

# RWMC

原環センター  
2006年度 技術年報



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

一昨年閣議決定された「原子力政策大綱」の目標を実現するための具体的方策として、政府は昨年「原子力立国計画」をとりまとめました。このなかで、原子力発電の重要性を時代環境の変化のもとで再確認するとともに、その重要な施策の一つとして、「核燃料サイクルの着実な推進」、特に、「放射性廃棄物対策の着実な推進」が挙げられています。その具体的対策の一つとして、本年6月の国会で、最終処分法等の改正法が成立し、TRU 廃棄物の処分に関する法的枠組みが整備されるとともに、地層処分の安全規制に関する法的根拠を原子炉等規制法に置くことが決定されました。



また、国際的にも、米、英、仏をはじめとする各国において、放射性廃棄物対策に真剣に取り組む機運が高まってきています。

当センターは、1976年に設立されて以来、産業界、学会、官界の幅広いご協力を得て、放射性廃棄物処理処分に特化した我が国唯一の中立の専門頭脳集団として、我が国が避けて通ることのできない放射性廃棄物の処理処分事業の遂行に必要な技術的、社会科学的な調査研究活動を行ってまいりました。

具体的には、低レベル放射性廃棄物の処分に係る調査研究、高レベル放射性廃棄物の処理処分技術や処分制度化の調査研究、TRU 廃棄物やウラン廃棄物の処理処分に係る調査研究などを実施してまいりました。これらの実績は国際的にも高く評価され、近年、各国の調査研究機関、処理処分事業実施機関等と共同の取組みを行うケースも増加してきています。また、こうした国際的な連携を通じて築き上げられたネットワークを活用して、当センターは、放射性廃棄物に関する世界各国の政策、制度、処理処分事業の進捗状況等の情報を分析・加工して各界の利用の便に供する情報センターの役割も担っております。

こうした活動を地味ながら持続的に展開してきた当センターにとって、最近の我が国政府及び各国の積極的な姿勢は心強いものがあり、また、当センターの責務の重大さを再認識させるものであります。

以上述べた放射性廃棄物に係る調査研究業務に加えて、当センターは、2000年には最終処分積立金の、2005年には再処理等積立金のそれぞれ法律に基づく指定法人として、資金管理業務を新たに担うことになりました。

この技術年報は、当センターが2006年度に実施した調査研究の内容をご紹介するとともに、国際交流や国際会議・学会等での論文発表実績等当センターの一年間の活動状況を取りまとめたものです。本年報を通じて、当センターの活動をご理解いただくとともに、ご指導を賜れば幸いです。

財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター  
理事長 井上 毅

## 目 次

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する研究	4
1. ウラン廃棄物処分	4
ウラン廃棄物処分技術調査	4
2. 余裕深度処分	8
地下空洞型処分施設性能確認試験	8
3. その他の管理処分に関する研究	11
II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究	12
1. 高レベル放射性廃棄物処分	12
1-1 地質環境調査技術	12
高精度物理探査技術高度化調査（物理探査技術信頼性確認試験）	12
地質環境評価技術高度化調査	14
1-2 処分技術	16
遠隔操作技術高度化調査	16
人工バリア特性体系化調査	18
人工バリア材料照射影響調査	20
1-3 性能評価技術	22
性能評価技術高度化	22
地球化学バリア有効性確認調査	25
1-4 制度化・社会対応技術	28
モニタリング機器技術高度化調査	28
ビュール地下研究所における無線モニタリング技術確認(1)	32
2. TRU 廃棄物処分	34
人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価	34
人工バリア長期性能確認試験	36
ヨウ素固定化技術調査	38
放射化金属廃棄物炭素移行評価技術調査	40
廃棄体開発調査	42
その他の TRU 廃棄物処分に関する研究	45
III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究	46
総合情報調査	46
地層処分重要基礎技術研究調査	48
サイクル廃棄物広報対策等	50
TRU 廃棄物処分に関する広報素材の作成	51
IV. 安全基準に関する調査研究	52



# 1. 放射性廃棄物の管理処分に関する研究

## 1. 放射性廃棄物の管理処分に関する研究

### 1. ウラン廃棄物処分

#### 【ウラン廃棄物処分技術調査】

本調査は、ウラン廃棄物の処分の合理的実現に向けて、ウラン廃棄物特有の移行パラメータ等の整備、検認技術開発および除染技術開発を行っており、それぞれ「ラドン挙動・安全評価手法調査」、「測定・検認技術開発（品質保証高度化）」、「除染技術開発」の3テーマにて実施している。この3テーマについて、事業の概要と18年度の成果を分けて示す。

なお、本調査は経済産業省の委託により実施しているものである。

- (報告書)平成18年度 ウラン廃棄物処分技術調査報告書
- (第1分冊) ラドン挙動・安全評価手法調査 測定・検認技術開発(品質保証高度化)
  - (第2分冊) 除染技術開発試験(フッ素化除染技術開発)
  - (第3分冊) 除染技術開発試験(アルカリ融解/電解透析除染等技術開発)

#### (ラドン挙動・安全評価手法調査)

##### ◇事業の概要

ウラン廃棄物から発生するウランの子孫核種であるラドンの土壌中における拡散係数や、埋設廃棄体からのラドンの散逸割合は、ウラン廃棄物処分の長期安全評価のための重要なパラメータである。現状においては、わが国の土壌における拡散係数や、廃棄体からのラドン散逸割合等が得られていないことから、これらのデータの取得を目的に本調査を実施するものである。

土壌中のラドン拡散係数の取得に際しては、その測定方法が確立していないため、まず測定技術を開発した上で、わが国の代表的な土壌のラドン拡散係数の測定を行う。測定に際しては、処分場の覆土施工まで考慮して、わが国の代表的な土壌について、ラドン被ばくに関わる長期安全性評価に使えるように実験式としてまとめる。

また廃棄体からのラドン散逸割合測定技術を開発し、ウラン燃料加工工場で発生する代表的なスラッジ廃棄物のラドン散逸割合を測定する。さらにラドンの散逸を抑える対策を検討した上で、ラドン散逸対策後の廃棄体についても散逸割合を測

定して、ラドン被ばくに関わる長期安全性評価に使えるデータとしてまとめる(図-1)。

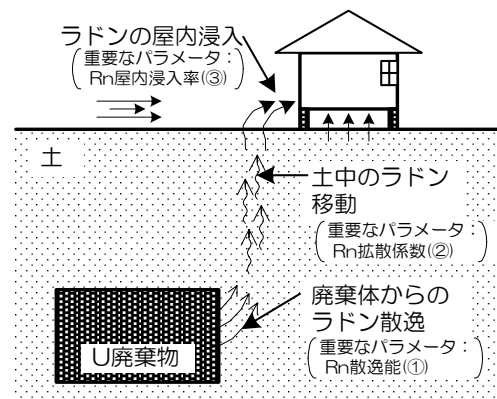


図-1 ウラン廃棄物からのラドン移行

##### ◇平成18年度の成果

#### (1) ラドン散逸割合測定

##### a. 鉄澱物(共沈)のラドン散逸割合

共沈作用で作製した鉄澱物を用いてラドン散逸割合を測定し、含水量の影響を評価した。鉄澱物(共沈)には多量の水分が含まれおり、そのラドン散逸割合は1.0であった。加熱し十分に水分を取り除き、散逸割合を低い状態にしても、水分が添加されれば0.6程度にまで上昇することが判った。

#### (2) ラドン拡散係数調査

##### a. ラドン子孫核種の挙動確認

昨年度改良を施したラドン拡散係数測定装置(ゲートバルブ付きステップ入力方式)を用いて、豊浦砂と関東ローム圧縮土のラドン拡散係数を測定し、理論値と測定値が良い一致を示していることを確認した(図-2)。

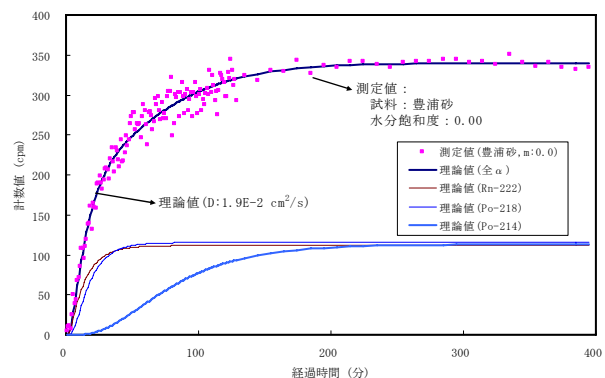


図-2 豊浦砂を用いたラドン拡散係数の測定値と理論値との比較



豊浦砂と関東ロームを用いたラドン拡散係数測定結果のまとめを図-3に示す。3つの測定値とRogers\*<sup>1)</sup>らの評価式による値とは、比較的良い一致を示した。

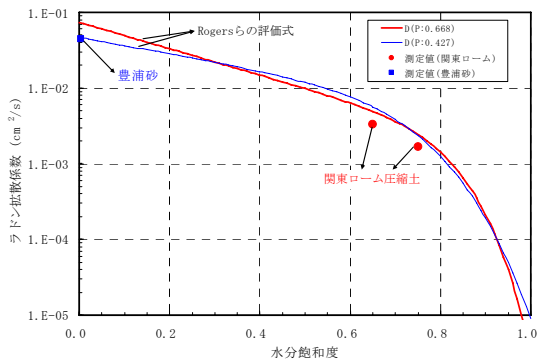


図-3 ラドン拡散係数測定結果のまとめ

\*1): URS, Investigation of soil radon diffusion and emanation coefficient measurements and methodologies, URS Corporation, RAE-50344-001-4, 2002

#### b. 自己修復性確認試験

土壤中ラドン拡散係数に対する土壌クラックの影響について、ヘアクラックによるラドン挙動変化確認試験を行った。その結果、クラック幅 0.4mm のラドン拡散係数は健全な土試料の 1.6 倍になり、幅 1.0mm では 2.4 倍になった。ヘアクラックを自己修復させた測定において、クラック幅 0.4mm の土試料ではラドン拡散係数が多少小さくなった程度であったが、クラック幅 1.0mm の土試料では、ほぼ健全な状態の値にまで修復された。0.4mm のヘアクラックでは、クラック幅が余りにも小さいため、水分が深部まで浸透せず、クラックが十分に修復されなかったものと考えられる。

#### (3) 安全評価手法調査

安全評価手法調査として、原子力安全委員会「低レベル放射性廃棄物の陸地処分の安全規制に関する基準について(第2次中間報告)」(平成12年2月)の考え方を参考に評価手法・評価パラメータを調査し、跡地利用シナリオの安全評価を実施した。農作物摂取による内部被ばくを日本の食生活、日本国内で実測された移行係数((独)放射線医学総合研究所データ)を用いて評価した。10 $\mu$ Sv/yに相当する初期濃度は、IAEA/DOEの移行係数を用いた評価で0.30Bq/gであるのに対して日本国内で実測された移行係数を用いた評価は0.88Bq/gとなり、IAEA/DOEの移行係数に基づく評価の約3倍となることが判った。

### (測定・検認技術開発(品質保証高度化))

#### ◇事業の概要

ウラン廃棄物をクリアランスする場合において、クリアランスレベルに相当する廃棄物中のウラン核種の放射能レベルを効率的かつ精度よく測定する必要がある。本調査は、このクリアランスレベル相当のウラン濃度測定システム開発を目的として、光中性子法(図-4)によるウラン濃度測定装置を開発する。

光中性子法は、電子線型加速器(LINAC)により高エネルギーX線を測定対象に照射し、ウランの(X,n)反応で発生する遅発中性子を測定してウラン量を定量する方法である。測定可能レベルとしては、IAEAのTECDOC855で提案されている0.3Bq/g(4.5%濃縮ウラン換算で3.3ppm)をクリアランスレベル想定値として、開発を進めるものである。

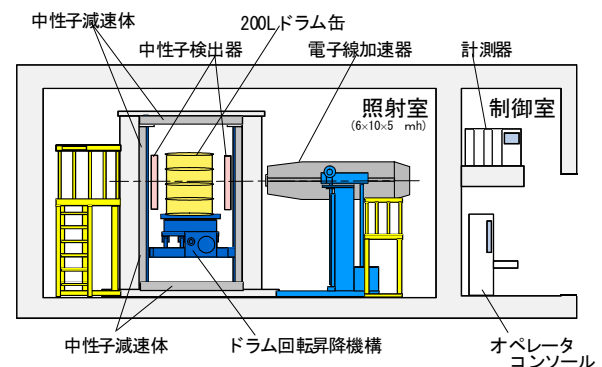


図-4 光中性子法によるウラン濃度測定装置概念

#### ◇平成18年度の成果

##### (1) ウラン定量精度の確認試験

LINACで生成するX線は強い指向性を有するので、測定対象がドラム廃棄物のように大きい場合には、走査測定が必須である。実際の走査測定方法の実用性を確認するために、回転昇降装置を製作し、20リットルドラム廃棄物を対象に、高さ方向に5cmのスライス毎の走査測定試験を行った(図-5)。種々の応答関数を計算機シミュレーションで求め、最も保守的な値となる応答関数を用いて、20リットルドラム廃棄物を測定した場合の測定精度を確認した。

# 1. 放射性廃棄物の管理処分に関する研究

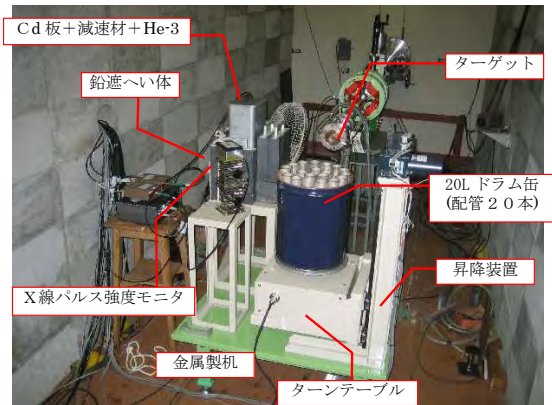


図-5 20L 模擬ドラム缶測定状況

## (2) 濃縮度測定方法の検討

ウラン濃縮度測定は、光中性子法とウラン 237 の  $\gamma$  線測定を組み合わせる方法は実用性が低いことが分かっている。そこで、新たな方法として光中性子法とウラン 235 の  $\gamma$  線測定を組み合わせる方法、及び、光中性子法の X 線エネルギーを 11MeV と 7MeV の 2 つのエネルギーを用いてウラン 235 と 238 の (X, n) 反応の遅発中性子発生割合の違いを利用する方法の検討を行った。

2 エネルギー法による濃縮度測定法は、ウラン 235 の量の測定誤差が大きく、クリアランスレベル想定値程度のウラン濃度では実用的ではないことがわかった。一方、光中性子法とウラン 235 の  $\gamma$  線測定を組み合わせた濃縮度測定法は、5%濃縮ウランがクリアランスレベル想定値程度の 0.5Bq/g 存在している場合、光中性子測定とパッシブガンマ測定を 0.5 時間行うことにより、濃縮度の相対誤差は  $\pm 8\%$  ( $1\sigma$ ) 程度であり、実用化できるという結果を得た (図-6)。

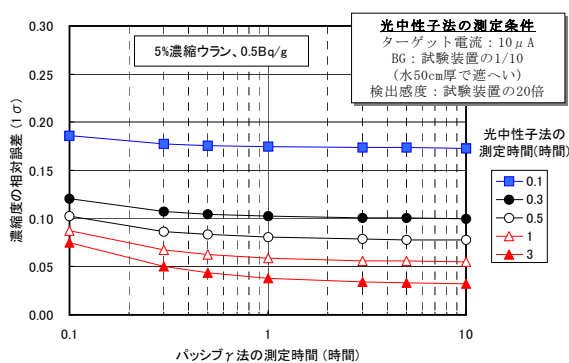


図-6 光中性子法と U-235 の  $\gamma$  線測定を組み合わせた濃縮度測定性能

## (除染技術開発)

### ◇事業の概要

わが国におけるウラン廃棄物の処理処分の基本的考え方は、除染処理等により放射性核種濃度を低減し、クリアランスレベル以下になるものについては、放射性廃棄物として取り扱う必要のないものとして、処分または再利用の方針としている<sup>\*2)</sup>。現状においては、わが国におけるウラン廃棄物のクリアランスレベルが決まっていないため、IAEA の TECDOC855 で提案されている 0.3Bq/g をクリアランスレベル想定値として、これを達成する除染技術の開発を目的とし、研究を実施している。

これまで、フッ素化除染、有機酸等除染、アルカリ溶解/電解透析除染、銻物化除染、超臨界炭酸ガス除染、超高压水除染について試験、検討を行ってきた。これらの除染方法のうち、クリアランスレベル相当値以下まで除染が有望な候補としてフッ素化除染とアルカリ溶解/電解透析除染について、さらに開発していくこととした。

\*2):平成12年12月、原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会報告「ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について」

### (1) フッ素化除染

三フッ化塩素ガス ( $\text{ClF}_3$ ) をウラン廃棄物に接触させることにより、廃棄物に含まれるウランを  $\text{UF}_6$  の形で廃棄物から分離させ除染する。フッ素化除染システムの概念を図-7 に示す。

これまで、代表的なウラン廃棄物であるフィルタ、鉄澱物、耐火レンガ、金属類をクリアランスレベル相当値以下に除染することに成功した。また、実機処理を模擬したロータリーキルン式試験装置でも、鉄澱物をクリアランスレベル相当値以下にまで除染することに成功した。

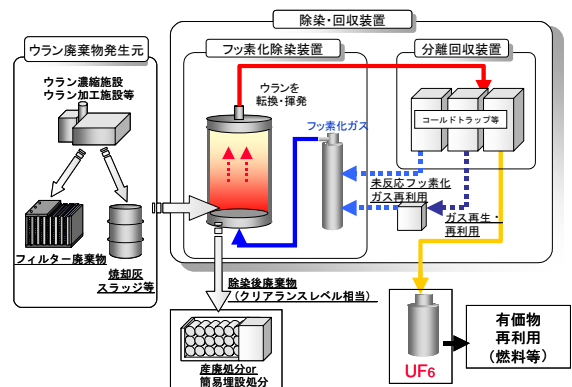


図-7 フッ素化除染システムの概念図

## (2) アルカリ融解/電解透析除染

極めて除染が困難なスラッジ類、焼却灰を対象にした除染技術であり、廃棄物を全溶解した後、溶解液からウランを吸着材で吸着分離する除染法である。アルカリ融解/電解透析除染の概念図を図-8に示す。

これまでに各廃棄物を全溶解することに成功し、吸着材による溶解液からのウラン吸着(回収)試験を実施している。

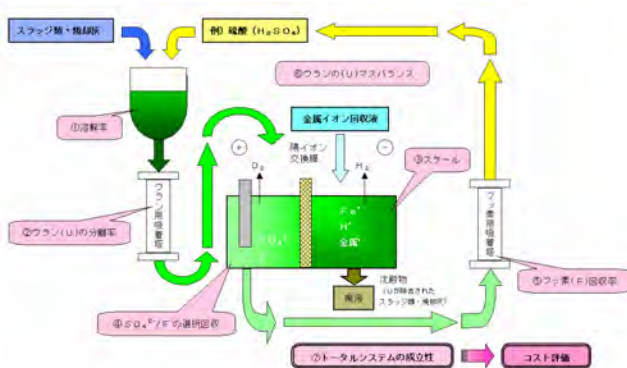


図-8 アルカリ融解/電解透析除染の概念図

## ◇平成 18 年度の成果

## (1) フッ素化除染

## a. ループ除染試験

ClF<sub>3</sub> 使用量の低減を目的としてループ除染試験装置を製作し、鉄澱物を試料として用いたループ除染試験を実施した。ワンスルー除染試験と同等の除染効果が得られ、ClF<sub>3</sub> ガス使用量の低減が可能なことを確認した。

## b. 除染装置の設計評価

鉄澱物より複雑な成分を含有する焼却灰の反応速度式を作成し、除染性能を評価した。これにより、実機除染装置の設計に必要な設計式を作成することができた。

## c. 総合評価

これまでの除染試験の結果に基づいて、各ウラン廃棄物の除染結果をまとめ、除染運転パラメータを明らかにした。また、実機除染装置の除染システムフローを作成し、各ウラン廃棄物の物質収支を作成した。

## (2) アルカリ融解/電解透析除染

## a. ウラン吸着性能評価

SV 値\*を小さくするほど、より多くの廃液を処理することができ、カラム出口の廃液中ウラン濃度が 0.01ppm を超えるまでの通液量と SV 値の関係を明らかにした。SV 値やカラム段数が異なる場合でも破過曲線が推定できる関係式と定数を求めることができた。

## b. 全体システム総合評価

E 事業所の所有するスラッジ・焼却灰のウラン廃棄物量は 200L ドラム缶で 2,717 本あり、これらをアルカリ融解/電解透析除染法で除染することにより、332 本に低減できる試算結果が得られた。1 日に 100kg のスラッジ・焼却灰を除染する場合、アルカリ融解/電解透析除染での設備面積は、最も合理的な設備構成としたケースで 320m<sup>2</sup> となる試算結果が得られた。人工数が最も少なくなるのは、設備形態を大型集約型とし、ウラン吸着処理をバッチ処理としたケースであり、このときの合計人工は、36 人・h/日となる試算結果が得られた。また、アルカリ融解/電解透析除染に必要な消耗品量を明らかにした。必要なウラン吸着材量は、バッチ処理で 2.8m<sup>3</sup>/日、カラム処理で 4.3m<sup>3</sup>/日となる試算結果が得られた。

## ◇本技術調査の成果

本技術調査では、①ラドン挙動・安全評価手法調査、②測定・検認技術開発、③除染技術開発を実施してきた。ラドン挙動・安全評価手法調査については、ウラン廃棄物処分のラドンの地中移行に関する極めて貴重なデータが得られた。測定・検認技術開発については、極低濃度ウラン測定システムの実用化に必要なデータが取得でき、また、除染システムについては、フッ素化除染、アルカリ融解除染システムの設計に必要なデータを得た。これらの成果は、今後のウラン廃棄物発生事業者等による処分の具体化や、国による安全規制の検討の中で活用されるものと期待される。

\* SV 値：吸着材体積を 1 として、1 時間に吸着材を通過する廃液量を表した値



1. 放射性廃棄物の管理処分に関する研究

2. 余裕深度処分

【地下空洞型処分施設性能確認試験】

◇事業の概要

地下空洞型処分施設は、比較的放射能レベルの高い放射性廃棄物を対象としていることや、地下50m以深の地下空洞に建設する処分施設であるため、これまでの浅地中処分施設の建設とは異なる設計や施工技術が必要とされている。地下空洞型処分施設の設計や施工技術の基礎となる試験データ等は、これまでは主に試験室規模での要素試験が中心であったが、現実の処分施設設計・建設に反映させるためには、より現実的な試験条件下で実施する実証的な試験が必要とされてきている。

「地下空洞型処分施設性能確認試験」は、こうした確証的試験の必要性に鑑み、ベントナイト系材料やセメント系材料等の人工バリアの原位置での施工性と、その施工に伴う人工バリア性能の確認を主たる目的として行うものである。本試験の成果は、地下空洞型処分施設の建設に関わる基盤技術の確立に反映される。

本試験は、地下空洞型処分施設を模擬した施設を構築し、以下の試験を実施する。

(1) 処分施設施工確認試験

実際の地下空洞環境下において実規模の施設を施工することにより、施工方法、施工手順、品質管理方法等の実施への適用性を確認する。

(2) 初期性能確認試験

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

(3) 施設／岩盤挙動計測

施工された施設の力学挙動や試験位置周辺の地下水挙動等を計測する。

図-1 に地下空洞型処分施設の概念図を示す。

本研究は、平成17年度より開始し、初年度は試験の基本計画を策定した。平成18年度は、この基本計画をもとに、施設形態及び試験方法等の詳細計画の策定を行うとともに、セメント系材料の拡散係数の代替指標に関する予備試験の実施、海外の地下研究施設における人工バリアの施工、品質管理方法等の調査、試験空洞内における岩盤挙動計測のための計測器の一部の設置を行った。平成

19年度から地下約100mに掘削された試験空洞(幅約18m、高さ16m)において人工バリアの施工試験を本格的に実施する計画である。試験施設の主な仕様等を図-1及び表-1に示す。

なお、本試験は経済産業省の委託により実施しているものである。

(報告書)平成18年度 管理型処分技術調査等 地下空洞型処分施設性能確認試験 報告書

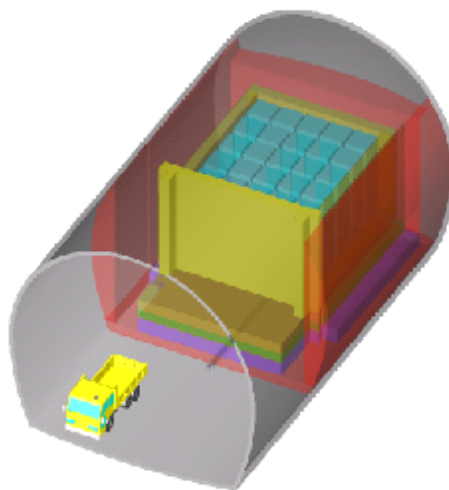


図-1 地下空洞型処分試験施設概念図

表-1 試験施設の主な仕様等

主な部位	主な仕様、目標性能	
緩衝材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料：クニゲルGX</li> <li>・厚さ：1m</li> <li>・透水係数：5E-13m/s</li> </ul>	
低拡散材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料：セメント系材料</li> <li>・厚さ：0.6m</li> <li>・拡散係数：1E-12m<sup>2</sup>/s</li> </ul>	
コンクリートピット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料：鉄筋コンクリート</li> <li>・厚さ：底部0.8m、側部、上部0.7m</li> </ul>	
充填材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料：セメント系材料</li> </ul>	
埋戻し材	側部・底部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料：鉄筋コンクリート</li> </ul>
	上部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料：土質系材料、セメント系材料</li> </ul>

◇平成18年度の成果

(1) 地下空洞型処分施設性能確認試験詳細設計

人工バリアに求められる要求機能について検討を行い、材料選定、施設形態の設定、試験項目の選定を実施した。施設形態の設定にあたっては、

構造設計に基づき力学的安定性を満足する構造躯体の検討を併せて実施した。埋戻しコンクリートの構造設計に用いた解析モデルを図-2に示す。

処分施設施工確認試験の詳細計画策定に当たっては、人工バリアの施工方法、品質管理項目・方法について検討を行い、詳細施工計画の策定ならびに全体工程の設定を行った。一例として、上部埋戻し材の施工機械の配置を図-3に示す。

初期性能確認試験の計画策定に当たっては、人工バリアの主たる要求機能に対する性能確認のための試験項目、試験方法、試験数量について検討を行った。また、底部・側部埋戻し材のひび割れ予測評価解析を実施し、ひび割れ指数の分布(図-4)を求めるとともにコンクリート打設割り等の検討に反映した。

施設/岩盤挙動計測の詳細計画策定に当たっては、人工バリアや周辺岩盤に想定される力学及び水理挙動に対して計測項目の抽出、計測方法、数量、計測器等の配置について検討を実施するとともに、施設構築後の水位回復挙動に関する予測解析を実施した。計測器配置の一例として、底部緩衝材で計画した水理挙動計測に関する計測器の配置を図-5に示す。

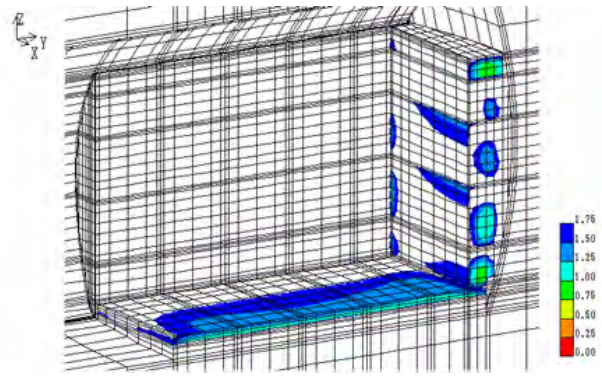
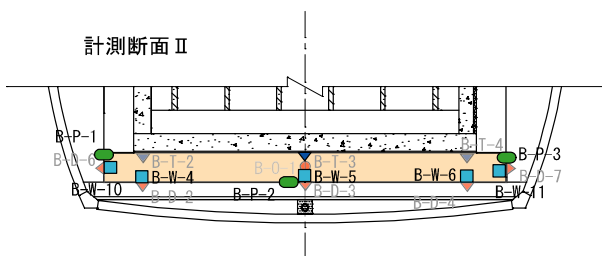
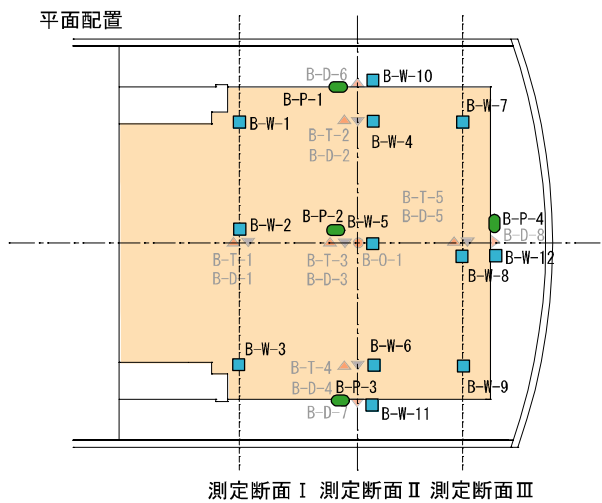


図-4 埋戻し材のひび割れ指数分布(横断方向)



記号	種別	設置位置	摘要
■	水分計	埋戻し材との界面	TDR
●	間隙水圧計	埋戻し材との界面	

図-5 計測器配置の一例(底部緩衝材)

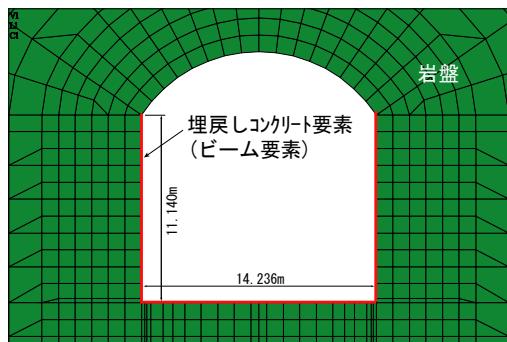


図-2 埋戻し材コンクリートの構造設計モデル

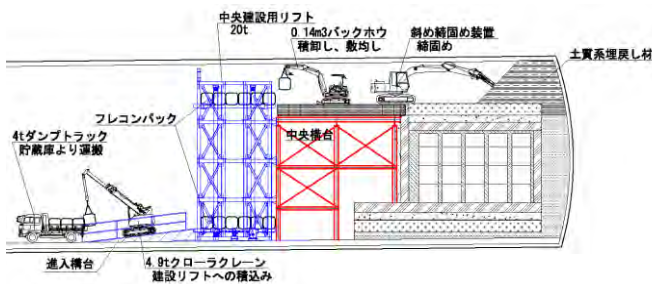


図-3 詳細施工計画の一例(上部埋戻し)

(2)セメント系材料特性試験・評価

拡散抑制を主に期待される低拡散材について、施工時の品質管理方法と初期性能との関連を把握するため、要素試験を実施した。

高流動モルタルである低拡散材の基本配合に対して、水結合材比、石灰石微粉未量、空気量、スランプフローをパラメータとして変動させた

## 1. 放射性廃棄物の管理処分に関する研究

材料のフレッシュ性状や硬化特性に関する試験及びトリチウム拡散係数測定試験を行った。そして、空隙率と拡散係数の相関性を確認し、所定の拡散係数を確保するための空隙率の管理目標の目安を得た（図-6）。拡散係数測定試験については、長期養生して材料の緻密化が進行した供試体を用いて今後も継続実施する予定である。

また、拡散係数や空隙率を管理するための日常管理の代替指標として単位水量による管理が可能である見通しを得た（図-7）。

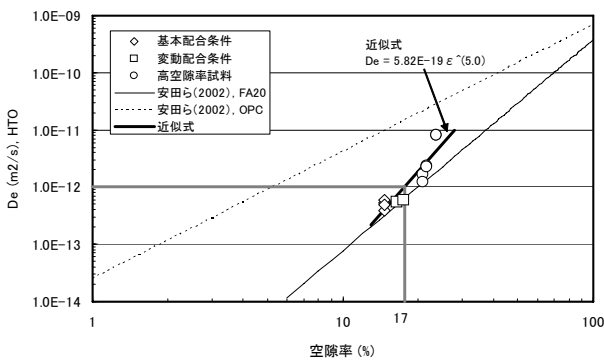


図-6 低拡散材の実効拡散係数と空隙率の関係

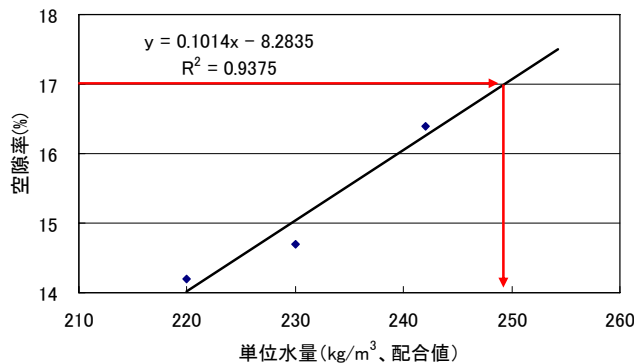


図-7 単位水量（配合値）と空隙率の関係

### (3) 国外情報調査

海外の地下研究施設における人工バリアの施工を伴う試験について、施工方法、品質管理方法等の調査を実施した。調査対象は、グリムゼル試験場で実施されている GMT(ガス移行試験)、FEBEX(人工バリア熱試験)、BOS(ボーリング孔閉塞試験)、モンテリ試験場で実施中の EB(人工バリア定置試験)、エスポ硬岩試験場で実施されている Backfill

and Plug(埋戻し及びプラグ試験)、Prototype(プロトタイプ試験)である。

上記調査結果を踏まえ、地下空洞型処分施設性能確認試験基本計画に対するレビューを海外機関(Nagra)に依頼し、本試験において考慮すべき事項等について提案を受けた。提案された事項のうち、セメント構造物のひび割れの制御と計測の必要性、無線モニタリングシステムの適用、トレーサーパッドの事前設置等については、本試験で採用する予定である。

### (4) 岩盤挙動計測設備設置

平成19年度から開始する本格試験の開始に先立ち、準備工事の一部として試験空洞及び計測坑道に間隙水圧計及び岩盤変位計の一部の設置を行った。

間隙水圧計としては、試験空洞内から妻部に E-1、底版に D-1、計測坑道 A から A-1、計測坑道 C から C-1 を設置した。岩盤変位計としては、試験空洞内から底版に D を設置した（図-8、図-9）。

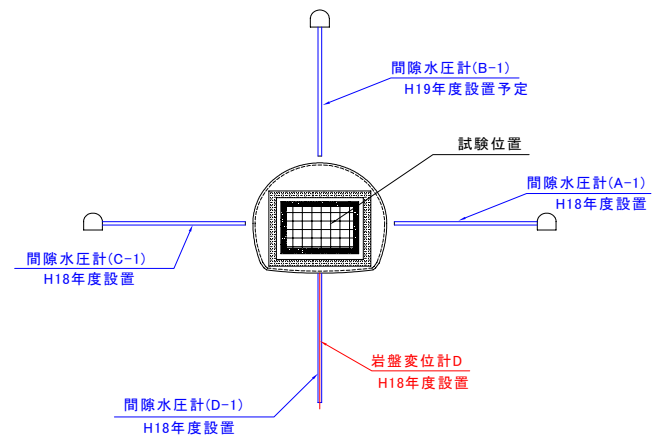


図-8 岩盤挙動計測設備配置（試験空洞横断面）



図-9 間隙水圧計設置状況

### 3. その他の管理処分に関する研究

(1) 極低レベル放射性廃棄物等の埋設確認に関する検討

極低レベルの非固型化金属等廃棄物埋設処分、および低レベル大型金属廃棄物の埋設処分に関する海外における実態を調査した。

(2) 余裕深度処分対象廃棄体の製作方法に関する研究

余裕深度処分対象廃棄体に求められる可能性がある安全要件等を考慮して、対象廃棄体の製作方法について検討した。

(3) L1 廃棄物の廃棄確認方法整備に関する研究

L1 廃棄体の合理的な廃棄確認方法を確立するため、廃棄体製作方法、放射能濃度決定方法、廃棄確認方法等の要件等を検討した。

注) L1 廃棄物：余裕深度処分の対象となる廃棄物で、原子炉内で放射化された金属廃棄物等を含む。

(4) 余裕深度処分対象廃棄体の製作方法確認に関する研究

仮想プラントを設定し、廃棄体製作に係る実際の廃棄物の処理・物量フローを検討した。

(5) 余裕深度処分の安全評価手法の調査（フェーズ2） その2

余裕深度処分の安全評価の標準的手法の整備に必要な検討として、余裕深度処分に係る人工バリア及び天然バリアのパラメータ設定の考え方、海外の事例等について検討・整理した。

(6) 余裕深度処分埋設施設における標準的な施設確認方法

余裕深度処分埋設施設における標準的な施設確認方法検討の前提となる想定技術基準及びその解釈を検討し、想定される要件を抽出した。

(7) L1 廃棄体の標準的な放射能濃度評価及び廃棄確認方法に関する調査

L1 廃棄体の放射能濃度決定方法に関して、対象廃棄物の整理を実施した。

(8) ウラン廃棄物のクリアランス及び安全規制に関する調査

ウラン廃棄物のクリアランスレベル設定に係る線量評価、検認に関する予備調査、埋設処分後の制度的管理等の検討を実施した。



## II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

### 1. 高レベル放射性廃棄物処分

#### 1-1 地質環境調査技術

#### 【高精度物理探査技術高度化調査（物理探査技術信頼性確認試験）】

##### ◇事業の概要

高レベル放射性廃棄物地層処分事業（以下、地層処分事業）のうち、地表からの概要調査の段階では様々な技術を用いて、広域における地質構造、水理特性や地盤物性などに関して調査、分析、評価が行われる。物理探査技術は、広範囲を連続的かつ非破壊で調査可能なことから、概要調査以降の段階で重要な調査技術であるといえる。原環センターは、平成12年度から既存物理探査技術の地層処分事業への適用性を検討し、高度化開発により、より信頼性が高い情報が期待される技術として電磁法探査、弾性波トモグラフィ、地質構造モデリング技術を選定し、平成13年度から平成15年度までに各技術の高度化開発を進めた。また、これらの技術開発と並行して、地質環境調査全体を俯瞰して調査技術と技術の反映先への貢献度を示す調査システムフローを作成したほか、先進的な調査技術としてリモートセンシング技術や岩石物理学による解釈技術の地層処分事業への適用性の検討を行った。

平成16年度から18年度は、第2フェーズとして高度化開発した電磁法探査技術と弾性波トモグラフィ技術の原位置での適用性や探査精度の確認などについて研究を進めてきた。

なお、本試験は経済産業省の委託により実施しているものである。

(報告書)平成18年度 地層処分技術調査等 高精度物理探査技術高度化調査（物理探査技術信頼性確認試験） 報告書

##### ◇平成18年度の成果

#### (1) 電磁法探査技術の信頼性確認試験

昨年度に引き続き、日本原子力研究開発機構との共同研究により、北海道幌延町（堆積岩環境）で3次元電磁法の現地試験及び取得データ解析

を実施した。試験結果（図-1）からは、浅部では褶曲構造を呈する低比抵抗分布が認められ、深部では基盤構造を呈する高比抵抗ゾーンが試験エリアの西側へ徐々に深くなる構造が認められた。また、大曲断層に相当する部分では、比抵抗構造の不連続や比抵抗断面の変化が認められた。これらの結果は既存の地質調査結果と整合していることが確認できた。さらに、電磁法による比抵抗値と既存のボーリング調査による地下水の比抵抗値を比較し、岩盤中の間隙水の塩分濃度（NaCl濃度）を算出した（図-2）。その結果、比較的塩分濃度が大きい地下深部において、岩盤中の間隙水の塩分濃度と電磁法から推定した塩分濃度と既存の調査結果と比較的整合した結果が得られた。このことは、電磁法により取得した比抵抗値から、岩盤中の間隙水の塩分濃度分布を3次的に把握できることを示唆している。

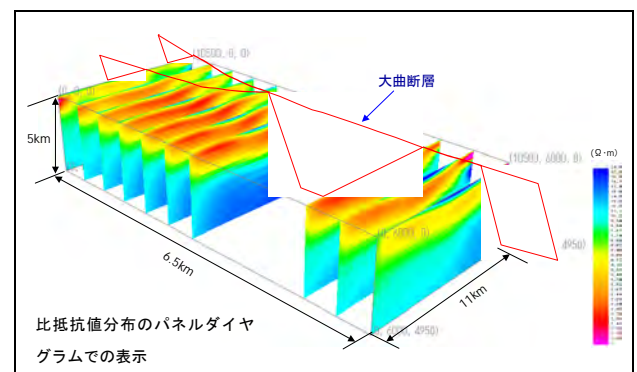


図-1 幌延地区での電磁法試験結果

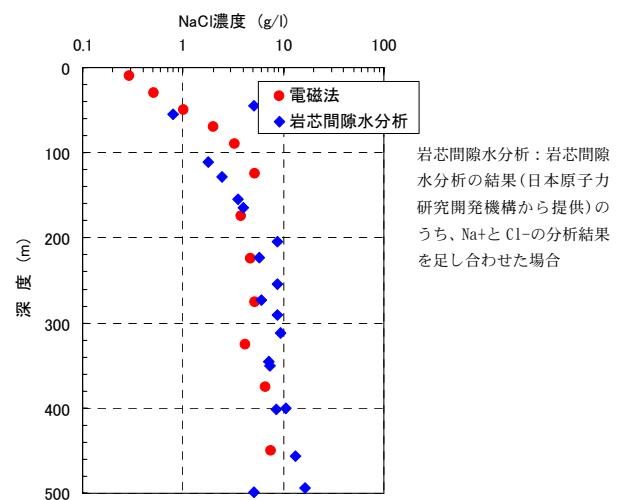


図-2 電磁法の測定結果（比抵抗値からNaCl濃度を算定

1. 高レベル放射性廃棄物処分 (1-1 地質環境調査技術)

3次元電磁法による結晶質岩への確認試験として、中華人民共和国甘粛省北山(花崗岩)で、高角度の断層を対象とした現地試験及びデータ解析を行った。その結果(図-3)、試験対象地の中央付近に深部までおよぶ低比抵抗分布が認められ、既存の調査結果との対比結果から、この低比抵抗を断層と判断することができた。このように、3次元電磁法は、これまでの確認試験の結果から堆積岩および結晶質岩の両岩種において、断層探査に対する性能を確認できたほか、塩分濃度が高い地下水の3次元分布を把握する可能性を示した。

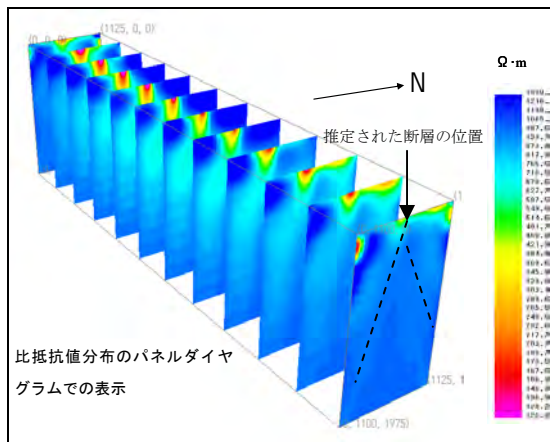


図-3 中国北山地区での電磁法試験結果

(2) 弾性波トモグラフィ技術の信頼性確認試験

結晶質岩(スイスのグリムゼル試験場)を対象に孔内震源の弾性波伝播試験、フルウェーブ・トモグラフィ技術(図-4)及び透水トモグラフィ技術(図-5)の確認試験を行った。破碎帯の分布形状及びP波とS波の速度分布を検出したほか、破碎帯を含む岩盤の透水係数分布を検出し、水理試験によって透水係数の整合性も確認した。さらに、堆積岩(米国テキサス州デバイン試験場)を対象とした確認試験データを解析し、既存技術との組み合わせによって堆積岩中の透水係数分布を表示することができた。これまでの確認試験結果から、本技術が結晶質岩及び堆積岩の両方に適用可能であることを確認した。

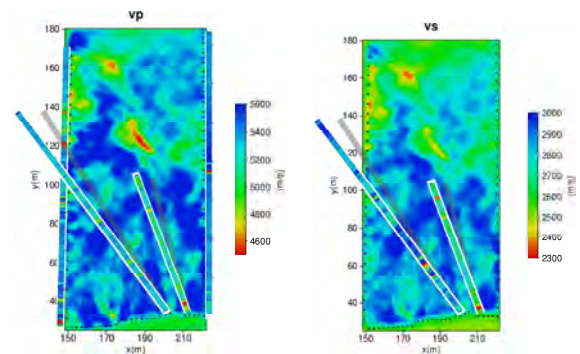
(1) 電磁法探査技術

- ・縦型構造の断層等を含む地質構造を把握する陸域3次元解析手法の確立
- ・海底下の断層等を含む地質構造を把握する海底2.5次元解析手法の確立
- ・汀線から浅海域まで電磁法探査可能な計測装置の開発

(2) 弾性波トモグラフィ技術

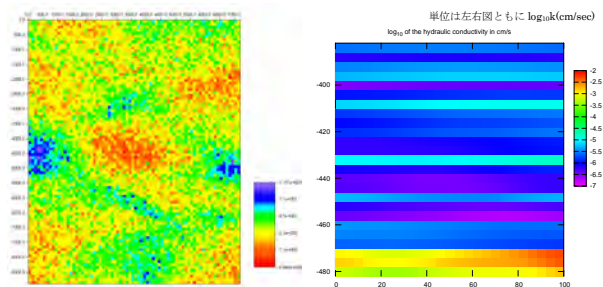
- ・ボーリング孔間のP波速度、S波速度、密度、減衰定数の分布を把握するフルウェーブ・トモグラフィ技術の確立
- ・ボーリング孔間の透水係数分布を把握する音響透水トモグラフィ技術の確立
- ・最大伝播距離300m(堆積岩環境)、弾性波の周波数の制御可能な孔内震源の開発

(3) 各技術のわが国の多様な地質環境(陸域と海域、または結晶質岩と堆積岩)での適用性確認



左: P波速度分布 右: S波速度分布

図-4 フルウェーブ・トモグラフィ試験結果



左: 結晶質岩環境の場合 右: 堆積岩環境の場合

図-5 音響透水トモグラフィ試験結果(透水係数の分布)

◇本フェーズの成果

本フェーズ(平成16年度~平成18年度)の成果を以下に示す。

<外部発表等>

海底電磁探査による伏在断層や地下水理情報の取得可能性について、(社)東京地学協会 地学雑誌特集号 Vol. 115, No3(2006)

【地質環境評価技術高度化調査】

◇事業の概要

地質環境評価技術は、地層処分の事業化段階における処分成立性検討において安全評価技術および処分技術と並ぶ重要技術であり、その合理的な実施に向けては、分野の異なる専門家間での相互理解や、実施側と社会との相互理解が重要な課題である。

本調査では、地質環境調査に求められる、①情報の追跡性、②調査・評価の透明性、③合理的・効率的な調査・評価の実行、④専門家や関係者のコミュニケーション（相互理解）、⑤処分の安全性の提示、などの要求に応えることを目的として、現地調査から処分成立性検討に必要な情報評価までの複雑で多岐にわたる長期間の調査・評価プロセスをロードマップ化した IT ベースの調査システムフローを構築している。

平成 13 年度は、「地層処分経済性向上調査/地層処分サイト評価技術確証試験」において、地点選定段階における地質環境特性評価で必要となる評価項目を地質環境の長期安定性評価、性能評価、および施設設計に分けて検討し、調査から解析、評価に至る地質環境評価の調査システムフローを構築した。

平成 14、15 年度は「地層処分技術調査等高精度物理探査技術高度化調査」において、淡水域（陸域）・結晶質岩における地下水流動評価を対象とした模擬検討、および国際レビューを実施した。そして、塩・淡水域（沿岸域）・堆積岩における地質環境調査の既存情報の収集と課題の整理を行った。

平成 16、17 年度には、塩・淡水域（沿岸域）堆積岩における地質環境調査評価の重要因子を抽出し、分析・評価を行い、調査システムフローを見直した。さらに、これまでの可視化システムをベースに、地質環境評価の計画・実施を支援するとともに、地質環境評価全体を俯瞰可能な説明・コミュニケーションツールとしての IT システムを構築した。その活用イメージを図-1 に示す。

なお、本研究は経済産業省の委託により実施しているものである。

(報告書)平成 18 年度 地層処分技術調査等 地質環境評価技術高度化調査 報告書

◇平成 18 年度の成果

(1) 基本的な調査システムフローの整備

前年度までの検討結果を踏まえて、本年度は、既存の地質環境調査データを用いて、「塩・淡水域（沿岸域）・堆積岩系における施設設計に係わる模擬検討」、「幌延地点の調査データを用いた水理評価の模擬検討」、「英国セラフィールド地点の水理評価に関する模擬検討」、および、「小規模な島嶼を含む塩・淡水域（沿岸域）・結晶質岩環境における地質環境調査の重要評価項目の検討」を実施した。

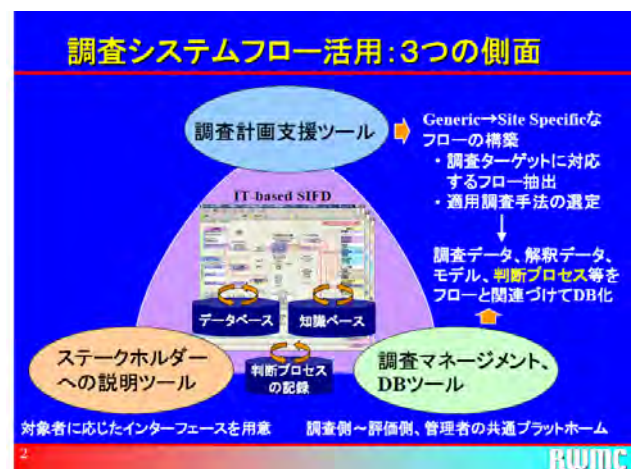


図-1 調査システムフローとその活用

(2) 不確実性を考慮した地質環境評価技術の検討

これまでの検討から、地下水理評価では流動モデルの概念的理解の不確実性、地下施設の設計では力学的試験値のばらつきへの対応が重要であることが挙げられる。本年度は、不確実性を考慮した地質環境評価技術の構築の一環として、「スウェーデン Simpevarp サイトにおける地下水理評価の模擬検討」、および堆積岩地域の「設計技術に係わるデータのばらつき評価に関する検討」を実施した。

地下水理評価の検討では、調査システムフロー上で複数の評価過程を表現することで概念モデルの不確実性に対応可能であることを示した。

設計技術に係わるデータのばらつき評価に関する検討では、構造物の寸法（載荷幅）が大きくなるに従い、変形性は岩盤全体としての平均値に近づいていく傾向が認められ、強度の代表値ついて、従来の方法に課題があることがわかった。



1. 高レベル放射性廃棄物処分 (1-1 地質環境調査技術)

(3) コンピュータベースシステムの構築

これまでに仮構築したコンピュータベースシステムを基に、地質環境調査の計画、情報管理、および説明に活用するために必要な改善事項について検討した。図-2 に現状のシステム全体のイメージを示す。

情報管理システムとしては、評価のプロセスにおける意思決定の履歴を記録する機能や、調査の進展に伴いデータフローダイアグラム自体が変化することに対応するための機能などを含むシステム概念を取りまとめた。

また、現状の調査システムフローを用いた地質環境調査の説明の実施、および、コミュニケーションツールの事例の調査を通して、説明用ツールとして活用するために今後必要な調査システムフローのシステムの改善について検討した。その結果、説明の受け手が関心を持つテーマの選択、より簡略化したデータフローダイアグラム、および、専門用語の取扱いなどについて更なる検討が必要であるという結論が得られた。

(4) 調査システムフローの評価

これまでに構築してきた調査システムフローについて、自己評価として他機関による既往調査

事例等との比較検討、そして、外部評価として、実際のサイトでの地質環境調査の経験がある他機関によるレビューを実施した。

既往調査事例等との比較検討では、土木学会原子力土木委員会地下環境部会による「精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的な考え方」、および、SKB が実施している Simpevarp 地点における地質環境調査事例を用いた。また、他機関によるレビューとしては、国際レビューワークショップを開催し成果全般について諸機関の専門家によるディスカッションを通じて行なうレビューと、限定したテーマについて1機関によって詳細なレビューを実施した。

これらの評価の結果、調査システムフローによって表現された地質環境調査における情報の流れには一定の普遍性があることを確認しつつ、情報管理システムとしての活用ではデータフローダイアグラム自体の変遷への対応、説明用のシステムとしては受け手を意識した簡略化などが課題であることが結論として得られた。

<外部発表等>

高レベル放射性廃棄物の最終処分地選定に関わる地質環境調査の社会技術的アプローチ、社会技術研究会 社会技術論文集 Vol14 (2006. 10)

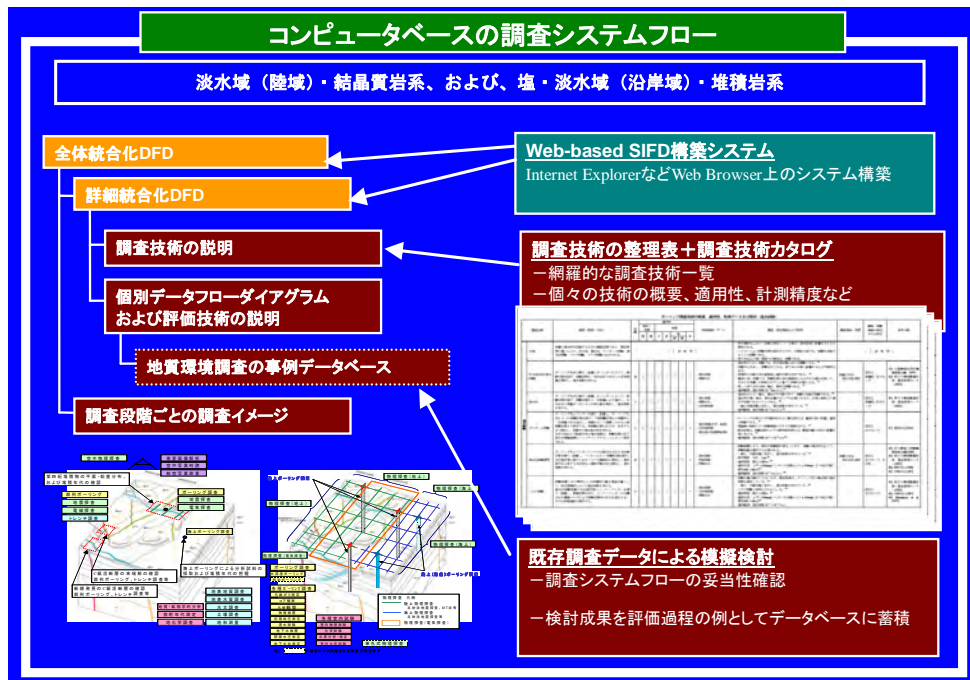


図-2 コンピュータベースの調査システムフローの全体イメージ



## II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

### 1-2 処分技術

#### 【遠隔操作技術高度化調査】

##### ◇事業の概要

高レベル放射性廃棄物地層処分場の操業段階で用いられるオーバーパックの遠隔溶接・検査およびオーバーパックと緩衝材の遠隔ハンドリング・定置に関わる遠隔操作技術について、技術調査、適用性確認試験等を行い、その成立性、適用性、信頼性などを定量的に評価および表示するための幅広い技術メニューの整備を進めることを主たる目標としている。

このためまず、これらの遠隔操作が現有技術で成立可能かどうかを確認すること、及び技術メニュー整備における試験対象項目や試験パラメータを的確に抽出することを目的として、実規模モックアップ設備の概念設計を実施した。また遠隔操作による人工バリア構築は、人工バリアシステムの品質確保と密接に関係することから、遠隔操作及び人工バリアの品質について、地層処分の特徴である長期安全性確保の視点からも検討した。なお本調査における人工バリアシステムは、基本的に地層処分研究開発第2次取りまとめで提示された概念に基づくものとした。

研究の第1フェーズとして、平成12年度にオーバーパックの溶接、検査技術、オーバーパックと緩衝材のハンドリング・定置を対象として、遠隔操作設備の概念設計を行い、技術開発課題を抽出した。平成13年度より抽出した技術開発課題に基づき、各技術の技術調査、適用性確認試験を行い、現時点における最新技術の成立性、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、人工バリアの品質確保の考え方及び処分場における遠隔操作技術を対象とした処分システム構築に関わる品質、安全の考え方についても検討を行っている。

平成17年度からは第2フェーズとして、人工バリアの設計、品質、及び操業システムの高度化や成立性確認の視点を新たに加え、幅広い技術の成立性、適用性、信頼性等を定量的に比較、評価し、それらを取りまとめた第2段階の技術メニューの整備に着手した。平成17年度に技術課題抽出と開発計画を検討し、平成18年度から開発計画に基づ

いた技術調査、適用性確認試験等を開始している。図-1に本調査の検討範囲を示す。

なお、本調査は経済産業省の委託により実施しているものである。

(報告書)平成18年度 地層処分技術調査等 遠隔操作技術高度化調査 報告書

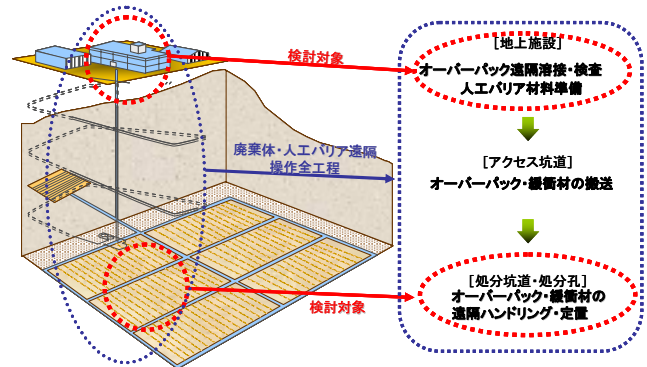


図-1 本調査の検討範囲

##### ◇平成18年度の成果

###### (1) 遠隔溶接・検査装置の開発

炭素鋼オーバーパックの落とし蓋構造に対するTIG溶接について、2電極高能率TIG溶接法の適正な溶接条件を選定し、開先深さ(最大)190mmの方形供試体について適用性確認試験を実施した。継手性能試験から溶接部の継手性能が健全であることを確認した。また、落とし蓋用溶接トーチの長尺電極の耐久性、スライド式補助ガスノズルによるシールドガス雰囲気形成、曲率を持った溶接線に対するワイヤ供給機構構造について検討し、それらの有効性について確認した。さらに、遠隔監視技術として、2電極AVC制御法による開先ならいの成立性、光学レンズを挿入する撮影方法の視認性を確認した。

落とし蓋構造に対するMAG溶接について、下向き円周溶接装置を構築し、開先深さ(最大)110mmの円形供試体について適用性確認試験を実施した。継手性能試験から溶接部の継手性能が健全であることを確認した。下向き円周溶接装置においては、トーチと供試体の非干渉、シールドノズル・ボックスによる良好なシールド性、連続スラグ除去装置の有効性を確認した。また、スタート部の溶接欠陥を防ぐためのスタート速度ならびに予熱温度条件を確認した。遠隔監視方法として、開先外に小型CCDカメラを設置する撮影方法と

カメラヘッドの設計、その視認性を確認した。

超音波探傷技術については、フェイズドアレイ法についての最新技術の調査、人工欠陥に対する探傷性能確認試験を実施し、炭素鋼オーバーパックに対する適用条件、適用範囲等を把握した。超音波シミュレーション解析も併用し、探傷条件を最適化した。結果として、探触子位置 50mm（入射点／溶接線間の距離が 50mm）の条件において、深さ 20mm 以上の欠陥についての定量的可能性を確認した。逆に深さ 10mm 以下の範囲では定量性が難しく、条件の最適化とともに他手法（CW 法や TOFD 法）との組合せが重要との知見を得た。

さらに超音波探傷技術の実機への適用に向けて、自然欠陥に関する探傷性能確認試験を行った。実機の溶接施工において発生が予想される自然欠陥種類を抽出、整理し、自然欠陥を付与した試験体を設計・作製して、代表的な超音波探傷技術の一つである TOFD 法による探傷性能確認を行い、自然欠陥に対する探傷データを取得、整理した。



図-2 TIG, MAG 溶接及びフェイズドアレイ法試験状況

## (2) 遠隔ハンドリング・定置装置の開発

重量物の搬送・定置技術について、プレアセンブル方式（PEM 方式：Pre-fabricated EBS Module）を題材に、PEM 容器の設計要件について整理し、遠隔操作性を考慮した PEM 組立手順及び内包物（人工バリア）仕様の検討を行った。また、PEM 容器の試設計を行い、強度解析により強度上成立することを確認した。さらに、PEM 容器の試作により、強度及び製作性について確認した。

遠隔操作に必要な計測技術について、計測が必要な工程や作業と計測項目を整理し、それら計測項目に対応する計測技術として、ステレオカメラ等の撮像方式に対する適用性確認試験を行い、処分坑内部の状況を短時間に計測できることを確認した。さらに、画像処理技術及び 3 次元表示技術について調査を行い、それらの調査結果か

ら、レーザ方式と撮像方式を複合させた処分場における遠隔計測システムの概念を提示した。

人工バリアの施工品質について、緩衝材の挙動評価に必要な地下環境の変動について実測事例の収集と解析から整理し変動範囲を検討した。さらに、緩衝材の品質低下事象を整理し、操業、建設双方の視点からの検討事項と、事象への対応技術の概要を示した。次に、緩衝材の品質に関する分析から、設計上考慮される品質を想定し、それを確保するための施工品質の指標とその目標レベルを提示し、これら指標の品質管理に必要な技術を整理した。

定置後の緩衝材の品質確保として、数値解析手法を用いた膨出挙動の予測により、湧水特性や緩衝材の透水性が膨出特性に与える影響を定量化し、各種の膨出制御工や埋戻し材の設計要件を整理した。また、建設、操業、閉鎖の各工程において、地下施設内に取り残される可能性がある各種の残置物を整理し、施工品質の確保の方策について整理した。さらに建設、操業などで発生する隙間の充てん技術に関して、技術調査や適用性確認試験等により、隙間充てん材料の施工時の主に密度に着目した材料特性と施工特性を整理し、鉛直に発生した隙間や縦置き方式における緩衝材周辺の隙間充てん技術の適用性について確認した。

操業環境に関する調査として、掘削技術のうち TBM 工法、支保・覆工技術のうち吹付けコンクリート工法やコンクリートセグメント工法を用いて構築されている既設トンネルの調査により、坑道内環境の実態について把握した。さらに、湧水処理技術のうちグラウト工法を取り上げ、既設空洞における湧水対策の実態について把握した。

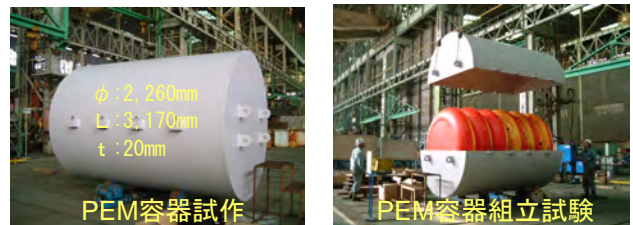


図-3 PEM 容器の試作及び組立試験状況

## 〈外部発表等〉

H. Asano et. al., Feasibility Study on Transportation Techniques Employing Air-Bearing System for Pre-Assembled Engineered Barrier Module at Drift Tunnel of HLW Repository, J. Nucl. Sci. Technol. Vol. 44 No. 3, 2007.



