

技術年報  
2012 年度

2013 年 5 月  
原子力発電環境整備機構





NUMO-TR-13-01

# 技術年報 2012 年度

2013 年 5 月  
原子力発電環境整備機構

2013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) 2013

## 目次

1. はじめに.....	1
2. 段階的な事業の展開に必要な技術開発.....	2
2.1 事業管理手法の整備.....	2
2.2 東日本大震災を踏まえた地層処分事業の安全確保の考え方の再確認.....	3
3. 精密調査地区選定段階等の計画を進めるための技術開発.....	3
3.1 精密調査地区選定段階に必要な技術.....	3
3.1.1 地質環境の調査・評価技術の整備.....	4
3.1.2 処分場の設計, 建設・操業技術の整備.....	7
3.1.3 地層処分システムの長期安全性評価技術の整備.....	10
3.2 処分施設建設地選定段階に必要な技術.....	12
3.3 理解促進のための取り組み.....	13
3.4 地層処分事業における環境配慮に関する検討.....	14
4. 技術情報の品質確保.....	14

### 主要な技術開発成果

技術課題-1 東日本大震災を踏まえた地層処分事業の安全確保の考え方の再確認.....	15
技術課題-2 概要調査段階における品質マネジメントの検討.....	18
技術課題-3 地質環境情報の管理支援システムの検討.....	20
技術課題-4 天然事象に関する確率論的評価技術.....	22
技術課題-5 断層の水理特性の調査・評価技術.....	25
技術課題-6 人工バリアの施工に関する技術の検討.....	28
技術課題-7 地震動評価・耐震性評価技術の検討.....	31
技術課題-8 地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の検討(1).....	34
技術課題-9 地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の検討(2).....	37
技術課題-10 シナリオ構築技術の検討(1).....	39
技術課題-11 シナリオ構築技術の検討(2).....	42
技術課題-12 安全評価に関する解析技術の検討.....	45
技術課題-13 地層処分の安全評価の基本的考え方の整備.....	48
技術課題-14 精密調査技術の実証.....	50
技術課題-15 地下調査施設における調査・試験計画策定の検討.....	52
技術課題-16 理解促進のための取り組み.....	56
技術課題-17 地層処分事業における環境配慮に関する検討.....	58

参考文献 .....	60
付表 1 技術報告書発行実績 .....	61
付表 2 学会等発表実績 .....	61
付表 3 論文掲載実績 .....	62

## 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が行う技術開発の目的は、既存技術や国の基盤研究開発機関などが整備する技術や情報・知見を活用して、地層処分事業の実施に向けた技術として実用化の観点も加味して整備することです。

地層処分場のサイト選定は、概要調査地区選定段階（文献調査の実施と概要調査地区の選定段階）、精密調査地区選定段階（概要調査の実施と精密調査地区の選定段階）、処分施設建設地選定段階（精密調査の実施と処分施設建設地の選定段階）の三段階で進めます。事業の推進に必要な技術開発について、NUMOは、これまでに概要調査地区選定段階および精密調査地区選定段階に必要な技術の整備を概ね完了しています。また、段階的な事業推進のための方策やその支援技術の整備にも取り組んできました。2010年度までのこれら技術開発の成果は、技術報告書「地層処分事業の安全確保（2010年度版）」（NUMO, 2011c）（以下、2010年技術レポートという）として取りまとめました。その中で、事業を安全に推進するための方策とその技術を包括的に提示するとともに、事業全体を俯瞰した技術開発の全体計画を技術開発ロードマップとして提示しました。

NUMOは、このロードマップに沿って、現在は、精密調査地区選定段階に必要な技術に重点を置き、さらなる合理化を含む実用化に向けた検討を進めています。さらに、2011年度からは、その次の段階である処分施設建設地選定段階に必要な技術の整備に着手しています。また、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、従来の想定を大きく超えるような事象に対する地層処分事業の安全性の再確認と、必要に応じた対策強化が重要課題となっています。

以上の背景を踏まえ、2012年度は次の技術開発に取り組みました。

### ○段階的な事業の展開に必要な技術開発

- ・事業管理手法の整備
- ・東日本大震災を踏まえた地層処分事業の安全確保の考え方の再確認

### ○精密調査地区選定段階等の計画を進めるための技術開発

- ・精密調査地区選定段階で必要な技術
- ・処分施設建設地選定段階で必要な技術
- ・理解促進のための取り組み
- ・地層処分事業における環境配慮に関する検討

### ○技術情報の品質確保

これらの地層処分事業の推進に必要な技術開発は、原子力長期計画（原子力委員会、2000）および原子力政策大綱（原子力委員会、2005）で示された進め方に沿って行われて

います。NUMOは、原子力政策大綱で国が示した役割分担を踏まえて、地層処分事業を安全に実施するうえで必要となる技術の整備に向けて、経済性や効率性を旨としたNUMOの技術開発を進めています。一方、国の基盤研究開発機関が進める基盤研究開発では、深地層の研究施設などを活用して、深地層の科学的研究、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が行われています。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、地層処分基盤研究開発調整会議<sup>1</sup>などにおいて技術開発ニーズを提示し、NUMOの技術開発成果を基盤研究開発の成果などを含めて地層処分事業の技術体系として統合するなど、NUMOの技術開発や基盤研究開発を含めた技術の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、地層処分事業に活用します。NUMOは、このような連携をさらに強化し、地層処分事業に必要な技術の整備を確実かつ効果的に推進するため、20年程度に及ぶサイト選定段階に向けたNUMOと基盤研究開発機関などの技術開発の方向性を示し、2013～2017年度の5年間ににおけるNUMOの中期的な技術開発計画を策定しました。これらを取りまとめた計画書「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－」のレビュー版を2012年度に公表しました。

本書では、第2章から第4章において、技術開発ロードマップに沿って段階的に進めている技術開発のうち、2012年度に実施した技術開発の各技術課題の背景、目的、検討実施項目を整理しています。また、2012年度に得られた主要な技術開発成果について、技術課題ごとに検討内容・成果を整理しています。

## 2. 段階的な事業の展開に必要な技術開発

### 2.1 事業管理手法の整備

NUMOは、100年にわたる地層処分事業を段階的に進めるために必要となる事業管理手法の一つとして要件管理システム(以下、RMSという)を整備しています(NUMO, 2010b)。RMSは、重要な意思決定の経緯、それにかかわる要件、および要件を充足していることの論拠を電子データベースとして記録管理するものです。これにより、効率的に情報を検索することができ、NUMO内における意思決定や技術成果の情報共有を図ることが可能となります。

2009年度までにRMSを開発し、2010年度から試験的運用を開始しました。2013年度からの運用に向けて、2012年度は試験的運用を継続しながら、登録された情報の階層構造の最適化、最新のインターネットブラウザへの画面表示機能の対応などのシステムの改良を

<sup>1</sup> 地層処分基盤研究開発調整会議：経済産業省資源エネルギー庁が設置した会議。地層処分に関する研究開発を計画的かつ効率的に実施することを目的として資源エネルギー庁や日本原子力研究開発機構が中心となって、国の基盤研究開発を対象とした全体計画を策定し、技術基盤の継続的な強化を目指して研究開発が進められている。



行いました。

## 2.2 東日本大震災を踏まえた地層処分事業の安全確保の考え方の再確認

NUMO は、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踏まえ、地層処分事業の安全性を再確認するための検討を進めています。2011 年度は、事業期間中の設計上の想定を超える事象に関する検討、および閉鎖後長期の安全評価における想定事象の検討を行いました。

2012 年度は、上記の地震や事故に関連した新たな情報の収集・分析を継続的に実施し、地層処分事業に反映すべき課題を取りまとめました。これらの成果として、地震に伴う地下水位の変化について、地震後数ヶ月程度で回復するというこれまでの知見に比べると、長い期間継続するといった知見が得られました（多くの地点が 2～16 ヶ月で回復）。また、設計上の想定を超える事象に対する廃棄体の頑健性について、電源喪失時のガラス固化体の温度上昇やオーバーパック封入廃棄体の落下衝撃力などを数値解析により評価しました。その結果、それらの事象の検討に基づく条件下では、オーバーパックが破損に至る可能性がないことを確認しました。

参照) 技術課題-1 東日本大震災を踏まえた地層処分事業の安全確保の考え方の再確認

## 3. 精密調査地区選定段階等の計画を進めるための技術開発

### 3.1 精密調査地区選定段階で必要な技術

精密調査地区選定段階（概要調査の実施と精密調査地区の選定段階）に予定されている技術業務は以下のとおりです。

- ・当該地域全体の広域的な地質環境情報を得るために、地表踏査、物理探査、ボーリング調査などを実施します。その結果に基づき、概要調査の開始までに策定する「精密調査地区選定上の考慮事項」に照らして、地震・断層活動、火山・火成活動、隆起・侵食といった自然現象による著しい影響の回避について確認します。
- ・概要調査で取得した地質環境情報に基づき、対象とする地域の地下深部における地質構造、地下水の動きや岩盤特性を示す地質環境モデルを構築します。地質環境モデルに基づいて、人工バリアの設計と地上・地下施設の基本レイアウトの設定を行い、処分場の建設・操業・閉鎖の工学的成立性について確認します。
- ・事業期間中や閉鎖後長期の安全性に関する見通しを得るために、この段階までに取得した当該地区の地質・地質構造や処分場の設計に関する情報に基づき、予備的安全評価を実施します。
- ・以上の調査や検討結果を踏まえ、精密調査地区を選定し、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律に基づき「概要調査に関する法定報告書」を作成します。また、処分場の設計、処分場の閉鎖後長期および事業期間中の安全性に関する評価結果を「概要

調査に基づく概念設計と予備的安全評価に関する報告書」として取りまとめます。

NUMO は、以上の精密調査地区選定段階での業務を実施するために必要な技術の整備を概ね完了しています。現在は、整備した技術について、さらなる実用化・合理化に向けた技術開発を進めています。これらの技術に関する開発・整備状況について、「3.1.1 地質環境の調査・評価技術の整備」、「3.1.2 処分場の設計、建設・操業技術の整備」、「3.1.3 地層処分システムの長期安全性評価技術の整備」の三つの技術分野に分けて以下に整理します。

なお、独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、JAEA という）と共同で実施している精密調査地区選定段階における処分場の設計・性能評価手法の高度化に関する研究については、2011 年度の成果を 2012 年 9 月に技術報告書「概要調査段階における設計・性能評価手法の高度化」（NUMO, 2012）に取りまとめて公表しました。2012 年度の成果についても、別途、技術報告書に取りまとめて公表する予定です。

### 3.1.1 地質環境の調査・評価技術の整備

NUMO は、概要調査地区、精密調査地区、処分施設建設地のそれぞれの選定において、NUMO としての評価の判断指標をあらかじめ策定します。概要調査地区の選定については、すでに「概要調査地区選定上の考慮事項」を策定し、公表しました（NUMO, 2002, 2004）。同様に、精密調査地区の選定についても、概要調査を開始するまでに「精密調査地区選定上の考慮事項」を策定し、公表する必要があります。

概要調査においては、この「精密調査地区選定上の考慮事項」にかかわる評価に必要な地質環境情報を確実にかつ効率的に取得する必要があります。そのためには、詳細で合理的な調査計画の策定手法を整備しておく必要があります。また、現地で調査・試験を行い各種データ・情報を取得することから、データ・情報の信頼性確保の面から、現場運営も見据えた品質管理活動が必要となります。

概要調査結果に基づいて実施する処分場の予備的安全評価においては、将来 10 万年を超える長期の評価が必要となる可能性があります。このため、超長期にわたる将来の天然事象の評価に関する NUMO としての考え方を整備しておく必要があります。また、予備的安全評価では、断層の水理特性は重要なパラメータの一つとなることから、それを合理的・効率的に把握・推定する手法を構築し、その手法の適用性を確認しておくことが重要です。

以上のような背景を踏まえ、2012 年度は、以下に示す検討や技術開発を実施しました。

- ・精密調査地区選定上の考慮事項の検討
- ・概要調査計画策定手法の検討
- ・概要調査に関する品質管理手法の検討
- ・地質環境情報の管理支援システムの検討
- ・概要調査・評価技術の体系化

## (1) 精密調査地区選定上の考慮事項の検討

「精密調査地区選定上の考慮事項」（ここでは、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。

2011年度までに、考慮事項の検討のベースとなる背景や技術的根拠に関連する情報を収集し、考慮事項の各項目に関して、精密調査地区選定の適否の判断指標などについて検討しました。

2012年度は、考慮事項の検討に活用が可能と想定される基礎資料の整備として、東北地方太平洋沖地震で得られた最新知見を収集したほか、2011年度以降に新たに公表された情報を追加収集しました。また、2011年度に作成した考慮事項の骨子（検討の基本方針、考慮事項の分類・枠組み）および各評価項目の検討結果について、国内の学識経験者から助言を仰ぎ、内容の充実を図りました。これらの取り組みを通して、考慮事項の案の取りまとめに向けた検討を行うとともに、技術的根拠となる情報の整理を行いました。

## (2) 概要調査計画策定手法の検討

概要調査では、精密調査地区選定上の考慮事項に対する評価および処分施設的设计や性能評価に必要な情報を確実に取得する必要があります。そのため、概要調査の手法・仕様の選択、全体工程・費用を考慮した調査手法の配置・組み合わせの方法や現場管理といった運用などに関して、NUMOでは調査計画の試行的な検討を通して概要調査計画を策定するための具体的な実務手引書の作成を目指しています。

2010年度までに調査技術の実証などを通じて、概要調査計画立案の方法および手順について検討し、その基本的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, 2010a)として取りまとめました。2011年度は、概要調査のより詳細な計画の策定に向け、調査計画立案から調査結果報告書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、その組み合わせや配置計画を検討しました。また、概要調査において実施する安全管理や工程管理などの現場管理方法について検討しました。

2012年度は、概要調査計画の検討に必要な情報のうち、主に仮設計画、資機材調達、調査費積算、ならびに現場管理に関する情報の収集を行い、概要調査計画の作成に活用が可能と想定される情報の抽出・整理を行いました。また、上記の「精密調査地区選定上の考慮事項」の検討状況なども考慮しつつ、2011年度に検討した概要調査計画（調査目標の設定、調査の項目および手法の選定ならびに配置計画など）を見直すとともに、費用・工程の精緻化といった観点も含めて内容の充実を図りました。以上のような、概要調査計画の試行的な検討を踏まえて、概要調査計画を立案する際に考慮すべき内容について整理した実務手引書の整備に向けた検討を行いました。

### (3) 概要調査に関する品質管理手法の検討

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おり、このことは国際的にも共通する考え方となっています。これを受けて、NUMOは、概要調査における調査・評価に加えて、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年度は、2011年度までに検討した品質管理の考え方や仕組みについて、実際の運用を念頭に置いた見直しを行いました。また、海域の調査技術および地質環境モデル構築に関する品質管理手法を検討し、その適用性を外部専門家によるレビューを通じて確認しました。さらに、陸域の調査技術に関する現実的な作業手順について、海域の調査技術を含めた双方の品質管理手法を外部専門家によるレビューを通じて確認しました。

参照) 技術課題-2 概要調査段階における品質マネジメントの検討

### (4) 地質環境情報の管理支援システムの検討

精密調査地区選定段階では、地表踏査、物理探査、ボーリング調査などにより取得した地質環境情報や地質環境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管理が必要です。2012年度は、このため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、必要なカスタム化の検討、NUMOの既存システムとの連携の検討を行いました。

参照) 技術課題-3 地質環境情報の管理支援システムの検討

### (5) 概要調査・評価技術の体系化

#### ①天然事象に関する確率論的評価技術の開発

地質環境の長期安定性の評価技術について、2010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き、超長期の火成活動や断層活動などの天然事象の評価の在り方について検討しました。2011年度は、その結果を踏まえて、火山フロントが明瞭な東北地方のケーススタディを通じて、天然事象に対するロジックツリーを用いた確率論的評価手法の適用性を検討しました。また、中国地方のケーススタディを通じて、火山フロントが不明瞭な地域を対象とした確率論的評価手法の適用性についても検討しました。

2012年度は、中国地方を対象として、将来10万年を超える期間も含めた広域変遷シナリオを作成しました。さらに、これら二つの地方とはテクトニクスの条件が異なる北海道地方について、既存情報を収集・分析し、長期変遷シナリオ構築における留意点を検討・整理しました。

参照) 技術課題-4 天然事象に関する確率論的評価技術

## ②断層の水理特性の調査・評価技術の開発

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。同研究において、米国カリフォルニア州サンフランシスコ郊外のLBNLサイトに分布する断層の現地調査を行いました。その調査結果に基づき、地質・地質構造および断層の地質・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。また、この検討結果に基づき、概要調査における断層の水理特性の調査・評価手法をフローとして取りまとめ、手法の体系化を図りました。

2012年度は、2011年度に掘削したボーリング孔を利用した水理モニタリングを継続し、地下水圧の季節変動などが地下水流動に及ぼす影響を把握しました。この結果に基づき、水理地質構造モデルの更新および地下水流動解析を行うとともに、2011年度に取りまとめた断層の水理特性の調査・評価手法の信頼性の向上を図りました。

参照) 技術課題-5 断層の水理特性の調査・評価技術

### 3.1.2 処分場の設計, 建設・操業技術の整備

NUMOは、概要調査の結果に基づいて処分場の概念設計を行います。概念設計では、閉鎖後長期の安全性を確保するための人工バリアの設計や、人工バリアを製作・搬送・定置するための地上および地下施設の設計などを実施します。

人工バリアの設計では、使用する材料の長期挙動や異なる材料間の相互作用を考慮するとともに、品質確保や施工性などの観点から有力な候補となる製作・搬送・定置方法について、段階的な実証を視野に入れて検討を進めています。また、人工バリアの製作・搬送・定置技術においては、PEM方式<sup>2</sup>を高レベル放射性廃棄物の地層処分における有力な技術の一つとして位置付けています。複数の要素で構成されるPEM方式を実用化するためには、製作・搬送・定置までの一連の技術の成立性、品質管理方法、回収性、閉鎖後長期安全性への影響などの検討を計画的に進める必要があります。

地上および地下施設の設計においては、閉鎖後長期の安全性のみならず、事業期間中の安全性を確保する必要があります。その点で、地層処分施設が原子力関連施設であることも踏まえ、耐震性の確保は特に重要となります。地層処分の地下施設は他の原子力関連施設と異なり、大深度地下構造物であること、多数の接続坑道を有する平面的な広がりがある地下施設であること、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徴を有しています。現状では、このような特徴を有する類似の施設を対象とした地震動伝播特性や耐震性評価手法に関する検討事例は多くありません。そのため、地下深部の地盤応答特性に関する検討や、坑道の接続・交差などの地下施設の特徴を考慮した耐震性評価に関する

<sup>2</sup> PEM (Prefabricated Engineered barrier system Module) 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、地下施設に搬送し、定置する方法。地下の湧水や高湿度環境などへの適用性が高く、また、品質向上や地下での工程の短縮などに効果が期待できる。

る検討を進めていく必要があります。

地層処分低レベル放射性廃棄物の処分については、既往の検討成果により、一連の設計技術が適用できる見込みが示されています。NUMO は実施主体として、これらの技術の実用化・合理化の検討を進めています。今後は、高レベル放射性廃棄物との併置処分を考慮した検討を進め、地質環境条件の多様性を踏まえつつ、安全性が確保される頑健で合理的な処分概念のオプションについて検討を進めます。

以上のような背景を踏まえ、2012 年度は、前年度に設定した複数の PEM 方式（個々の構成要素を組み合わせた幾つかのバリエーション）に対して、工学的成立性、閉鎖後長期の安全性などの観点から、基本となる PEM 方式の組み合わせを設定するために、「(1)人工バリアの施工に関する技術の検討」を行いました。また、大深度地下構造物である地層処分の地下施設の耐震設計手法を確立するための技術的根拠を整備するために、「(2)地震動評価・耐震性評価技術の検討」を行いました。さらに、多様な地質環境条件に対して頑健で合理的な処分概念のオプションを整備し、合理的に放射性物質の閉じ込めを実現するための廃棄体への要求事項を明確にするために、「(3)地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の検討」を行いました。

#### (1) 人工バリアの施工に関する技術の検討

NUMO は、精密調査地区選定段階の終わりごろまでに、人工バリアの搬送・定置技術として想定される幾つかのオプションから、有力な技術を絞り込む計画です。これまでに、高レベル放射性廃棄物の定置方法の有力なオプションとして PEM 方式を挙げました。これを受け、2011 年度から 2 ヶ年計画で、それまでの国内外の PEM 方式の技術開発成果を踏まえ、NUMO が今後開発を進める PEM 方式の基本形について検討を進めています。2012 年度は、人工バリア一体化モジュールおよび搬送・定置装置の概念的な設計を実施し、工学的実現性や閉鎖後長期安全性、掘削土量などの観点から、PEM 方式の基本形を設定しました。

参照) 技術課題-6 人工バリアの施工に関する技術の検討

#### (2) 地震動評価・耐震性評価技術の検討

NUMO は、2004 年度より、地層処分施設に適用する地震動評価手法について検討を進めています。さらに、2009 年度からは、地下施設の建設および操業期間中の耐震性評価手法について検討を進め、これらの成果を技術報告書「地層処分施設の耐震性評価」(NUMO, 2011b) として取りまとめました。2011 年度は、2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震の強震記録などの最新知見の収集・整理ならびに分析を行い、その結果に基づき、地層処分施設の耐震性の評価を行いました。また、処分場の構造的な特徴を踏まえて、坑道交差部などにおける地震時の挙動の評価を行いました。

2012 年度は、処分場の地下施設における地震時の挙動を解析するための前提条件となる

常時の状態（掘削後の状態）を適切に評価することを目的に、坑道の掘削に伴う岩盤のゆるみの影響を考慮する方法の検討を行いました。また、地下深部の地質構造の影響について、地下深部の傾斜（傾斜地盤）や凹凸などの不整形性を想定したモデルケースを対象に地盤中を伝播する地震動について解析的に評価し、このような地質構造が坑道の耐震性に及ぼす影響について検討を行いました。さらに、観測された地震記録や数値解析によるケーススタディの結果から、300m より深い地盤の震動性状について分析して、静的に地震力を考慮して耐震設計を行う場合の設計震度について検討を行いました。

参照) 技術課題-7 地震動評価・耐震性評価技術の検討

### (3) 地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の検討

NUMO は、地層処分低レベル放射性廃棄物について、閉じ込め機能に関する個別現象の詳細な理解や、その処分の安全性を確認することを目的として、2011 年に総合的な技術報告書「地層処分低レベル放射性廃棄物に関わる処分の技術と安全性」(NUMO, 2010a) を公表しました。NUMO の技術開発においては、同報告書で示された課題に取り組み、多様な地質環境条件に対して安全性を確保できる合理的な処分概念を提示することが喫緊の課題となっていました。

そこで、2011 年度より 2 ヶ年の計画で、多様な地質環境に適合し、安全性を確保できる処分概念を提示するため、地質環境条件ごとに各廃棄体グループの処分概念を見直しました。この中で、発熱性の廃棄体の存在を考慮して廃棄体のグループ分類を見直し、また、数 100 年程度の閉じ込めを考慮した廃棄体パッケージ<sup>3</sup>、高透水性を有する地質環境に対する廃棄体の高度化概念の採用などを考慮しました。また、検討した処分概念の安全性を地質環境条件ごとに検討し、多様な地質環境条件に対して安全性を確保できる合理的な処分概念を提示しました。

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あると考えています。このため、現段階において、合理的に放射性物質の閉じ込めを実現するために、廃棄体に期待する、あるいは廃棄体製造者に要求する事項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の確保に重点を置き、閉じ込め性を損なう恐れがある事象の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、その結果に基づき課題を抽出し、課題解決のための複数の対応方針を、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設定しました。

参照) 技術課題-8 地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の検討(1) ー多様な地

<sup>3</sup> 廃棄体パッケージ：地層処分低レベル放射性廃棄物の廃棄体（ドラム缶など）を収納した状態の容器。

質環境に対して頑健性を確保可能な処分概念の検討―

参照) 技術課題-9 地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の検討(2) ―廃棄体への要求事項の検討―

### 3.1.3 地層処分システムの長期安全性評価技術の整備

地層処分の安全評価においては、処分場閉鎖後の人工バリアや天然バリアの状態の変遷をシナリオとして想定し、シナリオの結果としての影響の可能性を信頼性の高い技術や適切な手法を用いて評価し、その評価結果を線量などの目安や基準と比較します。安全評価の手順として、まず、科学的に確からしいと予見できるシナリオを構築します。そのためには、処分システムで生起する事象に関して、最新の知見を整理・拡充し、処分システムに期待する安全機能の時間的な変遷を考慮したシナリオ構築手法を整備する必要があります。

また、安全評価では、10 万年を超える長期を対象とした安全性の評価が必要となる可能性もあります。このような安全評価において、最終的な評価対象となる人間が活動する地表付近の生物圏は、放射性廃棄物を埋設する地圏に比べて、気候変動や人間の社会活動の影響を受けやすいとされています。そのため、長期にわたる生物圏評価においては、このような影響に起因する不確実性に対応した評価を行うことができる解析技術を整備する必要があります。

精密調査地区選定段階では、概要調査で得られた調査・検討結果を用い、処分場の概念設計や予備的安全評価を行います。そのためには、放射性廃棄物処分関連事業における既存の指針類などを踏まえ、廃棄物の特性や処分条件の違いを考慮した安全評価の実施に関する基本的な考え方を整備しておくことが必要です。

以上の背景に基づき、2012 年度は人工バリアで生起する事象に関する最新情報の整理と、放射性物質の移行挙動におけるコロイドなどの影響に関する不確実性の要因、処分場を構成する各部位に適用されるセメント系材料の種類の違いについて整理を行い、「(1)シナリオ構築技術の検討」を実施しました。また、生物圏での人間への被ばくに影響するパラメータを特定するとともに、サイト調査結果の生物圏評価モデルへの反映方法について「(2)安全評価に関する解析技術の検討」を実施しました。「(3)地層処分の安全評価の基本的考え方の整備」に関しては、2011 年度の検討結果に地層処分の特徴を踏まえた分析を加え、事業者として、地層処分における安全評価の基本的考え方の整理を行いました。

#### (1) シナリオ構築技術の検討

2011 年度までに、人工バリアで生起する化学的・物理的な事象について最新の情報を調査し、その結果を時間スケールで区分して、確からしい処分システムの状態変化をストー



リボード<sup>4</sup>としてまとめました。また、人工バリアの長期挙動に関する知見を拡充するため、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材それぞれの変質に加え、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などを取得しました。

2012年度は、人工バリアで想定される事象のうち、オーバーパック－緩衝材境界で生起する相互作用現象について最新の知見を収集し、時間的・空間的な状態変遷とその影響範囲をストーリーボードとしてまとめました。さらに、人工バリアシステムの長期挙動に関する知見を拡充するため、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材、セメント、母岩に関して、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などを取得しました。以上の取り組みによって、人工バリアの状態変遷の概念や安全性評価の科学的信頼性の向上を図りました。

また、安全評価上のシナリオ構築のための状態設定の精度を向上させるには、処分場の地下施設の各構造物に適用する材料の特性情報が必要です。地下施設を構成する複数の構造物には、セメント系材料が適用されることが想定されるため、それぞれの構造物に用いるセメントの種類を適切に選定することが必要となってきます。このような背景から2012年度は、地下施設でセメント系材料が適用される構造物に関して、そのセメントの種類を選定を検討しました。検討に当たっては、各構造物に要求される特性を工学的成立性と長期安全性確保の観点から整理し、構造物ごとに、現存する複数のセメントから要求特性に対して最も適合性が高いセメントを選定しました。

**参照) 技術課題-10** シナリオ構築技術の検討(1) ーニアフィールド領域における人工バリアの長期挙動評価に関する検討ー

**参照) 技術課題-11** シナリオ構築技術の検討(2) ー処分場の地下施設に適用するセメント種類の設定ー

## (2) 安全評価に関する解析技術の検討

これまでの生物圏評価は、わが国の生物圏環境を代表的に表現したデータやモデルに基づくジェネリックな評価でした。今後、精密調査地区を選定する段階においては、特定のサイトにおける将来の環境条件の変遷を考慮した生物圏環境を反映した評価を実施する必要があります。そのため、現在 NUMO では、精密調査地区の選定段階における安全評価に必要となる、候補地の地表環境を反映させた生物圏評価を行うための手法について検討しています。このような評価を行うためには、候補地となるサイト環境を反映した生物圏評価データと評価モデルの整備が必要となります。2011年度は、精密調査地区の選定段階における特定のサイトを対象とした生物圏評価モデルの構築において、優先的に取得すべきデータを抽出するための情報整備や、適用される評価手法の整備を行いました。

<sup>4</sup> ストーリーボード：対象とする空間スケールと時間スケールごとに、バリアの状態や核種の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いう。

2012年度は、サイト環境を生物圏評価モデルに反映する方法の整備に取り組み、優先的に取得すべきデータなどと共に、サイト環境を反映した生物圏評価モデルを構築するための情報を整理しました。この整備においては、サイト特性と生物圏評価モデルで用いるパラメータとの関係を明確化し、生物圏評価モデルの妥当性を説明するための論拠を整備しました。これにより、サイトが特定された場合の生物圏評価モデルの構築方法や、重点的に取得すべきデータを明らかにしました。これらの結果は、サイトが特定された際の生物圏評価を、十分な論拠を持って効果的に実施することに資する情報となります。

**参照) 技術課題-12 安全評価に関する解析技術の検討**

### (3) 地層処分の安全評価の基本的考え方の整備

これまで NUMO は、精密調査地区の選定に際して予定している処分場の概念設計と予備的安全評価報告書の作成に向けて、安全評価の手法について検討しています。2011年度までに、放射性廃棄物処分関連事業における既存の指針類を参考にして、処分場の地上施設における操業中の安全設計方針について検討しました。

2012年度は、既存の指針類や他事業での実施状況などを踏まえ、処分場の地下施設に焦点を当て、安全設計方針の基本的考え方に関する検討を実施しました。また、前年度の成果（既存の指針類などを参考にしたケーススタディ）も踏まえて、地層処分事業における閉鎖後長期の安全評価の基本的考え方に関する検討を実施しました。

**参照) 技術課題-13 地層処分の安全評価の基本的考え方の整備**

## 3.2 処分施設建設地選定段階で必要な技術

処分施設建設地選定段階（精密調査の実施と処分施設建設地の選定段階）に予定されている技術業務は以下のとおりです。

- ・精密調査の前半では、前段階の概要調査によって選定された母岩を対象に、地上からの調査を実施します。この調査は、概要調査によって得られた地質環境情報の確認と詳細化を目的として実施します。また、新たに取得した地質環境情報に基づいて地質環境モデルを更新し、それを踏まえて人工バリアや処分パネルのレイアウトなどの概念設計を見直します。この見直された設計に基づき、廃棄体および人工バリア材の搬送・定置に関する再検討および長期安全性の評価を行い、処分施設の基本レイアウトを決定します。
- ・精密調査の後半では、母岩に試験用の坑道を掘削し、地下調査施設を建設します。その試験用坑道を利用して、地下深部における岩盤や地下水の特性調査、原位置試験などを行います。さらに、地下調査施設の一部を活用して、建設や操業に関する技術のうち、地層処分に固有な主要技術についての実証試験を行います。

以上の処分施設建設地選定段階における技術業務に関連して、2011年度から必要な技術の整備を進めています。

### (1) 精密調査技術の実証

2006年度より実施している一般財団法人電力中央研究所との共同研究において、概要調査技術に関する現場での適用性確認のための実証に取り組んできました。2011年度まで、概要調査において実施する物理探査、ボーリング調査、地下水モニタリング技術の実証を進めてきました。

2012年度からは、精密調査の前半に実施する地上からの調査に関連する調査技術の実証に着手しました。また、実証の一環として、既往のボーリング孔による地下水モニタリングを継続するとともに、新規にボーリング孔の掘削を開始しました。

参照) 技術課題-14 精密調査技術の実証

### (2) 地下調査施設における調査・試験計画策定の検討

精密調査の後半に実施する地下調査施設を用いた技術業務のために、国の基盤研究開発では、深地層の研究施設（瑞浪超深地層研究所、幌延深地層研究所）の建設を通じた地下環境の調査・評価手法の検討がすでに進められています。しかしながら、NUMOが処分施設建設地選定や事業許可申請に向けた調査を実施するまでには、まだ多くの検討が必要です。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・評価の準備を進めておく必要があります。2011年度から、精密調査計画の策定に向け、諸外国の地下研究所における調査・試験に関する実態調査を実施しています。

2012年度は、欧州諸国の処分事業に関して、これまでに実施された事業許可申請に向けた地下研究所での調査・試験を対象として、調査・試験計画策定の考え方、試験・調査の内容、得られた成果と課題などに関する情報を調査しました。さらに、これらの調査結果を踏まえて、今後 NUMO が実施すべき地下調査施設を活用した調査・試験について、その施設の建設から調査・試験の実施に至る計画や、施設での調査・試験の手法とその反映先について、適用性と実用性の側面から検討を行いました。また、地下調査施設における調査・試験技術の整備のために、オフサイト（実際の処分場とは異なる地下研究所サイト）での調査・試験が必要です。そのため、スウェーデンの実施主体 SKB が運営するエスポ地下研究所を例として、先行的に実施すべき調査・試験の主要な実施項目の抽出と、調査・試験計画の策定に向けた検討を行いました。

参照) 技術課題-15 地下調査施設における調査・試験計画策定の検討

## 3.3 理解促進のための取り組み

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。しかしながら、地層処分の安全性に関して、必ずしも社会的な合意が十分に得られていないのが現状です。

このような状況を踏まえて、地層処分の実施方法やその安全性の考え方などに対する社会的な理解の促進、および地層処分の安全性に対する信頼獲得に向けた社会科学的方法に

ついて検討しています。

2012年度は、国内における地層処分に関するさまざまな議論についての論点の整理と、一般廃棄物処理事業などの関連事例における安全性に関する考え方について、調査・分析を行いました。また、長期にわたる地層処分事業固有の課題である安全性の評価期間に関して、一般廃棄物事業や環境影響評価などの法令類における時間枠設定の考え方に関する調査・分析を行いました。さらに、諸外国の地層処分事業における時間枠設定に至る規制や背景などの調査を行いました。

以上の調査や分析の結果を地層処分事業に反映させていくために、専門家による社会的観点からの議論を通じて、取りまとめを行いました。

参照) 技術課題-16 理解促進のための取り組み

### 3.4 地層処分事業における環境配慮に関する検討

現時点では、地層処分事業は環境影響評価法の対象となっていませんが、このような大規模な事業を進めて行くうえで環境配慮は重要であり、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。

2012年度は、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。

参照) 技術課題-17 地層処分事業における環境配慮に関する検討

## 4. 技術情報の品質確保

地層処分事業においては、事業の全般にわたり技術情報の厳格な品質確保が求められます。NUMOは、概要調査地区選定段階までに作成する技術文書などを対象とした品質マネジメントシステム(以下、QMSという)を構築し、2004年8月より運用しています。2011年度は、このQMSを次の調査段階である精密調査地区選定段階までの技術業務に適用できるように改訂作業を行い、2012年度当初より新たなQMSとしての運用を開始し、技術報告書や論文などの品質確保に適用しました。

さらに、「精密調査地区選定上の考慮事項」の検討を議題として、技術アドバイザー国内委員会<sup>5</sup>を開催し、助言・指導を受けました。

<sup>5</sup> 技術アドバイザー国内委員会：国内の大学、研究機関の専門家などにより構成する委員会で、NUMOの技術的な取り組みについて、専門的な立場から助言する。

## 技術課題-1 東日本大震災を踏まえた地層処分事業の 安全確保の考え方の再確認

### 主な成果

東北地方太平洋沖地震の発生に伴い、福島第一原子力発電所事故が発生しました。そのような地震の発生に伴う短期的な影響のみならず、例えば、地震後には地下水位変化の地質現象なども観測されています。NUMOは、これらの事象から得られる知見や新たな学術研究の成果を地層処分事業の安全確保の考え方に反映するための検討を実施しています。

#### 1. 東日本大震災に関する情報収集

震災に関連した新たな情報の収集・分析として、東北地方太平洋沖地震後に発生した地下水位の変化などに関する学術論文などの情報を収集した結果、次のような知見が得られました。

- ・東北地方太平洋沖地震後には、水位観測用の井戸では、全国的に水位が低下する傾向があったものの（数cm～数m程度）、多くの地点で1年程度の期間内に水位が回復している（産業技術総合研究所, Web Well の情報に基づく）。
- ・2011年4月11日に発生した福島県浜通りにおける内陸地震後に、住宅地で湧水が継続している事例がある（産業技術総合研究所, 2013）。

このうち、地下水位の変化については、「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）で示された地震後数ヶ月程度で回復するという知見に比べると、長い期間継続していました（多くの地点が2～16ヶ月で回復していますが、一部の地域では前記期間後も回復途上のものもあります）。一方、福島県浜通りにおける湧水は、そのメカニズムの詳細について、現在も専門家による調査が継続されています。

以上のような地下水の変化が地層処分に及ぼす影響はほとんどないと考えていますが、今後も継続的に地層処分への影響とその対策の検討を進めていく予定です。

#### 2. 設計上の想定を超える事象に関する検討

福島第一原子力発電所では、想定を超える津波と外部電源の喪失などの複合的な要因が重なったことにより、大きな事故へと発展しました。このような事象の発生を踏まえ、高レベル放射性廃棄物を対象に、以下に示すような設計上の想定を超えた場合に発生する事象について検討し、それが廃棄体やオーバーパックの頑健性にどのような影響を与えるかについて検討しました。さらに、地下施設において、落盤事故が発生した場合を想定して、その復旧方法について検討しました。

## (1) 地上施設における長期間の換気停止の影響

地上施設にて 28 本のガラス固化体を検査のため仮置き中に、30 日間にわたり換気が停止した場合の温度の変化を解析しました。この際のガラス固化体の発熱条件は、発熱量が大きくなる厳しい条件として 560W に設定しています（地上施設でのガラス固化体の受入れまでの貯蔵期間を 30 年と設定）。その結果、換気停止後 5 日間にわたり温度が上昇しますが、その後、上昇速度は大幅に鈍化し、ほとんど温度は上昇せず、中心部の最も高いところで 230℃、表面で 210℃程度となる解析結果が得られました。ガラス固化体の変質が生じる失透温度が約 600℃であることから、仮に電源喪失が長期間にわたったとしても、ガラス固化体に対する影響がないことが分かりました。

## (2) メタンガスの爆発衝撃力の影響

通常、メタンガスなどの発生がある地域でトンネルを建設する場合には、トンネル内を換気し、メタンガス濃度を爆発限界未満とすることや、機器を防爆仕様とすることで、ガス爆発の発生の防止およびそれによる影響の回避対策を実施しています。地層処分事業でも地下施設の建設では同様の対策を講ずる予定ですが、ここでは、電源喪失などによりメタンガスが地下の処分坑道内に充満し、さらに、対策があつたにもかかわらず爆発するような事象を想定して解析を実施しました。

解析では、最も爆発力が大きくなる場合を想定し、爆轟波（燃烧反応を伴いながら超音速で伝播する波）を発生させました。爆轟波がオーバーパックに到達すると、オーバーパックが移動し始め、最大速度 72 km/h に達します。その状態でオーバーパックが坑道壁面に叩きつけられた場合の変形を評価しましたが、オーバーパックに生じるひずみは破断ひずみ以下であり、破断亀裂には至らないことが分かりました（図-1）。

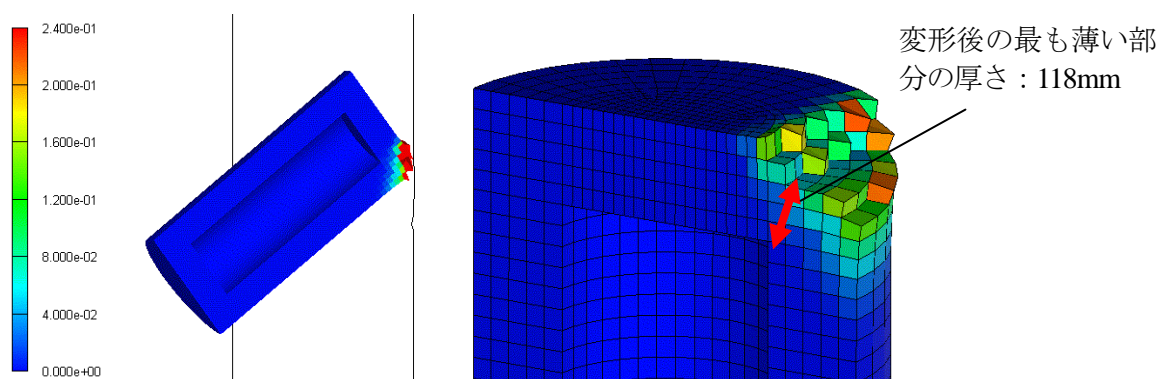


図-1 メタン爆発により飛ばされたオーバーパックが坑道壁面に衝突した場合の破損状況（左：衝突後 40 ミリ秒後の相当塑性ひずみの分布、右：衝突個所の拡大。破断ひずみを超えた部分は描画していない。）

上記の事象に加えて、立坑のエレベータでオーバーパックを地上から地下施設に搬送す

る際に、エレベータが落下した場合を想定したオーバーパックへの影響評価解析を実施しています。この結果、立坑搬送を採用する場合には、異常発生防止策として落下防止対策を多重化し、また、異常の拡大防止策として、落下速度抑制機構（エアブレーキ）や、立坑底部に衝撃緩和機構を講ずるなどの対策を併せて実施することなどが必要であることが分かりました。

また、地下坑道でオーバーパックを定置中に落盤事故が起こった場合を想定し、その際の復旧作業の方法について検討しました。この結果、既存のトンネルの修復技術や廃棄体回収技術などを組み合わせることで、復旧作業が可能であるとの見通しが得られました。

## 今後の計画

東北地方太平洋沖地震の発生に伴う経験およびその後の新たな知見などを踏まえ、2年間にわたり地層処分事業の安全確保の考え方の再確認を進めてきましたが、今のところ、安全性を大きく損なうような要因は見当たらないことが分かっています。今後も設計上の想定を超えた事象の抽出と、その対策の検討を継続的に進め、得られた成果を処分施設の安全対策などの設計に反映することで、より高い安全性を目指していきます。

以上

## 技術課題-2 概要調査段階における品質マネジメントの検討

### ～ 品質保証文書体系の整備 ～

#### 主な成果

地層処分事業においては、IAEA<sup>1</sup>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、事業の法定要件などへの適合性を確実にするとともに、事業に対するステークホルダーの信頼を深めるために、品質マネジメントに必要な文書を体系的に整備し適切に運営していく必要があります。

NUMOでは、概要調査における品質保証に関して、文書類の階層構造（図-1）を明確にしたうえで、国際規格 ISO9001 に準拠した品質保証基準、要領書、品質計画書に加えて、陸域および海域それぞれの調査技術に関する品質管理手引書を整備しています。2012年度は、専門家による技術レビューを通じて、これまでに整備した各文書について概要調査における運用性や技術的な妥当性の確認を行うとともに、海域の調査技術および地質環境モデル構築に関する品質管理手引書を新たに整備しました。

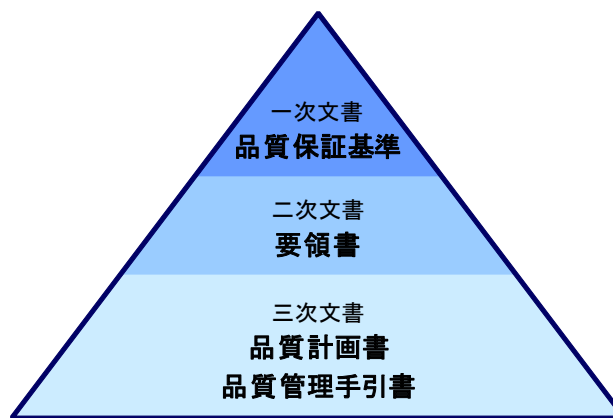


図-1 品質保証文書体系の構造

#### 1. 要領書および品質計画書の運用性の確認

2011年度までに作成した要領書および品質計画書について、品質マネジメントの経験を有する専門家による技術レビューを行いました。特に、当該文書とその上位文書との記載が整合しているのか、当該文書に規定された業務プロセス（例えば、誰が、どのような手順で、何を行うのか）や記録様式が適切であるのか、などに焦点を当ててレビューを行いました。その結果、それぞれの要領書および品質計画書に加えて、品質保証基準—要領書

<sup>1</sup> IAEA：国際原子力機関（International Atomic Energy Agency）。国際連合傘下の自治機関であり、原子力の平和利用を促進し、軍事転用されないための保障措置の実施をする国際機関。



一品質計画書の体系が概要調査において実際に運用可能であることを確認しました。

## 2. 陸域の調査技術に関する品質管理手引書の技術的妥当性の確認

概要調査で必要と考えられる調査技術のうち、2011年度までに陸域の調査技術を対象とした品質管理手引書を作成しました。この中には、地上からの調査に係る調査技術（地表踏査や物理探査など）やボーリング調査に係る調査技術（ボーリング孔掘削や単孔式水理試験など）が含まれています。

実際の概要調査では、地表調査およびボーリング調査ともに複数の調査技術を順にあるいは同時に実施することが想定されます。そのため、適用する調査技術そのものの品質管理だけでなく、関連する他の調査技術の品質管理に及ぼす影響についても考慮する必要があります。例えば、ボーリング孔の孔壁保護を優先させるための泥水掘削は、ボーリング孔内で実施する地下水採水や水理試験の品質に影響を及ぼすことが想定されます。このような観点から、2012年度は、現実的な作業手順において関連する調査技術の組み合わせおよび想定される影響を抽出し、各調査技術の品質管理手引書に考慮すべき事項として追記しました。また、改訂した品質管理手引書について、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。

## 3. 海域の調査技術および地質環境モデルに関する品質管理手引書の作成

概要調査において必要と考えられる調査技術のうち、海域の調査技術を対象とした品質管理手引書を新たに作成しました。また、地表調査およびボーリング調査の結果を踏まえて実施する地質環境モデルの構築について、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分野における品質管理手引書も新たに作成しました。これらの品質管理手引書についても、特に品質管理の項目・要点やチェック項目の妥当性などの観点から、当該分野の専門家による技術レビューを受け、その技術的な妥当性の確認を行いました。

### 今後の計画

陸域の調査技術に関する品質管理手引書については、精密調査技術の実証（技術課題-14）に適用し、その結果に基づいて適宜更新していきます。

また、2013年度は、これまでに整備した品質管理手引書について、地質環境特性の長期変遷の評価などの観点から拡充を図ります。これと併せて、品質保証に関する文書体系全体の技術的妥当性を専門家による技術レビューを通じて確認し、概要調査における品質保証に関する文書体系の整備を完了します。

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

～ 調査・解析情報および地質構造モデルの管理 ～

### 主な成果

精密調査地区選定段階では、地表踏査、物理探査、ボーリング調査などで取得した地質環境情報や解析結果、さらには、それらに基づき構築する地質環境モデルについて、網羅的かつ追跡性を持った管理が必要です。

2012年度に、このために必要な管理支援システムの整備に着手しました。基本システムを導入するとともに、必要なカスタマイズおよび NUMO の既存システムとの連携の検討を行い、次年度以降の作業方針を策定しました。

#### 1. 基本システムの導入

地質の三次元モデリングに用いられる一般のソフトウェアについて、下記項目について検討しました。

- ① 概要調査で取得する地質環境情報への対応
- ② データ解析機能の種類、他の解析ソフトウェアとの連携の容易さ
- ③ モデルデータ作成・三次元モデリングの容易さ
- ④ カスタマイズの容易さ、カスタマイズ後のアップグレードへの対応
- ⑤ 文献調査の解析・評価支援システムとして既に整備している“地質環境データ管理システム”との連携の容易さ

その結果、基本ソフトウェアとして、AutoCADを主体とした土木の設計・施工における三次元図面作成ソフトウェア、およびAutoCAD上で動作する三次元の地盤・地質モデルを作成するためのソフトウェア<sup>1</sup>を導入しました。

#### 2. 基本システムのカスタマイズの検討

導入した基本ソフトウェアにより、概要調査で取得する地質環境情報の管理や、それらに基づく地質構造モデル構築の管理ができるように、基本システムのカスタマイズを検討しました。

地質環境情報の管理に関しては、地表踏査、物理探査、ボーリング調査などで取得する地質環境情報について、データの種類や特性ごとに、データの入力からデータの解析までの一連の作業手順を整理しました。また、データの処理方法、データセットの作成方法ならびにデータの解析方法について検討しました。これらの結果に基づき、上記の作業支援

<sup>1</sup> 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社製の GEORAMA for Civil 3D およびそのプラットフォームとなる Autodesk 社製の Infrastructure Design Suite Premium 2013

およびデータ管理を行うための機能を基本システムへ追加することを今後の方針としました。

地質構造モデルの管理に関しては、モデル構築に必要となる地質環境情報や三次元モデル化の手順を整理し、基本ソフトウェアによるモデルデータ作成方法およびモデル化方法について検討しました。その検討結果に基づき、基本ソフトウェアで直接取り扱うことのできない地質環境情報を取り扱えるようにするための解析ソフトウェアを追加整備するとともに、さまざまな地質環境情報から総合的に地質・地質構造を解釈するための作業支援ができるように基本ソフトウェアをカスタマイズすることを今後の方針としました。

### 3. NUMO の既存システムとの連携の検討

既存の原環機構地理情報システム（NUMO-GIS）および地質環境データ管理システムに格納される文献情報および解析・評価情報について、新たに導入した上記の基本ソフトウェアへ入力・表示するために必要となるデータ処理方法や解析方法について整理しました。その結果に基づき、各システムにおいて、情報の共有ができる機能を基本システムに追加することを今後の方針としました。

また、地質構造モデルのモデル化プロセスについて、地質環境データ管理システムのプロセス管理機能を用いて管理・支援できるように、管理方法やシステムの連動方法を検討しました。その結果に基づき、プロセス管理機能とモデル化の手順、モデルデータの作成手順、関連する地質環境情報を連携できる機能を基本システムへ追加することを今後の方針としました。

## 今後の計画

今後は、上述の方針に従い、①基本ソフトウェアで未対応の地質環境情報の解析用ソフトウェアの追加、②地質環境情報の管理・支援のための基本システムへの機能追加、③地質構造モデルの管理・支援のための基本ソフトウェアのカスタマイズ、④NUMO の既存システムとの情報共有・モデル化プロセス管理のための基本システムへの機能追加を実施します。

以上

## 技術課題-4 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、2011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。

2004～2008年度に、主に将来10万年程度の期間を対象とする評価手法（ITM手法）を開発しました。ITM手法は、火山の位置や地球物理データなどの情報やモデルに基づき、広域的な領域中の5km四方の領域の火山活動と断層活動の発生確率を評価することができます。2009～2011年度には、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（TOPAZ手法）を開発しました。TOPAZ手法は、プレート運動や広域テクトニクスの変遷のシナリオ（RES: Regional Evolution Scenario）と、それに伴い5km四方のサイトで生じる事象の変遷に関するシナリオ（SES: Site Evolution Scenario）を構築し、ロジックツリーと専門家の意見を集約する手法を用いて確率論的な評価を行う手法です。

2012～2013年度は、ITM手法とTOPAZ手法の実用化に向けて、両手法を一連の流れで解析・評価が行えるように整備します。

#### 1. ITM-TOPAZ手法の整備

2012年度は、ITM手法とTOPAZ手法を組み合わせ、ITM-TOPAZ手法として一連の解析・評価を行うための考え方や流れを整理しました。さらに、将来の不確実性がより大きくなるような地域への適用に向けた検討を行いました。

まず、事例として、地質の年代が若くて温度が高いフィリピン海プレートの沈み込みに伴って、地下の岩盤や地殻構造（テクトニクス）の条件が複雑で変化が速い地域（中国地方）を対象に、長期変遷シナリオ構築に関する検討を行いました。およそ3千万年前からのフィリピン海プレートの運動や沈み込み状況などのテクトニクスに関する文献情報を分析し、将来100万年までの複数のRESとSESを構築しました（図-1）。また、火山の分布や重力・磁気などのデータに基づき、SESの対象となる5km四方の領域における火山の発生確率マップを作成しました（図-2）。

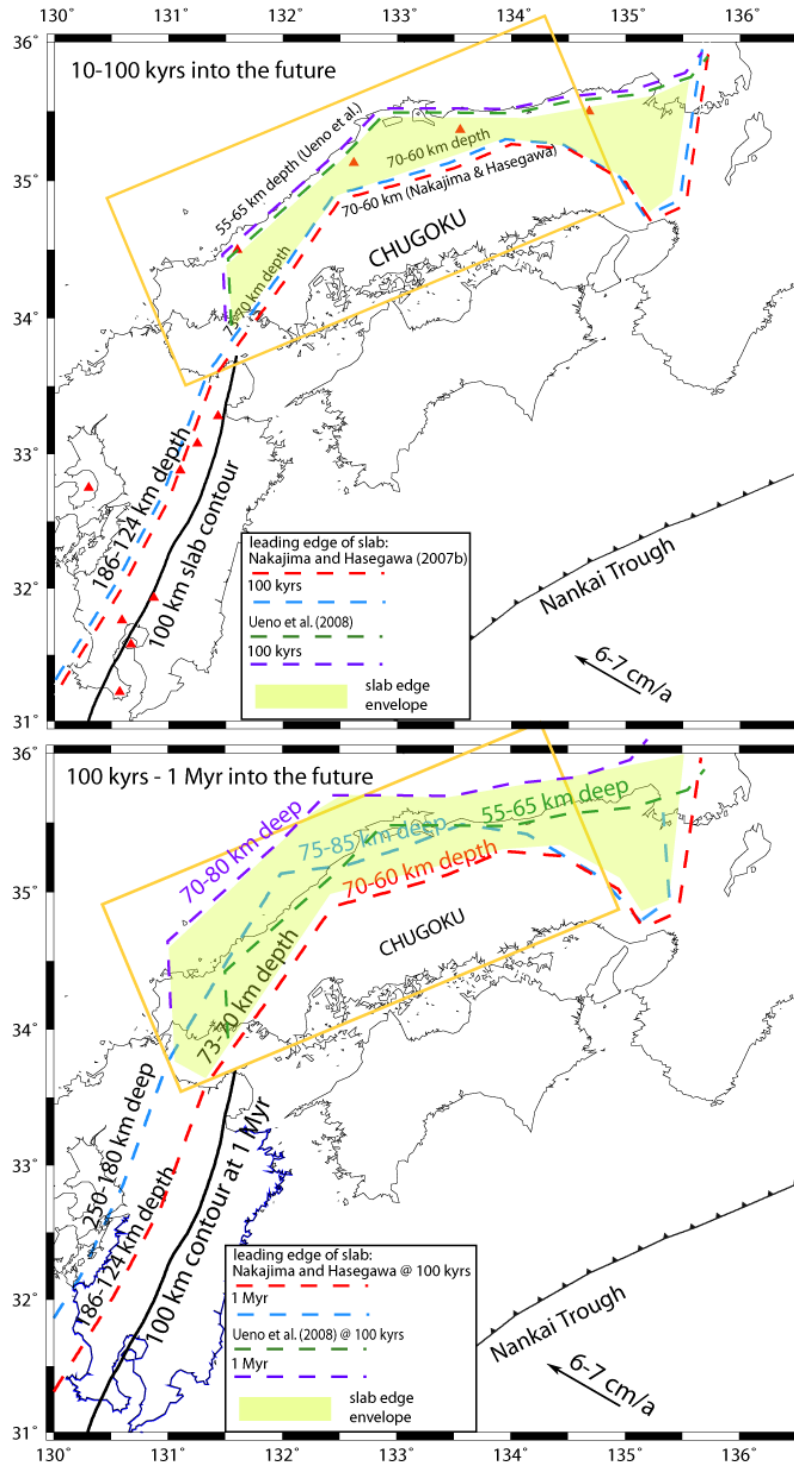


図-1 中国地方の RES (広域変遷シナリオ) の例

- RES1 (上) : フィリピン海プレートの先端位置が現在と同様 (先端部が溶融)。綠色部分が先端位置の取り得る範囲
- RES2 (下) : フィリピン海プレートの運動傾向が現在と同様 (先端が北上)。綠色部分がプレート先端位置の取り得る範囲

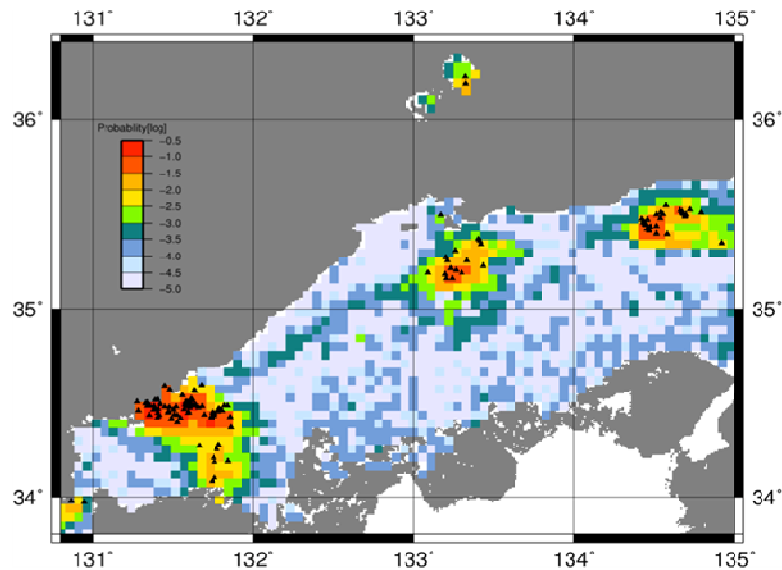


図-2 中国地方のSES（サイト変遷シナリオ）による火山の発生確率の例

（RES1の下で将来10万年間に5km四方の領域に新たな火山活動が生じる確率（火山位置と重力データを用いたITM手法による））

次に、太平洋プレートが斜め方向に沈み込むために多様な事象が生じている地域である北海道地方について、既存情報を収集・分析し、長期変遷シナリオ構築における留意点を整理しました。天然事象による5km四方の領域への影響シナリオについては、大規模な火山活動、断層運動による変形、隆起・侵食による地表への接近などによる地層処分システムへの影響に関するより具体的な検討を行いました。

以上の検討により、将来の天然事象による影響を評価するための方法や必要なデータを明らかにしました。

## 今後の計画

2013年度は、ITM-TOPAZ手法の信頼性を確認するために、より詳細なケーススタディを実施し、将来の不確実性がより大きくなる場合（テクトニクスが複雑、変化が速いなど）にも対応できるように必要な改良を行うとともに、これまでの検討成果を取りまとめます。

これまで検討対象としてこなかった隆起・侵食について情報を収集・分析し、将来100万年までの長期変遷シナリオを構築します。そして、火山活動と断層活動のシナリオで試験的に構築したロジックツリーについて、すべての天然事象のシナリオを組み込んだものを構築します。また、これまで試験的に適用した一部のシナリオに対する専門家の意見集約手法についても、新たに構築したロジックツリーを用いて演習を行い、これまでと同様に国内外の専門家の協力を得ながら手法の信頼性向上を図ります。

以上

## 技術課題-5 断層の水理特性の調査・評価技術

～ 現地調査, モデル化・解析, 体系化 ～

### 主な成果

米国ローレンスバークレー国立研究所（以下、LBNL という）との共同研究では、米国カリフォルニア州サンフランシスコ郊外のLBNLサイトを日本の新第三紀の付加体に類似する堆積岩の事例として、そこに存在する Wildcat 断層を対象とした現地調査を実施してきました。現地調査では、物理探査（電気探査、反射法弾性波探査）、地表踏査、トレンチ調査、ボーリング調査（鉛直孔3孔、傾斜孔1孔）を実施し、地質・地質構造の分布、断層の地質特性および水理特性を段階的に把握してきました。

2012年度は、地下水圧の季節変動などの影響を把握し、水理特性の解析結果および調査・評価手法の信頼性を向上させるために、ボーリング孔内の水圧モニタリング装置による計測を継続しました。併せて、これまでの検討成果の取りまとめに向けて技術検討会を開催し、専門家との意見交換を行いました。

#### 1. 水圧モニタリング

Wildcat 断層を跨ぐように配置した三つのボーリング孔（WF-1, WF-2, WF-3）の水圧変化を比較すると、WF-1は降雨の影響を大きく受けていますが、WF-2とWF-3は降雨の影響が小さいことが分かりました（図-1）。このことから、WF-1は、WF-2およびWF-3とは水理的に隔離された場にあることが示唆され、これまでの解釈の妥当性を確認することができました。さらに、乾季におけるWF-1の水圧降下の傾き（浅部の有効空隙率と下流域の透水係数に依存する傾き）を考慮したモデルで水頭分布のシミュレーションを実施しました。その結果、Wildcat 断層および地層の透水性の違いによる水理学的影響をより精緻に再現することができました（図-2）。

以上の検討により、概要調査の規模での水理場の評価に際しては、小さいスケールのデータ（例えば、個々の割れ目の透水性）を集めて統計学的にスケールアップする従来の方法だけでなく、長期モニタリングのデータを用いて、より大きなスケールの性状を把握する方法も有効であることが示されました。

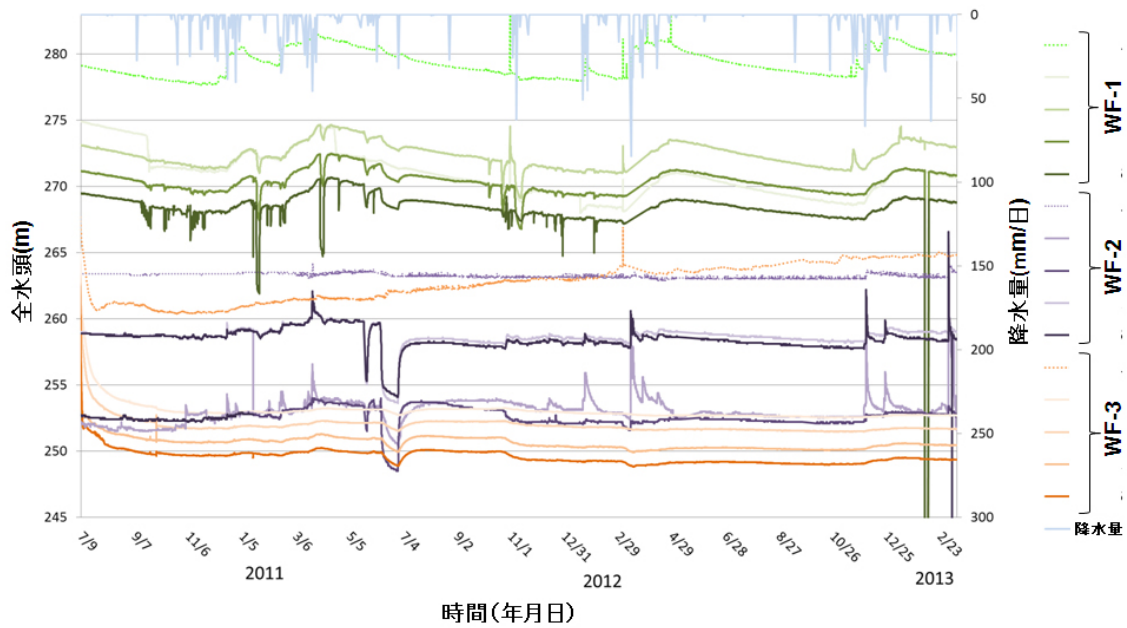


図-1 ボーリング孔 WF-1, WF-2, WF-3 の水圧モニタリング結果

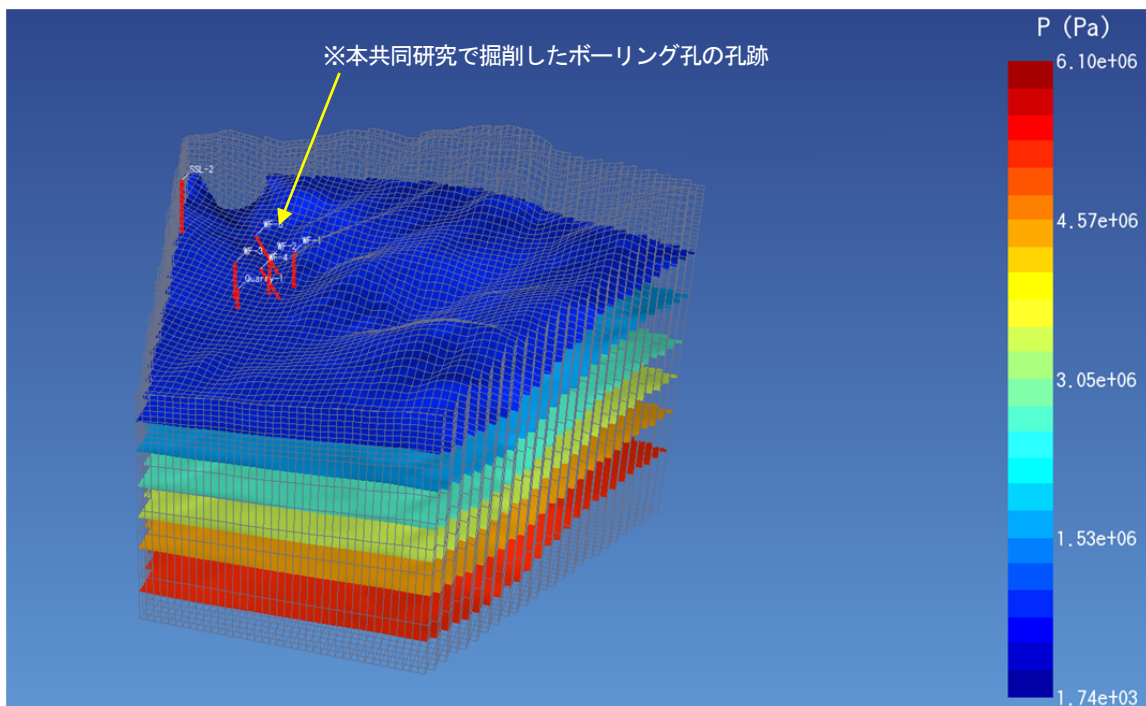


図-2 水圧モニタリング結果を踏まえた地下水流動解析結果の例（水圧分布）

## 2. 成果取りまとめ

成果の取りまとめに向けて、国内の水理および地質の専門家の協力を得て断層の水理特性の調査・評価手法に関する技術検討会を開催しました。この検討会では、本共同研究の成果および今後の課題、ならびに概要調査における断層の水理特性の調査・評価の考え方



について議論し、体系的な手法の構築と検証という目的の達成に向けて、次のように意見集約を行いました。

① 成果の取りまとめと今後の課題に関して

- ・ 水理特性評価の結果を踏まえて、この規模の断層が母岩の性能にどう影響するか、安全評価の観点から成果を取りまとめること。
- ・ 評価対象について、「この幅で不確実性があるが、最終的にはこれくらいの範囲に収まる」といった見通しを示すことにより、サイトの適格性の目安を示すこと。
- ・ 断層中の水みちの成因について、なぜそこが選択的な水みちとなり、他の場所では水みちはできにくいかを構造発達史と合わせて検討し、長期的な安全性を示すこと。
- ・ 計測値に合わせてキャリブレーションされた水理地質構造モデルによる予測解析の信頼性を検証すること。

② 断層の水理特性の調査・評価の考え方に関して

- ・ 断層には、水理的には高透水性を示し、一方で長い滞留時間を示すという二面性があるため、水理と物質移行の異なる観点からの評価を行うこと。
- ・ ボーリング孔で観測される亀裂だけでなく、その背後にあるより大きなスケールの水みちを支配している構造を捉えること。
- ・ 断層を貫くボーリング孔ではパッカーによる適切な区間設定が困難で品質の高い情報が得られない場合があるため、貫かずに間接的に評価することも考慮すること。
- ・ 地下水年代データは小さなスケールのさまざまな不均質性に左右されず、より均質で大きなスケールの場の特徴を示すと考えられ、モデルを評価するうえで重要であることから、概要調査では地下水年代測定の優先度を上げること。
- ・ 物理探査は広い範囲から抜け落ちなく情報を得られるという利点があることから、概要調査では積極的に活用すること。

以上の意見を踏まえて、今後の成果取りまとめ方針について検討を行いました。

## 今後の計画

2013年度は、これまでの成果を技術報告書として取りまとめます。また、精密調査地区選定段階の前半に行われる地上からの調査に向けた断層の水理特性の調査・評価技術に関する課題やその解決策に関する検討を行います。

以上

## 技術課題-6 人工バリアの施工に関する技術の検討

～ PEM方式による効率化と品質向上に向けた技術的検討 ～

### 主な成果

PEM<sup>1</sup>方式は、廃棄体、オーバーパック、緩衝材を鋼製の容器内に一体化したモジュール（以下、人工バリア一体化モジュールという）を地上で製作し、そのモジュールを地下施設に搬送・定置する方法です（図-1）。PEM方式は、地上で人工バリアの一体化モジュールを組み立てるため、緩衝材の品質管理が容易であり、高湿度などの地下環境の影響を受けにくい有力な方法です。また、定置オペレーションの時間短縮による作業費用の合理化などにも有効であると考えています。一方で、廃棄体と人工バリアを一体化することに伴い、重量物となること、坑道内での搬送中に立ち往生するなどのリスクが増大する可能性があること、また、鋼製容器などの残置物による閉鎖後長期への影響が未確認であることが課題となっています。

NUMOは、人工バリアの施工技術の効率化と品質向上を目的として、PEM方式の概念の高度化を進めるとともに、今後の技術開発の対象となるPEM方式の概略的な設計と長期安全性確保のための対策の検討を実施してきました。2012年度は、人工バリア一体化モジュールおよび搬送・定置装置類の概略的な設計を実施するとともに、複数のバリエーションから、今後の技術開発の対象とする基本形を選定しました（「人工バリア一体化モジュール」、「作業システム」、「閉鎖後長期のシステム状態」の分類の観点から、図-1のように適切に組み合わせて基本形としたもの）。

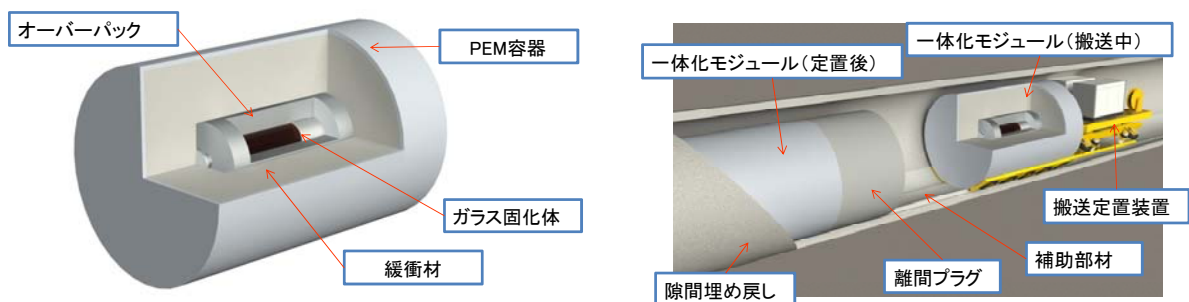


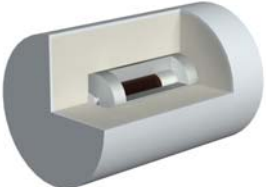

図-1 PEMシステムの構成要素

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

## 1. 人工バリアー一体化モジュールの検討結果

この検討では、人工バリアー一体化モジュールとして、表-1に示す、オーバーパック（廃棄体）を1体収納したケースおよび3体収納したケースについて、モジュールのサイズ、重量、モジュール表面での放射線量の低減効果について検討しました。

表-1 人工バリアー一体化モジュールの仕様

	1体収納	3体収納
概念図		
サイズ	φ 2,300～2,316mm × L 3,340～3,356mm	φ 2,300～2,316mm × L 7,140～7,164mm
重量	約 37.2 t	約 81.2 t

その結果、一体化モジュールにすることで、PEM表面の放射線量はオーバーパックを直接取り扱う場合の2000分の1程度に低減できることが分かりました。また、この結果は、モジュールに廃棄体を1体および3体収納した双方のケースで、ほとんど違いがありませんでした。従って、作業中のトラブル発生時にも、人が一体化モジュールにある程度近づいて作業することができ、また搬送定置車両が立ち往生した場合の回復作業なども容易になることが期待できます。

## 2. 操業システムの検討結果

2011年度までに、搬送・定置技術として、門型クレーンやエアベアリングの適用性に関する検討を行い、2012年度はこれらの装置の具体的な概念イメージを検討しました(図-2)。

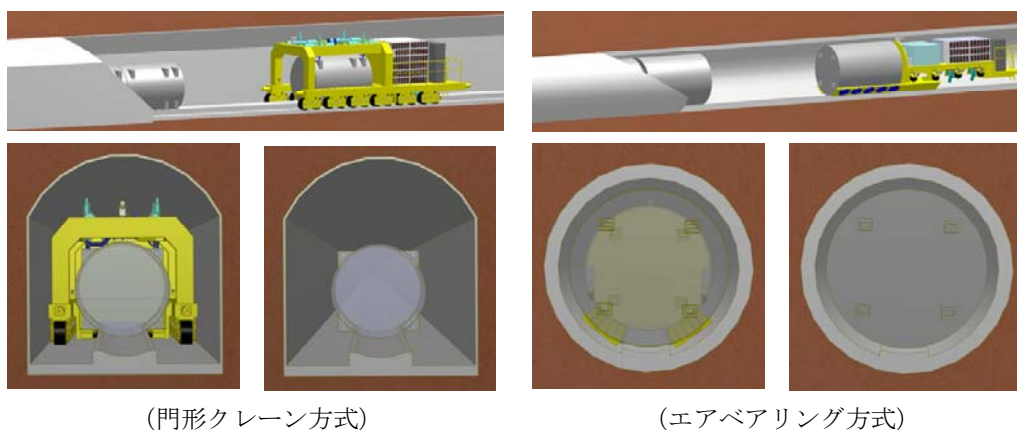


図-2 搬送定置装置と坑道断面

いずれの方法でも、搬送・定置は坑道床面の中央に備えたモジュール定置用台座をガイドとして走行することができるようにしました（モノレールのような仕組み）。また、鋼製レールを採用しない方法とすることで、2010年技術レポート（NUMO, 2011c）に示した坑道概念に比べ、支保の使用量を大幅に低減し、閉鎖後の残置物の量を6割低減できることが分かりました。さらに、回収方法についても検討した結果、隙間埋め戻し材や端部プラグなどが設置された段階では、回収の手順は複雑化しますが、技術的には実現可能であるとの見通しを得ました。

### 3. 閉鎖後長期のシステム状態の検討

PEM方式の採用に当たっては、操業技術としての成立性だけではなく、閉鎖後長期の安全性が確保されることも確認する必要があります。そこで、ガラス固化体からの発熱を考慮して化学影響シミュレーションを実施しました。温度70°Cの条件で、コンクリート支保（OPC：普通ポルトランドセメント）やPEM容器（炭素鋼）などの残置物が緩衝材などの人工バリアの性能に影響を及ぼす範囲について検討しました。その結果、コンクリート支保による緩衝材（ベントナイト）の変質の程度に対して、埋め戻し材（ベントナイト）への影響は表面の数cm程度の限定的な範囲にとどまること、また、PEMの鋼製容器が緩衝材へ影響を及ぼす範囲は数mm程度であることが分かりました。隙間埋め戻し材は高い密度で締め固められているため、低透水性の機能は維持されます。また、これらの反応に伴い、①PEM容器－緩衝材界面、②隙間埋め戻し材－PEM容器界面、③支保－隙間埋め戻し材界面、それぞれの空隙が二次鉱物の沈殿により閉塞するため、①、②の界面は数十年、③の界面は数百年以降反応が進展しないという結果が得られました。以上の解析結果により、残置物が化学的に影響を及ぼす範囲は限定的であることが分かりました。また、さらなる対策として、緩衝材の温度が極端に高温にならないように離隔距離を設定すること、コンクリート支保に低アルカリ性セメントを採用することなどにより、影響をさらに低減できる見通しが得られています。

#### 今後の計画

2年間にわたる検討によって、PEM方式の仕様と操業方法を従来よりもさらに具体化し、今後NUMOが技術開発を進めるPEM方式の基本形を定めました。今後は、縦置き・ブロック定置方式や、横置き・原位置施工方式との比較検討のうえで、精密調査の後半に建設する地下調査施設における実証試験を見据えて、PEM方式の実現性のさらなる向上に向けた技術開発を実施します。

以上

## 技術課題-7 地震動評価・耐震性評価技術の検討

～ 常時解析手法・深部地下構造の影響・地中震度の検討 ～

### 主な成果

2012年度は、事業期間中における地下施設での地震時の挙動を解析するための前提条件である常時の状態を適切に評価することを目的に、坑道の掘削に伴う岩盤のゆるみの影響を考慮する方法を検討しました。また、地下深部の地質構造が傾斜地盤や凹凸などの不整形性を有する場合について、二次元有限要素法解析（二次元 FEM 解析）を用いて地中の地震動に及ぼす影響について検討しました。さらに、観測された地震記録や数値解析によるケーススタディの結果から、300m より深い地盤の震動性状について分析して、静的設計に用いる震度について検討しました。

### 1. 常時解析における検討

これまでの検討によって、坑道やその周辺岩盤の地震時の安定性を評価する際には、地震時の初期状態、すなわち初期地圧と掘削の影響を受けた常時の応力やひずみの状態を適切に評価することが重要であることがわかっています。そこで、常時の状態を評価するために、線形解析、非線形弾性解析、および弾完全塑性解析を用いて、掘削時の応力・ひずみ状態を適切に評価する方法や、ゆるみ領域の考慮方法について検討しました。その結果、弾性状態と非弾性状態が明瞭であり、かつ塑性領域も明瞭であること（図-1）などの理由から、岩盤の応力やひずみの状態、ゆるみ領域（塑性領域）の評価に最も適している解析手法が「弾完全塑性解析」であることが分かりました。

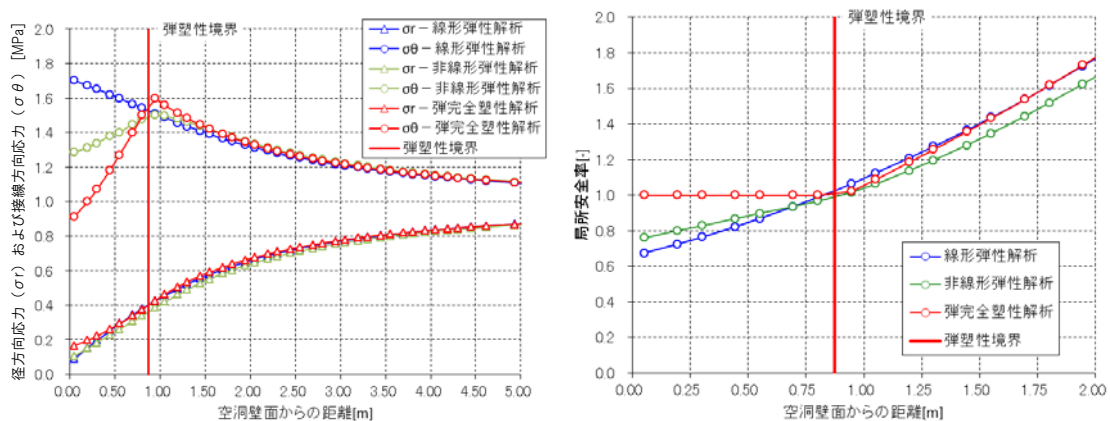


図-1 空洞周辺の応力（左図）、局所安全率（右図）の分布

## 2. 地下深部の地質構造の影響検討

地下深部の傾斜地盤や凹凸などの不整形性を想定したモデルケースについて、二次元 FEM 解析を用いて地中の地震動に及ぼす影響について検討しました (図-2)。その結果、次のことが分かりました。

- ・ 同一深さでも場所により最大加速度や最大せん断ひずみが増加する (同図(b))。
- ・ 今回の検討範囲では、不整形性の影響は主として 1Hz 以上の振動数帯域に現れ、0.5Hz 以下の低振動数帯域では相対的に影響が小さい (同図(c))。
- ・ せん断ひずみは、加速度よりも低振動数成分が卓越しているため (同図(d))、せん断ひずみに対する不整形構造の影響は、加速度に対するものよりも小さい。

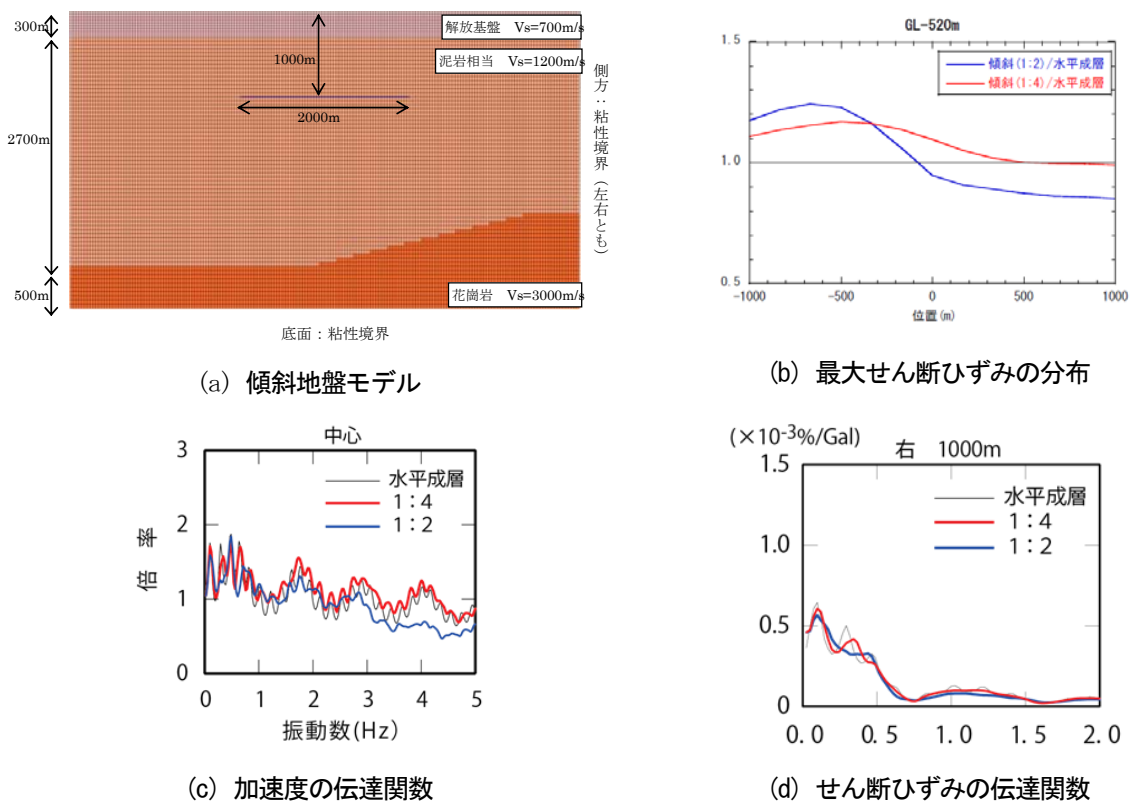


図-2 地下深部の不整形性が地震動に与える影響の解析

## 3. 静的設計震度の検討

300m より深い大深度の地中構造物に適用するための静的な設計震度については、実績のある方法がありません。そのため、地中で観測された地震波形を分析し、数値解析によるケーススタディを行い、静的設計に用いるための合理的な設計震度について検討しました。独立行政法人防災科学技術研究所の KiK-net 地震観測記録を用いて、地表と地中の地震波形を再現できるように地盤物性 (せん断波速度  $V_s$ , 減衰定数  $h$ ) を同定して作成した一次元地盤モデルなどで、地中の地震動の分布を計算しました。その結果、最大加速度は、

地下深部（例えば  $V_s \geq 700\text{m/s}$  の上面から 100m 以上深い場所）では深さ方向に大きな変化がなく、地表付近で増幅することが分かりました（図-3(a)）。

大深度の地盤震動は地表面に比べて小さいことから、耐震設計に用いる地中震度は、地中での低減を考慮することが合理的であると考えられます。そこで、地中震度の低減を考慮した既往モデル（佐藤ほか，1988）について、大深度の地盤への適用性について検討しました。その結果、1)深さ方向の震度分布を一様とした場合には、動的解析の結果と比較して地盤に発生するせん断応力が著しく過大になる、2)深さ方向に震度の低減を考慮した既往モデルを用いた場合には、一様分布の場合に比べて改善されるものの、まだ動的解析に比べて過大評価となるといったことが分かりました（図-3(b)）。今後、これらの結果を踏まえて、地中震度の低減方法についてさらに検討を行う必要があることが分かりました。

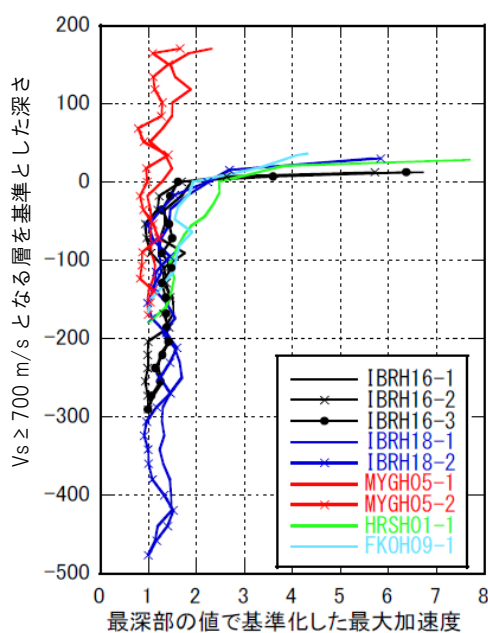


図-3(a) 最大加速度の深度方向分布（凡例は、本検討で参照した KiK-net 地震観測記録の地点 ID）

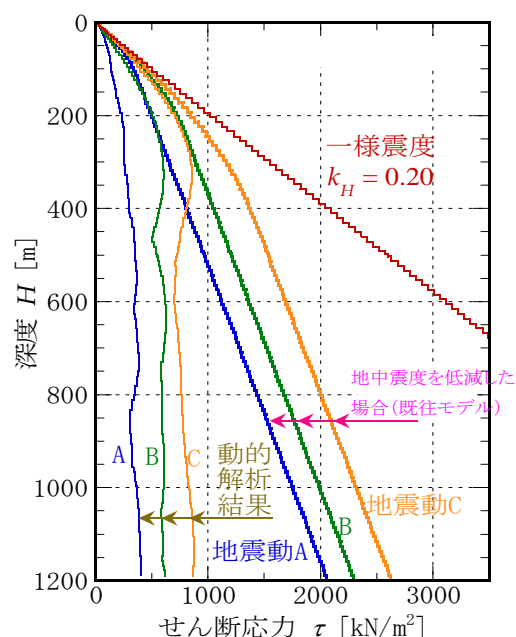


図-3(b) 地盤の最大せん断応力の深度方向分布（地中震度が一様な場合と深度方向に低減した場合について動的解析結果との比較）

### 今後の計画

今後は、常時の解析における応力とひずみの評価結果を踏まえて、地震応答解析におけるその影響の考慮方法について検討を行います。また、地中震度の低減方法について引き続き検討を進めます。そして、三次元解析手法に関するケーススタディを行い、説明性の高い手法の検討に着手する予定です。

以上

## 技術課題-8 地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の検討(1)

～ 多様な地質環境に対して頑健性を確保可能な処分概念の検討 ～

### 主な成果

地層処分低レベル放射性廃棄物に関して、2011年に、それまでの検討成果を取りまとめた技術報告書「地層処分低レベル放射性廃棄物に関わる処分の技術と安全性」(NUMO, 2011a)を公表しました。この報告書では、処分事業をより一層安全確実に、かつ合理的に行うための重要な課題として、「廃棄体グループ分類<sup>1</sup>の見直し」、「短期の閉じ込め機能を有する廃棄体パッケージ概念の設計」、それらに基づく「処分場の設計の見直し」を提示しました。ここで、処分場の設計の見直しには、上記報告書で提案した高度化概念の採用を考慮した設計の見直しも含まれています。この高度化概念は、高透水環境において処分の頑健性を確保するために提案されている概念です。具体的には、グループ1に対する低溶出性廃棄体の採用、グループ2に対する長期(6万年程度)の閉じ込め機能を有する廃棄体パッケージの採用、グループ3および4に対する緩衝材の設置を意味します。

2011年度より2ヶ年の計画で、「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性と評価の信頼性をより一層高めることができる処分概念を地質環境に応じて具体的に示すこと」を目的とした検討を実施しました。この検討においては、地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の一部を見直すとともに、安全性に関する再評価を実施しました。既存の処分概念の見直しにおいては、上記の技術報告書に示した課題に対する検討を行いました。また、安全性に関する再評価においては、評価の十分性と安全性の裕度を定量的に提示可能な新たな評価手法に基づき、地下水シナリオを対象として、多様な地質環境条件ごとに、見直した処分概念の安全性を評価しました。

### 1. 地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の見直し

2011年度までに廃棄体グループ分類の見直しと、短期の閉じ込め機能を有する廃棄体パッケージ概念の設計を行いました。2012年度に行った、高透水環境に対する高度化概念の採用を考慮した処分場設計の見直しでは、地質環境を低透水性(透水係数  $2.0 \times 10^{-10}$  m/s)と高透水性( $2.0 \times 10^{-7}$  m/s)に分類し、それらに対応する人工バリア概念を設定しました。低透水性に対する人工バリア概念としては、既存の処分概念をもとに短期の閉じ込め機能(鋼製パッケージ)を採用した概念を想定しました。また、高透水性に対する人工バリア概念としては、高度化概念をベースとして短期の閉じ込め機能を採用した概念を想定しました(高度化概念によって長期閉じ込めが考慮されている廃棄体グループ2を除く、廃棄

<sup>1</sup> 廃銀吸着材を主要な廃棄物とするグループ1, ハル・エンドピースを主要な廃棄物とするグループ2, 硝酸塩を含む廃棄物をまとめたグループ3, そのほかの廃棄物をまとめたグループ4の四つのグループに分類されています。



体グループ 1, 3, 4 が対象)。これらの検討では、発熱性に着目して廃棄体の定置密度を小さくするケース、パッケージにコンクリート製容器を採用したケースなどを考慮しました。

これらの検討ケースに基づき、処分場の設計の見直しを行いました。具体的には、短期の閉じ込め機能を有する廃棄体パッケージや高度化概念の採用、さらには、高発熱性廃棄体の影響を考慮した人工バリアの幾何形状（緩衝材の厚さ）の変更に応じて、坑道断面当たりの廃棄体定置数や坑道離間距離の変更などの見直しを行いました。

## 2. 見直した処分概念の多様な地質環境条件に対する安全性の評価

1.で見直した処分概念や設計を踏まえて安全評価を行いました。安全評価では、論拠に基づいて評価の十分性を提示し、かつ安全性の程度を定量的に提示するプロセスを新たに加えた安全評価手順を採用しました。このプロセスの中には、処分システムの応答特性の把握が含まれています。この応答特性の把握の例として、処分の安全性に影響を与える人工バリアの幾何形状の変化と核種放出率の関係や、人工バリアの透水性の変化と核種放出率の関係についての知見を解析的に整理しました。

安全評価において、緩衝材の透水性は核種の移行抑制性能を示す重要な特性です。緩衝材の劣化に伴い、その透水性が変化することが懸念されていることから、これまでさまざまな条件下での透水係数の取得や、その特性を把握するための検討が行われています。従って、人工バリアからの核種放出に対して有意な影響がある透水係数の変動範囲や、関連する条件をあらかじめ定量的に把握しておくことは、これらに関する研究を効率的に実施するうえで極めて重要です。

そこで、解析解（理論解）を用いた検討を行い、緩衝材の透水性の変化が放出率に影響を及ぼす条件をまとめました。この条件は、人工バリア内の地下水流量  $Q_d$  と掘削影響領域の地下水流量  $Q$ 、および人工バリアからの核種放出の応答特性の区分値  $Q'_{th}$ （人工バリアからの核種放出率が掘削影響領域の地下水流量の増加に対して応答しなくなる、掘削影響領域の地下水流量の値）の大小関係を用いて、以下のようにまとめられました。

- ・緩衝材の透水性の変化が放出率に影響を及ぼす条件 ( $Q'_{th} < Q_d < Q$ )
- ・緩衝材の透水性の変化が放出率に影響を及ぼさない条件 ( $Q_d < Q < Q'_{th}$  または  $Q_d < Q'_{th} < Q$ )

この関係は、人工バリア内の地下水流量  $Q_d$  が、人工バリアからの核種放出の応答特性の区分値  $Q'_{th}$  より小さい条件の場合、緩衝材の劣化などによる透水性の変化が生じて、人工バリアからの核種放出率に影響を与えないことを意味します。

これらの結果の妥当性を確認するため、数値解析コードを用いた核種移行解析を行いました。母岩が低透水性である場合と高透水性である場合を想定し、緩衝材の透水係数の変化と人工バリアからの核種放出率の関係を解析した結果を表-1 に示します。同表より、緩衝材内の地下水流量  $Q_d$  が  $Q'_{th}$  より大きい場合（表-1 の黄色でハッチングした 2 ケース）のみ、緩衝材の透水係数の増加によって最大線量が大きく増加しています。それ以外のケース、すなわち緩衝材内の地下水流量  $Q_d$  が  $Q'_{th}$  より小さくなる場合は、緩衝材の透水係

数が  $10^{-12}\text{m/s}\sim 10^{-5}\text{m/s}$  のオーダーで変化しても、最大線量はほとんど変化しないことが分かります。すなわち、上述した理論解から得られた関係の妥当性が示されています。

これらの知見は、今後の人工バリアの設計や、個別現象の理解にかかわる研究の効率的な実施に資する重要な情報と考えます。

表-1 緩衝材の透水性の変化と核種放出率の関係

透水係数 [m/s]				動水勾配	流量 [m <sup>3</sup> /yr]		Q' th	人工バリアからの核種放出率 [Bq/yr]	最大線量 [Sv/yr]	
充填材	緩衝材	掘削影響領域	母岩		緩衝材 (Q <sub>d</sub> )	掘削影響領域 (Q)				
2E-12	2E-8	2E-10	0.01	1.35E-05	5.62E-02	1.69E+00	4.71E+09	1.98E-06		
2E-11				1.35E-04	5.62E-02				4.71E+09	1.98E-06
2E-10				1.32E-03	5.62E-02				4.72E+09	1.98E-06
2E-9				1.08E-02	5.65E-02				4.76E+09	1.99E-06
2E-8				3.82E-02	5.73E-02				4.90E+09	2.02E-06
2E-7				5.12E-02	5.77E-02				4.97E+09	2.04E-06
2E-6				5.30E-02	5.78E-02				4.98E+09	2.04E-06
2E-5				5.32E-02	5.78E-02				4.98E+09	2.04E-06
透水係数 [m/s]				動水勾配	流量 [m <sup>3</sup> /yr]		Q' th	人工バリアからの核種放出率 [Bq/yr]	最大線量 [Sv/yr]	
充填材	緩衝材	掘削影響領域	母岩		緩衝材 (Q <sub>d</sub> )	掘削影響領域 (Q)				
2E-12	2E-5	2E-7	0.01	1.35E-05	5.62E+01	1.69E+00	1.16E+11	2.02E-04		
2E-11				1.35E-04	5.62E+01				1.16E+11	2.02E-04
2E-10				1.35E-03	5.62E+01				1.16E+11	2.02E-04
2E-9				1.35E-02	5.62E+01				1.16E+11	2.03E-04
2E-8				1.35E-01	5.62E+01				1.22E+11	2.10E-04
2E-7				1.32E+00	5.62E+01				1.78E+11	2.88E-04
2E-6				1.08E+01	5.65E+01				7.77E+11	8.42E-04
2E-5				3.82E+01	5.73E+01				2.78E+12	1.98E-03

上段：母岩が低透水性（透水係数  $k=2.0\times 10^{-10}\text{m/s}$ ）の場合，下段：母岩が高透水性（透水係数  $k=2.0\times 10^{-7}\text{m/s}$ ）の場合

このような処分システムの応答特性の理解に基づき、重要なシナリオ、解析ケースを設定した安全評価を行いました。その結果、水理条件の変動に応じた安全裕度、あるいは効果的に安全性を向上させるための対策について、廃棄体グループごとに、既存概念の場合、高度化概念の場合のそれぞれにおいて把握することができました。

## 今後の計画

新たな安全評価手順に基づく安全性の評価を行い、多様な地質環境においても処分の安全性と評価の信頼性をより一層高めることができる処分概念を地質環境に応じて具体的に示しました。今後は、地層処分低レベル放射性廃棄物の安全な処分の実現性を向上させるため、人工バリアの設計などを具体化していく予定です。

以上

## 技術課題-9 地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の検討(2)

### ～ 廃棄体への要求事項の検討 ～

#### 主な成果

地層処分低レベル放射性廃棄物処分の作業時における、廃棄体からの放射性物質の閉じ込め性の確保に重点をおいて、閉じ込め性を損なう恐れがある事象の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数値解析により評価しました。その結果に基づき、生起する現象の因果関係を分析し、放射性物質の閉じ込め性の確保のための複数の対応方針を設定しました。

#### 1. 閉じ込め性を損なう恐れがある事象の発生状況下における状態の評価

廃棄体の特性を考慮に入れて、作業中に放射性物質の閉じ込め性を損なう恐れがある事象として、「廃棄体パッケージの落下による廃棄体パッケージおよび廃棄体の破損」、「外部から廃棄体パッケージへの熱の供給による廃棄体温度の上昇」ならびに「放射線分解ガス(水素ガス)に起因する廃棄体パッケージの破損」を設定しました。

ここでは、「廃棄体パッケージの落下による廃棄体パッケージおよび廃棄体の破損」の評価事例を示します。評価の解析条件は次のとおりです(解析モデルを図-1に示します)。

- ・解析対象 : コンクリート製パッケージ(ドラム缶収納)
- ・落下高さ : 6.0 m
- ・床面 : コンクリート床版
- ・モデル化の範囲 : パッケージ躯体, 鉄筋, ドラム缶, セメント固化体

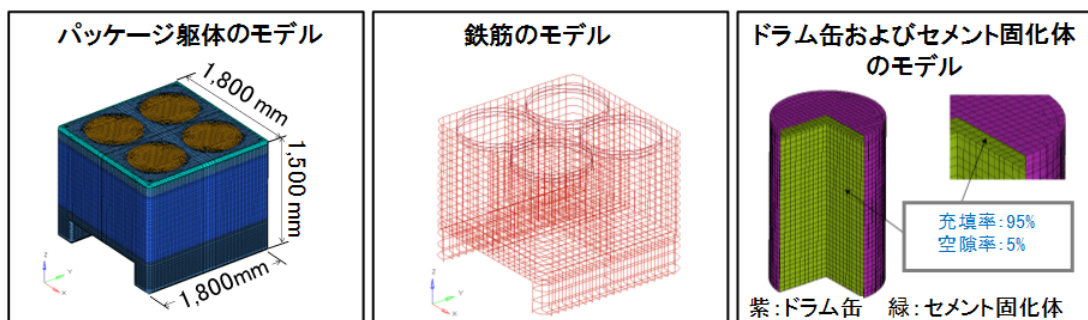


図-1 数値解析で用いたモデル

廃棄体パッケージ落下時の状態の評価結果として、図-2はパッケージ躯体のクラック発生状況、鉄筋のひずみ分布状況および廃棄体(ドラム缶)のひずみ分布状況を示しています。同図のとおり、廃棄体パッケージには躯体を貫通するクラックが生じますが、鉄筋が破断に至らないため、パッケージが割れて内部に収納された廃棄体が外部に放出されるこ

とはないものと考えられます。また、廃棄体パッケージに収納されたドラム缶の損傷は限定的です。これは、廃棄体パッケージが破壊する際に、廃棄体パッケージ自身が衝突エネルギーを吸収するためであると推測されます。

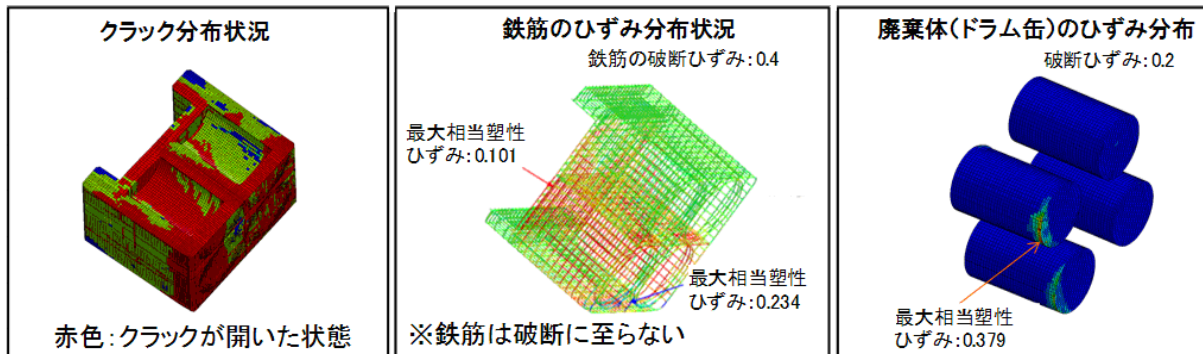


図-2 廃棄体パッケージ落下時の状態評価結果

## 2. 生起する現象の因果関係の分析に基づく対応方針の検討

放射性物質の閉じ込め性を損なう恐れがある事象が発生した時に、生起する現象とその因果関係を分析することにより、閉じ込め性の確保のための対応方針を検討しました。図-3に廃棄体パッケージの落下時を対象とした因果関係と対応方針の検討結果を示します。

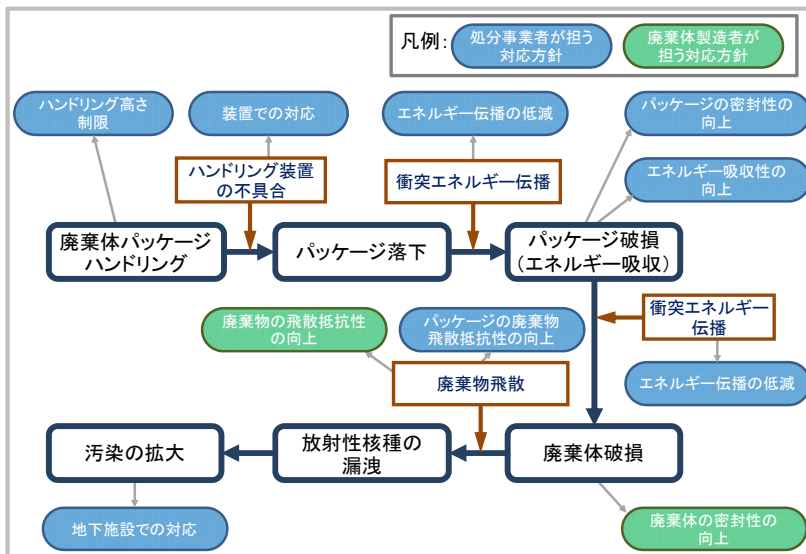


図-3 廃棄体パッケージ落下時に生起する現象の因果関係と対応方針

## 今後の計画

今後は、2012年度に抽出した放射性物質の閉じ込め性の確保のための対応方針に基づき、廃棄体製造者が担うべき対応策と処分事業者が担うべき対応策の双方を具体的に検討します。そして、それぞれの対応策について合理性を評価し、合理性が最も高いと考えられる対応策を選択・提示し、廃棄体に要求する事項を明確にする予定です。

以上

## 技術課題-10 シナリオ構築技術の検討(1)

～ ニアフィールド領域における人工バリアの長期挙動評価に関する検討 ～

### 主な成果

本検討においては、人工バリアの長期的な変遷を科学的な知見に基づいて予測するために、人工バリア材料自身の変質とバリア材料間で起こる相互作用に着目し、その状態変遷プロセスについて、因果関係が明確になるよう整理してまとめました。また、人工バリアの長期挙動に関する知見を拡充するため、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材、セメントならびに母岩に関して、それぞれの変質や材料間の相互作用による変質に関する実験データなどを取得しました。

#### 1. オーバーパック－緩衝材相互作用に関する検討

オーバーパックの材料である炭素鋼が腐食することにより、磁鉄鉱やシデライトなどの腐食生成物が生成します。これら二次鉱物の生成や炭素鋼から浸出した鉄イオンと緩衝材の相互作用により、本来緩衝材に期待されている膨潤性や化学的緩衝性などの物理的・化学的性能が十分に発揮できなくなる可能性が懸念されます。そこで、オーバーパックの緩衝材への影響について定性的かつ網羅的に把握したうえで、長期的な状態変遷を定量的に解析し、その影響を評価することが必要となります。本検討では、炭素鋼と緩衝材材料であるベントナイトの境界面で起こっている反応のメカニズムやその空間的な影響範囲などを詳細に検討しました。その結果を特徴的な状態の変遷が継続する時間ごとに区切り、オーバーパックと緩衝材それぞれの性能に与える影響を部材ごとに整理してまとめました。人工バリア全体で起こっている状態変化を把握するために、状態変遷プロセスを定性的に表現したストーリーボードの一例を図-1 に示します。

同図は、主に人工バリアに期待されている性能に影響を与える可能性のある現象・プロセスを中心に表現しています。鉄 (Fe) と緩衝材 (ベントナイト) が接している時間経過を、①定置・埋め戻し段階 (初期状態)、②再冠水までの過度期、③定常期 (安定な化学反応段階) の三段階に区分しました。図-1 は③の定常期の状態を示したものです。考慮すべき現象については、その性質によって熱－水理－応力 (力学)－化学に区分し、部材ごとに状態の変遷プロセスを示しました。図-1 から、熱による影響は定常期には問題とはならない一方で、腐食生成物による水みちの閉塞などの影響により水理状態が変化することが示されています。腐食による減肉でオーバーパックの強度低下が懸念されると同時に、緩衝材側も応力再分配の影響で密度が変化する可能性があります。化学的な反応が進展することで、オーバーパック・緩衝材それぞれで透水係数や核種の遅延性能に変化が生じます。これら個々の現象が複合的に起こっている状態を定量的に解析することが、安全評価の上

で重要と考えられます。

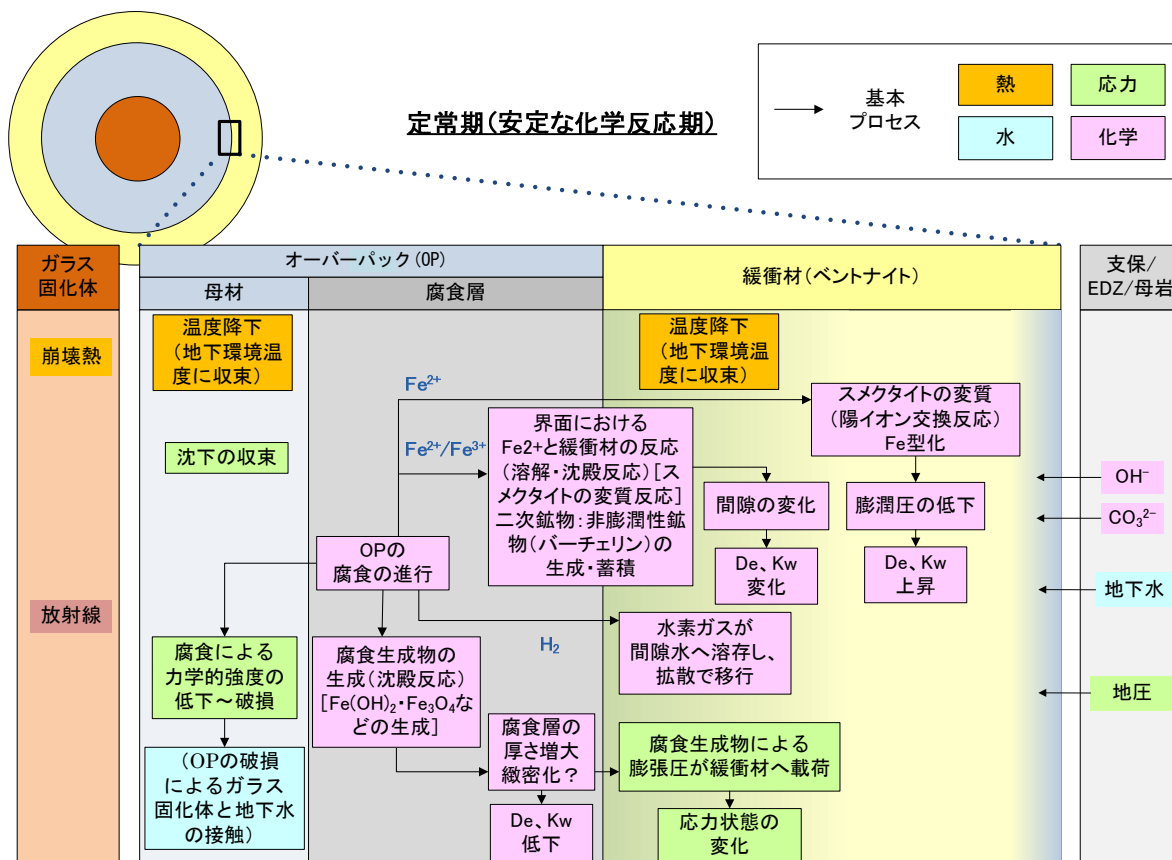


図-1 オーバーパック-緩衝材相互作用を表現したストーリーボード (定常期)

## 2. 人工バリアの状態変遷に関する検討とデータ取得

オーバーパック-緩衝材の相互作用以外にも、2011年度までにまとめたセメント-緩衝材境界での状態変遷と過渡期における再冠水挙動に関するストーリーボードについて、安全評価上のシナリオ構築のための状態設定に必要な科学的論拠を拡充し、信頼性を向上させました。ガラス固化体からの放射性物質(核種)の浸出挙動に関しては、科学的知見に基づいて設定した状態変遷シナリオに沿った解析を用いた性能評価モデルについての検討を実施しました。処分場の環境によっては放射性物質の移行挙動への影響が考えられるコロイド・有機物・微生物については、国内外の最新の知見を収集するとともに、諸外国の安全評価における影響の取り扱い方針について調査し、取りまとめました。また、人工バリアの長期挙動に関する知見の拡充や、人工バリアの状態変遷の概念や安全性評価の科学的信頼性の向上に向けて、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材、セメントならびに母岩に関して、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などを取得しました。

## 今後の計画

処分システムを構成する人工バリア材料やセメント系材料の長期変質，およびこれら材料間の相互作用による長期変質に関して，ストーリーボードの拡充と高度化を進めます。今後は変質の広がりや安全機能への影響を定量的に把握し，ニアフィールド領域の状態設定や安全評価に反映させます。得られた知見については，人工バリア材料やセメント系材料の選定など，処分システムの設計に反映させます。

以上

## 技術課題-11 シナリオ構築技術の検討(2)

### ～ 処分場の地下施設に適用するセメント種類の設定 ～

#### 主な成果

処分場の地下施設を構成する各構造物に適用するセメントの種類の設定では、各構造物に要求される特性に合致するセメントを選定することが必要です。本検討では、工学的成立性と長期安全性確保の観点から各構造物に要求される特性と、セメント影響評価における不確実性要因に対する感度特性を考慮に入れて、セメント種類の選定方法を検討しました。なお、選定の対象は、処分孔縦置き方式の処分坑道周辺の構成要素とし、候補とするセメントは四種類の既存のセメントとしました。選定においては、マルチクライテリア分析手法<sup>1</sup> (杉山・長谷川, 2006) を用い、その結果、処分坑道周辺の構成要素について、候補となるセメントを提示することができました、セメント選定の流れを図-1 に示します。

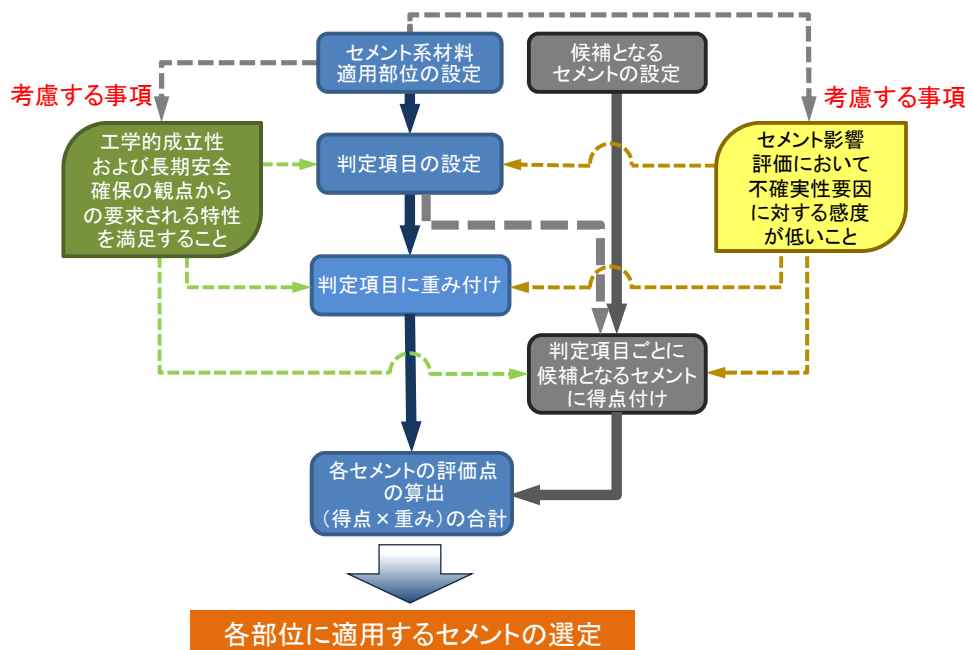


図-1 セメント選定の流れ

#### 1. セメント影響評価における不確実要因に対する感度の分析

地層処分場にセメント系材料を用いる場合には、数値解析手法を用いたセメント影響による処分システムの安全機能への影響評価が不可欠です。影響評価解析においては、さまざまな不確実性が存在するため、評価結果はこの影響を受けることになります。従って、

<sup>1</sup> マルチクライテリア分析手法: 複数の選択肢の中から最適なものを選択する際に用いる手法の一つ。選択の際に考慮する判定項目を設定し、判定項目ごとに各選択肢に得点を配分する。さらに、選択者の戦略を反映した考え方にに基づき、判定項目に重み係数を設定し、得点に重み係数を乗じたものを合計した数値により、選択肢の中から最適なものを判断・選択する。



影響評価結果を踏まえて設計を行う際には、候補となるセメントの不確実性要因への感度を把握し、これを考慮に入れることが重要です。

本検討では、既存のセメントを対象として、複数の不確実性要因に対して幅を持った値を設定し、感度解析を実施しました。そして、その結果の変動幅を評価しました。対象とするセメントとして、普通ポルトランドセメント (OPC)、アーウィン系セメント (LAC)、フライアッシュ高置換率混合型シリカフェームセメント (HFSC)、フライアッシュ混合ポルトランドセメント (FAC) を設定しました。

図-2 は、セメント硬化体のカルシウム (Ca) 溶脱挙動について、解析メッシュサイズを影響評価における不確実性要因と考え、同要因についての感度解析を実施した結果を示したものです。なお、数値解析には化学平衡-物質移行連成解析コード CCT-P (Sugiyama, 2012) を用いました。結果のばらつきについて変動係数を求めて評価したところ、FAC が解析メッシュサイズという不確実性要因に対して比較的感度が低い材料であることが分かりました。

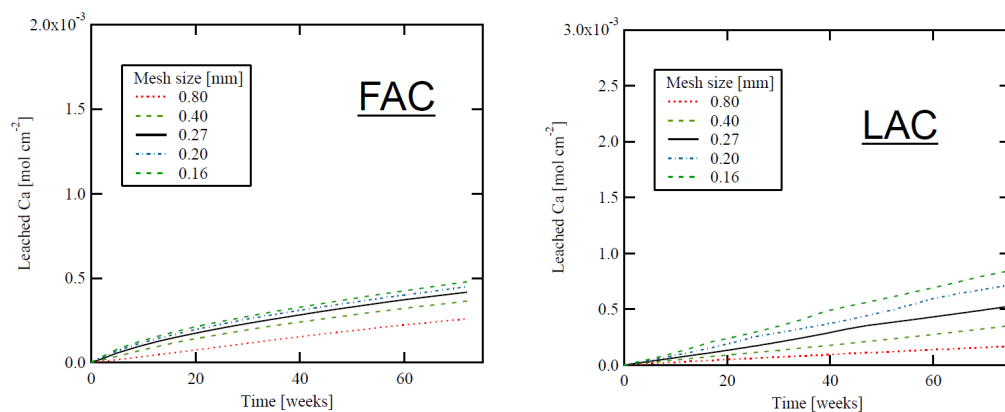


図-2 不確実性要因（解析メッシュサイズ）に対する感度解析の例（左：FAC，右：LAC）

## 2. マルチクライテリア分析手法を用いたセメント種類の選定

図-1 に示したように、マルチクライテリア分析手法においては、①判定項目の設定、②判定項目の得点付け、③判定項目の重み付けが必要です。

判定項目の設定では、工学的成立性および長期安全性の確保の観点から各構造物に要求される特性（例えば、強度特性や高緻密性など）とセメント影響評価における不確実性要因に対する感度特性（例えば、ベントナイト変質モデルの違いによる結果の幅）を設定しました。また、判定項目への得点付けについては、前者の特性に関する得点を既往の検討成果をもとに設定し、後者の特性に関する得点を 2012 年度に実施した感度解析結果をもとに設定しました。

判定項目の重み付けについて、得点付けと同様に既往の検討と感度解析結果を考慮して設定しました。一例として、強度プラグを対象構造物としたケースについて、表-1 に判定項目に対する得点付けと重み付けの結果を示します。さらに、それぞれのセメントの得点

に重みを掛け合算し、評価点を算出した結果を表-2 に示します。この例では、強度プラグに適したセメント候補の順位は、FAC>HFSC>OPC>LAC となりました。このような手順で処分坑道周辺の各構造物について、候補材料を評価した結果を表-3 に示します。

表-1 判定項目に対する得点と重み付けの例（強度プラグ）

分類	工学的成立性および長期安全性確保の観点から各部位に要求される特性		セメント影響評価における不確実性要因			
判定項目	セメント適用部位自体の要求機能を満足させるための要求特性	処分システムの安全機能への影響を低減させるための要求特性	セメント鉱物設定モデルの違いによる結果の幅	解析メッシュの違いによる結果の幅	ベントナイト変質評価モデルの違いによる結果の幅	
得点	OPC	1	0	1	0.7	0.8
	LAC	0	0.5	0	0	0
	HFSC	0.5	1	0.1	0.6	0.7
	FAC	1	0.8	0.5	1	1
重み	0.11	0.44	0.056	0.056	0.338	
重みの小計	0.55		0.45			

表-2 評価点の算出結果の例（強度プラグ）

セメント種類	OPC	LAC	HFSC	FAC
評価点	0.48	0.22	0.77	0.88

表-3 各部位のセメント候補材料に関する評価結果（優先順位）

適用部位	セメント候補材料の優先順位
支保・インパットコンクリート	FAC>HFSC>OPC>LAC
床板コンクリート	FAC>HFSC>OPC>LAC
強度プラグ	FAC>HFSC>OPC>LAC
グラウト	OPC>FAC>HFSC>LAC
ロックボルト定着材	OPC>FAC>LAC>HFSC

#### 今後の計画

今回設定した各構造物に用いるセメントの種類の設定結果を状態設定の検討における施設の初期設定に反映し、新たな知見を適宜取り入れつつ、シナリオの構築を進めていく予定です。

以上

## 技術課題-12 安全評価に関する解析技術の検討

### ～ サイトの地表環境条件を生物圏評価モデルに反映する方法の整備 ～

#### 主な成果

サイトの地表環境条件の生物圏評価モデルへの反映については、候補地域の特定の後に、現地調査のデータを用いて対応することが考えられます。しかし、生物圏評価においては、将来のサイトの地形、気候状態の変化を考慮した評価が必要となります。このような評価を論拠に基づいて実施する際には、地形や気候などの変動に対応したサイトの地表環境条件を適切に生物圏評価モデルに反映させる方法を整備しておくことが重要です。

2012年度は、サイトの地表環境条件を生物圏評価モデルに反映する方法の整備に取り組み、その成果を2011年度に整備した優先的に取得すべきデータなどと共に、サイトの地表環境の特性を考慮した生物圏評価手法として取りまとめました。生物圏評価モデルへの反映方法の整備では、最初に、国内外の文献調査などに基づき、サイトの条件に強く依存するコンパートメントモデル（地表付近を複数の均質な区画で近似するモデル）に用いるパラメータ（以下、モデルパラメータという）を抽出しました。抽出したモデルパラメータについては、既存の評価で用いたパラメータの変動範囲を踏まえた感度解析を行い、相対的に影響の大きなパラメータを抽出しました。そのうえで、影響の大きなモデルパラメータを対象として、サイト特性因子との関係を地表環境条件ごとに検討しました。

#### 1. サイト特性因子とモデルパラメータとの関係

本検討では、サイト特性を表す因子として、降水量、地形、気候、土壌、人間活動を想定しました。図-1はサイト特性を表す因子とモデルパラメータとの関係例を示しています。同図では、既存のモデルパラメータなどの設定において、サイト特性因子との定量的な関係を考慮しているものを黒色の実線で示しています。また、サイト特性を反映させるために、今後、定量的な関係を考慮する必要があると考えられるものを赤色の点線で示しています。これらの定量的な関係を把握し、モデル化することにより、サイトの地表環境条件を生物圏評価モデルに反映することが可能になると考えています。しかし、これらの関係が生物圏評価においてすべて重要な関係であるとは限りません。そこで、感度解析などにより重要なモデルパラメータなどを抽出することとしました。

#### 2. 検討対象とするモデルパラメータの抽出

既存の評価で用いたパラメータの変動範囲と生物圏評価用の数値解析コード AMBER を用いて感度解析を実施し、検討対象とする影響度の高いモデルパラメータなどを次のように抽出しました。

- ・河川水モデル：河川流量，表面土壌の面積，灌漑水量
- ・深井戸モデル：地下水流量
- ・沿岸海域堆積層モデル：沿岸海域水の面積，沿岸海域堆積層深さ，海洋拡散による希釈水量，年間の正味の沈殿量，沿岸海域での生物かく乱による拡散係数，地下水流量

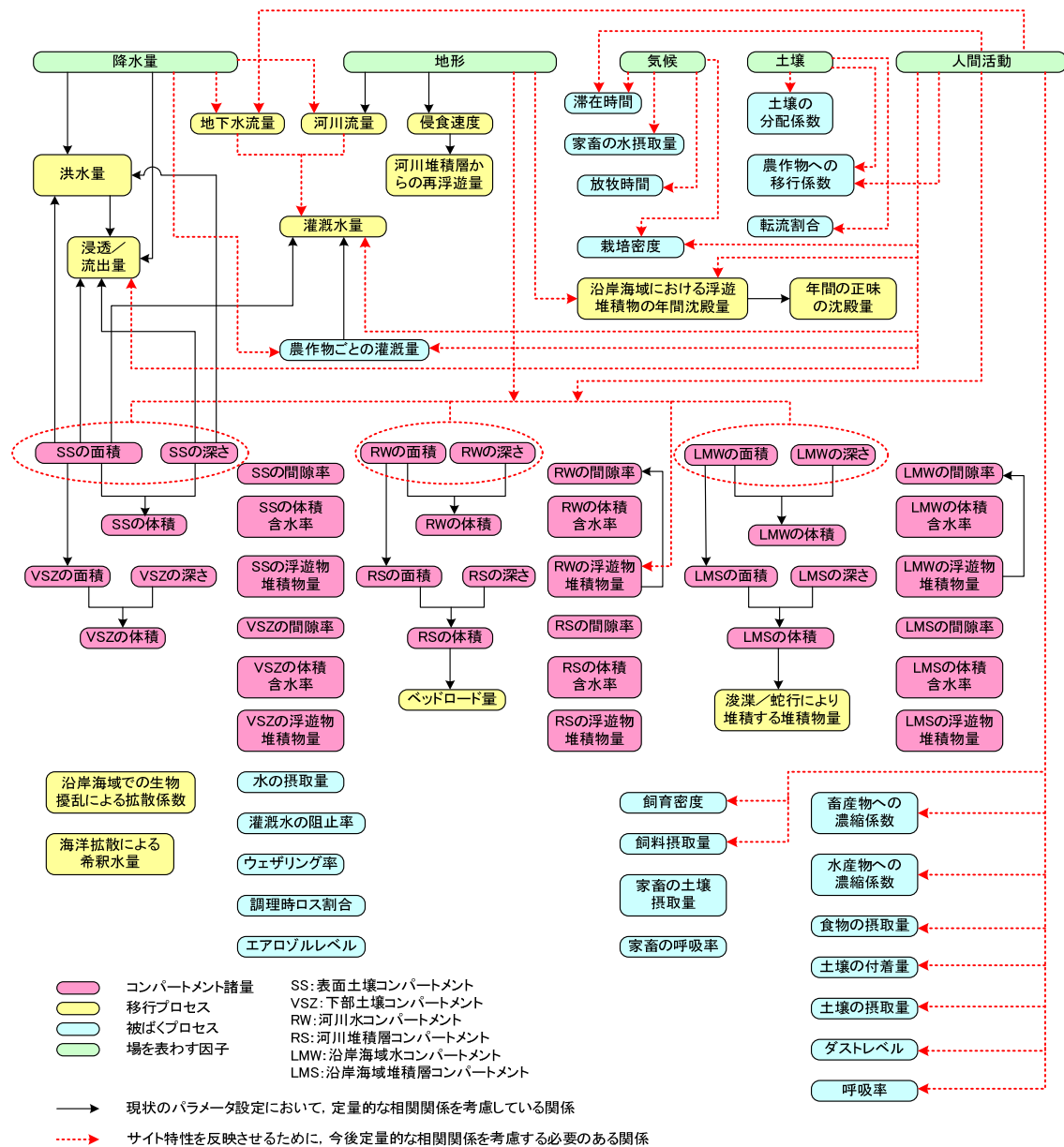


図-1 サイト特性因子とモデルパラメータとの関係

### 3. モデルパラメータとサイト特性因子との関係の検討

抽出した感度の高いパラメータの中から，サイト依存性の高いパラメータ（表面土壌（面積）：表層土壌コンパートメントの面積，地表水の流量：河川水量，灌漑水量など）の設定値について，サイト特性因子との関係を考慮して検討しました。図-2 に，サイト依存性を表す因子と，これらのパラメータの関係に基づくモデルパラメータ設定に当たっての基本的考え方を示します。

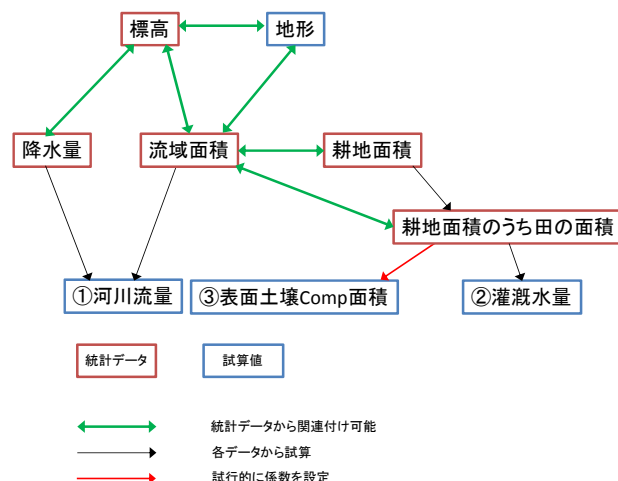


図-2 モデルパラメータ設定に当たっての基本的考え方（河川水モデル）

例えば、河川流量は、降水量と流域面積などによって決まると考えられます。ここで、降水量については、地形よりもむしろ地域依存性が大きいと考えられるため、第一次近似としてわが国の平均値を用いて、評価地域を特定した段階で、その地域の値を取り入れることとしました。また、流域面積は生物圏モデルを特徴付ける地形と河川の形態（本流または支流、河口からの距離など）に依存すると考えられます。ここでは、地形を標高で代表させ、観測地点ごとに標高、流域面積が整備されている河川の情報（国土交通省の水文水質データベース）を利用して、標高ごとの流域面積の統計値を算出しました。このようにして設定した降水量と流域面積に専門家の知見に基づいて設定した流出係数 0.5 と河川の形態を表す係数（または判断指標）A を考慮することにより、サイト特性に応じた河川水量を算出する式を提示しました。

$$\text{河川流量 (m}^3\text{/y)} = \text{年間降水量 (1750mm/y)} \times \text{流出係数(0.5)} \times \text{流域面積(m}^2\text{)} \times A$$

サイト依存性の高いパラメータを、このようなサイト特性因子との関係を考慮して定式化することで、サイトの環境を生物圏評価モデルに反映することが可能になります。ここでは、A を河川の形態に応じた判断指標（統計値の平均、最大、最小のいずれかを与える指標）と見なし、上記のように設定した定式化に基づくモデルパラメータの値を特定のサイトで適用されているパラメータと比較して、大きな違いがないことを確認しました。

**今後の計画**

サイトの地表環境条件を考慮した生物圏評価モデルの構築は重要と考えられます。今後も継続して、サイト依存性の高いパラメータとサイト特性因子との関係を精度よく定式化し、急峻な河川環境、農耕地（水田）、沿岸海域の特性など、日本の地表環境の特徴を適切に取り入れた生物圏評価モデルを構築するための検討を進めていきます。

以上

## 技術課題-13 地層処分の安全評価の基本的考え方の整備

### ～ 地層処分事業に係る操業中の安全設計方針の基本的考え方 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

操業中の安全設計方針の基本的考え方の検討として、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、2011年度は地上施設に焦点を当てて検討を実施しました。2012年度は、地下施設に焦点を当て、地層処分事業での安全設計方針について検討を実施しました。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、前年度の成果（既存の指針類などを参考にしたケーススタディ）も踏まえて、地層処分事業における閉鎖後長期の安全評価の基本的考え方に関する検討を実施しました。

#### 1. 操業中の安全設計方針の基本的考え方の検討

地層処分事業における安全設計方針の検討は、以下の手順で実施しました。

- ①地下作業工程の検討：「第2次取りまとめ」（JNC, 1999）、および「地層処分低レベル放射性廃棄物に関わる処分の技術と安全性」（NUMO, 2011a）で示されている処分場レイアウトを参考に、設備や作業工程を検討
- ②平常時の安全対策の検討：既存の原子力事業や一般産業を参考に、放射線管理区域や排気・排水などの対策を検討
- ③異常時の安全対策の検討：作業工程ごとに想定される事象を抽出し、安全対策を検討  
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、遮へい解析などについては、既存の原子力事業や一般産業を参考に、一般的な考え方やパラメータを用いて実施しました。その結果、操業中の安全設計方針の基本的考え方として、表-1に示すような安全設計方針案を作成しました。

また、地層処分低レベル放射性廃棄物の処分において、密封性が確保される廃棄体パッケージを採用した場合は、高レベル放射性廃棄物の設備で講ずるべき安全対策に包含されることが分かりました。一方で、密封性のない廃棄体パッケージを採用した場合は、高レベル放射性廃棄物の設備で講ずるべき設備のほかに、放射性物質による汚染に対応した設備を設置する必要性が示唆されました。

#### 2. 閉鎖後長期の安全評価の基本的考え方の検討

2011年度の成果を含む既往の検討結果を踏まえ、地層処分事業における閉鎖後長期の安全評価シナリオを検討、および深地層の状態設定やパラメータを用いたケーススタディを実施し、将来の事業許可後の安全審査を見据えた基本的考え方案を作成しました。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

用いました。公開文献などが無い場合には、想定し得る範囲で保守的な数値を用いました。

今回実施したケーススタディ結果から、長期の不確実性を考慮するシナリオモデルやパラメータの振れ幅の設定により、被ばく線量が有意になる時期や線量値に大きな影響を与えることが確認されました。また、東日本大震災以降の近年の状況を踏まえ、新たな知見の収集の必要性や、超長期の安全評価手法についてもさらなる検討を実施する必要性が示唆されました。

表-1 地下施設の安全設計方針案（高レベル放射性廃棄物）（一例）

項目	安全設計方針	他事業の事例
異常事象に対する安全設計方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>オーバーパックなどを取り扱うクレーンのワイヤの二重化</li> <li>オーバーパックなどを取り扱うクレーンの確実な把持確保のためのインターロック設置、廃棄体などの荷重がなくならなければ、つり具から廃棄体などが外れない設計</li> <li>オーバーパックなどを取り扱うクレーンの吊り上げ高さ制限</li> <li>オーバーパックなどを取り扱うクレーンの地震力の作用に対する落下防止設計</li> <li>オーバーパックなどを取り扱うクレーンの耐震設計</li> <li>オーバーパックなどを取り扱うクレーンの電源喪失時のフェイルセーフ設計</li> <li>オーバーパックなどを搬送する搬送台車などの機器の脱線・逸走防止用の脱線防止ラグ、エンドストップおよびインターロックの設置</li> <li>オーバーパックなどの一時保管用架台などの転倒防止柵の設置などによる地震力の作用に対する転倒防止設計</li> <li>オーバーパックなどが通過する遮へい扉の誤操作や誤作動による衝突防止のインターロック設置</li> <li>しゃへい容器を運搬する機器の走行速度制限のインターロック、カーブ前後の待避所およびクッションバリアの設置など</li> </ul> (注) オーバーパックなど：HLW オーバーパック、地層処分低レベル放射性廃棄物の廃棄体パッケージ、遮へい容器	廃棄物管理事業
過度な温度上昇	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下施設においてオーバーパック内のガラス固化体がかみ閉じ込め機能を喪失しない温度に維持できることの解析などによる確認</li> </ul>	廃棄物管理事業
異常出水時の漏出	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道および処分空洞などの中で発生する湧水を適切に排水し、かつ、万一の突発的な湧水時にも廃棄体からの放射性物質の漏出が過大とならないための適切な対策</li> </ul>	なし
火災・爆発	<ul style="list-style-type: none"> <li>可燃性ガスの検知・測定、滞留防止設計、および電源喪失による換気停止時の蓄積防止対策</li> </ul> (地下施設を可燃性ガスが発生するサイトに建設する場合)	地下研究施設

今後の計画

今後は、他の原子力施設にかかわる新基準などを踏まえながら、操業中および閉鎖後長期の安全評価について、複数の模擬サイト条件を想定したケーススタディを実施するなど、より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。

また、これらの情報をもとにして、地層処分事業で重要となる安全要件を抽出し、施設設計や安全評価に反映していきます。

以上

## 技術課題-14 精密調査技術の実証

～ ボーリング調査, 地下水モニタリング技術の実証 ～

### 主な成果

NUMO では、概要調査で使用する主要技術について、原位置での実証を通じて、技術の適用性確認、技術の適用・評価に基づいた高度化、調査の効率化および工程管理・品質管理を含めた総合的な管理技術構築の検討を 2006 年度から進めています。一般財団法人電力中央研究所との共同研究として、これまでは、既存文献の収集・調査、地表踏査、物理探査ならびにボーリング調査によって地質環境特性データを取得しました。それらの結果をもとに、地質構造モデルのさらなる改良に加えて、水理地質構造、地下水流動特性、地下水化学特性ならびに岩盤力学特性の各モデルを構築しました。2011 年度からは地下水状態のベースラインを把握するためのモニタリングを継続しています。2012 年度からは、精密調査技術の信頼性向上に加えて、プロジェクトマネジメント手法のノウハウを取得することを目的として、精密調査の前半で実施される地上からの調査で使用する技術の実証を開始しました。

2012 年度は、現場調査を通じて地質環境特性データを取得し、これまでに得られた情報や今後の調査の進展で得られる地下環境からのデータを用いて、地質構造の把握に向けた検討を行いました。さらに、地下水流動特性、地化学特性、岩盤特性などについて、要素技術の適用性に関する検討を行う方針を立てました。これらの成果および成果に至る過程での検討内容、知見やノウハウを、実際の精密調査の目標設定、計画策定ならびに調査の実施に反映することで、これら一連の調査業務および評価業務を通じたプロジェクトマネジメント手法の開発と、その技術や能力の維持・向上を目指します。

### 1. 計画策定

精密調査の主要な調査技術であるボーリング調査技術、ボーリング孔間調査技術について既存技術の適用実績ならびに堆積岩への適用性を検討・評価したうえで、精密調査を念頭においた実証の実施計画を策定しました。新たに掘削するボーリング孔については、地質環境特性情報を取得するために、これまでの実証の成果を反映して、掘削方法、孔内試験や資料分析の区間、方法を検討して、具体的な実施方策として設定しました。また、精密調査特有である近接孔との孔間を利用した狭域の調査技術・評価手法として、孔間水理試験と孔間弾性波試験を計画しました。そして、これまでの実証で作成した各種地質環境モデルに基づいた地質構造の予測を行い、モデルの妥当性を確認するとともに、モデルが内包する不確実性の抽出と解決に向けた課題を設定しました。



## 2. 地質環境特性データ取得

ボーリング調査技術について、堆積岩での適用性を確認するために、大深度ボーリング掘削で適用する多段式ケーシングプログラム<sup>1</sup>を採用しました。掘削およびコアのサンプリングについては、孔壁崩壊による掘削影響を検討しました。具体的には、これまでのボーリング調査で採取した岩石コアを用いて、岩石の膨潤特性を計測したうえで、孔壁崩壊による掘削影響を事前に検討し、掘削泥水の最適化を図りました。

## 3. ベースラインモニタリング

既存のボーリング孔内に設置した地下水モニタリング装置 (MP55 システム) を用いて、2011年3月から自動水圧計測を実施しています。現地での作業は、電源供給をソーラーシステムによる管理のみとし、自動水圧計測データの管理 (データ回収、データ確認) については、携帯電話を用いた遠隔操作システムを用いて、水圧、水温データを定期的に回収しています。取得したデータについては、各計測区間の地下水圧および、水温の経時変化を視覚化 (図化) し、モニタリング装置、または設置上の不具合などに起因する異常や地震などによるモニタリングへの影響を視覚的に判定できるようにしました。そして、取得したデータから、潮汐の影響を受けている変動分や気圧の影響を受けている変動分を分離することにより、地下水圧のベースラインとしてのトレンドを捉えることができました。変動分離については、間隙水圧データから天体潮汐に相当する理論的な潮汐変動を推定して潮汐変動成分の分離を行いました。トレンド成分などの解析結果については、地質構造などの違いや深度依存性、計測装置の精度の違い、降雨による影響などが結果に反映されており、影響成分評価手法として適用性を確認できました。

## 今後の計画

ボーリング調査では、崩壊性の堆積岩の的確なコア採取による地質構造の把握、ボーリング孔内での水理・力学試験の実施、既存孔を用いた孔間試験の実施などを行います。地下水のベースラインモニタリングについては、モニタリングを継続し、影響成分評価を行い、水圧データを蓄積することにより、実効雨量などの解析パラメータなどの相関性を向上させることによって、より精度の高いデータの取得に向けた取り組みを実施します。

以上

<sup>1</sup> 多段式ケーシングプログラム：ボーリング掘削前に、孔壁を保護する鉄管 (ケーシング) の内径を浅部では大きく、深部ほど小さくする計画で、崩壊性地質を掘削する際に用いられる手法

## 技術課題-15 地下調査施設における調査・試験計画策定の検討

### 主な成果

精密調査の後半では、地下調査施設を構築し、地下での地質環境の調査、工学的実証試験、モニタリングなどを行います。精密調査終了後の事業許可申請を視野に入れた地下調査施設内での調査・試験に関する検討、ならびに具体的な戦略の構築に向けて、NUMO 自らがあらかじめ知見を蓄積しておくとともに、技術的な整備を進めておく必要があります。そのため、本検討では、欧州諸国の地層処分事業で実施された地下研究所などでの調査や試験に関する情報を調査して、今後 NUMO が実施すべき地下調査施設内での調査および試験の手法などに関する検討を進めます。さらに、実際に精密調査の後半を対象とした調査・試験計画を念頭に置き、その段階までにオフサイト（実際の処分場とは異なる地下研究所サイト）の地下施設において先行的に実施する調査・試験項目を抽出し、具体的な試験計画を策定するための検討を行います。

### 1. 精密調査の後半における地下調査施設での調査・試験に関する検討

本検討に資するために、欧州諸国が実施している各種大規模実証試験が、地層処分事業の実施に際してどのような役割を担うのかを整理・分析しました。具体的には、2011 年度に実施した欧州の地層処分実施主体が実施している地下施設内での実証試験などの調査・試験に関する調査（計画策定の考え方、内容、得られた成果と課題など）を継続し、それらの情報を集約しました<sup>1</sup>。これらの調査結果や集約情報を踏まえ、以下に示す検討を実施しました。

#### (1) 諸外国の実証試験を参考にした地下調査施設での活動に関する検討

欧州諸国での、特に実証試験の位置付けおよびその反映先の調査に基づき、地下調査施設において実施する実証試験などの調査・試験を念頭に置き、今後の調査・試験の在り方について調査しました。調査の一環として、地下研究所での各種大規模実証試験の実績を有する技術者を招いた国際ワークショップを開催し、諸外国の実証試験の概要、実施内容と実施期間、成果の反映先など、地下研究所での各種活動に関する情報交換を行いました。その際、大規模実証試験の具体的内容や、関連機関との調整など、現場でのプロジェクトマネジメントに関する情報を収集しました。以上の調査や情報収集に基づき、処分施設建設地選定時点から遡って、段階的に展開が必要となる地下調査施設内での実証試験などの調査・試験項目を抽出・整理しました。

<sup>1</sup> 調査や情報集約の対象：オンサイトの地下特性調査施設（フィンランドの ONKALO）やオフサイトの地下研究所（スウェーデンのエスポ岩盤研究所、スイスのグリムゼル試験サイトとモン・テリ岩盤研究所、フランスのビュール地下研究所、ベルギーの HADES 地下研究所）、さらには具体的なオンサイトの調査計画の立案等に関連する以前の処分場計画（英国のセラフィールドやスイスのヴェレンベルグ）など。また、前記の海外事例に加え、国内の地下研究所の活動事例も適宜、調査・参照しました。

## (2) 調査・試験手法の整理と精密調査計画マニュアルの検討

上記(1)の検討結果を踏まえて、また、わが国の母岩の種類や地質環境を考慮して、今後、NUMOが実施すべき地下調査施設の建設計画、施設内での調査および試験の手法とその反映先などについて適用性と実用性の側面から整理し、検討を行いました。その結果に基づいて大規模実証試験の計画・実施に関するワークフローの試構築に向けた検討を行いました（基本計画の策定から、設計、施工、試験実施、解体といったフロー）。

また、精密調査の後半に関する調査計画マニュアル検討に必要な基礎情報に関する収集・整理に着手しました。基礎情報の収集については、スイスで実施されている各種大型プロジェクトなど、既往の調査事例を参考にして、大規模調査・試験のマネジメントに関するさまざまな側面から、わが国の地層処分計画に適合するように検討を進めました。

## (3) 地下調査施設を用いた調査・試験項目の検討

以上の検討結果を踏まえて、NUMOが地下調査施設で実施する調査・試験項目を網羅的に抽出しました。地層処分を対象とした地下研究所における活動内容は、各国の処分事業の特徴や事業の進捗状況を反映としたものになっており、対象とする地質環境条件が異なります。この点を考慮したうえで、NUMOが実施すべき調査・試験項目について、わが国の地質環境と処分事業の特徴を踏まえて、次の観点から検討を加えたうえで、実施項目を整理しました。

- ・地下調査施設の位置決めの考え方
- ・地下調査施設構築中に取得する情報
- ・地下調査施設構築後に実施する地質環境特性調査
- ・人工バリア関係の実証試験
- ・地下調査施設などで実施するモニタリング

## 2. 事業許可後の地下調査施設活用に関する検討

地下調査施設は、事業許可申請後も、安全性にかかわる論拠の拡充のために引き続き活用される可能性があります。そこで、事業許可後の地下調査施設の役割、閉鎖後長期の安全性を示すための論拠の拡充に関する考え方、事業期間中（建設、操業、閉鎖段階）に取得する情報について、諸外国の検討事例などを収集し、将来設定される法規制なども念頭に幅広く検討しました。ここで整理された考えに基づき、事業許可後に地下調査施設で実施する調査・試験項目として、次のものを抽出・整理しました。

- ・安全性にかかわる論拠の拡充のために実施すべき調査・試験項目
- ・人工バリアおよび閉鎖技術に関する工学的実証試験項目
- ・地下調査施設などで実施するモニタリング項目

表-1 に、安全にかかわる論拠の拡充を目的として、事業許可後に取得が必要な情報と地下調査施設で実施する調査・試験項目を抽出した例を示します。

表-1 事業許可取得後に地下調査施設で実施する調査・試験項目の抽出例

目的	取得情報と設定事項	調査・試験項目
閉鎖段階での安全確認	処分場閉鎖にかかわる要件設定 ①閉鎖システム設計に必要なとなるデータ ②閉鎖措置計画作成のための要件とその実現性を示すためのデータ	事業許可後の地下調査施設で確認 ①閉鎖システム設計のため材料確認、埋戻、グラウト、プラグ要素の施工確認、品質確認試験 ②閉鎖システム構築のための施工確認試験および施工後の閉鎖機能確認試験
	人工バリアシステムの性能確認 ①人工バリアに期待する安全機能確認データ	地下調査施設の実規模試験での確認 ①人工バリアシステム性能確認試験（人工バリア構成の要素試験、加速試験、ナチュラル・アナログと統合して実施）
	閉鎖後の環境回復確認 ①閉鎖後の人工バリア周辺岩盤、処分場スケールの地質環境回復を確認するためのデータ	地下調査施設での閉鎖機能確認試験の活用 ①閉鎖システム構築施工確認試験と閉鎖機能確認試験と平行して岩盤中の環境回復状況の確認試験

### 3. 海外地下研究所を活用した調査・試験計画の策定に関する検討

上記の実施項目の抽出・整理を踏まえ、NUMO が海外の地下研究所を活用して調査・試験を実施する場合を想定し、調査・試験の計画概要を策定しました。また、諸外国の地下研究所の比較により、NUMO が活用する地下研究所としてスウェーデンの実施主体であるSKB が運営するエスポ地下研究所（以下、エスポという）を選定しました（図-1）。エスポは結晶質岩である花崗岩中に建設された大規模な地下研究所であり、海水起源の地下水環境にあるなど、わが国でも想定される地質環境を有しています。

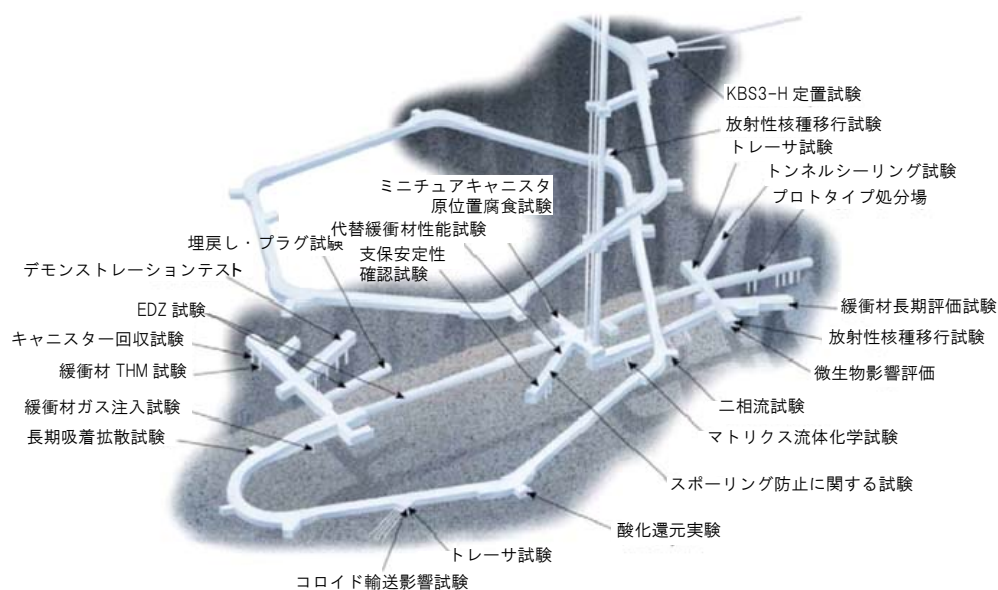


図-1 エスポ地下研究所におけるプロジェクト、調査および試験の位置の概要

エスポでは図-1 に示すように、1995 年から地質環境調査技術の開発や現象の理解に向けた研究が行われており、近年は設計、建設ならびに操業技術に関する工学規模の実証試験も活発に行われています。また、SKB では共同研究を受け入れるための調査坑道を増設中であり、NUMO が計画する活動を行うのに必要なインフラが整備されています。

計画概要の策定に当たっては、エスポにおける候補試験坑道の状況、制約事項など、現地状況の把握および情報収集を目的とした現地調査を実施しました（図-1）。現地の地質環境および制約条件に関する情報を整理して、オフサイトで先行的に実施すべき調査・試験項目を網羅的に抽出しました（図-2）。

	建設	調査	人工バリア 関連実証試験	モニタリング
基本計画 基本設計 基本仕様	坑道構築計画 ・掘削計画 ・支保計画 ・湧水抑制計画 ※膨潤計画に留意	地質環境調査計画 Phase1(坑道掘削時) ・温度場の初期状態調査 ・力学場の初期状態調査 ・水理場の初期状態調査 Phase2(坑道掘削後) ・原位置試験	人工バリア関連実証 試験計画 ・搬送・定置計画 ・隙間埋め戻し計画 ・プラグ計画 膨潤計画 ・注水方法 ・ヒーティング方法	モニタリング計画 ・建設時モニタリング計画 ・操業時モニタリング計画 ・膨潤モニタリング計画 ※装置選定に留意
調査・試験 の実施	・坑道掘削 ・支保設置 ・湧水抑制(グラウト)	・地質環境調査	・模擬廃棄体の搬送・ 定置・埋め戻し ・注水・ヒーティング	・測定装置設置 ・モニタリング実施
調査・試験 の管理 と品質・ 特性確認	施工管理 ・操業安全 品質管理 ・仕上り精度 ・掘削精度・支保精度 ・湧水量(グラウト量)	調査管理 ・マニュアル化 ・調査システムフロー ・データベース化 品質管理 ・取得データの品質確認	施工管理 ・操業安全 ・操業速度 品質管理・精度 ・特性(密度、充てん量など)	モニタリング管理 ・装置耐久性 ・測定精度 品質管理 ・取得データの品質確認
基本計画 などの 妥当性 検証と 更新	坑道構築計画の評価	地質環境調査計画の 評価	操業計画の評価	モニタリング計画の評 価

図-2 オフサイトの地下研究所で先行的に実施する調査・試験項目

## 今後の計画

諸外国の実証試験を参考にした地下調査施設での活動に関する検討については、欧州の実施主体が地下調査施設内で実施している実証試験などの調査・試験に関する 2012 年度までの調査結果を踏まえ、取りまとめを実施します。

また、精密調査の後半を視野に入れた先行的な調査・試験計画の検討、および事業許可後の地下調査施設活用に関する検討については、精密調査の段階から閉鎖措置に至る過程で地下調査施設に求められる役割と活用策、地下で行う調査・試験に関するわが国の保有技術に関する現時点での技術的信頼性や適用性について、今後、詳細な検討を進めていきます。併せて、エスポ地下研究所を例に調査・試験計画の詳細化を進めていきます。

以上

## 技術課題-16 理解促進のための取り組み

### ～ 地層処分の安全性に係る社会科学的検討 ～

#### 主な成果

NUMO は、地層処分の安全性に対する信頼獲得に向けた社会科学的方策について検討しています。2012 年度は、地層処分の安全性の考え方についての論点整理およびそれに資する一般廃棄物処分事業などの関連事例の調査・分析として、国内における地層処分に関するさまざまな議論や一般廃棄物処理事業などの関連事例における安全性に関する考え方に関する調査・分析を行いました。その結果、例えば一般廃棄物処理施設や PCB 処理施設の建設が計画どおりに進んだ事例から、次のような取り組みの実践などを把握しました。

- ・「納得」ではなく、「理解」してもらうことに重点をおいた説明方針である。
- ・科学的知見に基づいた正確な情報を提供する、「絶対安全」という表現の安直な使用の抑制や、経済効果を強調し過ぎないことを説明の原則としている。
- ・安全対策を導入する（フェイルセーフ）、何か起こった場合に被害を最小限にする（セーフティネット）などの個々の対策について、リスク評価を着実に実施する。

論点整理に資する上記の予備的な調査および分析に加えて、安全性の評価期間に関する調査および専門家意見の収集と分析を行いました。得られた成果を以下に整理します。

#### 1. 安全性の評価期間に関する調査

##### (1) 一般廃棄物処理事業などにおける安全確保の時間枠設定の考え方調査

地層処分事業固有の課題である長期にわたる安全性の評価期間について検討するため、一般廃棄物処分事業における安全確保の考え方の調査を行いました。一般廃棄物処分場は、形態により次の三種類に区別され、安全性の確保においてもそれぞれ異なった考え方が適用されています。

- ①安定型処分場は、化学的に安定している廃棄物を対象とし、基準を満たせば閉鎖される。閉鎖後はモニタリングなどの管理を必要としない。
- ②管理型処分場は、低濃度の有害物質を含む廃棄物を対象とし、排水の水質管理などのモニタリングを行いながら廃棄物の安定化を図っていくことを前提に設計されている。数万年後の安全性に関する検討は一般的に行わない。
- ③遮断型処分場は無害化しない重金属などが含まれる有害廃棄物を対象とし、漏水などにより周辺環境へ漏洩しないように厳重な構造設置基準に基づき設置される。

##### (2) 諸外国の地層処分における時間枠設定の考え方の調査

地層処分事業の規制制度の整備が先行している諸外国を対象に、制度整備の背景、経緯、

内容などについて調査を行いました。地層処分事業の安全評価の時間枠に応じて設定された安全基準について、フィンランド、スウェーデン、スイスにおける規制に関する主な考え方は次のとおりです。

- ①フィンランド：操業中および閉鎖後から約1万年間は人への被ばく影響を線量基準で評価。人への放射線学的な影響の定量評価に限界があるという考え方を背景に、その後100万年までは核種放出率で規定。100万年以降は定量的な安全評価を求めない。
- ②スウェーデン：腐食耐久性の高いキャニスター（わが国のオーバーパックに相当）での閉じ込めを目指しているため、キャニスターが損傷を受ける事象をリスクとして評価。10万年までは定量的リスク評価、その後100万年までは定性的なリスク評価を求めている。100万年以降はリスク評価を求めている。
- ③スイス：未来永劫にリスクを評価することは不可能という考え方のもと、100万年間は防護基準1（被ばく線量が0.1mSvを上回らないこと）、または防護基準2（発生確率の低い事象では年間死亡リスクが年間100万分の1を上回らないこと）を基準としている。100万年を超えると使用済燃料が元のウラン鉱石レベル以下の毒性になることや、セーフティケースの構築や評価が難しいため、基準の遵守は求めない。

## 2. 専門家意見の収集

上記で得られた調査および分析結果に関する妥当性や考え方について、社外専門家による社会科学的観点から議論を行いました。主な意見は以下のとおりであり、これらを参考にしつつ、今後NUMOとしての具体的な取り組みを検討していく予定です。

- 地層処分を行わない場合のリスクをベースとして、地層処分を含めて、考えられるオプションとの比較を行うべきである。また、地層処分が選定された経緯や理由について国内外の情報を詳細に調査し、記録として残しておく必要がある。
- 地層処分が成り立つことを理解するうえでの直感的な事例（例えば、ナチュラルアナログ）に関する情報収集・活用方法を検討する必要がある。
- 将来世代が遡って過去の判断とその根拠を追跡し、修正できるようにするという思想の取り入れが必要である（社会心理学の「手続き的公正感における修正可能性」）。
- 現世代の関心は三世代程度であり、長期にわたる世代間倫理は従来にない社会概念である。そのような点を考慮したうえで、社会科学的観点から地層処分の安全確保の在り方について検討するべきである。

### 今後の計画

2012年度の調査結果や専門家からの意見を踏まえ、地層処分の安全性に関する評価基準の検討や調査を行います。そして地層処分事業を社会に受け入れていただくために、どのような技術的取り組みが必要かについて具体的な検討を進めていきます。

以上

## 技術課題-17 地層処分事業における環境配慮に関する検討

### ～ 環境配慮に関する具体的な検討 ～

#### 主な成果

地層処分事業を段階的に進める際の環境配慮の取り組みについて、内容の具体化に向けた検討を行いました。2013年4月の改正環境影響評価法の全面施行に伴う配慮書<sup>1</sup>手続きなどの導入を踏まえ、特に、これを考慮して検討を行いました。

#### 1. 環境影響評価を実施した関連事例に関する情報収集

類似事業で実施されている、日本版戦略的環境アセスメントを考慮した環境影響評価の方法や、実際に適用された環境保全措置や効果確認に関する最新情報の収集・整理を行いました。情報収集を行う対象事業の選定では、地層処分事業の特徴である「大規模事業」、「段階的に進められる長期事業」、「コミュニケーションの重要性」という点を考慮しました。その結果、類似事業として以下の事業を選定しました。

- ・ 区画整理、工業団地造成など大規模な土地改変を伴う事業
- ・ 一般廃棄物の最終処分場の設置が行われる事業
- ・ 原子力発電所などの安全や地域共生のためのコミュニケーションが重要な事業

さらに、海外で実施された事業として、下記事業についての情報収集も行いました。

- ・ 海外の地層処分事業（スウェーデン、フィンランド、米国）
- ・ 海外のその他の事業（地熱発電所および水力発電所の開発事業、鉱山事業）

併せて、環境配慮の進め方や手法の根幹となる環境影響評価制度の最新の動向について情報を収集・整理し、地層処分事業における課題として、次の項目を抽出・整理しました。

- ①環境配慮に関する手続き、説明会の運営方法、意見への対応方法などの明確化
- ②手続きを進めていくうえでの事業の必要性・重要性の明確化
- ③事業段階ごとの調査・予測・評価項目の設定
- ④自然環境への環境保全措置（事業スケジュール遅延リスクとなる可能性がある）

#### 2. 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

前記の情報収集・整理の結果を踏まえ、2010年技術レポート（NUMO, 2011c）で考え方を示した「環境配慮」の取り組みの中で、事業の中での実施方法について具体的な検討を行いました。今年度実施した検討項目は以下のとおりです。

- ・ 各段階における環境調査の目的・範囲・内容の考え方（表-1 参照）

<sup>1</sup> 配慮書：事業への早期段階における環境配慮を可能にするために、事業の位置・規模等の検討段階において、事業者が環境保全のために適正な配置をしなければならない事項について検討を行い、その結果をまとめた図書



- ・NUMOの事業の進め方に沿った、環境影響評価法に準じた環境配慮の手続き
- ・環境配慮手法・プロセスの基本的な事項および全体像

表-1 環境調査の目的・範囲・内容の考え方（陸域の場合の案）

段階	目的	調査範囲のイメージ	調査内容
概要調査地区選定段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存文献による現況把握</li> <li>・精密調査地区選定段階で調査すべき事項の把握</li> </ul>	<p>+応募区域を網羅する流域</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存文献を調査</li> </ul>
精密調査地区選定段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特に事業への影響が大きいと考えられる事項に関する情報の把握</li> <li>・文献情報との整合性確認</li> </ul>	概要調査地区選定段階と同じ範囲において、現地調査を実施。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特に事業への影響が大きいと考えられる事項を中心に現地調査</li> </ul>
処分施設建設地選定段階	前半		<ul style="list-style-type: none"> <li>・動物・植物など自然環境について現地調査</li> <li>・処分施設建設予定地選定前に実施</li> </ul>
	後半		<ul style="list-style-type: none"> <li>・評価項目全般について現地調査</li> <li>・処分施設建設予定地選定後に実施</li> </ul>
建設・操業・閉鎖段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境保全措置の効果確認</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境保全措置を実施した箇所についてモニタリング調査</li> </ul>

また、地層処分事業全体を俯瞰したうえで、自然環境保全という観点で検討しておくべき点について、最新の技術・手法について情報を収集・整理しました。この結果、環境配慮の骨格となる地層処分事業の各段階における考え方、手続き、基本的な事項、全体像が整理できました。

## 今後の計画

今回の検討結果を踏まえ、今後は事業の中で環境配慮に関する技術的事項（調査・予測・評価）をどのように実施するのかについて、さらに具体的な検討を行い、成果を環境配慮に関する手順書として取りまとめる予定です。

以上

## 参考文献

- 原子力委員会（2000）：原子力の研究，開発及び利用に関する長期計画，2000年11月
- 原子力委員会（2005）：原子力政策大綱，2005年10月
- 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－
- NUMO（原子力発電環境整備機構）（2002）：放射性廃棄物の地層処分事業について～公募のご案内～ 分冊2「概要調査地区選定上の考慮事項」
- NUMO（原子力発電環境整備機構）（2004）：概要調査地区選定上の考慮事項の背景と技術的根拠－「概要調査地区選定上の考慮事項」の説明資料－，NUMO-TR-04-02
- NUMO（原子力発電環境整備機構）（2010a）：概要調査計画立案の基本的考え方，NUMO-TR-10-08
- NUMO（原子力発電環境整備機構）（2010b）：地層処分の要件管理技術，NUMO-TR-10-12
- NUMO（原子力発電環境整備機構）（2011a）：地層処分低レベル放射性廃棄物に関わる処分の技術と安全性，NUMO-TR-10-03
- NUMO（原子力発電環境整備機構）（2011b）：地層処分施設の耐震性評価，NUMO-TR-10-13
- NUMO（原子力発電環境整備機構）（2011c）：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）・JAEA（日本原子力研究開発機構）（2012）：概要調査段階における設計・性能評価手法の高度化－NUMO-JAEA共同研究報告書（2011年度）－，NUMO-TR-12-03
- 産業技術総合研究所：地震に関連する地下水観測データベース“Well Web”
- 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>）
- 佐藤清隆，沢田義博，伊藤洋，当麻純一，矢島浩，緒方正虔（1988）：地中地震動の深さ方向の低減特性とその定式化，電力中央研究所報告，U88022
- 杉山大輔，長谷川宏（2006）：放射性廃棄物処分における「技術的に最善の手段(BAT)」の考え方－諸外国事例のレビューとわが国への示唆－，電力中央研究所調査報告，L06001.
- Sugiyama, D. (2012) : Modeling of Chemical Alteration of Cement Materials in Radioactive Waste Repository Environment, Dr. Xiao-Ying Yu (Ed), ISBN: 978-953-51-0501-5, InTech.

付表 1 技術報告書発行実績

発行年月	題名
2012/7	NUMO-TR-12-01, Collaboration on Strategies for the development of a Repository Program
2012/7	NUMO-TR-12-02, 技術年報 2011 年度
2012/9	NUMO-TR-12-03, 概要調査段階における設計・性能評価手法の高度化 -NUMO-JAEA 共同研究報告書 (2011 年度) -
2012/9	NUMO-TR-12-04, 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- 概要版
2012/10	NUMO-TR-12-05, TOPAZ Project Long-term Tectonic Hazard to Geological Repositories - an extension of the ITM probabilistic hazard assessment methodology to 1Myr -

付表 2 学会等発表実績

発表年月日	発表先	題名	執筆者
2012/5/20	日本地球惑星科学連合 2012 年大会	断層の水理特性の調査・評価手法に関する検討：現地調査による実証と高度化	後藤淳一ほか
2012/8/9	34th International Geological Congress (34th IGC)	Siting a geological repository for radioactive wastes in a tectonically active country	土宏之ほか
2012/8/9	34th International Geological Congress (34th IGC)	Assessing tectonic hazard to possible geological repositories for radioactive wastes in Japan: the Topaz Project	後藤淳一ほか
2012/9/5	土木学会 平成 24 年度全国大会 第 67 回年次学術講演会	地層処分施設の構造的特徴を考慮した地震時挙動特性の把握 -水平坑道と弱層の交差部の検討-	末広俊夫ほか
2012/9/5	土木学会 平成 24 年度全国大会 第 67 回年次学術講演会	地層処分施設における処分坑道の耐震性検討	窪田茂ほか
2012/9/7	土木学会 平成 24 年度全国大会 第 67 回年次学術講演会	地層処分事業の品質保証に関する検討 (その 1) -概要調査に向けた品質保証体系の整備-	吉村公孝ほか
2012/9/17	日本地質学会第 119 年学術大会	超長期を考慮した自然現象の確率論的評価手法の検討	後藤淳一ほか
2012/9/19	2012 年日本原子力学会秋の大会	評価の網羅性の確保と安全裕度の明示を目的とした地層処分低レベル放射性廃棄物の安全評価手法の整備-(4)高度化した包括的感度解析手法を組み入れた新たな安全評価手順の整備-	大井貴夫ほか
2012/9/19	2012 年日本原子力学会秋の大会	人工バリア材の長期挙動に関する技術的知見の整備状況 (1) -全体概要-	黒澤進ほか
2012/9/19	2012 年日本原子力学会秋の大会	人工バリア材の長期挙動に関する技術的知見の整備状況 (2) -鉄/ベントナイト相互作用に関する研究の現状と今後-	後藤考裕ほか
2012/9/21	2012 年日本原子力学会秋の大会	地層処分事業における品質保証体系の検討 (1)品質マネジメントシステムの構築	北川義人ほか

発表年月日	発表先	題名	執筆者
2012/9/21	2012 年日本原子力学会秋の大会	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4）－地下水のベースラインモニタリング－	吉村公孝ほか
2012/9/21	2012 年日本原子力学会秋の大会	東日本大震災を踏まえた地層処分の安全確保策に関する検討(1)検討概要	飯島政義ほか
2012/9/21	2012 年日本原子力学会秋の大会	東日本大震災を踏まえた地層処分の安全確保策に関する検討(2)安全確保策に関する検討	鈴木覚ほか
2012/11/1	日本応用地質学会平成 24 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1）-ベースラインモニタリングの位置づけ-	吉村公孝ほか
2012/11/29	物理探査学会 第 127 回 (平成 24 年度秋季)学術講演会	断層の水理特性把握を対象にした物理探査の適用性に関する検討	吉村公孝ほか
2012/12/4	2012 The American Geophysical Union Fall Meeting (2012 AGU Fall Meeting)	Uncertainties in models for hydrologic characterization of faults - implications from a study on the Wildcat Fault, Berkeley, California -	後藤淳一ほか
2012/12/15	第7回西日本火山活動研究集会	地球物理およびテクニクスのデータを考慮した火山活動の長期評価手法	後藤淳一

### 付表 3 論文掲載実績

掲載年月	掲載先	題名	執筆者
2012/7	Journal of Nuclear Science and Technology	A methodology for scenario development based on understanding of long-term evolution of geological disposal systems	若杉圭一郎ほか
2013/1	Journal of Nuclear Science and Technology	A new assessment method for demonstrating the sufficiency of the safety assessment and the safety margins of the geological disposal system	大井貴夫ほか

※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 ではない場合も含まれています。



# 原子力発電環境整備機構

(略称:原環機構)

Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO)