

RWMC

原環センター
2007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

経済産業大臣の諮問機関である総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会放射性廃棄物小委員会は、昨年11月放射性廃棄物の最終処分事業を推進するための取組の強化策について取りまとめました。この報告書は、2000年のいわゆる最終処分法の制定を受けて2002年12月以降原子力発電環境整備機構が公募を続けている文献調査地区について、具体的な応募が見られなかつたことを中心に、これまでの関係者の取組についてレビューを行い、今後の課題と具体的な取組方策について明らかにしています。具体的には、国に対し前面に立った取組を促すとともに、国民の安全に対する信頼を得るために、最終処分を安全に実施するための技術や安全評価に係る研究開発を長期的観点から計画的に進めるとともに、その成果等について、国民が学習できる機会を充実すること及び世界各国の最新の取組状況の共有や研究開発に関し国際的な連携を充実させることの必要性を強調しています。



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、低レベルから高レベルに至る放射性廃棄物の処理処分に係る調査・研究開発活動を行ってまいりました。国の役割とされている上述の様々な研究開発課題の解決に協力するとともに、近年では各国の研究機関、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、こうした国際的な信頼関係を通じて築き上げてき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や研究開発動向等々の膨大な情報を分析・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。このように当センターは、時代が求めている様々な課題に対し早くから取組を開始し、地味ながら着実に成果を挙げてきておりますが、今後一層国をはじめ産業界、学会等の期待に応えてまいる所存であります。

これらの放射性廃棄物に係る調査・研究開発業務に加えて、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、資金管理業務を行っています。2008年度からは、最終処分積立金の範囲にTRU廃棄物が加わりました。

この技術年報は、当センターが2007年度に実施した調査研究等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ございます。

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 豪

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高度化開発	4
2.	余裕深度処分	8
	地下空洞型処分施設性能確証試験	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	処分技術	12
	処分システム工学要素技術高度化開発	12
	遠隔操作技術高度化開発	12
	人工バリア品質評価技術の開発	14
	モニタリング技術の開発	16
1-2	性能評価技術	18
	ガラス固化体スケールの詳細解析技術の開発	18
	処分場スケールの詳細解析技術の開発	20
1-3	制度化・社会対応技術	22
	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(2)	22
2.	TRU 廃棄物処分	24
	人工バリア長期性能評価技術開発	24
	人工バリアの長期挙動の評価	24
	ガス移行挙動の評価	26
	ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発	28
	ヨウ素固定化処理技術開発	28
	C-14 の放出挙動等に関するデータの取得	30
	C-14 の長期閉じ込め技術の高度化	32
3.	その他の地層処分に関する研究	35
III.	放射性廃棄物全般に共通する調査研究	36
	放射性廃棄物海外総合情報調査	36
	放射性廃棄物重要基礎技術研究調査	38
	放射性廃棄物に関する基礎技術研究調査	38
	地層処分に関する最新基礎情報の収集及び整理	41
	多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整備	42
	地球化学バリア有効性確証調査	44

放射性廃棄物に関するワークショップの開催	48
放射性廃棄物関連パンフレット等の作成	50
放射性廃棄物関連施設見学会の開催	52
IV. 安全基準に関する調査研究.....	54
放射性廃棄物処分の安全基準等に関する調査	54
返還放射性廃棄物の廃棄確認と品質保証に係る海外調査	56
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	58
V. 国際交流.....	60
VI. 資料.....	62
(1) 委託事業成果報告書等.....	62
(2) 外部発表等.....	65
(3) 技術報告書.....	71
(4) 委員会一覧.....	72
(5) 講演会等.....	73

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する研究

I. 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高度化開発】

本事業は、ウランの濃縮、転換、成型加工等に伴って発生するウラン廃棄物に係るより一層の安全かつ合理的な処理・処分を目標として、ウラン廃棄物の除染技術、検認技術、長期安全性評価手法の確立を目的として実施してきた。

平成 18 年度までにおいて、上記に係る研究成果が順次得られており、最終年度となる平成 19 年度事業では、残された課題に取り組むとともに、開発した除染装置の解体作業を通じて各部品の除染試験等を行い、除染特性や装置内部の汚染・腐食状況等のデータを取得した。平成 19 年度に実施した「解体試験（硝酸除染装置の解体試験、フッ素化除染装置の解体試験）」及び「ウラン吸着材の性能確認試験」について、事業の概要と平成 19 年度の成果を分けて示す。

なお、本事業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 19 年度 管理性処分技術調査等委託費
ウラン廃棄物処分技術高度化開発 報告書
(第 1 分冊) 硝酸除染装置の解体試験
フッ素化除染装置の解体試験
(第 2 分冊) ウラン吸着材の性能確認試験

(解体試験)

◇事業の概要

焼却灰からウラン除去することを行われた「実用焼却灰処理システム確認試験」で製作した硝酸除染装置を対象として解体試験を行い、除染に関わるデータを得るとともに、スラッジ類からウランの除去を目的として製作したフッ素化除染装置を対象として解体試験を行い、汚染と腐食状況に関わるデータを得た。

◇平成 19 年度の成果

(1) 硝酸除染装置の解体試験

過去に、設計及び製作を行った硝酸除染装置を用いて、設備の汚染状況、解体作業性や解体作業

時の除染特性などを調査した。また、解体時に除染試験用試料をサンプリングし、クリアランス搬出を想定した除染試験と除染性確認のための測定を行った。なお、汚染状態の確認では、複数種の測定器 (α 線計測 : GIC (Grid Ion Chamber) 測定装置と γ 線計測 : Ge 測定装置) を用いて測定結果の比較を行った。

a. 金属廃棄物の除染試験

図-1 に粗粉碎機の解体状況を示す。採取した粗粉碎機設置床板の放射能濃度は、GIC 測定装置で 0.44 ± 0.07 Bq/g、Ge 測定装置で 1.48 ± 0.10 Bq/g と 3 倍の差異が見られた。金属仕上げ剤を用いて除染処理を行った結果でも、GIC 測定装置で 0.03 ± 0.005 Bq/g、Ge 測定装置では 0.096 ± 0.01 Bq/g と 3 倍の差異が見られた。図-2 に試料片の除染処理前後の表面状態を示す。除染後でも表面の細かな錆は除去できなかった。除染後の放射能濃度は除染目標値 0.1 Bq/g 未満ではあるが、除染前後とも、GIC 測定装置と Ge 測定装置で 3 倍の差異が見られた。原因としては、除染処理後の試料表面には細かな錆が付着しており、この錆が α 線粒子を遮蔽している可能性があり、完全な除染（錆の除去まで）が実施されないと、 α 線計測の場合



図-1
解体作業状況
(粗粉碎機)



採取時の状態

薬剤 1 時間後
濡れウェス拭き取り

図-2 除染処理前後の表面状態変化

は低めの値を示すことがあることがわかった。

b. 排気ダクトの除染試験

拭き取り除染を行ったところ、一部試験片（底の角部）では除染が若干困難であったが、底の角部にアルコールを滴下して拭き取りを行ったところ、ほぼ汚染が除去できた。排気ダクト（塩ビ）は、適切な除染を行えば、0.1 Bq/g程度まで除染することが可能であることがわかった。

(2) フッ素化除染装置の解体試験

解体試験は、平成 16 年度まで試験に供した旧反応容器と平成 18 年度に試験に供した新反応容器を用いて実施した。

a. 汚染状況の調査

雰囲気温度の違いに着目して汚染状況を調査し、ZnS シンチレーションカウンタ及び誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) を用いて付着ウラン量を測定した。反応容器から採取した試験片は、いずれもクリアランスレベル相当 (0.3 Bq/g (4.5% 濃縮ウラン換算で、3.3 ppm)) 以下の汚染であることを確認した。また、汚染量は高温部位が低温部に比べ少ないことがわかった。

b. 腐食（劣化）状況の調査

雰囲気温度の違いに着目し、走査型電子顕微鏡 (SEM) による腐食表面観察及びエネルギー分散型蛍光 X 線分析 (EDX) による腐食断面（表面）の成分分析（元素分布）を実施した。図-3 に試験片温度 550 °C の試料断面の SEM/EDX 観察結果を示す。ニッケルの反応容器の内表面がフッ素により約 25 μm 腐食している様子がうかがえる。図-4 に雰囲気温度と腐食厚さの関係を示す。温度が高い部位ほどフッ素の浸透度が大きい傾向であった。

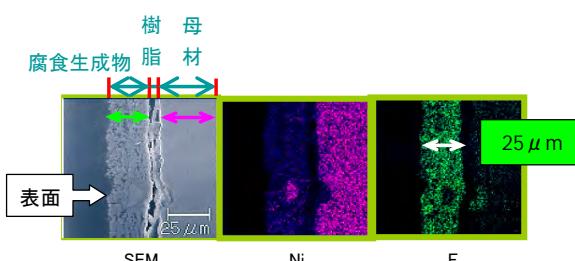


図-3 断面 SEM/EDX 観察結果 (550°C)

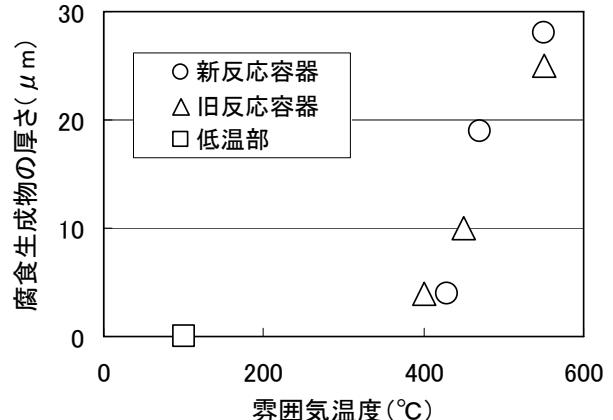


図-4 雰囲気温度と腐食生成物との関係

(除染技術開発：ウラン吸着材の性能確認試験)

◇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、処分または再利用する方針としている¹⁾。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0.3 Bq/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、アルカリ溶解除染、鉱物化除染、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、アルカリ融解除染は、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、廃棄物を酸(硫酸)とアルカリ（苛性ソーダ）を用いて全溶解した後、発生した酸溶解液とアルカリ溶解液からウランを選択的に吸着材で吸着分離する除染法である。アルカリ融解除染の概念図を図-5 に示す。

平成 18 年度までの試験で、スラッジ類、焼却灰はほぼ全溶解が可能で、酸溶解液とアルカリ溶解液を調整後、海水ウラン採取用に開発されたアミドキシム型ウラン吸着材を用いてウランを回収出来ることがわかった。しかし、それぞれの溶解液には Fe、Al、等の金属イオンが多く共存しており、アミドキシム型ウラン吸着材は、ウランよりも鉄

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する研究

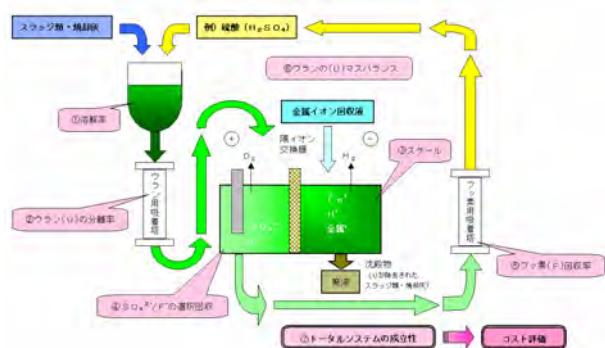


図-5 アルカリ融解除染の概念図

がより多く吸着することが判明し、アミドキシム型ウラン吸着材よりウランを選択的に吸着する能力の高い吸着材の必要性がわかった。

◇平成 19 年度の成果

(1) TOPO²⁾マイクロカプセルウラン吸着材

平成 19 年度はウラン加工施設から発生する溶解液の中で発生量が多い酸（硫酸）溶解液において、他の金属イオンが多く共存する状態でもウラン吸着能力の高い新吸着材の候補としてウラン精錬の溶媒抽出工程で使用されているウラン抽出剤(TOPO)を選定した。また、抽出剤を溶媒ではなく粉末の状態でマイクロカプセル化（ゲル化）することで、カラムでの吸着処理を可能とし、ウラン抽出剤の取扱い性を向上させた。

このマイクロカプセル化した吸着材（以下、ウラン吸着材と称す）を用いた試験を行い、硫酸溶解液でのウラン吸着に関する基礎データを採取すると共に、対象とする廃棄物への適用性を確認し、さらに実用化へ向けた検討を行った。

図-6 にウラン吸着材の光学顕微鏡写真を示す。

TOPO は、ゲル化したアルギン酸カルシウム中に取り込まれている。硫酸溶液中のウランは、主に UO₂SO₄ の形態で存在していると考えられ、ゲル化したアルギン酸カルシウム内を拡散して、TOPO と錯体を形成する。本ウラン吸着材はこの原理により、ウランを吸着するものであり、以下に、反応式を示す。

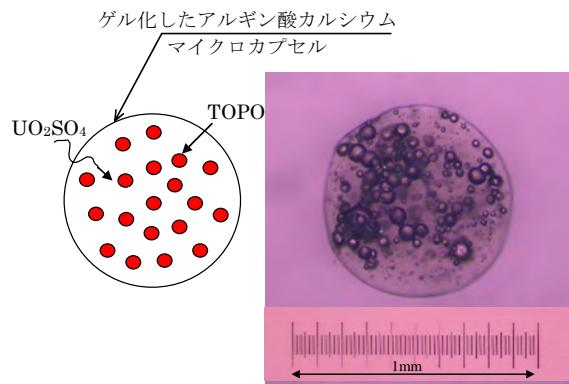
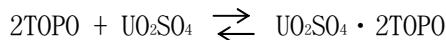


図-6 ウラン吸着材の光学顕微鏡写真

(2) ウラン吸着材の性能確認試験

a. ウラン吸着材の基本仕様確認

ウラン吸着材の基本仕様である粒径及び TOPO の含有率をパラメータとして吸着試験を行った。その結果、ウラン吸着材の最適仕様は、粒径 $\phi 0.71 \sim 1.00 \text{ mm}$ 、TOPO 含有率 30 g/L であることを確認した。ウラン吸着材の分配係数は最大で $9.2 \times 10^2 \text{ ml/dry-g}$ が得られた。また、廃液中のウラン以外の主な元素である鉄を、殆ど吸着せず、本ウラン吸着材はウラン吸着の選択性が高いことがわかった。

b. ウラン吸着材の吸着特性の確認

実廃液によるウラン吸着試験を実施し、それぞれの実廃液でのウラン吸着特性及び実機での最適な処理方法を検討した。

a) バッチ試験

バッチ処理方法を用いた実機での最適な処理方法は、ウラン吸着材を交換しながら、目標除染レベルにまで除染する方式が最適であることがわかった。この処理方法により、ウラン吸着材を 4~8 h/バッチで、交換することで、

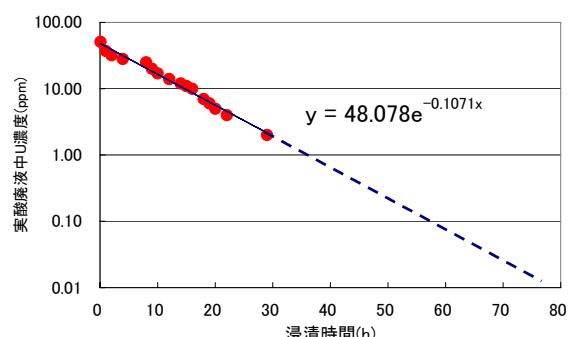


図-7 バッチ試験結果（累積浸漬時間 vs. ウラン濃度）

累積浸漬時間約 80 h (10~20 バッチ) で酸廃液中のウラン濃度を 0.01 ppm 以下にできる見通しが得られた (図-7)。最適な固液比におけるウラン吸着容量は、約 30 mg-U/dry-g (約 1.7 mg-U/cm³) であった。

b) カラム試験

図-8 にカラム試験結果を示す。SV 値³⁾が 1 の場合は、急激な破過は見られず、酸廃液中のウランを 51 ppm から 0.01 ppm に除染することができた。このとき、ウラン吸着材単位体積当たりの廃液処理能力は、2.5 ml/cm³ であった。ウラン吸着量を運用上のウラン吸着容量とすると、カラム出口のウラン濃度を 0.01 ppm 以下に処理する際のウラン吸着容量は、SV 値が 1 の場合、約 0.1 mg-U/cm³ となった。

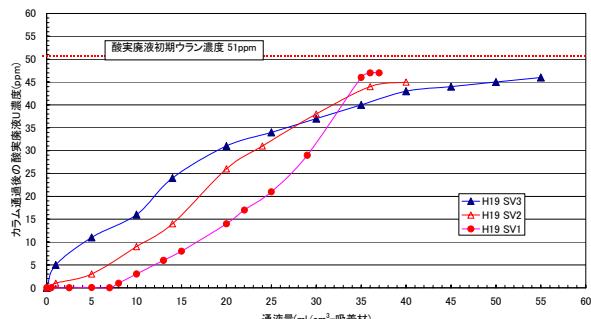


図-8 カラム試験結果 (ウラン濃度 vs. 通液量)

c. アルカリ廃液に関する適用性の確認

本ウラン吸着材のアルカリ廃液に対する適用性や適用方法を確認した。アルカリ廃液は、硫酸を加えて、酸廃液と同様の pH1 以下の性状にした後、除染できることを確認した。なお、硫酸試薬の代わりに酸廃液で代用が可能であり、酸廃液とアルカリ廃液を発生割合で混合すれば、沈殿等が発生せず、アルカリ廃液は酸廃液と混合することにより、一括処理できることがわかった。

d. 全体システム総合評価

本ウラン吸着材を使用した実除染システムにおいて、どの程度の廃棄物の低減効果があるのか、E 事業所の廃棄物保管量を基に検討を行った。

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 200 L ドラム缶で 2,717 本ある。これらを、TOP0 マイクロカプセルウラン吸着材を使用したアルカリ融解除染法で除染することにより、カラム処理では 652 本、バッチ処理では 77 本に、低減できる試算結果が得られた。また、必要な消耗品量として、1 日に 100 kg のスラッジ・焼却灰を除染する場合、ウラン吸着材量は、バッチ処理で 0.5 m³/日、カラム処理 (SV1) で 4.8 m³/日となる試算結果が得られた。また、昨年度まで実施してきたアミドキシム型吸着材と比較すると、今回の TOP0 マイクロカプセルをウラン吸着材として用いることで、除染後ウラン廃棄物量はバッチ処理で 1/5、廃液発生量は 1/23 に低減できる試算結果が得られた。

- 1) 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」
- 2) トリ-n-オクチルホスフィン オキシド
(Tri-n-octylphosphine oxide)
- 3) 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

<外部発表等>

- (1) ウラン廃棄物のラドン散逸割合(日本原子力学会和文論文誌 2007 年 12 月、第 6 卷、第 4 号)
- (2) Decontamination of Sludge-like Uranium-bearing Wastes : Decontamination Feasibility Judgment by Radon Emanation Coefficients and Decontamination Technology Development
(Journal of Nuclear Science and Technology Vol. 45, No. 5, p464-471(2008))

I. 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、ペ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の品質の確認を主たる目的として行うものである。本試験の成果は、地下空洞型処分施設の建設に関わる基盤技術の確立に反映される。

本試験は、地下約100mに掘削された横約18m、縦約16mの地下空洞において、実規模の地下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

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設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／岩盤拳動計測

施工された施設の力学拳動や試験位置周辺の地下水拳動等を計測する。

本事業は、平成17年度より開始し、初年度は試験の基本計画を策定した。平成18年度は、試験の詳細計画の策定を行うとともに、セメント系材料の予備試験の実施、海外の地下研究施設の調査、岩盤拳動計測のための一部の計測器の設置を行った。平成19年度は、詳細試験計画に基づき、試験空洞内において実規模施工試験を本格的に開始し、

試験空洞内滴水対策工、底部・側部埋戻し材施工確認試験、底部緩衝材施工確認試験の一部、材料特性試験、拳動計測データの収集、データ管理システムの構築等を行った。今後、底部緩衝材、底部低拡散材、底部・奥部・側部コンクリートピットの施工試験を実施する必要がある。

図-1に地下空洞型処分施設の概念図を示す。また、試験施設の主な仕様等を表-1に示す。

なお、本事業は経済産業省の委託により実施しているものである。

(報告書) 平成19年度 管理性処分技術調査等委託費
地下空洞型処分施設性能確認試験 報告書

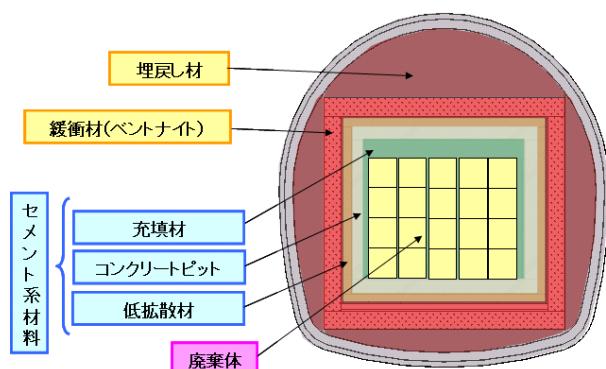


図-1 地下空洞型処分施設の概念図

表-1 試験施設の主な仕様等

主な部位		主な仕様、目標性能
緩衝材		材料：クニゲルGX 厚さ：1m 透水係数： 5×10^{-13} m/s
低拡散材		材料：セメント系材料 厚さ：0.6m 拡散係数： 1×10^{-12} m ² /s
コンクリートピット		材料：鉄筋コンクリート 厚さ：底部0.8m、側部・上部0.7m
充填材		材料：セメント系材料
埋戻 材	側部・底部	材料：鉄筋コンクリート
	上部	材料：土質系材料、セメント系材料

◇平成19年度の成果

(1) 試験空洞内滴水対策工

施工確認試験の実施に先立ち、試験実施期間中に滴水による緩衝材等への不具合発生を避けるため、空洞全周に防水シートを施工した（図-2）。



図-2 試験空洞内滴水対策工（完成写真）

(2) 底部・側部埋戻し材施工確認試験

地下空洞型処分施設におけるセメント系材料の人工バリアには、力学的強度と高い止水性能が要求される。特に低拡散材に対する要求性能は、緩衝材との併用により施設全体を低拡散場にすることが求められている。このため、セメント系材料の施工には、低空隙率とともにひび割れが発生しにくい材料配合や施工が必要となる。

今後実施されるコンクリートピット施工、低拡散材施工のため、先行する「底部・側部埋戻し材施工確認試験」において、こうしたセメント系人工バリア材料に要求される性能を確認することとした。

埋戻し材の材料として低発熱ポルトランドセメントにフライアッシュを混入したコンクリート（スランプ型及び一部に高流動型）を使用して、底部・側部及び奥部に鉄筋コンクリート構造の埋戻し材を施工し、施工性、品質、初期性能を確認した（図-3、図-4）。その結果、ほぼひび割れの

発生がない施工成果を得た。使用した材料の配合条件を表-2 及び表-3 に示す。

施工性については、施工時の温度管理や、コンクリート打設時に型枠に作用する荷重評価、鉄筋継手法の比較評価を始め、空洞内で施工性を低下させる要因と対策に関する知見を得た。また、温

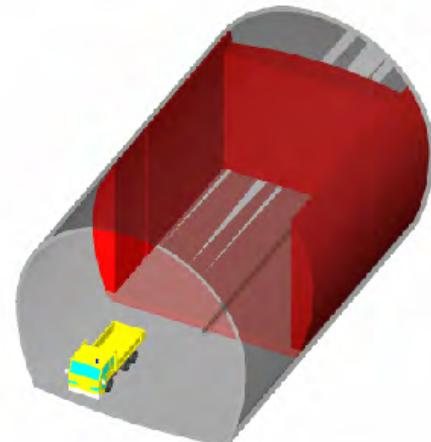


図-3 底部・側部埋戻し材施工確認試験（鳥瞰図）



図-4 底部・側部埋戻し材施工確認試験（完成写真）

表-2 コンクリートの配合条件（スランプ型）

スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	W/B (%)	W/P (%)	s/a (%)	使用材料及び単位量(kg/m ³)									
					W	粉体 P		LS	S1	G1	AE 減水剤 P×(%)			
						結合材 B								
					LPC	FA								
18±2.5	2.5±1.5	45	32.5	50	175	272	117	150	812	819	0.85			

表-3 コンクリートの配合条件（高流動型）

スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	W/B (%)	W/P (%)	s/a (%)	使用材料及び単位量(kg/m ³)									
					W	粉体 P		LS1	S1	G1	高性能 AE 減水剤 P×(%)			
						結合材 B								
					LPC	FA	LEX							
65±5	2.5±1.5	45	26.4	51.6	160	229	107	20	249	824	780	0.70		

I. 放射性廃棄物の管理処分に関する研究

度応力によるひび割れ予測解析と観測結果とを比較しところ、解析結果はやや保守的であることが分かり、ひび割れ予測精度の向上に向けたパラメータ取得等が必要であることが示唆された。

埋戻し材施工確認試験により、選定した材料配合、施工方法の適用性が確認でき、原位置における施工技術やデータの取得等、貴重な成果を得た。

(3) 底部緩衝材施工確認試験

底部緩衝材施工確認試験は、ベンナイト（クニゲル GX100%）を使用し、大型振動ローラ等の現場締固めにより、平均乾燥密度 1.6 Mg/m^3 の緩衝材を施工することで、地下空洞内における施工方法及び施工手順等を確認し、施工性、品質、出来形等についての確認を行うものである。平成 19 年度は、底部緩衝材の一部（厚さ 10 cm）を、大型振動ローラを用いた現場締固めにより施工し、目標とする密度達成を確認した（図-5）、（図-6）。

さらに、施工方法、施工手順や原位置における品質管理方法等の評価を行った。本年緩衝材施工の一部を実施したが、今後、残りの底部緩衝材施



図-5 大型振動ローラによる転圧状況

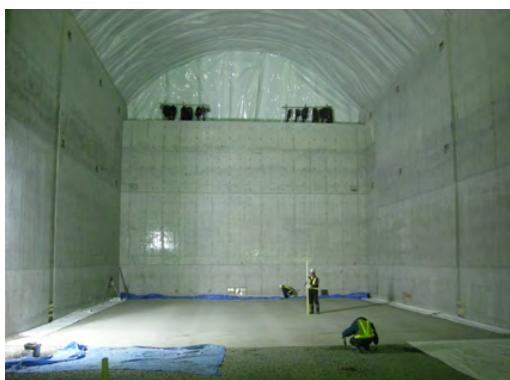


図-6 底部緩衝材施工確認試験（完成写真）

工を行い、施工完了時に初期性能確認試験を実施し、性能の確認が必要とされる。

(4) 施設／岩盤挙動計測

施設の施工中及び施工後における施設の力学的、水理学的挙動を把握するため、埋戻し材、緩衝材に歪み計、応力計、間隙水圧計等の計測器を設置し、観測を開始した。また、本格的な施工確認試験の開始に先立ち、周辺岩盤の初期状態の挙動を把握するために S、間隙水圧計を設置し、平成 18 年度に施工した間隙水圧計、岩盤変位計と合わせて周辺岩盤の水理学的、力学的挙動の計測システムを構築した。

(5) セメント系材料特性試験

低拡散材の拡散係数測定と空隙率測定を実施した。試験結果として、養生期間が 3 ヶ月の材料の拡散係数は $3 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ 程度の値となり、目標値である $1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 以下を満足することを確認した。一般に、養生期間が長いほど水和が進み、拡散係数が小さくなる傾向が確認された。空隙率と実効拡散係数の関係を図-7 に示す。

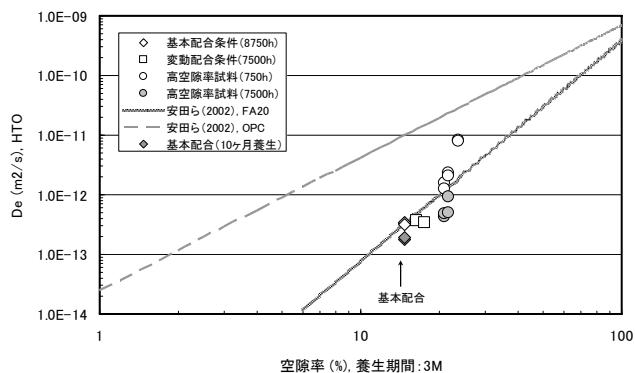


図-7 実効拡散係数の空隙率依存性

(6) ベントナイト材料特性測定

ベントナイト施工時の日常管理手法として、乾燥密度を非破壊で測定できる各種の密度測定法等を実施した。その結果、散乱 RI 法が施工中のベントナイト密度の日常管理のために、実用可能な性能のあることが確認できた。

また、狭隘部等の施工方法としてベントナイト吹き付け工法と t、小型機械によるベントナイト混合土の施工性試験を原位置において実施し、その品質を確認した。

3. その他の管理処分に関する研究

(1) 余裕深度処分廃棄体製作の実証に関する研究

余裕深度処分対象廃棄体の製作に係る廃棄体パラメータ設定の実証的検討等を行った。

(2) 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 廃棄体の合理的な廃棄確認のための廃棄体製作方法に関し、各廃棄体製作ステップでの記録すべき項目イメージの整理を実施した。