## II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

### 【人工バリア特性体系化調査】

#### ◇事業の概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分に用いられるオーバーパックスの溶接・検査技術について、施工面からの検討が「遠隔操作技術高度化調査」で行われている。これまでに同調査(平成12～17年度)においてオーバーパックスに適用可能な複数の溶接プロセスが提示されたが、これらの技術の成立性を評価するためには地層処分後の長期健全性、即ち溶接部の耐食性に関する知見が必要不可欠である。本調査はこのような背景から、オーバーパックスを模擬した溶接部の耐食性評価試験を通してその長期健全性を評価すると同時に、溶接部の材料性状や溶接残留応力が健全性に与える影響を調査し、オーバーパックスに適用可能な溶接技術の妥当性を提示することを目標としている。

本調査は平成16年度から開始したもので、主に溶接部を対象とした以下の調査を行うものである。

#### (1) 溶接及び腐食に関する情報収集・検討

オーバーパックスや溶接部の腐食挙動に関する過去の研究成果等を収集し、分析・整理する。特に、オーバーパックスに関しては過去の研究の経緯や溶接部で留意すべき問題点、溶接部に特有の腐食現象に着目して調査する。オーバーパックスの溶接性や耐食性との関係が深い炭素鋼の鋼種の選定の考え方に関する検討も行う。

#### (2) 耐食性評価試験

「遠隔操作技術高度化調査」で製作した溶接試験片等を用いて母材と溶接部の比較・評価を目的とした腐食試験を行う。(1)での結果を基に試験計画を策定し、地層処分後を想定した条件での母材と溶接部の腐食挙動を比較し、長期健全性を評価する。また、溶接部において長期健全性に影響を及ぼすような腐食挙動が確認された場合、その原因について調査し、対策を検討する。

#### (3) 溶接部品質検討

耐食性の評価に資するため、材料科学の視点から溶接部の性状(金属組織、成分等)を詳細に調査する。また溶接部で問題となる溶接残留応力について、その解析・評価手法と低減対策を検討する。

なお、本調査は経済産業省の委託により実施し

ているものである。また、(2)は独立行政法人 日本原子力研究開発機構(旧核燃料サイクル開発機構)との共同研究として実施している。

(報告書)平成18年度 地層処分技術調査等 バリア機能総合調査－人工バリア特性体系化調査－報告書

#### ◇平成18年度の成果

##### (1) 耐食性評価試験

平成16年度に策定した計画に基づき、「遠隔操作技術高度化調査」で製作したTIG溶接、MAG溶接、電子ビーム溶接(計3種類)の溶接試験片を用いて、次の4項目の試験を実施した。

- ① 不動態化挙動と腐食形態調査
- ② 酸化性雰囲気での浸漬試験
- ③ 応力腐食割れ(SCC)感受性調査
- ④ 還元性雰囲気での浸漬試験

その結果、試験片の腐食挙動が溶接方法及び部位(溶接金属、熱影響部、母材)によって異なる様子がしばしば認められた。

②④の試験ではTIG溶接及びMAG溶接の溶接金属で選択的な腐食を受ける傾向(図-1)が認められた。対照的に電子ビーム溶接においては母材と溶接部の腐食挙動に顕著な違いは認められな

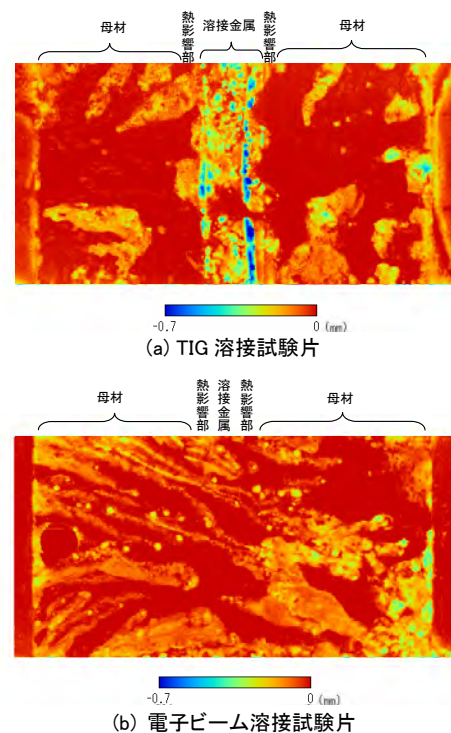


図-1 浸漬試験後試験片の表面形状(人工淡水、空気吹込み、80℃、90日、脱スケール後)

った (図-1)。このような傾向は緩衝材 (ベントナイト) の有無や試験溶液の組成によらず概ね共通していた。TIG 溶接及び MAG 溶接の溶接金属で特徴的な腐食挙動が現れた原因について、材料因子 (金属組織、化学組成、非金属介在物、結晶粒径, 等) を中心に調査した結果、溶接で使用した溶加材 (溶接ワイヤ) の化学成分の影響と、溶接による金属組織変化の影響の可能性が高いと考えられた。極値統計解析に基づく評価によると、現時点ではこれらの溶接金属の選択的な腐食が、実機オーバーパックの健全性に影響を及ぼすことはないと判断された。しかし、長期的な腐食挙動については明らかでなく、今後、長期データの充実を計画している。また、幅広く健全な溶接技術の選択肢を揃える上で、これらの腐食挙動が不利と見なされる可能性もあることから、さらに詳細な原因調査を進めるとともに、対策についても検討を行う予定である。

③の応力腐食割れ (SCC) 感受性では、平成 17 年度に実施した高濃度炭酸塩溶液中での低歪速度引張試験 (SSRT) に引き続き、より実際の処分環境に近い低濃度炭酸塩溶液中での SSRT を実施した。その結果、母材、溶接部ともに SCC の発生は認められなかった (延性破面のみ観察された: 図-2)。この結果は溶接方法に依らず共通していた。類似の既往研究の結果と同様に、SCC 感受性を示さない炭酸塩濃度が確認された。今後は SCC



(a) 試験後の試験片外観写真



(b) 破面の SEM 写真 (SCC 破面無し)

図-2 SSRT 後の溶接試験片 (TIG 溶接金属)  
(0.133M-NaHCO<sub>3</sub>+0.067M-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液、80°C)

が発生する臨界炭酸塩濃度を調査し、母材と溶接部で比較評価を行う予定である。

④の還元性環境下における浸漬試験においては、母材、溶接部ともに、遅れ破壊の原因とされる試験片中の拡散性水素濃度の明確な増加傾向は認められなかった。今後はさらなる長期データの取得を行っていくとともに、溶接部における拡散性水素の拡散・濃縮挙動の影響や、割れ発生の臨界水素濃度を明らかにすることが課題である。

(2) 溶接部品質検討

平成 18 年度は平成 16 年度に策定した試験計画に基づき、残留応力解析手法の精度向上を目指した材料特性データ (溶接部の温度分布、残留応力分布の計測と解析) 取得試験を実施し、残留応力低減手法評価のための 3 次元解析手法を開発した。①溶接試験を実施し、溶接時の温度分布および残留応力分布を計測、固有ひずみ法を用いて残留応力値を同定した。②溶接金属および HAZ 部の高温引張り試験を実施し、材料特性データを取得した。③溶接試験体を対象とし、3 次元有限要素モデルによる熱伝導・残留応力解析を実施した。

結果、溶接試験体の各計測点で精度良く温度履歴を計算できることがわかった。残留応力解析結果については実測値と良く一致しているが、母材部の応力が実測値よりも高い結果となった (図-3)。これは母材部の材料物性を再取得する事により改善できると考えられる。今後の課題として、解析時間短縮のために 2 次元解析への移行の可能性を確認する必要があり、その後、残留応力低減手法として適用を想定している EIHSI (外面誘導加熱応力改善法) 及び PWHT (溶接後熱処理) の適用性確認、低減手法の確立を図る予定である。

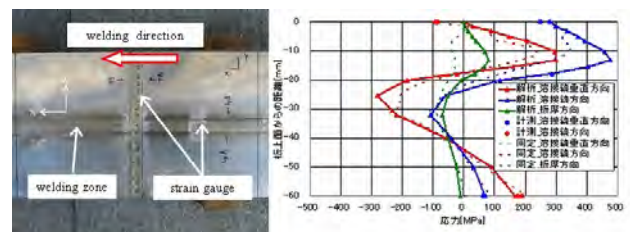


図-3 残留応力測定状況と、解析値-実測値比較の例

<外部発表等>

オーバーパック溶接部の耐腐食性評価に関する研究-III  
(日本原子力研究開発機構との共同研究報告書)



### 【人工バリア材料照射影響調査】

#### ◇事業の概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリア材料であるガラス、炭素鋼には放射性核種の閉じ込めという長期にわたる健全性が要求されている。材料の照射影響評価、すなわち照射損傷の定量的予測は照射試験片の破壊力学的手法に基づくものが一般的であった。しかし地層処分の特徴である長期性の視点からは、照射による材料の微視的構造変化を観察して本質的な材料劣化のメカニズムを把握すること、並びに劣化の程度の予測手法を整備することが求められる。本研究は、陽電子消滅法という照射による材料の微視的構造変化である格子欠陥(照射欠陥、微小析出物)を正確に把握する測定技術を確立し、測定データを蓄積すると共に照射損傷に関する理論計算を行って計算結果を検証することで、材料の寿命予測モデル構築のための基礎を確立することを目指している。

なお、本調査は経済産業省の委託により実施しているものである。

(報告書)平成 18 年度 地層処分技術調査等 人工バリア材料照射影響調査 報告書

#### ◇平成 18 年度の成果

平成 18 年度は平成 14 年度までに整備した測定装置—同時計数ドップラーブロードニング測定装置、電子スピン共鳴装置(ESR)、微小硬度計、2次元角相関装置、低速陽電子ビーム測定装置等—、及び3次元アトムプローブを用いて炭素鋼等、ガラスの照射試験片について照射欠陥、照射誘起析出物の測定を進めると共に、数値計算シミュレーションを実施した。

##### (1)照射試験片の測定

###### a. 炭素鋼及びモデル合金

Fe-Cu モデル合金中、及び Fe-Cu-Mn 3 元系モデル合金を材料試験炉(JMTR)で照射し、Cu ナノ析出物形成や照射硬化に対する各元素の添加効果を調査した。特に本年度は、陽電子消滅法に加えて、局所電極型3次元アトムプローブ(LEAP)を用いて、析出物の数密度、寸法分布等

をより定量的に評価した。Fe-Cu(室温測定)では、低運動量領域が増加し、更に高運動量領域で $25 \times 10^{-3} \text{moc}$ 付近を中心とする幅広いピークが観察された。低運動量領域の増加は、空孔型欠陥での陽電子消滅を示し、陽電子寿命の結果と良く一致した。高運動量領域でのピークは、Cu 電子の運動量分布を反映したものであり、陽電子はCuの電子と対消滅することを示した。これは、照射によって形成したCuナノ析出物への陽電子捕獲によるものであると判断した。Fe-Cu-Mn(室温測定)では、低運動量領域の増加とCuピークが見られた。Cuピークの高さはFe-Cuと比べ低く、これはCuの電子と消滅する陽電子の割合がFe-Cuに比べ低いことを示している。また低温(10K)では、低運動量領域の増加は室温測定時とほぼ同程度であり、Fe-Cuに比べ温度依存性は小さいことがわかった。

LEAPによる測定からは、中性子照射したままでは、Fe-Cu-Mnでは、Fe-Cuの場合よりも析出物中のCu原子数が少なく、析出物数密度が高かった。これは、Mn添加によりCuナノ析出物が微細化するものと考えられた。また、析出物中のCu濃度はMn添加によりやや低くなっていた。450°C、0.5h焼鈍後は、Fe-Cu、Fe-Cu-Mnいずれの場合も、析出物中のCu原子数および数密度はほとんど変化しなかった。析出物中のCu濃度は、Fe-Cu-Mnでは数%高くなることが分かった。

###### b. ガラス

各種モデルガラスの照射欠陥として、 $\text{SiO}_2$ に網目形成酸化物である $\text{B}_2\text{O}_3$ を加えた、 $\text{SiO}_2$ - $\text{B}_2\text{O}_3$ 系モデルガラスを作製し、照射欠陥について調べた。低温電子線照射したホウ珪酸ガラス(80% $\text{B}_2\text{O}_3$ -20% $\text{SiO}_2$ )の陽電子寿命3成分解析結果の焼鈍温度依存性からは、ホウ酸ガラスと同様に、照射により長寿命成分の強度( $I_3$ )が減少した。焼鈍温度が150K程度よりも高くなると強度( $I_3$ )の変化が少し急になり、500K焼鈍で未照射試料の値となった。低温電子線照射したホウ珪酸ガラス(60% $\text{B}_2\text{O}_3$ -40% $\text{SiO}_2$ )の陽電子寿命3成分解析結果の焼鈍温度依存性については、照射により長寿命成分の強度( $I_3$ )が減少した。200K程度の焼鈍温度までは、強度( $I_3$ )はほとんど変化がないが、200Kを超えると急に強度( $I_3$ )が増加し始め、500K焼鈍で未照射試料の値となった。長寿命成

分 $\tau_3$ は照射直後の寿命が未照射試料の値よりも短くなり350K焼鈍まで350K位までは焼鈍温度とともに寿命が長くなり、それ以上焼鈍温度を上げると寿命は短くなって未照射の値へと近づいていき、530Kで未照射の値に戻った。

(2) 鉄中の銅ナノ析出初期過程のシミュレーション

最も単純な系として、従来から研究を進めてきたFe-Cuモデル合金について、KampmanとWagnerの析出物形成に対するN-modelモデル数値計算シミュレーション結果と上記実験の結果を比較、検討し、Cuナノ析出物の核形成・成長過程を明らかにするために、“Cuナノ析出物の陽電子捕獲・消滅”と“固溶Cu原子による電子の散乱”と言う2つの敏感な測定結果と析出物形成モデル計算機シミュレーション結果を組み合わせ、ナノ析出物形成の核形成・成長過程を定量的に解明することを試みた。

シミュレーションによって計算した結果をCuナノ析出物平均半径の熱時効時間依存性、Cuナノ析出物数密度の熱時効時間依存性、同時計数ドップラー拡がり(CDB)曲線のW-parameterの熱時効時間依存性、マトリックスに残存して固溶しているCu濃度の熱時効時間依存性(電気抵抗測定から求めた結果との比較)について実験結果と比較した。これにより、Numericalモデルによって、Cuナノ析出物の核形成・成長を直接的に示す陽電子消滅CDB、3次元アトムプローブおよび電気抵抗変化を非常に良く再現できることを確認した。

(3) 長期予測に対する課題と提言

本年度において平成12年度からの研究成果全体を総括することを念頭に、高レベル放射性廃棄物の処分容器であるオーバーパックの長期健全性の評価方法について、関連する調査研究の成果、知見も組み合わせ整理し、その中での放射線照射影響の位置づけを明確にすると共に、照射影響の長期評価に関する課題を抽出した。

オーバーパックの長期健全性に関しては従来からの腐食挙動を念頭においた寿命予測の方法を基に、オーバーパックが溶接構造物である点に留意してその構造力学的長期健全性評価手法における放射線損傷評価の関わり方を提示にした。オーバーパックにおける中性子の累積照射量の

値は、現行の原子力発電設備に関する照射脆化評価式と比較して3~4桁小さいことから低線量での長期照射挙動の評価が必要となる。炭素鋼におけるCuナノ析出物の陽電子消滅、及び3次元アトムプローブの測定結果からは、極低線量率の長期間照射の照射影響評価の重要性、すなわち加速照射では問題とならないような積算線量でもそれが長期間にわたる場合には、極低線量率下の熱時効効果の考慮が必要との知見が得られている。以上より、地層処分研究における今後の重要な課題のひとつが炭素鋼の低線量での長期照射挙動の評価と考えられる。

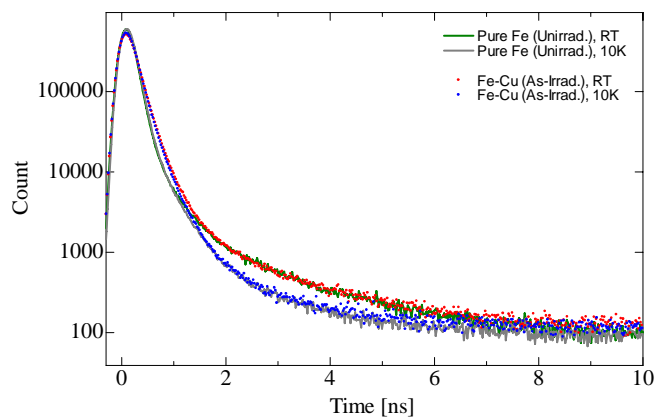


図-1 未照射Fe、及び中性子照射したFe-Cuモデル合金の陽電子寿命スペクトル

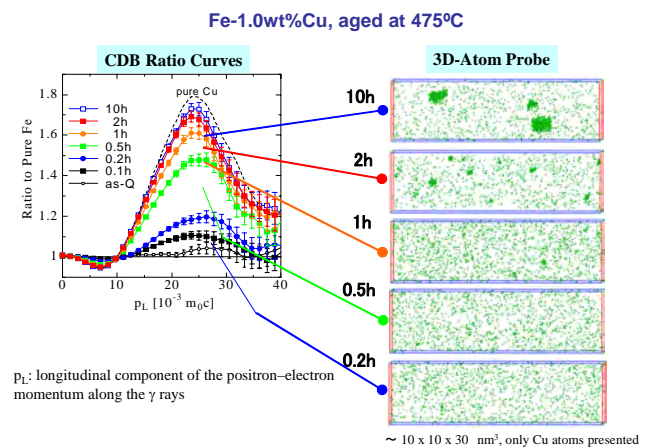


図-2 Fe-1.0wt%Cuモデル合金の同時計数ドップラー拡がり(CDB)比率曲線、及び3次元アトムプローブCu原子マップの475°C熱時効に伴う変化

## II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

### 1-3 性能評価技術

#### 【性能評価技術高度化】

##### ◇事業の概要

地層処分における従来の性能評価では、想定される事象の複雑さや評価期間の長期性のために保守的なモデルが採用されているが、近年の国内外での処分研究の進展に伴い、より現実的なモデルが必要になると考えられる。本調査では、より現実的な性能評価を可能とする技術を開発するため、以下の3項目を実施した。

##### (1) 性能評価に関する基礎情報の収集及び整理

海外で実施された性能評価に関する情報を収集し、性能評価の現状を体系的に整理するとともに、総合情報調査で整備しているデータベースに合わせて整備する。

##### (2) 現実的 performance 評価技術の開発

より合理的な性能評価を可能とする現実的 performance 評価技術を高度化するとともに理解促進技術を開発する。

##### (3) 天然及び人工バリアの長期安定性に関する科学的調査・研究

ナチュラアナログ調査研究を実施し、天然及び人工バリアの長期安定性に関する確信を高めると共に安全論拠への展開を図る。

平成 14 年度は性能評価に関する課題を抽出し、重点的に研究を行うべき項目として「①処分場及び近傍の詳細評価技術の開発」、「②ガラス固化体近傍の詳細評価技術の開発」、「③性能評価の情報化技術に関わる調査検討」を選定した。

平成 15～17 年度は、海外の性能評価報告書や、地層処分において考慮すべき現象である FEP(特質、事象、プロセス)、性能評価技術に関する情報を収集、整理するとともに、①～③について、モデル化や適用可能性等について検討した。また、平成 17 年度にはナチュラアナログの科学研究を地層処分における安全性の論拠として活用するための具体的方策等を検討した。なお、本調査は経済産業省の委託により実施しているものである。

(報告書)平成 18 年度 地層処分技術調査等 性能評価技術高度化報告書

(第 1 分冊) 性能評価に関する情報の収集及び整理

(第 2 分冊) 現実的 performance 評価技術の開発

(第 3 分冊) 多重バリア長期安全性の研究・調査

#### ◇平成 18 年度の成果

##### (1) 性能評価に関する基礎情報の収集及び整理

###### a. 性能評価に関する調査

諸外国で実施されている性能評価方法の概要(FEP、シナリオ、モデル、評価結果)をとりまとめるとともに、わが国における評価方法との比較を通じて、体系的に整理した。

###### b. 最新の性能評価に関する調査

スウェーデンにおける最新の性能評価である SR-Can メインレポートと緩衝材及び埋め戻し材に関するプロセスレポートについて、データベースに整備するとともに、その概要をとりまとめた。

##### (2) 現実的 performance 評価技術の開発

###### a. 処分場及び近傍の詳細評価技術の開発

既存の安全評価に含まれる過度な保守性を排除するため、処分場及び近傍での地下水の流れや核種の移行を詳細かつ現実的に評価することが可能な解析技術を開発することを目的とし、以下の検討を実施した。

###### ①性能評価技術の調査

日本、スウェーデン、フィンランド、スイス、米国の計 5 ヶ国について熱、応力、生物プロセスに関する性能評価技術の調査を行った。

崩壊熱の影響評価はすべての国で行っている。また、緩衝材の熱変質解析(スイス)や、水理-物質移行-熱連成解析(フィンランド)等の成果を取りまとめた。

応力については、地震による影響の他、様々なスケールにおける評価の結果について取りまとめた。

生物プロセスについては、微生物反応と物質移行の連成解析の他、コロイド影響解析(スウェーデン、米国、日本)の結果について取りまとめた。

###### ②処分場マルコフコードの開発及び物質移行解析

平成 17 年度までに検討してきたマルチスケールモデルは、解析を 2 つの階層に分けて実施しているが、この内の第 2 階層ではマルコフ連鎖を基礎理論として使用した。

第 1 階層で使用する VR(Virtual Repository)コードについて、拡散、濃度勾配を取り入れたニアフィールド輸送モデルとして扱えるよう

に機能拡張を行った。また、核種崩壊を考慮した処分場スケールの物質移行解析コードとして、一様な地下水の流れ場を仮定した処分場マルコフコードを開発した。

処分場マルコフコードと既存の物質移行解析コードの解析結果の比較を行い、問題点を抽出した。また、いくつかの処分場レイアウトについて、処分場マルコフコードを用いた試算を行った。

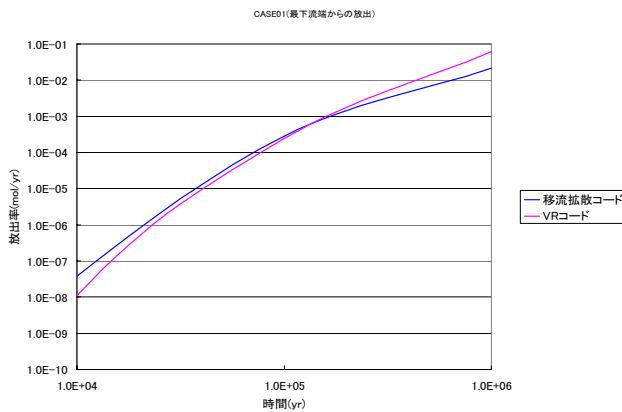


図-1 機能拡張した VR コードと物質移行解析コードによる計算結果の比較

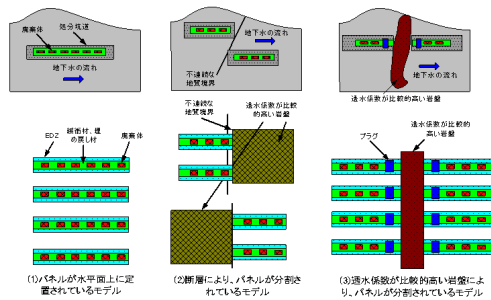


図-2 解析対象の処分場レイアウト (イメージ図)

③ 処分場及び近傍を対象とした評価技術開発の課題抽出

平成 18 年度までの検討結果に基づき、今後の開発課題として以下を抽出した。

- 多様な処分環境に対応するため、第 1 階層で扱うコンパートメントの類型化を検討する。
- 2 次元の地下水流れ場で解析を行えるよう、処分場マルコフコードを改良する。

b. ガラス固化体近傍の詳細評価技術の開発

平成 17 年度に開発したガラス固化体の変質・溶解モデルを人工バリアに適用可能なものとし、力学条件及び化学条件の長期的変遷を考慮しつつ現実的なガラス溶解速度を評価できる一連の解析手法の開発を目的として以下の検討を実施した。

① ガラス固化体近傍での破壊・変形挙動

ガラス固化体の熱冷却時の割れを初期条件とし、その後のオーバーパック腐食に伴う応力の作用による割れの進展を FDEM (Finite Discrete Element Method) 法により評価した。

この結果、熱収縮による初期割れが多い場合、ガラス片の微小変位が応力を開放し、外部応力によるガラスの破壊は顕著に制限されていることが示された。

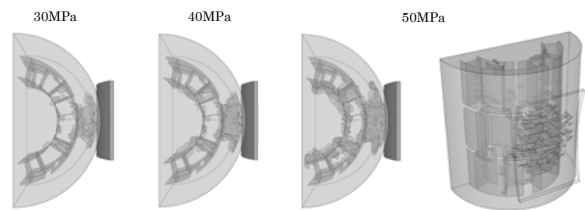


図-3 オーバーパックからの応力によるガラス固化体の割れの進展

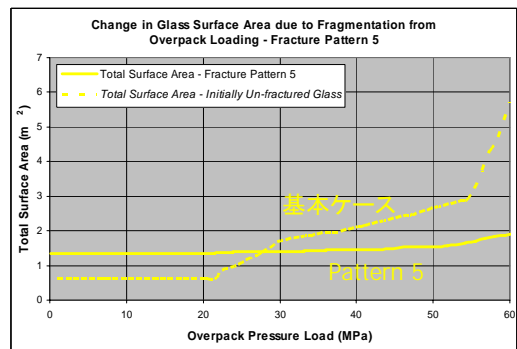


図-4 割れによって増加する表面積の算出

② 環境条件の変化に追従できるガラスの溶解モデルの開発

平成 17 年度までに開発したモンテカルロ法によるガラス変質・溶解モデルをガラス固化体及びその近傍の力学解析及び固化体近傍の化学反応・物質移行解析と連成させた、より現実的な条件でのガラス溶解解析を実施した。



## II. 放射性廃棄物の地層処分にに関する調査研究

溶解速度は、時間とともに減少していき、最終的な長期溶解速度は $1.0E-10$ [m/y]より小さくなり、現実的な条件下におけるガラス固化体の溶解が、第2次取りまとめの評価より小さくなる可能性が定量的に示された。

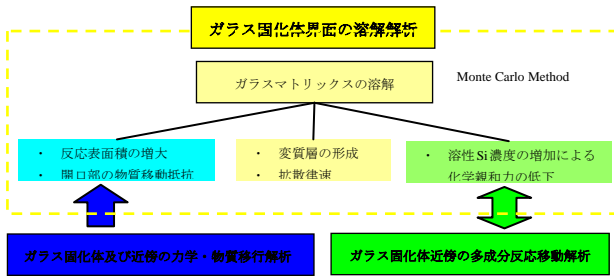


図-5 ガラス固化体の溶解解析の全体系図

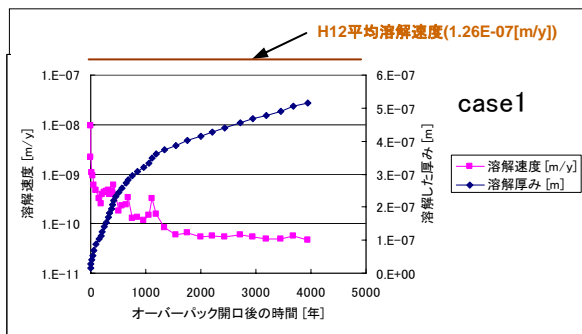


図-6 ガラス溶解速度の経時変化

### c. 安全性を説明するための論理構造に関する理解促進技術の開発

地層処分の意思決定に関わるステークホルダーや分野の異なる様々な有識者間でその技術情報を共有することは重要である。彼らを対象とした安全評価の説明技術を開発することを目的として、ここでは安全機能のひとつであるガラス固化体の溶解挙動に関する性能評価の考え方や最新の評価技術との差をわかりやすく説明するツールを作成した。また、コミュニケーションツールの一つである MECE (Mutually Exclusive and Collectively Exhaustive) を用いた論理構成を検討した。

### (3) 天然及び人工バリアの長期安定性に関する科学的調査・研究

平成 18 年度のナチュラルアナログ調査・研究では、セーフティケース構築のための情報提供と、原環機構が進める段階的なサイト選定への情報提供を勘案し、平成 17 年度に設定した 7 つのゴール（目標）に対して、その必要性と緊急性から優先すべき 2 つのテーマを選定し、それらの実現可能性と実施にあたってのロジスティックス等に関する概略計画を検討した。

1 つは、①地層処分の基礎となる地質環境の長期安定性評価のために支援する判断指標や判断材料（証拠）をナチュラルアナログ調査・研究で準備すること。2 つは、②処分概念の成立上重要な要素となるベントナイト緩衝材の長期健全性に直接的に影響するコンクリートとの相互作用の評価を支援するナチュラルアナログ研究である。

①については、東濃地域（土岐・瑞浪地区）における既存情報の活用と、日本国内で実施されている古水理地質調査・研究から、現状の知見の蓄積と今後の課題と留意点を整理した。

②については、調査・研究拠点の要件をベースに、実施にあたって必要となる知見、ノウハウおよび体制等について整理し、成果達成の可能性、実施のためのサポート環境のロジスティックス等に関する評価項目を設定し、既存情報等に基づき検討を行った。その結果、高アルカリ地下水の存在と随伴するベントナイト鉱床が存在する複数の候補地点を選定した。

また、本調査・研究で収集した文献レベルでの情報を文献抄録シートとして取りまとめ、既存のナチュラルアナログプロジェクトのメッセージごとに整理を行った。これらの整理した情報を対象に、キーワード検索、地図検索、7 つの到達目標ごとに分類・整理されたマトリックスで検索できるナチュラルアナログ情報データベース検索システムを設計し、既存のデータベースプログラムを活用したプロトタイプを試構築した。

【地球化学バリア有効性確認調査】

◇事業の概要

放射性核種が土壌や岩石等、地質環境中を移行する際には収着／脱着、新鉱物相の形成、コロイドによる移行等、様々な現象が複雑に関与する。高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性評価の信頼性を向上させるためにはこのような複雑な現象の理解度向上が必要である。本研究では、放射性核種で汚染されたロシアのサイトにおけるコロイドに起因する核種の移行に着目し、様々な放射性核種に関する地下水起源コロイドによる移行挙動を現地研究、室内実験研究及び理論的な研究を組み合わせ総的に検討し、コロイドによる核種移行への影響や、コロイド輸送に関わる地球化学的地質環境条件等を評価する。併せて、ロシアのサイトで取得された有機物コロイドに関するデータを評価するためにアクチノイド有機錯体の安定性についての検討を行う。このようにして地質環境中での放射性核種移行のコロイド輸送現象に関する情報を蓄積し、現象の理解度を向上させることによって、地層処分バリア性能評価の信頼性向上に資することを目的とする。

本研究においてロシアの汚染されたサイトでの放射性核種のコロイド輸送に係る研究データ等は、ISTC (国際科学技術センター) プロジェクト No.3290 “Evaluation of the Groundwater Colloidal Migration of Radionuclides from Geochemical Viewpoint” として、ロシアの研究機関 (ベルナッキー地球化学・分析化学研究所: GEOKHI、鉱床地質学、岩石学、鉱物学及び地球化学研究所: IGM) が取得するものである。

本研究の現地調査サイトは、ロシアの Mayak 生産連合 (チェリアピンスク州) の再処理プラントで発生した高濃度の硝酸塩を含む放射性液体廃棄物を投棄したカラチャイ (Karachay) 湖周辺である。

(1) 既存データの収集

ロシア国内から提供されるプロジェクトの研究目的に沿った現在利用可能なデータを収集し、汚染問題の現状 (特に Mayak 生産連合サイト) が把握できるようにまとめる。また、アクチノイド真性コロイドの生成については、既に発表されているデータの他に、無機及び有機物質へ

の放射性核種の収着に関する熱力学や反応速度に関するデータを収集し、評価する。

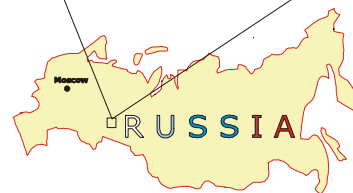
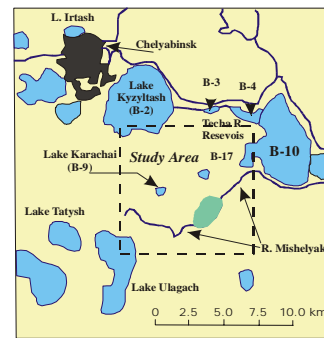


図-1 Mayak サイトのカラチャイ湖(B-9)周辺の地下水観測孔井配置図

(2) 現地調査と実験室での研究

現地では、原位置での地下水の化学的性質測定、採取した地下水試料の微量ろ過と限外ろ過、天然懸濁物質の分析、ろ液中及びフィルター上の放射性核種総濃度の定量、コロイド性物質とアクチノイドの結合強さの特性研究等を行う。また、実験室では、Pu 水酸化物重合体 (真性 Pu コロイド) の化学特性研究、Fe-オキシ水酸化物への単体 Pu 水酸化物及び重合した水酸化物の収着の研究、特性のよくわかっているフミン酸と重合 Pu 水酸化

## II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

物との錯体生成平衡の研究などを行う。

### (3) 理論モデルの開発

データ収集と併行して自然環境での放射性核種及びコロイド挙動の概念モデルを構築する。まず、既存のデータに基づき、コロイドによる放射性核種移行の概念的なモデルを検討する。次に、現状での理解のもと、コロイドの特徴や生成過程をコントロールしているプロセスモデルを検討する。

### (4) コロイド生成データの評価

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

最終的にはこれらの研究成果を総合して、コロイドによる核種移行への影響やコロイド輸送に関わる地球化学的地質環境条件等を評価し、地層処分システムの天然バリア性能評価の信頼性向上への貢献を評価する。

なお、本調査は経済産業省の委託により実施しているものである。  
(報告書)平成 18 年度 地層処分技術調査等 地球化学バリア有効性確認調査 報告書

### ◇平成 18 年度の成果

#### (1) 既存データの収集

カラチャイ湖周辺の汚染拡大状況に関する既存調査データのデータベースを作成すると共に、粘土鉱物、金属オキシ水酸化物及び有機コロイドへの放射性核種の収着反応速度と熱力学に関するデータの収集、アクチノイドの真性ヒドロキソコロイドの生成、安定性と特性の文献などを収集し、整理した。

◆ Mayak サイトは、安山岩-玄武岩組成の古生代火山岩が、非常に透水性の大きい風化地層の基盤をなしている。風化地層の厚みは地質的に弱く擾乱された地域での数メートルから、地質的に擾乱された地域での 150~170m まで大きく変動している。カラチャイ湖からの汚染地下水の流動はこの風化地層中で起きている。岩石の風化過程で、多数の開口割れ目の生成、火山岩鉱物の種々の浅成鉱物、大抵は粘土質鉱物による置換、火山岩中の Fe(II)の酸化が起こったと考えられる。

◆ 風化地層中地下水の放射性核種組成についてのデータベースを作成した。図-2 に 2000 年~2004 年時点のカラチャイ湖南側の地下水中の放射性核種濃度分布を示す。いずれの図においても距離の増加とともに濃度が低下する傾向が見られるが、より新しいデータを用いた下段のプロットの方が、ばらつきも少なくその傾向が顕著である。地下水移行の指標として、収着の影響が少ないと考えられる硝酸イオンと比較して、Sr、Am、Cm の変化傾向はほぼ同じであり、移流拡散が支配的であると考えられる。U、Pu については、2 価の Sr 及び 3 価の Am、Cm と同様の傾向が見られており、岩石表面等への収着による影響は顕著ではない。これらの核種がコロイドとして移行している可能性を示唆している。

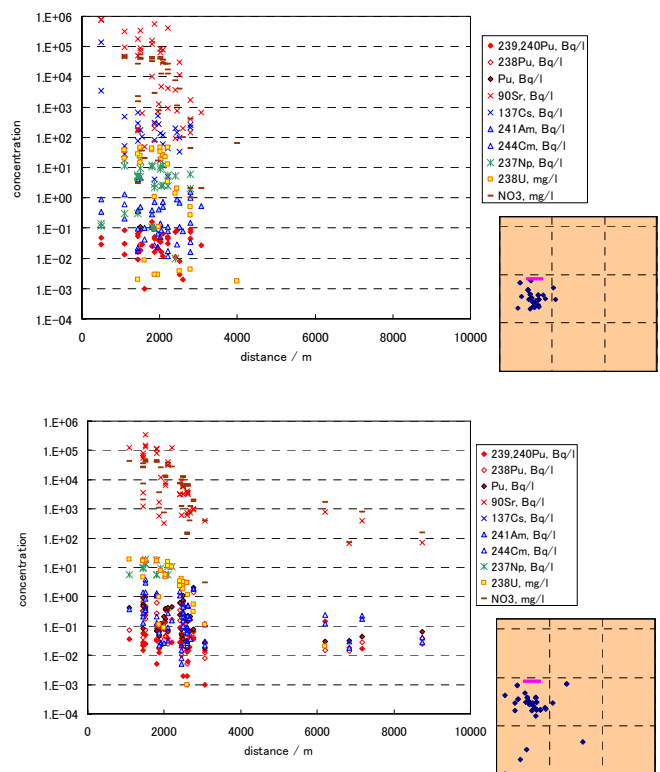


図-2 カラチャイ湖より南側の地下水中の放射性核種濃度分布：2000 年以前(上)と 2002 年から 2004 年(下)

#### (2) カラチャイ湖周辺での現地調査

アクチノイドを濃縮しているコロイド物質の性質と組成を確かめるためにカラチャイ湖周辺での地球化学的検層、観測孔井からの地下水試料採取、



地下水中のコロイド物質分画、その元素化学状態分析等を実施した。今回地下水を採取したのは湖の南方向の 63/68 孔(湖から 1000m の深度 30m と 80m)、64/68 孔(湖から 1250m の深度 20m と 100m)、50/79 孔(湖から 3000m の深度 20m と 50m)及び北東方向の 160/70 孔(湖から 1000m の深度 20m と 100m)である。このような調査は今後も継続し、データを蓄積する計画である。

- ◆ コロイド物質の濃度は、地表に近い地下水の方が低い。これは、密度が大きい汚染地下水が基盤岩と風化地層の境界を流動しており、コロイド物質が人工起源あるいはニアフィールド条件で生成することを間接的に示している。
- ◆ 南方向及び北東方向で採取した地下水中の懸濁物及びコロイド物質粒子は、鉍物や主成分元素が異なっている。
- ◆ 南方向で湖の近くで採取した試料では、放射性核種の担体である鉄酸化物あるいはオキシ水酸化物の球形コロイド粒子が観測され、これらの濃度は距離とともに減少する。
- ◆ 北東方向で湖の近く(160/70)で採取したコロイド物質の組成は南方向(63/68 及び 64/68)で採取したものとは異なる。コロイドの組成と形態はカラチャイ湖のはるか南方に位置する孔井 50/79 から分離したものに近い。
- ◆ 分画分子量 10kDa から 100kDa までの粒子のアクチノイド相対濃度は  $U < Np < Am + Cm < Pu$  の順に増加する。
- ◆ 深さ 20~80m の上部地層における Pu (V) の濃度は 100~120m の下部地層におけるよりも低い。このように上部地層で全ての人工物濃度(硝酸塩など)は下部よりも低い。上部地層で Pu の易動形 Pu (V) の割合が著しく減少する理由は、深さ 100 m 以下に比べて多くのフミン物質が存在することによって推定される。
- ◆ 逐次抽出法を用いたコロイド物質中の化学元素の化学状態分析結果は以下のとおりである。
  - コロイド物質と化学元素の結合形態は、コロイドのサイズと化学元素種によって異なる。

- 大きな粒子のコロイドフラクション中の化学元素は細かい粒子のフラクション中よりは強く結合している。
- U と Np は動き易い炭酸塩中に存在している。Pu と Am は、比較的溶解し易い無定型の形態として 80% が存在している。Pu は鉄や Mn 水酸化物と結合し、Am は主に有機物と結合している。

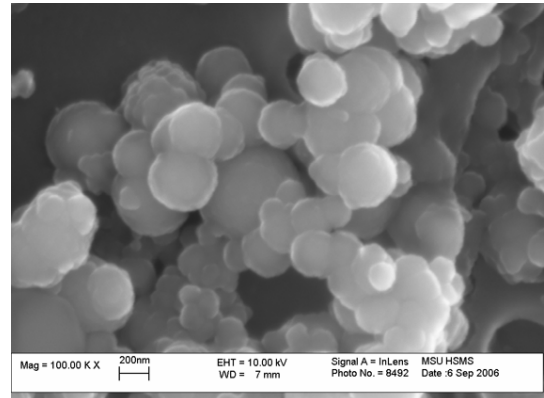


図-3 典型的な鉄酸化物あるいはオキシ水酸化物コロイド粒子(100nm~1µm)の凝集 SEM 100,000 倍

(3) 現地調査を補完するための実験的研究

現地調査を補完するため、真性 Pu コロイドの形態・安定性の研究、Mayak サイトの地下水中のコロイドを形成する遊離及び鉄オキシ水酸化物、有機物や粘土物質を含む“岩石-コロイド-地下水”のモデル系のアクチノイドの収着挙動に関する実験的研究を行った。

(4) コロイド生成データの評価

コロイド評価においては、有機及び無機コロイドの両面からその重要性について検討する必要がある。今後のロシアの現地データに対するコロイド影響評価にあたっては、有機配位子による錯体安定化に関する基礎的な熱力学データの整備は不可欠との認識から、より高次の構造を有する天然有機物であるフミン酸と f 元素との見かけの錯生成定数を解釈するためのモデル概念を構築し、その適用可能性を評価する。本年度は、昨年度に引き続き、Eu(III)と種々の構造を有する有機カルボン酸との錯体の錯生成定数  $\beta$  を実験的に取得し、それらの系統的な解釈を行うための基礎的なモデル構築、IV 価アクチノイド水酸化物の溶解度に及ぼす有機酸の影響検討等を実施した。

1-4 制度化・社会対応技術

【モニタリング機器技術高度化調査】

◇事業の概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分は各バリア性能に十分に裕度をもたせた安全評価により長期安全性を確保しようとしている。この安全評価を成立（閉鎖の要件を満足）させるために、一部の性能評価パラメータは文献値や実験室データにより対応するが、実処分場の天然バリアや、人工バリアの施工状態のモニタリングにより、データの取得やパラメータの保守性の確認を行う必要がある。

また一方、モニタリング結果を環境影響評価や情報公開に反映する場合がある。「安全性にかかわる社会的信頼性の醸成」の観点から、制度的管理の有効性が国際機関において明示的に認められるようになってきた。わが国は、1994年9月、IAEA第38回総会において、制度的管理を含む放射性廃棄物管理の安全に関する基本原則を定めた「使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約」<sup>1)</sup>に加入している。近年、処分場開発プロセスの柔軟性、段階的アプローチの必要性が議論され、その中で制度的管理の役割が積極的に位置づけられるようになったといえる。

地層処分では、処分地選定の段階から建設・操業、処分場の閉鎖の後、一定の期間、様々な目的で地層処分モニタリングを実施することが考えられている。

原環センターでは、このモニタリングシステムについて、調査や操業段階から閉鎖後まで至る各段階での意義や目的について整理し、適用可能性のある測定方法を見出して技術メニューとして整備している。国及び関係機関がそれらの実施方策及び計画等を検討する判断材料を整備することを目的に平成12年度より

「モニタリング機器高度化調査」を実施し、平成16年度に技術報告書<sup>2)</sup>をまとめ、平成18年度には第1フェーズの成果を取りまとめた。

同様に記録保存についても、記録の長期保存の位置づけとその実施制度に向けた課題の整理、記録保存システムに適用する技術の調査研究を実施し、技術報告書<sup>3)</sup>をまとめ、第1フェーズの成果を取りまとめた。

なお、本研究は経済産業省の委託により実施したものである。

(報告書)平成18年度 地層処分技術調査等 モニタリング機器技術高度化踏査 報告書  
(その1) 地層処分モニタリングシステムの調査  
(その2) 地層処分記録保存システムの調査

◇平成18年度の成果

(1) 地層処分モニタリングの目的と定義の整理

本研究ではモニタリングの目的として、ファーフールド主体の「①地質環境特性のベースライン把握」、ニアフィールド主体の「②工学的対策の妥当性の確認」、両者を性能評価に反映した「③処分場の安全性能の妥当性の確認」、前述①～③のある割合の部分を取り扱う「④法令要件に対する適合性の確認」、および社会的対応のための情報伝達手段等を取り扱う「⑤情報の蓄積と提供」の5項目を提起している。

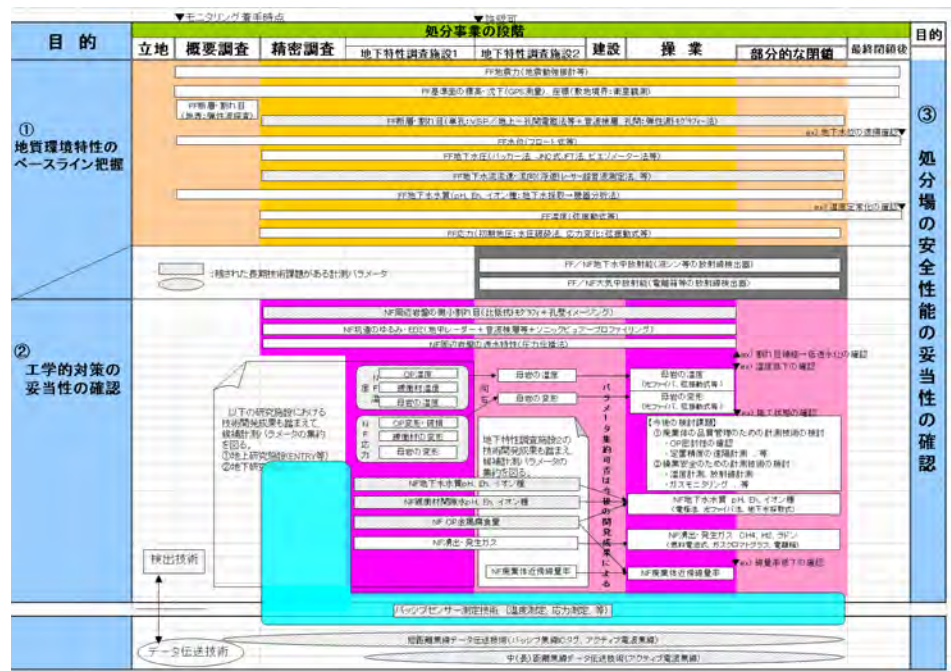


図-1 地層処分モニタリングの考え方 (第1フェーズのまとめ)

1. 高レベル放射性廃棄物処分 (1-4 制度化・社会対応技術)

上述の各目的に対応する候補計測パラメータ／技術メニューを整理し、モニタリング目的と処分事業の各段階（調査、建設・操業・部分閉鎖、最終閉鎖後等）との相関を整理した結果を図-1に示す。

この候補計測パラメータ（例えば岩盤割れ目等）毎に技術メニュー（同、各種の物理探査装置）の実用性を概略評価した。候補計測パラメータは、技術メニューを整理する上で計測する可能性がある項目を網羅的に抽出したものであり、将来的に必要ななくなるものや、技術的に対応困難なものを含んでいる。特にニアフィールドの計測パラメータについては、今後の地下研究施設（URL）や実施主体が建設を想定している地下特性調査施設等における技術開発により、計測を行うべきパラメータの集約や他のパラメータによる代用を議論していく必要がある。

(2) モニタリング技術メニューの開発

本研究では地層処分モニタリングにかかわる様々な技術情報を体系的に整理し、今後のモニタリング計画策定に柔軟に資するため、図-2に示す地層処分モニタリング技術メニューを整備している。技術メニューは処分場閉鎖前（地質環境の初期状態の把握や工学的対策の妥当性の確認など）から閉鎖後まで様々であり、その目的（ニーズ）に応じ、時期、場所、対象（パラメータ）及び方法（計測機器）も多岐にわたると考えられる。モニタリング技術は、処分事業者、安全規制機関、地方自治体等がそれぞれの役割や目的に応じて実施する可能性があることを視野に入れ整備することが望まれる。このため情報の透明性・追跡性を確保し、各機関が柔軟なモニタリング計画を策定する際の技術情報データベース並びにナレッジマネジメントツールとして分類整

理している。技術メニューは、専門家やステークホルダー間のコミュニケーションツールとしての役割を担う技術情報データベースとして開発を進める必要がある。今後は、このような実際の利用を通じて、搭載情報の更なる品質向上を図るため、まず、搭載情報のトレーサビリティを確保し、早期の公開をめざすことが重要である。

(3) 中核的なモニタリング技術の調査研究

重要性が高く開発課題のあるモニタリング技術の抽出を行った。具体的にはファーフィールドの岩盤の特性、地下水流動の変化の検出、ニアフィールドの温度・応力等の検出、中（長）距離のアクティブ電波無線および短距離のパッシブ無線によるデータ伝送等が抽出された。そこで本研究では技術メニューの整備に並行して中核的な技術と考えられる地中無線伝送技術および光ファイバセンサ技術の調査研究を継続実施し、その適用可能性を実験的に評価した。地中無線伝送技術の調査に関しては、これまでの調査により、低周波電磁波を利用した通信可能性が示され、図-3に示す課題が明らかになっている。

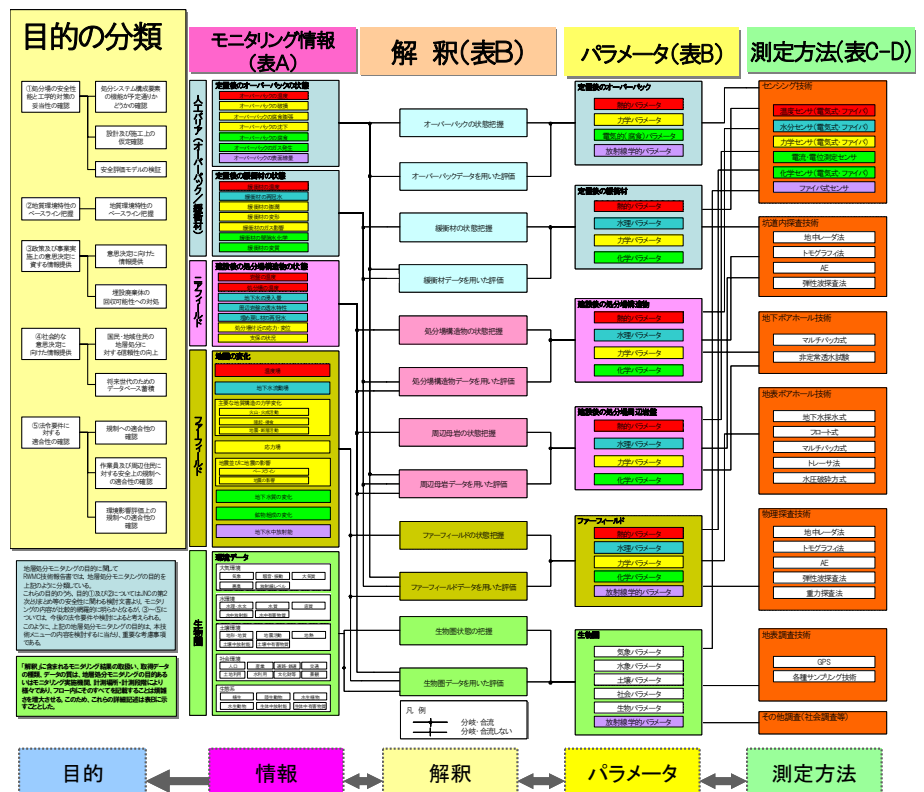


図-2 地層処分モニタリング技術メニュー



## II. 放射性廃棄物の地層処分に關する調査研究

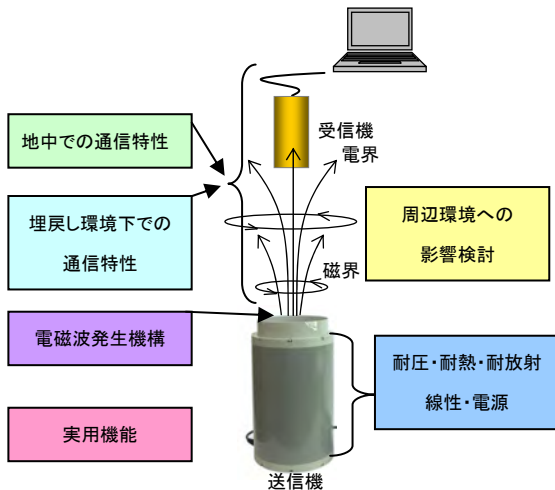


図-3 現状機器の構成要素と高度化調査項目

これら課題のうち、昨年度から岩盤を伝播媒体とした効率的な通信を実現するため、アンテナ形状に着目した通信効率の検討を行った。特に受信コイルアンテナに着目し、アンテナ形状を工夫(例えば矩形)することで、受信地点の電磁ノイズによる影響を軽減できる可能性が示された。また、後述の海外の地下研究施設における無線通信の実証試験結果を用いた低周波電磁波伝播に関する評価を行なった(4)参照)。

他方、光ファイバセンサ技術では FBG 方式の光ファイバセンサによる温度・圧力計測の室内での性能確認試験(図-4)を行った。

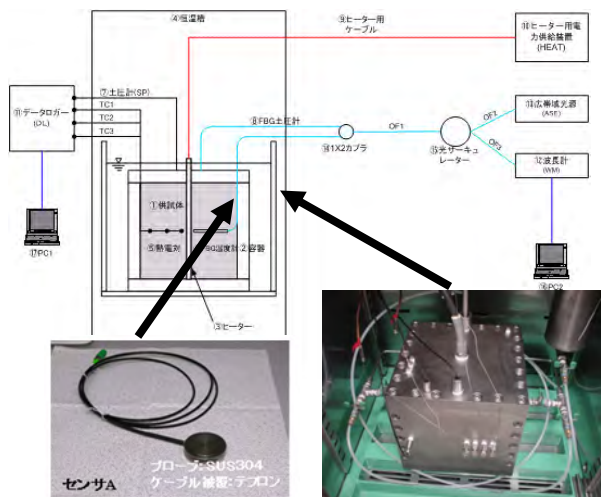


図-4 FBG 光ファイバセンサを使った室内試験

本技術は光ファイバの内部に複数の微小なセンサ部を有することで同時多点計測が可能である。

また、計測部とデータ伝送を兼ねていることから計測対象への擾乱影響の低減も期待される。今後は、国内外でのセンサシステム利用に向けた具体的な開発検討を進めていく必要がある。

### (4) 仏国ビュール地下研究所における地中無線通信試験結果の解析的評価

低周波電磁波を利用することで、岩盤中であっても通信が可能であることがこれまでの研究で明らかになっている。その伝播現象を再現する解析的評価手法を構築することは、確実にデータ伝送ができることを確認するために重要となる。均質媒体における通信可能距離は、古典電磁気学から導出できる。しかし、地下環境における通信可能距離は、空洞の対策工等の不均質要素により影響を受けるため、評価対象を適切に予測・評価するためには、対象を局所的に均質と見なせるまで細分化し、界面条件を相互に適合させる有限要素法に準ずる解析的評価が必要である。

そこで、仏国のビュール地下研究所における通信確認試験箇所を包含する有限要素モデルを構築し(図-5、図-6)、以下の手順で再現解析を実施することで解析的評価手法が妥当であることを確認した(図-7)。

- ① 電磁波伝播に影響を与え得る要因及び周辺地盤のモデル化
- ② 試解析による影響要因の特定
- ③ 試解析による影響要因の導電率、比透磁率の同定
- ④ 上記を適切に設定した解析の実施

### (5) モニタリング国際ワークショップの開催

本研究では、地層処分モニタリングに係わる従来の研究成果と今後の方向性について広く国内外の専門家を交えた場での議論を行ってきた。モニタリングに関する情報交換とコンセンサスの確立を目的に、平成19年2月にジュネーブにて国際モニタリングワークショップを Nirex と共催し、上記の成果はここで報告した。このワークショップでは、本研究のモニタリング技術メニューがシステムチックに整理されていると評価された。また、無線データ伝送技術と光ファイバセンサを用いたモニタリング技術の開発の重要性が国際的に認識された。また、日本より提案した「地下特性調査施設や操業中の定置・埋め戻し後

## 1. 高レベル放射性廃棄物処分 (1-4 制度化・社会対応技術)

のモニタリングを精緻に実施し、性能確認や処分場の操業・施工に係る改善や補修の判断を行うことが技術的に妥当である可能性がある」との認識を共有した。

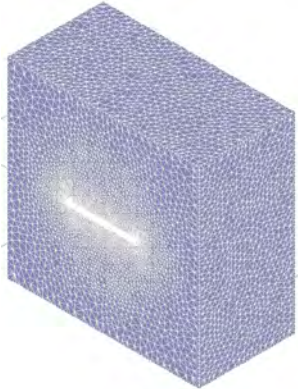


図-5 解析モデル (全領域)

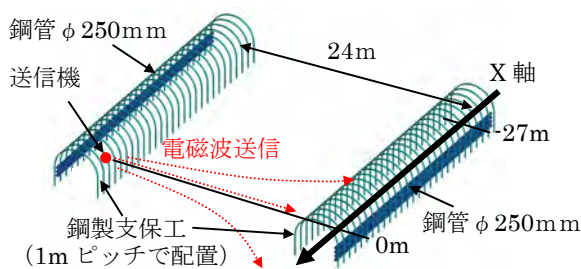


図-6 解析モデル(鋼製支保部抜粋)

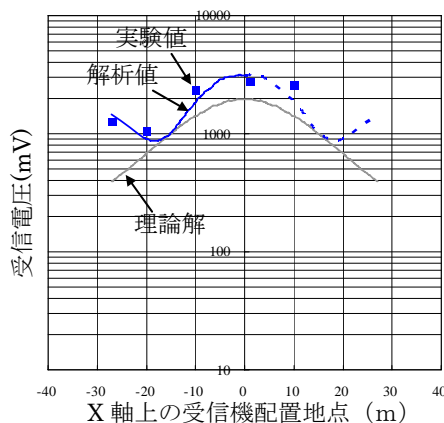


図-7 実験値と解析値の比較

### (6) 地層処分記録保存システムの検討

国内外における記録管理並びに保存に関する最新知見を収集及び整理した。わが国においては、安全規制の観点から地層処分及び余裕深度処分に関して記録保存の検討の必要性が示された。ま

た、2004年に記録の保存が開始されている ANDRA の La Manche 及び L'Aube センターに関してパンフレット<sup>4)</sup>にまとめられた情報を踏まえ一連の検討経緯を整理した。ANDRA の情報は、対象とする処分施設が異なるものの、その記録保存にいたる考え方や方策、記録保存システムは参考となることから、今後も調査を継続していく必要がある。また、総合資源エネルギー調査会「低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に係る安全規制について」に示されているマーカー (モニュメント) に関する検討も必要となるが、この検討例としては、米国 WIPP において多くの研究事例があり、それらの情報は参考となると考えられる。

### (7) モニタリングシステムのまとめ

第 1 フェーズでは地層処分モニタリングの考え方を整理し、地層処分モニタリング技術メニューに収録された多岐にわたる検出技術および伝送技術の実用レベルを概略評価することができた。また、技術メニューの充実、優先度の高い検出技術の実用化、新技術の適用等の今後の開発課題を明らかにすることができた。今後は、どの段階でどのようなモニタリングを実施するかはセーフティケースにおいて重要であり、そのためには技術実現可能性をできるだけ早く提示するとともに、BAT (Best Available Techniques) の観点から最新の知見の整備に努める必要がある。

- 1) IAEA (2005): Feasibility study of monitoring and its technology for geological repositories, Proceedings of International Conference on the Safety of Radioactive Waste Disposal, IAEA-CN-135/61.
- 2) 原環センター技術報告書「地層処分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－ (平成16年9月)」, RWM-TRJ-04003.
- 3) 原環センター技術報告書「地層処分にかかわる記録保存の研究－位置付けと方策－ (平成14年12月)」, RWM-TRJ 02001.
- 4) ANDRA (2006): Disposal facilities: preserving a collective memory for future generations, Essential Series, 299A

【ビュール地下研究所における無線モニタリング技術確証（1）】

◇事業の概要

原環センターでは「モニタリング機器技術高度化調査」の中で、モニタリングの中核的な技術オプションのひとつとして、地中無線データ伝送技術（以下、当技術）に着目し、平成13年度から地層処分事業への応用に向けた高度化調査を実施している（P.30 参照）。

核種封じ込め機能が期待される人工バリアの性能実証試験が今後わが国の地下研究所等で実施されると考えられる。しかし、従来方式でバリア内部の情報を得ようとする、センサとデータ記録装置を接続する伝送ケーブルが人工バリアを貫通することになるため、バリア機能を損なうことなく情報取得可能な当技術に対する期待は高い。

当技術に関する課題のひとつに、岩盤を伝播媒体とした伝送可能距離が挙げられるが、昨年度までの検討で、“送受信コイルアンテナの仕様と伝送可能距離の関係”が明らかになっている。すなわち、短距離伝送から長距離伝送（最大 500m）まで、伝送ニーズに応じたアンテナ設計並びに試験機構築が可能な技術レベルに達している。

一方、フランスでは長寿命核種を含む放射性廃棄物の処分に関して、「可逆性」の必要性が示されている。フランスにおける放射性廃棄物処分の事業実施主体である ANDRA は可逆性を考慮した地層処分の研究開発を進めている。地層処分におけるモニタリングに関して、ANDRA はバリア内を貫通する通信ケーブルを用いることなく廃棄体近傍のモニタリングデータを無線で伝送する手法の実証を進めている。

そこで、原環センターと ANDRA は、平成 18 年 3 月 30 日に無線モニタリングに係る個別協定（Specific agreement on wireless monitoring）を締結し、両機関でそれぞれの目標を掲げ、効率的な研究開発を実施中である。

なお、本研究は ANDRA からの委託に基づき実施しているものである。

◇平成 18 年度の成果

(1) 既存無線通信技術の深部地下環境における通信可能性の検討

電磁波を利用した無線通信は、送信機が発信した搬送波電磁界強度が受信機配置箇所の電磁ノイズを上回る場合に限られる。また、搬送波電磁界強度は、伝播場に鋼製材料が介在すると、その配置や連結状態により、増幅や減衰といった影響を受けるが、深部地下環境に構築される坑道には、作業安全や空洞防護の観点から通信に影響を与える鋼製支保材が数多く設置されている。

そこで、ANDRA が所管する Meuse/Haute-Marne URL（以下、ビュール地下研究所）の既存空洞（GL-490m）において、既存の地中無線通信機器を用いた電磁ノイズの調査並びに通信確認試験（図-1）を実施し、次の3点を確認した。

- (i) 原位置の電磁ノイズレベル
- (ii) 母岩が通信に及ぼす影響
- (iii) 鋼製支保材が介在する坑道内及び坑道間における「送受信機の配置」と「受信電磁界強度」の関係

なお、使用した機器が正常に動作していることを確認するため、上記の試験に先行して、均質媒体と等価な雰囲気（空気）を伝播媒体とした地表試験を実施し、理論解と一致することを確認した。



図-1 通信確認試験実施イメージ



(2) 長期計測試験に用いるプロトタイプ送受信機の設計及び製作

廃棄体の密閉環境で計測したデータを長期に亘って無線伝送するためには、限られた電源を有効に利用する必要がある。今回はビュール地下研究所で実施予定の長期計測試験に耐用可能なプロトタイプ送受信機を設計するため、上記(1)の原位置電磁ノイズ調査／通信確認試験、並びにその解析的評価（P. 30 モニタリング機器技術高度化調査の2. (4)参照）を基に、効率的な通信を実現するための検討を行った。

