

RWmc

原環センター
2012年度 技術年報



公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

ご あ い さ つ

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

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

原子力をめぐる環境は大きく変わりつつありますが、当センターは、原子力技術分野に関わる一員として、厳しい認識に立ち、社会から求められる調査研究や成果の普及に積極的に取り組んでいます。この技術年報は、2012 年度(平成 24 年度)に実施した調査研究等の内容をご紹介しますとともに、国際交流や国際会議・学会等での発表実績など当センターの一年間の活動状況を取りまとめたものです。本年報を通じて、当センターの活動をご理解いただければ幸いです。

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター
理事長 並 木 育 朗

目 次

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究.....	1
1. 地下空洞型処分施設性能確認試験.....	1
2. その他の管理処分に関する調査研究.....	7
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.....	15
1-3 モニタリング技術の開発.....	23
1-4 処分システムに関わる巨大地震、津波等の対策技術の開発.....	29
2. 地層処分回収技術高度化調査.....	31
3. 人工バリア長期性能評価技術開発.....	36
3-1 人工バリアの長期挙動の評価.....	36
3-2 ガス移行挙動の評価.....	41
4. ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発.....	44
4-1 ヨウ素固定化処理技術開発.....	44
4-2 C-14 の長期閉じこめ技術の高度化.....	48
4-3 放射化金属廃棄物中の C-14 放出挙動評価.....	57
5. 量子化学的手法を用いたニアフィールド現象の詳細評価技術の開発.....	62
6. その他の地層処分に関する調査研究.....	67
III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究.....	68
1. 放射性廃棄物海外総合情報調査.....	68
2. 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査.....	70
2-1 基礎的研究テーマの整理.....	70
2-2 重要基礎技術研究調査.....	72
2-3 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整備.....	78
3. その他の放射性廃棄物全般に共通する調査研究等.....	83
IV. 放射性廃棄物処分への理解促進.....	84
1. 地層処分実規模設備整備事業.....	84
V. 国際交流.....	92
VI. 資料.....	94
1. 講演会・セミナー等.....	94
2. 論文投稿、学会発表等.....	95
3. 刊行物.....	100
4. ホームページへの海外最新情報の掲載.....	101
5. 委員会一覧.....	105

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

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

1. 平成 24 年度地下空洞型処分施設性能確認試験

◇事業の概要

本事業は地下 50m 以深にベントナイト、モルタル及びコンクリートで構築される地下空洞型処分施設を対象に、原位置における確認試験を行うものである。本事業で実施する確認試験は、大断面の地下空洞における図-1 に示す概念の処分施設を模擬した我が国初の実規模の試験となる。このため、試験の計画にあたっては、余裕深度処分の検討等に関係してきた専門家からなる委員会を設け、関連する知見や意見等を取り入れて検討を進めている。

初年度の平成 17 年度に試験の全体的な基本計画を策定し、平成 18 年度の試験施設の設計、試験計画策定、施工技術の検討、全体工程の策定等を経て、平成 19 年度より平成 24 年度までこの試験計画に沿って試験空洞内での施工確認試験を実施してきた。

平成 19 年度は、底部・側部埋戻し材、底部緩衝材（転圧工法；1 層目）施工確認試験等を行った。平成 20 年度は、底部緩衝材（転圧工法；2 層目以降）、底部低拡散材、底部・奥部・側部コンクリートピット施工確認試験等を実施した。平成 21 年度は、手前部コンクリートピット、側部低拡散材、充填材（廃棄体間充填材、上部充填材）、側部緩衝材（吹付け工法）施工確認試験等を行った。平成 22 年度は、充填材、側部緩衝材（転圧工法）施工確認試験等を行い、平成 23 年度は、側部緩衝材（転圧工法と吹付け工法）、上部充填材施工確認試験等を実施した。

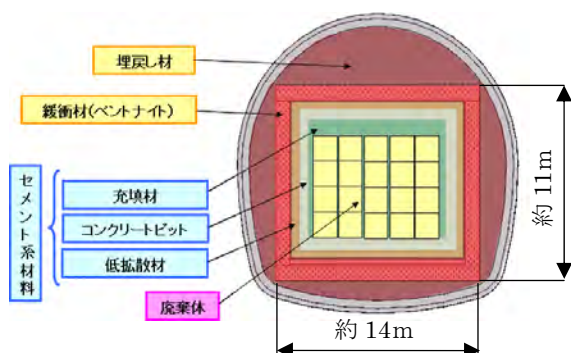


図-1 地下空洞型処分施設の概念図【1】に一部加筆

表-1 に本事業で設定した試験施設の主な仕様、目標性能を示す。

表-1 試験施設の主な仕様等

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：1 m 透水係数： 5×10^{-13} m/s
低拡散材		材料：高流動モルタル 厚さ：0.6 m トリチ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 幅：10.35 m、高さ：7.64m、奥行：12.10 m 厚さ：底部 0.8 m、側・奥・上部 0.7 m
充填材(廃棄体間・上部)		材料：高流動モルタル、高流動コンクリート
埋戻し材	側部・底部、奥部	材料：鉄筋コンクリート
	上部	材料：土質系材料、セメント系材料

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 24 年度管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設性能確認試験報告書

◇平成 24 年度の成果

平成 24 年度は、上部コンクリートピット、上部低拡散材、側部緩衝材の施工確認試験・初期性能確認試験、既設置及び新規設置の計測機器による挙動計測、ひび割れ解析・評価、セメント系材料・ベントナイト材料等に係るデータ取得、上部埋戻し材の検討、巨大地震が地下空洞に及ぼす影響検討及び平成 19 年度～24 年度の 6 年間の研究開発成果の取りまとめを実施した。

(1) 上部コンクリートピット施工確認試験・初期性能確認試験

底部コンクリートピット施工での課題に対する室内試験結果に基づき、こわばり抑制にはミスト散布と打込み位置の移動等、ひび割れ抑制にはバイブレータによる再振動、表面仕上げ（図-2 参照）や養生マット（2 種類）使用等の対策を行い、その効果を確認した。

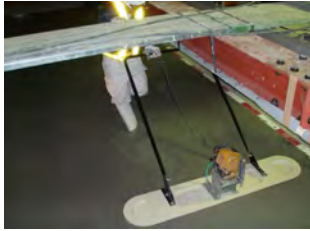


図-2 上部コンクリートピット表面仕上げ状況

施工性については、流動勾配は底部コンクリートピットと同程度であり、高流動コンクリートの効果を確認した。また、こわばり抑制や表面乾燥に対するミスト散布（図-3 参照）、打込み位置の移動等の有効性を確認した。



図-3 ミスト散布

硬化後のひび割れについては、打込み翌日のコンクリート表面には沈下ひび割れやプラスチック収縮ひび割れは認められず、バイブレータによる再振動や表面仕上げ等のひび割れ抑制に対する効果を確認した。

養生マット（湿潤・保温と湿潤）の使用については、発生したひび割れはごく表層のものに限定され、ひび割れ抑制に対する効果を確認した。

圧縮強度等は他のコンクリートピットと同程度の値が測定されており、材料配合は施工性や品質管理面から見ても適用可能な技術であることを確認した。

(2) 上部低拡散材施工確認試験・初期性能確認試験

平成 20 年度の底部低拡散材で発生したこわばりやひび割れ発生と同様な課題が懸念されたため、上部コンクリートピットと同様の対策を実施し、ミスト散布によるこわばりの抑制や表面の乾燥の改善等への効果、バイブレータによる再振動・表面仕上げによる沈下ひび割れ抑制への効果及び養生マットの保温、保湿効果によるひび割れの低減効果を確認した。

(3) 側部緩衝材施工確認試験・初期性能確認試験

1) 小型振動ローラ転圧試験（転圧工法）

平成 22 年度より継続して実施してきた結果を基に、本年度はローラ幅と撒出し厚を同じ条件とし、次の 2 点の把握を目的に施工試験を実施した。

① 転圧回数（無振動、振動）の最適化

② 選定した最適転圧回数での施工後の品質のバラツキの把握

クニゲル GX（最大粒径 10mm）を水添加混合方式で含水比を調整し、ローラ幅は 710mm、撒出し厚 200mm で側部緩衝材の一部（高さ 5m×幅 1.0m、50 層）を以下の条件で施工した。

1～15 層目の間での転圧回数（無振動、振動）の最適化に関する検討結果と平成 22 年度の成果から、無振動転圧、振動転圧ともに 4 パスとする施工条件を選定した。16～50 層目間は、選定した施工条件（ローラ幅 710mm、撒出し厚 200mm、無振動・振動転圧ともに 4 パス）で繰り返して施工した。その結果、平均乾燥密度は 1.62Mg/m^3 で、乾燥密度の標準偏差が小さく、施工時管理基準値（ $1.6 \pm 0.1\text{Mg/m}^3$ ）を満足することを確認した。（図-4 参照）

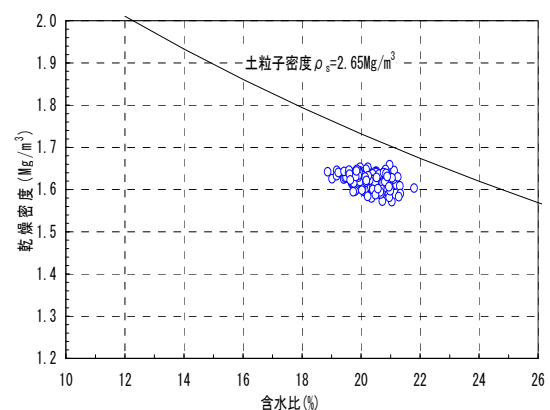


図-4 含水比と乾燥密度の関係

施工後の緩衝材の透水係数は、約 $1 \sim 2 \times 10^{-13}\text{m/s}$ の性能が得られ、緩衝材の目標性能である $5 \times 10^{-13}\text{m/s}$ を満足することを確認した。一軸圧縮強度、せん断定数、膨潤力は、既往の結果と同程度の値が得られた。

2) 吹付け機による吹付け試験（吹付け工法）

平成 23 年度の側部緩衝材施工確認試験での課題に対し、材料供給システム、リバウンド（跳

1. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

ね返り) 材回収方式、ロボット固定機能、吹付けノズルワーク等の改良を行い、その効果を確認した。使用材料はクニゲル GX(最大粒径 5 mm)とし、含水比調整方法は水添加混合方式とした。調整後の含水比は、平均 21.4%であり、管理基準値 $21 \pm 2\%$ の範囲内であった。

吹付け施工後の乾燥密度は、 1.61 Mg/m^3 前後となり、管理基準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。

リバウンド率は、約 33% (平成 23 年度実績約 45%) に改善された。リバウンド材の有効利用のため混合して吹付けた場合には、施工の進捗に従い含水比が低下する。これに対し、含水比、材料供給量とベントナイト乾燥密度の関係を試験により把握 (図-5 参照)、この関係図を用いて材料供給量を調整することにより乾燥密度のバラツキを抑え管理基準値 ($1.6 \pm 0.1 \text{ Mg/m}^3$) を満足することができた。

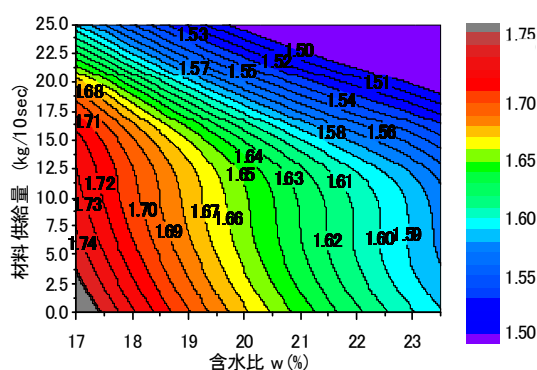


図-5 吹付けベントナイトの含水比—供給量—乾燥密度の関係

施工された緩衝材の透水係数は、約 $2.3 \times 10^{-13} \text{ m/s}$ 程度の性能が得られ、緩衝材の目標性能 $5 \times 10^{-13} \text{ m/s}$ を満足することを確認した。

(4) 上部埋戻し材の検討

上部埋戻し材に求められる要求機能や候補材料について既往文献や土木学会、原子力学会等の資料から動向を調査した。

要求機能として施工性、止水性、力学的安定性、物理・化学的安定性の4項目を抽出し、目標値を検討した。施工性、力学的安定性、物理・化学的安定性については定量目標値の設定は困難であったが、透水性については透水係数を周辺地盤の

透水性以下に設定した。要求機能を満たす候補材料として土質系材料 (ベントナイト混合土等) とセメント系材料 (高流動コンクリート) を選定した。また、狭隘で特異な空間での施工に対して、小型振動ローラによる転圧工法と吹付け機による吹付工法を選定した。

(5) ベントナイト材料特性測定

転圧方向に対する通水方向の違い (通水の異方性) と施工方法 (転圧工法、吹付け工法) による差異が水分拡散係数に与える影響についての評価を行った。

初期乾燥密度 $1.55 \sim 1.70 \text{ Mg/m}^3$ で、水分拡散係数は約 $1.0 \times 10^{-10} \sim 1.0 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ の範囲にあり、1 オーダー程度のばらつきを持つことが分かった。通水方向の違いにかかわらず水分拡散係数は、 $7.5 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 程度となり、通水方向の異方性は小さいことが分かった。

(6) セメント系材料特性測定

現地で打設された低拡散材とコンクリートピットから採取した試料で定常拡散試験等を実施し、手前部コンクリートピットの拡散係数は、実効拡散係数が $1.4 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ 程度と低拡散材と同程度となっており、緻密な材料であることが分かった。

(7) 施設・周辺岩盤挙動計測

平成 23 年度までに構築した施設と岩盤に設置した計測器及び本年度に上部コンクリートピットと上部低拡散材に新たに設置した計器を対象にデータを取得し、整理・評価した。

計測結果のうちコンクリート温度については、上部コンクリートピットにおける温度上昇量と打込み温度に強い相関が認められた。低拡散材では異なる養生方法を実施した影響が顕著に発現し、部材厚さ方向では養生マットの影響を直接受ける上端でその差が大きいことを確認した。湿潤保温養生マットでは養生期間終了後、急激な温度低下が発生し、応力の発現が異なりひび割れが発生しやすい傾向を示した。

(8) 巨大地震が地下空洞施設に与える影響検討

巨大地震が地下空洞施設に与える影響を埋設施設の建設、操業時及び埋戻し直後等を対象に、

二次元有限要素法(FEM)による地震応答解析を行い、概括的に検討・評価した。

地下空洞施設の解析モデルを図-6に示す。

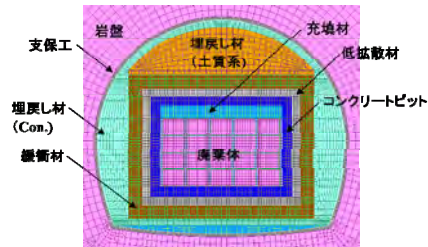


図-6 解析モデル（地下空洞施設）

解析には、既存の原子力施設で設定された地震波を基に開放基盤面での加速度(2E)を3パターン〔250gal(Cクラス相当地震)、450gal(巨大地震)、900gal(破壊傾向把握地震:参考)〕設定した。

コンクリートピットについて、圧縮側では全域において圧縮強度と圧縮応力の比が1.5を下回る状態が生じないため、巨大地震時においても安全性を確保できている結果となった。引張側では廃棄体定置前において入力加速度が500gal～600gal程度になると、底版と側壁隅角部において引張応力が引張強度を上回る箇所が見られた。しかし、配筋を考慮した断面照査結果によると、ひび割れが発生した場合でも耐力的に安全性が確保される結果が得られた。

(9) ひび割れ解析・評価

施工確認試験で構築する上部低拡散材を解析モデルに追加し、上部低拡散材打込み時の温度応力解析を実施し、解析結果と挙動計測データの比較・精査を行った。

養生方法の違いの影響は、湿潤養生マットの方が湿潤保温養生マットより最小ひび割れ指数は大きく、ひび割れ発生確率は小さい結果となった。

◇ 6カ年の取りまとめ

過去6カ年にわたり実施した本確認試験の結果を取りまとめた。試験スケジュールと主な施工部位を図-7に示す。

(1) 確認試験の目的、構成、成果

確認試験の目的は、発電所廃棄物の余裕深度処分の建設段階での施工技術、品質管理方法の実現性、施工された人工バリアが目標性能を満足すること及び施工中、施工後の施設や周辺岩盤の挙動予測と計測方法の妥当性の確認である。

確認試験は、1) 処分施設施工確認試験、2) 初期性能確認試験、3) 施設・岩盤挙動計測の3種類の試験から構成される。

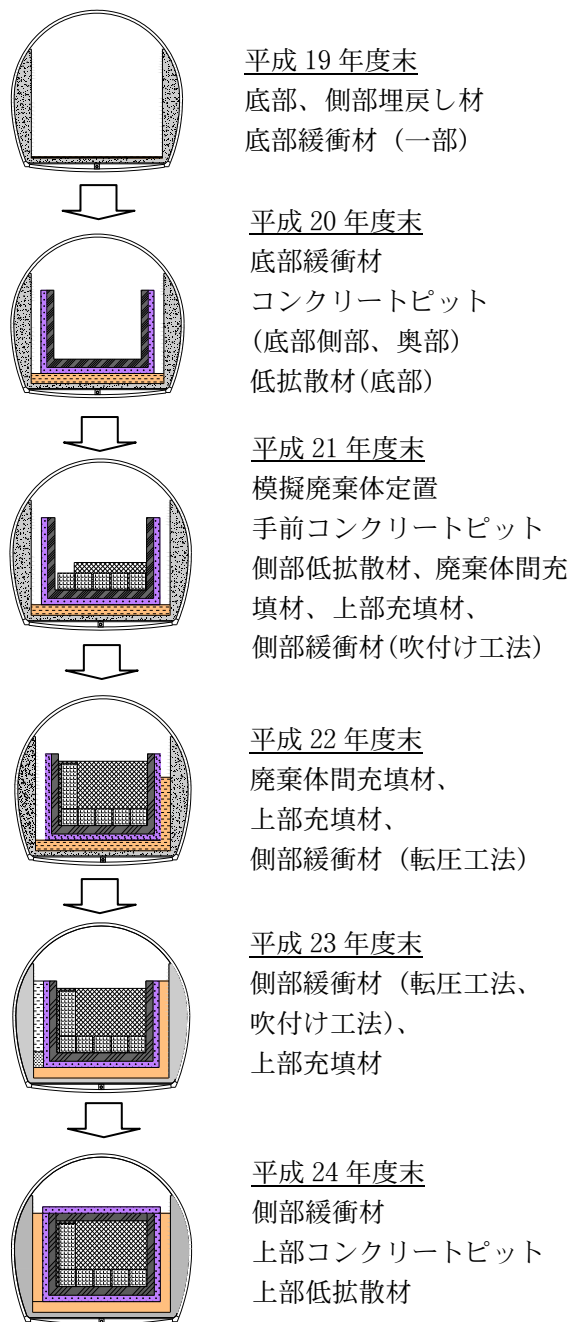


図-7 試験スケジュール（地下空洞施設）

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

- ・ 処分施設性能確証試験は、実環境下における実規模施設を施工することにより、施工技術、手順、方法等の実施への適用性の確認及び処分施設を構成する構成要素ごとに複数の施工技術、方法、手順等を適用するとともに、施工精度、効率を考慮して総合的な施設の施工性の確認等を目的とする。
- ・ 初期性能確認試験は、施工完了時における力学的安定性及核種閉じ込め性等の安全評価において要求される性能に係る品質（初期性能）について、その達成度やバラツキを評価することを目的とする。
- ・ 施設・岩盤挙動計測は、施工された施設の力学的安定性及周辺岩盤に与える影響の評価等を目的とする。

これらの確証試験の成果は実規模での施工の実現性と性能の確認、諸データの蓄積、信頼性の向上及び施工後の施設全体としての力学的安定性の確認、施設性能に係る計測データの蓄積等であり、成果の一部は、発電所廃棄物等の余裕深度処分の建設段階の規制に関する検討の基礎データとして使用されており、また、同様の処分施設形態が考えられる廃棄物の処分の共通の基盤技術として幅広く反映できるものである。

(2) 各部材ごとの成果概要

1) 緩衝材（ベントナイト）

緩衝材材料として粒状ベントナイト（クニゲル GX）を用いて現地施工を行い、含水比の管理基準値を $21 \pm 2\%$ に、乾燥密度の管理基準値を 1.6 Mg/cm^3 に設定し、その施工成立性を確認した。

施工確認として底部緩衝材では大型振動ローラの適用、側部緩衝材では小型振動ローラの適用、さらに、側部緩衝材では吹付け工法の適用等を検討し、それぞれの施工法の成立性を確認した。

底部緩衝材では、既存の大型機械（アスファルトフィニッシャー、大型振動ローラ等）による撒出し・振動締固め施工技術の実現性を確認した。

一方、側部緩衝材では既往の小型重機（小型振動ローラ）による振動締固め施工技術の実現性を確認した。側部緩衝材における吹付け工法による試験では、ロボット施工の技術による施

工方法・手順を検討し、適用可能性を明らかにした。リバウンド材の再利用回数の増加による含水比の漸減に関しては、供給量の適切な管理により目標とする品質を確保出来ることを明らかにし、転圧工法と同等な密度が得られることを確認した。

2) 低拡散材（高流動モルタル）

低拡散材の配合において、石灰石微粉末の産地、量が異なる 2 種類を選定し、試験を行った。その結果、2 種類の配合とも打設時の流動性は良好で、部材端部まで充填されていることが明らかになった。石灰石微粉末の違いによる施工への影響は確認できなかった。

底部低拡散材では流動性の向上、打ち重ね部の一体化、締固め不足の改善等を目的としてバイブレーターの使用が望ましい一方で、側部低拡散材では流動性は良好でありバイブレータをかけない施工が一つのオプションとして成立することを示した。

また、打込み時の側圧は打込み終了後の液圧相当値まで上昇しないこと、打込み速度と側圧の大きさに関係があること等を明らかにした。

長期耐久性の観点から型枠組立でセパレータを使用せずに施工し十分な精度を確保できることを確認した。

ひび割れに関しては、底部低拡散材において 0.25 mm 以下のヘアクラックが 3 箇所確認されたのに対して、側部低拡散材では相対的に多いひび割れが確認された。

3) コンクリートピット（鉄筋コンクリート）

コンクリートピットに使用する高流動コンクリートの配合として、長期力学安定性、流動性を確保し、ひび割れ制御効果を有する材料配合を確立した。骨材の表面水等の材料の変動、環境温度の変化によりフレッシュ性状が変動することが確認され、これに対して混和剤添加量の調整の必要性を明らかにした。

底部・上部等の平面部材や側部・奥部・手前部等の壁部材へ高流動コンクリートを適用した施工により、鉄筋コンクリート構造の端部までコンクリートを充填できることを確認し、打込み方法、仕上げ方法、養生方法等の施工方法の施工性を確認した。

4) 廃棄体間充填材（高流動モルタル）

廃棄体間充填材の配合検討では、廃棄体発熱による高温環境、放射線管理下での遠隔操作等の施工条件を踏まえて、充填時の流動性、自己充填性及び材料分離抵抗性を考慮した配合を選定し、施工方法の施工性を確認した。

打設方法は、バケット方式を採用し、打込み位置の移動、打込み量の調整等を実施することで、廃棄体間及び廃棄体とピット間の隙間を隅々まで充填でき、仕上がり面の高低差を低減できることを確認した。

5) 上部充填材（高流動コンクリート）

上部充填材の配合は、廃棄体発熱による温度上昇、放射性管理下での遠隔操作等の施工条件を踏まえ、充填時の流動性、自己充填性及び材料分離抵抗性に配慮した配合とするとともにひび割れの制御を目的として膨張材を添加する配合とした。

打込み方法は、バケット方式を採用し、打込み位置の移動、打込み量の調整等を実施することで目標とした流動性、自己充填性を確保でき、仕上がり面の高低差を低減できることを確認した。

また、膨張材の添加によるひび割れ・隙間の低減、養生のひび割れ発生への影響等を確認した。

6) 埋戻し材（底部側部奥部：鉄筋コンクリート）

埋戻しコンクリートでは、長期力学安定性、フレッシュ性状の品質等を確保した材料の配合

をスランプ型と高流動型それぞれの材料を使用した施工について施工性を確認した。

コンクリートのスランプの温度依存性に関するデータを取得し、打込み時の品質管理手法を確立できた。打込み時に鉄筋が密に配置された狭隘部においてもコンクリートを端部まで充填できることを確認した。

以上の成果等から、各部材の構築に採用した工法の適用性を把握でき、品質の良い部材であることを確認した。

また、平成 25 年度は、1) 施設の閉鎖性に係る施工技術、2) 施設の核種閉じ込めに係る初期性能、3) 施工後における施設性能に係る観測と評価等の確認を行う計画である。

① 施工確認試験・初期性能確認試験

緩衝材及び上部埋戻し材を対象とした施工技術の確認及び初期性能の確認を行う。

② 施設・周辺岩盤挙動計測

施工確認試験・初期性能確認試験で施工した部材の観測と挙動データの取得を行う。

③ 総合評価

上記で得られたデータの分析・評価を実施し、閉鎖に係る施工技術の成立性や上部埋戻し材等の初期性能に係る総合的な評価を行う。

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

1. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究

2. その他の管理処分に関する調査研究

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

(1) L1 廃棄体の標準的な製作方法及び検査方法の一体化に関する調査

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

(2) 浅地中処分の安全評価手法の標準化に関する調査

L2（ピット処分）廃棄体／L3（トレンチ処分）廃棄物の浅地中処分の安全評価手法の民間規格制定に必要な検討を行い、日本原子力学会での審議に対応した。

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

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

(4) 大型／角型廃棄体の非破壊放射能測定性能の評価方法及び固型化パラメータに関する研究

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

(5) 塩素36分析マニュアルの専門家レビューに係る対応業務

事業者が策定する塩素 36 分析マニュアルの妥当性を評価することを目的に、専門家によるレビュー委員会を設置し、運営を行った。

(6) ウラン廃棄物処理処分方法の最適化に関する研究

ウラン廃棄物の管理・規制などに関する海外情報の調査に基づき、我が国への適用性に関するケーススタディを行った。

(This page(p8) is intentionally kept blank.)

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

1. 処分システム工学要素技術高度化開発

本開発は、高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る工学技術として、処分場操業の遠隔操作技術、人工バリアの品質等の評価技術及び処分システムの状況等をモニタリングする技術を高度化し、これら工学技術の信頼性や成立性等の向上に資する技術基盤を確立することを目的としている。さらに大規模な自然事象に対する操業安全確保のための対策技術の検討を実施した。

1-1 遠隔操作技術高度化開発

◇事業の概要

本事業は、「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人工バリアを対象として、構成材料であるオーバーパックの溶接・検査や、オーバーパックと緩衝材の搬送・設置に関わる遠隔操作技術を検討の対象としている。必要とされる要素技術とその試験パラメータを抽出、各要素技術の適用性確認試験を実施し、それらの成立性、適用性、信頼性などを定量的に評価した。遠隔操業技術のシステム化の視点と、長期健全性に関する人工バリア品質の観点から様々な地質環境条件及び処分概念への対応を見据えた多様な技術オプションを整備し、関連する情報を技術メニューとしてまとめた。

平成12年度から検討を開始し、対象とする要素技術、課題を設定し、各技術の適用性確認試験等を行った。そして個別要素技術の成立性、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した。

平成17年度からは整備した個別要素技術に基づき、成立性や高度化の観点から検討した。さらに、廃棄体の回収に係わる要素技術開発も新たに加え、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た第2段階の技術メニューとして整備した。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の

委託により実施したものである。

(報告書)平成24年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発報告書(第1分冊)ー遠隔操作技術高度化開発ー

◇平成24年度の成果

(1)遠隔溶接・検査技術の開発

溶接技術については、1-2の人工バリア品質評価技術の開発で整備した解析手法を用いて、TIG溶接の高速化を検討した。溶接トーチを複数本配した溶接時間の短縮方法について、トーチ本数が入熱量や残留応力におよぼす影響を評価した。トーチの本数が増えると溶接時間は短縮されるが、単位時間当りの入熱量が増えるため、4トーチの場合、1トーチと比較してパス間温度が約250℃近く上昇することが解析により明らかになった(図-1)。また発生する残留応力も4トーチの方が大きくなった。複数トーチによる溶接時間の短縮では、パス間温度上昇による溶接金属の機械的特性への影響や残留応力等に留意して、溶接条件の検討を行なう必要がある。

さらに新規技術の調査として、溶接材料を使用したレーザービーム溶接について調査し、オーバーパック溶接への適用性や、技術的課題について整理した。

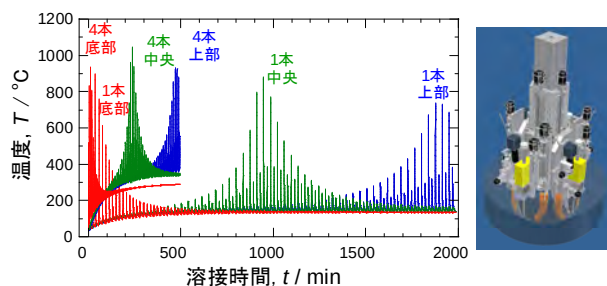


図-1 TIG溶接法の複数トーチによるパス間温度履歴と
落し蓋用溶接装置構成例

溶接部の非破壊検査技術については、溶接部全層190mmの溶接欠陥の検出性向上を目的とし、探傷手法の組み合わせ方法や探傷条件を検討した。表面近傍はCreeping Wave(CW)法、内部はPhased array(PhA)が溶接欠陥の検出に適していた。PhA法の探傷条件を超音波エコーシミュレーションにより評価し、任意の深さで超音波を収束させ分解能の向上を図るための、波の種類(横波/縦波)や開口寸法条件を取得した。CW法とPhA法

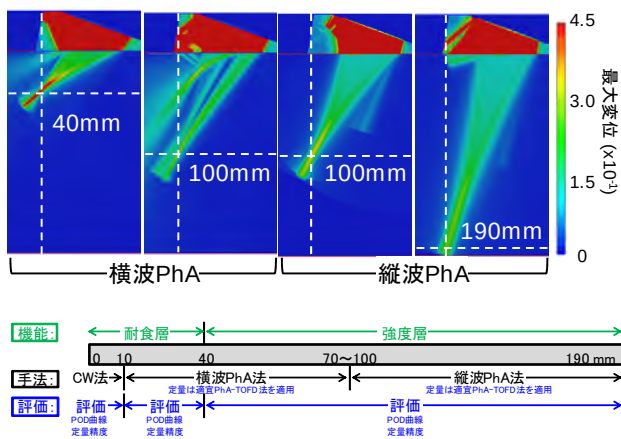


図-2 PhA法の超音波ビーム収束性と縦波・横波の関係と特性を考慮した超音波探傷手法の組み合わせ

を組み合わせたオーバーパック溶接部 190mm の全層超音波探傷手法を提示した (図-2)。この手法により、平成 21 年度に製作した減圧電子ビーム溶接 (RPEBW) の平蓋溶接試験体を対象とした非破壊検査を実施し、検出確率算出のデータを拡充した。本事業で到達した溶接部の検出限界欠陥寸法は 2-3mm である。

(2) 遠隔搬送・定置技術の開発

PEM (Pre-fabricated EBS Module: 一体化した人工バリアモジュール) 製作・組立時に生じる PEM 容器内部の狭隘な隙間に対する長期性能の不確実性低減に向けた、充てん材の高密度化について検討した。20mm 以上の隙間に対して、粒径比を大きく取った 2 種類の球状ベントナイトペレットを使用することで、充てん密度が改善され、自然含水比状態であっても自由落下により緩衝材相当の有効ベントナイト密度 (1.37Mg m^{-3}) を得た (図-3)。

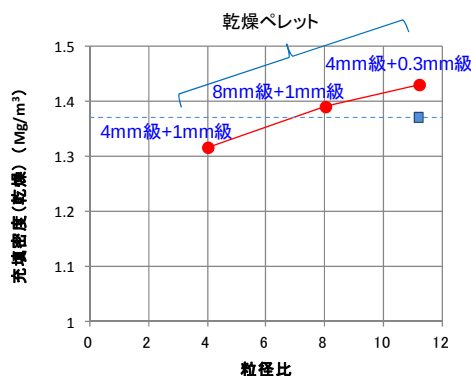


図-3 粒径比と充てん密度との関係

本開発を通じて開発した PEM の組立て、搬送、定置技術と隙間充てん技術等の PEM システムを周辺技術とともに提示した。

回収技術に関する検討については、塩水を利用した緩衝材除去技術の横置き定置方式への適用と緩衝材の飽和度が高い場合の適用性を確認するための試験を実施した。飽和度が高い場合 (85% 程度) は飽和度が低い場合 (46% 程度) と比較して、除去効率が $10^{-1} \sim 10^{-2}$ 小さくなった。これは噴射圧力、噴射流量、噴射影響面積等の条件を同一にした場合、飽和度が高い方がより除去に時間を要することを示している。除去効率の改善方法としてノズル本数増やし、噴射流量や噴射影響面積を増加させる方法を提示した。また横置き定置方式に対する適用性について、フリーアーム方式の機械 (吹付け工事用機械の応用) による緩衝材の部分除去により、廃棄体を支持するため廃棄体下部の緩衝材の残置や除去する緩衝材の面積を調整することで、廃棄体を安全に回収出来ることを断面実寸法試験により確認した (図-4)。



図-4 横置き方式の断面実寸法試験の様子

◇ 6 カ年の取りまとめと技術メニュー

平成 12 年度から本年度までの技術開発成果、知見を、「総括シート」「知見シート」からなり、技術要件や工学機能等で検索・表示できるデータベースにまとめた。

また、平成 19 年度から本年度までの 6 ヶ年の成果と今後の課題を取りまとめた (図-6, 図-7)。要素技術の成立性確認から、システム成立性の確認に進むとともに、それらの技術によって製作、構築される人工バリア材料 (オーバーパックと緩衝材) の品質確認、評価に検討範囲が拡大した。人工バリア材料の設計、製作、施工に対する判断指標の提示が今後の重要な課題である。

- 1) 核燃料サイクル開発機構、わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 ―地層処分研究開発第 2 次とりまとめ―、平成 11 年 11 月 26 日

～H12 第2次取りまとめ(JAEA)
・オーバーパック(OP)候補材料の検討
対象材料: 炭素鋼、チタン、銅
構造設定: 肉厚、単一／複合型
評価方法: 腐食シナリオの提示
検討結果: 想定地下環境下での母材の適用性を提示

H12～ 遠隔操作技術高度化調査
◆工学的な観点からの製作手法の検討



・既存の溶接技術の適用性
TIG, MAG, MIG, EBW, LBW, FSW...
・実規模スケールの厚板狭開先
・板厚190mm全層溶接

◆溶接技術の評価項目

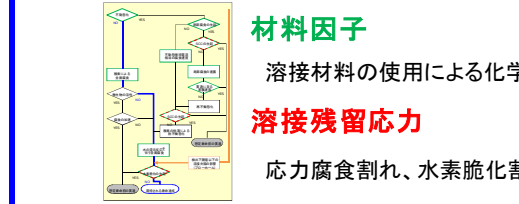
➢溶接部の機械的特性(継手性能)

溶接構造物としての特性の評価

➢溶接部の内在欠陥(溶接品質)

構造健全性に及ぼす欠陥の評価

➢溶接部の閉鎖後長期の安全性の評価



溶接技術の開発

適切な溶接条件の検討

開先形状の検討

厚板狭開先用の溶接トーチの開発

基礎試験

実規模

厚板狭開先での溶接施工条件整備

溶接部の機械的特性

継手性能試験

金属組織

溶接システム

非破壊検査システム

非破壊検査技術の開発

超音波探傷法

探傷試験(人工欠陥)

溶接欠陥の調査

手法組合せ、周辺技術整備

PODの評価

探傷装置案

探傷試験・解析(自然欠陥)

溶接部の耐食性評価

H16～ 人バリエーション調査

H20～ 人工バリエーション品質評価技術の開発

浸漬試験

選択的腐食/溶接金属

溶接技術の開発

適切な溶接条件の検討

開先形状の検討

厚板狭開先用の溶接トーチの開発

基礎試験

実規模

厚板狭開先での溶接施工条件整備

溶接部の機械的特性

継手性能試験

金属組織

溶接システム

非破壊検査システム

非破壊検査技術の開発

超音波探傷法

探傷試験(人工欠陥)

溶接欠陥の調査

手法組合せ、周辺技術整備

PODの評価

探傷装置案

探傷試験・解析(自然欠陥)

溶接部の耐食性評価

H16～ 人バリエーション調査

H20～ 人工バリエーション品質評価技術の開発

浸漬試験

選択的腐食/溶接金属

開発成果

●実規模でのオーバーパックの製作および検査の実現性の提示

➢190mm全層溶接方法として、落し蓋ではTIG、とMAG、平蓋ではTIGが適用可能である。

・施工可能な溶接深さ
TIGとMAG 190mm
EBW 100mm程度

・施工可能な溶接方向
TIGとEBW 下向きと横向き
MAG 下向き(溶着量が多く垂れるため)

・機械的特性は溶接手法に因らず、母材よりも高い。

➢溶接全層(190mm)の非破壊検査による溶接欠陥の定量的評価が可能になった。

・超音波探傷手法ごと(CW、PhA、TOFD、PhA-TOFD)に手法の特性、および欠陥の検出確率を整備した。

・浅い部分はCW法、以深はPhA法、欠陥の定量的評価をPhA-TOFD法と特性に応じた使い分け、欠陥長2mmの検出確率はほぼ100%であった。

●オーバーパックの製作により生じる、品質に係わる状態の提示

➢耐食性に関わる材料因子
・施工可能な溶接法、と母材と溶接材料の組合せによる、化学成分と金属組織。
➢構造健全性に関わる因子
・溶接法ごとに生じやすい欠陥の種類、検出可能な欠陥長さ、
・溶接部の機械的特性。

●操業に係わる一連の関連技術の提示

➢操業条件の調査
・生産シミュレーションにより溶接から検査に至る一連の溶接検査工程に必要な設備の規模を評価し、施工の観点から各要素技術の開発目標を明確化した。

●技術メニューの整備

課題と開発戦略

●オーバーパックの設計・製作方法の指標の考え方の提示

➢閉じ込め性を確保するために、オーバーパックに求められる指標の具体化

・オーバーパックの破壊モードの具体化し、それに対する構造健全性を満足するための機械的特性値を設定する。

・種々の因子が複雑に絡み合う実環境での腐食の時間スケールでの挙動の設定。

●多重バリアでの人工バリア性能確保の検討

➢置かれる実際の系(緩衝材、埋め戻し材やプラグ、天然バリアの組合せによる多重バリア)において、オーバーパックから周囲の系に与える因子(腐食による金属イオンの供給)と、その結果オーバーパックの腐食に与える効果の把握。

●オーバーパックの健全性評価技術の信頼性向上

●遠隔化を含めた工学技術の確証、および工学的対策の提示

●技術メニューの更新

図-6 遠隔溶接・検査技術の開発成果のまとめ

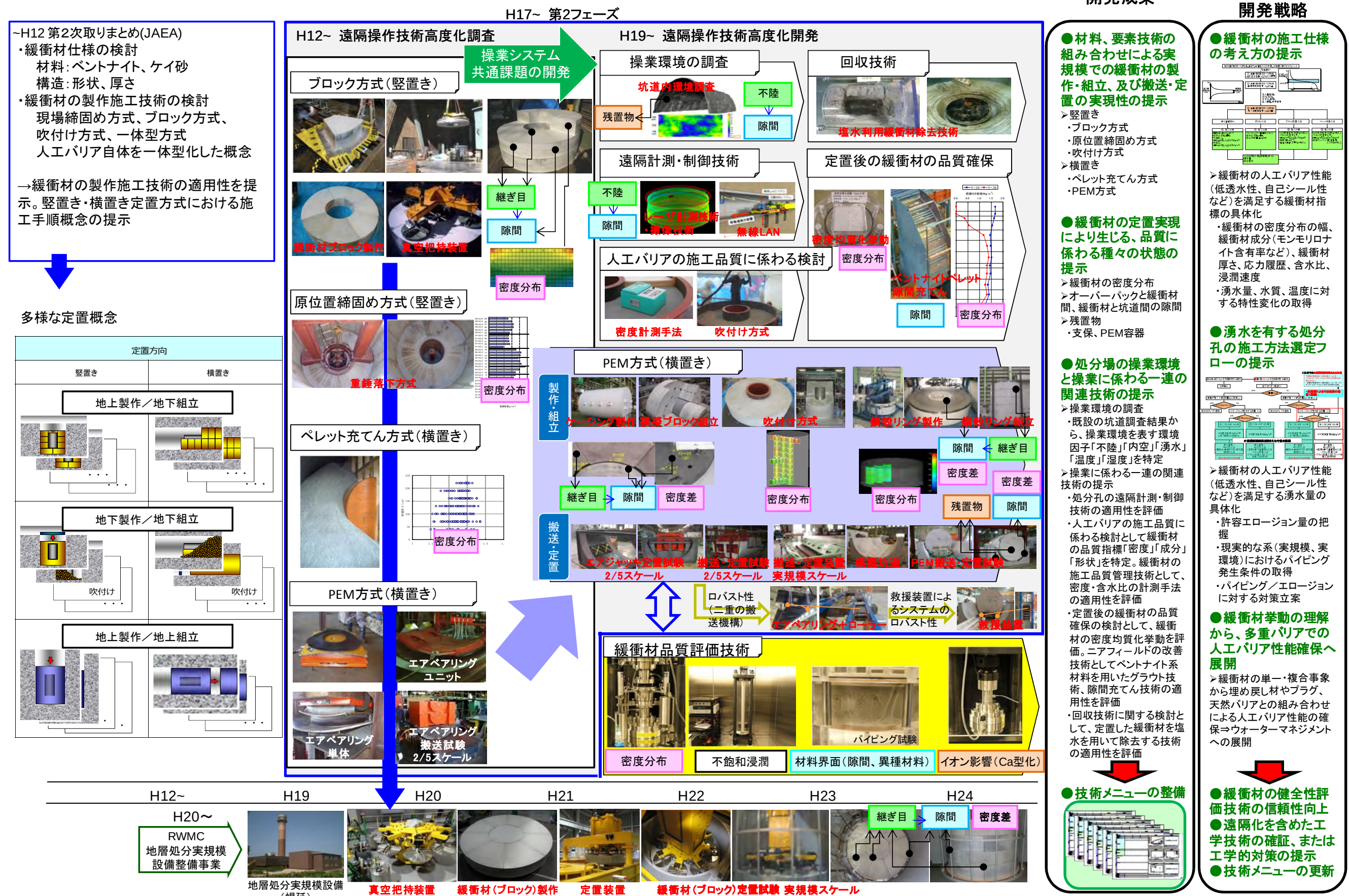


図-7 遠隔搬送・定置技術の開発成果のまとめ

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の評価を行なった。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した。さらに、溶接部で問題となる残留応力の解析・評価手法と低減対策を検討した。本検討の一部は、独立行政法人日本原子力研究開発機構との共同研究として実施した。

(2) 緩衝材の品質評価技術

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）が再冠水時の現象に及ぼす影響等を明らかにし、再冠水時に緩衝材に発生する現象を考慮した施工品質評価を実施した。

(3) 6 ヶ年のとりまとめと技術メニューの整備

本年度は、人工バリア品質評価技術の開発として平成 19 年度からの成果を取りまとめた。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 24 年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書（第 2 分冊）－人工バリア品質評価技術の開発－

◇平成 24 年度の成果

(1) オーバーパック溶接部品質評価技術

1) 炭素鋼溶接部耐食性試験

遠隔操作技術高度化開発で検討した溶接方法（TIG: Tungsten inert gas welding, MAG: Metal active gas welding, EBW: Electron beam welding）で作製した試験体を用いて、炭素鋼溶接部の長期

健全性評価の信頼性向上に資するため、酸化性・還元性環境での長期浸漬試験を継続して実施した。酸化性雰囲気浸漬試験において、アーク溶接（TIG, MAG）の溶接部で確認された選択的な腐食に対して、平成 22 年度に開発した Ni を添加した改良溶接材料の品質改善効果を確認するための浸漬試験を実施した。MAG 溶接試験体を対象とした結果、従来溶接材料と比較して選択的な腐食が抑制され、溶接材料の改良により溶接部の不均一腐食を抑制出来る見通しを得た。溶接部の腐食挙動の知見と耐食性に係わる品質改善手法を整備し、オーバーパックの溶接による封入に対して品質の観点からその妥当性を示した。

2) 溶接部残留応力評価

解析コード ABAQUS（汎用非線形有限要素解析手法）及び JWRIAN（大阪大学接合科学研究所開発の溶接変形・残留応力計算手法）を用い、溶接残留応力の低減手法を数値解析により検討した。ひずみゲージ法で取得した残留応力の実測値と数値解析の結果を比較し、解析手法の妥当性を評価し、品質改善手法の信頼性の向上を図った。この解析手法により、ガラス固化体への熱影響を考慮した溶接後熱処理の条件による残留応力の低減度合いについて示すとともに、外面誘導加熱応力改善手法の表面応力場の改善について、品質改善の見込みを示した。実際の作業を見据えた場合の技術的課題を整理し、残留応力低減のための熱処理装置の概念を示した。

3) 代替材料（チタン）の耐食性評価試験

純 Ti（JIS-2 種）、Ti-Pd 合金（JIS-12 種）の溶接試験体を用いて、低酸素雰囲気人工海水環境下における浸漬 1200 日間の腐食速度測定、および表面酸化被膜の分析を行なった。水素発生量から平均腐食速度は約 $1 \times 10^{-2} \mu\text{m y}^{-1}$ であった。また材質の違いや、母材-溶接金属間で腐食速度に大きな差は見られなかった（図-1）。一方、水素化物の形成は確認されなかった。

II. 放射性廃棄物の地層処分に關する調査研究

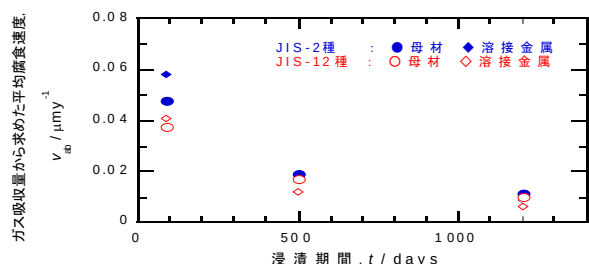


図-1 低酸素雰囲気下におけるチタンの腐食速度

(2) 緩衝材品質評価技術

試験は理想的な系である小規模試験から、単純な系である土槽試験、複雑な系である工学規模試験へのスケールアップを基本としている。本年度は、小規模試験を継続実施して、①施工品質(密度差)が再冠水時に発生する現象に及ぼす影響調査のための試験、②Ca 型化速度、Ca 型化フロントの移動速度試験、③長尺ベントナイトの一次元浸潤速度取得試験、④緩衝材表面近傍の止水性能評価、⑤再冠水時のガスの影響試験を行った。また、土槽試験として、ブロック施工を模擬した緩衝材の二次元浸潤土槽試験を行った。これらに加え施工技術の高度化試験として、湧水がある場における吹付け施工試験を行った。また、これらの試験から得た知見を緩衝材の設計・施工仕様設定に役立てることを目的として、研究計画を立案した。以下に、小規模試験：④緩衝材表面近傍の止水性能評価試験の結果を示す。

1) 緩衝材表面近傍の止水性能評価試験

処分孔に地下水が浸入すると、パイピング・エロージョンが発生し、ベントナイトの自己修復作用を妨げ、緩衝材の長期性能に影響を与える可能性がある。小規模試験によるパイピング・エロージョン挙動として以下の4項目を確認した。

①ブロック供試体(ケイ砂 30wt%混合ベントナイト、乾燥密度 1.6Mg/m^3)に人為的に複数の水みちを設け、蒸留水(0.1 L/分)を通水し、水みちの収斂状況を観察した。また、ブロックとペレットを合わせた供試体を観察し、水みちの収斂する位置を確認した。②ブロック供試体に蒸留水を一定流量通水し、自己修復機能が妨げられない限界の流量を調べた。③大小混合ペレットに蒸留水(0.1 L/分)を通水し、吸光度法によりエロージョン量を推定した。④1m の長尺セルを用いて、ブロック供試体に 0.5M NaCl 溶液を通水し、流量を

調整しながらパイピングの発生状況を観察した。

上記試験項目に対する試験結果は、①水みちは通水開始時には複数存在しても、最終的には緩衝材とセルの界面の1本の大きな水みちに収斂した。ブロックとペレットが共存した場合は、ペレットとセルの界面に形成された(図-2 左)。②流量一定での水みちが閉塞される流量は 0.001 L/分であった。大きく湾曲した水みちが形成されたことから、限界流量は約 0.005 L/分であることが推察された(図-2 中)。③0.1 L/分の場合、27日で全量が流出した。水の流量とエロージョン量の関係を SKB が取得した MX80 のデータと比較すると、クニゲル V1 は、同一流量時のエロージョン量が少ないことがわかった。④水みちにケイ砂が堆積し、0.00001 L/分でも自己修復しなかった(図-2 右)

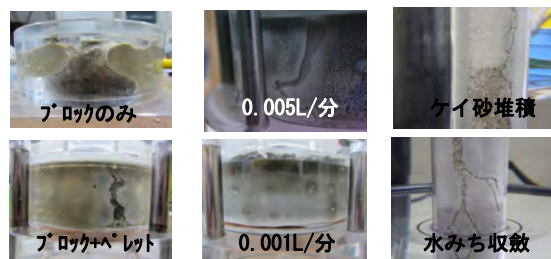


図-2 緩衝材のパイピング現象(形状/流量/液種)

2) 設計・施工仕様設定のための研究計画

緩衝材の性能は通常平均乾燥密度で与えられているが、本検討では施工時に生じる密度差と透水係数との関係の知見を拡充した。また、流入量、地下水組成、隙間、緩衝材形状の影響なども考慮する必要がある。この許容される施工時乾燥密度の範囲を実現できる施工法、および施工仕様は、今後の試験により明示できると考えている。図-3に施工法選定フロー(案)を示す。

3) エロージョンに対する工学的対策

エロージョン抑制対策として、①ペレットと緩衝材ブロックの併用、②現場締め固め工法または吹付け工法、③人工注水、④処分孔内の地下水流動抑制対策、⑤クニゲル V1 の含有量増加、⑥塩水環境下における Ca 型ベントナイトの性能確認、⑦グラウト工法等による止水処理法を提案した。今後は、これらの対策を地下水マネジメントという観点からも検討していく予定である。

◇ 6 年間の取りまとめと技術メニューの整備

平成 19 年度からの成果を取りまとめた。前述の遠隔操作技術高度化開発の中で開発した技術に基づく人工バリア材料の処分場環境での挙動評価の成果を整理して、操業の段階(設計、製作、

施工、搬送・定置) ごとに人工バリア材料の品質に係わる判断指標を整備することを今後の開発戦略として提示した(図-4、図-5)。また、本検討で得られた知見を遠隔操作技術高度化開発で整備を行った技術メニューに追加した。

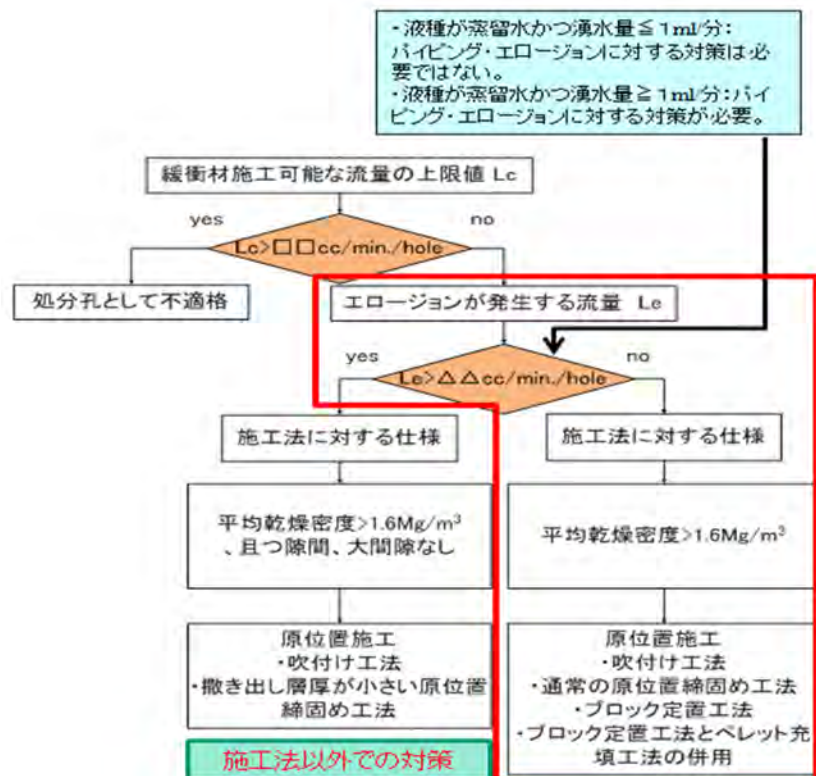


図-3 施工法選定フロー案

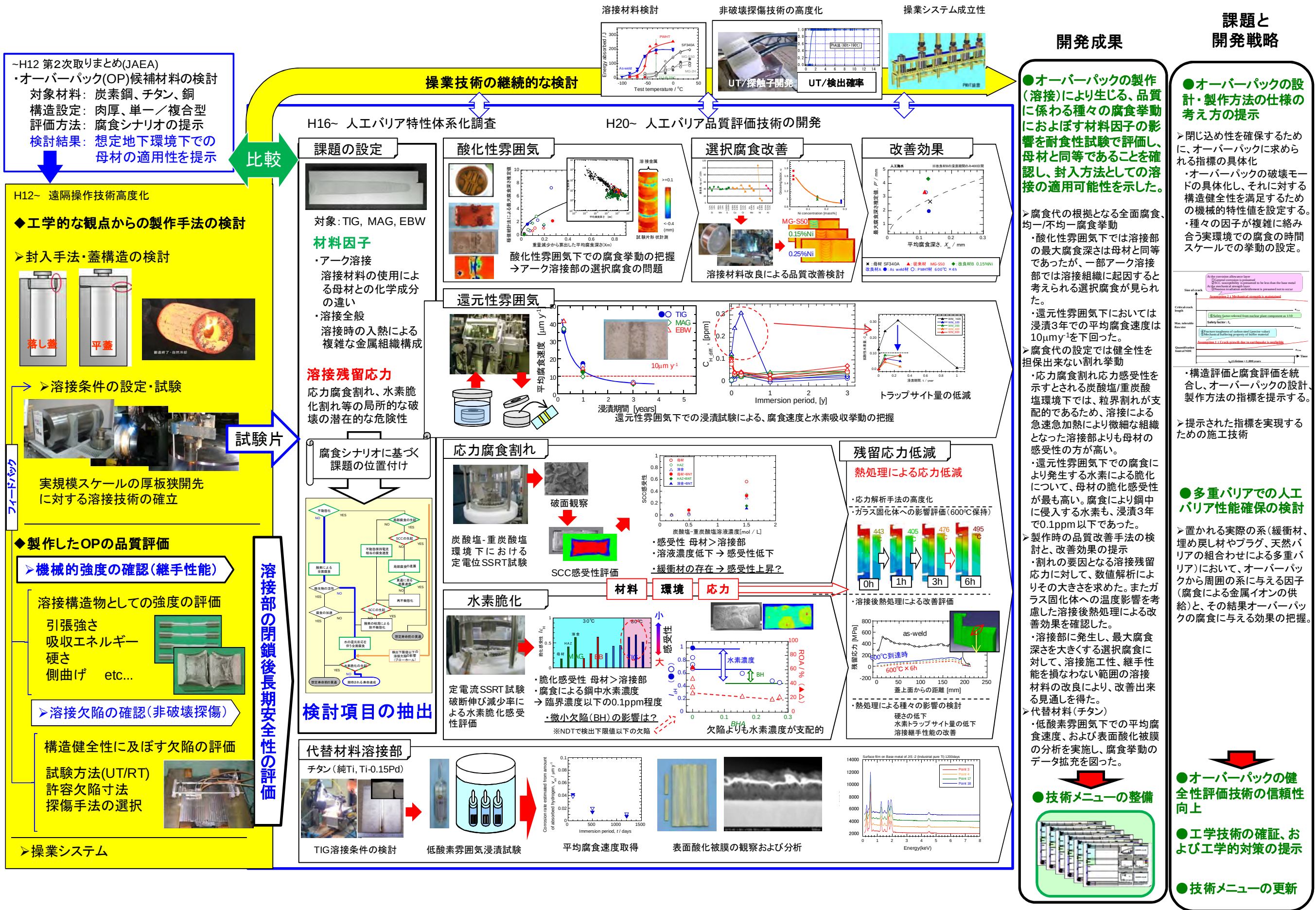


図-4 オーバーパック溶接部品質評価技術の開発成果のまとめ

開発成果

課題と
開発戦略

●緩衝材の製作・組立、及び搬送・定置実現により生じる、品質に係わる種々の状態(密度分布、隙間、残置物)が緩衝材の人工バリア性能(低透水性、自己シール性など)に及ぼす影響の理解

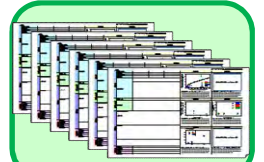
➢密度均質／不均質
・緩衝材の初期の密度分布は、膨潤しても均質化せず、密度分布が残ることが分かった。これは応力が釣り合い状態に至るまでしか膨潤しない、という力学的解釈で説明できる。

➢パイピング／エロージョン
・隙間を有するブロック供試体、隙間を有するペレット供試体でパイピング試験を実施し、パイピングの発生条件となる流量などを取得した。また、ブロック供試体にNaCl水溶液を通じたパイピング試験では、ケイ砂とベントナイトの分離、ケイ砂の沈降堆積が起こり、緩衝材の自己シール性が阻害されることが分かった。

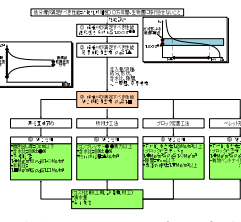
➢水移行
・不飽和長尺ベントナイトに蒸留水とNaCl水溶液を通じ、一次元浸潤試験を実施し、浸潤フロントの移動速度を取得した。設定した水圧条件下では自己拡散で浸潤フロントが推移することを確認した。

➢イオン交換
・緩衝材を蒸留水で飽和させた後、CaCl₂を通水させ、プレハイドレーション効果を確認した。本試験条件では、一定の期間は透水係数の上昇は見られないものの、時間の経過とともに透水係数の上昇が見られ、変質と飽和の順番によらず、透水係数はその時点の浸潤状況によって決まる可能性が高いことが分かった。

●技術メニューの整備

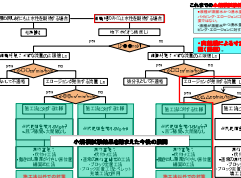


●緩衝材の施工仕様
の考え方の提示



➢緩衝材の人工バリア性能(低透水性、自己シール性など)を満足する緩衝材指標の具体化
・緩衝材の密度分布の幅、緩衝材成分(モンモリロナイト含有率など)、緩衝材厚さ、応力履歴、含水比、浸潤速度
・湧水量、水質、温度に対する特性変化の取得

●湧水を有する処分
孔の施工方法選定フ
ローの提示



➢緩衝材の人工バリア性能(低透水性、自己シール性など)を満足する湧水量の具体化
・許容エロージョン量の把握
・現実的な系(実規模、実環境)におけるパイピング発生条件の取得
・パイピング／エロージョンに対する対策立案

●緩衝材挙動の理解
から、多重バリアでの
人工バリア性能確保へ
展開

➢緩衝材の単一・複合事象から埋め戻し材やプラグ、天然バリアとの組み合わせによる人工バリア性能の確保⇒ウォーターマネジメントへの展開

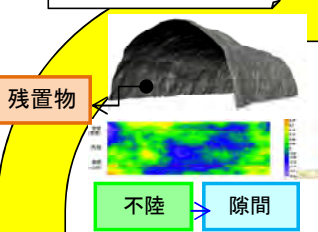
●緩衝材の健全性評
価技術の信頼性向上
示

●工学技術の確証、または工学的対策の提示

●技術メニューの更新

●技術メニューの更新

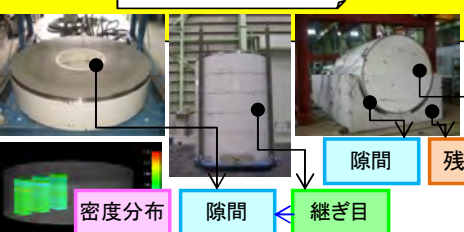
作業環境の調査



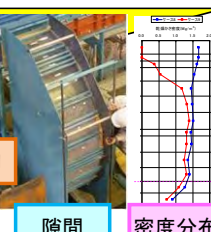
吹付け方式



PEM方式



隙間充てん技術

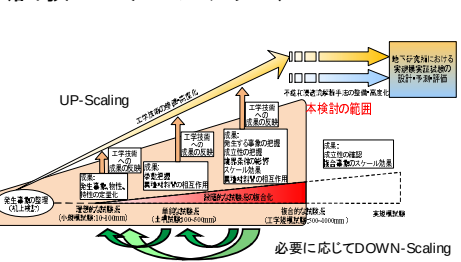


H20～ 人工バリア品質評価技術(緩衝材)の開発

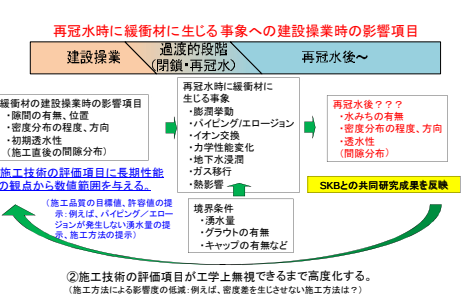
発生事象の整理

実施内容	小規模試験	大規模試験	工学規模	備考
(a) 施工品質(密度分布)の均質化	●	●	●	密度均質化が、施工品質
(b) Caシール速度、Caシールフロントの移動速度	●	●	●	
(c) 施工品質(密度分布)が再冠水に及ぼす影響	●	●	●	
(d) 長尺ベントナイトの一次元浸潤速度(継続)	●	●	●	
(e) 緩衝材表面近接の透水性評価(パイピング/エロージョン)	●	●	●	浸潤
(f) 再冠水挙動に対する緩衝材の浸潤状況	●	●	●	
(g) 再冠水挙動に対する緩衝材の膨潤状況(境界条件)	●	●	●	
(h) 地下水浸潤による膨潤時のガス(間隙空気)の影響	●	●	●	
(i) 地下水浸潤による膨潤時の地下水浸潤に及ぼすガス(間隙空気)の影響	●	●	●	
(j) 熱、ガス、金属腐食、力学変形など複合的な再冠水挙動評価	●	●	●	複合的
(k) 緩衝材の施工技術の高度化による影響度の低減検討 ～施工過程を考慮した工学規模パイピング試験～	●	●	●	施工方法

研究の基本方針
(試験のスケールアップ)

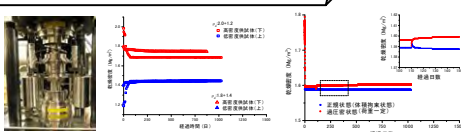


建設作業／過渡的段階／再冠水後～



単一事象

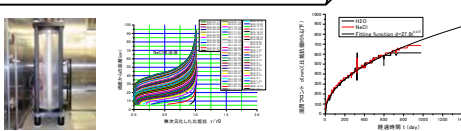
密度均質／不均質



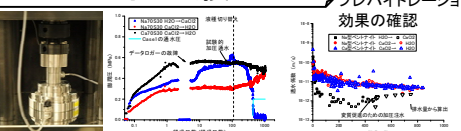
パイピング／エロージョン



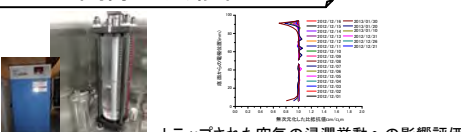
水移行



イオン交換

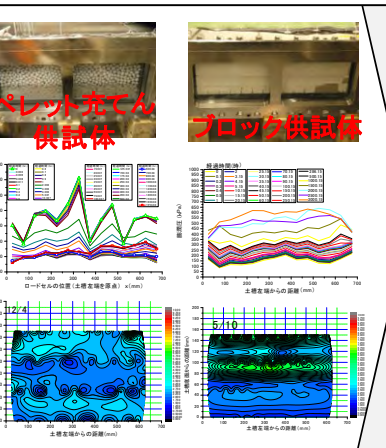


間隙空気移行

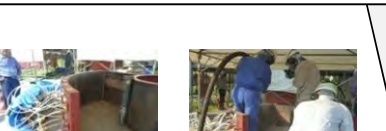


複合事象(スケールアップ)

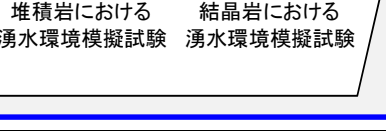
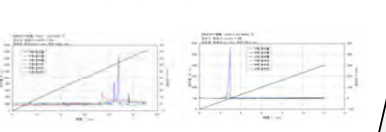
不均質な浸潤・膨潤挙動の把握



施工過程を考慮したパイピング試験



吹付け方式



H12～

H19

H20

H21

H22

H23

H24

H20～

RWMC

地層処分実規模

設備整備事業



地層処分実規模設備(幌延)



真空把持装置



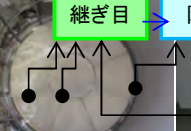
緩衝材(ブロック)製作



定置装置



緩衝材(ブロック)定置試験 実規模スケール



緩衝材(ブロック)定置試験 実規模スケール



緩衝材(ブロック)定置試験 実規模スケール

図-5 緩衝材品質評価技術の開発成果のまとめ

1-3 モニタリング技術の開発

◇事業の概要

本事業では、高レベル放射性廃棄物の地層処分を対象に処分システムの状況等に関わるモニタリングシステムに関する研究と閉鎖後の制度的管理の一環である記録保存に関する研究を実施している。モニタリングシステムについては、平成 12～18 年度の第 1 フェーズに引き続き、平成 19 年度～24 年度の第 2 フェーズの検討を実施した。第 1 フェーズの平成 16 年度には位置付け及び技術的可能性に係る技術報告書¹⁾を取りまとめた。第 2 フェーズではサイト調査前から閉鎖後の各段階を対象にモニタリングの意義や目的について整理した上で、適用可能性のある測定方法を調査し、技術メニュー（データベース）として整備した。

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

本年度は、モニタリング技術の開発及び記録保存に関する検討とともに、これらを含む処分システム工学要素技術高度化開発の第 2 フェーズの成果を報告書として取りまとめた。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 24 年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第3分冊)ーモニタリング技術の開発ー

◇平成 24 年度の成果

(1) 地層処分モニタリングの意義等の整理

本検討では、モニタリングの意義や目的について、サイト調査から最終閉鎖後の各段階でのモニタリングを対象に、国内外の新たな動向を踏まえた整理を行い、地層処分におけるモニタリングのあり方について検討した。

本年度は、昨年度に引き続き地層処分システムの性能確認に資するモニタリングに着目し、人工バリアの性能確認モニタリングに関するパラメータの選定方法の検討を行うとともに、モニタリング実施における制約条件について、国外の事例

を踏まえた検討を実施した。また、モニタリング国際共同研究 MoDeRn (Monitoring Developments for Safe Repository Operation and Staged Closure)³⁾プロジェクトへの継続的参画による検討を実施した。

MoDeRn プロジェクトは欧州原子力共同体の 7th Framework Programme の一つとして、地層処分事業の各段階におけるモニタリングに関する検討及びモニタリングの実施に向け参照すべきフレームワークの提供を目指した国際共同研究として、2009 年 5 月に開始された。本年度は、プロジェクト内部での検討とともに、2013 年 3 月に国際会議「Monitoring in Geological Disposal of Radioactive Waste (放射性廃棄物の地層処分におけるモニタリング)」を EC (欧州委員会) とともに開催し、専門家、規制機関、一般からの参加者を交えて討議を行なった。今後、これまでの検討成果を総括し、国際会議の結果を反映した報告書を取りまとめ、2013 年 10 月に終了する予定である。

(2) 地中無線通信技術の調査研究

人工バリアをモニタリングする場合、配線が水みちとなり、バリア機能を擾乱(じょうらん)する可能性がある。地中無線通信技術は、このような擾乱を低減できる技術として、地層処分モニタリングへの適用が期待されるため、原環センターではフランス放射性廃棄物管理機関(Andra)と共同研究を実施している。本年度は小型地中無線送信装置へのセンサ接続アダプタの開発、地中無線による通信距離拡大のための中継システムの開発及び長距離通信の実現可能性の検討を実施した。

緩衝材内やボーリング孔等の限られた空間内でのモニタリングのため、これまでに小型地中無線送信装置を開発、Andra が所有する地下研究所にて岩盤内での 24m の送信能力を確認した。この装置は内蔵温度計とデジタル入力端子を有するが、アナログ出力センサによりモニタリングするためには接続アダプタが必要である。本検討ではアナログの電圧値を出力とする差動トランス型圧力センサ及びアナログの周波数を出力とする振動弦型ひずみセンサ用のアダプタを開発した。装置開発にあたっては省電力化や小型化を重視し、小型地中無線送信装置(耐圧性 10MPa)にア

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

アダプタを格納した時の外寸はφ60×240mmとなった(図-1)。開発した装置は室内試験により動作確認を実施した。これらのアダプタの開発により広範囲の電気式センサを小型地中無線送信装置に接続してのモニタリングを可能とした。

地中無線中継システムは、センサに接続された地中無線送信装置単独にて通信可能な距離よりも遠方にモニタリングデータを送信するため、中継機によりデータの中継を行ない、受信機へとデータを送るシステムであり、中継機、受信アンテナ、送信アンテナから成る。主な適用先として地層処分場における坑道等の段階的な埋め戻し時に無線モニタリングの送信距離を段階的に延長するような使用法が想定される。送信アンテナの設計に於いては、岩盤及び坑道の鋼製支保等による電磁波の減衰と受信位置における電磁ノイズ、さらに安全率を考慮した送信能力を設定し、3m×3mの折りたたみ式の送信アンテナを開発した(図-2)。この送信アンテナについて、地上での送信試験により送信能力を確認するとともに、上述の圧力センサ用アダプタを接続した小型地中無線送信装置(図-1)を用い、一連の中継システムとしての能力を地上試験により確認した。

また、処分場から地表への長距離送信の実現可能性の検討のため、フランス Andra のムーズ・オートマルヌ地下研究所(MHM URL)の-490m坑道から地表への送信シミュレーションを実施するとともに、この結果を踏まえた送信の実現可能性向上のための検討を行い、改善案として地表からのボーリング孔を用いた受信等を提示した。



図-1 圧力センサ(右)を接続した小型地中無線送信装置(左)

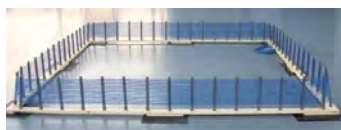


図-2 中継システム用送信アンテナ

(3)地層処分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技術メニューは、地層処分における各段階での意義・考え方や要件を勘案しつつ、モニタリングに係る体系的な技術的選択肢を提示するとともに、知識情報マネジメントツールとしての機能を有するものである。前年度までの開発により、複数の方法での表示(詳細ツリー、簡易ツリー及び時期・場所マトリクス)が可能なシステムを開発し、モニタリング機器等の情報を収録している。

モニタリング機器の選定にあたっては、測定範囲や精度等の性能の他に、処分環境における耐久性や寿命が重要となるため、地層処分関連での実績を有する機器が重視されるものと考えられる。本年度は、このような観点で技術メニューに収録する機器情報の拡充を中心とした整備を実施し、技術メニューの有用性を向上させた。

(4)記録保存に関する調査

本調査は高レベル放射性廃棄物の地層処分における記録保存について、その目的、具体的方策及び技術的可能性を検討し、国及び関連機関等が地層処分に対する社会的信頼性の向上につながる計画を策定する際の判断材料を整備するものである。

本年度は、記録保存システムの海外における検討の最新動向を調査するとともに、これまで原環センターが実施した成果及び調査結果を整理した。本年度の関連動向調査の結果、OECD/NEAにおいて実施予定の検討及びフランスに於いて刊行予定の Dossier 2009 における記録及びマーカ一等に関する検討の進展について、今後着目すべき動向であると位置づけた。

◇6 力年の取りまとめ

平成 19 年度から平成 24 年度までの検討成果について、その要点を取りまとめ、今後の検討課題を抽出した(図-3)。

主要な検討成果として、国内外の事例調査より、処分場の構成要素の閉鎖後長期の性能確認に資するモニタリングが地層処分独自の課題として重要性を持つことを確認し、性能確認モニタリングの制約条件、パラメータ選定方法等を提示した。性能確認モニタリングを実現する技術については、

バリア機能を阻害しない地中無線通信等によるモニタリング技術を開発、提示した。また、これらの知見を技術選択肢として提示するため、技術メニューとして整備した。さらに、記録保存に関わる事例調査結果とシステム要件を提示した。

今後の主な課題として、モニタリング結果の性能確認への反映方法の具体化、地下研等における技術の適用性の検証を含む、性能確認モニタリングの技術的実現性の向上、回収可能性や制度的管理に関わるモニタリングの検討などを提示した。

モニタリング結果を性能確認、安全評価に有効に反映するためには、下記項目の検討が必要である。

- ・モニタリングにて確認すべき安全機能と、モニタリングパラメータの抽出。
- ・抽出されたパラメータが実際に技術的にモニタリング可能か、パラメータの変化がモニタリング期間内に起こるか等に関する検討。
- ・処分場及び地下研究施設、地下調査施設におけるモニタリングにより、処分場の性能が十分な代表性を持って確認することが可能かに関する検討。
- ・モニタリング結果の性能評価への反映方法と基準（トリガー値）や予期しない結果への対応の

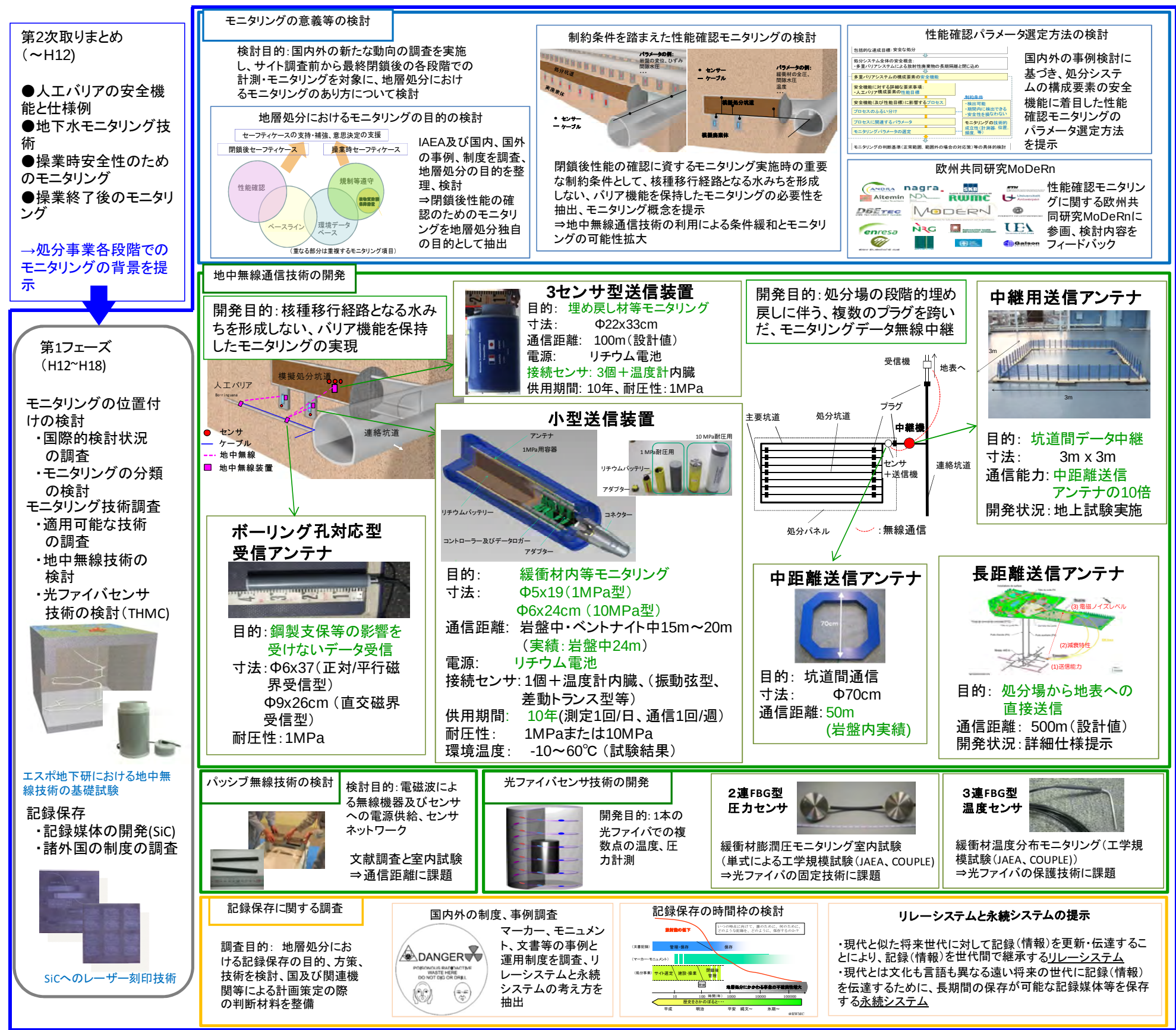
考え方の提示。

また、地中無線技術の開発については、以下の課題に優先的に取り組む必要がある。

- ・地層処分特有の環境への地中無線通信装置の適応性向上（耐熱、耐放射線）
- ・長期モニタリングに対応した地中無線通信装置、センサへの電源供給技術の開発
- ・段階的埋め戻しに適応した、地中無線通信の中継システムの頑健性の向上
- ・地下研等における地中無線モニタリング技術の適用性の実証

さらに、制度的管理としての閉鎖後のモニタリングや、閉鎖措置計画が認可されるまでの間の廃棄体の回収可能性に関するモニタリングが実施される可能性がある。これらのモニタリングについても項目や手法等について検討を実施する必要がある。

- 1) 原環センター技術報告書「地層処分ににかかわるモニタリングの研究－位置付け及び技術的可能性－」, RWMC-TRJ- 04003, 2004
- 2) 原環センター技術報告書「地層処分ににかかわる記録保存の研究－位置付け・方策・技術的可能性－」, RWMC-TRJ 08001, 2009
- 3) MoDeRn, <http://www.modern-fp7.eu/>



開発成果 (H19～H24)

●性能確認に資するモニタリングの重要性、制約条件等の提示

- ・地層処分モニタリングの目的を検討、性能確認モニタリングの重要性を提示
- ・性能確認モニタリング実施時の制約条件として、バリア機能を阻害しないことの必要性を提示、パラメータ選定方法を提示
- ・バリア機能を阻害しないモニタリング手法を提案、地中無線利用の意義を提示

●バリア機能を阻害しないモニタリング技術の提示

- ・地中無線通信
 - 送信装置の小型化、耐圧化 (10MPa)、一体型センサ接続アダプタ試作
 - 坑道の鋼製支保等の影響を考慮した無線機器レイアウトの実現
 - 段階的埋め戻しに対応した、中距離アンテナ、中継システムの開発
- ・電磁波によるセンサ、無線装置への電源供給についての課題抽出
- ・FBG方式の光ファイバセンサによる圧力、温度の多点モニタリング技術

●技術メニューの整備

- ・知見の整理
- ・技術開発成果の反映
- ・センサ技術の調査
- ・使用実績の調査
- ・地層処分の段階と場所、パラメータによる適用技術の提示

●記録保存の制度、事例調査とシステム要件の検討

- ・記録保存に係る国内外の制度等を調査、整理
- ・マーカー、モニュメント、文書等の運用制度を整理
- ・記録保存の時間枠と媒体の関係を整理
- ・記録保存の基本的概念として、リレーシステムと永続システムを提示

課題と開発戦略

●モニタリングの性能確認への寄与の具体化

- ・処分場や地下調査施設に於いて確認すべき性能、モニタリングパラメータの抽出と、モニタリング実施におけるオプションの提示
- ・モニタリング結果の性能評価への反映基準 (トリガー値) 予期しない結果への対応の考え方の提示
- ・国際共同研究への参画とフィードバック (MoDeRn (～H25)、IGD-TP (H26～))

●モニタリングの技術的実現性の向上

- ・地層処分特有の環境への地中無線通信装置の適応技術の段階的開発 (耐熱、耐放射線等)
- ・長期モニタリングに対応した地中無線通信装置、センサへの電源供給技術の検討
- ・段階的埋め戻しに対応した、地中無線通信のメッシュ型ネットワーク化による中継システムの頑健性向上
- ・センサの地層処分環境への適応性向上
- ・非侵入型モニタリング技術 (弾性波トモグラフィ等) の性能確認モニタリングへの適用性提示
- ・地下研等における地中無線モニタリング技術の適用性実証

●性能確認以外のモニタリング

- ・制度的管理としてのモニタリング: 処分場閉鎖後のモニタリング項目、手法等の提示
- ・廃棄体の回収可能性に関するモニタリング: 回収の発端事象、回収可能性維持に係るモニタリング項目、手法等の提示

●記録保存の動向調査

- ・記録保存に係る国内外の制度等の整備状況の継続的調査
- ・記録保存システムの要件整備への反映

図-3 「モニタリング技術の開発」に関する開発成果のまとめ

1-4 処分システムに関わる巨大地震、津波等の対策技術の開発

◇事業の概要

本事業は、主に処分施設閉鎖前までの処分事業操業中を想定し、地上/地下施設を含む処分システム及び施工された人工バリア等を対象に、大規模な自然事象に対する操業安全確保のための対策技術を、技術調査や適用性確認試験等の実施により開発することを目的に、今年度から着手したものである。さらに、その対策技術の導入による処分システムの成立性への影響を明らかにするものである。

放射性廃棄物の地層処分施設は、その安全性を損なうような恐れのある自然事象の著しい影響が及ばない安定した地層を選んで建設される¹⁾。一方、このような前提においても大規模な自然事象が作用して処分システムに被害が生じる懸念もある。本事業においては、クライシスマネジメントの考え方に立脚し、処分システムに自然事象に起因した異常状態や事故が「起こってしまった時にどのように対処するか」に注力するものとし、以下の3つの方針のもとに実施した。

- ①異常状態・事故の発生を想定し、その後の対策に重きを置いた検討
- ②広範な事象を対象とした検討（可能性が小さい事象も、原則、除外しない）
- ③既往の研究成果の活用と重複の回避

具体的な実施内容としては、まず、地層処分施設と類似した施設について文献調査を行った。次に、地上/地下施設、設備及び人工バリア等の検討対象を選定し、巨大地震、津波等を原因としてそれらの検討対象に生じ得る多様な異常状態や事故の状況を工学的に検討・整理した。さらに、異常状態や事故の影響緩和に向けた技術課題を抽出するとともに、それらについての技術調査に着手し、対策技術の開発に関わる試験項目等を選定して年度展開を検討した。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 24 年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第4分冊)－処分システムに関わる巨大地震、津波等の対策技術の開発－

◇平成 24 年度の成果

(1)地層処分施設と類似した施設の調査

地層処分施設と類似した既存の施設について文献調査を行った。地層処分施設は、大きく分けると地上施設と地下施設から成る。地上施設については、高レベル放射性廃棄物やガラス固化体を取扱う既存施設を調査した。地下施設については、地下構造物という共通性に着目してトンネルや鉱山・炭鉱を調査した。また、海外の放射性廃棄物地層処分計画等についても調査を行った。さらに、本開発は大規模な自然事象の影響を検討するものであるため、自然事象で甚大な被害を受けた施設の調査も行った。これらの類似施設について、安全確保の考え方、安全性を脅かす事象として取上げている自然事象、それらを起因事象として施設や設備で生じ得る異常状態や事故及び安全確保のための対策などを調査し、本開発に反映する知見を整理した。

(2)検討対象の選定

自然事象に対して安全確保を検討する対象は、処分サイトや地上/地下施設の設定、定置概念などから多種多様な組合せが考えられる。本開発では、操業に関わる作業の相互関係や連続性などに着目して、廃棄体の取扱いに関する一連の作業である「操業工程」(ガラス固化体の受入・検査・一時仮置き、アクセス坑道を通しての廃棄体の搬送、などの6工程)に着目し、立地条件や定置概念の違い等を必要に応じて考慮することとした。次に、それぞれの操業工程に含まれる作業(ハンドリングフロー)を調査・設定し、本開発において自然災害に対する安全確保を検討する具体的な作業を選定した。選定した検討対象は、地上については、ガラス固化体やオーバーパックの吊上げ作業などの4作業、地下については、アクセス坑道を通しての廃棄体搬送作業、オーバーパックや緩衝材の定置作業などの6作業である。

(3)状況設定

類似施設の調査結果などにに基づき、地層処分施設の操業安全を脅かす可能性がある自然事象(起因事象：地震、津波・高潮、洪水・豪雨、竜巻、熱波、干ばつ、落雷、隕石衝突、及び地下におけるガス噴出、ガス爆発、坑内火災、湧水、落盤・

II. 放射性廃棄物の地層処分に關する調査研究

崩落、山はね、坑口からの水の流入など）を選定した。これらの起因事象が検討対象に作用した場合に発生し得る異常状態と、異常状態を起点とした被害の連鎖を検討し、被害の連鎖の帰着点である最終的な状況を抽出した。最終的な状況は、「放射線安全に影響する最終的な状況」と「操業継続に影響する最終的な状況」の2つに分類した。前者については「検査室内の放射線量の増加、及び検査室内での放射性物質の拡散」、「坑道内の放射線量の増加、及び坑道内での放射性物質の拡散」などの7状況を抽出した。後者については「ガラス固化体またはオーバーパックの正常作業工程の中断」、「廃棄体の回収困難」、「人工バリア機能の低下の可能性」などの11状況を抽出した。

(4) 異常状態や事故への対策に關わる技術課題の抽出

抽出した地上施設及び地下施設それぞれの最終的な状況に対し、応急対策、恒久対策、対策のための試験・解析を「対策シート」（図-1）を作成して検討・抽出した。そして抽出した種々の対策を整理・類型化し、対策に必要な技術を「技術課題」として抽出した。抽出した技術課題は、「救援・救出技術」、「状況把握・監視技術」、「緊急遮へい技術」、「状況修復技術」、「施設計画技術」、「外力低減技術」、「人工バリアの限界性能等の調査・試験」の7課題である（図-2）。

(5) 対策技術の調査と開発に關わる試験項目の抽出

抽出した技術課題に關わる現況技術の調査に着手し、その調査結果に基づいて「救援・救出技術」、「状況把握・監視技術」、「施設計画技術」、及び「人工バリアの限界性能等の調査・試験」を

技術開発課題の候補として選定した。これらについて概略の開発内容、方法、成果目標、開発工程などを検討・整理して示した（表-1）。

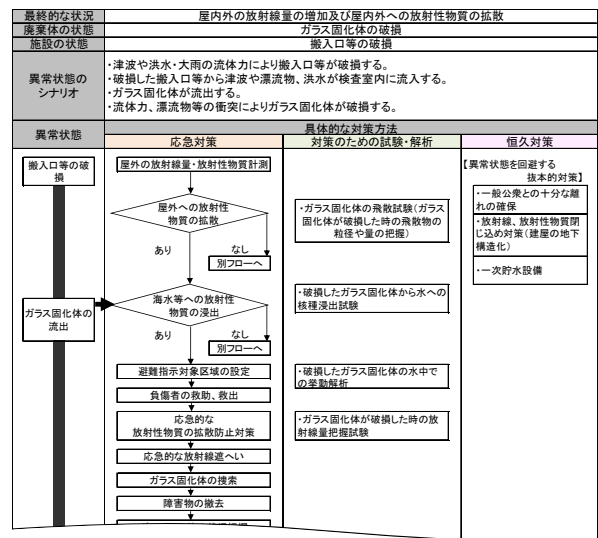


図-1 対策の検討・抽出方法

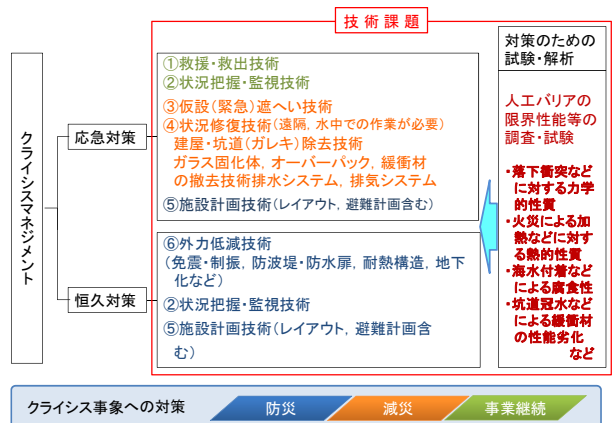


図-2 本開発における技術課題

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁、「TALK. 考えよう、放射性廃棄物のこと」、2009. 6

表-1 技術開発課題の選定と調査・試験項目の例

調査・試験項目	技術課題のカテゴリ	対象事象	概略の調査・試験内容	調査・試験項目の選定理由	調査・試験成果目標と成果がもたらす効果	調査・試験にあたっての留意事項等
人工バリアの熱的性質の調査・試験	人工バリアの限界性能等の調査・試験	地震と津波の重量などに起因して地上施設や坑道内で火災が発生し、廃棄体が加熱される状況	・火災環境の調査検討と加熱条件や解析モデルの設定 ・人工バリア（ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材）への火災影響を解析的に検討 ・解析の信頼性を向上するために、緩衝材の熱特性の試験データを取得	【地層処分の観点から】 ・万が一火災が発生した場合を想定し、人工バリアへの火災影響を把握したい ・日本の人工バリア構成を対象に火災影響を検討したデータが無い 【防災の観点から】 ・地層処分施設において万が一火災が発生した場合、安全性に対する公衆の懸念が大きいと考えられる。火災影響を事前に把握し、安全性の提示や公衆の安心感の醸成に資する	【成果目標】 ・加熱温度・加熱時間などが人工バリアに及ぼす影響の把握 ・緩衝材の高温時熱特性の把握 【効果】 ・緩衝材を介した「ガラス固化体＋オーバーパック」への火災影響などが把握できる ・火災に対する人工バリアの健全性・頑健性を把握することで、万が一の事故時の安全性を示すことができる	・適切な加熱条件（温度・時間）やガラス固化体・緩衝材等の熱特性を設定するために、事前に十分な調査、検討が必要 ・火災影響に対する健全性評価指標の検討など

2. 地層処分回収技術高度化開発

◇事業の概要

高レベル放射性廃棄物地層処分における廃棄体の回収可能性に関して、平成 18 年 9 月に取りまとめられた「放射性廃棄物の地層処分に係る安全規制制度のあり方について」（総合資源エネルギー調査会原子力安全部会廃棄物安全小委員会）では、基本的に廃棄体を回収するような事態が生ずることはないと考えられるとしながらも、処分場閉鎖までの間は廃棄体の回収可能性を維持することが必要であると記されている。平成 24 年 12 月 25 日に原子力委員会が発表した「今後の原子力研究開発の在り方について（見解）」において、回収可能性の合理的な担保のあり方に関する研究開発を継続的に進めることが重要である、と記されている。

また、資源エネルギー庁で実施された基盤研究開発（地層処分技術調査等事業（高レベル放射性廃棄物処分関連：処分システム工学要素技術高度化開発））では、操業技術を構成する要素技術の一つとして、回収技術の中核技術である塩水を利用した緩衝材除去技術の適用性が検討された。

これらを背景として、本事業は最新の知見を高度化し、「地下環境にて行う実規模スケールの実証試験計画の立案」と「試験に必要となる廃棄体を回収するための緩衝材除去装置の開発」を目的としている。平成 24 年度は以下の内容を実施した。

- (1) 地下環境での実施試験計画の見直し
- (2) 緩衝材除去装置の設計・製作

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

（報告書）平成 24 年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 地層処分回収技術高度化開発

◇平成 24 年度の成果

(1) 地下環境での実証試験計画の見直し

平成 23 年度に実施された実証試験計画における「緩衝材除去装置の坑道内配置」を見直すとともに「緩衝材除去装置を用いた回収作業手順」について検討を行った。以下に概要を示す。

1) 緩衝材除去装置の坑道内配置検討

実証試験計画対象とする第 2 次取りまとめにおける堆積岩系岩盤の処分坑道において、平成

24 年度に設計・製作した緩衝材除去装置の配置について検討した。その結果、基本的な考え方は、図-1 に示すとおり遠隔操作設備、塩水リユース設備、緩衝材除去設備の 3 つの機能ごとに分離し、試験に用いる坑道状況に応じた配置が可能であることを提示した。

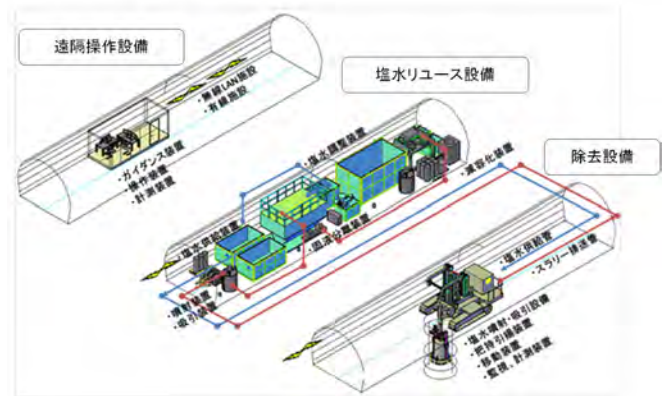


図-1 地下環境における緩衝材除去装置の基本配置

2) 緩衝材除去装置を用いた回収作業手順

図-2 に示す処分場のパネル例において、本緩衝材除去装置による処分坑道内の回収作業手順の検討を行い、その概念を提示するとともに、今後の取組が必要と考える課題を抽出し整理した。



出典：地層処分事業の安全確保（2010 年度版）、NUMO

図-2 処分場のパネル例における回収作業概念の検討

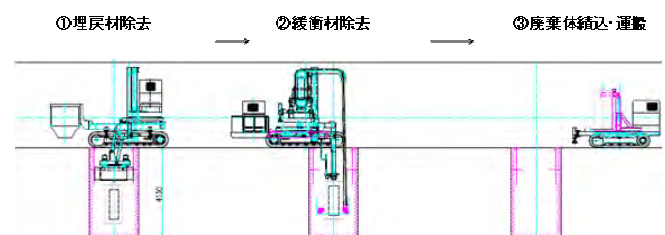


図-3 廃棄体回収作業手順の例

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

平成 23 年度報告書に示された図-3 廃棄体回収作業手順の例は、回収作業における緩衝材除去装置の基本配置の元となるものである。主な手順は以下のとおりである。

- ①回収作業に必要なとなる連絡坑道からの作業動線を確認するため、主要坑道、処分坑道等を再掘削する。
- ②廃棄体の回収に必要なとなる坑道内での環境保全設備の整備、緩衝材除去装置などを搬入し、図-2 に示す位置にセットする。
- ③処分孔上部の埋戻し材を図-3 の①に示す専用の掘削機械にて除去する。この時の埋戻し材及び緩衝材の掘削においては、廃棄体から安全な緩衝材の離間距離（厚さ）を残すものとする。
- ④図-3 の②に示すとおり、緩衝材除去装置にて廃棄体側部の緩衝材を除去する。
- ⑤手順④に連続して緩衝材除去装置にて廃棄体を引上げる。
- ⑥図-3 の③に示す廃棄体積込み運搬車にて処分坑道から連絡坑道へ運搬する。あらかじめ待機している廃棄体定置装置等へ積込み、廃棄体定置の逆動線にて地上へ運搬する。また、連絡坑道に廃棄体定置装置等の待機が不可能な場合には、アクセス坑道まで運搬し、廃棄体の定置時と同様の装置を利用して地上へ運搬する。
- ⑦上記①～⑥の手順を繰り返して行い、処分孔に埋設された対象となる廃棄体を回収する。

また、上記の回収作業概念を基に抽出した今後の検討が必要と考える課題を以下に整理した。

- ・回収が必要となるケース、シナリオの検討とその状況における回収作業概念
- ・回収作業における緩衝材の放射化の有無
- ・回収作業における放射線影響とその管理の考え方
- ・リユース塩水と除去した緩衝材の最終的な成分の把握と取扱い方法
- ・緩衝材除去作業及び廃棄体搬出の動線方向における坑道換気と作業粉塵の管理方法

(2) 緩衝材除去装置の設計・製作

緩衝材除去装置について、平成 23 年度地層処分回収技術高度化開発における基本設計に基づき、装置を構成する「塩水噴射・スラリー吸引設備」、「昇降設備」、「塩水リユース設備」、「駆動設

備」ごとに設計及び製作を行った。以下に概要を示す。

1) 塩水噴射・スラリー吸引設備の設計・製作

塩水噴射・スラリー吸引装置の設計・製作及び確認では①～③の項目を実施した。

①基本設計をもとにプロトタイプ装置を製作

製作にあたり以下の項目を検討した。

- ・塩水噴射圧・流量の平準化のため分配管を配置
- ・揺動は揺動角度を 90 度とし、全ノズルの 1/4 を 1 ブロックと考え、ノズルの向きを調整することにより噴射パターン変更を可能とした。
- ・塩水の水位はスラリー吸引口の位置で調整

②プロトタイプ装置による緩衝材除去試験の実施

緩衝材除去試験を実施（図-4）し、以下に示す装置の機能・性能及び課題が明らかになった。

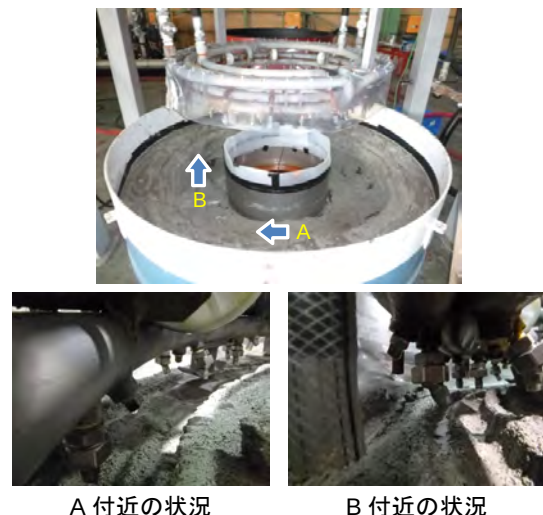


図-4 緩衝材除去試験の状況

- ・緩衝材除去可能な塩水噴射ノズル配置は、鉛直方向の緩衝材除去速度と緩衝材除去形状より「2 列中央配置」が最も有効であった（図-5）。

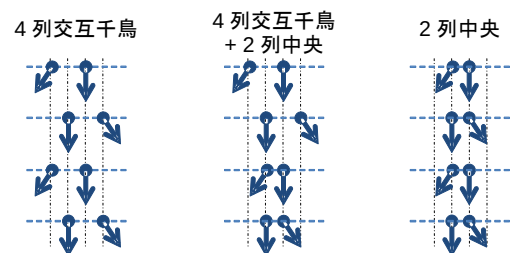


図-5 塩水噴射のノズル配置

- ・試験より得られた鉛直方向の緩衝材除去速度（平均値 0.32mm/min）を用いて、廃棄体側部（L=1,730mm）の緩衝材除去時間を試算すると 5,406(min)（3.75(day））となる。
- ・塩水の水流により緩衝材が幅広に除去されることが判明した。そのため、試験後半では水平方向の水流を抑止する板を塩水噴射部の外側に設置した。
- ・緩衝材除去時の塩水噴射・スラリー吸引部の操作手順を、今回実施した緩衝材除去試験により確立した。

③装置の設計及び製作

緩衝材除去試験結果を考慮し、装置の設計及び製作を実施した（図-6）。

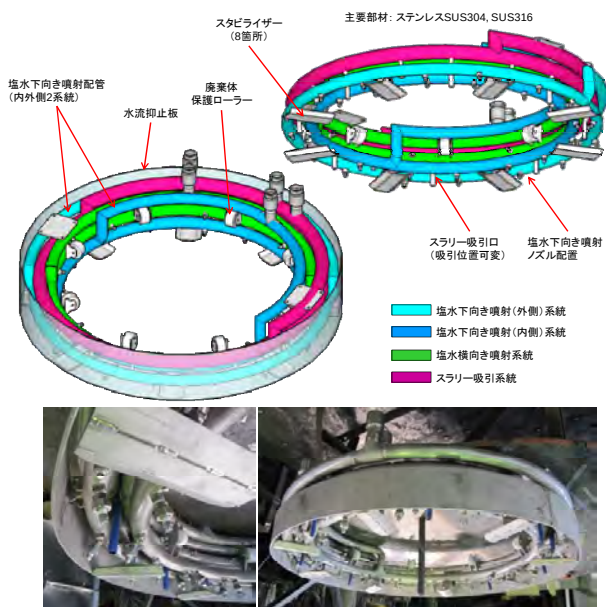


図-6 塩水噴射・スラリー吸引設備（製作）

2) 昇降設備の設計・製作

当該設備の設計・製作では、位置調整部、把持昇降装置、塩水噴射設備昇降装置等の設計・製作、動作確認及び遠隔操作の検討を行った。以下に概要を示す。

設計では、基本設計における基本的条件の整理を行い、各部位の仕様の検討を行うとともに設計図書に取りまとめた。

製作では設計図書に基づき、位置調整装置、把持昇降装置、塩水噴射部昇降装置、廃棄体把持装置、油圧配管、塩水ホース巻取り装置等をそれぞれ

別途に製作し、図-7 に示すとおり一ヶ所に集めて組立を実施した。また各設備の組立に合わせて、油圧配管、電気配線、通信機器等の接続を行い、昇降設備全体の製作を完了した。



図-7 昇降設備製作状況

動作確認では、以下の動作について、検査を行いストローク長等を確認した。

①位置調整装置

- ・前後スライド量：前方 500mm、後方 100mm
- ・左右スライド量：車体中心より左右 100mm
- ・マスト前後角度調整量：前後左右に約 5 度

②把持昇降装置

- ・昇降ストローク：マスト部 2,600mm、角ロッド部 1,000mm

③塩水噴射部昇降装置

- ・昇降ストローク：1 段目 725mm、2 段目 925mm
- ・揺動角度：左右 45 度

④廃棄体把持装置

- ・動作ストローク：125mm
- ・模擬廃棄体（6.1t）を把持出来ること

昇降設備の遠隔操作に関する検討では、昇降設備と廃棄体との「相対位置の測定」、「取得した位置データの監視」について整理し、図-8 に示す遠隔測定システムとして取りまとめた。また緩衝材除去状態を常時把握するための映像伝送システムについても同様に取りまとめを行った。

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

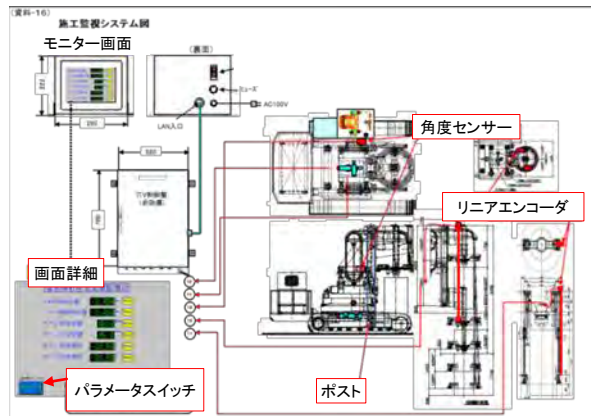


図-8 遠隔測定システム

3) 塩水リユース設備の設計・製作

塩水リユース設備の設計・製作では、①～③の項目を実施した。

①塩水・スラリーの管理値の設定

リユースする塩水の濁度を清澄水として500mg/L以下、塩分濃度を4.0～4.5wt%、pHを5～9と設定した。

②塩水リユース設備の設計・製作

設備の構成を検討し、構成する装置の選定とその製作または改造を実施した。

- ・固液分離設備は、沈殿濃縮装置（シックナー、容量15m³）によるものとした。
- ・塩水供給設備は、水槽から塩水を供給するポンプをタービンポンプとした。
- ・スラリー吸引設備は、作業効率及びメンテナンス性の点から、バキュームポンプとチューブポンプを比較検討し、チューブポンプとした。
- ・基本システムのコンパクト化・効率化を図るために代替・補助システムとして「スプリングフィルター膜ろ過装置」と「サイクロン遠心ろ過装置」の性能確認試験を実施したが著しい性能向上は見られず導入を見送った。
- ・減容化設備は、2機種についてスラリーの脱水性能を比較検討した結果、「フィルタープレスろ過装置」よりも「デカンタ式遠心ろ過装置」が若干有利であった。

③塩水リユース設備の機能確認試験

塩水リユース設備の基本システムであるシックナー（容量15m³、1基）について24時間または48時間のスラリーの連続処理による機能確認試験を実施した。その結果、以下の知見が得られた。

- ・緩衝材除去試験結果より想定されるスラリー

（15m³/h、濁度1,600mg/L）を連続処理し、リユースする塩水の濁度は平均215mg/Lとなりシックナー1基で十分な性能があることがわかった。

- ・①～③の成果より図-9に示す塩水リユース設備の構成となった。

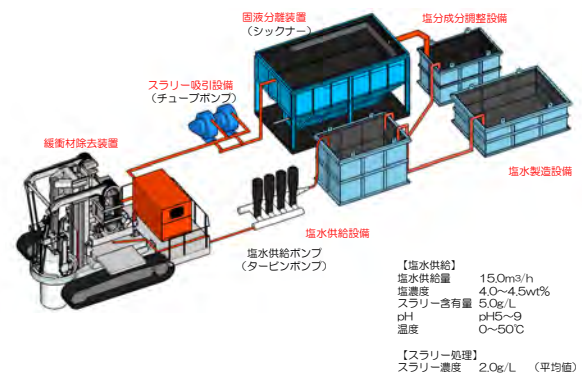


図-9 塩水リユース設備の構成

4) 駆動設備等の設計

基本設計に基づき、緩衝材除去装置のうち駆動設備の設計、遠隔設備の検討及び廃棄体位置の探査技術に関する調査・検討を行った。以下に概要を示す。

①駆動設備の設計

当該設備の主要部位である図-10に示す走行部及び油圧ユニットの設計では、基本設計に基づく機械寸法及び装置の性能（走行速度：1km/h以上）について検討した。

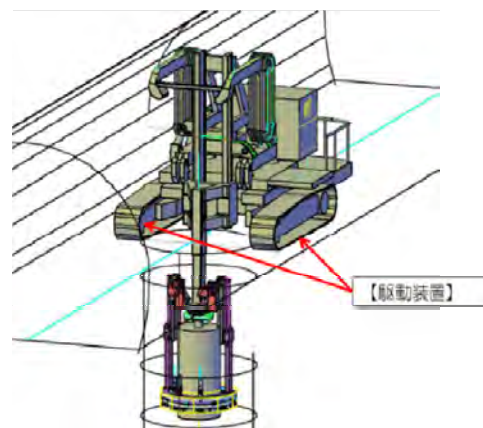


図-10 緩衝材除去装置のうち駆動設備

②遠隔設備の検討

当該設備においては基本となる設備として、電

気設備、情報通信設備及び遠隔制御設備の検討を行った。以下に概要を示す。

電気設備では、回収作業の基本的な操作系の設定を行い、電気システム系統（図-11）、装置内電気配線について検討した。

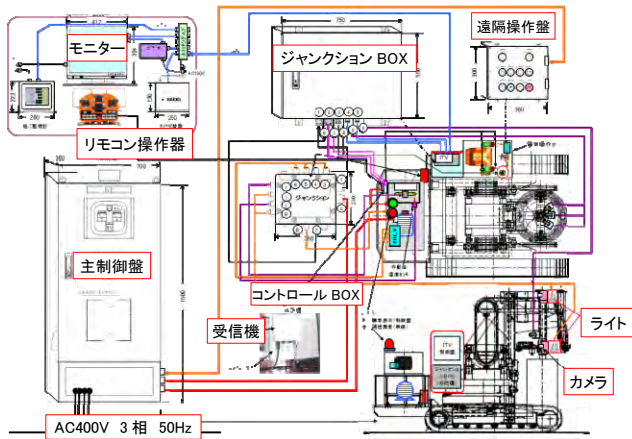


図-11 電気システム系統

情報通信設備については、作業状況を把握することを目的とするデータ伝達、装置を遠隔操作することを目的とする操作信号の伝達、に関する検討を行った。

③廃棄体位置の探査技術に関する調査・検討

当該技術に関しては、超音波を用いて、緩衝材中の金属円盤位置の測定精度を把握する小規模試験等による調査・検討を行った。

- 1) (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター、平成22年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書（第1分冊）遠隔操作技術高度化開発、平成23年3月

3. 人工バリア長期性能評価技術開発

本開発は、TRU 廃棄物の処分に係る人工バリアの長期性能評価に関する課題の解決に取り組むものであり、人工バリア材の長期挙動及びガス移行挙動に対する理解を深めると共に、人工バリア性能評価に係る技術的信頼性を高め、不確実性を低減することを目的とした。

3-1 人工バリアの長期挙動の評価

◇事業の概要

主に再処理工場や MOX 燃料加工工場から発生する TRU 廃棄物の地層処分に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、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した。また、地球化学的反応と物質移行を連成させた解析手法により人工バリア材の変質現象を予測し、実験結果を比較することにより、解析手法の妥当性を検討した。

本事業では、平成 19 年度より平成 24 年度まで次の各項目について実施し、今年度は 6 カ年にわたる本事業の取りまとめを行った。

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

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 24 年度 地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物
処分技術 人工バリア長期性能評価技術開発報告
書 (第 1 分冊) ー人工バリアの長期挙動の評価ー

◇平成 24 年度の成果

(1)セメント系材料の長期変質挙動の確証試験

セメント系材料の溶解変質解析の信頼性を高める目的で、50 年～80 年の長期材齢を経たコンクリート(経年コンクリート)の分析を行ってきた。平成 23 年度までに、熱履歴(推定温度 70～

100℃)を受けた経年コンクリートでは、主なセメント水和物である C-S-H が結晶化し、カルシウム溶脱量が熱履歴を受けていないコンクリートのそれよりも少なく、緩衝材への影響が小さくなる可能性があること、加えて、セメント系材料の制限温度である 80℃以下での結晶化の可能性の確認や解析条件の設定等の再検討の必要があることを明らかにした。平成 24 年度は、経年コンクリートの C-S-H の Si の結合状態を NMR(核磁気共鳴)で測定し結晶化の進行を確認した。その結果、熱履歴の有るコンクリートは、熱履歴の無いものより結晶化が進んでいることが確認され、結晶化の可能性に関して確証を得た。

セメント系材料の溶解変質解析に必要である変質に伴い変化する物質移行特性値(拡散係数)は、セメント種類によっては空隙率の変化だけでは推定できないため、セメント硬化体中の空隙構造を考慮し、3 次元空隙構造中を化学種がランダムに移動することを仮定して移行させることによるモデル化を行った。平成 23 年度までに、溶解変質過程のうち $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (水酸化カルシウム)が溶解する段階(Region2)までの拡散係数を再現できることを試験データで検証した。平成 24 年度は、C-S-H が溶解する段階(Region3)について、OPC の試験データを元にしたモデル化により、拡散係数を再現する手法を提案した。混和材(フライアッシュや高炉スラグ)を用いたセメントの拡散係数の再現は、平成 23 年度までに実施した細孔表面電荷を考慮した検討結果等からも、Al の固溶等の C-S-H の組成の違い(C-A-S-H)の考慮の必要性が示された。加えて、骨材を含むコンクリート、モルタルの拡散係数の再現を検討する必要がある。

(2)セメントーベントナイト相互影響の確証試験

セメントとベントナイトの接触によって起こる事象について、分析及び解析により不確実性の低減につなげるための検討を行った。実施した内容は、①接触界面に生成する二次鉱物の拡がりの検討、②セメントの影響を受ける環境での圧縮ベントナイトの溶解挙動の検討、③天然のベントナイト(スメクタイト)の変質挙動から得られる知見の長期挙動への反映、④ベントナイトの化学変質による力学挙動の変化である。

XAFS(X 線吸収微細構造)分析を用いて、クニ

ゲル V1（山形県月布産）と OPC の接触試料を 9 年間浸漬した試料に生成した二次鉱物の分析を検討した。フォトダイオードを利用した一次元 X 線検出器を用いて 0.025mm 間隔で精度の高いスペクトルが得られ、鉱物組成を定量できることを示し、C-S-H の生成範囲は数 mm に留まることを明らかにした。一方、その Ca/Si 比の分布は、スペクトルの差がわずかであるため（図-2）、分離定量が困難であることが明らかになった。

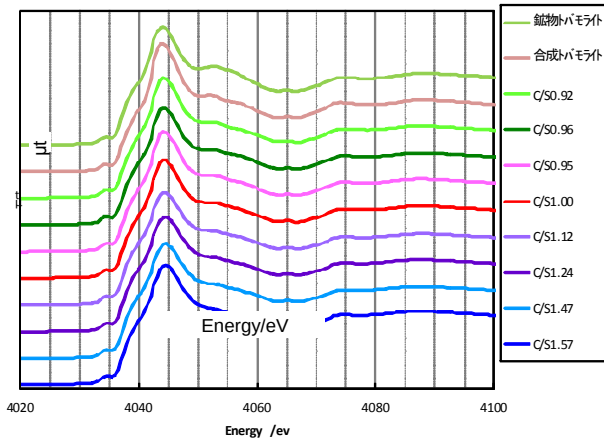


図-2 C-S-H 及びトバモライトの XANES スペクトル

ベントナイトの主要鉱物であるモンモリロナイトの高アルカリ条件下、圧縮状態での溶解速度を in-situ（位相シフト干渉計による測定）及び ex-situ（原子間力顕微鏡による測定）での測定結果をもとに算出した。バッチ試験の結果とも挙動は整合しており、圧縮状態でのモンモリロナイトの溶解速度は分散系で測定したモンモリロナイトの溶解速度よりも遅いことが明らかとなった。また、セメント模擬浸出液（Region-I）中ではさらに溶解速度が遅くなる結果が得られた（図-3）。

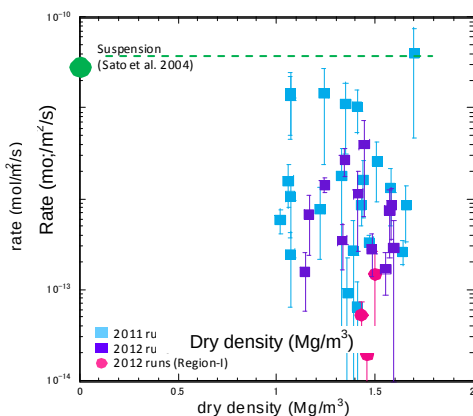


図-3 圧縮モンモリロナイトの乾燥密度に対する溶解速度

また、ベントナイト系材料の変質に伴う力学特性、物質移行の変化を表すモデルを構築するための試験を行い、力学挙動がモンモリロナイト量に依存していることを確認した（図-4）。また、モンモリロナイトの Ca 型化によって変化する表面積を直接測定することにより、透水係数の変化についてもモデル化し、ベントナイトの変質を取り込んだ力学変遷モデルを提案した。

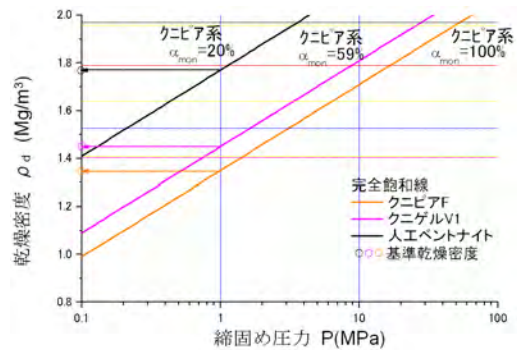


図-4 モンモリロナイト含有率の変化と力学特性変化

(3) 人工バリア性能評価解析の高度化

ベントナイトの変質に伴う化学変化と力学特性、物質移行の変化を連成させた解析手法について検討した。力学解析においてはこれまで考慮することが難しかった、変質に伴うベントナイト構成鉱物の体積変化の反映方法について、その考え方を提示した。一次元体系での連成では大きな影響はなかったが、検討すべき多くの課題を抽出した。

また、これまでの試験結果に基づいて条件設定を高度化した化学環境解析を行い（図-5）、その結果を基に核種移行計算を行った結果、これまでの評価¹⁾が十分に安全側の評価であったこと、ならびに、これまでの評価に内在した、化学環境及び設計が不確定なことに起因する種々の不確実性を低減できることを確認した。

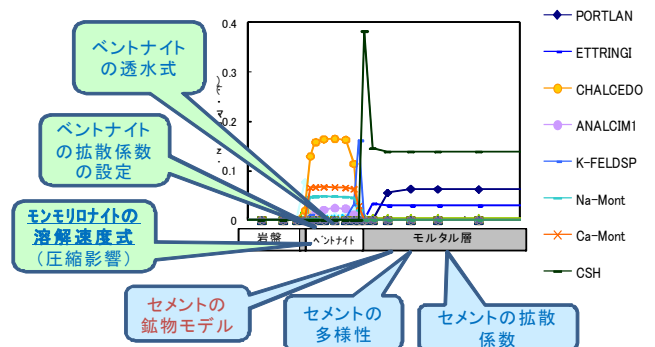


図-5 解析高度化の検討結果の反映

◇6 力年のまとめ

以下に各項目の主な成果を記す。

(1) セメント系材料の長期変質挙動の確証試験

1) セメント系材料の物質移行・力学特性変化に関する計算手法の高度化

多様な材料への対応のために、統一的な特性値の評価モデルとして、空隙構造モデル及び表面電荷モデルについて検討した。構築した空隙構造モデルにより、試料の物性値により拡散係数を算定でき、健全な試料の物性値から変質に伴った拡散係数を算定できる見通しを得た。また、Region3の拡散係数を変質試料で取得し、拡散係数の信頼性を高めた。なお、混和材を使用した FAC(フライアッシュセメント)、BFSC(高炉セメント)及びSC(シリカフェーム混合セメント)の硬化体も主要な水和物と溶解過程は OPC と同様であるため、C-S-H の拡散係数について検討を行えば、本モデルを適用できる。

表面電荷モデルは、水和物の細孔表面電荷を考慮した物質移行特性を解析するモデルであり、多様なセメントの拡散係数を統一的に算定するためのキーとなる手法を提示した。

力学特性値に関しては空隙率との関係により算定できるものと判断した。

2) セメント系材料の溶解変質モデルの構築に係わる試験

溶解変質試験により、BFSC や SC の変質において、これまでに OPC や FAC の変質で確認されている初期鉱物及び二次鉱物とほぼ同様であるという結果を得た。BFSC、SC 及び FAC における変質過程は、主に OPC 硬化体の C-S-H が溶解する過程 (Region3) での変質挙動であると考えられる。以上の点から、多様なセメント系材料の溶解変質解析は、OPC の変質解析に適切な鉱物設定を行い、変質の進行速度を考慮することで対応が可能と考えられる。

3) 経年コンクリート(アナログ試料)の分析

40~90 年程度経過した経年コンクリートの分析より、変質解析の基点のコンクリートの状態や経年コンクリートの溶解試験により変質過程の妥当性の検証を行い、変質解析への反映事項や今後の検討課題を抽出した。変質解析の鉱物設定及

び変質過程はこれまでの変質解析と大きく変わらないが、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が検出されない点及び熱影響による C-S-H の結晶化の進行が一部で起こり、溶解しにくい点が異なっていた。コンクリートの熱影響の温度推定値は 70~100℃であった。今後、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の消失及び熱影響による C-S-H の結晶化について、配合(骨材の影響)や温度の条件の把握が必要であり、TRU 処分概念で制限温度としている 80℃以下で C-S-H の結晶化が進行する場合は、変質解析の初期設定、物質移行の拡散係数及び分配係数等の物性値の設定への影響を検討する必要がある。

(2) セメントーベントナイト相互影響の確証試験

1) セメントーベントナイト接触供試体の界面近傍の分析

ベントナイトの接触面から深さ方向への変質状況(二次鉱物の生成等)を得るために、クニゲル VI の組成等を考慮し、パターンフィット法で Ca 鉱物の分離定量を実施した。全 Ca 量に対し、10%以上の Ca が含まれている鉱物種に関してはある程度の精度を持った定量値が得られた。C-S-H については、Ca/Si 比を特定する分析について詳細に検討した結果、XAFS 分析では分離ができないことが明らかになった。

また、薄片試料に直接ビームを照射する原位測定に、空間分解能の高いフォトダイオード1次元検出器を使用することによって、0.05mm 間隔の高分解能な XAFS 分析が可能になった。

2) 圧縮系でのベントナイトの溶解速度に関する試験

圧縮条件下で、アルカリ溶液中でのモンモリロナイトの溶解速度を in-situ で測定した。その結果、圧縮系での溶解速度は分散系より1桁以上遅くなることを確認した。これにより、これまで使われてきた分散系での溶解速度が安全側であるということが確認できたと言える。

溶解速度式を定式化するにあたり、式中に取り込まれる要素としては、化学的要因(ΔG の変化)の寄与はわずかであり、物理的要因(反応比表面積の変化の効果)が大きいことがわかった。

3) 粘土系材料の変質に関する天然事例の調査

Ca が含まれ、アルカリ性である温泉水の賦存

する地域でのナチュラルアナログの調査を行った。スメクタイトがゼオライトに変質、あるいはその逆の経路での変質の痕跡が観察された。変質にかかる時間については明確にできなかったため、地化学解析を行って評価した。PHREEQCを用いて500万年間のその場の岩石と水が反応したケースを設定して計算した結果、変質鉱物の組成はNa型及びCa型モンモリロナイト、サポナイト、Caゼオライトが共存することが示された。この結果は、安全評価におけるスメクタイトの変質が十分に保守的であることの傍証であると考えられる。

4) 力学・物質移動特性変化に関する試験

圧縮したベントナイト系材料の変質に伴う力学特性と水理特性の取得を、各種の材料について行った。完全飽和線、膨潤線、XRDによる2層膨潤状態含水比等のデータを取得した結果、力学特性としては、①Ca型化による力学特性変化の取得、②モンモリロナイト含有率の変化と力学特性変化の関係式を提示した。また、水理特性としては、①Kozeny-Carman式を導入し、比表面積とCa型化率、モンモリロナイト含有率の関係式を提示し、②内間隙、外間隙の調和平均形式透水係数と既往の透水係数実測値で整合することを示した。

化学・力学連成モデル試験に関しては試験を継続しているが、液種によるイオン影響とレラクゼーション影響が見られる。この現象の把握と、化学/力学平衡状態の遷移状況を示していくことが必要である。

(3) 人工バリア性能評価解析の高度化

1) セメント系材料の変質解析手法の高度化

セメント系材料の初期鉱物設定を実際に得られている鉱物を基に変更した結果、Al濃度の解析結果が再現されるようになった。また、二次鉱物についても改善し、現実的なセメント二次鉱物の設定を提案することができた。

物質移行に関する設定に関しては、拡散係数の検討及び(1)項で検討した拡散係数を採用した結果、限定的ではあるが、Caの移行の再現性が向上した。

2) ベントナイト系材料の変質解析手法の高度化

ベントナイト系材料の解析は、試験より解析の変質速度が非常に速いことが課題であった。速度に関しては、(5)項で得られたモンモリロナイトの溶解速度を用いることにより、不確実性が低減された。また、(7)項で検討したKozeny-Carman式の導入による透水係数の低減によっても、変質速度が遅く見積もられたが、液相濃度の影響が考慮されていないことが影響している可能性がある。

3) ベントナイト系材料の化学・力学連成モデル構築

一次元の解析体系を採用し、化学・力学とも同じメッシュで、一定時間経過後にデータを受け渡す弱連成解析を行い、連成解析の効果を検討した。受け渡したパラメータは、化学解析からはモンモリロナイト含有率とモンモリロナイトのCa型化の割合であり、力学解析からはモンモリロナイトの圧密変化による乾燥密度分布の変化である。

変質は、時間の経過と共に廃棄体接触部分で進行するが、Ca型化率を除いてほとんどが一層目のみにとどまる。化学解析では変質によって体積が減り、密度が低くなるが、力学解析による挙動を反映させることにより、内側からの応力がかかって、その密度が再分布される。これにより、変質の幅は狭められるが、その分健全なベントナイト部分の密度は低くなると考えられる。透水係数の変化は、連成の有無でわずかではあるが差があり、連成無しの場合には廃棄体に接する部分で透水係数が低くなる部分が見られるが、弱連成をした場合には変化がほとんどなく、連成により化学変質の進行が抑えられる効果があることが示された。

しかし、二次元解析で同じ傾向になるとは限らず、また、力学解析で固相の変化を考慮した解析方法についてもさらに検討する必要がある。

4) 人工バリアの変質解析（総合評価）

① 地化学解析による評価

前項までに示したモデルを採用した地化学的変質解析を行った。その結果は、透水係数は最内層の変化が大きく異なっており、基本ケース（これまでのモデルを使用したケース）に比べ変化が少ないと共に、基本ケースで見られた3万年付近の

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

変曲点も見られない。これは、採用した透水係数式が液相濃度（イオン強度）に依存しない関数であったことも原因と考えられ、今後検討する必要がある。

②核種移行計算による評価

①の設定に従って、人工バリアの不確実性低減を目的とし、核種移行計算を行った。人工バリアに関する効果を見ることを計算の目的としたため、主に、「人工バリアからの移行率」で結果を考察した。ほとんどのケースで人工バリアからの移行率は TRU2 次レポートの結果よりも低くなっており、より実際に近い設定での評価により、これまでの評価が尤度を持っており、安全側での評価であったことを示すことができた。

- 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

3-2 ガス移行挙動の評価

◇事業の概要

本事業は、「第2次 TRU レポート」¹⁾で提示されたガス移行挙動評価に関する課題を踏まえ、TRU 廃棄物処分施設内で廃棄体から発生する可能性があるガスについて、その移行に伴う多重バリアシステムの性能評価手法の不確実性低減を目指すものであり、現実的なガス移行挙動評価手法の構築に向けた検討を実施して TRU 廃棄物処分に係る人工バリアシステムの長期性能評価の信頼性向上等に寄与することを目的とする。具体的には「ベントナイト系材料中のガス移行特性の把握」に重点をおき、①ガス移行に関する材料特性データの取得、②モデル化・解析手法の高度化、③ガス移行挙動評価手法の構築を実施した。本年度については、6年間にわたる本研究の取りまとめもあわせて行った。なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成24年度 地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物関連処分技術 人工バリア長期性能評価技術開発(第2分冊)ーガス移行挙動の評価ー

◇平成24年度の成果

(1) ガス移行に関する材料特性データの取得

平成19年度に策定した実施計画及び平成20～23年度の成果に基づき、下記の調査研究を実施した。

1) ガス移行挙動特性（基本特性/寸法効果）評価試験

前年度までの試験より抽出された課題を踏まえ、ベントナイト系材料のガス移行試験における基本特性及び寸法効果の評価について、これに資するデータを取得して材料供試体内部の状況把握を行い、これに基づいて検討した。

本年度に実施したガス透気試験のうち、寸法効果の把握を目的として大型供試体（高さ200mm）を用いた試験（諸条件は表-1参照）にて、前年度の検討をもとに想定したガス注入圧において破過には至らなかった。しかし、事後の供試体解体に際し実施した含水比測定にて得られた供試体内部のプロファイル（図-1）より、ガス注入によって発生したとみられる構造として、透気フロントと考えられる含水比分布、及び圧密

によると思われるガス注入側から排出側にかけての緩やかな密度上昇を確認した。

2) 飽和・不飽和力学試験

ガス移行挙動に資する二相流挙動や力学連成挙動などの解析の高度化に際して重要なパラメータの取得を目的に、サクション制御が可能な力学試験装置を用いてベントナイト系材料のせん断試験を実施し、結果として前年度までに異なる拘束条件にて実施した試験結果と概ね整合する力学特性パラメータを取得でき、これまでのガス移行解析にて適用しているモデルの適合性を確認した。

表-1 大型材料供試体を用いたガス移行試験条件

ケース	供試体 内径/高さ	初期 膨潤圧	ガス注入圧 増加速度	最大 注入圧
24SG-1	60/200mm	0.3MPa	0.1MPa/2日	5.0MPa

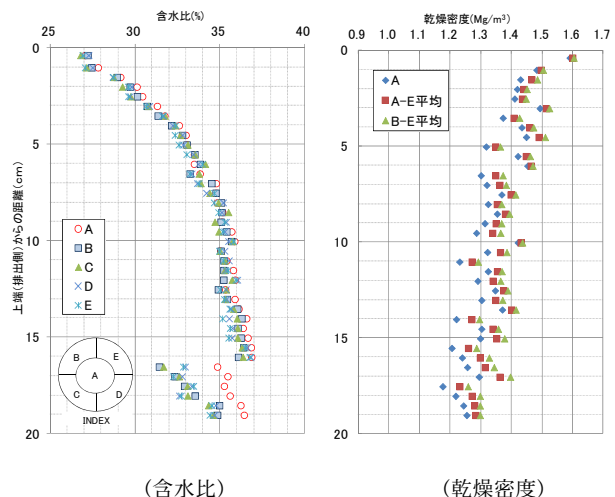


図-1 ガス移行試験（未破過）終了後の大型材料供試体の内部状況(ケース 24SG-1)

(2) モデル化・解析手法の高度化

1) 室内試験データによる検証計算

前年度までに取得した室内試験データ⁴⁾⁵⁾を対象に、圧力依存透過特性モデル及び力学連成モデルによる再現解析を実施し、膨潤・収縮の考慮による再冠水-ガス移行過程の再現及び力学連成の効果を評価した。このうち力学連成解析においては、ガス移行試験に係る諸条件をモデル化し（図-2）、ガス注入から破過に至るまでの過程でベントナイト材料に特徴的な内部変化を時系列的に再現できた（図-3）。

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

2) 施設の長期変遷を考慮したモデル化・解析手法の確立

昨年度に引き続き、化学連成事象に着目した検討として、金属腐食によるガス発生条件を考慮したガス移行解析を、さらに反応の温度依存性を考慮した解析へと展開することにより、より現実的なガス移行評価を可能とした。

3) ガス移行挙動データライブラリの構築

本年度に取得された二相流パラメータ及び構成モデルをデータライブラリに登録し、あわせてマニュアルを更新した。また本システムを利用できない PC 環境への対応を目的として、データシートベースとして整備を行った。

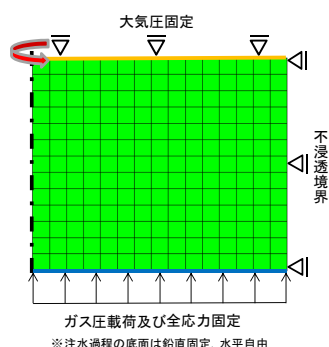


図-2 カ学連成を考慮したガス移行挙動解析モデル
(ベントナイト供試体、軸対称二次元)

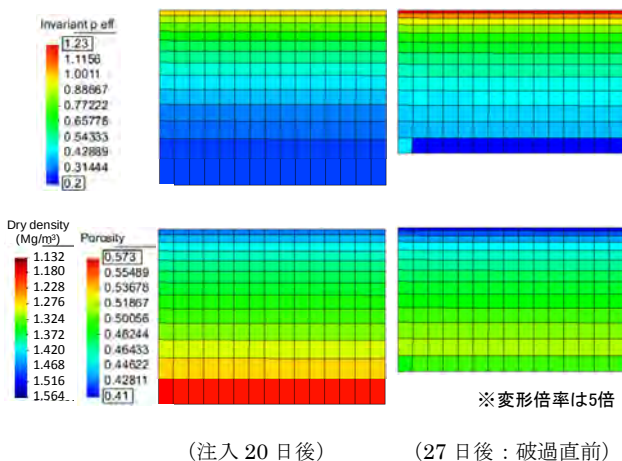


図-3 カ学連成解析結果の一例
(ガス移行試験において破過に至る供試体内部変化：
上段は有効応力、下段は乾燥密度及び間隙率)

(3) ガス移行挙動評価手法の構築

TRU 廃棄物処分に係るガス移行挙動評価手法の構築として、周辺岩盤を含む人工バリアの時系列状態変遷とそれらが有する不確実性を考慮したガス挙動評価シナリオを設定すると共に、

安全評価シナリオ設定のための手法を併せて整備した。シナリオ構築の前提となる時系列状態変化表に記述した内容については、第2次 TRU レポート¹⁾に用いた FEP リストを基本に最新の知見を集約し、根拠資料や統合 FEP 関連図(図-4)として別途取りまとめ、さらに今後の方針を探るための指標となる資料を作成した。

また、予備的な安全評価に至るまでの課題とその対応策について取りまとめた。時間的・空間的に増大する不確実性には、シナリオ・モデル・パラメータを組み合わせ、必要に応じ保守性を担保しながら対応する方策が考えられ、さらには要素試験と工学規模システム試験を実処分スケールでの境界条件・形状・寸法効果などを考慮して組合せることや、それらの結果を再現するモデルの整備が必要であることを示した。

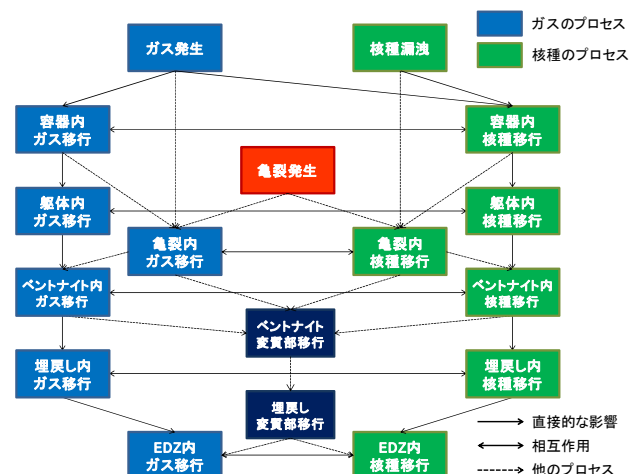


図-4 ガス移行挙動評価に係る統合 FEP 関連図

◇ 6 力年の取りまとめ

本事業では「事業の概要」中に示した背景及び目的に基づき大項目を設定し、実施に際しては作業項目間の連関を図って検討の効率化及び成果の高度化を目指した。図-5 に作業項目間の連関を示す。また実施においては、「人工バリア長期性能評価技術開発」のうち人工バリアの長期挙動の評価における成果や知見の反映に努め、ガス発生影響と人工バリア変遷との連成評価の必要性や可能性についても検討した。また検討に際しては国内の関連機関(JAEA, NUMO, 電力中央研究所等)や大学等研究機関との情報交換により効果的な遂行に努め、また海外の諸機関で進められている検

討における成果の反映に留意した。以下、項目毎に成果の概要及び今後の課題を示す。

(1) ガス移行に関する材料特性データの取得

ガス移行試験の手法の構築や実施に係るプロセス（飽和やガス移行）に当初の想定以上に時間を要したものの、緩衝材材料としてのベントナイトのガス移行挙動を確認することができ、解析モデル化に係る飽和-不飽和力学特性パラメータの取得及びモデルへの適合性が確認された。しかしながら、現段階においてはベントナイトを対象にした評価がなされたにすぎず、他の人工バリア構成材料へ展開する必要がある。また、ガス移行挙動を考慮した安全評価における課題解決の観点から、ガス発生（注入）の速度など移行に係る条件や想定されるシナリオを、具体的に設定した試験を実施する余地が存在する。

(2) モデル化・解析手法の高度化

着手の段階においては、解析・モデル化のための知見やガス移行挙動に係る試験データが国内外とも十分ではなかったが、本検討において膨潤収縮や力学連成を考慮した手法の構築を進めて高度化を行い、その成果をデータライブラリ上に蓄積した。しかしながら、シナリオの構築に資するようなモデル化手法や、ガスの発生条件や材料の諸条件のモデル化をさらに高度化

する余地、さらにはガス移行と長期的な力学挙動や化学変質を考慮した連成解析による評価への展開余地が存在する。

(3) ガス移行挙動評価手法の構築

周辺岩盤を含む人工バリアの時系列状態変遷とそれらが有する不確実性を考慮したガス挙動評価シナリオを設定したほか、安全評価シナリオ設定のための手法も併せて整備した。また、予備的な安全評価に至るまでの課題とその対策について取りまとめた。しかしながら、不飽和から飽和に移行する段階での現象理解や飽和後の人工バリアの状態変遷とガス移行挙動に係わる情報など、ガス挙動を評価する上で重要といえる知見がまだ不十分である。このため今後も国内外の研究動向に注目し、知見を拡充する必要がある。また、予備的な安全評価に向けた検討の成果を基とした、システムとして現象を再現した試験や現象理解を説明できるモデルの確立が課題である。

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

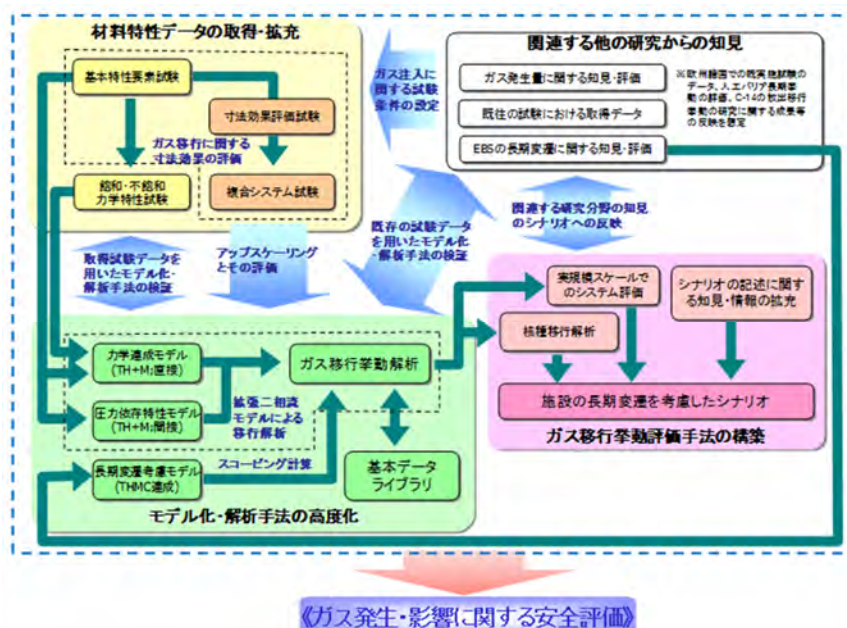


図-5 「ガス移行挙動の評価」検討における作業項目間の連関

4. ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発

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

4-1 ヨウ素固定化処理技術開発

◇事業の概要

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

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

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

①岩石固化体：廃銀吸着材を熱間等方圧加圧（HIP）

処理し、焼結体としたもの

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

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

これら 3 技術に対し、長期的なヨウ素保持性能評価を実施するとともに、固定化処理プロセス成立性に反映させるため、プロセスの整備を行った。

また今年度は平成 19 年度より平成 24 年度までの 6 年にわたる本事業の取りまとめを実施した。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

（報告書）平成 24 年度 地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物
処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開
発 報告書（第 1 分冊）－ヨウ素固定化処理技術開
発－

◇平成 24 年度の成果

(1) 岩石固化技術

岩石固化体のヨウ素放出に関わる素過程のうち、熱力学計算によりマトリクス溶解に影響する成分を抽出したところ、ベントナイトについては降水・海水系とともに問題ないが、セメントとの関係についてのみ Ca 影響による二次鉱物の析出可能性が認められた。AgI 溶解挙動については Fe^{2+} 還元環境下および HS^- 還元環境下での解析を行い、溶解速度式を示すことができた。

さらに AgI 溶解に影響を与える HS^- 濃度に関して長期浸漬試験を実施し、 HS^- 濃度が低ければ pH が高くともヨウ素は放出しないことを確認した。

pH をパラメータとする試験結果からはヨウ素放出速度とアルミナ溶解速度には相関が認められ、ヨウ素放出モデルに基づくシミュレーション解析とよく合致し、モデル妥当性が示唆された。このシミュレーションモデルを利用して硫黄濃度や空隙率の影響を検討し、ヨウ素放出モデル式を導出した。

また、従来 15% 程度であった空隙率に関して、HIP 前処理工程に着目し、残留水分量を低減する脱気制御を検討することで空隙率 5% を下回る緻

密固化体の製造に成功した。これにより、今後さらにヨウ素閉じ込め性の向上とモデル簡潔化が期待できる。

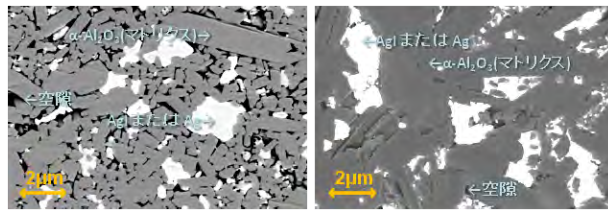


図-1 空隙率による岩石固化体の差異
(左：空隙率 15%，右：空隙率 4%)

(2) BPI ガラス固化技術

化学構造を提示するため、逆モンテカルロ計算の拘束条件として構成元素の EXAFS 振動を用い、構造モデル例を提示した。(図-2)

また、表面変質層の形成過程について STEM-EDS などによる固相分析を実施すると、低酸素雰囲気においても表面変質層はハイドロセルサイト に 帰 属 し、この炭酸根はベントナイト平衡水中の CO_3^{2-} に由来することが示唆され、地中処分環境においても同物質が形成されるとみられる。

OPC-および HFSC-ベントナイト平衡水を使用したマイクロリアクタ通水試験により BPI ガラスの化学親和力による初期溶解挙動は、既往の小型試験体などの浸漬試験結果と整合的であることを確認した。

BPI ガラス固化体からのヨウ素放出挙動評価モデルの妥当性を検討した。モンテカルロ・シミュレーションの感度解析により、結合パラメータは変質層の形成速度に、溶解度は変質層の厚さや密度に、S/V 比はガラスの溶解速度に、影響することが確認された。これらを勘案し、10 万年後の変質層厚さ予測は最大 2mm 未満と求められた。(図-3)

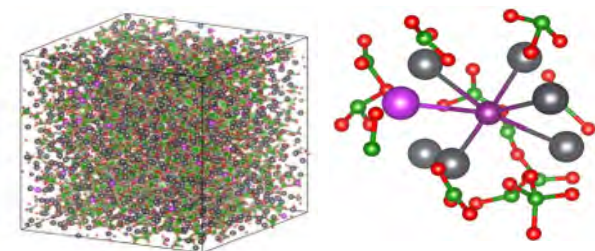
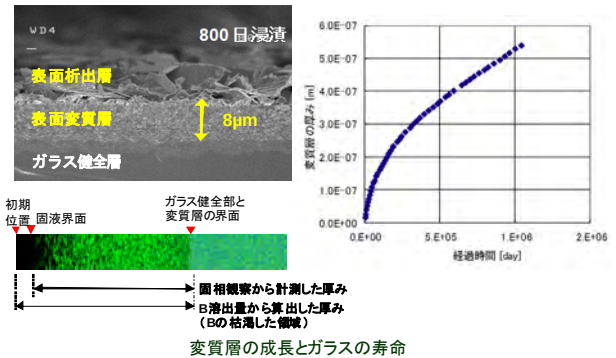


図-2 RMC 計算により得られた BPI ガラス固化体の構造モデル(左図)と局所構造の一例(右図)
(I：濃い紫、Pb：灰、Bi：明るい紫、B：緑、O：赤)



変質層の成長とガラスの寿命
●変質層形成の早いケースでも、10万年経過後の変質層厚さは最大2mm未満
●初期状態で割れが生じている場合でも、F 4mm以上のガラス片として存在していれば、10年以上の浸出期間が確保される見通しが得られることを示唆

図-3 モンテカルロシミュレーションによるガラス表面の変質挙動の解析例

(3) セメント固化技術

セメント固化体の溶解挙動に対する地下水成分の影響を把握するためセメント溶解試験を実施。ヨウ素を含有するエトリンサイトは、カルサイトの生成など、炭酸イオンや塩化物イオン等により溶解が促進されるため、海水や降水系地下水では、純水に比べて固化体寿命が短くなることが分かった。

◇ 6 年間の取りまとめ

(1) ヨウ素放出モデルのまとめ

各固化体のヨウ素放出モデルについて、論拠や仮定と合わせてまとめるとともに、ヨウ素放出モデルを処分システム全体の安全評価に適用させる際の課題についても検討した。これは、各固化技術の処分時の性能評価を通じた課題提示を目的として、第2次 TRU レポートで示された処分施設概念および地質、水理条件に対して、経過時間毎の廃棄体や人工バリアからのヨウ素放出(フラックス)を地球化学計算や核種移行解析で評価したものである。

1) 岩石固化体

アルミナマトリクスの溶解が制限されるため、幅広い地質環境のもとで長期のヨウ素放出抑制が期待できる。その一方で、マトリクス溶解とヨウ素放出の関係について、AgI の溶解挙動を取り入れた評価などが課題として挙がる。性能評価への取り込みについては、マトリクスは十万年間に亘って安定であり1%以下の溶解にとどまること

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

が分かった。マトリクスが溶解した分をヨウ素の放出を求める式に代入するとマトリクスの溶解とヨウ素の放出量が調和的ではないことが明瞭になり比較的早期にヨウ素が放出されることが分かった。

2) BPI ガラス固化体

ガラスの評価とヨウ素放出の調和性やその条件、表面変質層の形成などとの相関など、浸出機構含めたヨウ素放出挙動が明らかになりつつある。その一方で、浸出抑制の働きとしての変質層のキャラクタリゼーションや、非調和となる環境条件への対応が今後の課題となる。性能評価への取り込みについては、長期浸漬試験から求められる経験的な関係式を外挿すると、ガラス表面積とは無条件に性能目標である 10 万年を十分満足するオーダーであり最大被ばく線量は大幅に低減する。しかし、単純なガラス溶解速度による評価には、長期評価の観点から不十分である。このため、ヨウ素の調和溶解が長期に継続するという前提や、ヨウ素の溶出速度が低下する傾向が長期に継続することの論拠を示す必要がある。今後、現象論的なアプローチとしてガラスの変質層の形成過程と関連付けたモデルを構築しヨウ素浸出速度を評価することによって、BPI ガラス固化体の性能に対する信頼性を図ることが求められる。

3) セメント固化体

鉱物溶解の熱力学パラメータを任意に調整することで、試験データとの整合性を確認している。しかし、多成分系でのパラメータ調整の結果が、実際の物質の特性を示しているかどうかについては課題がある。性能評価への取り込みについて、セメント系材料－緩衝材変質解析を行い、緩衝材の変質がより進行すると考えられるセメント量が多い処分概念に基づいて解析評価を行っている。しかし、長期間の計算の途上で収束せず計算が止まり、十分な解析ができないケースがある。要因のひとつとして、実験の再現性を確認した熱力学データ（ヨウ素を含んだ鉱物及びヨウ素を含まない鉱物）を、既往の熱力学データと組み合わせ地化学計算を実施している点が考えられる。ヨウ素を固定化した鉱物、緩衝材、セメント系の鉱物などの鉱物群を液相中の元素を統一的に扱える熱力学データを作成する必要があるかもし

れない。その際、処分場環境下を模擬した条件について、特に、緩衝材との接触に伴う Si 濃度などが高い溶液の浸入とセメント固化体の変質について、留意して評価・解析する必要がある。

(2) 今後の開発戦略

1) ヨウ素放出モデルの高度化（科学的根拠の確立）

いずれの技術においても、ヨウ素固定化技術を実用化するためには、想定される地質環境条件下において、長期的なヨウ素放出挙動を予測する必要がある。また、10 万年以上の長期挙動を予測するためには、試験結果の単純な外挿だけでは、その性能及び根拠を示すには不十分であり、ヨウ素放出の評価モデルを構築し、その求められる科学的根拠を十分に説明する必要がある。

現状、3つの代替固化体のヨウ素放出モデルは、進捗や程度に多少の高低があるものの、短期のデータや加速条件におけるデータを用いることで構築することが可能となった。初期段階のモデルとして当初の目的達成が為されているが、より深いニーズや長期予測の適応性に対して十分なコンセンサスを得る必要がある。そのため、各モデルの説明性をより高めるためには、多角的な観点からの説明オプション、新しい解析・評価手法の提示を継続的に進めるとともに、長期浸出試験や多様な処分環境条件におけるヨウ素浸出特性データの取得・蓄積を継続し適宜モデルへ反映させることが重要である。

一方、各ヨウ素放出モデルを処分システムの全体評価（TSPA）へと応用させるためには、固化体材料（成分）と人工バリア材との相互作用や地質環境条件の適切な反映方法など、地球化学解析や核種移行解析との連性への課題がある。また、モデル検討において実施した試験条件は、特に還元条件など処分環境の想定に比べ、過度に保守的な条件設定である可能性が高い。評価の保守性を明確にするためにも、より現実的な処分環境を想定し、固化体の実寿命（性能）としての評価が今後期待される。

2) 固定化処理プロセスの成立性

ヨウ素固定化処理施設設計の概念検討に反映するため、取得したプロセスデータを反映し、各処理工程の条件等の検討結果を整理した。処理条

件等から、処理フローや運転条件の設定、主要機器リストの検討、施設の配置計画等について検討した。その際、2次廃棄物を含めて廃棄物発生量について検討した（表-1）。いずれの固化技術においても、廃棄物発生量は第2次 TRU レポートにおける想定よりも少なくなったが、2次廃棄物の取り扱いについて検討を要する。主要設備や運転管理条件などから、経済的な観点も踏まえた整理を行った。処理プロセスの成立性を評価するとともに、工学規模試験に必要な課題を抽出した。

上記を踏まえ、処理プロセスの成立性について検討した。いずれの固化技術においても、重大な欠陥など処理プロセスにおける成立性を阻害する要因は抽出されず、成立性の見込みは得られた。ただし、実廃銀吸着材の性状（放射性核種や放射能）によっては、プロセスの見直しなど必要になる可能性がある。

3) 固定化処理プロセスの工学規模試験、実用化を見据えた準備

処理プロセスの工業的成立性を示すため、特にスケールアップの観点から抽出された今後の検討項目に対し、対応策の検討およびその合理的な進め方を検討する必要がある。また、実廃銀吸着

材の特性の把握を行い、ハンドリング含めて品質管理方策に反映させる必要がある。さらに、原子力施設・活動としては、廃棄物のハンドリング、保管、輸送など全プロセスを通じ、従来は想定外とされた事象等も考慮し、すべての有意な影響についてリスク抑制とその継続的な取り組みが今後求められる。

4) 技術選定に向けた準備・検討

3つの代替固化技術に対する技術開発は、実用化やスケールアップを見据えた段階むけて進みつつある。開発事業の合理化のためには、近い将来、候補技術を選定し、特に処理プロセスの工学的成立性などの検証を行っていく必要がある。したがって、技術選定にあたってはこれまでの検討を踏まえ、処理プロセスと処分の安全性の両面からの検討・調整が必要であり、廃棄物発生者や処分実施主体など関係者との調整を行い、事業を進める必要がある。特に、今後の処分事業の進展を鑑みて、精密調査地区の選定や予備的安全評価などの段階において必要な固化体特性と性能目標、品質管理方策を含めた検討項目を整理するなど、技術選定へ向けた準備が今後必要である。

	リファレンス (セメント混練固化体)	岩石固化体	BPIガラス固化体	セメント固化体
廃棄体 サイズ	200L ドラム缶	Φ580×H870 (200Lドラム缶に Φ240×H260を9個収 納)	Φ430×H1340 (ユニバーサルキャニスタに Φ400×H200を6個収納)	Φ580×H870 (200Lドラム缶)
廃棄体 重量		約300kg (固化体: 30kg)	1,100kg (固化体: 1,000 kg=167 kg×6体)	約350kg
発生総 数	1520本	ドラム缶: 約470本 (固化体: 約4,200個)	ユニバーサルキャニスタ: 390本 (固化体: 約2,340個)	約1,350本
年間発 生数量		ドラム缶: 19本 (固化体: 168個)	ユニバーサルキャニスタ: 16本 (固化体: 96個)	約55本
2次廃 棄物		プロセス廃棄物 解体廃棄物 (廃銀吸着材からヨ ウ素を脱離させないため、2次廃棄物 に相当しない)	ヨウ素脱離後の廃銀吸着材 プロセス廃棄物 解体廃棄物	ヨウ素脱離後の廃銀吸着材 プロセス廃棄物の発生なし 解体廃棄物

表-1 廃棄物発生量

4-2 C-14 の長期閉じ込め技術の高度化

◇事業の概要

放射化金属廃棄物（ハル・エンドピース）に含まれる C-14 は、TRU 廃棄物地層処分における被ばく評価上の重要核種となっている。本事業では TRU 廃棄物の処分用廃棄体容器に関して、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長期間核種閉じ込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、長期閉じ込め型容器（以下、本容器とする）の開発を実施した。

本容器の核種の閉じ込め期間は、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 の初期濃度が約 1/1000 に減衰する 6 万年間を目標とした。平成 16 年度までに、本容器の基本設計に加え、その製作実現性及び長期閉じ込め性の考え方の整理及び確認試験を行い、コンクリート容器（図-1）及び金属容器（図-2）の各 1 体について、長期閉じ込め

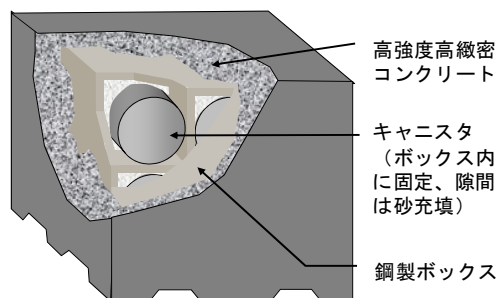


図-1 長期閉じ込め型コンクリート容器の概念図

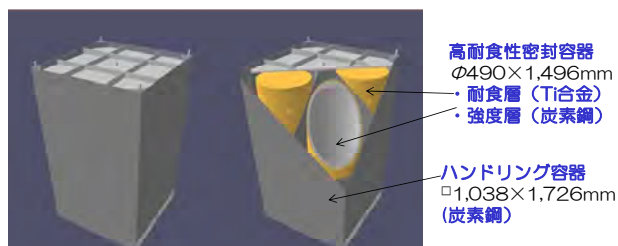


図-2 長期閉じ込め型金属容器の概念図

の信頼性について検討した。平成 17 年度以降は、長期閉じ込め性の担保のために、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及び品質検査に関わる非破壊検査方法に重点をおいた開発を実施した。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、平成 21 年度には、コンクリート容器及び金属容器について、長期閉じ込めの可能性について検討した。平成 22 年度以降は、閉じ込め可能性の信頼性向上のための検討を実施した。加えて、平成 24 年度には、主に平成 19 年度以降の 6 年間の本容器の開発成果に関し、基本設計、製作手法、品質検査及び長期閉じ込め性の観点からとりまとめを行い、容器の成立性、今後の開発課題の抽出及び開発戦略等について検討した。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

（報告書）平成 24 年度 地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 報告書（第 2 分冊）-C-14 の長期閉じ込め技術の高度化-

◇平成 24 年度の成果

(1) 長期閉じ込め型コンクリート容器

長期閉じ込め型コンクリート容器は、高強度高緻密コンクリートを使用することにより容器への水の浸透及び化学的な劣化を低減し、廃棄物と地下水が 6 万年間は接触を抑制することで、閉じ込め性を担保するものである。

高強度高緻密コンクリートの長期挙動を評価するための長期健全性評価モデル（長期評価は熱力学連成システム DuCOM¹）を適用）について、平成 23 年度までに確認した粗大空隙への水の浸透を考慮し、加えて、シリカフェームの水和モデル及びせん断抵抗降伏値の設定の検討をした。その結果、水浸透の解析結果が試験結果を過小評価していた点を改善し、長期健全性評価モデルの信頼性を高めた。上記の成果を反映した長期健全性評価モデルにより、6 万年間の水浸透化学劣化連成解析を実施した。その結果、6 万年間で水浸透深さは 50mm 程度、Ca 溶脱深さが 110mm 程度と予測された。

長期閉じ込め型コンクリート容器の製作方法は、打ち継ぎの目ない一体成型法を採用し、一辺

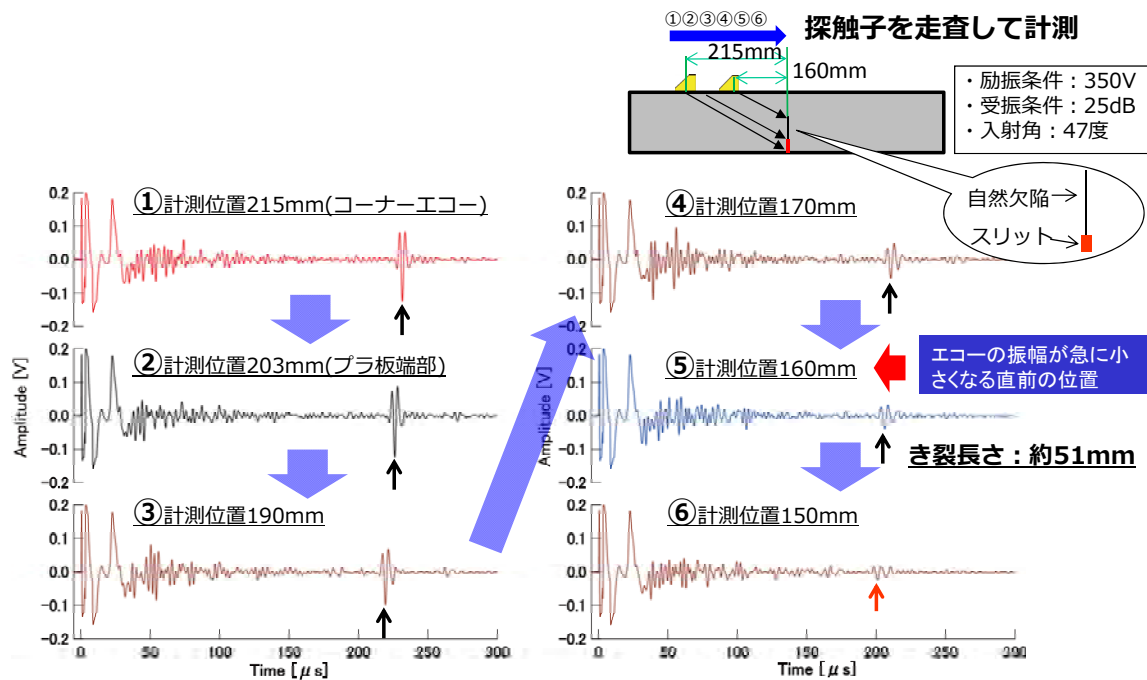


図-3 コンクリート試験体の自然欠陥のステップパルサー方式による超音波探傷結果

が 60cm 程度のスケールモデルにてその成立性を確認している。製作後の品質検査のために、容器の閉じ込め性に影響する、内在するひび割れ等の欠陥の有無を検出するための超音波探傷技術の開発を進めている。平成 23 年度までの検討では、高強度高緻密コンクリートのひび割れ探査には、従来のスパイクパルサー方式よりも広帯域の超音波を発振するステップパルサー方式の探傷手法²⁾の適用性が高いことを、人工欠陥(スリット状)の探査試験で確認している。平成 24 年度は、ステップパルサー方式の探傷手法について、現実のひび割れにより近い自然欠陥(曲げひび割れ)を導入したコンクリート試験体の探傷試験で、適用性を検討した。その結果、超音波の指向性の影響により、ひび割れのコーナーエコーとひび割れ端部(先端の)エコーの分離が困難であるが、探触子の走査によるエコー振幅の急落から、幅 0.06～0.07mm 程度のひび割れのサイジングの可能性あることを確認した(図-3 参照)。

(2) 長期閉じ込め型金属容器

長期閉じ込め型金属容器は、炭素鋼製の強度層の外側を高耐食性のチタン (Ti) 合金の耐食層で覆い、長期閉じ込め性を担保するものである。長期閉じ込め性は、初期の酸化雰囲気での隙間腐食および脱不動態化に感受性がないことを確認し

た上で、電気化学試験、自然浸漬試験の結果をもとに、還元腐食による減肉及び水素吸収に伴う応力腐食によるき裂進展をモデル化し、それらが Ti 合金の耐食層の厚さ (6mm) を超えないことで、担保すべく評価を進めてきた。平成 23 年度までに、容器製造で考慮すべき溶接・加工(冷間加工、熱処理)影響の要素試験をも行い、これまでの母材(一般部)に対する長期健全性モデルで評価可能であることを確認してきた。

平成 24 年度は、これまでの成果を整理・分析するとともに、長期健全性を阻害する可能性のある要因について、最新の文献の調査を行ない、知見を拡充することにより、長期健全性評価の信頼性を向上させるとともに、今後、その信頼性をより高めるための検討課題を抽出した。検討の結果、長期健全性モデルは、これまでの腐食に関する取扱いで長期閉じ込め可能性を示すことができた。具体的には、1) すきま腐食感受性を有さない材料を選定(Ti-Gr. 17(Ti-0.05Pd))し、2) 脱不動態化しないことを確認し、3) 不動態の保持による減肉は 6 万年間で mm オーダーと評価され、4) 水素吸収による水素化物層の生成厚さは 10 μm 以下で、脆性的なき裂きは生成しないと評価された(表-1 参照)。さらに、溶接・加工影響部に対しても、母材と同様に評価できることがわかった。

II. 放射性廃棄物の地層処分に關する調査研究

表-1 金属容器の長期健全性の評価結果

	総減肉量	不動態保持による減肉量	水素化物層の厚さ	水素に起因する応力腐食割れ
6 万年間の減肉量評価結果	1.767mm	1.766mm	0.807μm	発生しない

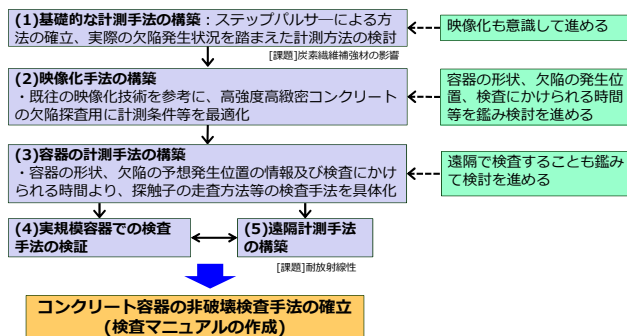


図-4 コンクリート容器の品質検査に関する開発戦略

◇ 6 力年の取りまとめ

(1)長期閉じ込め型コンクリート容器

コンクリート容器に関するこれまでの成果を基本設計、製作方法、品質検査及び長期閉じ込め性の4項目にわけて取りまとめた(図-6 参照)。基本設計については、図-1 に示す様に設計要件や目標とする性能を踏まえた容器の概念を示している。次に、製作方法については、前述の通り一体成型法の成立性を一辺が60cm程度のスケールモデルにて確認している。容器の実用化に向けては、基本設計や製作手法について、実規模容器の作製試験やその性能試験を行うことにより成立性を確認していく必要がある。

品質検査に関しては、平成24年度までのステップパルサーを使用した超音波によるひび割れ探査手法の検討より、幅0.06~0.07mm程度のひび割れのサイジングの可能性があることを確認した。今後、エコーの分離等の探査精度の向上に

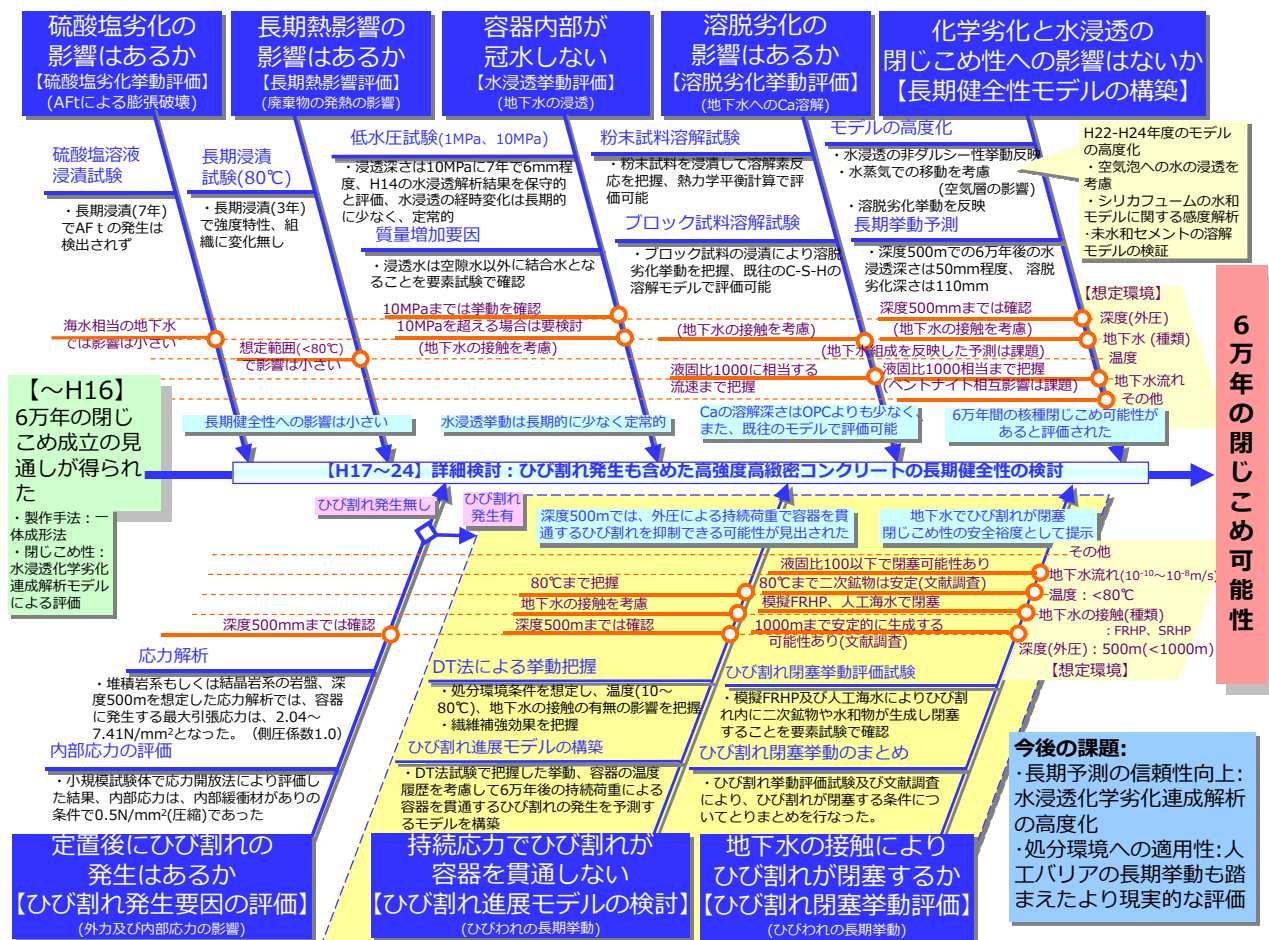


図-5 長期閉じ込め型コンクリート容器の長期健全性評価のまとめ

について検討することにより目標とする幅 0.05mm 以上のひび割れの探査が可能となると考えられる。実用化に向けては、今後の開発戦略として図-4 に示す様に、基礎的な計測技術の構築、検査結果の映像化手法及び容器計測手法の構築、実規模容器による検査手法の検証及び遠隔検査手法の構築の必要性がある。

長期閉じ込め性に関しては、平成 24 年度に実施した 6 万年間の水浸透化学劣化連成解析の結果及び平成 23 年度までの成果より、とりまとめを行った。水浸透化学劣化連成解析の結果、6 万年間で水浸透深さは 50mm 程度、Ca 溶脱深さが 110mm 程度、水浸透及び Ca の溶脱は、いずれも 200mm の容器厚さに達しないと予測された。6 万年間の予測結果と、平成 21 年度の中間評価における総合的な長期閉じ込め性の評価の結果と併せると、高強度高緻密コンクリートによる長期閉じ込めの見通しを示すものと評価した(図-5 参照)。容器の実用化に向けて、長期閉じ込め性の信頼性向上させるために、長期健全性評価モデルの水浸透モデルの水蒸気の挙動に関する検討、シリカフェームの水和モデルの検討及び Ca の溶解モデルの検討を今後の検討すべき課題として示した。

(2) 長期閉じ込め型金属容器

金属容器に関するこれまでの成果をコンクリート容器と同様に 4 項目わけて取りまとめた(図-7 参照)。基本設計については、図-2 に示す様に

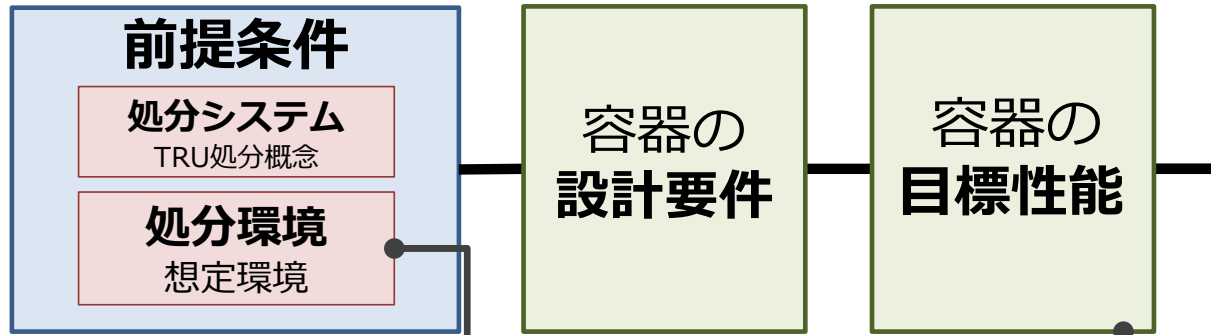
設計要件や目標とする性能を踏まえた容器の概念を示している。製作方法については、クラッド鋼板または焼きばめ、YAG レーザーまたは TIG 溶接による方法を抽出し、品質検査については、超音波探傷法を抽出している。容器の実用化に向けては、基本設計、製作手法及び品質検査について、今後、要素試験及び実規模容器の作製試験等により成立性を確認していく必要性がある。

長期閉じ込め性に関しては、6 年間の成果を元にとりまとめを行った。平成 24 年度までの長期健全性の検討成果より長期閉じ込め性が示され、溶接・加工影響部に対しても、母材と同様に評価できることがわかった。今後、すきま腐食における厚い被膜の生成の影響、腐食生成物の不働態被膜への影響、及び自然浸漬試験の継続による水素に起因する応力腐食割れの影響について検討することにより、長期健全性をより信頼性を高めることが可能と考えられる。

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

C-14の閉じ込め技術の高度化

コンクリート容器により6万年間地下水と廃棄物の接触を抑制

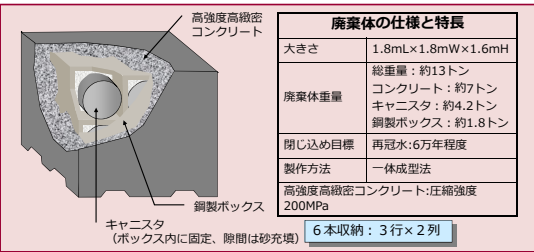


項目	本開発で基準とした想定環境	TRU処分技術検討書-第2次TRU廃棄物 処分研究開発とりまとめ-
深度 (外圧)	500m (5MPa)	~1000m 堆積岩系岩盤(13.5MPa) 結晶質岩系岩(5.4MPa)
地下水 (種類)	降水系地下水もしくは海水系地下水が容 器に接触(試験ではイオン交換水も使用)	同左
温度	最大80℃(廃棄物の発熱による) (地温35℃:深度500m)	セメント系材料の上限温度80℃
地下水 の流れ	流速:1cm/年(周囲岩の空隙率は1%) (試験・解析の暫定条件:液固比1000 (RegionⅢ))	透水係数 $10^{-10} \sim 10^{-8}$ m/s、動水勾配0.01等 (天然/バリア)⇒流速0.0032~0.32cm/s
その他	地震、地殻変動、隆起等は生じないものとする	緩衝材とセメントの相互影響

項目	目標性能	適応状況
1) ハンドリ ング性	廃棄体製作時及び輸送時のハンドリングには、廃棄体下部の脚部を利用し、クレーン及びフォークリフトを用いることとしている。ハンドリングの設備は、クレーン及びフォークリフトとし、遠隔操作によりハンドリングすることを目標としている。	廃棄体下部に脚部のある形状にしてクレーン及びフォークリフトによるハンドリングに対応
2) 廃棄体形状	処分施設に設置する際の空間利用率を考慮し、廃棄体の形状は角型としている。廃棄物の収納本数の目標は、バレル・エンドピース圧縮体キャニスタを6本とし、寸法は概略幅1.8m×奥行き1.8m×高さ1.6mとしている。	目標性能の各項目を満たし、目標の収納本数、形状に容器の設計をした。
3) 耐荷重性/ 重量	廃棄体重量は、ハンドリングの観点から、汎用設備で対応できる重量とし、概略20t程度と想定している。廃棄体を使用するコンクリートは高強度のものとし、処分時の段積み荷重に耐えられる設計としている。結晶質岩系岩盤に対して5 MPaの外圧(静水圧)に、堆積岩系岩盤に対して13.5 MPaの外圧(土圧)に耐える設計とした。	想定重量は約13 t、耐荷重性は応力解析により確認
4) 落下等に対 する耐衝撃性	落下等に対する耐衝撃性は、廃棄体がフォークリフトの取り扱い時に想定される高さから落下しても、内容物が飛散しないことを目標とし、必要に応じて、施設側の設計も考慮している。クレーンでの取り扱い時には、基本的には施設側に対策を施して、内容物が飛散しないことを目標としている。	落下解析により内容物が飛散しないことを確認
5) 耐震強度	本廃棄体では、保管時及び定置時に施設への固定は基本的に行わないが、想定される地震に対して、落下あるいは廃棄体同士の衝突により内容物が飛散しないように対策を施すこととしている。	上記落下解析より適応できる見込みを有する
6) 放射性核種 の閉じこめ性	放射性核種の閉じこめ期間(再冠水までの期間)は、C-14の閉じこめを目標として、C-14の10半減期に相当する6万年間としている。	右記参照
7) 放射性核種 の吸着性	放射性核種の吸着性は、コンクリート容器に使用しているセメント水和物の核種の吸着性能のみを期待することとしている。	—
8) 放射線遮へ い性	放射線遮へい性は、コンクリートの壁厚による遮へい機能を評価し、不十分な場合は、追加の遮へい機能を考慮することとしている。また、目標値は、遮へい体表面及び1mの線量当量率を2及び0.1mSv/hr未満としている。	輸送基準を満足するためには280mm 程度の鋼板の追加遮へいが必要
9) 熱的特性	廃棄体が暴露される温度は、80℃以下になるように設計することとしている。これは、セメント水和物の変質が少ないと予想されるためである。	単位処分坑道長さ当りの発熱量を評価し人工バリア材料に有害な影響を与えないと評価
10) 耐燃性	本廃棄体は、不燃性材料であるコンクリート及びモルタルを使用する。これらを用いることにより、耐燃性は確保できると考えている。	—
11) ガス透過 性	ガス透過性については、放射線分解や腐食によるガス発生挙動を把握し、ガス圧に対して構造上問題がないことを確認することとしている。	発生するガスはわずかで、鋼製ボックス内に留まるため、廃棄体に有害なひび割れは発生しないと判定した。

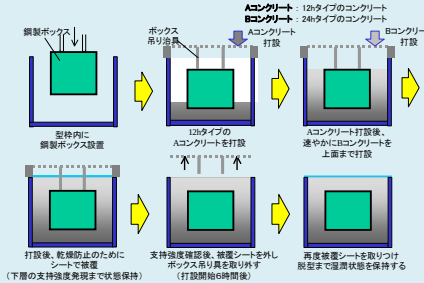
基本設計

- ◆ 高強度高緻密コンクリートの適用
 - ◆ 容器形状(構造計算、落下解析、ガス影響、外圧の影響、ハンドリング性)
- 実用化に向けて:実規模容器での性能確認、適応性の確認(想定環境⇒実処分環境)



製作方法 一体成型法

- ・水みちとなる打ち継ぎ目及びひび割れのない容器の製作
- ・1/3スケールモデルによる製作手法成立性の確認

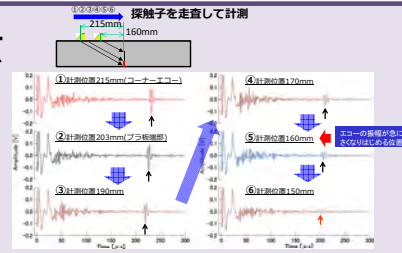


今後の開発課題

- 実規模での一体成型法の成立性確認
 - ・実規模製作試験
 - ・製造マニュアルの作成
- 遠隔製作手法
- 内部緩衝材(鋼製ボックスとコンクリート間に設置)及び補強繊維(高強度高緻密コンクリートに添加)の素材選定

品質検査 超音波探傷法
(製作後)

コンクリート内部の閉じ込め性に影響を与えるひび割れ検査に、ステップパルスによる探傷法の適用性を確認



- 超音波探傷による非破壊検査手法の構築
 - ・ステップパルスによる探傷法確立
 - ・探傷結果の映像化手法
 - ・容器の探傷手法
 - ・実規模での検証/遠隔検査手法
- 検査で欠陥を検出した容器への対処方法
- 容器の総合的な品質検査方法

長期閉じ込め(健全)性

水の浸透挙動

化学的安定性

硫酸塩劣化

長期熱影響

Caの溶解

試験により影響が少ないことを確認

水浸透化学劣化連成解析による評価

高強度高緻密コンクリートの水の浸透が、6万年で容器厚さ200mmを超えないことを、止水性に影響が懸念される劣化現象を考慮して評価

- 長期予測の信頼性向上(水浸透化学劣化連成解析の高度化)
 - ・シリカフェームの水和による空隙形成の最適化
 - ・水蒸気での水の移動に関するモデルの最適化
 - ・Caの溶解モデルの高度化、二次鉱物の生成反応モデルの導入
- 処分環境への適用性:人工バリアの長期挙動も踏まえたより現実的な評価

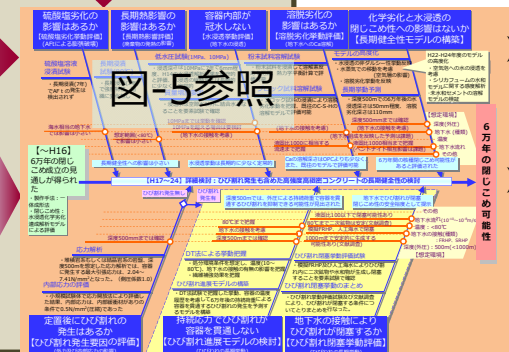
ひび割れ長期挙動

ひび割れ進展

ひび割れ閉塞

長期持続応力によるひび割れ進展の抑制を確認

閉じ込め性への安全裕度として見込む

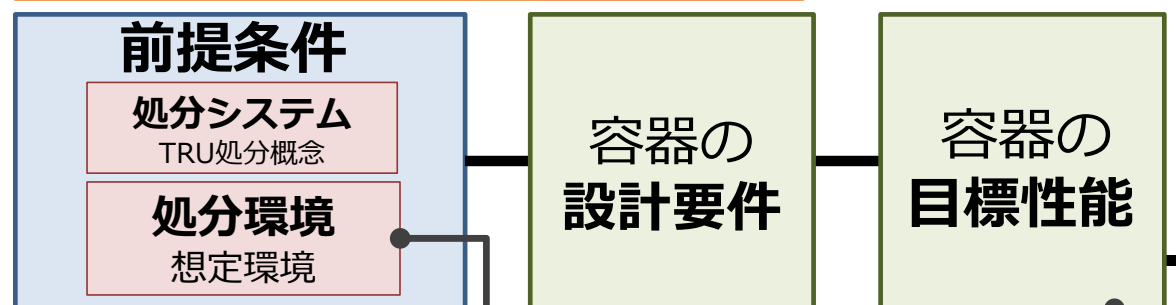


- 長期閉じ込め性の評価
- 検討成果からの適用範囲のまとめ

図-6 長期閉じ込め型コンクリート容器のとりまとめ

C-14の閉じ込め技術の高度化

金属容器により6万年間地下水と廃棄物の接触を抑制



項 目	本開発で基準とした想定環境	TRU処分技術検討書-第2次TRU廃棄物処分研究開発とりまとめ-
深度 (外圧)	500m (5MPa)	～1000m 堆積岩系岩盤(13.5MPa) 結晶質岩系岩(5.4MPa)
地下水 (種類)	降水系地下水もしくは海水系地下水が容器に接触(試験ではイオン交換水も使用)	同左
温度	最大80℃(廃棄物の発熱による) (地温35℃：深度500m)	セメント系材料の上限温度80℃

	要件	開発結果
1) ハンドリング性	◎ クレーン、フォークリフト何れを使用する場合でも対応可能とする。 △ 密封容器の健全性は確保されるため、閉鎖後、約100年間の再取り出しには対応可能とする。	インターフェースはクレーンの場合ツイストロック(ISO金具)、フォークリフトの場合はフォークポケットを使用。ハンドリング容器と密封容器の間はけい砂であるため、再取り出し時のハンドリング容器と密封容器との分離は容易である。
2) 廃棄体形状	◎ 幌型断面坑道、円形断面坑道に関しては処分システムを検討する。サイロに関しては、熱解析の結果から大規模空洞が成立しないことを確認。小径サイロの場合は他の坑道方式と比較して経済性が著しく低下することの判断から検討しない。	処分施設に設置する際の空間利用率を考慮し、廃棄体の形状は角型とした。廃棄物の収納本数は、ハル・エンドピース圧縮体キャニスタを4本とし、寸法は概略幅1m×奥行き1m×高さ1.75mとした。
3) 耐荷重性/重量	◎ ハンドリング容器にて閉鎖までの耐荷重性(4段階の段階積み荷重を想定)を担保する。 △ 閉鎖後約100年間の再取り出しに対応可能とする。長期健全性を開発目標に置くため、設計値として外圧5.4MPaに耐えうる構造とする。	廃棄体重量は、ハンドリングの観点から、汎用設備で対応できる重量とし、概略6.5t程度と想定した。ハンドリング容器の座屈荷重は243tであり、廃棄体容器3体分の荷重(19.56t)では、弾性域の座屈が生じないことを解析により確認した。
4) 落下等に対する耐衝撃性	◎ フォークリフト取扱い高さから、万一の落下を想定した場合でも密封容器が健全であることを目標とする。落下解析により検証することとし、落下高さは、容器4段階積み最上段からの落下を想定して $1.74 \times 3 = 5.22\text{m}$ 、余裕を見て5.5mとする。	落下高さから剛床に垂直落下または傾斜落下する事象を想定し、ハンドリング容器ごと、または密封容器単体が落下した場合を解析した。結果、いずれの場合も密封容器の強度層に破断は生じず、その健全性が保持されることを確認した。
5) 耐震強度	× 一時保管及び定置時に、廃棄体を固定しない。一時保管時、定置時の転倒モーメントについてのみ検討する。	想定される地震に対して転倒モーメントを算出し、ハンドリング容器が地震時に転倒しないことを確認した。
6) 放射性核種の閉じこめ性	◎ / △ C-14の閉じ込めを目指し、6万年の閉じ込め性を目標とする。また、設計寿命として6万年以降の容器健全性についても概略の検討を実施する。	右記参照
7) 放射性核種の吸着性	× 閉じ込めによる核種移行遅延を目的とした容器であり、吸着性は期待しない。	－
8) 放射線遮へい性	◎ 遮へい機能を考慮しないため、廃棄体表面及び1m線量当量について算定し、補助遮へいの必要厚さを検討する。設計目標は、IAEA輸送容器基準の半分と考え、次に示す値とする。	作業員による直接作業の余地を残しておくため、廃棄体は遮へい容器に収納して搬送することとしていた。補助遮へい体表面及び1mの線量当量率を 1mSv/hr 以下及び $50\mu\text{Sv/hr}$ 以下とする場合の、内部搬送に必要な遮へい容器の板厚を34cm(炭素鋼)と算出した。
9) 熱的特性	◎ 廃棄体容器本体材料の耐熱温度が、発熱温度以上の材料を選定する。 ◎ 各人工バリア材の耐熱特性(セメント系: 80°C 、ベントナイト系: 100°C)を考慮した熱解析を実施し、定置レイアウトを検討する。	基本的に無機材料を使用することで対応した。結晶質岩、堆積岩に関して接続空洞モデルによる熱解析を実施し、廃棄体周囲の充填材(モルタル)の温度が 80°C を越えない定置レイアウトを確認、選定した。
10) 耐燃性	◎ 不燃性材料から材料を選定する。	原則として不燃性材料を利用することで不燃性を確保した。
11) ガス透過性	△ 密封構造の金属容器であり、ガス透過性を考慮しない。	－ (外圧を考慮した耐圧容器でありガス発生による内圧上昇は強度的に安全側の現象である。ただし発生するガスの性状によっては、材料腐食を検討する必要がある。)

○：該当する設計要件を必ず検討し、設計の目安を廃棄体開発に反映・満足する事項。
 ◎：該当する設計要件を必ず検討するが、設計の目安はあくまでも目安とする事項（必ずしも目安を全て満足しなくてもよい事項）。
 △：該当する設計要件の検討の実施については選択できるが、設計を実施する場合は、目安とする事項。

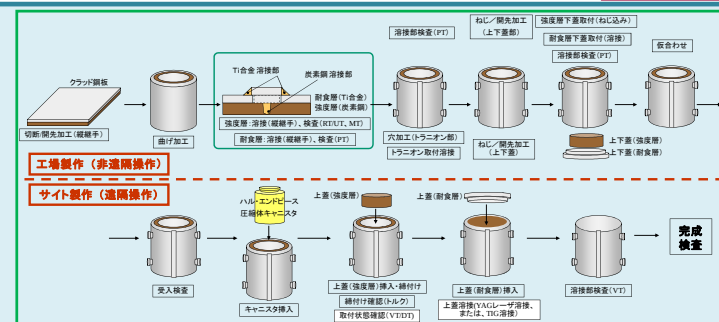
基本設計

- ◆ 耐食層へのチタン合金の適用
- ◆ 容器形状（構造計算、落下解析、外圧の影響、熱的特性、放射線遮へい性、ハンドリング性）



製作方法

(クラッド鋼板
または焼きばめ、
YAGレーザーま
たはTIG溶接によ
る方法を検討)

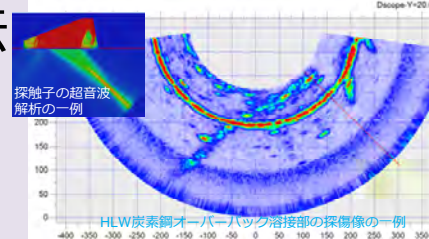


今後の開発課題

- **実規模製作試験**
 - 溶接条件の最適化
 - 製造マニュアルの検討に資する知見
- **遠隔製作手法**

品質検査 超音波探傷法
(製作後)

適用性の高い方法として、HLW炭素鋼
オーバーパック溶接部向けに開発された超音
波探傷法(フェーズドアレイ法、クリーピン
グウェーブ法等の組合せ)を抽出



- **耐食層／強度層の境界面からのエコーの分析**
- **高減衰材に対する探傷条件の最適化**
- **遠隔化を踏まえた具体的な探傷要領**

長期閉じ込め(健全)性

すきま腐食

酸化性環境

Pd添加により防止
できることを試験
にて確認

不働態保持による減肉

酸化性環境

還元性環境

皮膜破壊時の再不動
態化も含め、電気化
学試験にて減肉量
(i_{pass})を確認

水素に起因する 応力腐食割れ

還元性環境

電気化学試験(加速試験)
と自然浸漬試験により、
モデル構築のためのデー
タを取得

既存知見と試験結果より、想定環境下における割れ進展モデルを構築

6年間の腐食減肉およびき裂進展が、耐食層のチタン合金部分の厚さ(6mm)を超えないことを、電気化学試験、自然浸漬試験結果を踏まえた健全性評価モデルにて評価。溶接・加工影響が殆ど無いことも確認。

- **想定環境に対する試験環境の妥当性の確認**
 - 試験方法
 - 水素化物生成形態 etc.
- **健全性評価モデルの信頼性向上に向けた試験データの拡充**

	総減肉量	不働態保持による減肉量	モデルによる水素化合物層厚さ	水素に起する応力食割れ
Case ③	60000年:	60000年:	60000年:	60000年:
詳細熱解析に基づく温度履歴	1.767 [mm]	1.766 [mm]	0.807 [μ m]	発生した

- 長期閉じ込め可能性を確認
- 検討成果から適用範囲をとりまとめ

図-7 長期閉じ込め型金属容器のとりまとめ

4-3 放射化金属廃棄物中の C-14 放出挙動評価

◇事業の概要

放射化金属廃棄物（ハル・エンドピース）に含まれる C-14 は、TRU 廃棄物地層処分における被ばく評価上の重要核種である。C-14 の半減期は約 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。

本事業の目的は、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である。

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ため、処分環境における腐食挙動について検討を加えた。

また今年度は平成 19 年度より平成 24 年度までの 6 ヶ年にわたる本事業の取りまとめを実施した。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

（報告書）平成 24 年度地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 報告書（第 3 分冊）－放射化金属廃棄物中の C-14 の放出挙動評価－

◇平成 24 年度の成果

(1) C-14 のインベントリの合理的設定方法の検討

放射化金属中の C-14 インベントリを合理的に設定するため、使用済み燃料に関する公開情報に基づいて実施したインベントリ評価結果を整理した。この評価では現実的・合理的なデータ・手法を採用することで、瞬時放出と想定されている酸化膜中のインベントリが低減できる

などの効果が認められている。本年度はインベントリ評価の不確実性や課題を整理し、発電所運転管理記録や燃料集合体の仕様など実際の情報を反映させることや、中性子束分布や燃料付着率など R&D によって精度や信頼性の向上の必要性等について取りまとめた。

(2) 放射済み被覆管（BWR）からの C-14 放出挙動と化学形態

放射化金属から液相及び気相へ浸出する C-14 の量は非常に小さく、化学形態の分析が困難である。今年度、気相中及び液相中有機 C-14 の化学形態同定に向けた分析手法高度化を検討した。

照射済み STEPⅢ被覆管（BWR 燃料の高燃焼度化を段階的に図った燃料）の浸漬試料を対象にした気相回収の検討では、CO₂ を含む空気を用いることにより、回収率を 87.2±0.6% にまで改善できた。気相中における無機成分と有機成分の分析手法として、CO₂ と CH₄ を分離回収する手法についてコールド試験により検討し、酸化炉の前後にアルカリトラップを設置することで両者をほぼ分離回収できる見込みを得た。

また、液相に放出される C-14 は低級有機化合物と想定され、高速液体クロマトグラフ（HPLC）のピークからのみ同定していた。そこで、HPLC 分析手法の改善（化学種分析手法の改善）、化学種グルーピング手法及び化学種構造同定のための分析手法を考案した。

HPLC 化学種分析手法の改善では、溶離液通液速度、カラム温度、カラム本数（理論分離段数）をパラメータとした比較試験を行い、最適な条件を選定した。有機 C-14 標識化合物を用いた分離分析を実施し、ギ酸・酢酸・メタノール・エタノールをそれぞれ分離できる見込みを得た。（図-1）

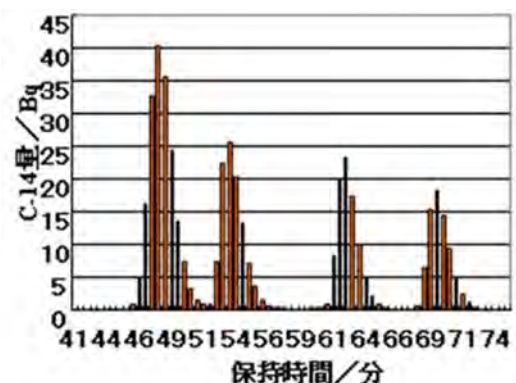


図-1 HPLCによるC-14クロマトグラフ

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

イオン交換樹脂を用いたグルーピング手法と改善した HPLC 分析を組み合わせた分析手法の提案を行い、想定される妨害核種の挙動を検討、C-14/妨害核種混合溶液での分析手法適用性評価を行い、HPLC 分離回収液の妨害核種濃度に応じ、湿式酸化法による C-14 抽出操作を組み合わせることで C-14 化学種分析に適用できる見込みを確認した。

また、化学種構造同定のための分析手法の調査では、種々の分析手法について調査を行い、HPLC 等を用いた化学形態分離の後、質量分析法を組み合わせることにより分子量測定結果から化学種を推定できることを確認した。

(3) ジルカロイの腐食挙動評価

ジルカロイの長期腐食挙動の予測については、地層処分環境となる低温においてジルカロイの腐食は非常に遅いため、低温の腐食試験だけでは、非常に不確実性が高い。

そこで、加速条件となり得る高温での知見の活用が期待し、想定される地層処分環境において被覆管材料を用いた腐食試験を行い、腐食式の適用性について検討を行った。これまでに得られている低温での腐食試験結果を基に、腐食式の適用性について予想的に評価を行ったが、高温腐食式に基づく予測に比べて実際の低温腐食量のほうが1～2桁程度大きい。また、速度定数は、高温腐食式よりも低温腐食試験の方が大きく、活性化エネルギーは、高温腐食での活性化エネルギーの約2分の1となった。

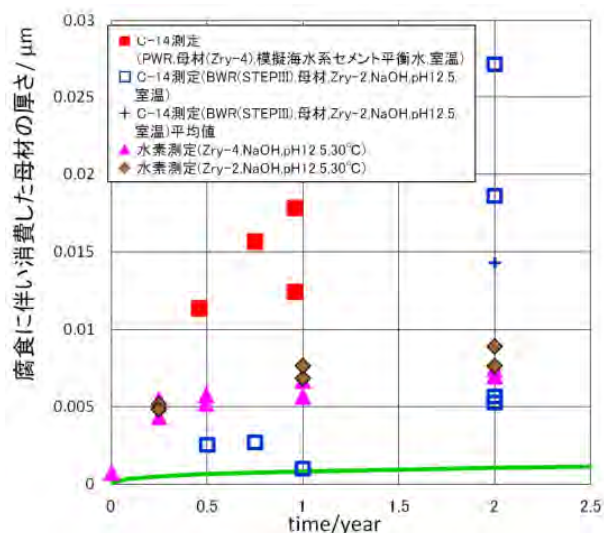


図-2 C-14浸出試験と腐食試験結果の比較

今年度は高温腐食式の低温への適用性に関して、乖離の原因として考えられる理由と確認すべき項目を表1に整理した。この表に基づき、高温の知見やこれまでの試験結果(図-2)を用いて考察を行い、高温の腐食式等を基に各影響の加速係数を暫定的に求めた。30℃条件の場合、高温の腐食式から pH(もしくは NaOH)の影響として約7.4倍、照射・水素化の影響として約2.4倍と求められた。

◇6カ年の取りまとめ

(1) ソースターム評価

ハル・エンドピース中の C-14 インベントリについては、実測データを一部取得することに加え、廃棄物の性状や発生量に関する情報を公開情報に基づいて入手することで、これまでの評価と比較して詳細かつ現実的なインベントリを提示することができた。インベントリ評価に必要な課題として、廃棄物特性や形状・化学組成を含めた材料の特性を十分に把握することの重要性が分かった。また、C-14 以外の核種については、核種移行や発熱の観点を含めて、評価の必要性を判断していくことが重要であり、特に、C1-36については、金属中の不純物塩素濃度を正確に把握することにより、インベントリを大きく低減できる可能性がある。

長期腐食(C-14 浸出挙動)の予測については、BWR 照射済み被覆管による長期の試験計画を策定・開始し、一部の C-14 浸出データを取得した。放射化金属から放出される C-14 の化学形態に関しては、気相や有機・無機形態の割合については、ホット試験データを一部得られている。

以上のようなこれまで得られた成果に基づいて、被ばく線量などを行うためのソースターム評価を行った。C-14 インベントリについては、ORIGEN による放射化計算の結果を用いた。また、C-14 の浸出速度については、金属材料の腐食速度を用いた。処分環境における腐食予測を行う式としては、これまで得られた試験結果及び高温の知見を活用し、4通りの長期腐食予測式を提案した。(図-3)

(2) 被ばく線量評価

放射化金属からの C-14 及び C1-36 の挙動につ

表 1 高温腐食式と低温腐食試験の差異が発生する原因と検証方法案

No.	項目	優先度	状況	試験案	確認方法	備考	優先順位
1	低温試験結果は初期段階のため1/3乗則の腐食進捗領域に未達（ジルカロイ遷移前腐食は初期 $W=kt^{0.5}$ 、徐々に $W=kt^{1/3}$ へ推移）	高	H-3利用に関する手法検討	酸化膜形成済み試料を用いた腐食試験	Hillner式に立脚し、酸化膜厚と時間関係より導出・評価	仮説によれば長期経過後、高温腐食式の傾き（活性化エネルギー）と同等に推移	1
2	2つ以上の腐食機構が存在し、高温と低温で支配的な腐食機構が異なる（低温の腐食量が大きくなるメカニズムがある）	-	他の試験結果から考察	-	-	仮説によれば長期経過後、高温腐食式の傾き（活性化エネルギー）と同等に推移	-
3	高温と低温で酸化膜の性状が異なる（合金元素、結晶構造）	高	数～数十nmの酸化膜分析方法の適用性確認	低温試験（純水、NaOH）および中温試験、（高温試験）	酸化膜の分析（各条件で生成する酸化膜を比較）	高温と低温の生成皮膜が同形状ならば腐食反応式は等価	2
4	低温で生成した酸化膜は非常に薄く、圧縮応力が弱い（高温のジルカロイ腐食は酸化膜中の酸素拡散に依存。酸素拡散は酸化膜の成長に伴い発生する圧縮応力の影響により1/3乗則となる説あり、徐々に1/3乗則に近づく）	-	他の試験の結果から考察	-	-	-	-
5	高温と低温で腐食反応式が異なる（ $\text{ex-ZrO}_2 \rightarrow \text{ZrO}_{1.5}$ ）	-	No.3の結果から判断	-	酸化膜の分析（方法について検討が必要）	-	-
6	高温と低温で腐食反応式は同じだが、腐食速度を決める律速過程が異なる	-	他の試験の結果から考察	-	-	-	-
7	高温と低温で腐食生成物（酸化膜）が異なり、酸素の物質移行挙動が異なる	-	No.3から考察する	-	-	-	-
8	水素吸収（水素化合物）量による影響（水素固溶限界は温度依存。低温ほど小さいため、析出量は低温ほど大きい）	中	試験的には今年から可能	水素化合物含有試料を用いた腐食試験	水素吸収量と温度をパラメータとした腐食量、速度定数の比較	-	4
9	材料組成の違い	低	高温ではほとんど影響なし	現行材と旧材料を用いた腐食試験	腐食量、腐食速度の比較	・Zry材は過去の材料と比べ、現行の材料は材料組成（添加元素の配合比）や熱処理（析出物の微細化）などが改善され、高温での耐食性が向上	7
10	熱処理条件の違い	中	$\Sigma \Delta i$ は被覆管よりも1桁程度大きいので耐食性が悪い	-	金属中の析出物の粒径を分析	金属中の析出物粒径に依存して酸素のバルク拡散係数が異なる（拡散係数が極大値となる粒径範囲が存在する）	5
11	試料表面状態の影響	低	No.1で判断	-	-	-	-
12	腐食量換算指標の違い（高温は腐食増量、低温は腐食に伴い生成する水素量）	高	中温での試験を実施	中温でのアンブル試験	腐食増量および水素量からの換算腐食量の比較	-	3
13	溶液条件の違い	中	高温と同じ純水条件での試験を開始	純水条件での腐食試験	NaOH試験結果との差異	-	6

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

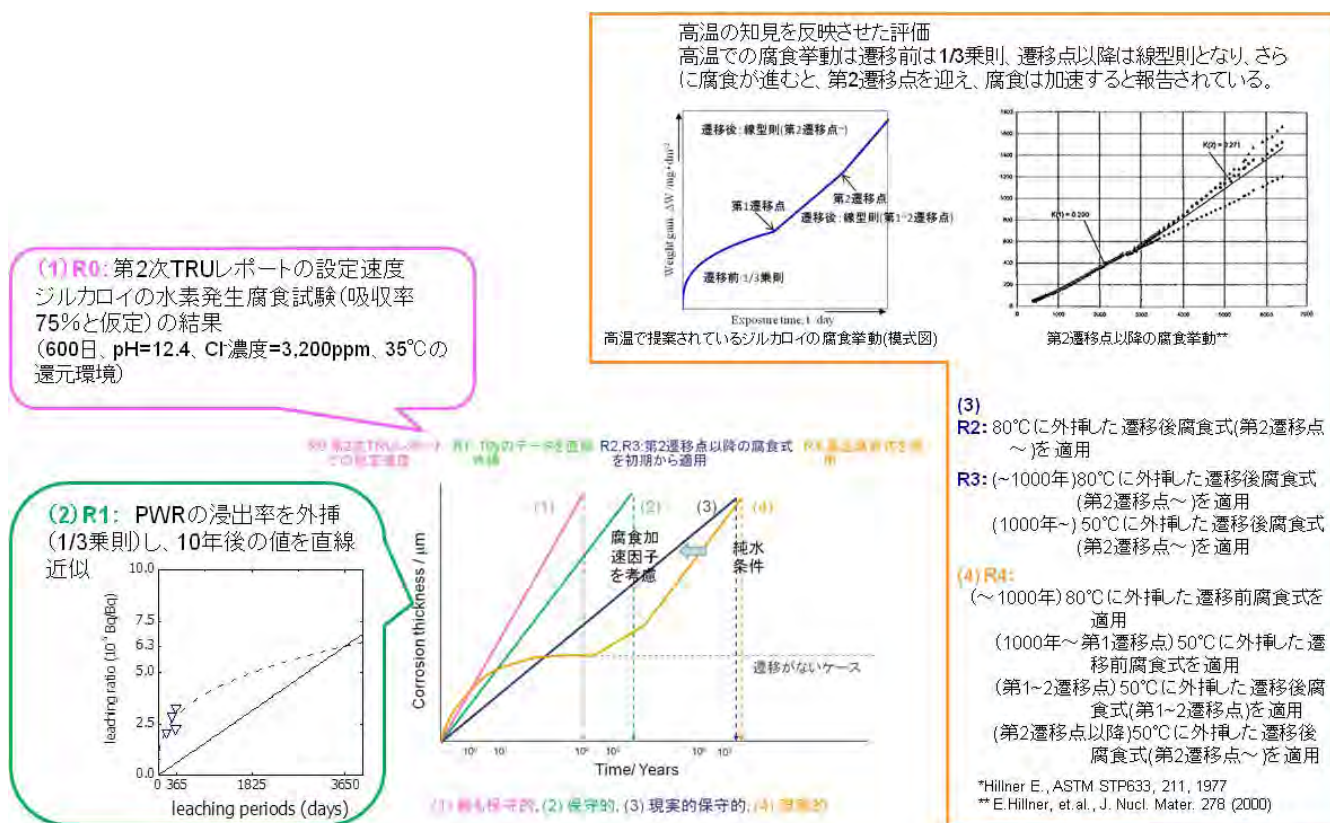


図-3 腐食速度(核種浸出率)の設定・評価の考え方

いて、第2次TRUレポートから本事業において新たに得られた知見をもとに、インベントリ及び現実的な腐食挙動(ジルカロイ、ステンレス)を組み合わせで見直しを実施した核種移行解析を行った。

最大被ばく線量をTRU-2の結果と比較したところ、C-14で約1桁、Cl-36で3桁程度低減した。C-14については腐食挙動の見直し、Cl-36はインベントリ見直しによる影響が大きいと考えられた。(図-4)

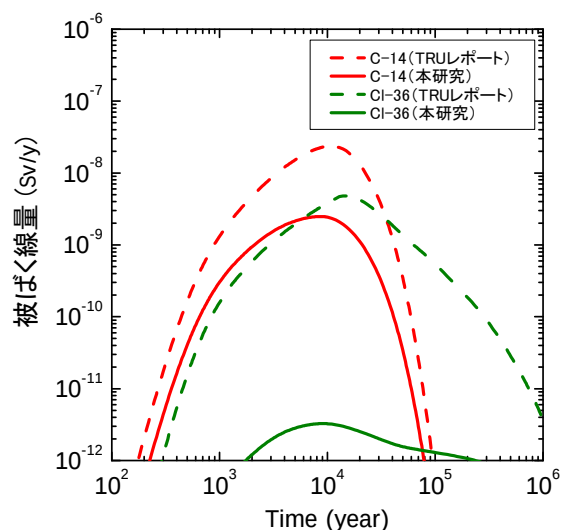


図-4 被ばく線量への影響(全体評価)

(3) 国際的な動向調査

放射性廃棄物中のC-14に関して、日本では当初より重要性が認識されていたが、諸外国では熱心な議論は少なかった。しかし、処分事業が進むにつれて放射化金属やイオン交換樹脂、黒鉛などに関する課題が明らかになり、処分実施へ向けた課題解決の必要性が明らかになりつつあることから、EURATOM(欧州原子力共同体)ではC-14に関する共同研究プロジェクト(CASTプロジェクト、Carbon 14 Source Term)が提案されている。

本プロジェクトは2013年より活動開始予定であり、特に、ジルカロイなどの金属について注力しており、浸出率、インベントリ、さらにC-14の化学形態などのソースタームについて検討する予定である。今後、限られた予算の中でハル・エンドピースに関する本研究事業を合理的に進めるために各国の成果を共有・利用し、また理解を促進する観点からCASTプロジェクトなど国際共同研究への参加は有益と判断できる。国際的コンセンサスを得ることや安全評価での取り扱いを共有することで、評価信頼性の向上が図れると

期待できる。

(4) 今後の開発戦略

ハル・エンドピース中の C-14 インベントリについて、PWR のデータ取得を行い、基礎データの把握・蓄積を行う必要がある。また、エンドピース（放射化ステンレス鋼）はこれまで分析されたことがなく、C-14 濃度等の性状データの取得及び集合体端部の中性子束の評価が急務の課題である。さらに、燃料成分やスラッジ・クラッドの付着など、事業に進展に合わせて再処理プロセスデータを反映するとともに、材料特性について整理・把握したうえで、インベントリの評価を行う必要がある。また、放射化計算においては最新の核データの反映なども評価の際には重要な観点である。

長期腐食（C-14 浸出挙動）の予測については、浸漬試験を継続し、長期データを得る必要がある。また、過去に短期のデータ取得が行われた PWR や、これまでデータ取得がなされていない放射化ステンレス鋼等からの C-14 の浸出データ取得が望まれる。一方、金属の腐食挙動は、ガス発生の観点からも重要であり、長期の予測が求められる。ジルカロイについては、高温腐食の適応性について今後も検討を進め、提案した長期予測の腐食式の妥当性の確認や新たな提案が最も重要な課題である。その際、影響が大きい因子についても把握する必要がある。ステンレス鋼や瞬時放出とされている酸化膜についてもジルカロイに次いで優先度は高く、核種浸出の長期予測モデルの構築と、ホット試験含めたデータ取得による確証が求

められる。また、これまで腐食と核種浸出の相関性を前提としているが、将来的には確認を行う必要がある。

放射化金属から放出される C-14 の化学形態に関しては、データ取得とともに生成プロセスの理解など科学的な根拠が求められる。そのため必要な再現性・統計的なデータ取得についてはホット試験には限りがある。今後、コールド試験などを活用し、仮に FT 反応など、化学形態の生成プロセスについて科学的根拠を得ることで、C-14 形態について核種移行評価への反映が可能となる。また、地質環境中での有機形態の安定性、形態変化も移行評価上重要となる。

C-14 のバリア材への収着特性や化学形態の変化など移行パラメータについては、微生物影響やサイトスペシフィックな要素が大きいため、これまで具体的な評価を行っていない。しかし、安全評価の信頼性や被ばく線量低減の観点からは、移行パラメータの評価は非常に重要である。したがって、将来的には化学形態評価の進展と合わせて、バリア材中での現実的な移行挙動の評価が望まれる。その際には、C-14 で顕著な現象である同位体交換や微生物影響の検討を行い、分配平衡モデルの適応性を含めて評価していく必要がある。

最後に、放射性廃棄物中の C-14 に関する課題は、近年、欧州を中心に関心が高まっている。CAST プロジェクト等に参画し、EU の共同研究の枠組みを利用することで、必要なデータ等の情報交換・共有を図ることが可能となり、合理的な研究開発が推進できると期待される。

5. 量子化学的手法を用いたニアフィールド現象の評価技術の整備

◇事業の概要

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

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

なお、本事業は平成24年度経済産業省資源エネルギー庁事業「先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発²⁾」を受託した日本原子力研究開発機構からの委託研究契約として、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24年度の成果

これまでの技術的検討の成果を踏まえ、前述の6テーマについての量子化学的手法（図-1 参照）の性能評価上の意義、適用性、適用条件、及び適用性を向上するために解決すべき課題を検討した。また、量子化学的手法の適用に係る困難さが少ないと判断されたテーマについては、設定している

作業ステップに沿って、解析的検討をさらに進めた。それらを踏まえ、各テーマの目標や性能評価上の意義に対する現段階の成果や適用範囲・適用条件・制約、課題解決に向けた今後の展望等についての総括的な評価を行った。

以下に、総括的な評価を通じて整理した内容のうち、「性能評価上の意義に関係する現段階までの主な成果」及び「適用性向上に向けた課題と対処案」をテーマごとに示す。

(1) アクチニド4価の水酸化炭酸錯体の存在と安定性

処分環境でのアクチニドの溶解度や化学形及びそれを評価するための熱力学データ（熱力学的平衡定数）は、性能評価における重要な要素である。

本テーマではアクチニド4価であるTh⁴⁺に着目し、これまでの検討により、水和錯体及びヒドロキソ錯体の水中で安定な化学形を量子化学的手法により直接的に明らかにできること、また、量子化学的手法による計算結果と熱力学的サイクルから熱力学的平衡定数の定量的な評価が可能であることを示した。

これにより、量子化学的手法によりアクチニド等の化学形や熱力学データを推定できる見通しが得られ、データ取得が困難な核種の推定や化学アナログの妥当性確認などの性能評価基盤の強化に資する有効な手法となりうることを示すことができた。

一方、より複雑な水酸化炭酸錯体については、水和錯体及びヒドロキソ錯体のような定量的な評価までは至っていないが、構造の推定に利用可能な複数の手法の検討を進めてきており、古典分子動力学法（古典MD法）と第一原理分子動力学法（第一原理MD法）を援用することで錯体の安定化構造と反応定数の評価ができる可能性が見出されている。このことは、複雑な錯体にも量子化学的手法を適用できる可能性を示していると考えられる。

本テーマにおける量子化学的手法の適用範囲の拡大のための課題としては、まず水酸化炭酸錯体についての古典MD法と第一原理MD法を援用した手法の具体化と試行に関する検討をさらに進めることが挙げられる。また、計算精度の向上と多様な核種への適用性向上にむけては、量

量子化学計算と実験データとの整合性の確認を効果的に行うことが重要となり、これは特に第一原理 MD 計算や古典 MD 計算で定量的に表現することが難しい溶液の pH 条件の取り扱いを検討する上で重要となる。また、多様な核種への適用性

を向上させるためには、第一原理 MD における擬ポテンシャルの精度確認等も必要であり、これについては同様な課題を有するテーマ（例えば、テーマ(2)）と連携しつつ効率的に検討を進めることが有効である。

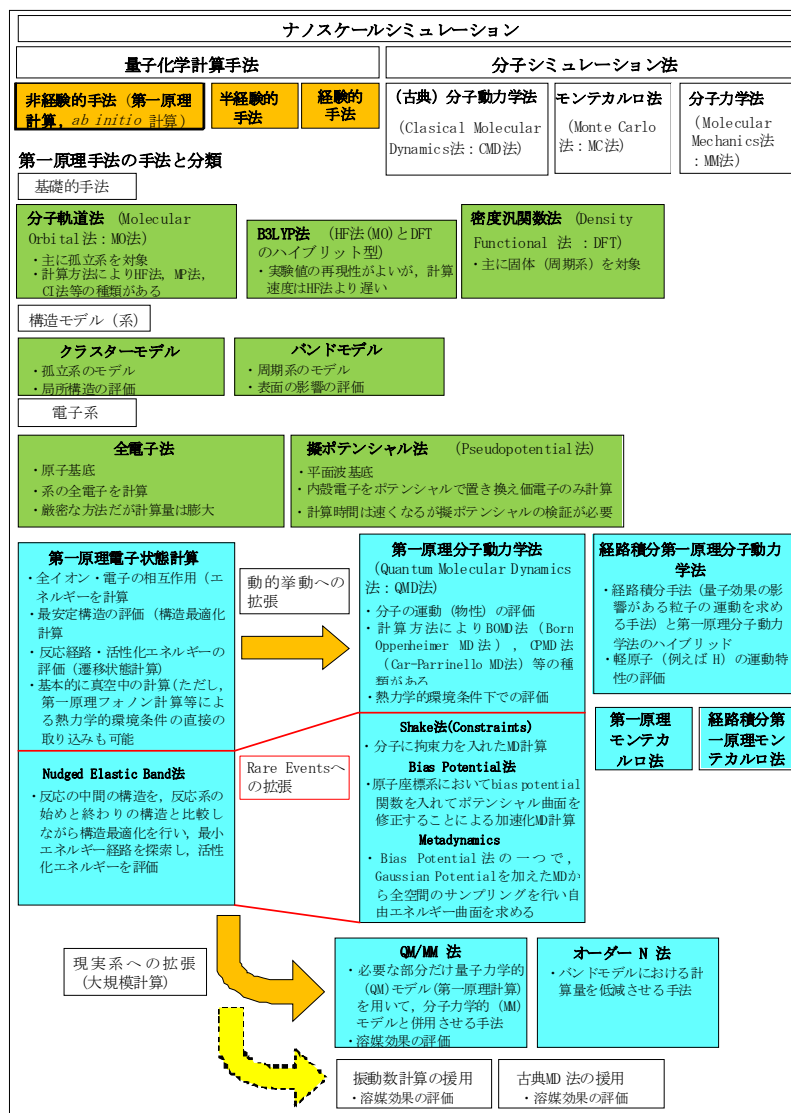


図-1 量子化学的手法の概略の分類

(2)核種のベントナイトへの収着機構

ベントナイトの間隙水化学と核種移行遅延メカニズムの理解において、ベントナイトを構成するスメクタイトエッジにおける反応は重要な要素である。

本テーマでは放射性核種の収着サイトとしてのスメクタイトエッジの反応性に着目し、これまでの検討により、最安定なエッジ構造を量子化学的手法で評価できること、また、そのエッ

ジの反応性を示す、エッジに存在する官能基(Si-OH、Al-OH₂、Al-OH-Al、Al-OH-Mg)の酸解離定数及び表面電荷密度を、それらの平均OH間距離($r_{\text{O-H}}$)とBond-valence理論から定量的に評価することが可能となった。

これにより、高pH条件を考慮した水存在下でのエッジの官能基のモデル化が可能となり、間隙水化学や収着モデルの基礎データを量子化学的手法により直接裏付けることが可能であるこ

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

とを示した。

一方、収着する放射性核種については、第一原理電子状態計算で必要となる擬ポテンシャルについて検討を進めてきたが、Am 等のアクチニドについてはその電子構造に対応した信頼性のある擬ポテンシャルを作成することが難しく、まず遷移金属元素などをアナログとして先行して検討すべきであることが課題として明確化された。

本テーマにおける量子化学的手法の適用範囲の拡大のための課題としては、Am の例のように核種によって擬ポテンシャルの計算などが大きなボトルネックとなり得る可能性があるため、テーマ(1)と同様に、量子化学的手法による評価と実験データとの整合性の確認を効果的に行うことが重要であり、それが行える対象核種を性能評価側と十分協議の上選定することが重要である。さらにより現実的な評価としていくための層間水の影響のモデル化については、それを直接モデル化するためには計算負荷が大きくなることが想定されるため、現状のモデル等を活用しつつ影響の特徴等がある程度推定したうえで、効率的なモデル化の方向性等を検討することが必要になると考えられる。また、本テーマと同様にベントナイトを検討対象とするテーマ(3)や(4)と連携しつつ検討を効率的に進めることが有効である。

(3) 強アルカリ性、高 Ca 濃度下でのスメクタイトの溶解反応

アルカリ性条件におけるスメクタイトの溶解反応過程（溶け方）を原子スケールのスナップショットフローとして演繹的に描像することで、溶け方に対応した溶解反応速度を整理し、性能評価で用いる溶解反応速度の意味を明確にすることができれば、スメクタイトを主要鉱物とするベントナイト緩衝材の長期安定性評価の信頼性向上に貢献し得る。

本テーマでは、これまでの検討により、強アルカリ性・高 Ca 濃度条件におけるスメクタイトの溶解反応をエッジに存在する官能基の脱プロトン化／OH⁻ 付加を行った第一原理電子状態計算で評価することによって、スメクタイトの構成元素である Si、Al 及び Mg の溶解性が異なる可能性を見出すことができた。

これにより、スメクタイトの強アルカリ性・高 Ca 濃度条件における溶解反応過程の評価の基盤的知見として利用することができる初期溶解反応過程のスナップショットを量子化学的手法により例示することができた。

本テーマにおける量子化学的手法の適用範囲の拡大のための課題としては、初期段階以降の溶解過程の探索が挙げられる。ただし、初期段階以降の溶解過程については、その素過程の自由度が大きいことが量子化学的手法による評価を難しくしているため、バンドモデルや遷移状態計算の適用を試行錯誤的に進め、現象理解を積み重ねることが重要である。また、溶媒や高 pH のエッジへの影響については、共通の課題を有するテーマ(2)や(4)の検討の成果等も活用しながら、スメクタイトの溶解過程におけるどの反応に対してどういう計算モデルが適切か（例えばクラスターモデルかバンドモデルか）を判断する必要がある。

(4) スメクタイトの鉄共存下の変質過程

鉄共存下におけるスメクタイトの不安定化の可能性の有無について量子化学的手法から検討できれば、ベントナイト緩衝材の長期安定性評価における変質シナリオや変質影響評価手法に反映することができ、安全評価の信頼性向上に貢献し得る。

本テーマでは、オーバーパック近傍における緩衝材と鉄との反応による変質プロセスについての Lantenois らの仮説（八面体サイトに Fe³⁺ イオンがある 2 八面体型スメクタイトは、水素脱離(deprotonation)、Fe の酸化、Fe²⁺のエッジ吸着と八面体 Fe³⁺の還元、Fe²⁺の層間・層内への拡散、3 八面体型化による不安定化というプロセスで壊れていくとしている）に着目した。これまでの検討により、最初のステップである水素脱離の可能性については、八面体サイトに鉄を含有するスメクタイトの方が鉄を含有しないスメクタイトよりも水素原子が脱離しやすいことを、量子化学的手法による化学ポテンシャルを用いた含水スメクタイトの八面体サイトの脱水素エネルギーの比較及び Nudged Elastic Band (NEB) 法による水素原子の垂直脱離のエネルギープロファイルの比較から明らかにした。

これにより、Lantenois らの鉄共存下のスメク

タイトの変質プロセスの仮説の第一段階である水素脱離の可能性を量子化学的手法により示すことができた。

本テーマにおける量子化学的手法の適用範囲の拡大のための課題としては、水素脱離以後の素過程について量子化学的に評価することである。Metadynamics 法や原子の軌跡を限定した熱力学的積分法 (SHAKE 法を併用) による第一原理 MD 計算を適用することで、これらの課題に対処することは可能と考えられるが、相当な計算コストを要するため、適切な問題設定をした上で進めるべきである。本課題も、ベントナイトに関わる他のテーマとの連携が見込め、また、拡散の評価については、テーマ(6)の評価にもその知見を活用できる可能性がある。

(5) ガラスの溶解

ガラス固化体の溶解及び核種溶出に関するガラス変質層の保護的効果の理論的理解が進めば、現実的なモデルの開発、及びそれによるガラス固化体自身のバリア性能の現実的な評価が可能となり、地層処分の安全評価の信頼性向上への寄与が期待できる。

本テーマでは、これまでの検討により、古典 MD 法によるホウケイ酸ガラスの分子レベルのバルク構造のモデル化に不可欠であるガラスクラスターの原子間相互作用ポテンシャルの最適化を検討し、量子化学的手法の援用により原子間相互作用ポテンシャルが評価可能であることを示した。

これにより、量子化学的手法を援用して得られた相互作用ポテンシャルモデルを用いた古典 MD 法がバルクガラス構造の有効な評価手法となり得る可能性を示した。

また、ガラス変質層については、ホウケイ塩ガラスの構造から溶解するホウ素や酸素等を除去した後に古典 MD 法で構造緩和を行うことで、健全ガラスのバルク構造から変質層の構造を構築する予備的手法を開発した。

これにより、上記のバルクガラスに対応した変質層を古典 MD 法で評価できる可能性を示すことができた。

本テーマにおける量子化学的手法の適用範囲の拡大のための課題としては、まず量子化学的手法を援用した相互作用ポテンシャルの最適化

と古典 MD 法との組み合わせによるバルクガラス構造の構築を進めことである。ただし、このためには相互作用ポテンシャルだけではなく、電荷の扱い方や高温融体から室温に至る構造緩和の方法の最適化まで、未だ確立されていない課題もあるため、試行錯誤的に繰り返しながら検討・検証を進めていく必要がある。また、ガラス変質層の安定性評価は難しい課題であり、いくつかの仮説を設定すること、比較可能な実験値との整合性をとることなどをしながら、モデル開発を段階的に進めることが必要になる。

(6) チタンと水素、チタン水素化合物と水素の相互作用

チタンオーバーパックの水素脆化を考慮した寿命評価において、量子化学的手法により金属チタン層内やチタン水素化合物層内での水素原子の拡散挙動が評価されれば、水素吸収や水素脆化のメカニズムの現象理解が進み、モデルの理論的な裏付けを与えることで、安全評価の信頼性の向上に貢献しうる。

本テーマでは、これまでの検討により、量子化学的手法による金属チタンおよびチタン水素化合物のバルク構造を構築することができた。また、チタン水素化合物については、その構造安定性を水素の配位位置と体積弾性率との関係から評価できるようになった。

これにより、水素原子の拡散挙動評価の基盤となるバルク構造のモデル化とその構造安定性評価の手法を準備することができた。

本テーマにおける量子化学的手法の適用範囲の拡大のための課題としては、水素と金属チタン、あるいは水素とチタン水素化合物の相互作用や水素の移行挙動 (拡散による内部への侵入) をモデル化し、既往の水素脆化寿命評価における水素の移行に関する仮定の妥当性を確認することである。量子効果が大きい原子化水素の拡散の評価は非常に難しい課題である。また、金属チタン-チタン水素化合物界面の構築も難しい課題である。そのため、この拡散の評価をどの程度の詳細度で行う必要があるかなどを性能評価側と調整すること、また、原子拡散の量子化学的な評価手法についてテーマ(4)でのスメクタイトの層間・層内への Fe^{2+} の拡散についての検討を先行させることなどしながら、具体的で実

II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

施可能な問題の設定と検討とを試行錯誤的に進める必要がある。

- 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 成果報告書 (2008)
(<http://www.enecho.meti.go.jp/rw/docs/library/rprt4/19fy5.pdf>)
- 2) 日本原子力研究開発機構、平成 24 年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発 成果報告書 (2013)
(<http://www.enecho.meti.go.jp/rw/library/2012/24-6-1.pdf>)

6. その他の地層処分に関する調査研究

その他、高レベル放射性廃棄物、TRU 廃棄物の地層処分に関する以下の調査研究を行った。

(1) PEM (プレハブ方式人工バリアモジュール) システムの高度化検討

PEM システム基本形の仕様をまとめ、各基本形の比較評価を行うとともに、技術開発課題を整理した。

(2) 精密調査段階後半を視野に入れた予行的な調査・試験計画の検討

地下調査施設を用いた調査や試験の項目について検討を行うとともに、スウェーデンのエスポ地下研究所を活用した試験項目について検討を行った。

(3) 第二種特定放射性廃棄物受入基準設定のための検討

日本原子力学会の「地層処分対象放射性廃棄物の品質マネジメント」を受けて、ヨウ素 129 や硝酸塩を含む廃棄物を処理して製造された廃棄体の受け入れに必要な情報の整理等を行った。

Ⅲ. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

1. 放射性廃棄物海外総合情報調査

◇事業の概要

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

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 24 年度 放射性廃棄物共通技術調査等事業
放射性廃棄物海外総合情報調査

◇平成 24 年度の成果

(1) 海外情報の収集・分析と総合的なデータベースの整備

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

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

また、国際機関の動向情報の調査として、経済協力開発機構／原子力機関 (OECD/NEA)、国際原子力機関 (IAEA)、欧州連合 (EU) 等を対象とした最新動向を調査した。

以上の調査により得られた情報に加え、関連す

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



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

(2) 調査情報の整理・発信・普及

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

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

このウェブサイトの掲載情報として、諸外国における地層処分計画と技術開発、処分事業に関わる制度・実施体制、処分地選定の進め方と地域振興、処分事業の資金確保、安全確保の取り組み・コミュニケーションの観点から最新情報と解説を掲載した。また、『海外情報ニュースフラッシュ』として、諸外国の高レベル放射性廃棄物処分を中心としたニュース記事を 71 件掲載した (記事タイトルの一覧は、資料 VI-5 を参照)。



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

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

技術情報冊子①（平成24年2月発行）は、諸外国における高レベル放射性廃棄物の地層処分の進捗状況について、検討されている地層処分概念や施設設計、処分事業の計画や進捗のみならず、法制度、資金確保、サイト選定の進捗や地域振興などの幅広い観点から、当該国での地層処分事業の特徴について解説することで、理解促進に資するための資料である。平成24年度には、新たにカナダを加えた主要8カ国（スウェーデン、フィンランド、フランス、ドイツ、スイス、英国、米国、カナダ）を編とした構成でまとめており、平成24年末時点の最新情報を反映して作成した。

さらに、わが国の近隣国である中国、韓国、ロシアの地層処分に関する動向を短く解説したページを新たに付録として設けた。情報の正確性や分かりやすさだけでなく、視覚での訴求性や文章の読みやすさにも配慮して、紙面構成・デザインの改善を図った（図-4）。

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

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



図-3 平成24年度に整備した技術情報冊子

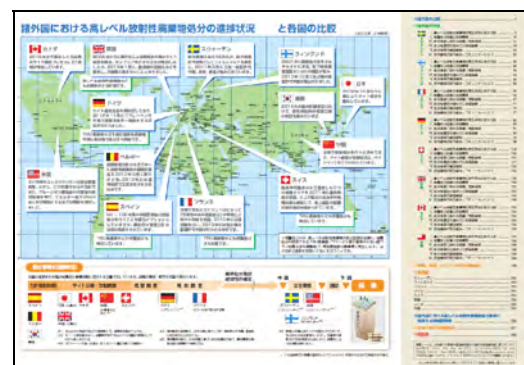


図-4 『諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について』の紙面イメージ

2. 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

我が国では、原子力発電の利用に伴って既に放射性廃棄物が発生しており、その処理処分対策を着実に進める必要がある。高レベル放射性廃棄物の地層処分や長半減期低発熱放射性廃棄物（TRU 廃棄物）、低レベル放射性廃棄物の処理処分等に係る政策立案や研究開発において、国や関係機関、処分実施主体等の役割分担のもとで進めていくことが重要である。

これらを背景として、本事業では、今後実際に処分事業を進めていくに当たり、基礎的かつ学際的な知見として処分事業の進捗に貢献し得る諸分野の広範な研究テーマについて、体系的な整理を行うとともに、特に重要な基礎的研究テーマについては、大学等の基礎的研究機関と連携して取り組むことにより、所要の基盤技術の確立を目指す。また、研究成果や収集した情報の提供を行い、情報の共有化、知識の普及を図ることを目的とする。

2-1 基礎的研究テーマの整理

◇事業の概要

本事業では、地層処分等の安全性を示すために、地質関連、工学関連、評価技術関連等の分野における最新の研究成果を取りまとめた性能評価報告書や許可申請時に添付される安全評価書等の海外で整備・公開されている技術情報に関連する文献等を対象として、情報の収集及び整理を行った。また、収集した文献に関しては、適宜翻訳を行い、利用可能な技術情報データベースとして整備を行った。さらに、情報共有・知識普及等の取り組みとして、既にウェブコンテンツとして整備・公開しているものについて適宜、見直しを行うとともに、平成 23 年度に内容の整理を行った、英国の地層処分の安全性に関連する事項を説明した、処分システム・セーフティケースの一部である「閉鎖後性能評価」を中心として、新たにウェブコンテンツの整備を行い、情報提供を行った。

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

（報告書）平成 24 年度 放射性廃棄物共通技術調査等事業
放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書（第 1 分冊）基礎的研究テーマの整理

◇平成 24 年度の成果

(1) 主要国における性能評価等に関する調査

平成 24 年度は、フィンランド、スウェーデン、フランス、米国、スイス、ドイツ、カナダ及び英国に関して、各国の放射性廃棄物処分に関する取組の全体像や個々の取組に関連する動向に関して関連する技術情報を交えて包括的に整理を行った。この調査においては、各国の原子力政策、放射性廃棄物の処分方針などの基本的な情報を取りまとめ、サイト選定とそれに関連し、性能評価・安全評価の実施状況やその内容などを取りまとめた。また、本調査では、前述の各国の放射性廃棄物処分の取り組みなどの包括的な整理の一部として、スイスやドイツでの安全評価に関連した動向について詳細に調査を行った。

スイスでは、2008 年から特別計画「地層処分場」に基づくサイト選定が進められている。このサイト選定の第 2 段階では、第 1 段階で確定した地質学的候補エリアそれぞれに対して、処分場の地上施設を設置する区域が 1 か所提案され、設置区域を考慮に入れた予備的安全評価が行われる。この予備的安全評価の結果などから、高レベル、及び低中レベル放射性廃棄物処分場それぞれについて、最低でも 2 ヶ所の候補サイトが選定される。

これまでに、予備的安全評価の実施に向け、予備的安全評価の基準等を含む報告書などが、安全規制機関である連邦原子力安全検査局（ENSI）から公表されている。また、放射性廃棄物処分の実施主体である放射性廃棄物管理共同組合（NAGRA）は、予備的安全評価のための地質学的知見の充足度などをまとめた報告書を公表しており、この報告書については、ENSI による評価が行われた。このため、本調査においては、ENSI や NAGRA から公表されている予備的安全評価に関連した報告書の内容について、詳しく調査を実施した。

また、ドイツでは、2010 年 11 月からゴアレーベンでのそれまでの探査活動で得られた情報に基づき、ゴアレーベンの処分場サイトとしての適性を確認するための予備的安全評価が開始された。この予備的安全評価の結果は、2012 年末に公表される予定となっていたが、現在までのところ公表されていない。しかし、これまでに予備的安全評価の枠組み、各プロジェクト構成やプロジ

エクトでの検討内容などについての報告書が公表されている。そのため、本調査では、ゴアレベンに関する予備的安全評価に関して、その実施の枠組み、各プロジェクト構成などについて詳細に調査を行った。

(2) 情報発信

平成 23 年度までの本調査において、主要国（米国、フランス、スウェーデン、フィンランド、スイス、ベルギー）の性能評価・安全評価報告書を横並びで比較できるようにするため、各国の性能評価・安全評価に関する主要な事項を抽出し、それらの概要をまとめてウェブに掲載した。

平成 24 年度の本調査では、平成 23 年度までにウェブコンテンツとして整備した主要国について必要に応じて見直しを行った。さらに、平成 23 年度に詳細な調査を行った英国の地層処分の安全性に関連する事項を説明した一連の文書「処分システム・セーフティケース」(DSSC) の「閉鎖後性能評価」(Post-closure Safety Assessment, PCSA) に関して、上記の各国の性能評価・安全評価報告書を同様に、主要な事項を抽出し、概要を取りまとめ、ウェブに掲載した。

また、平成 24 年度の調査で得られた海外資料等のうち、重要なものについては適宜、翻訳を実施し、原環センターの技術情報データベースに整備した。



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

さらに、情報発信の一環として、原環センター HP「諸外国における HLW 処分の安全評価事例」にて掲載している評価事例の一覧を下記に示した。

表-1 掲載している評価事例（一覧）

国・発行者	発行日	レポート名
英国 (NDA)	2010.12	閉鎖後性能評価 (Post-closure Safety Assessment, PCSA)
フィンランド (ポシヴァ社)	2010.03	セーフティケース中間 概要報告書 2009、 Posiva report 2010-02
フィンランド (ポシヴァ社)	2008.12	放射性核種の放出およ び移行 - RNT-2008、 Posiva report 2008-06
米国 (DOE)	2008.11	ユッカマウンテン処分 場許認可申請書、 DOE/RW-0573
スウェーデン (SKB 社)	2006.10	フォルスマルク及びラ クセマルにおける KBS-3 処分場の長期安 全性 - SR-Can プロジェ クト 主要報告書、 TR-06-09
フランス (ANDRA)	2005.12	Dossier 2005 粘土-地 層処分の安全評価
スイス (NAGRA)	2002.12	オパリナス・クレイプロ ジェクト 安全報告書： 使用済燃料、ガラス固化 高レベル廃棄物及び長 寿命中レベル廃棄物に 関する処分の実現可能 性の実証
ベルギー (ONDRAF/NIRAS)	2001.12	SAFIR2 - 安全評価・実 現可能性第 2 次中間報 告書

2-2 重要基礎技術研究調査

◇事業の概要

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

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

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

（報告書）平成 24 年度 放射性廃棄物共通技術調査等事業
放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書（第 2 分冊）重要基礎技術研究調査

◇平成 24 年度の成果

平成 24 年度は、地層処分技術の信頼性向上に資する重要な基礎的研究テーマ（地質関連、工学関連、評価技術関連等の技術的な側面からの研究開発、並びに国民との相互理解促進等に資する社会的・制度的な側面に関する研究開発）として平成 22 年度に選定した 8 件の研究テーマそれぞれについて、最終年度としての 3 年目の研究を継続して実施した。

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

以下に、本年度において継続実施した 8 件の研究テーマの成果概要を示す。

(1) 無機物質、微生物を媒介とした核種移行ナノプロセスの解明（研究者：九州大学 宇都宮聡）

無機ナノ物質、微生物に対する核種（アクチノイド元素）及びアクチノイド元素の模擬元素である希土類元素の収着反応と収着後の核種固定反応プロセス・メカニズムを、実験的手法と最先端の分析技術を用いて原子・分子レベルから解明し、その本質的理解と核種移行への効果を定量化することを目的とする。

平成 24 年度は、ベントナイトー炭素鋼相互作用におけるナノ鉄酸化物の生成調査、微生物による希土類元素の吸着・生体鉱物化の検討、放射性核種により汚染された地域であるロシア・チェリャビンスク州オジョルスクのマヤーク地区に存在する原核生物の遺伝子解析による微生物活性調査、及び長崎型原子爆弾由来のプルトニウム（Pu）の環境中での化学状態の解析を実施した。

高アルカリ・大気条件下で反応させたベントナイトー炭素鋼の界面のベントナイトを X 線回折分析及び透過型電子顕微鏡で観察した結果、炭素鋼から溶出した鉄イオンがモンモリロナイト層間に浸入し、膨潤性のない 1:1 型鉄含有鉱物が生成したことが確認された。

微生物に希土類元素を吸着させた後に微生物表面を電子顕微鏡観察、及びエネルギー分散型 X 線分析を行ったところ、微生物表面にリン酸塩鉱物が生成していることが確認された。また、pH3 における微生物による希土類元素固定化は pH5 の条件より小さかったため、細胞表面官能基の解離状態の違いが希土類元素固定化の反応プロセスに影響していることが示唆された。

放射性核種により汚染されたマヤーク地区の観察孔井から採取された地下水試料に対して、脱窒に関する遺伝子を標的に定量 PCR を行った結果、亜硝酸還元酵素をコードする機能遺伝子 *nirS* の定量に成功した。この結果から、放射性核種とともに汚染された地域の地下水に大量に含まれる硝酸イオンが、脱窒の機能遺伝子を有する原核生物によって除去されている可能性が示唆された。

長崎西山地区西山貯水池の下部堆積物中（表層から深さ 4～5m）、及び表層土に含まれる Pu の化学形態を逐次抽出法にて分析した結果、難溶解性 Pu が多く含まれる表層土と比較して、下部堆積物中の Pu は有機物と結合した化学種の割合が高くなる傾向を示した。これは数十年という時間単位で Pu の化学形態が大きく変化する可能性を示唆する。

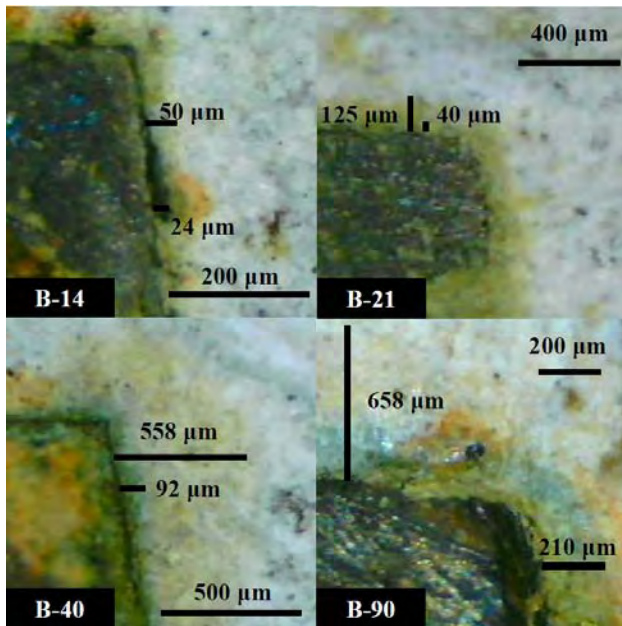


図-1 高アルカリ性模擬地下水環境下で反応させた圧縮ベントナイト-炭素鋼の 14 日 (B-14)、21 日 (B-21)、40 日 (B-40)、90 日 (B-90) 後のサンプルの断面光学デジタルマイクロスコープ像。実線は鉄が浸入した領域 (緑色 (2 価鉄) と赤色 (3 価鉄)) を示している。

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

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

平成 24 年度は、ランタン (La) 含有量及びアルカリ含有量の異なる模擬ガラスを対象に溶解実験を実施し、溶液の元素分析による規格化浸出量の算出及び変質ガラス試料の固体高分解能核磁気共鳴法による構造解析を行った。また、マイクロ流路溶解装置を用いたガラス溶解実験を行い、X 線光電子分光法 (XPS) による表面変質相分析を行った。

ガラス溶解実験の結果、アルカリ含有量が高いガラスの場合は、ナトリウム (Na) とホウ素 (B) の浸出量が多かったが、La を含有したガラスでは Na や B の溶解が抑制された。

溶解実験前後の、アルカリ含有量の異なるガラスのネットワーク構造を、 ^{29}Si を対象としたマジックアングルスピンニング固体 NMR 測定 (^{29}Si MAS

NMR) を行った結果、溶解試験後の模擬ガラスの Si 構造では、 Q^2 、 Q^3 、 Q^4 構造 (それぞれケイ素イオンに架橋した酸素原子数が 2, 3, 4 つの構造) の中で、 Q^3 が多くなる傾向を示した。これらの結果は、B の浸出によって生じた変質相中の Si が再結合し、 $Q^4 \Rightarrow Q^3$ 及び $Q^2 \Rightarrow Q^3$ への構造変化が生じていることを示唆している。

マイクロリアクター流水試験によるガラス溶解実験を行った後に、試料表面の深さ方向元素濃度分布を XPS にて分析したところ、Si, Al と比較して、Na, B は内部より表面近傍で少なくなる濃度勾配が確認された。既存の研究から、本研究で得られた濃度勾配は拡散層に相当する領域での表面構造の情報を提供するものと考えられる。

これらの結果は、本研究で用いた構造解析手法がガラス、及びその溶解によって生じる変質相の特性を理解する上で有用なツールとなりうることを示している。

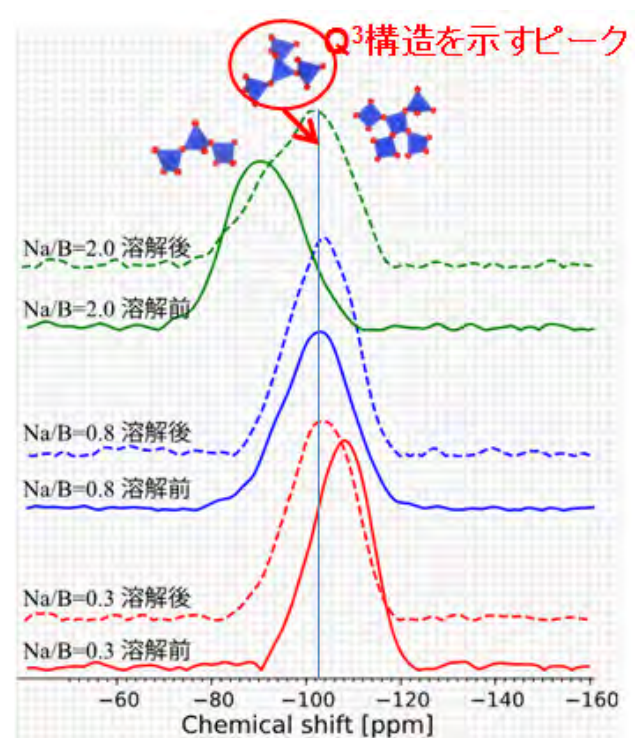


図-2 ガラス溶解試験前後の固体中 ^{29}Si MAS NMR スペクトル (アルカリ含有量 (Na_2O) により Q^2 、 Q^3 、 Q^4 構造の割合が異なっていたガラス構造が、溶解試験後には Q^3 構造の割合が増加する。)

Ⅲ. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

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

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

平成 24 年度は、 γ -アルミナのプロトン化・脱プロトン化反応の平衡定数を得るため、 γ -アルミナの電位差滴定を行い、その結果から、アルミナ表面のプロトン化・脱プロトン化反応の平衡定数及び官能基容量を、表面錯体モデルを用いて解析して求めた。また、 γ -アルミナのプロトン化・脱プロトン化反応の反応エンタルピーを得るために、熱量滴定を行い、反応熱のデータを取得した。

固相濃度を変えて電位差滴定を行い、滴定曲線を解析して平衡定数と官能基容量を求めた結果、固液比が大きくなるほどプロトン化反応の平衡定数は大きくなる一方で、官能基容量は逆に小さくなった。この結果は、反応系内での固相の占める比率が大きくなるにつれて表面反応に関与する官能基の総量が減少する一方で、プロトンに対する平均親和力が上昇することを示唆する。

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

- (4) 大気圧変動等による水分移動及び再冠水における飽和状態への移行現象に関する研究（研究者：岡山大学 小松満）
処分場の操業中と閉鎖後における地下環境（土

質、岩盤及びベントナイト）の不飽和領域の形成と再冠水挙動に関して、地盤一大気相互作用の確認、及びそのモデル化のための課題を整理することを目的とする。

平成 24 年度は、過去 2 年間に実施した結果を踏まえ、動水水分試験及び再冠水後の飽和過程移行試験について実験の改良を重ねた。また、岩石試料に対する飽和度計測技術の高度化を目的として、実坑道における気圧変動等の観測データを整理するとともに、現地における地中レーダー計測や現地採取試料に対する誘電率特性を測定した。

砂試料に対して、一次元鉛直カラムにて、一定圧力または変動圧力下で水分移動試験を実施したところ、一定圧力条件と比較して、小さいながらも継続的かつ周期的な気圧変化条件において飽和した砂試料中の水分の浸出が促進されることが確認された。この結果は、空気の間隙への周期的な出入りにより内部の蒸発プロセスが促進され、水分フラックスが増加することを示唆する。また、限界毛管高さが増加すると水分減少量が大きくなることが示唆された。

同様に砂試料に対して再冠水後の飽和過程移行試験を実施し、圧力と飽和度の関係を求めたところ、水圧変化に伴う飽和度の増加は 0.5MPa（水深 50m 相当）の範囲でそのほとんどが起こることが判明した。また、計測された背圧 飽和度の相関は、理論圧縮曲線から推定した飽和度変化の形状と類似したことから、本研究で実施した試験条件下では、水圧上昇による間隙中の気泡の圧縮が飽和度上昇に支配的に貢献していることが示唆された。

（独）日本原子力研究開発機構瑞浪超深地層研究所及び幌延深地層研究センターの坑道で地中レーダーを用いたワイドアングル測定（CPM 測定）による飽和度測定の適用性試験を実施したところ、堆積岩盤では岩盤からの明確な反射は検出できなかったが、結晶質岩盤では岩盤からの反射を検出し、計測が可能であることが示された。プロファイル測定においても、堆積岩盤では支保工による反射が見られたが、岩盤からの明瞭な反射は検出されない一方で、結晶質岩盤では測定により反射が計測され、岩盤からの反射が測定可能と判断された。

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

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

平成 24 年度は、分析の改良を目的として、流動場分画法（F1-FFF）に導入する試料の限外ろ過による前処理濃縮において、ろ過膜を分子数 1000 から 300 のサイズ（300Da）に変更した。さらに、F1-FFF のクロスフローを連続的に変化させるグラディエント法を用いてコロイドの分画分解能改善を図った。また、（独）日本原子力研究開発機構瑞浪超深地層研究所のボーリング孔より採取された地下水試料中に含まれるコロイドのサイズ及び元素分析を行い、環境条件に応じたコロイドの分類・動態評価を行った。

F1-FFF にグラディエント法及び 300Da の限外ろ過膜を用いることにより、以前と同じ測定時間条件で、100nm までのコロイドが分画可能となり、従来のサイズ領域を 30% 拡大することに成功した。

次に、瑞浪 09MI21 号孔から採取した地下水を、誘導結合プラズマ質量分析計（ICP-MS）と接続した流動場分画装置システム（F1-FFF-ICP-MS システム）で分析し、地下水に含まれるコロイドのサイズと元素組成の相関から以下の知見を得た。

- 2 nm 付近に存在する有機物コロイドが地下水に含まれる主要なコロイド
- 有機コロイドに希土類元素（La, Ce, Eu, Lu）やアクチニド元素（Th, U）、及び重金属（Cu, Zn）が取り込まれて存在
- Al, Si（, Fe）を含む無機コロイド（粘土コロイド又は水酸化物コロイド）が 20 nm 付近と 80 nm 以上のサイズ領域に存在し、一部の微量元素（希土類元素とアクチニド元素）のホスト相となっている可能性を示唆

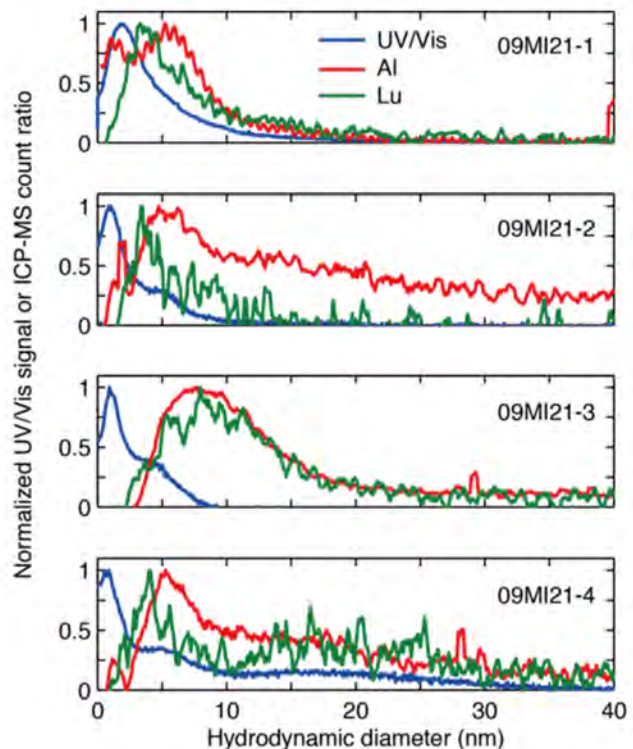


図-3 瑞浪超深地層研究所の地下水中コロイドの F1-FFF 分析例（希土類元素（ここではルテチウム（Lu））のサイズ分布は有機物コロイド（UV/Vis 検出部分）よりアルミニウムコロイド（Al 部分）のサイズ分布と関連している。）

(6) カルデラ火山地域における大規模噴火再発の可能性評価（研究者：福井大学 三好雅也）

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

平成 24 年度は、南部九州の始良カルデラ火山を対象として、カルデラ火山が噴火するまでのマグマの化学組成変化及び大規模マグマ溜り形成開始時期に関する情報を得ることを目的として、岩石試料の主成分元素・微量元素分析、及び Sr（ストロンチウム）同位体分析を行った。

岩石試料の SiO₂ 含有量、微量元素パターン、及び Sr 同位体比の時間変化から、33 ka～30 ka（ka：千年）前のカルデラ火山の先行火山噴出物は始良カルデラ形成期火砕岩類（29 ka）と類似していることが確認された。この結果から、少なくともカルデラ形成噴火（29 ka）の数千年前には大規模火砕噴火のマグマが地下に蓄積されて

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

いた可能性が示唆された。また、先行火山の給源火道位置がカルデラ中心から最大で約 22km 離れている可能性が示唆された。

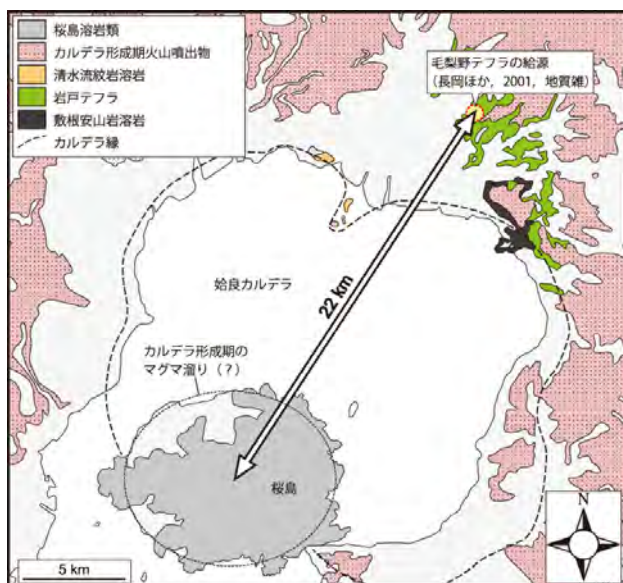


図-4 始良カルデラ形成期火砕岩類と先行火山噴出物との比較（始良カルデラの外側で噴出した毛梨野テフラの位置関係から、カルデラ形成期のマグマが側方へ最大で約 22km 移動・貫入した可能性を示唆。）

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

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

平成 24 年度は、(独) 日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センターより提供された北海道幌延町産の泥岩を対象として、温度条件を制御したフローズン溶解試験を実施した。また、単一の不連続面を有する泥岩試料を対象に、温度・拘束圧・化学条件を制御した透水試験を実施した。さらに、力学－化学連成現象に起因する岩石不連続面透水特性の経時変化を記述できる解析モデルを用いて実験結果の再現解析を実施した。

pH (6, 9, 13) と温度 (30, 60, 90℃) 条件をそれぞれ設定したフローズン溶解試験を実施した結果、任意の pH、温度条件における幌延泥岩の溶解速度式を求めることが出来た。

次に、20℃と 90℃条件、及び超純水とオイルを用いた透水試験を実施し、すべての境界条件で透水性が低下することを確認した。これらの結果から、不連続面を有する泥岩中の透過率低下が、化学作用(鉱物溶解現象)だけでなく力学作用(変形・破壊現象)によっても影響されている可能性が示唆された。

力学－化学連成現象に起因する岩石不連続面透水特性の経時変化を記述できる解析モデルを用いて、透水試験結果の再現解析を実施した結果、透過率の減少過程およびその後の上昇過程を定性的に再現できることを確認した。不連続面の開口幅を変化させるメカニズムの原因として、温度・応力に依存する鉱物溶解の影響が確認されたが、解析モデルにおいても、力学作用の考慮が実験結果の再現にも必要であることが確認された。

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

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

平成 24 年度は、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の影響と今後の放射性廃棄物処分政策のあり得る可能性を踏まえて、過去の研究結果と文献調査、及びインタビュー調査により、事故由来廃棄物や政策・アジェンダの流動化を踏まえた高レベル放射性廃棄物処分に関わる社会的課題・論点の時系列上での整理を行った。また、行政に対する信頼・公正感・高レベル放射性廃棄物処分事業に対する態度・処分施設立地に関するオプション(1 か所立地・複数立地・中間貯蔵継続)に対する人々の選好を検討するため、震災直前及び震災後に実施したウェブアンケート調査結果を分析し、公衆の信頼に対する震災・原子力発電所事故による変化・影響について調査した。

高レベル放射性廃棄物処分の社会的側面に係る研究課題体系化の再整理では、高レベル放射性廃棄物処分に関わる社会的課題を時系列的に構造化し、高レベル放射性廃棄物の最終処分に至るための道筋を検討する基盤的情報を作成した。福島第一原子力発電所事故に関わる諸問題の解決が、国や制度に対する信頼やリスク認知等に決定的な影響を及ぼすと考えられる場合は、高レベル放射性廃棄物最終処分プロセスはそれら問題

の解決をある程度待つて開始することが考えられた。そのようなタイムスケールを考慮すれば、優先的に取り組むべき課題は以下が考えられた。

- A) 先行する原子力発電所事故関連事例（がれき・除染など）のケーススタディ
- B) いずれの課題においても重要な「信頼」に関わる研究課題（第三者機関や規制機関、実施主体等に関わる課題も含む）
- C) 高レベル放射性廃棄物の最終処分とそれ以外の廃棄物との本質的差異に関わる研究課題
- D) あらゆる課題に共通する「意思決定」に関わる研究課題

ウェブを用いたアンケート調査結果を分析した結果、震災前と比較して、震災後の行政への信頼については国の行政に対する信頼のみが低下し、それ以外はむしろ向上する結果となった。高レベル放射性廃棄物処分施設受け入れ態度の変化については、震災後は容認方向に変化するという極めて興味深い結果となった。この結果は、公平性・正義性やアジェンダセティングが信頼に対して優越して態度形成に影響している可能性

を示唆する。また、高レベル放射性廃棄物処分場の「現行1か所立地」「複数立地」「中間貯蔵継続」についての比較評価を行ったところ、処分場の「複数立地」の賛成が多い結果になったにもかかわらず、実現可能性の評価においては「中間貯蔵継続」が圧倒的であった。この結果から、処分場立地の実現可能性に対して回答者がかなり厳しい見方をしていることが伺えた。

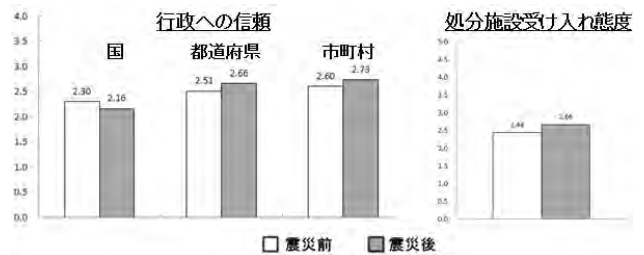


図-5 ウェブアンケート結果例

行政への信頼:震災前と比較して震災後は国の行政に対する信頼は低下し、都道府県と市町村は向上

高レベル放射性廃棄物処分施設受け入れ態度:震災後は容認方向に変化

2-3 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整備

◇事業の概要

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

本事業では、セメント系材料の影響による人工バリア(ベントナイト緩衝材)の長期健全性についてナチュラルアナログによる評価を目的として、高アルカリ地下水とベントナイト層が近接することが確認されたフィリピン国ルソン島北西部においてNA調査を実施する。その調査内容は、ベントナイトのアルカリ変質に関わる地質学的・鉱物学的特性、ベントナイトの基本物理特性、高アルカリ地下水の地球化学的特性と地下水年代、及び岩石の形成年代等に係るデータの取得に加え、数値モデルによるベントナイト変質解析により、高アルカリ地下水環境下でのベントナイト変質反応に伴う鉱物変質過程の理解とその時間スケールを評価することである。これらの結果に基づき、ベントナイトの長期健全性評価へのナチュラルアナログの適用性と信頼性向上のための課題を整理する。

本年度は、平成19年度から平成23年度までに実施した本調査研究の成果を踏まえ、フィリピン国ルソン島北西部の調査サイトを対象に、以下の(1)～(4)の調査・研究に加え、6カ年の成果を取りまとめ、(5)～(7)の観点で検討した結果を示した。

- (1)Active Type のNAサイトの探査
- (2)ベントナイトの生成と地質環境及び基本物理特性
- (3)高アルカリ地下水の生成・進化のプロセスと環境条件
- (4)高アルカリ環境下でのベントナイトの長期変質プロセスと環境条件
- (5)Fossil Type のNAによるベントナイトの長期健全性評価
- (6)NAデータの有用性と課題
- (7)今後の展望と開発戦略

ここで、Active Type のNAサイトとは現在も高アルカリ地下水とベントナイトが接触しているサ

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

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書)平成 24 年度 放射性廃棄物共通技術調査等事業
放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書(第3分冊) 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整理

◇平成24年度の成果

(1)Active Type のNAサイトの探査

Bigbica 地区において、詳細な地質調査、ガス計測調査、地下水の地球化学的調査、構造試錐調査・試錐孔間での簡易揚水試験および、試錐コアによる偏光顕微鏡観察とXRD解析を実施した。これらの結果から、「Active Type」の露頭発見のための3つの探査要素として、①高アルカリ地下水の湧水、②ベントナイト層の賦存、そして、③Zambales オフィオライト基盤岩中で形成・進化した高アルカリ地下水の流路となるオープンスペースとしての割れ目集中帯・断裂系が基盤岩からベントナイト層への連続的な連結が明確化された。

(2)ベントナイトの生成と地質環境及び基本物理特性

ベントナイト試料のス멕タイト含有量については、ベントナイトの未変質部では58.7～62.7%であったが、ベントナイトの境界部は30.7～36.0%であった。鉱物分析から、いずれの試料もス멕タイトを多く含むが、物性試験を行った境界部の試料は方解石が含まれていた。CEC (meq/100g)については、境界部では37.9～54.3、未変質部では69.6～104.1であり、膨潤力 (ml/2g)については、境界部では4～5で、未変質部では6～9であった。これらの物性はス멕タイト含有率と正の相関があるため、未変質部の試料のほうが(緩衝材の機能として)いい傾向を示すが、変質部は、乾燥密度が増加していることから、CECや膨潤力が単位重量当たりの特性値であることを考えると、緩衝材としての機能が著しく低下したとはいえない。ス멕タイトの含有率についても、間隙等に方解石が生成したために相対的に低くなっているが、ス멕タイトが他の

鉱物に変質して含有量が減少したものではない。

(3) 高アルカリ地下水の生成・進化のプロセスと環境条件

CFCs 分析法およびトリチウム分析法により Saile 鉱山の井戸水で 22~41 年、Bigbiga の井戸 1 の水で 57~59 年、Bigbiga 井戸 2 で 25~29 年という涵養年代が得られた。Poonbato ではトリチウム濃度は検出限界以下であり、60 年より古い水であることを示している。涵養年代の結果は、これまでの水質の結果と調和的である。すなわち Saile 鉱山の水は浅くて、水-岩石反応の進んでいない高アルカリではない水、Poonbato の水は最も反応が進み、深くても pH の高い水であり、Bigbiga、Manleluag は pH は高いが Saile 鉱山の水と Poonbato の水の間隔的な pH で、反応も中間的である。また、Saile 鉱山、Bigbiga、Manleluag の地下水はおそらく浅層地下水とより深部の水（例えば Poonbato と似た水）が混合したと思われる。

(4) 高アルカリ環境下でのベントナイトの長期変質プロセスと環境条件

ベントナイト-枕状溶岩の接触界面には、アルカリ地下水によってスメクタイトが変質したアルカリ変質帯が確認されたが、顕微鏡スケールで 5mm 程度の幅である。このアルカリ変質帯は、アルカリ地下水の主要溶存イオン（Si, Al, Mg, Fe<Mn>, Ca, K, Na, OH, <Cl>）との陽イオン交

換反応や溶解-沈殿反応および、還元-酸化反応により、Ca-スメクタイトの Fe 型化（Fe-スメクタイト、サポナイト）と還元-酸化反応によるノントロナイトと共生鉱物として針鉄鉱（ゲーサイト）および、カリ長石、Ca-沸石（主に輝沸石と少量の斜プチロ沸石）とシリカ鉱物で構成されている（図-1）。

TL に関する基礎実験により、 γ 線感度率および a-value を最適化して、フィリピン方解石の TL 年代を再計算した。その結果、最小で 25.1ka、最大で 120ka になり年代値をやや古くする。Fossil Type のサイトにおいて高アルカリ地下水が閉塞された年代だと考えられる方解石の TL 年代と断裂系が生じた際に高アルカリ地下水の湧水があったとした Aksitero 累層や Moriones 累層の堆積年代と Saile 鉱山採石場の断裂系の関係から、かなりの長期間に渡り（少なくとも 23Ma 以前~数 10ka まで）高アルカリ地下水がベントナイト層と接触していた、という評価には今回の際計算の結果は大きく影響しなかった。

地球化学計算によるアルカリ地下水と接触したベントナイトの変質解析から、二次鉱物による沈殿によりクロッキングを起こすことが示唆された。また、pH が初期鉱物の溶解量に大きく影響することが確認できた。一方、NA サイトの評価において、酸化・還元的環境や鉄鉱物の速度論的生成および、天然環境における拡散律速における反応溶液の体積量について現状の地球化学モデルにおいて課題があることが明確化された。

Cation Substitution / Dissolution-Precipitation / Reduced-Oxidized Condition

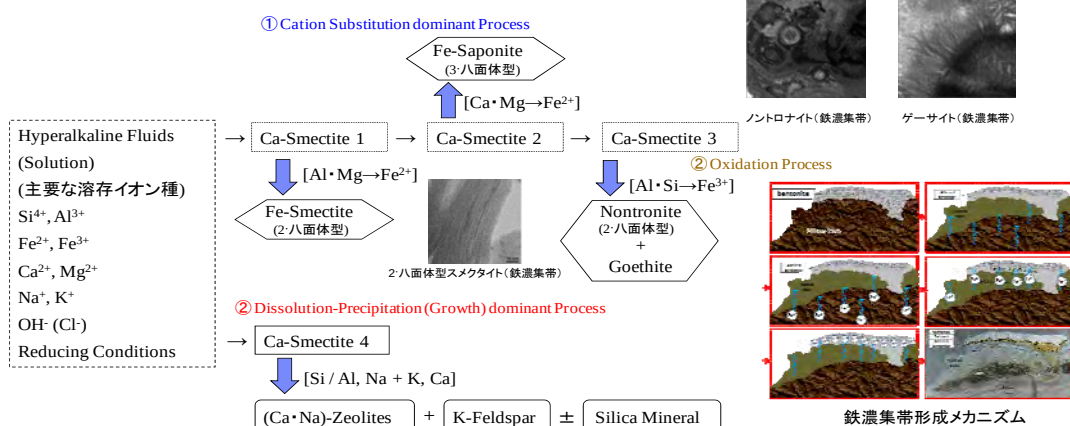


図-1 高アルカリ環境下におけるアルカリ変質鉱物生成シナリオ

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

(5) Fossil Type の NA によるベントナイトの長期健全性評価

これまで Fossil Type の NA で得られた、ベントナイト層と枕状溶岩の境界部での化学反応と物質移行（マスバランス）の連成としての地球化学的挙動およびベントナイト試料の実測物性値等に基づき、下記の検討項目に沿ってアルカリ地下水環境下でのベントナイトの長期健全性を評価した。

① 変質部（Bleached Zone）の規模（範囲と程度）

変質部の範囲は、枕状溶岩の表面（コンタクト）からベントナイト層へ約 40cm 程度であることが観察され、また、枕状溶岩の波状的な表面からほぼ等距離の幅で分布していることから、高アルカリ地下水（Ca-OH タイプの水質）が、ベントナイトには拡散支配で移行したことが推察される。

変質部の変質の程度については、境界部の界面に限られるアルカリ変質帯を除いて、Ca-ス멕タイトと随伴鉱物として主に輝沸石と斜プチロ沸石で構成されており、不均質に方解石が見られる部分を除き、未変質部との鉱物組成、CEC、膨潤力の顕著な違いは見られない。

② ベントナイトのアルカリ変質帯での物質移行

ベントナイトのアルカリ変質帯が、5mm 程度に限定されている最大の要因は、ベントナイトと共生関係にある針鉄鉱の産状である。これらの両鉱物が、変質ベントナイト（界面に近い部分）や未変質ベントナイトよりも密度の高い濃集帯を形成（閉塞現象：Clogging）し、その結果、物質移行を阻止する役割を担うことになり、アルカリ変質帯の広がり限定することになったと考えられる。

③ ベントナイトの実測物性値

ベントナイト試料のス멕タイト含有量、CEC、膨潤力などの物性はス멕タイト含有率と正の相関があるため、未変質部の試料のほうが（緩衝材の機能として）変質部よりいい傾向を示すが、乾燥密度が増加していることから CEC や膨潤力が単位重量当たりの特性値であることを考えると、緩衝材としての機能が著しく低下したとはいえない。

基本物性の乾燥密度（ g/cm^3 ）は、境界部では 1.524～1.669 で、未変質部では 0.908～1.121 である。間隙率（%）は、境界部では、37.9～40.3 で、未変質部では、55.5～63.6 である。間隙率と

乾燥密度は物質移行に極めて影響の高い物性であるが、これらの物性は境界部の方が間隙率が小さく（乾燥密度は高い）未変質部の方が大きい（乾燥密度は低い）。この理由はベントナイトの間隙に方解石が充填したためと考えられるが、方解石の生成はアルカリ変質とはそのメカニズムは異なるが、ベントナイトが変質した境界部のほうが未変質部より逆に物質移行を抑制する傾向が見られることは、長期的にベントナイトの変質が進まない方向に現象が進むという点で界面のアルカリ変質挙動と共通である。

④ マクロ的なフィールドの事実

これらの諸物性はトレンチ-1 と採石場でしか取得していないが、Saile 鉱山でベントナイトが大規模にアルカリ変質している露頭は一切見られない。さらに、断層系が発達し、今現在も活発に湧出している高アルカリ地下水が存在するオフィオライトの基盤の上にベントナイト層が存在し、また、それが過去にその地下水と接触していたにもかかわらず、処分場の評価期間をはるかに超える長期間ベントナイト鉱床は維持されている。

以上の①～④の評価から、Ca 系アルカリ地下水環境下でのベントナイトのアルカリ変質反応は、その規模、変質鉱物の生成プロセスおよび、基本物性等から考察し、ベントナイト系緩衝材に求められる諸特性の著しい劣化が確認されないことから、ベントナイトの長期健全性が保たれるものと評価できる。

(6) NA データの有用性と課題

NA は、処分場の長期挙動に関して多くの有益な情報が得られることが最大の利点であるが、処分場とその環境条件が完全に一致するサイトを見つけることはほぼ不可能であることから、処分場と異なる環境やプロセスが一部あったとしても、その NA が処分場の現象の何のアナログになっているかを明示することが重要である。

Fossil Type のサイトである Saile 鉱山近傍の Manleluag では、低温型蛇紋岩化作用によって生成した Ca-OH 型の高 pH 地下水が湧出しており、Saile 鉱山のベントナイトはこれと同じ化学特性の地下水と接触していたと想定される。界面のアルカリ変質帯では二次鉱物としてカリ長石が同定されており、これは pH11 以上の高アルカ

りによるス멕タイトの溶解・沈殿反応でしか説明できない。従って、Fossil Type のサイトではやはり Manleluag と同じ pH11 以上の高アルカリ地下水と接触していたと考えて間違いない。

Fossil Type のサイトの地下水特性を考えると、この NA は普通ポルトランドセメントのポルトランドイト ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) が溶脱し平衡状態になる RegionII のセメント間隙水のアナログと考えることができる。ただし、RegionII では pH12.5 程度であることがわかっている。ス멕タイトの溶解反応におよぼす pH の影響については、地球化学モデルによる解析でもその感度が高いことが示されており、NA だけでなく、実験やモデル解析と合わせて評価することが重要である。

また、pH に関しては C-S-H の溶解反応が支配的な低アルカリセメントや OPC の RegionIII のアナログとしても考えることができる。pH11 を超える条件での長期データは、工学的な低アルカリセメントの有用性の観点で低セメント材のベントナイト系緩衝材への影響を考える上で、極めて重要な指標となり得る。

界面でのアルカリ変質反応には酸化－還元フロントが寄与していたことが考えられる。処分場の操業期間中は多くの酸素が坑道中に供給され、閉鎖後初期は処分坑道も比較的参加状態が残存していることが考えられる。このような条件での NA としても十分活用できる。

また、ベントナイト－枕状溶岩接触部で生じる一連のアルカリ変質反応において Fe イオンが重要な働きをするパラメータであることがわかった。アルカリ環境下でのベントナイトへの鉄の影響とみると、鉄とベントナイトの相互作用の NA として考えることも可能である。

NA には、ベントナイトの長期健全性評価も含め、様々な観点でその情報の有効的な利用が期待される。以下にそれをまとめる。

- Fossil Type のサイトの NA は、高アルカリ地下水との反応後長期の平衡状態の鉱物組成を表すと考えられ、平衡論の地球化学モデルでの再現性の確認や二次鉱物の設定等パラメータや条件設定の最適化において活用できる。
- Fossil Type のサイトでの高アルカリ環境下のベントナイトのアルカリ変質過程で生じた鉱物学・地球化学的な現象を確認し、地質・

地下水環境条件を考慮したマスバランスによりアルカリ変質に伴う鉱物変遷プロセスを明らかにした。この知見は、セメント－ベントナイト相互作用によるベントナイトの長期挙動に関する現象理解に大きく貢献できる。

- クロッキングにより変質が進まない（界面が変質してもその変質部の物質移行が抑制され反応しない）証拠が得られ、高アルカリ環境下でもベントナイトの長期健全性が保たれる傍証となり得る。

Fossil Type のサイトの NA 調査を通じて、高アルカリ環境下のベントナイトの長期健全性に関する多くの成果が得られた。一方で取り組むべき課題も明確化された。それらを以下にまとめる。

- NA においてその現象の反応時間を把握することは極めて重要な問題であるが、現状、適用できる年代測定手法は限られており、反応時間の幅を推定するのもまだ高いハードルの課題である。したがって、年代の指標となる鉱物や年代測定法について可能性のあるものを積極的に適用することを検討する。
- Fossil Type では接触していたアルカリ地下水の状態を直接遡ることができない。ただし、Active Type のサイトがでは、直接計測することで解決できる。また、接触時間についても Active Type のサイトでは反応が始まった時間がわかれば反応時間の幅が把握できる。
- NA に地球化学解析モデルを適用するためには、まだ多くの課題がある。その練習事例として、特に酸化還元フロントとクロッキングについて Fossil Type の 5mm の変質事例は今後も検討するべきである。

(7) 今後の展望と開発戦略

Fossil Type のサイトでは根本的に解決できない問題でも Active Type のサイトが見つければ大きく進展が見込める可能性があることから、Active Type のサイトの NA 調査は検討すべき重要な課題である。したがって、Active Type のサイトの NA の探査を中心にフィールド調査を展開し、サイトが確認されたら、Fossil Type の NA 調査で得られた知見や課題を解決するための新たな方法を導入して、詳細な調査を実施すべき

Ⅲ．放射性廃棄物全般に共通する調査研究

と考える。

今後、Active Type のサイトの候補地である Bigbiga 地区での最重要調査は、「Active Type」の露頭発見であり、その露頭発見のために、[地下構造解析のための地上物理探査の実施]、[高アルカリ地下水の賦存状況を確認するための深掘りの構造試錐]、[スメクタイト量の多いベントナイト層の確認]の3つの探査要素が重要である。そして、効率的な探査をする上で、地質学的特性・岩石鉱物学的特性・地質構造学的特性や、水理・地化学的特性などを考察・評価して、探査戦略を明確にすることが必要である。

3. その他の放射性廃棄物全般に共通する調査研究等

その他、以下の放射性廃棄物全般に共通する調査研究等を行った。

(1) 放射性廃棄物基本情報体系化調査

国内外の放射性廃棄物に係る基本情報を収集して体系的に整理するとともに、収集した情報に基づいて「放射性廃棄物ハンドブック（平成 24 年度版）」を作成し、国内関係機関等に配布した。

(2) セメント系材料への熱影響評価に関する検討

セメント系材料の熱変質に関して以下の検討を実施した。

- ・ 熱力学的に変質温度を設定する手法に関する検討
- ・ 熱変質が分配係数等に与える影響に関する考察

(3) 原子力事故廃棄物の処理処分にに向けた研究開発に係る検討

福島第一原子力発電所の構内の廃棄物の処理及び処分に向けて以下の検討を実施した。

- ・ 処理処分における安全性の見通しの確認に必要な研究開発に関する調査、検討
- ・ 日本原子力学会特別専門委員会において、上記研究開発に関する計画策定に対応

(4) 福島第一原子力発電所事故で発生する廃棄物等の処理方針等の検討

福島第一原子力発電所の事故に伴って発生する廃棄物や汚染物への対策について、国内外における先行事例の調査、適用可能性のある処理技術等の調査を行い、技術情報の更新を実施した。

(5) 放射性物質を含む廃棄物の処分等に関する調査検討

福島第一原子力発電所事故に由来する放射性物質の影響を受けた下水汚泥焼却灰等について、処分の具体化、ならびに安全性評価検討を行った。

(6) 食品の調理・加工による放射性核種除去率データの整備

過去に刊行した、「食品の調理・加工による放射性核種の除去率（環境パラメータシリーズ 4）」を改訂するために、福島第一原子力発電所の事故以降に取得された放射性セシウムの調理・加工による除去率データの収集、整理等を行った。

IV. 放射性廃棄物処分への理解促進

1. 地層処分実規模設備整備事業

◇事業の概要

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

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

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

このような背景のもと、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24年度は、平成23年度に引き続き、以下の項目を実施した。

1. 工学技術試験設備の整備

- (1) 緩衝材定置試験設備のソフトウェア製作及び作動試験
 - (2) 緩衝材・搬送定置試験で使用する模擬緩衝材の製作
 - (3) 人工バリア長期挙動に係る試験の実施
 - (4) 緩衝材搬送・定置試験の実施
- #### 2. 設備建屋及び展示物の維持・管理・運営

なお、本事業は経済産業省資源エネルギー庁の委託により実施したものである。

(報告書) 平成24年度 原子力発電施設広聴・広報等事業
地層処分実規模設備整備事業報告書

◇平成24年度の成果

1. 工学技術試験設備の整備

- (1) 緩衝材定置試験設備のソフトウェア製作及び作動試験

平成23年度に引き続き、緩衝材定置試験設備の整備を進め、その一部となるソフトウェアを製作し、作動試験を実施した(図-1)。

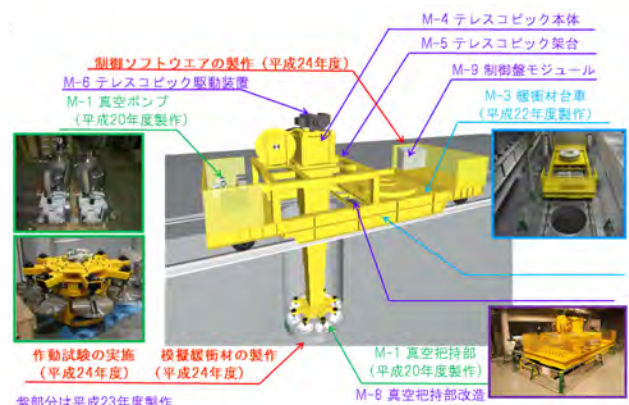


図-1 緩衝材定置試験装置製作経緯

1) ソフトウェアの製作

緩衝材台車に搭載した模擬緩衝材を連続した動作で模擬処分孔内に多段定置するための、ソフトウェアを製作した。

① 緩衝材定置試験設備の各機器の動作

各機器の動作を以下に示す。(図-2～図-7)

a. 緩衝材台車の動作

緩衝材台車を定位置からテレスコピック下部迄移動する動作

b. テレスコピックの動作

真空把持装置を上下に移動させる動作

c. 真空把持機構の動作

真空把持装置にて模擬緩衝材を把持する動作

d. 模擬緩衝材定置の動作

模擬緩衝材を緩衝材台車から模擬処分孔まで移動させ設置する動作



図-2 緩衝材定置試験設備の全景



図-3 緩衝材台車の動作



図-4 テレスコピックの動作（その1）

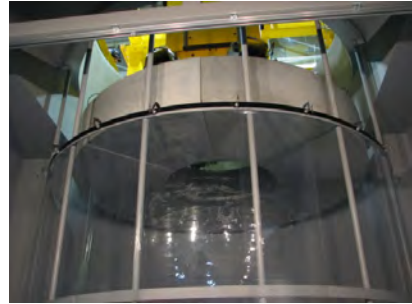


図-5 テレスコピックの動作（その2）



図-6 真空把持の動作



図-7 模擬緩衝材定置の動作

2) 作動試験

前項記載の各機器動作について、通常運転モードにて所定の動作を確認した。

また、異常発生時に安全機構が正常に働く事を確認した。

3) 連続動作

制御盤からの運転指令により緩衝材台車前進→テレスコピック下降→テレスコピック下降停止（着床）→真空把持→テレスコピック上昇→真空把持部旋回→緩衝材台車後進→テレスコピック下降→テレスコピック下降停止（着床）→真空把持解除→テレスコピック上昇→真空把持部旋回戻しの一連の定置動作を行うことを確認した。

IV. 放射性廃棄物処分への理解促進

- (2) 緩衝材・搬送定置試験で使用する模擬緩衝材
 緩衝材定置試験設備の動作機構に対する実証試験時及び展示に用いる、コンクリート製の模擬緩衝材を製作した。(図-8)



図-8 模擬緩衝材

- (3) 人工バリア長期挙動試験の実施
 平成 24 年度は、緩衝材の特性の一つである「自己修復性」「自己シール性」の確認のため、緩衝材の隙間閉塞の試験を実施した。

1) 試験の種類

隙間の閉塞挙動を把握するため、以下の試験の種類を実施した。

- ・ 飽和度の大小 (50%、90%) による隙間閉塞挙動の把握
- ・ 緩衝材初期密度の大小 (1.6Mg/m^3 、 1.8g/m^3) による隙間閉塞挙動の把握

2) 試験装置及び取得データ

「緩衝材の隙間閉塞試験」装置 (図-9) により、以下のデータを取得した。

- ① 緩衝材供試体の表面の状況 (写真撮影)
- ② 給水量
- ③ 含水比分布調査 (高さ 3 分割、平面 73 分割、合計 219 箇所)

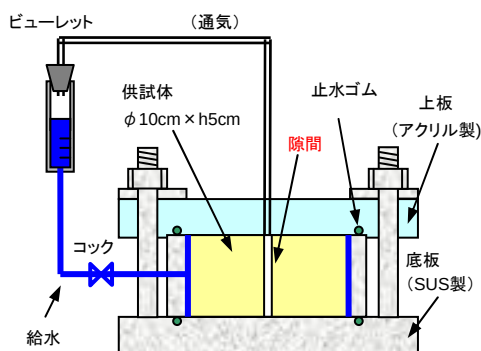


図-9 緩衝材の隙間閉塞試験の装置

4) 試験結果

試験一覧を表-1、試験状況を図-10、給水量及び含水比の経時変化を図-11、図-12 に示す。

表-1 試験一覧表

	試験前			試験後			
	乾燥密度	含水比	飽和度	試験期間	給水量	含水比	飽和度
	Mg/cm^3	%	%	day	mL	%	%
#1s□	1.60	9.0	35.7	512.3	105.7	26.0	100.1
#2	1.60	7.9	31.3	53.8	14.7	10.3	39.5
#3	1.60	7.9	31.3	94.8	45.4	15.2	58.5
#4	1.60	13.2	52.4	131.0	76.1	25.5	97.9
#5	1.60	22.7	90.1	29.3	16.8	25.4	97.7
#6	1.79	9.2	49.2	96.7	39.5	14.9	76.8
#7	1.80	16.4	89.4	69.0	18.5	19.1	100.0
#8	1.77	9.5	49.0	115.0	77.7	20.6	108.6
#9	1.59	22.4	88.0	80.3	22.3	26.0	99.0
#10	1.80	16.4	89.4	87.0	12.1	18.5	97.1

※ #1s, #2, #3 は、参考値



図-9 緩衝材の隙間閉塞試験状況

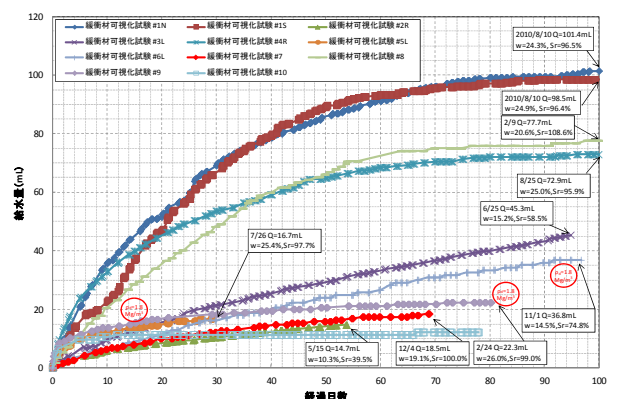


図-11 緩衝材供試体への注水量の変化

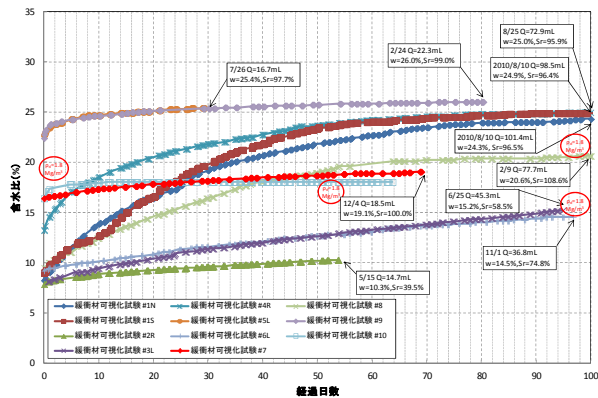


図-12 緩衝材供試体の含水比の変化

5) 試験結果一例

試験#7 における含水比と密度の推移を図-13、含水比分布の状況を図-14、緩衝材供試体の表面の隙間の変化を図-15 に示す。緩衝材供試体中の含水比は特異な部分はなく、ほぼ一様に水が浸潤していることがわかった。

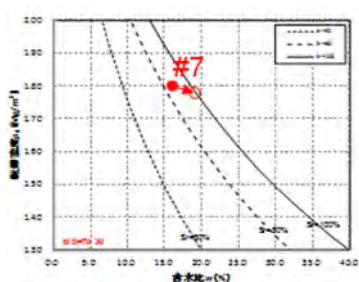


図-13 含水比と密度の変化

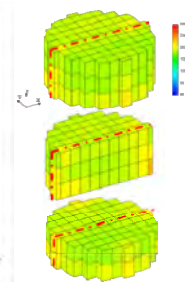


図-14 含水比分布



試験開始 14日 35日

図-15 緩衝材の隙間の変化

6) 試験結果のまとめ

「緩衝材の隙間の閉塞挙動」について観察・データ収集を行い、以下の成果及び知見を得た。

- 緩衝材の隙間の閉塞挙動を連続写真にて記録し、これより作成した動画により隙間の閉塞挙動を把握できるようになった。
- 試験終了時の供試体の含水比分布は、特に大きな偏りがないことが分かった。
- 緩衝材の密度の大小、飽和度の大小に関わらず緩衝材の隙間は閉塞した。

- 供試体表面の状態の観察より試験開始から1ヶ月程度で隙間が閉塞している。

本試験により、地層処分で想定される飽和度・乾燥密度の状態にある緩衝材に水が浸潤するとき緩衝材供試体にある隙間が閉塞することを確認することができ、隙間の閉塞挙動を可視化することができた。

(4) 緩衝材搬送・定置試験

1) 試験概要

平成24年9月1日(土)、2日(日)に幌延町で開催した「おもしろ科学館 2012in ほろのべ」(北海道経済産業局主催)に合わせ、緩衝材定置試験設備を使用した緩衝材搬送・定置試験を公開した。試験は模擬緩衝材を4段定置する試験を、1日2回(午前・午後各1回)の計4回実施した(図-16、図-17)。

なお、両日の来館者数は705名であった(9/1:323名、9/2:382名)。



図-16 緩衝材定置試験実施状況1



図-17 緩衝材定置試験実施状況2

IV. 放射性廃棄物処分への理解促進

2) 試験内容

実施した試験項目を以下に示す。

①模擬緩衝材位置決め実証試験（把持前）

把持前に緩衝材台車上に円形に並べた模擬緩衝材の位置決め方法及び位置決め精度を確認した。

確認項目：外観、寸法（直径）及び隙間寸法（寸法は、定置機構実証試験（把持後）の結果と対比するために測定）

②走行実証試験

- ・ 模擬緩衝材を搭載した緩衝材台車が走行することにより発生すると考えられる衝撃や振動が模擬緩衝材に与える影響を確認した。

確認項目：走行時に模擬緩衝材に影響を及ぼさない事

③把持機構実証試験

- ・ 模擬緩衝材を8個または、9個を同時に把持する性能を確認した。
- ・ 真空把持装置を下降させ把持した模擬緩衝材を模擬処分孔に定置した時の模擬緩衝材切り離し機構の動作確認を確認した。

確認項目：把持動作中の真空ポンプの真空度及びハンドリング速度

④定置機構実証試験（把持後）

模擬緩衝材を積み重ねた時の定置精度を確認した。

確認項目：

- ・ 定置位置出し精度（平面（目視））
- ・ 繰り返し定置精度（平面（目視及び触手）、模擬緩衝材の寸法（直径）及び隙間寸法）

3) 試験結果

①模擬緩衝材位置決め実証試験（把持前）

各回共に試験に支障をきたすような傷等は見受けられなかった。

②走行実証試験

- ・ 模擬緩衝材に影響を与えるような衝撃や振動は発生しなかった。
- ・ 圧縮空気を供給する事により切り離しがスムーズに行えた。

③把持機構実証試験

- ・ 把持動作中の真空度が設計値の-80kpa以上になっていた。
- ・ 把持動作中のテレスコピックの速度が計

画通りであった。

- ・ 振動の発生無し
- ・ 模擬緩衝材定置時の衝撃無し

④定置機構実証試験（把持後）（図-18）

- ・ 定置位置出し精度：各回共に所定内に定置出来た。
- ・ 繰り返し定置精度：問題となる様な段差及び隙間は発生しなかった。

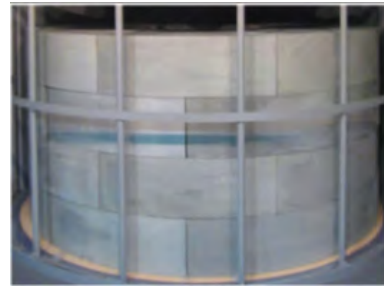


図-18 模擬緩衝材4段定置後の状況

2. 設備建屋及び展示物の維持・管理・運営

(1) 設備建屋における運営

地層処分実規模試験施設は平成 23 年度に引き続き一般公開を行った。

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

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

(2) 広報活動

原環センターホームページ上では、施設整備の進捗にあわせて、地層処分実規模試験施設のページ（図-19）を更新し、施設や展示物の紹介などの各種情報を発信した。また、地層処分実規模試験施設のリーフレット（図-20）を作成し、幌延町トナカイ観光牧場、豊富温泉宿泊施設、各電力会社の原子力発電所 PR 館及び稚内市内の空港、フェリー乗り場、JR 駅、高速バス乗り場等に配備し、来館者の増加に向けた取組みを進める一方で、来館者には、原環セン

ターや経済産業省が作成した各種パンフレット等を配布し、地層処分への理解促進に努めている。



図-19 地層処分実規模試験施設ホームページ
(<http://www.rwmc.or.jp/institution/>)

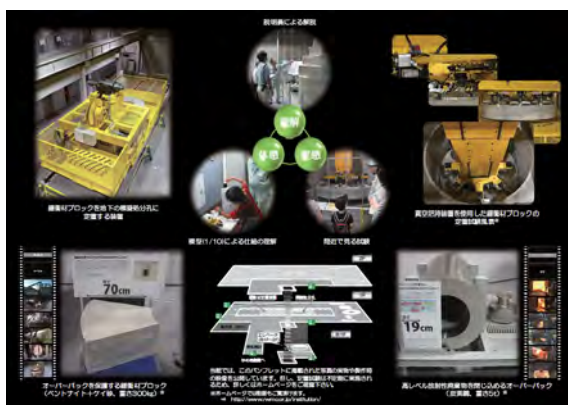


図-20 地層処分実規模試験施設リーフレット
(上段：表面、下段：裏面)

(3)さらなる理解促進のための方策検討

①来館者の集客力増加のための方策

- 地元FM局（FMわっかない）の番組表に「実規模試験施設」の案内広告を掲載した。（図-21）
- 「おもしろ科学館2012 in ほろのべ」の実規模試験施設のラジオCMを製作し、8/25～8/31の期間地元FM局（FMわっかない）にてCM放送を実施した。

②操業技術の理解促進のための方策

- 真空把持機構を簡単に理解できる展示資料として、1/10人工バリア及び把持装置模型を製作し、来館者に体感して貰っている。（図-22）



図-21 番組表掲載の案内広告



図-22 1/10 人工バリア及び把持装置模型

③幅広い情報発信の方策

「実規模試験施設」に関する動画を作成し、原環センターホームページに公開した。

- 9月1日、2日に公開した「緩衝材搬送・定置試験実施状況動画」
- 実規模試験施設の設置理由、展示物実物の説明をする「プロモーションビデオ」

3. 事業の評価

1) 来館者数

平成 24 年度は 5,671 人が来館した（表-2）。平成 22 年 4 月 28 日開館以来の延べ来館者数は 21,081 名となった。

IV. 放射性廃棄物処分への理解促進

表-2 月別来館者推移（人）

来館者推移							2013年3月31日 現在
年月	来館者数		男女別			月計	累計
	一般	関係者	男	女	子供	週計	(H23.4.1～)
平成24年4月	296	0	160	87	49	296	296
平成24年5月	602	4	343	186	77	606	902
平成24年6月	494	1	306	152	37	495	1397
平成24年7月	947	11	536	329	93	958	2355
平成24年8月	882	28	480	262	168	910	3265
平成24年9月	1180	9	459	334	396	1189	4454
平成24年10月	589	0	285	183	121	589	5043
平成24年11月	273	4	153	103	21	277	5320
平成24年12月	115	0	56	34	25	115	5435
平成25年1月	50	0	33	11	6	50	5485
平成25年2月	68	0	49	18	1	68	5553
平成25年3月	116	2	65	32	21	118	5671
合計	5612	59	2925	1731	1015		

2) アンケートの実施

ゆめ地創館と協力してアンケートを実施した。(図-23) アンケートの集計結果の一例を図-24 に示す。

ゆめ地創館等 ご見学アンケート

本日は、御来館ありがとうございます。深地層の研究等についてのご理解をより深めていただくために、皆様のご意見を反映して行きたいと考えております。つきましては、以下のアンケートへのご協力をお願いします。
アンケートは集計後に廃棄させていただきます。
集計結果につきましては、上記目的のため、外部に発表させていただくことがあります。

【該当する箇所には○をお願いします。】

1 あなたの性別、年代、お住まいをお教えてください。

性別：・男性 ・女性
年代：・10代以下 ・20代 ・30代 ・40代 ・50代 ・60代以上
お住まい：・幌延町 ・北海道内 ・北海道外

2 ゆめ地創館・地層処分実規模試験施設、地下施設の見学にあたり、お知りになったことをアークからお選びいただき（複数回答可）、見学後の感想をお教えてください。

※ 「アーク」からお選びください。（複数回答可）

	1	2	3	4
ゆめ地創館				
イ 高レベル放射性廃棄物の地層処分について				
ウ 核燃料サイクルについて				
地層処分 実規模試験施設				
エ 実物大の人工バリアについて				
オ 実物大の人工バリアを使った試験について				
地下施設				
カ 深地層の環境について				
キ 地下施設の現場での研究状況について				
その他				
ク 具体的に：()				

3 その他、要望事項等ありましたら教えてください。

ご協力ありがとうございました。

図-23 アンケート用紙

【人工バリアについて】

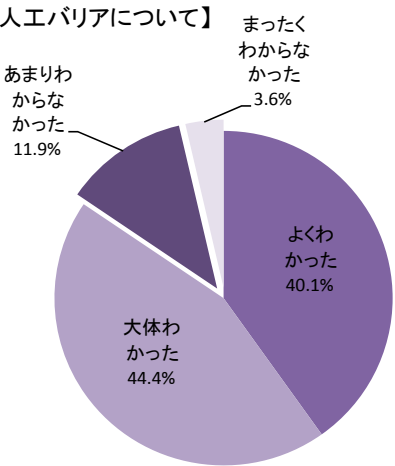


図-24 アンケートの集計結果（一例）

3) 来館者の感想

来館者の主だった感想を以下に示す。

- これからの全ての人に対する重要な施設だと感じました。より多くの人が見るべきです。
- 見学して今行っていることがリアルに伝わりました。
- この施設が有る理由が解った気がしました。もっと広めて一人一人が考えてもらえるようにPRしてほしい。
- もう少し宣伝をしたらよいと思います。このような施設があることを知りませんでした。
- 説明員による説明がなければ内容がほとんど解らない。
- 遠隔地にあるため、皆さんに紹介できないのが残念です。

(This page(p91) is intentionally kept blank.)

V. 国際交流

V. 国際交流

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

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

(1) 情報交換・研究協力を行っている海外機関

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

表-1 当センターが協力協定（覚書）を有する海外機関一覧

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

上表のうち、平成 24 年度中に現行協力協定が期限となる SCK・CEN について、協定の更新（5 年間の新たな協定の締結等）を行った。また、SKB、ANDRA、NAGRA、DBE、Posiva Oy と情報交換等を実施した。

(2) IAEA 放射性廃棄物データベース（NEWMDB）への協力

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

原環センターは、IAEA の放射性廃棄物データベース（NEWMDB）整備活動に関し、カントリー・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などの実務を担当した。

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

原環センターは、平成 21 年度より欧州原子力共同体のモニタリング国際共同研究 MoDeRn プロジェクトに参画し、モニタリングに関する広範な検討と情報収集を実施している。平成 24 年度は、フィンランド・トゥルク及びスイス・サン・チュルサンヌにて開催された定期会合にてモニタリングの目的や実施方法に関する検討に参画すると共に、ルクセンブルグにて開催された国際会議にて検討成果の発表と討議を行った。

MoDeRn プロジェクトは平成 25 年 10 月に終了するが、MoDeRn プロジェクトの成果を受けたモニタリングに関する共同研究が、IGD-TP（Implementing Geological Disposal of Radioactive waste Technology Platform：放射性廃棄物の地層処分の実施に向けた技術プラットフォーム）において平成 27 年より実施される予定であり、原環センターも引き続き参画する予定である。

(4) フランス放射性廃棄物管理機関（ANDRA）との地中無線モニタリング技術に関する共同研究

原環センターは、地層処分に関する中核的なモ

ニタリング技術である地中無線モニタリング技術について、平成 22 年度よりフランス放射性廃棄物管理機関(ANDRA)と共同研究を実施し、効率的な機器開発と ANDRA のムーズ・オートマルヌ地下研究所(ビュール地下研究所)での実証を行っている。

平成 24 年度は小型地中無線送信装置へのセンサ接続機器、及び地中無線の中継システムの開発等を実施した。

(5) 東アジア放射性廃棄物管理フォーラム(EAFORM)への協力

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

現在第 4 期である EAFORM のホストは中国であり、平成 25 年 10 月に中国・北京でコンファレンスが開催された。なお、次期ホストは台湾となっている。

VI. 資料

VI. 資料

1. 講演会・セミナー等

講演会名等		開催日	会場
講演会	第1回原環センター講演会「放射性廃棄物の地層処分における可逆性と回収可能性－考え方と技術開発等の状況－」 朝野 英一（処分工学調査研究プロジェクト）	平成24年6月29日	原環センター
	第2回原環センター講演会「スウェーデンにおける使用済燃料処分場の立地・建設許可申請書に関わる国際レビューに参加して」 徳永 朋祥 氏（東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授）	平成24年8月31日	原環センター
	第3回原環センター講演会「ドイツにおける放射性廃棄物処分の現状」（原子力発電環境整備機構との共催） Enrique Biurrun 氏（DBE社）	平成25年2月5日	霞山会館
	第4回原環センター講演会 「セメントーベントナイト相互作用のナチュラルアナログーフィリピンでの調査－」 藤井 直樹（処分材料調査研究プロジェクト） 「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25年3月25日	日本交通協会
セミナー	第1回原環センターセミナー「放射性廃棄物最終処分の安全評価の基礎Ⅰ」 朽山 修 氏（公益財団法人原子力安全研究協会 処分システム安全研究所 所長）	平成24年5月24日	京都大学東京オフィス
	第2回原環センターセミナー「放射性廃棄物最終処分の安全評価の基礎Ⅱ」 朽山 修 氏（公益財団法人原子力安全研究協会 放射線・廃棄物安全研究所 所長）	平成24年10月8日	京都大学東京オフィス
	第3回原環センターセミナー「放射性廃棄物最終処分の安全評価の基礎Ⅲ」 大江 俊昭 氏（東海大学 工学部 原子力工学科 教授）	平成24年11月8日	東海大学高輪キャンパス
研究発表会	平成24年度原環センター研究発表会 1. 研究発表 「TRU廃棄物の地層処分における評価上の重要核種への対策について－ヨウ素129対策を中心に－」 大和田 仁（処分材料調査研究プロジェクト） 「地層処分場でのモニタリング技術の開発－地中無線通信技術による－」 江藤 次郎（処分工学調査研究プロジェクト） 「地層処分場の操業技術－技術開発と理解促進－」 朝野 英一（処分工学調査研究プロジェクト） 2. 特別講演 「福島第一原子力発電所事故の要因と学ぶべき教訓」 堀井 秀之 氏（東京大学大学院 工学系研究科 教授）	平成24年11月30日	星陵会館

2. 論文投稿、学会発表等

(1)論文投稿

No.	題 目	原環センター著者	発 表 先
1	In-situ measurement of dissolution rates of montmorillonite during and after grain fragmentation by compaction	石井智子、大和田仁	Clay Mineral, Volume 48, Number 2, May 2013
2	Chemical alteration analysis of the bentonite in consideration of the hydraulic/mechanical properties	石井智子、 矢萩良二、大和田仁	Clay Mineral, Volume 48, Number 2, May 2013
3	Experimental investigations of piping phenomena in bentonite based buffer materials for an HLW repository	鈴木圭、矢萩良二、朝野英一	Clay Mineral, Volume 48, Number 2, May 2013
4	Development of the Synthetic Rock Technique for the Immobilization of Iodine: Kinetics of the Alumina Matrix Dissolution under High Alkaline Conditions	宮川英明、桜木智史、大和田仁	MRS SYPOSIUM PROCEEDING Vol.1193 Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVI
5	Corrosion and alteration of lead borate glass in bentonite equilibrated water	桜木智史、大和田仁	MRS SYPOSIUM PROCEEDING Vol.1193 Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVI
6	The Study on Iodine Release Behavior from Iodine-Immobilized Cement Solid	桜木智史、高橋陵太、大和田仁	MRS SYPOSIUM PROCEEDING Vol.1193 Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVI
7	Long-term corrosion of Zircaloy 4 and Zircaloy 2 by continuous hydrogen measurement under repository condition	桜木智史、宮川英明	MRS SYPOSIUM PROCEEDING Vol.1193 Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVI
8	Estimation of Carbon 14 Inventory in Hull and End-piece Waste from Japanese Commercial Reprocessing Operation	桜木智史、田辺博三	Proceedings of the ASME 2013 15th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management ICEM2013 September 8-12, 2013, Brussels, Belgium

注) 平成 24 年度に投稿し、平成 25 年 10 月までに刊行されたものも記載

VI. 資料

(2)学会発表等

No.	題 目	原環センター発表者	発表先
1	狭隘部におけるベントナイト締固めによる側部緩衝材（低透水層）の施工性確認-平成23年度地下空洞型処分施設性能確認試験による-	秋山吉弘、中島昌樹、山田淳夫、矢田勤	土木学会 平成24年度 第67回年次学術講演会、2012/9/5～7
2	狭隘部におけるベントナイト吹付けによる側部緩衝材（低透水層）の施工性確認-平成23年度地下空洞型処分施設性能確認試験による-	矢田勤、秋山吉弘、中島昌樹	土木学会 平成24年度 第67回年次学術講演会、2012/9/5～7
3	材齢1年を超えた低発熱型セメントを用いたコンクリートの諸性状について-地下空洞型処分施設性能確認試験による-	秋山吉弘、矢田勤	土木学会 平成24年度 第67回年次学術講演会、2012/9/5～7
4	低発熱型セメントと膨張剤を用いた高流動モルタルのひび割れについて-地下空洞型処分施設性能確認試験による-	秋山吉弘、矢田勤	土木学会 平成24年度 第67回年次学術講演会、2012/9/5～7
5	飽和ベントナイトのガス移行試験-破過メカニズムの検討	並木和人、朝野英一	土木学会 平成24年度 第67回年次学術講演会、2012/9/5～7
6	ガス移行データライブラリの開発	朝野英一、並木和人	土木学会 平成24年度 第67回年次学術講演会、2012/9/5～7
7	不飽和ベントナイトのせん断強度特性と水分特性	朝野英一、並木和人	土木学会 平成24年度 第67回年次学術講演会、2012/9/5～7
8	PEM 施工技術の開発(3)鋼殻リング PEM における製作・組立技術の実験的検討	矢萩良二、朝野英一、中村有夫	土木学会 平成24年度 第67回年次学術講演会、2012/9/5～7
9	PEM 概念における実規模スケール搬送・定期試験(1)エアベアリング、エアジャッキ方式による横置き定置	矢萩良二、中村有夫、朝野英一	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2012/9/19～21
10	PEM 概念における実規模スケール搬送・定期試験(2)坑道台座方式の概念と搬送・定置試験	矢萩良二、中村有夫、朝野英一	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2012/9/19～21
11	地層処分における性能確認モニタリングのパラメータ選定について	田辺博三、江藤次郎、鈴木圭	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2012/9/19～21
12	地中無線による原位置試験(2)小型地中無線受信装置の原位置試験	江藤次郎、鈴木圭、田辺博三	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2012/9/19～21
13	緩衝材の再冠水挙動評価(3)緩衝材のパイピング・エロージョン挙動および品質評価	鈴木圭、朝野英一、矢萩良二	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2012/9/19～21
14	緩衝材の再冠水挙動評価(4)緩衝材の施工方法に起因した隙間や大隙間が浸潤状況に及ぼす影響	朝野英一、鈴木圭、矢萩良二	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2012/9/19～21

No.	題 目	原環センター発表者	発表先
15	ヨウ素固定化技術開発(16)液交換試験によるセメント固化体からのヨウ素放出挙動の把握-	桜木智史、高橋陵太、大和田仁	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2012/9/19~21
16	ヨウ素固定化技術開発(17)-ヨウ素酸含セメント水和鉱物の溶解度測定および熱力学平衡計算によるセメント固化体からのヨウ素放出挙動の評価-	桜木智史、高橋陵太、大和田仁	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2012/9/19~21
17	ヨウ素固定化技術開発(18)-BPI ガラス固化体のガラス構造に関する検討(その2)-	大和田仁、桜木智史	日本原子力学会 2012 年秋の大会、2012/9/19~21
18	炭素鋼溶接金属の水素脆化割れに及ぼす微小欠陥の影響(第2報)	小林正人、高橋里栄子、朝野英一	腐食防食協会 第59回材料と環境討論会、2012/9/24~26
19	地層処分環境におけるジルカロイの腐食速度の評価の必要性	桜木智史、宮川英明、高橋陵太、大和田仁、田辺博三	腐食防食協会 第59回材料と環境討論会、2012/9/24~26
20	Evaluation of Long Term Alteration caused by Cement-Clay interaction (1) -Overview of the Project-	大和田仁、林大介、矢萩良二、石井智子	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25
21	Evaluation of long-term interaction between cement and bentonite for geological disposal (2) XAFS Analysis of Calcium Silicate Hydrate Precipitates at Cementitious and Bentonite Material Interface	林大介、石井智子、大和田仁	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25
22	Evaluation of long-term interaction between cement and bentonite for geological disposal, (3) In-situ measurement of dissolution rates of montmorillonite during and after grain fragmentation by compaction	石井智子、大和田仁	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25
23	Evaluation of long-term interaction between cement and bentonite for geological disposal, (4) Effect of montmorillonite content on mechanical and hydraulics properties of bentonite and its numerical modeling	大和田仁、石井智子、矢萩良二	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25

VI. 資料

No.	題 目	原環センター発表者	発表先
24	Evaluation of Long Term Alteration caused by Cement-Clay interaction (5) -Chemical alteration analysis of the bentonite in consideration of the mechanical/hydraulic properties-	石井智子、矢萩良二、 大和田仁	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25
25	The swelling behavior of montmorillonite as affected by the grain size by in situ X-ray diffraction experiments	大和田仁、矢萩良二	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25
26	Natural analogue study for interaction between hyperalkaline groundwater and bentonite at Mangatarem region in the Philippines	山川稔、藤井直樹、 並木和人	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25
27	Laboratory Gas Injection Tests on Compacted Bentonite Buffer Material for TRU Waste Disposal	並木和人、朝野英一	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25
28	Long-Term Gas Migration Modeling in Compacted Bentonite Using Swelling/Shrinkage-Dependent Two Phase Flow Parameters	朝野英一、並木和人	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25
29	Geomechanical Characterisation of Unsaturated Kunigel V1 Bentonite: Swelling and Shear Strength	朝野英一、並木和人	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25
30	Experimental investigations of piping phenomena in bentonite based buffer materials	鈴木圭、朝野英一	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25

No.	題 目	原環センター発表者	発表先
31	Mechanical interpretations of homogenizing of bentonite due to swelling behavior	朝野英一、鈴木圭	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25
32	Studies of Construction Methods for Bentonite Engineered Barrier Systems for Sub-surface Disposal - Vibratory Compaction-	秋山吉弘、中島昌樹、山田淳夫、矢田勤	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpellier 2012) ”, 2012/10/22-25
33	Development of the Synthetic Rock Technique for the Immobilization of Iodine: Kinetics of the Alumina Matrix Dissolution under High Alkaline Conditions	宮川英明、桜木智史、大和田仁	Materials Research Society “Symposium LL: Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVI (MRS2012) ”, 2012/11/25-30
34	Corrosion and Alteration of Lead Borate Glass in Bentonite Equilibrated Water	桜木智史、大和田仁	Materials Research Society “Symposium LL: Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVI (MRS2012) ”, 2012/11/25-30
35	The Study on Iodine Release Behavior from Iodine-Immobilized Cement Solid	桜木智史、高橋陵太、大和田仁	Materials Research Society “Symposium LL: Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVI (MRS2012) ”, 2012/11/25-30
36	Long-term Corrosion of Zircaloy-4 and Zircaloy-2 by Continuous Hydrogen Measurement under Repository Condition	桜木智史、宮川英明	Materials Research Society “Symposium LL: Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVI (MRS2012) ”, 2012/11/25-30
37	Laboratory Gas Injection Tests and Modeling on Compacted Bentonite Buffer for TRU Waste Disposal in Japan	並木和人、朝野英一	Gas generation & migration, International Symposium & workshop (FORGE Euratom project), 2013/2/5-7
38	Basic Requirement of Monitoring Activities in Geological Disposal and Role of Wireless Data Transmission	田辺博三、江藤次郎、鈴木圭	MoDeRn 国際会議 “MONITRING IN GEOLOGICAL DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE”, 2013/3/19~21

VI. 資料

No.	題 目	原環センター発表者	発表先
39	Development of Miniaturized Wireless Transmitter with Low Frequency Magnetic Waves	鈴木圭、江藤次郎、 田辺博三	MoDeRn 国際会議 “MONITRING IN GEOLOGICAL DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE”, 2013/3/19～21
40	Development of Wireless Monitoring System for Stepwise Backfill/Sealing of Geological Repository	江藤次郎、鈴木圭、 田辺博三、	MoDeRn 国際会議 “MONITRING IN GEOLOGICAL DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE”, 2013/3/19～21
41	汚染水処理にともなう二次廃棄物の処理処分に関する一考察	田辺博三	日本原子力学会 2013 年春 の年会、2013/3/26～28

(3)解説等

No.	題 目	著 者	発 表 先
1	地層処分事業等の国際的な動向	稲垣裕亮	日本原子力産業協会、原子力 年鑑 2013、2012/10
2	放射性廃棄物等安全条約の現状	佐原聡	日本原子力産業協会、原子力 年鑑 2013、2012/10

3. 刊行物

No.	刊 行 物 名	主な内容	発 行 日
1	原環センタートピックス№102	放射性廃棄物の地層処分における可逆性と回収可能性－考え方と技術開発等の状況－	2012 年 6 月
2	原環センタートピックス№103	スウェーデンにおける使用済燃料処分場の立地・建設許可申請書に関わる国際レビューに参加して	2012 年 9 月
3	原環センタートピックス№104	福島第一原子力発電所事故の要因と学 ぶべき教訓	2012 年 12 月
4	原環センタートピックス№105	地層処分場の操業技術－技術開発と理 解促進－	2013 年 3 月
5	原環センター2011 年度 技術年報		2012 年 10 月

上記の刊行物は、原環センターホームページのライブラリー <http://www.rwmc.or.jp/library/> からご覧いただけます。

4. ホームページへの海外最新情報の掲載

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

〔各タイトル記事内容は上記の URL にアクセスしてください。〕

	掲載日	タイトル
1	2012/04/09	カナダの核燃料廃棄物管理機関（NWMO）、サイト選定プロセスへの関心表明の期限を2012年9月末に設定
2	2012/04/17	追記）英国カンブリア州において地層処分場サイト選定プロセスへの参加に関する公衆協議が開始〔2011年11月25日既報〕
3	2012/04/17	追記）米国のブルーリボン委員会が最終報告書を公表〔2012年1月30日既報〕
4	2012/05/15	フィンランド TVO 社、VLJ 処分場での低・中レベル放射性廃棄物の処分開始から20年を迎える
5	2012/05/22	追記）米国で NRC がユッカマウンテン許認可申請書の審査手続の停止を指示〔2011年9月13日既報〕
6	2012/05/25	英国の西カンブリア放射性廃棄物安全管理パートナーシップの動き - 地層処分場サイト選定プロセスへの参加に関する世論調査結果の公表
7	2012/06/04	追記）カナダの核燃料廃棄物管理機関（NWMO）、サイト選定プロセスへの関心表明の期限を2012年9月末に設定〔2012年4月9日既報〕
8	2012/06/04	米連邦控訴裁判所が DOE に放射性廃棄物基金への拠出金額の妥当性を評価するよう指示
9	2012/06/11	追記）ドイツのアッセ II 研究鉱山で廃棄物回収に向けた「現状確認調査」の第1段階に関する許認可が発給〔2011年5月6日既報〕
10	2012/06/11	追記）米国で NRC が「廃棄物保証」の規則及び所見の改定案を承認 - 地層処分場操業開始時期の記述を変更〔2010年9月17日既報〕
11	2012/06/15	スウェーデンの安全規制機関が SKB 社の安全評価書の国際ピアレビュー報告書を公表
12	2012/06/22	スウェーデンで SSM が立地・建設許可申請書に関する初期技術審査で寄せられた意見書を公表
13	2012/06/25	スイスの連邦エネルギー庁が放射性廃棄物管理プログラム及び同プログラムの評価結果に対する意見募集を開始
14	2012/07/02	追記）米国で NRC がユッカマウンテン許認可申請書の審査手続の停止を指示〔2011年9月13日既報〕
15	2012/07/04	英国 NDA が一般的な条件での処分システム・セーフティケースに対する規制機関のレビュー報告書への対応を公表
16	2012/07/11	スイスで連邦エネルギー庁が地層処分場が与える経済影響に関する中間調査結果を公表
17	2012/07/13	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2012年版を公開
18	2012/07/17	台湾で低レベル放射性廃棄物処分場の推薦候補サイト2カ所が公告

VI. 資料

	掲載日	タイトル
19	2012/07/18	カナダの使用済燃料処分場のサイト選定の状況－8 地域において第 3 段階を開始
20	2012/07/20	追記) ドイツで BMU と州が、ゴアレーベンでの探査と並行して、発熱性放射性廃棄物処分のための新たなサイト選定手続の工程を進めることで合意〔2011 年 12 月 27 日既報〕
21	2012/07/25	英国の西カンブリア放射性廃棄物安全管理パートナーシップの動き - 自治体議会への最終報告書取りまとめ
22	2012/07/27	フランスの国家委員会 (CNEF) が放射性廃棄物管理費用等に係る資金確保の適切性などに関する評価報告書を公開
23	2012/08/17	追記) 英国の西カンブリア放射性廃棄物安全管理パートナーシップの動き - 自治体議会への最終報告書取りまとめ〔2012 年 7 月 25 日既報〕
24	2012/09/11	米国で NRC が環境影響評価の実施と「廃棄物保証」規則の再改定へ
25	2012/09/14	追記) 米国のブルーリボン委員会が最終報告書を公表〔2012 年 1 月 30 日既報〕
26	2012/09/25	追記) 米国で 2013 会計年度の予算要求－「使用済燃料処分等プログラム」(UFD) に対して約 6,000 万ドル要求〔2012 年 2 月 15 日既報〕
27	2012/09/25	ベルギーで浅地中処分場建設許可申請に向けた安全報告書についての国際ピアレビュー結果が公表
28	2012/09/26	英国のケント州シェップウェイ市議会が地層処分場選定プロセスへの関心表明を行わないことを決定
29	2012/09/27	追記) カナダの使用済燃料処分場のサイト選定の状況－8 地域において第 3 段階を開始〔2012 年 7 月 18 日既報〕
30	2012/10/03	カナダでサイト選定プロセスへの関心表明の受付を一時中断－受け付け済み 21 地域への調査・対応に注力
31	2012/10/05	英国のカンブリア州、コーブランド市及びアラデール市がサイト選定への参加決定を延期
32	2012/10/11	追記) カナダでサイト選定プロセスへの関心表明の受付を一時中断－受け付け済み 21 地域への調査・対応に注力〔2012 年 10 月 3 日既報〕
33	2012/10/12	米国における民間での使用済燃料の中間貯蔵施設の計画を巡る動き
34	2012/10/15	追記) スイスで NAGRA が地層処分場の地上施設の設置区域として 20 カ所を提案〔2012 年 1 月 30 日既報〕
35	2012/10/15	フランスの放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) が地層処分場設置に関する公開討論会の開催を公開討論国家委員会 (CNDP) に付託
36	2012/10/18	追記) フランスの放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) が地層処分場設置に関する公開討論会の開催を公開討論国家委員会 (CNDP) に付託〔2012 年 10 月 15 日既報〕
37	2012/10/26	追記) スウェーデンで SSM が立地・建設許可申請書に関する初期技術審査で寄せられた意見書を公表〔2012 年 6 月 22 日既報〕
38	2012/10/30	追記) カナダでサイト選定プロセスへの関心表明の受付を一時中断－受け付け済み 21 地域への調査・対応に注力〔2012 年 10 月 3 日既報〕

	掲載日	タイトル
39	2012/10/30	カナダ核燃料廃棄物管理機関 (NWMO) が 2013 - 2017 年の実施計画案への意見募集を開始
40	2012/10/31	スウェーデンの規制当局が SKB 社による使用済燃料処分場の環境影響評価書の補足の必要性に関する意見書を提出
41	2012/11/08	追記) 米国で 2013 会計年度の予算要求 - 「使用済燃料処分等プログラム」(UFD) に対して約 6,000 万ドル要求 [2012 年 2 月 15 日既報]
42	2012/11/09	追記) フランスの放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) が地層処分場設置に関する公開討論会の開催を国家討論会委員会 (CNDP) に付託 [2012 年 10 月 15 日既報]
43	2012/11/14	スイスで連邦原子力安全検査局が事業者による処分費用見積りを妥当なものと評価
44	2012/11/20	追記) 欧州連合 (EU) で使用済燃料及び放射性廃棄物の管理に関する指令が採択 [2011 年 7 月 21 日既報]
45	2012/11/26	追記) スイスで連邦原子力安全検査局が事業者による処分費用見積りを妥当なものと評価 [2012 年 11 月 14 日既報]
46	2012/11/26	追記) フィンランド TVO 社、VLJ 処分場での低・中レベル放射性廃棄物の処分開始から 20 年を迎える [2012 年 5 月 15 日既報]
47	2012/12/03	米国で廃棄物隔離パイロットプラント (WIPP) が 11,000 回の輸送の受入れを達成
48	2012/12/04	ドイツで連邦環境大臣がゴアレーベンでの探査活動を一時停止することを決定
49	2012/12/04	英国政府がエネルギー法改正案を議会に送付
50	2012/12/05	韓国政府が「使用済燃料管理対策推進計画」を策定
51	2012/12/10	追記) フランスの放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) が地層処分場設置に関する公開討論会の開催を国家討論会委員会 (CNDP) に付託 [2012 年 10 月 15 日既報]
52	2012/12/18	ドイツで連邦政府がアッセ II 研究鉱山の閉鎖を促進するための法案を策定
53	2012/12/26	フランスで国家評価委員会 (CNE) が第 6 回評価報告書を公表
54	2013/01/07	追記) 米国における民間での使用済燃料の中間貯蔵施設の計画を巡る動き [2012 年 10 月 12 日既報]
55	2013/01/07	フィンランドでボシヴァ社がオルキルオトでの使用済燃料処分場の建設許可を申請
56	2013/01/15	追記) フィンランドで新規原子炉建設と最終処分場の拡大に関する原則決定について経済大臣が提案 [2010 年 4 月 27 日既報]
57	2013/01/15	米国で DOE が「使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理・処分戦略」を公表
58	2013/01/22	追記) 米連邦控訴裁判所が DOE に放射性廃棄物基金への拠出金額の妥当性を評価するよう指示 [2012 年 6 月 4 日既報]
59	2013/01/22	追記) カナダでサイト選定プロセスへの関心表明の受付を一時中断 - 受け付け済み 21 地域への調査・対応に注力 - [2012 年 10 月 3 日既報]
60	2013/01/31	英国のカンブリア州の議決により、コーブランド市及びアラデル市でのサイト選定プロセスが次段階に進めないことが決定
61	2013/02/01	追記) 英国のカンブリア州の議決により、コーブランド市及びアラデル市でのサイト選定プロセスが次段階に進めないことが決定 [2013 年 1 月 31 日既報]

VI. 資料

	掲載日	タイトル
62	2013/02/01	追記) 米連邦控訴裁判所が DOE に放射性廃棄物基金への拠出金額の妥当性を評価するよう指示〔2012 年 6 月 4 日既報〕
63	2013/02/05	ベルギー放射性廃棄物・濃縮核分裂性物質管理機関 (ONDRAF/NIRAS) が浅地中処分場の建設許可申請書を提出
64	2013/02/06	スイスのサイト選定プロセス第 2 段階の進捗状況―地層処分場の地上インフラに関する地元の見解が 2013 年前半中に出揃う見通し
65	2013/02/08	追記) フランスの放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) が地層処分場設置に関する公開討論会の開催を国家討論会委員会 (CNDP) に付託〔2012 年 10 月 15 日既報〕
66	2013/02/08	スイス連邦原子力安全検査局 (ENSI) が安全性の評価関連の 3 つの文書を公表
67	2013/02/21	追記) 英国のカンブリア州の議決により、コープランド市及びアラデール市でのサイト選定プロセスが次段階に進めないことが決定〔2013 年 1 月 31 日既報〕
68	2013/03/22	英国でヒンクリーポイントにおける新規原子炉の建設の計画認可が発給―新たな放射性廃棄物管理等の資金確保制度による計画―
69	2013/03/25	追記) ドイツで連邦政府がアッセ II 研究鉱山の閉鎖を促進するための法案を策定〔2012 年 12 月 18 日既報〕
70	2013/03/26	追記) 米国で 2013 会計年度の予算要求―「使用済燃料処分等プログラム」(UFD) に対して約 6,000 万ドル要求〔2012 年 2 月 15 日既報〕
71	2013/03/29	英国・原子力廃止措置機関 (NDA) 等による放射性廃棄物処分関連の動き―ドリッグ処分場の管理契約の延長、NDA の事業計画書の公表、「英国の原子力の将来」ほか―

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証試験	地下空洞型処分施設性能確証試験検討委員会	原位置での確証試験の詳細計画及び試験結果に関する検討
	塩素 36 分析マニュアルの専門家レビューに係る対応	C1-36 分析マニュアルの妥当性に係るレビュー委員会	C1-36 分析マニュアルの妥当性の検討
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
		巨大地震、津波等の対策技術検討委員会	自然災害に対する地層処分システムの操業安全を確保するための対策技術に関する検討
	地層処分回収技術高度化開発	地層処分回収技術高度化開発検討委員会	地層処分の回収技術に関する検討
	人工バリア長期性能評価技術開発	人工バリア長期挙動検討委員会	人工バリアの長期性能の評価手法を確証するための技術的事項に関する検討
		ガス移行挙動評価検討委員会	人工バリアシステム及び周辺岩盤でのガス移行挙動を評価するための技術的事項に関する検討
	ヨウ素・炭素処理・処分技術開発	炭素 14 放出挙動検討委員会	放射化金属廃棄物から放出される炭素 14 の放出移行挙動を確証するための試験手法及び評価に関する検討
		廃棄体開発検討委員会	TRU 廃棄物の処分における、炭素 14 の長期閉じ込めのための廃棄体開発に関する検討
		ヨウ素固定化処理技術開発委員会	ヨウ素固定化に関する固定化技術、固化体のヨウ素放出抑制能等に関する検討
	量子化学的手法を用いたニアフィールド現象の詳細評価技術の開発	量子化学計算ワーキンググループ	量子化学計算手法の性能評価上の課題に対する適用性の評価、課題及び解決方策等に関する検討

VI. 資料

分野区分	研究件名	委員会名称	検討事項
3. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究	放射性廃棄物重要基礎技術研究調査	地層処分重要基礎技術研究委員会	大学等の所属研究者による基礎的・基盤的な研究の実施における、研究テーマの選定や進捗評価等
		ナチュラルアナログ検討委員会	ナチュラルアナログサイトにおける調査方法及び調査結果に関する検討
		地層処分基盤研究開発検討評価委員会	「地層処分基盤研究開発調整会議」による次期全体計画に係る検討
	食品の調理・加工による放射性核種除去率データの整備	食品の調理・加工による放射性核種除去率データの整備検討委員会	食品の調理・加工による放射性核種除去率データの収集、評価
4. 放射性廃棄物処分への理解促進	地層処分実規模設備整備事業	地層処分実規模設備整備事業検討委員会	地層処分実規模設備整備事業の計画、実施内容等に関する検討

原環センター 2012年度 技術年報

2013 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。