

技術年報  
2014 年度

2015 年 6 月  
原子力発電環境整備機構



# 技術年報 2014年度

2015年6月

原子力発電環境整備機構

2015年6月 初版発行

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

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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Science and Technology Department  
Nuclear Waste Management Organization of Japan  
Mita NN Bldg. 1-23, Shiba 4-chome, Minato-ku, Tokyo 108-0014 Japan

©原子力発電環境整備機構  
(Nuclear Waste Management Organization of Japan) 2015

## 目次

第1章 はじめに .....	1
第2章 包括的技術報告書の作成 .....	3
第3章 長期にわたる事業展開を見据えた技術開発 .....	5
3.1 地質環境の調査・評価.....	5
3.1.1 考慮事項策定・調査計画立案に係る検討 .....	5
3.1.2 調査・評価技術の体系化・実証 .....	6
3.1.3 情報管理技術の整備 .....	6
3.2 工学的対策.....	7
3.2.1 人工バリアの設計・施工技術 .....	7
3.2.2 地下施設の設計技術 .....	8
3.3 閉鎖後長期の安全評価.....	9
3.3.1 安全評価の技術 .....	9
3.3.2 安全性の論拠の拡充 .....	10
3.3.3 将来の地質環境特性が自然現象により影響を受ける変動幅の検討 ..	10
3.4 事業期間中の安全確保.....	11
3.5 廃棄体とインベントリ.....	11
3.6 モニタリング.....	12
第4章 地層処分に関する技術協力・連携 .....	13
4.1 国内機関との協力・連携.....	13
4.2 海外機関との協力・連携.....	13
4.3 技術開発のマネジメント.....	14
第5章 おわりに .....	15



## 第1章 はじめに

原子力発電環境整備機構（以下、「NUMO」という）は、2000年の設立以来、第一種特定放射性廃棄物（以下、「高レベル放射性廃棄物」という）および第二種特定放射性廃棄物（2008年から追加、以下、「地層処分低レベル放射性廃棄物」という）を対象とした地層処分事業の推進のために必要な技術開発を進めています。NUMOが行う技術開発の主眼は、既存技術や国の基盤研究開発機関等が整備する基盤技術をもとに、地層処分事業の安全な実施に向けた技術として実用化・合理化することです。

NUMOは、2010年度にそれまでの技術開発成果について100年にわたる事業全体を俯瞰し、安全確保を最優先とした事業推進計画（安全確保ロードマップ）とそれを支える技術開発計画（技術開発ロードマップ）を提示しました。（NUMO, 2011）

さらに、技術開発ロードマップを踏まえ、20年程度に及ぶサイト選定段階における技術開発計画を策定しました。これらは、「地層処分事業の技術開発計画－概要調査段階および精密調査段階に向けた技術開発－」（NUMO, 2013）（以下、「中期技術開発計画」という）として2013年6月に公表しました。

NUMOは、この中期技術開発計画を基本としつつ、地層処分を含む原子力政策の動向等、地層処分事業をとりまく状況変化に柔軟に対応しながら、技術開発を進めています。

2012年5月からは国の審議会（総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 放射性廃棄物WG（以下、「放射性廃棄物WG」という））において、立地選定・社会的合意形成に向けた取り組みの強化が議論される等、地層処分事業の進展に向けての環境が整いつつあります。このため、NUMO全体で「一日も早い文献調査の開始」に向けた取り組みをさらに強化するとともに、事業推進に向けて、着実に技術開発を実施していきます。

これを踏まえて、2014年度の方針は以下の通りとしています。

- ① 立地活動を推進する業務の強化
  - ・地層処分の技術的信頼性の確認(包括的技術報告書の取りまとめ)
- ② 事業推進に向けた業務の着実な実施
  - ・長期にわたる事業展開を見据えた技術開発（段階的な技術開発）
  - ・地層処分に関する技術協力・連携

「地層処分の技術的信頼性の確認」では、2014年度から2015年度までの計画で、「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－」（JNC, 1999）（以下、「第2次取りまとめ」という）以降に得られた最新の科学的知見等に基づいて、わが国における地層処分の技術的信頼性を確認するとともに、その結果を包括的技術報告書として取りまとめることとしました。こうした確認および取りまとめは、今後定期的に実施することとしています。

2014年度は、セーフティケースの概念に基づいて、報告書の論旨の展開を明確にすること、およびこれまでの技術開発成果や後述する段階的な技術開発で実施した成果を取り込んで、2015年度末に完成させる報告書の骨格を明らかにしつつ、第1次ドラフトを取りまとめました。この成果については第2章に示します。

次に、「長期にわたる事業展開を見据えた技術開発」では、中期技術開発計画（NUMO, 2013）で示した以下の技術開発分野に沿って、精密調査段階に必要となる技術開発を実施しました。これらの成果については第3章に述べます。

- ・ 地質環境の調査・評価
- ・ 工学的対策
- ・ 閉鎖後長期の安全評価
- ・ 事業期間中の安全確保
- ・ 廃棄体とインベントリ
- ・ モニタリング

最後に「地層処分に関する技術協力・連携」では、国内外の関係機関との情報交換、共同研究や国際プロジェクトへの参画等による人材育成、基盤研究機関等からの技術移転を進めました。これらの成果については第4章に示します。

なお、第2章から第5章に述べた技術開発の中から、主要な成果について、技術課題毎に取り組みの内容を巻末に詳述します。

## 第2章 包括的技術報告書の作成

地層処分事業の技術的信頼性を高め、今後の事業展開への着実な準備を進めることを目的として、わが国における安全な地層処分事業の実現性を示す包括的技術報告書を 2015 年度末までに取りまとめることとしました。この報告書には、第 2 次取りまとめ以降の最新の科学技術的知見や地層処分に関する国際的な議論を反映しています。

2014 年度は、地層処分の安全性を提示するための方策として、国際的に認知されているセーフティケースの概念を踏まえた構成とするとともに、以下に示す記述方針を設定し、報告書の骨格となる主要な検討成果を反映した第 1 次ドラフトを作成しました。

- ・ わが国の地質環境に関する最新の理解に基づいて、サイト選定で対象となり得る地質環境を深成岩類、新第三紀堆積岩類、および先新第三紀堆積岩類の三つの岩種に分類した。そのうえで、断層の分布等のわが国の現実的な地質環境の特徴を考慮し、これらの岩種を対象とした地質環境モデルの作成を行う。
- ・ 作成された地質環境モデルに対応した処分場の設計について検討し、この地質環境と設計条件に対応する処分場閉鎖前と処分場閉鎖後の両期間について安全性を評価する。
- ・ これらの検討を通じて、サイト選定で想定される多様な地質環境に対応するための地質環境の調査・評価や、処分場の設計、安全評価の手順や方法等の信頼性を確認するとともに、地層処分の安全性の見通しを示す。

第 1 次ドラフトの作成にあたっては、個別分野ごとの最新の科学的知見や報告書に関する意見等を的確に取り込むため、基盤研究開発機関等からの参画を得てタスクフォースを設置しました。さらに、報告書の品質向上のため、骨子案の検討の段階からタスクフォースメンバーの意見を聴取するとともに、国内外の有識者の参加を得てワークショップを開催し、様々な分野の専門家から効果的に意見を聴取しました。

第 1 次ドラフトには、以下の検討内容を反映しています。

- ・ 深成岩類の地質環境モデルを作成（技術課題-1 参照）するとともに、これを対象として設計および安全評価の解析手法の整備と予備検討を行った。
- ・ 来年度以降に実施する新第三紀堆積岩類および先新第三紀堆積岩類の地質環境モデルの作成、さらに三つの岩種に対する設計・安全評価に関する検討のための情報や手法を整えた。
- ・ 操業時の安全性（技術課題-11 参照）や、回収可能性を支える技術の実現性等の検討（技術課題-5 参照）を行った。

また、国民のみなさまに説明する分かりやすい資料（仮称「地層処分の現状と展望」）

の構成等をあわせて検討しました。

包括的技術報告書については、2015 年度末の完成を目指し、検討および取りまとめを継続します。

### 第3章 長期にわたる事業展開を見据えた技術開発

長期にわたる事業展開を見据えた技術開発では、中期技術開発計画に基づいて、精密調査段階の実施に必要な技術の整備に取り組みました。以下に、地質環境の調査・評価、工学的対策、閉鎖後長期の安全評価、事業期間中の安全確保、廃棄体とインベントリ、モニタリングのそれぞれの技術開発分野における実施内容とその成果を示します。

#### 3.1 地質環境の調査・評価

文献調査段階では、過去および現在において火山・火成活動、地震・断層活動、隆起・侵食等の自然現象による地層の著しい変動が生じている場所を避け、処分場の閉鎖前および閉鎖後長期の安全性が確保できると考えられる適切な場所を選定します。

概要調査段階および精密調査段階では、地質環境特性に係る調査等で得られる情報に基づき、それぞれの前段階で実施された調査や評価等の妥当性を確認します。併せて、閉鎖後長期の安全性の評価の信頼性をさらに高めるため、自然現象が及ぼす地質環境特性への長期的な影響に関する情報を収集・整備します。

##### 3.1.1 考慮事項策定・調査計画立案に係る検討

精密調査地区選定上の考慮事項は、概要調査地区の中から法定要件に適合すると判断でき、かつ地層処分にとってより適切な条件を有すると判断される区域を精密調査地区として選定するために設定するものです。2013年度までに、考慮事項を検討するための技術的根拠に関連する情報の収集・分析と整理を進めるとともに、地上からの調査で把握できる規模の断層破碎帯の評価について、規模や判断根拠に関する内容を充実させ、考慮事項設定に係る技術的根拠の取りまとめを行いました。

2014年度は、地層処分技術WGでの検討を反映して、活断層等による地層の著しい変動や深部流体等の非火山性熱水が地質環境へ及ぼす著しい影響について、考慮事項の考え方を修正しました。今後は、包括的技術報告書の作成を通じて、関連する情報の収集を進め、考慮事項の検討を継続します。考慮事項については、今後、新しい科学的知見が得られた場合には、それらを効果的に取り込み、概要調査開始までに設定する予定です。

概要調査計画立案の検討は、自然現象の影響や地質環境特性の調査・評価手法について、概要調査開始までに実務的な調査の手引書（以下、「実務手引書」という）を整備しておくことを目的としています。2013年度までに、自然現象の長期的な影響のうち、段丘面が未発達な場合における隆起・侵食の評価手法における課題を検討し、山地スケールの評価手法の検討を行うとともに、山地の変形様式や谷の深さ等の地形的特徴から隆起・侵食を評価する手法の見通しを得ました。

2014年度は、前述の修正した考慮事項の考え方との整合性を確認したうえで、実務手引書における活断層の調査評価手法や岩盤の透水性の調査評価に関連する記述内容を修

正し、ドラフトを更新しました。なお、実務手引書は、日々進歩する調査技術や最新の科学的知見を逐次取り入れ、今後も適宜その内容を拡充・更新する予定です。また、本実務手引書に基づいた概要調査計画策定の試行により、適宜その記載内容の見直しを行います。

### 3.1.2 調査・評価技術の体系化・実証

一般財団法人電力中央研究所（以下、「電中研」という）との共同研究において、電中研横須賀地区で2006年度よりボーリング掘削・調査に係る実証試験を行っています。

2014年度には、2012年度に掘削を開始したボーリング孔であるYDP-3の掘削・調査を継続するとともに、過年度に掘削したボーリング孔を用いた孔間試験を実施し、10月に全ての調査を終了しました（技術課題-2参照）。

取得した情報に基づいて地質環境モデルの更新を行うとともに、掘削・調査等の技術の適用性評価を行いました。また、孔間試験の結果に基づき、ボーリング孔間の水理地質構造の評価等を行いました。さらに、2006年度から継続的に実施してきた本共同研究の成果を取りまとめて、地上からの調査・評価技術の体系化・実証に係る総括報告書のドラフトを作成しました。

今後は国内外有識者による技術レビュー会議を開催し、その結果等を踏まえて総括報告書の最終版を作成します。さらに本実証試験で取得したノウハウや判断根拠等の情報を取りまとめ、包括的技術報告書の作成や品質管理手引書の更新等に反映します。

### 3.1.3 情報管理技術の整備

応募および申し入れの受諾が得られた際は、概要調査地区としての適性評価等の対応を迅速かつ的確にとる必要があります。このため、NUMOは文献等から得られるデータを「地理情報システム（GIS）」および「地質環境データ管理システム」を用いて管理しています。

2014年度は、これらのシステムのデータを拡充しました（技術課題-3参照）。

## 3.2 工学的対策

サイト選定段階における人工バリアの設計・施工については、まず、候補サイトでの調査によって把握される地質環境特性に基づき、適切な人工バリア概念を設定したうえで人工バリアが有すべき安全機能とその担保期間を明確にします。さらに、当該サイトや材料間の相互作用等による長期的な人工バリアの性能の変化を踏まえ、人工バリアの材料選定や寸法設定等の仕様設定を行います。

### 3.2.1 人工バリアの設計・施工技術

#### (1) バリア材の長期挙動評価を踏まえた人工バリアの設計手法の整備

人工バリアは、閉鎖後の長期間にわたってその安全機能を維持する必要があることから、人工バリアの材料の長期的な特性変化（以下、「長期挙動」という）を把握したうえで、人工バリアの設計を実施する必要があります。このため、人工バリアの安全機能を阻害する要因やそれに対する対応策等に関する最新の科学的知見を取り入れ、人工バリアの安全に関する説明性を高めることを目的として設計手法の整備を進めてきました。

2014年度は、高レベル放射性廃棄物の人工バリアについて、2013年度までに作成した人工バリアの設計手法に基づいて、第2次取りまとめ以降に得られた最新の科学的知見を反映して設計を行いました。例えば、オーバーパックについては、ガラス固化体からの放射線による影響がオーバーパックの腐食へ影響を与えないように、放射線を遮へいするための厚さが必要です。このため、オーバーパックによる放射線遮へい解析を実施して改めて遮へいに必要な厚さを確認した結果、従来の遮へいのために設定した厚さには余裕があることを確認しました（技術課題4参照）。この結果により、現在のオーバーパックの仕様は、最新の科学的知見に基づいても安全性を確保でき、さらに、今後、サイトの地質環境の条件が特定された場合には、安全性を確保しつつ合理的に薄くできる見通しを得ることができました。これらの成果は、包括的技術報告書に反映するとともに、概念設計手引書にフィードバックしていきます。

#### (2) 閉鎖後所定期間の閉じ込め機能を付加した廃棄体パッケージの開発

地層処分低レベル放射性廃棄物については、廃棄体を廃棄体製造者から受け入れた後に、廃棄体パッケージに収納して処分する予定です。合理的に処分の安全性を実現するためには、放射性物質の閉じ込めに必要な機能を、廃棄体と廃棄体パッケージに適切に配分することが重要です。このため、廃棄体の仕様設定に必要な事項を明確にしておく必要があります。

2013年度までに、閉鎖前および閉鎖後の所定の期間に閉じ込め機能を確保することが可能な廃棄体パッケージの概念を検討しました。この検討の中では、廃棄体と廃棄体パッケージ双方への要件を設定し、これを設計の根拠として廃棄体パッケージの概念的な設計を試行しました。

2014 年度は、円筒形の廃棄体容器を採用した場合について、水圧等の荷重を廃棄体パッケージのみで受け持つという考え方を取り入れた廃棄体パッケージの概念的な設計を実施し、前年度に実施した概念設計との比較を行いました。廃棄体製造者との情報交換も含めて比較検討を進めた結果、収納効率等の観点から、廃棄体容器には角型容器を用いた方が合理的であるとの知見が得られました。

### (3) 回収技術の整備

回収可能性の工学的実現性を見通しを得ることを目的として、公益財団法人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）との役割分担のもと、人工バリア施工方法に応じた回収技術の整備を開始しました。基盤研究開発機関では、先行して縦置き・ブロック方式を対象とした塩水噴射方式による実規模回収技術実証試験が実施されています。

NUMO は、2014 年度に、人工バリア施工技術の一つである横置き・PEM 方式（地上施設であらかじめ廃棄体を含むオーバーパック、緩衝材を専用の容器内に格納し、一体化したものを地下施設に定置する方法）を対象として、回収手順、回収技術について検討を行い、回収装置の概念的な設計を実施しました（技術課題-5 参照）。本成果と上記の基盤研究開発の成果とを合わせて、包括的技術報告書に回収可能性の工学的実現性を見通しがあることを提示しました。

今後は、回収可能性を維持する期間が長引いた場合の影響の評価について、基盤研究開発機関と連携して検討を進めます。

### 3.2.2 地下施設の設計技術

多様な地質環境に柔軟に対応した処分場の設計が可能であることを示すことを目的として、地層処分システムが所要の安全機能を確保するための設計の考え方、手順および方法について体系的に整備を進めてきました。

2014 年度は、第 2 章で述べた深成岩類の地質環境モデルを対象として、高レベル放射性廃棄物処分場の縦置き・ブロック方式の処分概念に基づく地下施設の設計を実施しました。この中で、断層を含む地質構造を対象として、処分パネルを配置する考え方を示しました。また、止水プラグの設置に関する検討を実施し、止水プラグは局所的に透水性を改良する必要のある箇所集中して設置することが合理的であることを示しました（技術課題-6 参照）。これらの結果については、包括的技術報告書に反映するとともに、概念設計手引書にフィードバックしていきます。

### 3.3 閉鎖後長期の安全評価

サイト選定段階では、段階的な地質環境調査・評価の進展に応じて、取得するより詳細な情報を用いた安全評価（および処分場設計へのフィードバック等）を繰り返し実施し、その結果を安全性の判断基準（めやす値）等と比較することにより、安全性の確認を行います。このため、安全評価に必要となるシナリオ開発、モデル作成、核種移行解析等の技術開発を進めています。

#### 3.3.1 安全評価の技術

包括的技術報告書における安全評価の実施に向け、安全評価の枠組みの構築、シナリオ開発、モデル作成、解析評価に至る一連の作業に必要とされる、シナリオ区分とその線量めやす値、シナリオ開発に必要な最新の科学的知見等の情報基盤、核種移行解析モデル等を整備しました。

枠組みの構築においては、リスク論的な考え方により、包括的技術報告書において考慮するシナリオの区分として、基本シナリオ（通常想定されるシナリオ）や変動シナリオ（発生可能性が低いシナリオ）、および稀頻度シナリオ（発生可能性が著しく低い自然現象を考慮したシナリオ）、人為シナリオ（偶発的な人間活動による処分施設の損傷等による影響を確認するシナリオ）に分割し、これらのシナリオ区分の定義を明確にしました。また、シナリオ区分ごとに想定される線量めやす値の検討を行いました（技術課題-7 参照）。

シナリオ開発においては、基本シナリオまたは変動シナリオとして評価すべき処分システムの状態の設定を行うため、安全機能へ影響を与えると考えられる FEP（地層処分システムの各要素の特性（Feature）、特性に影響を与える事象（Event）、地層処分システムの時間的変遷の過程（Process））を抽出しました。抽出した各 FEP に関しては、現状の科学的知見に基づき将来の発生可能性を整理し、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」という）との共同研究を通じて構築したシナリオ構築手順を基本に、第2章で述べた地質環境モデルに対応した処分場システム（3.2.2 参照）に対するシナリオを開発しました。また、稀頻度シナリオや人為シナリオについては、定量的な評価を実施するために、評価対象とする事象を選択し、選択された事象の発生規模を定める必要があります。このため、これまでの稀頻度シナリオ等の検討事例の調査を行い、包括的技術報告書に記載するシナリオとして火山活動やボーリングに関する事象を抽出し、シナリオを構築しました（技術課題-7 参照）。

安全評価に用いる核種移行解析モデルの作成においては、深成岩類を対象として、わが国における断層や亀裂の頻度等の実際の条件を踏まえた地質環境モデルとそれに対応する設計仕様の特徴を現実的に表現した三次元水理および物質移行モデルを作成しました。このモデルに基づいて核種移行解析を実施しました（技術課題-7 参照）。

上述の一連の作業を実施し、その結果を包括的技術報告書に反映しました。

### 3.3.2 安全性の論拠の拡充

セーフティケースにおける論拠の中心となる FEP 辞書の構築を目的として、辞書の目次に相当する FEP リストを作成し、各 FEP に関する最新の科学的知見等の情報を文書(以下、「FEP シート」という)として取りまとめる作業を進めました。

2014 年度は、「経済協力開発機構／原子力機関 (OECD/NEA)」の FEP リスト (国際 FEP リスト) を参考にして、わが国で対象とする地質環境および処分概念を踏まえ、地層処分システムの安全機能に影響を及ぼす可能性のある FEP を選定し、FEP リストを作成しました。また、各 FEP に関して科学的知見の調査により得られた情報を整理し、FEP シートの取りまとめに着手しました (技術課題-8 参照)。

超長期の緩衝材の安定性やコロイドによる核種移動への影響について、専門家による検討グループによる議論を行い、現時点での安全評価における取り扱い方法とその論拠となる解析結果やナチュラルアナログ等の情報、課題等を取りまとめました (技術課題-9 参照)。

安全評価を行うための基本的な考え方や基準について、包括的技術報告書における設定を検討するため、旧原子力安全委員会の余裕深度処分の評価の考え方等の既存の情報を整備し、リスク論的安全評価の考え方に基づくシナリオ区分に対応する安全基準の線量めやす値や評価期間の考え方を取りまとめました。

上述の検討結果については包括的技術報告書に反映しました。

### 3.3.3 将来の地質環境特性が自然現象により影響を受ける変動幅の検討

地質環境の長期安定性評価に関して、現在のプレート運動の予測において、特に不確実性が大きくなる 10 万年を超える超長期の期間について、隆起・侵食、火成活動や断層活動等の天然事象の長期変遷に関する評価手法を整備してきました。

2014 年度は、火山フロントの前弧側および背弧側での火山の新生の可能性について、東北日本弧を対象に文献を調査しました。また、東北日本弧の活断層を対象として、断層の分岐・伸展に関する文献を調査し、既存の活断層が将来地層処分に影響を与える可能性について検討しました。検討した結果については包括的技術報告書に反映しました。

