RWMC

原環センター

2003年度　技術年報

財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

ご あ い さ つ

原環センター2003年度技術年報の発行に当たり、一言ご挨拶申し上げます。

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

当センターは昭和51年に設立されて以来、民間・学界・官界の方々のご協力を得て、放射性廃棄物処理処分の専門調査研究機関として活動してまいりました。具体的には、低レベル放射性廃棄物の試験的海洋処分に向けた調査研究、低レベル放射性廃棄物の均質固化体や雑固体の陸地処分に係る調査研究、高レベル放射性廃棄物の処理処分技術や処分の制度化等の調査研究、TRU廃棄物やウラン廃棄物の処理処分に係る調査研究などを実施してまいりました。

この技術年報では、当センターが平成15年度に実施した調査研究の内容をご紹介するとともに、国際交流や国際会議・学会での論文発表実績等当センターの活動状況をご紹介しています。

当センターとしては、今後とも、放射性廃棄物の処理処分に係る「調査研究業務」と「高レベル放射性廃棄物の資金管理業務」を事業運営の二本の柱として、放射性廃棄物全般にわたる専門的な第三者機関としての役割を果たしてまいらなければならないと考えております。是非ご一読いただき、当センターの活動をご理解いただくとともに、ご指導を賜れば幸いでございます。

財団法人　原子力環境整備促進・資金管理センター
理事長　　板倉　治成

目　次

１．放射性廃棄物の管理処分に関する研究 4
１－１．余裕深度処分 4
低レベル放射性廃棄物処分技術調査 4
１－２．極低レベル放射性廃棄物処分 6
極低レベル雑固体廃棄物処分安全性対策試験 6
１－３．ウラン廃棄物処理処分 8
ウラン廃棄物処分技術調査 8
(1) ラドン挙動調査、品質保証高度化技術開発 8
(2) 除染技術開発 10
１－４．余裕深度処分等に関する研究 13
２．放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究 14
２－１．高レベル放射性廃棄物処分 14
(1) 地質環境調査技術 14
高精度物理探査技術高度化調査 14
(2) 処分技術 16
遠隔操作技術高度化調査 16
性能評価技術高度化研究 18
地球化学バリア有効性確証調査 20
人工バリア材料照射影響調査 22
地層処分重要基礎技術研究調査 24
(3) 制度化・社会対応技術 26
モニタリング機器技術高度化調査 26
多重バリア長期安定性事例調査 28
２－２．TRU 廃棄物処分 30
人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価 30
人工バリア長期性能確証試験 32
ヨウ素固定化技術調査 34
廃棄体開発調査 36
TRU 廃棄物処分に関する研究 39
３．放射性廃棄物全般に共通する調査研究 40
総合情報調査 40
技術情報広報調査 42

４．安全基準に関する調査研究 44
放射性廃棄物地層処分の安全基準等に関する調査 44
安全規制及び安全基準に係る内外の動向調査 46
５．国際交流 48
６．資料 49
(1) 外部発表等 49
(2) 技術報告書 53
(3) 委員会一覧 54
(4) 原環センター主催の講演会等 55

１．放射性廃棄物の管理処分に関する研究

１－１　余裕深度処分

【低レベル放射性廃棄物処分技術調査】

１．事業の概要

ウラン廃棄物をはじめとする低レベル放射性廃棄物の処分方策を確立していくためには、管理型処分技術に関する関連技術を総合的・効率的に調査し、その信頼性を向上させることが不可欠な課題である。かかる観点から、TRU 廃棄物及びウラン廃棄物のうち、余裕深度処分が可能なものについての処分技術に関する調査を実施する。

本研究は、以下の調査を実施している。

(1) 余裕深度処分システム性能要素の同定
(平成 14 年度～平成 15 年度)

(2) 余裕深度処分システム性能評価試算
(平成 14 年度～平成 16 年度)

(3) 安全対策の検討
(平成 15 年度～平成 17 年度)

平成 14 年度は、「余裕深度処分システム性能要素の同定」については、余裕深度処分と類似の処分施設を保有している、チェコ、フィンランド、ノルウェー、スウェーデン４ヵ国を調査対象国とし、それぞれの処分施設について、処分の工学施設の概念、処分深度、処分の性能評価（評価基準、評価シナリオ、人工バリア及び天然バリア性能に係るパラメータ）、処分場閉鎖後の管理の考え方等の調査を実施した。また、トンネル型及びサイロ型の処分施設形態別に、余裕深度処分システムの性能評価の基本ケースを設定し、試算・評価した。

平成 15 年度は、フィンランド、スウェーデンについて調査を継続するとともに、人工バリア／天然バリアの変動を考慮した性能評価試算を実施した。また、安全対策の検討として、セーフティケースの枠組と開発計画を検討した。

なお、本調査は、経済産業省の委託により実施しているものである。

２．平成 15 年度の成果

(1)余裕深度処分システム性能要素の同定

平成 15 年度は、フィンランド、スウェーデンの２ヶ国、３処分場（Olkiluoto 処分場、Loviisa 処分場、SFR-1）を海外訪問調査と文献調査により発電所の状況や廃棄物の処分方針、今後の計画などの調査を実施し、以下の点を明らかにした。なお、項目の最後に処分場名が記載されているものは、その処分場に限った情報である。

①操業許可の取得と定置済廃棄物量
②高濃度樹脂の処分方針
③高濃度炉心放射化金属の処分方針
④最新の廃止措置計画
⑤建設・操業・閉鎖の各段階に応じた調査項目（Loviisa 処分場）
⑥地下水解析入力データやモデルのキャリブレーションの調査項目とその値（SFR-1）
⑦シナリオの構成パターン（Olkiluoto 処分場・SFR-1）
⑧性能評価モデルを構成するバリア材とその移行機構（Olkiluoto 処分場・SFR-1）
⑨性能評価モデルで用いられているパラメータの種類とその設定根拠（Olkiluoto 処分場・SFR-1）
⑩地下水解析で用いられているパラメータの種類とその設定根拠（SFR-1）
⑪地下水解析で用いられている長期的な地盤および海水準の変動（SFR-1）
⑫人間侵入シナリオの考え方（Olkiluoto 処分場・SFR-1）
⑬炉心放射化金属の処分とその性能評価（Loviisa 処分場・SFL3-5）

(2)余裕深度処分システム性能評価試算

人工バリア／天然バリアの変動を考慮した性能評価試算を行い、その結果に基づいて、線量低減に寄与する可能性の高いパラメータを同定し、線量がとりうる範囲を検討した。なお、施設形態、対象廃棄物の区分、評価シナリオ、評価モデルに関しては、平成 14 年度の検討と同様とした。表-１に変動を考慮したパラメータとその範囲の例を示す。

図-１～３に各廃棄物について、総線量の最大値とその到達時刻及び支配核種の関係を示す。また、各評価パラメータの最大線量に対する標準化偏回帰係数を表-２に示す。

支配核種は、TRU 廃棄物の場合、I-129 が支配的であり、TRU 核種及びその娘核種が支配的になるケースは認められなかった。ウラン廃棄物

の場合は、U-235 の娘核種の Pa-231 が支配的であり、一部のケースでは U-234 の娘核種の Pb-210 が支配核種になった。発電所廃棄物では C-14 で、この核種の影響が小さくなると Mo-93 や Se-79 が支配的になる可能性がある。

線量が最大となる時期は、TRU 廃棄物では、数 100 年から数万年の範囲、ウラン廃棄物では 10 万年以上から数 100 万年、発電所廃棄物では 1000 年から数万年の範囲であり、いずれも最大時期が遅くなるケースでは最大値も小さくなっている。ウラン廃棄物以外は 1 万年のオーダー以内に最大ケースが出現しており、管理期間終了後における被ばく線量を低減するためには、この期間の線量を抑制することが重要となる。ウラン廃棄物は数 10 万年で最大値となるため、地下水シナリオ以外のシナリオが重要になる可能性もある。

最大線量に対するパラメータの感度としては、地下水流速、浸入水量の感度が大きく、移行距離、溶出率の感度も大きい。拡散係数の感度は、線量が大きくなる条件で比較的小さい。

表-1　考慮したパラメータ及び範囲の例

ケース			最小	中央(参考)	最大
天然バリア	移行距離	[m]	100	-	1000
	ダルシー流速	[m/y]	0.01	0.1	1
1m 当たり施設	トンネル	[m³/y]	4.2E-04	4.2E-03	4.2E-02
浸入水量	サイロ	[m³/y]	2.8E-03	2.8E-02	2.8E-01
人工バリア	ベントナイト	[m²/s]	5E-11	1E-10	2E-10
拡散係数	低拡散モルタル	[m²/s]	1E-12	1E-11	1E-10
	躯体コンクリート	[m²/s]	1E-11	1E-10	7E-10
放射化金属溶出率		[1/y]	1E-06	1E-05	1E-04

（分布は全て対数一様分布）

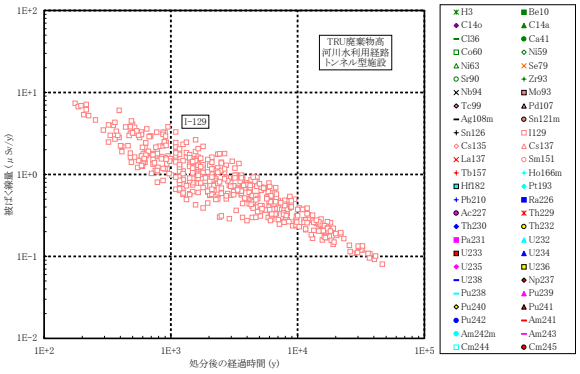


図-1　総線量の最大値とその到達時刻及び支配核種（TRU 廃棄物）

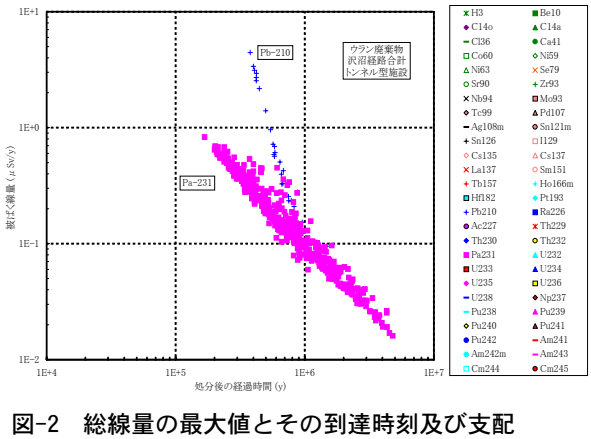


図-2　総線量の最大値とその到達時刻及び支配核種（ウラン廃棄物）

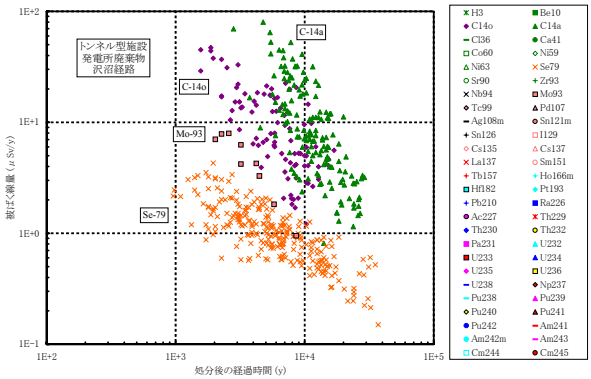


図-3　総線量の最大値とその到達時刻及び支配核種（発電所廃棄物）

表-2　各評価パラメータの最大線量に対する標準化偏回帰係数

廃棄物種類	被ばく経路	施設形態	移行距離	地下水流速	浸入水量	ベントナイト拡散係数	コンクリート拡散係数	モルタル拡散係数	金属溶出率
発電所	沢沼経路	トンネル	-0.21	0.53	0.37	0.04	0.02	0.02	0.32
		サイロ	-0.18	0.48	0.42	0.05	0.03	0.00	0.31
	河川水利用	トンネル	-0.20	0.50	0.38	0.03	0.02	0.01	0.34
		サイロ	-0.17	0.43	0.40	0.03	0.04	-0.01	0.33
TRU高	沢沼経路	トンネル	-0.19	0.64	0.43	0.07	0.02	0.05	
		サイロ	-0.13	0.46	0.63	0.08	0.04	0.03	
	河川水利用	トンネル	-0.19	0.64	0.43	0.07	0.02	0.05	
		サイロ	-0.13	0.47	0.63	0.08	0.04	0.03	
TRU低	沢沼経路	トンネル	-0.15	0.64	0.44	0.07	0.02	0.05	
		サイロ	-0.09	0.44	0.65	0.08	0.04	0.03	
	河川水利用	トンネル	-0.15	0.64	0.44	0.07	0.02	0.05	
		サイロ	-0.09	0.44	0.65	0.08	0.04	0.03	
ウラン	沢沼経路	トンネル	-0.11	0.30	0.60	0.12	0.01	0.06	
		サイロ	-0.05	0.22	0.72	0.13	0.03	0.04	
	河川水利用	トンネル	-0.12	0.31	0.55	0.12	0.00	0.06	
		サイロ	-0.07	0.23	0.67	0.13	0.03	0.03	

(3)安全対策の検討

安全対策の検討として、まず、セーフティケースに関する文献調査を実施し、その枠組を整理した。また、安全性に影響する事象に関して検討を行い、考慮すべき事象を整理した。ついで、関連する事象の整理結果を踏まえて、余裕深度処分に関するセーフティケースの現状と開発計画を検討した。

１－２　極低レベル放射性廃棄物処分

【極低レベル雑固体廃棄物処分安全性対策試験】（放射性廃棄物安全対策事業）

１．事業の概要

我が国における最初の商業用原子力発電所である東海発電所(日本原子力発電)が平成 13 年に廃止措置に着手した。廃止措置に伴って発生する解体廃棄物の放射能レベルは極低レベルから比較的高いレベルのものまで様々である。このうち、コンクリートや金属等の極低レベル放射性廃棄物は、人工バリアを設置する必要がなく、素掘りトレンチ処分ができる（図-１）。

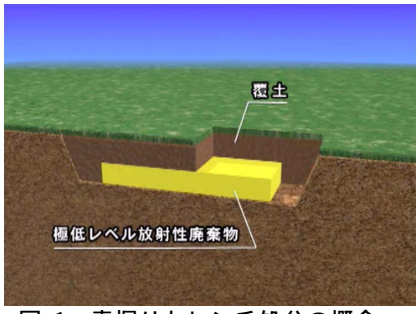


図-1　素掘りトレンチ処分の概念

素掘りトレンチ処分は国内では、日本原子力研究所が JPDR の解体廃棄物を試験的に処分しているのみであり、安全を実証するための実規模試験が望まれていた。こうした状況を踏まえ、本研究は平成９年度から平成15年度まで経済産業省より委託を受け、当センターが学識経験者による委員会を設置し、研究を進めてきた。以下に、本研究の主な４つの項目について概要を記述する。

(1)対象廃棄物の埋設要件調査・試験

保温材に関する物性影響試験及び金属腐食影響試験を行った。保温材は、埋設後の覆土への影響を試験により調べたが、スプリングバック及び水分吸収後の膨潤等の影響は小さいと判断できた。また、金属廃棄物が腐食することによる埋設への影響を調査するため、屋内外で腐食影響試験を実施した。埋設後 0.5～4.5 年で腐食状況を調べたところ、埋め戻し土の沈下等に影響を与えることはないと判断された。

(2)廃棄物からの核種挙動試験

実廃棄物、模擬廃棄物からの核種浸出試験及び実核種による土壌への吸着挙動試験を行った。核種浸出試験では、実サンプルからの Co-60 の浸出率は非常に小さいことがわかった。吸着試験では、Cs, Co, Sr, I 並びに Am-241 について分配係数の濃度依存性に関するデータ取得を行った。

また、素掘りトレンチ処分施設への降雨の浸透量を調査する目的で、実規模大の覆土（一般型２種類とキャピラリーバリア型）を作成し、浸透水量を測定した（降雨覆土浸透水量確認試験)。

(3)実規模実証試験

本試験のうち施設の長期安定性試験では、施設の安定性を評価することを目的として実規模大の試験槽に模擬廃棄物を埋設（図-２）し、1年半の間、日本の年間平均降雨量相当（約1600㎜/年）の人工降雨を与えた。試験は廃棄物の種類（金属配管、保温材)、埋め戻し材の種類（砕砂、山砂）などを変えて 4 種類のパターンについて実施した。

その結果、保温材を埋設した試験槽 4 以外では、ほとんど沈下は発生せず、土層は安定していた。保温材に関しては、圧縮等の前処理を実施すれば沈下は防止できると判断された。また、核種移行試験は、土壌に浸透した水分がどのように流れるか、廃棄物に含ませた模擬核種（トレーサ）がどのように移行するかを調べるものである。土中水分計で水分移動の観測を行い、浸透水の流動状況を把握した。また、試験後、試験土層を解体し、トレーサの分布を調べるために土壌のサンプリングを実施した。

図-2　模擬廃棄物の埋設状況

(4)安全性総合評価

各種の要素試験と実規模実証試験の結果を線量評価解析の入力条件に反映して解析を実施し、素堀りトレンチ処分の安全性について総合的な評価を実施する。

２．平成 15 年度の成果

(1)廃棄物からの核種挙動試験（降雨覆土浸透水量確認試験）

昨年度に引き続き、実規模大の試験土層（一般型２種類とキャピラリーバリア型）への降雨浸透水量の測定を実施した。その結果、キャピラリーバリア型の覆土（図-３）については、その他の一般型の覆土に比べ浸透水量を大幅に低減できること（図-４）がわかった。また、室内試験によりキャピラリーバリア型覆土の浸透量に影響を与える要因について検討を行った結果、砂の締め固め度等の影響が大きいことがわかった。

さらに、浸透流解析により、覆土を通過する浸透水量の測定値の再現を試みた。その結果、一般型覆土だけでなくキャピラリー型覆土についても解析によって概ね実際の浸透量の経時変化を再現できること、浸透水量を解析により予測するには現地発生土の透水係数の評価が重要であることがわかった。

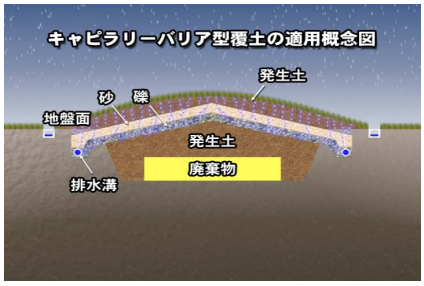


図-3　キャピラリーバリア型覆土の概念

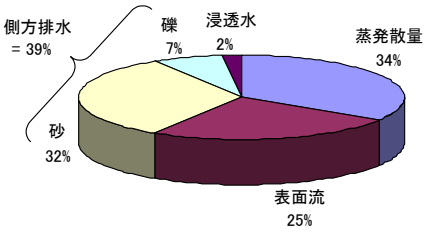


図-4　キャピラリーバリア型覆土の水収支での浸透水量、表面及び側方排水量の比率

(2)実規模実証試験

実規模試験土層へ人工降雨を与え、土壌表面の沈下、土壌中の含水量等を測定した。その結果、降雨による浸透水の水分移動では、埋設廃棄物を迂回するように浸透水が流れていることがわかった。模擬核種の移行状況の調査では、土層の解体時にサンプリングした土壌に含まれるトレーサ成分の分析を行い、トレーサの移行状況を調べた。その結果、収着性のトレーサは、そのほとんどが金属配管の壁面や配管内の土壌、あるいは保温材内部に残留しており、周辺の土壌への移行はわずかであることが確認された。一方、非収着性のトレーサについては、かなりの割合で周辺土壌や試験槽の外へ移行していることが確認された（図-５）。

試験槽内でのトレーサの移行を把握するために、浸透流解析と物質移行解析を実施した。配管充填材と埋め戻し材の不飽和特性を適切に設定することにより、観察された現象（浸透水が廃棄物を迂回するように流れる状況）が解析で再現された。浸透水が廃棄物を迂回する理由としては、配管充填材と埋め戻し材の間のキャピラリーバリア効果等が考えられた。また、トレーサの移行に関しても、実測との比較結果から分配係数等の試験値を用いて保守的な予測をすることが可能と評価された。

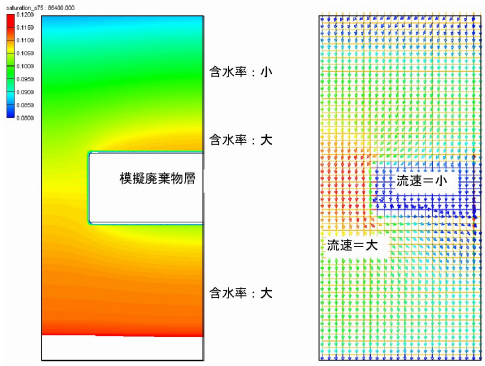


図-5　水分移動の解析結果の例

(3)安全性総合評価

これまでに実施した各種の要素試験、実規模試験の結果を踏まえて、素掘りトレンチ処分の安全性の総合評価を実施した。地下水移行シナリオに基づいた線量評価においては、要素試験の結果を適用した場合、ほとんどのケースで要素試験の結果を適用しなかった場合に比べて安全裕度が増大することが確認された。総合的な評価として極低レベル放射性廃棄物を安全に素掘りトレンチ処分することが可能であると結論づけられた。

１－３　ウラン廃棄物処分

【ウラン廃棄物処分技術調査】

(1) ラドン挙動調査、品質保証高度化技術開発

１．事業の概要

(1)ラドン挙動調査

本調査は、経済産業省の委託により実施するものである。ウラン廃棄物処分に関わる長期安全評価に資する目的で、土壌中のラドン拡散係数測定技術を開発し、我が国の代表的な土壌のラドン拡散係数を測定する。測定に際しては、処分場の覆土施工まで考慮して、安全評価に使えるように実験式としてまとめる。また、廃棄体からのラドン散逸割合測定技術を開発し、ウラン燃料加工工場で発生する代表的なスラッジ廃棄物のラドン散逸割合を測定する。さらに、ラドン対策を施して廃棄体としたものについてもラドン散逸割合を測定して、安全評価に使えるデータをまとめる（図-1)。

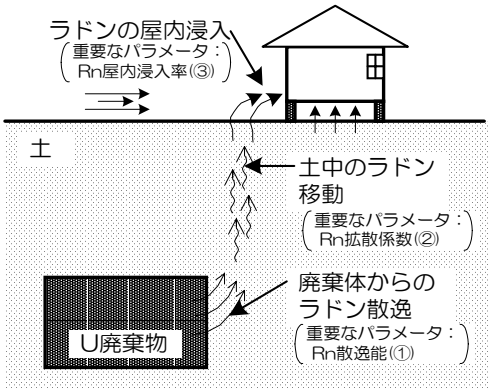


図-1 ウラン廃棄物からのラドン移行

(2)品質保証高度化技術開発

本調査は、経済産業省の委託により実施するものである。クリアランスレベルまでの極低レベルウラン濃度測定システム開発を目的として、光中性子法（図-2，図-3）及びパッシブγ法によるウラン濃度測定装置を開発する。光中性子法では、溶融金属体やドラム缶単位でのウラン濃度測定、パッシブγ法ではスラッジ等の均一廃棄物を対象としたウラン濃度測定システム開発を行う。さらに、放射線測定に手間のかかる金属小片等を溶融した溶融金属体中のウラン濃度分布を測定して、代表試料測定によるクリアランス検認方法開発等のための基礎データを取得する。日本ではウラン廃棄物のクリアランスレベルは決まっていないため、IAEA のTECDOC855 で提案されている 0.3Bq/g (4.5%濃縮ウラン換算で 3.3ppm）をクリアランスレベル想定値（以下、クリアランスレベルと称する）として、開発を進める。

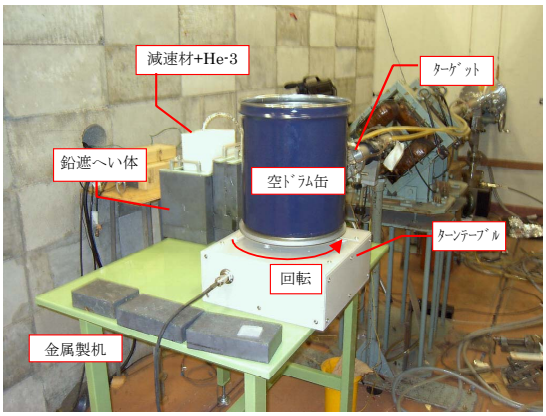


図-2 光中性子法によるウラン濃度測定装置

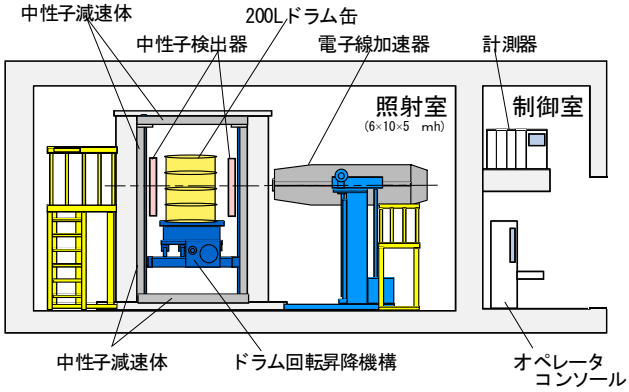


図-3 光中性子法によるウラン濃度測定装置概念

２．平成 15 年度の成果

(1)ラドン挙動調査

ラドン拡散係数及び散逸割合測定のための装置を製作し、リン酸肥料をラドン源とした模擬廃棄体及び土壌を用いて測定を実施した。模擬廃棄体としては、セメント固化体及びガラス固化体を作製した。セメント固化体はラドン抑制効果が無く、散逸割合が 0.6 を超えたが、ガラス固化体はラドン抑制効果が非常に優れており、

