

# RWMC

原環センター  
2002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



原環センター2002年度技術年報の発行に当たり、一言ご挨拶申し上げます。

原子力発電は、我が国においてエネルギー供給の中核に位置付けられております。将来にわたり、それを揺るぎないものにしていくためには原子燃料サイクルの確立が肝要であり、中でも放射性廃棄物の円滑な処理処分が大きな鍵となっています。我が国では、昭和60年に日本原燃産業㈱が発足し、平成4年12月に低レベル放射性廃棄物の埋設処分が開始されました。平成12年10月には、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」に基づき、高レベル放射性廃棄物を最終処分する機関として原子力発電環境整備機構が設立され、11月には、当センターが最終処分積立金の管理・運用を行う機関として指定されて資金管理業務を開始いたしました。また、原子力発電環境整備機構は平成14年12月、全国の市町村を対象に「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」の公募を開始しています。

当センターは昭和51年に設立されて以来、民間・学界・官界の方々のご協力を得て、放射性廃棄物処理処分の専門調査研究機関として活動してまいりました。具体的には、低レベル放射性廃棄物の試験的海洋処分に向けた調査研究、低レベル放射性廃棄物の均質固化体や雑固体の陸地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のための資金確保方策等の調査研究、TRU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。

この技術年報では、当センターが平成14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・学会での論文発表実績等当センターの活動状況をご紹介しています。

当センターとしては、今後とも、放射性廃棄物の処理処分に係る「調査研究業務」と「高レベル放射性廃棄物の資金管理業務」を車の両輪として、放射性廃棄物に関する専門的な第三者機関としての役割を果たしてまいらなければならないと考えております。是非ご一読いただき、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 板倉 治成

## 目 次

1 . 放射性廃棄物の管理処分に関する研究	4
1 - 1  余裕深度処分	4
処分高度化システム確証試験	4
余裕深度処分システム開発	6
廃棄体処理の合理化に関連する調査研究	8
人工バリア性能の高度化に関連する調査研究	9
放射性廃棄物の処分環境及び性能評価に関する調査研究	10
1 - 2  ウラン廃棄物処理処分	11
ウラン廃棄物に関する調査研究	11
サイクル廃棄物ウラン高度処理技術開発調査	12
ウラン廃棄物処理処分システム開発調査	14
1 - 3  その他	16
検認手法の調査	16
極低レベル雑固体廃棄物処分安全性対策試験	18
2 . 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究	20
2 - 1  高レベル放射性廃棄物処分関連	20
(1) 地層環境調査技術	20
高精度物理探査技術高度化調査	20
(2) 処分技術	22
遠隔操作技術高度化調査	22
性能評価技術高度化	24
地球化学バリア有効性確証調査	26
人工バリア材料照射影響調査	28
地層処分重要基礎技術研究調査	30
(3) 社会技術	32
モニタリング機器技術高度化調査	32
地層処分ナチュラル・アナログ情報整備	34
2 - 2  TRU 廃棄物処分関連	36
人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価	36
人工バリア長期性能確証試験	38
ヨウ素固定化技術調査	40
廃棄体開発調査	42
TRU 廃棄物処分に関する研究	44

3 . 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
4 . 安全基準に関する調査研究 .....	48
放射性廃棄物地層処分の安全基準等に関する調査研究 .....	48
安全規制及び安全基準に係る内外の動向調査 .....	50
5 . 国際交流 .....	52
6 . 資料 .....	53
(1) 論文発表・論文投稿 .....	53
(2) 技術報告書 .....	57
(3) 委員会一覧 .....	58

## 1. 放射性廃棄物の管理処分に関する研究

### 1 - 1 余裕深度処分

#### 処分高度化システム確証試験

##### 1. 事業の概要

低レベル放射性廃棄物のうち原子力発電所の解体等により発生する放射レベルの比較的高い低レベル放射性廃棄物について、安全かつ合理的な処分システムの確立が求められている。具体的には、天然バリアの機能だけでなく、人工バリアの性能を正しく定量評価することで、処分システムの安全性、信頼性を向上するとともに、合理的な全体システムを確立することが求められている。

人工バリアの性能を正しく評価するためには、構成要素であるコンクリート構築物の止水性、ベントナイト系充填材の長期止水性能や力学的性能、コンクリートとベントナイトの相互影響、処分環境下での金属腐食による水素ガス発生量などを定量的に評価することが重要となる。

これらの観点から本調査では、昭和 62 年度からの第 1 期 6 年間で処分システムの総合評価、モデル検討、施工技術検討、要素の性能評価、処分環境の改良、評価技術・監視技術の開発等を進めてきた。また、平成 5 年度からの第 2 期 6 年間ではコンクリート構築物・充填材の相互影響、透水壁・表層地盤の相互影響、処分システムの長期性能、ガス発生の影響に関する評価を進めてきた。第 3 期となる平成 11 年度からの本調査では、第 2 期からの継続試験を含む以下の評価検討を実施した。

コンクリート構築物の止水性能評価

ベントナイト系充填材の長期性能評価

金属腐食によるガス発生評価

昨年度までの研究成果として、以下に示すような知見が得られている。

##### (1) コンクリート構築物の止水性能評価

サイロ型処分施設を構成するコンクリート構築物の止水性能評価を目的として、図 - 1 に示すような大型試験体への加圧注水試験を約 5.5 年間継続して行い、壁面内部の透水状態と解析結果を比較して構築物の止水性能（透水係数）を評価するとともに、構築物から採取したコア試験体の透水試験を実施した。

加圧注水量から算定したコンクリート構築物

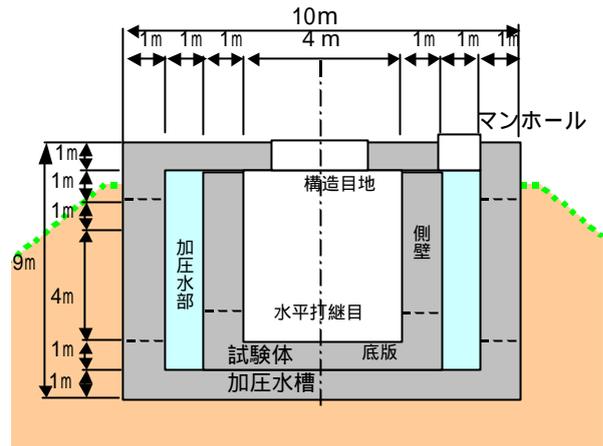


図 - 1 サイロ型モデルによる止水性評価試験

の透水係数は概ね  $1 \times 10^{-12}$  m/s 程度であり、コア試験体の透水試験結果の  $1 \times 10^{-13} \sim 10^{-14}$  m/s に比べると若干大きいものの、コンクリート試験体への水の浸透の程度はごく表層のみで非常に少ないことが確認された。

##### (2) ベントナイト系充填材長期性能評価

セメント系材料からの影響を想定し、ベントナイト系充填材の高アルカリ溶液通水試験やイオン交換試験を行い、止水性能や力学特性への影響を調査した。その結果、カルシウム置換の進展に伴い透水係数が増加することが確認された。また、カルシウム置換によりベントナイト混合土は粘性土の特性から砂質土の特性に変わり、圧縮性が増大するとともに強度も増加する傾向にあることが確認された。

##### (3) 金属腐食によるガス発生の影響評価

金属材料のうち廃棄体容器や鉄筋の材料である炭素鋼について、低酸素環境下の腐食による水素ガス発生量を 3 年間にわたる長期試験で定量的に評価した。試験検討要因は浸漬液の pH と塩化物イオン濃度、炭素鋼の種類、セメント系材料による表面被覆の影響等である。

その結果、炭素鋼の還元腐食による水素ガス発生量から腐食速度を算定できること（この算定値を等価腐食速度と定義）が確認された。さらに、pH が大きいほど等価腐食速度は増加するが 13.0 以下（ $\sim 11.5$ ）では大差ないこと、塩化物イオン濃度が 5,000ppm 以下では長期腐食速度への影響は小さいこと、炭素鋼種の違いによる影響も小さいことなどが判明した。

2. 平成 14 年度の成果

平成 14 年度は、13 年度で終了したベントナイト系材料の長期性能評価以外の項目について引き続き調査検討を実施した。

(1) コンクリート構築物の止水性能評価

注水量の注水圧力依存性把握試験

注水量の注水圧力依存性把握のために段階昇圧・降圧試験を実施した。その結果、ひび割れのない本試験体において、加圧力と注水量から算定される透水係数には圧力依存性が認められることが確認された。

アウトプット法によるコア透水試験

厚さ 5cm のコア試験片で高圧のアウトプット法透水試験を実施した。その結果、実測された透水係数は  $10^{-14} \sim 10^{-15}$  m/s 程度と非常に小さく、インプット法に比べても 1 オーダー程度小さくなることが確認された。

打継目の止水性能定量評価試験

構築物の止水欠陥となる打継目のコア透水試験を行った。その結果、試験体断面積当りの通水量で算定した場合に  $10^{-11} \sim 10^{-12}$  m/s 程度の透水係数が得られ、一般部より 2~3 オーダー大きくなり、構築物の止水性能への影響度が高く、無視できないことが確認された。

せん断補強筋部の止水性能定量評価試験

構築物の止水欠陥となるせん断補強筋周りの空隙の影響を定量評価するために、水平鉄筋を含むコア試験体の透水試験を実施した。その結果はばらつきが大きく、局所的に  $10^{-8} \sim 10^{-10}$  m/s 程度と過大な透水係数を示したが、面積比を考慮すると構築物全体の止水性能への影響は比較的小さいと判断された。

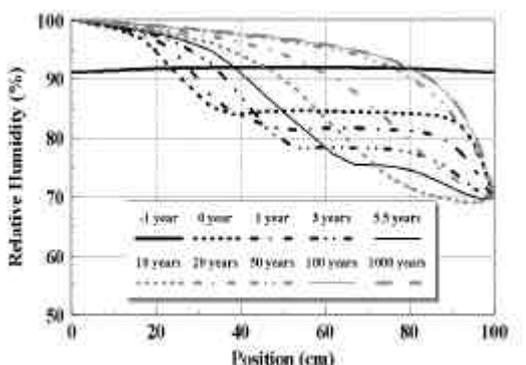


図 - 2 長期にわたる水分移動の解析結果

熱力学連成解析手法を用いたコンクリートの水分移動解析

試験体の水分未透過現象をシミュレーションするために水分移動解析を実施した。その結果、図 - 2 に示すように飽和度分布は過去の計測に近い形態を示し、長期年月でも試験体を透過する移流水は生じないと推定された。

(2) 金属腐食によるガス発生評価

長期的なガス発生挙動評価試験

処分環境を想定し、1ppb 以下の低酸素・水酸化カルシウム平衡水・塩化物イオン 5,000ppm の条件下で 3 年にわたり炭素鋼からの水素ガス発生量を計測し、鋼材の腐食減量計測や表面分析結果と対比しながら腐食速度の算定を行った。

水素ガス発生量から算定される等価腐食速度 ( $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$  の反応を仮定して算出) は、試験初期には  $20 \times 10^{-2} \mu\text{m}/\text{y}$  程度に増加するが、その後徐々に低下し、900 日経過後には  $2 \times 10^{-2} \mu\text{m}/\text{y}$  程度以下に低減することが確認された (図 - 3)。

pH がガス発生量に及ぼす影響評価試験

処分環境で想定される pH10.5 ~ 13.0 の範囲内では、450 日経過後で  $5 \times 10^{-2} \mu\text{m}/\text{y}$  以下の等価腐食速度になることが確認された。

セメント系材料被覆の影響評価試験

コンクリート中の鉄筋を想定し、セメント系材料で被覆された炭素鋼の腐食挙動を調査した。その結果、等価腐食速度は被覆していないものに比べて小さく、470 日経過後で  $0.9 \sim 1.8 \times 10^{-2} \mu\text{m}/\text{y}$  程度であった。

以上の知見より、1ppb 以下の低酸素環境における炭素鋼腐食による水素ガス発生評価の基礎的データが整備できたと考えられる。

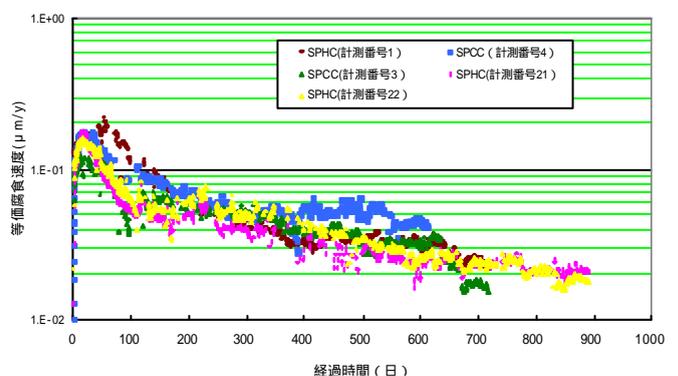


図 - 3 ガス発生量算定の等価腐食速度

## 余裕深度処分システム開発

### 1. 事業の概要

ウラン廃棄物をはじめとする低レベル放射性廃棄物の処分方策を確立していくためには、管理型処分技術に関する関連技術を総合的・効率的に調査し、その信頼性を向上させることが不可欠な課題である。かかる観点から、核燃料サイクル関連施設から発生する超ウラン核種を含む放射性廃棄物（以下「TRU 廃棄物」という。）及びウラン廃棄物のうち、発電所廃棄物の中で処分の事業化が実施されていない比較的放射能レベルの高い低レベル放射性廃棄物と同様の処分（以下、「余裕深度処分」という。）が可能なものについての処分技術に関する調査を実施する。本研究は、平成 14 年度から開始し、平成 17 年度までの 4 年間で実施する予定である。

平成 14 年度は、研究の初年度として、以下の調査を実施した。

#### (1) 余裕深度処分システム性能要素の同定

余裕深度処分システムの性能を担う因子を要素に分解し、それぞれの安全性能への寄与を評価し、全体としてのシステム性能を確認するための枠組を検討する。

#### (2) 余裕深度処分システム性能評価試算

トンネル型及びサイロ型の処分施設形態別に、余裕深度処分システムの性能評価の基本ケース設定し、試算・評価する。

### 2. 平成 14 年度の成果

#### (1) 余裕深度処分システム性能要素の同定

海外において、わが国で構想されている余裕深度処分と類似の処分施設を保有している国として、チェコ、フィンランド、ノルウェー、スウェーデン 4 カ国を調査対象国として選定した。

調査対象国のそれぞれの処分施設について、処分の工学施設の概念、処分深度、処分の性能評価（評価基準、評価シナリオ、人工バリア及び天然バリア性能に係るパラメータ）、処分場閉鎖後の管理の考え方等の調査を実施した。

その結果、以下の点が明らかとなった。

##### 処分概念

- ・処分場は、地表下数十 m ~ 100m 程の範囲にあり、内陸及び沿岸立地が存在する。
- ・人工バリア構成は中レベル廃棄物処分施設

では、処分坑道内に、構造躯体、ベントナイト系、セメント系、破碎岩等の充填材が設置される。

##### 閉鎖後管理

- ・閉鎖後の管理期間、管理方法を具体的に決定している処分場はない。
- ・閉鎖は規制当局の認可が必要であり、認可時に管理方策を求められる国が多い。

##### 閉鎖後管理の安全評価への反映

- ・安全評価に閉鎖後管理を反映しない国が多い（フィンランド以外）。
- ・フィンランドでは、安全評価上、閉鎖後管理により 200 年間人間侵入の排除を規定している。

##### 各要素の安全性への寄与

- ・地層中の移行を破碎帯中のみとした場合、天然バリアの被ばく線量低減への寄与は相対的に低く現れている。
- ・人工バリアを拡散バリアとした場合、人工バリアの被ばく線量低減への寄与は相対的に大きく現れている。
- ・被ばく線量への寄与が大きい核種は短期的に Sr-90、Cs-137、長期的に C-14、I-129、Pu-239、Pu-240 である。

#### (2) 余裕深度処分システム性能評価試算

TRU 廃棄物及びウラン廃棄物のうち、余裕深度処分が可能な廃棄物を対象として、トンネル型及びサイロ型の処分施設形態別に、余裕深度処分システムの安全性能を試算・評価した。なお、比較のため発電所廃棄物についても同様の試算・評価を実施した。

##### 対象廃棄物

##### 1) TRU 廃棄物

TRU 廃棄物処分概念検討書<sup>1)</sup>（以下、「TRU レポート」という。）において整理された廃棄物のうち、核種濃度:1GBq/ton を目安区分値として以下の 2 種類に分類し、試算・評価対象廃棄物とした。

##### ・TRU 廃棄物高

核種濃度が 1GBq/ton を超える廃棄物中、I-129 の濃度が高い廃銀吸着材及び C-14 濃度が高く発熱量も多いハル・エンドピース廃棄物を除く廃棄物（TRU レポートのグループ 3, 4）。

##### ・TRU 廃棄物低

核種濃度が 1GBq/ton 以下の廃棄物中、六ヶ



## 廃棄物処理の合理化に関連する調査研究

### 1. 事業の概要

濃縮廃液等の均質・均一固化体及び固体状低レベル放射性廃棄物の充填固化体（以下、L2 廃棄物という）の埋設処分が順調に実施されている一方、これよりもさらに放射性物質濃度の高い低レベル放射性廃棄物（以下、L1 廃棄物という）の処分についても、地質地下水調査等が行われている。これら L1 及び L2 廃棄物を合理的に処理するため、以下の研究を実施した。

なお、本報告は電力より受託した電力共通研究の成果の一部である。

#### L2 未固化廃棄物の放射能評価方法

- ・放射能評価体系整備
- ・放射能評価方法の合理化

#### L1 廃棄物処理の合理化

- ・処理方式見直しによる合理化
- ・樹脂廃棄物処理処分対策

### 2. 平成 14 年度の成果

#### L2 未固化廃棄物の放射能評価方法

##### (1)放射能評価体系整備と評価方法の合理化

充填固化体等で既にスクーリングファクタ（SF）が設定されている難測定核種/キー核種の組み合わせ毎に、分散分析（F検定）等の手法により、焼却灰の難測定核種分析データを評価した。その結果、焼却灰に対しても原則として充填固化体の SF がそのまま適用できる可能性が高いことを確認した。これは、焼却灰の元となる可燃性の固体状廃棄物は、不燃性の固体状廃棄物と同様に原子炉水中の放射性物質を汚染源としていることから妥当な結果である。

なお、一部の核種については、組成比の分布状況に差異が認められたが、固体状廃棄物が焼却される際の核種残存率を考慮することにより、適正な放射能評価が可能であることがわかった。

また、原廃棄物分析法を適用する際の廃棄物のサンプリング方法として、JIS K 0060 を参考とした方法が適用可能なことや放射能評価方法の合理化に向けた検討を行った。

#### L1 廃棄物処理の合理化

##### (1)処理方式見直しによる合理化

各発電所からの廃棄物の輸送容器や輸送に要する日数等の検討、廃棄物のハンドリング方法、固形化方法等の廃棄物処理方法を検討し、より合理的な処理施設の概念設計を行った。

##### (2)樹脂廃棄物処理処分対策

処理対象となる樹脂廃棄物（PWR 使用済樹脂、樹脂溶離廃液）の物量、性状及び放射性物質濃度を調査し暫定的な条件を整理した。また、樹脂廃棄物の減容化、有機物の無機化性能に着目し発電所で採用し得る樹脂廃棄物の各種処理方法を比較検討し、それぞれの処理方法の特性、性能等について調査を行った。

## 人工バリア性能の高度化に関連する調査研究

### 1．事業の概要

余裕深度処分施設を安全にかつ合理的に設計するためには、処分施設の重要な構成要素である人工バリア材料の効果的な選定が必要となる。

また、選定された人工バリア材料の性能についても放射性核種閉じ込めの観点からできるだけ高性能なものが求められる。

このような背景から、より一層の安全性向上及び合理的な処理処分をめざして人工バリア性能の高度化を図るため以下の研究を実施した。

なお、本報告は電力より受託した電力共通研究の成果の一部である。

#### 放射化金属廃棄物等の性能評価

- ・基本的な廃棄物製作フローの検討
- ・放射線分解ガス発生速度評価
- ・C-14 移行挙動の検討
- ・人間侵入シナリオ影響低減策の検討

#### 人工バリア材のバリア性能の高度化

- ・ベントナイト変質に係るナチュラルアナログ調査

### 2．平成 14 年度の成果

#### ・放射化金属廃棄物等の性能評価

発電所における対象廃棄物の性状及び貯蔵状況等を調査しその結果をもとに放射化金属等の廃棄物の処理方策について検討した。これにより放射化金属廃棄物、使用済樹脂及び樹脂処理廃液の廃棄物仕様の概要を検討した。

放射線分解により放射化金属廃棄物の廃棄物から発生する水素ガスの評価手法を検討した。

さらに、C-14 の処分環境下での化学形態及び C-14 移行挙動評価を実施した。

また、地質調査等の目的で行われるボーリングが廃棄体に到達する可能性等の検討を行った。

#### ・人工バリア材のバリア性能の高度化

国内におけるベントナイトの変質に関するナチュラルアナログに関する文献調査を実施し、コ

ンクリートとの接触による変質、熱影響による変質（イライト化）、鉄との接触による変質（Fe 型化）、イオン交換による変質に関する情報を整理した。

本検討結果から、天然ベントナイト層とトンネルの内壁コンクリートが 30 年以上接している宇津トンネルは、今後の研究に有効なナチュラルアナログサイトであると評価した。

## 放射性廃棄物の処分環境及び性能評価に関する調査研究

### 1. 事業の概要

余裕深度処分施設の安全評価においては、人工バリア性能や天然バリア性能を実際の環境に近い条件で考慮することにより、処分施設の安全性を確保しつつ合理化を図ることが重要である。さらに、このための性能評価手法の信頼性向上も求められている。

これらの背景から以下の研究を実施した。

なお、本報告は電力より受託した電力共通研究の成果の一部である。

#### 余裕深度処分施設における評価手法の検討

- ・セメント系材料のひび割れ制御方法の検討
  - ・低頻度事象に対する評価シナリオの検討
- 余裕深度処分施設の地質地下水調査の体系化検討
- ・不確実性解析による重要パラメータ検討
  - ・調査手順の体系化

### 2. 平成14年度の成果

#### ・余裕深度処分施設における評価手法の検討

##### (1)セメント系材料のひび割れ制御方法の検討

人工バリアの構成及び施工手順を仮定し、要求性能とひび割れ発生原因を整理した。

また、ひび割れ制御の適用性評価を行った。

さらに、ひび割れに関する解析手法の選択にあたっては、その特徴を十分に把握し解析目的に合致した最適な手法を選ぶことが重要となることがわかった。

##### (2)評価シナリオの検討

今後の余裕深度処分施設に係る設計と評価に関する検討に資するため、地下水移行や人間侵入など、考慮すべき種々の評価シナリオの検討を実施した。

また、各シナリオにおける影響度と発生頻度、我が国における従来からの取扱い、ICRPにおける取扱いなどを考慮して、これらのシナリオを分類するとともに、今後の対応策を検討した。

#### ・余裕深度処分施設の地質地下水調査の体系化検討

##### (1)不確実性解析による重要パラメータ検討

不確実性解析のための天然バリア中の核種移行モデルとして亀裂とマトリクスの相互作用を考慮した2重チャンネルモデルを用いた人工バリアから天然バリアまでの処分システム全体の性能評価システムから、不確実性解析を行い、性能評価において重要となるパラメータを抽出した。

##### (2)調査手順の体系化

本検討では、地表から処分施設エリアまでの地中における調査を段階的に分け、それぞれの段階において調査すべき内容を整理した。

次に、重要なパラメータに係わるデータフローダイアグラムは、調査項目の優先度を検討することができ、また調査項目の重複を避けるなど合理的な調査計画の立案に有効であることがわかった。また、このような体系化の手法に今後IT技術を適用することで調査管理への利用が期待できる。

## 1 - 2 ウラン廃棄物処理処分

### ウラン廃棄物に関する調査研究

#### 1. 事業の概要

ウラン廃棄物の処理処分については、原子力委員会バックエンド専門部会において基本的な考え方が示されており、これを受けて、今後、原子力安全委員会等において安全規制の枠組み等に関する検討が進むものと考えられる。この中で、ウラン廃棄物のクリアランスの制度化は当該廃棄物の合理的な処理処分を実施する上で重要な位置付けを担っており、その課題解決のために以下の研究を実施した。

なお、本報告は電力より受託した電力共通研究の成果の一部である。

#### ウラン廃棄物のクリアランスに関する検討

- ・クリアランスレベル評価の課題検討
- ・クリアランスレベルの検討

#### 2. 平成 14 年度の成果

##### ・ウラン廃棄物のクリアランスに関する検討

##### (1) クリアランスレベル評価の課題検討

ウラン廃棄物は、汚染核種（ウラン同位体核種）が、長半減期、多種多様な子孫核種、子孫核種の生成累積等の特徴をもっている。このため、処分や、クリアランスレベル導出における埋立処分シナリオにおいて、長期間の子孫核種のビルドアップ等が過度に保守的に評価されると、非現実的な基準値が導出される可能性がある。

低いクリアランスレベルが算定されている評価事例で、特に有意な被ばく経路/シナリオとして同定されたものは、跡地利用シナリオにおけるラドンの吸入被ばく、土壌中の核種からの直接線被ばく、さらに、これらの影響を拡大する想定となる覆土侵食による廃棄物露呈シナリオ等である。

これらのシナリオにおける課題点を克服するためのいくつかの対応方策を組み合わせて合理的な評価シナリオとパラメータのセットを策定する必要があることが判明した。

また、これらの対応方策の中には、これまでの放射性廃棄物の埋設処分やクリアランスレベルの評価において前提となっていたものを対象とするものもあり、現実には即した方法を選択していく必要があることも判明した。例えば、跡地の利用シナリオの評価においては、放射性核種の崩壊による減衰のみを考慮し、地下水移行等によって処分場から放射性核種が流出する現象による濃度の低減は考慮しない前提で従来から評価されてきたが、本研究では、濃度の低減を考慮することを提案した。このように、本研究で同定された対応方策を適用することが、従来の基本的前提を変更することになるような場合は、関係者の理解と合意が必要と考えられる。

##### (2) クリアランスレベルの検討

合理的なクリアランスレベルを策定するための対応方策として、評価期間の限定、線量評価における確率論的期待値の評価、処分環境などにおける希釈率の設定、一部の評価シナリオ（ラドン吸入被ばく等）の除外、地下水移行による核種の流出などの合理的評価条件を選定した。

クリアランスレベル評価の代表的なシナリオである埋設処分シナリオ及び再利用シナリオについて、合理的評価条件を設定した場合のクリアランスレベル評価値に与える影響の検討を行った。その結果、いくつかの合理的条件を適用することにより、0.1 Bq/g オーダー以上のクリアランスレベルが選定できることを確認した。これは、極めて保守的な条件での評価事例と比較して、約 2 桁以上の差に相当する。

また、天然起源の核種を含む物質について規制除外レベルに関する検討が、IAEA 及び EU の国際機関及び国の当局において行われているが、検討されている基準値は、ウラン核種について 0.1 Bq/g のオーダーから 1 Bq/g のオーダーであり、これらの状況も考慮して、国際的なコンセンサスを図ることも重要と考えられる。

# サイクル廃棄物ウラン高度処理技術開発調査

## 1. 事業の概要

原子力発電所で使用するウラン燃料は、ウラン鉱石の製錬、転換、濃縮、再転換、成形加工の各工程を経て製造されている。これらの各工程を担う施設の運転や解体に伴って廃棄物が発生する。この廃棄物は、ウランが付着したもの（フィルター、金属類、レンガ等）や、廃棄物中にウランが取り込まれたもの（スラッジ類、焼却灰）などであり、半減期が長く（例えばウラン 238 の半減期は約 45 億年）時間の経過による放射性物質の低減が期待できないこと、ウラン核種が放射線を放出して別の核種（子孫核種）が生成し、累積するなどの特徴を有している。

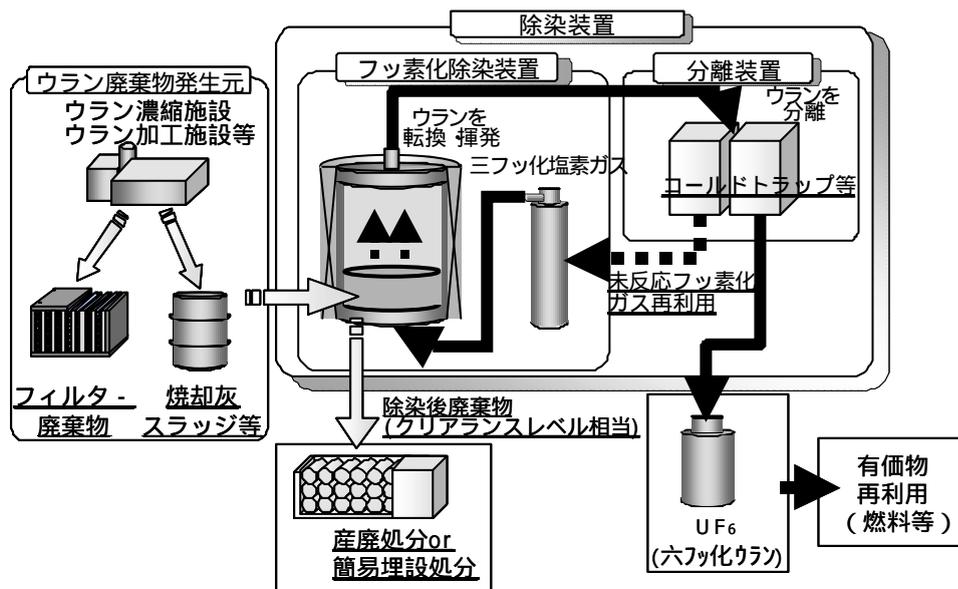
日本でのウラン廃棄物の処理処分の基本的考え方は、除染処理を行うことにより、放射性核種濃度を低減し、クリアランスレベル以下になるものについては、放射性廃棄物として取り扱う必要のないものとして、処分、又は再利用する方針である。日本ではウラン廃棄物のクリアランスレベルは現在審議中であるため、IAEA の TECDOC855 で提案されている 0.3Bq/g（4.5%濃縮ウラン換算で 3.3ppm）をクリアランスレベル想定値（以下、ク

リアランスレベルと称する）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。

本研究のうち、フッ素化除染技術の開発は、平成 9 年度から経済産業省の委託を受け、実施している。平成 11 年度まではウラン濃度を低減するための基礎試験を実施した。平成 12 年度からは要素開発試験を実施しており、フッ素とウラン廃棄物との反応メカニズム、ウラン揮発条件の解明を行った。平成 14 年度からは、クリアランス化を目指した最適除染条件の解明と、ロータリーキルンによる工業化への基礎データの取得を行っている。また、フッ素化除染以外の除染技術についても、同年から研究を実施している。

## 2. 平成 14 年度の成果

平成 14 年度は継続して研究を進めているフッ素化除染、及び本年度から研究を始めた、有機酸等除染、酸溶解/電解透析除染、鉱物化除染、超臨界炭酸ガス除染、超高压水除染、等についてクリアランス化、又は廃棄物量の低減化を目指して研究を実施した。これら除染技術のうち、特に成果の大きかったフッ素化除染を中心に成果を以下に述べる。



フッ素化除染の概要

(1) フッ素化除染技術の開発

フッ素化除染技術の開発は、以下の2ステップで行った。ステップ1では、除染ガスである $ClF_3$ と対象廃棄物の基礎反応データ取得を目的とした示差熱分析を実施した。その結果、Naを含む廃棄物では100 からNaFが生成され、その後300 までウランの揮発が阻害されることが分かった。このため、Naを含むようなスラッジ類や、フィルター等は300 以上での除染温度が必要であることが分かった。このような示差熱分析の結果を基に、ステップ2として除染試験を実施した。その結果、500 で3時間除染することにより、フィルター、主要なスラッジである鉄澱物、耐火レンガ、金属類をクリアランスレベル以下に除染することに成功した。また、工業化への基礎データ取得のために作製したロータリーキルンによる除染試験でも、鉄澱物をクリアランスレベル以下にまで除染することに成功した。本年度クリアランスレベル以下に除染することができなかったスラッジ類等もクリアランスレベルに近いレベルまで除染できており、今後は前処理との組み合わせ等を行うことでクリアランスレベル達成を目指す予定である。



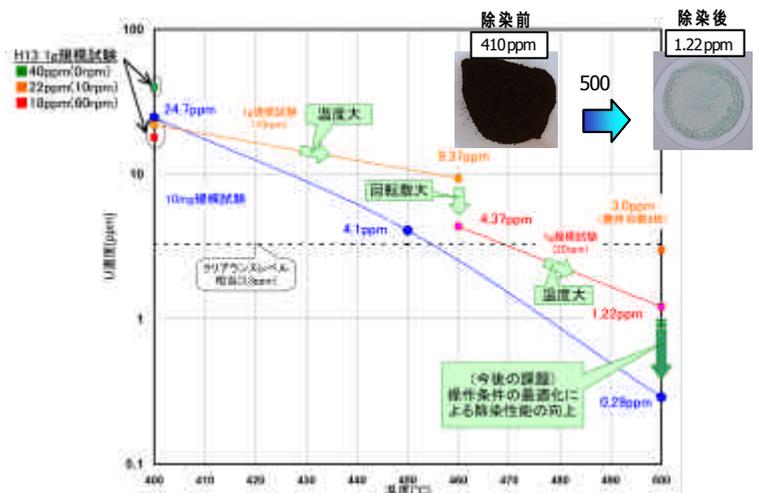
フッ素化除染装置（ロータリーキルン）の外観

(2) その他の除染技術の成果

有機酸除染は紙、酢ビシート等の可燃物をクリアランスレベル以下にまで除染することに成功した。今後は二次廃棄物量などの物質収支の評価を行う予定である。

酸溶解/電解透析除染は、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樹脂で吸着分離する除染法である。本年度は各廃棄物を全溶解することに成功した。今後、溶解液からのウラン分離技術の開発を行うことにより、クリアランス化が期待できる有望な技術である。

鉍物化除染はスラッジ類及び焼却灰を混合溶解した後、酸によりウランのみの抽出を目指した技術である。試験の結果、鉍物化することにより、マトリックス自体も溶解し易くなることが分かったがウランの分離はできなかった。そこで、鉍物化は酸溶解/電解透析除染の前処理と位置付け、酸溶解/電解透析除染の溶解条件の簡素化、及び各種廃棄物の一括処理に今後反映する予定である。



フッ素化除染による鉄澱物の除染結果

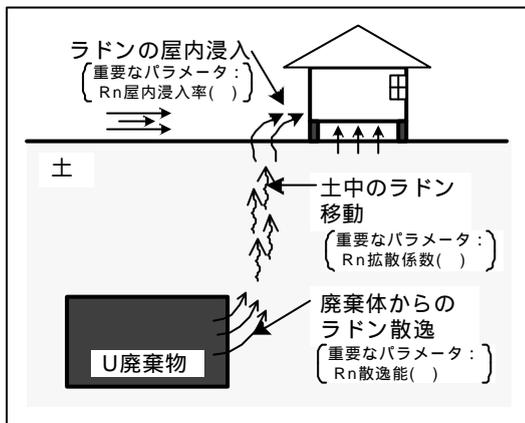
## ウラン廃棄物処理処分システム開発調査

### 1. 事業の概要

本研究は、ウラン燃料加工施設で発生するウラン廃棄物の処理処分に資することを目的としており、下記の3テーマからなる。

#### (1) ラドン挙動調査

ウラン廃棄物処分に関わる長期安全評価に資する目的で、土壌中のラドン拡散係数を測定して安全評価に使えるように実験式としてまとめるとともに、廃棄体からのラドン散逸割合を測定して安全評価用のデータとしてまとめる。



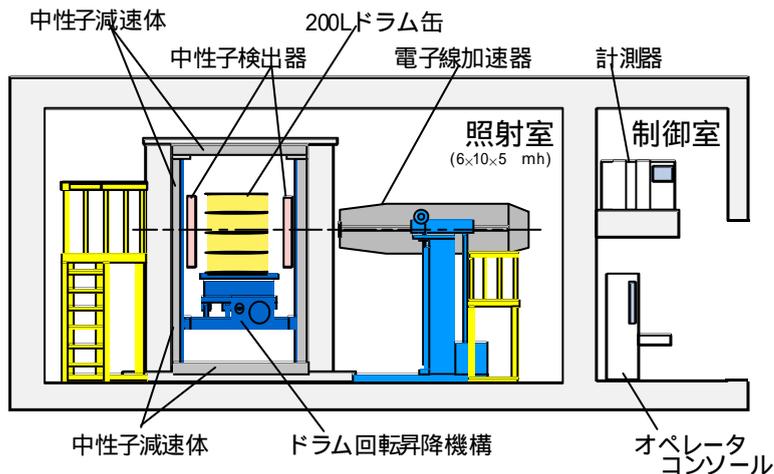
廃棄物から発生するラドンの環境中挙動

#### (2) 品質保証高度化技術開発

クリアランスレベルまでの極低レベルウラン濃度測定システム開発を目的として、光中性子法(下図)及びパッシブ法によるウラン濃度測定装置を開発するとともに、放射線測定が難しい溶融金属体中のウラン濃度分布を測定してクリアランス検認方法開発のための基礎データを取得する。

#### (3) 難除染ウラン廃棄物処分調査

複雑形状金属、小口径配管及び湿式除染法の適用が困難な難除染ウラン廃棄物対策として、溶融処理を行う際に発生する有害ガスに対する排ガス処理システムを開発するとともに、溶融体からのウラン浸出率を測定してウランの閉じ込め性能を確認する。

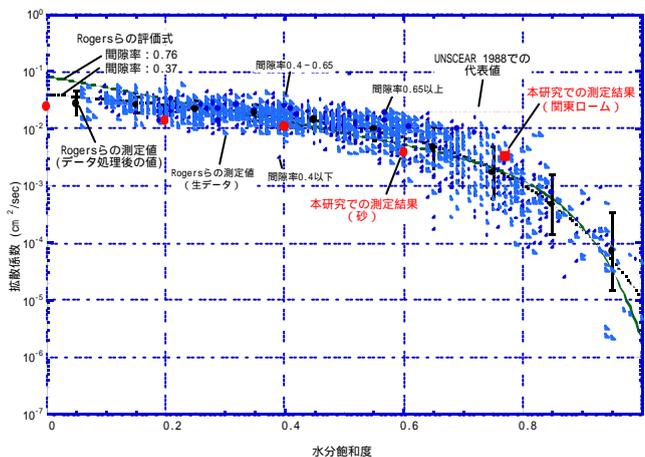


光中性子法によるウラン核種濃度測定

## 2. 平成 14 年度の成果

### (1) ラドン挙動調査

ラドン拡散係数及び散逸割合測定のための装置を製作し、リン酸肥料をラドン源とした模擬廃棄体及び土壌を用いて測定を開始した。模擬廃棄体としては、セメント固化体及びガラス固化体を作製し、セメント固化体はラドン抑制効果がないがガラス固化体はラドン抑制効果が非常に優れていることを確認した。土壌としては、砂と関東ロームを用いて拡散係数を測定し、米国の実験式をベンチマークとして比較を行い、よく一致していることを確認した（下図参照）。



水分飽和度とラドンの拡散係数との関係

### (2) 品質保証高度化技術開発

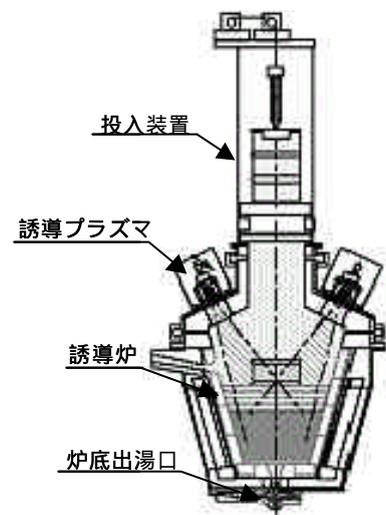
光中性子法では、He-3 検出器を用いた測定装置を製作し、高エネルギーX線を模擬試料に照射することによるウランとの(X, n)反応で発生した中性子の測定実験を開始し、X線エネルギーの最適値と検出器周囲に設置する鉛遮蔽体の厚さを求めた。

パッシブ法では、リン酸肥料をスラッジと同じ形態の模擬廃棄体に見立てて、ウラン濃度測定実験を実施し、実廃棄物への適用性を検討し、実廃棄物測定実験条件を求めた。

熔融金属体を対象としたクリアランス検認方法の開発では、熔融金属体を作製し、ICP測定により熔融金属体中ウラン濃度分布測定実験を開始し、ステンレス鋼とアルミニウム材についての基礎データを採取した。

### (3) 難除染ウラン廃棄物処分調査

誘導プラズマと高周波誘導加熱を備えたハイブリッド型の熔融炉を用いて熔融処理を行い、その際に発生する有害ガスを処理するための二次燃焼器、冷却塔、フィルター、スクラバー、脱硝塔の効果を確認するとともに、熔融で生じた固体状スラグ及びそれを粉砕した粉砕スラグからのウラン浸出率を測定し、表面積の差に起因する浸出率の違いを評価し、鉛は熔融対象外にする必要があることと、ウランの浸出率は表面積に差があってもオーダの違いは生じないことが分かった。



誘導プラズマ高周波誘導熔融炉

## 1 - 3 その他

### 検認手法の調査

#### 1. 事業の概要

原子炉施設の廃止措置に伴って発生する多量の廃棄物の大部分は、「放射性物質として扱う必要がない物」である。また、原子炉施設の運転に伴って日常的に発生する廃棄物の中にも「放射性物質として扱う必要のない物」が含まれる。

この「放射性物質として扱う必要がない物」を区分するために、原子力安全委員会は、「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」を平成 11 年 3 月に取りまとめ、廃棄物に含まれる放射性核種濃度によってこれを区分できるとした。さらに、クリアランスレベルによる区分が的確に行われるために必要な基本的考え方を、平成 13 年 7 月に「原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について」(以下「検認のあり方」とする)として取りまとめた。また、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とその傘下のワーキング・グループにおいても、クリアランスレベルの検認方法が検討されている。

平成 13 年度「検認手法整備調査」は、国内外の文献調査等により原子炉解体作業から発生する廃棄物のクリアランスレベル検認等に関する情報として、検出器の種類及び特性等に関する調査、諸外国のクリアランスレベル検認手法の調査が日本原子力研究所により行われ、汎用のモンテカルロ計算コード(EGS-4)を用いた基本的な測定方法における測定器の検出効率が計算されるとともに、計算結果を検証するための試験が実施された。

さらに、クリアランスレベルを検認する際の放射性核種濃度測定精度の評価するための検討も行われた。

平成 14 年度は、原子力環境整備促進・資金管理センター(以下「原環センター」とする)が平成 8 年度から平成 13 年度にかけて取りまとめたクリアランスレベル区分マニュアル(以下「区分マニュアル」とする)を再検討し、クリアランスレベル検認にあたっての、放射性核種濃度測定方法の特徴、サンプリングの考え方、検認測定の手順等

を整理した。

さらに、それらの検討結果を参考として、原子力安全委員会が示した「検認のあり方」に基づき、測定方法、放射性核種測定の評価単位等に関する検討を実施し、クリアランスレベル検認の具体的な実施方法を策定するという全体的な目的の下に調査が進められることとなった。

本「検認手法の調査」は、上記の全体的な調査のうち、区分マニュアルの考え方の整理、区分マニュアルの作成に際して使用したデータの整理、クリアランスレベルの検認に影響すると考えられる項目の整理、クリアランスレベルの検認に必要な品質保証の検討に関して実施したものである。

なお、本報告は経済産業省の受託により日本原子力研究所が実施した成果の一部である。

#### 2. 平成 14 年度の成果

平成 14 年度調査では、基本的には、原環センターが検討した区分マニュアルの基礎となった資料・データに基づき、原子力安全委員会が示したクリアランスレベル検認のための要件への適合性を明確かつ容易に判断できるような整理を行った。また、時間的及び空間的な広がりの中で実施される廃止措置の工程の中で、対象物の放射性核種濃度の変化や濃度評価手法に内在する誤差要因等の放射性核種濃度評価の変動要因の抽出・検討及びクリアランスレベル検認の品質保証に関する検討を実施した。

##### (1) 区分マニュアルの考え方の整理

区分マニュアルでは、汚染の形態や対象物の発生場所などによって、対象物を幾つかの類型に分類しているが、このような類型区分の考え方と判別フローについて整理した。また、クリアランスレベル検認に用いる放射性核種濃度の測定及び評価の方法について、基本的考え方と、方法・手段の選定フローについて整理した。

##### (2) 区分マニュアル作成データの整理

区分マニュアル作成の基礎となった、放射線測定器の検出感度データ、天然のバックグラウ

ンドデータ及び放射化計算に関するデータを整理して、収集データの有効性を確認した。今後、さらに第三者の再現性を考慮した補足等を行うことが有用である。

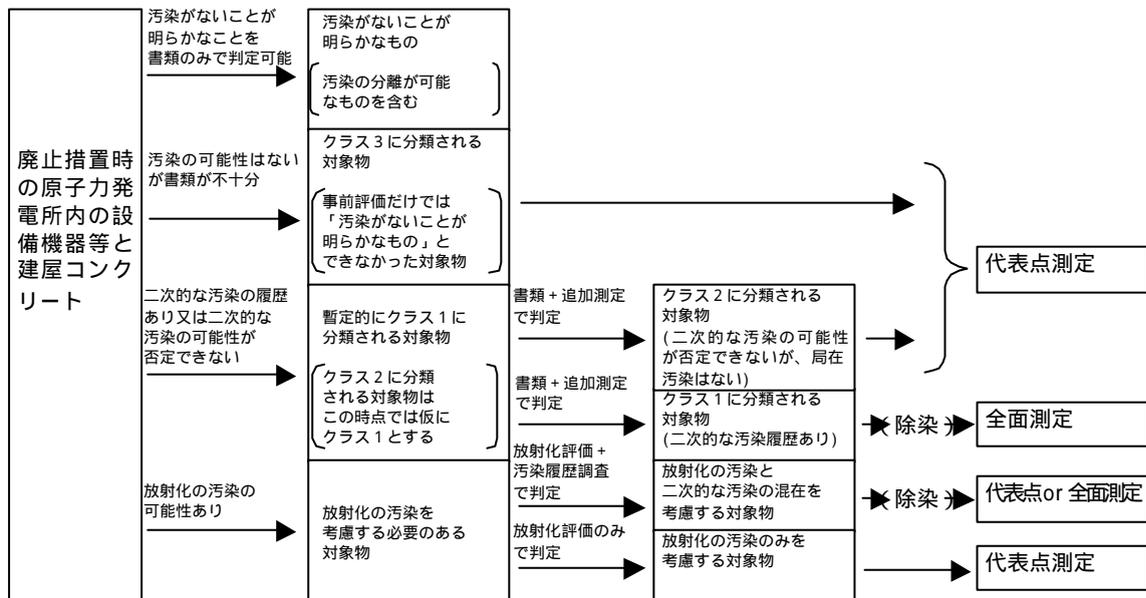
(3) クリアランスレベル検認に影響を与える項目の整理

検認評価単位、汚染特性など、クリアランスレベルの検認における核種濃度評価に影響を与える項目を整理して、誤差要因や評価精度に関する検討を行い、評価精度向上策を例示した。今後、さらに実機の核種組成比データの蓄積や

測定方法の具体化に合わせた精度向上策の取り込みを行うことが有用である。

(4) 品質保証に関する検討

クリアランスレベル検認において品質保証上重要となる項目を抽出し、品質保証における関係者の役割を整理し、検認に係る記録方法や対象物の保管・管理方法に関する品質保証の検討を行った。検認後のトラッキング等に関し、今後、鉄リサイクル等における管理体制との整合や移行を取り込むことが有用である。



対象物の類型区分の考え方

## 極低レベル雑固体廃棄物処分安全性対策試験

### 1. 事業の概要

我が国において最初の商業用原子力発電所(日本原子力発電(株)東海発電所 黒鉛減速・炭酸ガス冷却型)が平成13年12月4日、廃止措置に着手した。

廃止措置に伴って発生する解体廃棄物の放射能レベルは極低レベルから比較的高いレベルのものまで広範囲にわたっており、廃棄物形状も多岐にわたっている。このうち、コンクリートや金属等の極低レベル雑固体廃棄物は、コンクリートピット等の人工バリアを設置する必要がなく、素掘トレンチ処分ができる。この処分は日本では、日本原子力研究所がJPDRの解体廃棄物を試験的に処分しているのみであり、安全を実証するための試験が望まれていた。こうした状況を踏まえ、本研究は平成9年度から開始し、学識経験者による委員会を設置して研究を進めている。現在までの試験項目は4項目であるが、主な下記の3項目について概説する。

#### (1)対象廃棄物の埋設要件調査・試験

この試験項目の中で、保温材に関する物性影響試験及び金属腐食影響試験を行った。保温材は、埋設後の覆土への影響を調べるため、圧縮処理した場合としなかった場合について、圧縮後、転圧後のスプリングバック及び水分吸収後の膨潤、収縮の影響について試験により確認したが、いずれも変化量は小さく、スプリングバック、膨潤等の影響はないと判断できた。また、金属廃棄物が腐食することによる埋設への影響を調査するため、図-1に示すような屋内に試験槽、屋外に試験槽(施設)を作成し、平成9年度より金属腐食影響試験を開始し、継続実施している。環境雰囲気は、アルカリ性環境と、中性環境としており、屋内試験装置では、通気層、帯水層、境界層を想定するなど、実埋設条件を考慮したものとした。

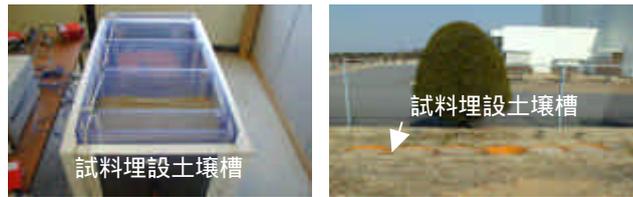


図-1 屋内及び屋外金属腐食試験状況

#### (2)廃棄物からの核種挙動試験

本試験では、実廃棄物、模擬廃棄物からの核種浸出試験及び実核種による土壌(山砂、砕砂)への吸着挙動試験、さらに通気層における水分移動現象把握試験等を行った。核種浸出試験では、実サンプルからのCo-60の浸出率は非常に小さいことがわかった。また、吸着試験では、砕砂を用いて、Cs,Co,Sr,I並びにAm-241について分配係数の濃度依存性に関するデータ取得を行った。その結果、Cs,Iについては濃度が低いほど分配係数が高くなる傾向が見られた。

#### (3)実規模実証試験

本試験のうち、施設の長期安定性試験では、施設の安定性を評価することを目的として模擬廃棄物を埋設した施設に、日本の年間平均降雨量を模擬した約1600mm/年の人工降雨を与えて試験を継続している。また、核種移行試験では、施設の土壌に埋設した土中水分計で水分の移動を観測するとともに、模擬廃棄物に塗布したトレーサの移行を調べるための試験を継続している。

平成15年度(最終年度)には今までの成果を基に極低レベル雑固体廃棄物の処分の安全性について総合的な観点から評価を行う予定である。

### 2. 平成14年度の成果

#### (1)金属腐食影響試験

金属の腐食影響試験において、埋設期間2.5年及び4.5年のサンプルを取り出し、腐食の状況を観察するとともに腐食速度を算定した。また、2年前の試験結果(埋設期間0.5年、1.5年)も合わせ、評価した。その結果、埋設期間では、0.5年~2.5年までは、期間が長くなるほど、腐食速度が大きくなることがわかった。2.5年と4.5年では、ほとんど差はなかった。埋設環境については、中性土壌とアルカリ土壌では、

中性土壤の方が、腐食速度が大きかった。他金属（ステンレス）との接触、非接触では、接触の方が腐食速度が大きくなることがわかった。

(2) 廃棄物からの核種挙動試験

a. 実核種における吸着挙動評価試験

トレンチ処分の安全性評価において重要な核種のうち、実規模実証試験において使用している山砂を対象として、Cs, Co, Sr, I 並びに Am-241 について分配係数の濃度依存性に関するデータ取得を行った結果、いずれの核種についても濃度が低いほど分配係数が高くなるという濃度依存性がみられた。

b. 降雨覆土浸透水量確認試験

積雪地域に作製した実規模大の試験土槽（図 - 2 参照）への自然降雨浸透水量を平成 13 年度より測定している。その結果、キャピラリー構造の覆土については、その他の覆土に比べ浸透水量を低減できることがわかった。

(3) 実規模実証試験

図 - 3 に示す実規模試験土槽への人工降雨は平成 14 年度上期に終了し、それまでの水分移動を測定した。また、施設の長期安定性について、保温材を埋設した試験槽 4 の保温材直上の沈下現象に対して、レーダ探査を行うとともに、土層を解体し、その様子を観察した。その結果、降雨による浸透水の水分移動では、埋設廃棄体を迂回するような水流現象がわかった。模擬核種の移行では、模擬トレーサの Sr が異常に破過（添加量より 2 倍の量）しており、原因を調べるためにバックグラウンドを測定することとした。またレーダ探査では、空隙ができていた可能性が分かり、また解体でも空隙が観察された。解体では、土壌をサンプリングするとともに、鉛直方向にコアボーリングを行い、土壤の核種分析を行った結果、I 以外はほとんど移動していないことがわかった。

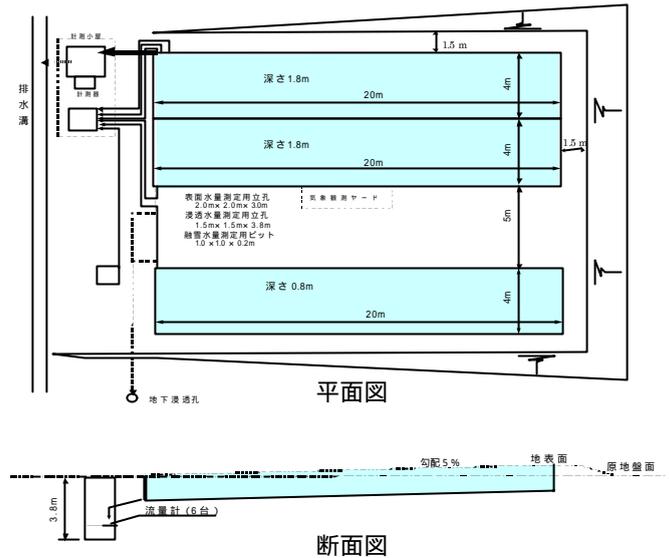


図 - 2 降雨覆土浸透水量確認試験

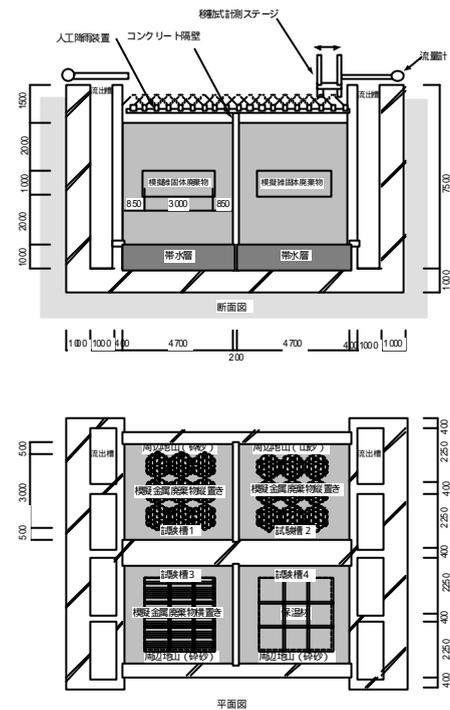


図 - 3 実規模実証試験

## 2. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

### 2 - 1 高レベル放射性廃棄物処分関連

#### (1) 地層環境調査技術

##### 高精度物理探査技術高度化調査

#### 1. 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）において、最終処分地の選定は段階的な調査を経て行われる。地表からの概要調査の段階では、様々な技術を用いて、広域における地形、水理・地質構造、地下環境の調査、分析、評価を行うこととなる。物理探査は、概要調査以降の段階で重要な調査技術として考えられているが、適用の方法については、これまでの資源探査や地盤探査とは異なる部分もある。そこで、地層処分事業の観点から既存物理探査技術を検討し、そのなかから技術を開発付加することで、より精密な情報が得られると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高度化開発技術として選定し、平成 15 年度までに技術を高度化し調査への適用性評価を行うこととした。

これと並行して、次世代探査技術調査として、先進的な技術及び基礎的な技術を調査し、地質環境調査への適用性検討を行うこととした。

また、開発技術の必要性、調査への貢献度を評価できる仕組みとして調査システムフローを検討することとした。

本調査では、平成 12 年度に、現状の物理探査探査技術を総括し、高度化開発する技術の抽出を行った。続いて、平成 13 年度より、高度化開発を開始した。以下に各項目の概要を示す。また、各開発項目の概要を図 - 1、図 - 2 に掲げた。

#### (1)高精度物理探査技術高度化

##### (a)電磁法探査技術の高度化

- ・沿岸の陸域から水深 200m 以浅の海域で連続的に深度 1 km まで探査可能な計測システムの開発
- ・断層等の縦型構造の解析が可能な陸域 3 次元、海底 2.5 次元解析手法の確立

##### (b)弾性波トモグラフィ技術の高度化

- ・伝播距離の長い（伝搬距離 1km 程度を想定）高出力孔内震源の開発
- ・結晶質岩中での断層構造の検出を目的としたフルウェーブトモグラフィ解析技術の確立
- ・広域の透水性状の把握を可能とする音響透水トモグラフィ技術の確立

##### (c)地質構造モデリング技術高度化

- ・地質構造モデルにおける不確実性を評価することを目的とした技術の開発

#### (2)次世代技術調査

- ・物理探査技術の現状調査、資源開発技術分野の最先端技術の調査及び地層処分関係で適用された物理探査技術の調査
- ・リモートセンシング技術の地質環境調査への適用性調査

#### (3)調査システムフロー

- ・処分地を選定する上で必要な情報と、既存の調査技術及び、その調査結果との相関性の分析・解釈も含めた形で整理する調査システムフローの構築およびその IT 化

## 2. 平成 14 年度の成果

平成 14 年度には、高精度物理探査技術高度化及び調査システムフローについては、開発を継続し、次世代技術調査については、これまでの調査結果を総括した。

#### (1)高精度物理探査技術高度化

##### (a)電磁法探査技術の高度化

海底設置型受信機の機器開発の分野では、スタンドアローン型とケーブル型の詳細設計を行った。さらに、スタンドアローン型受信機の本体を試作し、ケーブル型受信機本体と記録装置の製作に着手した。解析技術開発の分野では、陸上 3 次元ソフトウェアで地中の電位分布の計算コードを開発し、モデル計算によって、その有効性を確認した。海底 2.5 次元ソフトウェアでも同様に、計算コードを開発し機能を確認した。

(b)弾性波探査技術の高度化

機器開発分野では、平成13年度に製作した小型震源試作機の性能試験をスイスのグリムゼルテストサイトで実施し、震源の発振エネルギーと到達距離を検証した。この結果を元に実証器の設計を行い、組み立てを開始した。

解析技術開発分野のうち、フルウェーブトモグラフィ解析については、粘弾性解析のアルゴリズムを開発し、数値実験用ソフトウェアにコード化した。そして、これを用いた断層解析の数値実験を実施して、その機能を確認した。また、音響透水トモグラフィについては、岩石供試体およびガラス玉を水に浸した供試体を用いた音響波測定、透水試験などの基礎実験を行った。これに基づき、結晶質岩での音響透水トモグラフィによる解析理論の成立性を検討した。

(c)地質構造モデリング技術高度化

地質環境調査支援ツールとして、地質構造モデル中の断層を例として、分布・形状の不確実性を定量的に評価、可視化する方法を検討した。さらに、仮想データに基づく試行解析を実施し、断層の空間的な確実度分布を表現できることを示した。

(2)次世代技術調査

平成12年から調査した次世代技術について総括した他、岩石物理学モデル理論に基づいた物理探査結果解釈技術に注目して、弾性波探査データを元に、岩石物理学の理論に基づいた透水係数マップへの試行変換を実施し、物理探査結果を解析することで、透水係数などの工学量へ変換できることを示した。リモートセンシング技術については、現状技術の整理を行い、地質環境調査への適用ガイドラインを提案した。

(3)調査システムフロー

平成13年度に構築した淡水域・結晶質岩の調査システムフローについて、仮想的な取得データセットを設定し、解釈・評価を実施し、フローの検証を行った。また、このフローのIT化の試作モデルを作成した。一方、塩淡水域・堆積岩を対象とした地域については、網羅性を持った調査システムフローの試構築を行い、このフローでの試解析可能性検討に着手した。

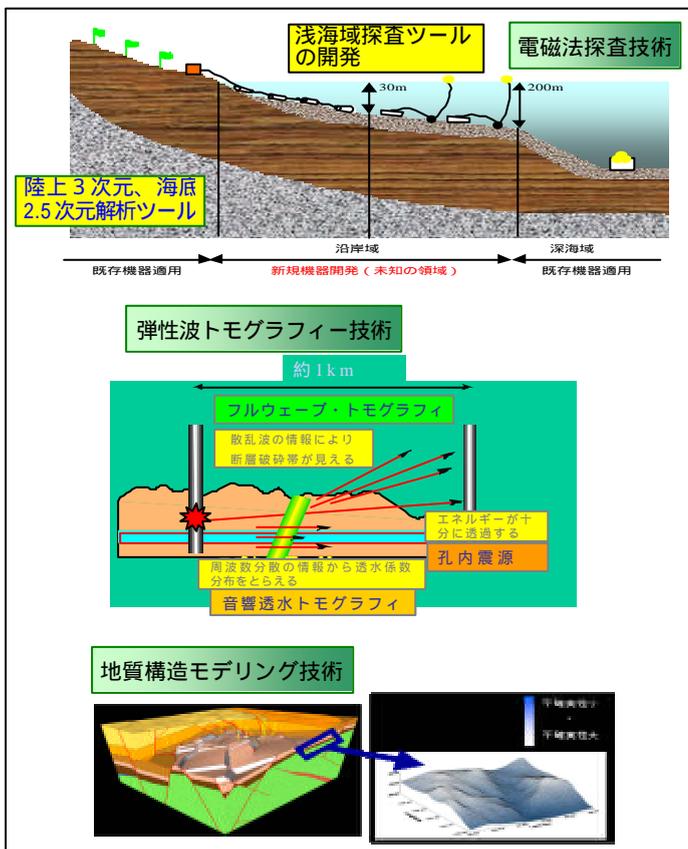


図 - 1 高度化開発の概要

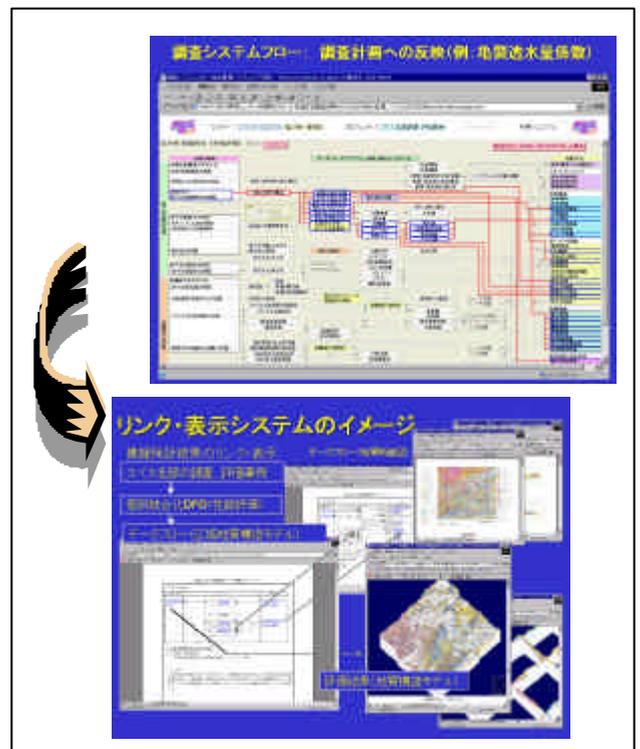


図 - 2 調査システムフローIT化イメージ

## (2) 処分技術

### 遠隔操作技術高度化調査

#### 1. 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スの遠隔溶接・検査、及びオーバーパックと緩衝材の遠隔ハンドリング・定置の2つの遠隔操作技術について、基礎試験、要素試験等を行い、その成立性、適用性、適用条件などを定量的に評価、表示する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する。そのために、事業の第一段階(初年度)において、これら二つの遠隔操作が現有技術で基本的に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する。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、地層処分の特徴である長期安全性確保の視点から遠隔操作、及び人工バリアの品質についても検討を行う。

なお、本調査で前提となる人工バリアシステムは、基本的に第二次取りまとめで提示された概念に基づくものとした。

平成12年度には処分場において直接オーバーパック、緩衝材を取り扱うプロセスである、地上施設でのオーバーパックの溶接、検査技術、地下施設での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その成立性を提示した。平成13年度からは、各技術について基礎試験、要素試験を行い、現時点における最新技術の適用性、適用範囲、適用条件を提示する技術メニューを整備することを目指している。また溶接・検査、ハンドリング・定置における人工バリアの品質確保の考え方を整理すると共に、処分場における遠隔操作技術全体を対象として、処分システム構築に関わる品質、安全の考え方をまとめるものとする。

図-1にオーバーパック溶接の概念を、図-2に処分場におけるハンドリングの概念を示す。

#### 2. 平成14年度の成果

##### (1) 遠隔溶接・検査装置の開発

代表的なアーク溶接であるTIG溶接について、オーバーパックの全肉厚溶接を前提とし、開先深さ最大190mmを目標としてTIG溶接の施工試験を行った。板厚50mmの試験体により溶接条件、開先形状を確認し、100mm、150mm、190mmと段階的に開先を深くし、溶接条件を把握すると共に、継手性能試験により溶接品質を確認し、肉厚190mmの炭素鋼オーバーパックへの適用が可能と判断した。また溶接残留応力の影響、及びその低減方法の効果について熱応力解析を行った。図-3にTIG溶接による炭素鋼厚板の周溶接試験の状況を示す。一方、高エネルギービーム溶接である電子ビーム溶接についてオーバー

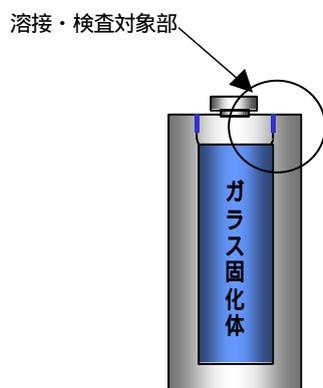


図-1 オーバパックの溶接・検査対象部

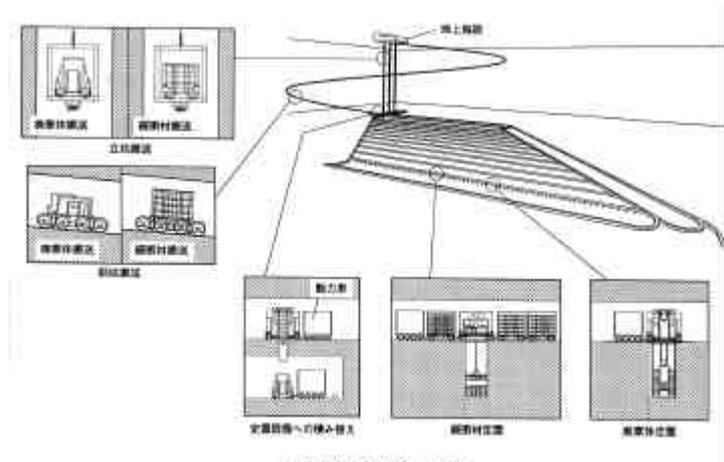


図-2 処分場の定置・ハンドリングの概念

パックの全肉厚溶接を前提とし、横向き姿勢によるビーム貫通溶接として炭素鋼板厚 100mm、190mm、下向き姿勢による部分溶け込み溶接として溶接深さ 80mm について溶接条件を把握すると共に、継手性能試験等により溶接品質を確認した。その結果、100mm 貫通溶接と 80mm 部分溶け込み溶接では、EBW の大きな特徴である全周溶接に伴う始末端部での溶け込み処理が良好に行われ、適用可能と判断した。一方、190mm 貫通溶接については、始末端処理条件の適正化にはさらに多くのパラメータサーベイが必要であると判断した。また、超音波探傷法である TOFD (Time of Flight Diffraction) 法、フェイズドアレイ法及びフェイズドアレイ - TOFD 法によりオーバーパックの非破壊検査で表層部の検出性、定量性が課題となった表層部の検出性、定量性に優れる交流電磁場測定法 (ACFM 法) を用いて確認した。さらに、表層部の欠陥検出に優れるクリーピングウェーブ法について検出精度を確認し、2 探触子法により表面の微小開口きずの検出が可能であることを確認した。また、オーバーパック溶接線に対してクリーピングウェーブ法と TOFD 法の組合せによりオーバーパック板厚 (190mm) 全体を検査できることを確認した。

## (2) 遠隔ハンドリング・定置装置の開発

圧縮ブロックを定置するブロック型緩衝材方式については、ハンドリング対象となる緩衝材

ブロックの製作性、環境条件 (温度、湿度) の影響並びに真空把持による把持特性について要素試験、基礎試験を実施し、定置システム設計に資するブロック製作、ハンドリングに関するデータを取得した。また、緩衝材を原位置で締固める緩衝材の原位置締固め方式については、内型枠方式による施工の成立性、衝撃による岩盤影響評価への数値解析の適用性を確認した。ペレット状のベントナイトを充填するベントナイトペレット方式については、基礎物性試験を行い、緩衝材材料として止水機能は問題ないものの、熱特性が他の施工法による緩衝材に比べ劣ることを確認した。図 - 4 に緩衝材ブロックの真空把持特性試験の実施状況を示す。

また、システム設計の考え方について検討を行い、設計上留意すべき事項を抽出・整理した。代替案の検討においては、プレアセンブル方式等 2 方式の代替定置システムについて概念設計を実施した。

## (3) 遠隔操作技術に関する安全・品質検討

品質確保と安全確保に関する基本的考え方を提示し、想定される操業プロセスにおける留意点と重要度を考察した。遠隔操作による安全性の検討では、安全原則に沿って、考慮すべき事項を明らかにすると共に、地層処分特有の懸案事項を抽出した。



図-3 溶接試験体外観(TIG 溶接)



図-4 緩衝材ブロック真空把持特性試験  
実施状況

## 性能評価技術高度化

### 1. 事業の概要

今後 HLW 処分事業が進展するにつれ、性能評価技術には、安全規制が具体的に議論される段階に対応し、また実施主体が行うサイト条件を踏まえた合理的な設計にも対応できる評価体系とすることが求められると思われる。従来の性能評価は日本の地質環境において地層処分が成立するというを示すことが目的であったため、保守的なモデルを採用していた。従って、今後は、現実に近いモデル及びデータを利用して、評価解析を行い過剰な保守性を排除することも必要になると考えられる。

このような性能評価の高度化の目的に沿って、性能評価技術の開発に資する情報を収集するとともに、より精緻な性能評価を可能とする解析技術を開発することを主眼に検討を実施する。

本研究は平成 14 年度から開始した。平成 14 年度は、従来のものよりも、さらに精緻な性能評価を可能とする現実的性能評価技術の開発テーマの選定を実施した。

第 2 次取りまとめで行われている地層処分の安全評価における課題をもとに、現時点における性能評価に関する課題を抽出した。抽出した研究項目の目的、内容、成立性、効果等について評価を行い、平成 15 年度以降に重点的に研究を行うべき項目を検討した。評価は、地層処分の性能評価に関する専門家へのヒアリング調査により実施した。その結果、最終的に 2 件のテーマについて、現実的な評価解析手法を検討することとした。

平成 15 年度以降は、選定した現実的性能評価技術テーマの開発と共に、性能評価に関する基礎情報の収集を行う予定である。

性能評価に関する基礎情報の収集及び整理・分析

国内外でこれまでに行われてきた性能評価に関する情報を収集、整理、分析して、性能評価の現状及び課題を明らかにする。(図 1)

現実的性能評価技術の開発

- ・ 処分場及び近傍の水理・物質移行解析
- ・ ガラス固化体の近傍の長期的安全機能のシミュレーション

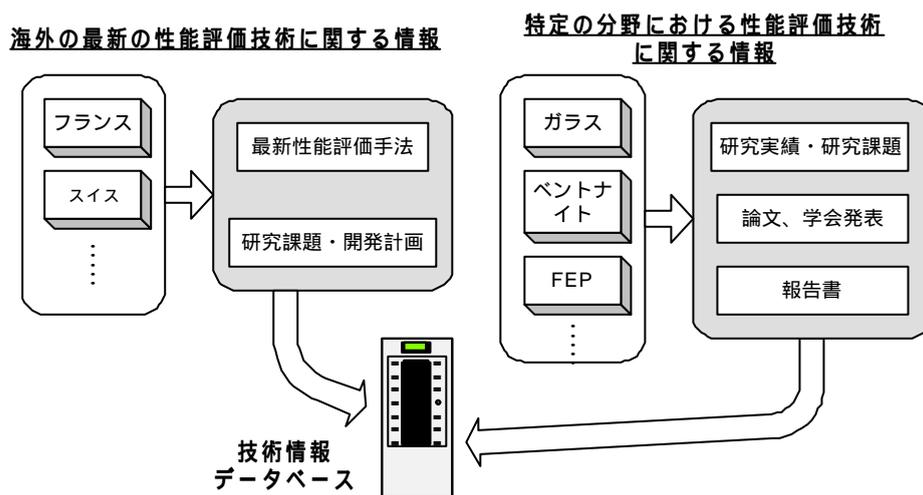


図-1 性能評価に関する基礎情報の収集及び整理・分析の概念

## 2. 平成 14 年度の成果

平成 14 年度は、従来の性能評価より過剰な保守性を排除して、さらに精緻な性能評価を可能とする現実的評価技術の開発テーマの選定を実施した。

その結果次の 2 テーマが選定された。

処分場及び近傍の水理・物質移行解析  
ガラス固化体の近傍の長期的安全機能のシミュレーション

以下に 2 テーマを選定した理由と、今後の計画について説明する。

### (1) 処分場及び近傍の水理・物質移行解析

従来の性能評価では、処分場内及び近傍では、掘削影響領域に沿って瞬時に移行するという仮定が設けられている。しかし、この仮定では掘削影響領域内の亀裂の不連続さ、プラグの止水能力などが考慮されていない。

また、従来の性能評価では、処分場のレイアウトを考慮せずに、ガラス固化体が 1 体だけのモデル解析結果をもとに、処分する全数倍の影響があるとして解析評価を行っていた。

以上のように従来の性能評価には、過剰な保守性が含まれていると考えられている。

本研究開発は、処分場及び近傍の性能評価に現実的な水理・物質移行モデルを採用することにより、より実際の現象に近づけた解析をもとに、被ばく線量等を従来の評価結果と比較しようとするものである。

処分場内部及び近傍のモデルとして、以下の各項目等について処分場スケールで現実的モデルを検討し、それに基づいて解析コードを作成して、被ばく線量への影響を把握する。

複数廃棄体の相互影響

掘削影響領域の連続性等を考慮した三次元水理・物質移動解析

処分場内に発生する亀裂のモデル化と評価

### (2) ガラス固化体の近傍の長期的安全機能のシミュレーション

従来の性能評価では、埋設後人工バリアに地下水が再冠水したのち、ガラス固化体がどのような形状や化学的条件にあるかは具体的に示さず、ガラス固化体は常に一定の速度で溶解する

といった仮定を置くことが普通であった。これらの仮定は安全評価の信頼性向上という点で、より現実的に見直すことができるのではないかという意見も出されている。

本研究開発では、主に対象とする時間スケールのために研究が実施されていない力学・化学連成現象についての数値解析及び試験の手法を開発することにより、これまで理解が不足していたガラス固化体とその近傍の変形、破壊あるいは変質を具体的に示すとともに、そのバリア機能をシミュレーションする手法を開発する。

## 地球化学バリア有効性確認調査

### 1. 事業の概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分システムのバリア性能は、放射性核種の地下水に対する溶解度や岩石への収着性のような地球化学的反応に影響される。Pu, Np などのアクチノイドは、その地球化学的特性（溶解度が小さく、収着性が高い）により、生物圏への漏出量は極めて小さいものと評価されている。さらに、これらの元素の移行に際しては、地球化学的な反応によるバリア機能が期待できることから以下のような技術情報を整備することにより、地層処分システムのバリア性能の信頼性を向上させるとともに、安全性の裕度を確保することができる。

天然アクチノイドの挙動と比較して、地層処分におけるアクチノイドの長期の挙動評価の信頼性を向上させるために、熱水性ウラン鉱床の岩石（鉱石）及び火山ガラス中のウランの分布・移行挙動を評価する。

地下水中のアクチノイドの濃度は、共沈等の効果により下がることを期待される。これを確認するためには、ウラン共存時のアクチノイド水酸化物・酸化物のデータを取得し、評価する。

アクチノイドと岩石との不可逆的な反応の程度や条件を確認する。

本研究は、まず始めに全体計画を策定するとともに、アクチノイド溶解度等の文献調査を行った。

その計画に従い、大気条件の模擬地下水及び人工海水中の U ( ) 共存 Pu ( )、Np ( )、Am ( ) 水酸化物の溶解度に関わるデータを取得した。また、中性子フィッシュトラック法による岩石中の微細な U 分布測定法の開発を行うとともに収着試験の岩石試料の特性データを取得した。

その結果に基づき、ウラン鉱山の岩石（鉱石）試料について、岩石学的調査を行い、中性子フィッシュトラック法等によりウラン分布データを取得、岩石への Pu と Am の収着試験データを取得等を行った。

次に、還元条件の模擬地下水中の U ( ) 共存 Pu ( )、Np ( ) 水酸化物の溶解度データの取得、酸化物溶解度試験の準備等を行った。また、ウラン鉱山で採取した岩石（鉱石）のウラン分布デー

タによる、ウランの移行挙動の評価、火山ガラス試料の採取と岩石学的特性データの取得等を行った。イオン交換体を用いて、模擬地下水中の Am, Pu 存在形態の調査データ及び岩石への収脱着試験データを取得し、これらから岩石への Pu, Am の収着機構を検討した。

本研究は、ロシア科学アカデミーなどロシア側の研究機関との協力に基づいて実施した ISTC (国際科学技術センター) プロジェクト No.1326 に基づいている。

### 2. 平成 14 年度の成果

平成 14 年度には、平成 13 年度及び平成 14 年度の実施成果を以下のとおりまとめた。

#### (1)ウラン鉱山の岩石（鉱石）や火山ガラス中のウランが長期間移行しない地球化学的な地質環境条件の評価

ロシアのストレルツォブスコエ(Strel'tsovskoe)ウラン鉱山の鉱石は、170～140 百万年前の火山活動で形成されたカルデラに、U を含む熱水が 135 百万年前に貫入して、形成されたピッピブレンドを主とする初生鉱石と、その後の熱水貫入により、生成された二次鉱石からなる。この鉱山において、岩石（鉱石）と火山ガラス中のウランの挙動を調査した。

調査の結果、初生鉱石の大部分は、1 億年以上にわたって、移行していないと推定された。熱水的作用によっても、U の主たる移行は、数十 m 以内と推定され、移行した U は、コフィン石に似た珪酸塩鉱物や Ti 含有鉱物中に濃縮されていた。移行が、小さい原因は、貫入した熱水が還元性であったためと推定された。火山ガラス中のウランの濃度は、数十 ppm 以下で、ガラスが結晶化していない部分では均一に分布していた。一方、ガラスが結晶化した部分では、結晶化の度合いに反比例して、U 濃度の低下が認められた。すなわち、U は、火山ガラスが結晶化した部分から移行していた。しかし、移行したウランは、周囲の微細亀裂に充填された鉄とチタンの酸化物及び水酸化物中に収着し、濃縮されていた。

(2)ウランがアクチノイド(Pu, Np など)の溶解度に及ぼす効果の評価

Uがアクチノイドの溶解度に及ぼす影響を評価するため、U共存条件で水酸化物及び酸化物を用い、模擬地下水中のアクチノイド濃度を測定した。

還元条件(極低酸素雰囲気)の模擬地下水中で、U( )水酸化物に、Pu( ), Np( ), Am( )水酸化物を混合し、これらアクチノイドの模擬地下水での濃度を測定した。模擬地下水でのUとPu濃度は、遠心限外ろ過によって不均一系を分離した後、線分析等によって測定した。この結果と比較するため、アクチノイド水酸化物単体系や人工海水中での測定も行った。

U( )共存のPu( )水酸化物と接触した模擬地下水中のアクチノイド濃度は、下図のように、pH(7~11)にかかわらず、検出限界( $2 \times 10^{-12} \text{M}(\text{mol/L})$ )以下となり、Uの共存によってPuの溶解度が低下している。一方、液中のU濃度は、単体系の場合と比較して、大きくなっている。

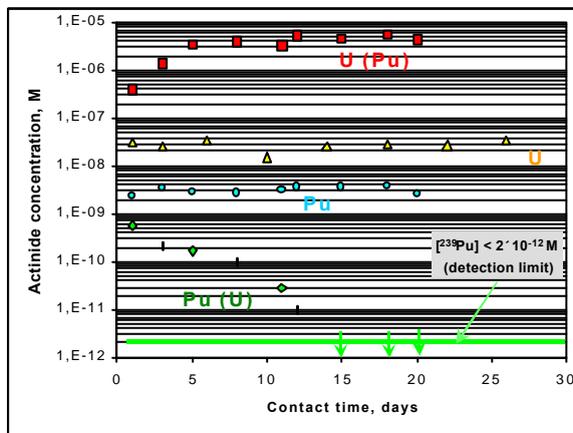


図-1 還元条件下で水酸化物に接触した模擬地下水中のPu及びU濃度  
(凡例; U(Pu): U-Pu混合水酸化物のU濃度、Pu(U): U-Pu混合水酸化物のPu濃度、U、Pu: それぞれの単体水酸化物のU、Pu濃度)

単体酸化物及び混合酸化物( $\text{UO}_2$  (5% $\text{NpO}_2$ )、 $\text{UO}_2$  (5% $\text{PuO}_2$ ))と接触した模擬地下水中のアクチノイド濃度を測定した。測定は、温度 22、90、150、pH~8.5、不活性ガス雰囲気又は大気雰囲気で行った。Np濃度は、単体酸化物及び混合酸化物のいずれについても、ほぼ同じで、U共存による変化は認められなかった。

(3)岩石にアクチノイドが地球化学的な反応で保持される条件の評価

収着試験後の岩石試料(花崗岩類)への放射性核種の浸透状況や鉱物への収着の微視的な状況を確認するため、顕微鏡観察、オートラジオグラフィ等を実施した。それらのうち、オートラジオグラフィ法によるAmの花崗岩試料への収着を調査した結果を図-2に示す。

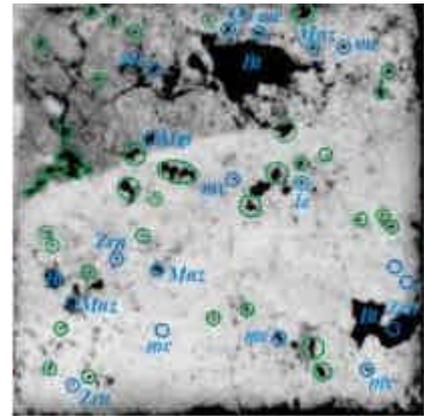


図-2 Am-241と78日間接触した後の優白花崗岩の放射線画像

収着されたAm-241の高濃度部分を示す多くの黒い斑点と縞模様が観察された。

AmとPuは、黒色の鉱物(黒雲母、角閃石)随伴鉱物(磁鉄鉱、イルメナイトなど)鉱物粒界に選択的に濃縮していることが分かった。また、表面を、15~23 $\mu\text{m}$ まで研磨した試料でも、放射性核種が認められたことから、内部への浸透が起こっていることが確認できた。さらに、30~40 $\mu\text{m}$ まで研磨した試料では、放射性核種は微細亀裂と結晶粒界にのみ認められたことから、内部への浸透がこれらの微小欠陥を通じて起こっていることが示唆された。

## 人工バリア材料照射影響調査

### 1. 事業の概要

従来、材料の放射線照射影響は破壊力学的手法に基づいていた。例えば、軽水炉圧力容器鋼の照射損傷（照射脆化）に関しては、我が国では原子力発電が始まって約30年経過し、軽水炉の寿命延長（高経年化）が検討されている。このためには圧力容器鋼の脆化を絶えず予測・監視し、健全性を保つ必要があり、主として破壊力学的手法に基づいて内外の関連のデータベースを基にした予測、評価が行われている。しかしながら、従来の知見を越える長期の健全性を評価し、確保するためには、運転中の圧力容器鋼内部の微視的構造変化（照射欠陥や照射下微小析出物形成など）の正確な理解が不可欠であることが指摘されている。

一方、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、より長期の安全性確保が要求されている。このことから、従来技術に基づく照射損傷の定量的な予測（長期の外挿）はさらに困難になってくる。そこで本事業では、従来の破壊力学的手法に依らず、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。

### 2. 平成14年度の成果

#### (1) 測定装置の整備

オ-バ-パック、ガラスの長期健全性を評価するには放射線照射による照射欠陥、照射誘起析出物、構造変化の観察、同定が必要である。本調査では、これまでに整備した、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次元角相関装置に加え、低速陽電子ピ-ム装置を整備した。

#### (2) 照射試験と理論計算の実施

##### 照射試験

オーバーパック鉄鋼材料の基礎研究として、Fe-Cu、Fe-C、Fe-Ni、Fe-Mn、Fe-Pなどの単

純2元モデル合金、Fe-0.3%Cu合金にNiまたはMnを添加した3元モデル合金、炭素鋼について電子線等による照射を行い、生成した欠陥の測定を行い、これらの照射影響、特に照射によって生じた空孔（クラスター）と添加元素3MeV電子線照射し、陽電子消滅（寿命および同時計数ドップラー広がり）、ピッカーズ微小硬度の複合体形成、空孔クラスターの寸法、超微小Cu析出物形成、ならびにそれらの焼鈍挙動を明らかにした。

図1に電子線照射したままの状態における各モデル合金の陽電子寿命を示す。C、Si、Mn、Cuを添加した試料では、単空孔とこれら添加元素が結合した複合体が観察されたのに対し、PやNiを添加したモデル合金では空孔4個程度からなる空孔クラスター(Fe-P)や空孔10個程度からなる空孔クラスター(Fe-Ni)が観察された。これらの観察結果から、各添加元素と照射によって生じた空孔の相互作用が検証された。

図-2に石英ガラスについて、陽電子寿命長寿命成分から求めた構造空隙(ナノボイド)の半径、構造空隙半径とそこでピックオフ消滅するポジトロニウムの割合を示す。放射性核種を閉じ込めると考えられているガラス中の比較的大きな構造空隙(ナノボイド)は、陽電子と電子の結合状態であるポジトロニウムの存在できる場所でもある(放射性核種がまだ閉じ込められていない空の状態のナノボイド)。このようなナノボイド(寸法と数密度の相対値)とSiO<sub>2</sub>濃度との関係を明らかにした。理論計算

理論計算用ワークステーションを用いて鉄中のCu59クラスターに対する陽電子密度を計算した結果を図1に示す。陽電子消滅法的手法として陽電子寿命測定がある。これは空孔型欠陥に捕獲された陽電子の消滅率はその空孔型欠陥の大きさに依存することを利用して、陽電子の寿命を測定することにより材料の空孔型欠陥の大きさを同定しようとするものである。陽電子を捕獲する空孔型欠陥では、電子密度がバルク中(周囲の欠陥の無い部分)のそれよりも低いことから、空孔型欠陥に捕獲された陽電子の消滅率はバルクにおける消滅率よりも低くなる。従って陽電子寿命と消

減率の関係において、空孔クラスター(欠陥の3次元集合体)の大きさ、陽電子密度、陽電子寿命は密接な関係にある。図1に示すように不純物であるCuクラスターに対する陽電子密度を計算によって求めることは、高分解能電子顕微鏡を利用して観察できない空孔及びクラスターの同定が可能となることを示している。

(3) 照射影響の評価、検討

オーバーパック材料に関して、モデル合金について照射影響、特に照射によって生じた空孔(クラスター)と添加元素の複合体形成、空孔クラスターの寸法、超微小Cu析出物形成、ならびにそれらの焼鈍挙動を明らかにした。特に、NiやP添加によって空孔クラスター形成が促進されること、Fe-CuおよびそれにMnまたはNiを添加したモデル合金では、Cu析出物は依然としてほぼ純Cuのままであることなどが顕著な結果も得られた。

放射性廃棄物模擬ガラスおよびモデルガラスについては、シリカ濃度が減少すると構造空隙も減少する傾向にあることを把握した。

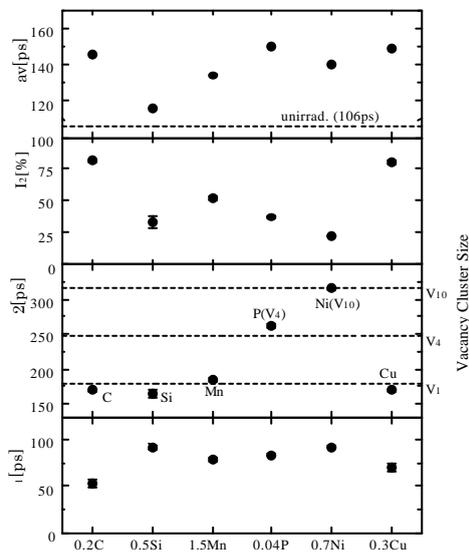


図 - 1 電子線照射したままの状態における各モデル合金の陽電子寿命

3. 今後の課題

測定装置の整備を主体に進めてきており、今年度に導入した低速陽電子ビーム装置を持って一通りの装置整備が完了した。従って今後、導入した装置を用いて、炭素鋼、ガラスの照射試験片の観察を進め、データを揃えて行くことが大きな課題である。炭素鋼については、Cu析出物、あるいは合金成分であるNi、P等による欠陥生成が観察されており、今後取得データを蓄積してその影響について検討する。ガラスについては、現状非晶質材料における欠陥析出状況の観察手法が確認された段階であり、観察手法の確立が第一の課題となる。

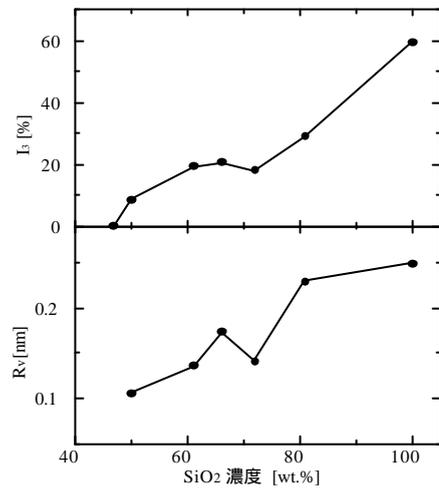


図 - 2 石英ガラスの陽電子寿命長寿命成分(3)から求めた構造空隙(ナノポイド)の半径Rvとそこでピックアップ消滅するポジトロニウムの割合I3

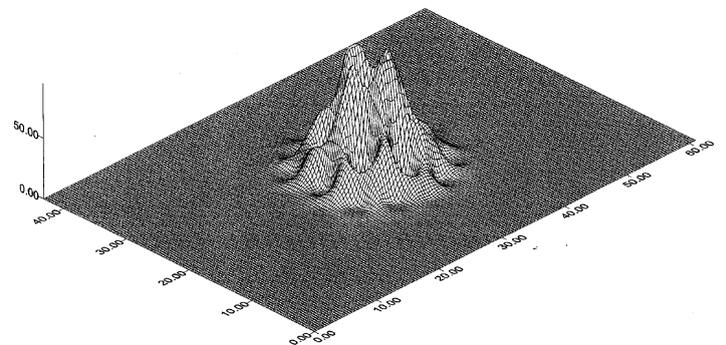


図 - 3 Cu59 クラスターに対する(110)断面の陽電子密度の計算結果

## 地層処分重要基礎技術研究調査

### 1. 事業の概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分を円滑に進めるためには、地層処分に必要な人工バリア・施設的设计、建設、施工技術等について、処分事業の進捗に応じ、着実にその信頼性を向上することが重要である。例えば、有機物の影響、圧縮ベントナイト中の物質移行やベントナイト変質メカニズムなどの現象に対しては、現段階では一定の仮定による保守的な評価を行っている。現段階から基礎研究に着手してこれらの基礎的な知見を収集し、将来の定量的な議論に資することにより信頼性を補完することが望まれる。

本研究調査では、地層処分に必要な人工バリア・施設的设计、建設、施工技術や性能評価等について、現在残されている課題の調査・抽出を行い、抽出されたテーマの中で、現段階から着手する必要がある基礎研究を実施することにより、ナレッジベースを充実させ、高レベル放射性廃棄物処分性能評価の信頼性の向上に資することを目的とする。

### 2. 平成 14 年度の成果

#### (1) 強アルカリ性環境下でのベントナイトの劣化挙動に関する基礎研究

抗道の支保やプラグ等として大量に使用することが予定されているセメント系材料の劣化によって発生する高アルカリ地下水によりベントナイトが変質・劣化して所期の機能が失われることが懸念されることから高アルカリ環境下でのベントナイト劣化の有無、メカニズムや溶解速度を理解することが必要である。

本年度は、ベントナイトの溶解速度を求めするために、反応溶液の pH を 9.2, 10.0, 11.0, 12.0, 13.3 として、温度 30, 50, 70 でのスメクタイトの溶解速度を求め、反応溶液の各 pH において、溶解反応の活性化エネルギーを求めた。また、反応速度の pH 依存性には、反応温度によって若干の差違が認められ、反応温度が高いほど pH 依存性が顕著になった。



写真 フロースルー系実験システム

#### (2) 圧密ベントナイト中の核種移行挙動に寄与する間隙水に関する基礎研究

圧密ベントナイト中の核種の移行については、その移行経路が狭隘（水分子数個程度の厚さ）であるため、移行メカニズムを正確に把握することが必要であると共に、熱力学を基盤とした新たな化学反応モデルが必要であることから、本年度は、浸透圧法による間隙水中イオン濃度の測定原理の妥当性を確認し、低圧縮での Na 濃度の測定を行い、実効拡散係数の推測モデルを作成した。

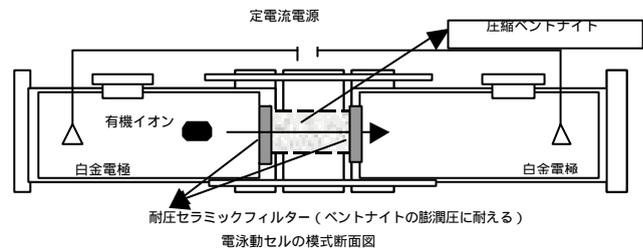


図-1 電気泳動セル

また、圧密ベントナイトの間隙水に対する地球化学計算コードの適用性を明らかにするために、本年度は、ベントナイト間隙水における核種の化学形を把握する電気化学的実験法の妥当性を確認するとともに、圧縮ベントナイト中における Sr 85、Na 22 の存在形態を同定し、陽イオンとして陰極側へ移行することを確認した。Np ( ) については、拡散以外の現象はみられなかった。

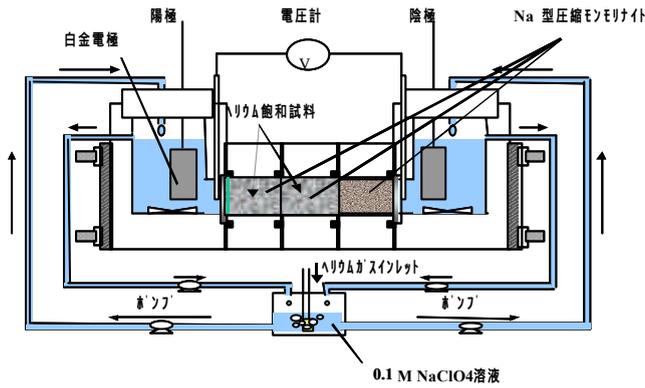


図-2 電気浸透セル



図-3 フミン酸の構造と錯体形成サイト

(3)核種の錯体形成や吸着に及ぼす天然有機物の官能基・吸着サイトの不均質性影響

土壌中の有機物については、その形態が多様であり、放射性核種の移行への影響は未解明である。

そこで地下水中の代表的な腐食物質であるフミン酸と核種との相互作用をフミン酸官能基の不均質性の観点から明らかにするために、本年度は、フミン酸を分子量で3つに分画し、各々について、遠心限外ろ過法とIRスペクトルにより、 $UO_2^{2+}$ との錯体形成についての実験を行った結果、低分子量のフラクションは芳香環に富んだ構造をしており、この芳香環に結合した官能基が直接 $UO_2^{2+}$ に配位する内圏型錯体に寄与が大きく、錯体形成によって蛍光のクエンチングが起こることがわかった。高分子量のフラクションは主に脂肪鎖からなり含まれている蛍光団は可視及び近紫外線領域で発行しないか、もしくは内圏型の錯体形成によって蛍光のクエンチングを受けないことがわかった。

また、フミン酸と放射性核種の相互作用については、注目する放射性核種核種のみならず、地下水中に存在して放射性核種と競合する可能性のある金属イオンについても、その相互作用を調べ注目する放射性核種がフミン酸により受ける影響を評価する必要がある。

本年度は、共存する金属イオンの影響を把握するため、実験による観察に基づき、みかけの錯体生成定数の対数値を定式化し、この依存性を説明するフミン酸の錯体生相互作用の概念モデルを構築した。定式化したモデルは、従来の熱力学計算に繰り込むことができるので、種々の金属イオンや配位子が共存する系での化学種推定に適用できることとなる。

### (3) 社会技術

#### モニタリング機器技術高度化調査

##### 1. 事業の概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分は本質的に「受動的 (passive)」なシステムであり、その長期安全性を確保することを目的とした処分場閉鎖後の人間の管理を必要としないことが原則となっている。しかし、1980年代から、「安全性にかかわる社会的合意を得る必要あり」との観点から、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。また、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付けられるようになってきた。

本研究では、制度的管理のうち、モニタリングと記録保存について、高レベル放射性廃棄物の地層処分事業において、国及び関係機関がモニタリングの実施方策及び計画等を検討する際の判断材料を整備することを目的に平成12年度から検討を行っている。

モニタリングについては、モニタリングの目的と実施内容の調査、国内外におけるモニタリングの実施・計画状況の調査、既存技術の調査及び適用性検討、モニタリングに関するワークショップの開催、モニタリング方策の検討を行った。

記録保存については、記録保存の位置付けと要件の整理、国内外の記録保存事例・類似事例・関連技術の調査、記録保存システム開発戦略の検討、記録保存システム案の提示、要素事項の明確化及び現状技術の適用性の検討を行った。

##### 2. 平成14年度の成果

###### (1) 地層処分モニタリングシステムの検討

地層処分モニタリングシステムの検討では、モニタリングの考え方の整理とモニタリング技術に関する検討を行った。

モニタリングの考え方の整理では、委員会での議論、国内外の情報調査及び国際ワークショップの成果を整理し、地層処分におけるモニタリングの考え方について、モニタリングの定義、モニタリングの目的、品質管理とモニタリング

の関係、安全評価とモニタリングの関係、実証試験とモニタリング、安全規制とモニタリングの関係等について議論された事項を整理した。これらの情報に基づき、高レベル放射性廃棄物処分に関わるモニタリングの位置付け、モニタリングの目的に応じた分類、測定項目の候補の提示及びモニタリングと関係が深いと考えられる事項について検討を行った。検討結果の一例として、モニタリングの位置付けについて述べる。ここでは、モニタリングの位置付けを次の視点で整理した。

- ・ 処分場の安全に関する専門家間の情報共有
- ・ 社会的要請への対応

処分場の安全に関する専門家間の情報共有とは、IAEAのTECDOC-1208における「モニタリングはセーフティケースを開発する際に用いるシステム挙動のある側面の解明を進め、そのような側面を予測するモデルをさらに試験できるようにする」との記述を踏まえ、モニタリングが地層処分システムのよりよい理解を深めるための情報源として位置付けられることを意味している。

社会的要請への対応とは、地層処分は本質的に受動的なシステムに基づくものであり、その長期安全性を確保するために処分場閉鎖後の人間の管理を必要としないことが原則であるが、社会の要請によりモニタリングの実施がありうる場合への対応を意味している。

また、モニタリングに関連が深い事項として、事業管理上の判断へのモニタリング情報の利用、計測と評価システム、及びモニタリングの効果と短所についても検討した。

モニタリング技術に関する検討では、酸化還元環境及び水素イオン濃度のモニタリング機器に関する調査、周辺環境モニタリング技術に関する検討、地下の試験施設におけるモニタリングの適用に関する検討、地中無線通信特性に関する試験・検討を行った。地中無線通信技術は、計測のためにセンサー・ケーブルを設置することによるバリアへの影響（特にみずみちの形成）を低減できる可能性のある技術である。本年度は、スウェーデンのエスポ島で低周波(1kHz)の電磁波を用いた無線伝送試験を行い、地中での基本的な通信特性を確認した。試験結果の一例として、坑道間の無線伝送特性試験の結果を示

す(図1参照)。試験結果から、岩盤中において、約100mの距離が通信可能であることが明らかになった。

(2)地層処分記録保存システムの検討

昨年度までの記録保存に関する検討成果に対してレビューを受ける目的で国際ワークショップを開催した(図2参照)。ワークショップでは、今後、保存する記録の内容、責任主体、アーカイブズについて検討することの重要性が示された。また、今後の展開として、今回の議論からの進展を確認し、課題を明確化するために専門

家会議を継続する必要性が示された。この会議は、国際機関の下で開催することが望ましく、他の分野の関係者や専門家も交えて議論することも考えられる。

技術的検討として、昨年度までの検討結果から文書記録の長期保存媒体として有力な候補となりうる炭化ケイ素(図3参照)について、耐久性に関する予備試験として、落下、摩擦摩耗、化学的影響及び熱に対する耐久性について試験を行った。今後は、予備試験結果に基づき、長期耐久性の評価を実施する予定である。

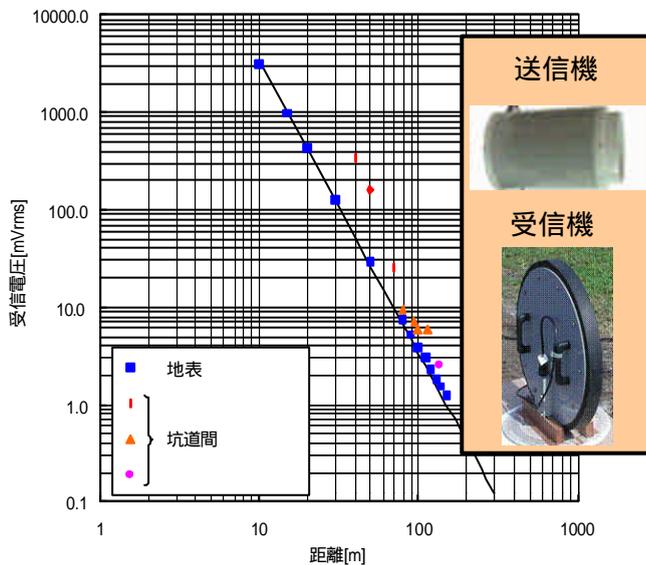


図1 無線通信特性試験結果の一例



図2 ワークショップ写真

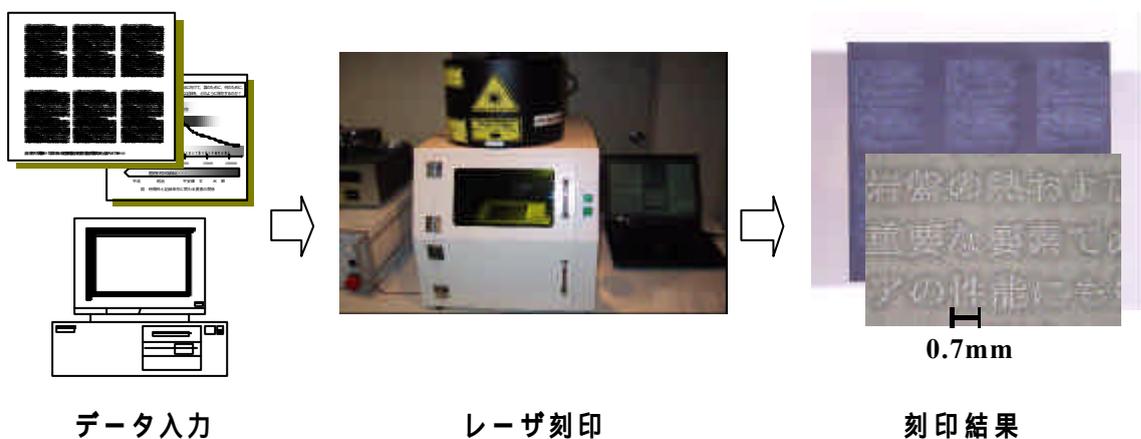


図3 炭化ケイ素へのレーザー刻印の概念

## 地層処分ナチュラル・アナログ情報整備

### 1. 事業の概要

わが国では、これまで地層処分を説明する資料が数多く作成され、学術的な会議から一般市民への説明会を含め様々な機会に報告・説明されてきている。それらの報告書には、地層処分が国際的に合意された概念であるとともに、国内でこれまで行われてきた研究成果とそれを踏まえた安全評価により、地層処分がわが国でも成立する方策であることが示されている。

このような国民一般への説明を行うために有効と考えられる方策の一つとして、「ナチュラル・アナログ」がある。ナチュラル・アナログとは、地層処分に必要な長期間の評価を行うため、自然界に存在する類似現象と比較して研究する、地層処分に関する研究の一分野である。加えて、ナチュラル・アナログには、地層処分のしくみそのものの理解を、自然界に過去から存在する類似した「もの」により行えるということから、関係者の合意形成を図っていく上で一定の役割を果たしうると考えられている。

そこで、地層処分に対する、情報を発信する側と情報を受け取る側の認識の共有化に役立つと考えられるこのナチュラル・アナログについて、広報活動へ活用するという観点から調査を行っている。

本研究は、平成12年度より海外実施主体でのナチュラル・アナログの広報活動への利用状況について調査を行い、広報へのナチュラル・アナログ適用性を検討するとともに、昨年度まで収集したナチュラル・アナログ事例に関する情報をもとに広報素材を作成する。あわせて、本調査の目的に鑑み、多重バリア機能の長期安定性の観点から見たナチュラル・アナログの適用可能性を検討している。

平成12年度は、これまでのナチュラル・アナログ研究について、その歴史的経緯を明らかにするとともに、その広報活動への適用が有効と考えられる理由について整理を行った。両検討を踏まえ、ナチュラル・アナログの広報素材としての活用を図るためには、以下の3つの観点から本調査を進めることが有効であるという結論に至った。

・海外の現状の事例調査

・国内の事例調査

・広報素材としての整備

平成13年度は、ナチュラル・アナログ事例調査に加え、更に対象範囲を広げて有効と考えられる事例の追加を行うとともに、本調査の目的に鑑み、オクロ（ガボン）、シガーレイク（カナダ）、ポソス・デ・カルダス（ブラジル）の代表的ナチュラル・アナログ事例について、科学的背景を含めた詳細調査を行った。

また、昨年度収集した海外の広報事例をもとに、各国での地層処分の広報において、どのようなナチュラル・アナログ事例が活用されているかを整理した。その結果、地層処分システムとの類似性が高いと考えられるオクロとシガーレイクが多く活用されていることを明らかとなった。

### 2. 平成14年度の成果

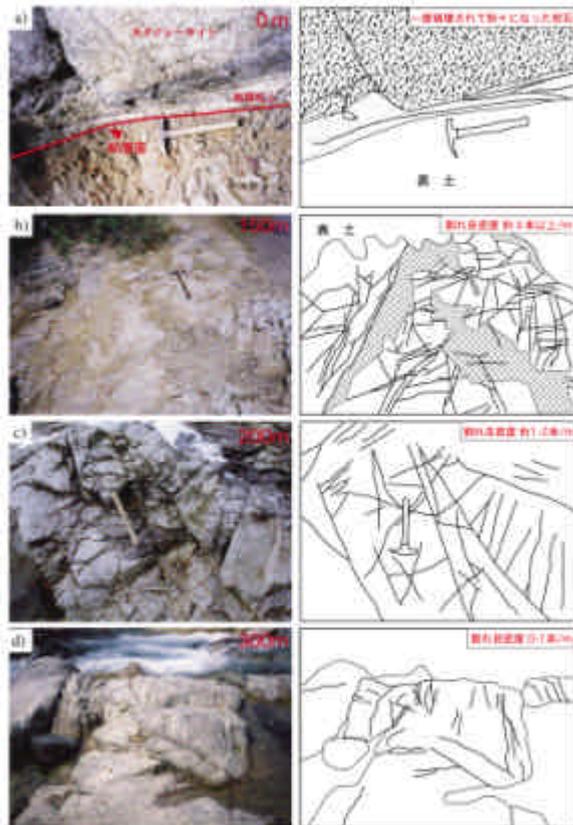
わが国の地層の長期安定性に関するナチュラル・アナログ事例の適用可能性の調査を実施した。あわせて、昨年度までに検討したナチュラル・アナログ事例に関する情報を基に広報素材（パンフレット）案を作成した。

#### (1) ナチュラル・アナログ研究事例調査

国内外のナチュラル・アナログ研究について調査を継続した。

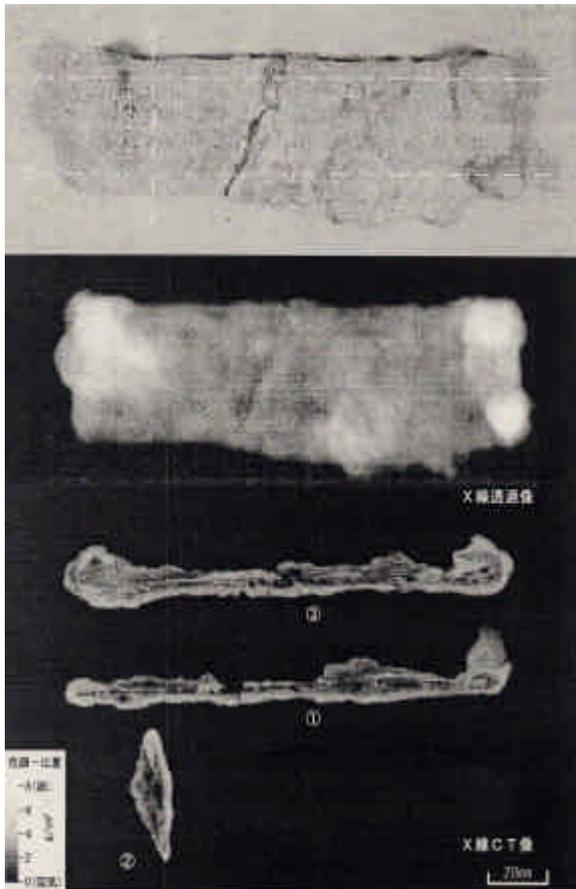
まず、性能評価に影響を及ぼす因子の整理を行った上で、それぞれについて類似のナチュラル・アナログ事例が存在するか検討を行い、シナリオとリンクした形で整理を行った。

また、事例調査としては、海外では、地層処分分野で高い頻度で引用される世界の代表的事例「オクロ天然原子炉」について天然原子炉成立に関する科学的背景を詳細に調査・整備するとともに、より平易な文章による解説を試みた。国内では、わが国の地層の長期安定性に関するナチュラル・アナログ事例の適用可能性調査として、(活)断層の影響について情報を収集するとともに、「考古学的事例」について調査を開始した。断層については、一事例ながら、断層からの距離と割れ目の関係などの調査についての事例も調査可能であると確認できた。また、考古学分野では、鉄器の腐食事例について調査した結果、鉄の腐食状況が判明すると共に、周辺環境の調査も重要であることが判明した。



※左列写真中の数字は断層面からの距離距離を示す

断層からの距離と露頭の亀裂状況の観察結果例



考古学：小野原遺跡の調査結果事例（鉄製摘鎌）

(2) 海外における広報状況の調査

現在我が国と同様に地層処分に関する研究、事業を進めている諸外国の実施主体等を対象として、どのようなナチュラル・アナログ事例を、どのような考え方の基に用いたかについて調査し、国内の適用に関する留意点を整理した。

(3) 広報素材としての情報整備

検討したナチュラル・アナログ事例に関する情報を基に、広報素材としてのパンフレット案を作成した。パンフレットについては、公開に向けて準備を進めることとした。

## 2-2 TRU廃棄物処分関連

### ① 人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価

#### 1. 事業の概要

超ウラン核種を含む放射性廃棄物（以下 TRU 廃棄物）の地層処分では、廃棄体容器、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水素・メタン等の気体（以下ガスと総称）が発生することが明らかとなっている。このように処分施設内で発生したガスの人工バリア・天然バリア中の移行挙動を実規模スケールのモデル施設で評価することにより、人工バリアへのガス発生による影響の評価の信頼性を向上させ、より現実的な処分システムの設計が可能となる。

本研究は、このような課題を念頭に、現実的な地質条件下において TRU 廃棄物のサイロ型処分場を模擬した試験施設を用いて、人工バリアと周辺岩盤中のガスの移行挙動を試験、評価し、TRU 廃棄物の地層処分概念の検討に資することを目的とする。

本研究は、図-1 に示す研究フローのように原位置

試験、室内試験、解析検討で構成されている。原位置試験として図-2 に示すように、高さ約 4.5m、直径約 4mのサイロ型に掘削された岩盤空洞内にコンクリートサイロおよびベントナイト系充填材からなる人工バリアシステム、その上部の砂礫による埋め戻し材、コンクリートプラグからなる試験施設を構築した。その後、人工バリアシステムを水で飽和させ、コンクリートサイロ内に窒素ガスを注入して人工バリア中を移行させる手順で試験を実施している。試験スケジュールを表-1 に示す。

平成 9 年度には試験施設の設置場所の選定と試験計画を立案し、平成 10 年にアクセス坑道と図-2 に示すような岩盤空洞を掘削した。平成 11 年度から平成 12 年度にかけて、岩盤空洞周辺の岩盤の水理的な特性を調査し、人工バリアシステムの建設と各種のセンサーの設置及び上部の埋め戻しを行った。平成 13 年度には、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開始した。

なお、本試験はスイスのグリムゼル試験場において実施している。

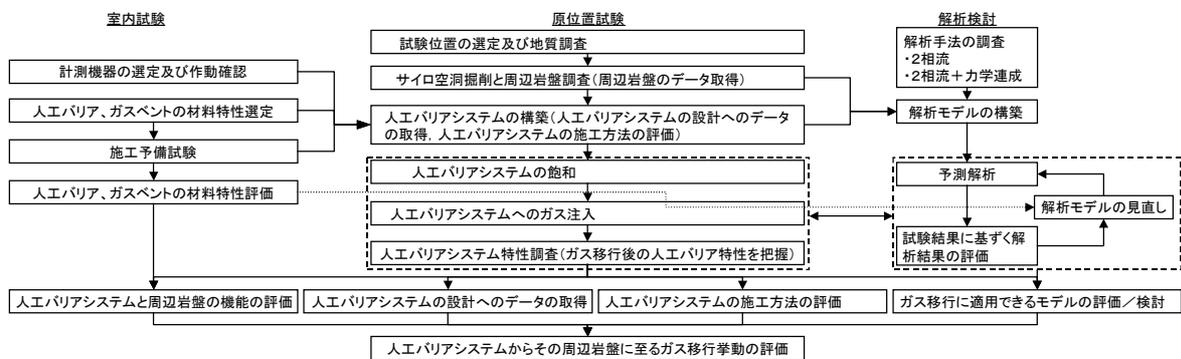


図-1 人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価研究フロー

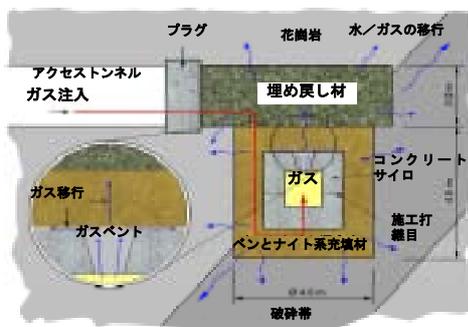


図-2 ガス移行挙動試験の概念図

表-1 試験スケジュール

年度(平成)	9	10	11	12	13	14	15	16
試験計画の策定								
試験位置の選定及び地質調査								
試験空洞掘削と周辺岩盤調査								
人工バリアシステムの構築								
人工バリアシステムの飽和試験								
人工バリアシステムへのガス注入試験								
人工バリアシステム特性調査								
室内試験								
解析モデルの構築、解析検討等								
総合評価								

## 2. 平成14年度の成果

平成14年度には、人工バリアシステムの水による飽和試験とシステム透水試験の後、人工バリアシステムへのガス注入試験を開始した。あわせて、飽和試験のモデル化とガス注入試験の予測解析及び解析手法の適用性検討を行った。

## (1)人工バリアシステムの飽和試験とシステム透水試験

人工バリアシステムの飽和試験は平成13年7月開始し、平成14年10月に終了した。

人工バリアの飽和挙動評価は、人工バリアに設置した、間隙圧計、全応力計、TDR( Time Domain Reflectometry )等203点の計測結果、間隙圧計配管からの採水分析、注水量等に基づいて総合的に判断し、ガス移行の主要経路となる充填材の上半部がほぼ飽和し、人工バリアシステム全体が所定の飽和度(90%以上)に達したことを確認した。一例として体積含水率分布を図-3に示す。飽和試験終了後、人工バリアシステム透水試験を実施し、ガス注入前の人工バリアシステムの透水特性、貯留性等を把握し、解析モデルを更新した。

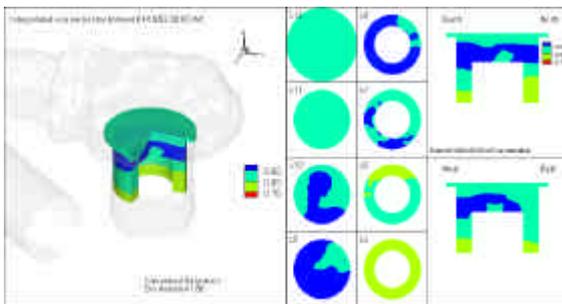


図-3 体積含水率分布

## (2)人工バリアシステムへのガス注入試験

システム透水試験終了後、人工バリアシステムへのガス注入を開始した。ガス注入速度は、処分場で発生するガス発生速度及び充てん材への力学的影響を考慮して設定した。平成14年3月現在のサイロ内圧力の計測状況を図-4に示す。



図-4 ガス注入試験(サイロ内圧力計測結果)

## (3)飽和試験のモデル化とガス注入試験の予測解析

飽和試験及びシステム透水試験結果に基づいて更新された解析モデルを用いて、ガス注入試験の、様々な試験手順・ガス注入量に関する予測解析をTOUGH2により実施し、3段階のガス注入量による試験計画を作成した。

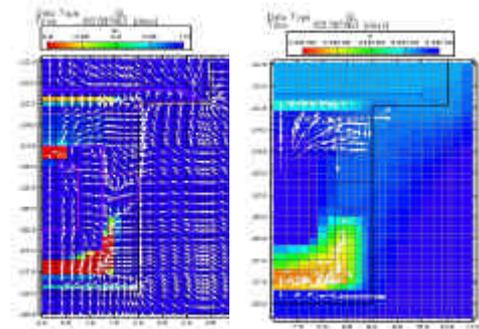


図-5 ガス注入開始180日後の堆積含水率分布と間隙圧分布の予測解析結果

## (4)解析手法の適用性検討

解析手法の適用性検討として、周辺岩盤を含む大規模な系での解析評価を行なうため、3次元二相流解析コード: GETFLOWSを用いて検討を実施した。結果として、周辺岩盤を含む3次元モデルを用い、人工飽和試験における人工バリアの圧力応答分布、飽和挙動および再冠水時間を概ね説明できた。

本解析コードを用いて、ガス注入の予測解析を実施し、設計に用いているTOUGH2の結果と比較し、概ね一致することが分かった。

今後、ガス注入試験結果を基に、TOUGH2, GETFLOWS, CODE\_BRIGHT, Mehrlin, ROCKFLOW/MMの解析コードを対象にガス移行挙動評価への適用性の確認を行なう予定である。

# 人工バリア長期性能確証試験

## 1. 事業の概要

TRU廃棄物処分施設においては、コンクリートは施設構造材や人工バリア材として、ベントナイトは人工バリアである緩衝材として処分施設を構成する重要な材料であり、ともに長期に亘り機能を発揮することが期待されている。しかし、コンクリートは地下水と接触すると、徐々にではあるが、セメント水和鉱物が溶解・変質するとともに、溶解したセメント成分がベントナイトを変質させることが指摘されている。また、ベントナイト中のシリカ成分等の浸入によりコンクリートも変質することも指摘されている。このようなコンクリート・ベントナイト相互作用は変質が緩慢なプロセスであるため、対象となる時間は長期に亘る。このため、人工バリア材の長期性能に関する検討は、処分環境下で生じる変質に関するシナリオを同定し、その現象を適切にモデル化し、吟味されたデータをそれに入力することで長期評価を行うことが必要となる。本調査では、以下に示す技術課題を設定し、これらを実施、検討することにより、人工バリア材の長期性能評価の信頼性を向上させることを目的としている。

図 - 1 に本事業の研究フローを示す。

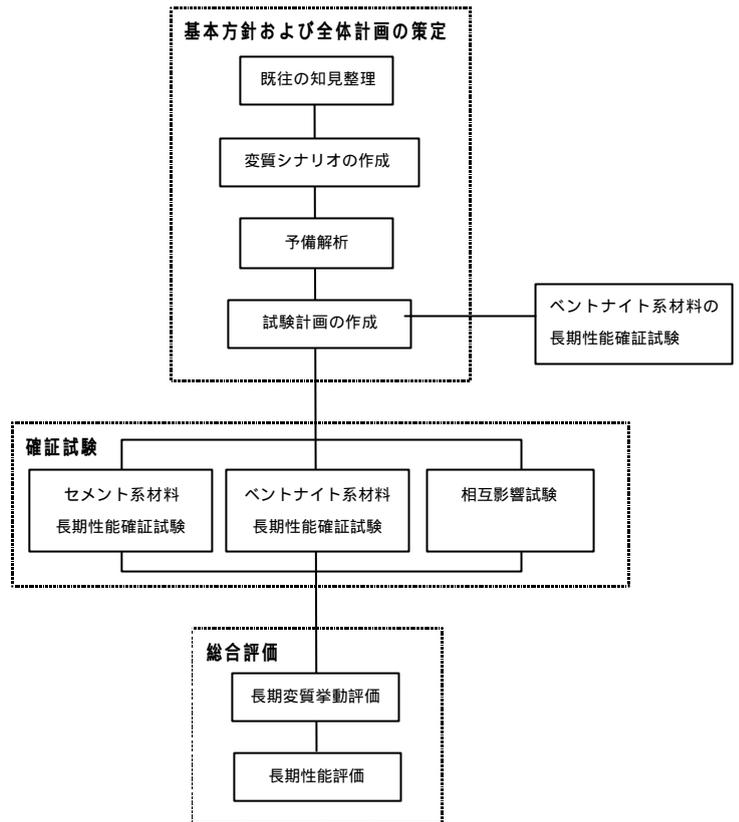


図 - 1 研究フロー

## 2. 平成 14 年度の成果

平成 14 年度は、ベントナイト系材料及びセメント系材料の変質に関する既往知見を整理するとともに、既往の知見を基に予備的変質解析、線量評価を実施し、課題の重要度分類を行った。また、重要度分類を基に、研究の全体計画を策定した。

### (1) 既往の知見の整理

人工バリア材の長期評価に重要なセメント系材料及びベントナイト系材料の変質評価に係わる課題について、長期評価に関する課題、変質研究におけるデータ収集に関する課題の観点から整理を行った。

### (2) 変質シナリオの作成

人工バリア材変質シナリオを構築することを目指し、変質現象に関する因果関係を整理するとともに、セメント系材料とベントナイト系材料について現象フローを作成し、人工バリア材の変質現象と核種移行パラメータの関係を整理した。また、核種移行評価上重要なパラメータである分配係数、拡散係数及び透水係数について、考慮すべき事象、処分場閉鎖後に生起

する現象、パラメータに影響する重要因子、試験結果・解析手法について整理した。

(3) 予備解析

(a) バリア材変質解析

人工バリア材の変質に関して、物質移行 - 化学平衡反応に関しては解析ツールを用いて評価できる見通しを得た。人工バリア材変質解析結果の一例として、空隙率、pH分布の経時変化を図 - 2 に示す。また、不確実性の高いパラメータに関して、感度解析を実施し、解析結果におよぼす影響を確認し、長期性能評価の信頼性を向上させるための課題を抽出した。

(b) 核種移行解析

上記のバリア材変質解析結果を基に、人工バリア材の核種閉じ込め性能（透水係数、拡散係数、分配係数等）の経時変化を取り込んだ核種移行解析を実施した。その結果、初期から劣化した状態を想定した場合に比べ、被ばく線量評価上重要な核種である C-14、I-129 に対しても、

被ばく線量の低減効果が認められ、人工バリア材の長期性能評価の重要性を確認した。

(4) ベントナイト系材料長期性能確認試験

アルカリ環境に、室温において長期にわたり晒されたベントナイト系材料の鉱物学的な変質状況を調査した。長期間セメント系材料と接触したベントナイトの変質状況の把握として、EPMA、顕微 IR、X 線回折などの分析手法を組み合わせた解明を試みた結果、カルサイト生成、Ca 型化、モンモリナイトの減少を把握した。二次鉱物の生成に関しては、定性的には確認できたが、定量評価までには至らなかったため、二次鉱物を定量評価するための分析手法の高度化が必要であることを確認した。

(5) 試験計画の策定

上記の検討結果を基に課題の重要度分類を行い、次年度以降実施すべき試験計画を策定した。人工バリア材の長期性能評価に関する課題のまとめ及び全体計画を図 - 3 に示す。

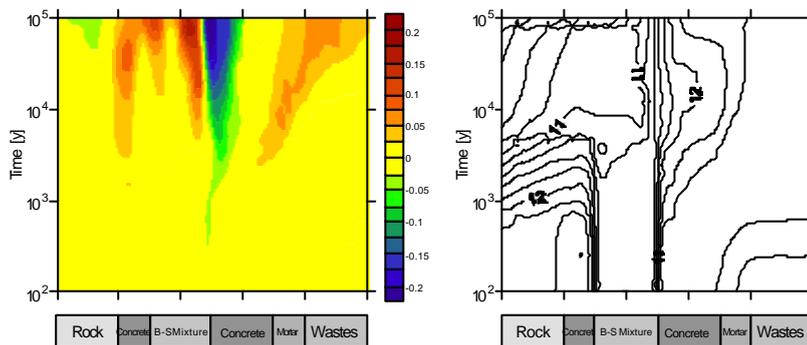


図 - 2 人工バリア材変質解析結果の例（空隙率、pH分布の経時変化）

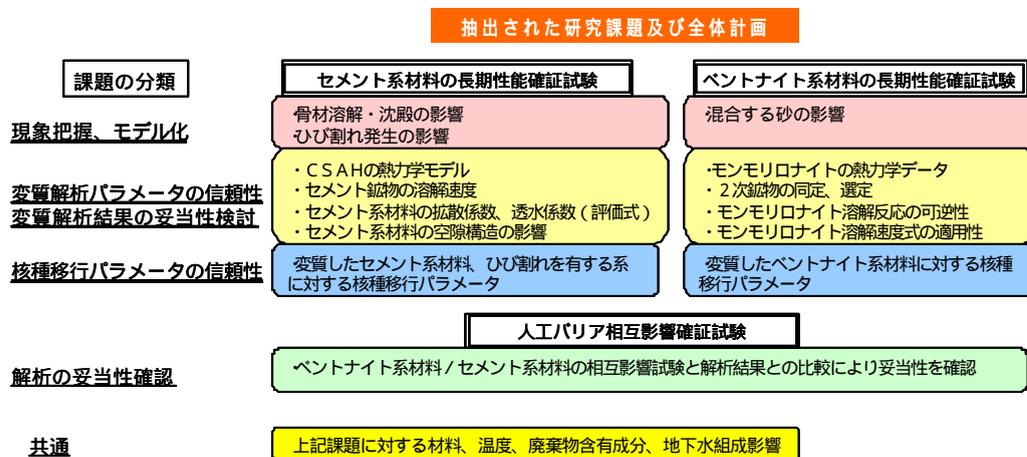


図 - 3 人工バリア材の長期性能評価に関する課題のまとめ及び全体計画

## ヨウ素固定化技術調査

### 1. 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 1570 万年と非常に長く、人工バリア、岩盤等に対して収着性が低いことから、地下水移行中での減衰が期待できないことから、地下水流速等の地質環境条件の影響を受けやすく、超ウラン核種を含む放射性廃棄物 (以下、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<sup>1)</sup>。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、我が国の幅広い地質環境条件に柔軟に対応することのできる処分技術を提言することを目標としている。

ここでは、以下に示すステップにより開発を行っている。

#### 固定化技術の調査ならびに開発計画の策定

我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。

#### 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、固化体物性データの取得等により長期性能評価モデルの高度化を行う。ここで、固定化はヨウ素が長半減期核種であることより完全に閉じ込めるのではなく、ヨウ素が長期に亘り徐々に放出されるコントロールリリースを目指している。長期性能評価においては、その放出の評価モデルを構築し、信頼性向上のための開発を行う。また、連続処理プロセス等の検討を行い、TRU 廃棄物処理処分における安全性、及び処理、処分に係る経済性の観点から技術評価を行う。

本調査では、これまでに TRU 廃棄物処分概念検討書<sup>1)</sup>にて廃銀吸着材の処分方法として想定されている汎用セメントによる固定化以外の

ヨウ素固定化技術の調査を行い、固定化技術及び必要となる前処理技術、並びに固化体の長期性能の検討状況を調査した。さらに、開発課題とその解決手法を整理し、岩石固化技術、AgI ガラス固化技術、BPI ガラス固化技術、アパタイト固化技術、セメント固化技術、難溶性鉍物化技術 (ソーダライト化技術、鉛アパタイト化技術) の 6 種類のヨウ素固定化技術に対する開発計画を策定した。

### 2. 平成 14 年度の成果

#### (1) 固定化処理技術開発及び前処理技術開発

策定した開発計画に基づき、固定化処理技術の最適化が必要とされた、BPI ( $\text{BiPbO}_2\text{I}$ ) ガラス固化技術、アパタイト固化技術、セメント固化技術、難溶性鉍物化技術の 4 種類の固定化技術について、固化体組成及び温度、圧力、時間等の固定化処理条件の最適化を行い、すべての固定化技術について実験室規模での固化体の製作を行った。図-1 に製作した各固化体を示す。

また、アパタイト固化及び難溶性鉍物化技術においては、必要とされる前処理技術について原理的な成立性を試験等により確認した。

#### (2) 固化体の長期性能評価

ヨウ素放出に関する固化体の長期性能評価モデルを構築するために、固化体からのヨウ素放出挙動の解明及び固化体の長期安定性に関する試験・検討を行う。このため、地下処分環境下で固化体に生起する事象を整理し、それを確認するための開発課題についてまとめた。このうち、岩石固化技術、AgI ガラス固化技術及びセメント固化技術については試験を開始した。主な成果を以下にまとめる。

##### 岩石固化技術

処分環境条件下での固化体母材成分である Si の溶解度は、 $10^{-6} \sim 10^{-5} \text{mol/dm}^3$  と低溶解性である。

##### AgI ガラス固化技術

ヨウ素放出挙動確認のための加速手法として、回転浸漬法が有効である。

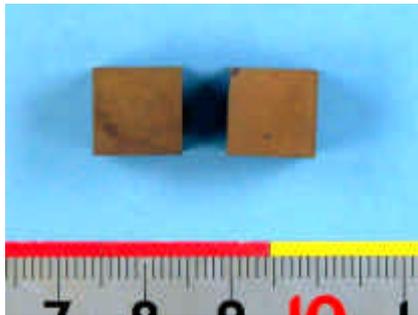
##### セメント固化技術

セメント水和物への  $\text{I}^-$  及び  $\text{IO}_3^-$  の収着機構は、イオン交換であり、水和物の 1 つであるモノサルフェートへの平衡到達時間は 7 日間程度。

さらに、処分の安全評価を行う上での I-129 の最新の知見を整備するために、諸外国における放射性廃棄物処分の安全評価例、地表生物圏における I-129 の挙動等の調査を行った。その結果 I-129 の挙動等の調査において、生物圏におけるヨウ素の分布、挙動については、ヨウ素は地球規模での循環が考えられており、大気へのヨウ素の供給源の多くは海洋とされていることが分かった。さらに英国及び仏国の再処理施設における I-129 の取扱いについて、様々な対策により他の核種の環境中への放出量が減少する中、I-129 の放出量は再処理量に比例し増加

していることが分かった。諸外国におけるヨウ素 129 を含む廃棄物の処分に関する安全評価内容については、I-129 は被ばくに影響する支配的核種であるが、多くの国で特徴的な評価方法は用いず、パラメータにより他の核種との特徴付けを行っていることが分かった。

1) 核燃料サイクル開発機構・電気事業連合会、TRU 廃棄物処分概念検討書、JNC TY1400 2000-001, TRU TR-2000-01 (2000)



岩石固化体



AgI ガラス固化体



BPI ガラス固化体



アパタイト固化体



セメント固化体



ソーダライト固化体

鉛アパタイト固化体



図 1 ヨウ素固定化固化体概観

# 廃棄体開発調査

## 1. 事業の概要

再処理施設や MOX 燃料加工施設から発生する超ウラン核種を含む放射性廃棄物（以下 TRU 廃棄物）のうち、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 年度に実施された「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、公募に応じて提案された開発テーマを審査し、選定されたテーマについて実用化に向けての開発試験を実施するものである。

TRU 廃棄物処分用の廃棄体について求められる要件、機能を整理し、安全性向上の観点から長期の核種閉じ込めを行うことで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、経済性向上の観点からハンドリング性、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、図-1 に示す 5 つの廃棄体概念及びその開発計画を選定した。ここで、長期の核種閉じ込めについては、C-14 の初期濃度が約 1/1000 に減衰する 6 万年を目標とした。また、地層処分シ

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。

## 2. 平成 14 年度の成果

廃棄体(1)は、ガス抜き特性に優れた充填モルタルと、経済性・定置効率に優れた鉄筋コンクリート容器を採用した概念である。透気性、強度、充填性を満足できる高透気モルタルの配合を選定し、飽和時にも透気性を保つことを確認した。また、気液二相流解析を行い、試験結果のテストピースレベルでの再現性を確認した。

廃棄体(2)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）概念であり、長期閉じ込め性を担保するため、ひび割れ等のない廃棄体を作製するための一体成形手法の成立性および製作時のひび割れ防止策を検討し、ひび割れのない廃棄体製作の見通しを得た。また、水浸透挙動評価試験を開始し、拡散による水浸透と水浸透後の硫酸塩の浸透に伴う化学劣化とを連成させた化学劣化モデル（図-2）による評価解析手法を高度化した。

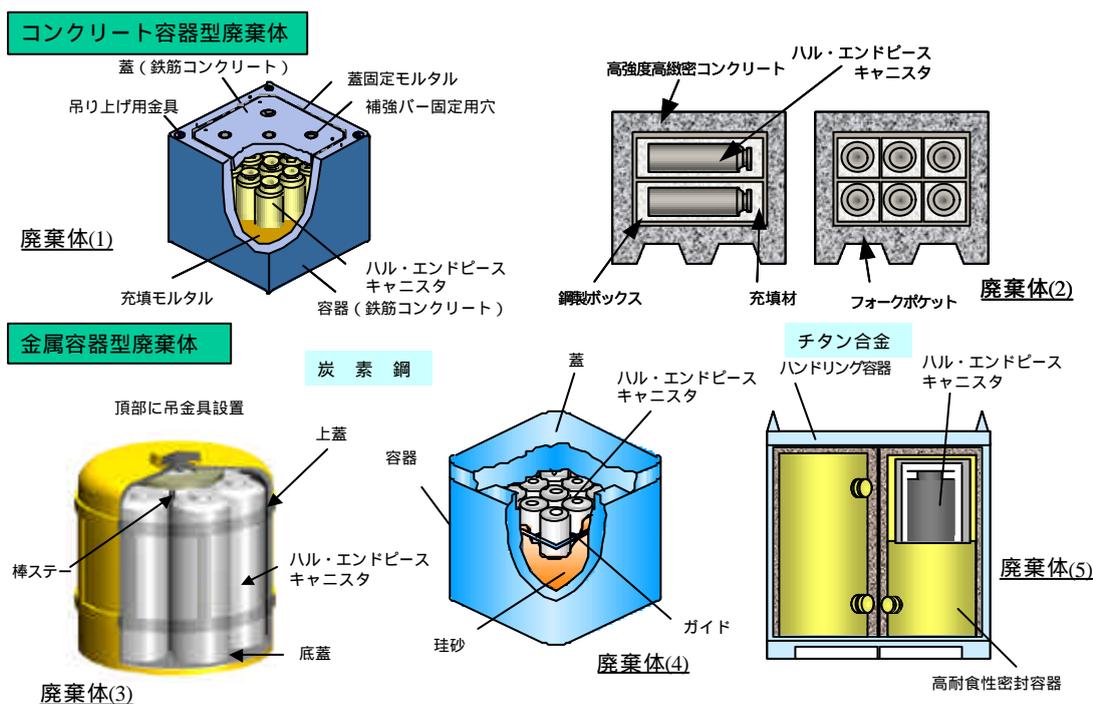


図 - 1 各廃棄体の概念図

本年度は水浸透および化学劣化に関して、それぞれ、評価のための試験を開始し、比較的短期の試験結果に基づいて劣化評価を行った結果、化学劣化深さは、6万年間で約4cmと評価された。

廃棄体(3)は、定置効率に優れた円筒構造炭素鋼容器を採用した概念である。平成14年度は、基本仕様の最適化および評価を行い、廃棄体把持のため吊り金具の具体化、遮へい仕様の設定、受け渡しシステムに必要な各装置の設計など、その実現性を確認した。

廃棄体(4)は、経済性に優れた角型炭素鋼容器を採用した概念である。平成14年度は、基本仕様の見直しを行うとともに、内部充填剤に光触媒を用いることによる、有機C-14の無機化を検討し、その見通しを得た。

廃棄体(5)は、ハンドリング容器と密封容器で機能分担し、さらに密封容器は、耐食層(チタン)と強度層(炭素鋼)とで部材別に機能を分担するチタン-炭素鋼複合容器を採用した概念である。平成14年度は、基本設計の最適化検討を行うとともに、脱不動態化試験、すきま腐食感受性試験、水素吸収特性試験(図-3)等によって、長期健全性評価に必要な基礎的データを取得した。また、拡散支配モデルおよび応力腐食割れ進展モデルを用いて、水素化物層および亀裂の進展をモデル化し、廃棄体性能の長期健全性予測モデルの検討を行った。本検討に用いたモデルでは、保守側の評価を行ったにもかかわらず、極低電流密度においては6万年間で成長する亀裂は10 $\mu$ m以下という結果を得た。

平成14年度はこれら廃棄体個々の要素技術、評価手法の開発に加え、各廃棄体開発側の核種閉じ込めに関する性能をもとに、TRU廃棄物処分概念検討書の検討結果・境界条件を基本として、処分施設に各廃棄体を定置し、処分施設閉鎖後の長期的な放射線学的な安全性の観点からの性能評価を行った。廃棄体に開口部(初期欠陥)が生じた状態を仮定し、開口幅をパラメータとして被ばく線量を解析し、開口幅0.01mm(60mm<sup>2</sup>)以下において被ばく線量低減効果が得られることを示した。

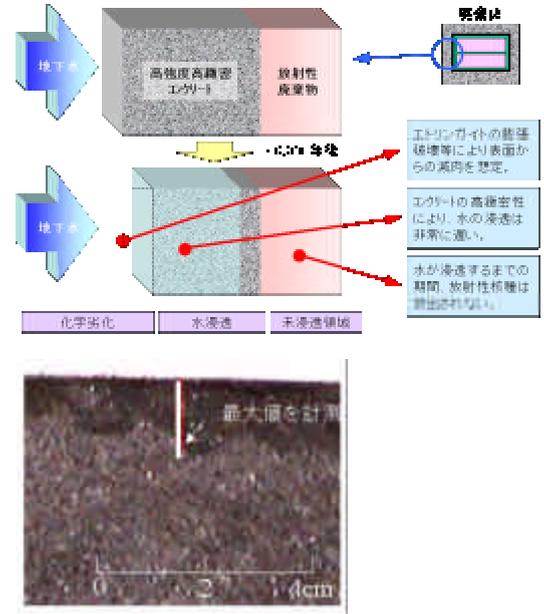


図-2 高強度高緻密コンクリートの化学劣化モデルと評価例

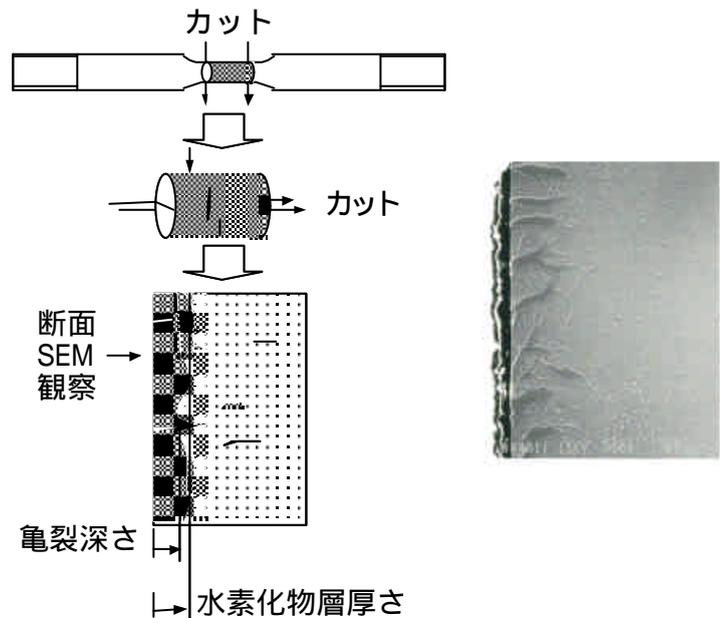


図-3 チタンの水素吸収特性試験とその結果

## TRU 廃棄物処分に関する研究

### 1. 事業の概要

再処理施設や MOX 燃料加工施設から発生する超ウラン( TRU )核種を含む放射性廃棄物については、平成 12 年 3 月の原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会報告「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方について」において、放射性廃棄物に含まれる放射性核種の濃度に応じて地層処分からトレンチ処分までの処分方式により処分することが可能との考え方が示されるとともに、処分施設設計合理化や安全評価の信頼性向上のために今後取り組むべき技術開発課題や処分手業の責任分担の在り方、諸制度の整備などの制度的課題が整理された。その後、この報告書で示された考え方や整理された課題にもとづいて、廃棄物の発生に関わる電気事業者等により、以下のような研究開発が実施されている。平成 14 年度は、以下の研究開発が実施された。

なお、本報告は電力より受託した電力共通研究の成果の一部である。

#### 硝酸塩による TRU 廃棄物処分の核種移行への影響評価

TRU 核種を含む放射性廃棄物（以下、TRU 廃棄物という）のうち、硝酸塩を含有する廃棄物についてその処分の安全性、成立性を検討することを目的として、解析、実験により整備したパラメータを用い、余裕深度処分並びに地層処分に対する線量評価及び環境影響評価を実施する。

#### TRU 廃棄物処分の安全対策に関する検討

TRU 廃棄物は、含有される放射性物質濃度が広範囲に分布しており、その濃度に応じて余裕深度処分、地層処分することが合理的と考えられていることから、各処分相互の整合性を図ることが必要である。このことから高レベル放射性廃棄物処分及び余裕深度処分の安全評価シナリオとの整合性を図る目的として、TRU 廃棄物処分の安全評価シナリオの基礎情報となる FEP 辞書（処分場の安全性に関して潜在的に関連しうる要因）の整備及び整合性のとれた安全評価シナリオを構築し、各シナリオに対する安全評価を実施する。

#### TRU 廃棄物処分場地下施設設計・建設・操業技術に関する検討

今後、TRU 廃棄物の処分費用については、その制度化に向けた審議が行われることが予想される。特に処分費用に大きく影響を及ぼす地下施設の建設・操業・閉鎖技術については、不確実な要素を多く含むことから、高い信頼性を有する技術の構築とそれに基づく設計の妥当性が必要とされる。このことから処分施設の建設・操業・閉鎖段階の技術的検討を実施し、費用制度化に対応できる高い信頼性を有する処分技術を構築する。

### 2. 平成 14 年度の成果

#### 硝酸塩による TRU 廃棄物処分の核種移行への影響評価

本研究において、地層処分施設及び余裕深度処分施設を構成する各バリア材のバリア機能を整理し、硝酸塩を含む廃棄物を処分する施設周囲での硝酸塩ブルームの経過時間・空間的広がりを解析し、硝酸塩濃度条件が決定された。その条件を基にバリア材の劣化試験及び重要核種のバリア材に対する物性試験を行い、劣化挙動ならびに物性データが取得されている。

これらの結果を受けて線量評価の解析条件及び解析ケースを設定し、硝酸塩を含有する廃棄物処分の適合性に対する見通しを得るための線量評価を実施した結果、各ケースとも目安線量を下回ることを確認した。

#### TRU 廃棄物処分の安全対策に関する検討

##### (1)安全評価シナリオの検討

既存の電共研でのシナリオ構築の成果を基に、人工バリア周辺領域の水理やバリア材の変質等、TRU 廃棄物処分に特有な重要事象の影響を解析により把握した上で、HLW 処分における安全評価シナリオ及び発電所廃棄物の余裕深度処分との整合を念頭にシナリオ基礎情報となる FEP リスト、FEP 辞書を作成した。作業に当たっては、既存の HLW 電共研での検討内容や JNC の成果等、内外の最新の知見を取り入れた。また、地層処分及び余裕深度処分における安全評価においてレファレンスとなるシナリオを設定した。

(2) TRU 廃棄物処分における安全評価

上記で設定したシナリオについて、線量評価が実施され、その結果、目安線量を下回る結果となった。

TRU 廃棄物処分場地下施設設計・建設・操業技術に関する検討

(1) 合理的な坑道設計に関する検討

亀裂性岩盤を対象とした TRU 廃棄物処分坑道の設計において、地下発電所計測データ等から設計・評価において留意すべき岩盤挙動・物性等の検討が行われた。その結果、予測評価に反映すべき挙動を「亀裂の開口」と「亀裂の卓越方向に沿った変形」の2つに集約された。また、既往の亀裂性岩盤を対象とした設計手法の調査並びに問題点の整理が行われている。また、処分事業の設計プロセスの整理及び事業段階に応じた要求される設計レベル並びに設計に inputs 可能な物性の整理が行われた。

(2) 建設・操業・閉鎖技術に関する検討

国内の放射性廃棄物処分場の建設・操業・閉鎖に係わる関連技術の調査を実施し、各廃棄物処分の設計条件、構成要素、基本的な設計の考え方を比較・整理し、TRU 廃棄物処分場の設計・評価において留意すべき事項の整理を行った。また、処分場の主要構成部位について要求性能が明確化にされ、さらに、閉鎖までの期間において想定される個別事象の抽出、個別事象の影響度評価並びに技術課題の抽出が行われた。

### 3. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

#### 総合情報調査

##### 1. 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。

##### 2. 平成 14 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、各国での資金確保制度の運用状況、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、社会的要求事項に係る技術的な実現度等の検討を実施するとともに、データベースの活用方法について検討した。

##### (1) 処分技術関連情報・データの収集・蓄積

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したが、特に、2003 年 2 月初めの韓国での低中レベル放射性廃棄物処分サイトの候補地選定について重要事項を取りまとめた。

各国の研究開発に関しては、ベルギーの ONDRAF/NIRAS が公表した SAFIR2 報告書、スウ

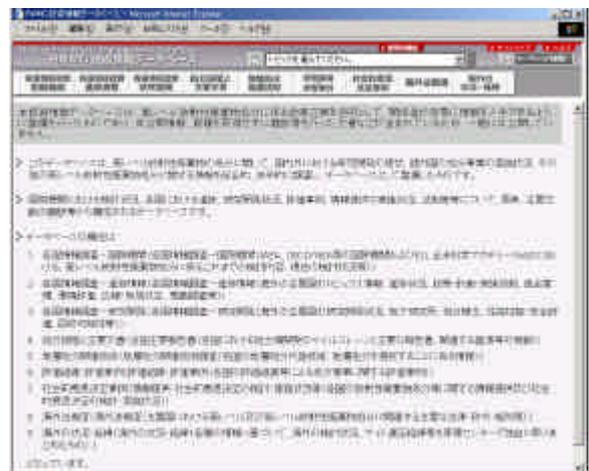
エーデンの SKB が公表した SR97、米国の DOE OCRWM が公表したユッカマウンテン科学・工学報告書の情報を整備するとともに、米国での人間侵入シナリオの考え方、評価方法を調査し、分析を行った。

地層処分関連技術として地層処分代替技術に関する最新の検討状況を調査するとともに、地層処分と代替技術とを比較したレポートの調査、データの整備を行った。

また、高レベル放射性廃棄物処分事業の評価に関して、ドイツ、フィンランド、米国等での評価体制、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。

さらに、処分の社会的な意思決定に関する検討事例、実施事例を調査した。

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ているが、低レベル放射性廃棄物処分に関しては、フィンランド、スウェーデンを中心とした体系的な法制度の調査を実施している。



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)

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『速報』をして掲載した。



ホームページでの『速報』

国際原子力機関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情報を収集し、データの登録を行った。

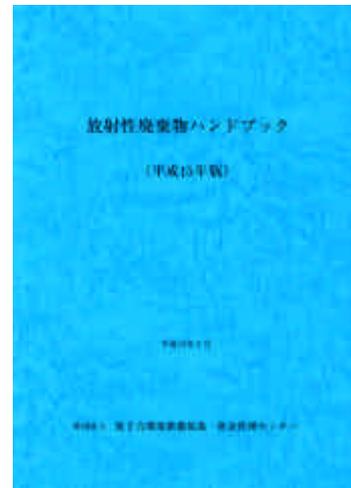


NEWMDB の初期画面

© 2003, International Atomic Energy Agency

携帯用技術情報冊子の整備に関しては、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 15 年版の「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を制作し、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取りまとめた。



放射性廃棄物ハンドブック  
(賛助会員などに配布)



『諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について』

(2) 処分技術関連情報・データの活用等に関する検討

今後必要となる技術的な開発事項を抽出するため、ベルギー、スウェーデンの設計、安全評価に関して収集した情報・データの分析を行った。

また、社会的意思決定の方策を検討するため、情報提供の有効性試験を実施した。

## 4. 安全基準に関する調査研究

### 放射性廃棄物地層処分の安全基準等に関する調査研究

#### 1. 事業の概要

本調査は、高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全確保に関する考え方や安全基準等について、具体的な安全基準・指針類の策定に資するため、諸外国の事例や背景情報等を調査・整理するとともに、安全目標、評価時間枠及び評価時間枠に応じた安全指標の考え方、補完的安全指標等に我が国の取るべき方策について検討を行う。

#### 2. 平成 14 年度の成果

##### (1) 今後の検討項目の整理

我が国の高レベル放射性廃棄物の処分に関して、これまでの調査検討の結果等を踏まえ、諸外国の基準・指針等から今後検討すべきと考えられる項目について整理した。

##### (2) 今後の検討項目毎についての諸外国の安全基準・指針等での規定内容及び我が国での考え方の検討

整理した今後の検討項目である以下の 14 項目について、諸外国で整備されている安全基準・指針及び背景情報等を調査・分析した。

安全指標及びその基準値の設定

評価期間（評価時間枠）の考え方及び補完的安全指標の検討

評価モデル及びパラメータの設定における不確実性の取扱いの検討

地下水移行シナリオの設定方法

自然現象による接近シナリオの取扱いの検討

人間侵入に関する影響の把握

技術上の基準を策定するための設計要件の明確化

回収可能性の維持と必要な対策

管理・モニタリング

生物圏・評価対象者、環境保護

操業時の安全評価

許認可の手順・時期

#### セーフティケース

##### 段階的処分

また、上記のうち から の項目に関しては、我が国が取るべき方策、我が国での設定案等の検討を行った。

以下には、調査結果の主要点をまとめる。

##### a. 安全指標及びその基準値

ICRP では、放射性廃棄物の処分に対する放射線防護の考え方として、拘束値の概念を示すとともに、線量拘束値として約 0.3mSv/年を、リスク拘束値として  $10^{-5}$ /年オーダーを超えない値が適切であろうと勧告している。諸外国においても、フィンランドの 0.1mSv/年から米国の 0.15mSv/年、ドイツの 0.3mSv/年までの線量のめやすが規定されている。また、スウェーデンでは、 $10^{-6}$ /年のリスク拘束値の適用が安全基準に規定されている。

##### b. 評価期間（評価時間枠）

評価期間（評価時間枠）の規定内容は、評価期間までで評価を打ち切ることとしている（米国）、評価期間を定めているが、その後も何らかの手段での評価を要求している（フランス、スウェーデン、フィンランド）、評価期間を限定していない（ドイツ、スイス）の 3 つに分類できる。

ただし、評価期間を 10,000 年としている米国でも、地質学的に安定した期間内に合理的に最大限被ばくする個人のピーク線量を計算しなければならず、その結果を、環境影響評価書（EIS）に含めることとされている。

##### c. 不確実性の取扱い

実際の安全評価における不確実性の取扱いの例として、ユッカマウンテンのトータルシステム性能評価（TSPA）の方法を整理した。

原子力規制委員会（NRC）が策定した 10 CFR Part 63 では、発生確率を考慮した線量評価が求められている。特に、性能評価は、以下のように実施されるものと定義されている。

特徴、事象及びプロセス（人間侵入を除く）さらにはユッカマウンテン処分システムに影響を与える可能性のある事象及びプロセスのシーケンス（人間侵入を除く）を特定するとともに、それらが処分後 10,000 年間に発生する確率を明らかにする。

これらの特徴、事象及びプロセスに加えて、

事象やプロセスのシーケンスがユッカマウンテン処分システムの性能に与える影響を検討する。

重要なすべての特徴、事象及びプロセスに加えて、事象やプロセスのシーケンスによって引き起こされた放出の結果として合理的な範囲で最大の被ばくを受ける個人に生じる線量の見積りを、それぞれの特徴、事象及びプロセスやそのシーケンスの発生確率を考慮し、さらには関連する不確実性を含めた形で、実施する。

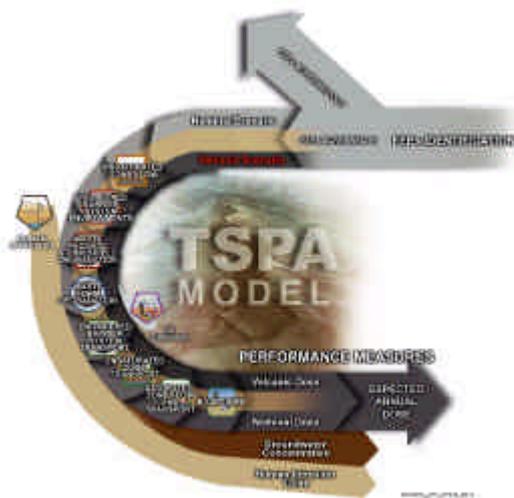


Figure 4-171. Schematic of the Principal Process Models Included in the Normal and Disturbance Event Scenarios

#### ユッカマウンテンの性能評価体系

ユッカマウンテンの評価では、火山・火成活動の事象の発生確率が、 $10^{-8}$ /年の極めて発生確率が小さい事象の判断基準を超えたことから、評価のシナリオとして取り入れられており、モンテカルロ法を用いた評価が実施されている。

#### d. 回収可能性の維持と必要な対策

各国の法令においては、回収可能性について以下のような考え方を示している。

回収可能の条件を必須とする国

- ・ 米国：定置作業開始から 50 年間は回収が可能ないように設計する。
- ・ フィンランド：処分場はキャニスタの回収可能性が維持されるように計画されなければならない。
- ・ フランス：処分には回収可能の条件が伴

う。

回収可能性による安全性への影響を懸念している国

- ・ スウェーデン：処分場は閉じ込め性能を第一として設計しなければならない。
- ・ スイス：原則として回収可能だが、それを容易にするために受動的安全性を損なってはならない。

回収可能性を考慮しない国

- ・ ドイツ：処分場を閉鎖した後にはいかなる手段を取る必要もない。

#### e. セーフティケース

セーフティケースの定義として、OECD/NEA では、『処分場のある特定の開発段階において、処分場が長期にわたって安全であるということをサポートする論拠を集めたものである。セーフティケースは、安全評価の結論やそうした結論に対する信頼の表明などで構成されている。』としている。また、IAEA では、『施設または活動の安全性に関する合理的な保証を提供するための、議論及び根拠を集大成したものの。これには、通常、安全評価のみならず、安全評価のロバスト性及び信頼性、この中で行った仮定に関する情報（支えている証拠及び推論を含む）が含まれている。』としている。

## 安全規制及び安全基準に係る内外の動向調査

### 1. 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、海外での検討状況等を調査する放射性廃棄物地層処分基準整備調査と、海外委託再処理に伴う返還廃棄物に係る輸入確認手法の確立に資するため、海外委託再処理受託国や再処理委託国における現状等を調査する返還廃棄物の輸入確認手法調査の2つの調査に分けられる。それぞれの調査の概要を以下に記す。

#### (1) 放射性廃棄物地層処分基準整備調査

「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。また、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が、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(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、米国でのサイト特性調査段階における規制当局である原子力規制委員会(NRC)による申請前審査、NRCと実施主体であるエネルギー省(DOE)との主要な技術的課題(KTI)の協議、スウェーデンでのサイト選定を含めた研究開発・実証計画に対する規制当局である原子力発電検査機関(SKI)による審査など、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、海外の安全規制制度を調査するとともに、諸外国の基準・指針等の整備に係る最新動向を明確にすることにより、我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での参考に資することを目的とする。

#### (2) 返還廃棄物の輸入確認手法調査

我が国では、使用済燃料の再処理の一部をイギリス及びフランスに委託しており、これに伴って発生する放射性廃棄物は、原則として我が国に返還されることとなっている。これらの返還廃棄物は、我が国の法規制が適用されない海外で製造されることから、我が国へ受入及び貯蔵(事業所外廃棄)する際に、事業者は、これを主務大臣(この場合は、経済産業大臣)に申請し、国の確認を受けることになっている(原子炉等規制法第58条の2、外廃棄規則第3条、第4条)。返還廃棄物のうち、フランスからは、既に高レベル放射性廃棄物であるガラス固化体の返還が一部実施されている。

今後は、イギリス BNFL からガラス固化体が返還される他、フランス、イギリスから低レベル放射性廃棄物についてもいずれ返還される予定である。特に、低レベル放射性廃棄物については、その仕様が多種多様であり、輸入確認の方法が煩雑になることが予想される他、COGEMAの返還低レベル放射性廃棄物のうち、固型物収納体については、現在も仕様が協議中である。これらの新たに返還される放射性廃棄物に対する輸入確認手法は、今後順次検討されていく予定である。

本調査では、既に返還が開始されているCOGEMA ガラス固化体については、フランスにおける我が国の規制機関職員による調査を含む輸入確認の在り方について、現状を踏まえてより良い方法を検討するため、他の再処理委託国における確認手法等を調査する。一方、今後返還の開始が予定されている放射性廃棄物については、COGEMA ガラス固化体の第1回受入においては生じた類の問題の発生を防止しその仕様の確認が適切に行えるような輸入確認手法を確立するため、再処理受託国における返還廃棄物の製造管理、品質管理等に関する情報や、他の再処理

委託国における確認手法等に関する情報を収集することを目的とする。

## 2. 平成 14 年度の成果

### (1) 放射性廃棄物地層処分基準整備調査

平成 14 年度は、高レベル放射性廃棄物処分に係る規制制度、法令等の検討に資するため、諸外国における高レベル放射性廃棄物処分の法体系、組織体制、処分事業の各段階における規制機関の関与等の安全規制制度を調査するとともに、整備されている法令、基準・指針等を調査した。

#### (a) 海外の安全規制制度の調査

高レベル放射性廃棄物処分の具体的な計画が進められている米国、フィンランド、スウェーデン、フランス、ドイツ及びスイスについて、法体系の調査、組織体制の調査及び処分事業の各段階における規制機関の関与の調査を実施し、以下の点を明らかにした。

法体系：関係法令、各法律の概要、法令の規定内容

組織体制：関係機関及び各機関の特徴

各段階における規制機関の関与：事業の流れ、事業の各段階における規制機関の関与、段階毎の各手続き

#### (b) 諸外国での基準・指針等の整備に係る動向調査

主要国を対象として、高レベル放射性廃棄物処分の安全基準・指針等について、最新の動向を調査するとともに、最新の基準の内容、背景等を調査した。

### (2) 返還廃棄物の輸入確認手法調査

我が国における返還廃棄物の輸入確認手法についての基礎的な資料を整備するため、再処理受託国、再処理委託国の関係機関に対する海外調査を行い、返還廃棄物の受入実績及び確認手法等の最新情報を調査した。

再処理受託国においては、返還廃棄物（高レベル、低レベル）の製造方法、製造管理等の品質管理に関する事項を調査し、再処理委託国（スイス、オランダ）においては、高レベル返還廃棄物の受入実績及び低レベル返還廃棄物の輸入

確認手法に関する事項を調査した。

#### (a) 返還廃棄物製造に係る品質管理等の調査・分析

##### (i) 返還高レベル放射性廃棄物の製造管理及び品質管理

フランスにおける放射性廃棄物の規制体制を整理するとともに、返還ガラス固化体の製造状況、ガラス固化施設の品質管理体制、第三者機関による監査の状況等をまとめた。

##### (ii) 返還低レベル放射性廃棄物の製造管理及び品質管理

フランスにおける返還低レベル放射性廃棄物（ビチューメン固化体及び固型物収納体）の製造方法、品質管理、監査等の状況を整理した。

#### (b) 返還廃棄物の輸入確認に係る調査・分析

##### (i) 返還高レベル放射性廃棄物の輸入確認

再処理委託国（オランダ及びスイス）における返還高レベル放射性廃棄物の輸入確認手法について、放射性廃棄物の規制体制及び輸入確認手法（基本的な考え方、輸入確認の手順、受入の現状）の観点から調査し、これを整理した。

##### (ii) 返還低レベル放射性廃棄物の輸入確認

再処理委託国（オランダ及びスイス）における返還低レベル放射性廃棄物（ビチューメン固化体及び固型物収納体）の受入のための準備状況を調査し、これを整理した。

## 5 . 国際交流

放射性廃棄物の処理処分は我が国のみならず世界各国共通の課題であり、協力して進めることが重要である。このため、当センターでは、各国の放射性廃棄物処分の実施主体や研究機関と制度、安全規制・基準、実施状況等に関する情報交換協定を締結して情報交換を行っている。また、国の国際協力事業の一環として旧ソ連の科学者・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 / 核工業集団公司 ( CNNC )  
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構 ( ANDRA )  
ドイツ / 廃棄物処分施設建設運営会社  
( DBE / DBE Technology )  
韓国 / 韓国原子力研究所 ( KAERI )  
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 / 核燃料・廃棄物管理会社 ( SKB )  
スイス / 国家放射性廃棄物管理共同組合  
( NAGRA )  
米国 / サンディア国立研究所 ( SNL )

### (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、1989 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 ) を収集しており、2001 年からは、これらの情報をインターネットを介して収集・公開するデータベース ( Net Enabled Waste Management Database ( NEWMDB ) ) の開発が進められている。このデータベースのアドレスは、以下の通りである。

<http://www-newmdb.iaea.org>

当センターは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 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

当センターでは、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・理論的研究を実施した。現在、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いるところである。

\* 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、米国、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。

## 6 . 資料

## (1) 論文発表・論文投稿

題 目	著 者	発 表 先	目次番号
(論文発表)			
ベントナイト砂混合土のせん断特性に及ぼす長期浸透の影響	佐川 修、徳山清治	第37回地盤工学研究発表会 (2002年7月16-18日)	1-1-
放射性廃棄物処分場に用いるモルタル充填材に関する検討	佐藤 立、藤原 愛	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	1-1-
Caイオンを通水したベントナイト・砂混合材料の長期透水特性( )	伊藤弘志、藤原 愛、 大西利満	日本原子力学会「2003年春の年会」 (2003年3月27-29日)	1-1-
Caイオンを通水したベントナイト・砂混合材料の長期透水特性( )	竹ヶ原竜大、藤原 愛、 大西利満	日本原子力学会「2003年春の年会」 (2003年3月27-29日)	1-1-
ひび割れを抑制した大型中空円筒形RC構造物の透水性状	小西一寛、藤原 愛	第24回コンクリート工学年次講演会 (2002)(2002年6月19-21日)	1-1-
長期浸透を受けたNaベントナイト混合砂の強度特性	佐川 修、藤原 愛	平成14年度土木学会 中国支部 研究発表会(2002年5月31-6月1 日)	1-1-
ウラン廃棄物フッ素化揮発除染技術開発( ) -ウラン廃棄物のフッ素化挙動-	亀井篤志、 斎藤隆義、斉田勇三、 佐々木朋三、藤原健一	日本原子力学会「2003年春の年会」 (2003年3月27-29日)	1-2-
ウラン廃棄物フッ素化揮発除染技術開発( ) -ウラン廃棄物除染試験-	藤原健一、斎藤隆義、 斉田勇三、佐々木朋三	日本原子力学会「2003年春の年会」 (2003年3月27-29日)	1-2-
高レベル放射性廃棄物の地層処分事業に重要な地層環境 調査システムフローの構築	安藤賢一、安達哲也、 藤原 愛	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	*
断層運動に伴う周辺岩盤の長期挙動解析 -解析手法の確証に関する一考察-	田部井和人 石橋勝彦、安藤賢一	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	*
調査段階における衛星データ統合利用の可能性について	筒井 健、安藤賢一	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	*
TIG及び電子ビーム溶接のオーバーバックへの適用性	河原憲一	平成14年度火力原子力発電大会 (2002年9月25-26日)	2-1-(2)-
高温多湿環境におけるベントナイトブロックの状態変化 に関する検討	増田良一、高尾 肇	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	2-1-(2)-
ベントナイトブロックの製作・施工性に対する初期含水 比の影響に関する検討	千々松正和 増田良一、高尾 肇	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	2-1-(2)-
ベントナイトペレットの特性試験(その1) -ベントナイトペレットの製作方法の検討および製作-	上坂文哉 高尾 肇、増田良一	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	2-1-(2)-

題 目	著 者	発 表 先	目次番号
圧縮成型したベントナイトブロックの真空吸着方式による把持試験	竹ヶ原竜大 高尾 肇、増田良一	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	2-1-(2)-
ベントナイトペレットの特性試験(その1)	上坂文哉 高尾 肇、増田良一	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	2-1-(2)-
Qualification of Final Closure for Disposal Container I -Applicability of TIG and EBW for Overpack Welding-	Hidekazu Asano	第28回MPAセミナー (2002年10月10-11日)	2-1-(2)-
Qualification of Final Closure for Disposal Container -Applicability of TOFD and Phased Array Techni for Overpack Welding-	Hidekazu Asano	第28回MPAセミナー (2002年10月10-11日)	2-1-(2)-
放射性廃棄物地層処分における記録保存の検討 (平成13年度報告書の一部)	杉山和稔	記録管理学会2002年研究大会 (2002年5月31-6月1日)	2-1-(3)-
地層処分にかかわる記録保存の研究(1)記録保存の意義	大内 仁、杉山和稔、 高尾 肇	日本原子力学会「2002年秋の大会」 (2002年9月14-16日)	2-1-(3)-
地層処分にかかわる記録保存の研究(2)記録保存システムの検討	杉山和稔、高尾 肇、 大内 仁	日本原子力学会「2002年秋の大会」 (2002年9月14-16日)	2-1-(3)-
地層処分にかかわる記録保存の研究(3)耐久性のある記録保存媒体の開発	後藤 孝 杉山和稔、高尾 肇、 大内 仁	日本原子力学会「2002年秋の大会」 (2002年9月14-16日)	2-1-(3)-
高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるモニタリングの役割について	杉山和稔、高尾 肇、 三浦一彦、大内 仁	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	2-1-(3)-
高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるモニタリング計画策定のための検討項目について	高尾 肇、杉山和稔、 三浦一彦、大内 仁	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	2-1-(3)-
高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるモニタリングに係わる計装・伝送技術の検討	高村 尚 高尾 肇、杉山和稔	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	2-1-(3)-
RWMC's Study on the Record Preservation for HLW Geological Disposal -Significance, Methods and Technical Feasibility-(高レベル放射性廃棄物地層処分の記録保存にかかわる原環センターの研究)	Nozomi Matsubara(U. of Tokyo),Jin Ohuchi, Kazutoshi Sugiyama	記録保存国際ワークショップ (センター主催)(2003年1月27- 28日)	2-1-(3)-
Examples of Long-term Record Preservation in Japanese History(日本の歴史に見られる長期記録保存の例)	Nozomi Matsubara(U. of Tokyo),Jin Ohuchi, Kazutoshi Sugiyama	記録保存国際ワークショップ (センター主催)(2003年1月27- 28日)	2-1-(3)-
Conceptual System of Robust Record Preservation on Geological Disposal	Jin Ohuchi	10th International High-Level Radioactive Waste Management Conference(2003年3月30-4月3日)	2-1-(3)-
地層処分における物理探査の役割	吉村公孝、石橋勝彦	物理探査学会第107会学術講演会 (2002年10月22日-24日)	2-1-(1)-
地層処分における海底電磁法の適用	吉村公孝、石橋勝彦	物理探査学会第107会学術講演会 (2002年10月22日-24日)	2-1-(1)-
地層処分における電磁法解析技術の開発	吉村公孝、石橋勝彦	物理探査学会第107会学術講演会 (2002年10月22日-24日)	2-1-(1)-

題 目	著 者	発 表 先	目次番号
モデリングにおける不確実性評価技術の開発	吉村公孝、石橋勝彦	物理探査学会第107会学術講演会 (2002年10月22日-24日)	2-1-(1)-
弾性波の長距離伝搬を目指した高出力孔内電源開発	吉村公孝、石橋勝彦	物理探査学会第107会学術講演会 (2002年10月22日-24日)	2-1-(1)-
音響トモグラフィーの開発	吉村公孝	第16回不連続性岩盤解析実用化研究会(2003年1月29日)	2-1-(1)-
Development of the Site Investigation Flow Diagram in Geological Disposal	Kimitaka Yoshimura	10th International High-Level Radioactive Waste Management Conference(2003年3月30-4月3日)	2-1-(1)-
ガス移行挙動評価のための原位置試験計測	安達哲也、安藤賢一、藤原 愛	第57回土木学会年次学術講演会(2002年9月25-27日)	2-2-
グリムゼル地下研究所(スイス、NAGRA)における大規模原位置ガス移行挙動評価実験の計画・施工・現状の知見	安藤賢一	第19回岩盤システム工学セミナー(2002年10月1日)	2-2-
Sand/Bentonite Barriers and Gas Migration: The GMT Large-Scale In-Scale In-Situ Test in the Grimsel Test Site	Tetsuya Adachi	The 26th symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management(2002年12月2-6日)	2-2-
THE IN-SITU GAS MIGRATION TEST(GMT) AT THE GRIMSEL TEST SITE:RESATURATION PHASE OF CLAY/SAND-CONCRETE SILO TYPE REPOSITORY	Kenichi Ando	CLAYS IN NATURAL AND ENGINEERED BARRIERS FOR RADIOACTIVE WASTE CONFINEMENT(2002年12月9-12日)	2-2-
TRU廃棄物処分環境下におけるTi合金の脱不働体化挙動の検討	深谷祐一、朝野英一、河原憲一、坂本浩幸	第49回 材料と環境討論会(2002年9月5-7日)	2-2-
TRU廃棄物廃棄体の開発(1)開発計画	河原憲一、朝野英一、坂本浩幸	日本原子力学会「2002年秋の大会」(2002年9月14-16日)	2-2-
TRU廃棄物廃棄体の開発(2)鉄筋コンクリートを用いた廃棄体の開発	小室敏也、河原憲一、朝野英一、坂本浩幸	日本原子力学会「2002年秋の大会」(2002年9月14-16日)	2-2-
TRU廃棄物廃棄体の開発(3)高強度高緻密コンクリートの水浸透挙動の評価と熱力学データの取得	坂本浩幸、朝野英一、河原憲一	日本原子力学会「2002年秋の大会」(2002年9月14-16日)	2-2-
TRU廃棄物廃棄体の開発(4)セメント水和反応時における伝熱・応力連成解析と小規模検証試験	松尾俊明、朝野英一、河原憲一、坂本浩幸	日本原子力学会「2002年秋の大会」(2002年9月14-16日)	2-2-
TRU廃棄物廃棄体の開発(5)円筒状金属材料容器型廃棄体の開発	嶺 達也、朝野英一、河原憲一、坂本浩幸	日本原子力学会「2002年秋の大会」(2002年9月14-16日)	2-2-
TRU廃棄物廃棄体の開発(6)炭素鋼製の角型処分容器を用いた廃棄体の開発	西村 努、朝野英一、河原憲一、坂本浩幸	日本原子力学会「2002年秋の大会」(2002年9月14-16日)	2-2-
TRU廃棄物廃棄体の開発(7)チタン複合金属材料廃棄体の材料選定	朝野英一、河原憲一、坂本浩幸	日本原子力学会「2002年秋の大会」(2002年9月14-16日)	2-2-
高強度高緻密モルタルを用いた放射性廃棄物処分廃棄体の開発(1)	坂本浩幸	第57回土木学会年次学術講演会(2002年9月25-27日)	2-2-

題 目	著 者	投 稿 先	目次番号
高強度高緻密モルタルを用いた放射性廃棄物処分廃棄体の開発(2)	川 崎 透、坂本浩幸	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	2-2-
鉄筋コンクリートを用いたTRU廃棄物処分廃棄体の開発	小室敏也、坂本浩幸	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	2-2-
Concrete containers for long term storage and final disposal of tru waste and long lived ilw	Hiroyuki Sakamoto, Hidekazu Asano	Waste Management Conference 2003(2003年2月23-27日)	2-2-
Preliminary study of radioactive waste package made of high-strength and ultra low-permeability concrete for geological disposal of TRU wastes	Hiroyuki Sakamoto, Hidekazu Asano	Waste Management Conference 2003(2003年2月23-27日)	2-2-
ベントナイト系材料のアルカリ条件での変質促進処理に伴う物性変化	大谷 崇 加藤博康、河田陽介	第57回土木学会年次学術講演会 (2002年9月25-27日)	**
コンクリート及びベントナイトの長期性能評価( )30年間河川水に接触していたコンクリート調査	林 勝、斎藤隆義、 大西利満	日本原子力学会「2002年秋の大会」 (2002年9月14-16日)	**
コンクリート及びベントナイトの長期性能評価( )80年間水道水に接触していたコンクリート調査	大西利満、斎藤隆義、 林 勝	日本原子力学会「2002年秋の大会」 (2002年9月14-16日)	**
コンクリート及びベントナイトの長期性能評価( )長期間接触したベントナイトとコンクリートの事例調査	今井 淳 林 勝、斎藤隆義、 大西利満	日本原子力学会「2002年秋の大会」 (2002年9月14-16日)	**
A Study on the Chemical Forms and Migration Behavior of Carbon-14 Leached from the Simulated Hull Waste in the Underground condition	Satoru Kaneko	2002 MRS FALL MEETING DECEMBER 2-6 BOSTON, MA(2002年12月2-6日)	**
金属廃棄物から放出される炭素の化学形態に関する研究	三倉通孝 金子 悟、田辺博三	日本原子力学会「2003年春の年会」 (2003年3月27-29日)	**
(論文投稿)			
土壌から農作物へのウラン、トリウム、ラジウム及び鉛の移行係数と線量評価	田代純利、藤永英司、 石井友章、軍司康義、 佐々木朋三	保健物理 Vol.37 (2002年)	1-2-
国内外における高レベル放射性廃棄物の地層処分事業の進捗状況	田辺博三、稲垣裕亮、 石田久洋、加藤 修、 伊藤俊行、倉田充之	日本原子力学会誌 2003年1月号	3-
放射性廃棄物処分の国内外の状況	山本正史、田辺博三、 稲垣裕亮、倉田充之	空気清浄Vol.40、N01(2002年)	**
Kinetic controls on cement porefluid-bentonite interactions in engineered barriers: new insights from experimental and numerical simulations	Ryuta Takegahara, Ai Fujiwara	CLAYS IN NATURAL AND ENGINEERED BARRIERS FOR RADIOACTIVE WASTE CONFINEMENT(2002年12月9-12日)	1-1-
長期の記録保存媒体の開発 -高い放射性廃棄物地層処分と記録保存-	杉山和稔、大内 仁	原子力eye(2002年11月号)	2-1-(3)-
レーザーを用いた記録保存媒体の開発	大内 仁、杉山和稔	光アライアンス誌(2002年12月号)	2-1-(3)-
米国の計画、フィンランドの計画	稲垣裕亮、田辺博三	月刊「エネルギー」2003年5月号 特集「動き出した高い放射性廃棄物処分の事業化」	3-

## (2) 技術報告書

表 題	著 者	発 行 年 月	目次番号
地層処分にかかわる記録保存の研究 (RWMC-TRJ-02001)	杉山和稔、高尾 肇、 大内 仁、坪谷隆夫	平成14年12月	2-1-(3)-
Record Preservation Study on Geological Disposal -Significance and Technical Feasibility- (RWMC-TRE-03001)	Kazutoshi Sugiyama, Hajime Takao, Jin Ohuchi and Takao Tsuboya	2003 March	2-1-(3)-

\* 平成13年度終了テーマ  
\*\* 自主研究

(3) 委員会一覧

区 分	名 称	
1. 放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究	コンクリート構築物止水性能評価検討委員会	
	ガス発生評価検討委員会	
	余裕深度処分システム開発検討委員会	
	極低レベル雑固体廃棄物処分安全性対策試験検討委員会	
	サイクル廃棄物除染検討委員会	
	フッ素化除染検討委員会	
	ウラン廃棄物処分検討委員会	
	難除染ウラン廃棄物処分検討委員会	
	ウラン廃棄物溶融体検認検討委員会	
2. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究	地球化学バリア有効性確認調査検討委員会	
	高精度物理探査技術高度化調査検討委員会	
	”	調査システムフロー技術検討部会
	”	物理探査技術検討部会
	遠隔操作技術高度化調査検討委員会	
	”	遠隔溶接・検査技術検討部会
	”	遠隔ハンドリング・定置技術検討部会
	地層処分モニタリングシステム検討委員会	
	地層処分記録保存システム検討委員会	
	ガス移行挙動評価検討委員会	
	ヨウ素固定化技術高度化開発委員会	
	廃棄体開発検討委員会	
	”	コンクリート容器検討部会
	”	金属容器検討部会
	人工バリア長期性能確証試験検討委員会	
	3. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究等	高レベル放射性廃棄物処分技術開発委員会
”		地質環境調査技術WG
”		処分技術WG
”		性能評価WG
安全規制・基準調査委員会		
返還廃棄物の輸入確認手法調査委員会		
安全基準等検討委員会		
地層処分重要基礎技術研究委員会		

## 原環センター 2002年度 技術年報

---

2004年2月発行

財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター  
〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-10 第15森ビル4F  
TEL 03-3504-1081(代表)  
FAX 03-3504-1297  
URL <http://www.rwmc.or.jp/>

---

禁無断転載

**財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター**  
Radioactive Waste Management Funding and Research Center

〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目8番10号 第15森ビル 4階  
TEL : 03 (3504) 1081 (代表) FAX : 03 (3504) 1297  
<http://www.rwmc.or.jp/>

**R100**

再生紙比率100%の印刷を使用しています