特に、使用する周波数については、水のような高導電率物質が介在する伝播環境でも通信が可能な極超長波（ULF）帯域から選定した。また、廃棄体の密閉環境を模擬した計測場は、長期的な変化が非常に緩慢であることから、通信頻度は、機器の動作確認時の高頻度モードから、長期運用段階の低頻度モードまで、試験段階に応じて5つのモードを備え、その切替えは命令信号の送受信により随時可能なものとした（表-1）。

表-1 計測間隔およびデータ伝送モード

モード	計測間隔	データ伝送間隔
通常モード	1回/日	1回/月
高頻度モード1	1回/時	1回/日
高頻度モード2	4回/日	1回/週
低頻度モード	1回/週	1回/3ヶ月
動作確認モード	6回/日	6回/時間

設計に際しては、一般土木分野で利用実績がある各種センサとプロトタイプ送信機との連結についても考慮した。プロトタイプ送信機は、試験孔（直径0.4m、延長10m）に設置するため、その寸法は直径0.3m、高さ0.6mである。プロトタイプ送受信機の外観を図-2に示す。

また、プロトタイプ機を試験孔に設置する際に利用する材料のうち、通信に影響があると懸念されるものについては、設置の状態を模擬した試験を地表で行い、影響がないことを予め確認した。試験状況を図-3に示す。

その他プロトタイプ送信機が具備した主な機能としては、無線方式との比較用有線方式計測機能、試験孔の孔口-孔底間の移動機能、耐水圧機

能が挙げられる。今後これらをビュール地下研究所の長期計測試験に適用する予定である。



図-2 プロトタイプ送受信機



図-3 予備試験状況

## 2. TRU 廃棄物処分

### 【人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価】

#### ◇事業の概要

TRU 廃棄物の地層処分では、廃棄体容器や金属廃棄物の腐食、廃棄物に含まれる有機物の化学・微生物分解等により発生した水素・メタン等の気体（以下、ガスと総称）の蓄積により、バリアシステムに影響を与えることが懸念されている。

本研究は、TRU 廃棄物の地層処分概念の検討や性能評価の信頼性向上に資することを目的として、スイスのグリムゼル試験場において現実的な地質条件下にサイロ型処分場を模擬した試験施設を構築し、人工バリアと周辺岩盤中のガスの移行挙動を試験・評価を行ったものである。

本研究は図-1 に示す研究フローにより、原位置試験、室内試験、解析検討の3つを中心に構成されている。原位置試験施設は破碎帯（シエアゾーン）を含む花崗閃緑岩岩盤内に掘削された、高さ約4.5m、直径約4mの空洞内に、直径2.5mのコンクリートサイロ（上部にガスベント設置）と緩衝材（ベントナイト20%、珪砂80%）から成る人工バリアシステム、その上部に砂礫埋戻し材、コンクリートプラグから構成されている（図-2）。試験は、人工バリアを水で飽和させ、コンクリートサイロ内に窒素ガスを注入し、移行させる手順で実施した。表-1 に研究スケジュールを示す。平成9年度に試験施設の設置場所の選定と試験計画を立案、平成10年度にアクセス坑道と岩盤空洞を掘削した。平成11年度から空洞周辺の岩盤の水理特性を調査し、人工バリアシステム建設と各種センサー設置及び上部の埋め戻しを行った。平成13年度にコンクリートプラグを構築し、人工バリアシステムへの加圧注水による人工的な飽和を実施した。その後、平成15年度にかけてガス移行試験を行い、平成16年度に人工バリアシステムの実験調査（解体調査）を実施し、原位置での調査を終えた。

平成17年度は、原位置試験で得られたデータを精査し、ガス移行モデルの見直しと一連の試験過程の解析評価を実施した。平成18年度は、平成9年度より実施してきた本研究の最終年度として、一連の研究を通じて得られた成果や知見について総合評価と全体総括を実施した。

なお、本試験は経済産業省の委託により実施したものである。

（報告書）平成18年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価報告書

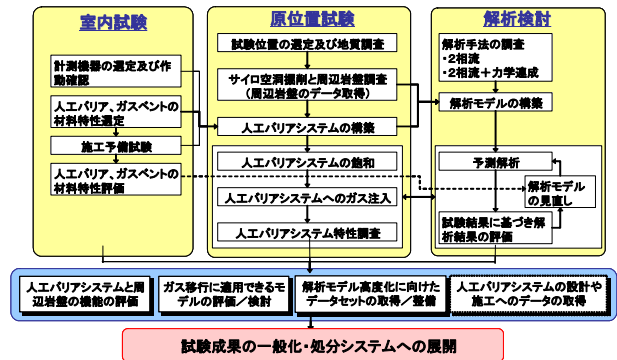


図-1 研究フロー図

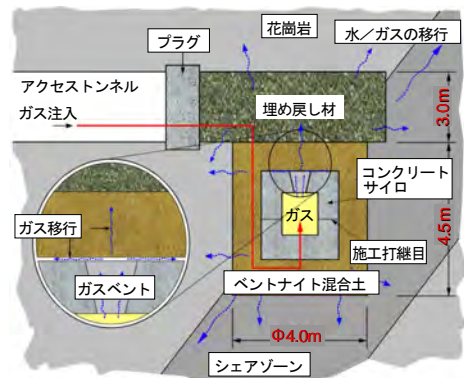


図-2 原位置試験（スイス・グリムゼル試験場）施設の概要図

表-1 研究スケジュール

実施内容	年度										
	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	
試験計画	■										
試験位置の選定及び地質調査	■										
解析検討		■	■	■	■	■	■	■	■	■	
試験空洞掘削と周辺岩盤の特性調査		■	■	■	■	■	■	■	■	■	
室内試験			■	■	■	■	■	■	■	■	
人工バリア建設				■	■	■	■	■	■	■	
人工飽和試験					■	■	■	■	■	■	
システム透水試験						■	■	■	■	■	
ガス注入試験							■	■	■	■	
人工バリアシステム特性調査								■	■	■	
総合評価										■	

#### ◇平成18年度の成果

##### (1) ガス移行挙動の総合評価

一連の原位置試験過程を通じたガス移行挙動の総合評価として、これまでの統合的な解析結果に基づく原位置試験のモデル化評価、及びガス移行概念の検討を行った。



図-3 は原位置試験での取得データを用い、解析的に評価した人工バリア中の水(黄)及びガス(赤)の移行挙動概念について図示した例である。これらの人工飽和段階からガス注入段階にいたる水及びガスの移行形態は、原位置試験での測定データや各種試験等を通じて評価された移行概念と整合性を有するものであった。

(2)ガス移行挙動評価技術の全体総括

a. TRU 廃棄物処分検討への貢献

国内外の専門家等による意見交換会を実施し、原位置試験を通じて得られた成果について公表すると同時に、残された課題や今後の研究の方向性に対する意見を幅広く収集した。この結果を踏まえ、本研究の成果を TRU 廃棄物処分の概念検討の観点から再整理し、課題の抽出及び解決方策について検討した。結果として、

- ・緩衝材の多様な条件におけるガス移行に関連するデータの拡充
- ・力学連成挙動評価の実現を含むモデル化・解析手法の信頼性の向上
- ・現実的なガス移行挙動評価手法の確立

の重要性が改めて認識された。

b. 原位置試験データベースの整備

一連の原位置試験、室内試験、及び解析検討を通じて蓄積された膨大な知見やデータ、報告書等について、本研究成果の将来的な活用の観点から、これら情報を体系的に整理し、データベースとして整備した。本成果は、今後のガス移行挙動の評価や研究における有用な情報源として期待できる(図-4)。

(3)まとめ

総合的な原位置試験及び試験結果の評価・分析により、人工バリアシステムの透水特性はガス移行の前後で著しい変化を生じないこと、ガス移行挙動では界面(構造的な界面、施工上の界面等)の存在が重要であること、現実的な環境

下での既存手法による人工バリアシステムの構築が実証できたこと等の貴重な知見を得た。本研究は、複雑な人工バリア中のガス挙動に関して、工学規模スケールでの原位置試験と取得データに基づき、解析的手法の適用性を含めて体系的な評価を試みた世界的でも類を見ない研究であり、得られたデータや成果は、今後の TRU 廃棄物処分の実現に向けた検討において貴重な情報を提供するものであると考える。

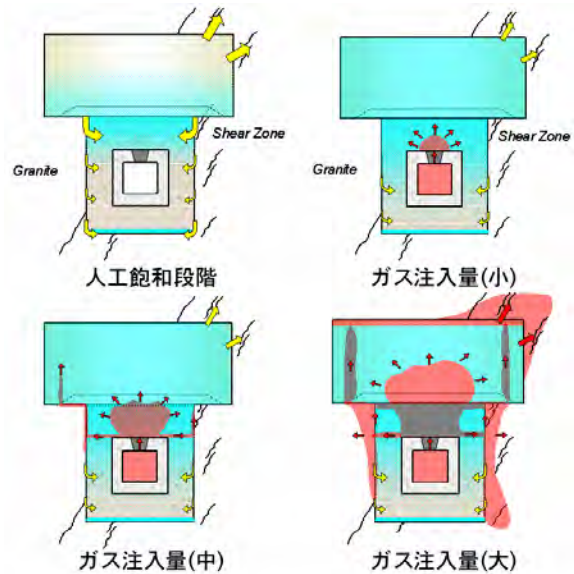


図-3 モデル化検討に基づくガス移行挙動概念の例示

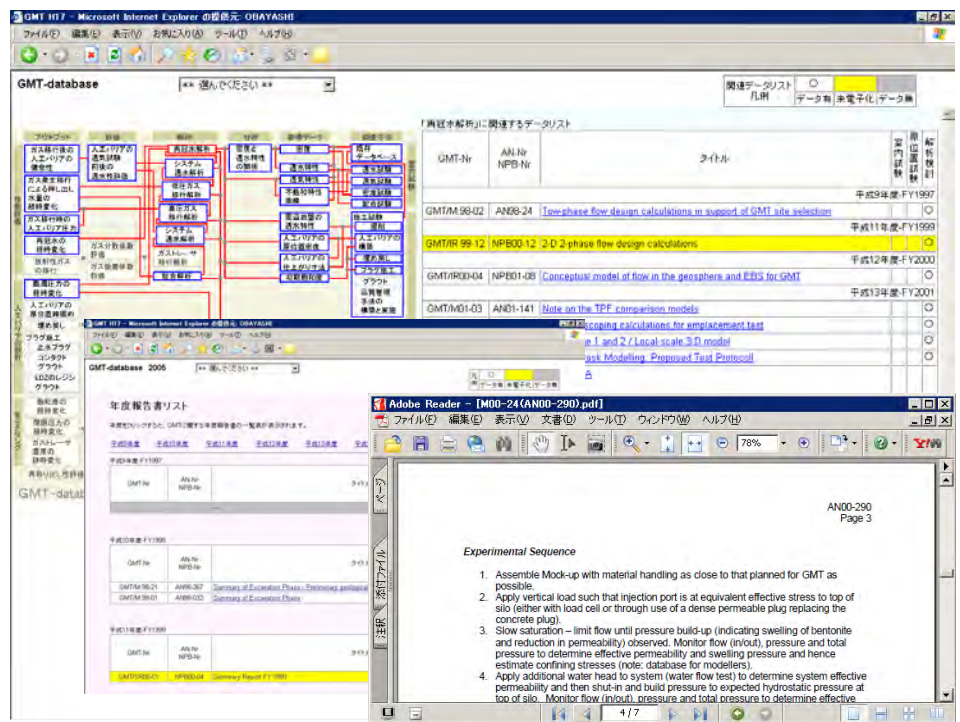


図-4 原位置試験データベース



【人工バリア長期性能確証試験】

◇事業の概要

TRU 廃棄物の地層処分に於ける人工バリアシステムは、セメント系材料及びベントナイト系材料を併用することが考えられている。これらの材料は地下水成分及び各バリア材料からの浸出成分との作用により長期的に変質し、人工バリアの特性に影響を及ぼすことが懸念されている。本確証試験は、TRU 廃棄物処分施設に於ける人工バリア材料の長期変質挙動について、地球化学的反應の観点から、より現実的な長期性能評価手法を開発し、確証試験等との比較から解析手法の信頼性の向上を図ることを目的としている（図-1）。

本確証試験は平成 14 年度から検討を開始し、初年度は人工バリアの変質とそれに伴うバリア性能への影響に關する既往知見の調査と、変質シナリオの整理及びこれをベースとした予備変質解析を実施し、人工バリアの長期挙動評価に關する課題を抽出・分類した。またこれらの課題に対して、試験による現象解明・データ取得及び解析手法の高度化の両面から、長期挙動評価の信頼性を向上させるための全体計画を策定した。

平成 15 年度からは、セメント系材料並びにベントナイト系材料の変質現象の確証試験及び両者が接触した複合系での相互影響確証試験を実施している。また、これまでの変質解析に於いて考慮されていない事象の影響や、試験結果との比較によ

る解析の再現性の検討及び現状の知見に基づいた処分システム全体での変質挙動評価を実施している。さらに関係者間でのコンセンサス形成を目的として、変質に伴う影響の相互関連に基づきながら、既往の知見を階層的に整備・電子情報化するとともに、変質シナリオの整理を実施した。

なお、本調査は経済産業省の委託により実施しているものである。

(報告書)平成 18 年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処技術調査 -人工バリア長期性能確証試験- 報告書

◇平成 18 年度の成果

人工バリア材料の長期変質挙動評価の信頼性向上を目的として、セメント系材料及びベントナイト系材料の変質試験及び解析的検討を実施した。

(1)セメント系材料の長期性能確証試験

水和発熱に伴うひび割れ発生等の低減等、施工上の観点から使用される可能性が高いフライアッシュセメントを現実的なセメント系材料として選定し、変質モデルの構築のための浸漬試験を実施し、その結果、降水系地下水では普通ポルトランドセメント (OPC) の Region III に相当するモデルで、海水系地下水では  $Mg(OH)_2$  等を考慮したモデルで、それぞれ変質を再現できることを明らかにした (図-2 および図-3)。

また降水系地下水環境下で約 70 年を経たアナログ試料の分析結果からは、C-S-H のカルシウム / シリカ比の低下が観察され、骨材を含めた平均

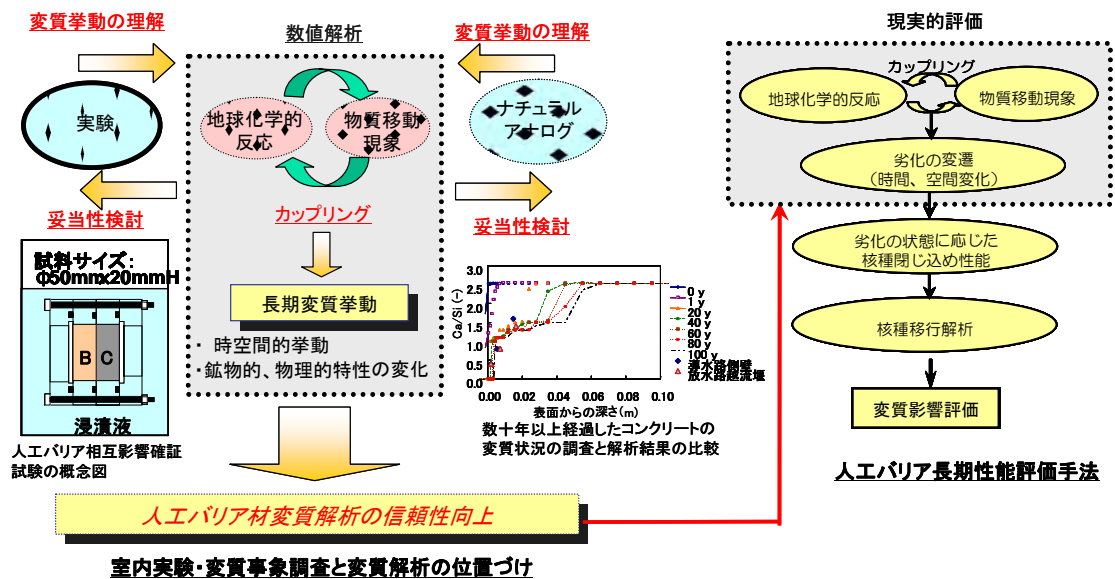


図-1 本確証試験の目的及び実施内容の模式図

化が起きている可能性が示された。

(2) ベントナイト系材料の長期性能確認試験

ベントナイト系材料のアルカリ環境での溶解・沈殿挙動に関して、これまでに知見が十分に得られていない①モンモリロナイトの変質反応の可逆性、②アナルサイムの生成条件及び③カルセドニの溶解挙動に関して検討した。

モンモリロナイト変質反応の可逆性に関しては、セメントとの反応より生成するアナルサイムを試料とした水熱反応試験において、パラゴナイトと考えられる反応生成物が確認されたが、モンモリロナイトの再生成は本実験の範囲では確認できなかった。アナルサイムの生成に関しては、pH11, 12 の条件でも、90, 120°Cの温度加速試験では相図と整合することが確認された (図-4)。

(3) 人工バリア相互影響確認試験

セメント系材料とベントナイト系材料とを接触させた試料の3年間の浸漬試験を行い、界面近傍での変質によって生成すると考えられるC-S-Hの検出を試みた結果、浸漬期間が長くなるに従って、C-S-Hと考えられる非晶質がはっきりと確認され、解析で示されたC-S-Hの析出の傍証を得ることができた。

(4) 人工バリア材の変質解析

確認試験と変質解析の比較を実施し、解析結果の妥当性の確認を実施した。また、(1)~(3)で得られた知見を反映するための入力情報を整理した。その結果、図-2 および図-3 に示す多様なセメント系材料および多様な地下水条件に対応した解析を可能にするとともに、これまで考慮されていなかった緩衝材の密度分布の影響等についても、解析の考え方を示した。

(5) 人工バリアの変質シナリオの整理

人工バリア変質に関する知見を集約、体系化を継続して実施し、変質影響の相互関連図やマトリクス表を詳細に作成し、またそれらの設定根拠を明確にした。また整理した結果に関しては電子情報として移行しシステム化した。

<外部発表等>

- 1) H. Sakamoto et. al., Development of an analytical technique for the detection of alteration minerals formed in bentonite by reaction with alkaline solutions, Physics and Chemistry of the Earth Volume32, 2007
- 2) H. Owada et. al., Alteration of the Cementitious Material under the Saline Environment, Topseal2006

3) N. Yamada et. al., Experimental and Modelling Study on the Long-Term Performance of the Engineering Barrier System of TRU Waste Repository, Topseal2006

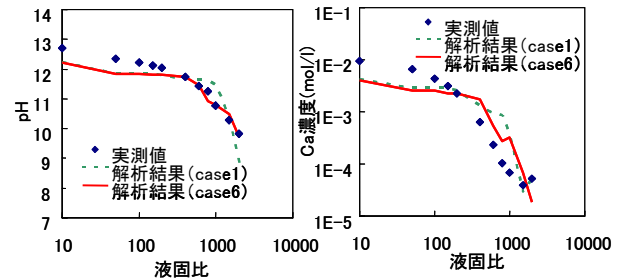


図-2 セメント試料の浸漬試験と変質解析との比較 (フライアッシュセメント-降水系地下水)

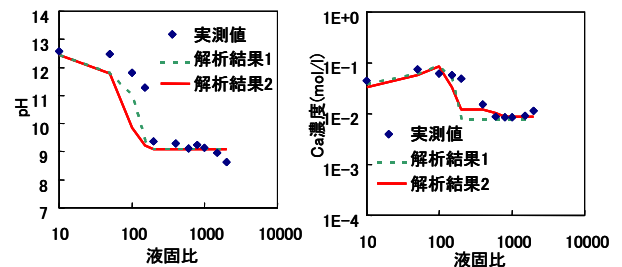


図-3 セメント試料の浸漬試験と変質解析との比較 (OPC-海水系地下水)

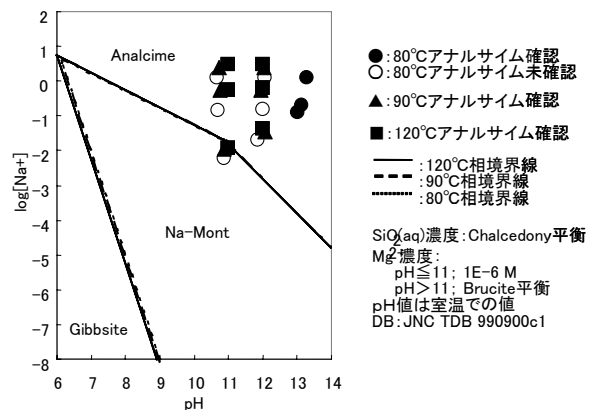


図-4 アナルサイムの生成領域

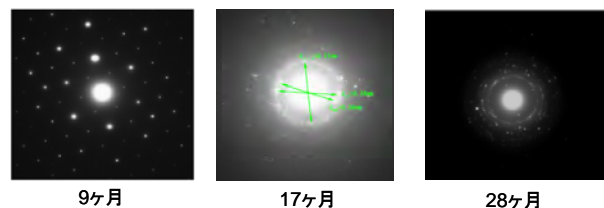


図-5 セメントーベントナイト界面近傍の TEM 分析

## 【ヨウ素固定化技術調査】

### ◇事業の概要

再処理施設の操業に伴い発生する廃銀吸着材に含有されるヨウ素 129（以下、I-129）は、半減期が 1,570 万年と長く、また、人工バリアや岩盤等への収着性が低いことから、地下水移行中の I-129 の減衰は地下水流速等の地質環境の影響を受けやすく、TRU 廃棄物の地層処分の安全評価において、被ばく線量に大きな影響を及ぼす。

そこで本調査では、地層処分における被ばく線量の低減が可能であり、さらに長期性能評価において不確実性が小さく、経済性の観点からも有効なヨウ素固定化技術を開発し、わ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。

ここでは、以下に示すステップにより開発を行っている。

#### ① 固定化技術の調査ならびに開発計画の策定

わが国において開発中の各種ヨウ素固定化技術、必要な前処理技術、さらにヨウ素固化体の物性、ヨウ素の長期保持性能の評価方法に関して、開発の現状を調査、整理する。これらに基づき今後高度化すべき開発課題を抽出し、合理的な技術開発計画を策定する。

#### ② 固定化技術高度化試験

技術開発計画に基づき、模擬廃銀吸着材を用いたヨウ素固定化技術、前処理技術の開発を行い、その各固化体に対し、浸漬試験等に基づく固化体特性データの取得により長期性能評価モデル構築及び高度化を行う。

本調査では、平成 18 年度までの開発目標値を①固化体からのヨウ素放出期間 10 万年以上（I-129 の最大線量を現行よりも約 1 桁低減可能（特に地質条件が悪い場合）なヨウ素放出期間に相当）、②ヨウ素固化処理プロセスにおけるヨウ素回収率 95% 以上（2 次廃棄物を低レベル放射性廃棄物以下に区分出来るヨウ素回収率）として開発を進めている。平成 12 年度には国内で実施されているヨウ素固定化技術を調査し、その結果に基づき 7 つの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と固化処理プロセスの成立性を中心に評価を行い、5 つの技術に

絞り込みを行った。

今年度は、これまで検討を行った各固化体のヨウ素放出期間および固化処理プロセスの成立性について、より詳細検討を行った。また、次期フェーズに向けた技術の絞込を行うために、これまでの検討結果をまとめる技術評価を行った（表 1）。それぞれの固化技術について、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ことができた。

なお、本調査は経済産業省の委託により実施したものである。

（報告書）平成 18 年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連  
処分技術調査 ヨウ素固定化技術調査 報告書

### ◇平成 18 年度の成果

#### (1) 岩石固化技術

固定化処理技術開発では、AgA 岩石固化処理条件について調査を行い、固化体のスケールアップについて検討した。これまで検討した小型固化体と同様に、800 cc の中規模固化体についても、均質な固化処理が可能であることを確認した。

また、還元雰囲気における岩石固化体中の AgI 単独での溶解挙動を検討した。ヨウ素放出は時間の 1/2 乗に比例することから表面析出層中の拡散律速と考えられるが、高 pH では緻密な Ag 層の形成が阻害される可能性がある。

岩石固化体からのヨウ素放出メカニズムを評価した結果、ヨウ素の放出は浸出初期には空隙拡散により律速され、アルカリ条件ではマトリクス  
の溶解速度に律速されることが分かった。放出メカニズムから長期性能評価モデルを構築したところ、中性条件では 1 億年以上の寿命を有していると想定された。

#### (2) AgI ガラス固化技術

固化体の長期性能調査として、純水と NaCl 溶液浸漬における、固化体表面に生成する各層の特性を調べた。密度情報を取得しモデルに反映するとともに、溶解度積をパラメータとすることで、浸出モデルの高度化を可能とした。このモデルを用いて、浸漬環境ごとの AgI ガラス固化体（直径 480mm、高さ 660mm の円柱形、容量 119L）の長期性能を評価した結果、純水浸漬環境（中性領域）ではおよそ 100 万年、NaCl 水溶液浸漬環境（中



性領域)ではおよそ20万年の寿命と評価できた。

(3)BPI ガラス固化技術

固化体の長期性能調査として、浸漬後のBPI ガラス表面層をXRD、XAFS等により分析した結果、表面層は結晶性物質と非晶質物質の複数の化合物から構成されており、鉛-ヨウ素-ビスマス化合物の生成が示唆された。

ヨウ素の溶出は、降水系地下水ではガラスマトリクスの溶解に比べ、強く抑制された非調和溶解機構となっているのに対し、海水系地下水(模擬海水)では、調和溶解機構となっていることが確認された。試験により得られた浸出率を外挿した結果、ヨウ素の浸出期間は、降水系(pH=11)で2億年(割れ係数1)、海水系で3万7千年(割れ係数10)となった。

(4)セメント固化技術

地球化学反応と拡散挙動を連成させた解析コードを用いて、セメントブロック浸漬体系に適用

し、ヨウ素放出挙動を解析検討した。降水系セメント平衡水中のイオンおよび hidroゲネットの存在はAFmの安定化に寄与している。また、海水系セメント平衡水の場合にフリーデル氏塩はAFmを抑制する影響を与える。しかし、変化はわずかであり、ヨウ素保持にかかわる性能は、どの場合でも、放出期間10年以上であると評価できた。

(5)合成ソーダライト化技術

固化体の変質挙動について詳細に調査した。また、ソーダライトと人工バリア材料の化学反応と物質移行の連成モデルを設定し、ヨウ素放出を評価した。拡散係数が大きい緩衝材のパラメータを用いて評価した結果、降水系地下水のケースでは約2万年であり、海水系地下水では約15万年となった。

表-1 ヨウ素固定化技術開発の技術評価まとめ

固化体名	ヨウ素固定化概略図	溶液種	pH (括弧内はモデル適用範囲)	ヨウ素放出		モデル化	放出期間(y) <sup>*1)</sup>	最大被ばく線量(Sv/y) <sup>*1),*</sup>	固化処理プロセス:ヨウ素回収率
				メカニズム把握	長期安定性の理解				
岩石固化体		降水系	12.5 (10~12.5)	○	△	○ (拡散)	>1E+7 (1E+6)	7.2E-8 (7.2E-7)	>99%
		降水系	10 (8~10)	○	△	△ (拡散+マトリクス溶解)	5.5E+4	1.1E-6	
AgIガラス固化体		降水系	8~9 (7~9程度)	○*2)	△	△/○ (平衡浸出率)	1E+6 (1E+5)	3.9E-7 (1.9E-6)	96%
		海水系	8~9 (7~9程度)	△*2)	×/△	△ (平衡浸出率)	2E+5	1.2E-6	
BPIガラス固化体		降水系	11 (11)	△/○*2)	×/△	△ (浸出率)	>1E+7*4)	5.8E-10	>90%
		降水系	9 (9)	△/○*2)	×/△	△ (浸出率)	2E+6*4) (2E+5)	5.5E-8 (3.9E-7)	
		海水系	9 (8~9)	○	△	○ (浸出率)	3.7E+5*4)	2.4E-7	
セメント固化体		降水系	12.5	△	△	△/○ (分配)	3.6E+5	7.2E-8	>99%
		海水系	12.5	△	△	△/○ (分配)	1.7E+5	1.3E-7	
合成ソーダライト		降水系	12.5 (11.5~13.5)	○	×/△	△ (溶解平衡)	1.7E+4	7.7E-7	>50%
		海水系	12.5 (11.5~13.5)	○	×/△	△ (溶解平衡)	1.5E+5	2.6E-7	

\* 1) 岩石、AgIガラス、BPIガラスの括弧内の数値は実規模サイズに対し表面積10倍を想定した値  
 \* 2) 共存イオン(還元性物質等)と表面層(ヨウ素固定化鉱物)との反応に関する理解を深める必要がある  
 \* 3) 第2次TRUレポート レファレンスケースのI-129の最大線量は2E-6(Sv/y)  
 \* 4) 現行はヨウ素の浸出量の経時変化を対数式で回帰し浸出率を算出。一般に適用される線形で回帰した場合と比較して、ヨウ素放出期間は海水系で約2桁、降水系のpH9で約2桁及び降水系のpH11では約3桁長くなっている

【凡例】  
 ヨウ素放出機構の理解レベル  
 ○ ← △ → ×  
 (高い) (適度) (低い)

【放射化金属廃棄物炭素移行評価技術調査】

◇事業の概要

放射化金属廃棄物中（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。これは C-14 の半減期が比較的長く、廃棄物中のインベントリも比較的多いこと、さらに廃棄物から放出される C-14 の化学形態が有機物であるため、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と考えられているからである。C-14 に関する研究は、これまで主として電力共通研究、原環センター自主研究、国の研究の一部等で実施されてきたが、現状の知見は限られたものである。このため、TRU 廃棄物地層処分の安全評価において、過度に保守性が確保されている可能性があり、現実的・合理的な取扱いが望まれている。

本調査は、これまで行われてきた諸研究の成果を集約するとともに、放射化金属廃棄物中の C-14 インベントリの合理的設定、C-14 放出挙動および金属の腐食挙動との関係、放出 C-14 の化学形態および収着挙動、有機 C-14 の無機化をそれぞれ明らかにすることを目指している。さらに、環境中の移行評価や生物圏での挙動に関する知見と合わせて、C-14 の挙動を総合的に評価することを目的としている（図-1）。

特に、C-14 の浸出率は、これまで短期的な C-14 の浸出試験結果から外挿されているため、過度に保守的に評価されている可能性がある。本調査では、図-2 に示すような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。さらに、放射化金属からの C-14 放出は金属腐食との関連が高いことから、腐食速度や腐食挙動の解明、腐食に伴うガス発生挙動について検討を加える。

なお、本調査は経済産業省の委託により実施しているものである。

（報告書）平成 18 年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 放射化金属廃棄物炭素移行評価技術調査 報告書

◇平成 18 年度の成果

(1) C-14 のインベントリの合理的設定方法の検討  
放射化金属中の C-14 インベントリを合理的に設定するには、実際に原子炉にて使用された照射済み被覆管の測定が欠かせない。

平成 18 年度は、平成 17 年度から引き続き、BWR 被覆管中の C-14 濃度を測定した。放射化計算の結果と合わせて表-1 に示す。計算値/測定値の比は約 1.5~4 となっており、計算値と測定値に差異が生じる要因として、放射化計算の不確実性の他、燃料集合体内の燃料棒の配置の違いによる燃

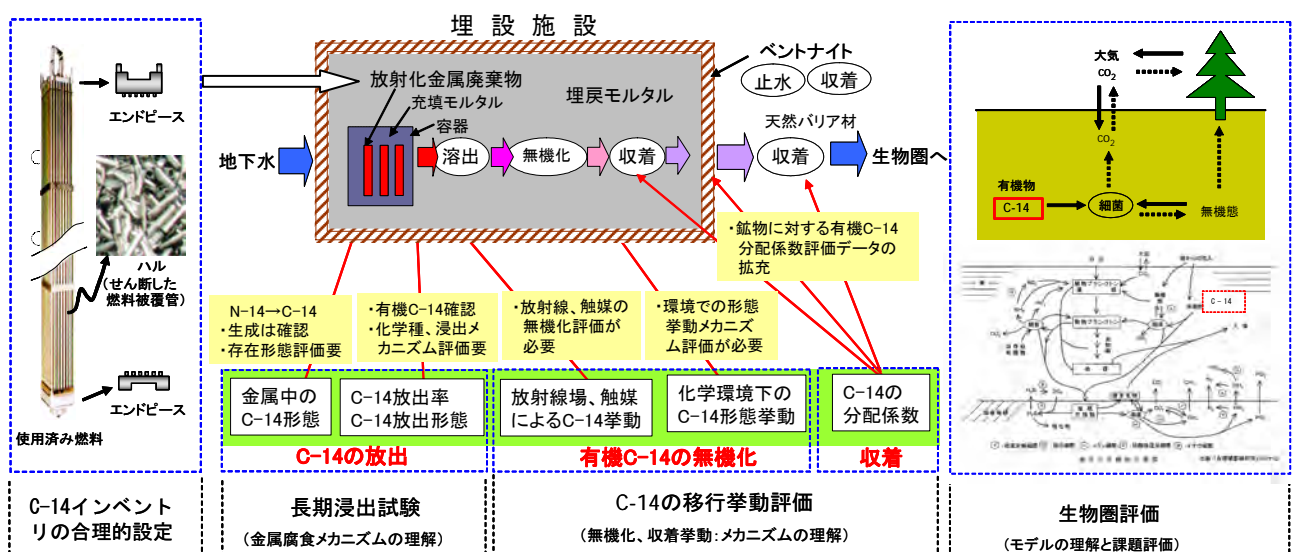


図-1 放射化金属廃棄物から放出される C-14 の移行挙動の総合的な評価方法の検討

料集合体外の水ギャップおよび制御棒の操作による、熱中性子照射量の影響によるものと考えられる。今後、燃料集合体の装荷位置の履歴および制御棒の装荷パターンを反映させることで、中性子照射量評価の精度を改善できる可能性がある。

放射化計算の不確実性の評価として、中性子束・スペクトル、材料組成の条件設定が C-14 の生成量に与える影響について検討した。照射位置と燃焼度の変化は、熱中性子照射量に影響するが、中性子スペクトルにはほとんど影響を与えなかった。また、材料組成については Zry-2 金属を対象とした場合には窒素含有量により C-14 生成量が決まることが分かった。一方、酸化膜としては ZrO<sub>2</sub> を仮定し、0-17(n, α)C-14 の生成過程を考慮した場合、C-14 の生成比率は N-14 起源が 49%、0-17 起源が 51% となった。酸化膜中の C-14 インベントリ評価には、酸素起源を考慮する必要があることが分かった。

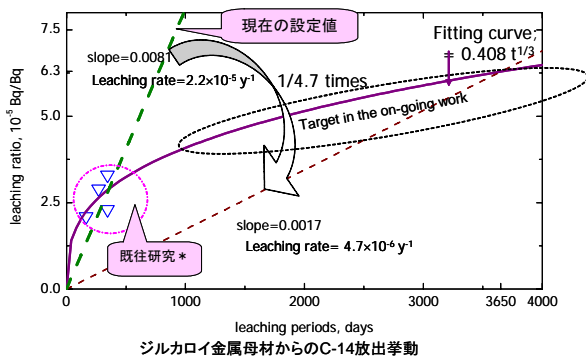


図-2 C-14 の浸出挙動に関する試験計画

表-1 照射済み被覆管の C-14 インベントリ測定値と ORIGEN による放射化計算結果

C-14 activity, 10 <sup>4</sup> Bq/g, in the irradiated Zry metals.				
	code	calculation	measured	calculation / measured
PWR <sup>1)</sup>	ORIGEN-2	4 *	3.0	1.3
BWR	ORIGEN-79, S	2.7 ~ 7.7 **	1.1 ~ 2.7	1.5 ~ 4.0

\* using an average burnup for the fuel rod  
 \*\* burnup values are set in the concerning spot.

<sup>1)</sup> A STUDY ON CHEMICAL FORMS AND MIGRATION BEHAVIOR OF RADIONUCLIDES IN HULL WASTES, ASME 1999

(2) 放射化金属からの C-14 浸出挙動

放射化金属からの長期的な C-14 放出挙動試験に先立ち、短期的な浸出データ取得および浸出化学形態評価を行った。ジルカロイ酸化膜の浸漬試

験を行い、浸出した C-14 の化学形態（有機または無機）を測定した（図-3）。有機・無機形態の C-14 割合はおおよそ等しかった。また、放射化ステンレス鋼についても、浸漬 1 ヶ月時点での浸出 C-14 の有機、無機形態の存在比率はほぼ 1 : 1 であった。

これまでの安全評価では、収着・遅延効果の低い有機形態のみが放出されると仮定されているが、無機形態の C-14 が検出されたことで、従来の評価は過度に保守的である可能性が示された。より現実的な評価として、無機形を評価に取り入れることも、選択肢のひとつとして考えられる。今後は、有機形態の詳細の化学種分析が求められる。

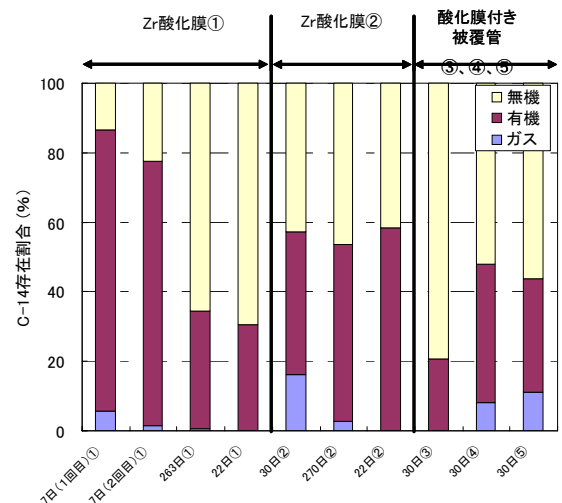


図-3 ジルカロイ酸化膜からの浸出した C-14 の有機・無機形態分析

(3) 金属の腐食・水素発生挙動

水素吸蔵特性を有するジルカロイの腐食・水素ガス発生挙動把握のためには、材料中の水素濃度管理が重要となる。今年度、試験片前処理方法の標準化を試み、厚さを 0.05mm、真空焼鈍処理により初期水素含有量を低減させることができた。この標準化手法によって、金属腐食・水素ガス発生にともなう水素吸収量が定量できるようになり、ガスフロー試験による連続試験など、詳細なジルカロイ腐食挙動評価の実施が可能となった。



【廃棄体開発調査】

◇事業の概要

我が国では、再処理施設や MOX 燃料加工施設から発生する TRU 廃棄物のうち、α核種の濃度が一応の区分目安値を超え、浅地中処分以外の地下埋設処分が適切と考えられる廃棄物は、安定な地層中に処分する方針のもとに検討が行われている。本調査は TRU 廃棄物の処分用廃棄体に関して、平成 10 年度「地層処分経済性向上調査：地層処分システム開発調査－廃棄体の開発－」において、公募に応じた提案を審査し、選定されたテーマについて実用化に向けた開発試験を開始した。

TRU 廃棄物の地層処分用の廃棄体について求められる要件、機能から①長期の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と、②ハンドリング性、処分効率（経済性）の向上を目標とする廃棄体を開発することとし、廃棄体概念およびその開発計画を選定した。

ここで、核種の閉じ込め期間については、性能評価上の重要核種で、人工バリアおよび地質媒体への収着による線量の低減が望めない C-14 について、その初期濃度が約 1/1000 に減衰する 6 万年間を目標とした。また地層処分システム性能の高度化、仕様の合理化、ハンドリングの効率化等を目標とする廃棄体については、TRU 廃棄物処分のオプションを用意することで、地層処分システムの性能・経済性の向上を図るものとした。

これら各廃棄体については、平成 13 年度までに、落下安全性、ハンドリング性等を含めた基本設計を終了し、製作性に関しても 1/4 スケールモデルにより確認し、平成 16 年度をもって開発を終了した。また長期の核種閉じ込めを目標とする各廃棄体については、平成 13 年度までに基本設計に加え、その製作実現性および長期閉じ込め性の考え方の整理を実施し、平成 14 年度以降は長期閉じ込め性の確認試験について実施してきた。平成 16 年度以降はこれら廃棄体のうち、長期閉じ込め性を目的とした容器としてコンクリート容器（図-1）、金属容器（図-2）各 1 体について長期閉じ込めの信頼性を検討するとともに、その他の廃棄体についての総合評価を実施した。平成 17 年度以降は長期閉じ込め性担保のための開発として、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

および閉塞等を含む長期挙動の評価に重点において開発を実施し、金属容器については、溶接・加工影響部等や欠陥の影響を含めた長期評価に重点において開発を実施した。

なお、本調査は経済産業省の委託により実施しているものである。

（報告書）平成 18 年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 放射化金属廃棄物炭素移行評価技術調査 C-14 の長期閉じ込め技術の高度化報告書

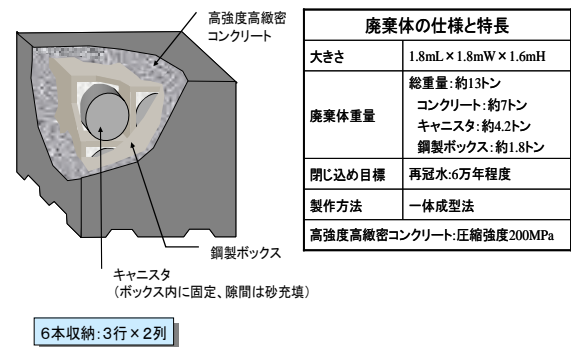


図-1 長期閉じ込め型コンクリート容器の概念図



図-2 長期閉じ込め型金属容器の概念図

◇平成 18 年度の成果

1) 長期閉じ込め型コンクリート容器

平成 18 年度は、コンクリート容器の長期健全性評価のための要素試験、品質管理・非破壊検査手法の開発を実施するとともに、金属容器の応力腐食割れ感受性の長期評価や加工・溶接影響に関する検討を実施した。

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用いた一体成型により、打継ぎ欠陥部を排除する長期閉じ込め（6万年）概念である。平成18年度は、平成17年度の成果・課題を受け、コンクリート容器の長期閉じ込め性を担保

することを目的に、長期化学劣化評価試験、ひび割れの進展・閉そく評価試験および製作時の品質管理の観点から、非破壊検査技術手法の開発を実施した。

コンクリート容器に関して、長期的にひび割れが発生しないことを説明するのは困難であり、6万年後までの核種の閉じ込め性の成立性を提示するためには、長期的なひび割れ挙動を評価する必要がある。そのため、高強度高緻密コンクリートのひび割れの進展・閉そく挙動の評価を実施した。

ひび割れの進展挙動評価には、岩石の亀裂の進展速度の評価に用いられているダブルトーション法(DT法)を用い、引っ張り強度を下回る応力のもと、水中環境での亀裂進展評価を実施するとともに、閉そく挙動評価では、拡散場でのひび割れ試験体の透水係数変化の挙動を評価するため、イオン交換水、人工海水および模擬降水系地下水で実施した。DT法に用いた試験装置の外観を図-3に示す。

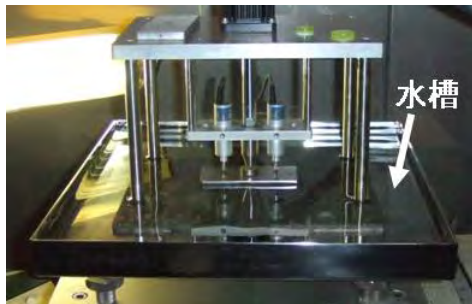


図-3 水中環境測定用試験装置

DT法により水中における高強度高緻密コンクリートのひび割れ進展挙動を評価した結果、図-4に示すように大気環境より水中環境のほうが亀裂進展が加速された。また、本試験の範囲では環境温度の亀裂進展速度の影響は大気環境では小さいが、水中環境では大きいことが確認された。また、環境要因の影響を岩石の基礎評価式により評価したところ、基礎評価式の $\alpha$ および $\beta$ の値により温度環境の影響および水中環境もしくは大気環境の違いについて評価できる可能性が見出された(図-5)。

ひび割れ閉そく挙動試験では、あらかじめひび割れを導入した試験体を用い、イオン交換水、人工海水および模擬降水系地下水で浸漬試験を実施した結果、ひび割れ内に生成し、閉そくに関与すると思われる析出物の種類(炭酸カルシウムや水

酸化マグネシウム、C-S-Hなど)を同定することができた。これらにより、地下水のひび割れ内への侵入抑制が予測され、ひび割れ進展速度の抑制およびひび割れ発生後の閉じ込め性の回復等の可能性が期待される。

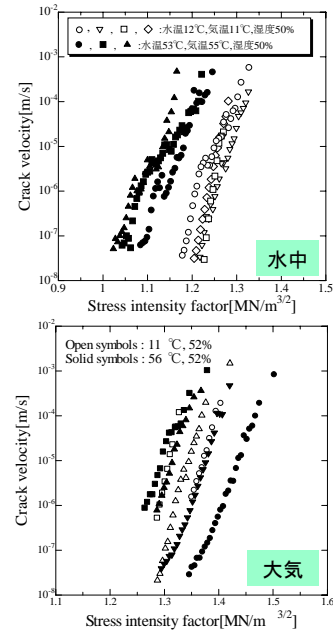


図-4 高強度高緻密コンクリートの亀裂進展試験結果

基礎評価式

$$\frac{da}{dt} = v_0 \exp\left(\frac{-E^* + \beta K_I}{RT}\right)$$

$$\ln\left(\frac{da}{dt}\right) = \alpha + \frac{\beta}{RT} K_I$$

$$\alpha = \ln v_0 - \frac{E^*}{RT}$$

- $\left[ \frac{da}{dt} : \text{ひび割れ進展速度} \right]$
- $K_I : \text{応力拡大係数}$
- $E^* : \text{活性化エネルギー}$
- $R : \text{ガス定数}$
- $T : \text{絶対温度}$
- $v_0, \beta : \text{比例定数}$

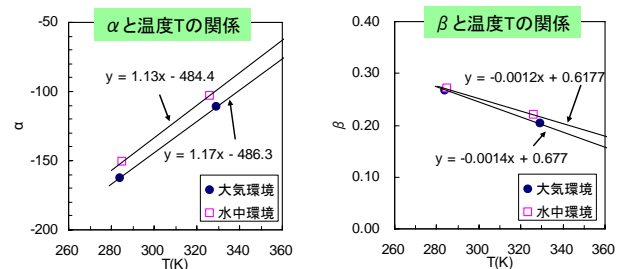


図-5 基礎評価式および各係数と温度の関係

## II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

非破壊検査技術の開発は、コンクリート容器の製作時の品質管理において、ひび割れ等の欠陥(幅0.05mm以上)の検出を可能とすることを目標に、超音波法による検査技術を開発するものである。コンクリートは、セメントペーストのマトリクスと骨材との複合材料であり、高強度高緻密コンクリートではこれらに加えて補強材として用いる繊維の影響も考慮する必要がある。また、製作時に不可避な独立気泡も、超音波によるひび割れの検出を困難にする。

平成18年度は、廃棄体の品質管理・非破壊検査手法の開発に係る要素試験として、X線CT法と超音波法によるひび割れ検出要素試験を実施した。X線CT法では、造影剤の効果および精度検証を実施した。その結果、医療用の造影剤を適用することによりCT画像におけるひび割れ部の強調が可能であり(図-6)、造影剤の濃度で強調度合いの調整が可能であることが確認された。また、2種類の模擬ひび割れ試験体の観察結果から、ひび割れの分岐の様子などひび割れ形状の検出が可能であることが確認された。超音波法での超音波透過特性評価では、打設方向に対する超音波の透過方法の違いや計測位置により伝播特性に違いが大きいと適切な評価が難しいため、それらの有無を確認した。また併せて、実機寸法でひび割れが検出できるかについても確認した。その結果、200mm厚の高強度コンクリートでは底面反射波は検出できるものの高強度高緻密コンクリートよりも検出性能が悪いことが確認された。減衰率、異方性については各方向で有意な差はなく、異方性は無いといえた。模擬欠陥試験体によるひび割れ検出試験では、探触子の種類や周波数の影響が確認され、この結果を踏まえ、ひび割れの深さや大きさを定量するサイジングの可能性が示唆された。

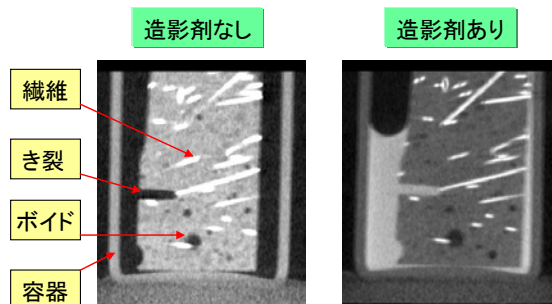


図-6 X線CT像

### 2) 長期閉じ込め型金属容器

金属容器に関しては、耐食層として想定するチタン合金材について、不働態健全性の確認、水素脆化に起因する応力腐食割れ感受性評価、加工・溶接条件の調査と加工影響の検討を実施した。

不働態健全性については、コンクリート透過水環境下での不働態挙動の長期試験(80℃ならびに25℃)に着手し、引き続き経過観察を行うこととした。また、長期健全性評価のため、不働態皮膜破壊後の再不働態化を評価する手法を検討した。

水素脆化による応力腐食割れ感受性評価については、比較的低電流密度での長期定電流・定荷重試験に着手した。また、通電電流量をそろえた高電流密度および低電流密度試験を行ったところ、低電流密度試験の水素吸収量は高電流密度の場合の5倍程度となった。これは加速試験の加速度合によって水素化物生成プロセスが異なるという知見と一致するものである。

加工・溶接条件の調査では製造時の加工条件(胴部曲げ工程で6%の冷間加工等)と溶接条件(TIG溶接またはLBW)を整理し、これらの条件を再現した試験片を作製した。加工影響の検討のため、この試験片を観察した結果、溶接時には熱影響部が1300℃程度まで加熱され、数mmの範囲に影響が及ぶことが確認された。熱処理組織は800℃で結晶粒成長、変態点以上で粗大化傾向が見られた。冷間加工においては結晶粒内のすべり線の増加や結晶粒のひずみが確認(図-7)され、チタン合金材への加工影響がステンレスに比べかなり顕著であることが確認された。

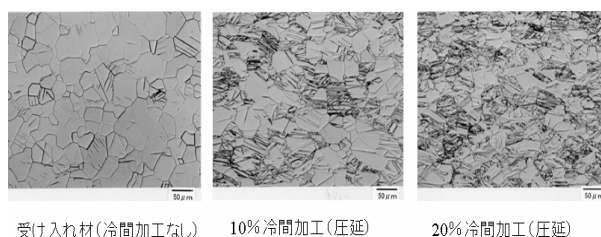


図-7 冷間加工によるすべり線, 結晶粒のひずみ

以上の結果を元に今後は、不働態皮膜破壊後の再不働態化試験、より低電流密度での水素脆化試験、加工・溶接条件を再現した試験片のすきま腐食試験を実施し、チタン合金材の耐食層への適用性を確認する予定である。



**【その他の TRU 廃棄物処分に関する研究】****(1) 合理的な TRU 廃棄物処分概念の構築に関する研究（その 2）**

平成 18 年度は、TRU 廃棄物処分について、代替技術を導入した場合及び高レベル放射性廃棄物との併置を考慮した場合についての基本的概念を検討するとともに、代替技術を導入した場合の概念検討の基礎資料となる I-129 固定化技術、C-14 長期閉じ込め技術を採用した場合の検討条件（検討対象とする代替技術の選定及び選定した技術における廃棄体の寸法、重量、材質など）について調査を行い、整理を行った。

また、今後の技術開発課題について、国、各研究機関での開発計画や既往の研究成果について調査し、これらを基に、今後検討すべき課題を抽出するとともに、開発時期及び期間について検討・整理した。

### III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

#### 【総合情報調査】

##### ◇事業の概要

高レベル放射性廃棄物等の処分についての国内外における研究開発の現状、海外における処分事業の実施状況及び処分技術情報、海外の処分技術評価の関連情報等の情報・データを収集し、処分技術関連情報等の総合的なデータベースとしての整備を行う。

なお、本調査は経済産業省の委託により実施しているものである。

(報告書)平成18年度 総合情報調査報告書

##### ◇平成18年度の成果

高レベル放射性廃棄物処分に係る技術情報として、国際機関での検討状況、諸外国における処分事業の進捗、研究開発、立地選定、社会的要求事項に係る検討、処分技術評価、情報提供等の状況についての情報・データを収集し、原典、背景情報、主要文献の翻訳等から構成されるデータベースとして整備した。また、アジアでの処分の検討状況とともに、高レベル放射性廃棄物以外の放射性廃棄物処分の検討状況に関する情報を収集し、同様にデータベースとして整備した。さらに、収集した処分技術関連情報・データを分析、評価することにより、今後の研究開発課題を検討した。

##### (1) 海外情報に係る総合的なデータベース整備

各国の高レベル放射性廃棄物等の情報の収集・蓄積に関しては、米国、ドイツ、フィンランド、フランス、スウェーデン、スイス、スペイン、ベルギーの主要国の処分実施主体等から、政策、処分技術、資金管理関係の情報を収集し、データベースとして整備した。また、アジア諸国に関しては、韓国、台湾、中国における放射性廃棄物処分の検討状況に係る情報を収集するとともに、処分概念、サイト選定などの技術情報を収集した。

各国の研究開発に関しては、地下研究所を含めた研究開発の動向の調査を行った。

地層処分関連技術として地層処分代替技術である長寿命核種の分離・変換技術、長期貯蔵に関する最新の検討状況を調査するとともに、関連す

る技術情報を収集し、データ整備を行った。

また、高レベル放射性廃棄物処分事業の評価に関しては、スウェーデン、フィンランドでの安全規制等の評価事例を調査して、主要な評価報告書をデータベースに整備した。

海外法制度に関しては、高レベル放射性廃棄物、低レベル放射性廃棄物の処分の法令、基準・指針等をデータベースに整備した。低レベル放射性廃棄物処分は、ドイツ、スペインでのクリアランスに係る法令等に関する情報整備を実施している。

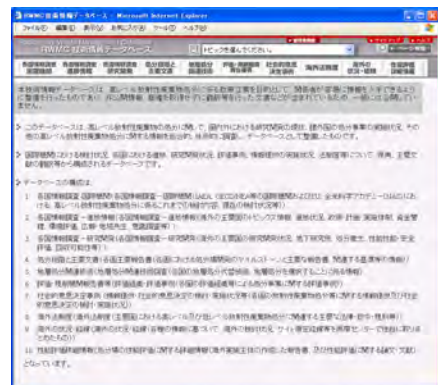


図-1 整備したデータベースの初期画面 (海外機関との情報交換協定等により限定的な利用形態を取っている)

##### (2) 情報の提供

原環センターのホームページにおいては、諸外国の高レベル放射性廃棄物処分を中心とした情報について、最新の動きを『海外情報ニュースフラッシュ』として掲載した。また、米国、フィンランド、スウェーデン、ドイツ、スイス、フランス、カナダ、英国、スペイン及びベルギー10ヶ国については、処分の進捗、法制度、資金、研究開発等の最新の状況を取りまとめて掲載した。

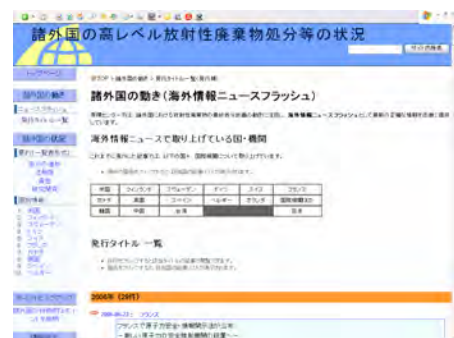


図-2 ホームページでの『海外情報ニュースフラッシュ』

国際原子力機関（IAEA）が整備している放射性廃棄物データベース（NEWMDB）については、国内の放射性廃棄物管理の状況に関する情報を収集し、データの登録を行った。

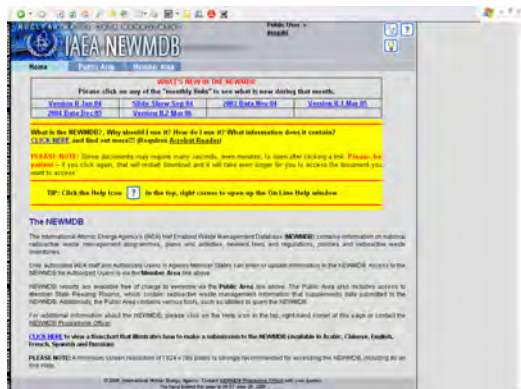


図-3 NEWMDBの初期画面  
© 2006, International Atomic Energy Agency

携帯用技術情報冊子の整備としては、国内外の放射性廃棄物処分の最新の状況、主要な報告書の内容を含めた平成19年度版の「放射性廃棄物ハンドブック」を制作した。また、『諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について』と題する技術情報冊子に関しては、資源エネルギー庁の監修を受け、処分方針、廃棄物の特徴、処分の安全確保の取り組み、研究体制、地層処分の制度、理解促進等の情報を、「オールカラーで判りやすく」を旨に編集を行い、更新版を原環センターのホームページに掲載した。さらに、『諸外国における放射性廃棄物関連の施設・サイトについて』と題する技術情報冊子に関しては、フィンランド、米国、スウェーデン、ドイツ、フランス及びスイスの放射性廃棄物管理の概要をまとめた上で、放射性廃棄物管理関連施設の地図とともに、各施設の概要・アクセス方法をまとめて、原環センターのホームページに掲載した。



図-4 放射性廃棄物ハンドブック  
(賛助会員などに配布)



図-5 『諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について』(2007年2月)



図-6 『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』(2006年12月)



### III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

#### 【地層処分重要基礎技術研究調査】

##### ◇事業の概要

本研究調査は、放射性廃棄物の地層処分事業を進めるにあたり、基礎的かつ学際的な知見として事業の進捗に貢献し得る諸分野の広範な研究開発テーマについて、その体系を整理し、かつ中でも重要な基礎テーマを随時調査・抽出し取り組んでいくことにより、所要の基盤技術を確立することを目的としている。

そのため、放射性廃棄物の地層処分に係る研究開発のうち、基礎的な研究、長期間の研究を要する研究テーマを抽出し、大学等研究機関の研究者によってその研究テーマを実施するとともに、研究計画、研究内容等についての評価を行う。

なお、本研究調査は経済産業省の委託により実施しているものである。

(報告書)平成18年度 地層処分重要基礎技術研究調査報告書

##### ◇平成18年度の成果

平成18年度は、昨年度及び一昨年度より継続実施の9件に加え、さらに新規研究テーマの抽出、研究実施者の選定を行った。その結果、下記の(10)、(11)に示す2件の研究が採用され、開始された。以下に、各研究の概要を示す。

##### (1)プレートテクトニクス関連の研究—プレート境界近傍の地殻変動データを用いた地殻活動ポテンシャル評価手法の開発—

平成18年度は、GPS観測点をさらに3箇所設置してデータの蓄積をはかるとともに、既存のGPS観測点(国土地理院等)のデータも併合したGPSデータの本解析作業を実施した。

さらに、過去の断層運動(地震)履歴を得るための活断層トレンチ調査を行い、様々な既存文献を基に地下構造のマスターモデルを構築、GPS観測データからの変位場・歪場の導出を行い、地殻活動ポテンシャルの評価を行った。

##### (2)堆積岩地域における塩淡水境界に関する研究—空間・時間スケールに応じた塩水・淡水地下水の沿岸域・沿岸海底下での挙動解明—

平成18年度は、採取した水のコンタミネーション評価のため、地下水年代の再測定を実施した。また、地下水流動・密度流・堆積過程を取り扱うことが可能な数値シミュレーションにより、地下水流動と滞留・堆積過程の相互関連を把握した。

さらに間隙水圧連続計測データの解析と水理特性評価のための手法を検討した。

##### (3)圧密ベントナイト中の水に関する物理的・化学的研究—核種移行挙動に及ぼすベントナイト間隙の微細構造および間隙水化学の影響—

平成18年度は、膨潤した圧縮ベントナイトの内部微細構造に関する情報を得るとともに、X線マイクロCT画像から個々のベントナイト粒子を認識し、放射性核種の拡散経路を求める解析手法を確立した。

また、拡散実験では、典型的な陰イオン( $\text{Cl}^-$ )及び中性種(トリチウム:HTO)の見かけの拡散係数と塩濃度との関係、並びに典型的な陽イオン( $\text{Na}^+$ イオン)の支配的な拡散プロセスと塩濃度との関係について評価を行った。

##### (4)地層処分におけるコロイド影響—天然バリア内における地下水コロイドが核種輸送に及ぼす影響のモデリング—

平成18年度は、天然バリア中におけるコロイド輸送現象のモデル化について、コロイドのマトリクス拡散による核種遅延機構が期待できる可能性が実験的に示され、そのモデル化に当たっては、物理的なコロイド粒径と空隙幅との関係ではなく、地下水環境条件下における静電気的な効果を考慮した見かけの粒径と空隙幅との関係を取り込むことが重要であるとわかった。

また、コロイド移行モデルについても、速度論の効果を取り込んだモデルが構築でき、カラム実験との整合性が確認できた。

##### (5)錯生成の挙動—天然環境における放射性核種と溶存有機物との錯生成とその溶存形態に関する基礎研究—

平成18年度は、引き続き、北海道の幌延地域及びサロベツ原野において(季節を変えた)錯体特性実験を行い、地下水中の腐植物質の特性を検討した。

また、同様に(季節を変えて)北海道の別寒辺

牛湿原を流れる河川水のフィールド観測を行うとともに、室内実験等を実施した。

- (6) ベントナイト中での炭素鋼の腐食挙動、形態に関する研究－平均腐食速度のモニタリングと孔食係数を決定する因子の解明－

平成 18 年度は、溶接材を中心に、炭素鋼の腐食の不均一性について調べ、電子ビーム溶接及び TIG 溶接ともに、溶接部と熱影響部において不均一な腐食形態が認められなかったことを確認した。

また、オーバーパックの腐食モニタリングについては、ベントナイト中での電気化学インピーダンス法による腐食モニタリングが有効であることを示すことができた。

- (7) セメント利用によるニアフィールド母岩透水性変化の評価－強アルカリ地下水の地球化学的影響評価に資する基礎技術の構築－

平成 18 年度は、ケイ砂充填層を用いた強アルカリ水溶液の循環試験を行い、カルシウムイオンが存在する場合のケイ酸の溶解挙動及び浸透性変化を流動式実験にて確認した。

また、溶解過程を伴う空隙率及び浸透率の変化を表す数学モデルの検討を行い、物質移動の見かけ溶解速度への寄与、内部空隙の構造、鉱物の溶解速度の違いにより、溶解が進行しても直ちに浸透率が上昇することがないことを明らかにした。

- (8) 人工バリア材としてのセメント材料に関する基礎研究－不飽和領域バリア機能の検証と水和生成物の安定化に向けた研究－

平成 18 年度は、飽和コンクリート中の水分移動現象について、供試体毎に異なる非ニュートン流体の性質を液状水に付与させることにより、アウトプット法に基づく実験結果を精緻に再現することを可能とした。

また、コンクリート中の水蒸気と液状水の力学的な相互作用、力学的及び熱力学的な平衡、水蒸気と液状水の移動現象を考慮した不飽和透水現象のモデル化、解析を行った。

- (9) 断層の水理特性に関する研究－伝達関数を利用した岩盤の水理特性の評価手法に関する研究－

平成 18 年度は、弾性波速度の測定より得られ

る分散周波数と透水係数との関係を導く理論を提唱し、室内実験により確認した。従来の多孔質弾性論ではなく、地盤の持つ粘性項をダッシュポットで表現したモデルで表わし、そこから弾性波の伝播特性を表現しようとするものであり、室内実験で定性的にその妥当性が証明できた。