ラドン散逸はほとんど無かった。拡散係数測定には、関東ローム、赤色土、黄色土を用いた。米国の実験式との比較を行い、よく一致していることを確認した（図-4）。米国は、低レベル廃棄物処分場がある乾燥地帯の土壌のデータが主体である。一方、本研究の対象土壌はロームが主体で水分飽和土が高い。両者の測定データが、同じ実験式で近似できるということは、ラドン拡散係数は、土壌種によらず空隙率と水分飽和度に依存するという説を裏付けた結果となった。

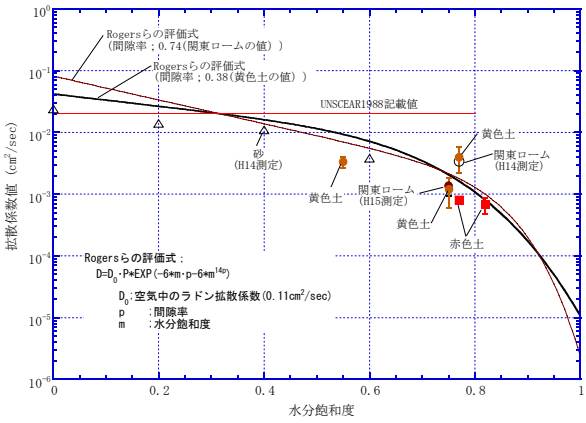


図-4 ラドン拡散係数測定結果

(2)品質保証高度化技術開発

光中性子法では、He-3 検出器を用いた測定装置を製作し、高エネルギーX 線を模擬試料に照射する試験を実施した。その結果、ウランとの（X, n）反応で発生する即発中性子と、（X, f）反応で発生する遅発中性子の測定に成功した。実際のウラン廃棄物では、ウラン以外の構成元素からも即発中性子が発生するので、即発中性子よりも遅発中性子を測定する方が有利である。本年度の試験体系で鉄系廃棄物 5 kg を遅発中性子で測定する場合、運転周波数 15Hz、ターゲット電流 4.5μA、外部中性子遮へい板あり、1 時間測定の条件で、天然ウラン換算で 0.5Bq/g（20ppm）の検出下限値が得られることが分かった（右下図）。測定時間、検出器本数を増やすことで更に低い検出下限値を得ることが可能である。

パッシブγ法では、均質廃棄物のクリアランス検認が可能であることが分かった。除染済みスラッジに適用する場合には、全スラッジを測定対象とするバルク測定と、局在汚染の有無を判別する走査測定の 2 つのケースが考えられ、3 インチ NaI 検出器を用いた場合の両者の測定性能を計算機シミュレーションで評価した。バッチ単位での測定性能は、クリアランス値の 1/3 と 1/10 の検出下限を得るための測定時間は、それぞれ 3 時間と 29 時間である。走査測定では、クリアランス値の 10 倍を越えるような局在汚染が判別できる走査速度が 0.17cm/秒であり、200L ドラム缶に入る全量を走査測定するのに必要な時間は 6.7 時間である。この時の平均ウラン濃度の検出下限値は 0.07Bq/g であり、クリアランス値の判定が可能であることが確認できた。

溶融金属体を対象としたクリアランス検認方法の開発では、海外事例（溶融時にスラグ除去する方法）を参考に小口径管の溶融金属体を作製し、測定によって以下の 4 点を確認した。

①ICP-MS 測定により、溶融金属体中のウラン濃度がクリアランス値の 1/10 を下回ることを確認した。②EPMA 測定により、引け巣面（金属層内の空壁）や外表面にクリアランス値を大幅に超過するようなウランスラグ濃縮（ホットスポット）のないことを確認した。③β/γ線サーベイメータ測定により、ホットスポットがあれば検知できることを確認した。④γ線スペクトルメータ測定により、クリアランス値近傍の低濃縮ウラン濃度ならば定量測定できる見込みを得た。

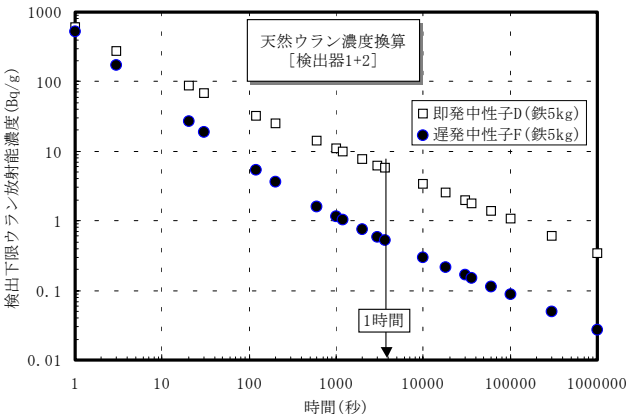


図-5 光中性子法によるウラン濃度測定性能

(2) 除染技術開発

1．事業の概要

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

日本でのウラン廃棄物の処理処分の基本的考え方は、除染処理を行うことにより、放射性核種濃度を低減し、クリアランスレベル以下になるものについては、放射性廃棄物として取り扱う必要のないものとして、処分、又は再利用する方針である。日本ではウラン廃棄物のクリアランスレベルは決まっていないため、IAEA の TECDOC855 で提案されている 0.3Bq/g（4.5%濃縮ウラン換算で 3.3ppm）をクリアランスレベル想定値（以下、クリアランスレベルと称する）として、これを達成する除染技術の開発を目的とし、研究を実施している。

本研究のうち、フッ素化除染技術の開発は、平成 9 年度から、その他除染技術は平成 14 年度から経済産業省の委託を受け研究を進めている。平成 14 年度までの結果をもとに、除染技術の絞り込みを行った結果、以下の 3 つの除染技術が有望との結論に至った。

(1)フッ素化除染

フィルタ、鉄澱物、耐火レンガ、金属類をクリアランスレベル以下に除染することに成功した。また、実機処理を模擬したロータリーキルン式試験装置でも、鉄澱物をクリアランスレベル以下にまで除染することに成功した。

(2)アルカリ融解/電解透析除染

スラッジ類、焼却灰を対象にした除染技術であり、廃棄物を全溶解した後、溶解液からウランを吸着材で吸着分離する除染法である。平成 14 年度は各廃棄物を全溶解することに成功した。次のステップである溶解液からのウラン分離技術が確立できれば実用化の可能性が高い。

(3)有機酸除染

可燃物、フィルタ、粉末低汚染コンクリートをクリアランスレベル以下にまで除染することに成功した。

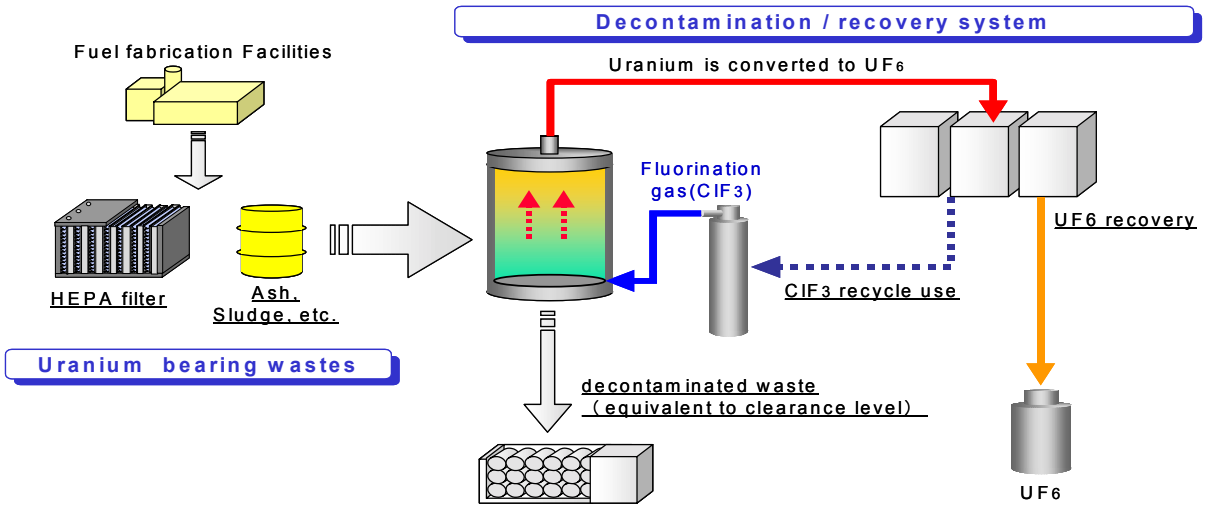


図-1　フッ素化除染システムの概念図

２．平成 15 年度の成果

(1)フッ素化除染

フッ素化除染試験は、以下の２ステップで行った。ステップ１では、基礎除染性能把握のために試料重量 10mg 規模での試験を行った。試験装置は実験室規模では理想的な構造であるガスフロー式試験装置を用いた。ステップ２では、実機処理での除染性能把握のために試料重量 1g 規模での試験を行った。試験装置は実機での大量処理に適したロータリーキルン式試験装置（図-2）を用いた。

表－１に試験結果を示す。10mg 規模試験では 550℃での ClF_3 雰囲気で３時間除染することで、全ての対象廃棄物をクリアランスレベル以下にすることに成功した。次に、10mg 規模試験と同条件で 1g 規模試験を行った結果、焼却灰と一部のスラッジを除いて全ての対象廃棄物をクリアランスレベル以下に除染することに成功した。

本年度で、クリアランスレベル以下にするための基本除染条件の摘出がほぼ完了した。

今後は実機設計に向けて、処理量、処理時間、除染温度等を変数とした反応速度式の導出、及び高温での耐食性に優れた装置材料の調査・試験を行う予定である。

(2)アルカリ融解/電解透析除染

本除染法では、スラッジ廃棄物を硫酸及び水酸化ナトリウムで交互に溶解を行って全溶解する。この過程で発生する酸及びアルカリ溶解液中のウランを分離するためには、平成 14 年度に本研究で開発したキレート吸着材（酸溶解液用：リン酸型吸着剤、アルカリ溶解液用：アミドキシム型吸着剤）のウラン吸着性能が優れていた。

これらの吸着剤を実溶解液に適用したところ、ウラン初期量に対するウラン吸着率は酸溶解液で 1.2～7.7%、アルカリ溶解液で 8.1～83%であった。

一方、キレート吸着材のウラン吸着容量に対する吸着率は酸溶解液で 1～24%、アルカリ溶解液で 0.2～1.2%であった。次に各種スラッジ類・焼却灰の一括除染を試みるために、これら廃棄物を混合溶融し、鉱物化した試料を作製した。しかし、本試料の溶解率は約 60%にとどまり、溶解条件の見直しが必要であることが分かった。

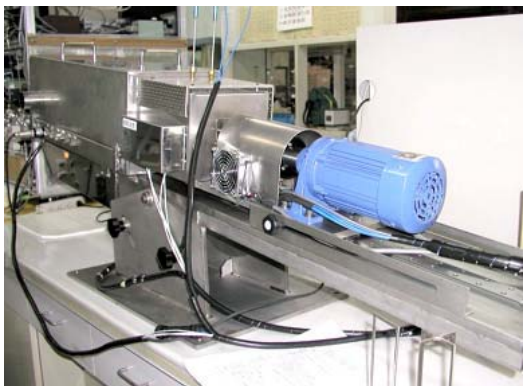


図-2　フッ素化除染装置（ロータリーキルン）の外観

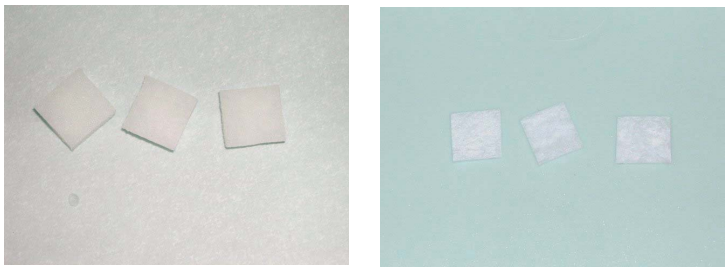


図-3　ウラン吸着材
（左：アミドキシム型、右：リン酸型）

表-1 フッ素化除染による除染結果

対象試料	初期濃度 [ppm]	10mg結果 [ppm]	1g結果 [ppm]	クリアランス可否
鉄澱物	120～410	0.29	0.39	◎
珪藻土澱物	9,560	1.2	1.4	◎
抽出廃液中和澱物	571	2.2	3.2	◎
CaF_2スラッジ	2,860	0.96	1.1	◎
アルミ澱物	227	1.3	27.7	○
焼却灰	113,000	2.4	13.0	○
非圧縮フィルタ	1,762～26,600	0.29	1.6	◎
圧縮フィルタ	4,300	0.5	1.7	◎
耐火レンガ	90	1.5	0.46	◎
金属	166～504	0.34（平板のみ）	1.9（SUSエルボ管のみ）	◎

◎：クリアランス達成(10mg、1g)、○：クリアランス達成(10mg)

(3)有機酸除染

①本除染技術でクリアランス化が可能な、可燃物、フィルタ、粉末低汚染コンクリートを対象として、100kg/日で処理した場合の処理年数を試算した。

その結果、平均的なウラン燃料加工事業所が所有する上記廃棄物を処理するのに10～15年掛かることが分かった。

②有機酸除染の処理フロー及びケミカルフロー（以下、「CFS」と記す）とから物質収支を評価した。その結果、除染廃液や洗浄廃液が最も多くなる廃棄物は「コンクリート（粉末汚染/低汚染濃度)」で、１バッチ当たり除染廃液と洗浄廃液が 2,941L ずつ発生することがわかった。

③処理フロー及び CFS に基づいて、有機酸除染設備の機器リスト及びプロセスフローダイアグラム（以下、「PFD」を記す)、廃液処理設備の機器リスト及び PFD を作成した。PFD を基に、除染設備や廃液処理設備の設置面積及び排水発生量を推定し、ウラン成形加工設備の平均的な値と比較するとともに、コスト評価を行った。

その結果、200 リットルドラム缶１本当たりの処理費用は約 28 万円（表-2 参照）となる試算結果が得られた。

表-2　有機酸除染設備での除染費用の推定

項　目		金　額 [万円/15年]	備　考
設 備 費		49,667	・除染槽は200L×6基として評価 ・11年間で償却し、15年間使用すると仮定 ・既存の建屋に設置、建屋建設費は計上せず
運転費	人 件 費	21,120	・8hr/1直×3直/日×200日/年×15年として積算 ・公共設備設計労務単価を使用 ・1直目は2人、2直目、3直目は1人として積算
	ユーティリティ費	13,500	・試薬（蓚酸、過酸化水素）費を、4.5万円/200Lドラム缶１本処理と仮定 ・電気、ガス、水道費等は計上せず
合　計		84,287	
200Lドラム缶1本当たりの除染費 [万円/200Lドラム缶]		28	・200Lドラム缶１本当たりの処理に必要な日数は、1日/1本 ・1本/日×200日÷1日/1本×15年＝3000本を処理すると評価

〔設定条件〕

1. 除染槽は200L×6基
2. １日3直で24時間稼働
3. 焼却灰（既発生）、コンクリート（粉末汚染/低汚染濃度）は処理対象外
4. 200Lドラム缶１本当たりに必要な処理日数
   ①可燃物：１日
   ②フィルタ（非圧縮）：１日
   ③焼却灰（既発生）：１日
5. 「搬入・分別」、「処理後・搬出」を除く設備の設置面積は155m^3と推定

１－４　余裕深度処分等に関する研究

①検認手法の調査

原子炉施設の解体等に伴って発生する廃棄物のうち、クリアランス相当の廃棄物の検認手法を確立するため、既往研究の成果を調査し、現実の検認に使用できるよう検認手法を整理した。

②人工バリア材の核種閉じ込め性能に関する検討

人工バリアの核種閉じ込め性能の高度化を図るため、長期間、自然環境下に置かれたベントナイト及びコンクリートの変質事例調査と、これに関連する既存の研究成果を整理した。

③樹脂廃棄物処理の余裕深度処分への適用

PWR 原子力発電所で発生する樹脂等のうち、余裕深度処分対象廃棄物の処理方法を確立するため、各種の処理方法とその特性、性能等について調査を行った。

④余裕深度処分の技術要件等の検討

余裕深度処分対象廃棄物及び余裕深度処分施設に求められる普遍的な安全要件の在り方について検討した。

⑤廃棄物の合理的処理処分

L1 廃棄物※を合理的に資するため、具体的な運用に当たっての法規制体系と、それに基づく事業形態を検討した。

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

⑥余裕深度処分における地質・地下水の評価

六ヶ所サイトにおけるＬ１廃棄物処分に係る日本原燃㈱の本格調査のうち、地質・地下水調査に係る実施計画、及びこれまで実施した地質・地下水評価について、国内外の専門家によるワークショップを実施した。

⑦ウラン廃棄物の処分方策等に関する検討

燃料加工施設等から発生するウラン廃棄物を安全かつ合理的に処分するため、ウラン廃棄物の特徴を踏まえたクリアランスレベルの検討、及び想定した処分概念に対する処分の適用性についての検討を行った。

２．放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究

２－１　高レベル放射性廃棄物処分

(1)　地層環境調査技術

【高精度物理探査技術高度化調査】

１．事業の概要

高レベル放射性廃棄物地層処分事業（以下、地層処分事業）において、最終処分地の選定は段階的な調査を経て行われる。地表からの概要調査の段階では、様々な技術を用いて、広域における地形、水理・地質構造、地下環境の調査、分析、評価を行うこととなる。物理探査は、概要調査以降の段階で重要な調査技術として考えられているが、適用の方法については、これまでの資源探査や地盤探査とは異なる部分もある。そこで、地層処分事業の観点から既存物理探査技術を検討し、そのなかから技術を開発付加することで、より精密な情報が得られると期待される技術として、電磁法探査、弾性波トモグラフィー、地質構造モデリング技術を選定し、平成 15 年度までに技術の高度化開発を行うこととした。

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

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

本調査では、平成 12 年度に、現状の物理探査技術を総括し、高度化開発する技術の抽出を行った。続いて、平成 13 年度より、高度化開発を開始した。以下に各項目の概要を示す（図-1～図-3）。

(1)高精度物理探査技術高度化

(a)電磁法探査技術の高度化

・陸域から水深 200m以浅の沿岸海域で連続的に海底下深度 1ｋｍまで探査可能な計測システムの開発

・縦型構造の断層等の解析が可能な陸域 3 次元、海底 2.5 次元解析手法の確立

(b)弾性波トモグラフィ技術の高度化

・伝播距離の長い（伝搬距離 1㎞ 程度）高出力孔内震源の開発

・結晶質岩中での断層構造の検出を目的としたフルウェーブトモグラフィ解析技術の確立

・広域の透水性状の把握を可能とする音響透水トモグラフィ技術の確立

(c)地質構造モデリング技術高度化

・地質構造モデルにおける不確実性を評価することを目的とした技術の開発

(2)次世代技術調査

・物理探査技術の現状調査、資源開発技術分野の最先端技術の調査及び地層処分関係で適用された物理探査技術調査

・リモートセンシング技術の地質環境調査への適用性調査

(3)調査システムフロー

・処分地選定上で必要な情報と，既存の調査技術及び、その調査結果との相関性の分析・解釈も含めた形で整理する調査システムフローの構築及びそのＩＴ（情報通信技術）化

２．平成 15 年度の成果

(1) 高精度物理探査技術高度化

(a)電磁法探査技術の高度化

スタンドアローン型受信機とケーブル型受信機のプロトタイプを製作し、米国モンテレー湾にて、性能確認試験を実施した。解析技術開発については、陸上３次元ソフトウェアを完成させ、実フィールドの既存データを用いた解析でその有効性を確認した。海底 2.5 次元ソフトウェアでも同様に、実フィールド取得データの解析で機能を確認した。

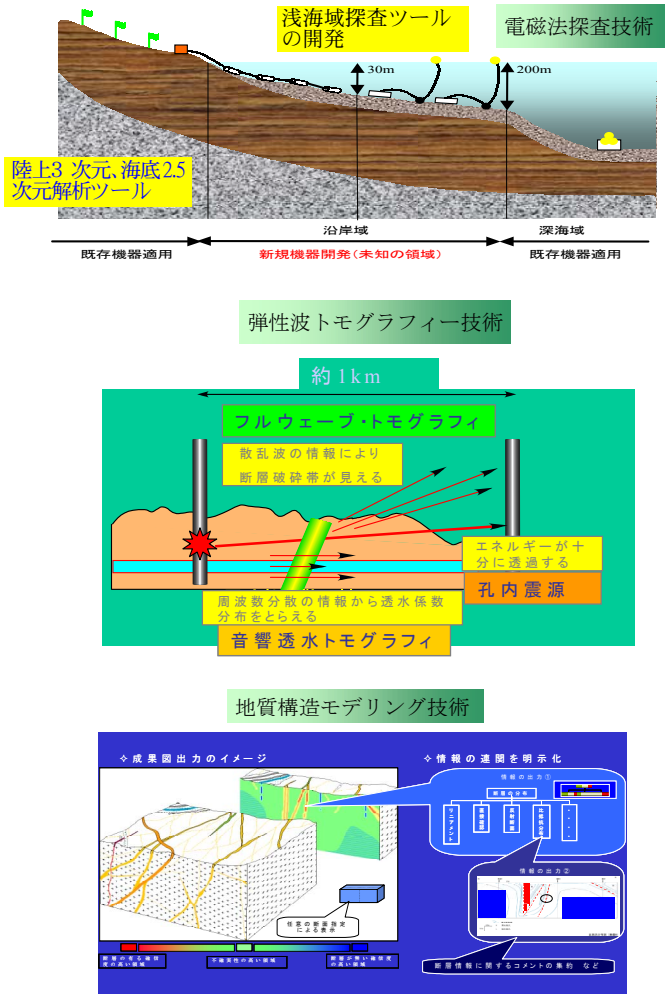
(b)弾性波探査技術の高度化

高出力孔内震源のプロトタイプ実証試験器を製作し、スイスのグリムゼルテストサイトで性能確認試験を実施した。この結果を踏まえ、伝播性能向上のための課題を抽出した。フルウェーブトモグラフィ解析については、実証レベルコードを完成させ、大孔間距離、受振器の機種対応など、実用レベルの改良を行った。また、実フィールドでのデータ取得・解析で有効性を確認した。音響透水トモグラフィについては、花崗岩を主体に、堆積岩を含めた試料による室

内実験により弾性波－透水性状の関係を整理した。その結果、割れ目系結晶質岩盤での弾性波速度の分散から BISQ 理論に当てはめて透水係数を算出し、室内透水試験結果と整合的であることを確認した。このことから、音響透水トモグラフィにより、岩盤の透水係数の空間的分布が把握できる可能性を示すことができた。

(c)地質構造モデリング技術の高度化

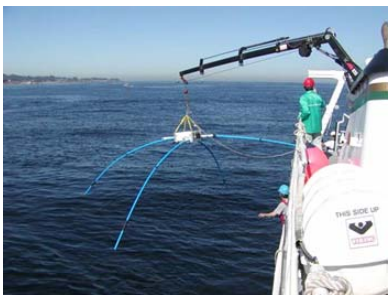
これまでに実施した、断層の空間的分布の不確実性評価に続き、今年度は、地質構造概念の信頼性評価に関する調査を実施した。具体的には、昨年度開発した地質環境調査支援ツール（GeoRWMC）を用いて、スイス北部の水理地質構造の概念形成に関して、既存資料データを基に信頼性評価を行い、地質構概念形成についても、信頼性の評価が可能であることを示した。



図－1　高度化開発の概要

(2)調査システムフロー

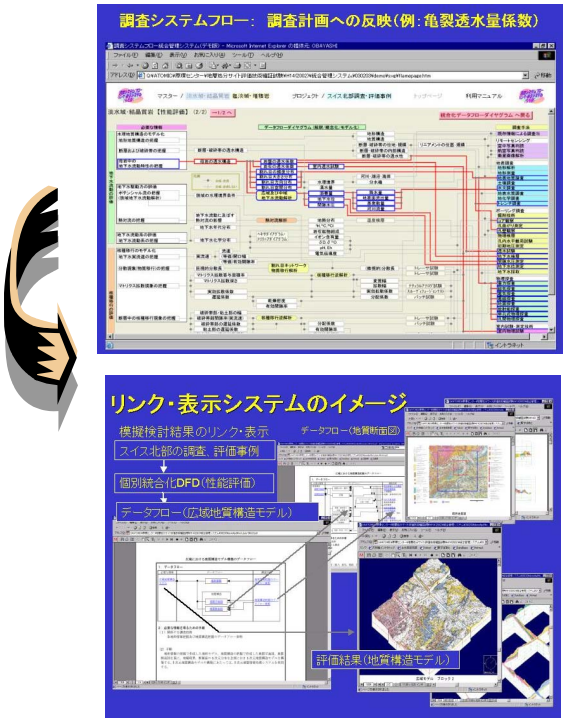
平成 14 年度に試解析を行った淡水域・結晶質岩の調査システムフローについては、スイスにて国際レビュー会議を開催した。また、沿岸・堆積系岩盤の調査システムフローについては国内の専門家によるブレーンストーミングを開催し課題の抽出を行った。