注) L1 廃棄体：余裕深度処分の対象となる発電用原子炉内で放射化された金属廃棄物等の廃棄体

(3) 余裕深度処分の安全評価手法の調査

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核種移行評価パラメータ設定の考え方について検討・整理した。

(4) 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基本安全機能とその担保方法を検討し、必要な要件を抽出した。

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

L3 廃棄体等の標準的な製作方法及び検査方法について民間規格制定に必要な検討を行い、技術要素・技術的要件を抽出した。

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

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

L2 / L3 埋設施設における標準的な施設確認方法検討の前提となる基本安全機能とその担保方法を検討し、必要な要件を抽出した。

(7) 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マップ設定に係る線量評価、クリアランス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 処分技術

処分システム工学要素技術高度化開発

【遠隔操作技術高度化開発】

◇事業の概要

本事業では、高レベル放射性廃棄物地層処分場の操業段階で用いられるオーバーパックの遠隔溶接・検査ならびにオーバーパックと緩衝材の遠隔搬送・定置に関わる遠隔操作技術について、その成立性、適用性、信頼性などを定量的に評価、表示し、地質環境条件及び様々な処分概念への対応や品質に係る情報等も明記した、幅広い技術メニューの整備を主たる目標としている。

そのため、遠隔操業設備の概念設計に基づき、必要とされる要素技術とその試験パラメータを抽出、各要素技術に関する適用性確認試験を実施する。試験結果を人工バリア品質（地層処分の特徴である長期健全性の確保）と遠隔操業システム化の視点から体系的に評価、検討することで、多様な技術オプションを整備する。なお、本開発における人工バリアは、地層処分研究開発第2次取りまとめで提示された概念に基づくものである。

第1フェーズとして、平成12年度にオーバーパックの溶接・検査、オーバーパックと緩衝材の搬送・定置を対象とした遠隔操作設備の概念設計を行い、技術開発課題を抽出した。続いて平成13年度より、抽出した技術開発課題に基づき、各技術の技術調査、適用性確認試験を行い、各要素技術の成立性、適用性、信頼性を表示する第1段階の技術メニューを整備した。また、人工バリア品質確保の考え方ならびに処分場における遠隔操作技術を対象とした遠隔操業システム構築に関わる品質、安全の考え方についても検討を行っている。

第2フェーズとしては、人工バリアの設計、品質、及び遠隔操業システムの成立性確認や高度化の視点を新たに加え、幅広い技術の成立性、適用性、信頼性等を定量的に比較、評価し、それらを取りまとめる第2段階の技術メニューの整備に着

手した。平成17年度には第1フェーズの成果を基に、改めて技術課題抽出と開発計画を検討し、平成18年度からは開発計画に基づいた各要素技術の調査、適用性確認試験等を開始している。図-1に本事業の検討範囲を示す。

なお、本事業は経済産業省の委託により実施しているものである。

(報告書) 平成19年度地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発報告書(第1分冊)－遠隔操作技術高度化開発－

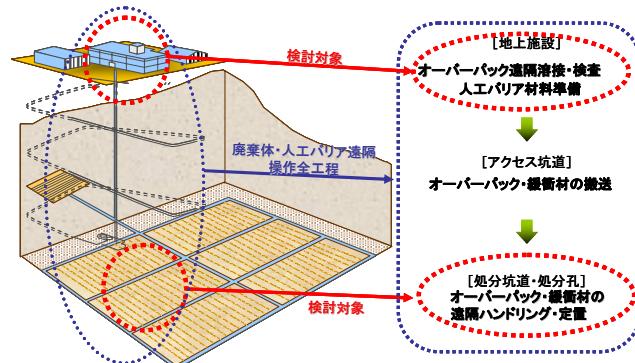


図-1 本事業の検討範囲

◇平成19年度の成果

(1) 遠隔溶接・検査技術の開発

炭素鋼オーバーパックの落とし蓋構造について、実規模を想定した溶接開先(最大深さ190mm、円周状溶接線)を設けた炭素鋼鍛工品製供試体に対して溶接試験を実施し、溶接法の適用性と溶接継手性能を確認した。TIG溶接については2電極高能率TIG溶接装置の適用性確認試験を実施し、ワイヤ供給機構とシールドガス確保機構を含む落とし蓋用溶接トーチが実規模に適用可能であること、また、その電極が連続35時間使用の耐久性を有することを確認した。MAG溶接についてはシングルトーチ型狭開先MAG溶接装置の適用性確認試験を実施し、スタート部融合不良防止、スラグ除去、中間清掃(7~8層毎のチップ、ノズル清掃)の採用により実規模に適用可能であることを確認した。また、カメラを用いた遠隔溶接監視技術として、開先内にミラーを挿入して監視する光学系、ならびに開先外から監視する光学系の両者を開発し、実規模に適用可能な視認性と耐熱性を有することを確認した。

深さ 190mm の落とし蓋構造に関しては、TIG, MAG 溶接共に本溶接に先立つ仮付け溶接時に割れが発生し、その原因と対策を検討した。この検討結果に基づき、今後の開発課題として、オーバーパックの蓋構造ならびに溶接金属組成を考慮した溶接技術の開発を提示した（図-2）。

超音波探傷技術については、フェーズドアレイ－TOFD 法について適用性確認試験を実施し、10～190 mm の深さに存在する 2 mm 以上の人工欠陥を全て検出、定量可能であることを確認した。また解析により、試験結果の評価ならびに探傷条件の最適化を実施し、フェーズドアレイ法とフェーズドアレイ－TOFD 法両者の特性を把握した。

さらに各超音波探傷法（クリーピングウェーブ法、TOFD 法、フェーズドアレイ法）の実機への適用に向けて、自然欠陥（実際の発生形状を模擬）に対する適用性確認試験を継続実施した。各探傷法の探傷結果を、試験体を段削り撮影した画像と比較検証することで、各探傷法の自然欠陥に対する特性を把握、非破壊検査システム構築の際の探傷法組合せに関する知見を得た（図-2）。

オーバーパックの設計、封入部品質の高度化については、オーバーパックを溶接構造物として捉え、破壊力学による溶接部構造の健全性評価手法を提示した。また、これまでの一連の調査、検討、試験等の結果と今後の検討対象分野を整理し、遠隔溶接・検査システム構築に向けての開発方針を提示した。



図-2 TIG, MAG 溶接状況及び自然欠陥段削り撮影例

(2) 遠隔搬送・定置技術の開発

操業環境維持制御の検討では、操業の要素技術を開発する上で必要となる前提条件を整理する目的で、既設坑道の環境について調査した。坑道形状や温度・湿度・湧水などを調査し、それを操業環境の例として整理した。

PEM 施工に関する検討では、PEM 容器への人工バリア組込方式について試験を実施した。複数の

組込方式に対して、施工性、遠隔ハンドリング性、安全性などの観点で検討し、実機施工方法の例を示した。このうち、ブロック方式の組立方法については、模擬ブロックを用いて PEM 組立試験を実施し、その成立性を確認した（図-3）。

緩衝材の品質確保に関する検討では、「隙間充てん技術」、「ニアフィールド修復技術」、「残置物への対応方法」について検討した。隙間充てん技術では、ベントナイトペレットやベントナイトスラリーを用いた隙間充てん試験を実施し、充てん可能な隙間形状や充てん後の密度などを確認した。ニアフィールド修復技術では、亀裂へのグラウト技術を想定し、ベントナイトを用いたグラウト材料を調査して、その適用性を確認した。

施工品質管理技術に関する検討では、施工管理指標の一つである緩衝材密度に着目、密度計測手法について調査し、結果を遠隔操作性の観点で整理した。その中から抽出した 15 種類の計測手法を用いて、予め所定の密度に成形したベントナイト緩衝材を実際に計測し、各手法の適用性を定性的に確認した。

品質評価に関する検討では、人工バリアの品質変化に影響を与えるニアフィールドについて、その構成要素が時系列的に変遷していく状態変化を、建設前から 10 万年後の期間において整理した。この結果、緩衝材の品質に最も大きな影響を及ぼすプロセスはニアフィールドの水理変化であることが判明した。また、開発した要素技術を遠隔操業システムとして統合する際の方針を示し、そこで必要となる開発課題を抽出した。

この他に、「回収技術に関する技術分析」、「遠隔制御技術に関する技術動向調査」、「緩衝材の遮へい効果に関する計算」、「ベントナイトの長期挙動に関するデータ取得」なども実施し、得られた知見を技術メニュー整備に向けて整理した。



図-3 PEM 容器への人工バリア組立試験状況

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

【人工バリア品質評価技術の開発】

◇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とされた。このような背景から、オーバーパック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。

本事業は平成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内容を行うものである。

(1)溶接及び腐食に関する情報収集・検討

オーバーパックや溶接部の腐食挙動に関する過去の研究成果等を調査し、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整理、分析する。オーバーパック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の解析・評価手法と低減対策を検討する。

なお、本事業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との共同研究として実施している。

(報告書) 平成19年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第2分冊)－人工バリア品質評価技術の開発－

◇平成19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 酸化性雰囲気での浸漬試験
- ② 応力腐食割れ(SCC)感受性調査
- ③ 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認められた。

①③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

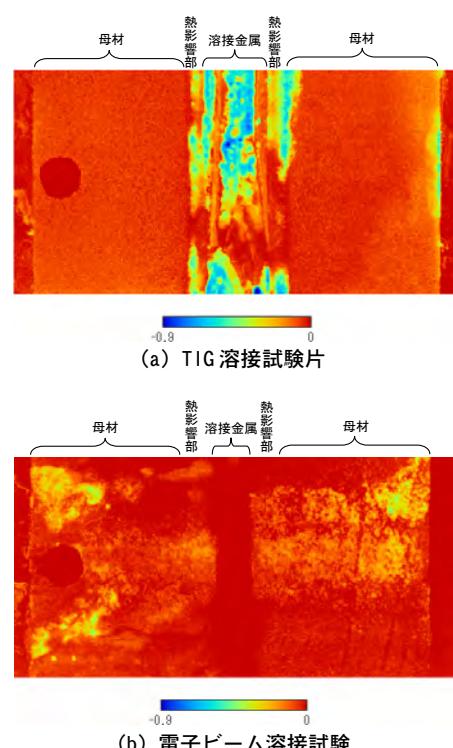


図-1 浸漬試験後試験片の表面形状(人工海水、空気吹込み、80°C、365日、脱スケール後)

溶接部の腐食挙動に顕著な違いは認められなかつた(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(人工海水、人工淡水: 2.5 mM NaHCO₃+2.5 mM NaCl 溶液)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推察された。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、長期データ取得のための試験を計画している。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、TIG 溶接と MAG 溶接については対策として、溶加材の化学組成や溶接部の組織を制御する熱サイクルパラメータに着目した溶接部の耐食性改善のための検討を進めている。

③の応力腐食割れ(SCC)感受性の調査において、0.5 M 炭酸塩溶液中では溶接方法(TIG, EBW, MAG)によらず、母材及び溶接部に SCC が発生したが、1.5 M の場合と比較して軽微であった。また、溶接部と比較して母材の SCC 感受性が高く、溶接の影響で SCC 感受性が増加する傾向は認められなかつた。0.2 M 炭酸塩溶液中では溶接方法や部位によらず SCC の発生が認められなかつたことから、SCC 発生の臨界濃度は 0.2~0.5 M の間にあることが推察された。今後は緩衝材が SCC 感受性に与える影響の確認が必要である。

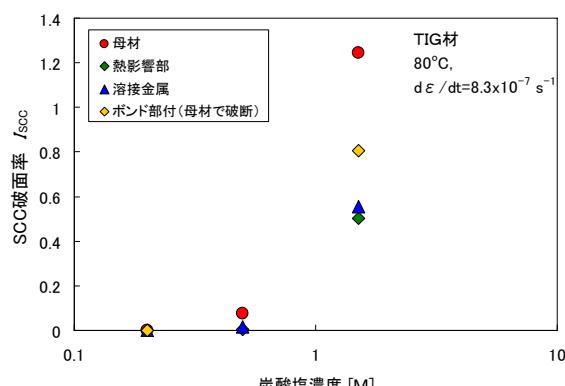


図-2 炭酸塩濃度と最大 SCC 破面率 I_{SCC} の関係
(TIG 溶接試験片、80°C、1 μm/min)

④の還元性環境下における浸漬試験においては、人工淡水に 1 年間浸漬後の試験片中には、母材、溶接部とともに、遅れ破壊の原因とされる拡散性水素濃度の明確な增加傾向は認められなかつた。人工海水中で 90 日浸漬後に TIG の溶接金属で著しく高い拡散性水素吸収量が認められた原因については、材料中の水素のトラップサイトとなるような格子欠陥が TIG の溶接金属に多く存在している可能性が示唆された。この原因については現時点で明らかではなく、今後、詳細な調査を行うとともに、さらに長期データの取得を行い、水素脆化生起可能性を評価していくことが必要である。

(2) 溶接部品質検討(残留応力に関わる検討)

平成 16 年度の試験計画に基づき、残留応力解析手法の高精度化、高速化について検討した。

高精度化については、3 次元ビードオンプレート溶接残留応力解析に対して母材物性値の見直し(実験にて再取得)を行い、より精度良く測定結果を再現できた。また、解析条件として解析要素を等方硬化することが有効との知見を得た。

高速化については、3 次元溶接残留応力解析に対して疑似 2 次元化手法を考案、導入することで解析所要時間を短縮することができた。さらに、この手法を平成 13 年度に実施した蓋部模擬試験体溶接試験の残留応力解析に適用し、擬似 2 次元モデル化範囲の最適化に関する知見を得た。

次年度以降、高精度化及び高速化についての検討を継続すると共に、残留応力低減手法として想定している PWHT(溶接後熱処理)等の適用性確認、低減手法の確立を図る必要がある。

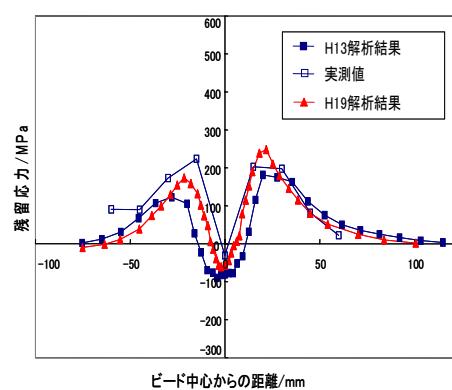


図-3 蓋部残留応力解析結果(半径方向)

〈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-IV
(日本原子力研究開発機構との共同研究報告書)

【モニタリング技術の開発】

◇事業の概要

本事業では、高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるモニタリングシステムと記録保存について研究している。このうちモニタリングシステムについては、サイト調査や閉鎖後までに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。地層処分は各バリア性能に十分に裕度をもたせて集大成した安全評価により長期安全性を確保しようとしている。地層処分では、このような技術的信頼性を考慮した上で、処分地選定の段階に始まり、地層処分場を閉鎖した後から一定の期間にわたって、実際の処分場に関する所期の安全性能やその状況について確認する観点から、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。モニタリングについては、平成12年度から平成18年度までの第1フェーズに引き続き、平成19年度より第2フェーズに着手した。また、平成16年度に位置付け及び技術的可能性に係る技術報告書¹⁾を取りまとめた。一方、記録保存については、地層処分における記録の長期保存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継続的に実施した。記録保存については、平成14年度に位置付けと方策に係る技術報告書²⁾を取りまとめた。

以下、平成19年度に実施したモニタリングシステムに関する研究について述べる。なお、本事業は、経済産業省の委託により実施したものである。

(報告書) 平成19年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素 技術高度化開発 報告書(第3分冊) -モニタリング技術の開発-

◇平成19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、気象・地形、地質環境特性、周辺監視、環境評価等の「①ベースラインとその変動の把握」、「②ファーフィールドの特性の把握」、「③「ニアフィールドの特性の把握」がある。また、性能評価データ取得、設計・施工上の仮定の確認、安全評価モデルの検証を扱う

「④処分場の安全性能の妥当性の確認」、前述①～④のある割合の部分を取り扱う「⑤法令要件に対する適合性の確認」、及び、「⑥社会に対する情報の蓄積と提供」の6目的を提起している。本年度は上述④に関連する性能評価パラメータの計測・モニタリングの妥当性・可能性を評価し、その考え方を整理した。また、上述③の1つである廃棄体品質パラメータを抽出・整理した。今後は、性能評価パラメータについて水理・物質移動については広域の巨視的なもの、精緻に計測・モニタリング可能な掘削影響領域(EDZ)等に関してさらに検討していく必要がある。また、IAEA・EC等の国際動向と整合を取り、モニタリング目的・項目を処分事業段階毎に区分・整理する必要がある。

(2) 中核的なモニタリング技術の調査研究

本研究では技術メニューの整備に並行して技術的に有望であり、地層処分へ適用性が高く、共通性が高いなど重要と考えられる新技術等を活用し、基礎試験や解析により当該技術のフィジビリティ調査を行っている。本年度は地中無線伝送技術、光ファイバセンサ技術の調査研究を継続実施し、新たにパッシブ無線センサ技術の適用可能性を予備的に評価した。

地中無線伝送技術は、地下空洞における地下施設並びに周辺地盤のモデル化及び3次元低周波電磁波伝播解析等の調査研究を行い、支保・鉄筋等の影響を低減するための適切な周波数帯を選定し、送受信機の設置位置を具体化した。今後は別途の現地試験により支保・鉄筋等の影響を実測し、その結果を反映することで解析モデルを高度化し、今後の予測精度を向上することが必要である。また、国内外の地下研究施設(URL)において実際の処分場を模擬した系での試験研究計画を検討する必要がある。

光ファイバセンサ技術は、FBG式光ファイバセンサの耐久性評価、FBG式土圧センサのデータ確証試験等の調査研究を行い、約310日間の連続計測によりセンサ自体の耐久性を確認し、常温域における試験セルによるベントナイト膨潤圧の測定が適切に行えることを確認すると共に今後のセンサ改良点を見出した。今後は多点同時計測システムでの測定精度の確認、温度補償に係るセンサ改良及びベントナイト膨潤圧計測の温度依存性や長期耐久性の確認が必要である。さらに次の

ステップとして、地上研究施設のスケールを拡大した試験装置における圧力分布計測等の試験計画を検討する必要がある。

パッシブ無線センサ技術は、UHF 帯の汎用の試験装置（リーダ・ライタ、アンテナ等）を用いて乾燥ベントナイトや 15% 程度の含水ベントナイト中の通信試験等の調査研究を行い、10cm 強程度のかぶりなら短距離での通信が確立する（無線 IC タグへ電力を無線伝送したとき、半分以上の割合で無線 IC タグからデータが返送される）ことを確認することができた。今後は汎用の試験装置を利用した体系で電界強度、通信の指向性及び水・金属の影響等の通信の基本的特性に関する試験データを拡充することが必要である。また、地下施設内の電波法の適用範囲を確認し、改良した試験装置により通信に最適な周波数・出力を見出し、ベントナイト中の施工要領を開発する等により、処分システムへの適用を図る必要がある。

(3) モニタリング技術メニューの開発

海外諸国のモニタリングの定義と進捗度はまちまちである。フィンランド等では地質環境調査を中心としたモニタリングが進められている。日本では地層処分時のモニタリング計画がまだ整備されていない。本研究では地層処分モニタリングにかか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、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立地前の地質環境等のベースラインの把握、処分場閉鎖前の工学的対策の妥当性の確認、及び閉鎖後の制度的管理の期間のモニタリングに至るまで全ての処分事業段階を対象とする。さらにその目的に応じ、時期、場所、対象（パラメータ）及び方法（計測機器）も多岐にわたる情報を収録する。モニタリング計画はステークホルダー（処分事業者、安全規制機関、地方自治体等）が各自で、それぞれの役割や目的に応じて個別に策定する可能性があるため、それを視野に入れて、技術メニューを整備することが望まれる。技術メニューの必要性と適用範囲を図-1 に示す。それ故に情報は追跡性を確保し、各機関が利用し易い技術情報データベースとして分類整理する必要がある。

技術メニューは、これら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開発

を進めている。今後は公開に向けての専門家レビュー等を進め、将来的には各機関がこの技術メニューを利用して、透明性の高いモニタリング計画策定の議論を行うことを期待している。

(4) 記録保存技術の調査・分析

記録保存技術は、制度的管理の一つとして近年社会的信頼性向上の観点からその必要性が議論されている。本年度は、公開予定の国際機関 IAEA のセーフティレポート等及び我が国の規制側の公開報告書の内容を調査・整理した。今後は近年動きのある海外の動向及び記録保存システムについて調査する必要がある。

(5) モニタリングシステムのまとめ

本年度は、第 2 フェーズの初年度として操業から閉鎖後までの各段階における地層処分モニタリングの意義等の整理、中核技術の基礎的な調査や試験、技術メニューの技術的可能性及び記録保存技術などの検討状況を取りまとめた。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イ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 Technology) の観点から最新の知見（産業技術として技術革新のめざましい電源に関わる情報収集を含め）の整備に努める必要がある。

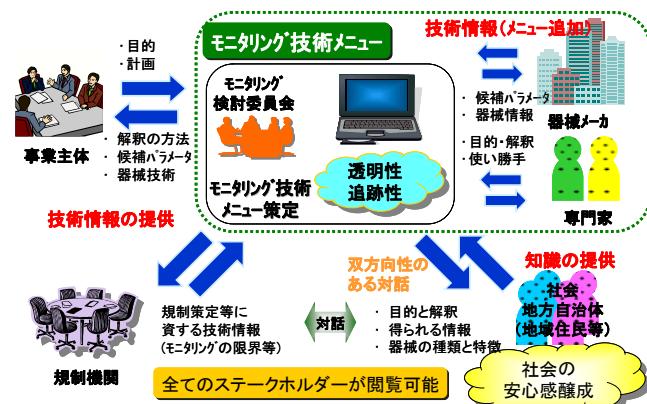


図-1 技術メニューの必要性と適用範囲

- 1) 原環センター技術報告書「地層処分にかか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）」, RWMC-TRJ-04003.
- 2) 原環センター技術報告書「地層処分にかかる記録保存の研究－位置付けと方策－（平成14年12月）」, RWMC-TRJ 02001.

1-2 性能評価技術

【ガラス固化体スケールの詳細解析技術の開発】

◇事業の概要

システム性能を検討する際に行う核種移行解析のソースタームとなるガラス固化体の溶解挙動と核種の溶出については、ガラス固化体表面及びその近傍で生ずる多様な現象がどのような影響を与えるかを考慮することが必要である。

本事業では、平成 18 年度までの資源エネルギー庁調査等事業及び日本原子力研究開発機構との共同研究の成果とそこで明らかとなった課題を踏まえ、ガラス固化体スケールの詳細解析技術の開発を進めることを目的とする。

昨年度までの解析結果から、ガラス溶解に寄与する破碎による表面積の拡大は、熱収縮による破碎の評価が重要であり、処分後の破碎挙動による割れは第 2 次取りまとめで設定されている割れ係数 10 を越える可能性は極めて小さいことが示された。そのため、今後のガラス固化体近傍の詳細解析技術の開発においては力学的な破碎現象よりも長期の溶解現象の評価を進めることが重要と考え、本年度以下の項目を実施した。

- (1) 表面変質層の鉱物学的変遷モデルの作成
- (2) ガラス固化体近傍の核種移行モデルの作成
- (3) ガラス溶解・核種溶出についての総合的な評価体系構築に関する検討

なお、本事業は平成 19 年度資源エネルギー庁事業「先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発」を受託した日本原子力研究開発機構から委託として、日本原子力研究開発機構との検討を積み重ねつつ実施したものである。

(報告書)平成 19 年度 ガラス固化体スケールの詳細解析技術の開発

◇平成 19 年度の成果

(1) 表面変質層の鉱物学的変遷モデルの作成

ガラス表面変質層の中で最も外側に位置する析出層は、一般には顕著な拡散抵抗は示さないと考えられているものの、スメクタイト等が生成する場合には拡散抵抗として寄与する可能性が既往の文献により示唆されている。析出層がどのような二次鉱物によって形成されるかは、周囲の空

隙水質や周囲での溶質の移動挙動等に依存して異なるものと考えられる。また、当該環境で過飽和となる鉱物が複数存在する場合には、最も安定なものが直接生成することは稀であり、多くの場合は、準安定な鉱物が前駆体として生じて、時間の経過とともに徐々により安定なものへと変化していくこととなる (Ostwald 系列)。これらのこと考慮し、析出層の生成と変遷のシナリオを分類した (表-1)。さらに、Ostwald 系列に沿った鉱物学的変遷を、核形成、準安定相から安定相への変化 (カニバリズム) 及び結晶粒の成長 (熟成) として表現したモデルを用いて、表-2 に示すケースでガラス溶解速度、ゲル層及び析出層の拡散係数、準安定相と安定相それぞれの沈殿速度及び外側境界条件を種々に変動させて解析を行い、二次鉱物の生成・変遷挙動を推定した。各ケースとシナリオの対応及び各ケースでの二次鉱物の生成・変遷の解析結果を表-3 に整理した。

表-1 析出層の生成に関するシナリオの分類

シナリオ	外部への Si 移行率	析出層の拡散抵抗	安定相沈殿速度	析出層の特徴		Si 濃度*	
				内側	外側	内側	外側
1-1	大	—	—	なし		低	
1-2-1	大	小	—	安定相		低	
1-2-2-1	大	大	小	準安定相 + 安定相	安定相	高	低
1-2-2-2	大	大	大	安定相		低	低
2-1-1	小	小	小	準安定相 + 安定相		高	高
2-1-2	小	小	大	安定相		低	低
2-2-1	小	大	小	準安定相 + 安定相	安定相	高	低
2-2-2	小	大	大	安定相		低	低

表-2 二次鉱物の生成・変遷挙動解析で想定したケース

	ガラス残存溶解速度	析出層の実効拡散係数	外側境界条件
ケース 1	小	大	条件 1
ケース 2	小	大	条件 2
ケース 3	小	大	条件 3
ケース 4	大	大	条件 1
ケース 5	大	大	条件 2
ケース 6	大	大	条件 3
ケース 7	小	小	条件 1
ケース 8	小	小	条件 2

条件1：緩衝材（厚さ 0.7m、実効拡散係数 = $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ）の外側境界で地下水組成 (FRHP) 一定とした濃度固定境界

条件2：鉄腐食生成物への吸着によってガラス直近で Si 濃度が極く低いものとなることを想定した境界条件

条件3：オーバーパック開口部が狭隘であることを想定してガラスの外側を 0 フラックスと仮定した境界条件

表-3 二次鉱物の生成・変遷に関する解析結果

	対応するシナリオ	生成した二次鉱物	
		析出層外側	析出層内側
ケース1	2-1-1	Na ⁺ バイデライト、カルセドニ、アナルサイム、アモルファスシリカ	
ケース2	1-2-2-2	沈殿せざ	アナルサイム
ケース3	2-1-2	アモルファスシリカ→カルセドニ・Na ⁺ バイデライト→アナルサイム (カニバリズム)	
ケース4	2-1-2	アナルサイム	アモルファスシリカ→Na ⁺ バイデライト→カルセドニ→アナルサイム (カニバリズム)
ケース5		ケース2と同じ	
ケース6		ケース3と同じ	
ケース7	2-1-1	アモルファスシリカ、Na ⁺ バイデライト、カルセドニ	
ケース8		ケース2と同じ	

これらの結果から、ガラス表面変質層の析出層についての解析にOstwald 系列等の新たな考え方を導入することについて、以下のようにまとめることができる。

- 外部及び析出層自体の物質移動特性を変更することによって、析出層の生成・変遷に関する多様なシナリオが派生し得る。特に、閉鎖系である実験系と開放系である処分場環境では生成する二次鉱物の種類が異なる可能性があり、さらにOstwald 系列まで考慮に含めた場合には、物質移動条件が同様なシステムであっても、時間スケールによって支配的となる二次鉱物の種類が異なる可能性も示唆している。このことは、実験室で生成する析出層に見られる二次鉱物と処分場条件で長期のうちに生ずる二次鉱物との同一性を示すことが課題となることを示唆するものと考えられる。
- これらは未だ初期段階の計算結果であり、今後、十分に吟味するとともに検証解析を実施する必要があると考えられるものの、実験室系において得られた知見に加えて、開放系であるナチュラルアナログ事例等における長期の変質挙動に関する情報を補完的に活用することの重要性を示すものと言うことができる。

(2) ガラス固化体表面近傍の核種移行モデル作成

ガラス固化体表面近傍での二次鉱物の生成・変遷が核種移行に与える影響を評価するため、Cs を対象核種として、析出層に生成する二次鉱物の影響を取り込んだ核種移行モデル作成し、ガラスの溶解速度、Cs の溶解度、ガラス表面変質層（析出層で代表）への Cs の収着係数及び拡散係数の変化を考慮した感度解析的な核種移行解析を実

施した。その結果、Cs については析出層の生成・変遷を考慮することによる核種の移行挙動への影響はそれほど大きくないが、Cs を含む二次鉱物の生成により溶解度が小さくなる場合は移行率のピークが減少する傾向のあることが示唆された。

(3) ガラス溶解・核種溶出についての総合的な評価体系構築に関する検討

ガラスの長期挙動の評価においては、保守的な信頼性を持ち得るように関連する諸現象を簡単化しつつ統合化した性能評価モデル、理論的・微視的なアプローチでガラスの溶解現象を理解するモデルを併せ持つことで、より信頼性の高い評価していくことができると考えられる。この観点から、極小の領域を対象とするメゾ・ナノスケールモデルは、従来の性能評価モデルで用いられているマクロスケールのモデルの代替としてよりも、理論的・微視的なアプローチによるガラスの長期溶解挙動の現象理解モデルとして、性能評価モデルを補う形で活用することが適切である。

このような考え方に基づき、ガラス溶解・核種溶出挙動に関して、時空間のスケールが異なる評価手法をそれらの特長及び適用領域を踏まえて組み合わせることで、総合的なガラス溶解・核種溶出挙動の評価体系を検討した（図-1）。この体系では、マクロスケールのモデルをより微小領域を対象としつつより理論的なメゾスケールのモデルで支援するとともに、メゾスケールモデルの入力をさらに理論的なミクロスケールのモデルを用いて提供するという役割分担が大きな特徴である。

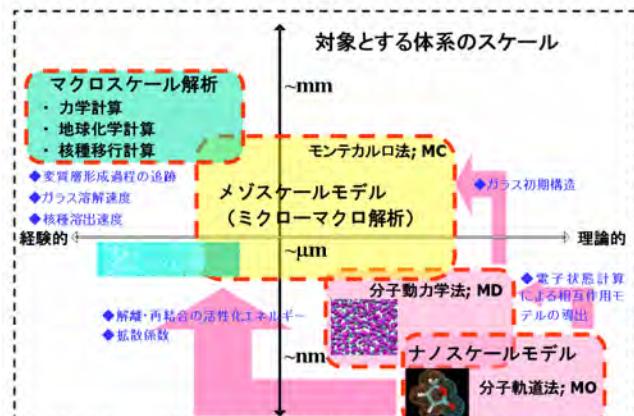


図-1 総合的なガラス溶解・核種溶出挙動の評価体系案

【処分場スケールの詳細解析技術の開発】

◇事業の概要

処分場スケールについては、例えば、第2次取りまとめでは、廃棄体1体を含む人工バリアとその外側の母岩及び断層での核種移行を評価し、その結果に廃棄体本数を乗ることで処分場全体からの影響を評価している。一方、精緻なモデル化として、処分場を対象としたスケールを既存の水理・物質移行モデルで直接的に3次元のモデルとして表現することも可能であるが、計算能力や計算時間、入力として必要とされる情報の充足性等の制約がある。そのため、それらの中間的なモデル化技術により、処分概念に含まれる多様な要素及びそれらの配置がシステム性能にどのような影響を与えるかについて、処分場に該当するスケールとそこで現象の特徴を適切に考慮した核種移行解析を合理的な計算負荷で実施できるようにする技術の検討を行った。

本事業では、放射性核種の溶出・移行を解析するための手法について、複数の廃棄体の相互作用の定量化及び計算負荷の低減に着目して実施された平成18年度までの資源エネルギー庁調査等事業及び日本原子力研究開発機構との共同研究の成果とそこで明らかになった課題を踏まえ、処分場スケールでの詳細解析技術の開発をさらに進める目的とする。

本年度は、処分場レイアウトの最適化や合理化に関わる検討への適用に向けて、処分場のスケールを対象として場や現象が有する特徴（地質環境条件の空間的分布、処分場の設計に基づくパネル配置や坑道・プラグ配置、様々な要素やプロセス、複数の廃棄体からの核種移行による相互作用等）となるべく多く考慮しつつ、それらの核種移行挙動への影響についての感度解析を合理的な計算負荷で実施できるようにするための技術開発として、以下の項目を実施した。

- (1) 計算対象とする領域の分割及び類型化の検討
- (2) 解析技術の改良・高度化

なお本事業は、平成19年度資源エネルギー庁事業「先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発」を受託した日本原子力研究開発機構からの委託として、日本原子力研究開発機構との検討を重ねつつ実施したものである。

(報告書)平成19年度 処分場スケールの詳細解析技術の開発

◇平成19年度の成果

(1) 計算対象とする領域の分割及び類型化の検討

平成18年度までに開発した処分場マルコフ法の技術は、処分場スケールの評価を、局所的な領域での核種移行を評価する解析階層Ⅰと、大局的な領域での核種移行を評価する解析階層Ⅱに分割することを特徴とし、領域を分離して扱うことにより計算負荷を小さくすることを可能としようとするものである。

このような計算負荷低減を実効的なものとするためには、解析階層Ⅰで詳細に解析する局所的な領域（コンパートメント）の数をなるべく少なくすることが必要であり、解析階層Ⅱで考慮する領域を局所的な領域に分割する際に、適切な指標に基づいて、なるべく少ない数に類型化する技術が重要になる。このような類型化における一般的な着眼点として、以下のような点を考慮する必要がある。例えば、地質媒体を地質構造的にとらえた場合には、水理挙動に顕著な影響を及ぼす領域として断層・破碎帯等を、また岩盤特性の観点からは、透水部・難透水部や多孔質媒体・亀裂性媒体としての扱い方を、さらには人工バリアや処分施設の構成要素については、その多様性に配慮するため、廃棄体、埋め戻し材、プラグ等の仕様や廃棄体定置方式の相違、及び掘削影響領域（EDZ）を考慮した区分が必要となる。また、このような地質媒体や人工バリア構成については、構造的な多様性だけではなく、それぞれの有する物性（透水係数、拡散係数、分配係数、水理場等）の相違に留意して区分を行う必要があると考えられる。これらの観点から、まずはバリアの構造的及び特性的な指標に着眼しながら整理することが適切であると考えた。

これらを踏まえて設定した類型化に関する基本的な考え方を図-1に示す。この考え方では、構造的及び特性的な相違に基づく区分を、それぞれ1次的及び2次的な類型化という概念で階層的に示しており、対象とする解析領域での特徴や特性はこの段階で一通り抽出され類型化される。さらに、1次的及び2次的な類型化の結果を、核種移行挙動の評価結果などに基づき、さらに適切な条件に統合する作業を3次的な類型化としている。

以上のような類型化の手順を実務的なものにしていくためには、後述する解析技術の改良・高度化と連動させつつ、指標の詳細化、区分の基準の具体化を図る必要がある。

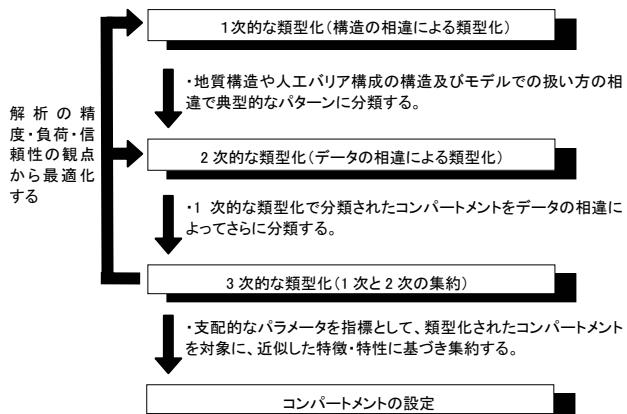


図-1 コンパートメントの類型化の基本的な考え方

(2) 解析技術の改良・高度化

現実的な場や現象の特徴を考慮するためには、解析階層Ⅰのモデルを2次元及び3次元に高度化する必要があり、また解析階層Ⅱではその詳細な解析結果を入力情報として受けとり大局的な解析に展開するための高度化が必要になる。解析階層Ⅰについてこのような高度化を行うにあたり、平成18年度までのパーティクルトラッキングを用いた移行時間の評価方法では、統計処理のため計算負荷をさらに増大させる可能性があることから、解析解を用いる手法を新たに開発することで、精度の確保と計算負荷の低減を両立した形で次元の拡張を図った。また、解析階層Ⅱについては、マルコフ連鎖を用いた核種移行を表現する方程式を改良し、解析階層Ⅰでの3次元の評価で得られる6方向の移行を取り込めるようにした。このように機能が拡張された処分場マルコフ法により、3次元的なレイアウトの影響を評価するための基盤的な技術が整備された。これらの効果を確認するために、平成18年度までの技術では評価できなかった、3次元的な領域に廃棄体、緩衝材、コンクリート支保、掘削影響領域、及びプラグを設置した問題を設定した解析を実施した。解析体系を図-2に示す。コンクリートの劣化の有無、プラグの設置の有無を組み合わせた解析を実施し、図-3に示すように、コンクリート劣化による影響の程度がプラグの有無で異なることを確認した。

今後は、解析階層Ⅰで行うべき解析量を現実的な範囲に押さえつつ、解析階層Ⅱで評価する対象領域を処分場スケールまで拡張し、かつ不均質性や不確実性を含む場の特徴を考慮できるようにするため、解析階層Ⅰで必要となる解析の詳細度及び許容される解析時間などを、前述の類型化とも連動させつつ明確にしていくことが重要となる。

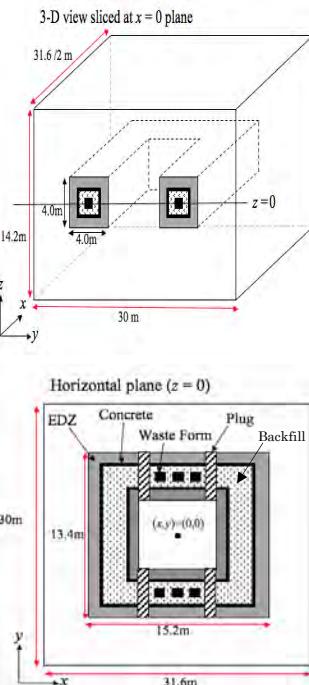


図-2 コンクリートの劣化及びプラグ設置の有無を組み合わせた問題の解析体系

※地下水の分岐や合流の影響及びプラグの周囲の回りこみの影響を考慮するため、三次元の処分場モデル中に6体の廃棄体が同じ水平面上で2列の坑道に配置された解析体系を設定。これに對して、プラグの有無、コンクリート支保の劣化の有無を組み合わせることで問題を設定。

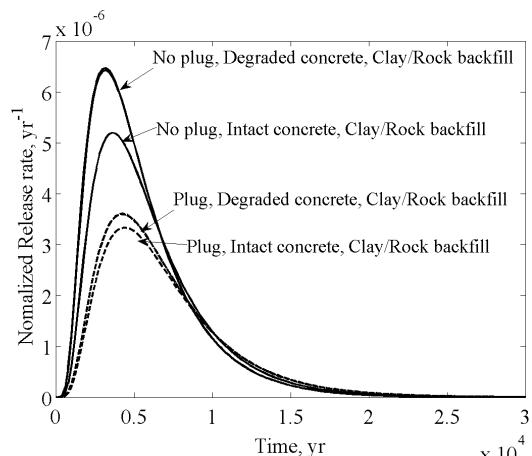


図-3 核種放出率の時間変化（劣化の有無、プラグの有無の組み合わせ）

1-3 制度化・社会対応技術

【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（2）】

◇事業の概要

本事業では、地層処分のバリア機能を損なうことなくモニタリングを行うために、無線モニタリング技術の実証を目的に原位置試験などを実施している。以下、事業の概要を示す。

地中無線データ伝送技術（以下、当技術）については、本研究の基盤となる経済産業省委託事業「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、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。

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ようとしている。この試験において、従来方式を用いてバリア内部の情報を得ようとすると、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となり、バリア機能を損なう可能性がある。そのため、バリア機能を損なうことなく情報取得が可能な当技術に対する期待度が高くなっている。

当技術に関する課題の一つに、岩盤を伝播媒体とした場合の伝送可能距離が挙げられている。この点に関しては、これまでの検討により、“送受信コイルアンテナの仕様と伝送可能距離の関係”を明らかにしており、原環センターでは、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ため、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では、可逆性を考慮した地層処分の研究開発を進めている。ANDRAは地層処分におけるモニタリングに関する研究の中で、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できる手法（無線モニタリング）の実証を検討してきた。

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している。本研究では、ANDRAが所有するMeuse/Haute-Marne URL（以下、ビュール地下研究所）に無線モニタリングを適用するため、平成18年度までに電磁ノイズの調査並びに通信確認試験を実施し、以下の3点を確認している。

- ①原位置の電磁ノイズレベル
- ②母岩が通信に及ぼす影響
- ③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

また、これらの結果をもとに、プロトタイプ送信装置及び受信装置一式を設計・製作した上で、その通信性能が設計どおりであることを確認している。

なお、本事業はANDRAからの委託に基づき実施しているものである。

◇平成19年度の成果

(1) ビュール地下研究所への設置及び通信性能の確認

平成19年度には、プロトタイプ送信装置をビュール地下研究所のGL-490mの地下施設内に設けられた内径約35cm、深さ約10mの垂直ボアホールの底部付近に設置した。送信装置には温度計、土圧計等の5つのセンサを接続した。

全体システム図を図-1に示す。センサのデータは、無線通信により坑道内に設置した受信装置に伝送され、立坑内に敷設された光ファイバを介して地上施設に送られる。日本からは、インターネット回線を通じて送信装置にアクセスすることができ、データの回収や、送信装置の通信モードの変更を遠隔で行うことが可能である。

通信モードは、送信装置設置時の動作確認を行うための高頻度モードから、消費電力を抑えた長期運用段階の低頻度モードまで、段階に応じて5つのモードを備えている（表-1）。

送信装置の設置時には、地下施設内の種々の地点に受信機を配置し通信を実施することにより送信装置が設計どおりの性能を満足しているこ

表-1 計測間隔及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/時	6回/時間

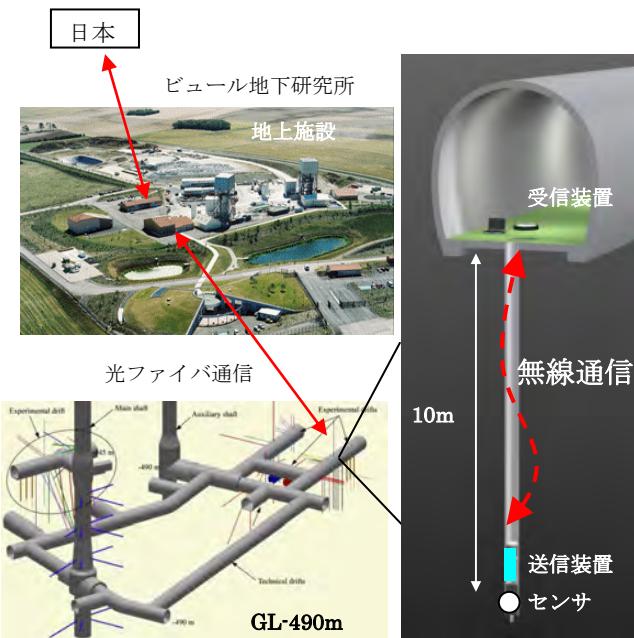


図-1 無線モニタリングシステムの概要

とを確認した。更に、送信装置から送られた磁界の強度を測定することにより、データの搬送波である低周波電磁波の地下施設内における伝播挙動を把握した。

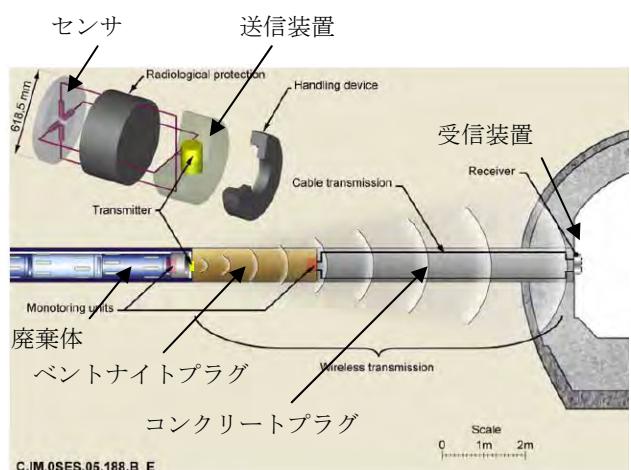
平成18年度の研究では、緩衝材及び現地の母岩が低周波電磁波の伝播に与える影響が、ほとんどないことを明らかにした。一方で、低周波電磁波は、地下施設内に使用されている鋼製支保工や鋼管等の鋼材の影響を強く受け、複雑な伝播挙動を示すことも確認されている。そこで、平成19年度の研究では、これまで原位置で得られてきた通信試験結果をモデルやインプットデータに反映した3次元電磁波伝播解析も実施し、鋼材等に起因する複雑な低周波電磁波の伝播挙動を数値解析的に検討し、その再現性を確認している。

(2) 繼続モニタリング

送信装置には無線通信の信頼性を検証するため、有線通信用のケーブルも接続している。本研究では、これを利用し、無線通信によるデータ値と有線通信によるデータ値とが一致していることを数ヶ月間にわたり確認している。

今後は、有線ケーブルを切り離し、無線通信のみの状態に移行した上で、ボアホールをベントナイト及びコンクリートで埋戻し、10年程度のモニタリングを実施する予定である。

また、ビュール地下研究所で計画されている実規模実証処分セル用の送信装置（図-2）を設計・製作し、適用すると共に、無線装置の耐熱性や耐放射線性等の基礎研究も行う予定である。

図-2 実規模実証試験イメージ¹⁾

原環センターでは、今後、「モニタリング機器技術高度化調査」の中核的な技術オプションとしての無線モニタリングの研究開発を効率的に実施していくため、本研究のように国内外における実際のフィールドでの適用を多く実施していくと考えている。

1) ANDRA: Dossier 2005, Les recherches de l' Andra sur le stockage géologique des déchets radioactifs à haute activité et à vie longue (2005)

2. TRU廃棄物処分

人工バリア長期性能評価技術開発

【人工バリアの長期挙動の評価】

◇事業の概要

再処理工場や MOX 燃料加工工場の操業・解体に伴って発生する TRU 廃棄物の地層処分における人工バリアシステムは、セメント系材料とベントナイト系材料が併用される。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。本事業では、人工バリア材の長期挙動とバリア性能評価に係わる技術的信頼性の向上及び技術基盤の確立を目的とする。セメント系材料の変質や、セメント-ベントナイト相互作用によるベントナイト系材料変質に関して、材料及び地下水成分の多様性を考慮してデータ取得を実施する。また、人工バリア材料の長期的な変質の予測として、地球化学的反応と物質移動を連成させた解析手法を適用して評価し、長期的に生起する可能性のある重要事象に関して、実験と解析の結果を比較検討する。

本事業では、平成 18 年度までに実施した「人工バリア長期性能確認試験」で得られた成果及び評価手法を利用し、次のことを実施する。

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

これまでの「人工バリア長期性能確認試験」において、ポルトランドセメント (OPC)、フライアッシュセメント (FAC) の化学的な変質現象を再現できる共通のモデルを設定することが可能となった。また、ベントナイト系材料のアルカリ環境での溶解・沈澱挙動として、例えば、ベントナイトの随伴鉱物であるカルセドニの溶解速度は Si 濃度が飽和に近い条件では遅いことから、モデル解析において溶解速度の取り扱いに関する検討が必要であることなどを示した。

平成 19 年度は、これまでの成果ならびに国内外の関連研究を参照し、人工バリア材の変質に関する確認試験及び人工バリア性能評価解析の高度化に関して、今後 5 年間にわたる計画を策定した。その計画に従い試験を開始し、変質に関するデー

タを取得するとともに、人工バリア性能評価解析の高度化に向けて国内外の関連研究の成果を整理し、既往の地球化学・物質移動連成解析手法の適用性等について検討を行った。

なお、本事業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 19 年度 地層処分技術調査等委託費 TRU 廃棄物処分技術 人工バリア長期性能評価技術開発 報告書 (第 1 分冊) 人工バリアの長期挙動の評価

◇平成 19 年度の成果

(1)セメント系材料の長期変質挙動の確認試験

セメント系材料は、環境条件を考慮してセメント種が選定されることから、材料の物質移行及び力学特性を、セメント種に依らず普遍的に表すモデルを調査した。その結果、材料の物質移行特性及び力学特性は空隙構造に依存することから、材料の硬化体構造・空隙構造の 3 次元微細構造に着目し、C-S-H 及び溶解に伴い粗大な空隙を形成する可能性のある水酸化カルシウムを評価することにより (図-1)、表現できる可能性があることを明らかにし、既往の研究ならびに取得した OPC、FAC 及び高炉スラグセメント (BFSC) のデータを用い、モデルの構築に着手した。硬化体とその後の変質に伴う空隙構造の変化を、反射電子像の輝度を基に分類した硬化体断面に占める各鉱物相の割合の変化から求めることとした。何れの試料についても C-S-H が大半を占めていることを確認し、モデル化の対象として着目している物質移行に影響が大きい粗大な空隙と C-S-H の試料断面に占める割合 (面積比) は、70~90%になることを確認した。併せて、XRD リートベルト法による鉱物定量の結果からも、非晶質として定量した C-S-H と水酸化カルシウムが主な構成鉱物であることを確認し、各分析において整合的なデータが取得された。

セメント変質の長期試験として、①多様なセメント系材料及び環境条件における化学的変質過程の評価、②バルク試料の長期変質試験、③経年コンクリートの分析による変質現象・解析条件設定の妥当性確認を実施した。経年コンクリートの分析では、海水系地下水に曝された試料を用いて変質を評価した結果、降水系地下水に曝されたコンクリートと同様に、水酸化カルシウムが存在しな

いことを確認した。降水系地下水に曝されたコンクリートでは、水酸化カルシウムの消失とともにC-S-HのCa/Si比の低下が確認されたが、海水系地下水に曝されたコンクリートはCa/Si比の低下は確認されず、C-S-Hの増加を確認した。経年コンクリートにおいて観察される水酸化カルシウムの消失及びC-S-HのCa/Si比の低下は、骨材等からのSiの供給とCaによる水和反応に依る可能性があり、セメント系材料の長期性能への影響やセメントの初期状態設定の不確実性低減のため、さらに経年コンクリートの調査を進める必要がある。

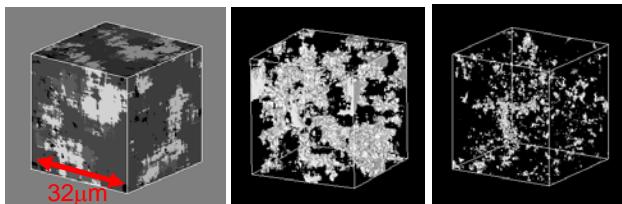


図-1 3次元空隙モデルの一例

(2) セメントーベントナイト相互影響の確認試験

セメントーベントナイト接触試料を用いて、界面近傍の微小領域（とくにベントナイト側）での変質挙動を評価するため、XAFS分析法を適用し、C-S-Hの生成を確認できる見通しを得た。また、セメント系材料、ベントナイト系材料及び地下水成分等をパラメータとし、ブロック状のセメントとベントナイト及び粒子状セメントとベントナイトの接触試料の浸漬試験を開始した。粒子状セメントを用いた浸漬試験では、短期間の試験でもC-S-Hの生成が確認され、同試験法が変質挙動を観る加速試験として有効であることを確認した。

ベントナイトの変質に伴う力学・物質移動特性の変化を表すモデルとして、応力とひずみの関係式ならびにKozeny-Carman式の取り扱いを検討した。さらに、飽和度と圧縮条件をパラメータとしたモンモリロナイトの溶解速度の測定を行った。その結果、得られた溶解速度は、飽和度依存性に関してはCama et al.¹⁾の報告値よりもわずかに遅いが近似の溶解プロトーを示した（図-2：Test#1）。

また、圧縮条件の下では、Yokoyama et al.²⁾がin-situ AFM測定したモンモリロナイトの溶解速度の1/3～1/2であるものの、初期の速い溶解過程（キンク密度、歪み=転位密度の違い）が、圧縮状態を維持することで50 h以上の長時間継続した可能性がある（図-2：Test#2）。一方、最近の

in-situ AFM測定では、速い溶解速度が50 h以上継続することが観察されることもあり、今後はより長時間の圧縮系での溶解速度を測定し、圧縮の影響を明確にする必要がある。この他、国内を対象に粘土鉱物（モンモリロナイト）とアルカリ泉等が分布する地域を調査し、セメント影響によるベントナイトの変質に関するナチュラルアナログ研究を行い得るフィールドの選定を行った。

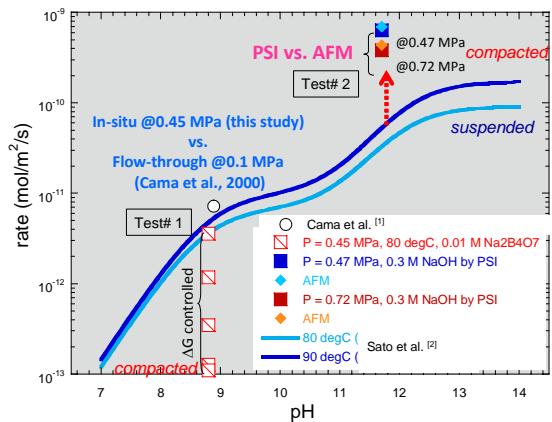


図-2 平成19年度に実施したモンモリロナイトの溶解速度測定結果のまとめ

(3) 人工バリア性能評価解析の高度化

人工バリアの性能評価における解析手法の信頼性向上の観点から、特に材料の変質解析手法の高度化について検討を行った。

セメント系材料の変質解析手法の高度化では、変質試験で確認されている二次鉱物の生成による物質移動の抑制に着目し、鉱物の生成と物質移動パラメータの変化の関連性を整理するとともに、変質解析モデルの考え方を整理し、変質進展に関する予測の信頼性を向上させるための提言をまとめた。また、降水系地下水と接触したセメント系材料の変質に関して、分析結果と解析結果を比較することにより、長期性能評価解析における設定データやモデルの取り扱いについて検討した。

ベントナイト系材料の変質解析手法の高度化では、化学的変質による膨潤圧変化でバリア材が変形する可能性の有無を非線形弾性有限要素解析により評価した。その結果、化学的変質によってベントナイトの膨潤変形が生じる可能性が示され、化学解析と力学解析を連成させる重要な性を示した。

1) Cama et al., (2000), GCA, 64, pp. 2701-2717.

2) Yokoyama et al., (2005), CCM, 53, pp. 147-154

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

【ガス移行挙動の評価】

◇事業の概要

本事業は、TRU 廃棄物処分施設内で発生する可能性があるガスを対象とし、その移行に伴う多重バリアシステムの性能評価手法の不確実性低減を目指すものである。さらに、より現実的なガス移行挙動評価手法の構築に向けた検討を実施し、TRU 廃棄物処分に係る人工バリアの長期性能評価の信頼性向上等に寄与することを目的とする。

実施工工程としては、TRU 廃棄物処分事業の精密調査地区選定スケジュールを念頭におき、ガス移行特性データ・挙動評価結果の提供による貢献を目指し、平成 19~23 年(5 年)を第 1 フェーズの研究開発期間として設定されている。

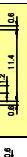
平成 19 年度は、処分事業の進展を踏まえ、TRU 廃棄物処分施設のベントナイト系材料中におけるガス移行特性把握に重点をおき、人工バリアの長期安定性評価や性能評価におけるガス影響評価の信頼性の向上を図ることを目指して、緩衝材が設置され、発熱を伴い、C-14 を含む廃棄体グループ 2(表-1)を対象として以下の事項に係る検討を実施した。

- ・ガス移行に関する材料特性データの取得
- ・モデル化・解析手法の高度化
- ・ガス移行挙動評価手法の構築

なお、本事業は、経済産業省の委託により実施したものである。

(報告書) 平成 19 年度地層処分技術調査等委託費 TRU 廃棄物関連処分技術 人工バリア長期性能評価技術開発(第 2 分冊) - ガス移行挙動の評価 -

表-1 検討対象の処分坑道(グループ 2)

内容 (発生量)	特性	バリア	円形処分坑道の例 (単位: m)
1 廃銀吸着材のセメント固化体(300m ³)	半減期が長く地下水と共に移行しやすい核種(I-129)を含む	止水性能の高いバリア(緩衝材)を設置する	
2 ハル・エンドビース圧縮収納体(6,700m ³)	発熱がある半減期が長く地下水と共に移行しやすい核種(C-14)を含む	止水性能の高いバリア(緩衝材)を設置する	
3 アスファルト固化体等の濃縮廃液固化体(6,200m ³)	硝酸塩を含む	止水性能の高いバリア(緩衝材)は設置しない	
4 メント固化体等(13,400m ³)	焼却灰、不燃物等	-	-

◇平成 19 年度の成果

(1) ガス移行に関する材料特性データの取得

人工バリアシステム(EBS)中のガス移行挙動に関する現象の理解と、基礎的データの取得・拡充を目的とした室内試験について、試験概念の構築・試験装置計画・既往のガス移行試験・試験条件及び試験ケースの検討を実施し、試験計画を策定した。なお、検討に先立ち、既往研究成果について調査し、試験結果並びに当該試験の特徴や問題点及び課題について整理した。

また、後述するガス移行シナリオの検討成果を踏まえ、処分システムの長期的変遷に関連する因子と EBS 構成材料のガス移行特性に関する因子がガス移行挙動へ及ぼす影響に関する予備的計算(感度解析)を実施し、重要パラメータ及び拡充すべきデータについて評価・検討を実施した。

室内試験としては、4 種類の試験を計画した。試験の実現性・実施計画の検討に際しては、事前解析や予備試験を通じて最適化を図った上で、全体試験計画を策定した。

各試験の概要と成果目標を図-1 に示す。

(2) モデル化・解析手法の高度化

多様な地質環境・人工バリア構成でのガス移行挙動に関する現実的なモデル化・解析的評価を目指し、既往研究成果・知見の整理を行い、構成材料界面のガス移行特性、圧力依存透過性、あるいは力学連成挙動を考慮可能なモデル化・解析手法を選定し、コードの拡張・高度化を含めた計画を策定した。

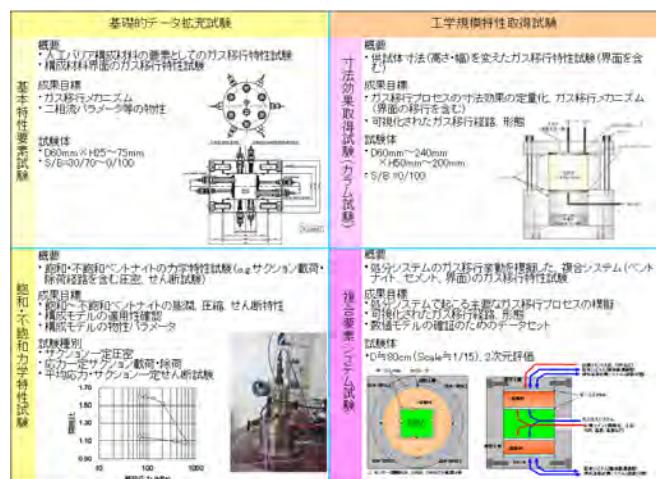


図-1 材料特性データ取得試験概要

既往の研究成果の整理では、TRU 処分施設の国内外のモデル化・解析手法の特徴や相違点、評価結果の信頼性、必要パラメータ等に着目して分析を行い、ガス移行挙動のモデル化・解析評価の現状を整理すると共に、THMC 連成挙動の取扱いについて相關マトリクスを用いて整理した。

モデル化・解析手法の選定では、既往研究の整理結果を踏まえ、個々のモデル化、解析手法の長所・短所の相互補完の観点から、代表的な 3 手法を選定するとともに、高度化検討の 3 つの主要骨子を設定し、高度化内容の具体化を図った。表-2 に設定した手法並びに主要骨子をまとめた。

表-2 選定したモデル化・解析手法及び主要骨子

モデル化・解析手法	主要骨子
• TH(+C): TOUGH+TOUGH 派生コード	• 実測データを用いた確証研究と圧力依存透過特性モデルと力学連成モデルの構築
• TH +直接的 M: CODE_BRIGHT	• THMC 連成挙動のスコーピング計算
• TH +間接的 M: GETFLOWS	• ガス移行基本データライブラリの開発・整備

全体計画の策定では、評価精度向上のために拡充が必要なパラメータについて検討するとともに、高度化に向けた全体スキームとして 3 つの主要骨子をそれぞれ 1 つのワーキングプログラム(WP)として位置づけ、階層的に整理・検討可能な全体研究計画を策定した。

図-2 にモデル化・解析手法の高度化に向けて抽出された課題と今後の実施項目を示す。

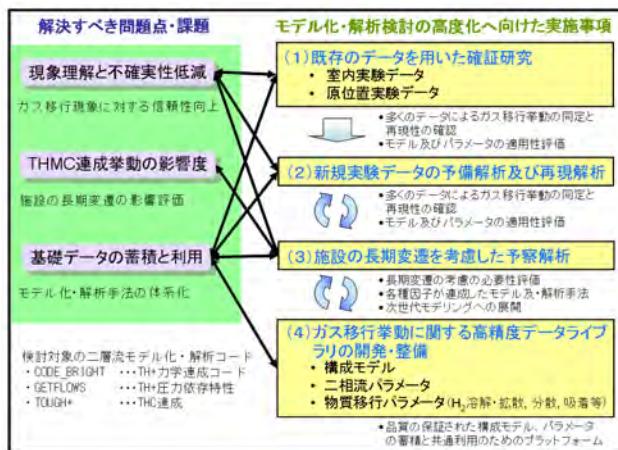


図-2 抽出された課題と今後の実施項目

(3) ガス移行挙動評価手法の構築

TRU 廃棄物処分施設の性能評価や安全評価におけるガス移行シナリオやガス発生量評価に関して国内外の概念・知見等の調査・分析を行い、同評価手法構築を進める上での前提条件の整理、課題の

抽出を行い、信頼性向上の方策について検討した。

また、TRU 廃棄物と余裕深度処分、及び HLW 地層処分の特徴を相互比較し、TRU 廃棄物地層処分におけるガス発生・移行の影響について、体系的に整理すると共に、廃棄体グループ 2 を対象に TRU 廃棄物処分施設の経時的変遷の図表化を試みた。図-3 にシナリオシートの一部を示す。

本シナリオシートは、人工バリアの時間的変遷に伴うガス発生・移行現象と EBS 各部位の状況及び T-H-M-C-R 連成挙動について、総括・記載した表で、ガス移行挙動評価全般における現状と課題について、俯瞰することを可能としたものである。

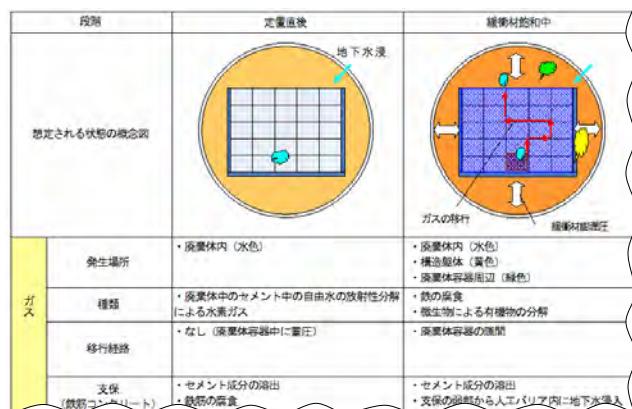


図-3 TRU 廃棄物処分施設の変遷(シナリオシートの一部)

(4) 全体研究開発計画の策定

(1)～(3)での成果、策定した研究開発計画、及び TRU 廃棄物処分の安全審査までの約 20 年間ににおける事業進展と HLW 処分や余裕深度処分との連携を考慮した研究開発の段階的実施と各段階における到達目標・主要成果について検討を行い、図-4 に示す全体研究計画を策定した。

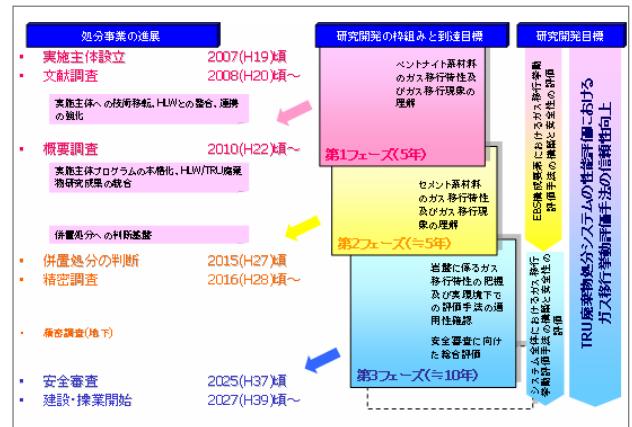


図-4 处分事業の進展と研究開発の段階的実施(案)

ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発

【ヨウ素固定化処理技術開発】

◇事業の概要

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

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

本技術開発では、固化処理技術の開発目標値を①固化体からのヨウ素放出期間10万年以上(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技術について開発計画を策定し、開発が進められた。平成16年度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技術に絞り込みが行われた。平成18年度は、これまで検討を行った各固化体のヨウ素放出期間及び固化処理プロセスの成立性について、より詳細な検討が行われた。これまでの検討結果をまとめた技術評価を行い、岩石固化体、BPIガラス固化体及びセメント固化体の3技術に絞り込みが行われた。それぞれの固化技術は、目標とした10万年のヨウ素放出を見込める環境条件を提示することができ、ヨウ素回収率を95%以上とできる目処が得られた。

なお、本事業は経済産業省の委託により実施したものである。

(報告書)平成19年度 地層処分技術調査等委託費 TRU廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 報告書 (第1分冊) —ヨウ素固定化処理技術開発—

◇平成19年度の成果

(1) 岩石固化技術

廃銀吸着材の固化処理条件について、廃銀吸着材の粉碎処理の必要性と固化体の稠密性向上について検討した。処理温度を高温条件とすることにより、粉碎処理をすることなく稠密性が向上できることを確認した。図-1に175 MPa, 1,200 °C, 未粉碎の処理条件で作成した岩石固化体断面のSEM観察像を示す。空隙はほとんど観察されない。

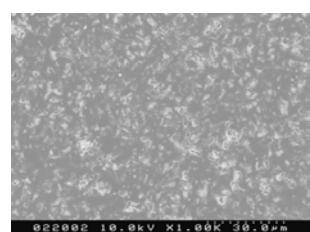


図-1 岩石固化体断面のSEM観察像

また、固化体の長期浸漬試験を開始し、環境条件がヨウ素保持性能に及ぼす影響を検討した。pHの影響では、pH11と12.5では浸出特性に顕著な差はなく、浸漬期間が300日以上で浸出率が低下する傾向にある。還元剤の影響では、硫黄系に比べ鉄系の場合はヨウ素の浸出が抑制される傾向にある。溶液の影響では、海水系と降水系では顕著な差がないことを確認した。今後も継続してデータを取得していく。

還元雰囲気におけるAgI単独での溶解挙動を検討した。Na₂Sが高濃度な水溶液中では、AgIは速やかに溶解し、ヨウ素溶出量はNa₂S濃度に比例することを確認した。Na₂Sが低濃度な水溶液中では、溶出を抑制するAg(s)が析出する可能性が示唆された。

還元雰囲気における岩石固化体のマトリクスであるコランダムの溶解挙動を検討した。浸漬溶液中のAl濃度は固相の表面積によらず、温度及びpHに応じた一定の濃度に到達する。Na系よりもCa系の溶液でAlの到達濃度は低く、Caを含有した制限固相が生成していることが想定された。液相のAl濃度の経時変化より、温度とpHを関数としたマトリクス溶解速度式を求めた。

岩石固化技術は、ヨウ素の放出に関する素過程についての知見が得られており、今後はヨウ素放出が律速となる素過程を把握し、固化体の長期性能評価モデルの検証と高度化を実施する。

(2) BPI ガラス固化技術

BPI ガラス固化体の化学構造を把握するために、類似の鉛ガラスに関する既往の知見を調査し、BPI ガラス中のヨウ素周辺の局所構造について推定を行った。また、化学構造に関する理解を深めるために、分析及び解析手法の適用可能性について検討を行い、X 線回折、NMR、XPS が有用であることを確認した。

固化体の長期性能調査として、濃度の異なる NaCl 溶液に BPI ガラス固化体を浸漬し、NaCl が微量な条件においても、ヨウ素、ホウ素及び鉛の浸出量に影響することを確認した。

Ca(OH)₂ 溶液に浸漬後の BPI ガラス表面層を洗浄し、ヨウ素保持性能の経時変化を検討した。浸漬期間が長くなるにつれてヨウ素は表面層において容易に抽出されない固定化プロセスに移行していることが示唆された。また、表面層を XAFS 分析した結果を図-2 に示す。表面の析出層は BPI 結晶と類似した化合物が相当量含まれることが予想された。

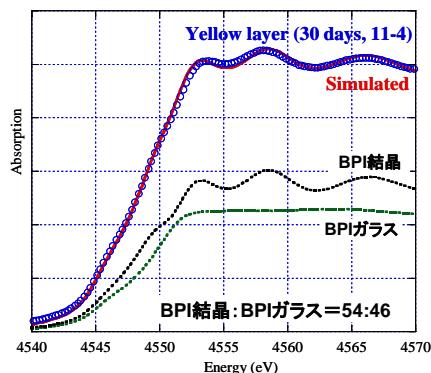


図-2 浸漬後の BPI ガラス表面層の XAFS 分析結果

BPI ガラス固化技術は、環境条件に関する浸漬データと、表面層におけるヨウ素保持機構についての知見が得られてきており、今後は固化体の長期性能評価モデルの構築及び検証と、モデルの高度化を実施する。

(3) セメント固化技術

セメント固化体を SEM-EDS、XPS により分析した結果、ヨウ素は酸化物の状態にあり、表層部よりも内部に多く存在する可能性があることから、セメント固化体中での初期のヨウ素はヨウ素酸型鉱物として存在している可能性が示唆された。

セメント固化体内部でのヨウ素酸の初期状態

の把握と、ヨウ素保持鉱物の熱力学データを取得するために、ヨウ素酸型のエトリンガイトとモノサルフェートの合成を行い、熱力学データの取得を行った。合成したヨウ素酸型エトリンガイトの SEM 観察像を図-3 に示す。エトリンガイトにおいては、ヨウ素酸は陰イオンチャネルの 1/3 を占めた状態で安定する可能性が示唆された。

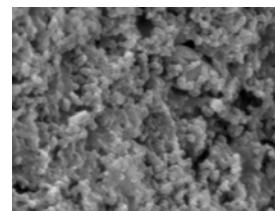


図-3 合成したエトリンガイトの SEM 観察像

合成した鉱物の熱力学データに基づき化学平衡計算コード PHREEQC を用いた溶解モデルの検討を行い、ヨウ素酸型鉱物及び硫酸型鉱物の平衡定数を用いて、単体鉱物の溶解モデルを作成した。

セメント固化技術は、セメント固化体中の初期のヨウ素の存在状態と、ヨウ素保持鉱物の熱力学データが得られてきており、今後は固化体の長期性能評価モデルの検証と高度化が必要である。

(4) プロセスの整備

ヨウ素固定化処理施設設計の概念検討に反映するためのプロセスデータを整備するために、各固化技術について物質収支、主要機器リスト、配置図等を作成するとともに、取得が必要なプロセスデータ項目の抽出と試験計画の策定を行った。図-4 に一例としてセメント固化体の配置図（鳥瞰図）を示す。

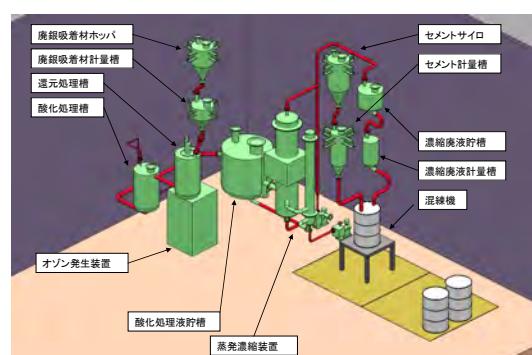


図-4 セメント固化体の配置図（鳥瞰図）

【C-14の放出挙動等に関するデータの取得】

◇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が比較的多いこと、さらに廃棄物から放出 C-14 が有機物と想定されていることから、天然バリアへの収着性が低く、移行の際に遅延効果が期待できないからである。C-14 に関する研究は、これまで主として電力共通研究、原環センター自主研究、国の研究の一部で実施されてきたが、現状の知見は限られたものであるため、安全評価において、過度に保守性が確保されている可能性があり、現実的・合理的な取扱いが望まれている。

本事業は、放射化金属廃棄物中の C-14 インベントリの合理的設定及び C-14 放出挙動の解明に注力し、C-14 の化学形態及び収着挙動、有機 C-14 の無機化など、環境中の移行挙動を明らかにすると共に、生物圏の知見と合わせて、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。本事業では、照射済み被覆管を用いた長期浸出試験を実施

し、C-14 放出データの取得・整備を行うことで、現象を正確に把握・理解し、より現実的な C-14 挙動評価に資することを目指している。さらに、C-14 放出は金属腐食との関連性が指摘されていることから、処分環境における腐食挙動について検討を加える。平成 18 年度までに、照射済み BWR 被覆管の C-14 濃度を実測するとともに、同試料を用いた C-14 浸出試験を行っている。また、ジルカロイの腐食試験においては試料の前処理方法の標準化を確立させた。

なお、本事業は経済産業省の委託により実施しているものである。

（報告書）平成 19 年度地層処分技術調査等委託費 TRU 廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 報告書（第 3 分冊）－C-14 の放出挙動等に関するデータの取得－

◇平成 19 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を行い、現実的なデータを取得するとともに、解析（放射化計算）との整合性を確認する必要がある。

照射済み BWR 被覆管中の C-14 濃度測定と解析を実施した（表-1）。計算値/測定値は約 1.5~4.0 となっている。計算値と測定値に差異が生じる要

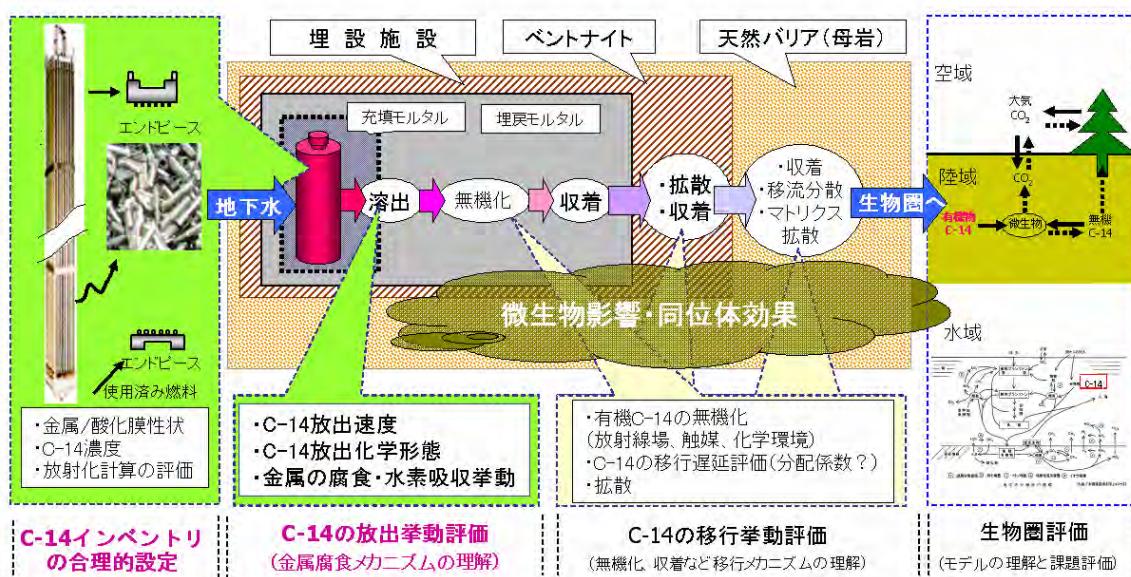


図-1 放射化金属から放出される C-14 の移行挙動の総合的な評価方法の検討

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

	試料厚さ [μm]		C-14 放射能濃度 [10^4 Bq/g]		C-14 存在比 [%]		放射化計算			備考		
	Zry 金属	酸化膜	Zry 金属	酸化膜*	Zry 金属	酸化膜 / Zry 金属	コード	計算値 [10^4 Bq/g]	C/M	燃焼度 [GWd/t]	窒素濃度 [ppm]	
PWR ^[1]	540	80	3.0	5.9	2.0	83	17	ORIGEN-2	4.0	1.3	46	47
	705	25.3	1.13**	3.1**	2.7			ORIGEN-S	2.7	2.4	34.2	34
BWR	779	21.0	1.9	4.4	2.3	96	4	ORIGEN-79	7.7	4.0	37.4	34
	786	14.1	2.75					ORIGEN-S	4.0	1.5	40.4	34
	740	19.9								41.6	34	

* Zr 金属換算。PWR は内外面酸化膜、BWR は外側酸化膜

**複数測定の平均値

因として、測定の誤差について検討した。同一サンプルの繰り返し測定を実施したところ、分析誤差は小さいことが確認され、放射化計算の不確実性の評価が必要であることが分かった。放射化計算の誤差要因として、制御棒の有無による熱中性子照射量の影響により、C-14 生成量に約 1.4 倍の差があることが分かった。このため、より詳細な運転履歴の反映による解析精度の確認が必要である。

一方、ジルカロイ酸化膜中の C-14 濃度は母材中に比べ 2.3、2.7 倍であった。酸化膜の成長を照射期間の 1/3 乗に比例すると仮定し、酸素起源 ($0-17(n, \alpha)C-14$) と窒素起源 (ジルカロイ金属中の濃度を仮定) それぞれについて ORIGEN 放射化計算を行ったところ、C-14 濃度比は 1.9 となり実測値をほぼ説明できることから、窒素に加え酸素起源によって酸化膜中の C-14 濃度が母材中に比して高くなることがわかった。

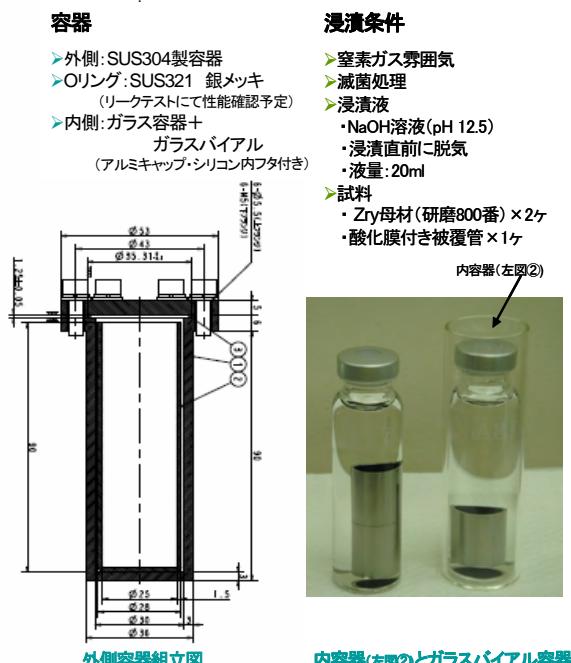


図-2 照射済み被覆管の長期浸漬試験容器、試験概観

(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、液交換試験による短期的な浸出データ取得及び浸出化学形態評価を行った。照射済み被覆管(母材、酸化膜)及び放射化ステンレス鋼からの C-14 浸出は、液交換により浸出率が大きく減少したことから、経時に C-14 放出が抑制される可能性がある。また、長期的な C-14 放出データを取得するため、10 年程度の密閉性を担保できる容器による試験を開始した(図-2)。今後、随時データの取得が必要である。

(3) 金属の腐食・水素発生挙動

平成 18 年度に、試験片前処理方法を標準化し、ジルカロイの腐食にともなう水素ガス発生及び水素吸収量の定量によって、詳細なジルカロイ腐食挙動評価の実施が可能となった。図-3 に取得したジルカロイの腐食試験結果と照射済み被覆管母材からの C-14 放出率から換算した等価腐食深さを示す。腐食試験の結果は PWR 被覆管からの C-14 放出 (○) より小さく、BWR の結果 (▲) より大きくなかった。両者の浸漬液が異なることが要因のひとつとして考えられるが、今後、より長期のデータ取得によって、金属腐食と C-14 放出の相関について検討が必要である。

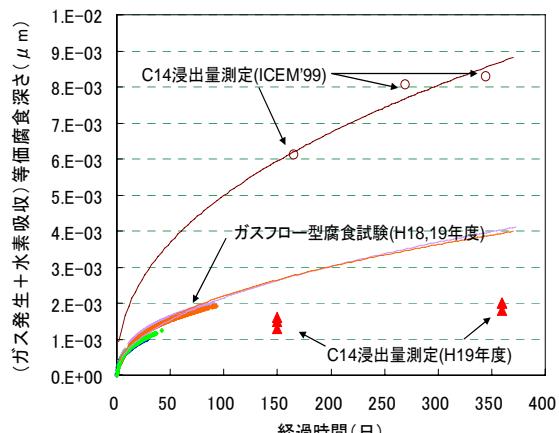


図-3 ジルカロイの腐食速度と照射済み被覆管からの C-14 放出の関係

〈外部発表等〉

Decomposition of ^{14}C Containing Organic Molecules Released from Radioactive Waste by Gamma-Radiolysis under Repository Conditions(Elsevier 「Radiation Physics and Chemistry」誌 Vol. 77 (2008))

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

【C-14 の長期閉じ込め技術の高度化】

◇事業の概要

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、地下層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されている。本事業は TRU 廃棄物の処分用廃棄体に関して、平成 10 年度「地層処分経済性向上調査：地層処分システム開発調査－廃棄体の開発－」において、公募に応じた提案を審査し、①長期間核種閉じ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、処分効率等の向上を目標とする廃棄体を開発することとし、廃棄体概念及びその開発計画を選定された。

これらのうち、②については、平成 16 年度までに開発を終了し、その後は、TRU 廃棄物の処分における重要核種である C-14 の影響を低減するための代替技術として、長期閉じ込め型容器を開発することを目的に、上記①に関して開発を実施している。

核種閉じ込め期間については、性能評価上の重要な核種で、人工バリアや地質媒体への収着による線量低減が望めない C-14 について、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。また処分システム性能の高度化、仕様の合理化、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。

また長期の核種閉じ込めを目標とする廃棄体については、平成 13 年度までに基本設計に加え、その製作実現性及び長期閉じ込め性の考え方の整理を行い、平成 14 年度以降は長期閉じ込め性の確認試験を実施してきた。平成 16 年度に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とともに、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、進展及び閉塞等を含む長期挙動の評価に重点をおいた開発を実施し、金属容器については、溶接・加工影響部等や欠陥の影響を含めた長期評価に重点をおいて開発を実

施した。

なお、本事業は経済産業省の委託により実施しているものである。

（報告書）平成 19 年度 地層処分技術調査等委託費 TRU 廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 報告書（第 2 分冊）- C-14 の長期閉じ込め技術の高度化 -

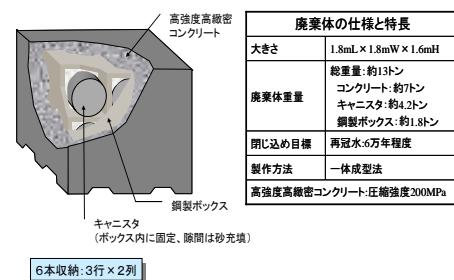


図-1 長期閉じ込め型コンクリート容器の概念図



図-2 長期閉じ込め型金属容器の概念図

◇平成 19 年度の成果

(1)長期閉じ込め型コンクリート容器

平成 19 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、金属容器の不働態健全性、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、打継ぎ部を排除する長期閉じ込め（6 万年）概念である。平成 19 年度は、長期閉じ込め性を担保することを目的に、長期化学的安定性評価試験、ひび割れ挙動評価試験及び製作時の品質管理の観点から、非破壊検査技術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、引張強度を下回る応力のもと、繊維補強材無混入試験体により約 80°C での水中及び大気環境での亀裂進展評価を実施するとともに、繊維補強材を用いた試験体により評価手法の検討を実施した。DT 法試験装置・概要を図-3 に示す。

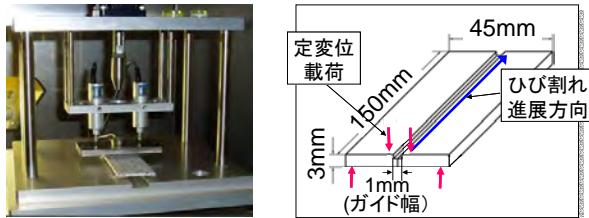


図-3 DT 法試験装置・試験体

DT 法により繊維補強材を混入していない試験体を用い、約 80°C での水中・大気環境におけるひび割れ進展挙動を評価した結果、大気環境より水中環境のほうが亀裂の進展が加速され、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、水中環境では高温ほど亀裂進展速度が大きいことが確認された(図-4)。また、温度、水中・大気環境下で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 α 及び β の値により環境温度の影響、水中・大気下の違いについて評価できる可能性が見出された(図-5)。これらの結果を用いて、ひび割れ進展を予測した結果(図-6)、6 万年後にひび割れが部材厚(20 cm)に到達するのに必要な容器にかかる引張応力は、水中環境下で 6.75 (12 °C) ~ 3.07 N/mm² (80 °C) と試算され、地圧等により処分環境で容器にかかると想定されている引張応力 (2.04~7.41 N/mm²) と比較し、条件によっては、ひび割れが部材を貫通する可能性が示唆された。ただし、本予測結果は、処分環境での最高温度(80 °C)が 6 万年間継続するとした過度に保守的な予測結果であることから、今後は処分環境温度を想定した長期予測を行う必要がある。また、本廃棄体容器に用いる高強度高緻密コンクリートは繊維補強したものであるのに対してこの予測は、繊維補強材を用

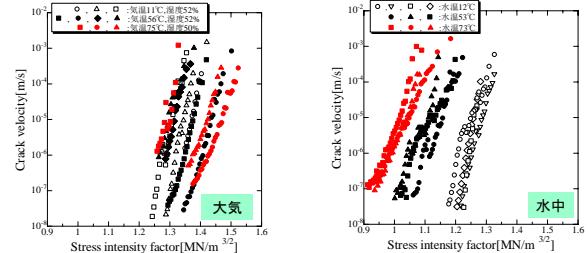


図-4 高強度高緻密コンクリートの亀裂進展試験結果

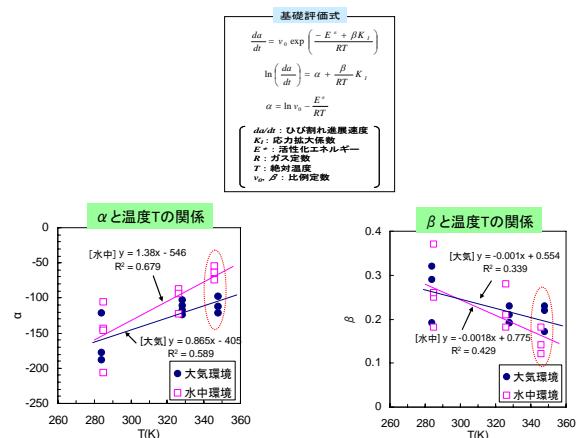


図-5 基礎評価式及び各係数と温度の関係

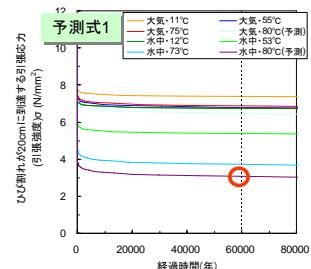


図-6 6 万年までの長期ひび割れ進展予測
繊維補強材無混入

いていない試験体によるものであるため、繊維補強材を用いた試験体による評価が重要である。

そこで、平成 19 年度に繊維補強材をひび割れ進展方向に対して 90 度に配向した試験体によりひび割れ進展評価手法の検討を行った。その結果、定変位載荷による荷重緩和挙動が繊維補強材の有無に依らずほぼ同様であり、変位を与えるための荷重は、繊維補強材を用いた場合に高くなることからひび割れ進展抵抗性が高くなることが示された。また、繊維補強材のひび割れを抑制する効果は、結合力モデル(繊維によるひび割れを架橋する効果: 足し合わせの効果)により表現可能であり、繊維補強材を混入しない試験体と同様の

II. 放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

評価手法により長期予測が可能である見込みを得た。次年度以降、纖維補強材を用いた試験体のDT法による試験を実施し、長期予測を行う必要がある。

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纖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年度の超音波法での要素試験結果を受け、平成19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、超音波法による高強度コンクリートのひび割れ検出、サイジング性に関する要素試験を実施した。

ひび割れの検出性試験では0.5 MHzの集束型・非集束型の探触子を用い、屈折角度が横波45度において、部材厚200 mmの底面に配した幅約1 mm、深さ20、40、60 mmの各模擬欠陥の検出(底面部のコーナー反射波)が可能であった(図-7)。しかし、サイジング性試験においては、図-8に示すように、サイジングに必要な欠陥端部の反射波(端部エコー)が内部反射波と重なり、検出が困難となり、ひび割れ深さの特定には至らなかった。この原因としては、①高強度コンクリート中に存在する粗骨材などからの反射波(ノイズ)が大きいこと、②端部エコーそのものの反射波強度が小さいことが考えられた。高強度コンクリートでの非破壊検査技術の開発に関しては、他のコンクリート材料を用いた処分概念への横展開、技術の汎用性を考慮し実施したが、次年度以降は本検討の中で用いている高強度高緻密コンクリートによる技術開発を実施していく必要がある。

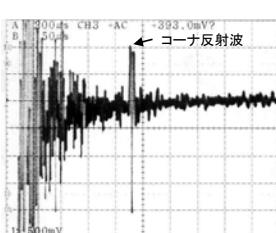


図-7 検出性試験結果

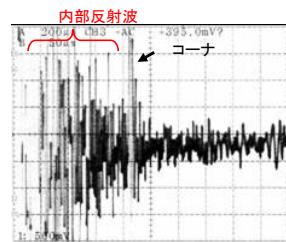


図-8 サイジング性試験結果

(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、不働態皮膜破壊後の再不働態化試験、水素脆化に起因する応力腐食割れ感受性評価、加工・溶接影響試験片によるすきま腐食感受性試験を実施した。

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長期定電位試験を80°C及び25°Cで実施し、それぞれ*i_{pass}*=7.5×10⁻⁴、4.0×10⁻⁵ A/m²で安定した。この結果は、これまでに短期試験で取得した*i_{pass}*と整合しており、長期的に不働態挙動が安定していることが確認できた。また、80 °Cについては、*i_{pass}*安定後に応力付加による不働態皮膜破壊試験を実施し、破壊後数時間でほぼ元の電流密度レベルに収斂、すなわち再不働態化することが確認できた(図-9)。

水素脆化による応力腐食割れ感受性評価については、昨年度よりも処分環境条件に近付けた比較的低電流密度での長期定電流・定荷重試験を実施した結果、10,000時間後の水素吸収量が正味10ppmであり、表面近傍に少量の針状水素化物が生成されることが確認された(図-10)。この結果は従来の知見に整合するものである。また、処分環境条件に対応した試験条件において長期間の自然浸漬試験を計画し、浸漬を開始した。

加工・溶接影響試験片のすき間腐食感受性試験では、実機製作工程を想定し、800 °C/1時間の熱影響及び10 %冷間加工影響について試験を実施し、いずれの加工影響を受けても、すき間腐食感受性はほとんど変化しないことが確認された。

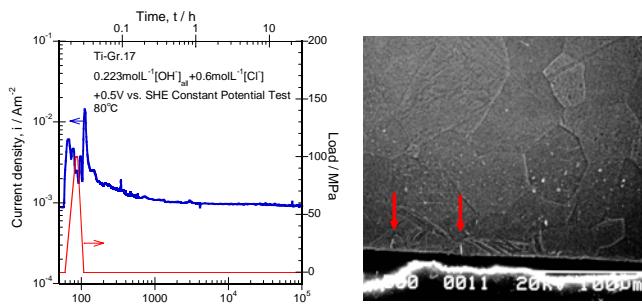


図-9 再不働態化試験結果

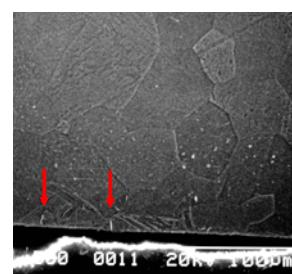


図-10 針状水素化物

今後は実機製作工程を想定した加工・熱影響を中心として不働態健全性及び水素脆化試験を実施し、長期健全性予測モデルの高度化が必要とされている。

3. その他の地層処分に関する研究

(1) 沿岸域における物理探査解析（既存物理探査等データ収集及び地質構造解析作業）

電磁法データを使用して、三次元解析を実施し、深部地質構造及び水理地質構造の予測モデルを作成した。

(2) 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 19 年度は、TRU 廃棄物処分について、18 年度に検討した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基本的概念をもとに、各代替技術の特徴を活かす坑道設計及び配置について検討するとともに、I-129 固定化技術を採用する場合のコストインパクトについて検討した。

また、国の基盤研究に関する全体基本計画等をもとに、TRU 廃棄物の処分費用の算定のために基礎資料となる、技術開発計画を策定した。

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

【放射性廃棄物海外総合情報調査】

◇事業の概要

高レベル放射性廃棄物等の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、本事業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19年度 放射性廃棄物共通技術調査等委託費
放射性廃棄物海外総合情報調査

◇平成19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、社会的要件事項に係る検討、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。

(1) 海外情報の収集・分析と総合的なデータベースの整備

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、イスラエル、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。

以上の調査に加えて、海外主要国における放射性廃棄物処分の法制度、海外における処分事業に

対する評価・規制組織による評価事例の調査（米国の放射性廃棄物技術審査委員会（NWTRB）、スウェーデンの放射性廃棄物国家評議会（KASAM）等の評価事例）、更に、地層処分代替技術（長寿命核種の分離・変換技術、長期貯蔵等）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、国際機関の動向情報の調査として、経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）、国際原子力機関（IAEA）、欧州連合（EU）等を対象とした最新動向の調査を行うとともに、OECD/NEAの放射性廃棄物管理委員会（RWMC）の下に設置されるビューロー会議、IAEAの国際放射性廃棄物技術委員会（WATEC）には、専門家を派遣して最新の検討情報などの把握を行った。

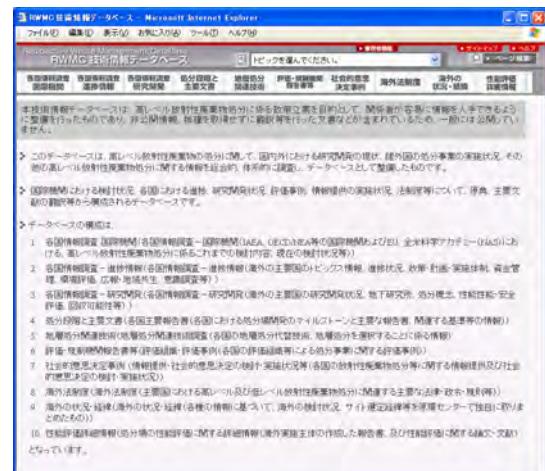


図-1 整備したデータベースの初期画面
(海外機関との情報交換協定等により限定的な利用形態を取っている)

(2) 調査情報の整理・発信・普及

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

原環センターのホームページにおいては、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』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、イスラエル、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。

技術情報冊子の整備として、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20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。

講演会については、表-1に示すとおり海外要人による講演会を開催し、各国の放射性廃棄物の取組状況等の最新情報について紹介した。

表-1 平成19年度の講演会開催実績

開催日	講演者
7月3日	フィンランド：Posiva社 Eero Patrakka社長
8月29日	スイス：放射性廃棄物管理共同組合（NAGRA） Hans Issler会長、Thomas Ernst理事長
10月25日	フランス：放射性廃棄物管理機関（ANDRA） Marie-Claude DUPUIS理事長、Gérald Ouzounian国際協力部長、Jean-Louis TISON国際協力部長



図-2 原環センターホームページでの『海外情報ニュースフラッシュ』



図-3 平成20年度版『放射性廃棄物ハンドブック』(2008年3月)



図-4 『諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について』(2008年2月)



図-5 『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

【放射性廃棄物重要基礎技術研究調査】 (放射性廃棄物に関する基礎技術研究調査)

◇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、本事業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 19 年度 放射性廃棄物共通技術調査等 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書(第1 分冊) 放射性廃棄物に関する基礎技術調査研究

◇平成 19 年度の成果

平成 17 年度及び平成 18 年度より継続実施の(1)～(4)に示す 4 件に加え、平成 16 年度から実施していた 7 件の研究が終了したことを受け、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、(5)～(11)に示す 7 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)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－

セメント系材料に対する透水試験結果を基に、透水現象の支配メカニズムを解明し、不飽和領域における気相の存在を考慮した物質移行解析の枠組みを構築する。またモデル化と解析を通じて、セメント系材料の長期安定化技術に関する概念検討を行う。

平成 19 年度は、多孔質であるコンクリート中の液状水の挙動について、速度依存性を含む微小空隙中の液状水の粘性挙動のモデル化ならびに定式化を行った。また、分子動力学による数値

実験により、始動動水勾配の静摩擦的挙動、ならびに停止動水勾配の動摩擦的挙動を検証した。さらに、液状水・水蒸気・コンクリートの三相システムに空気(分圧)を追加することにより、長期におけるコンクリート内の不飽和領域の安定性について解析的に検証するとともに、不飽和領域のバリア機能について検討した。

(2)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－

弾性波、電磁波あるいは電場ポテンシャルからなる入力値を高精度に制御した周波数で媒質(地盤)に送信し、受信された信号から当該媒質の伝達関数を求め、この伝達関数より地盤の水理特性を評価する手法を開発する。

平成 19 年度は、弾性波分散現象による水理特性評価手法の原位置への適用性を検討するため原位置試験を行った。10m 孔間における弾性波試験の結果から、原位置のスケールにおいても弾性波分散現象が生じていることが確認された。また、室内実験の知見を基に検討を行ったところ、測定パスにより弾性波分散現象に違いが生じ、またその違いが水理特性の違いを表していることが示唆された。さらに、岩盤の水理特性を弾性波分散現象から評価を行うことを目的とした 5m 孔間ににおける弾性波測定試験の結果に対して、10m 孔間試験より得られた知見を基に水理特性分布の評価を行い、ボアホールテレビ(BTV)及び現場透水試験の結果と比較を行ったところ、弾性波分散現象より推定された岩盤の水理特性は対象領域に存在する開口亀裂などから推定される水理特性と整合的であることが確認された。

(3)地下水水質への影響評価に関する基礎研究－地下水流动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－

岩盤に内在する割れ目から得られる幾何学的な情報と化学的な情報を取得整理して、地質学的な時間スケールにおける割れ目帯や地下水流动場の形成履歴を推定するための評価項目とその手法を検討する。

平成 19 年度は、表面粗さを表現する 5 つの指標を取得し、それぞれの相関を得た。これらの指標をうまく用いることによって、引張やせん断変位量との関係などを導ける可能性を示した。

また、稲田花崗岩や大谷凝灰岩を用いて岩石と海水成分の一部が何らかの生成物となってわずかに析出していることがわかった。

(4) 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－

急激な地殻変動や周辺岩盤の長期的なクリープ破壊に起因して、緩衝材中に形成される局所変形帯について、その発生メカニズムならびに内部構造等の諸性質を明らかにする。さらに、局所変形帯が緩衝材性能に及ぼす影響について検討を行う。

平成19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 カムクレイ 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製作（及び一部試験）を行った。

(5) ガラス固化体の長期性能に及ぼすオーバーパック腐食生成物の影響に関する定量的評価

ガラス固化体の性能に影響を及ぼす環境特性のうち、固化体に隣接しその影響が大きいと予想されるオーバーパック腐食生成物との相互作用について、現象の基礎科学的理解に基づいた定量的かつ体系的な評価を行う。

平成19年度（初年度）は、ガラス固化体とオーバーパック腐食生成物との相互作用に関するこれまでの研究を調査、整理するとともに、オーバーパック腐食生成物との相互作用を評価するための収着実験の準備を行った。

収着実験の準備では、実際の処分環境において生成される可能性の高い腐食生成物（マグネタイト (Fe_3O_4)、ゲータイト (α - $FeOOH$)、シデライト ($FeCO_3$)、パイライト (FeS_2) 等）試料の選定を行うとともに、収着実験における酸化還元雰囲気を制御維持するためのグローブボックスの準備及びその実験条件の設定を行った。

(6) 処分環境における炭素鋼の水素吸収挙動に関する研究

炭素鋼製オーバーパックの候補材は圧力容器用鍛鋼品であり、鍛造法で成型加工されるが、鍛

造率（鍛造成形比）の違いなどによる組織変化は、材料の水素吸収特性に大きな影響を及ぼすと推察される。そこで、炭素鋼製オーバーパックの水素脆化感受性評価手法の構築に資すること目的とし、炭素鋼の鍛造組織による水素吸収挙動の変化を電気化学透過法で検討する。

平成19年度（初年度）は、炭素鋼製オーバーパックの水素脆化感受性評価手法の構築に資すること目的として、炭素鋼の鍛造組織による水素吸収挙動の変化を電気化学透过法で検討した。

炭素鋼に異なるレベルの鍛造を加えた後、低温で熱処理して残留ひずみを除去し、放電加工で処理された供試材の中心部から平板試験片を採取した。さらに、試験片の水素拡散係数 D 、ならびに水素平衡発生電位（腐食による水素吸収の加速がない条件下）での水素溶解量 $C_{0, eq}$ を測定するために、電気化学透過法の測定が問題なく行えることを確認するための予備実験を実施した。

(7) 放射性核種収着現象の分子生物学的及び地球化学的研究

放射性核種を吸着した微生物からタンパク質などの生体分子を分離・抽出・分析する手法を確立する。核種環境を対象に、細菌の分類群、生死、活性について知見を集積する。微生物及び生体分子へのランタノイドの収着における結合サイトをX線吸収微細構造（XAFS）により解析し、その化学的特徴を明らかにし、分配モデルを構築する。

平成19年度（初年度）は、ウランを含む培地で微生物を培養し、微生物の耐性を明らかにするとともに、細胞表面へのウランの濃集をSEM観察などから明らかにした。

また、土壤を対象とした遺伝子手法の検討、特にデータ解析に関する手法の精査を行った。

さらに、ランタノイドのバクテリアへの分配を、ICP質量分析計を用いた14元素のランタノイドの分析により明らかにし、ランタノイド間の分配係数の差異を明確にした。

(8) 地震波トモグラフィーによる地殻構造推定技術の高度化

マグマ溜りや地震断層などの地殻構造異常体をより高い精度で推定するために地震波トモグラフィー解析技術を高度化する。特に地殻内反射波（PmP）を用いた地殻トモグラフィーの解析法を

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

検討する。

平成 19 年度（初年度）は、南カリフォルニア地区、1992 年のランダース地震（M7.3）の余震域において、約 200 km 離れた 2 つの観測点（GSC と PFO）を用いて、地殻の詳細な S 波トモグラフィーイメージを決定した。

209 個の直達 S 波に加えて、2 つの観測点で観測された 180 個の余震からモホ面で反射した SmS 波 203 個と sSmS 波 116 個を読み取った。直達 S 波は深さ 12 km までの上部地殻のみしか通らないのに対し、反射波は全地殻中を高密度に、そして均一に分布する。直達 S 波に加え反射波を用いたことで、水平方向の分解能が観測点間隔の 6~8 分の 1 となる 25~35 km の、非常に詳細なトモグラフィーイメージを決定することができた。これにより、地殻反射波は空間分解能を向上させるために非常に有用であることがわかった。

(9) 地下水流路構造の不均質性の評価と流動モデルの構築

各種岩石（花崗岩、堆積岩）のき裂に関して流路構造の不均質性の定量的な評価を、異なる寸法のラボスケールサンプルについて実施し、フィールドスケールへのアップスケール手法を検討する。加えて、岩石き裂の不均質流路構造を DFN (Discrete Fracture Network) モデリング手法に組み込むことによりフィールドスケール地下水流動モデルを提案し、FWS (Flow Wetted Surface) の理解につなげる。

平成 19 年度（初年度）は、次年度以降の研究遂行に必要な大型き裂サンプルに対応した封圧下透水実験装置の開発及び様々な寸法のき裂サンプルに対応した表面形状測定装置の開発を実施した。

従来使用可能であった最大き裂面積 10 cm × 15 cm (150 cm²) の 4 倍に相当する 20 cm × 30 cm (600 cm²) の單一き裂を有する岩石コアサンプル（直径：20 cm、長さ：30 cm）に対して数 10 MPa 程度の封圧下での透水実験が可能な装置の開発を実施した。また、この多様な寸法のき裂サンプルに

対応した、従来よりもさらに高分解能の表面形状測定装置（高さ分解能：0.5 μm、位置決め精度：±20 μm）を開発した。

(10) 鉄-ベントナイト相互作用のナチュラルアーログ研究

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

平成 19 年度（初年度）は、宮城県蔵王に位置する川崎鉱山において還元性含鉄流体によるベントナイトの変質を示唆する産状を確認した。本格的な検討に先立ち、文献調査により川崎鉱山におけるベントナイトの成因や特性を調べた。また現地調査により変質ベントナイトの観察及びサンプリングを行った。

また、採取した変質を受けたベントナイト試料と、比較のために変質を受けていないベントナイト試料について岩石学的・鉱物学的分析を行った。

さらに、採取したベントナイト試料の変質年代及び熱履歴をアパタイトフィッショントラック法で分析するために、適切な試料調整方法などを明らかにする予察的な検討を行った。

(11) 放射性廃棄物処分事業の社会的側面の基礎研究

処分事業に対する国民・社会の理解促進と信頼性向上に向け、社会的側面に係る研究の効率的な進展を図ることを目的として、社会的側面に係る研究課題の体系化を行う。本年度は、体系化の概念整理、及び、スイスのヴェレンベルグ低・中レベル放射性廃棄物処分地選定プロセスを対象として、当該プロセスの政治過程分析に向けた各種情報の収集整理を行う。

平成 19 年度（初年度）は、社会的側面に係る研究課題の体系化の概念整理、及び、スイスのヴェレンベルグ低・中レベル放射性廃棄物処分地選定プロセスを対象として、当該プロセスの政治過程分析に向けた各種情報の収集整理を行った。

(地層処分に関する最新基礎情報の収集及び整理)

◇事業の概要

本研究調査は、処分事業の進捗に貢献し得る諸分野の広範な研究テーマの抽出と取り組みに資することを目的として、地層処分の安全性を示すために地質関連、工学関連、評価技術関連等の様々な分野における最新の研究成果をとりまとめた性能評価報告書等を対象として、主要国における最新情報を対象として体系的に整理し、主要文献の一部を日本語に翻訳し、別途整備している技術情報データベースへの登録を行うものである。

なお、本事業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 19 年度 放射性廃棄物共通技術調査等 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書(第 3 分冊) 地層処分に関する最新基礎情報の収集及び整理

◇平成 19 年度の成果

(1)諸外国における性能評価の概要

平成 18 年度までに調査したベルギー、フランス、米国、スウェーデン、フィンランド、カナダ、スイスにおける主要な性能評価報告書を基に、想定されている処分システムや性能評価等の概要を整理するとともに、各国の地層処分の性能評価に関する動向をとりまとめた。

(2)諸外国における性能評価に関する調査

フランス、スウェーデンについては、それぞれ 2005 年、2006 年に公開された性能評価報告書「Dossier 2005 Argile Tome Evaluation de Surete du Geologique (2005 年文書 堆積岩版 - 地層処分の安全評価)」「Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar - a first evaluation, Main Report of the SR-Can project (フォルスマルク及びラクセマルにおける KBS-3 処分場の長期安全性)」を基に、当該国における地層処分の安全性の考え方、性能評価方法について整理し、とりまとめた。

(3)最新の性能評価に関する調査

主要国における最新の性能評価関連情報として、H19 年度はスウェーデンとフィンランドにおける性能評価関連の文献を対象として、その概要をとりまとめるとともに、日本語に翻訳したものと技術情報データベースに登録した。

	ベルギー		フランス
概要	①安全評価・実現可能 性 第 2 次中間報告 書 (SAFIR2)	①2005 年文書 堆 積岩版 - 地層処 分の安全評価 (Dossier 2005 Argile)	
①参照報告書 ②実施主体	②ベルギー放射性廃棄物・濃縮核分裂性 物質管理機関 (ONDRAF/NIRAS)	②放射性廃棄物管理機関 (ANDRA)	
地層 処分 シス テム	サブ 環境	<ul style="list-style-type: none"> 岩種：粘土層 深度：240m 地下水： pH 8.2 ± 0.05 透水係数： 約 10^{-11}m/s (モル・デッセルのサブ想定) 	<ul style="list-style-type: none"> 岩種：粘土層 深度：490m 地下水： ほぼ中性 透水係数： 約 $10^{-10} \sim 10^{-9}$m/s (ムーザ/オートマレスのサブを想定)

図-1 諸外国における性能評価の概要一覧

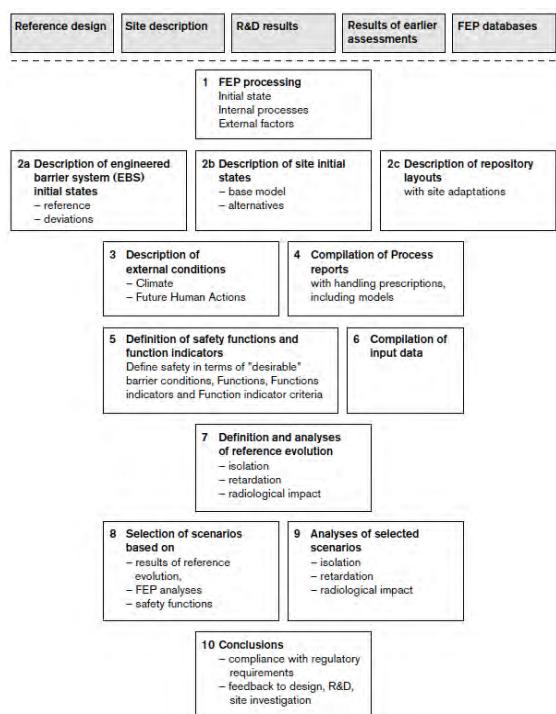


図-2 スウェーデンにおける安全評価手順

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

(多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整備)

◇事業の概要

本研究調査は、多重バリアシステムを基本とする高レベル放射性廃棄物(HLW)最終地層処分場の安全評価において、将来的に生じることが予測される現象と類似した現象のプロセス・メカニズムを考察し、もたらされた結果を将来の処分場の安全性を説明する論拠(セーフティケース)の一つとして積極的に活用するために、既往の調査研究成果の取りまとめや新たに実際の地質環境で行う調査研究に基づく、多重バリア長期安定性に関する情報を整備することを目的としている。

そのため、処分場の安全性を論述する際の主要課題の解決に向けて、実際の地質環境で行うナチュラルアナログ調査研究の具体的計画を策定した上で順次実施し、得られた成果について、既往調査研究成果とともに、最終処分場の安全性の論拠として活用できるように情報データベースとして取りまとめる。

なお、本事業は経済産業省の委託により実施しているものである。

(報告書)平成 19 年度 放射性廃棄物共通技術調査等 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書(第4分冊) 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整理

◇平成 19 年度の成果

(1)高アルカリ地下水の影響によるベントナイトの変質に関するナチュラルアナログ調査・研究
自然界に存在する高アルカリ地下水は、オフィオライトの蛇紋岩化過程で地下水が反応(水-岩石相互作用)することによって生じることが明らかにされている。活発な蛇紋岩化作用を伴うオフィオライトの分布は地域的に限定されるが、特に東アジアでは、フィリピンに広く分布することが文献及び予察調査結果から判明した。また、ベントナイト鉱床は、今回調査の対象とした中国や韓国及びフィリピンにも分布するが、高アルカリ地下水の存在と重なるのはフィリピンのみであり、本ナチュラルアナログ調査・研究の候補サイトとしてフィリピンを選択し、予察調査を行った。

高アルカリ地下水とベントナイト鉱床が近接するフィリピンのルソン島を中心に調査(Mangatarem 地域他)を実施した結果、高アルカリ地下水(湧水)(pH 11 以上)が複数地点確認でき、またこれらを供給するオフィオライト及びベントナイト鉱床が近接することを確認できた。地質構造や水理地質構造的考察から、当該地点の地下水流动系は、ベントナイト上部の地表水系とベントナイト下部の地下水系に明確に分離できること、オフィオライトを通過してきた高アルカリ地下水は、ベントナイト層下部を移動していることが推定できた。またベントナイト内の断層の存在及び断層周辺のベントナイト層などの表層にマンガン水酸化物の存在から、ベントナイトは下部において高アルカリ地下水と接触している可能性が極めて高いと予測された。今後の調査研究計画として、これらの可能性を確認するための段階的な調査計画を提案した。

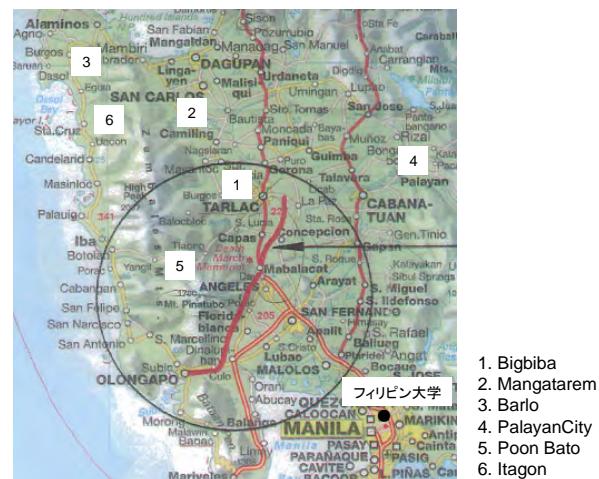


図-1 予察調査地域(フィリピン)

表-1 地下水の分析結果

Location	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	SiO ₂
Cyprus 3a	11.5	385.0	15.1	1.0	0.3	420.0	251.0	24.0
Cyprus 3b	11.2	163.0	1.2	93.0	0.5	190.0	207.0	3.4
Greece	11.3	24.0	1.0	34.0	0.3	15.0	3.0	2.0
Bosnia	11.7	35.0	1.5	29.0	7.0	20.0	2.0	0.9
Oman	11.5	132.5	4.8	34.0	1.3	127.5	22.5	3.0
New Caledonia	10.8	15.0	3.0	14.0	2.3	22.0	0.8	0.4
Western USA	11.5	19.0	1.0	40.0	0.3	63.0	0.4	0.4
Narra 1	10.8	158.3	0.9	3.1	0.0	95.0	nd	nd
Narra 2	10.3	158.3	0.9	3.1	0.1	95.0	bdl	43.8
Narra 3	10.3	157.4	0.9	2.4	0.1	80.0	bdl	44.2
Mangatarem	11.1	28.0	0.5	18.6	0.2	17.4	5.1	nd
Cement leachate ALL-MR f63	11.03	42	7.3	20	<0.5	52	12	49.2
Cement leachate OL-SR f63	10.05	4400	150	4300	0.56	13000	247	32.1

(ppm)

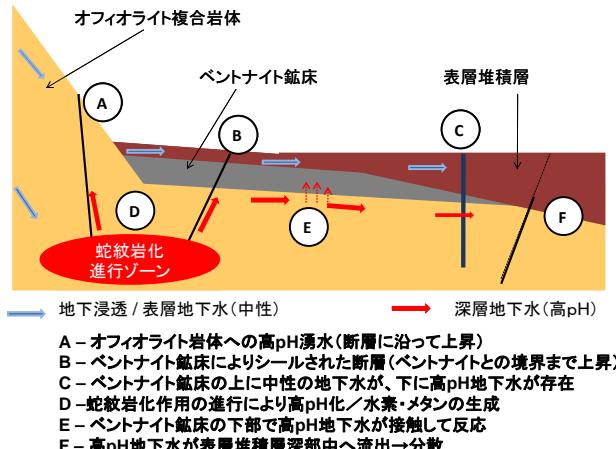


図-2 Mangatarem 地区の地下水の生成・流動の概念モデル

(2) 深部地下水の安定性に関するナチュラルアナログ調査・研究

深部地下水の安定性を自然界に求める目的でナチュラルアナログ調査・研究を実施した。スカンジナビアで発見されているような自然界の深部断層沿いに観測された酸化還元フロントの存在は、過去に水理地質場の変動があったという意味で、地質環境（特に地化学）の長期安定性の解釈に大きな影響を及ぼす可能性がある。しかしながら、観測された酸化還元フロント周辺の鉱物組成を吟味すると、かつて酸化地下水が浸入し鉱物反応だけで酸化還元フロントが形成されたという予測では、Fe(III)やMnの濃度のピークの説明がつかない。このことは、断層の形成と共に極めて長期にわたる微生物の触媒作用により酸化状態が形成されてきたと判断することがより科学的であるものと解釈される。これらの解釈を裏付けるための概念モデルと関連データの取得を次年度以降の計画として提案した。

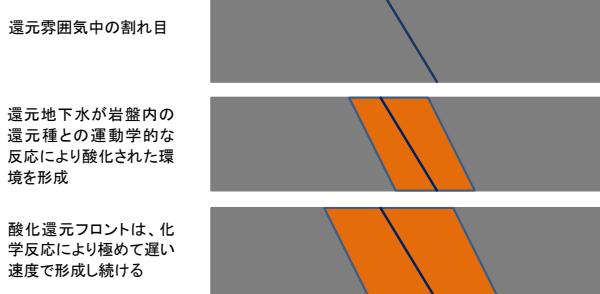


図-3 微生物活動の深部地下水の安定性の指標となる解釈

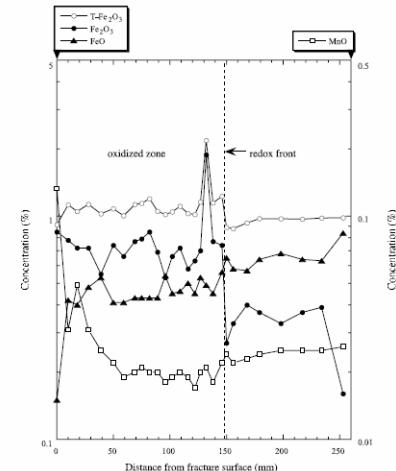


図-4 亀裂周辺に観察された酸化還元フロントにおけるFeとMnの分布

(3) ナチュラルアナログ情報データベースの整備

データベースの整備として、平成19年は、Web上で関係者への公開準備を進めるとともに、昨年度まで収集した文献抄録をデータベースのコンテンツとして登録した。



図-5 ナチュラルアナログ情報データベース

表-2 データベース改良点一覧表

	昨年度(プロトタイプ版)	今年度(プロトタイプ版)
運用状況	・ノートPCに導入 ・日本語画面表示	・Web上に導入
管理者用機能	・「管理者メニュー」ボタン表示のみ	・ユーザーIDとパスワードを設定
コンテンツ	・海外情報(28文献のみ登録) ・国内情報の収集とDB化	・海外情報の収集とDB化 ・国内情報の収集とDB化
キーワード検索	・任意のキーワードから検索 ・キーワード一覧表から検索	・キーワード一覧の拡張
地図検索機能(海外)	・全世界を8区分し、地図上から一覧表へ	
地図検索機能(国内)	・国内の検索機能なし ・リンクなし	
マトリクス検索	・一部の海外情報のみ登録	・海外情報のうち、NA文献として特に重要な28文献を登録
プロジェクト検索	・ボタン表示	・プロジェクト名の見直し
メッセージ検索	・ボタン表示	
検索結果一覧表	・文献抄録と文献の表示	
リンク機能		

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

(地球化学バリア有効性確証調査)

◇事業の概要

地下水中の無機・有機コロイドによる放射性核種移行は収着などの遅延を受けにくく、地層処分システムの天然バリアの機能を低下させる可能性がある。そのため、本事業は地層処分システムの天然バリア性能評価の信頼性の向上に向けて、コロイドによる放射性核種の移行挙動現象の理解促進を目的として進めるものである。

本事業では、ロシアの放射性物質で汚染されたサイトの放射性核種移行等に関する既存調査データを収集し、このサイトで採取した地下水中的コロイドの化学組成、放射性核種組成、鉱物組成等のデータの取得、無機・有機コロイドの安定性に関する検討等を行い、このサイトでのコロイドによる放射性核種移行の概念モデルを検討する。さらに、これらのモデルについて、地層処分でのコロイドによる放射性核種の移行挙動評価への適用性を検討する。

本事業においてロシアの汚染されたサイトでのコロイドによる放射性核種移行に係る研究データ等は、ISTC（国際科学技術センター）プロジェクト No. 3290 “Evaluation of the Groundwater Colloidal Migration of Radionuclides from Geochemical Viewpoint”として、ロシアの研究機関（ベルナッキー地球化学・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：IGEM）が取得するものである。

本事業の現地調査サイトは、ロシアの Mayak 生産連合（PA “Mayak”、チエリヤビンスク州）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 PA “Mayak” 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。

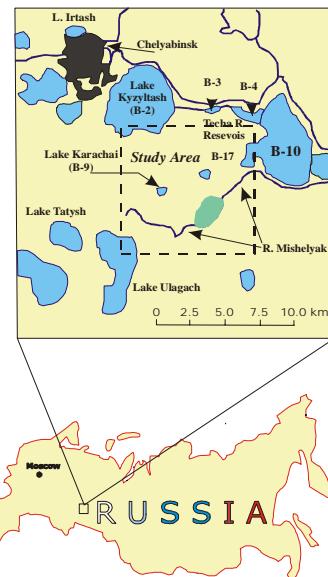


図-1 PA “Mayak” サイトのカラチャイ湖(B-9)周辺の地下水観測孔井配置図

(2)現地調査と実験研究

現地では、原位置での地下水の化学的性質測定（地球化学検層）、採取した地下水から微量ろ過と限外ろ過で分離したコロイド物質の化学分析、放射性核種濃度分析、コロイド物質と放射性核種の結合状態の特性研究等を行う。実験室では、現地調査のデータを補完するため、実地下水から分離したコロイド物質のミクロ観察、これとアクチノイドの結合状態、Pu 水酸化物重合体（真性 Pu コロイド）の化学特性研究、カオリン、水酸化鉄などへのアクチノイドの収着の研究などを行う。

(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、現象の理解のもと、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有機コロイド特性に関するデータを解析し、一般化するための基礎的検討を行う。

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を向上させる。

なお、本事業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19年度 放射性廃棄物共通技術調査等 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書（第2分冊） 地球化学バリア有効性確認調査

◇平成19年度の成果

(1) 既存データの収集

アクチノイドとマンガン酸化物との相互作用、鉄(Ⅲ)酸化物へのアクチノイドの収着に対するフミン酸の影響などの文献情報を整理した。

(2) 現地調査（地球化学検層）

地球化学検層による地下水のデータ取得を継続した。高硝酸ナトリウム汚染地下水のカラチャイ湖から南東方向への拡散は、Mishelyak 断層を主とする南東方向の断裂破碎帯によって制御されていると推定できる。平成19年度はこの断層に沿った孔井(43/78, 176, 173)とそれと交差する孔井(109, 164)で地下水地球化学検層(HGL)を行い、過去の調査結果(1993年～1998年)と比較した。

◆ カラチャイ湖から遠くにある孔井では、最大硝酸塩濃度がより深い深度で確認された。汚染地下水がその密度により沈降していくためと推定できる。

◆ 孔井173の硝酸塩濃度は、1994年には「ロシアの最大許容濃度 45 mg/l」以下であったが

2007年には、高濃度に変化した。汚染水がこの十数年で断裂破碎帯に沿い南東方向に大きく拡散したことを示している。

孔井176における汚染地下水の流入区間の溶存酸素は1998年には高濃度であったが、2007年には存在していなかった。今後、この解釈を検討する必要がある。

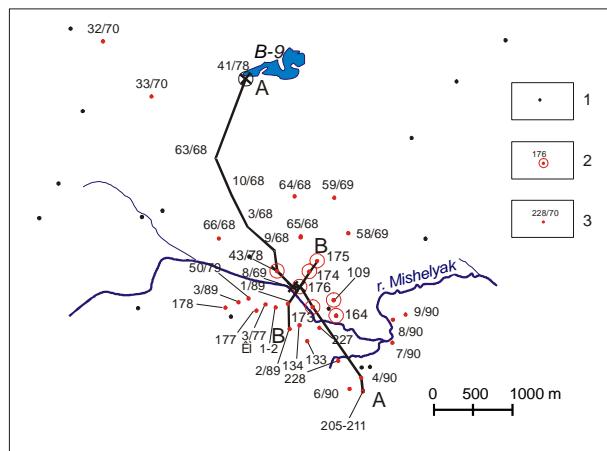


図-2 カラチャイ湖とMishelyak川の間の汚染地下水拡散域南部における観測孔井の位置
〔1- 観測孔井 2-2006-2007年にHGLを行った孔井 3-以前にHGLを行った孔井〕

図-2 カラチャイ湖とMishelyak川の間の汚染地下水拡散域南部における観測孔井の位置

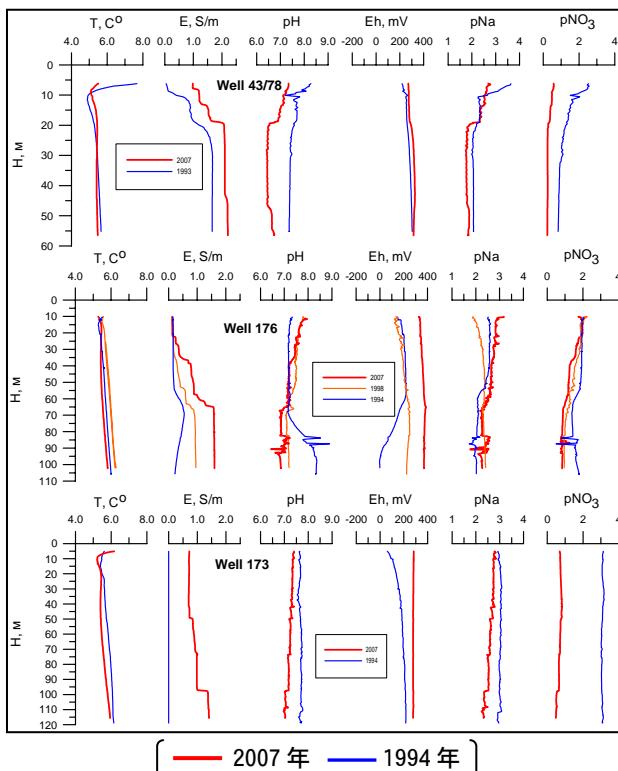


図-3 測線 A-A'の孔井の1994年から2007年の期間の地下水地球化学検層のデータ

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

(3) 現地調査（地下水中のコロイド特性調査）

平成 19 年度は、カラチャイ湖からの汚染が少ないか全くないゾーン（南方向の孔井 3/77 と 50/79、北東方向の孔井 1/28、2/28、2/94 と 3/28、Mishelyak 川）で採取した地下水中的コロイド物質を分画し、放射核種分布等の調査を行った。

- ◆ プルトニウム、鉄及び DOC の各フラクションにおける分布は、深度に依存していなかった。
- ◆ 大深度では、アメリシウムのかなりの部分は大型粒子（50~200 nm）中に含まれており、地表に近づくにつれてより細かな粒子（50 nm ~10 kDa）中で増加していた。孔井 50/79 の深さ 50m においては例外が認められた。
- ◆ 様々な元素間の含有量の明確な相関関係は見られなかった。しかし、細かな粒子（50 nm ~10 kDa）及びろ液中のアメリシウムの含有量は溶存炭素（DOC）含有量の増加に応じて増加していた。一方、フィルター上のプルトニウム含有量は鉄含有量に比例して増加する傾向が見られた。

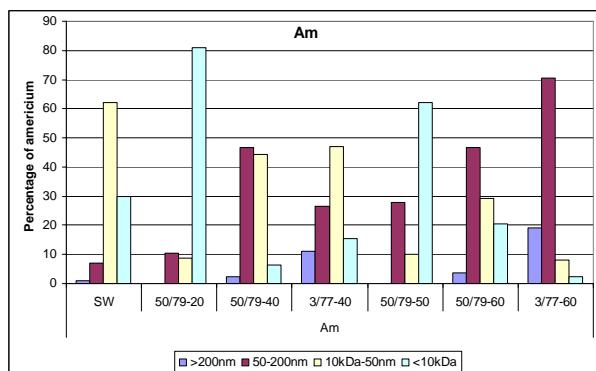


図-4 孔井・サイズフラクションごとのアメリシウムの分布

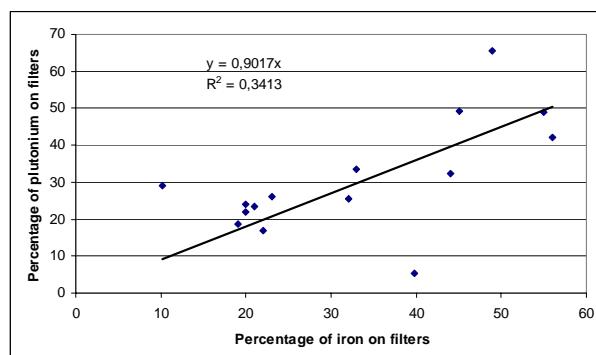


図-5 フィルター上の鉄割合に対するプルトニウム割合の相関

系統的浸出法で、低汚染孔井 1/28（湖から北東 2400m、採取深度 100 m）、高汚染孔井 63/68（湖から南西 1200m、採取深度 80m）、還元性孔井 A-44（シベリア化学コンビナート（SCC）の放射性液体廃棄物注入サイトの孔井）についてコロイド物質中のアクチノイドなどの存在形の比較を行った。

- ◆ 高汚染地下水（孔井 63/68）中のコロイド形成成分（鉄とアルミニウム）は無定形水酸化物で、低汚染地下水（孔井 1/28）中では、これらの元素の多くは残渣中に残り（不溶性）、より安定形であると推定された。
- ◆ DOC は、NaOH 溶液で大部分が浸出され、有機物として存在している可能性が推定された。
- ◆ 孔井 63/68 では、ウランは酢酸アンモニウム溶液で大部分が溶出され、炭酸塩として存在する可能性が推定された。また、孔井 1/28 では残渣中にウランが 80% 残り、低汚染孔井地下水のコロイド物質とウランの結合度は大きいことを示していた。
- ◆ 酸化条件では、プルトニウムとアメリシウムは炭酸塩、有機物及び無定形酸化物として存在すると推定できる。プルトニウムは主として無定形酸化物中に検出され（43~51%）、有機物中には 20~43% である。逆にアメリシウムは、主として有機物中（35~76%）に検出され、無定形酸化物中にはわずかであった。
- ◆ 還元性条件（SCC の A-44 孔）では、プルトニウムとアメリシウムは残渣中にも分布し、鉱物の結晶構造内に広く浸透しているものと推定される。この条件下のウランとネプツニウムもプルトニウムと同様の挙動を示し、難溶性であった。溶解度の低い 4 価アクチノイドを形成することから生じた可能性が考えられる。

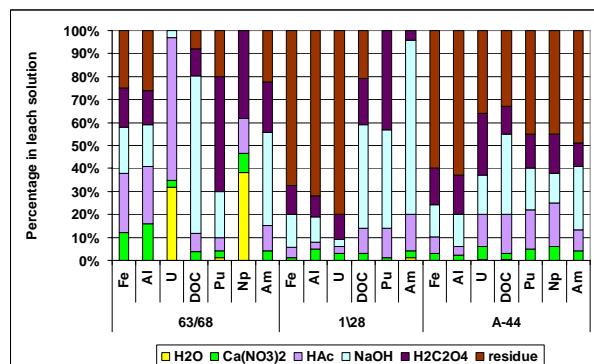


図-6 200nm~50nm のフラクション中の放射性核種の試薬ごとの浸出割合（結合強度の分布）

(4) 実験研究

コロイドによる放射性核種移行プロセスの正しい理解のために、現地調査データを補完する実験研究を行った。

- ◆ 実地下水（孔井 63/68、深度 80 m）から分離した 10 kDa～0.45 μm のコロイド物質（コロイド総濃度 0.43 g/l、比表面積 40.2 m²/g）について、光子相関分光法（PCS）によるサイズ分布測定、走査型顕微鏡（SEM）、透過電子顕微鏡（TEM）などによる化学組成・鉱物組成分析等を行った。コロイド物質として無定形水酸化鉄、MnO₂、粘土、方解石などが検出された。
- ◆ 実地下水に ²⁴²Pu(V) と ²³⁷Np(V) を添加し、コロイド物質に収着させた後、X 線近吸収端構造（XANES）と X 線光電子分光（XPS）でプルトニウムとネプツニウムのコロイドへの結合機構を調査した。水酸化鉄コロイドへのプルトニウムの結合機構は、収着時に、Pu(IV) への還元に続いて PuO₂nH₂O 真性コロイドの生成を通して進むと推定された。
- ◆ 高重合 Pu 水酸化物粒子を含む上澄み液を希釈していくと、これらの粒子は重合度の低い形に変換した。それ故、天然において真性 Pu コロイドの分子量が移行距離（希釈）によって変化し、それに伴い移行挙動も変わる可能性がある。
- ◆ フミン酸で改良されたカオリン（K-HA）は、カラチャイ湖周辺の模擬地下水（SGW）から還元状態では全てのアクチノイドを効率よく収着した。酸化条件ではプルトニウムとアメリシウムだけを収着した。還元条件では K-HA から SGW 溶液でアクチノイドの脱着は困難であるが、酸化条件ではウランとネプツニウムの脱着は容易であった。また、プルトニウムはアルカリ溶液やショウ酸溶液により溶出され、K-HA の錯体有機物と鉱物成分の両者に結合している可能性を示した。

(5) ナチュラルアナログ情報データベースの整備

データベースの整備として、平成 19 年は、Web 上での関係者への公開準備を進めると伴に、昨年度まで収集した文献抄録をデータベースのコンテンツとして登録した。

(6) 理論モデルの開発

コロイド粒子の岩盤への収着モデルが、粒子の不均質性を考慮した統計学的なアプローチに基づいて検討された。コロイド粒子と岩盤への放射性核種の収着モデルが、液相、コロイドと岩盤固相間での放射性核種の分配が線形等温収着（コロイド粒子の不均質性に関して）によって支配される熱力学的な平衡状態に対応するという仮定のもとに検討した。流体力学的な効果は経路の中の液体の平均速度と比較してコロイド粒子の“加速された”動きの効果に適用されるものとして流路内のコロイド粒子の再分配を導くものと考えられている。コロイド粒子の“加速された”動きの効果は経路の水平方向では不十分であることを示している。それゆえ、このモデルでは、コロイド粒子の速度は Darcy の速度ベクトルの近水平方向に地下水が母岩間隙を流れる速度より高くならないとの結論を得た。

(7) コロイド生成データの評価

アクチノイド有機錯体の安定化メカニズム及びその予測の方法に関して、高次な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。平成 19 年度は、4 値金属イオンの見かけの溶解度に及ぼす有機酸の影響を検討した。ジカルボン酸であるマロン酸もしくはコハク酸と、トリウムもしくはプルトニウムとの有機金属錯体の錯生成定数を溶媒抽出法により求めた。また、同ジカルボン酸存在下での見かけの溶解度の pH 及びジカルボン酸濃度依存性について実験的に調べた。

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

【放射性廃棄物に関するワークショップの開催】

◇事業の概要

放射性廃棄物の最終処分事業について、国民の目線にあった理解促進の取組みを行うため、地域に根ざしてエネルギー・原子力等に関する理解促進活動を実施しているNPO等団体と連携して、高レベル放射性廃棄物の最終処分に関するワークショップを開催する。

なお、本事業は経済産業省の委託により平成19年度より実施しているものである。

(報告書)平成19年度 放射性廃棄物に関するワークショップの開催

◇平成19年度の成果

(1) ワークショップの開催

全国及び地域で活動しているNPO等の団体と連携して、住民参加型の地域ワークショップを、名古屋市、札幌市、松山市、福岡市、福島市の5地域で開催した。ワークショップには、当該地域の自治体、企業、大学、NPO等に所属する多様なメンバーが参加し、このうちの一部のメンバーがワークショップでの双方向の議論の進行・調整を行うファシリテーターの役割を担った。

ワークショップは午前・午後の2部構成とし、午前の部では環境・エネルギー問題等に関する講演及び放射性廃棄物に関する講義を行い、午後の部では参加者を複数のグループに分けて放射性廃棄物に関するワークショップを行った。

ワークショップでは、ファシリテーターと事前に調整を行い、開催地域の特徴・事情などを考慮して討論のテーマを設定した。そして、このテーマについて参加者全員から幅広い意見を述べて頂き、全ての意見を集約してグループ毎に意識の共有化を図った。討論の後、その結果をグループ毎に発表し、地域全体での総括を行った。

ワークショップを通じた放射性廃棄物に関する理解・意識の変化を把握するために、参加者全員へのアンケートをワークショップ開催前・開催後の2回実施した。また、ワークショップ終了後に、ファシリテーターによるワークショップの事後評価を行い、その有効性及び企画・運営に関する改善点等に関する検討を行った。

(2) 地域間の交流事業の実施

5地域でのワークショップの開催後に、各地域のファシリテーターを対象とした交流事業を独立行政法人日本原子力研究開発機構東濃地科学センター（岐阜県瑞浪市）において開催した。

交流事業では、地下研究施設の見学、放射性廃棄物に関する講演及びファシリテーターによるワークショップを行った。ワークショップでは、5地域でのワークショップの成果及び反省点を共有し、各地域で理解促進活動を継続・展開していくための企画検討を行った。交流事業においても、ファシリテーターへのアンケートを実施した。

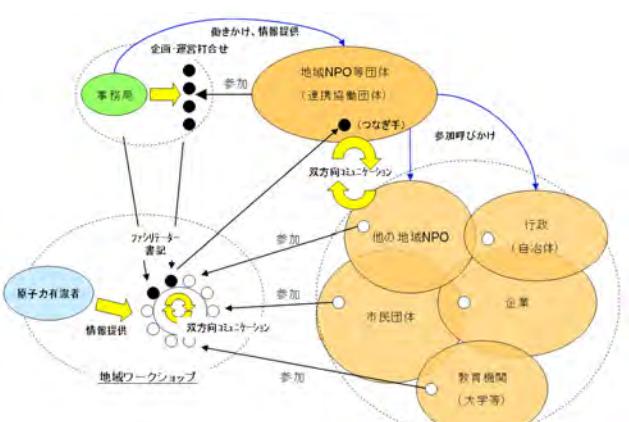


図-1 ワークショップの開催概要

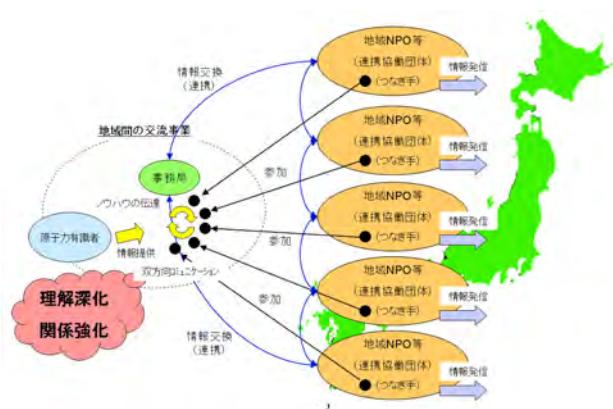


図-2 地域間の交流事業の概要

(3) 事業の広報

ワークショップの開催を広く周知するために、地域住民の積極的な参加を得るために、開催地域毎に告知用チラシを作成し、自治体、関係機関等

に配布した。

また、ワークショップ及び交流事業の開催結果を周知するために、経済産業省「放射性廃棄物のホームページ」上に放射性廃棄物ワークショップのホームページを作成した。

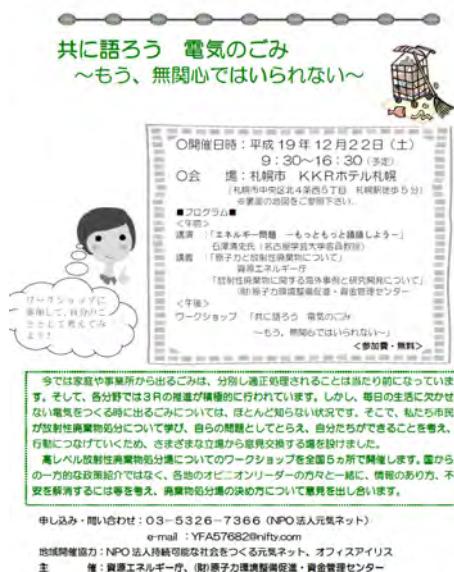


図-3 ワークショップの開催案内チラシ

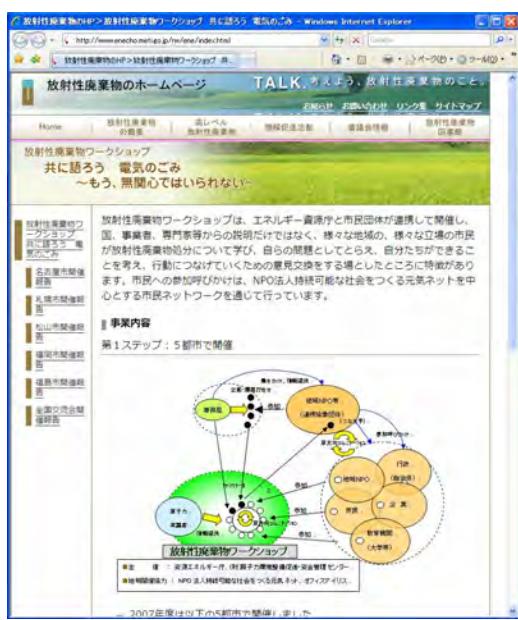


図-4 放射性廃棄物ワークショップのホームページ
(<http://www.enecho.meti.go.jp/rw/hlw/hlw01.html>)

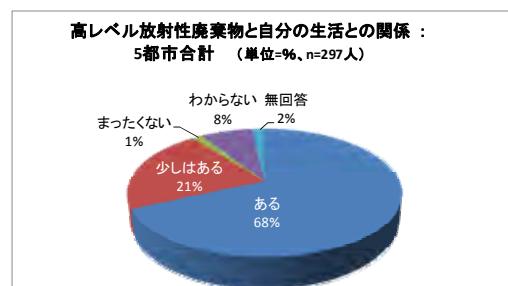
(4) 事業の評価

ワークショップの開催前後及び交流事業の際に実施したアンケート結果をもとに、ワークショップによる理解促進の効果の検証を行った。検証の結果、ワークショップが放射性廃棄物の最終処分事業の必要性や安全性等に関する理解向上に寄与していることを確認した。

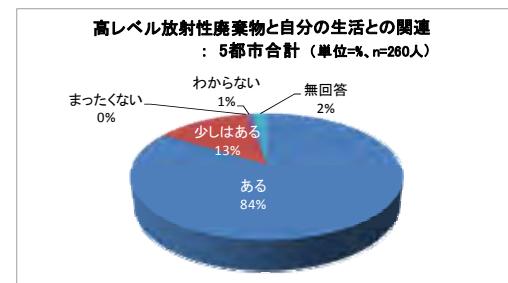
また、ファシリテーターによる5地域でのワークショップの事後評価の結果を総括し、ワークショップ開催の効果及び継続展開していく上で課題を下記の視点からまとめた。

- ①ワークショップの企画・運営に対する評価
 - ・対話の有効性
- ②ワークショップの企画・運営の改善点
 - ・継続の必要性（関心の深まりと広がり）
 - ・対話の拡大（顔の見える対話の重要性）
 - ・地域の核となるファシリテーターの育成
 - ・無関心層への情報発信
 - ・ステークホルダーの拡大

(1)～(4)のワークショップ及び交流事業の成果については、報告書としてまとめた。



事前アンケート結果



事後アンケート結果

図-5 事業の評価結果の一例
(放射性廃棄物への意識に関するアンケート結果)

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

【放射性廃棄物関連パンフレット等の作成】

◇事業の概要

平成 19 年 6 月、最終処分法と原子炉等規制法が改正され、地層処分の対象に TRU 廃棄物と代替取得に伴い返還される高レベル放射性廃棄物が追加されるとともに、原子炉等規制法の対象に高レベル放射性廃棄物と TRU 廃棄物が追加され、最終処分の安全規制についても制度化された。

こうした背景を基に、高レベル放射性廃棄物及び TRU 廃棄物の地層処分に関する既存の専門家向け解説冊子の法改正等を踏まえた改訂を行い、かつ既存の一般向けパンフレット 2 種類 (HLW 版・TRU 版) を、法改正等を踏まえた最新の内容を盛り込んだ 1 つのパンフレットにまとめた。

なお、本パンフレット及び改訂冊子には、平成 20 年 4 月に原子力発電環境整備機構 (NUMO) が高レベル放射性廃棄物に加えて TRU 廃棄物の処分実施主体として経済産業大臣の認可を受けた事も盛り込まれている。

本事業は経済産業省の委託により実施したものである。

◇平成 19 年度の成果

(1) 専門家向け解説冊子の改訂

資源エネルギー庁が作成・配布している「高レベル放射性廃棄物の処分の安全性について考えてみませんか」及び「TRU 廃棄物の地層処分について考えてみませんか」を、今般の法改正を踏まえた最新の情報に改訂するとともに、2 冊子のデザインや構成をそろえた。

(2) 一般向けパンフレットの作成

資源エネルギー庁が作成・配布している「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、地層処分～」と「TAKK. 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」の 2 種類のパンフレットに対し、今般の法改正を踏まえた最新の情報の追記及び記載内容の見直しを行い、1 つのパンフレットにまとめた。



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

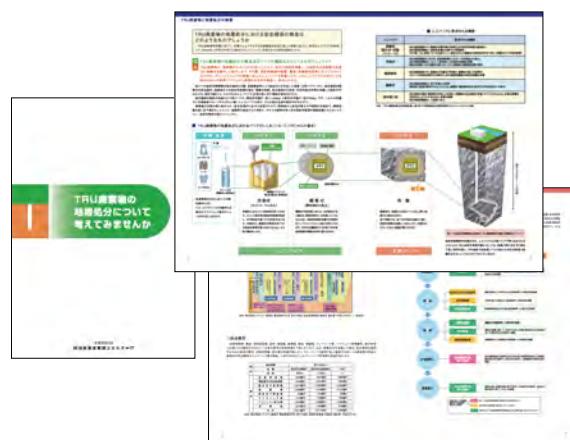


図-2 専門家向け解説冊子「TRU 廃棄物の地層処分について考えてみませんか」

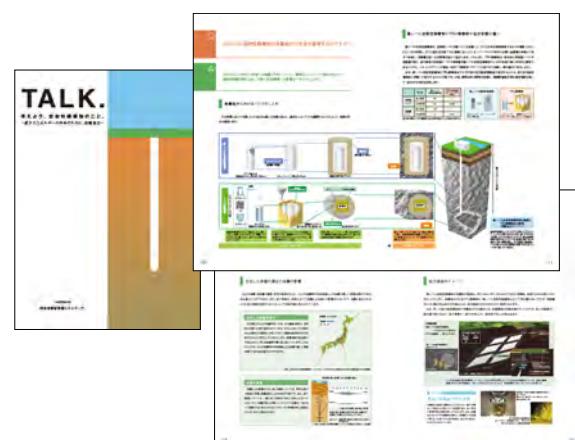


図-3 一般向けパンフレット「TALK. 考えよう、放射性廃棄物のこと。～原子力エネルギーの未来のために、地層処分～」

(3)事業の評価

作成した冊子及びパンフレットの配布先に対し、アンケートを実施し、事業の評価分析を行った。

その結果、「参考になったでしょうか」の設問に対しては、2冊の解説冊子はともに8割以上の人から、パンフレットは7割以上の人から参考になったとの回答を得た。

また、「技術的に適當だったでしょうか」の問い合わせに対しては、高レベル放射性廃棄物の解説冊子が約7割の人から肯定的な回答があったのに対し、パンフレットが約6割、TRU廃棄物の解説冊子が約5割と肯定的な回答が少なかった。これにより、TRU廃棄物が多種多様な事により、技術的な内容が多岐に渡り、理解し難い事がうかがわれる。(図-4.1、図-4.2)

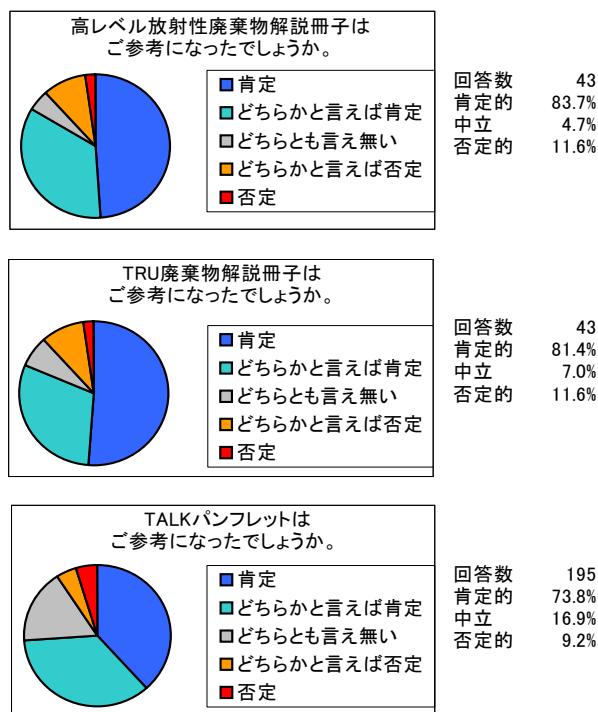


図-4.1 事業の評価分析結果（参考評価）

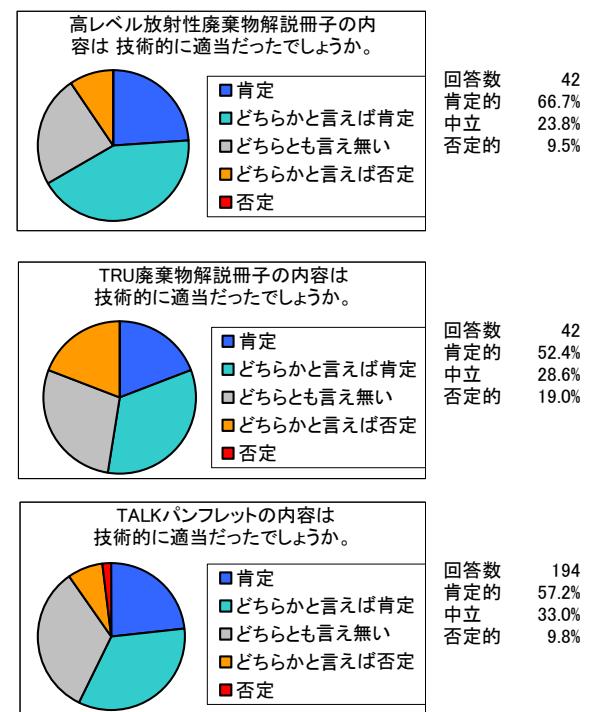


図-4.2 事業の評価分析結果（技術的評価）

III. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究

【放射性廃棄物関連施設見学会の開催】

◇事業の概要

本事業は、高レベル放射性廃棄物の処分事業の必要性や安全性等についての理解を促進することを目的として、広く自治体職員や有識者、マスコミ関係者等を対象として、事業が相当程度に進捗しているフィンランド及びスウェーデンを訪問し放射性廃棄物関連施設の見学や地元自治体関係者との意見交換会を開催した。

なお、本事業は経済産業省の委託により実施したものである。

(報告書)平成 19 年度 核燃料サイクル関係推進等（放射性廃棄物関連施設見学会の開催）

◇平成 19 年度の成果

(1) 参加者募集等

参加者募集に先立ち、訪問国との調整、日程の検討を行い、平成 20 年 1 月 20 日からフィンランド及びスウェーデンを訪問することを決定した。

次に、見学会参加者の募集を行い、大学所属の有識者 4 名及びマスコミ関係者 4 名の合計 8 名が決定した。

また、見学会の効果を高めるため、見学会参加者に対し、訪問国に関する原子力発電の動向、原子力政策、放射性廃棄物処分事業の進捗状況などに関する勉強会を開催するとともに、資料の配布を実施した。

(2) 見学会の実施

見学会では、平成 20 年 1 月 21 日及び 23 日に、それぞれフィンランド、ユーラヨキ自治体及びスウェーデン、オスカーシャム自治体を訪問した。両自治体では、放射性廃棄物処分関連施設の見学を行い、また、地元自治体関係者との意見交換会を開催した。以下に訪問施設及び意見交換会の概要を示す。

・フィンランド・ユーラヨキ自治体

①見学施設：

・地下特性調査施設 (ONKALO)

地下特性調査施設 ONKALO は、現在建設工事が行われており、将来の使用済燃料処分場

の一部となる予定である。今回の見学会では、建設工事中であったため、施設外部で担当者からの説明を受けた。



図-1 地下特性調査施設(ONKALO)

・オルキルオト中低レベル放射性廃棄物処分場 (VLJ)

同処分場は地下約 60–95 m に二つのサイロが設置されており、一方が中レベル廃棄物、もう一方が低レベル廃棄物の処分用となっている。実際に、バスで地下に下りサイロ上部で担当者から説明を受けるとともに施設を見学した。低レベル廃棄物処分用のサイロ上部には、透明な部分が作られており、サイロ内に処分されている廃棄物の入ったドラム缶を見学することができた。

・オルキルオト原子力発電所 3 号機建設現場

現在建設が進められているオルキルオト原子力発電所 3 号基の建設現場を見学した。

②地元自治体関係者との意見交換会

ユーラヨキ自治体オルキルオトにあるポシヴァ社本社が入っているオルキルオト・マンション会議室において意見交換会を実施した。

まず、ポシヴァ社副社長ヴィラ氏より、フィンランドの放射性廃棄物処分事業全般についての説明が行われた。その後、ユーラヨキ自治体議会副議長である Lucander 氏より、ユーラオキ自治体に関する背景情報の他に、高レベル放射性廃棄物処分場を受け入れることとなった経緯や住民の間でどのような議論が行われたかなどが紹介された。また、ポシヴァ社側からの観点で、ポシヴァ社コミュニケーション担当者が、処分場サイトとしてオルキルオトを選定する際の公衆受容についての

説明を行った。両氏の説明に際し随時、見学会参加者から質問を行い、両氏より回答を得た。

参加者からの主な質問は、当初ユーラヨキ自治体が処分場を受け入れないとの決定をしていたが、その方針をどのような背景で転換したか、また、処分場受入れを検討する際に住民や議会などにおいてどのような議論が行われたかといった点であった。



図-2 フィンランドでの意見交換会

・スウェーデン

①見学施設：

・CLAB 集中中間貯蔵施設

CLAB 施設内の会議室で CLAB の使用済燃料プールの冷却方法、温排水の施設近辺への影響などの簡単な説明を受けた後、実際に施設を見学した。使用済燃料の受入れ施設、や使用済燃料が実際に貯蔵されている貯蔵プールの脇まで行き担当者の説明を受けた。

・エスボ岩盤研究所

エスボ岩盤研究所では、スウェーデンの放射性廃棄物処分システムや同研究所についての簡単な説明を受けた後、実際に同研究所内の地下約 340 m までエレベータで降下し、約 450 m のところまで徒歩移動した。その間に、同研究所で行われている研究についての説明を受けた。



図-3 スウェーデン、エスボ岩盤研究所の見学

②地元自治体関係者との意見交換会

オスカーシャム自治体議員 Englund 氏及びオスカーシャム自治体職員 Persson 氏により、オスカーシャム自治体に関する簡単な説明、スウェーデンの地方自治体制、オスカーシャム自治体の放射性廃棄物管理に対する基本姿勢、LK0 の役割・位置付けなどの説明を受けた。随時、見学会参加者からの質問を行い、両氏からの回答を得た。

オスカーシャムでの意見交換会では、オスカーシャム自治体に設置されている放射性廃棄物処分に関して地元議会の諮問組織的な役割を有している LK0 への関心が高かった。見学会参加者からは、LK0 の位置づけや独立性を含め、どのような役割を果たしてきたかといった事項への質問が行われた。また、オスカーシャム自治体の住民に対して行われた処分場受入れに対する意識調査では、83%が肯定的な見解を示しているとのことであった。見学会参加者からは、地元住民にこのように高い支持を受けている背景などについて質問が行われた。

(3)見学会の評価など

見学会の事後評価として、有識者にレポートの作成を依頼し、また全参加者に対してアンケートを実施した。アンケートでは、今後の見学会の開催のために有意義な意見が得られた。

また、見学結果に基づく新聞記事が 2 紙に掲載された。

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の安全規制に関する事項について、「精密調査地区選定に係る環境要件」に関する事項に関して検討に必要な諸外国の情報・事例等の調査を行うとともに、「安全審査基本指針」の検討に資するために中長期的な検討が必要となる課題に関する諸外国の検討状況の調査を行い、これらを体系的に整理することにより、今後の原子力安全委員会におけ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、低レベル放射性廃棄物の埋設処分に係る指針・基準等の整備に関して、諸外国の規制行政庁、研究機関、国際機関等における規制、研究、検討状況の調査を行い、今後の原子力安全委員会における調査審議に資することを目的として実施するものである。

なお、本事業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 19 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 19 年度の成果

(1)高レベル放射性廃棄物処分に係る調査

a. 精密調査地区選定に係る環境要件等に関する調査

我が国の精密調査地区の選定の際に実施されるボーリング調査等の地上からの調査を中心とした調査（日本の概要調査に相当する調査）に関して、諸外国でのボーリング調査等の地上からの調査に基づくサイト選定基準の内容を調査するとともに、ボーリング調査等により得られた結果をサイト選定基準に照らし評価した事例を調査した。なお、調査対象としては、既にボーリング調査等が実施されているスウェーデン、フィンランドのほか、今後新たにサイト選定基準が整備される見込みのある国として、スイスも調査対象とした。

スウェーデンにおいては、サイト選定基準は処分実施主体であるスウェーデン核燃料・廃棄

物管理会社 (SKB 社) の処分事業に関する研究開発プロセスで開発が進められている。このため、本調査ではじめに、サイト選定基準の整備の背景についてまとめを行った上で、SKB 社の過去数回にわたる「研究開発実証プログラム」の取りまとめ、及び規制機関による審査過程を通じて整備されているサイト選定基準の内容を整理した。ボーリング調査等によって得られた結果をサイト選定基準に照らし評価した事例としては、SKB 社が 2002 年から二つの自治体で実施しているサイト調査について、エストハンマル自治体のフォルスマルク地区の初期サイト調査段階の完了時点で取りまとめられた報告書「フォルスマルク地区の概略安全評価」(SKB TR-05-16) について、評価内容を整理した。

フィンランドについては、実施主体であるポシヴィア社がオルキルオトを最終処分場として選定し、1999 年に原子力法に基づく原則決定申請を行った際の評価を調査対象事例とした。規制機関である放射線・原子力安全センター (STUK) はサイト選定基準を含む安全指針 (YVL 8.4) を 2001 年に制定しているが、この時期は上記のポシヴィア社の原則決定申請の後である。このため、まずフィンランドにおけるサイト選定基準の整備の背景を調査し、サイト選定基準の整備状況の時間的な流れを整理した。これを踏まえて、ポシヴィア社がサイト選定において策定したサイト選定要因の内容と STUK が定めたサイト選定基準を整理し、最終処分地が決定するまでの間にどのような基準に基づき、どのような評価が行われたかについて整理した。

スイスについては、連邦評議会が策定を進めている特別計画「地層処分場」のドラフトについて、サイト選定基準の内容を調査し、安全・技術的な基準に関して、そのサイト選定段階での適用・評価方法について整理した。

b. 安全審査基本指針の検討に係る調査

今後、策定が見込まれる安全審査基本指針の検討に資するため、18 年度実施の地層処分に係る「放射性廃棄物処分の安全基準等の調査」で抽出した中長期的に検討が必要となる課題に関して、特定放射性廃棄物処分安全調査会での審議内容に合わせて、国際機関、諸外国の法令などでの最新の検討状況の調査を行い、調査結果の整理、取りまとめを行った。本調査では、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、カナダ等）において放射性廃棄物の地層処分のために制定、策定されている法令、安全基準・指針の内容を調査するとともに、整備が進められている法令等の検討状況などの調査を行った。その上で、諸外国における「回収可能性の維持」、処分事業の各段階に応じた「管理・モニタリング」に係る具体的な事項などについて調査し、内容を取りまとめた。また、回収可能性の維持とモニタリングの概念、事業段階における回収可能性のもつ意味について、欧州連合（EU）での検討状況を調査した。

高レベル放射性廃棄物の処分実施に向けた新たな段階に入る準備を進めている国としてフランス、カナダ、スイス、英国を対象として、高レベル放射性廃棄物処分に係る検討状況、事業・規制に関する検討状況を調査した。

c. 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ている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

a. 検討課題の整理

「放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な事項について」（平成16年6月、原子力安全委員会）や安全規制の基本的考え方（中間報告）等で示された検討課題、廃棄物埋設安全審査指針と国際原子力機関（IAEA）の安全要件 WS-R-1との対比などにより、今後の廃棄物埋設安全審査指針の改定に係る検討課題を具体的に抽出・整理を行った。

b. 検討課題についての国際機関、諸外国等での検討内容の調査

上記a. で整理した検討課題について、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）、及び既に処分が行われているスウェーデン、フィンランド、米国、ドイツ等の法令（当該法令の規定内容を含む）及び指針並びに基準に関する検討状況、内容等について調査を行い、当該調査結果の整理、取りまとめを行った。

c. 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作成するとともに、放射性廃棄物・廃止措置専門部会等の調査審議に資するため、適宜資料を作成した。

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と品質保証に係る海外調査】

◇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、その受入れ、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れ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れ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、本事業は独立行政法人原子力安全基盤機構（JNES）からの委託により実施しているものである。

（報告書）平成 19 年度　返還放射性廃棄物の廃棄確認と品質保証に係る海外調査報告書

◇平成 19 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管理に関する調査

AREVA NCから平成25年度より返還される予定の低レベル放射性廃棄物である固型物収納体（CSD-C）（以下「CSD-C」という。）に関する、以下の項目の調査を実施した。

- ① CSD-Cの製造に関する現地調査
- ② CSD-C フィルタ部蓋閉止の評価状況に関する調査
- ③ CSD-Cの放射能決定方法に関する現地調査

なお、①と③はJNESが実施した現地調査を原子力環境整備・資金管理センターが調整し、同行して入手した情報であり、②は単独で実施した調査結果である。

a. CSD-Cの製造に関する現地調査

AREVA NC ハル・雑固体圧縮処理施設（図-1）にて、AREVA NC の CSD-C 製造プロセスにおける品質管理状況について調査した。

b. CSD-C フィルタ部蓋閉止の評価状況に関する調査（ANDRAの動向調査）

ANDRAにおける地層処分研究成果報告書である Dossier 2005 の技術文献にて、ANDRAにおける CSD-C のガス影響評価状況を調査した。本報告書では、CSD-C 中の有機物の自然分解及び放射線分解によるガス発生量の評価は、金属腐食によるガス発生量と比べ1桁低いと評価されている。発生ガスの挙動は、処分場の安全評価上、包括的に発生確率が高いと想定され、「標準」と見なされる変遷を記述したリファレンスシナリオの中で考慮されていることから、現時点ではより詳細な調査対象とはなっていない。

c. CSD-Cの放射能決定方法に関する現地調査

AREVA NC が実施している CSD-C の放射能測定・評価手法を検討すべく現地調査を実施した。

AREVA NC のハル・雑固体圧縮処理施設にて、AREVA NC と電気事業者が実施する放射能測定試験の実施状況を調査した。また、放射能測定に関するデータについて、一連の廃棄体の記録のトレーサビリティーを調査した。

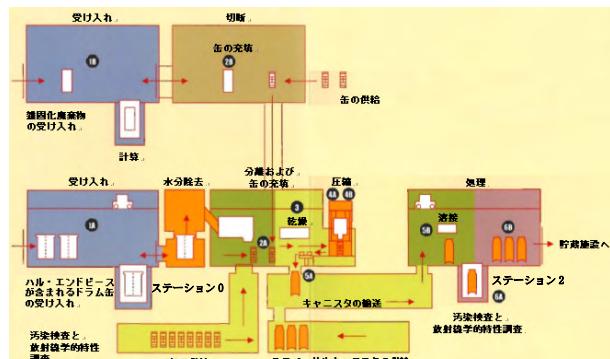


図-1 雜固体圧縮処理施設の概要

(2)再処理委託国における返還放射性廃棄物の廃棄確認と貯蔵に関する調査

返還放射性廃棄物の廃棄確認と貯蔵に関して、再処理委託国のCSD-Cの受入に関する動向を、高レベルガラス固化体と貯蔵方式が同じ収納管を用いるベルギーとオランダを対象に調査した。また、オランダにおいては、英国から返還される高レベル放射性廃棄物の受入れに関する動向も併せて調査した。

a. ベルギーのCSD-Cの受入に関する検討状況

CSD-Cの受入は2009年から開始される予定であり、ガラス固化体と同様な手続きが行われる見込みであるとされている。

b. オランダのCSD-Cの受入に関する検討状況

COVRAでは、セメント固化体を貯蔵対象にHABOG施設を設計しているので、廃棄体からガスが発生しても問題無いとしており、フィルタ部を蓋閉止溶接しないCSD-Cを受入れる予定である。また、CSD-C中の有機物と水分については、放射性ガスの放出量が建屋制限値を超過しないように制限するとしている。更に、蓋閉止溶接が受入の必要条件ではないもののAREVA NCの蓋閉止に係る研究開発動向を興味深く静観している状況である。(図-2～図-5)

c. オランダの英国から返還される高レベル放射性廃棄物の受入に関する検討状況

オランダにイギリスから返還される高レベルガラス固化体の受入れについては、2009年半ばから2009年後半を予定しており、低レベル放射性廃棄物は単一返還を行う計画である。



図-2 CSD-C(模擬体)の外形とガス抜き用フィルタ



図-3 HABOG外観



図-4 貯蔵ピット

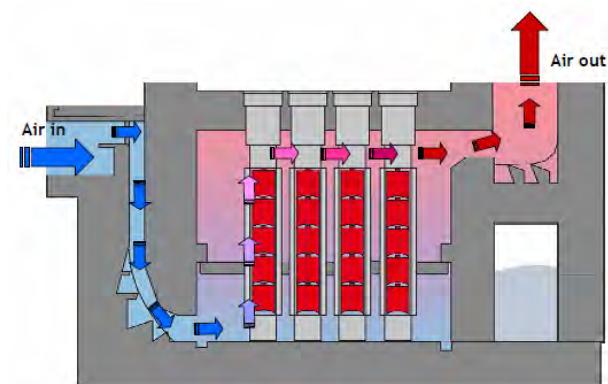


図-5 HABOGの冷却システム

【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及び法整備に資するため、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、許認可申請書の内容、規制機関が策定すべき技術基準及び安全評価のレビュー方法等について検討を実施するものである。

高レベル放射性廃棄物の地層処分について、「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、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され、安全規制は未整備となっていた。「原子力政策大綱」（平成17年10月、原子力委員会）では、研究開発の進捗を踏まえ、国は安全規制に係る制度等を整備する必要があると指摘されていた。

このような状況を踏まえ、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報告書「放射性廃棄物の地層処分に係る安全規制のあり方について」（平成18年9月）において、高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る安全規制の法的枠組みが検討された後、平成19年6月には、同報告書の内容を踏まえた「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（原子炉等規制法）」の改正案が国会で可決され、高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る安全規制が整備された。この法改正を受け、原子炉等規制法施行令の一部を改正する政令が公布され、高レベル放射性廃棄物等の埋設処分に係る安全規制や廃棄物埋設事業への防護措置の追加に必要な諸規定が整備された。さらに、改正原子炉等規制法の施行に必要となる各種技術基準や保安措置、閉鎖措置等の要件等について規定する経済産業省令（第一種廃棄物埋設規則）が制定された。

また、立地点の選定について、報告書「放射性廃棄物の地層処分に係る安全規制のあり方」では、立地段階を安全規制の法令に基づく直接的な許認可の対象とすることはなじまないとする一方で、事業実施主体の調査結果のレビューや、調査のあ

り方や品質保証に関するガイドラインの提示による規制機関の関与は重要としている。

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、我が国における高レベル放射性廃棄物等の地層処分の安全規制に係る今後の法制度整備等の検討に資することを目的としている。

なお、本事業は経済産業省原子力安全・保安院の委託により実施しているものである。

（報告書）平成19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、高レベル放射性廃棄物等の地層処分場の立地に係るサイト選定基準、調査実施指針等の整備状況、及び規制機関が実施したレビューの内容を調査・整理するとともに、国際機関により検討された国際安全基準の最新状況も整理した。

a. 立地に係る選定基準、調査実施指針等の規制機関の策定文書の調査

諸外国の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の内容・状況等を調査し、各国毎に、規制体制、処分事業の進捗状況、立地に係るサイト選定基準、調査実施指針等の整備状況・検討状況の視点で比較・整理を行った。

調査対象国での地層処分場サイトに対する基準については、次のようにサイトに対する基準の策定、又は提示された基準の承認という形式により、各国の規制機関がサイト選定基準に対して関与する状況となっている。

- ・複数サイトの絞り込み基準を策定：米国、スイス
- ・建設許可手続で考慮されるサイト基準を策定：フィンランド、フランス、ドイツ
- ・実施主体が提示したサイト選定基準を承認：スウェーデン

サイト選定作業については、フランス、ドイツ及びスイスでは、サイト調査作業の実施のた

めに規制機関の許認可を要求する法令が定められている。一方、サイト調査作業の実施のために規制機関の許認可を必要としない米国、フィンランド及びスウェーデンについては、実施主体のサイト調査に関する計画又は報告を規制機関がレビューする制度が採用されている。

b. 規制機関が実施したレビュー内容の調査

高レベル放射性廃棄物等の地層処分サイトの選定作業について、ボーリング調査、地下施設の建設を伴うサイト特性調査を実施中であるフィンランド、スウェーデン及びフランスについて、実施側の調査・検討内容について規制機関の関与及びレビュー内容などの調査結果を整理した。特に、フィンランド及びスウェーデンにおいては、サイト調査の他に事業実施主体の安全評価や研究開発等に対しても、規制機関によるレビューが実施されている。

C. 国際機関における最新状況の調査

諸外国の規制機関における安全基準等の検討とともに、国際原子力機関（IAEA）、欧州連合（EU）などの国際機関においても国際安全基準の検討が行われている。EUに関しては、新たな基準・指針等の策定には至っていないため、現在検討が進められている IAEA の安全指針「放射性廃棄物の地層処分：安全指針ドラフト（DS334）」を調査し、この指針ドラフトで示された安全要件やその要件に関する勧告について整理した。

(2) 事業許可段階以降の規制制度の調査

高レベル放射性廃棄物等の地層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、最新の規定内容や国際安全基準の取り入れ状況を調査するとともに、事業許可段階以降における一連の規制機関の関与（許認可及び安全確認行為）、制度的管理や事業廃止後の国の関与の在り方についての調査結果を整理した。具体的には、安全規制及び安全基準・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た。

a. 建設・操業・閉鎖段階での規制機関の関与

諸外国における地層処分事業に関する安全規制法令等に基づき、規制法令等に規定される事業許可段階以降の段階的な許認可手続、及び許認可申請書の記載事項について調査した。その調査結果に基づき、必要となる許認可手続、許

認可申請書の記載内容や安全審査における評価項目や、各許認可後における規制機関の安全確認行為について、各国毎に根拠となる法令・規則等とともに比較・整理した。

調査対象国での事業許可段階以降の許認可手続については、次に示すようにドイツ以外の国は段階的な規制機関の許認可を要求する規定が定められている。

- ・段階的な許認可：米国、フィンランド、スウェーデン、フランス、スイス
- ・一括許認可：ドイツ（原子力法に基づく許認可）

段階的な許認可が要求される国では、許認可後の規制機関による安全確認行為として、処分場の建設・操業状況の監督・モニタリングや定期的な安全レビューが要求される場合が多い。一方、建設・操業に関して一括許認可となるドイツでは、許認可後の規制機関による安全確認行為は、法令・規則では規定されずに規制機関の許認可発給文書で規定される。また、各国で現在制定されている安全規則・基準類は、閉鎖後の被ばく線量限度を除き、廃棄体や多重バリアなどの項目に対する基準は、定性的な機能・性能要件のみを規定する場合が多い。

許認可申請書の記載内容については、諸外国の法令を参照すると、放射性廃棄物の回収・代替貯蔵計画、モニタリング、安全レビュー、閉鎖・廃止措置に関する計画、記録の維持に関する計画、アクセス制限・土地利用制限に関する管理、標識の概念設計等が、我が国にとって参考になると考えられる。

b. 制度的管理の在り方、及び事業廃止後の国の関与の在り方に関する調査

事業廃止後の国の関与について、法令で取扱いが明確になっている米国及びフィンランドとともに、その他のスウェーデン、フランス、ドイツ並びにスイスについても考え方を示した文書などに対象を広げて調査し、各国における制度的管理及び事業廃止後の国の関与について、根拠となる法令・規則等とともに比較・整理した。事業廃止後の国の関与については、規定のない国があるものの、規定のある国では、記録文書の保存、標識の設置、環境監視、土地利用制限などの措置が規定されている。

V. 國際交流

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とともに、国の国際協力事業の一環としてロシアの学者・技術者支援のプロジェクトに協力している。

(1) 情報交換・研究協力をしている海外機関

- ・ベルギー／ベルギー原子力研究センター (SCK/CEN)
- ・中国／中国核工業集団公司地質局 (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／原子力廃止措置機関 (NDA) (NIREX 社を吸収)

(2) IAEA 放射性廃棄物データベース (NEWMDB) の協力

国際原子力機関 (IAEA) は、2001 年から各国の放射性廃棄物に関する情報(放射性廃棄物の管理プログラムと体制、計画と活動状況、関係する法律と規制、政策、廃棄物のインベントリ)を収

集するデータベースの開発を進めている。

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

(3) 国際科学技術センター (ISTC) *プロジェクトへの協力

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

(6) IAEA WATEC への協力

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

VI. 資料

VI. 資料

(1) 委託事業成果報告書等

(1/3)

No.	研究件名	平成19年度委託事業成果報告書	成果の外部発表等
1	ウラン廃棄物処分技術調査	平成19年度 管理型処分技術調査等委託費 ウラン廃棄物処分技術高度化開発 報告書(平成20年3月) (第1分冊) 硝酸除染装置の解体試験 フッ素化除染装置の解体試験 (第2分冊) ウラン吸着材の性能確認試験	VI. 資料 (2)外部発表 No. 6, 63, 64, 65, 66, 69 参照
2	地下空洞型処分施設性能確証試験	平成19年度 管理型処分技術調査等委託費 地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書(平成20年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 28, 47, 53 参照
3	沿岸域における物理探査解析(既存物理探査等データ収集及び地質構造解析作業)	沿岸域における物理探査解析(既存物理探査等データ収集及び地質構造解析作業) 報告書(平成20年2月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 1, 3, 4, 5, 14, 41, 42, 43, 44, 52 参照
4	処分システム工学要素技術高度化開発	平成19年度地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発報告書(第1分冊)－遠隔操作技術高度化開発－(平成20年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 36, 37, 51, 55, 56 参照
		平成19年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第2分冊)－人工バリア品質評価技術の開発－(平成20年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 42 参照
		平成19年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第3分冊)－モニタリング技術の開発－(平成20年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 22, 23, 24, 25, 26, 27, 49, 57 参照
5	ガラス固化体スケールの詳細解析技術の開発	平成19年度 ガラス固化体スケールの詳細解析技術の開発(平成20年3月)	VI. 資料 (2)外部発表 No. 19 参照
6	処分場スケールの詳細解析技術の開発	平成19年度 処分場スケールの詳細解析技術の開発(平成20年3月)	

No.	研究件名	平成19年度委託事業成果報告書	成果の外部発表等
7	人工バリア長期性能評価技術開発	平成19年度 地層処分技術調査等委託費 TRU廃棄物処分技術 人工バリア長期性能評価技術開発報告書（第1分冊）人工バリアの長期挙動の評価（平成20年3月）	VI. 資料 (2)外部発表 No. 2, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 参照
		平成19年度 地層処分技術調査等委託費 TRU廃棄物関連処分技術 人工バリア長期性能評価技術開発(第2分冊)－ガス移行挙動の評価－（平成20年3月）	VI. 資料 (2)外部発表 No. 12, 40, 61, 62 参照
8	ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発	平成19年度 地層処分技術調査等委託費 TRU廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 報告書（第1分冊）－ヨウ素固定化処理技術開発－（平成20年3月）	VI. 資料 (2)外部発表 No. 15, 39, 59 参照
		平成19年度 地層処分技術調査等委託費 TRU廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 報告書（第2分冊）－C-14の長期閉じこめ技術の高度化－（平成20年3月）	VI. 資料 (2)外部発表 No. 16, 参照
		平成19年度 地層処分技術調査等委託費 TRU廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 報告書（第3分冊）－C-14の放出挙動等に関するデータの取得－（平成20年3月）	VI. 資料 (2)外部発表 No. 38, 54, 60, 67 参照
9	放射性廃棄物海外総合情報調査	平成19年度 放射性廃棄物海外総合情報調査（平成20年3月）	VI. 資料 (2)外部発表 No. 9 参照
10	放射性廃棄物重要基礎技術研究調査	平成19年度 放射性廃棄物共通技術調査等 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書（第1分冊） 放射性廃棄物に関する基礎技術調査研究（平成20年3月）	VI. 資料 (2)外部発表 No. 10 参照
		平成19年度 放射性廃棄物共通技術調査等 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書（第2分冊） 地球化学バリア有効性確証調査（平成20年3月）	
		平成19年度 放射性廃棄物共通技術調査等 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書（第3分冊） 地層処分に関する最新基礎情報の収集及び整理（平成20年3月）	
		平成19年度 放射性廃棄物共通技術調査等 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査 報告書（第4分冊） 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整理（平成20年3月）	VI. 資料 (2)外部発表 No. 20, 21 参照

VI. 資料

(3/3)

No.	研究件名	平成19年度委託事業成果報告書	成果の外部発表等
11	放射性廃棄物に関するワークショップの開催	平成19年度 放射性廃棄物に関するワークショップの開催（平成20年3月）	
12	放射性廃棄物関連施設見学会の開催	平成19年度 放射性廃棄物関連施設見学会の開催（平成20年3月）	
13	放射性廃棄物処分の安全基準等に関する調査	平成19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20年3月）	
14	返還放射性廃棄物の廃棄確認と品質保証に係る海外調査	平成19年度 返還放射性廃棄物の廃棄確認と品質保証に係る海外調査報告書（平成20年3月）	
15	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19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20年3月）	VI. 資料 (2)外部発表 No. 63 参照

(2)外部発表等

(1/7)

(学会発表等)			
No.	題 目	発 表 者	発 表 先
1	スウェーブ波形を用いたランダム不均質構造における波動伝播解析	松島潤、六川修一、吉村公孝、坂下晋	日本地球惑星科学連合「2007年大会」 2007/5/19~24 (幕張メッセ国際会議場)
2	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)
3	デバインテストサイトにおける岩石物理学的手法による透水係数断面の推定	吉村公孝、坂下晋、小西千里、安藤誠、東宏幸	(社)物理探査学会 「第116回学術講演会」 2007/5/28~30(早稲田大学)
4	スウェーブ波形を用いた弾性波速度の分散特性解析に関する検討(その2)	松島潤、六川修一、吉村公孝、坂下晋	(社)物理探査学会 「第116回学術講演会」 2007/5/28~30(早稲田大学)
5	弾性波速度の分散特性を用いた岩盤の透水トモグラムの評価手法に関する研究－透水試験結果との対比－	吉村公孝、坂下晋、パトリック・ブライネス、安藤賢一、西山哲、奥村裕史、大西有三	(社)物理探査学会 「第116回学術講演会」 2007/5/28~30(早稲田大学)
6	ウラン廃棄物からのラドン散逸	佐々木朋三、今村光孝、軍司康義	日本保健物理学会 「第41回研究発表会」
7	世界の放射性廃棄物地層処分事業の概要説明	田辺博三、寺田賢二	第42回地盤工学研究発表会「21世紀を創る地盤工学特別セッション～放射性廃棄物地層処分事業への地盤技術者の貢献～」 2007/7/4~6(名古屋国際会議場)
8	Study on creating hydraulic tomography for crystalline rock using frequency dependent elastic wave velocity	P. Bruines 、 K. Ando 、 K. Yoshimura 、 S. Sakashita 、 H. Okumura 、 I. Blechschmidt 、 W. Kickmaier 、 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(リスボン)
9	不連続性岩盤における地下水流动場の評価手法について－決定論的割れ目と地球統計学的手法のハイブリット型モデリング－	三好悟、吉村公孝、安藤賢一、橋本秀爾、堀尾淳	(社)土木学会「平成19年度全国大会第62回年次学術講演会」 2007/9/12~14(広島大学)
10	人工バリア情報管理システム(Image)の概要	大和田仁、黒澤進、那須裕二、中西博、桜木智史、棕木敦、池谷友美、竹ヶ原竜大	日本原子力学会 バックエンド部会 「第23回バックエンド夏期セミナー」 2007/7/26, 27(岡山県上斎原)

VI. 資料

(2/7)

No.	題 目	発 表 者	発 表 先
11	セーフティケースとナチュラル・アナログ重点課題	河村秀紀、 Ian G. McKinley、 三好悟、青木和弘	(社)土木学会「平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会」 2007/9/12~14(広島大学)
12	ガス移行挙動評価試験(GMT)の活用を目的としたデータベース構築(第2報)	志村友行、朝野英一、 大熊史子、山本修一、 安藤賢一、S. Vomvoris	(社)土木学会「平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会」 2007/9/12~14(広島大学)
13	放射性廃棄物処分を対象とした無線モニタリングの通信効率向上に関する検討	立川伸一郎、青木和弘、 高村尚、奥津一夫、 須賀原慶久	(社)土木学会「平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会」 2007/9/12~14(広島大学)
14	間隙水で飽和した岩盤中の弾性波速度分散現象を用いた透水場構築手法	吉村公孝、坂下晋、 安藤賢一、 パトリック・ブライネス、 奥村裕史、西山哲、 大西勇三	(社)土木学会「平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会」 2007/9/12~14(広島大学)
15	Immobilization of Radioactive Iodine using AgI vitrification technique for the TRU waste disposal: Evaluation of Leaching and Surface Properties	T. Sakuragi T. Nishimura Y. Nasu、H. Asano K. Hoshino、K. Iino	Material Research Society 「MRS 2007 Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management」 2007/9/16~21 (英国シェフィールド)
16	水中におけるセメント系材料のサブクリティカルき裂進展	奈良禎太、高田雅史、 森大介、大和田仁、 大槻彰良、金子勝比古	平成 19 年度 (2007 年) 「資源・素材学会秋季大会」 2007/9/25~27 (名古屋大学)
17	現実的性能評価技術の開発(その1) – 3次元核種移行解析へのアプローチ –	景山仁志、辻本恵一、 安俊弘、青木和弘	日本原子力学会「2007 年秋の大会」 2007/9/27~29(北九州国際会議場)
18	現実的性能評価技術の開発(その2) – 変質層の形成機構を考慮したガラス固化体溶解解析モデルの開発 –	藤井直樹、千葉保、 高瀬博康、嶋田秀充、 青木和弘	日本原子力学会「2007 年秋の大会」 2007/9/27~29(北九州国際会議場)
19	オーバーパックからの応力によるガラス固化体破碎解析	桑原仁史、高瀬博康、 千葉保、藤井直樹	日本原子力学会「2007 年秋の大会」 2007/9/27~29(北九州国際会議場)
20	セーフティケースへのナチュラルアナログ的アプローチ その1 – ナチュラル・アナログ重点課題 –	三好悟、青木和弘、 河村秀紀、 イアン・マッキンレー、 ラッセル・アレキサンダー	日本原子力学会「2007 年秋の大会」 2007/9/27~29(北九州国際会議場)
21	セーフティケースへのナチュラルアナログ的アプローチ その2 – 地下水の化学特性や岩石の鉱物学的特徴に着目した評価	河村秀紀、三好悟、 青木和弘、 イアン・マッキンレー、 ラッセル・アレキサンダー	日本原子力学会「2007 年秋の大会」 2007/9/27~29(北九州国際会議場)
22	地層処分モニタリングシステムについて	青木和弘、 和田隆太郎、大内仁	日本原子力学会「2007 年秋の大会」 2007/9/27~29(北九州国際会議場)

No.	題 目	発 表 者	発 表 先
23	地層処分モニタリングシステム（その2）－モニタリング技術メニューの開発－	杉山武、加藤藤孝、和田隆太郎、青木和弘	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
24	地層処分における無線モニタリングに供する低周波電磁波の伝播挙動評価手法に関する検討	立川伸一郎、和田隆太郎、青木和弘、高村尚、奥津一夫	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
25	地層処分モニタリングシステム（その4）－光ファイバセンサを用いた、温度、圧力、pH測定－	秋宗淑雄、津田浩、椋木敦、千々松正和、和田隆太郎、青木和弘	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
26	地質環境調査における調査システムフローの開発とその応用 その1 調査システムフローの構築と活用方策に関する検討	吉村公孝、三好悟、山本修一、安藤賢一、佐藤昌子	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
27	地質環境調査における調査システムフローの開発とその応用 その2 調査システムフローを活用した情報管理システムの検討	山本修一、安藤賢一、佐藤昌子、吉村公孝、三好悟、武田康人	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
28	フライアッシュセメント系材料に対するトリチウム水の実効拡散係数の測定	寺田賢二、窪田茂、加藤博康、中澤俊之、坂本弘幸	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
29	人工バリア長期性能確証試験(6)－試験及び解析の概要－	大和田仁、黒澤進、那須裕二、桜木智史、朝野英一	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
30	人工バリア長期性能確証試験(7)－セメント系材料の変質現象の地球化学モデルによる検討－	山田憲和、下田紗音子、加藤博康、坂本浩幸、横関康祐、大和田仁、朝野英一	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
31	人工バリア長期性能確証試験(8)－ペントナイト系材料の鉱物変質と溶解－	黒澤進、大和田仁、朝野英一、諸岡幸一、下田紗音子、山田憲和、加藤博康	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
32	人工バリア長期性能確証試験(9)－セメント系材料とペントナイト系材料との界面で生じる変質現象の確認試験－	桜木智史、那須裕二、大和田仁、朝野英一、金子昌章、佐藤光吉、下田紗音子、加藤博康	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
33	人工バリア長期性能確証試験(10)－人工バリア長期性能評価及び不確実性低減に関する考察と課題－	下田紗音子、山田憲和、加藤博康、黒澤進、大和田仁、朝野英一	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
34	人工バリア長期性能確証試験(11)－経年コンクリートを用いたナチュラルアナログ検討－	坂本浩幸、柴田真仁、下田紗音子、加藤博康、大和田仁、朝野英一	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)

VI. 資料

(4/7)

No.	題 目	発 表 者	発 表 先
35	人工バリア長期性能確証試験(12) －アルカリ影響により変質したベントナイトの分析手法の高度化－	柴田真仁、坂本浩幸、 黒澤進、大和田仁、 朝野英一	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
36	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 (3)撮像による計測システムの適用 性試験	戸栗智仁、高橋康裕、 朝野英一、高尾肇、 竹ヶ原竜大、 宇津野二士、上坂文哉	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
37	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 (4)緩衝材の遮へい性に関する検討	奥野功一、雨宮清、 山下亮、朝野英一、 高橋康裕、戸栗智仁、 澤村英範、根山敦史	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
38	水素ガス発生量及び吸収量測定に よるジルカロイの腐食速度の評価	朝野英一、西村務、 加藤修、建石剛	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
39	還元雰囲気におけるヨウ化銀の溶 解挙動-pH依存性	今村聰孝、稻垣八穂広、 出光一哉、有馬立身、 加藤修、朝野英一、 西村務	日本原子力学会「2007年秋の大会」 2007/9/27～29(北九州国際会議場)
40	3次元2相流動モデリングによる 原位置ガス移行挙動の概念化に 関する検討	朝野英一、志村友行、 森康二、多田和弘、 登坂博行	2007/9/27～29(北九州国際会議場)
41	地層処分における電磁法解析技術 の開発(その8) -中華人民共和国 甘粛省北山地域における3次元調査 -	吉村公孝、坂下晋、 岡崎幸司、武田康人、 大里和己	物理探査学会「第117回学術講演会」 2007/10/6～8(北海道大学)
42	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3) -ス イスグリムゼルテストサイトにお ける適用事例-	吉村公孝、 坂下晋、李鍾河	物理探査学会「第117回学術講演会」 2007/10/6～8(北海道大学)
43	地層処分における電磁法解析技術 の開発(その9) -北海道幌延町に おける3次元調査-	吉村公孝、坂下晋、 武田康人、岡崎幸司 大里和己	物理探査学会「第117回学術講演会」 2007/10/6～8(北海道大学)
44	高レベル放射性廃棄物地層処分に おける物理探査技術開発と確証試 験の評価	吉村公孝、坂下晋、 岡崎幸司	物理探査学会「第117回学術講演会」 2007/10/6～8(北海道大学)
45	国内外における処分事業の最近の 進捗	田辺博三	日本原子力学会「バックエンド部会週末 基礎講座」 2007/10/20, 21(東北大)
46	炭素鋼オーバーパック溶接部の酸 化性雰囲気における腐食挙動評価	横山裕、高橋里栄子、 朝野英一、谷口直樹、 内藤守正	第54回 材料と環境討論会講演 2007/10/31～11/2 ((社)腐食防食協会)

No.	題 目	発 表 者	発 表 先
47	The outline of demonstration test of underground cavern type disposal facilities	K. Oonuma, K. Terada, S. Kubota, T. Tsuboya, K. Matsumura	2007 ISRSM 2007/11/7~9 (韓国テジョン)
48	Study on creating hydraulic tomography for crystalline rock using frequency dependent elastic wave velocity	T. Tsuboya, K. Yoshimura, S. Miyoshi, K. Ando, A. Asano, H. Tanabe	2007 ISRSM 2007/11/7~9 (韓国テジョン)
49	Study on Information Management System for Site Characterization of Radioactive Waste Disposal Based on Site Investigation Flow Diagram	S. Miyoshi, K. Yoshimura, S. Yamamoto, K. Aoki, T. Tsuboya	2007 ISRSM 2007/11/7~9 (韓国テジョン)
50	米国の高レベル放射性廃棄物処理に係る状況	稻垣裕亮	京都大学原子炉実験所「放射性廃棄物管理専門研究会」 2007/11/22 (京都大学原子炉実験所)
51	「地層処分施設の概念と放射性物質の閉じ込め機能の健全性評価」	朝野英一、古川一敏	東京工業大学原子炉工学研究所「特別講演会」2007/11/29 (東京工業大学原子炉工学研究所)
52	複数周波数の弾性波を用いたトモグラフィ測定による透水場構築に関する研究	吉村公孝	地盤工学会関西支部「地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2007」 2007/12/5 (建設交流館)
53	地下空洞型処分施設性能確証試験における三次元地下水流动解析に基づく周辺岩盤間隙水圧の計測計画について	大沼和弘、寺田賢二、松村秀勝	土木学会「第37回岩盤力学に関するシンポジウム」 2008/1/10, 11 (土木会館)
54	放射化金属中の C-14 インベントリの合理的設定方法の検討 –(1) 照射済み BWR 被覆管の C-14 濃度–	桜木智史、那須裕二、田辺博三、金子昌章	日本原子力学会「2008 年春の年会」 2008/3/26~28 (大阪大学)
55	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 (6) 緩衝材の施工品質管理の方法の検討(その 1)緩衝材の密度計測について	戸栗智仁、小林一三	日本原子力学会「2008 年春の年会」 2008/3/26~28 (大阪大学)
56	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 (7) 緩衝材の施工品質管理の方法の検討(その 2)熱伝導率による緩衝材の密度管理方法	戸栗智仁、小林一三	日本原子力学会「2008 年春の年会」 2008/3/26~28 (大阪大学)
57	Durable Media for Long-term Preservation of Geological Repository Records	K. Aoki, N. Fujii, H. Kageyama, Y. Yoshimura, T. Tsuboya, J. Ohuchi	WM2008 Phoenix 2008/2/24~28 (アメリカ)

(論文投稿)			
No.	題 目	発 表 者	発 表 先
58	Study on Creating Hydraulic Tomography for Crystalline Rock Using Frequency-Dependent Elastic-Wave Velocity	吉村公孝、坂下晋、安藤賢一、パトリック・ブライネス、奥村裕史、西山哲、大西有三	The 11th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management : ICEM2007(2007) 2007/9/2~6(ベルギー)
59	Development of an iodine immobilization technique by low temperature vitrification with BIPBO ₂ I	Atsushi Mukunoki Tamotsu Chiba Yasuhiro Suzuki Seiichirou Uehara Hidekazu Asano Tsutomu Nishimura	The 11th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management : ICEM2007(2007) 2007/9/2~6(ベルギー)
60	Radiolytic Decomposition of Organic C-14 Released from TRU Waste	Y. Kani, K. Noshita, T. Kawaaki, T. Nishimura, T. Sakuragi, H. Asano	The 11th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management : ICEM2007(2007) 2007/9/2~6(ベルギー)
61	A new user-friendly experiment visual database system application on the Gas Migration Test (GMT) at the Grimsel Test Site	朝野英一、志村友行、安藤賢一、大熊史子、山本修一、S. Vomvoris	The 11th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management : ICEM2007(2007) 2007/9/2~6(ベルギー)
62	Gas migration through bentonite / sand: lessons learned from the GMT in-situ test	朝野英一、志村友行、安藤賢一、山本修一 S. Vomvoris, P. Marschall, G. W. Lanyon (Fracture system)	3rd international meeting of Clays in natural & engineered barriers for radioactive waste confinement 2007/9/17~20 (フランス)
63	Transient-Diffusion Measurements of Radon: Practical Interpretation of Measured Data	Tomozo SASAKI、 Yasuyoshi GUNJI、 Takao IIDA	Journal of Nuclear Science and Technology, (日本原子力学会英文論文誌) Vol. 44, No. 7, p1032-1037(2007)
64	Transient-Diffusion Measurements of Radon: Fick's Law Confirmation and ²¹⁸ Po/ ²¹⁴ Po Behavior Determination	Tomozo SASAKI、 Yasuyoshi GUNJI、 Takao IIDA	Journal of Nuclear Science and Technology , (日本原子力学会英文論文誌) Vol. 44, No. 10, p1330-1336(2007)
65	ウラン廃棄物のラドン散逸割合	佐々木朋三、今村光孝、軍司康義	日本原子力学会和文論文誌, 2007 年 12 月、第 6 卷、第 4 号 P503-509
66	土壤中のラドン-222 拡散：主要な研究とウラン廃棄物への適用及び課題	佐々木朋三、軍司康義、飯田孝夫	日本原子力学会和文論文誌, 2008 年 3 月、第 7 卷、第 1 号 P1-11

(論文投稿)			
No.	題 目	発 表 者	発 表 先
67	Decomposition of ¹⁴ C Containing Organic Molecules Released from Radioactive Waste by Gamma-Radiolysis under Repository Conditions	可児祐子、野下健司、川寄透、那須裕二、西村務、桜木智史、朝野英一	Radiation Physics and Chemistry Vol. 77 P434–438 (2008)
68	長期浸透を受けた Na 型ベントナイト混合砂の力学特性に及ぼす Ca 化の影響	佐川修、兵藤正幸、中田幸男、吉本典正、藤原愛	土木学会論文集 C ,Vol. 64 No. 1, P43–56 (2008. 1)
69	Decontamination of Sludge-like Uranium-bearing Wastes: Decontamination Feasibility Judgment by Radon Emanation Coefficients and Decontamination Technology Development	Tomozo SASAKI、Mitsutaka IMAMURA、Yasuyoshi GUNJI、Takeshi OKUDA、Tetsuo IWAMOTO、Kenichi FUJIWARA、Masakazu TAKAI、Kazuhiko ARAI、Yoshin MORIGAKI	Journal of Nuclear Science and Technology, (日本原子力学会英文論文誌) Vol. 45, No. 5, p464–471(2008)
70	イスにおける放射性廃棄物最終処分場サイト選定の最新動向	徳島秀幸	原子力 eye 平成 19 年 11 月号
71	海外での地層処分の動向	稻垣裕亮、江守稔、徳島秀幸	原子力 eye 平成 20 年 3 月号
72	A SUGGESTION TO DEVELOP SUSTAINABLE HUMAN RESOURCES FOR RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL PROGRAM IN JAPAN	Ai Fujiwara、Takao Tsuboya	NESTet2008(2008) 2008/5/4~8 (ハンガリー ブダペスト)
73	砂・ベントナイト混合材料の圧縮・せん断特性に及ぼすサクションの影響	佐川修、兵藤正幸、田中幸男、吉本憲正、藤原愛	土木学会論文集 C 、 Vol. 64, No. 3, P639–649(2008. 8)

(3) 技術報告書

No.	表 領	著 者	発行年月
1	放射性廃棄物最終処分分野の人材の養成・確保に関する検討(RMC-TRJ-07001)	原環センター	平成 19 年 5 月
2	地層処分の安全評価のために考慮すべき期間について－地球科学的観点からのアプローチ－(RMC-TRJ-07002)	山川 稔	平成 20 年 1 月

VI. 資料

(4)委員会一覧

区分	研究件名	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	ウラン廃棄物処分技術高度化開発 ウラン廃棄物除染検討委員会
	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	処分システム工学要素技術高度化開発 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 (遠隔搬送・定置技術検討委員会)
		人工バリア品質評価技術検討委員会
		地層処分モニタリングシステム検討委員会
		人工バリア長期性能評価技術開発 ガス移行挙動評価検討委員会
3. 放射性廃棄物全般に共通する調査研究	TRU 放射性廃棄物処分	人工バリア長期性能確証試験検討委員会 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発 ヨウ素固定化処理技術開発委員会 廃棄体開発検討委員会
		炭素 14 放出挙動検討委員会
		地層処分重要基礎技術研究委員会 同上 (技術ワーキンググループ)
		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

(5)講演会等

(経済産業省事業「放射性廃棄物海外総合情報調査」により実施した講演会)

講 演 会 名	開 催 日	場 所
「フランスの放射性管理の現状」 (1)「フランスにおける放射性廃棄物管理の制度」ジャン・ルイ テ イゾン氏 ANDRA 国際協力部部長 (2)「フランスにおける放射性廃棄物処分開発の最新動向」マリ ー・クロード デュピュイ氏 ANDRA 理事長 (3)「地層処分のためのビュール地下研究所での技術成果」ジエ ラルド ウズニアン氏 ANDRA 国際協力部部長	平成 19 年 10 月 25 日	日本科学未来館

(原環センター主催の講演会等)

(1/2)

講 演 会 等 名	開 催 日	場 所	
「平成 19 年度 原環センター研究発表会」 (1)「高レベル放射性廃棄物／TRU 廃棄物の地層処分における知識 マネージメントの課題」技術総括室長 田辺博三 (2)「地下深部を探る技術の開発—物理探査技術高度化の成果概 要一」プロジェクトマネジャー 吉村公孝 (3)特別講演「ロボット研究者から見た地層処分事業」東北大学 教授 小菅一弘氏	平成 19 年 11 月 16 日	石垣記念ホール	
贊助会員向け講演会等	第 1 回講演会「地盤材料の弾粘塑性構成式とその応用—ベント ナイト及びメタンハイドレート含有地盤—」京都大学教授 岡 二三生氏	平成 19 年 5 月 11 日	原環センター
	第 2 回講演会「放射性廃棄物の地層処分の安全評価における化 学の役割」東北大学教授 栄山修氏	平成 19 年 5 月 25 日	原環センター
	第 3 回講演会「スウェーデンにおける地層処分の安全評価 SR-Can について」原環センター 玉ノ井宏一	平成 19 年 6 月 22 日	原環センター
	第 4 回講演会「フィンランドにおける放射性廃棄物管理の現状」 フィンランド Posiva 社 社長 E. ペトラッカ氏	平成 19 年 7 月 3 日	経団連会館
	第 5 回講演会「原環センター 平成 18 年度 研究成果報告会」	平成 19 年 7 月 31 日	東海大学校友会館
	第 6 回講演会「スイスにおける放射性廃棄物管理の現状」 スイス Nagra 会長 M. イスラー氏、理事長 アンスト氏	平成 19 年 8 月 29 日	虎ノ門パストラル
	第 7 回講演会「ANDRA の技術開発の現状と計画—ANDRA 派遣体 験を通じて—」 原環センター 企画部 新保 弘	平成 19 年 9 月 20 日	原環センター

VII. 資料

(2/2)

賛助会員向け講演会等	第8回講演会「スウェーデンにおけるサイト選定とパブリック・コミュニケーション」 (1)「スウェーデンの放射性廃棄物管理プログラムの概要」 SKB国際関係部長 モニカ・ハマーストローム氏 (2)「フォルスマルク地区における地層処分場のサイト調査」 SKB フォルスマルクサイト調査事務所長 カイ・アールボム氏 (3)「SFRの近況と今後の拡張計画」 SKB主席専門官 ヤン・カールソン氏	平成19年11月8日	原環センター
	第9回講演会「情報によって人々を動かすこと－情報発信にまつわる諸問題－」フェリス女学院大学 教授 春木良且氏	平成19年12月11日	原環センター
	第10回講演会「地下空洞型処分施設確証試験の試験計画と進捗」 原環センター L1チーム チーフ・プロジェクト・マネジャー 寺田賢二	平成20年3月25日	東海大学校友会館

原環センター 2007年度 技術年報

2008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
パシフィックマークス月島8階

TEL 03-3534-4511 (代表)

FAX 03-3534-4567

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

本誌の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、
企画部にお問い合わせください。