- (10) 地下水水質への影響評価に関する基礎研究－地下水流動経路としての割れ目からの各種情報とその評価に関する基礎研究－

普遍的に存在する割れ目周辺の幾何学的及び化学的情報には、割れ目の形成過程と過去の地下水流動に関する情報が埋もれており、これらを解明していくことにより、その履歴を明らかにする。

平成 18 年度（初年度）は、デジタル写真測量の技術を応用した表面形状の取得方法を検討し、破壊モードが既知の室内実験で形成された割れ目に対して三次元表面形状を取得した。

また、粗さの特徴をフラクタル次元によって表現することで、せん断破断面上の条線を定量的に表現できることを確認した。

- (11) 緩衝材の局所変形帯形成に関する基礎研究－周辺岩盤形成に伴う緩衝材の局所変形帯形成に関する基礎研究－

急激な地殻変動・長期的なクリープ破壊などにより周辺岩盤に局所化した変形が発生し、緩衝材にその影響が及び、同様な局所化変形が起こる。このようなひずみの局所化に伴う「局所変形帯」の発生が緩衝材の変形、強度特性などにどのような影響を与えるのか検討する。

平成 18 年度（初年度）は、緩衝材の基本的な力学特性の把握を行うとともに、非排水三軸試験結果を極めて精度よく説明することができる弾塑性構成モデルとして「SYS Cam-clay モデル」を同定した。

また、緩衝材の平面ひずみ試験の仮想シミュレーションを行うとともに、高拘束圧の一面せん断試験機の基本設計（及び一部試作）を行った。

### III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

#### 【サイクル廃棄物広報対策等】

##### ◇事業の概要

放射性廃棄物の処理処分対策等に主眼を置いた広報を進め、サイクル関連施設の設置の必要性に関する知識の普及や運転の円滑化に資することを目的とし、平成17年度に引き続き諸外国の低レベル放射性廃棄物処分の現状をまとめた広報資料の作成・配布を行う。

なお、本業務は文部科学省の委託により実施しているものである。

##### ◇平成18年度の成果

標記の目的のために、次の広報資料の作成を行った。

- ・「諸外国の低レベル放射性廃棄物処分の現状（その2）」

上記の広報資料の作成においては、より正確な情報の提供を可能とするために、1)情報収集、2)広報資料の作成、という2段階の手順により作業を実施した。以下に、上記の広報資料に関する作成作業の内容及び成果物である資料内容について記す。

##### (1)対象国

平成17年に整備した広報資料に掲載した8か国（チェコ、フィンランド、フランス、ノルウェー、スペイン、スウェーデン、英国、米国）に続き、平成18年度には、低レベル放射性廃棄物処分事業を現在実施している中国及びロシア、さらに、以前に実施していた又は今後実施を予定しているベルギー、カナダ、ドイツ、韓国、スイスを加えた7か国を対象とした。

##### (2)情報収集及び広報資料の内容

本広報資料は、上記の7か国について、①原子力の基本政策、②低レベル放射性廃棄物処分の取り組み状況、③実施体制及び安全確保の取り組み、④処分場の概要・計画、⑤理解促進活動等をまとめたものである。

資料作成における情報収集作業として、対象国についての文献・公開情報等の調査を実施するとともに、ベルギー・ドイツ・ロシア・スイスの4か国については、低レベル放射性廃棄物処分場又

は関連施設の訪問調査を実施し、関連情報を収集するとともに広報資料に掲載する写真素材等の収集を実施した。以上の作業により、対象7か国における低レベル放射性廃棄物処分事業に関する各種情報の収集を行い、これらの情報をもとに、広報素材の作成を行った。



図-1 諸外国の低レベル放射性廃棄物処分の現状（その2）



左：スイス・ビュレンリンゲン中間貯蔵施設  
右上：ドイツ・コンラッド処分場  
右下：ベルギー・ベルゴプロセス社広報施設

図-2 訪問調査時撮影写真



## 【TRU 廃棄物処分に関する広報素材の作成】

### ◇事業の概要

TRU 廃棄物の地層処分について、これまで進められてきた研究開発の成果や原子力委員会における取りまとめ等を踏まえ、安全確保に係る処分概念の整理を行うとともに、併置処分も想定される高レベル放射性廃棄物の処分概念との整合性を整理する。これを基に「専門家向け解説冊子」、「一般向けパンフレット」及び「ホームページ」を作成する。

なお、本業務は経済産業省の委託により実施したものである。

### ◇平成 18 年度の成果

#### (1) TRU 廃棄物処分に関する専門家向け解説冊子の作成

TRU 廃棄物処分の円滑な実施に際しては、各分野における専門家の協力が必須であり、処分事業全体を網羅的、かつ、必要十分な技術的情報を提示する必要がある。これらの情報源として、電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構（現：日本原子力研究開発機構）「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-」や、原子力委員会「長半減期低発熱放射性廃棄物処分技術検討会」における取りまとめ等を基に、地層処分における安全性確保に係る処分概念の整理を行うとともに、併置処分も想定される高レベル放射性廃棄物の処分概念との整合性を整理した解説冊子を作成した。

#### (2) TRU 廃棄物処分に関する一般向けパンフレットの作成

上記(1)の専門家向け解説冊子と並行して、これらの専門性の高い情報を容易に理解できるように適切な解釈や補足を付記するとともに、イラストや図表等を適宜追加作成することにより理解の促進を図ったパンフレットを作成した。

#### (3) ホームページの作成

経済産業省「放射性廃棄物のホームページ」(<http://www.enecho.meti.go.jp/rw/>) に TRU 廃

棄物処分のページを追加するため、上記の(1)、(2)で作成した解説冊子及びパンフレットを基に、ホームページの作成を行った。

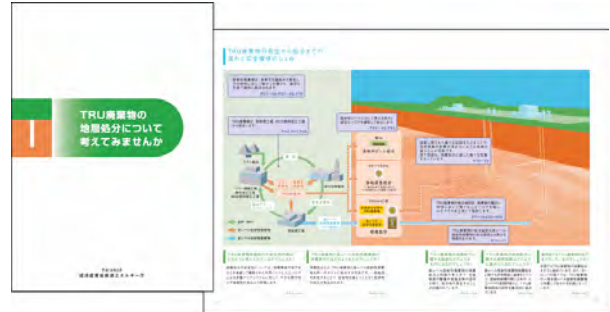


図-1 専門家向け解説冊子「TRU 廃棄物の地層処分について考えてみませんか」



図-2 一般向けパンフレット「TALK. 考えよう、放射性廃棄物のこと。原子力エネルギーの未来のために、TRU 廃棄物の地層処分」



図-3 「放射性廃棄物のホームページ」(<http://www.enecho.meti.go.jp/rw/>)

## IV. 安全基準に関する調査研究

### 【放射性廃棄物処分の安全基準等に関する調査】

#### ◇事業の概要

本調査は、諸外国の高レベル放射性廃棄物処分に係る安全基準等の調査・検討を行い、国内における最新の研究開発の状況や処分事業の進捗状況を踏まえ、今後の原子力安全委員会における最終処分の安全確保のための技術的事項に係る調査審議に資することを目的に実施するものである。また、比較的放射能レベルの高い低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に向けた指針・基準等の整備に関して、今後の原子力安全委員会での調査検討に資することを目的に実施するものである。

なお、本調査は内閣府原子力安全委員会の委託により実施しているものである。

(報告書)平成 18 年度 放射性廃棄物処分の安全基準等に関する調査 報告書

#### ◇平成 18 年度の成果

##### (1) 高レベル放射性廃棄物処分に係る調査

###### a. 検討課題の整理

「高レベル放射性廃棄物処分に係る安全規制の基本的考え方について(第 1 次報告)」(平成 12 年 11 月。以下「基本的考え方」という。)で摘出された事項、その後の特定放射性廃棄物処分安全調査会で示された検討事項、IAEA 安全基準 WS-R-4 と「基本的考え方」との対比による検討事項の各々で抽出された課題について、共通項を整理して検討事項・課題として 15 項目を整理した。また、安全確保のための規制制度の検討における当面の主要な課題として「許認可の手順・時期」を置くとともに、それ以外の 14 項目を中長期的に検討が必要となる課題として設定した。

###### b. 当面の主要課題に係る国際機関等の検討内容の調査

安全確保のための規制制度の検討における当面の主要な課題とした「許認可の手順・時期」に関して、国際原子力機関 (IAEA)、経済協力開発機構/原子力機関 (OECD/NEA)、欧州連合 (EU) 及び国際放射線防護委員会 (ICRP) での最近の

文書に見られる考え方を整理した。

###### c. 当面の主要課題に関する諸外国の動向等の調査

安全確保のための規制制度の検討における当面の主要な課題とした「許認可の手順・時期」に関して、諸外国 (米国、フィンランド、スウェーデン、ドイツ、スイス、フランス、カナダ) の法令の整備・措置状況 (当該法令の規定内容を含む)、検討状況等について調査を行い、対象廃棄物、実施機関、処分候補地、規制機関、法令及び安全基準・安全指針の基礎情報とともに、処分の各段階での関係機関の行為の法的根拠を整理した。また、諸外国の法令の整備・措置状況を取りまとめるとともに、各国毎に立地段階、事業許可段階、建設段階、操業段階、閉鎖段階、閉鎖後段階について、処分の各段階での実施内容を列挙し、適用される法令及び安全基準・指針の該当条文の主旨をまとめた。さらに、段階的規制の意味付けについて、段階的規制の概要及び根拠法令を整理した。

###### d. 中長期的な課題に係る調査

中長期的に検討が必要とした 14 項目の課題に関して、国際原子力機関 (IAEA) の WS-R-4「放射性廃棄物の地層処分」(2006 年)、諸外国 (米国、フィンランド、スウェーデン、ドイツ、スイス、フランス、カナダ) の安全基準・指針及び法令について、各々の課題に対する安全基準等での規定内容を整理した。

###### e. 資料作成

国際機関、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分に係る最新の検討状況、事業・規制動向に関する情報の概要をまとめた資料を四半期毎に作成し、特定放射性廃棄物処分安全調査会に提供した。また、特定放射性廃棄物処分安全調査会の下に設置された制度検討分科会に対しても、その審議内容に沿って各種の情報を適宜取りまとめて提供した。

##### (2) 低レベル放射性廃棄物の埋設処分の安全基準等に関する調査

###### a. 基本的安全要件に関する検討

放射性廃棄物・廃止措置専門部会における調査審議の参考に資するため、国際原子力機関 (IAEA) による浅地中処分の安全要件 (IAEA WS-R-1) と諸外国 (11 ヶ国: 米国、フィンランド、スウェーデン、ドイツ、スイス、フランス、

カナダ、英国、スペイン、韓国、ベルギー)における基本的な安全要件との対比などにより、次の視点による課題を具体的に抽出・整理し、その調査結果について検討及び分析を行い、取りまとめた。

- ・法体系と組織
- ・責任分担、申請書、基準など
- ・具体的な安全要件
- ・廃棄物の受入要件

#### b. 人工バリア性能に関する検討

放射性廃棄物・廃止措置専門部会における調査審議の参考に資するため、諸外国及び国際機関における「人工バリア性能に関する検討」を行い、次の視点で整理した。

- ・人工バリアに期待される安全機能
- ・人工バリアの性能評価方法

調査に当たっては、浅地中処分での人工バリアに対する IAEA における検討や取り組み状況を軸に取りまとめた。また、諸規定の中に人工バリアに関する記述が見られる国(米国、フィンランド、スウェーデン、フランス、英国)における規定の内容を調査した。最後に、これらの調査結果について検討及び分析を行い、それらをあわせて取りまとめた。

#### c. 長期的な気候変動予測と生物圏の変化の考え方

放射性廃棄物・廃止措置専門部会における調査審議の参考に資するため、諸外国及び国際機関における「長期的な気候変動予測と生物圏の変化の考え方」の取りまとめを行った。なお、気候変動や生物圏に関しては、浅地中処分に限定した検討例が少なく、地層処分を含めた処分全体、あるいは地層処分(高レベル放射性廃棄物の処分を含む)を対象とした検討例が多いが、考え方としては共通的なものが多いと考え、浅地中処分に限定せず処分全体を対象として調査を行うものとした。

調査に当たっては、IAEA や経済協力開発機構／原子力機関(OECD/NEA)における検討や取り組み状況を軸に取りまとめた。また、諸規定の中に気候変動に関する記述が見られる国(米国、フィンランド、スウェーデン、英国)や生物圏に関する記述が見られる国(米国、フィンランド、スウェーデン、フランス)における規定の内容を調査した。最後に、これらの調査結果について検討及び分析を行い、それらをあわせて

取りまとめた。

#### d. 地中処分における処分施設の管理の考え方

放射性廃棄物・廃止措置専門部会における調査審議の参考に資するため、IAEA による浅地中処分の安全要件(IAEA WS-R-1)と諸外国(11ヶ国:米国、フィンランド、スウェーデン、ドイツ、スイス、フランス、カナダ、英国、スペイン、韓国、ベルギー)における地中処分での処分施設の管理の考え方との対比などにより、次の視点による課題を具体的に抽出・整理し、その調査結果について検討及び分析を行い、取りまとめた。

- ・事業者が行う管理(段階管理の考え方、モニタリング、管理期間)
- ・管理期間終了後の記録の保管の要否とそのあり方

#### e. 資料作成

国際機関、諸外国での低レベル放射性廃棄物処分に係る最新の検討状況、事業・規制動向に関する情報の概要をまとめた資料を四半期毎に作成し、放射性廃棄物・廃止措置専門部会または同部会構成員に対して適宜の情報提供を行い得る資料として提供した。



## 【放射性廃棄物地層処分の諸外国の安全規制に係る動向調査】

### ◇事業の概要

本調査は、高レベル放射性廃棄物処分の安全規制の枠組み整備に資するため、海外の主要国での高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全規制の考え方、規制の枠組み、策定された基準・指針、評価方法及びその考え方、背景情報等を調査し、調査結果に基づきシナリオの方向、評価モデル及びパラメータの設定方法などについての検討を実施するものである。

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（平成 12 年）の第 20 条において、安全の確保のための規制については、別に法律で定めることとなっており、今後、安全規制の在り方を明確にした上で、法令整備等の法制度を早期に確立することが喫緊の課題である。

平成 14 年 12 月に処分の実施主体である原子力発電環境整備機構が、高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募を開始したところである。現状、「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第 1 次報告）」（平成 12 年 11 月 6 日、原子力安全委員会）で示された考え方に基づけば、概要調査地区等の選定においては、安全規制当局の判断は行われず、精密調査地区の選定（平成 20 年代前半）での調査の結果に基づいた事業許可申請における安全審査が最初の判断になることが規定されている。しかし、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分の立地選定においては、我が国と同様に、立地段階で安全規制当局の判断は行われないとする規制体系を取っている場合が見られるが、適宜、安全性についての意見等が求められる場合も見られる。

本調査においては、高レベル放射性廃棄物処分に関して、①海外の安全規制制度を調査するとともに、②諸外国での新たな法令・安全基準等を調査することにより、わが国における高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る今後の法制度の整備等の参考に資することを目的としている（平成 18 年 9 月には、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会において、「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」が取りまとめられ、平成 19 年度に、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律の一部が改正された。今後は、埋設施設的设计及び工事の方法の認可、使用前検査等に資する各種技術基準の策定等が予定される。

なお本調査は経済産業省原子力安全・保安院の委託により実施しているものである。  
(報告書)平成 18 年度 放射性廃棄物地層処分の諸外国の安全規制に係る動向調査 報告書

### ◇平成 18 年度の成果

#### (1) 立地段階での規制制度の調査

海外の主要国（米国、フィンランド、スウェーデン、フランス、ドイツ、スイス）を対象として、各国の立地段階での規制の関与・レビュー内容の調査・整理を行った。

##### a. 諸外国の規制機関が策定した文書の調査

米国、フィンランド、スウェーデン、フランス、ドイツ、スイスを対象として、高レベル放射性廃棄物処分の地層処分場の立地に係るサイト選定基準、調査実施指針等について、規制機関などでの検討状況、検討内容等を調査し、各国毎に、規制体制、処分の進捗状況、立地に係るサイト選定基準、調査実施指針等の整備状況・検討状況の視点で調査・整理を行った。

立地段階における規制機関等による関与については、米国では基準の策定、サイト特性調査（計画・内容）のレビュー等の実施、フィンランドでは各調査段階における調査報告書への見解書の提出や研究開発計画へのレビューの実施、スウェーデンではサイト選定手順を含む研究開発実証計画への審査・評価の実施など、法令等での規定に基づき、立地段階における規制機関等による関与が行われている。

また、詳細な立地基準（サイト選定基準）の観点からは、米国では一般的なサイト選定基準として 10 CFR Part 60「地層処分場における高レベル放射性廃棄物の処分」が、フランスではサイト選定のための技術基準として「安全基本規則 RFS No. III. 2. f」が整備されている。また、ドイツやスイスでは、サイト選定手続きを含む新たな枠組みが現在検討されており、スイスでは、地層処分場サイト選定の手続と基準を含む

特別計画「地層処分の」の草案が2006年に連邦エネルギー庁より公表されており、2007年夏には確定される予定である。

b. 立地段階における実施側の調査・検討内容及び規制機関が行ったレビュー内容の調査

放射性廃棄物の地層処分場のサイト選定作業を継続しているフィンランド、スウェーデンでは、ボーリング調査、地下施設の建設を伴うサイト特性調査等を実施中であり、各々の国での調査実施指針などでの要求事項に基づいた調査に関する報告が実施側よりなされおり、また、それらに対する規制機関のレビューなどが行われている。

フィンランドのサイト選定は、1983年の処分目標（サイト選定の段階と目標時期）に関する政府決定により示され、具体的には3つの調査段階と、1地点の原則決定及びそこでの建設許可申請の時期が定められた。実施側は、この決定に基づき調査を実施するとともに、その段階毎に報告を行っている。また、2000年以降は、実施側の研究開発計画が3年毎に公表されており、これは規制機関の要望に対応するものである。規制機関はこれらの実施側の各種報告に対してレビューを行い、見解書等として提示している。また、現在オルキオトで行われている地下特性調査に対しては、同施設が将来の原子力施設（最終処分場の一部）であるとの考えに基づき、規制機関による監督が行われている。

スウェーデンでは、原子力活動法に基づき、実施側が3年毎に研究開発実証プログラムを作成している。同プログラムには、サイト選定手順や各調査段階での選定結果なども示されており、規制機関がこのプログラムを審査し、政府が承認することをとおして、サイト選定に対する規制機関等の間接的な関与が行われている。特に、92年及び98年のプログラムでは、規制機関及び政府は、プログラムに対するサイト選定基準と方法の明確化、フィージビリティ調査と次のサイト調査実施地域の選定に関する総合的な評価の実施及びサイト調査プログラムの明確化、をそれぞれ審査結果として要求し、実施側はこれに答えるべく、それぞれの要求に対応する補足説明書を作成している。

高レベル放射性廃棄物処分に関して諸外国で整備されている法令、安全基準・指針等について、最新の規定内容を調査するとともに、事業許可段階、建設、操業、閉鎖段階などの技術的な規定内容に関して、許認可申請書の記載内容、安全評価の内容などについて種々の視点で比較検討を行った。具体的には、安全基準や指針がある程度整備されている米国、フィンランド、スウェーデン、フランス、ドイツ、スイスを調査対象とし、今後、処分の制度化が本格化するカナダ、及び英国についても、適宜、その検討状況などを整理した。

a. 諸外国の規制機関が地層処分の安全規制に当たって策定している法令、安全基準・指針、審査指針等の規定内容の調査

各国の法令、安全基準・指針等を対象として、次の視点による調査・情報整理を実施した。

- ・安全規制の基本的考え方
- ・安全評価の考え方及び指標・基準（シナリオ設定、評価方法、評価期間、安全指標・基準値等）

国により指標や基準の規定の詳細さに差はあるものの、各国ともにその考え方やある程度の指標・基準値などが規定されている。また、カナダでは2006年12月に規制指針G-320が最終版として公開され、英国では2007年中の管理方針の決定・管理実施のための法整備が予定されており、それらを踏まえて安全規制の整備が進められることが想定される。

b. 建設・操業・閉鎖・事業廃止段階での段階的な安全審査の方法、事業廃止後の国の関与に関する調査

事業許可段階での安全審査以降、どのような方法で建設・閉鎖・事業廃止段階の安全審査が行われるかについて調査を行い、各国の段階的な許認可プロセスの在り方を概括整理するとともに、それぞれのプロセスの法規制における具体的な規定内容を整理した。また、事業廃止後の国の関与について、以下の視点による調査・情報整理を行った。

- ・記録保存
- ・土地所有・利用制限等
- ・モニタリング・監視等
- ・標識の設置等

(2) 事業許可段階以降の規制制度の調査

IV. 安全基準に関する調査研究

【諸外国の低レベル放射性廃棄物（RI・研究所等廃棄物相当）処分の現状調査】

◇事業の概要

原子力の研究開発及び放射線の利用の推進を図るためには、研究施設等から発生する放射性廃棄物（RI・研究所等廃棄物）の処分は重要な課題である。しかしながら、現在、同廃棄物については、各事業所において貯蔵されている状況であり、処分が行われていない状況である。

本調査では、この様な状況を踏まえ、同廃棄物の処分が円滑に実施されるように、諸外国の放射性廃棄物の現状について調査し、我が国の同廃棄物処分方策に資することを目的とする。

なお、本調査は文部科学省の委託により実施しているものである。  
 （報告書）平成18年度諸外国の低レベル放射性廃棄物（RI・研究所等廃棄物相当）処分の現状調査 報告書

◇平成18年度の成果

我が国のRI・研究所等廃棄物に相当する低レベル放射性廃棄物の処分が行われている、スウェーデン、フランス及びスペインについて、我が国のRI・研究所等廃棄物に相当する低レベル放射性廃棄物に関する以下の項目等について調査し、調査結果の取りまとめを行った。

①放射性廃棄物の発生から処分までの流れ（集荷、貯蔵、処理、処分の体制）

- ・実施体制の現状及びそれらに関する安全規制の現状
- ・実施体制の法制度的な裏付けの有無
- ・実施体制整備の経緯等の歴史的背景等

②放射性廃棄物に関する法制度

- ・推進関連法令
- ・安全規制関連法令（放射性同位元素及び核燃料物質の安全規制等）等

上記について以下に示す調査業務を行い、報告書としての取りまとめを行った。

1) 公開情報調査

法令原典、諸外国の公的文書、及び国際原子力機関、経済協力開発機構／原子力機関、海

外関係機関より発信される各種報告書やWEB公開情報などを収集し、必要な調査項目に関する情報の調査を行った。

2) 海外訪問調査

上記の公開情報調査の経過を踏まえて、スウェーデン、フランス及びスペインの関係機関を訪問し、聞き取り調査を行った。

調査結果の概要として、調査対象国毎に、我が国のRI・研究所等廃棄物に相当する放射性廃棄物の処分に関する実施体制や安全規制の現状について概説する。

(1) スウェーデン

スウェーデンにおける放射性廃棄物の処理・処分の実施面での特徴は、商業ベースで実施されていることにある。放射性廃棄物の発生者は、放射性廃棄物が処分されるまでに必要となる処理、貯蔵等の具体的な措置を講じる責任をもつが、それぞれの具体的な措置を第三者に委託することによって責任を果たすことが可能となっている。廃棄物発生者が、自らの放射性廃棄物の処理施設及び処分場を持たない場合には、外部の廃棄物処理サービス、処分サービスを調達する必要がある。

放射性廃棄物の主たる発生者である原子力発電事業者に対しては、原子力活動法により、全ての事業者が協議して放射性廃棄物管理（処理・処分）プログラムを策定する義務が課されており、原子力発電から発生する全ての放射性廃棄物を処分するための全体的なシステムを構築する義務が課せられている。

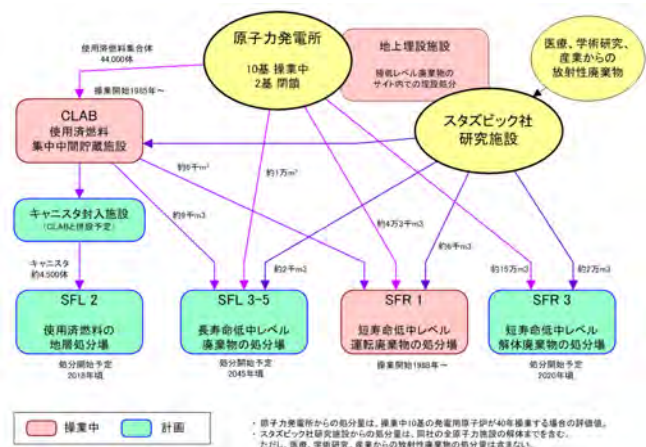


図-1 スウェーデンにおけるSKB社の放射性廃棄物処分場の導入計画



このため、原子力発電事業者は共同出資により、研究開発を含む処分事業の実施主体として、スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社 (SKB 社) を 1984 年に設立している。現時点において SKB 社は、使用済燃料集中中間貯蔵施設、SFR 1 処分場、並びにそれらの施設と各原子力発電所を結ぶ輸送システムを整備している。一方で、原子力発電以外から発生する放射性廃棄物の発生者が現在調達できる放射性廃棄物管理に関するサービスは、SKB 社が操業している SFR 1 処分場での処分を前提とした、スタズビック社の廃棄物処理サービスのみとなっている。

## (2) フランス

フランスで発生するすべての放射性廃棄物は、放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) が処分を実施することとされ、ラ・マンシュ処分場、オーブ・センターが存在している (オーブ・センター内には、オーブ処分場とモルビリエ処分場があり、前者が中低レベル短寿命放射性廃棄物、後者が極低レベル放射性廃棄物の処分場である)。未だ処分が実施されていない高レベル放射性廃棄物、中レベル長寿命放射性廃棄物などについては、「2006 年放射性廃棄物等管理計画法」で研究や事業化に向けた方針等が示されている。

我が国の RI・研究所等廃棄物に相当する放射性廃棄物として、産業、研究及び医療活動により発生する放射性廃棄物については、半減期が 100 日を超え、30 年未満の放射性廃棄物に対する主要な処分場所はオーブ・センターであるが、その放射性廃棄物量は、原子力発電所から発生している放射性廃棄物に比較すると少量である。

表-1 フランスにおける放射性廃棄物の処分施設及び研究

	短寿命 (半減期 30 年以下)	長寿命 (半減期 30 年以上)
極低レベル放射性廃棄物 (VLLW)	VLLW 処分施設 (モルビリエ処分場)	
低レベル放射性廃棄物 (LLW)	LW-LLW 処分施設 (オーブ処分場、ラ・マンシュ処分場)	処分研究 (ジウム汚染廃棄物、黒鉛廃棄物)
中レベル放射性廃棄物 (ILW)		
高レベル放射性廃棄物 (HLW)	2006 年放射性廃棄物等管理計画法の枠組みでの研究及び処分サイト選定を実施中	

## (3) スペイン

我が国の RI・研究所等廃棄物に相当するスペインでの医療、研究、産業 (農業含む) 活動によ

り発生する放射性廃棄物は、1992 年より操業を開始した短・中寿命の低中レベル放射性廃棄物処分施設であるエルカプリル処分施設において、原子力発電所の操業等により発生する放射性廃棄物とともに放射性廃棄物管理公社 (ENRESA) により処理・処分が行われている。

ENRESA は放射性廃棄物の最終管理を行うスペイン唯一の組織として、法律でその設立が規定されている国営企業であり、法律で規定される職務内容に基づき、我が国の RI・研究所等廃棄物に相当する放射性廃棄物について以下の業務を行っている。

- ①医療、研究、産業 (農業含む) 等の小規模発生者より放射性廃棄物を収集する。
- ②収集した放射性廃棄物を処理 (圧縮・焼却等)・調整 (処分パッケージ化等) する。
- ③処理・調整済みの放射性廃棄物を処分する。

スペインにおける医療、研究、産業 (農業含む) 活動により発生する放射性廃棄物は、発生施設において減衰保管されることが基本である。非密封線源についてはクリアランスレベルの規定もあるが、そのように一般の廃棄物として処分できない放射性廃棄物については、ENRESA による収集・処理・処分のプロセスに従うこととなる。なお、これらの放射性廃棄物には、エルカプリル処分施設では処分できない放射性廃棄物も一部存在するが、それらは同施設内にある一時貯蔵施設で保管されており、2010 年に操業を予定する使用済燃料／高レベル放射性廃棄物 (長寿命低中レベル放射性廃棄物を含む) の集中中間貯蔵施設での貯蔵を経た上で最終管理方策がとられる予定である (スペインでのこれら放射性廃棄物の最終管理方策は未定である)。

表-2 スペインにおける放射性廃棄物の区分と処分方策

	短・中寿命 主要な放射性核種の半減期が 30 年未満	長寿命 主要な放射性核種の半減期が 30 年以上
高レベル放射性廃棄物	検討中	
低中レベル放射性廃棄物	操業中の浅地中処分施設 (エルカプリル処分施設)	検討中
極低レベル放射性廃棄物	2007 年より処分を開始予定 (エルカプリル処分施設)	従来の採鉱サイトでの原位置安定化

#### IV. 安全基準に関する調査研究

### 【返還放射性廃棄物の廃棄確認に係る海外調査】

#### ◇事業の概要

海外における再処理委託により発生し、我が国に受入れ、最終的に処分の対象となる放射性廃棄物（以下、「返還放射性廃棄物」という。）については、その受入、貯蔵及びその後の処分を安全に実施するため、返還放射性廃棄物に対する製造管理、品質管理等の調査が重要である。

本調査は、返還放射性廃棄物の受入時における廃棄確認手法の高度化に資するため、再処理受託国における品質管理手法、製造状況の実態及び第三者機関の監査方法の調査を行うとともに、再処理委託国における受入時の確認手法の検討状況、検討内容等の把握を目的とするものである。

なお、本調査は平成 16 年度までに行われた、経済産業省原子力安全・保安院からの委託業務である「安全規制及び安全基準に係る内外の動向調査－返還廃棄物の輸入確認手法調査－」により、行ってきた調査結果を基に、平成 17 年度から独立行政法人原子力安全基盤機構からの委託により実施しているものである。

(報告書)平成 18 年度 返還放射性廃棄物の廃棄確認に係る海外調査報告書

#### ◇平成 18 年度の成果

##### (1)再処理受託国における返還放射性廃棄物の製造と規制に関する調査

再処理受託国の関係機関を調査し、入手した資料の分析・整理を行った。

高レベル放射性廃棄物については、英国原子力グループ・セラフィールド(Sellafield社(旧BNGS社))およびLR EMEA<sup>\*1</sup>を対象に、返還されるガラス固化体製造に関連してSellafield社(旧BNGS社)から提供されるデータに関する信頼性確認調査を行った。

低レベル放射性廃棄物については、AREVA NCから返還される固型物収納体(CSD-C)の蓋閉止溶接の可否及び、放射能測定方法についての調査を行った。また、規制に関する調査では、情

報交換協定を結んでいるANDRAを訪問し、CSD-Cの蓋閉止溶接の検討状況と地層処分事業動向の調査を行った。

##### a.Sellafield社(旧BNGS社)から提供されるデータの信頼性確認調査

Sellafield社(旧BNGS社)に対し、「高レベル廃液中の分析(核種濃度、1,000℃における乾燥固形分重量)」「か焼炉に供給された廃液量」「溶融炉に供給されたガラスフリット重量」「ガラス固化体容器に注入された溶融ガラス量」「ガラス固化体製造時の廃液混合条件」の5つの項目に関して、データの信頼性を保証するために必要である、「項目毎に手順書が整備されていること」「手順書の内容が技術的に正しいこと」「手順書を守らせる仕組みが整備されていること(教育・訓練、資格認定、ヒューマンエラー防止対策等)」「抜き取りで実施した値と当該データが一致していること(適切にモニタリングされていること)」の4項目に対する管理状況調査を実施した。

Sellafield社(旧BNGS社)の品質マネジメントシステムを図1に示す。

また、LR EMEAに対しては、「監査手順を定めた図書の内容」「監査手順の技術的妥当性」「監査業務に関するLR EMEAの内部監査体制」を調査した。

これらの調査から、Sellafield社(旧BNGS社)から返還されるガラス固化体に関してSellafield社(旧BNGS社)から提供されるデータが、必要な要件を満足した品質保証活動に基づいて管理されていることを確認した。

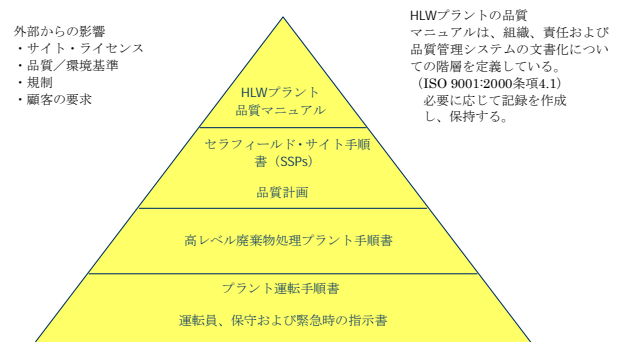


図-1 Sellafield社(旧BNGS社)の品質マネジメントシステム

<sup>\*1</sup> LR EMEA : ロイドレジスター欧州・中東・アフリカ (Sellafield社に対する第三者監査機関)

b. AREVA NCの固型物収納体（CSD-C）の蓋閉止

溶接の可否および、放射能測定方法について

①固型物収納体（CSD-C）の蓋閉止溶接の可否

蓋閉止溶接の可否に関する評価について、 $H_2$ の発生源となる $MoZr$ <sup>\*2</sup>および $H_2$ と $HCl$ の発生源となる有機物<sup>\*3</sup>についてのAREVA NCでの以下評価のや安全裕度に関する考え方等を調査した。

- ・ $MoZr$ 含有量の許容制限値は、圧力、水素燃焼の2つの許容基準から定められるが、水素燃焼に関する基準がより厳しいものとなる。
- ・有機物含有量の許容制限値は、圧力、水素燃焼に関する許容基準に加え、腐食に関する許容基準の3つから定められるが、やはり水素燃焼に関する基準がより厳しいものとなる。
- ・上記の評価により、水素発生量の基準値を設定し、その設定値を超えないものについては蓋閉止溶接が可能と考えている。
- ・評価に用いた個々のパラメータの扱いは、それぞれマージン（安全側）を考慮しており、評価全体としての安全裕度が見込まれるとしている。また、将来的には、安全裕度をより合理的に評価する予定である。

②放射能測定方法について

搬出時に関する規制動向調査の一環として、廃棄体のインベントリー評価方法（測定を含む）に関する手順や情報を得た。AREVA NCでのこれまでの運転経験に基づく実測データや経験に基づき、精緻な手順で行われていることが判った。

c. ANDRA<sup>\*4</sup>の固型物収納体（CSD-C）の蓋閉止溶接の検討状況と地層処分の動向

今の段階では不確定な要素もあるが、様々な条件を想定した研究開発の取り組みが行われている。例えばCSD-Cにおける有機物の扱いはAREVA NCの製造工程に関する許認可の問題であるが、ANDRAでは処分の観点から、有機物を含む場合と含まない場合の双方を想定して研究

を行っている。

地層処分時には図-2に示すように、CSD-C用廃棄体パッケージとビチューメン固化体のパッケージは似ており、廃棄体4体を1つのパッケージに収納することを考えている。



図-2 CSD-C用廃棄体パッケージ

(2)再処理委託国における返還放射性廃棄物の受入時における確認に関する調査

a. ドイツの固型物収納体（CSD-C）の受入に関する検討状況

返還放射性廃棄物の受入時における確認と貯蔵に関して、再処理委託国の規制機関の動向を調査し、資料の整理と分析を実施した。

①PKS<sup>\*5</sup>の検討状況について

有機物を含むCSD-C（蓋閉止溶接を模擬）について、放射線分解ガスによる内部圧力の上昇が問題のないレベルにあるというAREVA NCの技術レポートを十分保守的と判断し、承認している。また、放射線計測やその結果の解釈などは、現在その技術的妥当性について評価を実施しているところである。

②RSK<sup>\*6</sup>の検討状況について

現時点で処理が許可されている程度の有機物を含む廃棄物の場合、製造工程における乾燥基準および塩素化合物含有量上限値を遵守すれば、CSD-C内でのガス発生量は水素燃焼に関する許容基準内と評価でき、関連した安全規制に関する問題は解決可能であるとしている。また、放射能測定については、AREVA NCの方法を認めているが、最終評価はプロセス認定の一環としてBfS<sup>\*5</sup>が行わなければならないとしている。

<sup>\*2</sup>  $MoZr$ ：デブリポット及びハルが発生源となり、 $MoZr$ 中の結晶水及び自由水の放射線分解により $H_2$ が発生する。

<sup>\*3</sup> 有機物：ハル洗浄廃液のフィルタに使われるハイパロン・シールおよびハル貯蔵運搬用ドラムから剥離するペイントの放射線分解により $H_2$ および $HCl$ が発生する。

<sup>\*4</sup> ANDRA：原子力安全・放射線防護総局（DGSNR）（現在の原子力安全機関（ASN））からの委任を受けて、放射性廃棄物発生者の品質保証システムの監査を実施している。

<sup>\*5</sup> PKS：連邦放射線防護庁（BfS）の委託を受けて、廃棄物製造プロセスの審査を担当する独立の専門家グループ。

<sup>\*6</sup> RSK：ドイツ原子炉安全委員会。CSD-Cに関するAREVA NC社の仕様書を検討。



## V. 国際交流

### V. 国際交流

放射性廃棄物の処理処分はわ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、各国の放射性廃棄物処分の実施主体や研究機関と包括的な協力協定を締結し、制度、安全規制・基準、実施状況等に関する情報交換や研究協力等を行っている。

また IAEA 等の国際機関の事業に協力するとともに、国の国際協力事業の一環としてロシアの科学者・技術者支援のプロジェクトに協力している。

#### (1) 情報交換・研究協力を行っている海外機関

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

#### (2) IAEA 放射性廃棄物データベース (NEWMDB) への協力

国際原子力機関 (IAEA) は、2001 年から各国の放射性廃棄物に関する情報(放射性廃棄物の管理プログラムと体制、計画と活動状況、関係する法律と規制、政策、廃棄物のインベントリ)を収集するデータベースの開発を進めている。

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

#### (3) 国際科学技術センター (ISTC) \*プロジェクトへの協力

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

\* ISTC は、政府間協定に基づく国際機関で、旧ソ連の大量破壊兵器科学者の軍民転換支援による流失防止、市場経済移行支援等を目的としており、アメリカ、EU、日本等が参加している。主な事業は、研究プロジェクト資金の提供、セミナー等の開催、研究者の国際会議出席旅費の提供、研究事業等である。

#### (4) ITC 最終処分国際研修センターへの協力

平成 15 年 4 月 4 日、放射性廃棄物の最終処分に係る国際的な教育訓練のための機関である「ITC 最終処分国際研修センター」(ITC school of Underground Waste Storage and Disposal) がスイス連邦共和国ベルリン州インナートキルヘンに設立された。原環センターは、ベルン大学 (スイス)、カタロニア工科大学 (PUC、スペイン) スイス連邦原子力施設安全本部 (HSK、スイス) 及びスイス放射性廃棄物管理組合 (NAGRA、スイス) とともに、ITC の設立メンバーとして参加した。

ITC は、すべての機関から独立しており、放射性廃棄物などの有害廃棄物の最終処分に携わる次世代の科学者、技術者、意志決定者に、最終処分に求められる幅広い知識と技術を伝承す

ることを目指し、産業界、処分実施主体、規制機関、大学、政府機関などすべてから研修生を受け入れることとなっている。

ITC 会員には、その趣旨に賛同する多くの法人・機関の加入を得ていくこととし、2004 年 9 月に第一回総会が開催された。その後、定期的に研修コースを開催するなど活発な活動を行っている。当センターは、設立メンバー及び ITC 理事会メンバーとして研修コースの企画など運営に協力している。ITC 会員は、平成 19 年 7 月末現在、16 カ国 56 機関、そのうち日本からは 18 機関が加入している。

#### (5) IAEA CRP への協力

IAEA の協力研究プロジェクト (Co-ordination research Project: CRP) の一つである膨潤粘土 (Swelling Clays) プログラムでは、参加国の技術力向上を目的に人工バリアの技術情報を集約する作業が進められている。このプログラムでは、高レベル放射性廃棄物処分における人工バリア材料の必要機能や特徴など、技術的情報を整理するとともに、参加各国 (カナダ、スウェーデン、中国、ロシア、インド、韓国、ウクライナ、チェコ、南ア、日本) の人工バリア材料候補となるベントナイトについて、基本的な情報をデータベース化する予定である。原環センターはこのプログラムに参加し、日本のベントナイトに関する技術情報を反映した報告書作りに協力している。

VI. 資料

VI. 資料

(1)研究成果報告書等

(1/2)

No.	研究件名	平成18年度研究成果報告書	成果の外部発表等
1	ウラン廃棄物処分技術調査	平成18年度 ウラン廃棄物処分技術調査 報告書 (平成19年3月) 第1分冊 ラドン挙動・安全評価手法調査 測定・ 検認技術開発 (品質保証高度化) 第2分冊 除染技術開発試験(フッ素化除染技術開 発) 第3分冊 除染技術開発試験 (アルカリ融解/電解 透析除染等技術開発)	
2	地下空洞型処分施設性能 確認試験	平成18年度 管理型処分技術調査等 地下空洞型 処分施設性能確認試験 報告書 (平成19年3月)	
3	高精度物理探査技術高度 化調査(物理探査技術信頼 性確認試験)	平成18年度 地層処分技術調査等 高精度物理探 査技術高度化調査(物理探査技術信頼性確認試験) 報告書 (平成19年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 1, 2, 3, 9, 27, 28, 29, 30, 34, 39, 43 参照
4	地質環境評価技術高度化 調査	平成18年度 地層処分技術調査等 地質環境評価 技術高度化調査 報告書 (平成19年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 7, 8, 40, 45 参照
5	遠隔操作技術高度化調査	平成18年度 地層処分技術調査等 遠隔操作技術 高度化調査 報告書 (平成19年3月) (1/2) (2/2) 同参考資料 (平成19年3月) (1/2) (2/2)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 4, 18, 19, 23, 24, 35, 36, 41 参照
6	人工バリア特性体系化調査	平成18年度 地層処分技術調査等 バリア機能総 合調査-人工バリア特性体系化調査-報告書 (平 成19年3月) オーバーパック溶接部の耐腐食性評価に関する研究 -Ⅲ(日本原子力研究開発機構との共同研究報告書) (平成19年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 26, 38 参照
7	人工バリア材料照射影響 調査	平成18年度 地層処分技術調査等 人工バリア材 料照射影響調査 報告書 (平成19年3月)	
8	性能評価技術高度化	平成18年度 地層処分技術調査等 性能評価技術 高度化 報告書 (平成19年3月) 第1分冊 性能評価に関する情報の収集及び整理 第2分冊 現実的性能評価技術の開発 第3分冊 多重バリア長期安全性の研究・調査	VI. 資料 (2)外部発表 No. 33 参照
9	地球化学バリア有効性確 証調査	平成18年度 地層処分技術調査等 地球化学バリ ア有効性確認調査報告書(平成19年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 42 参照



No.	研究件名	平成18年度研究成果報告書	成果の外部発表等
10	モニタリング機器技術高度化調査	平成18年度 地層処分技術調査等 モニタリング機器技術高度化調査 報告書 (平成19年3月) (その1) 地層処分モニタリングシステムの調査 (その2) 地層処分記録保存システムの調査	
11	ビュール地下研究所における無線モニタリング技術確証(1)	Pre-test interpretation note for WPI of wireless monitoring study (Avril 2007)	
12	人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価	平成18年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価 報告書 (平成19年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 5, 6, 参照
13	人工バリア長期性能確証試験	平成18年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 -人工バリア長期性能確証試験- (平成19年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 20, 31, 32, 44 参照
14	ヨウ素固定化技術調査	平成18年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 ヨウ素固定化技術調査 報告書 (平成19年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 11, 12, 13, 14, 15, 16 参照
15	放射化金属廃棄物炭素移行評価技術調査	平成18年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 放射化金属廃棄物炭素移行評価技術調査 報告書 (平成19年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 21, 22 参照
16	廃棄体開発調査	平成18年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物関連処分技術調査 放射化金属廃棄物炭素移行評価技術調査 -C-14の長期閉じ込め技術の高度化- 報告書 (平成19年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 10, 17, 25, 37 参照
17	総合情報調査	平成18年度 総合情報調査 報告書(平成19年3月) (第1分冊) (第2分冊)	
18	地層処分重要基礎技術研究調査	平成18年度 地層処分重要基礎技術研究調査 報告書 (平成19年3月)	
19	放射性廃棄物地層処分の安全基準等に関する調査	平成18年度 放射性廃棄物の安全基準等に関する調査 報告書 (平成19年3月)	
20	放射性廃棄物地層処分の諸外国の安全規制に係る動向調査	平成18年度 放射性廃棄物地層処分の諸外国の安全規制に係る動向調査 報告書 (平成19年3月)	
21	返還放射性廃棄物の廃棄確認に係る海外調査	平成18年度 返還放射性廃棄物の廃棄確認に係る海外調査 報告書 (平成19年1月)	
22	諸外国の低レベル放射性廃棄物(RI・研究所等廃棄物相当)処分の現状調査	平成18年度諸外国の低レベル放射性廃棄物(RI・研究所等廃棄物相当)処分の現状調査 報告書 (平成19年3月)	

## (2)外部発表等

(1/5)

(学会発表等)			
No.	題 目	発 表 者	発 表 先
1	地層処分におけるフルウェーブトモグラフィ技術開発(その2)-米国デバインテストサイトにおける適用事例-	吉村公孝、坂下晋、李鐘河	(社)物理探査学会「第114回学術講演会」 2006/5/8~10(早稲田大学)
2	デバインテストサイトにおける速度異方性を考慮した弾性波トモグラフィ解析	坂下晋、吉村公孝、安藤誠、小西千里、東宏幸	(社)物理探査学会「第114回学術講演会」 2006/5/8~10(早稲田大学)
3	スウィープ波形を用いた弾性波速度の分散特性解析に関する検討	吉村公孝、坂下晋、松島潤、六川修一、	(社)物理探査学会「第114回学術講演会」 2006/5/8~10(早稲田大学)
4	緩衝材の遮蔽性能に関する検討	増田良一、朝野英一、戸栗智仁、茂呂吉司、雨宮清、澤村英範、根山敦史	土木学会「平成18年度全国大会第61回年次学術講演会」 2006/9/20~22(立命館大学)
5	グリムゼル岩盤実験場におけるガス移行挙動試験のモデル化	藤原愛、志村友行、山本修一、安藤賢一、S. Vomvoris, R. Senger	土木学会「平成18年度全国大会第61回年次学術講演会」 2006/9/20~22(立命館大学)
6	ガス移行挙動確認試験(GMT)の活用を目的としたデータベース試構築	藤原愛、志村友行、大熊史子、山本修一、安藤賢一、S. Vomvoris	土木学会「平成18年度全国大会第61回年次学術講演会」 2006/9/20~22(立命館大学)
7	地下施設への湧水量評価に関する調査システムフローの検討	三好悟、吉村公孝、山本修一、安藤賢一	土木学会「平成18年度全国大会第61回年次学術講演会」 2006/9/20~22(立命館大学)
8	沿岸域における複数の塩水成分を考慮した密度流解析による地下水流動の評価について	三好悟、吉村公孝、井尻裕二、本島貴之	土木学会「平成18年度全国大会第61回年次学術講演会」 2006/9/20~22(立命館大学)
9	弾性波試験における走時読取手法に関する考察	吉村公孝、奥村裕史、鈴木幸太、相澤雅俊、安藤賢一、	土木学会「平成18年度全国大会第61回年次学術講演会」 2006/9/20~22(立命館大学)
10	セメント系材料におけるサブクリティカル亀裂進展	朝野英一、大和田仁、大槻彰良、高田雅史、奈良禎太、平石知仁、金子勝比古	平成18年度資源素材学会北海道支部会春期講演会 2006/6/17(北見工業大学)
11	「ヨウ素固定化技術開発(3)」-TRU廃棄物地層処分における固化体の長期性能-	西村務、朝野英一、金子昌章、桜木智史	(社)日本原子力学会「2006年秋の大会」 2006/9/27~29(北海道大学)
12	「ヨウ素固定化技術開発(4)」-岩石固化技術-	朝野英一、西村務、金子昌章、桜木智史、加藤修、増田薫、栗本宜孝、	(社)日本原子力学会「2006年秋の大会」 2006/9/27~29(北海道大学)

No.	題 目	発 表 者	発 表 先
13	「ヨウ素固定化技術開発(5)」－AgI ガラス固定化技術－	朝野英一、西村務、 金子昌章、桜木智史、 川寄透、野下健司、 吉田拓真、	(社)日本原子力学会「2006年秋の大会」 2006/9/27～29(北海道大学)
14	「ヨウ素固定化技術開発(6)」－BPI ガラス固定化技術－	朝野英一、西村務、 金子昌章、桜木智史、 棕木敦、千葉保、 山中彰宏、鈴木泰博、	(社)日本原子力学会「2006年秋の大会」 2006/9/27～29(北海道大学)
15	「ヨウ素固定化技術開発(7)」－セメ ント固定化技術－	朝野英一、西村務、 金子昌章、桜木智史、 春口佳子、立山伸治、 樋口真一、	(社)日本原子力学会「2006年秋の大会」 2006/9/27～29(北海道大学)
16	「ヨウ素固定化技術開発(8)」－合成 ソーダライト固定化技術－	朝野英一、西村務、 金子昌章、桜木智史、 赤木洋介、中澤俊之、 加藤博康、	(社)日本原子力学会「2006年秋の大会」 2006/9/27～29(北海道大学)
17	セメント系材料におけるサブクリテ ィカル亀裂進展に関する実験的研究	朝野英一、大和田仁、 大槻彰良、奈良禎太、 高田雅史、藏田博文、 金子勝比古、平石知仁、	第 27 回西日本岩盤工学シンポジウム 2006/8/2～3 (熊本市)
18	オーバーパックの遠隔溶接・検査技術 の開発 (5)溶接継手の長期健全性の 予測	朝野英一、大槻彰良、 片岡茂樹、前田一人	(社)日本原子力学会「2006年秋の大会」 2006/9/27～29(北海道大学)
19	高レベル放射性廃棄物地層処分の遠 隔ハンドリング・定置技術の開発 (2)処分孔への三次元遠隔計測システムの 適用性試験	戸栗智仁、増田良一、 朝野英一、高尾肇、 竹ヶ原竜大、上坂文哉 宇津野二士	(社)日本原子力学会「2006年秋の大会」 2006/9/27～29(北海道大学)
20	人工バリア長期性能確証試験 (5)ベ ントナイト系材料の変質に及ぼす Na イオンの影響－	朝野英一、金子昌章、 久野義夫、諸岡幸一、 山田憲和、加藤博康、	(社)日本原子力学会「2006年秋の大会」 2006/9/27～29(北海道大学)
21	放射化金属廃棄物の C-14 の放出移行 に関する研究 (3)廃棄物からの放 射線による有機 C-14 の分解挙動－	金子昌章、西村務、 桜木智史、朝野英一、 可児祐子、野下健司、 川寄透、	(社)日本原子力学会「2006年秋の大会」 2006/9/27～29(北海道大学)
22	放射化金属廃棄物の C-14 の放出移 行に関する研究 (4)放射化金属 廃棄物試料の性状調査と予察試験－	金子昌章、西村務、 桜木智史、朝野英一、 三倉通孝、春口佳子、 山下雄生、立山伸治、	(社)日本原子力学会「2006年秋の大会」 2006/9/27～29(北海道大学)

No.	題 目	発 表 者	発 表 先
23	Study on Remote Operation Technology at HLW Repository	戸栗智仁、大槻彰良、朝野英一	日本原子力学会「第22回バックエンド夏期セミナー」2006/7/27～7/28(北九州)
24	粒状ベントナイトを用いた緩衝材定置技術の開発－横置き定置方法実規模充填試験－	戸栗智仁、朝野英一、松田武、納多勝、森拓雄、鶴山雅夫	日本原子力学会「第22回バックエンド夏期セミナー」2006/7/27～7/28(北九州)
25	チタンの水素脆化寿命評価	朝野英一、大和田仁、大槻彰良、神徳敬、中山元、川上進、明石正恒、	日本原子力学会「第22回バックエンド夏期セミナー」2006/7/27～7/28(北九州)
26	炭素鋼オーバーパック溶接部の応力腐食割れ感受性の関する検討	三井裕之、高橋里栄子、大槻彰良、朝野英一、谷口直樹、油井三和	(社)腐食防食協会「第53回材料と環境討論会講演」2006/9/27～29(秋田大学)
27	弾性波速度の分散特性を用いた岩盤中の透水係数分布把握に関する検討	吉村公孝、坂下晋、安藤賢一、橋本秀爾、パトリックライネス、西山哲、奥村裕史、大西有三	(社)物理探査学会「第115回(平成18年度秋季)学術講演会」2006/10/16～18(福岡市)
28	超磁歪材を用いた孔内電源開発(その2)－デバイン試験場における伝播試験－	坂下晋、吉村公孝、大久保秀一、東宏幸、安藤誠、小西千里、榎原淳一	(社)物理探査学会「第115回(平成18年度秋季)学術講演会」2006/10/16～18(福岡市)
29	地層処分における電磁法解析技術の開発(その6)－北海道幌延町におけるAMT法3次元調査－	吉村公孝、坂下晋、大久保秀一、山根一修、瀬谷正巳	(社)物理探査学会「第115回(平成18年度秋季)学術講演会」2006/10/16～18(福岡市)
30	地層処分における電磁法解析技術の開発(その7)－サンアンドレアス断層を対象にしたMT法3次元調査－	吉村公孝、坂下晋、大久保秀一、山根一修	(社)物理探査学会「第115回(平成18年度秋季)学術講演会」2006/10/16～18(福岡市)
31	ALTERATION OF THE CEMENTITIOUS MATERIAL UNDER THE SALINE ENVIRONMENT	大和田仁、朝野英一、久野義夫、坂本浩幸、下田紗音子	Topseal2006 2006/9/17～20(フィンランド)
32	EXPERIMENTAL AND MODELLING STUDY ON THE LONG-TERM PERFORMANCE OF THE ENGINEERING BARRIER SYSTEM OF TRU WASTE REPOSITORY	朝野英一、大和田仁、久野義夫、山田憲和、下田紗音子、	Topseal2006 2006/9/17～20(フィンランド)
33	Development of an optimised natural analogue programme: a novel methodology	Alexander, W. Russell McKinley, Ian, G. Kawamura, Hideki Miyoshi, Satoru	4th Swiss Geoscience Meeting 2006/11/24～25(ベルン)



No.	題 目	発 表 者	発 表 先
34	Marine electromagnetic system development in the shallow water environment for radioactive waste repository site investigation	Kimitaka Yoshimura, Susumu Sakashita, Shuichi Okubo, Kazunobu Yamane	A. G. U. 2006 Fall Meeting 2006/12/11~15(サンフランシスコ)
35	Development of Welding and Inspection Techniques for Final Closure of Overpack	Akiyoshi OTSUKI, Hidekazu ASANO, Hiromi TANABE, ShigekiKATAOKA, Kazuhiko KAMO, Kenji YAMAGUCHI	2006 EAFORM Conference 2006/11/27~30 (Lung-Tan:台湾)
36	Study on Evaluation Method of the Long-Term Integrity of Waste Package Final Closure	朝野英一	Joint Research Center 主催「-Workshop on Design and Assessment of Radioactive Waste Packages, October21-22, Bergen, The Netherlands -」 2006/11/20~24(オランダ)
37	Experimental study of subcritical crack growth in brittle materials	Y. Nara, M. Takada, K. Kaneko	1st Canada-U. S. Rock Mechanics Symposium 2007/5/27~31(バンクーバー)
38	CORROSION BEHAVIOR OF THE WELD ZONE OF CARBON STEEL OVERPACK FOR HLW DISPOSAL: CORROSION BEHAVIOR UNDER THE AEROBIC CONDITION AT THE EARLY STAGE OF THE POST-CLOSURE REPOSITORY PHASE	横山裕、三井裕之、 高橋里栄子、大槻彰良、 朝野英一、谷口直樹、 油井三和	NACE 主催「CORROSION/2007」の中で開催される Research in Progress Symposium (Session: Long-term Storage of HLNW) 2007/3/11~18(米国)
39	Study on creating hydraulic tomography for crystalline rock using frequency dependent elastic wave velocity	P. Bruines、 K. Ando、 K. Yoshimura, S. Sakashita, H. Okumura, W. Kickmaier I. Blechschmidt, Y. Ohnishi、 S. Nishiyama	国際ワークショップ 第 7 回「Application of Geophysics to Rock Engineering」 2007/7/8(ポルトガル)
40	Development of the Site Investigation Flow Diagram in Geological Disposal	YOSHIMURA, K., YAMAMOTO, S., SATO, S., ANDO, K., OHUCHI, J., TSUBOYA, T.	The 11th International High-Level Radioactive Waste Management Conference 2006/4/30~5/4 (ラスベガス)

(論文投稿)			
No.	題 目	発 表 者	発 表 先
41	Long-Term Integrity of Waste Package Final Closure for HLW Geological Disposal (IV) Influence of Welding and Prediction of Long-Term Integrity of Weld Joint	朝野英一、片岡茂樹、前田一人、有富正憲	原子力学会英文誌(J. Nucl. Sci. Technol) Vol. 43, No.8, p. 924-936, (2006)
42	Uranium Behavior in the Process of Primary Pitchblende Ores Alteration by the Post-ore Hydrothermal Solutions: An Application to Assessment of Uranium Migration from Underground Spent Nuclear Fuel Repositories	Nikolay P. LAVEROV, Vasily I. VELICHKIN, Alexey P. ALESHIN, Anvar E. ASADULIN, Vyacheslav N. GOLUBEV, Tatiana L. KRYLOVA, Alexander A. PEK, Igor V. CHERNYSHEV, 藤原愛、鹿園直建	資源地質学会英文誌「Resource Geology」(投稿中)
43	海底電磁探査による伏在断層や地下水理情報の取得可能性について	吉村公孝、大久保秀一、山根一修	(社)東京地学協会「地学雑誌 特集号」Vol. 115, No.3 (2006), p400-415, 2006
44	Development of an analytical technique for the detection of alteration minerals formed in bentonite by reaction with alkaline solutions	H. Sakamoto, M. Shimata, H. Owada, Y. Kuno, H. Asano	Physics and Chemistry of the Earth Volume32, Issues1-7, p311-319, 2007
45	高レベル放射性廃棄物の最終処分地選定に関わる地質環境調査の社会技術的アプローチ	坪谷隆夫、安藤賢一、山本修一、佐藤晶子	社会技術研究会 社会技術研究論文集、Vol. 4、136-146 (2006. 10)

## (3)技術報告書

No.	表 題	著 者	発行年月
1	最終処分の人材養成に関わる検討事項の抽出・整理(RMC-TRJ-06001)	藤原愛、坪谷隆夫	平成 18 年 6 月

(4)委員会一覧

区 分	委員会名称	
1. 放射性廃棄物の管理処分に 関する調査研究	ウラン廃棄物処理 処 分	ウラン廃棄物除染検討委員会
		ウラン廃棄物処分検討委員会
		ウラン廃棄物処分技術総合検討委員会
	余裕深度処分	地下空洞型処分施設性能確証試験検討委員会
2. 放射性廃棄物の地層処分に 関する調査研究	高レベル放射性廃棄 物処分	物理探査技術確証試験検討委員会
		地質環境評価技術高度化検討委員会
		遠隔操作技術高度化調査検討委員会 (遠隔操業システム高度化検討委員会)
		同上 (遠隔溶接・検査技術検討委員会)
		同上 (遠隔ハンドリング・定置技術検討委員会)
		人工バリア特性体系化調査検討委員会
		性能評価技術開発検討委員会
		ナチュラルアナログ検討委員会
		地球化学バリア有効性確証調査検討委員会
		地層処分モニタリングシステム検討委員会
	TRU 放射性廃棄物処分	ガス移行挙動評価検討委員会
		人工バリア長期性能確証試験検討委員会
		ヨウ素固定化技術調査委員会
		放射化金属廃棄物炭素移行評価技術調査委員会
		廃棄体開発検討委員会
3. 放射性廃棄物全般に共通する 調査研究	地層処分重要基礎技術研究委員会	
	地層処分基盤研究開発検討評価委員会	
	同上 (地質環境ワーキンググループ)	
	同上 (工学技術ワーキンググループ)	
	同上 (性能評価ワーキンググループ)	
	同上 (TRU 廃棄物ワーキンググループ)	
	長半減期低発熱放射性廃棄物広報素材検討会	
	最終処分人材養成調査検討委員会	

VI. 資料

(5)原環センター主催の講演会等

講演会等名		開催日	場所
「原子力環境整備促進・資金管理センター 創立30周年記念講演会」 (1)原環センターの30年と展望 原環センター常務理事 米原高史 (2)記念特別講演Ⅰ 「技術と社会の関係再構築へ向けてー放射性廃棄物処分の今後ー」 東北大学未来科学技術共同研究センター 客員教授 北村正晴氏 (3)記念特別講演Ⅱ 「韓国の低中レベル放射性廃棄物処分へのアプローチ」 韓国水力原子力(株)(KHNP) 上席副社長(放射性廃棄物プロジェクト担当) 宋 明宰氏 (Song, Myung Jae)		平成18年10月31日	東京 虎ノ門パストラル
賛助会員向け講演会等	「フランスの放射性廃棄物管理に関する最近の動向」 国際部長 Gérald Ouzounian 氏 国際部担当部長 Jean-Louis Tison 氏	平成18年5月19日	東京 虎ノ門パストラル
	「平成17年度研究成果の報告」 原環センター	平成18年7月25日	東京 東海大学校友会館
	「ドイツの放射性廃棄物管理の近況とモルスレーベン処分場等の閉鎖」 ドイツ廃棄物処分施設建設・運転会社 (DBE) Muller-Hoeppe 氏	平成18年9月11日	東京 原環センター
	「米国の超Cクラス廃棄物を含む低レベル放射性廃棄物におけるDOE、NRC及び実施者の役割」 Monitor Scientific 社 Stenhouse 氏	平成18年9月29日	東京 東海大学校友会館
	放射性廃棄物処分における地下水流動解析ー現状と展望ー (1)「放射性廃棄物の地層処分での浸透流解析の役割」 岡山大学大学院環境学研究科 西垣 誠 教授 (2)「地層処分におけるマルチスケール地下水解析について」 東京大学工学系研究科地球システム工学専攻 登坂 博行 助教授	平成18年11月10日	東京 原環センター
	「地層処分場の開発における地下研究所の役割」 スイス NAGRA (放射性廃棄物管理共同組合) 国際支援・協力本部本部長 Stratis Vomvoris 氏	平成18年12月15日	東京 原環センター
	「堆積岩から見た高レベル放射性廃棄物の地層処分」 (財)北海道科学技術総合振興センター・幌延地圏環境研究所 北海道大学名誉教授 石島 洋二 氏	平成19年2月19日	東京 原環センター
	「地層処分の安全評価のために考慮すべき期間についてー地球科学的観点からのアプローチー」 原環センター 山川 稔	平成19年3月20日	東京 東海大学校友会館



## 原環センター 2006年度 技術年報

---

2007年10月発行

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  
パシフィックスクエア月島8階

TEL 03-3534-4511 (代表)

FAX 03-3534-4567

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

---

禁無断転載

## 原子力環境整備促進・資金管理センター 組織