海底電磁法
スタンドアローン式受信器

弾性波トモグラフィ
高エネルギー震源

図－2　高度化した主な開発機器



図－3　調査システムフローＩＴ化イメージ

(2) 処分技術

【遠隔操作技術高度化調査】

1．事業の概要

高レベル放射性廃棄物地層処分場の操業段階で用いられるオーバーパックの遠隔溶接・検査、及びオーバーパックと緩衝材の遠隔ハンドリング・定置に関わる遠隔操作技術について、基礎試験、要素試験等を行い、その成立性、適用性、適用条件などを定量的に評価、表示する幅広い技術メニューの整備を進めることを主たる目標としている。まず初年度において、これらの遠隔操作が現有技術で基本的に成立可能かどうかを確認すること、及び技術メニュー整備における試験対象項目や試験パラメータを的確に抽出することを目的として、実規模モックアップ設備の概念設計を実施した。また、遠隔操作による人工バリア構築は、人工バリアシステムの品質確保と密接に関係することから、地層処分の特徴である長期安全性確保の視点から遠隔操作、及び人工バリアの品質についても検討を開始している。

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

平成 12 年度にオーバーパックの溶接、検査技術、オーバーパックと緩衝材のハンドリング・定置を対象として、遠隔操作設備の概念設計を行い、技術開発課題を抽出した。平成 13 年度より抽出した技術開発火災に基づき、各技術について基礎試験、要素試験を行い、現時点における最新技術の適用性、適用範囲、適用条件を提示する技術メニューの整備を開始した。また溶接・検査、ハンドリング・定置における人工バリアの品質確保の考え方及び処分場における遠隔操作技術全体を対象とした処分システム構築に関わる品質、安全の考え方についても検討を開始した。

図-1 に本調査の検討範囲を示す。

なお、本調査は、経済産業省の委託により実施したものである。

2．平成 15 年度の成果

(1)遠隔溶接・検査装置の開発

代表的なアーク溶接である MAG 溶接について、オーバーパックの全肉厚溶接を前提とし、開先深さ最大 190mm を目標として MAG 溶接の施工試験を行った。板厚 50mm の試験体により溶接条件、開先形状を確認し、100mm へと段階的に開先を深くし、溶接条件を把握すると共に、継手性能試験により溶接品質を確認し、肉厚 190mm の炭素鋼オーバーパックへの適用にあたっての溶接条件把握に努めた。図-2 に MAG 溶接による炭素鋼厚板の周溶接試験の状況を示す。一方、高エネルギービーム溶接である電子ビーム溶接についてオーバーパックの溶接時における残留応力評価として、溶接部の実測値と応力解析値の比較評価を行い、解析の妥当性を確認した。

また、複合オーバーパックへの適用技術として、TIG 溶接及びレーザビーム溶接について、

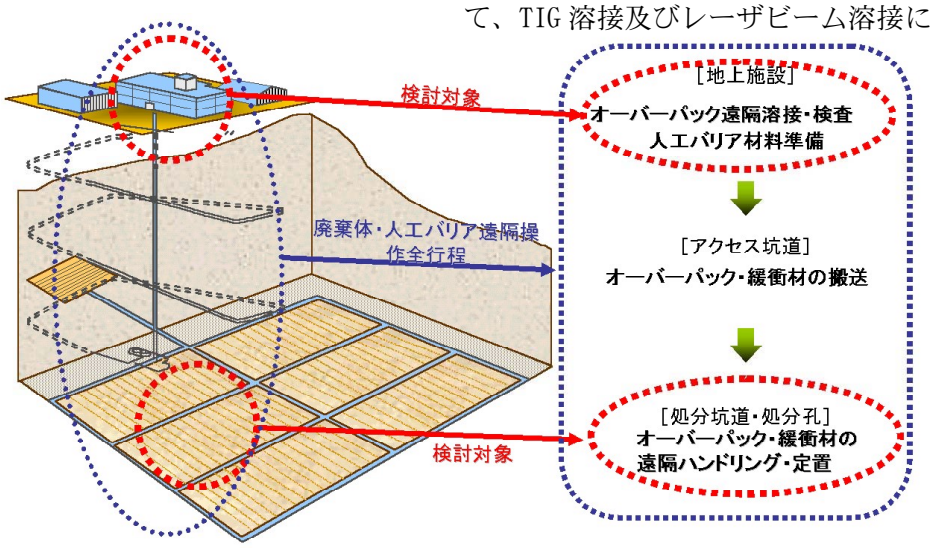


図-1　本調査の検討範囲

板厚 7㎜ のチタン材に対する施工試験を行った。TIG 溶接による施工試験では、欠陥が無く、十分な機械強度を有する安定した溶接部を得たことから、複合オーバーパックへの適用が十分可能であることを確認した。レーザビーム溶接では、平板試験により溶接条件を把握し、蓋溶接施工試験を行ったが、始終端部処理においてブローホールが発生しやすい傾向があるものの、ブローホールが発生した状態においても、機械強度にほとんど影響を及ぼしていないことを継手性能試験により確認した。また、超音波探傷法のうち、表層部の欠陥検出に優れるクリーピングウェーブ法について、溶接余盛表面の検査精度、及び溶接試験体による検査精度の確認試験を行った。二振動子法では、余盛表面きずに対する検出性は確認できたが、定量化は困難であり、一方、定量性に優れている２探触子法においては、余盛表面のきずに対する検出が困難であり、余盛のきずの定量化を行うためには、２探触子法において、余盛を除去する必要性があることを確認した。また、溶接法（TIG 溶接及び電子ビーム溶接）の違いによる検査精度への影響がないことを確認した。さらに、所定の閉じ込め性を有するオーバーパックの代替構造の提示を念頭に、その設計手法と品質確保の考え方を検討した。

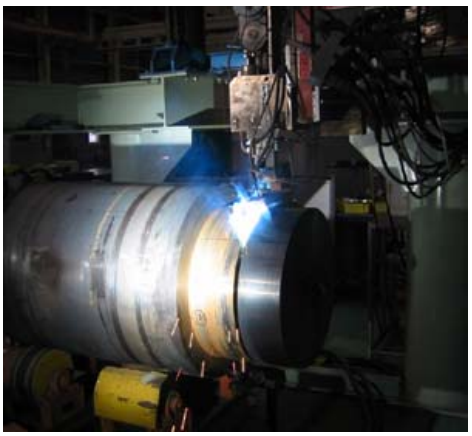


図-2　MAG 溶接　周溶接試験実施状況

(2)遠隔ハンドリング・定置装置の開発

圧縮ブロックを定置するブロック型緩衝材方式については、４つの真空パッドを用いたブロック把持装置により拘束連結したリング状ブロックの把持・搬送試験を行い、真空パッドによる実規模ベントナイトブロックの把持・搬送が可能であることを確認した。また、緩衝材を原位置で締固める緩衝材の原位置締固め方式については、緩衝材の衝撃減衰特性を反映した解析モデルを構築して、昨年度実施した実規模締固め試験を再現する解析を行い、解析モデルの妥当性を確認した。ペレット状のベントナイトを充填するベントナイトペレット方式については、ペレットの熱伝導性の改善を目的とした基礎物性試験、施工試験を行い、空隙に対する注水技術の適用により熱伝導性の問題は改善できる見通しを得た。昨年度概念設計を実施したプレアセンブル方式については、エアパレットの坑道内環境に対する適用範囲の明確化を目的として、複数の曲面用エアパレットを用いた空圧支持試験装置による搬送試験を行い、段差等の凹凸に対してエアパレットの適用性は高くないものの、ブリキ板などの上敷材により走行面の状態を改善することで、段差等の凹凸に対する適用範囲が大きく拡大することを確認した。図-3 に緩衝材ブロックの実規模真空把持・搬送試験の実施状況を示す。

また、各方式毎に、地上施設、アクセス施設および地下施設を通じた一連の製作・搬送・定置システム（全体システム）の例示を行った。

例示では、オーバーパック及び緩衝材の製作・搬送・定置の核作業工程における品質管理・安全確保に関する考え方、留意事項についても整理した。

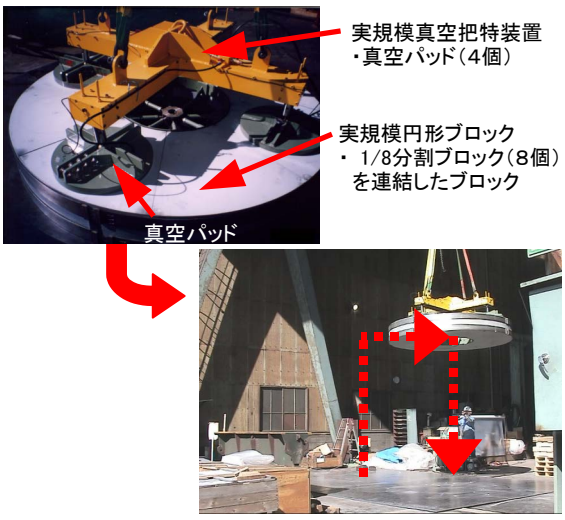


図-3　緩衝材ブロック実規模真空把持・搬送試験実施状況

【性能評価技術高度化研究】

１．事業の概要

地層処分における従来の性能評価では、想定される事象の複雑さや評価期間の長期性のために保守的なモデルが採用されているが、近年の国内外での処分研究の進展に伴い、より現実的なモデル(性能評価技術の高度化)が必要になると考えられる。本研究は平成 14 年度から開始され、より現実的な性能評価を可能とする性能評価技術の開発を行うため、関連情報の収集・分析と評価技術の開発を行っている。

(1)性能評価に関する基礎情報の収集及び整理・分析

ここでは国内外でこれまで行われてきた性能評価に関する情報を収集し、性能評価の現状を体系的に整理するとともに、処分技術関連情報のデータベースとして整備(図-1)する。

(2)現実的性能評価技術の開発

ここでは(1)にて収集した情報を参考に、性能評価における課題を明らかにし、より合理的な性能評価を可能とする現実的性能評価技術の開発を行う。平成 14 年度は、第２次とりまとめで行われている安全評価における課題を基に、現時点における性能評価に関する課題を抽出した。その結果を基に、地層処分の性能評価に関する専門家へのヒアリング調査により、研究項目の目的、内容、成立性、効果等について評価を行い、次年度以降に重点的に研究を行うべき項目として、「①処分場及び近傍の詳細評価技術の開発」、「②ガラス固化体近傍の詳細評価技術の開発」、「③性能評価の情報化技術に関わる調査検討」を選定した。

なお、本研究は、経済産業省の委託により実施しているものである。

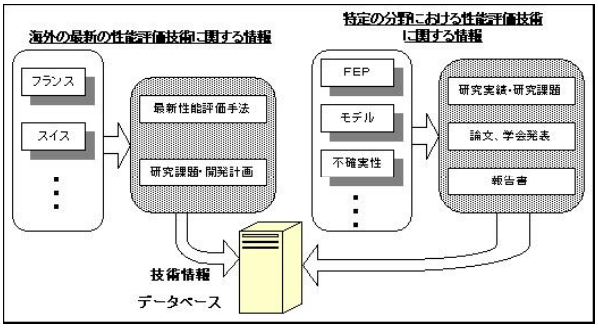


図-1　性能評価に関する基礎情報の収集及び整理・分析

２．平成 15 年度の成果

(1)性能評価に関する基礎情報の収集及び整理・分析

a. 性能評価に関する調査

フランス ANDRA の粘土層及びスイス Nagra のオパリナス・クレイにおける処分の安全評価報告書を基に、わが国における安全評価研究との比較など体系的に整理、分析を行った。またベルギー、スウェーデン及び米国における安全評価に関する情報を収集し、データベースとして整備した。

b. FEP に関する調査

わが国における安全評価研究において FEP リストに挙げられた FEP のうち、「将来の人間活動」「隕石の落下」「臨界」及び「放射線分解／放射線損傷」の４つについて、国内外における主要な文献を対象に情報収集し、体系的に整理するとともに、データベースとして整備した。

c. 現実的性能評価技術に関する調査

スイス、ドイツ、スウェーデン及びベルギーの処分実施主体等から、処分場及び近傍における現実的な性能を評価するための技術関連情報を収集し、データベースとして整備するとともに、関連研究についてレビューを行った。

(2)現実的性能評価技術の開発

a. 処分場及び近傍の詳細評価技術の開発

現実的被ばく線量率の算出を目的として、処分場の規模や複数の廃棄体の相互影響を評価に含めて解析する手法検討の一環で、処分場近傍の詳細評価技術の有効性の検討を実施した。具体的には、調査結果を踏まえてコンパートメントモデル（図-2）を選定し、既存研究を参考に推定被ばく線量率を算出し、第２次取りまとめの評価例と比較した。加えて、モデルの拡張を行い、複数の廃棄体から漏出した核種により形成されるプルームの相互作用に関する検討を行った。その結果として、本技術開発を進めることにより、推定被ばく線量率が低減しうることが示された。

一方で、処分場内に発生した亀裂の取扱い

や、各種パラメータが変化した場合の核種移行に対する影響など、本技術開発を実施する上で解決すべき課題が多く残されていることについても明らかとなった。加えて、本技術開発を行うことにより、処分場レイアウトの最適化や処分システムのロバスト性の検証など、単に推定被ばく線量の算出にとどまらない、より広い意味での性能評価システムへの寄与も期待できることも判明した。

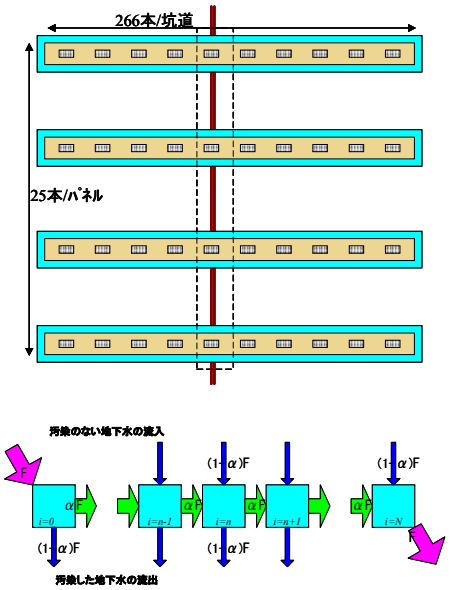


図-2　コンパートメントモデルの概要

b. ガラス固化体近傍の詳細評価技術の開発

処分においてガラス固化体の挙動として着目されるガラスの割れと表面の水和変質の性能評価への影響についてモデル試解析による妥当性の検討を実施した。ガラスに割れが発生する要因に関し、ガラス固化体が受ける力学的履歴として、ガラス固化工程での熱応力による割れに関する概念モデル、及び処分場閉鎖後の長期的な割れに関するモデル解析の可能性を整理した。

ガラスの溶解・変質現象のモデル化に関し、水和変質モデルを取上げ、文献情報を基に、これを採用した場合のガラス溶解速度（図-3）を評価して、第２次取りまとめによる評価と比較し、JNC の設定（1×10^{-3} g/m^2/d）よりも小さくなる可能性があることが示された。（図-4）しかしながら、その一方で、ガラス固化体近傍の溶性ケイ酸濃度の挙動に関しては、腐食生成物や緩衝材の影響等も含めた、より包括的な評価が必要であることも同時に示唆された。

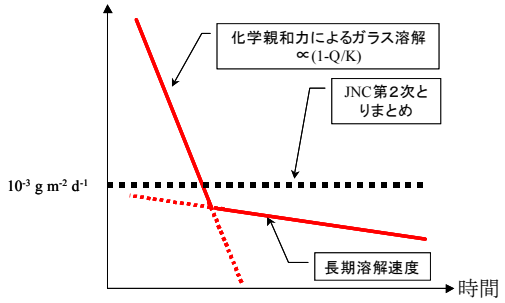


図-3　ガラスの溶解挙動の経時変化と性能評価上の取扱い例

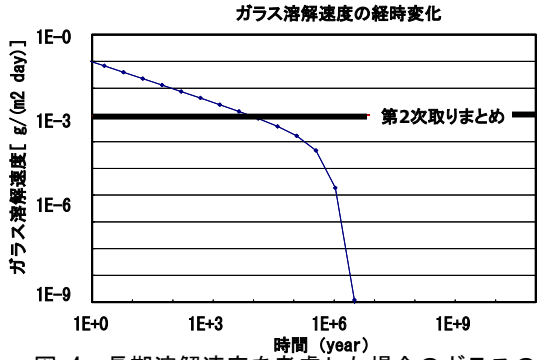


図-4　長期溶解速度を考慮した場合のガラスの溶解速度の経時変化試算例

c. 性能評価の情報化技術に関わる調査検討

放射性廃棄物処分における性能評価解析とモデル解析の内容、結果を技術関係者で効果的に共有し、意思疎通、意見交換を活性化することが、評価研究ひいては処分の推進にもつながるものである。その手始めとして、情報化事例調査及び一般科学技術分野における情報化事例の調査を実施した。ついで、これらの調査に基づき、地層処分システムの性能評価における必要かつ有効な技術的手法として映像、視覚的に表現する手法を中心に、現在市販されているツールの現状を調査し、それらを地層処分の性能評価結果の表示に適用した場合の可能性を示した。（図-5）また、現状の最新可視化技術のレビューを行った。

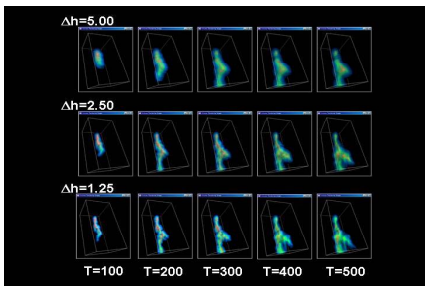


図-5　可視化手法の事例（ﾎﾞﾘｭｰﾑﾚﾝﾀﾞﾘﾝｸﾞ）

【地球化学バリア有効性確証調査】

１．事業の概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分システムのバリア性能は、放射性核種の地下水に対する溶解度や岩石への収着性のような地球化学的反応に影響される。Pu, Npなどのアクチノイドは、溶解度が小さく、収着性が大きいことにより、生物圏への漏出量は極めて小さいものと評価されている。このように、これらの元素の移行に際しては、地球化学的な反応によるバリア機能が期待できることから以下のような技術情報を整備することにより、地層処分システムのバリア性能の信頼性の向上と安全裕度の確認に資する。

①アクチノイドの長期の挙動評価の信頼性を向上させるために、熱水性ウラン鉱床の岩石（鉱石）及び火山ガラス中のウランの分布・移行挙動を評価する。

②地下水中のアクチノイドの濃度は、共沈等の効果により下がることが期待される。これを確認するために、ウラン共存時のアクチノイド水酸化物・酸化物のデータを取得し、評価する。

③アクチノイドと岩石との不可逆的な収着反応の程度や条件を確認する。

①については、「ウラン鉱山の岩石（鉱石）や火山ガラス中のウランが長期間移行しない地球化学的な地質環境条件の評価」として、ロシアのストレルツォブスコエ(Streltsovskoe)ウラン鉱山における調査を実施している。この鉱山のウラン鉱石は、1.4～1.7億年前の火山活動で形成されたカルデラに、ウランを含む熱水が 1.35 億年前に貫入して形成されたピッチブレンドを主とする初生鉱石と、その後の熱水貫入により、生成された二次鉱石からなる。この鉱山において、岩石(鉱石)と火山ガラス中のウランの挙動を調査した。調査の結果、初生鉱石の大部分は、長期間にわたって、移行していないと推定された。熱水の作用によっても、ウランの主たる移行は、数十m以内と推定され、移行したウランも、珪酸ウラン鉱物として固定されていた。火山ガラス中のウランの濃度は、数十ppm以下で、ガラスが結晶化していない部分では均一に分布していた。一方、ガラスが結晶化した部分では、結晶化の度合いに反比例して、ウラン濃度の低下が認められた。すなわち、ウランは、火山ガラスが結晶化した部分から移行していた。しかし、移行したウランは、周囲の微細亀裂に充填された鉄とチタンの酸化物及び水酸化物中に収着し、濃縮されていた。

②については、「ウランがアクチノイド(Pu, Np など)の溶解度に及ぼす効果の評価」として、ウラン共存のアクチノイド水酸化物・酸化物の溶解度を評価している。

還元条件（極低酸素雰囲気）の模擬地下水中で、U(IV)共存Pu(IV)、Np(IV)、Am(Ⅲ)水酸化物を混合し、これらアクチノイドの模擬地下水中での濃度を測定した。この結果と比較するため、アクチノイド水酸化物単体系や人工海水中での測定も行った。U（IV）共存のPu（IV）水酸化物と接触した模擬地下水中のアクチノイド濃度は、pH(7～11)にかかわらず、検出限界(1×10^{-11}M)以下となり、Uの共存によってPuの溶解度が低下することが分かった。一方、液中のU濃度は、単体系の場合と比較して、大きくなった。

一方、酸化物については、単体酸化物及び混合酸化物（UO_2（5%NpO_2）、UO_2（5%PuO_2））と接触した模擬地下水中のアクチノイド濃度測定を、温度常温、90℃、150℃、pH～8.5、低酸素条件又は大気条件中で行った。

UO_2(5%PuO_2)のPuの溶解度は、低酸素条件（常温）と大気条件（常温）では、単体PuO_2と同程度(10^{-10}Mオーダ)であった。しかし、大気条件の高温(90℃、150℃)では、10^{-11}Mオーダに低下し、単体PuO_2に比べ大幅に小さくなり、U共存の効果が認められた。また、低酸素条件（常温）でのUO_2(5%NpO_2)のNp、Uの溶解度は、それぞれの単体二酸化物より増加した。しかし、大気条件の高温(90℃、150℃)では、UO_2(5%NpO_2)のNpの溶解度は、単体NpO_2ほど増加せず、U共存の効果が認められた。

③については、「岩石にアクチノイドが地球化学的な反応で保持される条件の評価」として、岩石試料（花崗岩類）へのPuとAmの収着挙動の調査を行っている。収着試験後の岩石試料（花崗岩類）への放射性核種の浸透状況や鉱物への収着の微視的な状況を確認するため、顕微鏡観察、オートラジオグラフィー等を実施した。AmとPuは、黒色の鉱物（黒雲母、角閃石）、随伴鉱物（磁鉄鉱、イルメナイトなど）、鉱物粒界に選択的に濃縮していることが分かった。また、表面を、15～23μmまで研磨した試料でも、放射性核種が認められたことから、内部への浸透が起こっていることが確認できた。さらに、30～40μmまで研磨した試料では、放射性核種は微細亀裂と結晶粒界にのみ認められたことから、内部への浸透がこれらの亀裂や粒界を通じて起こっていることが示唆された。

２．平成 15 年度の成果

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

本年度は、14 年度までに実施したロシアのストレルツォブスコエ(Streltsovskoe)ウラン鉱山の鉱石中の熱水作用によるウランの移行を定量化することを目的として、ピッチブレンドに、熱水が作用してコフィン石（珪酸ウラン鉱物）様の鉱物に変質する過程の調査を行った。この過程で、鉱石及び岩石中の流体包含物の分析が行われ、放射線分解による酸化雰囲気の影響が、鉱体の内部に限定されていることが分かった。

(2)ウランがアクチノイド(Pu, Np など)の溶解度に及ぼす効果の評価

本年度は、14 年度までに取得したU共存下の Pu と Np の溶解度が､単体と異なることの原因を探る目的で、混合価数型 U(IV)-U(VI)、Np(IV)-Np(V)水酸化物の溶解度の測定と Pu（Ⅲ）水酸化物と Np（Ⅲ）水酸化物の溶解度測定を行った。

U共存系では、元素間相互に酸化還元反応が起こり､混合価数の水酸化物が形成されると推定された。価数混合の割合と溶解度の関係を推定するため、混合価数の水酸化物を調整し、溶解度を調べた。混合価数型U(IV)-U(VI)水酸化物の溶解度は､U(VI)の割合の増加に伴って直線的に増加し､U(VI)が 20%程度で、4×10^{-4}M に達した。Np(IV)-Np(V)水酸化物の溶解度も、Np(Ⅴ)の割合の増加に伴って直線的に増加し、Np(Ⅴ)が 6%程度から、ほぼ一定値の 10^{-5}M になることが分かった（図-1)。これらの結果から、Ⅳ価の水酸化物が酸化された場合も、ただちに価数の大きい水酸化物の溶解度を示すわけではないことが分かった。

U共存系での溶解度の変化は、Ⅲ価水酸化物の生成が原因であるとの仮定に基づき、Pu（Ⅲ）水酸化物と Np（Ⅲ）水酸化物の溶解度測定を行った。0.1M NaCl 溶液中の Pu(Ⅲ)水酸化物の溶解度は、2～3×10^{-9}M で、Pu(Ⅳ)水酸化物とほぼ同様になった。これにより、Pu(Ⅲ)の生成は、U 共存系での溶解度低下の原因ではないことが分かった。Np(Ⅲ)は、水酸化物作製時に、Np(Ⅳ)に酸化され、Np(Ⅲ)水酸化物の溶解度は確認できなかった。

(3)岩石にアクチノイドが地球化学的な反応で保持される条件の評価

本年度は、岩石擬似コロイド成分を含んだ溶液から、プルトニウムとアメリシウムのガラス容器壁への収着を考慮に入れた花崗閃緑岩への収着の研究と花崗閃緑岩の単離鉱物（黒雲母、長石及び石英）について、Am と Pu の収脱着の研究を行った。

花崗閃緑岩試料への Am と Pu の収着試験では、実験時の種々の因子によって、得られた分配係数も異なった値となり、コロイドの影響は明確にはできなかった。しかし、溶液中の Am イオンのコロイド状の割合は、花崗閃緑岩への収着の前後では変わらず、岩石へのコロイドの目立った収着はないと推定された。

花崗閃緑岩への収着メカニズムを評価するため、花崗閃緑岩から単体分離した単離鉱物に関し、種々の濃度の炭酸塩イオンを含む溶液を用いた収着試験を行った。単体鉱物の収着能は以下の順序であった: 黒雲母 〉長石 〉石英.　また、単離鉱物からの Am 脱着試験のデータに基づいて、溶液からのガラスへの吸着を考慮に入れると、鉱物への収着は部分的な不可逆過程であると推定された。

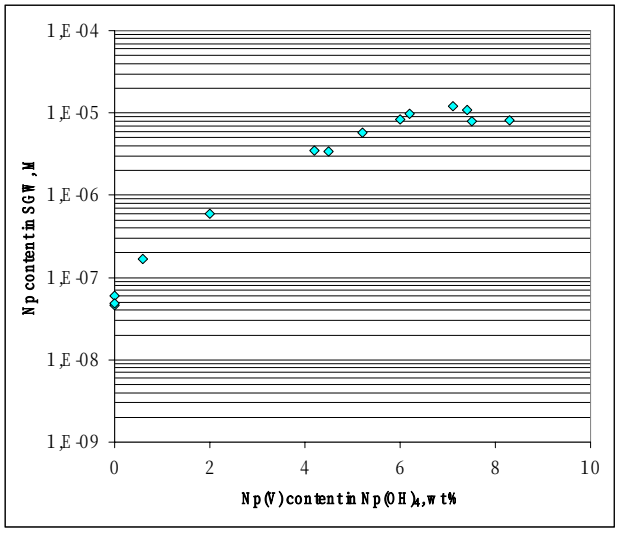


図-1　Np(V)の割合によるNp(IV)の溶解度の依存性

【人工バリア材料照射影響調査】

１．事業の概要

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

一方、高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリア材料であるガラス、炭素鋼には放射性核種の閉じ込めという、より長期の安全性確保が要求されている。このことから、従来技術に基づく照射損傷の定量的な予測(長期の外挿)はさらに困難になってくる。そこで本事業では、従来の破壊力学的手法に依らず、陽電子消滅法という照射による材料の微視的構造変化である格子欠陥(照射欠陥、微小析出物)を正確に把握する測定技術を確立し、測定データを蓄積すると共に照射損傷に関する理論計算を行って計算結果を検証することで、材料の寿命予測モデル構築のための基礎を確立することを目指している。

なお、本調査は、経済産業省の委託により実施するものである。

２．平成15年度の成果

平成15年度は平成14年度までに整備した測定装置－同時計数ドップラーブロードニング測定装置、電子スピン共鳴装置(ESR)､微小硬度計、２次元角相関装置、低速陽電子ビーム装置装置等－を用いて炭素鋼等、及びガラスの照射試験片について照射欠陥、照射誘起析出物の測定を進めると共に、理論計算を実施した。

(1)照射試験片の測定

①炭素鋼等

熱時効したFe-Cu合金中のCu析出物寸法とCu濃度の検討として､単純なFe-Cuモデル合金を用いて、析出極初期過程で形成する超微小Cu析出物中のCu濃度の調査、陽電子消滅と３次元アトムプローブでの同一試料の調査とその結果の直接比較、これによる超微小Cu析出物中のCu濃度に対する３次元アトムプローブの結論の評価､両手法を用いたCu析出物寸法の算定、および、Cu析出物の磁性（強磁性か、反磁性か）からの超微小Cu析出物中のCu濃度の調査などを目指した。また、電子線照射したFe-0.3wt.%Cu-X（X=0.7 wt.%Ni、1.5 wt.%Mn、0.04 wt.%P）モデル合金中の照射欠陥、Cu析出物の検討として、Cu以外の不純物・添加元素としてNi、Mn、Pなどが含まれ、これらの元素も照射欠陥やCu析出に影響を与えると考えられる炭素鋼について、基準となるFe－Cuモデル合金に、第３元素としてNi、Mn、Pを添加し、基本的な照射効果を見るために主として単純なフレンケル対を導入する電子線照射を行い、析出物形成初期段階におけるこれら添加元素の効果を調べると共に、陽電子消滅と３次元アトムプローブとを組み合わせることにより、空孔－溶質原子複合体および照射後焼鈍で生じる超微小Cu析出物の評価を行うものとした。その結果、陽電子消滅法の先端的手法の開発、２次元角相関、同時計数ドップラー広がり法の測定、デジタル・オシロスコープを用いた新たな陽電子寿命―運動量相関(AMOC)測定を行うとともに、最新の３次元アトムプローブを併用し、超微小Cu析出物形成の極初期段階、化学組成、数密度、第３元素（Mn、N、,P）等の効果を明らかにした。図-1にFe-Cuモデル合金中のCu析出物に関して、純Feの２次元角相関の異方性を示す。

②ガラス

基本となるシリカガラスを放射線照射すると、酸素空孔に対応する欠陥（E’センターなど)、酸素格子間原子に対応する欠陥（過酸化ラジカルなど）や分子性酸素などが生ずること、さらには酸素－シリコン間の化学結合が切れることによる構造変化、高密度化などが起こることが知られている。ガラス固化体のガラスも主成分はシリカガラスであることから、当然同様の欠陥や構造変化が起こることが予想される。さらに放射性廃棄物核種からのアルファ線およびその反跳原子核の内部照射効果、さらにはそれら放射性廃棄物核種が包蔵されるべき空隙（ナノボイド)、アルファ線に由来するヘリウムなども問題となる。長期間処分中にこのような放射線崩壊の影響を受けたとき、ガラス固化体および石英

ガラス中にどのような欠陥、構造変化が起こるかの解明が必要となる。このことから、本年度はこうした基礎過程を明らかにするため、先ず単純なSiO_2－Na_2Oの２成分モデルガラスを作製し、陽電子消滅２次元角相関、陽電子寿命によって構造的なナノボイド（放射性廃棄物核種やアルファ崩壊の結果生ずるヘリウムの原子レベルでの収納場所でもあると予想される）の寸法に関する有用な知見を得た。また、アルファ線崩壊の影響を調べるためのイオン照射実験や表面近傍の欠陥を調べるためのエネルギー可変型低速陽電子ビーム装置を調整し、毎秒 1000 カウント以上の同時計数ドップラー広がりを測定できるシステムを完成させた。さらに、２成分モデルガラスについてNa_2O混合に伴うSi-O-Na結合の形成に伴うと考えられる振動モードの化学組成依存性を赤外吸収分光から明らかにした。これらから、陽電子消滅による構造的サブナノボイドと構成元素原子結合との関係の解明の手がかりが得られたものと考えた。図-2 に構造的サブナノボイド半径のSiO_2モル濃度依存性を示す。理論計算用ワークステーションを用いて、鉄中の Ni および Mn 析出物に対する（110）断面の陽電子密度を計算した。Ni の結果を図-3 に示す。昨年度実施した鉄中の Cu59 クラスターに対する陽電子密度の計算結果と比較すると、Mn 析出物については、析出物中の陽電子密度は周りの Fe 原子における陽電子密度とほとんど変わらないことから、陽電子は Mn 析出物には捕獲されないことが分かった。一方、Ni 析出物では、析出物内部における陽電子密度は明らかに高く、陽電子は Ni 電子と多く対消滅することが分かった。

(2)照射影響の評価、検討

炭素鋼等について、照射欠陥生成に及ぼす Cu、Ni、Mn、P 等の影響を観察すると共に、Cu 等の微小析出物の成分、寸法(サブナノサイズ)について情報を得た。また、鉄中の Cu 不純物原始の拡散と集合体(析出物)形成に関する第一原理計算を行い、理論計算手法の成立性を確認した。ガラスについては SiO2－Na20 等の２成分系モデルガラスの構造空隙(サブナノボイド)に生じるポジトロニウム情報を取得すると共に、構造寸法の組成依存性についての知見を取得した。

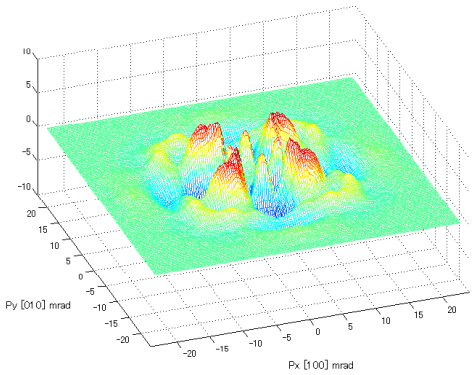


図-1　Fe-Cu モデル合金中の Cu 析出物に関して、純 Fe の２次元角相関の異方性

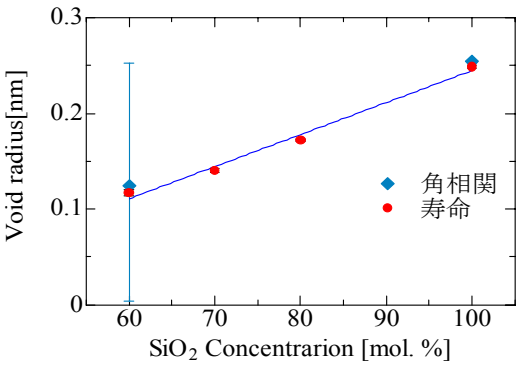


図-2　ガラスの構造的サブナノボイド半径の SiO_2 モル濃度依存性

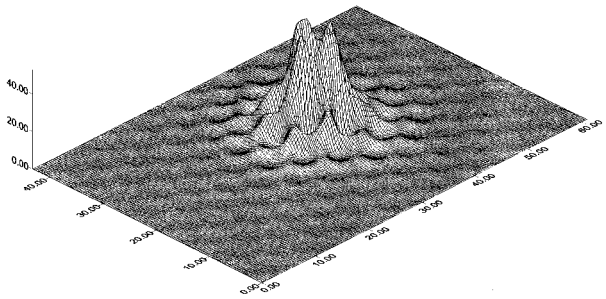


図-3　Fe 中の Ni クラスター（9 個）に対する（110）断面の陽電子密度の計算結果

【地層処分重要基礎技術研究調査】

1．事業の概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分を円滑に進めるためには、地層処分に必要な人工バリア・施設の設計技術や性能評価等について、処分事業の進捗に応じ、着実にその信頼性を向上することが重要である。

例えば、有機物の影響、圧縮ベントナイト中での物質移行やベントナイト変質メカニズムなどの現象に対しては、現段階では一定の仮定による保守的な評価を行っている。現段階から基礎研究に着手してこれらの基礎的な知見を収集し、将来の定量的な議論に資することが望まれる。

本研究調査では、現在残されている課題の調査・抽出を行い、現段階から着手する必要のある基礎研究を実施することにより、処分事業の進捗に応じた信頼性の向上に資することを目的としている。

なお、本研究調査は、経済産業省の委託により実施したものである。

2．平成 15 年度の成果

本事業では、初年度である平成 13 年度に研究テーマ及び研究者の選定を行い、5 件の研究が開始された。平成 15 年度が、それぞれの研究の最終年度であったことから、各研究について、実施研究内容や成果を同研究分野の最新の研究動向情報も含めて総括的にまとめた。

以下に、それぞれの研究の実施内容や成果について示す。

(1)圧密ベントナイト中の核種移行挙動に寄与する間隙水に関する基礎研究－１

圧縮状態のベントナイトでの拡散係数、分配係数、溶解度を予測するための基礎理論及びデータを取得し、これらの物性値を予測する手法を確立することを目的とした。具体的には、①電気泳動法による固液界面状態の測定（図-1）、②浸透圧法による間隙水中イオン濃度の測定、等の実験によるデータの取得をとおして、③物性値予測モデルの検討を行い、固液界面における誘電率の空間分布を考慮した改良電気２重層モデルによって，安全評価上の重要パラメータである、拡散係数、収着分配係数並びに溶解度の予測モデルを統一的に表現することを可能とした。

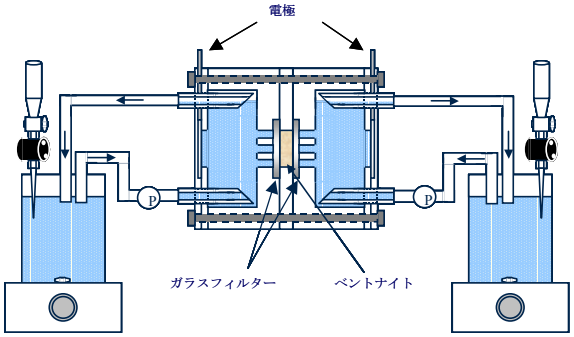


図-１　電気泳動試験装置の概念

(2)圧密ベントナイト中の核種移行挙動に寄与する間隙水に関する基礎研究－２

圧縮ベントナイト間隙水等の溶液化学とそこでの核種の化学形を実験的に明らかにするために新しい電気化学的実験方法を開発し、Sr、Na イオンを用いての実験的適用により、その有用性を明らかにした。更には着目核種の１つである Np(V)を用いた同実験による移行挙動の考察から、地球化学計算コードでは圧縮ベントナイト間隙水でのイオン形態として $NpO_2CO_3^-$ と評価された Np(V)の大半が、内圏錯体的にモンモリロナイトに吸着している可能性が高いことを明らかにした。

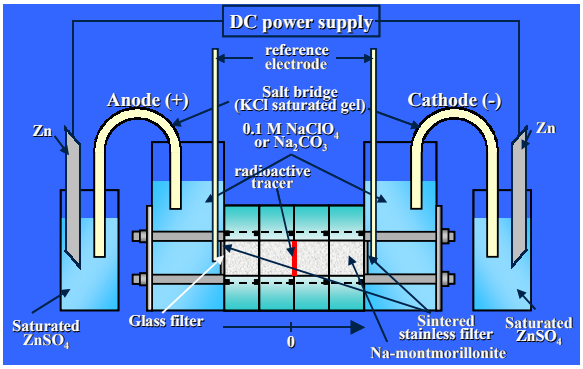


図-２　界面動電実験概略図

(3)強アルカリ性環境下でのベントナイトの劣化挙動に関する基礎研究

本研究では、モンモリロナイトの溶解速度に及ぼす各パラメータの影響を明らかにするとともに、反応モデルが取り扱える地球化学コードに組み込める形でモンモリロナイト溶解速度を定式化し、ベントナイトの劣化影響が考慮できる速度論的評価の構築に資することを目的とした。具体的にはモンモリロナイトに関する、温度、pH、溶液組成等をパラメータとするフロースルー溶解実験並びに溶解のその場観察により、溶解過程と溶解速度、更にはモンモリ

ロナイトの溶解速度に及ぼす各パラメータの影響を明らかにした。これらの成果と先行研究成果を組み合わせることにより、スメクタイトの溶解速度一般式を完成させることができ、また、フロースルー溶解実験で求めた定常状態での溶解速度が、その場観察で求められた溶解速度と一致すること、スメクタイトの溶解は高アルカリ条件下でも結晶端面から進行することが明らかとなった（図-3）。

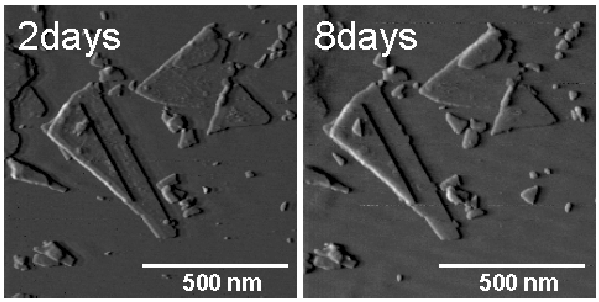


図-３　その場観察による溶解過程の観察結果例

(4)核種の錯体形成や吸着に及ぼす天然有機物の官能基・吸着サイトの不均質性の影響―１

本研究では、粒径、官能基で分別されたフミン酸について、ウランとの錯体形成を測定することにより、フミン酸の官能基サイト不均質性の観点のもとでのウラン・フミン酸相互作用の検討を行った。具体的には、分子量で３つに分画したフミン酸について、①ウランとの錯体形成における蛍光のクエンチング、②遠心分離法によるウランとの錯体安定度定数の評価、③官能基評価とウランとの錯体形成による官能基変化、等の実験や調査・検討により以下の知見を得た。更に、フミン酸-銅結合の NICA-Donnan モデルによる解析により、カルボキシル基、フェノール基への結合の非均質性についても評価された。

- UO_2^{2+}との錯体形成によって、異なった蛍光スペクトルの変化を引き起こす２種類のサイトが存在する
- 遠心分離法による実験との比較からそのような蛍光スペクトルの変化を伴うサイトは全サイトの 10-20%であり、残りは蛍光現象に関与しない UO_2^{2+}に対する高い親和性を有するサイトである
- 水和水を保持したまま吸着している UO_2^{2+}（外圏型錯体）の存在が示唆された

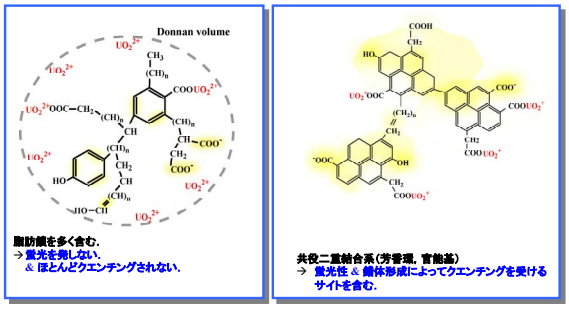


図-４　錯体形成サイトの特性分析結果例

(5)核種の錯体形成や吸着に及ぼす天然有機物の官能基・吸着サイトの不均質性の影響―２

本研究では、核種とフミン酸の相互作用に対して、フミン酸の組成の不均質性と高分子電解質としての性質が及ぼす影響を把握する必要性、さらに、注目する放射性核種のみならず、地下水中に存在して放射性核種と競合する可能性のある金属イオンについても、その相互作用を調べ、実条件に近い形で注目核種がフミン酸により受ける影響を評価しておく必要性があるとの考えのもとで、種々の金属イオンと天然有機物との相互作用について検討した。相互作用（共存イオンの影響）の検討に際しては、$M+(zR) \Leftrightarrow M\cdot\cdot(zR)$という反応に対して定義される見かけの錯生成定数を、実験による観察に基づき定式化し、この依存性を説明するフミン酸の錯体生相互作用の概念モデルを構築した。その結果として、以下の知見を得た。

- 見かけの錯生成定数は log α, log [Na^+], log [M] と次の直線的関係で近似できる。

  $\log K_{app} = \log K + m\log[\mathrm{M}] + a\log\alpha - b\log[\mathrm{Na}^+]$

  （変数の詳細は割愛する：事業報告書参照）
- フミン物質の高分子電解質性と組成不均質性を考慮した概念モデルは提案式を定性的に説明できる。
- 提案式は化学種分布を求める平衡計算に組み込むことができ、競合反応を評価できる可能性がある。

(3) 制度化・社会対応技術

【モニタリング機器技術高度化調査】

1．事業の概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分は本質的に「受動的(passive)」な安全確保の概念に立ち、処分場閉鎖後の人間の管理を必要としないことが原則となっている。しかし、「安全性にかかわる社会的合意を得る必要あり」との観点から、制度的管理の有効性が国際機関において明示的に認められるようになってきた。また、近年、処分場開発プロセスの柔軟性、段階的アプローチの必要性が議論され、その中で制度的管理の役割が積極的に位置付けられるようになってきた。

本研究では、地層処分についての制度的管理のうち、モニタリングと記録保存について、国及び関係機関がそれらの実施方策及び計画等を検討する際の判断材料を整備することを目的に平成 12 年度から検討を行っている。

モニタリングについては、その位置づけの目的を整理した上、国内外の処分計画に関連したモニタリングの実施・計画状況の調査、既存技術の適用性の視点で関係する技術分野の調査をもとに検討した。

記録保存に関連しては、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、記録保存システムとそこに適用する保存のための技術の調査・研究を実施した。

なお、本研究は、経済産業省の委託により実施したものである。

2．平成 15 年度の成果

(1)処分モニタリングシステムの検討

地層処分モニタリングシステムの技術的要件を検討整理し、将来国、実施主体又は関係機関がモニタリング実施計画を具体化する際に適切に技術を選択できるような技術メニューの整備方策を検討した。

これまでモニタリングの位置づけ・意義について、委員会等での議論、国内外の情報及び国際ワークショップの内容を我国の処分の考え方等も考慮しつつ整理した。

モニタリングの意義については以下のように分類した。

- 事業を進める上での安全と工学的対策の妥当性の確認
- 法令要件に対する適合性確認
- 政策及び事業実施上の意思決定に資する情報提供
- 地質環境特性のベースラインの把握
- 社会的な意思決定に向けた情報・社会的要請への対応

上記の分類に対して、どのようなモニタリングの実施が考えられるか（いつ、どこで、誰が、何を、どのように）を技術メニューの中に適切に盛りこめるよう、特にモニタリング関連技術の調査研究を、計測技術、地中無線伝送技術に関し本年度も継続して行った。

これら技術メニューの具体化に向けての、技術調査、既存類似事例の調査及び技術開発との関連は図-1 に示すような検討フローに基いて、調査や既存事例から課題を明確にしつつ効果的に行うものとしている。

15 年度の成果について以下に述べる。

モニタリング技術に関する調査検討では計測（センサ）についての最新の動向を踏まえて、宇宙、医療、地球計測など科学技術分野を拡大して調査を行い、機能性、信頼性の点でより高度な機器技術の可能性を探った。

地層処分では、その人工バリア天然バリアの状況を把握するため熱－水－応力－化学や一般的な周辺環境を加えたモニタリングの対象が想定される。その中で地下水を対象とする計測はその主要な部分を占めると考えられることから、センサの調査及び既存のモニタリング事例調査に基づく考察を地下水を対象に実施した。

センサに関しては酸化還元状態及び水素イオン濃度など主要特性について、従来の化学法、電気法の計測に代わって、光ファイバーと化学センサを組み合わせた複合センサが新たに利用分野が拡大されつつあり、計測検出に加え長期の状態変化を把握し、モニタリングシステムとして操作やメンテナンス性にも適応性があると思われ、引き続きその技術的可能性を検討している。

既存の事例として、トンネル掘削、鉱山の操業と閉山後の水位計測や岩盤中の空洞を利用し

た地下備蓄施設での計測例について、参考となる計測技術上の事例や地下水位の変動の及ぶ範囲、操業と閉山後の水位の変動回復の状況など現象の推移についても知見をとりまとめた。

地中無線通信技術については、地中からのモニタリング計測データを地上に送る際に、ケーブルを設置することによるバリア機能への影響（地下水のみずみちの形成）を低減できる技術として開発を進めている。

昨年度にスウェーデンのエスポ島の地下岩盤施設において行った伝送試験の結果について、電磁波の伝搬に関する理論式をもとに、本技術に特有の低周波（１ｋＨｚ程度）電磁波を対象に、解析的に再現を試みている。本年度は２次元の伝搬について解析できる手法を確認した。今後はより複雑な地質の構成も考慮しつつ３次元的な伝搬の挙動解析について検討を進める。

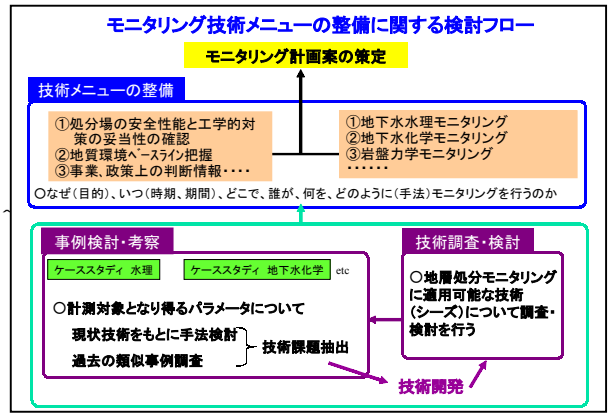


図-1 モニタリング技術メニュー整備に向けた技術調査、事例検討の実施フロー

(2)地層処分記録保存システムの検討

昨年度末に実施した地層処分の記録保存についての国際ワークショップ（於ローマ、1/27、28 2003）で検討の重要性が指摘されていた保存する記録の内容、責任主体と現制度の課題について整理を行った。

地層処分の記録は、現行の特定放射性廃棄物処分法のもとでは永久に保存する旨規定されており、法的に有効な文書記録をわが国で長期に保存するためには、歴史的文化的価値に基き公文書館等に収める現行の文書保存とは別の制度概念、責任主体も含めた制度の考え方を構築する必要性を指摘した。また責任主体の性格として単なる保管を目的とせず、常に新しい保存手段に関する検討を進める研究機関の性格を併せた機能的な形態の有効性についても提言した。

保存技術面の検討では、従来より継続して開発を行って来ている SiC（炭化ケイ素）の保存媒体について、素材自体の耐久性試験に加えて、媒体に刻印された記録の認識性と情報としての有効性の保存に関し、試験的に評価し（図-2 参照）、媒体の表面状態、刻印の仕様によって保存性の優劣を評価するための試験要領をまとめた。

次年度以降、耐久性について試験を含めた評価を実施していく予定である。

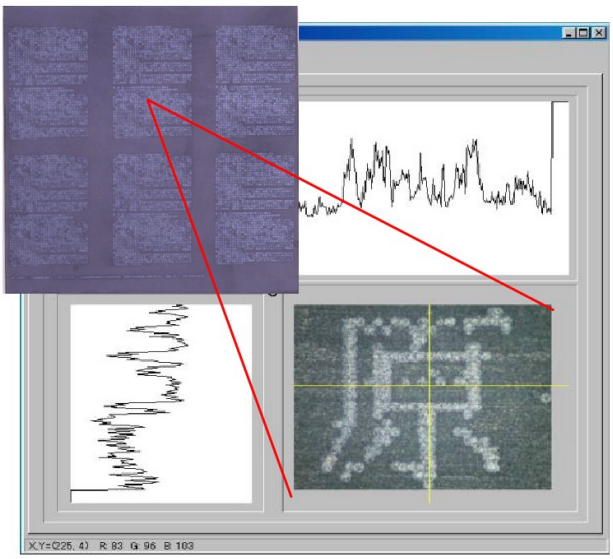


図-2 SiC 版に刻印した文字のコントラスト評価例

【多重バリア長期安定性事例調査】

1. 事業の概要

わが国では、これまで地層処分を説明する資料が数多く作成され、学術的な会議から一般市民への説明会を含め様々な機会で利用されてきている。それらの資料には、地層処分が国際的に合意された概念であるとともに、国内でこれまで行われてきた研究成果とそれを踏まえた安全評価により、地層処分がわが国でも成立する方策であると説明されている。地層処分は多重のバリアシステムによって長期にわたって安全を確保するという概念に基づいており、そのバリアシステムの長期安定性が一つの技術要件となっている。

このような地層処分における多重バリアシステムの信頼性を国民一般に説明するための有効なツールの一つとして、「ナチュラル・アナログ」がある。ナチュラル・アナログとは、地層処分で考慮すべき長期間の評価を行うため、自然界に存在する類似現象と比較して研究する、地層処分に関する研究の一分野である。加えて、ナチュラル・アナログには、多重バリアなどの地層処分を構成する要素や地層処分で起こるであろう現象についての理解を、自然界に過去から存在する類似した「もの」により行えるということから、関係者の理解と合意形成を図っていく上で一定の役割を果たしうると考えられている。

そこで、情報を発信する側と情報を受け取る側の地層処分に対する認識の共有化に役立つと考えられるこのナチュラル・アナログについて、広報活動へ活用するという観点から平成 12 年度より経済産業省の委託により下記の調査を行っている。

(1)ナチュラル・アナログ研究事例調査

まず、世界のナチュラル・アナログ研究の歴史と事例を広く調査、整理し、世界の代表的な事例である、オクロ（ガボン）、シガーレイク（カナダ）、ポッソス・デ・カルダス（ブラジル）については、科学的背景を含めた詳細な調査を行った（平成 12 年度～平成 13 年度）。

平成 14 年度は、「オクロ天然原子炉」事例について、天然原子炉成立に関する科学的背景に焦点を絞り、より詳細な調査を実施した。また、国内事例としては、わが国の地層の長期安定性に関するナチュラル・アナログ事例の適用可能性調査として、「（活）断層の影響」について情報を収集するとともに、「考古学的事例」について調査を開始した。

(2)広報へのナチュラル・アナログ適用性の検討

まず、諸外国におけるナチュラル・アナログを用いた広報事例を収集し、どのようなナチュラル・アナログ事例がどのように地層処分の広報に活用されているかを整理した（平成 12 年度～平成 13 年度）。そして、諸外国の放射性廃棄物処分の実施主体を対象に、ナチュラル・アナログの広報への適用に関する考え方を調査し、我が国での適用に関する留意点を整理した（平成 14 年度）。

(3)広報素材としての情報整備

上記のナチュラル・アナログ研究事例調査や適用性検討に基づいて、情報伝達に有効な手段としてホームページとパンフレットを選択し、国内外のナチュラル・アナログ事例を掲載したホームページ試行版とパンフレット素案を作成した（平成 12 年度～平成 14 年度）。

2．平成 15 年度の成果

(1)ナチュラル・アナログ研究事例調査

海外事例として、昨年度に引き続いて、オクロ天然原子炉のナチュラル・アナログ研究の詳細について調査を行った。本年度は、特に核種の移動に関する記述を中心に調査、分析し、地層処分における核種移行の観点から類似性を検討した。国内事例としては、わが国の地層の長期安定性に関するナチュラル・アナログ事例の適用可能性調査として、「（活）断層の影響」と「考古学的事例」に関する調査を継続実施するとともに、我が国の化石塩水の分布や流動性についての文献調査を新たに行った。

断層については、中部日本の主たる活断層の１つである阿寺断層を対象として、断層運動に伴う割れ目形成機構や、水理学的、地球化学的あるいは力学的影響および範囲を調査、考察した。断層運動に伴う周辺岩盤への影響範囲に関しては既往の研究成果と調和的な結果を得た。また、影響範囲の評価法として割れ目密度解析が有効であることなどを示した。

考古学事例としては、鉄器の腐食と土中環境との関係について、立地条件や土壌環境にバリエーションのある、埋蔵期間 800 年～2000 年の５遺跡の調査・分析を実施し、オーバーパックの候補材料である鉄の土中での腐食に関するナチュラル・アナログ基礎情報を整理した。いずれの遺跡も比較的腐食性の低い土壌環境であり、腐食厚さは１～３㎜の範囲にあることがわかった（図-1）。

化石塩水についての文献調査では、分布、地質特性、地球化学的特性、起源などの観点から，化石塩水の特徴を整理した。また、新潟地域の油ガス田を例として化石塩水の移動性・閉鎖性について考察を行った。

(2)広報へのナチュラル・アナログ適用性の検討

ごみ処理等の施設建設時の社会的合意形成の研究事例を調査・分析し、合意形成・理解促進のための課題を整理して、ナチュラル・アナログ研究事例がどのような役割を果たせるかについて検討した。結果として、合意形成プロセスでの「情報共有・提供」段階において、専門知識を持たない人々に処分システムの具体的なイメージ、個別の技術に関する情報をわかりやすく伝達できるナチュラル・アナログの利用効果は高いとの結論が導き出された。

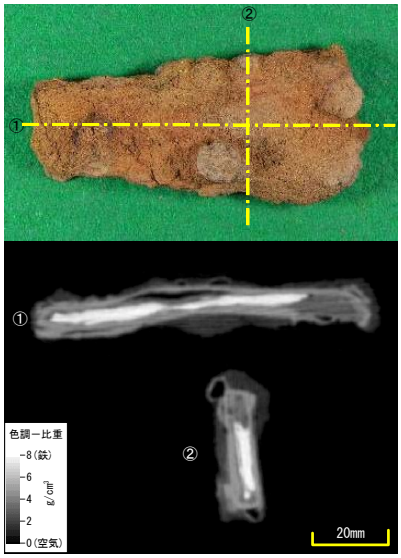


図-1　考古学事例：中原遺跡で出土した板状鉄斧とそのＸ線ＣＴ像による腐食状況（内部の白い部分は腐食していない）

また、ナチュラル・アナログの適用性に関する国際ワークショップに参加し、各国の状況や考え方について情報収集・整理するとともに、アンケートを実施してナチュラル・アナログの適用性を検討した。その結果、ナチュラル・アナログは本質的に、注意を引きやすいものであり、明確なメッセージを広く聴衆に伝えることができるという特徴があるので、地層処分を説明するコミュニケーションツールとして有効利用を図るべきとの結論を得た。

(3)広報素材としての情報整備

昨年度作成したパンフレット素案に対して専門家等の意見をうかがい配布版パンフレットを完成させた（図-2）。科学館などに配布しアンケートを実施した結果、７割から８割の人が地層処分に対する「関心度が高まった」と答えており、広報物として十分な役割を果たし得ることを確認した。

また、オクロ天然原子炉のナチュラル・アナログ研究の詳細調査を基にした、平易な文章による科学的読み物（案）を作成し、広報素材の充実を行った。

図-2　広報素材としての検討例：パンフレット

２－２　ＴＲＵ廃棄物処分

【人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価】

１．事業の概要

超ウラン核種を含む放射性廃棄物（以下 TRU 廃棄物）の地層処分では，廃棄体容器や金属廃棄物の腐食，廃棄物に含まれる有機物の化学・微生物分解等により発生した水素・メタン等の気体（以下ガスと総称）の蓄積により、バリアシステムの性能等に影響を与えることが懸念されている。このように処分施設内で発生したガスの人工バリア・天然バリア中の移行挙動を実規模スケールのモデル施設で評価することにより，人工バリアへのガス発生による影響の評価の信頼性を向上させ，より現実的な処分システムの設計が可能となる。

このような課題を鑑み，本研究では，TRU 廃棄物の地層処分概念の検討や信頼性の高い性能評価に資することを目的として、現実的な地質条件下に TRU 廃棄物のサイロ型処分場を模擬した試験施設を構築し，人工バリアと周辺岩盤中のガスの移行挙動を試験・評価を行っている。

本研究は図-1 に示す研究フローのように，原位置試験，室内試験，解析検討で構成されている。図-2 に，原位置試験施設の概念を示す。施設は，破砕帯を含む花崗岩岩盤内に掘削された，高さ約 4.5 m，直径約 4mの空洞内に，直径 2.5m のコンクリートサイロ（上部にガスベントを設置）とベントナイト系充填材からなる人工バリアシステム，その上部に砂礫埋戻し材，そしてコンクリートプラグから構成されている。試験は，人工バリアシステムを水で飽和させ，コンクリートサイロ内に窒素ガスを注入して人工バリア中を移行させる手順で実施している。試験スケジュールを表-1 に示す。平成 9 年度には試験施設の設置場所の選定と試験計画を立案し，平成 10 年にアクセス坑道と図-2 に示すような岩盤空洞を掘削した。平成 11 年度から平成 12 年度にかけて，空洞周辺の岩盤の水理的な特性を調査し，人工バリアシステムの建設と各種のセンサーの設置及び上部の埋め戻しを行った。平成 13 年度には，コンクリートプラグを構築し，人工バリアシステムへの加圧注水による人工的な飽和を平成 14 年度後半まで実施した。引続き、平成 15 度にかけてガス移行試験を行った。なお，本試験は、経産省からの受託を受け、スイスのグリムゼル試験場において実施している。

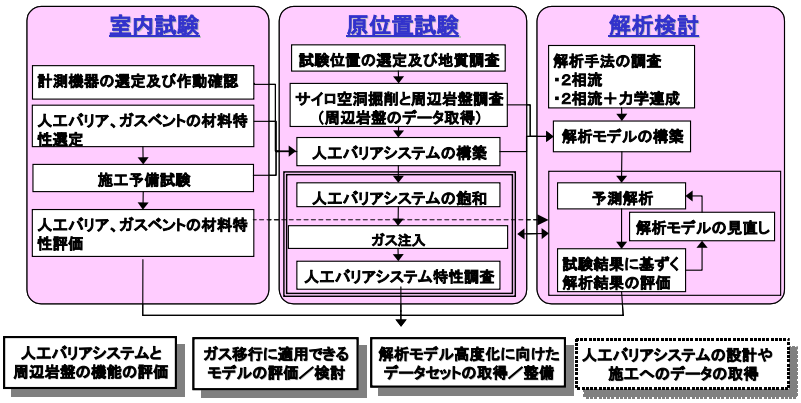


図-1　人工バリア・天然バリアガス移行挙動評価研究フロー

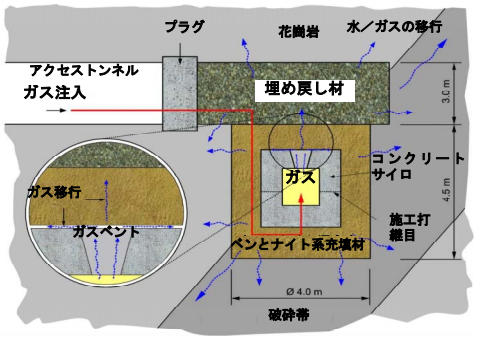


図-2　ガス移行挙動試験施設の概要図

表-1　試験スケジュール

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

２．平成１５年度の成果

平成 15 年度は，本研究の中心的な試験であるガス注入試験を行った。併せて，ガス注入試験のモデル化と予測解析を行った。また，次年度の人工バリアシステム特性調査に向け，室内でのトレーサガス発色確認試験等の予備試験を実施するとともに，調査計画を策定した。

(1)ガス注入試験

ガス注入試験は，次の４つのステップから構成される。このうち、STEP2 のガス注入試験 1 の概要を表-2 に示す。

・STEP1：人工バリアシステム透水試験 1（WT1）
・STEP2：ガス注入試験 1（GI1～GI3b）
・STEP3：人工バリアシステム透水試験 2（WT2）
・STEP4：ガス注入試験 2（GI4）

表-2 STEP2 の概要

名称	注入速度 (mg/s)	試験期間 (日)	目標とするガス移行形態
GI1	0.025	35	・サイロ内へのガス移行 ・間隙水への溶解が卓越
GI2a	0.05	63	二相流状態でのガス移行
GI2b	0.1	41	
GI3a	1	69	二相流状態 ＋力学連成でのガス移行
GI3b	5	8	

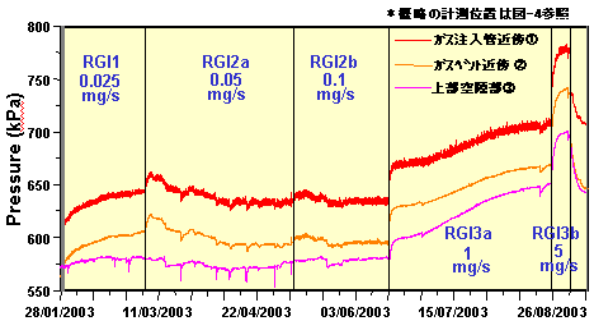


図-3　STEP2 での計測結果例（圧力応答）

図-3 に STEP2 でのガス注入に対する圧力応答の計測結果の一部を示す。この様な原位置ガス注入試験に関する一連のデータセットが得られた。

また、埋設計器の応答状況から、ガス移行の主要経路は、ガスベント部よりサイロ上界面からベントナイト系充填材層境を通り、周辺岩盤境境界から上部空洞へ到るものと推察された。(図-4)

さらに，WT1 と WT2 の結果比較より、ガス移行前後の透水特性に大きな差異は認められず，今回の試験条件の範囲では，ガス移行がベントナイト系充填材に悪影響を及ぼさないことが確認された。

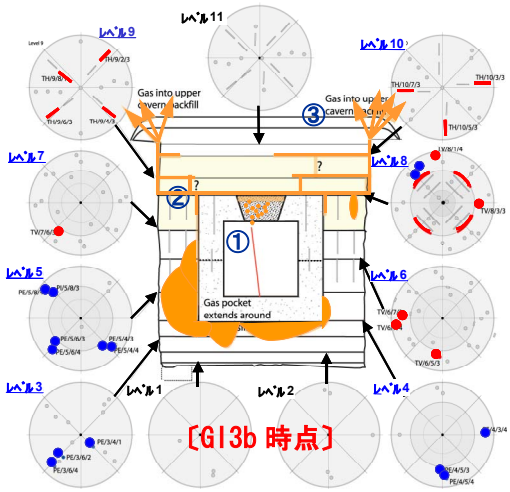


図-4　計測器の応答に基づくガス移行予想図

(2)ガス移行に関する解析検討

計測データ（間隙水圧など）に基づいた既存の 2 相流解析コードによるガス移行検討を進めた。注入速度の大きい GI3 でも、応力に応じた透過係数増加モデルを組み込むことで、ガスの移行挙動をシミュレートすることができた。(図-5)

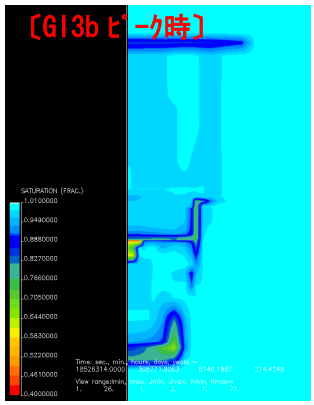


図-5　GETFLOWS による解析例（水相飽和率変化）

(3)特性調査に向けての室内試験

図-6 に H_2S 混合ガスによる発色状況を示す。原位置と同様の硝酸鉛を混入したベントナイト系充填材でのカラム試験でにより、ガス移行経路が発色することを確認した。加えて、掘削性状確認結果などを総合的に加味し、次年度の調査計画を策定した。

図-6　発色試験状況

【人工バリア長期性能確証試験】

１．事業の概要

超ウラン核種を含む放射性廃棄物（以下、ＴＲＵ廃棄物）の地層処分における人工バリアシステムには、セメント系材料とベントナイト系材料が併用される予定である。これらの人工バリア材料は、地下水及び各バリア材料から浸出する成分との相互作用等により長期的に変質し、バリア性能へ影響を及ぼす可能性が懸念されている。

本調査は、ＴＲＵ廃棄物処分施設におけるセメント及びベントナイト系人工バリアの長期性能に関して、処分場閉鎖後の長期間に渡る人工バリアの地球化学的変化の時空間的挙動を評価することにより、従来実施されてきた比較的保守的な評価の見直しを行い、信頼性向上の観点から時間経過に対応したより現実に近い人工バリアの長期性能の評価を試み、人工バリアシステムの合理化に資することを目的としている。

本調査は平成 14 年度から開始し、初年度は、人工バリアの変質並びにそれに伴うバリア性能への影響に関する既往の知見の調査、調査結果に基づく変質シナリオの整理、既往の知見をベースとした予備変質解析及び予備線量解析を感度解析的に実施し、人工バリアの長期挙動評価に関わる課題を抽出・分類した。（表-1）これらの課題に関して、解析及び試験によるデータ取得の両面（図-1）から長期挙動評価の信頼性を向上させるべく調査検討の全体計画を策定した。

平成 15 年度は、セメント系材料及びベントナイト系材料単独系における変質現象の確認試験、両者共存系での人工バリア相互影響確認試験、及び現時点において変質解析モデルにおいて考慮していない事象の影響検討を開始した。また、人工バリア変質に関する関係者間でのコンセンサス形成を目的とした既往の知見の電子情報化／変質シナリオの整理についても着手した。

２．平成 15 年度の成果

人工バリアの長期挙動評価の信頼性向上を目的として、設定した課題に基づきセメント系材料及びベントナイト系材料の変質に関わる試験及び解析的検討を実施した。

(1)セメント系材料の長期性能確証試験

現実的なセメント系材料として、フライアッシュセメントの変質モデルを構築するための浸漬溶解試験方法の具体化を行った。試験の対象試料としては、ガラス化率とフライアッシュの混合率が異なるフライアッシュセメントを選定・分析した。また、試験の液性は、イオン交換水、降水系模擬地下水及び海水系模擬地下水の３種類とした。

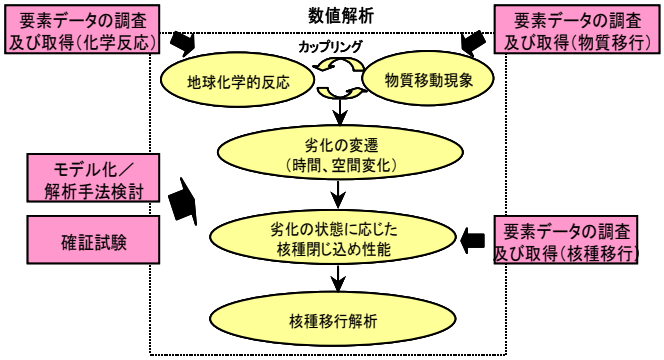


図-1　長期性能評価のアプローチ

表-1　人工バリア長期挙動評価における課題項目

課題の分類	セメント系材料の長期性能確証試験	ベントナイト系材料の長期性能確証試験
現象把握、モデル化	・骨材溶解・沈殿の影響 ・ひび割れ発生の影響	・混合する砂の影響
変質解析パラメータの信頼性 変質解析結果の妥当性検討	・CSAHの熱力学モデル ・セメント鉱物の溶解速度 ・セメント系材料の拡散係数、透水係数(評価式) ・セメント系材料の空隙構造の影響	・モンモリロナイトの熱力学データ ・2次鉱物の同定、選定 ・モンモリロナイト溶解反応の可逆性 ・モンモリロナイト溶解速度式の適用性
核種移行パラメータの信頼性	・変質したセメント系材料、ひび割れを有する系に対する核種移行パラメータ	・変質したベントナイト系材料に対する核種移行パラメータ
	人工バリア相互影響確証試験	
解析の妥当性確認	・ベントナイト系材料／セメント系材料の相互影響試験と解析結果との比較により妥当性を確認	
共通	上記課題に対する材料、温度、廃棄物含有成分、地下水組成影響	

従来の普通ポルトランドセメントの変質解析に用いられてきた変質モデルを用いてフライアッシュセメントの変質解析を行い、変質モデル構築における上記試験との比較の際の着目点を抽出した。

セメント系材料の長期性能の評価において無視することができない、ひび割れの影響に関して、ひび割れ近傍における変質挙動を確認するための試験条件を検討（図-2）し、ひび割れ幅及び浸漬溶液の水質をパラメータとしたひび割れ部の変質挙動評価試験、ならびに変質の進展に対応したセメント系材料の物質移行パラメータの取得（透水係数、拡散係数）を開始した。

(2)ベントナイト系材料の長期性能確証試験

ベントナイト系材料の主成分鉱物であるモンモリロナイトに対してアルカリ環境中での溶解・沈殿挙動を把握し、現状の変質解析モデルの妥当性を検討することを目的として、アルカリ環境において変質し生成したアナルサイムが、長期的な pH 変化に伴い再度モンモリロナイトに変化するかを確認するための試験（図-3）、海水系地下水環境におけるモンモリロナイトの安定性確認試験及びモンモリロナイトの溶解挙動へ及ぼす随伴鉱物の影響確認試験を開始した。また、ベントナイトが変質して生成する C-S-H ゲル等の定量分析技術として重液分離を用いた手法（図-4）の見通しを得た。

(3)人工バリア相互影響確証試験

人工バリアシステムに対する地球化学変質解析の信頼性を向上させることを目的として、極力現実的な施工条件に近い条件でのセメント系材料とベントナイト系材料の接触による界面近傍での変質現象の進展を観察するために予備変質解析を行い試験体系を構築した。

(4)長期性能評価手法の妥当性に関する検討

実処分環境に対する現状の地球化学変質解析の妥当性検討を目的に、セメント系人工バリア材に含有する骨材の影響、ベントナイト系材料の鉱物溶解に伴う変形の影響（図-5）等、現状の地化学モデルに組み込まれていない事象に対する、長期に渡る人工バリア全体の変質挙動への影響を検討した。

(5)人工バリアの変質に関わる知見の電子情報化

昨年度に引き続き、人工バリアの変質に関わる知見に関して文献情報を分類・整理し、データベース化した。また、変質シナリオの検討に資することを目的とし、セメント系材料とベントナイト系材料の相互関連図を作成し、調査整理した電子情報（データベース）とのリンクにより、関係者間で共有可能なシステムの検討を行った。

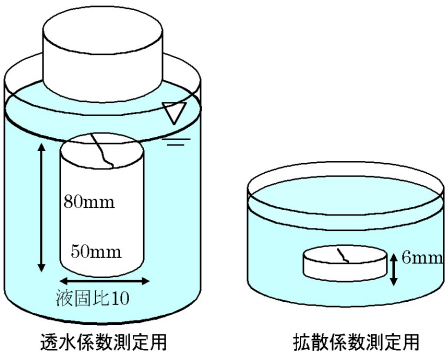


図-2　ひび割れ近傍の変質挙動核に試験概念図

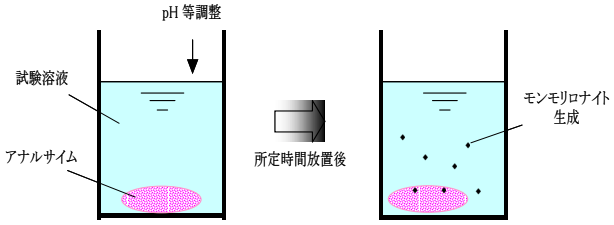


図-3　モンモリロナイト再生成の「確認試験概念図

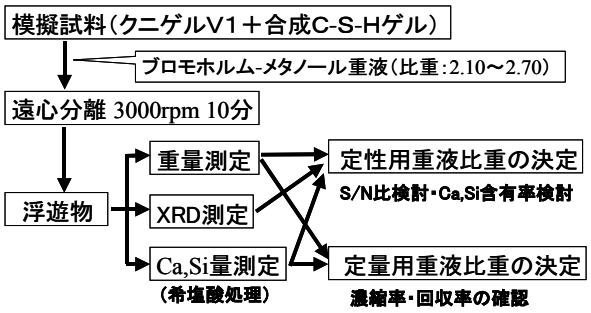


図-4　重液分離方法の検討フロー（C-S-H ゲル）

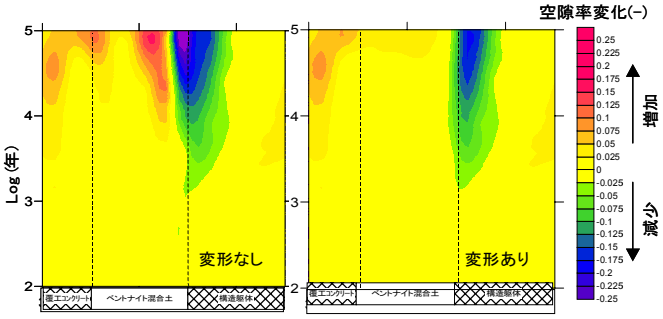


図-5　緩衝材の変形を考慮した場合の変質解析への影響（空隙率変化分布）

【ヨウ素固定化技術調査】

１．事業の概要

再処理施設の操業に伴い発生する廃銀吸着材に含有されるヨウ素 129（以下、I-129）は、半減期が 1,570 万年と非常に長く、また、人工バリアや岩盤等への収着性が低いため、地下水移行中での減衰は地下水流速等の地質環境条件の影響を受けやすいことから、超ウラン核種を含む放射性廃棄物（以下、ＴＲＵ廃棄物）の地層処分の安全評価において、被ばく線量に大きな影響を及ぼす[1)]。そこで本調査では、地層処分における被ばく線量の低減が可能であり、さらに長期性能評価において不確実性が小さく、経済性の観点からも有効なヨウ素固定化技術を開発し、我が国の幅広い地質環境条件に柔軟に対応することのできる処分技術を提言することを目標としている。

ここでは、以下に示すステップにより開発を行っている。

①固定化技術の調査ならびに開発計画の策定

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

②固定化技術高度化試験

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

本調査では、これまでにＴＲＵ廃棄物処分概念検討書[1)]において廃銀吸着材の処分方法として想定されている汎用セメントによる固定化以外のヨウ素固定化技術の調査を行い、固定化技術及び必要となる前処理技術、並びに固化体の長期性能の検討状況を調査した。さらに、開発課題とその解決手法を整理し、岩石固化技術、AgI ガラス固化技術、BPI ガラス固化技術、アパタイト固化技術、セメント固化技術、難溶性鉱物化技術（ソーダライト化技術、鉛アパタイト化技術）の６種類のヨウ素固定化技術に対する開発計画を策定した。

策定した開発計画に基づき、前処理技術、固定化技術について、固化体組成及び温度、圧力、時間等の固定化処理条件の最適化を行い、すべての固定化技術について実験室規模での固化体の製作を行った。

さらに、製作した固化体について、ヨウ素保持に関する長期性能を評価するために、固化体からのヨウ素放出挙動の解明及び固化体の長期安定性に関する試験・検討するための開発課題についてまとめ、試験を開始した。

なお、本調査は経済産業省の委託により実施したものである。

２．平成 15 年度の成果

(1)固定化処理技術開発及び前処理技術開発

アパタイト固化技術に関し、固定化処理におけるヨウ素の収率を上げるための条件について検討を行った。その結果、吸着剤(CaAgA)中の Ag 交換率を 20%に、またアパタイトのコーティング回数を 3 回にすることで、これまでの７割程度の収率が９割以上とすることができることを確認した。岩石固定化技術について、これまでに確認したシリカゲルをベースとした廃銀吸着材の処理に対し、アルミナをベースとした廃銀吸着材に対しても固定化処理が可能であることを確認した。

また、前処理技術として、乾式による廃銀吸着材からのヨウ素の回収について試験を行った。水素ガスを用いた還元により、99%のヨウ素回収ができることを確認した。

(2)固化体の長期性能評価

ヨウ素放出に関する固化体の長期性能評価モデルを構築するために、固化体からのヨウ素放出挙動の解明及び固化体の長期安定性に関する試験・検討を行う。このため、地下処分環境下

で固化体に生起する事象を整理し、それを確認するための開発課題についてまとめ、課題を解決するための試験計画を策定し、試験を行った。

①岩石固化技術

H_2ガス及び溶存 Fe^{2+}は AgI の還元に必ずしも有効に働かない、180 日の浸漬試験結果より、固化体の 10μm 以深への溶液浸入とヨウ素の浸出は認められなかった。図-１に固化体断面のビデオマイクロによる観察結果を示す。また、流水環境下での浸漬試験による試験材表面の分析において、顕著な劣化はないことが確認された。

②AgI ガラス固化技術

降水系模擬地下水ではモルタルが共存した場合にはヨウ素浸出量が増加したが、ベントナイトが共存した場合には増加は見られなかった。しかし、いずれのケースでもヨウ素の拡散バリアとなる AgI 表面層の形成が確認された。さらに、加速手法を用いた長期浸出挙動評価により、実際に AgI ガラスの浸出挙動が調和溶解に達することを確認した。図-２に加速試験におけるガラス浸出挙動を示す。また、クラック発生評価において、断熱材の使用や徐冷することにより、鋳込み時のクラックを回避できることが確認された。

③BPI ガラス固化技術

ヨウ素浸出の pH の影響は、pH 値が大きくなると浸出量が増える傾向が見られた。還元鉄及び亜二チオン酸ナトリウムを還元剤として使用し、ヨウ素の浸出における還元剤の影響を評価した。還元鉄を使用した場合に、ヨウ素の規格化浸出量が 2 桁程度小さくなることを確認した。また、ひび割れによる表面積増加による線量への影響について感度解析を行い、影響は大きいことが確認された。

④アパタイト固化技術

アパタイトマトリクスの溶出速度試験を実施した結果、マトリクスの主成分である Ca の浸出量の積算値は約 1E-5g/cm^2であり、温度及び pH の影響は殆ど見られなかった。ゼオライト吸着材からの浸出によるヨウ素濃度は、浸漬初期から高い濃度で推移し、固相からの浸出率は約 25%であることが確認された。

⑤セメント固化技術

AFm では浸漬後 14 日程度でほぼ溶解平衡に達していると判断されたが、AFt では IO_3^-濃度が高い（0.1mol/L）の場合には、2 ヶ月浸漬後も液相濃度が変化していることが確認された。さらに、水和物の劣化に伴ってヨウ素の分配係数が低下すること、鉱物混合比の変化に伴って分配係数が変化し、この範囲で加成性が成立する可能性が確認された。また、ヨウ素酸の安定性試験を実施し、環境は浸漬液の pH－Eh は I^-安定領域にあっても、IO_3^-が安定に存在しうることが確認された。

⑥難溶性鉱物化技術

天然ソーダライトの溶解試験を溶液の pH をパラメータとして行い、溶解挙動について検討した結果、弱酸性領域である pH 9 程度では Si や Al を含む鉱物が一旦溶解した後、二次鉱物を生成して沈殿している可能性が示唆された。また、鉛アパタイトの広い pH 範囲での短期溶解試験を行い、pH の低い酸性溶液ではマトリクスそのものの溶解が支配的であり、pH の高いアルカリ溶液の場合イオン交換反応が支配的ではないかと示唆された。

図-1　岩石固化体断面

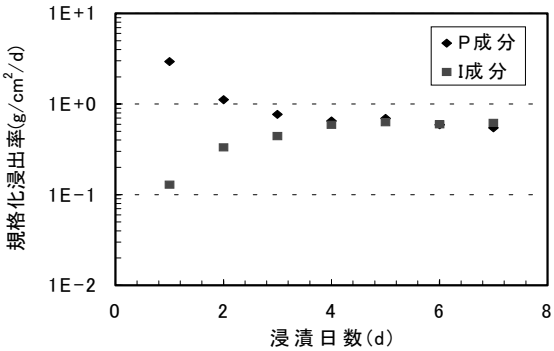


図-2　加速試験におけるガラス浸出挙動

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

【廃棄体開発調査】

1．事業概要

再処理施設や MOX 燃料加工施設から発生する超ウラン核種を含む放射性廃棄物（以下 TRU 廃棄物）のうち、α核種の濃度が一応の区分目安値を超え、浅地中処分以外の地下埋設処分が適切と考えられる廃棄物は、安定な地層中に処分する方針のもとに検討が行われている。本調査は、TRU 廃棄物の処分用廃棄体に関して、平成 10 年度に実施された「地層処分経済性向上調査：地層処分システム開発調査－廃棄体の開発－」において、公募に応じて提案された開発テーマを審査し、選定されたテーマについて実用化に向けての開発試験を実施するものである。

TRU 廃棄物処分用の廃棄体について求められる要件、機能を整理し、①安全性向上の観点から長期の核種閉じ込めを行うことで被ばく線量を低減し、処分の安全性向上を目標とする廃棄体と、②経済性向上の観点からハンドリング性、処分効率（経済性）の向上を目標とする廃棄体を開発することとし、図-1 に示す 5 つの廃棄体概念及びその開発計画を選定した。ここで、長期の核種閉じ込めについては、性能評価上の重要核種であり、人工バリアおよび地質媒体への収着による線量の低減が望めない C-14 について、その初期濃度が約 1/1000 に減衰する 6 万年を目標とした。また、地層処分システム性能の高度化、仕様の合理化、ハンドリングの効率化等を目標とする廃棄体については、TRU 廃棄物処分のオプションを用意することで、地層処分システムの性能・経済性の向上を図るものとした。

平成 15 年度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、金属容器各 1 体（図-1　廃棄体(2)および廃棄体(5)）、ならびに、新たな課題として高透気モルタルの開発を行うコンクリート容器（図-1　廃棄体(1)）について検討した。

なお、本調査は経済産業省の委託により実施するものである。

2．平成 15 年度の成果

廃棄体(1)は、ガス抜き特性に優れた充填モルタルと、経済性・定置効率に優れた鉄筋コンクリート容器を採用した概念である。これまでの検討で、容器内が地下水で満たされた（飽和に達した）後

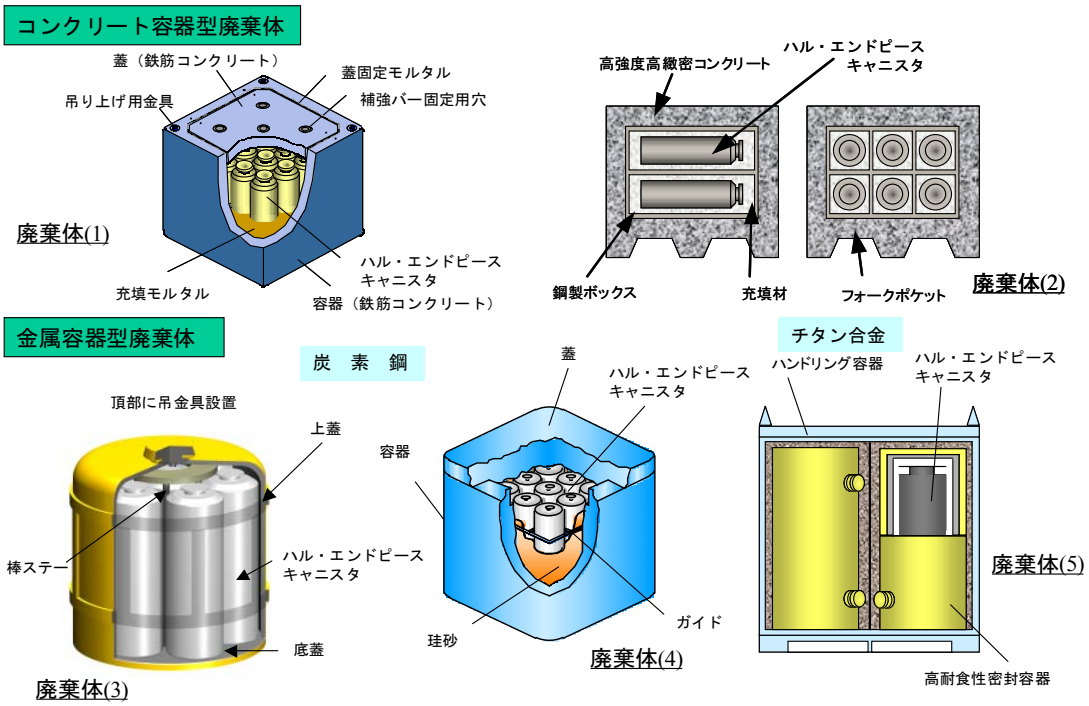


図-1　各廃棄体の概念図

にも透気性を満足するモルタルを開発した。平成15年度は残された課題であった、高透気モルタルの上下方向の物性値のバラツキの低減に取り組んだ。高透気モルタルの物性のばらつきを低減するためには、打設時の粘性および流動性を制御することが必要であるため、モルタルフローを管理することとした。また、硬化時の透気性の保持に必要な空隙量制御は、打設時の気泡量を厳密に制御することによって行うこととした。その結果、図-2に示すように、ばらつきが小さく、欠陥部のないモルタルの打設が可能であることが示された。

廃棄体(2)は、高強度高緻密コンクリートを用いた一体成型により、打継ぎ欠陥部を排除する長期閉じ込め（6万年）概念である。平成15年度は、硬化促進連続打設法(図-3)によって、ひび割れ等のない廃棄体の作製が可能であることを確認した。また、製作時のひび割れ防止策として、常温養生ならびに内部緩衝材の効果について検討し、何れもひび割れの防止に有効であることを確認した。また、硬化時のひび割れ発生予測手法である硬化時温度応力評価解析コードを整備した。

高強度高緻密コンクリートの長期閉じ込め期間を、廃棄体内部の廃棄物容器表面まで地下水が到達するまでの期間と考え、図-4のように水浸透及び化学劣化による減肉を評価するため、水浸透挙動ならびに化学劣化挙動を継続して検討した。水浸透挙動評価試験では、試験期間（12ヶ月）において水圧10MPaの水中に浸漬しても水浸透が認められないことを確認した。また、高強度高緻密コンクリートの透水挙動について、パーコレーションモデルを応用したモデルの適用を試み、これまでにCIP法によって取得した透水係数（4×10^{-19}m/s）が保守的な値であることを示した。化学劣化評価試験では、試験期間（12ヶ月）において、エトリンガイトの生成に伴う破壊が起こらないことを確認し、これまでの解析評価結果の保守性を確認した。

これらの結果に加え、地下水へのコンクリート成分の溶脱および、化学劣化による減肉による水浸透の加速を加味した、水浸透・化学劣化解析により、閉じ込め性を評価した。その結果、6万年間での化学劣化による減肉は約4cm、廃棄体表面からの水浸透距離は14cmと評価された（図-5）。廃棄体(2)の高強度高緻密コンクリートの肉厚は20cmと設定しており、６万年間の閉じ込めが可能である

図-2　バラツキの小さい高透気モルタル

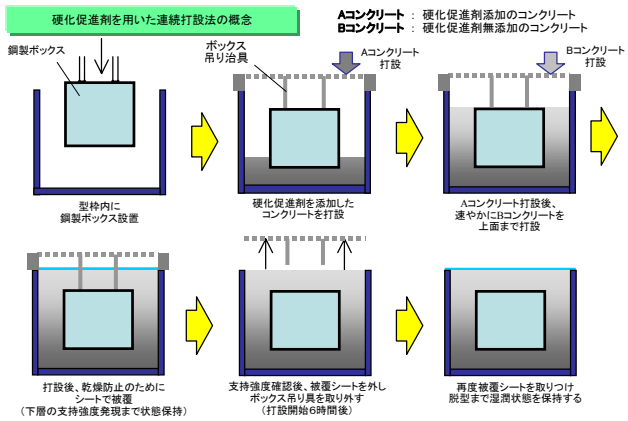


図-3　硬化促進連続打設法の概念図

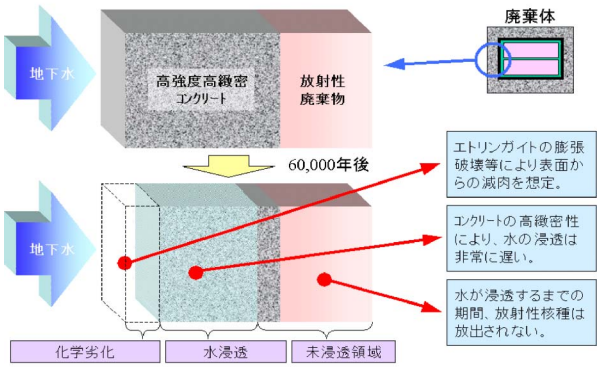


図-4　高強度高緻密コンクリートの化学劣化モデル

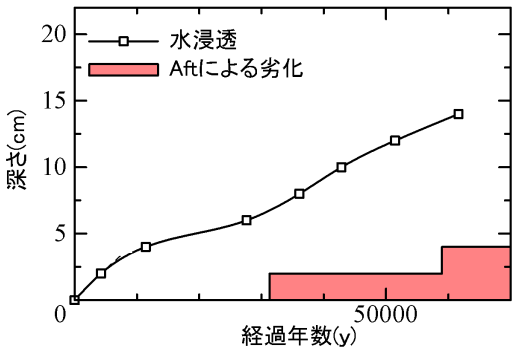


図-5　水浸透・化学劣化解析の結果

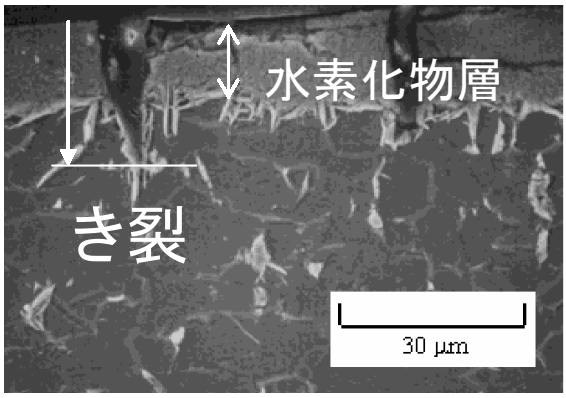


図-6　チタン合金の水素吸収特性試験結果

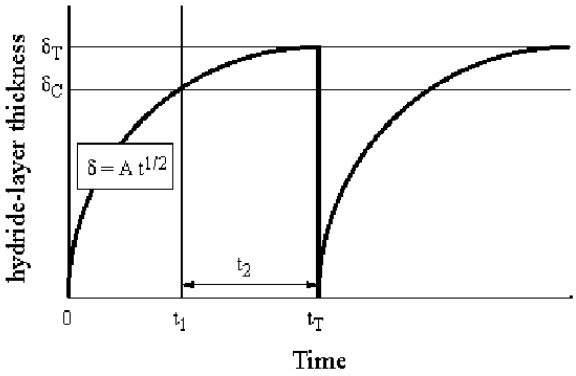


図-7　水素化物層および亀裂進展モデル模式図

ことが示された。

廃棄体(5)は、ハンドリング容器と密封容器で機能分担し、さらに密封容器は、耐食層（チタン）と強度層（炭素鋼）とで部材別に機能を分担するチタン－炭素鋼複合容器を採用した概念である。平成15年度は、長期健全性の担保のための要素試験を継続して行った。

長期健全性を担保するには、脱不動態化感受性、すきま腐食感受性、水素吸収に起因する応力腐食割れ（以下SCCとする）のおのおのについて安全性を示す必要がある。

脱不働態化感受性およびすきま腐食感受性については、それぞれ動電位分極曲線および再不働態化電位の測定結果から、TRU廃棄物処分において想定される化学環境での安全性を確認した。また、水素吸収に起因するSCCに関しては、水素吸収特性試験の結果(図-6)をもとに、拡散支配モデルおよび応力腐食割れ進展モデルを用いて、水素化物層および亀裂の進展をモデル化（図-7）し、解析評価を行った。その結果、保守側の評価を行ったにもかかわらず、極低電流密度においては6万年間で成長する亀裂は数μmという結果を得た。

【ＴＲＵ廃棄物処分に関する研究】

①硝酸塩による TRU 廃棄物処分の核種移行への影響評価

TRU 核種を含む放射性廃棄物（以下、TRU 廃棄物という）のうち、硝酸塩を含有する廃棄物の処分に関し、人工バリアの長期変質へ及ぼす硝酸塩の影響の解析的検討等を行い、核種移行パラメータに対する硝酸塩の影響について整理した。整理結果をもとに、余裕深度処分並びに地層処分に対する線量評価及び環境影響評価を実施し、硝酸塩含有廃棄物の処分の成立性の検討を行った。

②TRU 廃棄物処分の安全対策に関する検討

TRU 廃棄物は、含有される放射性物質濃度が広範囲に分布しており、その濃度に応じて余裕深度処分、地層処分することが合理的であると考えられていることから、各処分相互の整合性を図る必要がある。

このため、高レベル放射性廃棄物処分及び余裕深度処分の安全評価シナリオとの整合性を図ることを目的に、TRU 廃棄物の処分場に生起する可能性のある個々の事象を体系的に整理した。更に既往の評価事例を参考にしつつ、処分形態間の整合性、シナリオの代表性、包括性等を検討し、TRU 廃棄物処分の評価シナリオとして考慮すべきシナリオを整理した。

③TRU 廃棄物処分場地下施設設計・建設・操業技術に関する検討

TRU 廃棄物の処分費用に大きく影響を及ぼす地下施設の建設・操業・閉鎖技術については、不確実な要素を多く含むことから、高い信頼性を有する技術の構築が要求される。

この一環として､TRU 廃棄物処分概念検討書、Ｌ１廃棄物及び高レベル放射性廃棄物処分に関する最新の研究成果・知見の収集を実施した。また、調査で得られた知見について、それぞれの廃棄物の特性、想定される地質構造、操業形態、人工バリア構成等を踏まえ、各廃棄物処分間の適用技術の共通性、技術課題や設計の考え方を整理した。

④合理的な TRU 廃棄物処分概念の構築に関する検討

我が国の幅広い地質環境条件に対して対応可能な合理性、柔軟性の高い TRU 廃棄物処分概念の構築に資する知見の拡充を目的に、海外における放射性廃棄物の地層処分の安全確保の考え方、安全評価方法等について最新の情報を収集した。

3．放射性廃棄物全般に共通する調査研究

【総合情報調査】

1．事業の概要

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

2．平成 15 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ちょく、研究開発、立地選定、社会的要求事項に係る検討、処分技術評価、情報提供等の状況についての情報・データを収集し、原典、背景情報、主要文献の翻訳等から構成されるデータベースとして整備した。また、各国での資金確保制度の運用状況、アジアでの処分の検討状況とともに、高レベル放射性廃棄物以外の放射性廃棄物処分の検討状況に関する情報を収集し、同様にデータベースとして整備した。さらに、収集した処分技術関連情報・データを分析、評価することにより、今後の研究開発課題、社会的要求事項に係る技術的な実現度等の検討を実施するとともに、データベースの活用方法について検討した。

(1)処分技術関連情報・データの収集・蓄積

各国の高レベル放射性廃棄物等の情報の収集・蓄積に関しては、米国、ドイツ、フィンランド、フランス、スウェーデン、スイス、スペイン、ベルギーの主要国の処分実施主体等から、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し、特に、韓国での使用済燃料の中間貯蔵及び低中レベル放射性廃棄物処分のサイトの候補地選定について、蔚島（ウィド）のサイト選定の経緯、新規サイトの選定の手続きなどを取りまとめた。

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を調査するとともに、スイスの Nagra が公表したオパリナス・クレイでの処分の安全評価、フランスの ANDRA が公表した粘土層での処分の安全評価に関する情報を整備するとともに、接近シナリオ、低頻度シナリオの考え方、評価方法を調査し、分析を行った。

地層処分関連技術として地層処分代替技術である長寿命核種の分離変換技術、長期貯蔵に関する最新の検討状況を調査するとともに、関連する技術情報を収集し、データの整備を行った。また、高レベル放射性廃棄物処分事業の評価に関して、フランスの国家評価委員会（CNE）米国の放射性廃棄物技術審査委員会（NWTRB）等での評価体制、評価事例を調査して、主要な評価報告書をデータベースに整備した。

海外法制度に関しては、高レベル放射性廃棄物、低レベル放射性廃棄物の処分の法令、基準・指針等をデータベースに整備しているが、低レベル放射性廃棄物処分に関しては、フランス、ドイツ、スイス、米国を中心とした体系的な法制度の調査を実施している。

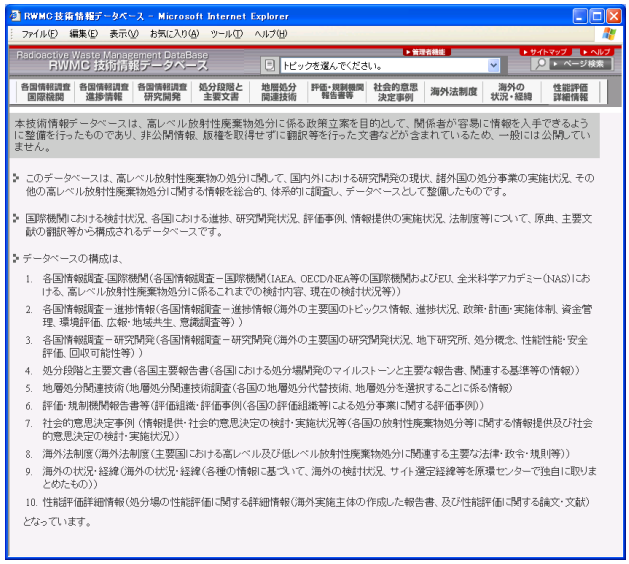


図-1　整備したデータベースの初期画面（海外機関との情報交換協定等により限定的な利用形態を取っている）

原環センターのホームページにおいては、諸外国の高レベル放射性廃棄物処分を中心とした情報について、最新の動きを『速報』として掲載した。また、米国、フィンランド、スウェー

デン、ドイツ、スイス、フランス、カナダ、英国及びスペインの９ヶ国については、処分の進捗、法制度、資金、研究開発等の最新の状況を取りまとめて掲載した。

図-2　ホームページでの『速報』

国際原子力機関（IAEA）が整備している放射性廃棄物データベース（NEWMDB）については、国内の放射性廃棄物管理の状況を収集し、データの登録を行うための準備作業を実施した。

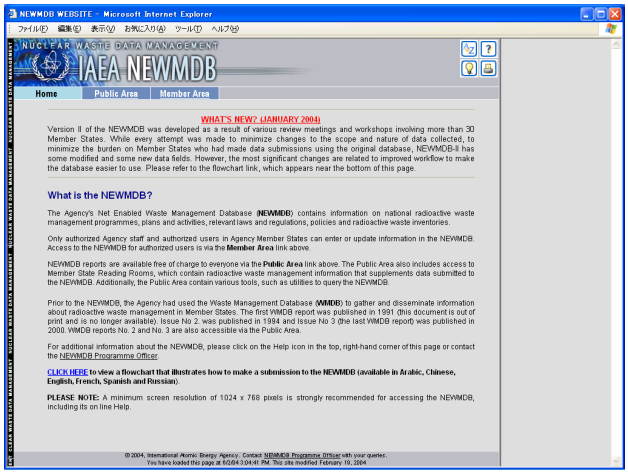


図-3　NEWMDB の初期画面
© 2004, International Atomic Energy Agency

携帯用技術情報冊子の整備としては、国内外の放射性廃棄物処分の最新の状況、主要な報告書の内容を含めた平成 16 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、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った。

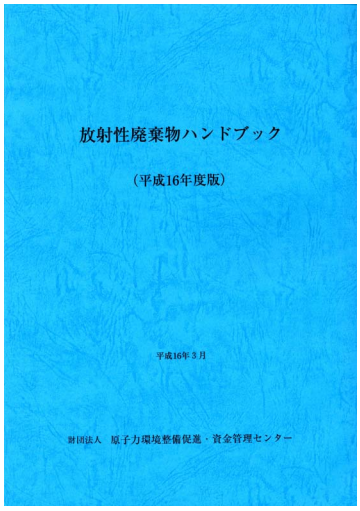


図-4　放射性廃棄物ハンドブック
（賛助会員などに配布）

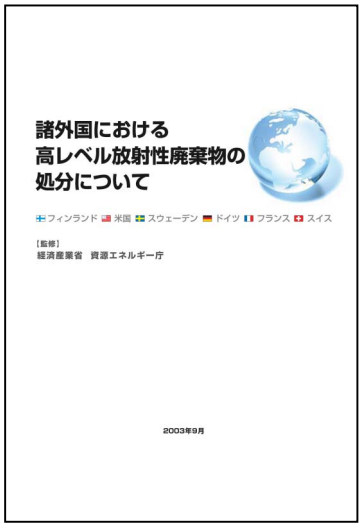


図-5　『諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について』

(2) 処分技術関連情報・データの活用等に関する検討

今後必要となる技術的な開発事項を摘出するため、スイス、米国での設計、安全評価に関して収集した情報・データの分析を行うとともに、スウェーデン、フィンランド、スイスの研究レポートから基礎基盤的な研究の抽出を行った。

【技術情報広報調査】

１．事業の概要

高レベル放射性廃棄物地層処分事業の円滑な推進を図るためには、住民、地元自治体等の関係者の事業や計画に対する理解を得たうえでの意思決定が必要条件となる。価値観が多様化している近年の状況では、事業推進に向けた意思決定を図ることが困難な場面が近年の事業（ダムや道路整備事業など）において見受けられる。このような背景のもと、今後の処分事業の推進においては、透明な情報公開のもと、客観性の高い意思決定プロセスを構築することが強く望まれる。

本研究調査は、経済産業省の委託により実施するものであり、処分事業への適用を念頭において、情報伝達、認知、計画決定等の意思決定プロセスに必要となる様々な影響因子（プロセス）を抽出し、それぞれの課題についての研究調査を実施することにより、処分事業に即した意思決定プロセスの構築方法の検討を行い、これらが当該事業の円滑な推進に資することを目的としている。

２．平成 15 年度の成果

上述した事業概要に示すように、本事業が扱うテーマは広範で、幅広い学術分野を網羅するものであるため、研究調査作業を大きく次の２つに分類して実施している。

①基礎研究の実施：放射性廃棄物地層処分事業という社会的意思決定の問題を、幅広く長期的な視点で捉え、問題の本質を解き明かすことを目的とした基礎的な研究として位置付けた研究調査。

②事業推進に資するために、早急に行う必要があると想定される作業の実施：放射性廃棄物地層処分事業が現在直面している状況を念頭に置き、事業推進に資するために早急に行う必要があるものと位置付けた研究調査。

(1)基礎研究の実施

本事業での基礎研究のイメージとして図-1 のような研究領域を念頭に置き、それぞれの研究領域を次のように設定した。

①研究領域 1：個人の意思決定要因、決定プロセスを明らかにする研究領域

②研究領域 2：集団による意思決定プロセスを明らかにする研究領域

③研究領域 3：決定意思の表面化のためのテクニックに関する研究領域

④研究領域 4：社会的合理性に対する理解を深めるための方法を模索する研究領域

⑤研究領域 5：上記の各研究をサポートする或いはテクニック検証のための技術開発に関する研究領域

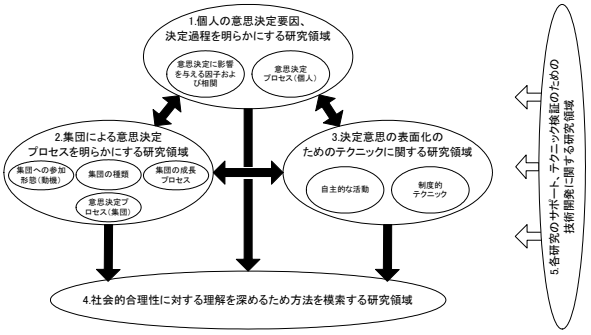


図-1　研究領域の分類と相関

具体的作業としては、本年度が事業の初年度であることから、上記の研究領域から実施すべき研究調査テーマの抽出を目的として、国内の社会科学関連分野での有識者との意見交換や国内外の先行的研究開発動向調査を行い、具体的には表-1 に示す意見や情報を収集した。

表-1　意見交換等による収集情報

指摘事項	指摘事項の意図すること
ＨＬＷ処分事業への住民参加型意思決定プロセス構築の必要性（PI 手法）	・信頼感・透明性の醸成に資する。 ・PI の本音は賛成意見を表に出すこと。 ・自治体応募前に、住民を何らかの形で議論に巻き込むことで、リスク認知が軽減される。 ・自治体応募後の住民投票でない形での合意形成の場の提供。 ・複数の自治体の応募があった場合に相互調整するための「国レベル」での PI の運営が必要
第３者の必要性	・PI 等でのファシリテータとしての第３者をどの様に準備するか。
実感できるベネフィットの提示の必要性	・ベネフィットが認知されていない可能性有り。 ・具体的にイメージできるオプションを示さないかぎり、一般市民は独自には考えない（地域の明るい未来につながる地域振興ビジョンの提示）。 ・リスクとベネフィットのトレードオフといっても、ベネフィットには多様な価値観が混在するため、皆が納得するものを見いだすのは難しい。
新たなシステムの導入	・自治体内部での初期段階における意思決定支援システムの導入 ・住民などの理解を手助けするシステムの導入 ・日本の専門家は説明が下手である。 ・応募発案者のリスク（首長、議員の政治リスクなど）軽減システムの導入：高知県の例。 ・長い目で地域リーダーを育てるシステム ・教育や考えるためのきっかけ作りが重要

表-1　意見交換等による収集情報（続き）

指摘事項	指摘事項の意図すること
新たな説明手法の開発の必要性	・デジタルシミュレーション（ベネフィットの提示：地域振興ビジョン）等による具体像の提示により、市民からのより具体的な意見を得ることができる。 ・安全性をどこまで理解して貰い、どこで納得して貰うかが重要。 ・住民に見せることが重要 ・操業時の安全評価（地下施設の安全性のみではなく、輸送システムまで含めた地上施設の安全性や、ヒューマンエラー対策まで示さないと不十分） ・シミュレーションゲームやバーチャルリアリティシステムによる合意形成促進効果
新たな研究テーマ	・専門家間での意見の不一致が住民に与える影響 ・地方における政策決定のロジックを研究 ・自治体へのインタビュー、容器リサイクル法の制定過程、PI の若手研究者へのコンタクト等 ・原子力施設立地地域の意識調査（低レベル廃棄物処分場や他の原子力関係施設の事例など） ・原子力分野における今後の人材確保の問題（長期事業を維持する後継者）

表-1 に示す収集情報を踏まえて、国内外の先行的研究開発動向調査から、基礎研究調査手法の１つとして「メンタルモデル・アプローチ（価値構造化理論）」を抽出し、研究調査計画への反映について検討を行った。なお、メンタルモデル・アプローチとは、専門家と市民とのミスコミュニケーションの原因として、両者の価値構造の違いに着目したもので、本手法は両者の価値構造をモデル化を行い、比較することで、ミスコミュニケーションの原因を抽出し、改善すべき点を見出すアプローチである。本アプローチによる研究調査は前述した研究領域１に属するものと位置付けており、次年度より本アプローチによる研究調査を予定している。

また、国内外の先行的研究開発動向調査の一環として調査を行ったハーバート・インハーバー氏の研究（NIMBY 問題の解決に関する研究）については、HLW 処分事業を広く理解してもらうための一助として位置付け、同氏による国内での講演会を開催し、講演会参加者への直接的な情報提供のみならず、原子力産業新聞の記事掲載により、講演会参加者以外にも幅広い情報提供を行った。

(2)事業推進に資するために、早急に行う必要があると想定される作業の実施

標記目的に資する作業として、本年度は次の作業を実施した。

①効果的な説明方法の調査・検討

②地域レベルでの説明会、公聴会等の効果的な開催手法の調査・検討

効果的な説明方法の調査・検討では、HLW 処分事業に関する既提供情報における問題点の抽出を目的として、各種シンポジウムに参加しての情報収集を行うとともに、大学所属の有識者等に協力を頂き、既提供情報の有効性を検討するためのミーティング（模擬的な説明会）を実施した。ミーティングは、処分事業に対する社会的、科学的な様々な情報を、関係者に正確かつ効率的に伝えるために、これらの情報をどの様に説明することが有効であるかについて検討しておくことが重要との主旨のもとで開催され、資源工学、土木・都市／環境工学、原子力、情報、医学といった自然科学系から経済、文学、社会科学といった幅広い専門分野で活躍されている有識者に参加頂いた。これらのミーティングにより、例えば「HLW がどれほど危険なものであるかを最初に示して、より安全な処分方法が必要というロジックが必要」、「安全性の指標としては線量のみではなく化学物質としての毒性の影響も提示すべき」等々、様々なご意見を得て、より効果的な技術情報の提供に資するための検討を行うことができた。

地域レベルでの説明会、公聴会等の効果的な開催手法の調査・検討においては、国が行うべき制度整備の観点から国内外での先行的・実践的な PI 手法（パブリック・インボルブメント）に着目し、効果的な場の提供方法の在り方についての調査を実施した。調査対象事例としては、他事業での制度整備先行事例や PI 手法の適用事例として 20 事例を抽出し、参照可能な事例情報としての整備を目的とした概要調査を行った。特に国内事例においては、近年 PI 手法の適用が主流となりつつある、都市開発事業や土木関連事業の事例を多く含んでいる。

図-2　ハーバート・インハーバー氏による講演

４．安全基準に関する調査研究

【放射性廃棄物地層処分の安全基準等に関する調査】

１．事業の概要

本調査は、高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全確保に関する考え方や安全基準等について、諸外国の地層処分の安全確保の考え方、安全基準・指針、背景情報並びに実施機関における取り組み状況を含めた現在の動向等について調査及び検討を行い、我が国の取るべき方策などについて検討を行う。また、高レベル放射性廃棄物処分に関する研究の方向性について整理し、研究の推進に向けた必要研究テーマの整理等を行う。なお、本調査は、内閣府原子力安全委員会の委託により実施したものである。

２．平成 15 年度の成果

(1)放射性廃棄物地層処分の安全基準等に関する調査

放射性廃棄物地層処分の安全基準等に関する調査として、評価モデル及びパラメータの設定における不確実性の取り扱いの検討、人間侵入に関する影響の把握、段階的処分の３項目について調査を行った。調査内容を以下に示す。

ａ．評価モデル及びパラメータの設定における不確実性の取り扱いの検討

米国、スイス、フランス等について最新の安全評価レポートを対象として、不確実性の取り扱い方法、確率論的安全評価等について、具体的な内容について調査・検討した。

米国では、性能評価において発生確率を考慮した線量評価が求められており、ユッカマウンテンのトータルシステム性能評価（TSPA）においては個人に対する期待年線量を定量的に評価したものとして、結果には発生確率が加重されたものとなっている。また、評価でのパラメータの不確実性について、モンテカルロ法が各々のシナリオに独立に適用され、各シナリオの確率に基づいて結果が統合されている[1)]。

スイスでは、モデル計算に不確実性が存在することは不可避であり、予測対象がより将来に及ぶほど不確実性は大きくなることが認識されており、時間の経過と共にどのようなプロセス及び事象が処分場に影響を及ぼし得るのかを示さなければならず、かつそれらから生じる可能性のある変化を導出しなければならないと規定されている。安全評価の実施においては、様々な特性及び現象の重要性を相対的に解析し、評価ケースを特定している。定義した安全機能に基づいて、予測される変化に係わる変動影響について決定論的な感度解析を実施し、補完的な確率論的な安全／感度解析も実施している[2)]。

フランスでは、包括的な安全性に関するアプローチに対し、超長期間の処分場に係る性能評価の期間を１万年までとし、１万年以上は不確実性を考慮して保守的な値を使用して評価することを推奨している。また、被ばくにつながり得る事象の確率を見積もることは不可能ではないが困難であると予想している。安全評価の実施においては、基本シナリオ及び代替シナリオを定義しており、各パラメータに対しては観測された現象論的な値、もしくは不確実性が大きな場合には保守的ではあるが合理的な値を選択している。また、様々な不確実性に対し、感度解析が、慎重かつ合理的な値を用いて、あまり保守的でない値、特に現象論的な値を用いた時に存在する裕度を示すために行われている[3)]。

ｂ．人間侵入に関する影響の把握

最新の安全評価レポート、処分場の設置に係る許認可申請書等を対象として、人間侵入シナリオの詳細な評価方法、実際に使用されているデータ等について調査・検討した。

調査は、安全基準・指針等が整備されているか、安全評価で人間侵入を取り扱っている国として、ベルギー、フィンランド、フランス、スウェーデン、スイス、米国とした。

安全基準・指針等で求められている人間侵入の評価は、直接的な人間侵入の影響も考慮する国と、人間侵入が処分場に与える影響の評価が主体である国、及び不明確な国の３つ

に類型化された。

c．段階的処分

段階的処分を採用する場合において、米国やスイス等の規制上の許認可手順等の検討状況について調査・検討した。

米国の規制機関である原子力規制委員会（NRC）は、ユッカマウンテンでの規制制度を確立している。それによると、米国での建設以降の段階は、建設認可を受けてエネルギー省（DOE）が建設を行った後、操業段階に入るためには廃棄物を施設に受け入れて、所有するための許可が必要となっている。また、操業段階の終了は、処分の実施主体である DOE が実施する性能確認プログラムについて、NRC の審査が終了するまで閉鎖段階に移行できないこと、性能確認プログラムの期間は、回収可能性を維持することが求められており、その期間は廃棄物定置開始後の50年間とされている。

スイスの放射性廃棄物の処分概念に関する専門家グループ（EKRA）は、処分場の小規模な施設として、パイロット施設でのモニタリング、破壊検査、廃棄物の回収を備えた処分概念の提示を行った。図1に EKRA が提示したパイロット施設を含む処分概念を示す[4]。また、スイスでは新たな原子力法の制定が進められており、その中で段階的処分の取り込みがなされようとしている。

(2) 高レベル放射性廃棄物処分に関連する国内の研究実施状況調査

規制に係る研究の実施状況について、国内の実績について把握するための調査を実施した。

a．研究実施に係わる状況把握・整理

国内において実施されている高レベル放射性廃棄物処分の規制等に関する主な研究に関して、各機関で実施されている研究開発が安全基準・指針の策定に対して、どのように役立つかについての整理を行うため、研究の計画等の状況を把握・整理した。

具体的には、各機関の取り組み状況について把握・整理を行うのに必要な情報の収集のためアンケートを実施した。アンケート調査は、独立行政法人産業技術総合研究所、独立行政法人放射線医学総合研究所、日本原子力研究所、核燃料サイクル開発機構、財団法人電力中央研究所、財団法人産業創造研究所、財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターの7機関の協力のもとで実施し、現在研究を実施中の26件の事業案件についての回答を得た。

b．放射性廃棄物処分に関する研究の整理等

上記の内容からこれまでの実績、今後の展望等についてとりまとめ、高レベル放射性廃棄物処分に関する研究について全体像を整理した。特に、原子力安全委員会の調査審議に対する成果の反映に関しては、特定放射性廃棄物処分安全調査会での基本的考え方の検討、精密調査地区の環境要件、最終処分施設建設地の環境要件、安全審査基本指針／安全審査指針の検討に資する成果要素を整理した。

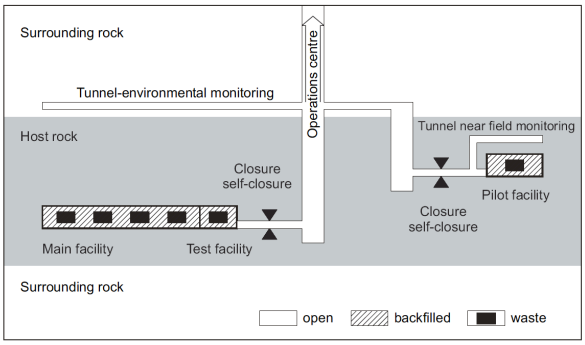


図-1　パイロット施設を含む処分概念図

1)DOE/OCRWM, “Yucca Mountain Science and Engineering Report, Technical Information Supporting Site Recommendation Consideration, Rev.1, DOE/RW-0539-1, Feb.2002

2)Nagra, “TECHNICAL REPORT 02-05, Project Opalinus Clay Report”, Dec.2002

3)ANDRA, “DOSSIER 2001 ARGILE”, Dec.2001

4)EKRA, “Disposal Concepts for Radioactive Waste: Final Report”, 2000

【安全規制及び安全基準に係る内外の動向調査】

１．事業の概要

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

(1)放射性廃棄物地層処分基準整備調査

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(平成 12 年）の第 20 条において、安全の確保のための規制については、別に法律で定めることとなっており、今後、安全規制の在り方を明確にした上で、法令整備等の法制度を早期に確立することが喫緊の課題である。また、平成 14 年 12 月に処分の実施主体である原子力発電環境整備機構が、高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募を開始したところであるが、現状、「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第１次報告)」(平成 12 年 11 月 6 日、原子力安全委員会）で示された考え方に基づけば、概要調査地区等の選定においては、安全規制当局の判断は行われず、精密調査地区（平成 20 年代前半）での調査の結果に基づいた事業許可申請における安全審査が最初の判断になることが規定されている。しかし、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分の立地選定においては、立地段階で安全規制当局の判断は行われないとする規制体系を取っている場合が見られるが、米国では、規制当局である原子力規制委員会（NRC）により、実施主体であるエネルギー省（DOE）のサイト特性調査活動に対するレビューの実施や、NRC と DOE との主要な技術的課題（KTI）の協議が行われ、スウェーデンでは、サイト選定を含めた研究開発・実証計画に対する規制当局である原子力発電検査機関（SKI）による審査など、安全性についての意見等が求められる場合も見られる。

本調査においては、高レベル放射性廃棄物処分に関して、①海外の安全規制制度を調査するとともに、②諸外国の基準・指針等の整備に係る最新動向を明確にすることにより、我が国における高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る今後の法制度の整備等の参考に資することを目的とする。

(2)返還廃棄物の輸入確認手法調査

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

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

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

2．平成 15 年度の成果

(1)放射性廃棄物地層処分基準整備調査

平成 15 年度は、高レベル放射性廃棄物処分に係る規制制度、法令等の検討に資するため、諸外国における高レベル放射性廃棄物処分の法体系、組織体制、処分事業の各段階における規制機関の関与等の安全規制制度を調査するとともに、整備されている法令、基準・指針等を調査した。

(a) 海外の処分の安全確保の基本的考え方・主要課題の調査

高レベル放射性廃棄物処分の計画が進められている主要な諸外国について、処分の安全性を確保するための基本的な考え方、安全性に関する主要な課題に係る検討状況・内容調査を実施し、以下の点を明らかにした。

①処分の安全性を確保するための基本的な考え方

②処分の各段階での規制機関の関与

③安全性に関する主要な課題に係る検討状況・内容調査

(b) 諸外国での基準・指針等での要求事項の調査

諸外国における高レベル放射性廃棄物処分に関して諸外国で整備されている法令、安全基準・指針等について、規制機関が要求している処分の各段階での設計、安全評価、各種検討等の内容を調査した。

(2)返還廃棄物の輸入確認手法調査

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

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

(a)返還廃棄物製造に係る品質管理等の調査・分析

(i)返還高レベル放射性廃棄物の製造管理及び品質管理

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

(ii)返還低レベル放射性廃棄物の製造管理及び品質管理

英国における返還低レベル放射性廃棄物の製造方法、品質管理、監査等の状況を整理した。

(b)返還廃棄物の輸入確認に係る調査・分析

再処理委託国（ベルギー）における放射性廃棄物の規制体制及び輸入確認手法の基本的な考え方、輸入確認の手順、受入の現状について関係機関を通じて調査し、これを整理した。

(c)我が国の返還廃棄物輸入確認手法の在り方の検討

返還高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の輸入確認に関して、諸外国の規制機関の係わり方として受入前の対応及び受入後の対応や、他の輸入事例（燃料加工、溶接物）などと比較整理し、我が国の確認手法の在り方について検討した。

５．国際交流

放射性廃棄物の処理処分は我が国のみならず世界各国共通の課題であり、協力して進めることが重要である。このため、当センターでは、各国の放射性廃棄物処分の実施主体や研究機関と制度、安全規制・基準、実施状況等に関する情報交換協定を締結して情報交換を行っている。また、IAEA等の国際機関の事業に協力するとともに、国の国際協力事業の一環として旧ソ連の科学者・技術者支援のプロジェクトに協力している。

(1)情報交換・研究協力を行っている海外機関

ベルギー／ベルギー原子力研究センター（SCK／CEN）
中国／核工業集団公司（CNNC）
台湾／（財）核能科技協進會（NuSTA）
フィンランド／ポシヴァ社（Posiva Oy）
フランス／放射性廃棄物管理機構（ANDRA）
ドイツ／廃棄物処分施設建設運営会社（DBE／DBE　Technology）
韓国／原子力研究所（KAERI）
ロシア／ロシア科学アカデミー（RAS）
スペイン／放射性廃棄物管理公社（ENRESA）
スウェーデン／核燃料･廃棄物管理会社(SKB)
スイス／国家放射性廃棄物管理共同組合（NAGRA）
米国／サンディア国立研究所（SNL）

(2)IAEA 放射性廃棄物データベース（NEWMDB）への協力

国際原子力機関（IAEA）は、1989 年から各国の放射性廃棄物に関する情報(放射性廃棄物の管理プログラムと体制、計画と活動状況、関係する法律と規制、政策、廃棄物のインベントリ)を収集している。

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

(3)国際科学技術センター（ISTC）*プロジェクトへの協力

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

＊ISTC は、政府間協定に基づく国際機関で、旧ソ連の大量破壊兵器科学者の軍民転換支援による流失防止、市場経済移行支援等を目的としており、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 最終処分国際研究センターへの協力

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 廃棄物の地下最終処分国際研修センター」協会(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。

（財）原子力環境整備促進・資金管理センターは、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、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ている。

この協会はすべての機関から独立しており、ITC は産業界、規制当局、大学、政府機関すべてから研修生を受け入れることとしている。協会の会員には、ITC 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、第一回総会を 2004 年 9 月に開催した。ITC には、平成 16 年 3 月末現在、13 カ国 45 機関、そのうち日本からは 16 機関が加入している。

６．資料

(1) 外部発表等

題　　目	著　　者	発 表 先
(学会発表等)		
TRU廃棄物の処分用廃棄体の開発	河原憲一、朝野英一、大和田仁	(社)火力原子力発電技術協会 平成15年度「火力原子力発電大会」（2003年10月15-16日）
TRU廃棄物処分向けチタン複合金属廃棄体容器候補材としてのTi-Pd合金のすきま腐食、および水素に起因する応力腐食割れ感受性評価	中山元、大和田仁、河原憲一、朝野英一	(社)腐食防食協会　第50回材料と環境討論会（2003年11月5-7日）
高レベル放射性廃棄物地層処分用オーバーパックの溶接・検査技術に関する研究　－TIG溶接及びUT－	朝野英一	(社)溶接学会　溶接冶金研究委員会（2003年8月20日）
高レベル放射性廃棄物地層処分用オーバーパックの遠隔溶接技術の開発(1)　－TIG溶接の適合性－	石井順、澤周補、朝野英一、河原憲一	(社)溶接学会　平成15年度秋季全国大会（大阪）（2003年10月7-9日）
高レベル放射性廃棄物地層処分用オーバーパックの遠隔溶接技術の開発(2)　－電子ビーム溶接の適合性－	鴨和彦、前田一人、朝野英一、河原憲一	(社)溶接学会　平成15年度秋季全国大会（大阪）（2003年10月7-9日）
高レベル放射性廃棄物地層処分用オーバーパックの溶接・検査技術に関する研究　－EBW及びUT－	朝野英一	(社)溶接学会　高エネルギービーム加工研究委員会（2004年2月12日）
高強度高緻密モルタルを用いた放射性廃棄物処分廃棄体の開発(3)　－硬化収縮によるひび割れ防止策の検討－	武井明彦、坂本浩幸	(社)土木学会「平成15年度全国大会第58回年次学術講演会」（2003年9月24-26日）
高強度高緻密モルタルを用いた放射性廃棄物処分廃棄体の開発(4)　－セメント水和による温度応力ひび割れ評価解析と検証試験－	川嵜 透、坂本浩幸	(社)土木学会「平成15年度全国大会第58回年次学術講演会」（2003年9月24-26日）
ベントナイトブロック寸法と製作性に関する実験的検討	増田良一、竹ヶ原竜大	(社)土木学会「平成15年度全国大会第58回年次学術講演会」（2003年9月24-26日）
ベントナイト･砂混合材料の力学試験及び力学的安定性検討	高尾 肇、竹ヶ原竜大､増田良一	(社)土木学会「平成15年度全国大会第58回年次学術講演会」（2003年9月24-26日）
ベントナイトの特性試験(その3)　－ベントナイトペレットの熱物性及び透水特性－	竹ヶ原竜大、増田良一	(社)土木学会「平成15年度全国大会第58回年次学術講演会」（2003年9月24-26日）
ガス移行挙動評価のための人工バリアシステムの飽和	安達哲也、安藤賢一､藤原 愛	(社)土木学会「平成15年度全国大会第58回年次学術講演会」（2003年9月24-26日）
鉄筋コンクリートを用いたTRU廃棄物処分廃棄体の開発(その2)　－高透気性充填モルタルの開発－	小室敏也、河原憲一	(社)土木学会「平成15年度全国大会第58回年次学術講演会」（2003年9月24-26日）
グリムゼル地下岩盤試験場における人工バリア・周辺岩盤のガス移行評価試験	山本修一､志村友行、安藤賢一､安達哲也、藤原愛	原子力学会第19回「ﾊﾞｯｸｴﾝﾄﾞ」夏期ｾﾐﾅｰ(2003年7月31日-8月1日)
オーバーパックの遠隔溶接・検査技術の開発(1)　－TIG及び電子ビーム溶接－	朝野英一、河原憲一	日本原子力学会「2003年秋の大会」（2003年9月24-26日）

題　　目	著　　者	発 表 先
TRU廃棄物廃棄体の開発(1)　－高強度高緻密コンクリートの長期耐久性評価－	大和田仁、 朝野英一、河原憲一	日本原子力学会「2003年秋の大会」（2003年9月24-26日）
TRU廃棄物廃棄体の開発(2)　－チタン合金の長期健全評価－	中山元、朝野英一、 河原憲一､大和田仁	日本原子力学会「2003年秋の大会」（2003年9月24-26日）
TRU廃棄物廃棄体の開発(3)　－高透気性充填モルタルの開発－	伊藤貴司、朝野英一、 河原憲一､大和田仁	日本原子力学会「2003年秋の大会」（2003年9月24-26日）
TRU廃棄物廃棄体の開発(4)　－光触媒による廃棄体容器内の放射性有機炭素の無機化－	中西智明、朝野英一、 河原憲一､大和田仁	日本原子力学会「2003年秋の大会」（2003年9月24-26日）
TRU廃棄物廃棄体の開発(5)　－円筒状廃棄体の定置システムの検討－	嶺達也、坪谷隆夫、 朝野英一､河原憲一、 大和田仁	日本原子力学会「2003年秋の大会」（2003年9月24-26日）
ヨウ素固定化技術開発(1)　－開発計画－	加藤修、金子昌章、 加藤博康、朝野英一	日本原子力学会「2003年秋の大会」（2003年9月24-26日）
ヨウ素固定化技術開発(2)　－模擬固化体の製作と長期性能の検討－	加藤博康、金子昌章、 加藤修、朝野英一	日本原子力学会「2003年秋の大会」（2003年9月24-26日）
覆土を通過する降雨浸透水量の測定例	斎田勇三、山下亮、 鈴木正人、今井淳	日本原子力学会「2003年秋の大会」（2003年9月24-26日）
キャピラリーバリア型覆土における砂の側方排水性	鈴木正人、永井誠二、 斎田勇三、山下亮	日本原子力学会「2003年秋の大会」（2003年9月24-26日）
弾性波の長距離伝搬を目指した高出力孔内震源開発（その２）　－小型試作器の性能試験と実証器の設計－	吉村公孝、 大久保秀一	物理探査学会｢第108回学術講演会」（2003年5月28-30日）
サイト選定における調査～評価の体系化　－ＩＴベースの調査システムフローの試構築－	安藤賢一、 安達哲也、吉村公孝	物理探査学会｢第108回学術講演会」（2003年5月28-30日）
地質環境調査支援ツールの開発	大久保秀一、 吉村公孝	物理探査学会｢第108回学術講演会」（2003年5月28-30日）
物理探査解釈技術を用いた高レベル放射性廃棄物地層処分における地質環境特性の把握	林　俊夫、 吉村公孝	物理探査学会｢第108回学術講演会」（2003年5月28-30日）
地層処分における海底電磁法機器の製作	吉田裕一、吉村公孝、 大久保秀一	物理探査学会｢第108回学術講演会」（2003/5/28-30）
地層処分における電磁法解析技術の開発（その２）	山根一修、吉村公孝、 大久保秀一	物理探査学会｢第108回学術講演会」（2003年5月28-30日）
地中無線通信技術の放射性廃棄物地層処分モニタリングへの適用性検討	吉村公彦、 杉山和稔	物理探査学会｢第109回学術講演会」（2003年10月14-16日）
ウラン廃棄物の処分に係る研究開発動向	佐々木朋三	㈱日本原子力情報センター （2003年9月12日）

題　　目	著　　者	発 表 先
Gas Migration test in Engineered Barriers-Saturation Phase	S.Vomvoris、藤原愛、安藤賢一、山本修一	The 10th Inter.High-Level Radioactive Waste Management Conference (2003年3月31-4月4日) (Las Vegas,USA)
Tough2/Though2 Modeling in support of the Gas Migration test(GMT) at the Grimsen Test Site	R.Senger、安藤賢一	Tough Symposium 2003 (2003年5月12-14日) (Switzerland)
Development of Fluorination Decontamination Technique for Uranium Bearing Wastes	藤原健一、佐々木朋三、斎田勇三	ICEM'03 (2003年9月21-25日)
Site Characterization using Rock Physics in High-Level radioactive waste geological disposal system	小西千里、吉村公彦、林俊夫	9th Formation Evaluation Symposium of Japan (2003年9月25-26日) (Japan)
The Solubility of Pu, Np and U Dioxides in Simulated Groundwater Solutions under Various Conditions	GEOKHI-Y.Kulyako、藤原愛、S.Perevalov、D.Malikov	9th International Conference on Chemistry and Migration Behavior of Actinides and Fission Products in the Geosphere (2003年9月21-26日) (Gyeongiu, Korea)
Modelling three phase hydro-mechanical coupling in porous media:application to a realscale experimen	S.Vomvoris、藤原愛、安藤賢一、山本修一	International conference on Coupled T-H-M-C Processes in Geosystems (2003年10月13-15日) (Stockholm,Sweden)
A Systematic Approach on Site Characterization Process for Securing Repository Safety	坪谷隆夫	International Symposium on Radoactive Waste Management 2003 (2003年11月2-3日) (Seoul)
Robust Record Preservation System on Geological Disposal	大内　仁	Consultants Meeting on Transfer of Information Relevant to the Safety of Radioactive Waste Disposal Facilities for Future Generations(IAEA) (2004年2月16日)
「REMOTE HANDLING OPERATION TECHNIQUE FOR HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTE REPOSITORY - INVESTIGATION AND PERFORMANCE TEST FOR SEVERAL DIFFERENT EMPLACEMENT CONCEPTS-」	朝野英一、増田良一、吉田健、岩田裕美子	Waste Management Symposium 04 (2004年2月29～3月4日) (Tucson,USA)
Current Status of SF/HLW Management	田辺博三	International Science and Technology Forum on Protected Plutonium Utilization for Peace and Sustainable Prosperity (2004年3月2日) (Japan)

題　　目	著　　者	投 稿 先
（論文投稿）		
米国の計画、フィンランドの計画	稲垣裕亮、田辺博三	月刊「エネルギーレビュー」2003年5月号　特集「動き出した高レベル廃棄物処分の事業化」
Basic Strategies for Radioactive Waste Disposal in Japan	田辺博三、坪谷隆夫、稲垣裕亮、倉田充之	International Symposium on Radiation Safety Management （2003年11月5-7日）(Daejeon.Korea)
The Solubility of Pu(IV) Hydroxide and Pu Dioxide in Simulated Ground water Solutions(SGW) under Various Conditions	GEOKHI-B.Myasoedov、Y.Kulyako、D.Malikov、T.Torimov、藤原愛	PLUTONIUM FUTURES-THE SCIENCE, Third Topical Conference on Plutonium and Actinides (2003年7月6-10日)(Albuquerque,USA)
フランス放射性廃棄物管理機関（ＡＮＤＲＡ）滞在記	三浦一彦	日本原子力学会誌 2003年9月号
Integration of Natural Analogue Studies within A National Confidence-Building Programme	T. Tsuboya 、Ian G. McKinley※ ※NAGRA,Switzerland	WONUC International Conference "Natural & Manmade Repositories, Paradigm for Radioactive Waste Policy (2003年11月5-7日) (Bucharest, Romania)
Workshop on C-14 Release and Transport in Repository Environment	金子　悟	日本原子力産業会議　原動研バックエンド技術グループ定例研究会 (2003年12月4日)
日本の原子力　－直面する国際的課題－ №8 円滑な原子力開発に向けて　－廃棄物処理における国際協力－	田辺博三	日刊工業出版プロダクション『原子力eye』３月号 (2003年12月19日)
「ITC地下廃棄物貯蔵・処分研修センターの研修への参加報告」	藤原　愛	日本原子力学会誌　　2004年3月号
グリムゼル地下岩盤試験場における人工バリア・周辺岩盤のガス移行評価試験	山本修一、岡本修一、藤原　愛、安藤賢一、志村友行	北海道科学技術総合振興センター主催　「科学技術講演会」（2003年11月30日）

(2) 技術報告書

表　　題	著　　者	発行年月
International workshop on Record Management and Long-term Preservation and Retrieval of Information regarding Radioactive Waste (RWMC-TRE-03002)	大内仁、坪谷隆夫	平成15年11月
還元性環境での金属腐食に起因するガス発生量評価 (RWMC-TRJ-03001)	金子昌章、三浦律彦、藤原愛、山本正史	平成16年3月
Evaluation of Gas Generation Rate by Metal Corrosion in the Reducing Environment (RWMC-TRE-03003)	金子昌章、三浦律彦、藤原愛、山本正史	平成16年3月

(3) 委員会一覧

区　分	名　　称
1．放射性廃棄物の管理処分に関する調査研究	低レベル放射性廃棄物処分技術検討委員会
	極低レベル雑固体廃棄物処分安全性対策試験検討委員会
	ウラン廃棄物処分検討委員会
	ウラン廃棄物除染検討委員会
	ウラン廃棄物溶融体検認検討委員会
2．放射性廃棄物の地層処分に関する調査研究	地球化学バリア有効性確認調査検討委員会
	高精度物理探査技術高度化調査検討委員会
	〃　　調査システムフロー技術検討部会
	〃　　物理探査技術検討部会
	遠隔操作技術高度化調査検討委員会
	〃　　遠隔溶接・検査技術検討部会
	〃　　遠隔ハンドリング・定置技術検討部会
	地層処分モニタリングシステム検討委員会
	ガス移行挙動評価検討委員会
	ヨウ素固定化技術調査委員会
	廃棄体開発検討委員会
	〃　　コンクリート容器検討部会
	〃　　金属容器検討部会
	人工バリア長期性能確証試験検討委員会
3．放射性廃棄物全般に共通する調査研究等	返還廃棄物の輸入確認手法調査委員会
	地層処分重要基礎技術研究委員会
	性能評価技術開発検討委員会

（4）原環センター主催の講演会等

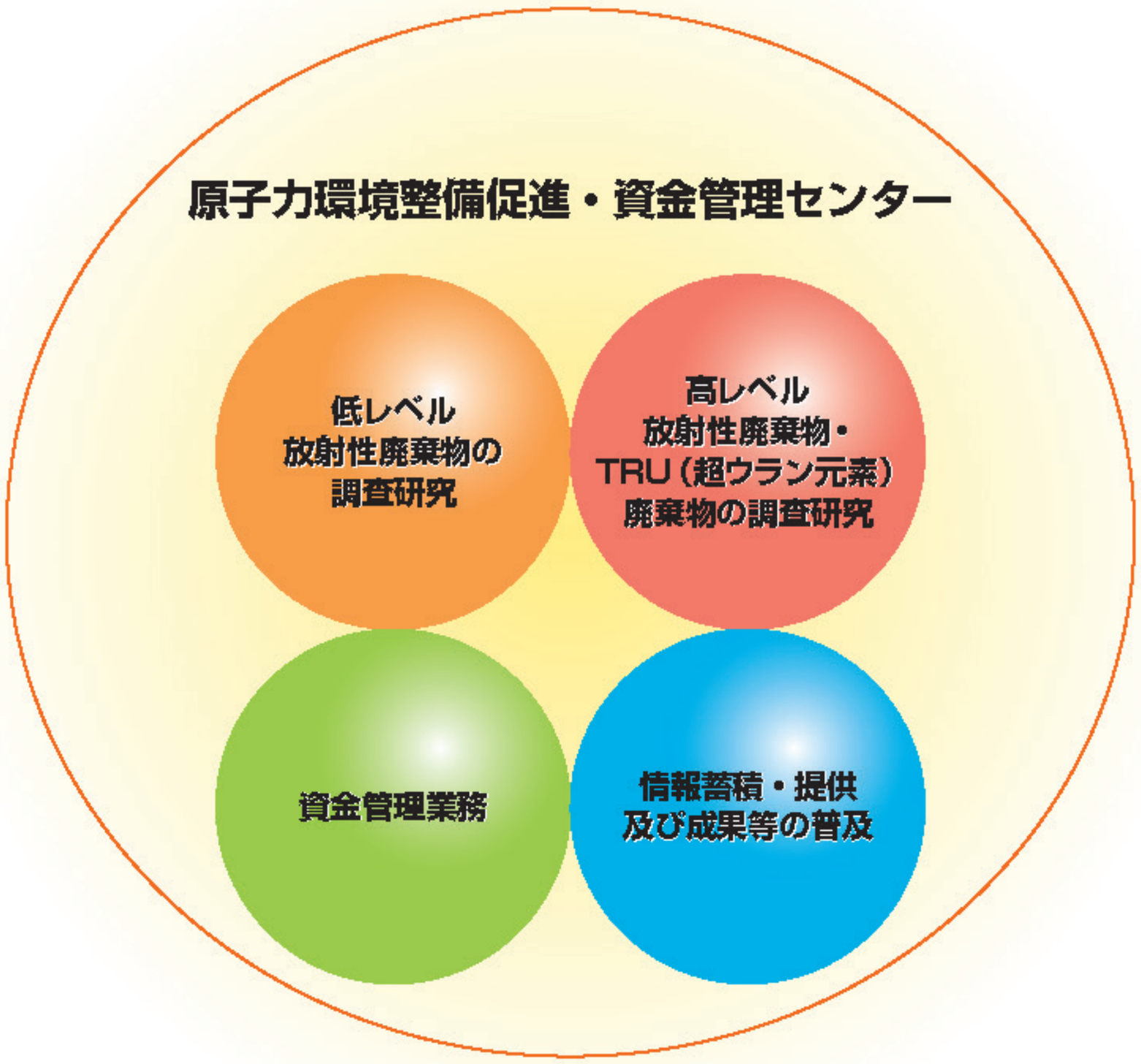
講　演　会　等　名		開　催　日	場　所
米国における高レベル放射性廃棄物処分計画講演会 講師：米国エネルギー省　民間放射性廃棄物管理局 戦略・プログラム開発本部　科学・国際部 ジェフ・ウィリアムズ氏		平成15年10月2日	東京 六本木アカデミーフォーラム
Workshop on C14 Release and Transport in Repository Environments		平成15年10月27日 ～28日	スイス ヴェッチンゲン
原子力環境整備促進・資金管理センター　研究発表会 研究発表： 「放射性廃棄物処分高度化システム確証試験のねらい足跡」 「処分地選定の信頼性向上に向けた物理探査技術開発の現状」 特別講演： 「Slaying the NIMBY Dragon～NIMBY問題の解決方法～」 講師:リスクコンセプト社社長　ハーバート・インハーバー氏		平成15年11月5日	東京 石垣記念ホール
The latest electromagnetic exploration technology and research trend		平成15年7月14日	東京 原環センター
賛助会員向け講演会等	IAEAにおける放射性廃棄物安全基準文書（RADWASS）の策定状況等講演会 講師：IAEA Waste Safety Standards Committee コーディネーター　　日置一雅氏	平成15年4月25日	東京 日本消防会館
	フランスにおける放射性廃棄物管理の状況講演会 講師：ANDRA 国際部ビジネスマネジャー　ティゾン氏	平成15年5月14日	東京 原環センター
	最新地下水学講演会 講師：アリゾナ大学名誉教授 シャロム・Ｐ・ノイマン氏 京都大学教授 大西有三氏	平成15年6月3日	京都 京都大学工学部
	スイスにおける放射性廃棄物管理の概要講演会 講師：国際協力・支援本部(ISP)部長 イアン・マッキンレー氏 言語･文書サービスコーディネーター リンダ・マッキンレー氏	平成15年7月22日	東京 原環センター
	賛助会員の為の報告会 講師：原環センター　各チーフプロジェクトマネジャー	平成15年8月7日	東京 東海大学校友会館
	放射性廃棄物処分政策講演会 講師：経済産業省　資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策室長　山近英彦氏	平成15年9月24日	東京 霞山会館
	賛助会員の為の報告会 講師：原環センター　事業環境整備研究プロジェクト プロジェクトマネジャー　朝野英一	平成16年3月17日	東京 東海大学校友会館

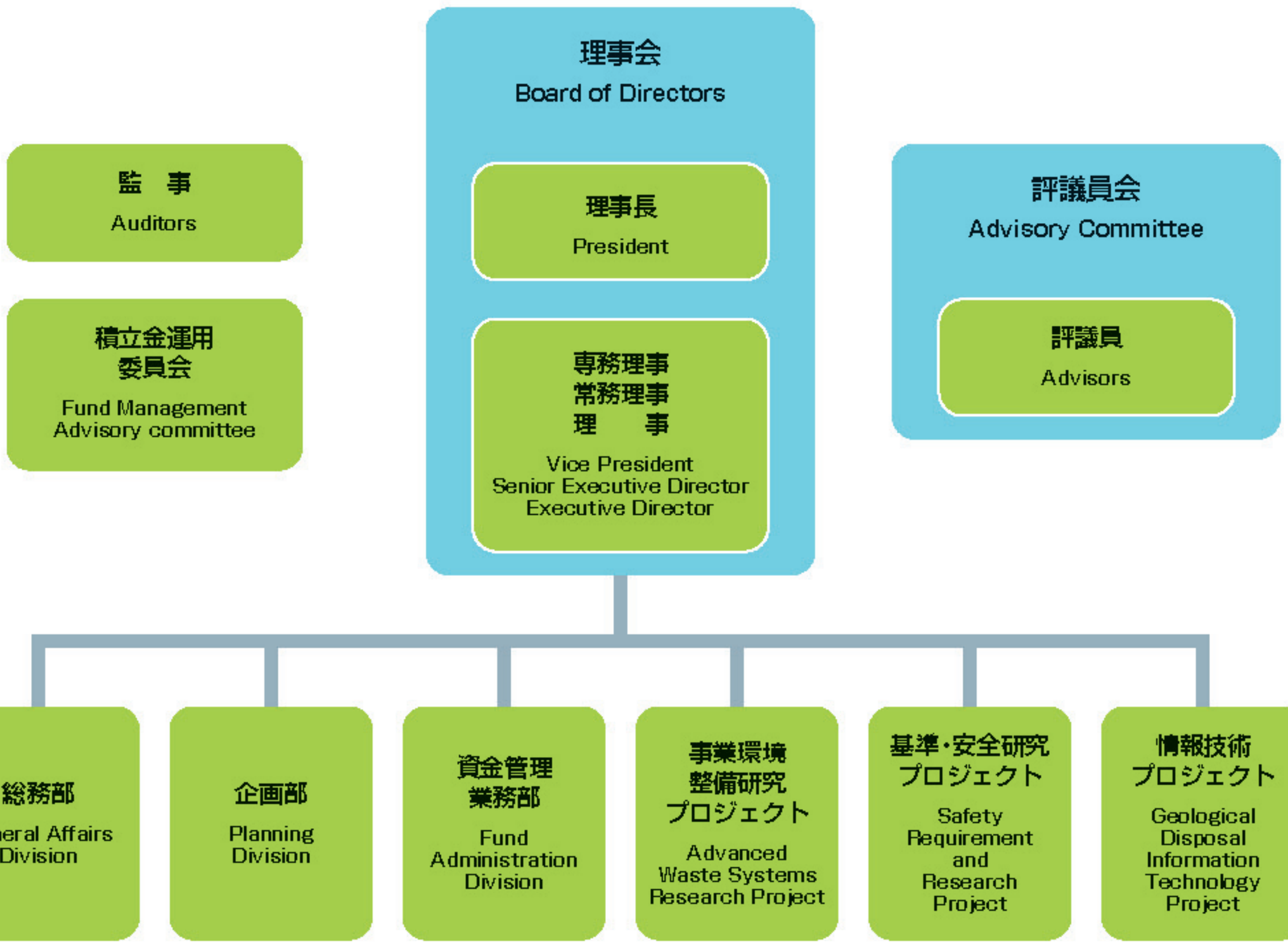
原環センター　２００３年度　技術年報

2004 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
〒105-0001　東京都港区虎ノ門 2-8-10 第 15 森ビル 4F
TEL　03-3504-1081（代表）
FAX　03-3504-1297
URL　http://www.rwmc.or.jp/

禁無断転載


原子力環境整備促進・資金管理センター
低レベル
放射性廃棄物の
調査研究
高レベル
放射性廃棄物・
TRU（超ウラン元素）
廃棄物の調査研究
資金管理業務
情報蓄積・提供
及び成果等の普及


監　事
Auditors
積立金運用
委員会
Fund Management
Advisory committee
理事会
Board of Directors
理事長
President
専務理事
常務理事
理　　事
Vice President
Senior Executive Director
Executive Director
評議員会
Advisory Committee
評議員
Advisors
総務部
General Affairs
Division
企画部
Planning
Division
資金管理
業務部
Fund
Administration
Division
事業環境
整備研究
プロジェクト
Advanced
Waste Systems
Research Project
基準・安全研究
プロジェクト
Safety
Requirement
and
Research
Project
情報技術
プロジェクト
Geological
Disposal
Information
Technology
Project

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

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

R100
古紙配合率100%再生紙を使用しています