

# 安全確保構想 2009

～安全な地層処分の実現のために～

原子力学会レビュー委員会  
レビュー版

2009年12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
2.	地層処分事業における安全確保の考え方	4
2.1	わが国の地層処分事業の前提	4
2.2	安全確保の目標	9
2.2.1	閉鎖後長期の安全確保策	9
2.2.2	事業各段階の安全確保策	13
3.	安全確保策を事業に展開するための方針と方策	15
3.1	方針1「安全性の繰り返し確認に基づく段階的な事業推進」の実施方策	15
3.1.1	事業全体を俯瞰した計画の策定	16
3.1.2	閉鎖後長期の安全性の繰り返し確認	16
3.1.3	事業期間中の安全対策と環境保全	17
3.2	方針2「信頼性の高い技術を用いた事業推進」の実施方策	18
3.2.1	計画的な技術の整備	18
3.2.2	技術に関する品質保証の的確な実施	20
3.2.3	原環機構の組織および国内外協力体制の整備	20
3.3	方針3「安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取組み」の実施方策	21
4.	方策の具体的展開	23
4.1	方針1の実施方策の具体的展開	23
4.1.1	サイト選定段階	24
4.1.2	建設～事業廃止までの段階	28
4.2	方針2の実施方策の具体的展開	34
4.2.1	計画的な技術の整備	34
4.2.2	技術に関する品質保証の的確な実施	36
4.2.3	原環機構の組織および国内外協力体制の整備	38
4.3	方針3の実施方策の具体的展開	40
4.3.1	事業の各段階における意思決定に係る情報提供と対話活動	40
4.3.2	安全性や技術の信頼性に係る日常的な情報提供と対話活動	41
4.3.3	将来世代が適切な判断を行うための環境整備	43
5.	おわりに	45

－図目次－

図 3.2-1	技術開発スケジュールと基盤研究との関連	19
図 4.1-1	安全確保に向けたロードマップの構造説明図	24
図 4.2-1	技術開発課題の体系的整理の手順	34
図 4.2-2	基盤研究開発機関と緊密に連携した技術開発の取組み	36
図 4.2-3	原環機構主催による国際会議の開催の例（国際テクトニクス会議）	38
図 4.3-1	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	42
図 4.3-2	ナチュラルアナログを用いた説明の例	43

－表目次－

表 4.1-1	安全確保に向けたロードマップ	33
表 4.2-1	開発課題の整理例	35

## 1. はじめに

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。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、原環機構の事業に加えられた。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、3段階の選定過程（①概要調査地区選定、②精密調査地区選定、③最終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ものの、市町村からの応募に繋が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。このような状況の下、国の委員会や、各地でのシンポジウムおよび討論会などにおいて、「原環機構はどのように地層処分事業を進めようとしているのか知りたい」、「地層処分のさまざまな課題に対して、原環機構はどのように考えているのか聞かせてほしい」などといった疑問や要望が寄せられた（原環機構のホームページ <http://www.numo.or.jp/approach/sougo/zadan/index.html> に一部を紹介）。

原環機構は、こうした声に応え、地層処分事業とその安全性に関する国民の理解増進に資するため、2010年度を目途に、事業者として安全な地層処分をいかに実現していくのかを示す安全確保構想と、それを支える技術の進展を取りまとめた「2010年技術レポート」（仮称）を作成し、公表することとした。

本書は、2010年技術レポートの核となる安全確保構想を先行的に取りまとめたものである。

地層処分事業の最終的な目的は、処分場閉鎖後の長期安全性を確保するための処分場を造ることである。このような処分場は段階を踏んで安全を確認しながら慎重に構築していくことが重要であり、それと同時にサイト選定調査から事業廃止までの事業各段階の安全確保にも十分配慮したものでなければならない。

そのため、“閉鎖後長期の安全確保”については、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、事業の各段階で緊密に連携させ実行す

---

<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。

ることによって実現することを目指している。また、建設・操業・閉鎖段階などの“事業各段階の安全確保”については、放射線安全・一般労働安全の確保と周辺環境の保全を、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両立させつつ取り組む考えである。

地層処分事業は、きわめて長期にわたる事業であり、国民の理解を得ながら進めることが必要な事業である。原環機構は、最新知見を踏まえた信頼性の高い技術を用いつつ処分場を段階的に構築し、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：安全性を繰り返し確認しながら、段階的に事業を推進する。

方針2：信頼性の高い技術を用いて事業を推進する。

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を行いながら事業を推進する。

本書では、これまで取り組んできた上記三つの方針を踏まえ、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、最終的な安全目標を達成する上で必要な、各段階、各分野毎の事業目標や、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。このロードマップは、文献調査開始に向けた現段階でのものであり、今後事業の進展に併せ、適宜内容を更新していく。また、地層処分の様々な技術的課題に対して、現時点での原環機構の考え方についても本書に示した。

本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。

第3章では、上記の安全確保策を着実に実施するための、方針（上述）とそれを具体化する方策を示す。

第4章では、上記方策の具体的な展開について、安全確保ロードマップ（概要版）を紹介する。併せて、これまでの実績や今後の展望についても記述する。

第5章では、2010年技術レポート取りまとめに向けた考え方を述べる。

付録－1では、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（詳細版）を添付した。

付録－2では、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。

なお、事業の全体方針に関わる内容や地域の皆様の不安や疑問に答え、地域との共生を図りながらどのように事業を進めていくかなどについての考え方は、別のレポートなどによって示す予定である。

## 2. 地層処分事業における安全確保の考え方

### 2.1 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さまざまな変化があった。原環機構は、事業を開始した時点で策定した計画を、これらの変化を踏まえてより適切なものへと更新し、安全に地層処分を実施するために、長期に渡って廃棄物に起因する影響が人間の生活環境に有意な影響を及ぼさないように、安全確保のための最善の策を講じていく。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し、その上で、次節以降において安全確保に対する基本的な考え方を述べる。

#### (1) 2種類の廃棄物を対象とした併置処分を基本

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」と、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として定義された。これを受け、第二種特定放射性廃棄物（以下、「地層処分低レベル放射性廃棄物」という）が地層処分事業の対象に追加された。

高レベル放射性廃棄物の特徴は、ガラス固化直後も、極めて高い放射能を有することである。しかしながら、放射能は時間とともに減衰し、数万年後には、固化直後の約1万～3万分の1になる。また、発熱を伴うことから冷却のために30～50年程度、貯蔵管理したあと、処分場へ搬送する。国が示した最終処分計画では、最終処分施設の規模を4万本以上とし、年間約1,000本のガラス固化体を最終処分できる能力とすることが示されている（通商産業省、2000）。

一方、地層処分低レベル放射性廃棄物の特徴は、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ものの、半減期の長い核種を一定量以上含む。地層処分低レベル放射性廃棄物は処分に適した形状に加工し、キャニスタやドラム缶などに封入され、処分場へ搬送される。国から示された最終処分計画では、最終処分施設の規模を19,000 m<sup>3</sup>以上の廃棄物を埋設できることとし、将来の発生量を勘案し操業期間中に最終処分できる能力とすることが示されている（経済産業省、2008）。

原環機構は、両廃棄物を処分する地下施設を併置する（以下、「併置処分」という）ことを基本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とともに（例えば、Nagra, 2002; ANDRA, 2005）、わが国においても、原子力委員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、2006）。このような技術的基盤を背景に、原環機

構においても併置処分も一つの選択肢として公募を開始している(原環機構, 2009)。なお, 公募関係資料のうち地層処分低レベル放射性廃棄物に関する技術的根拠は, 別途報告書(原環機構, 2010)において示す予定である。

## (2) わが国の地質環境の特徴と自然現象の著しい影響への対処

わが国の地質環境は, 変動帯に位置する弧状列島からなり, 安定大陸に比べてプレート運動に起因する火山・断層活動や隆起・沈降運動などの自然現象が活発であるという特徴がある(原環機構, 2004b)。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, まず, これらの自然現象の著しい影響を回避する必要がある。また, これらの自然現象に起因する複雑な地層・岩体の構成, 山がちな地形や海に囲まれた地理条件, さらに, 豊富な地下水や高い地下水面の水位などを考慮して, 地層処分にとってより好ましい条件を有する場所を処分場として選定することが重要である。

これらの要件に対して, 1999年に核燃料サイクル開発機構<sup>2</sup>(以下, 「サイクル機構」という)から国へ提出された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)において, 上記の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10万年程度までは予測が可能であること, そして, 地層処分に必要な条件を満たす地質環境がわが国に広く存在することが示された(サイクル機構, 1999)。これを踏まえて, 概要調査地区選定に関する基本的考え方(土木学会, 2001)や概要調査地区選定上の考慮事項および技術的背景(原環機構, 2002b; 原環機構, 2004b)が示された。

原環機構は, これらの知見や考え方に基づき, わが国において地層処分による長期的な安全性を確保するために, 火山や断層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できるよう引き続き取り組んでいく(2.2.1節参照)。

## (3) 3段階のサイト選定と公募

処分施設建設地の選定プロセスは, 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3段階の選定過程を経て, 処分施設建設地が決定される。選定においては, 各段階において「法定要件」が定められており, 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あたっては, 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, そのための調査地域を, 全国の市町村を対象に公募し, 応募獲得に向けて取り組んでいる(原環機構, 2002b)。以上のサイト選定のプロセスや要件については, 2000年の特廃法の制定以降, 変更はない。

<sup>2</sup> 現, 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)



一方、(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および地層処分低レベル放射性廃棄物を対象とした公募を開始している（原環機構、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。なお、国からの申し入れの場合、サイト選定の第一段階である概要調査地区の選定に先立って、市町村長は国からの申し入れに対し受諾の可否を表明する。受諾された場合、原環機構は概要調査地区の選定のための文献調査を開始し、それ以降のサイト選定などの処分事業の進め方については、公募方式の場合と同じプロセスを進めていく。

#### (4) 長期間にわたる事業

地層処分事業は、上記三つのサイト選定段階、処分場の建設、操業、閉鎖および必要に応じた閉鎖後の管理を経て事業廃止に至る段階に分けられる（3.1.1 参照）。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（原環機構、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長期・短期的な取り組みを明確にし、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。

なお、全体的なスケジュールに関しては、従来から大きな変更はないものの、現時点で公募に対して市町村からの応募がないため、国の最終処分に関する計画において、精密調査地区選定および処分施設建設地選定の時期が見直されている（経済産業省、2008）。

#### (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、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、同報告書は地層処分の安全確保のための基本的考え方を示しており、安全確保の原則として、長期的な観点から適切なサイト選定と工学的対策を講じること、そして安全評価などを通じて、これら対策の妥当性について確認することが挙げられている。

その後、2002年9月には、特定放射性廃棄物処分安全調査会において「高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について」（原子力安全委員会、2002）が取りまとめられ、文献調査によって明らかに処分地として不適切であると

考えられる要件が示された。これらの要件は、概要調査地区選定にあたって、原環機構が作成した公募関係資料（原環機構，2002b）に反映されている。

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し、さらに、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（以下、「廃棄物安全小委員会」という）では、2003年7月に高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保のために、今後調査を進めるべき研究課題と規制機関を支援する体制について取りまとめた（廃棄物安全小委員会，2003）。また、安全規制制度の整備において検討すべき課題の抽出を行うために、同廃棄物安全小委員会の下に規制制度ワーキンググループを設置し、2005年6月に規制制度に係る論点と今後の検討の方向性を取りまとめ、報告している（廃棄物安全小委員会，2005）。

さらに同廃棄物安全小委員会において、2006年9月「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」（廃棄物安全小委員会，2006）がまとめられ、立地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している。この報告書を技術的背景として、2007年6月の炉規法の改正がなされた。この改正では、事業許可申請から処分場建設、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規定され、地層処分の実施に係る許可、設計および工事の方法認可、使用前検査、定期検査、保安措置義務、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、核物質防護の規制など、地層処分事業の段階的進展を踏まえた安全規制の枠組みが整備された。

また、同廃棄物安全小委員会において、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係る安全規制について」（廃棄物安全小委員会，2008a）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」が新規に制定され、事業許可後、20年を超えない期間ごとに安全レビューを行うことなど、安全規制に求められる基本的な技術上の基準が規定された。

一方、低レベル放射性廃棄物については、同廃棄物安全小委員会において、2008年1月「低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に係る安全規制について」（廃棄物安全小委員会、2008b）がまとめられ、これに基づき、余裕深度処分事業に対する安全規制制度を追加した「第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」が改定された。

その後、国際放射線防護委員会の勧告を踏まえて、放射線審議会基本部会から放射性廃棄物埋設地の管理期間終了後の公衆の線量基準についての勧告案が公表された（放射線審議会基本部会、2009）。今後、これらの勧告などを踏まえ、安全規制に関連した安全審査基本指針、安全審査指針などが制定されることとなる。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」（原環機構、2009b）が代表的な例である。また、4章で述べる“安全確保ロードマップ”においても、各段階の“目標達成に係る要件”として自主基準を掲げる。

#### (6) 役割分担による技術開発

原環機構が設立されて以降の地層処分技術開発は、原子力長期計画や、原子力政策大綱において、原環機構には、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、国および研究開発機関などには、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着実に進めるべきである、と述べられている（原子力委員会、2000；原子力委員会、2005）。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とともに、処分事業を進めていく上で必要となる、経済性や効率性の向上を目指した技術の開発を実施している。一方、国および研究開発機関などは、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<sup>3</sup>、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。

<sup>3</sup> 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、原子力機構、(財)電力中央研究所（以下、「電中研」という）、(財)原子力環境整備促進・資金管理センター（以下、「原環センター」という）、(独)産業技術総合研究所（以下、「産総研」という）、(独)放射線医学総合研究所（以下、「放医研」という）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）。

## 2.2 安全確保の目標

地層処分の目的は、長期にわたって、廃棄物に起因する影響が人間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。このため、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、人工的にもうけられる複数の障壁（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（「閉鎖後長期の安全確保」）。この際、可能な限り受動的な手段によって安全を確保し、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、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，2009）。原環機構もこのような考え方を踏襲しつつ、処分場閉鎖までに安全確保のための最善の策を講じていく。

一方、調査から事業廃止に至るまでの事業期間中においても、施設からの放射線や、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。また、事業に伴う周辺環境への影響についても回避・低減し、環境保全に努める必要がある。これらは、一般の土木工事や原子力施設の建設や操業などにおける安全対策や環境保全対策の実績を参考にできると考えられるが、地層処分特有のさまざまな制約条件の下、閉鎖後長期の安全確保との両立性も考慮しつつ各段階の作業を安全かつ着実に実施する必要があるため、「事業各段階の安全確保」も処分事業の遂行上、重要な目標である。

以上のことから、「閉鎖後長期の安全確保」および「事業各段階の安全確保」を安全確保の目標として設定する。なお、事業各段階の安全確保のために講じるさまざまな対策（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、事業各段階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（原環機構，2004c）。

以下、各目標について具体的な方策を述べる。

### 2.2.1 閉鎖後長期の安全確保策

上記に述べたように、地層処分事業における安全確保の目標の一つは、天然バリアと人工バリアから構成される多重バリアシステムにより、放射性廃棄物が数万年以上の長期にわたり、人間の生活圏に有意な影響を及ぼさないようにすることである。この閉鎖後長期の安全確保は、以下の三つの安全確保策を組み合わせることで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。また、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。

- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 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）

こうした安全確保策を施し、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立証したものが、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>4</sup>の概念である。原環機構は、上記の三つの安全確保策を、2.1 (4)で示した事業のスケジュールや経済性を十分に考慮しながら、段階的な事業の展開に即して実施し、関連する証拠や論拠を逐次統合化していく。この過程の中でセーフティケースを構築し、段階的に精緻化していくとともに、事業の節目ごとに法令で定められた報告書や別途自主的に作成する補足資料を作成し、各段階でのセーフティケースを示す文書として公表していく。なお、セーフティケースについては、国の地層処分に係る安全規制制度のあり方に関する議論（原子力安全・保安部会、2006）の中でも、安全について様々な論拠等を収集した総合安全説明書を事業の各段階で策定することの検討を事業者に求めており、原環機構としても上記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のそれぞれについて基本的考え方を述べる。

### (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、文献調査やボーリング調査などを通じて、火山、活断層、隆起・侵食などの自然現象の著しい影響を回避できるようなサイトを選定する。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の存在する地域は含めないようにサイトを選定する。なお、選定においては、以下に述べるような、他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地質環境を考慮する。

- ・ 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地質環境（力学的

<sup>4</sup> OECD/NEA の議論では、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、操業期間中の作業員の安全など、事業各段階の安全性についても含まれる場合がある（IAEA, 2009）。

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地質環境（還元性、地下水流速が遅い、移行距離が長い、など）

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（原環機構，2002b；原環機構，2004b）などで述べており、従来からの変更はない。一方，2.1 節で述べたように，安全審査の段階で示す基本設計以降について事業の各段階に応じた安全規制制度のあり方が示されつつある（例えば，廃棄物安全小委員会，2008a）。このような議論に基づき，建設段階以降も，安全レビューなどの規制からの要求に対応して，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，サイト選定時における評価や判断の妥当性を適宜確認していく。

## (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環境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講じることにより，閉鎖後長期にわたって安全性を確保する。具体的には，バリアを構成する要素のそれぞれについて，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係る重要な安全機能を割り当て，さ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予定）。この際，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，また，一つのバリア要素もしくは安全機能が期待されたとおり機能しない場合でも，他のバリア要素や安全機能により相互に補完されることにより，十分な安全裕度が保てるように設計する。なお，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。

また，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明らかとなる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最適化していくことが重要である。

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は併置を基本としているため，施設全体の安全性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いことから潜在的な危険性が低い。したがって，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が，対象となる廃棄物が多様であるため，廃棄物に含まれる物質等の影響をより詳細に検討し，安全な処分に

対する信頼性をより一層向上させる必要があることがこれまでの評価により示されている。そのため、地層処分低レベル放射性廃棄物の処分については、今後のサイト選定段階の中でこれまでに抽出されている信頼性向上のためのオプションを念頭において詳細な検討を行っていくことにしており、このような対応により安全な処分が実現できると考えている。なお、具体的なサイトが特定できるまでの段階では、想定されうる幅広い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。また、数万年以上にわたって安全を確保するためには、地層処分システムは、さまざまな不確実性を考慮しても所期の安全機能が発揮される十分な安全裕度を持っていることが重要であり、これらを考慮して人工バリアや処分施設の材料選定や製作・施工を行う。

### (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、その安全性を実験的な実証によって示すことができない。したが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る。具体的には、地質環境の不均質性や評価の長期性などに起因する不確実性を考慮しつつ、最新の科学的知見に基づく信頼性の高いシナリオを構築し、適切に品質保証されたモデルやデータを利用して、シミュレーションにより安全評価を行い、その結果を安全基準と比較することによって、地層処分システムが閉鎖後の安全性が長期にわたって確保ができるものであることを確認する。なお、安全評価による定量的な評価結果は不確実性を伴うため、線量の安全基準との比較だけでなく、多面的な論拠（例えば、原環機構，2004a）による安全確保の信頼性の強化も併せて進め、安全性の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、「一般公衆に対する評価線量が最大となる時期において、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などを確認することが基本」とされている。一方、時間の経過とともに、地質環境の長期変動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で生ず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，2009）、各国の地質

学的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、今後具体化されるサイトの特徴や安全規制の動向を踏まえ、地質環境特性の長期安定性の観点のみならず、社会的な観点、倫理的な観点、放射線防護の観点などから多角的にこの問題について考察し、さらなる検討を進める。

## 2.2.2 事業各段階の安全確保策

原環機構は、サイト調査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適用することができる。ただし、地層処分特有の制約や特徴に留意して、対策をより適切なものとする必要がある。そのため、事業期間中に発生が懸念されるさまざまな事象を分析し、施設設計や調査計画などに反映し、適切な安全確保の対策を講ずる。

また、安全性とは直接的な関係はない場合も含まれるものの、処分事業では地下坑道などの掘削、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影響を回避・低減することが重要である。このため、原環機構は、周辺環境の保全にも努めていく。

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、通常原子力施設における従来の考え方と同様であり（原環機構, 2004a）、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律および放射性同位元素などによる放射線障害の防止に関する法律などを遵守し、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放射線業務従事者などを防護するため十分な放射線防護対策を講じる。この際、ALARA<sup>5</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、地層処分施設に係る一般公衆の線量および放射線業務従事者の立入場所における線量を、合理的に達成できる限り低くする方針で、遮へい設備、放射線管理設備を設計し、運用する。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い、告示（経産省告示第二〇九号）で定める線量限度を満足するように維持管理する。

施設の操業においても、他の原子力施設における安全確保策を基に対策を講ずる。例えば、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、および、廃棄体落下に関する評価などの技術を

---

<sup>5</sup> ALARA (As Low As Reasonably Achievable) : IAEA 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



適用することができる。また、火災や地震などの放射線が関与しない事象に対しては、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。この場合は、火災・地震などの対策の検討に併せて、これらの事象を想定した場合に、二次的に放射線安全を損なうような事象を防止する対策を講ずる。

## (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概要調査の段階から、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、一般産業施設の建設工事における従来の考え方と同様であり（原環機構, 2004a）、一般的なトンネル工事や土木工事などの安全対策を基に対策を検討することにより安全を確保する。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。なお、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適切な対策を講ずる。

## (3) 周辺環境の保全

地層処分事業で特徴的な環境影響としては、地下坑道の掘削や敷地造成などに伴う掘削土の長期にわたる地上保管や、地下坑道からの多量の湧水の処理などが考えられる。原環機構は、ボーリング調査などを行う概要調査の段階から建設、操業、閉鎖、事業廃止に至るまで、想定されるさまざまな環境影響に関して、その影響を評価し、適切な措置を講じる。このような周辺環境の保全に関する考え方はこれまでと変更はない。なお、保全の対象となる環境要素は、サイトおよび周辺地域の自然的・社会的な環境条件やその段階の事業の内容によってその重要性は変化する。それらのことも考慮し、調査、建設、操業の進め方、保全計画などを検討する。

### 3. 安全確保策を事業に展開するための方針と方策

2.2.1 および 2.2.2 で述べた安全確保策を 100 年にわたる事業期間の中で確実に実施することが必要であり、これらの対策を実施するにあたっては、2.1 節で述べたわが国の地層処分事業の前提や特徴を十分に考慮して進める必要がある。

そこで原環機構では、安全な地層処分の実現に向けて、以下の方針にしたがって事業を推進していく。

方針 1：安全性を繰り返し確認しながら、段階的に事業を推進する。

方針 2：信頼性の高い技術を用いて事業を推進する。

方針 3：安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取組みを行いながら事業を推進する。

#### 3.1 方針 1「安全性の繰り返し確認に基づく段階的な事業推進」の実施方策

地層処分事業では、地下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。2.2.1 (3) で述べたように、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。これに対しては、3 段階のサイト選定過程を経ながら、段階的にサイトの地質環境情報を蓄積・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できる。さらに、科学・技術の最新知見を適切に取り込みつつ段階毎に更新、拡充される地質環境情報に基づき、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できる。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とができる。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できる。

また、長い事業期間の中では、2.1 (5) に述べたように安全規制制度が段階的に整備されるなど、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、予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・条件等の変化に柔軟に対応するとともに、その度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。

以上のことから、事業の安全確保のための一連の検討にあたっては、サイト調査、工学

技術および安全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計画を策定し、この計画にしたがって、2.2 節で述べた閉鎖後長期の安全確保策および事業各段階の安全確保策を実施し事業を推進する。具体的な進め方においては、以下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。

### 3.1.1 事業全体を俯瞰した計画の策定

100 年といった長期にわたる事業を効率的に推進するためには、事業全体を俯瞰した計画を策定し、一定期間毎に計画を見直しながら事業に反映することが有効である。そこでここ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）を作成することとした。安全確保ロードマップでは各段階における安全確保に向けた目標、安全確保に係わる要件、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する。安全確保ロードマップは事業の進展とともに、それまで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が、現時点の安全確保ロードマップでは事業全体を 10 の段階に分類している。具体的に 10 の段階とは、概要調査地区選定段階、精密調査地区選定段階、最終処分施設建設地選定段階（地上での調査、地下での調査）、安全審査の段階、建設段階、操業段階（操業期間中、操業の終了・閉鎖措置計画認可申請）、閉鎖段階、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、一部の実施内容は次段階以降の検討に活用されるものも含む。ロードマップは事業全体を俯瞰して示しているため、広範な用途が考えられ、例えば技術開発計画の策定などにも活用できる。

### 3.1.2 閉鎖後長期の安全性の繰り返し確認

閉鎖後の長期安全性を確保するために、2.2.1 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）を実施する。これら三つの安全確保策を緊密に連携させ、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して向上させる。

三つの分野の連携の具体的な方法に関しては、まず長期的安定性を満足する（除外要件の適用）サイトに対して安全を確保するための処分場概念を明らかにし、この概念を対象とした安全評価によって安全性向上のニーズを明確化する。これらの洗い出されたニーズを踏まえ、サイト調査・評価および工学的対策でさらに取り組むべき課題を検討する。このため、処分システムに対応した安全評価に用いるデータやモデルの信頼性を高め、サイト調査・評価、処分場の設計では不確実性を低減して安全や信頼性を向上させるための総合的な取組みを行う。これら一連の取組みを繰り返しながら、三つの分野の取組みを統

合して安全性の検討・確認を行う。また、この中で不確実性を低減し安全性を向上させるために次段階以降で取り組むべき課題を検討し、次段階以降の実施計画に反映する。

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し、その結果に係る安全確保上重要な事項を安全規制当局に提示するなど、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。

### 3.1.3 事業期間中の安全対策と環境保全

事業の各段階において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、計画を適宜見直し安全性を向上させ、周辺環境への影響を回避・低減する。この際、事業期間中のこれらの対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な配慮を行う。

サイト選定段階、建設段階では放射性廃棄物の持ち込みはないため、一般災害の防止対策を実施する。この対策は他の一般産業（地下土木工事など）で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。

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、放射線安全のための対策を実施する。この対策は、他の原子力施設の安全対策と基本的に同等であるが、これまでに例のない地下深くにおける放射性物質取り扱い作業を伴うため、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、安全操業に万全を尽くす。

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区域ずつ順次進められ、それにしたがって、廃棄体の埋設作業も、完成した区域から順次進められる。そのため、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が並行的に進められる。したがって、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極力分離できるような適切な管理が求められる。

一方、環境保全に関しては、事業の各段階で生じる周辺環境への影響について、事前の調査、予測および評価を基に、「大気環境」、「水環境」、「動物、植物、生態系」などの一般的な環境要素に対し、既往の環境保全技術を適切に組み合わせて、長期的視点に立って計画的に環境保全に努める。それら保全策の効果についてはモニタリング等を通じて確認し、必要な対策を講じつつ、地域の環境の特徴や事業内容の変化に応じて柔軟に対策を講じる。

### 3.2 方針2「信頼性の高い技術<sup>6</sup>を用いた事業推進」の実施方策

3.1 節で述べた段階的な進め方によって、十分な信頼度をもって安全確保策を実現していくために、原環機構は、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」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にも考慮し、かつ、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。

原環機構は、上記のような信頼性の高い技術を用いてサイト調査・評価の精度を上げ、工学的対策における品質を確保し、信頼性の高いツールおよび十分な品質が確保されたデータに基づく安全評価を行う。

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と同時に、原環機構自身が高い技術力を有していることが重要である。

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。

- ・ 計画的な技術の整備
- ・ 技術に関する品質保証の的確な実施
- ・ 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。

#### 3.2.1 計画的な技術の整備

原子力政策大綱において、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いる。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ている（付録参照）。また、基盤研究開発機関が実施主体と規制機関が必要とする技術を理解し基盤研究開発に適切に反映されるよう、基盤研究開発調整会議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・原子力機構 2008a, b）。2008年度から原環機構は調整会議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

<sup>6</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。

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を提示してきている。

原環機構としては、事業全体を俯瞰して安全確保に向けた原環機構の取組みを検討することにより必要な技術の洗い出しを行なう。図 3.2-1 は地層処分事業における主要な実施事項を示し、それらに向けた技術の開発・整備や必要な基盤研究について関係を示したものである。また、「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」、「その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整備を行う。

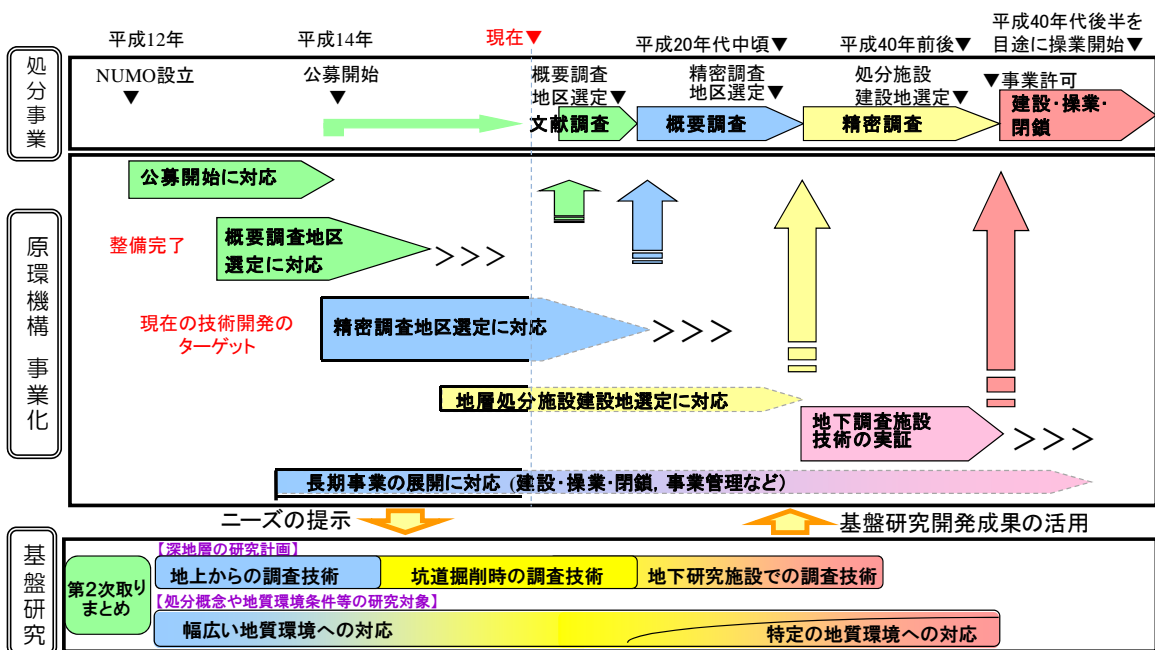


図 3.2-1 技術開発スケジュールと基盤研究との関連

整備された技術の信頼性を示すためには、技術の実証<sup>7</sup>による適用性の確認が重要である。特に放射性廃棄物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を確認するとともに、必要に応じて改良を加え、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。

<sup>7</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、技術の信頼性を実演することで信頼性を提示することも含む。

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等によって安全性を直接的に示すことは現実的ではないため、他の方法を用いる必要がある。これらの信頼性を示すための方法を次節で記述する。

### 3.2.2 技術に関する品質保証の的確な実施

地層処分では数万年を超える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、それらに係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>8</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係わる技術の品質保証を一つ一つ着実に実施することで、ひいては直接的に実証できない技術に対してもその信頼性を示すことに繋がる。

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。

原環機構では、国際的な標準規格として広く用いられている、ISO9001:2000 を軸にしたマネジメントシステム（QMS）を構築している。今後、この QMS は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。

### 3.2.3 原環機構の組織および国内外協力体制の整備

#### (1) 原環機構内組織の整備

原子力政策大綱に示されている役割分担にしたがって、原環機構が実施すべき安全な処

---

<sup>8</sup> ここでの「品質保証」は、ISO9001 での「品質保証」の定義に加えて、法令に示された要件や、ステークホルダの要求事項への適合の他、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。

分の実施と経済性、効率性の向上をめざした技術業務に必要な要員を確保する。地層処分事業では、事業の進展とともに必要な専門分野の比重や業務量が変わっていくので、これを念頭において要員計画を作成している。具体的には、各事業段階で迅速な意思決定が可能なよう、できるだけ小規模な組織運営を基本に、関係する専門機関・民間会社の技術も有効に活用しつつ、事業の進展に応じて順次必要な要員を追加していくという考え方で要員計画を策定している。また、要員の育成についても事業の進展に応じて引き続き計画的に進めていく。

## (2) 国内外協力体制の整備

原環機構は国内の基盤研究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。また、事業の進展に応じて基盤研究機関から原環機構に必要な技術の移転を行うとともに、基盤的研究は引き続き基盤研究開発機関で行い、この成果を原環機構が活用することにより処分事業を進める。技術移転の対象には、基盤研究開発機関が持つ技術情報や形に表れない技術ノウハウがある。

海外研究機関や処分実施主体との協力も積極的に実施することにしており、協力協定などを通じて必要な技術情報の交換などを引き続き実施していく。

## 3.3 方針3「安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取組み」の実施方策

地層処分の安全性は、2章で述べた安全確保策を、3.1節及び3.2節で述べた方針に従って実行していくことにより、技術的には十分な信頼度をもって実現することができる。しかしながら、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、社会的にもこれまで経験のない事業であり、立地段階から処分場閉鎖にいたる各段階で国民や地元住民との合意形成が求められる。

原環機構は、各段階で安全性の確認を繰り返し、その結果を、安全規制当局をはじめとする国民に示しながら、地層処分の安全性への信頼感を段階的に醸成していく。事業者が主張する地層処分の安全性は、安全規制当局の安全審査等によって確認されることで最終的に保証されるものであり、国民や地域住民から信頼される安全規制当局による安全の保証は、国民や地域住民に安全性への信頼感を持っていただく上で重要な要素であると考えられる。

こうした観点から、安全審査以外の各段階においても、事業者自らが国民や地域住民に安全性をわかりやすく説明するだけでなく、事業者がその段階での安全確保上重要な事項を安全規制当局に提示し、安全規制当局より一定の見解を提示していただくことが有効である。透明性を確保しながらこの安全規制のプロセスを国民や地域住民に見えるようにしていくことは、安全性への信頼感醸成上きわめて有効な方法と考える。また、立地段階か



ら安全規制当局に安全確保上重要な事項を提示することは、透明性と実効性のある規制の枠組みづくりにも有効であり、そうした観点からも事業者の有する技術的知見を積極的に提示しながら的確に対応していくことが重要であると考えます。

さらに、各段階の節目における重要な意思決定の機会だけではなく、地層処分の安全性や事業の技術的信頼性に対する理解を高めるために、日頃からの確で分かりやすい情報の提供と対話に努めることが極めて重要である。そのためには、国民や地域住民の不安や疑問に応え、理解を促進するための工夫と努力が不可欠であり、国民や地域住民との様々な対話の機会に誠実に応え、情報公開に取り組んでいくことが重要と考えている。処分技術を体感できる実証施設の公開や放射線等に関するモニタリングデータの公開なども有効な方法であると考えます。

地層処分事業は、サイト調査から処分場閉鎖にいたるまでに100年近くを要する長期事業であり、技術の進展も期待できるため、現在の世代が今の時点で全てを決定してしまうのではなく、将来の世代がその世代における諸条件の下で一定の決定をする余地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進めておく必要がある。

以上を受けて、以下の三つを実施方策とした。

- ・ 事業の各段階における意思決定に係る情報を国民や地域住民、安全規制当局への確に提供し対話活動を推進
- ・ 安全性や技術的信頼性に係る情報を日常的に国民や地域住民に分かりやすく提供し対話活動を推進
- ・ 将来世代が適切な判断を行うための環境整備

#### 4. 方策の具体的展開

第3章では、地層処分事業を進める原環機構の安全確保構想として、安全を確保するために掲げる方針とそれを実現するための方策について基本的な考え方を述べた。

第4章では、第3章で示したそれぞれの方針・方策に対し、さらに原環機構の具体的な実施内容を示す。なお、原環機構は当面取り組むことになる概要調査地区選定段階およびそれに続く精密調査地区選定段階を対象として、その段階の安全確保構想を支える技術の整備を進めてきている。そこで、付録2-2でこれらの技術の紹介を行う。

##### 4.1 方針1の実施方策の具体的展開

方針1「安全性の繰り返し確認に基づく段階的な事業推進」を実現するための三つの方策（「事業全体を俯瞰した計画の策定」、「閉鎖後長期の安全性の繰り返し確認」、「事業期間中の安全対策と環境保全」）をより具体化した「安全確保ロードマップ」を作成している（表4.1-1）。

安全確保ロードマップでは、原環機構が事業期間を通して安全確保に向けた取組みをどのように実施しようとしているかを示す。具体的には、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、実施事項などを明示する。ロードマップでは以下の項目について記述する。

- ・ 安全確保に向けた目標
- ・ 目標達成に係わる要件
- ・ 主要な実施事項
- ・ 安全確保に係わる主要文書

などを示している。ロードマップでは、まず各段階における目標を設定し、目標に係わる要件を整理した。次に目標を達成するために必要な主要な実施事項を洗い出し、それらの主要な実施事項を、各分野における個別の実施事項にブレイクダウンする。なお、各分野における実施事項の中で、安全確保に向けた目標を達成した上で“特に重要な実施事項”を赤の網掛けで、“重要な実施事項”を黄色の網掛けで示している。各段階で得られた成果は「安全確保に係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。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、各段階における安全確保のための主な活動を示す。

← 事業段階 →

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 (現地調査の段階)	最終処分施設選定段階(精密調査の段階)		安全審査の段階	建設段階	操業段階	
			地上での調査	地下での調査			操業期間中	操業の終了・閉鎖措置計画認可中
各段階における安全確保に向けた目標	選定目標	選定目標	選定目標	選定目標	選定目標	選定目標	選定目標	選定目標
目標および要件から主要な実施事項を導出	考慮事項(法定要件+付加的条件)への適合性	考慮事項(法定要件+付加的条件)への適合性 (設備できない場合は自主基準) ・自然現象の著しい影響の回避 ・長期安全性確保の見通し ・事業各段階における安全性の確保	考慮事項(法定要件+付加的条件)への適合性	考慮事項(法定要件) ・自然現象の著しい影響の回避 ・長期安全性の確保 ・事業各段階における安全性の確保	考慮事項(法定要件)	使用前後検査合格条件、施設確認技術基準、廃棄物確認基準などへの適合性	事業許可申請書の関係関連記載事項への適合性	閉鎖・安全審査
主要な実施事項を各分野の実施事項に展開	①概要調査地区選定上の考慮事項への適合性確認 ②サイトの地質環境条件に応じた処分場概念の構築 ③精密調査計画の作成 ④処分施設選定上の考慮事項の作成	①精密調査地区選定上の考慮事項への適合性確認 ②シフトレンス分塊概念の構築 ③精密調査計画の作成 ④処分施設選定上の考慮事項の作成	①精密調査計画(地下施設での調査)作成 ②事業許可申請書の作成	①精密調査地区選定上の考慮事項への適合性確認 ②シフトレンス分塊概念の構築 ③精密調査計画の作成 ④処分施設選定上の考慮事項の作成 ⑤環境調査および環境影響の評価	①精密調査地区選定上の考慮事項への適合性確認 ②シフトレンス分塊概念の構築 ③精密調査計画の作成 ④処分施設選定上の考慮事項の作成 ⑤環境調査および環境影響の評価	①要求品質を満足するよう機器・人工リニアなどの設置 ②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 ③周辺環境への影響低減	①サイト調査に際し得られた情報に基づくセーフティケース構築、閉鎖措置開始の認可	①
	文献情報による回避	現地調査による回避	予備的地質環境モデルの構築	地質環境モデルの更新	安全審査			
	概観図(概観)の設定	基本レイアウトの設定	概念設計	基本レイアウトの決定	製造/施工の実証			
	地層処分システムの長期安全性の評価	定性的評価	予備的な定量評価	定量評価			確認	
	一般労働安全		対策立案(地上/地下施設)		基本設計	詳細設計	施工	監視(追加対策)
	放射線安全		概念設計					
	周辺環境保全		影響予備評価					保全措置および監視(追加対策)
	安全性への信頼醸成に向けた国民の理解促進による事業推進	実証 モニタリング						地下施設における検査結果を基にした実証の公開 周辺環境+放射線モニタリングの公開
	安全性を示す文書とそれを支える論拠の統合	概要調査地区選定報告書、文献調査に基づく処分場の概要	精密調査地区選定報告書、概要調査結果に基づく処分場概要	精密調査結果に基づく処分場概要	環境影響に係る評価報告書	報告書	安全レビュー報告書	閉鎖申請

図 4.1-1 安全確保に向けたロードマップの構造説明図

4.1.1 サイト選定段階

(1) 概要調査地区選定段階

- ・ 安全確保に向けた目標 : 概要調査地区選定
- ・ 目標達成に係わる要件 : 概要調査地区選定上の考慮事項への適合性 (明らかな自然現象の著しい影響の回避)
- ・ 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確認②サイトの地質環境特性に応じた処分場概念を幅広く構築③概要調査計画の作成④精密調査地区選定上の考慮事項の作成
- ・ 安全確保に係る主要文書 : 概要調査地区選定報告書, 文献調査結果に基づく処分場の概要

この段階では、調査に先立ち「文献調査計画書」を公表し、その上で調査に着手する。文献調査の結果を用いて、火山、活断層、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を確認し、既に公表済みの「概要調査地区選定上の考慮事項」(原環機構、

**2009b) に基づいて概要調査地区の範囲を設定する。**

文献調査は公開された文献・資料を用いるが、既存の文献のみから得られる情報量には限界があり、一定の不確実性が存在することは避けられない。そのような場合は次段階以降の調査において引き続き検討を行うこととする。文献調査および適合性確認の結果に基づいて概要調査地区を選定し、法律に基づく「概要調査地区選定報告書」を作成する。また、得られた文献情報に基づき、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「文献調査結果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、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、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**

・ 安全確保に向けた目標	: 精密調査地区選定
・ 目標達成に係わる要件	: 精密調査地区選定上の考慮事項への適合性, 安全審査基本指針への適合性 (自主基準への適合性)
・ 主要な実施事項	: 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の構築③精密調査計画の作成④処分施設建設地選定上の考慮事項の作成⑤安全審査基本指針への適合性を確認
・ 安全確保に係る主要文書	: 精密調査地区選定報告書, 概要調査結果に基づく処分場の概要

この段階では、調査に先立ち「概要調査計画書」を公表し、それに基づきボーリング調査、物理探査などの概要調査を実施する。

概要調査の結果に基づき、「概要調査地区選定上の考慮事項」に示す火山、活断層、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」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、取得された地質環境特性を踏まえて予備的地質環境モデルを構築し、地上・地下施設の基本レイアウトを設定、人工バリアの工学的成立性確認や長期安全性に関する予備的な定量評価、事業各段階の安全性の確認などを行う。安全性の確認にあたっては、サイト調査・評価、処分場設計、安全評価を相互に連携させながら、不確実性の影響を低減させる。

さらに、精密調査段階以降の技術開発や基盤研究開発へのニーズを収斂させ、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<sup>9</sup>（レファレンス処分場概念については付録で詳述）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は、複数のオプションを示すこととする。

上記検討結果を踏まえ、「精密調査地区選定上の考慮事項」に基づき精密調査地区を選定し、法律に基づく「精密調査地区選定報告書」を作成するとともに、処分場の設計、長期安全性や事業各段階の安全性などの評価結果を含む「概要調査結果に基づく処分場の概要」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（地上からの調査）の立案を行う。

さらに、次段階に移行すると、後半に地下調査施設の建設が予定されている。これにより、地質環境や周辺環境に影響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（ベースライン状態）を把握するための調査を開始する。

### (3) 処分施設建設地選定段階

#### ① 地上からの調査段階

・ 安全確保に向けた目標	: 基本レイアウトの決定
・ 目標達成に係わる要件	: 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安全性の確保）
・ 主要な実施事項	: ①精密調査計画（建設計画・地下調査施設での調査）の作成②事業許可申請に向けた安全性の予備的確認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④環境調査および環境影響評価
・ 安全確保に係る主要文書	: 精密調査結果に基づく処分場の概要（経過報告）、環境影響に係わる評価報告書

この段階では、調査に先立ち「精密調査計画書（地上からの調査）」を公表し、これに基づき精密調査の前段となる地上からの調査を実施する。

新たに取得された地質環境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

<sup>9</sup> レファレンス処分場概念とは、精密調査地区選定時に概要調査地区のそれぞれにひとつずつ提示する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ある。地層処分施設的设计仕様やレイアウト、建設・操業・閉鎖やモニタリングの方法、操業時の安全対策およ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などに関する概念を含む。

搬・定置に係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**。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）の立案を行う。それらの結果は、「精密調査に基づく処分場の概要（経過報告）」として取りまとめ、関連する補充文書と合せてこの段階のセーフティケースを示す。

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「環境影響に係わる評価報告書」として取りまとめる。

## ② 地下調査施設での調査段階

・ 安全確保に向けた目標	： 処分施設建設地選定
・ 目標達成に係わる要件	： 処分施設建設地選定上の考慮事項への適合性，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安全性の確保）
・ 主要な実施事項	： ①処分施設建設地選定上の考慮事項への適合性確認②処分場の基本設計（建設・操業・閉鎖を含む）③地下調査施設での調査・試験④事業許可申請書の作成⑤環境調査および環境影響評価
・ 安全確保に係る主要文書	： 処分施設建設地選定報告書，精密調査結果に基づく処分場の概要

この段階では、調査に先立ち「精密調査計画書（地下施設での調査）」を公表する。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。この段階においても、サイト調査・評価，処分場設計，安全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る。

地下調査施設を用いた調査結果を整理し、**安全審査に用いる地質環境モデルを構築**する。「処分施設建設地選定上の考慮事項」に基づいて処分施設建設地としての適合性を確認し、法律に基づく「処分施設建設地選定報告書」を作成する。**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。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定量的に実施**する。また，建設・操業段階の計画を立案し事業期間中の安全性の評価を行い，その結果を炉規法などの関係法令やそれらに基づく指針・基準類への適合性について確認し，事業許可申請を作成する。その一環として，処分場閉鎖に係わる立案・計画書の策定を行う。

さらに，**地下調査施設**などの一部を活用して，**建設や操業に係わる技術のうち地層処分**

に特有な主要技術については実証試験を行う。その際に実施する人工バリアシステムの構築技術の実証試験については、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に資するデータ取得のためのモニタリングや長期試験を開始し、必要に応じて次段階以降も継続する。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「処分施設建設地選定報告書」と、「精密調査結果に基づく処分場の概要」を取りまとめ公表する。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。

#### (4) 安全審査の段階

- |               |  |
|---------------|--|
| ・ 安全確保に向けた目標  | ： 事業許可の取得  |
| ・ 目標達成に係わる要件  | ： 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安全性の確保） |
| ・ 主要な実施事項     | ： ①事業許可申請書の完成，提出，およびフォローアップ②設計および工事の方法の許可申請書の作成                    |
| ・ 安全確保に係る主要文書 | ： 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。事業許可申請書に加えて、補充文書も作成してセーフティケースを構成する。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、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（設計および工事の方法の認可申請書などの作成）も並行して進める。

### 4.1.2 建設～事業廃止までの段階

#### (1) 建設段階

- |              |  |
|--------------|--|
| ・ 安全確保に向けた目標 | ： 処分施設の建設  |
| ・ 目標達成に係わる要件 | ： 設工認の認可条件，使用前検査合格条件，施設確認技術基準への適合性（新たな知見を踏まえた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） |
| ・ 主要な実施事項    | ： ①要求品質を満足した処分施設の安全な建設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と定期的な安全レビューへの対応③次段階の操業実施に備えた検討④地下施設建設による周辺環境への影響低減

- ・ 安全確保に係る主要文書 : 安全レビュー報告書

この段階では、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、随時設計および工事方法の認可申請を行い、認可を受けた後、地層処分施設本体の建設に着手する。ガラス固化体受け入れ・一時保管施設などの地上施設の建設を進め、それと並行して、地下施設の建設を進める。地上・地下施設の建設では、**事業許可申請と、設計および工事方法の認可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進められていることを、国による使用前検査を受検しつつ確認する。

この段階では、建設中に得られる地質環境特性データ、各種のモニタリングデータ、施工データなど、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、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。さらに、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実施あるいは継続する。

地上・地下の施設建設に際しては、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）

- ・ 安全確保に向けた目標 : 操業の実施
- ・ 目標達成に係わる要件 : 使用前検査合格条件，施設確認技術基準，廃棄体確認基準などへの適合性，安全レビュー結果の安全審査指針への適合性（操業段階における安全性の確実な確保）
- ・ 主要な実施事項 : ①要求品質を満足するように廃棄体，人工バリアなどを設置②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③周辺環境への影響低減
- ・ 安全確保に係る主要文書 : 安全レビュー報告書

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。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、精密調査段階から継続的に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に基づき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。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、建設に係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、閉鎖措置計画の作成を行う。

### (3) 操業段階（操業の終了・閉鎖措置計画認可申請）

- |               |  |
|---------------|--|
| ・ 安全確保に向けた目標  | ： 操業終了の認可および閉鎖措置計画の認可                                |
| ・ 目標達成に係わる要件  | ： 事業許可申請書の閉鎖関連記載事項への適合性（すべての情報を統合した安全性の提示）           |
| ・ 主要な実施事項     | ： ①サイト調査以降に得られた情報に基づくセーフティケース構築，閉鎖措置認可申請書の申請，フォローアップ |
| ・ 安全確保に係る主要文書 | ： 安全レビュー報告書，閉鎖措置計画書，閉鎖措置計画認可申請書                      |

操業を終了し、事業許可申請書中の閉鎖に係わる記載事項に基づいて閉鎖措置計画認可申請書の作成・申請・認可取得を行う。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し、安全レビュー報告書及び閉鎖措置計画書に反映する。

この段階では、事業許可申請書において記載した**閉鎖に係わる仕様を確定**させる必要がある。

### (4) 閉鎖段階

- |              |           |
|--------------|-----------|
| ・ 安全確保に向けた目標 | ： 閉鎖措置の実施 |
|--------------|-----------|

- |               |  |
|---------------|--|
| ・ 目標達成に係わる要件  | ： 閉鎖措置計画の認可条件への適合性，安全レビュー結果の安全審査指針への適合性（閉鎖段階における安全性の確実な確保） |
| ・ 主要な実施事項     | ： ①閉鎖措置確認②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                      |
| ・ 安全確保に係る主要文書 | ： 閉鎖措置の確認申請書，安全レビュー報告書，廃止措置計画書，廃止措置計画認可申請書                 |

この段階では，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。**また，品質管理を適切に行い，それらを記録する。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，国へ申請する。なお，この確認が終わるまでは，防護区域，ガラス固化体の回収可能性を維持する。

また，事業許可対象施設の中で，閉鎖措置の確認後に残る施設は廃止措置を行う。こ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した上で，廃止措置計画書の作成を行い，廃止措置計画認可申請書の作成・申請・認可取得を行う。**

閉鎖時および閉鎖後の確認情報などに基づき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。

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。

#### (5) 閉鎖後～事業の廃止までの段階

- |               |                              |
|---------------|------------------------------|
| ・ 安全確保に向けた目標  | ： 事業廃止の確認                    |
| ・ 目標達成に係わる要件  | ： 廃止措置計画の認可条件への適合性           |
| ・ 主要な実施事項     | ： ①事業廃止活動②廃止措置計画認可申請とフォローアップ |
| ・ 安全確保に係る主要文書 | ： 廃止措置終了確認申請書                |

この段階では，前の段階で認可された**廃止措置計画に基づき，所要の品質を確保しつつ地上施設の解体を行い，廃止措置を行う。**また，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，廃止措置終了確認申請書を作成し，国へ確認の申請をする。炉規法の枠組みの中では，廃止措置の確認を得た後，事業許可の失効手続きを行うことにより，管理が終了する。

一方，特廃法において，原環機構は，経済産業大臣の閉鎖の確認を受け，記録を国へ提

出する。記録は国により永久に保存される（特廃法第 18 条）。また，原環機構の申請により，国は保護区域を設定（特廃法第 21 条）し，処分施設跡地の掘削制限を講じる。これらは国による緩やかな制度的な管理とも言える。閉鎖後の監視活動については，制度的管理の一環として行う可能性も含め，将来閉鎖の時点で，社会的要請などを考慮して，改めて判断する。

なお，原環機構の解散は別に法律で定めることとなっているが，原環機構は，閉鎖後の最終処分施設跡地の区域管理を行う。原環機構は，解散後の安全確保の妥当性を責任もって証明し，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 4.1-1 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	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			
各段階における安全確保に向けた目標	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	処分施設建設	操業の実施	閉鎖措置計画の認可	閉鎖措置の実施	事業廃止の確認	
目標達成に係わる要件	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、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 安全審査指針への適合性	許可基準への適合性 安全審査指針への適合性	設工認可条件、使用前検査合格条件、施設確認技術基準への適合性	使用前検査合格条件、施設確認技術基準、廃棄体確認基準などへの適合性 安全レビューの要件への適合性	事業許可申請書の閉鎖関連記載事項への適合性	閉鎖措置計画の認可条件への適合性(含 安全レビュー)	廃止措置計画の認可条件への適合性	
主要内容	・明らかな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 ・事業各段階における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 ・長期安全性の確実な確保 ・事業各段階における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 ・事業各段階における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 ・事業各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	・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安全性の提示	・閉鎖段階における安全性の確実な確保		
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確認 ②サイトの地質環境特性に応じた処分場概念を幅広く構築 ③概要調査計画の作成 ④精密調査地区選定上の考慮事項の作成	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の構築 ③精密調査計画の作成 ④処分施設建設地選定上の考慮事項の作成 ⑤安全審査基本指針への適合性を確認	①精密調査計画(建設計画・地下調査施設での調査)の作成 ②事業許可申請に向けた安全性の予備的確認 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 ④環境調査および環境影響評価	①処分施設建設地選定上の考慮事項への適合性確認 ②処分場の基本設計(建設・操業・閉鎖を含む) ③地下調査施設での調査・試験 ④事業許可申請書の作成 ⑤環境調査および環境影響評価	①事業許可申請書の完成、提出、およびフォローアップ ②設計および工事の方法の許可申請書の作成	①要求品質を満足した処分施設の安全な建設 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と定期的な安全レビューへの対応 ③次段階の操業実施に備えた検討 ④地下施設建設による周辺環境への影響低減	①要求品質を満足するように廃棄体、人工バリアなどを設置 ②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 ③周辺環境への影響低減	①サイト調査以降に得られた情報に基づくセーフティケース構築、閉鎖措置認可申請書の申請、フォローアップ	①閉鎖措置確認 ②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	①事業廃止活動 ②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	自然現象の著しい影響の回避(活断層、火山、隆起・侵食)	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					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
		地質環境特性の把握	候補岩体(複数可)の設定	予備的地質環境モデルの構築	地質環境モデルの更新	安全審査で使用する地質環境モデル構築	地質環境モデルの更新	→	→		
	処分場の設計・施工などの適切な工学的対策	地下施設	候補岩体(複数可)の設定	基本レイアウトの設定	基本レイアウトの決定	基本設計	詳細設計	施工(設計変更)	製造・施工	閉鎖の仕様確定	閉鎖(地下)
		人工バリア	概略検討	概念設計	仕様決定 製造/施工の実証		詳細設計	製造設備建設	製造/施工		
地層処分システムの長期安全性の評価	定性的な評価	予備的な定量評価	定量評価		→	確認	確認	定量評価			
事業の各段階の安全性	一般労働安全		対策立案(地上/地下施設)	→	基本設計	詳細設計	施工	監視(追加対策)			
	放射線安全		概念設計	→	詳細設計実証	→	施工				
	周辺環境保全		影響予備評価	→	影響評価および保全措置	保全措置および監視(追加対策)					
安全性への信頼醸成へ向けた技術的な取組み	実証	地下施設における模擬廃棄体を用いた実証の公開									
	モニタリング	周辺環境モニタリングの公開					周辺環境+放射線モニタリングの公開				
安全確保に係わる主要文書	概要調査地区選定報告書、文献調査結果に基づく処分場の概要	精密調査地区選定報告書、概要調査結果に基づく処分場の概要	精密調査結果に基づく処分場の概要(経過報告)、環境影響に係わる評価報告書	処分施設建設地選定報告書、精密調査結果に基づく処分場の概要	事業許可申請書、環境影響評価書	安全レビュー報告書	安全レビュー報告書	閉鎖措置計画書	安全レビュー報告書、閉鎖措置の確認申請書、廃止措置計画書、廃止措置計画認可申請書	廃止措置終了確認申請書	

## 4.2 方針2の実施方策の具体的展開

### 4.2.1 計画的な技術の整備

#### (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次取りまとめの技術や情報を出発点として、概要調査地区の選定に向けた技術開発を進め、2002年に文献調査に向けた公募を開始した。また、その後も、より円滑に文献調査を実施する観点から地質調査技術や処分場の設計や性能評価に関する技術開発を継続し、関連する技術の整備を完了した（付録-2で技術の整備状況を概説）。現在は、精密調査地区選定段階に焦点を当て、この段階以降に必要な技術の整備を基盤研究開発機関と連携して進めるためにこの段階で必要な技術開発課題を図4.2-1に示すような手順で体系的に整理した。

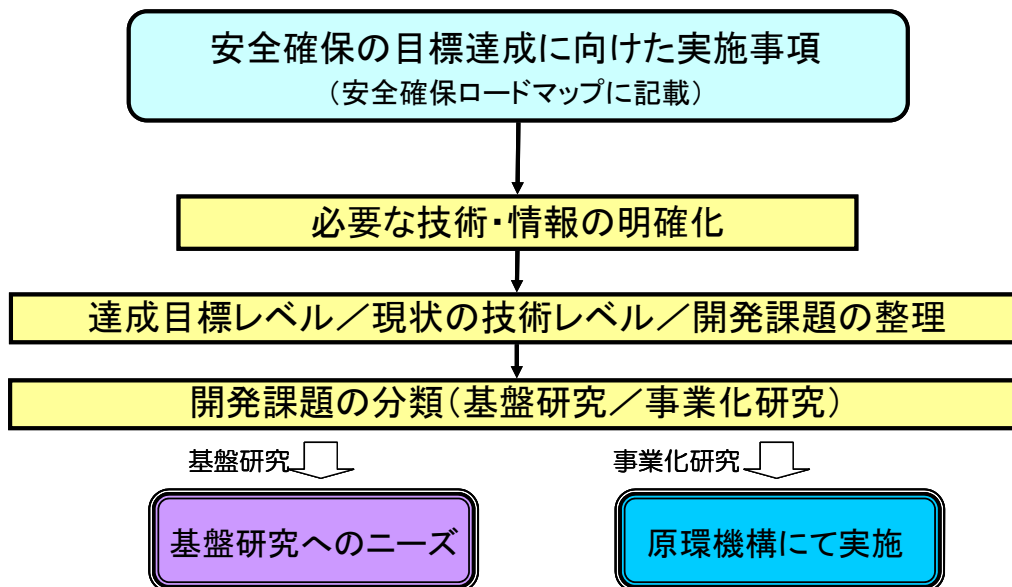


図 4.2-1 技術開発課題の体系的整理の手順

「安全確保の目標達成に向けた実施事項の明確化」では、安全確保ロードマップ（表4.1-1）に示したように、「精密調査地区の選定」を目標として設定し、主要な実施事項として「レファレンス処分場概念の構築」などを設定した。「必要な技術、情報の明確化」では、サイト調査・評価、工学的対策（高レベル放射性廃棄物および地層処分低レベル放射性廃棄物）、安全性の評価の各分野で実施すべき事項を分類し、それぞれの実施事項に必要な情報や技術を明確化した。「達成目標レベル／現状の技術レベル／開発課題の設定」では、整理した個別の技術や情報について、「レファレンス処分場概念の構築」をゴールとして、この段階までに達成しておくべき技術の目標レベルを定義して、基盤研究開発機関へのヒアリングなどに基づいて現状の技術レベルを明らかにし、さらにその達成目標と現状技術

の差を分析して開発課題として設定した。表 4.2-1 は、開発課題の整理の例として、断層活動の長期安定性評価のケースを示した。最後に「開発課題の分類」として、基盤研究、事業化研究に分類し、基盤研究開発調整会議を通じて、原環機構の技術開発ニーズとして提示している（原環機構，2009）。

表 4.2-1 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 ・鳥取県西部地震等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 ・海上ボーリング等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等) ・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 ・基盤研究 ・基盤研究	
	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・伸展等の評価	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・方法等に関する検討	・(A)基盤研究、 (B)原環機構 ・基盤研究 ・基盤研究	
	確率論的な評価	将来数万年間の断層の変位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NUMC等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等)(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、基盤研究開発分については、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 4.2-2）。これらの技術開発は、それぞれの機関で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の見直しを行うなどして、効率的に技術開発を進めている。なお、以上の取り組みに関連して、「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，原子力機構，2009）の改訂時に、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る予定である。

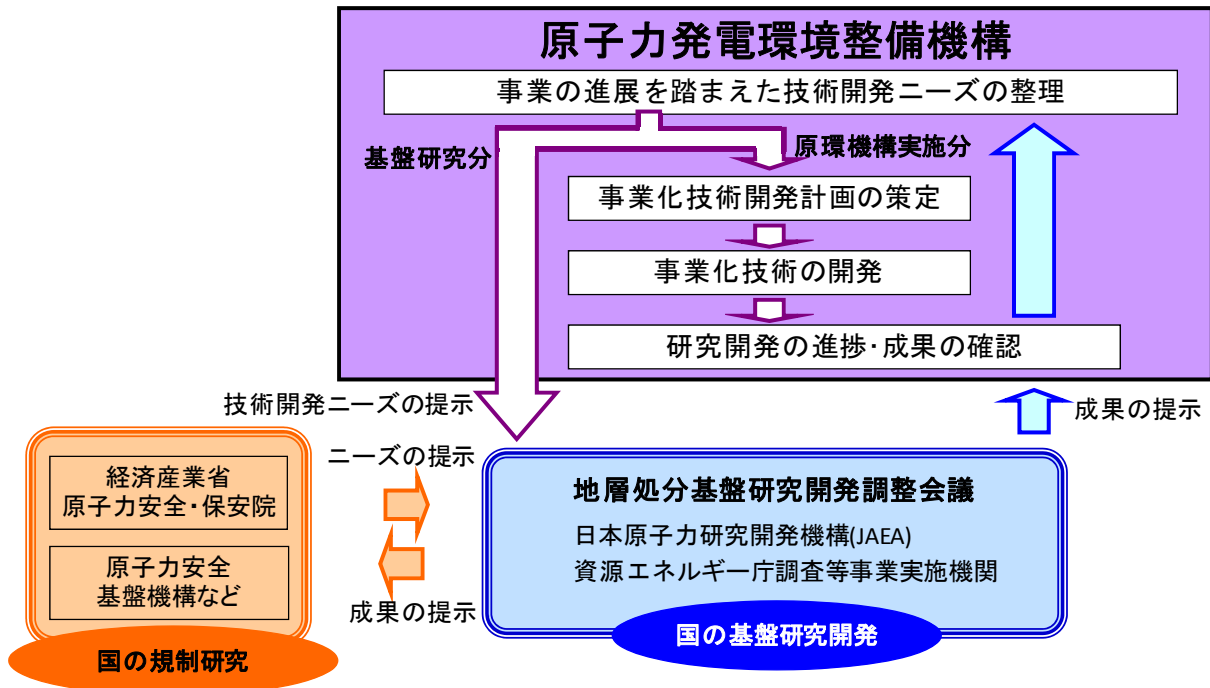


図 4.2-2 基盤研究開発機関と緊密に連携した技術開発の取組み

## (2) 技術の実証

3.2.1 で述べたように、地層処分に特有で事業の推進において主要な技術については実証的に技術レベルや適用性を確認する。例えば、原環機構では、概要調査を円滑に実施するために、基盤研究開発などで検討されている概要調査技術などに基づいて、概要調査計画の策定手順と文献調査から概要調査に至るまでの実施工程、および、ボーリング調査などの地質環境調査・評価などの関連技術の適用性を実証的に検証した（付録-2 に詳述）。また、将来的に地下調査施設を建設し精密調査を行う際には、建設技術や、人工バリアの搬送・定置技術などの地層処分特有な技術について、その段階までに開発してきた技術の適用性を地下坑道において実証的に確認する予定である。この他、模擬廃棄体などを用いた人工バリアの長期挙動の試験などの実施も検討している。

### 4.2.2 技術に関する品質保証の的確な実施

3.2.2 では、サイト選定、工学的対策および安全評価といった安全確保策の各プロセスに係る技術の品質保証の重要性を述べた。ここでは、原環機構における品質保証に関する具体的な取り組みと今後の展望について概説する。

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品質マネジメント<sup>10</sup>のためのシステムを構築している。サイト選定の段階には、選定報告書などの文書が品質保証の対象となる成果品である。よって、この段階では、「概要調査地区選定報告書」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」などの重要度が最も高い技術文書と、「文献情報に基づく処分場の概要」という重要度の高い技術文書を品質保証の対象とする。

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。この段階の品質目標を概説すると、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、応募地に対し、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としては、「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（原環機構、2004b；原環機構、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」については、選定の直接的な基準とはせず、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（技術アドバイザー国内委員会、技術アドバイザー国際委員会、国際テクニクス会議など）を組織し運営してきた（原環機構、2008；原環機構、2009）。これらの委員会の委員は、地質学（火山、断層ほか）、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から構成されている。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」および「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。

以上の文献調査の段階の品質保証に関する取り組みを支援するために、文献調査システ

<sup>10</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区別している。



ムフローやデータ管理システムなどの支援システムを構築してきた。詳細については、付録—2 に記述した。



図 4.2-3 原環機構主催による国際会議の開催の例（国際テクトニクス会議）  
国際テクトニクス会議での火成活動評価における確率論的評価などの  
（左）公開討論（2009. 3） （右）技術図書（2009. 9）への掲載

以上では、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。例えば、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、性能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の考え方については、現時点では原環機構（2004）に示されている。

#### 4.2.3 原環機構の組織および国内外協力体制の整備

##### (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。そこで、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。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、文献調査段階から精密調査段階前半では主に地質学、土木工学の専門家が中心となり、精密調査段階後半から操業にかけては原子力工学などの専門家の割合が増加する。

2000 年に設立されて以来、原環機構は、処分事業の分野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、即戦力となる人材を採用している。

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。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も積極的に設け、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マネジメント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。地層処分事業をプロジェクトマネジメント技術は必須さらに、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、海外の研修機関において研修を実施している他、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。

長期の事業期間においては、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対策が必要である。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。支援ツールとしては、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、要件管理システムに機能を搭載しているほか、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。これらの取り組みを通じて、世代交代の際の技術継承に備えている。

## (2) 国内外の関係機関との協力体制の整備と技術移転

地層処分は、多岐にわたる科学技術分野で構成されており、すべての分野の専門家や技術者を原環機構だけで確保することできない。そこで、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、4.2.1 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中研とは技術協力協定を締結している。この他、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、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、科学技術コード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を進められている（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

の裏打ちさ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ノウハウをいかに技術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の原環機構への出向や転籍を実施している。また、先述のように、原環機構技術者を研究機関に派遣することで技術移転を促進しようと計画している。

放射性廃棄物の処分は、国際的な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フィンランド POSIVA、スイス Nagra、スウェーデン SKB、アメリカ DOE、フランス ANDRA、イギリス NDA と、技術協力協定を締結している。原環機構では、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おり、また、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 のエスポ地下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ような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。

### 4.3 方針3の実施方策の具体的展開

#### 4.3.1 事業の各段階における意思決定に係る情報提供と対話活動

3.3 で述べたように、原環機構は、事業の各段階における意思決定に係る情報を国民や地域住民、安全規制当局への確に提供し対話活動を推す。これまでの取り組みと今後の進め方について以下のように考えている。

サイト選定段階においては、原環機構は、特廃法で求められる「選定結果報告書」を縦覧し説明会を開催する。報告書についての意見があれば、原環機構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、意見の概要及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。その仕組みは既に法令上制度化<sup>11</sup>されている。これに併せ、4.1 節の安全確保ロードマップの“安全確保に係る主要文書”にも示した文書も自主的に取りまとめて公表する。これまで、公募関係資料として「概要調査地区選定上

<sup>11</sup> 特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律

の考慮事項」や「処分場の概要」、さらにはそれらの技術的根拠（原環機構，2004a，2004b）を示してきた。

なお、このサイト選定段階での原子力安全・保安院の関与については、2009年10月の廃棄物安全小委員会報告書「放射性廃棄物処理・処分に係る規制支援研究（平成22年度～平成26年度）について」において、立地段階における事業者の調査結果の妥当性をレビューする際の判断指標、及び安全審査における判断指標を適切な時期に策定する必要があると述べられている。

さらに、安全審査・事業許可の後の規制制度としては、定期的に国から安全レビューを受け、閉鎖措置時および廃止措置時にも国による確認を受けるように制度化<sup>12</sup>されている。これにより、原環機構が示す安全に関する説明を国が厳格に検査することになっている。

一方、環境保全については、自然公園や自然環境の保全のため決められた制度を遵守し、段階ごとに環境保全に関する調査計画や結果を説明し、理解を得ながら事業を進めていくこととしている。

以上に述べたように、事業の各段階の節目における国民への安全性の提示により信頼感を醸成していく。

#### 4.3.2 安全性や技術の信頼性に係る日常的な情報提供と対話活動

3.3 節では、地層処分の安全性や事業の技術的信頼性に対する理解を高めるためには、4.3.1 で述べたような、各段階の節目における重要な意思決定の機会だけではなく、日頃からの確で分かりやすい情報の提供と対話に努めることが極めて重要であることを述べた。

地層処分事業の安全性への国民や地域住民の不安感や疑問がどのようなものなのか、なぜそう思うのかを理解し、真摯に受け止めるとともに、疑問などに対して的確に、かつ分かりやすく、信頼できる回答を提示する必要がある。そのため、原環機構は、即答できない課題、技術的にデータの収集・解析が必要な課題に対しては、時間をかけてでも慎重に検討し誠実に回答することを心掛けている。

また、国民や地域住民が地層処分事業を自らも関わる問題として捉え、単なる賛成、反対ではなく、十分な議論ができる土壌、対話への参画の場を準備することが重要である。地層処分の安全性は技術の信頼性については、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回答を一貫して行えるよう、技術力やコミュニケーション能力の向上に努めることが重要と考えている。

安全性に対する理解や信頼を得るために、地層処分を安全に実施するための技術や安全性の評価に関する情報などをさまざまな形で分かりやすく国民や地域住民に提供し、事業

<sup>12</sup> 核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律など

の透明性確保に向けた活動に積極的に取り組んでいる。

以下に現在および今後計画中の具体的な取り組みを示す。

(1). 現在の具体的な取り組み

- ・ 文献調査の応募があった後、地質的な条件の事前確認を行い、その結果、必要な条件を満たさない場合には文献調査の対象とはしないこととしている。しかしながら、潜在的に地層処分事業に関心を有している地域においては、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、公募資料（原環機構，2009）だけでなく、全国的に整備されたデータベースなどを利用して、文献調査の実施に当たって事前確認を要する地質的な条件（活断層や第四紀火山の存在）に関する情報の提供をホームページで行っている。

（[http://www.numo.or.jp/koubo/bunken\\_chisitsu/index.html](http://www.numo.or.jp/koubo/bunken_chisitsu/index.html)）なお、約 50 日間（2009 年）で約 800 回のアクセスがあった。

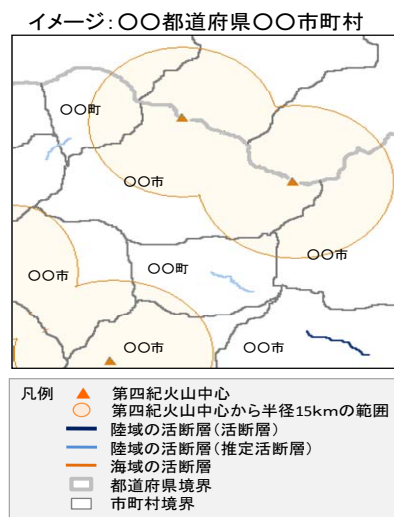


図 4.3-1 ホームページで提供している活断層や第四紀火山の存在の例

- ・ 地層処分では、数万年にも及ぶ長期の安全性を評価する必要があり、高度な解析技術を利用していることから、一般の方々に理解していただくことが大きな課題となっている。このため、地層処分の安全性や長期間の安全評価について理解していただくように、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）などの活用により、分かりやすく説明するための工夫を行っている。



図 4.3-2 ナチュラルアナログを用いた説明の例

## (2). 今後計画中の具体的な取り組み

- ・国の事業においては、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、触って、体感してもらうための「実規模設備」<sup>13</sup>や地層処分の概念や安全性をIT技術を駆使して深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>14</sup>の研究が進められている。こうした成果も有効に活用しつつ相互理解活動に取り組んでいく予定である。また、原環機構としても、精密調査段階における地下調査施設などの一部を活用して、模擬廃棄体を用いた実証試験を実施し、その状況などを公開し、人工バリアシステムや装置などを実際に体感してもらうことにより処分システムの理解促進に活用することを計画している。
- ・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情報を積極的に発信し、事業の透明性の向上に努める。

### 4.3.3 将来世代が適切な判断を行うための環境整備

3.3 節では、将来世代が“処分場を閉鎖しても良いかどうか”などについて、適切な判断を行う上で必要となる情報や技術などを整備しておくことが必要であると述べた。

閉鎖した後の手続きについては、処分施設の保護のため、保護区域の指定を受けるための申請を原環機構から国に行く。国は法律<sup>11</sup>に基づき保護区域を指定し、処分施設の敷地およびその周辺の区域の土地の掘削制限などを講じることとなっている。また、原環機構は、経済産業大臣の閉鎖の確認を受け、記録を国へ提出する。国は法律<sup>11</sup>に基づきその記録を永久に保存することとなっている。これらの記録の保存や保護区域の指定は、将来世

<sup>13</sup> [http://www.enecho.meti.go.jp/rw/new/oshirase\\_jitukibo.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/rw/new/oshirase_jitukibo.pdf)

<sup>14</sup> [http://www.enecho.meti.go.jp/rw/new/oshirase\\_virtual.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/rw/new/oshirase_virtual.pdf)

代の行為の柔軟性を確保する観点や誤って人間が地下の廃棄体に接近する可能性を防止あるいは低減する観点などから重要であり、確実にこれらに向けた環境整備を行っていく。

原環機構は、基本的には施設が閉鎖された後のモニタリングなどの能動的な管理に頼らず、閉鎖までの活動から閉鎖後の安全性を確保し、その上で処分場の閉鎖措置を行う。4.1.1で述べたように、閉鎖措置計画では、安全性を確認するため、地層処分した廃棄物中の放射性物質から一般公衆が受ける想定される線量を評価することを目的に適切なシナリオを設定し、最新の技術的知見を踏まえ再度安全評価を行う。この計画を国が認可し、原環機構は実際計画どおりに閉鎖措置を行ったことの確認を受けなければならない。したがって、処分場の閉鎖に至るまでの間においても、定期的にその時点の最新情報に基づく安全評価などを用い、4.3.1 および 4.3.2 で述べたような活動などを通して、その都度その世代に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確認してもらい、必要があれば保全措置を講じて、安全に事業を進めていく。

原環機構は、安全性や人の健康と環境の防護などについて地域住民と対話を重ね、相互理解と信頼関係を築くことに努めており、将来の閉鎖後の管理のあり方についても、世代から世代へ安全確保などに対する責任と役割を伝え、さまざまな観点から検討を行っていく。そして、原環機構の安全確保に対する活動とその活動の科学的・技術的な論拠の説明を継続し、閉鎖後のモニタリングや廃棄体の回収といった事項に対して、最適なあり方を選択できるよう取り組んでいく。

## 5. おわりに

本書は、2010年技術レポートの核となる安全確保構想を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、事業として如何に展開するかを検討してきた（原環機構，2004a；2004b など）。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書を作成した。原環機構は，本書に示した三つの方針とそれを実現するための方策に基づき，安全の確保を最優先に，国民や地元住民の安全性に対する理解を得ながら，的確かつ効率的に事業を遂行していく。

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について，具体例を用いて示す。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，2000年の段階に比べて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，事業の最初の取り組みであるサイト選定は未だ進展していない。事業を推進するために必要な技術の整備は，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ているが，そうした取り組みが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この原因の一つであると認識している。そのため，国民や地域住民の信頼感醸成に向けてより一層努力していくこととする。特に，地層処分の安全性に係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ので，一般の国民の理解を得ていくことは容易ではない。これまでの経験から，地層処分に関係する専門家に加え，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ご理解をいただき，そうした有識者を通して間接的に国民の理解を得ることも有効な方策のひとつになると考えている。本書および2010年技術レポートの公表が国民の理解向上に寄与することを期待し，事業の推進につなげたいと考えている。

本書の作成に当たり，原環機構の技術アドバイザー委員会をはじめ，原子力学会のレビュー特別委員会，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 目次 —

付録 1.	安全確保に向けたロードマップ.....	付 1-1
付録 2.	2000 年以降の地層処分技術の整備状況 .....	付 2-1
付録 2.1	概要調査地区選定段階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 2.1-2
2.	文献調査計画の立案 .....	付 2.1-2
3.	文献調査の実施 .....	付 2.1-2
4.	「概要調査地区選定上の考慮事項」に対する適格性などの評価.....	付 2.1-4
5.	処分場概念の構築 .....	付 2.1-7
付録 2.2	精密調査地区選定段階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 2.2-2
2.	概要調査計画の立案 .....	付 2.2-2
3.	地表からの調査(ボーリングなど)の実施 .....	付 2.2-4
4.	地質環境モデルの更新 .....	付 2.2-5
5.	レファレンス処分場概念の構築 .....	付 2.2-6
5.1	処分場の安全機能・設計要件の設定 .....	付 2.2-9
5.2	人工バリアの概念設計 .....	付 2.2-9
5.3	地上・地下施設の概念設計 .....	付 2.2-12
5.4	建設に関する技術 .....	付 2.2-13
5.5	操業に関する技術 .....	付 2.2-13
5.6	閉鎖に関する技術 .....	付 2.2-15
5.7	モニタリング, 回収技術の検討 .....	付 2.2-16
5.8	閉鎖後長期の安全性の評価 .....	付 2.2-17
6.	「精密調査地区選定上の考慮事項」に対する適格性などの評価.....	付 2.2-18
付録 2.3	事業管理に関する技術の整備状況 .....	付 2.3-1

－ 付録 図目次 －

付図 2. 1-1	概要調査地区選定段階の業務フロー.....	付 2. 1-1
付図 2. 1-2	文献調査における支援システム.....	付 2. 1-3
付図 2. 1-3	断層活動評価のための文献調査システムフロー.....	付 2. 1-3
付図 2. 1-4	活褶曲の評価フロー，波高増加率による評価，モデル実験.....	付 2. 1-7
付図 2. 1-5	処分場概念構築システムの設計機能の構成（原環機構, 2004）.....	付 2. 1-8
付図 2. 2-1	精密調査地区選定段階の業務フロー.....	付 2. 2-2
付図 2. 2-2	概要調査における計画立案手順.....	付 2. 2-3
付図 2. 2-3	概要調査段階における組織体制.....	付 2. 2-4
付図 2. 2-4	横須賀実証での地質モデルの更新.....	付 2. 2-6
付図 2. 2-5	人工バリア設計手順の修正.....	付 2. 2-10
付図 2. 2-6	オーバーパックの溶接技術に関する要素技術の実証的な確認試験.....	付 2. 2-11
付図 2. 2-7	HFSC 吹付コンクリートの模擬施工状況.....	付 2. 2-13
付図 2. 2-8	緩衝材施工技術に関する要素技術の実証的試験.....	付 2. 2-15
付図 2. 2-9	モニタリング手法の開発事例.....	付 2. 2-17
付図 2. 2-10	国際的な動向も踏まえ開発を進めているシナリオ解析手法.....	付 2. 2-18

－ 付録 表目次 －

付表 1-1	安全確保に向けたロードマップ（詳細版） 概要調査地区選定段階～事業許可の取得.....	付 1-1
付表 1-2	安全確保に向けたロードマップ（詳細版） 建設段階～事業廃止.....	付 1-2
付表 2. 1-1	2000 年以降の主要な全国規模の情報.....	付 2. 1-4
付表 2. 1-2	断層活動に関する評価の考え方と 2000 年以降の技術開発.....	付 2. 1-5
付表 2. 1-3	火成活動に関する評価の考え方と 2000 年以降の技術開発.....	付 2. 1-5
付表 2. 1-4	隆起・侵食に関する評価の考え方と 2000 年以降の技術開発.....	付 2. 1-5
付表 2. 1-5	第四紀未固結堆積物，鉱物資源に関する評価の考え方と 2000 年以降の技術開発.....	付 2. 1-6
付表 2. 1-6	付加的に考慮する事項に関する評価の考え方と 2000 年以降の技術開発.....	付 2. 1-6
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. 2-8

付録 1. 安全確保に向けたロードマップ

付表 1-1 安全確保に向けたロードマップ（詳細版） 概要調査地区選定段階～事業許可の取得

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			
			地上からの調査	地下調査施設での調査				
各段階における安全確保に向けた目標	概要調査地区選定地	精密調査地区選定地	ウ基本 ト本の レ決イ 定ア	処分施設 建設地 選定	事業許可の取 得			
目標達成に係わる要件	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, 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	安全審査指針への適合性 安全審査基本指針への適合性			
主要な内容	・明らかな自然現象の著しい影響の回避	・自然現象の著しい影響の回避 ・長期安全性確保の見通し ・事業各段階における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 ・長期安全性の確実な確保 ・事業各段階における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 ・事業各段階における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 ・事業各段階における安全性の確実な確保			
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確認 ②サイトの地質環境特性に応じた処分場概念を幅広く構築 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	①精密調査計画(建設計画・地下調査施設での調査)の作成 ②事業許可申請に向けた安全性の予備の確認 ③処分施設建設地選定上の考慮事項への適合性の予備の確認 ④環境調査および環境影響評価	①処分施設建設地選定上の考慮事項への適合性確認 ②処分場の基本設計(建設・操業・閉鎖を含む) ③地下調査施設での調査・試験 ④事業許可申請書の作成 ⑤環境調査および環境影響評価	①事業許可申請書の完成, 申請, およびフォローアップ ②設計および工事の方法の許可申請書の作成			
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 (個別検討のための情報提供が役割なので直接的に目標達成には寄与しない) 自然現象の著しい影響の回避(活断層, 火山, 隆起・侵食) 地質環境特性の把握	・文献調査を実施し, 長期安定性・地下環境特性に関する文献情報を収集する。 ・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。→① ・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。→②③	・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(例えば2つ)で段階的に実施する。 ・概要調査地域全体の広域的な地下情報を得ることを目的に調査を計画・実施する。 ・文献調査結果に基づいた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う。→① ・文献調査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。→② ・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。→②③	・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, パイロットボーリングなど)を実施する。 ・必要に応じて, 概要調査結果の妥当性を確認する。→③ ・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 ・各スケールの地質環境モデルを更新し, 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	・必要に応じて補足的な調査・評価を実施する。 ・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	
		処分場の設計・施工などの適切な工学的対策	地下施設 人工バリア	・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。→②③ ・文献調査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持たせる。→留意事項	・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, 地下施設などの概念設計を行う。→② ・安全審査基本指針への適合性を確保する。→②③ ・地下調査施設の基本設計を行う。→②③ ・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。→②③ ・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。→②③	・処分場の基本設計を行う。→① ・処分場の建設/操業/閉鎖に係わる基本計画を策定する。→② ・地下調査施設の詳細設計を行う。→① ・地質環境に適した人工バリアの設計を行う。→② ・必要に応じて人工バリア材の性能面での情報の拡充を行う。→② ・人工バリアの運搬・定置に関する地下調査施設での試験計画を作成し, 予備試験を開始する。→①④	・処分場の基本設計を行う。→② ・処分場の建設/操業/閉鎖に係わる品質管理に主眼を置いた詳細計画を策定する。→② ・安全審査指針への適合性を確保する。→① ・廃棄体・人工バリアの運搬・定置に関する地下調査施設での実証試験を実施する。→② ・人工バリアの地下環境下における性能を評価する。→①	・事業許可申請のために, 処分場の詳細設計を行い, 建設/操業/閉鎖に係わる詳細計画を更新する。→① 閉鎖措置計画の概略を策定する。→①
		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設計情報に基づき, 概略的な安全評価を行い, 安全性の見通しに関する分析を行う。→②③ ・安全性に係る重要なサイト情報の不確実性低減に向けて結果を概要調査計画に反映させる。→③	・レファレンス処分場概念に基づく安全評価を行い, 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。→⑤ ・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。→③	・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安全評価を行う。→②	・地下調査施設での取得データを加えて, 事業許可申請に向けた処分場の安全性に係る全ての論拠を統合し, 安全評価とその信頼性の評価を実施する。→① ・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。→①④ ・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。→③	・事業許可などに向けて, 必要に応じて補足的な調査・評価を実施する。→①
	事業の各段階の安全性	一般労働安全	・建設・操業の実現性確認のための情報を収集する(例えば岩盤強度, 初期地圧, 透水性係数, 亀裂密度など)→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(例えば地震, 津波, 火砕流など)→② ・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を取得する。→②③ ・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する。→③ ・地上・地下建造物の耐震検討のためのデータを収集・評価する。→③	・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 ・建設・操業の実現性確認のための詳細なデータを収集・評価する。→①	・必要に応じて補足的な調査・評価を実施する。→①②		
		放射線安全	・運搬時や地上における廃棄体取り扱い時の公衆安全の方針を見直しをつけておく。→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決定する。→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具体的対策を確定する。→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決定する。→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具体的対策を確定する。→②	・事業許可申請に向けて必要な検討を行う。→①		
	周辺環境保全	現地作業はなし。環境保護の観点(保護動物の有無, 騒音, 遺跡などの発掘可能性など)からの制約条件を調査しておく。	・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およそ影響を評価する。 ・次段階以降で地下掘削を開始した場合の影響について評価する。→⑤	・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評価する。→⑤ ・次段階以降で地下掘削を開始した場合の影響について評価する。→⑤	・地下施設の建設による周辺環境への影響を調査・評価する。→⑤ ・必要に応じて補足的な検討を行う。→①			
安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取り組み	実証	文献調査段階では具体的な実施はなし。安心感醸成のために有効な実証のあり方を検討しておく。	次段階(精密調査段階)での実証試験の計画に対して安全性への信頼感醸成という視点を計画に反映させる。	地下調査施設を用いた実証試験の計画において安全性への信頼感醸成という視点を計画に反映させる。	地下施設における模擬廃棄体を用いた実証の公開を行う。			
	モニタリング	文献調査段階では具体的な実施はなし。安心感醸成のために有効なモニタリングのあり方を検討しておく。	・地下掘削による擾乱が始まる前に地下掘削のベースラインモニタリングを開始し, 情報を取得・開示する。 ・安心感醸成に貢献する性能確認モニタリングについて計画を策定する。	・ベースラインモニタリングを継続する。→⑤ ・安心感醸成に貢献する性能確認モニタリングの計画を策定する。	周辺環境モニタリングの公開を行う。			
安全確保に係わる主要文書	概要調査地区選定報告書, 文献調査結果に基づく処分場の概要	精密調査地区選定報告書, 概要調査結果に基づく処分場の概要	精密調査結果に基づく処分場の概要(経過報告), 環境影響に係わる評価報告書	処分施設建設地選定報告書, 精密調査結果に基づく処分場の概要	事業許可申請書, 環境影響評価書			

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 1-2 安全確保に向けたロードマップ（詳細版） 建設段階～事業廃止

段 階	建設段階	操業段階		閉鎖段階	閉鎖後～事業廃止	事業廃止～		
		操業期間中	操業の終了・閉鎖措置計画認可申請					
各段階における安全確保に向けた目標	処分施設建設の	操業の実施	操業の終了・閉鎖措置計画認可申請	閉鎖措置の実	事業廃止の			
目標達成に係わる要件	設工認可条件, 使用前検査合格条件, 施設確認技術基準への適合性	使用前検査合格条件, 施設確認技術基準, 廃棄体確認基準などへの適合性, 安全レビューの要件への適合性	事業許可申請書の閉鎖関連記載事項への適合性	閉鎖措置計画の認可条件への適合性 (含安全レビュー)	廃止措置計画の認可条件への適合性			
主要内容	・新たな知見を踏まえた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	・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安全性の提示	・閉鎖段階における安全性の確実な確保				
主要な実施事項	①要求品質を満足した処分施設の安全な建設 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を行い, 定期的な安全レビューに対応 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) ④地下施設建設による周辺環境への影響低減	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 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 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	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	①閉鎖措置確認を実施 ②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	①事業廃止の許可を得て, 事業廃止活動を実施する。 ②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	調査作業 (個別検討のための情報提供が役割なので直接的に目標達成には寄与しない)	・地下調査施設において計測を継続する。→② ・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。→② ・安全レビューに向けたデータを蓄積する。→②	・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	・操業の終了および閉鎖に向けた処分システム完成の見通しに対する確信, 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。	特になし	特になし	
		適切なサイト選定と確認 自然現象の著しい影響の回避 (活断層, 火山, 隆起・侵食) 地質環境特性の把握						
	処分場の設計・施工などの適切な工学的対策	地下施設	・設計工事認可に応じて, 処分場の詳細設計並びに建設/操業/閉鎖に係わる詳細計画を更新する。→① ・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 ・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	・必要に応じて操業システムの改善を行う。→① ・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	・地層処分システムの完成に関する見通しを得て, 閉鎖措置計画を策定し認可を申請する。→①	・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	特になし	特になし
		人工バリア	・実証試験などを通して廃棄体・人工バリアの輸送・定置技術を確立する。→③	・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 ・輸送・定置システムの改善を行う。→①	・人工バリアに係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			
	地層処分システムの長期安全性の評価	・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 ・建設の妥当性確認と定期安全レビューに反映。→②	・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改善し, 安全レビューに備える) →②	・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係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	・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	・受動的安全性に十分な根拠があることを示す。→①	特になし	
	事業の各段階の安全性	一般労働安全	・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。→①② (安全レビューに向けたデータを蓄積する←安全レビューが長期安全性だけなら不要)	・操業段階における一般災害の防止に努める。→② ・施設を長期間使用することになるため, 定期的保守点検を実施し, 安全性を保持する。→①	特になし	特になし	特になし	
放射線安全		・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策定し, 公衆被曝を防ぐ対策を策定する。→③ ・廃棄体の地下における輸送・定置計画を策定し, 作業員の被曝を防ぐ対策を確立する。→③	・地上部における廃棄体の輸送やオーバーバックへの封入を安全に実施する。→①	特になし	特になし	特になし		
周辺環境保全		・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。→④	・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	特になし	特になし	・地上施設撤去後の周辺環境回復 (植栽など) のための措置		
安全性への信頼感醸成に向けた技術的取り組み	実証	地下施設における模擬廃棄体を用いた実証の公開を行う。						
モニタリング	周辺環境モニタリングの公開を行う。	周辺環境+放射線モニタリングの公開を行う。			閉鎖後のモニタリングの必要性について検討を行い, 地域住民や規制側から事業廃止の合意を得る。→①			
安全確保に係わる主要文書	安全レビュー報告書	安全レビュー報告書	閉鎖措置計画書	安全レビュー報告書, 閉鎖措置の確認申請書, 廃止措置計画書, 廃止措置計画認可申請書	廃止措置終了確認申請書			

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. 2000 年以降の地層処分技術の整備状況

第 2 次取りまとめでは、2000 年までの地層処分の技術開発成果が取りまとめられ、我が国における地層処分の安全性に対する技術的信頼性が示された。原環機構では、2000 年に設立されて以来、段階的なサイト選定プロセスに沿って、地層処分事業を安全かつ着実に推進する観点から、第 2 次取りまとめで示された技術の実用化、さらに事業推進の観点から必要な技術を加えて、技術の整備を進めている。また、2000 年以降、基盤研究開発においても、さらなる安全性の向上などを目標とした技術開発が実施されている。

この付録では、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対し、それらを支える技術が 2000 年以降の原環機構の技術開発および基盤研究開発などにより進展していることを実例を交えて概説し、地層処分事業が着実に遂行できることを示す。なお、この付録では、技術成果を簡単に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予定である。また、ここでは、高レベル放射性廃棄物に関する技術の進展に焦点を絞って記述し、地層処分低レベル放射性廃棄物については、現在作成中の原環機構技術報告書（原環機構、2010a）などで説明する予定である。

文献調査地区を公募中の現段階までにおいては、概要調査地区選定に必要な技術開発については、すでに全ての技術開発を終了しており、応募があり次第、文献調査を開始する準備が整っている（付録—2.1）。現在は、次段階の精密調査地区選定に必要な技術開発を進めている（付録—2.2）。また、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）。第 2 次取りまとめ以降、基盤研究開発では、国内 URL の建設に合わせて、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 で記載）。付録の構成は以下の通りである。。

付録—2.1 概要調査地区選定段階に必要な技術の確立

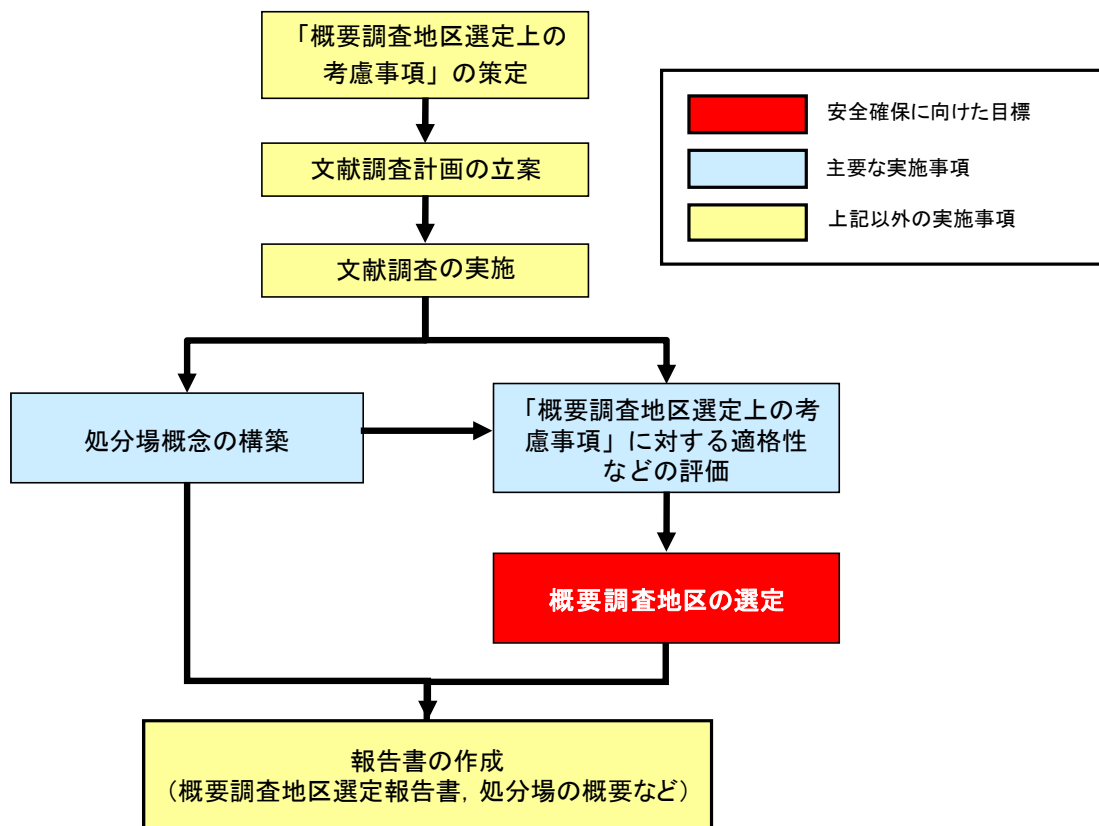
付録—2.2 精密調査地区選定段階に必要な技術の計画的な準備

付録—2.3 事業管理に関する技術の整備状況

## 付録2.1 概要調査地区選定段階に必要な技術の確立

4章において、事業期間全体にわたる「安全確保ロードマップ」を示すとともに、各段階の安全確保の目標やそのための実施事項を概説した。概要調査地区選定段階に必要な技術については、第2次取りまとめで示された技術が基本的に適用可能であると判断し、2002年に公募を開始したが、その後も円滑に文献調査を進める観点から、文献調査データ管理システムなどの技術開発を実施してきた。これらの開発も2007年度までに完了しており、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 には、概要調査地区選定段階の業務フローを示した。文献調査の開始に当たっては、「概要調査地区選定上の考慮事項」を公表し、文献調査計画に従って文献調査を実施する。文献調査の結果に基づいて、応募区域の概要調査地区としての適格性を評価し、自然現象が著しい影響を与えないと判断できる地点から、概要調査地区を選定する。その結果は「概要調査地区選定報告書」として公表する。また、この段階で明らかになっている地質環境特性に基づいて、処分場概念を構築する。これらの結果は「処分場の概要」に示す。以下では、概要調査地区選定の業務フローに沿って、各実施項目の概要とその業務の実施に必要な技術の整備状況について示す。



付図 2.1-1 概要調査地区選定段階の業務フロー

## 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、処分場候補地の公募開始に当たり、選定の要件や考慮すべき地質現象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」（原環機構, 2002）として取りまとめ公表した。選定上の考慮事項には、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挙げており、付加的に評価する事項では、岩盤の特性や地下水流の影響など、事業の成立性などの観点から総合的に評価する項目について挙げている。

その技術的根拠は「概要調査地区選定上の考慮事項の背景と技術的根拠」として取りまとめた（原環機構, 2004a）。この中で、法定要件として定められた「地震等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基準を設定根拠とともに示している。

## 2. 文献調査計画の立案

文献調査計画では、原環機構（2004a）に示された文献調査の項目・内容・対象範囲に基づいて、収集すべき情報を整理して示す。また、それらの情報を網羅的に収集するための方法として、データベース検索、基盤研究開発機関などへの訪問調査、一般からの提供の三つの方法を用いること、そして文献収集の着手時や途中段階で収集文献リストを公表するなどの手順が記述されている（原環機構, 2007）。また、併せて文献調査計画に基づいて、文献調査マニュアルを作成し、文献調査業務の品質管理に向けた準備も進めている。

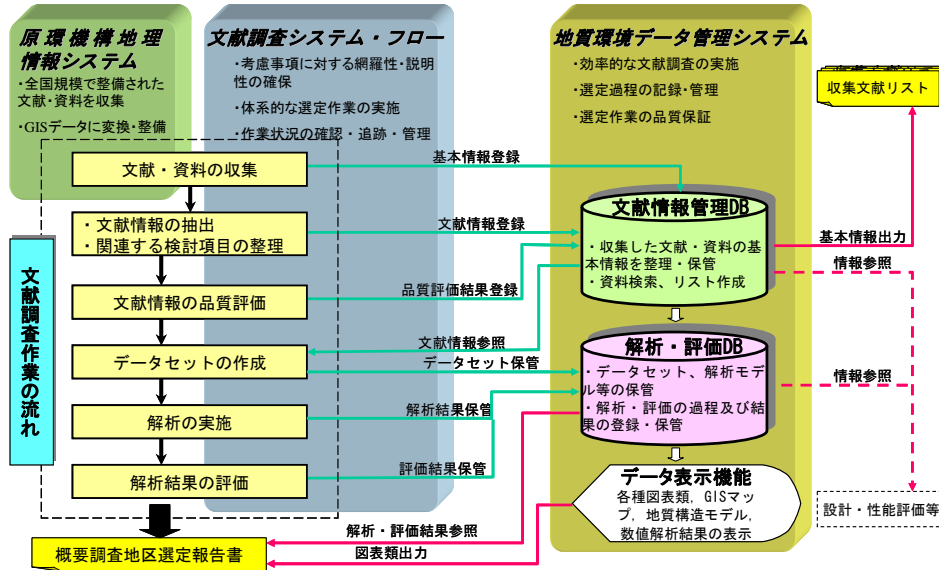
## 3. 文献調査の実施

文献調査では、「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・資料を収集し、応募区域の適格性について評価を行い概要調査地区を選定する。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、適切な評価・選定を行うために、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。そこで、原環機構では、文献調査作業における品質管理の支援を目的として、文献情報を体系的に管理するツールを構築・整備している（原環機構, 2008a）。

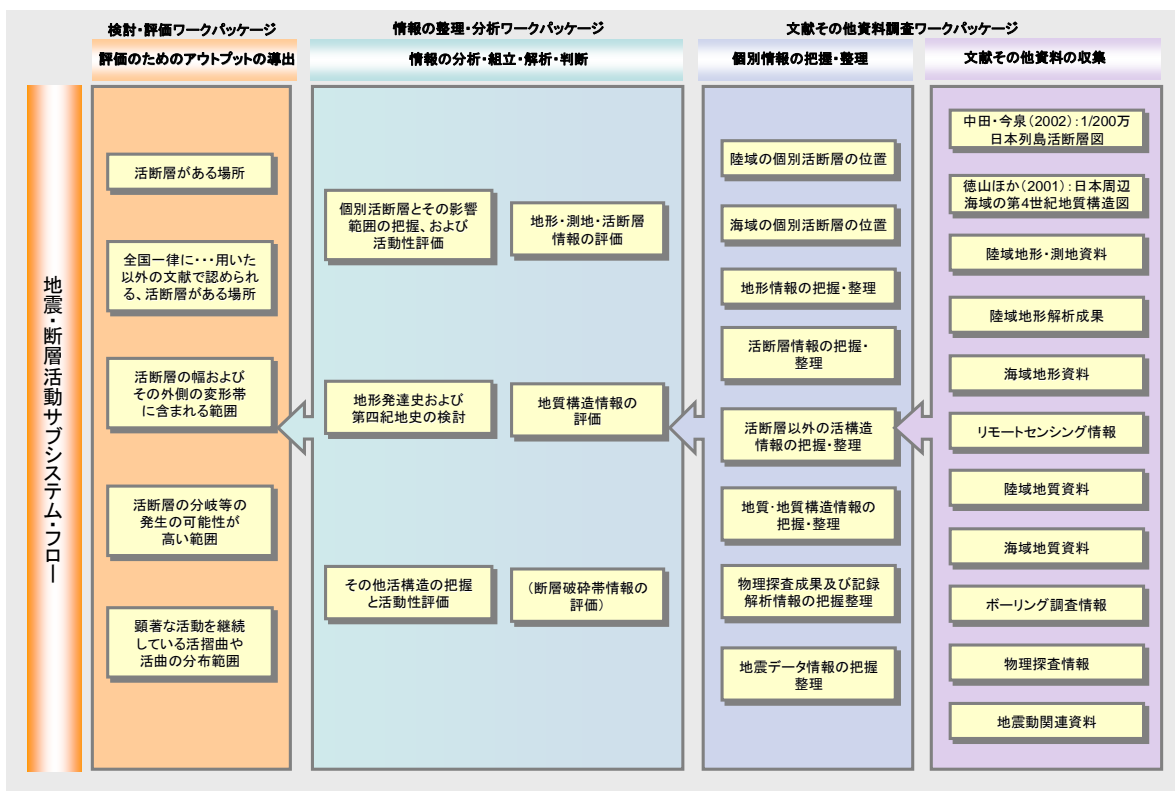
付図 2.1-2 には、文献調査における支援システムの例として、「文献調査システム・フロー」を示す（Noda, et al., 2007）。このシステムでは、考慮事項に対して、検討内容の網羅性と説明性を考慮しつつ、サイト調査・評価に係る作業を体系的に実施することができる。付図 2.1-3 には、断層活動評価に関するシステム・フローのデータ例を示す。また、処分場の設計や性能評価で利用する地質環境特性に関するデータもこのシステムを利用して管理することで、データの品質管理などを一元的に管理することにより、後述の処分場概念

の構築などにも資する。

また、「原環機構地理情報システム」により、日本全国を対象に作成・整備された資料を予め収集し、GIS データ化し登録した（付表 2.1-1）。このシステムの開発により、文献調査が開始されれば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 2.1-2 文献調査における支援システム(原環機構, 2008a)



付図 2.1-3 断層活動評価のための文献調査システムフロー



なお、NUMO-GIS への入力情報については、2000 年以降、基盤研究開発機関および原環機構により、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。これらの新しい情報を利用することにより、全国一律に実施する評価の制度が向上した。

付表 2.1-1 2000 年以降の主要な全国規模の情報

情報名	内容	出典
日本列島における地下地質情報	地質情報のデータベースと複数深度の平面図	サイクル機構(2001)
沿岸域地質スライスマップ	地質情報のデータベースと複数深度の平面図	原環機構、公開準備中
断層カタログ	活断層と地質断層の分布・特性のデータベース	原環機構、公開準備中
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	産総研ホームページ*1
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	産総研ホームページ*2
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	原環機構(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(2004)

\*1 活断層データベース, <http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/index.html>.

\*2 日本の第四紀火山, [http://riodb02.ibase.aist.go.jp/strata/VOL\\_JP/index.htm](http://riodb02.ibase.aist.go.jp/strata/VOL_JP/index.htm).

#### 4. 「概要調査地区選定上の考慮事項」に対する適格性などの評価

文献調査の結果に基づいて、「概要調査地区選定上の考慮事項」に関して、サイトの概要調査地区としての適格性を評価する。付表 2.1-2 から 2.1-6 に、各評価事項に関する評価の考え方とそれに関連する 2000 年以降の主要な技術開発項目についてとりまとめた。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、評価の内容には大きな違いはない。ただし、文献調査の段階では、情報の量と質について不確実性が高い可能性が考えられるため、評価において考慮する。

付表 2.1-2 断層活動に関する評価の考え方と 2000 年以降の技術開発

評価項目	評価の考え方	関連する 2000 年以降の技術開発項目	主な出典
<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 [原環機構]	原環機構 (2008a)
<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させて評価する	• 微小地震データを用いた活断層の評価手法 [原環機構] • 統計学的な断層発生頻度の評価手法 [原環機構] • 確率論的な断層活動評価 [原環機構]	阿部ほか (2004) 吉田・白土 (2004) Chapman, et al. (2009)
活断層の破碎帯・変形帯	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させて評価する	• 活断層帯の評価手法 [原環機構]	上田 (2009)
活断層の分岐・伸展範囲	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させて評価する	• 力学モデルによる伏在活断層の評価手法 [原環機構]	原環機構 (2008b)
活褶曲・活撓曲帯	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させて評価する	• 活褶曲・活撓曲の評価手法 [原環機構]	井上 (2005)

※従来手法：地震防災分野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，音波探査など）に関するデータの解析

付表 2.1-3 火成活動に関する評価の考え方と 2000 年以降の技術開発

評価項目	評価の考え方	関連する 2000 年以降の技術開発項目	主な出典
<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 [原環機構]	原環機構 (2008a)
<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させて評価する	• 新規火山発生の評価手法 [原環機構] • 既存火山の側方移動の評価手法 [原環機構]  • 大規模カルデラの評価手法 [原環機構] • 火山活動等の長期予測モデル [基盤研究] • 確率論的な火成活動評価 [原環機構]	Kondo (2009) Toshida, et al., (2007) 赤村ほか (2009a) サイクル機構 (2005a) Chapman, et al., (2009)
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	地域に応じて右記の技術開発成果を適宜組み合わせさせて評価する	• 熱・熱水の評価手法 [原環機構]	玉生ほか (2008)

付表 2.1-4 隆起・侵食に関する評価の考え方と 2000 年以降の技術開発

評価項目	評価の考え方	関連する 2000 年以降の技術開発項目	主な出典
<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 の新たな情報，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させて評価する	• NUMO-GIS [原環機構] • 詳細な地形判読と段丘編年に基づく隆起・侵食評価手法 [原環機構]	原環機構 (2008a) 幡谷ほか (2009)

※※従来手法：原子力関連施設の立地調査などで行われている，空中写真判読，地表踏査，地層年代調査，段丘対比・編年調査，ボーリング調査，トレンチ調査などに関するデータの解析

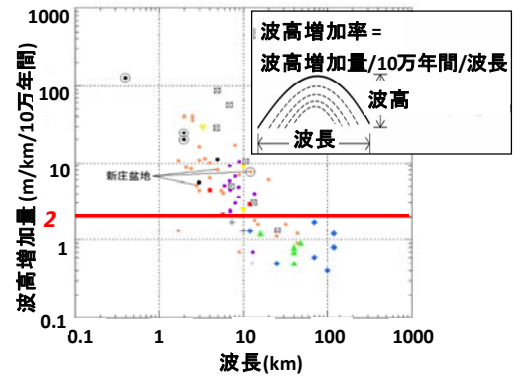
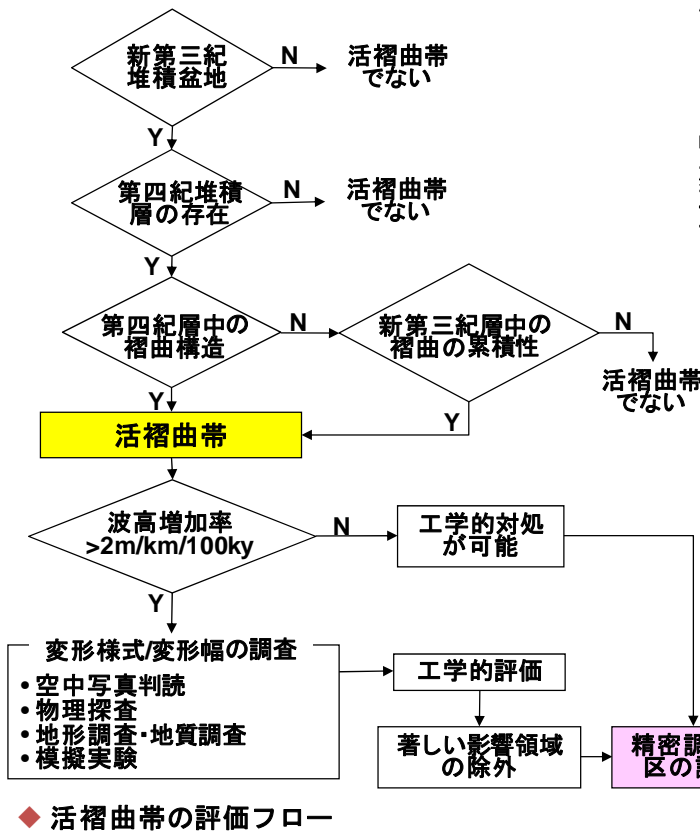
付表 2.1-5 第四紀未固結堆積物， 鉱物資源に関する評価の考え方と 2000 年以降の技術開発

評価項目	評価の考え方	関連する 2000 年以降の技術開発項目	主な出典
<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 の新たな情報，個別地区の文献情報に基づき評価する	• NUMO-GIS [原環機構]	原環機構 (2008a)
経済的価値の高い鉱物資源の存在	NUMO-GIS に格納されている情報，付表 2.1-1 の新たな情報，個別地区の文献情報に基づき評価する	• NUMO-GIS [原環機構] • 文献調査および現地調査の実施・評価方法[原環機構]	原環機構 (2008a) 原環機構 (2004a)

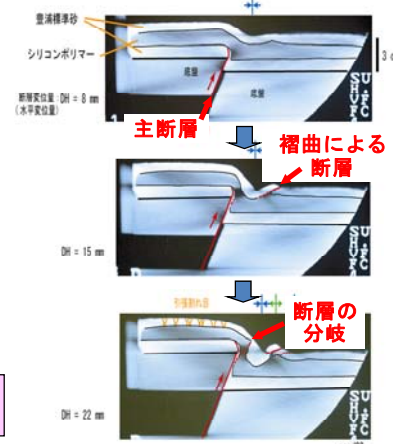
付表 2.1-6 付加的に考慮する事項に関する評価の考え方と 2000 年以降の技術開発

評価項目	評価の考え方	関連する 2000 年以降の技術開発項目	主な出典
地層の物性・性状	NUMO-GIS に格納されている情報，付表 2.1-1 の新たな情報，個別地区の文献情報に基づき評価する	• NUMO-GIS [原環機構] • 一軸圧縮強度と生成年代の関連性などを考慮した岩盤評価手法[原環機構]	原環機構 (2008a) 志田原 (2005)
地下水の特性	NUMO-GIS に格納されている情報，付表 2.1-1 の新たな情報，個別地区の文献情報に基づき評価する	• NUMO-GIS [原環機構] • 地質条件との関連性や地下水化学組成との整合性を考慮した地下水流動評価手法[原環機構]	原環機構 (2008a) 長谷川ほか (2007)
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 [原環機構]	原環機構 (2008a)
土地の確保	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 [原環機構]	原環機構 (2008a)
輸送	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 [原環機構] • 文献情報に基づき専用港湾の概略設計を行い総合的な評価を行うための方法[原環機構]	原環機構 (2008a) 原環機構 (2004a)

これらの技術開発成果の一例として，地下深部の処分場に重大な影響を及ぼしうる層面すべり断層を伴う活褶曲・活撓曲に関する評価手法を紹介する。活褶曲・活撓曲は，第四紀および新第三紀の堆積物が厚い場所に分布する傾向にあり，第四紀層・新第三紀層双方における褶曲構造，あるいは，第四紀層が存在しない場合は新第三紀層中の褶曲による変形の蓄積，により認識することができる。波高増加率  $\{(波高/波長) / 10 \text{ 万年}\}$  という指標を用いて，将来生じうる変形量が処分場の設計上許容できるのか，それとも層面すべり断層などによる著しい影響範囲を把握するための調査が必要か判断する。そのような範囲は，空中写真判読，物理探査，地表踏査，モデル実験などに基づき認識する（付図 2.1-4）。



◆ 考慮すべき活褶曲の認識方法



◆ 活褶曲の模擬実験

付図 2.1-4 活褶曲の評価フロー (左), 波高増加率による評価 (右上), モデル実験 (右下)

## 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サイト環境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(原環機構, 2004b)。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地層処分に関連する施設(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。ただし, 処分場概念は, 閉鎖後安全性などの工学的対策や安全性の評価に加え, 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して構築する。また, 処分場概念は, 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, 段階的に最適化される。

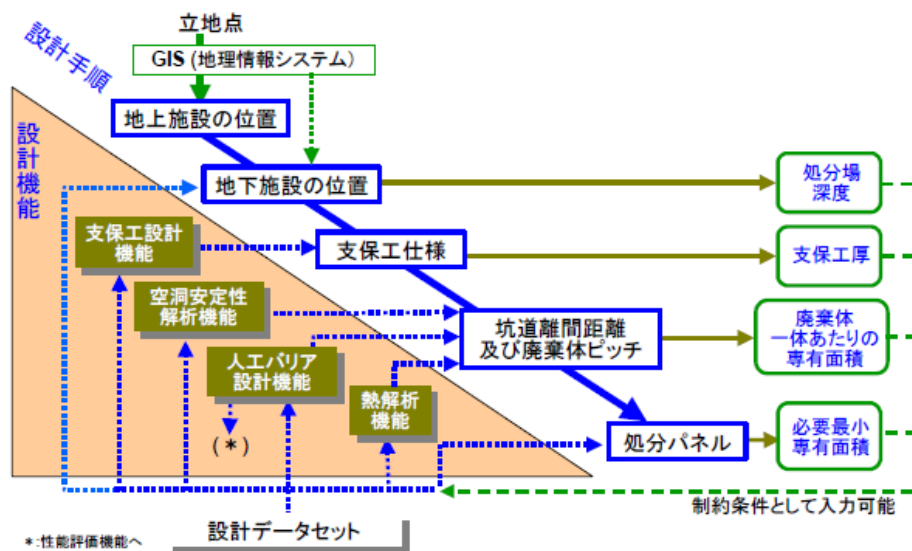
以上に示したように, 「処分場概念の構築」とは, 段階的な事業の推進の特徴を踏まえて, サイト調査・評価の結果に基づいて処分場の設計や安全評価, さらには関連する技術開発を実施するための技術業務の統合化の枠組みである。これまで, 処分場概念のサイト

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（原環機構, 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、実際の文献調査が始まれば、設計因子を用いて、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 2.1-5）。このシステムは、文献調査の初期の段階から、サイト環境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能を把握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。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つつ、その後の技術の進展として、原子力機構などの知見（サイクル機構, 2005b）も反映して検討し、処分場概念の構築手順について検討した。

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ことができる。



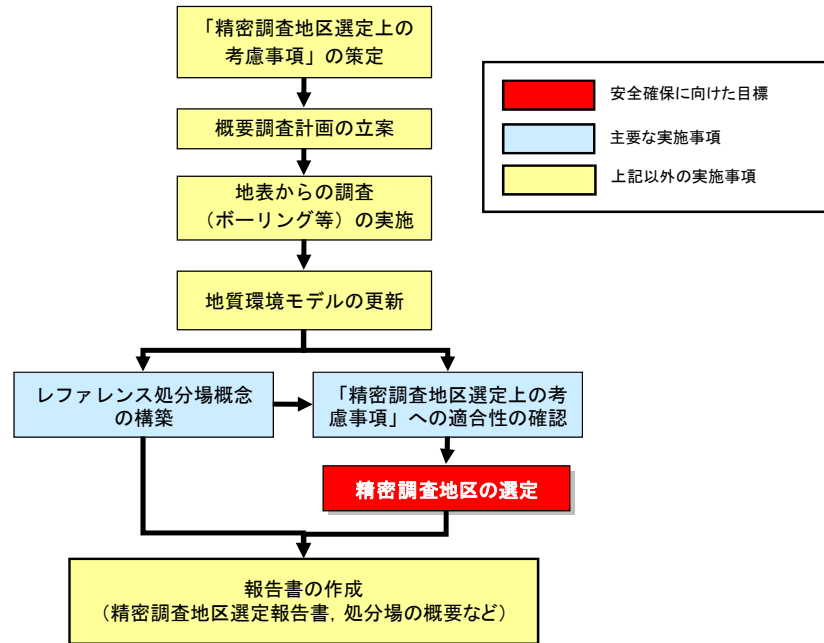
付図 2.1-5 処分場概念構築システムの設計機能の構成（原環機構, 2004）

## 付録2.2 精密調査地区選定段階に必要な技術の計画的な準備

付録—2.1 に引き続き、精密調査地区選定段階に必要な技術について整備状況を概説する。付図 2.2-1 には、精密調査地区選定段階の業務フローを示した。概要調査の開始に当たっては、「精密調査地区選定上の考慮事項」を公表し、概要調査計画に従って概要調査を実施する。概要調査では、調査区域において物理探査、地表踏査、ボーリング調査を実施する。これらの結果に基づいて、文献調査の結果について確認し、さらに、火山、地震などの自然現象について、新たに得られた結果と合わせて、その影響などを再度確認する。また、特廃法に記されている「坑道掘削に支障がないこと」や、「地下水流や活断層などが地下施設に悪影響を及ぼさないこと」などを岩盤特性などに基づいて確認する。以上に基づいて、応募区域の精密調査地区としての適格性を評価し、精密調査地区を選定する。その結果は「精密調査地区選定報告書」として公表する。

この段階では、文献調査に基づいて構築した処分場概念を、概要調査により新しく得られた地質環境特性データなどに基づいて更新する。また、人工バリア施工方法などの技術についても、この段階までの技術に基づいて、その技術的な実現性を評価して絞り込み、次段階の実証試験や技術開発の選択と集中を図る。このようにして構築された処分場概念を、各調査地区に対して設定し、レファレンス処分場概念と定義する。レファレンス処分場概念は、精密調査計画の検討や、次段階の設計、性能評価の詳細化の検討に利用する。これらの結果は「処分場の概要」に示す。

以下では、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フローに沿って示す。



付図 2.2-1 精密調査地区選定段階の業務フロー

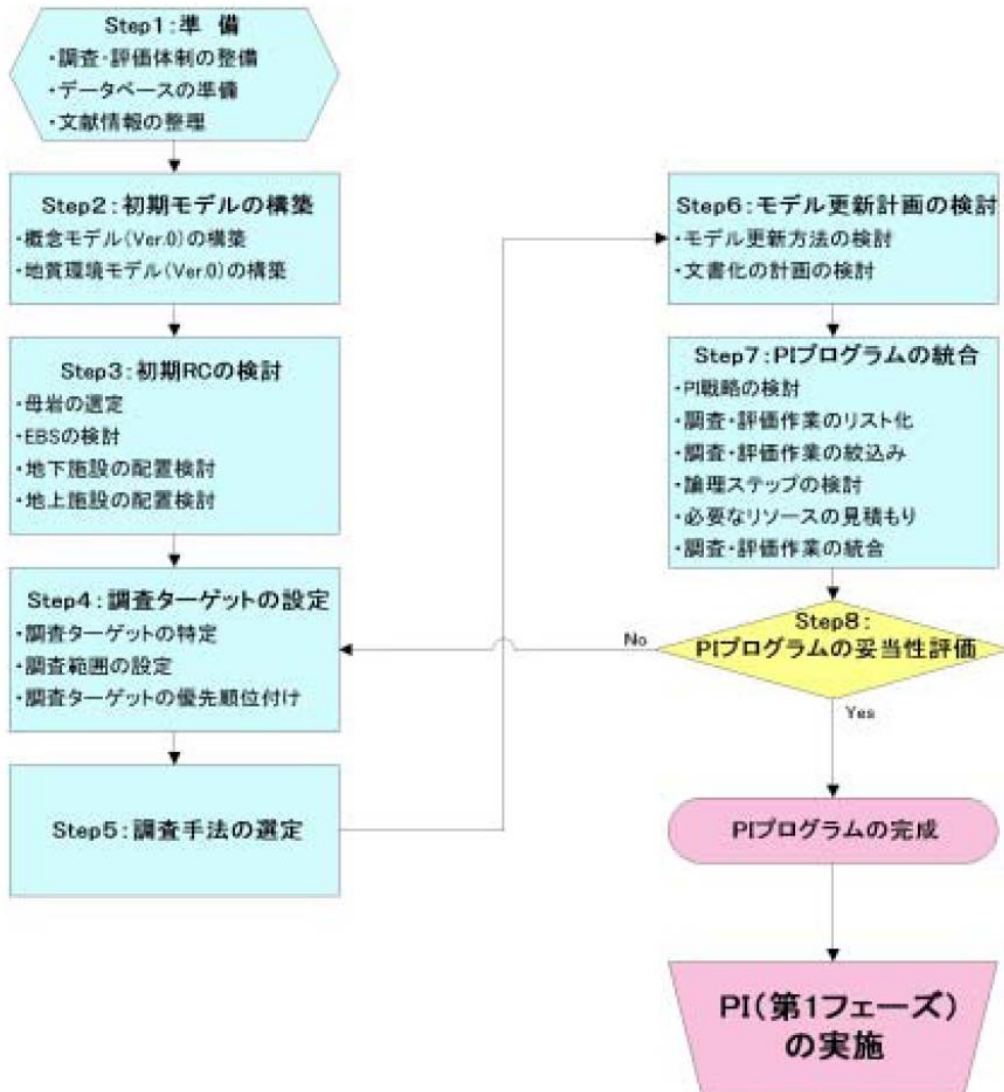
## 1. 「精密調査地区選定上の考慮事項」の策定

精密調査地区選定時には「法定要件」に関連して、火山、断層等の自然現象、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適切性の観点から、精密調査地区としての適格性を総合的に評価する。その際には、概要調査地区選定の妥当性を確認すること、および概要調査地区選定段階で文献の品質、信頼性などの観点から明確な評価・判断ができなかった場合には、そのため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、特廃法や、今後、検討が進められる原子力安全委員会による「環境要件」に基づいて定める。また考慮事項には、これらの要件に加えて、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る。

## 2. 概要調査計画の立案

概要調査計画の立案にあたっては、個々の調査項目の目標と反映先を明確化したうえで、調査の制約条件、サイトの地質環境条件に関する既知情報を勘案し、明確な調査戦略に基づき、計画を立案する。そこで、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（赤村ほか，2009b）。本マニュアルでは、地層処分に関わる国内外の知見（例えば、後藤ほか，2007）や有識者の意見を参考に、調査戦略や重要な意思決定のポイントなど、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、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

不確実性を把握する（付図 2.2-2）。次に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こととしている。

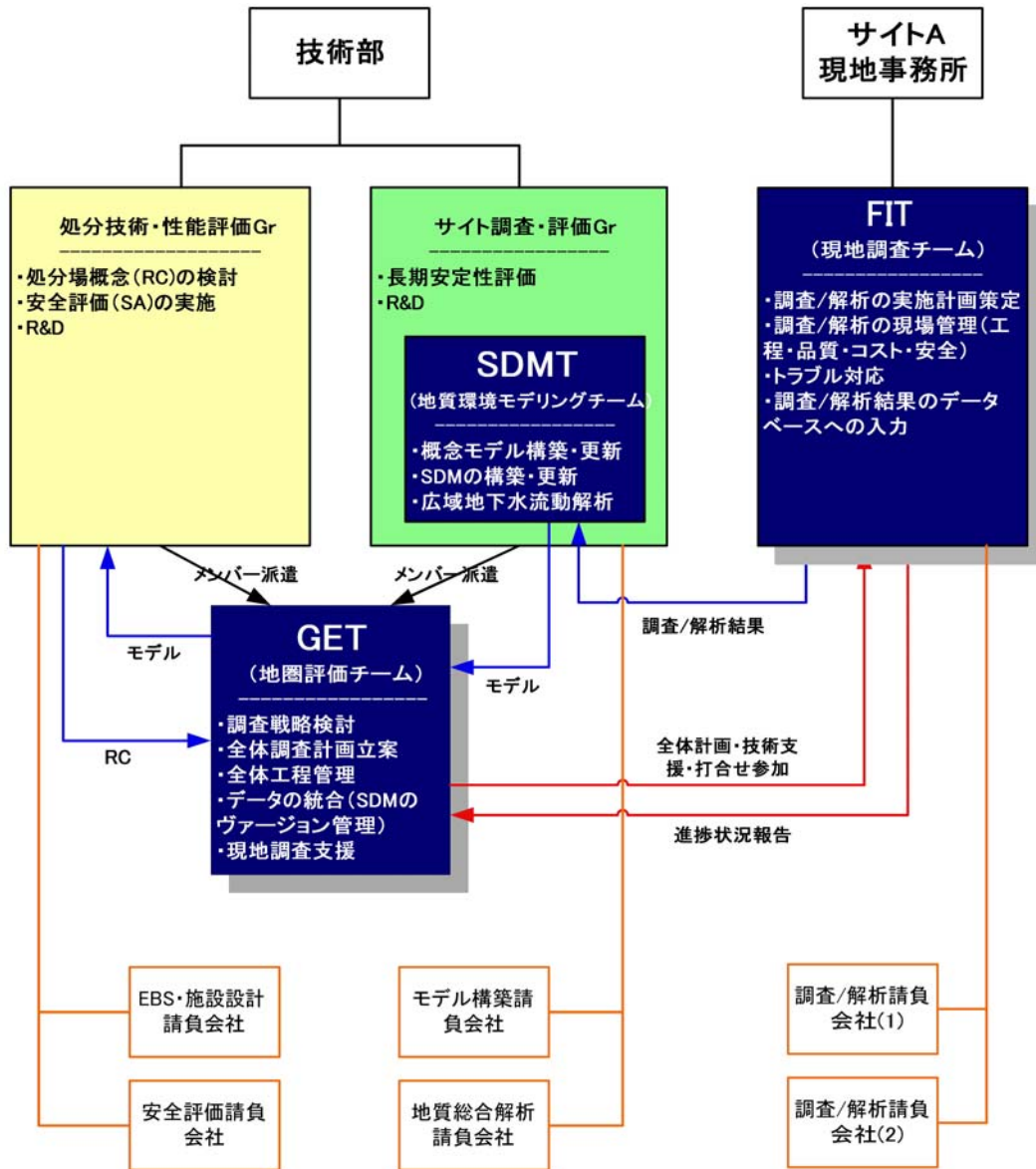


付図 2.2-2 概要調査における計画立案手順

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、長期安全性の評価の3分野の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、組織体制を整備する。付図 2.2-3 には、現段階の技術部の組織構成に基づいた、概要調査段階における組織体制を示した。まず、概要調査計画の立案を行う地質環境評価チームを、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構成し、全体的なプロジェクト管理を実施する。また、地質環境モデル作成に関する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。さら



に、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。以上のように、現地での概要調査の実施に対応できるよう体制の検討を進め、いつでも調査を開始できるよう準備を整えている。



付図 2.2-3 概要調査段階における組織体制（検討例）

### 3. 地表からの調査（ボーリングなど）の実施

概要調査に用いられるボーリング，物理探査，地表踏査などの現地調査は，基本的には現在用いられている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。

基盤研究開発などでは，原子力機構は，地下研究所の建設に向けて，瑞浪の結晶質岩お

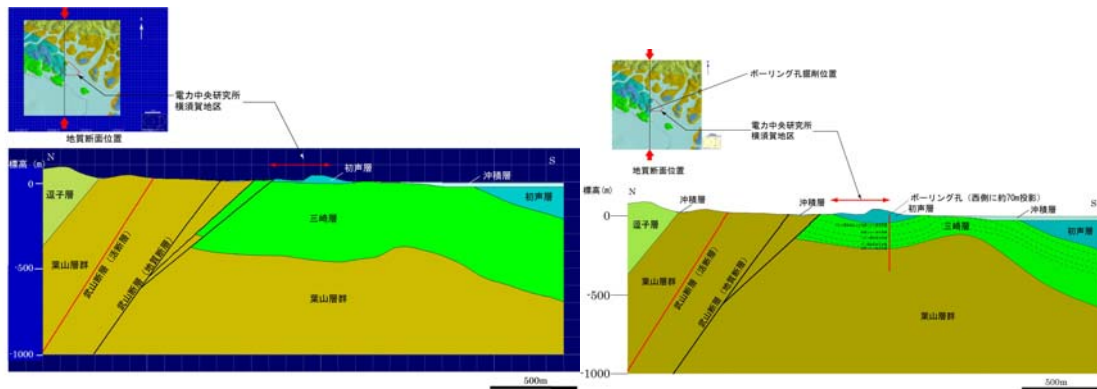
よび幌延の堆積岩を対象とした地表からの調査段階を終了し、地質、水理、地球化学、岩盤特性、物質移行などに係わるデータ取得から解釈・モデル化までの一連の調査・評価に関する事例研究の成果を取りまとめた（三枝ほか，2007；太田ほか，2007）。

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（原子力機構，2009a,b,c；産総研，2008；原環センター，2009a；電中研，2009a,b）。これらの技術は、地層処分事業の文献調査から精密調査の前半に必要な技術に相当している。

概要調査を円滑に実施するために、原環機構は、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（赤村ほか，2009c）。さらに、概要調査で用いる地質調査の技術について、日本の代表的な第三紀堆積岩の分布する神奈川県横須賀地区において、概要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の実証的な検討を行い、あわせてプロジェクト管理の方法などの修得を行った（三和ほか，2009）。2009年度までに、上記地区における技術の実証は終了し、今後は得られた情報を概要調査計画の策定などに反映する。

#### 4. 地質環境モデルの更新

地質環境モデルは、文献調査・概要調査の結果に基づいて作成するが、調査期間を何段階かに分け、その段階までの情報を取りまとめて更新することで、段階的にモデルの完成度を高める。モデル化・解析の手法や技術は、基本的に文献調査と概要調査の段階で変わるものではないが、新たに取得されるデータに基づいて地質環境モデルを構成する地質モデル、水理モデル、地球化学モデルをそれぞれ更新する。原環機構では、地質環境モデルを段階的に更新することの有効性について、横須賀実証検討を通して、実践的に検討しており、段階的に地質情報の不確実性が低減されることを確認した（付図 2.2-4）。



付図 2.2-4 横須賀実証での地質モデルの更新（左：文献情報に基づくモデル，右：地表調査およびボーリング調査に基づくモデル）

## 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に基づき、処分場の設計と閉鎖後長期の安全性について評価し、文献調査の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示すとともに、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、閉鎖後長期の安全性の評価では、処分場の設計と地質の長期安定性の評価などの結果に基づいて安全評価を実施し、安全性を提示する。

なお、精密調査地区選定段階では、ボーリング調査や物理探査などの概要調査の結果に基づいて、処分場概念の構築に利用した文献情報、特に地下地質構造や岩盤特性について、地下に関する情報は、文献調査に比べ格段に増加するものの、地質環境特性のデータに関して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、地質環境特性のデータの不確実性への対応として、概要調査地区選定段階においては、設計・施工に関して代替材料や技術を複数整備していた。しかし、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、オーバーパックの代替材料（炭素鋼，銅，チタン）や緩衝材搬送・施工の代替技術（ブロック方式，原位置締め固め方式，ペレット方式，PEM方式）などの技術から、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、代替技術を絞り込んでいく。

以上の工学的対策の検討，長期安全性の評価，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，文献調査の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。この段階には，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枠組み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項番号)

実施項目		主要な検討項目	主要な関連技術
処分場の機能・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 腐食データベース等
		構造仕様	オーバーパック設計技術等
	緩衝材	ベントナイト材料仕様	緩衝材特性データベース等
		構造仕様	緩衝材設計技術等
地下施設の概 念設計 (5.3)	処分深度	候補岩体の選定、掘削及び熱的制限からの可能深度	地下水流動解析技術 岩盤安定解析技術
	地下坑道	内空断面仕様、支保仕様（材料選定を含む）	岩盤安定解析技術 耐震設計技術 低アルカリ性セメントの材料開発等
	レイアウト	処分場の配置、アクセス方式等	地下水流動解析技術 操業安全性に関する対策技術等
地上施設の概 念設計 (5.3)	廃棄体受け 入れ・検 査・封入施 設	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・耐震設計技術等 耐震設計技術
	その他の施 設・設備	その他の施設・設備仕様	一般的な建屋・設備・設計技術等 港湾の設計技術 耐震設計技術
建設に関する検討 (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等
		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）
操業に関する検討 (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等
		廃棄体および緩衝材の搬送・定置方式	緩衝材搬送・定置技術等
閉鎖に関する検討 (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、坑口処理等のその他の対策方法、仕様	マーカー、坑口処理等の対策技術
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
閉鎖後長期の安全性の評価 (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等
		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等 数値解析技術 汎用解析コード等
		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等
		その他の指標等	ナチュラルアナログ研究等

## 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。

そこで、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（原環機構，2009）。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、安全機能が確実に実現されるよう、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。

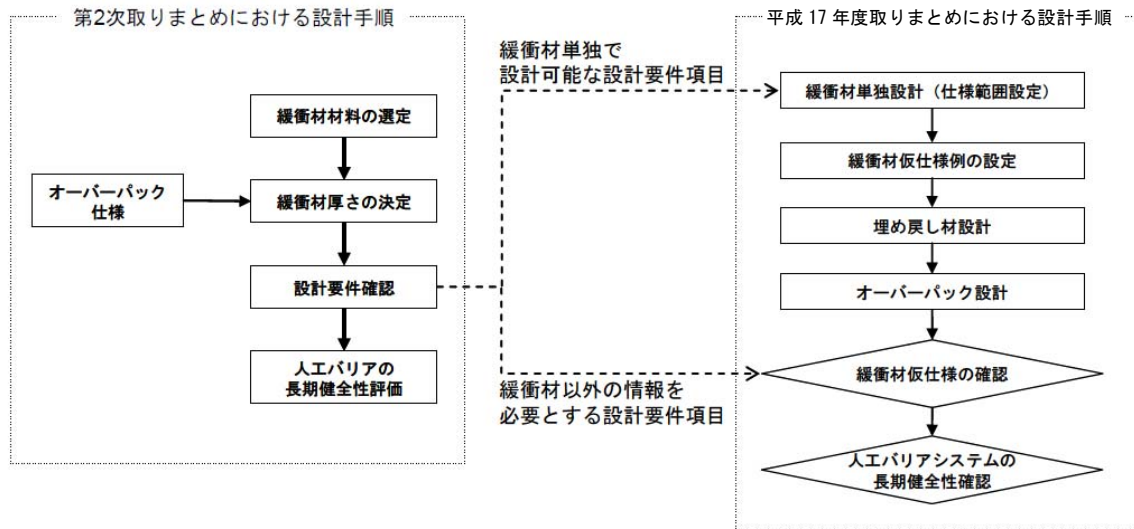
処分場の基本的な安全機能（遮蔽，隔離，閉じ込め，核種移行抑制・遅延）などは、処分場が本来的に具備すべき機能であることから、サイトの地質環境に依存して大きく変わることはない。ただし、概要調査の結果に基づいて、新たな安全機能を追加する可能性がある。一方、設計要件は、サイトの地質環境下において設定した安全機能に示された性能が確実に発揮されるように設定する。そのため、岩盤特性や地下水特性，人工バリア材料特性をよく把握した上で設定する。なお、概要調査で得られる情報は限られることから、不確実性を考慮して以上の検討を進める。また、設計要件に対して、この段階までに示されている法令や指針類に基づいて設計基準などを整備する。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により可能であるが、調査区域の地下環境特性や、それに応じた緩衝材搬送・施工方式の検討に合わせて、5.1に示したように、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。例えば、深地層の研究所周辺での環境への適用性に応じて人工バリアなどの設計手法を修正するプロセスが提示されている（図 2.2-5; サイクル機構，2005b）。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。

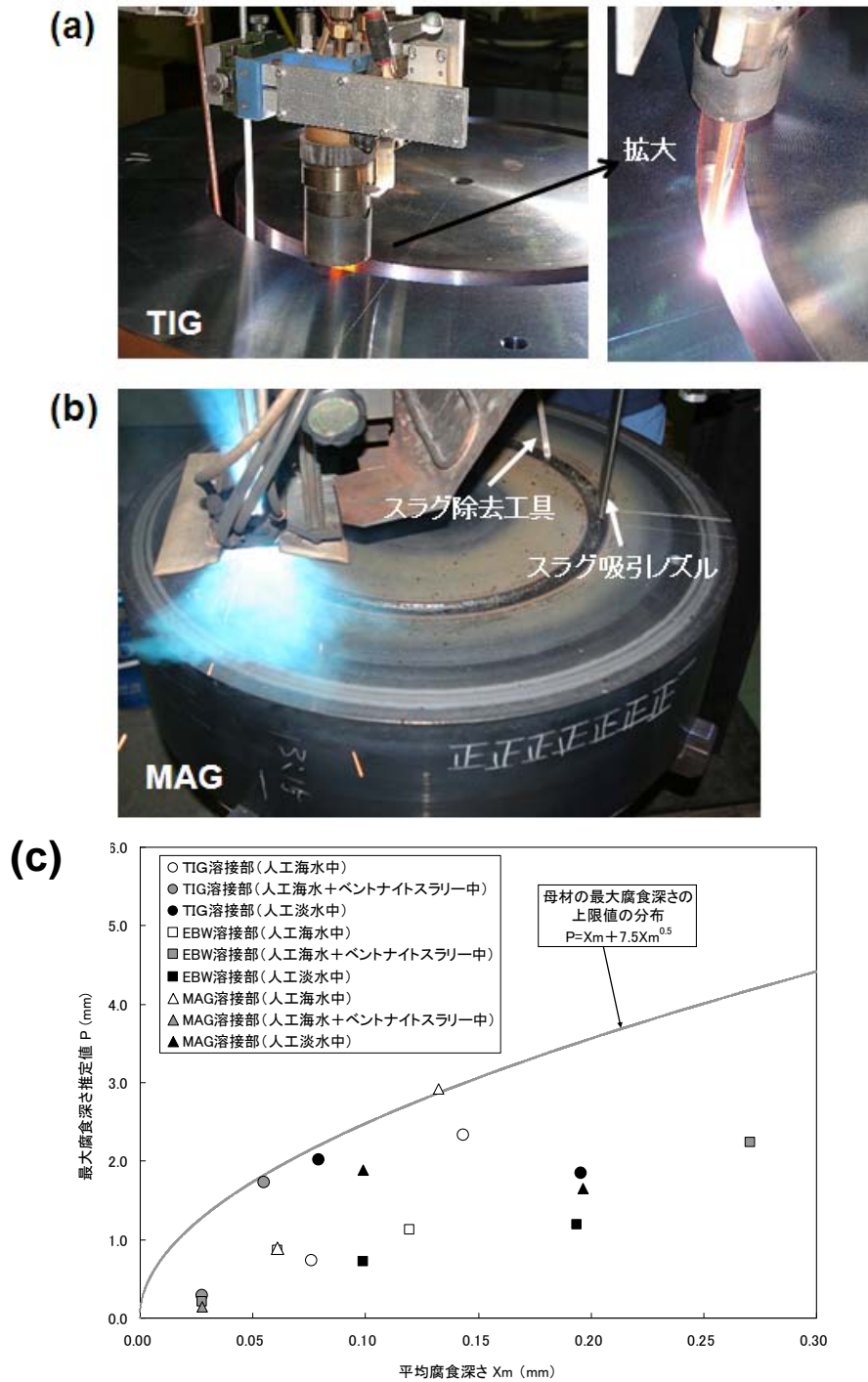


付図 2.2-5 人工バリア設計手順の修正（サイクル機構，2005b を一部修正）

#### (1) オーバーバック材料の選定と腐食挙動評価

これまで、オーバーバックの候補材料としては、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バ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、選定においては、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。

炭素鋼オーバーバックについては、第2次取りまとめ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。(サイクル機構，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(図 2.2-6; 原環センター，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(サイクル機構，2005b)。以上のように、2000年以降、オーバーバックの溶接技術や溶接部腐食挙動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。



付図 2.2-6 オーバーパックの溶接技術に関する要素技術の実証的な確認試験 (a) TIG 溶接の試験 (原環センター, 2009b を編集, 一部改変), (b) MAG 溶接の試験 (原環センター, 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 (原環センター, 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。



## (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に適したベントナイト材料を選定し、また、乾燥密度等の仕様を設計する。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予定である。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。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@ベントナイトや、海外で検討が進んでいるMX80@ベントナイトなどの基本特性データが収録されている。このデータベース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検討や予測モデルなどの開発が大きく進展している。(原子力機構, 2005b; 原環機構, 2010b)。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により実施する(サイクル機構, 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(亀裂性岩盤など)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(原環機構, 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・破砕帯からの離隔、廃棄体からの発熱などの閉鎖後安全性の観点に加え(原環機構, 2008c)、地上施設との位置関係、操業工程、操業環境の維持(換気、排水等)、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、個別の施設とその設計の考え方や手法については、すでに整備されており、今後は、これらを実際のサイトの地質環境特性に合わせて、適切

に実施する。

#### 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で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、日本原子力機構により、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）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（図 2.2-7；原子力機構，2006）。一方、原環機構は、SKB、Posiva との国際共同研究や電力中央研究所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（原環機構，2004c；原環機構，2008d）。以上の技術開発により、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。



付図 2.2-7 HFSC 吹付コンクリートの模擬施工状況（原子力機構，2006）

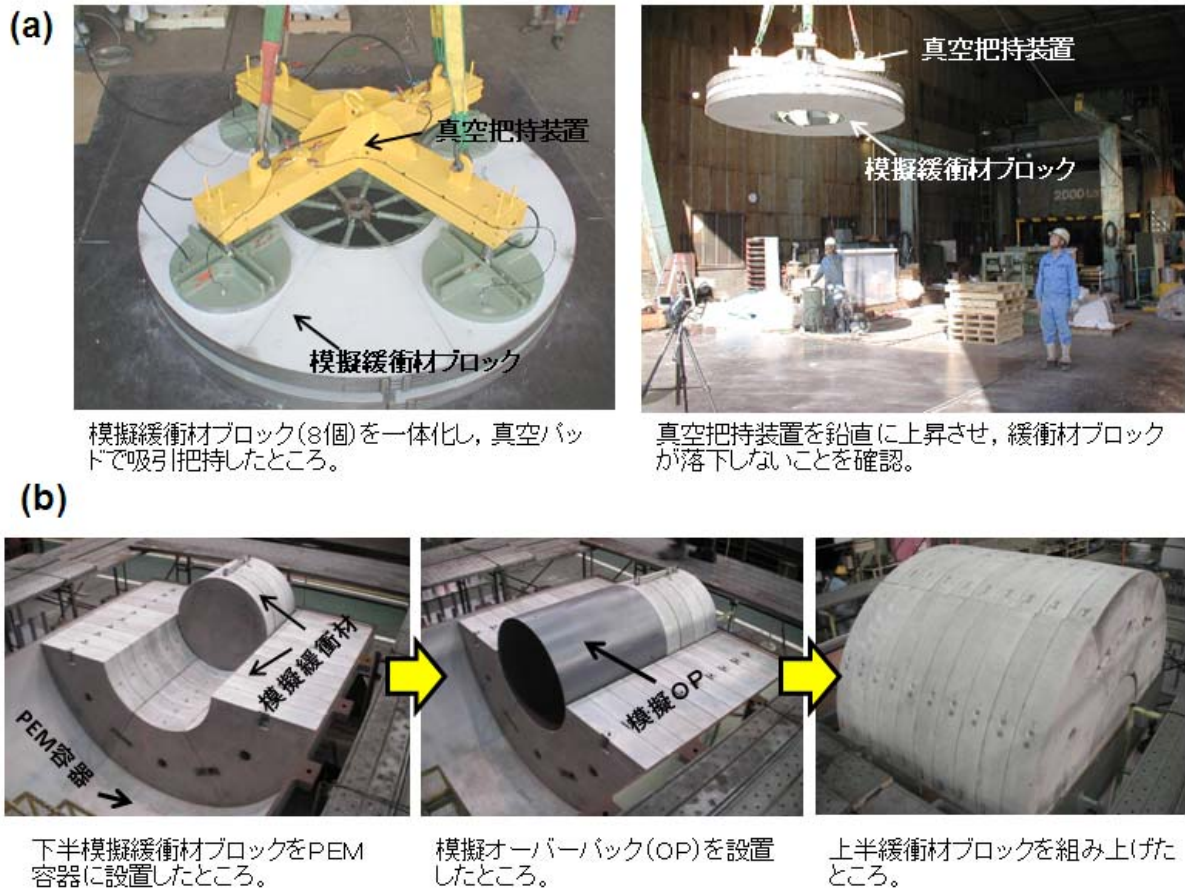
#### 5.5 操業に関する技術

この段階では、処分場の操業に関するこの段階までで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時の代替技術の絞り込みに向けて、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代替技術の検討では、第2次取りまとめにおいて、すでに、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が行われるなど、ペレッ

ト充填方式や PEM 方式などについても技術開発が進められている（図 2.2-8, 原環センター, 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の考え方を整備している。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）。また、緩衝材や廃棄体定置時の品質の影響について検討を進め、操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実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、原環機構及び基盤研究開発機関などと海外の実施主体（SKB, ANDRA, POSIVA, Nagra, USDOE）や研究機関（原子力機構、原環センター等）との間で、関連技術に関する意見交換などが行われた（NEA, 2007）。この中で、人工バリア、埋め戻し材、プラグ等の設計とその施工に関する実証試験の現状について、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。



付図 2.2-8 材施工技術に関する要素技術の実証的試験 (a) ブロック施工方式における緩衝材真空把持に関する技術の確認 (原環センター, 2006 を編集, 一部改変), (b) PEM 方式における人工バリア組み立てに関する技術の確認 PEM 組立試験 (原環センター, 2008a を編集, 一部改変)。

## 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。

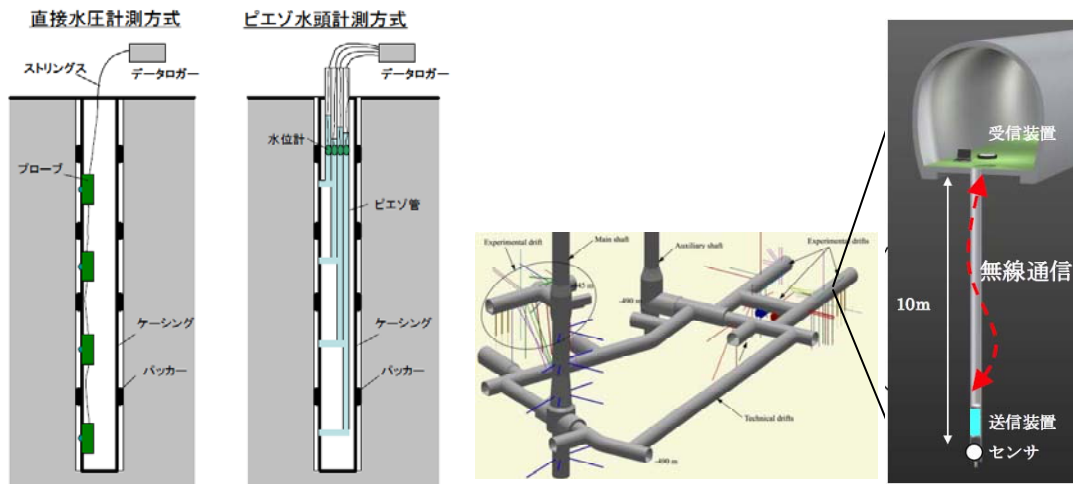
第2次取りまとめにおいては、処分場の閉鎖方法として、埋め戻し材、プラグや坑口処理などについての検討が行われているが、2000年以降、原環機構では、閉鎖に関する工学

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、原環機構は、原子力機構と共同で、埋め戻し材やプラグなどの単体評価ではなく、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（原環機構, 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（原環機構, 2010c）。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いる。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（図 2.2-9(a); 例えば、サイクル機構, 2005a; 原子力機構, 2009）。この他、原環センターはフランス ANDRA と共同でバリア擾乱を低減する無線モニタリング手法の実証や（図 2.2-9(b); 原環センター, 2008）、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（原環センター, 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。



付図 2.2-9 モニタリング手法の開発事例。(a) 間隙水圧モニタリング手法(サイクル機構, 2005a), (b) 無線モニタリング手法の技術イメージ(原環センター, 2008c を一部改変)

## 5.8 閉鎖後長期の安全性の評価

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・パラメーター設定を実施する。

シナリオ解析については、この段階では、上述の地質環境情報や処分システムの仕様に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）やその不確実性を考慮しつつ、人工バリアシステムなどの長期的な変遷を、熱、水、応力、化学などの人工バリアとその周辺の環境条件対してシナリオ化（ストーリーボード<sup>1</sup>）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を組み合わせ、新たなシナリオ解析手法を開発している（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効率的に整理するための計算機支援ツールなどが開発されている（例えば、牧野ほか, 2007）。

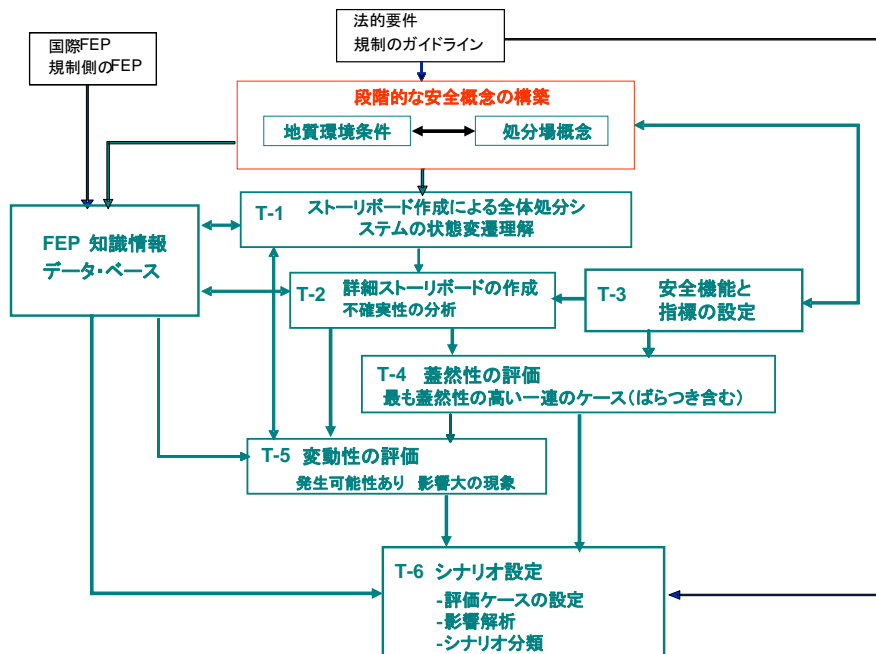
モデル開発については、プロセスモデル（個別現象とその影響を現実的に評価するモデル）とシステムモデル（複数の現象の簡略化・統合化によりシステム全体の挙動を評価するモデル）を相互補完的に組み合わせて用いる。この段階では、得られる地質環境情報に基づき、これら二つのモデルによる検討を通じて、考慮すべきプロセスが適切に取り込まれているシステムモデルを構築する。このため、第2次取りまとめ以降、システムモデルにおける簡略化・統合化の妥当性をプロセスモデルによって確認することを目的として、プロセスモデルを中心とした開発が進められている。具体的には、三次元核種移行解析モ

<sup>1</sup> 核種移行に関する複雑なプロセスを、模式図と文字を用いて THMC の視点で概念的に表現したもの。

デルの開発 (Wakasugi et al., 2008) やガラスの溶解に関するミクروسケールのモデル開発 (原子力機構, 2008) など, 核種移行に関わるプロセスをより現実的に評価するための技術開発及び基盤研究開発が進められている。

核種移行パラメータ設定においては, 実際のサイトから採取した試料に対して拡散係数や分配係数データを活用するが, この段階ではまだ十分な数量のデータが得られない可能性もあることから, 既存の核種移行に関するデータベースなどに基づいて, データのばらつきの範囲などを推定し, パラメータ設定を実施する予定である。たとえば, 2000 年以降, 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 (サイクル機構, 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., 2008) に関する検討が継続して進められている。また, これらの収着や拡散のデータの取得方法の標準化の検討も進められており (日本原子力学会, 2006), 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, モデル開発や核種移行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, 安全評価技術が大きく進歩している。



付図 2.2-10 国際的な動向も踏まえ開発を進めているシナリオ解析手法 (Wakasugi et al., 2009 を和訳)

## 6. 「精密調査地区選定上の考慮事項」に対する適格性などの評価

第2次取りまとめ以降, 断層活動, 火成活動, 隆起・侵食などの自然現象に関する評価

技術は大きく進展した。原環機構では、概要調査においては既存の信頼性のある技術を組み合わせることを基本としているが、概要調査の実施に向けて合理性や効率性を向上させることを目的に評価技術の高度化を進めてきた。一方、基盤研究開発では、既存手法の信頼性をより高めるために、現地調査データに基づく評価手法の高度化を進めてきた。

断層活動については、原環機構は、付録 2.1 の 4. で述べた活褶曲帯、活断層帯、伏在断層に関する評価手法に加えて、年代測定法を軸とした地下深部で遭遇する断層の活動性評価手法（高橋ほか，2009）などの検討を進めてきた。一方、国の基盤研究としては、原子力機構によって地下の活断層調査手法の検討、断層の活動性の評価技術、断層の影響範囲のモデル化などの研究開発が行われてきた（サイクル機構，2005a）。

火成活動については、原環機構は、付録 2.1 の 4 で述べた火山フロント背弧側の新規火山の発生、既存火山の側方移動、大規模カルデラの発生、熱・熱水の影響に関する評価手法の検討を進めてきた。基盤研究では、原子力機構によって第四紀火山および熱水活動の評価技術の開発・高度化、深部マグマや熱源の探査技術、熱源からの周辺地質環境への影響評価技術に関する研究開発が行われた（サイクル機構，2005a）。

隆起・侵食については、原環機構は、付録 2.1 の 4 で述べた隆起量・侵食量の評価手法の検討を進めてきた。基盤研究では、原子力機構によって段丘による上下変動量、測地的・地質学的手法による水平変動量を推定する技術、局所的侵食率測定技術、地形変化シミュレーションなどの技術開発が行われた（サイクル機構，2005a）。

地質環境特性の調査・評価に関する技術についても、第 2 次取りまとめ以降大きく進展した。原環機構は、日本の地下工事の事例などを踏まえた総合的な岩盤評価手法（志田原ほか，2007）、現地観測データに基づく地下深部の地震動評価手法（Oouchi, et al., 2009）、付録 2.1 の 4 で述べた様々な地質条件との関連性や地下水化学組成との整合性を考慮した地下水流動評価手法、応力解析による地震の水理学的影響の評価手法（金沢ほか，2008）、タイプ分類に基づく断層の水理特性の調査・評価手法（後藤ほか，2009）などの検討を進めてきた。

前述のとおり、「精密調査地区選定上の考慮事項」は、文献調査の段階において、今後策定されるが特廃法および土木学会（2006）などを参考に考慮事項を仮設定し、上記の新たな成果と既存手法を組み合わせ、断層活動、火成活動、隆起侵食、および地質環境特性に関する文献調査および概要調査の考え方と手順を体系的に取りまとめ、調査・評価フローの検討を行っている（大東ほか，2008）。さらに、これらすべてを統合し、精密調査地区としての適格性の評価、処分場設計、および安全評価への情報提供の流れを示した統合化フローも作成している。今後、考慮事項の策定状況に合わせてこれらのフローも適宜見直し、適切な精密調査地区選定に向けた準備を整えていく。



### 付録2.3 事業管理に関する技術の整備状況

処分事業は、段階的なサイト選定から処分場の閉鎖・事業廃止まで100年近くにわたる事業である。段階的なサイト選定プロセスの進展に伴い、徐々に明らかになるサイト特性情報の詳細化、技術の進展や、社会経済的・政治的条件の変化が予想される。原環機構は、これらの変化に柔軟に対応しながら、地層処分事業を長期間にわたり管理していかなければならない。そのため、事業管理に関する技術の整備にも取り組んでいる(原環機構, 2007)。

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。スケジュール、コストや資材の管理については、一般的な方法論を適用して取り組むことができると考えられるが、一方、品質、人的資源、リスク・不確実性、技術開発の管理に関しては、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、事業初期の高い不確実性など)を考慮した取り組みが必要である。

これらのうち、事業のリスク・不確実性への対応の方策については、段階的な事業推進として、3.1で、そして、その具体的な展開を4.1で示した。品質、人的資源、技術開発の管理の方策は3.2で、さらに、その具体的な展開は4.2で示した。

これらの事業管理は基本的に機構の職員によって進められるものであるが、着実に方策を実施するためのツールとして、品質マネジメントシステムなどの事業管理のためのインフラや支援システムの整備が必要不可欠である。原環機構としては、例えば、文献調査で得られるデータの管理を効率的に実施し、「地質環境データ管理システム」、ならびに、処分場概念の構築時の要件や基準類を記録管理する「要件管理システム」などのソフトウェアツールの開発に取り組み(原環機構, 2009)、品質保証活動に活用していく計画である。