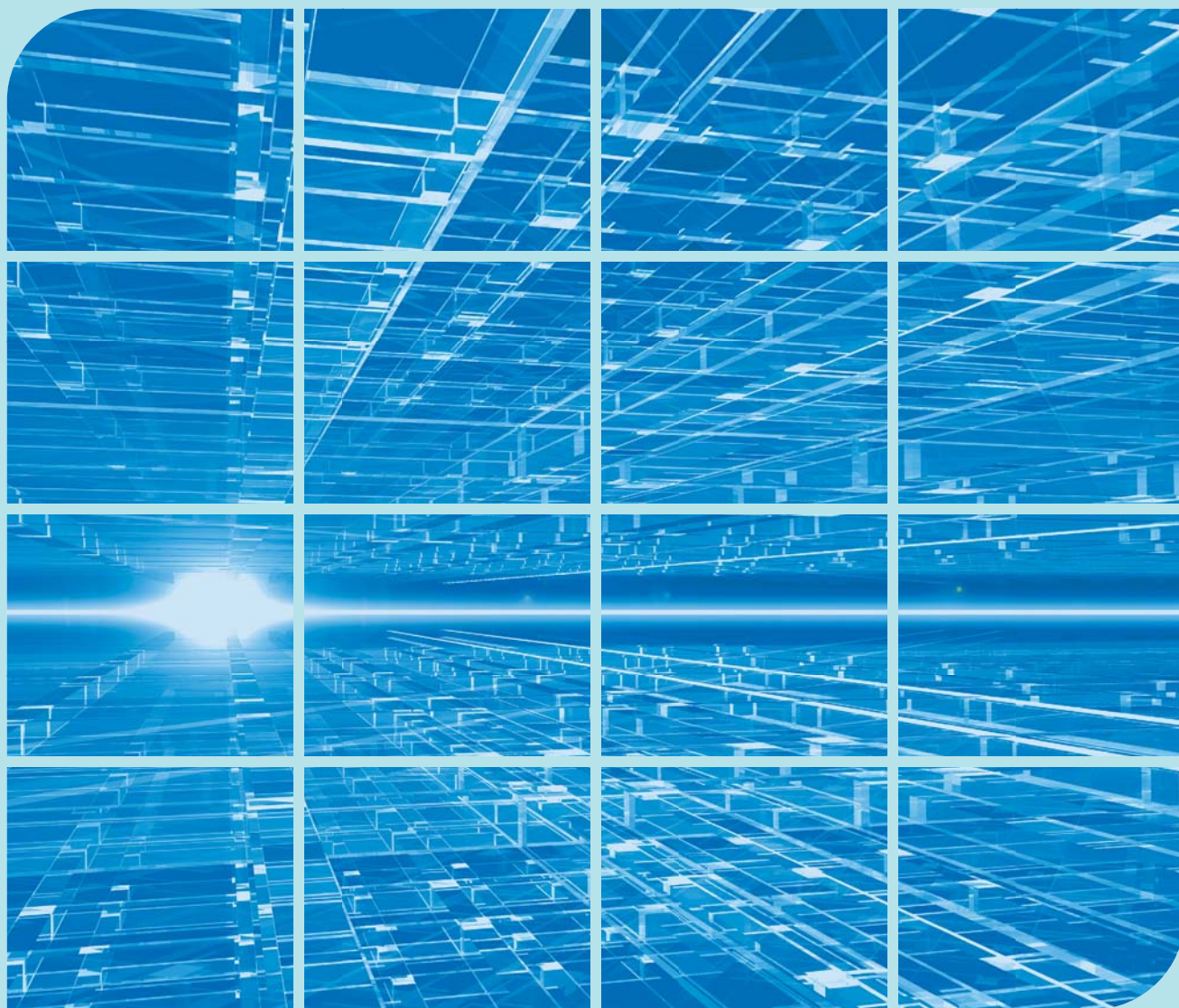


RWmc

原環センター
2011年度 技術年報



公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

ご あ い さ つ

当センターは、1976 年の設立以来、産業界、学協会、官界などの幅広いご支援を得て、放射性廃棄物に特化した我が国唯一の中立的調査研究機関として、低レベルから高レベルに至る放射性廃棄物の処理処分に関する調査研究活動を行ってまいりました。

近年は、高レベル放射性廃棄物や T R U 廃棄物を対象とした地層処分や発電所等廃棄物を対象とした余裕深度処分に係る工学的な技術の調査研究に力を注いでいます。また、海外の研究機関、処分事業実施機関等との国際的なネットワークで収集した放射性廃棄物に関する各国の政策、制度、事業の進捗状況、研究開発動向等の膨大な情報を分析・加工し、我が国各界の利用の便に供する情報センターの役割も担っています。

原子力をめぐる環境は大きく変わりつつありますが、当センターは、原子力技術分野に関わる一員として、厳しい認識に立ち、社会から求められる調査研究や成果の普及に積極的に取り組んでいます。この技術年報は、2011 年度(平成 23 年度)に実施した調査研究等の内容をご紹介しますとともに、国際交流や国際会議・学会等での発表実績など当センターの一年間の活動状況を取りまとめたものです。本年報を通じて、当センターの活動をご理解いただければ幸いです。

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター
理事長 並 木 育 朗

目 次

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究	1
1. 地下空洞型処分施設性能確証試験	1
2. その他の管理処分に関する調査研究	5
II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究	7
1. 処分システム工学要素技術高度化開発	7
1-1 遠隔操作技術高度化開発	7
1-2 人工バリア品質評価技術の開発	9
1-3 モニタリング技術の開発	11
2. 地層処分回収技術高度化調査	13
3. 人工バリア長期性能評価技術開発	15
3-1 人工バリアの長期挙動の評価	15
3-2 ガス移行挙動の評価	17
4. ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発	19
4-1 ヨウ素固定化処理技術開発	19
4-2 C-14 の長期閉じこめ技術の高度化	21
4-3 放射化金属廃棄物中の C-14 放出挙動評価	23
5. 量子化学的手法を用いたニアフィールド現象の評価技術の整備(IV)	27
III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究	33
1. 放射性廃棄物海外総合情報調査	33
2. 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査	35
2-1 基礎的研究テーマの整理	35
2-2 重要基礎技術研究調査	37
2-3 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整備	43
3. 地層処分事業における諸外国の規制機関の技術レポートに係る調査	45
4. その他の放射性廃棄物全般に共通する調査研究等	46
IV. 放射性廃棄物処分への理解促進	47
1. 地層処分実規模設備整備事業	47
V. 国際交流	51
VI. 資料	53
1. 講演会・セミナー等	53
2. 論文投稿、外部発表等	54
3. 原環センター技術報告書	60
4. 刊行物	60
5. ホームページへの海外最新情報の掲載	61
6. 委員会一覧	64

(This page(piii) is intentionally kept blank.)

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

1. 地下空洞型処分施設性能確証試験

◇事業の概要

本事業は地下 50m 以深にベントナイト、モルタル及びコンクリートで構築される地下空洞型処分施設を対象に、原位置における確証試験を行うものである。本試験は、大断面の地下空洞における具体的な処分施設を模擬したわが国初の実規模大の施工に関わる試験となる。このため、試験の計画にあたっては、発電所廃棄物の余裕深度処分等の検討に関係してきた専門家からなる委員会を設け、幅広く関連する知見や意見等を取り入れて検討を進めてきた。

本試験の地下空洞型処分施設の概念を図-1 に、主な仕様、目標性能を表-1 に示す。廃棄体周囲に低透水層として緩衝材（ベントナイト）やセメント系材料（低拡散材、コンクリートピット、充填材）で構成される人工バリアを構築し、周辺岩盤と合わせた多重バリアシステムとして放射性核種を長期間に渡って閉じ込めるものである。本試験の初年度に当たる平成 17 年度は、全体的な基本計画を策定し、平成 18 年度には、この基本計画に基づき将来の試験計画を策定した。平成 19 年度は、この試験計画に基づき底部・側部埋戻し材施工確認試験及び大型振動ローラを用いた底部緩衝材施工確認試験の一部を行うと共に、施工に伴う挙動計測データを収集・管理するデータ管理システムを設置した。

平成 20 年度は、前年度に引き続き大型振動ローラを用いた底部緩衝材（平成 19 年度の残り 9 層の施工）、高流動モルタルや高流動コンクリートを用いた底部低拡散材及び底部・奥部・側部コンクリートピット施工確認試験を行った。平成 21 年度は、高流動コンクリートを用いた手前部コンクリートピット、高流動モルタルを用いた側部低拡散材と充填材（一部）及び特殊ノズルを用いた吹付け工法による側部緩衝材（一部）施工確認試験を行った。同時に、セメント系材料特性試験やベントナイト材料特性試験等の特性試験を実施した。

平成 22 年度は、充填材（残部）及び小型振動ローラを用いた振動工法による側部緩衝材（一部）施工確認試験を行った。同時に、セメント系材料

特性試験、ベントナイト材料特性試験、施工確認試験等を補完するための特性試験を実施した。

以下に平成 23 年度実施の概要を述べる。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

（報告書）平成 23 年度 管理型処分技術調査等事業
地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書

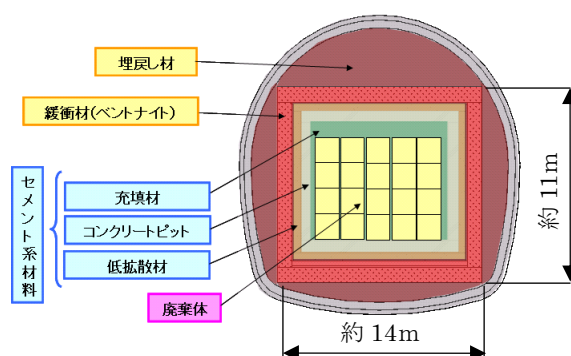


図-1 地下空洞型処分施設の概念図
（1）に一部加筆）

表-1 試験施設の主な仕様、目標性能

主な部位		主な仕様、目標性能
緩衝材		材料：ベントナイト（クニゲルGX） 厚さ：1m 透水係数： 5×10^{-13} m/s
低拡散材		材料：セメント系材料 厚さ：0.6m トリウムの実効拡散係数： 1×10^{-12} m ² /s
コンクリートピット		材料：鉄筋コンクリート 厚さ：底部 0.8 m、側部・上部 0.7 m
充填材・上部充填材		材料：セメント系材料
埋戻し材	側部・底部、奥部	材料：鉄筋コンクリート
	上部	材料：土質系材料、セメント系材料

平成 23 年度の成果

平成 23 年度は、施工確認試験・初期性能確認試験として、側部緩衝材試験等を実施した。また、既設置の計測設備による観測、ひび割れ解析・評価、セメント系材料・ベントナイト系材料特性に係るデータを取得した。

（1）側部緩衝材施工・初期性能確認試験

今年度は、側部緩衝材施工試験方法として、小型振動ローラによる振動工法、吹付けロボットを用いた吹付け工法を適用した。

側部緩衝材施工確認試験の実施箇所を図-2 に示す。

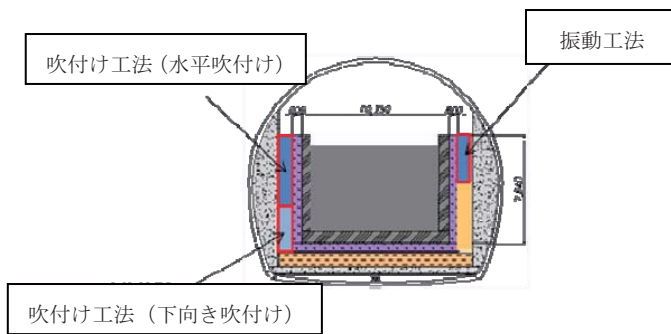


図-2 側部緩衝材施工確認試験位置



図-3 小型振動ローラによる施工状況

1) 小型振動ローラによる転圧締固め試験（振動工法）

使用材料はベントナイト原鉱（クニゲル GX、最大粒径 10 mm）とし、含水比調整方法は、水添加混合方式とした。ベントナイトの含水比調整後に小型振動ローラ（平成 22 年度はローラ幅 850mm と 610mm、本年度は 710mm）による側部緩衝材（高さ 2.15m×幅 1.0m、23 層）を施工し、施工機械や施工条件の違いが品質に与える影響を把握した（図-2 参照）。また、透水係数、密度、強度、膨潤特性を把握するため初期性能確認試験を実施した。

含水比調整後の含水比は平均 21.1%（含水比目標値 $21 \pm 2\%$ の範囲内）であった。転圧締固めの結果、緩衝材の乾燥密度は、 1.60Mg/m^3 前後となり、今回使用した機材、方法、条件（車輪幅 710mm 人力敷均し、敷均し厚さ等）を適用して目標性能（平均乾燥密度 1.6Mg/m^3 ）を達成できること、小型振動ローラの最適振動転圧回数（8Pass（往復））等を確認した。

初期性能確認試験の結果、緩衝材の透水係数、膨潤力共に基準値を満足する結果が得られた。

これらのことから、小型振動ローラ（車輪幅 710mm）による振動工法の適用性を確認した。また、平成 22 年度の試験結果と合わせてローラ幅と乾燥密度の関係を把握した。

図-3 に小型振動ローラ（ローラ幅 710mm）の施工状況を、図-4 に各層の平均密度の分布を示す。また、図-5 に振動ローラ幅と乾燥密度との関係を示す。

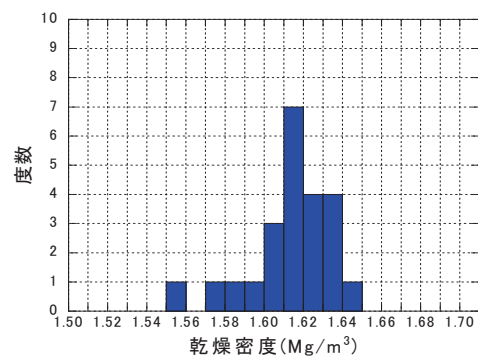


図-4 各層の平均密度の分布

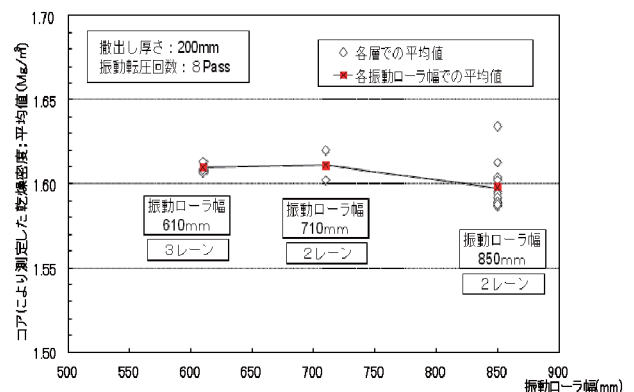


図-5 振動ローラ幅と乾燥密度との関係図

2) 吹付けロボットによる吹付け試験（吹付け工法）

今年度の施工確認試験では、平成 21 年度から使用しているベントナイト吹付用に開発された特殊ノズルと新たに開発された 7 関節ロボットを用いた装置（図-6 参照）による上下方向の全高さを仕上げる水平吹付けを実施し、施工性、品質等の検討を行った。また、実施工では端部の施工に欠かせない下向き吹付けの試験を実施し、その施工性、品質等について検討を行った。

1. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

使用材料は、ベントナイト原鉱（クニゲル GX、最大粒径 5 mm）を使用し、含水比調整には、水添加混合方式を採用した。含水比調整後の含水比は、平均 20.4% であり、含水比目標値 $21 \pm 2\%$ の範囲内であった。

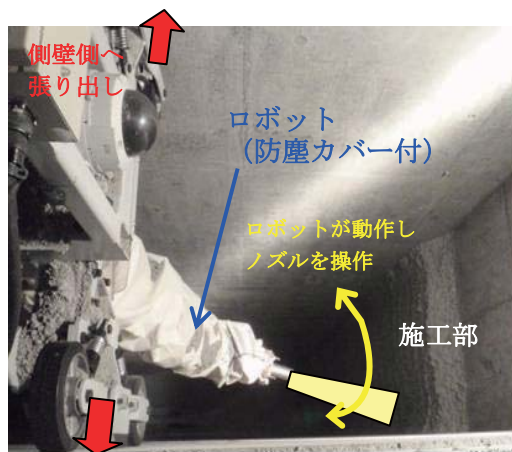


図-6 吹付ロボット全体図

① 水平吹付け試験

施工確認試験として水平吹き付けにより、側部緩衝材の一部（高さ 8.2m×幅 1.0m×厚さ 0.45m）の施工確認試験を実施した。また、透水係数、密度、膨潤特性を把握するため、初期性能確認試験を実施した。

施工確認試験の結果、吹付け施工後の緩衝材の乾燥密度は、 1.69Mg/m^3 前後となり、今回使用した機器類（吹付けロボット等）により、目標性能（平均乾燥密度 1.6Mg/m^3 ）を満足することを確認した。吹付けられずに跳ね返る材料（ベントナイト）の割合であるリバウンド率は再利用後で 28%（吹付け直後約 52%）であり、リバウンド材の再利用は、品質に大きな影響を与えず目標性能を満足することを確認した。

初期性能確認試験の結果、緩衝材の透水係数、膨潤力、密度等も基準値を満足することを確認した。

以上の結果から、施工性、品質、初期性能が確認され、吹付け工法の施工技術・施工方法の実施工への適用性を把握した。

② 下向き吹付け試験

含水比調整後、吹付け工法（下向き）により、側部緩衝材の一部（高さ 2.7m×幅 1.0m

×厚さ 2.0m）を対象にノズルを吹付けロボットに保持させた方法と人間が保持する方法（人力と称す）による吹付けを実施し、適用の可否を検証した。

施工確認試験の結果、施工後の緩衝材の乾燥密度は、ロボット施工では、 1.66Mg/m^3 前後の値であり、人力施工では、 1.60Mg/m^3 前後の値であった。共に、今回使用した吹付けロボット等により、目標性能（平均乾燥密度 1.6Mg/m^3 ）を満足することを確認した。

リバウンド率は、下向き吹付け終了時点で 20%を示し、平成 21 年度の人力による水平吹付けと同等であった。

その結果、ロボットの適用による品質への影響は小さく、目標性能（平均乾燥密度 1.6Mg/m^3 ）を達成していることを確認した。

しかし、リバウンド材の巻込み（乾燥密度の低下）、施工中のノズル閉塞（施工効率の低下）、吹付け表面のひび割れ（乾燥密度、均質性の低下）、リバウンド率の増加（施工効率の低下）等の課題が指摘された。

(2) 充填材他施工・初期性能確認試験

平成 22 年度に実施した上部充填材とコンクリートピット等との界面部の隙間状況確認及び平成 21 年度に行った側部低拡散材に発生しているひび割れの進展状況に関する調査を行った。

1) 充填材界面部の隙間確認試験

上部充填材とコンクリートピットとの界面には、隙間がなく密着していること、廃棄体間充填材とは一体化していることを確認した。また、廃棄体間充填材と模擬廃棄体との界面（鉛直及び水平面）には隙間はなく密着していることを確認した。界面の調査結果から、充填材の打設により、コンクリートピット内の廃棄体間等、廃棄体上部が確実に充填され、界面は密着していることが確認できた。

2) 側部低拡散材のひび割れ調査

平成 21 年度に施工した側部低拡散材のひび割れについては、打設後 1 ヶ月頃から 2~4 本の微細なひび割れが見られていたが、平成 22 年度の充填材の充填や乾燥、温度の影響等が重合的に影響した結果、進展したものと考えられる。

今回の調査結果から高流動モルタル打設後約 800 日におけるひび割れに関するデータが得られた。

左側低拡散材壁面全体のひび割れの分布状況（材齢 812 日）を図-7 に示す。

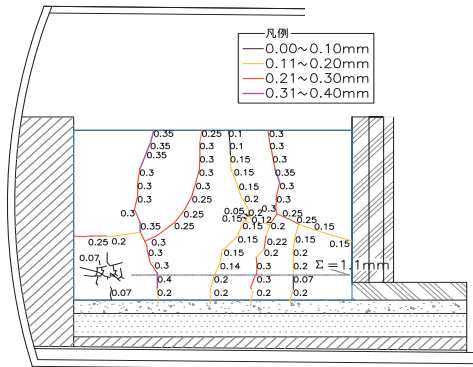


図-7 左側側部低拡散材のひび割れ調査結果
（材齢 812 日）（図内の数字はひび割れ幅 単位 mm ）

(3) ベントナイト材料特性測定

ベントナイト材料の不飽和特性である水分の拡散性状を把握するため、緩衝材から採取したサンプルを対象に膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験を実施し、水分拡散係数を算出した。

その結果、初期乾燥密度 $1.50 \sim 1.69 \text{ Mg/m}^3$ では、水分拡散係数は $9.20 \times 10^{-11} \sim 3.87 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ の範囲内にあることが分かった。

(4) セメント系材料特性測定

拡散抑制を期待される低拡散材等のセメント系材料について、定常拡散試験等を実施した。拡散試験は、現地の低拡散材とコンクリートピットから採取した試料で試験を行った。

その結果、現地打設の低拡散材の実効拡散係数が $1 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ 程度の値となり、目標値である $1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 以下を満足する緻密な材料であることを確認した。また、コンクリートピット材の拡散係数も低拡散材と同程度が見込まれることが分かった。

(5) 挙動計測

平成 22 年度までに構築した施設（544 個）と周辺岩盤（37 個）に設置した計測器（計 581 個）により挙動計測データを取得し、整理・評価した。

(6) セメント系材料の解析・評価

1) ひび割れ解析

本検討は、3 次元非定常熱伝導解析（温度解析）と応力解析を組合せた手法について、構築された試験施設の部材を対象とした解析モデルを用いて、解析結果と挙動計測データの比較・精査を行うことにより、ひび割れ予測手法の精度の向上を図るものである。

今年度は、底部低拡散材打設時の温度上昇に対して、下部側に隣接する底部緩衝材、底部埋戻し材での温度変化を分析した。

温度変化の分析結果から、伝導率を変化させても従来の値で実施した解析結果と差はなく、底部緩衝材、底部埋戻し材の熱伝導率の影響は小さいこと等が分かった。

2) セメント流動解析

充填材、上部充填材の流動性への数値解析法の適用性を把握するため、粘性流体の表現性に優れ、かつ固定メッシュを用いて界面を補足することから流体の大変形も精度良く得られる CIP 法*を適用したシミュレーションを実施した。

充填時の充填高さ測定値、それに基づく流動勾配と解析結果の値を比較した結果、充填箇所やフェーズ（充填速度）によって若干の誤差が生じるものの、流動性の傾向は良く再現できることが示された。

* Constrained Interpolated Profile Method

双曲型微分方程式を解く高精度差分法の一つであり、3 次関数を補間関数として使用することで双曲線型問題に対し分散エラーが少なく、数値拡散が小さい高精度補間ができることを利点とする方法

- 1) 電気事業連合会、余裕深度処分の安全確保の考え方、原子力安全委員会 放射性廃棄物・廃止措置専門部会 第二種廃棄物埋設分科会（第 1 回）資料、平成 19 年 11 月 15 日

1. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

2. その他の管理処分に関する調査研究

その他、低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分、浅地中処分に関する以下の調査研究を行った。

(1) L1 廃棄体の標準的な製作方法及び検査方法の一体化に関する調査

L1（余裕深度処分）廃棄体の標準的な製作方法及び検査方法の民間規格制定に必要な検討を行い、日本原子力学会での審議に対応した。

(2) L2 浅地中処分の安全評価手法の標準化に関する調査

L2（ピット処分）廃棄体の浅地中処分の安全評価手法の民間規格制定に必要な検討を行い、日本原子力学会での審議に対応した。

(3) 均質均一／充填固化体の標準的な製作方法及び確認方法の標準化に関する調査

均質均一／充填固化体（ピット処分対象）の標準的な製作方法及び確認方法の民間規格制定に必要な検討を行った。

(4) 大型／角型廃棄体の固型化パラメータに関する研究

大型／角型廃棄体（ピット処分対象）の固型化に係る対象廃棄物の範囲、固型化材料等の性能等を評価・設定することを目的に、固型化条件の検討、固型化材料の基礎物性試験等を行った。

(This page(p6) is intentionally kept blank.)

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

1. 処分システム工学要素技術高度化開発

本開発は、高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る工学技術として、処分場操業の遠隔操作技術、人工バリアの品質等の評価技術及び処分システムの状況等をモニタリングする技術を高度化し、これら工学技術の信頼性や成立性等の向上に資する技術基盤を確立することを目的としている。

1-1 遠隔操作技術高度化開発

◇事業の概要

本事業は、高レベル放射性廃棄物地層処分場の操業段階で用いられるオーバーパックの遠隔溶接・検査及びオーバーパックと緩衝材の遠隔搬送・定置に関わる遠隔操作技術について、その成立性、適用性、信頼性などを定量的に評価、表示し、様々な地質環境条件及び処分概念への対応や品質に係る情報等も明記した、幅広い技術メニューの整備を主たる目標としている。

そのため、必要とされる要素技術とその試験パラメータを抽出、各要素技術に関する適用性確認試験を実施する。試験結果を人工バリア品質（地層処分の特徴である長期健全性の確保）と遠隔操業技術のシステム化の視点から体系的に評価、検討することで、多様な技術オプションを整備する。なお、本開発における人工バリアは、「地層処分研究開発第2次取りまとめ」¹⁾で提示された概念に基づくものである。

第1フェーズとして、平成12年度にオーバーパックの溶接・検査、オーバーパックと緩衝材の搬送・定置を対象とした遠隔操作設備の概念設計を行い、技術開発課題を抽出した。続いて平成13年度より、抽出した技術開発課題に基づき、各技術の適用性確認試験等を行い、各要素技術の成立性、適用性、信頼性を表示する第1段階の技術メニューを整備した。また、人工バリア品質確保の考え方ならびに処分場における遠隔操作技術を対象とした遠隔操業システム構築に関わる品質、安全の考え方についても検討を行っている。

第2フェーズは、人工バリアの設計、品質、及び遠隔操業システムの成立性確認や高度化の視点、不測の事態への適切な対応のための廃棄体の回収

可能性を新たに加え、幅広い技術の成立性、適用性、信頼性等を定量的に比較、評価し、それらを取りまとめる第2段階の技術メニューの整備に着手した。平成17年度には第1フェーズの成果を基に、技術課題の見直しと開発計画の検討を行い、平成18年度からは開発計画に基づいた各要素技術の調査、適用性確認試験等を開始している。図-1に本事業の検討範囲を示す。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成23年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発報告書（第1分冊）—遠隔操作技術高度化開発—

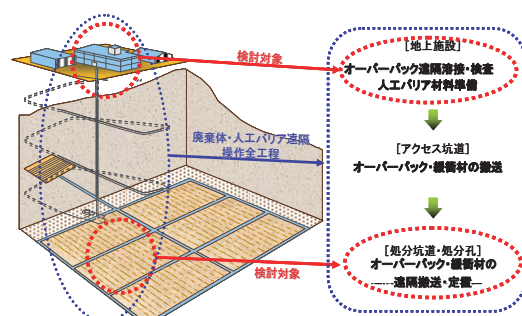


図-1 本事業の検討範囲

◇平成23年度の成果

(1) 遠隔溶接・検査技術の開発

溶接技術の開発については、平成21年度の減圧電子ビーム溶接法(RPEBW)に関する適用性確認試験結果の分析を継続し、実規模大オーバーパックの落とし蓋(80mm厚)、平蓋(190mm厚)構造への適用試験において確認された欠陥の発生原因を確認し、対策として電子ビーム出力の最適化等を提示した。また、同溶接部の靱性値の温度特性を調査するために遷移曲線を取得するとともに、後熱処理により靱性値が改善できることを確認した。さらに、アーク溶接法の適用を想定した生産シミュレーションを実施し、目標生産数(オーバーパック5体/日)を達成し得る遠隔溶接・検査システム案(図-2)を提示した。

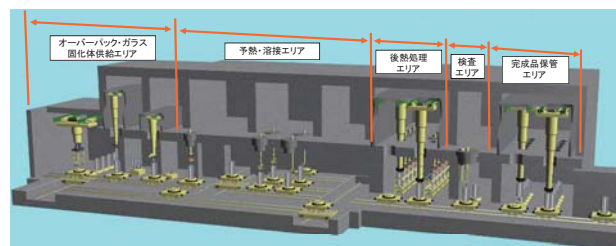


図-2 アーク溶接法を用いた遠隔溶接・検査システム案

非破壊検査技術の開発については、現在想定しているクリーピングウェーブ法、フェイズドアレイ法、フェイズドアレイ-TOFD 法（超音波伝播時間差から欠陥寸法を測定する手法）を組み合わせた非破壊検査システム(案)に対して、ノイズ低減のための探触子の送受信分離等の対策を施すとともに、実規模大オーバーパックへ適用可能な治具を開発し、平蓋型オーバーパックの非破壊検査試験(図-3)を実施した。試験結果より、深さ 190mm に存在する溶接欠陥が検出できることを確認した。また、自然欠陥に対する探傷試験結果の分析を継続し、欠陥検出率(POD)の信頼性を向上した。



(a) オーバーパック検査用治具 (b) 非破壊検査試験状況
図-3 平蓋型オーバーパックの非破壊検査試験

(2)遠隔搬送・定置技術の開発

PEM(Pre-fabricated EBS Module：一体化した人工バリアモジュール)施工に関わる製作・組立技術について、既存研究の少ない縦割り型容器(鋼殻リング方式と称す)を用いた実規模大の PEM(外径約 2.3m, 長さ約 3.3m, 重量約 33.4 トン)製作・組立試験を実施した。ベントナイトと砂を混合した緩衝材を動的締固めで製作し、密度等の目標品質が確保できることを確認し、6 つに分割した鋼殻リングの組立、模擬オーバーパックの挿入等が遠隔操作により可能であることを確認した。さらに、製作した実規模大の PEM を対象に、圧縮空気により PEM を浮上させて搬送・定置させるエアベアリング・エアジャッキ技術を用いた搬送・定置装置の適用性確認試験を実施した。曲面形状の坑道に対して、33.4 トンの PEM を 100kgf 程度の力で安定して搬送(牽引)でき、また、エアジャッキの圧縮空気の制御により模擬坑道に定置できることを確認した。一方、PEM 定置後の PEM 容器と坑道間の隙間については、地下水の移流抑制の観点から膨潤性能を有するベントナイト系材料で充てんすることが望ましいが、坑道への PEM の直接定置では PEM 容器底部付近に狭隘な隙間が発生し、充て

んが困難となる。そこで、隙間へのベントナイト系材料(具体的にはベントナイトペレット)の充てん性の向上を図った概念として、坑道に台座を設けてその上に PEM を定置する方式(以下、台座方式と称す)を構築し、実規模スケール試験による適用性確認試験(図-4)を実施した。隙間充てんと定置後の搬送装置の抜き出し性を考慮して設計した台座に対して、エアベアリングを用いた搬送装置の圧縮空気の制御のみで PEM を台座上に定置できること、設計した台座高さで定置後の搬送装置の抜き出しができることを確認し、PEM 容器と坑道間の隙間への充てん性の観点、エアジャッキを用いない PEM 搬送・定置技術の観点から、台座方式の有効性を確認するとともに、実規模スケール試験による台座方式の実現性を確認した。



図-4 台座方式における PEM の搬送・定置試験

回収技術に関する検討については、横置き処分概念を対象に、塩水を用いた緩衝材除去によるオーバーパックの回収に着目した断面実寸法での試験に向け、緩衝材や塩水噴射に関する試験条件の設定や分析方法の検討、オーバーパックを安定して回収する手順とその手順を実現するための緩衝材除去装置の機構等について検討し、試験計画を策定した。

(3)第 2 段階の技術メニューの整備

操業システム成立性の提示と技術メニューの整備については、利用者が必要とする情報の表示方法に着目し、従来の知見シートの記載内容や知見シートを集約した要素技術メニューの記載内容を整理し、改訂版書式を提示した。また、操業システムを構成するサブシステムや要素技術との関係を踏まえ、メニューの全体構造を整備すると共に利用者に分かり易く情報を提供し得るインターフェース案(検索によるフィルタリング)を構築・提示した。

- 1) 核燃料サイクル開発機構、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 次とりまとめ―、平成 11 年 11 月 26 日

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

1-2 人工バリア品質評価技術の開発

◇事業の概要

本事業は、高レベル放射性廃棄物の地層処分に用いられる人工バリアのうち、オーバーパック溶接部と緩衝材を対象に品質評価技術の検討を行うものである。

(1) オーバーパック溶接部の品質評価技術

「遠隔操作技術高度化開発」で製作した溶接試験片等を用いて、処分場閉鎖後の地質環境を想定した条件で耐食性試験を行う。処分環境で想定される腐食形態について、母材と溶接部の腐食挙動を比較するとともに、長期健全性に影響を及ぼす腐食挙動に対し、その原因を調査し対策を検討する。さらに、溶接部で問題となる溶接部残留応力の解析・評価手法と低減対策を検討する。本検討の一部は、独立行政法人日本原子力研究開発機構との共同研究として実施した。

(2) 緩衝材品質評価技術

緩衝材の設計や品質管理、搬送・定置技術、長期性能予測等に資するために、施工品質（密度差、隙間等）が再冠水時の現象（膨潤挙動等）に及ぼす影響等を試験により明らかにし、再冠水時に緩衝材に発生する現象を考慮した施工品質の評価を実施する。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 23 年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書（第 2 分冊）－人工バリア品質評価技術の開発－

◇平成 23 年度の成果

(1) オーバーパック溶接部の品質評価技術

1) 炭素鋼溶接部耐食性試験

遠隔溶接技術高度化開発で作製した溶接試験体（TIG: Tungsten inert gas welding, MAG: Metal Active gas welding, EBW: Electron beam welding）を用いて、炭素鋼溶接部の長期健全性評価の信頼性向上に資するため、酸化性・還元性環境での長期浸漬試験を継続して実施した。人工海水中における酸化性雰囲気浸漬試験の結果、溶接部の最大腐食深さが炭素鋼母材で想定されている値を上回る現象が認められ（図-1）、溶接材料の改良の重要性が裏付けられた。この溶接部選択腐食に対

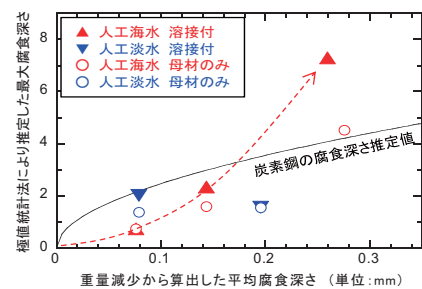


図-1 酸化性雰囲気における TIG の腐食挙動

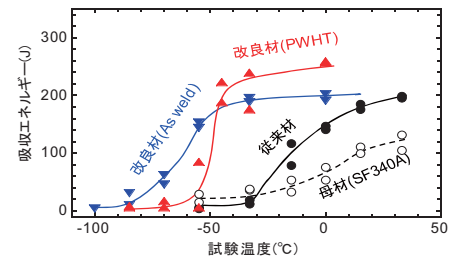


図-2 改良溶接材料の衝撃吸収挙動(MAG)

して、平成 22 年度に開発した Ni を添加した改良溶接材料を使用し、MAG 溶接法を対象として継手性能試験を実施した。その結果、従来溶接材料で製作した溶接継手と同等以上の機械的性質を有していること、また溶接残留応力の低減手法である PWHT(溶接後熱処理)が継手性能に悪影響をおよぼさないことが確認された（図-2）。昨年度に確認した選択腐食の改善と合わせ、溶接材料の改良手法として整備した。

また、溶接部の微小欠陥(ブローホール)が水素脆化感受性におよぼす影響を、焼ならし材を使用した引張試験にて評価した。その結果、鋼中の拡散性水素量の上昇に伴い、破断ひずみ量の低下とともに、ブローホールを起点とした破断が発生した。非破壊検査で検出出来ないブローホールの存在が感受性を顕著に高めることは確認されなかった。

2) 代替材料（チタン）の耐食性評価試験

純 Ti (JIS-2 種)、Ti-Pd 合金 (JIS-12 種) の溶接試験体を用いて、低酸素雰囲気人工海水環境下における長期浸漬試験の維持管理を適切に行った。

3) 溶接部残留応力評価

解析コード ABAQUS(汎用非線形有限要素解析手法)及び JWRIAN(大阪大学接合科学研究所開発の溶接変形・残留応力計算手法)を用い、溶接残留応力の低減手法を数値解析により検討した。PWHT 時の熱処理条件の裕度を評価するために保持温度と

時間を変えた解析を行った。その結果、保持温度が設定した 600℃から低下するに従い応力の低減効果が著しく低下することが明らかになった。PWHT においては、昇温時のクリープや 600℃での等温保持過程で残留応力が大幅に低減出来ることから、実際の作業時には、保持温度の適切な管理によって溶接部の品質を確保できる見通しを得た。

(2) 緩衝材品質評価技術

緩衝材の施工方法及び施工品質が、再冠水時から緩衝材に生じる種々の事象に及ぼす影響を評価した。試験は理想的な系である小規模試験、単純な系である土槽試験、複雑な系である工学規模試験へとスケールアップさせることを基本としている。本年度は継続している小規模試験のうち、①密度分布等の施工品質が再冠水時の事象に及ぼす影響調査、②緩衝材の Ca 型化速度取得試験、③1次元浸潤速度取得試験を継続するとともに、以下に示す試験を実施した。

処分孔に地下水が流入した場合、パイピング（水みち形成）とエロージョン（浸食）が発生し、緩衝材の品質が損なわれることが危惧される。そこで圧縮成型したブロック供試体（ケイ砂 30wt% 混合ベントナイト）とペレット充てん供試体（ベントナイト単体）を対象に、両現象の発生条件、及び流量低下に伴う自己修復機能の発現条件を調査する小規模試験を実施した。試験に用いた液種は、蒸留水と海水相当の 0.5M の NaCl 水溶液である。流量は上限 0.1/分として、パイピング形成過程と通水圧を調査した。また、流量 0.1/分における単位時間（hour）当たりの侵食重量/供試体重量をエロージョン速度（%/h）として評価した。

流量 0.1 /分で通水した場合、実施した全ての試験条件でパイピング・エロージョンが発生した。水みちは下から上に通水した場合、初期状態で複数形成されるが、6 時間後には数本の水みちに収束することが確認された。蒸留水を通水した場合、図-3 に示すように大小粒径混合ペレット充てん供試体にパイピングが発生し、流量を 0.001 /分に低下した場合は水みちが縮小した。なお通水圧は 60kPa で一定であった。同様の現象は大粒径ペレット充てん供試体の 1m 長尺浸潤試験においても確認された。流量を 0.001 /分に低下させると、これまで 20~25kPa であった水圧が急激に上昇し、緩衝材の自己修復機能の発現が確認された（図-5）。

NaCl 水溶液を通水した場合、ブロック供試体のエロージョン速度は 0.39%/h で大粒径ペレットの 0.21%/h よりも大きい結果となった。これはブロック供試体の隙間（水みち）を流れる流速が大粒径ペレットの間隙（水みち）を流れる流速よりも早いことが原因であると推察した。一方、ブロック供試体に NaCl 水溶液を通水するとベントナイトの凝集物とケイ砂が分離し、水みちにはケイ砂が沈殿する現象が確認され（図-4）、沈殿したケイ砂が緩衝材の膨潤による水みちの修復（自己修復機能）を阻害する可能性があることが分かった。

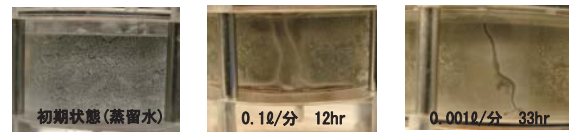


図-3 大小粒径混合ペレット充てん供試体のパイピング発生状況（蒸留水）

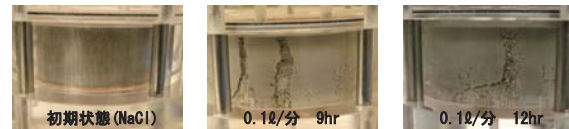


図-4 ブロック供試体のパイピング発生状況（NaCl）

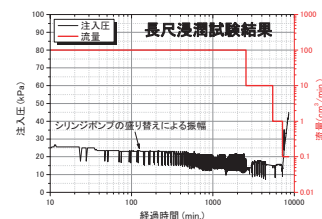


図-5 大粒径ペレット充てん供試体の注入圧と流量

土槽試験では、施工法に起因する密度分布や隙間を有する緩衝材（大粒径ペレット充てん供試体とブロック供試体）を再現し、これらが再冠水挙動に及ぼす影響（比抵抗値による浸潤過程の把握、膨潤圧等）について調査した。大粒径ペレット充てん供試体の場合は、浸潤初期に間隙を通して供試体深部まで水が到達するが、その後、膨潤によって地下水の浸潤が滞り、間隙の水をペレットが吸水して間隙が再度発生するということが分かった。また、ブロック供試体では、浸潤初期にブロック間の隙間が選択的に水みちとなり、その後ブロック内に水が浸潤することが分かった。

再冠水時の湧水の量・水質、及び緩衝材の施工品質（初期品質：形状、成分、乾燥密度）によって、緩衝材に生じる現象や影響が異なることから、湧水量の制御とともに、湧水量・水質に応じた緩衝材の仕様について検討することが重要である。

1-3 モニタリング技術の開発

◇事業の概要

本事業では、高レベル放射性廃棄物の地層処分を対象に処分システムの状況等に関わるモニタリングシステムに関する研究と、閉鎖後の制度的管理の一環である記録保存に関する研究を実施している。このうちモニタリングシステムについては、平成 12～18 年度の第 1 フェーズに引き続き、平成 19 年度より第 2 フェーズに着手している。第 1 フェーズの平成 16 年度には位置付け及び技術的可能性に係る技術報告書¹⁾を取りまとめた。第 2 フェーズではサイト調査前から閉鎖後の各段階を対象にモニタリングの意義や目的について整理した上で、適用可能性のある測定方法を調査し、技術メニュー（データベース）として整備している。

一方、記録保存については、地層処分における記録の長期保存に係る要件、課題等の整理、記録保存システムに適用する技術の検討、最新動向の調査を実施しており、平成 14 年度には位置付けと方策に係る技術報告書を取りまとめ、平成 20 年度にはその改訂版²⁾を発刊した。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 23 年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第3分冊)ーモニタリング技術の開発ー

◇平成 23 年度の成果

(1) 地層処分モニタリングの目的等の整理

本研究ではモニタリングの意義や目的について、サイト調査から閉鎖後の各段階でのモニタリングを対象に、国内外の新たな動向を踏まえ整理を行い、地層処分におけるモニタリングのあり方について検討を実施している。

平成 23 年度は、欧州原子力共同体の 7th Framework Programme の一つとして実施されている、モニタリング国際共同研究 MoDeRn (Monitoring Developments for Safe Repository Operation and Staged Closure)³⁾へ継続的に参画し、この中で、結晶質岩中の地層処分における処分システムの性能確認に資するモニタリングについてケーススタディーを行ない、天然及び人工バリアのモニタリングパラメータの検討を実施した。

また、処分システムの性能確認に資するモニタリングの役割に関し、水理地質及び緩衝材の例を取り上げ、スウェーデン SKB^{4)他}の事例調査、検討を実施し、下記のように結論付けた。

処分システムの構成要素の持つ安全機能に着目した安全評価が実施されており、処分システムの性能確認に資するモニタリングにおいても、この安全機能との関係が重要となる。

水理地質に関する性能評価・確認の全体の流れとして、サイトの初期状態の把握、これに基づくモデルの構築とその後の推移予測、核種移行解析への出力、モニタリング結果等によるモデルの確認と更新が行われる。安全機能として、水理地質に関しては、核種の閉じ込めや移行の遅延に好適な水理及び移行条件の供給が設定され、人工バリアの安全機能と合わせて、安全な処分という包括的目標が達成される。また、モニタリングによって集積されたデータは、サイトのさらなる特性や安全機能に関わる状態を把握し、理解するために使われる。モニタリングによるデータは、地下水圧、地下水流動という基本的な要素に集約される。これを知るための基本的なモニタリングパラメータは水位、水圧、流量であり、地層処分事業の段階に応じ、地表からの試錐や地下施設からの試錐等を用いて測定される。

緩衝材に関する安全機能と実規模人工バリア性能確認試験⁵⁾におけるモニタリングパラメータとの比較によれば、緩衝材の性能確認モニタリングのパラメータは温度、相対湿度/飽和度、全圧、間隙水圧、含水比、サクションである。これらのパラメータに加え、間隙形状、pH、放射線強度を測定することが、重要度が高い FEP に関わる性能指標、及び関連する安全機能の確認に寄与する。

(2) 実規模人工バリア性能確認試験におけるモニタリング機器に関する検討

本開発では、モニタリング機器の設置に伴う水みちの形成を避けるため、処分施設や、実廃棄体を定置する地下調査施設の人工バリアは、モニタリング対象とはしないことを前提としている⁶⁾。従って、人工バリアの性能確認に資するモニタリングは、模擬廃棄体を用いた地下調査施設等における実規模での性能確認試験等を対象とすることとなる。このため、スウェーデン^{5)他}及びベルギー^{7)他}の実規模人工バリア性能確認試験におけるモニタリングについ

て調査を実施した。

調査の結果、高温部に配置したセンサの耐久性が、人工バリア性能確認試験でのモニタリングにおける重要な課題であることが明らかとなった。

(3) 地中無線通信技術の調査研究

緩衝材等を人工バリア性能確認試験でモニタリングする場合、配線が水みちとなり、バリア機能を擾乱する可能性がある。地中無線通信技術は、このような擾乱を低減できる技術として、地層処分モニタリングへの適用が期待される。

本年度は、平成 21 年度に開発した小型地中無線送信装置の静水圧環境への適用の為、10MPa の耐圧性を備えた同装置の設計と試作を行い、十分な耐圧性と通信性能が実現できることを確認した。

また、小型化した地中無線受信装置（受信アンテナ、図-1）を開発すると共に、フランスの放射性廃棄物管理機関（ANDRA）との共同研究として、ANDRA が所有するムーズ・オートマルヌ地下研究所において、本装置の実証試験を行った。2 種のアンテナのうちアンテナ A は軸方向に直行する磁束を、アンテナ B は軸方向に平行な磁束を受信可能である。通信試験により、地下の坑道から掘削されたボーリング孔間において地中無線通信が可能であることを確認すると共に、理論値と整合した実測値を得た（図-2）。また、電磁波伝播に影響を与える鋼製部材が多く使用されている環境下での伝送距離と電磁界強度の関係を把握するとともに、これらの環境のモデル化と電磁波伝播に関する解析的評価により、効率的な通信を実施するためのアンテナの位置と方向等の条件を明らかにした。現在、孔内でのアンテナの回転に関わらず安定した受信が可能な、受信アンテナ B による長期通信試験を実施中である。

(4) 光ファイバセンサ測定技術の調査研究

光ファイバセンサは、一本の配線で複数点の測定が可能のため、モニタリングによる緩衝材等の擾乱を低減できる技術として、地層処分モニタリングへの適用が期待される。

本開発では、ファイバブラッググレーティング（FBG）式センサについて、地層処分にに関するモニタリングへの適用性試験を実施している。

本年度は、工学規模試験として、独立行政法人日本原子力研究開発機構（JAEA）における熱-水

一応力連成試験（COUPLE）⁸⁾へ、3 連式 FBG 温度センサ及び単式 FBG 圧力センサ（温度補正用 FBG 付）を導入し、ベントナイトの膨潤圧計測試験を継続実施した。圧力センサ内の温度補正用の FBG への圧力影響を防止するため、ファイバを 2 系統に分けた圧力センサを製作し、試験へ適用した結果、温度補正用 FBG への圧力影響は見られず、適切に機能していることが確認された。

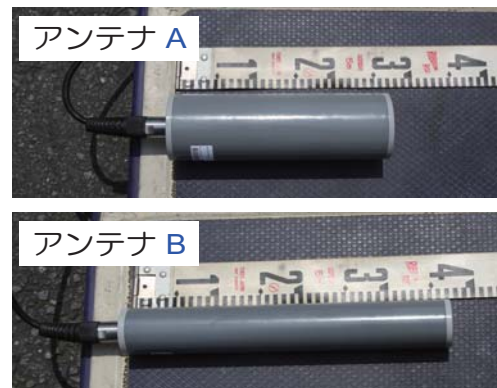


図-1 小型受信装置（アンテナ）外観

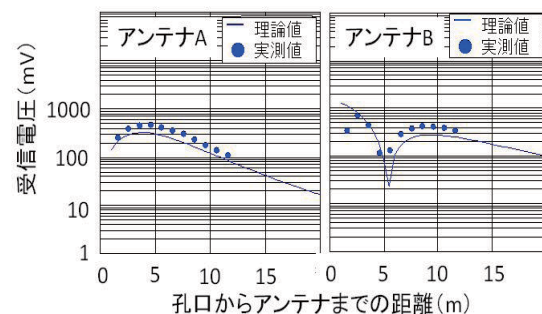


図-2 小型地中無線受信装置による原位置試験結果

- 1) 原環センター技術報告書「地層処にかかわるモニタリングの研究－位置付け及び技術的可能性－」, RWMC-TRJ- 04003, 2004
- 2) 原環センター技術報告書「地層処にかかわる記録保存の研究－位置付け・方策・技術的可能性－」, RWMC-TRJ 08001, 2009
- 3) MoDeRn, <http://www.modern-fp7.eu/>.
- 4) SKB, Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, Main report of the SR-Site project, SKB TR-11-01, 2011
- 5) SKB, Äspö Hard Rock Laboratory. Prototype Repository Report on instrumentations in Buffer/Buckfill and preparation of bentonite blocks for instruments and cables in section I, IPR-01-20, 2001
- 6) (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター、平成22年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連、処分システム工学要素技術高度化開発 報告書（第3分冊）モニタリング技術の開発、平成23年3月
- 7) ESV EURIDICE GIE, Mock -UP Ophelie Design and experimental stages, 2004
- 8) 藤崎淳ら、熱-水-応力連成試験設備（COUPLE）を用いた室内試験結果に基づく熱-水連成モデルの信頼性確認, JAEA-Research 2008-020, 2008, 3

2. 地層処分回収技術高度化開発

◇事業の概要

高レベル放射性廃棄物処分における廃棄体の回収可能性に関して、平成 18 年 9 月に取りまとめられた「放射性廃棄物の地層処分に係る安全規制制度のあり方について」（総合資源エネルギー調査会原子力安全部会廃棄物安全小委員会）では、基本的に廃棄体を回収するような事態が生ずることはないと考えられるとしながらも、処分場閉鎖までの間は廃棄体の回収可能性を維持することが必要であると記されている。

また、資源エネルギー庁で実施している基盤研究（地層処分技術調査等事業（高レベル放射性廃棄物処分関連：処分システム工学要素技術高度化開発））では、操業技術を構成する要素技術の一つとして、回収技術の中核技術である塩水を利用した緩衝材除去技術について、適用性の検討が行われている。

これらを背景として、本事業は最新の知見を高度化し、「地下環境にて行う実規模スケールの実証試験計画の立案」と「試験に必要となる廃棄体を回収するための緩衝材除去装置の開発」を目的としている。平成 23 年度は以下の内容を実施した。

- (1) 全体計画の策定
- (2) 緩衝材除去装置の基本設計
- (3) 塩水噴射部の設計

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

（報告書）平成 23 年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 地層処分回収技術高度化開発

◇平成 23 年度の成果

(1) 全体計画の策定

本事業の初年度にあたり、以下に示す全体計画を策定した。

1) 既往研究成果の調査

既往研究成果の調査では、廃棄体の「回収可能性の考え方」、「最新の技術開発動向」について国内外の情報を収集した。緩衝材除去技術に関しては、スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社（SKB 社）がエスポ地下研究所で実施した塩水を用いた緩衝材除去に関する試験事例^{1), 2)}、資源エネルギー

庁が実施した基盤研究における塩水を用いた緩衝材除去に関する基本的なデータ及び原理等³⁾、を確認した。

図-1 に回収可能性を維持する範囲と処分事業段階を示す。

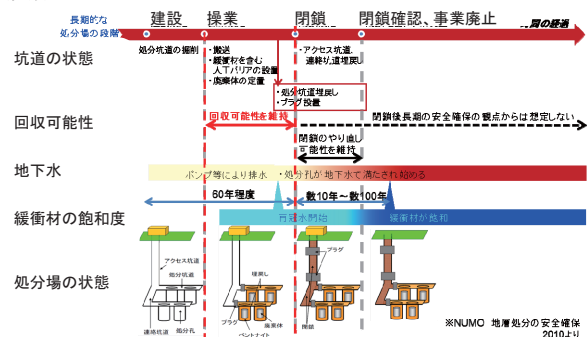


図-1 回収可能性を維持する範囲と処分事業段階

2) 実証試験の全体計画策定

実証試験計画では、「地下環境条件」、「既往研究における回収装置」、「試験の考え方」を検討し、全体計画を策定した。また、回収装置全体の設計・検討を行い、「設計要件」、「回収作業全体の流れと必要な機能」を検討した。図-2 に地下環境を考慮した実証試験概念を示す。

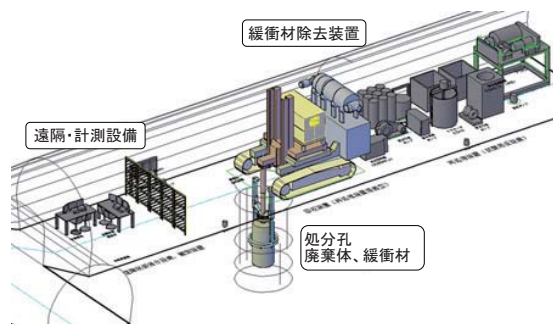
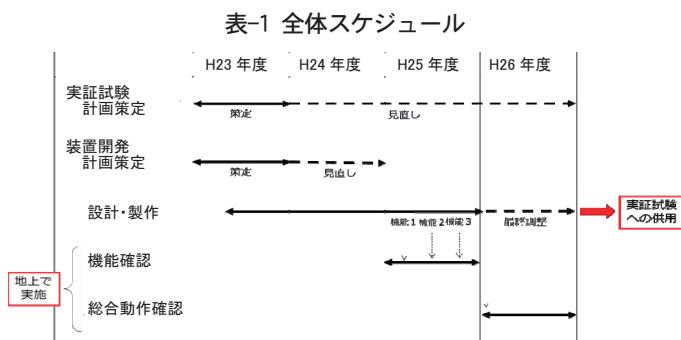


図-2 地下環境を考慮した実証試験概念図

3) 全体スケジュール

本事業を平成 23 年度から 4 年程度の期間で具体化する全体スケジュールを作成した。（表-1）



(2) 緩衝材除去装置の基本設計

全体計画に基づき、塩水を用いた緩衝材除去装置の基本設計として、①設計条件の設定、②要求機能及び機器構成の検討、③緩衝材除去における効率化の検討を行う。検討にあたっては安全性・地下環境・遠隔性等を考慮するものとした。以下に概要を示す。

1) 設計条件の設定

対象とする坑道は、第2次取りまとめにおける「軟岩系モデルによる処分坑道及び処分孔」とした。また、廃棄体及び緩衝材の状態は定置直後の状態をベースケースとして設定し、緩衝材は乾燥密度 1.6Mg/m^3 (ケイ砂 30wt%)、飽和度 50%とした。

2) 要求機能及び機器構成の検討

緩衝材除去装置の「装置移動・位置調整」、「塩水噴射・スラリー吸引」、「塩水噴射部の昇降」、「オーバーパックの振れ止め及び引揚げ」、及び「塩水リユース及び処理」の機能について、既往の知見などを用いた検討により必要な機能・性能を明確にし、基本設計図及び開発工程を示した。

主な機能の検討結果を示す。

「装置移動・位置調整」:

- ・クローラー式移動装置
- ・油圧シリンダーによる位置調整装置

「塩水噴射・スラリー吸引」:

- ・上部・側部緩衝材のそれぞれ除去可能な装置・緩衝材の部分除去
- ・塩水を湛水 (塩水濃度 4wt%)

「塩水噴射部の昇降」:

- ・塩水噴射・スラリー吸引の動作に応じた装置の正確な昇降
- ・複数の油圧シリンダーによる装置の構成

「オーバーパックの振れ止め及び引揚げ」:

- ・緩衝材除去作業中、オーバーパックを固定
- ・緩衝材除去後、オーバーパックの引揚げ

「塩水リユース及び処理」(図-3)

- ・スラリーから、塩水と緩衝材を固液分離する
- ・塩水を調整し、供給する

3) 緩衝材除去における効率化の検討

既往の研究成果³⁾をもとに、緩衝材除去方法の効率化 (時間・数量) の検討を行った。

塩水噴射による緩衝材除去の効率化では、小規模要素試験を実施し、塩水噴射ノズルによる連続噴射による1ノズルあたりの緩衝材除去性能を明

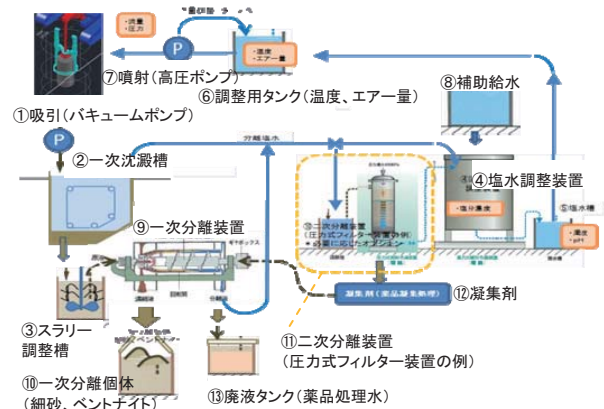


図-3 塩水リユースシステム構成

らかにした(口径φ2.2mm, 0.6MPa, 12分噴射では、直径5cm, 深さ4cmの大きさに相当する量の緩衝材が除去された)。

この性能より、塩水噴射部の配置の検討をした結果、ノズルを円形リングの配管に均等に8箇所配置し、揺動動作する方法により1日程度での緩衝材除去が可能であることが分かった。

(3) 塩水噴射部の設計

基本設計に基づき、緩衝材除去装置のうち塩水噴射部の設計を実施した。設計条件、要求機能・性能を整理し、塩水噴射部は「塩水噴射ノズル(鉛直及び水平方向)」、「ノズルの固定及び塩水を供給する円形リング状の配管」により構成するものとした。関連する装置として「吸引ノズル」「保護ローラー」を挙げ、機器構成の検討対象とした。図-4に塩水噴射部の概念を示す。

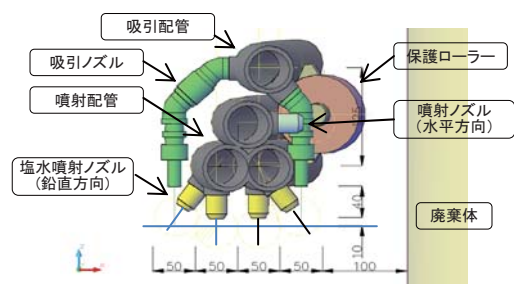


図-4 塩水噴射概念

- 1) SKB, Techniques for freeing deposited canisters, SKB TR-00-15, 2011
- 2) SKB, Äspö Hard Rock Laboratory. Retrieval of deposited canister for spent nuclear fuel, SKB IPR-08-04, 2007
- 3) 例えば、(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター、平成22年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第1分冊) 遠隔操作技術高度化開発、平成23年3月

3. 人工バリア長期性能評価技術開発

本開発は、TRU 廃棄物の処分に係る人工バリアの長期性能評価に関する課題の解決に取り組むものであり、人工バリア材の長期挙動及びガス移行挙動に対する理解を深め、人工バリア性能評価に係る技術的信頼性の向上及び技術基盤を確立することを目的とするものである。

3-1 人工バリアの長期挙動の評価

◇事業の概要

主に再処理工場や MOX 燃料加工工場から発生する TRU 廃棄物の地層処分ににおける人工バリアシステムにおいては、セメント系材料とベントナイト系材料の併用が検討されている¹⁾。これらの材料は、地下水や各バリア材料からの浸出成分との作用により長期的には変質し、人工バリアの特性に変化をもたらす可能性がある。本事業では、人工バリア材の長期挙動とその性能評価に係わる技術的信頼性の向上及び技術基盤の確立を目的に、セメント系材料の変質や、セメントーベントナイト相互作用によるベントナイト系材料の変質に関し、環境条件やセメント系材料種の多様性を考慮したデータ取得を実施する。また、地球化学的反応と物質移行を連成させた解析手法により人工バリア材の変質現象を予測し、実験結果を比較することにより、解析手法の妥当性を検討する。

本事業では、平成 19 年度より次の各項目について実施している。

- ①セメント系材料の長期変質挙動の確証試験
- ②セメントーベントナイト相互影響の確証試験
- ③人工バリア性能評価解析の高度化

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 23 年度 地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処分技術 人工バリア長期性能評価技術開発報告書(第 1 分冊)ー人工バリアの長期挙動の評価ー

◇平成 23 年度の成果

(1)セメント系材料の長期変質挙動の確証試験

セメント系材料の溶解変質を予測する解析手法の信頼性を高める目的で、50 年～80 年の長期材齢を経たコンクリート(経年コンクリート)の溶解変質試験を実施し、解析条件への反映事項を検討した。熱履歴(推定温度 70～100℃)を受け

た経年コンクリートでは、セメント水和物(C-S-H)が結晶化し、カルシウムの溶脱量が、熱履歴を受けていないコンクリートよりも少ないことが確認された。熱履歴により緩衝材への影響が少なくなる可能性があり、結晶化の条件や解析条件の設定等について検討する必要がある。

セメント系材料の変質に伴う物質移行、力学特性変化の解析モデルとして、3 次元空隙構造中を、化学種がランダムに移動することを仮定して移行させることによって、溶解変質過程のうち水酸化カルシウムが溶解する段階(Region2)までの拡散係数を再現できることを試験データで検証した。加えて、この解析モデルに対して、ポルトランドセメントの水和で生成する C-S-H と混和材のポゾラン反応で生成する C-S-H の表面電荷密度の異なる 2 つの C-S-H を設定し、微細な空隙の表面電荷の影響を考慮することによって、普通ポルトランドセメント(OPC)及び高炉セメントに加え、平成 23 年度には、フライアッシュセメントへの物質移行特性の評価に適用できることを塩素の移行により確認した(図-1)。これにより、混和材(高炉スラグやフライアッシュ)の使用等に関わらず、多様なセメント系材料の物質移行特性を再現できる見通しが得られた。

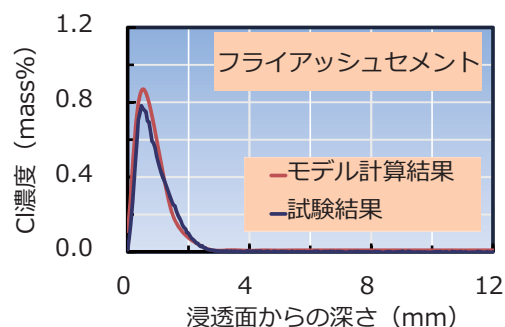


図-1 表面電荷を考慮したフライアッシュセメントの物質移行挙動の計算結果

(2)セメントーベントナイト相互影響の確証試験

セメントーベントナイト接触界面で生成した二次鉱物に関する情報を得ることを目的に、クニゲル V1 (山形県月布産) と OPC の接触試料を長期浸漬(6 年)した試料を、XAFS(X 線吸収微細構造)を用いて分析した。フォトダイオードを横方向に 1024 個並べて構成された一次元測定用 X 線検出器を用いて、0.025mm 間隔で XAFS 波形を得られることが確認できた(図-2)。今後、さ

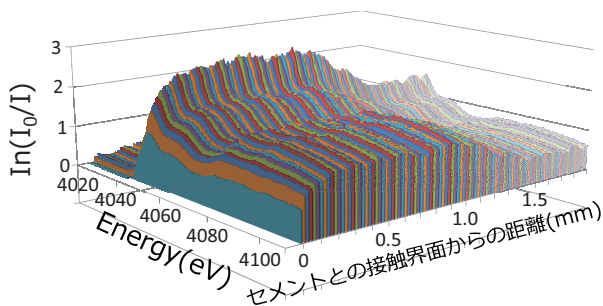


図-2 一次元測定方法による薄片試料の XAFS スペクトル

らに分析精度を上げるための検討を行う。また、ベントナイトの主要鉱物であるモンモリロナイトの高アルカリ条件下、圧縮状態での溶解速度について検討した。圧縮状態でのモンモリロナイトの溶解速度は、スラリー状態で測定したモンモリロナイトの溶解速度よりも常に遅いことが確認された（図-3）。

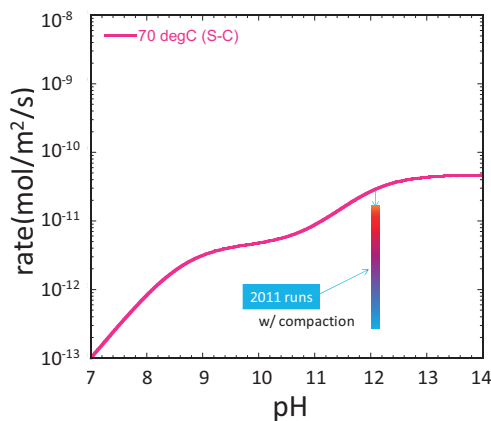


図-3 モンモリロナイトの溶解速度（従来の分散系で測定した溶解速度との比較 ———：粉体，———：圧縮状態）

圧縮過程の溶解速度の定式化を考えるためには、①ナノポアのサイズ、ESA（端面積）推定、②ナノポアの化学ポテンシャル推定、が根幹をなすと考えられる。①については、圧縮圧力 P の関数として推定可能であることがわかった。②についても、化学ポテンシャル計算は理論的に可能であることがわかったが、駆動力としては小さかった。今後さらに検討をすすめ、溶解速度式に圧力項を導入することを考えている。

また、ベントナイト（スメクタイト）の変質に関する天然事例の調査として、平成 21 年度に東海大学湘南キャンパス構内で取得したボーリングコアの鉱物を詳細に分析した。ケイ酸塩（スメクタイト及びゼオライト）の酸素同位体測定によりスメクタイト生成・変質に関わる、40℃と

165℃の 2 つの温度環境を得た。分析で得られた情報、及び地史の検討を元に推定した変質のシナリオの概略を図-4 に示す。さらに地史の検討、精度の良い分析による検討により、変質の経時変化のシナリオの構築を目指している。

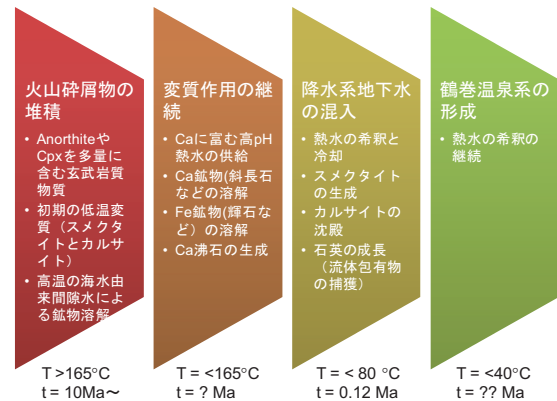


図-4 地下深部のベントナイトの変質シナリオの概略

さらに、ベントナイト系材料の変質に伴う力学特性、物質移行の変化を表すモデルの検討として、ケイ砂の混合量により、ベントナイト中のモンモリロナイト含有量を変化させた試験を行い、力学挙動がモンモリロナイト量に依存していることを確認した。これによって得られる力学変遷モデルにより、ベントナイトの変質を取り込んだ力学解析を高度化することができると考えている。

(3) 人工バリア性能評価解析の高度化

ベントナイトの変質に伴う化学変化と力学特性、物質移行の変化を連成させた解析手法について検討した。今年度は 1 次元のモデルによる弱連成解析を行い、①透水係数の算定根拠が違う、②地化学解析で増減する固相の量を力学解析では考慮できない、③不飽和状態での解析が地化学解析ではできない、等の課題があることが明確になった。

また、セメント系材料に関する解析による評価の高度化については、浸漬試験による人工バリア変質データと化学解析による予測結果とを比較し、本検討で設定した二次鉱物が多様なセメント系材料に適用できることを確認した。

- 1) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構、TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取まとめ－、2005 年 9 月

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

3-2 ガス移行挙動の評価

◇事業の概要

本事業は、「第2次 TRU レポート」¹⁾で提示されたガス移行挙動評価に関する課題を踏まえ、TRU 廃棄物処分施設内で廃棄体から発生する可能性があるガスについて、その移行に伴う多重バリアシステムの性能評価手法の不確実性低減を目指すものであり、現実的なガス移行挙動評価手法の構築に向けた検討を実施して TRU 廃棄物処分に係る人工バリアシステムの長期性能評価の信頼性向上等に寄与することを目的とする。具体的には「ベントナイト系材料中のガス移行特性の把握」に重点をおき、①ガス移行に関する材料特性データの取得、②モデル化・解析手法の高度化及び③ガス移行挙動評価手法の構築を進めている。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 23 年度 地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物関連処分技術 人工バリア長期性能評価技術開発(第2分冊)ーガス移行挙動の評価ー

◇平成 23 年度の成果

(1)ガス移行に関する材料特性データの取得

平成 19 年度に策定した試験計画及び平成 20～22 年度の成果²⁾³⁾⁴⁾に基づき、下記の試験を実施した。

1) 寸法効果評価試験

前年度までの試験より抽出された課題を踏まえてベントナイト系材料のガス透気試験における寸法効果に関するデータを取得すると共に、ガス移行挙動を明らかにするための供試体内部のメカニズム解明について検討した。

本年度に実施したガス透気試験のうち、飽和供試体(高さ25mm、50mm、ガス圧増加速度:0.1MPa/2日)を用いた試験ケースの条件を表-1に示す。破過圧(ガスの供試体上面へ透過する圧力)は25mm供試体で1.6MPa、50mm供試体で1.8MPaと、前年度までの結果と概ね整合的で、破過圧に対する供試体の寸法効果について一層の確証が得られた。また破過に至るまでの排水量及び排気量の測定と破過後の供試体観察や内部の飽和度測定によりガス移行による注気側の飽和度の低下や材料収縮を確認(図-1)した

うえで破過に至るベントナイト材料供試体内部におけるガス移行メカニズムの評価を行った。

表-1 寸法効果評価試験、破過供試体の試験条件及び結果(初期飽和供試体を用いたケース)

ケース	供試体 高さ	初期 膨潤圧	ガス圧 増加速度	破過圧	破過 位置
23SG-1	25mm	0.47MPa	0.1MPa/2 日	1.6MPa	側部
23SG-2	50mm	0.51MPa	0.1MPa/2 日	1.8MPa	側部

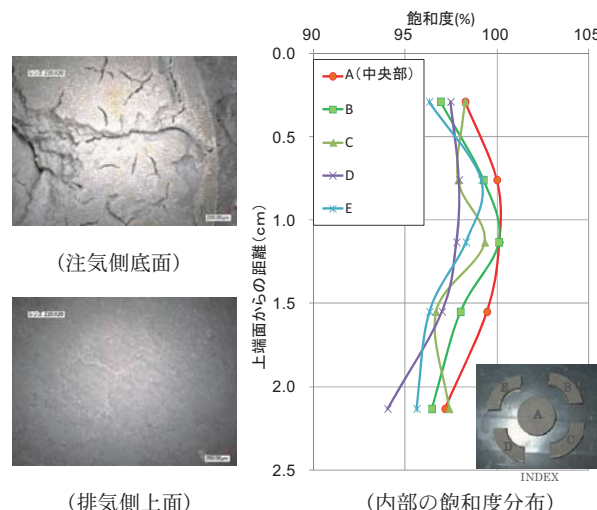


図-1 材料供試体の破過後の両端面の性状(顕微鏡写真)及び内部の飽和度分布(ケース 23SG-1)

2) 飽和・不飽和力学試験

二相流挙動と力学挙動を連成させた力学連成解析の実施に際して重要なパラメータの取得を目的に、ベントナイト材料を用い、サクシオン制御が可能な試験装置によるせん断試験及び水分特性試験を実施し、結果として現在適用しているモデルと概ね整合的な力学及び水分の特性パラメータを取得できた。

(2)モデル化・解析手法の高度化

1) 室内試験データによる確証計算

平成 22 年度に実施した室内試験より得た結果等⁴⁾を用いて、圧力依存透過特性モデル及び力学連成モデルによる再現解析を実施し、膨潤・収縮の考慮による湿潤-排水過程の再現及び力学連成効果を評価した。

2) 施設の長期変遷を考慮したモデル化・解析手法の確立

化学連成事象に着目した検討として、金属腐食を考慮したガス発生量をガス移行解析へ適用

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

する手法を整備し、これを用い TRU 廃棄物処分システムの 1 次元モデル（図-2）を用いた感度解析（図-3）より重要なパラメータを抽出した。さらにこの結果をもとに典型例のモデルを作成し、2 次元解析を試行した。

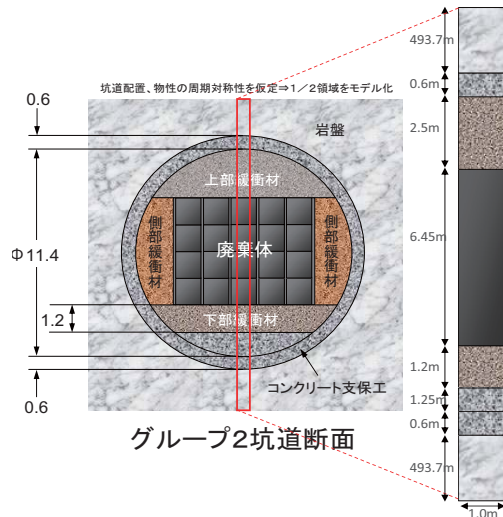


図-2 金属腐食を考慮したガス移行挙動 感度解析モデル
(TRU 処分概念を想定した一次元モデル)

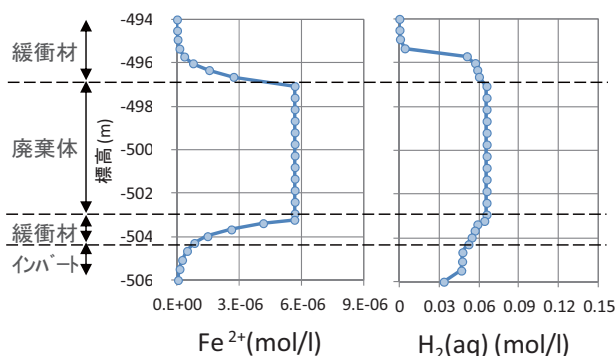


図-3 感度解析結果の一例
(1000 年後における処分施設内のイオン濃度分布断面)

(3) ガス移行挙動評価手法の構築

時系列状態変化表に記載された各事象について、設定に際しての考え方や出典資料などを取りまとめた根拠資料を作成した（図-4 参照）。これにより、時系列状態変化表を用いてガス発生・移行挙動などを議論するに際し、共通の場を設けることができた。また、時系列状態変化表の活用方法として、各時間枠において現実的と考えられるガス発生・移行挙動について検討を行い提示した。これは、①どこからガスが発生しているか（発生源・現象）、②発生したガスはどのように移行するか（移行場所・移行形

態)を示したもので、本検討では時間枠を軸に取りまとめ、併せて基本シナリオ及び変動シナリオの検討・設定に際しての資料として寄与できることを確認した。

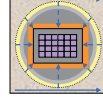
	【問題】—縦断面と側断面の約 100 年経過後画像】	ファイル名	2-6-M
状態(結果)	部分空洞コンクリート主梁エロウメント、収付力/耐力(M)		
状態(理由)	内外圧の作用によりひびき生ずる		
状態(評価)	縦断面のクランプ変形により主梁工のひびきが生じる主梁—収付コンクリート間のすきま閉塞を想定。		
状態(問題点)	断面、材料の割断により収付主梁工事等ひびき生ずる		
状態(現状)	縦断面の熱状態、縦断面熱収、両辺縦断面のクランプ変形、縦断面の熱収、環状材の変形	状態(問題点)に近い資料① ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料② ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料③ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料④ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料⑤ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料⑥ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料⑦ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料⑧ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料⑨ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料⑩ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料⑪ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料⑫ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料⑬ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料⑭ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料⑮ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない	状態(問題点)に近い資料⑯ ODRAP/ MBRAS: Evolution of the Near-Field of the ODRAP/ MBRAS: Regulatory Concept for category B and C wastes, NIPROD-TR report 2007-07E (2008)	状態(問題点)に至らず 支保工設置に要する
状態(現状)	変形(変換)ない		

圖-4 時系列狀態變化表－根拠資料
(閉鎖～緩衝材飽和：閉鎖後約 100 年經過段階)

以上の検討結果に基づき、既往の時系列状態変化表、統合 FEP 関連図及びシナリオ整理シートの見直しを行った。

- 1) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構、TRU 廃棄物処分技術検討書－第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－、2005 年 9 月
- 2) (財)原子力環境整備促進・資金管理センター、平成 20 年度 地層処分技術調査等委託費 TRU 廃棄物関連処分技術 人工バリア長期性能評価 技術開発(第2分冊)－ガス移行挙動の評価－、平成 21 年 3 月
- 3) (財)原子力環境整備促進・資金管理センター、平成 21 年度 地層処分技術調査等委託費 TRU 廃棄物関連処分技術 人工バリア長期性能評価 技術開発(第2分冊)－ガス移行挙動の評価－、平成 22 年 3 月
- 4) (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター、平成 22 年度 地層処分技術調査等委託費 TRU 廃棄物関連処分技術 人工バリア長期性能評価 技術開発(第2分冊)－ガス移行挙動の評価－、平成 23 年 3 月

4. ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発

本開発は、TRU 廃棄物の地層処分に係る安全評価の重要核種であるヨウ素 129 及び炭素 14 を対象として、これらによる被ばく線量を低減することにより、幅広い地質環境に対して処分の安全性を成立させる代替技術の開発を目的としている。

4-1 ヨウ素固定化処理技術開発

◇事業の概要

再処理施設の操業に伴い、銀吸着材中に回収されるヨウ素 129 (以下、I-129) は、半減期が 1,570 万年と長く、また、人工バリアや岩盤等への収着性が低いことから、地表まで移行する間の減衰は地下水流速等の地質環境条件の影響を受けやすい。このため、TRU 廃棄物の地層処分の安全評価において、地質環境条件によっては、被ばく線量に大きな影響を及ぼす放射性核種となる。

本事業は、地層処分において I-129 による被ばく線量の低減が可能であり、さらに長期性能評価において不確実性が小さく、経済性の観点からも有効なヨウ素固定化技術を開発し、我が国の幅広い地質環境条件に柔軟に対応することのできる処分技術を提言することを目標としている。

本事業では、固定化処理技術の開発目標値を①固化体からのヨウ素放出期間 10 年以上(特に地質条件が悪い場合でも I-129 からの最大被ばく線量を現行よりも約 1 桁低減可能なヨウ素放出期間に相当)、②ヨウ素固定化処理プロセスにおけるヨウ素回収率 95%以上(未回収のヨウ素からの最大被ばく線量をできるだけ小さくするように設定)、として開発を進めている。平成 12 年度に実施した国内のヨウ素固定化処理技術の調査結果に基づき 7 技術について開発計画を策定し、開発を進めた。平成 16 年度にはヨウ素放出抑制能力と処理プロセスの成立性を中心に評価を行い、5 技術に絞り込んだ。平成 18 年度はこれまで検討を行った各固化体のヨウ素放出期間及び固定化処理プロセスの成立性について、より詳細な検討を行った。平成 19 年度には、目標とした 10 万年のヨウ素放出を見込める環境条件を提示するとともにヨウ素回収率を 95%以上とする目処が得られた技術を以下の 3 つに絞り込んだ。

①岩石固化体：廃銀吸着材を熱間等方圧加圧(HIP)

処理し、焼結体としたもの

②BPI ガラス固化体：無機イオン交換体 $\text{BiPbO}_2\text{NO}_3$ の NO_3 をヨウ素で置換して BiPbO_2I とし、ガラスフリットと混ぜて熔融固化したもの

③セメント固化体：廃銀吸着材から脱離させたヨウ素をヨウ素酸溶液とし、アルミナセメントにヨウ素の収着性の高いセメント水和鉱物であるエトリンサイト(Aft)やモノサルフェート(AFm)を生成させる目的で二水石膏を加えたセメントとともに混練し作製したもの

これらの 3 技術に対し、長期的なヨウ素保持性能の信頼性向上を目的とした開発を継続するとともに、固定化処理プロセスに関するデータ取得の試験計画を策定した。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 23 年度 地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 報告書(第 1 分冊)ーヨウ素固定化処理技術開発ー

◇平成 23 年度の成果

(1)岩石固化技術

岩石固化体のヨウ素放出に関わる素過程のうち、AgI の溶解に特化し試験、解析を行った。還元環境(Na_2S 水溶液中)での AgI 溶解の活性化エネルギーは $38 \pm 3 \text{ kJ/mol}$ となり、ヨウ素の放出は AgI 表面での溶解または析出反応が律速過程であると判断した。また、硫化第一鉄共存下では、その溶解による HS^- の供給が AgI の溶解を支配するものと推定された。

また、固化体の分析結果では、マトリクスの溶解に伴って溶液が内部に浸透し、ヨウ素を放出することが示唆された。この結果から、マトリクス溶解がヨウ素の放出を律速する評価モデルの妥当性をおおむね確認するとともに、ヨウ素放出をマトリクスの溶解と関係づけたモデル式を提示した。一部の条件で浸出係数 R (浸出したヨウ素の濃度と浸出したアルミニウムの濃度の比)を取得することで、固化体からのヨウ素の放出を再現することができた。浸出係数 R については、さまざまな環境での試験によって取得するとともに、シミュレーションによる検討を進めていくことで、浸出係数 R の論理的な根拠を示すことができると考えられる。

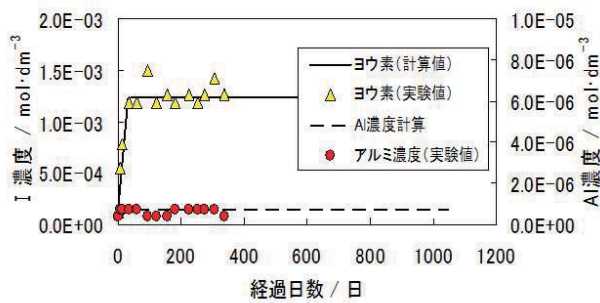


図-1 岩石固化体の長期浸漬試験によるヨウ素放出モデルの検証 (pH 12.5)

(2) BPI ガラス固化技術

BPI ガラス固化体の溶解過程をモデル化することを目的とし、固化体及び表面変質層の詳細検討を実施した。化学構造の詳細検討として、X 線構造因子及び ^{11}B MAS NMR (マジック角試料回転核磁気共鳴) によるホウ素の配位数に中性子構造因子を拘束条件に加えることにより、逆モンテカルロ (RMC) 計算による構造再現を実施した。その結果、ホウ素多面体構造及び鉛の周辺構造が再現できた (図-2)。

BPI ガラス固化体の表面変質層の形成過程をベントナイト平衡水の条件において観察した (SEM 等)。表層付近は比較的多孔質であり、結晶粒が形成されていること及び健全部近傍はそれほど多孔質ではなく、変質層上部と下部で異なる構造であることが確認された。また、変質層表面には $\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ (hydrocerussite) の結晶が析出していることが確認され、これにより、ヨウ素放出挙動をモデル化する際の、変質層の機能に関する議論が可能となった。

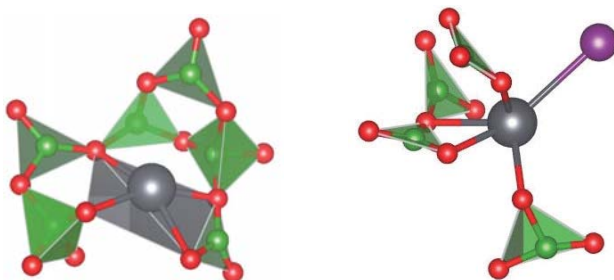


図-2 逆モンテカルロ法によって再現した 2 成分ガラス構造モデルにおける鉛 (灰色) へのホウ素多面体 (緑) の配位構造 (左) 及び BPI ガラス構造モデルにおける鉛へのホウ素多面体及びヨウ素 (紫) の配位構造 (右)

ヨウ素放出評価モデルとして、ガラス表面での変質層の形成過程を微視的スケール (nm $\sim\mu\text{m}$ 程度) で追跡するためのモンテカルロシミュレーションの解析を実施した。その結果、変質層の形態、特に変質層が鉛リッチになる特徴など、観察事実と一致することが確認されたことから、現象解析モデル構築に向けた基礎的検討は終了した。

(3) セメント固化技術

セメント固化体の長期性能を確認するため、イオン交換水による液交換試験を継続した。その結果、予察解析で予測した通り、固相中のヨウ素は液/固比 1400 でほぼ全量が液相に放出され、固相中の AFt、AFm、ハイドロガーネット (HG) がほぼ消失していたことから、ヨウ素保持鉱物の溶解に伴って、ヨウ素が液相に放出されるとするモデルの考え方の合理性を示せた。なお、セメント固化体の溶解に伴うヨウ素の顕著な瞬時的な放出は見られないことも確認できた。

(4) ヨウ素固定化処理プロセスの整備

ヨウ素固定化処理に必要な施設の設計に反映するためにプロセスデータの取得を行った。

岩石固化技術については、加熱処理におけるヨウ素の脱離対策を講じるため、模擬廃銀吸着材を作製し基礎検討を行った。その結果、銀利用率が 65% $\sim$ 70% 以下ではヨウ素の脱離が認められないこと、さらに、還元処理を行えば、銀利用率によらずヨウ素の脱離が抑制されることを確認した。以上により、ヨウ素の脱離対策について基礎検討が終了し、プロセスの成立性への見通しを得た。

BPI ガラス固化技術については、2.5L ガラス固化体の再現性確認試験を実施するとともに、最終廃棄体形態を踏まえ、円柱状のガラス固化体を試作した。当該固化体について密度及びヨウ素含有率を測定し、ヨウ素は均一に分布していること及びヨウ素揮発率が目標以下であることを確認することができた。

4-2 C-14 の長期閉じこめ技術の高度化

◇事業の概要

放射化金属廃棄物（ハル・エンドピース）に含まれる C-14 は、TRU 廃棄物地層処分における被ばく評価上の重要核種となっている。本事業では TRU 廃棄物の処分用廃棄体に関して、平成 10 年度「地層処分経済性向上調査：地層処分システム開発調査-廃棄体の開発-」において、公募に応じた提案を審査し、①長期間核種閉じこめにより被ばく線量を低減し、処分の安全性向上を目標とする廃棄体容器、②ハンドリング性、処分効率等の向上を目標とする廃棄体容器を開発することとし、概念とその開発計画を選定した。これらのうち、②については、平成 16 年度に開発を終了し、その後、①について、C-14 の影響を低減するための代替技術として、長期閉じこめ型容器の開発を実施している。

核種の閉じこめ期間は、性能評価上の重要核種で、人工バリアや地質媒体への収着による線量低減が望めない C-14 について、初期濃度が約 1/1000 に減衰する 6 万年間を目標とした。平成 13 年度までに基本設計に加え、その製作実現性及び長期閉じこめ性の考え方の整理を行い、平成 14 年度以降は長期閉じこめ性の確認試験を実施した。平成 16 年度にはコンクリート容器（図-1）、金属容器（図-2）各 1 体について長期閉じこめの信頼性を検討

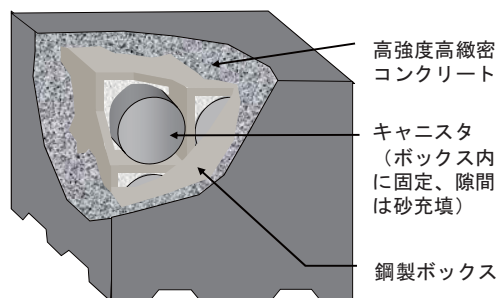


図-1 長期閉じこめ型コンクリート容器の概念図

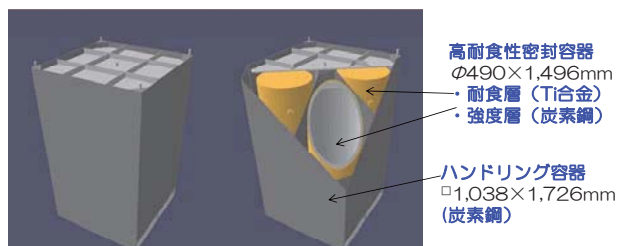


図-2 長期閉じこめ型金属容器の概念図

した。平成 17 年度以降は長期閉じこめ性担保のために、コンクリート容器について処分環境下でのひび割れ発生、進展及び閉塞等を含む長期挙動の評価に重点をおいた開発を実施し、金属容器については、溶接・加工影響部等や欠陥の影響を含めた長期評価に重点をおいて開発を実施した。平成 21 年度には、コンクリート容器及び金属容器について、長期閉じこめの可能性について検討し、平成 22 年度以降は、閉じこめ可能性の信頼性向上のための検討を実施している。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

（報告書）平成 23 年度 地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 報告書（第 2 分冊）-C-14 の長期閉じこめ技術の高度化-

◇平成 23 年度の成果

(1) 長期閉じこめ型コンクリート容器

長期閉じこめ型コンクリート容器は、高強度高緻密コンクリートを使用することにより容器への水の浸透及び化学的な劣化を低減し、廃棄物と地下水が 6 万年間は接触を抑制することで、閉じこめ性を担保するものである。平成 23 年度は、閉じこめ性評価の信頼性を向上させることを目的とし、高強度高緻密コンクリートの長期挙動を評価するための長期健全性評価モデルの高度化検討、及び製作時の品質管理の観点から非破壊検査技術に関する検討を行った。

高強度高緻密コンクリートの長期挙動の予測は、水浸透挙動と化学劣化挙動に関する各種現象を考慮して構築した長期健全性評価モデルを用い、熱力学連成解析システム (DuCOM)¹⁾ によって行う。長期健全性評価モデルの高度化の検討では、長期挙動の予測の信頼性を高めるために、平成 22 年度までの検討で抽出された長期健全性評価モデルの課題で、解析結果と試験結果の差異の原因の一つと考えられる、コンクリート中の数 10μm 以上の粗大な独立空隙（以下、粗大空隙とする）の水浸透挙動への寄与を試験で確認し、モデルの高度化に資する事項を抽出した。粗大空隙量やセメントの種類により空隙構造を変化させた数種類のモルタル試験体を作製して水浸透試験及び空隙径分布の測定をした。その結果、粗大空隙への水が浸透する可能性が認められた。長期健

全性評価モデルに粗大空隙への水の浸透を考慮して高度化することにより、長期予測の信頼性を高めるものと考えられる。

非破壊検査技術の検討は、製作したコンクリート容器の性能を担保するために、容器の閉じこめ性に影響する内在するひび割れ等の欠陥について、その有無を検出する超音波探傷技術の開発を進めている。平成 22 年度までの検討で、従来のスパイクパルサー方式は、コンクリートに内在する気泡や骨材からのノイズにより、欠陥検出能力が著しく低下することを確認した。そのため今年度は、技術調査により高強度高緻密コンクリートへの適用可能性が期待されたステップパルサー方式²⁾の適用性確認試験を実施した。幅 0.5mm の人工欠陥(スリット)に対する探傷試験の結果、従来のスパイクパルサーで検出し難い端部エコーが、ステップパルサーでは検出可能であることを確認した(図-3)。これは、ステップパルサーがス

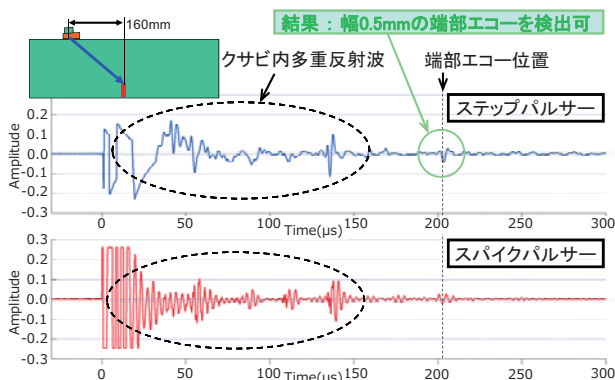


図-3 高強度高緻密コンクリートに付与した人工欠陥(0.5mm 幅スリットの端部エコー)に対するスパイクパルサー及びステップパルサー方式の超音波探傷試験結果

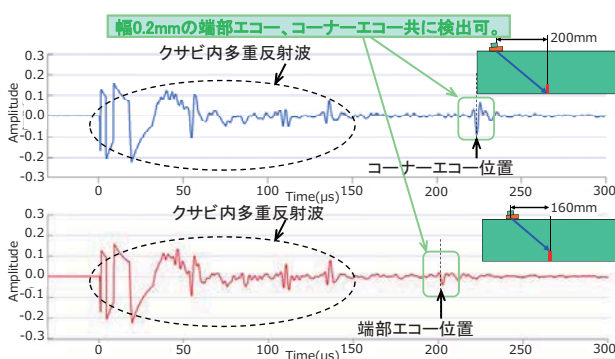


図-4 高強度高緻密コンクリートに付与した人工欠陥(0.2mm 幅スリット)に対するステップパルサー方式の超音波探傷試験結果

パイクパルサーに比較して広周波数帯域の超音波が利用できるため、骨材等の散乱で高周波成分が減衰しても、低周波成分が選択的に利用できているためと考えられる。さらに、幅 0.2mm の人工欠陥に対するステップパルサーの適用性確認試験結果(図-4)からは、コーナーエコー、端部エコー共に検出が可能であることを確認し、コンクリート容器の超音波探傷に対するステップパルサー方式の適用性は、一般的なスパイクパルサー方式の超音波探傷法に比べて極めて高いことを確認した。

(2) 長期閉じこめ型金属容器

金属容器に使用する Ti 合金の溶接部に対して、水素に起因する応力腐食割れ感受性の長期腐食挙動評価試験を実施し、母材に対する試験結果と比較することで溶接の影響について確認した。平成 22 年度に開始した TIG 溶接試験片に対する 0.05Am^{-2} 、10000 時間の長期定電流・定荷重試験が終了し、試験片の分析を行った結果、針状水素化物の生成が観察され(図-5)、若干の影響を受ける可能性(溶接部の方が水素を吸収しやすく、結果として針状水素化物が深く生成する可能性がある)が確認された。この結果から、長期健全性予測モデルの高度化の検討が必要と考えられた。

また、Ti 合金試験片を降水系、海水系模擬地下水に長期間浸漬・静置する自然浸漬試験については、浸漬を継続した。

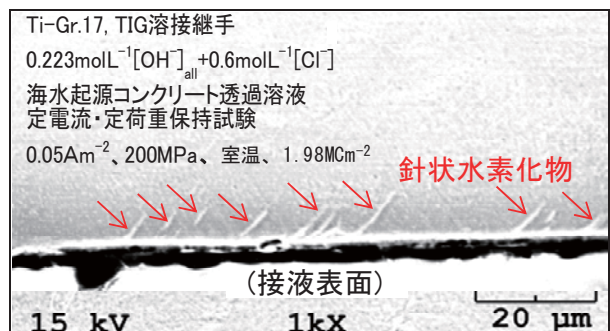


図-5 定電流・定荷重保持試験結果(試験片断面観察)

- 1) Maekawa, K., Kishi, T. and Ishida, T., Multi-scale modeling of concrete performance - Integrated material and structural mechanics, Journal of Advanced Concrete Technology, 1(2), 91-126, 2003.
- 2) T. Mihara, M. Maruta, M. Honda, H. Tashiro, Ultrasonic Propagation Behaviour in Composite Material for Velocity Measurements of Concrete Structure, Proceedings of 7th International Conference on NDE, 2009

4-3 放射化金属廃棄物中の C-14 放出挙動評価

◇事業の概要

放射化金属廃棄物（ハル・エンドピース）に含まれる C-14 は、TRU 廃棄物地層処分における被ばく評価上の重要核種となっている¹⁾。これは C-14 の半減期が約 5,730 年と比較的長く、廃棄物中のインベントリが比較的多いこと、さらに廃棄物から放出される C-14 が有機物と想定されていることから、天然バリアへの収着性が低く、移行の際に遅延効果が期待できないからである。C-14 に関する研究は、これまで主として電力共通研究²⁾、原環センター自主研究、国の研究の一部で実施されてきたが、現状の知見は限られたものであるため、安全評価において、過度に保守性が確保されている可能性があり、現実的・合理的な取扱いが望まれている。

本事業は、放射化金属廃棄物中の C-14 インベントリの合理的設定及び C-14 放出挙動の解明に注力し、C-14 の化学形態及び収着挙動、有機 C-14 の無機化等、環境中の移行挙動を明らかにするとともに、生物圏の知見と併せて、C-14 の挙動を総合的に評価することを目的としている（図-1）。

特に、C-14 の浸出率は、これまで短期的な C-14 の浸出試験結果から外挿されているため、過度に保守的に評価されている可能性がある。本事業では、照射済み被覆管を用いた長期浸出試験を実施し、C-14 放出データの取得・整備を行うことで、

現象を正確に把握・理解し、より現実的な C-14 挙動評価に資することを目指している。また C-14 は金属腐食に伴い放出されると設定されていることから²⁾、処分環境における腐食挙動について検討を加える。平成 22 年度までに、照射済み BWR 被覆管の C-14 濃度を実測するとともに、同試料を用いた C-14 浸出試験を行っている。また、ジルカロイの腐食試験においては試料の前処理方法を標準化した。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

（報告書）平成 23 年度地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 報告書（第 3 分冊）—放射化金属廃棄物中の C-14 の放出挙動評価—

◇平成 23 年度の成果

(1) C-14 のインベントリの合理的設定方法の検討

放射化金属中の C-14 インベントリを合理的に設定するため、使用済み燃料に関する公開情報に基づいて整理を行い、インベントリを検討・評価している。本年度は、PWR 燃料集合体を対象として、C-14 インベントリの計算評価を燃料有効部以外に対して行い、平成 22 年度に実施した燃料有効部の計算結果と合わせ、PWR を対象とした C-14 インベントリを評価した。また、平成 21 年度までに実施した BWR のインベントリ計算結果と合わせ、民間再処理由来の地層処分対象となるハル等廃棄体の総インベントリとして評価した。

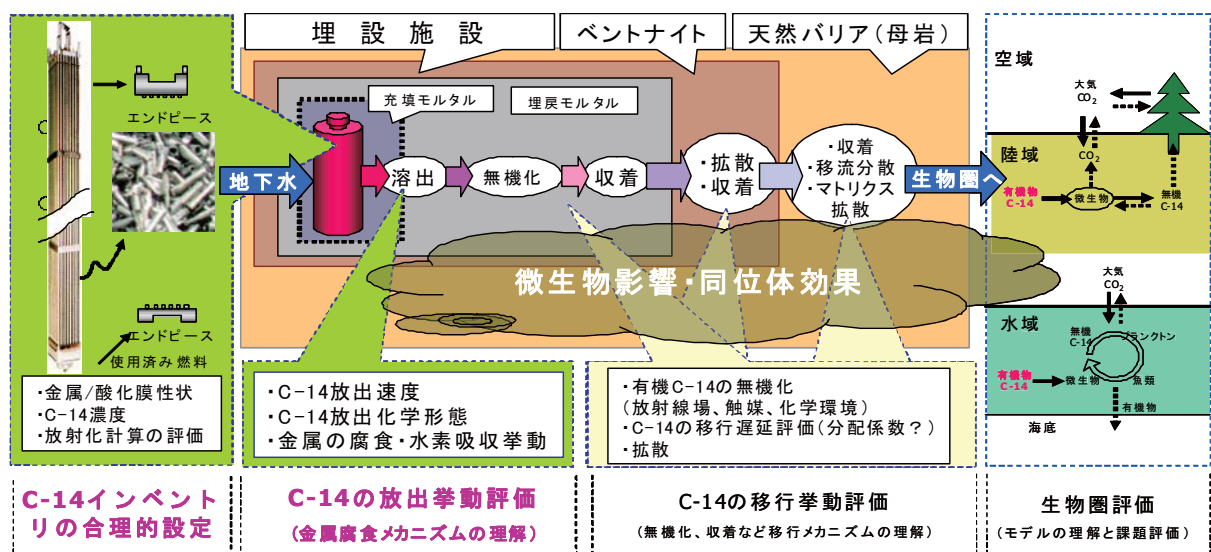


図-1 放射化金属から放出される C-14 の移行挙動の総合的な評価方法の検討

その結果、PWRとBWRのインベントリの合計については、 $4.46 \cdot 10^{14}$ Bqとなり第2次TRUレポートとおおむね同等であった。廃棄物の物量(重量換算)は、BWRのほうが若干多いが、各評価ともおおむね同程度となった。一方、瞬時放出と想定されている酸化膜中のインベントリはBWRで $1.48 \cdot 10^{12}$ Bq、PWRで $1.15 \cdot 10^{13}$ Bq(合計 $1.30 \cdot 10^{13}$ Bq)であり、第2次TRUレポートの $5.72 \cdot 10^{13}$ Bqの約1/4となった。全体に占める割合は、13%から2.9%に低減され、酸化膜厚さの設定に大きく影響されることがわかった。

以上により、現実的・合理的なデータ・手法を採用する効果を示すことができたが、今回の評価では、構成材料の重量(tUあたりの発生物量)など、発電所運転情報や使用済燃料仕様について代表値を使用せざるを得ないことによる不確実性が存在する。今後は、不確実性や課題について整理する必要がある一方で、実際の処分場の評価を行うためには、今回の評価に含まれていないJAEA再処理廃棄物や返還廃棄物についても評価が必要になる。

(2) 放射化金属からの C-14 放出挙動

C-14の浸出データの信頼性を高めるため、照射済み被覆管浸漬試料の気相中のC-14の回収率について検討を行った。二酸化炭素($^{14}\text{CO}_2$)を用いた検討では、グローブバッグによる回収率は80%であった。気相の分析精度向上のため、C-14の物質収支など今後確認しておく必要がある。

浸出試験については、平成22年度に浸漬開始したSTEPⅢ燃料被覆管浸漬試料を対象として浸漬期間6ヵ月、9ヵ月及び12ヵ月のC-14浸出挙動データを取得・評価した。これまで報告されているPWR照射済み被覆管及びBWR照射済みSTEPⅠ被覆管に比較して非常に小さい浸出割合を示し、耐腐食性向上との関連が示唆された。浸出したC-14は気相への移行成分(浸漬期間12ヵ月では気相中のC-14は検出されなかった)、液相中無機成分、液相中有機成分の存在が確認できた。

また、C-14の化学形態の評価では、金属及び金属の炭素化合物を加速的に腐食させて放出される炭素化合物の化学形態を測定した。その結果、還元環境では電気化学FT(Fischer-Tropsch)に類似した反応が基本メカニズムであることが示唆された。さらに酸化性環境下での炭素を含む金属

試料の腐食では、液相中にギ酸や酢酸などのカルボン酸が検出されており、同時に気相中には一酸化炭素(CO)及び二酸化炭素(CO_2)が検出された。このことから、金属中の炭素を起源とする電気化学FT反応の逆反応によってカルボン酸などが生じていると推察された。これまでに取得した照射済み被覆管からの浸出C-14の形態分析結果を考え合わせると、処分環境での放射化金属からのC-14の放出も、同様のメカニズムによるものと考えられた(図-2)。今後、処分場におけるC-14の移行挙動の評価とその信頼性を向上させるため、有機C-14の化学形態を把握しておくことの重要性が示された。

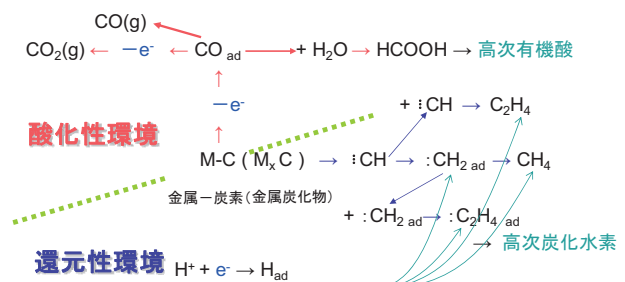


図-2 金属内炭素の放出機構の統一的理解

(3) 金属の腐食挙動評価

ジルカロイの長期的な腐食速度の評価として、平成19年度よりガスフロー型腐食試験及びガス蓄積型腐食試験を実施し、腐食速度に関するデータを取得した。これまでの結果と同様の傾向が確認され、放出された水素ガス量は経時的に減少し、水素吸収率は平均90.5%であった。等価腐食速度についても経時的に減少し、1500日後には約 $2 \times 10^{-3} \mu\text{m/y}$ となり、第2次TRUレポートでの設定値($2.0 \times 10^{-2} \mu\text{m/y}$)の約0.1倍となった。

ジルカロイの腐食に与える環境影響として、模擬地下水を用いた腐食試験について最大6ヵ月までの試験データを取得した。NaOH水溶液を用いた腐食試験結果との有意な差異は確認できなかった。今後長期的に傾向を確認する必要があるが、溶液成分による腐食への影響は有意ではないと考えられる。

ジルカロイの腐食及び水素吸収挙動に及ぼす水素(水素化物)の影響を明らかにするため、トリチウムを含んだpH 12.5のNaOH水溶液中で、水素化させていない試料(以下、受入材)、または水素化材について30℃での956日間腐食実験を実

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

施した後、腐食により（１）発生したガス状水素（トリチウム）量（速度）及び（２）ジルカロイへの水素（トリチウム）取り込み量（速度）を調べた。発生したガス状水素量については、ガス状の水素を、ガスクロマトグラフィにより定量した場合と、トリチウムを検出することにより定量した場合とを比べると、両者はほぼ一致しており、トリチウムの検出から水素発生量を定量することができることが示された。また、ジルカロイへの水素（トリチウム）取り込み量については、受入材と、それを予め水素化した材料とで水素取り込み量を比較したところ、後者では前者の約半分であった。この原因としては、水素化材の腐食量の進行が遅く水素の発生量そのものが少なかったか、あるいは、同じ程度発生していたとしても、水素の取り込みが少なかったか、どちらかあるいはその両方が考えられる。いずれにしても、水素化物層の腐食への影響を確認するためには、予め水素化した材料の腐食により発生するガス状水素の定量が必要である。

ステンレス鋼の長期的な腐食速度の評価として、平成19年度より実施している30℃、低酸素、高pH条件下でのガスフロー型腐食試験を継続した。これまでに放出された水素ガス量は経時的に減少している。本年度新たに、1300日までのデータを取得したが、放出された水素量のデータに大きな変化はなく、腐食速度は約 $5 \times 10^{-3} \mu\text{m/y}$ となった。ガス蓄積型試験における1年後の等価腐食速度は、30℃では $0.8 \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m/y}$ であり、50℃では30℃の約3倍、80℃では約10倍の腐食速度となり、温度依存性が認められた。現実的な腐食速度を設定するためには、試験を継続して長期の腐食データを蓄積するとともに、地層処分環境で想定されるさまざまな影響について定量的に評価することが必要である。

(4) ジルカロイ腐食の長期予測への課題検討

ジルカロイの長期腐食挙動の予測については、地層処分環境となる低温においてジルカロイの腐食は非常に遅いため、低温の腐食試験だけでは、非常に不確実性が大きいことから加速条件となり得る高温での知見等の活用が期待される（図-3）。そこで、高温腐食に関する既往の文献を調査、整理するとともに、地層処分環境への適用するための課題について検討した。また、材料や

環境による腐食への影響についても同様に調査し、課題を抽出することとした。

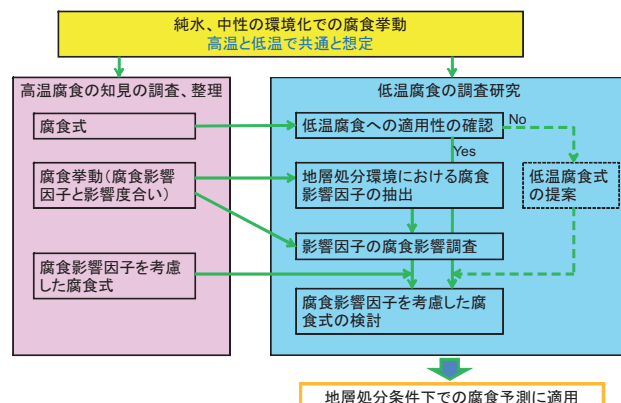


図-3 高温腐食の知見を活用した低温腐食の検討の手順案

高温においてジルカロイの腐食挙動は、大きく遷移前と遷移後の大きく2つに分けられ、遷移前は、腐食増量は時間の1/3乗に比例する形で進行し、遷移後は時間に対して1乗に比例するとされている。また、ジルカロイの腐食挙動を式化した腐食式は複数提案されており、この式を用いることで各温度、時間における腐食増量を算出することができる。さらに、腐食に影響を与える因子としては、材料については照射、水素化、環境については、液性、圧力、温度が挙げられることが分かり、これらの因子の影響については、遷移後についてのみ評価されている（図-4）。なお、これらの影響因子は、地層処分で考慮しなければならない因子とほとんどが共通であり、さらに地層処分においては微生物の影響について考慮する必要がある。腐食影響因子の腐食式への反映方法については、温度以外すべてのものが加速係数として腐食式に乘じる方法がとられている。

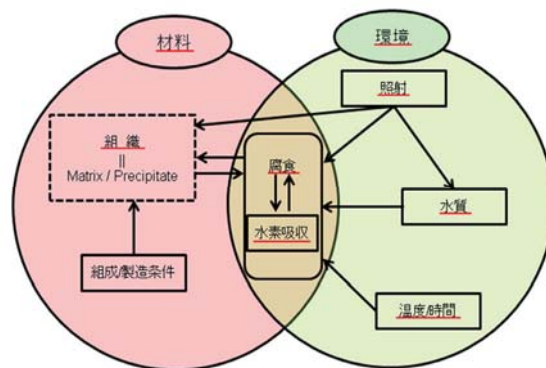


図-4 ジルカロイの水中腐食に及ぼす環境因子³⁾。下線が地層処分環境に係る影響因子と思われるもの。

高温腐食の知見の低温への適用については、①低温での腐食メカニズムが高温と同じかどうかの確認、②提案されているいくつかの炉外腐食式による腐食期間予測への影響の考慮、③地層処分で考慮する必要のある影響因子の抽出と影響度合いの確認が必要である。このうち、①については、中間温度（100～200℃）と低温での腐食試験（純水条件下）で得られる腐食速度定数と活性化エネルギーを高温腐食式で設定されているものと比較することが有効であり、場合によっては新たに予測式をたてることも考えられる。（図-5）③については、材料因子（炉内照射、水素吸収等）と環境因子（地下水照射、地下水化学組成、地下水温度等）の影響（腐食加速）を試験により確認する必要がある。

これまでに得られている低温での腐食試験結果を基に、腐食式の適用性について予察的に評価を行った。（図-5）高温の腐食式に基づく予測に比べ、実際に取得した腐食増量の方が1桁程度大きい値となった。また、速度定数は、高温腐食式よりも低温腐食試験の方が大きく、活性化エネルギーは、高温腐食での活性化エネルギーの約2分の1となった。この原因として液性の違いと腐食増量の違い、酸化膜性状の違い、材料の違いが考えられる。今後、低～高温での純水条件での腐食試験及び酸化膜の性状等を確認する必要があるが、腐食式の適用については、①高温の腐食式を低温においても適用、②高温から低温まで適用できる新たな腐食式を提案、③高温の腐食式とは別に中間温度（100～200℃）から低温に適用できる腐食式を提案、のオプションが考えられる。

さらに、低温における腐食影響因子の影響の度合いを、これまでに得られた腐食試験結果をもとに予察的に評価した。その結果、暫定的な加速係数としてpH影響で約9倍、照射・水素化、pH等の影響で約20倍と見積もれたが、いずれのケースにおいても高温の知見で示された加速係数だけでは、示すことはできなかった。また、照射済み被覆管からのC-14の浸出試験の結果で見られたように、Zry-2については照射された材料の方が未照射のものよりも耐食性が向上する結果となり、照射誘起固溶によって耐食性が向上したことが一因と考えられる。

各腐食影響因子については、高温では遷移後の腐食式のみ加速係数として乗じることが提案

されているが、予察評価の結果を踏まえ、遷移前についても同様に各腐食影響因子を加速係数として乗じて評価することが可能と考えられる。

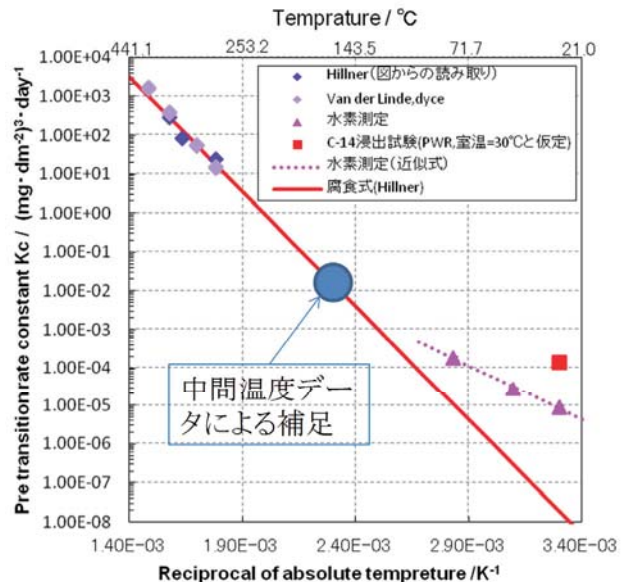


図-5 地層処分環境での腐食試験結果と高温腐食データとの比較

- 1) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構、TRU 廃棄物処分技術検討書－第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－、2005年9月
- 2) T. Yamaguchi et al., A Study on Chemical forms and Migration Behavior of Radionuclides in Hull Waste, Proc. Radioactive Waste Management and Environmental Remediation ASME, Nagoya, Japan (1999).
- 3) 日本機械学会編、ジルコニウム合金ハンドブック、日刊工業新聞社

5. 量子化学的手法を用いたニアフィールド現象の評価技術の整備 (IV)

◇事業の概要

性能評価技術の信頼性の向上を図るために、時空間スケールに基づき構造化された問題分析モデル体系の開発が経済産業省資源エネルギー庁事業「先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発」において平成 19 年度から実施されている¹⁾。この問題分析モデル体系のうちナノスケールのモデル部分において、ニアフィールド現象の化学反応に関する事象あるいは化学反応を発端とする事象について、非経験論的に化学反応に寄与する電子状態を評価できる量子化学的な計算手法の適用が期待される。

本事業では、上記の経緯を踏まえ、性能評価分野において量子化学計算手法を適用することが有効と考えられる 6 課題 (①アクチニド 4 価の水酸化炭酸錯体の存在と安定性、②核種のベントナイトへの収着機構、③強アルカリ性、高 Ca 濃度下でのスメクタイトの溶解反応、④スメクタイトの鉄共存下の変質過程、⑤ガラスの溶解、⑥チタンと水素、チタン水素化物と水素の相互作用) を対象に量子化学的手法の適用を検討するため、各課題において作業ステップを設定して、第一原理電子状態計算等による解析的検討を行う。そして、これらの検討結果を踏まえて、量子化学計算手法の性能評価上の課題に対する適用性、適用条件、及び適用性を向上するための課題を整理する。

なお、本事業は平成 23 年度経済産業省資源エネルギー庁事業「先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発²⁾」を受託した日本原子力研究開発機構からの業務請負契約として、日本原子力研究開発機構との検討を積み重ねつつ実施したものである。

◇平成 23 年度の成果

(1) 性能評価上の課題への量子化学計算手法の適用 ①アクチニド 4 価の水酸化炭酸錯体の存在と安定性

処分環境から生物圏への核種移行シナリオを予測・評価する上で重要である、地層処分環境中でのアクチニド 4 価の支配的な化学形と考えら

れる水酸化炭酸錯体の存在と安定性の評価における量子化学計算の適用性について、Step1: 化学種の構造安定性評価、Step2: 錯形成定数の導出、Step3: 計算精度の向上と大規模系モデルの検討、Step4: 多様な核種への適用 (化学アナログ等)、という作業ステップで検討する。

平成 22 年度までの検討において、Step1 の錯体の安定構造の決定や Step2 の平衡定数の基本的な評価手法については確立されているが、さらに計算精度の向上も図るためには現実系に近い系での錯体構造のモデル化が重要であり、Step3 で示した大規模系のモデル化が必要であると判断した。

これを踏まえ、平成 23 年度の検討では、古典分子動力学法を援用した上で QM/MM 法 (必要な部分のみ量子力学 (QM) モデルを適用する手法) の適用を図りつつ、Step1~2 における水和構造の推定と加水分解反応定数の再評価、及び Step3 の大規模計算の試行を行った。その結果、 Th^{4+} 、 $\text{Ce}^{3+,4+}$ 、 La^{3+} について、実験値と同様に、イオン半径が小さくなると水和自由エネルギーが小さくなる結果が得られた。また、 Th^{4+} の水和錯体及びヒドロキシ錯体の加水分解反応については、反応定数が実験値とおおよそ傾向が一致する結果を得た (図-1)。さらに、考えられる錯体のバリエーションに対する配位子の結合状態の変化を古典分子動力学法を用いて観察することで初期構造の絞り込みが可能であることを Th^{4+} と Np^{4+} の系を例に確認できたことから、QM/MM 法など大規模系の量子化学計算用に適用する初期構造の推定の効率化への見通しを得た。

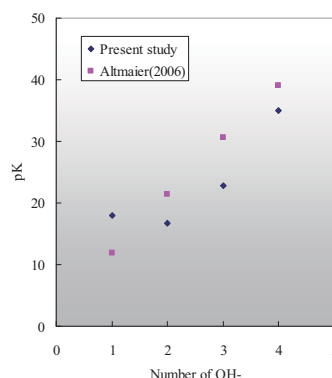


図-1 Th イオンの加水分解反応定数

これらの検討結果から、錯体の安定構造や水和自由エネルギーの推定及び加水分解反応定数の

評価の精度を高めることができ、実験値とおおよそ傾向が一致する結果が得られた。また、QM/MM法の適用による、より現実的な環境条件についての評価の可能性を示すことができた。

今後の課題としては、pH 依存性の評価や計算精度のさらなる向上があげられる。pH 依存性については、電荷の条件を変化させることで pH の影響を間接的に表現することでの対応の可能性を検討する。

②核種のベントナイトへの収着機構

核種移行上の遅延メカニズムの理解にとって重要である、ベントナイトを構成するスメクタイト端面（エッジ）への放射性核種の収着挙動の評価における量子化学計算の適用性について、Step1：エッジの構造のモデル化と安定性評価、Step2：エッジの反応性評価、Step3：核種の収着機構評価、という作業ステップで検討する。

平成 22 年度までの検討において、Step1 の適切なエッジ構造のモデル化とその構造安定性の評価までを実施した。また、それ以降のステップにおける第一原理分子動力学計算に向けて、その準備段階である分子構造モデルの構築を進めた。この中で、収着するアクチニド核種の擬ポテンシャルの作成と検証及び高 pH 条件でのエッジ官能基の反応性の評価が課題としてあげられた。

これを踏まえ、平成 23 年度の検討では、Step3 での元素の収着に関する第一原理分子動力学計算の準備として、実験データの多い Am の擬ポテンシャルの作成を行い、作成した擬ポテンシャルを用いた Am 金属及び Am_2O_3 の格子定数と実験値との比較（表-1, 2）を行った。Pu, Am 以降のアクチニド金属の 5f 軌道は常圧下で局在化し金属結合に関与してないことから、Am を取り扱う場合には、5f 軌道の局在化を考慮した電子状態計算が必要となり、交換・相関ポテンシャルに 5f 軌道の局在化を考慮した GGA+U（補正を加えた電子の交換・相関ポテンシャル）を用いることで格子定数の再現性が向上した。

これらの検討結果から、核種のベントナイトへの収着挙動に関するシミュレーションの基盤として必須のスメクタイトのエッジモデルに加え、核種の擬ポテンシャルについても評価することができた。

今後の課題としては、pH の影響を考慮するこ

とが大きな課題となるが、①と同様に間接的に表現することでの対応の可能性を検討する。エッジでの pKa の評価では、構造のサイズを大きくできないことでエッジのモデル化が制限されることや pH を考慮したエッジの官能基のバリエーションの多さも課題である。また、このポテンシャルを用いた量子化学計算は計算時間がかかるため、より計算コストの小さいウルトラソフト型の擬ポテンシャル（本検討で実施したノルム保存型でなく、より少ない平面波基底で電子状態計算が可能）の作成を試みる事が考えられる。

表-1 Am 金属の格子定数の再現性

a	a [Å]
Exp. ($P = 6.5$ GPa)	3.262
Exp. (常圧)	3.461
GGA ¹⁾ (ecut ³⁾ = 150 Ry	3.342 (-3.4%)
GGA ¹⁾ (ecut ³⁾ = 180 Ry	3.377 (-2.4%)
GGA+U ²⁾ (ecut ³⁾ = 150 Ry, U = 7.0 eV	3.513 (+1.5%)
GGA+U ²⁾ (ecut ³⁾ = 180 Ry, U = 7.0 eV	3.596 (+3.9%)

表-2 Am_2O_3 の格子定数の再現性

a	a [Å]	c [Å]
Exp.	3.817	5.971
GGA ¹⁾ (ecut ³⁾ = 140 Ry	3.616 (-5.3%)	5.744 (-3.8%)
GGA ¹⁾ (ecut ³⁾ = 180 Ry	3.626 (-5.0%)	5.787 (-3.1%)
GGA+U ²⁾ (ecut ³⁾ = 140 Ry, U = 7.0 eV	3.764 (-1.4%)	6.025 (+0.9%)
GGA+U ²⁾ (ecut ³⁾ = 180 Ry, U = 7.0 eV	3.790 (-0.7%)	6.177 (+3.5%)

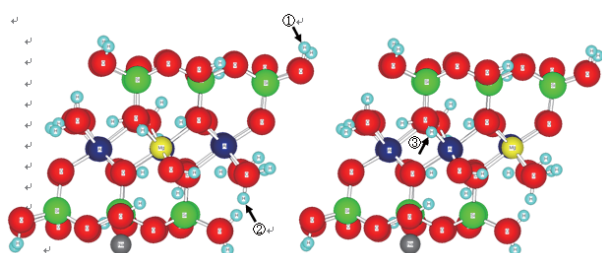
括弧内：実験値（常圧）からの差、1) GGA: Generalized Gradient Approximation（電子の交換・相関ポテンシャル）、2) GGA+U：電子軌道の局在化を考慮するために補正を加えた GGA（U：補正する電子間の相互作用エネルギー）、3) ecut：平面波カットオフエネルギー

③強アルカリ性、高 Ca 濃度下でのスメクタイトの溶解反応

人工バリア部材の 1 つである緩衝材の長期安定性は安全機能の確保ために重要である、セメント系材料と地下水との反応によって生じる強アルカリ性、高 Ca 濃度下でのスメクタイトの溶解反応の評価における量子化学計算の適用性について、Step1：クラスターモデルでのスメクタイトの溶解性の評価、Step2：バンドモデルでのスメクタイトの溶解性の評価、Step3：スメクタイトのアルカリ溶解過程の描像、という作業ステップで検討する。

平成 23 年度の検討では、平成 22 年度までに検討した Step1 のスメクタイトのクラスターモデルでの強アルカリ性・高 Ca 共存下でのエッジの溶解性の評価結果も踏まえ、強アルカリ性の表現としてエッジ官能基のプロトン解離反応を仮定

し、スメクタイトのクラスターモデルを用いた第一原理電子状態計算による構造最適化計算を実施した。エッジのプロトン解離基による溶解性の違いについては、図 2 に示す Al—OH 基の存在する B chain ((010)面のエッジ) と Al—OH₂ 基の存在する D chain ((100)面のエッジ) において、溶解性に違いは見られなかった。また、Al と Mg の存在による溶解性の違いについては、プロトン解離基の近傍に Mg が存在する場合の方が、Al が存在する場合と比較して、構造のかく乱、結合の再配列、及び H 原子の移動のような変化が起こるものの、全エネルギー的には安定であることが示された。



(左右のクラスターモデルの違いは Mg の同形置換位置のみ。解離させるプロトンを矢印で示した。①：Si—OH 基（全てのエッジ面に共通）、②Al—OH₂ 基（D chain に存在）、③：Al(OH)(OH₂)基中の OH₂ 基（B chain に存在）。)

図-2 プロトン解離前のクラスターモデルの全最適化構造

これを踏まえ、平成 23 年度の検討では、これまでの検討してきたエッジ官能基のプロトン解離による溶解反応について、強アルカリ性の表現方法を OH イオン吸着とプロトン解離に分けて再評価し、溶解反応の第一段階のスナップショットについて検討した。

その結果、a)OH イオン吸着においては、OH イオンの攻撃は四面体シートで起こることから、最初に Si 原子の結晶構造からの乖離が起こる、b)プロトン解離においては、Si—OH 基の解離よりも Al—OH 基の解離が起こる方がより溶解が進行し、最初に Al 原子の四配位化と結晶からの乖離が起こる、といった溶解反応が示唆された。

今後の課題としては、pH の影響を考慮することが大きな課題となるが、①と同様に間接的に表現することで対応の可能性を検討する。また、溶解過程の第二段階はモデルの自由度が大きすぎるため、構造最適化計算だけでは直接的な評価はできず、遷移状態計算による反応経路の探索が必要である。

④スメクタイトの鉄共存下の変質過程

緩衝材のバリア性能に影響をあたえる可能性のある、オーバーパッカーベントナイト界面付近における鉄共存下におけるスメクタイトの不安定化の可能性の評価における量子化学計算の適用性について、Step1：スメクタイトの基本構造と安定性評価、Step2：鉄との相互作用（八面体サイトの H 脱離、八面体サイトの Fe³⁺の還元の可能性、局所的な 3 八面体化の可能性）の評価、という作業ステップで検討する。

平成 22 年度までの検討において、Step1 のスメクタイトの基本構造を構築した。

これを踏まえ、平成 23 年度の検討では、Step 1 について、Fe が八面体サイトに存在する（壊れやすい）スメクタイトの構造モデルの構築を行った。また、Step2 の八面体サイトの H 脱離についての第一原理電子状態計算による評価と Fe²⁺のエッジ吸着による層内 Fe³⁺の還元の可能性及び Fe²⁺イオンの拡散についての計算モデルの検討を行った。

その結果、八面体サイトの H 脱離については、H₂O を層間に挟んだより現実に近いモデル (Na₂Al₆Mg₂(OH)₈[Si₁₆O₄₀] +48H₂O) において、H 脱離のサイト(図-3)依存性が優位に現れ、Al(Al)OH サイトの水素は Mg(Al)OH よりも脱離エネルギーが小さい(脱離が容易である)ことを確認した(表-3)。一方、OH 結合距離に大きな差はみられなかった。これらの検討結果から、Fe が八面体サイトに存在するスメクタイトの構造モデルの最安定な構造と H 脱離のサイト依存性を見出すことができるとともに、Step2 で着目するスメクタイトの不安定化の原因のとなる現象の第一原理電子状態計算や第一原理分子動力学計算による評価手法を概ね構築することができたと考えられる。

今後の課題としては、Fe 組成が異なるスメクタイトの構造モデルについて、個々のモデルの計算は難しくないものの、組成のバリエーションが多いため、そのための計算コストが課題となる。また、八面体サイトの H 脱離については、層間水の存在を考慮した大規模なモデルを用いた計算が必要である。さらに、液体中から固体内部への拡散の過程を評価するためには、強制的に拡散イベントを発生させる Matadynamics 等の手法を用いた計算を適用する必要がある。

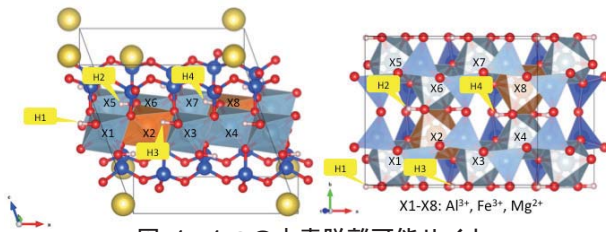


図-4 4つの水素脱離可能サイト

 表-3 スメクタイト(Al_6Mg_2 : 28 構造+48H20 モデル)の水素脱離前後のエネルギー差(ΔE), 水素脱離前の OH 結合距離(d), 脱離後の残留ストレスと層間イオンと位置関係

Site	$\Delta E(\text{Ry})$	$d(\text{O-H})(\text{\AA})$	Res.Stress(kbar)	Remark ^{a)}
Al(Al)O-H1	1.4577	0.976	3.24	distant from Na ion ^{a)}
Mg(Al)O-H2	1.4925	0.973	3.19	distant from Na ion ^{a)}
Al(Al)O-H3	1.4569	0.976	3.29	distant from Na ion ^{a)}
Mg(Al)O-H4	1.4881	0.973	1.67	distant from Na ion ^{a)}

⑤ ガラスの溶解

核種移行評価においてソースタームとなるガラス固化体の長期溶解挙動の評価における量子化学計算の適用性について、Step1: ホウケイ酸ガラスの基本構造モデルの作成、Step2: ガラス表面の水分子との反応性の評価、Step3: 変質層と溶解挙動の評価、という作業ステップで検討する。

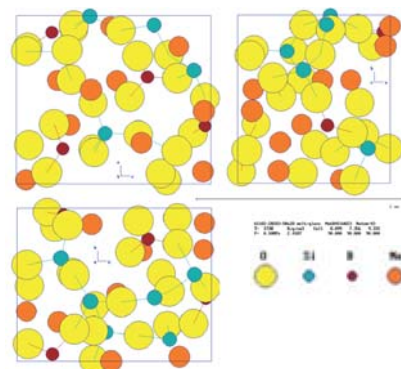
平成 22 年度までの検討において、Step1 の古典分子動力学法によるホウケイ酸ガラスの初期構造モデルの作成と第一原理電子状態計算による改良型古典分子動力学計算に適用する原子間相互作用モデル(ポテンシャル)の評価、及び Step2 のホウケイ酸塩結晶の構造特性の評価を実施した。

これを踏まえ、平成 23 年度の検討では、Step1 及び 2 に係るホウケイ酸ガラスの基本構造モデルの古典分子動力学計算による構築、ガラス固化体と類似の組成を持つ結晶の原子間相互作用による電荷についての第一原理電子状態計算による評価、及び Step3 のガラス変質層の構造モデルの古典分子動力学計算による構築について検討した。その結果、模擬ガラス組成を単純化した $6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{Na}_2\text{O}$ のガラスの基本構造を古典分子動力学法で構築し(図-5)、その構造を用いた第一原理電子状態計算を実施することで各物理量(エンタルピー、体積、ストレス)の評価が可能になった。一方、古典分子動力学計算に用いる各イオン電荷についての Mulliken 電荷解析による評価については、塩基性の増加にともなう系のイオン性向上の傾向は再現できず、イオン電荷の解

析方法の再検討が必要であることが示唆された。また、さらに、ガラス変質層の形成において、ホウケイ酸塩ガラスからホウ素とアルカリ金属イオンが選択的に溶出することを示唆する実験的知見に従って、古典分子動力学計算でホウ素の除去と構造緩和を行うことでガラス変質層モデルを構築できる可能性が示された。

これらの検討結果から、バルクのホウケイ酸ガラスの基本構造構築については、現状では実験値と一致しない問題点も多く、古典分子動力学計算における原子間相互作用モデル、構成元素の電荷等のパラメータ及び構造緩和の計算手法の最適化がさらに必要であるが、古典分子動力学計算と第一原理電子状態計算を併用した評価により、これらの計算手法の最適化の可能性は示されたと考えられる。一方、変質層についても、現状の古典分子動力学計算で構築したバルクガラスモデルを基に、古典分子動力学計算でホウ素の除去と緩和計算を行うことで、その表面構造モデルの構築が可能であるとの見通しを得た。

今後の課題としては、古典分子動力学計算による 3 配位ホウ素と 4 配位ホウ素の存在比率変化の再現、不適切と思われる 3 配位酸素や遊離酸素(O_2)の解消などがあげられ、その原因と考えられるイオンの電荷の解析手法について再検討が必要である。また、この古典分子動力学計算で使う原子間相互ポテンシャルの最適化のため、第一原理電子状態計算で求めたエネルギー曲面から原子間相互ポテンシャルを求めるガラスクラスター用の解析ツール(コード)を新たに整備する必要がある。


 図-5 古典 MD 計算による $6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{Na}_2\text{O}$ の構造

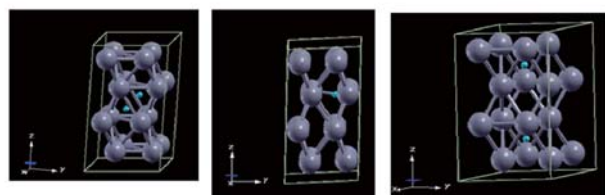
⑥ チタンと水素、チタン水素化物と水素の相互作用
地下水とガラス固化体の接触を一定の期間阻

止する機能が求められているチタンオーバーパックの水素脆化寿命評価シナリオの評価における量子化学計算の適用性について、Step1：金属チタン及びチタン水素化物の基本構造モデルの作成、Step2：金属チタン及びチタン水素化物の弾性率の評価、Step3：金属チタン内部の水素原子の移行と水素脆化の評価、という作業ステップで検討する。

平成 22 年度までの検討において、Step1 のチタン水素化物のバルク構造の検討を行った。

これを踏まえ、平成 23 年度の検討では、Step1 の金属チタン及びチタン水素化物の周期系のバンドモデルを構築し、チタン水素化物における水素の安定位置の評価を行った上で、Step2 の体積弾性率の評価を行った。その結果、金属チタンに対する最適な基本構造モデルを構築するとともに、結合距離や体積弾性率が実験値と整合的であることを確認した。チタン水素化物の水素原子位置（図-6）については、チタン水素化物の構造最適化計算による全エネルギーの比較から、水素は 6 面体位置にあるときに 4 面体位置よりも安定であり、水素化物を形成する場合には水素は 6 面体位置に入る可能性が高いことが示唆された。また、水素原子が入ることで体積弾性率が小さくなり、その傾向は 4 面体位置の方が大きいことが示された。

これらの検討結果から、水素原子の侵入による水素化物の形成により脆化がおき、特に 4 面体位置に侵入することで強度が弱くなる可能性が示唆された。



H：8 面体位置
(6 配位) 4 面体位置 2 個モデル

図-6 Ti16 個中に H を入れたモデル（水色が H の位置）

今後の課題は、水素原子の拡散の評価方法である。厳密には量子効果の影響を考慮した経路積分法の適用が考えられるが、計算コストが極めて大きく現実的でないため、強制的に拡散イベントを発生させる Matadynamics 等の手法を用いた古典分子動力学及び第一原理分子動力学計算による

拡散挙動の評価や拡散前後のモデルでのエネルギー差を第一原理電子状態計算で比較することを検討する必要がある。

(2) 量子化学計算手法の適用性の評価及び適用に係わる知見の形式知化

量子化学計算手法の性能評価への適用に関する検討を効果的・効率的に実施するために、性能評価側の専門家と量子化学計算の専門家から構成される量子化学計算 WG を設置した。WG では、設定した検討課題の量子化学的アプローチによる問題解決やそのために必要な技術課題（手法高度化及びツール整備等）の検討、量子化学計算側の検討結果の性能評価への活用という観点での課題や対応策並びに各課題で共通する計算手法等の連携について議論した。さらに、性能評価上の各問題について、①WG での検討において得られた知識やノウハウの作業ステップと対応づけた整理及び、②作業ステップに沿った量子化学計算の具体的実施手順の整理を検討した。量子化学計算手法の性能評価への適用に係る手順やノウハウを整理した例（核種のベントナイトへの収着機構）を図-7 に示す。

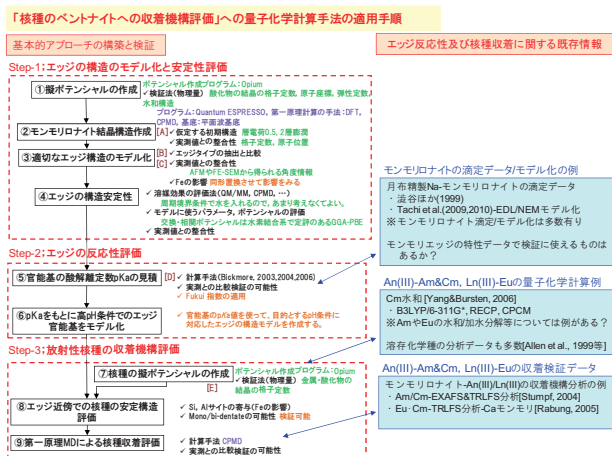


図-7 核種のベントナイトへの収着機構の評価への量子化学計算手法の適用手順

- 1) 日本原子力研究開発機構、平成 19 年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発 報告 (2008) (<http://www.enecho.meti.go.jp/rw/docs/library/rprt4/19fy5.pdf>)
- 2) 日本原子力研究開発機構、平成 23 年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発 報告 (2012)

(This page(p32) is intentionally kept blank.)

Ⅲ. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

1. 放射性廃棄物海外総合情報調査

◇事業の概要

高レベル放射性廃棄物等の地層処分を中心として、それらに係る海外における政策、処分事業の実施状況及び処分技術情報、研究開発の現状、処分技術評価の関連情報等の情報・データを収集し、処分技術関連情報等の総合的なデータベースとしての整備を行うとともに、これらの情報等をホームページ、技術情報冊子等を通じて外部に向けて発信し、関係者間での情報共有と知識普及、幅広い国民各層への理解促進を図る。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 23 年度 放射性廃棄物共通技術調査等事業
放射性廃棄物海外総合情報調査

◇平成 23 年度の成果

(1) 海外情報の収集・分析と総合的なデータベースの整備

欧米諸国の高レベル放射性廃棄物等の情報については、主要国であるフィンランド、スウェーデン、フランス、スイス、英国、米国に加え、ドイツ、スペイン、ベルギー、カナダを対象として、各国の処分実施主体等からの直接的な情報収集も活用しつつ、法制度の整備状況、立地活動や許認可申請・発給の状況、処分技術情報、情報提供・広報、社会的意思決定方策、地域振興策、資金管理関係等の情報を収集した。また、アジア諸国に関しては、韓国、中国、台湾における放射性廃棄物処分の関連情報として、法制度の整備状況とともに、処分概念、サイト選定等の技術情報、資金確保関連、地域振興方策等の情報を収集した。

以上の調査に加えて、その他の個別情報の調査として、海外主要国における放射性廃棄物処分の関連法規制の詳細や、各国関係機関が発行する主要報告書等の調査を行った。

また、国際機関の動向情報の調査として、経済協力開発機構／原子力機関 (OECD/NEA)、国際原子力機関 (IAEA)、欧州連合 (EU) 等を対象とした最新動向の調査を行うとともに、OECD/NEA の放射性廃棄物管理委員会 (RWMC) の下に設置され

たビューロー会議に、専門家を派遣して最新の検討情報等の把握を行った。

以上の調査により得られた情報に加え、関連する法規制文書や関連報告書等をデータベースとして整備するとともに (図-1)、データベース管理システムの実行環境及び開発環境のバージョンアップ対応や機能拡充を実施した。



図-1 データベース管理システムの画面例
(海外機関との情報交換協定等により限定的な利用形態を取っている)

(2) 調査情報の整理・発信・普及

上記 (1) でデータベースとして整備した各種情報等を活用して、国の政策立案に必要な情報の取りまとめを行うとともに、一般への周知、関係者間での情報共有、知識普及を目的として、ウェブサイト、技術情報冊子等を通じた外部への情報発信を行った。

ウェブサイト「諸外国での高レベル放射性廃棄物処分」 (<http://www2.rwmc.or.jp>) では、諸外国での状況・事情の理解を助ける狙いで、原子力発電の動向や使用済燃料／高レベルガラス固化体の発生や貯蔵など、処分前管理に関する情報の充実を図って全体をリニューアルした (図-2)。

このウェブサイトの掲載情報として、諸外国における地層処分計画と技術開発、処分事業に係わる制度／実施体制、処分地選定の進め方と地域振興、処分事業の資金確保、安全確保の取り組み・コミュニケーションの観点から最新情報と解説を掲載した。また、『海外情報ニュースフラッシュ』

として、諸外国の高レベル放射性廃棄物処分を中心としたニュース記事を62件掲載した(記事タイトルの一覧は、資料VI-5を参照)。



図-2 ウェブサイト「諸外国での高レベル放射性廃棄物処分」の閲覧イメージ
http://www2.fwmc.or.jp

技術情報冊子の整備では、①『諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について』(図-3:左)と②『諸外国における放射性廃棄物関連の施設・サイトについて』(図-3:右)の2種類の資料を作成した。

情報冊子①(平成24年2月発行)は、諸外国における高レベル放射性廃棄物の地層処分の進捗状況について、検討されている地層処分概念や施設設計、処分事業の計画や進捗のみならず、法制度、資金確保、サイト選定の進捗や地域振興などの幅広い観点から、当該国での地層処分事業の特徴について解説することで、理解促進への貢献

を狙った資料である。前年度(平成22年度)版の配布先から寄せられたアンケート結果を踏まえて、章節見出しから素早く情報にたどり着けるように冊子全体構成を見直すとともに、平成23年度の情報を反映した最新版を作成した。情報の正確性や分かりやすさだけでなく、視覚での訴求性や文章の読みやすさにも配慮して、紙面構成・デザインの改善を図った(図-4)。

冊子②(平成24年3月発行)は、欧米主要国の地下研究所、処分場候補サイトなどといった放射性廃棄物の管理・処分関連施設・サイトを訪問、見学を企画・検討する際の補助的な資料と活用してもらうことを意図したものである。訪問先として注目される地下研究所、高レベル放射性廃棄物処分場の候補サイト、中間貯蔵施設、低中レベル放射性廃棄物処分場などの所在地、施設概要のほか、見学方法、問い合わせ先などの情報を最新化してまとめた。

これら2つの冊子のPDF版をウェブサイト「諸外国での高レベル放射性廃棄物処分」に掲載した。



図-3 平成23年度に整備した技術情報冊子



図-4『諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について』の紙面イメージ

2. 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

放射性廃棄物の地層処分については、「原子力政策大綱」等に沿って、国、研究開発機関等において、それぞれの役割分担のもと、密接に連携して、研究開発を着実に進めていくこととしている。また、研究開発機関等は地層処分技術の更なる信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発等も引き続き着実に進めていくことが必要である。

これらを背景として、本事業では、今後実際に処分事業を進めていくに当たり、基礎的かつ学際的な知見として処分事業の進捗に貢献し得る諸分野の広範な研究テーマについて、その体系を整理するとともに、中でも重要な基礎テーマを調査・抽出し、取り組んでいくことにより、所要の基盤技術を確認することとあわせ、研究成果や収集した情報の提供を行い、情報の共有化、知識の普及を図ることを目的とする。

2-1 基礎的研究テーマの整理

◇事業の概要

本事業では、地層処分分野の基盤技術整備に向けた研究開発の実施に資するため、最新の研究開発動向の把握を行った。具体的には、地層処分の安全性を示すために地質関連、工学関連、評価技術関連等の様々な分野における最新の研究成果を取りまとめた性能評価報告書等を対象とした情報収集を行い、主要国における最新情報を体系的に整理するとともに、収集文献を翻訳し、利用可能な技術情報データベースとして整備を行った。また、情報共有・知識普及等の取組として、平成 22 年度までにウェブコンテンツとして整備した、米国、フランス、スウェーデン、フィンランド、スイス、ベルギーについて、必要に応じて見直しを行った。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 23 年度 放射性廃棄物共通技術調査等事業
放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書(第 1 分冊) 基礎的研究テーマの整理

◇平成 23 年度の成果

(1) 主要国における性能評価等に関する調査

平成 23 年度は、スウェーデン及び英国の地層処分に関する性能評価・安全評価報告書の調査を行った。

スウェーデンでは、放射性廃棄物処分の実施主体であるスウェーデン核燃料・廃棄物管理会社(SKB 社)が 2002 年からのボーリング調査などから得たデータに基づいて、エストハンマル自治体のフォルスマルク、オスカーシャム自治体のラクセマルの 2 ヶ所の処分候補地を対象とした安全評価を実施し、2006 年にその結果を「SR-Can」と呼ばれる報告書に取りまとめた。SR-Can 報告書は、規制機関である原子力発電検査機関(SKI)と放射線防護機関(SSI)(現在は 2 機関が統合して放射線安全機関(SSM)となっている)がレビューを実施した。この規制機関のレビューを経て、2011 年 3 月に SKB 社は、SSM 及び環境裁判所に使用済燃料の処分場の立地・建設許可申請書を提出した。また、この立地・建設許可申請書とともに「SR-Site」と呼ばれる安全評価報告書も提出した。この SR-Site 報告書は、SKB 社による使用済燃料の最終処分場の建設の許可申請書の一部を構成しており、処分場閉鎖後の長期安全性を立証するものである。また、SR-Site 報告書を含む立地・建設申請書に関しては、現在、SSM による審査及び環境裁判所による審理が行われており、そのレビュー結果に基づいて政府が許可発給を行うことになる。本調査では、スウェーデンの地層処分事業の進捗状況を記載するとともに、SR-Site 報告書について、情報の整理を行った。

英国では、2008 年に英国政府が地層処分場のサイト選定などを提示した白書「放射性廃棄物の安全管理-地層処分実施の枠組み」(Cm. 7386)を公表した。同白書では、地層処分場のサイト選定プロセスにおける段階を設定している。まず、机上調査の対象となるサイトを複数選定した上で、候補地でのボーリング調査を含む地表からの調査を実施し、最終的に 1 か所の優先的な立地場所を特定することになっている。実施主体である原子力廃止措置機関(NDA)は、地層処分場が決定し、操業を開始する前に許可申請書を規制機関に提出する必要がある。その際、地層処分の安全性に関連する事項を説明した一連の文書「処分シス

テム・セーフティケース」(DSSC)も提出する必要がある。DSSCは、「輸送セーフティケース」(放射性廃棄物の輸送の安全性)、「操業セーフティケース」(地層処分場の建設・操業の安全性)、「環境セーフティケース」(地層処分場の閉鎖後における長期安全性)の3つのセーフティケースから構成されることとなっている。英国では、地層処分場の立地場所は決まっていなかったが、英国内に存在するような広範な地質環境及び処分場の設計を考慮した、サイトを特定しない、一般的な条件を用いて評価等を実施したDSSCが公表されている(2011年2月)。本調査では、環境セーフティケースの一部である「閉鎖後性能評価」(Post-closure Safety Assessment, PCSA)について情報の整理を行った。

(2) 情報発信

平成22年度までの本調査において、主要国(米国、フランス、スウェーデン、フィンランド、スイス、ベルギー)の性能評価・安全評価報告書を横並びで比較できるようにするため、各国の性能評価・安全評価に関する主要な事項を抽出し、それらの概要をまとめてウェブに掲載した。

平成23年度の本調査では、平成22年度までにウェブコンテンツとして整備した主要国について必要に応じて見直しを行った。また、平成23年度の調査で得られた海外資料等のうち、重要なものについては適宜、翻訳を実施し、原環センターの技術情報データベースに整備した。

また、原環センターHP「諸外国におけるHLW処分の安全評価事例」にて掲載している評価事例の一覧を下記に示した。

表-1 掲載している評価事例(一覧)

国・発行者	発行日	レポート名
フィンランド (ポシヴァ社)	2010.03	セーフティケース中間概要報告書2009、Posiva report 2010-02
フィンランド (ポシヴァ社)	2008.12	放射性核種の放出および移行 - RNT-2008、Posiva report 2008-06
米国 (DOE)	2008.11	ユッカマウンテン処分場許可申請書、DOE/RW-0573
スウェーデン (SKB社)	2006.10	フォルスマルク及びラクスマルにおけるKBS-3処分場の長期安全性 - SR-Can プロジェクト 主要報告書、TR-06-09
フランス (ANDRA)	2005.12	Dossier 2005 粘土-地層処分の安全評価
スイス (NAGRA)	2002.12	オパリナス・クレイプロジェクト 安全報告書：使用済燃料、ガラス固化高レベル廃棄物及び長寿命中レベル廃棄物に関する処分の実現可能性の実証
ベルギー (ONDRAF/NIRAS)	2001.12	SAFIR2 - 安全評価・実現可能性第2次中間報告書

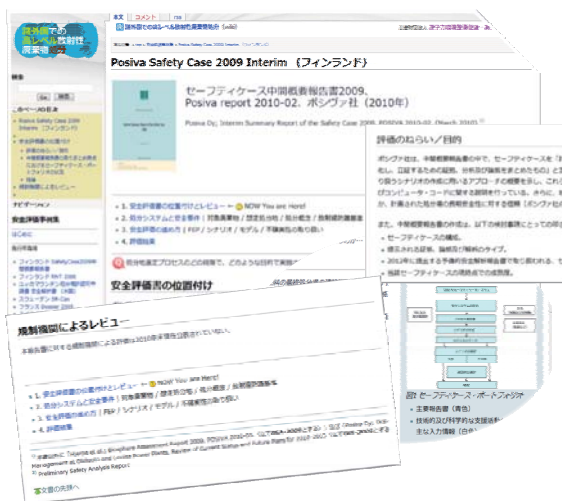


図-1 ウェブサイト「諸外国におけるHLW処分の安全評価事例」の閲覧イメージ(原環センターHP：<http://www2.rwm.or.jp/wiki.php?id=sa:start>)

Ⅲ. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

2-2 重要基礎技術研究調査

◇事業の概要

本研究調査では、地層処分事業を進めていくに当たり、基礎的かつ学際的な知見等として処分事業の進捗に貢献し得る諸分野の広範な研究テーマから、地層処分技術の信頼性向上に資する重要な基礎的研究テーマを選定し、国内の大学等の研究機関を活用して当該研究を効率的に実施する。

また、研究成果の情報共有、関連分野での活用が図られるよう、研究実施者と地層処分関係機関との情報交換の機会を充実させるとともに、学会等の場を通じた情報発信（学会報告、論文投稿等）を行う。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

（報告書）平成 23 年度 放射性廃棄物共通技術調査等事業
放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書（第 2 分冊）重要基礎技術研究調査

◇平成 23 年度の成果

平成 23 年度は、地層処分技術の信頼性向上に資する重要な基礎的研究テーマ（地質関連、工学関連、評価技術関連等の技術的な側面からの研究開発、並びに国民との相互理解促進等に資する社会的・制度的な側面に関する研究開発）として平成 22 年度に選定した 8 件の研究テーマそれぞれについて、継続して研究を実施した（3 カ年計画の 2 年目）。

また、地層処分関連分野の専門家・有識者等で構成される委員会を設置し、個々の研究テーマの進捗状況や成果についてのレビューを受けた。

以下に、本年度において継続実施した 8 件の研究テーマの成果概要を示す。

- (1) 無機物質、微生物を媒介とした核種移行ナノプロセスの解明（研究者：九州大学 宇都宮聡）
無機ナノ物質、微生物に対する核種（アクチノイド元素）及びアクチノイド元素の模擬元素である希土類元素の収着反応と収着後の核種固定反応プロセス・メカニズムを、実験的手法と最先端の分析技術を用いて原子・分子レベルから解明し、その本質的理解と核種移行への効果を定量化す

ることを目的とする。

平成 23 年度は、長崎型原子爆弾由来のプルトニウム（Pu）の環境中での化学状態の解析、微生物細胞表面への希土類元素の収着・ナノ結晶化の検討、放射性核種により汚染された地域であるロシア・チェリャビンスク州オゾルスクのマヤーク地区に存在する原核生物の遺伝子解析による定量的解析を実施した。

長崎西山地区西山貯水池の堆積物中の Pu の化学状態を解析した結果、Pu の約 60% が有機物と結合した状態で存在し、約 30% が Pu 酸化物等の難溶解性の化学種として存在していることが示された。また、Pu は堆積物中の 10～114 μm のサイズの粒子に最も多く結合していることが示された。

微生物に希土類元素を接触させた後に、微生物試料について X 線吸収分光法（XAS）による分析と透過型電子顕微鏡（TEM）による観察を行った結果、短期的には微生物は希土類元素を吸着し、長期的にはリン酸塩鉱物を形成させることにより、効率よく希土類元素を収着することが明らかになった。また、微生物細胞表面は特異的な反応場を形成しており、希土類元素のリン酸塩を形成しやすくする効果があることが示唆された。

放射性核種により汚染されたマヤーク地区の 3 ヶ所の観察孔井から採取された地下水に含まれる微生物の群集構成を解析した結果、原核生物中のバクテリアが 8.8～31.1% の割合で存在することが確認された。しかしながら、硝酸塩濃度が高いこれらの井戸水中から、硝酸塩を還元する微生物の活性に関与する亜硝酸還元酵素遺伝子の定量化ができなかったため、今後はサンプルの採水地点及び採水方法の検討が課題である。

- (2) ガラス固化体のキャラクタリゼーションとガラス溶解現象の基礎的研究（研究者：千葉大学 大窪貴洋）

ガラス固化体を対象にそのキャラクタリゼーションのための構造解析手法を構築し、ガラスの構造的な見地からガラス溶解現象の基礎科学的理解を深め、より定量的なガラス固化体の溶解プロセスを提案することを目的とする。

平成 23 年度は、異なるアルカリ含有量（ここではナトリウムとホウ素のモル比（Na₂O/B₂O₃）が 0.3 と 2 の 2 種類）の模擬ガラス、及び核種模擬

元素のランタン (La) を異なる含有量 ($\text{La}_2\text{O}_3:0 \sim 10 \text{ mol}\%$) にて添加した模擬ガラスを作成し、それらを 10、20 及び 40 日間溶解させ、それぞれのガラス試料を核磁気共鳴法 (NMR) による構造解析を行い、溶解によるガラス構造の変成を考察した。

ランタン含有量が 0、3、6、10 mol% の 4 種類の模擬ガラスを用いた試験では (Na/B モル比は約 0.8)、ガラス中で酸素原子と 3 配位及び 4 配位している BO_3 と BO_4 構造の溶解がランタン含有量に依存せず、調和的に溶解することが示唆された。このような BO_3 と BO_4 構造が調和溶解する傾向は、アルカリ含有量の多いモル比 Na/B=2.0 のガラス試料 (ランタン含有量 0 mol%) についても確認されたが、アルカリ含有量の少ないナトリウムとホウ素モル比が Na/B=0.3 の試料 (ランタン含有量 0 mol%) においては、 BO_4 構造の選択的な溶解が確認された。この結果は、Na/B のモル比が 0.3 の模擬ガラスでは、ホウ素と比較して相対的に高い濃度でガラスに含まれるナトリウムイオン (Na^+) が溶出するときに、対イオンである BO_4^- イオンの溶出を引き起こしていることを示唆している。

また、 ^{29}Si NMR スペクトルより、ランタン含有模擬ガラスの Si 構造は Q_3 、 Q_4 構造 (それぞれケイ素イオンに架橋した酸素原子数が 3、4 つの構造) が、溶解時間に応じて 10% 程度変化することが確認され、このような溶解による Si 四面体の連結の変化は、Si の溶出によって形成されるゲル構造の存在を示唆している。

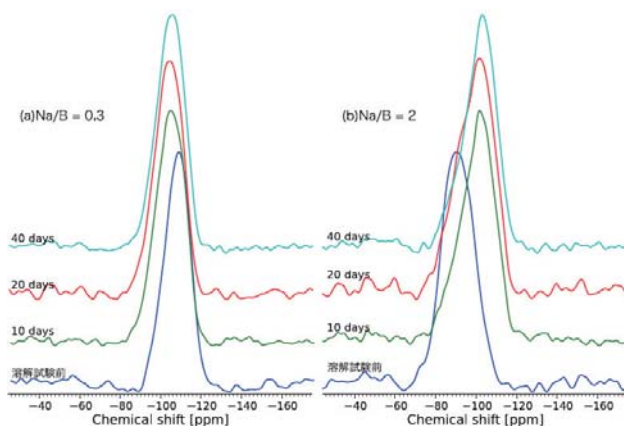


図-1 アルカリ含有量の異なる模擬ガラスの ^{29}Si MAS NMR スペクトル。溶解時間が長くなるにつれて、ガラス中の Q_3 と Q_4 構造の割合が変化している。

(3) ナノカロリメトリーによる放射性核種の岩石鉱物への収着反応機構の解明 (研究者: 東北大学 桐島陽)

金属イオンの鉱物への収着反応における静電作用効果と表面錯体形成によるそれぞれの反応熱データを取得し、その結果を基に既存の表面錯体モデルによる反応機構の考え方の妥当性を判断し、モデルの改良を行うことを目的とする。

平成 23 年度は、 γ -アルミナのプロトン化・脱プロトン化反応の平衡定数を得るため、 γ -アルミナの電位差滴定を行った。また、 γ -アルミナのプロトン化・脱プロトン化反応の反応エンタルピーを得るために、熱量滴定を行い、反応熱のデータを取得した。また、電位差滴定実験の結果から、アルミナ表面のプロトン化・脱プロトン化反応の平衡定数及び官能基容量を、表面錯体モデルを用いて解析して求めた。

さらに、 γ -アルミナへの過塩素酸溶液の滴下により発生する熱量を、ナノカロリメーターを用いて測定し、電位差滴定によって求めた平衡定数と官能基容量を用いた計算から、プロトン化・脱プロトン化反応の反応エンタルピーをそれぞれ求めた。 ΔG (ギブズ自由エネルギー変化) と ΔH (エンタルピー変化) 及び固相の表面ポテンシャルの関係から、固相表面で起こる脱プロトン化反応の自由エネルギー変化は固相表面の静電ポテンシャルに依存するが、その依存分は反応のエントロピー項の変化によって補償されること、また、固相表面 ($\equiv\text{XO}$) とプロトン間 ($\equiv\text{XO-H}$) の結合エネルギーは静電ポテンシャルに依存しないため、エンタルピー項は一定となる事が示された。

(4) 大気圧変動等による水分移動及び再冠水における飽和状態への移行現象に関する研究 (研究者: 岡山大学 小松満)

処分場の操業中と閉鎖後における地下環境 (土質、岩盤及びベントナイト) の不飽和領域の形成と再冠水挙動に関して、地盤-大気相互作用の確認、及びそのモデル化のための課題を整理することを目的とする。

平成 23 年度は、大気圧変化による飽和供試体中の水分移動挙動、及び乾燥試料の再冠水時の飽和過程についての知見を得るため、様々な条件における動的な水分移動試験と再冠水後の飽和試験を実施し、データを拡充した。

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

水分移動実験では、一次元鉛直カラムに飽和充填させた豊浦砂又は 5 号硅砂のカラム上方表面に、乾燥空気を大気圧変動下にて通過させた。その結果、大気圧の変動周期が短い程、また、圧力変動幅が大きい程、飽和供試体からの水分移動が促進されることが確認された。

再冠水による飽和過程の検討では、深度が大きい場所での地下水圧の影響を考慮して、圧力容器に砂試料を充填し飽和させた後に高压状態にして、飽和度と圧力の変化を計測した。その結果、水深 0m 相当（飽和度 0.85）から水压を徐々に上昇させたところ、水深 50-100m 相当の圧力で飽和度がほぼ 1 になることが確認された。計測された水压—飽和度の関係は、理論圧縮曲線から推定された飽和度変化とほぼ一致したことから、水压上昇による気泡の圧縮が飽和度上昇に寄与していることが示唆された。

(5) 流動場分画法を利用した天然地下水中のコロイドに関する研究（研究者：東京大学 斉藤拓巳）

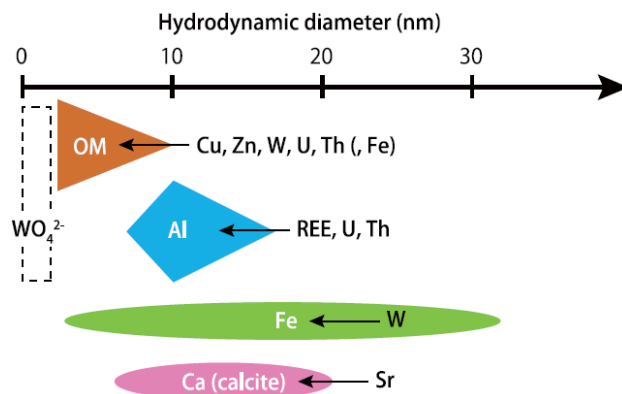
深部地下環境におけるコロイドの核種キャリアとしての影響の理解に資するため、コロイドを流体力学的性質に基づき連続的に分画可能な流動場分画法を用いて、地下水に含まれるコロイド自体とコロイドによって移行が支配される元素を定性・定量分析するための手法を開発することを目的とする。

平成 23 年度は、限外ろ過法によるコロイド濃縮が、コロイドのサイズ分布に与える影響を調査した。また、限外ろ過法及びスロットフロー法によるコロイド濃縮法を用いて、（独）日本原子力研究開発機構瑞浪超深地層研究所におけるボーリング孔から得られた深部実地下水試料の FFF-ICPMS 分析を行い、コロイドを構成する成分（有機物、主要元素）とそこに取り込まれている微量元素のサイズ分布の関係について検討し、微量元素のキャリア・ホストとなるコロイドについての考察を行った。

限外ろ過法により 10 倍に濃縮した地下水を分析した結果、濃縮した試料と未濃縮試料では有機物コロイドのサイズは変化が小さく、濃縮による凝集の効果は小さいことが示唆された。また、未濃縮の試料では誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS）による検出が難しい微量元素（U、Th

など）であっても、濃縮した試料ではこれらの元素が結合しているコロイドのサイズ分布が得られることが確認された。

また、微量元素のキャリア・ホストとなるコロイド成分に関する次の関係が示唆された。



- ・Sr：カルサイト（ CaCO_3 ）がホスト相となる固溶体中コロイド
- ・希土類元素（REE）：粘土鉱物や非晶質の Al 水酸化物コロイド
- ・U、Th：粘土鉱物や非晶質の Al 水酸化物コロイドと有機物コロイドの両方

図-2 地下水の主要コロイド相が存在するサイズ領域とそこに取り込まれた微量元素の関係。OM は有機物コロイドを指す。

(6) カルデラ火山地域における大規模噴火再発の可能性評価（研究者：京都大学 山本順司）

カルデラ形成直後から現在までの火山噴出物の微量元素及び同位体組成の詳細な時間変化を調べることにより、現在のカルデラ火山直下における大規模珪長質マグマの蓄積を定量的に解明し、カルデラ噴火再発の可能性の予測に資する知見を得ることを目的とする。

平成 23 年度は、カルデラ火山活動の休止期（間カルデラ期）のマグマ蓄積時における、マグマの移動・貫入範囲についての知見を得ることを目的として、阿蘇カルデラ火山噴火休止期におけるカルデラ周辺域の複数の小火山体噴出物を採取した。採取試料に関しては K-Ar 年代測定、主成分元素分析、微量元素分析、Sr 同位体分析を行った。

岩石学的特徴や岩石試料の主成分元素組成・微量元素組成分析結果から、間カルデラ期のマグマ組成は、同時期あるいは直後に噴出したカルデラ

形成期のマグマと類似することが明らかとなった。さらに、間カルデラ期マグマの Sr 同位体比の時間変化も、カルデラ形成期マグマの Sr 同位体比時間変化と密接に連動していることが明らかとなった。これらの結果から、カルデラ形成期の大規模マグマによる地殻溶融・同化の割合が、時間経過とともに減少したことが示唆された。さらに、大規模マグマの蓄積時に、カルデラ中心から 20km 以上外側の範囲までマグマが移動・貫入したことが示唆された。

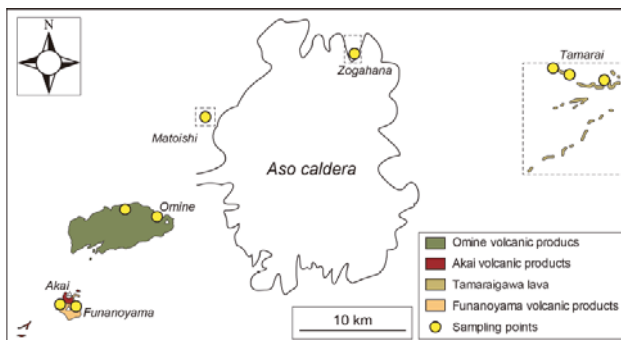


図-3 阿蘇カルデラ周辺地域の火山噴出物分布。阿蘇カルデラの西側に位置する大峰火山と赤井火山から得られた岩石が間カルデラマグマ起源の火山噴出物であることが明らかとなった。

(7) 温度・拘束圧制御下における珪質岩石の透水・物質輸送特性の評価と連成モデルの開発（研究者：愛媛大学 安原英明）

熱・水・応力・化学連成作用による透水・物質輸送特性の経時変化に起因するメカニズムを解明し、様々な境界条件で透水・物質輸送特性を長期予測できる連成モデルを構築することを目的とする。

平成 23 年度は、(独) 日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センターより提供された北海道 幌延町産の泥岩を対象として、拘束圧・温度・鉱物溶解条件を制御した等方圧保持・透水試験及び連続透水試験を実施した。さらに、力学－化学連成現象に起因する岩石不連続面透水特性の経時変化を表現できる解析モデルを用いて透水実験結果をシミュレーションで再現し、解析モデルの妥当性を検証した。

岩石供試体に形成させた単一不連続面を対象として、等方圧保持状態で透水試験を 300 日間実施した結果、透過率は実験開始から 15 日間は低下し、その後変動を繰り返しながら 10^{-12} (m^2) 程

度で落ち着き、さらにその後は透過率が上昇や下降する等の複雑な傾向を示した。

力学－化学連成現象に起因する岩石不連続面透水特性の経時変化を表現できる解析モデルを用いて、透水実験結果をシミュレーションで再現し解析モデルの妥当性を検証した結果、透過率の減少過程及びその後の上昇過程を定性的に再現できることを確認した。この結果は、不連続面の開口幅を変化させるメカニズムの原因の 1 つとして、温度・応力に依存する鉱物溶解の影響があることを示唆している。

(8) 放射性廃棄物処分事業の社会的側面の基礎研究（研究者：東京大学 加藤浩徳）

処分事業に対する国民・社会の理解促進と信頼性向上に資するため、重要な社会的側面に係る知見を得ることを目的とする。

平成 23 年度は、東京電力（株）福島第一原子力発電所事故の影響と今後の放射性廃棄物処分政策のあり得る可能性を踏まえて、廃棄物処分の社会的側面に関わる研究課題を再整理した。また、研究課題の再整理により抽出した課題のうち、放射性廃棄物処分の根源的な政策転換を引き起こすシナリオとして抽出された国際共同処分シナリオについて、現在までの国際共同処分に関する議論を整理した。さらに、信頼やフレーミングに関わる研究・調査については、処分場の受け入れ態度の形成要因について検討するため、Web を用いたアンケート調査を行った結果について分析した。

高レベル放射性廃棄物処分の政策的分岐を起こす要素を抽出し、特に蓋然性の高いシナリオを考慮した上で、どのような「社会的側面に関わる研究」が重要かを再検討した結果、放射性廃棄物処分政策において根源的なレベルでの分岐の組み合わせのうち、蓋然性が高い、もしくはたとえ蓋然性が低くとも万が一選択された場合の影響が大きいシナリオを仮説的に 4 つ抽出した。(① 国際共同処分、② 一時保管・中間貯蔵の継続、③ 複数立地、④ 現行政策の継続)

次に、4 つのシナリオのうち、国際共同処分に関する基本的なルールについての議論について、IAEA 放射性廃棄物等安全条約レビュー会合報告書及び EU 指令文書を分析した。その結果、両機関に共通する立場は、各国の政治決定を尊重する

Ⅲ. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

ことを原則として国際共同処分を禁止してはいないというものであった。また、各国の放射性廃棄物処分政策における国際共同処分に対する態度を「a)国際共同処分の実現を待つ」、「b)国内処分と並行して検討する」、「c)国内処分を最優先する」、「d)法律で国際共同処分を禁止する」の4つに分類し、それぞれ代表的な国の政策を比較した結果、政策を決定するのは「原子力発電利用の規模等、各国の置かれた状況」と「価値判断」の違いであることが分かった。

ウェブを用いたアンケート調査（震災前に実施）で測定した信頼に関する質問項目について、項目群の因子分析を実施した。また、因子分析の結果を用いて、行政への信頼、価値類似性の認知、リスク認知、被害確率認知、ベネフィット認知を独立変数とし、放射性廃棄物処分場の受け入れ態度を従属変数とした重回帰分析を行った。その結果、行政機関の相違（国、地方自治体等）による信頼効果については、以下の要素を認知・信頼しているほど処分場の受け入れに前向きであることが示された。

- ・行政機関に関わらず行政を信頼している
- ・価値類似性・職業倫理を高く認知している
- ・リスク・被害確率を低く認知している
- ・受け入れによるベネフィットを高く認知している

感情による態度形成の要因の相違については、不安を高く感じている人は、低い人と比べて、監視性の認知・ベネフィット認知が受け入れ態度に大きな影響を与えていることが、また、怒りを高く感じている人は、低い人と比べて、監視性の認知が受け入れ態度に大きな影響を与えていることが示された。また、フレーミング効果については、元の意見が原子力発電を増やすことに賛成であった人ほど、反対に意見を変えやすいことが示唆された。

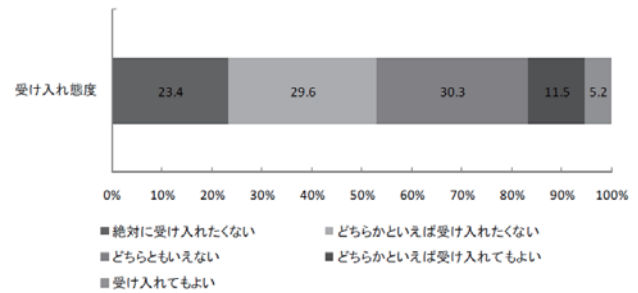


図-4 ウェブアンケート結果例

「仮に、あなたのお住まいの自治体に処分施設が建設されると想定した場合、そのことについてどう思いますか」の設問に対する「絶対に受け入れたくない」～「受け入れてもよい」までの5つの選択肢の回答結果。

(This page(p42) is intentionally kept blank.)

2-3 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整備

◇事業の概要

多重バリアシステムを基本とする地層処分において、地層処分システムの安全性を説明する論拠の1つとして、安全評価上考慮すべき現象と類似した天然現象(ナチュラアナログ: Natural Analogue(NA))を、その現象理解や性能評価に活用することの重要性が示されている。

本事業では、セメント系材料の影響による人工バリア(ベントナイト緩衝材)の長期健全性についてナチュラアナログによる評価を目的として、高アルカリ地下水とベントナイト層が近接することが確認されたフィリピン国ルソン島北西部においてNA調査を実施する。その調査内容は、ベントナイトのアルカリ変質に関わる地質学的・鉱物学的特性、ベントナイトの基本物理特性、高アルカリ地下水の地球化学的特性と地下水年代、及び岩石の形成年代等に係るデータを取得して、高アルカリ地下水環境下でのベントナイト変質反応に伴う鉱物変質過程の理解とその時間スケールを評価することである。その結果に基づき、緩衝材における長期健全性のキーとなるベントナイトのアルカリ変質プロセスを明らかにする。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 23 年度 放射性廃棄物共通技術調査等事業
放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書(第3分冊) 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整理

◇平成 23 年度の成果

平成19年度から平成22年度までに実施した本調査研究の成果を踏まえ、本年度は、フィリピン国ルソン島北西部の調査サイト(図-1)を対象に、以下の項目を実施した。

- (1)Active Type の NA サイトの探査
- (2)ベントナイトの生成と地質環境(生成環境)
- (3)高アルカリ地下水の生成・進化のプロセスと環境条件
- (4)高アルカリ環境下でのベントナイトの長期変質プロセス

ここで、Active Type の NA サイトとは現在も高

アルカリ地下水とベントナイトが接触しているサイトを意味し、一方、Fossil Type の NA サイトとは Saile 鉱山に見られる、過去に高アルカリ地下水と接触していた証拠が存在するサイトである。

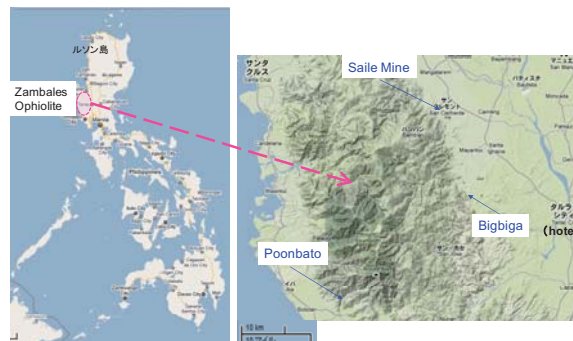


図-1 調査対象地域

(1)Active Type の NA サイトの探査

Bigbiga 地区における地質・断層系調査、ガス検出調査、地下水調査から、Active Type の試錐候補地点として、高アルカリ地下水の井戸、北東-南西系断層系、ガス湧出地点近傍、ベントナイト層の存在する、Well11(pH9.3 の自噴井)北西域で、よりベントナイト質露頭(近傍)周辺の北東-南西系断層系が延長・会合するところを候補地点として選定した。

(2)ベントナイトの生成と地質環境(生成環境)

Saile 鉱山・Quarry(露頭)ベントナイト層中で、最大 15%程度のイライト/ス멕タイト混合層鉱物を確認した。また、トレンチ内の枕状溶岩との接触部(変質帯)でも同様であり、局所的なアルカリ変質によるものではない。Quarry のベントナイト層、ゼオライト層が層状に産し、同一層内の走行方向において主成分鉱物に差異が認められなかった。また、Quarry のベントナイト試料に蜂の巣状の自生ス멕タイトが確認された。以上の結果から、Saile 鉱山のベントナイトが続成作用によって生成したものと確かめられた。

(3)高アルカリ地下水の生成・進化のプロセスと環境条件

フィリピン Mangatarem 地方の高アルカリ地下水の生成・進化については、数値シミュレーション(化学平衡論、マスバランス法、反応速度論、PATHARC)等による検討から、以下の成果が得られた。①水・岩石相互作用による Mg イオンは、Mg 鉱物である蛇紋石や滑石を生成させたために Mg

は地下水中に供給されず、その結果、Ca 鉱物の溶解が促進されたことが高アルカリ化の要因と考えられる。②Mangatarem 地方における高アルカリ地下水組成の地球化学的挙動は、Mg 鉱物とCa 鉱物を同時に扱った反応速度論によって再現性が確認された。③Saile 鉱山や Bigbiga で湧出する地下水は安山岩質鉱物の溶解の影響が大きいと考えられる

Zambales 地域の地下水は Bigbiga→Manleluag→Poonbato の順で pH、Ca 濃度は高く、Mg 濃度は低くなってゆき、地下水の高アルカリ化もこの順で進行し、形成・進化したものと示唆される。また、³⁶Cl 法地下水年代測定でもこの順で年代が古い傾向が示された。

(4) 高アルカリ環境下でのベントナイトの長期変質プロセス

岩石主要成分・微量元素及び REE (Rare-Earth Element) 分析から、高アルカリ地下水は鉱山の露頭まで達しており、ベントナイト層は断層に近い程その変質の影響がみられる一方、沸石層では断層からの距離による影響は見られなかった。また、Quarry 試料よりも基盤岩直上のトレンチ試料のほうが高アルカリ地下水の影響が大きかった。

トレンチ-5 のベントナイト変質領域では鉄濃集帯に近づくに連れて K と Fe 濃度が高まっており、化学組成と結晶形状及び加熱処理による XRD から、カリ長石と Ca 型沸石の生成が確認された。変質ベントナイト領域に高アルカリ地下水環境

下での変質生成鉱物(二次鉱物)であるカリ長石と沸石が生じていたという事実は、実験系での観察事象を体現する天然現象が確かに起こっていたことを裏付ける。また、トレンチ-1 の界面でも約 5mm 程度の変質帯が確認されたが、鉄濃集帯の位置や変質帯の広がり方はトレンチ-5 と異なる特徴がみられた。クロッキングが生じたために、ベントナイトの変質が制限(閉塞)されていたことが示唆される。

TL (Thermo-Luminescence) 年代測定法により、断層系充填物である方解石の生成年代は、18.9±

1.2ka~ 94.7±3.6ka と評価された。この方解石の TL 年代や Aksitero 累層や Moriones 累層の堆積年代と Saile 鉱山 Quarry の断層系の関係から、かなりの長期間に渡り(少なくとも 23Ma 以前~数十 ka まで)高アルカリ地下水がベントナイト層と接触していた可能性も示唆される。

トレンチ-1 内で基盤に近いベントナイト(変質帯)は、基盤から遠い未変質ベントナイト(スメクタイト含有量約 60%)に比べ、スメクタイト含有量は少なく(約 35%)、方解石に富んでいるが、間隙率は小さく(乾燥密度は大)、含水比は小さくなる傾向が示された。これは、ベントナイトと接触していた高アルカリ地下水との相互作用によりスメクタイトの変質が大きく生じたのではなく、ベントナイトの間隙に方解石が沈殿したためだと考えられる。

これまでに得られたデータ・知見に基づき、ベントナイトの埋没続成過程と高アルカリ地下水との変質反応により生成された変質反応生成鉱物の鉱物学・鉱物化学的特性を考察した。図-2 に Fossil Type の NA サイトである Saile 鉱山周辺の位置関係、地質・地質構造とアルカリ変質プロセスを整理したベースマップを示す。スメクタイトのアルカリ変質反応によって生成された変質生成鉱物の生成シナリオは、Na 型スメクタイト→Ca 型スメクタイト(一部 Ca-Mg-Fe の累層構造を示す)→イライト/スメクタイト混合層鉱物⇒カリ長石+沸石(Ca 型か K 型の輝沸石)+長石+石英の晶出が考えられる。

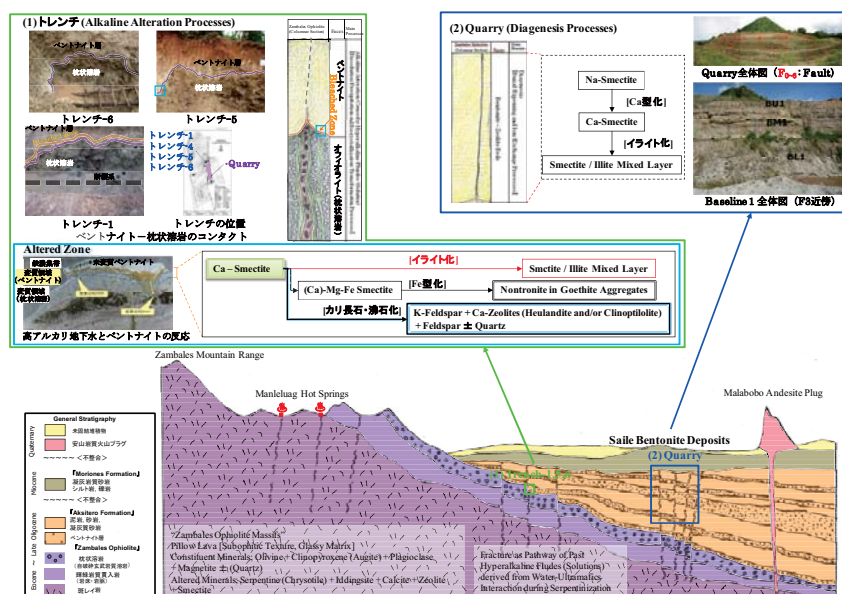


図-2 Saile 鉱山における Fossil Type の NA のベースマップ

3. 地層処分事業における諸外国の規制機関の技術レポートに係る調査

◇事業の概要

本調査は、地層処分事業の各段階における各国（アメリカ・スウェーデン・フィンランド・フランス・ドイツ・スイス・イギリスの計7カ国）の規制機関あるいは規制支援機関（以下、「規制機関等」）の概要、研究計画（日本の研究計画との比較を含む）等の整理、規制機関等が公開しているレポートの整理及び分析、地層処分事業の関係者への情報発信及び関与の方法について調査を行ったものである。

なお、本事業は独立行政法人原子力安全基盤機構の請負により実施したものである。

（報告書）平成 23 年度 地層処分事業における諸外国の規制機関の技術レポートに係る調査

◇平成 23 年度の成果

(1) 各事業段階における規制機関等の情報発信に関する整理

地層処分事業の立地から安全審査までを主とした各段階において、各国の規制機関等が公開している技術レポートの中で、法令及び規則等に基づき作成（以下、「法定行為等」）し、公開しているレポート、法定行為等以外（規制機関等の理解状況を示すなどの目的）で公開しているレポートに分類した。分類したレポートは、背景情報やレポートの概略を記載するとともに、各国の規制機関等で策定された研究計画との関係を明確にしつつ、規制機関等がどのようなメッセージを関係者に発信しているかについて整理を行った。また、分類したレポートは、下記項目について整理し、一件一葉形式で内容及び概要等をまとめた（図-1）。

- ・ レポート作成を規定する法令等とその内容
- ・ レポート概要
- ・ 地層処分事業のどの段階に対するメッセージか
- ・ メッセージの目的と具体的な内容
- ・ レビューを行う際の視点と詳細度、判断の有無とその内容
- ・ 法定行為等以外で公開しているレポートの

対象者

文書名	「DOEのサイト特性調査計画に対するNRCのスタッフ評価のためのレビュープラン」(NRC, "Review Plan for NRC Staff Review of DOE's Site Characterization Plan", 1988.)
レポートの作成を規定する法令等とその内容	1982年放射性廃棄物政策法第113条（サイト特性調査）において、エネルギー長官がユッカマウンテン・サイトでのサイト特性調査活動の全体計画をNRCに提出し、レビュー及び意見を求めることが規定されており、そのレビューを実施するために策定されたものである。
レポートの概要	パートA「技術レビュー計画」、パートB「作業計画」から構成されている。 パートA「技術レビュー計画」では、目的・目標・範囲を規定した上で、受理レビュー、技術レビュー（一般レビュー指針、詳細レビュー指針）が規定されている。 パートB「作業計画」では、主要レビュー活動のスケジュール、人的資源の配分、組織及び一般的責務、レビュー活動及び個々の責務、記述及び成果の準備、IQA（内部品質保証）要件、記録管理、サイト特性調査計画の保留事項（Open Item）の特定及び追跡、手順が規定されている。
地層処分事業のどの段階に対するメッセージか	サイト特性調査（我が国の精密調査に相当）を開始する前段階
メッセージの目的 [※] と具体的な内容	目的：事業者の事業計画に対するメッセージ 具体的な内容：サイト特性調査計画に対するレビュープランとして策定されている。
レビューを行う際の視点と詳細度、判断の有無とその内容	各レビュー項目に対して、背景及び取組（Background and Approach）、基準（Criteria）、10 CFR Part 60での適用条項（Applicable Sections of 10 CFR Part 60）、考慮すべき重要文書（Key Documents to Consider）が示され、定性的・概略的ながら明確な記述がされている。

※目的については、事業者の研究開発計画あるいは成果に対するメッセージ、事業者の事業計画に対するメッセージ、事業者の調査結果に対するメッセージ、事業者の品質保証に対するメッセージ、それ以外のメッセージを記入。

図-1 一件一葉形式のまとめ例

(2) 各事業段階における規制機関等と実施主体及びその他の利害関係者との関わり方の整理

各国の規制機関等が実施主体及び利害関係者とのように関与しているかについて、下記項目を踏まえた上で整理を行った。

- ・ 規制機関等と実施主体の公開情報
- ・ 規制機関等の関与の深さ（公開レポートの根拠となる調査・データの評価を含むのか）
- ・ 規制機関等と実施主体との会合の時期及び頻度
- ・ 規制機関等と実施主体との会合の方法（公式報告書、会合等）
- ・ 国内外のエキスパートの活用（委員会の有無、メンバー、会合の頻度、内容）
- ・ 規制機関等が公開したレポートに対する事業者のアクション

また、規制機関等と利害関係者との関わり方については、経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）の「Forum on Stakeholder Confidence（FSC）」等で取りまとめられている考え方を整理するとともに、下記項目について整理を行った。

- ・ 地層処分事業の立地段階を主とした各段階での規制機関等の関わり方
- ・ 関わり方の方法（レポート、パンフレット、説明会（頻度や規模等）など）
- ・ 利害関係者の特徴に応じた工夫がなされている場合にはその内容

4. その他の放射性廃棄物全般に共通する調査研究等

その他、以下の放射性廃棄物全般に共通する調査研究等を行った。

(1) 放射性廃棄物基本情報体系化調査

国内外の放射性廃棄物に係る基本情報を収集して体系的に整理するとともに、収集した情報に基づいて「放射性廃棄物ハンドブック（平成 23 年度版）」を作成し、国内関係機関等に配布した。



(2) 福島第一原子力発電所事故で発生する廃棄物等の処理方針等の検討

福島第一原子力発電所（以下、発電所という）事故に伴って発生する廃棄物の処理及び処分に関する技術を取りまとめ、各機関に情報提供し、これら廃棄物の処理・処分計画の迅速な立案に向けて協力することを目的とするものである。

また、研究開始当初は発電所の構外に広範囲に広がった汚染への対応が急務であったため、国内外の放射能汚染土壌等への対策例に関する調査ならびに情報提供も併せて実施した。

当初実施した除染対策に関する情報調査ならびに情報提供のうち、主なものとしては、人工密度の高い都市部での大規模な汚染の例として、ブラジル国ゴイアニアで発生した医療廃棄物の人為的持ち出しによる大規模汚染の例を、除染技術として、事例ごと対象ごとに幅広くとりまとめられた例として EUC で刊行された EURANOS ハンドブックの内容をそれぞれとりまとめ、関係機関への

情報提供を行った。その後、原子力学会内にクリーンアップ分科会が発足し、各機関の取り組みもこれに集約されたため、その後は分科会メンバーとして活動することとし、とくに EURANOS ハンドブックの和訳版の作成などの活動に参加するとともに、現地での除染活動に対するバックアップ、情報提供も積極的に実施した。



また、発電所構内で発生した廃棄物及びその後の汚染水処理等で発生する 2 次廃棄物の種類等について、当初インターネット上の情報及び原子力発電所の施設構成、平常時に発生する廃棄物種類等から推定するとともに、その後各関係機関との情報交換により得た情報も加味して、対象となる廃棄物の種類・特徴等の情報を追加し、これら廃棄物の処理に利用可能な技術について広範囲に調査し、候補技術調査票として整理するとともに、各候補技術の詳細について個別の調査を継続的に行い、その情報を関係機関に提供した。

項目	内容	備考
放射性廃棄物の種類	放射性廃棄物の種類（放射性物質の種類、放射性物質の濃度、放射性物質の形態）	放射性廃棄物の種類（放射性物質の種類、放射性物質の濃度、放射性物質の形態）
放射性廃棄物の発生場所	放射性廃棄物の発生場所（放射性廃棄物の発生場所の名称、放射性廃棄物の発生場所の所在地）	放射性廃棄物の発生場所（放射性廃棄物の発生場所の名称、放射性廃棄物の発生場所の所在地）
放射性廃棄物の発生時期	放射性廃棄物の発生時期（放射性廃棄物の発生時期の年、放射性廃棄物の発生時期の月）	放射性廃棄物の発生時期（放射性廃棄物の発生時期の年、放射性廃棄物の発生時期の月）
放射性廃棄物の発生数量	放射性廃棄物の発生数量（放射性廃棄物の発生数量の単位、放射性廃棄物の発生数量の数値）	放射性廃棄物の発生数量（放射性廃棄物の発生数量の単位、放射性廃棄物の発生数量の数値）
放射性廃棄物の発生原因	放射性廃棄物の発生原因（放射性廃棄物の発生原因の種類、放射性廃棄物の発生原因の詳細）	放射性廃棄物の発生原因（放射性廃棄物の発生原因の種類、放射性廃棄物の発生原因の詳細）
放射性廃棄物の発生経路	放射性廃棄物の発生経路（放射性廃棄物の発生経路の種類、放射性廃棄物の発生経路の詳細）	放射性廃棄物の発生経路（放射性廃棄物の発生経路の種類、放射性廃棄物の発生経路の詳細）
放射性廃棄物の発生影響	放射性廃棄物の発生影響（放射性廃棄物の発生影響の種類、放射性廃棄物の発生影響の詳細）	放射性廃棄物の発生影響（放射性廃棄物の発生影響の種類、放射性廃棄物の発生影響の詳細）
放射性廃棄物の発生対策	放射性廃棄物の発生対策（放射性廃棄物の発生対策の種類、放射性廃棄物の発生対策の詳細）	放射性廃棄物の発生対策（放射性廃棄物の発生対策の種類、放射性廃棄物の発生対策の詳細）

(3) 下水汚泥焼却灰等の処分に関する安全性評価検討

福島第一原子力発電所事故に由来する放射性物質の影響を受けた下水汚泥焼却灰等の処分等に関する安全性評価検討を行った。

IV. 放射性廃棄物処分への理解促進

1. 地層処分実規模設備整備事業

◇事業の概要

総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会放射性廃棄物小委員会の報告書中間取りまとめ「～最終処分事業を推進するための取組の強化策について～」(平成19年11月1日)において、『国は、深地層の研究施設等を活用して、国民が最終処分事業の概念や安全性を体感できるような設備を整備し、国民全般や最終処分事業に関心を示した地域の関係住民に対する広報に用いれば、理解を促進することができる。このような観点も盛り込んだ形で研究開発を進めるべきである。』としている。

このような背景のもと、本事業では北海道天塩郡幌延町に於いて、国民全般の高レベル放射性廃棄物地層処分への理解を深めることを目的に、実規模・実物を基本として(実際の放射性廃棄物は使用しない。)、地層処分概念とその工学的実現性や長期挙動までを実感・体感・理解できる地上設備と深地層研究施設等における地下設備の整備を平成20年度より進めている。

独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という。)は、平成12年11月に、北海道と幌延町との間で「幌延町における深地層研究に関わる協定」(当時は核燃料サイクル開発機構)三者協定を締結し、平成13年4月に北海道天塩郡幌延町において深地層研究センターを開所し、地下坑道の整備を進めるとともに、各種試験を実施している。なお、これらの整備・試験は、深地層研究所(仮称)計画(平成10年10月、核燃料サイクル開発機構)に基づき実施している。さらに、平成19年6月末より同敷地内にて「ゆめ地創館」を運営している。

事業実施にあたり、原環センターは原子力機構と「地層処分実規模設備整備事業における工学技術に関する研究」に係る共同研究契約及び施設・設備の共用に係る覚書を締結し、共同で研究を進めた。

平成23年度は、平成22年度に引き続き、以下の項目を実施した。

(1)工学技術試験設備の整備

- ・緩衝材定置試験設備の一部製作
- ・人工バリア長期挙動に係る試験の実施

(2)設備建屋及び展示物の維持・管理・運営

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成23年度 原子力施設立地推進調整事業
地層処分実規模設備整備事業報告書

◇平成23年度の成果

(1)工学技術試験設備の整備

- ・緩衝材定置試験設備の製作

平成22年度に引き続き、緩衝材定置試験設備の整備を進め、その一部となるテレスコピック本体・架台・駆動装置及び制御盤モジュールを製作した(図-1～3)。

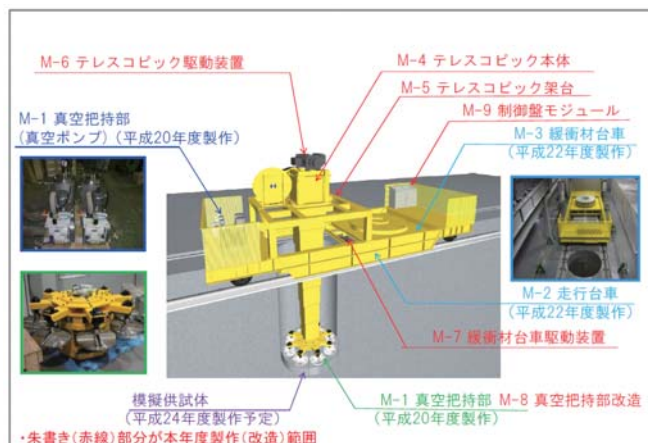


図-1 緩衝材定置試験装置製作経緯

①テレスコピックの仕様

- 主要機能：緩衝材ブロックの昇降、回転機構
- 昇降方式：ワイヤー駆動テレスコピック
ガイド方式
- 概略寸法：幅 3.3m×長さ 3.2m×高さ 4.0m
- 概略重量：約 4,000kg
- 主要材質：炭素鋼
- 塗装色：黄色／はけ塗り塗装
(社団法人日本塗装工業会：E22-80X)

②テレスコピック架台の仕様

- 概略寸法：幅 3.4m×長さ 3.4m×高さ 1.5m
- 概略重量：約 6,000kg
- 主要材質：炭素鋼
- 塗装色：黄色／はけ塗り塗装
(塗装色：財団法人日本塗料工業会 E 22-80X)

③駆動装置の仕様

- a. 主要機能：緩衝材ブロックの昇降、回転機能
- b. 駆動方式：電動式
- c. 駆動速度：10m/min 以下
- d. 概略重量：約 500 kg
- e. 主要材質及び塗装；
 - ・電動機：かご型三相誘導電動機
(AC200V／メーカー標準)
 - ・その他：炭素鋼+はけ塗り塗装
(塗装色：財団法人日本塗料工業会 E 22-80X)

④制御盤モジュールの仕様

- a. 主要機能：緩衝材定置試験設備の制御
- b. 概略寸法：幅 1.3m×奥行き 0.5m×高さ 1.1m
- c. 概略重量：約 200kg
- d. 主要構成機器及び塗装；
 - ・制御盤キャビネット：鉄製+電着塗装
(クリーム 2.5Y9/1)
 - ・CPU 本体，タッチパネル 1 面，インバーターユニット



図-2 完成時展示状況 1



図-3 完成時展示状況 2

・人工バリア長期挙動試験の実施

平成 22 年 4 月 28 日から開始した第 1 回目の緩衝材可視化試験について、本年度は約 6 ヶ月継続し、注水量がほぼ一定となり十分な時間を経たことから平成 23 年 9 月 25 日に試験を終了した。その後、緩衝材供試体を取り出し含水比の分布を測定した。(図-4～9)

①試験概要(1 回目試験)

試験は、緩衝材の隙間を模擬した「スリットありモデル」と「一体モデル(スリットなしモデル)」の 2 種類とした。主な試験条件を以下に示す。

- ・供試体サイズ：φ100mm×H50mm
- ・乾燥密度： $\rho_d=1.6\text{Mg/m}^3$
- ・ベントナイト：砂=70：30
- ・隙間(スリット)幅：1.0mm



試験開始時(H22 4/28) 6ヶ月後(10/31) 12ヶ月後(4/26)

図-4 緩衝材の浸潤状況(スリットなし)



試験開始時(H22 4/28) 6ヶ月後(10/31) 12ヶ月後(4/26)

◆スリットに水が供給され、緩衝材の膨潤によりスリットが閉塞する状況が確認された

図-5 緩衝材の浸潤状況(スリットあり)

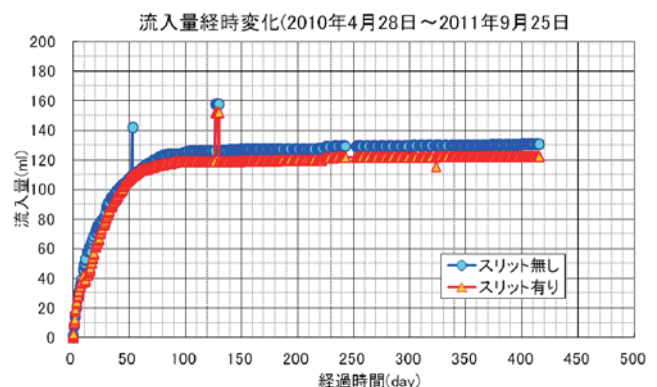


図-6 流入量の経時変化

IV. 放射性廃棄物処分への理解促進

②浸潤解析

緩衝材中の水分分布の経時変化を把握するため浸潤解析を行った。浸潤解析は初期含水比や水分拡散係数をパラメータとして、差分法により半径方向の水の浸潤分布の解析を行い、半径方向の水の浸潤分布の経時変化を算出すると共に、測定された水の積算流量の経時変化にフィッティングすることにより、初期含水比や水分拡散係数を決定した。

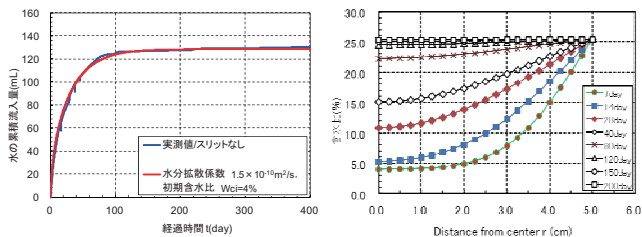


図-7 スリットなし解析

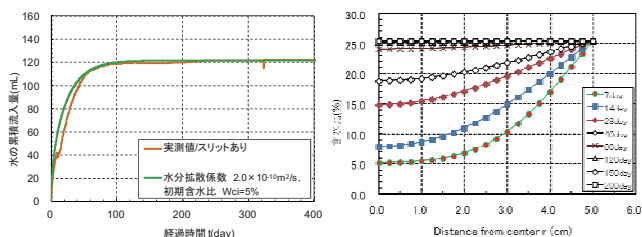


図-8 スリットあり解析

③含水比の測定

緩衝材供試体（φ10cm×h5cm）は、上下鉛直方向に上、中、下に3分割、また平面的には89分割し、各々含水比を調べた。

④含水比測定の考察

「スリットなし供試体」と「スリットあり供試体」の含水比分布を整理した結果を図-9に示す。試験開始から約500日の供試体の含水比分布を調べたところ、スリットなしでは供試体側部の含水比が高く、中央部では小さくなっている。これは側部の含水比が高いことによる透水係数の低下によるものとみられる。スリットありでは一部を除きスリット部分も含めて含水比はほぼ一定となっている。試験開始から約500日を経たスリットあり供試体はベントナイトの膨潤によりスリットが閉塞し、一体化している。但し、供試体中央上部では含水比が高い部分があり、側部から緩衝材が膨潤していった結果として中央部に空隙が残っているものと推察される。

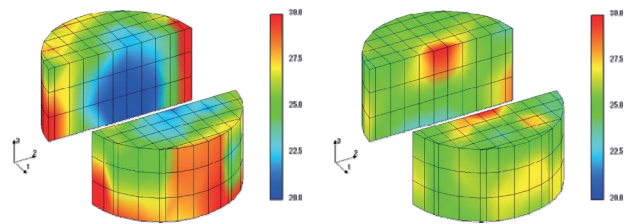


図-9 含水比分布

⑤考察

第1回目の緩衝材可視化試験では、試験開始後100日程度で注水量はほぼ一定となっている。試験終了後（500日後）の含水比分布を測定した結果、「スリットなし供試体」では供試体側面からの浸潤が観察され、中央部への更なる浸潤を妨げていることが分かった。このため全体として一様にはなっていない。一方、「スリットあり供試体」ではスリット側面からの水の浸潤によりベントナイトが膨潤し、スリットが閉塞する状況が確認された。

第2回目の緩衝材可視化試験は、第1回目の試験状況をもとに装置の改良を行った上で、新たに供試体を製作し、平成24年3月22日より開始した。（図-10）。

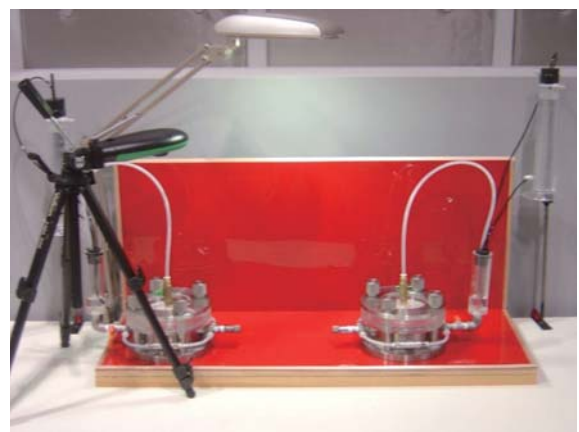


図-10 緩衝材可視化試験（第2回目）試験実施状況

(2)設備建屋及び展示物の維持・管理・運営

①設備建屋における運営

地層処分実規模試験施設は平成22年度に引き続き一般公開を行った。

運営にあたっては、作成した説明マニュアルに基づき、常時2名の説明員が来館者への説明や質問に答える体制で対応した。

なお、本施設は、原子力機構幌延深地層研究センター「ゆめ地創館」と連絡通路で結び、一体的な運営を行っている。来館者は「ゆめ地創館」から入館し、深地層研究センターでの試験等成果の展示物を見学した後、本施設にて地層処分で使用される予定のものと同一仕様の人工バリアや、工学技術に関する試験研究の一端に触れることができる。

来館者推移

2012年3月26日 現在

年月	来館者数		男女別			月計 週計	累計 (H23.4.1～)	備考
	一般	関係者	男	女	子供			
平成23年4月	385	4	221	98	70	389	389	毎週月曜休館
平成23年5月	862	1	370	291	202	863	1252	毎週月曜休館
平成23年6月	626	1	351	217	59	627	1879	毎週月曜休館
平成23年7月	1062	4	512	442	112	1066	2945	毎週月曜休館
平成23年8月	1309	0	623	465	221	1309	4254	毎週月曜休館
平成23年9月	1342	0	583	370	389	1342	5596	毎週月曜休館
平成23年10月	777	0	419	282	76	777	6373	毎週月曜休館
平成23年11月	349	3	193	122	37	352	6725	毎週月・火曜休館
平成23年12月	154	3	63	41	53	157	6882	毎週月・火曜休館
平成24年1月	133	0	78	29	26	133	7015	毎週月・火曜休館
平成24年2月	85	3	66	18	4	88	7103	毎週月・火曜休館
平成24年3月	162	22	116	36	32	184	7287	毎週月・火曜休館
合計	7246	41	3595	2411	1281			

図-11 月別来館者推移（人）

②広報活動

原環センターホームページ上では、施設整備の進捗にあわせて、地層処分実規模試験施設のページ（図-12）を更新し、施設や展示物の紹介などの各種情報を発信した。また、ゆめ地創館と協力して、スタンプラリーを開催するなど、来館者の増加に向けた取組みを進める一方で、来館者には、原環センターや経済産業省が作成した各種パンフレット等（図-13）を配布し、地層処分への理解促進に努めている。



図-12 地層処分実規模試験施設ホームページ
(<http://www.rwm.or.jp/institution/>)

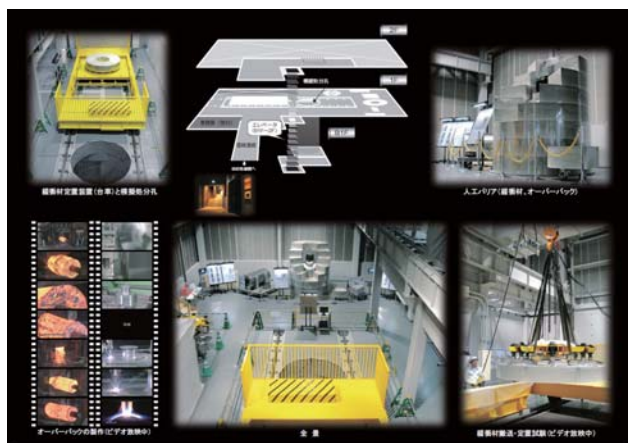


図-13 地層処分実規模試験施設リーフレット
(上段：表面、下段：裏面)

(3) 事業の評価

本施設は平成22年4月から一般公開を開始し、来館者はここで実規模・実物の人工バリアを体感し、実施される試験を見学することで、地層処分への理解を深めることが期待される。

平成23年度は平成24年3月31日迄に7,287人が来館した（図-11）。平成22年4月28日開館以来の延べ来館者数は15,371名となった。

V. 国際交流

V. 国際交流

放射性廃棄物の処理処分は我が国のみならず世界各国共通の課題であり、協力して進めることが重要である。このため原環センターでは、海外の放射性廃棄物処分の研究機関、処分事業実施機関等と包括的な協力協定を締結し、この国際的なネットワークを活用し、放射性廃棄物に関する各国の政策、制度、事業の進捗状況、研究開発動向等に関する情報の収集・交換、研究協力等を行っている。

併せて、国際原子力機関（IAEA）、経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）、欧州原子力共同体（EURATOM）等の国際機関の事業に積極的に協力している。

(1) 情報交換・研究協力を行っている海外機関

放射性廃棄物管理分野における相互協力に関して、現在までに当センターとの間で協定、或いは、覚書を締結している海外機関は次表のとおりである。

表-1 当センターが協力協定（覚書）を有する
海外機関一覧

国	機関名
フィンランド	ポシヴァ社（Posiva Oy）
スウェーデン	スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社 / SKB インターナショナル社（SKB/SKBI）
フランス	放射性廃棄物管理機関（ANDRA）
ドイツ	ドイツ廃棄物処分施設建設・運転会社 / DBE テクノロジー社（DBE/DBE Technology）
スイス	放射性廃棄物管理共同組合（NAGRA）
ベルギー	ベルギー原子力研究センター（SCK・CEN）
スペイン	放射性廃棄物管理公社（ENRESA）
英国	原子力廃止措置機関（NDA）
ロシア	ロシア科学アカデミー（RAS）
韓国	韓国原子力研究所（KAERI）
	韓国水力・原子力株式会社中央研究所（KHNP/CRI）
	韓国放射性廃棄物管理公団（KRMCI）
中国	中国核工業集团公司地質局（CNNC/BOG）
台湾	（財）核能科技協進會（NuSTA）

上表のうち、平成 23 年度中に現行協力協定が期限となる 6 機関（Posiva、SKB/SKBI、DBE/DBE Tech.、NAGRA、ENRESA、RAS）について、協定の更新（5 ヶ年間の新たな協定の締結等）を行った。また、韓国放射性廃棄物管理公団（KRMCI）及び韓国水力・原子力株式会社中央研究所（KHNP/CRI）を訪問し、協力協定に基づくレビュー会合や情報交換等を実施した。

平成 23 年度には、フランス ANDRA と無線伝送に関する共同研究を進めるとともに、同機関への技術者の派遣を終了した。

(2) IAEA 放射性廃棄物データベース（NEWMDB）への協力

国際原子力機関（IAEA）は、平成 13 年から各国の放射性廃棄物に関する情報（放射性廃棄物の管理プログラムと体制、計画と活動状況、関係する法律と規制、政策、廃棄物のインベントリ）を収集するデータベースの開発を進めている。

原環センターは、IAEA の放射性廃棄物データベース（NEWMDB）整備活動に関し、カンントリー・コーディネーターである経済産業省の委託によりレポート・コーディネーターとして、我が国のデータの収集及び NEWMDB への登録実務を担当した。

(3) OECD/NEA 放射性廃棄物管理委員会への協力

経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）の放射性廃棄物管理委員会（RWMC）のビューロー会議に専門家を派遣し、OECD/NEA の活動方針や計画などの検討に参画するとともに、関連する情報の収集を行った。

(4) 欧州原子力共同体（EURATOM）のモニタリング国際共同研究 MoDeRn（Monitoring Developments for Safe Repository Operation and Staged Closure）への参画

原環センターは、平成 21 年度より欧州原子力共同体のモニタリング国際共同研究 MoDeRn に参画し、モニタリングに関する広範な検討と情報収集を実施している。平成 23 年度は、チェコ・プラハ及びオランダ・ザンダムにて開催された定期会合にてモニタリングの目的や実施方法に関する検討に参画すると共に、英国・オックスフォードにて開催された専門家ステークホルダーワークショップにて討議を行った。

(5) 東アジア放射性廃棄物管理フォーラム
(EAFORM) への協力

原環センターは、平成 18 年度の東アジア放射性廃棄物管理フォーラム（EAFORM）設置以降、EAFORM マネジメント委員会の構成機関の 1 つとしてその運営に協力してきた。平成 22 年度からは、一般社団法人日本原子力学会バックエンド部会に EAFORM 小委員会が設置され、引き続き本体制のもとで、EAFORM のマネジメント委員会やコンファレンス開催等の計画具体化に向けた検討や EAFORM の全体運営に関する協力を行っている。

現在第 4 期である EAFORM のホスト国は中国であり、平成 25 年度の中国でのコンファレンス開催に向けた準備が進められている。

VI. 資料

VI. 資料

1. 講演会・セミナー等

(原環センター主催の講演会・セミナー)

講演会名等		開催日	会場
講演会	第1回講演会「放射性核種汚染土壌の修復－原理と方法－」 中野政詩 氏（東京大学名誉教授）	平成 23 年 7 月 15 日	東京都中小企業会館 講堂
	第2回講演会「フランス ANDRA における放射性廃棄物処分研究の状況について」 佐原史浩（企画部）	平成 23 年 10 月 7 日	原環センター
	第3回講演会「科学技術に関する社会的意思決定と技術者に求められるもの－福島第一原子力発電所事故を受けて－」 寿楽浩太 氏（東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻 特任助教）	平成 23 年 11 月 18 日	原環センター
	第4回講演会「欧米主要国での放射性廃棄物処分事業の進捗状況」 稲垣裕亮（技術情報調査プロジェクト チーフ・プロジェクト・マネジャー）	平成 24 年 3 月 28 日	銀座ラフィナート 松風
セミナー	第1回原環センターセミナー「放射性廃棄物最終処分の安全評価の基礎」 朽山 修 氏（公益財団法人原子力安全研究協会 処分システム安全研究所 所長）	平成 23 年 9 月 30 日	東京都中小企業会館 C 会議室
	第2回原環センターセミナー「放射性廃棄物最終処分の安全評価の基礎Ⅱ」 大江俊昭 氏（東海大学 工学部 原子力工学科 教授）	平成 23 年 12 月 2 日	東海大学 高輪キャンパス 1 号館 第2会議室

2. 論文投稿、外部発表等

(1)論文投稿

No.	題 目	原環センター著者	発 表 先
1	Modeling of alteration behavior on blended cementitious materials	大和田仁、石井智子	Proceedings of the ASME 2011 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM2011, 2011/9/25～29
2	Mineralogical analyses of old (78 and 98 years) concrete	石井智子、大和田仁	Proceedings of the ASME 2011 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM2011, 2011/9/25～29
3	In-situ interferometric measurements of compacted smectite under hyperalkaline conditions	大和田仁、石井智子	Proceedings of the ASME 2011 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM2011, 2011/9/25～29
4	Hydraulic/mechanical modeling of smectitic materials for HMC analytical evaluation of the long term performance of TRU geological repository	大和田仁、石井智子	Proceedings of the ASME 2011 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM2011, 2011/9/25～29

VI. 資料

No.	題 目	原環センター著者	発 表 先
5	Demonstration test of underground cavern-type disposal facilities, Fiscal 2010 status	秋山吉弘、寺田賢二、 織田信明、矢田勤、 中島貴弘	Proceedings of the ASME 2011 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM2011, 2011/9/25～29
6	Corrosion rates of Zircaloy 4 by hydrogen measurement under high pH, low oxygen and low temperature conditions	桜木智史、宮川英明	Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXV, Volume1475, 2012
7	Demonstration test of underground cavern-type disposal facilities	寺田賢二、秋山吉弘、 中島貴弘、矢田勤、 織田信明	The 8th International Symposium on Radiation Safety Management, 2011 ISRSM, 2011/11/2～4
8	Temperature dependence of aqueous dissolution of silver iodide under reducing condition with FeCl ₂ solution	桜木智史	International Conference GLOBAL2011・ Innovative Nuclear Energy Systems toward 2030 and beyond, 2011/12/11～16
9	Current status of the demonstration test of underground cavern-type disposal facilities	中島貴弘	International Conference GLOBAL2011・ Innovative Nuclear Energy Systems toward 2030 and beyond, 2011/12/11～16
10	Current status of the demonstration test of underground cavern-type disposal facilities	秋山吉弘、寺田賢二、 織田信明、矢田勤、 中島貴弘	Proceeding of ICONE19, 19th International Conference on Nuclear Engineering, 2011/5/16～19
11	放射性廃棄物処分施設への中国産ベントナイトの利用可能性について	寺田賢二	日本原子力学会「原子力バ ックエンド研究」誌、Vol.18 No.2、2011/12

No.	題 目	原環センター著者	発 表 先
12	マイクロフォーカスX線CTを用いた水中環境下における高強度高緻密コンクリートのき裂閉塞挙動の評価	林大介、大和田仁	資源・素材学会誌“Journal of MMIJ”, vol 128 (2012), No7
13	Wireless monitoring study in the Meuse/Haute-Marne underground research laboratory, France	鈴木圭、江藤次郎、田辺博三	Waste Management 2012 Conference Final Proceedings, 2012/2/26～3/1
14	Development of wireless data transmission system for the monitoring in geological disposal of radioactive waste	鈴木圭、江藤次郎、田辺博三	Waste Management 2012 Conference Final Proceedings, 2012/2/26～3/1

注) 平成 23 年度に投稿し、平成 24 年 8 月までに刊行されたものも記載

(2) 学会発表等

No.	題 目	原環センター発表者	発表先
1	岩石固定化技術におけるヨウ素脱離防止方法	大和田仁、桜木智史、宮川英明	分離技術会 年会 2011、2011/6/3～4
2	廃棄体発熱の影響を考慮した上部充てん材の配合選定および初期性能確認ー地下空洞型処分施設性能確証試験によるー	矢田勤、織田信明	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、2011/9/7～9
3	放射線管理下での長距離バケット輸送を想定した上部充てん材の施工性確認ー地下空洞型処分施設性能確証試験によるー	織田信明、矢田勤	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、2011/9/7～9
4	養生履歴の異なる充填材の空隙構造と圧縮強度試験結果に関する一考案ー地下空洞型処分施設性能確証試験によるー	矢田勤、秋山吉弘	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、2011/9/7～9
5	断熱温度上昇特性を考慮したコンクリートピットの温度解析精度の向上ー地下空洞型処分施設性能確証試験によるー	矢田勤、秋山吉弘	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、2011/9/7～9
6	狭隘部におけるベントナイト締固めによる側部緩衝材の施工性確認ー地下空洞型処分施設性能確証試験によるー	中島貴弘、秋山吉弘	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、2011/9/7～9

VI. 資料

No.	題 目	原環センター発表者	発表先
7	締固め工法により施工された側部緩衝材の初期性能確認ー地下空洞型処分施設性能確証試験によるー	中島貴弘、秋山吉弘	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、 2011/9/7～9
8	粒状ベントナイトを用いて施工した緩衝材（低透水層）の水分拡散係数に関するー考察	中島貴弘	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、 2011/9/7～9
9	PEM 施工技術の開発(1)鋼殻リング PEM 向け緩衝材の製作技術の実験的検討	矢萩良二、朝野英一	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、 2011/9/7～9
10	PEM 施工技術の開発(2)鋼殻リング PEM における組立技術の実験的検討	矢萩良二、朝野英一	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、 2011/9/7～9
11	長尺供試体を用いたベントナイト系人工バリア材料の一次元浸潤速度の取得	朝野英一、鈴木圭	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、 2011/9/7～9
12	飽和ベントナイトのガス移行試験と寸法効果の検討	並木和人、朝野英一	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、 2011/9/7～9
13	TRU 廃棄物処分システムにおけるガス移行長期挙動解析モデルの高度化	朝野英一、並木和人	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、 2011/9/7～9
14	圧縮ベントナイトの再冠水・ガス移行挙動に及ぼす力学影響に関する検討	朝野英一、並木和人	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、 2011/9/7～9
15	飽和・不飽和ベントナイトのせん断強度特性に関する研究	朝野英一	土木学会 平成 23 年度第 66 回年次学術講演会、 2011/9/7～9
16	地層処分における水理地質のモニタリングに関する事例検討	江藤次郎、鈴木圭、 田辺博三	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
17	小型化地中無線装置と中距離無線装置の現位置試験	江藤次郎、鈴木圭、 田辺博三	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
18	緩衝材の再冠水挙動評価(1)ベントナイト系人工バリアの再冠水時の挙動および品質評価	鈴木圭、朝野英一	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22

No.	題 目	原環センター発表者	発表先
19	緩衝材の再冠水挙動評価(2)ベントナイト系人工バリア長期性能の不確実性のための施工技術の高度化	朝野英一、鈴木圭	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
20	「海水を利用した緩衝材除去方法の検討(10)実規模スケール緩衝材除去試験その 1」	矢萩良二、菱岡宗介、朝野英一	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
21	「海水を利用した緩衝材除去方法の検討(10)実規模スケール緩衝材除去試験その 2」	矢萩良二、菱岡宗介、朝野英一	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
22	ヨウ素固定化技術開発－(13)岩石固化体のマトリクス溶解挙動の理解－	宮川英明、大和田仁、桜木智史	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
23	ヨウ素固定化技術開発－(14)岩石固化体の構造に関する検討－	大和田仁、桜木智史、宮川英明	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
24	ヨウ素固定化技術開発－(15)BPI ガラス固化体のガラス構造に関する検討－	大和田仁、桜木智史	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
25	ヨウ素固定化処理プロセスの検討－(4)BPI ガラス固化技術におけるヨウ素脱離試験及びパイロット溶融試験－	大和田仁、桜木智史	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
26	ヨウ素固定化処理プロセスの検討－(5)岩石固体化技術における廃銀吸着ガス除去方法の検討－	大和田仁、桜木智史、宮川英明	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
27	ヨウ素固定化処理プロセスの検討－(6)セメント固化技術におけるオゾンによる酸化処理の検討－	高橋陵太、桜木智史、大和田仁	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
28	FeS ₂ および FeS 共存還元環境におけるヨウ化銀の溶解挙動	桜木智史	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
29	放射化金属廃棄物の C-14 の放出移行に関する研究－(11)処分の安全評価に必要とされるハル・エンドピースの特性と評価の現状－	田辺博三、朝野英一、大和田仁、高橋陵太、桜木智史、宮川英明	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
30	放射化金属廃棄物の C-14 の放出移行に関する研究－(12)C-14 分析手法に関する検討－	桜木智史、高橋陵太	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22

VI. 資料

No.	題 目	原環センター発表者	発表先
31	放射化金属廃棄物の C-14 の放出移行に関する研究－(13)BWR を対象としたハル・エンドピース中の C-14 インベントリ評価－	桜木智史、大和田仁、田辺博三	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2011/9/19～22
32	炭素鋼オーバーパック溶接金属部の選択的な腐食に及ぼす化学成分に関する検討	小林正人、朝野英一	腐食防食協会 第 58 回材料と環境討論会、2011/9/28～30
33	地層処分環境におけるジルコニウム合金の腐食挙動の評価	桜木智史、田辺博三、大和田仁、高橋陵太、宮川英明	腐食防食協会 第 175 回腐食防食シンポジウム、2012/2/24
34	ジルカロイ被覆管の低温腐食－低温（地層処分環境）での長期腐食挙動予測の課題	田辺博三、朝野英一、大和田仁、高橋陵太、桜木智史、宮川英明	日本原子力学会 2012 年春の年会、2012/3/19～21
35	ジルカロイ被覆管の低温腐食－低温（地層処分環境）での腐食試験結果と考察	宮川英明、田辺博三、朝野英一、大和田仁、高橋陵太、桜木智史	日本原子力学会 2012 年春の年会、2012/3/19～21
36	余裕深度処分における狭隘部ベントナイト人工バリアの施工方法および品質管理（振動締固め工法）	中島貴弘、秋山吉弘、秋山吉弘、中島昌樹	日本原子力学会 2012 年春の年会、2012/3/19～21
37	余裕深度処分における狭隘部ベントナイト人工バリアの施工方法および品質管理（吹付け工法）	矢田勤、秋山吉弘、中島昌樹	日本原子力学会 2012 年春の年会、2012/3/19～21
38	鉛ホウ酸塩を主成分とする 2 成分および 3 成分ガラスの逆モンテカルロ構造モデル構築	桜木智史	セラミックス協会 2012 年年会、2012/3/19～21

(3) その他

No.	題 目	著 者	発 表 先
1	XAFS analysis of the structure of Ca in engineered barrier materials(2)	大和田仁、石井智子	高エネルギー加速器研究機構ユーザーレポート、2010/4～2011/3、2012/1
2	地層処分事業等の国際的な動向	稲垣裕亮	日本原子力産業協会、原子力年鑑 2012、2011/10
3	放射性廃棄物等安全条約の現状	佐原聡	日本原子力産業協会、原子力年鑑 2012、2011/10

No.	題 目	著 者	発 表 先
4	国内外における処分事業の進捗	江守稔	日本原子力学会バックエンド部会、2011 年度週末基礎講座、2011/10/29～30

3. 原環センター技術報告書

No.	表 題	著 者	発 行 日
1	カラチャイ湖周辺のコロイドによる放射性核種移行挙動に関する研究 (RWMC-TRJ-11001)	藤原 愛、朽山 修*	2011 年 8 月

*公益財団法人 原子力安全研究協会

4. 刊行物

No.	刊 行 物 名	主な内容	発 行 日
1	原環センタートピックス№98	セメントーベントナイト相互作用のナチュラルアナログ調査	2011 年 7 月
2	原環センタートピックス№99	一般廃棄物等処分場モニタリングの手法ー放射性廃棄物処分への適用性ー	2011 年 9 月
3	原環センタートピックス№100	フランス Andra（放射性廃棄物管理機関）における放射性廃棄物処分研究の状況	2012 年 1 月
4	原環センタートピックス№101	科学技術に関する社会的意思決定とこれからの技術者に求められるもの	2012 年 3 月
5	原環センター2010 年度 技術年報		2011 年 10 月

VI. 資料

5. ホームページへの海外最新情報の掲載

原環センターのウェブサイト「諸外国での高レベル放射性廃棄物処分」(<http://www2.rwmc.or.jp>)において、以下の海外情報ニュースフラッシュ記事を掲載した。

〔各タイトル記事内容は上記の URL にアクセスしてください。〕

	掲載日	タイトル
1	2011/04/04	カナダの核燃料廃棄物管理機関（NWMO）が 2008～2010 年度の 3 年次報告書を公表
2	2011/04/04	米国連邦議会下院がオバマ政権のユッカマウンテン計画中止に関する意思決定プロセスの調査を開始
3	2011/04/05	追記）英国で独立した安全規制機関である原子力規制局（ONR）を設立へ（2011/02/14）への追記
4	2011/04/07	カナダの核燃料廃棄物管理機関（NWMO）が関心表明した 2 地域の初期スクリーニングの結果を公表
5	2011/04/08	スイスで ENSI が NAGRA の地質学的知見に関する報告書に対する評価を公表－地球科学的調査を実施せずに予備的安全評価が可能と判断
6	2011/04/18	追記）台湾の低レベル放射性廃棄物処分サイト選定作業で、潜在的候補サイト 2 箇所を選定（2010/09/21）への追記
7	2011/04/19	追記）米国で 2012 会計年度の予算要求－ユッカマウンテン処分場予算はゼロ（2011/02/16）への追記
8	2011/04/20	カナダで低・中レベル放射性廃棄物の地層処分場の環境影響評価書（EIS）が提出
9	2011/04/20	追記）カナダの核燃料廃棄物管理機関（NWMO）が関心表明した 2 地域の初期スクリーニングの結果を公表（2011/04/07）への追記
10	2011/04/27	スイスで NAGRA が候補サイト区域間の比較可能性の確保のために弾性波探査を実施へ
11	2011/05/06	ドイツのアッセ II 研究鉱山で廃棄物回収に向けた「現状確認調査」の第 1 段階に関する許可が発給
12	2011/05/18	ブルーリボン委員会の 3 つの小委員会がそれぞれの勧告案を公表
13	2011/05/18	追記）カナダの核燃料廃棄物管理機関（NWMO）が関心表明した 2 地域の初期スクリーニングの結果を公表（2011/04/07）への追記
14	2011/06/10	ドイツ連邦政府が将来のエネルギー政策における重点項目を公表－放射性廃棄物処分が重要な課題であることを明示
15	2011/06/13	追記）ドイツのアッセ II 研究鉱山で廃棄物回収に向けた「現状確認調査」の第 1 段階に関する許可が発給（2011/05/06）への追記
16	2011/06/21	追記）ブルーリボン委員会の 3 つの小委員会がそれぞれの勧告案を公表（2011/05/18）への追記
17	2011/06/27	カナダの使用済燃料処分場のサイト選定の状況－合計 6 地域の初期スクリーニングの結果が公表
18	2011/06/28	追記）カナダの使用済燃料処分場のサイト選定の状況－合計 6 地域の初期スクリーニングの結果が公表（2011/06/27）への追記
19	2011/07/04	英国で DECC が地層処分開始年の前倒しに向けた検討を NDA に指示

	掲載日	タイトル
20	2011/07/05	米国で連邦控訴裁判所がユッカマウンテン処分場の許認可申請の取下げ申請の可否に関する訴えを却下
21	2011/07/12	フィンランドの地下特性調査施設 (ONKALO) の建設状況 - アクセス坑道の掘削が完了
22	2011/07/21	欧州連合 (EU) で使用済燃料及び放射性廃棄物の管理に関する指令が採択
23	2011/08/02	米国のブルーリボン委員会がドラフト報告書を公表
24	2011/08/05	追記) カナダの使用済燃料処分場のサイト選定の状況 - 合計 6 地域の初期スクリーニングの結果が公表 (2011/06/27) への追記
25	2011/09/05	追記) 米国で NRC がユッカマウンテン処分場許認可申請書に対する安全性評価報告 (SER) の第 1 分冊を公表 (2010/08/25) への追記
26	2011/09/09	韓国政府が使用済燃料の管理政策の策定に向けた取り組みを開始
27	2011/09/13	米国で NRC がユッカマウンテン許認可申請書の審査手続の停止を指示
28	2011/09/15	追記) 米国で NRC がユッカマウンテン処分場許認可申請書に対する安全性評価報告 (SER) の第 1 分冊を公表 (2010/08/25) への追記
29	2011/09/15	追記) 米国で NRC がユッカマウンテン許認可申請書の審査手続の停止を指示 (2011/09/13) への追記
30	2011/09/30	追記) 米国で廃棄物隔離パイロットプラント (WIPP) が 9,000 回の受入れを達成
31	2011/10/04	ベルギーで ONDRAF/NIRAS が高レベル放射性廃棄物及び長寿命低・中レベル放射性廃棄物の長期管理に関する国家廃棄物計画を連邦政府に提出
32	2011/10/05	追記) 米国で NRC がユッカマウンテン許認可申請書の審査手続の停止を指示 (2010/09/12) への追記
33	2011/10/06	追記) スイスで NAGRA が候補サイト地域間の比較可能性の確保のために弾性波探査を実施へ (2011/04/27) への追記
34	2011/11/01	追記) カナダの使用済燃料処分場のサイト選定の状況 - 合計 6 地域の初期スクリーニングの結果が公表 (2011/06/27) への追記
35	2011/11/25	カナダの核燃料廃棄物管理機関 (NWMO) が 2012 - 2016 年の実施計画案への意見募集を開始
36	2011/11/25	英国カンブリア州において地層処分場サイト選定プロセスへの参加に関する公衆協議を開始
37	2011/11/30	追記) 韓国政府が使用済燃料の管理政策の策定に向けた取り組みを開始 (2011/09/09) への追記
38	2011/12/06	スイスでサイト選定手続の第 1 段階が完了 - 連邦評議会が候補サイト区域を承認 -
39	2011/12/20	追記) 米国で 2012 会計年度の予算要求 - ユッカマウンテン処分場予算はゼロ (2011/02/16) への追記
40	2011/12/27	ドイツで BMU と州が、ゴアレーベンでの探査と並行して、発熱性放射性廃棄物処分のための新たなサイト選定手続の工程を進めることで合意
41	2011/12/27	英国で規制機関が地層処分場の一般的な条件でのセーフティケースに対するレビュー結果を公表

VI. 資料

	掲載日	タイトル
42	2012/01/05	追記) 米国で NRC が「廃棄物保証」の規則及び所見の改定案を承認－地層処分場操業開始時期の記述を変更 (2010/09/17) への追記
43	2012/01/06	英国 NDA が地層処分スケジュールの前倒し検討結果を公表
44	2012/01/06	フランス放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) が地層処分事業を支援するコントラクターを選定
45	2012/01/11	スペインで集中中間貯蔵施設 (ATC) の立地サイトを選定
46	2012/01/12	フランスで国家評価委員会 (CNE) が第 5 回評価報告書を公表
47	2012/01/12	ドイツで BfS がアッセ II 研究鉱山での廃棄物回収に向けた現状確認調査のための評価基準を公表
48	2012/01/17	追記) カナダの使用済燃料処分場のサイト選定の状況－合計 6 地域の初期スクリーニングの結果が公表 (2011/06/27) への追記
49	2012/01/24	韓国で中・低レベル放射性廃棄物処分場の竣工予定を 2014 年 6 月に再変更
50	2012/01/26	追記) カナダで低・中レベル放射性廃棄物の地層処分場の環境影響評価書 (EIS) が提出 (2011/04/20) への追記
51	2012/01/30	スイスで NAGRA が地層処分場の地上施設の設置区域として 20 カ所を提案
52	2012/01/30	米国のブルーリボン委員会が最終報告書を公表
53	2012/02/02	フランス会計検査院が放射性廃棄物管理を含む原子力発電事業の費用に関する報告書を公開
54	2012/02/09	北米における低レベル放射性廃棄物等の処分場計画の進捗
55	2012/02/09	追記) 米国のブルーリボン委員会が最終報告書を公表 (2012/01/30) への追記
56	2012/02/15	米国で 2013 会計年度の予算要求－「使用済燃料処分等プログラム」(UFD) に対して約 6,000 万ドル要求
57	2012/02/16	追記) 米国で 2013 会計年度の予算要求－「使用済燃料処分等プログラム」(UDF) に対して約 6,000 万ドル要求 (2012/02/15) への追記
58	2012/03/01	追記) カナダの使用済燃料処分場のサイト選定の状況－合計 6 地域の初期スクリーニングの結果が公表 (2011/06/27) への追記
59	2012/03/05	追記) フィンランドで新規原子炉建設と最終処分場の拡大に関する原則決定について経済大臣が提案 (2010/04/27) への追記
60	2012/03/09	追記) 米国のブルーリボン委員会が最終報告書を公表 (2012/01/30) への追記
61	2012/03/15	スウェーデンで SSM が立地・建設許可申請書に関する追加情報を要求
62	2012/03/15	英国で DECC が地層処分場の候補地の特定及び評価の枠組みを公表
63	2012/03/23	フィンランドの地下特性調査施設 (ONKALO) における調査の動向－試験用処分孔の掘削完了及びトレーサー試験の開始

6. 委員会一覧

分野区分	研究件名	委員会名称	検討事項
1. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究	地下空洞型処分施設性能確証試験	地下空洞型処分施設性能確証試験検討委員会	原位置での確証試験の詳細計画及び試験結果に関する検討
2. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究	処分システム工学要素技術高度化開発	遠隔操業システム高度化検討委員会	遠隔操作技術開発に関する全般的検討
		遠隔溶接・検査技術検討委員会	遠隔溶接・検査技術の開発に関する検討
		遠隔搬送・定置技術検討委員会	遠隔搬送・定置技術の開発に関する検討
		オーバーパック溶接部の品質評価技術検討委員会	オーバーパック溶接部の耐食性と溶接残留応力解析手法高度化に関する検討
		緩衝材品質評価技術検討委員会	緩衝材の定置後飽和に至るまでの膨潤挙動に関する検討
		地層処分モニタリングシステム検討委員会	地層処分モニタリングへの適用性の視点に立った技術メニューの整備及び技術調査に関する検討
		地層処分回収技術高度化開発検討委員会	地層処分の回収技術に関する検討
	人工バリア長期性能評価技術開発	人工バリア長期挙動検討委員会	人工バリアの長期性能の評価手法を確証するための技術的事項に関する検討
		ガス移行挙動評価検討委員会	人工バリアシステム及び周辺岩盤でのガス移行挙動を評価するための技術的事項に関する検討
	ヨウ素・炭素処理・処分技術開発	炭素 14 放出挙動検討委員会	放射化金属廃棄物から放出される炭素 14 の放出移行挙動を確証するための試験手法及び評価に関する検討
		廃棄体開発検討委員会	TRU 廃棄物の処分における、炭素 14 の長期閉じ込めのための廃棄体開発に関する検討
		ヨウ素固定化処理技術開発委員会	ヨウ素固定化に関する固定化技術、固化体のヨウ素放出抑制能等に関する検討
	量子化学的手法を用いたニアフィールド現象の評価技術の整備	量子化学計算ワーキンググループ	量子化学計算手法の性能評価上の課題に対する適用性の評価、課題及び解決方策等に関する検討
3. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究	放射性廃棄物重要基礎技術研究調査	地層処分重要基礎技術研究委員会	大学等の所属研究者による基礎的・基盤的な研究の実施における、研究テーマの選定や進捗評価等
		ナチュラルアナログ検討委員会	ナチュラルアナログサイトにおける調査方法及び調査結果に関する検討
4. 放射性廃棄物処分への理解促進	地層処分実規模設備整備事業	地層処分実規模設備整備事業検討委員会	地層処分実規模設備整備事業の計画、実施内容等に関する検討

原環センター 2011年度 技術年報

2012 年 10 月発行

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター
〒104-0052 東京都中央区月島一丁目 15 番 7 号
パシフィックマークス月島 8 階

TEL 03-3534-4511 (代表)

FAX 03-3534-4567

URL <http://www.rwmc.or.jp/>

本誌の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、
企画部にお問い合わせください。