

要約

I. 本報告書作成の背景と目的

1999年に核燃料サイクル開発機構（現、日本原子力研究開発機構（以下、JAEA という））は、地層処分技術にかかわる20年以上にわたる研究開発成果を集大成し「第2次取りまとめ」¹として公表した。この第2次取りまとめは、2000年に原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会によって、「我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が示されている」、「地層処分の事業化に向けての技術的拠り所となる」と評価された。

原子力委員会が示した「基本的考え方」²および「第2次取りまとめ」を受けて制定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（以下、最終処分法という）に基づいて、2000年10月に原子力発電環境整備機構（以下、NUMO という）が、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、長半減期低発熱放射性廃棄物の一部も地層処分の対象（以下、地層処分低レベル放射性廃棄物という）とされたことから、NUMOはこれを事業の対象に加えた。

また、最終処分法の改正を受け「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」が2007年に改正されて地層処分事業に関する規制が追加され、その後、2008年には関係省令が制定されるなど、地層処分に関する国による安全規制の枠組みが整備された。

一方、NUMOは、2000年の設立以降、事業の安全な実施に向けて技術の整備に努めるとともに、今日までさまざまな理解活動や広報活動を展開してきたが、概要調査地区選定段階の調査（文献調査）を開始するには至っていない。NUMOは国や電気事業者、関係機関と連携し、総力を挙げ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。

そのような状況の中で、2008年には、原子力委員会政策評価部会により、地層処分の安全性についての説明に対する国民の信頼を確保するために、「NUMOは（中略）、安全な処分の実施に係る技術的信頼性に関する技術報告をとりまとめ、学会等、第三者的で独立性の高い学術的な機関の評価を得て公表するとともに、この説明が常に最新の知見を踏まえているものであるように、定期的に改定していくべき」との提言がなされた。

このような状況を踏まえ、NUMOでは、「安全な処分の実施に係る技術的信頼性が向上したことを示し、地層処分事業の安全確保に関する説明の技術的拠り所とする」ことを目的として、2000年のNUMO設立から現在までの地層処分技術の整備状況を中心とした報告書「地層処分事業の安全確保（2010年度版）～確かな技術による安全な地層処分の実現のために～」を取りまとめて、公表することとした。報告書は、安全確保構想（安全確保に向けた取り組み方針）を示した「事業編」と安全な地層処分を支える技術の整備状況を示した「技術編」とで構成される。なお、本報告書は、日本原子力学会に専門的な観点から内容についての評価をいただき、また国際的な専門家のレビューを受け、それらのコメントを反映して取りまとめたものである。

II. 事業編の要約：安全確保構想

本報告書の事業編では、「第2章 わが国における地層処分事業の背景」で地層処分の必要性やNUMOが実施する地層処分事業の概要など、本報告書の背景や前提となる事項について解説した。

¹ 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—（核燃料サイクル開発機構、1999）

² 高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について（原子力委員会、1998）

その上で、「第3章 安全確保構想」で安全確保の目標、安全確保策、安全確保に向けたNUMOの方針を提示した。また、「第4章 地層処分事業の段階的な推進」では、地層処分事業をNUMOの安全確保に向けた方針に基づいてどのように実現していくのかを具体的に提示した。

安全確保の目標

地層処分の最終的な目標は、処分場閉鎖後の遠い将来にわたって放射性廃棄物が人間とその生活環境に影響を及ぼさないようにすること（閉鎖後長期の安全確保）である。一方で、サイト調査から事業廃止までの事業期間中の地域住民や作業従事者の安全確保（事業期間中の安全確保）を図ることが重要である。そのため、地層処分事業で達成すべき安全性にかかわる目標として以下の二つを設定した。

- ・ 閉鎖後長期の安全確保
- ・ 事業期間中の安全確保

地層処分は、閉鎖後長期の安全確保という目標を達成するために、放射性廃棄物を地下深くに閉じ込め（閉鎖後閉じ込め）、人間の生活環境から隔離することを基本とするシステムである。そのため、放射性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安全性を確保する。このような閉鎖後閉じ込めと隔離を実現するために、以下の三つの安全確保策を確実に実施する。

- ・ 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・構築する（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）。

事業期間中の安全確保のためには、サイト選定から事業廃止までの事業中の各段階において、地域住民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行う。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・操業などで経験を有する技術を有効に活用すると同時に、地層処分の特殊性も考慮して、必要な技術開発を行う。一方、事業期間中の安全確保のために講じるさまざまな対策が、閉鎖後長期の安全確保に有意な影響を及ぼさないよう配慮する必要がある（例えば、処分場を建設・操業するために設置・使用する機材などの残置物が処分場の閉鎖後にも残るために、処分場の閉鎖後長期の安全性に有意な影響を及ぼす可能性があるというケース）。また、地層処分事業においては、周辺環境へ十分な配慮をすることも重要であり、事業期間中に実施するさまざまな活動が周辺環境に及ぼす影響を評価し、適切な環境保全策を講じる。

安全確保の目標を達成するための方針とその実施方策

地層処分事業を安全に行うために、100年程度にわたる事業の中で閉鎖後長期の安全確保策や事業期間中の安全対策をどのように実施し、安全な地層処分システムを作り上げていくかが、事業者の視点として重要である。この点を考慮して、以下の三つの方針を提示した。

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

以下に、これらの安全確保の目標を達成するための方針とその実施方を概説する。

(1) 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

地層処分は、サイト選定の開始から処分場の建設・操業を経て最終的に処分場を閉鎖し、事業を廃止するまでに100年程度を要する長期にわたる事業である。そのため、長期間に起こり得る社会情勢の変化に適切に対応し、技術開発の進展などを適宜取り込んで事業を推進することが必要である。そこで、段階的に事業を推進することにより、地層処分システムの安全性を繰り返し確認しつつ、必要に応じて計画を修正し、将来の地層処分を取り巻く環境や条件の変化に柔軟に対応していく。

具体的には、長期にわたる事業期間全体を俯瞰して、安全確保ロードマップを作成し、計画的かつ合理的に事業を進める。安全確保に向けた取り組みの結果は、地層処分の長期的安全性を支持するさまざまな論拠を、概要調査以降の各段階における知見に基づき取りまとめた一連の文書群（セーフティケース）として取りまとめる。

また、閉鎖後長期の安全確保に関しては、事業の進展に伴い段階的に拡充・詳細化される地質環境の情報や技術開発などにより得られた最新の知見に基づいて、信頼性を常に向上させていく。例えば、サイト選定段階においては、概要調査地区選定段階の調査（文献調査）、地上からの調査を主体とした精密調査地区選定段階の調査（概要調査）、地下の調査施設を利用した処分施設建設地選定段階の調査（精密調査）と進むに従い、段階的に地質環境に関する情報が質・量ともに充実する。これらの情報に基づき、処分場の設計と安全性の評価を繰り返し実施し、得られた結果を次段階の調査計画に反映することにより、地層処分の安全性にかかわる信頼性を段階的に高める。

地層処分では数万年以上の長期にわたる安全性を担保する必要があるため、また広大で特性にばらつきのある地下を活用するため、ある程度の不確実性が存在することは避けられない。従って、最新の科学技術的知見を適切に反映するとともに、不確実性の残る部分についてはそれらを考慮した上で安全性が確保されていることを示していく。

一方、事業期間中の安全確保に関しては、事業段階ごとの安全対策と環境保全策の計画を策定し実行する。そして、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、安全対策を高度化し、周辺環境への影響を回避・低減する。

これらの点を考慮し、以下の三つを方針1の実施方策とした。

- ・ 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策

(2) 方針2：信頼性の高い技術を用いた事業推進

地層処分の安全性を確保するためには、必要とされる技術の適用性や信頼性を評価し、確認する

ことが重要である。地層処分に特有な技術（例えば、人工バリアの搬送・定置技術など）については、個別の技術の開発とその統合化を行い、計画的に技術の整備を進める。開発した技術は、処分施設建設地選定段階（精密調査の段階）に建設する地下調査施設（実サイト）などでの実証試験を通じて実用化を図る。

一方、汎用的な技術（例えば、ボーリング調査技術など）については、他分野で実績のある技術を用いる。その際には、必要に応じて適用性を確認した上で事業に活用する。

地層処分事業の実施に必要な技術は多岐にわたっており、また必要となる時期やその要求される到達レベルがそれぞれ異なる。そのため、事業の各段階で技術開発課題を体系的に整理し、技術開発ロードマップとして展開することにより、計画的かつ合理的に必要な技術を整備していく。この技術の整備は、わが国の技術開発の枠組みに基づき、NUMO と基盤研究開発機関³が適切に役割を分担し効率的に実施する。

事業の実施には、技術の整備に加えて、事業の中でそれらの技術を合理的・効率的に活用していく仕組みをつくることが重要であることから、NUMO は、ISO や IAEA などの国際的な基準や指針を参考にして、わが国の地層処分事業に適した品質保証体制を構築し運営していく取り組みを鋭意進める。また、科学技術的な品質を保証するために、学会や NUMO の技術アドバイザー委員会などでのレビューを通して専門家の客観的評価を受け、情報の品質（信頼性）確保に努める。

以上の取り組みに加え、技術を実際に利用する NUMO の組織体制の整備と人材確保・育成や国内外の関係機関との技術協力を推進する。

これらの点を考慮し、以下の三つを方針 2 の実施方策とした。

- ・ 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
- ・ NUMO の組織および国内外協力体制の整備

(3) 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の各段階で地域住民の理解を得ながら進めていくことが重要である。段階的に地層処分事業を進めていく過程において、地域の意見を聞き、これを十分に尊重することが、最終処分法にも定められている。

事業を進める上で、地域住民や国民に適宜、信頼性の高い情報を提供していくことは、事業者としての責務であり、また NUMO に対する信頼を得るためにも重要である。特に、安全性の確保は地域住民や国民にとって最も関心のある事項であると考えられることから、安全性に関するさまざまな情報を可能な限り具体的に、積極的かつ透明性をもって提供していく。また、情報提供に当たっては、対話活動や意識調査などを通じて人々の求める情報を的確に把握し、可能な限りそれに応えていくことが重要である。

³ 資源エネルギー庁は、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、地層処分基盤研究開発調整会議（以下、調整会議という）を設置した。この調整会議に参加している機関（日本原子力研究開発機構、原子力環境整備促進・資金管理センター、電力中央研究所、産業技術総合研究所、放射線医学総合研究所）を基盤研究開発機関という。

これらの点を考慮し、以下の三つを方針3に関する実施方策とした。

- ・ 事業の各段階における意思決定にかかわる情報提供
- ・ 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
- ・ 将来世代が適切な判断を行うための環境整備

また、これらの実施方策を段階的な事業推進の中でどのように展開していくかを信頼感醸成ロードマップとして提示した。

III. 技術編の要約：安全な地層処分を支える技術

安全な地層処分を支える技術については、事業の各段階で、その時点で利用可能な最適で信頼性の高い技術を用いることが必要である。そこで、原子力政策大綱に示された役割分担のもと、NUMOでは地層処分の安全な実施と経済性および効率性の向上などを目的とした技術開発を進め、基盤研究開発機関で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な研究を実施している。

本報告書では、「第5章 地質環境の調査・評価技術」、「第6章 処分場の設計、建設・操業・閉鎖技術」、「第7章 地層処分システムの長期安全性評価技術」において、NUMOと基盤研究開発機関の技術開発成果を中心として、第2次取りまとめ以降の技術の進展を示した。さらに「第8章 概要調査地区選定段階および精密調査地区選定段階の技術的取り組み」では、第4章で述べた各段階の目標や実施項目および実施手順を示すとともに、第5章、第6章、第7章に述べた技術の適用について実施手順に沿って具体的に示した。

技術の整備状況を取りまとめる際には、関係機関である日本原子力研究開発機構、原子力環境整備促進・資金管理センター、産業技術総合研究所、電力中央研究所、放射線医学総合研究所、電気事業連合会、日本原燃株式会社の協力を得て、最新の技術開発成果を取り入れた。

1. 地質環境の調査・評価技術の進展

第2次取りまとめでは、わが国には地層処分概念の成立に必要な条件を満たす地層が広く存在し、当時の調査・評価技術を用いて、ある地域がそのような条件を備えているか否かを判断できることが示された。NUMOでは、第2次取りまとめ以降、概要調査地区選定ならびに精密調査地区選定に向けて、自然現象の影響および地質環境特性にかかわる調査・評価技術の体系を整備してきた。また、これと並行して、調査・評価技術の信頼性を向上させるため、NUMOおよび基盤研究開発機関が中心となり、地質環境にかかわる情報整備や、調査・評価体系を構成するさまざまな手法の改良・高度化を進めてきた。以下に、主要な技術の進展について概説する。

(1) 自然現象の影響にかかわる調査・評価技術の進展

わが国は変動帯に位置しており、処分施設建設地として選定されるサイトに対しては、例えば火山・火成活動による地下施設へのマグマの貫入・噴出や熱水の流入、地震・断層活動による地下施設の破壊、隆起・侵食による地下施設の地表への急速な接近といった自然現象による著しい影響を、将来にわたり回避できる場所であることが求められる。このような自然現象については、第2次取

りまとめなどにおいて、将来 10 万年程度までは十分な証拠に基づく予測が可能であるとされた。NUMO では、これを踏まえ、さらに長期の安全評価を行う可能性も考慮して自然現象の将来予測の考え方を整理し、第 2 次取りまとめ以降の研究の進展を取り込んだ調査・評価の進め方を示した。

自然現象の将来予測については、地域ごとおよび事象ごとに異なる過去に関する情報の量・精度、そして、地質構造の発達過程を考慮し、予測に用いる仮定を明らかにした上で、外挿⁴などの方法により行う。安全評価に向けた将来予測の期間は、予測に伴う不確実性の程度に応じて、期間 A：十分な過去の情報に基づく外挿法による予測が可能な期間、期間 B：不確実性は大きくなるが外挿法による予測が可能な期間、期間 C：外挿法による予測が難しい期間の三つに区分して設定する。

火山・火成活動の調査・評価技術については、ホットフィンガーモデルに代表される火山分布の規則性・偏在性にかかわる新知見がもたらされ、また、地震波トモグラフィなどの深部のマグマの存在を推定するための地球物理学的な探査手法にも進展が見られた。さらに、非火山地域の熱水活動の調査・評価手法や、単成火山群の確率論的な評価手法が開発された。NUMO では、これらの知見や技術を活用し、火山・火成活動の著しい影響を回避するための体系的な調査・評価技術を整備した。加えて、それを補足するための技術として、海外で用いられている複数の確率論的手法に基づく評価手法を開発した。

地震・断層活動については、近年起こったいくつかの地震の位置・規模と既存の活断層に関する情報との間に乖離が見られたことを背景に、地形学、地質学、測地学、地震学、地球物理学の各分野で、活断層の検出にかかわる手法の開発あるいは既存手法の高度化が進められている。これらにより、変位地形が不明瞭な活断層や伏在断層を検出する技術などが向上しつつある。NUMO では、これらの技術を組み合わせ、活褶曲や活断層帯などの影響範囲も含めた体系的な調査・評価技術を整備した。加えて、それを補足するための技術として、海外で用いられている歪速度を指標とした確率論的な評価手法を開発した。

隆起・沈降の評価では、長期の将来予測に際して過去の地質構造の発達過程を把握することが重要である。その一環として、これまで検討されていなかった内陸部の隆起速度の推定手法と、それを支える地質年代測定にかかわる技術の高度化が進められた。一方、侵食の評価については、シミュレーション技術を取り入れた地形変化モデルの開発、地質年代測定を応用した原位置での侵食速度測定技術の開発が進められている。NUMO では、これらの技術的な進展を取り込んだ体系的な調査・評価技術を整備した。

(2) 地質環境特性にかかわる調査・評価技術の進展

地質環境特性にかかわる調査では、自然現象による著しい影響を回避した場所において、地質・地質構造、地下水の流動特性や化学特性、岩盤の力学特性などを把握し、地質環境モデルを介して処分場の設計・施工などの工学的対策および地層処分システムの閉鎖後長期の安全性の評価に必要な情報を提供する。ここでは、調査計画の立案、調査の実施、地質環境モデルの構築・更新、結果の評価と課題の抽出、という一連のプロセスを繰り返すことにより、不確実性を着実に低減させていく。NUMO は、このような体系的な調査・評価技術を整備してきた。

地質環境特性に関する調査・評価技術の開発は、わが国の地質環境の多様性を考慮しつつ進められてきた。JAEA の深地層の研究施設計画において、わが国の地質環境を代表する結晶質岩および堆

⁴ 過去から現在までの情報に基づき現象の傾向や法則性を把握し、それらを将来にあてはめることにより予測する方法。

積岩を対象とした調査・評価技術の適用性の確認が進められており、NUMOの調査・評価に反映可能な多くの知見が得られている。また、2007年度からは、基盤研究開発機関により沿岸域を対象とした調査技術の開発が進められており、沿岸域特有の調査・評価手法についての知見が蓄積されつつある。NUMOでは、これらの先行的な研究成果を集約するとともに、ボーリング調査を主体とした実証的な研究などを通じて、一連の調査・評価技術の適用性の確認を行い、多様な地質環境を対象とした調査・評価を実施するための準備を進めている。

以上のように、NUMOでは、実際のサイト選定に向けて、文献調査および概要調査を的確に実施できるように、わが国の地質環境の多様性や空間的・時間的な不確実性に対応した体系的な調査・評価技術を整備してきた。また、それを支える個々の技術にも新たな知見が得られており、調査・評価技術全体としての信頼性が向上した。

2. 処分場の設計、建設・操業・閉鎖技術の進展

第2次取りまとめ以降、工学技術の分野では人工バリア材料の長期挙動や相互作用に関する現象の理解が進み、人工バリアを搬送・定置するための技術が大きく進展した。NUMOでは、これらの成果を踏まえて処分場の設計に必要な技術要件を体系的に整備するとともに、多様な地質環境に対応する廃棄体の定置方式と適用する操業技術の組み合わせを示した。以下に、主要な技術の進展について概説する。

(1) 地層処分の安全機能と技術要件の設定

第2次取りまとめ以降の国際基準の整備や技術の進展に基づいて、閉鎖後長期の安全確保に向けた工学的対策上の要件を更新した。具体的には、「閉鎖後閉じ込め」、「隔離」といった安全確保の基本概念に基づき、それらを具体化した安全機能と処分場を構成する要素との関連付けを行い、構成要素ごとに安全機能を満足するように技術要件を体系的に整備した。これにより地質環境の調査・評価の進展に応じて、個々の地点に対する技術要件を明確化して設計に反映していく準備が整った。

(2) 処分場の設計の考え方の整備

人工バリア、地下施設、および地上施設の設計について、基本的な設計の考え方や手順を整備した。人工バリアの設計では、安全機能と技術要件に基づいて、人工バリア材料の特性や長期健全性を考慮した設計の考え方を整備した。地下施設の設計では、地質・地質構造、地質の長期安定性、地下水流動、地下水化学、空洞の力学的安定性や廃棄体発熱特性などを考慮した地下施設設置位置の設定の考え方を、また、地上施設の設計では、地上施設設置区域の選定や施設群ゾーニングなどの考え方を整備した。

(3) 建設・操業・閉鎖の安全性と工程確保に向けた取り組み

NUMOは、処分場の建設工程（建設開始から操業開始まで10年程度）や操業工程（年間約1,000体のガラス固化体を処分）を実現するための課題の分析を行い、特に重要な工程における手順や方法の検討を進めてきた。

建設工程については、処分孔掘削や掘削土搬出といった建設技術の効率化に関する検討を実施した。操業工程については、人工バリアの品質の信頼性向上と地下での操業にかかわる作業を軽減す

るための検討を実施した。それらの検討の中で、人工バリアをあらかじめ地上施設で一体型のモジュールに組み上げた上で搬送・定置する PEM (Prefabricated Engineered barrier system Module) 方式を、これまでの検討の主体であった原位置での施工・定置方式と並ぶ、有力な方式として位置付けた。

また、操業安全については、安全対策の多重化を基本とした考え方を示し、廃棄体搬送時に想定される異常事象を対象に適用した。このほか、操業安全対策が閉鎖後長期の安全性に影響を及ぼさないための対策の考え方を、影響を与える因子の検討に基づいて整備した。

(4) 多様な地質環境に対応した処分場の設計および操業技術

NUMO では、わが国の多様な地質環境に対応できるよう、処分場の設計、建設・操業・閉鎖に関する技術の整備に取り組んできた。具体的なサイトの地質環境特性が明らかになれば、上記に示した技術を利用して、サイトに適した処分場の設計を進める予定である。

多様な地質環境への対応としては、周囲を海に囲まれたわが国の地理的条件も踏まえ、第2次取りまとめまで検討の中心であった内陸部に加え、沿岸域における地質環境を地下水流動場や地下水化学環境などの観点から設計上の特徴や留意点を整理した。具体的には、海水準変動に伴う地下水流動の変化を考慮した地下施設位置の設定の考え方や、塩分濃度が高い地下水を考慮した緩衝材などの設計の考え方をまとめている。

また、実際に想定される多様な操業環境に対応できるよう廃棄体の定置方式や適用する操業技術のオプションの整備を進めている。例えば、地下環境において想定される条件(湧水、高湿度環境、岩盤強度の局所的な脆弱性など)を考慮し、処分孔縦置き定置方式および処分坑道横置き定置方式について、技術開発の到達レベル、作業効率の向上の見通しなどの観点から、現段階で有望と考えられる操業技術のオプションとして、縦置き・ブロック定置方式、横置き・吹付方式、横置き・PEM方式を選定した。

(5) 工学的対策を支える技術の整備

以上で述べた処分場の設計技術および建設・操業・閉鎖に関連する技術を整備するために、NUMO は、基盤研究開発機関と連携して技術開発を進めている。第2次取りまとめ以降は、特に人工バリア材料の長期挙動や相互作用に関する現象の理解が進むとともに、人工バリアを搬送・定置するための技術が大きく進展した。

人工バリアの設計では、サイトの地球化学特性やバリア材料間の相互作用に関する知見に基づいて、人工バリアの長期健全性が保たれるように設計を実施する。そのために、オーバーパックの腐食形態や放射線影響、塩水環境における緩衝材の特性、緩衝材とセメントとの相互作用などについて研究開発を進め、大学などの専門家の意見などを踏まえて知見を集約し、設計や性能評価に反映するための基盤的な情報を整備した。これにより、人工バリアの長期健全性に対する対策の検討が可能となり、信頼性を向上させることができる。

建設・操業・閉鎖にかかわる技術開発においては、オーバーパックの溶接および検査技術について、候補となる複数の方法について遠隔溶接・検査への適用性を確認した。また、操業技術のオプションとして、緩衝材ブロックの製作・搬送・定置や PEM 方式などに関連した要素技術について実証的な試験を実施し、それぞれの技術の実現性を見通しを得た。

以上のように、多様な地質環境に対応し、人工バリアの長期挙動を反映した処分場の設計の考え

方や操業技術のオプションについて、技術の整備を進めてきた。これらの成果により、処分場の設計および人工バリアの製作・搬送・定置に関して、安全性と技術に対する信頼性が向上した。

3. 地層処分システムの長期安全性評価技術の進展

第2次取りまとめや第2次 TRU レポート⁵においては、わが国の一般的な地質環境条件を想定して、地層処分システムの長期安全性を評価するための基本的な手法が示された。NUMO では、第2次取りまとめ以降、実際のサイトにおける地層処分システムの長期安全性を段階的に評価していくための考え方を検討してきた。また、これと並行して、NUMO および基盤研究開発機関は、長期安全性の観点から、多様な地質環境や設計オプションをより現実に即して評価するために、長期安全性評価に係る個別技術の高度化を進めた。以下に、主要な技術の進展について概説する。

(1) 基本的な考え方の整備

事業段階において長期安全性を評価するために、実際のサイトにおける段階的な情報の増加や第2次取りまとめ以降の国際的な動向を考慮して、長期安全性の評価、不確実性の取り扱い、シナリオの構築、モデルの選定、安全評価データセットの整備などに対する基本的な考え方を整備した。

(2) シナリオ構築手法の整備

地質環境の多様性と長期変遷への対応として、沿岸域における海水の影響や塩淡境界の時間的な変遷をより現実に即して取り扱うための地層処分システムの状態設定手法を開発した。また、事業段階において、関連する種々の科学的な知見を適切に安全評価に取り込めるようにするため、安全機能を中心軸として地層処分システムの長期挙動を把握し、ニアフィールドの長期変遷に関するシナリオを構築するための手法を開発した。さらには、基盤研究開発機関においても、FEP⁶情報の整備、自然現象の影響評価手法などのシナリオ構築に関する検討が進められている。これらの成果により、シナリオ構築を行う上で基盤となる技術や情報が強化された。

(3) モデルの整備

NUMO は、地下水の流れと水質の変遷を考慮して、天然バリア中の核種移行と生物圏を評価するためのモデル化技術を整備した。また、現時点での処分場の設計において提示されている多様な設計オプションに対して、より現実に即して評価できるようにするため、三次元の核種移行解析モデルを開発した。基盤研究開発機関においても、データセットに分布を与えた統計論的な解析手法や、統計論的な評価結果に対して影響が大きいパラメータを抽出する方法などが開発されている。これらの成果により、さまざまな安全解析のニーズに対応するための技術基盤が拡充され、安全評価モデルの選定における技術的な選択肢が拡充された。

(4) データセット設定技術の整備

長期安全性評価の信頼性を確保するためには、地質環境の多様性や長期変遷を考慮した上で、データセットを適切に設定することが重要である。第2次取りまとめ以降、基盤研究開発機関では、核種移行解析に用いるさまざまなデータベース（熱力学、収着、拡散、ガラスの溶解などに関する

⁵ TRU 廃棄物処分技術検討書—第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ—(電気事業連合会・核燃料サイクル機構, 2005)

⁶ 地層処分システムの特性 (Feature), 特性に影響を与える事象 (Event), システムの時間的変遷の過程 (Process) の略称

各データベース)の開発・更新や生物圏評価に用いる環境移行データの整備が進められている。さらには、整備されたデータベースを用いたパラメータの設定手法についても検討が進められた。これらの成果により、核種移行解析を行う際に必要となる基盤的情報が強化された。

以上のように、地層処分事業における長期安全性評価技術の信頼性が一段と向上している。

4. 概要調査地区選定段階および精密調査地区選定段階の技術的取り組み

事業の各段階の実施事項とそれらを支える技術の整備について、特に当面の事業段階である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)での技術の適用について具体的に示した。

(1) 文献調査および概要調査を実施するための目標および実施事項

段階的なサイト選定の目標および実施項目は以下に示すとおりである。

概要調査地区選定段階(文献調査の段階)では、事業目標を「概要調査地区選定」とし、また、安全確保にかかわる目標を「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)」としている。概要調査地区選定上の考慮事項への適格性の確認、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を実施し、最終的に法定要件への適合性を評価して概要調査地区を選定する。

精密調査地区選定段階(概要調査の段階)では、事業目標を「精密調査地区選定」とし、また、安全確保にかかわる目標を「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」を得ることとしている。別に定める精密調査地区選定上の考慮事項への適格性の確認、処分場概念の構築、セーフティケースの構築を実施し、最終的に、最終処分法に基づく法定要件ならびに原子力安全委員会が策定する安全審査基本指針(あるいは自主基準)への適合性を評価して、精密調査地区を選定する。

各段階の終わりには、NUMOは次段階の調査地区を選定し、国による承認を経て、調査地区の選定を完了する。以上の目標と主要な実施項目が達成されるよう、次に示す基本的な実施手順を準備した。

(2) 各段階を進めるための基本的な実施手順および技術の準備

各段階の基本的な実施手順は以下に示すとおりである。

概要調査地区選定段階(文献調査の段階)においては、まず、調査範囲を対象とした文献を詳細に分析し、評価する。その結果に基づいて、自然現象にかかわる影響の評価、地質環境モデルの構築、処分場の概念検討と概略的な安全性の検討を実施する。これらの検討結果を処分場概念として統合化し、工学的成立性、閉鎖後長期の安全性、地質環境の調査・評価、経済性などの観点からの概略的な評価を行う。その結果に基づいて、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する。その上で、次段階の概要調査計画を立案する。併せて当該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作成する。以上の検討の結果を取りまとめ「文献調査に関する法定報告書」ならびに「文献情報に基づく処分場の概要」として公表する。

精密調査地区選定段階(概要調査の段階)においては、自然現象の長期的な影響の評価結果について、地表調査、ボーリング調査により確認する。また、地質環境モデルに基づいて、処分場を設置する候補母岩を選定し、選定した候補母岩を対象に、人工バリアの設計、処分施設の基本レイア

ウトの設定、予備的な安全評価を実施する。また、事業期間中の安全性（一般労働安全の確保、放射線安全の確保）、周辺環境の保全策の検討などを実施する。これらの検討結果に基づいて、複数の処分場概念を構築し、工学的成立性、閉鎖後長期の安全性、地質環境の調査・評価、経済性などの観点からの概略的な評価を行った上で、サイトに最も適する概念として、レファレンス処分場概念を選定する。以上の検討結果を取りまとめ「概要調査に関する法定報告書」を作成し、「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」とその補足文書とともに安全性を提示する。これら一連の文書群がこの段階のセーフティケースを構成する。

なお、ここでの記述は、サイト選定の初期の2段階に記述の焦点を絞ったが、処分施設建設地選定の実施や処分場の建設・操業・閉鎖の実施に必要な技術についても、事業の推進に必要な技術の整備が進んでいる。このことから、地層処分事業の技術的な実現性およびその信頼性が向上したと判断している。今後、これらの成果についても、技術の実用化を進め、地層処分事業に反映する。

IV. まとめ

NUMO は、国の安全規制のもとで、安全確保構想に基づき、地層処分事業全体を俯瞰した上で、事業を安全に実施する。

安全な地層処分を支える技術は、NUMO が設立された 2000 年以降、以下の点で着実に進展した。

- ① より現実的な調査・設計・評価が可能な技術を整備した。
- ② サイト選定するための実用的な技術を体系的に整備した。
- ③ 調査・設計・評価において、多様な地質環境に対応可能な技術を整備した。

これらの技術の進展により、処分事業の実施に係る技術的信頼性が向上し、具体的にサイトが決まっていない現段階において当面の概要調査地区選定段階（文献調査の段階）とその次の段階である精密調査地区選定段階（概要調査の段階）の事業を実施するための具体的な技術の準備が整った。また、処分施設建設地選定段階（精密調査の段階）以降の事業を実施するための技術についても、さらなる技術の蓄積がなされた。今後は、サイト固有の課題や、精密調査地区の選定以降に必要な技術を中心に、一層の信頼性の向上を目指し、基盤研究開発機関と緊密に連携し技術開発に取り組んでいく。

なお、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に起因する東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、国や学会、当事者などの調査結果を見据えながら、事業期間中や閉鎖後長期の安全確保に関するより幅広い視点からの検討を実施し、そこで得られた成果については、別途取りまとめる予定である。