

RWMC

原環センター
2010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、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係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TRU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。

この技術年報は、当センターが2010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。

2011年3月の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故により、原子力をめぐる環境は大きく変わりつつありますが、原子力技術分野に関わる一員として、厳しい認識に立ち、調査研究活動に取り組んでまいりますので、今後ともご指導くださるようお願いいたします。

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認試験.....	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. 人工バリア長期性能評価技術開発.....	13
2-1 人工バリアの長期挙動の評価.....	13
2-2 ガス移行挙動の評価.....	15
3. ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発.....	17
3-1 ヨウ素固定化処理技術開発.....	17
3-2 C-14 の長期閉じこめ技術の高度化.....	19
3-3 放射化金属廃棄物中の C-14 放出挙動評価.....	21
4. 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.....	25
5. オーバーパック溶接部の亀裂進展挙動評価の高度化に関する調査.....	29
6. 人工バリアの状態変化の統一的な記述に関する調査.....	31
7. その他の地層処分に関する調査研究.....	32
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.....	41
3. 放射性廃棄物処分の諸外国の安全規制に係る動向調査.....	43
4. 放射性廃棄物処分の安全審査指針等に関する調査.....	45
5. 放射性廃棄物処分への適用のための一般廃棄物処分場モニタリングに 関する基礎調査.....	46
6. その他の放射性廃棄物全般に共通する調査研究.....	48
IV. 放射性廃棄物処分への理解促進.....	49
1. 地層処分実規模設備整備事業.....	49
V. 国際交流.....	53
VI. 資料.....	55

1. 講演会・セミナー等	55
2. 論文投稿、外部発表等	57
3. 原環センター技術報告書	66
4. 刊行物	66
5. ホームページへの海外最新情報の掲載	67
6. 委員会一覧	70

1. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

1. 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認試験

◇事業の概要

地下50m~100m程度の深度にある大断面地下空洞にコンクリートの処分ピットを構築し、その周囲をベントナイト等の緩衝材で覆う地下空洞型処分施設は、低レベル放射性廃棄物のうち放射性物質の濃度が比較的高い廃棄物を対象としているため、これまでの浅地中処分施設の建設とは異なる設計や施工技術が必要とされている。これらの基礎となる試験データ等は、主に実験室規模での要素試験が中心であり、実規模処分施設の設計・建設では、実証的な試験が重要である。

「地下空洞型処分施設性能確認試験」は、こうした実証的試験の必要性にこたえるため、ベントナイト材料やセメント系材料等の人工バリアの地下空洞内での施工性と品質の確認を主たる目的として行うものである。

本試験では、地下約100mに掘削された幅約18m、高さ約16mの空洞において、地下空洞型処分施設を模擬した実規模の試験施設を構築し、以下の試験を実施する。

(1) 処分施設施工確認試験

地下空洞環境下での実規模施工により、施工方法、手順、品質管理方法等の適用性を確認する。

(2) 初期性能確認試験

施工された施設について、力学的安定性、核種閉じ込め性等の初期性能を確認する。

(3) 施設/周辺岩盤挙動計測

施工された施設の力学挙動や試験位置周辺の地下水挙動等を計測する。

本事業は、平成17年度より開始し、初年度は試験の基本計画を策定した。平成18年度は、試験の詳細計画の策定を行うとともに、セメント系材料の予備試験の実施、海外の地下研究施設の調査、周辺岩盤挙動計測のための一部の計測器の設置を行った。詳細試験計画に基づき、平成19年度から試験空洞内において実規模施工試験を本格的に開始し、底部・側部埋戻し材施工確認試験、底部緩衝材施工確認試験の一部を開始した。平成20年度は、底部緩衝材施工確認試験の残り、底部低拡散材、底部・奥部・側部コンクリートピットについ

での施工確認、セメント系材料・ベントナイト材料特性に係わる基礎的なデータの取得等を行った。平成21年度は、側部低拡散材及び手前部コンクリートピット、充填材・上部充填材及び側部緩衝材の一部等で施工確認試験を実施した。材料特性把握のためセメント系材料特性・ベントナイト材料特性について基礎的なデータを取得した。平成22年度は、充填材・上部充填材及び側部緩衝材等の施工確認試験を実施すると共に、セメント系材料特性・ベントナイト材料特性に係わる基礎的なデータを取得した。

また、施設・周辺岩盤の挙動観測のため、平成19年度から計測器を施設や周辺岩盤に設置し、計測した。

図-1に地下空洞型処分施設の概念図を示す。表-1に本事業で設定した試験施設の主な仕様、目標性能を示す。

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22年度 管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確認試験 報告書

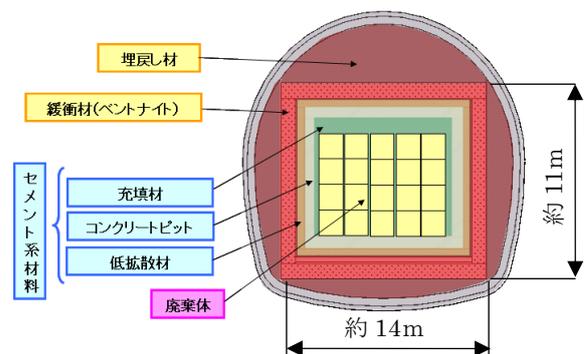


図-1 地下空洞型処分施設の概念図¹⁾

(一部加筆)

表-1 試験施設の主な仕様等

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0.8m、側部・上部0.7m	
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 22 年度の成果

平成 22 年度は、充填材・上部充填材及び側部緩衝材について施工確認・初期性能確認試験を実施した。同時に、これら部材に対し計測設備を設置し、施工に伴う計測を行った。また、ひび割れ解析・評価、セメント系材料・ベントナイト材料特性に係るデータの取得等を実施した。以下に平成 22 年度の成果の概要を紹介する。

(1) 充填材施工確認・初期性能確認試験

充填材の施工・作業時においては、充填性、強度特性が要求される。実施設の施工上、充填作業は長距離搬送や遠隔操作（無人化施工）で行われ、廃棄体の発熱による高温下での狭隘な廃棄体間への高い充填性が求められる。

充填材試験については、平成 21 年度にポンプ圧送による施工確認試験により自己充填性や流動性を確認しており、本年度は、バケットによる運搬、打設を想定した施工確認試験を実施した。また、充填材の充填による側部コンクリートピットや側部低拡散材に与える影響を確認した。

材料配合は、平成 21 年度と同様に高い流動性を有する低熱ポルトランドセメントにフライアッシュを混入したモルタルを使用し、地下空洞内での充填材施工確認試験を実施した。試験位置を図-2 に示す。

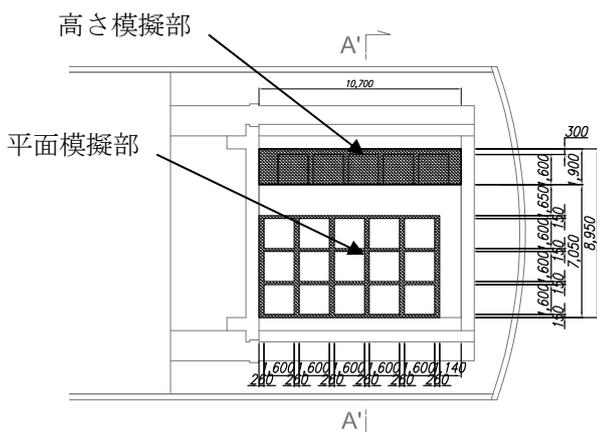


図-2 試験位置図（平面図）

1) 充填材施工確認・初期性能確認試験（平面模擬）

打設方法は、無人化施工を考慮しバケット打

設とした。模擬廃棄体 15 体の廃棄体間の 4 箇所にバケットを設置し、移動時間を模擬した間隔で打設を行い、自己充填性や流動性を確認し、実施設への適用性を検証した。また、初期性能確認試験により部材の物性値を把握した。

充填材施工確認試験の結果、狭隘な廃棄体間への充填により自己充填性が確認され、流動性については平成 21 年度実績とほぼ同等であることが確認された。これらのことから、打設面の高低差の調整は打設量の加減により十分対応できることを確認した。

充填材の硬化後、コンクリートピットと充填材、模擬廃棄体（普通コンクリート製）と充填材の間に 1mm 程度の間隙が生じた。この原因は、充填材の水分がピットや模擬廃棄体への吸水と判断した。実施設では、廃棄体表面は鋼製であり吸水は起こらないが、コンクリートピットと充填材の間には間隙が発生する可能性がある。この対応策としては、単位水量等の配合の見直しが考えられる。

施工確認試験の実施状況を写真-1 に示す。



a. バケット設置状況

b. 充填材充填状況

写真-1 充填材施工試験状況

2) 充填材施工確認試験（高さ模擬）

コンクリートピット内の左側部分を底部からピット上部まで充填材を充填し、側部コンクリートピットや側部低拡散材に与える影響を確認した。

打ち上がり速度約 1.9m/h で高さ約 6m まで打設し、その際の側圧を側部コンクリートピットに設置した圧力計（土圧計）により測定した。その結果、液圧の 70～100% 程度の側圧が発生していることを確認した。

(2) 上部充填材施工確認・初期性能確認試験

上部充填材は、廃棄体の上に打設する部材で

1. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

あり、後続する作業である上部コンクリートピット施工のため、高い遮へい性能（部材厚の確保等）が必要とされる部材である。

上部充填材施工確認試験は、バケットによる運搬、打設を想定して実施した。バケット打設では流動性確保の観点から、低熱ポルトランドセメントにフライアッシュを混入した配合を基に、熱影響を小さくするための混和剤やコンクリートピットとの隙間抑制のための膨張剤等の混入を検討し、材料配合を決定した。

打設方法は、6箇所を設置したバケットによる打設とした。打設間隔や打設バケットの位置等を変化させることでバケットの移動を模擬した。

写真-2に上部充填材施工確認試験の状況を示す。



a. バケット設置状況

b. 上部充填材充填状況

写真-2 上部充填材施工試験状況

施工確認試験の結果、コンクリートの充填状況から自己充填性を確認した。また、坑内環境下で発生したこわばり（表層に発生する硬化現象）への対策として、表面均し装置を使用した結果、流動勾配に改善が見られ、その効果を確認した。

硬化後の上部充填材には表面のひび割れ（深さ10cm程度）や、側部コンクリートピットとの間隙（幅1~2mm、深さ50cm程度）が発生した。この間隙を平成21年度の実績（100cm程度）と比較することにより膨張剤の効果により縮小していることを確認した。また、ひび割れについては打設後の養生によりかなり抑制出来ることを確認した。発生した程度のひび割れ、間隙であれば、遮蔽機能に大きな影響を与えないが、後工程の放射線量低減の観点から、抑制対策が求められる。

また、初期性能確認試験の結果、コンクリート強度は実規模の施工環境下において、材齢91

日で60N/mm²以上となっており、十分な強度であることを確認した。

以上のことから、バケット打設の適用性、施工性（自己充填性、レベリング性）、品質（フレッシュなコンクリートの材料特性・充填高さ等の出来形）、初期性能（コンクリート強度特性等）を確認した。

(3) 側部緩衝材施工確認・初期性能確認試験

緩衝材に求められる要求機能は、「止水（透水係数、密度、膨潤特性）」である。

側部緩衝材の施工は、狭隘部での実績が少ない小型振動ローラによる転圧締固め工法を選択した。使用材料はベントナイト原鉱（クニゲルGX、最大粒径10mm）を使用し、含水比調整方法は、水添加混合法式とした。

含水比調整後に側部緩衝材の一部（高さ6m×幅1.0m×奥行き11.7m、60層）を施工し、適用した施工方法の実施設への適用を検証した。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試験を実施した。

施工確認試験の結果、含水比調整については、調整後の平均は21.5%であり、含水比目標値21±2%の範囲内であった。（図-3参照）

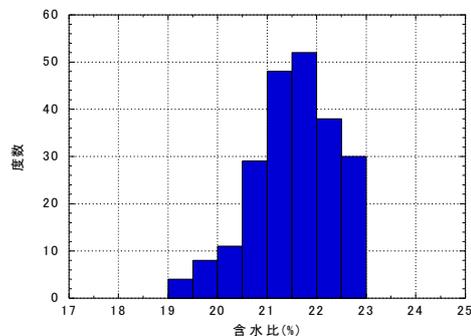


図-3 調整後の含水比分布

また、転圧締固め後の緩衝材の乾燥密度は、1.60Mg/m³前後となり、今回使用した敷均し機、小型振動ローラ等により、目標性能である平均乾燥密度1.6±0.1Mg/m³に施工できることを確認した。小型振動ローラの転圧回数と乾燥密度の関係、更に、撒出し厚さ、振動ローラ幅と乾燥密度の関係等から、施工の合理化と品質向上に繋がるデータが得られた。

初期性能試験の結果、緩衝材の透水係数は約1×10⁻¹³m/sの結果が得られ、緩衝材の目標性能

($5 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ 以下) を満足することを確認した。

施工確認試験、初期性能試験の結果、小型振動ローラによる転圧締固め工法の適用性が把握でき、施工性、品質（乾燥密度等の材料特性・層厚さ等の出来形）、初期性能（透水係数、密度、膨潤特性等）が要求性能を満足しており、小型振動ローラによる転圧締固め工法の実施工への適用が可能であることを確認した。

小型振動ローラによる振動転圧状況を写真-3に示す。



写真-3 小型振動ローラの振動転圧状況

(4) 挙動計測および計測システム設置

本年度施工した充填材、側部緩衝材（一部）の挙動を計測するための計測器 8 個（土圧、温度計、加速度計）を設置し、平成 21 年度までに設置した計測器を含め、計測データを取得した。また、これら計測データを集中監視するための計測システムに対し、本年度追加した計測器の信号受信のため、スイッチボックス等の増設を行った。

(5) ひび割れ解析・評価

セメント系部材のひび割れ予測・評価はセメント系人工バリアに係わる重要な検討項目であり、実施設のひび割れ予測手法として適用できる解析手法の確立を目的としている。

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、平成 21 年度までに施工されたすべての部材で構成される解析モデルに対し、その解析結果と挙動計測データの比較・精査により、ひび割れ予測手法の精度の向上を図るものである。

本年度は、打込み温度を変えた断熱温度上昇試験結果を参照の上、施工時打込み温度に応じた断熱温度上昇特性値を考慮して精度向上を図った。その結果、温度解析の断熱温度上昇特性

に温度依存性を考慮することで、解析値と計測値の誤差は低減し、特に、打込み温度が低い底部コンクリートピットでの改善効果が大きいことを確認した。

側部低拡散材の応力解析結果によるひび割れ指数分布と、側部低拡散材左壁で観察結果を比較すると、ひび割れが多い部材下側のひび割れ指数は相対的に小さくなっており、解析によってひび割れ発生位置を概ね推定できる可能性を示す結果となった。

(6) 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、品質管理手法の信頼性向上を目的とし、拡散係数の測定と代替指標の可能性について検討を行い、定常拡散試験等を実施した。拡散試験は、現地で打設された低拡散材から採取した試料を対象に試験を行った。現地打設試料による拡散試験の結果、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、本年度は、現地で打設されたコンクリートピットの拡散試験を開始した。

(7) ベントナイト系材料特性測定

緩衝材部材の力学挙動のうち、膨潤特性およびクリープ特性について、飽和後の中・長期的安定性に関する定量的な評価に必要な物性値を取得するために、膨潤変形試験および不飽和載荷（クリープ）試験を実施した。

膨潤変形試験は、現地採取試料を対象にした膨潤変形量と室内成形試料を対象にする結果が概ね同等の値となった。また、室内成形試料による結果と既往知見はほぼ一致した。これらの結果から緩衝材の膨潤特性値を特定することができた。

クリープ試験では、不飽和領域におけるクリープ挙動に関して、室内成形試料を対象にする試験結果と既往知見を比較すると、概ね同様な傾向を示すことが分かった。

- 1) 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 資料「余裕深度処分の安全確保の考え方」平成 19 年 11 月 15 日 電気事業連合会

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

低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分、浅地中処分、ウラン廃棄物の処分等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った。

2) L2/L3 廃棄体等の標準的な製作方法及び検査方法に係る民間規格整備に関する調査

L2（ピット処分）/L3（トレンチ処分）廃棄体等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った。

3) L2 浅地中処分の安全評価手法の標準化に関する調査

L2 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った。

4) 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。

5) 非破壊放射能測定システム構築に係る廃棄体不均質性の評価

大型／角型容器を用いたピット処分対象廃棄体の非破壊放射能測定の実現性について検討を行った。

6) ウラン廃棄物処理処分方法の最適化に関する研究

ウラン廃棄物の処理処分方法の最適化に資するため、関連する海外の制度及び費用について調査検討を行った。

(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トの遠隔溶接・検査及びオーバーパット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、地質環境条件及び様々な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トの溶接・検査、オーバーパットと緩衝材の搬送・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フェーズとしては、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 -

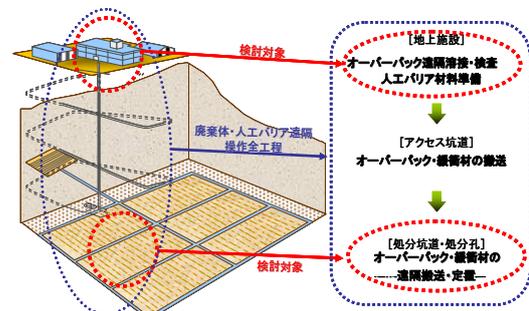


図-1 本事業の検討範囲

◇平成22年度の成果

(1) 遠隔溶接・検査技術の開発

オーバーパットの溶接法及び材料(母材、溶接材料)組成を考慮した溶接技術開発を継続した。

溶接法を考慮した溶接技術の開発については、減圧電子ビーム溶接法(RPEBW)に関して溶接試験を実施し、実規模オーバーパットの落とし蓋(80mm厚)、平蓋(190mm厚)構造について、溶接が可能であることを確認した。一方、安定した溶接施工のための溶接条件、残留応力の発生を低減する開先構造の再検討などの技術課題を抽出した。

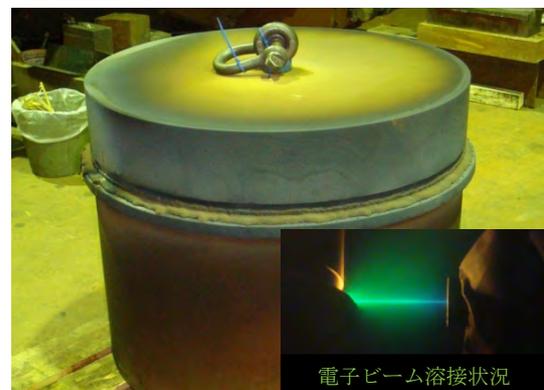


図-2 RPEBW適用性確認試験

また、TIG 溶接法(タングステン合金製電極、不活性ガスを用いたアーク溶接法)を高速化する回転偏芯電極 TIG 溶接法に関して溶接試験を実施し、実規模オーバーパック落とし蓋構造への適用性を確認、TIG 高速化の可能性を提示した。



図-3 回転偏芯電極 TIG 溶接法適用性確認試験

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)に関して、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。また、ノイズ低減を目的とした送受信分離型探触子を製作し、適用性を確認した。

さらに、第2段階の技術メニューの整備にあたって、遠隔操業システムの成立性を考慮した構築方法を検討し、平成22年度までの開発成果を個別技術シートに整備した。

(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)施工に関わる搬送技術については、実規模寸法(外径2.26m,長さ3.17m)および重量(約35t)のPEM模擬体に対して、圧縮空気によりPEMを浮上させて運搬させるエアベアリングを用いた搬送装置の適用性確認試験(図-4)を実施し、曲面形状を持つ坑道を搬送可能であること、また、走行面の段差に対して上敷き材を用いた場合の適用範囲、さらに、上敷き材を用いない場合の個別エア制御による対応可能性を確認した。試験結果から、エアベアリングを用いた搬送装置の仕様(エアベアリングの配置や設置数等)を提示した。

PEM 製作・組立技術については、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 PEM の製作・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方式で製作し、密度などの目標品質が確保できることを確認した。また、遠隔操作による組立が可能で

あることを確認した。

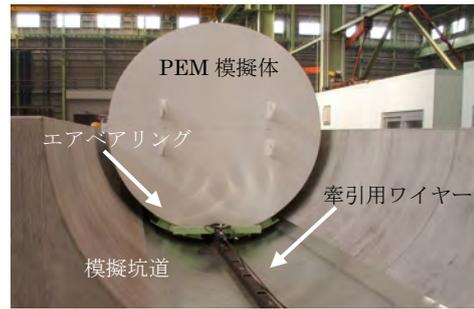


図-4 PEMの搬送・定置実験

回収技術に関する検討では、縦置き処分概念を対象とした実規模スケール緩衝材除去試験(図-5)を実施し、実規模スケールの緩衝材が塩水を利用して除去可能であることを確認した。また、塩水供給ユニット、塩水によってスラリー化した緩衝材の吸引部、遠心分離機による固液分離部などで構成される緩衝材除去システムの基本概念を構築した。さらに、緩衝材除去に利用した塩水は遠心分離機を用いて固液分離すると再利用できることを確認し、地上での概念の成立性と実規模適用の可能性を確認した。



図-5 緩衝材除去試験

遠隔操業システム成立性の提示と技術メニューについては、技術メニューの整備に係わる検討を行い、遠隔搬送・定置システムに関わる要件、機能・性能、制約を抽出・整理した上で、「システムメニュー」「要素技術メニュー」「知見シート」に情報を階層化する、技術メニューの構築手法を整備した。さらに、遠隔搬送・定置システム成立性については、リファレンスとなる処分サイト条件における遠隔搬送・定置システムの構築を試行することにより、遠隔搬送・定置システムの構築手法を提示した。さらに、例として湧水と不陸に着目した操業環境の多様性への影響を考慮したシステム構築を試行し、必要な要素技術を適切に選択できることを確認した。

- 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―、1999年

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

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 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 2 分冊）－人工バリア品質評価技術の開発－

◇平成 22 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。平成 21 年度に確認された緩衝材による応力腐食割れ（SCC）感受性の上昇について、要因の一つと考えられる炭素鋼-緩衝材界面の pH 変化を測定するための金属酸化物型 pH センサーの適用性確認試験を実施した。分

極による界面 pH の変化が測定され、SCC 感受性上昇のメカニズム解明の見通しを得た。

アーク溶接金属部で確認された選択的な腐食について、平成 21 年度の成果を元に Ni を添加した改良溶接材料を設計し耐食性評価試験によって、選択腐食の改善効果を確認した（図-1）。耐食性と機械的性能を合わせた品質改善手法を提示するため、今後 Ni 添加が継手性能に及ぼす影響を調査する必要がある。

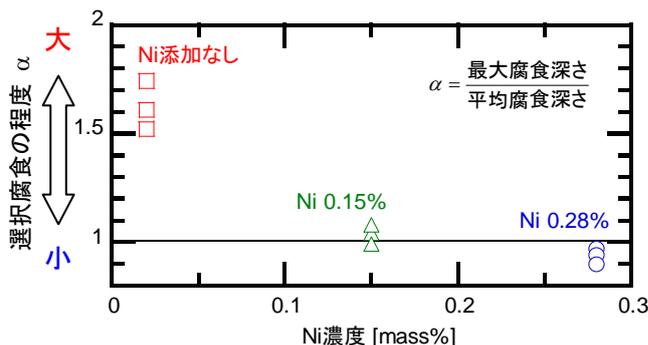


図-1 Ni 添加した改良溶接材料の選択腐食改善効果

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浸漬 500 日間の腐食速度測定、および表面酸化被膜の分析を行った。水素発生量から平均腐食速度は約 $2 \times 10^{-2} \mu\text{m} \cdot \text{y}^{-1}$ と見積もられ、母材-溶接金属間で大きな差は無く、浸漬初期(100 日間)に比べて約 1/4 に低下した。試験片表面には厚さ 200nm 程度の被膜が生成し、エネルギー分散型 X 線分析 (EDX) の結果、チタン酸化物だけではなく海水由来の Mg など含まれていることがわかった（図-2）。

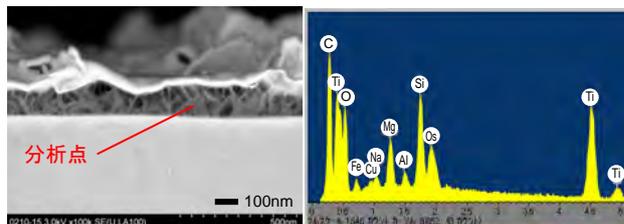


図-2 Ti-0.15Pd 溶接金属部表面に生成した被膜の FE-SEM 断面像（左）と EDX 分析結果（右）

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、残留応力解析の高速化を目的とした「溶接パスまとめ」の妥当性と有効性を確認した。PWHT（溶接後熱処理）による残留応力低減効果について、等温保持過程だけ

ではなく昇温・降温過程のクリープ挙動も考慮した解析を行った結果、昇温過程において残留応力が著しく低減されることが明らかになった(図-3)。また600℃でPWHTを6時間実施しても、ガラス固化体が500℃を超えないことが解析により確かめられた。今後は解析による応力低減に加え、PWHTによる溶接組織の変化が耐食性に及ぼす影響も考慮してオーバーパック溶接部に適した品質改善手法を提示することが重要である。

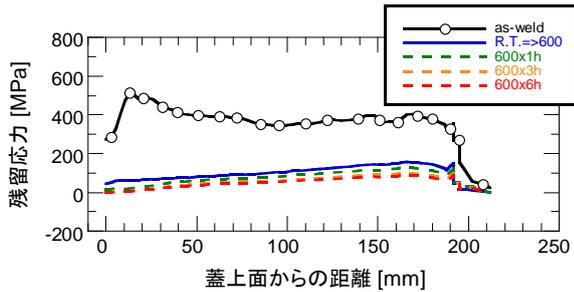


図-3 落し蓋溶接金属内周方向の残留応力低減に及ぼす保持時間の影響(ABAQUSによる解析)

(2) 緩衝材品質評価技術

再冠水時の緩衝材に発生する様々な事象を個々に評価できるように、理想的な小規模試験から、単純な系における土槽試験、複雑系における工学規模試験へとスケールアップさせることを基本方針とした。平成21年度から小規模試験のうち、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のための試験、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実施した。

異なる密度分布が再冠水時の事象に及ぼす影響について、図-4に示すように、乾燥密度 $\rho_d = 2.0 \text{ Mg/m}^3$ の高密度供試体と $\rho_d = 1.2 \text{ Mg/m}^3$ の低密度供試体を上下に直列に繋いで膨潤試験を行い、膨潤量と乾燥密度の変化を調査した。両者は互いに均一な乾燥密度に向けて近づくが、高密度供試体は $\rho_d = 2.0 \text{ Mg/m}^3$ から 1.68 Mg/m^3 で定常化し、低密度供試体は $\rho_d = 1.2 \text{ Mg/m}^3$ から 1.45 Mg/m^3 で定常化した。

図-5に示すように、乾燥密度、応力履歴の異なる緩衝材は再冠水後も密度差が残るという現象は、従来行われてきた有効ベントナイト乾燥密度と1次元段階圧密試験との $e-\log P$ 関係から次のように解釈できる。高密度部は膨潤により、平行移動した膨潤線をたどって下降し、低密度部は高密度部の膨潤により圧密線を辿って上昇する。両者は互いに有効乾燥密度が等しくなる方向に向かうが、

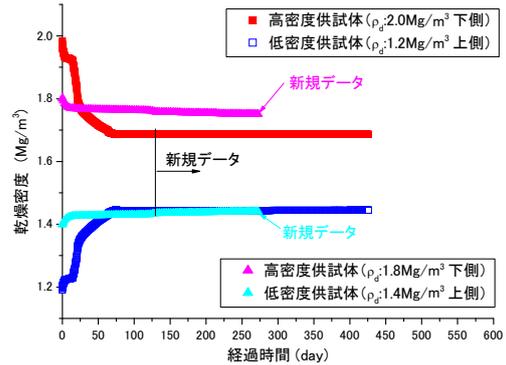


図-4 膨潤に伴う乾燥密度の経時変化

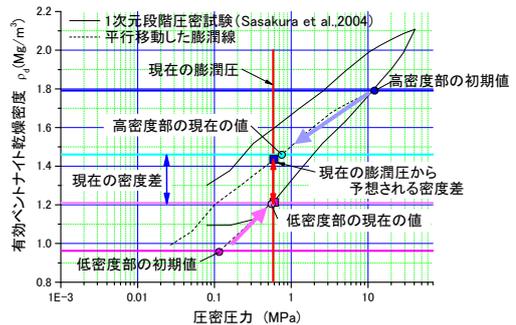


図-5 残留密度分布の力学的解釈

圧密圧力が等しくなるところで平衡状態に達し、両者には乾燥密度差が存在する。本試験の結果、緩衝材も力の釣合う点で変形が止まるという力学に則した説明が可能となった。今後は、膨潤後の乾燥密度分布と要求される透水係数との関係を取得することにより、施工法によって要求される透水係数を得られる乾燥密度範囲を示すことが課題である。

Ca型、Na型ベントナイトは、通水する液種によって膨潤圧が異なること、Na型ベントナイトについては初期に蒸留水で通水すると透水係数が低くなり、液種を蒸留水から CaCl_2 に変えてもその傾向が変わらないことを確認した。浸潤速度試験では、蒸留水の場合は、通水圧60kPaの状態において14カ月で70cm浸潤が進行し、NaCl水溶液の場合は、通水圧0kPaの状態において14カ月で70cm浸潤が進行した。浸潤フロントを推定する近似関数は、浸潤位置を $d(\text{mm})$ 、経過時間を $t(\text{day})$ とすると $d = 27.8t^{0.477}$ で表され、 $d = 1000 \text{ mm}$ 浸潤が進行するに要する時間は約5年に相当する。

今後、これらの試験結果を踏まえ、施工法(ブロック施工、ペレット施工等)に起因する密度分布、隙間、初期間隙などが緩衝材に与える影響に関する情報を得ることが重要である。

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

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かか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、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。地層処分でのモニタリングは、処分事業実施者、安全規制機関、地方自治体等がそれぞれの役割や目的に応じて実施することが考えられているため、この技術メニューでは各機関の計画するモニタリングに柔軟に対応することが出来るよう時期と場所の視点で分類・整理している。モニタリングについては、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。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。

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)ーモニタリング技術の開発ー

◇平成22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。

IAEAの技術文書³⁾ではモニタリングの主要目的として、処分場の管理上の決定のための情報提供や環境データベースの蓄積等と共に、処分システ

ムの性能確認に関する目的を挙げている。環境データベース等の目的のためのモニタリングは、既に一部の国で実績が蓄積され、あるいは既存の原子力施設等で適用されていることに比べ、性能確認のためのモニタリングについては、まだ確定された考え方がなく、検討を進める必要があるものと考えられている⁴⁾。

平成22年度は、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、水理地質の例を取り上げ、フィンランドPosiva⁵⁾及び国内⁶⁾の事例調査、検討を実施し、下記のように結論付けた。

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、モデルの確認と更新が行われる。ここで、サイトの初期状態に関するデータは、その後の建設・操業段階等に新たに集積されるデータと比較する基準となる。新たに集積されるデータが、もしこの値を超える場合には、さらなるデータの分析を行い、必要な場合にモデルの更新等が行われる。

上記の性能評価・確認の流れの中で、モニタリングにより集積されたデータは、サイトの初期状態の把握と共に、サイトのさらなる特性を把握し理解するための、モデルの更新や確認に用いられる。モニタリング結果により水理地質モデルを更新する際には、更新に用いるデータの取得範囲の設定と品質管理が重要であり、また、モニタリング結果を水理地質モデルの妥当性確認に用いる場合には、事前に判断基準を設定しておくことが重要となる。このようにしてモニタリング結果が反映された水理地質に関するモデルより、地下水流量や核種の移行時間が性能評価(核種移行解析)に反映される。性能確認に資する、水理地質、特に地下水流動に関する基本的なモニタリングパラメータは地下水位、間隙水圧、流量(湧水量、表面流出量)であり、定性的な比較として地化学(水質、地下水年代など)も適用すべきと考えられる。

今後、水理地質のモニタリングに関する各パラメータの測定手法等について追跡調査を実施すると共に、処分場システムの安全機能に影響する他のパラメータのモニタリングに関しても検討を進める必要がある。

(2)モニタリング技術メニューの整備

本研究では地層処分モニタリングに関わる技術情

報を体系的に整理し、今後の計画策定に柔軟に対応するため、技術メニューを整備している。

本年度は、現在技術メニューに収録されている機器情報を計測方式ごとに再整理するとともに、環境モニタリングに関する情報を調査し、技術メニューへ追加した。また、地中無線通信技術等の伝送技術に関する項目の技術メニューへの追加を行った。さらに、地層処分モニタリングに関する原環センター及び国内外の検討状況について、最新の状況を反映し、ユーザの閲覧性向上のための構成の見直しを実施した。

(3) 地中無線通信技術の調査研究

無線モニタリングはケーブルを配線する必要がないため、モニタリングによる緩衝材等の擾乱を低減することができる技術として、地層処分モニタリングへの適用が期待される。

原環センターでは、昨年度までに無線送信装置の小型化を図った。一方、フランスの放射性廃棄物管理機関(ANDRA)は通信距離が数 10m の中距離無線送信装置の開発を進めている。

本年度は、無線モニタリングの技術開発を効率的に行うため、ANDRA が所有するムーズ・オートマルヌ地下研究所において、両者の共同研究として以下の通信試験を実施した。

本年度に開発した直径 70cm のアンテナを持つ中距離送信装置を用いた通信試験により、深度の異なる坑道間、及び同一深度の 2 つの坑道間にて、距離約 50m での通信が可能であることを検証した。

また、平成 21 年度に開発した小型地中無線送信装置(図-1)により、距離 24m の同一深度の坑道間における通信が可能であることを検証した。

さらに、地下坑道内の鋼製部材等をモデル化し、通信試験結果の解析(図-2)を行うことにより、電磁波伝播挙動への影響を評価した。

(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。

原環センターでは、ファイバブラッググレーティング(FBG)式センサについて、室内試験と工学規模試験により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-応力連成試験(COUPLE)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センサ付)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。約300日の試験において、FBG圧力センサは電気式圧力センサよりも大きな測定値を示し、この原因として温度補正用FBGセンサへの圧力影響が推定された。これに続く試験では改良を施した圧力センサを導入しており、次年度も継続して経過確認を実施する。



図-1 小型地中無線送信装置 外観

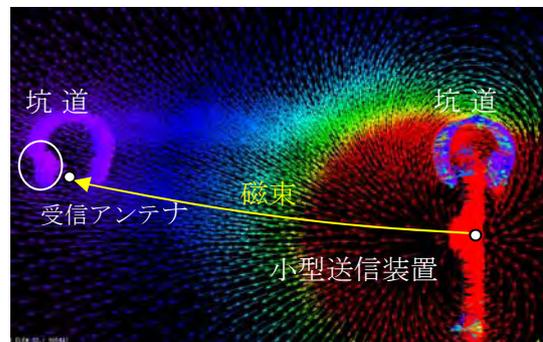


図-2 小型地中無線送信装置による試験結果解析例

- 1) 原環センター技術報告書「地層処分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「地層処分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) IAEA, 2001, Monitoring of Geological Repositories for High Level Radioactive Waste, TECDOC-1208.
- 4) MoDeRn, 2011, National Monitoring Contexts Summary Report, <http://www.modern-fp7.eu/>.
- 5) Mikko Nykyri, et al., 2008, Radionuclide Release and Transport RNT-2008.
- 6) 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次取りまとめ 分冊1、1999

2. 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の確立を目的とするものである。

2-1 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バリア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-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動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、その結果と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-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 22 年度 地層処分技術調査等委託費 TRU 廃棄物処分技術 人工バリア長期性能評価技術開発報告書 (第 1 分冊) -人工バリアの長期挙動の評価-

◇平成 22 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挙動を予測する解析手法の信頼性を高める目的で、多様なセメント系材料および 50 年～80 年の長期材齢を経たセ

メント系材料の溶解変質試験を実施し、既存の解析手法への反映事項を検討した。また、セメント系材料の変質に伴う物質移動、力学特性変化を表すモデルの検討として、21 年度まで構築してきた物質移行特性評価モデル(ランダムウォークモデル)を用いて、促進溶解試験から得られた溶脱試料の拡散挙動を評価した。溶脱試料の反射電子像から、3次元イメージの空隙構造モデル(図-1)を作成し、ランダムウォークモデルにより塩化物イオンの拡散係数を計算した。計算結果(解析値)は、実験結果から逆解析した拡散係数(実験値)と比較して小さかった(図-2)。これは、解析に用いた空隙率と拡散係数の関係式に、未変質のセメント系材料の珪酸カルシウム水和物(C-S-H)のそれを使用しているためである。材料の変質に伴う物質移行を表すモデルを高度化するには、今後、溶解変質した試料の C-S-H の空隙率と拡散係数に関するデータの蓄積が必要と考えられた。

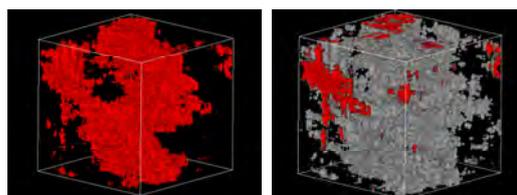


図-1 3次元空隙モデル(赤色:空隙、灰色:C-S-H)

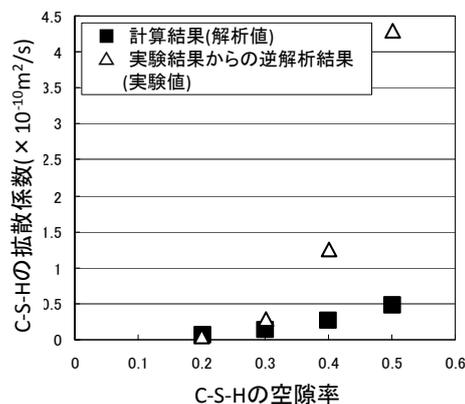


図-2 C-S-Hの空隙率とC-S-Hの拡散係数の関係

(2)セメント-ベントナイト相互影響の確証試験

平成 22 年度は、ベントナイト材料の多様性に適応した二次鉱物の生成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 MX80 (アメリカ・カリフォルニア産) をおのおの用いて作成したセメント-ベントナイト接触供試体の長期浸漬 (6 年) 後の、界面近傍の二次鉱物の

分布を、XAFS (X線吸収微細構造) を用いて分析した。

その結果、MX80 を使用した試料の方が、界面近傍で生成する C-S-H の量が少なく、生成位置も表面付近に限られていることが示され (表-1)、ベントナイトに含まれる二次鉱物の鉱物種や、物理的な性質等の違いにより、セメント系材料の影響に差が生じることが示された。

表-1 XAFS 分析によって得た接触試料の Ca 鉱物の相対量

Type of bentonite	Distance from the boundary (mm)	Results by using XAFS (The mass proportion of the mineral containing Ca to total Ca in the each zone, unit:%)					Ca content of solid phase by using EPMA(%)
		C-S-H	Ca-mont.*	Calcite	Dolomite	Plagioclases	
Kunigel VI	0~1	66.4	31.4	2.0	0.2	0.0	5.7
	1~2	65.4	30.5	0.5	3.5	0.0	4.5
	2~3	64.5	18.8	6.2	5.3	5.1	3.5
	4~5	61.1	20.7	6.3	6.1	5.8	3.2
	12~13	33.2	25.3	13.9	15.1	12.5	1.6
MX80	0~1	43.4	48.4	1.3	0.0	7.0	2.3
	1~2	20.7	59.2	11.1	0.1	8.9	1.6
	2~3	23.0	51.2	7.9	1.5	16.4	1.7
	4~5	19.4	57.7	11.4	0.8	10.7	1.5
	12~13	8.3	69.2	13.3	2.4	6.8	1.1

Determined by calculation with REX2000 Ver. 2.5.9; *; mont.=montmorillonite

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、圧縮圧力の影響を調べた。圧縮状態でのモンモリロナイトの溶解速度は、粉体で測定したモンモリロナイトの溶解速度よりも常に遅く、当初に懸念された圧縮にすることによって生成する結晶の歪みによる溶解の加速はないことが確認された。また、図-3 の点線で示したように、歪みを予め除いたもの (Skunipia) 以外のモンモリロナイトの溶解速度は、密度が増すことにより遅くなったが、速度と密度の関係はある密度 (今回の測定では 1.3 Mg/m^3) にピークを持った。

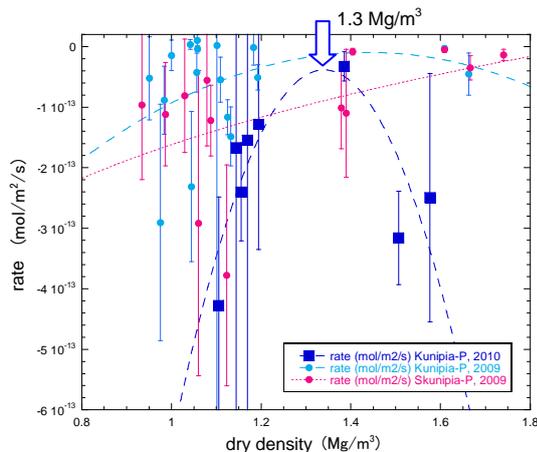


図-3 モンモリロナイトの溶解速度 (密度依存性)

しかし、密度が高い状態でも時間の経過と共に

速度は小さくなることも分かり、長期的には圧縮されたベントナイトの溶解速度は、粉体のベントナイトの溶解速度に比べ1桁以上遅くなると考えられる。

また、天然事例の調査として、平成 21 年度に地下水がアルカリ性 (pH≒10.5) を呈する東海大学湘南キャンパス構内でのボーリングを実施し、海拔-230m 以深の丹沢層のコアに含まれる鉱物を詳細に分析した。モンモリロナイト (スメクタイト) がカルサイトに包有されている状態が観察され (図-4)、このことにより、モンモリロナイトの生成より後にカルサイトの沈殿が起きていることが推察される。カルサイトの沈殿に着目し、地下水の化学組成の変化または温度変化を検討することにより、モンモリロナイトの変質状況の推定に一定の枠組みを与えることが出来るものと考えられる。具体的には、カルサイトと接するモンモリロナイトの組成分析及び同位体比に基づくカルサイトの生成温度の推定を行う。

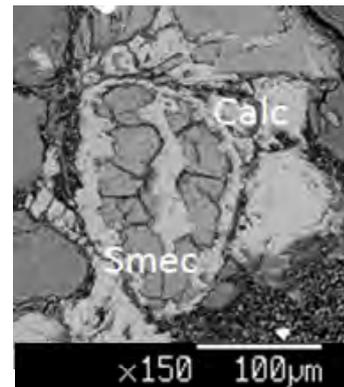


図-4 (GL-241.3m)の反射電子線像 (Smec=スメクタイト, Calc = カルサイト)

この他、ベントナイト系材料の変質に伴う力学特性、物質移動の変化を表すモデルの検討として、ベントナイトがモンモリロナイトと非膨潤性鉱物の混合材料であるとの観点から、Na 型モンモリロナイトと粒度調整したケイ砂との混合材料 (人工ベントナイト) とクニゲル VI (天然ベントナイト) の力学特性の同一性について検討した。

人工バリア性能評価解析の高度化については、セメント系材料の長期変質挙動及びセメント-ベントナイト相互影響のそれぞれの確認試験により得られた人工バリア材の変質に関するデータと、解析により予測される結果とを比較し、解析条件の妥当性を検討した。

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

2-2 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発生する可能性があるガスを対象に、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る。さらに、よ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、TRU 廃棄物処分に係る人工バリア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。

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 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)ーガス移行挙動の評価ー

◇平成 22 年度の成果

平成 22 年度は、「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た。

(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 20～21 年度の成果^{2),3)}に基づき、下記の試験を実施した。

・基本特性要素試験

ガス移行評価において重要な供試体の飽和状態を試験中に速やかに確認する目的で、全応力センサーと間隙圧センサーを改良した。また、供試体の飽和時間短縮を目的とした再冠水試験を実施し、初期飽和度 90% の条件ではガス透気試験に適した飽和供試体が作成されたが、50% の条件では均一な飽和に至らず、手法等に課題を残した。

・飽和・不飽和力学試験

サクシオン(飽和度)変化による力学諸特性の把握のため、膨潤・圧縮挙動試験とせん断強度のサクシオン依存性に関する予備的試験(一面せん断、三軸圧縮)を実施し、前年度に示唆された除荷(吸水)と載荷(排水)過程でのヒステリシスの確認、および力学連成解析に必要なベントナイトの膨潤変形特性データの取得を行った。

・寸法効果評価試験

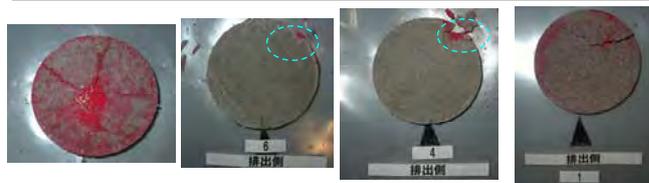
前年度までの成果を踏まえ、ベントナイト系材料のガス透気試験における寸法効果に関するデータを取得するとともに、透気経路の可視化方法について検討した。

本年度に実施したガス透気試験のうち、破過に至った試験ケースの条件を表-1 に示す。不飽和供試体(直径 60mm、高さ 50mm)へはガス圧増加速度 0.1MPa/2 日と 0.1MPa/4 日の 2 ケースにて試験を行った。その結果、Graham らの研究で示された破過現象が見られなくなる飽和度の閾値の特定に至る傾向と同様なことを確認した。一方、既往の研究で示されているガス圧増加速度の低下に伴い破過圧が低下する状況は確認できなかった。

また、寸法効果の把握を目的に実施した完全飽和供試体(高さ 25mm、50mm)を用いたガス透気試験(ガス圧増加速度:0.1MPa/2 日)では、25mm 供試体で 1.5MPa、50mm 供試体で 2.0MPa と、破過圧力に寸法効果が認められる結果が得られた。また着色料を用いた可視化試験結果より、供試体側面からの破過形跡が確認された(図-1)。

表-1 寸法効果評価試験、破過供試体の試験条件

ケース	供試体 高さ	初期 飽和度	ガス圧 増加速度	破過圧	破過 位置
UG①	50mm	90%	0.1MPa/2 日	0.7 MPa	側部
UG②	50mm	90%	0.1MPa/4 日	1.3 MPa	側部
UG③	50mm	70%	0.1MPa/2 日	破過せず	—
SG①	25mm	飽和	0.1MPa/2 日	1.5MPa	側部
SG②	50mm	飽和	0.1MPa/2 日	2.0MPa	側部



供試体底面(ガス/着色料注入側) → 供試体上面(ガス/着色料排出側)

図-1 破過供試体の可視化結果(ケース UG①)

(2) モデル化・解析手法の高度化

・室内試験データによる確証計算

平成 21 年度に本研究で実施された 3 ケースの室内試験より得た結果を基に、圧力依存透過特性モデルによる再現解析を実施し、水の浸潤過程における移行機構とガス移行過程における水とガスの相互干渉等を解析結果より推定した。

・施設の長期変遷を考慮したモデル化・解析手法の確立

考慮する現象や使用するデータが有する不確実性を取り入れた解析手法（モンテカルロシミュレーション結果を基に設定したパラメータを用いた坑道2次元断面モデル解析：表-2）により、評価指標の定量化を試みた。解析結果より得られた評価指標の不確実性の幅は、廃棄体中央部の最大ガス圧 5.87~5.95MPa、坑道外への累積排水量 4.23~6.04Nm³/m となり（図-2）、不確実性の低減には、ガス発生時における人工バリア内部の水分と空隙の状態把握が必要であるとの結論を得た。

表-2 モンテカルロシミュレーション結果を基に設定した解析パラメータ

ケース	浸透率 ($\times 10^{-20}m^2$)	間隙率 (-)	膨潤圧 (MPa)	初期飽和度 (-)
1(平均)	4.71	0.503	0.295	0.514
2(危険側)	4.38	0.523	0.456	0.164
3(安全側)	6.05	0.545	0.375	0.723

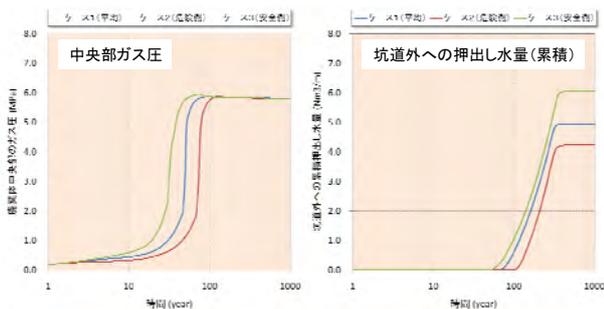


図-2 2次元解析により得られた不確実性の幅

・データライブラリの高度化

化学基本特性に関するモデルとパラメータの追加登録に伴い、ライブラリの改良、各種モジュールの更新を実施すると共に、不確実性を有するデータの利用に対応した標準機能の拡張を行った。また、登録されている各種パラメータの同定経緯等を取り纏めると共に、ライブラリの改良や機能拡張に伴うマニュアルの改訂を行った。

(3)ガス移行挙動評価手法の構築

・シナリオの整理

ガス発生・移行に関わる最新の文献や第2次TRUレポートを基にした既往解析結果について調査・整理した。また、人工バリアの時系列状態変化を踏まえて、現実的と考えられるガス発生量・ガス発生速度について検討し、この条件を基に、発生したガスの溶解やガス発生量の変動が処分シ

ステム内の蓄圧、人工バリアからの排水、周辺岩盤へのガス移行挙動に与える影響の把握等を目的とした水・ガスの二相流解析を実施した。以上の文献調査や解析結果を基に、時系列状態変化表の不確実性の低減を行うと共に、各事象を具体化した同表詳細版を改訂した（表-3）。また、併せて昨年度構築したシナリオ整理シートもこれらの成果を踏まえ、改訂した。

表-3 時系列状態変化表詳細版（一部抜粋）
（緩衝材飽和時/廃棄体～ベントナイト緩衝材）

項目	化学 (Ch)	放射線 (R)	微生物 (B)	ガス (G)	物理 (P)
緩衝材飽和時	初期特性 地下水中に溶解した放射性核種が緩衝材の空隙に溶解し、緩衝材の空隙率が増加する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。	放射性核種が緩衝材の空隙中に溶解し、緩衝材の空隙率が増加する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。	-	<発生>放射性核種分解 (初期)遅延したため、増加しない。	緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。
緩衝材飽和時	地下水中に溶解した放射性核種が緩衝材の空隙に溶解し、緩衝材の空隙率が増加する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。	放射性核種が緩衝材の空隙中に溶解し、緩衝材の空隙率が増加する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。	-	<発生>放射性核種分解 (初期)遅延したため、増加しない。	緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。
緩衝材飽和時	地下水中に溶解した放射性核種が緩衝材の空隙に溶解し、緩衝材の空隙率が増加する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。	放射性核種が緩衝材の空隙中に溶解し、緩衝材の空隙率が増加する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。	-	<発生>放射性核種分解 (初期)遅延したため、増加しない。	緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。この結果、緩衝材の空隙率が飽和状態に達する。

・安全評価手法の構築に向けた検討

ガス移行挙動に関連する研究の動向について調査し、現状と課題を整理した。ここでは、TRU廃棄物処分場や諸外国の放射性廃棄物処分場において求められる安全機能のうち、ガスが及ぼす影響に対する考え方に着目した。また、諸外国の安全評価書等における影響評価上の取扱いについても調査し、考え方や検討結果を併せて整理した。

- 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) (公財)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

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

3. 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における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が成立する代替技術の開発を目的としている。

3-1 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発生する廃銀吸着材に含有されるヨウ素 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、地下水によって地表まで移行する間の I-129 の減衰は地下水流速等の地質環境の影響を受けやすく、TRU 廃棄物の地層処分の安全評価において、被ばく線量に大きな影響を及ぼす。

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、開発が進められた。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、より詳細な検討が行われた。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ライト(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 22 年度 地層処分技術調査等委託費 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) -ヨウ素固定化処理技術開発-

◇平成 22 年度の成果

(1)岩石固化技術

岩石固化体からのヨウ素放出挙動は、①固化体マトリクスの溶解、②AgI 溶解、③空隙中の拡散の各素過程が関与すると想定され、長期挙動を把握するためには、岩石固化体からのヨウ素放出に伴う固化体構造の変化を把握する必要がある。そこで、 H_2S 水溶液に 300 日間浸漬させた。溶液が浸入した部分では、浸漬前に確認されたヨウ化銀(AgI)の代わりに硫化銀(Ag_2S)の存在が確認され、空隙率も増加した(図-1)。溶液中の H_2S と AgI とが反応してヨウ素を放出し、 Ag_2S を析出したと考えられ、空隙の増加も、主にこの反応によるものと考えられる。ヨウ素放出の長期挙動を把握するためには、固化体内の空隙の拡大等、空隙構造変化を把握することが重要であることが分かった。

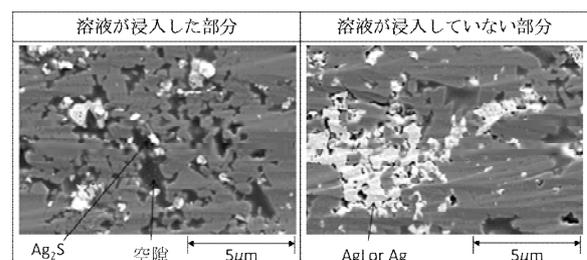


図-1 浸漬 300 日後の固化体断面の SEM 画像

一方、固化体マトリクスであるアルミナの溶解挙動については、コランダム等の試薬を用いて、マトリクスの溶解に伴い二次鉱物の生成を確認し、環境条件によって異なるアルミナの水酸化物が固化体マトリクスの制限固相となることが分かった。

(2)BPI ガラス固化技術

BPI ガラス固化体からのヨウ素放出は、ヨウ素をガラス中に均一に分散させることにより、ガラスマトリクスの溶解で制限できる可能性がある。そのため、BPI ガラス固化体の化学構造を詳細に検討し、ガラスの溶解に関する知見を蓄積するとともに、BPI ガラス固化体の溶解とヨウ素、ガラス成分の放出挙動を把握する必要がある。

固化体の化学構造について、Zn、Bi 及び I の XAFS (X 線吸収微細構造) 解析を行い、周辺構造に関する情報を収集した。その結果、BPI ガラス固化体中の Bi は 3 価で存在し、隣接元素は酸素であった。また、Zn の配位数は 4 配位であり、結合距離は Zn-O とほぼ同じであることを確認した。

また、BPI ガラス固化体からのヨウ素の放出挙動を把握するための試験としてガラスのひび割れの影響を評価するために、試料のサイズ・形状を変化させた浸漬試験を行った。単位体積当たりの表面積 (SA/V) を 0.1~9.0 cm⁻¹ で変化させた場合でも、ヨウ素浸出量の変化は 2 倍以内であった (図-2)。製造時の熱収縮や処分後の諸要因によって、BPI ガラス固化体が粉々になるまで割れや破碎が進展したとしても、破碎係数 FF=2 程度を見込んでおけば、十分であることが推測される。

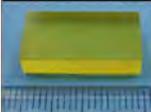
レファレンス	小ブロック	粉体 (粗細)	粉体 (微細)
			
H0.5 × W1 × L2 [cm]	□0.5cm × 8 blocks	~0.1cm	~0.01cm
SA/V=0.10 [cm ⁻¹]	SA/V=0.17 [cm ⁻¹]	SA/V=0.87 [cm ⁻¹]	SA/V=8.70 [cm ⁻¹]
幾何学面積の比	1.7	8.6	86.1
ヨウ素溶出量の比	1.54	1.55	1.66

図-2 SA/V の異なる試料による浸漬試験結果

BPI ガラスからのヨウ素の長期浸出モデルについては、アプローチ方法として、①保守的となるようヨウ素の溶出速度を一定とする方法、②ガラスの水和・変質にガラス溶解が継続すると考え、経験的な関係式の外挿する方法、③Monte Carlo

Simulation を取り入れ、ガラスの溶解・変質現象をより忠実に再現する方法の 3 つを示した。

(3)セメント固化技術

平成 21 年度より実施しているイオン交換水を用いた液交換試験によって、瞬時に大量のヨウ素が放出されないことを確認し、ヨウ素の放出はヨウ素を含む AFt や AFm の溶解度によって制限されていることが分かった (図-3)。

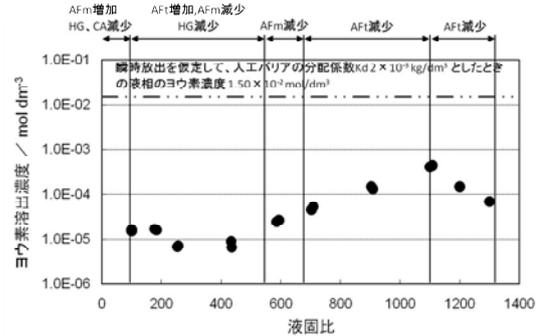


図-3 各液固比での液相中のヨウ素濃度

また、固化体が水に接触している状態での固相と液相の熱力学的平衡状態を計算することで、固化体が接する液相中のヨウ素の濃度を予測できるように解析モデルを高度化した。その結果、液相中のヨウ素濃度の解析値は、液交換試験で取得した実測値を良く再現していることを確認した。

(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。

岩石固化技術においては、加熱処理時に脱離するヨウ素の対策として有効と考えられた減圧加熱処理及び還元処理における脱離するヨウ素の低減効果を確認した。その結果、還元処理の低減効果が大きいことが分かった。今後、プロセスへの適用性について検討を進めることが必要である。

BPI ガラス固化技術では、スケールアップの影響を確認するため、実規模の 1/10 スケールとなる 2.5 L サイズのガラス固化装置を製作した。ヨウ素脱離工程の成立性を確認するため、模擬廃銀吸着剤を用いて行ったヨウ素脱離の試験では、ヨウ素が 95% 以上脱離することを確認した。

セメント固化技術では、ヨウ素化物イオンの酸化処理プロセスにおいて、酸化処理装置への付着ヨウ素の調査を行った。ヨウ素は、ヨウ素酸イオンの形態で付着するが、その量は実機を想定した SUS304 においても非常に小さいことが分かった。

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

3-2 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

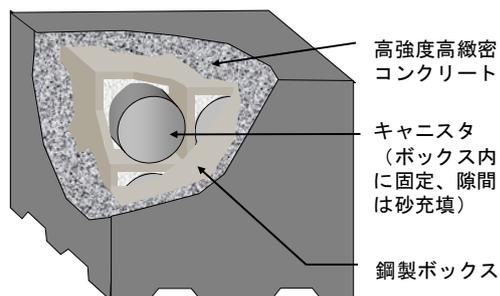


図-1 長期閉じこめ型コンクリート容器の概念図

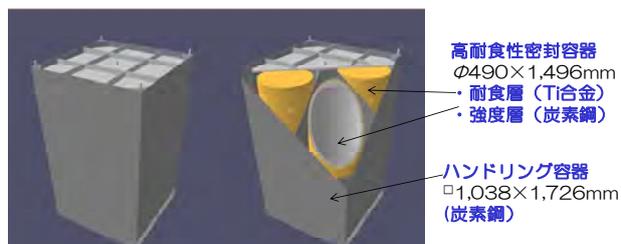


図-2 長期閉じこめ型金属容器の概念図

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。

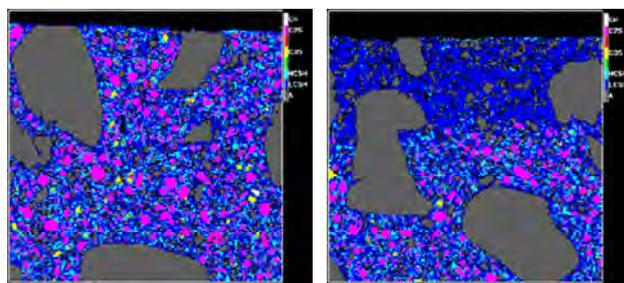
(報告書)平成22年度 地層処分技術調査等委託費 TRU廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 報告書 (第2分冊)-C-14の長期閉じこめ技術の高度化-

◇平成22年度の成果

(1)長期閉じこめ型コンクリート容器

平成22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た化学的安定性評価試験、及び製作時の品質管理の観点から非破壊検査技術に関して検討を行った。

化学的安定性評価試験では、水浸透挙動と溶脱劣化挙動を連成した長期健全性評価モデル¹⁾を用いた長期予測の信頼性を高めるための水浸透試験を実施し、その再現解析を試みた。また、高強度高緻密コンクリートの硬化体に多量に含まれる未水和鉱物の水和による空隙構造の変化が、水浸透に影響を及ぼす可能性があるため、平成21年度までに取得した浸漬試験体の水浸透前後の鉱物組成の変化(図-3)をもとに、水の浸透に伴う未水和鉱物の挙動について考察した。水が浸透して溶脱変質した部分では、未水和鉱物が溶解して消失する可能性が懸念されたのに対し、試験の結果からは、



(a)浸漬前試料断面 (b)浸漬後試料断面

図-3 溶解変質試料の鉱物分類の例

(図の上側が接水面、青:低C/S比C-S-H、水色:高C/S比C-S-H、桃色:未水和セメント鉱物(C₂S)、黒:空隙、灰色:骨材)

未水和鉱物では水和と Ca の溶脱とが同時に起きるため低 C/S 比の C-S-H が残存することが確認された。また、長期健全性評価における空隙構造の設定において、粗大な空隙の量等が長期予測の精度に影響を及ぼすため、空隙構造と水浸透挙動に関する試験、及び試験と同条件の予測計算を実施した(図-4)。水浸透の予測計算結果は、空隙量の増減と水浸透量の増減の傾向は一致したものの、水の浸透量は、予測計算結果が試験結果を過小に評価することが確認された。これは、予測計算では粗大空隙への飽水を考慮していない点や、空隙径分布や水和に伴う微細な空隙構造形成の取扱い等の影響と推測されたことから、空隙構造と水浸透挙動に関するデータを拡充し、モデルの高度化の検討が必要と考えられた。

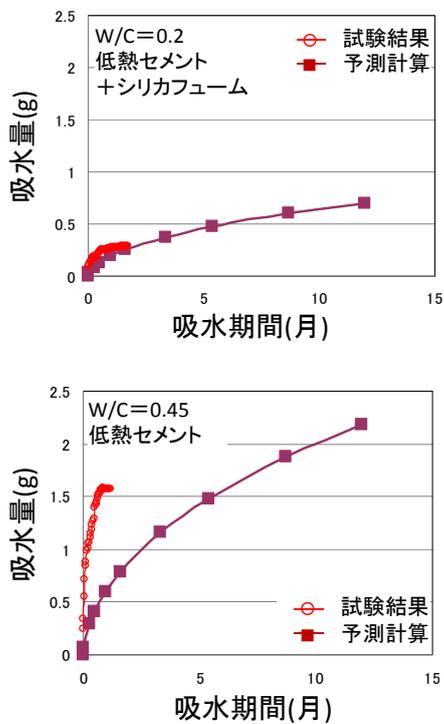


図-4 水浸透挙動の試験結果と予測計算の比較
(上図:W/C=0.2、低熱セメント+シリカフューム、下図:W/C=0.45、低熱セメント)

非破壊検査技術の検討では、製作した容器の性能を担保するために、内在する欠陥の有無を検出できる技術の構築が必要であることから、平成21年度までに、超音波探傷による非破壊検査技術について検討し、高強度高緻密コンクリートへの適用に向けた課題を抽出した。平成22年度は、その課題のうち、内在する気泡や骨材からのノイズの除去、又はそのようなノイズ源を多く含む材

料に適用可能な最新の探傷技術について、文献調査をした。コンクリート中の弾性波伝搬挙動のFEM解析による3Dシミュレーションの有効性や、ステップ・パルサーと周波数帯が広い超音波の使用により信号強度やノイズ影響が改善される²⁾等の知見が得られた。

(2)長期閉じこめ型金属容器

金属容器に使用するTi合金の母材や加工・溶接影響部の不動態健全性、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を実施し、処分環境や材料加工に関わる影響について確認した。水素に起因する応力腐食割れ感受性評価については、材料の加工影響を確認するために、TIG溶接試験片に対して 0.05Am^{-2} の長期定電流・定荷重試験を開始した。4000時間程度経過時点での測定結果(図-5)は試験初期に電位は上昇するが次第に母材と同レベルに安定する傾向が見られる。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、2.5年経過の試料を開封・分析し、水素吸収量等の経時変化が小さいことを確認した。これらの結果は、水素化物層生成予測モデルに合致しており、金属容器に関わる長期間の核種閉じこめ可能性を確認することができた。

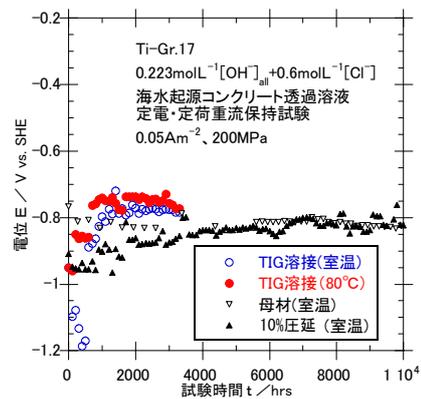


図-5 定電流・定荷重保持試験結果

- 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

3-3 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 19 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の標準化を確立させた。

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 22 年度地層処分技術調査等委託費 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 22 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、実際に原子炉で使用された被覆管の性状確認や C-14 濃度測定を行うことで、現実的なデータを取得し、解析結果（放射化計算）との整合性を確認する必要がある。そこで、将来 BWR のハル・エンドピースの大半を占めることが予測されている高燃焼度燃料に使用されている STEPⅢ燃料材料について、一部試料採取を行い、酸化被膜厚さの測定および放射性核種の濃度測定を行った。また採取した試料について放射化計算を行った。

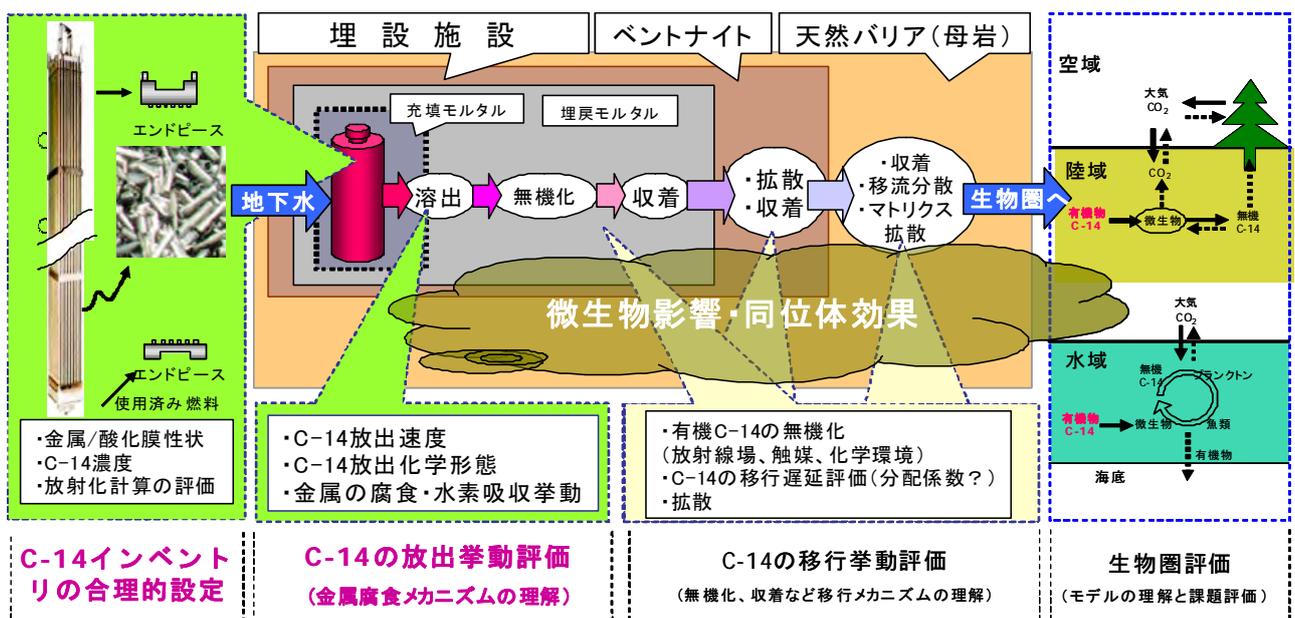


図-1 放射化金属から放出される C-14 の移行挙動の総合的な評価方法の検討

燃料棒中央部から採取した被覆管の断面観察より、BWR 燃料被覆管の外面酸化膜厚さは平均 2.7 μm であった。

STEP III 被覆管の金属母材中の C-14 濃度は 1.74×10^4 Bq/g、Cs-137 濃度は 4.96×10^6 Bq/g であり、反跳などにより相当量の核分裂生成核種が燃料から移行していることが考えられる。

放射性核種濃度を測定した試料の採取位置に対して三次元モンテカルロ輸送計算コード (MCNP コード) と ORIGEN コードを組み合わせた詳細な放射化計算を行った結果、C-14 濃度は 1.64×10^4 Bq/g であった。計算値と分析値の比 (C/M) は 0.96 となった。昨年度取得した STEP I 試料の分析値についても、(2) で述べる計数効率の改善による補正を加えたところ、3 試料の C/M はそれぞれ 0.93、1.03、1.20 となり、分析値と計算値はよく一致していた。

一方、16000 t-U 相当分の PWR 燃料集合体の燃料有効部を対象に取出平均燃焼度、初期濃縮度、不純物濃度、外側酸化膜厚さ、使用済み燃料集合体の発生量を評価・設定し、C-14 インベントリを評価した結果、燃料有効部の総インベントリは 1.11×10^{14} Bq であった。そのうち酸化膜の総インベントリは 1.02×10^{13} Bq であった。PWR の結果は BWR の燃料有効部の結果 (1.43×10^{14} Bq) より約 3 割少なくなったが、酸化膜については BWR の結果 (1.26×10^{12} Bq) の約 8 倍であった。この差は PWR の酸化膜厚さが BWR に比較して厚いことに起因していると考えられる。

(2) 放射化金属からの C-14 放出挙動

C-14 定量において、酸化処理前に投入した C-14 量に比べて、常に約 80% の C-14 量しか検出されず、残りの約 20% の C-14 量が検出できない課題があった。この原因の究明と分析方法の改善をはかるため、C-14 の湿式酸化処理の試験系内において、移行していると考えられる部位について C-14 の有無の分析調査、標識化合物中の酸化しにくい不純物の有無の調査、サンプル液性による液体シンチレーションカウンタ (LSC) 出力値の変動に関する調査、および全有機炭素計 (TOC 計) による湿式酸化処理系における炭素のマスのバランスの調査を行った結果、湿式酸化処理の試験系内において、C-14 を水酸化ナトリウム水溶液に二酸化炭素 (CO₂) として捕集する吸収液中だけに

しか存在せず、その他の試験系内には C-14 の残留がないことを確認した。

一方、CO₂ を捕集する吸収液に水酸化ナトリウム水溶液を用いた場合と、有機溶液を用いた場合で分析値に差が出ることが確認された。有機化合物の化学形を持つ C-14 を湿式酸化処理し CO₂ の化学形を持つ C-14 に変換した時に、水酸化ナトリウム水溶液で捕集した場合の LSC 測定出力値は有機溶媒で捕集した場合と比較して約 80% にしかならないことがわかった。全有機炭素測定 (TOC 測定) を併用したところ、湿式酸化処理後の炭素はすべて吸収液に移行していることが確認でき、CO₂ の化学形の C-14 は水酸化ナトリウム水溶液中では全量の約 80% しか出力しないことがわかった。α線放出核種の測定で溶媒の種類により測定値が異なることが知られており、同様に水と有機溶媒で CO₂ から放出される β線に対して与える影響が違ふことが考えられる。

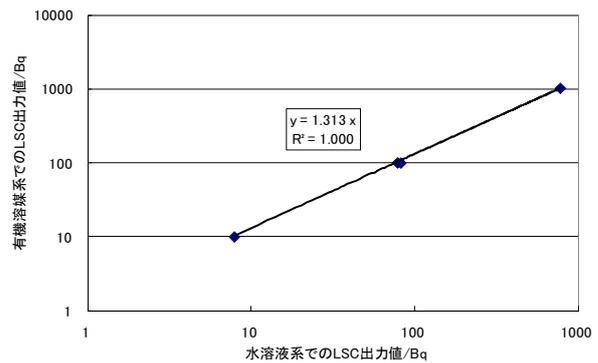


図-2 水溶液系での C-14 量の LSC 値に対する有機溶媒系での C-14 量の LSC 値。

無機 C-14 の LSC 測定においては、水溶液系出力値と有機溶媒系出力値の関係を整理し、補正式を取得し、有機溶媒系出力値は水溶液系出力値の 1.31 倍であることがわかり (図 2)、平成 21 年度までに水溶液系で取得してきた C-14 定量結果について、得られた補正值により補正した。今後の湿式酸化処理による C-14 の定量分析では CO₂ として捕集するアルカリ溶液には LSC 出力値の低下が観察されない有機溶媒系を使用する予定である。

次に照射済み被覆管の浸漬試験において液相中の C-14 が減少する現象の原因を調査するため、未照射被覆管を C-14 標識化合物水溶液に 6 ヶ月間浸漬した結果、液相中の C-14 濃度には大きな変動はなく、また気相への移行、試料への付

II. 放射性廃棄物の地層処分に關する調査研究

着、沈澱もなかった。この結果から、被覆管表面での炭素化合物の分解とそれに伴う気相への移行や沈澱による液相中 C-14 の低下はないことがわかった。

一方、照射済み被覆管の浸漬試験として 30 カ月までの C-14 浸出データ取得を行った。C-14 は浸漬内容容器への付着はなく、液相および気相から検出された。酸化膜のない母材のみの照射済み被覆管では、C-14 浸出率から評価した腐食速度と金属の腐食挙動評価において求めている水素ガス生成量(フロー型)から評価した腐食速度は一致することがわかった(図 3)。また、浸漬液中 C-14 の有機・無機形態の存在比を取得し、母材試料で有機 58.0%、無機 42.0%、外側酸化膜付き母材試料で有機 67.9%、無機 32.1%となった。

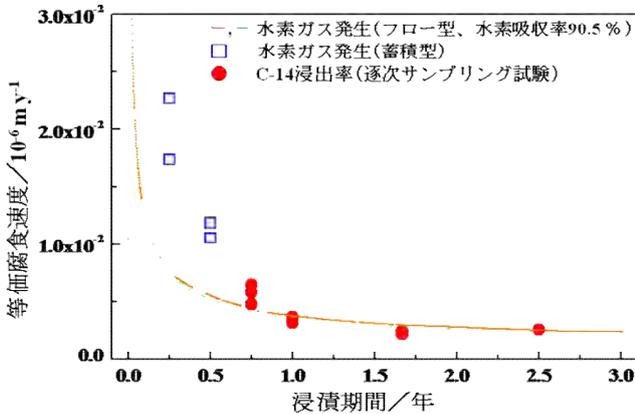


図-3 C-14 浸出率および水素ガス発生から評価した腐食速度の経時変化。

(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については、ガスフロー型腐食試験法により低酸素、高アルカリ、温度 30 °C の条件下でのジルカロイ-4(PWR 被覆管材料)の腐食に伴い放出された水素ガス量と吸収された水素量を分析したところ、水素放出量は経時的に減少し、放出された水素ガス量および吸収された水素量(浸漬期間中、水素吸収率 90.5%で一定とした)から算出した等価腐食速度は 800 日後には約 $3 \times 10^{-3} \mu\text{m}/\text{y}$ となり、さらに、ジルカロイの長期的な腐食速度は更に低下する傾向にあった。測定期間中、水素吸収率は 88.5~93%で漸増した。

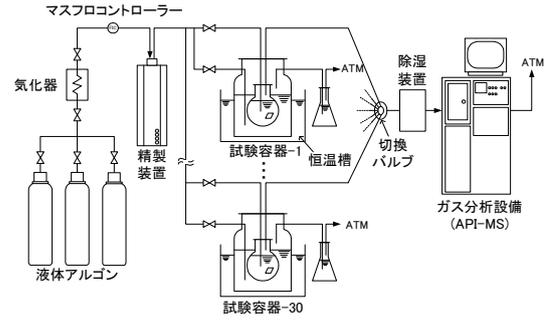


図-4 ガスフロー型腐食試験設備の系統図。

ステンレス鋼の長期的な腐食速度の評価では、ステンレス鋼の腐食反応は腐食に伴い生成する水素を吸収しないと考え、放出された水素量から腐食速度への換算を行っている。ガスフロー型腐食試験により、低酸素、高アルカリ、温度 30 °C の条件下で腐食に伴って放出された水素ガス量を測定したところ、放出された水素ガス量は経時的に減少し、600 日以後のステンレス鋼の水素ガス量から評価した腐食速度は約 $5 \times 10^{-4} \mu\text{m}/\text{y}$ でほぼ一定となっており、1000 日経過後も同じ腐食速度であった(図 5)。また、放出水素ガス量から算出したステンレス鋼の等価腐食速度は温度依存性が認められ、80 °C における等価腐食速度は 30 °C に比べ約 1 桁大きかった。

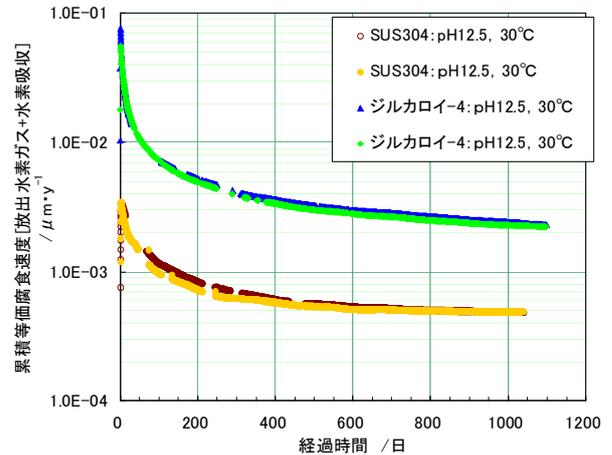


図-5 ステンレス鋼とジルカロイからの累積等価腐食速度 [放出水素ガス発生+吸収水素吸収] の比較

今後、ガスフロー型試験とガス蓄積型試験におけるデータの差異については、試験条件のちがいを整理し、影響すると考えられる要因を検討する必要がある。

また水素をある程度吸収したハルの水素吸収

挙動の評価のために、トリチウム水を用いた腐食試験を行っている。今後、腐食に伴い吸収された水素量を定量するために、(1)腐食により発生するガス状水素（トリチウム）の定量、(2)腐食に伴ってジルカロイへのトリチウムの進入深さを測定する手法を確立した。また、多孔質なジルカロイ酸化膜への水状トリチウムの吸収挙動、および、吸収されたトリチウムの放出挙動の解明に向けて、これらの挙動を理解するための試験装置を組み立て、それらを用いた予察試験を行った(図-6)。酸化膜からのトリチウム放出は、酸化膜中のトリチウム量に比例すると示唆された。今後、

酸化膜内部の深さ方向のトリチウム濃度分布測定が必要である。また、吸収や放出の条件を変化させ放出実験および深さ分布測定を行い、吸収、放出の反応機構を明らかにしていくことが必要である。

- 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) アルカリ還元雰囲気下の腐食速度評価試験、日本原子力学会「2001年秋の大会」、p. 879～880
- 3) A. G. Croff, Nuclear Technology 62, 335-351, 1983
- 4) Y. Ando, et al., JAERI-Conf 2003-019(Part II), p. 494, 2003

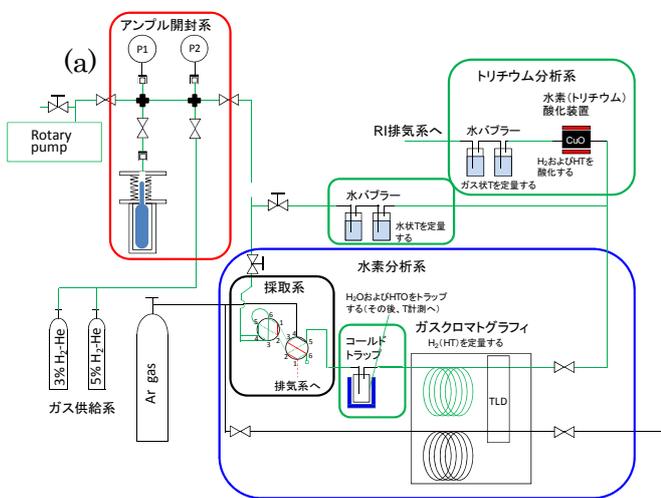


図-6 (a) 気体状水素発生量定量装置の概念図及び(b) 写真。

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

4. 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 (III)

◇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は、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。また、量子化学計算手法は近年の計算機性能の向上に伴い第一原理 (*ab initio*) 分子軌道計算法等の実用性が向上し、その適用も拡大しつつある²⁾。

本事業では、上記の経緯を踏まえ、平成21年度までの検討³⁾により抽出した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)に対して、検討を進めるための作業ステップの詳細な設定、そのステップに沿った量子化学計算手法で取り組むべき具体的問題の詳細な設定、適用する手法・ツールの選定と適用方法の明確化等を行う。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、およ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22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⁴⁾」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22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いて、Step1:化学種の構造安定性評価、Step2:錯形成定数の導出、Step3:溶媒の影響を考慮した大規模系モデルに対応できる計算手法の検討、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量子化学計算の適用を検討する。

今年度の検討では、計算精度の向上に着目し、昨年度検討したStep1~2の計算方法を改善し、 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{Th}$ 系の錯体を対象に、第一原理電子状態計算法を用いた構造安定化計算による安定な錯体構造の検討を行った。その結果、Thイオンの水和錯体、ヒドロキシ錯体、ヒドロキシ炭酸錯体(図-1はその一例)の構造について、初期構造モデルを8配位としてある程度網羅的に計算することにより、安定構造の決定を行うことができた。また、配位子の基底、溶媒効果のパラメータを適切に選択することにより、加水分解反応の平衡定数の計算精度が実験値と比較できる程度まで向上した。

今後の課題は、計算精度向上のために錯体構造の配位数を増やすことや第二水和圏を考慮することが挙げられる。ただし、その場合は対象とする系の原子数が増大し計算負荷が大きなネックとなるため、第一原理分子動力学(第一原理MD)法やQM/MM(量子力学(Quantum Mechanics)計算と分子力学(Molecular Mechanics)計算のハイブリッド)法の導入により原子数の増加に伴う計算時間の増大を抑えることが重要である。

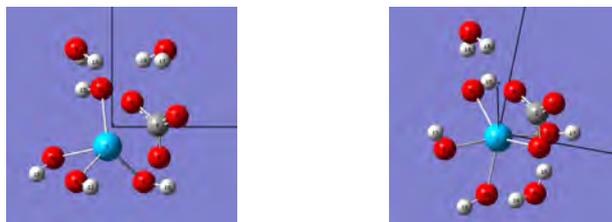


図-1 Thのヒドロキシ炭酸錯体($[\text{Th}(\text{OH})_4(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]^{2-}$)の最適化構造

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いて、Step1: エッジの構造と安定性評価、Step2: エッジの反応性評価、Step3: 放射性核種の収着機構評価、という作業ステップで量子化学計算の適用を検討する。

今年度の検討では、Step1 のエッジの構造と安定性評価について、スメクタイトエッジに $8H_2O$ が吸着した構造について構造最適化を行い、エッジの安定構造の評価および吸着水の挙動の評価を行った。その結果、3種類のエッジ構造モデル（スメクタイト結晶の c 軸に垂直な (110)、(010)、(100) 面をそれぞれ A chain、B chain、D chain と定義）においては、D、A、B chain の順で安定であること、また、Al を中心とする AlO_6 八面体がエッジにあり Mg を中心とする MgO_6 八面体が内部にある構造、および MgO_6 八面体 1 個が 1 価の層間イオン 1 個と近い距離にあるような構造が安定であることがわかった。また、真空中で安定なエッジ構造について、現実に近い液体の水に接した 300K の状態での第一原理 MD 計算から、現実系でも同様に安定であることが示された。吸着水については、 MgO_6 八面体がエッジに露出している場合（図-2 のエッジモデル。水色が八面体の Al、その下に隠れている橙が八面体の Mg）、 AlO_6 八面体の OH 基がプロトン交換を瞬間的に行うことが観察された（図-2 の白枠部）。

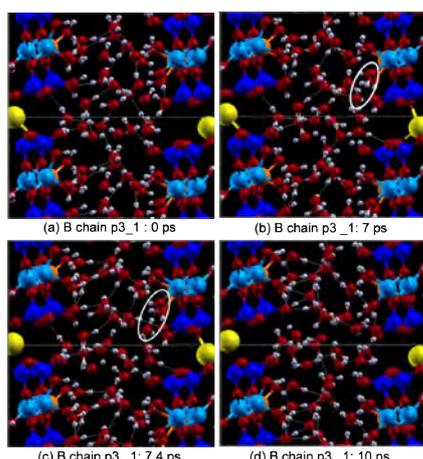


図-2 B chain でのエッジと水分子との反応性の計算結果（白：H、赤：O、黄：Na、橙：Mg、水色：Al、青：Si、白枠：Hの移動が起きた場所）

今後の課題は、錯形成定数の導出のためのエッジと官能基との反応性の定性・定量評価があげられ、さらに、アクチニド核種の擬ポテンシャルの作成と検証、アクチニド核種のエッジへの収着形

態について第一原理 MD 計算により配位構造やエネルギーを評価することである。

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についての評価において、Step1: クラスタ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量子化学計算の適用を検討する。

今年度の検討では、Step1 の高アルカリ環境下でのスメクタイトのエッジのモデル化の再検討、及び図-3 に示すクラスタモデルを用いたエッジ面の種類と溶解性の大小との関連の構造最適化計算の検討を行った。その結果、Si-O-Al という不飽和な架橋 O 原子をもつ結合は、(010) 面には存在せず、溶解しやすいとされている (110) 面に露出していることを確認した。溶解性については、Si-O-Al 結合の O 原子に結合する陽イオンとして Na^+ と $CaOH^+$ でその違いについて検討し、 Na^+ では Si の配位数はそのままであったのに対し、 $CaOH^+$ では Si の配位数に変化が見られ、その溶解性の違いを示した。ただし、この架橋 O 原子への $CaOH^+$ の積極的な結合が、強アルカリ・高 Ca 濃度下での溶解を助長させる傾向までは確認できなかった。Al と Mg の溶解性の違いについては、エッジの不飽和な架橋 Si-O-M ($M=Al$ または Mg) 結合の M が Al の場合には、O-Al 結合の開裂と四配位化が確認されたが、Mg の場合には両者とも生じず、Si-O-Mg 結合がより安定であることが示された。

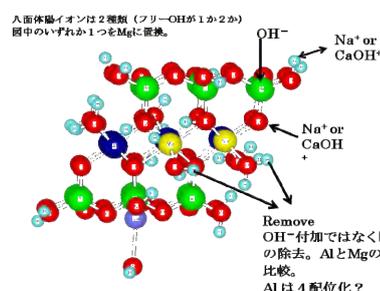


図-3 スメクタイトのモデルクラスタと強アルカリ性環境下の陽イオン吸着部位

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

今後の課題は、アルカリ性溶液中で主となる陽イオンの違いで溶解挙動が異なる現象について、エッジ近傍の水や陽イオンの水和を考慮できる周期系のバンドモデルによる第一原理電子状態計算により、構造の変化を評価することである。

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、オーバークラック・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 deprotonation (H 脱離)、八面体サイトの Fe^{3+} 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量子化学計算の適用を検討する。

今年度の検討では、「②核種のベントナイトへの収着機構」で構築したエッジモデルを用いて、Step1 の Al の一部が Fe^{3+} に置換されたスメクタイトのエッジ・組成モデルの構築を構造最適化計算により行った。図-4 の中央の実線で囲まれた部分がユニットセルで、その化学組成は $\text{Na}_2(\text{Al}_4\text{Fe}_2^{(3+)}\text{Mg}_2)(\text{OH})_8[\text{Si}_{16}\text{O}_{40}]+8\text{H}_2\text{O}$ であり、左右にエッジ面がある。このユニットセルにより、次の Step2 の実施において不可欠な基本構造モデルを準備することができた。

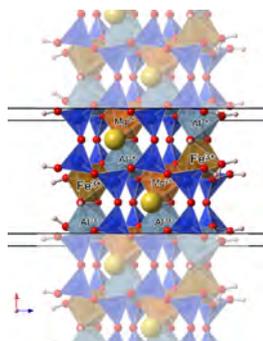


図-4 モンモリロナイトの c 軸方向からみた D chain のエッジモデル

今後の課題は、Lantenois ら⁽⁵⁾のスメクタイトの不安定化モデルに対する仮説に対して、まず、今年度構築したエッジモデルおよび組成を使って、Step2 として、「Fe が八面体サイトに存在するスメクタイト(壊れやすいスメクタイト)は、そうでないスメクタイト(壊れにくいスメクタイト)に比べて八面体サイトの H の脱離が起きやすい」が適切かどうかを第一原理電子状態計算による電子密度分布に基づいて評価すること、この評

価の後、「八面体サイトの Fe^{3+} の還元の可能性」、「局所的な 3 八面体化の可能性」について、第一原理 MD 計算によって電荷分布やエネルギー差から評価することがあげられる。

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: ガラスの界面と水和の評価、Step3: 変質層と溶解挙動の評価、という作業ステップで量子化学計算の適用を検討する。

今年度の検討では、Step1 のホウケイ酸ガラスのバルク基本構造の構築について、古典 MD 法と量子化学計算を連携させた手法で検討した。具体的には、古典 MD 法で用いる原子間相互作用モデル(ポテンシャル)の最適化のために、ガラス中に存在すると考えられている 3 配位ホウ素、4 配位ホウ素、並びにそれらが複数結合したクラスターについて、その一部の B-O 結合距離や B-O-B 結合角を変動させた電子状態計算を実施して、ポテンシャル曲面を求めた。さらに、これを利用して古典 MD 計算の原子間相互作用モデルを精密化するプロセスの構築とそれを実施するためのソフトウェアの開発に着手した。また、古典 MD 法について、融体からガラス構造を得る冷却・緩和スキームを再検討し、ガラス転位点近傍でこれまでに報告がない程の長時間の緩和計算を行うことにより、計算で得られる密度や 4 配位ホウ素比が現実のガラスの構造に近付くことを明らかにした(図-5 参照)。

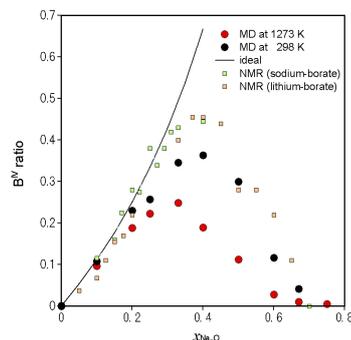


図-5 ホウケイ酸ガラスの 4 配位ホウ素比の MD 計算値と実験値との比較 (NMR の値は⁽⁶⁾ 参照)

今後の課題は、Step1 のバルクガラスの原子構造モデルの構築を進めながら、Step2 のガラスの表面構造の構築、さらにその後、そのガラス表面構造に水分子を追加した量子化学計算を行い、電

子状態などから、変質層のモデル作成の基礎となるガラス表面と水分子の反応についてのデータを得ることである。

- 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量子化学計算の適用を検討する。

今年度の検討では、Step1の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について検討した。具体的には、クラスターモデルを用いた第一原理電子状態計算により、Ti原子の数を増加させてゆくとHOMO-LUMOエネルギーギャップ（電子に占有されている最もエネルギーの高い分子軌道（HOMO）と低い分子軌道（LUMO）との間のエネルギー差）が減少し、金属的になることが確かめられた。また、金属チタン周囲の水素の配位数については、水素の4配位子構造が8配位子構造より安定であることがわかった。また、図-6に示すチタン水素化物のバンド構造モデルを用いた第一原理電子状態計算による構造安定化計算によるエネルギー差の比較から、水素の存在位置については8面体位置にあるときに4面体位置よりも安定であることがわかった。この結果から、水素化物を形成する場合には水素は8面体位置に入る可能性が高いことが示唆された。

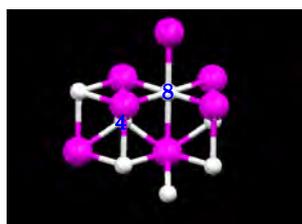


図-6 チタン水素化物のバンド構造モデル（ピンク：チタン、白：水素、図中の「8」と示した水素が8面体位置、「4」と示した水素が4面体位置）

今後の課題は、Step1の金属チタンやチタン水素化物のバルク構造の構築を着実に進めることである。計算においては、水素原子の拡散挙動について第一原理MD計算を用いた検討をおこなう必要があるため、精度の高いバルク計算ができるようにすること、セルを大きくできるようにすること、などの問題をクリアしていくことが

重要である。

(2) まとめと今後の予定

性能評価上の課題への量子化学計算手法の適用では、性能評価の専門家と量子化学計算の専門家が議論する場を活用しつつ、課題探索フレームに沿って、性能評価上の課題の抽出を出発点に、それら課題の量子化学計算としての問題への変換、その問題への量子化学計算的なアプローチの具体化、および量子化学計算の実施結果の評価や新たに生じた課題への対策の立案などを、性能評価にどのように役立つかという評価を適時行いながら繰り返し実施した。その結果、量子化学計算の計算ステップを着実に進めることができ、性能評価への反映の可能性が見えてきた。一方で、検討が進むことで、性能評価への反映が定性的なものにとどまるあるいは一部に限定されるなど、量子化学計算手法の性能評価への適用範囲を具体的に検討し判断するために必要な情報も得られつつある。これらの知見は、性能評価への反映をなるべく大きくできるようにしていくとの観点から、今後の計画立案・詳細化に適切に反映していく。

また、今後は、計算精度の向上や実現象の取り込みに伴うモデルの複雑化・大規模化による計算量の増大への対処、モデル検証の観点での実験値との整合性の確認の具体化などを含めて、本研究で計画した作業ステップを進めていく。

- 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) 松枝直人、粘土と量子化学、粘土科学、42(1)、51 (2002)
- 3) 日本原子力研究開発機構、平成 21 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 (2009) (<http://www.enecho.meti.go.jp/rw/docs/library/rprt4/21fy5.pdf>)
- 4) 日本原子力研究開発機構、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先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発 報告 (2010) (<http://www.enecho.meti.go.jp/rw/docs/library/rprt4/22fy5.pdf>)
- 5) Lantenois, S., Lanson, B., Muller, F., Bauer, A., Jullien, M., and Plançon, A., Clays and Clay Minerals 53, 597 (2005)
- 6) Bray, P. J., O'Keefe, J. G., Phys. Chem. Glasses, 4, 37 (1963)

5. オーバーパック溶接部の亀裂進展挙動 評価の高度化に関する調査

◇事業の概要

経済産業省の委託事業において、平成12年度よりオーバーパックの遠隔溶接・検査技術の開発を進めている。この中ではオーバーパック溶接部の健全性評価手法の検討を行っており、破壊力学の手法に基づいた溶接部の構造健全性評価モデルを提示している。本モデルは、溶接部に溶接きずが導入されることを前提とし、これをき裂と仮定してき裂進展による溶接部の破壊がその寿命期間中に生じないことを説明しようとするものである。本モデルにおいては、破壊に至る限界き裂寸法の設定が、長期健全性を判断する上での重要な指標となっている。限界き裂寸法は、解析によって求めた埋設時のオーバーパック溶接部に生じる応力の値に基づき脆性破壊の評価式を用いて算出している。溶接部の構造健全性評価手法の信頼性については、評価モデルにおいて定量化した判断指標の確かさが問われる。

本研究では、上記の応力条件の内、動的荷重としてオーバーパックに負荷する地震荷重を見直して限界き裂寸法の値を改めて算出する。地震荷重設定過程の明確化とそれに基づく限界き裂寸法の値をもって溶接部構造健全性の判断指標の信頼性向上を目指すものとする。

◇平成22年度の成果

(1)地震荷重の見直し

これまでの検討において、オーバーパックに付加する地震荷重（最大加速度）は、暫定的に水平方向1.8G、鉛直方向0.9Gを入力している。これは、オーバーパックの設計・製作等に関する規格、基準や地層処分場の耐震設計に関する規格、基準が未整備であり、また地層処分場候補地が未選定であるといった理由から、旧・原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）の付録-3を参考に、「各発電所耐震仕様」に示されている「S2：設計用限界地震」の値の中で最も大きいB発電所：600galを採用し、その値を3倍（特に根拠は無いが、安全側に数倍程度の余裕を持たせた値

とした。）として水平方向の加速度とし、鉛直方向は3倍した値の1/2にしたものである。原子力発電所の耐震安全性を審査する「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」は平成18年（2006年）9月19日に改訂され、平成20（2008）年12月に「原子力発電所耐震設計技術指 JEAG4601-2008」が発刊されている。本改訂の大きな特徴は、原子力発電所の基準地震動の策定においてサイト固有の地震動を考慮することになったことである。地層処分に関する耐震設計の考え方は未定であるが、オーバーパックの構造健全性評価においても同様の対応を想定すべきと考え、現実の地震に基づく地震荷重をオーバーパックに付加して限界き裂寸法を算出することによって、溶接部の構造健全性評価モデルの信頼性を向上させ得るものと考えた。

地震荷重は（独）防災科学技術研究所公開データである強震観測網（K-NET、KiK-net）データに基づく特定地点の最大加速度（三成分合成値）を利用することを念頭に、1996年1月から2010年7月25日までの過去15年間の地震データを調査し、観測点の深度を考慮して地点と地震を特定した。地域としては東北地方、特に宮城県近辺に比較的大きな地震が発生していることが確かめられた。特に最大加速度が大きかったのは表-1に示す2つの地震であった。

表-1 地震荷重の調査結果

名称	発生日	マグニチュード	最大加速度(gal)	
			仙台	小野田
三陸南地震	2003.5.26	7.0	217	632
宮城沖の地震	2005.8.16	7.2	289	164

本調査では最も大きい最大加速度の値、632gal（小野田、三陸南地震）を参照することとし、データの制限、処分場の深度、地震や地質に関する知識などに関する不確かさを考慮して、水平方向最大加速度はこの値の1.5倍の948gal、鉛直方向最大加速度は上記水平方向最大加速度の2/3の632galをオーバーパックへの入力値とした。

(2)溶接部に生じる最大主応力の解析

解析対象のオーバーパックは、板厚190mmの

落とし蓋構造で、溶接深さは、190mm 完全溶け込みと 80mm の部分溶け込みの 2 種類とした。解析モデルは軸対象 3 次元ソリッドモデルとし、緩衝材を含めてモデル化した。埋設深度は 1,000m を想定した。ガラス固化体からの発熱を考慮した温度分布解析を行い、その結果を基に溶接部に生じる応力解析を行った(解析コード: NASTRAN Ver. 2008.0.4)。応力解析は、

- ・ 計算ケース 1 : 熱応力+外圧
- ・ 計算ケース 2 : 熱応力+外圧+地震荷重

として溶接部に発生する最大主応力の値を算出した。初期条件(オーバーパックスの発熱量)、境界条件(オーバーパックと緩衝材の境界、緩衝材と岩盤の境界など)については過去の解析手法をそのまま踏襲した。図-1 に、80mm 部分溶け込み溶接(計算ケース 2)の結果を示す。

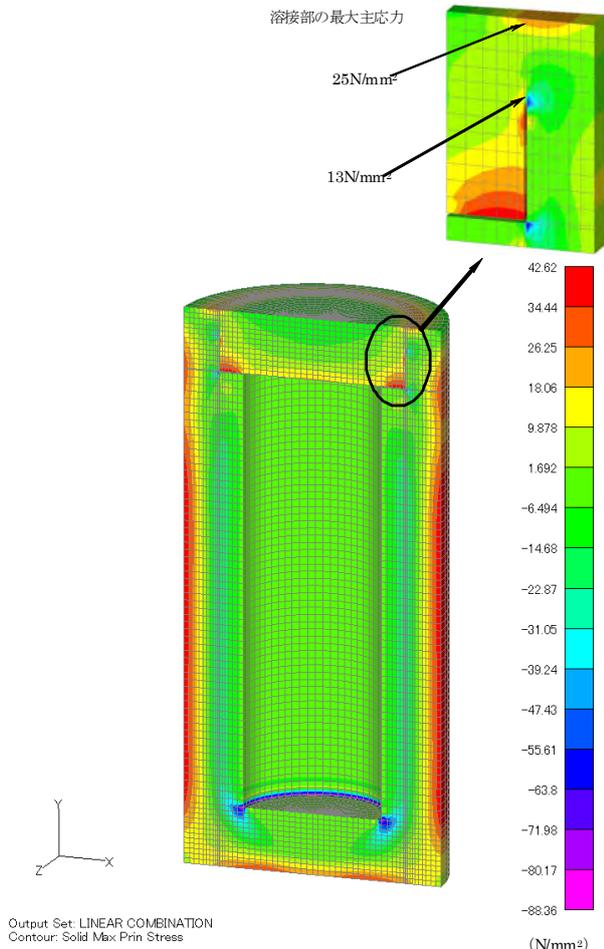


図-1 溶接部の最大主応力の解析結果

(3) 限界き裂寸法の計算

得られた最大主応力の値と脆性破壊の評価式を用いて溶接部の限界き裂寸法を算出した。結

果を表-2 に示す。ガラス固化体の発熱による熱応力と岩盤からの外圧が作用した静的条件よりも、これに地震荷重が加わった動的条件の方が力学的に厳しいことから、破壊に至る限界き裂寸法の値は小さくなる。また、き裂のモデルとしては内蔵き裂よりも、表面開口き裂の方がその寸法は小さくなる。動的条件におけるオーバーパック溶接部の限界き裂寸法は、190mm 完全溶け込み溶接の場合が 69mm、80mm 部分溶け込み溶接の場合は 55mm となった。

表-2 限界き裂寸法の計算結果

溶接深さ (mm)	き裂モデル	最大主応力 (MPa)	限界き裂寸法 (mm)
190 (完全溶け込み)	楕円内蔵	6	88
	半楕円表面	6	69
80 (部分溶け込み)	楕円内蔵	25	71
	半楕円表面	25	55

(4) 溶接部の構造健全性評価モデルの検討

計算された限界き裂寸法は、過去の値とほとんど変わらなかった。これは、地震荷重負荷時に溶接部に生じる最大主応力の値が大きく変わらなかったためである。

本調査では地震荷重の値を実際の測定データに基づいて設定した。この見直しとそれに基づく限界き裂寸法の再計算は、限界き裂寸法という判断指標の算出根拠を明確にして説明性を高めたものとする。これをもってオーバーパック溶接部の構造健全性評価モデルの信頼性向上に寄与したものと判断する。

- 1) Asano, H., Maeda, K., and Aritomi, M., "Long-term integrity of waste package final closure for HLW geological disposal, (IV): Influence of welding and prediction of long-term integrity of weld joint," J. Nucl. Sci. Technol., Vol. 43, No. 8, 924-936, 2006
- 2) Asano, H., and Aritomi, M., "Long-term integrity of waste package final closure for HLW geological disposal, (VI): Consistency of the structural integrity evaluation model for the weld joint," J. Nucl. Sci. Technol., Vol. 47, No. 1, 70-83, 2010
- 3) Asano, H., Nakamura, A., Kobayashi, M., "Long term integrity of overpack closure weld for HLW geological disposal Part 1 - prediction and evaluation method for structural integrity of weld joint", Corrosion Engineering, Science and Technology, Vol. 46, No. 2, 165-170, 2011

6. 人工バリアの状態変化の統一的な記述に関する調査

◇事業の概要

高レベル放射性廃棄物及び TRU 廃棄物に関する各種の技術開発において、緩衝材を中心とした人工バリア材料の状態変化に関わる調査研究を進めており、それぞれの調査対象事象を中心とした人工バリアの状態変化—例えば、吸水膨潤以降の緩衝材の状態の時間変化—を図表化して記述している。本調査では、状態変化の記述の整合を図り、統一的な記述につなげることを念頭に、これまでの検討状況を横通しで俯瞰し、状態変化の過程を確認して知見の整理を行った。

◇平成 22 年度の成果

緩衝材を中心とした人工バリア材料の状態変化は、単純に考えても初期の乾燥状態から地下水の浸入による吸水、吸水による膨潤という機械的な挙動と、さらに地下水とベントナイトとの化学反応、そこでの熱の影響、ガスの発生、以降など様々な事象が時間を追って生じていくことが予想される。従ってその状態を統一的に記述するためには作業を段階的に進めることが必要である。

そこで本年度は、状態変化の記述の整合性と将来の統一的記述に向けて、情報の収集とその共有化を図り、検討のベースをまとめるものとした。実施項目は以下の 2 点である。

- ①各調査研究テーマで進行中の、人工バリアの状態変化に関わる記述を関係者に紹介し情報、知見を共有すると共に、論点を抽出する。
- ②状態変化の基本事項や共通点を確認して統一的な記述を目指して、検討のベースを提示する。

関連する調査研究テーマは以下のとおりとした。

◆ 高レベル放射性廃棄物地層処分の研究
「処分システム工学要素技術高度化開発」の「遠隔操作技術高度化開発」¹⁾及び「人工バリア品質評価技術の開発（緩衝材）」²⁾

◆ TRU 廃棄物地層処分の研究
「人工バリア長期性能評価技術開発」の「人

工バリアの長期挙動の評価」³⁾及び「ガス移行挙動の評価」⁴⁾

その結果、放射性廃棄物処分における安全確保についての理解として、処分事業の段階、換言すると廃棄体がおかれる状態の段階的な推移と、そこでの基本的な安全確保として放射性核種の移行に対する人工バリア材料の役割を理解、整理すべきことが指摘された。また、核種移行シナリオについて、核種移行挙動がどのような現象なのか、どのようにしてその状態に至るのか、といったシナリオを理解することの重要性が指摘された。また、人工バリアの役割として、核種移行、すなわち地層処分の安全確保の対象そのものに対する人工バリア材料の役割を整理することの重要性が指摘された。

以上 3 点が今後、人工バリア材料の状態変化を記述する際の留意事項として提示された。

- 1) (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 遠隔操作技術高度化開発、平成 23 年 3 月
- 2) (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 人工バリア品質評価技術の開発、平成 23 年 3 月
- 3) (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 廃棄物処分技術人工バリア長期性能評価技術開発報告書 人工バリアの長期挙動の評価、平成 23 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 廃棄物処分技術人工バリア長期性能評価技術開発報告書 ガス移行挙動の評価、23 年 3 月

7. その他の地層処分に関する調査研究

1) 地層処分等対象廃棄物の品質マネジメントの検討

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）について、地層処分において必要と考えられる機能と要件に関して検討するとともに、地層処分対象のTRU廃棄物（ハル等廃棄体）について、地層処分において必要と考えられる特性等に関して検討した。

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、講演会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の委託により実施したものである。

(報告書)平成22年度 放射性廃棄物共通技術調査等委託費
放射性廃棄物海外総合情報調査

◇平成22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

たビューロー会議及び放射性廃棄物データベース(NEWMDB)には、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)、利用者の操作性向上等を目的とするデータベース管理システムの改良や機能拡充を実施した。



図-1 整備したデータベースの初期画面
(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、ホームページ、技術情報冊子、講演会等を通じた外部への情報発信を行った。

原環センターのホームページにおいては(<http://www2.rwmc.or.jp/overseas/>)、諸外国の高レベル放射性廃棄物処分を中心とした情報について、最新の動きを『海外情報ニュースフラッシュ』として掲載した(図-2)。また、フィンランド、スウェーデン、フランス、スイス、英国、米国、ドイツ、スペイン、ベルギー及びカナダの10ヶ国については、高レベル放射性廃棄物処分事業に関する進捗状況、法制度、資金、研究開発等の最新の状況を取りまとめて掲載した(図-3)。



図-2 原環センターホームページでの『海外情報ニュースフラッシュ』



図-4 平成 22 年度に整備した技術情報冊子



図-3 高レベル放射性廃棄物処分に関する各国最新の状況等の取りまとめ

技術情報冊子の整備として、『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-4:左)に関しては、処分方針、廃棄物の特徴、処分の安全確保の取組、研究体制、地層処分の制度、理解促進等の情報を、「オールカラーで判りやすく」を旨に編集を行い、更新版を出版するとともに原環センターのホームページに掲載した。さらに、『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』と題する技術情報冊子(図-4:右)に関しては、フィンランド、スウェーデン、フランス、スイス、米国にドイツを加えた6カ国について、各国の放射性廃棄物管理の概要をまとめた上で、放射性廃棄物管理関連施設の地図とともに、各施設の概要・アクセス方法をまとめて、原環センターのホームページに掲載した。

講演会については、表-1 に示す海外要人によるシンポジウム等の開催や運営支援を行い、各国の放射性廃棄物処分の取組に関する最新情報等を紹介した(図-5)。シンポジウムでは、我が国の事業に資することを目的として、スウェーデンの取り組み実績等に関する情報共有と関係者等とのパネル討論も実施した。

表-1 平成 22 年度の講演会等開催実績

開催日	講演会名・主催者・講演者
10月28日	シンポジウム「地域と共に歩む、地層処分事業～スウェーデンにおける対話の取り組み～」 主催：資源エネルギー庁(スウェーデン大使館後援) ・Claes Thegerström氏(SKB社社長) ・Kaj Ahlborn氏(元SKB社フォルスマルク事務所長) ※上記以外にパネリストとして我が国の地層処分関係者等が参加。
11月22日	講演会「フランスにおける地層処分事業の最新動向」 主催：原子力発電環境整備機構及び当センターの共催 ・Jean Louis Tison氏(ANDRA国際部) ・Richard Poisson氏(ANDRA国際部) ・Thibaud Labalette氏(ANDRAプロジェクト部)



図-5 講演会等の開催状況

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に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、本調査事業では、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と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、収集文献の一部を日本語に翻訳し、再利用が可能な技術情報データベースとしての整備を行った。また、情報共有・知識普及等の取組として、平成 21 年度に整備した、米国、フランス、スウェーデン、フィンランド、スイス、ベルギーの性能評価報告書等の概要等の WEB コンテンツについて、情報を追加するとともに、整理項目の見直しを実施することにより、一般向けのホームページの情報を更新した。

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 22 年度 放射性廃棄物共通技術調査等 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 22 年度の成果

(1) 主要国における性能評価等に関する調査

フランスでは、放射性廃棄物等管理計画法において、研究方針等を含む放射性廃棄物等の管理に関する国家計画 (PNGMDR) を 3 年毎に策定することが規定されている。2007～2009 年を対象とした最初の PNGMDR が 2007 年に策定され、2010 年には 2010～2012 年を対象とした PNGMDR が策定されている。また、事業実施主体である放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) は、上記 PNGMDR で示されたスケジュールに従い、2009 年に各種調査研究の取りまとめを行っており、これらの結果を概括的に整理した「2006 年～2009 年の ANDRA における処分プロジェクトに関する 4 年間の科学研究」と題する報告書を 2010 年に公開している。本年度の調査では、上記の動向を整理するとともに、最新の PNGMDR 及び ANDRA の調査研究成果に関する情報を整理した。

スイスでは、連邦政府によって定められた特別計画「地層処分場」に従い、高レベル放射性廃棄物及び低・中レベル放射性廃棄物のための地層処分場のサイト選定が 3 段階で進められている。サイト選定の第 1 段階として、事業実施主体である放射性廃棄物管理共同組合 (NAGRA) は 2008 年に候補サイト地域を提案している。同提案に対して、規制機関は安全性及び技術的な観点から審査を行い、2010 年に提案された候補サイト地域を承認している。本年度の調査では、上記のサイト選定の第 1 段階における、NAGRA と規制機関による地質学的立地可能性の検討に関する情報の整理を行った。

フィンランドでは、事業実施主体の Posiva 社が、2012 年に地層処分場の建設許可の申請を行う予定であり、申請書に添付するセーフティケース^{注)}の作成を進めている。本年度の調査では、2010 年に Posiva 社が発行したセーフティケースの中間概要報告書の概要を取りまとめた。

注) 施設と活動の安全を裏づける論拠及び証拠を収集したものであり、通常、安全評価の結果及びこれらの結果の信頼性の記述が含まれている。

(2) 情報発信

平成 21 年度には、米国、フランス、スウェーデン、スイス、ベルギーの性能評価報告書の概要

について、WEB コンテンツとしての情報の取りまとめを行い、ホームページで公開した。本年度は、ホームページのコンテンツ拡充等として、フィンランドの性能評価に関する最新の報告書を追加（図-1）するとともに、WEB に掲載する情報を以下の4項目に再構成して、それぞれの項目について内容を精緻化することにより、WEB コンテンツの拡充を行った（表-1、図-2）。

- ① 安全評価書の位置付けとレビュー
- ② 処分システムと安全要件（対象廃棄物／想定処分地／処分概念／放射線防護基準）
- ③ 安全評価の進め方（FEP／シナリオ／モデル／不確実性の取り扱い）
- ④ 評価結果



図-1 フィンランド Posiva 社のセーフティケース中間概要報告書 2009 の WEB コンテンツ（原環センターHP より）

表-1 WEB コンテンツとして整備した性能評価報告書

<ul style="list-style-type: none"> ・ フィンランド：放射性核種の放出および移行 [RNT-2008] (Posiva 社、2008年) ・ フィンランド：セーフティケース中間概要報告書 2009 (Posiva、2010年) ・ 米国：ユッカマウンテン処分場許認可申請書安全解析書 (DOE、2008年) ・ フランス：Dossier 2005 粘土-地層処分の安全評価 (ANDRA、2005年) ・ スウェーデン：フォルスマルク及びラクセマルにおける KBS-3 処分場の長期安全性 [SR-Can] (SKB、

<p>2006年)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ スイス：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放射性廃棄物及び長寿命中レベル放射性廃棄物に関する処分の実現可能性の実証 - (NAGRA、2002年) ・ ベルギー：SAFIR2 - 安全評価・実現可能性第2次中間報告書 (ONDRAF/NIRAS、2001年)
--

国名	発行年月	事例名
フィンランド	2010年03月	セーフティケース中間概要報告書2009, Posiva report 2010-02, ポシヴァ社
フィンランド	2009年12月	放射性核種の放出および移行 - RNT-2008, Posiva report 2008-06, ポシヴァ社
米国	2009年11月	ユッカマウンテン処分場許認可申請書, DOE/RW-0573, 米国エネルギー省 (DOE)
スウェーデン	2006年10月	フォルスマルク及びラクセマルにおける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, SKB社
フランス	2005年12月	Dossier 2005 粘土-地層処分の安全評価, ANDRA
スイス	2002年12月	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放射性廃棄物及び長寿命中レベル放射性廃棄物に関する処分の実現可能性の実証, NAGRA
ベルギー	2001年12月	SAFIR2 - 安全評価・実現可能性第2次中間報告書, ONDRAP/NIRAS

図-2 WEB コンテンツトップページ（原環センターHP：<http://www2.rwmc.or.jp/wmp/doku.php?id=sa:start>より）

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、若手研究者の育成も念頭に、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 22 年度 放射性廃棄物共通技術調査等 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 22 年度の成果

平成 22 年度より 3 ヶ年の計画で研究を実施することを前提として、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、及び、国民との相互理解促進に資する社会的、制度的な側面に関する研究開発）について、大学等の研究機関を対象に公募等を行い、8 件の研究テーマを選定した。

本研究調査の実施においては、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、上記の研究テーマ（及び研究実施者）の選定作業においては委員会での審議に諮るとともに、個々の研究テーマの進捗状況や成果について委員会でのレビューを受けた。

以下に、平成 22 年度より開始した 8 件の研究調査の概要と本年度の成果概要を示す。

- (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・代替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 22 年度は、鉄酸化物ナノ粒子の合成と特性評価、微生物への核種模擬元素の収着及び鉱物化、汚染された天然地下水中の微生物の遺伝子解析について調査した。鉄酸化物ナノ粒子の合成においては、平均 7nm と 38nm の 2 種類の赤鉄ナノ粒子を合成することが出来た。分析のための乾燥処理により、ナノ粒子が凝集・配向・粗粒化等の変化が起こることが明らかとなった。微生物と核種模擬元素として用いた希土類元素との反応においては、微生物への希土類元素の収着分配係数が高いことが明らかとなった。また、長期の実験では、微生物表面の希土類元素が 100nm より小さいリン酸塩鉱物となることが観察された。ロシア・マヤーク地域の放射性核種で汚染された天然地下水中の微生物の遺伝子解析では、核種及び硝酸塩を含む地下水に含まれる原核生物の遺伝子解析を行った結果、硝酸還元能等の脱窒活性を有するクローンが検出された。

- (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、ガラスの構造学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 22 年度は、異なるアルカリ含有量（ここでは $\text{Na}_2\text{O}/\text{B}_2\text{O}_3$ モル比率を表わす R 値が 0.3～3%）のホウケイ酸ガラス、及び核種模擬元素のランタン (La) を異なる含有量 ($\text{La}_2\text{O}_3:0\sim 15 \text{ mol}\%$) にて添加したホウケイ酸ガラスを作成し、固体核磁気共鳴法 (NMR) 等の構造解析を行った。

合成したガラスの構造解析を行った結果、ガラス中のアルカリ含有量が高くなるに従って、NMR スペクトルが変化した (図-1)。この結果から、アルカリ含有量が高くなるに従って、一般的にケイ素 (Si) が酸素と 4 つ架橋している Si-Q^4 構造が減少し、酸素と 3 つ架橋している Si-Q^3 構造が増加することが示唆された。また、La を添加したホウケイ酸ガラスにおいても、La 含有量が増

加するに従ってSi-Q⁴構造は減少し、Si-Q³構造が増加する傾向がみられた。La₂O₃含有量が10 mol%よりも高い場合にはSiが酸素と2つ架橋しているSi-Q²構造が出現した。

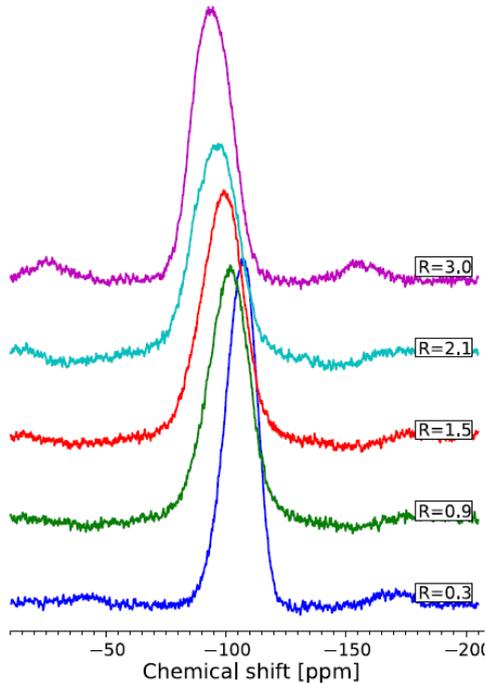


図-1 アルカリ含有量の異なるホウケイ酸ガラスの²⁹Si MAS NMR スペクトル (R : Na₂O/B₂O₃ モル比率)

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

金属イオンの鋳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 22 年度は、鋳物表面のプロトン化反応の反応熱を求める手法についての文献調査を行った。また、鋳物表面の特性を明らかにするために、収着媒体として選定したγ-Al₂O₃の物性のキャラクターゼーションと電位差滴定を行った。

文献調査の結果、鋳物表面のプロトン化反応のエンタルピーを、電位差滴定法とマイクロカロリメトリー法による熱量測定で求めていることが明らかとなった。

精製したアルミナはX線回折分析により、含水酸化アルミニウムであることが明らかとなった。精製したアルミナを、ガラス容器を用いて酸・塩

基による電位差滴定を行ったところ、ガラス壁面へのアルミナの凝集が起こったために滴定曲線とブランク滴定曲線の当量点が一致せず、良好な滴定曲線が得られなかった。ポリスチレン等の容器を使用した滴定実験では、アルミナの凝集は起こらず、得られた滴定曲線とブランクの滴定曲線の当量点が一致し、精度の高い電位差滴定結果が得られた。

(4) 不飽和領域の動的挙動に関する研究 (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盤中(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 22 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移行挙動の調査を行った。

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ところ、供試体中の水分量低下が大気圧一定条件の場合と比較して大きくなることが明らかとなった(図-2)。

再冠水による飽和過程の検討では、一次元鉛直カラムに充填したシリカ砂にカラム下端部から注水し再冠水させる実験を行った。その結果、再冠水速度が速い場合には気泡の圧縮により供試体中の飽和度が増加することが示唆された。一方、再冠水速度が遅い場合には、飽和度の増加は気泡の圧縮の他に気泡の移動が影響している可能性が示唆された。

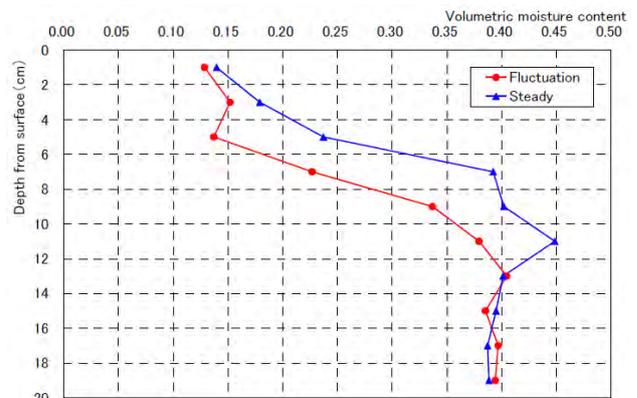


図-2 豊浦砂カラムの水分量深度分布 (赤：大気圧変動、青：大気圧一定)

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

(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 齊藤拓巳)

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量・定性分析するための手法を開発することを目的とする。

平成 22 年度は、流動場分画法 (F1-FFF) と誘導プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) をオンラインで接続し、F1-FFF によって分画したコロイドのサイズ、元素濃度分析が可能となるシステムの構築を行った。また、深部環境より採取した地下水中の、F1-FFF-ICP-MS システムによるコロイド分析を通して、コロイドの情報を保持・反映した分析のための測定パラメータの決定と試料の最適な採取・保管・前処理方法を検討した。

分析システム構築については、オンライン接続した、F1-FFF-ICP-MS システムにおいて、フミン酸コロイドと希土類イオンが共存する水溶液試料の分析を行い、構築したシステムにより、コロイドサイズと元素濃度の分析が測定可能であることが確認できた。

天然地下水中のコロイド分析では、(独) 日本原子力研究開発機構瑞浪超深地層研究所の地下 300m から採取した地下水試料を F1-FFF-ICP-MS システムを用いて分析を行った。無調整の地下水では濃度が低いため分析にて元素が検出されなかったが、スロットポンプを用いた濃縮法を組み合わせることにより、有機コロイド及び Al、Fe 等の無機元素の検出が可能となった。

(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 三好雅也)

カルデラ形成直後～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制約を与えることを目的とする。

平成 22 年度は、阿蘇中央火口丘群の主要岩体周辺域において、カルデラ形成後噴出物の採取を行った。採取試料を対象にして、K-Ar 年代測定、

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比等の分析を行い、火山岩体の形成年代及びマグマの化学組成についての検討を行った。

年代測定結果を用いて作成した火山噴出物の噴出年代ヒストグラムより、阿蘇カルデラ形成後のマグマ活動は、7 万～2 万年前の期間は多様な化学組成マグマが活動していた一方で、直近 1 万年の期間はほとんどが玄武岩マグマのみが活動していることが明らかとなった (図-3)。また、Sr 同位体比の分析結果から、カルデラ形成期と形成後のマグマ組成が大きく異なっていた。この結果から、カルデラ形成を境に火山直下のマグマ供給系が単一の大規模マグマ溜りから、複数の小規模マグマ溜りへ変化した可能性が示唆された。

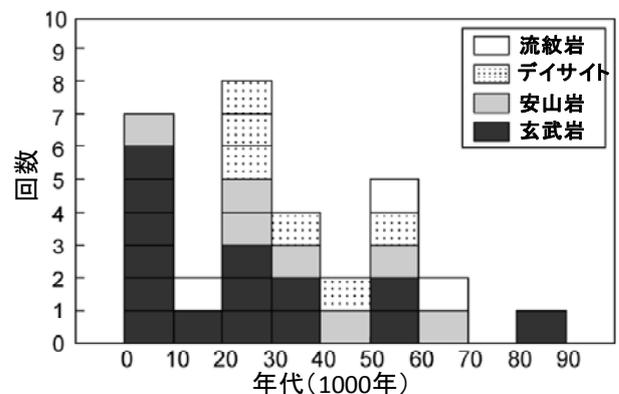


図-3 阿蘇カルデラ形成後の火山噴出物の噴火年代ヒストグラム

(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標とする。

平成 22 年度は、北海道幌延町産の泥岩を対象として、X 線回折による鉱物分析を行い、試料中に含まれる鉱物組成を確認した。また、拘束圧及び温度を制御可能な等方圧保持装置を開発し、装置を用いて不連続面透水試験を行った。さらに、力学-化学連成現象に起因する岩石透水特性の経時変化を記述できる解析モデルを高度化する検討を行った。

X 線回折分析の結果、泥岩試料に含まれる鉱物は、石英、長石、クロライト、イライトであるこ

とが確認された。また、単一不連続面を加工した泥岩の供試体を用いて、拘束圧 3.0 MPa、温度 90°C の条件下で透水試験を実施したところ、不連続面の水理学的開口幅が、試験開始直後（0 日）の初期値 7.6 mm から実験開始 5 日後の 5.0 mm まで低下し、透過率も、 $4.8 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ から $2.1 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ に低下した。温度・拘束圧制御条件下での連続透水実験における、不連続面開口幅と透過度の経時的変化の予察解析を行ったところ、不連続面開口幅と透過度の時間経過に伴う透水特性の低下の程度が、拘束圧の増加、及び温度の増加に伴い、大きくなることが示された。

(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 森田朗）

処分事業に対する国民・社会の理解促進と信頼性向上に向け、社会的側面に係る研究の効率的な進展を図ることを目的とする。

平成 22 年度は、放射性廃棄物処分の社会的側面に関わる研究課題のうち優先度の高いものについて、3 つの部会（地方行財政部会、信頼の構造部会、総括部会）を設置し、それぞれの学術領域の知見を活用して研究を実施するとともに、文献調査を行うことにより今後の研究のための情報収集を行った。また、3 つの部会合同で韓国・全羅北道扶安郡及び群山市において、放射性廃棄物処分場のサイト選定事例に係る関係者へのインタビュー調査を実施し、複数領域の専門知識を横断的に活用して事例の分析を試みた。

地方行財政部会では、「立地選定制度の国際間比較」、「日本における地域支援制度の変遷と意義の検討」に関する調査を、主に文献調査により実施した。フィンランドとフランスの事例分析の結果、処分事業に着手することや事業のプロセス設計等について広く社会全体での明確な合意を確保することが事業推進の正当性付与や合意形成に有効であるという知見が得られた。また、地域支援制度の例である電源三法交付金制度は、施設新設への効果というよりはむしろ、施設既存地域における効果を持っており、制度設計もそれを念頭に置いていることが文献調査により仮説的に示された。

信頼の構造部会では、過去に実施した処分場立地に伴う交付金に関する WEB アンケート調査の分析を行った。Web アンケート調査の分析結果か

ら、交付金の後ろめたさは最終的な受け入れ態度には大きな影響力を持たないことが示唆された。

総括部会では、放射性廃棄物処分事業の社会的側面に関わる普遍的な知見（メタ認知枠組み）としての住民の態度形成分析枠組みについて、韓国の処分場立地に係る事例分析を行うことにより検討した。その結果、住民の態度形成には政府・実施主体による発言と行動に加えて経済的支援に関する法制化が信頼の獲得において重要であったこと、決定プロセスにおいて住民の要請に合致する住民投票制度が取り入れられていることが一因であったことが示唆された。

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

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に必要な長期間の性能評価を行うため、将来生じることが予測される現象に類似した天然現象（ナチュラルアナログ：Natural Analogue (NA)）を見出し、その現象の機構やもたらされた結果を、わが国の地層処分手業における一般国民の合意形成をはかる上で、その安全性を説明する論拠（セーフティケース）の一つとして活用する情報として示すことを目的としている。

そのため、我が国の地層処分概念において様々な安全機能が期待されるベントナイトと操業上の安全性や処分概念の実現性のため使用されるセメント材との相互作用の NA として、フィリピンの高アルカリ地下水とベントナイトとが近接する地域で NA 調査を実施する。

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 22 年度 放射性廃棄物共通技術調査等 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 22 年度の成果

ベントナイト緩衝材は人工バリアシステムの中での核種移行評価にとって最も重要な構成要素であり、処分場で使用されるセメントからの高アルカリ溶液との相互作用によるその長期健全性は重要な課題であり、NA の重点課題と位置づけられている。このような高アルカリ地下水とベントナイトが近接する天然の環境について、平成 19 年度より実施した文献調査、予察調査の結果から、高アルカリ地下水の起源となるオフィオライトが分布し、近傍にベントナイト鉱床が存在するフィリピン国ルソン島北西部をその候補サイトとして選定した。

昨年度までの調査により、Saile 鉱山のトレンチにおいてベントナイトがオフィオライトの基盤岩と接触し、過去に高アルカリ地下水とベントナイトが接触していた証拠が確認されるとともに (Fossil Type の NA サイト)、Bigbiga 地区は現在

も高アルカリ地下水が湧出し、ベントナイトとの相互作用によるベントナイトアルカリ変質プロセスの進行している Active Type の NA サイトの可能性が高いことが確認された。

本年度は、図-1 に示すルソン島北西部の調査サイトを対象に、(1) NA サイト候補地 (Active Type のサイト) の地質調査、(2) 高アルカリ地下水の生成・進化のプロセスに関する調査、(3) ベントナイトのアルカリ変質反応に係わる鉱物学的・地球化学的特性調査を実施した。そして、これまでに得られた成果に基づき、(4) ベントナイトのアルカリ変質プロセスの考察を行った。



図-1 調査対象地域

(1) ナチュラルアナログサイト候補地の地質調査

Active Type のサイトの NA サイト候補地である Bigbiga 地区において地質調査を実施し、Bigbiga の Aksitero Formation (ベントナイトの胚胎母層である堆積層) は白色塊状で細粒の石灰岩が優勢でベントナイト (質) 層は、泥灰質石灰岩中に薄層として挟在することが確認された。ガス調査を簡易削孔や孔内測定によって実施し、断裂系周辺において数百 ppm 程度のメタンおよび水素ガスが検知された。

試錐調査より、対象地付近の相互の地層の層序を柱状図として示し、Aksitero Formation の層厚変化が顕著で、小規模な階段状断層の存在可能性を示した。さらに、Aksitero Formation とオフィオライトのコンタクト部分において、“Fossil Type” の岩石や鉱物を観察することができた。しかし“Active Type” の状況を直接確認することはできなかった。

(2) 高アルカリ地下水の生成・進化のプロセスに関する調査

Zambales オフィオライトが分布する各地域の

水質タイプは、Manleluag Hotspring 及び Poonbato は高アルカリ性 (pH11.5), Ca^{2+} -OH 型、Bigbiga はアルカリ性 (pH9 程度), $\text{Na}^+(\text{Ca}^{2+})-\text{HCO}_3^-$ 型、Saile 鉱山周辺地域は中性, $\text{Ca}^{2+}\cdot\text{Mg}^{2+}-\text{HCO}_3^-$ 型であることを確認した。環境安定同位体測定からは、天水起源であることが確認された。また、Manleluag の涵養高度が他の地域より高いことが示された。

地下水の ^{14}C 法年代測定により、Bigbiga の地下水の ^{14}C 年代は最も古くて約 3000 年、負荷された有機物の古さによっては、それよりも新しいとみられる。

地下水生成に関するシミュレーション (速度論、化学平衡論、マスバランスモデル) から、天水と超塩基性岩、ガブロとの反応の程度が大きいと Manleluag、Poobato のような高アルカリ地下水が生成し、反応の程度が小さいと、Saile 鉱山のような中性近くの水になり、Bigbiga はその中間の程度の水である可能性が示された。この反応の程度は水/岩石比、滞留時間と関係しており、水/岩石比が小さい程反応の程度は大きい。また滞留時間が長いほど反応の程度が大きい。

(3) ベントナイトのアルカリ変質反応に係わる鉱物学的・地球化学的特性調査

ベントナイトの生成と地質環境に関して、Saile 鉱山のベントナイト層は、広範囲に水平に堆積していること、微量成分分析より、地下水との反応はほとんどおこらず源岩 (の REE (微量成分) のパターン) の特徴を持つこと、鉱物分析より、Quarry 下部では Ca 沸石や緑泥石が認められ、上部に行くにしたがい緑泥石に代わってスメクタイトが産出すること、及び鉱物組成から、続成作用により形成されたと考えられる。また、ベントナイトの原岩組成とベントナイトの生成環境から、凝灰質火山性堆積物の続成作用によって初生鉱物として Na-スメクタイトが生成したと考えられる。

微量成分分析から、Quarry 試料では、あまり変質作用を受けていないが、断層近くでは、やや変質作用を受けている傾向が見られた。一方、トレンチ試料の Bleached Zone (接触部近傍の変色帯) では、微量成分

の異常が Quarry 断層近傍よりも顕著であり、地下水による変質作用をより強く受けていると考えられる。また、変質ベントナイトの鉱物化学的挙動に関する観察から、Ca-Mg-Fe の累帯構造の組成変化を示す Ca スメクタイトが観察された。これは、初生鉱物と考えられる Na スメクタイトの高アルカリ地下水環境下での層間陽イオン交換反応によって生じたものと考えられる。また、一部の Ca スメクタイトは Ca 沸石 (斜劈口沸石、輝沸石、モルデン沸石あるいは一部十字沸石) に変質し、特に、Fe の濃集帯 (大部分が針鉄鉱) 近傍に限られた Ca スメクタイトがノントロナイトに変質したことが確認された。

鉱物の年代測定から、アパタイトの FT 法年代からベントナイトの生成年代は 41.3Ma (百万年前) と評価された。ただし、どのイベントの年代かをより明らかにすることが課題であり、鉱物の分離方法などを工夫する必要がある。一方、アパタイトの U-Pb 法年代測定は鉛の初期混入の影響で適用できないが、炭酸塩のルミネッセンス法は適用できる可能性が示された。

(4) ベントナイトのアルカリ変質プロセスの考察

フィリピンルソン島北西部のナチュラルアナログサイトにおけるベントナイトのアルカリ変質プロセスを、これまで得た成果に基づき整理した。特に、“Fossil Type”での過去の高アルカリ地下水との地球化学的反応により生成された変質鉱物を反応系列・経路と物質移動の視点で、ベントナイトのアルカリ変質鉱物の生成を検討し、その変質鉱物の生成プロセス (シナリオ) の作成を試みた。図-2 にそのイメージを示す。

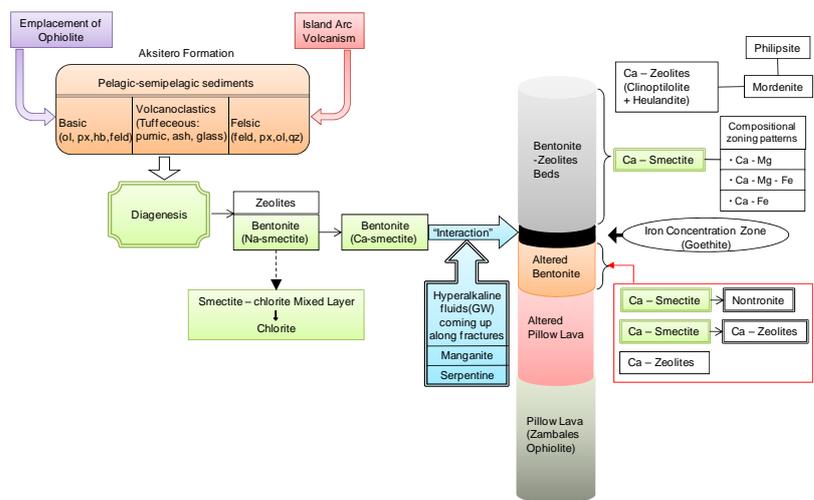


図-2 NA サイトのベントナイトのアルカリ変質プロセス

3. 放射性廃棄物処分の諸外国の安全規制に係る動向調査

◇事業の概要

本調査は、高レベル放射性廃棄物等の地層処分、比較的放射能濃度の高い低レベル放射性廃棄物の埋設が想定される余裕深度処分等について、我が国の安全規制体系の整備に資するため、諸外国における安全規制の枠組みや安全基準及び指針等に係る整備状況等の動向、更には、国際原子力機関（IAEA）や経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）における検討状況等の調査を行ったものである。

なお、本事業は経済産業省原子力安全・保安院の委託により実施したものである。

（報告書）平成 22 年度 放射性廃棄物処分の諸外国の安全規制に係る動向調査

◇平成 22 年度の成果

(1) 諸外国の最新の安全規制等に係る調査

諸外国における、地層処分や余裕深度処分等の長期的な安全性に係わる最新の考え方、並びに放射性廃棄物の処理・処分に係る最新の安全基準や指針等について調査を行った。具体的には、米国、フランス、スウェーデン、フィンランド、スイス、英国、カナダ、ドイツ、ベルギー及び IAEA、OECD/NEA 等の国際機関を対象として、安全規制制度の整備・検討状況に関する最新動向及びそれらにおける長期的な安全性に関する考え方について、主に安全規制関連文書を中心とした調査を行った（上記の調査対象国は地層処分事業を計画している主要国であり、また、米国、フランス、スウェーデン、フィンランドは我が国の余裕深度処分に類似した処分概念を有する国でもある。）。

調査結果は、各国の安全規制制度の整備・検討状況として、長期的な安全性に関する考え方を次の視点での取りまとめるとともに、調査結果と我が国における原子力安全委員会等での最新の検討状況との比較を行い、その相違点等も併せて整理を行った。

- ・長期に及び評価期間の考え方
- ・処分場の最適化及び利用可能な最善の技術(BAT)

- ・人間活動の影響
- ・長期に係る線量・リスク基準と解釈・信頼性
- ・性能評価・安全評価における不確実性の取扱い
- ・セーフティケースの内容とレビュー
- ・社会・ステークホルダーとのコミュニケーション
- ・段階的意思決定

(2) 放射性廃棄物の埋設処分に係る安全評価等に関する調査

前記(1)に示した海外主要国の放射性廃棄物の埋設処分に係る最新状況（処分方策、処分施設の概要、対象廃棄物等）並びに、対象処分に係る安全評価の考え方（長期の評価期間を考慮した評価パラメータ、評価シナリオ及びその発生頻度、並びに評価モデル、不確実性の取扱い及び確率論的評価手法等）について、最新の技術的知見の調査を行った。また、調査結果と我が国における原子力安全委員会等での最新の検討状況との比較を行い、その相違点等も併せて整理を行った。

具体的には、(1)に示した海外主要国について、各国の事業実施主体が発行する設計レポート、安全評価レポート、許認可申請書などを中心とした調査を行い、次の視点での取りまとめを行った。

- ・調査対象国における事業実施主体等による最新レポート等の取りまとめ動向
- ・最新処分概念：処分方策・方針、対象廃棄物、処分施設の概要等
- ・安全評価等の考え方：(1)の安全規制関連文書の規定内容に関する対応の考え方などについて、以下の視点で情報の取りまとめを行った。
 - ・評価モデル・評価パラメータの設定
 - ・シナリオ選定・発生頻度の取扱い
 - ・確率論的安全評価（不確実性、事象の発生確率）

(3) 閉鎖後の制度的管理等に関する調査

(1)に示した海外主要国を対象として、地層処分場等の閉鎖後の制度的管理の方法や考え方について調査を実施し、その考え方や検討状況について、次の視点で取りまとめを行い、整理した。

- ・回収可能性
- ・土地利用管理・制限

- ・ マーカー（標識）
- ・ モニタリング・監視
- ・ 記録の保存

(4)閉鎖後の制度的管理の実施方法に関する調査

受動的な制度的管理である土地利用管理・制限、マーカー（標識）、モニタリング・監視、記録の保存について、諸外国で具体的に検討されている事例に対応する我が国のツールを調査するとともに、我が国において今後必要となり得るツールや課題について検討を行った。

我が国にすでに存在するツールとしては、自然環境保全法などの土地利用関連法による土地利用管理・制限や監視、国立公文書館や国立国会図書館等における記録の保存、記念碑等のマーカー／モニュメントの永続的な管理の仕組み等が考えられ、これらの法制度・管理等の実態を調査した。また、放射性廃棄物処分以外の分野において、制度的管理のような事例についても調査した。

さらに、(3)で調査した結果に基づいて、我が国として取り得るオプションを設定するとともに、そのために必要となる法制度、規制上で事業者を検討を委ねるべき事項を明確にした。法制度を整備すべき事項としては、①土地利用管理・制限、②記録の保存が想定されるため、現行の「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」での規定内容を超えて必要となる法律事項を検討した。また、事業者を検討を委ねるべき事項としては、①永続的なマーカー（標識）の設計、②モニタリング・監視方法、③回収可能性が想定され、許認可申請書などで記載を要求すべき事項、設計要件などの検討を行った。

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

4. 放射性廃棄物処分の安全審査指針等に関する調査

◇事業の概要

本調査は、原子力安全委員会における「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第1次報告）」（平成12年11月）の見直し、「精密調査地区選定に係る環境要件」の策定、並びに安全審査基本指針の策定に向けて、諸外国の情報・事例等の調査を行うとともに、重要事項に関する諸外国の検討状況の調査を行い、これらを体系的に整理する。また、低レベル放射性廃棄物の埋設処分に係る指針・基準等の整備に関して、諸外国の規制行政庁、研究機関、国際機関等における規制、研究、検討状況の調査を行う。

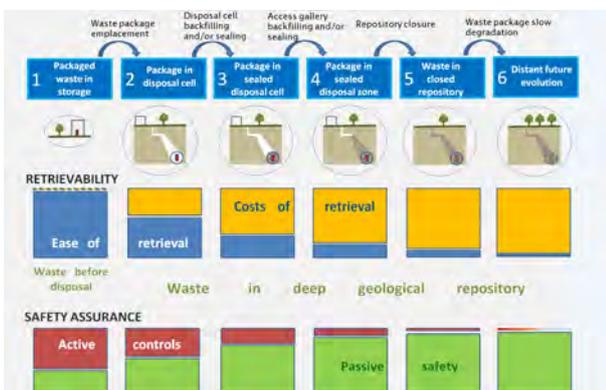
なお、本事業は内閣府原子力安全委員会事務局の委託により実施したものである。

（報告書）平成22年度 放射性廃棄物処分の安全審査指針等に関する調査 報告書

◇平成22年度の成果

(1) 国際機関の安全規制動向調査

国際原子力機関（IAEA）の安全基準の整備状況について、放射性廃棄物処分に関わる安全要件、安全指針の平成22年度現在における検討状況を取りまとめた。経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）における、地層処分に於ける放射性廃棄物の回収可能性（回収物の貯蔵を含む）と可逆性に関する検討状況を取りまとめるとともに、2012年12月に開催された「可逆性と回収可能性に関する国際会議」（開催地・ランス、フランス）での検討状況を調査した。



処分段階における回収可能性と可逆性の概念（R-Scale）

「OECD/NEA R&R Leaflet」

(2) 諸外国の安全規制動向調査

フィンランド、スウェーデン、フランス、スイス、ドイツ、英国、米国、カナダにおける地層処分及び浅地中処分に係る平成22年度現在における状況を取りまとめるとともに、サイト選定段階の進展において、その次段階へ進むにあたっての規制機関の関与の有無、役割、及びそれらの法制度上の根拠・規制内容を調査した。

(3) 処分場の閉鎖後における安全確保に関する検討状況の調査

処分場の閉鎖後管理・モニタリングについての検討状況について、国際機関及び諸外国の法令などにおける規定内容を調査、整理した。また、諸外国で実施された最新の安全評価（スウェーデン SR-Can、フランス Dossier 2005）を対象に、安全評価期間の考え方、地層処分における人為事象の考え方と取り扱いについて調査・分析した。

(4) ステークホルダー・インボルブメントに関する調査

地層処分場の審査の過程に公衆が意味のある形で関与する「段階的な意志決定」及びその過程におけるステークホルダー・インボルブメントの取組について、国際機関や諸外国での事例及び検討状況を調査した。諸外国で実際に行われた取り組み事例として、スウェーデン、フィンランド、フランスでの規制機関等によるコミュニケーション活動事例を取り上げ、活動内容や処分事業の進展への反映状況を整理、分析した。

(5) 放射性廃棄物処分におけるマネジメントシステムに関する調査

IAEA 安全基準及び諸外国における法令・規則等における、放射性廃棄物処分のためのマネジメントシステムに関する規制事項、指針等の内容を取りまとめるとともに、安全評価の実施やセーフティケースの取りまとめにおけるプロジェクト全体の進め方（規制側側のプロジェクトも含む）や、安全解析で用いるモデルやデータの取り扱い方に係るマネジメント上の規定内容を調査・整理した。

5. 放射性廃棄物処分への適用のための一般廃棄物処分場モニタリングに関する基礎調査

◇事業の概要

放射性廃棄物処分事業において重要な位置付けを持つ処分場モニタリングの計画の構築に資するため、既に多くの実施例が存在する一般廃棄物及び産業廃棄物最終処分場におけるモニタリングの目的と手法のうち、放射性廃棄物の処分に適応性を持つものについて調査を行なった。

(報告書)平成 22 年度自主調査研究報告書
放射性廃棄物処分への適用のための一般廃棄物
処分場モニタリングに関する基礎調査

◇平成 22 年度の成果

(1) 最終処分場の分類

廃棄物処理法（1970 年制定）により、産業廃棄物と一般廃棄物の分類が行われた。このうち、産業廃棄物の最終処分場は廃棄物の種類により遮断型、管理型と安定型に分けられる。一方、一般廃棄物の最終処分場はすべて産業廃棄物で分類された管理型に属している。

本調査では、産業廃棄物管理型最終処分場及び一般廃棄物最終処分場を中心に検討を実施した。

(2) 最終処分場のモニタリング

産業廃棄物管理型最終処分場および一般廃棄物最終処分場は、処分場開設、埋立開始、埋立終了（閉鎖）、維持・管理、維持・管理終了（廃止）というライフサイクルにより運営されるが、埋立終了（閉鎖）後も廃止までは、汚水（浸出水）の処理などの維持・管理業務を続ける必要がある。これらの処分場の廃止基準は、埋立地の地盤が安定すると共に、埋立地の維持管理を行わなくとも環境影響を無視できる状態となることであり、処分場のモニタリングはこの「安定化」した状態にどの程度近づいているかについて実施される。

これらの処分場において、埋め立てられた廃棄物は雨水との接触や微生物の活動によって分解、安定化していくと共に、熱、ガス、溶質が放出されるため、これらの情報がモニタリング

されている。また、これらに加え、廃棄物の分解の状況を間接的に知るため、地表面の植生がモニタリングされている。

以上のモニタリング項目のうち、放射性廃棄物の処分場におけるモニタリング項目と共通するものとして、地表の熱と植生に関するモニタリングが挙げられる。これらのモニタリングには地表での測定に加え、衛星リモートセンシングの利用が検討されている。

(3) 衛星リモートセンシングの利用

衛星リモートセンシングの長所として面的情報を一括して得ることが出来る点が挙げられる。リモートセンシング技術は電磁波を用いて地球の表面と大気に関わる情報を収集するものであり、電磁波の発生源により受動システムと能動システムに分類される(表 1)。受動システムはさらに反射太陽光を検出するものと、あらゆる物体から放出される熱放射を検出するものに分けられる。この熱放射は赤外領域を主とし、マイクロ波領域に達している。能動システムには原理的にはあらゆる波長域が利用できるが、実際には大気の透明度に左右され、可視から赤外にかけてのスペクトル領域とマイクロ波領域が利用されている。

一般廃棄物及び産業廃棄物を対象とした分野においては、地表の熱と植生の状況の把握の他、不法投棄の監視や大規模処分場の管理等のために衛星リモートセンシングによるモニタリングを用いることが検討されている。これらの事例について以下に示す。

表 1 リモートセンシングの分類¹⁾

	受動システム			能動システム	
	反射太陽光	放射熱		可視／赤外	マイクロ波（電波）
		赤外	マイクロ波（電波）		
非画像		熱赤外放射計測	受動マイクロ波計測	レーザー測距	レーダー高度計、マイクロ波散乱計測
画像	航空写真 可視・近赤外画像形成	熱赤外画像形成	受動マイクロ波放射計測		実開口レーダー、合成開口レーダー
探査	紫外後方散乱探査	熱赤外探査	受動マイクロ波探査	ライダ	

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

①植生の把握

リモートセンシングによる処分場の植生把握には、資源探査用将来型センサ ASTER が多く用いられている。これは、植物が近赤外域で大きな反射率を示し、可視域や中赤外域では反射率が低下するという分光特性を利用したものである。

衛星により取得されたデータは様々な処理を施して利用されるが、植物の活性度を示す代表的指標として正規化植物指標 (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) が挙げられ、NDVI が高い程、植物が育成していることを示す。NDVI 指標を時系列に解析し、最終処分場周辺の植生の育成阻害の指標として活用することが検討されており²⁾、また、処分場から発生するガスにより植物の発芽、育成が阻害されることを用い、ガスの発生状況を推定することも検討されている³⁾。

ASTER 画像利用の問題点としては、同じ範囲で定期的に撮影が行われているわけではなく、時期により画像が存在しないこと、雲により対象が隠れる等、気象条件に左右されることが挙げられる。

②地表面温度分布の把握

廃棄物と土の間には熱伝導率、比熱、密度等の熱に関わる特性の違いが存在するため、太陽光による温度上昇の度合いが異なる。このことを利用し、衛星リモートセンシングにより地表面温度分布を把握し、廃棄物の埋設場所を特定することが検討されている⁴⁾。LANDSAT7 により得られた熱赤外域のデータを用い、処分場敷地内と裸地を比較し、温度差を検知しており、廃棄物の不法投棄検出への適用を検討している。

一方で、この手法の問題点としては気象条件に左右されること、一定時間太陽光を浴びると熱の蓄積により廃棄物を埋めた個所とそうでない個所の温度が近接し、識別が困難となることが専門家により指摘されている。

(4)放射性廃棄物処分場モニタリングへの適用

一般廃棄物処分場のモニタリングに於いて検討されている、衛星による植生の把握と地表面温度分布の把握については、放射性廃棄物処分場のモニタリングへ適用が可能なものと考えら

れる。

原環センターにおける既往の調査⁵⁾では、衛星の熱赤外センサによる地表温度分布の変化の検出により、処分場の地表湧水や浅部の地下水流の把握について検討を実施しているが、実施にあたっては(3)②で述べた気象の影響や熱の蓄積の影響を勘案する必要があるものと思われる。

衛星リモートセンシングの放射性廃棄物処分場のモニタリングへの適用は、諸外国でも検討されており、特に、可視光画像と合成開口レーダーが着目されている⁶⁾。

可視光画像の解析による核拡散防止目的のモニタリングは、フィンランドの放射性廃棄物処分場の候補地区にて適用されており、処分場建設後のモニタリングにも適用可能と考えられる。

また、合成開口レーダーによるモニタリングは、一般廃棄物の処分場では適用に不向きとされている面があるが、地層処分のモニタリングに於いては、適用の利点が存在するものと考えられる。特にコーナーリフレクタを用いた干渉 SAR は標高の変化を数 mm のスケールでモニタリング可能であるため、広範囲にモニタリングを実施することにより、地下の放射性廃棄物処分施設の建設による地表の沈降と広域のテクトニックな要因による沈降を識別してモニタリングすることが可能と考えられる。また、モニタリング対象地域で断層活動が生じた場合にも、これを検出することが可能と考えられる。

- 1) Rees, W.G. 著、久世宏明、飯倉善和、竹内章司、吉森久 訳、リモートセンシング技術の基礎、2005、森北出版
- 2) 西隆行、八村智明、宮原哲也、廃棄物最終処分場におけるリモートセンシング技術の応用、日本環境衛生センター所報、No. 35, p. 58-64, 2008
- 3) 石崎俊夫、島岡隆行、中山裕文、小宮哲平、眞鍋和俊、衛星リモートセンシングによる大規模廃棄物処分場のモニタリング手法の検討、土木学会第 59 回年次学術講演会、2004
- 4) 井上健児、小宮哲平、中山裕文、島岡隆行、廃棄物処分場管理におけるリモートセンシングの活用に関する研究、土木学会西部支部研究発表会、2002
- 5) 財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター平成 14 年度 地層処分技術調査等 高精度物理探査技術高度化調査報告書 (第 1 分冊)、2003、
- 6) European Commission Community Research, MoDeRn, 2010, Monitoring Technologies Workshop Report 7-8 June 2010 - Toroyes (France), <http://www.modern-fp7.eu/>

6. その他の放射性廃棄物全般に共通する調査研究

(1) 放射性廃棄物処理処分に関する国内外動向等調査

海外機関との協力協定等に基づく情報交換や海外機関の国内関係施設訪問支援を通じて最新情報の収集等を行った。平成 22 年度中には、韓国 (KHNP/NETEC、KRMC)、米国 (NRC)、スウェーデン (SKB)、カナダ (NWMO)、スイス (Nagra)、フランス (ANDRA)、国際原子力機関 (IAEA) より、研究者等が訪日しており、適時の情報交換会等を開催することで、放射性廃棄物処理処分に関する情報収集等を実施した。また、韓国 (KHNP/NETEC、KRMC) とは、国内関係機関や関連企業等の協力を得て、特定テーマに関するワークショップを開催するとともに国内関連施設の訪問支援等を行った。また、平成 22 年度には海外訪問調査等として、東アジア放射性廃棄物管理フォーラム (EAFORM) への協力を通じた韓国の放射性廃棄物処分関連機関や施設の訪問、スウェーデン、ドイツ、並びに、米国の放射性廃棄物処理処分の関連機関や施設への訪問調査を行い、現地での詳細な情報収集を行った。

(2) 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 22 年度版)」を作成し、国内関係機関等に配布した。



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、原環センター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PR施設「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22年度は、平成21年度に引き続き、以下の項目を実施した。

(1) 地上での設備の整備

① 設備建屋の整備

② 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
- ・ 緩衝材搬送・定置試験の実施

③ 設備建屋の運営(人工バリア等の展示)

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22年度 原子力施設立地推進調整委託費(地層処分実規模設備整備事業) 報告書

◇平成22年度の成果

(1) 設備建屋の整備

平成22年3月に施工した設備建屋の整備を行った。実施内容を以下に示す。

- ・ 照明コンセント設備等設置工事及び内装工事
- ・ 緩衝材定置試験用電源キュービクル(100V, 200V)の設置(図-1)
- ・ 建屋内電源盤の設置
- ・ 外構工事



図-1 緩衝材定置試験用電源キュービクル

(2) 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21年度に引き続き、緩衝材定置試験設備の整備を進め、その一部となる緩衝材台車を製作した(図-2)。



図-2 緩衝材定置試験設備の整備状況

・人工バリア長期挙動試験の実施

緩衝材可視化試験装置（緩衝材（直径 10cm／厚さ 5cm：一体型と分割型の計 2 体））に、平成 22 年 4 月 28 日より注水を開始し、緩衝材の浸潤状況を測定した(図-3、4)。



平成 22 年 4 月 28 日注水開始前



平成 23 年 3 月 22 日注水中

図-3 緩衝材可視化試験装置浸潤状況

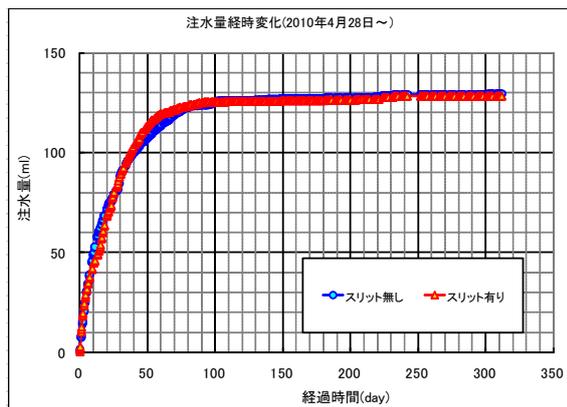


図-4 緩衝材可視化試験装置注水量推移

・緩衝材搬送・定置試験

平成 22 年 9 月 4 日（土）、5 日（日）に幌延町で開催した「おもしろ科学館 in 幌延 2010」（北海道経済産業局主催）に合わせ、緩衝材搬送・定置試験を公開した。試験は両日とも午前・午後各 1 回、計 4 回実施した。なお、定置装置が未完成のため試験は天井クレーンと真空把持装置を用いて行った。

両日の来館者数は 864 名であった。(図-5～9)



図-5 基本動作



図-6 試験手順

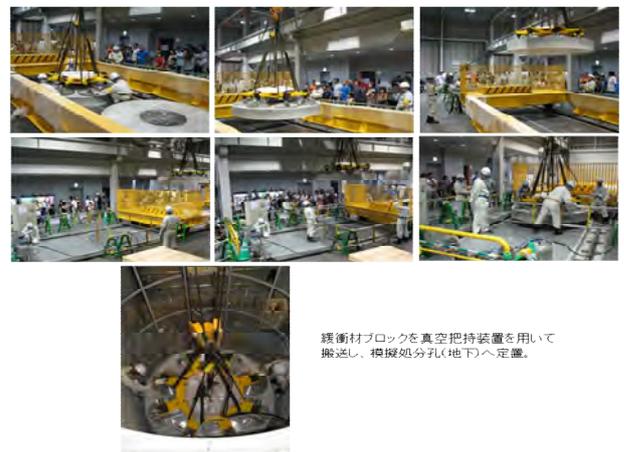


図-7 試験実施状況 1

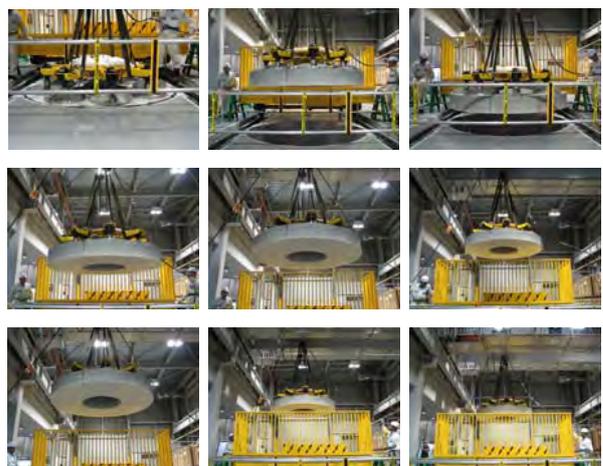


図-8 試験実施状況 2

IV. 放射性廃棄物処分への理解促進



図-9 試験実施状況 3

(3) 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

平成 22 年 3 月 26 日に竣工した設備建屋は、施設の正式名称を「地層処分実規模試験施設」として、平成 22 年 4 月 28 日に開館式典を実施した後、一般公開を開始した。平成 23 年 3 月 31 日迄に 8084 人が来館した。(図-10~12)

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PR施設「ゆめ地創館」と連絡通路で結び、一体的な運営を行うこととし、来館者は「ゆめ地創館」から入館し、ここでエネルギーや地質、地層処分全般に関わる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じ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出来る構成としている。



来賓者によるテープカット
来賓者集合写真
図-10 開館式典の状況



説明状況
展示状況 (2階より)



人工バリアカットモデル
緩衝材定置装置と模擬処分孔
図-11 展示状況

年月	来館者数		男女別			月計	累計 (開館~)
	一般	関係者 *2	男	女	子供		
平成 22 年 4 月*1	86	9	67	28	0	95	95
平成 22 年 5 月	935	33	540	405	23	968	1,063
平成 22 年 6 月	749	7	491	235	30	756	1,819
平成 22 年 7 月	1,105	3	552	418	138	1,108	2,927
平成 22 年 8 月	1,291	14	538	434	333	1,305	4,232
平成 22 年 9 月	1,685	8	752	422	519	1,693	5,925
平成 22 年 10 月	682	4	440	184	62	686	6,611
平成 22 年 11 月	592	10	297	134	171	602	7,213
平成 22 年 12 月	137	6	86	43	14	143	7,356
平成 23 年 1 月	162	3	89	42	29	165	7,521
平成 23 年 2 月	262	0	147	100	15	262	7,783
平成 23 年 3 月*1	298	3	163	102	36	301	8,084
合計	7686	97	3852	2345	1319	-	8084

*1 設備建屋は平成 22 年 4 月 28 日より開館。

図-12 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-13)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-14)を配布し、地層処分への理解促進に努めている。

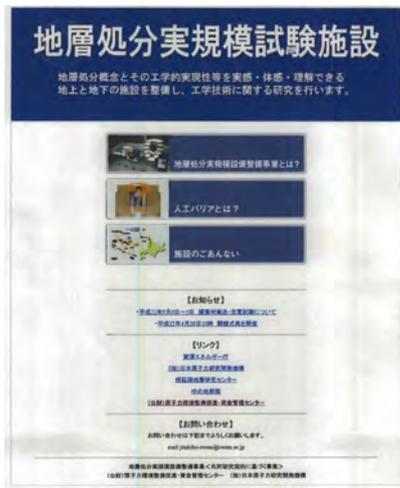


図-13 地層処分実規模試験施設ホームページ
(<http://www.rwmc.or.jp/institution/>)



図-14 配布パンフの一例

(4) 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。

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。

これらのうち、平成 22 年度中に現行覚書が期限となる中国核工業集团公司地質局（CNNC/BOG）について、3 ヶ年の協力を規定した新たな覚書を取り交わした。

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/SKBIL）
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院（KHNP/CRI）
	韓国放射性廃棄物管理公団（KRMC）
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）

平成 22 年度には、フランス ANDRA と新たに無線伝送に関する共同研究の準備を進めるとともに、同機関への技術者の派遣を継続して実施した。また、SKB とベントナイト緩衝材の再冠水に関するワークショップを開催し、原子力発電環境整備機構（NUMO）、JAEA 関係者とともに再冠水後の長期挙動及び安全性評価について情報交換を行った。

(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ている。

(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 22 年度は、フランス・ビュール及びドイツ・パイネ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、フランス・トロワにて開催されたモニタリング技術ワークショップにて原環センターの検討成果を発表・討議した。

(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、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第 3 回コンファレンス (韓国) に参加し、プログラムの具体化検討や EAFORM の全体運営に関する協力を行った。

VI. 資料

VI. 資料

1. 講演会・セミナー等

(経済産業省委託事業「放射性廃棄物海外総合情報調査」により実施した講演会)

講演会名等	開催日	会場
シンポジウム「地域と共に歩む、地層処分事業～スウェーデンにおける対話の取り組み～」 主催：資源エネルギー庁（スウェーデン大使館後援） ・Claes Thegerström 氏（SKB 社社長） ・Kaj Ahlbom 氏（元 SKB 社フォルスマルク事務所長） ※上記以外にパネリストとして我が国の地層処分関係者等が参加。	平成 22 年 10 月 28 日	三田共用会議所 講堂
講演会「フランスにおける地層処分事業の最新動向」 主催：原子力発電環境整備機構及び当センターの共催 ・Jean Louis Tison 氏（ANDRA 国際部） ・Richard Poisson 氏（ANDRA 国際部） ・Thibaud Labalette 氏（ANDRA プロジェクト部）	平成 22 年 11 月 22 日	公益財団法人 日 仏会館 ホール

(原環センター主催の研究発表会・講演会・セミナー)

講演会名等	開催日	会場	
平成22年度 原環センター研究発表会 報告： 「諸外国の放射性廃棄物処分の状況－可逆性・回収可能性の動向を含めて－」 稲垣裕亮（技術情報調査プロジェクト） 「地層処分のモニタリングに関する調査研究」 田辺博三（技術参事） 特別講演： 「地層処分サイト選定作業の加速と研究開発－失敗例と良例に学ぶ－」 田中 知 氏（東京大学大学院 工学系研究科 教授）	平成22年12月6日	みらいCANホール（日本科学未来館）	
講演会・セミナー等	第1回講演会「地層処分地選定に係る政治過程の社会技術的分析－東洋町における対立要因と解決策への展望－」 小松崎俊作 氏（東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 国際プロジェクト研究室 特任研究員）	平成22年6月25日	原環センター
	第2回講演会 講演1：「原環センターにおける調査研究の全体概要」 稲垣裕亮（技術総括室） 講演2：「第二種廃棄物埋設及びクリアランスに係る濃度基準値の検討経緯」 山本正史（基準・規格調査研究プロジェクト）	平成22年10月18日	原環センター
	第3回講演会「第四紀下限の変更と社会への影響」 天野一男 氏（茨城大学 理学部 地球環境科学コース 教授）	平成23年2月4日	原環センター
	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（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22年5月28日	財団法人深田地質研究所 研修ホール
	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」 大江俊昭 氏（東海大学 工学部 原子力工学科 教授）	平成22年11月12日	財団法人深田地質研究所 研修ホール

VI. 資料

2. 論文投稿、外部発表等

(論文投稿)			
No.	題 目	原環センター著者	発 表 先
1	FULL-SCALE TEST ON OVERPACK CLOSURE TECHNIQUES FOR HLW REPOSITORY OPERATION- WELDING METHODS AND UT SYSTEMS FOR LONG-TERM STRUCTURAL INTEGRITY OF THE WELD JOINT -	中村有夫、朝野英一	第13回 International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010)、2010/10/3~7 (つくば)
2	DESIGN OPTIONS FOR HLW REPOSITORY OPERATION TECHNOLOGY, (I) DEMONSTRATION AND EVALUATION OF REMOTE HANDLING TECHNOLOGIES	中島均、朝野英一	第13回 International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010)、2010/10/3~7 (つくば)
3	NATURAL ANALOGUE OF BENTONITE REACTION UNDER HYPERALKALINE CONDITIONS: OVERVIEW OF ONGOING WORK AT THE ZAMBALES OPHIOLITE, PHILIPPINES	藤井直樹、山川稔	第13回 International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010)、2010/10/3~7 (つくば)
4	DESIGN OPTIONS FOR HLW REPOSITORY OPERATION TECHNOLOGY, (II) Bentonite Block Forming and Vertical Emplacement	中島均、朝野英一	第13回 International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010)、2010/10/3~7 (つくば)
5	DESIGN OPTIONS FOR HLW REPOSITORY OPERATION TECHNOLOGY, (III) Transportation and Horizontal Emplacement of Pre-Fabricated EBS module (PEM)	中島均、朝野英一	第13回 International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010)、2010/10/3~7 (つくば)

(論文投稿)			
No.	題 目	原環センター著者	発 表 先
6	DESIGN OPTIONS FOR HLW REPOSITORY OPERATION TECHNOLOGY, (IV) Shotclay Technique for Seamless Construction of EBS	中島均、朝野英一	第13回 International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010)、2010/10/3~7 (つくば)
7	DESIGN OPTIONS FOR HLW REPOSITORY OPERATION TECHNOLOGY, (V) Preliminary Study and Small Scale Experiments on the Method of Removal of Buffer Material with Salt Solution	中島均、朝野英一	第13回 International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010)、2010/10/3~7 (つくば)
8	Wireless transmission monitoring in a geological disposal repository, (I) Concepts and Advantages	須山泰宏、和田隆太郎、青木和弘	SYMPOSIUM PROCEEDINGS Volumel193 Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXIII、2010/10
9	Wireless transmission monitoring in a geological disposal repository, (II) Research and Development	須山泰宏、和田隆太郎、青木和弘	SYMPOSIUM PROCEEDINGS Volumel193 Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXIII、2010/10
10	閉鎖時の意思決定における地層処分モニタリングのあり方に関する検討	須山泰宏、吉村公孝、田辺博三、江藤次郎	日本原子力学会バックエンド部会誌「原子力バックエンド研究」、Vol. 17、2010/12
11	開水路およびPC水路橋における30年経過後の変質調査	林勝	セメント・コンクリート論文集、No. 64、2011/2
12	セメント硬化体の3元イメージモデルによる塩化物イオンの拡散予測	大和田仁	セメント・コンクリート論文集、No. 64、2011/2
13	DISCUSSIONS ABOUT SAFETY CRITERIA AND GUIDELINES FOR RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT	山本正史	Radiation Protection Dosimetry (RPD)別冊号、2011/4/29

VI. 資料

(論文投稿)			
No.	題 目	原環センター著者	発 表 先
14	Long-Term Integrity of Overpack Closure Weld for HLW Geological Disposal, (I) Prediction and Evaluation Method for Structural Integrity for the Weld Joint.	朝野英一、中村有夫、 小林正人	Corrosion Engineering, Science and Technology, Vol 46, No2, 2011/4
15	Long-Term Integrity of Overpack Closure Weld for HLW Geological Disposal, (II) Corrosion Properties under Anaerobic Condition.	小林正人、朝野英一、 高橋里栄子	Corrosion Engineering, Science and Technology, Vol 46, No2, 2011/4 (投稿は2010年)
16	Propagation Behaviour of General and Localised Corrosion of Carbon steel in Simulated Groundwater under Aerobic Environmental Conditions	小林正人、朝野英一、 高橋里栄子	Corrosion Engineering, Science and Technology, Vol 46, No2, 2011/4

注) 平成 22 年度に投稿し、平成 23 年 8 月までに刊行されたものも記載

(学会発表等)			
No.	題目	原環センター発表者	発表先
1	放射性廃棄物処理処分対策について	山本正史	日本原子力情報センター、原子力入門・基礎講座、2010/5/20～5/21
2	フィリピン国ルソン島北西部における高アルカリ地下水-環境下のベントナイトの長期健全性に関するナチュラルアナログ研究-	藤井直樹、山川稔、 吉村公孝	日本地球惑星科学連合 2010 年度大会、2010/5/23～28
3	フィリピン産オフィオライトにおける高アルカリ地下水-ベントナイト相互作用に関するナチュラルアナログ研究-	山川稔、藤井直樹	日本地球惑星科学連合 2010 年度大会、2010/5/23～28
4	ベントナイト、オフィオライト-水岩石反応に関するナチュラルアナログ研究-フィリピン Mangatarem の一例-	山川稔、藤井直樹	日本地球惑星科学連合 2010 年度大会、2010/5/23～28
5	Discussions about Safety Criteria/Guidelines for Radioactive Waste Management	山本正史	第 3 回アジア・オセアニア放射線防護会議、2010/5/24～28 (東京)

(学会発表等)			
No.	題目	原環センター発表者	発表先
6	Wireless Transmission Monitoring for Geological Disposal	須山泰宏、江藤次郎、 田辺博三	MoDeRn RTD Workshop、 2010/6/7～6/9(フランス・トロア)
7	Technical Menu System on Monitoring of Geological Disposal, a Development Report	江藤次郎、須山泰宏、 田辺博三	MoDeRn RTD Workshop、 2010/6/7～6/9(フランス・トロア)
8	Long-Term Integrity of Overpack Closure Weld for HLW Geological Disposal, (I) Prediction and Evaluation Method for Structural Integrity of the Weld Joint	朝野英一	第4回放射性廃棄物処分における腐食挙動に関する国際ワークショップ、2010/6/28～7/2(ベルギー・ブリュージュ)
9	Long-Term Integrity of Overpack Closure Weld for HLW Geological Disposal, (II) Corrosion Property under Anaerobic Condition	小林正人	第4回放射性廃棄物処分における腐食挙動に関する国際ワークショップ、2010/6/28～7/2(ベルギー・ブリュージュ)
10	地下空洞型処分施設性能確認試験の実施状況(施工確認試験を中心として)	中島 貴弘	日本原子力学会第26回バックエンド夏季セミナー、2010/8/2～8/4
11	高アルカリ水の影響を受けたスメクタイトの天然事例の調査	江藤次郎、大和田仁、 黒澤進	日本原子力学会第26回バックエンド夏季セミナー、2010/8/2～8/4
12	炭素鋼オーバーパック溶接部の耐食性に関する検討	小林正人、高橋里栄子、 朝野英一	日本原子力学会第26回バックエンド夏季セミナー、2010/8/2～8/4
13	放射性廃棄物処分におけるベントナイト緩衝材の施工確認試験事例 －地下空洞型処分施設性能確認試験－	中島貴弘、寺田賢二、 秋山吉弘、佐藤敏文、 織田信明	地盤工学会第45回地盤工学研究発表会、2010/8/18～21
14	水-ガス-応力連成解析によるベントナイト中のガス移行挙動に関する検討	朝野英一、林秀郎	土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会、 2010/9/1～9/3

VI. 資料

(学会発表等)			
No.	題目	原環センター発表者	発表先
15	再冠水過程が緩衝材の品質に与える影響に関する研究(その1) 全体試験計画及びベントナイトの膨潤圧による均質化評価	須山泰宏、朝野英一、 中島均	土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会、 2010/9/1~9/3
16	再冠水過程が緩衝材の品質に与える影響に関する研究(その2) ベントナイトの膨潤挙動に関する一考察	須山泰宏、朝野英一、 中島均	土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会、 2010/9/1~9/3
17	廃棄体回収のための塩水を利用した緩衝材除去技術	中島均	土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会、 2010/9/1~9/3
18	「地下空洞型処分施設性能確証試験」の進捗状況及び成果概要について	秋山吉弘、寺田賢二、 佐藤敏文、織田信明、 中島貴弘	土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会、 2010/9/1~9/3
19	発熱廃棄体の表面温度に関する検討 －地下空洞型処分施設性能確証試験	秋山吉弘	土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会、 2010/9/1~9/3
20	廃棄体の発熱が充てん材の諸性状に及ぼす影響 －地下空洞型処分施設性能確証試験	秋山吉弘	土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会、 2010/9/1~9/3
21	区画内充てん材の流動性とポンプ圧送性 －地下空洞型処分施設性能確証試験	秋山吉弘	土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会、 2010/9/1~9/3
22	膨張材を使用した高流動モルタル打設時の側圧について －地下空洞型処分施設性能確証試験	佐藤敏文、秋山吉弘	土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会、 2010/9/1~9/3
23	コンクリート・モルタルのひび割れ予測評価に関する考察 －地下空洞型処分施設性能確証試験	佐藤敏文、秋山吉弘	土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会、 2010/9/1~9/3
24	吹付け工法による側部緩衝材の施工確認試験事例 －地下空洞型処分施設性能確証試験	寺田賢二、秋山吉弘、 中島貴弘	土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会、 2010/9/1~9/3
25	緩衝材部材としてのベントナイトの圧密・せん断特性 －地下空洞型処分施設性能確証試験	中島貴弘、秋山吉弘	土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会、 2010/9/1~9/3

(学会発表等)			
No.	題目	原環センター発表者	発表先
26	飽和ベントナイトのガス移行試験とガス経路の可視化の検討	林秀郎、朝野英一	土木学会平成 22 年度全国大会第 65 回年次学術講演会、2010/9/1～9/3
27	放射性廃棄物処分の状況について	山本正史	放射性廃棄物処分に関する技術動向調査委員会、2010/9/3
28	第一原理電子状態計算によるモンモリロナイト端面の構造と吸着水の挙動	藤井直樹	日本粘土学会第 54 回粘土科学討論会、2010/9/6～9/8
29	ルソン島北西部のアルカリ環境下におけるベントナイトの鉱物学的特性	藤井直樹、山川稔	日本粘土学会第 54 回粘土科学討論会、2010/9/6～9/8
30	岩質材料のサブクリティカル亀裂進展における繊維補強効果	大和田仁、中西博	平成 22 年度資材・素材関係学協会合同秋季大会、2010/9/13～9/15
31	地層処分に関するモニタリング技術メニューの整備	江藤次郎、須山泰宏、吉村公孝、田辺博三	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17
32	欧州原子力共同体モニタリング共同研究 MoDeRn での取り組み	須山泰宏、田辺博三、江藤次郎、吉村公孝	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17
33	小型化地中無線モニタリング装置の開発と緩衝材ブロックへの設置方法の検討	須山泰宏、江藤次郎、吉村公孝、田辺博三	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17
34	地層処分にかかわる記録保存の調査	須山泰宏、藤井直樹、江藤次郎、吉村公孝	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17
35	「余裕深度処分対象廃棄体の製作に係わる基本的要件」の標準について	中瀬 辰男	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17
36	圧縮挙動とスメクタイト溶解速度の干渉計測定	江藤次郎、大和田仁	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17
37	ベントナイト緩衝材の長期挙動に関する化学/力学連成解析	大和田仁	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17
38	塩水を利用した緩衝材除去方法の検討 -(7) 緩衝材除去の効率化の検討(不飽和条件)	中島均、朝野英一	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17
39	塩水を利用した緩衝材除去方法の検討 -(8) 緩衝材除去の効率化の検討(飽和条件)	中島均、朝野英一	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17

VI. 資料

(学会発表等)			
No.	題目	原環センター発表者	発表先
40	高レベル放射性廃棄物処分場における無線通信技術の遠隔定置装置への適用対象検討	中島均、朝野英一	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17
41	TRU 廃棄物処分ガス移行挙動評価手法の構築—時系列状態変化表を用いた評価手法の構築—	菱岡宗介、林秀郎、朝野英一	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17
42	還元雰囲気における FeCl ₂ 水溶液中での AgI 溶解の温度依存性	桜木智史	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17
43	ヨウ素の長期閉じ込めを目指した BPI ガラス固化技術の開発 (その 2)	大和田仁、桜木智史	日本原子力学会 2010 年秋の大会、2010/9/15～9/17
44	GEOCHEMICAL BEHAVIOR OF BENTONITE REACTION UNDER HYPERALKALINE CONDITIONS—OVERVIEW OF ONGOING PHILIPPINES NATURAL ANALOGUE PROGRAM—	山川稔、藤井直樹	The 6th Japan Korea Joint Workshop on Radioactive Waste Disposal 2010: Practice to Science and Engineering、2010/10/19～10/20(岡山県鏡野町)
45	炭素鋼溶接金属の水素脆化割れに及ぼす微小欠陥の影響	小林正人、高橋里栄子、朝野英一	第 57 回材料と環境討論会、2010/10/20～10/22
46	基礎講座Ⅱ「地層処分に関する諸外国の動向」	江守稔	日本原子力学会バックエンド部会「2010 年度週末基礎講座」、2010/10/30～10/31
47	実践講座Ⅰ「人工バリアの性能評価」	大和田仁	日本原子力学会バックエンド部会「2010 年度週末基礎講座」、2010/10/30～10/31
48	Construction Methodology of Bentonite Buffer for a Cavern Type Disposal Facility	寺田賢二、秋山吉弘、中島貴弘、織田信明	The 3rd East Asia Forum on Radwaste Management、2010/11/1～11/4 (韓国・慶州)
49	Construction Methodology of Cementitious EBS Components for a Cavern Type Disposal Facility	寺田賢二、秋山吉弘、中島貴弘、織田信明	The 3rd East Asia Forum on Radwaste Management、2010/11/1～11/4 (韓国・慶州)

(学会発表等)			
No.	題目	原環センター発表者	発表先
50	MONITORING STRATEGY TO SUPPORT DECISION-MAKING FOR GEOLOGICAL REPOSITORY CLOSURE	須山泰宏、田辺博三、江藤次郎	The 3rd East Asia Forum on Radwaste Management、2010/11/1～11/4 (韓国・慶州)
51	MONITORING IN SUPPORT OF DECISION-MAKING FOR STAGED IMPLEMENTATION OF GEOLOGICAL DISPOSAL	須山泰宏、田辺博三、江藤次郎	OECD/Nuclear Energy Agency、Reversibility and Retrievability:An International Conference and Dialogue、2010/12/14～12/17(フランス・ランス)
52	原環センターのガス移行挙動研究の現状について	朝野英一、林秀郎	(財)原子力安全研究協会、2011/1/18
53	フィンランドの使用済燃料地層処分場の長期安全評価について	吉田崇宏	第13回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会、2011/3/10～3/11
54	閉鎖時の意思決定における地層処分モニタリングのあり方に関する検討	田辺博三、江藤次郎、鈴木圭、吉村公孝	日本原子力学会 2011 年春の年会、2011/3/28～3/30
55	放射化金属廃棄物の C-14 の放出挙動評価 (9) -ハル・エンドピースに関するソースタームデータ概論-	田辺博三、朝野英一、高橋陵太、桜木智史、宮川英明	日本原子力学会 2011 年春の年会、2011/3/28～3/30
56	放射化金属廃棄物の C-14 の放出移行に関する研究 (10) -ハル・エンドピース (BWR) の C-14 インベントリの評価-	桜木智史、大和田仁、田辺博三	日本原子力学会 2011 年春の年会、2011/3/28～3/30
57	ヨウ素固定化技術開発 (11) -岩石固化体のヨウ素放出挙動の理解-	大和田仁、桜木智史、宮川英明	日本原子力学会 2011 年春の年会、2011/3/28～3/30
58	ヨウ素固定化技術開発 (12) -BPI ガラス固化体の浸漬試験および通水試験	大和田仁、桜木智史	日本原子力学会 2011 年春の年会、2011/3/28～3/30
59	ヨウ素固定化処理プロセスの検討 (1) - BPI ガラス固化技術における乾式ヨウ素脱離工程とスケールアップ熔融炉の検討-	大和田仁、桜木智史	日本原子力学会 2011 年春の年会、2011/3/28～3/30

VI. 資料

(学会発表等)			
No.	題目	原環センター発表者	発表先
60	ヨウ素固定化処理プロセスの検討(2)－ 岩石固定化技術における廃銀吸着材の加熱 処理工程の検討－	大和田仁、桜木智史、 宮川英明	日本原子力学会 2011 年春の 年会、2011/3/28～3/30
61	ヨウ素固定化処理プロセスの検討(3)－ セメント固定化技術における湿式ヨウ素脱 離・転換工程の検討	大和田仁、桜木智史、 高橋陵太	日本原子力学会 2011 年春の 年会、2011/3/28～3/30
62	第一種廃棄物埋設における段階的な評価 と意思決定のための規制体系と事業推進 との整合性－山岳トンネル設計・掘削事 例からの示唆－	田辺博三、須山泰宏、 江藤次郎、和田隆太郎	日本原子力学会 2011 年春の 年会、2011/3/28～3/30

(その他)			
No.	題 目	著 者	発 表 先
1	地層処分事業等の国際的な動向	稲垣裕亮	原子力年鑑 2011、2010/10
2	放射性廃棄物等安全条約の現状	佐原聡	原子力年鑑 2011、2010/10
3	原子力施設の廃止措置とは何か「廃棄物処 分の実際」	山本正史	月刊「エネルギーレビュー」、 2011/1/20 号
4	XAFS Analysis of the Structure of Ca in Engineered Barrier Materials	大和田仁	高エネルギー加速器研究機構 ユーザーレポート、2010/10 ～2011/3
5	高レベル放射性廃棄物地層処分における 物理深査技術の適用性について	吉村公孝	「地質と調査」、'10 第 3 号(通 巻 125 号)、2010/9
6	緩衝材の再冠水に伴う密度変化に関する 検討	中島均、朝野英一	ハザマ研究年報 Vol. 42 2010
7	世界の現状	吉田崇宏、山田文香、中 村純也、西村慶人、江守 稔、稲垣裕亮	月刊「エネルギーレビュー」、 2011/3 月号

3. 原環センター技術報告書

No.	表 題	著 者	発 行 年 月 日
1	「地層処分事業のための人材の養成・確保に関する検討 中間報告書」 (RMMC-TRJ-10001)	原環センター	2011年3月
2	「中国産ベントナイトの利用可能性調査報告」(RMMC-TRJ-10002)	原環センター	2011年3月

4. 刊行物

1	原環センタートピックスNo94	「地層処分実規模試験施設」の整備について	平成22年7月
2	原環センタートピックスNo95	欧州モニタリング共同研究 MoDeRn における原環センターの取り組み	平成22年9月
3	原環センタートピックスNo96	地層処分サイト選定作業の加速と研究開発 – 失敗例と良例に学ぶ –	平成23年1月
4	原環センタートピックスNo97	地層処分のモニタリングに関する調査研究	平成23年3月
5	原環センター2009年度 技術年報		平成22年11月

VI. 資料

5. ホームページへの海外最新情報の掲載

	掲載日	タイトル
1	2010/04/07	追記)米国で DOE がユッカマウンテン処分場の許認可申請の取り下げを申請 (2010/03/05)への追記
2	2010/04/13	追記)米国で DOE がユッカマウンテン処分場の許認可申請の取り下げを申請 (2010/03/05)への追記
3	2010/04/26	追記)米国で DOE がユッカマウンテン処分場の許認可申請の取り下げを申請 (2010/03/05)への追記
4	2010/04/27	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
5	2010/04/28	追記)米国で DOE がユッカマウンテン処分場の許認可申請の取り下げを申請 (2010/03/05)への追記
6	2010/04/30	ドイツで BfS がアッセ II 研究鉱山の閉鎖オプションとして廃棄物の回収を選択 (2010/01/22)への追記
7	2010/05/07	追記)米国で DOE がユッカマウンテン処分場の許認可申請の取り下げを申請 (2010/03/05)への追記
8	2010/05/07	追記)米国で DOE がブルーリボン委員会の設立趣意書を公表 (2010/03/03)への追記
9	2010/05/07	追記)ドイツで BfS がアッセ II 研究鉱山の閉鎖オプションとして廃棄物の回収を選択 (2010/01/22)への追記
10	2010/05/07	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 (2010/04/27)への追記
11	2010/05/12	スイスで KNS が候補サイト地域に関する NAGRA の提案を承認
12	2010/05/19	追記)ドイツでコンラッド処分場建設の主操業計画が許可される—コンラッド鉱山を処分場に改造するための法的手続が完了— (2008/01/23)への追記
13	2010/05/20	追記)ドイツで BMU 大臣がゴアレーベンでの探査活動再開について発言 (2010/03/19)への追記
14	2010/05/21	追記)フランスの放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) が地層処分場のサイトを政府に提案 (2009/12/18)への追記
15	2010/05/25	台湾の低レベル放射性廃棄物処分サイト選定作業が、潜在的候補サイト選定段階に戻される
16	2010/05/27	カナダの核燃料廃棄物管理機関 (NWMO) が使用済燃料処分場のサイト選定を開始
17	2010/05/31	追記)米国で DOE がユッカマウンテン処分場の許認可申請の取り下げを申請 カナダの (2010/03/05) への追記
18	2010/06/02	追記)ドイツで BfS がアッセ II 研究鉱山の閉鎖オプションとして廃棄物の回収を選択 (2010/01/22) への追記
19	2010/06/03	スイスで BFE が地層処分場のサイト選定手続における地域参加プロセスに参加する自治体の候補を公表
20	2010/06/03	追記)スイスで地層処分場の環境的・経済的・社会的影響に関する評価手法案に基づいた調査を開始 (2009/05/22) への追記
21	2010/06/07	英国で高レベル放射性廃棄物等の地層処分場サイト選定の初期スクリーニングが開始
22	2010/06/08	フランスで 2010～2012 年を対象とした「放射性物質及び放射性廃棄物管理国家計画」(PNGMDR) が公表

23	2010/06/09	追記)米国でDOEがブルーリボン委員会の設立趣意書を公表 (2010/03/03) への追記
24	2010/06/21	フィンランドの地下特性調査施設 (ONKALO) の建設状況－掘削が処分深度の420mに達する
25	2010/06/28	フランスで国家評価委員会 (CNE) が第4回報告書を公表
26	2010/06/30	フランスの放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) が放射性廃棄物処分の調査研究活動に関する報告書を公表
27	2010/06/30	米国でNRCの原子力安全・許認可委員会 (ASLB) がユッカマウンテン処分場の許認可申請の取り下げ申請を認めない決定
28	2010/07/01	追記)米国でDOEが廃棄物隔離パイロットプラント (WIPP) に係る適合性再認定申請書を提出(2009/03/27)への追記
29	2010/07/01	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
30	2010/07/08	追記)米国でNRCの原子力安全・許認可委員会 (ASLB) がユッカマウンテン処分場の許認可申請の取り下げ申請を認めない決定 (2010/06/30)への追記
31	2010/07/16	追記)スイスでBFEが地上施設を設置する可能性のある「計画範囲」の案を公表 (2009/12/21)への追記
32	2010/07/26	追記)米国で2011会計年度のユッカマウンテン処分場予算をゼロとする予算要求 (2010/02/02)への追記
33	2010/08/02	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り下げ申請の可否に関する訴訟手続きを一時停止する決定
34	2010/08/10	ドイツでBMUがゴアレーベン・サイトでの予備的な安全評価の実施をGRSに委託
35	2010/08/17	追記)ドイツでBfSがアッセII研究鉱山の閉鎖オプションとして 廃棄物の回収を選択 (2010/01/22)への追記
36	2010/08/17	追記)ドイツでモルスレーベン処分場の廃止措置に関するBfSの計画書等を公開 (2009/10/30)への追記
37	2010/08/20	韓国で知識経済部 (MKE) と慶州市が放射性廃棄物処分場の建設に関する協力覚書を締結
38	2010/08/24	スイスで州委員会がサイト選定の第1段階に対する見解を表明
39	2010/08/25	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
40	2010/09/01	スイスでBFEがサイト選定手続第1段階の成果報告書の草案を公表
41	2010/09/17	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
42	2010/09/21	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
43	2010/10/04	スウェーデンSKB社が、フォルスマルクでの使用済燃料の処分場の立地・建設許可申請を2011年3月に予定
44	2010/10/06	フィンランドで放射線・原子力安全センターが最終処分場の建設許可申請準備に係るポシヴァ社報告書に対する意見書を公表
45	2010/10/07	経済産業省主催：「海外要人 (フランス) 招聘シンポジウム」のご案内
46	2010/10/12	追記)カナダの核燃料廃棄物管理機関 (NWMO) が 使用済燃料処分場のサイト選定を開始(2010/05/27)への追記
47	2010/10/14	追記)英国で高レベル放射性廃棄物等の地層処分場サイト選定の初期スクリーニングが開始(2010/06/07)への追記
48	2010/10/14	シンポジウム「地域と共に歩む、地層処分事業 ～スウェーデンにおける対話の取り組み～」案内

VI. 資料

49	2010/10/14	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
50	2010/10/15	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
51	2010/11/01	英国で高レベル放射性廃棄物等の地層処分場サイト選定の初期スクリーニングが終了
52	2010/11/05	欧州委員会が使用済燃料及び放射性廃棄物の管理に関する指令案を公表
53	2010/11/05	追記)ドイツでBfSがアッセII研究鉱山の閉鎖オプションとして 廃棄物の回収を選択(2010/01/22)への追記
54	2010/11/15	ドイツでニーダーザクセン州がゴアレーベンの探査再開の即時執行を命令
55	2010/11/22	米国で環境保護庁（EPA）が廃棄物隔離パイロットプラント（WIPP）の2度目の適合性再認定の決定
56	2010/11/26	米国連邦議会下院でユッカマウンテン処分場の許認可申請書の審査再開を求める決議案提出
57	2010/11/30	スイスでENSIが新規原子炉からの放射性廃棄物の処分の実現可能性を認定
58	2010/12/03	スイスでNAGRAが地層処分場の候補サイト地域の地質学的知見に関する報告書をENSIに提出－NAGRAは現在有する知見により予備的安全評価が可能と判断－
59	2010/12/07	追記)ドイツでニーダーザクセン州がゴアレーベンの探査再開の即時執行を命令(2010/11/15)への追記
60	2010/12/13	追記)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り下げ申請の可否に関する訴訟手続きを一時停止する決定(2010/08/02)への追記
61	2010/12/17	追記)米国、ユッカマウンテン処分場の許認可申請の審査に関する動き－DOEがヒアリング争点に係る証拠開示のための文書をNRCに提出(2009/12/16)への追記
62	2011/01/06	韓国で中低レベル放射性廃棄物処分場の貯蔵施設へ放射性廃棄物の受入を開始
63	2011/01/11	追記)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り下げ申請の可否に関する訴訟手続きを一時停止する決定(2010/08/02)への追記
64	2011/01/13	追記)スイスでENSIが新規原子炉からの放射性廃棄物の処分の実現可能性を認定(2010/11/30)への追記
65	2011/01/18	中国で西北処分場及び北龍処分場の2つの低中レベル放射性廃棄物処分場の操業許可が発給
66	2011/01/20	追記)フランスで2010～2012年を対象とした「放射性物質及び放射性廃棄物管理国家計画」(PNGMDR)が公表(2010/11/30)への追記
67	2011/02/07	追記)ドイツでBfSがアッセII研究鉱山の閉鎖オプションとして 廃棄物の回収を選択(2010/01/22)への追記
68	2011/02/08	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
69	2011/02/16	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
70	2011/02/25	スイスで連邦エネルギー庁（BFE）がサイト選定手続における地域参加プロセスの実施のための文書を公表
71	2011/03/01	英国でNDAが地層処分場のジェネリックなセーフティケースを公表
72	2011/03/09	米国DOEがクラスCを超える低レベル放射性廃棄物処分のドラフト環境影響評価
73	2011/03/17	スウェーデンSKB社がフォルスマルクでの使用済燃料の処分場の立地・建設許可を申請
74	2011/03/25	追記)英国でNDAが地層処分場のジェネリックなセーフティケースを公表(2011/03/01)への追記
75	2011/03/30	米国でブルーリボン委員会がこれまでに受けた意見などを取りまとめた報告書を公表

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
	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. 放射性廃棄物最終処分への理解促進	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 2010年度 技術年報

2011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。