

技術年報
2011 年度

2012 年 7 月
原子力発電環境整備機構



NUMO-TR-12-02

技術年報 2011 年度

2012 年 7 月
原子力発電環境整備機構

2012年7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) 2012

技術年報の発刊にあたって

原子力発電環境整備機構（以下、NUMO という）は、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」に基づき、高レベル放射性廃棄物を地層処分する実施主体として、2000年10月に設立されました。その後、地層処分を行う低レベル放射性廃棄物も対象に加わり、わが国の放射性廃棄物処分事業において重要な役割を担っています。

現在、NUMO は、安全・確実な地層処分の実現に向け、既存技術や研究開発機関などが整備する基盤技術の実用化・合理化のための技術開発を段階的に進めています。設立以来 2010 年度までの 10 年間の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, 2011）に取りまとめ、公表しました。同報告書では、最終的に処分施設建設地を選定するための、文献調査、概要調査、精密調査の三段階の調査のうち、概要調査の段階までに必要な基本となる技術の整備状況について報告しました。また、地層処分事業を安全に推進するための安全確保構想とこれを達成するための方針と実施方策を示しました。

一方、地層処分事業は公共性が高く約 100 年にもわたる事業であることから、地域の自主的な判断により受け入れていただくことが重要と考え、NUMO では、2002 年より文献調査を行う区域を全国の市町村から公募しています。これまで、応募獲得に向けてさまざまな取組みを行ってまいりましたが、2007 年以降、調査を希望する市町村からの応募はなく、まだ文献調査に着手するに至っておりません。

このような状況の中、地層処分事業にかかわる NUMO の技術について、一人でも多くの方々にご理解いただくことが重要と考え、このたび、「技術年報」を発刊することになりました。「技術年報 2011 年度」は、2011 年度の NUMO の技術開発の成果を取りまとめ、報告するものです。今後も継続して、毎年度、発行していく予定です。この「技術年報」の発刊により、より多くの皆様に、NUMO の技術開発が着実に進んでいることをご理解いただけるようお願いしております。

2012 年 7 月

原子力発電環境整備機構

理事 武田 精悦

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.....	2
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.....	3
3.1.2 処分場の設計, 建設・操業技術の整備.....	5
3.1.3 地層処分システムの長期安全性評価技術の整備.....	7
3.2 処分施設建設地選定段階に必要な技術.....	9
3.3 自主基準の策定.....	9
3.4 理解促進のための取り組み.....	10
4. 技術情報の品質確保.....	10
参考文献.....	12
主要な技術開発成果	
技術課題- 1 概要調査計画策定手法の検討.....	13
技術課題- 2 天然事象に関する確率論的評価技術の検討.....	15
技術課題- 3 断層の水理特性の調査・評価技術の検討.....	18
技術課題- 4 概要調査技術の実証.....	20
技術課題- 5 人工バリアの施工に関する技術の検討.....	23
技術課題- 6 地震動評価・耐震性評価技術の検討.....	26
技術課題- 7 地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の検討.....	29
技術課題- 8 シナリオ構築技術の検討.....	32
技術課題- 9 地下水流動解析技術の検討.....	35
技術課題-10 生物圏評価技術の検討.....	38
技術課題-11 地層処分の安全評価の基本的考え方の整備.....	41
技術課題-12 処分施設建設地選定段階に必要な技術の検討.....	43
付表 1 技術報告書発行実績.....	45
付表 2 学会等発表実績.....	45

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、及び第二種特定放射性廃棄物（2008年から追加）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、既存技術や国及び基盤研究開発機関が整備する基盤技術をもとに、地層処分事業に向けた技術として実用化・合理化することです。

これまで、事業の初期段階にあたる概要調査地区選定段階、精密調査地区選定段階に必要な技術の整備を進め、概ね完了しました。現在は、精密調査地区選定段階に必要な技術のさらなる実用化・合理化の検討に重点を置いています。2011年度は精密調査地区選定段階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ました。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, 2011）として取りまとめ、その中で地層処分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しました。また、同技術報告書（NUMO, 2011）の中では、2010年度までの技術開発の成果に加え、地層処分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従い、事業の各段階において事業を安全に推進するために必要とされる技術を整備してきました。

一方、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震と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。

以上を踏まえ、2011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
- ・ 自主基準の策定
- ・ 理解促進のための取り組み

○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）及び原子力政策大綱（原子力委員会、2005）で規定されている進め方のもと行われています。NUMOは原子力政策大綱で国が示した役割分担に従って、安全に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、経済性や効率性を旨と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。また、NUMOは基盤研究開発の成果を事業に効率的に活用

できるよう、地層処分基盤研究開発調整会議¹などにおいて技術開発ニーズを明示し、技術開発成果については地層処分事業の技術体系として統合するなど、技術開発に係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。さらに、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率的に NUMO に技術移転し、地層処分事業に活用します。

本技術年報では、2 章から 4 章において、技術開発ロードマップに従い段階的に進めている技術開発のうち、2011 年度に実施した技術開発の各技術課題の背景、目的、検討実施項目を述べます。また、「技術課題-1」から「技術課題-12」において、主要な技術開発成果について技術課題ごとに検討内容・成果を述べます。

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

地層処分事業では、処分施設建設地の選定などの最上位の意思決定から、地質環境の調査・評価、処分場の設計、安全評価などを実施する過程で行われる細分化された意思決定まで、さまざまなレベルにおいて意思決定があります。地層処分事業が 100 年にわたる長期の事業であることを考慮すると、これらの意思決定においては、追跡性と一貫性の確保が必要です。さらに、将来の社会情勢の変化や技術の進展などに対応するために、過去の意思決定を変更するなど、柔軟に対応する必要があります。このような意思決定の結果をその根拠となった「要件」と「情報」とともに体系的に記録管理することで、追跡性と一貫性の確保が可能となります。

そこで、NUMO は、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。RMS の開発は、海外の地層処分事業の実施主体においても取り組みが進んでおり、NUMO はこれらの実施主体を招いてシステム開発の動向について情報交換を行い、この成果も参考にして、RMS を開発しました。NUMO の RMS は重要な意思決定の経緯とそれにかかわる要件及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あり、NUMO 内における意思決定や技術成果の情報共有に資するものです。このような NUMO の RMS の開発の取り組みは、技術報告書「地層処分の要件管理技術」（NUMO, 2010b）として公表しました。

2011 年度は RMS の試運用を実施して、システムの利便性向上を図りました。

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

技術報告書「地層処分事業の安全確保（2010 年度版）」（NUMO, 2011）を取りまとめる最中の 2011 年 3 月 11 日に、東北地方太平洋沖地震が発生し、それに起因して福島第一原子力発電所の事故が発生しました。この地震と事故については、国や様々な機関でその原因の分析と得られた教訓の取りまとめが行われているところです。このうち、事故に関する指摘の中には、原子力発電所とは想定される事象の種類や安全確保の仕組みなどの違いはあるものの、想定事象の設定のあり方など、地層処分事業に反映すべき重要な事項が少なくありません。また、同発電所の事故以来、一般の方の放射性廃棄物の処分に対する関心が高まっています。

¹ 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。

そこで、東北地方太平洋沖地震及びこれに起因した福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、地層処分事業の安全確保の考え方の再確認を行いました。この検討の成果については、現在、報告書として取りまとめている最中であり、2012年度に報告書を公表する予定です。

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）で実施すべき技術業務は以下のとおりです。

まず、調査開始までに策定する「概要調査計画書」に基づいて、地域全体の広域的な地質環境の情報を得ることを目的とし、概要調査として地表踏査、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、調査開始までに策定・公表する「精密調査地区選定上の考慮事項」に示す予定の地震・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。

また、概要調査で取得した地質環境情報を踏まえて、対象とする地域の地下深部における地質構造や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、地上・地下施設の基本レイアウトを設定し、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。

さらに、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、精密調査地区選定段階までの地質環境情報や処分場の設計に関する情報に基づいて、予備的安全評価を実施します。

これらの検討結果を踏まえ、上記の「精密調査地区選定上の考慮事項」に基づいて精密調査地区を選定し、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（以下、最終処分法という）施行規則に基づき「概要調査に関する法定報告書」を作成します。また、処分場の設計や閉鎖後長期と事業期間中の安全性などの評価結果を含む「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」を取りまとめます。

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おり、現在、整備した技術のさらなる実用化・合理化のための技術開発を進めています。以下に、必要な技術の整備状況について、「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」の三つの分野に分けて記述します。

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、処分施設建設地を選定するために、予めNUMOとしての評価の判断指標をそれぞれ策定します。概要調査地区の選定については、既に「概要調査地区選定上の考慮事項」を策定し公表しました。同様に、精密調査地区の選定においても、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」を策定し公表します。

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」に対する評価に必要なとなる地質環境情報を、確実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えておく必要があります。

また、概要調査後に実施する処分場の予備的安全評価においては、将来、10 万年以降の超長期の評価が求められる可能性があります。このため、超長期を含む期間の天然事象の評価に対する NUMO としての考え方を整備しておく必要があります。

予備的安全評価において、断層の水理特性は、最も重要なパラメータの一つです。よって、断層の水理特性を合理的・効率的に把握・推定するための体系的な手法を構築し、断層のある現地で水理特性の調査を行い手法の適性を検証することが必要です。また、予備的安全評価では処分場周辺の地下水の流向・流速や水質の予測も重要であり、そのためには、地下施設建設などによる擾乱を受ける前の地下水の間隙水圧や水質を把握する必要があります。

以上のような背景により、2011 年度は、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」を策定するために、「(1)精密調査地区選定上の考慮事項の検討」を行いました。また、概要調査において必要な地質環境情報を確実かつ効率的に取得するために、「(2)概要調査計画策定手法の検討」を、概要調査における実務に即した品質管理手法を確立するために、「(3)概要調査に関する品質管理手法の検討」を行いました。また、調査後の処分場の予備的安全評価を適切に行うために、「(4)概要調査・評価技術の体系化」の検討を、概要調査における地下水モニタリング技術を実証するために、「(5)概要調査技術の実証」を行いました。

(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」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好ましい技術的及び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。NUMO は、今後、国が策定する予定の指針類の公表を受け、この考慮事項を、概要調査を開始するまでに策定し公表することとしています。

2010 年度までに、考慮事項に関する基礎資料を整備し、2011 年度は、各考慮事項について、精密調査地区選定の適否を判断するための指標などを検討しました。

(2)概要調査計画策定手法の検討

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、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)として公表しました。

2011 年度は、概要調査詳細計画策定に向けて、概要調査の計画立案から調査報告書作成までの一連の業務について検討しました。その中で、ボーリング孔などの配置、適用技術の組合せなどの詳細な調査技術、及び工程・費用、現場管理などの運用に関して、情報を収集・整理し、取りまとめました。

参照) 技術課題-1 概要調査計画策定手法の検討

(3)概要調査に関する品質管理手法の検討

概要調査においては、NUMO が現地で調査・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。概要調査の実務に即した品質管理活動とするために、概要調査に関する品質管理手法の検討を行ってきました。

2010年度は、陸域における調査・試験の品質管理手法について検討しました。2011年度は、海域における調査・試験の品質管理手法、地質環境モデル構築の品質管理手法について検討しました。また、建設・操業中の安全レビューや処分場閉鎖時の許認可申請を見据えて、概要調査の段階から開始すべき記録及びその記録媒体、保管方法について検討しました。

(4)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検討

2010年度までに、火山・火成活動、地震・断層活動に関する確率論的評価手法について、国内外専門家と議論を行い検討しました。

2011年度は、太平洋プレートが地下深部に沈み込んでいる東北地方を対象としたケーススタディを通じて、プレート運動や広域テクトニクスの変化に伴い生じうる現象と、それらの地層処分システムへの影響を記述したロジックツリーを構築しました。また、ロジックツリーを用いて、複数の専門家の意見に基づく確率論的評価を行い、評価手法の有効性を確認しました。

参照) 技術課題-2 天然事象に関する確率論的評価技術の検討

②断層の水利特性の調査・評価技術の検討

NUMOは、断層の水利特性の調査・評価技術について、2007年度より、米国ローレンスバークレー国立研究所と共同研究を実施しています。

2011年度は、断層に対する現地調査を終了し、5年間の検討成果に基づき、断層の特性と水利特性との関係に着目し、概要調査における断層の水利特性の体系的な調査・評価技術について検討しました。

参照) 技術課題-3 断層の水利特性の調査・評価技術の検討

(5)概要調査技術の実証

NUMOは、概要調査に用いる調査技術の適用性の実証的な確認のために、2006年度より、一般財団法人電力中央研究所と共同研究を実施しています。これまでに、物理探査やボーリング調査の技術の実証を行ってきました。

2011年度は、地下水モニタリングの調査・評価技術の実証のため、既存ボーリング孔を用いて地下水モニタリングを行いました。

参照) 技術課題-4 概要調査技術の実証

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き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、人工バリアを製作・搬送・定置するための地上・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種材料間の相互作用を考慮するとともに、品質確保や効率性などの観点から有望な製作・搬送・定置方法の段階的な実証を踏まえて、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、PEM² (Prefabricated

² PEM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。

Engineered barrier system Module) 方式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。PEM を実用化し採用するためには、製作・搬送・定置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・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、事業期間中の安全確保を確実に達成するように設計する必要があります。地層処分施設が原子力関連施設であることから、耐震性の確保は重要です。特に地下施設は、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して平面的な広がり大きいこと、閉鎖後超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。このような特殊性を有した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少ないのが現状です。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検討を進めていく必要があります。

また、NUMO は、第二種特定放射性廃棄物（以下、地層処分低レベル放射性廃棄物という）が事業対象となった 2008 年度以降、既往の検討成果の整理と課題の抽出を行い、優先度が高いと考えられる課題から順に検討を実施しています。設計の観点からは、既往の検討で一連の技術の成立性が見込みが示されていますが、NUMO は実施主体として、さらに事業の効率性を向上させる取り組みを行っています。処分システムの安全評価においては、これまでに基本的な処分概念が構築され、代表的なシナリオに対してその安全性が示されています。今後は、高レベル放射性廃棄物との併置処分を考慮し、多様な地質環境条件においても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を整備することが必要です。

以上のような背景により、2011 年度は、従来より検討を進めてきた PEM を高度化し、人工バリアの施工技術の効率化と品質向上を図るために、「(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、地層処分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一環として、「(2)地震動評価・耐震性評価技術の検討」を行いました。また、多様な地質環境条件においても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の整備のために、「(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

2011 年度は、NUMO 及び国内外の技術開発成果に基づいて、PEM の構成要素とそれらに要求される機能を検討し、それぞれの構成要素についての技術的なオプションを既往の国内外の技術開発事例をもとに整理しました。また、これらの検討に基づいて、NUMO が今後技術開発を進める上での有望な PEM の基本となる概念について検討しました。

参照) 技術課題-5 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調査・検討を開始し、これに加え、2009 年度からは建設・操業期間中の耐震性評価手法、閉鎖後長期の安全性に対する地震の影響評価手法について検討を進めています。

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・分析を行うとともに、地層処分施設の耐震性評価手法について検討を行いました。

参照) 技術課題-6 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、2008 年 4 月に地層処分低レベル放射性廃棄物の地層処分の実施主体となって以降、処分概念の実用化に向けて技術課題を抽出し、対応策を検討しています。

廃棄体パッケージ³については、従来より閉じ込め機能を高めた廃棄体パッケージの検討を進め、2010 年度は鋼製パッケージの検討を実施しました。

2011 年度は、コンクリート製パッケージとそのハンドリングに関する検討を実施しました。また、多様な処分環境条件においても柔軟に対応できるような処分概念オプションの構築とそれらのオプションの具体的な検討を進めています。さらにそれらを踏まえ、処分システムが安全であることを論拠を持って提示するための評価手法・手順の整備を行いました。

参照) 技術課題-7 地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の検討

3.1.3 地層処分システムの長期安全性評価技術の整備

地層処分においては、処分場閉鎖後の安全性を定量的に示していくことが重要となります。そのため、閉鎖後の人工バリアや天然バリアの状態の変遷の可能性を想定し、それを信頼性の高い技術や妥当な手法を用いて定量的に評価し、その結果を線量などの目安や基準と比較する必要があります。

安全評価の手順としては、まず、科学的に確からしいと想定される処分システムの変遷を考慮した安全評価のためのシナリオを構築することが重要です。このため処分システムで生起する事象に関して知見を整理・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開発することが必要です。

地質環境調査結果やシナリオに基づく安全評価において、地下水の動きに伴って処分場から放出された放射性核種が人間の生活環境に達するとする地下水シナリオは、安全評価の基本となるシナリオです。このシナリオは、地質環境の調査結果に基づく三次元の地下水流動解析結果などを参照して、定量的な評価が実施されます。よって、評価結果の信頼性を高めるためには、入力すべきデータやパラメータへの信頼性のみならず、解析に用いる評価モデルやコードの手法や精度についての信頼性も重要となります。

また、安全評価では、10 万年を超えるような超長期の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、最終の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、信頼性の高い評価を行える解析技術の整備が重要な課題となっています。

NUMO は、概要調査で得られた調査・検討結果を用い、概念設計や予備的安全評価報告書を作成する予定です。そのためには、原子力関連事業における既存の指針類などを踏まえ、廃棄物特性や処分の条件の違いを考慮した安全評価の基本的考え方を整備することが重要と考えます。

³ 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。

以上のような背景により、2011年度は、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開発することを目標として「(1)シナリオ構築技術の検討」を行いました。また、予備的安全評価における地下水流動解析の品質確保及び代表的生物圏モデルに基づく生物圏評価の効率化を目的として「(2)安全評価に関する解析技術の検討」を、具体的な安全要件の論点を抽出するために「(3)地層処分の安全評価の基本的考え方の整備」をそれぞれ行いました。

(1)シナリオ構築技術の検討

2011年度は、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ーボード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、及びセメント系材料と緩衝材の相互作用による変質に関する実験データなどの取得を行いました。

参照) 技術課題-8 シナリオ構築技術の検討

(2)安全評価に関する解析技術の検討

①地下水流動解析技術の検討

2011年度は、今後実施する予定の予備的安全評価のうち地下水シナリオの評価に用いる地下水流動解析の品質確保を目的に、有限要素法、有限体積法、混合ハイブリット有限要素法のそれぞれの解析手法による解析結果を比較検討しました。また、比較検討の結果より、地下水流動解析に求められる解析手法の選択、解析コード仕様などについて検討しました。

参照) 技術課題-9 地下水流動解析技術の検討

②生物圏評価技術の検討

地層処分の安全評価では、生物圏に移行した核種が人間へ影響を及ぼすまでの過程の評価が必要であり、地域の生活様式などに基づいて、生物圏の評価に必要なモデルの構築とパラメータの設定が必要となります。

2011年度は、国際的に広く認められている代表的生物圏モデルに基づく生物圏評価を効率的に実施するため、精密調査地区選定段階において優先的に取得すべきデータの情報と採用する評価手法の整備を行いました。これらの整備結果に基づき、精密調査地区選定段階の生物圏評価に関する具体的な方法や手順について検討しました。

参照) 技術課題-10 生物圏評価技術の検討

(3)地層処分の安全評価の基本的考え方の整備

NUMO は、2007年度より、精密調査地区選定段階の終わりに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及び処分施設建設地選定段階後の事業許可申請に向けて、予備的検討を実施しています。

これまでは、地層処分対象廃棄物の民間規格の整備に係る技術資料、事業許可申請書案の検討などを実施し、必要な技術情報などの抽出や論点整理を行ってきました。

2011年度は、原子力関連事業における既存の指針類などを踏まえ、処分事業における操業中の安全設計方針、処分場閉鎖後長期の安全評価の考え方について検討しました。

参照) 技術課題-11 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）で実施すべき技術業務は以下のとおりです。

精密調査の前半では、地上からの調査を実施します。この調査は、前段階の概要調査によって得られた地質環境情報の確認、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の情報に基づき地質環境モデルを更新し、それを踏まえて人工バリアや処分パネルのレイアウトなどの概念設計を見直します。この見直された概念設計により、廃棄体及び人工バリア材の搬送・定置にかかわる再検討及び長期安全性の評価を行って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、調査対象の母岩が地層処分に適しているかどうかを地下調査施設にて調査・試験を行い確認します。そのために、母岩に試験用の坑道を掘削し、地下深部における岩盤や地下水の特性調査や原位置試験などを行います。さらに、地下調査施設などの一部を活用して、建設や操業にかかわ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の業務実施のために必要な技術について、2011年度より整備を開始しました。

処分施設建設地選定段階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、国の基盤研究として、幌延・瑞浪の深地層の研究施設建設を通じた地下環境の調査・評価手法の検討が既に進められています。しかし、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う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ことが肝要です。

そのため、2011年度は、欧州諸国の処分事業でこれまでに実施された事業許可申請に向けた地下研究施設での調査・試験を対象に、調査・試験計画策定の考え方、調査・試験の実施内容、得られた成果と課題などについて包括的に調査しました。また、これらの基礎情報から、NUMOが今後進めていく事業許可申請に向けた地下調査施設での精密調査における調査・試験手法の検討を行いました。

参照) 技術課題-12 処分施設建設地選定段階で必要な技術の検討

3.3 自主基準の策定

NUMOは、最終処分法に則り、概要調査地区、精密調査地区、処分施設建設地の選定の各段階において、法定要件への適合性を確認し、法定報告書を作成します。また、実施主体として建設可能性や長期安全性確保について検討を行い、報告書として取りまとめ公表します。建設可能性や長期安全性確保の検討にあたっては、指針類に記載されている要求事項に加え、NUMO自らが設定する自主基準を用いて行います。自主基準とは、実施主体が安全な処分の実現に向けて自主的に定める基準です。

NUMO は、地層処分事業の安全確保をより確かなものとするために、自主基準の体系化・具現化にかかわる調査・検討を行っています。

2011 年度は、NUMO の自主基準の定義を明確化し、精密調査地区選定段階における技術業務で必要となる自主基準の策定項目を、地質環境の調査・評価、処分施設の設計、安全評価の分野に区分して整理しました。

3.4 理解促進のための取り組み

地層処分事業は約 100 年間の長期にわたる公共性の高い事業であるため、国民や地域住民、行政などの理解を得ながら、事業を進めていく必要があります。そのためには、地層処分の技術的安全性をわかりやすく説明することにより国民や地域住民の理解を得ることが求められます。

また、地層処分事業の実現のためには、事業の安全性に対する社会の信頼を得ることが不可欠です。地層処分の安全性に関しては、専門家の間ではその実現性についてかなり合意が得られている一方で、社会的な合意は充分には得られていない現状があります。

以上のような背景により、2011 年度は、福島第一原子力発電所の事故の影響を考慮したわかりやすい説明資料を作成するために「(1)理解活動のための手法・ツールの構築」を行いました。また、地層処分事業の社会的な認知と理解の向上について社会科学的視点から検討するために「(2)安全性に対する信頼獲得に向けた社会科学的方策の検討」を行いました。

(1)理解活動のための手法・ツールの構築

NUMO は、2006 年度より技術的内容をわかりやすく説明する資料の作成を行ってきました。また、講演会などにおける聴講者の特性や説明資料に対する理解度などを分析し、資料作成を補助するツールの構築を実施してきました。

2011 年度は、東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所の事故を受け、一般の方を対象にアンケートを実施しました。それによって、地層処分の技術的信頼性の受け止め方がどのように変化したかなどの地層処分に対する意識の変化を調査・分析しました。また、これらの調査結果を踏まえ、ステークホルダーに対する説明手法の向上などの改善を図りました。

(2)安全性に対する信頼獲得に向けた社会科学的方策の検討

地層処分事業に対する社会的認知が充分に得られていない現状を打開するために、事業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向上に向けて、社会科学的な視点からの検討を行いました。

2011 年度は、「安全コミュニケーションとセーフティケース」と「超長期の安全評価に係る考え方」を検討課題として取り上げ、社会科学的側面に着目した検討を行いました。

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の技術業務で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、現行の QMS を精密調査地区選定段階までの技術業務を対象とした QMS へ改訂するための検討を行いました。

さらに、NUMO の技術開発について客観的評価を受け技術情報の品質を確保するために、適宜、技術アドバイザリー国内委員会⁴を開催し、品質向上のための助言・指導を受けました。

⁴ 技術アドバイザリー国内委員会：国内の大学、関係機関などの専門家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。

参考文献

- 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）（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
- 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

技術課題-1 概要調査計画策定手法の検討

～ 概要調査実施計画策定の試行 ～

主な成果

1. 概要調査実施計画の作成に必要な情報の整備

陸域・海域の地質調査・評価の手法・仕様及びその特徴・適用限界・精度，配置・組合せ，工程・費用，現場管理などの運用など，概要調査の実施計画の策定に必要な情報を収集・整理しました。

2. 概要調査実施計画策定の試行

(1) 調査方針の策定

精密調査地区選定の考え方を踏まえて，概要調査地区及びその周辺地域の地質環境を評価する上で必要な情報を確実かつ効率的に取得するために，概要調査計画策定における方針を以下のとおり設定しました。

- ・調査範囲を，広域スケールと中間スケールと地区スケールに区分し，三段階のフェーズで調査を実施します。
- ・各調査段階（各調査スケール）において調査目標を設定し，目標を達成するために必要な調査手法・配置を検討します。

(2) 調査・評価の項目及び手法の抽出

概要調査の目的は，精密調査地区の選定，処分場の概念設計及び予備的安全評価を確実に実施するために必要な情報を整備することです。したがって，精密調査地区選定上の考慮事項，及び概念設計・予備的安全評価を実施する上での要求事項を踏まえた上で，概要調査において実施すべき調査・評価の項目及び手法を抽出しました。

(3) 調査手法の組合せ・配置の検討

各調査段階において，以下の要素を勘案することにより，調査・評価の項目及び手法の組合せ・配置計画について検討しました。

- ・調査目標及び調査で取得すべき情報
- ・調査手法の特徴・適用限界・精度
- ・調査に要する工期及び費用

(4) 現場管理方法

概要調査段階において実施する現場管理（安全管理，工程管理，周辺環境保全，品質管理）の方法について検討を行い，方針及び管理をする上での留意事項としてまとめました。

今後の計画

2012年度は、2011年度に引き続き、仮設計画、資材調達、調査費積算などの細目に係る検討を実施します。また、概要調査実施計画の試行及び計画書作成の試行を踏まえて、概要調査計画立案のための実務手引書の検討を行います。

以上

技術課題-2 天然事象に関する確率論的評価技術の検討

～ 評価手法の構築と信頼性の向上 ～

主な成果

NUMO では、2009 年度までに、国際テクトニクス会議¹（以下、ITM という）の海外専門家とともに、将来 10 万年程度を対象とした広域的な領域の火山・火成活動及び地震・断層活動の確率論的な評価手法（ITM 手法²）について検討しました。その後、ITM 手法をベースに、将来 10 万年以降の期間を含む超長期及び処分場規模の数 km 四方のサイトの評価に向けた手法（TOPAZ 手法³）の検討を開始しました。そして、以下のような基本的な方法論を考案しました。

① 長期変遷シナリオの構築

現在～1 万年後、1 万年～10 万年後、10 万年～100 万年後の時間枠ごとに、プレート運動や広域テクトニクスの変動を記述した広域変遷シナリオ、サイト周辺で生じうる事象を記述したサイト変遷シナリオ、それらの地層処分システムへの影響を記述した影響シナリオを作成します。

② ロジックツリーを用いた確率論的評価

①で示した三つのシナリオを組み合わせることでロジックツリーを構築し、専門家の意見により各シナリオの重みづけを行います。それらを掛け合わせ、各事象が発生する確率を求めます。

以上の方法論に従い、ITM 手法による検討実績のある太平洋プレートが地下深部に沈み込んでいる東北地方を対象に、ケーススタディを実施しました。2010 年度は、①について検討しました。

2011 年度は、②について検討し、ITM 手法及び TOPAZ 手法の有効性の評価を行いました。併せて、ITM 手法の課題となっていた、火山フロントが明瞭でない地域の評価について、中国地方を対象にケーススタディを実施し、手法の信頼性の向上を図りました。

1. 評価手法の検討

2011 年度までに検討した方法論とシナリオをもとに、ロジックツリーを用いた確率論的評価の試行を行いました。

ロジックツリーの検討については、10 万年後～100 万年後の時間枠、全ての広域変遷シナリオ、一部のサイト変遷シナリオからなる部分について検討しました。

¹ 国際テクトニクス会議: わが国のようなテクトニクス活動が盛んな環境での地層処分事業におけるサイト選定のための調査・評価技術の妥当性について、国内外のテクトニクスの専門家の合意形成・情報発信の場として NUMO が主催した会議体。

² ITM 手法: 天然事象の経験論的な評価を補足するために、対象期間を将来 10 万年程度、対象範囲を広域的な領域とし、対象範囲の火山・火成活動及び地震・断層活動の発生確率のマップを作成するために、ITM の海外専門家とともに開発している手法。

³ TOPAZ 手法: 対象期間を将来 10 万年程度以降、対象範囲をサイトスケール（処分場規模の数 km 四方の領域）とし、プレート運動などの変化を踏まえた地層処分システムに及ぼす影響についてロジックツリーを構築し、各事象の発生確率を求めるために ITM の専門家とともに開発している手法。

ロジックツリーの各分岐の重みづけについては、テクトニクス関連分野の国内専門家の協力を得て、海外で用いられている統計学的な意見集約手法（Expert Elicitation; Cooke⁴, 1991）に基づいて試行を行いました。

この結果、以下のような利点や留意点が明らかになりました。

- ・統計学的手法を用いることにより、各専門家の意見の位置・範囲を高い客観性・透明性をもって示すことができ、採用した値に対する理解、異なる見解に対する理解、科学的問題点の抽出などが進むことが期待されます。
- ・専門家から有効な回答を得るには、質問の背景や意図、そして用語の定義などを十分に説明し、理解を得ることの重要性が認識されました。

図-1 に、東北地方の仮想サイトを対象としたロジックツリーと重みづけの例を示します。

この中で、新たな火山・火成活動が発生するサイト変遷シナリオの発生確率は、ツリーの各分岐の重みづけの値と、ITM 手法による東北地方の火山・火成活動の発生確率マップ上の確率の値を掛け合わせることにより算出します。例えば、10 万年～100 万年後に、太平洋プレートの沈み込みによる陸側の地殻の短縮速度が現在と同様で、火成活動の起こりやすさも現在と同様である確率は、 0.6×0.8 となります。そして、ITM 手法による火成活動の確率マップ上の値（0～1）と掛け合わせて、そのシナリオの発生確率を求めます。

以上の試行を通じて、今回検討した方法に基づき実際のサイトの評価を行える見通しが得られ、ITM 手法及び TOPAZ 手法の基本的な有効性を確認することができました。

2. 適用性の確認

ITM 手法に基づき、フィリピン海プレートが地下深部に沈み込んでいる中国地方の広域を対象に、将来 10 万年間の火山・火成活動の確率論的評価を行いました。まず、対象地域及びそれを含む広域的なテクトニクスや火山・火成活動に関連するデータを収集・分析しました。そして、定まった確率分布関数により平均的な確率を導くカーネル法と、ランダムな確率関数によりあらゆる不確実性を内包した確率を導くコックスプロセス法の、二つの方法により発生確率マップを作成しました。双方の発生確率マップは、同様の分布が描かれ、火山フロントが不明瞭な地域についても、ITM 手法による確率論的評価が可能との見通しが得られました。また、評価精度の向上のためには、単成火山群が分布する場合は火山群ごとに評価を行うこと、そして地震波トモグラフィーなどの地下深部のデータを活用することの重要性を確認しました。

⁴ Cooke, R.M., Experts in Uncertainty-Opinion and Subjective Probability in Science. Environmental Ethics and Science Policy Series. Oxford University Press, 1991.

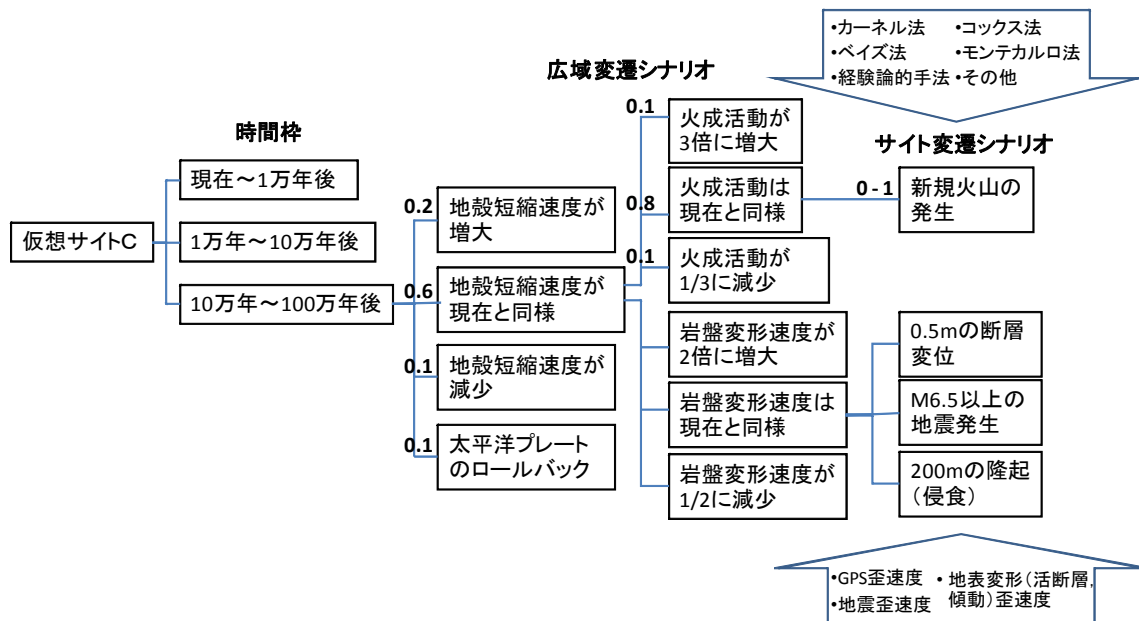


図-1 ロジックツリーと重みづけの例

今後の計画

ITM 手法及び TOPAZ 手法の残された課題として、東北地方とはテクトニクス条件が異なる地域に対する適用性の確認と信頼性の向上が挙げられました。このため、これまで ITM 手法による検討を終えている中国地方及び九州地方において、TOPAZ 手法によるケーススタディを実施します。さらに、以上の三地域とも異なり、太平洋プレートが斜めに沈み込んでいる地域に対する検討として、北海道地域を対象にケーススタディを実施します。これらの検討により、日本の主要なテクトニクス条件をもつ地域に対する手法の適用性の確認、及び手法の高度化を図っていきます。

以上

技術課題-3 断層の水理特性の調査・評価技術の検討

～ 現地調査，モデル化・解析，体系化 ～

主な成果

NUMO は、断層の水理特性を合理的・効率的に把握・推定するための体系的な手法の構築、及び現地調査による検証を目的として、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）との共同研究を実施しています。

これまでに、国内外の文献情報に基づき、断層の地質特性と水理特性の関連性について検討し、基本的な調査・評価のフローを作成しました。また、これを踏まえて、日本の新第三紀の付加体に類似する堆積岩を母岩とし、LBNL サイトを通る Wildcat 断層（図-1）を対象に、事例研究の一環として現地調査を実施しました。まず、物理探査（電気探査，反射法地震探査），地表踏査，トレンチ調査などを実施しました。次に、ボーリング調査（鉛直孔3孔，傾斜孔1孔）を実施しました。このように、地質・地質構造の分布，断層の地質特性及び水理特性を段階的に把握してきました。2011年度は、現地調査を終了し、これまでに把握した情報を用いたモデル化・解析および手法の体系化を行いました。

1. 現地調査

2010年度の傾斜孔により捕捉した，Wildcat 断層の主部と考えられる急傾斜の大規模な断層の，空間的な分布と水理特性を把握するために，もう1孔の傾斜孔（WF-5）のボーリング調査を実施しました（図-2）。その結果，2010年度に掘削した傾斜孔（WF-4）に比べて規模や破碎の程度がやや小さい断層破碎帯を確認しました。水理試験の結果，断層を含む区間の透水量係数は 10^{-5} (m²/s)程度で，母岩より2～3桁高いことが明らかになりました。水理試験を実施した際の，周辺ボーリング孔の水理モニタリングのデータを分析したところ，断層周辺の地下水流動には，透水異方性があることを確認しました。つまり，断層周辺での地下水流動は，断層沿いの水平方向の流れが鉛直方向の流れより卓越していました。また，断層は，水理学的なバリア（遮水壁）を形成していました。本現地調査を通じて，断層の水理特性を把握・推定するために必要な調査の項目，配置，数量，手順など，概要調査の計画立案にとって必要な知見を得ることができました。

2. モデル化・解析

新規ボーリング孔で取得した情報をもとに，地質構造モデルを更新しました。これまで得られている情報からは，2010年度に捕捉した断層は，Wildcat 断層の主部であるという解釈と，より東方の断層の分岐断層であるという解釈の二つのモデルが並立する結果となりました。これらの地質構造モデルと水理試験のデータをもとに，母岩や断層の水理パラメータを設定し，水理地質構造モデルを構築しました（図-3）。それに基づき，地下水流動解析を実施しました。その結果，断層や低透水性の母岩の水理学的な影響の分布や範囲を把握することができました（図-4）。また，地下水の化学組成や年代測定のデータに基づく地下水化学モデルを構築し，地下水流動解析結果と概ね整合することを確認しました。本検討を通じて，調査とモデル化・解

析を繰り返すことにより、断層の地質特性・水理特性及び地下水流動への影響を把握するというプロセスを、実際に確認することができました。

3. 手法の体系化

これまでの調査実績を踏まえて、個々の調査技術や、調査技術の組合せ・実施方法などの、断層や母岩の地質特性・水理特性に関する情報の取得及びモデルの構築に対する有効性について評価を行いました。また、断層活動の調査や地質環境特性に関する調査の枠組みの中で、断層の水理特性に係る調査をどのように位置付けて実施するか検討し、調査・評価フローとして取りまとめました。

このようなフローや、それに付随する知見が整備されたことにより、実際の概要調査においても、断層の水理特性を合理的かつ効率的に把握・推定できる見通しが得られました。



図-1 LBNL サイトと Wildcat 断層の位置



図-2 傾斜ボーリング調査の様子

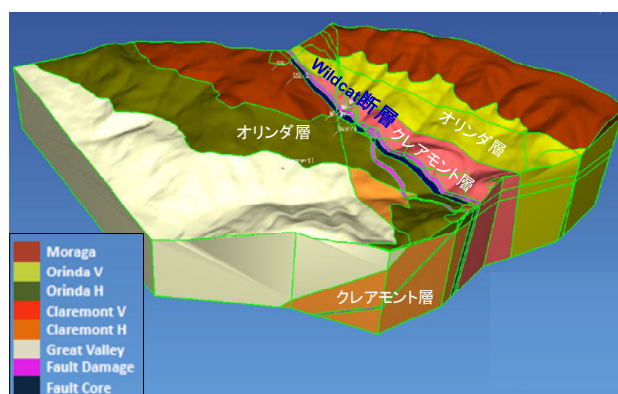


図-3 LBNL 周辺地域の水理地質構造モデル

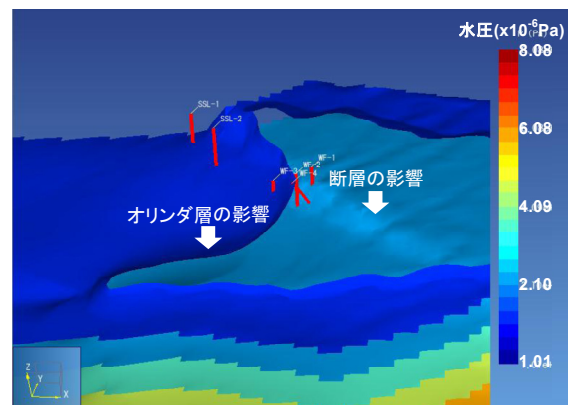


図-4 地下水流動解析結果の例(水圧コンター)

今後の計画

2012年度は、地下の水圧の季節変動などの影響を把握し、解析結果及び調査・評価手法の信頼性を向上させるために、5孔のボーリング孔における水理モニタリングを継続します。その結果を踏まえて、これまでの検討成果を確認し、本共同研究の最終的な取りまとめを行います。

以上

技術課題-4 概要調査技術の実証

～ ベースラインモニタリング技術の実証 ～

主な成果

NUMO は、2006 年度より、一般財団法人電力中央研究所との共同研究の一環として、調査技術の実証を行っています。そのための技術開発の場として、同研究所の横須賀地区を活用し、深度 500m 級のボーリング調査（YDP-2）や物理探査などの調査試験を行ってきました。2011 年度は、前年度に YDP-2 孔に設置したモニタリング装置を用いて、地下水の間隙水圧観測及び水質測定のための採水を行いました。ボーリング掘削水や孔内洗浄水には、地下水への混入を判定するために、地下水トレーサーを混ぜています。採水では、地下水に混入した掘削水・洗浄水を除去するための予備排水を実施し、予備排水時に地下水トレーサー濃度の測定や、採水試料の水質・同位体分析を行いました。

1. 地下水の間隙水圧観測

観測区間毎（計 12 区間）に固有の間隙水圧を捉えることができ、2010 年度の装置設置時に懸念された複数の各観測区間における水圧の導通（ケーシング裏のセメントを通じたバイパス）が生じていないことを確認することができました。一方で、一部の区間において観測中にデータ異常が認められ、装置の回収・再設置を余儀なくされました。同区間の観測値は一見、データ異常の様相を示さないように思われます（図-1）。しかし、観測値から地球潮汐成分を抽出すると、同区間の地球潮汐成分は明らかに他区間と傾向が異なることが分かります（図-2）。他区間の地球潮汐成分は深部ほど大きくなる傾向を示し、一般に想定される深度変化と整合が取れています。データ異常の原因を調査した結果、装置設置時に同区間において不具合が生じていたことが判明しました。

今回の実施を通じて得られた知見は以下の通りです。

- ・ モニタリング装置を用いた間隙水圧のベースライン取得は十分に可能
- ・ あらかじめ装置のトラブルなどを想定した管理体制を整えておくことが必要
- ・ 観測値の成分分離はデータ異常の見極めに有効

2. 水質測定のための採水

地下水に混合した掘削水・洗浄水の影響を除去するために、装置内のデッドボリュームを最小限に抑えるなどして効率的な予備排水を試みました。しかし、掘削水・洗浄水の影響を完全に除去することは困難でした。図-3 に高透水性（ 10^{-5} m/s）の区間と低透水性（ 10^{-9} m/s）の区間における予備排水の結果を示します。高透水性の区間では予備排水後の地下水トレーサー混入率は低い値が得られました（1%以下）。しかし、大量排水を行っても完全除去には至りませんでした。また、低透水性の区間では長期間（計 25 日）にわたって予備排水したにもかかわらず、混入率は高いままでした（10%以上）。

ケーシングセメントの地下水水質・同位体への影響を評価するために、セメント接触下で採水した地下水試料とセメンチング前に採水した地下水試料を比較しました。その結果、地下水

の主要イオン濃度や水素・酸素同位体比に有意な変化は認められませんでした。pH や炭素同位体比には、当初予想したように有意な変化が認められました。

今回の実施を通じて得られた知見は以下の通りです。

- ・ 掘削調査が終了したボーリング孔で排水による掘削水の完全除去を行うことは困難
- ・ セメンチングをする場合は採水試料の pH と炭素同位体比に注意が必要
- ・ 信頼性の高い水質のベースラインを取得するためには、掘削時には適宜、掘削を中断して採水を実施するようなボーリング調査計画の検討が必要

今後の計画

今後は、引き続き同孔のモニタリング装置を用いてベースラインモニタリングを継続するとともに、得られたデータを 2012 年度以降に実施予定の新規孔掘削時の応答モニタリングや孔間水理試験などに活用していく予定です。

以上

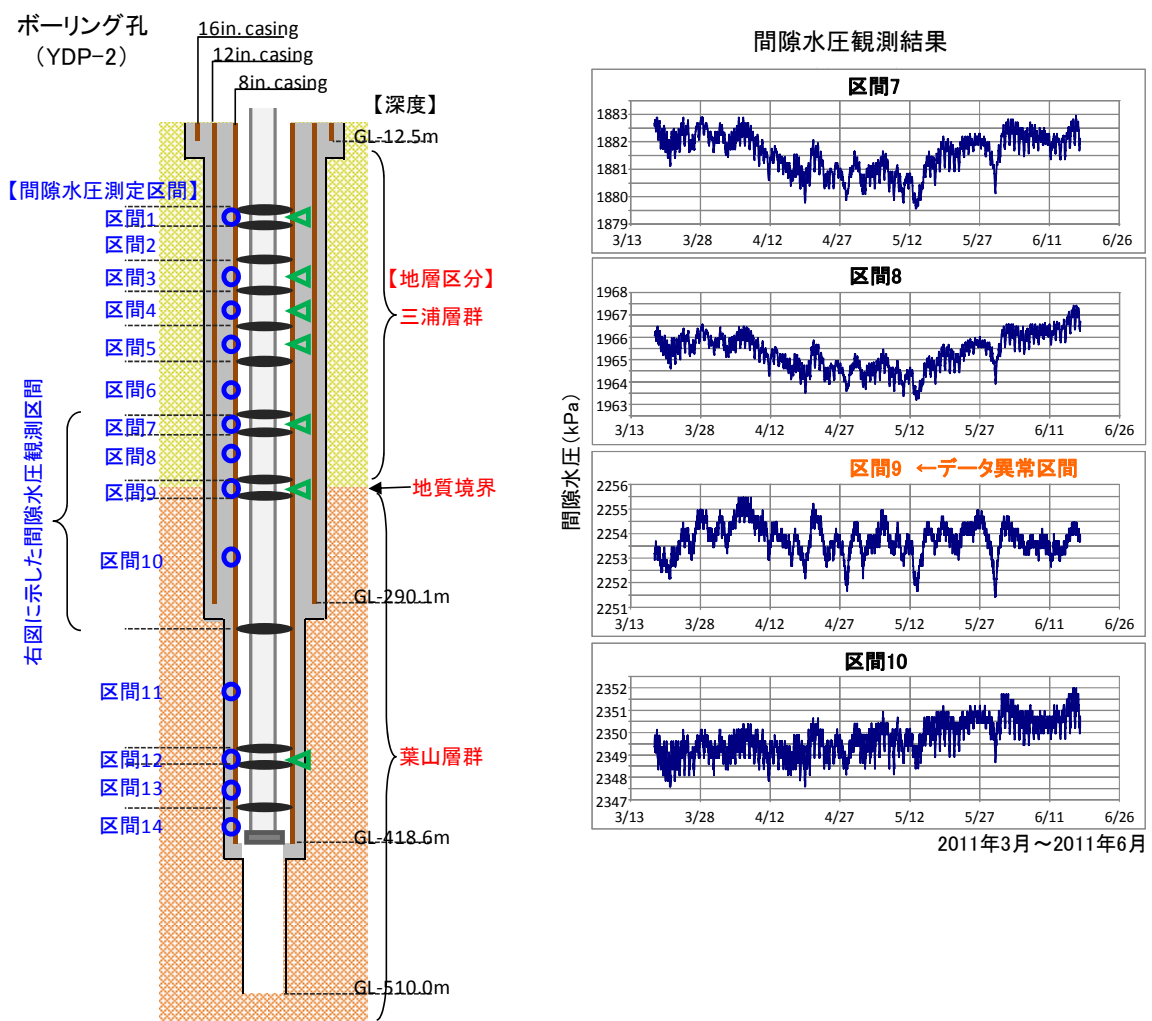


図-1 間隙水圧の観測結果 (例)

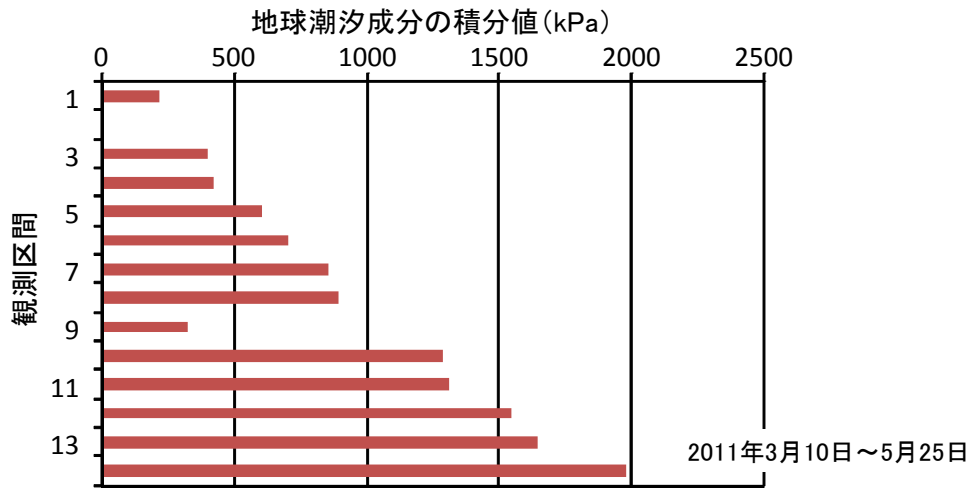


図-2 間隙水圧の観測値より算出した地球潮汐成分

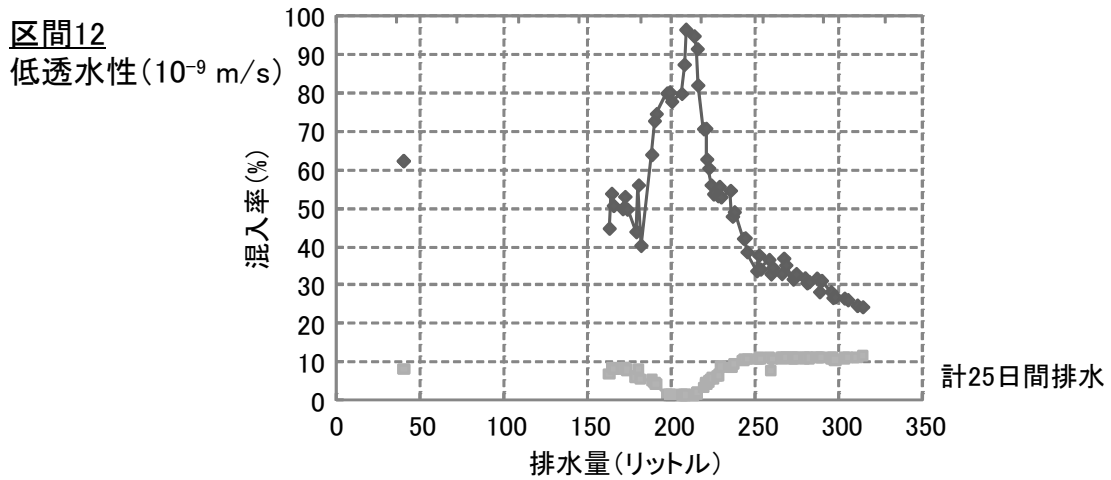
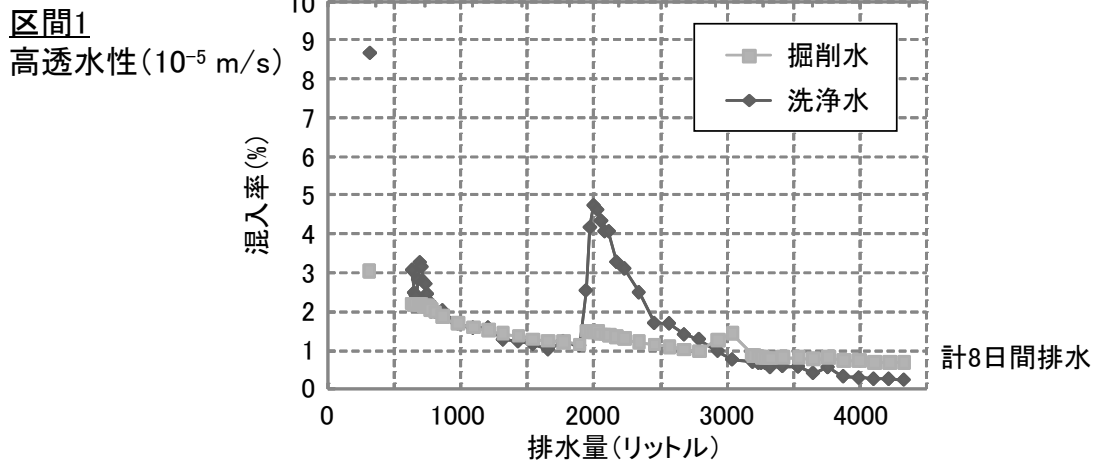


図-3 予備排水時の採水試料における掘削水・洗浄水の混入率

技術課題-5 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

PEM¹方式は、地上で廃棄体、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を製作し（以下、一体化モジュールという）、そのモジュールを地下施設に搬送・定置する方法です。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方式の高度化を進めてきました。2011年度から2年計画で、今後の技術開発の対象となるPEM方式の概念的な設計や、長期安全性確保のための対策の検討を実施しています。

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、全体的な操業期間の短縮による操業費用の抑制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ため、重量物となること、また、坑道内での搬送中に立ち往生（スタック）する可能性があるなどの工程上のリスクがあること、鋼製容器などの残置物の閉鎖後長期への影響の確認が課題となっています。

NUMOがPEM方式を実用化し、採用するためには、製作・搬送・定置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についての検討を計画的に進める必要があります。

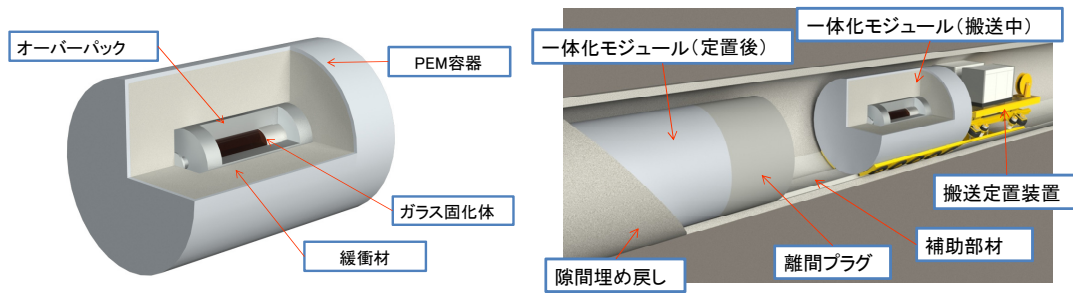
2011年度は、PEM方式の基本的な構成や、装置類、さらには閉鎖後長期安全性への影響要因について検討しました。

1. PEM方式の基本的な構成

PEM方式の基本形を「一体化モジュール」、「操業システム」、「閉鎖後長期のシステム状態」に分類し、それぞれの構成と要求される機能を図-1のように決めました。PEM特有の構成要素としては、PEM容器、隙間埋め戻し、離間プラグ、搬送・定置装置があります。PEM容器に要求される機能の例として、地下の坑道では湧水や高湿度環境が予想されるため、搬送中に緩衝材が膨出しないことなどが挙げられます。また、隙間埋め戻しや離間プラグには、ガラス固化体の発熱による温度上昇の抑制や、一体化モジュール周辺での地下水の流れを抑制する機能が要求されます。

また、容器の製作技術や、隙間の埋め戻し、搬送・定置などの要素技術については、すでに海外の実施主体（例えば、スウェーデンのSKB）や国内の基盤研究開発で一部実証的な検討が進められています。例えば、搬送・定置技術としては門型クレーンやエア・ベアリングの適用が考えられますが（図-2）、このうち、エア・ベアリング技術については、すでに模擬一体化モジュールを搬送し定置できることが実証的に確認されています。門型クレーンについては、すでに一般的な装置として普及していることから、技術的な実現性が見通しがあると考えています。

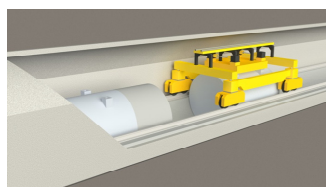
¹ Prefabricated Engineered barrier system Module の略



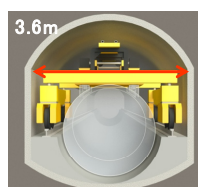
構成要素	役割(要求機能)	備考
PEM容器	一体化した人工バリア, ガラス固化体を搬送するための容器 湧水・滴水時の緩衝材の膨出の抑制(*)	水密性を必要としない * 有孔の場合には必要としない
搬送・定置装置	一体化モジュールの搬送・定置	
離間プラグ	(オーバーバック表面温度の上昇抑制) (PEM周囲の地下水の移流抑制)	必要に応じて施工 (閉鎖後長期安全性に関する機能)
隙間埋め戻し	(PEM周囲の地下水の移流抑制)	必要に応じて施工 (閉鎖後長期安全性に関する機能)
水理プラグ(端部)	(坑道軸方向の地下水の移流抑制)	(閉鎖後長期安全性に関する機能)
力学プラグ(端部)	処分坑道端部の閉塞処理, 水理プラグの膨出抑制	
補助部材	搬送・定置に必要な部材など	インバート, レール, ガイドなど
排水設備	湧水処理	
換気設備	坑道内の作業環境の維持	必要に応じて設置

図-1 PEMシステムの構成要素と役割(要求機能)の関係
(赤字はPEM方式特有な構成要素)

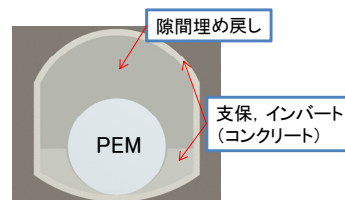
門型クレーン



作業システム概念図

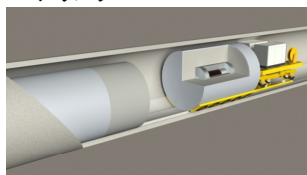


断面イメージ

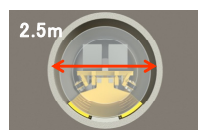


閉鎖後のシステム状態

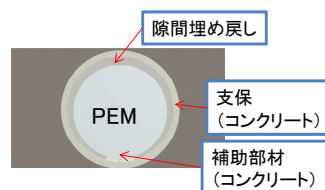
エアベアリング



作業システム概念図



断面イメージ



閉鎖後のシステム状態

図-2 搬送定置技術オプションと基本的な構成の関係

2. 閉鎖後長期安全性への影響要因の検討

PEM方式の採用にあたっては、操業技術としての成立性だけでなく、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、PEM容器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与える可能性を検討し、その影響が大きい場合には、影響低減対策を検討します。2011年度は、先にまとめたPEM方式の基本的な構成に基づいて、影響シナリオを検討しました。例えば、残置物であるPEM容器の鉄は、極端な条件では緩衝材と化学的

に反応するといったシナリオが考えられます。しかし、これまでのところ、緩衝材の主たる材料であるベントナイトに適切な材料を利用することや、緩衝材の温度が極端に高温にならないようすることで、影響を回避できる見通しが得られています。

今後の計画

2012年度も、上記の検討を継続し、今後の技術開発の対象となる PEM 方式の概念的な設計や、長期安全性確保のための対策の検討を実施します。なお、得られた成果を今後の処分場の設計や性能評価に反映する他、精密調査段階の地下調査施設における実証を見据えて、定置装置の設計や工程検討を実施します。

以上

技術課題-6 地震動評価・耐震性評価技術の検討

～ 地層処分施設の耐震設計手法を確立するために ～

主な成果

2011年度は、地層処分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ことを目的として、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震を踏まえ、過去の強震記録（KiK-net）を分析して地中の地震動の評価方法について検討しました。また、三次元有限要素解析を用いて、多くの坑道交差部を有する地層処分施設の構造的特徴を考慮した地震時挙動特性について検討しました。

1. 地下深部地震動の距離減衰式による評価

2011年東北地方太平洋沖地震本震と余震を対象に、地中と地表の最大加速度の比率及び耐専スペクトル¹の適用性についての検討を行いました。KiK-netの観測記録のうち、地中地震計の設置深度が250m以深の観測地点での地震観測記録を用いました。各観測地点での地表と地中の記録の最大加速度の比を取り、地中観測点の深さ、及び地中と地表の地盤のインピーダンス比との関係で整理しました（図-1）。また、2011年3月11日以前の地震記録を対象とした検討結果との比較を行いました。さらに、耐専スペクトルに、同日以前の記録を用いて検討した観測地点ごとの補正係数を乗ずることにより、同地震の本震、M7.6の最大余震、及びM7.0の内陸地殻内の余震に対する地中観測記録の応答スペクトルの再現を試みましたが（図-2は本震の再現例）。今後検討を必要とする課題はあるものの、比較的良好な再現結果を得ました。

2. 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検討

地層処分の地下坑道のように多くの交差部を有するという構造的特徴を考慮して種々の検討ケースを設定した三次元有限要素解析を実施し、地震時挙動特性について検討した結果、以下の知見を得ました。

(1) 水平坑道同士の交差部及び立坑と水平坑道の交差部の挙動の検討（図-3）

交差部の岩盤の地震時増分応力は、一般部断面に対して水平坑道同士では最大で約2.2倍、立坑と水平坑道の交差部では約1.1倍大きいことを確認しました。また、常時応力と地震時増分応力を重ね合わせて評価した周辺岩盤の局所安全係数は、交差部周辺では一般部よりも低下し、その範囲は水平坑道同士の交差角度に依存します。局所安全係数が低下する範囲は、交差角度が90度の場合は交差部から1.5D（Dは坑道径）程度ですが、60度の場合は2.5D程度、30度の場合は3.5D程度といったように鋭角になるのに従いその範囲が広がっていくことを確認しました。

¹ 「原子力発電所耐震設計技術指針 基準地震動策定・地質調査編 JEAG4601」（社団法人日本電気協会）に記載されている地震動評価の方法のうち「経験的な方法」による応答スペクトル

(2) 水平坑道と岩盤内の弱層部の交差部の挙動の検討 (図-4)

周辺岩盤より 1/10 程度剛性を小さく設定した鉛直な弱層 (層厚 0.5D) が水平坑道と交差する場合の影響について検討を行いました。交差部付近では坑道の吹付けコンクリートや岩盤で大きな地震時増分応力が発生し、剛性が急変することによる影響が確認されましたが、常時応力と地震時増分応力を重ね合わせて評価した周辺岩盤の局所安全係数への影響は、弱層面から 1.0D 程度の範囲であることを確認しました。

(3) 2011 年東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた処分坑道モデルの耐震性の検討

K-NET の牡鹿観測点の地震記録波形を用いて、技術報告書「地層処分施設の耐震性評価」(NUMO-TR-10-13,2011.3) (以下、既報と言う) と同じ地盤モデルを用い、処分坑道の耐震性について検討しました。その結果、既報と同様に地震時増分応力の差違は小さいことを確認しました。牡鹿観測波 (EW 成分) は、既報における検討用地震動 (M=8.0, Xeq=25km とした耐専スペクトルに基づく) と比較して、モデル地盤の卓越周期 (約 2 秒) を含む 0.5 秒以上の周期成分がほぼ同等であることから、地盤の応答が同程度であるためと推察しました。

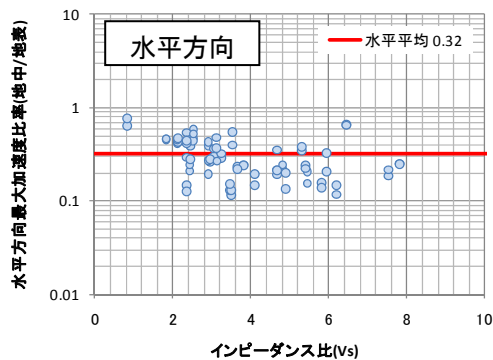


図-1 最大加速度比 (地中/地表)

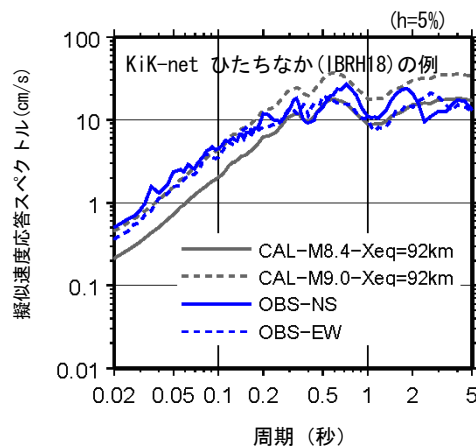


図-2 地中の観測記録と地中の補正を施した耐専スペクトルの比較

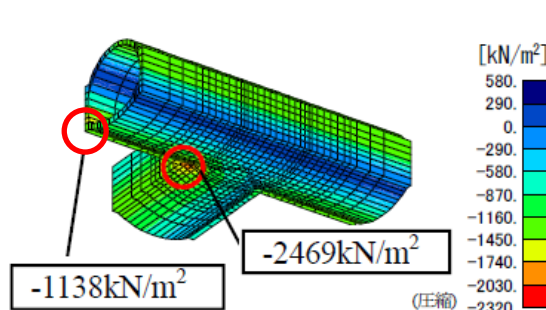


図-3 水平坑道交差部の地震時応力増分の分布
一周辺岩盤の最小主応力 (圧縮) の例一

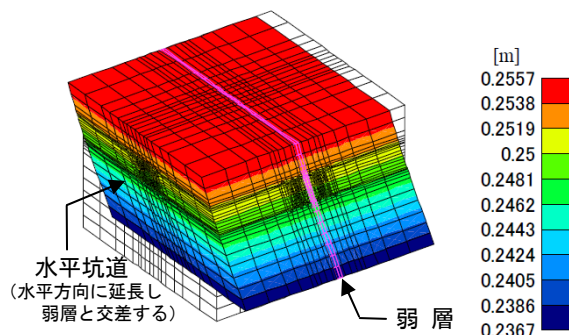


図-4 水平坑道と弱層の交差部の
変形状況の例

今後の計画

今後は、坑道の掘削に伴う岩盤のゆるみの影響を考慮する方法について検討し、地震時挙動を解析するための前提条件である常時状態を適切に評価する方法の検討を行います。また、地下深部の地質構造が褶曲構造や傾斜構造を有する場合に、地盤中を伝播する地震動の分布が坑道の耐震性に及ぼす影響について、検討を行う計画です。

以上

技術課題-7 地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念の検討

～ 廃棄体パッケージとそのハンドリングの検討

及び包括的感度解析手法を用いた安全評価手順の整備 ～

主な成果

第二種特定放射性廃棄物が地層処分事業の対象となった2008年度以降、NUMOは、既往の検討成果の整理と課題の抽出を行い、優先度が高いと考えられる課題から順に、検討に着手しています。

2011年度は、設計の観点からの検討として、廃棄体パッケージの仕様とハンドリングに関する検討を実施しました。また、安全評価の観点から、多様な地質環境条件においても、柔軟に対応できるようにするための処分概念オプションの構築と、それらのオプションの具体的な検討を行いました。さらに、それらを踏まえ、処分システムが安全であることを、論拠を持って提示するための評価手法・手順の整備を行いました。

1. 設計の観点からの検討

(1) 廃棄体パッケージの検討

廃棄体を収納する廃棄体パッケージについての要求性能を整理した上で、それに基づいてコンクリート製パッケージの仕様案を提示しました。さらに、廃棄体パッケージの製作方法を検討し、現在の工学技術で製作できることを示しました。図-1にコンクリート製パッケージの例を示します。

(2) ハンドリングに関する検討

地下施設における廃棄体パッケージのハンドリング方法とその設備及び遠隔制御方法を、既存の技術を適用することを前提として検討し、操業の実現可能性を示すことができました。さらに、上記で設定した操業工程において想定される異常・事象を抽出・整理し、それらを未然に防止する策や影響を軽減する策などを示しました。また、事故時の廃棄体パッケージの堅牢性を評価するために、そのハンドリング中の万が一の落下事故を想定し、今回提示した仕様のコンクリート製パッケージを対象とした落下衝突解析を実施しました。その結果、高さ6mからの落下において、コンクリート製パッケージには亀裂が生じる可能性が示唆されました(図-2)。今後は、追加の落下衝突解析を行って、パッケージの中に収納された廃棄体の堅牢性をさらに精度良く評価します。さらに、その評価結果をパッケージなどの設計に反映して、パッケージの落下時における放射性物質による汚染拡大を防止できるようにします。

2. 処分システムの安全性を提示するための評価手法・手順の整備

地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念では、多量のセメント系材料が使用されると想定されています。また、廃棄体には、硝酸塩や有機物などの物質が含まれており、他のバリア材料に影響を及ぼす可能性が指摘されています。そのため、地層処分低レベル放射性廃棄物の安

全評価においては、高レベル放射性廃棄物の場合に比べて、より大きな不確実性が存在することになります。処分システムの安全評価において、これらの不確実性がシステムの安全性に及ぼす影響の大きさを把握することは、評価の十分性や網羅性の確保につながるとともに、その信頼性を向上させる上で極めて重要です。

2011年度は、2010年度までに整備した「高度化した包括的感度解析手法」を安全評価に組み入れました。ここで、「包括的感度解析手法」とは、パラメータの不確実性を考慮した多数の決定論的解析（統計解析）に基づいて、評価結果に与える影響が大きいパラメータを特定し、それらを用いて性能目標を満足するパラメータの組み合わせ（成立条件）を抽出する手法です。高度化した包括的感度解析手法とは、影響度の高い複数の因子（複数のパラメータから構成）を対象として成立条件を階層的に効果的に抽出するよう既存の手法を改良した手法です。この手法においては、解析解の利用により、処分システムの応答特性を把握することが可能となり、複数のパラメータからなる影響度の高い因子が抽出されました。この応答特性の理解と影響度の高い因子の抽出により、解析条件の類型化が可能になりました。また、解析条件の類型化に基づいて評価の十分性や重要な解析条件などを提示することが可能となりました。さらに、統計解析の結果を併用することによって現実的な成立条件を抽出できるようになり、評価対象とする解析条件との比較により、処分システムの安全裕度を定量的に示すことが可能になりました。図-3にその手順の概念を示します。この評価手順に基づく安全評価では、処分システムの頑健性や評価の信頼性の向上に資する情報を提示できるものと考えています。

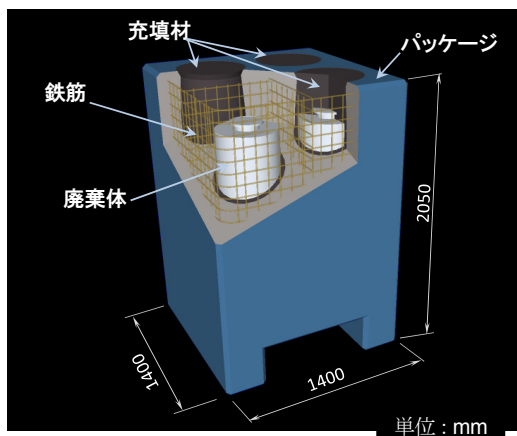


図-1 コンクリート製パッケージの例

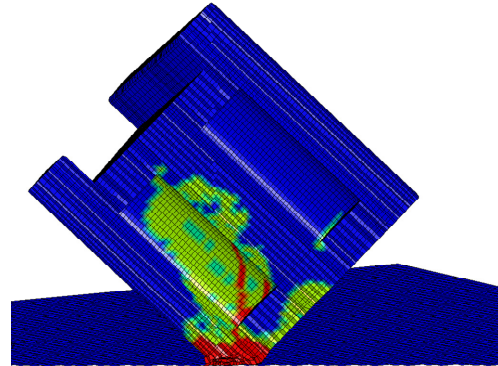


図-2 落下衝突解析の結果の例
(赤色の部分が亀裂発生箇所)

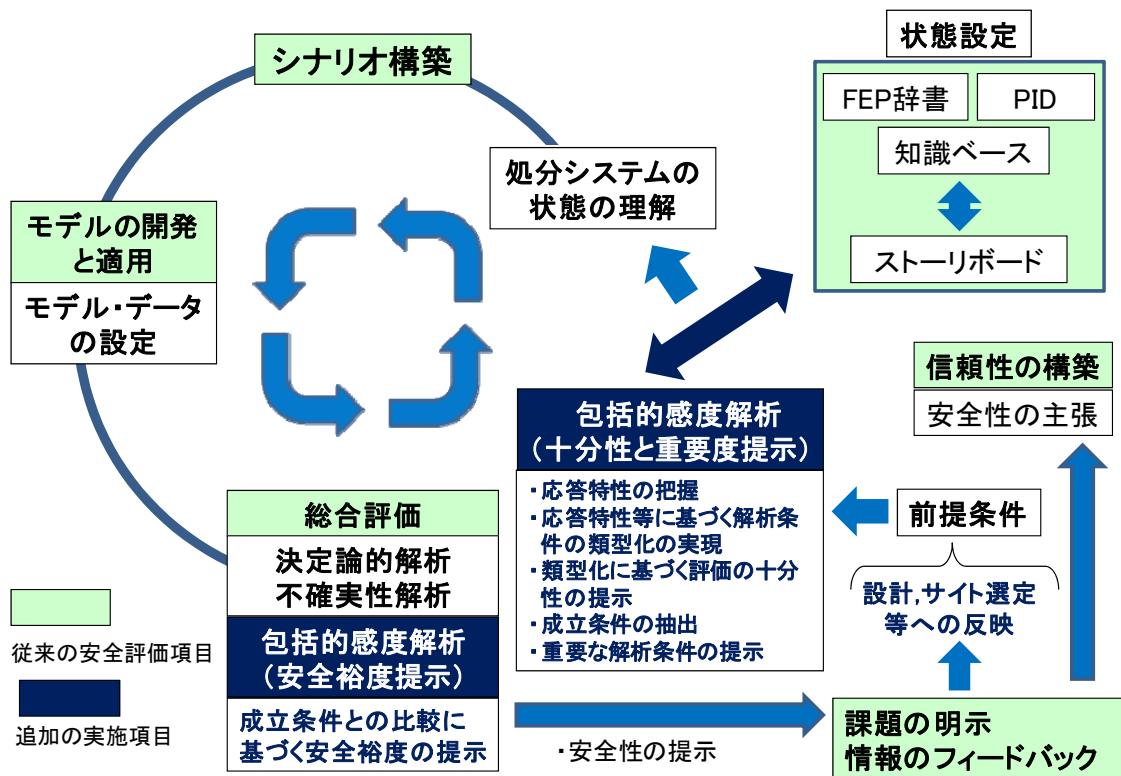


図-3 高度化した包括的感度解析手法を用いた安全評価の手順の概念

今後の計画

今後は、2011年度に検討した廃棄体パッケージ、安全評価手法・手順、さらには、最新の基盤研究開発などの成果を反映し、多様な地質環境条件においても、地層処分低レベル放射性廃棄物の処分が安全かつ合理的・効率的に実施できることを提示します。これらの検討成果は、NUMOの地層処分低レベル放射性廃棄物処分場の概念を構築する際に反映していきます。

以上

技術課題-8 シナリオ構築技術の検討

～ セメント系材料－緩衝材相互作用に関する検討， 人工バリアの状態変遷に関する過渡期の検討 ～

主な成果

本技術課題の検討においては、安全評価におけるシナリオ構築技術の高度化を目的として、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ました。そして、その結果から人工バリアの安全機能の時間的変遷を想定し、期間で区分して、確からしい処分システムの状態変化をストーリーボード¹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、及びセメント系材料と緩衝材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. セメント系材料－緩衝材相互作用に関する検討

セメント系材料は処分坑道の支保に用いられるとともに、地層処分低レベル放射性廃棄物の地層処分においては構造躯体や充填材など、多くの部位に用いられる可能性があります。本検討では、地層処分低レベル放射性廃棄物の地層処分を対象に、処分施設内においてセメント系材料と隣接する緩衝材との相互作用により生起する事象を整理しました。セメント系材料にはポルトランドセメントを使用するものとして、ハル・エンドピースを含む廃棄体を対象に、降水系地下水条件を想定して、過渡期、安定期、終焉期の三つの時間段階における処分システムの状態変化をストーリーボードに整理してまとめました。図-1に、ストーリーボードにまとめたセメント系材料－緩衝材の相互作用により生起する事象の変遷のうち、一例として、安定期について示します。セメント系材料－緩衝材の相互作用は両者の接する界面において生じる現象であり、時間の経過とともに変質反応が界面から内側へと進行します。安定期ではセメント系材料の水和溶解が緩やかに進み、緩衝材と接する部分では緩衝材から水に溶けた成分の侵入により二次鉱物が生成します。緩衝材の変質（水和溶解、イオン交換）も進み、同時に二次鉱物が生成します。二次鉱物が生成することによって界面での物質移動速度が低下し、変質の進行が抑制され、セメント系材料、緩衝材には健全部分が残存すると想定されます。そのことから、全体の性能としては、初期の性能から著しく低下しないと想定されます。その反応メカニズムや可能性などについて整理しました。

2. 人工バリアの状態変遷に関する過渡期の検討

人工バリアが再冠水する過渡期には、廃棄体からの発熱、緩衝材の偏膨潤による局所的な圧力発生、また地下水と緩衝材やコンクリート支保との化学反応などの現象が複合的に生じます。これらの不可逆的な現象が、人工バリア性能に影響を与える可能性があることから、安全評価におけるシナリオを構築する際には、この期間に想定される事象の影響を反映する必要があります。このため、高レベル放射性廃棄物の地層処分における過渡期に着目して、人工バリアの状態変遷に関連する事象を精査しました。本検討では、結晶質岩を母岩として、降水系地下水

¹ 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するプロセスを、概念図や言葉を用いて描写したものの。

の地質環境条件における横置き型処分を対象に、定置後から数百年以降まで段階的に時間を区切って過渡期を整理し、ストーリーボードをまとめました。ストーリーボードの一例として、閉鎖後数年から数十年の間で人工バリア及びその周辺岩盤で生起する事象を整理した結果を図-2に示します。ストーリーボードをまとめるにあたっては、再冠水のプロセスと塩濃縮現象、オーバーパック・緩衝材・コンクリート支保の変質とこれら材料間の化学的相互作用や、微生物活動、酸化還元環境の変遷などに関して、各事象の相互影響を整理しました。この際、ストーリーボードで取扱った事象については、その論拠情報をまとめるとともに、不確実性があるものについては、ロジックツリーを作成して検討を行いました。

3. 人工バリアの変質に関するデータ取得

人工バリアの安全機能の時間的変遷をまとめるにあたって、人工バリアの長期挙動に関する情報収集・整理に加え、より詳細な検討が必要なものについて試験を実施しました。ここでは、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関係して、ガラス固化体の溶解反応の溶存アルミ濃度依存性、炭素鋼オーバーパック中の水素拡散挙動の応力依存性、再冠水過程での緩衝材の水和・膨潤挙動に関する3件の試験を実施しました。また、オーバーパック-緩衝材の相互作用に関して、川崎鉾山における天然事例調査を実施しました。低レベル放射性廃棄物の地層処分に関係しては、セメント系水和物の核種の収着や拡散挙動に関する4件の試験と、セメント-緩衝材境界部の変質に伴う間隙の閉塞に関する試験を実施しました。これらの試験の結果、人工バリアの状態変遷の概念や安全性を示す上で論拠となる知見が拡充できました。

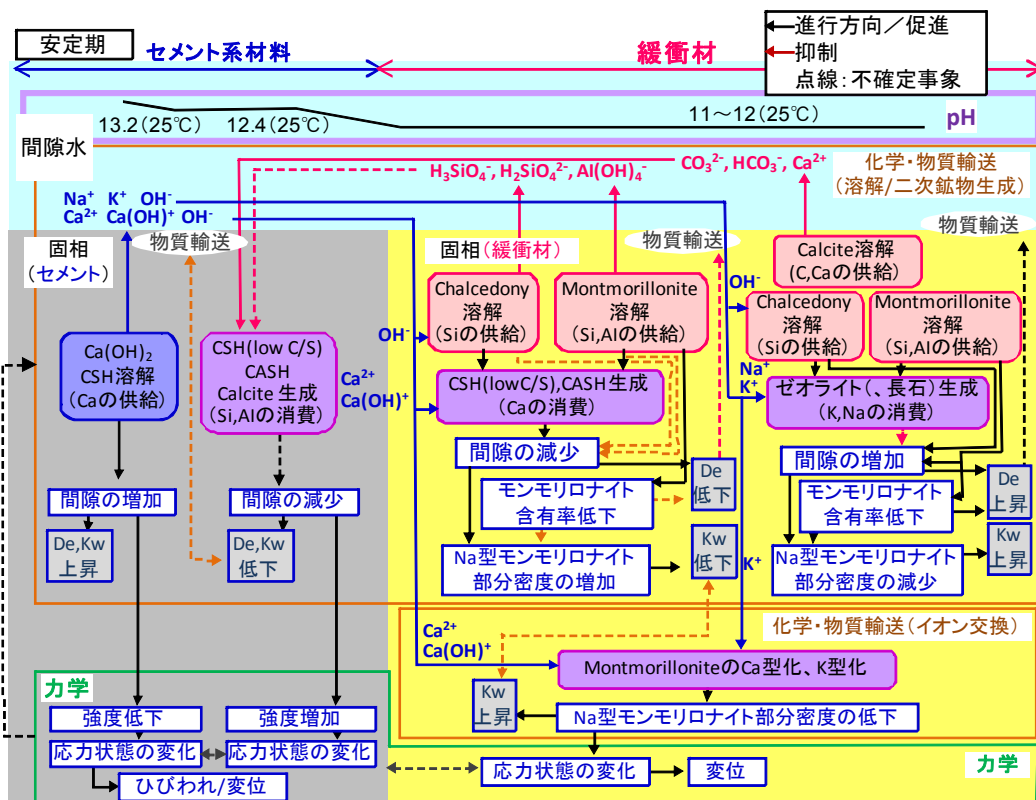


図-1 セメント系材料-緩衝材の相互作用に関するストーリーボード (安定期)

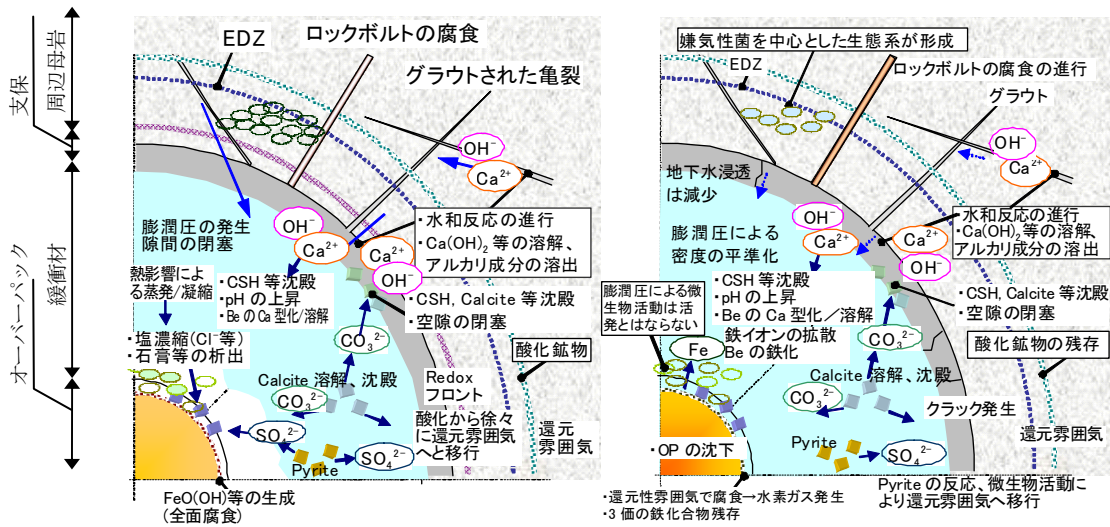


図-2 過渡期の人工バリアの状態変遷に関するストーリーボードの一例

今後の計画

人工バリア材料やセメント系材料の長期変質，及びこれら材料間の相互作用による長期変質に関して，今後は変質の範囲や安全機能への影響を定量的に検討し，人工バリアの状態設定や安全評価，また処分システムの設計に反映させます。

以上

技術課題-9 地下水流動解析技術の検討

～地下水流動解析に用いる解析手法の比較検討～

主な成果

本技術課題は、今後に予定する予備的安全評価や安全評価における手法開発、モデル化技術、解析・評価技術における品質の確保の一環として、地下水流動解析に用いるべき適切な手法の選択のための検討を実施しました。

1. 有限要素法及び有限体積法と混合ハイブリッド有限要素法との比較検討

二次元不均質場の代表的な形状モデル (Mose ほか¹⁾) を対象として、各解析手法を実装した解析コードを用いた流動解析と粒子線追跡手法を用いた物質移行経路の推定を行い、これを比較しました (図-1)。全水頭の分布状態 (カラーコンター) は、混合ハイブリッド有限要素法と有限要素法に大きな差異は見られなかったものの、物質移行経路の解析結果 (白線) については、透水係数が大きく変動する箇所において両者で差が見られます。

また、要素分割数を変化させた解析では、混合ハイブリッド有限要素法では粗い要素分割においても解は比較的安定していました。これに対して有限要素法においては、要素分割数に強く依存する結果となりました。

さらに、地層処分低レベル放射性廃棄物の処分概念に基づく解析では、緩衝材の内部を流れる流量について比較しました (図-2)。緩衝材内部の流速値そのものは小さく、拡散支配とはなっているものの、混合ハイブリッド有限要素法は、要素分割の条件に依存しにくい手法であることがわかります。

2. 地下水流動解析評価における留意事項の整理

各解析手法を対象とした比較検討の結果からは、水頭分布を比較するには何れの手法も有用ですが、要素分割数が物質移行経路や流量の解析結果へ及ぼす影響という観点からは混合ハイブリッド有限要素法が優位でした。本比較検討解析で明らかとなった既存解法の長所及び短所に十分留意し、評価の目的に応じて、適宜、手法を選択するなどの対策を講じることが重要となります。そのような対策により、地下水流動解析結果を概要調査段階や精密調査段階で予定される安全評価解析に適用することが可能になると考えます。また、SKBなどで実施されているような大規模かつ長期間の塩水・淡水の挙動を亀裂状岩盤で評価する必要がある場合には、解析コードの並列化など、解析システムの構築においても今後検討する必要があります。

本検討での解析コード間の解析結果の比較、及びSKBなど諸外国での評価事例 (対象とする事象、空間サイズ) や使用している解析コードの性能に関する情報から、地下水流動解析評価における留意事項は、以下のようにまとめられます。

¹ R.Mose, P.Siegel, and P.Ackere : Application of the mixed hybrid finite element approximation in a groundwater flow model : Luxury or necessity ?, Water Resources, vol. 30, No. 11, pp. 3001-3012, 1994.

【解析手法, 対象とする解析領域のサイズ, 地盤モデル作成及び要素作成についての留意事項】

- ・ 粒子追跡解析及び施設通過流量の算出が必要となる場合, 局所物理量保存型で解析ができることが地下水流動解析コードに求められます。また, 物質移行解析や密度依存流を考慮する場合には, 局所物理量保存型解析手法がより適切です。
- ・ 沿岸域で気候変動の影響を受ける立地条件では, 大領域・超長期に対して三次元で非定常・非線形解析を実施する可能性があります。このような大容量かつ長時間の解析に対応して実際に作業するため, 分散メモリ型の並列解析機能が必要です。
- ・ 複雑な地質や処分坑道の形状を対象とする場合, 要素分割の自由度が高い解析手法であることが望ましいので, 要素分割の自由度が高い混合ハイブリッド有限要素法あるいは有限体積法が適切です。
- ・ 確率論的に亀裂を取扱う必要がある結晶質岩サイトの沿岸域が評価対象となる場合, 三次元非定常・非線形解析のモンテカルロシミュレーションを実施する可能性があるため, 計算効率を高め, 人的負荷を軽減するために比較的粗い要素分割ながらも高精度となる流動解析ができる必要があります。

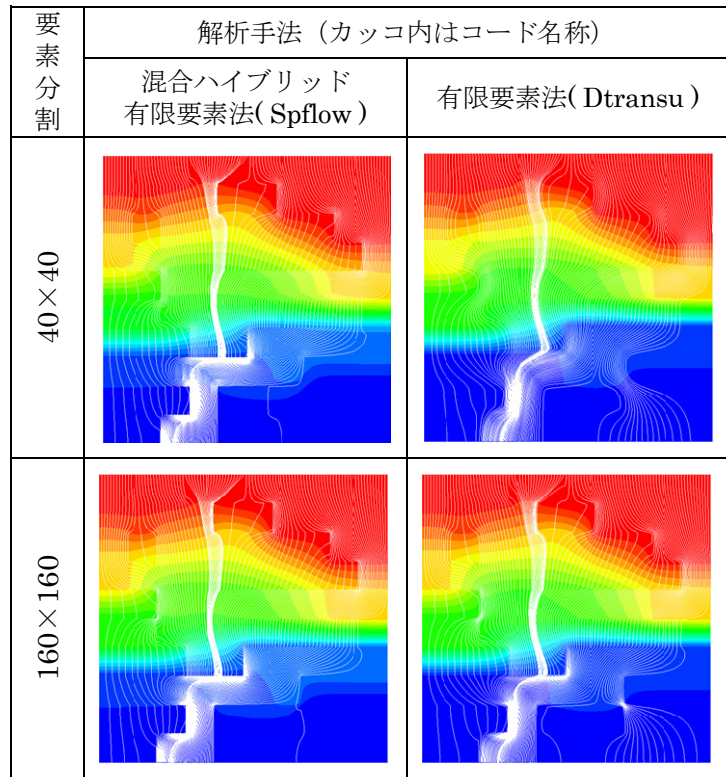
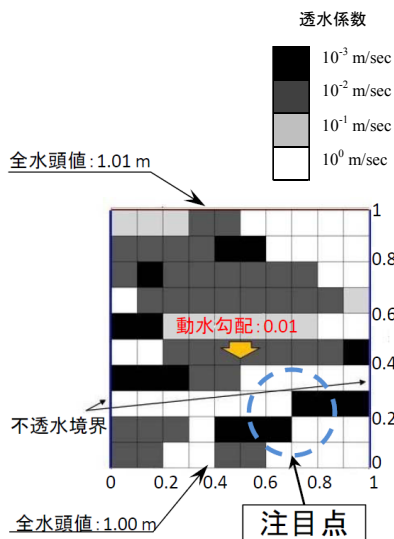
【品質管理の観点における留意事項】

- ・ 本検討で調査した既往の研究例では, 海水準変動を考慮した密度流解析については非線形性が極めて強いことが問題となって, 単一の解析コードのみによる解の妥当性を保証することは困難となります。SKB においても, Connect-Flow と DarcyTools といった異なる二つの解析コードを用いた検討が進められています。適切な解析手法を採用した複数の解析コードを用いることにより解の整合性・妥当性を確認できる評価体制の構築が必要です。
- ・ 不均質場を対象とした定常飽和浸透流問題では, 逆行列の計算時に, 解の収束を判断することが重要となります。解の安定性や収束性など, 解析結果の品質の面で課題が生じる可能性が高く, その対策のため, 解析コードには安定性の高い複数の解法が組み込まれていることが必要となります。

今後の計画

NUMO では, 今後, 概要調査に向けてセーフティケースの具体化, 予備的安全評価における評価方法の具体化を進めていきます。評価に用いる解析コードは一つとは限らないものの, 解析対象に適合する解析手法を選択することが重要です。また, 現象の理解を深めて, 性能評価モデルの構築や, 性能評価に用いる解析コードの信頼性を高め, 品質を保証することが不可欠です。本成果は, 地下水流動解析及び物質移行経路の取扱い手法の品質保証の一部を担うものとなります。特に, 評価に用いる解析コードのつながり (モデルチェイン) の構成に反映することができます。

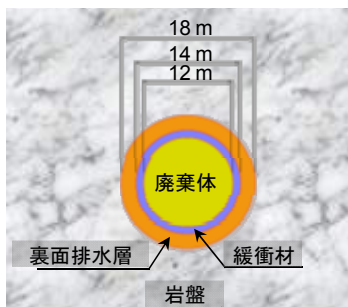
以上



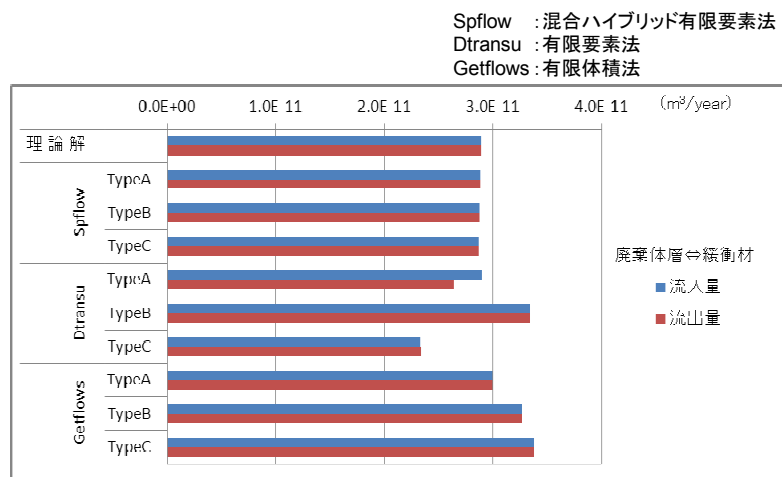
(a) ベンチマークモデル

(b) 全水頭分布 (コンター) と物質移行経路 (白線) の解析結果の比較

図-1 ベンチマークモデルによる流動解析結果



(a) 解析モデル



注) 要素分割数: Type A > Type B > Type C

(b) 緩衝材内部流量の計算結果の比較

図-2 地層処分低レベル放射性廃棄物処分概念を対象とした解析結果

技術課題-10 生物圏評価技術の検討

～精密調査地区選定段階における生物圏評価のガイドラインの検討～

主な成果

NUMO は、概要調査地区選定段階、精密調査地区選定段階及び処分施設建設地選定段階の各段階において、安全評価に必要となる生物圏評価を効率的に実施するため、以下の作業項目を設定しています。

- ・各段階での安全評価に必要な情報の提示（例えば、線量への換算係数）
- ・次段階の評価手法や優先的に対応すべき項目の明示

2011 年度は、精密調査地区選定段階以降の生物圏評価を効率的に実施するため、「精密調査地区選定段階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」と「精密調査地区選定段階において実施する具体的な評価手法の整備」を行いました。さらに、これらの情報などの整備に基づき、「精密調査地区選定段階の生物圏評価に関するガイドライン（どのような項目を対象として、どのようにデータ取得、評価を行うかに関する指針）の検討」を行いました。

1. 精密調査地区選定段階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

精密調査地区選定段階において効率的に生物圏評価を実施するためには、優先的に取得すべきデータなどを明示することが重要です。そこで、以下のデータを対象として情報を整理しました。

- ①生物圏の評価モデル構築のために、現地調査での取得が期待される主要なデータ（食品摂取の傾向、利水状況、農畜産漁業の状況など）
- ②既存の感度解析結果に基づく重要なパラメータ（河川流量、灌漑水量、農作物への移行係数など：サイト条件に強く依存しないパラメータも含む）

これらのデータが不足していた場合、データ取得計画上の優先順位を上げる必要があります。そこで、不足しているデータの抽出を容易にするため、関連するパラメータに関する情報を整理し、その結果をまとめました。整理した項目は次の通りです。

- ・現状のパラメータ値に関する情報（設定根拠など）
- ・地層処分以外の他の分野でのデータ取得方法
- ・今後のデータ取得計画策定に資する情報（①の場合は、パラメータの設定方針、調査方法、設定期間、概略コスト、課題など、②の場合は、我が国固有データの使用の有無、データ更新の必要性、設定方法の妥当性、見直し案、線量への換算係数に対する影響度、サイト固有性）

これらの整理作業と既存の知見をもとに、精密調査地区選定段階までにデータベースなどの整備が必要なパラメータや精密調査地区選定段階において優先的に取得すべきパラメータ（案）及び今後の課題をまとめました。2011 年度は、優先的に取得すべきパラメータとして、「食物などの摂取量」、「土壌の分配係数」、「食物への移行・濃縮係数」、「農作物の栽培に関する

るデータ」を提案しました。

一方、サイト特性を反映させた評価を実施するために、「サイト特性を反映可能な解析モデルの設定方法の構築」を課題として挙げました。

2. 精密調査地区選定段階において採用する評価手法の整備

現実的に設定することの有用性が指摘されている「市場希釈係数」と「ヨウ素、炭素の移行モデル」に関する国内外の検討状況や手法を調査・検討しました。

市場希釈係数は、食物の摂取を通じて体内に取り込まれる放射性核種の量に影響を与える重要な係数です。これまでの評価においては、「摂取する食物は全て放射性物質に汚染されたものとし、市場における非汚染食物による希釈は考慮しない（市場希釈係数＝1）」（市場希釈係数：非汚染食物により薄められる割合）との保守的な仮定に基づく評価が行われてきました。本検討では、現実的な線量への換算係数を設定することを目的として、現実的な市場希釈の取り扱いや評価への取り入れの可能性について検討しました。ここでは、市場希釈係数を自給率（＝収穫量/消費量）の考え方をを用いて近似的に設定する考え方を示します。

図-1、2 に、横軸に自給率、縦軸に都道府県をとることによって表した米の自給率と飲料牛乳等の自給率の都道府県別データを示します。図より、都道府県によって自給率がかなり異なることがわかります。自給率と市場希釈係数は異なりますが、自給率と市場希釈係数が相関するものと考えらるならば、地域の特性を考慮せず、一律市場希釈係数を1とすることが非現実的であることがわかります。

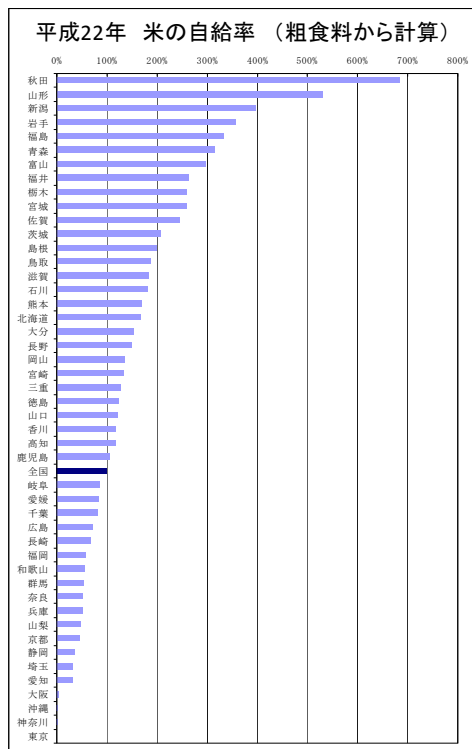


図-1 都道府県別の米の自給率¹

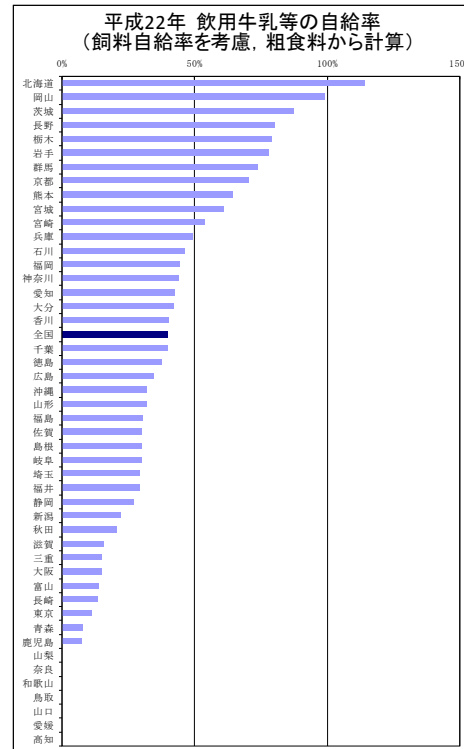


図-2 都道府県別飲料牛乳等の自給率¹

¹ 食料需給表平成22年度、作物統計平成22年産、牛乳乳製品統計平成22年産（農林水産省、2011）、平成22年国勢調査人口速報集計結果（総務省統計局、2011）のデータを使用し、NUMOが作成。

ヨウ素、炭素の移行モデルについては、既往の研究成果を生物圏評価モデルへ取り込むことの妥当性を判断するため、それらの研究における諸条件を確認しました。ここでは、諸条件として研究対象元素の化学形態、微生物影響の考慮の有無、考慮対象とした移行経路、移行係数、諸要因、植物の種類を確認項目としました。これらの情報を整理・解析し、炭素、ヨウ素の評価モデルの現状を以下のようにまとめました。

現在の炭素の移行評価モデルでは、土壌から食物への経根吸収による経路のみが設定されていますが、大気から食物への移行については考慮されておらず、これも課題として挙げられます。また、近年の研究状況から、下記の項目を今後の課題として提案しました。

- ・大気経由の炭素の取り込みを扱うモデルの追加
- ・土壌からの炭素の揮発プロセスの考慮
- ・ヨウ素の移行係数の時間依存性の考慮

これらの課題に関しては、今後、専門家などの意見を踏まえて必要性などを精査した上で、モデル化に向けて検討を進めていきたいと考えています。

3. 精密調査地区選定段階の生物圏評価に関するガイドラインの検討

1.の検討成果を踏まえ、精密調査地区選定段階におけるパラメータ設定に資することを目指し、サイト条件に依存した生物圏評価のためのガイドラインを策定するために必要となる、以下の項目について情報を整理しました。

- ①精密調査地区選定段階におけるデータ取得項目及びパラメータ設定の方針
- ②現状における地層処分に関する既往の生物圏評価に関するパラメータ及びその設定根拠を整理
- ③②で整理した情報に関する有識者からの意見：調査・設定方針に反映させるための、上記②に関する有識者などからの意見を整理
- ④他分野でのデータ取得及びパラメータ設定方法：他の原子力施設や海外での設定方法を整理
- ⑤文献調査時のデータ取得及びパラメータ設定方法
- ⑥概要調査時のデータ取得及びパラメータ設定方針
- ⑦想定されるコスト（サイトにおいて機構が実施する調査についてのみ）
- ⑧データ取得のスケジュール及び克服すべき課題

今後の計画

1.の「精密調査地区選定段階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」の結果として、「サイトの特性を可能な限り反映した解析モデルの幾何形状などに関するパラメータの設定」を今後の課題として提案しました。2012年度は、この課題を解決するための手法を検討します。これらの手法の整備により、評価においてサイト特性を反映することを合理的に説明することができるようになり、評価の信頼性が向上すると考えます。

以上

技術課題-11 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及び 閉鎖後長期の安全評価の考え方の検討 ～

主な成果

2011年度は、原子力関連事業における既存の指針類などを踏まえ、以下の検討を実施しました。

- ①操業中の安全設計方針の検討
- ②閉鎖後長期の安全評価の考え方の検討

1. 操業中の安全設計方針の検討

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、地上施設に焦点をあてて地層処分事業での安全設計方針について検討しました。なお、現段階では地層処分サイトが決まっ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。

安全設計方針については以下の手順で検討しました。

- ①高レベル放射性廃棄物処分（以下、HLW という）及び地層処分低レベル放射性廃棄物処分（以下、TRU という）の作業工程の検討：類似事業を参考に設備、作業工程を仮定
- 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同様の対策を検討
- ③異常時の安全対策の検討：作業工程毎に想定される事象を抽出し、安全対策を検討
- ④安全設計方針の検討：平常時、異常時の安全設計方針を検討（図-1）

上記の検討の結果、HLW 設備と TRU 設備はそれぞれ取り扱う廃棄体の性状が異なるものの、安全設計方針として共通する事項が多いことがわかりました。また、TRU 設備は、HLW 設備に比べて含有放射性物質量が少ないため、発熱量が低く、相対的に安全対策が緩和される傾向にあります。そのため、TRU 設備で必要とされる安全対策の大半は、HLW 設備で講ずべき安全対策に包含されることがわかりました。一方で、HLW 廃棄体と異なり TRU の廃棄体の種類は様々であり、特に可燃性廃棄物や発火性のジルカロイファインを内蔵する廃棄体については、独自の安全対策が必要となる可能性が示唆されました。

2. 閉鎖後長期の安全評価の考え方の検討

既存の指針類で定められているシナリオなどを参考に、地層処分対象廃棄物の特性を整理し、深地層の状態やパラメータを設定して、ケーススタディを実施しました。2011年度は、広範なシナリオや解析ケースを対象として解析することに重点をおき、具体的な地層処分を対象とした安全評価の考え方については、次年度の検討課題としました。なお、解析に必要な状態設定やパラメータの仮定に際しては、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、想定可能な範囲で保守的な数値を用いました。

今回実施したシナリオのケーススタディ結果から、多くのシナリオにおいて、処分深度、隆起・侵食速度、バリアの透水係数などの設定値によって被ばく線量が大きく影響されることが確認されました。また、超長期の不確実性の取扱いについても検討する必要があることが改めて示唆されました。

項目		HLW 設備	TRU 設備	安全設計方針
異常事象に対する安全設計方針	落下・転倒・衝突	○	○	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄体等を取り扱うクレーンのワイヤの二重化 ・廃棄体等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、廃棄体等の荷重がなくならなければ、つり具から廃棄体等が外れない設計 ・廃棄体等を取り扱うクレーンの吊り上げ高さ制限 ・廃棄体等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 ・廃棄体等を取り扱うクレーンの耐震設計 ・廃棄体等を取り扱うクレーンの電源喪失時のフェールセーフ設計 ・廃棄体等を搬送する搬送台車等の機器の脱線・逸走防止用の脱線防止ラグ、エンドストップ及びインターロックの設置 ・廃棄体等の一時保管用架台等の転倒防止柵の設置等による地震力の作用に対する転倒防止設計 ・廃棄体等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
	過度な温度上昇	○	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラス固化体がつ閉じ込めの機能を維持するために、ガラス固化体の適切な冷却、電源喪失による換気設備停止時の温度上昇に対する時間的余裕の解析等による確認 ・“仏国返還の固型物収納体（ハル等）”と“原燃再処理操業の不燃物Ⅰ（熔融炉）”に対する発熱性を考慮した設計
	火災・爆発	○	○	<ul style="list-style-type: none"> ・アスファルト固化体に対する火災の発生防止・拡大防止・影響緩和対策（着火源の排除、火災感知器、自動水噴霧消火設備の設置） ・“原燃再処理操業のハル・エンドピース”及び“仏国返還の固型物収納体（ハル等）”に対するジルカロイファインの発火防止対策
		○	○	<ul style="list-style-type: none"> ・閉じ込め区域の適切な設定による想定される火災・爆発時の閉じ込め機能維持 ・主要設備の実用上可能な限りの不燃性又は難燃性材料を使用する設計 ・着火源の排除及び可燃性物質の漏えい防止対策 ・適切な防火区画の設定、自動火災報知設備及び消火設備の設置

(注) 廃棄体等：ガラス固化体、TRU 廃棄体、輸送容器、しゃへい容器

図-1 安全設計方針案（一例）

今後の計画

2012年度以降、操業中の安全設計に関しては、地下施設に焦点をあてて検討し、安全設計方針案としてまとめます。また、閉鎖後長期に関しては、2011年度の結果をもとにして、地層処分特性を考慮したシナリオ、状態設定、評価期間による不確実性の取扱いなどを踏まえ、閉鎖後長期の安全評価の考え案としてまとめます。

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の論点を整理し、処分事業者として基本的な考え方を整備することが、地層処分事業を円滑に進めることに貢献するものと考えます。

以上

技術課題-12 処分施設建設地選定段階で必要な技術の検討

～ 欧州諸国の地下研究施設における調査・試験の実態調査 ～

主な成果

これまでに、NUMO は、概要調査及び精密調査の前半に向けて技術を開発する一環として、地上からの地質環境調査技術の実証試験や、断層破碎帯の水理特性に関する研究を進めてきました。その一方で、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は、今後の課題として残されていました。

これらの現状を踏まえ、2011 年度は、欧州諸国の処分事業でこれまでに実施された事業許可申請に対する地下研究施設での調査・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ついて包括的に調査しました。

これらの基礎情報から、今後の調査・試験手法の実証ならびに技術開発計画策定に反映することを目的として、NUMO が今後進めていく地下調査施設での精密調査における調査・試験手法を検討しました。

1. 欧州諸国における地下研究施設を用いた調査・試験の実態調査

欧州諸国の実施主体では、段階的な処分地選定や許認可申請に向けての様々なアプローチがとられており、展開されている地下研究施設の役割や実施項目がそれぞれ異なります。そこで、本検討では、わが国での地下調査・試験計画の立案への反映を目的として、フィンランド、スウェーデン、ベルギー、スイス、フランス、イギリスの専門家による国際ワークショップを開催しました。このワークショップにより、欧州諸国において各国の地下研究施設で行われた、または計画された調査・試験の実態を調査しました。主な調査項目は、以下のとおりです。

- ・ 各国の地層処分プログラムの進展と地下研究施設での研究活動の役割
- ・ 安全評価と技術開発間の要求事項の相関ならびに地層処分プログラムへの反映
- ・ 処分プログラムへの反映を念頭において地下研究施設での研究計画を策定するための重要項目
- ・ 地下研究施設建設において意志決定すべき主な内容及び建設前に重要となる要求事項
- ・ 地下研究施設の組織構造（人的資源、予算の編成における協力事業者との相互関係）

欧州諸国で実施されている地下での調査・試験は、候補母岩の特性に着目した地下研究施設¹、処分場建設地での地下研究施設²、地下研究施設まで至らなかった事例³があり、それぞれで役割や展開されているプログラムの内容が異なります。ここでは、国際ワークショップで議論した内容を取りまとめ、各国の処分プログラムと地下研究施設の位置付け及び役割を整理し、地下での調査・試験で得られる知見の反映先を分析しました。

¹ スイスのグリムゼルとモンテリ、ベルギーのモル、スウェーデンのエスポ、フランスのビューール

² フィンランドのオルキオト

³ イギリス

2. 地下研究施設などでの調査・試験項目に関する検討

国際ワークショップの結果をもとに、NUMOが蓄積してきた知見と、これまで実施してきたNagra⁴との共同研究成果を踏まえて、文献調査開始前から精密調査後半の段階までの期間で、地下研究施設または室内研究施設を活用した調査・試験項目を整理しました。

その際に、処分場とは異なる地域または地質に建設したオフサイト地下研究施設については、精密調査後半までの、また処分場の近傍で同じ母岩を対象にしたオンサイト地下調査施設については、同施設を建設する前までに実施すべき調査・試験項目を、それぞれ列挙しました。

精密調査後半までにオフサイトで実施するものとして挙げられた調査・試験項目は、次のとおりです。

- ・ 処分場の安全評価上の不確実性を低減するために試験しておくべきもの（熱・水・応力・化学の相互影響など）
- ・ 母岩の特性を調査・評価するためのもの（戦略的な調査計画策定や調査・評価技術の実証など）
- ・ 人工バリアシステムの性能を把握・評価するためのもの（処分坑道掘削技術や廃棄体の搬送・定置技術など）
- ・ 技術者の能力向上を目的としたものや、各種技術の適用性を確認するためのもの など

また、地下調査施設建設前までにオンサイトで実施するものとして挙げられた調査・評価項目は、次のとおりです。

- ・ オフサイトで実施した調査・試験及び提起された技術的課題の検証・確認
- ・ 地下調査施設の設計・建設技術にかかわる調査・試験
- ・ 不確実性低減のための地上からの追加調査項目の提案と調査の実施
- ・ ベースラインモニタリングや地下調査施設建設のために必要となる技術開発 など

これらの調査結果を、事業許可申請までの必要となる時期毎に整理し、オフサイトの地下研究施設において文献調査開始前に早期に実施すべき項目、概要調査段階または精密調査前半段階で実施すべき調査・試験の項目などとしてまとめました。

今後の計画

本検討では、引き続き欧州諸国の地下研究施設を用いた調査・試験の具体的な実施内容の情報収集を通じて、NUMOが計画・実施する調査・試験項目の具体的明示に向けた検討を進めていきます。その成果は、精密調査後半の調査計画に反映します。さらに、地層処分の安全評価に資する基礎情報⁵の取得に向けて調査を継続します。

以上

⁴ スイスにおける地層処分実施主体

⁵ 例えば、地質環境特性が持つ性能に関する知見の獲得、人工バリアの性能評価、多重バリアシステムの総合的な安全評価など

付表1 技術報告書発行実績

発行年月	題名
2011/9	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

付表2 学会等発表実績

発表年月日	発表先	題名	執筆者
2011/4/10-14	13th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM 2011)	BACKGROUND AND OVERVIEW OF THE NUMO 2010 TECHNICAL REPORT	土宏之ほか
2011/4/10-14	13th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM 2011)	STAGED IMPLEMENTATION OF THE JAPANESE GEOLOGICAL DISPOSAL PROJECT	加来謙一ほか
2011/4/10-14	13th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM 2011)	Methodologies for early-stage site evaluation in Japan and technical challenges	後藤淳一ほか
2011/4/10-14	13th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM 2011)	SCENARIO DEVELOPMENT METHODOLOGY FOR DYNAMIC SYSTEM EVOLUTION IN COASTAL AREAS	江橋健ほか
2011/4/10-14	13th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM 2011)	IMPROVEMENT OF REPOSITORY CONCEPTS FOR REALISTIC UNDERGROUND ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN JAPAN	窪田茂ほか
2011/5/10-12	物理探査学会 第124回(平成23年度春季)学術講演会	放射性廃棄物地層処分の概要調査に関する物理探査技術実証研究	吉村公孝ほか
2011/5/22-27	日本地球惑星科学連合2011年大会	地層処分事業の安全確保のための自然現象の将来予測と安全評価（その1）	後藤淳一ほか
2011/5/22-27	日本地球惑星科学連合2011年大会	地層処分事業の安全確保のための自然現象の将来予測と安全評価（その2）	江橋健ほか
2011/6/28-7/7	International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG 2011)	Methodologies for evaluating tectonic phenomena for siting a HLW repository in Japan and activities for further improvement	後藤淳一ほか
2011/9/7-9	土木学会 平成23年度全国大会 第66回年次学術講演会	概要調査に向けた地質環境の調査技術・評価手法の実証（その6）－物理探査技術の実証研究－	吉村公孝ほか
2011/9/7-9	土木学会 平成23年度全国大会 第66回年次学術講演会	地層処分施設の構造的特徴を検討した地震時挙動特性の把握－立坑と水平坑道の交差部の検討－	玉田潤一郎ほか
2011/9/9-11	日本地質学会第118年学術大会	地質環境の超長期評価に伴う不確実性に対する取り組み	後藤 淳一ほか
2011/9/13-15	物理探査学会 第25回(平成23年度) 秋季学術講演会	沿岸域における高密度TDEM法電磁探査の実証研究	吉村公孝ほか

発表年月日	発表先	題名	執筆者
2011/9/20-22	日本原子力学会 2011年秋の大会	概要調査段階における地質調査技術・評価手法の実証 その3-地下水モニタリング装置の設置に係る品質保証方法の検討-	吉村公孝ほか
2011/9/20-22	日本原子力学会 2011年秋の大会	概要調査段階の品質管理に関する検討(1) -概要調査段階の品質マネジメントシステムの整備-	北川義人ほか
2011/9/20-22	日本原子力学会 2011年秋の大会	安全評価に向けた確率論的アプローチによる超長期評価の方法論	後藤淳一ほか
2011/9/20-22	日本原子力学会 2011年秋の大会	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 (1)手法の概要と処分システムの応答特性	大井貴夫ほか
2011/9/20-22	日本原子力学会 2011年秋の大会	地層処分低レベル放射性廃棄物の廃棄体パッケージとそのハンドリングに関する検討 (1)全体概要	藤崎淳ほか
2011/9/20-22	日本原子力学会 2011年秋の大会	地層処分事業の安全確保2010に対する国際レビューの実施について	加来謙一ほか
2011/9/25-29	The 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2011)	NUMO'S APPROACH FOR LONG-TERM SAFETY ASSESSMENT	江橋健ほか
2011/10/2-7	MRS 2011 Scientific Basis for Radioactive Waste Management XXVII	Derivation of an approximate analytical solution for understanding the response characteristics of the EBS	大井貴夫
2011/10/2-7	MRS 2011 Scientific Basis for Radioactive Waste Management XXVII	Safety assessment methodology focused on response characteristics of disposal system and safety assessment for TRU waste in Japan	大井貴夫
2011/10/19-22	World Congress of Envirobio2011	Overview of the Japanese geological disposal project and NUMO's activities	土宏之
2011/10/19-22	World Congress of Envirobio2011	Outline plan of the first two site investigation stages of the Japanese geological disposal project	加来謙一
2011/10/20-21	日本地下水学会2011年秋季講演会	地下水モニタリングの調査技術・評価手法に関する実証研究	村元茂則ほか
2011/10/22	12th International Congress on Rock Mechanics (ISRM2011)	Overview of the Japanese geological disposal project and NUMO's activities	土宏之
2011/10/27-28	日本応用地質学会 平成23年度研究発表会	処分地の選定調査初期段階に必要な地下水モニタリング調査技術の実証(その1) -目的および実施概要-	吉村公孝ほか
2011/11/2-4	2011 International Symposium on Radiation Safety Management	Demonstration and validation program for site investigation and evaluation technologies for preliminary investigations	吉村公孝ほか
2011/11/2-4	2011 International Symposium on Radiation Safety Management	Methodologies and technologies for the early stages of the HLW repository siting program in Japan	後藤淳一ほか
2011/12/5-9	AGU Fall Meeting 2011	Review of the R&D project of the advanced geophysical prospecting techniques for HLW repository siting from hydrogeological view point	吉村公孝ほか
2011/12/5-9	AGU Fall Meeting 2011	Development of a methodology for hydrologic characterization of faults for HLW repository siting	後藤淳一ほか
2012/3/19-21	日本原子力学会2012年春の大会	安全評価シナリオ構築に向けた自然事象の将来予測の考え方-隆起運動の外挿を例にして-	幡谷竜太ほか

原子力発電環境整備機構

(略称:原環機構)

Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO)