

技術年報  
2013 年度

2014 年 5 月  
原子力発電環境整備機構





NUMO-TR-14-01

# 技術年報 2013 年度

2014 年 5 月  
原子力発電環境整備機構

2014年5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) 2014

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 地質環境の調査・評価 .....	2
2.1 概要調査段階に向けた技術開発 .....	2
2.1.1 自然現象の影響にかかわる調査・評価技術 .....	3
2.1.2 地質環境特性の把握にかかわる調査・評価技術 .....	3
2.2 精密調査段階に向けた技術開発 .....	5
3. 工学的対策 .....	6
3.1 概要調査段階に向けた技術開発 .....	7
3.1.1 人工バリアの設計・施工技術 .....	7
3.1.2 地下施設の設計技術 .....	8
3.2 精密調査段階に向けた技術開発 .....	9
4. 閉鎖後長期の安全性評価 .....	10
4.1 概要調査段階に向けた技術開発 .....	11
4.1.1 安全評価の技術 .....	11
4.1.2 安全性の論拠の拡充 .....	12
4.2 精密調査段階に向けた技術開発 .....	12
5. 事業期間中の安全確保 .....	13
5.1 概要調査段階に向けた技術開発 .....	14
5.2 精密調査段階に向けた技術開発 .....	14
6. 廃棄体とインベントリ .....	15
6.1 概要調査段階に向けた技術開発 .....	15
6.2 精密調査段階に向けた技術開発 .....	16
7. モニタリング .....	16
7.1 概要調査段階に向けた技術開発 .....	16
7.2 精密調査段階に向けた技術開発 .....	17
8. 事業推進にかかわる検討 .....	17
8.1 東北地方太平洋沖地震と福島第一原子力発電所事故を踏まえた検討 .....	17
8.2 地層処分の安全性の信頼感醸成にかかわる社会科学的検討 .....	18
9. 地層処分にに関する技術協力・連携 .....	19
9.1 国内機関との協力・連携 .....	19
9.2 海外機関との協力・連携 .....	19
10. おわりに .....	20

## 主な技術開発成果

技術課題-1	天然事象に関する確率論的評価技術 .....	21
技術課題-2	概要調査計画策定手法の検討 .....	24
技術課題-3	概要調査段階における品質マネジメントの検討 .....	26
技術課題-4	地質環境情報の管理支援システムの検討 .....	28
技術課題-5	精密調査技術の実証 .....	30
技術課題-6	地下調査施設における調査・試験計画策定の検討 .....	33
技術課題-7	処分場の設計方法の体系的な整備 .....	36
技術課題-8	地層処分低レベル放射性廃棄物の廃棄体パッケージに関する検討...	40
技術課題-9	人工バリアの施工に関する技術の検討 .....	43
技術課題-10	概要調査段階における予備的安全評価の手順・方法の体系的整備..	46
技術課題-11	安全性論拠の拡充 .....	49
技術課題-12	地層処分の安全評価の基本的考え方の整備 .....	52
技術課題-13	耐震性評価技術の検討 .....	54
技術課題-14	東日本大震災を踏まえた地層処分の安全確保策の検討 .....	57
参考文献 .....		64
付表 1.....		66
付表 2.....		66
付表 3.....		68

## 1. 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が行う技術開発は、既存技術や国の基盤研究開発機関など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を100年にわたる事業全体を俯瞰し、安全確保に向けた事業推進計画（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。「地層処分事業の安全確保（2010年度版）」（NUMO, 2011）

さらに、NUMOは、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NUMOと基盤研究開発機関などの技術開発のより詳細な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 一概要調査段階および精密調査段階に向けた技術開発一」（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に沿って、技術開発計画を進めています。

本技術年報は、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、2013年度の技術開発成果を取りまとめています。さらに、「地層処分に関する技術協力・連携」に関する2013年度の成果を加えています。

### ○技術開発分野の枠組み

- ・地質環境の調査・評価
- ・工学的対策
- ・閉鎖後長期の安全性評価
- ・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
- ・事業推進にかかわる検討

## 2. 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・侵食など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、事業期間中および閉鎖後長期にわたって安全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（地質・地質構造、地下水流動特性、地下水化学特性、岩盤特性（力学特性、熱特性など）、物質移行特性）にかかわる調査などで得られる情報に基づき、前段階における評価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に向けて、自然現象に伴う地質環境特性への長期的な影響に関する情報を収集します。

また、自然現象による地層の著しい変動が生じていない場所を対象に、概要調査段階および精密調査段階で、地質環境特性の情報を調査によって取得し、解析します。その結果を用いて、当該調査段階の評価に必要なスケール（調査範囲）の地質環境モデル<sup>1</sup>を構築します。それらの情報やモデルに基づき、各調査段階のサイト選定上の考慮事項に照らして処分に適した場所を選定します。

サイト選定段階における上記の技術的実施事項を見据えた 2013 年度の技術開発成果について以下に記載します。

### 2.1 概要調査段階に向けた技術開発

概要調査段階では、概要調査地区で実施する地表踏査、物理探査ならびにボーリング調査などの地上からの調査で取得する情報に基づき、火山・火成活動、地震・断層活動、隆起・侵食などの自然現象による地層の著しい変動の有無を確認します。その際、これらの自然現象の影響にかかわる調査・評価を行います。この段階で必要とされるこれらの技術は、防災あるいは地層処分にに関する基盤研究の技術や知見を適用することができます。また、概要調査地区で実施する地上からの調査により、地質環境モデルを構築します。地質環境モデルは、後述の工学的対策や閉鎖後長期の安全性評価に活用します。これらの地質環境特性の調査技術や地質環境モデル構築技術についても、資源開発や土木分野における実用技術、あるいは基盤研究の技術や知見を適用することができます。

以上のように、本段階に必要なとなる地質環境の調査・評価技術にかかわる個別技術の整備状況も踏まえて、NUMO は、ボーリング調査などの技術の実証を行うとともに、概要調査の効率的な実施に向けて、調査・評価技術の体系化を行います。

---

<sup>1</sup>地質環境特性にかかわるサイトの具体的なデータを用いて、二次元または三次元座標における構造の幾何学的性状や諸特性の分布を可視化するもので、地質構造モデル、水理地質構造モデル、地球化学モデル、岩盤力学モデル、物質移動モデルなどがあり、これらのモデルの総称。

### 2.1.1 自然現象の影響にかかわる調査・評価技術

自然現象の影響にかかわる調査・評価技術の体系化に向けて、地質環境の長期安定性の評価技術について検討しました。2011年度までに国内外専門家の協力を得て、最新の学術研究成果に基づく、地層処分における将来の自然現象に関する超長期にわたる評価の考え方について検討しました。これに併せて2012年度までに、不確実性が大きくなる長期の火成活動や断層活動の変遷について、シナリオとロジックツリーによる確率論的評価手法を開発しました。

2013年度は、確率論的評価手法の信頼性向上のために必要な改良を行うとともに、地層処分事業への適用方法に関する検討を行いました。検討の結果、地表接近のハザード（可能性）を定量的あるいは定性的に示すことで、対象とする領域やサイトにおける地層処分事業推進上の不確実性の評価、複数サイトの相対比較などへの適用可能性が確認できました。

参照) 技術課題-1 天然事象に関する確率論的評価技術

### 2.1.2 地質環境特性の把握にかかわる調査・評価技術

#### (1) 考慮事項策定・調査計画立案にかかわる検討

精密調査地区選定上の考慮事項（以下、考慮事項という）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技術的・社会的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。2012年度までに、東北地方太平洋沖地震で得られた知見なども含め、考慮事項を検討する上での基礎となる背景や技術的根拠に関連する情報を収集・分析しました。また、これらを踏まえて、学識経験者からの意見を得て、考慮事項の分類や枠組みなどの基本的考え方と個々の評価項目に対する要件や判断指標、判断基準（目安値）、判断根拠、調査・評価の方法などについて検討を行いました。

2013年度は、断層破碎帯の評価に関する手順や判断基準などの検討を追加して、考慮事項の内容の充実を図るとともに、考慮事項設定の技術的根拠について取りまとめを行いました。今後、新しい科学的知見が出てきた場合には、考慮事項の内容を更新する予定です。

概要調査計画の立案にかかわる検討については、2010年度までに調査技術の実証などを通じて、その立案方法および手順の検討を行い、その基本的な考え方を技術報告書「概要調査計画立案の基本的考え方」（NUMO, 2010）として取りまとめました。2011～2012年度は、より詳細な計画の策定に向けて、調査計画の立案から調査結果報告書の作成までの一連の業務の中で実施すべき調査・評価の項目および手法を抽出し、その組み合わせなどの検討を行いました。また、概要調査に対して実施する一般労働の安全管理や工程管理などの現場管理方法や、仮設計画、資機材調達、調査費用の積算などの細目について検討を行い、調査計画の内容の充実化を図りました。さらに、概要調査計画を立案する際に考慮

すべき内容について記す手引書の検討を行いました。

2013年度は、これまでの検討結果に、断層の破砕帯や変形帯に関する既存の地質情報を収集し、概要調査における隆起・侵食および断層破砕帯の調査細目および具体的な調査・評価手法および課題について検討を加え、調査内容や費用・工程などについてさらなる精緻な検討を行い、概要調査計画の内容の充実化を図りました。

## 参照) 技術課題-2 概要調査計画策定手法の検討

### (2) 調査・評価技術の体系化・実証

2007年度より、米国ローレンスバークレー国立研究所（以下、LBNL という）と断層の水理特性の調査・評価技術に関する共同研究を実施しています。本共同研究において、国内外の調査事例に基づき、断層の水理特性の調査・評価の流れをフローとして取りまとめました。さらに、米国カリフォルニア州サンフランシスコ郊外の LBNL サイトで現地調査を実施し、そこに分布する断層の地質・水理特性を把握し、水理地質構造のモデル化および地下水流動解析を行いました。その結果に基づき、フローの修正および手法の体系化を進めました。2012年度は、2011年度に掘削したボーリング孔を利用した地下水モニタリングを継続し、得られたデータをもとに、モデルの更新と再解析を行い、手法の信頼性を確認しました。

2013年度は、概要調査段階における断層の水理特性の調査・評価手法の体系化に向けて、上記の LBNL サイトでの取り組みの成果を取りまとめました。今後は、成果を公表する予定です。

### (3) 情報・品質管理技術の整備

地表踏査、物理探査ならびにボーリング調査などによって取得する地質環境情報や地質構造モデルの構築プロセスについて、網羅的かつ追跡性を持った情報管理が必要です。2012年度までに、このような管理に必要な管理支援システムの整備に着手し、基本システムの導入、システム最適化の検討、NUMO の既存システムとの連携の検討を行いました。2013年度は、2012年度までに検討した地質環境情報の管理支援システムの最適化や既存システムとの連携を行い、システムの効率化・操作性の向上を図りました。

また、地層処分事業の実施においては、安全性の確保に向けた品質管理の実施が求められています。これを受けて、NUMO は、概要調査段階における調査・評価技術に加えて、成果物としてのデータやモデルなどの信頼性を確保するために、2009年度より品質管理の考え方や仕組み、具体的な手法の検討を進めています。2012年度までに、陸域と海域の調査技術および地質環境モデルの構築について、実際の運用を念頭においた仕組みや品質管理手法を検討し、外部専門家によるレビューを通じてその適用性などを確認してきました。

2013年度は、陸域と海域の調査技術および地質環境モデルの構築の品質管理手法や仕組

みの拡充を図るとともに、これまでに整備した品質マネジメントシステム全体としての技術的妥当性を確認し、概要調査段階の品質マネジメントシステムの整備を完了しました。

参照) 技術課題-3 概要調査段階における品質マネジメントの検討

参照) 技術課題-4 地質環境情報の管理支援システムの検討

## 2.2 精密調査段階に向けた技術開発

精密調査段階〔前半〕では、処分施設の基本レイアウトを決定するため、精密調査地区のスケールを対象に概要調査段階より詳細な地質環境モデルを構築します。そのため、概要調査段階よりも高精度・高密度での物理探査やボーリング調査、ボーリング孔間試験などを実施します。ボーリング孔間試験技術を含め、この段階で必要な技術は、資源開発や土木分野における実用技術や知見を適用することができます。この段階に向けた技術開発として、地質環境特性の把握にかかわる調査・評価技術について、基盤研究開発の成果や技術の進展を考慮して個別技術の体系化を図るとともに、ボーリング孔間の物理探査や水理試験に関連する技術の適用性についての実証を行います。

地質環境特性の把握にかかわる調査・評価技術の体系化および実証として、2006年度より実施している一般財団法人電力中央研究所（以下、電力中央研究所という）との共同研究において、地上からの調査技術に関する現場適用性を確認するための実証に取り組んでいます。2011年度までに、概要調査段階において実施する物理探査技術、ボーリング調査技術、地下水モニタリング技術の実証を行いました。さらに、2012年度からは、精密調査段階〔前半〕に実施する地上からの調査技術の実証に着手し、新規のボーリング孔の掘削を開始しました。

2013年度は、これまでに構築した地質環境モデルの妥当性の確認、調査結果に基づくモデルの更新を進めました。ボーリング調査では、ボーリング孔周辺の地質・地質構造モデルや水理特性を把握するために、新規に掘削するボーリング孔と既存のボーリング孔の孔間を利用した地下水の水圧モニタリングの調査・試験などを行いました。今後は、ボーリング掘削や現地調査・計測技術の実証をさらに進めるとともに、地質環境モデルの更新や地下水の流れ方を推定する解析（地下水流動解析）などを継続し、地質環境調査の体系化を進める計画です。

精密調査段階〔後半〕では、地下調査施設での調査およびそこに至るアクセス坑道の掘削時の調査結果を踏まえて、処分場スケール（処分施設建設地程度の大きさ）の詳細な地質環境モデルを構築し、工学的対策や閉鎖後長期の安全評価に用います。そのためには、坑道を用いた、あるいは坑道からのボーリングを用いた地質環境の調査・評価技術が必要です。これらの技術は、資源開発や土木分野における実用技術や知見が適用できるとともに、独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、JAEA という）における深地層の科学的研究の一環として技術の検証も進められています。技術のさらなる信頼性の向上に向け

て、基盤研究開発において深地層の研究施設（瑞浪超深地層研究所、幌延深地層研究センター）を活用した坑道内からの物理探査や地下水の移行経路・流動特性の調査・評価技術などの高度化が図られています。また、坑道内で遭遇する断層や破碎帯の特性を把握する技術開発も進められます。NUMOは、これらを踏まえて、地質環境特性の把握にかかわる調査・評価技術に関して、既存技術および高度化された技術の実証などを通して、地下調査施設における調査・評価技術の体系化を図ります。

上述したように、精密調査段階〔後半〕に実施する地下調査施設を用いた調査のために、深地層の研究施設の建設を通じた地下環境の調査・評価手法の検討が基盤研究開発として進められています。NUMOでは、これらの成果を踏まえた上で、さらなる信頼性の向上や合理的な調査の実施などが必要とされます。また、今後調査対象となり得る多様な地質環境に対応できるように、調査・評価技術の整備を進めておく必要があります。

2012年度は、欧州諸国でこれまでに実施された地下研究所での調査・試験を対象として、調査・試験計画の策定の考え方、調査・試験の内容、得られた成果と課題などに関する情報を調査しました。これを踏まえ、2013年度は、2012年度までの調査結果に基づき、将来NUMOが地下調査施設内において実施する調査・試験項目の具体化に向けた取りまとめを行いました。また、オフサイトの地下研究所で先行して実施すべきと考える調査・試験については、現状の技術レベルの分析、開発に要する期間の長さなどを考慮して優先度を3段階に分類しました。今後は、国内の地下研究所へのNUMOのニーズについて、地層処分基盤研究開発調整会議(以下、調整会議という)などを通じて関係者へ提示し、認識共有を図ります。また、NUMOが自ら実施する精密調査段階〔後半〕に向けた技術開発については、海外の地下研究所の活用なども含めて検討し、計画的に進めていきます。

参照) 技術課題-5 精密調査技術の実証

参照) 技術課題-6 地下調査施設における調査・試験計画策定の検討

### 3. 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、人工バリアが担保すべき安全機能とその担保期間を明確にします。そのうえで、地質環境特性や材料間の相互作用などによる安全機能としての長期的な性能の変化を踏まえ、人工バリアの全体設計や各バリアの材料選定などの仕様設定を行います。このような人工バリアの設計・施工について、サイト選定の段階的な調査の進捗に応じて地質環境情報が拡充・精緻化されることから、段階的に信頼性を向上させていきます。また、設定した仕様を満足させるための人工バリアの製作・定置技術を選定し、その工学的実現性や長期挙動を考慮した所要性能の達成度を実証試験を通じて確認します。併せて、選定した人工バリアの製作・定置技術に対して、回収技術の選定と実証を行います。さらに、これらに関する品質管理方法や手順などの品質保証体系を整備します。

また、地下施設の設計については、隔離・閉じ込め機能に優れた候補母岩の中から地下施設の設置位置を設定し、人工バリアの安全機能に影響を及ぼす要因（例えば、地下水流による緩衝材の流出など）を排除あるいは緩和するとともに、放射性物質の移行抑制に対して有利となるように処分施設レイアウトを決定します。調査の進展に応じて、地下施設の設置位置や処分施設レイアウトの最適化を図っていきます。なお、サイト選定段階では、廃棄体の定置を避けるべき亀裂の位置の詳細な把握は困難です。このため、操業段階における廃棄体定置の可否に関する判断基準や対応策を準備するとともに、処分場を設置する母岩の広がり、設計上どの程度の余裕を持たせるかの判断基準をあらかじめ明確にしておく必要があります。

2013年度の技術開発成果について、サイト選定段階における技術的实施事項を見据えて、以下に記載します。

### 3.1 概要調査段階に向けた技術開発

概要調査段階では、地質環境の調査・評価から得られる地質環境特性データや地質環境モデルに基づき、長期的な性能の変化を踏まえた人工バリア基本仕様の設定と、坑道断面・廃棄体定置間隔・坑道離間距離・施設レイアウトの設計を行います。さらに、後述の予備的安全評価の結果をフィードバックしながら、候補母岩の選定や基本レイアウトの設定を行います。これらに必要な技術のうち、人工バリアの各要素および要素間の相互作用による長期挙動に関するデータ取得やモデル化技術の開発が基盤研究開発において進められています。また、地下施設の設計にかかわる技術については、既存技術の適用が可能と考えられます。

概要調査段階では、人工バリアの基本仕様を実現することが可能な製作・定置技術を絞り込むこととなります。これに関して、「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）で示されたように、人工バリアの製作・定置にかかわる個別技術を構成する基本的な要素技術が基盤研究によって整備されています。以上のような工学的対策にかかわる要素技術の整備状況を踏まえて、NUMOは、人工バリアや施設の概念設計のための具体的手順と方法を体系化します。併せて、人工バリアの製作・定置技術については、実現性や効率性の観点から技術を絞り込むための評価体系を整備します。

#### 3.1.1 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

NUMOは、概要調査の結果に基づき、処分場の概念設計を行います。処分場の設計に関しては、これまでに概略的な設計フローの提示や設計の試行などを実施してきました。また、人工バリアの設計について、セメント系材料と緩衝材の相互作用に関する現象の理解など、これまでの基盤研究開発成果などに基づいて、人工バリアの長期的な挙動と性能変

化の評価方法を整備し、設計への反映の考え方などを検討してきました。

以上の検討成果を踏まえて、2013年度は、概念設計に必要な要件を体系的に整備し、要件に適合するよう設計を行うための手順と具体的方法を取りまとめました。また、設計に必要なパラメータを整備し、概要調査で取得すべき情報を明確にしました。これらにより、概要調査段階に実施する概念設計の準備を整えました。

#### 参照) 技術課題-7 処分場の設計方法の体系的な整備

### (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、NUMO 自らが製作する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、放射性物質の閉じ込めを合理的に実現するために、現段階において廃棄体の基本仕様を明確にしておく必要があります。そこで、2012年度には、主に操業期間中における放射性物質の閉じ込め性能の確保に主眼を置き、性能を損なう可能性のある事象について、その事象発生状況下における廃棄体と廃棄体パッケージの状態を評価しました。そして、その結果に基づいて、課題の抽出および課題解決のための対応方針を、廃棄体製造者による対応と NUMO による対応という二つの観点から検討しました。

2013年度は、操業期間中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設計を試行しました。今後は、廃棄体発生者と協議しつつ、本検討で提示した廃棄体パッケージ概念の実現に向けた検討を実施する予定です。

#### 参照) 技術課題-8 地層処分低レベル放射性廃棄物の廃棄体パッケージに関する検討

### 3.1.2 地下施設の設計技術

3.1.1(1)で述べた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検討とともに、地下施設の設置に好ましい候補母岩の選定方法の整備、放射性物質の移行抑制に対して有利な施設レイアウトの設定方法の検討、ならびに基本レイアウトの設定方法を検討します。

2013年度は、力学場や水理場などを考慮した候補母岩の選定方法を検討するとともに、人工バリア設計と併せて地下施設の基本レイアウトを設計するための具体的手順と方法を取りまとめました。

## 参照) 技術課題-7 処分場の設計方法の体系的な整備

### 3.2 精密調査段階に向けた技術開発

精密調査段階〔前半〕では、その段階までの調査で把握された地質環境特性を踏まえ、人工バリアの仕様決定、製作・定置技術の特定ならびに廃棄体の回収技術の提示を行います。さらに、これらの結果や精密調査地区のスケールの地質環境モデルを踏まえた地下施設の設計を行い、閉鎖後長期の安全性評価の結果をフィードバックさせながら、基本レイアウトを決定します。人工バリアの仕様決定には、必要な安全機能を長期にわたり満足させる仕様の設定に必要な技術の信頼性を向上させる必要があります。また、人工バリアの製作・定置技術の特定および回収技術の選定には、実現可能性が確認された製作・定置および回収技術と、その選択の妥当性を評価する技術が必要となります。また、地下施設の設計では、グラウトの影響評価技術も必要となります。そのために、基盤研究開発では、熱・水理・力学・化学連成を考慮したバリア材や、ニアフィールドの長期挙動に関する現象の理解や、モデル化・解析手法などの個別技術の高度化に向けた取り組みが進められています。また、人工バリアの製作・定置、廃棄体の回収ならびにグラウトの影響評価などにかかわる要素技術が開発されています。以上を踏まえて、NUMOは、基盤研究開発で高度化された個別技術(および個別技術を構成する要素技術)を体系化し、基本設計の手順・方法をまとめます。また、人工バリアの製作・定置および回収技術については、実現性や効率性の観点から選択・決定し、その妥当性を評価するための技術を開発します。

NUMOは、精密調査地区の選定までに、廃棄体の搬送・定置技術のオプションに関する有望な技術の絞り込みを行う計画です。既に「地層処分事業の安全確保(2010年度版)」(NUMO, 2011)において、国内外の技術開発の進捗状況などを踏まえて、①縦置き・ブロック定置方式、②横置き・原位置施工方式、③横置き・PEM<sup>1</sup>方式(地上施設であらかじめ緩衝材と廃棄体を鋼製の容器内に一体化し、地下施設に搬送・定置する方法)の3つの方式を人工バリア施工技術のオプションとして示しました。このうち、PEM方式については、2012年度までに、人工バリア一体化モジュールおよび搬送・定置装置の概略的な設計を行い、工学的実現性、閉鎖後長期安全性ならびに経済性などの観点から、個々のモジュール構成を適切に組み合わせたPEM方式の基本形を設定しました。

2015年度を目途に中間評価を実施し、上記の3つの搬送・定置技術オプションの優先順位を定めることを目標としています。2013年度は、中間評価における判断材料の整備に向けて、国内外の最新の技術開発に関する情報収集などを行いました。このうち、特に工学的実現性と閉鎖後長期における安全性の観点から、評価すべき項目とその論拠の整備および技術開発課題の抽出を行いました。今後は、操業安全性や回収可能性、経済性などの観点についても同様の検討を進め、それらを総合して、3つの技術オプションに対する技術

<sup>1</sup> Prefabricated Engineered barrier system Module の略

開発の優先順位を定めていきます。

精密調査段階〔後半〕では、事業許可申請に向けて、人工バリアや地下施設の仕様を確定します。そのため、精密調査段階〔後半〕では地下調査施設を用いて、実規模・実環境の条件下で人工バリアの製作・定置および廃棄体の回収技術などの実証や、ニアフィールドで生じる現象の予測技術の検証などを行い、人工バリアや地下施設の設計の妥当性を確認します。

基盤研究開発では、熱・水理・力学・化学の連成を考慮した人工バリアやニアフィールドの長期挙動の評価技術について、引き続き高度化が図られます。また、緩衝材、埋め戻し材ならびにプラグの性能を確認する技術について、深地層の研究施設を活用した開発などが進められる予定です。NUMOは、基盤研究開発で高度化された個別技術を、地下調査施設で実施する実証試験における性能確認、検証あるいは品質管理に反映します。

NUMOは、地下調査施設における人工バリア施工技術の実証試験に関する基礎的な検討を2011年度より開始しました。2012年度までに、国内外の地下研究所における人工バリア関連の実証試験などの調査・試験の実施事例について、調査・試験の内容やその規模などの情報収集を行いました。また、わが国の地下調査施設で行うべき実施事項についても、基礎的な検討を行いました。さらに、SKBが運営するエスポ地下研究所を例として、NUMOが精密調査段階〔後半〕までにオフサイトで先行的に実施すべき人工バリア施工技術に関連する試験項目・計画などの概略検討を行いました。

2013年度は、2.2で述べた「地質環境の調査・評価」に関する技術と同様に、2012年度までの調査結果に基づき、将来NUMOが地下調査施設内において実施する調査・試験項目の具体化に向けた取りまとめを行いました。また、地下調査施設での試験実施に向けて必要な技術開発項目のうち、オフサイトの地下研究所で先行して実施すべきと考える調査・試験については、現状の技術レベルの分析、開発に要する期間の長さなどを考慮して優先度を3段階に分類しました。今後は、「地質環境の調査・評価」に関する技術とあわせて、国内の地下研究所へのNUMOのニーズについて調整会議などを通じて、関係者との認識共有を図ります。また、NUMOが自ら実施する精密調査段階〔後半〕に向けた技術開発については、海外の地下研究所の知見なども含めて検討し、計画的に進めていきます

参照) 技術課題-6 地下調査施設における調査・試験計画策定の検討

参照) 技術課題-9 人工バリアの施工に関する技術の検討

#### 4. 閉鎖後長期の安全性評価

サイト選定段階では、段階的な調査の進捗に応じて得られる情報を用いて安全評価を実施し、その結果を安全性を示す判断基準(目安値)などと比較することにより、安全性の確認を行います。そのため、調査の進捗に応じて得られる情報に基づく評価のためのシナリオ設定、シナリオを評価するためのモデル設定、モデルに基づき定量的な評価を行うため

のデータや解析コードの整備が必要となります。また、評価結果の信頼性を確保するためには、評価に用いられるシナリオ、モデル、データについて、その設定根拠や評価の過程における品質管理が重要であり、それらは評価結果とともに安全性の論拠の中核的な情報としてまとめます。

サイト選定段階における上記の技術的実施事項を見据えた、それぞれの調査段階に向けた技術開発の全体概要、および2013年度の技術開発成果について以下に記載します。なお、閉鎖後長期の安全性評価に関する技術開発は、サイト選定の各調査段階に向けた技術として段階的に取り組んでいきます。そのような計画的な取り組みの中で、2013年度は、概要調査段階に向けた技術開発に注力するとともに、精密調査段階に向けた技術開発（事業許可申請に向けた安全確保の基本的考え方の構築）についても中期的な視点で取り組みを行いました。

#### 4.1 概要調査段階に向けた技術開発

概要調査段階では、地質環境特性情報や地質環境モデル、処分施設の基本レイアウトや人工バリア基本仕様にに基づき、時間的または空間的な不確実性を考慮した予備的な安全評価を行い、事業者として長期の安全性が確保できることの見通しを提示します。この結果は、必要に応じて基本レイアウトや人工バリア仕様にフィードバックするとともに、次の調査段階の地質環境調査にも反映させます。安全評価を行うに当たっては、自然現象の長期変遷を踏まえたシナリオ構築技術、地質環境モデルから物質移行モデルを構築する技術、ならびに放射性物質の収着・拡散などに関するデータベースの整備などが必要となります。基盤研究開発によって、これらの基本的な技術が整備されており、現在は、評価における不確実性をより適切に取り扱うための手法の開発、さまざまな現象の理解に基づいた詳細なモデル化技術の開発、ならびにデータベースの拡充などが継続して行われています。

NUMOは、基盤研究開発で整備される個別技術やデータベースを踏まえ、安全評価にかかわる具体的な手順と方法を体系化します。

##### 4.1.1 安全評価の技術

概要調査段階では、概要調査の結果に基づき、処分場の予備的な安全評価を行います。安全評価の実施に当たっては、シナリオ、モデル、データの設定、およびその論拠の整備と提示が必要となります。特に、概要調査で得られる地質環境情報の量や質には制約も想定されることから、不確実性の取り扱い方法についても整備しておく必要があります。

2012年度までに、シナリオ構築やモデルおよびデータの設定に必要となる人工バリア材料やセメント系材料（材料間の相互作用を含む）の長期変質とそれらが人工バリア機能へ与える影響について、定量的な検討を進めてきました。さらに、これらの結果を人工バリアの状態設定や安全評価に反映させるための検討を行いました。また、安全評価では、生物圏に移行した放射性物質が人間へ影響を及ぼすまでの過程の評価が必要であるため、生

物圏評価を行うために取得すべきデータやその評価方法、モデルへの反映方法などを検討してきました。

2013年度は、これまでの技術開発の成果を踏まえ、シナリオの構築、解析モデルの選択、データの取得と設定などに関する一連の手順を体系化し、予備的安全評価の手法の整備を行いました。この中では、人工バリアの変質などに関する長期変遷の評価、安全評価で用いる核種移行評価、および生物圏での被ばく評価など、定量的な評価を行うための一連の解析コードに必要な機能をまとめました。また、現象解析と核種移行解析とのデータの受け渡し手順などについても、例示とともに取りまとめました。このような評価手法の整備により、予備的安全評価を実施するための準備を進めました。

**参照) 技術課題-10 概要調査段階における予備的安全評価の手順・方法の体系的整備**

#### 4.1.2 安全性の論拠の拡充

上記の安全評価では、評価に用いられるシナリオ、モデルならびにデータについて、その設定根拠や評価の過程における品質マネジメントが重要となります。NUMOは、概要調査段階で実施する予備的安全評価の段階から、長期安全性を踏まえたシナリオ、モデルならびにデータの論拠を中核的な情報として、処分場の安全性に関する事業者としての主張をセーフティケースとして構築していきます。

2013年度は、これまでの基盤研究開発やNUMOの技術開発の成果をまとめ、概要調査段階で取得される情報を前提として、予備的安全評価を実施するための手順を整備しました。安全評価において対象とする時間スケールは長いため、坑道の支保工などに含まれるセメントとベントナイト、オーバーパックなどの鉄とベントナイトとの反応や、地下水が人工バリアに浸潤する過程の再冠水挙動は、人工バリアの性能を決定する上で重要な事象です。しかしながら、生じる現象が複雑なため、人工バリアの性能の時間変化に関する不確実性も大きく、安全評価を実施する上で重要な課題となっています。NUMOは、これら重要な事象について、有識者の知見や実験結果を取りまとめ、安全性に繋がる論拠を拡充しており、今後も継続する予定です。

**参照) 技術課題-11 安全性論拠の拡充**

#### 4.2 精密調査段階に向けた技術開発

精密調査段階では、その後の事業許可申請に向けて、地下調査施設などでの調査によって把握された詳細な地質環境特性や、実証試験などを通して妥当性が確認された人工バリアと地下施設の設計を踏まえ、シナリオ、モデルならびにデータの更新を行います。これらを用いて安全評価を行い、閉鎖後長期の安全性を事業者として確認・提示します。そのためには、ニアフィールドにおける放射性物質の挙動を踏まえた閉じ込め性能を評価する

技術および採用したモデルやデータの妥当性について、主に原位置で実証するための技術が必要です。さらに、緩衝材の仕様や廃棄体の定置位置の妥当性を判断するために、処分場スケールでの地下水流動モデルの構築技術や、緩衝材の流出・変質などとの関係も考慮した物質移行評価技術が必要となります。

基盤研究開発では、引き続きモデル化技術やデータベース整備などに関する個別技術の高度化が行われるとともに、モデルやデータの妥当性の確認にも資する地下施設での実証手法が開発されます。これを踏まえ、NUMOは、精密調査段階〔後半〕およびその後の事業許可申請に向けて、高度化された個別技術を踏まえた安全評価の体系を更新・改良します。また、シナリオの構築などに必要となる人間侵入シナリオなどを含めた幅広い安全確保の基本的な考え方について、サイト選定段階を通じて継続的に検討していきます。

安全性の論拠の統合技術の一環として、これまで NUMO は、安全確保の基本的考え方の構築の観点から、閉鎖後長期に関する安全評価手法について検討してきました。2012年度までに、概要調査段階に予定している処分場の概念設計と予備的安全評価の実施に向けて、地層処分の特性を考慮した基本となる評価シナリオ、状態設定、評価期間に伴う不確実性の取り扱いなどについて検討してきました。

2013年度は、さらに詳細な安全評価のケーススタディなどを通じて、これまで検討してきた安全評価の基本的考え方における課題などを抽出し、事業許可申請への準備という視点も踏まえて、安全確保の基本的考え方の具体化を進めました。

#### 参照) 技術課題-12 地層処分の安全評価の基本的考え方の整備

### 5. 事業期間中の安全確保

事業期間中の安全確保に関しては、一般労働安全の確保、放射線安全の確保、環境配慮の観点から検討を行います。このうち、一般労働安全については、一般的な土木工事や鉱山施設などの類似施設における安全対策を参照するとともに、事故や災害情報を分析し活用します。放射線安全については、既存の原子力関連施設における安全対策を参照します。また、事業期間中に発生する可能性のある地震、津波、地すべりなどの自然現象による施設への影響を考慮した安全設計を実施します。これに先立ち、各調査段階の調査精度に応じた検討用地震動および津波の想定を行います。

また、環境配慮に関しては、文献調査段階における現況把握に始まり、概要調査段階以降の各調査段階では、現況にかかわる現地調査、事業による影響の把握、環境影響評価書の準備などの取り組みを行います。このような段階的な調査の進展に加え、調査内容や処分施設の建設・操業に関する事業計画の詳細化にも相応する環境への影響に関する予測精度の向上に伴い、適宜、環境保全措置を見直していきます。

サイト選定段階における上記の技術的实施事項を見据えた 2013 年度の技術開発成果について以下に記載します。なお、2013 年度の技術開発計画では、概要調査段階に向けた技

術開発として環境配慮にかかわる技術を対象としています。

## 5.1 概要調査段階に向けた技術開発

概要調査段階では、設定した基本レイアウトをもとに、放射線安全対策、換気・排水などの作業環境対策、地震・津波などの自然災害に対する安全対策などを検討し、事業期間中の安全性が確保できることの見通しを提示します。また、地上および地下施設の建設に伴う周辺環境への影響を考慮した環境保全対策（環境配慮）を検討します。前者の安全対策には、既存の原子力関連施設を対象とした既存の技術などを適用することが可能と考えられますが、先行する諸外国の対策事例や原子力関連施設に対する技術開発動向を継続的に把握します。後者の環境配慮に関する取り組みに関して、現時点では、地層処分事業は環境影響評価法の対象ではありません。しかしながら、事業における環境配慮は重要であり、現時点から具体的に検討し、環境アセスメントの実施に向けた準備を進めておく必要があります。

環境配慮にかかわる技術開発に関して、2012年度は、最新の情報を取り入れ、環境アセスメントを実施した関連事例に関する情報収集および地層処分事業における環境配慮の取り組みに関する具体化の検討を行いました。この結果、環境配慮の骨格となる事業の各段階における考え方、手続き、基本的な事項などを整備しました。

2013年度は、環境要素（大気環境、水環境、土壌環境、動物・植物・生態系、廃棄物・温室効果ガス）に関する事業の影響把握を行うとともに、現況調査に関する手順の検討、概要調査段階で実施する技術的検討手法の検討を行い、環境配慮の具体的な手順の整備を進めました。また、廃棄体に含まれる非放射性的有害物質の予備的な影響評価を実施しました。

## 5.2 精密調査段階に向けた技術開発

精密調査段階では、特定される地層処分施設の基本レイアウトや人工バリア仕様、ならびに詳細化された地質環境モデルを踏まえて、その時点での最新の技術を適用して事業期間中の安全性が確保できることを確認します。NUMOは、地下施設を対象とした耐震設計手法を検討するとともに、既存の原子力関連施設などを対象とした技術開発動向を踏まえ、必要な技術を開発します。

地層処分施設は、一般的な土木施設などに比べて、大深度地下構造物であること、大規模な連接坑道を有する広い面積の構造物であること、閉鎖後長期の安全性を確保する必要があることなどの特殊性を有しています。これらを踏まえ、NUMOは安全設計技術における耐震設計手法の整備として、2012年度までに、地下深部の地盤応答特性などについて調査・検討を行いました。さらに、既存の原子力関連施設に適用する経験的な方法に基づいて設定した地震動や、東北地方太平洋沖地震で観測された地震動を用いて、地下施設である処分坑道などの耐震安全性評価を行いました。また、地下深部に適用する地震動の設定

方法や、処分坑道の交差部などの影響について検討を行いました。これらの結果、処分坑道の耐震安全性を確保できる見通しを得たことから、概要調査段階で行う概念設計に必要な技術開発を概ね完了しました。

2013年度は、合理的な耐震設計手法の検討として、静的な地中震度について見直しの検討を行いました。2012年度のケーススタディでは検討に用いた地震波の数が少なかったため、一つの地震観測地点につき、10個以上の地震波を用いて追加検討を行いました。その結果、比較的良好な地盤条件の場合、地盤の最大せん断応力分布を踏まえた地中震度の平均値をとることは妥当であることがわかりました。

2013年度は、別途、取り組んでいる東北地方太平洋沖地震後に得られた知見を踏まえた地層処分の安全性に関する総合的な評価に関する検討成果や、国および他の原子力事業者の動向も踏まえて、操業期間中における安全確保の基本的考え方を整備しました。これらの成果は、随時、安全設計の技術開発にフィードバックし、精密調査段階〔後半〕の後に予定される事業許可申請のみならず、概要調査段階で行う処分場の概念設計と予備的安全評価にも反映していきます。

参照) 技術課題-12 地層処分の安全評価の基本的考え方の整備

参照) 技術課題-13 耐震性評価技術の検討

## 6. 廃棄体とインベントリ

設計や安全評価を行うには、廃棄体の核種インベントリ情報（放射性核種の種類および放射能濃度などの情報）が必要となります。廃棄体の核種インベントリに関する評価方法の成果反映時期は、安全規制の制度化のタイミング、廃棄物発生者の事業工程、あるいはNUMOの報告書（例えば予備的安全評価報告書）の作成時期などにも密接に関係します。従って、廃棄物発生者と協議を進めながら実施する必要があります。当該技術開発に関する上記の特徴も踏まえ、概要調査を経て実施する予備的安全評価、および精密調査を経て実施する安全評価など、その技術が必要となる節目を念頭に技術開発に取り組みます。

サイト選定段階における上記の技術的实施事項を見据えた2013年度の技術開発成果について以下に記載します。なお、上述したように、廃棄体の核種インベントリに関する評価方法は、その技術が必要となる時期（概要調査段階と精密調査段階）を念頭において、実施することとしています。

### 6.1 概要調査段階に向けた技術開発

設計や安全評価を行うには、廃棄体の核種インベントリ情報が必要となります。また、NUMOでは、処分場の操業中および閉鎖後長期にわたる安全の確保および地層処分の安全性に対する理解促進を目的に、事業者としての自主基準を設定します。

上記を踏まえて、2013年度は、概念設計や予備的安全評価、さらに将来の事業許可申請に向けた検討として、安全評価の結果に影響を及ぼす可能性がある高レベル放射性廃棄物に関する重要な核種の選定方法の検討を進めました。さらに、操業中（事業期間中）および閉鎖後長期の安全性の観点から、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の受入基準にかかわる予備的な検討を実施しました。

## 6.2 精密調査段階に向けた技術開発

精密調査段階〔後半〕の後には事業許可申請および安全審査が実施されます。そこで扱われる核種は、被ばく評価上重要な核種から選定されることが合理的ですが、核種の選定結果によっては分析方法などの開発が新たに発生する可能性があります。このため、技術開発などの期間も考慮して、2013年度より予備的に、重要核種の選定方法および重要核種の抽出といった検討を開始しています。2013年度は、第二種廃棄物埋設の事業における選定方法を参考に検討を実施しました。

## 7. モニタリング

事業者として実施するモニタリングは、①閉鎖後長期の安全確保に関するモニタリング、②事業期間中の安全確保に関するモニタリング（一般労働安全の確保、放射線安全の確保、周辺環境の保全）の二つに分類できます。

前者は、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、閉鎖措置の確認ならびに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。後者については、坑道内の作業安全や良好な作業環境の確保、操業段階で放射性物質を取り扱うことに伴う環境モニタリングの指針などに沿ったモニタリング、事業の実施による周辺環境への影響などのモニタリングを実施します。

サイト選定段階における上記の技術的実施事項を見据えた2013年度の技術開発成果について以下に記載します。

### 7.1 概要調査段階に向けた技術開発

NUMOは、既存のモニタリング技術に加え、基盤研究開発などで適用性が確認された個別のモニタリング技術、装置の長期耐久性や交換頻度ならびに記録の保存方法などに関する知見を組み合わせ、地上からのベースラインモニタリング計画の策定およびモニタリングの実施に適用します。概要調査段階では、現地調査として実際に掘削するボーリング孔を利用したモニタリングを開始するため、概要調査の開始前までに初期ベースラインモニタリングについて検討し、ベースラインを把握する技術を整備しておく必要があります。

これまでに、ボーリング孔による概要調査段階の地下水モニタリング技術の実証を進めてきました。

2013年度は、NUMOが設定しているモニタリングの分類と段階的な役割に考察を加え、

モニタリング戦略・計画にかかわる今後の検討のための枠組みを設定しました。

## 7.2 精密調査段階に向けた技術開発

精密調査段階〔前半〕では、概要調査段階で実施される地上からのモニタリングが継続されます。また、精密調査段階〔後半〕における地下調査施設の建設によって地質環境が擾乱を受ける可能性があるため、その前の状態を把握しておくとともに、地質環境や周辺環境への影響を予測しておく必要があります。そのため、精密調査段階〔前半〕では、既存のモニタリング技術に加え、基盤研究開発などで適用性が確認された技術や知見を組み合わせ、地上からのモニタリング計画の策定およびモニタリングの実施に適用するとともに、地下調査施設でのモニタリングに関する実施計画の策定も行います。

これまでに、地質環境特性の把握にかかわる調査・評価技術の実証におけるボーリング孔による地下水モニタリングの継続を通して、水理地質構造や地下水流動特性などのモデルを構築しています。2012年度からは、精密調査段階〔前半〕で使用する個別技術を構成する要素技術の実証を開始しています。

2013年度は、これらの実証を継続し、地下水モニタリングについては、地下水圧の年間変動を引き続き計測し、評価を行いました。

## 8. 事業推進にかかわる検討

地層処分事業の推進に当たっては、これまで述べた概要調査段階や精密調査段階に向けて必要な技術を整備することに加えて、東北地方太平洋沖地震後の社会情勢を考慮した対応や、地層処分の安全性に対する一般国民の信頼感醸成の観点などを踏まえた技術的検討も必要となります。

上記を踏まえた技術的な取り組みに関する 2013 年度の技術開発成果について以下に記載します。

### 8.1 東北地方太平洋沖地震と福島第一原子力発電所事故を踏まえた検討

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震および東京電力福島第一原子力発電所事故を受け、NUMOは2011年度より、東日本大震災を踏まえた地層処分事業の安全確保策について検討してきました。

その一方で、原子力委員会の「今後の高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る取組について（見解）」（2012年12月）（原子力委員会，2012）では、「地球科学分野の最新の知見を反映して地層処分の実施可能性について調査研究し、その成果を国民と共有すること」との見解が示されています。これらの指摘を踏まえ、NUMOは、地層処分の技術的信頼性を示すために、東日本大震災の知見も反映した上で、地震・断層活動に対する地層処分の安全確保策や、地層処分の安全性に関する技術的な論拠を整備していくことが重要と考えています。

2011年度は、事業期間中の公衆の放射線被ばくの観点から重要と考えられる事象を中心に、事象の抽出と影響評価などに関する検討を行いました。

2012年度は、事業期間中の設計上の想定を超える事象の影響評価について、電源喪失時のガラス固化体の温度上昇など、より具体的な検討を進めました。この結果、30日間にわたり換気が停止したとしてもガラス固化体に大きな影響がないことなど、安全性を大きく損なわないことを確認しました。また、閉鎖後長期の安全性については、東北地方太平洋沖地震後に観測された地下水の変化など、最新の科学的知見や調査事例を収集・分析し、地層処分の安全性への影響について検討しました。

2013年度は、地震・断層活動による地層処分への影響についてさらに検討を進め、東北地方太平洋沖地震および関連する現象をはじめとする最近の学術研究成果を反映して、「断層のずれ」および「地震に伴う地下水挙動の変化」について、安全評価の解析用の状態設定を検討しました。これにより、今後、地震・断層活動に関する安全評価結果に対する信頼性が向上しました。また、地震動が人工バリアに与える影響について、従来よりも大きな地震動を設定し、最新の解析手法を用いて影響解析を実施したところ、オーバーパックが地震動により早期に破損することがないこと、および緩衝材が液状化しないことを確認しました。これにより、地震動が長期にわたり地下の地層処分施設に対して影響を及ぼす可能性が低いことが分かりました。

#### 参照) 技術課題-14 東日本大震災を踏まえた地層処分の安全確保策の検討

### 8.2 地層処分の安全性の信頼感醸成にかかわる社会科学的検討

地層処分事業は、100年にわたる公共性の高い事業であることから、その事業の実現のためには、地層処分の安全性に対する社会の信頼を得ることが不可欠です。NUMOは、地層処分の実施方法や安全性の考え方などに対する社会的な認知と理解の醸成に向けて、社会科学的な視点からも検討を進めています。

2012年度は、一般廃棄物処理事業などの関連事例や諸外国の地層処分事業を対象に、安全性に対する考え方や、安全性を評価する期間に関する調査を行いました。また、これらの結果を地層処分事業に反映させていくために、専門家による社会科学的観点からの議論を取りまとめました。

2013年度は、社会的な認知と理解の醸成のための基本情報として、地層処分選定の歴史的経緯や他の処分オプションに関する国内外の検討内容を調査し、情報整備を行いました。また、回収可能性とモニタリングに関する国内外の従来検討をレビューし、それらの結果を踏まえながら、NUMOの従来成果にいくつかの考察を追加するとともに、今後の重点課題の明確化や取り組み方針の設定を行いました。

## 9. 地層処分に関する技術協力・連携

NUMO および国内外の関係機関が有する成果などについて積極的に情報交換することによって、最新の技術開発の成果を反映し、概要調査地区の選定に必要な知見やそれ以降の調査段階で必要となる技術を的確かつ効果的に整備・更新していきます。また、共同研究や国際プロジェクトへの参画などによる人材育成や基盤研究開発機関などからの技術移転を長期的な観点から進めていきます。

上記の技術協力や連携に関する取り組みの 2013 年度の成果について以下に記載します。

### 9.1 国内機関との協力・連携

NUMO は、原子力政策大綱（原子力委員会、2005）で示された役割分担に沿って、安全に地層処分事業を進めていく上で必要となる実務的な技術の整備を進めるとともに、経済性や効率性を目指した技術開発を進めています。一方、国や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、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を進めています。

NUMO は基盤研究開発の成果を事業に効果的に活用できるよう、調整会議などにおいて技術開発ニーズを提示します。また、NUMO は基盤研究開発の成果などを含めて技術体系として統合するなど、地層処分事業の技術整備に関する総合的なマネジメントを実施する役割を担っています。また、基盤研究開発機関との共同研究などを通じて、基盤研究開発の成果を効果的に NUMO に技術移転し、事業に活用します。

NUMO は、基盤研究開発機関のうち、JAEA および電力中央研究所と技術協力協定を締結しています。2013 年度は、2012 年度に引き続き、JAEA とは概要調査段階における設計・安全評価手法の高度化に関する研究を、電力中央研究所とは同研究所の用地を利用した調査・評価技術の実証試験を、それぞれ共同研究として実施しました。これらは、技術課題-10 や技術課題-5 の成果に反映され、今後の事業に活用していきます。

### 9.2 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

地層処分に関する技術は国際的に共有できるものも多いことから、NUMO は、海外の地層処分事業の実施主体である SKB（スウェーデン）、Nagra（スイス）、ANDRA（フランス）ならびに DOE（米国）などと協力協定を締結しています。これらの海外の実施主体との間で、会議を随時開催し、地質環境の調査・評価技術、処分場の設計、建設・操業技術、地層処分システムの長期安全性評価方法などに関する意見交換や共同研究の実施状況の相互確認を行います。

2013 年度は、新たに、台湾電力会社と技術協力に関する覚書を締結しました。

## (2) 国際共同研究プロジェクトへの参画

精密調査段階〔後半〕の地下調査施設で実施する地質環境の調査・試験および建設・操業などの技術に関する実証に関して、海外の実施主体の地下研究施設における調査・試験の管理技術を取得します。2013年度は、SKBが管理・運用するエスポ地下研究所の国際共同研究プロジェクトに引き続き参画し、今後の処分概念決定に資する技術に関する知見を取得しました。

## (3) 国際機関などとの協力

各国の地層処分実施主体で構成される放射性廃棄物環境安全処分国際協会（EDRAM）において、実施主体間における情報交換を行いました。また、経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）が主催する委員会などへ参画し、各国の処分事業に関する情報収集などを積極的に行いました。

## 10. おわりに

本技術年報は、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、2013年度の技術開発成果を取りまとめたものです。

NUMOは、地層処分事業に対する関係者や関係機関の理解促進を図るために、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、成果報告会の開催など、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-1 天然事象に関する確率論的評価技術

### ～ 評価手法の構築と信頼性の向上 ～

#### 主な成果

本技術課題では、2012年度までに開発してきた火山活動や断層活動などの天然事象に関する確率論的評価手法を、サイト評価や安全評価のシナリオの構築に活用できるように整備し、信頼性を向上させることを目標としています。

超長期の将来予測に伴う不確実性への対応策として、これまでに、主に将来10万年程度の期間を対象とする評価手法（以下、ITM手法という）を開発しました。さらに、ITM手法による評価では不確実性が大きくなる将来10万年を超える超長期を対象とした新しい評価手法（以下、ITM-TOPAZ手法という）を開発しました。

2013年度は、ITM-TOPAZ手法の信頼性の向上のために必要な改良を行うとともに、地層処分事業への適用方法に関する検討を行いました。さらに、これまでの開発成果を取りまとめ、報告会を開催しました。

#### 1. ITM-TOPAZ手法の整備

将来10万年を超える超長期にはプレート運動の傾向が大きく変化する可能性があることから、保守的に、隆起・侵食により処分場が地表に接近する、あるいは露出するシナリオについても考慮する必要があります。このため、東北地方の文献情報に基づくケーススタディにおいて、ハザードマップの作成方法について検討しました。その結果、隆起速度、傾動速度、岩種分布に基づき、目安値や区分を設定することにより10万年以降に処分場が地表に接近するハザード（可能性）を定量的あるいは定性的に評価できることが確認できました。

手法の適用方法に関する検討については、火山活動、岩盤変形、地表接近などのハザードマップを統合し、地殻変動に起因するハザードの起こりやすさを定量的あるいは定性的に示すことで、対象とする領域やサイトにおける地層処分事業推進上の不確実性の評価や複数サイトの相対比較ができることが確認できました。図-1は、隆起速度、傾動速度、岩種分布に基づく地表接近ハザードマップの作成例です。図-2（左）は、九州地方のケーススタディにおいて、将来10万年間の火山活動と岩盤変形（断層変位、地震、GPS）によるハザードマップを統合した例です。図-2（右）は、東北地方の文献情報を用いたケーススタディにおいて、火山活動と隆起速度に基づく地表接近によるハザードマップを統合した例です。

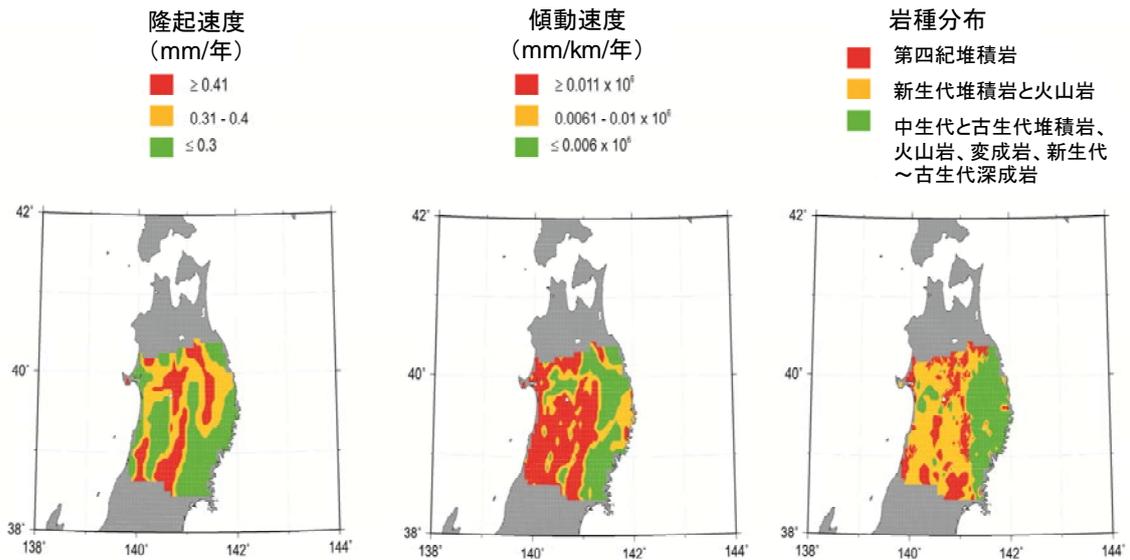


図-1 地表接近ハザードマップの作成例

- (左) 隆起速度=侵食速度と仮定した場合の隆起速度に基づく地下 300m の処分場が地表に接近するハザードのマップ
- (中央) 地表面の侵食に影響を及ぼす傾動速度に基づくハザードマップ
- (右) 岩種分布 (侵食されやすさの定性的な指標) に基づくハザードマップ

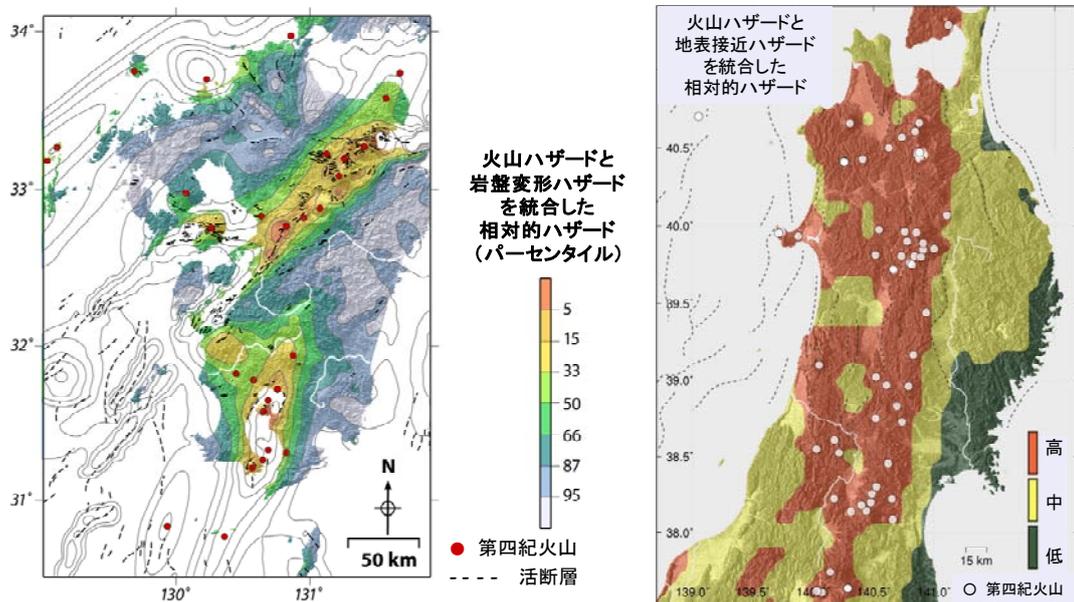


図-2 手法の適用方法に関する検討成果の例

- (左) 火山活動と岩盤変形の統合ハザードマップの作成例
- (右) 火山活動と地表接近の統合ハザードマップの作成例

以上の検討により、ITM-TOPAZ 手法の一連の開発を終え、超長期の天然事象の確率論的評価手法として整備することができました。

## 2. 報告会の開催

主に国内の専門家および地層処分関係者に手法について理解していただくことを目的として、報告会を開催しました。その結果、参加いただいた方々とは、次の2点について、概ね認識を共有することができました。

- 確率論的評価手法は、超長期の天然事象を評価する際に用いる方法の一つとなり得る。
- ただし、短期間のGPS観測に基づく地表変位のデータを超長期の地殻変動の評価に適用することの妥当性など、今後解決すべき課題がある。

### 今後の計画

今後は、本技術開発の成果を報告書として取りまとめ、実際の運用方法を含めて国内の専門家との議論を進めていきます。

以上

## 技術課題-2 概要調査計画策定手法の検討

### ～ 調査・評価手法の詳細化 ～

#### 主な成果

概要調査計画立案に関する検討について、2013年度は、概要調査における隆起・侵食および断層破碎帯の調査細目および具体的な調査・評価手法について検討し、調査計画の内容の充実化を図りました。

#### 1. 隆起・侵食の評価手法の検討

隆起運動・侵食作用は、時代が異なる複数の段丘面から見積もることが一般的ですが、段丘面が未発達な場合には評価地域から離れた場所にある段丘面を用いて隆起量・隆起速度を評価することになります。しかし、段丘の高さが局所的に異なる場合や、段丘面が大きく傾いている場合、さらには、地震時や測地学的手法による短期の地殻変動傾向と段丘面による地殻変動傾向が異なる場合など、離れた場所にある段丘面から隆起量・隆起速度を評価することが困難な場合もあります。

そのような場合には、評価地域と段丘面の間に大きな地殻変動を引き起こす活断層などが存在しないことを文献調査や概要調査で確認することが重要となります。また、概要調査地区を含む広域の長期間にわたる地層の変形様式や地殻変動傾向の一様性／不均質性を明らかにすることも重要となります。

一方、侵食作用については、多くの場合、調査により侵食量・侵食速度を評価することが困難なことから、一般的には「隆起量＝侵食量」と仮定して評価します。しかしながら、侵食作用による地下施設の地表への接近や地質環境特性への影響を評価する上では、地殻変動傾向と侵食様式（侵食抵抗性）との関連性を明らかにし、侵食量・侵食速度の概略を見積もることが重要となります。

そのため、2013年度は、段丘面から見積もられた隆起量・隆起速度の信頼性をサポートする地質情報として、小起伏面の標高や山地高度から推定される山地スケールの数百万年間にわたる隆起速度の評価手法および課題を検討しました。さらに、山地ごとの平均的な谷の深さから山地の発達段階を推定し、発達段階と山地形態や地形的特徴の関連性について検討しました。

また、隆起速度と地形の起伏程度から見積もられる侵食速度の差分から、現在の山地高度の変化を推定し、山地の変形様式や谷の深さなどの地形的特徴、小起伏面の侵食様式との関連性を検討し、概要調査計画の内容の充実化を図りました。

## 2. 断層破碎帯の調査手法の検討

断層周辺に発達する破碎帯や変形帯では、割れ目が密に発達し、岩盤が脆弱である場合が多く、岩盤の力学的・水理学的な特性に著しい影響が及んでいる場合があります。また、それらが水みちとなって放射性核種が地表へ漏出する原因となる可能性もあります。

このような岩盤が断層の力学的あるいは水理学的に著しい影響を受けている場所については、廃棄体を設置しないなどの工学的な対策が必要となります。そのため、精密調査地区の選定に当たっては、概要調査段階の地表からの調査結果に基づいて、断層の破碎帯や変形帯が発達する範囲の概略を把握することが重要となります。

2013年度は、断層の破碎帯や変形帯に関する既存の地質情報を収集し、地形・地質情報、物理探査情報、測地学的情報などの既存文献情報から、概要調査地区や精密調査地区の選定の際に考慮すべき断層構造について検討しました。また、抽出した断層構造の変形帯や破碎帯について、地形情報や微小地震情報、物理探査結果などの既存文献情報を用いて解析を行い、概要調査などの地表からの調査により断層の破碎帯や変形帯の幅の目安を得るための評価手法について検討しました。

これらの結果を反映し、概要調査計画の内容の充実化を図りました。

### 今後の計画

今後も、最新の科学的な知見に基づき、その知見に対する調査・評価手法の検討を行い、概要調査計画の内容のより一層の充実化を図るとともに、概要調査計画を立案する際に考慮すべき内容について手引書の整備を行う予定です。

以上

## 技術課題-3 概要調査段階における品質マネジメントの検討

～ 品質マネジメントシステムの完成 ～

### 主な成果

地層処分事業においては、IAEA が策定した「放射性廃棄物処分のマネジメントシステム」に関する指針などにより、安全確保を念頭に置いた厳格な品質マネジメントが求められています。具体的には、法定要件などに適合する成果品を一貫して提供でき、事業に対するステークホルダーの技術的信頼を獲得できるようにするために、品質マネジメントに必要な文書類を体系的に整備し適切に運営するとともに、継続的に改善を図っていく必要があります。

本業務の最終年度に当たる 2013 年度は、一部の文書の拡充・改善を図るとともに、品質マネジメントシステム（以下 QMS という）全体の技術的な妥当性や概要調査に向けた課題などについて、国内外の専門家による技術レビューを通じて確認しました。以上の取り組みを以て、概要調査段階における QMS の整備を完了しました。

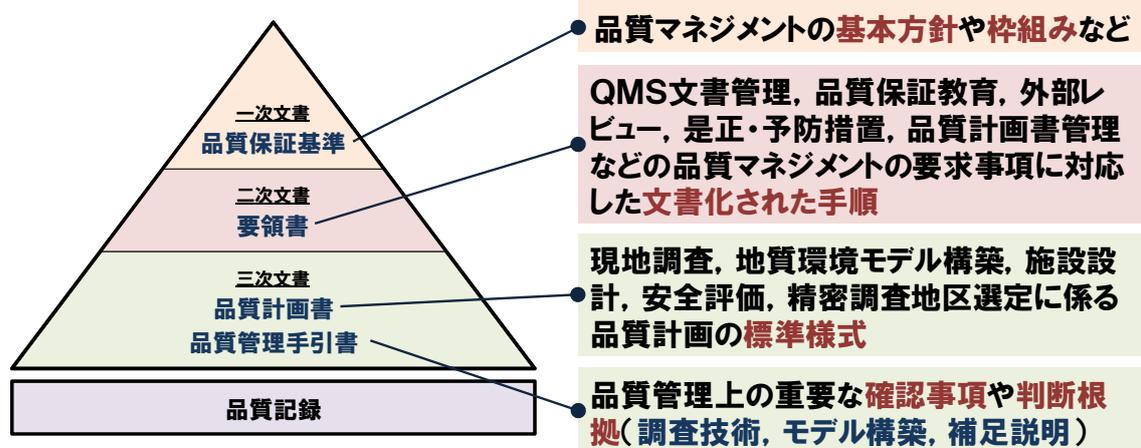


図-1 QMS 文書体系および基準文書類の概要

### 1. 品質管理手引書の拡充および改善

2012 年度までに、概要調査段階における地質環境の調査・評価の基本的な流れを踏まえ、それに必要と考えられる調査技術および地質環境モデル構築を対象とした品質管理手引書を作成しました。このうち、調査技術については、陸域における地表地質踏査、反射法地震探査、ボーリング孔掘削などに加え、海域における音波探査やボーリング孔掘削など、合計 47 種類が含まれています。また、地質環境モデル構築は、地質構造、水理地質構造／地下水流動、地下水化学、岩盤特性の 4 分野を対象としています。

2013年度は、特に「自然現象の地質環境への影響」および「過去から現在までの地質環境の長期変遷」の評価の観点から、品質管理手引書の拡充を図りました。具体的には、これらの評価に関する国内外の既往事例の収集・分析を通じて、評価の対象、項目、根拠、フロー、品質管理の内容、ポイント、チェック項目などを網羅的に取りまとめました。補足説明書を作成しました。また、作成した補足説明書について、専門家による技術レビューを通じてその技術的な妥当性を確認しました。

さらに、2013年度は、陸域の調査技術および地質環境モデル構築に関する一部の品質管理手引書について、精密調査技術の実証（技術課題-5）における調査・モデル化への適用を通じて、透明性・追跡性の確保などの観点からの有効性を確認しました。一方、必要な確認事項が新たに抽出されたことから、これらの確認事項を追記するとともに、関連する項目についても見直しを図りました。

## 2. 概要調査段階における QMS の総合評価

これまでに整備した QMS 全体について、実際のサイト調査・評価や地下研究施設における地質環境調査などの実務経験を有する国内外の専門家による技術レビューを通じて、技術的な妥当性ととも、サイトが特定された際の概要調査段階の QMS の整備に向けた課題などを確認しました。このうち、QMS 文書体系および品質管理手引書の記載にかかわる技術的な妥当性については、概要調査開始前の現段階において十分なレベルにあることを確認しました。一方、今後の課題としては、有効かつ効率的な QMS 運用体制の早急な整備や人材育成の的確な実施、サイトの地質環境条件に合わせた調査や品質管理の項目の見直しなどの必要性が明確になりました。

### 今後の計画

品質管理手引書については、引き続き精密調査技術の実証（技術課題-5）に適用するとともに、新たな調査技術や標準化された手法などに関する情報を適宜収集・分析し、それらの結果を踏まえ、必要に応じて見直しを図る計画です。また、QMS 運用体制の整備や人材育成の実施などの課題については、技術部全体の課題として取り組んでいきます。

以上

## 技術課題-4 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 ～

### 主な成果

精密調査地区選定段階においては、地表踏査、物理探査、ボーリング調査などの概要調査で取得した地質環境情報、ならびに、それら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。そのため、地質環境情報および地質構造モデルの管理支援システムの整備を、2012年度から3ヶ年計画で進めています。

2013年度は、地質環境情報および地質構造モデルを管理・支援するための基本システムのカスタマイズを行いました。

#### 1. 地質環境情報の管理・支援のためのカスタマイズ

概要調査で取得した地質環境情報を管理支援システムへ登録するために、地質環境情報の種類毎にデータの形式や加工方法などについて検討し、システムへ登録するためのフォーマットを作成しました。また、地質環境情報の取得情報や位置情報、データの加工情報などを記録したメタデータの入力方法および管理方法についても検討を行い、地質環境情報の入力から解析までの一連の作業の追跡性を担保できる機能を追加しました。

また、地質環境情報の加工や解析を行う際に使用するソフトウェアを、管理支援システムと連動させ、さらに、それぞれのソフトウェアで地質環境情報を共有して利用できる機能を追加することにより、地質環境情報を体系的に管理できるように改良しました。

#### 2. 地質構造モデルの管理・支援のためのカスタマイズ

管理支援システムへ登録した地質環境情報を用いて地質構造モデルを作成するために、地質情報や物理探査情報、ボーリング調査情報などのさまざまな地質環境情報を三次元的に重ね合わせて表示できるように、データ解析・変換を行う機能を追加しました。また、それらの結果を反映しながら、本システム上でモデルデータが作成できるように、モデル化作業を支援する機能を追加しました。

また、地質構造モデルデータの作成手順や作業内容、作成に用いた地質環境情報などを記録したメタデータの入力方法および管理方法について検討を行い、地質構造モデルの作成までの一連の作業の追跡性を担保できるように改良しました。

以上のように、追跡性・網羅性を持ったシステムの構築を進めることができました。

## 今後の計画

2014年度は下記に示す機能改良，操作マニュアルなどの整備を実施し，実運用に即したシステム構築を進める予定です。

- ① 基本システムで未対応の地質環境情報の解析用ソフトウェアの導入
  - ・ 地震探査データなどを取り扱うためのソフトウェア
- ② NUMOの既存システムとの連携のための基本システムのカスタマイズ
  - ・ NUMO-GISや文献情報の管理・解析システムとの情報共有機能の整備
- ③ 地質構造モデル管理機能の機能拡充
  - ・ 作成したモデルデータの修正・更新・管理するための機能の追加
  - ・ 地下水などの地質環境特性にかかわる情報および解析結果に関する表示機能の改良
  - ・ 構築した地質構造モデルを地下水流動解析などの解析・評価のベースモデルとして出力する機能の追加
- ④ システムの効率化
  - ・ 構築した地質環境情報の管理機能”および“地質構造モデル管理機能における作業の合理化・システムの効率化を図り，追加した機能やソフトウェアが効率的に動作するようにシステムを整備
  - ・ 操作性向上のための機能の整備，操作マニュアルの整備

以上

## 技術課題-5 精密調査技術の実証

### ～ 地質環境調査に基づく地質・地質構造モデルの更新～

#### 主な成果

NUMO では、概要調査から精密調査段階の初期に実施する地質環境調査技術の信頼性の向上、それらを計画・管理するマネジメント手法に関するノウハウや判断根拠の取得、および地質環境調査から設計・安全評価に至る体系的な技術の構築などを目的として、実際の地質環境を対象とした実証研究を実施しています。

2012年度末から地質環境モデルや地下水の流れ方を推定する解析（地下水流動解析）結果などの妥当性を確認するために、地質環境データの取得を目的とするボーリング調査計画に基づいた調査を実施しています。また、地質環境に対応した調査計画を適宜見直しつつ、ボーリング調査に関するマネジメント手法、ノウハウや判断根拠を取得しています。さらに、取得した地質環境データに基づき地質・地質構造モデルの更新を適宜実施しています。

#### 1. ボーリング調査

2012年度までに検討したボーリング調査計画に基づいてボーリング調査を進めた結果、現在までに以下のことがわかりました。

- ボーリング調査計画時に予測したものと異なる地層に遭遇したことから、ボーリング調査計画を変更し、この地層に関する情報を取得するための調査計画に変更しました。また、この地層の広がりを確認するために、既存の調査結果を見直し、地質・地質構造モデルを更新しました。
- ボーリング孔を掘削する際に使用する泥水は、ボーリング孔を安定して掘削するために必要なものです。一方で、泥水の材質によっては、地下水の水質に影響を与えるものです。本調査では、ボーリング孔を安全に掘削すること、地下水の水質に与える影響の程度、ならびにボーリング調査の目的に基づき、それらの優先順位を考慮して、泥水/materialを粘土の膨潤を抑制する機能を有したものに変更するなど、ボーリング調査計画を適切に更新するマネジメント手法の整備を進めています。
- ボーリング調査で取得される地質環境に関するデータや情報については、調査時の品質管理マネジメントが重要となるため、NUMO が整備した品質管理手引書を利用し、実際の調査にそれらを適用するとともに、必要に応じて更新しました。

## 2. 地質・地質構造モデルの更新

ボーリング調査中に、沖積層の下位に三浦層群と異なる岩相を呈する地層を確認しました。その結果、この地層の起源や分布（広がり）を把握するとともに、地質・地質構造モデルの更新の必要性について検討を行いました。

この地層の広がりについては、これまでに実施した地上物理探査結果の見直しなどにより、地質・地質構造モデルを更新する程度の広がりを有する可能性が示唆されたことから、地質・地質構造モデルを更新しました（図-1、図-2）。一方、このような地層が分布している経緯や起源については、現在、この地層から採取した試料を用いたさまざまな分析を実施しており、今後の検討課題です。

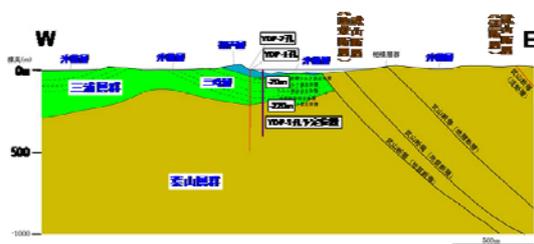


図-1 新規ボーリング調査開始前の情報に基づく地質・地質構造モデル

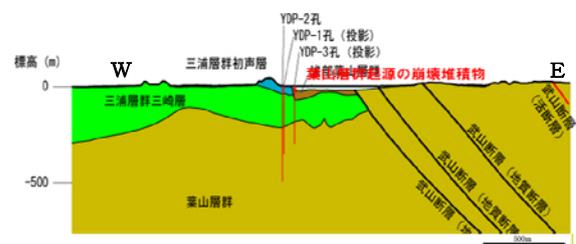


図-2 現状までのボーリング調査結果に基づく地質・地質構造モデル

### 今後の計画

今後は、2006年度から実施した実証研究の成果に基づき地質環境モデルの構築・更新や地下水流動解析などを実施し、地質環境を把握するための調査技術を体系化していきます。例えば、地下水の流れ方に関する概念モデルの構築（図-3）や、それに基づく地下水流動解析（数値解析、シミュレーション）を行い、地下水の流れ方を推定します。このような解析結果と既存の調査結果（地質調査、物理探査、ボーリング調査など）との整合性を確認することを繰り返すことにより、地質環境の理解を進めつつ調査計画を検討する体系的な技術を整備します（図-4）。

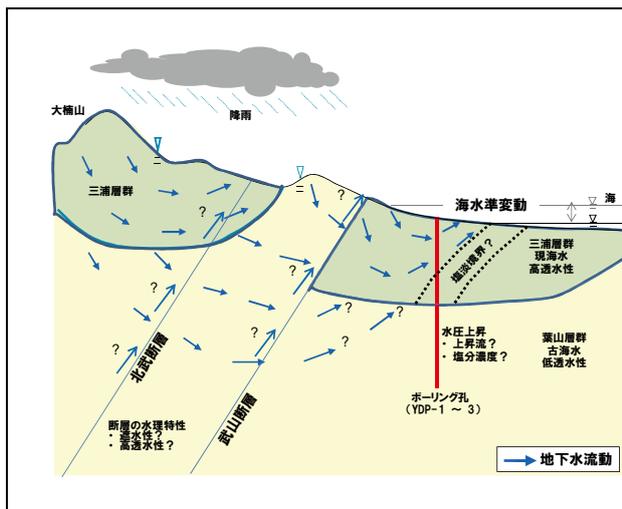


図-3 想定される地下水流動概念モデル  
(長谷川ほか, 2010 (一部改))

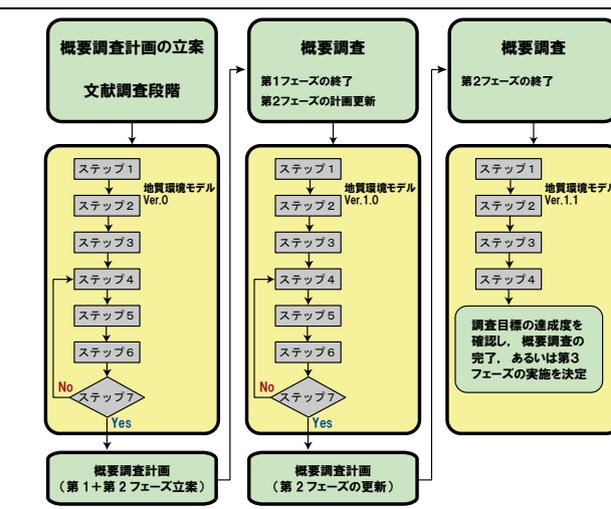


図-4 概要調査計画の立案・更新の考え方  
の例 (NUMO, 2010)

以上

## 技術課題-6 地下調査施設における調査・試験計画策定の検討

～ 国内地下研究所への重要なニーズの検討 ～

### 主な成果

本検討は、精密調査段階〔後半〕にNUMOが建設する地下調査施設で実施を想定する調査・試験項目を抽出した上で、先行してオフサイトの地下研究所で実施するべきと考えるNUMOのニーズを取りまとめました。

#### 1. NUMOが地下調査施設で実施する調査・試験計画の策定

精密調査段階〔後半〕の地下調査施設で実施する事項を検討する出発点として、地下調査施設の位置決めなどの前提条件を現時間断面で現実的と考えられるものを以下のように設定しました。

- 高レベル放射性廃棄物処分場と地層処分低レベル放射性廃棄物処分場を併置
- 精密調査段階〔前半〕までの調査結果（地上からの調査）に基づいて、処分場の基本レイアウトが設定されていることが前提
- 現行の最終処分計画で示されている廃棄物量（高レベル放射性廃棄物：4万本，地層処分低レベル放射性廃棄物：19,000m<sup>3</sup>）を一括して事業許可申請するものと想定。従って、地下調査施設による調査範囲は、処分場領域の全域を坑道と長尺水平ボーリングでカバーできるように配慮

想定した処分場の基本レイアウトに対して、地下調査施設として図-1に示すレイアウトをレファレンス案として設定しました。処分場レイアウトの外周を取り囲むような坑道（外周坑道）、外周坑道から処分パネル内を横断する坑道（中央坑道）に加えて、処分場領域の調査と並行して実証試験などが実施可能なように、処分場レイアウトから少し外した位置に実証坑道を配置する構成としました。本レファレンス案を設定するに当たっては、対象とする処分場エリアの地質環境特性の不確実性を出来るだけ低減させるように配慮して広範囲に展開することを考えました。

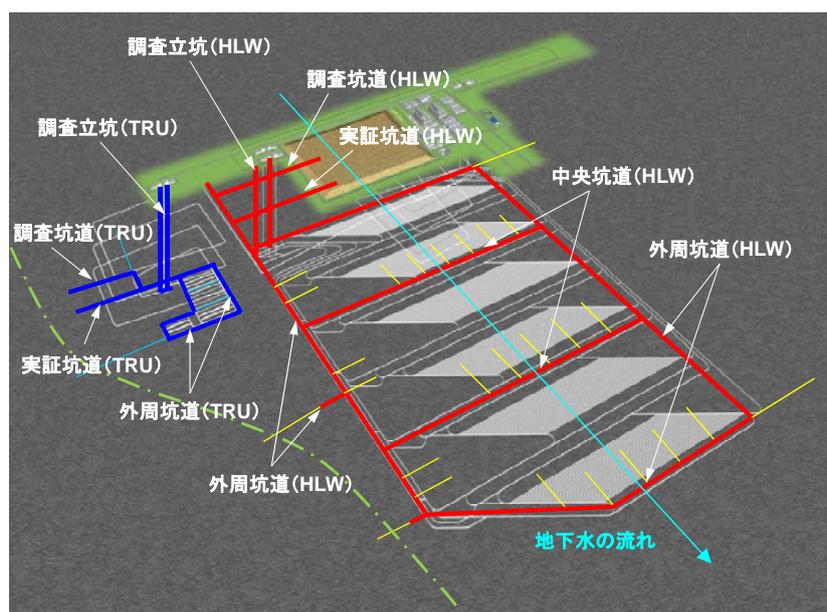


図-1 本検討で設定した地下調査施設のレファレンス案  
(赤：高レベル放射性廃棄物用，青：地層処分低レベル放射性廃棄物用)

本検討で設定した地下調査施設の配置案に基づき，NUMO が事業許可申請に向けて地下調査施設で実施すべき事項を地質環境調査，工学技術，性能評価の3つの分類で，試験項目，目的，取得すべき情報，地下調査施設の中での実施場所について網羅的に取りまとめました。表-1 は，各分野に関する調査・試験の抽出の視点，主要な調査・試験項目を示したものです。

表-1 地下調査施設を用いて実施する調査・試験の分類

分野	調査・試験の抽出の視点	主要な調査・試験
地質環境調査	最終処分法の法定要件，自然現象の影響の最終確認，事業許可申請に向けた地質環境モデルの更新	坑壁観察，物理探査，先進・一般ボーリング調査，ボーリングコアを用いた室内試験による岩盤の熱・水・水理・力学特性調査，地下水採水・分析など
工学技術	坑道，人工バリアなどの設計・施工に関する工学的な実証と品質保証体系の整備	坑道の掘削影響・施工性確認，人工バリアの搬送・定置および回収に関する工学的実現性の確認，品質管理方法，規格値とその根拠，規格値を外れた場合の対処など
性能評価	ニアフィールドの熱・水理・力学・化学の変遷を考慮したシナリオ設定や人工バリアの長期性能評価手法の妥当性の確認	オーバーパックの腐食などの人工バリアシステムとしての性能・挙動確認，残置物の影響確認（セメント，鋼材など），天然バリアの物質移行特性など

## 2. 国内地下研究所への NUMO のニーズの抽出と優先度分類

NUMO が地下調査施設で実施を想定している事項について、現状の技術レベルの分析などに基づき、以下に示す①の視点から技術開発の必要性の有無について判断しました。その上で、以下に示す②～⑤の視点を踏まえて国内地下研究施設を用いた技術開発の必要性と優先度の分類を行いました。表-2 は NUMO の主なニーズの例です。

- ▶ 実施する必要性が高いが現状の技術レベルが不十分
- ▶ 開発に要する期間が長い
- ▶ 地層処分の固有性が高く他産業での発展の期待が低い
- ▶ サイト依存性が低い（汎用的な技術）
- ▶ 現状の国内地下研究施設の設備の制約が少ない

表-2 国内地下研究施設への主なニーズの例

分野	重要なニーズ
地質環境調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 孔内震源の高エネルギー化による孔内物理探査の長距離対応性向上</li> <li>▶ 各種調査技術・評価手法の適用事例充実化</li> <li>▶ 鉱物，地下水の年代測定技術、断層の活動性評価技術の高度化</li> </ul>
工学技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 高水圧下でのグラウト技術とその効果確認技術</li> <li>▶ 人工バリア搬送・定置に関する施工性の実証と品質保証体系の整備</li> <li>▶ 回収技術の実証</li> </ul>
性能評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 個別現象の原位置での長期挙動確認のための加速試験方法の構築</li> <li>▶ 原位置での緩衝材のパイピング，エロージョンの評価・確認技術</li> </ul>

### 今後の計画

地下調査施設で実施すべき調査・試験項目については、引き続き国内外の最新情報を収集しつつ更新していきます。また、地下調査施設での試験実施に向けて必要な技術開発項目のうち、優先度が高く先行して国内の地下研究所での実施を期待する事項については、目標達成レベルとその目標達成時期を明確にしていきます。そして、調整会議などを通じて NUMO の重要なニーズとして関係者と認識共有を図るよう努めてまいります。

さらに、NUMO が自ら実施する精密調査段階〔後半〕に向けた技術開発については、優先度分類を行い、優先度が高く早期に着手すべき実施事項については、海外の地下研究所の活用を含めて計画的に進めていきます。

以上

## 技術課題-7 処分場の設計方法の体系的な整備

～ 要件の体系的な整備と設計手順・方法の整備 ～

### 主な成果

高レベル放射性廃棄物処分場および地層処分低レベル放射性廃棄物処分場について、構成要素の設計の方法をその根拠と共に体系的に整備しました。このような設計体系を構築しておくことで、設計の条件の変更が発生する場合にも柔軟に対応出来るものと考えています。

#### 1. 検討の流れ

図-1 に検討の流れを示します。処分システムの構成要素の要件を体系的に整備した後、構成要素ごとに要件に適合するように設計の手順・方法を整備しました。なお、高レベル放射性廃棄物処分場については、廃棄体堅置き方式を対象としました。

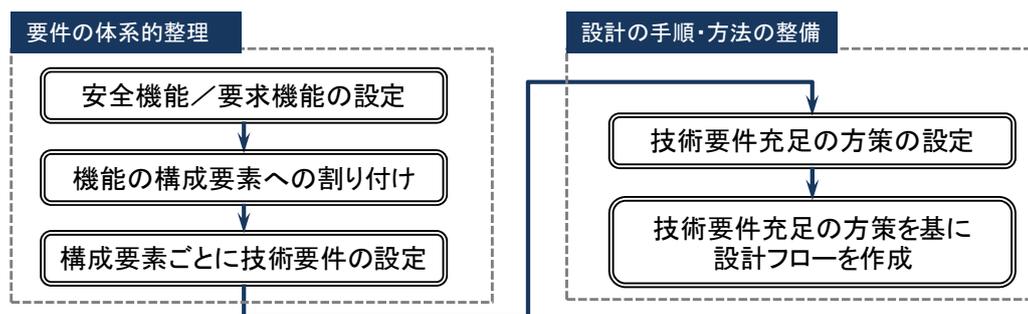


図-1 検討の流れ

#### 2. 要件の体系的な整備

操業期間中および閉鎖後長期における安全性の確保にかかわる機能（安全機能）と工学的実現性の確保にかかわる機能（要求機能）を設定し、それらを処分システムの構成要素に割り付けました。図-2 に安全機能および要求機能の構成要素への割り付けの概念を示します。

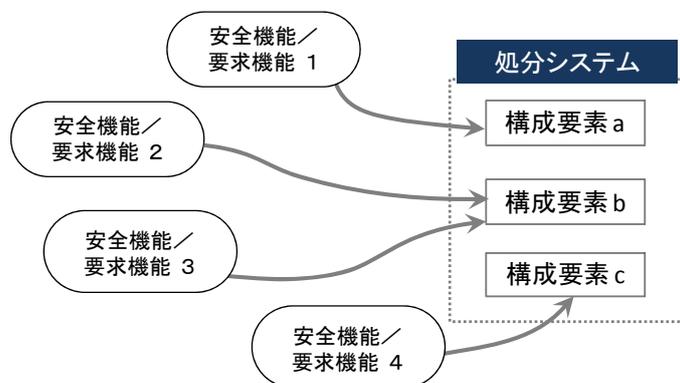


図-2 安全機能および要求機能の構成要素への割り付けの概念

さらに、割り付けた安全機能または要求機能を確保するために必要な事項を構成要素ごとに「技術要件」として設定しました。技術要件は下の3種類に分類されます。

- ① 安全機能または要求機能が働くべき程度（要求性能）を定める基本的な技術要件
- ② 安全機能または要求機能の働きの程度（性能）に影響をおよぼす事象への対応の検討において導出される技術要件
- ③ 安全機能または要求機能を合理的に確保するために設計者が特定の技術要件

図-3に安全機能および要求機能と技術要件との関係を示します。このように安全機能や要求機能を出発点として階層的に技術要件を整備することで、技術要件の設定根拠や技術要件間の関係を明確にすることができます。このことは、新たに処分場に何らかの機能を付加する必要性が生じる場合や、反対に付加している機能が不要となる場合にも、変更すべき要件が明確であることを意味します。このため、本検討において構築した要件整備の体系は、事業の進展において設計条件の変更に対しても柔軟に対応可能とするものであるといえます。

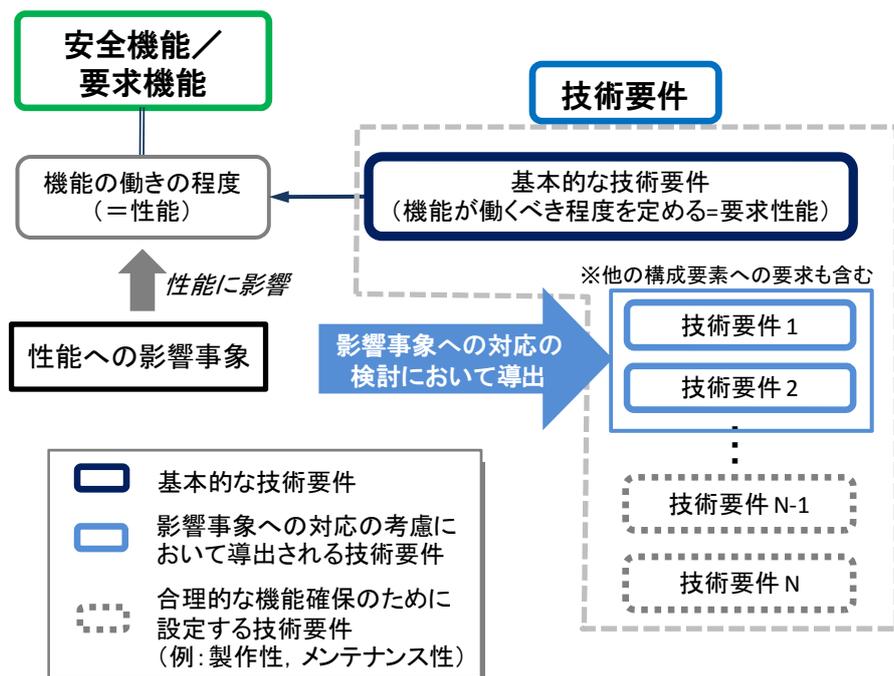


図-3 安全機能および要求機能と技術要件との関係

### 3. 設計の手順・方法の整備

図-4に処分システムの設計の流れを示します。ここでは、始めに処分場を設置する位置を設定します。これにより構成要素の設計条件が設定されることになり、この設計条件の下で、人工バリアや坑道といったシステムの構成要素（パーツ）の仕様設定を行います。

さらに、設定したパーツを配置し、地下施設のレイアウトを設定します。最後に、設定したレイアウトについて操業期間中の安全性の確保の観点から、換気および排水システムの設定を行い、閉鎖後長期安全性の確保の観点からシーリングシステム（埋め戻し材、止水プラグおよび力学プラグの組み合わせ）の設定を行います。

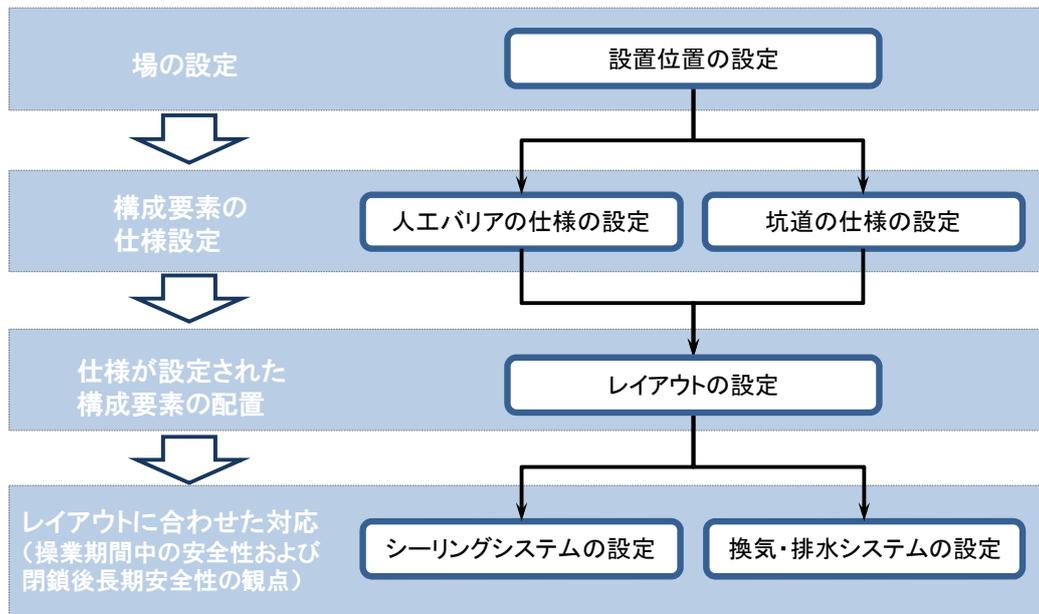
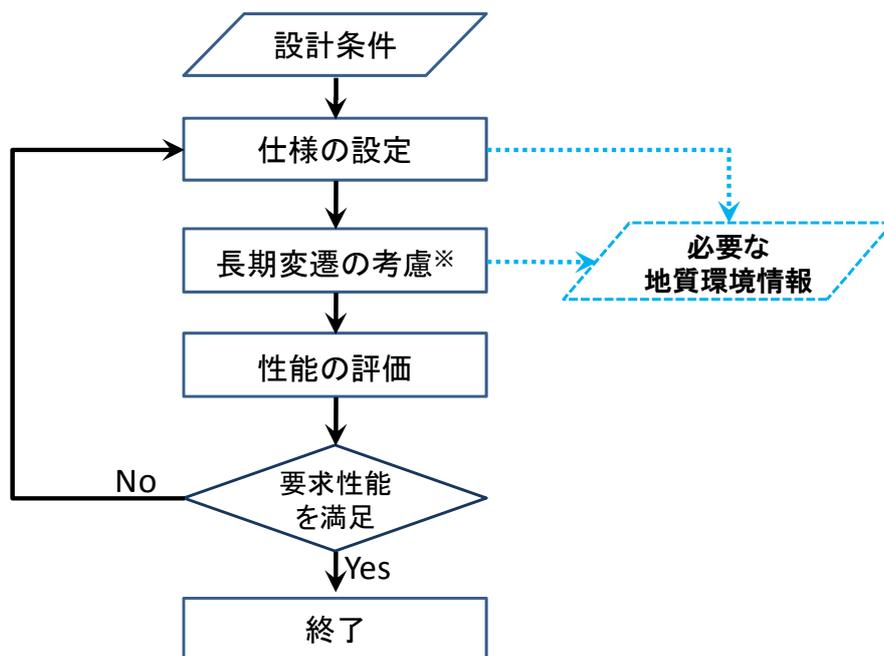


図-4 処分システムの設計の流れ

図中の各実施項目については、設定した技術要件を充足させるための方策を定め、それに従って仕様設定の手順・方法を検討し設計フローにまとめました。図-5に設計フローの概要を示します。設計フローの中にある仕様設定、長期変遷の考慮および性能の評価に関する検討においては、関連する既往の知見を集約し、その論拠を明確にしています。これは、将来に新たな知見が得られた場合に、その反映が容易となるように考慮したためです。また、仕様設定の方法および長期変遷の考慮についての対応を整備する中で、これらのために必要な地質環境情報を明確にし、これをもとにして概要調査で取得すべき情報を整備しました。



※閉鎖後長期の安全機能を期待する場合

図-5 設計フローの概要

#### 今後の計画

今後は現実的な地質環境を設定し、整備された設計手順・方法を用いて処分場の地下施設を中心に具体的な設計検討を実施し、今回整備した設計体系による処分場設計の実現性を示す予定です。

以上

## 技術課題-8 地層処分低レベル放射性廃棄物の廃棄体パッケージに関する検討

～ 放射性物質の閉じ込め機能を付加した廃棄体パッケージ概念の検討 ～

### 主な成果

操業期間中および閉鎖後の所定の期間に閉じ込め機能を確保可能な廃棄体パッケージの概念を検討しました。その結果、金属部材とコンクリート部材の複合構造の廃棄体パッケージ概念を成立性の見通しとともに示しました。

#### 1. 検討の前提

本検討の前提として、廃棄体パッケージに以下の2つの安全機能を設定しました。

- ・ 操業期間において、放射線安全確保のために放射能を閉じ込める機能
- ・ 閉鎖後において、安全評価の信頼性を向上するという観点から、ニアフィールドの場が元の状態に回復するまで放射能を閉じ込める機能

#### 2. 廃棄体パッケージの概念の設定

##### (1) 閉じ込め機能確保のための要件の整備

廃棄体パッケージの安全機能を確保するための要件（以下、技術要件という）を検討しました。検討においては、「廃棄体パッケージから放射能の漏えいがないこと（密封性）」を基本となる技術要件として設定しました。次に、この基本となる技術要件の充足に悪影響を与える要因とそれに伴う影響事象を抽出し、その対処のために必要な事項を技術要件として追加しました。表-1に影響事象とそれらへの対処の検討により設定した技術要件を示します。

表-1 影響事象とそれらへの対処の検討により設定した技術要件

影響事象	技術要件
外荷重に起因するパッケージの破損	想定される荷重に対して構造が健全であること
放射線分解により発生する水素ガスに起因するパッケージの破損（高線量廃棄体の場合）	水素ガス発生量を低減すること
廃棄体の落下時の衝撃などの想定外の荷重に起因するパッケージの破損	落下時の衝撃を低減すること
接合部が弱部となることに起因するパッケージの破損	接合部が母材と同様の強度特性を有すること

## (2) 要件充足のための工学的対策とそれに基づく廃棄体パッケージ概念設計の方針の設定

既往の検討で得られた知見に基づいて、(1)において設定した技術要件を充足させるための工学的対策を表-2のように設定しました。さらに、これらを考慮して廃棄体パッケージの概念設計の基本方針を以下のように設定しました。

- ・ No.1, No4 の対策から廃棄体パッケージを金属部材とコンクリート部材の複合構造とする。
- ・ No.2, No.5 の対策から金属部材には密封性のみを期待することとし出来る限り厚さを低減し、構造の健全性はコンクリート部材で担保する。
- ・ No.3 の対策から廃棄体はセメント系材料での充填なしで金属性の容器に封入されることを仮定する。

表-2 技術要件を充足させるための工学的対策

No.	技術要件	技術要件を充足させるための工学的対策
1	廃棄体パッケージから放射能の漏えいがないこと (密封性)	・ 金属材料で密封性を確保する
2	想定される荷重に対して構造が健全であること	・ 想定される荷重に対して、構造が健全であるような仕様を設定する
3	水素ガス発生量を低減すること	・ 廃棄体にセメント系材料による充填をしない
4	落下時の衝撃を低減すること	・ コンクリート部材を構成部位に適用し落下時の衝撃を吸収する
5	接合部が母材と同様の強度特性を有すること	・ 溶接時の残留応力を低減するために溶接厚さを低減する ・ 溶接部の施工品質を確保しやすくするために溶接厚さを低減する

### 3. 基本方針に基づく廃棄体パッケージの概念設計と密封性の評価

前述の基本方針に基づいて、廃棄体パッケージの概略的な設計を行いました。設計においては、廃棄体パッケージは深度 1,000 m 相当の水圧に耐えられる構造とし、閉鎖後 500 年の間、閉じ込めが可能なように外側の金属部材の厚さを設定しました。また、金属製の廃棄体容器は力学的により厳しい条件となるように角型の容器を想定しました。図-1 に廃棄体パッケージの設定例を示します。

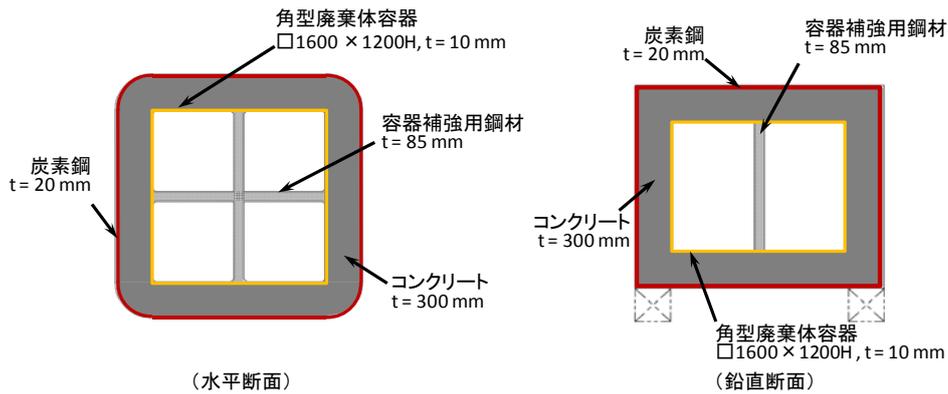


図-1 廃棄体パッケージの設定例

設定した仕様の廃棄体パッケージについて、操業中の万一の落下を想定した時の密封性を評価するために、落下解析を実施しました。落下のシナリオとして、廃棄体パッケージが処分坑道での定置時に6mの高さからコンクリート床版に落下するものとししました。図-2に、落下時における最外部の金属部材の相当塑性ひずみ分布、コンクリートの発生クラックの分布および内側の廃棄体容器の相当塑性ひずみ分布を示します。コンクリート部材の大部分にはクラックが発生しますが、外側の金属部材に発生する破断ひずみは表面に限定され、貫通には至っていません。また、内側の金属容器には破断に至るひずみが発生していません。これらのことから、このケースでは密封性が確保されていると考えられます。

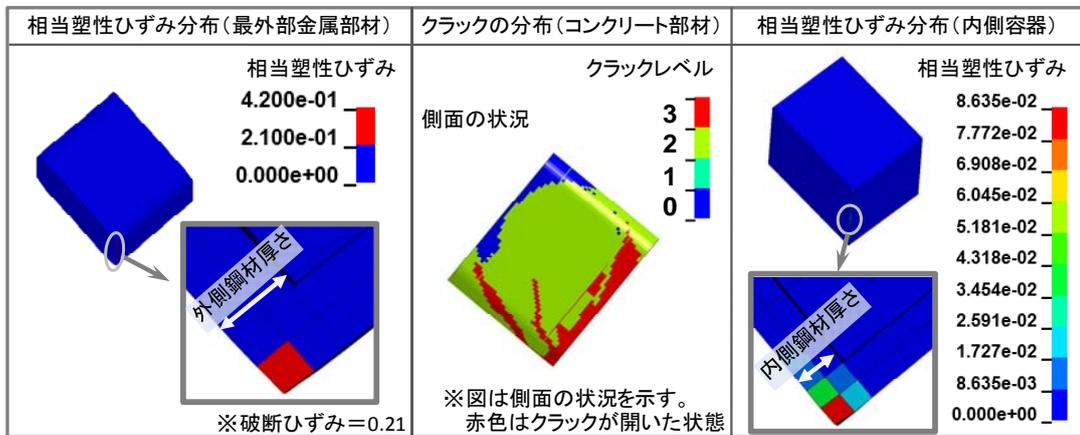


図-2 落下時における各部材のひずみの発生状況

今後の計画

閉鎖後の閉じ込め機能確保の前提となる金属の腐食環境を維持可能な人工バリアシステムについて検討する予定です。また、廃棄体の基本仕様(容器の種類や充填の有無など)を廃棄体発生者と協議しつつ、複合構造の廃棄体パッケージの製作方法について検討を進めます。

以上

## 技術課題-9 人工バリアの施工に関する技術の検討

～ 人工バリア施工技術の選定上の技術課題検討 ～

### 主な成果

NUMOは「地層処分事業の安全確保（2010年度版）」（NUMO，2011）において，廃棄体の搬送・定置技術として3つの有望な技術オプション（縦置き・ブロック方式，横置き・原位置施工方式，横置き・PEM定置方式）を提示しました。今後，効率的に技術開発を行うためには，予め有望なオプションを選定する必要があります。

本検討では，工学的実現性，閉鎖後長期安全性の観点から図-1に示す3つの技術オプションの比較評価に必要な論拠整備を行いました。

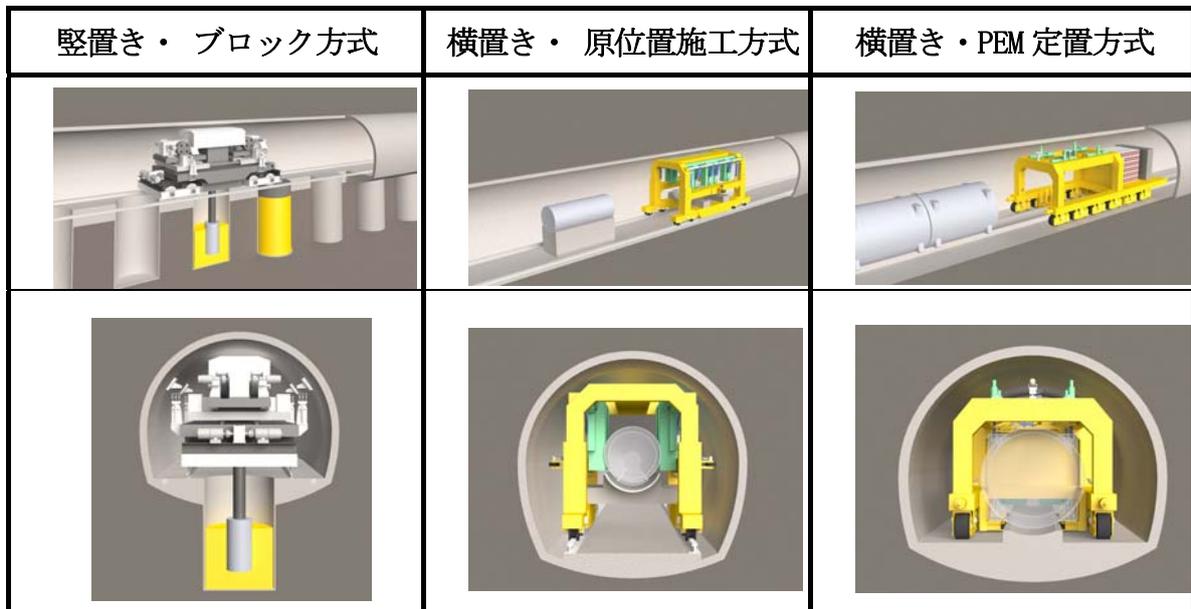


図-1 3つの有力な処分概念・操業技術オプション

### 1. 評価項目の検討

3つの技術オプションを比較するための評価項目として工学的実現性，閉鎖後長期安全性，操業安全性，回収可能性，経済性の5つを設定しました。今回の検討では，そのうちの工学的実現性，閉鎖後長期安全性を対象としました。

### 2. 工学的実現性に関する論拠の整備

工学的実現性については，評価項目をさらに「人工バリア製作に関する評価」，「建設時段階（坑道の構造，補助工の仕様など）に関する評価」，「操業～閉鎖段階（定置技術・補助技術など）に関する評価」，「製作・定置作業の総合的な評価」の4つに細分化し，評価

内容および評価指標として効率性や実現性を設定しました。また、それぞれの評価内容に対して判断指標，判断基準，重みづけを設定し，比較検討するための論拠を整備しました。

さらに，実現性，効率性の比較検討においては，これまで基盤研究機関で進められてきた要素技術を組み合わせ，3つの技術オプション間で比較するとともに，選定をするために必要な課題が無いか評価しました。その結果，今後必要とする技術開発課題を抽出しました。調査結果の一例を表-1に示します。

表-1 搬送・定置技術の評価の例

評価内容	判断指標	縦置き・ブロック方式	横置き・原位置施工方式	横置き・PEM方式
搬送・定置作業の物流性の評価	1日当たり定置本数(5体/日以上)	○	○	○
湧水対策への適用性	対策実施の実現性とその効果	△	?	○

搬送・定置作業の物流性の評価について

○：5体/日が可能であると判断する。

※但し，横置き・PEM方式が最も優位，縦置き・ブロック方式には優位性はない

湧水対策への適用性について

○：湧水環境の影響が少ない

△：対策が必要だが，効果が見込まれる

？：湧水環境での適用性が確認されていない

例示した搬送・定置技術の評価では，横置き・原位置施工方式において，湧水環境下での吹付けベントナイトやペレット充填といった緩衝材施工技術の品質の確保が技術開発課題として挙げられました。

### 3. 閉鎖後長期安全性に関する論拠の整備

閉鎖後長期健全性については，「残置物の安全機能に対する影響など，不確実性への対応のやりやすさ」，「定置後から緩衝材の膨潤までの遷移期における不確実性への対応のやりやすさ」の2つに細分化し，評価内容および評価指標として，安全機能への影響の程度や影響低減策のやりやすさを設定しました。また，それぞれの評価内容に対して判断基準，重みづけを設定し，比較検討するための論拠の整備を行いました。

「残置物の安全機能に対する影響など，不確実性への対応のやりやすさ」については化学影響解析を実施し，鉄-ベントナイト相互作用，セメント-ベントナイト相互作用による影響を3つの技術オプション間で比較しました。また，「定置後から緩衝材の膨潤までの遷移期における不確実性への対応のやりやすさ」については緩衝材のパイピング，エロージョン現象，膨潤の不均一性に着目し，工学的対策のやりやすさについて検討しました。

## 今後の計画

残りの評価項目である操業安全性、回収可能性、経済性について同様に検討を進めていきます。今後は、3つの技術オプションの絞り込みを実施するとともに、選定した技術オプションに対して技術開発計画を着実に進めていきます。

以上

## 技術課題-10 概要調査段階における予備的安全評価の手順・方法の体系的整備

### 主な成果

概要調査段階で行う予備的安全評価を実施する上で必要となる種々の作業項目を網羅的に抽出し、既往研究を参考に、主要な作業項目についての作業方針をまとめました。さらに、核種の地下水移行を念頭に置いた安全評価解析の全体像と作業内容の具体例を提示し、予備的安全評価を実施するために必要な解析ツールや入力パラメータを明確にしました。

#### 1. 予備的安全評価における方法論および適用事例の体系的整備

サイトを特定した調査が始まる前の段階において、サイト調査で何を調査すべきか、得られた情報をもとにどんな安全評価を実施すべきかを具体的にイメージしておく必要があります。本検討では、概要調査段階までに得られる情報を利用して実施される予備的安全評価の詳細な作業項目を網羅的に抽出し、主要な作業項目について、目的、作業内容、必要となる情報、期待される成果、具体的な作業実施例をまとめました。

概要調査段階では、調査できるデータが限られていることから、安全評価のための解析に必要な情報を高い信頼性を持って設定することが困難です。具体例を示しながら、このような不確実性のある中でデータ設定の方法、概要調査段階の安全評価に反映する方法などについて検討しました。

#### 2. 定量評価のための手順にかかわる論拠の体系的整備

##### ① シナリオ構築にかかわる論拠の体系的整備

フィンランド、スイス、スウェーデンでの安全評価事例や既往研究の成果を調査し、シナリオ構築の手順や品質管理手法をまとめました。また、安全機能と状態変遷を項目ごとに関係づける方法を中心に、具体的なシナリオ構築手法の実施例を提示しました。

##### ② モデルチェーンの構築にかかわる論拠の体系的整備

地下水移行シナリオを想定した性能評価解析の全体像と作業内容を提示し(図-1)、さらに図中に示すシステム性能評価で用いる現象解析の具体例①～⑥とともに整備しました。また、サイト調査で得られた情報から広域の定常的な地下水流動を評価し、その解析結果を用いてニアフィールド領域の地下水流動を設定しました。さらに、その場における核種移行解析、天然バリア領域からの移行率の見積もり、被ばく線量の算出という一連のシステム性能評価解析を実施し、解析手順を明確にしました。

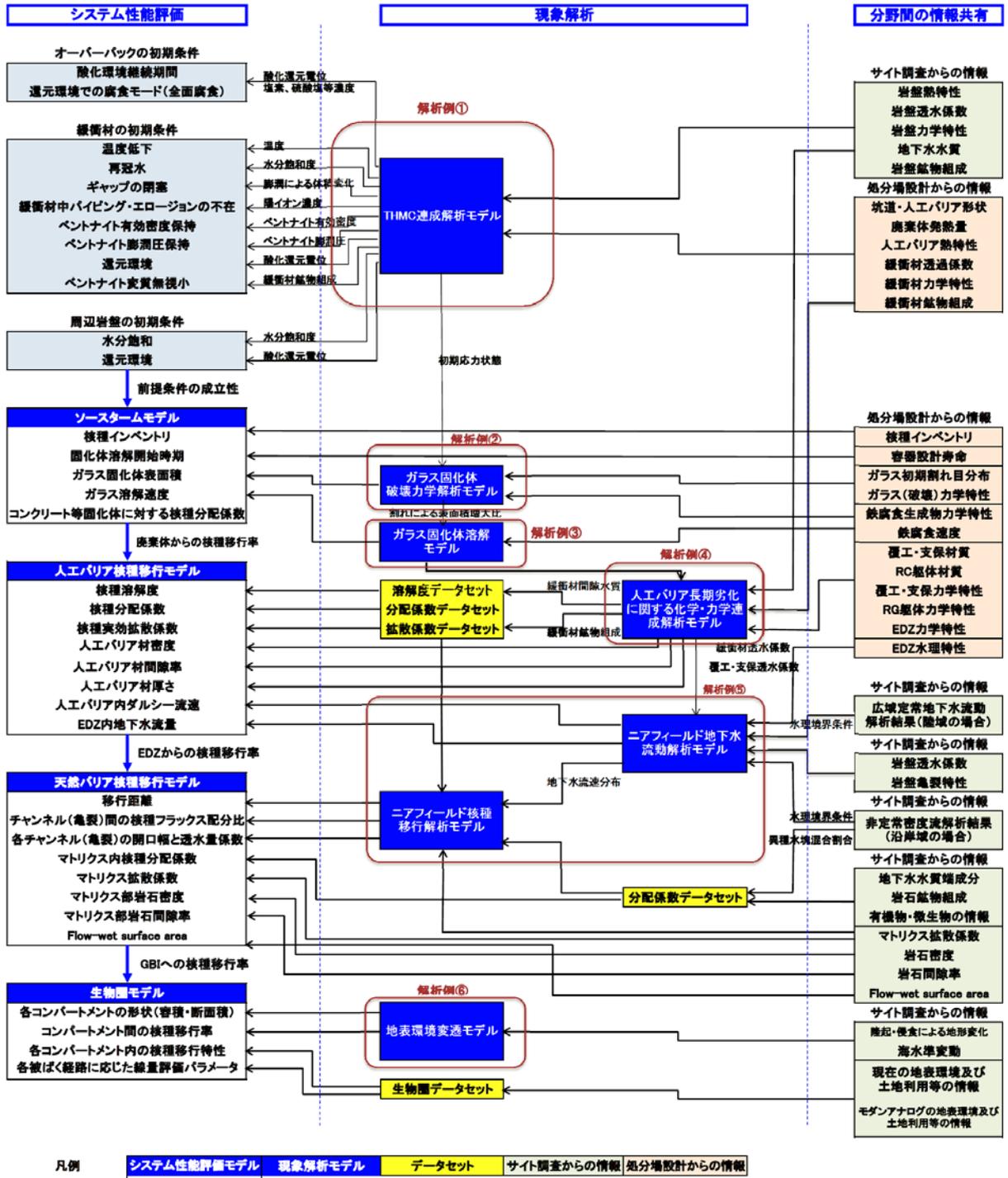


図-1 安全評価のためのモデルチェーンの例

### ③ 定量評価に用いるデータの体系的整備

②で検討したモデルチェーンにおけるデータおよび解析結果の授受を参照して、(a)廃棄体、(b)人工バリア、(c)天然バリア、(d)生物圏の領域区分について、核種移行解析および環境条件解析に必要なデータセットの構築方法と手順と留意点をまとめました。デー

タセットの構築方法は、データ取得方法、データベースなどを利用したデータ設定方法、解析用データの最終設定方法の3種類の観点から取りまとめました。

## 今後の計画

今後は、種々のパラメータの不確実性を低減するために、不確実性の要因、変動範囲、影響の程度を明確にする必要があります。そこで、パラメータ間の相関性を考慮しながら、変動解析を行って確認するため、変動要因となる事象を定量的に解析するためのモデルを整備します。

また、安全評価の前提となる、処分場の設置される地質環境と処分システム自体の状態が変遷していく様子を定量的に把握することも重要です。これらについては、別途、好ましい条件や地層処分が成立し得る条件の検討を進める予定です。

これらの検討を進めることにより、調査の限界や長期に及ぶ処分システムの変遷に関する科学的な理解の不確実性を踏まえても、不確実性に対して保守性などを見込むことにより、処分場が環境に及ぼす影響を評価することが可能であることを提示していきます。

以上

## 技術課題-11 安全性論拠の拡充

～ ニアフィールド長期挙動を考慮した設計・安全評価のための情報整備 ～

### 主な成果

概要調査段階での人工バリアの概念設計や予備的安全評価を行うためには、得られる地質環境特性の時間的、空間的な不確実性を考慮して、設定した人工バリアの基本仕様によって期待する性能が発揮できるかを定量的に評価する必要があります。本検討では、ニアフィールド（人工バリアおよび周辺岩盤）で起こる現象や、それに伴う人工バリア材料の変質に関する情報を整備するとともに、有機物・微生物の核種移行解析に対する影響評価手法に関する情報を整備しました。また、人工バリア長期挙動に関する知見を拡充するため、ガラス固化体、緩衝材、セメント系材料および母岩について、変質などの長期挙動を評価するためのデータ取得に関する試験を行いました。これらの検討のうち、主要な成果を以下に報告します。

#### 1. 多様なセメントとベントナイトの相互作用

セメントは処分場地下施設において、処分坑道の支保や地層処分低レベル放射性廃棄物処分における構造躯体などに使用されます。セメントはセメント水和物を主としますが、長期的には溶脱し、隣接する緩衝材に化学的な影響を及ぼすことが懸念されます。そのため、セメント、特に普通ポルトランドセメント（OPC）の溶脱試験や解析評価は多く実施されており、NUMOも情報を整備してきました。今回の検討では、材料の多様性の観点から、主に原環センターが実施している基盤研究を中心に、異なるセメント系材料（フライアッシュセメント（FAC）、高炉セメント（BFSC）、シリカセメント、低アルカリ性セメント（HFSC））を使用した場合の変質挙動について情報を収集、取りまとめました。

その中で原環センターが実施した、セメント系材料と接触するベントナイトの透水係数の長期変遷を定量的に評価した結果から、セメント系材料をFACとしたときのほうがベントナイトの低透水性が劣化するまでの時間が長いということが報告されています（原環センター、2013）。そこで、FACに対して、ベントナイトとの相互作用で起こる現象に関する知見を収集し、ストーリーボードとして取りまとめました。ストーリーボードのうち、緩衝材飽和後の安定して化学反応が進む期間（安定期）を図-1に示します。これまでに作成したOPCのストーリーボードと比較したところ、ストーリーボード自体は大きな違いは見られませんでした。このことから、沈殿する二次鉱物の種類など詳細は異なりますが、OPCとFACを評価する上では同様の現象を取り扱えば良いということがわかりました。他のセメント系材料についてもこれらのストーリーボードを用いて相互作用で生起する現象を追うことができると考えられます。

今後、他の情報を含めて総合的に判断し、材料選定を行うための情報の一つとなります。

## 2. 坑道周辺岩盤の変遷

地層処分において、坑道掘削による周辺岩盤への影響としては、流量の増加や岩盤中の還元雰囲気から酸化雰囲気への移行など、水理化学環境の擾乱を引き起こすことが予想されます。地層処分の安全評価においては、廃棄体埋め戻し後、再冠水期間を経て安定な水理・化学環境に還元することが期待されています。しかしながら、坑道掘削後の再冠水期間や地下水の pH, Eh といった水理・化学環境や周辺岩盤の特性や人工バリアの発熱や侵入する酸素、二酸化炭素などに影響を受けます。このため、核種移行を開始される時点での水理・化学環境が期待していた環境と異なり、核種移行解析の誤差が大きくなることが懸念されます。そこで、操業時の化学環境の擾乱や埋め戻し後の地下水との鉱物反応、支保・グラウトなどのセメント系材料の影響、および微生物の影響など坑道掘削～再冠水期間に生起すると考えられる懸念事象について、安全機能への影響などの観点から材料選定や性能評価モデルの構築に反映するため、専門家の知見などにに基づきそれぞれ事象ごとに取りまとめました。

例えば、坑道を開放し続け、地表近くの酸化性の表層水を引き込んでしまった場合、坑道周辺の地下水が酸化性となり十分に還元されないことが懸念されます。この事象については、引き込まれる途中の地層に還元剤として機能する有機物、鉱物、微生物などが存在すれば、坑道付近に到達するまでに十分に還元されることが示唆されました。また、実際に深度 200m の地点で酸化が確認されていますが非常に局所的であったことから、たとえ酸化性の表層水を還元させる有機物などが存在しなかったとしても、その影響は非常に局所的であることが示唆されました。一方で、坑道の開放期間が長引けば、酸化性表層水を引き込む可能性も、その影響も大きくなると予想されます。そのため、高透水性の亀裂を避ける、グラウトなど工学的対策により湧水量を減らすといった対策が考えられます。

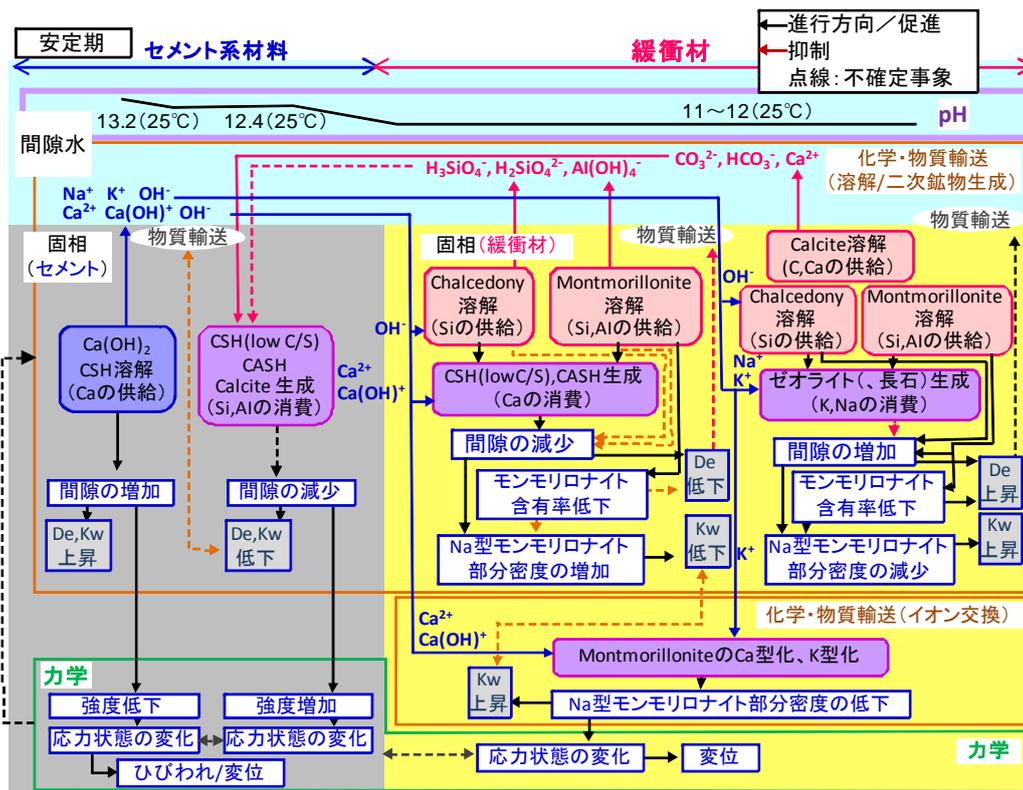


図-1 FAC-緩衝材の相互作用に関するストーリーボード (安定期)

\*OPC-緩衝材相互作用に関するストーリーボードと差異は無い。

### 3. 人工バリアの状態変遷に関するデータ取得

ニアフィールドの長期挙動や人工バリアの安全機能の変遷について、既往研究による情報が少なく、より論証が必要なものについて予察試験を実施しました。試験の対象はガラス固化体、緩衝材、セメント系材料、周辺岩盤とし、それぞれの変質やこれらの材料間の相互作用による変質に関する実験データを取得しました。例えば、未飽和の緩衝材に高pH地下水が侵入した際の化学的緩衝性を評価するため、通水試験を行い、pHの変遷に関するデータを取得しました。今後、データを拡充し、緩衝材の化学的緩衝性を評価するモデルの構築を目指します。

### 今後の計画

閉鎖後長期安全性についてはモデルやデータについて論拠を示し、モデル、データの不確実性については現時点での取り扱い方法とその設定に対する論拠を整備する必要があります。今後はニアフィールドで生起する現象を中心にこれらの論拠整備を実施していきます。

以上

## 技術課題-12 地層処分の安全評価の基本的考え方の整備

### ～ 地層処分事業にかかわる操業中の安全設計にかかわる基本的考え方 および 閉鎖後長期の安全評価の基本的考え方の検討 ～

#### 主な成果

操業中の安全確保にかかわる基本的考え方の検討について、2012年度までは、国内外の既存の原子力事業や一般産業での安全設計方針を参考に検討を実施してきました。一方、2013年度には核燃料サイクル施設について安全規制にかかわる新規制基準が策定されたため、その検討状況などを踏まえ、新たに考慮すべき事象について検討しました。また、閉鎖後長期の安全評価の基本的考え方の検討については、2012年度までの成果（既存の指針類などを参考にしたケーススタディ）などを踏まえ、基本的考え方に関する検討を実施しました。

#### 1. 操業中の安全設計にかかわる基本的考え方の検討

①新規制基準本体および②新規制基準の解釈の二つの観点から、以下のように新たに考慮すべき事象について抽出しました。

- ① 新規制基準に基づく考慮事項の抽出：第二種廃棄物埋設事業や廃棄物管理事業における新規制基準について、新たに地層処分事業においても考慮の必要性が有る事項を抽出し、現状の課題を検討しました。
- ② 新規制基準の規則の解釈で提示された事象における考慮事項の抽出：新規制基準の解釈において記載されている地震や津波、洪水などについて、地上・地下施設における事故時の影響について検討し、考慮すべき事象を抽出しました。

以上の検討では、現段階では地層処分のサイトが特定されていないことを踏まえて、サイトジェネリックに検討しています。その結果、①の観点からは、「地震による損傷の防止」や「外部からの衝撃による損傷の防止」などが新たに考慮する事項であり、かつ、課題が存在する項目です。一方、②の観点からは、事故時に影響が大きいと想定される項目として地震や津波を挙げています。

#### 2. 閉鎖後長期の安全評価の基本的考え方の検討

2012年度までの成果を踏まえ、閉鎖後長期の安全評価の基本的考え方の案を作成しています。今年度は、基本的考え方において重要となる評価期間の考え方などについて検討するとともに、課題となっていたシナリオについて、様式化の詳細検討や解析を実施しました。なお、解析に必要な状態やパラメータの設定は、原則として公開文献などで用いられ

ている値を使用しました。公開文献がない場合には、想定し得る範囲で保守的な数値を使用しました。

検討の結果、評価期間の取り扱いについて、地質の不確実性に加え、他の指標からも検討すべきという課題が残りました。一方、また、課題となっていたシナリオについては、具体的な様式化、および、パラメータ設定によって、線量結果が有意に異なることが確認されました。

## 今後の計画

操業中の安全確保にかかわる基本的考え方の検討については、抽出された考慮事項について、詳細検討を実施し、課題への対応案を策定します。また、閉鎖後長期の安全評価については、日本における地質環境特性を項目別に区分してケーススタディを実施し、具体的かつ現実的な考え方の構築に向けた検討を実施します。

以上

## 技術課題-13 耐震性評価技術の検討

### ～ 耐震設計における地中地震力の検討 ～

#### 主な成果

耐震設計における地中地震力（震度）の設定方法について、2012年度に引き続き検討を行いました。深さ方向の震度の低減を考慮した既往モデルに基づく震度の分布形状を用いた場合には、地表の震度を一様分布として考慮した場合に比べて改善されるものの、深度300m以深ではまだ過大評価となるため、さらに地中震度の低減方法について検討する必要があります。また、昨年度のケーススタディでは検討に用いた地震波の数が少なかったため、一つの地震観測地点につき10個以上の地震波を用いて検討を実施しました。その結果、比較的良好な地盤条件の場合、観測地点の地震動から推定される地中の最大せん断応力分布を踏まえた地中震度の平均値を用いることは妥当であり、地表面の等価震度の平均値で正規化した地中の等価震度の値は既往の方法によるものより小さく、0.03程度であることがわかりました。

#### 1. 検討方法

深い地中の地震動分布について把握するために、独立行政法人防災科学技術研究所が公開している基盤強震観測網（通称 KiK-net；以下、KiK-net という）の観測地点の地盤モデルと観測された地震波を用いて、一次元地震応答解析を実施しました。KiK-net の地震観測地点は日本国内に約 700 箇所ありますが、そのうち、地中地震計の設置深度が 200m より深く、2011 年東北地方太平洋沖地震などの強い地震動の記録を有し、地中の最大加速度が 10Gal 程度以上を目安に選定した 5 地点を検討対象としました。また、1 地点につき、10 個以上の地震観測記録を選定しました（表-1、図-1）。

表-1 検討対象の KiK-net 地点

KiK-net 観測地点	地震波形の数	最大加速度の範囲(Gal)	最大加速度の地震
IBRH16	13	15.0～115	2011年東北地方太平洋沖地震(M=9.0)
IBRH18	13	9.2～140	2011年東北地方太平洋沖地震(M=9.0)
MYGH05	13	11.5～213	宮城県北部の地震(2003年5月26日)(M=7.0)
HRSH01	14	1.5～106	2001年芸予地震(2001年3月24日)(M=6.4)
FKOH09	14	1.1～43.8	福岡県西方沖地震(2005年3月20日)(M=7.0)

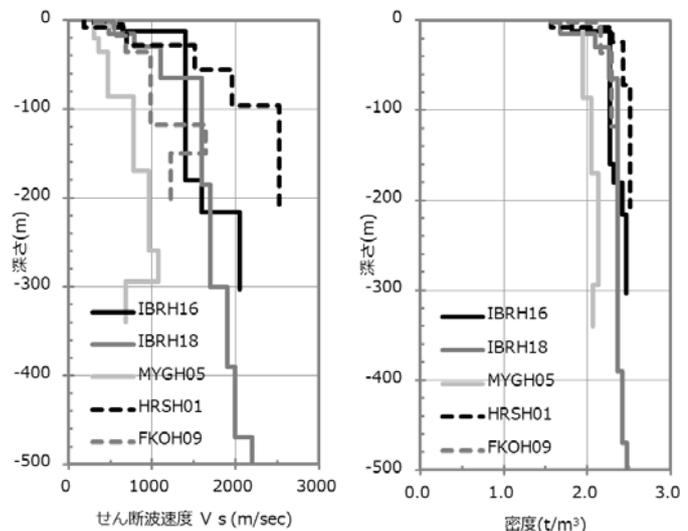


図-1 地盤モデル

## 2. 一次元地震応答解析の結果

### (1) 地中の震度分布

基本的な応答性状として、地中の最大加速度を重力加速度で除して求めた震度を地表面の平均値で正規化した震度分布の一例（地震観測地点が IBRH18 の場合）を図-2 に示します。地中 50m 程度以深では、ほぼ一定値であることが特徴と言えます。次に、地中の最大せん断応力の分布形状から換算した震度（以降、等価震度）を地表面の平均値で正規化した等価震度分布を図-3 に示しますが、図-2 と同様な特徴が認められます。このことから、地中深くでは等価震度は一定値となることが推定できます。ほかの検討対象地点についても同様の検討を行い、地中の等価震度の平均値と標準偏差を求めた結果を表-2 に示します。地中地震計の設置位置が 300m 以深であり、地盤の S 波速度が 1,500~2,000m/s 程度と比較的良好な観測地点 (IBRH16,IBRH18) の場合、地中の等価震度の平均値は 0.03 程度であり、標準偏差を加算しても、既往の方法の 0.3 よりもかなり小さいことがわかりました。ただし、ほかの 3 地点については、地震計設置深度の地盤の S 波速度が小さいことや、設置深度が 200m 程度と浅いため、表層の S 波速度が小さい地盤の影響が大きいこと、などの理由から、地層処分地下施設の想定地盤モデルとしては適切ではないと判断し、以後の考察の対象から除外しました。詳細な図は割愛しますが、地中の最大加速度分布形状からも適切ではないと考えました。

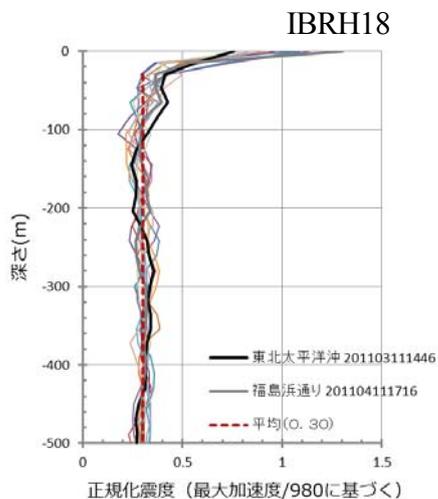


図-2 地中の最大加速度に基づく震度を地表面の平均値で正規化した震度分布

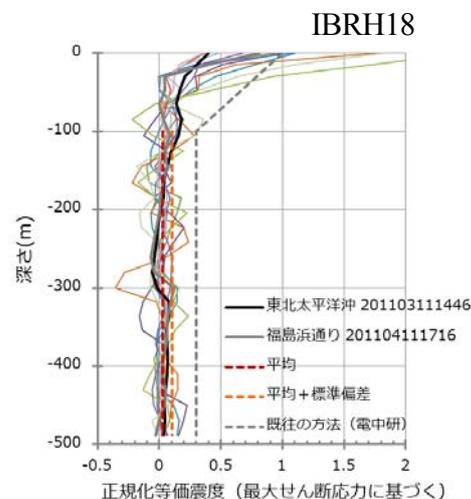


図-3 地中の最大せん断応力に基づく等価震度を地表面の平均値で正規化した震度分布

### (2) 地中のせん断応力分布

一次元地震応答解析の結果から求めた地中の最大せん断応力分布を図-4 の実線に示します。図-4 には、表-2 に示した地中の等価震度の平均値や標準偏差をもとに計算した最大せん断応力分布（カラーの太破線）と、既往の方法（電力中央研究所（図中では電中研で記載）の方法）に基づく最大せん断応力分布（黒の太破線）も示しています。観測地点 IBRH16

で東北地方太平洋沖地震の入力波の場合（黒の太実線）、「平均値+標準偏差」の線（赤の細破線）を上回る場合がありますが、深度200m程度までであり、さらに深部ではこの傾向は逆転します。また、最も地盤が深い観測地点IBRH18については、標準偏差を加算することなく、地中の等価震度の平均値で東北地方太平洋沖地震の入力波の線に近い傾向を示しています。以上のことから、地中の等価震度の平均値をもとに計算した最大せん断応力分布は、一次元地震応答解析の結果から求めた地中の最大せん断応力分布と概ね整合的であり、最大せん断応力分布を踏まえた地中の等価震度の平均値を用いることは妥当であると考えられます。比較的良好な地盤条件である2つの観測地点（IBRH16,IBRH18）の平均値を踏まえれば、地中深部の等価震度は0.03程度であると考えられます。

表-2 正規化した等価震度の平均値と標準偏差

KiK-net 観測地点	平均値	標準偏差	平均値+標準偏差	平均値+2×標準偏差
IBRH16	0.037	0.151	0.188	0.339
IBRH18	0.028	0.075	0.103	0.179
MYGH05	0.094	1.113	1.208	2.321
HRSH01	0.155	0.242	0.397	0.639
FKOH09	0.097	0.171	0.268	0.439

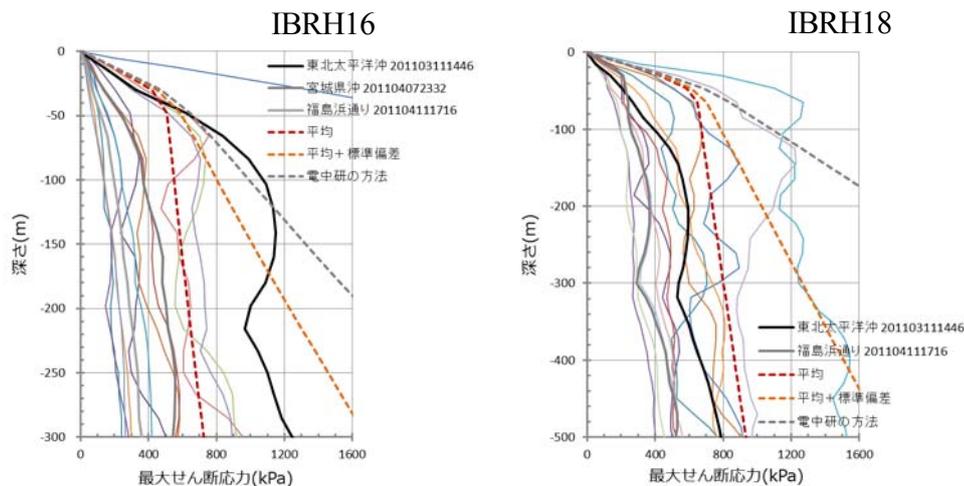


図-4 正規化した最大せん断応力分布

### 今後の計画

本検討の結果を踏まえれば、将来、概要調査段階および、精密調査段階において、綿密な地震観測を実施し、サイト地盤の震動特性を十分に把握することにより、深部地盤の震度分布について合理的に設定することができる見通しを得ました。これをもって、地下施設の耐震設計における地中地震力の合理的な設定に関する技術開発は、概ね終了しました。今後、実際のサイト条件が明確になった段階で本手法の適用を行い、概要調査段階で実施する概念設計などに反映していきます。

以上

## 技術課題-14 東日本大震災を踏まえた地層処分の安全確保策の検討

### ～ 地震・断層活動による地層処分への影響の検討 ～

#### 主な成果

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震はわが国の観測記録としては最大級の地震であり、その後、内陸地震が誘発されるなど、さまざまな影響がもたらされました。本検討では、東日本大震災を含む地震・断層活動に関する最近の学術研究の成果を、工学的対策や安全評価方法などの閉鎖後長期の安全確保策に反映することを目的として、検討を実施しました。具体的には、地震・断層活動に伴うさまざまな地質現象の理解に基づいて、断層のずれや地震に伴う地下水挙動の変化に関する状態設定の見直しを開始しました。これにより、今後、地震・断層活動に関する安全評価結果に対する信頼性が向上することが期待されます。また、地震動が人工バリアに与える影響について、従来よりも大きな地震動を設定し、最新の解析手法を用いて影響解析を実施したところ、オーバーパックが地震動により早期に破損することがないこと、および緩衝材が液状化しないことを確認しました。これにより、地震動が長期にわたり地下の地層処分施設に対して影響を及ぼす可能性が低いことを確認できました。

#### 1. 実施内容

地震・断層活動の地層処分に対する影響を、「断層のずれ」「地震に伴う地下水変化」「地震動のゆれ」に分類し、検討しました。

#### 2. 「断層のずれ」に関する影響評価技術の検討

##### (1) 検討の背景・目的

断層のずれは、岩盤を破壊し、処分施設に影響を与える可能性があるため、その影響評価が重要です。わが国の断層は最近数10万年程度にわたっては、同じ断層が繰り返し活動する傾向があり、将来も10万年程度はこの傾向は継続すると考えられています(JNC, 1999)。このような将来も活動の可能性が高い断層は活断層として認識されており、地層処分では変位の規模の大きな活断層が存在する場所は、処分施設を設置する地区からは回避することとしています。

一方で、地層処分では遠い将来の安全性についても、評価が求められる可能性もあります。そこで、断層のずれの影響を評価する技術の開発に取り組んでいます。この技術課題では、断層に関する最新の科学的研究成果を踏まえて、地下水の流れに対する影響の観点からの評価技術の開発に取り組みました。

## (2) 対象とする断層と地質環境の状態設定

活断層については、地表の痕跡や地下の地質構造のずれなどに基づいて、現在の技術でもその存在を把握することは可能です。特に将来10万年程度の間に繰り返し活動する可能性がある断層は、痕跡が明瞭であることから回避することは可能と考えています。一方、地質断層（現在から過去40万年程度の期間、活動の痕跡がない断層）については、遠い将来にわたっては、力学場の変化に伴い、再活動する可能性が事例研究から示されています（山崎，2004，地震調査研究推進本部地震調査委員会 長期評価部会，2010）。従って、将来予測の不確実性の観点から、本課題で対象とすべき断層は、地質断層の再活動<sup>1</sup>としました。

地質断層の再活動性のケースに対して、以下のように、地質環境に関して状態を設定し、さらに、地質断層の再活動に伴う、水理場への影響を検討することとしました。

- ・ プロセスゾーン<sup>2</sup>を伴う規模の大きな地質断層を検討の対象とする。
- ・ 処分施設は、調査に基づいて、地質断層の影響範囲（例えば、プロセスゾーン）を避けて配置されていることとする。この状態で、遠い将来、現在の力学場が変化し、地質断層が再活動することを想定したケースとする。
- ・ 地質断層の再活動により、地下の岩盤が変形し、地質断層の影響範囲の水理場が変化する。

## (3) 解析結果について

以上の状態設定に基づいて、水理場に対する影響として、安全評価上重要となる「地下水流動経路の変化」について解析的な検討を実施しました。水理場の設定においては、断層の影響が及ぶ範囲と考えられるプロセスゾーンの幅とその領域の平均的な透水係数を既往の研究（山口大学，2008，Vermilye and Scholz，1998）などに基づいて、表-1に示すように設定しました。

表-1 透水係数の設定

設定要素	透水係数(m/s)	
	地質断層の活動前	地質断層の活動後
岩盤	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$
破碎帯 20m（片側10m）	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-6}$
プロセスゾーン 200m（片側100m）	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$

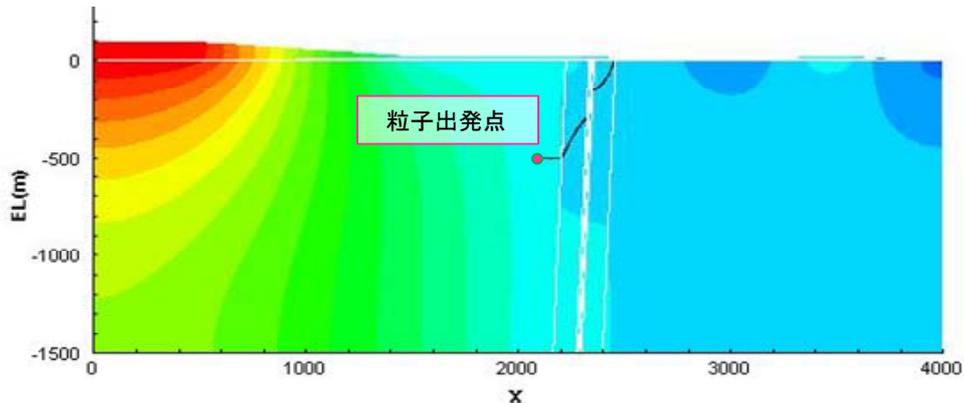
このような断層活動に伴う透水係数の上昇について、シナリオ上の重要性を確認するた

<sup>1</sup>地質断層については、活動性が認められないことから、サイト選定において回避する必要はありませんが、活動の将来予測の不確実性を考慮し、その活動の痕跡が残っている範囲には処分施設を設置しないなどの対策を検討します。

<sup>2</sup>断層の周辺で発生する応力集中により微小な割れ目が分布する領域

め、予備的に二次元の地下水流動解析を実施しました。解析結果は、地下 500m、断層よりも上流側に処分施設が設置されていることを想定して、処分施設の端部からの流跡線として表わしています（図-1）。

○地質断層の活動前の流跡線



○地質断層の活動後の流跡線

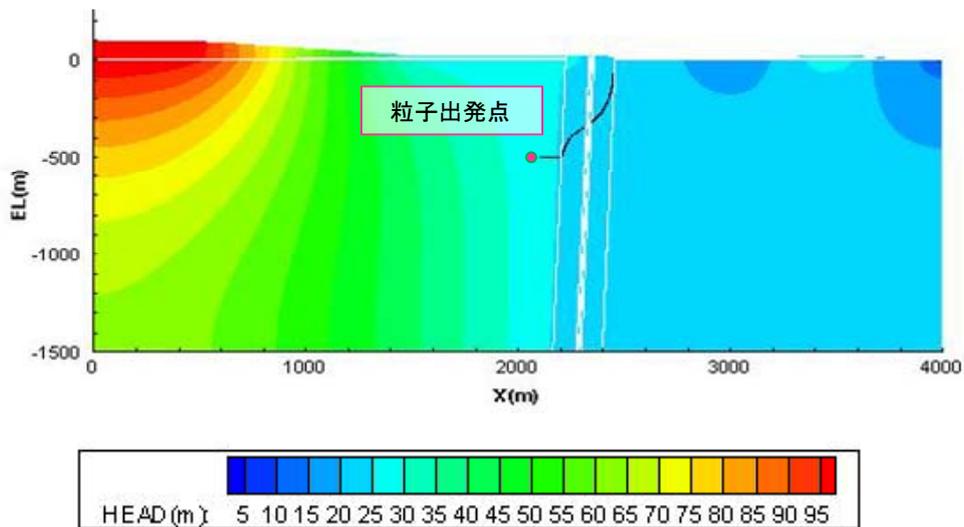


図-1 地質断層の再活動に伴う水理場変化の影響解析例

地質断層が活動する前の状態においては、プロセスゾーンを横断しながら地下水が地表に向かって流れている様子が分かります。断層活動後を想定し、プロセスゾーンの透水係数が上昇すると、やや流跡線の形状は変わるものの、断層を含むプロセスゾーンに沿って地下水が上昇する傾向には変わりがないことが分かります。また、地表までに移行した距離はほとんど変わりませんでした。移行に要した時間は断層の活動後の方が数万年程度、短くなっています。これは断層のプロセスゾーン内の透水係数が上昇し、地下水が流れやすくなったことに起因しています。以上の予備的な解析結果から、地質断層の再活動に伴い、プロセスゾーンの透水係数が上昇しても移行経路が大きく変化しないこと、一方で、

移行時間は短くなることが分かります。

### 3. 地震に伴う地下水挙動の変化に関する影響評価技術の検討

#### (1) 検討の背景・目的

地震が発生すると温泉の湯量が変わったりする現象は古くから知られていました。「第2次取りまとめ」では、「地震前後の地下水流動や水質の変化は、季節変化などの経時変化に比べても小さい。また仮に大きな地震があったとしても、その変化は一時的であり、数ヶ月後には元の水位に戻ると思われる。」とされていました。これに基づいて、従来は地震に伴う地下水流動の変化は、地層処分システムに与える影響は軽微と考えてきました。

しかし、2011年3月11日に日に発生した東北地方太平洋沖地震、および同年4月11日の福島県浜通りの内陸型地震に伴い、広域的な地下水の変動や、局所的に湧水が長期間継続するといった事象が報告されています。これらの事象は「第2次取りまとめ」で示された期間より長く継続していますが、それが、地層処分システムにどの程度影響するのかについては、より具体的なデータに基づいた評価が必要です。

そこで、定量的に影響を確認するために、本検討では、地下水位の変化が地下深部の水の流れに与える影響について検討しました。

#### (2) 検討結果

本検討では、陸域の活断層が活動することにより、岩盤が圧縮され地下水位が上昇した場合を想定し、地下深部の状態を以下のように設定しました。

- ・ 処分施設は、調査に基づいて、活断層から離隔距離をとって配置されていることとする。
- ・ 断層活動の影響により、岩盤が圧縮され、地下水位が上昇するが、地下水が移動することにより、元の水位に回復する過程を考慮する。
- ・ 水理場への影響としては、水位の上昇に伴う地下深部の動水勾配の変化として表わす。

この状態に対する水理場の評価では、断層活動に伴う水位の変化量と期間に関する知見が必要となります。産総研(2012)によれば、地震後に、西日本の広い範囲にわたって水位の変化が見られ、多くの地点で数m程度の水位の低下が観測されましたが、2地点を除いては、1年以内に回復しています。一方、温泉などでは、地下水位(または水圧)の上昇や下降が観測されており、最大で28mの水位上昇があったことが報告されています(大塚ほか, 2012)。

以上に基づいて、二次元地下水流動解析を実施しました(図-2)。本検討では、断層活動により岩盤が変形することにより水頭が上昇したとしても、地下水流速(今回の評価では動水勾配を算出)の増加は、地表ほど顕著であり、また断層から距離が離れるほど、遅延して発生し、かつ上昇幅は減少します。また、動水勾配の上昇は10年で急激に減少しました。

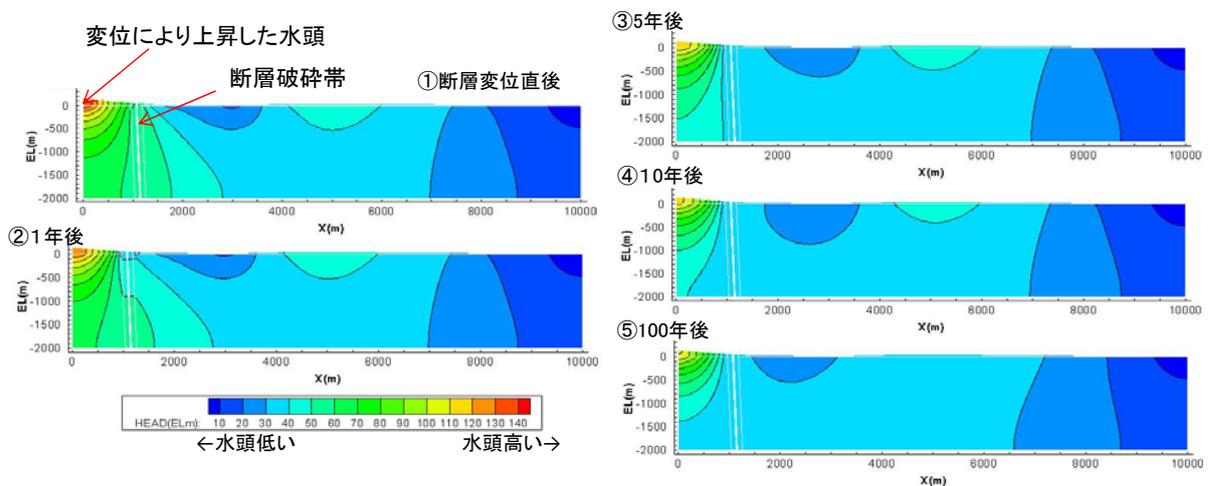


図-2 岩盤ひずみに伴う水位上昇の、地下深部の水理場への影響解析例

以上の結果から、今年度設定した解析の範囲では、地震に伴う地下水位の変化により、地下水の流速が速くなる現象は軽微であることが確認できました。

#### 4. 閉鎖後の人工バリアに対する地震動のゆれに関する影響評価技術の検討

##### (1) 検討の背景・目的

2. に示したように活断層はサイト選定において回避します。しかしながら、地震動は活断層を避けても処分場に達します。

オーバーパックには、埋設直後の放射能が高く、発熱が著しい少なくとも 1000 年間程度の期間は、構造健全性が求められますが、腐食などにより厚さが減少した状態において、大規模な地震により破壊しないかについて確認することも必要です。東北地方太平洋沖地震は観測史上最大級の地震でしたが、そのような地震が過去にも繰り返し起こっていたことが確認されています。従って、より長期間にわたっては、地震は何回も繰り返し発生する可能性があり、その際の緩衝材の変形などの検討も必要です。

以上のことから、東北地方太平洋沖地震の観測波を用いて、巨大な地震が発生した場合の人工バリアの耐震安定性について、再確認することを目的として、今年度は、まず、解析に用いる地震波を設定し、耐震安定性解析の方法や適用モデルを選定しました。その上で、オーバーパックの腐食の進行について状態設定し、閉鎖後長期の耐震安定性の解析ができるようにしました。さらに、地震が繰り返し発生した場合に適用できるように、有効応力解析手法の適用性を確認しました。

##### (2) 解析方法

耐震安定性解析では非線形時刻歴地震応答解析を実施しました。解析コードは非線形有限要素法解析プログラム FINA-Geo (大林組, 2011) を用いました。

評価用地震波は、東北地方太平洋沖地震の観測地震動のうち、最大加速度成分が 500gal 以上、 $V_s=2000\text{m/s}$  以上の地盤で観測された地震波から、宮城県牡鹿で観測された地震動（マグニチュード 9.0、震央からの距離 121km）を選定しました。

解析に適用した材料構成則は、緩衝材については下負荷面モデルを採用し、オーバーパックについては弾塑性モデル、岩盤については Drucker-Plagar の構成則を適用しました。このうち、緩衝材のパラメータは、動的三軸試験の結果や、広範囲の粒度からなる土の繰返しせん断強度試験（兵動，2011）をもとに基づいて設定しました。

### （3）検討結果

1000 年経過後で、腐食が進行した状態（腐食量 40 mm）で地震動が入力されると、オーバーパックに対しては最大 1MPa 程度の荷重がかかりますが、破壊に至る荷重（175MPa）に比べ、十分に小さく構造健全性に対しては影響がないと判断できました（図-3）。一方、緩衝材の変形に関しては、密度分布の変化、および繰返しせん断破壊の可能性について検討しましたが、どちらも密度分布の変化幅（ $10^4 \text{Mg/m}^3$  以下）および繰返しせん断破壊条件（間隙水圧の上昇 0.1MPa 未滿，平均有効応力の低下は微弱）と比較し、問題となる値ではないことを確認できました。

以上のことから、東北地方太平洋沖地震クラスの地震動などを事例とした解析でも、地震動が、オーバーパックの構造健全性や緩衝材の密度分布に対する影響は軽微であるといえます。従って、現状では、地震動の影響を対象として、新たな工学的対策を加える必要はないと考えられます。また、有効応力解析についても適用性が確認できたため、今後、繰返し発生したことを想定した解析が可能となりました。

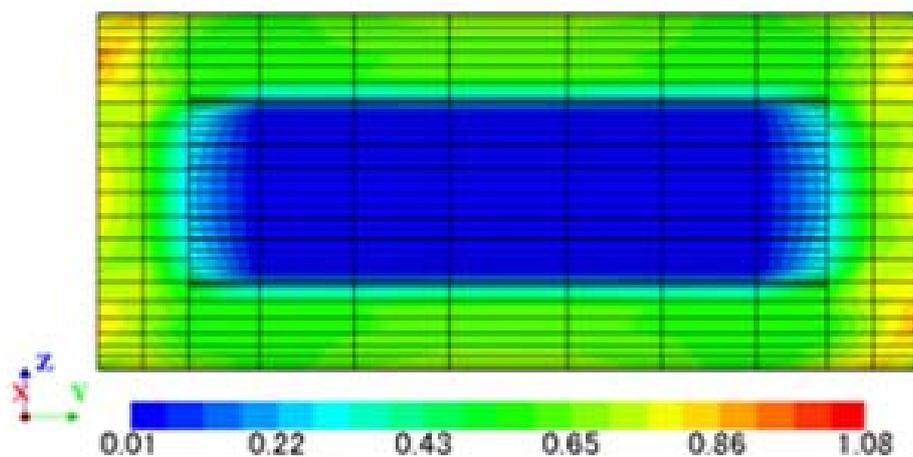


図-3 オーバーパックに作用する荷重（ミーゼス応力）の分布

## 今後の計画

本検討では、東北地方太平洋沖地震および関連する現象をはじめとする、最近の学術研究成果を反映して、「断層のずれ」および「地震に伴う地下水挙動の変化」について、安全評価の解析用の状態設定を検討しました。今後は、この状態設定を出発点として、事例解析で示したような地下水流動への影響を、解析条件の範囲を拡大させて定量的に評価する必要があります。

なお、内陸の活断層で発生した地震に伴い、地下水が湧出する事例（産総研：2011年4月11日福島県浜通りの地震（マグニチュード7.0）に伴う温泉の変化、（参照日2013年11月28日））については、上記の検討には含まれておりませんが、現在も湧出がとまったという報告はありません。また、その後、メカニズムに関する新たな報告はありません。今後も継続的に情報収集に努める予定です。

一方、地震動の影響評価に関しては、評価解析技術の適用性を確認できたので、今後、解析パラメータの信頼性向上のため、緩衝材を対象とした動的三軸試験結果や材料構成則の適用事例の充実などが必要と考えられます。

以上

## 参考文献

- 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
- NUMO（原子力発電環境整備機構）（2010）：概要調査計画立案の基本的考え方, NUMO-TR-10-08
- JNC（核燃料サイクル開発機構）（1999）：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－
- 原子力委員会（2005）：原子力政策大綱, 2005年10月
- 原環センター（原子力環境整備促進・資金管理センター）（2013）：24年度地層処分技術調査等委託費 TRU 廃棄物処分技術 人工バリア長期性能評価技術開発報告書(第1分冊)－人工バリアの長期挙動の評価－
- 核燃料サイクル開発機構（1999）：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－地層処分研究開発第2次取りまとめ－, 分冊1, JNC TN1400 99-021.
- 山口大学（2008）：原子力安全基盤調査研究（山口県中部～島根県南西部の断層岩・プロセスゾーンの特性に関する研究）報告書
- 山崎晴雄（2004）：地層処分における概要調査地区選定後の作業内容とその意義―活断層の識別・評価を例に―. 原子力バックエンド研究, 10, 119-123.
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2010)：活断層の長期評価手法（暫定版）, 平成22年11月25日.
- Jan M. Vermilye Christopher H. Scholz,（1998）：The process zone: a microstructural view of fault growth, Journal of Geophysical Research: Solid Earth 103 1222-12237
- 産業技術総合研究所 地質調査総合センター：地震に関連する地下水観測データベース “Well Web” (<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/gxwell/GSJ/index.shtml>)（2012年12月1日参照）
- 大塚晃弘・高橋孝行・益子 保（2012）：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震に伴ういくつかの温泉の変化（報告）, 温泉科学, 第61巻, 第4号, pp.286-291.
- 米澤健次, 穴吹拓也, 江尻讓嗣(2011)：大規模・高速化非線形 FEM 解析ソフト「Final - GEO」, 大林組技術研究所報, No.75

兵動正幸 (2011) : 砂から粘土に至る広範な粒度から成る土の繰返しせん断強度, 地盤と建設, No1.29, No.1, pp.1-9

産業技術総合研究所 (2013) : 2011 年 4 月 11 日福島県浜通りの地震 (M7.0) に伴う温泉の変化 (<http://unit.aist.go.jp/igg/crufluid-rg/iwaki/onsen.html>)

付表 1 技術報告書発行実績

発行年月	題名
2013/5	NUMO-TR-13-01,技術年報 2012 年度
2013/6	NUMO-TR-13-02,「地層処分事業の技術開発計画 ー概要調査段階および精密調査段階に向けた技術開発ー」
2012/7	NUMO-TR-13-03, Spatial and Temporal Distribution of Future Volcanism in the Chugoku Region A partial application of NUMO's ITM and Topaz probabilistic tectonic assessment methodology
2013/7	NUMO-TR-13-05,Safety of the Geological Disposal Project 2010 - Safe Geological Disposal Based on Reliable Technologies -
2013/9	NUMO-TR-13-06,概要調査段階における設計・性能評価手法の高度化（その2） ーNUMO-JAEA 共同研究報告書（2012 年度）ー
2014/2	NUMO-TR-13-07,処分場を構成する各部位に適用するセメント種類の選定に向けた検討 ー各部位の要求特性の抽出と状態変遷の推定に基づく重要度の検討ー（NUMO - 電中研共同研究）

付表 2 学会等発表実績

発表年月日	発表先	題名	執筆者
2013/5/1	2013 International High-Level Radioactive Waste Management Conference	URLs IN EUROPEAN PROGRAMMES FOR HIGH LEVEL WASTE DISPOSAL - HOW USED?	吉村公孝ほか
2013/5/20	2013 BIOPROTA Workshop	Current status of biosphere assessment programme at NUMO	大井貴夫
2013/9/3	日本原子力学会 2013 年秋の大会	概要調査段階における地質環境調査技術・評価手法の実証（その5） ー地下水モニタリングデータの分析ー	吉村公孝ほか
2013/9/3	日本原子力学会 2013 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) 概要調査における品質マネジメントシステムの整備	西尾光ほか
2013/9/4	土木学会 平成 25 年度全国大会 第 68 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	末広俊夫ほか
2013/9/4	土木学会 平成 25 年度全国大会 第 68 回年次学術講演会	地層処分施設の耐震性評価における地盤不整形性の影響の基礎的検討	山本陽一ほか
2013/9/5	日本原子力学会 2013 年秋の大会	地層処分場に適用するセメント種類の設定方法の検討（1）全体概要および各部位の要求特性の検討	藤崎淳ほか
2013/9/6	土木学会 平成 25 年度全国大会 第 68 回年次学術講演会	欧州の地下研究施設における調査・試験活動の調査・分析	吉村公孝ほか
2013/9/6	土木学会 平成 25 年度全国大会 第 68 回年次学術講演会	PEM システムの基本形の検討（その 1 全体概要）	窪田茂ほか

発表年月日	発表先	題名	執筆者
2013/9/6	土木学会 平成 25 年度全 国大会 第 68 回年次学術講 演会	PEM システムの基本形の検討 (その 3 操業シ ステムの検討)	北川義人ほか
2013/9/6	土木学会 平成 25 年度全 国大会 第 68 回年次学術講 演会	PEM システムの基本形の検討 (その 5 基本形 の比較検討と今後の技術開発の方向性)	鈴木覚ほか
2013/9/10	ICEM 2013	Tectonic Risk Forecasting for Geological Repositories: the TOPAZ Project	後藤淳一ほか
2013/9/15	日本地質学会第 120 年学術 大会	概要調査段階における地質環境調査の役割と課 題	出口朗ほか
2013/9/15	日本地質学会第 120 年学術 大会	断層の水理特性の調査・評価手法の開発ーカリフ ォルニア州バークレーでの実証研究ー	吉村公孝ほか
2013/9/15	日本地質学会第 120 年学術 大会	超長期の火山活動の確率論的評価手法の検討ー 火山フロントが不明瞭な地域への適用例ー	後藤淳一ほか
2013/9/30	MRS:Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVII	Current status of Japan's geological disposal programme and NUMO's activity after the Great East Japan earthquake	鈴木覚
2013/10/8	The safety case for deep geological disposal of radioactive waste: 2013 state-of -the-art	Study on operational safety issues in the Japanese disposal concept	鈴木覚ほか
2013/10/8	NEA 国際シンポジウム “The safety case for deep geological disposal of radioactive waste: 2013 state of the art”	Safety Case Development in the Japanese Programme for Geological Disposal of HLW: Evolution in the Generic Stage	植田浩義ほか
2013/10/15	The 4th East Asia Forum on Radwaste Management	Basic concept of the PEM method and its long-term safety assessment	後藤考裕ほか
2013/10/24	日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会	地層処分におけるベースライン把握のための地 下水モニタリング技術の実証 (その 5) -水圧デー タの分析-	吉村公孝ほか
2013/10/24	日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会	概要調査に向けた断層の水理特性の調査・評価手 法に関する検討：成果のとりまとめ	後藤淳一ほか
2014/3/27	日本原子力学会 2014 年 春の年会	地層処分の安全評価における生物圏評価モデル の被ばく経路に関するパラメータ値の見直し	牧内秋恵ほか

付表3 論文掲載実績

掲載年月	掲載先	題名	執筆者
2013/4	2013 International High-Level Radioactive Waste Management Conference	URLs IN EUROPEAN PROGRAMMES FOR HIGH LEVEL WASTE DISPOSAL – HOW USED?	吉村公孝ほか
2013/8	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』	東日本大震災の教訓を踏まえた地層処分の安全確保の取り組み	鈴木覚ほか

※付表2 および付表3 に示した執筆者は、申込時の所属が NUMO の職員を示しており、現在の所属が NUMO ではない場合も含んでいます。



# 原子力発電環境整備機構

(略称:原環機構)

Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO)