計画の認可の基準への適合性 |
| ・ 安全確保にかかわる主要文書 | ： 閉鎖措置の確認申請書        |

この段階では、炉規法の規定により、前の段階で認可された閉鎖措置計画に基づき、所要の品質を確保しつつ地下施設（連絡坑道やアクセス坑道など）を埋め戻し、処分場の閉鎖を行う。閉鎖措置が完了した時点で、実施状況や実施後の地形、地質、地下水の状況に関する事項を記載した「閉鎖措置の確認申請書」を作成し、経済産業大臣に申請を行い、認可を受けることと規定されている。なお、閉鎖まで、核物質の防護のための区域、廃棄体の回収可能性を維持する。

また特廃法では、最終処分が終了したときは、あらかじめ最終処分施設の状況が定められた基準に適合していることが、経済産業大臣によって確認を受けなければならないと規定されている。閉鎖する場合、最終処分施設に関する記録は、原環機構から経済産業大臣に提出され、永久保存されることになっている。

この段階においても、一般労働安全と併せて放射線安全のための対策を確実に講じることにより、閉鎖を安全に進める。併せて環境保全にも努める。

炉規法や特廃法に基づく手続きを実行する上で必要な閉鎖措置計画の認可基準は今後必要される時期までに具体化されるべき事項である。

## (5) 閉鎖完了後～事業の廃止までの段階

- |                 |   |
|-----------------|---|
| ・ 本段階における事業目標   | ： 廃止措置の実施と確認                                |
| ・ 安全確保にかかわる目標   | ： 新たな知見を踏まえた長期安全性の確認<br>閉鎖後の段階における安全性の確実な確保 |
| ・ 目標達成にかかわる要件   | ： 廃止措置計画の認可の基準への適合性，廃止措置の<br>終了確認の基準への適合性   |
| ・ 安全確保にかかわる主要文書 | ： 廃止措置計画の認可申請書，安全レビュー報告書，<br>廃止措置終了の確認申請書   |

この段階では、炉規法に基づき、事業の廃止措置に向けて、長期にわたり安全性が確保されることを総合的に評価することにより、セーフティーケースを更新し、安全レビュー報告書を作成する。その上で、「廃止措置計画の認可申請書」の作成・申請・認可取得を行う。

認可された廃止措置計画に基づき、所要の品質を確保して地上施設の解体を行い、廃止措置を行う。また、その際、品質管理を適切に行い、それらを記録する。廃止措置が終了した時点で、「廃止措置終了の確認申請書」を作成し、国へ確認の申請を行い、廃止措置の確認を受けた段階で、当該事業は炉規法の対象からはずれる。

なお、原環機構は、閉鎖後の処分施設跡地の区域管理を行い、原環機構の解散（特廃法では、別の法律で定めるとされている）によりその責任は完了することになる。このような区域管理の具体的内容については今後、社会的要請などを考慮して改めて判断する。

また、特廃法によれば、処分施設の敷地およびその周辺を保護する必要がある場合には、原環機構からの申請を受けて、国はその区域を保護区域として指定することができる。保護区域内では、経済産業大臣の許可を受けない土地掘削は禁止される。現時点においては、原環機構解散後の処分施設の扱いは明確になっていない。原環機構としては、解散後の安全確保の妥当性を責任をもって証明し、国の確認を受けた後、国へ確実に管理業務を引き継ぐことが責務と考えている。

表 3.4-1 安全確保に向けたロードマップ

段階	概要調査地区 選定段階 (文献調査の段階)	精密調査地区 選定段階 (概要調査の段階)	処分施設建設地選定段階 (精密調査の段階)		安全審査の段階	建設段階	操業段階		閉鎖段階	閉鎖後～事業廃止	
			地上からの調査	地下施設での調査			操業期間中	操業の終了・閉鎖措 置計画認可申請			
			20年間程度								10年間程度
各段階における事業目標	概要調査地区選定	精密調査地区選定	基本レイアウトの 決定	処分施設建設地選定	事業許可の取得	処分施設の建設	操業の実施	閉鎖措置計画の認可	閉鎖措置の実施	廃止措置の実施と 確認	
安全確保にかかわる目標	・自然現象の著しい影 響の回避 (明らかに不適格な 地域を避ける)	・自然現象の著しい影 響の回避 ・長期安全性確保の見 通し ・事業期間中の安全性 確保の見通し	・自然現象の著しい影 響の回避を確認 ・長期安全性の確保 ・事業期間中の安全 性の確保	・自然現象の著しい影 響の回避を確認 ・長期安全性の確実な 確保 ・事業期間中の安全性 の確実な確保	・自然現象の著しい影 響の回避を確認 ・長期安全性の確実な 確保 ・事業期間中の安全性 の確実な確保	・新たな知見を踏まえ た長期安全性の繰り 返し確認 ・建設段階における安 全性の確実な確保	・新たな知見を踏まえ た長期安全性の確認 ・操業段階における安 全性の確実な確保	・すべての情報を統合 した長期安全性の提 示	・閉鎖段階における安 全性の確実な確保	・新たな知見を踏 まえた長期安全 性の確認 ・閉鎖後の段階に おける安全性の 確実な確保	
目標達成にかかわる要件	・考慮事項(法定要件 +付加的条件)への 適合性 ・自主基準への適合性	・考慮事項(法定要件 +付加的条件)への 適合性 ・安全審査基本指針 (あるいは自主基 準)への適合性	・考慮事項(法定要件 +付加的条件)への 適合性 ・安全審査基本指針へ の適合性 ・自主基準への適合性	・考慮事項(法定要件 +付加的条件)への 適合性 ・安全審査基本指針へ の適合性 ・自主基準への適合性	・安全審査指針への適 合性 ・安全審査基本指針へ の適合性	・技術上の基準への 適合性(設工認、施 設確認、使用前検 査)	・技術上の基準への 適合性(施設確認、 廃棄体確認、使用前 検査)	・閉鎖措置計画の認可 の基準への適合性	・閉鎖措置計画の認可 の条件への適合性	・廃止措置計画の 認可の基準への 適合性 ・廃止措置の終了 確認の基準への 適合性	
各分野における実施事項	閉鎖後長期の安全性	適切なサイト選定 と確認	自然現象の著しい 影響の回避	文献調査 による回避	概要調査 による回避	回避できていることの確認					
		地質環境特性の 把握	地質環境モデルの 構築	地質環境モデルの 更新	地質環境モデルの 更新	安全審査に 提示する 地質環境モデル の構築	地質環境モデルの更新				
		適切な工学的対策	地下施設	概略検討	基本レイアウトの 設定と概念設計	基本レイアウトの 決定と基本設計	基本設計	詳細設計	施工	製造・施工	閉鎖の仕様確定
	人工バリア	概念設計	仕様決定 製造/施工の実証		製造設備建設		製造・施工	現象確認			
	地層処分システムの長期安全性の評価	概略的な評価	予備的な評価	安全審査に向けた 総合的評価		補足的評価	建設時取得データに 基づく安全性の確認	操業時取得データに 基づく安全性の確認	閉鎖に向けた 総合的評価	閉鎖時取得データに 基づく安全性の確認	
	事業期間中の各段階の安全性	一般労働安全の確保	情報収集・評価	対策立案(地上/地下施設)		基本設計	詳細設計	対策の実施		対策の実施・監視	
放射線安全の確保	概略検討	概念設計		基本設計	詳細設計		対策実施・監視		監視		
周辺環境保全	制約調査	影響予備評価		影響評価 および保全措置	補足的検討		保全措置および監視(追加対策)				
安全確保にかかわる主要文書		・文献調査に関する法 定報告書 ・文献情報に基づく処 分場の概要	・概要調査に関する法 定報告書 ・概要調査に基づく概 念設計と予備的安全 評価に関する報告書	・精密調査に基づく基 本設計と安全評価に 関する報告書(経過 報告) ・環境影響にかかわる 評価報告書	・精密調査に関する法 定報告書 ・精密調査に基づく基 本設計と安全評価に 関する報告書	・事業許可申請書 ・環境影響評価書	・設工認申請書、施設 確認申請書、使用前 検査申請書、安全レ ビュー報告書	・施設確認申請書、廃 棄体確認申請書、安 全レビュー報告書	・閉鎖措置計画の認可 申請書、安全レビュ ー報告書	・閉鎖措置の確認申請 書	・廃止措置計画の 認可申請書、安 全レビュー報告 書、廃止措置終 了の確認申請書

凡例  : 安全確保上特に重要な実施事項  : 安全確保上重要な実施事項

## 4. 方針2「信頼性の高い技術を用いた事業推進」

原環機構は、3.1 で述べたように、十分な信頼度をもって安全確保策を実施していくために、最新の知見を踏まえ、その時点で利用可能な最適で信頼性の高い技術を用いて事業を推進する。信頼性の高い技術<sup>5</sup>については、他分野での既往の使用実績や事業を効率的に進める観点での経済性を満足した上で、適切なレベルで品質を保証できるものであることが重要である。

地層処分事業で用いる技術の多くは、一般産業分野や原子力分野で使用実績があるものを用いるが、地層処分事業に固有の技術もあり、必要となる時期までに計画的にそれら技術を整備し、適用性を確認しておく必要がある。また、技術の整備を効率的に実施するためには、原環機構と基盤研究開発機関との密接な連携に基づいて技術開発を実施する必要がある。特に基盤研究開発機関には、例えば地下研究所などを用いた先進的な技術開発に取り組み、技術的基盤を構築することが求められる。なぜならば、地下深部における地層処分固有の課題に関する経験は限られており、予期せぬ事態が発生する可能性も否定できないため、事前に地下研究施設で様々な経験を積むことは、今後の原環機構の事業を安全かつ効率的に実施していく上で重要と考えられるためである。

基盤研究開発機関には事業および原環機構の実務的な技術開発に先行して研究開発を行うことにより、次段階以降で原環機構が必要とする科学・技術を継続的に開発していくことが求められる。基盤研究開発機関によって開発された技術は、実際の地層処分事業に適用するために、原環機構が、効率化、最適化、合理化、実用化、体系化などを指向した取り組みを行い事業に活用する。また、原環機構は、組織・体制作りや人材育成に努め、国内外の協力体制を整備することで、事業全体を推進できる環境を構築する必要がある。

以上のように、「信頼性の高い技術を用いた事業推進」を実現するための実施方策として以下の三つに取り組んでいる。

- 1) 計画的な技術の整備
- 2) 技術に関する品質保証の的確な実施
- 3) 原環機構の組織および国内外協力体制の整備

以下に、それぞれの方策の背景や考え方について述べる。

---

<sup>5</sup> ここでいう技術とは、技術的な知見（知識）や使用する技術を含む。

## 4.1 計画的な技術の整備

原子力政策大綱においては、原環機構は地層処分の安全な実施と経済性および効率性の向上を目的とした技術開発を進め、一方で、基盤研究開発機関は深地層の研究施設などを活用して、深地層の科学的研究や、地層処分技術の信頼性向上、安全評価手法の高度化などの基盤的研究を実施することとされており、原環機構では、この方針に基づいて技術開発を実施してきた（付録2参照）。また、基盤研究開発機関が実施主体と規制機関の必要とする技術を把握し基盤研究開発に適切に反映されるよう、地層処分基盤研究開発調整会議（以下、「調整会議」という）という枠組みが国により構築されている（資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構、2008a, 2008b）が、原環機構は、調整会議のメンバーとしてこの枠組みに積極的に参加し、基盤研究開発により得られた成果が有効に地層処分事業に役立つよう基盤研究開発へのニーズ提示および成果の確認を実施してきた。

図 4.1-1 は、地層処分事業における主要なマイルストーンと、それらに向けた技術の開発・整備や必要な基盤研究開発について関係を示したものである。原環機構は、「事業の各段階で安全確保のために必要な技術は何か」、「技術の目標到達レベルは何か」、「現時点において得られている技術のレベルはどの程度か」などを明確にした上で、どの時点で技術開発を開始する必要があるかを考慮して、必要なタイミングで必要な技術が使えるよう計画的に技術の整備を行う。

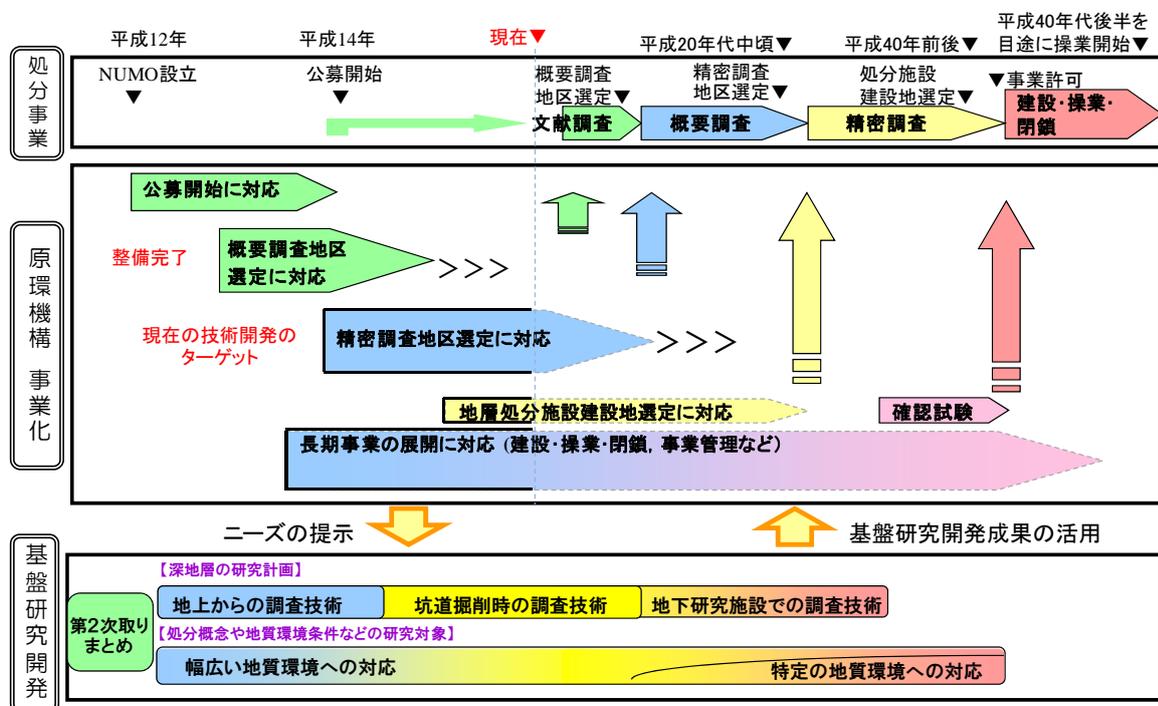


図 4.1-1 技術開発スケジュールと基盤研究開発との関連

また、整備された技術の信頼性を示すためには、技術の実証<sup>6</sup>による確認が重要である。特に、廃棄体の遠隔定置技術などの地層処分に特有な技術については、実証試験によりその適用性・信頼性を確認するとともに、適宜改良を加え、技術を向上させる。また、ボーリング調査技術や搬送技術のような汎用的な技術であっても、地層処分事業に特有な制約条件を考慮して、実証試験などにより経験的にその適用性を確認することが重要である。

なお、閉鎖後長期の安全性の評価に関する技術については、対象とする時間スケールを考慮すると、実証試験によって用いた評価手法や技術の妥当性や信頼性を評価期間全体にわたって確認することができないため、評価に用いるシナリオやモデル、解析コード、データなどについて、評価期間の一部を対象とした実証的な手法に加え、比較解析やナチュラルアナログ事例との比較、専門家のレビューなどの様々な方法を組み合わせることにより、その信頼性を高める必要がある。

#### 4.1.1 技術開発課題の体系的な整理

2000年以降、原環機構では、第2次取りまとめおよび高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術（電力中央研究所・電気事業連合会，1999）で得られた知見や情報を出発点として、基盤研究開発機関と協力しながら技術開発を進めてきた。技術開発テーマを策定する際には、図4.1-2に示す手順によって技術開発課題を明らかにし、見出された開発課題は基盤研究開発機関で実施するものと原環機構が自ら実施するものに分類して取り組んでいる。

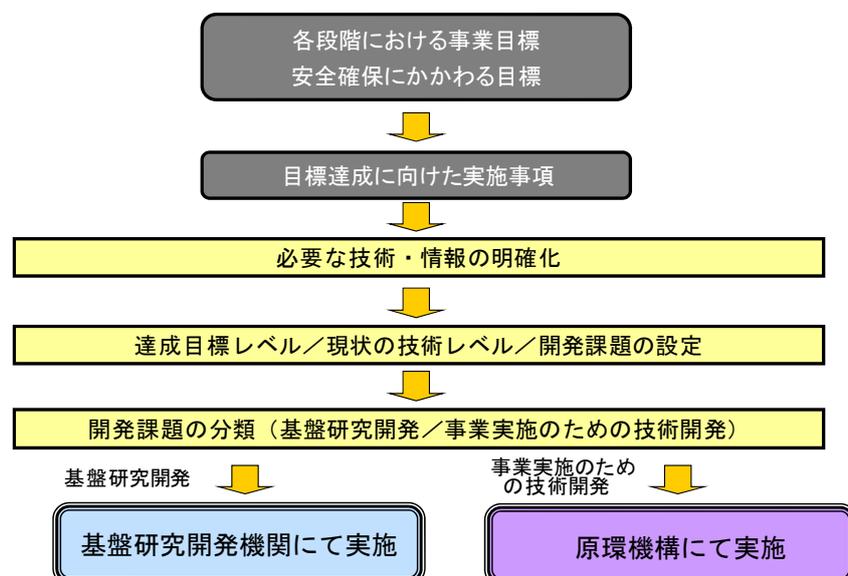


図 4.1-2 技術開発課題の体系的整理の手順

<sup>6</sup> ここでいう技術の実証とは、対象とする技術の全部あるいは一部を、実際の条件を模擬して試行することで、その技術の妥当性や適用性を検証することである。また、その検証を通じて対象技術の問題点を解決し、技術の適用性や信頼性を向上させることも含むほか、技術を実演することで信頼性を提示することも含む。

図 4.1-2 の技術開発課題の体系的整理に当たっては、事業全体を俯瞰した安全確保ロードマップの中で各段階における事業目標と安全確保にかかわる目標を定め、目標達成に向けた実施事項を明らかにした上で、これらの実施事項を遂行するに当たって必要な技術や情報を明確化し、達成目標レベル、現状の技術レベルの検討を行う。設定した達成目標レベルに対して現状の技術レベルが十分ではない場合には、技術開発などによって技術レベルの向上を行うことが必要となるため、達成目標をクリアするために必要な開発課題を設定する。これらの開発課題を、基盤研究機関が基盤研究として実施すべきものと、原環機構が事業実施のための技術開発として取り組むべきものに分類する。表 4.1-1 に、図 4.1-2 の中の黄色で示した作業を表形式で整理した例を示す。

表 4.1-1 開発課題の整理例

項目	実施事項に必要な技術	達成目標レベル/現状レベル/開発課題の整理			開発課題の分類	
		達成目標レベル	現状レベル	開発課題		
断層活動の長期安定性評価	従来手法による活断層評価	活断層の分布と過去十数万年間あるいはそれ以前の活動性を推定できること	基本的には十分なレベルにあるが、信頼性向上・効率化に関する課題はある ・鳥取県西部地震などの明瞭な地表変位を伴わない活断層に対する調査・評価手法が検討されている	隆起特性と組合わせた過去数十万年間の断層活動履歴に関する体系的な調査・評価手法の高度化 ・海上ボーリングなどによる沿岸域の活断層調査・評価技術の適用事例の拡充(A)および体系化(B) ・空中写真判読技術の高度化(判読支援システムの開発など) ・物理探査結果(イメージ)の統一的な解釈方法の整備	・基盤研究 ・(A)基盤研究、(B)原環機構	
	従来手法を補足するための評価	活断層帯、活褶曲・活撓曲帯、伏在断層、活断層の分岐・伸展などの評価	分布範囲と過去十数万年間あるいはそれ以前の活動特性を推定できること	基本的には従来手法で対処することができるが、信頼性向上・効率化に関する課題はある	・適用事例の拡充(A)および手法の体系化(B)	・(A)基盤研究、(B)原環機構
	活動間隔の長い活断層の評価(地質断層の再活動性の評価)	対象とする断層の活動性を評価できること	・活動性評価については地化学と断層岩の調査を組合せた手法や若い(第四紀)断層岩の年代測定手法が検討されている ・地質断層の再活動性については、H12 および H17 レポートで、活断層帯延長部に対する検討や後背山地の隆起速度を考慮した検討の必要性が指摘されている	・適用事例の拡充(A)および手法の体系化(B) ・若い年代(第四紀)の測定手法の実用化 ・地質断層の再活動性に関する考え方、調査・評価の対象・方法などに関する検討	・(A)基盤研究、(B)原環機構 ・基盤研究	
	確率論的な評価	将来数万年間の断層の発生確率を求めることができること	・発生頻度と規模については地震防災分野で検討されている ・分布・位置については原環機構などで検討されているが、信頼性向上・効率化に関する課題はある	・確率論的評価の使い方の検討(A)と手法の高度化(データが十分な場合の統計評価、データが不十分な場合の補完方法など)(B)	・(A)基盤研究、(B)原環機構	

抽出された技術開発課題のうち、原環機構が実施する技術開発課題については、自ら開発計画を策定し計画的に技術開発を進めるが、基盤研究開発として実施する課題については、地層処分基盤研究開発調整会議の場を活用して、原環機構が地層処分事業の技術開発ニーズを提示している(図 4.1-3)。これらの技術開発は、それぞれの機関で分担し、計画的に実施されるが、定期的に技術開発成果について情報交換を実施し、必要に応じて技術開発目標や開発計画の見直しを行うなどして、効率的に技術開発を進めてきている。例えば、「地層処分基盤研究開発に関する全体計画」(資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構、2009)の中で、原環機構のニーズが反映された基盤研究開発計画が示されている。

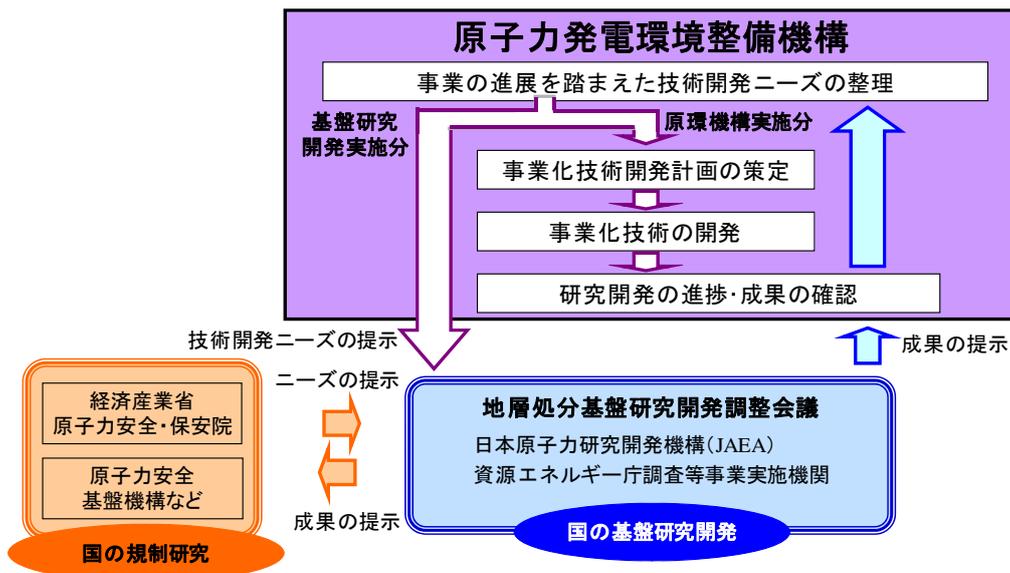


図 4.1-3 基盤研究開発機関と緊密に連携した技術開発の取り組み

#### 4.1.2 信頼性向上に向けた技術開発への取り組み

4.1.1 で述べたように、地層処分事業の実施に必要な技術に対するニーズの抽出を、原環機構が行い自ら開発を手がける事業実施のための技術開発と基盤研究開発機関による基盤研究開発に分類し、技術開発を推進している。

原環機構では、まずサイト選定の第1段階である概要調査地区選定段階に必要な技術開発を先行して実施し、文献調査のための技術を整備した。例えば、原環機構地理情報システム（以下、「NUMO-GIS」という）は文献調査に先立つ地質環境の確認に用いるシステムであり、様々な表示が可能であるが、図 4.1-4 で示した例は日本全国の地質と第四紀火山の分布を表示したものである。また、処分場概念の構築業務を支援するシステムの概要を図 4.1-5 に示す。このシステムでは、地質情報を入力することで、処分施設の設計や安全評価にかかわる概略の検討が実施できる。

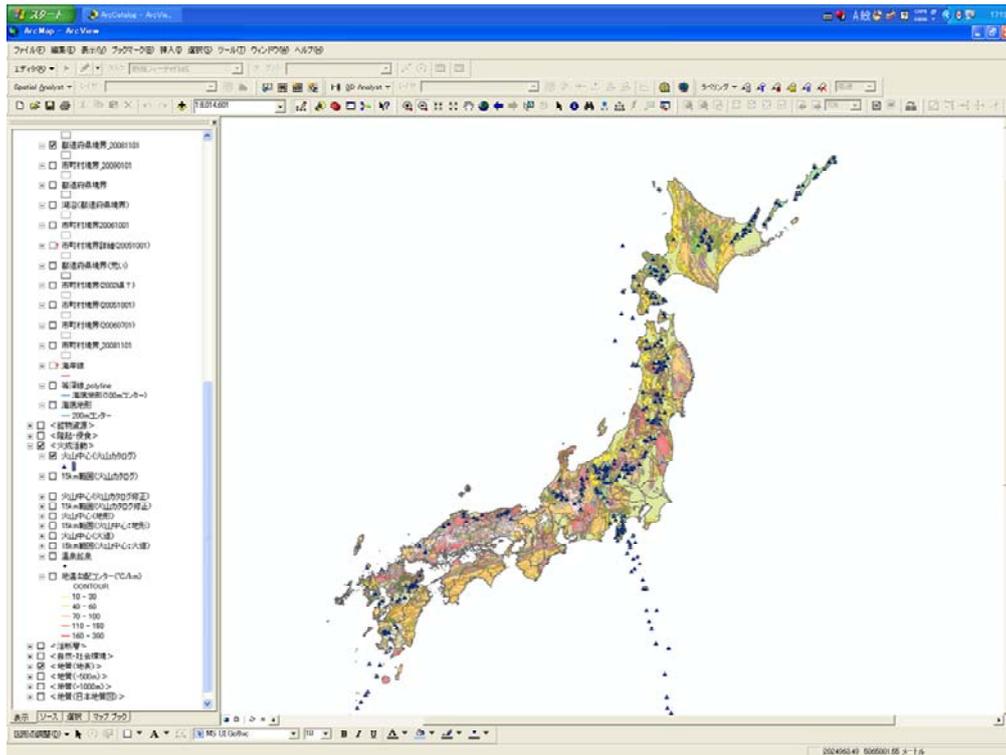


図 4.1-4 NUMO-GIS による日本全国の地質と第四紀火山の分布の表示

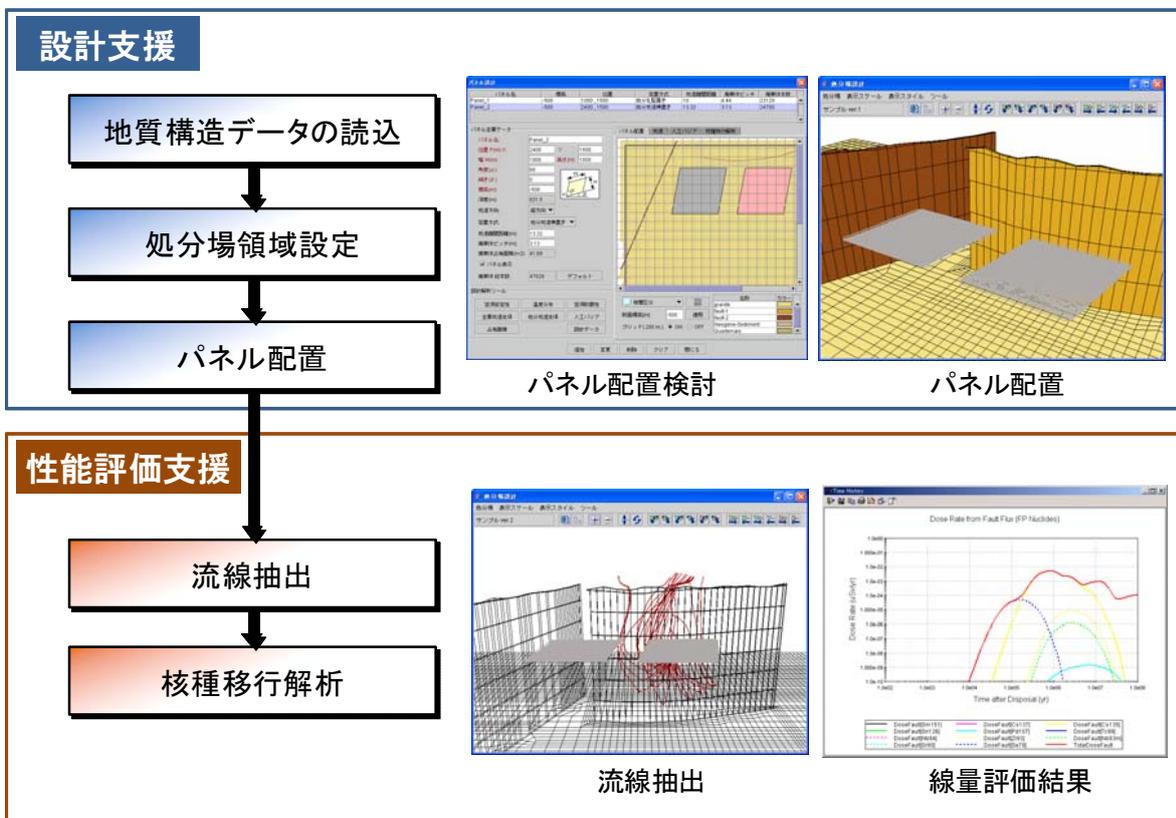


図 4.1-5 処分場概念構築支援システム

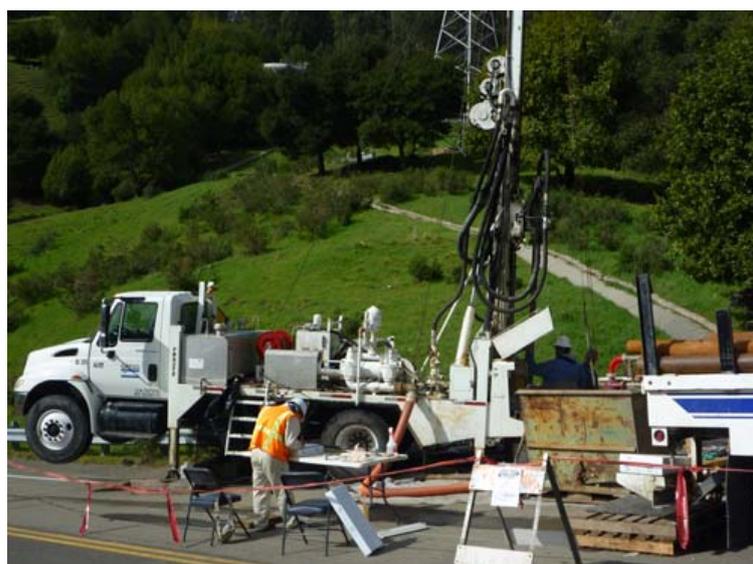
また、サイト選定の第2段階である精密調査地区選定段階のための技術開発も着実に進めており、概要調査を開始するための準備が整いつつある。

原子力機構は、幌延の地下研究施設および瑞浪超深地層研究所における地表からの調査段階の研究成果を取りまとめており（日本原子力研究開発機構，2007a，2007b），概要調査および精密調査前半で必要となる基盤的な技術や知見が得られている。さらに原子力機構は精密調査後半に相当する坑道掘削段階の技術開発にも着手している。また、残された課題である沿岸域の体系的な調査技術について、基盤研究開発機関による検討が進められている（日本原子力研究開発機構，2009b；産業技術総合研究所，2008；原子力環境整備促進・資金管理センター，2009a；木方ほか，2009；長谷川ほか，2009）。

原環機構では、概要調査の合理化・効率化のための技術開発を実施しており、その一例として、米国エネルギー省（U.S.DOE）傘下のローレンスバークレー国立研究所（LBNL）と共同で実施している断層の水理特性の調査・評価手法に関する検討における現地調査の実施状況を図 4.1-6 に示す。



(a) 断層の地表付近の分布・性状を把握するためのトレンチ調査（トレンチ壁面の観察の様子）

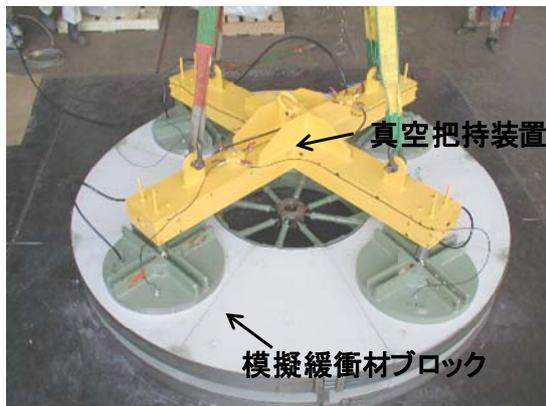


(b) 断層の地下での分布・性状および水理特性を把握するためのボーリング調査（ボーリング孔掘削とコア観察の様子）

図 4.1-6 LBNL 構内における現地調査の実施状況

一方、レファレンス処分場概念の工学的成立性の検討に関しては、基盤研究開発機関において先行的に精密調査地区選定段階以降で必要となる技術の開発が地上施設や地下研究施設で実施されており、多様な地質環境下で必要となる技術オプション整備のための基盤的開発が進められている。原環機構のニーズに基づく基盤研究開発の一例として、図 4.1-7

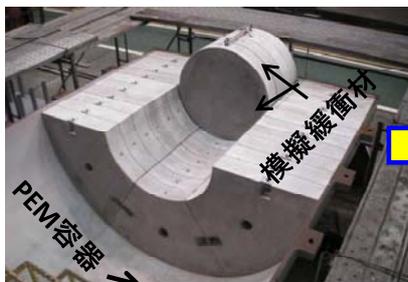
に緩衝材の運搬・定置技術の開発状況を示す（原子力環境整備促進・資金管理センター，2008a）。



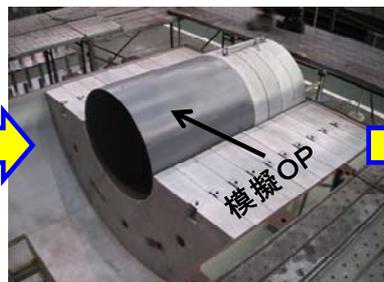
模擬緩衝材ブロック(8個)を一体化し，真空パッドで吸引把持したところ。



真空把持装置を鉛直に上昇させ，緩衝材ブロックが落下しないことを確認。



下半模擬緩衝材ブロックをPEM容器に設置したところ。



模擬オーバーパック(OP)を設置したところ。



上半緩衝材ブロックを組み上げたところ。

図 4.1-7 緩衝材の運搬・定置技術の開発状況

#### 4.1.3 技術の実証

4.1.2 で述べたように，原環機構では，地層処分事業の推進において特に重要な技術については信頼性や適用性を確認することとしている。その一環として，基盤研究開発機関による地表からの調査に関する技術開発成果を踏まえて概要調査の計画立案から現地調査の実施，調査結果の評価に至る一連のプロセスを体系化し，その実用性を確認するために，電力中央研究所横須賀地区の研究所敷地を用いて概要調査の実証を実施している。これにより整理した内容を実際のサイト調査で実施する際の適用性や留意点などを確認している。この実証においては，地質環境モデルを更新し，地質環境に関する情報の不確実性を低減することができることを確認している（図 4.1-8）。

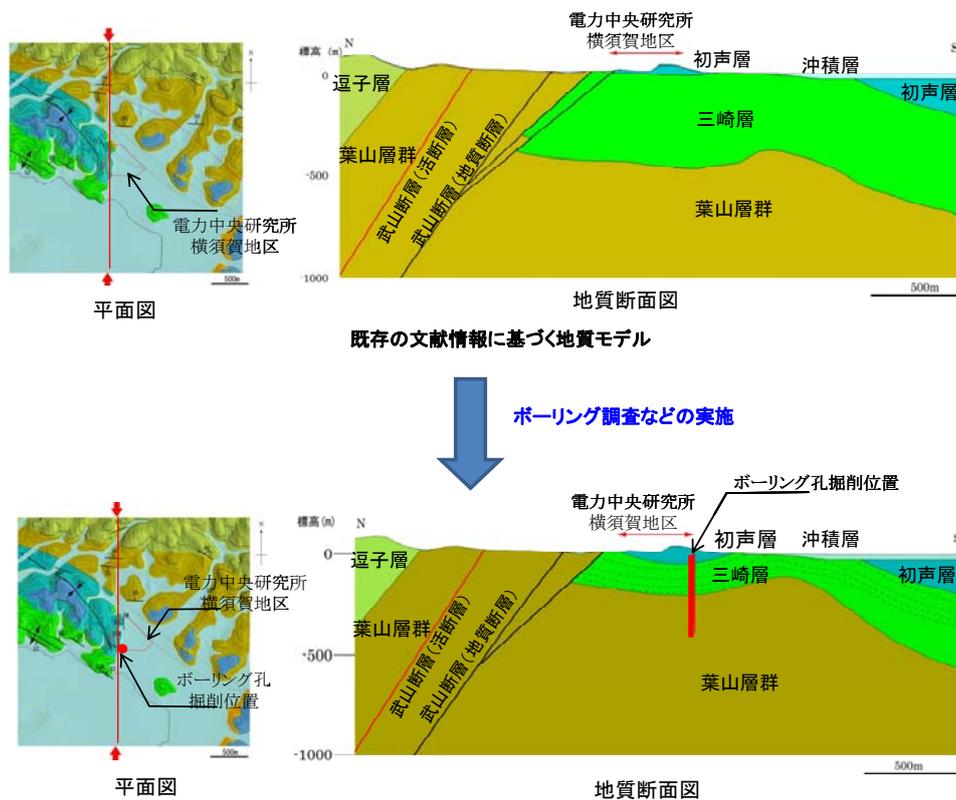


図 4.1-8 ボーリング調査などの実施による地質環境モデル（地質モデル）の更新例

また、実証に関しては、長期安全性の観点から安全評価で仮定された現象などが仮定どおりに進展していることを確認するための科学的な実証と、品質保証や操業安全性という観点で工学的な実証を行う必要がある。これらの実証は、地上の研究所など、基盤研究開発機関の地下研究所や既存の地下空間、原環機構が設置する地下調査施設などを活用して実施することが可能であり、実施時期や実施内容を十分検討して実施していく。

原環機構としては、国内における基盤研究開発機関による先行的な実証の試みや、諸外国の地下研究所や実際の処分場で実施される実証に参加したり、情報を積極的に収集するなどして、処分施設建設地選定段階で実施を予定している実証試験に向けて知見を蓄積し、計画策定に反映していく予定である。特に、諸外国では模擬廃棄体を用いた実証の試みが既に実施されており（ENRESA, 2000）、原環機構としては、将来的に自ら実施することを視野に入れて、知見の拡充に努めている。ただし、国内の基盤研究開発機関の先進的な取り組みにより得られた成果や、国外の実証により得られている知見をそのまま事業に適用するのではなく、その中身を精査し、体系化、実用化などを行うとともに、必要に応じて別途実証などにより信頼性の確認を十分に行った後、適用する。

## 4.2 技術に関する品質保証の的確な実施

### 4.2.1 地層処分における品質保証の考え方

地層処分では、長期安全性を評価することや、合理的に想定される不確実性を許容しうる頑健な処分システムを構築することが求められる。そのためには、サイト調査・評価においては、調査技術・評価手法や、調査により得られた情報の品質を保証すること、また調査データを設計や安全評価に供する際の統合化過程における情報の品質を保証しなければならない。一方、工学的対策においても、人工バリアや処分施設がそれぞれに期待される機能を発揮するよう設計・施工する上で、それらにかかわる技術やデータの品質を保証することが重要である。さらに、安全評価では用いるシナリオ、モデル、データ、解析コードなどの品質が十分に保証されていることが重要である。

このように、地層処分の技術に関する品質保証<sup>7</sup>は、サイト調査・選定、建設・操業、閉鎖を通じ、一貫して行う必要がある。また、閉鎖後長期の安全性にかかわる技術の品質保証を一つ一つ着実に実施することが、直接的に実証できない技術に対してもその信頼性を高めることに繋がる。

品質保証に関する最も一般的なマネジメントの規格には、ISO9001 があり、原子力施設に関連する品質保証の規定には、IAEA GS-R-3（安全要件）、JEAC4111-2009（民間規格）などがある。また、最近、放射性廃棄物の処分に関する品質マネジメントシステムの指針として、IAEA より GS-G-3.4（安全指針）が発行されている。

### 4.2.2 原環機構における品質保証への取り組み

原環機構は、品質マネジメントシステム<sup>8</sup>（以下、「QMS」という）を構築しているが、今後、この QMS を利用して段階的な地層処分事業の進捗にあわせて、IAEA の安全基準を満足するとともに、将来の技術的進歩を許容できるように、継続的なシステムの改善を行いつつ、技術の信頼性を築いていけるものと考えている。特に、技術の品質保証においては、専門家など第三者によるレビューを重視しており、原環機構が用いる技術の品質が保証されていることを客観的に示すことにより、原環機構の信頼を獲得していきたいと考える。

原環機構では、事業全期間にわたり品質保証を実施していくが、現在は文献調査の実施と概要調査地区の選定に向けて、ISO9001:2000 などの考え方を参考に QMS を構築してい

---

<sup>7</sup> ここでの「品質保証」は、法令に示された要件や、規制者などからの要求事項への適合のほか、組織としての信頼獲得のための事業者の活動も含めた意味で用いている。

<sup>8</sup> 国際標準化機構（International Organization for Standardization）の規格では、品質管理（Quality Control）は、要求品質を満足するように取り組む活動（プロセス）、品質保証（Quality Assurance）は、品質管理を行いながら要求品質を満たしていることの確信を与える（保証する）活動、さらに品質マネジメント（Quality Management）は、要求事項に対する顧客の満足度の向上も視野に入れた活動と定義されている。

る。サイト選定段階では、各法定報告書などの文書が品質保証の対象となる成果物である。例えば、概要調査地区選定段階では、「文献調査に関する法定報告書」や文献調査で利用する文献に関する「収集予定文献リスト」、「収集文献リスト」などの技術文書と、「文献情報に基づく処分場の概要」といった重要度の高い技術文書を品質保証の対象とする。

セーフティケースに対する品質保証活動も QMS の一環として実施していく。セーフティケースの品質保証は、長期的な安全性を論証するための手法やプロセス、知識・情報の質の管理や保証などに重点を置き、国際的な経験 (OECD/NEA, 2009b) も参考にしながら、処分事業の段階的な展開に応じた具体的な方法と手順を検討していく。

これらに対し品質方針と品質目標に基づく品質計画書を作成し、品質保証活動を展開する。概要調査地区選定段階の品質目標としては、先述の技術文書を、科学的・技術的な正確性およびわかりやすさを考慮して作成すること、応募地区に対して収集した文献などの情報を分析・評価し「概要調査地区選定上の考慮事項」に基づいて概要調査地区としての適格性を評価することなどが挙げられる。

一般的に品質保証では、業務に対する要求事項を満足していることを業務の結果として示すことが必要である。サイト選定業務に関する要求事項としては、特廃法に記載された要求事項や規制機関からの要求事項、地層処分の安全確保に必要と判断される自主的に設定する要求事項などが考えられる。例えば、概要調査地区選定に関する要求事項は、「概要調査地区選定上の考慮事項」に「法定要件に関する事項」と「付加的に評価する事項」としてまとめられている (原子力発電環境整備機構, 2004b, 2009b)。この段階では、「法定要件に関する事項」が満足されていることを判断の基準として概要調査地区を選定する。これに対し、「付加的に評価する事項」は、サイトの適性の総合的な評価に利用する。

また、文献調査の個々の業務で利用される技術や情報に関する具体的な品質保証では、特に、文献・資料の分析や評価の公平性や客観性の確保に努める。そのため、各分野の国内外の専門家による委員会 (技術アドバイザリー国内委員会, 技術アドバイザリー国際委員会, 国際テクトニクス会議など) を組織し運営してきた (原子力発電環境整備機構, 2008a, 2009c)。これらの委員会は、地質学 (火山学, 構造地質学など), 土木工学, 原子力工学の分野における国内外の第一線で活躍する専門家や、地層処分の海外実施主体などの関係機関に所属する経験豊富な専門家で構成されている。これまで、「概要調査地区選定上の考慮事項」の策定と「概要調査地区選定上の考慮事項の背景と技術的根拠」、「処分場の概要」、「高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性」を取りまとめる際に、これらの文書の技術的内容についてレビューを受け、不十分な点については、追加検討を実施し、改善を行ってきた。そのような取り組みの例として、原環機構が主催した国際テクトニクス会議があげられる (Chapman et al., 2009)。

以上、概要調査地区選定段階における品質保証に関する取り組みを示したが、精密調査

地区選定段階の品質保証の方法についても検討を開始している。その一例として、現地での地質調査や得られた地質環境データなどを基に、処分場の設計、安全評価を実施する際の品質保証の進め方などが挙げられる。また、建設段階以降の品質保証については、現時点での原環機構の考え方を示している（原子力発電環境整備機構，2004a）。

### 4.3 原環機構の組織および国内外協力体制の整備

原環機構は、原子力政策大綱に示されている役割分担に従って、原環機構が実施すべき安全な処分の実施と、経済性、効率性の向上をめざした技術業務の遂行に必要な要員を計画的に確保・育成する。

また、国内の基盤研究開発を担う原子力機構などの基盤研究開発機関とは緊密に連携しながら事業を推進していく。海外の研究機関や処分実施主体との協力も積極的に実施してきており、協力協定などを通じて必要な技術情報の交換や共同研究などを引き続き実施していく。

以下に原環機構自体の組織や人材の確保・育成に加え、国内外の関係機関との協力体制について述べる。

#### 4.3.1 人材の確保・育成・技術継承

地層処分事業は約100年にわたる長期事業であり、その組織の整備においては、長期的な視点から事業を支える人材を確保・育成していく必要がある。例えば、事業の最盛期には100名を越える技術者が必要と見込まれ、地質学、土木工学、原子力工学など広範な専門分野の知識が必要であるが、事業各段階の実施事項に基づいて、業務量や必要な技術的専門性について検討し、将来の業務の実施体制および組織構成について検討している。

原環機構は、2000年に設立されて以来、処分事業の分野や発電所の建設などの大型プロジェクトの経験を有する出向社員を中心に業務を実施してきたが、事業の継続性を考慮して2007年から職員の中途採用を開始した。また、2010年からは新卒採用も開始し、事業の進展に伴い順次プロパー職員の割合を増加させていく計画である。なお、中途採用者は、一般企業や研究機関において地層処分に関連する知見や業務経験を有し、即戦力となる人材である。

人材の育成に関しては、新卒採用されたプロパー職員は、地層処分の専門技術者として、それぞれの専攻・専門分野に関連が深い専門知識・技能の修得を図ることが求められる。また、同時に専門分野以外の技術分野についても知識を修得する機会を積極的に設け、広範な知識を持たせるようにし、併せて、事業の推進に必要なプロジェクト管理技術の修得やコミュニケーション能力にも重点を置き育成する。このため、基盤研究開発機関などへ

の出向により専門知識・技能の向上を図ることなども検討している。地層処分事業では国際的な協力関係も重要であることから、ITCなどの海外の研修機関において研修を実施しているほか、海外実施主体への派遣や共同研究などを通じた人材交流も計画しており、国際的にも活躍できる人材としての育成にも努める。

100年といった長期間の事業を実施する間には、数回の世代交代があると見込まれるため、世代間での技術継承について検討が必要である。そこで、人から人への技術継承を円滑に行うために、組織の年代構成の適正化にも配慮するとともに、技術継承に有効な支援ツールの整備にも取り組んでいる。支援ツールとして、将来世代が過去の重要な技術・情報や意思決定の経緯などの情報を追跡できるような機能を、要件管理システムに搭載しているほか、設計図書などの技術情報のデータベース化と管理システムの導入も検討している。

#### 4.3.2 国内外の関係機関との協力体制の整備と技術移転

地層処分の実施には、多岐にわたる科学技術分野の知見が必要とされるため、原環機構がすべての知見を独自で保有するのではなく、国内の関係機関と協力して、適切な役割分担の下に協力して事業を進めることとしている。具体的には、4.1に述べたように、地層処分の技術開発では、原環機構が技術開発ニーズを提示し、国内の関係機関と連携して効率的に技術開発を進めている。また、技術開発以外にも、処分事業全般に関する情報交換や共同研究を実施するために、原子力機構および電力中央研究所とは個別に技術協力協定を締結している。このほか、多くの大学から技術指導支援を受けており、一部の大学とは協力協定を締結している。

これらの技術協力協定の枠組みの整備だけでなく、基盤的な技術開発が終了したものについては、基盤研究機関などから原環機構に速やかに技術移転を図り、事業に反映する。例えば、技術情報については、技術報告書や学術論文などの文献、様々な材料特性データベース、解析コードなどの譲渡などが挙げられる。最近では、原子力機構を始めとする基盤研究開発機関が協力して、これまでの基盤研究開発の成果やデータベースを統合化するためのプラットフォームとして、知識マネジメントシステムの開発が進められている(梅木, 2006)。このような取り組みは、技術移転の円滑な促進に資するものと期待できる。

一方で、文書やデータベースなどの有形の技術情報に対して、技術者の長年の経験などに裏付けられた技術ノウハウについては、完全な文書化は容易ではなく、このような無形の技術的ノウハウをいかに移転するかも課題とされている。その一部については、知識マネジメントシステムなどに採録されると期待されるが、同時に原環機構としては、技術は人を介して組織に蓄積されていくとの基本的考えに立ち、基盤研究開発機関において性能評価や地質環境調査評価技術などの開発や計画管理に携わってきた研究者や技術者などの

原環機構への長期出向や転籍により人材確保に努めている。また、先述のように、原環機構の技術者を基盤研究機関などに派遣することで技術移転を促進することも計画している。

また、実務的な分野において多くの経験を有している民間企業の有する知見も有効に活用することを考えており、民間企業が地層処分の分野における固有のノウハウを蓄積・維持できるよう原環機構との協力体制を構築していくことが重要である。そのためには、民間企業がそれぞれの得意分野での知見を維持し、長期にわたる事業期間中にわたって処分事業を支えていける環境を構築していくことも重要である。

例えば、スイスの実施主体 **Nagra**、スウェーデンの実施主体 **SKB**、フィンランドの実施主体 **POSIVA** などでは、処分事業に必要な知見を有する企業を地下研究所における活動や、サイト調査などを通して戦略的に育成してきており、処分事業の実施主体の技術力を支える柱として機能している。原環機構においても、技術的なサポートを提供する民間企業が専門分野を強化していける環境を作り出すことが重要であり、委託の発注方法について、具体的な方策を国や電気事業者と調整しながら検討していく必要があると考える。

放射性廃棄物の処分は、国際的に連携して取り組むべき課題でもあることから、海外の実施主体との協力体制の構築も重要である。これまで、各国の実施主体である **POSIVA**（フィンランド）、**Nagra**（スイス）、**SKB**（スウェーデン）、**U.S.DOE**（アメリカ）、**ANDRA**（フランス）、**NDA**（イギリス）と、技術協力協定を締結している。**U.S.DOE**、**Nagra**、**SKB**、**POSIVA** とは、すでに個別の地質調査や工学技術の分野で共同研究を実施しているが、今後、精密調査の段階に実証試験を実施することなどを見据えて、**SKB** のエスポ岩盤研究所を活用した国際共同研究プロジェクトにも参画する予定である。

これらの共同研究を通じて、海外の地質調査や地下調査施設などで培われた技術などを修得するだけでなく、職員自身も海外の処分事業の進め方、事業を取り巻く環境の相違、処分地選定までの経緯などを海外の技術者などから直接学ぶことで、国内業務では得られない経験と知識を得ることが期待できる。

以上のように、国内外の機関との協力体制を最大限に生かして、事業の推進や技術移転、職員の人材育成に役立てる。

## 5. 方針3「安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取り組み」

地層処分事業は、安全上考慮すべき期間が極めて長期にわたることなどから、世代間倫理の問題なども絡んだ、社会的にこれまで経験したことのない事業である。このため、事業を実施するに当たっては、サイト選定から処分場閉鎖後の事業廃止に至るまでを段階に分け、それぞれの段階の節目ごとに国民や地域住民の理解を得ながら、一步ずつ前に進めていくこととしている。このような活動を通じた関係者の合意形成に基づく段階的意思決定を円滑に進めていくためには、それぞれの段階の意思決定に必要な情報を関係者に的確に提示し、その内容理解に向けて丁寧に説明していく必要がある。

各段階における円滑な意思決定の成否は、地層処分の安全性や事業の実現性に関し、関係者、特に関係する自治体や地域住民の信頼がどこまで得られるかにかかっている。事業者は地層処分の安全性を様々な方法で示す責務を負っているが、その妥当性は、安全審査の段階における厳格な審査を経て最終的に確認されるものである。一方、原環機構が各段階で提示する安全性に対する国による確認は、国民や地域住民にとっても安全性への信頼感を醸成する上で重要な要素となり得る。こうした観点から、サイト選定段階においても、事業者がそれぞれの段階での安全確保上重要な情報を国に提示し、一定の見解を得ることは、信頼感を醸成していく上で有効と考えられる。

地層処分の安全性や事業の実現性への信頼感醸成を図るためには、各段階の節目における意思決定の機会だけでなく、日頃から、事業が安全に進められている事に関する情報に加え、地層処分の技術的信頼性に関するわかりやすい情報を関係者に提供し、様々な対話の機会を設けて、不安や疑問には誠実に対応していく必要がある。また、技術情報の公開は、信頼感醸成を図る上で継続的に取り組んでいくべき課題であり、実証試験やモニタリングデータの公開などについて積極的に進めていくことが重要である。

地層処分事業は、その事業期間中に技術の進展が期待できる一方、処分事業を取り巻く社会環境の変化が起こりうる。従って、たとえば処分場閉鎖のあり方などを、現世代が今の時点で固定的に決めてしまうのではなく、将来世代がその時点における諸条件の中で意思決定するための選択肢を残しておく配慮も大切である。そのために、将来世代が適切な判断をするために必要とする情報や技術などの整備を事業期間中に計画的に進めておく必要がある。

以上述べたことを受け、以下の三つを方針3に関する実施方策とする。

- 1) 事業の各段階における意思決定にかかわる情報提供
- 2) 安全性や技術の信頼性にかかわる日常的な情報提供と対話活動
- 3) 将来世代が適切な判断を行うための環境整備

## 5.1 事業の各段階における意思決定にかかわる情報提供

地層処分事業においては、サイト選定段階から事業の廃止に至る間に、3.1のロードマップに示したようにいくつもの重要な意思決定の機会がある。こうした意思決定を円滑に進めていくためには、それぞれの段階の意思決定に必要な情報を関係者に的確に提示し、理解を求めていく必要がある。

サイト選定段階においては、特廃法で求められる「法定報告書」を縦覧し、説明会を開催する。報告書に対しての住民からなどの意見については、これを意見書として受け、関係都道府県知事や市町村長に対し、意見の概要およびその意見についての原環機構の見解を送付する。また、国は関係都道府県知事や市町村長の意見を聴取し、これを十分に尊重して地層処分事業を進めていくことになっているが、その仕組みは既に特廃法上で制度化されている。

このように、サイト選定段階における意思決定に、関係する自治体や地域住民の意見が反映される仕組みになっているが、こうした意思決定を円滑に進めるためには、そのための判断材料となる情報を的確に関係者に提供していく必要がある。原環機構は2002年の公募開始時と2007年の特廃法改正後に、地層処分事業の概要紹介や文献調査への応募手続きなどを周知するための「公募関係資料」を全国の都道府県および市町村に送付した。文献調査に基づく概要調査地区選定のための基準としては、特廃法で規定されている条件のほか、原子力安全委員会から「概要調査地区選定時に考慮すべき環境要件」が既に示されている。原環機構は、これらに事業者としての視点を加えた自主基準として「概要調査地区選定上の考慮事項」を作成し「公募関係資料」の一部として公表しており、さらにその技術的根拠を取りまとめた技術報告書も公表している（原子力発電環境整備機構，2004b）。このような事業者としての自主基準は、その後の段階の調査に関しても、調査開始に先立って順次公表していく。

サイト選定段階における意思決定においても、地層処分の技術的信頼性に関する情報は、大きな影響因子である。公募開始に当たって原環機構は、「処分場の概要」を「公募関係資料」の一部として提示し、その背景となる情報を詳述した技術報告書も公表した（原子力発電環境整備機構，2004a）。原環機構は、上述した法定報告書の作成の際には、その段階で得られた情報に基づく処分場の設計や安全評価に関する情報をまとめ、それらを安全規制当局に提示し、一定の見解を得ていくとともに、関係する自治体や地域住民にも提示し、理解を求めていく。

地層処分事業による環境影響の問題は、サイト選定段階の意思決定に影響をおよぼす重要因子である。原環機構は、サイト調査の進展に合わせ、自主的に環境影響を評価し、その結果や、環境保全の計画などを自治体や地域住民に公開していく。

各段階における意思決定にかかわる様々な情報について、関係する地域の住民の理解を十分深めるためには、報告書の縦覧や説明会に加え、双方向対話の場なども必要と考えられるが、それらについては、今後関係する自治体の意向も踏まえながら、望ましい進め方を検討していく。

## 5.2 安全性や技術の信頼性にかかわる日常的な情報提供と対話活動

地層処分の安全性や技術の信頼性について関係者の理解を深めることは、5.1 で述べた意思決定を円滑に進める上で不可欠であり、そのためには特に関係する自治体や地域住民に対し、日頃から、的確でわかりやすい情報の提供と対話活動を進めていくことが重要である。

地層処分の安全性への国民や地域住民の不安や疑問については、それらを真摯に受け止め、確かな技術的根拠に基づき、分かりやすい形で答えていく必要がある。地層処分のリスクに対する地域住民の不安を解消していくことは、関係する地元が、電力供給の安定化を支え、国民生活の安寧を支える大切な事業として、誇りを持って地層処分事業を受け入れられる土壌を育むためにも極めて重要である。

地層処分事業は、広大な地下空間を利用することや、考慮すべき時間が長期にわたることなどから、その安全性を理解することは容易ではない。地層処分の安全性は、一般的には、解析的な手法に基づく安全評価に加え、安全性を示すそのほか様々な論拠や傍証などを統合したセーフティケースを構築し、公表していくことで示される。その際、長期間にわたる天然および考古学的な類似現象（ナチュラルアナログ）の活用は、長期の安全性への感覚的理解を助ける上で極めて有効と考えられる。また、処分技術を体感できるような実証試験や設備の公開や、操業期間中の各種モニタリングデータの公開などは、地層処分技術への信頼醸成上、大変有益と考えられる。原環機構は、このような技術情報の公開への備えを、技術開発計画などにおいても十分考慮し、実行していく。地層処分の安全性については、原環機構の技術者自らが、技術的根拠に裏付けされた信頼性ある説明を分かりやすく行うことも大切であり、技術者自らがコミュニケーション能力の向上に努めることも重要である。

地層処分に関する理解活動は、文献調査開始以降はより地域に密着した形で展開する必要がある。自治体の意向や地域の状況に合わせた対話の場を用意することが必要となる。そのための対話の場作りや合意形成のあり方については、自然科学の分野にとどまらず、社会技術も含めた学際的な知識や経験を活用していくことが重要である。

以下に現在および今後計画中の具体的取り組みの事例を示す。

### 5.2.1 現在の具体的な取り組み

火山影響の排除と活断層の回避はサイト選定上の重要な要件であるが、広く公開されている一般情報で火山（第四紀火山）や既知の活断層の存在位置を容易に特定でき、それらを含む地域は文献調査の対象とはなりえない。従って、潜在的に地層処分事業に関心を有する地域にとっては、文献調査への応募を判断する前に、当該地域が地質的な条件を満たしているか否かを確認することが必要となる場合も考えられる。このため、原環機構は、全国的に整備されたデータベースなどを利用して、市町村スケールの地図上に活断層や火山の影響範囲に関する情報をホームページ上<sup>9</sup>で公開している（図 5.2-1）。

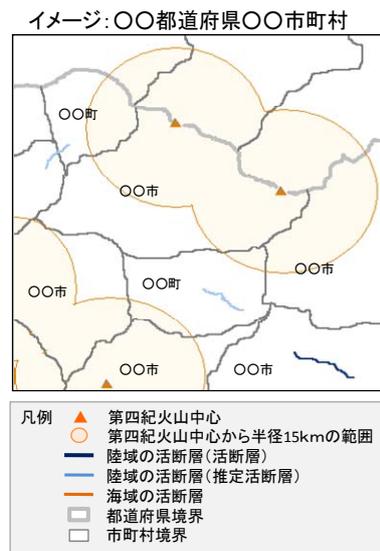


図 5.2-1 ホームページで提供している活断層や第四紀火山の存在の例



図 5.2-2 ナチュラルアナログを用いた説明の例

地層処分では、数万年を超える長期の安全性を評価する必要があり、多くの学問分野に

<sup>9</sup> [http://www.numo.or.jp/koubo/bunken\\_chisitsu/index.html](http://www.numo.or.jp/koubo/bunken_chisitsu/index.html)

またがる課題であるため、一般の方々にいかに理解していただくかが大きな課題となっている。このため、地層処分に関連する長期現象については、長期間にわたる天然および考古学的な類似現象（ナチュラルアナログ）の活用により、分かりやすく説明するための工夫を行っている（図 5.2-2）。原環機構は、国内外で実施されているナチュラルアナログにかかわるプロジェクトにも積極的に職員を送って情報を収集し、事業に役立てる試みを行っている。

## 5.2.2 今後の取り組み

地層処分に関する理解醸成については、国も力を入れており、図 5.2-3 に示すような人工バリアシステムやそれを定置する装置などを実際に見て、体感してもらうための「実規模設備」<sup>10</sup>（経済産業省、2009a）の設置や、図 5.2-4 に示すような地層処分の概念や安全性を IT 技術を駆使してわかりやすく理解することができるようなシステム「バーチャル処分場」<sup>11</sup>（経済産業省、2009b）の開発が進められている。原環機構では、こうした成果も有効に活用しつつ、自らも相互理解活動に取り組んでいく予定である。原環機構は、精密調査の段階においては、地下調査施設の一部を活用した模擬廃棄体の定置実証試験などを実施し、一般の見学者にも公開することを計画している。

また、事業の進展に伴い、各段階における放射線モニタリング状況（データ）、調査計画や調査状況などの情報を積極的に公開し、事業の透明性の向上に努める。

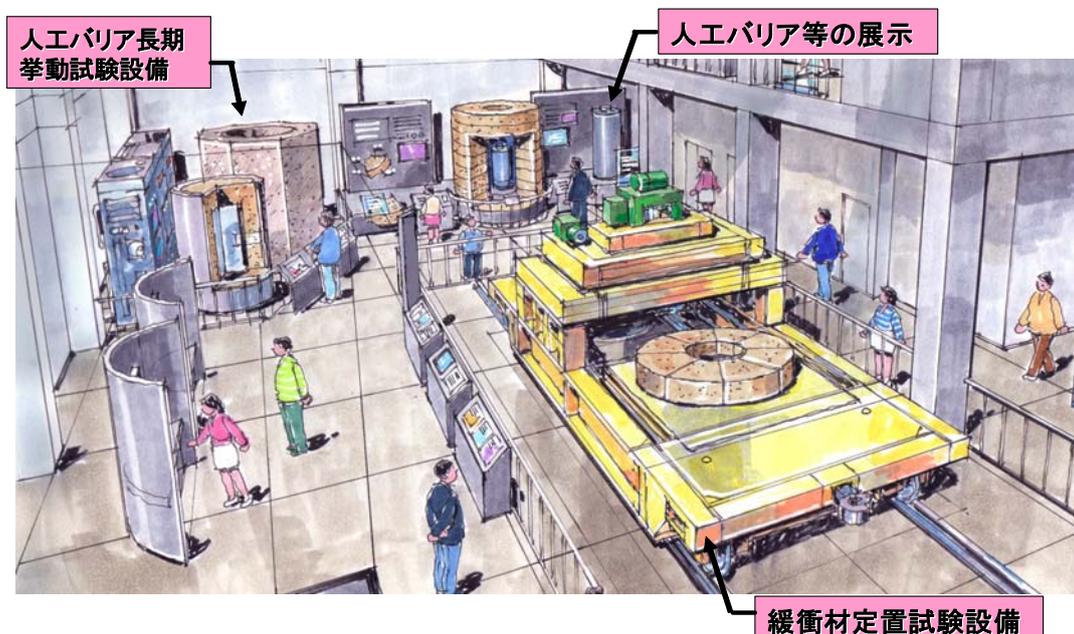
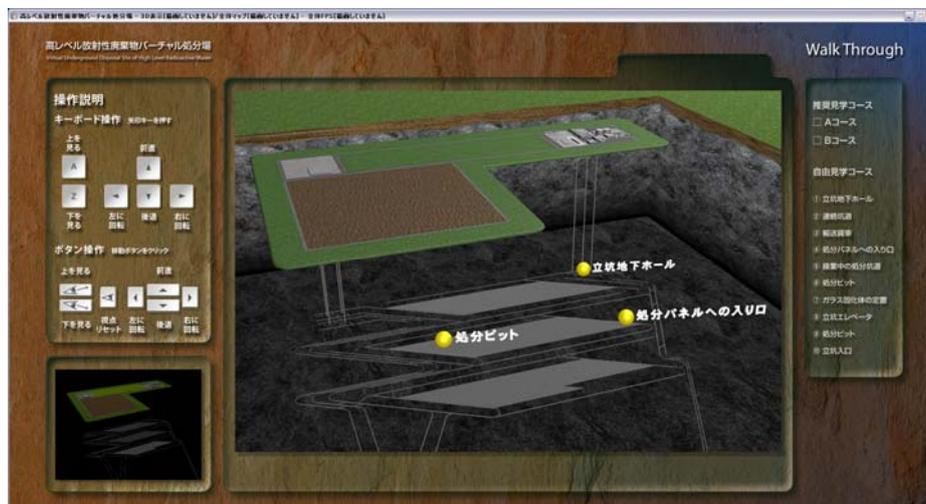


図 5.2-3 地層処分の概念や安全性を体感できる実規模施設（予定図）（経済産業省、2009a）

<sup>10</sup> [http://www.enecho.meti.go.jp/rw/new/oshirase\\_jitukibo.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/rw/new/oshirase_jitukibo.pdf)

<sup>11</sup> [http://www.enecho.meti.go.jp/rw/new/oshirase\\_virtual.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/rw/new/oshirase_virtual.pdf)



(a) バーチャル処分場の初期画面



(b) バーチャル処分場の立坑エレベータホール表示画面

図 5.2-4 バーチャル処分場の画面イメージ (経済産業省, 2009b)

### 5.3 将来世代が適切な判断を行うための環境整備

地層処分事業においては、現世代が今の時点で、100年近い将来の事業のあり方を固定的に決めてしまうのではなく、将来世代がその時点における諸条件の中で一定の決定をする余地を残しておくことも重要である。

将来世代が行うことになる最も重要な意思決定は、処分場の閉鎖に関する決定である。地層処分は、2.3で述べたように、可能な限り受動的な手段により安全を確保することを目標としており、原環機構は、処分場閉鎖に至るまでの間に、基本的にはその後の人間の能動的管理の必要性をなくすことを目指して、安全確保上必要なすべての対策を講じてい

く。しかしながら、すべての廃棄物の埋設が終了した後、いつの時点でどのような条件が整えば処分場の閉鎖を認めるのか、閉鎖後に何らかの管理を残すのか否か、残すとすればどのような管理をいつまで残すのか、といったことは、原環機構や国のみならず、関係自治体や地域住民にとっても重要な事項である。

閉鎖の可否を判断する上で、操業前から閉鎖完了に至るまでの間の継続的なモニタリングデータの収集と公開は、多重バリアシステムが期待する機能を果たしていることへの信頼感を得る有力な手立てとなりうる。そうしたモニタリングを継続しつつ、原環機構は処分場閉鎖に至るまでの間、廃棄体の回収可能性を維持する。閉鎖が完了した時点で原環機構は、操業中に蓄積した記録や情報、閉鎖措置の具体条件などを取り込んだより包括的なセーフティケースを構築し、モニタリングなど能動的管理に頼ることなく閉鎖後の長期安全性が担保できることを示す。一方、これらと並行して、閉鎖後のモニタリングや回収可能性維持の要否についても、国際的な動向を含む様々な視点からの検討を続けることは、将来世代が適切な判断を行うための環境整備であり、今から戦略的に計画を立て、タイムリーに実施していくことが重要である。

処分場閉鎖に向けて将来世代が適切な意思決定が行えるためには、上述のような技術的な備えを着実に進めるとともに、原環機構自身が関係自治体や地域住民との間で相互に強い信頼関係を築いていく必要があり、そのためにも 5.2 で述べた日常的な情報提供や対話活動は重要である。

## 6. おわりに

本報告書は、2010年技術レポートの核となる安全確保構想を先行して取りまとめたものである。原環機構は「第2次取りまとめ」で示された地層処分の安全確保策を基に、事業としていかに展開するかを検討してきたが、近年の法律改正、安全規制の議論が進みつつあるこの時期に、これらの進展を事業に取り込み、“安全な地層処分の実施”について全体像を示すために本報告書を作成した。本報告書で示した安全確保策や、事業を推進するための方針・方策は原環機構設立以来、活動の基礎としてきた事項であるが、この機会に体系的に整理し、安全確保に向けた原環機構の取り組み方針をあらためて公表することとした。原環機構は、本報告書で示した安全確保策を、ここで示した方針・方策に従って事業の中で展開していくことにより、地層処分の安全性を確保する方針である。

来年度公表予定の2010年技術レポートでは、2000年以降、原環機構が実施した技術開発の成果や基盤研究開発機関が実施した研究成果によって、本報告書で示した安全確保構想を支える技術が着実に進展していることを具体的に示す。これにより、安全な地層処分の実現に対する技術的信頼性が、原環機構が設立された2000年の段階に比べて一段と向上したことを示していく。

原環機構設立から10年が経過しようとしているが、未だ事業の最初の取り組みである文献調査の開始に至っていない。事業を推進するために必要な技術の整備については、原環機構が国や関係研究機関と連携を図りながら着実に実施してきたが、そうした取り組みの成果が見えにくく、地層処分の安全性に対する信頼感の醸成につながっていないこともその原因の一つであると考えられる。2010年技術レポートの取りまとめがそうした状況の改善に少しでも役立つことを期待したい。

地層処分の安全性にかかわる技術は専門性が高く、多岐にわたる科学技術分野から構成されるため、国民の理解を得ていくことは容易ではないが、地層処分に直接関わりのない理学・工学系の幅広い有識者に地層処分の安全性についての理解を得、そうした有識者を通して国民に間接的に語りかけることは国民の理解を得る上で有効な方策のひとつになると考えている。本報告書および2010年技術レポートは専門家を対象とした内容ではあるが、これらがより幅広い有識者の目に触れることで、国民の理解向上に寄与し、事業推進の一助になることも期待している。

本報告書の作成に当たり、報告書のレビューをいただいた原子力学会の特別専門委員会をはじめ、原環機構の技術アドバイザー委員会、基盤研究開発機関など、多くの専門家の方々から有益なご意見やご助言をいただいた。これらの意見・助言を参考として2010年技術レポートの取りまとめに取り組んでいくこととする。

# 付 録

## － 付録 目次 －

付録 1	安全確保に向けたロードマップ（詳細版）	付 1-1
付録 2	原環機構設立以降の地層処分技術の整備状況	付 2-1
付録 2.1	概要調査地区選定に必要な技術の確立	付 2.1-1
1.	「概要調査地区選定上の考慮事項」の策定	付 2.1-1
2.	文献調査計画の立案	付 2.1-2
3.	文献情報の収集・整理	付 2.1-2
4.	「概要調査地区選定上の考慮事項」への適合性の確認	付 2.1-5
5.	処分場概念の構築	付 2.1-7
付録 2.2	精密調査地区選定に必要な技術の計画的な準備	付 2.2-1
1.	「精密調査地区選定上の考慮事項」の策定	付 2.2-1
2.	概要調査計画の立案	付 2.2-1
3.	地表からの調査（ボーリング調査など）の実施	付 2.2-3
4.	地質環境モデルの更新	付 2.2-4
5.	レファレンス処分場概念の構築	付 2.2-5
5.1	処分場の安全機能・設計要件の設定	付 2.2-8
5.2	人工バリアの概念設計	付 2.2-8
5.3	地上・地下施設の概念設計	付 2.2-11
5.4	建設に関する技術	付 2.2-12
5.5	操業に関する技術	付 2.2-12
5.6	閉鎖に関する技術	付 2.2-13
5.7	モニタリング、回収技術の検討	付 2.2-14
5.8	閉鎖後長期の安全評価	付 2.2-15
6.	「精密調査地区選定上の考慮事項」への適合性の確認	付 2.2-18
付録 2.3	事業期間を通して必要とされる技術の整備状況	付 2.3-1

## － 付録 図目次 －

付図 2.1-1 概要調査地区選定にかかわる業務の流れ	付 2.1-1
付図 2.1-2 文献調査を支援するための一連のツールの概要	付 2.1-3
付図 2.1-3 火山・火成活動評価に関するシステムフローの例	付 2.1-4
付図 2.1-4 処分場概念構築システムの設計機能の構成	付 2.1-8
付図 2.2-1 精密調査地区選定にかかわる業務の流れ	付 2.2-1
付図 2.2-2 概要調査における計画立案手順	付 2.2-2
付図 2.2-3 精密調査地区選定段階における組織体制（検討例）	付 2.2-3
付図 2.2-4 横須賀地区における共同研究の実施状況	付 2.2-4
付図 2.2-5 人工バリア設計手順の修正	付 2.2-9
付図 2.2-6 オーバーパックスの溶接技術に関する要素技術の実証的な確認試験	付 2.2-10
付図 2.2-7 HFSC 吹付コンクリートの模擬施工状況	付 2.2-12
付図 2.2-8 閉鎖システムの評価で考慮したプラグ，埋め戻し材の配置関係，およびパネル規模の解析で考慮した前提・境界条件の設定	付 2.2-14
付図 2.2-9 モニタリング手法の開発事例	付 2.2-15
付図 2.2-10 開発中のシナリオ解析手法	付 2.2-16
付図 2.2-11 三次元核種移行解析コード（Partridge）による解析結果例	付 2.2-17
付図 2.3-1 要件管理システム	付 2.3-2

## － 付録 表目次 －

付表 1-1(1) 安全確保に向けたロードマップ（詳細版）	付 1-3
付表 1-1(2) 安全確保に向けたロードマップ（詳細版）	付 1-4
付表 1-1(3) 安全確保に向けたロードマップ（詳細版）	付 1-5
付表 1-1(4) 安全確保に向けたロードマップ（詳細版）	付 1-6
付表 1-1(5) 安全確保に向けたロードマップ（詳細版）	付 1-7
付表 2.1-1 2000 年以降に公開された主要な全国規模の情報	付 2.1-5
付表 2.1-2 断層活動に関する評価技術	付 2.1-6
付表 2.1-3 火成活動に関する評価技術	付 2.1-6
付表 2.1-4 隆起・侵食に関する評価技術	付 2.1-6
付表 2.1-5 第四紀未固結堆積物，鉱物資源に関する評価技術	付 2.1-7
付表 2.1-6 付加的に評価する事項に関する評価技術	付 2.1-7
付表 2.2-1 高レベル放射性廃棄物の処分場概念の構築における安全性と成立性に関する実施項目と主要な検討項目，主要な関連技術	付 2.2-7

## 付録 1 安全確保に向けたロードマップ（詳細版）

付表 1-1 は、本編の表 3.4-1 を詳細化したもので 100 年にわたる事業期間における原環機構の、安全確保に向けた取り組みを示したものである。

10 の事業段階（①概要調査地区選定段階（文献調査の段階）、②精密調査地区選定段階（概要調査の段階）、③処分施設建設地選定段階（精密調査の段階）（③地上からの調査、④地下調査施設での調査）、⑤安全審査の段階、⑥建設段階、⑦操業段階（⑦操業期間中、⑧操業の終了・閉鎖措置・計画認可申請）、⑨閉鎖段階および⑩閉鎖後～事業廃止）でそれぞれにおいて設定した、目標および目標達成にかかわる要件、実施事項は以下のとおりである。

各段階における事業目標 : 事業推進のために、各段階で達成すべき目標であり、サイト選定段階では次段階の調査を実施する地区の選定がこれにあたる。安全審査段階以降では、その事業段階で達成すべき目標（例えば、事業許可の取得、処分施設の建設、操業の実施など）を示す。

事業目標達成にかかわる要件 : 各段階での事業目標を達成するに当たって考慮すべき主要な要件を示している。ただし、事業を推進する上では、ここで提示した要件以外にも、費用、工期、社会的要請など多くの要件を考慮する必要がある。

安全確保にかかわる目標 : 最終的に受動的安全性を有する処分システムを構築するために、各段階において達成すべき安全確保の目標（課題）を示す。

主要な実施事項 : 事業目標および安全確保にかかわる目標を達成するための主要な実施事項を示す。

各分野における実施事項 : 各段階の「主要な実施事項」をブレイクダウンしたものであり、長期安全性にかかわる実施事項は「適切なサイト選定と確認」、「処分場の設計・施工などの適切な工学的対策」、「地層処分システムの長期安全性の評価」に分類して記述し、事業期間中の安全性に関しては、「一般労働安全の確保」、「放射線安全の確保」、「周辺環境保全」に分類して、それぞれの実施内容を記述する。各分野における実施事項のうち、安全確保上特に重要な実施事項は赤色、安全確保上重要な実施事項は黄色で示す。

各分野におけるそれぞれの実施事項は、個別に実施すべきものではなく、「適切なサイト選定と確認」、「処分場の設計・施工などの適切な工学的対策」、「地層処分システムの長期安全性の評価」の三つを連携・統合化し、効率的に目標達成に寄与するよう推進する必要がある。

付表 1-1(1) 安全確保に向けたロードマップ(詳細版)

段 階		概要調査地区選定段階 (文献調査の段階)	精密調査地区選定段階 (概要調査の段階)		
各段階における事業目標		概要調査地区選定	精密調査地区選定		
安全確保にかかわる目標		・自然現象の著しい影響の回避 (明らかに不適格な地域を避ける)	・自然現象の著しい影響の回避 ・長期安全性確保の見通し ・事業期間中の安全性確保の見通し		
目標達成にかかわる要件		・考慮事項(法定要件+付加的事項)への適合性 ・自主基準への適合性	・考慮事項(法定要件+付加的事項)への適合性 ・安全審査基本指針(あるいは自主基準)への適合性		
主要な実施事項		①概要調査地区選定上の考慮事項への適合性の確認 ②サイトの地質環境特性に応じた概略的な処分場概念の構築 ③精密調査地区選定上の考慮事項の作成 ④概要調査計画の作成	①精密調査地区選定上の考慮事項への適合性確認 ②レファレンス処分場概念(含むセーフティケース)の構築 ③処分施設建設地選定上の考慮事項の作成 ④精密調査計画(地上からの調査)の作成 ⑤安全審査基本指針への適合性を確認 ⑥セーフティケースの構築		
各分野における実施事項	閉鎖後長期の安全性	適切なサイト選定と確認	調査作業	・文献調査を実施し、長期安定性・地質環境特性に関する文献情報を収集する。	・地上からの調査(物理探査、ボーリング調査など)を複数のフェーズで段階的に実施する。 ・概要調査地域全体の広域的な地質環境情報を得ることを目的に調査を計画・実施する。
			自然現象の著しい影響の回避	・断層活動・火成活動の著しい影響の範囲、および隆起・侵食の概略的な評価を行い著しい影響を回避する。→①④	・文献調査における長期安定性評価の妥当性を確認するとともに、ほぼ最終的な評価を行い、著しい影響を回避する。→①
		地質環境特性の把握	・広域的な地質環境モデルを作成し、地質環境の長期変遷について検討する。→②③④	・概要調査地区選定段階で構築した地質環境モデルを概要調査の進展に応じて更新する。→①②④ ・精密調査地区を対象としたスケールの地質環境モデルを作成し、地質環境の長期変遷について検討する。→②④	
		処分場の設計・施工などの適切な工学的対策	地下施設	・第2次取りまとめなどのジェネリックな処分場概念に基づいて、対象区域の地質環境特性に応じた概略的な処分場概念を構築する。→②④ ・概要調査地区選定段階における対象区域の地質環境特性に関する大きな不確実性を考慮した保守性を処分システムに持たせる。→②	・レファレンス処分場概念構築のため、概要調査地区の地質環境条件に応じて、地下施設などの基本レイアウトを設定し、概念設計を行う。→② ・安全審査基本指針(あるいは自主基準)に適合するよう処分場を設計する。→②④ ・地下調査施設の基本設計を行う。→②④
	人工バリア			・レファレンス処分場概念を構成する人工バリアの概念設計を行う。→②④ ・安全審査基本指針(あるいは自主基準)への適合性を確保する。→②④	
	地層処分システムの長期安全性の評価	・文献調査情報と概略的な処分場概念に基づき、概略的な安全性の検討を行う。→②④ ・次段階で取得すべき安全性にかかわる重要なサイト情報を特定する。→④	・レファレンス処分場概念に基づく予備的な安全評価を行い、安全審査基本指針(あるいは自主基準)への適合性を確認する。→②⑤⑥ ・評価結果の信頼性を分析し、重要なサイト情報や入力パラメータの不確実性の更なる低減に向けて、結果を精密調査計画に反映させる。→④		
	事業期間中の安全性	一般労働安全の確保	・建設・操業の実現性確認のための情報を収集・評価する。→② ・建設および操業段階で支障となりうる自然現象の有無などを評価する。→② ・地下構造物の耐震性検討のための文献情報を収集・評価する。→②	・建設・操業の実現性(例えば空洞安定性)確認のためのデータ(例えば岩盤強度、初期地圧、透水係数、亀裂密度など)を取得する。→①②④ ・建設および操業段階で支障となりうる自然現象の有無・規模・影響の程度などを評価し、対策を立案する。(例えば地震、津波、火砕流など)。→③ ・地上・地下構造物の耐震検討のためのデータを収集し、耐震評価を行う。→④	
		放射線安全の確保	・運搬時や地上における廃棄体取り扱い時の公衆安全確保の方針を検討する。→② ・廃棄体の運搬、定置時の取り扱い方法、作業員の放射線に対する放射線災害への対策について概略検討する。→②	・運搬時や地上における廃棄体取り扱い時の公衆安全確保の方針をたてる(概念設計)。→② ・廃棄体の運搬、定置時の取り扱い方法、作業員の放射線に対する放射線災害への具体的対策を確定する(概念設計)。→②	
		周辺環境保全	・環境保護の観点(保護動植物の有無、騒音、振動、遺跡などの発掘可能性など)からの制約を文献に基づき調査する。→②	・物理探査やボーリング掘削といった現場作業が周辺環境へおよびず影響を予備的に評価する。→② ・次段階以降で地下掘削を開始した場合の影響について予備的に評価する。→②	
	安全確保にかかわる主要文書		・文献調査に関する法定報告書 ・文献情報に基づく処分場の概要	・概要調査に関する法定報告書 ・概要調査に基づく概念設計と予備的安全評価に関する報告書	

凡例  : 安全確保上特に重要な実施事項  : 安全確保上重要な実施事項

付表 1-1(2) 安全確保に向けたロードマップ(詳細版)

段 階	処分施設建設地選定段階(精密調査の段階)				
	地上からの調査	地下施設での調査			
各段階における事業目標	基本レイアウトの決定	処分施設建設地選定			
安全確保にかかわる目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自然現象の著しい影響の回避を確認</li> <li>・長期安全性の確実な確保</li> <li>・事業期間中の安全性の確実な確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自然現象の著しい影響の回避を確認</li> <li>・長期安全性の確実な確保</li> <li>・事業期間中の安全性の確実な確保</li> </ul>			
目標達成にかかわる要件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・考慮事項(法定要件+付加的条件)への適合性</li> <li>・安全審査基本指針への適合性</li> <li>・自主基準への適合性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・考慮事項(法定要件+付加的条件)への適合性</li> <li>・安全審査指針への適合性</li> <li>・自主基準への適合性</li> </ul>			
主要な実施事項	<ol style="list-style-type: none"> <li>①精密調査計画書(建設計画・地下調査施設での調査)の作成</li> <li>②事業許可申請に向けた安全性の予備的確認</li> <li>③処分施設建設地選定上の考慮事項への適合性の予備的確認</li> <li>④環境調査および環境影響評価</li> <li>⑤セーフティケースの更新</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>①処分施設建設地選定上の考慮事項への適合性確認</li> <li>②処分場の基本設計(建設・操業・閉鎖を含む)</li> <li>③地下調査施設での調査・試験</li> <li>④事業許可申請書の作成</li> <li>⑤環境調査および環境影響評価</li> <li>⑥セーフティケースの更新</li> </ol>			
各分野における実施事項	閉鎖後長期の安全性	適切なサイト選定と確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査作業</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分場建設候補地周辺の地下情報を得ることを目的として地上からの詳細な調査(ボーリング調査, 物理探査, 水理試験など)を実施する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下調査施設を用いた詳細な調査(坑道での物理探査, 地質調査, 地下水調査, ボーリング調査など)を実施する。</li> <li>・地上からの調査も引き続き実施し, 付加的な地下情報を取得する(例えば地下水の涵養・流出域の調査など)。</li> </ul>
		自然現象の著しい影響の回避	<ul style="list-style-type: none"> <li>・必要に応じて, 概要調査の結果の妥当性を確認する。→②③</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・必要に応じて, それまでの調査結果の妥当性を再確認し, 長期安定性に関する総合評価を行う。→④</li> </ul>	
		地質環境特性の把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>・概要調査で作成した地質環境モデルを精密調査の進展に応じて更新する。→①②③</li> <li>・地下調査施設を対象としたスケールの地質環境モデルを作成し, 地質環境の長期変遷について検討する。→②③</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全審査に提示する地質環境モデルを構築し, 地質環境の長期変遷を含む地質環境特性の総合評価を行う。→①②</li> </ul>	
	適切な工学的対策	処分場の設計・施工などの	地下施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分場の基本レイアウトを決定し, 基本設計を行い, 仕様を決定する。→①</li> <li>・処分場の建設/操業/閉鎖にかかわる基本計画を策定する。→②</li> <li>・地下調査施設の詳細設計を行う。→①</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下調査施設の建設→③</li> <li>・処分場の基本設計を更新する。→②</li> <li>・処分場の建設/操業/閉鎖にかかわる品質管理に主眼を置いた詳細計画を策定する。→②</li> <li>・安全審査指針への適合性を確保する。→①</li> </ul>
		人工バリア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地質環境に適応した人工バリアの設計を行い, 仕様を設定する。→②</li> <li>・対象とする地下環境下での人工バリア材の性能面での検討を行う。→②</li> <li>・人工バリアに関する地下調査施設での実証計画を作成し, 予備試験を開始する。→①④</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体・人工バリアの施工に関する地下調査施設での実証試験を実施する。→②③</li> <li>・地質環境に適応した人工バリアの設計を行い仕様を決定する。→②</li> <li>・人工バリアの地下環境下における性能を評価する。→①</li> </ul>	
		地層処分システムの長期安全性の評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新たに取得された調査情報を加えて, 処分施設建設地選定の法定要件や安全審査指針などへの適合性の予備的評価や地下調査施設計画への反映を目的とした総合的な安全評価を行う。→②⑤</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下調査施設での取得データを加えて, 安全審査に向けた処分場の安全性にかかわるすべての論拠を統合し, 総合的な安全評価とその信頼性の評価を実施する。→①④⑥</li> <li>・法定要件や安全審査指針への適合性を評価し, 最終処分施設建設地選定の総合評価, 安全審査のための情報整備を行う。→①④⑥</li> <li>・安全性に影響を及ぼすと考えられる現象のうち原位置試験(実証)により確認することが有効なものを実施する。→③⑥</li> </ul>	
	事業期間中の安全性	一般労働安全の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>・概要調査の評価の妥当性を追加調査により確認するとともに, 設計・工事計画・操業計画策定のための詳細なデータを取得する。→①</li> <li>・建設・操業の実現性確認のための詳細なデータを収集して対策を立案する。→①</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分場の建設/操業/閉鎖にかかわる公衆安全・作業員安全に関する詳細計画を策定する(基本設計)。→①</li> <li>・地下調査施設を用いた建設・操業時の安全性にかかわる試験を行う。→③</li> </ul>	
		放射線安全の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運搬時や地上における廃棄体取り扱い時の公衆安全確保の方針を決定する(概念設計)。→②</li> <li>・廃棄体の運搬, 定置時の取り扱い方法, 作業員の放射線に対する放射線災害への方針を策定する(概念設計)。→②</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運搬時や地上における廃棄体取り扱い時の公衆安全確保の方針を決定する(基本設計)。→②</li> <li>・廃棄体の運搬, 定置時の取り扱い方法, 作業員の放射線に対する放射線災害への方針を策定する(基本設計)。→②</li> </ul>	
		周辺環境保全	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物理探査やボーリング掘削といった現場作業の環境への影響を予備的に評価する。→⑤</li> <li>・次段階以降で地下掘削を開始した場合の影響について予備的に評価する。→⑤</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下施設の建設による周辺環境への影響を調査・評価し, 必要に応じて保全措置を行う。→⑤</li> </ul>	
	安全確保にかかわる主要文書	<ul style="list-style-type: none"> <li>・精密調査に基づく基本設計と安全評価に関する報告書(経過報告)</li> <li>・環境影響にかかわる評価報告書</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・精密調査に関する法定報告書</li> <li>・精密調査に基づく基本設計と安全評価に関する報告書</li> </ul>		

凡例  : 安全確保上特に重要な実施事項,  : 安全確保上重要な実施事項

付表 1-1(3) 安全確保に向けたロードマップ(詳細版)

段 階		安全審査の段階	建設段階
各段階における事業目標		事業許可の取得	処分施設の建設
安全確保にかかわる目標		<ul style="list-style-type: none"> <li>・自然現象の著しい影響の回避を確認</li> <li>・長期安全性の確実な確保</li> <li>・事業期間中の安全性の確実な確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新たな知見を踏まえた安全性の繰り返し確認</li> <li>・建設段階における長期安全性の確実な確保</li> </ul>
目標達成にかかわる要件		<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全審査指針への適合性</li> <li>・安全審査基本指針への適合性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術上の基準への適合性(設工認、施設確認、使用前検査)</li> </ul>
主要な実施事項		<ol style="list-style-type: none"> <li>①事業許可申請書の完成、申請、およびフォローアップ</li> <li>②設計および工事の方法の許可申請書(以下、設工認という)の作成</li> <li>③環境影響評価書の完成</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>①要求品質を満足した処分施設の安全な建設</li> <li>②新たな知見に基づく長期安全性の確認とセーフティケースの更新(安全レビュー対応)</li> <li>③次段階の操業実施に備えた検討(使用前検査に向けた準備)</li> <li>④地下施設建設による周辺環境への影響確認および低減</li> </ol>
各分野における実施事項	閉鎖後長期の安全性	適切なサイト選定と確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>・必要に応じて補足的な調査・評価を実施する。</li> <li>・地下調査施設において計測を継続する。→②</li> <li>・建設中に得られるデータを用い事業許可申請の内容の妥当性を確認する(地質環境モデルの更新)。→②</li> <li>・安全レビューに向けたデータを蓄積する。→②</li> </ul>
		調査作業	
		自然現象の著しい影響の回避 地質環境特性の把握	
	適切な工学的対策	処分場の設計・施工などの	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分場の詳細設計を行い、建設／操業／閉鎖にかかわる詳細計画を更新する。→①</li> <li>・設工認に応じて、処分場の詳細設計並びに建設／操業／閉鎖にかかわる詳細計画を更新する。→①</li> <li>・安全評価の要件を満足するよう地下施設(坑道など)の構築を行う。→①②</li> <li>・建設中の情報を記録する(建設完了確認、安全レビューおよび閉鎖措置計画策定に利用)。→②</li> </ul>
		地下施設	
		人工バリア	
	地層処分システムの長期安全性の評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>・人工バリアの詳細設計を行う。→②</li> <li>・廃棄体・人工バリアに関する地下調査施設での追加実証試験計画を策定する。→②</li> </ul>
事業期間中の安全性		<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業許可などに向けて、必要に応じて補足的な評価を実施する。→①</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建設時に取得された新たなデータや場合によっては設計変更に対応した安全評価を実施する。→②</li> <li>・建設の妥当性確認と定期安全レビューに反映。→②</li> </ul>
一般労働安全の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建設段階における一般労働安全の確保に向けた詳細設計を行う。→①②</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一般労働安全対策を実施して処分施設の建設を実施する。→①</li> </ul>	
放射線安全の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>・放射線安全の確保に向けた詳細設計を開始する。→①</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体の地上における輸送・オーバーバックへの封入計画を確定し、公衆被曝を防ぐ対策を確立する(詳細設計)。→③</li> <li>・廃棄体の地下における輸送・定置計画を確定し、作業員の被曝を防ぐ対策を確立する(詳細設計)。→③</li> </ul>	
周辺環境保全	<ul style="list-style-type: none"> <li>・必要に応じて補足的な検討を行う。→③</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下施設の建設による周辺環境への影響をモニタリングし、必要に応じて建設計画の変更を行う(保全措置・監視)。→④</li> </ul>	
安全確保にかかわる主要文書		<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業許可申請書</li> <li>・環境影響評価書</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設工認申請書、施設確認申請書、使用前検査申請書、安全レビュー報告書</li> </ul>

凡例  : 安全確保上特に重要な実施事項 ,  : 安全確保上重要な実施事項

付表 1-1(4) 安全確保に向けたロードマップ(詳細版)

段 階		操業段階			
		操業期間中	操業の終了・閉鎖措置計画認可申請		
各段階における事業目標		操業の実施	閉鎖措置計画の認可		
安全確保にかかわる目標		<ul style="list-style-type: none"> <li>新たな知見を踏まえた長期安全性の確認</li> <li>操業段階における安全性の確実な確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>すべての情報を統合した長期安全性の提示</li> </ul>		
目標達成にかかわる要件		<ul style="list-style-type: none"> <li>技術上の基準への適合性(施設確認、廃棄体確認、使用前検査)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>閉鎖措置計画の認可の基準への適合性</li> </ul>		
主要な実施事項		<ul style="list-style-type: none"> <li>①要求品質を満足するように廃棄体、人工バリアなどの設置を実施</li> <li>②新たな知見に基づく安全レビューによる長期安全性の確認とセーフティケースの更新</li> <li>③地下施設(空洞)を長期間空けた状態で操業することによる周辺環境への影響を最小限に抑制</li> <li>④操業時の安全性を確保する。</li> <li>⑤次段階の閉鎖に向けた検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①サイト調査・建設・操業段階に得られた情報を総合して頑健なセーフティケースを構築し、閉鎖措置認可申請書の申請、フォローアップ</li> </ul>		
各分野における実施事項	閉鎖後長期の安全性	適切なサイト選定と確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査作業</li> <li>自然現象の著しい影響の回避</li> <li>地質環境特性の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>この時点までに得られたデータおよび最新の知見を総合的に評価し、地質環境の長期安定性と地質環境特性を再評価する。→②</li> <li>必要に応じて地質環境モデルの更新を行う。→②</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>操業の終了および閉鎖に向けた処分システム完成に関する最終的評価、並びに閉鎖措置計画認可申請に必要なデータ(地形、地質、地下水)を整理する(地質環境モデルの更新)。</li> </ul>
		適切な工学的対策	地下施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>操業システムの改善を行いながら、操業を行う。→①</li> <li>操業中の情報を記録する(建設完了確認、安全レビューおよび閉鎖措置計画策定に利用)。→②</li> <li>実証試験などを通じて閉鎖技術の確認を行う。→②、⑤</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地層処分システムの完成に関する最終的な評価、閉鎖措置の仕様および計画を策定し認可申請する。→①</li> </ul>
			人工バリア	<ul style="list-style-type: none"> <li>要求品質を満たすよう廃棄体および人工バリアの定置を行う。→①</li> <li>輸送・定置システムの改善を行う。→①</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人工バリアにかかわる現象が安全評価で想定された範囲で起こっていることを確認し、人工バリアの性能確認を行う。→①</li> </ul>
	地層処分システムの長期安全性の評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>建設時および施工時などそれまでに得られたデータや最新の知見に基づき安全評価を実施し、安全基準を担保していることを確認(セーフティケースを更新し、安全レビューに備える)。→②</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全レビューの情報やモニタリング情報などの最新の情報、閉鎖措置の仕様情報などその時点までの安全にかかわるすべての情報に基づき、安全評価を実施して頑健なセーフティケースを構築する。安全基準への適合性を評価し、閉鎖措置計画の妥当性判断根拠の1つとして反映。→①</li> </ul>	
	事業期間中の安全性	一般労働安全の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>操業段階における対策を実施し、一般労働安全の確保に努める。→②</li> <li>施設を長期間使用することになるため、定期的に保守点検を実施し、安全性を保持する。→①</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>閉鎖措置にかかわる安全対策の立案</li> </ul>	
		放射線安全の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>策定した対策を実施し、一般公衆、作業員の放射線安全を確保する。→④</li> <li>地上部における廃棄体の輸送やオーバーパックへの封入を安全に実施する。→①</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>監視計画の構築</li> </ul>	
		周辺環境保全	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下空洞を長期間に渡って維持することが周辺環境(地下水位など)に及ぼす影響を評価し、必要な対策を講じる。→③</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>保存措置および監視計画の立案</li> </ul>	
安全確保にかかわる主要文書		<ul style="list-style-type: none"> <li>施設確認申請書、廃棄体確認申請書、安全レビュー報告書</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>閉鎖措置計画の認可申請書、安全レビュー報告書</li> </ul>		

凡例  : 安全確保上特に重要な実施事項 ,  : 安全確保上重要な実施事項

付表 1-1(5) 安全確保に向けたロードマップ(詳細版)

段 階		閉鎖段階	閉鎖後～事業廃止		
各段階における事業目標		閉鎖措置の実施	廃止措置の実施と確認		
安全確保にかかわる目標		・閉鎖段階における安全性の確実な確保	・新たな知見を踏まえた長期安全性の確認 ・閉鎖後の段階における安全性の確実な確保		
目標達成にかかわる要件		・閉鎖措置計画の認可の基準への適合性	・廃止措置計画の認可の基準への適合性 ・廃止措置の終了確認の基準への適合性		
主要な実施事項		①閉鎖措置計画に基づく確実な閉鎖措置	①閉鎖時およびその確認情報に基づくセーフティケースの更新 ②事業廃止の許可を得て、事業廃止活動を実施する。 ③廃止措置計画認可申請とフォローアップ		
各分野における実施事項	閉鎖後長期の安全性	適切なサイト選定と確認	調査作業	・特になし	・特になし
		自然現象の著しい影響の回避	・最終確認		
		地質環境特性の把握	・必要に応じて地質環境モデルの更新		
	適切な工学的设计・施工などの対策	処分場の設計・地下施設	・厳格な品質管理の下、確実にアクセス坑道などを埋め戻し処分場を閉鎖する。→① ・閉鎖措置が所定の品質を満たしていることを確認する。→①	・特になし	・特になし
			人工バリア	・特になし	・特になし
	地層処分システムの長期安全性の評価		・特になし	・閉鎖により得られた情報に基づく安全確認→①	
	事業期間中の安全性	一般労働安全の確保	・閉鎖措置にかかわる安全対策の実施と監視	・事業廃止措置にかかわる安全措置の実施→②	
		放射線安全の確保	・監視	・監視	
		周辺環境保全	・保全措置および監視	・地上施設撤去後の周辺環境回復のための措置(植栽など)	
	安全確保にかかわる主要文書		・閉鎖措置の確認申請書	・廃止措置計画の認可申請書, 安全レビュー報告書, 廃止措置終了の確認申請書	

凡例  : 安全確保上特に重要な実施事項 ,  : 安全確保上重要な実施事項

## 付録 2 原環機構設立以降の地層処分技術の整備状況

ここでは、本文で示した安全確保や事業の推進に関する方針や方策に関して、それらを支える技術が 2000 年以降の原環機構および基盤研究開発機関の研究・技術開発などにより進展していることを実例を含めて概説し、地層処分事業が着実に遂行できることを示す。なお、ここでは、具体的な技術成果の概要を紹介するのにとどめ、詳細については 2010 年技術レポートで記述する。

すでに、概要調査地区選定に必要な技術は整備しており、応募があり次第文献調査を開始する準備は整っている（付録 2.1）。現在は、精密調査地区選定に必要な技術の開発を進め（付録 2.2）とともに、処分事業を着実に実施する観点から事業管理手法の整備にも取り組んでいる（付録 2.3）。

基盤研究開発では、第 2 次取りまとめ以降、国内地下研究施設の建設に併せて、地表からの調査技術および実際の地質環境への適用可能な評価手法の整備と工学的実現性の提示を目標として、平成 24 年までの計画で研究開発が進められている（付録 2.2）。

付録 2 の構成は以下の通りである。

付録 2.1 概要調査地区選定に必要な技術

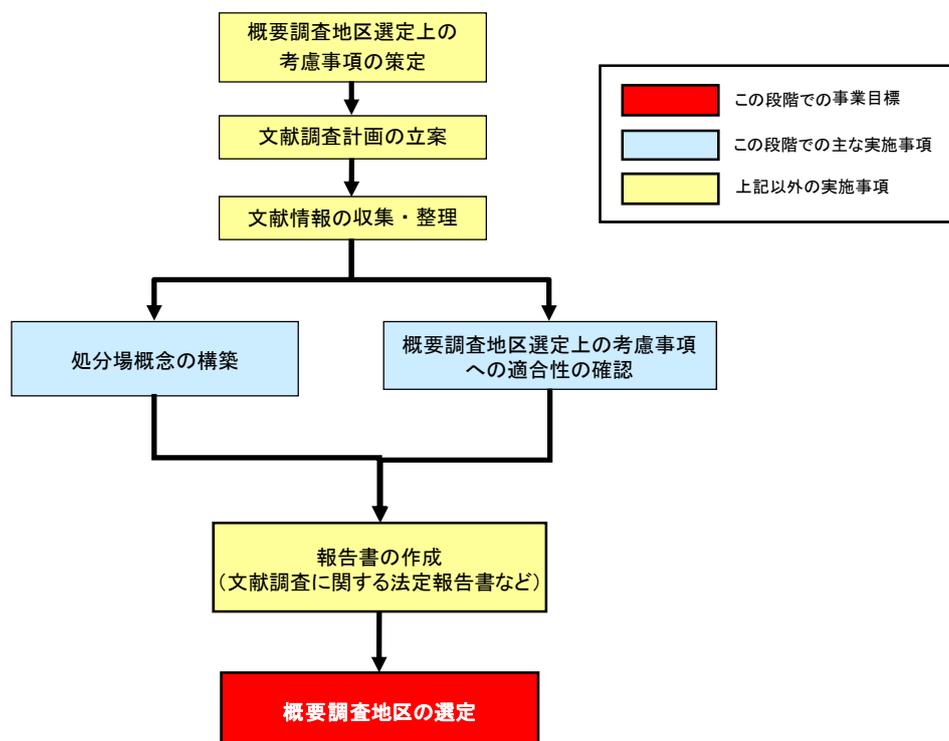
付録 2.2 精密調査地区選定に必要な技術の計画的な準備

付録 2.3 事業期間を通して必要とされる技術の整備状況

## 付録2.1 概要調査地区選定に必要な技術の確立

概要調査地区選定段階に必要な技術については、第2次取りまとめおよび高レベル放射性廃棄物の事業化技術で示された技術に基づいて、原環機構設立以降の取り組みにより、技術的な準備が整ったと判断し、2002年に公募を開始した。その後も文献調査をより効率的かつ合理的に進める観点から、文献調査を支援するシステムを整備してきており、応募があり次第、文献調査を開始する準備が整っている。

付図 2.1-1 に、概要調査地区選定にかかわる業務の流れを示す。以下に、この流れに沿った、各実施項目の概要と必要な技術の整備状況を示す。



付図 2.1-1 概要調査地区選定にかかわる業務の流れ

### 1. 「概要調査地区選定上の考慮事項」の策定

概要調査地区選定の透明性を確保する観点から、公募開始にあたり、選定の要件や考慮すべき地質環境の条件などの項目とその評価の考え方を「概要調査地区選定上の考慮事項」（原子力発電環境整備機構，2002）として取りまとめ公表した。ここでは、特廃法に記載されている法定要件に関する事項として、地震，噴火，隆起・侵食，第四紀の未固結堆積物，鉱物資源などの評価項目をあげている。また，付加的に評価する事項として，岩盤の特性や地下水流の影響などの項目をあげている。さらに，その技術的根拠として「概要調査地区選定上の考慮事項の背景と技術的根拠」（原子力発電環境整備機構，2004b）を取り

まとめた。この中で、法定要件として定められた「地震などの自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと」などに対する具体的な判断指標を、設定根拠とともに示している。

## 2. 文献調査計画の立案

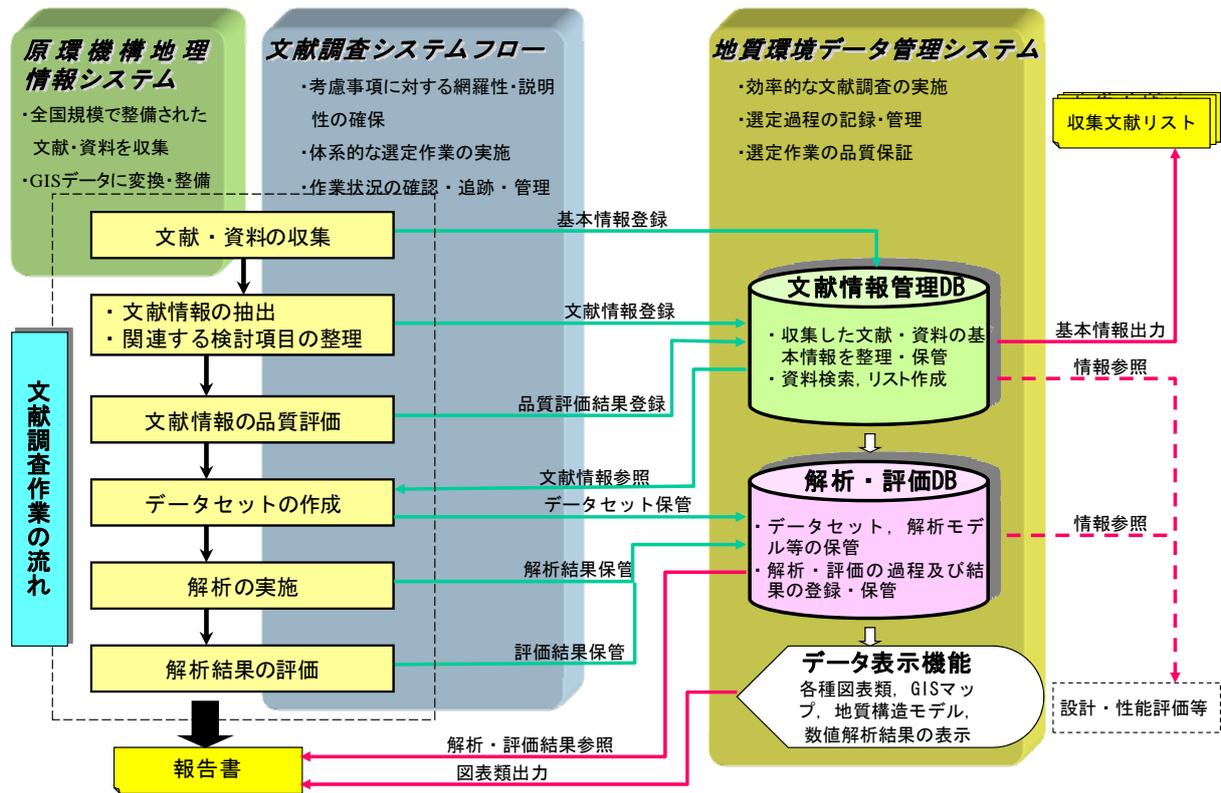
文献調査の開始に先立ち、文献調査計画書を作成する。本計画書では、これまでの検討内容（例えば、原子力発電環境整備機構，2004a）に基づき調査の項目・内容・対象範囲，収集すべき情報などとともに，データベース検索，現地の関係機関などへの訪問調査，一般からの提供の三つの方法による文献収集や，文献収集の着手時や途中段階に公表する収集文献リストの公表の手順などを記述する。また，文献調査の業務マニュアルを作成し，着実かつ効率的に文献調査業務を実施するための準備も整えている。

## 3. 文献情報の収集・整理

「概要調査地区選定上の考慮事項」に示した多岐にわたる事項について，網羅的に文献情報を収集・整理する。これらの作業で取り扱うデータは膨大な数に上ることが想定されるため，文献情報の追跡性の確保や作業品質の確保を積極的に進める。

原環機構では，文献調査業務の効率化および品質管理の支援を目的として，ツールの整備を実施した。付図 2.1-2 に，原環機構地理情報システム（NUMO-GIS），文献調査システムフロー，地質環境データ管理システムからなる一連の支援ツールと文献調査業務との関連性を示す。

NUMO-GIS は，概要調査地区選定上の考慮事項に関連する日本全国規模の既存の文献情報を収集し，GIS データに変換して登録し，複数の情報の重ね合せ表示により正確かつ効率的な評価を可能にするものである。

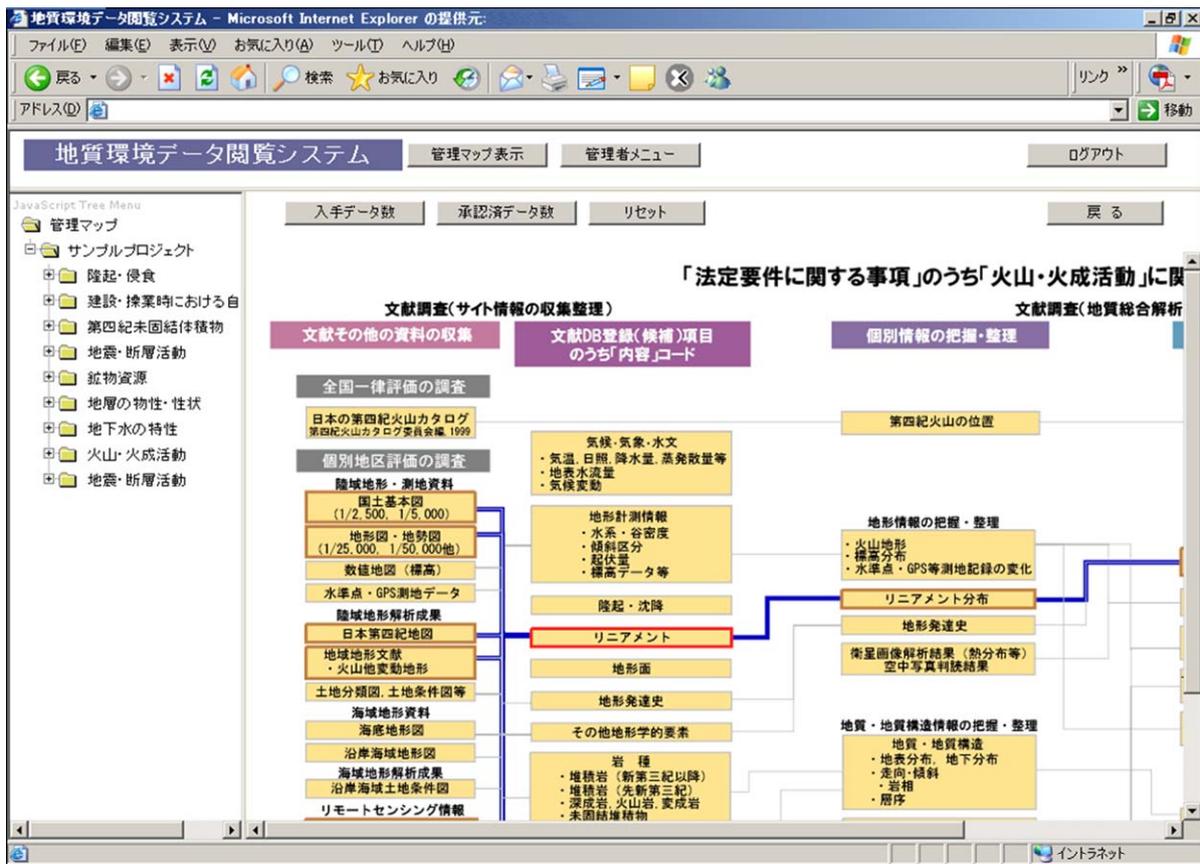


付図 2.1-2 文献調査を支援するための一連のツールの概要

文献調査システムフローは、業務の一貫性、追跡性、透明性を確保するために、文献情報の収集・整理から始まり、個別の情報の分析・評価、考慮事項への適合性の評価および地質環境モデルの構築に至る一連の作業と情報の流れを系統的に表示するシステムである。付図 2.1-3 に、火山・火成活動評価に関する文献調査システムフローの例を示す。図中の各ボックスにおいて、そこでの作業の実施状況、判断・評価結果、およびその根拠などの情報を参照することができる。地質環境データ管理システムは、収集・整理した文献情報や、解析・評価結果を一元的に管理するデータベースシステムであり、文献調査システムフローに表示される情報の格納場所ともなっている。

文献調査システムフローと地質環境データ管理システムは品質管理機能も有しており、文献調査業務における品質保証業務に活用することができる。また、処分場の設計や安全評価で利用する地質環境特性に関するデータも、これらのシステムを利用して品質も含めて一元的に管理することにより、後述の処分場概念の構築などにも活用することができる。

NUMO-GIS により、日本全国を対象に作成・整備された資料をあらかじめ収集し、重ね合わせ表示ができるようにした。これを用いて、文献調査が開始され次第速やかに全国一律に評価する事項について評価することができる。



付図 2.1-3 火山・火成活動評価に関するシステムフローの例

なお、2000年以降、基盤研究開発機関などにより、付表 2.1-1 に代表されるような全国規模の情報が整備されてきた。このような新しい情報を適宜活用することにより、信頼性向上が可能になる。

付表 2.1-1 2000 年以降に公開された主要な全国規模の情報

情報名	内容	出典
活断層詳細デジタルマップ	日本全国の活断層に関するデータベース	中田・今泉編, 2002
日本周辺海域の第四紀地質構造図	日本周辺海域の活構造の分布	徳山ほか, 2001
活断層データベース	活断層の文献, 調査データのデータベース	産業技術総合研究所, 2009
日本の第四紀火山	第四紀に活動した日本の火山のデータベース	産業技術総合研究所, 2010
新編火山灰アトラス	日本列島とその周辺の火山灰のデータ	町田・新井, 2003
坑井温度プロフィールデータベース	日本全国の坑井温度のデータベース	坂川ほか, 2004
温泉地化学データベース	日本全国の温泉水の化学分析値の海成データベース	浅森ほか, 2003
日本の海成段丘アトラス	日本全国の海成段丘（一部の海成段丘）の分布・年代・垂直変動量のデータベース	小池・町田編, 2001
最近約 10 万年間の全国の隆起・沈降量分布図	海成段丘, 河成段丘, シミュレーションのデータ統合	原子力発電環境整備機構, 2004a
最近約 10 万年間の隆起速度分布図	海成段丘, 河成段丘のデータ統合	藤原ほか, 2005
200 万分の 1 日本列島の地すべり地形分布図	日本全国の長さ 200m 以上の地すべりの分布図	藤原ほか, 2004

#### 4. 「概要調査地区選定上の考慮事項」への適合性の確認

「概要調査地区選定上の考慮事項」に関して、応募区域の概要調査地区への適合性を評価する。法定要件については、主に断層活動、火成活動の著しい影響の範囲、および隆起・侵食の概略的な評価を行う。付加的に評価する事項については、地質環境特性を把握することが主要な業務であり、広域的な地質環境モデルを構築するとともに、地質環境の長期変遷について検討する。付表 2.1-2 から付表 2.1-6 に、概要調査地区選定上の各考慮事項に対する評価の考え方や、原環機構および基盤研究機関などにより 2000 年以降に開発・整備された主要な技術について示す。

これらの技術には、概要調査を対象として開発されたものも含まれるが、文献調査と概要調査における評価の違いは、用いるデータが文献などの既存情報か、実際に現地調査で取得したデータかの違いであり、概要調査における評価の考え方や手法を文献調査にも適用することができるため、併せてここに示すこととした。

付表 2.1-2 断層活動に関する評価技術

評価項目	評価の考え方	2000年以降の主要な技術開発
<b>全国一律に評価する事項</b>		
活断層の分布	NUMO-GIS上で陸域および海域の活断層マップ（中田・今泉編，2002；徳山ほか，2001）と対比する。	• NUMO-GISの整備
<b>個別地区ごとに評価する事項</b>		
全国一律に評価する事項で用いた以外の文献の活断層	地域に応じて従来手法※に右記の技術開発成果を適宜組み合わせる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 地下の活断層に関する調査技術（核燃料サイクル開発機構，2005a）</li> <li>• 断層活動の影響評価モデルの開発（核燃料サイクル開発機構，2005a）</li> <li>• 断層活動の体系的な評価手法（木方ほか，2010）</li> <li>• 確率論的な断層活動評価手法（Chapman et al.，2009）</li> </ul>
活断層の破砕帯・変形帯		
活断層の分岐・伸展範囲		
活褶曲・活撓曲帯		

※従来手法：地震防災などの活断層調査で行われている，空中写真判読，地形・地質調査，年代測定，ボーリング調査，トレンチ調査，物理探査（反射法地震探査，海上音波探査など）などの調査・評価手法

付表 2.1-3 火成活動に関する評価技術

評価項目	評価の考え方	2000年以降の主要な技術開発
<b>全国一律に評価する事項</b>		
第四紀火山の中心から半径15kmの範囲	NUMO-GIS上で第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編，1999）の火山を中心とする半径15kmの円を作成し対比する。	• NUMO-GISの整備
<b>個別地区ごとに評価する事項</b>		
第四紀火山の中心から半径15kmの外側でマグマが貫入・噴出する範囲	地域に応じて右記の技術開発成果を適宜組み合わせる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 第四紀の火山・地熱活動などの調査技術（核燃料サイクル開発機構，2005a）</li> <li>• 地下深部のマグマ・高温流体などの調査技術（核燃料サイクル開発機構，2005a）</li> <li>• 火成活動の体系的な評価手法（木方ほか，2010）</li> <li>• 火山活動などの長期予測モデル（核燃料サイクル開発機構，2005a）</li> <li>• 確率論的な火成活動評価（Chapman et al.，2009）</li> <li>• 熱水活動などの長期予測モデル（核燃料サイクル開発機構，2005a）</li> <li>• 熱・熱水の体系的な評価手法（玉生ほか，2008）</li> </ul>
第四紀火山の中心から半径15kmの外側の著しい熱・熱水の影響範囲		

付表 2.1-4 隆起・侵食に関する評価技術

評価項目	評価の考え方	2000年以降の主要な技術開発
<b>個別地区ごとに評価する事項</b>		
過去10万年間の隆起の総量が300mを超えている地域	NUMO-GISに格納されている情報，付表2.1-1の情報，個別地区の文献情報に基づき評価する。 地域に応じて従来手法※※に右記の技術開発成果を適宜組み合わせる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NUMO-GISの整備</li> <li>• 隆起・沈降量に関する調査技術（核燃料サイクル開発機構，2005a）</li> <li>• 侵食速度に関する調査技術（核燃料サイクル開発機構，2005a）</li> <li>• 三次元地形変化モデルの検討（核燃料サイクル開発機構，2005a）</li> <li>• 隆起・侵食の体系的な評価手法（木方ほか，2010）</li> </ul>

※※従来手法：原子力関連施設の地質調査などで行われている，空中写真判読，地表踏査，年代測定，段丘対比・編年調査，ボーリング調査，トレンチ調査などの調査・評価手法

付表 2.1-5 第四紀未固結堆積物， 鉱物資源に関する評価技術

評価項目	評価の考え方	2000年以降の主要な技術開発
<b>個別地区ごとに評価する事項</b>		
対象深度の地層が第四紀未固結堆積物からなる地域	NUMO-GIS に格納されている情報， 付表 2.1-1 の情報， 個別地区の文献情報に基づき評価する。	• NUMO-GIS の整備
経済的価値の高い鉱物資源の存在		

付表 2.1-6 付加的に評価する事項に関する評価技術

評価項目	評価の考え方	2000年以降の主要な技術開発
地層の分・物性・性状	NUMO-GIS に格納されている情報， 付表 2.1-1 の情報， 個別地区の文献情報に基づき評価する。 地域に応じて従来手法***に右記の技術開発成果を適宜組み合わせる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NUMO-GIS の整備</li> <li>• 深地層の研究施設計画 第1段階研究(日本原子力研究開発機構, 2007a; 日本原子力研究開発機構, 2007b)</li> <li>• 地質環境特性の調査・評価技術(核燃料サイクル開発機構, 2005a)</li> <li>• 地質環境の工学特性の体系的な評価手法(木方ほか, 2010)</li> <li>• 沿岸域の体系的な調査研究(日本原子力研究開発機構, 2009b; 産業技術総合研究所, 2008; 原子力環境整備促進・資金管理センター, 2009a; 木方ほか, 2009; 長谷川・宮川, 2009)</li> </ul>
地下水の特性		
建設・操業時の自然災害	NUMO-GIS に格納されている情報および個別地区の文献情報に基づき評価する。	• NUMO-GIS の整備
土地の確保		
輸送		

\*\*\*従来手法：原子力関連施設の地質調査などで行われている， 空中写真判読， 各種物理探査， 地表踏査， 表層水理調査， 地化学調査， ボーリング調査などの調査・評価手法

## 5. 処分場概念の構築

第2次取りまとめによって示された技術基盤を用いて応募地点の地質環境の条件に応じた処分場の設計や性能評価を行うための方法論として，「処分場概念の構築」を提示した(原子力発電環境整備機構, 2004a)。処分場概念とは，サイトの地質環境特性に適した安全性を有すると判断された施設(港湾，アクセス道路，地上施設，地下施設，人工バリア)の配置や形状，材質などの仕様とその安全性の評価の結果を総合的に表したものである。なお，処分場概念の構築に当たっては，閉鎖後安全性を確保するための工学的対策や安全評価に加え，事業を推進する観点から，建設・操業などの工程計画の実現性，社会的な条件，経済性などにも十分配慮するとともに，調査区域に対して各段階で得られる地質環境特性に関する情報や技術開発の成果を反映して，段階的に最適化する。

以上に示したように，「処分場概念の構築」とは，段階的な事業の推進の特徴を踏まえて，サイトの調査・評価の結果に基づいて処分場の設計や安全評価，さらには関連する技術開発を実施するための技術業務の統合化の枠組みである。

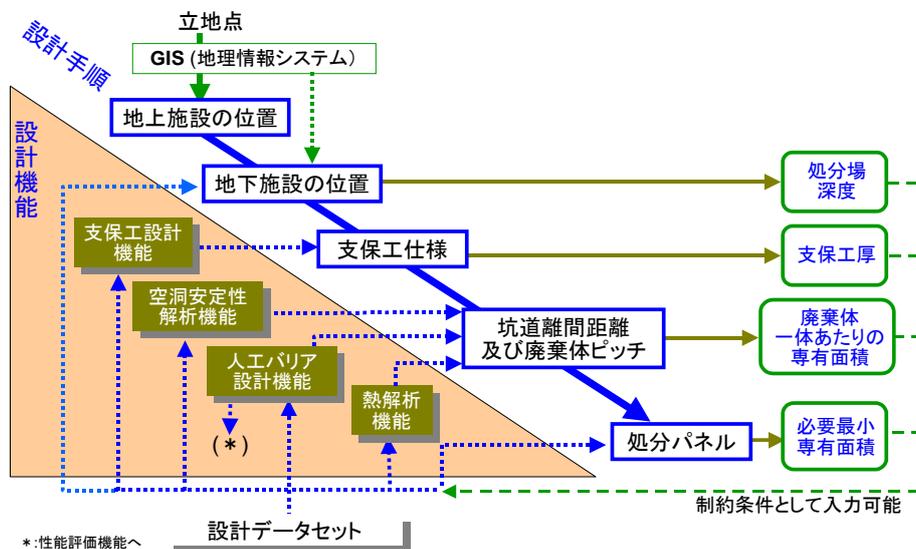
これまで，処分場概念のサイトの地質環境条件への適用性を包括的に評価するための考え方として，設計因子を整備した(原子力発電環境整備機構, 2004b)。設計因子は，処分

場概念が有する性質や能力を表したものであり、実際の文献調査が開始されれば、それを用いて、サイト環境条件への適合性を評価しながら処分場概念を構築する。

これらの処分場概念構築に関わる業務を支援するシステムとして、処分場概念構築システムを開発した（付図 2.1-4）。このシステムは、文献調査の初期の段階から、サイトの地質環境の条件に関する限られたデータや情報を用いて概略的な処分場の設計仕様と安全性を評価するための作業に用いられる。

処分場概念の構築に関する一連の技術の適用性を確認するために、類型化した地質環境特性を仮想的に設定し、文献調査による情報の不確実性なども考慮しながら処分場の仕様の検討、建設・操業システムの検討、安全性の検討を試行的に実施した（原子力発電環境整備機構, 2008e）。この際、第2次取りまとめに示されている処分場の仕様を出発点とし、その後の技術の進展として、原子力機構などの知見（核燃料サイクル開発機構, 2005b）も反映した。

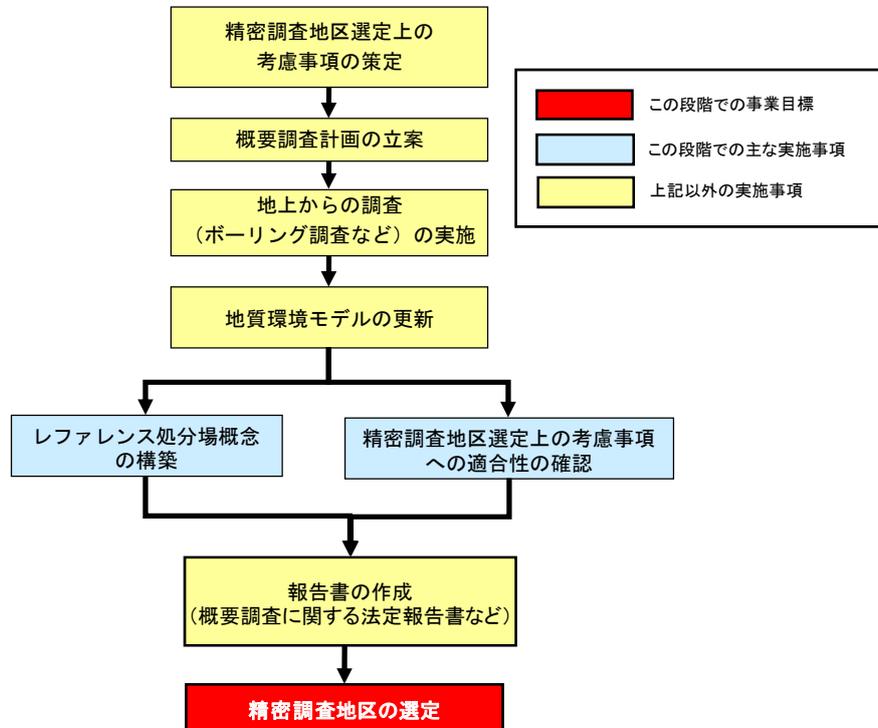
以上のように、文献調査の結果を受けて処分場の概略的な設計を実施する枠組みとして、処分場概念の構築とその支援システムの整備が完了しており、応募があれば文献調査を直ちに開始する準備が整っている。



付図 2.1-4 処分場概念構築システムの設計機能の構成（原子力発電環境整備機構, 2004a）

## 付録2.2 精密調査地区選定に必要な技術の計画的な準備

付図 2.2-1 に、精密調査地区選定段階にかかわる業務の流れを示す。



付図 2.2-1 精密調査地区選定にかかわる業務の流れ

以下に、精密調査地区選定に向けた業務の実施項目と必要な技術の整備状況を業務の流れに沿って示す。

### 1. 「精密調査地区選定上の考慮事項」の策定

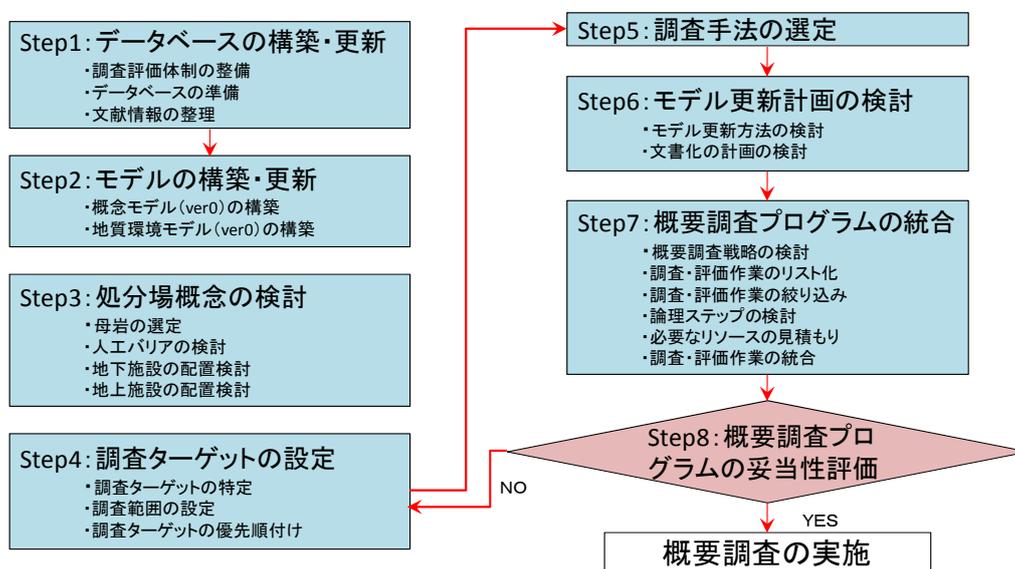
精密調査地区選定においては、法定要件に関連して、断層活動、火成活動、隆起・侵食などの自然現象の著しい影響、地下坑道の掘削への影響、地下施設の機能などに関する地質環境特性の観点から、精密調査地区としての適合性を総合的に評価する。その際には、文献調査における評価の妥当性を確認すること、および文献情報の量や信頼性などのために明確な評価・判断ができなかった場合の情報を得ることも含まれる。「精密調査地区選定上の考慮事項」は、特魔法や原子力安全委員会が今後定める「環境要件」を基本として、事業推進の観点から原環機構自らが設定する判断事項なども含めて策定する。

### 2. 概要調査計画の立案

概要調査計画の立案に当たっては、個々の調査項目の目標と反映先を明確化した上で、調査の制約条件、サイトの地質環境の条件に関する既知情報を勘案し、明確な調査戦略に

に基づき計画を立案する。この業務を支援するために、概要調査の計画立案の方法を「概要調査計画立案マニュアル」として取りまとめた。本マニュアルでは、地質環境の調査・評価に関わる国内外の事例や専門家の知見を参考にして、調査戦略や重要な意思決定のポイントなどの、概要調査計画立案の方針と手順を整理した。

計画立案の手順は、付図 2.2-2 に示すように、文献調査による情報に基づき当該サイトの地質環境を概念化してモデルを構築し、計画立案時点での地質環境特性に関する情報量、質および考えられる不確実性を把握した上で、処分場の設計や安全評価の観点から必要な情報を精査した後、個別地区ごとの調査目標を定め、調査方法や区域内のボーリング調査地点や評価プログラムを策定するという手順で行う。

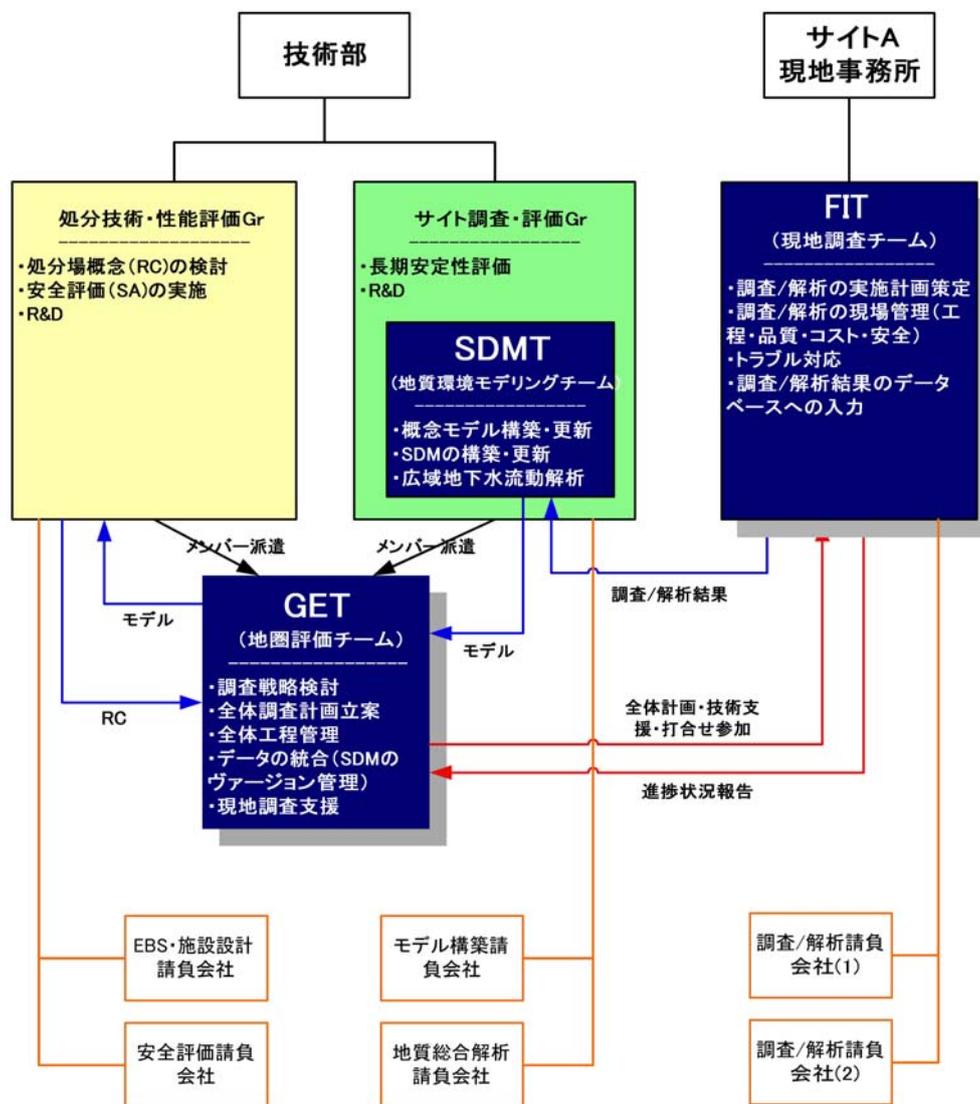


付図 2.2-2 概要調査における計画立案手順

また、この段階では、現地での調査が始まることから、サイト調査・評価、処分場の設計、長期安全評価の三分野の専門技術者が密接に連携してサイト選定に取り組むことが特に重要と考えており、このような連携が効率的に実施できる組織体制を整備する。

付図 2.2-3 は、現段階の技術部の組織構成に基づいた精密調査地区選定段階における組織体制の検討例を示したものである。まず、サイト調査・評価グループ、処分技術・性能評価グループの両グループのメンバーにより概要調査計画の立案を行う地質環境評価チームを構成し、全体的なプロジェクト管理を行う。また、地質環境モデルの作成業務を実施・管理するチームとして、地質環境モデリングチームを設置する。現地事務所においては、調査業務を実施・管理する現地調査チームを設置する。このような現地での概要調査の実施に対応できるよう体制作りを検討を進め、概要調査地区選定段階が終わり次第すぐに調

査が開始できるよう準備を整えている。



付図 2.2-3 精密調査地区選定段階における組織体制（検討例）

### 3. 地表からの調査（ボーリング調査など）の実施

概要調査に用いられるボーリング調査，物理探査，地表踏査などの現地調査は，基本的には既存の技術を採用することにより，十分に信頼性の高い調査が可能である。

原子力機構は，基盤研究開発の一環として，瑞浪の結晶質岩および幌延の堆積岩を対象とした地表からの調査段階を終了し，地質，水理，地球化学，岩盤特性，物質移行などにかかわるデータ取得から解釈・モデル化までの一連の調査・評価に関する事例研究の成果を取りまとめた（日本原子力研究開発機構，2007a；日本原子力研究開発機構，2007b）。

また，沿岸域を対象とした調査・評価手法の技術開発として，新たに開発した物理探査

技術やコントロールボーリング技術などにより、塩淡境界や断層などの分布・性状を把握するための体系的な技術開発が行われており、現在も幌延地域での現地調査に基づく検討が行われている（日本原子力研究開発機構，2009b；産業技術総合研究所，2008；原子力環境整備促進・資金管理センター，2009a；木方ほか，2009）。これらの技術は、主として地層処分事業の概要調査から精密調査の前半に必要な地表からの調査・評価技術に相当している。

原環機構は、概要調査を円滑に実施するために、品質と安全性を確保しながら効率的に概要調査を進める手順を「概要調査施工管理マニュアル」として取りまとめた。さらに、電力中央研究所との共同研究として、新第三紀の堆積岩が分布し沿岸域に位置する電力中央研究所横須賀地区の研究所敷地内において、調査の計画立案から調査・評価に至る一連の概要調査技術を確認するための検討を行い、併せてプロジェクト管理の方法などの修得を行っている（付図 2.2-4）。



付図 2.2-4 横須賀地区における共同研究の実施状況

#### 4. 地質環境モデルの更新

概要調査においては、調査期間を複数のフェーズに分け、各フェーズごとに情報を取りまとめて地質環境モデルを更新することにより、モデルの信頼性を高めていく。

地質環境モデルの考え方や構築方法は、文献調査と概要調査において基本的に変わりはなく、以下のように実施する。

文献情報および現地調査による情報を整理し、地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学、岩盤の物理・力学特性などに関して、それらの空間的分布、現象・挙動、メカニズムなどを表現した概念モデルを構築する。これらの概念モデルと、具体的な数値・座標デ

一タからなるデータセットに基づき、各分野の地質環境特性の分布を三次元的に可視化した地質環境モデルを構築する。そのためにまず、地質・地質構造の分布や幾何学形状を表現した地質構造モデルを作成し、それをもとに地下水の水理や地球化学などの分野の地質環境モデルを構築する。なお、地質環境モデルには、地下水流動解析などの数値解析の結果も表現される。

地質環境モデルを構築する際には、概念モデルにおける作業仮説や不確実性について整理しておく。地質環境モデルのスケールは、モデルやデータセットを利用する処分場の設計や安全評価からの要求を考慮して設定する。概念モデルや地質環境モデルの構築においては、他分野にまたがる情報を統合し、それらが整合するように解釈を加えることにより、サイトの地質環境の特性と長期変遷の総合的な理解を進める。

原環機構では、上記の横須賀地区での検討を通して、地質環境モデルを段階的に更新し、地質環境に関する情報の不確実性が低減されることを確認している（本編 図 4.1-8）。

## 5. レファレンス処分場概念の構築

概要調査に基づいて更新された地質構造モデルを用いて、処分場の設計と閉鎖後長期の安全性について評価し、概要調査地区選定段階に構築した処分場概念を更新する。処分場の設計では、地上・地下施設や人工バリアの概念設計を行うとともに、建設・操業・閉鎖の各システムや技術についても検討し、設計に反映する。また、閉鎖後長期の安全評価は、地質環境特性やそれに対応した処分場の設計や地質の長期安定性の評価などの結果に基づいて実施する。

なお、精密調査地区選定段階では、処分場概念の構築に用いる情報、特に地質構造や岩盤特性に関する情報は、概要調査地区選定段階に比べ増加するが、ある程度の不確実性が残ると考えられる。そのため、処分場の設計においては、不確実性に対応できるよう閉鎖後長期の安全性に対する保守性を重視する。また、概要調査地区選定段階においては、地質環境特性のデータの不確実性への対応として設計・施工に関して代替材料や技術を複数整備したが、精密調査地区選定段階では、次段階以降の技術開発や実証試験を効率的に実施するため、オーバーパックの材料（炭素鋼、銅、チタン）や緩衝材の搬送・施工の技術（ブロック方式、原位置締め固め方式、ペレット方式、PEM方式）などの選択肢の中から、最終的に使用する技術を絞り込む。

以上の工学的対策の検討、長期安全評価、および処分場の設計・施工に関する候補技術の選定に基づいて、概要調査地区選定段階で構築した処分場概念を更新し、調査地区の地質環境特性に適した処分場概念をレファレンス処分場概念として設定する。

付表 2.2-1 には、高レベル放射性廃棄物の処分場概念の構築における検討項目と主要実施項目、さらにそれらをサポートする主要な関連技術を示す。この段階では、周辺環境の

保全策や経済性についても評価するが、これらの項目は調査区域の環境に強く依存すること、また、既存の技術や方法で基本的には実施が可能であると見込まれることから、この表では示していない。地層処分低レベル放射性廃棄物についても同様な考え方で関連技術を整備している。以下では、各実施項目について、この段階での実施概要を述べ、関連技術の整備状況について概説する。

付表 2.2-1 高レベル放射性廃棄物の処分場概念の構築における安全性と成立性に関する  
 実施項目と主要な検討項目，主要な関連技術  
 (カッコ内の数字は，整備状況の概要を記した節番号)

実施項目		主要な検討項目	主要な関連技術
処分場の安全機能・設計要件の設定 (5.1)		機能・役割と設計要件	要件管理技術
人工バリアの概念設計 (5.2)	オーバーパック	材質 (オプション含む)	腐食挙動評価技術 腐食データベースなど
		構造仕様	オーバーパック設計技術など
	緩衝材	ベントナイト材料仕様	緩衝材特性データベースなど
		構造仕様	緩衝材設計技術など
地下施設の概念設計 (5.3)	処分深度	候補岩体の選定，掘削および熱的制限からの可能深度	地下水流動解析技術 空洞安定解析技術
	地下坑道	内空断面仕様，支保仕様 (材料選定を含む)	空洞安定解析技術 耐震性評価技術 低アルカリ性セメントの材料開発など
	レイアウト	処分パネルの配置，アクセス方式など	地下水流動解析技術 操業安全性に関する対策技術など
地上施設の概念設計 (5.3)	廃棄体受け入れ・検査・封入施設の仕様	廃棄体受け入れ・検査・封入施設の仕様	原子力施設の建屋・設備・耐震設計技術など
	その他の施設・設備	その他の施設・設備仕様，施設配置	一般的な建屋・設備・設計技術など 港湾の設計技術
建設に関する技術 (5.4)		坑道掘削計画 (工法，対策)	坑道掘削技術 グラウト施工技術 低アルカリ性セメント施工技術など
		工程計画	工程管理技術 (建設・操業・閉鎖を統合的に取り扱う)
操業に関する技術 (5.5)		オーバーパックの遠隔溶接方法	遠隔溶接技術と溶接部腐食挙動評価など
		廃棄体および緩衝材の搬送・定置方式	緩衝材搬送・定置技術など
閉鎖に関する技術 (5.6)		埋め戻し材施工方法	埋め戻し材施工技術
		プラグ施工方法	プラグ施工技術
		マーカー，坑口処理などのその他の対策方法，仕様	マーカー，坑口処理などの対策技術
モニタリング，回収技術の検討 (5.7)		地質環境特性のモニタリング	モニタリング技術
		廃棄体の回収方法	廃棄体回収技術
閉鎖後長期の安全評価 (5.8)		シナリオ開発	シナリオ解析技術 人工バリア長期挙動評価技術など
		モデル・コード開発	地下水流動解析技術 核種移行評価技術 人工バリア長期挙動評価技術など
		パラメーター設定	熱力学データベース 拡散データベース 収着データベース 人工バリア長期挙動評価技術など
		その他の指標など	ナチュラルアナログ研究など

## 5.1 処分場の安全機能・設計要件の設定

概要調査地区選定時の処分場概念の構築では、複数の候補地で異なる地質環境が想定されることから、第2次取りまとめやTRU2次レポートで検討された汎用的な処分場の安全機能と設計要件に基づいて、処分場概念の構築の方法について検討を進めてきた。一方、精密調査地区選定段階では、概要調査に基づいてサイトの地下地質構造や地下水化学特性などに関する情報が実際に得られることから、サイトに適した安全機能や設計要件の設定が可能となる。

原環機構では、要件管理システムの開発を通じて処分場の安全機能や設計要件の設定の考え方や手順を整備してきている（原子力発電環境整備機構，2009d）。この段階では、概要調査の結果を考慮して、汎用的な安全機能や設計要件から、サイト固有の安全機能や設計要件を設定する。この際、安全機能が確実に発揮されるよう、建設・操業・閉鎖に関する工学的な機能も合わせて設定する。

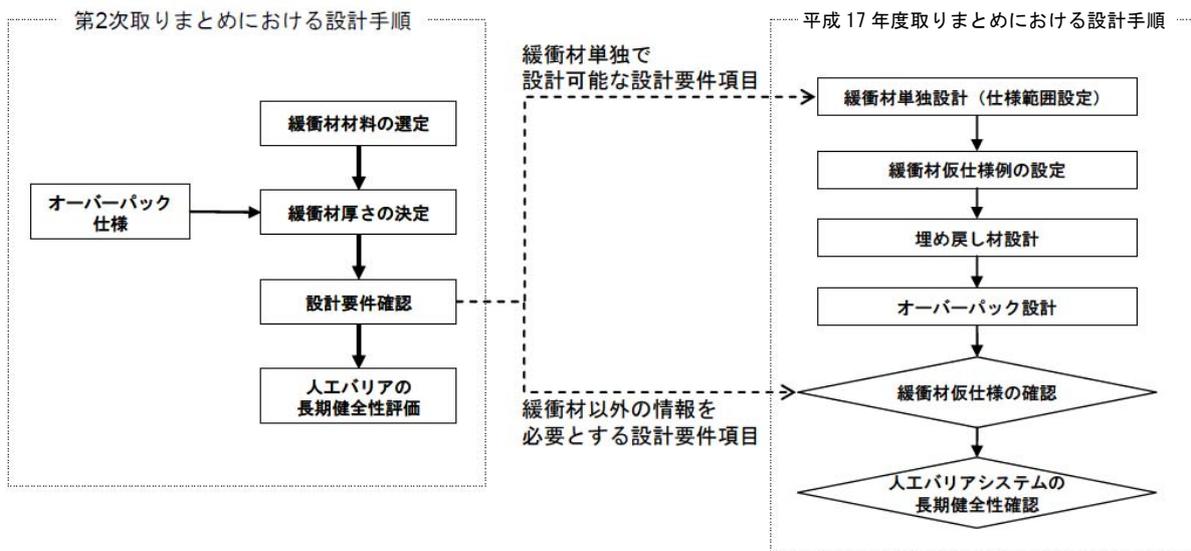
処分場の基本的な安全機能（遮へい，隔離，閉じ込め，核種移行抑制・遅延）などは、処分場が本来的に具備すべき機能であることから、サイトの地質環境に依存して大きく変わることはない。ただし、概要調査の結果によっては、新たな安全機能を追加する可能性がある。

一方、設計要件は、サイトの地質環境下において設定した安全機能に示された性能が確実に発揮されるよう、岩盤特性や地下水特性，人工バリア材料特性をよく把握した上で設定する。なお、概要調査で得られる情報は限られることから、不確実性を考慮して検討を進める。また、設計要件に対して、この段階までに示されている法令や指針類に基づいて設計基準などを整備する。なお、法令や指針類が整備されていない場合は、自主基準を整備する。

以上で示してきたように、概要調査の実施に従って、設計要件を検討するための準備が整っている。

## 5.2 人工バリアの概念設計

人工バリアの設計は、基本的に第2次取りまとめで示された手法（付図2.2-5）を参考に実施することが可能である。調査区域の地質環境特性や、それに応じた緩衝材搬送・施工方式の検討に合わせて、必要に応じて設計要件を追加するなどして、設計手法に修正を加える。また、2000年以降に人工バリア材料の長期的な特性に関する研究が大きく進展しているため、これらの知見も取り込んで人工バリアを設計する。このように、サイトの地質環境特性において、人工バリアの安全機能が確実に発揮されるように設計をするための手法の整備が進んでいる。以下では、オーバーパックと緩衝材の設計に関連する2000年以降の技術開発の進捗について概説した。



付図 2.2-5 人工バリア設計手順の修正（核燃料サイクル開発機構，2005b を一部修正）

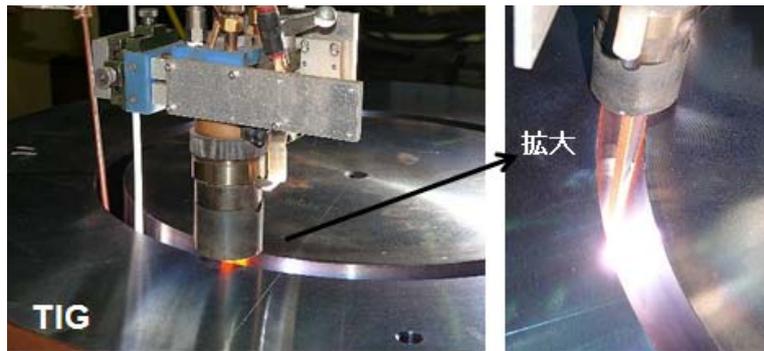
### (1) オーバーパック材料の選定と腐食挙動評価

これまで、オーバーパックの候補材料として、炭素鋼，銅，チタンを検討しているが、第2次取りまとめでは、三つの材料のどれを選択したとしても、設計要件である閉じ込め性，耐食性，耐圧性などを有するオーバーパックを設計できることが示された。今後、概要調査の結果を受けてサイトの地質環境特性に最適な材料を選定することになるが、閉鎖後長期の安全性に対する頑健性，施工や溶接に関わる技術の整備状況を含む工学的成立性の観点から選定する予定である。

炭素鋼オーバーパックについては、第2次取りまとめの時点よりも腐食挙動評価手法が進展し、母材の腐食挙動データの拡充や、考古学アナログ試料の分析結果を反映して、腐食速度が再評価された。（核燃料サイクル開発機構，2005b）。また、施工性に関して遠隔溶接技術に関わる要素技術の開発が進み、溶接部の腐食速度の評価も実施されている（付図 2.2-6；原子力環境整備促進・資金管理センター，2008b）。

銅，チタンについても、腐食挙動評価が進められ、地下水化学組成などの環境要因に依存する腐食挙動の理解が進んでいる（核燃料サイクル開発機構，2005b）。

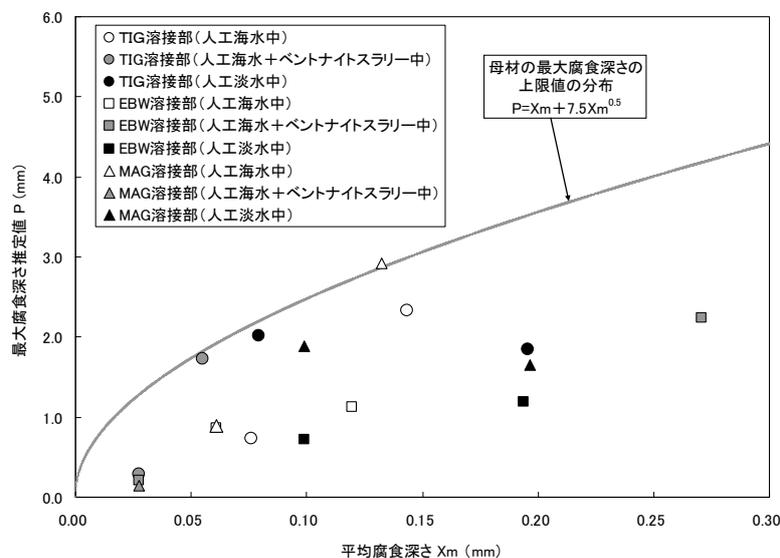
以上のように、2000年以降、オーバーパックの溶接技術や溶接部腐食挙動の理解が進展しており、今後、これらの知見を反映して設計手法の検討を進めることで、閉鎖後安全性と成立性に対する信頼性を向上させる。



(a) TIG 溶接の試験（原子力環境整備促進・資金管理センター，2009b を編集，一部改変）



(b) MAG 溶接の試験（原子力環境整備促進・資金管理センター，2008a を一部改変）



(c) 溶接部腐食深さと溶接技術の関係。

TIG, MAG, 電子ビーム溶接 (EBW) とも母材の腐食深さ (図中実線) と同程度か小さな腐食深さを示しており, 溶接部が耐食性を有することを示している (原子力環境整備促進・資金管理センター, 2008b)。

“人工海水中”: 海水の組成を模擬した試験溶液中での腐食試験の結果。“人工海水+ベントナイトスラリー中”: 人工海水に少量のベントナイトを分散させた試験溶液中での腐食試験の結果。

付図 2.2-6 オーバーパックスの溶接技術に関する要素技術の実証的な確認試験

## (2) 緩衝材のベントナイト材料の選定とセメント系材料などの相互作用の検討

緩衝材の原料となるベントナイトは、原産地や製品により特性の違いがあるため、サイトの地質環境特性を考慮したベントナイト材料を選定し、また、乾燥密度などの仕様を設計する。候補となるベントナイト材料の選定においては、締め固め特性、膨潤性、透水特性などの緩衝材の基本特性に加え、供給能力、品質管理などの観点も考慮する。この際、原子力機構より公開されている緩衝材の基本特性に関するデータベース（緩衝材基本特性データベース、<http://bufferdb.jaea.go.jp/bmdb/>）を活用する。このデータベースには、従来より検討が進められてきた、クニゲルV 1<sup>®</sup>ベントナイトや、海外で検討が進んでいるMX80<sup>®</sup>ベントナイトなどの基本特性データが収録されており、これを活用することにより、地質環境特性に対する各ベントナイト材料の挙動を把握し、ベントナイト材料の選定が可能である。

また、2000年以降、緩衝材の長期的な特性に関する研究開発が多く実施され、セメント系材料などと緩衝材の相互作用に関する試験や予測モデルなどの開発が大きく進展した（核燃料サイクル開発機構、2005b；原子力発電環境整備機構、2010）。今後、これらの知見を反映して設計手法の検討を進めることで、閉鎖後安全性と成立性に対する信頼性を向上させる。

### 5.3 地上・地下施設の概念設計

地上施設のうち、ガラス固化体や地層処分低レベル放射性廃棄物の受け入れ・検査施設など、放射性廃棄物を取り扱う施設の設計については、耐震性の検討も含め、従来の原子力施設の設計手法が基本的に活用できる。

地下坑道の設計においては、候補岩体の応力状態、力学特性や地下水流動特性などのサイト特性に適切に対応できる設計手法を用いて実施する（核燃料サイクル開発機構、2005b）。例えば、空洞の力学的安定性を評価する際には、岩盤の種類に応じて適切にモデル化を行うとともに、施工手順などを考慮して解析的に評価を行う（原子力発電環境整備機構、2008c）。また、地下施設の耐震性を評価する際には、地下深部の地震動特性を適切に評価し、地層処分施設の特徴を適切にモデル化した上で解析的に評価を行う。

地下施設レイアウトの設計においては、サイトの地質環境特性に応じて規模の大きな断層・破碎帯からの離隔、廃棄体からの発熱などの閉鎖後安全性の観点に加え（原子力発電環境整備機構、2008c）、地上施設との位置関係、操業工程、操業環境の維持（換気、排水など）、事故時の避難経路の確保など、事業の着実な実施の観点から設計を実施する。これらの基本的な設計手法はこれまでに整備されており、それらの手法を適用することの妥当性を、専門家による評価も踏まえ判断する。

地上・地下施設の設計に関しては、設計の基本的な考え方や手法の検討は実施済みであり、

今後は、これらを多様なサイト環境に適切に対応できるようさらに検討を進める。

#### 5.4 建設に関する技術

この段階では、建設に関するこの段階までに整備されている技術の適用性について確認し、処分場の設置深度やレイアウトなどの設計に反映すべき項目を検討する。

2000年以降、調査区域の岩盤の物理特性に基づいて、坑道建設の成立性を確認するために、原子力機構により、深地層の研究施設の建設に合わせて、地下坑道の掘削技術やグラウト技術、また、模擬坑道を利用した低アルカリ性セメント（HFSC：High Flyash contained Silicafum Cement）による吹き付けコンクリートの適用性の確認試験が行われている（付図 2.2-7、日本原子力研究開発機構、2009c）。一方、原環機構は、SKB、Posiva との国際共同研究や電中研との共同研究を実施し、室内試験や海外の地下研究施設などを利用して低アルカリ性セメントのグラウトなどへの適用性の確認を進めている（原子力発電環境整備機構、2004c、2008d）。これらの技術開発により、従来の坑道掘削技術の地下施設建設への適用性や、支保やグラウト材としての低アルカリ性セメントの適用性の見通しが得られつつある。



(a) 地下での HFSC 吹きつけ施工の様子

(b) HFSC 施工後の坑内状況

付図 2.2-7 HFSC 吹付コンクリートの模擬施工状況（日本原子力研究開発機構、2009c）

#### 5.5 操業に関する技術

この段階では、処分場の操業に関するこの段階までに整備されている技術の適用性について確認し、処分場の設置深度やレイアウトなどの設計に反映すべき項目を検討する。また、レファレンス処分場概念の構築に向けた技術的選択肢の絞り込みを行うため、操業に関する技術開発を進め、技術の比較検討に資するための情報を整備しておく。

絞り込みの対象となる緩衝材の定置に関する技術的選択肢の検討では、第 2 次取りまとめにおいて、ブロック定置方式と現場締め固め方式の実現可能性が示されているが、2000

年以降、ブロック定置方式の要素技術として真空把持装置の開発や、ペレット充填方式や PEM 方式などの技術開発が進められている（本編 図 4.1-7, 原子力環境整備促進・資金管理センター, 2006, 2008a）。

原環機構は、緩衝材搬送・定置技術の絞り込みに向けて、人工バリア・廃棄体の搬送シミュレーションコードを開発し、物流を考慮した処分場レイアウトの設計技術を整備している。また、代替技術の絞り込みに向けて、緩衝材定置技術の比較方法について検討を進めている（Sato et al., 2007）。このほか、緩衝材や廃棄体定置時の品質の影響について、作業時の品質管理と閉鎖時の確認事項の整理を進めている（兵藤ほか, 2008）。

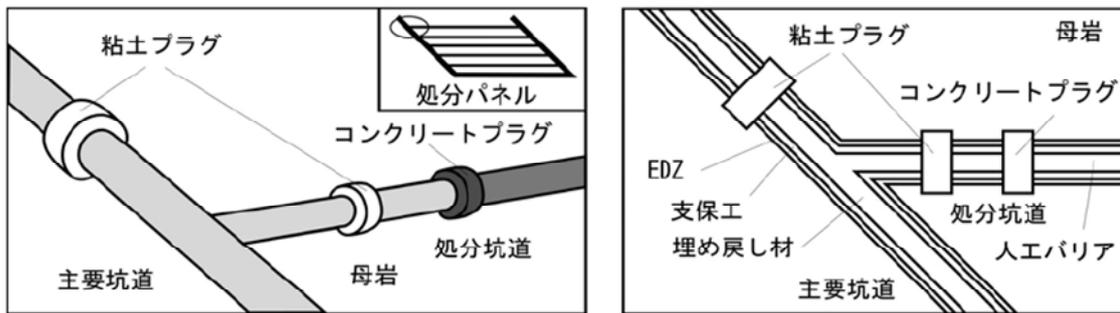
近年、海外の実施主体においても、製作・施工技術の開発、実証が重点的に実施されており、2006 年には、人工バリア設計の技術的検証をテーマとした国際ワークショップが東京で開催され、原環機構および基盤研究開発機関などと海外の実施主体（SKB, ANDRA, POSIVA, Nagra, U.S.DOE）や研究機関（原子力機構, 原環センターなど）との間で、関連技術に関する意見交換などが行われた（OECD/NEA, 2007）。この中で、人工バリア, 埋め戻し材, プラグなどの設計とその施工に関する実証試験の現状が、各国から報告され、人工バリアの横置き方式に対する技術開発やペレット方式などの比較的新しい技術の実規模実証に関する情報が交換された。

以上のように、人工バリアの定置技術の絞り込みの方法論の検討と個別技術の開発が着実に進捗している。

## 5.6 閉鎖に関する技術

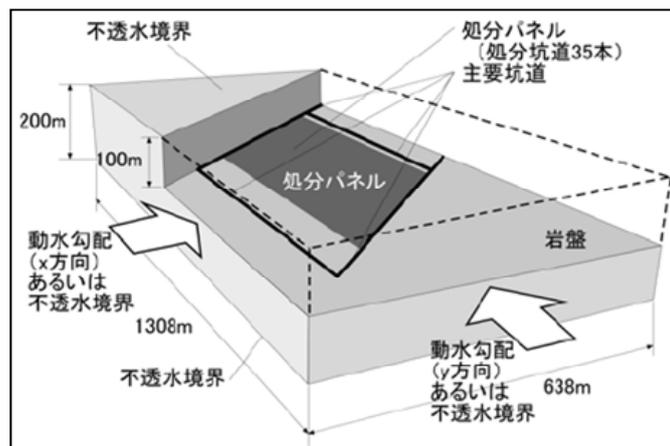
原環機構は、廃棄体の埋設完了後、閉鎖措置計画を申請し、国による認可を経て、処分場を閉鎖する。閉鎖措置計画の策定に当たっては、この段階までに蓄積されたサイト地質環境に関するデータ、人工バリア、地下施設や閉鎖システムの施工品質に関するデータなどに基づいて、閉鎖後長期間の安全性が確保されていることを確認する。これらの閉鎖時の確認事項を、地下施設や操業システムの設計にフィードバックすることで、閉鎖措置を円滑に実施することができる。また、前述のように確認事項の一つとして、廃棄体・緩衝材の定置品質を検討している。

第2次取りまとめにおいては、処分場の閉鎖方法として、埋め戻し材、プラグや坑口処理などについての検討が行われているが、2000 年以降、原環機構では、閉鎖に関する工学的対策の有効性の確認や、閉鎖措置計画に向けた調査・評価項目の検討などを実施している。また、付図 2.2-8 に示すように、原子力機構と共同で埋め戻し材やプラグなどの単体ではなく、これらを組み合わせた閉鎖システムの評価を実施している（藤田ほか, 2006; 原子力発電環境整備機構, 2006）。



(a) 鳥瞰図

(b) 平面図



(c) パネル規模の解析で考慮した前提境界条件

付図 2.2-8 閉鎖システムの評価で考慮したプラグ，埋め戻し材の配置関係，  
およびパネル規模の解析で考慮した前提・境界条件の設定  
(藤田ほか，2006；原子力発電環境整備機構，2006)

以上のように，処分場の閉鎖に向けた検討を進め，岩盤強度に応じたプラグの形状や，サイトの岩石の化学特性などに応じた埋め戻し材の材料設計などの検討を進め，処分場の設計に反映する。

## 5.7 モニタリング，回収技術の検討

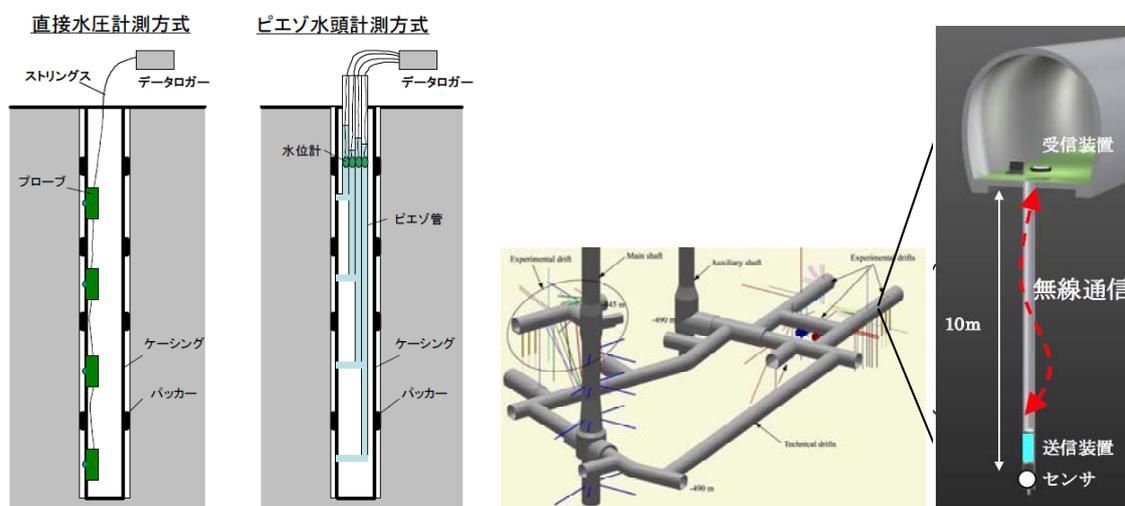
この段階では，建設，操業期間中のモニタリングや回収技術の観点から，処分場のレイアウトなどの設計について精査し，これらの作業が実施可能な仕様であることを確認する。

原環機構では，国内外の実施主体や基盤研究開発機関におけるモニタリングに関する技術開発成果に基づいて，地層処分事業におけるモニタリングの考え方を取りまとめている。第2次取りまとめ以降，原子力機構や国を中心に，モニタリング技術の開発や適用性確認が行われており，例えば，原子力機構は地下研究施設において，地上からのボーリング孔を利用した水圧・水質の長期モニタリング技術の適用性を示している（付図 2.2-9(a)；例え

ば、核燃料サイクル開発機構，2005a；日本原子力研究開発機構，2009a)。このほか，原環センターでは，フランス ANDRA と共同でバリア擾乱を低減する無線伝送技術を活用したモニタリング手法の実証や(付図 2.2-9(b);原子力環境整備促進・資金管理センター，2008c)，モニタリング項目選択のための技術的選択肢(技術メニュー)の整備が進められている(竹ヶ原ほか，2004)。

廃棄体の回収技術については，海外を含めた現状の回収技術の調査結果がまとめられており(原子力環境整備促進・資金管理センター，2009c)，今後，回収技術に関する技術開発が進められる予定である。

以上のように，モニタリング，回収技術についても技術開発が着実に進捗している。



(a) 間隙水圧モニタリング手法(核燃料サイクル開発機構，2005a)

(b) 無線伝送技術を活用したモニタリング手法の技術イメージ(原子力環境整備促進・資金管理センター，2008c を一部改変)

付図 2.2-9 モニタリング手法の開発事例

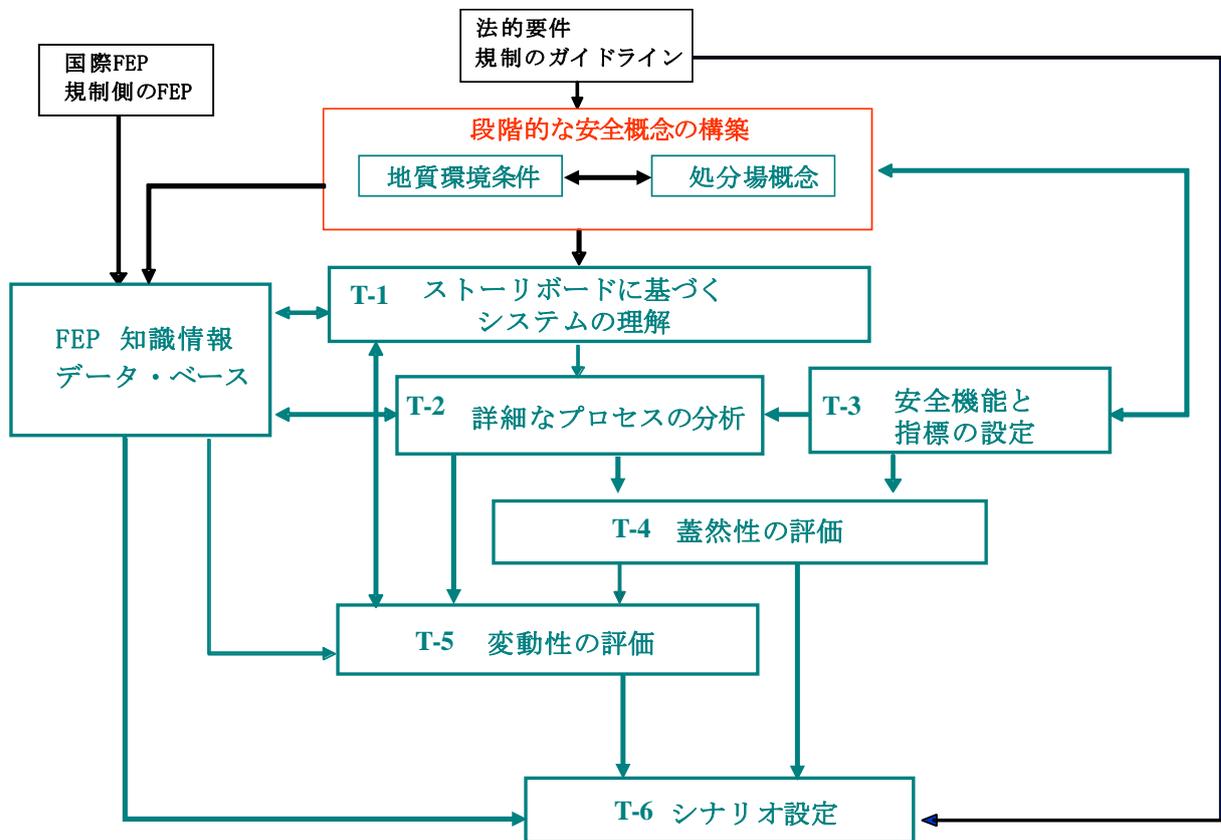
## 5.8 閉鎖後長期の安全評価

この段階では，地表からの調査から得られた地質環境情報やそれに基づく処分システムの仕様に基づいて，シナリオ解析・モデル開発・パラメータ設定を実施する。

シナリオ解析については，上述の地質環境情報や処分システムの仕様を適切に取り込んだシナリオを構築することが重要である。このため，原環機構では，蓋然性の高い状態変遷(地質環境の長期的変遷など)やその不確実性に対して，ストーリーボード<sup>1</sup>によるシステムの理解および安全機能を基軸としてシナリオを構築する手法と，処分システムに関連する個々の特性，事象やプロセスを統合してシナリオを構築する手法とを組み合わせた，新た

<sup>1</sup> 対象とする空間スケールと時間スケールごとに，バリアの状態や核種の移行に関するプロセスを，概念図や言葉を用いて描写したもの。

なシナリオ解析手法を開発中である（付図 2.2-10; Wakasugi et al., 2009）。また，基盤研究開発では，処分システムに関連する個々の特性，事象やプロセスの相互関係をマトリクス形式で整理する考え方など，複雑な相互関係を構造化して表現する手法が提案されている（核燃料サイクル開発機構, 2005c）



付図 2.2-10 開発中のシナリオ解析手法（Wakasugi et al., 2009 を和訳）

この段階の安全評価では，プロセスモデル（個別現象とその影響を現実的に評価するモデル）とシステムモデル（複数の現象の簡略化・統合化によりシステム全体の挙動を評価するモデル）を相互補完的に組み合わせて用いる。すなわち，システムモデルにおける近似や簡略化の妥当性をプロセスモデルによって支持し，逆に，システムモデルを用いた解析結果に基づき処分システム全体の性能に対する個々のプロセスモデルの重要度を明らかにする。これら二つのモデルによる検討を通じて，考慮すべきプロセスが適切に取り込まれているシステムモデルを構築する。また，レファレンス処分場概念の絞り込みにおいては，三次元核種移行解析モデルなどのプロセスモデルを用いて，性能評価の観点から設計オプション間の比較を行う。

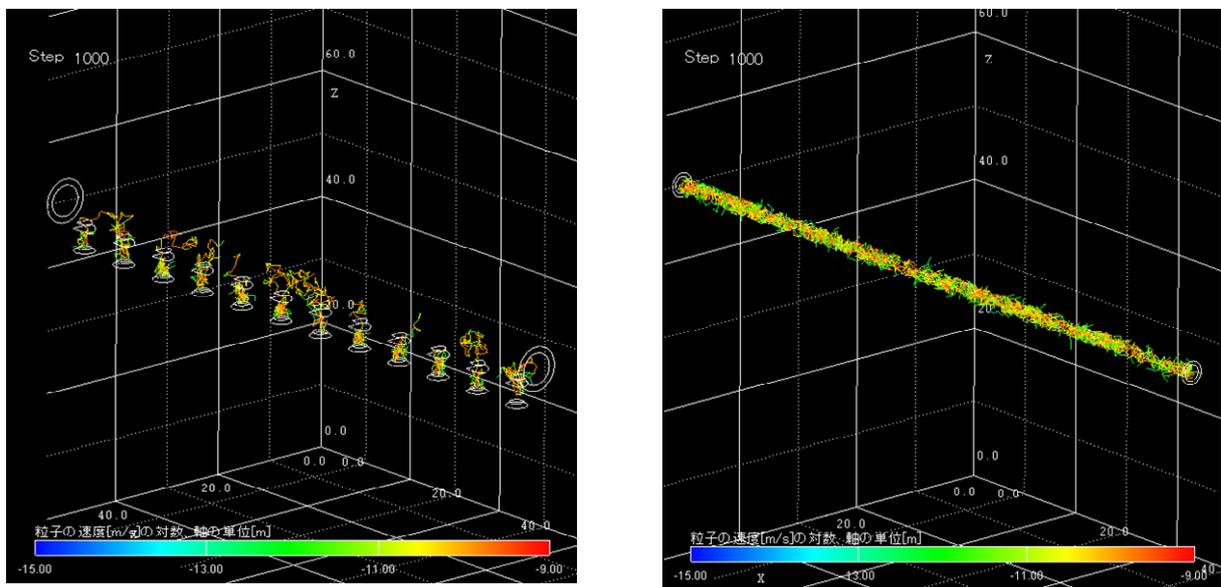
第2次取りまとめ以降，特にプロセスモデルを中心とした開発が進められており，三次元核種移行解析モデルの開発（Wakasugi et al., 2008）やガラスの溶解に関するミクロスケ

ールのモデル開発（藤井ほか，2007）など，核種移行に関わる重要なプロセスをより現実的に評価するための技術開発が進行中である（付図 2.2-11）。

パラメータ設定については，蓋然性の高い状態変遷やその不確実性を考慮して導出されるシナリオに応じて設定していくことが重要である。この段階では，実際のサイトから採取した試料を用いたデータ取得が基本となるが，十分なデータが得られない可能性もあることから，類似の環境条件で取得されたデータとの比較や既存のデータベースなどを活用することにより，データのばらつきの範囲の推定や信頼性向上についても検討する必要がある。

第2次取りまとめ以降においては，例えば，高アルカリ環境下や高温環境下などの処分環境，および長期的な変遷を考慮したデータが拡充されている（核燃料サイクル開発機構 2005c）。また，収着や拡散などのデータベースの開発（例えば，館ほか，2008；熱力学・収着・拡散データベース，<http://migrationdb.jaea.go.jp/>）やその利用方法（例えば，Ochs et al., 2006）などに関する検討が継続して進められている。これらの収着や拡散のデータの取得方法の標準化（日本原子力学会，2006）や，取得データの品質管理の枠組みについても検討が進んでいる。

以上により，2000 年以降，シナリオ解析，モデル開発，パラメータ設定に関する技術開発が着実に進められており，安全評価技術は大きく進歩している。



付図 2.2-11 三次元核種移行解析コード（Partridge）による解析結果例

10 万年間の粒子軌跡を表示している。粒子の多くは，人工バリアの近傍にとどまっている。（等方多孔質体，平均透水係数  $1.0 \times 10^{-10}$  m/s，動水勾配 0.01，坑道・処分孔の周囲に掘削影響領域が発生し，透水係数が局所的に 1 桁増加したケースを想定）

## 6. 「精密調査地区選定上の考慮事項」への適合性の確認

現時点では、「精密調査地区選定上の考慮事項」は設定されていないが、特廃法では精密調査地区選定に関する要件として、以下の項目があげられている。

- ・当該対象地層などにおいて、地震などの自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていないこと。
- ・当該対象地層などが坑道の掘削に支障のないものであること。
- ・当該対象地層など内に活断層、破碎帯又は地下水の水流があるときは、これらが坑道そのほかの地下の施設に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれること。

これらの法定要件については、概要調査で取得する現地データに基づき評価を行う。

また、特廃法では最終処分施設建設地選定に関する要件として、以下の項目があげられている。

- ・地下施設が当該対象地層内において異常な圧力を受けるおそれがないと見込まれること。そのほか当該対象地層の物理的性質が最終処分施設の設置に適していることと見込まれること。
- ・地下施設が当該対象地層内において異常な腐食作用を受けるおそれがないと見込まれること。そのほか当該対象地層の化学的性質が最終処分施設の設置に適していることと見込まれること。
- ・当該対象地層にある地下水またはその水流が地下施設の機能に支障を及ぼすおそれがないと見込まれること。

精密調査地区選定段階においても、処分施設建設地として適切であることの見通しを得ることが重要であるという視点に立ち、現地調査データに基づき、最終処分施設建設地の選定に関する法定要件も考慮した上で「精密調査地区選定上の考慮事項」を策定する。

原環機構では、以上のような評価に必要と考えられる技術を抽出し、基盤研究開発機関および原環機構で技術開発を進めてきた。それらの技術のうち主要なものについては、付表 2.1-2 から付表 2.1-6 に示されている。

## 付録2.3 事業期間を通して必要とされる技術の整備状況

一般的に事業を構成する要素としては、スケジュール、コスト、資材、品質、人的資源、リスク・不確実性、技術開発などがあり、これらを適切に管理する必要がある。その場合、地層処分事業の特徴（事業の長期性、学際的な分野間の連携、事業初期におけるサイト情報の不確実性など）を十分に考慮した取り組みが必要となり、既存産業で蓄積されている知見を応用することで対応可能なものと、地層処分事業用に改良・開発を要するものがある。

これらのうち、事業を遂行する上での様々なリスクや不確実性への対応の方策については、事業全体を俯瞰した計画を作成し、段階的に事業を推進するという点に関する内容を本編の第3章で、品質、人的資源、技術開発の管理の方針および方策は本編の第4章に記述した。

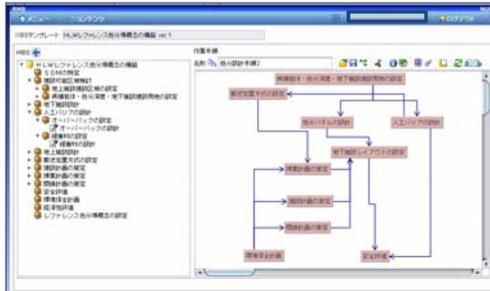
これらの事業管理は、機構の職員が進めるものであり、着実に実施するための方法を確立しておくことが必要である。具体的には、品質マネジメントなどの事業管理を実施するための基盤となるシステムや支援システムの整備があげられる。原環機構としては、例えば、調査データの管理を効率的に実施するために「地質環境データ管理システム」の開発を進めている（付図 2.1-2）。本システムは、文献調査、概要調査、精密調査およびその後の調査活動を通じて拡充される情報を集中的かつ効率的に情報管理するツールである。

また、処分事業を推進するに当たって考慮すべき広範な要件とそれらを前提とした意思決定を一括管理する「要件管理システム」の開発も進めている（原子力発電環境整備機構，2009d）。このシステムは、処分事業にかかわる要件（法的要件、技術的要件、社会的要件など）、意思決定項目やその付帯情報をデータベース化することにより、さまざまな意思決定を支援し、あるいは、それらの結果を効率的に記録することができる。本システムは品質管理活動の一環としても活用する予定である（付図 2.3-1）。

**要件管理業務**

- 法的な要件, 技術的な要件, 設計要件, 地質環境条件等
- 主要意思決定事項, 処分場概念の構築等の作業項目

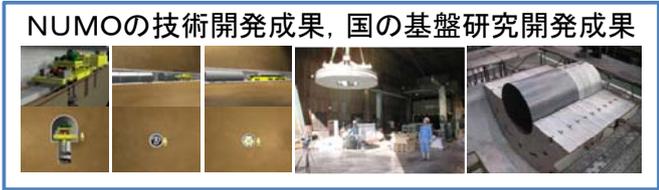
電子データベース化



**技術業務の支援**

- 要件の体系化
- 技術業務の要件, 関連情報の閲覧および効率的な収集
- 過去の意思決定・技術業務の追跡性の確保

電子データベース化



付図 2.3-1 要件管理システム

# 参考文献

## — 参考文献 —

- 浅森浩一, 梅田浩司, 石丸恒存, 小松亮 (2003) : 温泉地化学データベースの作成, 核燃料サイクル開発機構, TN7450 2002-003.
- ANDRA (2005) : Dossier 2005 Argile, Andra Research on the geological disposal of High-Level long-lived radioactive waste, December 2005, ANDRA.
- Chapman, N., Goto, J., Tsuchi, H. (2009): Likelihood of Tectonic Activity Affecting the Geological Stability of a Repository in Japan: Development of NUMO's ITM Methodology, Stability and Buffering Capacity of Geosphere for Long-term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline Rock, Workshop Proceedings, Manchester, United Kingdom, 13-15 November 2007, pp.67~75.
- 第四紀火山カタログ委員会編 (1999) : 日本の第四紀火山カタログ v.1.0 (CD-ROM 版), 日本火山学会.
- 電力中央研究所・電気事業連合会 (1999) : 高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術.
- 土木学会原子力委員会地下環境部会 (2001) : 概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方.
- ENRESA (2000) : FEBEX project, Full-scale Engineered Barriers Experiment for a deep geological repository for high level radioactive waste in crystalline host rock FINAL REPORT.
- 藤井直樹, 千葉保, 高瀬博康, 嶋田秀充, 青木和弘 (2007) : 現実的性能評価技術の開発 (その2) -変質層の形成機構を考慮したガラス固化体溶解解析モデルの開発-, 日本原子力学会 2007 年秋の大会予稿集.
- 藤田朝雄, 川上進, 杉田裕, 高橋美昭, 酒井裕一 (2006) : 地層処分システムにおける閉鎖要素の相互影響を考慮した坑道交差部における水理解析, 土木学会第 61 回年次講演会.
- 藤原治, 柳田誠, 三箇智二, 守屋俊文 (2005) : 地層処分からみた日本列島の隆起・侵食に関する研究, 原子力バックエンド研究, Vol.11 No.2, pp.113-124.
- 藤原治, 柳田誠, 清水長正, 三箇智二, 佐々木俊法 (2004) : 日本列島における地すべり地形の分布・特徴, 日本地すべり学会誌, Vol. 41 (3), pp.335~344.
- 原子力安全委員会 (2000) : 高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について (第 1 次報告) .
- 原子力安全委員会 (2004) : 放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について, 2004 年 6 月.
- 原子力発電環境整備機構 (2002) : 概要調査地区選定上の考慮事項, 高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料 3, 2002 年 12 月.
- 原子力発電環境整備機構 (2004a) : 高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性, 「処分場の概要」の説明資料, NUMO-TR-04-01, 2004 年 5 月.
- 原子力発電環境整備機構 (2004b) : 概要調査地区選定上の考慮事項の背景と技術的根拠, 「概要調査地区選定上の考慮事項」の説明資料, NUMO-TR-04-02, 2004 年 6 月.
- 原子力発電環境整備機構 (2004c) : Proceedings of the International Workshop on Bentonite-

- Cement Interaction in Repository Environments, NUMO-TR-04-05, 2004年8月.
- 原子力発電環境整備機構 (2006) : 処分システムに求められる閉鎖性能の考え方, NUMO-TR-06-01.
- 原子力発電環境整備機構 (2008a) : Development of Methodologies for the Identification of Volcanic and Tectonic Hazards to Potential HLW Repository Sites in Japan, NUMO-TR-08-03.
- 原子力発電環境整備機構 (2008b) : 地層処分を行う低レベル放射性廃棄物 (TRU 廃棄物) について, 2008年4月
- 原子力発電環境整備機構(2008c) : 地震・断層活動に関する調査技術・評価手法の検討 (ポスター), NUMO 技術開発成果報告会, 2008年1月17日, p.68.
- 原子力発電環境整備機構 (2008d) : 低アルカリ性セメントの処分場における長期的要請に関する検討, NUMO-TR-08-02.
- 原子力発電環境整備機構 (2008e) : 設計・性能評価の試行 (ポスター), NUMO 技術開発成果報告会, 2008年1月17日, p.72.
- 原子力発電環境整備機構 (2009a) : 処分場の概要, 高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料 1, 2009年4月.
- 原子力発電環境整備機構 (2009b) : 概要調査地区選定上の考慮事項, 高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料 2, 2009年4月.
- 原子力発電環境整備機構 (2009c) : The NUMO International Technical Advisory Committee (ITAC): Background, accomplishments and perspectives on the role of technical support groups, NUMO-TR-09-01.
- 原子力発電環境整備機構 (2009d) : Study on strategy and methodology for repository concept development for the Japanese geological disposal project, NUMO -TR-09-04.
- 原子力発電環境整備機構 (2010) : 地層処分低レベル放射性廃棄物処分の技術と安全性 (準備中) .
- 原子力委員会 (2000) : 原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画 (平成 12 年) .
- 原子力委員会 (2005) : 原子力政策大綱, 2005年10月11日.
- 原子力委員会 長半減期低発熱放射性廃棄物処分技術検討会 (2006) : 長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分の基本的考え方 - 高レベル放射性廃棄物との併置処分等の技術的成立性 - .
- 原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会 (1997) : 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.
- 原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会 (2000) : 我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価.
- 原子力環境整備促進・資金管理センター (2006) : 平成 15 年度地層処分技術調査等, 遠隔操作技術高度化調査報告書.
- 原子力環境整備促進・資金管理センター (2008a) : 平成 19 年度地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発報告書 (第

1 分冊)－遠隔操作技術高度化開発－.

原子力環境整備促進・資金管理センター (2008b) : 平成 19 年度地層処分技術調査等委託費  
高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発報告書 (第  
2 分冊)－人工バリア品質評価技術の開発－.

原子力環境整備促進・資金管理センター (2008c) : 原環センター2007 年度技術年報, 2008  
年 10 月.

原子力環境整備促進・資金管理センター (2009a) : 平成 20 年度 地層処分技術調査等委託  
費 地層処分共通技術調査 沿岸域塩淡境界・断層評価技術高度化開発.

原子力環境整備促進・資金管理センター(2009b) : 地層処分技術調査等委託費高レベル放射  
性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書.

原子力環境整備促進・資金管理センター(2009c) : 平成 20 年度地層処分技術調査等委託費  
高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発報告書 (第 1  
分冊)－遠隔操作技術高度化開発－.

廃棄物安全小委員会 (2006) : 放射性廃棄物の地層処分に係る安全規制制度のあり方につい  
て, 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会, 2006 年 9 月.

廃棄物安全小委員会(2008) : 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る安全規制について,  
総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会, 2008 年 1 月.

廃棄物小委員会 (2007) : 放射性廃棄物小委員会報告書 中間とりまとめ.

長谷川琢磨, 宮川公雄 (2009) : 海水準変動を考慮した地下水流動解析モデルの検証－花崗  
岩が分布する沿岸域を対象として－, 電力中央研究所報告 研究報告 : N08013.

兵藤英明, 石黒勝彦, 植田浩義, 若杉圭一郎, 操上広志, 加藤洋一 (2008) : 閉鎖指標に関  
わる定置品質の検討(1) 検討の背景・目的・方針, 日本原子力学会 2008 年秋の大会  
予稿集 (CD-ROM 版), M46, 2008 年 9 月 4～6 日, 高知工科大学.

IAEA (SSR-5) : Disposal of Radioactive Waste, Draft Specific Safety Requirements No.SSR-5  
DS354 Draft4, International Atomic Energy Agency Vienna, Austria. 放射性廃棄物・  
廃止措置専門部会第 27 回 参考資料 2.

核燃料サイクル開発機構 (1999) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的  
信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ, 1999 年 11 月.

核燃料サイクル開発機構 (2005a) : 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基  
盤の構築－平成 17 年取りまとめ－分冊 1 深地層の科学的研究-, 核燃料サイクル  
開発機構, JNC TN1400 2005-014.

核燃料サイクル開発機構 (2005b) : 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基  
盤の構築－平成 17 年取りまとめ－分冊 2 工学技術の開発, JNC TN1400 2005-015.

核燃料サイクル開発機構 (2005c) : 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基  
盤の構築－平成 17 年取りまとめ－分冊 3 安全評価手法の開発, JNC TN1400  
2005-016.

経済産業省 (2008a) : 特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画, 2008 年 3 月 21 日.

経済産業省 (2008b) : 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針, 2008 年 3 月 21 日.

- 経済産業省 (2009a) : 平成 20 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費 (地層処分実規模設備整備事業) 報告書, 平成 21 年 3 月.
- 経済産業省 (2009b) : 平成 20 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費 (地層処分概念理解促進事業) 成果報告書, 平成 21 年 3 月.
- 木方建造, 新孝一, 大津正士, 宮川公雄, 鈴木浩一, 岡田哲実, 須永崇之, 小早川博亮, 末永弘, 井ヶ田徳行, 山本真哉 (2009) : コントロールボーリングによる掘削・調査技術の開発 (フェーズ 2) - 掘削・調査システムの高度化と断層への適用 -, 電力中央研究所報告 総合報告 N03.
- 木方建造, 新孝一, 近藤浩文, 田中靖治, 幡谷竜太, 上田圭一, 長谷川琢磨 (2010) : 高レベル放射性廃棄物処分に係る概要調査の体系化研究 - 調査・評価フローの構築と要素技術開発 -, 電力中央研究所報告 (印刷中).
- 小池一之, 町田洋編 (2001) : 日本の海成段丘アトラス (CD-ROM および付図), 東京大学出版会.
- 町田洋, 新井房夫 (2003) : 新編火山灰アトラス[日本列島とその周辺], 東京大学出版会.
- Nagra (2002) : Project Opalinus Clay, Safety Report, Demonstration of Disposal Feasibility for Spent Fuel, Vitrified High-level Waste and Long-lived Intermediate-level Waste (Entsorgungsnachweis), National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste, Technical Report 02-05, Wettingen, Switzerland, December 2002.
- 中田高, 今泉俊文編 (2002) : 「活断層詳細デジタルマップ」付図 200 万分の 1 日本列島活断層図, 東京大学出版会.
- 日本原子力学会 (2006) : 収着分配係数の測定方法 - 深地層処分のバリア材を対象とした測定の基本手順 2006, 日本原子力学会標準, AESJ-SC-F008:2006.
- 日本原子力研究開発機構 (2007a) : 幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階 (第 1 段階) 研究成果報告書 分冊「深地層の科学的研究」, JAEA-Research 2007-044.
- 日本原子力研究開発機構 (2007b) : 超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階 (第 1 段階) 研究成果報告書, JAEA-Research 2007-043.
- 日本原子力研究開発機構 (2009a) : 幌延深地層研究センター : 幌延深地層研究計画平成 20 年度調査研究成果報告.
- 日本原子力研究開発機構 (2009b) : 平成 20 年度 地層処分技術調査等委託費 地層処分共通技術調査 地質環境総合評価技術高度化開発.
- 日本原子力研究開発機構 (2009c) : プレス発表「低アルカリ性セメントを用いた地下施設の本格的な施工に成功」, 2009 年 10 月 15 日
- Ochs M., Kunze S., Saito Y., Kitamura A., Tachi Y. and Yui M. (2006) : Application of the Sorption Database to Kd-setting for Horonobe Rocks, JAEA-Research 2008-017.
- OECD/NEA (1984) : Geological Disposal of Radioactive Waste, An Overview of the Current Status of Understanding and Development.
- OECD/NEA (1995) : The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-Lived Radioactive Waste, A Collective Opinion of the Radioactive Waste Management Committee of the OECD Nuclear Energy Agency.

- OECD/NEA (2004) : Post-Closure Safety Case for Geological Repositories, Nature and Purpose, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- OECD/NEA (2007): Engineered Barrier Systems (EBS) in the Safety Case: Design Confirmation and Demonstration, Workshop Proceedings, Tokyo, Japan,, 12-15 September, 2006.
- OECD/NEA (2009a) : Consideration Timescales in the Post-closure Safety of Geological Disposal of Radioactive Waste, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- OECD/NEA (2009b) : International Experiences in Safety Cases for Geological Repositories (INTESC), OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- 坂川幸洋, 梅田浩司, 鈴木元孝, 梶原竜哉, 内田洋平 (2004) : 日本の坑井温度プロファイルデータベース, 地震, 第2輯, Vol. 57, pp. 63-67.
- 産業技術総合研究所 (2008) : 平成19年度 地層処分技術調査等委託費 地層処分共通技術調査 沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発.
- 産業技術総合研究所(2009) : 活断層データベース 2009年7月23日版, 産業技術総合研究所 研究情報公開データベース (RIO-DB) , 産業技術総合研究所 .  
<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/index.html>
- 産業技術総合研究所(2010) : 日本の第四紀火山 Ver. 1.42 更新 : 2010.02.17, 産業技術総合研究所 研究情報公開データベース (RIO-DB) , 産業技術総合研究所 .  
[http://riodb02.ibase.aist.go.jp/strata/VOL\\_JP/index.htm](http://riodb02.ibase.aist.go.jp/strata/VOL_JP/index.htm)
- Sato, S., Noda, M., Matsuda, T., Sakabe, Y., Hyodo, H., Sugita, Y., Jintoku, T. (2007): A feasibility study on the horizontal emplacement concept in terms of operational aspects. WM'07 Conference, Tuscon.
- 資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構 (2006) : TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画.
- 資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構 (2008a) : 高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画.
- 資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構 (2008b) : TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画.
- 資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構 (2009) : 地層処分基盤研究開発に関する全体計画.
- 舘幸男, 柄善克, 陶山忠宏, 齋藤好彦, Ochs, M, 油井三和 (2008) : 地層処分安全評価のための核種の収着・拡散データベースシステムの開発, JAEA-Data/Code 2008-034.
- 高橋美昭, 北山一美, 竹内光男, 稲継成文, 嘉代東一, 石橋陽一郎, 石黒純一 (2006) : 高レベル放射性廃棄物地層処分事業の概要調査地区選定段階における環境配慮の一考察, 環境アセスメント学会 2006年度研究発表会要旨集, p.187~192.
- 高橋美昭, 北山一美, 佐藤光昭, 加藤浩, 中村純也 (2008) : 高レベル放射性廃棄物地層処分事業の文献調査段階における環境配慮の一考察 -GIS と HSI モデルによる検討-, 環境アセスメント学会誌 6(1), p.57~61.
- 竹ヶ原竜大, 虎田真一郎, 朝野英一, 大内仁, 坪谷隆夫 (2004) : 地層処分にかかわるモニタリングの研究 -位置付け及び技術的可能性-, 原環センター技術報告書, RWMC-TRJ-04003.

- 玉生志郎, 阪口圭一, 中尾信典, 村岡洋文, 菊地恒夫, 茂野博, 水垣桂子, 佐々木宗建, 佐藤龍也, 加藤雅士 (2008): 放射性廃棄物地層処分における熱・熱水の影響評価に関する基礎研究 (その2), 産業技術総合研究所 地質調査研究報告 Vol.55 No.1/2.
- 徳山英一, 本座英一, 木村政昭, 蔵本真一, 芦寿一郎, 岡村行信, 荒戸裕之, 伊東康人, 徐垣, 日野亮太, 野原壯, 阿部寛信, 坂井眞一, 向山健二郎 (2001): 日本周辺海域の中新世最末期以降の地質構造発達史, 海洋調査技術, 13, 1, pp.27~53.
- 通商産業省 (2000): 特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画, 2000年10月2日.
- 梅木博之 (2006): 21世紀の地層処分研究開発: 技術的知識基盤の構築, 日本原子力学会誌, 48, 166-171.
- Wakasugi, K., Ishiguro, K., Kitayama, K., Takase, H., Noguchi, T., Shizawa, A., Hane, K. (2008): Development of performance assessment methodologies to evaluate differences among repository design options, 2008 East Asia Forum on Radioactive Waste Management Conference, 20-23 October 2008, Tokyo, Japan.
- Wakasugi, K., Ishiguro, K., Koyama, T., Shiratsuchi, H., Yashio, S., Kawamura, H. (2009): Developing a methodology for scenario analysis based on understanding of long-term evolution of geological disposal systems, the 33rd International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management (MRS 2009 meeting), May 24-29, 2009 Saint Petersburg, Russia.

# 用語集

## 一用 語 集一

### ITC

地下における廃棄物の管理に必要な人材を養成するため、2003年、スイスに設立された非営利の国際教育研修機関。放射性廃棄物の地層処分計画を進める16ヶ国において政策決定、事業実施、安全規制、研究開発などを担う61の組織を法人会員とする。ITCはこれまでに欧州をはじめ、米国、日本などにおいて年数回、科学技術、社会科学など多様な分野で1～2週間程度の研修コースを年数回開催してきており、これまでの受講者は43カ国から600名を超えている（2010年3月末現在）。

ITC School: [www.itc-school.org/](http://www.itc-school.org/)

### 安全審査

原子力事業者は、原子力施設の設置または変更を行おうとする場合、原子炉等規制法などの関係法令の定めるところにより、施設や設備の基本設計など安全性について、行政庁による審査（一次審査）を受け、その結果についてさらに原子力安全委員会による審査（二次審査）を受けて、必要な許可を取得することとされており、この許可を得るまでの審査のことをいう。

### 安全評価

地層処分システムが安全上受け入れられるものか否かを判断するため、システムの将来挙動の予測を踏まえた人間とその生活環境への影響に関する解析結果を放射線の影響を表す適切な線量などの指標を用いて示し安全基準と比較する。なお、安全評価において実施する一連の解析を安全評価解析という。

### 安全レビュー

事業の進展に伴い得られるデータや最新知見を踏まえてもなお、廃棄物埋設施設の操業中のみならず閉鎖後も含めた長期的な安全性が担保される見通しであることを事業実施主体が確認すること。事業の許可を受けた日から20年を超えない期間ごとの実施が法律によって規定されている。

### 埋め戻し材

坑道や掘削により影響を受けた領域を放置しておく、地圧の作用により坑道の力学的安定性が損なわれたり、地下水の卓越した水みちとなるなど、処分場全体のバリア性能に有意な影響を及ぼすことが想定される。このような影響を排除するために、処分のために

掘削した坑道や立坑（地上施設と地下施設を結ぶトンネル）などを埋めるもの。材料としては粘土などが考えられている。

## **FEP**

地層処分システムに影響を及ぼすと考えられるシステムの特質（Feature）、そこで生ずる事象（Event）や過程（Process）をいう。

## **塩淡水境界**

地下における海水と淡水の境界面をいう。海岸部付近の地層中では、降水系地下水（淡水）の下に海水系地下水（塩水）が侵入している現象が見られる。これは塩水と淡水の密度差に起因する。

## **回収可能性**

地層処分場における長寿命放射性廃棄物の回収可能性に関する協調行動（EU/EC，2000年）では「処分場システムが具備する能力であり、何らかの理由によって回収が望まれた場合に廃棄体パッケージを回収すること。」とされている。

## **概要調査**

3段階のサイト選定プロセスのうち2段階目の精密調査地区選定のための調査（Preliminary Investigation）。ボーリング調査、地表踏査、物理探査などの地表からの調査が行われる。

## **概要調査地区**

概要調査を実施する地区。応募区域およびその周辺地域の文献調査結果に基づき、原環機構が選定する。

## **隔離**

生物圏から離れた処分環境に廃棄物とその廃棄物の有する危険性を保持すること。地層処分施設は、廃棄物を生物圏と人から少なくとも数千年の長期間にわたり、隔離できるように、安定した地層と深度に設置される。

## **火山フロント**

島弧に沿う火山分布域の海溝側の縁を連ねた線をいい、背弧側に比べ火山体数が多く明瞭にたどることができる。

## 活断層

過去数十万年前以降繰り返し活動したことのある断層で、将来も活動する可能性のある断層をいう。

## ガラス固化

再処理の過程において使用済燃料から分離される高レベル放射性廃液を、ガラス繊維と一緒に高温で加熱することにより水分を蒸発させ熔融した後、非晶質に固結（ガラス化）し、物理的・化学的に安定な形態にするプロセス。廃液はステンレス製の堅牢な容器（キャニスタ）に閉じ込められた状態でガラス固化され、人工バリアの構成要素の1つであるガラス固化体となる。ガラス固化体は放射性物質を安定な形態に保持し、地下水に対する耐浸出性に優れることが特徴。

## 環境保全

事業活動その他の人の活動に伴って環境に加えられる影響であって、環境の良好な状態を維持する上での支障の原因となるおそれのあるもの（環境負荷）の発生防止、抑制または回避、影響の除去、発生した被害の回復またはこれらに資する取り組みをいう。

## 基盤研究開発機関

→地層処分基盤研究開発調整会議を参照。

## キャニスタ

高レベル放射性廃棄物や地層処分低レベル放射性廃棄物のハル・エンドピースなどが収納されている容器。

## 亀裂性岩盤

亀裂内の地下水および物質の流れが支配的な岩盤。わが国の岩盤の多くは亀裂性岩盤に分類される。亀裂性岩盤においては、地下水は亀裂特性の異なる亀裂が互いに連結した不均質なネットワーク構造内を選択的に流れる。従って、ネットワークを構成する亀裂の方向性、大きさ、頻度、空間分布、透水性などの亀裂特性が重要なパラメータとなる。

## 空中写真判読

航空機などから撮影した地表面の写真（空中写真）を用いて、地形、地質、土壌、植生などの状況を読み取る調査をいう。

## グラウト

地盤や構築物の間隙・割れ目・空洞に対して、止水や弱部の補強を目的として固結材を注入する工法。注入材にはセメント、粘土、水ガラス系の薬液などがあり、セメントは強度や経済性の点で優れ、広く用いられている。

## 原位置締め固め方式

位置において、振動ローラーなどの機械を用いて土質系材料にエネルギーを与えることで、材料を締め固めて密度を増大させる方法。

## 原子力政策大綱／原子力長期計画

原子力委員会は、原子力基本法に沿って国の施策を計画的に進めるために、1956年（昭和31年）からおおむね5年ごとに、9回にわたって「原子力長期計画」（正式名称：原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画）を策定してきた。10回目の見直しでは、「原子力政策大綱」と名称を改め、2005（平成17年）10月に、今後10年程度の原子力の基本方針として閣議決定された。

## 建設・操業・閉鎖

建設は、廃棄体定置のための地下施設（地下坑道群）と地上施設を構築することを指す。操業は廃棄体の受け入れに始まり、オーバーパックへの封入や廃棄体パッケージ、緩衝材などの製作、これらの搬送・定置、その後に行う処分坑道の埋め戻し作業までの一連の作業をいう。閉鎖は、連絡坑道、アクセス坑道の埋め戻しを指す。

## 坑道離間距離

隣接して掘削される坑道や処分孔間の距離をいう。空洞の力学的安定性や廃棄体からの放熱による緩衝材や充填材などの人工バリアの熱変質防止などの観点から、適切な坑道離間距離が設定される。

## 高レベル放射性廃棄物

原子炉の使用済燃料から再処理により有用物質を分離して生じる廃液またはそれを固化したものをいうが、一般には後者の意味でガラス固化体を指して用いられることが多い。本資料では、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」における「第一種特定放射性廃棄物」という語のかわりに「高レベル放射性廃棄物」を用いている。「第一種特定放射性廃棄物」には、海外再処理により発生する TRU 廃棄物を一定の基準に基づき交換され返還されるガラス固化体も含まれる。

## コントロールボーリング技術

方位や傾斜を制御し、コア採取や孔内計測を行うためのボーリング調査技術。

## 最終処分計画

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」の第四条に基づき、経済産業大臣が、5年ごとに、10年を一期として定める「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」のこと。

## サイト

本書では、地層処分施設を建設することが可能と考えられる場所を幅広く意味する語として「サイト」を用いる。特定の地域を指す場合は、「処分施設建設地」および「応募区域」とは別の語として使い分けている。

## サイト選定／サイト選定段階

応募地区から概要調査地区、精密調査地区、最終処分施設建設地を順次選定する段階を総称して、サイト選定段階という。

## サイト調査・評価

サイトの地質環境特性、ならびに、地質環境の安定性に係る地形・地質・岩盤・地下水などの調査・評価全般のことをいう。

## GIS

GIS（Geographic Information System、地理情報システム）とは、「地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ（空間データ）を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術」。例えば、位置情報を使ってすべての情報をまとめ、地図や航空写真の上にその情報を重ね合わせることで、さまざまな情報の関連性が一目でわかるようになり、これまでには想像できなかった新しい情報が得られるとともに、空間的な関係を視覚的にわかりやすい形で表現できる。

## 収着

収着は、固体の空孔の中あるいは表面で起こる反応をいう広義の用語である。それを使うにあたっては、吸収と吸着の反応の間の技術的区分の問題は除かれている。吸収は主として固体の空孔内で起こり、固体の吸収能力はその体積に比例するような反応を一般的に示すのに用いられる。吸着は、固体表面で起こる反応を示すものであって、固体の吸着能力はその有効表面積に比例する。後者の過程の一例はイオン交換であり、そこでは固体の

表面にある荷電位置を占めたイオンが液中のイオンにより交換されるのである。

### **処分施設建設地**

精密調査により地層の物理的および化学的性質が地層処分施設の設置に適していることが明らかになった精密調査地区内において、地層処分施設を建設しようとする地点をいう。

### **処分場概念**

地層処分施設とその立地点におけるサイト環境条件を合わせた、処分場についての包括的な概念で、地層処分施設の設計仕様やレイアウト、建設・操業・閉鎖やモニタリングの方法、事業期間中の安全対策及び閉鎖後の長期安全性、品質保証、環境影響や社会経済的側面等に関する概念を含む。

### **処分パネル**

高レベル放射性廃棄物を埋設するための処分坑道群とそれを取り囲む坑道からなる1つの区画をいう。

### **人工バリア**

埋設された廃棄物から生活環境への放射性廃棄物の漏出の防止および低減を期待して設けられる人工構築物。地層処分の場合、ガラス固化体、オーバーパックおよび緩衝材からなる。多重バリアシステムの構成要素の1つ。

### **新第三紀**

地質年代単元の1つで、約2300万年前から約260万年前の期間。新生代（Cenozoic Era）の一部をなす Neogene Period の訳語。

### **ステークホルダー**

ステークホルダー（利害関係者）の定義については、国際的にも必ずしも定まったものがあるわけではないが、IAEA 安全用語集においては、「ステークホルダーには一般に、所有者、運転者、従業者、メディア、公衆などを含んでいる」とされ、また IAEA INSAG-20（原子力の課題におけるステークホルダー関与）では、「与えられた課題または決定に特定の関心のある者で、このグループに一般公衆を含めることができる」とされている。

## ストーリーボード

対象とする空間スケールと時間スケール毎に、バリアの状態や核種の移行に関するプロセスを、概念図や言葉を用いて描写したもの。

## セーフティケース

IAEA では「ある施設または活動の安全を裏付ける論拠および証拠を収集したもの」、OECD/NEA では「ある特定の（放射性廃棄物）処分場の開発段階において、処分場の長期の安全を裏付ける論拠を収集したもの」と定義され、事業者が自主的に作成、更新する。

## 生物圏

地球表面において、人間を含む生物が生息する大気圏、水圏および地圏のうち、人間の生活に関連する領域。

## 精密調査

3段階のサイト選定プロセスのうち3番目の処分施設建設地選定のための調査(Detailed Investigation)。地表からさらに詳細な調査を行うとともに、地下に調査施設を建設して、地下の特性などを調べるための調査が行われる。

## 精密調査地区

精密調査を実施する地区。概要調査結果に基づき、原環機構が選定する。

## 総合安全説明書

→セーフティケースを参照 もしくは削除。

## 第一種廃棄物埋設

核燃料物質またはこれにより汚染された物のうち政令に定める放射能濃度の基準を超えるもので、埋設の方法による最終的な処分としての地層処分をいう。

## 第二種廃棄物埋設

核燃料物質またはこれにより汚染された物のうち政令に定める放射能濃度の基準を超えないもので、埋設の方法による最終的な処分としての地層処分以外の処分をいう。

## 第四紀

地質年代単元の一つで、約260万年前から現在までの期間。Quaternary Period の訳語。

その開始時期は、これまでは約 170 万年前からとされていたが、2009 年に国際地質科学連合 (IUGS) により再定義され、日本の各学会においても 2010 年 1 月にこれに従う決定を下した (日本第四紀学会ホームページ 2010 年 1 月 22 日「第四紀と更新世の新しい定義と関連する地質時代・年代層序の用語について」<http://wwwsoc.nii.ac.jp/qr/news/teigi09.html>)。原環機構では、この変更への対応をまだ行っていないため、現時点では旧定義を用いている。

## **第四紀火山**

第四紀は約 260 万年前以降から現在までの期間をいうが、「日本の第四紀火山カタログ」(1999) では、約 200 万年前以降に活動したことが認められる火山を第四紀火山とし、日本全国で 348 の第四紀火山が記載されている。

## **多重バリアシステム**

高レベル放射性廃棄物を、長期間にわたり生物圏から隔離し、放射性物質の移動を抑えることにより、処分された放射性廃棄物による影響が、将来にわたって人間とその環境に及ばないようにするための多層の防護系から成るシステムをいう。工学技術により設けられる人工バリアと、天然の地層である天然バリアにより構成される。

## **段丘**

河川・海・湖などに隣接していて、崖によって境された平坦面。過去に形成された河床や海浜などが隆起して取り残されたもの。

## **段丘対比・編年調査**

同じ時代に形成された段丘を認定することを「対比」、段丘が形成された年代を明らかにすることを「編年」という。

## **地下施設**

廃棄体を地上から地下に搬送するためのアクセス坑道や連絡坑道、廃棄体を埋設するための処分坑道と処分孔などをいう。

## **地質環境／地質環境特性**

地層処分の観点からみた地下の環境を地質環境という。地質・地質構造、岩盤の正常・力学特性、地下水の地球化学特性、地下水の流動特性などが含まれ、これらの特性を総称し、地質環境特性と呼ぶ。

## 地質環境モデル

地質環境特性にかかわるサイトの具体的なデータを用いて、3次元座標における構造の幾何学的性状や諸特性の分布を可視化するもので、地質構造モデル、水理地質構造モデル、地球化学モデル、岩盤力学モデル、物質移動モデルなどがあり、これらの総称。

## 地上施設

ガラス固化体受入・封入・検査施設、緩衝材製作・検査施設、管理棟など、地下での建設や操業から閉鎖までに必要な地上の施設をいう。地下施設の閉鎖後は撤去されるが、閉鎖後管理が行われる場合、その間は必要な施設が残される。

## 地層

狭義には、堆積岩などの成層構造をなした岩体に限定して「地層」と呼ぶが、ここでは成因や構成要素を限定せず、地層処分において考慮される一定の広がりと深さをもった地層および岩体を含む意味で用いる。

## 地層処分基盤研究開発調整会議

地層処分に関する研究開発を計画的、かつ効率的に実施することを目的として、資源エネルギー庁や原子力機構が中心となって、国の基盤研究開発を対象とした全体計画を策定し（資源エネルギー庁・原子力機構，2008a；資源エネルギー庁・原子力機構，2008b）、技術基盤の継続的な強化を目指して研究開発が進められている。資源エネルギー庁が設置した地層処分基盤研究開発調整会議には、（独）日本原子力研究開発機構，（財）電力中央研究所，（財）原子力環境整備促進・資金管理センター，（独）産業技術総合研究所，（独）放射線医学総合研究所が基盤研究開発機関などとして参加している（2009年度現在）。

## 地層処分システム

閉鎖後の長期安全性を評価する上で対象となるシステム全体の総称。一般に多重バリアシステム（または処分場）に人間環境（生物圏）が含まれる。

## 地層処分低レベル放射性廃棄物

TRU廃棄物の中には、長期間にわたり環境に影響を及ぼすおそれがあるため、高レベル放射性廃棄物と同様に深い地層へ処分する必要のある廃棄物があり、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」では「第二種特定放射性廃棄物」と特定されている。本資料では、この「第二種特定放射性廃棄物」という語のかわりに「地層処分低レベル放射性廃棄物」を用いている。

## 中間貯蔵施設

原子力発電所の運転に伴って発生する使用済燃料を、再処理に備えて発電所外で一時的に安全に貯蔵管理しておく施設。これまで、使用済み燃料は再処理工場に搬出されるまで各発電所内で貯蔵されてきている。現在、年間約 1,000 トンの使用済み燃料が発生する一方で、操業が予定されている再処理工場の処理能力は年間 800 トンであり、発電所内での貯蔵が厳しくなると予想されることから建設が進められている。

## 長期安定性

ここでは地質環境の状態（変動の傾向などを含む）の長期にわたる安定性を指す。岩盤や地下水などの地質環境に大きな変化を及ぼす可能性のある自然現象として、地震・断層運動、噴火、隆起・侵食といったものが考えられる。

## 低アルカリ性セメント

その浸出液の pH が最大でも 11.0 程度のセメントをさす。現在国内で市販されているセメント系材料の pH は約 12.5～13.0 の高アルカリ性を示し、これを処分場において使用した場合、地下水の pH を上昇させることが想定される。この場合、ニアフィールドのバリア機能に有意な影響を及ぼす可能性があり、この影響を低減するためには、セメント系材料からの pH を 11.0 程度にすることが必要であると言われている。このような背景から、低アルカリ性セメントの開発とその適用性が検討されている。

## TRU 廃棄物

再処理工場や MOX 燃料工場の操業および解体に伴って発生する低レベル放射性廃棄物。ウランより原子番号が大きい放射性核種（TRU 核種：Transuranium nuclides）を含む廃棄物であることから TRU 廃棄物と呼ばれる。

TRU 廃棄物は、使用済燃料の燃料被覆管（ハル）や使用済み燃料集合体の末端部分（エンドピース）、放射性ヨウ素を除去するために使用した使用済みの銀吸着材（廃銀吸着材）、使用済燃料の溶解等に用いられたプロセス濃縮廃液、施設内で使用されるゴム手袋（難燃性廃棄物）、工具、金属配管（不燃性廃棄物）等の雑固体廃棄物など、施設の操業に伴い発生する廃棄物（操業廃棄物）や、配管や設備などの施設の解体に伴い発生する廃棄物（解体廃棄物）等さまざまなものを含む廃棄物である。この TRU 廃棄物の中で「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」により定められた「物または定められた放射性物質についての放射能濃度を超えるもの」を含む廃棄物が、地層処分対象となる「地層処分低レベル放射性廃棄物」となる。

## THMC

熱－水－応力－化学連成挙動の略。廃棄体定置後のニアフィールドにおいて、熱、水理、応力、化学のプロセスが相互に作用して起こる挙動をいう。ニアフィールドでは、ガラス固化体からの発熱に伴う温度変化、周辺岩盤から緩衝材への地下水の浸入、緩衝材の膨潤に伴う応力、地下水と緩衝材の構成鉱物などとの化学反応が相互に作用することが想定され、これを同時に扱うために熱－水－応力－化学連成挙動のモデル化が行われる。

## TIG 溶接

オーバーパック溶接技術オプションの1つ。アーク溶接技術の一種で、タングステン電極からアークを出し、不活性ガス中で溶接する方法。

## 定置

オーバーパックに封入したガラス固化体、廃棄体パッケージや緩衝材などを処分坑道内の所定の位置に据えること。

## 低レベル放射性廃棄物

我が国では、放射性廃棄物は高レベル放射性廃棄物と低レベル放射性廃棄物に区分される。低レベル放射性廃棄物は高レベル放射性廃棄物以外の放射性廃棄物の総称である。

## 電子ビーム溶接

オーバーパック溶接技術オプションの1つ。真空中で電子ビームにより加熱し、溶接する方法。

## 天然バリア

処分された廃棄物と人間の生活環境との間にある地層などを指し、天然のものではあるが、廃棄物が人間の生活環境に影響を及ぼさないようにする障壁としての役割も期待される。多重バリアシステムの構成要素の1つ。

### （第一種／第二種）特定放射性廃棄物

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」では「第一種特定放射性廃棄物」と「第二種特定放射性廃棄物」を定めている。「第一種特定放射性廃棄物」は具体的にはガラス固化体を意味している。日本では、再処理委託した外国より返還されたガラス固化体（再処理に伴い発生する TRU 廃棄物を一定の基準に基づきガラス固化体と交換したものを含む）や、(独)日本原子力研究開発機構および日本原燃(株)において作られるガラス固化体が

地層処分の対象となる。「第二種特定放射性廃棄物」は具体的には政令で定められている。

(独) 日本原子力研究開発機構および日本原燃(株)の再処理工場や MOX 燃料工場の操業・解体に伴って生じる TRU 廃棄物のうちの一部が地層処分の対象となる。

## 閉じ込め

放射性核種の放出を防止する、または放出を最少限に抑制するための処分施設の設計を意味する。閉じ込めは、人工バリアまたは人工バリアとサイト環境によって提供される。通常は、廃棄物が処分システムに対して悪影響を与え得る熱エネルギーを生じる期間、あるいは、放射能の減衰によって廃棄物に起因する危険性が十分に低減するまでの期間において、閉じ込めを提供するように処分システムの設計がなされる。

## トレンチ調査

主に、活断層の活動履歴を明らかにすることなどを目的に、細長い溝(トレンチ)を掘って行う地質調査を言う。断層を横切る方向に溝を掘り、断層にそって生じた地層のずれ(変位)の量、ずれた地層・断層を覆う地層の年代を測定するなどして、活断層が活動した年代や活動の頻度を調べる。

## ナチュラルアナログ

放射性廃棄物埋設後の放射性核種の挙動や人工バリアの腐食・変質など、地層処分システムにおいて想定される現象と類似した、自然界で過去に起こった長期的変化に関する現象をいう。火山から噴出した火山ガラス、古代の遺跡などから発掘される銅鐸、地下に埋設された古い鑄鉄管などは、人工バリアの候補材であるガラスや金属に類似しているため、これらの地下での長期的な変化を調べることにより、人工バリアで生じ得る現象を確認したり、評価方法の妥当性をチェックすることができる。また、天然の放射性核種を含むウラン鉱床などは、地層処分システム全体のナチュラルアナログの研究の場として利用できる。

## 廃棄体

容器に封入し、または容器に固型化した放射性廃棄物。

## 品質管理、品質マネジメント、品質保証

国際標準化機構(International Organization for Standardization)の規格(ISO 9000:2000)では、以下のように定義されている。

- ・ 品質管理(Quality Control)：品質要求事項を満たすことに焦点を合わせた品質マネジ

メントの一部

- ・ 品質保証 (Quality Assurance) : 品質要求事項が満たされるという確信を与えることに焦点を合わせた品質マネジメントの一部
- ・ 品質マネジメント (Quality Management) : 品質に関して組織を指揮し、管理するための調整された活動。品質に関する指揮および管理には、通常、品質方針および品質目標の設定、品質計画、品質管理、品質保証および品質改善が含まれる。

## 不確実性

天然現象には偶然的要素に支配される側面もあり、現象の理解の程度や定義のあいまいさなどから、これに基づくモデルやデータには必然的に結果を確実に予測できない面がある(不確実性)。放射性廃棄物処分の性能評価では取り扱う現象が多岐にわたり、空間的規模や時間的領域が広範にわたるため、必要とされる精度のレベルも個々の解析に応じて異なると考えられ、不確実性についても十分考慮しておく必要がある。

## 物理探査

人工的に発生させた地震波や電磁波などを利用して、空中、地上、水上などから地下の状況を間接的に調査することをいう。地質構造の状況、鉱床の有無などを調査することができる。

## プラグ

坑道の間中部や端部をふさぐために設置される構造物。埋め戻し材や緩衝材の移動や流出を防いだり、水の通りやすい経路を分断したり、不用意な人間侵入を防ぐ目的で設置される。

## ブロック方式

緩衝材の施工方法の1つで、ブロック型の圧縮成形体を製作し、地下施設で成形体を組み上げて緩衝材を施工する方法。

## 文献調査

文献その他の資料(記録文書、学術論文、空中写真、地質図など)から得られたデータに基づく分析・解析作業。

## 併置

本資料では、高レベル放射性廃棄物処分場と地層処分低レベル放射性廃棄物処分場を同

じ場所に設置することを「併置」という。

### **PEM 方式**

高レベル放射性廃棄物の人工バリア施工方法の1つで、地上施設であらかじめ廃棄体を含むオーバーパック、緩衝材を専用の容器内に施工し、一体化したものを地下施設に定置する方法。PEMは、Prefabricated Engineered barrier system Moduleの略語。

### **ペレット方式**

緩衝材の施工方法の1つで、球状、粒状に成形した緩衝材を施工空間に充填し、緩衝材を施工する方法。

### **法定要件**

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」および同施行規則に示された概要調査地区の選定要件のこと。

### **母岩**

処分場が設置される地層のこと。

### **補完的安全指標**

地層処分システムの安全を評価するための尺度を安全指標という。指標には、人間への放射線影響を直接示すリスクや線量などがあるが、生物圏モデルでなされている仮定に依存せずに、線量やリスクに基づく評価を補完するための指標を補完的安全指標という。例えば、処分システムの隔離能力や放射性廃棄物の潜在的な危険性を示す尺度として、放射性核種の濃度や移動量（フラックス）、時間、放射能毒性指数などが挙げられる。

### **マーカー**

処分施設の存在を認識させることを目的としたもの。IAEAの安全基準文書「放射性廃棄物の地層処分」(WS-R-4)において、地層処分施設に関する情報の入手可能性を維持するための措置の1つとして示されている位置標識。

### **MAG 溶接**

オーバーパック溶接技術オプションの1つ。アーク溶接技術の一種で、シールドガス（溶接部が大気と触れるのを防ぐ）を噴射しながら溶接する方法。

## **余裕深度処分**

一般的であると考えられる地下利用に対して十分な余裕を持った深度（例えば，地表から 50～100m 程度）に埋設する処分を指す。

## **レファレンス処分場概念**

それぞれの概要調査地区に対して成立性が高いと考えられる処分場概念をレファレンス処分場概念と呼ぶ。より具体的には，技術開発により，この段階までに整備されてきた，人工バリア材料，溶接技術や人工バリアの搬送定置技術などから，サイトの地質環境特性や技術の信頼性などを考慮して，成立性が高い技術を絞り込むが，それらを含む処分場概念のこと。レファレンス処分場概念を設定することにより，精密調査の段階以降の技術開発や実証試験を効率的に進めることができる。

# 原子力発電環境整備機構

(略称:原環機構)

Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO)