

RWmc

原環センター
2009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。

最近、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おります。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おります。

このように当センターは、時代が求める様々な課題に対し、先駆けとして取り組み、着実に成果を上げてきました。

この技術年報は、当センターが 2009 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くとともに、ご指導を賜れば幸いです。



公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター
理事長 並 木 育 朗

目 次

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究.....	4
1. 地下空洞型処分施設性能確証試験.....	4
2. その他の管理処分に関する調査研究.....	8
II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究.....	9
1. 処分システム工学要素技術高度化開発.....	9
1-1 遠隔操作技術高度化開発.....	9
1-2 人工バリア品質評価技術の開発.....	11
1-3 モニタリング技術の開発.....	13
2. 人工バリア長期性能評価技術開発.....	15
2-1 人工バリアの長期挙動の評価.....	15
2-2 ガス移行挙動の評価.....	17
3. ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発.....	19
3-1 ヨウ素固定化処理技術開発.....	19
3-2 C-14 の長期閉じこめ技術の高度化.....	21
3-3 放射化金属廃棄物中の C-14 の放出挙動評価.....	23
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(Ⅱ).....	25
5. 第二種特定放射性廃棄物処分の設計課題の検討 (廃棄体パッケージ及び人工バリアの基本設計).....	28
6. その他の地層処分に関する調査研究.....	29
III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究.....	30
1. 放射性廃棄物海外総合情報調査.....	30
2. 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査.....	32
2-1 基礎的研究テーマの整理.....	32
2-2 重要基礎技術研究調査.....	33
2-3 地球化学バリア有効性確証調査.....	35
2-4 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.....	39
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.....	41
4. 放射性廃棄物処分の安全審査指針等に関する調査.....	43
5. 低レベル放射性廃棄物処分状況等調査.....	44
6. 中国産ベントナイト利用基礎調査.....	46
7. その他の放射性廃棄物全般に共通する調査研究.....	47
IV. 放射性廃棄物処分への理解促進.....	48
1. 地層処分実規模設備整備事業.....	48
V. 国際交流.....	51

VI. 資料.....	53
(1) 講演会・セミナー等.....	53
(2) 外部発表等.....	55
(3) 原環センター技術報告書.....	62
(4) ホームページへの海外最新情報の掲載.....	63
(5) 委員会一覧.....	65

Ⅰ. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

1. 地下空洞型処分施設性能確証試験

◇事業の概要

地下 50 m～100m 程度の大断面の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、放射能レベルが比較的高い低レベル放射性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。地下空洞型処分施設の設計や施工技術の基礎となる試験データ等は、これまでは主に実験室規模での要素試験が中心であったが、現実の処分施設設計・建設に反映させるためには、より現実的な試験条件下で実施する実証的な試験が必要とされている。

「地下空洞型処分施設性能確証試験」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原位置での施工性と、その施工に伴う人工バリアの品質の確認を主たる目的として行うものである。本試験の成果は、地下空洞型処分施設の設計、建設に関わる基盤技術の確立に反映される。

本試験では、地下約 100 m に掘削された幅約 18 m、高さ約 16 m 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

地下空洞環境下において実規模の施設を施工することにより、施工方法、施工手順、品質管理方法等の実施へ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／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、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て施工確認するとともに、計測器を設置し施設挙動の観測を行った。また、セメント系材料・ベントナイト材料特性に係るデータを取得した。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について施工確認するとともに、計測器を設置し施設挙動の観測を行った。さらに、充填材及び側部緩衝材の一部で施工確認試験を実施した。引き続きセメント系材料・ベントナイト材料特性に係るデータを取得した。

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

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 21 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証試験 報告書

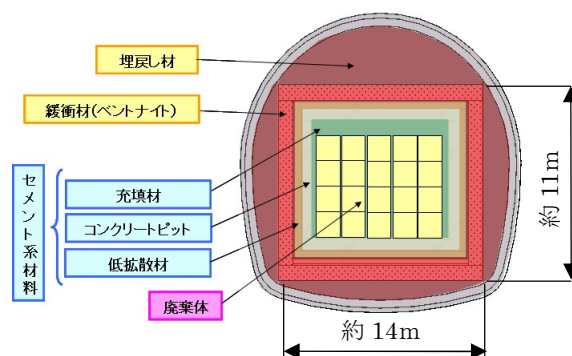


図-1 地下空洞型処分施設の概念図

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 0.8 m、側部・上部 0.7 m
充填材		材料：セメント系材料
埋戻し材	側部・底部	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 21 年度の成果

(1) コンクリートピット（手前部）（以下、手前部 コンクリートピットという。）施工・初期性能 確認試験

コンクリートピットに求められる要求機能は、「建設・作業中の安全確保」であり、施工・作業時においては、力学的安定性に耐える強度が要求される。

材料配合は、平成 20 年度のコンクリートピット（底部・奥部・側部）施工確認試験に使用した高流動コンクリートの材料配合¹⁾を基に、石灰石微粉末の産地変更に伴う配合選定を行い、施工確認試験を実施した。打設方法は、側部・奥部コンクリートピットでの成果より打設位置を 1 箇所（中央部）とした。流動性を見るため打設速度を変化させるとともに補助工法としてバイブレータの使用頻度の影響を調べ、実施設への使用の可否を試験で検証した。また、強度特性を確認するため、初期性能試験を実施した。

その結果、流動性については、打設速度の増加に伴い流動性は向上することが分かった。また、1 箇所（中央部）からの打設でも、鉄筋のある型枠内をコンクリートが流動し、良好な施工が出来ることが確認された。また、バイブレータの使用が少ない場合は、多い場合と比較してコンクリート表面の気泡数が多く、バイブレータの影響が確認された。また、初期性能確認試験の結果、コンクリート強度は材齢 91 日で設計基準強度（60 N/mm²）を全て上回っており初期性能の確保が確認された。施工箇所の全景を図-2 に示す。

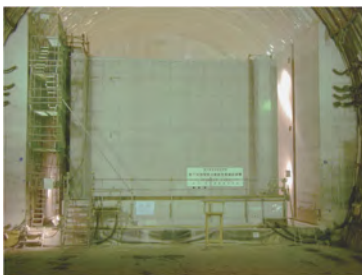


図-2 コンクリートピット（手前部）全景

(2) 側部低拡散材施工・初期性能確認試験

低拡散材に求められる要求機能は、「拡散抑制」である。

材料配合は、平成 20 年度の底部低拡散材施工確認試験に使用された高流動モルタルの材料配

合¹⁾を基にし、石灰石微粉末の産地を変えた配合を用い、施工確認試験を実施した。打設方法は、底部低拡散材、側部・奥部・手前部コンクリートピットの成果より、打設位置を 1 箇所（中央部）とした。流動性を見るため打設速度を変化させるとともに補助工法としてバイブレータ使用の有無の影響を見るための施工方法を選択し、実施設への使用の可否を試験で検証した。また、空隙率等を確認するため、初期性能試験を実施した。

その結果、流動性については、打設速度の増加に伴い流動性は向上することが分かった。また、1 箇所（中央部）からの打設でも、バイブレータなしでモルタルは流動し、良好な施工が出来ることが確認された。初期性能確認試験として、この部材の空隙率の測定を行った。空隙率は 18%程度であり、拡散係数と空隙率の関係から拡散係数は目標（ $1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ）程度の値となることが予想される。施工状況を図-3 に示す。



図-3 側部低拡散材施工状況

(3) 充填材施工・初期性能確認試験

充填材には、施工時において高い充填性が要求される。実施設の施工では、充填作業は長距離圧送や遠隔操作（無人施工）で行われ、廃棄体の発熱による高い温度の環境下での狭隘な廃棄体間への高い充填性が要求される。材料配合は、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高流動モルタルの材料配合を基に熱影響を小さくするため混和剤の種類と量を調整した。打設方法は、ポンプによる配管打設を選択し、打設位置 1 箇所から自己充填性や流動性を見るため打設速度を変化させた施工方法により実施設への使用の可否を試験で検証した。また、部材の物性値を把握するため初期性能試験を実施した。

模擬廃棄体間への充填材の施工試験の結果、自己充填性については、端部までの充填が確認され、

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

流動性については、打設速度の増加に伴い向上することが確認された。また、今回用いた材料配合であれば、打設位置1箇所からの打設方法では、筒先部と端部との高低差が約10~20 cm以下であり、所要の自己充填性・流動性が得られることを確認した。また、初期性能試験の結果、強度は実規模の施工環境下においても、材齢91日で 60N/mm^2 以上が得られた。施工状況を図-4に示す。

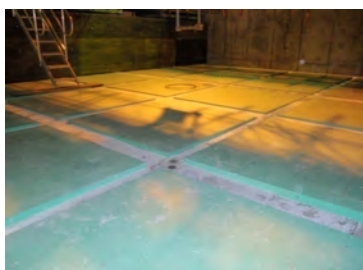


図-4 充填材施工状況（緑色部分は模擬廃棄体）

(4) 上部充填材施工・初期性能確認試験

上部充填材には、高い遮へい性能（部材厚の確保等）が必要とされ、自己充填性やセルフレベリング性が求められる。

要求性能を満足させるため、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高流動コンクリートの材料配合を基に、配合選定を行い、地下空洞内での上部充填材施工確認試験を実施した。打設方法は、ポンプによる配管打設とした。打設位置を1箇所（中央部）とし、打設速度を変化させた施工方法により自己充填性やセルフレベリング性を調べ、実施への使用の可否を検証した。また、部材の物性値を把握するため、初期性能試験を実施した。

施工確認試験の結果、自己充填性については、コンクリートが隅々まで充填されていることが確認された。しかし、筒先部と端部で約30 cmの高低差が生じた。セルフレベリング性向上のため、補助工法としてバイブレータを使用した結果、硬化後のコンクリート表面の勾配に改善が見られた。また、打設速度を増加させることにより改善される可能性があることが分かった。以上より、セルフレベリング性を確保するためには、打設箇所を増やし、流動距離を短くする必要があることが分かった。補助工法として、バイブレータのような流動性を補助する方法を採用することも効果があることが確認された。また、初期性能確認試験の結果、コンクリートの強度は実規模の施工

環境下において、材齢91日で 60N/mm^2 以上となっており、十分な強度を有していた。施工状況を図-5に示す。

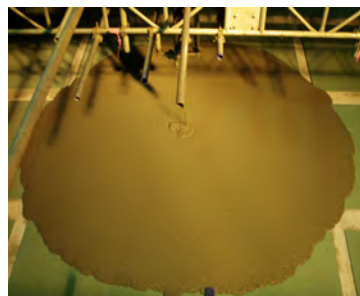


図-5 上部充填材施工状況（緑色部分は模擬廃棄体）

(5) 充填材充填性測定

充填材及び上部充填材の実施工では長距離（300m程度）の材料供給が想定されるため、長距離圧送試験を地上において実施した。また、充填材については、廃棄体の発熱による高温条件下での十分な自己充填性が求められるため、事前の室内配合選定試験で決めた材料配合を用い、高温下での自己充填試験を実施した。

充填材充填性測定の結果、圧送前後で充填材のフレッシュ性状（スランプフロー、V漏斗流下時間等）が変化しており、長距離圧送が品質に影響を与えることが分かった。施工面では、管内圧力の測定結果から超高圧タイプのポンプ車が必要であった。高温（約 50°C ）の条件下でも隅々まで充填されており、自己充填性が確保できることが確認できた。上部充填材についても、圧送前後でフレッシュ性状が変化しており、長距離圧送が品質に影響を与えることが分かった。施工面では、充填材と同様に超高圧タイプのポンプ車が必要であった。



図-6 充填材充填性測定状況

(6) 側部緩衝材施工・初期性能確認試験

緩衝材には、「止水（透水係数、密度、膨潤特性）」機能が要求される。

今回、実規模の施工実績が少ないものの、狭隘部での施工が可能な吹付け工法を選択した。使用材料は粉碎したベントナイト原鉱（最大粒径 5 mm）を使用し、含水比調整方法として凍結混合方式と水添加混合方式とを比較した。側部緩衝材の一部（高さ 1.5m×幅 1.0m、2 層施工）を施工し、実施への使用の可否を検証した。また、透水係数、密度、膨潤特性を把握するため初期性能試験を実施した。

施工確認試験の結果、吹付け材料の調整後含水比は、凍結混合方式で平均 20.6%、水添加混合方式で平均 20.0%であり、含水比目標値として設定した $21 \pm 2\%$ の範囲内であった。また、吹付け施工後の緩衝材の乾燥密度は、 1.65 Mg/m^3 前後の値となり、今回使用した機械（吹付け機、コンプレッサー等）により、目標性能である平均乾燥密度 1.6 Mg/m^3 に施工できることを確認した。散乱した吹付け材料のリバウンド率は、凍結混合方式で約 10%、水添加混合方式で約 20%あり、凍結混合方式の方が吹付けの効率が良いことが分かった。

また、初期性能試験の結果、緩衝材の透水係数は、約 $2.5 \times 10^{-13} \text{ m/s}$ 程度の性能が得られ、緩衝材の目標性能である $5 \times 10^{-13} \text{ m/s}$ を満足することが確認された。膨潤力も基準値を満足しており、初期性能を、満足した施工方法であることが確認できた。

(7) 挙動計測器設置及び計測システム設置

本年度施工した手前部コンクリートピット、側部低拡散材等の挙動を計測するため、計測器 90 個（温度計、ひずみ計、鉄筋計、無応力計、有効応力計等）を設置し、平成 20 年度までに施設と岩盤に設置した計測器と合わせ、連続計測データを取得した。また、これら計測器からの計測データを集中監視するための計測システムを設置しており、この既設の計測システムに本年度設置した挙動計測器の信号受信のための増設を行った。

(8) ひび割れ解析・評価

ひび割れ解析手法の精度向上を図るために本年度施工した手前部コンクリートピット及び側部低拡散材を対象としてひび割れ解析を行い、解析結果と挙動計測データの比較・精査を行った。ひび割れ解析は 3 次元有限要素法による非定常熱伝導解析と応力解析を組合せた方法により実

施した。解析は平成 20 年度までの構築部材に、手前部コンクリートピット、側部低拡散材を実工程に合わせ順次追加する形式で行った。本年度は応力解析の精度向上に検討の主眼を置き、過年度解析結果の照査や解析パラメータに関連した挙動計測結果を分析した。応力解析のパラメータのうち線膨張係数、有効ヤング係数ならびに膨張ひずみの入力値を挙動計測結果や室内試験結果に基づいて見直した解析の結果、ひずみ、応力ともに測定値と整合する結果が得られ、解析精度の向上が図れた。また、温度解析では打設温度に応じた断熱温度上昇試験の発熱曲線を用いる必要があることが分かった。

(9) 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した。本年度は定常拡散試験及び電気抵抗率測定を実施した。拡散試験では、現地打設試料のトリチウムの実効拡散係数が $1 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ 程度の値となり、目標値である $1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 以下を満足する緻密な材料であることを確認した。また、本試験では空隙径 $0.027 \mu\text{m}$ 以上の空隙において実効拡散係数に寄与する連続空隙と深い関連があることが分かり、品質管理指標としての可能性が示された。

(10) ベントナイト材料特性測定

緩衝材部材の力学挙動のうち、圧密特性及びせん断特性に着目し、飽和直後以降の中長期的安定性を解析的に評価するためのパラメータ取得を目的とし、圧密試験及び三軸圧縮強度試験を実施した。また、長期の化学的な挙動評価の初期条件として必要となる鉱物組成分析を行った。

圧密及び三軸圧縮強度試験の結果、現地採取試料に対して、ベントナイト部材の圧密及びせん断挙動を把握し、施設建設以降の中長期的安定性の評価に必要なパラメータである圧縮指数、膨潤指数、二次圧密係数及び限界状態パラメータを求めることができた。

参考文献

- 1) (財) 原子力環境整備促進・資金管理センター、平成 20 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、平成 21 年 3 月

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。

低レベル放射性廃棄物処理処分等に係る技術基準、民間規格文書等の調査を行い、情報コンテンツとして整備した。

(1) 余裕深度処分に向けた調査研究

1) 余裕深度処分対象廃棄体の放射能評価パラメータ整備に関する調査

余裕深度処分対象廃棄体の放射能評価パラメータを整備するとともに、海外の余裕深度処分相当の廃棄物の処分状況を調査した。

2) 余裕深度処分埋設施設における標準的な施設確認方法

余裕深度処分埋設施設における標準的な施設確認方法検討の民間規格制定に必要な検討を行った。

(2) 浅地中処分に向けた調査研究

1) 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

L3 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。

注) L2/L3：浅地中ピット処分 (L2) 及び／又は浅地中トレンチ処分 (L3) を意味し、廃棄体等又は埋設施設を形容する用語として用いている。

2) L2/L3 埋設施設の標準的な施設確認方法に係る民間規格整備に関する調査

L2/L3 埋設施設における標準的な施設確認方法検討の民間規格制定に必要な検討を行った。

(3) ウラン廃棄物の処分に向けた調査研究等

1) ウラン廃棄物の処分方策に関する研究

ウラン廃棄物処分の合理化及び現実的なウラン廃棄物処分場の設定・評価等の検討を行った。

2) 放射性廃棄物処理処分等に対する海外の規制文書及び基準類に関する調査

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

本事業では、高レベル放射性廃棄物地層処分場の操業段階で用いられるオーバーパックスの遠隔溶接・検査及びオーバーパックと緩衝材の遠隔搬送・定置に関わる遠隔操作技術について、その成立性、適用性、信頼性などを定量的に評価、表示し、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、遠隔操業設備の概念設計に基づき、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クスの溶接・検査、オーバーパックと緩衝材の搬送・定置を対象とした遠隔操作設備の概念設計を行い、技術開発課題を抽出した。続いて平成13年度より、抽出した技術開発課題に基づき、各技術の適用性確認試験等を行い、各要素技術の成立性、適用性、信頼性を表示する第1段階の技術メニューを整備した。また、人工バリア品質確保の考え方ならびに処分場における遠隔操作技術を対象とした遠隔操業システム構築に関わる品質、安全の考え方についても検討を行っている。

第2フェーズとしては、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の委託により実施したものである。

(報告書)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 処分システム工学要素技術高度化開発報告書(第1分冊)ー遠隔操作技術高度化開発ー

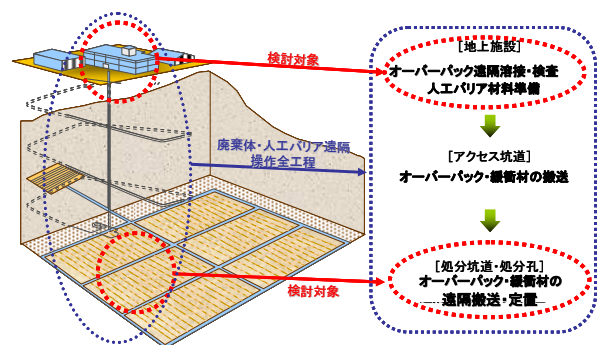


図-1 本事業の検討範囲

◇平成21年度の成果

(1) 遠隔溶接・検査技術の開発

オーバーパックスの溶接法及び材料(母材、溶加材)組成を考慮した溶接技術開発の必要性に基づき、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、TIG溶接法(タングステン合金製電極、不活性ガスを用いた溶接法)を高速化しうる回転偏芯電極TIG溶接法について、実規模炭素鋼オーバーパック構造を想定した溶接開先(深さ190mm)に対する溶接試験を実施し、トーチ形状の改良、開先面積の見直し、溶接条件(溶接電流)の見直し等により高速化の見通しを得た。また、減圧電子ビーム溶接法(RPEBW)に関して最新技術の調査を行い、同溶接法の厚肉炭素鋼への適用実績を確認した。炭素鋼オーバーパックへの適用に対しては、ユッカマウンテンプロジェクトで試験的に採用された型式等について可能性があり、今後、適用性確認のための溶接試験を実施する。

材料組成を考慮した溶接技術の開発については、平成20年度より継続実施した溶接金属組成と強度・じん性の相関調査、溶接金属組成と低温割れ感受性の相関調査の結果を考慮して材料組成選択

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

の方針を検討し、特に考慮すべき元素(C, Si, Mn, Ni)を抽出して、炭素鋼オーバーパック用の溶接材料の組成案及び母材組成(SF340A)の考え方を提示した。今後、1-2「人工バリア品質評価技術の開発」で取得する溶接金属組成と耐食性の相関データも踏まえ、整備する必要がある。

遠隔検査技術の開発については、平成 20 年度までに取得した各超音波探傷法(クリーピングウェーブ法、TOFD 法、ファイズドアレイ法、フェイズドアレイ-TOFD 法)についての自然欠陥付与試験体に対する探傷結果を分析し、欠陥検出率(POD)を得た(図-2)。これにより現在想定しているクリーピングウェーブ法、ファイズドアレイ法、フェイズドアレイ-TOFD 法を組み合わせた非破壊検査システム(案)²⁾が、190mm 深さの自然欠陥に対して十分な検出性能を有することを確認した。

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 21 年度までの開発成果を個別技術シートに整備した。

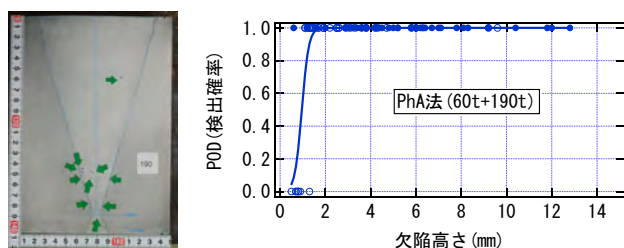


図-2 自然欠陥探傷試験結果とフェイズドアレイ法の POD

(2) 遠隔搬送・定置技術の開発

抽出した技術課題に基づき、幅広い技術の検討を実施している。

PEM(Pre-fabricated EBS Module: 一体化した人工バリアモジュール)施工に関する検討では、エアバレットとエアジャッキを併用する搬送・定置技術に対して適用性確認試験(図-3)を実施し、適用できる坑道条件や適用範囲等を明らかにした。また、搬送時の品質に着目して、室内小型試験等も実施し、様々な製作・組立方式を比較検討し、個々の方式の長所・短所等の特徴をとりまとめた。

緩衝材の品質確保に関する検討では、ニアフィールド修復技術としてのベントナイトグラウト技術の適用性を評価するために、岩盤亀裂を模擬した平行平板型の装置を用いて適用性確認試験を実施した。浸透性や亀裂内での安定性を評価し、適用性が高い、施工方法やグラウトの材料仕様を明らかにした。

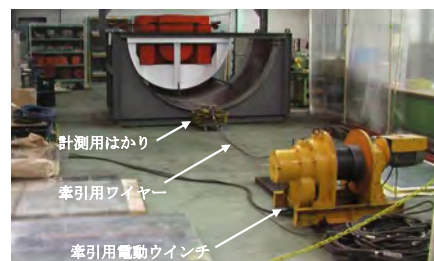


図-3 PEMの搬送・定置実験

遠隔制御技術の検討では、様々な技術で構成される遠隔制御技術のなかで、汎用的かつ基本的な技術である通信技術について、処分場を模擬した地下空洞において実施された電波伝搬実験の結果を整理し、地下空洞における通信技術の適用性と適用例を示した。

回収技術に関する検討では、緩衝材除去技術について検討し、定置方式の違い、回収時期に依存する飽和状態の違い等に着目した模擬実験の結果、塩水を利用し緩衝材をスラリー化して除去する方法の適用性が高いことを示した。

この他に、「操業環境維持制御の検討」、「施工品質管理技術に関する検討」、「ベントナイトの長期挙動に関するデータ取得や解析検討」などの操業システムの成立性に関連する情報や技術に関する調査も実施した。

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、操業システムの構築手法と技術メニューの構築手法を提案した。操業システムの構築手法の検討では、システムの成立性として緩衝材の品質に着目した。成果として操業システム構築手法を示すとともに、手法に必要な要素技術の情報は機能、制約、指標、特性などであることを明らかにした。これらの検討を受け、システム構築手法に利用しやすい技術メニューの形式を検討した。技術メニューは階層構造で構成され、それぞれに機能、制約、指標、特性などの情報を記述することが必要であることを示した。提案した手法の試行として、縦置き処分孔にブロックを定置する方式を対象に、技術メニューを整備し、それを用いて操業システムを構築した。

- 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
- 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 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一、平成 21 年 3 月

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。

(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。本調査は平成 20 年度から開始している。

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。また、(1)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。

（報告書）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 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 21 年度の成果

(1) オーバーパック溶接部の品質評価技術

平成 16 年度に策定した計画に基づき、「遠隔操作技術高度化開発」で製作した TIG、MAG（電極に溶加材、CO₂混合ガスを用いた溶接法）、EBW の 3 種類の炭素鋼溶接試験片を用いた耐食性試験（①）、代替材料のチタンの耐食性評価試験（②）、及び溶接部残留応力評価（③）を実施した。

① 炭素鋼溶接部耐食性試験

酸化性雰囲気での全面腐食挙動の長期試験を継続するとともに、溶接金属部で確認された選択腐

食の低減手法の検討を行った。本年度は溶接金属の成分に注目し、溶接継手性能を損なわない範囲で成分を調整した模擬溶接金属試験片を用いて腐食試験を実施し、添加元素ごとの耐食性に及ぼす寄与度を調査した。腐食電流密度と母材とのガルバニック電位差の試験結果から、僅かな Ni の添加により溶接金属の耐食性が改善することが明らかになった。溶加材組成の検討による選択腐食低減の見通しを得た。

炭酸塩環境緩衝材中での炭素鋼母材の応力腐食割れ（SCC）の定歪速度引張試験（SSRT）による評価では、炭酸塩濃度が低くなると SCC 感受性が上昇し、割れの形態も粒界型から粒内型に変化した。この結果は、従来の腐食シナリオで想定した不働態化に伴う SCC と異なるメカニズムで割れが発生したことを示唆している。炭素鋼-緩衝材界面の物質移動や pH 変化、発生した亀裂の進展性など、SSRT 試験の妥当性を含めた SCC のメカニズムの検討が求められる。

還元性雰囲気では明らかになった、TIG 溶接金属部が高い水素脆化感受性を有する問題について、溶接部の残留応力低減手法として検討されている溶接後熱処理（PWHT）による低減効果を溶接部の強度及び水素吸収挙動から検討した。PWHT を想定した熱処理によって材料の回復現象が起これ、硬さ低下や、水素脆化に影響する拡散性水素のトラップサイト量の減少がみられ、脆化感受性の低減効果が確認された。また熱処理した TIG 溶接金属部の腐食に伴う水素侵入量は、他の溶接法と同程度になることが確認された。さらに TIG 溶接金属部に含まれる微細な欠陥であるブローホール（BH）が脆化感受性を高める可能性が示唆されたが、実処分環境での BH 破断の可否判定には破断メカニズムなどさらなる検討が必要である。

②代替材料（チタン）の耐食性評価試験

純 Ti (Gr. 2)、Ti-Pd 合金 (Gr. 7) 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初期（90 日間）の腐食速度測定を行った。腐食に伴い発生した水素の約 99% がチタン中に吸収され、水素量から溶接部では $4 \sim 6 \times 10^{-2} \mu\text{m y}^{-1}$ の平均腐食速度が得られた。これは過去に報告されている低酸素環境下でのチタン母材の腐食速度とほぼ同じであり、溶接が腐食に及ぼす影響は確認されなかった。

③溶接部残留応力評価

平成 20 年度に信頼性を確認した解析コード 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が開発した溶接変形・残留応力計算手法)による残留応力解析手法の高度化を引き続き実施した。複数の溶接パスをグループ化することで解析速度を向上させ、実規模サイズでの応力解析を可能とする手法を新たに得た。残留応力低減に対する PWHT 法の適用性確認については、ヒーターの設置位置等を実際に施工可能な位置として過渡解析を行い、残留応力低減効果を確認した(図-1)。

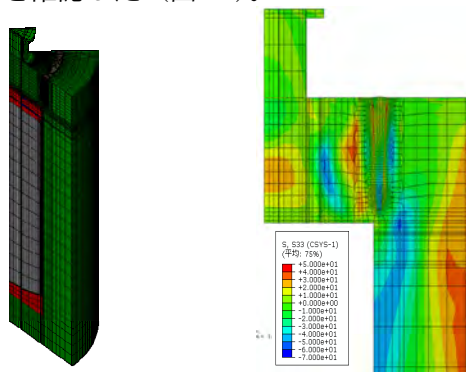


図-1 フルスケール解析モデル(右)
PWHTの軸方向応力分布解析結果例(左)

(2)緩衝材品質評価技術

本調査では、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ために、図-2に示す全体試験計画を立案している。この試験計画は、小規模試験から土槽試験、工学規模試験へ順次スケールアップすることを基本とし、小規模試験結果等に基づき順次パラメータを絞り込んでいくこととしている。平成 21 年度からは小規模試験のうち、(a)密度分布、(b)Ca 型化、及び(d)不飽和浸潤速度に関する試験を開始した。

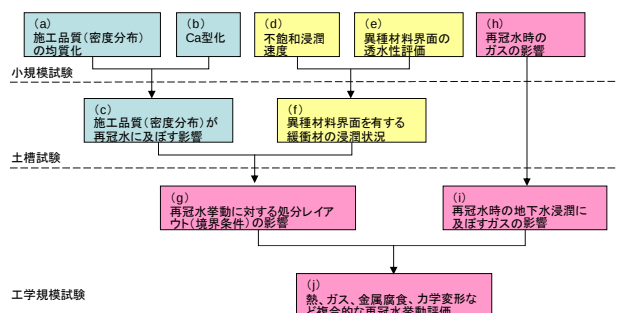


図-2 全体試験計画

緩衝材は再冠水によって膨潤するため、緩衝材の施工により密度分布や隙間が生じても、飽和後には均質化すると考えられていたが、これを実験により示した事例が報告されていないのが現状である。そこで、(a)密度分布の試験では、先ずこの点に着目し、調査を実施している。以下にその一例を示す。

この密度分布の試験では、ケイ砂を 30wt% 加えたベントナイト(クニゲル V1)混合土を使用し、密度分布の差が顕著に分かるように均質、不均質(半径方向、鉛直方向に密度差(高密度側 2.0 Mg/m^3 、低密度側 1.2 Mg/m^3)を設けたものの図-3参照)の供試体を直径 60mm、高さ 20mm でマスの乾燥密度が 1.6 Mg/m^3 になるように製作した。膨潤圧試験結果及び試験後解体した時の状況を、図-3に示す。同図より、試験開始後、約 70 日程度経過したが、マスの乾燥密度が同じでも、均質な供試体と不均質な供試体とで膨潤圧が異なっていることが分かる。また、膨潤圧試験終了後解体し、乾燥密度を測定した結果、均質化する傾向は見られたものの、図-3の写真に示すように密度分布に応じた色の違いから、密度差が明らかに残っていることが分かる。これらの試験結果から、マスの乾燥密度が同じでも膨潤圧に違いが生じるということは、膨潤圧が同じでも、供試体の密度が異なること等が考えられる。このことは、再冠水しても密度が均質化しない可能性を示唆している(力学的には力が釣り合った時点で変形が止まるため)。本調査では引き続き、直列膨潤圧試験を行い、既往の検討成果も含め、均質化しないことを力学に立脚した解釈により説明できることを確認している。今後、これらの試験結果を踏まえ、順次スケールアップし、評価に資する情報を得ていくことが重要である。

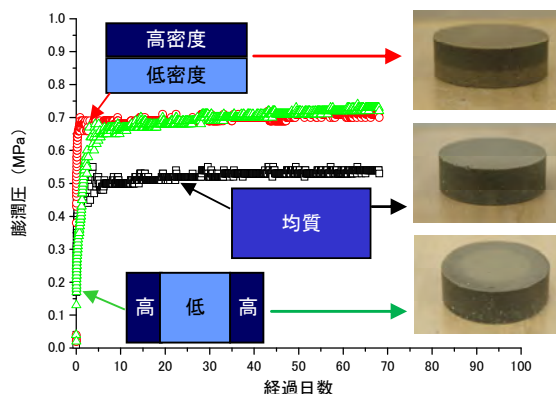


図-3 膨潤圧の経時変化及び解体後の供試体

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、サイト調査前から最終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かかわる要件、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の委託により実施したものである。

(報告書)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 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 21 年度の成果

(1)地層処分モニタリングの目的等の整理

本検討では、サイト調査前から最終閉鎖後の各段階を対象に、地層処分におけるモニタリングとして、地層処分事業において最も重要と考えられる閉鎖時の意思決定の観点から検討を行い、地層処分の基本的考え方と現状のモニタリング技術を踏まえ、地層処分モニタリングのあり方として、①閉鎖時の意思決定における地層処分モニタリングの制約条件、②閉鎖時の意思決定のための基本論理構造及びモニ

タリングの役割、③モニタリング計画検討方法（モニタリング項目の選定方法及びモニタリング結果の判断基準の考え方）について取りまとめた。

閉鎖時の意思決定におけるモニタリングの制約条件については、「モニタリングの行為がバリアの機能や性能を損なってはならない。」ことを踏まえ、「処分場の処分坑道、人工バリアシステムでのモニタリングは実施しない。」ことを基本とした。モニタリングの役割は、処分場の操業後、「現在の状況において閉鎖することが妥当である。」ことを支持する根拠を示すことである。モニタリング項目の選定においては、閉鎖時の意思決定における制約条件を満足し、技術的観点で実施可能であること、かつ実施する意義があるものであることが必要となる。

一方、閉鎖後のモニタリングが要求された場合、長期安全性の観点から、閉鎖時の意思決定で活用されたモニタリング項目のうち、実施可能で、かつ要望される項目を継続して実施していくことが重要となる。そのため、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は、今後サイト調査前から最終閉鎖後の各段階を対象に一貫性を持ったモニタリング計画の検討と、社会との合意形成に向けたモニタリングに関する議論の起点になるものである。

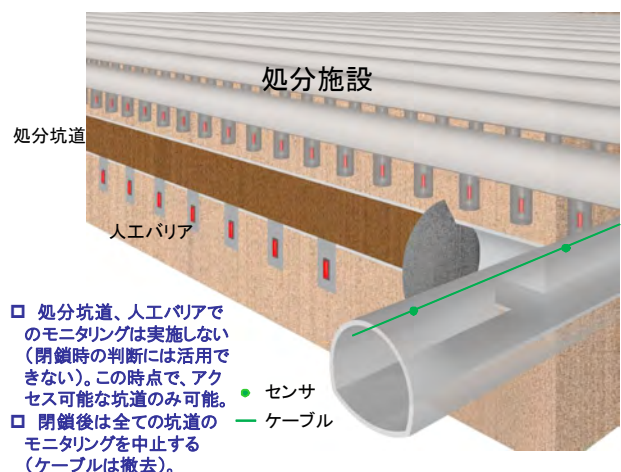


図-1 実施可能な閉鎖前のモニタリング（案）

(2)モニタリング技術メニューの整備

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できるようにするため、技術メニューを整備している。

本年度は、表示機能について、これまでのツリー構造の表示機能に加えて、時期、場所及びパラメー

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

タのみで構成される新規のツリー構造及び時期と場所によるマトリックス表示機能(図-2)を開発・追加した。また、モニタリングのあり方に関する議論を踏まえ、処分エリアでの計測については、メニューの対象とはせず、代替計測場所(地下研究所)及び模擬廃棄体が設置される先行的な地下調査施設)でのモニタリングを検討するためのリンクを追加した。搭載情報に関しては、昨年度までに搭載されていた包括的な機器情報について、既存の情報のレビュー及び新規情報の追加を行い、データベースの拡充を図った。

計測場所・部位		計測項目							
大分類		文献調査等	概要調査	精密調査	処分場の建設	処分場の閉鎖	地下施設の閉鎖	地上施設の閉鎖	管理終了後
地上環境 (生物圏) (今後検討)	大気環境								
	水環境								
	土壌環境								
	生物環境								
地下環境	天然バリア								
	ファーストフィールド岩盤								
処分施設	地下施設								
	坑道(閉鎖・通断)								
	処分坑道(部分孔食)								
	人工バリア(オーバーバック)								
地下調査施設 (模擬廃棄体)	地下施設								
	処分坑道(模擬部分孔食)								
	人工バリア(オーバーバック)								
	模擬廃棄体								
地下調査施設 (実廃棄体)	地下施設								
	処分坑道(部分孔食)								
	人工バリア(オーバーバック)								
	模擬廃棄体								
URL (処分場サイト外)	地下施設								
	処分坑道(部分孔食)								
	人工バリア(オーバーバック)								
	模擬廃棄体								
地上施設 (今後検討)	人工バリア								
	オーバーバック								

図-2 時期と場所によるマトリックス表示機能
(白色部がモニタリング対象時期・場所)

(3) 地中無線通信技術の調査研究

無線通信技術の調査にあたり、先ず地層処分モニタリングにおけるデータ伝送方法の包括的検討を実施した。モニタリングが実施可能な箇所と時期について機器の配置を検討し、メタルケーブル、光ファイバによる有線方式、及び地中無線装置による無線方式の適用範囲を取りまとめた。無線通信技術に関する検討においては、小型送信装置の設計、試作及びデータ通信試験を実施した。通信能力については、10m以上の通信距離を小型送信装置プロトタイプ目標として試験を実施し、10mVの環境ノイズ下で15m程度の通信距離が得られることを確認できた。耐圧性能については容器のみで3MPa、送信器の動作として1MPaまでの圧力で動作することを確認した。また、動作温度については-10~70℃で動作することを確認した。

緩衝材への小型送信装置の設置時に緩衝材の品質を低下させない方法として、緩衝材を吹付け工法で施工し、同時に小型送信装置を設置する方法

について適用性試験を行った。その結果、送信機周りに緩衝材を密実に充填でき、緩衝材の品質確保上、極めて有効であることが分かった。

(4) 光ファイバセンサ測定技術の調査研究

本年度はファイバブラッググレーティング(FBG)式の光ファイバ圧力、温度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た。

室内試験として、光ファイバセンサの長期試験による耐久性評価を実施した。2連式FBG圧力センサ(温度補正用FBGセンサ付)を用い約200日間ベントナイトの膨潤圧計測を行ったところ、圧力計測値は設置状態により発現状況に差が見られたが、センサの耐久性には問題は見られなかった。

工学規模試験として、本年度より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圧力センサを導入し、試験を実施した。試験は次年度以降も継続実施の予定であり、経過確認の必要がある。

(5) 記録保存技術の調査研究

昨年度に引き続き、海外を主体に推進されている制度的保存システムに関する最新動向の文献調査を行った。海外動向の文献調査においては英国及びフランス等を対象とした。英国については、昨年度実施した英国調査を継続し、スコットランドのCaithnessに原子力アーカイブ(NAA)の建設に向けた動きが進んでいることと、今後永久保存される文書を含む文書管理についても検討が進められていること⁴⁾を整理した。フランスについては、ANDRAによるLa Mancheセンターの記録の保存状況⁵⁾について調査し、様々な機関に保存される概要記録の内容を整理した。そして、これらの調査結果を踏まえ、昨年度、整理した記録保存計画を策定する際の考え方の更新を行った。

- 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) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会、高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る安全規制について(2008)
- 4) 原子力廃止措置機関(NDA)、2008年2月8日付けニュースリリース
- 5) 放射性廃棄物管理機関(ANDRA)、Mémoire de synthèse pour les générations futures(2007)

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、セメントーベントナイト相互作用によるベントナイト系材料の変質に関し、環境条件やセメント系材料種の多様性を考慮したデータ取得を実施する。また、地球化学的反応と物質移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セメントーベントナイト相互影響の確証試験
- ③人工バリア性能評価解析の高度化

なお、本事業は経済産業省の委託により実施したものである。

(報告書)平成 21 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)ー人工バリアの長期挙動の評価ー

◇平成 21 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

長期材齢を経たセメント系材料のその後の変質挙動を既存の解析手法で予測できることを示すための浸漬試験を開始した。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、普通セメント(OPC)、フライアッシュセメント(FAC)及び高炉セメント(BFSC)について、反射電子像を基に自己相関関数を用いて平成 20 年度までにモデル化した硬化体の空隙構造に、ランダムウォーク法を適用して物質移動を評価し、未変質試料の塩化物イオンの拡散係数の解析値と実測値を比較した。

平成 21 年度は、地下水との接触による溶脱を想定し、促進劣化試料について未変質試料と同様に空隙構造をモデル化(図-1)するとともに、拡散係数を求めた。それらの結果、塩化物イオンの実効拡散係数は、実測値と比較して低く算出されることが示された(図-2)。これは、微細な空隙中の拡散に対する空隙表面の電荷の影響を考慮していないことに起因するものと考えられた。

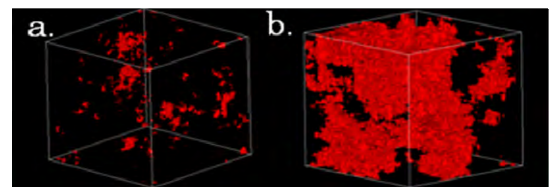


図-1 溶脱前(a.)後(b.)の空隙構造モデル

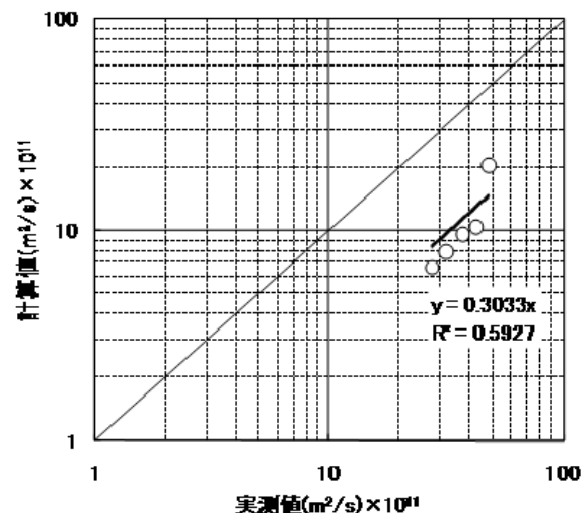


図-2 促進劣化試料の塩化物イオンの実効拡散係数の実測値と計算値との比較

(2)セメントーベントナイト相互影響の確証試験

平成 21 年度は、長期(5 年)浸漬したセメントーベントナイト接触供試体の界面近傍に生成する二次鉱物に関して、平成 20 年度にその適用性を確認した界面近傍の二次鉱物の XAFS(X 線吸収微細構造)分析手法を用いた分析を継続して実施した。

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

表-1 XAFS 分析によって得た長期浸漬供試体の
鉱物分布

Ion exchanged water	Cement side (wt%)			Bentonite side (wt%)		
	9-10mm	2-3mm	0-1mm	0-1mm	2-3mm	9-10mm
C-S-H total	88.0	63.3	61.2	106	92.3	90.2
C-S-H0.6	21.1					
C-S-H0.83	66.9			45.6	92.3	90.2
C-S-H1.4		63.3	61.2	54.4		
Calcite			11.3			
Portlandite	12.0	17.9				
Ca type bentonite					7.7	9.8
Friedel's salt		18.8				
Ettringite			27.5			

C-S-H の Ca/Si 比を C-S-H_{0.00} として表示

その結果、ベントナイト側の界面近傍ではより多くの C-S-H が析出している可能性が示され(表-1)、セメント系材料の影響によって生じる緩衝材内の鉱物組成及びその分布の変化を、XAFS によって分析できることが示された。

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圧縮状態での溶解速度について、圧縮によって生じる歪みの影響を調べた。圧縮状態でのモンモリロナイトの溶解速度は、未処理(Kunipia-p)では、初期歪みを除去したもの(Skunipia-p)と比較して条件によって約 1 桁高い値を示したが、長時間測定を継続すると徐々に溶解が遅くなり、歪みを除去した試料の溶解速度に近づくことが分かった(図-3)。

このことは、圧縮等によって生じる歪みが、溶解初期に測定される速い溶解速度の原因であることを示している。一方、歪みを除去した試料でも、Sato-Cama の式²⁾による予測と比較して高い溶解速度が観察された。この原因は、測定法やデータ処理の条件等である可能性があるため、今後再検討することとした。

また、天然事例として、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 以深の丹沢層から採取したコアに含まれる鉱物を詳細に分析

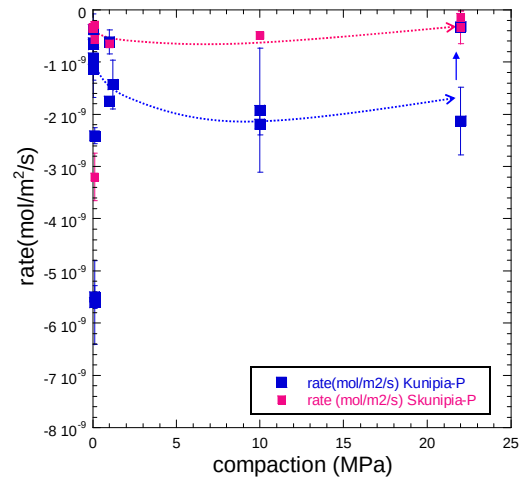


図-3 歪み除去試料 (Skunipia-P) と未処理試料 (Kunipia-P) の圧縮応力と溶解速度との関係

したところ、スメクタイトが検出された(表-2)。

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を行い、特に、そのうち物質移行特性に大きな影響を及ぼすと考えられるベントナイト中の空隙の状態について検討した。

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ー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。

- 1) 核燃料サイクル開発機構・電気事業連合会、TRU 廃棄物処分技術検討書、JNC-TY1400 2005-013, FEPC TRU-TR2-2005-02(2005)
- 2) Sato et al., "Disolution Mechanisms and Kinetics of Smectite under Alkaline Condition", Proceedings of the International Workshop on Bentonite-Cement Interaction in Repository Environments, Tokyo, Japan(2004), NUMO-TR-04-05(2004)

表-2 東海大学湘南キャンパス構内から取得したボーリングコアの鉱物分析の結果

岩石名	岩片								鉱物片/斑晶								基質/石基			変質(二次)鉱物							備考
	Tuf	And	Dac	Ba	Md/Slt	Ss	Pum	Gla	Qz	Crb	Pl	Ab	Au	Op	Gla	Qtz	Ab	Sm	Sm/Chl	Chl	Ill	Cpl	Cal	Sid			
シルト岩～凝灰質砂岩及び礫岩(薄片は主にシルト相)	・	・		△	・		・	◎	◎	△	◎	◎	△	△	◎	△	・	△		△		△				不透明鉱物は黄鉄鉱?	
礫岩(薄片は殆どが礫)	◎	・	・	△	△			△	○	◎	△	△	○	△	△	◎	△	△	○	・	◎					多源の礫岩	
風化礫岩(薄片は殆どが礫)	◎	△	・	○				△	○	△	・	△	◎	△	△	◎	△	△	◎		・		◎			風化変質が見られる	
細粒砂岩	・			・				△	△	◎	△	◎	○	・	○	◎	△	・	・	・	・	・	○	・		鉱物片の粒度は比較的そろっている。	
凝灰質砂岩	△	・		・				△	◎	◎	・	◎	○	○	△	◎	△	△	○		・		○	・			
砂質凝灰岩(含細礫)	・	・		・				・	△	◎	○	○	◎	△	○	◎	△	△	△		・		△	○			

岩石:Tuf:凝灰質、And:安山岩、Dac:デイサイト、Ba:玄武岩質岩(含むドレイイト)、Mds/Slt:泥岩～シルト岩、Ss:砂岩、Pum:軽石、Gla:火山ガラス

鉱物:Qtz:石英、Crb、クリストバライト、Pl:斜長石、Ad:曹長石、Au、普通輝石、Op:不透明鉱物(参加鉄あるいは黄鉄鉱)

Sm:スメクタイト/緑泥石混合層、Ill:イライト、Cul:緑泥石、Cpl:斜プロロ沸石、Cal:方解石、Sid:菱鉄鉱

量比:◎:多量>30%、○:中量10～30%、△:少量3～10%、・:微量～稀<3%

2-2 ガス移行挙動の評価

◇事業の概要

本開発は、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として、その移行に伴う多重バリアシステムの性能評価手法の不確実性低減を目指すものである。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の委託により実施したものである

(報告書)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)ーガス移行挙動の評価ー

◇平成 21 年度の成果

平成 21 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に向けた室内試験の実施、②モデル化・解析手法の高度化に向けた解析の実施、及び③ガス移行挙動評価手法の構築に向けたシナリオの整備を進めた。

(1) ガス移行に関する材料特性データの取得

平成 19 年度に策定された試験計画及び平成 20 年度の成果²⁾に基づき、下記の基礎的データ拡充試験と工学規模材料特性試験を実施した。

① 基礎的データ拡充試験

基本特性試験では、注水設備の2系列化や寸法効果評価試験設備との試験カラムの共用化を行った(図-1)。また、緩衝材の再冠水試験では、供試体両面注水及び初期飽和度の高い供試体の再冠水で、飽和時間短縮の効果が確認された。さらに、注入水圧力を 200kPa～250kPa 程度(想定膨潤圧の 30%～40%)に抑えた結果、均一な飽和試験体を製作できることが確認された。

また、飽和・不飽和力学特性試験では力学と連成するガス移行挙動のモデル化・評価を目指し、ベントナイトの飽和度の変化による膨潤、圧縮挙動の試験を実施し、不飽和ベントナイト(乾燥密度 1.0Mg/m^3)の圧縮指数・膨潤指数に係わるデータを取得するとともに、試験における課題

を抽出した。

② 工学規模材料特性試験

寸法効果試験として、ベントナイト系材料におけるガス移行挙動の寸法効果に関するデータ

を取得するために、 $\phi 60\text{mm} \times \text{H}50\text{mm}$ と $\phi 60\text{mm} \times \text{H}25\text{mm}$ の供試体について再冠水からガス透気までの一連の試験を実施し、破過現象に関するデータを取得した(図-2)。

また、 $\phi 60\text{mm} \times \text{H}50\text{mm}$ 供試体では破過後にガス注入を止め、6 時間経過後に再度ガス注入を行った結果、再破過が確認され、自己シール性に関するデータが取得できた。また、ガス移行経路の可視化について、破過後の着色材料注入を試み、可視化の可能性及び課題を確認した(図-3)。



図-1 基本特性試験の試験装置

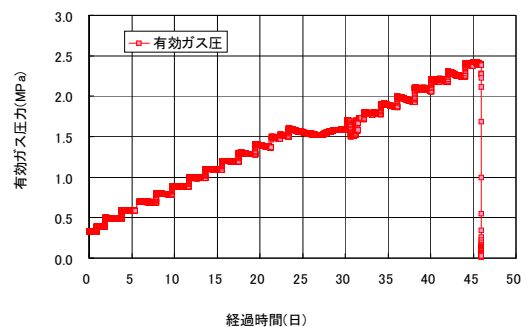


図-2 有効ガス圧力の経時変化

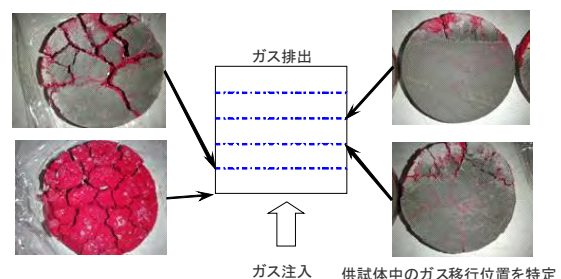


図-3 可視化後の供試体のスライス観察結果

(2) モデル化・解析手法の高度化

実測データを用いたモデル化・解析手法の適用性向上では、GETFLOWS による Graham ら³⁾の試験結果の分析と再現解析を実施した。その結果、ベントナイト試料内のガス移行挙動は、従来の圧力依存透過特性モデルにより解釈可能であり、初期飽和度 60～100%、乾燥密度 $0.6 \sim 1.17\text{Mg/m}^3$ のべ

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

ントナイト試料について、二相流物性等のモデルパラメータを取得した。また、GETFLOWS と CODE-BRIGHT による平成 20 年度の材料特性データの取得試験結果²⁾の再現解析を行い、注水試験結果及びガス注入試験結果の一部については十分な適用性が確認された。(図-4)

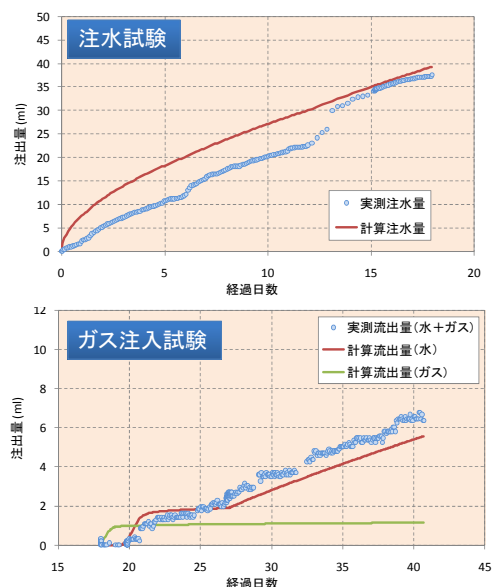


図-4 平成 20 年度の材料特性データ再現解析

施設の長期変遷を考慮したモデル化・解析手法の確立では、ベントナイト内部の時間、空間的な水分変化によって生じる膨潤・収縮、空隙構造、浸透率変化を考慮し、再冠水からガス発生・移行までの人工バリアの長期挙動変遷を一貫して解析する新しい手法を提案した。また、GETFLOWS のイオン交換平衡吸着モデルを用いて、ベントナイトの Ca 型化による透水性増加を考慮したガス移行解析を実施した。その結果、Ca 型化の影響は、主要なガス発生・移行時期からかなり遅れて発生するため、ガス移行挙動への有意な影響は認められなかった。

(3) ガス移行挙動評価手法の構築

ガスに関する不確実性に着目して要因分析を実施し、人工バリア各部位ごとの不確実性について要因分析結果を取りまとめ、既往の報告書・知見を基にその低減を図った。一方、ガスを含む物質移行モデ

ルについても検討を進め、人工バリア各部位の領域間における関連性(水理、力学、ガス)に着目して、TRU 廃棄物処分のガスに関わる FEP (Feature Event Process) を整理した。検討過程で得た知見は、不飽和時におけるガス移行挙動が飽和時とは異なることを踏まえ、平成 20 年度に構築した時系列状態変化表²⁾の飽和に到るまでの記述を詳細化した。その後、蓋然性が高いと判断されたガス発生・移行経路を設定した。

この時系列状態変化表と統合 FEP 関連図を用いて、蓋然性が高いと判断された事象の組合せを基に評価ケースを設定し、基本シナリオ及び変動シナリオの基礎材料となる各シナリオ整理シートを構築した(図-5)。なお、飽和後初期の段階からベントナイトのシール性が喪失するシナリオを変動モデルとした。また、評価ケース設定にあたっては、ガス蓄圧が生じる人工バリア材料として、廃棄体と緩衝材に着目して検討を進めるとともに、他の人工バリア材料については、不飽和時・飽和時共にガスは多孔質中、または亀裂中を、選択的にガス状、あるいは二相流で移流するものとした。

- 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一、平成 21 年 3 月
- 3) Graham J, et al., A capillarity-advective model for gas break-through in clays, Engineering Geology, 64 273-286 (2002)

	埋戻し～閉鎖	閉鎖～緩衝材飽和	飽和～ヒット亀裂発生	ベントナイト機能損失まで	ベントナイト機能損失後
状態変遷					
統合 FEP の関連図					
廃棄体	発熱	腐食			
充填材		劣化			
コンクリート・体		劣化			
膨潤					
ベントナイト		変質・劣化	変質・劣化		
埋戻し	変質・劣化				
支保	変質・劣化				
EDZ	不飽和	飽和・応力回復			
ガス発生部位		ロックボルト、容器、廃棄体			鉄筋、容器、廃棄体
発生速度					
発生量					
T (温度)		緩衝材内側領域	緩衝材内側領域	緩衝材内側領域	緩衝材内側領域
H (水理)		緩衝材内側領域	緩衝材内側領域	緩衝材内側領域	緩衝材内側領域
M (力学)		緩衝材内側領域	緩衝材内側領域	緩衝材内側領域	緩衝材内側領域
C (化学)		緩衝材内側領域	緩衝材内側領域	緩衝材内側領域	緩衝材内側領域
R (放射線)					
ガス移行モード	放射線分解ガス拡散	ガス蓄積・拡散・移流	ガス蓄積・拡散・移流	ガス蓄積・拡散・移流	亀裂媒体中の移流
核種移行モード	廃棄体内に閉じ込め	地下水への溶解・EBS 内分散・拡散移行	放射性ガスの拡散・移流	ガスによる汚染水の押し出し・拡散・移流	亀裂媒体中の移流
モデル設定		多孔質媒体二相流	多孔質媒体二相流 (+カ学連成)	亀裂媒体二相流 (+カ学連成)	亀裂媒体二相流

図-5 シナリオ整理シート改訂版(基本)

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、地下水移行中の 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。

そこで本事業では、地層処分におけ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。

本技術開発では、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 万年以上（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 $\text{BiPbO}_2\text{NO}_3$ にヨウ素を吸着させ 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：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ガイトやモノサルフェートを生成させる目的で石膏を加えたセメントでヨウ素酸溶液を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の委託により実施したものである。

（報告書）平成 21 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 21 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 3 つの素過程が関与すると想定される。これまでの知見より、初期のヨウ素放出挙動は開気孔中の AgI 溶解が支配的と考えられることから、岩石固化体表面の開気孔の状態及びヨウ素浸出挙動の把握が重要となる。そのため、固化体を H_2S 溶液に浸漬させたところ（図-1）、約 $25\mu\text{m}$ の深さまで浸漬期間（100 日）にほぼ比例して硫黄の浸入及びヨウ素の浸出が認められた。今後、より長期的な観察により、開気孔の状態変化とヨウ素浸出挙動の相関等の確認が必要である。

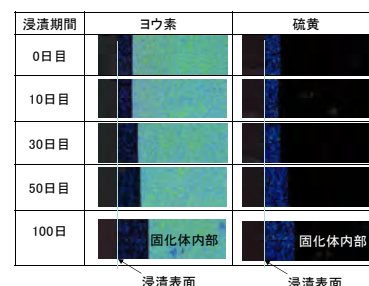


図-1 固化体マトリクスへの硫黄の浸入、ヨウ素の脱離深さの経時変化

一方、長期のヨウ素放出挙動は、固化体マトリクスの溶解が律速すると考えられることから、一

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

次のマトリクス溶解速度式を導出した。実験的に律速過程を確認するため、マトリクスの主成分である Al との調和溶解性について検討した結果、液相の I/Al 比は固相の組成比よりはるかに大きく、調和性を確認するには至らなかったが、Al の二次鉱物の析出による Al の濃度低下が原因として考えられる。そのため、導出したマトリクス溶解速度式についても二次鉱物の析出反応を考慮する必要がある。

(2)BPI ガラス固化技術

固化体の化学構造の把握を目的とし、ヨウ素含有率の異なるサンプルについて、ヨウ素の周辺構造の分析を行った。その結果、ヨウ素はヨウ化物イオンとして選択的に Pb と Pb-I 結合を生成していることが示唆された。

また、マイクロリアクタ通水試験により主要元素の初期の溶解データを取得した。ホウ素は拡散律速、その他元素は表面反応律速で溶出すると考えられる。

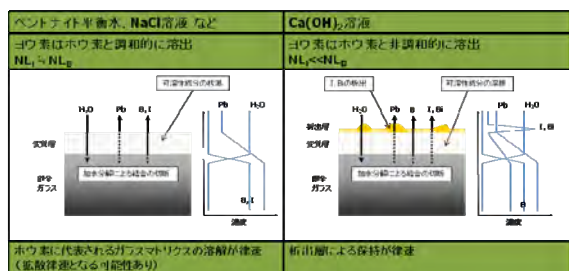


図-2 BPI ガラスからのヨウ素溶出の概念モデル
(NL は規格化浸出率、添え字は対象元素を示す)

BPI ガラスからのヨウ素の溶出メカニズムは、溶液性状に応じて 2 種類に大別できると考えられる(図-2)。一つは、ホウ素とヨウ素とが、調和的に溶出するメカニズム、もう一つは、ホウ素の溶出速度に対してヨウ素の溶出速度がはるかに緩慢なメカニズムである。ホウ素とヨウ素が調和的に溶出するメカニズムでは、ガラス表面に変質層が形成され、この変質層ではホウ素やヨウ素が顕著に減少している(図-3)。

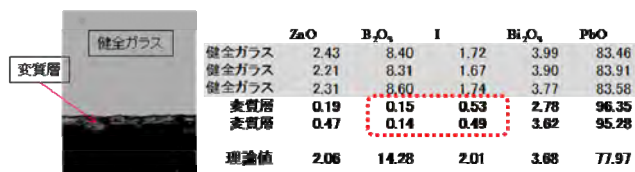


図-3 ペントナイト平衡水浸漬後の
BPI ガラス変質層の分析結果

これらの現象を引き起こす素反応は水分子の拡散浸透と水和変質であるため、ヨウ素の溶出速度は、水分子の拡散に律速される可能性がある。

(3)セメント固化技術

降水系地下水及び海水系地下水条件にてヨウ素の放出挙動を解析した結果、降水系地下水では、ヨウ素を保持しているヨウ素酸型エトリンサイト(Aft)がイオン交換水の約半分の液固比(500程度)で消滅し、海水系地下水条件では急速に溶解することがわかった。処分環境が海水系地下水の条件であった場合、ヨウ素の保持鉱物である Aft が急速に溶解すると考えられる。この場合、地下水流速等の環境条件によって、10 万年の放出期間を達成できない可能性がある。今後は、実際の処分環境(緩衝材の緩衝効果、処分坑道内の流速等)を考慮して、海水系地下水環境でのヨウ素固定化セメントの安定性の検討が必要である。

ブロック体浸漬試験の結果、液相元素濃度は、浸漬液相の種類を問わず、粉末データに漸近することが確認された。このことから、ブロック体からのヨウ素放出に対し、形状効果は考慮せず、最終的には粉末データを用いて評価することの妥当性が示唆された。

(4)プロセスの整備

ヨウ素固定化処理施設設計の概念検討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、加熱処理時にヨウ素が脱離する原因として、加熱処理時に発生する原子状の酸素による影響であることが示唆され、対策として減圧処理、還元処理が有効であることを簡易試験にて確認した。また、HIP 処理前後をシミュレーションできるツールの整備を行い、相対密度が 10%以内で再現できた。

BPI ガラス固化技術では、浸出評価に適したヨウ素含有率や比重の均一な 0.5 L サイズの固化体を作製できた。ヨウ素脱離の試験では、実装置に近い縦型充填層を製作し、試験を行った結果、流速を上昇させれば、4%水素濃度でも 100%水素濃度とほぼ同等の脱離性能が得られる見通しが立った。

セメント固化技術では、オゾンによってヨウ化物イオンをヨウ素酸イオン形態へ転換するプロセスデータを取得した。今回の試験で酸化条件として適切な条件が設定された。

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）中に含まれる 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

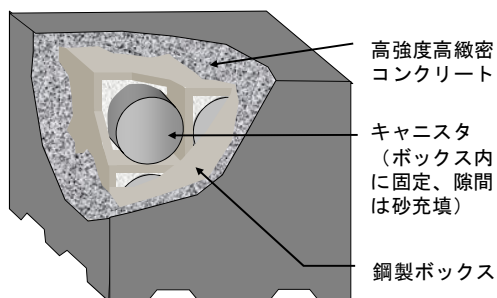


図-1 長期閉じこめ型コンクリート容器の概念図

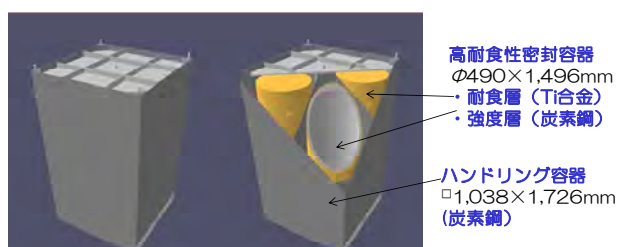


図-2 長期閉じこめ型金属容器の概念図

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。

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 21 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 21 年度の成果

(1) 長期閉じこめ型コンクリート容器

平成 21 年度は、長期閉じこめ性を担保することを目的とした化学的安定性評価試験、ひび割れ挙動評価試験、及び製作時の品質管理の観点から非破壊検査技術の開発を実施した。

コンクリート容器に関して、長期的にひび割れが発生しないことを説明するのは難しく、6 万年後までの核種の閉じこめ可能性を提示するには、水の浸透挙動とひび割れ挙動を評価する必要がある。コンクリート内部への水の浸透挙動については、低水圧法による水浸透試験、水の流動に対する降伏値や不飽和時のイオン移動モデルの適用検討等を実施し、これら挙動を示す水浸透・化学劣化評価モデル¹⁾を構築して 6 万年間の水浸透距離、Ca の溶脱深さを予測することが有効であると考えられる。

平成 20 年度に引き続き 1MPa、10MPa の水圧下で水浸透挙動試験を実施し、測定値が解析結果を超えないことを確認した。また、水のせん断に対する降伏値をパラメータとした解析、及び不飽和時のイオン移動モデルを用いた解析を実施し、その必要性を示した。さらに、これら水の浸透と、Ca の溶脱に伴う空隙構造の変化を考慮した水浸透解析を実施した結果、Ca の溶脱が起こる領域（＝空隙の飽和度が 90%を超える領域）が 6 万年間で約 130mm であり、溶脱及び未水和鉱物の水和を考慮しても、従来の水浸透距離の予測結果を上回らないことが示された（図-3）。

ひび割れ挙動評価試験では、繊維補強した高強度高緻密コンクリートの「サブクリティカル亀裂進展」について、繊維の角度をパラメータとした

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

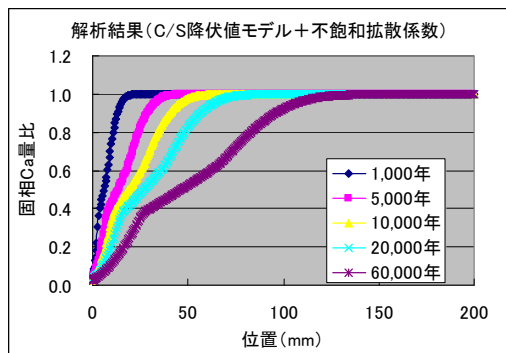


図-3 カルシウムの溶脱に伴う空隙構造の変化を考慮した水浸透解析の結果

試験を実施し、その影響は小さいことを示すとともに、処分後に想定される温度履歴を考慮したひび割れ進展予測解析を実施し、繊維補強を有する高強度高緻密コンクリートでは、長さ1cmのひび割れが存在した場合でも、処分後の現実的な温度履歴を与えた解析（ケース3）では、約 8N/mm^2 の引張応力が局所的に生じて、壁厚（20cm）を超えるひび割れの進展が起こらないことが示された（図-4）。

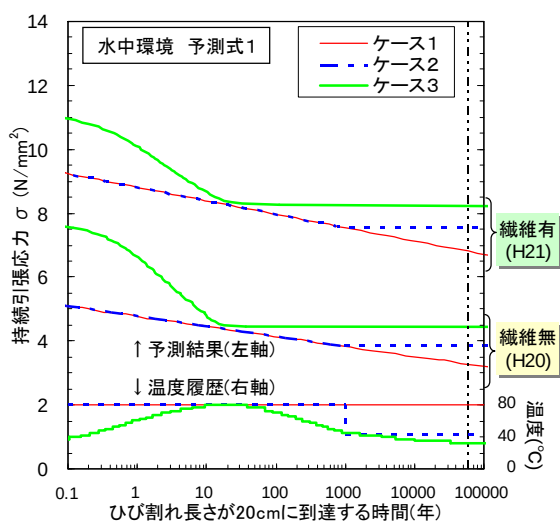


図-4 ひび割れ進展予測解析の結果

非破壊検査技術の開発では、容器製作時の品質管理において、ひび割れ等の欠陥（幅0.05mm以上）の検出、サイジング（ひび割れの長さ測定）を目標に、超音波法による検査技術の開発を行った。平成18年度から開始した超音波探傷法の試験を継続し、高強度高緻密コンクリートに設けた人工欠陥に対する固定角斜角法とTOFD法の適用性、ならびに、検出性やサイジングに対するひび割れ幅や角度の影響を確認した。試験した結果、0.2mmと

0.5mmの人工欠陥が検出可能であることを確認した。今後は、コンクリートへの適用の観点で新規性の高い探傷法（フェイズドアレイ法等）について知見を収集していく必要がある。

(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。

不動態健全性については、平成20年度に開始したコンクリート透過水環境下での長期定電位試験（80℃及び25℃、還元性環境の影響を確認するために保持電位は-0.1～-0.2Vに設定）を終了した。さらに、材料の加工影響を確認するため、短期定電位試験をTIG溶接試験片に対して実施した。それぞれの結果は、不動態皮膜破壊試験の結果も含め、平成19年度までの母材での結果に類似しており、不動態健全性に対する加工の影響はないものと考えられる。

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平成20年度に開始した、10%冷間加工試験片に対しての 0.05Acm^{-2} の長期定電流試験を終了した。表層部に僅かな針状水素化物の発生が確認されたが、水素化物層は発生しておらず、これらの結果（図-5）は水素化物層生成予測モデルに合致している。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浸漬を継続した。

さらに平成21年度までに得た知見を長期健全性予測モデルに反映し、金属容器に関わる長期間の核種閉じこめ可能性を確認した。

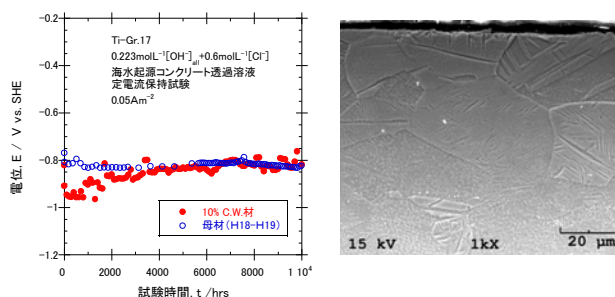


図-5 定電流保持試験結果と試験片 SEM 像

- 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.

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¹⁾、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の委託により実施したものである。

（報告書）平成 21 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 21 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には、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。照射済み BWR 被覆管中の C-14 濃度の計算値/測定値は、従来の ORIGEN³⁾コードでは約 1.5~2.4 であるのに対し、MCNP⁴⁾コードでは補正を加えることで、1.1~1.6 となり、計算精度が向上することがわかった。

また、BWR の総インベントリを計算するため、

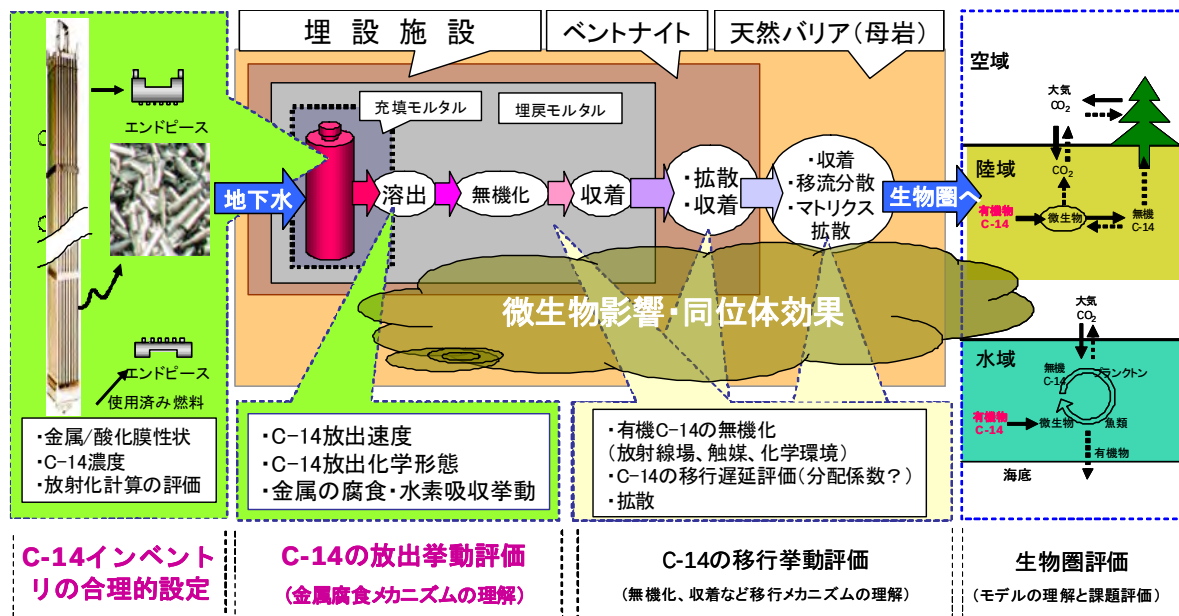


図-1 放射化金属から放出される C-14 の移行挙動の総合的な評価方法の検討

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

燃料型式別に計算条件を設定した。その際、対象となる廃棄物はウラン重量で1,600 t、燃焼条件は対象型式の平均的な取り出し条件、酸化膜厚さは文献データの平均値とした。放射化計算の結果、総インベントリは 2.22×10^{14} Bq となり TRU レポート (1,600 tU 換算) とほぼ同等であった。同様に酸化膜中の窒素および酸素濃度から計算したインベントリは、0.9%と低い値に評価された。(表-1 参照)。

表-1 BWR ハル・エンドピース C-14 総インベントリ

燃料集合体	集合体数	金属部 (Zry, SUS, インコネル)	酸化膜	総インベントリ
型式		[Bq]	[Bq]	[Bq]
7×7	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
8×8	0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
新型8×8	1,298	2.35E+12	9.99E+10	2.45E+12
STEP I	2,906	6.16E+12	1.51E+11	6.31E+12
STEP II	23,747	5.44E+13	3.37E+11	5.48E+13
STEP III	63,855	1.58E+14	6.77E+11	1.58E+14
	Total	2.20E+14	1.26E+12	2.22E+14

(2) 放射化金属からの C-14 放出挙動

放射化金属からの C-14 放出挙動を評価するため、照射済み被覆管の浸漬試験を継続している。浸漬液中の C-14 濃度は非常に低いことから、C-14 分析手法の改良方法として、有機物の酸化剤に $K_2S_2O_8$ (触媒は $AgNO_3$) を用いることにより、有機 C-14 の回収率を向上させた。浸漬試験では、浸漬後 12 ヶ月 (1 年) の C-14 濃度が、9 ヶ月 (0.75 年) 時に比較して低下することが観察された。そのため、微生物の影響等による C-14 の収着やコロイド化など、濃度低下の要因について検討し、対策についてまとめた。今後、実験により C-14 の物質収支や存在状態について確認する必要がある。

(3) 金属の腐食挙動評価

平成 19 年度よりジルカロイとステンレス鋼について長期的な腐食速度に関するデータを継続して取得している (~800 日間)。さらに、平成 21 年度は 80℃ のガスフロー型試験を開始した。装置構造を図-2 に示す。ジルカロイに関する腐食速度の経時変化を図-3 に示す。TRU レポートの設定値よりも小さい腐食速度が得られた。また、Zry-2 と Zry-4 による差異は観察されず、NaOH 系溶液と $Ca(OH)_2$ 系溶液でも顕著な差は認められな

かった。一方、温度依存性については影響が認められ、温度とともに腐食速度が高くなることがわかった。

今後は継続して腐食挙動データを取得するとともに、金属腐食と C-14 放出に相関が認められるかを確認することが必要である。

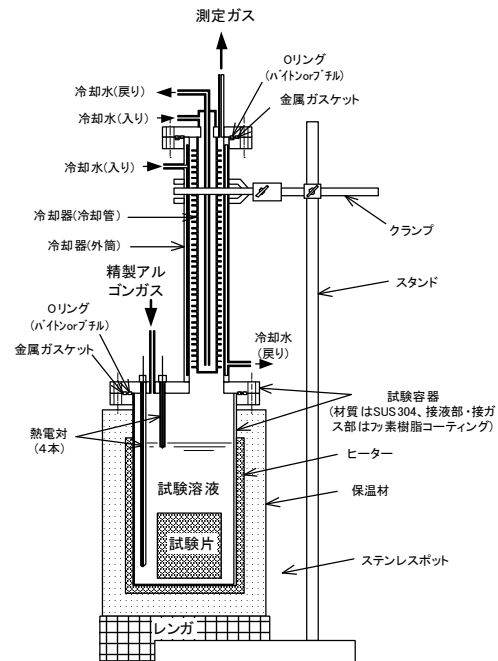


図-2 高温用ガスフロー型腐食試験容器の構造

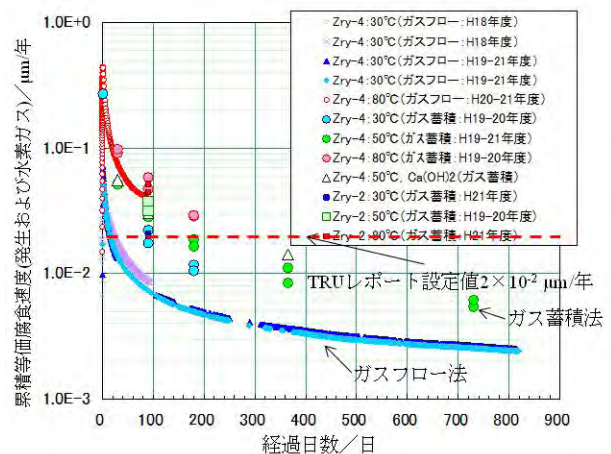


図-3 ガスフロー型及びガス蓄積型試験によるジルカロイの腐食速度の経時変化

- 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).

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 (II)

◇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 *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20年度の検討³⁾により抽出した性能評価上の課題に対して、量子化学計算手法で取り組む問題、検討のステップ、適用する手法・ツールの選定と適用方法の設定などを行うとともに、計算の試行を行う。それら検討結果を踏まえて量子化学計算手法の性能評価への適用性を評価する。さらに、上記で設定した問題以外への量子化学計算手法の適用性を検討し、研究開発課題の抽出と対応策の整理を行う。

なお、本事業は平成21年度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21年度の成果

(1) 性能評価上の課題の量子化学計算による検討

① 処分環境で支配核種となり重要なアクチニド4価の水酸化炭酸錯体の存在と安定性

$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{Th}$ 系の炭酸錯体、水酸化炭酸錯体、水和錯体について、溶媒効果を誘電率一定という簡単な条件で表わしたクラスターモデル(図-1)を用いた構造最適化計算(B3LYP法、全電子法)を実施し、生成反応式の設定、反応に寄与する化学種の構造のモデル化及びモデル(化学種)の安定構造の決定について検討を行った。その結果、複

雑な分子構造を持つ錯体の安定構造の決定及び平衡定数の導出の具体的な方法を示すことができた。これにより、計算精度についてはさらに検討する必要があるものの、手法についてはある程度確立でき、適用の見通しが得られたと考えられる。

今後の課題は、既存の実験を反映したモデルの詳細化を進めることの重要性和 QM/MM モデル等による大規模系での計算を検討することである。

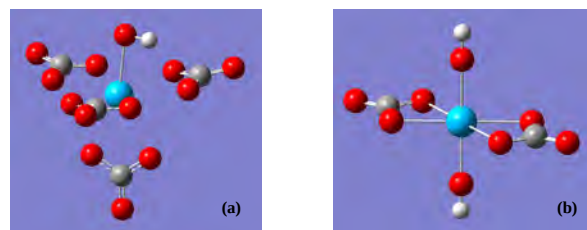


図-1 Thの水酸化炭酸錯体 ((a) $\text{Th}(\text{OH})(\text{CO}_3)_4^{5-}$, (b) $\text{Th}(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2^{4-}$) の最適化構造

② 量子化学計算による溶解度推定

現実的な溶解度に関するナノスケールモデルでの計算の可能性について、固溶体の熱力学的な考察から、固相・液相の自由エネルギー曲線からの溶解度の導出方法について検討するとともに、古典 MD 計算による難溶性の BaSO_4 結晶の晶出について検討を行った。その結果、第1原理電子状態計算や古典 MD 法等から溶解度推定に必要な自由エネルギーやエントロピーを求めることは原理的には可能であることを確認した。しかしながら、どの手法も膨大な計算量が必要となり、また計算ができたとしても固体と溶液の共存系に対する自由エネルギーの評価などには様々な試行錯誤が必要になると推定される。

以上のことから、現段階では、溶解度の推定に直結するナノスケールモデルの計算を実施できる可能性は少ないと考えられた。

③ 核種のベントナイトへの収着機構

ベントナイトの主構成鉱物であるスメクタイト族粘土鉱物のモンモリロナイトについて、構成する元素の擬ポテンシャルを作成するとともに、第1原理電子状態計算(DFT法、擬ポテンシャル法)により、その酸化物等の実験値との比較により作成した擬ポテンシャルの精度を確認した上で、エッジ構造のバンドモデルを、結晶成長理論

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

に基づいて、シス型、トランス型の分類とシリケイトの周期的なボンド鎖に着目して検討し、周期境界条件に対応した初期構造を構築した。その結果、核種のベントナイトへの収着挙動に関するシミュレーションの基盤として必須のモンモリロナイトのエッジモデルを構築できた（図-2）。これにより、現状の性能評価モデルで考慮している表面化学種の妥当性の確認、さらに詳細な収着挙動の理解へと検討を進めていける見通しが得られた。

今後の課題は、2層膨潤状態のNaモンモリロナイトの再現性の確認、およびエッジの官能基についての酸解離定数の経験式に基づく高pH条件でのエッジと核種の反応の取扱いの具体化である。

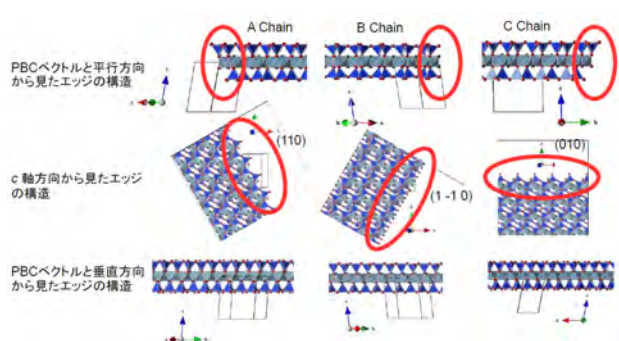


図-2 バンド計算用の周期境界条件に対応したモンモリロナイトのエッジ構造（周期的なボンド鎖の方向により3種類エッジが存在、ただし、AとC Chainは基本的に同じ）

④ 強アルカリ性、高Ca濃度下でのスメクタイトの溶解反応

スメクタイト族粘土鉱物の中で最も代表的なモンモリロナイトの強アルカリ性、高Ca濃度下でのエッジの反応性について、クラスターモデルによる構造最適化計算（第1原理電子状態計算：MO法、全電子法）を実施した。その結果、エッジの結合については、i)「Si-O-AlとAl-OH₂」とii)「Si-OH-AlとAl-OH」の2つに対して、i)のほうが安定であることが確かめられた（図-3）。また、八面体シートのMgの位置により、モンモリロナイトの骨格構造のエネルギー（安定性）が異なることが確かめられた。さらに、これまでの検討を踏まえ、今後の計算で必要な高pH、高Ca濃度条件でのエッジの官能基を表現するモデルを整理した。

今年度の検討によりエッジのクラスターモデルとその高pH、高Ca濃度条件での表現法を決定

できたこと、及び昨年度までの検討により原子間の結合の解析から溶解特性が評価できる見通しが得られていることから、性能評価で現状考えている溶解速度式の妥当性や修正点について示唆できるデータが得られる見通しが得られた。

今後の課題は、今年度検討したクラスターモデルをもとに、高pH、高Ca濃度条件下のモンモリロナイトでのMgやFeの位置および構成元素比の違いが溶解挙動に及ぼす影響を検討することである。

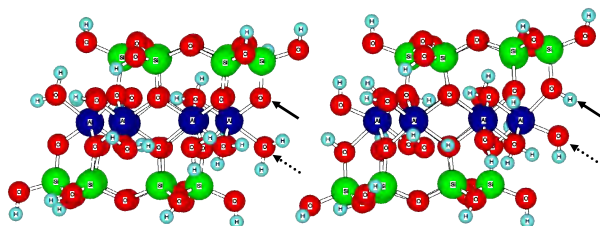


図-3 モンモリロナイトのクラスターモデルのエッジ構造（Si-O-AlとAl-OH₂（左）、Si-OH-AlとAl-OH（右））

⑤ スメクタイトの鉄共存下の変質過程

代表的なスメクタイト族粘土鉱物のモンモリロナイトの2層膨潤状態のバンドモデルを、Naの擬ポテンシャルの作成と実験値に基づく検証、Na-白雲母の構造を参考とした非膨潤Na-モンモリロナイトのバンドモデルの作成、膨潤構造の作成、構造最適化計算（第1原理電子状態計算：DFT法、擬ポテンシャル法）という手順で構築した。さらに、温度400K条件での第1原理分子動力学計算によりその挙動を検証した（図-4）。その結果、Fe共存下でのスメクタイトの挙動に関するシミュレーションに必要なモンモリロナイトの基本モデルが構築でき、第1原理分子動力学計算にも適用可能であることが確かめられた。

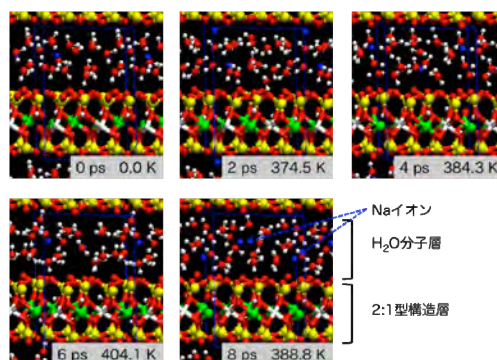


図-4 第1原理分子動力学計算による2層膨潤モンモリロナイトのスナップショット

これにより、Lantenois 等⁵⁾の仮説で示された変質過程について、その起こりやすさを過程ごとに量子化学計算で検証していくという進め方により Fe 共存の影響の現象論的な理解の深化が進む見通しが得られた。

今後の課題は、モンモリロナイトの鉄共存下の変質過程で生じる反応について仮定を設けた試行的な計算を実施しつつ、計算結果と実験結果の相互比較を通じた検討を行うことである。

⑥ ガラスの溶解

ホウケイ酸ガラスの基本構造モデルの構築とそれに関連する構造特性の評価のために、ホウケイ酸塩結晶である Malinkoite (NaBSiO_4) の 6 員環のモデル (図-5) を作成し、第 1 原理電子状態計算 (B3LYP 法、全電子法) により化学結合に寄与する電子軌道の特定、陽イオンによる酸素の電荷分布の解析を実施した。また、古典 MD 計算によるガラスの基本モデル構造の作成について検討した。その結果、初期座標の生成方法や冷却プロセスの違いがその構造特性に影響することが確認され、これらの改善によってより現実に近いガラス構造を再現できる可能性が示唆された。

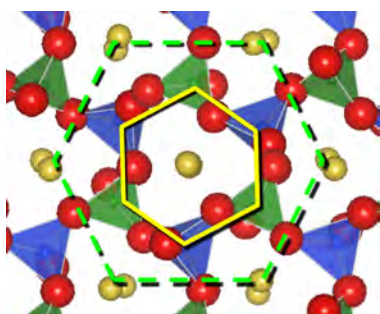


図-5 Malinkoite の 6 員環のクラスターモデル

ガラス溶解においては古典 MD 計算との組み合わせ等の工夫によりガラスの初期構造モデルを構築することが非常に重要であり、その進展によりガラス溶解の素過程や変質層の特性の理解が進むことが期待される。

今後の課題は、3 配位ホウ素を含むホウケイ酸塩結晶を対象とした第 1 原理電子状態計算にリング構造の特性の評価とホウケイ酸塩のクラスターモデルを用いた第 1 原理計算による古典 MD 計算で用いる原子間相互作用モデル作成である。

(2) 量子化学計算が適用可能な性能評価上の新規課題の検討

(1) で検討した問題以外での量子化学計算手法の適用が有効と考えられる新たな課題を検討し、研究開発課題の抽出と対応策の整理を行った。

その結果、新規の課題として、固溶水素を含むチタン金属または Ti-TiHx 系に水素原子が進入した場合の反応、水素原子の動き、水素化物中の水素の動きの検討を選定した。

また、その課題に対するモデル化や検討のアプローチとして以下を設定した。

- 1) 金属チタンとチタン水素化物の結晶構造を第 1 原理電子状態計算で作成する。
- 2) Ti 結晶と TiHx 結晶を結合させ、Ti-TiHx 系構造を第 1 原理電子状態計算で構築する。
- 3) Ti-TiHx 系に新たに入った水素の挙動を経路積分第 1 原理 MD 法または、経路積分第 1 原理 MC 法で計算する。

- 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 20 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/rprt4/20fy5.pdf>)
- 4) 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 (2010) (<http://www.enecho.meti.go.jp/rw/docs/library/rprt4/21fy5.pdf>)
- 5) Lantenois, S., Lanson, B., Muller, F., Bauer, A., Jullien, M., and Plançon, A., Clays and Clay Minerals 53, 597 (2005)

5. 第二種特定放射性廃棄物処分の設計課題の検討（廃棄体パッケージ及び人工バリアの基本設計）

◇事業の概要

本事業は、原子力発電環境整備機構（以下、NUMO）の委託により、第二種特定放射性廃棄物に相当する廃棄物（以後、TRU 廃棄物）処分に關して以下の目的で共同実施した、第二種特定放射性廃棄物処分の設計課題の検討の一部である。

- ・廃棄体パッケージの設計の検討レベルの引き上げ
- ・厳しいサイト環境条件に対応可能な人工バリアや地下施設の基本設計案の準備

当センターはその検討に当たって、廃棄体パッケージ及び人工バリアの基本設計に必要となる基礎データの収集、整理を担当した。

（報告書）第二種特定放射性廃棄物処分に關する設計課題の検討

◇平成 21 年度の成果

廃棄体パッケージの設計検討において、当センターは、これまでに国の基盤研究^{1,2)}で検討した成果をもとに、主に廃棄体パッケージの閉じ込め性、ハンドリングに必要な形状・強度及び基本設計案の各検討の一部を担当した。

国内及び海外事例の調査を実施し、我が国の TRU 廃棄物に相当する中低レベル廃棄物の地層処分の検討状況が公開されているスイス、イギリス及びフランスの事例について、廃棄体パッケージに求められる機能を整理した。また、当時 Dossier2005³⁾にて明らかにされていたフランスの廃棄体パッケージの設計、製作及びハンドリングの検討成果をとりまとめ、NUMO の廃棄体パッケージ検討の参考とした。

厳しいサイト環境条件に対応可能な人工バリアの基本設計案の検討については、当センターがこれまでに人工バリアの代替技術⁴⁾として国の基盤研究で検討した C-14 の長期閉じ込め技術^{1),2)}、ヨウ素固定化処理技術⁵⁾等の代替技術に加え、廃棄体開発調査において検討した高強度コンクリートを用いたコンクリート容器の核種の閉じ込め性に関する検討結果を、高透水場等での短半減期核種や非収着性の長半減期核種の影響低減のた

めの人工バリア設計の参照データとして提示した。

- 1) (財)原子力環境整備促進・資金管理センター、平成 11 年度～17 年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 廃棄体開発調査 報告書
- 2) (財)原子力環境整備促進・資金管理センター、平成 18 年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 放射化金属廃棄物炭素移行評価技術調査－C-14 の長期閉じ込め技術の高度化 報告書、平成 19 年 3 月
- 3) ANDRA, “La version preliminaire du dossier 2005, Synthese Argile : Evaluation de la faisabilite du stockage geologique en formation argileuse”, (2005).
- 4) 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
- 5) (財)原子力環境整備促進・資金管理センター、平成 19 年度～20 年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 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－

6. その他の地層処分にに関する調査研究

1) 地質環境調査技術動向調査

学会等との意見交換により大学、研究機関及び民間企業の地質環境調査技術の最新技術動向を調査するとともに、英国原子力廃止措置機関（NDA）と共同で実施した地質環境調査データ等から SIFD（調査システムフロー）を用いて地下水流動場を理解するための研究を総括した。

2) 地層処分等対象廃棄物の品質マネジメントの検討

放射性廃棄物のうち、地層処分を行う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高レベルガラス固化体の特性や、その把握のために適切に録取すべき製造時の記録及びその記録の取得方法等について検討した。

3) ヨウ素 129・炭素 14 の移行パラメータに関する基礎調査

ヨウ化物イオンや有機炭素の土壌への分配係数など、他機関における生物圏に関する研究について情報収集し、I-129 及び C-14 の移行評価への適用性を検討した。

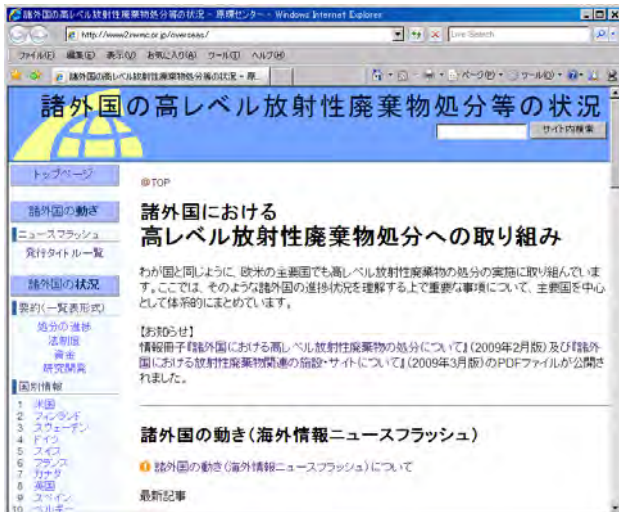


図-2 原環センターホームページでの『海外情報ニュースフラッシュ』

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』と題する技術情報冊子(図-3:左側)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-3:右側)に関しては、米国、フィンランド、スウェーデン、フランス、スイスに、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。



図-3 平成 21 年度に整備した技術情報冊子

講演会については、一部、原子力発電環境整備機構 (NUMO) の協力も得て、表-1 に示す海外要人による講演会やシンポジウムを開催し、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するだけでなく、我が国の事業に資することを目的として、地層処分事業に進捗をみせるスウェーデンの取組実績等に関する情報共有と関係者等とのパネル討論の場を提供した。

表-1 平成 21 年度の講演会開催実績

開催日	講演会名／講演者
4 月 21 日	カナダ：核燃料廃棄物管理機関 (NWMO) ・ケン ナッシュ氏 (NWMO 理事長)
10 月 27 日	シンポジウム「地域と共に歩む、地層処分事業～スウェーデンの取組から学ぶ～」 ・クラス・テゲシュトローム氏 (SKB 社社長) ・ヤーコブ・スパンゲンベリ氏 (エストハンマル市長) ・ラーシュ・プロムベリ氏 (オスカーシャム市副市長) ※パネリストとして我が国の地層処分関係者等も参加。



図-4 シンポジウム「地域と共に歩む、地層処分事業～スウェーデンの取組から学ぶ～」におけるパネル討論会

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、安全規制のための研究開発について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

本研究調査は、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、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について、WEB コンテンツとしての整備を行い、一般向けの情報としてホームページに掲載した。

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 21 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 21 年度の成果

(1) フィンランドにおける性能評価に関する調査

フィンランドの処分事業実施主体である Posiva は、2012 年に予定される地層処分場の建

設許可申請の際に、処分場の長期安全性を立証するためのセーフティケースを提出する予定である。本調査では、Posiva が 2008 年に取りまとめた、セーフティケースにおける核種移行解析の基礎となる報告書である「放射性核種の放出および移行 RNT-2008」についての調査を行い、その概要を取りまとめた。

(2) 情報発信

以下に示す主要国の性能評価書等の内容について、広く一般向けの情報内容として取りまとめ、当センターのホームページに掲載した(図-1、<http://www2.rwmc.or.jp/overseas/>)。

- ・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スマルにおける KBS-3 処分場の長期安全性[SR-Can](SKB、2006 年)
- ・フィンランド：放射性核種の放出および移行 RNT-2008(Posiva、2008 年)
- ・スイス：オバリナス・クレイプロジェクト 安全報告書 - 使用済燃料、ガラス固化高レベル廃棄物及び長寿命中レベル廃棄物に関する処分の実現可能性の実証 - (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	情報を整理する性能評価書
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/RW-0573: 米国エネルギー省(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スマルにおける KBS-3 処分場の長期安全性 - SR-Can プロジェクト主要報告書 TR-06-09, SKB社 [2006年]
フィンランド	放射性核種の放出および移行 RNT-2008, Posiva report 2008-06, ポジバ社 [2008年]
スイス	オバリナス・クレイプロジェクト 安全報告書: 使用済燃料、ガラス固化高レベル廃棄物及び長寿命中レベル廃棄物に関する処分の実現可能性の実証, 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]

図-1 WEB コンテンツ(原環センターHPより)

2-2 重要基礎技術研究調査

◇事業の概要

本研究調査は、放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画¹⁾に沿いながら、我が国の放射性廃棄物地層処分の推進に向けて、大学等を活用した基礎・基盤的な研究を実施するものである。

具体的には、選定した研究テーマを継続して実施し、進捗状況・成果について有識者によるレビューを行い、研究成果の情報共有、関連分野での活用が図られるよう学会等の場を通じて情報発信を行う。

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 21 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) 放射性廃棄物に関する基礎技術調査研究

◇平成 21 年度の成果

平成 19 年度より 3 ケ年計画で開始した 7 件の研究を継続実施し、それぞれの研究の 3 年間の研究成果の取りまとめを行った。また、研究成果の情報発信等の取組として、各研究者により約 50 件に及ぶ学会報告や論文投稿等が行われるとともに、特定テーマに関する情報共有等を目的としたワークショップも開催された。以下に、各研究の概要を示す。

(1) ガラス固化体の長期性能に及ぼすオーバーパック腐食生成物の影響に関する定量的評価(研究者：九州大学 稲垣八穂広)

ガラス固化体とオーバーパック腐食生成物との相互作用について、現象の基礎科学的理解に基づいた定量的かつ体系的な評価を行う。

平成 21 年度は、オーバーパック腐食生成物として想定される鉄鉱物試料への溶存シリカ収着実験を還元雰囲気で行い、溶存シリカ収着への濃度、pH、酸化還元雰囲気の影響を評価した。その結果、還元雰囲気における溶存シリカ収着挙動は、これまでに報告されている酸化雰囲気及び不活性ガス雰囲気での収着挙動と概ね同様の傾向を

示すことが確認された。また、高温・還元雰囲気における、鉄鉱物共存系でのガラス溶解/変質量は、酸化雰囲気と同様であることが示された。

(2) 処分環境における炭素鋼の水素吸収挙動に関する研究(研究者：大阪府立大学 井上博之)

炭素鋼製オーバーパック溶接部の水素脆化感受性評価に対する基礎データを得ることを目的とし、実オーバーパック溶接部を模擬した試験体の水素吸収特性及び模擬埋設環境での水素溶解量を測定する。

平成 21 年度は、電気化学透過法を用いて溶接熱影響部及び溶接金属中の水素拡散係数と、模擬処分環境中での水素含有量を測定し、これらの測定結果と金属組織及び硬度の関係を考察した。また、炭素鋼材料の水素吸収特性への溶接残留応力の影響を解明するために、様々な応力付加条件下で炭素鋼試験片の水素拡散係数を測定した。

試験片中の水素拡散係数、水素含有量は金属組織の違いに依存せず、硬度のみに依存することが示された。また、応力付加条件下での試験片の水素拡散係数は、降伏応力以下であっても部分的に塑性変形が生じる場合には減少した。

(3) 放射性核種収着現象の分子生物学的及び地球化学的研究(研究者：広島大学 高橋嘉夫)

放射性核種を収着した微生物からタンパク質等を分離・抽出・分析する手法を確立するとともに、放射性廃液により汚染された環境を対象に、微生物の分類群についての知見を集積する。また、微生物及び生体分子への希土類元素(REE)の収着における結合サイトを分光法により解析し、分配モデルを構築する。

平成 21 年度は、放射性廃液で汚染されたロシア・マヤーク地区のカラチャイ湖周辺より採水された地下水試料に含まれる微生物の遺伝子解析を行い、脱窒菌及びアンモニアを酸化するアーキア(古細菌)等の微生物群集構成が確認された。

また、脱窒菌に対する、ウランの化学的作用の影響を検討した結果、0.06mM 以上のウラン濃度が微生物の生育に影響を及ぼすことが明らかとなった。また、ウランの影響により、脱窒菌に発現するタンパク質を抽出及び 2 次元電気泳動法により分離回収することに成功した。

また、バクテリア細胞表面の REE の分配パター

Ⅲ. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

ンが、バクテリア表面のリン酸基、カルボキシル基の 2 つの結合サイトを仮定した収着分配モデルによって説明可能であることが示された。

(4) 地震波トモグラフィーによる地殻構造推定技術の高度化 (研究者：東北大学 趙大鵬)

火山体下のマグマ溜りや内陸地震断層等の地殻構造異常帯をより高い精度で推定するために、地震波トモグラフィー解析技術を高度化する。特に地殻と上部マントル内の反射波や変換波等の後続地震波データを用いた日本列島下の地殻トモグラフィーの解析法を検討する。

平成 21 年度は、地震波トモグラフィーの計算アルゴリズムの開発・改善を行い、波線追跡法を用いて、3 次元速度モデルにおける P 波・S 波の初動、地殻反射波の理論走時、及び波線経路の計算精度を向上させた。また、S 波と地殻反射波を用いて、Landers 地震の余震域の地殻トモグラフィーを 25~35km の水平分解能でイメージングすることに成功した。さらに、P 波等と地殻反射波を用いて火山下のマグマ溜りや断層帯を明瞭にイメージングすることに成功した。

(5) 地下水流路構造の不均質性の評価と流動モデルの構築 (研究者：東北大学 平野伸夫)

各種岩石の亀裂に関して流路構造の不均質性の定量的な評価を、異なる寸法のラボスケールサンプルについて実施し、フィールドスケールへのアップスケール手法を検討する。

平成 21 年度は、亀裂内の流路構造を把握するために、様々な面積を持つ花崗岩亀裂に対する各種表面形状パラメータの検討を行った。その結果、二乗平均荒さ(RMS)以外の表面形状パラメータは寸法依存性がほとんどないことが示された。また、実亀裂表面データから計算機上で同一のパラメータを持つ亀裂表面形状の生成を行い、その表面形状を用いた透水シミュレーションを行った結果、透水シミュレーションは実測データの範囲に収まった。

また 3 次元空間内に配置した複数亀裂を用いて、不均質間隙構造亀裂内部における流動状態変化に関するシミュレーションを行った結果、亀裂の連結が生じていても両方の亀裂に流体流動が生じるとは限らないことが示された。

(6) 鉄-ベントナイト相互作用のナチュラルアナログ研究 (研究者：金沢大学 福士圭介)

地質現象として認められる還元環境での低温含鉄溶液によるベントナイト変質の状況を観察・分析することにより、天然での長期にわたる鉄-ベントナイト相互作用を明らかにする。

平成 21 年度は、宮城県川崎鉱山において、緑色脈によって変質したベントナイトの分析を行った。緑色脈の鉱物組み合わせから、変質を引き起こした熱水は 100℃以下で、中性〜アルカリ性、及び強還元性の性質であったことが示唆された。また、緑色脈と接する境界近傍 (数 mm 程度) 以外は、ベントナイトが鉄による影響を受けていないことが確認された。

また、青森県黒石鉱山のベントナイト中に存在する緑色脈とその周辺部の分析を行った結果、亀裂周辺部のスメクタイトは鉄を含む熱水との反応により変質を受けたことが確認された。変質はベントナイトへの鉄とカリウムの付加によるものであったが、膨潤性は保持されていた。また、熱水脈は還元性であることが示唆された。

(7) 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 堀井秀之)

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 21 年度は、政治学・社会心理学・都市工学等の幅広い専門家による検討部会での検討も踏まえ、今後実施すべき社会的側面に係る 78 の研究課題をリストアップした。また、スイスのヴェレンベルグ低中レベル放射性廃棄物処分場の選定プロセス等を対象とした、当該プロセスの政治過程分析を通じて、処分場受け入れに関わる態度形成の分析を行った。その結果、処分場の立地候補地域住民が受け入れに関わる態度形成を行う際に、感情的・心情的に納得するか否かに関わる「情動ステップ」と、受け入れにあたって得られる便益とリスクを冷静に判断する「理性的ステップ」という 2 段階の判断が行われていることが確認された。

1) 資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構他、「高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画」、「TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体基本計画」(2006)

2-3 地球化学バリア有効性確認調査

◇事業の概要

地層処分システムにおける天然バリア中の放射性核種の移行速度は、岩盤への収着を考慮すると地下水流速より大幅に小さくなり、大半は地層中で固定・崩壊し、生物圏への大きな影響はないと考えられている。一方、放射性核種がコロイド物質に収着し擬似コロイドとして移行する現象や放射性核種自体がコロイド（真性コロイド）となり移行する現象も確認されている。このようなコロイドによる放射性核種の移行の場合、岩盤への収着による遅延効果が少なくなる可能性が指摘されている。

本研究では、地下水中にコロイドを含むロシアの放射性物質で汚染されたサイトにおける放射性核種移行データやそれを評価するための室内実験に基づいた当該サイトでの放射性核種移行概念モデルの検討等により、コロイドによる放射性核種の移行現象の理解度を深め、地層処分システムの天然バリア性能評価の信頼性向上に資することを目的としている。

本研究におけるロシアの汚染されたサイトでの放射性核種移行に係る研究データ等は、ISTC（国際科学技術センター）プロジェクト No. 3290 “Evaluation of the Groundwater Colloidal Migration of Radionuclides from Geochemical Viewpoint” として、ロシアの研究機関（ベルナツキー地球化学・分析化学研究所：GEOKHI、鉱床地質学、岩石学、鉱物学及び地球化学研究所：IGEM）が取得した。

本研究の現地調査サイトは、図-1 に示すロシアチェリャビンスク州の Mayak（マヤーク）生産連合（PA “Mayak”）の再処理プラントで発生した高濃度の硝酸塩を含む放射性液体廃棄物を投棄したカラチャイ（Karachay）湖周辺である。

(1) 既存データの収集

ロシア国内から提供された研究目的に沿った現在利用可能なデータを汚染問題の現状（特に PA “Mayak” サイト）が把握できるようにまとめる。

(2) 現地調査と実験研究

現地調査として、観測孔井を用いた地下水の地

球化学検層、採取した地下水からろ過分離したコロイド物質の化学分析、放射性核種濃度分析、コロイド物質と放射性核種の結合状態の特性研究等を行った。実験室では、現地調査のデータを補完するため、地下水から分離したコロイド物質のミクロ観察、これとアクチノイド等との結合状態、Pu 水酸化ポリマー（真性 Pu コロイド）の化学特性研究、岩石への収着挙動研究などを行う。



図-1 PA “Mayak” サイトの位置及びカラチャイ湖(B-9)周辺の地下水観測孔井配置図

(3) 概念モデルの検討

既存データと新規に取得したデータを合わせて、このサイトにおける放射性核種移行及びコロ

Ⅲ. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

イド挙動の概念モデルを検討する。

(4) コロイド生成データの評価

上記の研究情報に加えて、現地調査等で得られる有機コロイド特性に関するデータを解析し、一般化するための基礎的検討を行う。

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 21 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) 地球化学バリア有効性確認調査

◇平成 21 年度の成果

平成 21 年度は、カラチャイ湖周辺のコロイドによる放射性核種移行研究の最終年度として、ISTC プロジェクト No. 3290 の第 15 四半期～第 16 四半期の研究成果を中心として、平成 17 年度から実施した調査を総括した。

(1) 調査サイト状況のまとめ

平成 17 年度に実施した既存データの調査に基づき、PA “Mayak” の状況、PA “Mayak” 領域の地表汚染の概況、カラチャイ湖周辺の地下水の汚染の状況、南ウラル地域の地質学、地球化学的概況等を総括した。

(2) 岩石学、鉱物学及び地球化学的調査

岩石の風化によるコロイド物質生成の可能性を検討するため、平成 20 年度に続き、カラチャイ湖南側遠距離の Novogorny 採石場の風化地層の岩石学、鉱物学及び地球化学的調査を行い、上部連続層 (suite) の火山性岩の浅成変質特徴を検討した。その結果、浅成環境内で発生した粘土質鉱物の中で、緑泥石、混合層化した緑泥石-スメクタイト、水酸化鉄 (及びマンガンの可能性もある)、加水雲母 (イライト) 及び沸石などのタイプが支配的であることが判明した。これら鉱物集合体は、フェミック火山性岩の変質に特徴的なものであり、上部連続層を地下水が通る過程で、水酸化鉄コロイドの発生源となる可能性が示された。

これらの結果を合わせ、PA “Mayak” 領域の安山岩-玄武岩質の上下の岩石連続層で構成される地質・岩石学的な概要を総括した。

(3) 地下水地球化学検層

既存の地下水地球化学検層データと 2006 年～2008 年に本研究で取得したデータを比較し、主な汚染地下水流動方向である南東側とそれと垂直な方向の地下水汚染状況の変動をまとめた。汚染プルームは、1993～1994 年から 2007 年の期間中に南東側に 400～500m 移動 (数十 m/年) したことが確認できた。

(4) コロイド特性の調査

本研究において、図-2 に示す、汚染地下水の主要な流動経路である南東側と汚染地下水の流動が明確でない北東側の孔井から地下水を採取し、その中のコロイド物質の特性を調査した。



図-2 地下水を採取した孔井の位置(四角で囲った孔井)

平成 21 年度は、北東側遠距離孔井地下水中の比較的濃度の高いプルトニウム (Pu) の起源を検討するため、北東、2～3km の孔井 1/28 の深さ 2m と孔井 2/28 の深さ 7m から地下水とその周辺の土壌中のフミン酸とフルボン酸中の Pu とアメリシウム (Am) の分布を調べた。地下水中のフミン酸に Pu の 34 % (2/28) と 59 % (1/28) が含有されていた。これらは土壌中のフミン酸に比べかなり高い。Am は 11.2 % (2/28) と 9.5 % (1/28) がフミン酸と結合しており、その他は移動性の大きい低分子性化合物中に包含されていた。この結果が

ら、地表で土壌などと結合している Pu の一部が、フミン酸などのコロイド粒子として地下水中に浸透する可能性が示された。

また、Pu 真性コロイドの存在を確認するためカラチャイ湖から 45 m の孔井 41/78 の深さ 80m の地下水中のコロイド粒子のアルファ線トラックを調べた。分布は一様で、Pu 真性コロイドは確認できなかった。

これらの結果を合わせ、平成 17 年度～21 年度に実施したコロイド特性調査を総括した。

(5) 現地調査を補完するための実験的研究

平成 18 年度から平成 20 年度に実施した以下の実験的研究を総括した。

- ・ 現地調査で確認された有機物で被覆されたコロイドを模擬した、フミン酸で改良されたカオリンへのアクチノイドの収着挙動の研究
- ・ 地下水中のコロイドに収着したアクチノイドのスペシエーション
- ・ Pu 真性コロイドの挙動の研究

(6) カラチャイ湖周辺の地下水中の放射性核種移行概念モデル

既存データ及びこの研究で得られたデータにより、カラチャイ湖周辺での放射性核種移行概念モデルを検討した。移行概念を図-3 に示す。

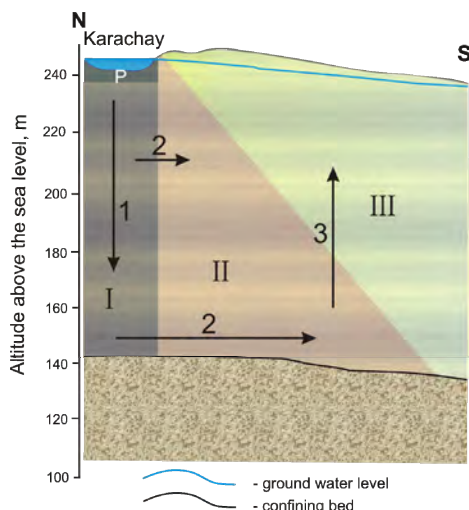


図-3 カラチャイ湖周辺の地下水中の放射性核種移行概念

カラチャイ湖内では、表-1 に示すように高収着性の Pu、Am、Cm は懸濁物・底質堆積物に収着され、湖水中核種濃度の低下が起こる。カラチャ

イ湖水中の主要な核種濃度を表-2 に示す。

表-1 カラチャイ湖中の放射性核種の固液分配

放射性核種	単位	湖水	懸濁物	底質堆積物	分配率*
⁹⁰ Sr	Bq	3.3×10^{16}	7.4×10^{15}	4.1×10^{17}	12.4
¹³⁷ Cs	Bq	4.8×10^{16}	8.5×10^{15}	3.7×10^{17}	8.1
U	kg	6700	300	8900	1.37
Pu	Bq	58	232	2.9×10^4	503
Am+Cm	Bq	1.4×10^{13}	1.3×10^{14}	1.4×10^{16}	1.0×10^3
Np	Bq	4.7×10^{11}	1.1×10^{10}	3.8×10^{11}	0.83

* 分配率 = (懸濁物中放射能総量 + 底質堆積物放射能総量) / 湖水中放射能総量

カラチャイ湖水は直下に浸透し硝酸イオン濃度が高い (数十 g/L)、高密度汚染水 (密度 1.1 g/cm^3) だまり (P) を形成する。この過程でカラチャイ湖内の懸濁物・底質堆積物はろ過されると考えられる。この汚染水は重力により基盤岩盤まで沈降する (ゾーン I)。この過程で、表-2 に示すように、U 以外の放射性核種濃度は収着により大幅に低下する。ゾーン I から、南東方向の地下水流動により、断層沿いに水平移動する (ゾーン II)。さらに遠方では上向きの地下水流動も加わり、水平方向と鉛直方向の地下水流動が起こる (ゾーン III)。本研究では、主に南東側のゾーン II での放射性核種移行挙動を研究対象とした。

表-2 カラチャイ湖水中濃度と近傍地下水中の放射性核種濃度比

放射性核種	単位	カラチャイ湖水中の濃度	孔井 41/78* 地下水中の濃度	濃度比
⁹⁰ Sr	Bq/L	9.5×10^7	7.7×10^5	123
¹³⁷ Cs	Bq/L	1.4×10^8	1.4×10^5	1000
U	mg/L	15.5	20 ± 5	~1
Pu	Bq/L	6×10^3	3	2000
Am+Cm	Bq/L	4.1×10^4	0.3	1.4×10^5
Np	Bq/L	1.5×10^3	12	125

* 孔井 41/78 はカラチャイ湖から 45m、地下水採取深さ 80m。

ゾーン II (南東側) では、図-4 に示すように ⁹⁰Sr は、硝酸イオンと同様の挙動を示し、溶存状態で移行していると推定された。一方、Pu 濃度と硝酸イオン濃度との相関は認められず、溶存状態以外の移行が推定された。これまで実施したコ

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

ロイド特性の調査から、Pu と Am の主な移行機構は、汚染地下水の天然水での希釈により生成する鉄水酸化物などの擬似コロイド粒子への収着や共沈の形態であると推定されるものの、コロイド形態で移行する動的なメカニズムは説明できなかった。一方、北東側では、硝酸イオン濃度、 ^{90}Sr 濃度は極めて低い、傾向は南東側と同一であり、 ^{90}Sr は溶存状態で移行していると推定された。Pu 濃度は、南東側と同レベルで、地表からの浸透の可能性が考えられる。

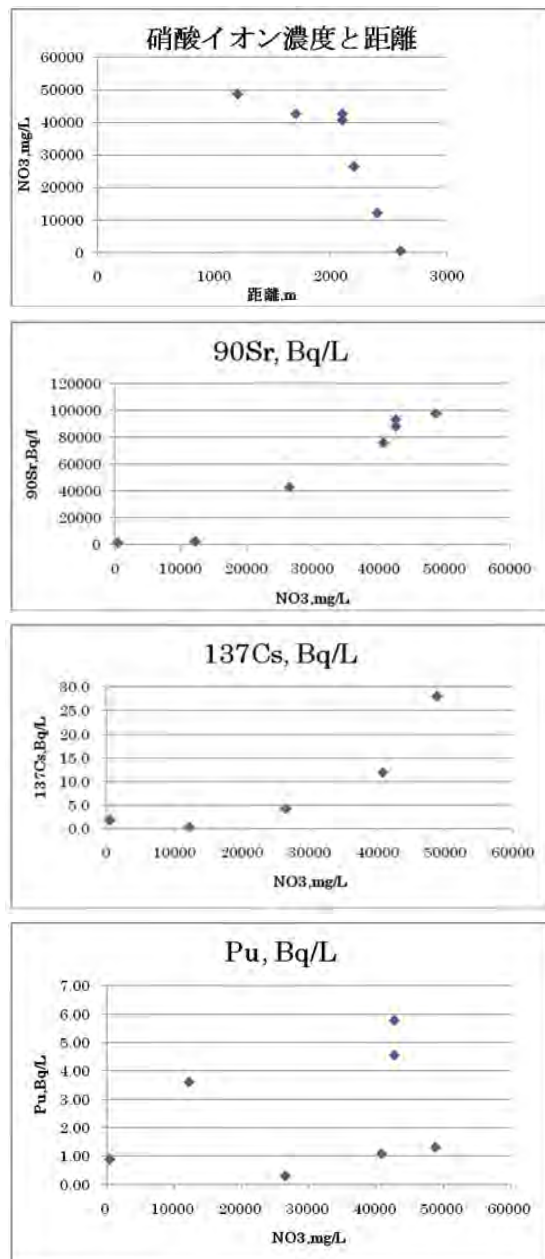


図-4 地下水中硝酸イオン濃度と距離、 ^{90}Sr 濃度、Pu 濃度、 ^{137}Cs 濃度との関係（南東側）

(7) 地層処分の安全性評価への適用性

この研究で得られた成果は、コロイド影響評価の課題であるコロイドの存在、コロイドの移動、コロイドの安定性、コロイドへ放射性核種の収着挙動を検討する事例として活用できる。放射性核種濃度分布データは、コロイド共存系での放射性核種移行を示すデータであり、コロイドの影響を考慮した放射性核種移行評価モデルの検証に活用できる可能性があるとともに、 ^{90}Sr など溶存化学種の移行挙動評価モデル検証には活用できると考えられる。また、「高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画」¹⁾の「性能評価技術分野」で、コロイド・有機物・微生物による放射性核種移行挙動への影響評価の達成目標への貢献もできると考えられる。

(8) コロイド生成データの評価

我が国の地層処分安全評価において 4 価アクチノイドイオンの地下水移行に影響を及ぼすと考えられるフミン物質との相互作用について、熱力学的な観点から理解するための基礎的検討を進めた。本年度はフミン酸による錯生成の影響、すなわち得られた熱力学データに立脚し、フミン酸錯体の安定性について検討した。これまでに Eu(III) に対してその有効性を示してきたフラグメントモデルを Th(IV) 及び Pu(IV) に適用し、適用可能なことを確認した。

- 1) 資源エネルギー庁・(独)日本原子力研究開発機構、高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画、平成 21 年 7 月

2-4 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

本研究調査は、多重バリアシステムを基本とする地層処分において、将来生じることが予測される現象と類似した天然現象（ナチュラアナログ：Natural Analogue (NA)）を見出し、その現象の機構やもたらされた結果を、我が国の地層処分手業における一般国民との合意形成をはかる上で、その安全性を説明する論拠の一つとして活用できる情報として整備することを目的としている。

そのため、人工バリアの長期健全性を示す上で極めて重要なテーマの一つとして、高アルカリ地下水の影響によるベントナイトの長期健全性に関する NA 調査を実施する。また、既往調査研究成果から得られる処分場の長期安全性の論拠として活用できる情報のデータベースに適宜改良を加え、取りまとめる。

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 21 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 4 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 21 年度の成果

(1) 高アルカリ地下水の影響によるベントナイトの長期健全性に関する調査・研究

処分場で使用されるセメントとの長期の相互作用によるベントナイトの高アルカリ環境下での変質現象は性能評価上重要な課題であり、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、4800 万年前に形成された Zambales オフィオライトが分布しているフィリピン国ルソン島北西部の Mangatarem 地域周辺(図-1)をその調査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、そこでの断層系充填物における縁辺部の蛇紋石と中心部の方解石の存在から、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(Fossil Type of Past Interaction Zone)が確認された。



図-1 Mangatarem 地域の位置

本年度の調査では、Fossil Type のサイトである Saile 鉱山とその周辺地域における詳細なナチュラアナログ調査及び、「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可能性が高い Bigbiga とその周辺地域(Active Type のサイト)における予察調査を実施した。

①高アルカリ地下水の生成と進化

Mangatarem 地域の Manleluag Hot Spring 地区、Saile 鉱山とその周辺地、Bigbiga 地区における地下水調査(水質パラメータ計測、溶存イオン濃度分析)結果から、アルカリ変質において、特に、Mg-Ca-Si-Al イオンのマスバランスの重要性が確認された。また、Saile 鉱山の断層系の岩石鉱物学的観察から Manganite が同定され、断層系が高アルカリ地下水の経路であったことを示す傍証が得られた。

②高アルカリ地下水流路系を規制する断層系の特性

当地域において高アルカリ地下水を規制していると考えられる断層系の把握に資するために、航空写真判読とその結果の地表踏査による確認を行った。その結果、断層系に関連すると推定され、長い線状地形、基盤岩の Zambales オフィオライトと整合に被覆するベントナイト層の接触部での傾斜変換面、輝緑岩や玄武岩岩脈のリッジ、比較的幅広い玄武岩質自破碎溶岩の分布等の地形学的特徴の著しいリニアメントを抽出することができた。

また、水素ガス及びメタンガスの濃度測定においては、アルカリ地下水を伴わない断層系において、僅かな濃度のガスの検出はできなかった。課題解決のために、検出方法や気候変化の影響につ

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

いて検討が必要である。

③Active Type サイトの予察調査

Bigbiga の地質調査から、高アルカリ地下水との接触は確認できなかったが、基盤岩近傍の高アルカリ地下水の井戸とベントナイト胚胎層の露頭を確認し、Active Type サイトとして Bigbiga は有望な地域であることが示唆された。

④ベントナイト層の形成と変質プロセス

オフィオライト基盤岩とベントナイト層の接触部の地質・鉱物学的な状況の観察と鉱物組成・産状等を明らかにするために、各種分析用のサンプリングを目的にトレンチ調査を実施した。トレンチ掘削は、基盤岩とベントナイト層とのコンタクトが確認されたトレンチ 1 (平成 20 年度実施) 近傍において計 3 箇所のトレンチサイトを選定して実施した。

2 箇所のトレンチでは、オフィオライト基盤岩と接触しているベントナイト層に加え、断裂系から枝分かれした脈状の水みちが枕状溶岩中からベントナイト層まで達している痕跡が確認された (図-2)。XRD 分析からこの脈状の部分には蛇紋石、方解石が形成されており、高アルカリ地下水の経路跡であると考えられる。図-3 にトレンチ断面の地質観察に基づく模式断面図を示す。接触部近傍のベントナイトの変質帯では、XRD 分析から、アルカリ変質であるゼオライト化を示す明確な傾向は示されなかった。また、ベントナイト層や変質領域の大部分はスメクタイトが十分残存しており、これは膨潤力試験からも確認された。

ベントナイトの鉱物組成と産状について、Saile 鉱山からやや離れた位置でサンプリングした試料の相対湿度を変えた XRD 分析結果から、ベントナイトの初生鉱物は Ca-rich スメクタイトであることが示された。さらに、トレンチで採取した試料を FESEM-EDS、EPMA により分析した。スメクタイトの産状としては、i) コア (中央部) が Ca-rich で外側が Fe・Mg-rich 又は Mg-rich の組成で、反応縁の産状 (Parallel-growth)、ii) Ca-rich コアの外側を Fe・Mg-rich スメクタイトがコロナ状 (反応縁) に取り囲む (Overgrowth)、iii) Ca-rich スメクタイト粒子近傍の空隙を充填する Fe-rich スメクタイト、の 3 つのタイプが見られた。鉱物組成については、変質帯のスメクタイトの組成は初期に Si・Ca-rich であるが、その後 Fe-rich に変質するような組成変化が顕著で

ある。また、スメクタイトに Ca-Mg-Fe 成分の累重構造 (Zoning) が確認された。

接触部の微細構造の分析から、枕状溶岩の最外殻の玄武岩ガラスが高アルカリ地下水との相互作用により、 Fe^{2+} の酸化や Si・Al・Na・Ca の選択的溶脱が促され、幅約 5mm の変質帯を形成している。また、この変質帯直上のベントナイト層も変質作用を受け、スメクタイト、沸石 (輝沸石、斜プチロ沸石、モルデン沸石) が形成されているが、ベントナイトの変質領域 (Fe 濃集帯) は 1 ~ 3mm 程度であった。



図-2 枕状溶岩とベントナイト層のコンタクト (トレンチ 6 西面)

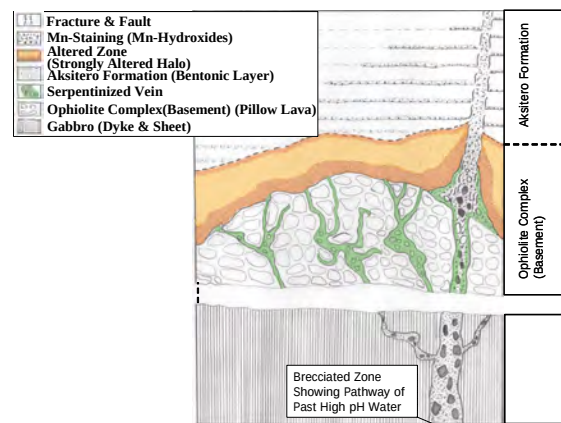


図-3 Fossil Type の模式断面図

(2) ナチュラルアナログ (NA) 情報データベースの整備

平成 20 年度に作成した、既往のナチュラルアナログ調査研究成果から得られる情報をとりまとめた NA 情報データベースについて、データベースシステムの改善、文献情報の追加・削除、を実施し、一般のユーザーが利用できるように、PC にインストール可能な CD-ROM としてとりまとめた。

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 21 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 21 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、英国、スイス、カナダ、ドイツ等、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・検討状況として整理するとともに、長期的な安全性に関する考え方として、次の視点での取りまとめを行った。

- ・長期に及ぶ評価期間の考え方
- ・処分場の最適化と BAT（利用可能な最善の技術）
- ・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。

具体的には前記(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：前記（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。
 - －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
 - －評価モデル、不確実性・不確実性の取扱い及び確率論的評価手法等

(3) 閉鎖後の制度的管理等に関する調査

前記(1)に示した海外主要国の地層処分施設等の閉鎖後の処分サイト及びサイト近傍における人間活動を低減させるための情報の維持・伝達手法（例えば、コミュニティのレガシーとして伝えるような社会的な方法、それに対する社会的や法学的観点からの議論の内容等）について調査を行うとともに、国内の社会学者等にアンケート等による調査を行った。

具体的には海外主要国について、各国の安全規制関連文書、許認可申請書、事業実施主体等

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

による最新レポート、国際機関が発行する文書等における閉鎖後の制度的管理に関する情報を調査し、取りまとめを行った。更に、これらの調査結果をアンケート票（面談資料）として整理して国内の社会学者等（法学、政治学、経済学、政策科学、歴史学等）との意見交換を行い、我が国における制度設計に資する情報としての整理を行った。なお、面談を受け、以下に示す項目について結果の整理を行った、

- 1) 制度的管理措置を現在の安全規制制度に取り込む上での法規制整備上の課題
- 2) 制度的管理措置の実施と役割分担
- 3) 制度的管理措置に関する具体的な措置内容と効果（施設の維持管理・人間侵入等）
- 4) 記憶維持（記録保存や情報伝承等）に関する参照すべき我が国での歴史的事例の有無
- 5) その他

また、上記の調査・情報のとりまとめに加え、海外主要国における原子炉容器、炉内構造物等の放射化金属の処分方策に関する次の情報の取りまとめを実施した。

- ・放射化金属の廃棄物の種類
- ・放射化金属の採用・検討している処分方式（地層処分、浅地中処分等）
- ・処分の基本的な考え方、規則、基準等
- ・放射化金属の処分方法採用時の背景、評価、根拠等
- ・放射化金属の処分に関する技術課題・今後の研究動向等
- ・放射化金属の処分に関する安全評価報告書

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21年度 放射性廃棄物処分の安全指針等に関する調査 報告書

◇平成21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）、経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）、国際放射線防護機関（ICRP）等の報告書等について、平成21年度現在の状況を取りまとめるとともに、“放射性廃棄物処分において重要な事項（規制機関（指針や法令等）の要求事項。以下「重要事項」という）”を抽出した。IAEAの「特定安全要件 SSR-5 放射性廃棄物の処分」ドラフト版については、現行の安全審査指針との対比を行った。

(2) 諸外国の安全規制動向調査

諸外国の地層処分等に係る平成21年度現在の状況を取りまとめるとともに、以下の事項について調査を行った。

① 第1次報告の改訂に係る調査

特定放射性廃棄物処分安全調査会での審議に資するため、諸外国における重要項目についての最新の検討状況を調査した。

② 精密調査地区選定に係る環境要件等に関する調査

我が国の精密調査地区の選定の際に実施されるボーリング調査等の地上からの調査を中心とした調査に関して、諸外国でのボーリング調査等

の地上からの調査に基づくサイト選定基準の内容を調査するとともに、フィンランド、スウェーデン、フランス、英国での評価事例を調査した。

③ 諸外国の地層処分に係る安全基準及び安全審査指針等に関する調査

2008～2009年において改定が行われている法令、安全基準及び安全審査指針等として、フィンランドで新たに制定された処分の安全性に関する政令、英国の地層処分施設の許可要件に関するガイダンス、スイス安全規制当局が新たに策定した指針（ENSI-G03）、ドイツの発熱性放射性廃棄物の処分安全要件、米国のユッカマウンテンに係る連邦規則（10 CFR Part 63）の改定について、調査・分析を行った。

④ 余裕深度処分に関する国際的な規制動向調査

余裕深度処分の対象となる原子炉内構造物、制御棒、チャンネルボックス、バーナブルポイズン等の廃棄物について、諸外国における埋設状況、安全評価について調査を行い、取りまとめた。

(3) 規制関連報告書（指針や法令等）と実施関連報告（申請書等）の重要事項分析

重要事項に対する実施機関（申請書等）の申請内容を整理・分析した。本年度の調査では、以下の事項を実施した。

- ・米国では2008年6月にユッカマウンテン処分場の許認可申請書がNRCに提出されたことから、規制関連報告書（指針や法令等）の要求事項と申請内容について分析した。
- ・スウェーデンの実施主体が2006年に取りまとめた安全評価書（SR-Can）に対して規制機関が行ったレビュー結果について調査するとともに、安全評価書とレビュー内容を比較・分析した。
- ・OECD/NEAが2009年に取りまとめた報告書「放射性廃棄物の地層処分の閉鎖後安全性に関するタイムスケールの検討」では、13カ国を対象に、各国規制文書における安全評価におけるタイムスケールに係わる事項・取り扱いについて、アンケート調査を行っている。そのアンケート調査で抽出されている重要事項について、分析状況を整理した。

5. 低レベル放射性廃棄物処分状況等調査

◇事業の概要

研究施設等から発生する低レベル放射性廃棄物（研究施設等廃棄物）の処分に関して、国民・立地地域住民への理解増進を図るための国の政策検討に資するため、諸外国における低レベル放射性廃棄物処分に係る理解増進活動及び地域共生方策の先行事例等について調査を行う。

なお、本事業は文部科学省の委託により実施したものである。

（報告書）平成 21 年度 低レベル放射性廃棄物処分状況等調査

◇平成 21 年度の成果

フランス、スペイン、スイスの 3 か国を対象として、文献による調査、対象国における処分事業の関係者（政府、事業実施主体等）へのヒアリング調査等の現地調査を行い、調査結果の整理及び取りまとめを行った。

①理解増進活動に関する調査

- ・実施時期（立地活動等処分事業の進捗との関係、実施時期の設定理由、課題、効果等）
- ・具体的な活動内容（方法、実施主体、対象、媒体、説明内容等）
- ・費用（実際に要する金額、費用負担の主体・分担等）

②地域共生方策に関する調査

- ・実施時期（立地活動等処分事業の進捗との関係、実施時期の設定理由、課題、効果等）
- ・具体的な方策（具体的な事業内容及びその背景、費用、費用負担の主体・分担等）

なお、調査結果の取りまとめにおいては、各国の放射性廃棄物処分の全般的な政策や制度整備状況等の基礎的情報も加味して、各国の情報を共通的に次の項目構成で整理した。

- ・原子力政策及び放射性廃棄物管理政策
- ・低レベル放射性廃棄物の発生と処分概念
- ・低レベル放射性廃棄物処分の制度
- ・低レベル放射性廃棄物処分のこれまでの経緯と今後の計画
- ・理解増進活動
- ・地域共生方策

調査結果として得られた、各調査対象国の低レベル放射性廃棄物処分に係る理解増進活動及び地域共生方策の取組概要について、調査委対象国ごとに以下に示す

(1) フランス

既に低レベル放射性廃棄物処分場が操業されているフランスでは、地域における理解増進活動を実施するための枠組みとして地域情報委員会（CLI）と呼ばれる組織の設置が法律で規定されており、その活動に必要な費用支出も同法で規定されている。CLI は地域の代表者等を中心とするメンバーで構成されており、原子力安全に関する情報等について実施主体を含む事業関係者と地域住民等の情報共有や地域住民等の疑問や懸念への解決策の模索など、地域住民等への理解増進のための活動を地域側の視点で行っている。また、実施主体は CLI の活動を積極的に支援するほか、処分場に併設されるビジターセンター（訪問者の受入）、インターネットや広報誌の配布等の情報提供による独自の理解増進活動の取組を実施している。

地域共生方策については、低レベル放射性廃棄物処分場に関して交付金等を交付する法的制度は整備されていないものの、処分場操業初期段階には地域のインフラ整備や経済開発等を目的とした交付金が自治体に支給された実績を有する。更に、処分場の設置・操業に伴う各種地方税収（財産税と事業税等）及び雇用・地元発注などは、自治体財政や地域経済への波及効果として大きな影響を与えている。

(2) スペイン

フランス同様に、既に低レベル放射性廃棄物処分場が操業されているスペインでは、地域における理解増進活動を実施するための法的制度は無いものの、自治体と実施主体が連携して、地域住民等からの疑問や懸念への解決が図られている。更に、実施主体は理解増進に関する独自の取組として、処分場に併設されるビジターセンター（訪問者の受入）、インターネットや広報誌の配布等の情報提供、ジャーナリストを含む地元代表者等の関係者との各種ミーティングの開催、更には学生等を対象とした研修など、多様な取組を展開している。

地域共生方策については、放射性廃棄物を扱

う施設を受け入れる自治体向けの交付金支給制度が整備されている。更に、処分場設置・操業に伴う各種地方税収（事業税、付加価値税、固定資産税等）及び雇用・地元発注などは、自治体財政や地域経済への波及効果として大きな影響を与えているほか、実施主体も地域共生のための独自活動として、地元と協議を行いながら各種取組を実施している。

(3) スイス

スイスでは、現段階で操業を開始している放射性廃棄物の処分場はない。現在、連邦政府が策定した特別計画「地層処分場」に沿って、これら処分場のサイト選定手続が進められているところであり、低レベル放射性廃棄物の処分場に関しては6ヵ所の候補サイト地域が実施主体により提案されている。

理解増進活動については、連邦政府のサイト選定における担当官庁である連邦エネルギー庁（BFE）が中心となって、現段階では提案された候補サイト地域の所在州や自治体を主な対象として、情報提供イベントやシンポジウムなどが実施されている。また、実施主体である放射性廃棄物管理共同組合（Nagra）も、BFE が主催する活動とは別に、見本市等の場を利用した情報提供活動や学校関係者への情報提供サービス、地下研究所を活用した情報提供活動などを実施している。また、特別計画に基づき、州や自治体などの代表が参加した複数の委員会等が設置され、それらの組織をとおした情報提供やコミュニケーション活動も既に開始されている。

地域共生方策については、サイト選定活動の今後の段階で具体的な協議が行われることになっている。特別計画「地層処分場」では放射性廃棄物処分という国家的課題の解決に貢献する地域に支払われるものである「対価」の概念が示されており、地域への対価の提供に伴う資金等は放射性廃棄物の処分義務者が負担することとされている。処分義務者は、原子力発電事業者と医療・産業等の分野で発生する放射性廃棄物の処分義務を有する連邦政府である。



図-1 オーブ処分場における展示物



図-2 エル・カブリル処分場における展示物

6. 中国産ベントナイト利用基礎調査

◇事業の概要

原環センターでは、平成 18 年度から特別賛助会員の参加を得て、中国産ベントナイトの放射性廃棄物分野への利用可能性について調査を行ってきた。この活動では、当センターと長年協力関係にある中国核工業集团公司地質局、同公司北京地質研究院の協力を得て、ベントナイトに関する日中ワークショップを日本及び中国で開催するとともに、中国側の案内により、中国のベントナイト鉱床及びベントナイト加工工場の視察調査を行った。

◇平成 21 年度の成果

平成 21 年度は、これまでの調査結果を整理して、中国産ベントナイトの放射性廃棄物分野への適用に当たっての課題の抽出を行った。

平成 18 年度から平成 20 年度までの調査活動を表-1 に示す。

表-1 調査活動実績

年度	18	19	20
ワーク ショップ	昆明 東京	北京 東京	西安
鉱床調査	雲南省 文山県硯山	内モンゴ ル自治区 高廟子 (GMZ)	陝西省 洋県
工場調査	雲南省 文山県硯山	吉林省 四平劉房子	遼寧省 建平

中国の主なベントナイト産地、鉱床及び工場と当研究でのこれまでの訪問調査地を図-1 に示す。

表-2 に主な中国産ベントナイトの物性を、ワイオミング産の MX-80、日本産のクニゲル V1 と比較して示した。

中国では、推定埋蔵量が 5 千万トン以上の鉱床が多くあるが、多くは未開発か小規模な工場である。近代的な工場は中国東北部にある。また、ベントナイトの約 90% が Ca 型ベントナイトであり、Na 型ベントナイトは吉林省、新疆ウイグル自治区などのみであり、少ない。中国の高レベル廃棄物処分の候補材料として研究が進められている内モンゴル自治区高廟子鉱床では、地表付近は Ca 型ベントナイトで、Na 型は地下に分布している。この Na 型は、中国のこれまでの研究で日本のクニゲル V1 と同等の品質を持つと評価されているが、埋蔵

量等詳細は不明である。吉林省四平では坑道方式により地下から Na 型が採掘されている。遼寧省建平では、地表から開削工法により Ca 型が採掘され工場で Na 型に改質されている。

中国のベントナイトは埋蔵量が多く、日本へは内航船での運搬が可能なことなどから、経済的にも有望であるが、放射性廃棄物分野への使用の可否は、埋蔵量、品質、インフラを含めた経済性などを考慮して判断すべきであり、さらなる調査が望まれる。

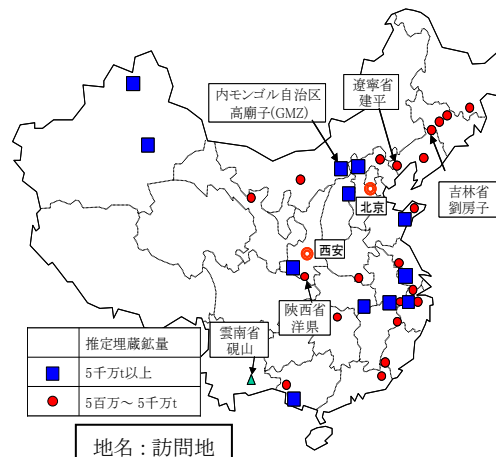


図-1 中国のベントナイト鉱床と現地調査位置

表-2 中国産ベントナイトと MX-80、クニゲル V1 の比較

製品名称または 鉱山名	高廟子 GMZ-1	四平 劉房子	建平	MX-80	クニゲ ル V1
産出国	中国	中国	中国	米国	日本
産地	内モンゴ ル自治区	吉林省	遼寧省	ワイオ ミング	山形県
タイプ	Na 型	Na 型	Ca 型を 改質	Na 型	Na 型
膨潤力 (ml/2g)	18	16	25	33	18
pH	8.7~9.9	9.7	10.2	10.05	9~10.5
MB 吸着量 (mmol/100g)	102	68	112	110	82
CEC (meq/100g)	77.3	70.5	80.3	84.0	68.0
交換性 Na イオン量 (%)	43.4	39.0	62.5	48.0	60.0
交換性 K イオン量 (%)	2.5	1.4	2.2	1.6	3.1
交換性 Mg イオン量 (%)	12.3	7.7	13.2	13.3	4.1
交換性 Ca イオン量 (%)	29.1	22.5	64.0	19.8	56.1

7. その他の放射性廃棄物全般に共通する調査研究

(1) TRU 廃棄物廃棄体技術基準の検討及び適合性評価に関する研究

TRU 廃棄物を対象として、浅地中処分、余裕深度処分、地層処分それぞれに区分される廃棄物の処理プロセス及び廃棄体性状に関して調査し、発電所等から発生する廃棄物に関する既存の技術基準と比較し、廃棄体製造の各プロセスの適合性等を検討し、今後整備が必要と考えられる項目を抽出した。

(2) 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、東アジア放射性廃棄物管理フォーラム（EAFORM）のマネジメント委員会への参加、包括協定に基づくバイラテラル会合等による最新情報の収集等を行った。

(3) ベントナイト緩衝材の飽和過程挙動、メカニズムに関する基礎調査

ベントナイト緩衝材の飽和過程で生じるベントナイトの浸潤挙動について、スメクタイト系粘土鉱物の水和メカニズムと浸潤過程の現象の関連とその評価手法について検討した。

(4) 地層処分事業における社会科学研究

放射性廃棄物処分事業と地方自治体／地域との関係について、諸外国での個別事例を共通的・横断的に理解しうるモデルや総論的分析を行っている国際的な研究事例として、経済協力開発機構（OECD）の原子力機関（NEA）の報告書『放射性廃棄物の長期管理のための関係構築』（2009 年 3 月ドラフト版、2010 年 4 月最終版発行）に着目し、その検討内容を調査した。

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、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、平成12年11月に、北海道と幌延町及び核燃料サイクル開発機構(現原子力機構)の三者で締結した「幌延町における深地層研究に関わる協定」(三者協定)の下、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。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21年度は、前年度に策定した全体計画に基づき、以下の項目を実施した。

- ①設備建屋の建設
- 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設備整備
- ③仮設建屋の運営(人工バリアの展示)

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21年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費(地層処分実規模設備整備事業)報告書

◇平成21年度の成果

(1)設備建屋の建設

設備建屋は平成21年8月に施工を開始し、翌3月に竣工した(図-1)。概略仕様を以下に示す。

- ・鉄骨造(一部、鉄筋コンクリート造)
- ・地上2階、地下1階
- ・延床面積:約707m²



図-1 地層処分実規模試験施設

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た。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一仕様の人工バリアや、工学技術に関する試験研究の一端に触れることが出来る構成とした。

(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、その一部となる走行台車を製作した(図-2)。

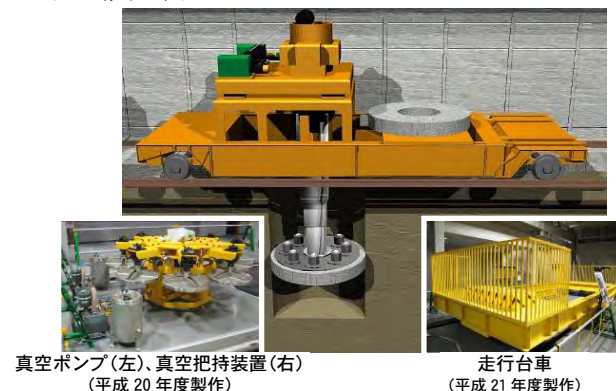


図-2 緩衝材定置試験設備の整備状況

・人工バリア長期挙動試験設備の製作

目視にて緩衝材の再冠水挙動を確認するため、緩衝材可視化試験装置を製作した。装置は、緩衝材（直径 10cm／厚さ 5cm：一体型と分割型の計 2 体）をアクリル製容器内に封入し、外部から水を供給する仕様とした（図-3）。



図-3 緩衝材可視化試験装置

(3) 建屋及び展示物の維持・管理・運営

① 仮設建屋における運営

仮設建屋（図-4）は平成 21 年 3 月 31 日より一般公開を開始し、設備建屋への移設に伴う閉館（平成 22 年 2 月 21 日）までの間に、約 2,800 人が来館した。運営にあたっては、作成したマニュアルに基づき、常時 1 名以上の説明員が、来館者への説明や質問に答える体制で対応した。



図-4 仮設建屋の展示状況

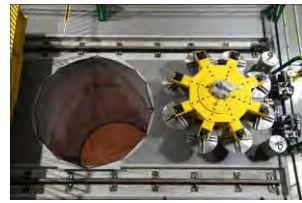
② 設備建屋の運営に向けた検討・準備

設備建屋の建設と平行して、当該施設における運営方法について検討を行い、来館者が地層処分について理解を深めやすくなるように、次の 4 つのエリアを設定した。

- ・エリア 1：施設全体を俯瞰できる 2 階において、事業全体概要を紹介（図-5）。
- ・エリア 2：実規模・実物の人工バリアを展示し、その機能や役割などを説明（図-6）。
- ・エリア 3：緩衝材可視化試験装置を展示し、緩衝材への水の浸潤状況を公開（図-7）。
- ・エリア 4：緩衝材定置試験装置を展示し、その機構や定置手順などを紹介（図-8）。なお、地下 1 階では模擬処分孔を真

横から見学可能。

各エリアの展示状況を図 5～図 8 に示す。

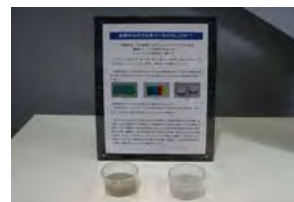


緩衝材定置試験装置と模擬処分孔
(2 階より)



人工バリア
(2 階より)

図-5 エリア 1：地層処分実規模設備事業全体



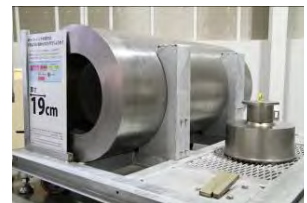
ベントナイト材料



緩衝材ブロック



人工バリア



オーバーパック

図-6 エリア 2：人工バリア（実規模・実物）



緩衝材可視化試験装置
(すき間なし)



緩衝材可視化試験装置
(すき間あり)

図-7 エリア 3：人工バリア長期挙動試験設備



緩衝材定置試験設備



B1 階から見た模擬処分孔

図-8 エリア 4：緩衝材定置試験設備

なお、各エリアには、事業概要や各展示物説明のためのパネルを制作し、設置する（図-9）とともに、オーバーパック・緩衝材については、その製作工程を撮影し、編集した映像を放映することとした（図-10）。

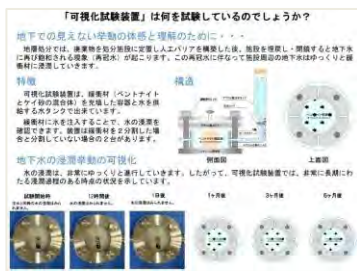
IV. 放射性廃棄物処分への理解促進



エリア1：本事業の説明



エリア2：人工バリア



エリア3：人工バリア長期挙動試験設備



エリア4：緩衝材定置試験設備

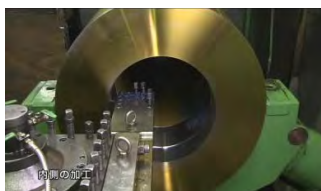
図-9 エリアごとの説明パネル（一例）



鍛造



原料製造



機械加工



圧縮成形



溶接



組立

図-10 オーバーパック(左)・緩衝材(右)の製作映像

③広報活動

原環センターホームページ上では、施設完成にあわせて、地層処分実規模試験施設のページ（図-11）を開設し、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パンフレット（図-12）を配布し、地層処分への理解促進に努めている。



図-11 地層処分実規模試験施設ホームページ
(<http://www.rwmc.or.jp/institution/>)



図-12 配布パンフ（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

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。

また IAEA 等の国際機関の事業に協力するとともに、ロシアの科学者・技術者支援のプロジェクトに協力している。

(1) 情報交換・研究協力を行っている海外機関

- ・ベルギー／ベルギー原子力研究センター (SCK/CEN)
- ・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)
- ・フィンランド／ポシヴァ社 (Posiva Oy)
- ・フランス／放射性廃棄物管理機関 (ANDRA)
- ・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)
- ・韓国／韓国原子力研究所 (KAERI)
- ・韓国／韓国水力原子力株式会社原子力工学技術院 (KHNP NETEC)
- ・ロシア／ロシア科学アカデミー (RAS)
- ・スペイン／放射性廃棄物管理公社 (ENRESA)
- ・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/SKBIC)
- ・スイス／放射性廃棄物管理共同組合 (NAGRA)
- ・英国／原子力廃止措置機関 (NDA)
- ・韓国／韓国放射性廃棄物管理公団 (KRMCM)

2009 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、スイス NAGRA、フィンランド Posiva 社、英国 NDA、韓国 KHNP、中国 CNNC BOG との人工バリア長期変遷、ハル廃棄物からの炭素 14、ガス挙動、ベントナイト、調査システムフロー等に関する技術情報交換等を行った。

(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、2001 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) IAEA 放射性廃棄物国際技術委員会 (WATEC) への協力

放射性廃棄物国際技術委員会 (The International Radioactive Waste Technology Committee: WATEC) は、IAEA の原子力エネルギー局廃棄物技術課所管のバックエンド分野(放射性廃棄物管理、原子力施設廃止措置)の国際協力活動に関する、戦略、実施、技術、方法について IAEA の活動や方向性に対するアドバイスをを行うとともに、現状、経験、最近の開発や取り組みに関する情報交換フォーラムの役割を担っている。原環センターから委員として参加し、提言などの作成に協力している。

(4) 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、RWMC の活動方針・計画などの審議に参画するとともに、関連する情報の収集を行っている。

(5) EAFORM への協力

東アジア放射性廃棄物管理フォーラム (EAFORM) のマネジメント委員会に参加し、2010 年 11 月に韓国慶州で開催される第 3 回コンファレンスの具体化検討に協力した。なお、原環センターは平成 18 年度の EAFORM 設置以降、マネジメント委員会を構成する機関の 1 つとしてその運営に協力している。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、引き続きこの体制のもとで協

V. 国際交流

力を行うこととなった。

(6) 国際科学技術センター（ISTC）*プロジェクトへの協力

原環センターは、これまで、ISTC プロジェクトとして超深度ボーリング・データの整理、岩盤中のガス透過性データ等整理等を実施し、熱による岩盤物理特性影響評価、超深度地震データの解析、液体放射性廃棄物の坑井への注入処分の評価、放射性廃棄処分の天然バリアとしての岩石の物理的・化学的特性の実験的・理論的研究、アクチノイドを含む放射性廃棄物の地層処分のための地質・地球化学条件の評価等の研究を実施してきた。平成 17 年度より 21 年度までは、ロシアのカラチャイ湖周辺での放射性核種のコロイドによる移行挙動の研究を行った。

* ISTC は、政府間協定に基づく国際機関で、旧ソ連の大量破壊兵器科学者の軍民転換支援による流失防止、市場経済移行支援等を目的としており、アメリカ、EU、日本等が参加している。

(7) 最終処分国際研修センターへの協力

「最終処分国際研修センター」（ITC school of Underground Waste Storage and Disposal 以下 ITC）は、平成 15 年 4 月に設立されたスイス連邦に本拠を持つ放射性廃棄物の最終処分に係る国際的な教育訓練機関である。原環センターは、ベルン大学（スイス）、カタロニア工科大学（UPC、スペイン）スイス連邦原子力施設安全本部（HSK（現 ENSI）、スイス）及びスイス放射性廃棄物管理共同組合（NAGRA、スイス）とともに、ITC の設立メンバーとして参加した。それ以降、研修コースの企画など ITC の運営に協力している。

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
カナダ：核燃料廃棄物管理機関（NWMO） ・ケン ナッシュ氏（NWMO 理事長）	平成 21 年 4 月 21 日	虎ノ門パストラル 新館 ロゼ
シンポジウム「地域と共に歩む、地層処分事業～スウェーデンの取 組から学ぶ～」 ・クラス・テゲシュトローム氏（SKB 社社長） ・ヤーコブ・スパンゲンベリ氏（エストハンマル市長） ・ラーシュ・ブロムベリ氏（オスカーシャム市副市長） ※パネリストとして我が国の地層処分関係者等も参加。	平成 21 年 10 月 27 日	浜離宮朝日ホール 小ホール

VI. 資料

(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 21 年度 原環センター研究発表会 報告： 「地層処分場の工学技術の開発 ー遠隔操作技術の選択肢の提示とその利用についてー」 浅野英一（処分技術調査研究プロジェクト） 「地下空間での大型人工バリア構築技術の確証 ー地下空洞型処分施設性能確証試験の実施状況ー」 寺田賢二（L1 チーム） 特別講演： 「自然に学ぶ地下環境の働きと物質移動ー木を見て森を見る試み ー」 吉田英一氏（名古屋大学 博物館資料分析系 准教授）		平成 21 年 12 月 1 日	三会堂ビル 石垣記念ホール
講演会・セミナー等	第 1 回講演会「首都圏近郊に構築した地下実験場の過去・現在・今後について」 高倉望氏（東急建設株式会社 土木総本部土木技術部）	平成 21 年 5 月 22 日	原環センター
	第 2 回講演会「ベントナイトの特性と放射性廃棄物処分への利用」 鈴木啓三氏（北海道大学大学院工学研究科 専門研究員/元クニミネ工業黒磯研究所所長）	平成 21 年 6 月 19 日	財団法人深田地質研究所 研修ホール
	第 3 回講演会「原環センター事業概況、研究成果等の報告会」 1. 平成 20 年度事業の概要について 藤原愛(企画部) 2. 調査研究について (1) 全体概要 田辺博三（技術総括室） (2) 調査研究の紹介 ① 北欧における地層処分の動向について 稲垣裕亮（技術情報調査プロジェクト） ② 地層処分実規模設備整備事業の現状と計画について 朝野英一（処分技術調査研究プロジェクト）	平成 21 年 8 月 5 日	原環センター
	第 4 回講演会「フランス Andra における放射性廃棄物処分研究の状況について」 江崎太一（企画部）	平成 21 年 9 月 29 日	原環センター
	第 5 回講演会「欧米主要国での放射性廃棄物処分事業の進捗状況」 稲垣裕亮（技術情報調査プロジェクト）	平成 22 年 3 月 18 日	ホテル銀座ラフィナート 日光
	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における化学の基礎」 枋山修氏（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 21 年 5 月 29 日	財団法人深田地質研究所 研修ホール

(2)外部発表等

(論文投稿)			
No.	題 目	原環センター著者	発 表 先
1	岩石と高強度高緻密コンクリートにおけるサブクリティカルき裂進展と長期強度	大和田仁	日本材料学会会誌「材料」 Vol. 58 2009/5
2	Effect of Calcium Silicate Hydrate Precipitates at Cementitious and Bentonite Material Interface on Long-Term Engineered barrier System Performance in TRU Waste Disposal Facilities	黒澤進、大和田仁	Material Research Society(MRS)、The 33rd International Symposium "Scientific Basis for Nuclear Waste Management"プロシーディング 2009/5/24~29(Saint Petersburg, Russia)
3	Complex formation and solubility of Pu(IV) with malonic and succinic acids	藤原愛	Radiochim Acta97, 193-197 (2009) 2009/5
4	Long-Term Integrity of Waste Package Final Closure for HLW Geological Disposal (VI) Consistency of the Structural Integrity Evaluation Model for the Weld Joint	朝野英一	原子力学会英文誌 (J. Nucl. Sci. Technol.) 2009/11
5	Further development of iodine immobilization technique by low temperature verification with BIPB02I	K. Yamaguchi, T. Sakuragi	ICEM'09 "The 12th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management"プロシーディング 2009/10/11~15(UK Liverpool)
6	地下空洞型処分施設性能確証試験における周辺岩盤の間隙水圧計測の結果と評価について	中島貴弘、佐藤敏文、 寺田賢二、秋山吉宏	土木学会第 39 回岩盤力学に関するシンポジウム 2010/1/7~8(土木会館)

(学会発表等)			
No.	題 目	原環センター 発 表 者	発 表 先
1	The Effect of Calcium Silicate Hydrate Precipitates at the Interface between Cementitious and Bentonite Material on the Long-term Performance of Engineered Barrier System in the TRU Waste Disposal Facility	黒澤進、大和田仁	MRS'09 Symposium, "Scientific Basis for Nuclear Waste Management" 2009/5/24～29(ロシア・サンクトペテルブルグ)
2	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	MRS'09 Symposium, "Scientific Basis for Nuclear Waste Management" 2009/5/24～29(ロシア・サンクトペテルブルグ)
3	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	MRS'09 Symposium, "Scientific Basis for Nuclear Waste Management" 2009/5/24～29(ロシア・サンクトペテルブルグ)
4	ウランの防護に関するガイドラインに関する論点と検討概要	山本正史、北島英明	日本保健物理学会第43回研究発表会 2009/6/3～4(シェラトン都ホテル大阪)
5	高強度高緻密コンクリートのサブクリティカル亀裂進展と長期強度予測	大和田仁、中西博	資源素材学会北海道支部春季講演会 2009/6/13(函館工業高等専門学校)
6	放射線防護の標準化に関する検討 －(4)ウラン等に関する防護のガイドライン－	山本正史	第46回アイソトープ・放射線研究発表会 2009/7/1～3
7	高レベル放射性廃棄物地層処分における無線電波伝搬技術地下坑道試験および電波伝搬シミュレーション技術の検討	中島均	土木学会第64回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパス)
8	地下空洞型処分施設性能確証試験の成果概要について－平成20年度実施分を中心として－	寺田賢二、秋山吉弘、佐藤敏文、根木政広、中島貴弘、松村勝秀	土木学会第64回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパス)
9	地下空洞型処分施設性能確証試験における底部緩衝材施工確認試験(1)－施工試験結果について－	中島貴弘、寺田賢二、秋山吉弘	土木学会第64回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパス)

(2/6)

(学会発表等)			
No.	題 目	原環センター 発 表 者	発 表 先
10	地下空洞型処分施設性能確証試験 におけるベントナイト含水比調整 方法について(1)－調整結果とそ の分析－	寺田賢二、中島貴弘	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパ ス)
11	地下空洞型処分施設性能確証試験 におけるベントナイト含水比調整 方法について(2)－高含水ベント ナイトの再利用方法の検討および 低減の方策－	寺田賢二、秋山吉弘、 中島貴弘	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパ ス)
12	地下空洞型処分施設性能確証試験 における底部緩衝材施工確認試験 (2)－初期性能測定結果について－	中島貴弘、寺田賢 二、秋山吉弘	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパ ス)
13	地下空洞型処分施設性能確証試験 における底部緩衝材施工確認試験 (3)－施工方法評価について－	中島貴弘、寺田賢二、 秋山吉弘	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパ ス)
14	地下空洞型処分施設性能確証試験 におけるベントナイト水分量測定 方法の評価	中島貴弘、寺田賢二	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパ ス)
15	地下空洞型処分施設性能確証試験 におけるセメント系材料の拡散抑 制に関する検討	根木政広、寺田賢二、 秋山吉弘	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパ ス)
16	地下空洞型処分施設性能確証試験 における高流動コンクリートおよ び高流動モルタルの施工性につい て	根木政広、寺田賢二	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパ ス)
17	地下空洞型処分施設性能確証試験 における高流動コンクリート打設 時の側圧について	根木政広、寺田賢二	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパ ス)
18	地下空洞型処分施設性能確証試験 における底部低拡散材施工確認試 験に関する検討－挙動計測結果に 基づくモルタルの諸特性－	佐藤敏文、寺田賢二	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパ ス)

(学会発表等)			
No.	題 目	原環センター 発 表 者	発 表 先
19	地下空洞型処分施設性能確証試験のうち地中無線計測装置の設置	佐藤敏文、寺田賢二	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパス)
20	地下空洞型処分施設性能確証試験におけるコンクリートピット等の施工確認試験に関する検討ーコンクリート・モルタルのひび割れ予測評価に関する考察ー	佐藤敏文、寺田賢二	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパス)
21	ベントナイトの初期含水比が飽和膨潤特性に及ぼす影響	林秀郎、朝野英一	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパス)
22	飽和・不飽和ベントナイトの圧密特性とそのモデル化	林秀郎、朝野英一	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパス)
23	T R U 地層処分システムにおけるガス移行長期挙動評価解析の高度化研究	林秀郎、朝野英一	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパス)
24	T R U 地層処分システムにおけるガス移行長期挙動評価解析の高度化研究	林秀郎、朝野英一	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパス)
25	発熱及び注水条件下における高密度ベントナイト内水分移動機構の詳細解析	林秀郎、朝野英一	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパス)
26	高レベル放射性廃棄物地層処分における記録保存計画を策定する際の判断材料の調査	須山泰宏、和田隆太郎	土木学会第 64 回年次学術講演会 2009/9/2～9/4(福岡大学七隈キャンパス)
27	Concept of NDE systems for Waste Package Final Closure of HLW Geological Disposal	中村有夫、朝野英一	溶接学会 溶接冶金研究委員会「第 197 回委員会における研究報告資料紹介」 2009/9/4(岡田メモリアルホール 大阪大学)
28	極厚板の高エネルギー TIG 溶接法の開発ー仮付け溶接なし はめ込み溶接法の開発ー	朝野英一、中村有夫	溶接学会主催の平成 21 年度秋季全国大会 2009/9/9～11(徳島大学)

(4/6)

(学会発表等)			
No.	題 目	原環センター 発 表 者	発 表 先
29	Measuring Temperature and Pressure by Optical-Fiber Sensor in a Stratum-Disposal System (地層処分を対象とした光ファイバセンサによる温度、圧力測定)	和田隆太郎、青木和弘	International Workshop on Structural Health Monitoring 2009 2009/9/9～11(米国 Stanford 大学)
30	TRU 廃棄物地層処分見おける人工バリア変質に関する XAFS による Ca の状態分析 (添付資料②)	大和田仁、黒澤進	日本 XAFS 研究会主催の第 12 回 XAFS 討論会 2009/9/14～16
31	ベントナイト材料に対するトリチウム水の実効拡散係数の測定	中島貴弘、寺田賢二、秋山吉弘	日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009/9/16～18(東北大学)
32	沿岸域の地質構造調査に向けた海底電磁法技術の高度化開発 －その 4：幌延沿岸域における適用試験－	吉村公孝、岡崎幸司	日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009/9/16～18(東北大学)
33	F B G 式光ファイバセンサによる圧力・温度の多点計測への試み	須山泰宏、吉村公孝、江藤次郎	日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009/9/16～18(東北大学)
34	人工バリアの長期挙動の評価 (5)セメント・ベントナイト相互作用により生成した二次鉱物の同定と定量(Ⅱ)	黒澤進、大和田仁	日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009/9/16～18(東北大学)
35	人工バリアの長期挙動の評価 (6)自動圧縮セルを用いた圧縮スメクタイト溶解速度の干渉計測定	黒澤進、大和田仁	日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009/9/16～18(東北大学)
36	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 －(1)構造分析と浸漬試験－	山口憲治、桜木智史	日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009/9/16～18(東北大学)
37	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 －(2)固定化処理プロセスの開発	山口憲治、桜木智史	日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009/9/16～18(東北大学)

(学会発表等)			
No.	題 目	原環センター 発 表 者	発 表 先
38	放射化金属廃棄物のC-14の放出移行に関する研究 －(8)高アルカリおよび低酸素条件下におけるジルカロイの腐食速度の温度依存性に関する評価－	山口憲治、桜木智史	日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009/9/16～18(東北大学)
39	余裕深度処分と北欧の中間震度処分との処分システムの比較	山本正史	日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009/9/16～18(東北大学)
40	地下空洞型処分施設性能確証試験におけるセメント系材料中の拡散係数と空隙構造に関する検討	根木政広、寺田賢二、 秋山吉弘	日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009/9/16～18(東北大学)
41	フィリピン・ルソン島北西部に分布するベントナイト鉱床のナチュラルアナログ (1)高アルカリ地下水とベントナイトの相互作用に関する鉱物学的考察	藤井直樹、山川稔	日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009/9/16～18(東北大学)
42	フィリピン・ルソン島北西部に分布するベントナイト鉱床のナチュラルアナログ (2)高アルカリ地下水形成プロセスに関する地球化学的考察	藤井直樹、山川稔	日本原子力学会 2009 年秋の大会 2009/9/16～18(東北大学)
43	Subcritical crack growth and long-term strength of rocklike materials	大和田仁、中西博	2009 Annual Conference and General Assembly of Korean Society for Rock Mechanics, 2009 Korea-Japan Joint Symposium on Rock Engineering 2009/10/22～23(The University of Suwon, Suwon, Korea)
44	Evaluation of C-14 activity in irradiated BWR fuel cladding for the source term assessment of the hulls and endpieces	T. Sakuragi, T. Sato, K. Yamaguchi, H. Owada, H. Tanabe	ISRSM(International Symposium on Radiation Safety Management) 2009/11/4～6(韓国、大田)

(6/6)

(学会発表等)			
No.	題 目	原環センター 発 表 者	発 表 先
45	「放射線防護に関する標準化の活動(5)－放射性廃棄物の管理に関する安全基準／ガイドラインの検討状況－」(日本保健物理学会標準化委員会における検討状況の一部)	山本正史	日本放射線安全管理学会第8回学術大会 2009/12/2～3(長崎大学医学部記念講堂及び良順会館)
46	Demonstration Test of Cavern-Type Disposal Facility and Its Progress	T. Nakajima, Y. Akiyama, K. Terada, M. Negi	Waste Management Conference 2010 (WM2010) 2010/3/7～11(米国フェニックス)
47	計測技術の現状を踏まえた水理地質構造のモデル化における留意事項	須山泰宏、吉村公孝、田辺博三	日本原子力学会 2010 年春の年会 2010/3/26～28(茨城大学)
48	沿岸域の水理地質構造に着目した塩淡水境界に関する地下水流動解析	吉村公孝、若松尚則	日本原子力学会 2010 年春の年会 2010/3/26～28(茨城大学)
49	周辺環境の影響を考慮した岩質材料の長期強度評価	大和田仁、中西博	平成 22 (2010) 資源・素材学会春季大会 2010/3/30～4/1(東京大学駒場Ⅱキャンパス生産技術研究所)
50	地下空洞型処分施設性能確証試験の実施状況	寺田賢二、秋山吉弘、佐藤敏文、根木政広、織田信明、中島貴弘	原子力学会「バックエンド部会」主催 第 25 回「バックエンド」夏期セミナー 2009/7/29～7/31(旭川ターミナルホテル)
51	フィリピン国ルソン島北西部(Mangatarem 地域)のナチュラルアナログ研究：高アルカリ地下水の影響によるベントナイトの長期健全性	藤井直樹、山川稔	原子力学会「バックエンド部会」主催 第 25 回「バックエンド」夏期セミナー 2009/7/29～7/31(旭川ターミナルホテル)
52	セメントーベントナイト相互作用によるベントナイト側での C-S-H の沈殿	江藤次郎、大和田仁	原子力学会「バックエンド部会」主催 第 25 回「バックエンド」夏期セミナー 2009/7/29～7/31(旭川ターミナルホテル)

VI. 資料

(その他)			
No.	題 目	著 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	(株)日本原子力情報センター主催「平成21年度原子力入門・基礎講座」 2009/5/22(日本青年館)
2	地層処分事業等の国際的な動向	稲垣裕亮	「原子力年鑑 2010」(監修：日本原子力産業協会、発行：日刊工業新聞社) 2009/10/26 発行
3	放射性廃棄物等安全条約の現状	佐原聡	「原子力年鑑 2010」(監修：日本原子力産業協会、発行：日刊工業新聞社) 2009/10/26 発行
4	「厚板高能率溶接への設計・施工的観点からのアプローチ」	朝野英一、中村有夫	月刊「溶接技術」(発行：産報出版、社団法人日本溶接協会機関誌) 2009 年 7 月号
5	原子力 eye 2009 年 12 月号特集企画「進展見せる欧州の高レベル放射性廃棄物処分」	佐原聡、西村慶人、山田文香、江守稔、中村純也	日刊工業出版プロダクション発行「原子力 eye」 2009/12 月号 (11 月 10 日発売)

(3)原環センター技術報告書

No.	表 題	著 者	発 行 年 月 日
1	地下水流動を説明するための調査システムフローの評価－RWMC と NDA の共同研究報告書－ (RWMC-JRJ-09001)	地質環境調査専門技術グループ	2010 年 2 月

(4) 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	2009/04/02	カナダの核燃料廃棄物管理機関（NWMO）が 2008 年度の年報を公表
2	2009/04/02	英国で原子力廃止措置機関（NDA）が高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する研究開発戦略を公表
3	2009/04/16	スイスで地層処分の安全性に関する新たな指針が策定
4	2009/05/08	米国で 2010 会計年度の予算要求－ユッカマウンテン処分場プログラム廃止に向け大幅減額－
5	2009/05/08	英国で放射性廃棄物管理委員会（CoRWM）が高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する報告書の草案を公表
6	2009/05/11	カナダの核燃料廃棄物管理機関（NWMO）がサイト選定計画案に対する意見募集を開始
7	2009/05/13	追記) 米国で 2010 会計年度の予算要求－ユッカマウンテン処分場プログラム廃止に向け大幅減額－（2009/05/08）への追記
8	2009/05/22	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
9	2009/05/22	追記) 米国で 2010 会計年度の予算要求－ユッカマウンテン処分場プログラム廃止に向け大幅減額－（2009/05/08）への追記
10	2009/06/04	スウェーデン SKB 社がフォルスマルク（エストハンマル自治体）を使用済燃料最終処分地に選定
11	2009/06/25	フランスで長寿命低レベル放射性廃棄物処分の候補サイトとして 2 つの自治体を選定
12	2009/06/26	追記) フランスで長寿命低レベル放射性廃棄物処分の候補サイトとして 2 つの自治体を選定－（2009/06/25）への追記
13	2009/07/01	フランスの放射性廃棄物管理機関（ANDRA）が国家放射性廃棄物インベントリレポートの 2009 年版を公開
14	2009/07/10	追記) フランスで長寿命低レベル放射性廃棄物処分の候補サイトとして 2 つの自治体を選定－（2009/06/25）への追記
15	2009/07/16	米国における 2010 会計年度歳出法案の審議状況
16	2009/07/21	米国連邦議会で放射性廃棄物管理方策を検討する国家委員会の設置条項を含む法案提出
17	2009/07/21	追記) 米国における 2010 会計年度歳出法案の審議状況－（2009/07/16）への追記
18	2009/07/28	ドイツで発熱性放射性廃棄物の地層処分に関する新たな安全要件が策定
19	2009/07/29	英国で放射性廃棄物管理委員会（CoRWM）が高レベル放射性廃棄物等の地層処分及び中間貯蔵の研究開発に関する報告書の草案を公表
20	2009/08/03	追記) 米国における 2010 会計年度歳出法案の審議状況－（2009/07/16）への追記
21	2009/08/03	追記) 英国で放射性廃棄物管理委員会（CoRWM）が高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する報告書の草案を公表－（2009/05/08）への追記
22	2009/08/18	追記) フランスで長寿命低レベル放射性廃棄物処分の候補サイトとして 2 つの自治体を選定－（2009/06/25）への追記
23	2009/09/10	ドイツで BfS がアッセ II 研究鉱山の閉鎖オプションを提示
24	2009/09/10	米国で原子力規制委員会（NRC）がユッカマウンテン処分場の許認可申請のプレ・ヒアリング会議を開催
25	2009/09/11	フランスの放射性廃棄物管理機関（ANDRA）が地層処分場候補サイトの 1 次案を公表
26	2009/10/07	米国の連邦議会で両院協議会が 2010 会計年度歳出法案に合意－ブルーリボン委員会設置予算をエネルギー長官に割り当て－
27	2009/10/16	追記) 米国の連邦議会で両院協議会が 2010 会計年度歳出法案に合意－ブルーリボン委員会設置予算をエネルギー長官に割り当て－（2009/10/07）への追記
28	2009/10/30	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

VI. 資料

29	2009/10/30	ポシヴァ社が2010年から2012年における原子力廃棄物管理の研究開発計画（TKS-2009 報告書）を公表
30	2009/11/02	追記) 英国で放射性廃棄物管理委員会（CoRWM）が高レベル放射性廃棄物等の地層処分及び中間貯蔵の研究開発に関する報告書の草案を公表－（2009/07/29）への追記
31	2009/11/12	英国の原子力廃止措置機関（NDA）、エネルギー・気候変動省（DECC）が新規原子炉からの放射性廃棄物管理に関する報告書等を公表
32	2009/11/12	ドイツでCDU、CSU、FDPが連立協定に署名－ゴアレーベンでの探査活動再開へー
33	2009/11/13	英国カンブリア州において高レベル放射性廃棄物等の地層処分場サイト選定に関する地元住民への情報提供が開始
34	2009/11/25	追記) 英国カンブリア州において高レベル放射性廃棄物等の地層処分場サイト選定に関する地元住民への情報提供が開始－（2009/11/13）への追記
35	2009/12/02	追記) ドイツでCDU、CSU、FDPが連立協定に署名－ゴアレーベンでの探査活動再開へー（2009/11/12）への追記
36	2009/12/16	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－
37	2009/12/18	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
38	2009/12/21	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
39	2010/01/05	スペインで集中中間貯蔵施設（ATC）の公募によるサイト選定開始を政府が承認
40	2010/01/18	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
41	2010/01/18	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
42	2010/01/22	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
43	2010/02/01	米国で使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理方策を検討するブルーリボン委員会を設置
44	2010/02/02	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－DOEは30日以内にユッカマウンテン処分場の許認可申請を取り下げへー
45	2010/02/04	追記) スペインで集中中間貯蔵施設（ATC）の公募によるサイト選定開始を政府が承認－（2010/01/05）への追記
46	2010/02/18	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審査手続きの一時的な停止を決定
47	2010/02/24	追記) スペインで集中中間貯蔵施設（ATC）の公募によるサイト選定開始を政府が承認－（2010/01/05）への追記
48	2010/03/03	米国でDOEがブルーリボン委員会の設立趣意書を公表
49	2010/03/05	スイスでENSIが候補サイト地域に関するNAGRAの提案を承認
50	2010/03/05	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
51	2010/03/16	追記) ポシヴァ社が2010年から2012年における原子力廃棄物管理の研究開発計画（TKS-2009 報告書）を公表－（2009/10/30）への追記
52	2010/03/19	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
53	2010/03/25	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
54	2010/03/29	カナダの核燃料廃棄物管理機関（NWMO）が2009年度の年報を公表
55	2010/03/31	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

(5)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認試験	地下空洞型処分施設性能確認試験検討委員会	原位置での確認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認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 C-14 の放出移行挙動を確認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、C-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
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	研究計画のレビュー及び年度成果の評価
		ナチュラルアナログ検討委員会	ナチュラルアナログ事例の安全論拠としての使用に当たり、適用の限界、課題及び解決方策等に関する検討
		地球化学バリア有効性確認調査検討委員会	地層処分におけるコロイドによる放射性核種移行への地球化学的影響に関する検討
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 2009年度 技術年報

2010 年 11 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。