### 3.4 事業期間中の安全確保

2013 年度までに、地層処分場の操業安全に関する施設の設計要件の設定や安全対策立案に資することを目的として、類似の原子力施設の安全規制や一般産業の例を参考に、地上施設および地下施設のそれぞれについて、電源喪失や廃棄体の落下等、放射線防護上重要と考えられる事故を想定し、その影響評価を実施しました。その結果、ガラス固化体やオーバーパックの持つ閉じ込め機能等へ影響を与える事象がないことを確認しました。

2014 年度は、残された事象として、地下施設において燃料が漏れ、車両火災が発生したことを想定した評価を行いました。その結果、火災発生直後は、一時的に温度は上昇するものの、短時間に燃料が燃え尽きることから、火災によるオーバーパックの温度の上昇は操業安全上問題がない程度であることを確認しました（技術課題-11 参照）。

これらの成果を包括的技術報告書に反映するとともに、引き続き、処分場閉鎖後長期の安全性に対する操業期間中の事故等の影響の可能性等についても検討を進めます。

### 3.5 廃棄体とインベントリ

閉鎖後長期安全性や操業時安全性の評価において重要となる核種は、廃棄体の製造や管理における重要核種とは必ずしも同じではないため、あらかじめ重要核種を把握し、廃棄体製造側の情報（核種インベントリ）を整備しておく必要があります。

このような重要核種の候補やその選定方法について、2013 年度から、関係機関との情報交換を実施しながら検討を進めています。

2014 年度は2013 年度に引き続きガラス固化体等の核種インベントリを設定するとともに、その中から閉鎖後長期および操業時に考慮すべき線量、発熱率等の観点で重要核種候補を抽出し、今後の課題を取りまとめました。

今後は取りまとめた課題について、関係機関とともに取り組んでいきます。

### 3.6 モニタリング

閉鎖後長期の安全確保に関するモニタリングは、事業許可申請時、事業期間中の安全レビュー、処分場閉鎖計画の申請、閉鎖措置の確認および閉鎖後事業廃止までの期間の各段階において意思決定を支援する情報を提供する役割を持ちます。その中で、最終処分に係る地下施設の建設や施設の埋戻しが地質環境へ及ぼす影響を評価する必要があるため、地下施設を建設する前に地質環境の初期状態（ベースライン）を把握しておくことが不可欠です。

このような背景を踏まえ、3.1.2 の電中研との共同研究で実施した調査・評価技術の実証のうち、2010年度からボーリング孔内で実施した多連式のパッカーシステムによる水圧モニタリング技術の適用性の確認を行ってきました。

2014年度は、取得したデータから、気圧変動や地球潮汐の影響を除去したうえで、降水の影響により異なる地下水圧の変動を透水性の異なるそれぞれの地層においてモニタリングできることを確認しました。このモニタリングは、約4年間の連続計測により所期の目的を達成したため、2015年3月にデータ取得作業を終了しました(技術課題-12参照)。

## 第4章 地層処分に関する技術協力・連携

国内外の関係機関が有する最新の技術開発成果等に関する情報交換を行い、地層処分に関する技術を的確かつ効率的に整備・更新しました。

また、共同研究や国際プロジェクトへの参画等によって、効果的な技術開発・技術整備に加え、人材育成や機構への技術移転の促進を図りました。

### 4.1 国内機関との協力・連携

協力協定を締結している JAEA、電中研、その他の国内関係機関との間で、処分施設建設地選定に必要な地質環境評価、地層処分の工学技術、安全評価等に関する技術情報の交換や、ボーリング調査等の地上からの調査技術の実証や概要調査における設計・性能評価手法に関する共同研究等を実施し、連携の強化を図りました。

基盤研究開発機関の地下研究所に対する技術開発ニーズについては、それが基盤研究開発に的確に反映されるように、JAEA の URL 国際レビューワークショップおよび地層処分基盤研究開発調整会議において報告しました。

### 4.2 海外機関との協力・連携

#### (1) 協力協定に基づいた会議の実施

協力協定に基づく活動として、海外実施主体やその支援研究機関との協定運営会合、セミナー等を実施し、それぞれの国における地層処分計画の現状に関する情報交換や今後協力の可能性のある課題に関する協議を行いました。また、エスポ地下研究所における国際共同プロジェクトに引き続き参画し、プロジェクト運営会議や個別課題に関するワークショップにおいてわが国の技術開発の状況を発信するとともに、今後国内で検討すべき技術情報を取得しました。

#### (2) 国際機関等との協力

OECD/NEA の「放射性廃棄物管理委員会 (RWMC)」、「セーフティケース統合グループ (IGSC)」等の会議体や関係プロジェクトの下で、国際間の重要課題（極端な地質事象の取り扱い、操業安全性、国際 FEP データベースの開発等）を検討する具体的な活動に参加するとともに、「国際原子力機関 (IAEA)」のステークホルダー関与をテーマとした技術会議において、わが国の公募方式に係る従来経緯や最近の政策動向について情報提供しました。また、「放射性物質環境安全処分国際協会 (EDRAM)」については、横浜会合（春季）の実施、ハンブルグ会合（冬季）への出席に加え、個別課題に関する調査への参加により、各国実施主体との緊密なネットワークを強化しました。

### 4.3 技術開発のマネジメント

NUMO が設置した国内の学識経験者によって構成される「技術開発評価会議」（2012年設置）において、技術的な取り組みや技術開発の計画および成果に対して評価・提言を受けることとし、2014年6月には2013年度の成果および2014年度の計画に対する評価をいただきました。2015年2月には、これまで評価・提言いただいた事項への対応方針を説明し、指導・助言をいただきました。

さらに、NUMO が設置した国内外の学識経験者によって構成される「技術アドバイザー委員会」委員には、包括的技術報告書に関連した事項等についての意見聴取等を適宜行い、その妥当性を確認しました。

2012年度から取りまとめている年度ごとの技術開発計画・成果については、昨年度と同様に、技術年報（2013年度）および技術開発年度計画書（2014年度）を作成して、6月にホームページで公表するとともに、技術開発成果報告会を6月に開催しました。

また、地下施設の耐震性評価、地層処分低レベル放射性廃棄物の処分の安全性向上に係る技術報告書（TR-14-01～05）等を発行する（5件）とともに、原子力学会や土木学会等において29件の投稿・発表を行いました。さらに、品質マネジメントシステムを適切に運用し、技術開発成果や技術情報の品質確保や信頼性の担保に向けた活動を推進しました。

## 第5章 おわりに

本技術年報では、中期技術開発計画で分類した技術開発分野の枠組みに沿って、2014年度の技術開発成果の概要を取りまとめました。

技術開発の成果については、今後も地層処分事業に対する関係者や関係機関への情報提供と相互理解の促進を図るために、本技術年報の発行のほかに、学会での発表、論文の投稿、技術報告書の公表、成果報告会の開催等、技術開発成果の公表に積極的に取り組んでいきます。



## 技術課題毎の主要な成果



## 技術課題-1 地層処分に適した地質環境の設定に関する検討

### ～ 候補母岩の現実的なモデルの構築 ～

#### 背景と目的

包括的技術報告書では、サイトが特定されていない段階におけるセーフティケースとして、わが国の代表的な候補母岩となりうる地質環境のモデルを提示し、処分場の設計および安全性の評価に反映します（第2章参照）。このため、最新の科学的知見に基づき、地層処分の観点から候補母岩となり得る岩盤を分類し、現実的な地質環境モデルを構築しました。これにより、わが国の地層処分の実現可能性および安全性に関する信頼性がより高まることが期待されます。

#### 主な成果

##### 1. 候補母岩の分類

日本地質学会（2011）に示された岩種のうち、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類、火山岩類、深成岩類、変成岩類を対象に、地層処分の観点から重要な地質構造（水みち構造）および地質環境特性（透水係数、有効間隙率、熱伝導率、一軸圧縮強度）に加え、長期的な状態変化、化学的緩衝能に関する最新の知見を整理しました（表1-1）。その結果、新第三紀堆積岩類および先新第三紀堆積岩類は、基本的に独立した特徴を有することを確認しました。火山岩類は、他の岩種との特徴の類似性から、安全評価の観点からは新第三紀堆積岩類、施設設計の観点からは先新第三紀堆積岩類のバリエーションとして取り扱うことができると考えられます。また、変成岩類は深成岩類とほぼ同様な特徴を有すると考えられます。以上の結果から、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類、深成岩類をわが国の代表的な候補母岩としてモデル化を実施しました。

表 1-1 地層処分の観点からみた候補母岩の特徴の整理結果

時代	岩種	水みち構造	透水係数	有効間隙率	熱伝導率	一軸圧縮強度	長期的な状態変化	化学的緩衝能
新第三紀	堆積岩類	粒子間隙, 割れ目					続成作用活構造の発達(塑性変形)	大きい
先新第三紀	堆積岩類	割れ目, 層理面不整合面, 劈開面					変形し難い(弾性変形)	大きい
新第三紀・先新第三紀	火山岩類	節理, 割れ目, 粒子間隙					変形し難い(弾性変形)	小さい
新第三紀・先新第三紀	深成岩類(片麻岩類含む)	割れ目, 節理岩脈, 変質帯					変形し難い(弾性変形)	小さい
新第三紀・先新第三紀	変成岩類(片麻岩類除く)	割れ目, 片理面					変形し難い(弾性変形)	小さい
		粒子間隙の寄与: ■ あり, ■ なし	天然バリア機能または建設可能性・容易性の観点からみた好適度: ■ 大, ■ 中, ■ 小					

## 2. 深成岩類のモデル構築

国内の深成岩類の中で最も広く分布し、地質環境特性に関する情報が豊富に蓄積されている花崗岩類を対象に、地質構造モデルおよび水理地質構造モデルを構築し、地下水流動解析を実施しました。その結果を踏まえて、設計・安全評価で用いる情報を整備しました。

### (1) 地質構造モデル

花崗岩類では、割れ目が主要な水みちであることから、一般的に用いられる亀裂のネットワークを考慮した地質構造モデルを構築しました。まず、地質構造モデルに必要な断層・割れ目等の不連続構造の走向・傾斜、規模と頻度、および三次元密度に関する国内の花崗岩類の情報を網羅的に収集・整理しました。わが国の花崗岩類中の不連続構造の一般的な傾向として、その規模によらず2～3の卓越方位を有することを把握しました。このため、各地における花崗岩類を対象とした調査事例や地下深部の地質環境情報が体系的に取得されている地域のデータを主に利用し、モデルの入力パラメータを設定しました。

構築する地質構造モデルのスケールは、段階的なサイト調査の過程を考慮して、広域スケール（50 km 四方）、処分場スケール（3 km 四方）、ブロックスケール（一辺 100 m）としました。広域スケールでは、地上からの調査で把握できると考えられる長さ 1 km 以上の不連続構造について、前述の不連続構造に関するパラメータに基づき統計的に発生させた地質構造モデルを構築しました（図 1-1）。その地質構造モデルにおいて、長さ 10 km 以上の不連続構造の周辺と延長上は処分場を設置しない領域とし、それ以外の領域から任意の処分場スケール（3 km 四方）の領域を設定して地質構造モデルを構築しました。さらに、半径が 1 m～1 km の不連続構造を統計的に発生させたブロックスケールの地質構造モデルを構築しました。

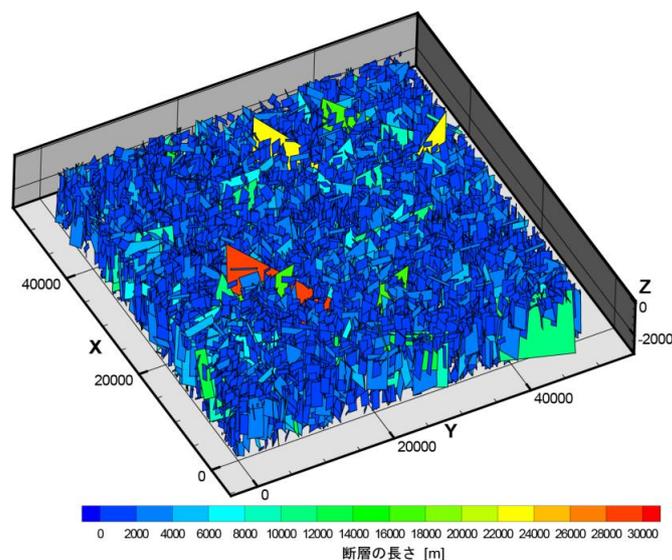
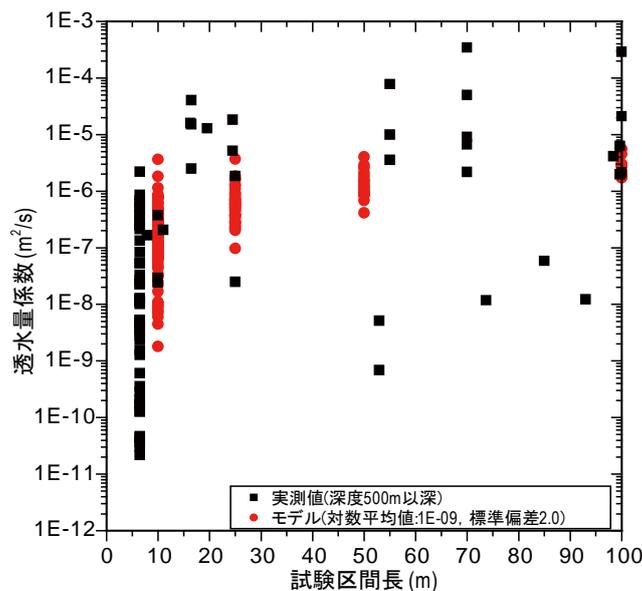


図 1-1 長さ 1 km 以上の不連続構造を含む広域スケールの地質構造モデル

## (2) 水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析

国内の花崗岩類に関する既存情報を利用し、広域スケールおよび処分場スケールの水理地質構造モデルに用いる母岩や不連続構造（断層）の透水係数、有効間隙率等のパラメータを設定しました。母岩の透水係数は、全国平均値とし、断層の透水係数は、断層面に直交する方向と平行な方向に有意な差を与え、透水異方性を仮定しました。また、有効間隙率についても全国平均値としました。以上のパラメータおよび地質構造モデルに基づき水理地質構造モデルを構築したうえで地下水流動解析を行い、地下水の水圧分布や移行経路・移行時間を把握しました。一方、処分場スケールについては、長さ 1 km 未満の不連続構造（割れ目）のパラメータを後述するブロックスケールと同様に設定しました。そのパラメータおよび地質構造モデルに基づき水理地質構造モデルを構築し、地下水流動解析を行いました。

ブロックスケールについては、地下深部の地質環境情報が体系的に取得されている地域で取得された深度 500 m 以深の水理試験データを活用し、試験区間内の透水性割れ目が特定できる可能性を考慮したうえで短い試験区間（10 m 以下）における試験結果を用いて、水理地質構造モデルに必要な不連続構造の透水量係数を整理しました。この結果、透水量係数の頻度が対数正規分布に従うと仮定し、試験結果と整合的な透水量係数および頻度分布を示す対数正規分布を算出しました。この透水量係数の対数平均値および標準偏差を変数として不連続構造の水理特性を設定し、水理地質構造モデルを構築しました。さらに、構築した水理地質構造モデルを対象に、複数の試験区間長を設定した仮想的な水理試験を行った結果、図 1-2 に示すように、計算値が実際の水理試験結果と整合的であることを確認しました。



## 今後の計画

2015 年度は、新第三紀堆積岩類および先新第三紀堆積岩類について、深成岩類と同様に、地質環境情報の収集・整理を全国規模で行い、地質構造モデルおよび水理地質構造モデルを構築します。その成果を設計・安全評価の検討に反映します。

以上

## 技術課題-2 地質環境調査・評価技術の実証の総合評価

### ～ 地質環境調査・評価技術の実証 ～

#### 背景と目的

NUMO は電中研との共同研究において、概要調査段階以降に適用する地質環境の調査・評価技術について、既存技術の有効性の確認、信頼性の向上、調査・評価に係るマネジメント能力の向上、およびこれらに係るノウハウや判断根拠の蓄積を目的とした実証的な取り組みを実施しています。

2014年度は、2012年度から開始したボーリング調査（YDP-3孔）を終了し、2006年度から開始した実証の成果の取りまとめに着手しました。

ボーリング調査では、堆積岩類の中でも調査事例が少ない付加体を対象として、既存のボーリング孔掘削、コア採取、水理試験、採水調査、力学試験等の技術を応用することにより、地質環境特性を体系的に把握することができる見通しを得ました。また、ボーリング孔掘削の方法が地質環境特性データの品質に与える影響を低減するためには、計画策定が重要であることを確認しました。

本実証において実施した既存情報の収集・整理、地表地質調査、地上物理探査、ボーリング調査、およびこれらの調査結果に基づいて地質環境モデルを構築した成果について、体系的な取りまとめを通じた報告書の作成に着手しました。

#### 主な成果

##### 1. ボーリング調査（YDP-3孔）

###### (1) ボーリング孔掘削

ボーリング調査を実施した地域には、付加体を構成する新第三紀の堆積岩類が広く分布しており、この堆積岩層中では、ボーリング孔の崩壊や孔径拡大、コア回収率の低下、および掘削ツールや調査機器の滞留等が生じました。このような事象への対応として、掘削ビットや掘削泥剤を適切に組み合わせ、ボーリングロッドの回転数、荷重、泥水の送水圧等を適切に制御することが有効であることを確認しました。

一方、ボーリング孔を安定して掘削するために使用する泥剤は、調査により取得する地質環境特性データに有意な影響を与えることを確認しました。例えば、地層中の粘土鉱物の膨潤を抑制するために、塩化カリウム（KCl）を高濃度で添加した場合、地下水の塩化物イオン（Cl<sup>-</sup>）濃度や塩素同位体（<sup>36</sup>Cl）を用いた年代測定の結果に影響が認められました。これを回避するために、ボーリング調査の目標を適切に設定し、それを達成するためのボーリング孔掘削の計画策定が重要であることを確認しました。

(2) ボーリング孔やコアを利用した調査

ボーリング孔を利用した調査では、既存の調査技術の有効性や適用性を確認するために、水理試験、孔内水平載荷試験、水圧破碎試験、地下水の採水調査に加え、過去に掘削したボーリング孔（YDP-2 孔）を利用した孔間弾性波トモグラフィや孔間水理試験等を行いました。この結果、既存の調査技術を応用して適用することにより、付加体を構成する堆積岩類の地質環境特性を把握できる見通しを得ました。

一方、孔内水平載荷試験や水圧破碎試験については、地質性状によりボーリング孔径が拡大した場合に適用可能な試験装置が限定され、代替試験装置を使用しなければならない等、試験運用面の課題を確認しました。また、採水装置を長期間ボーリング孔内に設置し採水調査を実施する場合、孔壁の崩落等により装置が回収できなくなる可能性が想定されるため、採水ボトルを回収可能な構造にする改良等の必要性を確認しました。

ボーリングコアを利用した調査では、採取したボーリングコアを高圧で圧縮して間隙中の地下水を抽出し、化学分析を実施しました。その結果、Cl<sup>-</sup> 濃度（図 2-1 のコア間隙水）が深度とともに増加する傾向が認められました。また、深度 300 m 付近よりも深部のコアから抽出した地下水の Cl<sup>-</sup> 濃度は、海水程度の濃度に達していることを把握しました（図 2-1）。ただし、KCl を添加して掘削した区間では、抽出した地下水の Cl<sup>-</sup> 濃度が現在の海水よりも高いことから、この原因を特定するために、主成分分析等による統計処理を実施しました（図 2-2）。その結果、同区間のコアから抽出した地下水は添加した KCl による影響を受けている可能性が示唆されました。

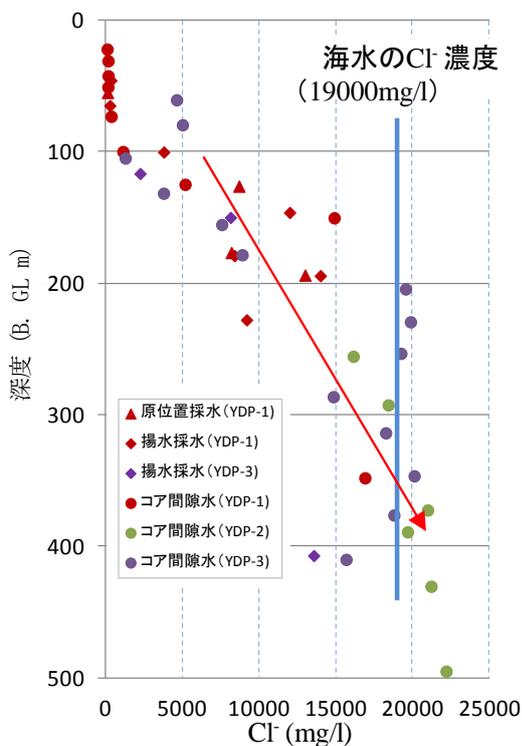
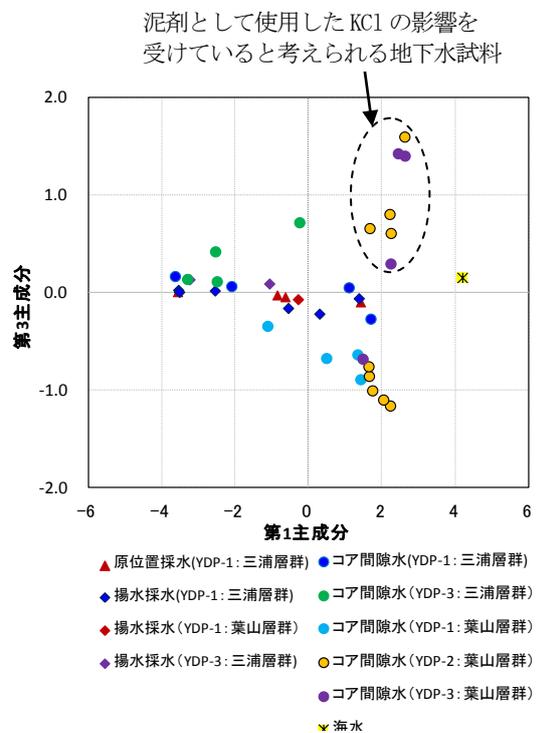


図 2-1 地下水の Cl<sup>-</sup> 濃度の分布



上記の主成分分析で用いた水質項目：Na, K, Ca, Mg, Cl, δD, δ<sup>18</sup>O

図 2-2 主成分分析の結果

これまでの調査結果に基づく地質構造モデルの妥当性を確認するために、YDP-2 孔と YDP-3 孔との間で孔間弾性波トモグラフィを実施した結果、2 孔間の詳細な弾性波速度構造を把握しました（図 2-3）。なお、図 2-3 に示した葉山層群起源二次堆積物は、これまでに地上から実施した調査において把握されていない地層であることから、新たに地質構造モデルに反映しました。さらに、YDP-2 孔に設置している地下水の長期水圧・水質モニタリング装置を利用し、孔間弾性波トモグラフィを実施できることも確認しました。

### (3) 地質環境モデルの構築・更新

段階的に進めるサイト調査では、段階ごとに取得する様々な地質環境情報および解釈の結果に基づき、調査対象領域の地質環境モデルを構築・更新します。

本実証では、地質環境モデルの構築・更新に係る既存技術の有効性の確認を目的として、既存情報の収集・整理、地表地質調査、地上物理探査、およびボーリング調査の結果に基づき、段階的に地質環境モデルの構築・更新および地下水流動解析を繰り返し実施しました。その結果、予測と調査結果との対比を通じて、地質環境の理解に係る不確実性の種類および程度が把握でき、これに基づき次段階の調査対象を効果的に絞り込みました。

地下水流動のモデル化に関しては、当該地域の水理特性を考慮した定常解析では、実際の地下水の水質分布を十分に再現できないものの、海水準変動を考慮した非定常解析では、実際の地下水の水質分布を概ね再現することができました（図 2-4）。

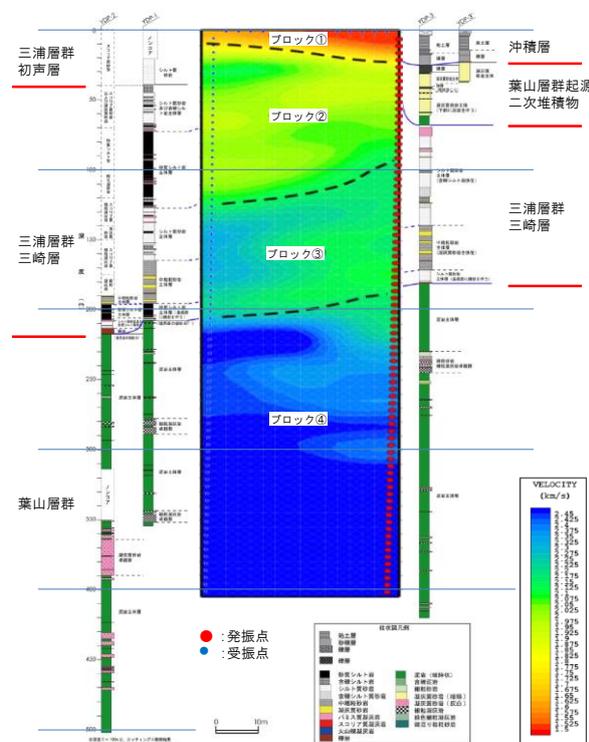


図 2-3 2 孔間の弾性波速度分布

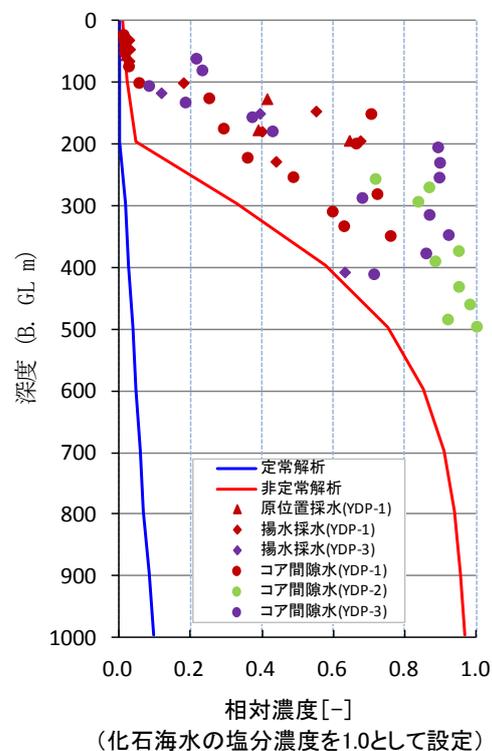


図 2-4 地下水流動解析結果と実測値との比較

このように、地質環境調査の結果と地下水流動解析の結果とを比較することにより、当該地域においては、海水準変動を考慮した非定常解析が重要であることを確認しました。また、地下水の Cl<sup>-</sup> 濃度および同位体の深度分布と地下水流動解析結果との組み合わせにより、地下水の水質形成を統合的に解釈しました（図 2-5）。

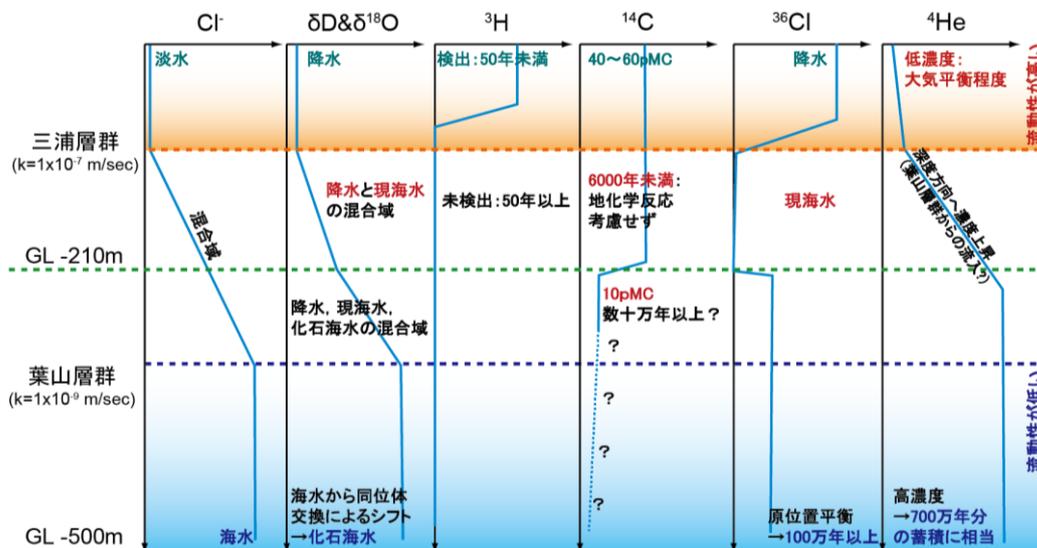


図 2-5 地下水の水質分布から推定される地下水流動場の解釈の例

(長谷川ほか, 2010 を編集)

## 今後の計画

ボーリング孔掘削で使用する泥剤が地下水の水質に与える影響を低減させるために、海外の地層処分事業や石油探査のボーリング孔掘削において、多様な地質に対応した泥剤が開発されていることから、これらの情報の収集・整理を進めます。また、ボーリング調査では、ボーリング孔掘削のトラブル回避の方策と調査結果の品質との関係性等を考慮し、品質マネジメントの考え方の整備を進めます。

これらの課題への対応を含め、本実証で得られた知見を体系的に取りまとめた報告書を完成させます。また、本実証の成果および JAEA 等が整備を進めてきた調査・評価技術に係る成果により、わが国の主要な地質環境を網羅する調査・評価技術の体系化についての見通しが得られると考えられます。今後もこのような取り組みを通じて、わが国に分布する多様な地質環境を適切に調査・評価するための技術開発を継続する計画です。

以上

### 技術課題-3 地質環境情報の管理支援システムの検討

#### ～ 地質環境に関する調査・解析情報の管理支援システムの整備 ～

#### 背景と目的

文献調査に引き続き、特に概要調査から精密調査前半においては、地表踏査、物理探査、ボーリング調査等の地表からの調査を通じて取得した地質環境情報に加え、その情報に基づき構築した地質構造モデルを追跡性・網羅性を持って管理することが重要となります。このため、地質環境情報および地質構造モデルを一貫して管理するための支援システムの整備を、2012年度から3ヶ年計画で進めてきました。

#### 主な成果

2014年度は以下に示す機能の改良、操作マニュアル等の整備を実施し、実際の運用に即したシステム構築を進め、予定通りシステムを完成しました（図3-1）。

- ① データ解析用ソフトウェア導入
- ② 既存システムとの連携機能の拡充
- ③ 地質構造モデル管理機能の拡充
- ④ システムの効率化

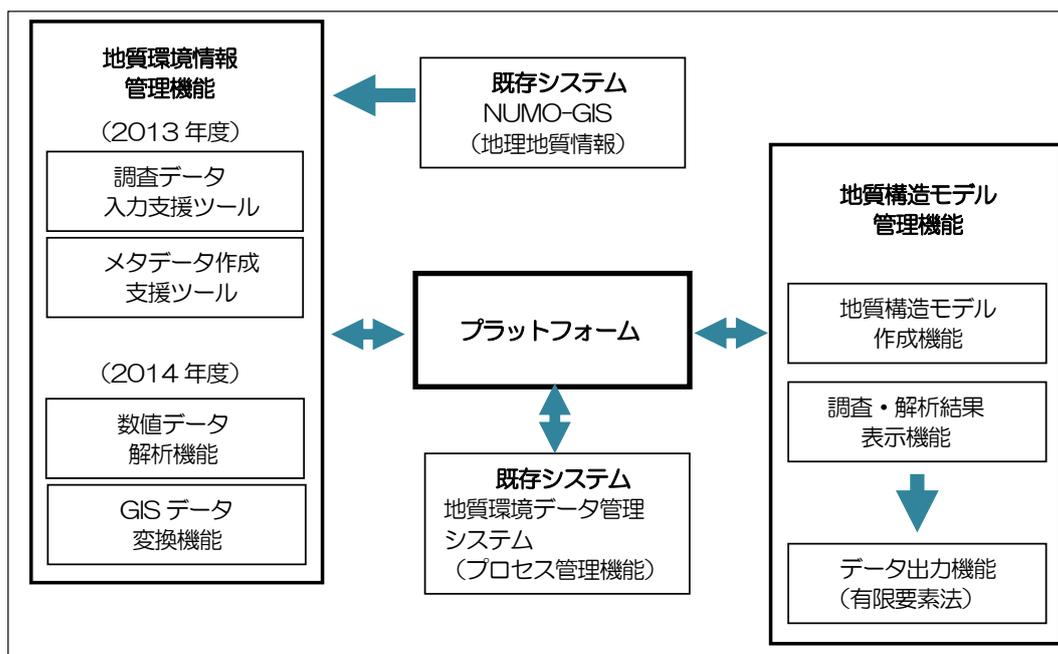


図3-1 システム構成図

①のデータ解析用ソフトウェアの導入については、数値データ解析ソフトウェアである OpendTect を導入し、本システムにより物理探査データ等の解析結果を地理座標を有するデータセットへ変換できるように整備しました。

②の既存システムとの連携機能の拡充については、原環機構地理情報システム (NUMO-GIS) に登録してある全国規模の地質環境情報を、本システムへ取り込むためのデータ変換機能を追加しました。また、地質環境データ管理システムとの連携機能を追加し、地質構造モデルの構築や考慮事項への適格性の評価に至るまでの会議・打合せ情報やそれらに関する地質情報等を時系列的・評価項目ごとに登録し、追跡性を持ってプロセスが管理できるように改良しました。

③の地質構造モデル管理機能の拡充については、本システムへ登録した地質環境情報の中から、地質構造モデルの作成に必要となる地質情報を抽出する機能、地質図・地質断面図等から地理座標を有する計算機上の数値モデルを作成する機能、任意の地質断面等と関連する調査データを並べて表示することにより数値モデルの修正を支援する機能を追加し、地質構造モデルの作成・更新を容易に行うことができるようにしました。また、作成した数値モデルと各調査結果を重ね合わせて表示できるように表示機能を改良するとともに、応力解析や水理解析等の有限要素法ソフトウェアで利用可能なデータ形式に変換する機能を追加しました。

④のシステムの効率化については、基本システムにより、地質環境情報の登録および地質構造モデルの作成が体系的に管理できるように、プラットフォーム機能を追加しました。具体的には、地質環境情報の登録支援ツールズや関連するソフトウェア類を直接起動できる機能を持たせ、プラットフォーム上で登録した地質環境情報を一元管理できるようにするとともに、プラットフォームから地質構造モデル作成ソフトウェアを起動し、数値モデルの作成・更新ができるようにしました。

## 今後の計画

地質図登録やモデル作成機能等、文献調査段階から活用できる機能について、使いやすさ等の向上を進め文献調査の開始に備えます。

以上

## 技術課題-4 地層処分システムの人工バリアの設計に関する検討

### ～ 設計要件に適合する人工バリア仕様の設定 ～

#### 背景と目的

わが国の代表的な岩盤の一つである深成岩類の地質環境モデルにおける高レベル放射性廃棄物の堅置き・ブロック方式の人工バリアを主な対象として、従来の仕様が改めて体系的に整備した設計要件に適合しているかどうかを確認するために、パラメータを見直しつつ解析等を行いました。

#### 主な成果

##### 1. 高レベル放射性廃棄物処分における人工バリアの設計方法

高レベル放射性廃棄物の処分システムにおける人工バリアはオーバーパックおよび緩衝材によって構成されます。人工バリアの設計では、まず、人工バリアの各構成要素の要求機能を設定し、その要求機能を確保するための設計要件に加えて、外的な影響要因等に対して閉鎖後長期にわたり要求機能を維持するための設計要件を設定します。次に、その設計要件を満たすための対応方針を定め、設計手順を設定し、手順に従い各要件を満足するように仕様を設計します。

以下に、オーバーパックおよび緩衝材を対象に、それぞれの要求機能および設計要件、設計手順、設計要件に対する対応の一例について紹介します。

##### 2. オーバーパックの設計

###### (1) 要求機能と設計要件の設定および設計手順の構築

オーバーパックの要求機能を満足させるための設計要件を機能確保および機能維持の観点から抽出・整理を行いました。

オーバーパックには要求機能として、「発熱の著しい期間の地下水接触の防止」が設定されています。この要求機能に対して、機能確保の観点から「母材の耐食性」や「母材の構造健全性」等の設計要件を抽出しました。また、機能維持の観点から「耐食性に対する放射線分解の影響の防止」や「バリア材料間の相互作用の影響の低減」といった設計要件を抽出・整理しました。これらの設計要件についての対応方針を検討し、設計手順を構築しました。抽出した設計要件および設計手順を図 4-1 に示します。

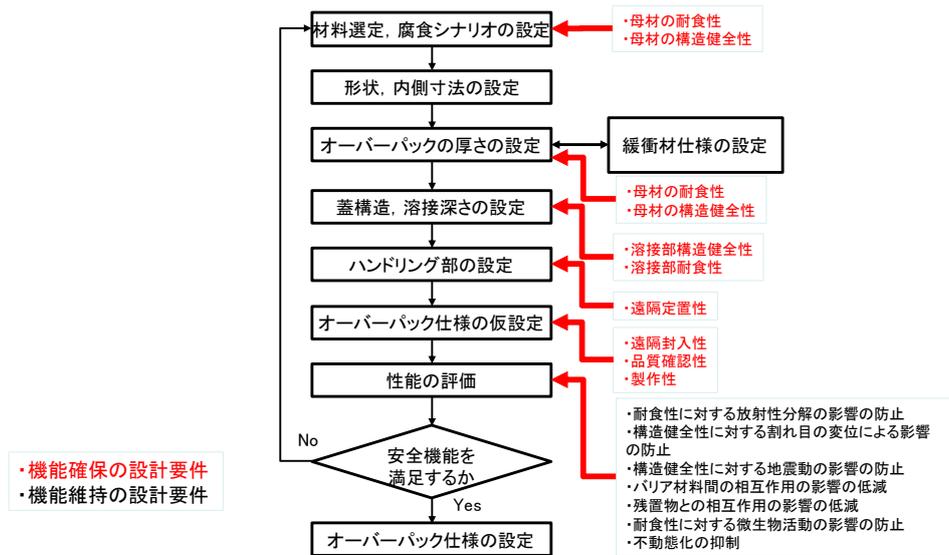


図 4-1 オーバーパックの設計手順

## (2) オーバーパックの設計に関する検討

図 4-1 に示した設計要件のうち「耐食性に対する放射線分解生成物の影響の抑制」について検討した結果を示します。この設計要件は、ガラス固化体から放出されるガンマ線による放射線分解生成物がオーバーパックの耐食性を低下させることを防止するために設定しています。放射線分解による影響として、腐食速度の促進およびオーバーパックの表面の不動態化が挙げられます。

このうち、放射線分解による腐食速度への影響を確認するために、放射線照射下において緩衝材中に埋め込んだ炭素鋼片の腐食試験が実施されています。その結果、オーバーパックの厚さが 100 mm 程度あれば腐食速度への影響を回避できることが示唆されています (JAEA, 2013)。

また、オーバーパック表面の不動態化に関しては、緩衝材中の間隙水の放射線分解生成物の生成量とその物質移行を再見積もりし、不動態化の防止に必要なオーバーパックの厚さを求めました。再見積もりの結果を図 4-2 に示します。ここで、図 4-2 の縦軸は、オーバーパックの厚さに対して、放射線分解生成物と反応することで変化するオーバーパック表面のカソード電流密度を指します。このカソード電流密度が不動態化保持電流密度を上回らないように遮蔽に必要な厚さを求めました。その結果、遮蔽に必要な厚さは 110 mm となりました。

以上のように、第 2 次取りまとめ以降に得られた最新の科学的知見や、解析方法を見直すことにより、第 2 次取りまとめで示していた遮蔽に必要な厚さ (150 mm) により安全性が確保できることを改めて確認しました。

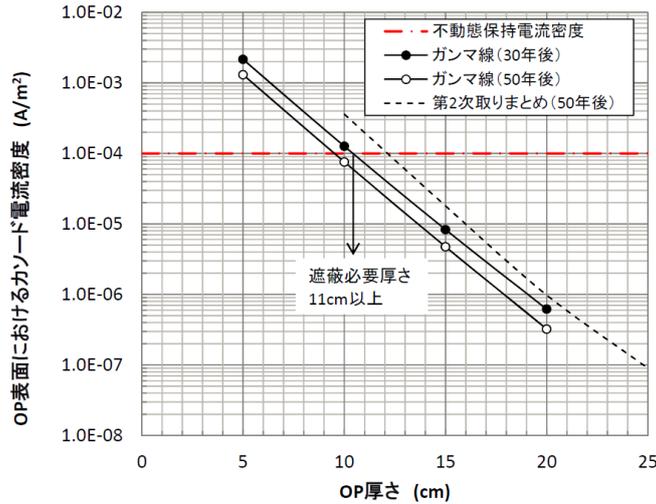


図 4-2 遮蔽に必要なオーバーパックスの厚さ

### 3. 緩衝材の設計

#### (1) 要求機能と設計要件の設定および設計手順の構築

緩衝材の要求機能を満足させるための設計要件を機能確保および機能維持の観点から抽出・整理を行いました。

緩衝材には要求機能として、「移流による放射性物質の移行の抑制」、「コロイド移行の防止・抑制」、「収着による放射性物質の移行の遅延」が設定されています。この要求機能に対して、機能確保の観点から、「低透水性」や「コロイドろ過能」等の設計要件を抽出しました。また、機能維持の観点から、「物理的緩衝性」や「オーバーパックスの沈下の防止」といった設計要件を抽出・整理しました。これらの設計要件についての対応方針を検討し、設計手順を構築しました。抽出した設計要件および設計手順を図 4-3 に示します。

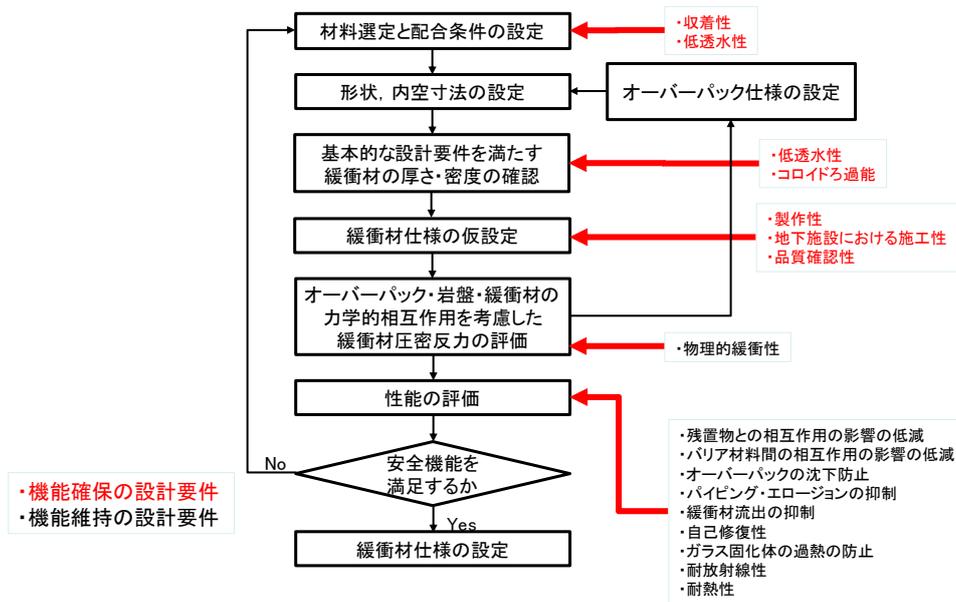


図 4-3 緩衝材の設計手順

## (2) 緩衝材の設計に関する検討

以下に、図 4-3 に示した設計要件のうち「物理的緩衝性」について記述します。

オーバーパックの腐食膨張に伴う圧力増加の解析方法等を見直し、オーバーパックに作用する圧力に対する強度解析を実施しましたが、結果は従来と大きく変わらないことを確認しました。

物理的緩衝性は、オーバーパックの腐食膨張による緩衝材の圧密反力の増大や、静水圧、地震動等の力学的影響に対してオーバーパックを保護することを期待して設定しています。物理的緩衝性の観点から緩衝材の厚さを見直した結果、結果は従来と大きく変わらないことを確認されました。

また、地震等によって緩衝材が力学的に破壊されると、緩衝材全体に亀裂等が生じる可能性があります。緩衝材中に発生する亀裂は自己修復性によって修復することが想定されますが、物理的緩衝性やオーバーパックの沈下の防止等で実施する評価に影響することが考えられます。

このため、人工バリアの耐震安定性について、緩衝材の地震時挙動に着目して検討を進めました。その結果、細部に改善の余地は認められるものの、入手可能な知見の中で検討モデルが緩衝材のモデルとして妥当なものになっていると考えられました。また、人工バリアを構成する緩衝材は 2011 年東北地方太平洋沖地震等の巨大な地震動に対しても十分な裕度をもって力学的健全性を確保していること、オーバーパックに対して地震時の振動による影響を緩衝する効果を発揮していること等が確認できました。これらの結果は、人工バリアは地震動により放射性物質の閉じ込め機能を消失するような状態には至らないことを示唆しています。

## 今後の計画

今年度は、深成岩類の地質環境モデルにおける高レベル放射性廃棄物の縦置き・ブロック方式の人工バリアを主な対象として検討しました。今後は、堆積岩類の地質環境における縦置き・ブロック定置方式、あるいは横置き・PEM 方式を対象に検討を行い、従来の人工バリアの仕様が設計要件に適合しているかどうかを確認していきます。

以上

## 技術課題-5 操業期間中の回収可能性に関する技術的検討

### 背景と目的

地層処分事業では、これまでも閉鎖措置を開始するまでの期間の回収可能性を維持することとしていましたが、改めて可逆性および回収可能性の位置づけについて、さらなる議論や検討が国の審議会において進められました。このような背景を踏まえ、回収可能性が技術的に確保できることをより具体的に示すために、NUMO は、原環センターとも協力しつつ、改めて回収可能性の検討をはじめました。

### 主な成果

#### 1. 回収可能性とは

回収可能性は、操業開始から閉鎖措置開始までの期間の可逆性を確保する手段を準備しておくことです。

可逆性の制度上の扱いについては、閉鎖に際して安全評価の妥当性を確認するまでの期間、回収可能性を維持することの重要性が指摘され（原子力安全委員会、2000）、その後の総合資源エネルギー調査会（2008）においても、具体的な回収手段を検討しておくことが重要であるとされています。これを受け、NUMO でも閉鎖措置を開始するまでの期間、回収可能性を維持することとしています（NUMO、2011）。

以上に基づき、回収可能性を検討する際の視点を以下の2点にまとめました。

- 埋設した放射性廃棄物を回収する技術的手段の整備（回収技術の検討）
- 回収可能性を維持することに伴い留意すべき事項の特定および対策等の整備（回収可能性の留意事項の検討）

#### 2. 回収技術の検討

回収技術の検討にあたり、回収が必要となる時点の放射性廃棄物や人工バリアの状態を検討し、図 5-1 のように整理しました。同図中の「A：廃棄体定置・緩衝材施工後」は、緩衝材を施工後、処分坑道を埋め戻さない状態です。「B：処分坑道埋め戻し・プラグ施工後」は、処分坑道を埋め戻した後に坑道の端部にプラグを施工した状態で、連絡坑道は解放された状態です。「C：主要・連絡坑道埋め戻し・プラグ施工後」は、アクセス坑道のみが解放された状態です。状態が A から C に進むにつれて、回収することが技術的により難しくなります。一方、それぞれの状態で、閉鎖までの期間、回収可能性を維持した場合は、逆に C から A に向かうほど閉鎖後長期の安全性への影響が大きく、換気、排水等の施設の維持に伴う費用も増大します。したがって、放射性廃棄物の埋設後、閉鎖まで

の期間、回収可能性を維持する場合には、回収の容易さに加え、閉鎖後長期の安全性および回収を維持することに伴う費用のバランスを考慮する必要があります。

以下に、前述の条件にバランスよく対応可能と考えられる「B：処分坑道埋戻し・プラグ施工後」の状態を対象として回収可能性について述べます。なお、検討対象とした人工バリアの定置方式は、縦置き・ブロック方式および横置き・PEM方式の2種類としましたが、状態設定の考え方等は両者とも基本的には同じです。

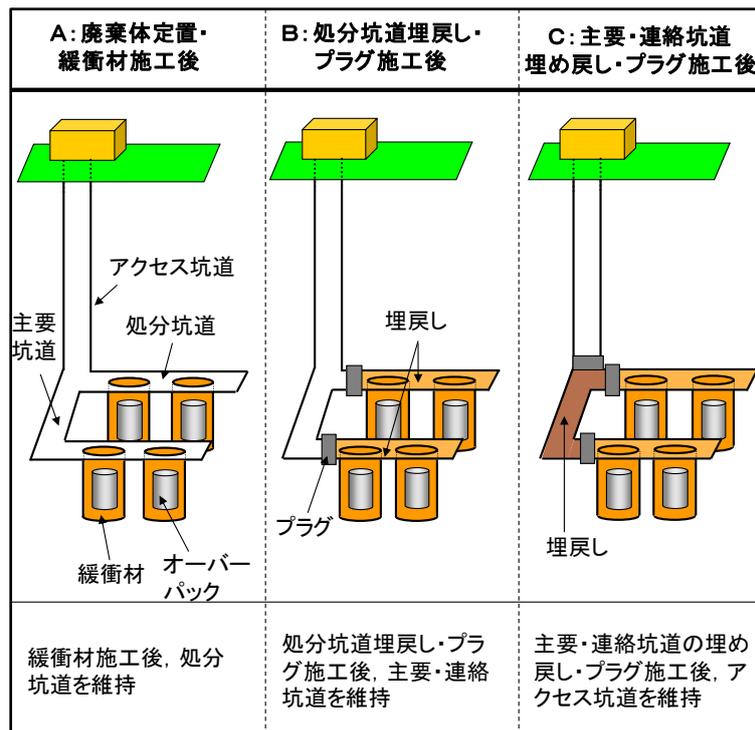


図 5-1 回収時の状態設定

## 2.1 回収技術の検討

Bの状態を対象とすると、縦置き・ブロック方式の場合の回収の手順は、①処分坑道の端部プラグの除去、②坑道埋め戻し材の除去、③緩衝材の除去、④オーバーバックの回収、という流れになります。横置き・PEM方式の場合には、①、②までの手順は同じですが、閉鎖までの期間が50年程度であれば、PEM容器の腐食はほとんど進展していないと考えられるため、PEM容器ごと回収することが可能です。図5-2に、横置き・PEM方式を対象として検討した回収方法を模式的に示します。

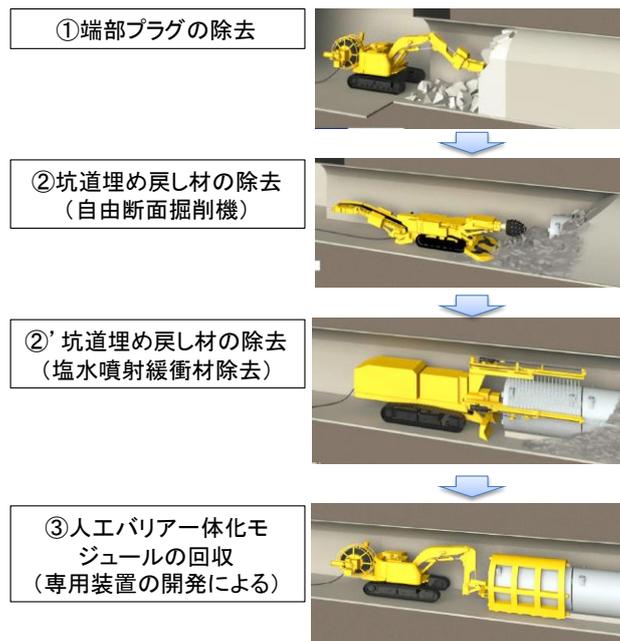


図 5-2 回収手順と適用する回収技術の例（横置き・PEM 方式の場合）

また、縦置き・ブロック方式を対象とした緩衝材除去技術については、国の基盤研究における要素試験や実規模大の実証試験を通じて、その実現性が確認されています(図 5-3)。

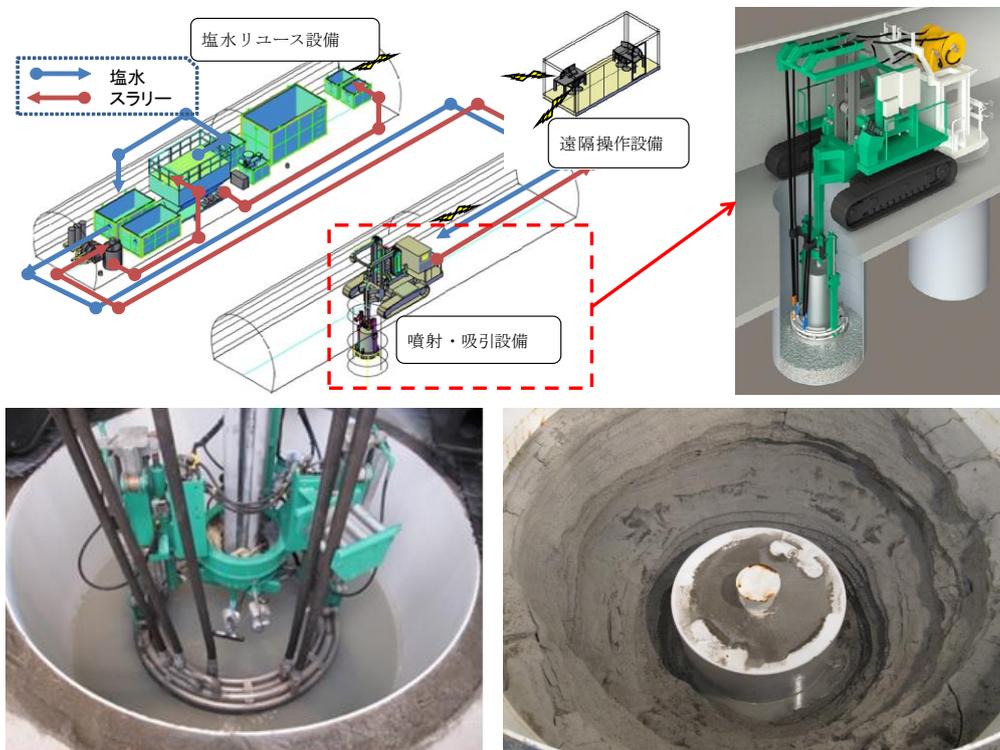


図 5-3 縦置き・ブロック方式を対象とした緩衝材除去システムの模式図（上）

および緩衝材除去技術の実証試験の様子（下）

（原環センター，2014 を編集）

### 3. 回収可能性の維持に関する留意事項

前項までに示したように、埋設した放射性廃棄物の回収は、現時点の技術でも工学的に実現可能であるという見通しを得ています。

一方で、閉鎖措置開始までの期間が延伸すると、坑道への湧水を排水することに伴い周囲の地下水を引き込むため、それが水位の低下や水質の変化の要因となる可能性があります。このように、回収可能性を維持するために湧水の排水を継続することは、地下水の特性に影響を与え、最終的には処分場の閉鎖後の長期安全性に対して影響を与える可能性があります。また、閉鎖までの間、長期間にわたり坑道を埋め戻さないと支保工の劣化等が考えられ、定期的に坑道を補修することが必要になります。さらに、換気、坑道の補修を長期間継続することは事業費の増大につながります。したがって、閉鎖後長期安全性への影響を与えにくいような回収可能性の維持の方法の検討が必要です。

#### 今後の計画

回収技術は操業が開始されてから必要となりますが、サイト選定の段階から回収可能性が確保されていることを技術開発に基づいて提示する必要があります。このため、今後も必要に応じて技術の整備を進め、技術の進捗を定期的に取り込んでいきます。

また、回収可能性の維持に関する留意事項については、今後、サイトの地質環境特性等を踏まえて検討を進め、回収可能性を維持することが地層処分システムに有意な影響を与えることがないように対策を施す計画です。

以上

## 技術課題-6 地層処分システムの地下施設の設計に関する検討

～ 断層の存在する地質構造における地下施設の配置と坑道シーリングの考え方 ～

### 背景と目的

実際の地質環境における処分場設計の実現性を示すために、より現実的な状態を考慮して地下施設の設計の検討を行いました。より現実的な状態として、断層破碎帯が存在する地質構造および施工上必要な排水工の残置等による坑道に沿った透水性の高い領域の存在の二つを考慮しました。

### 主な成果

#### 1. 地下施設の配置の考え方の整備

地下施設設置の対象となる領域に断層破碎帯が存在する場合、これが水理的および力学的に特異な構造となり、処分システムを構成する要素の要求機能の確保に影響を与えることが想定されます。断層破碎帯による影響事象および地下施設の配置における、それぞれへの対応方針（設計要件）を表 6-1 のように設定しました。

表 6-1 断層破碎帯による影響事象および地下施設配置における対応方針

影響事象	地下施設配置における対応方針（設計要件）
坑道が断層破碎帯を横断する場合に、これが力学的な弱部になることにより空洞安定性が低下する	坑道が断層破碎帯を横断する箇所が少なくなるよう考慮すること
坑道が断層破碎帯を横断する場合に、断層破碎帯からの湧水により作業環境の維持が困難となる	

これらの影響事象に対しては、支保工の増強やグラウチング等による湧水抑制対策を取ることに対応可能です。しかしながら、断層破碎帯を横断する箇所が多くなるほど作業時の安全性および経済性の観点から不利になります。このことから、地下施設の配置における設計要件として、「坑道が断層破碎帯を横断する箇所が少なくなるよう考慮すること」を設定しました。この設計要件に照らして、多数の処分坑道から構成される処分パネルを断層破碎帯が横断しないように地下施設を配置することを基本的な考え方としました。

## 2. 止水プラグおよび埋め戻し材に関する検討

止水プラグを対象に坑道に沿った地下水流速を低減する効果を数値解析により評価し、その結果に基づいて設置の考え方を示しました。さらに、埋め戻し材について、支保工等の周辺の部位の劣化による透水性の上昇による影響を考慮に入れて、要求機能を設定しました。

### (1) 止水プラグの適用の考え方の検討

地下施設の埋め戻しを施した後は、坑道周辺には掘削の影響により生じた透水性の増加した領域、時間の経過とともに劣化したコンクリート製支保工、建設・作業時に設置されて閉鎖後にも残置された排水管等により、坑道に沿った高透水性の構造が形成されることが想定されます。これに起因して坑道に沿った比較的早い地下水流速（以下、「坑道沿いの地下水流」という）が発生することが考えられ、核種移行抑制の観点からは、このような現象が抑制されていることが好ましい状態です。このため、止水プラグによる坑道沿いの地下水流の低減の効果を判断することを目的として、処分パネルを包含するスケールの地下水流動解析を実施しました。図 6-1 に解析に用いたモデルの概要を示します。各坑道に止水プラグを、1 個、5 個、9 個、17 個、33 個配置した状態を設定し、その際の坑道に沿った地下水流速の分布を評価しました。図 6-2 に各ケースの坑道に沿った地下水流速の分布を示します。

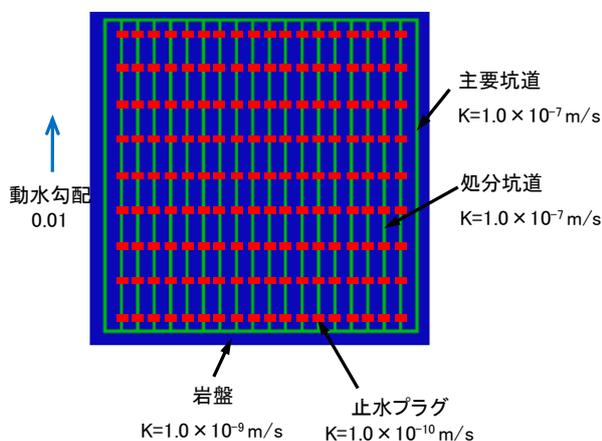


図 6-1 解析モデル（止水プラグを坑道 1 本あたり 9 個配置したケース）

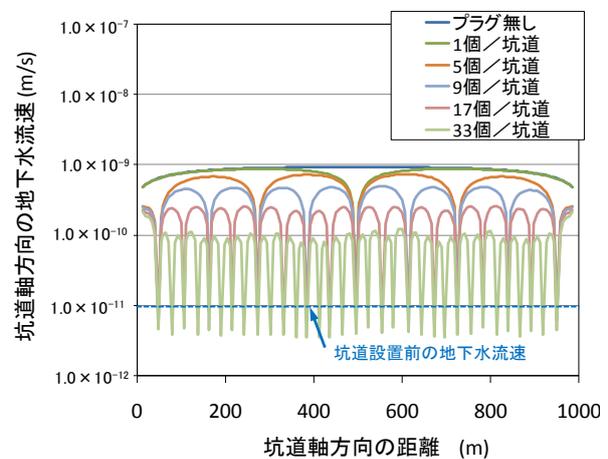


図 6-2 坑道の地下水流速の分布

この結果から、止水プラグによる坑道沿いの地下水流の低減の効果はプラグ近傍に限定され、止水プラグを非常に密に配置した場合、埋め戻した坑道の透水性を母岩相当の透水性にまで低減できる見通しがあることがわかりました。このことから、止水プラグの設置の基本方針を次のように決めました。

- ▶ 止水プラグにより処分坑道に沿った地下水流を坑道設置の前の状態にするためには短い間隔で多くの止水プラグを設置することが必要となることから、処分坑道に廃棄体を定置できる割合の著しい低下につながり非合理的である。このことから処分坑道に止水プラグを設置しない。
- ▶ 単設の坑道で坑道沿いの地下水流が発生する箇所（例えば、立坑に沿った移行経路の形成等）には止水プラグを密に配置しこれを抑制する。

## (2) 埋め戻し材に付与すべき機能の検討

止水プラグによる処分坑道沿いの地下水流の低減が期待できないため、埋め戻し材により坑道沿いの物質移行を低減させることが可能か否かを検討しました。検討においては、処分坑道の状態（支保工の有無、排水管の有無等）の設定後、それを安全評価に引き渡して評価モデルを作成し、ニアフィールドの物質移行評価のための感度解析を実施しました。検討に用いたモデルの概念図を図 6-3 に示します。高透水性の構造は坑道の周囲に存在することが考えられますが、モデル上では坑道の底部にのみ高透水性の構造を配置しています。検討ケースを表 6-2 に、解析結果を図 6-4 に示します。

表 6-2 検討ケース

ケース	埋戻し材の透水係数 [m/s]	坑道底部 EDZ の透水係数 [m/s]
ケース 1	$2 \times 10^{-10}$	$2 \times 10^{-10}$
ケース 2	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-5}$
ケース 3	$1 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-5}$

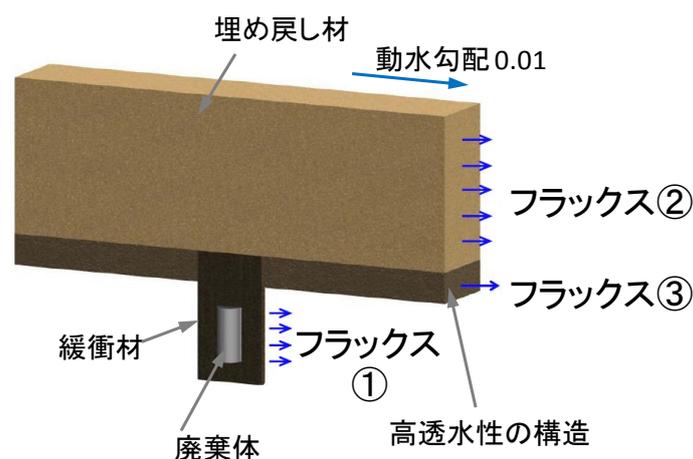


図 6-3 解析モデルの概念図

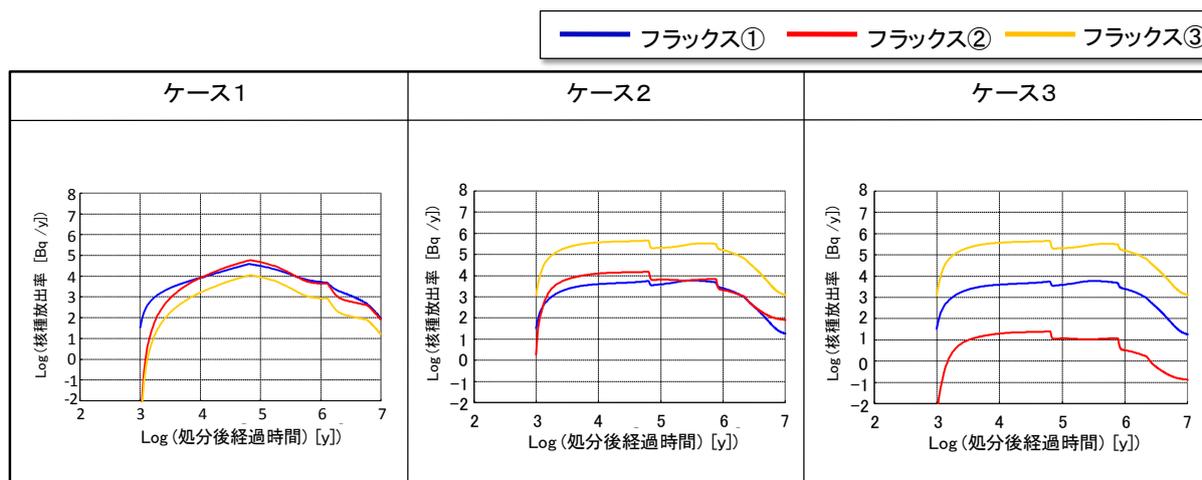


図 6-4 各領域からのフラックス

これによるとケース2とケース3との比較から、物質移行は高透水性の構造に支配され、埋め戻し材の透水性を変化させても、全体のフラックス（フラックス①、②、③の和）の変化への影響は小さいことが示唆されます。このことから、坑道に沿った高透水性の構造が存在する場合には、埋め戻し材に坑道沿いの物質移行を低減させる機能を期待することは難しいと判断しました。このため、埋め戻し材には、処分孔に設置した緩衝材の膨出や処分坑道の内空側への変形を抑制する機能を付与することが適当と考えられます。

#### 今後の計画

現実的な地質環境モデルを対象として、今回整備した地下施設の配置の考え方を適用し、地下施設のレイアウト設計を実施します。また、設計した地下施設のレイアウトを考慮に入れた地下水流動解析結果に基づき止水プラグの設計を実施します。

以上

## 技術課題-7 地層処分システムの安全評価解析

### 背景と目的

第2次取りまとめ以降のシナリオ開発手法やパラメータ設定に係る研究内容等の情報を統合し、サイトを特定しない地質環境における安全評価手法の適用性を確認するための検討を行いました。2014年度の検討では、リスク論的な安全評価の実施を念頭に、別途調査された国内外のシナリオ区分や評価期間の考え方を参考に安全評価の枠組みを決定しました。また、深成岩類の地質環境モデルとそれに対する処分場設計条件に基づき、安全評価の枠組みに沿って基本シナリオおよび変動シナリオを構築し、これを定量化するためのモデルの検討およびデータセットの作成を行い、線量評価を実施しました。さらに、稀頻度事象シナリオおよび人為事象シナリオについても、一部の事象について、これを様式化し線量解析を実施しました。

### 主な成果

#### 1. シナリオ区分および評価期間の設定

地層処分の安全評価において、その安全性を判断するためには、シナリオ区分やシナリオ区分ごとに想定される線量めやす値および評価期間を設定することが必要です。このため、技術課題-10で示す国内外や国際機関の検討事例を参考に、四つのシナリオ区分を設定し、それぞれの区分に対して妥当と考えられる線量基準を表7-1のように定義しました。

表 7-1 包括的技術報告書における安全評価のシナリオ区分および線量めやす値

シナリオ区分	定義	線量めやす値
基本シナリオ	通常想定される最も可能性の高いシナリオであり、処分施設の安全性を評価するための基本となるシナリオ	10 $\mu$ Sv/y
変動シナリオ	発生可能性が低いシナリオであり、基本シナリオに対して、科学的に想定される安全上重要な変動要因を考慮したシナリオであり、処分施設が不確かさに対する頑健性を有するか評価するためのシナリオ	300 $\mu$ Sv/y
稀頻度事象シナリオ	発生可能性が著しく低い自然事象を考慮したシナリオであり、そのような事象に対しても処分施設が頑健性を有していることを確認するためのシナリオ	発生直後：20～100 mSv/y 2年目以降：1～20 mSv/y
人為事象シナリオ	偶発的な人間活動による処分施設の損傷等による影響を緩和できるような処分システムかどうかを確認するシナリオ	周辺被ばく：1～20 mSv/y 近接者：20～100 mSv/y

また、評価期間についても同様に技術課題-10での調査結果に基づき、時間の経過に伴い増大する評価の不確実性の観点から、定量的な評価の適用が可能な期間を閉鎖後 100 万年間程度とし、当該期間を対象とした線量評価を実施することとしました。なお、100 万年を超える期間については、代替的な指標等による検討を実施することが望ましいと考えています。

## 2. 安全評価の実施

### (1) シナリオの構築手法の検討

#### 1) 基本シナリオおよび変動シナリオ

安全評価におけるシナリオは、1.で示したシナリオ区分とその考え方にしたがって構築します。基本的には、トップダウンアプローチによって明らかにされる安全機能およびその性能を決める状態変数に加え、ボトムアップアプローチによって整備される FEP 情報に基づき、シナリオで考慮すべき分岐の確からしさを評価し、発生の確率が高いと考えられる基本シナリオおよび変動シナリオを構築します（図 7-1）。

具体的には、選定された地質環境において可能性が高いと考えられる状態、または工学的設計により対処した結果、対処しない場合よりも可能性が高いと考えられる状態については、基本シナリオにおいて取り扱うこととしました。また、選定された地質環境において、不確実性を考慮して施設設計を施してもなお地層処分システムの長期的な時間変遷のなかで可能性が否定できない状態については、変動シナリオにおいて取り扱うこととしました。

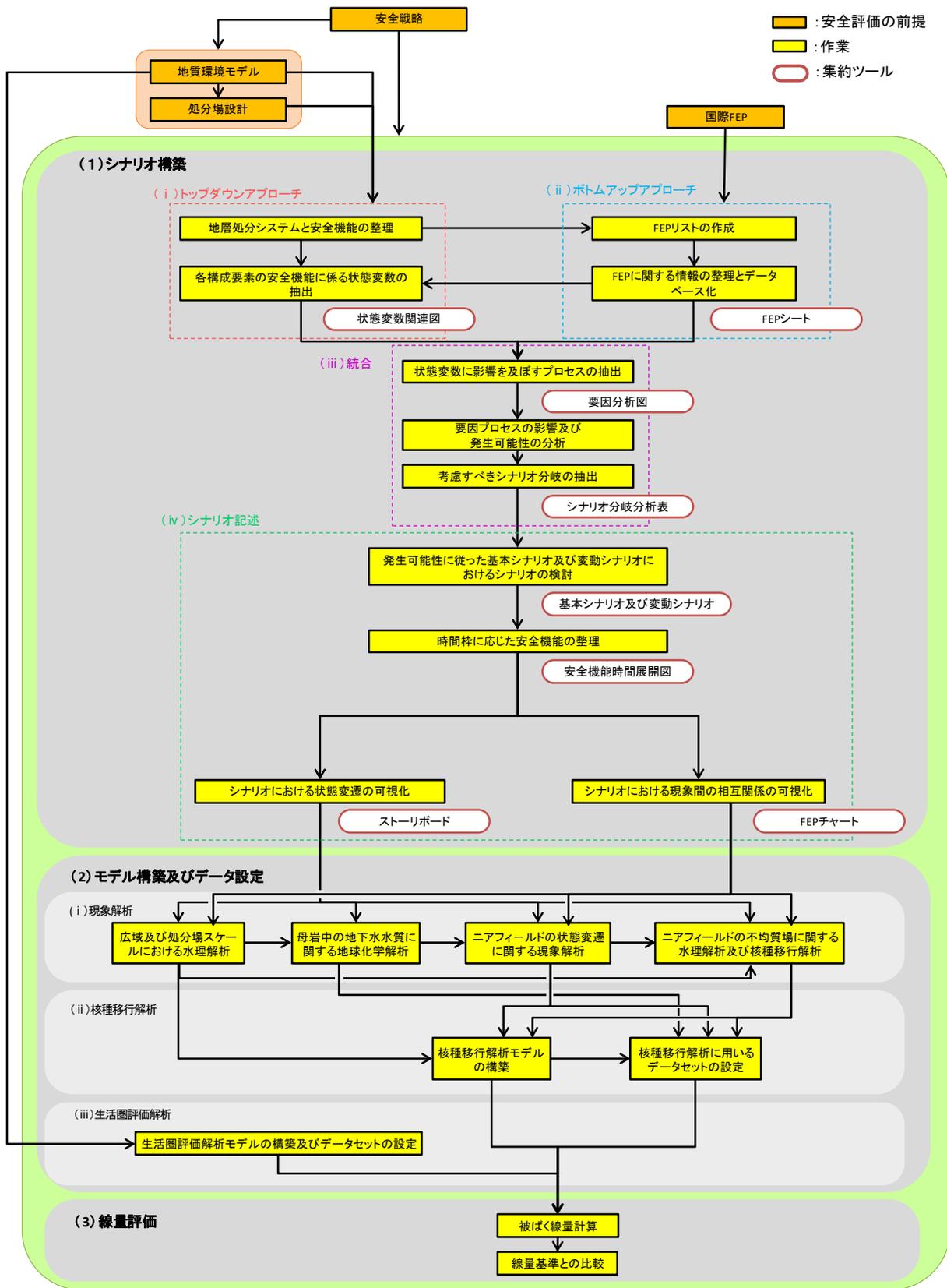


図 7-1 シナリオ構築手順

## 2) 稀頻度事象シナリオおよび人為事象シナリオ

稀頻度事象シナリオおよび人為事象シナリオについては、想定すべき事象がFEPリストやFEPシートに記載されている場合でも、特定の地点において発生規模や発生するプロセスを明確に記述することは困難です。このため、処分システムに与える影響の程度を科学的に定量化することも困難といえます。このような大きな不確実性を取り扱う方法としては、様式化によるモデル化および定量評価が適切であると考えられます。

稀頻度事象シナリオは、サイト選定において回避する事象のうち、線量評価を適用する期間において発生の可能性が否定できないものを対象とします。様式化においては、処分施設周辺において認められる類似の事象を参考に、科学的な妥当性を有する核種移行モデル等の構築およびデータの設定を行います。ただし、処分地が決定していない現段階の評価においては、わが国における類似の事象を参考にモデルの構築およびデータの設定を行います。

人為事象シナリオは、現在の人間の活動形態に基づき構築されることから、人為事象評価に係るモデルやデータについては、わが国で現在認められている人間活動に基づいて合理的かつ適切に設定します。また、評価で用いる核種移行モデルや核種移行パラメータといった人間活動に直接的に関係がないモデルやデータについては、科学的な観点から、可能性が高いと考えられる状態に基づいて設定します。

### (2) シナリオの構築

#### 1) 基本シナリオおよび変動シナリオ

シナリオの構築は、技術課題-1で示した深成岩類および技術課題-5で示した堅置きの人工バリアの設計概念を前提として、基本シナリオおよび変動シナリオを対象に実施しました。基本シナリオについては、(1)で示した手順に従いストーリーボード（対象とする空間スケールごとに、バリアの状態や核種移行に関係するプロセスを概念図や言葉を用いて描写したもの）を作成しました。図7-2に、人工バリア近傍の基本シナリオにおけるストーリーボードを示します。また、表7-2には、予備的な検討に基づき記述したシナリオを示します。

	坑道閉鎖後 100 年間程度	オーバーバック開口後	
概要			
環境条件	T	● 緩衝材及び母岩中の最高温度は 100℃ 以下 ● 廃棄体の発熱による温度上昇が顕著な期間は数十年程度	● 処分場深度減少に応じて、地温勾配(3℃/100m 程度)に従い人工バリア等の温度は低下する
	H	● 透水性割れ目からの地下水供給によって上部坑道埋め戻し材及び緩衝材が水分飽和に到る ● 飽和後の緩衝材は低透水性であり地下水の流れは無視し得る	● 処分場深度における地下水流速の変化は顕著ではない
	M	● 埋め戻し材及び緩衝材は膨潤して一種な圧縮場となる ● 緩衝材膨潤圧と地圧・静水圧が均衡することによって新たな定常的応力場が形成される	同左
	C	● 坑道閉鎖後に残留する酸化物は、オーバーバック、緩衝材や母岩中の鉄鉱物あるいは微生物等との反応によって消費され、還元環境となる ● 周辺岩盤中の地下水水質は当初の FRHP に回復する	同左
放射性物質の溶解度制限	万一の核種漏洩に備えたバックアップとしての潜在的機能	処分場深度は還元環境であり、地下水水質は FRHP であるため、核種移行抑制に寄与する	
移流・分散による移行率の低減	万一の核種漏洩に備えたバックアップとしての潜在的機能	深部岩体(母岩)中の地下水流速は上部割れ目自体に比して顕著に小さく、また、飽和後の緩衝材は低透水性であり地下水の流れは無視し得るため、核種移行抑制に寄与する	
収着による移行の抑制	万一の核種漏洩に備えたバックアップとしての潜在的機能	処分場深度は還元環境であり、地下水水質は FRHP であるため、核種移行抑制に寄与する	

図 7-2 人工バリア近傍の基本シナリオにおけるストーリーボード

表 7-2 人工バリア近傍の基本シナリオ（予備的検討）

<ul style="list-style-type: none"> <li>オーバーバックは、腐食の進行にともないその強度が緩衝材膨潤圧や地圧等の周囲からの応力を下回った段階で変形し開口し、地下水が容器内に浸入する。設計で見込まれるオーバーバックの寿命は1,000年であり、この間にガラス固化体から生じる熱および放射線の影響は無視できる程度まで小さくなる。オーバーバック表面付近の緩衝材は溶出した鉄の影響で変質するが、二次鉱物の沈殿によってその範囲は限定される。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>オーバーバック開口後、地下水がガラス固化体に接触し、ガラスマトリクスの溶解にともなって放射性核種が地下水中に溶出を開始する。このとき、ガラス固化体には、製造時の冷却等による割れが生じていると考えられ、これが単位時間あたりのガラスの溶解量に影響を及ぼす。オーバーバック開口後の変形や腐食膨張によってガラス固化体に応力が加わるが、製造時の割れ目がすでに存在しているためにさらなる割れの発生は緩衝される。また、ガラスの溶解が進むことにより体積が減少し、それに伴う表面積の減少が単位時間あたりの溶解量を低下させる。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>主要な放射性元素の多くは還元条件下で難溶性であるため、ガラス固化体からの溶出あるいは親核種からの崩壊により溶解度を超えると沈殿を生じる。その際、同位体が存在する場合には、それぞれの核種の濃度は同位体存在比に応じて、その元素の溶解度よりも小さくなる。難溶性の核種は、このように溶解度により制限される濃度を上限とした濃度勾配に従って緩衝材中を溶質として拡散し、その過程で緩衝材の構成鉱物に収着することにより移行が遅延される。一方、溶解度が大きく沈殿を生じない核種はガラスの溶解速度に従って溶出し、緩衝材中を拡散移行する。核種は、人工バリア中を移行する間にも放射性崩壊により減衰/生成する。緩衝材外側周辺を通過する地下水の流れは一般的に遅く、緩衝材中の濃度勾配は緩やかなものとなる。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材以外に、オーバーバックの腐食生成物層においても収着等により核種移行が遅延される可能性がある。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>ガラス固化体中に存在する放射性核種からの放射線により緩衝材間隙水の放射線分解が起こり酸化剤（過酸化水素、溶存酸素等）が生ずるが、人工バリア内の還元剤（オーバーバックとその腐食生成物、緩衝材中の黄鉄鉱、地下水中の還元物質等）との反応により、酸化剤が存在し続けるとしてもガラス固化体近傍にとどまる。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>また、緩衝材の微細間隙構造がもたらす濾過機能により、コロイド、微生物あるいは高分子量の天然有機物の移行は抑制される。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>深成岩類の場合には、プラグ、グラウト、支保工としてセメント系材料を用いる場合にもその量は限定され、影響が懸念される場合でも、低アルカリ性コンクリートを使用することを前提とすればその影響は小さい。このため、緩衝材は、長期間にわたって顕著な変質を起こさず、所要の安全機能を発揮する。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材の母岩の亀裂への侵入は、緩衝材密度を低下させる可能性があるものの、亀裂の開口幅や周辺母岩中の流速が浸食を促進するほど大きくはないために制限され、緩衝材密度の顕著な低下を生ずることはないと考えられる。また、設計によって最高温度が 100℃ 未満となるように位置間隔が設定されるため、長期間にわたって緩衝材の顕著な変質は生じない。還元状態でのオーバーバックの腐食にともない発生する水素ガスについては、時間とともに腐食速度が小さくなること等から緩衝材の膨潤圧程度まで蓄積することはなく、蓄積したとしても、緩衝材中を通気し、その後、通気経路は閉塞する。オーバーバックの腐食膨張や沈下については、緩衝材の厚さや密度を低下させる可能性があるものの、設計において考慮されており、人工バリアの機能を損なうことはない。処分施設や母岩についても人工バリアの性能に影響を与えるような物理的・化学的な変化はない。</li> </ul>

変動シナリオについては、図 7-1 のフローで示したシナリオ分岐分析表等の分析の途中ですが、以下に示すような事象をその候補として抽出しました。これらは、発生可能性の観点から基本シナリオで想定している範囲には含まれておらず、かつ、現状の知見では否定することが困難な事象に該当するものです。また、基本シナリオにおいて用いるデータセットに含まれるパラメータの不確実性について分析し、安全性へ影響を与える可能性のある要因を抽出しました。以上の検討を踏まえ、変動シナリオとして評価が必要と考えられる事象を表 7-3 に整理しました。

表 7-3 変動シナリオの整理結果（予備的検討）

ケース1	鉄影響による緩衝材の変質
ケース2	緩衝材の浸食
ケース3	オーバーパックの沈下（検討中）
ケース4	コロイドとしての核種移行（検討中）
ケース5	ガス通気経路の残留（検討中）
ケース6	ガラス固化体の溶解速度の不確実性（ガラスマトリクスの低浸出性に関するデータ）
ケース7	母岩の透水係数の不確実性（母岩の低透水性に関するデータ）

## 2) 稀頻度事象シナリオおよび人為事象シナリオ

稀頻度事象シナリオにおいて対象とすべき事象は、発生可能性および安全性の観点から選定します。サイト選定で回避した事象の中で、地域によっては評価期間に処分地で発生する可能性がある事象として「火山の新規発生」が挙げられることから、2014 年度は火山の新規発生を対象にシナリオ構築を行いました。ただし、発生可能性が著しく低いと設定できる期間は地域により異なることから、一例として発生可能性の検討が進んでいる東北日本の知見を用いた設定を示しました。この例では、10 万年後に火山が新規に発生すると仮定しました。

人為事象については、国内外の規制や安全評価、国際 FEP 等で検討されている地層処分に関する人為事象のうち、偶発的であり、閉鎖後の影響の観点から絞り込んだ 78 事例を、ボーリング、井戸掘削、鉱山掘削、トンネル掘削、地表付近の土地利用という五つのタイプに分類しました。次に、分類した 5 タイプのうち、地下深部を対象としたわが国の地層処分の概念を念頭におき、該当する事象としてボーリングによる影響を抽出しました。

### (3) モデルおよびデータ

#### 1) 基本シナリオおよび変動シナリオ

基本シナリオおよび変動シナリオでは主に地下水移行モデルを用います。地下水移行および物質移行に関する支配方程式としては、単純なダルシー則、および物質輸送に係る移流・分散モデルまたは移流・拡散モデルが適用されます。この方程式を適用する対象は、

緩衝材や母岩です。特に母岩が深成岩類の場合には、地下水の流動経路となる断層や亀裂が不均質に分布することから、この不均質性の取り扱い方法および解析手法が課題となっています。2014年度の解析においては、母岩の核種の閉じ込め性をより現実的に表現することを目的として、亀裂分布の統計量を用いた三次元の物質移行モデルに基づき安全評価モデルを構築しました。図7-3に、広域スケールからブロックスケールまでを対象とした詳細解析を実施し、その結果を基に安全評価モデルを構築するまでのフローを示します。

深成岩類の場合、母岩の核種の閉じ込め性は人工バリア近傍で効果が大きいことがわかっています。このため、詳細な物質移行の評価には、数百 m 程度の母岩領域を対象としたブロックスケールの解析結果を用いることとしました。さらに、調査等の不確実性が増加するものの、ブロックスケールを包含する母岩領域については、処分場スケールでの流跡線解析等の結果に基づき実質的な移行経路を追加し評価することとしました。また、処分場スケールよりさらに大きな領域については、広域の地下水流動解析を通じて境界条件として必要となる動水勾配と地形や深度との関係を把握し（技術課題-1）、処分場スケールの水理解析の境界条件の設定に反映することを2015年度に予定しています。

前述のモデルを評価するためには、水理学的観点からは亀裂および断層の頻度や規模、走向といったデータが必要となります。これらは、技術課題-1で示した調査結果に基づき設定されます。また、核種や地下水の化学性状に依存する溶解度や分配係数は、技術課題-8で示す結果に基づき設定を行います。

## 2) 稀頻度事象シナリオおよび人為事象シナリオのモデル

稀頻度事象シナリオについては、処分場へ貫入したマグマが廃棄体に含まれている放射性物質とともに地表へ到達し、噴火後にその堆積物（火山灰や溶岩）の上に人が居住することによる外部被ばくや、食用作物や吸入による内部被ばくを仮定してモデル化を実施しました。また、線量解析結果は処分場の残存核種量に依存することから、噴火までの核種漏出を考慮しないという仮定で評価を実施しました。

被ばく線量の算出に必要なパラメータとしては、火口の大きさおよびマグマの噴出量が挙げられます。新規に発生する火山については、それらの情報は不明であることから、日本全国の既存の火山を対象として、感度解析的に線量評価を実施することとしました。

一方、人為事象シナリオについては、掘削するボーリング孔が廃棄体を貫通することを想定し、「掘削ズリの観察に伴う作業者の被ばく」および「ボーリング孔により短絡した経路を移行した地下水の利用による周辺住民の被ばく」を仮定しました。

「掘削ズリ観察」シナリオの数学モデルは、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（電事連・JNC，2005）（以下、「TRU2次レポート」という）や余裕深度処分の安全評価手法：2008（AESJ，2009）で提案されているコア観察シナリオのものを参考に構築しました。また、これに適用するデータは、掘削ズリ観察に関与する作業者の行動を様式化し設定しました。

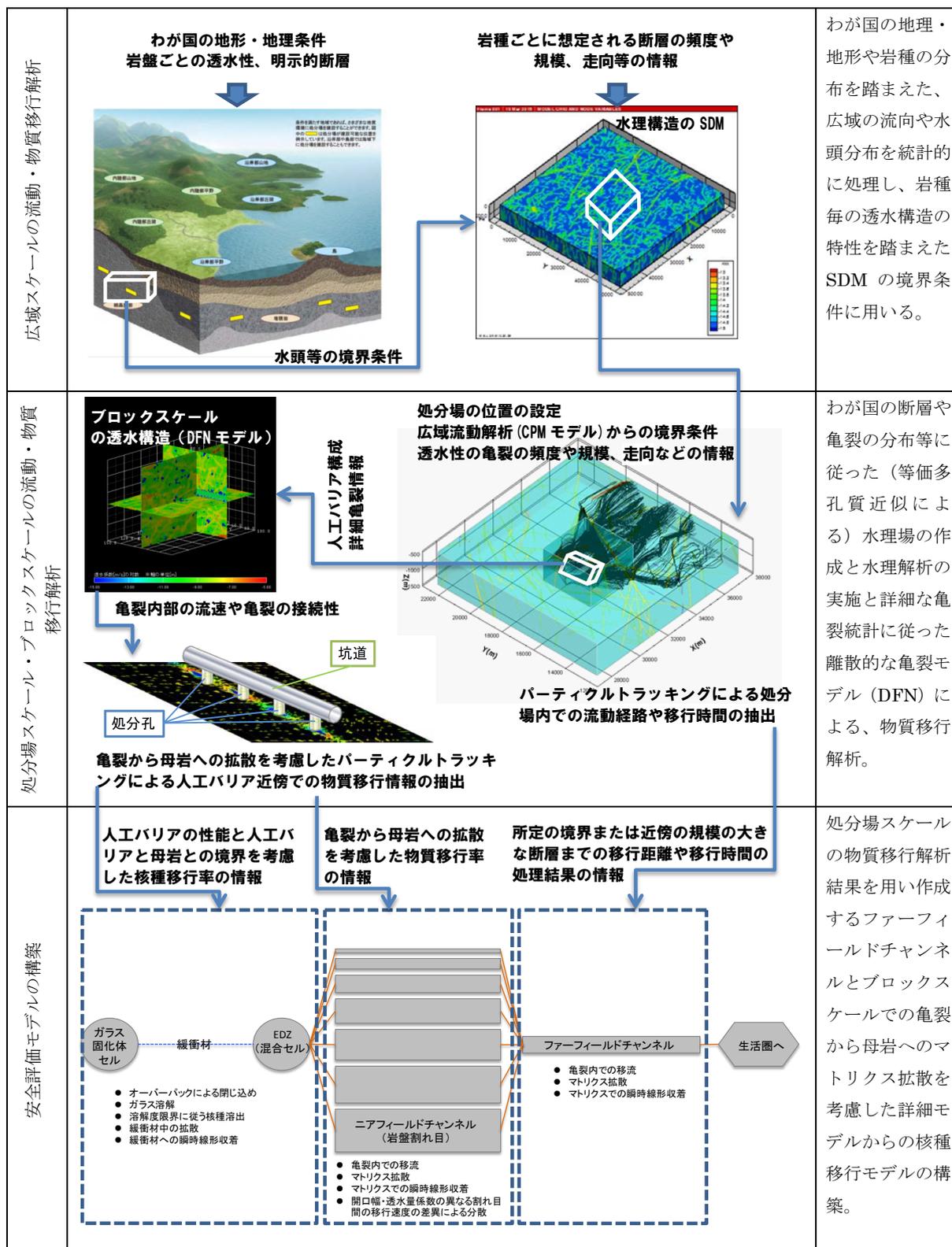


図 7-3 マルチスケールでの流動・物質移行解析および安全評価モデルの構築

#### (4) 評価結果

線量評価の結果を図 7-4 に示します。線量評価においては、技術課題-1 の地質環境条件、技術課題-4 の設計条件および技術課題-8 の FEP データベースの作成やパラメータ設定を統合し、安全評価の実施までの一連の作業を行いました。これにより、各情報を統合するための手順やツールが整いました。現状では、地質環境条件や設計条件が一部確定されていないため、ここに示す線量解析結果は暫定値となります。

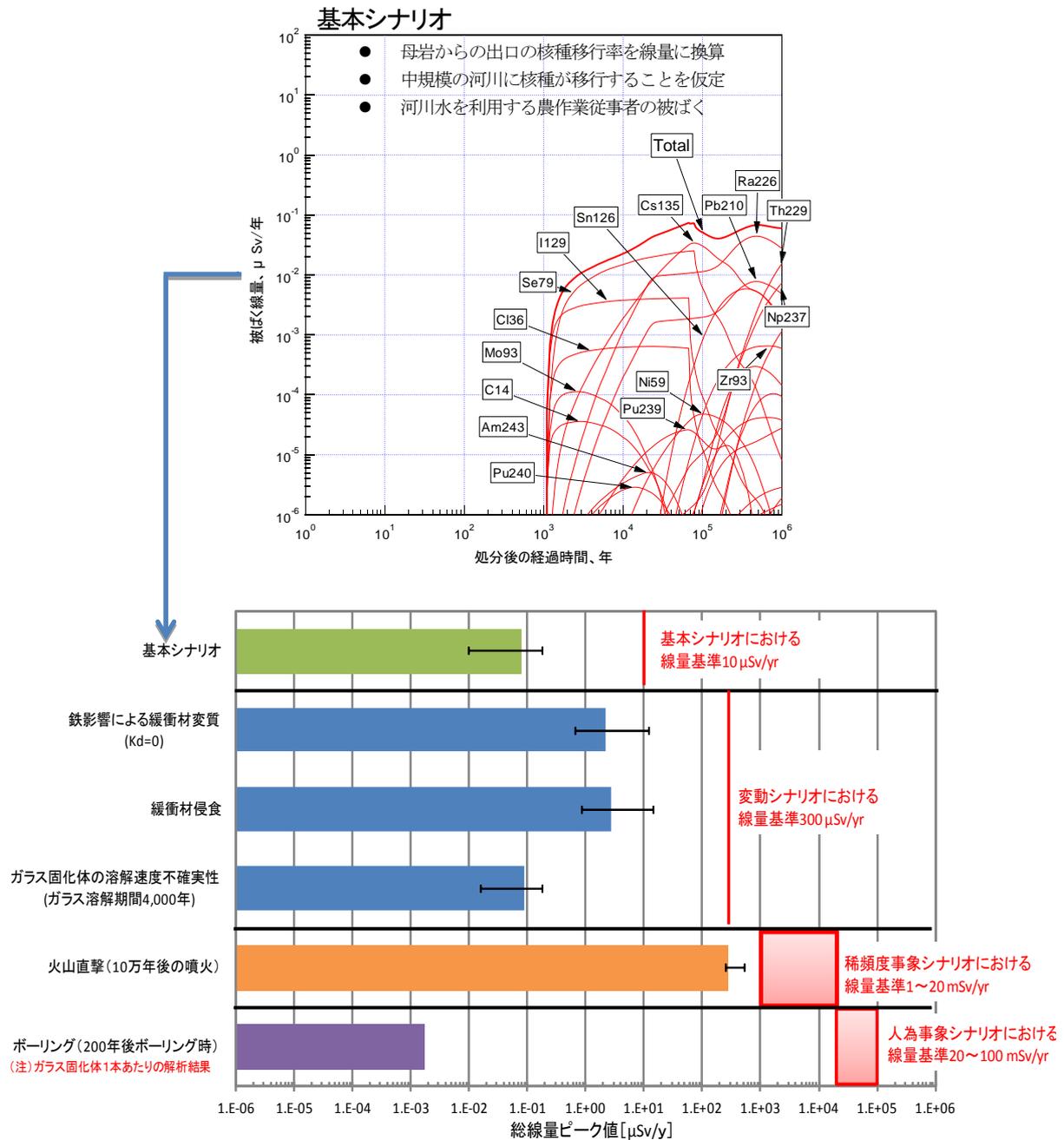


図 7-4 線量解析結果例 (暫定値)

## 今後の計画

今後は、地層処分低レベル放射性廃棄物との併置処分も勘案して、変動シナリオ、稀頻度事象シナリオおよび人為事象シナリオとして取り扱う事象を最新の知見に基づき拡充します。さらに、地質環境や処分システムの多様性に加え、不確実性を考慮した地層処分の安全性を示すより多くの安全評価の結果を示していく予定です。

以上

## 技術課題-8 地層処分の安全評価のための情報基盤のデータベース化

### 背景と目的

地層処分の長期の安全評価は、技術課題-7 で述べたように、シナリオの作成、シナリオに応じたモデルの選定、データセットの作成を行い、安全評価解析を実施します。この際、シナリオやデータセットに関しては、安全評価解析の結果に対する信頼性の向上のために、設定根拠等を透明性・追跡性をもって示すことが重要です。このため、シナリオ構築の観点から基盤情報となる、地層処分システムの安全機能に影響を与える可能性のある地質・気候関連事象や人工バリアおよび天然バリアに関連する事象について、FEP (Feature, Event and Process) に関する情報の取りまとめを実施しました。

また、安全評価解析に必要な拡散係数や分配係数等の核種移行データを設定する際には、地下水の化学条件を決定する必要があります。このため、わが国の地下水水質に関する全国的なデータベースに基づき、地下水の組成を類型化し仮想的なモデル地下水組成を設定しました。

### 主な成果

#### 1. FEP データベースの作成

安全評価におけるシナリオは、放射性廃棄物が人間環境に及ぼす影響を評価する観点から、地層処分システムの安全機能に影響を及ぼす可能性のある一連の事象を想定し、これらを組み合わせて地層処分システムの長期変遷を表したものです。NUMO は、安全機能に影響を及ぼす可能性のある事象を FEP に基づき漏れなく抽出し、その発生可能性および地層処分システムへの影響を分析することによりシナリオを作成します。

このうち FEP に関しては、第2次取りまとめや TRU2 次レポートにおいてリスト化され、その時点での科学的知見や専門家の判断により、安全評価で考慮するものが選定されました。それ以降、FEP の情報に関しては JAEA により一部のデータベースが整備されました。このような背景を踏まえ、NUMO は、シナリオ構築のための基盤情報として FEP データベースを体系的に整備する必要があります。このため、地質・気候関連事象や人工バリアおよび天然バリアに関連する事象について、最新の知見に基づき FEP リストを作成し、それに基づき FEP データベースの整備に着手しました。

FEP リストの作成にあたっては、OECD/NEA の FEP リスト (NEA, 2012) (以下、「国際 FEP リスト」という) を参考にして、わが国の地質環境および処分概念に即し、地層処分システムの安全機能に影響を及ぼす可能性のある FEP を選定しました。図 8-1 に、作成した FEP リストの構成および段階構造の例を示します。これらは、「1. 外的要因」、「2. 廃棄体/廃棄体パッケージに関する要因」、「3. 処分場に関する要因」、「4. 母岩に関する

る要因」を対象に段階的に細分化し、第2次取りまとめやTRU2次レポートにおけるFEPリストよりも分割のレベルを細かくしました。

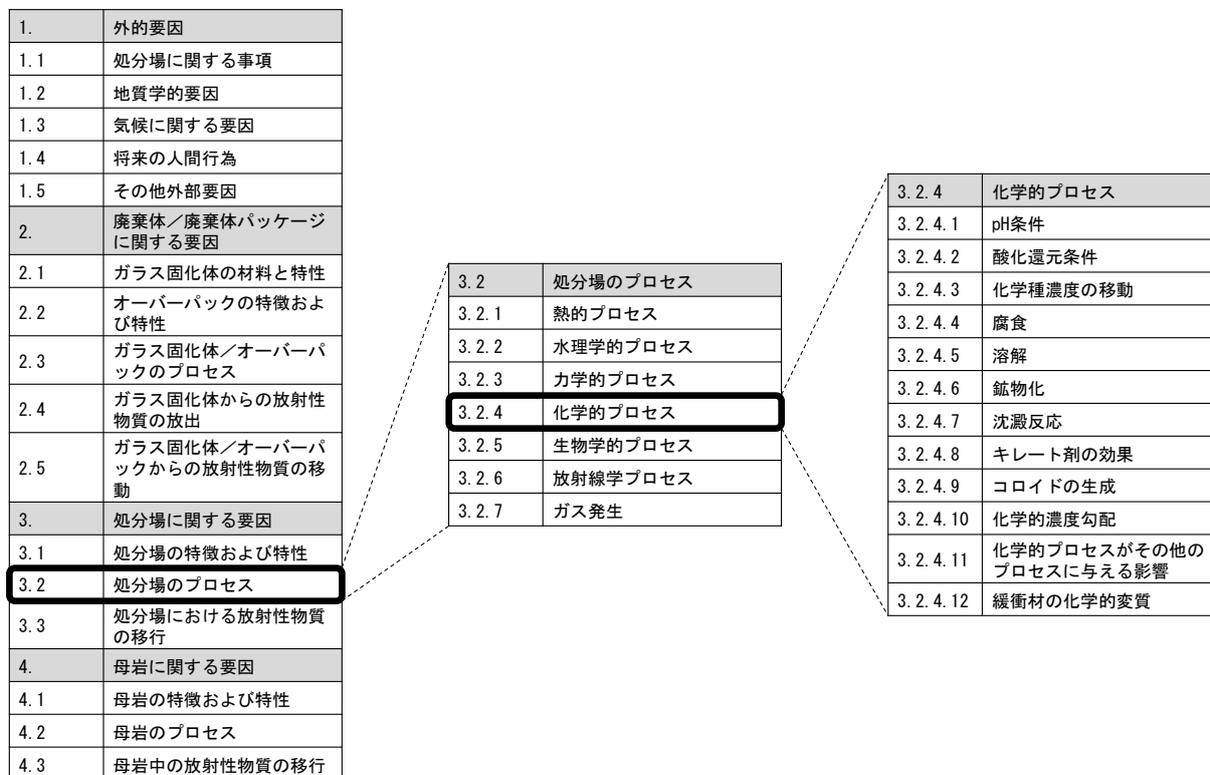
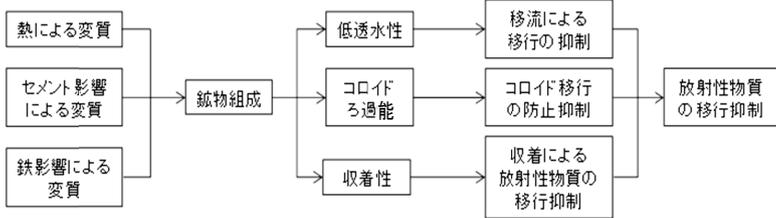


図 8-1 NUMO-FEP リストの構成および階層構造の例

また、選定したFEPに関する科学的知見の調査により得られた情報を、既存のFEPシートを参考に、表8-1に示すFEPシートの構成の例のように整理しました。表8-2には、2014年度に整理したFEPシートを示します。

表 8-1 FEP シートの基本構成（緩衝材の化学変質の例）

1. 名称	緩衝材の化学的変質（3.2.4.12）
2. 概要	緩衝材の物理的特性は、膨潤圧と低透水性、およびモンモリロナイト層（膨潤時）とベントナイト間での水の保持能力であるが、モンモリロナイトが膨潤性の低い鉱物へと変質することで、これらの物理的特性が変化することが考えられる。「化学的変質」の内容には、このような緩衝材の特性・長期健全性を考慮する際の熱による影響、セメント影響による変質、鉄影響による変質が含まれる。
3. 安全性への影響の可能性	<p>下図に、緩衝材の化学的変質の安全性への影響可能性を示す。当該 FEP に関する影響要因（熱、セメント影響、鉄影響）は、関連する特性（状態変数）としてはいずれも緩衝材の鉱物組成に影響を与えると考えられる。これが技術要件（低透水性、コロイドろ過能、収着性）および安全機能（移流による移行の抑制、コロイド移行の防止抑制、収着による放射性物質の移行抑制）、そして最終的に放射性物質の移行抑制に影響与える可能性がある。</p>  <p style="text-align: center;">図 緩衝材の化学的変質に関する安全機能への影響可能性</p>
4. 理解の現状	<p><b>(1) 熱影響による緩衝材変質</b> 核種崩壊に伴い廃棄体から放出された熱は、緩衝材へと伝播して、その温度により化学的変質にも影響し、モンモリロナイトがイライト化することにより、膨潤性物質から非膨潤性物質へと変換していく過程を経る。</p> <p><b>セメント影響による緩衝材変質</b> セメント系材料の溶脱によって供給される水酸化物イオンや Ca イオンが拡散によって緩衝材に移行しベントナイトと反応することにより、イオン交換、モンモリロナイトの溶解および二次鉱物の沈殿といった緩衝材の変質が生ずる。特に、セメント-ベントナイト境界における二次鉱物の沈殿は間隙の閉塞をもたらす。緩衝材の長期健全性の観点では、物質移行が抑制されることによりその後の緩衝材の変質が停止するメカニズムとなる。</p> <p><b>鉄影響による緩衝材変質</b> 炭素鋼の還元環境での腐食に伴って溶出する Fe(II)イオンの影響によるベントナイトの変質として、層間でのイオン交換、Edge site における表面錯体生成、層間での鉄イオンの固定に伴う chlorite 化、鉄を含む二次鉱物の沈殿によるセメンテーション、また octahedral な構造の変化を伴うモンモリロナイトの変質が生じる。（以上、抜粋）</p>
5. ナチュラルアナログ	<p><b>熱影響による緩衝材変質に関連するナチュラルアナログ</b> モンモリロナイトからイライトへの変質に関する調査事例は多く、堆積層が深くなればなるほど、地温が上昇することに起因してイライトの含有率の高いことが確認されている。</p> <p><b>5.1.1.2 鉄影響による緩衝材変質に関するナチュラルアナログ</b> 上述したように、炭素鋼の還元環境での腐食に伴って空隙水中に溶出する Fe(II)イオンの影響によるベントナイトの変質メカニズムのうち、層間での鉄イオンの固定に伴う chlorite 化が、ナチュラルアナログにおいて観察されている。</p>
6. 今後の課題	二次鉱物による間隙閉塞の成否（変質部の割れ目生成等）、モンモリロナイト反応速度式の誤差、生成する二次鉱物に関する知見の不足
7. 包括的技術報告書における取り扱い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・緩衝材熱変質に関しては、設計上考慮する人工バリア内最高温度は 100℃以下であり、また、仮にこれを上回ることがあったとしても、ガラス固化体の発熱期間を考慮すれば十分な期間にわたって継続することはない。</li> <li>・セメント影響による緩衝材変質に関しては、セメント溶脱成分との反応によりベントナイト残存量がある程度低下する可能性があるが、吹き付けコンクリートやグラウトの使用量の制限や低 pH セメントの使用等によって回避可能と考えられる。</li> <li>・鉄影響による緩衝材変質に関しては、間隙閉塞によって影響領域が限定され大半の緩衝材が未変質のまま残ると予想されるが、前述の不確実性要因を考慮して間隙閉塞を無視した場合には顕著な割合の緩衝材の変質可能性が否定できない。</li> </ul> <p>以上から、鉄影響による緩衝材変質に関して、変動シナリオで取り扱うこととする。</p>

※（ ）内の数字は FEP のコード番号を示す。

表 8-2 2014 年度に調査した FEP 情報（一覧）

1. 外的要因
事故と予測しない事象(1.1.8), 弾性, 塑性または脆性的変形(1.2.3), 地震活動(1.2.4), 火山・マグマ活動(1.2.5), 地域的な侵食と堆積(1.2.8), 掘削活動(1.4.5)
2. 廃棄体/廃棄体パッケージに関する要因
放射性崩壊による熱の発生と移動(2.3.1.1), 容器の変形(2.3.3.1), オーバーパックの沈下(2.3.3.3), pH条件(2.3.4.1), 酸化還元条件(2.3.4.2), 化学種濃度の変動(2.3.4.3), 容器の腐食(2.3.4.4), 沈澱・溶解(2.3.4.13), 放射線分解(2.3.6.2), 放射線の減衰(2.3.6.4), 放射線損傷(2.3.6.5), 金属腐食によるガス発生(2.3.7.1), 拡散(2.4.1.3), 収着と脱着(2.4.1.5), 沈殿・溶解(2.5.2.4)
3. 処分場に関する要因
パイピング・浸食(3.2.2.2), 緩衝材の化学的変質(3.2.4.12), 金属腐食によるガス発生(3.2.7.1)
4. 母岩に関する要因
処分場の熱影響(4.2.1.1), 処分場の水理的影響(4.2.2.1), 処分場の力学的影響(4.2.3.1), 処分場の地球化学的影響(4.2.4.1)

※ ( ) 内の数字は FEP のコード番号を示す。

## 2. 核種移行データに関するデータセットの作成

安全評価解析の実施においては、核種移行解析に必要な拡散係数や分配係数等の核種移行データを設定します。この際、前提条件として、地下水組成を設定する必要があります。包括的技術報告書では、サイト選定で想定される多様な地質環境を対象に安全評価を実施することから、わが国の地下水の水質に関する実測データを基に地下水の組成を類型化し、仮想的なモデル地下水組成を設定することとします。

わが国の地下水データに関しては、第2次取りまとめおよび TRU2 次レポート以降に取得されたデータも収録されており、かつ採水条件等の情報も詳しく記載されている JAEA の温泉地化学データベースからデータを選定しました。データの選定においては、地層処分の観点から好ましい地質環境特性等を考慮し、pH が 4～11 の範囲であること、地下水の主要成分である  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  のデータを有すること、採水深度における地下水の温度が地温勾配  $3^\circ\text{C}/100\text{ m}$  (地表温度  $20^\circ\text{C}$  として) を目安に高すぎないこと、また電荷バランスについてデータの記載があること等を条件に絞り込みを行いました。

次に、絞り込んだ地下水データに対して多変量解析を実施し、データ群の特徴を表す成分を分析しました。この結果、地下水データの特徴づけるものとしては、第1成分として  $\text{Cl}^-$  濃度、第2成分では  $\text{SO}_4^{2-}$  および  $\text{HCO}_3^-$ 、第3成分では pH が抽出されました。特に第1成分はデータ群の特徴を最も表すものであることから、 $\text{Cl}^-$  濃度に着目して、淡水系 (低  $\text{Cl}^-$  濃度) および海水系 (高  $\text{Cl}^-$  濃度) の2種類に類型化してモデル地下水を設定することとしました。類型化の指標としては、瀬尾・清水 (1992) の区分に従い、 $\text{Cl}^-$  濃度  $141\text{ mg/L}$  以下のデータ群を淡水系、 $10,000\text{ mg/L}$  以上のデータ群を塩水系に区分しました。

濃度の設定に関しては、 $\text{Cl}^-$  濃度は岩石-水反応の影響をほとんど受けずに、地下水形成過程における端成分の混合率により決定されるため、サイトを特定しない状態ではそれ

を決定することが困難であることから、淡水系および海水系に区分した地下水データの平均値を Cl<sup>-</sup> 濃度として設定しました。また、地下水の水質を特徴づける SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度および pH の設定に関しては、これらが岩石-水反応の影響を大きく受けることから、地下水の水質形成過程を特定して検討する必要があります。しかしながら、サイトが特定されていない現状においては、第2次取りまとめと同様に地下水水質の変遷をモデル化し、地球化学平衡計算（計算コード：PhreeqC Ver. 3、熱力学データベース：JAEA-TDB 140331s0.tdb を使用）により SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 濃度、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度、pH を設定しました。この平衡計算では、Na、K、Ca、Mg 等の主要な成分の濃度も算出されることから、その値をモデル地下水の水質として設定し、平衡計算では算出されないその他の成分（F、B、P 等）については、淡水系および塩水系に分類した地下水データの平均値を設定しました。

表 8-3 には、モデル地下水の水質設定の結果を示します。包括的技術報告書では、このモデル地下水に基づき、核種の溶解度、緩衝材中の拡散係数・収着分配係数および天然バリアの収着分配係数等の核種移行パラメータに関するデータセットを設定し、安全評価解析を実施します。

表 8-3 モデル地下水の設定結果

	淡水系地下水(基本)	海水系地下水(基本)
pH	8.5	8.0
pe	-4.78	-5.20
Na	4.1E-03	4.4E-01
Ca	1.0E-04	3.4E-04
K	6.0E-05	1.0E-02
Mg	7.1E-05	2.2E-04
Fe	9.3E-10	3.6E-08
Al	3.5E-07	4.0E-09
Si	3.4E-04	3.2E-04
S	1.1E-04	2.8E-02
C	3.6E-03	4.0E-02
Cl	5.3E-04	4.1E-01
F	9.4E-05	5.8E-05
B	2.0E-04	5.5E-03
P	7.0E-06	1.6E-06
N	7.0E-05	4.8E-03
Br	—	8.6E-04
I	—	3.5E-04
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.5E-03	1.5E-02
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	6.1E-05	2.4E-04
CO <sub>2</sub> (aq)	2.5E-05	2.3E-04
CH <sub>4</sub>	1.9E-10	2.2E-02
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.1E-04	4.8E-05
HS <sup>-</sup>	4.4E-09	2.6E-02
H <sub>2</sub> S	1.3E-10	1.7E-03
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	6.1E-05	4.7E-03
Fe <sup>2+</sup>	8.5E-10	2.1E-13
H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> (aq)	3.2E-04	3.1E-04

## 今後の計画

長期の安全評価に適用するシナリオの作成において、その設定根拠や判断の内容を科学的な論拠をもって示すことを目的に、その基盤情報となる FEP に関する知見を FEP シートとして拡充・整理しデータベース化を進めます。なお、FEP データベースについては、2015 年度以降に公開する予定です。また、ここで設定したモデル地下水に基づき、今後は組成の変動幅を考慮した地下水の設定を行い、核種移行パラメータに関するデータセットを設定します。その結果は、包括的技術報告書における安全評価解析で活用し、安全評価を進めます。

以上

## 技術課題-9 緩衝材の長期的な性能の評価に関する検討

### 背景および目的

技術課題-7 では、安全評価の前提となるシナリオを構築する際に、地層処分システムの安全機能に影響を及ぼす可能性がある一連の事象を想定し、科学的知見と照らし合わせて将来の発生の確からしさや不確実性を分析することが必要であり、これらの検討結果を示しました。また、技術課題-8 では、シナリオ構築においてその基盤情報となる FEP の取りまとめについて示しました。本技術課題では、地層処分システムの安全機能の時間的変遷の評価において、その確からしさや不確実性を分析するにあたり、透明性・追跡性に加えて客観性をもって科学的論拠を構築する手法として、討論モデルを用いた論拠の取りまとめ方法について緩衝材を例に検討しました。この検討の過程では、多分野の専門家を集めて実用性についても討議し、その結果も反映させて取りまとめを行いました。

### 主な成果

緩衝材には、「移流による移行抑制」、「コロイド移行の防止・抑制」および「収着による放射性物質の移行遅延」といった安全機能が期待されます。技術課題-7 で述べたように、シナリオ構築の際には、将来にわたって地層処分システムにおいて発生する事象に加え、これによる緩衝材の安全機能への影響の判断の経緯を、追跡可能な形で体系的に記録・管理することが重要です。その方法として、これまでは、プロセスインフルエンスダイアグラムやストーリーボード等を構築してきました。これらは、検討結果の体系的な提示には適していますが、検討過程を追跡するための情報を記録するためのツールとしては十分とはいえません。このため、シナリオを作成する際の判断過程を論拠とともに説明するツールとして、討論モデルの適用性を検討しました。

討論モデルは、地層処分の長期的な安全性に関する説明に対して必要な主張の階層構造を想定し、そこから個々の要件の成立の根拠となる論証とそれに対して考え得る反証との連鎖により安全性の論理構造を表現するものです。本技術課題では、緩衝材を例に安全機能の時間的変遷を検討するにあたり、多分野の専門家を集めて討論モデルの構造を討議しました。この議論を踏まえて、上位の主張として、前述した三つの安全機能をおき、これらの要件が成立する根拠となる論証として、各安全機能を支配するメカニズムとそれが発揮する状態を論じました。さらに、この反証として、技術課題-8 での検討結果を踏まえ、安全機能が発揮する状態を擾乱させる可能性のある FEP を示すとともに、この影響により緩衝材の安全機能が低下・消失するか否かの論拠として、実験や解析の結果等の科学的知見の整理を行いました。

図 9-1 には、緩衝材のコロイドろ過能について検討した討論モデルの展開を一例として示します。コロイド移行の防止・抑制は緩衝材の安全機能として重要です。コロイドのろ過は、緩衝材の主要構成材料であるベントナイトが地下水により浸潤・膨潤し、間隙がコロイド粒子の大きさより狭隘化することにより生じます。この状態を阻害する影響要因として、以下の六つの要因が上げられます。

- ① 緩衝材の施工不良：施工不良による低密度／高透水性部の偏在
- ② パイピング現象：再冠水時にパイピング現象が生じることによる密度の低下
- ③ 浸食現象：緩衝材の膨潤により周辺岩盤の亀裂部に侵入したベントナイトのゲルフロントの浸食
- ④ オーバーパック沈下：オーバーパックの沈下による緩衝材上部の密度変化
- ⑤ 水みちの形成：腐食ガス蓄積後の透気現象にともなう水みちの形成
- ⑥ 緩衝材の変質：処分環境で想定される緩衝材の変質（二次鉱物の生成、ベントナイトの溶解等）による間隙構造の変化や密度低下

2014 年度の検討では、討論モデルを用いて、コロイド移行の防止・抑制に関する緩衝材の安全機能のほか、移流による移行抑制および収着による放射性物質の移行遅延に関する安全機能に関しても、これらが発揮される状態とその状態を阻害する影響要因の繋がりを示しました。さらに、安全機能が確保または低下・消失のどちらかを主張するための科学的論拠を概括的に整理しました。

技術課題-7 および技術課題-8 では、安全評価解析の前提となるシナリオの設定根拠を透明性・追跡性をもって示すことの方法や基盤情報整理の検討の結果を示しましたが、本技術課題の取り組みの結果として、討論モデルを用いることは単なる「論証」の流れだけではなく、「論証」と「反証」を示すことにより、シナリオ設定の根拠を透明性・追跡性に加えて客観性をもって示すうえでのツールとしての適用性を確認しました。

## 今後の計画

本討論モデルの検討は、地層処分システムの安全性の論拠の拡充を目的とした FEP 情報等の基盤情報の整備（技術課題-8）を進めるうえで、透明性・追跡性に加えて客観性をもって科学的論拠を示す方法の試行として実施したものです。今後は、今回構築した討論モデルに対して論証・反証を拡充して十分性を検討しながら、論拠を整理・蓄積するための手法の一つとして技術開発を進めていきます。

以上



## 技術課題-10 安全評価の基本的考え方の調査と整備

### ～ 地層処分事業に係る閉鎖後長期の安全評価の基本的考え方の検討 ～

#### 背景と目的

旧原子力安全委員会が公表した、第二種廃棄物埋設の安全審査基本指針に基づいた安全評価等のケーススタディ等による成果を踏まえ、安全評価上の課題を抽出し、当該指針を具体的なサイトへ適用した場合の地質環境等で考慮すべき項目の検討を2013年度から実施しています。2013年度は、安全評価上の課題として抽出された評価期間等の検討に加え、わが国で想定される地質環境について整理しました。

2014年度は、国内外のシナリオ区分に対する考え方や評価期間の考え方を取りまとめました。また、想定した地質環境における安全評価の実施にあたって考慮されるべき項目を取りまとめました。

#### 主な成果

##### 1. シナリオ区分に関する考え方

旧原子力安全委員会が公表した第二種廃棄物埋設の安全審査基本指針では、リスク論的な考え方に基づく安全評価の枠組みの適用が提示されました。今後の安全評価においては、リスク論的な評価が主流となるものと考えられることから、国際機関や諸外国の安全評価におけるシナリオ区分に関する考え方を調査しました。表10-1に国際機関におけるシナリオ区分の定義および安全基準とする線量をまとめます。

表10-1 国際機関から提示されているシナリオ区分とその定義

対象	シナリオ (上: 基本シナリオ, 下: 変動シナリオ)		
	シナリオ名	定義	安全基準
ICRP	確からしいと予想されるシナリオ	確からしいと予想される処分施設の状態変遷を表すシナリオ	・0.3mSv/y ・確率・リスク統合アプローチにおけるリスク限度としては、 $1 \times 10^{-5}/y$ ・数mSv/y(現存被ばく状況の場合)あるいは20-100 mSv/y(緊急被ばく状況の場合)の線量限度を適用 ・確率・リスク統合アプローチにおけるリスク限度としては、 $1 \times 10^{-5}/y$ が適用される
	確率の低いシナリオ	施設の頑健性を確認するために想定する確率の低いシナリオ	
	発生確率の極めて低い影響の大きな事象や意図せぬ人間侵入	設計基準を超えた事象を扱う	
IAEA	基本シナリオ (base case scenario)	レファレンスシナリオ (reference scenario)、通常変遷 (expected evolution, normal evolution)、または非擾乱性能 (undisturbed performance) と呼ばれる。	・0.3mSv/y ・または年間 $10^{-5}$ のリスク拘束値を超えない ・0.3mSv/y ・確率・リスク統合アプローチにおけるリスク限度としては、 $1 \times 10^{-5}/y$
	代替変遷シナリオ (alternate evolution scenarios)	擾乱のプロセス及び事象を含み、各シナリオ間で異なる特徴的なFEPを想定する	
	What if シナリオ	現実的なシナリオとは区別された仮想的なシナリオ。そのような仮想的な条件を想定することにより、多様な天然及び人エバリアの頑健性をより明確に示すことができる	
OECD/NEA	中心シナリオ (Central scenarios)	ある特定のまたは最も想定し得る事象や現象が起こった時の、最も想定し得る影響について、処分システムの考えられる変遷を表す	—
	尤もらしい代替シナリオ (Plausible alternative scenarios)	極端な天然事象 (例えば極端な水期や地震事象) 可能性は低いが想定し得る処分場変遷モード (現実的に可能性のある範囲内)	
	人間侵入及びその他の仮想的シナリオ (「What if」シナリオ)	仮想的な事象をえて想定したシナリオとして定義されている。主に処分システムの頑健性や、その構成要素や機能の一部の相対的な重要性を評価するのに用いられる	

調査結果の概要を以下にまとめます。

- 基本シナリオ：IAEA および ICRP において、処分施設に影響する可能性を有する自然過程の結果として、生じる線量は 0.3 mSv/y の線量拘束値を超えないことが推奨されている。
- 変動シナリオ：IAEA および ICRP が推奨している 0.3 mSv/y は、線量拘束値の上限であり、計画の段階で防護が最適化されているかを評価するための基準である。
- 稀頻度事象シナリオ区分に相当するシナリオに対する基準値の考え方についても、ICRP の考え方を参考とすることができる。ICRP は「設計基準を超える変遷」に対し、長期間の被ばくが想定される場合には、現存被ばく状況（1～20 mSv/y）、短期間の被ばくには緊急時被ばく状況（20～100 mSv）の適用を推奨している。
- 人為事象シナリオ：直接処分場へ侵入する近接者の被ばくについては、IAEA (2012) より、サイト周辺住民と同様に評価対象とするものの、その被ばくについては「産業事故」扱いとする考え方が示されている。また、周辺住民については、IAEA は周辺住民への被ばく線量の評価結果が 1～20 mSv の場合、線量低減の取り組みが正当化され、20 mSv 以上となる場合は代替的なオプションを採用することとしている。

## 2. 評価期間に関する考え方

安全評価における評価期間は、事象発生確率的な観点から重要な要素となります。2014 年度は、スウェーデン、フィンランド、フランス、米国、英国、ドイツ、スイスにおける評価期間の事例について調査を行いました。調査結果を表 10-2 に示します。

表 10-2 評価期間に関する各国の設定

国名	評価期間		備考
	規制上の設定	自主的な設定*	
スウェーデン	最大100万年	—	SKBIは1廃棄体（使用済燃料）を製造するに当たり必要となるウラン鉱石との比較から100万年の妥当性を説明（SKB, 2011）
フィンランド	—	100万年	Posivaは100万年が諸外国で採用されている値であること、および1廃棄体（使用済燃料）を製造するに当たり必要となるウラン鉱石との比較から100万年と設定（Posiva, 2012）
フランス	—	100万年	Andraが、100万年で放射性核種の減衰が有効であること、および100万年以降は地質学的な予測が困難となることから、100万年と設定（Andra, 2005）
米国	100万年	—	地質の不確実性の観点から、100万年の妥当性を規制側が説明（EPA, 2009）
英国	—	100万年	NDAが不確実性の観点から、100万年以降の評価の信頼性がないとして説明（NDA, 2010）
ドイツ	100万年	—	—
スイス	100万年（保証期間）	—	ENSIは100万年を保証期間とし、100万年以降も定性的な評価を要求（ENSI, 2009） NagraはRTI（放射能毒性指数）の観点から、既存のウラン鉱山と廃棄体（HLW, SF）との比較を行い、100万年の妥当性を説明（Nagra, 2002）

\*：規制において設定されていない場合、事業者が自主的に設定することとなる

調査結果においては、一部の国において評価期間を決定するための考え方として、天然ウランとの比較を実施していることから、国内に天然に存在するウラン鉱床と高レベル放射性廃棄物の毒性とを比較することにより、評価期間を算出できるかについて検討しました。具体的には、処分場が仮に露出した場合の公衆被ばく量が天然ウラン鉱床と同等の被ばく量以下になる期間を検討しました。対象とする天然ウラン鉱床のウランの品位で変動しますが、100 万年以内には高レベル放射性廃棄物による公衆被ばく量は天然ウラン鉱床による公衆被ばく量以下になることを確認しました。

表 10-3 天然ウランと高レベル放射性廃棄物との比較結果

	放射能濃度 (Bq/g)
高レベル放射性壊器物期限の放射能量 (100 万年後)	50
人形地域のウラン鉱石 (ウラン品位)	81
東濃地域のウラン鉱石 (ウラン品位)	21~52

残存放射能が処分場領域 (処分場面積 (1,500 m×3,500 m) ×深度方向 (10 m) に幅広く均一に分布していると仮定)

### 3. 地質環境パラメータを変動させた感度分析

地層処分において評価対象とする期間は、2.で示した調査結果のように地質学的な変遷を考慮することが必要となります。そのため、シナリオの区分や構築、およびシナリオの定量的な評価の実施を目的とした様式化のためには、地質環境の特性や変遷を記述するためにどのようなパラメータが評価結果に影響を与えるのかを知ることが重要となります。

ここでは、安全評価上の地質環境パラメータをランダムに変動させて感度分析を実施しました。解析上の前提条件として、地下深部に処分場を設置しますが、長期間にわたり徐々に隆起侵食が進み深度が浅くなっていくこととしています。この評価シナリオとして、閉鎖直後からの地下水移行シナリオに加え、隆起侵食が進み処分場が地表近傍の風化帯に到達した後からの土地利用シナリオを考慮しました。この際、シナリオ区分に関する基本的な考え方は、旧原安委指針を適用して検討を実施しました。

被ばく線量は地質環境パラメータとの簡単な関係ではなく、ほかの地質環境以外の要素も含む多くのパラメータが関係しています。このため、感度分析は着目する一つの地質環境パラメータを設定変動範囲でランダムサンプリングし多数 (最大 3000) の核種移行および被ばく線量解析を行い、それらを統計処理する手法で行いました。同じ地質環境パラメータの値であっても他のパラメータの影響でいくつかの被ばく線量最大値が得られます。このうち、設定しためやす線量を下回る割合を本検討の中ではこの地質環境パラメータに対する SI (Sufficiency Index : 十分条件としての強さ) とし、パラメータの変動に対して SI の変動が大きい地質環境パラメータを探索しました。感度分析の結果、SI の変動が大きい (安全評価上の感度の大きい) 主な地質環境パラメータとして、地下水移行シナリオの場合は処分場深度における母岩の透水係数や隆起侵食の速度等、土地利用シナリオ

の場合は流域面積や地表付近の透水係数等が該当することを確認しました。

以上の1.~3.に示した成果は、技術課題-7の安全評価における評価の枠組みの設定や様式化モデルの検討に反映しています。

#### 今後の計画

旧原安委指針を地層処分に適用した場合の検討は、2011年度から実施しているケーススタディ、その結果に基づいた課題の抽出、それを実サイトへ適用する場合に考慮すべき項目等の検討により概ね完了しました。今後は原子力規制委員会で議論が開始された余裕深度処分に關する新規制基準の動向を把握し、必要な検討を実施していきます。

以上

## 技術課題-11 事業期間中の安全確保に関する検討

### ～ 火災時の廃棄体の温度評価の方法の整備 ～

#### 背景と目的

処分場の操業時に異常拡大防止策が万が一無効となった場合に発生する異常状態として火災を想定し、火災時の廃棄体の温度の評価の方法を整備しました。また、整備した方法を処分場の地下施設における操業の段階に適用し火災時のガラス固化体の温度を数値解析手法により算定しました。

#### 主な成果

##### 1. 評価対象とする火災発生シナリオの設定

図 11-1 に評価対象とする火災発生シナリオの設定の流れを示します。はじめに操作手順を設定し、各工程における火災に関する情報（使用する設備・機器、廃棄体の本数および状態、可燃物の種類および数量、廃棄体と火災源との距離、評価対象となる空間の規模に関する情報）を整理します。その情報を基に各工程における火災発生シナリオを設定し、火災発生時の廃棄体への影響の程度を定性的に評価します。一方、火災発生に対する設計による追加的な対策を検討し、これを考慮に入れて廃棄体への影響の程度が最も大きくなる操業工程を評価対象とします。

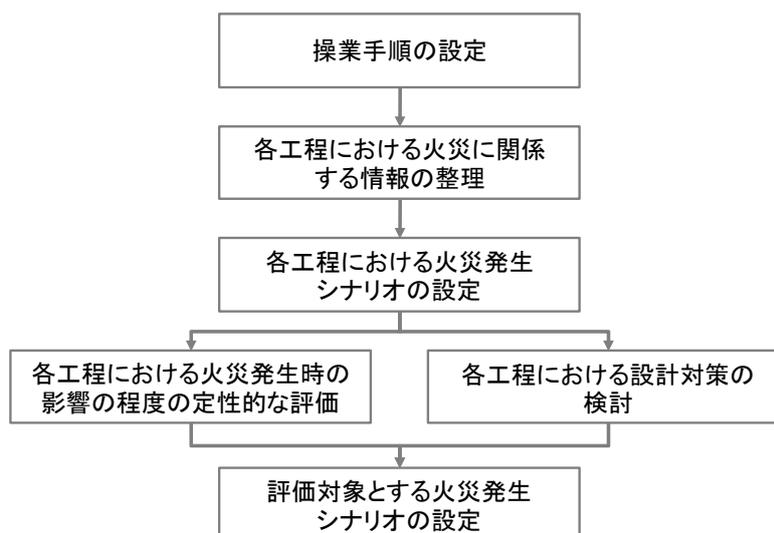


図 11-1 評価対象とする操業工程の設定の流れ

## 2. 火災時の廃棄体の温度評価の手順

図 11-2 に火災時の廃棄体の温度の評価の流れを示します。評価においては、火炎のモデル化を行います。ここでは、プラント設計や建築設計において用いられている既往の考え方や設定値を適用することが可能です。設定した火炎のモデルを用いて、坑道壁面への熱伝達を考慮に入れて廃棄体近傍の温度の経時変化を算定し、これを基に数値解析における廃棄体外側の温度条件を設定します。さらにこの温度条件を考慮に入れて表面熱伝達率を設定し、廃棄体の温度を計算します。

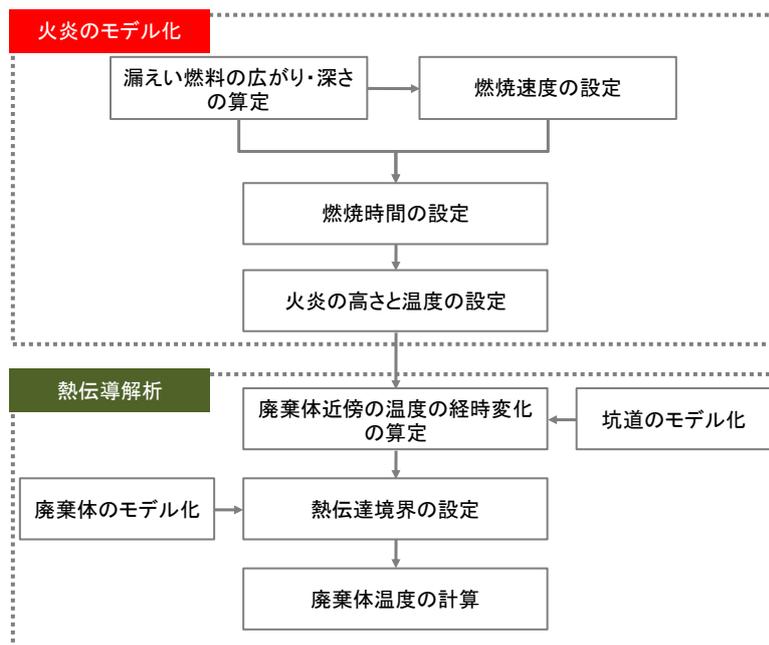


図 11-2 火災時の廃棄体の温度評価の流れ

### 2.1 処分場の地下施設における操業を対象とした評価

処分場の地下施設における操業工程を対象として、火災時における廃棄体の温度の評価を行いました。1.で示した手順に従い、評価対象とする火災発生シナリオとして、「主要坑道における廃棄体の搬送工程において輸送車両から漏えいした軽油に着火し火災が発生し、廃棄体が火炎に包まれる」という状況を設定しました。火炎として、輸送車両の燃料が床版に広がり、この面積と燃焼速度を考慮し、廃棄体を包むような炎が60秒間継続するという設定をしました。このような条件設定の下、計算されたオーバーパック外側の温度の経時変化を図 11-3 に示します。この温度を考慮に入れてオーバーパックの境界面に表面熱伝達率を与え、廃棄体の温度を数値解析により計算しました。これにより、オーバーパックの温度は火災の終了時に約 250°Cにまで上昇し、ガラス固化体の温度は火災終了40分後に約 100°Cにまで上昇するという結果が得られました。図 11-4 に火災発生前、火災終了30分後、火災終了60分後のオーバーパックおよびガラス固化体の温度のコンター図を示します。

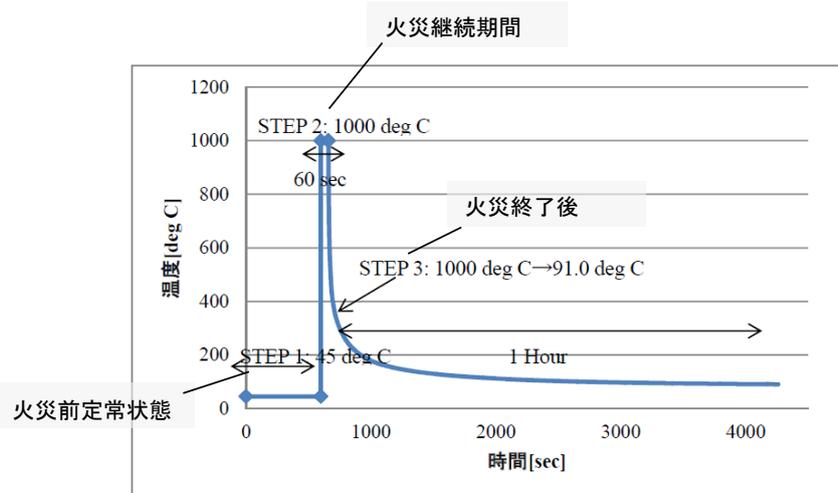


図 11-3 オーバーパック外側の温度の経時変化

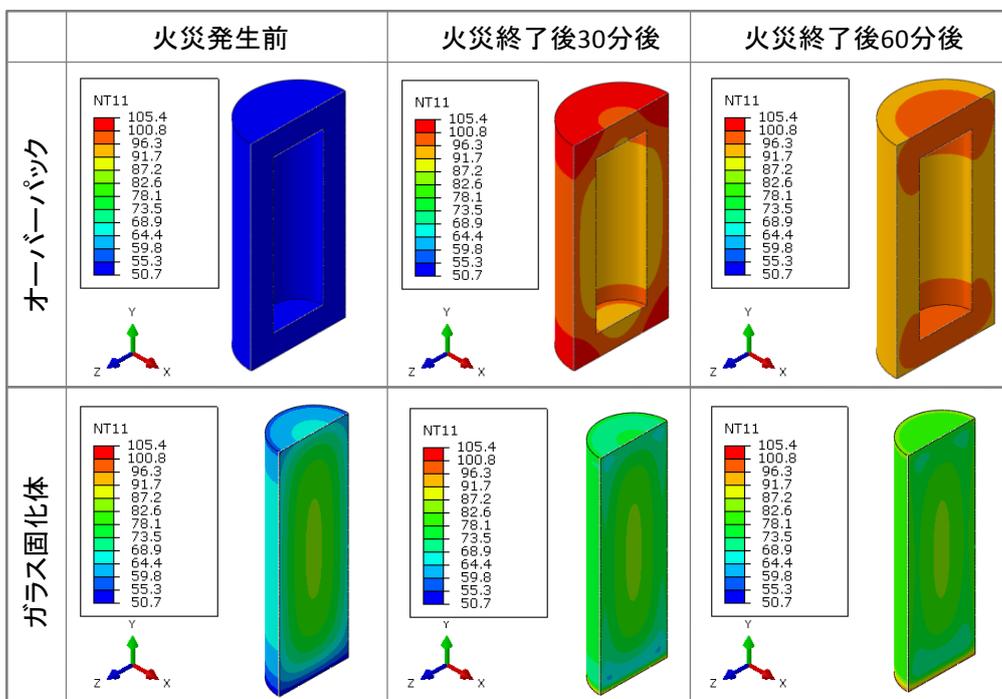


図 11-4 廃棄体の温度コンター図

### 今後の計画

操業時に廃棄体が閉じ込め機能を喪失する恐れのある事象として落下を対象とし、現在、設計を実施しています。今後、操業期間中における廃棄体パッケージの落下時の堅牢性を数値解析により評価する予定です。

以上

## 技術課題-12 モニタリング

### ～ 閉鎖後長期の安全確保に関する地下水圧モニタリングの実証 ～

#### 背景と目的

NUMO は、電中研との共同研究として、同研究所横須賀地区において調査技術の実証を行っています。2010 年度より、閉鎖後長期の安全確保に関するモニタリングの実証として、500 m 級のボーリング孔を用いた地下水圧モニタリングを実施しています。

閉鎖後長期の安全確保に関するモニタリングは、事業許可申請時、事業期間中の安全レビュー、処分場閉鎖計画の申請、閉鎖措置の確認および閉鎖後事業廃止までの期間の各段階で意思決定を支援する情報を提供する役割を持ちます。その中で、最終処分に係る地下施設の建設や、施設の埋戻しが地質環境へ及ぼす影響を評価する必要があり、そのためには、地下施設を建設する前に地質環境の初期状態（ベースライン）を把握しておくことが必要となります。

ベースラインを把握する調査技術の実証を目的として、2010 年度にボーリング孔へのモニタリングシステム（Westbay system MP55）の設置を行い、2011 年 3 月から 13 区間において継続的な地下水圧モニタリングを実施しています。2014 年度は、地下水圧モニタリングを継続するとともに、モニタリングシステムのメンテナンス計画等の取りまとめを行いました。

#### 主な成果

##### 1. 地下水圧モニタリング

地下水圧は僅かですが常に変動しています。地下水圧に変動を及ぼす要因のうち、大気圧や地球潮汐の影響は比較的大きく、図 12-1 に示すような影響が観測されます。したがって、地下水圧のベースライン把握においては、観測された水圧データから大気圧等の影響成分を除去したうえで、対象とする地層における水圧変動や降水影響の有無等を把握することが重要です。

2014 年度はこれまでに引き続き、潮汐解析プログラム（Ishiguro and Tamura, 1985）および状態空間モデルを用いて、地球潮汐および大気圧の影響に加えノイズ成分を除去し、降水の影響を把握しました。図 12-2 に影響成分を除去した地下水圧トレンド成分と降水量との関係を示します。地表付近から深度 200 m 程度までの三浦層群は、降水の影響を受けた地下水圧変動を示す一方、その下位に位置する葉山層群は、降水の影響が見られないことから、葉山層群の地下水圧は地表の環境変化の影響を受けづらいことが把握できました。

## 2. メンテナンス計画等の取りまとめ

長期のモニタリングでは、機器の定期的なメンテナンスやトラブル対策が必要となることが想定されます。本実証においても、圧力計や温度計のドリフトに伴うメンテナンスが定期的に必要であり、また、計器を接続するワイヤの劣化による通信の断絶等のトラブルが発生しました。2014年度は、2010年度から蓄積してきたトラブルの実例とその対策やメンテナンス計画について取りまとめました。



図 12-1 潮汐解析プログラムで分離した大気圧変動成分

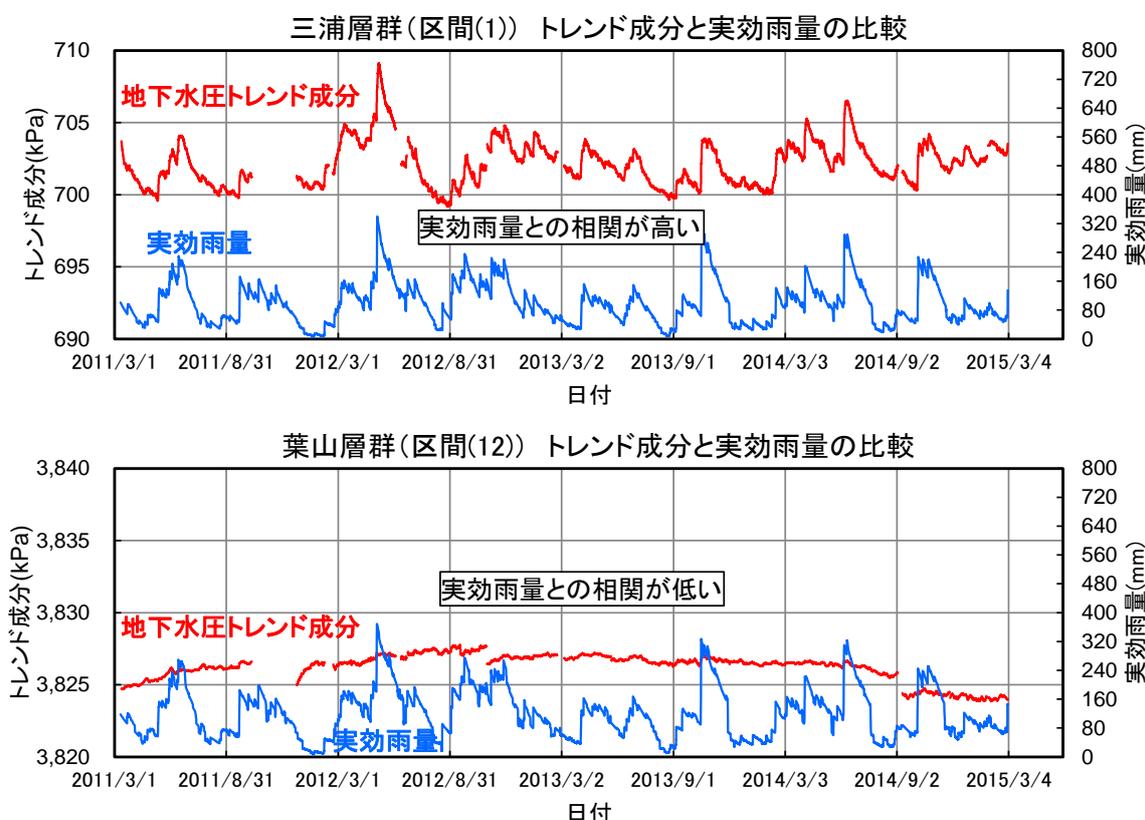


図 12-2 降水と地下水圧との関係

## 今後の計画

地下水圧モニタリングは所期の目的を達成したことから、2014年度でいったん終了します。2010年度から2014年度までの成果については、今後、技術課題-2で述べた実証の体系的な報告書の中で取りまとめを行います。

以上

## 参考文献

- AESJ (日本原子力学会) (2009) : 余裕深度処分の安全評価手法 : 2008, AESJ-SC-F012-2008.
- ANDRA (2005) : Evaluation of the Feasibility of a Geological Repository in an Argillaceous Formation, Dossier 2005 Argile.
- 電事連 (電気事業連合会)・JNC (2005) : TRU 廃棄物処分技術検討書ー第 2 次 TRU 廃棄物処分研究取りまとめ, JNC TY1400 2005-013・FEPC TRU-TRU22005-02.
- ENSI (2009) : Specific Design Principles for Deep Geological Repositories and Requirements for the Safety Case, ENSI-G03.
- EPA (2009) : Disposal of High-Level Radioactive Wastes in a Geologic Repository at Yucca Mountain, Nevada (10 CFR Part63).
- 原環センター (原子力環境整備促進・資金管理センター) (2014) : 平成 25 年度地層処分技術調査等事業地層処分回収技術高度化開発報告書, 経済産業省資源エネルギー庁委託事業報告.
- 原子力安全委員会 (2000) : 高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について (第 1 次報告) .
- 長谷川琢磨, 中田弘太郎, 近藤浩文, 五嶋慶一郎, 富岡祐一, 後藤和幸, 柏谷公希 (2010) : 地下水年代測定による現海水と化石海水の同定ー三浦半島西部沿岸ボーリングへの地下水年代測定法の適用, 電力中央研究所報告, N10008.
- IAEA (2012) : Safety Standards Series, Specific Safety Guide No. SSG-23 “The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste”, International Atomic Energy Agency.
- Ishiguro M. and Tamura Y. (1985) : “BAYTAP-G” in TIMSAC-84, Computer Science Monographs, Vol.22, 56-117.
- JAEA (日本原子力研究開発機構) (2013) : 平成 24 年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム化学影響評価高度化開発ー6 ヶ年研究成果の取りまとめ.
- JNC (1999) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性ー地層処分研究開発第 2 次取りまとめー総論レポート, JNC TN1400 99-020.

- Nagra (2002) : Project Opalinus Clay Safety Report - Demonstration of disposal feasibility for spent fuel, vitrified high-level waste and long-lived intermediate-level waste, TR-02-05.
- NDA (2010) : Geological Disposal Generic Post-closure Safety Assessment, NDA/RWMD/030.
- NEA (2012) : Radioactive Waste Management Committee, Updating the NEA International FEP List: An IGSC Technical Note/Technical Note 2: Proposed Revisions to the NEA International FEP List.
- 日本地質学会 (編) (2011) : 日本列島と地質環境の長期安定性. 地質リーフレット 4, 地質環境の長期安定性研究委員会.
- NUMO (原子力発電環境整備機構) (2011) : 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, NUMO-TR-11-01.
- NUMO (原子力発電環境整備機構) (2013) : 地層処分事業の技術開発計画—概要調査段階および精密調査段階に向けた技術開発, NUMO-TR-13-02.
- Posiva (2012) : Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Synthesis 2012, POSIVA 2012-12.
- 瀬尾俊弘, 清水和彦 (1992) : 我が国における地下水の水質に関するデータの収集・解析, 動力炉・核燃料開発事業団, PNC TN7410 92-017.
- SKB (2011) : Long-term Safety for the Final Repository for Spent Nuclear Fuel at Forsmark, Main Report of the SR-Site Project, SKB TR-11-01.
- 総合資源エネルギー調査会 (2008) : 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る安全規制について, 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会.
- 総合資源エネルギー調査会 (2014a) : 放射性廃棄物 WG 中間とりまとめ, 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 放射性廃棄物 WG.
- 総合資源エネルギー調査会 (2014b) : 最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価—地質環境特性および地質環境の長期安定性について, 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術 WG.

## 外部発表実績

付表 1 技術報告書発行実績

発表年月	題名
2014/5	NUMO-TR-14-01, 技術年報 2013 年度
2014/7	NUMO-TR-14-02, 操業期間中における地層処分施設の地震時空洞安定性に係る検討
2014/6	NUMO-TR-14-03, 地層処分低レベル放射性廃棄物の安全性向上に関する検討—多様な地質環境においても地層処分低レベル放射性廃棄物の処分の安全と評価の信頼をより一層高めることができる処分概念の検討—
2014/10	NUMO-TR-14-04, 地下調査施設の設置概念および調査計画立案に関わる考え方
2015/3	NUMO-TR-14-05, 概要調査段階における設計・性能評価手法の高度化（その3）—NUMO-JAEA 共同研究報告書（2013 年度）

付表 2 学会等発表実績

発表年月日	発表先	題名	執筆者
2014/6/18	International Workshop on JAEA's URL projects	NUMO's key needs for domestic URLs	加来謙一
2014/7/28	AOGS2014 (Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting)	Development of geological environmental models based on the surface-based investigation - A case study in Yokosuka area-	國丸貴紀ほか
2014/7/28	AOGS2014 (Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting)	Geoscientific background behind repository site selection	太田久仁雄ほか
2014/8/7	日本原子力学会 バックエンド夏期セミナー	NUMO の確率論的評価手法の開発	後藤淳一
2014/8/7	日本原子力学会 バックエンド夏期セミナー	地震・断層活動による地質環境への影響	鈴木覚
2014/8/7	日本原子力学会 バックエンド夏期セミナー	地震動による人工バリアへの影響	山本陽一
2014/9/9	日本原子力学会 2014 年 秋の大会	概要調査段階における設計・性能評価手法の高度化 (1) 全体概要	稲垣学ほか
2014/9/9	日本原子力学会 2014 年 秋の大会	概要調査段階における設計・性能評価手法の高度化 (3) シナリオ開発手法に関する検討	黒澤進ほか
2014/9/10	日本原子力学会 2014 年 秋の大会	地質環境調査技術・評価手法の実証 (1) 地質環境モデルに基づく調査計画	吉村公孝ほか
2014/9/10	日本原子力学会 2014 年 秋の大会	地質環境調査技術・評価手法の実証 (2) ボーリング調査による地質環境特性の把握	西尾光ほか
2014/9/10	日本原子力学会 2014 年 秋の大会	地質環境調査技術・評価手法の実証 (3) 調査結果に基づくモデルの妥当性確認および更新	國丸貴紀ほか

発表年月日	発表先	題名	執筆者
2014/9/10	日本原子力学会 2014 年秋の大会	地層処分事業における品質マネジメントの検討 (1) 概要調査段階における品質マネジメントシステムの整備	太田久仁雄ほか
2014/9/10	日本原子力学会 2014 年秋の大会	地震・断層活動に伴う地下水流動場の変化が地層処分システムに及ぼす影響に関する検討	牧内秋恵ほか
2014/9/12	土木学会 平成 26 年度全国大会 第 69 回年次学術講演会	地層処分施設の耐震性評価における静的地震力の設定方法に関する検討 (その 2)	末広俊夫ほか
2014/9/12	土木学会 平成 26 年度全国大会 第 69 回年次学術講演会	処分技術オプションの検討 (1) 選定に向けた評価方針	北川義人ほか
2014/9/12	土木学会 平成 26 年度全国大会 第 69 回年次学術講演会	処分技術オプションの検討 (2) スウェーデン SKB の KBS-3H MPT への参画による横置き・PEM 方式への適用性検討	藤山哲雄ほか
2014/9/12	土木学会 平成 26 年度全国大会 第 69 回年次学術講演会	地層処分事業の品質マネジメントに関する検討 - 概要調査段階における品質管理の手引書の拡充 -	吉村公孝ほか
2014/9/12	土木学会全国大会 研究討論会	東日本大震災の経験を踏まえた高レベル放射性廃棄物地層処分事業の取り組み	出口朗
2014/10/9	土木学会 第 34 回 地震工学研究発表会	地震動が地層処分システムの人工バリアに及ぼす影響検討	山本陽一ほか
2014/10/19	日本原子力学会 2014 バックエンド週末基礎講座	高レベル放射性廃棄物の処分について 一緒に考えてみませんか?	吉村公孝ほか
2014/10/21	台湾行政院原子能委員放射性廃棄物管理局 (FCMA) 主催 「原子燃料サイクルバックエンドの安全技術に関するワークショップ」	Current status of biosphere assessment programme of NUMO	澁谷早苗
2014/10/31	平成 26 年度放射線安全取扱部会年次大会 (第 55 回放射線管理研修会)	高レベル放射性廃棄物の処分計画と課題	鈴木覚

付表 3 論文掲載実績

掲載年月	掲載先	題名	執筆者
2014/6	日本原子力学会 バックエンド部会 部会誌『原子力バックエンド研究』	講演再録：日本の地層処分に向けた自然現象の影響の確率論的評価手法	後藤淳一ほか

掲載年月	掲載先	題名	執筆者
2014/6	日本原子力学会 バックエンド部会 部会誌『原子力バックエンド研究』	講演再録：PEM 定置方式における人工バリア長期挙動に関する検討	後藤考裕ほか
2014/6	日本原子力学会 バックエンド部会 部会誌『原子力バックエンド研究』	会議参加記：第4回東アジア放射性廃棄物管理フォーラム (EAFORM)	江守稔ほか
2014/12	日本原子力学会 バックエンド部会 部会誌『原子力バックエンド研究』	講演再録：地震・断層活動による地質環境への影響	鈴木覚ほか
2014/12	日本原子力学会 バックエンド部会 部会誌『原子力バックエンド研究』	講演再録：地震動における人工バリアへの影響	山本陽一ほか
2014/12	日本原子力学会 バックエンド部会 部会誌『原子力バックエンド研究』	日本原子力学会 2014 年秋の大会「福島第一原子力発電所事故により発生する放射性廃棄物の処理・処分」特別専門委員会報告[バックエンド部会共催]「廃棄物情報の整理と課題解決に向けた考慮事項」参加報告	稲垣学
2015/1	日本原子力学会 学会誌	放射性廃棄物概論 施設の運転及び廃止措置により発生する放射性廃棄物の対策 第5回 放射性廃棄物の処分	後藤考裕ほか

※付表2および付表3に示した執筆者は、発表時の所属は NUMO ですが、現在の所属が NUMO ではない場合も含まれます。



# 原子力発電環境整備機構

(略称:原環機構)

Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO)