

放射性廃棄物処分関連分野に係る技術 に関する施策・事業

評価用資料

平成26年1月24日

経済産業省資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室
独立行政法人 日本原子力研究開発機構
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
財団法人 電力中央研究所
公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

目 次

	ページ
第1章 評価の実施方法	1
1-1 評価目的	2
1-2 評価者	3
1-3 評価対象	3
1-4 評価方法	3
1-5 評価項目	4
第2章 技術に関する施策の概要	5
2-1 施策の目的・政策的位置付け	6
2-2 施策の構造及び目的実現の見通し	17
第3章 技術に関する事業の概要	21
A 地層処分技術調査	22
3-1-A 事業の目的・政策的位置付け	22
3-2-A 研究開発目標	26
3-3-A 成果、目標の達成度	44
3-4-A 事業化、波及効果について	173
3-5-A 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等	187
B 管理型処分技術調査	231
3-1-B 事業の目的・政策的位置付け	232
3-2-B 研究開発目標	233
3-3-B 成果、目標の達成度	236
3-4-B 事業化、波及効果について	246
3-5-B 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等	248
C 放射性廃棄物共通技術調査	252
3-1-C 事業の目的・政策的位置付け	252
3-2-C 研究開発目標	254
3-3-C 成果、目標の達成度	259
3-4-C 事業化、波及効果について	306
3-5-C 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等	310

第 1 章 評価の実施方法

第1章 評価の実施方法

本プロジェクト評価は、「経済産業省技術評価指針」（平成21年3月31日改定、以下「評価指針」という。）及び第25回産業構造審議会産業技術部会評価小委員会（平成21年1月28日）において審議・了承された「技術に関する施策の評価」に基づき、実施した。

1-1. 評価の目的

以下の（１）～（４）を目的として評価を実施した。

（１）より良い政策・施策への反映

評価を適切かつ公正に行うことにより、研究者の創造性が十分に発揮されるような、柔軟かつ競争的で開かれた研究開発環境の創出など、より良い政策・施策の形成等につなげること。

（２）より効率的・効果的な研究開発の実施

評価を支援的に行うことにより、研究開発の前進や質の向上、独創的で有望な優れた研究開発や研究者の発掘、研究者の意欲の向上など、研究開発を効果的・効率的に推進すること。

（３）国民への技術に関する施策・事業の開示

高度かつ専門的な内容を含む技術に関する施策・事業の意義や内容について、一般国民にわかりやすく開示すること。

（４）資源の重点的・効率的配分への反映

評価の結果を技術に関する施策・事業の継続、拡大・縮小・中止など資源の配分へ反映させることにより資源の重点化及び効率化を促進すること。また、研究開発をその評価の結果に基づく適切な資源配分等通じて次の段階に連続してつなげることなどにより、研究開発成果の国民・社会への還元の効率化・迅速化に資すること。

また、評価の実施に当たっては、以下の①～④を基本理念として実施した。

① 透明性の確保

推進課、主管課及び研究開発機関においては、積極的に成果を公開し、その内容について広く有識者等の意見を聴くこと。評価事務局においては、透明で公正な評価システムの形成、定着を図るため、評価手続、評価項目・評価基準を含めた評価システム全般についてあらかじめ明確に定め、これを公開することにより、評価システム自体を誰にも分かるものとするとともに、評価結果のみならず評価の過程についても可能な限り公開すること。

② 中立性の確保

評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価の導入等により、中立性の確保に努めること。

③ 継続性の確保

技術に関する施策・事業においては、個々の評価がそれ自体意義を持つだけでなく、評価とそれを反映した技術に関する施策・事業の推進というプロセスを繰り返すこと。

返していく時系列のつながりにも意義がある。したがって、推進課及び主管課にとって評価結果を後の技術に関する施策・事業の企画立案等に反映させる際に有用な知見を抽出し、継続性のある評価方法で評価を行うこと。

④ 実効性の確保

政策目的に照らし、効果的な技術に関する施策・事業が行われているか判断するための効率的評価が行われるよう、明確で実効性のある評価システムを確立・維持するとともに、技術に関する施策・事業の運営に支障が生じたり、評価者及び被評価者双方に過重な負担をかけることのない費用対効果の高い評価を行うこと。

1－2．評価者

評価を実施するにあたり、評価指針に定められた「評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価者の導入等により、中立性の確保に努めること」との規定に基づき、外部の有識者・専門家で構成する検討会を設置し、評価を行うこととした。

これに基づき、評価検討会を設置し、技術に関する施策、技術に関する事業（プロジェクト等）の目的や研究内容に即した専門家や経済・社会ニーズについて指摘できる有識者等から評価検討会委員名簿にある5名が選任された。

なお、本評価検討会の事務局については、指針に基づき経済産業省資源エネルギー庁放射性廃棄物等対策室が担当した。

1－3．評価対象

技術に関する施策「放射性廃棄物処分関連分野」

技術に関する事業

- A．地層処分技術調査（実施期間：平成22年度から平成24年度）
- B．管理型処分技術調査（実施期間：平成22年度から平成24年度）
- C．放射性廃棄物共通技術調査（実施期間：平成22年度から平成24年度）

を評価対象として、研究開発実施者（独立行政法人日本原子力研究開発機構、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、一般財団法人電力中央研究所、公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター）から提出された資料をもとに、技術に関する事業（プロジェクト）の評価を行うとともに、それらの事業評価の結果を踏まえて、各事業を俯瞰する形で各事業の相互関係等に着目し、技術に関する施策の評価を実施した。

1－4．評価方法

第1回評価検討会においては、研究開発実施者からの資料提供、説明及び質疑応答、並びに委員による意見交換が行われた。

第2回評価検討会においては、それらを踏まえて「プロジェクト評価における標準的評価項目・評価基準」、今後の研究開発の方向等に関する提言等及び要素技術について評価を実施し、併せて4段階評点法による評価を行い、評価報告書(案)を審議、確定した。

また、評価の透明性の確保の観点から、知的財産保護、個人情報で支障が生じると認められる場合等を除き、評価検討会を公開として実施した。

1－5．評価項目

【技術に関する施策】

- 施策の目的・政策的位置付けの妥当性
 - ・ 施策の目的の妥当性
 - ・ 施策の政策的位置付けの妥当性
 - ・ 国の施策としての妥当性、国の関与が必要とされる施策か。
- 施策の構造及び目的実現見通しの妥当性
 - ・ 現時点において得られた成果は妥当性
 - ・ 施策の目的を実現するために技術に関する事業が適切に配置されているか。
- 総合評価

【技術に関する事業】

- 事業の目的・政策的位置付けの妥当性
 - ・ 事業の目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。
 - ・ 国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。
- 研究開発等の目標の妥当性
 - ・ 研究開発等の目標は適切かつ妥当か。
- 成果、目標の達成度の妥当性
 - ・ 成果は妥当か。
 - ・ 目標の達成度は妥当か。
- 事業化、波及効果についての妥当性
 - ・ 事業化については妥当か。
 - ・ 波及効果は妥当か。
- 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性
 - ・ 研究開発計画は適切かつ妥当か。
 - ・ 研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。
 - ・ 資金配分は妥当か。
 - ・ 費用対効果は妥当か。
 - ・ 変化への対応は妥当か。
- 総合評価

第2章 技術に関する施策の概要

第2章 技術に関する施策の概要

2-1. 施策の目的・政策的位置付け

2-1-1 施策目的

(1) 放射性廃棄物対策に係る政策の現状

原子力は供給安定性と経済性に優れた準国産エネルギーであり、また、発電過程においてCO₂を排出しない低炭素電源である。このため、供給安定性、環境適合性、経済効率性の3Eを同時に満たす中長期的な基幹エネルギーとして、安全の確保を大前提に、国民の理解・信頼を得つつ、需要動向を踏まえた新增設の推進・設備利用率の向上などにより、原子力発電を積極的に推進する。また、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム・ウラン等を有効利用する核燃料サイクルは、原子力発電の優位性をさらに高めるものであり、「中長期的にブレない」確固たる国家戦略として、引き続き、着実に推進することとしてきた（エネルギー基本計画平成22年6月）。

一方、平成23年3月の東北日本太平洋沖地震に伴う福島原子力発電所の事故や、国内原子力発電所の停止、原子力委員会による新大綱策定会議の廃止などにより、現状の原子力政策は極めて不透明な状況となったが、一方平成23年までの原子力発電により放射性廃棄物は既に発生していたことから、平成20年に閣議決定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」を念頭におきつつ、事故後の日本学術会議からの提言を受けた原子力委員会の見解等においても、その研究開発を着実に推進するべきとの見解が示されたことを踏まえ、資源エネルギー庁としても国の基盤研究開発として継続・推進している所である。

このような状況の中、資源エネルギー庁では、総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会の下に放射性廃棄物WGを設置し、高レベル放射性廃棄物の実施主体が2000年に設立されて以降最終処分地の立地に関して全く進展が見られていない状況を真摯に反省した上で、立地選定プロセスの見直しなどの議論を行ってきた。この議論の中で、2000年の法律制定、実施主体設立の技術的な基盤となった現日本原子力研究開発機構が公表した第2次とりまとめが示した我が国における地層処分の技術的実現性について、公表以降現在に至るまでの十数年間の科学技術の進展状況を考慮した再評価を行う必要があるとの意見があり、これは原子力委員会から示された見解でも示されている所であることから、これらを受けた形で第2次とりまとめを最新の知見に基づき再評価するための地層処分技術WGを設置し技術的な議論を行っている所である。

上記の原子力発電及び核燃料サイクルに伴って発生する放射性廃棄物を安全に処理処分することは、原子力利用の受益者である現世代の義務であり、「発生者責任の原則」、「放射性廃棄物最小化の原則」、「合理的な処理・処分の原則」及び「国民との相互理解に基づく実施の原則」のもとで、その影響が有意ではない水準にまで減少するには超長期を要するものも含まれるという特徴を踏まえて適切に区分を行い、それぞれに安全に処理・処分することが重要である（図2-1、図2-2）。

第2次とりまとめにおいて検討された地層処分は、使用済み燃料を再処理した後に生じる高レベルの放射性廃液をガラスにより固化し、その発熱量が十分小さくなるまで施設で30年～50年間程度貯蔵した後、最終的に地下300mより深い地層中に処分する方法である。地層処分では、地下深くの安定した地層（天然バリア）に、複数の人工障壁（人工バリア）を組

み合わせることにより、放射性物質を何重にも閉じ込め、長期間にわたって人間の生活環境への影響を与えないようにするものであり、諸外国においても高レベル放射性廃棄物の処分方法として最も現実的な選択肢として研究開発が進められている。(図2-3)

一方、低レベル放射性廃棄物については、原子力発電所から発生する廃棄物のうち、放射能レベルの比較的低いものについては、すでに日本原燃(株)により、青森県六ヶ所村での浅地中ピット処分が行われている。さらに、原子力発電所の解体等により発生する放射能レベルの比較的高い廃棄物についても、一般的地下利用に対し十分余裕を持った深さ(例えば、地表から50~100m)への埋設施設の設置(余裕深度処分)に向け、日本原燃(株)が六ヶ所村において調査・検討を実施している。

また、再処理施設及び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(TRU廃棄物)については、地層処分が必要とされる部分を中心に、平成17年9月にJAEAと電気事業連合会によって高レベル放射性廃棄物との併置処分の検討も含む「TRU廃棄物処分技術検討書―第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ―」(以下、第2次TRUレポート)が公表された。以降、原子力委員会による併置処分の技術的成立性に係る検討、及び総合資源エネルギー調査会によるTRU廃棄物地層処分の制度化のあり方についての検討を受け、平成19年6月に最終処分法の一部が改正され、地層処分の対象廃棄物にTRU廃棄物等が追加された。

NUMOの処分事業は、概要調査地区の選定、精密調査地区の選定、最終処分施設建設地の選定という3段階の調査・評価のプロセスを経て処分地を選定し、その後、処分場の建設・操業・閉鎖と段階的に展開していくこととされており、文献調査による概要調査地区の選定とそれに続く概要調査が当面の活動として進められる(図2-4)。

なお、前述の「今後の原子力研究開発のあり方(見解)」では、高レベル放射性廃棄物の地層処分については、引き続き、高レベル廃棄物のガラス固化体の処分施設立地地域の地質条件を保守的に予想した上で、十分安全を確保していくことのできる処分技術の確立に向けて研究開発を推進していくべきである。具体的には、地層処分に係る超長期安全確保の基盤となる深地層の科学研究、処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化、回収可能性の合理的な担保の在り方等に関する研究開発を継続的に進めること、また、定期的に最新の知見を反映して取組を評価し、必要に応じて見直しを行っていくことが重要であるとされており、今後の地層処分研究開発の重要性に変わりがないことが示されている。

(ウ) 高レベル放射性廃棄物等の処分事業の推進に向けた取組の強化

原子力発電の利用を拡大していく上で、放射性廃棄物の処分対策は必須の課題である。高レベル放射性廃棄物の地層処分事業については、平成20年代中頃を目途に精密調査地区を選定し、平成40年代後半を目途に処分を開始することを予定している。国は前面に立って、原子力発電環境整備機構(NUMO)や電気事業者等と一層連携しながら、全国レベル及び地域レベルの視点双方で、国民との相互理解を進める。このため、地域住民や自治体が勉強のために専門家を招聘するための支援制度の創設、双方向シンポジウムの開催等の取組を通じて広聴・広報活動の充実・強化を図る。また、高レベル放射性廃棄物等の処分事業が円滑に実施できるよう、国は高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画等にしたがって、必要な研究開発に着実に取り組む。さらに、研究開発の成果を国民に分かりやすい形で提供することにより、国民との相互理解を深める。

なお、研究開発等に伴って発生する低レベル放射性廃棄物についても、処分の実現に向け、国及び日本原子力研究開発機構(JAEA)は関係機関の協力を得つつ処分事業を着実に推進す

る。

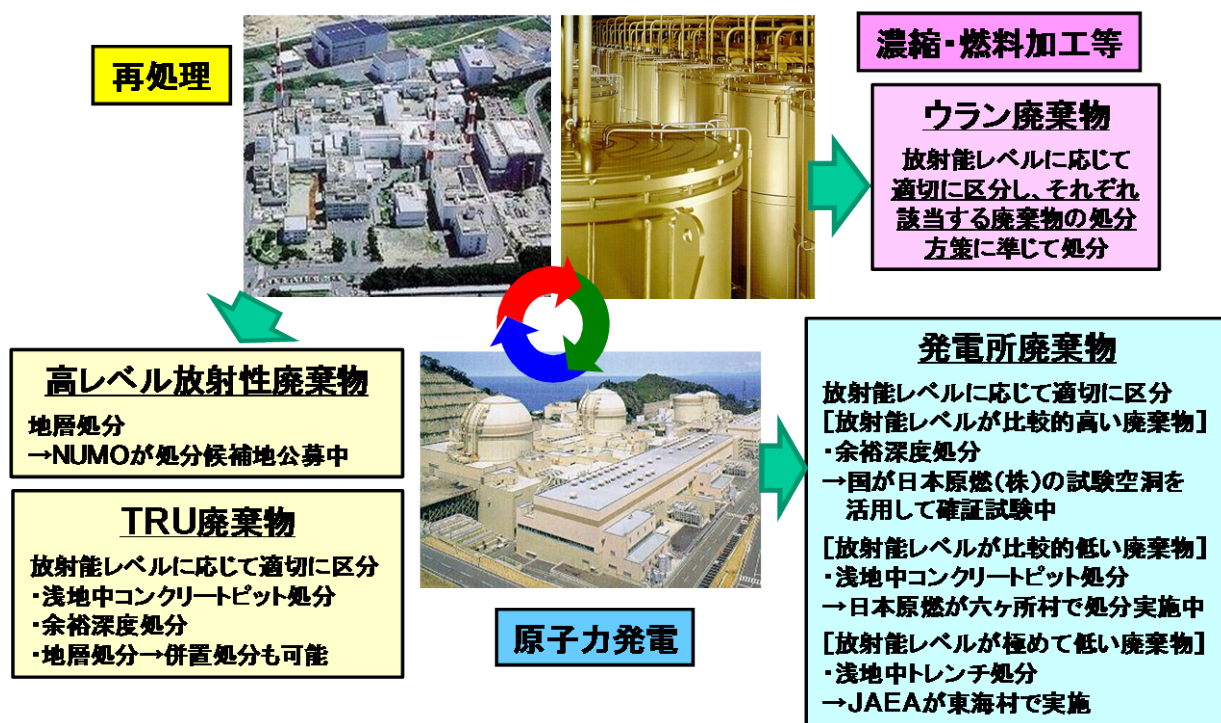


図 2 - 1. 放射性廃棄物の種類と処分方策・状況

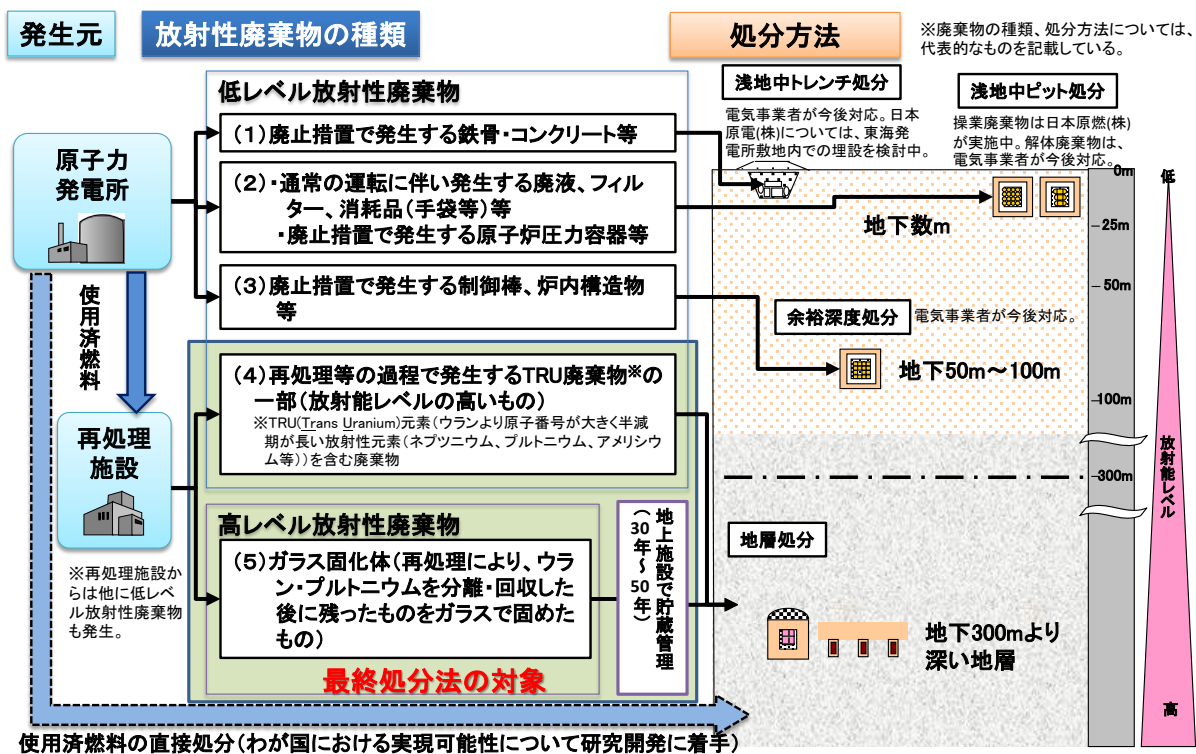


図 2 - 2. 放射性廃棄物の種類に応じた処分方法

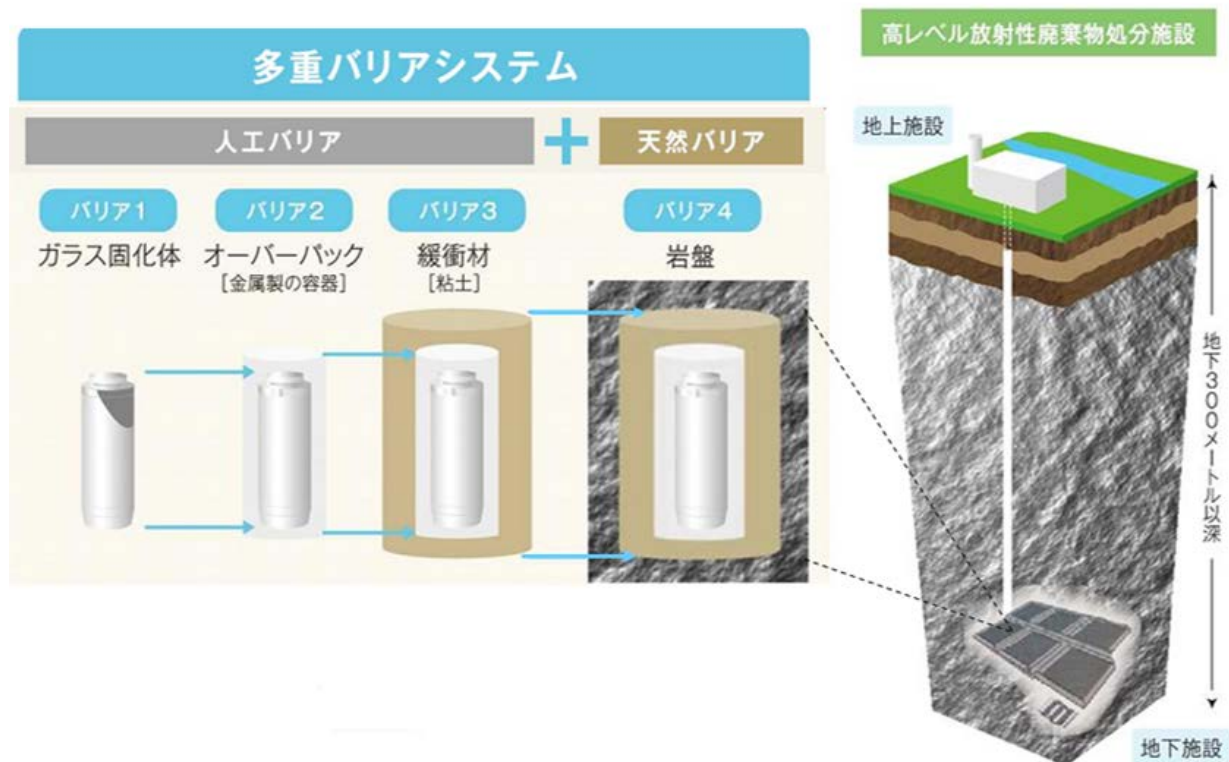


図 2 - 3. わが国における高レベル放射性廃棄物の地層処分のイメージ

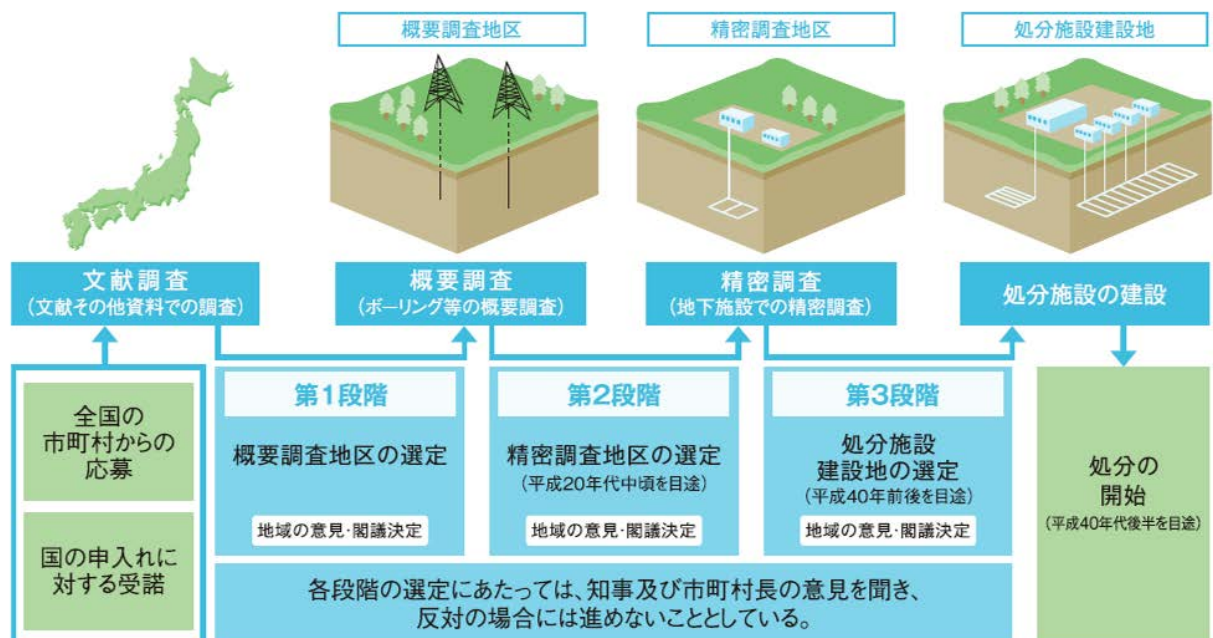


図 2 - 4. 処分事業の段階的処分地選定プロセス

（２）放射性廃棄物対策に係る国の技術開発の目的及び取り組み

過去の「原子力政策大綱」においては、廃棄物の効果的で効率的な処理・処分を行う技術の確立に向けた取り組みの必要性について、「研究開発機関等は、放射性廃棄物の効果的で効率的な処理・処分を行う技術の研究開発を先進的に進めるべきであり、発生者等の関係者にはこうして生まれた新知見や新技術を取り入れて、今後の社会における廃棄物の処理・処分の範となる安全で効率的な処理・処分を行っていくことを期待する。国は、このことを促進することも含めて、引き続き適切な規制・誘導の措置を講じていくべきである。」とされていた。

平成２３年３月の地震に伴う福島第１原子力発電所の事故後も、前述した原子力学会の見解や上記のような国の果たすべき役割を踏まえて、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」に示された平成４０年代後半を目途とする高レベル放射性廃棄物等の処分の開始を目指し、処分候補地選定の促進を図るため、処分事業や安全規制に必要な基盤となる地層処分の信頼性や安全性の向上に資する基盤技術を整備することを目的として、放射性廃棄物の種類と処分形態、それぞれの種類等に応じた処分方針の検討及び事業の進捗等を踏まえながら、適切に役割分担しつつ国としての先行的な研究開発を展開してきた。

資源エネルギー庁における技術開発事業は、処分事業等の動向や関係研究機関の取り組み等との整合性を図りつつ、「①地層処分技術調査」、「②管理型処分技術調査」、「③放射性廃棄物共通技術調査」の大きく３つの事業に分けて実施している。

①地層処分技術調査

高レベル放射性廃棄物やＴＲＵ廃棄物の地層処分について、平成４０年代後半を目途とする処分の操業開始までの長期的事業展開等を視野に入れるとともに、平成２０年代中頃から開始が想定されていた具体的な地点を対象とした調査評価を当面の目標として、基盤となる技術を先行的に整備し、処分事業等の円滑な推進に資する。

地層処分技術の信頼性と安全性の一層の向上を目指し、地上からの地質環境の調査技術、人工バリア等の製作や遠隔操業技術等の工学技術並びに安全評価技術等の高度化開発、ＴＲＵ廃棄物地層処分についての固有の核種に係る閉じ込め技術や人工バリア材料の長期評価技術等の研究開発を実施する。さらに、福島第一原子力発電所の事故や東北日本太平洋沖地震後に出された日本学術会議やそれに対する原子力学会の見解などを踏まえ、回収可能性の合理的な担保の在り方や使用済燃料の直接処分を含む代替オプション等に関する研究開発も進めていく。

②管理型処分技術調査

放射能レベルが比較的高い廃棄物を対象とする余裕深度処分に関し、大空洞型処分施設の施工技術や性能に係る確証試験を実施し、今後建設・操業が予定されている余裕深度処分事業の円滑な実施に資する。

③放射性廃棄物共通技術調査

地層処分を始め、長期的展開を視野に入れた継続的取組が不可欠な放射性廃棄物処分事業において、処分事業等の基盤となる共通的な技術を先行的に整備し、これによって処分事業等の円滑な推進に資する。

具体的には、高レベル放射性廃棄物等を対象とした地層処分から、低レベル放射性廃棄物に係る余裕深度処分等の管理型処分まで、原子力発電及び核燃料サイクルに伴って発生する様々な放射性廃棄物の処分に係る共通的な技術に関連して、諸外国における処分計画や処分技術の調査分析とともに、幅広い知見を要する処分技術における重要基礎的課題に係る研究開発を実施する。また、処分の安全評価において共通的に必要となる生物圏における放射性物質の移行パラメータの整備を実施する。

これらの事業については従前から、「経済産業省技術評価指針」に基づく技術評価を実施してきた。これまでに、地層処分技術調査は平成 15 年度、平成 18 年度、平成 22 年度に、管理型処分技術調査は平成 17 年度、平成 20 年度及び平成 22 年度に、放射性廃棄物共通技術調査は平成 16 年度、平成 19 年度及び平成 22 年度に、それぞれ技術評価(中間評価)を実施している。

地層処分に係る国の基盤研究開発については、最終処分法による制度化とそれに基づく事業段階への移行の時期を境として、JAEA が 2 つの深地層研究施設(岐阜県瑞浪市:結晶質岩を対象、北海道幌延町:堆積岩を対象)や地層処分放射化学研究施設等を活用して中核的かつ継続的に研究開発を進めている。一方で、資源エネルギー庁として、地質環境調査技術や処分技術に関連した要素技術等、主に工学的な視点に重点をおいた周辺基盤技術に係る研究開発を、上記「①地層処分技術調査」として、JAEA の取り組みを踏まえながら展開してきた。以上の放射性廃棄物処分関連の研究開発の構造をまとめると、図 2-5 のようになり、前回の技術評価後も変わっていない。



図 2 - 5. 放射性廃棄物処分に係る国の基盤研究開発の実施体制

2-1-2 政策的位置付け

平成22年6月のエネルギー基本計画では、目指すべき姿として、「原子力は供給安定性と経済性に優れた準国産エネルギーであり、また、発電過程においてCO₂を排出しない低炭素電源である。このため、供給安定性、環境適合性、経済効率性の3Eを同時に満たす中長期的な基幹エネルギーとして、安全の確保を大前提に、国民の理解・信頼を得つつ、需要動向を踏まえた新增設の推進・設備利用率の向上などにより、原子力発電を積極的に推進する。」とされており、さらにその目標を達成するための具体的取り組みとして、「核燃料サイクルの早期確立と高レベル放射性廃棄物の処分等に向けた取組の強化」が挙げられている。

具体的には、「高レベル放射性廃棄物等の処分事業の推進に向けた取組の強化」として、

- ・高レベル放射性廃棄物等の処分事業が円滑に実施できるよう、国は高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画等にしながら、必要な研究開発に着実に取り組む。さらに、研究開発の成果を国民に分かりやすい形で提供することにより、国民との相互理解を深める。
- ・なお、研究開発等に伴って発生する低レベル放射性廃棄物についても、処分の実現に向け、国及び日本原子力研究開発機構（JAEA）は関係機関の協力を得つつ処分事業を着実に推進する。

とされている。

地層処分技術調査、管理型処分技術調査および放射性廃棄物共通技術調査は、原子力発電及び核燃料サイクルの推進には欠かせない放射性廃棄物の処分に係る調査・技術開発事業であり、事業化や安全規制に必要な基盤となる地層処分の信頼性や安全性の向上に資する基盤技術を整備する目的で進められている。これらの研究開発事業は、上記に示される経済産業省のエネルギー基本計画で定められた目標、取り組み方法と合致しており、経産省施策への適合は明確である。

なお、エネルギー基本計画の改定に関連し、平成25年12月に実施された総合エネルギー調査会基本政策分科会より提示された「エネルギー基本計画に対する意見（案）」においても、高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた取組の抜本強化が掲げられ、この中で、“高レベル放射性廃棄物については、i）将来世代の負担を最大限軽減するため、長期にわたる制度的管理（人的管理）に依らない最終処分を可能な限り目指す、ii）その方法としては現時点では地層処分が最も有望である、との国際認識の下、各国において地層処分に向けた取組が進められている。我が国においても、現時点で科学的知見が蓄積されている処分方法は地層処分である。他方、その安全性に対し十分な信頼が得られていないのも事実である。したがって、地層処分を前提に取組を進めつつ、可逆性・回収可能性を担保し、今後より良い処分方法が実用化された場合に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにする”との意見が示されていることから、国の基盤研究開発においても地層処分を中心としながら幅広い選択が可能な技術開発を進める必要がある。

2-1-3 国の関与の必要性

(1) 国民や社会のニーズに合っているか。

原子力発電に伴って必然的に生じる放射性廃棄物の処分は、公益性が極めて高く、国民全体の利益から見ても重要な課題である。さらには、地層処分や余裕深度処分において特段に求められる安全確保の長期性と処分事業の長期性を踏まえれば、国としても研究開発の役割を担い、先導性と継続性をもって基盤的な研究開発を着実に進め、国民各層の理解を得つつ、わが国の処分計画の着実な進展のための基盤を整備していくことが重要である。

平成 22 年 6 月に出された「エネルギー基本計画」では、高レベル放射性廃棄物等の処分事業の推進に向けた取り組みの強化として、以下のように示されている。

【エネルギー基本計画 (ウ) 高レベル放射性廃棄物等の処分事業の推進に向けた取組の強化】

「原子力発電の利用を拡大していく上で、放射性廃棄物の処分対策は必須の課題である。高レベル放射性廃棄物の地層処分事業については、平成 20 年代中頃を目途に精密調査地区を選定し、平成 40 年代後半を目途に処分を開始することを予定している。国は前面に立って、原子力発電環境整備機構 (NUMO) や電気事業者等と一層連携しながら、全国レベル及び地域レベルの視点双方で、国民との相互理解を進める。」

また、平成 22 年 6 月に出された「エネルギー基本計画に対する意見」では、

「廃棄物を発生させた現世代の責任として将来世代に負担を先送りしないよう、高レベル放射性廃棄物の問題の解決に向け、国が前面に立って取り組む必要がある。」

と明示されており、放射性廃棄物の処理・処分について、国が前面に立った取組を求めることが示されている。

以上に加え、放射性廃棄物分野の研究開発は、安全確保の重要性に一層の力点がおかれているが、利益事業への直結性や汎用技術への展開性に乏しいため、国の基盤研究開発が先行的に新技術や新知見を創出しつつ技術の信頼性・成立性を提示することにより、将来の技術的・社会的な不確実性を低減させ、もって国民理解、事業・規制の円滑化に繋げることができる。

(2) 官民の役割分担は適切か。

高レベル放射性廃棄物や T R U 廃棄物の地層処分に関する技術開発への国の関与のあり方については、エネルギー基本計画 (平成 22 年 6 月) においても、下記の通り、従来の役割分担を踏襲しつつ、引き続き地層処分に係る基盤的な研究開発への国の継続的な関与が求められている。

【エネルギー基本計画 (ウ) 高レベル放射性廃棄物等の処分事業の推進に向けた取組の強化】

原子力発電の利用を拡大していく上で、放射性廃棄物の処分対策は必須の課題である。高レベル放射性廃棄物の地層処分事業については、平成 20 年代中頃を目途に精密調査地区を

選定し、平成 40 年代後半を目途に処分を開始することを予定している。国は前面に立って、原子力発電環境整備機構（NUMO）や電気事業者等と一層連携しながら、全国レベル及び地域レベルの視点双方で、国民との相互理解を進める。

また、高レベル放射性廃棄物等の処分事業が円滑に実施できるよう、国は高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画等にしながら、必要な研究開発に着実に取り組む。さらに、研究開発の成果を国民に分かりやすい形で提供することにより、国民との相互理解を深める。

国の基盤研究開発の役割は、国の責任のもとで技術基盤の継続的強化を図り、客観性をもって技術的信頼性や安全性を高め、国民の理解を促進するとともに、処分事業や安全規制に先行する形での技術基盤の整備を通じ、もって処分事業や安全規制を含むわが国の処分計画全体の着実な進展に資することである。国の基盤研究開発と処分事業及び安全規制のそれぞれの活動と研究開発との関係を整理すると図 2－6 のようにまとめることができる。

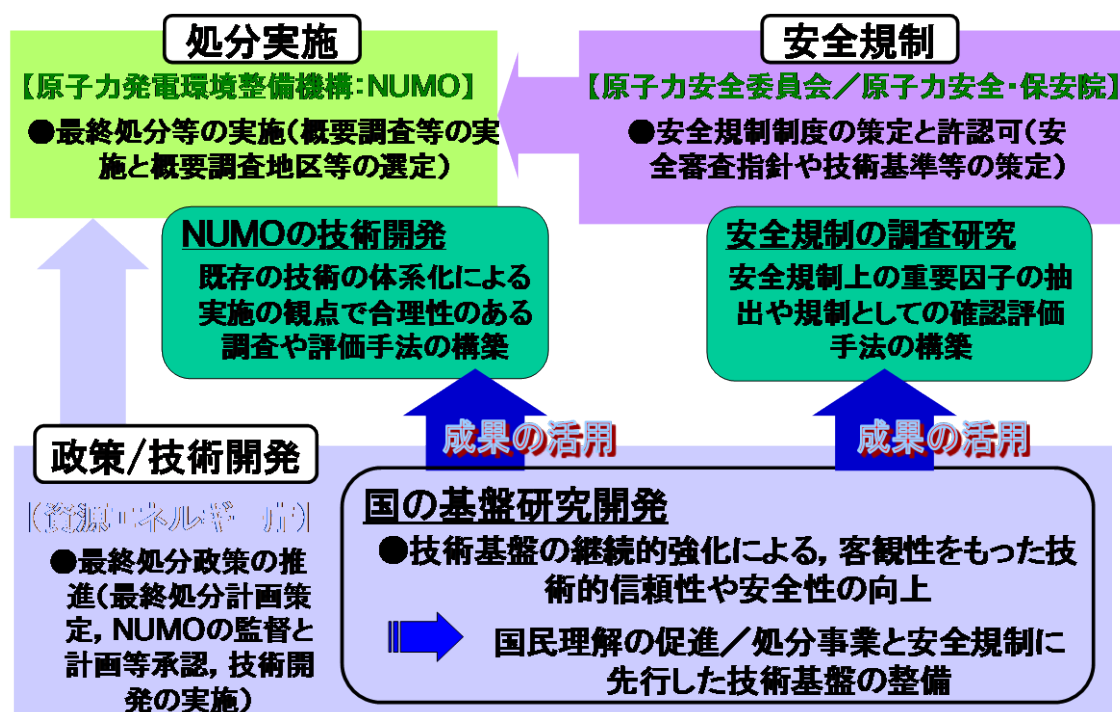


図 2－6. 国の基盤研究開発の位置付けと処分事業及び安全規制との関係
(高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画 2009 年 7 月より)

基盤研究開発の展開にあたっては、処分事業や安全規制との役割分担やニーズ等を具体的に踏まえることを基本としている（図 2－7）。処分事業と安全規制の研究開発との関係や役割分担の検討にあたっては、それぞれの間で分担しあうという性格のものではなく、それぞれの視点やアプローチの違いを念頭において検討・整理がなされることが重要である。国の基盤研究開発が先のステップを想定した研究開発を先行的に展開し、それらの成果を活用しつつ実施主体が実用的な面での技術開発を経て実践につなげていく展開が基本となる。

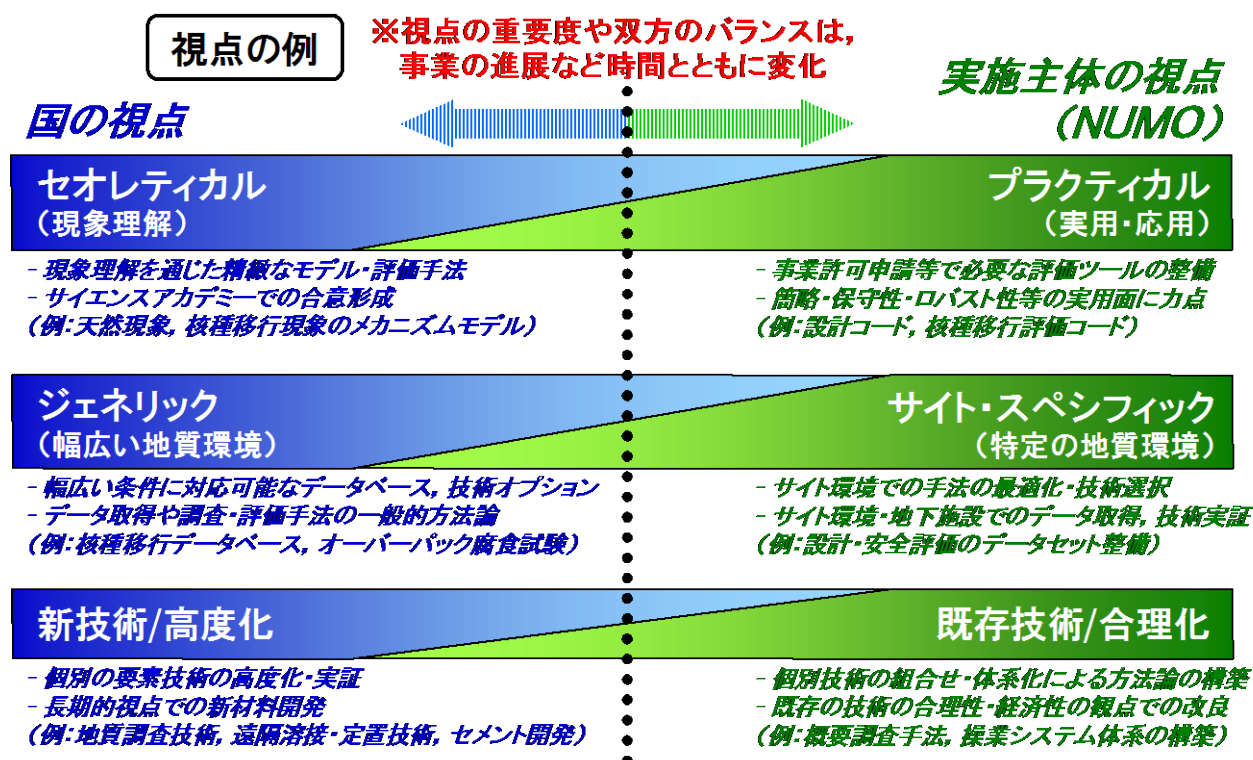


図 2-7. 国の基盤研究開発と実施主体の技術開発の視点の違い (例)
(高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画 2009 年 7 月より)

一方で、発生者責任の下で民間での処分事業の実施へと引き継いでいく観点からは、研究開発の初期段階や革新技术の導入等の面で国が主体的に研究開発の役割を担いつつ、研究開発や事業化の進捗に応じて民間支援的な位置付けへと展開していく等、廃棄物種類・処分形態や事業進捗に応じ、適切に役割分担しつつ研究開発を進めていくことが重要である。

2-2. 施策の構造及び目的実現の見通し

2-2-1 施策の構造

放射性廃棄物処分関連の国の研究開発の構造は、2-1-1 施策の目的で述べた通りである（図2-5）。国の研究開発の成果が処分実施主体や安全規制に適切に活用されるよう、国、研究開発機関及び実施主体等は適切に連携しつつ進めることが重要である。その過程では、具体的なニーズへの対応や成果の反映等を念頭に、地層処分の研究開発を全体として計画的かつ効率的に進めるため、体系的かつ中長期的な視点で研究開発計画を検討・調整する必要がある。「原子力政策大綱」や総合科学技術会議等での議論においても、この点が大きな課題として指摘されている。このような状況に鑑み、資源エネルギー庁及びその調査等事業実施機関並びにJAEAの国の基盤研究開発の実施機関を中心に、NUMOや安全規制関係機関等の参加も得て、「地層処分基盤研究開発調整会議」（以下、調整会議）を平成17年7月に発足させた（図2-8）。

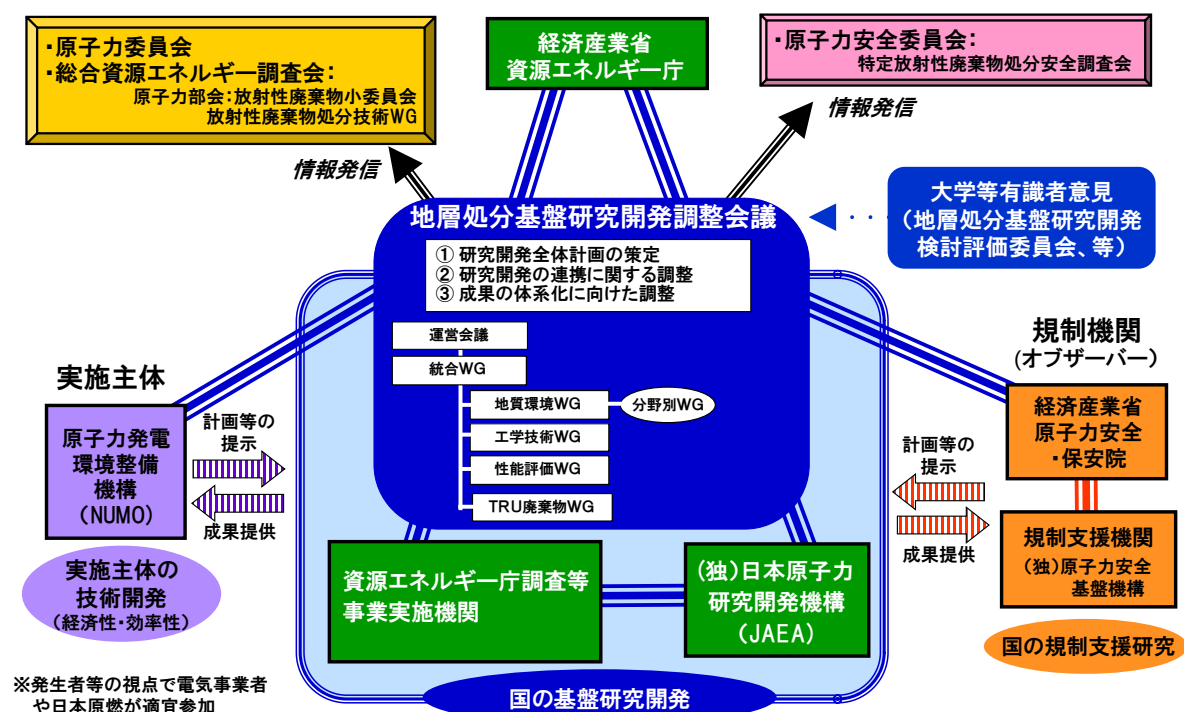


図2-8. 地層処分基盤研究開発調整会議の概念

（高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画 2009年7月より）

調整会議での議論に基づき、「高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画」、「TRU廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体基本計画」が平成18年12月に策定された。これらの全体計画は、PDCA サイクル（Plan, Do, Check, Action）に基づく改訂に加え、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」（以下、最終処分計画）の改定（平成20年3月閣議決定）や総合資源エネルギー調査会放射性廃棄物小委員会等からの指摘を踏まえ、平成21年7月に改訂した。

国の基盤研究開発は、処分事業の3段階の処分地選定プロセスやスケジュール、それに合わせて展開される安全規制の制度や基準の整備、さらにこれらに先行する2つの深地層の研究施設計画の段階的進展等を念頭においた、10～20年程度の長期的・段階的戦略を設定しつ

つ、5 年程度を区切りとした 3 段階のフェーズに対応して具体的な目標や計画を策定している（図 2－9）が、平成 21 年度以降の研究開発の進捗や東北地方太平洋沖地震や福島第 1 原子力発電所の事故を踏まえ、基盤調整会議における議論を行い、「地層処分基盤研究開発に関する全体計画（平成 25 年度～平成 29 年度）」を策定した（平成 25 年 8 月末に公開）。この計画では、先に示した日本学術会議からの回答を踏まえた原子力委員会の見解などを考慮し、使用済み燃料の直接処分研究開発を新たに盛り込んでいる。

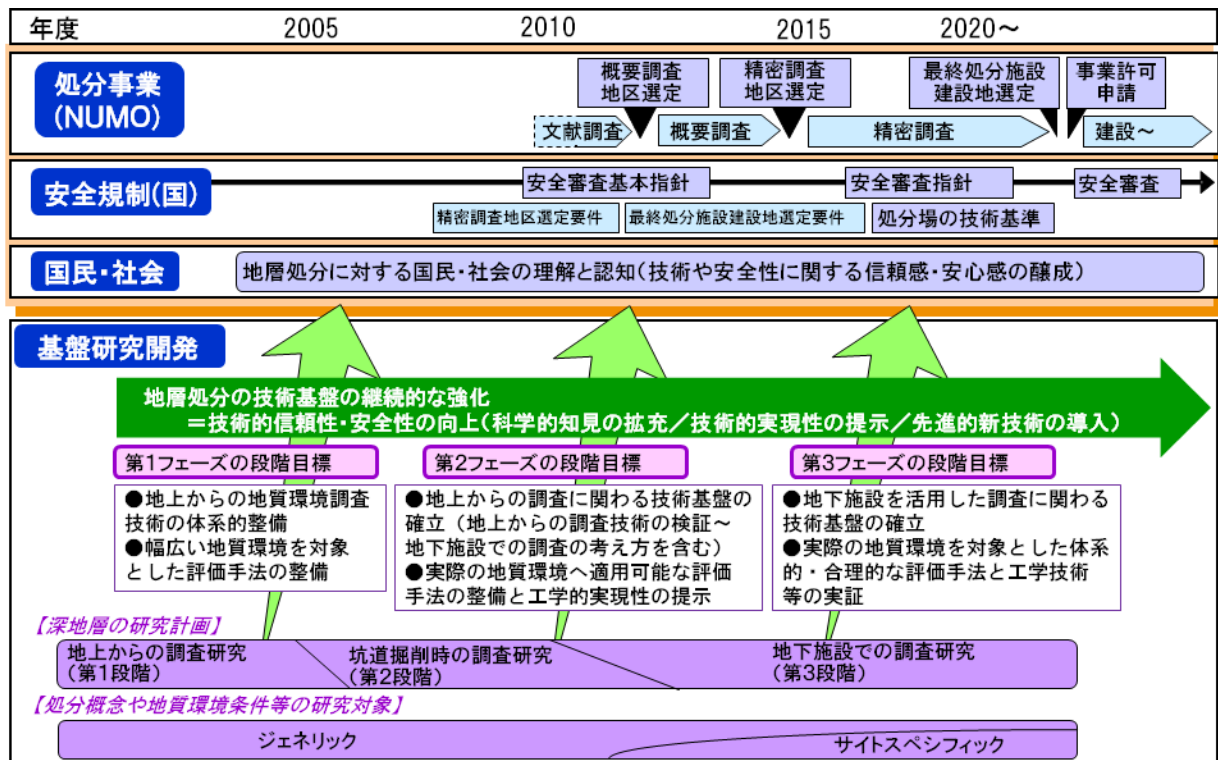


図 2－9．処分事業や安全規制の展開に応じた国の基盤研究開発の段階と目標設定
(高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画 2009 年 7 月より)

このようにして、調整会議のフレームワークを活用した綿密な情報共有、PDCA サイクルに基づく国の基盤研究開発の柔軟なマネジメントが実施されている。国の基盤研究開発のうち、今回の中間評価の対象である平成 22 年度～24 年度までの資源エネルギー庁における研究開発テーマの構造と研究開発の概要を図 2－10 に示す。

放射性廃棄物処分基準調査等委託費		事業概要（フェーズ2：H19～H24）
	地層処分技術調査等委託費	高レベル放射性廃棄物等の処分の円滑な推進のため、地質等調査技術、遠隔操作技術等の処分に必要な技術調査等の高度化を行う。
	ボーリング技術高度化開発	少数のボーリングで地質環境特性を精度良く調査することができるコントロールボーリング技術及び孔内での各種調査技術の高度化開発を行う。
	岩盤中地下水移行評価技術高度化開発	天然バリアである岩盤中での地下水挙動の調査評価技術である、地下水年代測定技術、岩盤中の物質移行特性評価技術の高度化開発を行う。
	地質環境総合評価技術高度化開発	処分地選定の各段階で行われる地質環境調査から処分の成立性等評価に至るまでの一連の作業プロセスに着目した地質環境総合評価技術の高度化開発を行う。
	先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発	地層処分技術の信頼性・安全性の向上及びサイクルシステム全体を視野に入れた最適化技術の構築のため、先進的な地層処分概念、性能評価技術の高度化開発を行う。
	沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発	沿岸域における調査評価技術を対象とした要素技術の高度化開発及び体系的適用試験による塩淡水境界及び断層評価を中心とした沿岸域の地質環境の総合評価手法の構築を行う。
	海域地質環境調査技術高度化開発	ボーリング調査手法が海域における地層処分事業についても有効であることを実証するため、海上ボーリングの実証試験を実施する。
	処分システム工学要素技術高度化開発	処分場操業に係る遠隔操作技術、人工バリア品質等の評価技術及び処分システムの状況等をモニタリングする技術等、処分システム設計・操業等の工学技術に関する要素技術の高度化開発を行う。
	処分システム化学影響評価高度化開発	処分システムの長期的性能に影響を及ぼす可能性のある要因のうち、放射線や微生物の影響及びバリア環境の複合作用等の、化学環境への不確実性要因を対象とした影響評価技術の高度化開発を行う。
	地下坑道施工技術高度化開発	我が国のように割れ目や地下水が多い深部地質環境への対応や処分場の長期的性能への影響の低減を可能とする湧水抑制対策技術（グラウト技術）の高度化開発を行う。
	地層処分回収技術高度化開発	放射性廃棄物の定置後の処分プロセスの変更に柔軟に対応するため、放射性廃棄物の回収技術の高度化開発を行う。
	ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発	T R U 廃棄物の安全評価における最重要核種であるヨウ素・炭素対策として、評価用データやモデルの整備、固定化や閉じ込め技術等の総合的な高度化開発を行う。
	人工バリア長期性能評価技術開発	T R U 廃棄物（長半減期低発熱放射性廃棄物）の処分における人工バリア性能評価の技術的信頼性の向上及び技術基盤の確立を目的とした人工バリア材の長期挙動並びにガス移行挙動に関する研究開発を行う。
	硝酸塩処理・処分技術高度化開発	T R U 廃棄物と高レベル放射性廃棄物の併置処分の最重要課題である硝酸塩対策として、硝酸塩が処分環境に与える影響の評価手法及びT R U 廃棄物に含まれる硝酸塩を低減する処理技術の高度化開発を行う。
	セメント材料影響評価技術高度化開発	T R U 廃棄物の地層処分で用いられる可能性のあるセメント材料を想定し、セメント材料が人工バリア性能に及ぼす影響の評価技術、核種移行解析技術の高度化開発する。
	管理型処分技術調査等委託費	原子力発電所、再処理施設等から発生する低レベル放射性廃棄物について、実規模大の模擬処分施設において確証試験を実施する。
	地下空洞型処分施設性能確証試験	低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に係る共通的な基盤技術の確立を目的として、実際の地下環境下において余裕深度処分に想定されている実規模大の処分施設の模擬施設を構築し、施工技術や施設性能に係る確証試験を実施する。
	放射性廃棄物共通技術調査等委託費	放射性廃棄物処分の円滑な推進のため、共通する処分技術等に関する情報収集・分析等を実施する。
	放射性廃棄物海外総合情報調査	放射性廃棄物に関する各国の状況に関する情報収集・分析、データベース等の整備し、国内外に発信する。
	放射性廃棄物重要基礎技術研究調査	放射性廃棄物の地層処分の安全性等に係る基盤的研究のうち、国内外の研究開発動向を踏まえて、基礎的・原理的かつ中・長期間の研究を要するテーマ等を抽出するとともに、基盤技術の確立のために所要の研究調査を実施する。
	放射性核種生物圏移行評価高度化調査	我が国特有の環境を考慮した農作物や土壌等に対する放射性核種の移行係数等の取得・データベース化と生物圏評価手法の高度化を行う。

*放射性廃棄物海外総合情報調査は、調査事業であるため技術評価の対象外

図 2 - 1 0 . 資源エネルギー庁の放射性廃棄物関連の技術開発テーマ構成と研究開発の概要
(平成 24 年度)

なお、以下の本施策の各テーマの実施機関については、下記の略称を用いる。

独立行政法人	日本原子力研究開発機構	:	J A E A
独立行政法人	産業技術総合研究所	:	A I S T
独立行政法人	放射線医学総合研究所	:	N I R S
財団法人	電力中央研究所	:	C R I E P I
公益財団法人	原子力環境整備促進・資金管理センター	:	R W M C

2-2-2 得られた成果

本施策は、平成 40 年代後半を目途とする高レベル放射性廃棄物等の処分の開始を目指し、処分候補地選定の促進を図るため、処分事業や安全規制に必要な基盤となる地層処分の信頼性や安全性の向上に資する基盤技術を整備することを目的としており、段階的な技術開発計画の第 2 フェーズのもと、地上からの調査に関わる技術基盤の確立、及び実際の地質環境へ適用可能な評価手法の整備と工学的実現性の提示を目標として技術開発を進めてきた。

これまでの技術開発により、各技術開発テーマの目標に沿って当初期待した通り、あるいはそれ以上の成果が得られていると判断できる。各研究テーマとも、3-3-1-3-A, B, Cで示すように、多数の論文、学会発表等を通じて学術的な場で議論がなされている。成果の内容については3-3-1-2-A, B, Cで詳細に示すが、例えば処分候補地における効率的な現地調査として活用可能であるコントロールボーリング技術については基盤技術として実用に耐えうる一連の技術が整備できた。また、管理型処分技術調査については、余裕深度処分の実現性の確証を得ることができた。その他のテーマについても、放射性廃棄物の処理処分方策を考えていく上で、非常に有用な技術開発、情報整理がなされたと評価できる。さらに、学術的な基礎研究や人材育成、国際的データベースへの貢献や、原子力委員会等が公表してきた報告書等への反映等の成果も得られつつある。

本施策の特徴として、論文や特許といった通常の技術開発の成果に加えて、国や研究開発機関及び処分実施主体等が進める活動において、いかに活用・反映されているか（されつつあるか）という観点が重要となる。今後は、引き続き国、処分実施主体、安全規制機関等との間での適切な役割分担のもとで技術開発を進め、個々の成果の体系化を実施していくことが必要となる。

第3章 技術に関する事業の概要

第3章 技術に関する事業の概要

A 地層処分技術調査

3-1-A 事業の目的・政策的位置付け

3-1-1-A 事業目的

地層処分技術調査は、「原子力政策大綱」等で示された国の果たすべき役割を踏まえ、原子力発電及び核燃料サイクルに伴って発生する高レベル放射性廃棄物やTRU廃棄物の地層処分を安全かつ着実に進めるため、これらに係る処分事業や安全規制を支える基盤技術の確立を目的に技術開発を行うものである。

国の基盤研究開発として、技術基盤の継続的強化を図り、客観性をもって技術的信頼性や安全性を高め、国民の理解を促進するとともに、処分事業や安全規制に先行する形での技術基盤の整備を通じ、もって処分事業や安全規制を含むわが国の処分計画全体の着実な進展に資することを全体の目標として設定している（図2-9）。

地層処分に係る国の基盤研究開発については、2-1-1 施策の目的で述べた通り、JAEAが2つの深地層研究施設や地層処分放射化学研究施設等を活用して中核的かつ継続的に研究開発を進める一方で、資源エネルギー庁として、地質環境調査技術や処分技術に関連した要素技術等、主に工学的な視点に重点をおいた周辺基盤技術に係る研究開発を展開してきた（図2-5）。

地層処分事業については、概要調査地区の選定、精密調査地区の選定を経て、最終処分施設建設地の選定（平成40年前後）がなされ、安全規制については、安全審査基本指針等の策定が段階的に進められる計画である。これら事業や規制のスケジュールに合わせてタイムリーに技術開発を展開していくこととしており、高レベル放射性廃棄物については、精密調査地区の選定に向けた地上からの地質環境調査に係る技術基盤の確立、人工バリア等の定置技術や長期健全評価等の工学技術、安全評価技術等の高度化開発を行う。

TRU廃棄物の地層処分については、前述の通り原子力委員会等により、主に経済性の観点から、高レベル放射性廃棄物との併置処分の妥当性について検討すべきとされている（図3-1）。

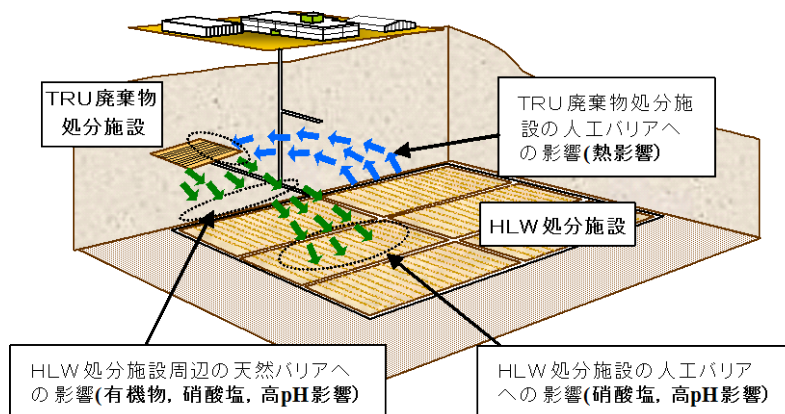


図3-1. 併置処分の概念図

（一方の処分場が他方の処分場に与える影響因子として、熱、有機物、高pH溶液、硝酸塩が挙げられ、このうち最も影響範囲の広い因子は硝酸塩であるとされた）

併置処分の成立性については、第 2 次 T R U レポート等による検討では、図 3 - 1 に示す相互影響因子の広がり considering して、双方に影響が及ばない程度に離隔距離を設けて設置すればよいとされている。T R U 廃棄物の地層処分に係る技術開発については、これらの検討を踏まえ、高レベル放射性廃棄物に係る技術開発の先行的成果も取り込みながら、T R U 廃棄物固有核種の閉じ込め技術、人工バリア材料の長期評価技術等の課題に重点的に取り組む。

地層処分技術調査では、地層処分に共通的な地質環境調査技術に関する「地層処分共通技術」、高レベル放射性廃棄物の処分の工学技術や安全評価に関する「高レベル放射性廃棄物処分関連技術」及び T R U 廃棄物の処分や安全評価を行うための「T R U 廃棄物関連技術調査」の 3 つのカテゴリーに分類し、それぞれ以下のような内容で実施している。

1) 地層処分共通技術開発

高レベル放射性廃棄物の処分地選定については、今後、文献調査、概要調査、精密調査を経て平成 40 年前後を目途に最終処分施設建設地の選定が行われる予定であり、そのための地質等調査技術のうち、特に概要調査と精密調査(前半)で必要となる地上からの調査評価技術の高度化開発を行う。

2) 高レベル放射性廃棄物処分関連技術調査

高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る重要な基盤技術として、様々な環境下における人工バリア等の長期健全性評価技術、人工バリア及び周辺岩盤の性能評価技術の高度化開発を行うとともに、処分場操業に必要なオーバーパックの溶接・検査及び廃棄体の搬送・定置に関する遠隔操作技術等の開発を行う。

3) T R U 廃棄物処分関連技術調査

地層処分対象の T R U 廃棄物に対し、T R U 廃棄物の処分施設において特に重要となる高 p H 地下水環境下での人工バリアの長期性能評価、T R U 廃棄物に固有に含まれるヨウ素(I-129)の固定化技術、炭素(C-14)の移行挙動評価や閉じ込め技術、硝酸塩の影響評価技術等の開発を行う。

なお、本技術評価では、以下のテーマごとに平成 22 年度～平成 24 年度に実施された技術開発事業について評価を実施する。

- ・ボーリング技術高度化開発
- ・岩盤中地下水移行評価技術高度化開発
- ・地質環境総合評価技術高度化開発
- ・沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発
- ・海域地質環境調査技術高度化開発
- ・先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発
- ・処分システム化学影響評価高度化開発
- ・処分システム工学要素技術高度化開発
- ・地層処分回収技術高度化開発
- ・地下坑道施工技術高度化開発
- ・人工バリア長期性能評価技術開発

- ・ ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発
- ・ セメント材料影響評価技術高度化開発
- ・ 硝酸塩処理・処分技術高度化開発

3－1－2－A 政策的位置付け

2－1－2で述べたように、経済産業省の施策である「核燃料サイクルの推進」の目的の一つとして、本事業の目的である「放射性廃棄物処分対策」が明示的に示されており、プログラムへの適合は明確である。

3－1－3－A 国の関与の必要性

2－1－3で述べたように、原子力発電に伴って生じる放射性廃棄物の処分は、公益性が極めて高く、国民全体の利益から見ても重要な課題である。また、地層処分には、安全確保の長期性と処分事業の長期性という大きな特徴があり、その研究開発は、利益事業への直結性や汎用技術への展開性に乏しいため、国の基盤研究開発への取り組みが一層求められている領域である。また、本研究開発は、海外の原子力利用事業に協力する際の科学・技術資源となるものであり、さらには未来型の大型大深度地下利用事業等にも活用されうるものであるために、国としても研究開発の役割を担い、先導性と継続性をもって基盤的な研究開発を着実に進め、国民各層の理解を得つつ、わが国の処分計画の着実な進展のための技術基盤を整備していくことが重要である。

官民の役割分担についても、「原子力政策大綱」等に則り、研究開発を全体として計画的かつ効率的に進めるため、本事業を担当する経済産業省、JAEAによる地層処分研究開発を管轄する文部科学省、地層処分実施主体であるNUMO、及び関連研究機関等が参加する「地層処分基盤研究開発調整会議」における調整のもとで全体マネジメントを行っているところである。事業の実施者においては、大学等の有識者による外部検討委員会を設けて事業を実施するとともに、調整会議においても目標の達成度や実施の効率性、成果の技術的意義について適宜評価を行っており、事業の効率的な実施に努めているところである。

3-2-A 研究開発目標

3-2-1-A 研究開発目標

地層処分技術調査においては、国としての基盤研究開発の長期的かつ継続的な取り組み、処分事業や安全規制の段階的展開、JAEA等の関連研究開発の計画等を念頭に、10～20年程度の中長期的な視点と同時に、当面5年程度の短期的かつ具体的な視点をもって技術開発の目標・計画を設定して展開している。特に、今後平成20年代中頃よりサイト選定や処分概念の具体化がなされていくことを想定して、幅広い地質環境を考慮したジェネリックな段階から、サイトスペシフィックな段階への展開やそれに伴う処分概念の具体化に応じて、技術の選択肢を用意するといった柔軟な対応が可能な技術基盤の整備に配慮して目標と計画を設定している（図9）。

3-2-2-A 全体の目標設定

（1）ボーリング技術高度化開発

本研究開発では、高レベル放射性廃棄物の地層処分地選定のための現地調査の効率的な実施に資するために、特にボーリング掘削が困難な堆積性軟岩地域において、あらかじめ設定された孔跡に沿って岩石コアを採取し方向性を制御しながらボーリング掘削を行い、かつ採取したコアや孔内調査により地質環境特性に関する情報を取得できる、コントロールボーリング掘削及び関連調査技術の開発を行うことを目的とする。堆積性軟岩地域において方向性を制御したボーリング掘削を行い、採取したコアや孔内調査により概要調査に必要な地質環境特性を把握する技術を実用化する。

（2）岩盤中地下水移行評価技術高度化開発

高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全評価では、地下水によって放射性物質が処分施設から最終的に人間環境に運ばれることを想定した「地下水シナリオ」が特に重要となる。本研究開発では、この地下水シナリオに係る評価の信頼性向上に資するため、天然バリアである岩盤中での地下水・核種移行挙動を明らかにする上で有効な調査評価技術として、地下水年代測定に係る技術、海底地下水の湧出を探索する技術、及び岩盤中の物質移行特性を評価する技術等の高度化開発を行うことを目的とする。

（3）地質環境総合評価技術高度化開発

地層処分においては、地下深部の地質構造や地下水流動といった地質環境特性や、地質環境の長期安定性に関する情報を、地質環境調査によって把握するとともに、それらの長期的な変遷も考慮しつつ処分システムの設計や安全評価に適切に提供されるようにすることが必要である。本研究開発では、地層処分システムの設計や安全評価に資するためのデータや情報を適切かつ信頼性をもって提供するため、地質環境調査に関わる一連の作業を支援することができる地質環境総合評価システムを構築し、実用に資することを全体目標とする。

（4）沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発

沿岸域は内陸に比べ現場調査例が極めて少なく、地層処分システムの安全評価方法にあた

り未解明の部分が多く残されている。特に塩水と淡水の交わる塩淡水境界や断層は、天然バリアの評価に大きく影響する。本研究開発では地層処分における沿岸域の深部地質環境評価に資するため、地下水研究と物理探査研究（主にボーリング調査や物理探査等の地上からの調査研究）によって、気候や土地利用等が変化しても影響の及ばない長期的に安定した地下水領域を把握するための手法開発を行う。同時に、地下水の滞留時間や将来的な停滞の可能性並びに地下水の流動を誘発する潜在的な断層等の評価を実施する。これらの研究を実施する中で、データベース情報を加味し、沿岸域に関する地質・地下水研究情報を体系化し、沿岸域の地質環境の総合評価手法を構築する。

（５）海域地質環境調査技術高度化開発

高レベル放射性廃棄物等の地層処分においては、天然の岩盤（天然バリア）と人工的なバリア（人工バリア）から構築される多重バリアシステムによって長期的な安全確保がなされる。この処分システムの成立性や安全性に係る信頼性を一層高めていくためには、天然バリアである深部地質環境の状況把握と将来変化に係る調査評価技術の信頼性向上が重要である。これらを踏まえ、本事業では、特に沿岸域領域での調査評価技術に着目して、沿岸域海底下の特徴的な地質環境や地下水環境の調査評価手法の高度化開発を行うことを目的とする。具体的には、沿岸海底下の地下水環境を評価するため、３次元的地質構造を明らかにし、地下水の年代（滞留時間）や流動速度などを推定することが事業全体の目標となる。

（６）先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発

将来的な原子力の持続的利用を可能とするためには、高レベル放射性廃棄物、TRU廃棄物をはじめとした放射性廃棄物の包括的管理体系について検討しておくことが不可欠である。本研究開発では、軽水炉サイクルシステムから高速増殖炉を含む先進サイクルシステムまでを対象に、発生する廃棄物の特性や処分サイトの地質環境、社会的要求等に応じて柔軟に高い安全性を確保することができる先進的な地層処分概念のオプションと、それらの特徴を適切に捉える事が可能な性能評価技術の高度化開発を行う。さらに、安全性以外の技術的実現性や社会的条件等を適切に反映した処分概念の最適化の方法論も含め、処分概念／性能評価に係る一連の技術や情報を統合した技術体系を利用しやすい形で整備する。

（７）処分システム化学影響評価高度化開発

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、天然バリアと人工バリアによって構築される多重バリアシステムによる長期的な安全の確保がなされ、この処分システムの成立性や安全性に係る信頼性を一層高めていくことが重要である。本研究開発では、地層処分システムの工学設計や安全評価の信頼性向上に資することを目標として、処分システムの長期性能に影響を及ぼす可能性がある要因のうち、放射線や微生物の影響、熱影響に伴うバリア間の複合作用による化学的条件への影響に関する不確実性を低減させるため、試験研究等に基づく調査・評価を行うとともに、化学的条件の不確実性を考慮した核種移行遅延パラメータの定量的影響評価手法開発を行う。これらにより現実的な核種移行環境等の化学環境影響に係る不確実性要因を対象として、定量的な影響評価技術等の高度化開発を行うことを目的としている。

（８）処分システム工学要素技術高度化開発

高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る工学技術に関しては、処分場の設計、建設、操業、閉鎖等の技術や長期健全性評価技術を研究開発対象として、①科学的知見の拡充、②技術的実現性の提示、③先進的新技术の導入による技術的信頼性・安全性の向上を目指した技術基盤の強化を考慮して進める必要がある。第２次取りまとめ及びNUMOの公募関係資料「放射性廃棄物の地層処分事業について 分冊－１．処分場の概要」にて示されている処分概念に対し、工学技術の実現可能性を幅広く、定量的に示しておくことが、技術基盤の整備と事業推進の支援として求められている。このような背景のもと、本研究開発では、地層処分に係る工学技術的信頼性や成立性等の向上に資する技術基盤を確立することを目的として、処分場操業に係る遠隔操作技術、人工バリアの品質等の評価技術及び処分システムの状況等をモニタリングする技術について、適用性確認試験等を行い、技術選択肢の整備に向けた知見を取得する。

（９）地層処分回収技術高度化開発

高レベル放射性廃棄物処分における廃棄体の回収可能性に関して、平成１８年９月に取りまとめられた「放射性廃棄物の地層処分に係わる安全規制制度のあり方について」（廃棄物安全小委員会）においては、基本的に廃棄体を回収するような事態が生ずることはないと考えられるとしながらも、処分場閉鎖までの間は廃棄体の回収可能性を維持することが必要である、と記されている。また、資源エネルギー庁で実施している基盤研究（地層処分技術調査等事業（高レベル放射性廃棄物処分関連：処分システム工学要素技術高度化開発））において、操業技術を構成する要素技術の一つとして、回収技術の中核技術である塩水を利用した緩衝材除去技術について、適用性の検討が行われている。これらを背景として、本事業は、地下環境における高レベル放射性廃棄物の回収技術を整備し、国民の地層処分技術に関する安心感の醸成に資することを目的とする。

（１０）地下坑道施工技術高度化開発

本研究開発の目的は、わが国の地下深部の地質環境の特徴を踏まえ、地層処分システムが有する長期性能への影響を最小限に抑えることを念頭に、放射性廃棄物の地層処分場を建設・操業する上で不可欠なグラウト（岩盤中の割れ目等の隙間に、支持力増大・漏水防止等のために流動性の液体を注入すること）技術を体系的に構築することである。この目的に沿って適切なグラウト材料や注入工法を開発し、室内試験レベルでの確認を経た後、原位置での試験を通じたデモンストレーションを行うことにより技術の実用性を確認することを全体の目標として掲げた。また、グラウトが充填され透水性が改善された地質環境の初期状態を出発点に、グラウト材料が及ぼす影響の時間的空間的変遷を長期にわたって評価することができるモデル開発とデータ整備を行い、グラウト材料が及ぼす長期的な影響を定量的に評価する手法を開発する。

（１１）人工バリア長期性能評価技術開発

TRU廃棄物の処分方策については、処分施設設計の合理化や詳細化、性能評価的信頼性向上等が課題として挙げられている。TRU廃棄物の地層処分に必要な技術開発については、高レベル放射性廃棄物処分の技術開発との整合を図りつつ、高レベル放射性廃棄物との併置処分の技術的成立性をより確実にするための検討を含め、放射性廃棄物の地層処分事業のス

ケジュールを考慮して進める必要がある。

このような背景のもと、本研究開発はTRU廃棄物の処分に係る人工バリアの長期性能評価に関する課題の解決に取り組むものであり、人工バリア材の長期的な変質とそれに伴って生じる強度や膨潤性等の力学特性及び拡散性や、透水性等の物質移行特性の変化（以下、人工バリアの長期挙動という）及び金属の腐食等によって発生するガスの人工バリアにおける透過特性、並びに透過挙動（以下、ガス移行の挙動という）の評価に対する理解を深め、人工バリア性能評価に係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。

（１２）ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発

TRU廃棄物の地層処分においては、ヨウ素（I-129）及び炭素（C-14）が被ばく線量評価上の重要核種となっているが、これは人工バリア材及び地質媒体への収着分配係数が小さく、これらの核種の移行遅延効果が見込めないためである。そのため、地質環境（特に水理環境）が良好でない地層に処分する場合には、処分場の性能が十分に発揮されない可能性があることから、これらの核種の影響の低減対策が重要課題として挙げられている。本研究開発では、これら非収着性の核種の被ばく線量を低減することにより、幅広い地質環境に対して処分の安全性が成立する代替技術を開発することを目的とする。

（１３）セメント材料影響評価技術高度化開発

我が国のTRU廃棄物の地層処分施設で充填材や構造材などに用いられるセメント材料を想定し、長期的にセメント水和物が地下水に溶解することによる、緩衝材及び周辺の岩石等のニアフィールドの長期的なバリア性能の経時的変化を反映させながら核種移行解析を実施するための技術の高度化開発を目的とする。

（１４）硝酸塩処理・処分技術高度化開発

核燃料サイクルにおける再処理の工程から発生するTRU廃棄物の中には、硝酸ナトリウム等の硝酸塩を含むものが存在し、第２次TRUレポートによれば地層処分相当の硝酸塩量は約3,250トンとされる。高レベル放射性廃棄物との併置処分において、硝酸塩の溶出に伴う硝酸イオンの地層内移行中の化学的変遷、すなわち還元挙動や、その生成物が高レベル放射性廃棄物に接触したときの核種溶出や移行に及ぼす影響については、これまで評価されていなかった。したがって、高い信頼性をもって併置処分の技術的成立性を提示するためには、

- ① 地層中の硝酸塩の化学的な変遷過程の理解とその速度論的評価
- ② ①の知見を踏まえた、硝酸塩の化学的変遷物の核種移行パラメータ（溶解度及び人工バリアや岩盤に対する収着分配係数）への影響評価
- ③ ①、②の評価モデルやデータを統合した硝酸塩影響評価システム

を評価する必要がある。

本研究開発の全体研究開発目標は、TRU廃棄物と高レベル放射性廃棄物の併置処分の実現性を提示する科学技術基盤としての硝酸塩影響に係る処分の評価技術と廃液中の硝酸塩の除去技術を併せて構築することである。

3-2-3-A 個別要素技術の目標設定

各テーマの要素技術ごとの開発目標と目標水準、及びその設定理由を表1～11に示す。

表3-1. 個別要素技術の目標（ボーリング技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
コントロール掘削技術	堆積性軟岩をはじめとするボーリング掘削が困難な地質を対象に、コア採取と同時に方向性を制御して、孔長1,000m、深さ500m程度で、孔底で水平となる掘削技術を開発する。	堆積性軟岩地域の断層破砕帯を対象に当初計画した孔跡に沿ってコントロール掘削を行い、深度約500m、孔長1000mの孔井を掘削する。より困難な掘削技術の知見を得るため、800m以深は水平で、方向性を偏距する掘削を目指す。	土木業界ではコア採取、調査は可能であるが鉛直、石油業界では方向性は制御可能であるが、ノンコアでかつ限られた調査のみの技術が存在し、本技術開発はこれらの長所を統合化して効率的な掘削、調査を可能とした。 本工法は掘削が困難な堆積軟岩を対象としており、対象岩体での処分深度がおおよそ300～500mとされており、これをカバーする形状掘削が可能である。
孔内測定・調査技術	孔内において、概要調査に必要とされる地質環境特性を取得するための測定、調査技術を開発し、現地に適用することにより技術の適用性を検証する。	孔内調査として、透水・採水、LWDを現地掘削、調査に適用させ、実用化する。これまでに開発した応力測定装置をコントロールボーリングへ適用できる装置に改良する。モニタリング技術については模擬孔で実施した設置方法での課題を明らかにし、設置のための機器の改良を行う。孔井を利用したトモグラフィーを現地に適用し、その適用性を確認する。	地質・地質構造、水理特性、地化学特性、物理・力学特性、初期地圧など概要調査時に必要な調査・評価項目をおおむね網羅している。
掘削・調査の体系化	コントロール掘削に関する、掘削・調査技術を体系化し、手順書を作成する。	概要調査におけるコントロールボーリングの必要性を取りまとめる。これを踏まえて、これまで行った機器開発および現地への適用の経緯、またその結果のレビューを行い、手順書作成の資料を取りそろえる。	コントロール掘削・調査技術は学際的な技術の集大成であり、実運用する際には、掘削の位置づけや、役割、さらには調査方法や結果の評価を理解した上で運用する必要がある、このためのマニュアルを整備する。

表3-2. 個別要素技術の目標（岩盤中地下水移行評価技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
地下水年代測定技術調査			
評価技術の開発	数万年～百万年を評価できる地下水年代測定法について、国内サイトに適用できるように複数の方法を整備する。また、水理的・地化学的に地下水年代測定結果の妥当性を検証する方法を整備する。	^4He 法や ^{36}Cl 法を補足できる同位体・希ガスなどについて、採取方法、分析方法を調査し、原位置に適用できるように整備する。 地下水流動解析や地化学解析など、水理的・地化学的な観点から地下水年代測定の妥当性を検討できる	安全評価では地下水流速の評価が重要である。これを直接的に評価できる地下水年代測定の信頼性向上を図るために、複数の地下水年代測定法の相互比較、水理的・地化学的な評価との相互比較により妥当性を示すことが有効である。

		方法を整備する。	
国内への適用性 検討	国内サイトにおいて地下水年代が適切に評価できることを複数の地下水年代測定結果の整合性、水理的・地化学的な検討結果との整合性から実証する。	幌延(堆積岩)、瑞浪(花崗岩)などにおいて、開発してきた方法を適用するとともに、適用結果の妥当性を複数の方法や、水理的・地化学的な観点など複数の方法から検証する。	地下水年代測定法を国内に適用し、適切に地下水年代を評価できることを示せば、地下水流速の評価の信頼性向上につながる。
開発技術の取り 纏め	概要調査段階の地表調査およびボーリング調査を対象に、地下水年代測定法の適用方法を提示する。	開発してきた地下水年代測定技術と原位置への適用事例を取り纏め、概要調査における地下水年代測定の適用方法を示す。	概要調査において地下水年代測定法を適用できるように調査・評価方法を示しておく必要がある。
岩盤中物質移行特性評価技術			
原位置トレーサ 試験技術	岩盤を対象として、収着性物質の使用も可能な原位置トレーサ試験技術の有効性を、原位置において実証する。	岩盤を対象とした原位置トレーサ試験装置を試作する。 トレーサ試験結果から溶質移行パラメータを同定する手法の基本的な整備を終了する。 割れ目の分布が比較的単純な国外サイトにトレーサ試験装置や溶質移行パラメータ同定手法を適用し、有効性を示す。	地層処分の性能評価に資するため、岩盤の溶質移行特性を評価するには、原位置で実際に溶質の移行速度を計測することが極めて有効である。そのため、岩盤を対象とし収着性物質の使用も可能な原位置トレーサ試験技術の確立が必要となる。
各種割れ目探査 技術	ボーリング孔間の割れ目特性を調査する各種探査技術(溶存ラドン濃度計測による開口幅調査、高粘性流体注入による割れ目内流動形態調査、音響トモグラフィ法による割れ目分布調査)の有効性を原位置において実証する。	ボーリング孔間の割れ目特性を調査する各種探査技術の基本的な整備を終了する。 割れ目の分布が比較的単純な国外サイトに各種探査技術を適用し、有効性を示す。	溶質は主に岩盤内の割れ目を地下水とともに移行していくため、割れ目の分布、幾何形状が核種の移行に大きく影響する。したがって、従来技術では困難なボーリング孔間の割れ目の分布・幾何特性の把握を可能とする技術の開発も重要となる。

表 3－3. 個別要素技術の目標（地質環境総合評価技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
地質環境調査に関わる知識の表出化手法の開発	事例調査に基づき、地質環境調査計画の策定から結果の解釈・評価を経て処分システムの成立性等の検討に至る一連の作業プロセスについて、最新の知識工学の技術を活用し、データや情報の取り扱い、実際の経験に基づく調査・評価上のノウハウ、品質管理、不確実性の取扱い、様々な意思決定等を知識として表出化するための手法を開発する。	(平成24年度で終了)	地質環境調査には経験を積んだ専門家の有するノウハウや判断プロセスが重要となる。これらを知識として共通的に利用できるようにすることは、追跡性と透明性の高い、効率的な地質環境調査を実施する上で不可欠である。

次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）の開発	処分事業の進捗や、求められる地質環境の変化、最新の地質環境調査技術の取り込み等、求められるシステムの性能を確認しつつ、必要に応じて開発・改良を実施する。	上記手法を適用して、知識を最新の知識工学の技術を活用しながらエキスパートシステムとして具現化することにより、調査結果の品質確保や調査・評価の進め方等に関する判断・意思決定を支援し、これらに関係専門家間等で共有するためのコミュニケーション機能を備えた、次世代型の地質環境総合評価システム（次世代型サイト特性調査情報統合システム：ISIS）を構築し、実用に資する。 開発するISISは、幅広い地質環境に適用できるようにするとともに、長期にわたる事業の間に段階的に進められる調査で得られる新たなデータを踏まえて、適宜調査計画を最適化することが可能なものとする。	地質環境調査評価計画を追跡性と透明性をもって効率的に立案・実施するためには、一連の作業に関する専門家のノウハウ等をエキスパートシステムによって体系的に利用可能とし、調査結果の品質確保や調査・評価の進め方等に関する判断・意思決定を支援するとともに、これらに関係専門家間等で共有するためのコミュニケーションを促進できるシステムの構築が必要である。 また、段階的に進められる処分事業の進展に応じて必要なデータや情報を適切に取得していくことができるよう、状況に応じて地質環境調査を常に最適なものとして適合させていくことが重要である。さらに、長期にわたる事業の間に得られる新たな知見を常に反映した評価を可能とする体系的な技術の開発が不可欠である。
------------------------------	--	---	--

表 3－4．個別要素技術の目標（沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
塩淡水境界／地下水総合評価	幌延町沿岸域の浜里地区において、1200mのボーリング調査を実施し、地質・地下水環境を把握するとともに、ボーリング調査結果と物理探査結果との組合せ、関連データベースの活用等を含めた、沿岸域における塩淡水境界や断層等の把握及びその長期的な変遷の評価に係る総合的な調査評価手法として構築する。	1200mのボーリングを行い、同時に地質・地下水試料の採取分析や水理試験等から深部地質・地下水環境の適切な評価手法を構築し、同時にこれを評価する。さらには、地質構造と水理地質構造の比較や広域・長期地下水流動の評価などに取り組む。	幌延町北進地域に深地層研究所を決定した時に取得したデータとの互換性を考慮し、また近隣の町村に点在する温泉（深部地下水）データとの比較を念頭に入れ、当該研究地域の深部地質環境や深部地下水環境を体系的に評価するため、この深度を決定した。さらに、当該地域の地下水は水理学的に層構造を示すことが既往文献から推定されていたため、この情報を得ることで深部地下水の長期安定性を評価できると考え、研究手法を決定した。
沿岸域地質構造／断層評価技術	物理探査技術に着目して、沿岸域に特徴的な課題である浅海域の調査、海域から陸域への連続的評価を念頭に、特に複数の物理探査による統合解析手法を開発するとともに、既存データに対する再評価、沿岸域での実証試験を通じて高精度な地質構造や断層の評価手法としての確立を図る。	これまでに調査が困難とされてきた浅海域における物理探査手法を確立する。具体的には、センサーの開発に始まる電磁探査手法を用いた海陸接合調査法の構築や既存資料までを含めた海陸接合解析技術の開発を実施する。	周辺の既往調査により陸域から海域へ連続した地質構造を呈することが分かっており、これを把握したうえで高度な物理探査を実施することにより、より詳細な探査ができること、さらには、既存データを用いた海陸接合のための再解析技術が養えることなどから、本調査地域での研究内容を決定した。

関連データベースの開発	全国規模の地質・地下水データベースと個別地点での詳細調査の相互補完的かつ効率的な調査評価の方法論の検討に資する。また、これらのデータを統合化しデータ処理・評価の最適化を図る手法を検討する。	日本列島の堆積層のデータベースを構築し、当該研究の適用範囲を確認することや、さらには、地下水データベースとの組み合わせにより、これを用いた地下水流動解析を実施するという具体的な目標を設定した。	全国の沿岸域の水理地質環境の概要を把握し一定の基準で比較できるようにするため、また当該研究による成果の適用範囲を見極めるために、地質と地下水に関するHLW 研究のためのデータベースを構築する必要があった。
-------------	--	--	--

表 3－5．個別要素技術の目標（海域地質環境調査技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
沿岸域地質構造評価技術の開発	3次元地震探査を行い、沿岸浅海域における3次元海底下水理地質モデルを構築する。これを用いて、海底地形と地質構造、ひいては（潜在）断層との関係を明らかにする。	深部地下水が上昇流を発生させる要因（キラー要因）として、塩淡水境界と断層の存在が挙げられる。塩淡水境界は電磁探査手法により見出すことができていたが、断層を含めた3次元的地質構造は本事業で開発した電磁探査手法により高精度に把握できるようになった。	沿岸陸域や深海域においては、これまでに探査技術が概ね確立されている。探査船の入り込めない浅海域における探査技術を確認し、陸域から海域までを統合した海底下水理地質モデルを構築することが求められている。
海上掘削調査技術の開発	海上ボーリング調査対象となる沿岸域の海底下水理地質モデルを構築し、地下水流動解析を実施することで、掘削地周辺の地下水環境の推定や掘削適地の評価を行う。	既存のデータベースを駆使することで、ボーリング調査地（対象沿岸域）の地質や地下水流動特性を事前に把握し、解析的に地下水環境を推定する技術を構築し、調査時の評価項目（分析・試験方法）を事前に把握できるようにする。	実際には掘削によって安定した地下水環境を探索することや地下水年代の大きなことを確認して処分場を決定することになるが、掘削前に海底下水理地質モデルを構築したり地下水流動解析を実施する事前調査技術の確立が求められる。

表 3－6．個別要素技術の目標（先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
先進的地層処分概念の開発	種々の処分概念の特徴や与えられた地質環境条件、社会的条件等に対する長所・短所などを包括的に把握する方法、これに基づいて個々の処分概念の与えられた条件に対する適用性等の評価を支援する方策を提示する。また、必要に応じて新たな概念を創出する方法が提示するとともに、それら方策の実現可能性も併せて示す。 処分概念に係る情報及びその分析結果を管理するためのデータベースの機能設計を提示するとともに、機能の確認を行う。	(平成24年度で終了)	公募によるサイト選定等様々な地質環境条件、社会的条件等を勘案して処分事業を適切に進めるためには、閉鎖後の長期安全性はもとより、操業時安全性や環境影響に配慮した技術的に実現可能な処分概念オプションの整備・拡充・高度化を行うことによって処分事業の柔軟性を確保することが重要であり、それを支援する技術の整備、及び処分概念に関する多種多様な情報の体系的な整備を行うことが不可欠である。
性能評価技術／処分概念最適化技術の開発	処分システムの性能評価に係るモデルや計算コードの最新情報の調査・整理、及びそれ	(平成24年度で終了)	多様な地質環境や社会的条件に応じた種々の処分概念オプションについて、その特徴を現実的に表

	らの統合と利用支援のための方策を提示するとともに、その方策の実現可能性を確認する。また、性能評価上重要となり得る課題の抽出とその解決案を提示するための方策を提示し、その方策の実現可能性を示す。 最適化技術については、核燃料サイクルとの関係も考慮した処分概念最適化問題の考え方、適用可能な最適化手法を提示する。		現して性能評価を行うためには、対象とする地層処分システムの特徴や振る舞いを評価対象となる時間・空間スケールにわたって統合的に考慮することを可能とする統合的な性能評価手法を整備することが不可欠である。 また、処分事業の期間を通じて蓄積され詳細化される地質環境情報や社会的な条件の変化、科学技術の進歩等に対応して課題を明確にし、自律的に性能評価の信頼性を高めていくための仕組みを構築しておくことが重要である。 処分概念の開発を進めていくためには、こうした性能評価技術との関連を念頭において、様々な要件に関するトレードオフを検討し、処分概念の最適化・意思決定を行う必要があり、これを支援するための技術を開発することが不可欠である。
先進サイクルシステムに対応した処分概念／性能評価技術の開発	先進サイクルからの放射性廃棄物の特徴を処分の観点から分析評価し、特性に関連する定量的な評価手法／ツールの基本設計を提示するとともに機能の確認を行う。先進サイクルへの処分概念、性能評価技術の適用可能範囲を検討するための方策、及び最適化検討の基本的なアプローチを提示する。さらに、一連の技術要素の統合に必要な要件を提示する。	(平成24年度で終了)	原子力の持続的利用を可能にするための包括的な廃棄物管理体系に係る検討を進めるためには、将来において想定される先進サイクルシステムから発生すると考えられる放射性廃棄物の特徴を分析評価するとともに、それら廃棄物に対しても適用可能な処分概念／性能評価技術を開発することが必要となる。また、種々のサイクルシステム全体を視野に入れた最適化検討を行えるように整備するとともに、各要素技術で開発される複数の技術とデータベースを連携して利用できるように整備することが不可欠である。
原子力事故廃棄物の処理・処分に係る対応	発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備に組み替えて実施。	原子力事故廃棄物の処理・処分方策の検討を主に処分の観点から行い、早急に処理・処分への取組みに関する基本的な道筋を示すために、原子力事故廃棄物性状把握のための分析、及び処理・処分に向けた情報の収集・整理を通じて課題・研究開発計画を提示する。	東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波による東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、原子力事故廃棄物の処理・処分技術の整備が喫緊の課題となっている。
巨大地震・津波を含む想定外事象への対応	東北地方太平洋沖地震における巨大地震・津波を含めこれまでの想定を超える事象に対する地層処分システムの安全性を具体的に確認する方法を提示するために、超長期安全性の検討に向け、人工バリアや処分施設の安全性能維持限界状態評価技術の確立や限界条件（閾値）を提示する。	巨大地震・津波を含む想定外事象に対する地層処分システムの安全性を具体的に確認する方法を提示に向けた課題の整理し、計画を作成する。	東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波による東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、巨大地震・津波を含めこれまでの想定を超える事象に対する地層処分システムの安全性を具体的に確認する方法を提示する必要がある。

表 3-7. 個別要素技術の目標（処分システム化学影響評価高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
放射線影響評価 1) 人工バリアへの放射線影響評価手法	地下水の γ 線分解がオーバーパック（炭素鋼）腐食へ及ぼす影響に対する緩衝材の抑制作用の機構を解明する。	(平成24年度で終了)	平成17年度までの調査により、緩衝材中では炭素鋼腐食への γ 線照射の影響が抑制されることが見出された。この機構を解明してモデル化することにより、オーバーパックの放射線遮蔽厚さの設定の合理化に寄与すると期待される。
2) 核種移行への放射線影響評価手法	地下水の α 線分解による処分場の化学環境(主に酸化還元環境)変化が核種移行に与える影響の概括的な評価手法を提示する。	(平成24年度で終了)	第2次取りまとめでは、地下水の放射線分解の影響について、生成するラジカルの影響は還元剤として作用する鉄が過剰量存在するため無視し得るとしているが、反応拡散過程を具体的に検討してモデル化し影響を定量的に評価することにより、当該事象のシナリオ上の重要度判断の信頼性向上が期待できる。
処分システム微生物影響調査 1) 微生物特性評価手法の開発・改良	深部地質環境に生息する微生物代謝群の定量評価手法・活性評価手法を開発する。また、既存の文献から微生物増殖に関するパラメータの抽出を行い、データベースを構築する。これらを通じて、プロトタイプの微生物影響評価モデルに利用する微生物パラメータの提供について具体的な方針を示す。	(平成24年度で終了)	深部地質環境における微生物特性評価手法を総合的に検討した事例は無く、最適な手法を明確にする意義は大きい。また、微生物影響評価モデルを構築する上で、各種パラメータの設定方法を解決するため、微生物特性データ取得方法の開発や微生物増殖に関するデータベースを整備する必要がある。
2) 微生物影響評価手法の開発	処分システムの性能に影響を与える微生物要因の抽出とその重要度を評価する。 また、微生物による深部地質環境の変化や核種移行への微生物影響に関して、地球化学反応、微生物活動及び物質移行を考慮した定量的評価モデルの開発・改良を行う。	(平成24年度で終了)	これまで、深部地質環境における地下水化学に対する微生物活動について定量化するための手法が確立されていなかった。そこで、微生物活動を定量的に評価するための手法の開発・改良を行う必要がある。
バリア複合化学環境影響調査 1) 塩濃縮・析出現象評価技術の開発	塩濃縮・析出現象の実験による現象理解を進めつつ、緩衝材中の連成プロセスの定量化に資する数値モデルを開発する。 廃棄体からの発熱による温度勾配が生じた不飽和緩衝材中で生じる塩濃縮・析出現象の定量化に見通しを得る。	(平成24年度で終了)	塩濃縮・析出現象に関する研究例が国内外を通じて少ないことに加え、同現象がFEP（特性（Feature）、出来事（Event）、過程・経過（Process））から除外された事象であることから、FEP選択の妥当性を検証する必要がある。そのため、塩濃縮に関する実験事実の蓄積と長期的評価が可能となるモデル開発の意義は大きい。

2) 高温環境下での人工バリア挙動評価調査	100℃超での主要な腐食シナリオを推定し、炭素鋼の適用性評価と概略的な寿命の評価を行う。 電気化学試験による不動態化挙動の把握や浸漬試験による腐食速度の測定及び腐食モデルによる長期腐食量を推定する。	(平成24年度で終了)	従来の基準では緩衝材の表面温度が100℃以下とされているが、処分場選定や設計裕度の観点から100℃以上でオーバーバックや緩衝材への影響を検討することも不確定要因を減じることになる。
3) 人工バリア相互作用影響評価調査	100℃超のニアフィールド環境を想定し、鉄共存下における緩衝材の長期変質予測及び定量的評価のための手法を提示する。 鉄-ベントナイト相互作用に関する現象理解の向上、変質評価手法の構築及び評価の例示、変質に伴う特性変化の知見を拡充する。	(平成24年度で終了)	
処分環境核種移行遅延要因影響調査 1) 人工バリア中の核種移行遅延評価手法の開発 2) 天然バリア中の核種移行遅延評価手法の開発	安全評価上重要な核種に関する圧縮ベントナイト及び岩石中の移行遅延データ取得を行い、標準的なデータ取得法のプロトタイプを提示する。これらのデータも活用し、特に圧縮ベントナイトを対象とした現象論的モデルと関連するデータベースのプロトタイプを提示する。 有機物影響を評価するための錯形成モデル及びデータベースを構築する。また、セメント高アルカリ水環境における代表的核種の収着拡散影響の基礎データを取得し、その影響を概略的に把握する。	(平成24年度で終了)	圧縮ベントナイトや圧密岩石における遅延性能パラメータの実験的取得手法及びモデル評価手法は、特に圧密系での多様な核種と環境条件での評価の観点で、十分には確立されておらず、信頼性の高い手法の構築が重要な課題である。 有機物やセメント高アルカリ水が核種移行に及ぼす不確実性要因・不確実性の幅と裏付けとなるデータが不足している上、評価モデル及び評価方法は整備されていない。そのためデータ取得や評価モデル・手法の整備が必要である。

表3-8. 個別要素技術の目標（処分システム工学要素技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
遠隔操作技術高度化開発	人工バリアの長期健全性評価より示される仕様に対する、工学的実現性を提示する。 このため、重要な遠隔操作技術（遠隔溶接・検査技術、遠隔搬送・定置技術）を組み合わせた操業システムの成立性を、健全性の観点から評価し、工学的対策を含めた技術メニューを提示する。	操業段階において特に重要な遠隔操作技術（遠隔溶接・検査技術及び遠隔搬送・定置技術）について、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含めた幅広い技術選択肢として整備する。技術の成立性と信頼性を提示すること、またその成果をもって処分技術をより広く一般に紹介して理解を促進するという視点から開発を進める。技術の実現性・適用性を、客観的根拠とともに技術メニューとして提示する。	オーバーバックの製作・検査に係わる技術、および緩衝材を直接取り扱う搬送・定置技術などは、処分システムの実現性、および成立性を提示する上で中核を成す技術であり、また処分システム構築時の品質を決めるものとして重要である。多様な技術選択肢、すなわち処分事業を構成する技術の実現可能性を幅広く、定量的に示しておくことが、技術基盤の整備と事業推進の支援として基盤研究に求められている。
人工バリア品質評価技術の開発	人工バリアシステム(EBS)の長期健全性評価モデルを確立	EBSの長期健全性及び施工技術の妥当性を評価するた	EBSの構成要素であるオーバーバックと緩衝材の品質は、製作・

	し、モデルを裏付けるデータと理論を整備する。 オーバーパックの健全性評価技術に関しては、実処分環境で想定される種々の腐食挙動や材料劣化、破壊モード等について、メカニズムに基づく長期健全性評価モデルを構築する。オーバーパックの仕様、および設計から溶接・検査、定置に至る一連のプロセスの可否判断指標の提示に資することで、オーバーパックの製作技術の成立性を向上させる。 緩衝材の健全性評価技術に関しては、処分環境（湧水量や水質等）に適応した緩衝材施工法の選定方法を確立するため、多様な技術により構築される人工バリアの品質／健全性評価に必要な指標を具体化し、評価モデルを確立する。また、緩衝材の性能劣化事象として懸念されるパイピング／エロージョン現象等への工学的対策を確立する。	め、製作・施工技術と人工バリア材料の特性の関係を整理し、品質の観点から技術的成立性を向上させる。 オーバーパック溶接部の品質評価技術に関しては、溶接部の耐食性評価試験を実施し、品質の観点から溶接封入技術の信頼性向上を図る。さらに溶接部の残留応力や耐食性の改善手法を提示し、オーバーパックの製作技術の成立性を高める。 緩衝材の品質評価技術に関しては、施工品質（密度差、隙間等）が再冠水時の現象（膨潤挙動等）に及ぼす影響を試験により明らかにし、緩衝材の性能への影響を踏まえた定量的な評価を行うとともに、緩衝材の設計・施工に関する仕様設定の考え方を提示する。	構築するハード技術に大きく依存する。遠隔操作技術高度化開発にて処分システムの成立性を提示する上で、要素技術の適用性、妥当性を評価するためには、オーバーパック・緩衝材に求められる品質の観点からの評価は不可欠である。 オーバーパックの安全機能である閉じ込め性を保証する観点から、溶接構造物としてオーバーパックの長期健全性を評価するため、溶接部の耐食性に関する知見を、HLW 第2次とりまとめで示された母材と同様に拡充する必要がある。さらに品質の観点から製作技術ヘフィードバックを行うことが重要である。また、緩衝材の品質評価技術に関しては、定置後の再冠水時に緩衝材に発生する事象の定量化が未だ不十分である。そのため、緩衝材内への地下水浸潤による現象についてデータを取得し、材料特性や製作方法等が性能に及ぼす影響を定量的に評価することが必要である。
モニタリング技術の開発	地層処分実施主体等がモニタリング計画を策定する際に必要とされる、モニタリング項目の選定方法、技術的実現性の評価方法、モニタリング結果のセーフティーケースの補強等への反映方法に関する考え方を確立する。また、性能確認等のモニタリングを実現するための中核的な技術を確立する。 これに加え、地層処分に関する記録保存について関係機関が具体的計画を策定する際に必要な情報を整備する。	地層処分実施主体等が策定するモニタリング計画に資する判断材料として、国内の規制の動向や国外での最新の研究成果を踏まえ、モニタリングの役割を整理する。また、モニタリング実施の際に必要な共通的中核的な要素技術の基礎試験等を行い、モニタリング計画等の策定に資する技術基盤として整備する。 これに加え、地層処分に関する記録保存について国内外の制度等を調査し、関係機関が具体的計画を策定する際に必要な情報を整備する。	地層処分におけるモニタリングは、処分実施主体によるセーフティーケースの補強の他、規制の遵守、ひいては社会への情報発信への寄与等の幅広い目的のため実施される。このため、処分実施主体、規制当局、自治体等に対し、透明性を確保した共通の基盤技術・情報を整備する必要がある。 これに加え、地層処分に関する記録保存について関係機関が具体的計画を策定する際に必要な情報を整備する必要がある。
処分システムに関わる巨大地震、津波等の対策技術の開発	事業主体等が実施する地層処分施設の設計に反映すべく、主に処分施設閉鎖前までの処分事業操業中における、地上／地下施設を含む処分システム及び施工された人工バリア等に対する地震、津波等の大規模な自然災害の影響を検討し、安全確保のための対策技術を技術調査や適用性確認試験等の実施により開発、提示する。	処分場概念・地層処分施設（地上及び地下施設）・設備・人工バリア等の検討対象を選定し、巨大地震・津波等を原因とする多様なリスク事象の影響を工学的に検討・整理して状況設定を行い、リスク低減に向けた具体的な技術課題を抽出し、重要度評価を行う。さらに対策技術の調査に着手し、開発に係る試験項目を抽出して年度展開を検討する。	東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波による東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、巨大地震や津波等の自然災害に対する操業期間中の安全対策に関する基盤技術の整備が喫緊の課題となっている。

表 3－9．個別要素技術の目標（地層処分回収技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
回収技術 高度化開発	処分システム工学要素技術高度化開発において塩水を用いた緩衝材除去技術に関するデータ取得が行われた。この回収技術を高度化し、地下環境で実規模の試験を実施するための装置を4年程度で開発する。 対象とする処分方式は、処分孔縦置き方式とする。	回収技術について最新の知見に基づき、地下環境において実規模で行う実証試験の全体計画の策定を行う。 廃棄体を回収するための緩衝材除去装置の設計を行い、そのうち装置主要部位（塩水噴射部、スラリー吸引部、塩水噴射部昇降設備、塩水リユース設備）製作を行い、地上において各部位の機能確認を行う。	高レベル放射性廃棄物処分の議論において廃棄体の回収可能性を維持することの必要性が取り上げられている。これまで基盤研究において回収技術の中核技術である緩衝材除去技術の適用性の検討がなされてきた。 これらを背景として、地下環境における高レベル放射性廃棄物の回収技術を整備することにより、国民の地層処分技術に関する安心感を醸成に資するための技術が提示することが求められている。

表 3－10．個別要素技術の目標（地下坑道施工技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
要素技術の開発	処分システムへの長期にわたる影響を低減できる新たなグラウト材料として、平成21年度までに開発したプロトタイプに関し、亀裂開口幅に応じて適用するグラウト材料の基本仕様を提示する。 平成21年度までにプロトタイプとして開発した高圧の地下水環境に適用できるグラウト注入工法と装置について、処分場での使用する際の要件と適用技術を整理する。 平成21年度までにプロトタイプとして開発したグラウトデータベースを改良・更新を行う。	(平成24年度で終了)	地下深部に建設する地層処分施設には、従来の地下構造物よりも高圧耐久性能が要求されるとともに、施工性の観点から岩盤の透水性の改良が要求される。また、超長期にわたる影響の低減のため、材料の低アルカリ化が重要である。
原位置適用性試験	結晶質岩を対象として、開発したグラウト材料と施工方法の実証を原位置にて確認するための試験計画を策定するとともに、地下研究施設を用いてその適用性を確認する。 亀裂ネットワーク等を考慮したグラウト浸透モデルの改良と現象理解を行う。 堆積岩を対象とした場合の注入グラウト分布確認技術を開発する。 本研究期間である6年間を通じて開発された成果を、実際の処分事業における適用を	(平成24年度で終了)	原位置試験の準備及び既存技術によるグラウト効果確認の実証。グラウト浸透モデルを用いたグラウト注入管理を行うことにより、グラウト材料による長期影響評価を行ううえでの初期状態とセメント量を推定することに資する。

	考慮して取りまとめる。		
グラウト影響 評価技術の開発	セメント系グラウト材料による岩盤変質や核種移行への長期的な影響評価を行う上で必要となる地球化学解析手法について、平成 21 年度までに提示したプロトタイプ技術に基づき、手法の改良やデータ整備を進め、影響評価で必要な手法を整備する。 また、セメント系グラウト材料による岩盤変質の影響評価で用いられるモデルの検証／検証において必要な高 pH 条件で変質・生成する微量の二次鉱物の分析・同定に関わる調査分析手法を開発するとともに、グラウト材料に添加される混和剤等による核種移行への影響に関する知見を整備する。	(平成 24 年度で終了)	亀裂周辺の岩盤劣化評価は原位置適用性試験で確認することが困難であるが、安全評価上不可欠となるため、新たなグラウト影響評価技術を開発する必要がある。

表 3-11. 個別要素技術の目標（人工バリア長期性能評価技術開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
人工バリアの 長期挙動の評 価	セメント系人工バリアについては、人工バリア構築手法と初期状態を把握のために、材料および部材仕様と性能を確認する。また、物性への熱影響を把握し、評価起点（閉鎖時）の初期設定の妥当性を確認する。ベントナイト材料については、材料及び地下水の多様性に対応したモンモリロナイトの溶解速度を設定すると共に、化学変遷に伴う力学・物質移行特性変化の演繹的手法により現象モデルを高度化する。さらに、天然事例による評価の妥当性を確認する。	材料及び環境及の多様性に対応する人工バリア材料の変質データを取得するとともに、変質に伴う物質移行特性及び力学特性の変化に関するデータを取得し、得られた成果をもとに人工バリア材料の変質、物質移行・力学特性の変化を体系的に評価できる人工バリアの長期性能評価手法の高度化を実施する。また、人工バリア材料の変質に関するナチュラルアナログ試料の分析を行い、得られたデータをもとに、変質解析における設定データの妥当性、ならびに解析モデルの妥当性について検討する。	「第 2 次 TRU レポート」及び「地層処分基盤研究開発に関する全体基本計画」では、人工バリア変質とその影響に関する予測に関して、未検証の前提条件の存在による不確実性を低減、多様な材料及び環境に対応した人工バリアの変質、力学、物質移動特性等の評価モデルの構築、セメントーベントナイトの界面近傍での変質挙動の解明等が課題としてあげられている。さらに、長期挙動の評価の信頼性向上のため、長期材齢を経た事例調査に基づくデータの取得も課題となっている。
ガス移行挙動 の評価	TRU 廃棄物処分施設内で発生したガスが処分の長期安全性に及ぼす影響に関して、ベントナイト及びセメント系材料で構成される人工バリアシステムのガス移行挙動を把握し、ガス発生機構や現実的な施工条件も踏まえ、長期変遷・連成系（THMC）を考慮したモデル化・解析手法の高度化及び不確実性の定量化を図り、人工バリアの長期安定性の評価や性能評価におけるガス移行評価の信頼性の向上を目指す。	TRU 廃棄物処分施設内で発生したガスが処分の長期安全性に及ぼす影響に関して、「ガス移行評価に必要な材料特性データの取得」、「モデル化・解析手法の高度化」、および「ガス移行挙動評価手法の構築」について検討することにより、人工バリアの長期安定性の評価や性能評価におけるガス移行評価の信頼性の向上を目指す。	「第 2 次 TRU レポート」及び「地層処分基盤研究開発に関する全体基本計画」では、ベントナイト系緩衝材中の応力連成を伴うガス移行を考慮した評価モデルの開発が課題として提起されており、ガス移行に伴う人工バリアの長期安定性の評価と性能評価におけるガス移行評価の不確実性の低減のために、ベントナイト系材料のガス移行特性データの取得、ガス移行挙動のモデル化・解析手法の高度化とガス移行挙動評価手法の構築が課題となっている。

表 3-12. 個別要素技術の目標（ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
ヨウ素固定化処理技術開発	処分実施主体（NUMO）の事業許可申請時には、固化体技術の選定を可能とする事が必要であり、廃棄確認や品質保証の方策や、そのために併せて実施される安全評価に供する基礎データとしての各固化体の長期評価モデル及びヨウ素放出データを整備する必要がある。 また、JNFL の処理施設（固化施設）の設計までに、固化技術の選定を行えるよう、各固化体のプロセスデータの整備および選定に必要な固化体性能に関する基礎データを得ておくことが必要である。 そのため、実廃銀吸着材の性状や核種インベントリ等の必要な特性が明らかになっている必要がある。	I-129 を含む TRU 廃棄物を固定化した固化体からのヨウ素の浸出データや固化体物性データを取得し、固化体からのヨウ素放出機構を検討するとともに、ヨウ素放出の概念的な評価モデルの構築を行う。 固化体の製造に必要な設備のプロセスデータ及び実規模固化体サイズと処理能力に関する検討を行い、廃棄物発生量の評価を行う。	現行の I-129 の被ばく線量値は、地質媒体の水理特性によっては、目安の線量である $10 \mu\text{Sv/y}$ を超える可能性がある。これは I-129 の地質媒体による移行遅延効果が極めて低いためであり、地質環境によらず安全裕度を確保するためには、人工バリアからの放出を抑制し、放出期間を 10 万年以上とできる固化体を開発することが有効である。 そのため、I-129 の最大被ばく線量を約一桁低減させ、放出期間を 10 万年以上とできる固化体を開発するとともに、その固化体を用いる際に生じる二次廃棄物を、低レベル放射性廃棄物以下に区分出来るヨウ素回収率（95%以上）とする。以上により、わが国の幅広い地質環境に柔軟に対応し、かつ高い安全裕度を持った TRU 廃棄物地層処分の実現に資する。
G-14 の長期閉じこめ技術の高度化	G-14 の長期閉じ込めのための廃棄体パッケージ（コンクリート容器および金属容器）の具体的な仕様、製作性を明らかにし、長期閉じ込めの信頼性を確保することで、その実用化に向けた見通しを提示する。	(平成 24 年度で終了)	地質媒体や人工バリアへの収着の少ない G-14 の被ばく線量の低減対策のための、長期的な閉じ込めによる人工バリアの安全性の裕度向上が期待出来る技術オプションとして、TRU 処分概念検討書において研究開発が求められている。
放射化金属廃棄物中の G-14 の放出挙動評価	インベントリ評価及びハル・エンドピースの処分において問題となる発熱量の評価のため、廃棄物の型式や材料ごとの物量やスペックが入手することが必要である。そのため基礎情報として、廃棄物の型式や材料ごとの、重要核種の分析データ、解析データがそろっている必要がある。 さらに、事業許可申請段階では、金属廃棄物等からの核種放出（腐食挙動）について、短期的に起こる現象（付着成分等からの放出）および母材金属等の腐食に伴う長期的な核種放出挙動の双方を説明できる必要があり、また、G-14 の化学形態について根拠を持って説明できる必要がある。	放射化金属廃棄物の G-14 について、現実的なソースターム評価を行う。そのため、廃棄物の組成毎に合理的な G-14 インベントリを設定する。また、長期浸出試験により放射化金属廃棄物（燃料被覆管）からの G-14 の浸出データを取得するとともに、浸出データを補完するためのコールド材での腐食速度の取得を行う。	G-14 の移行に関するデータや知見が十分でないため、現状の安全評価では保守的なものとなっている。G-14 の放射化金属廃棄物からのソースターム（放射能インベントリや放出率、金属腐食）を現実的に評価することで、被ばく線量の低減効果を提示することが期待される。

表 3-13. 個別要素技術の目標（セメント材料影響評価技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
(1) 個別要素評価モデル開発/ 基盤的データ整備 ①セメント変質評価モデルの開発	セメント系材料(低アルカリ性セメント及びOPC)からの水酸化物放出挙動に関する現象理解、データ取得及びモデル化のための、溶解・沈殿反応による間隙構造の変化と物質輸送特性の変化との関係に関する調査や定式化を行う。また、化学反応/物質輸送連成解析モデルに必要な個別モデルを構築する。これらの知見を、化学反応/物質輸送連成解析モデルに反映する。	低アルカリ性セメントの一つであるフライアッシュ高含有シリカフェームセメント(HFSC)の低アルカリ性発現機構の解明、HFSC中フライアッシュの水和進行モデルの提示及びHFSCの物質輸送特性に係わるデータを取得する。	高アルカリによる緩衝材/岩石の変質を低減させるために、低アルカリ性セメントの開発及びその使用が検討されている。低アルカリ性セメントの長期挙動を評価するための化学反応モデルや物質輸送モデルの構築が必要不可欠である。 また、公募によるサイト選定に対応するために様々な地質条件に対応したセメント変質評価モデルを構築する必要がある。
②緩衝材/岩石変質挙動評価モデル開発	緩衝材及び周辺岩盤の化学的変質とこれに伴う物質輸送特性変化に関する現象理解と、現象理解に基づく緩衝材/岩石変質評価技術開発(化学-物質輸送連成評価技術)を実施する。これらの知見を、①のセメント変質評価モデル開発で得られた知見と共に、複合現象評価へ反映することにより、核種移行解析の場の情報提供に資する。	緩衝材及び岩石の亀裂に対する通水型実験等による変質に伴う透水係数の変化に関わるデータの取得及び緩衝材/岩石変質挙動評価に用いる化学-物質輸送連成解析モデルに基づく計算ツールの開発を行う。	セメント系材料由来の高アルカリにより緩衝材及び岩石の変質が生じるが、変質に伴う物質輸送の変化に関わる知見は、乏しい。処分施設の長期挙動の信頼性向上させるためにも物質輸送を考慮した評価モデルの構築が必要である。
③バリア材料の変質に伴う力学評価モデル開発	処分施設の長期力学挙動とそれに伴う物質輸送特性の変化を評価するために、人工バリア材料及び岩盤について、化学的変質に伴う力学特性の変化や長期クリープ挙動を反映した力学挙動解析が実施できる評価モデルの構築を行う。	セメント系材料におけるひび割れ発生を考慮できる力学解析ツールを用いてTRU廃棄物処分施設を対象とした長期力学挙動評価の試解析を行い、力学モデルの改良に係る技術的課題を抽出すると共に、化学反応-物質輸送-力学挙動の連成解析に向けた課題を抽出する。	セメント系材料の力学的な評価においては、ひび割れ発生の影響については、これまで検討がされていない。セメント系材料のひび割れの水みちとしての影響を評価する上でも重要な研究課題である。
④地球化学元素に関するアルカリ条件での熱力学/速度論データの整備	人工バリア/周辺岩盤の構成鉱物とアルカリ変質に係る二次鉱物に関する熱力学データベースへの最新知見の取り込み、及び、鉱物の溶解・沈殿速度データの整備、計算ツールに実装可能な反応速度の定式化を実施する。	人工バリア構成鉱物とアルカリ変質に係る二次鉱物に関する熱力学データの整備状況及びデータの不確実性の影響を把握する。	人工バリア/周辺岩盤の化学的変質評価において、鉱物の溶解・生成反応に係る熱力学データ及び速度データの整備は必要不可欠である。
⑤放射性同位元素に関するアルカリ条件での核種移行データ取得及びモデル整備	高アルカリ性地下水において、高濃度の Ca^{2+} や $\text{Si}(\text{H}_4\text{SiO}_4(\text{aq}))$ との錯生成により溶解度の増大や収着分配係数(K_d)の低下(いずれも安全評価上危険側に作用)が起こりうる条件の調査を実施する。 上記条件下での核種移行データについて、文献調査等を実施する。 必要に応じて調査結果をデータベースに反映する。	(平成25年度より実施予定)	高アルカリ性水溶液条件におけるカルシウムやシリコン共存系における4価金属元素の溶解度実測値は少ない。セメント系材料の影響を受けた化学環境での核種移行評価の信頼性を向上させるため、核種移行データの取得及びモデル整備は必要不可欠である。
(2) 複合現象評	複数のバリア材料(周辺母岩	(平成25年度より実施予定)	化学-力学-物質輸送現象につ

価手法開発	を含む)に跨る化学-力学-物質輸送現象に内在するフィードバックループを適切に表現できるように個別モデル群を連成させて、バリアシステム全体の長期変遷挙動解析を実施するためのツールを開発する。		いて、フィードバックループを考慮したモデルを構築することにより、人工バリア自体が本来有する性能を把握するための評価技術を開発することは必要不可欠な課題である。
(3) 性能評価モデル開発	複合現象評価で得られる核種移行場の時空間的变化を反映して性能評価を行うための手法を構築する。具体的には、人工バリア等のひび割れ・形状変化とこれらに伴う水理・物質輸送特性の変化、及び化学的変質に伴う核種移行特性への影響(分配係数の変化)等を総合的に考慮することの可能な性能評価モデルを開発する。	(平成25年度より実施予定)	人工バリアが本来有する性能を評価するため、核種移行評価モデルの構築が必要である。

表 3-14. 個別要素技術の目標(硝酸塩処理・処分技術高度化開発)

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
硝酸塩影響評価システムの構築 ①硝酸イオンの化学的変遷挙動評価	硝酸イオンの化学的変遷挙動評価モデルの信頼性を向上させるために、モデルの計算結果と実験結果との比較による検証を実施する。	地層処分環境における硝酸還元プロセスとその速度データを取得し、プロセス毎のモデル化(プロトタイプ作成)を行う。 モデル化にあたっては、廃棄体等に含まれる金属、地層中還元性鉱物及び微生物の影響に係るプロセスを対象とする。	地層処分における核種移行評価を実施する上では、その化学的条件を設定するための、場の化学的変遷を示すことのできるモデルが不可欠である。しかし、地層処分相当深度に適用できる硝酸還元の知見やモデルは未だ整備されていない。
②核種移行パラメータに対する硝酸塩の影響評価	原子価が酸化還元反応に鋭敏な放射性元素について、データの信頼性を高めるためのデータ取得及び溶解挙動の現象理解を行う。	①の評価結果を考慮しつつ、硝酸イオンやその還元生成物のアンモニアが存在する場合での核種溶解度及び収着のデータを整備する。 溶解度については、硝酸イオン存在下では Se、Tc、アクチニド(V)、アンモニア存在下では Ni、Pd、Sn、Nb、Pb のデータを整備する。	廃棄体から硝酸イオンが溶出したと想定した場合、核種移行評価のパラメータである溶解度と収着分配係数について、以下の内容を把握する必要がある。 ・硝酸イオンの酸化性により核種の酸化状態が変化する場合の溶解度及び収着分配係数の変化 ・硝酸イオンが核種に配位して錯体を形成する場合の溶解度及び収着分配係数の変化 ・硝酸イオンの還元生成物であるアンモニアが核種に配位して錯体を形成する場合の溶解度及び収着分配係数の変化
③硝酸塩影響評価システムの構築	硝酸塩影響評価システムを用いて、共処分概念構築に活用し、システムの有効性を確認する。	上記①及び②の成果を反映しつつ核種移行評価を行うための解析用プラットフォームの開発を通じて、硝酸塩影響評価システムを構築する。	硝酸塩影響下での線量評価を可能にすることが、本システム構築の目的である。

放射性廃液中の硝酸塩除去技術の開発 ①硝酸ナトリウムの膜分離技術開発	最適な膜分離試験装置の基本システムを考案する。それに基づいた工学試験装置を製作し、分離性能を確認するとともに、技術評価に必要なデータを取得する。	(平成 24 年度で終了)	高濃度の硝酸塩を含む放射性廃液から、硝酸ナトリウムの大半を再利用可能な状態で分離回収するためには、イオン選択性に優れたイオン交換膜の性能に関するデータが必要であり、またその性能に基づく分離システムを開発する必要がある。
②硝酸イオンの分解技術開発	活性汚泥を用いる生物学的な手法による硝酸イオン分解のための工学試験装置を製作し、性能を確認するとともに、技術評価に必要なデータを取得する。	(平成 24 年度で終了)	実用されている低濃度硝酸塩を含む放射性廃液中の硝酸イオンを分解する方法が無いため、設備規模、設備費、運転費、二次廃棄物等の観点から分解システムを選定し、実用性評価のためのデータを取得する必要がある。
③高濃度硝酸塩除去技術の構築	再処理低レベル放射性廃液の模擬試料を用いて、硝酸ナトリウムの膜分離試験装置と硝酸イオンの分解試験装置を組み合わせた除去技術の性能を確認する。	(平成 24 年度で終了)	再処理廃液に想定される程度の濃度の硝酸塩廃液について、工学規模で除去できる見通しを得る必要がある。

3-3-A 成果、目標の達成度

3-3-1-A 成果

3-3-1-1-A 全体成果

成果については、個別テーマごとに進捗状況等も様々であるが、評価期間の中では、技術の高度化やデータの整備等においてほぼ当初目標どおりの成果が達成された。これらの成果は、最終的には処分事業に関する基盤的な研究開発及び放射性廃棄物処分の技術的信頼性の向上のための技術課題の解決に資するものと考えられる。

3-3-1-2-A 個別要素技術成果

(1) ボーリング技術高度化開発

幌延地点の大曲断層を対象として設定された孔跡計画に沿って、これまでに開発した掘削システムを用いて孔長 1000m、深さ約 500m、孔底付近で水平でかつ水平方向に偏距する孔井を掘削し、またほぼ 100%のコアを採取することができた。特に、本システムの特徴である、掘削バレルの直上に回転系があることによりぶれがない掘削が可能となり、断層集中箇所においても 100%と想定以上のコアを回収できた。

採取されたコアの観察、測定、調査、分析および孔内の LWD および透水試験・採水により大曲断層の水理地質構造を推定することが可能となった。応力測定装置に関しては、これまでに開発したプロトタイプをコントロールボーリングへ適用できるように改良し、その適用性確認するために現地において予備試験を実施した。モニタリング技術については模擬孔実施した設置方法での課題を明らかにし、設置に係る機器を改良しモニタリング装置を製作した。孔井を利用したトモグラフィーを現地に適用し、その適用性を確認した。

概要調査におけるコントロールボーリングの必要性(役割)について取りまとめた。これを踏まえて、これまで行った機器開発および現地への適用の経緯、またその結果のレビューを行い、手順書作成の資料を取りまとめた。

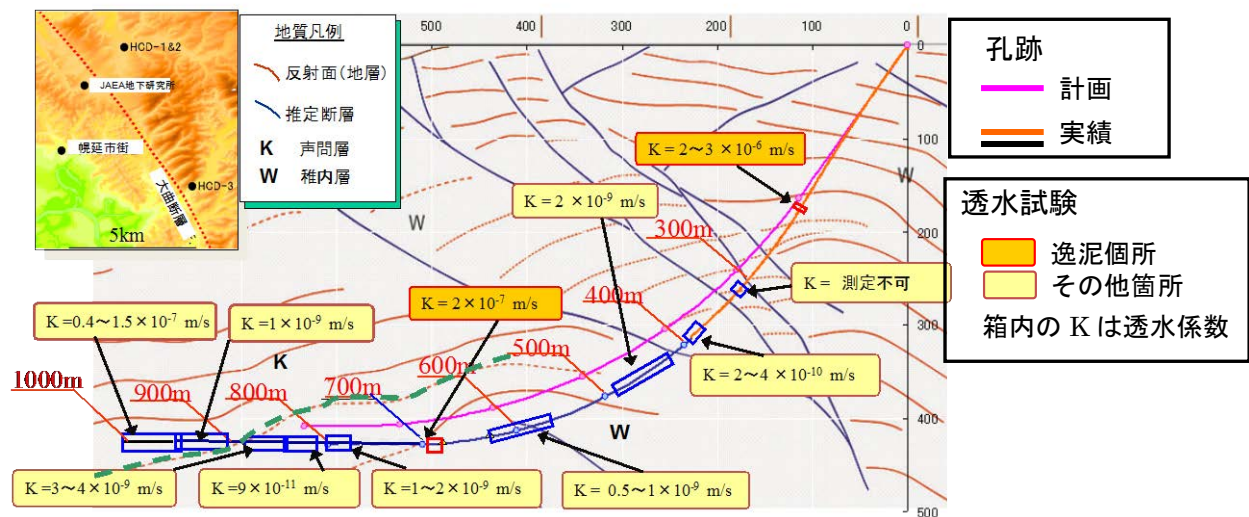


図 3-2. コントロールボーリングによる掘削実績と透水試験結果

計画孔席に沿って方向性を制御して掘削することができた。採取されたコアの解析より、反射法探査により想定された地質分布を検証することができた。また、掘削中に実施した透水試験の結果からは、断層内部では一般的な堆積岩より透水性が低いことが明らかとなった。

図 3-3. 大曲断層と地下水水質

幌延 URL 周辺では、大曲断層を境に水質が変化するが、掘削箇所付近では大曲断層を通してほぼ同様な水質である。また、酸素水素同位体のクロスプロットからは、地表水のフラッシュの影響が及んでいないことが想定できる。

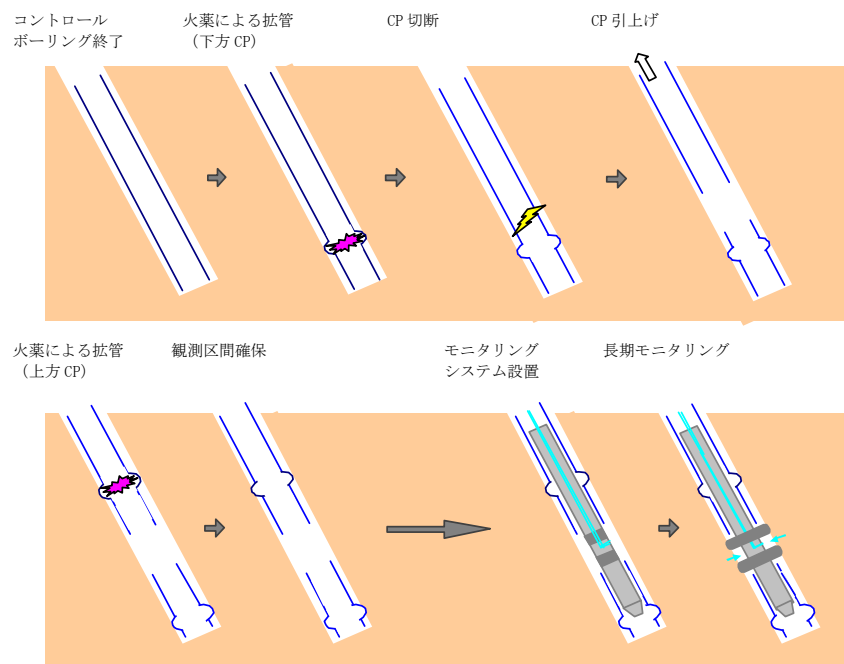


図 3-4. モニタリング装置設置のための裸孔区間構築手順

(2) 岩盤中地下水移行評価技術高度化開発

1) 地下水年代測定技術調査

数万年～百万年の範囲の地下水年代を評価できる方法を調査し、有望な方法(^4He 、 ^{36}Cl 、無機 ^{14}C 、有機 ^{14}C 、希ガス温度計、 ^{37}Cl 、 ^{87}Sr)について適用性向上を図るために採取・測定方法を整備した。また、水理的・地化学的に地下水の滞留性を評価できる方法を整備した。

花崗岩(瑞浪)と堆積岩(幌延)において、地下水年代の調査を実施した。瑞浪では、深部地下水が数万年程度で循環していることを、 ^4He 年代、無機 ^{14}C 年代、有機 ^{14}C 年代、希ガス温度計による涵養温度から示した。幌延および幌延沿岸域では深部の地層の地下水年代が100 年以上となることを ^4He 蓄積法と ^{36}Cl 法から示した。また、瑞浪と幌延沿岸域では、透水係数などの水理的な滞留時間と地下水年代が概ね一致することを示した。

これまで開発してきた地下水年代測定法を概要調査に適用するために必要となる原理、採取・分析方法、評価方法、適用方法、適用事例などを取り纏めた。

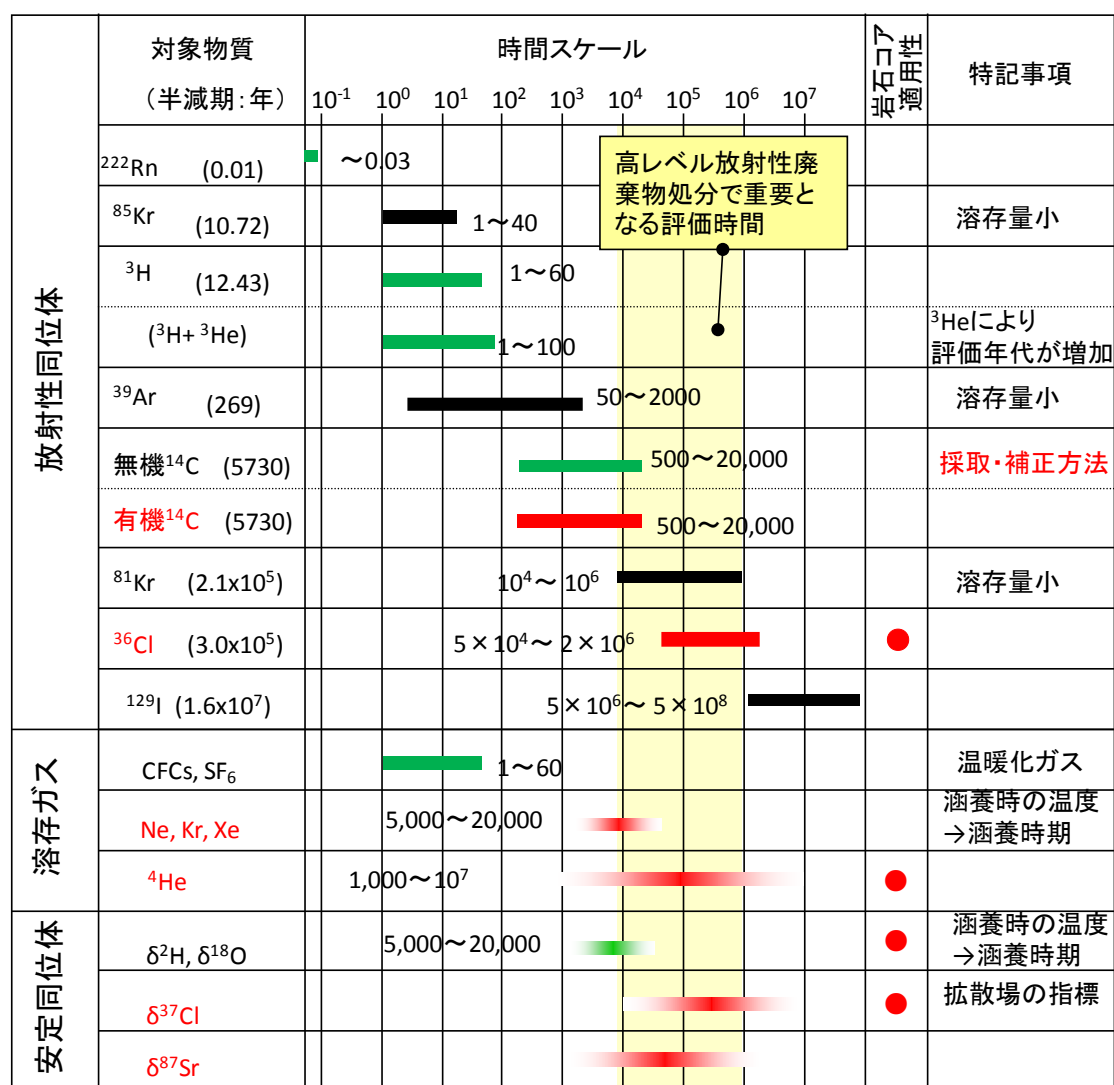


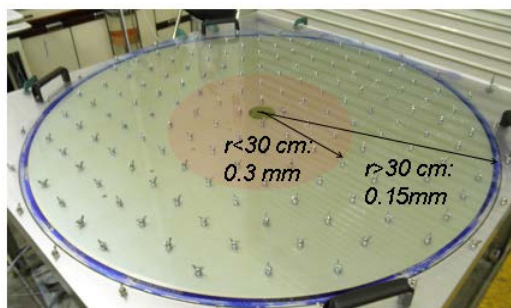
図3-5. 地下水年代測定技術調査で開発している方法と評価可能な時間スケール
(万年～百万年の年代評価に有効と考えられる方法を研究開発している。ここに、■:汎用的な技術、■:開発した技術、■:実現可能性が技術を表す。)

2) 岩盤中物質移行特性評価技術高度化調査

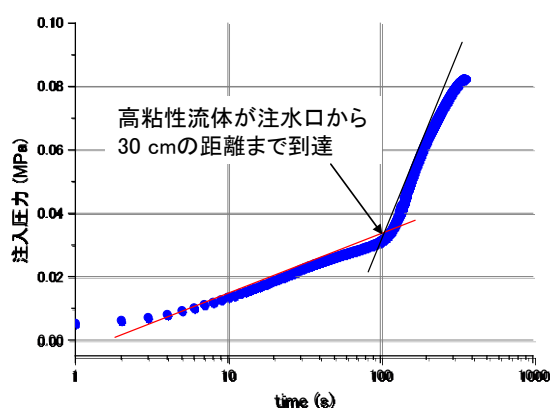
岩盤を対象とした原位置トレーサ試験技術、及びそれを補完する各種割れ目探査技術（溶存ラドン濃度計測による割れ目開口幅の調査技術、高粘性流体注入による割れ目内での流動形態に関する調査技術、音響トモグラフィー法による割れ目分布に関する調査技術）について、室内試験や数値実験を通じて、試験手法や試験結果の評価手法の基本的な整備を終了した（図3-8）。

そして、これらの各試験技術について、原位置試験装置を試作し、割れ目の分布が比較的単純なスイスの Grimsel Test Site において原位置実証試験を実施し、有効性を示した（図3-9）。

今後は、各試験技術の改良を行い、より地質構造の複雑な国内の試験場に適用し技術の確立を図る。



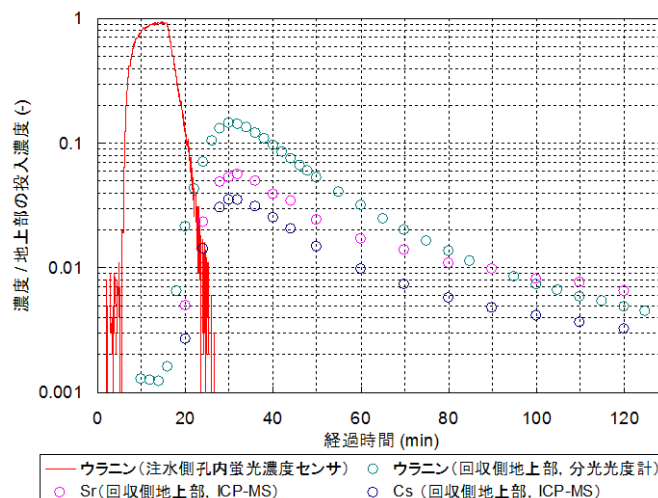
(a) 平行平板模擬割れ目



(b) 定流量注入時の注入圧力の変化

図3-8. 模擬割れ目を用いた室内での高粘性流体注入試験

注水口から 30 cm の位置で開口幅を変えた平行平板に高粘性流体を定流量で注入したところ、注入圧力は片対数グラフ上で 2 次元流れを示す直線となり、理論の正しさが確認された。また、注入圧力の直線の傾きは高粘性流体が注水口から 30 cm の距離に到達する前後で異なり、直線の傾きから透水量係数と割れ目の開口幅を算出したところ、開口幅は設定値と良く一致した。



(a) ダイポール試験

(b) トレーサ試験の注水側と回収側の濃度変化

National Research Council (1996)

図3-9. スイス Grimsel での原位置トレーサ試験

試作した試験装置を用いて、スイスの Grimsel Test Site でトレーサ試験の一種であるダイポール試験を実施した。回収側では、非収着性トレーサであるウランの濃度に比べて、収着性トレーサであるストロンチウムやセシウムの濃度は低くなっている。トレーサ濃度の経時変化から、岩盤割れ目の溶質移行特性（開口幅、分散長、分配係数）を数値解析により同定することができた。

(3) 地質環境総合評価技術高度化開発

JAEA の深地層の研究施設計画など国内外で実施された地質環境調査評価事例の活用などを通じて、調査・評価上のノウハウ、品質管理、不確実性の取り扱いや作業に伴う様々な意思決定等の背景情報を分析・整理し、最新の知識工学の技術の活用によるルールベース化や事例ベース化による、エキスパートシステムを作成した。地質環境調査の様々な作業（地質環境モデルの構築～地質環境調査計画策定～調査の実施）を支援するため、作成したエキスパートシステムに加えて、様々な支援機能（ツール）（後述、2）参照）を開発した上で、それらをマネジメントコクピットに統合し、プロジェクト全体の意思決定の支援、地質環境調査に関する様々な作業の支援、関係者間での情報共有、知識の追跡性の確保が行える「次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS: Information Synthesis and Interpretation System）」を開発した。

1) 地質環境調査に関わる知識の表出化手法の開発

国内外の地質環境調査評価事例に基づいて、含まれる作業に関連するノウハウ・判断根拠などの情報の収集・整理を行い、考慮すべき実施項目やその方法、調査を実施するうえでの留意点を整理するとともに、関連する知識の収集・分析・整理の方法論を開発した。これに基づき、収集した知識のルールベース化・事例ベース化を進めた。

ノウハウ・判断根拠などの知識をより効果的に利用するため、地質環境モデルの構築、地質環境調査計画策定及び調査の実施という主要な作業それぞれを支援するという観点から、様々な作業を支援するための個々のエキスパートシステムの体系化に関する枠組

みを構築した（図３－１０）。

この枠組みに従って、ＪＡＥＡの深地層の研究施設計画や沿岸域プロジェクト¹、国内外の地質環境調査評価事例調査などを通して蓄積したノウハウや判断根拠などの知識に基づき、次項「２）次世代型サイト特性調査情報統合システム（ＩＳＩＳ）の開発」において開発したインターフェイスを利用して、各調査・評価・解析作業を支援するエキスパートシステムを作成した（図３－１１）。

上述の通りエキスパートシステムは、ＪＡＥＡの深地層の研究施設計画や沿岸域プロジェクト、国内外の地質環境調査評価事例調査など様々な状況における経験に基づき作成していることから、多様な地質環境に対して適用することが可能である。また、エキスパートシステム化したことにより、新たな知識を容易に取り込むことができ、時宜を得て柔軟に更新を行うことが可能となった。

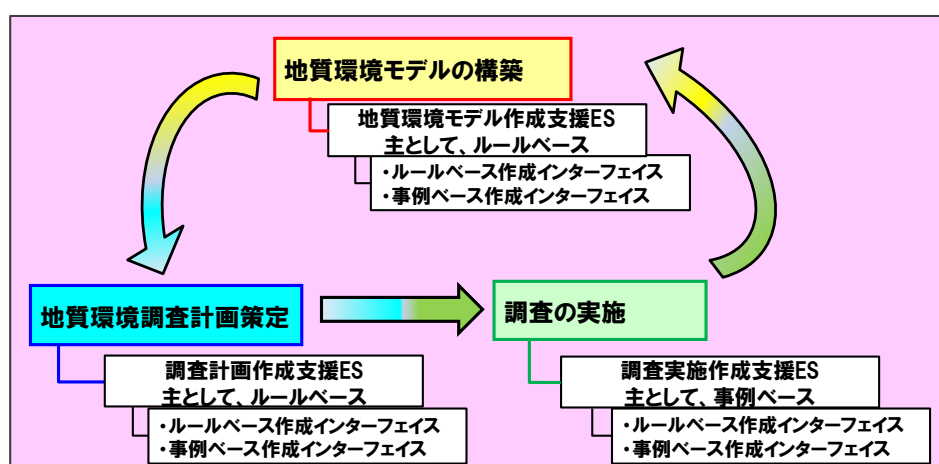


図 3－１０． エキスパートシステムの体系化の枠組み



図 3－１１． 作成したエキスパートシステムの例

注) http://kms1.jaea.go.jp/ES/es_front/es.html から作成したエキスパートシステムを確認できる。

¹ 資源エネルギー庁調査等事業と JAEA の幌延深地層研究所計画との連携により進められた、沿岸域を対象とした調査・評価技術の体系化に向けた取り組み（資源エネルギー庁・（独）日本原子力研究開発機構（2010）：高レベル放射性廃棄物及び TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画（平成 21 年度版），p.II-19 を参照）

2) 次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）の開発

プログラミングに関する知識を必要とすることなく、地質環境調査の専門家自らが、上記「1）地質環境調査に関わる知識の表出化手法の開発」で得られたノウハウや判断根拠などに基づき、ルールベースや事例ベースから構成されるエキスパートシステムを作成できるように、具体的な開発環境ツールとして、エキスパートシステム作成インターフェイスを開発した（図3-12）。

さらに、構築された地質環境モデルを可視化するとともに、それを用いて関係者間で議論し、その結果を保存できる機能、作成した書類の逸散を防止するための登録機能、地質環境調査の様々な作業を登録し、当該作業に関係する書類等を関連付ける機能とそれらの作業の工程を管理する機能など、地質環境調査に関わる様々な作業を支援するための機能を開発した。

開発したエキスパートシステム群とそれらを作成するインターフェイス及び上述した地質環境調査・評価に係る様々な作業支援機能を、マネジメントコクピットに統合し、プロジェクト全体の意思決定の支援、地質環境調査に関する様々な作業の支援、関係者間での情報共有、知識の追跡性の確保を行うことができる「次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）」を開発した（図3-13）。

ルールベース作成インターフェイス



事例ベース作成インターフェイス

項目ID	項目名	内容	編集	削除	新規追加
1	事例ID	11	編集	削除	新規追加
2	事例名称	事例1の1234567890	編集	削除	新規追加
3	キーワード	事例1の1234567890	編集	削除	新規追加
4	問題/対策	事例1の1234567890	編集	削除	新規追加
5	問題/対策	事例1の1234567890	編集	削除	新規追加
6	問題/対策	事例1の1234567890	編集	削除	新規追加
7	問題/対策	事例1の1234567890	編集	削除	新規追加
8	問題/対策	事例1の1234567890	編集	削除	新規追加

図3-12. エキスパートシステムを作成するためのインターフェイス

注) プログラミングについての知識がなくても、「IF…THEN…」で表現できる知識についてはルールベース作成インターフェイスを、ルールとしての表現が難しいものの問題解決に際して活用できる過去の事例については事例ベース作成インターフェイスを利用し、地質環境調査専門家自らがエキスパートシステムを効率的に作成できる。ルールベース作成インターフェイスについては、表形式とフロー図形式の2種類を開発した。

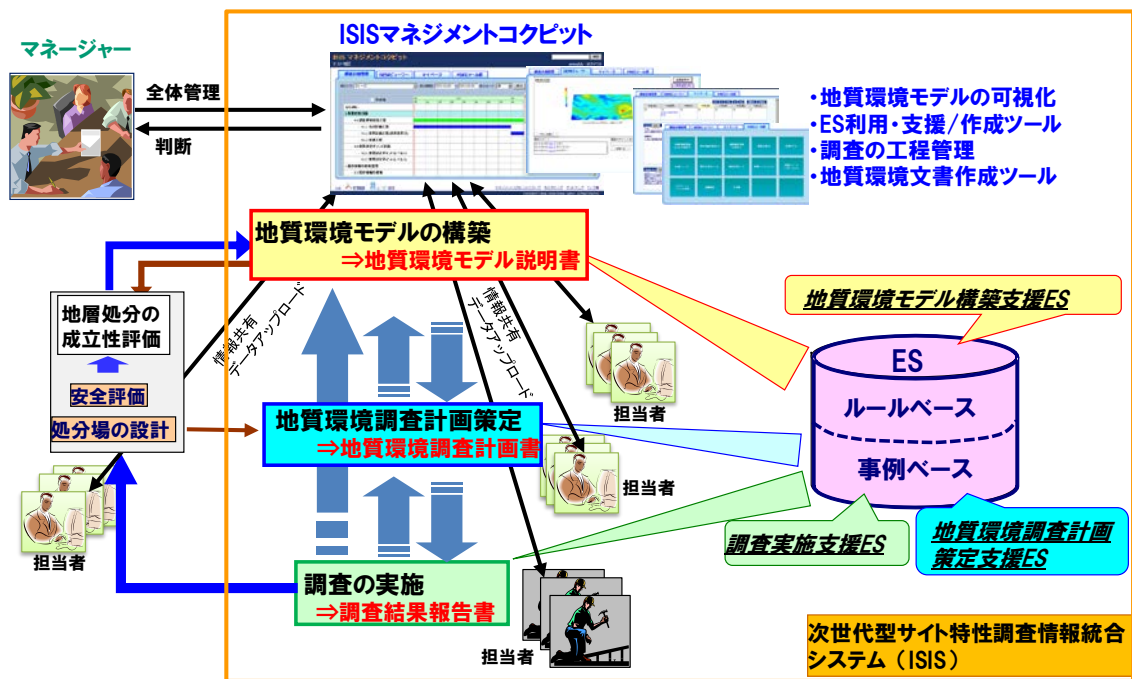


図 3-13. システムの全体概要

注) 地質環境モデル構築、地質環境調査計画書策定、調査の実施という地質環境調査全体の支援を行うため、ルールベース／事例ベースからなるエキスパートシステム（ES）群を作成する。また、作成された地質環境モデルや取得された情報を関係者間で共有することができるようにするための可視化機能、ESを作成するためのインターフェイス、調査全体の工程管理を行うための機能や作成した報告書類をウェブ上での閲覧に適した文書に変換するツールを開発した。マネジメントコクピットは、これらの機能・ツールと関連する知識を統合するツールである。マネジメントコクピットを通して、地質環境調査の様々な場面でマネージャーが行う意思決定を迅速かつ効率的に支援できる。さらに、関係者間の知識の共有、知識の追跡性の確保が可能である。

（４）沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発

１）塩淡水境界／地下水総合評価技術の開発

・1200m 孔の掘削においては、高品質な地質コアを効率よく採取することで、深部地質環境が把握できるほか、掘削泥水の影響を避けた地下水の抽出も可能とした。この掘削において開発したコアリング技術開発は本研究の大きな成果である（特許取得）。

・地質試料の分析・解析技術についても大きな成果を挙げている。地質の解釈が世界的にも変貌しつつある昨今において、高精度な時代区分を可能にしたことや堆積環境、ひいては水理環境までも把握することが可能となった成果は高く評価できる。

・地下水試料の分析においては、ボーリング後のボアホールからの採水とボーリングコアからの採取方法（遠心分離抽出法と圧縮抽出法）の違いによる水理環境特性の把握や水質分析の方法、同位体測定の方法など本研究課題に即した品質管理技術を確立した。これにより超長期地下水流動解析の精度向上に大きく貢献した。

・これまでの研究では同位体比の軽い深層地下水は縁辺部の産地において涵養されたと考えられてきたが、本研究により深部地下水に関する水質と同位体比を高精度に測定することで、深層地下水が同地において低温期（氷期）に涵養されている可能性があることも示唆された。

・水理試験における同位体トレーサー利用技術として開発した脱塩海水をトレーサーとして利用する技術は、これまでの塩や蛍光染料をトレーサーとして利用することに比べ、安定同位体比の異なるトレーサーが地下水と全く同様の挙動を示すため、これまでにないトレーシング性能を発揮することが確認できた。これにより、本研究では高精度な水理試験（PP 試験）を実施することができ、深部地下の水理定数を的確に判断することができるようになり、深部安定領域の評価に大きく貢献した。

・深部地下環境では、地質境界と水理境界にずれがあることが判明した。また、一般的な水理場の特性は、流動域、混合域、拡散域、安定域の順であり、同時に地下水は一般的に、流動性淡水、現世海水、停滞性淡水、かん水、油田ガス田の順に深部に及ぶことが判明した。これは我が国の堆積平野の沿岸域における地質の層序と対応させると、普遍的な環境であると推定できる。今後の事業において大きな役割を果たす成果と考える。

・地下水流動解析においては、初期値を段階的に変化させながら繰り返し解析を行うことで環境の変化に対応した超長期解析技術を完成させ、沿岸域海底下に氷期の地下水流動が保存されることが把握できた、これは長期安定性地下水領域の評価にとって大きな成果であり、今後の事業の一助となるに違いないと確信する。

２）沿岸域地質構造／断層評価技術の開発

・本研究では、終始一貫して海陸接合物理探査手法の構築に努めてきた。これはこれまで空白域とされてきた浅海域の情報を得ることで陸域と海域の地質情報をつなぐことであり、これまでその存在が疑われてきた潜在断層などを高精度に評価することにつながる。本研究では海陸接合地震探査において、海陸接合電磁探査の手法開発や解析技術の開発を実施し、その海陸接合地質構造解析手法を完成させた。

・また、電磁探査技術を利用した海陸接合地下環境把握技術の開発も実施した。これまでは浅海域における電磁探査が実用的ではなかったが、本研究においては扇型のダイポールセンサーを開発し、高精度な観測を可能にした。

・さらに、これに伴う海陸接合電磁探査解析技術を開発した結果、幌延の沿岸域において浅

海海底下に淡水領域が存在することを発見した。これは従来の研究にみられない技術開発であると同時に新知見でもあり、本研究にとどまらず学界にも大きな一石を投じる成果となった。

（５）海域地質環境調査技術高度化開発

１）沿岸域地質構造評価技術の開発

３次元地震探査を行った場合を想定して、沿岸浅海域における３次元海底下水理地質モデルを構築するための最適探査計画を解析的に求めることを目標とした。今年度の研究では、漁業活動や船舶の航行が多いわが国の沿岸浅海域においては、長大ストリーマケーブルを曳航する通常の手法で反射法地震探査データを取得するのは困難である。このような海域においてのデータ取得に適した、海底設置型地震計(OBC)を用いた手法および短いストリーマケーブルを曳航する二船式の二つのデータ取得方式に関する検討を行った。それぞれの方式に関して、適切なデータ取得仕様を提案した。また、OBCを用いた手法では、波長の短いＳ波を利用することにより、詳細な構造を把握することが可能である。二船式では、複数回同一測線上でデータを取得する事が必須であるが、その際ニアオフセットの震源・受振点間距離をCMP間隔分ずらしてデータ取得することにより、浅部の空間分解能を向上させることができる。これらにより、浅部詳細地質構造把握が可能となり、水理地質モデル構築に貢献できる成果を得た。

２）海上掘削調査技術の開発

水理地質構造を評価するための掘削方法、地質・地下水試料採取方法、海底下地下水環境モデルの構築方法に関する体系的な研究を実施し、他の沿岸域研究課題による成果も活用して、既往の研究成果や情報を踏まえた上で、海上ボーリング調査対象となる沿岸域の海底下水理地質モデルを構築し、地下水流動解析を実施することで、掘削地周辺の地下水環境の推定や掘削適地の評価を行う。今年度は７地点、昨年度までの研究と合わせて９地点で、幌延において観測したような海底下に淡水地下水の張り出しが在る無しの解析を実施した。その結果、沿岸部の地形や地質に応じて張り出しが存在することが解析的に求められた。すなわち、湾弧が狭まっており、かつ後背山地が海岸に迫っている方が、淡水地下水の海底下への張り出しが大きいことがわかった。この意味で幌延地区は、海底下に張り出す地下水の淡水領域が大きいとは言えず、その存在条件が良好とは考えられない。しかしながら、「沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発」においては、淡水地下水領域を観測しており、解析的にもこれを証明している。当該研究で実施した評価技術は相応のレベルを有すると考える。また、超長期的な解析よりも地形や地質を考慮した広域的な解析の方が、深層地下水環境を高精度に把握できることも判明した。

（６）先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発

「１）先進的地層処分概念の開発」、「２）性能評価技術／処分概念最適化技術の開発」、及び「３）先進サイクルシステムに対応した処分概念／性能評価技術の開発」（平成 23 年度より、「３）先進的処分概念／性能評価技術の開発」として実施）の各要素技術について、既存の情報及び技術の集約・分析を行い、技術パッケージあるいはデータベースとして構築するために必要な開発課題を抽出した。併せて、これらの課題に対する技術開発を、試作・試解析及びプロトタイプ作成を通じた適用性の確認及び次のステップに進むための課題の再設定等を適宜行いながら段階的に進めた。これにより、要素技術ごとに、技術パッ

ケージの構築に必要な技術と情報、その実現性の見通しと適用性の確認を行うとともに、実用版構築に向けた優先的な課題を特定し、これら課題に対応しつつ実用版技術の全体像を明らかにした。

また、平成23年3月11日の東日本大震災に伴い、東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故により発生する放射性廃棄物（以下「原子力事故廃棄物」という。）の処理・処分に係る対応、巨大地震・津波を含めこれまでの想定を超える事象に対する地層処分システムの安全性が求められることから、平成23年度より「4）原子力事故廃棄物の処理・処分に係る対応」を、さらに平成24年度より「5）巨大地震・津波を含む想定外事象への対応」に係る技術検討を行った。

1）先進的地層処分概念の開発

人工バリアのオプションや定置・レイアウトのオプションなどの処分概念に関する国内外の研究開発の最新の動向調査を含めて、処分概念に係る既存情報を一元的に管理するための処分概念データベースについて web ブラウザから利用可能な実用版を整備した（図3-14）。

また、既存の評価でレファレンスとなっているものだけでなく様々なアイデアを含む幅広い処分概念を対象に、それらの地質環境条件や廃棄物特性に対する適用性を「設計因子」やその下位の「属性」を視軸として、また処分概念データベースを利用して、系統的に分析・評価する手順・手法を整備した。

これらの成果は、米国との国際共研（JNEAP：Joint Nuclear Energy Action Plan、）の作業や韓国 KAERI との技術協力に基づく情報交換に反映した。

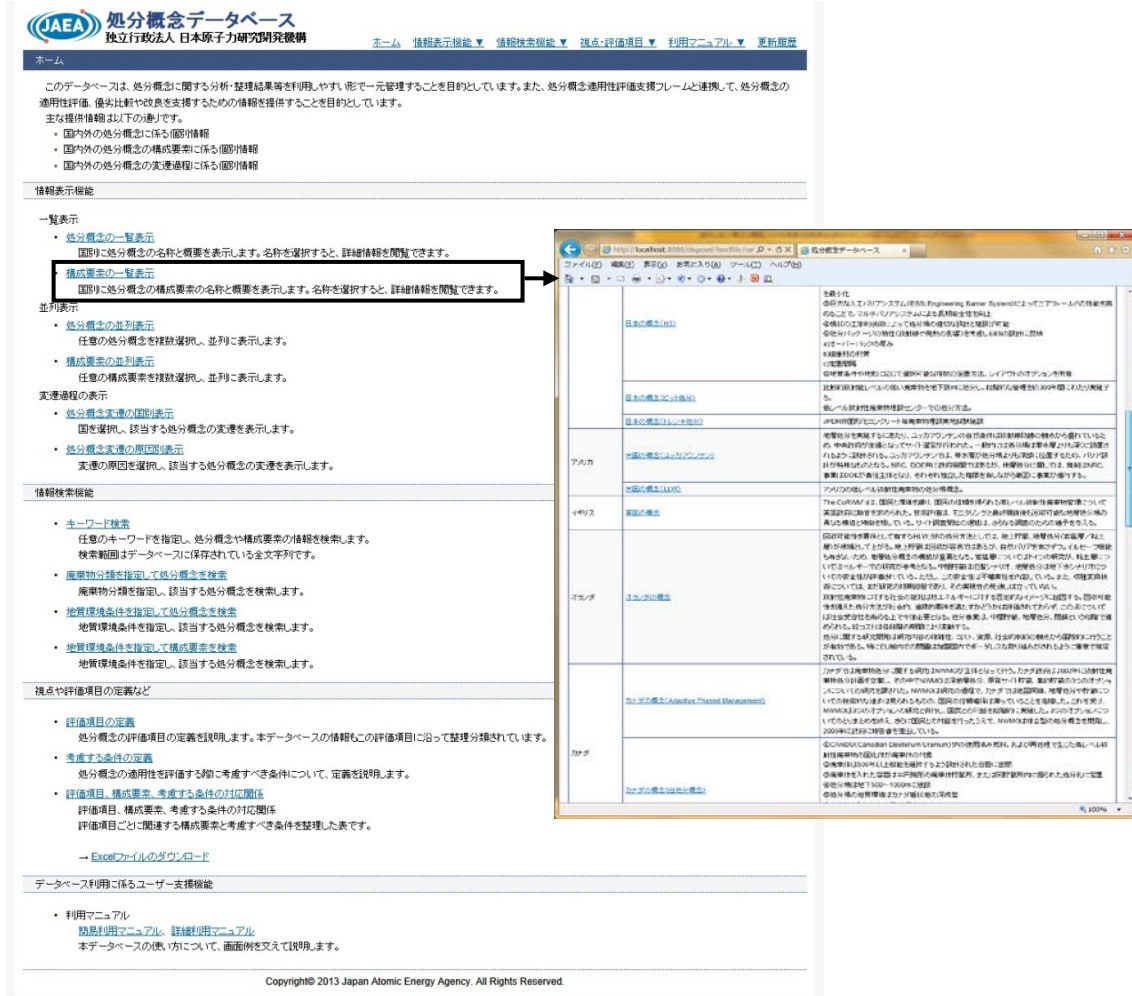


図 3-14. 処分概念データベースの実用版

2) 性能評価技術／処分概念最適化技術の開発

性能評価技術の高度化を行うため、性能評価技術を性能評価統合技術と課題探索的性能評価技術として捉え、その相互補完的な関係を整理した。性能評価統合技術については、web ブラウザ上で内容の閲覧・編集のみならず解析までを実行可能な HTML 形式の電子性能評価レポート (e-PAR) の実用版を構築するとともに、既存の解析ケースを参照用事例として実装整備した (図 3-15)。

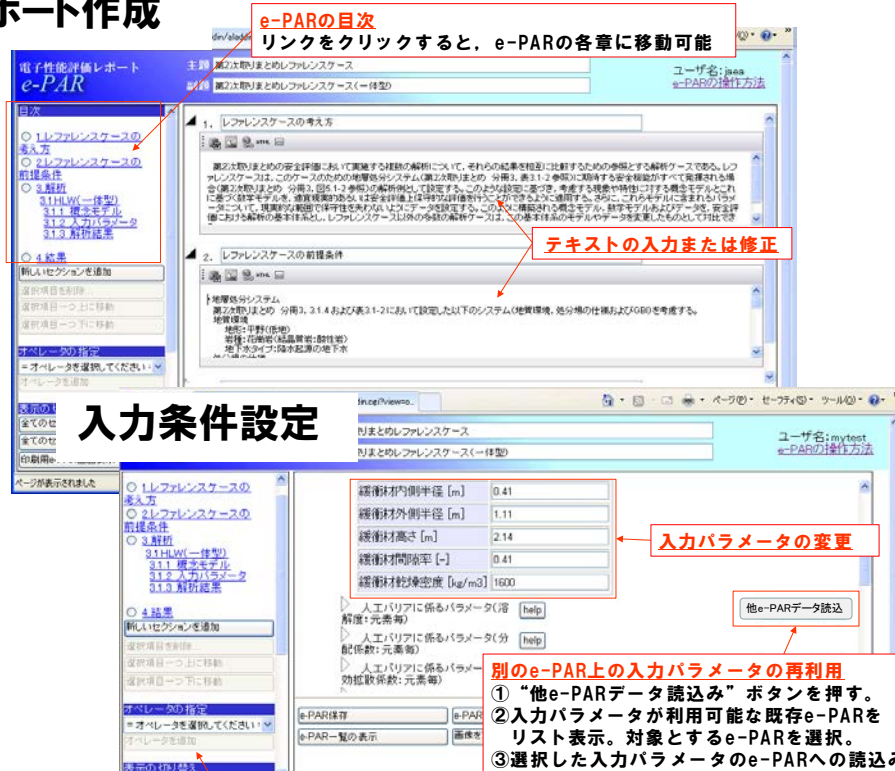
課題探索的性能評価技術については、セーフティケース (地層処分の長期的な安全性とその信頼性のレベルについての記述や定量化及びそれらを保証するための議論や証拠を統合したもの) の信頼性を向上させるとの観点から、性能評価上重要となり得る課題を能動的に探索しその対策を検討するための一連の作業手順の構築、及び主要な作業要素のそれぞれについて利用可能な手法や技術の開発・拡充を図るとともに、実務的な事例 (性能評価による地質環境情報の評価と合理的な設計の支援、長期的変遷を考慮した生物圏評価技術の開発、量子化学計算手法の適用性の検討、計算技術の高度化 (GPGPU)) を対象に適用性の確認を行った。

処分概念最適化技術については、他分野での最適化問題の設定の考え方や用いられている最適化手法の調査・分析結果をもとに、処分概念の最適化において考えるべき問題

の特徴を分析する方法、最適化手法を選定する方法、及びそれらの実施を支援するツール（問題分析支援ツール、最適化手法選択支援ツール）を構築するとともに、例題を通じて適用性の確認を行った。

これらの成果は、米国との国際共研（JNEAP）の作業や韓国 KAERI との技術協力に基づく情報交換に反映した。

レポート作成



解析結果表示

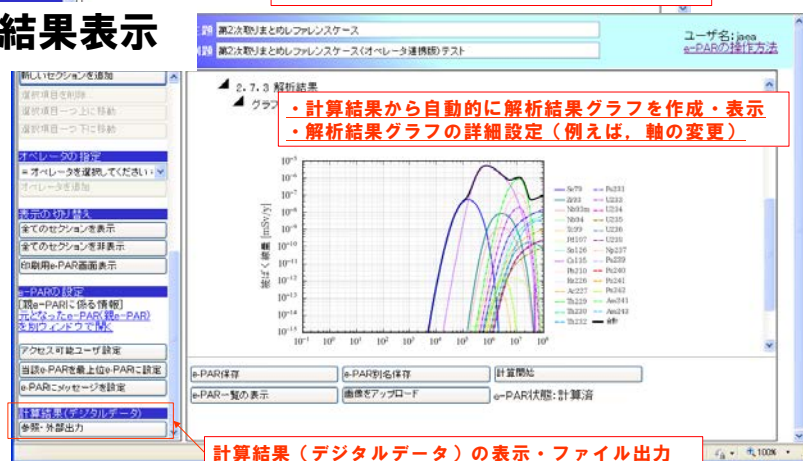


図3-15. 電子性能評価レポート（e-PAR）の実用版

3) 先進サイクルシステムに対応した処分概念／性能評価技術の開発

高速増殖炉を含む先進サイクルの導入シナリオや技術オプションに応じて発生すると想定される放射性廃棄物の特性について最新情報の調査・整理を行うとともに、これら特性が処分に与える影響の可能性を分析・整理した。この放射性廃棄物の特性について

の情報を一元的に管理するため、廃棄物特性データベースとして集約するとともに、それを web ブラウザから利用可能とする実用版を整備した。併せて、想定される廃棄物の発生を定量的に評価することを可能とするツール（廃棄物特性定量評価ツール）の実用版を整備した（図 3－16）。これらを通じて、廃棄物の特性に関わる情報の現段階での充足度や評価可能なレベルを明らかにした。また、処分への影響が大きいと考えられ、かつ既存の情報が不足している廃棄物について、その特性に関するデータ取得のための試験及び解析を行い、その結果についても取りまとめて廃棄物特性データベースに登録した。

これらの成果は、米国との国際共研（JNEAP）の作業や韓国 KAERI との技術協力に基づく情報交換に反映した。

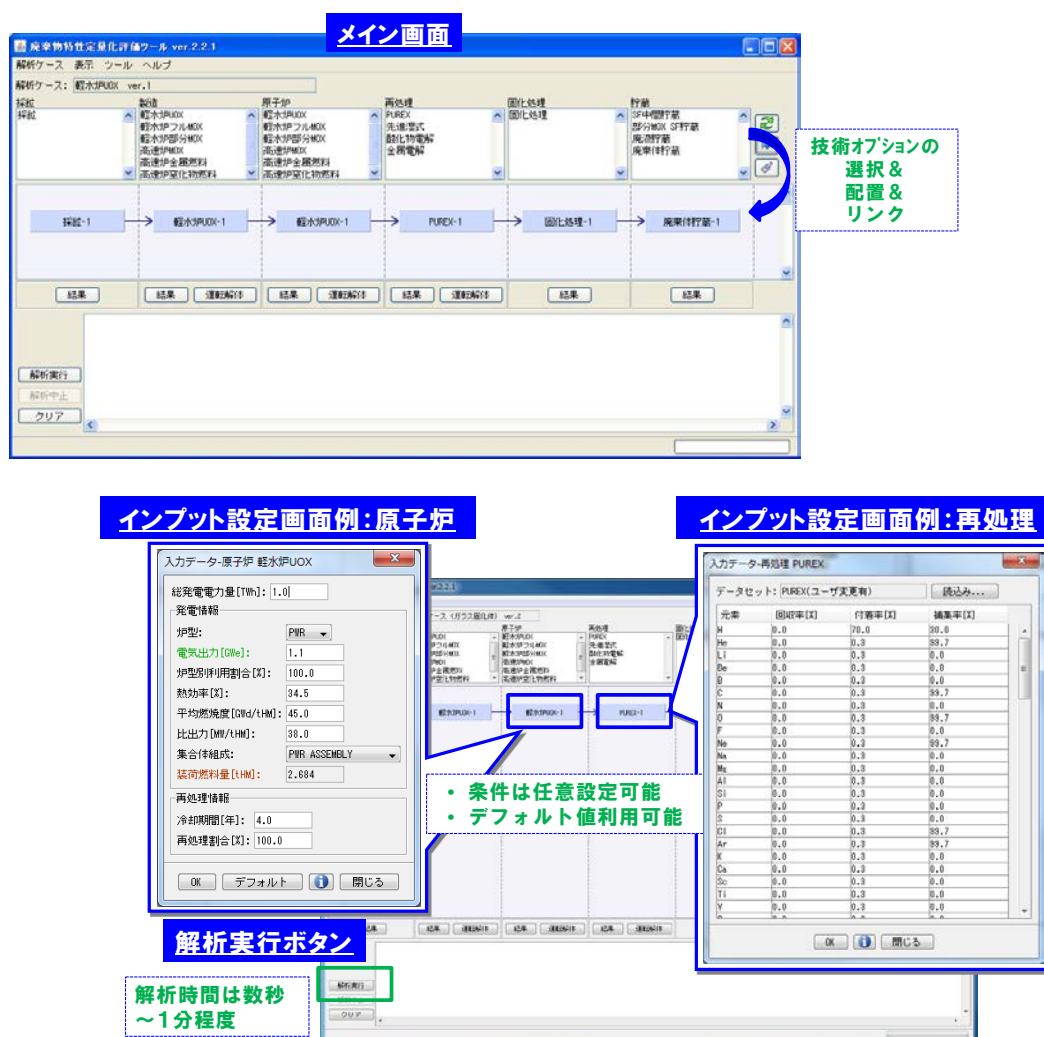


図 3－16. 廃棄物特性定量評価ツールの実用版

先進サイクルシステムに対応した処分概念／性能評価技術については、その検討を円滑に実施するため、軽水炉サイクルシステムを対象に開発した技術を対象として、先進サイクルシステムから発生する廃棄物への適用性の評価及び改良・高度化が必要な技術的課題の抽出等を行うことができるよう、1) 及び 2) で整備した情報や技術を活用し

てこうした作業を効率的に実施するための手順・方法を整備した。これらの手順や方法を実用的なものとして利用可能とするためのツールのひとつとして、利用者のニーズや想定される利用シナリオの調査・分析結果を踏まえ、これらに応じて支援を行うことができる技術（統合・利用支援環境）の実用版を整備した（図3－17）。

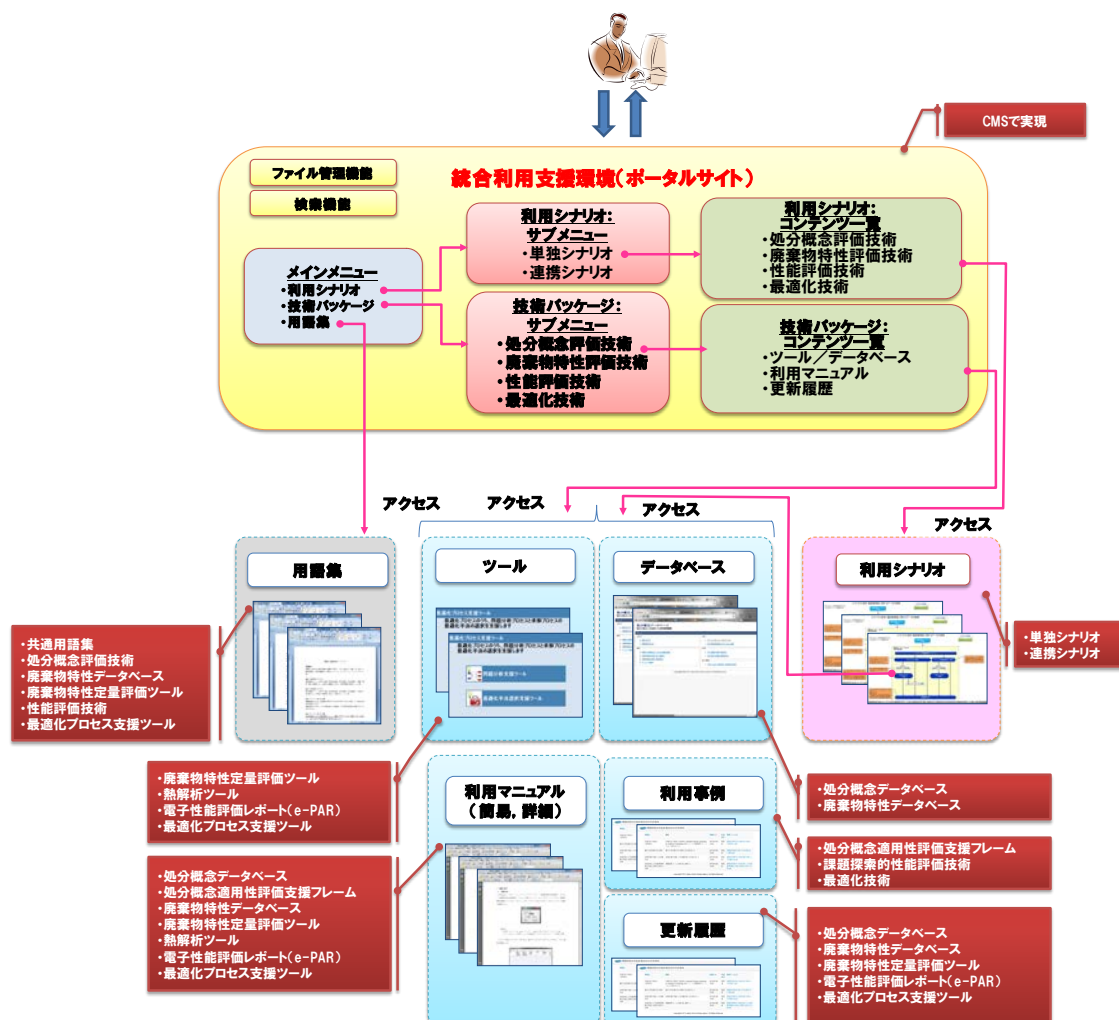


図3－17. 統合・利用支援環境の構成

4) 原子力事故廃棄物の処理・処分に係る対応（平成23年度～平成24年度）

原子力事故廃棄物の処理処分方策の検討に向けて、まず着目すべき放射性核種とその濃度等を確認するため、発電所敷地内から瓦礫、伐採木等の試料を採取し、輸送・前処理を経て、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 等の詳細な放射能分析を実施した（図3－18）。また、難測定核種や高線量試料の分析技術の開発として、技術調査、キャピラリー電気泳動法の開発、レーザー共鳴電離法の実施した。

原子力事故廃棄物の処理・処分にに向けた関連情報の収集・整理及び技術的検討としては、既存処理技術及び既存処分概念に関する文献情報を収集・整理し、収集情報に基づいて原子力事故廃棄物の処理・処分にに向けた課題の抽出及び課題解決のための対策の検討を実施した。その結果に基づき、「東京電力（株）福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ（平成25年6月27）」での判断ポイントHP SW-1及びHP SW-2

に対応するスケジュール及び研究開発計画案をまとめた。また、従来の燃料サイクルについての検討では対象にされていない燃料デブリの廃棄体化・処分、発生状況や物量が従来の廃止措置等の場合と大きく異なるコンクリート系廃棄物の処理・処分といった重要項目については、原子力事故廃棄物と従来の燃料サイクルや廃止措置等からの廃棄物との発生状況や特性の違いを定性的に対比させつつ、処理・処分における課題の抽出を実施した（図3-19）。



図3-18. ガレキ、伐採木試料の輸送、前処理、分析

種 類	1)デブリ特性	2)廃棄体化	3)処分時安全性
福島第一/1号炉推定 軽微破損燃料	・健全燃料に近い ・FPガスは散逸		・SF評価パラメータの適用 ・瞬時放出成分の取扱い
燃料デブリ (溶融プール)	・酸化物相 (U, Zr, Fe)O _{2-x} ・低融点の合金 U-Zr-Fe alloy ・海水成分の共存 ・揮発性FP/IRF散逸	・燃料デブリ等の特性を踏まえた廃棄体要件と課題検討 - 内容物の長期的安定性 - 海水成分、残存水分の容器耐食性への影響 - 臨界可能性と対策 - 核種含有量や不均質性の把握と対策 - 性状別の管理 - 既存廃棄体との整合等 ※一部は貯蔵の要件としても重要	・燃料デブリ(酸化物相)の溶解、核種放出挙動 ・海水成分の核種溶解挙動やバリア性能への影響 ・瞬時放出成分の取扱い
閉塞物 (炉心中央～下部)	・酸化物相 ・ホウ化物/炭化物 Fe ₂ B, ZrB ₂ , ZrC ・低融点の合金 ・海水成分の共存 ・放射化金属		・金属/合金/ホウ化物/炭化物の放射化生成物のインベントリ ・瞬時放出成分の取扱い ・海水成分の金属溶解や核種溶解への影響
MCCIデブリ	・酸化物相(混合相) (U, Zr)O ₂ +SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ ・ケイ酸塩(U, Zr)SiO ₄ ・コンクリートの共存		・ケイ酸塩系デブリの溶解、核種放出挙動 ・コンクリート成分のデブリ溶解、核種溶解度、バリア性能への影響

図3-19. 燃料デブリの直接処分における廃棄体化と処分時安全性に関する課題例

5) 巨大地震・津波を含む想定外事象への対応（平成24年度）

これまでの想定を超える事象に対する地層処分システムの安全性を具体的に確認する方法の提示に向けて、東北地方太平洋沖地震における巨大地震・津波を含め、国内外の過去に発生した巨大地震・津波に係る地質環境情報の調査（巨大地震・津波の震源距離やマグニチュード等との関係の整理、地震前後の地下水化学組成や同位体組成

の変化の調査（図3-20）、震央からの距離と深さによる重力加速度の減衰等の関連性についての分析等）を行い、処分場設計で考慮すべき地質環境条件を抽出した。限界状態でのオーバーパック腐食挙動評価のための考えられる現象例としては、高温地下水の接触、地下水水質変化（CO₂、H₂S ガス、高塩分、酸性水等）、緩衝材変形、オーバーパック露出、緩衝材については、高温地下水の接触（160℃以上）、地下水水質変化（高塩分濃度（海水レベル以上の濃度）、酸性水等（pH<5））、せん断ずれに伴う局所的な緩衝材の密度の低下等が抽出された。また、処分場自体が有する性能の限界状態評価手法の検討として、地震による処分場環境条件の変化に対するシミュレーション解析の実施（図3-21）と人工バリア材の特性試験計画及び人工バリアシステム限界状態試験計画の策定、処分場の耐震安定性評価手法の動向調査・評価と課題の抽出、さらに、岩盤の長期力学挙動評価手法の検討として、地震で損傷を受けた掘削影響領域の回復現象（変形・強度・透水性）の理解に関する課題の抽出を実施した。上記成果等を踏まえ、超長期にわたる期間において人工バリアの安全性能に影響を及ぼす評価項目の抽出を実施した。

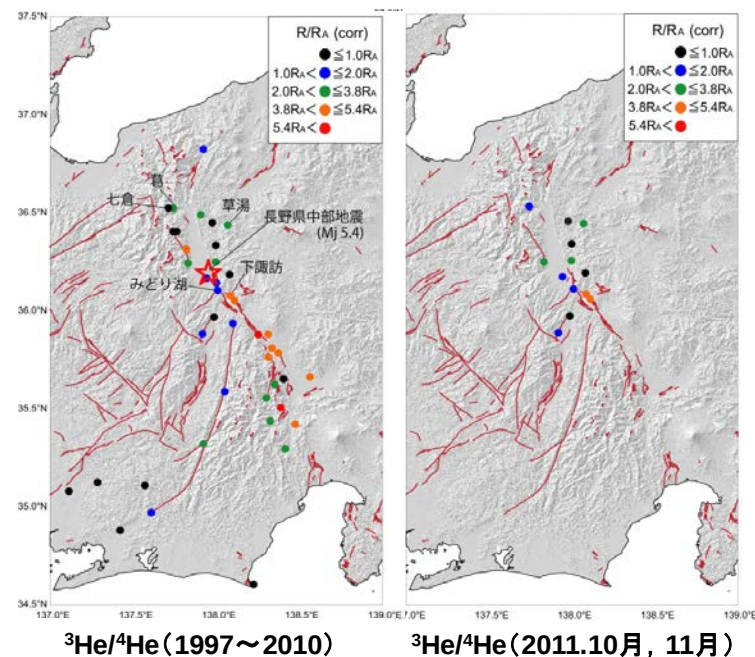


図3-20 東北地方太平洋沖地震により誘発された長野県中部地震の震源域における地震発生前後の地下水水質の変化

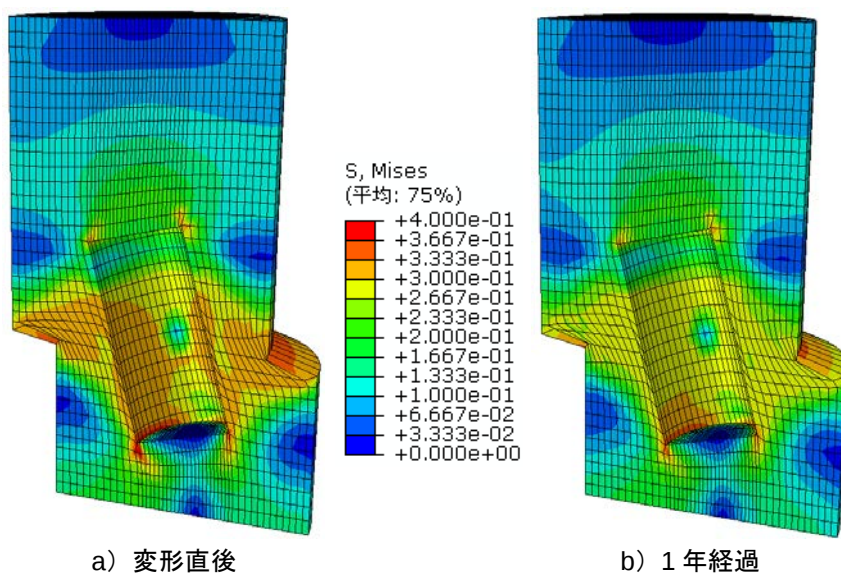


図 3 - 2 1 人工バリア限界状態試挙動（せん断）の解析例

(7) 処分システム化学影響評価高度化開発

本技術開発では、現実的な地層処分環境を想定した安全評価の不確実性を低減することを目的として、核種移行遅延に係る現象理解と評価手法の高度化開発を行った。このため、1) 処分システム放射線影響評価、2) 処分システム微生物影響調査、3) バリア複合化学環境影響調査、4) 処分環境核種移行遅延要因影響調査という4つの個別要素技術について調査・研究を実施し、以下に示す成果が得られた。

1) 処分システム放射線影響評価

放射性廃棄物からの放射線による地下水の放射線分解が地層処分システムに与える影響について、現象の理解を進め、定量的な影響評価手法を構築することによって、地層処分システムの挙動に関する予測の不確実性を低減させることを目的として、①人工バリアへの放射線影響評価手法及び②核種移行への放射線影響評価手法について調査した。

①人工バリアへの放射線影響評価手法

γ 線による炭素鋼オーバーパック腐食への影響を評価するための腐食試験を実施した。オーバーパック厚さに応じた遮蔽効果を考慮して、吸収線量率を変えて試験を実施した。また、緩衝材共存による影響を確認するため、人工海水中（溶液単独）と人工海水の浸潤した緩衝材共存下（乾燥密度 1.6g/cm^3 ）にて実施した。図3-22に示すように、緩衝材の有無により結果が異なり、緩衝材の存在しない溶液単独系では γ 線照射によって腐食は促進されるが、緩衝材共存下では300~500Gy/hまでほとんど影響しないことを確認した。この結果から、緩衝材共存下ではオーバーパックに耐圧上必要な厚さ（30-110mm）のみの場合（遮蔽を考慮しない場合）でも腐食速度への影響はほとんどないことがわかった。

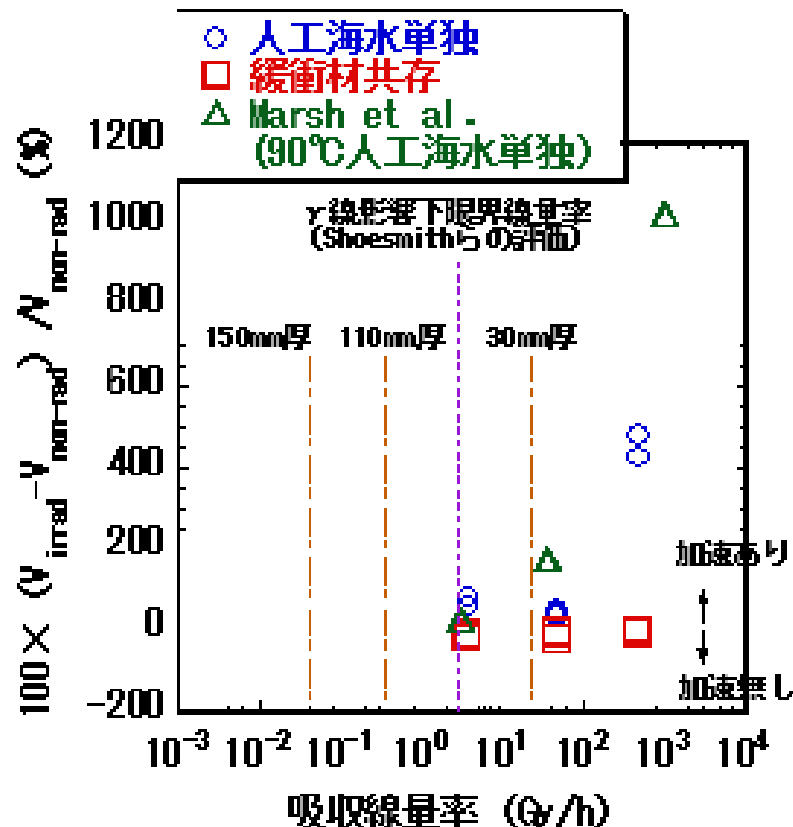


図3-2-2 吸収線量率と腐食加速度合いの関係

縦軸：照射下での腐食速度 (V_{irrad}) と非照射下での腐食速度 ($V_{\text{non-rad}}$) の差を非照射での腐食速度で除した値 ($(V_{\text{irrad}} - V_{\text{non-rad}}) / V_{\text{non-rad}}$) を腐食加速度合いの指標として算出
横軸：水の吸収線量率 (実測値)

また、緩衝材中では炭素鋼の自然電位、アノード／カソード分極特性等の電気化学的特性もγ線による影響をほとんど受けないことを確認した。緩衝材共存によるγ線影響緩和の機構として、腐食により生じた2価鉄イオンまたは2価鉄腐食生成物が緩衝材によって炭素鋼表面に堆積し、放射線分解によって生じた酸化性物質を消費している可能性及び緩衝材中の還元性物質にγ線による影響を緩和する作用があると考えられる。これらの結果から、炭素鋼オーバーパックの腐食に放射線が影響を及ぼさないようにするオーバーパック遮蔽厚は、第2次取りまとめでの設定値 (150 mm) をさらに合理化できる見通しを得た。

②核種移行への放射線影響評価手法

ガラス固化体表面での水のα線分解の影響を評価するため、水及び代表的なイオンに対する化学反応の反応速度定数データを収集し、複数の報告値を比較した上で最適と思われるデータセットを作成した。このデータセットの検証を行うために、ヘリウムイオン照射試験を実施し、FACSIMILEコード (Ref.) を用いたモデル計算との比較を行った。いくつかの条件ではモデル計算とヘリウムイオン照射試験の結果が一致した一方で、水の放射線分解において発生した過酸化水素の生成量が溶存水素によって抑制されるというモデル計算結果については、実験的には再現せず、課題が残った。

表 3－15. α 線分解モデル：反応速度定数データセットの整備の例

番号	反応式	速度定数 ($\text{M}^{-1}\text{s}^{-1}$ または s^{-1})
1	$\text{e}_{\text{aq}}^- + \text{e}_{\text{aq}}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{OH}^- + \text{OH}^-$ 	5.6E+09
2	$\text{e}_{\text{aq}}^- + \text{H} \rightarrow \text{H}_2 + \text{OH}^-$	2.5E+10
3	$\text{e}_{\text{aq}}^- + \text{OH} \rightarrow \text{OH}^-$	3.0E+10
4	$\text{e}_{\text{aq}}^- + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{OH}^-$	1.1E+10
5	$\text{e}_{\text{aq}}^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2^-$	1.9E+10
...	...	...

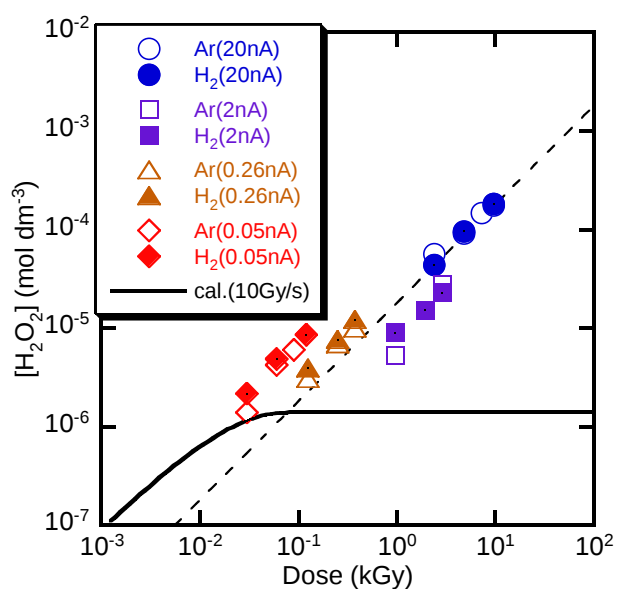


図 3－23. イオン照射試験による検証の例（Ar、 H_2 の雰囲気気条件）

アルファ線の放射線分解反応に関する反応速度データを容易に登録及び管理できるようにするために、「地下水放射線分解反応データベース」を構築した。このデータベースはインターネットブラウザでアクセスできるよう設計し、公開に向けての必要な作業を完了させた。

地下水放射線分解反応データベース

化学反応検索 G値検索 文献検索

反応速度定数の文献データ検索

化学反応の反応物または生成物を入力し、その成分を含む反応式の リストを表示します。

● 反応速度データ一覧表示 ●

reaction number = 4
 $e^-_{aq} + H_2O_2 \rightarrow OH + OH^-$
 25 literatures matched

反応速度定数	文献情報
1.300e+10	Schmidt (1970)
1.200e+10	Boyd et al. (1980)
1.600e+10	
1.100e+10	Buxton et al. (1988)
1.100e+10	Sunder and Christensen (1993)
1.410e+10	Elliot (1994)
1.100e+10	Pastina and LaVerne (2001)
1.100e+10	Kela and Bohnert (2004)
1.800e+10	Joseph et al. (2008)
1.140e+10	Ershov and Gordeev (2008)
1.300e+10	Burns and Moore (1976)
1.600e+10	Christensen (1982)
1.100e+10	MICADO (2009)
1.200e+10	Willis et al. (1968)
1.400e+10	
1.340e+11	Ishizure et al. (1985)
1.600e+10	Trummer and Jonsson (2010)
1.290e+10	Bouniol and Bjergbakke (2009)
1.600e+10	Christensen and Bjergbakke (1986)
1.150e+10	Lundstrom et al. (2000)
1.300e+10	Gordeev et al. (1986)
1.100e+10	Palfi et al. (2010)
0.000e+0	Wren and Ball (2001)
0.000e+0	
1.100e+10	Elliot and McCracken (1980)

CSVダウンロード

Copyright (c) 2008 サイトタイトル All rights reserved.

図 3-24 地下水放射線分解反応データベース

2) 処分システム微生物影響調査

本技術開発の目的は、地層処分システムにおける微生物影響を定量的に評価する手法を構築することにより、現象の理解を向上させ、システムの挙動に係る予測の不確実性を低減させることである。処分環境における微生物活動の定量的な影響評価は、地層処分システムの設計やより現実的な安全評価に役立つものと考えられる。調査研究にあたっては、シナリオ解析により処分システムに対して想定される微生物影響を整理したうえで、ファーフールドにおける微生物活動による地下水化学への相互影響を重要課題と判断して作業を進めた。

微生物影響の定量的評価手法に関する研究としては、平成 19 年度から平成 21 年度にかけて経済産業省の処分システム化学影響評価高度化開発の一環として「処分システム微生物影響調査」が実施され、微生物特性評価手法の中で微生物定量手法及び汎用的な地球化学計算コード (PHREEQC) を用いた微生物影響評価手法のプロトタイプの提案がなされている。平成 22 年度からは、これらを二つの研究課題、①微生物特性評価手法の開発と②微生物影響評価手法の開発として引き続き取り組み、以下に示す成果が得られた。

① 微生物特性評価手法の開発

微生物定量評価手法の開発において、これまでに開発を行ってきた複合定量法を完

成（図3－25）させ、深部地質環境の地下水・岩石表面における微生物量定量手法としての適用性を確認した。また、解析に必要な微生物パラメータについて、幌延深地層研究所における原位置での取得を行うとともに、既存の環境微生物関連の国際学会誌からパラメータ収集を行い微生物影響評価パラメータのデータベースを作成した（図3－26）。

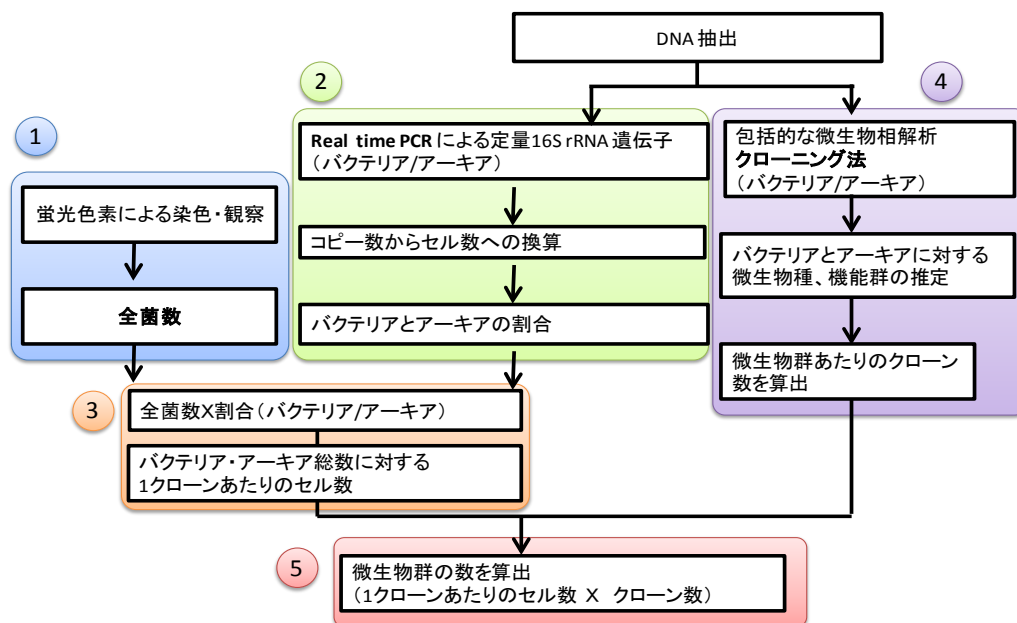


図3－25 複合定量法の構造

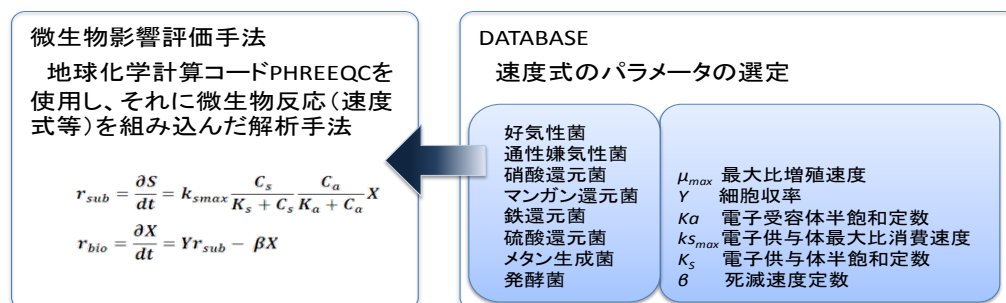


図2 6 微生物反応速度式に用いるパラメータの選定と評価式

構築した定量化手法とデータベースを実際に適用した例はないのか？機能を実証するためにこのような記述があるとよい。

② 微生物影響評価手法の開発

地下水の化学的性質に対する微生物影響評価を行うため、汎用的な地球化学計算コード（PHREEQC）を用いて微生物影響評価用のコードを開発した。①で開発した微生物特性評価手法を用いて取り扱いが可能な好気性菌からメタン生成古細菌までの6つの微生物代謝群を対象として、その影響評価のための解析を実施し、酸化条件と還元条件の地下水の拡散における6つの微生物代謝群の影響を計算し、微生物活動により酸素消費及び還元環境への復帰がすみやかに起こるという結果が得られた。同手法を用いて、幌延深地層研究所の坑道内で取得した酸化還元状態変化に関する実験的データ（図3－2

7) を解析したところ、酸化にかかわる微生物活動及び還元状態形成にかかわる微生物活動の効果が明らかとなった。また、バイオフィームが核種のマトリクス拡散に与える影響を調査するための実験手法開発を行い、透過拡散法の応用によるバイオフィーム特性データ取得の予察的検討（図3-28）に基づいて試験方法の確立に対する見通しを得た。

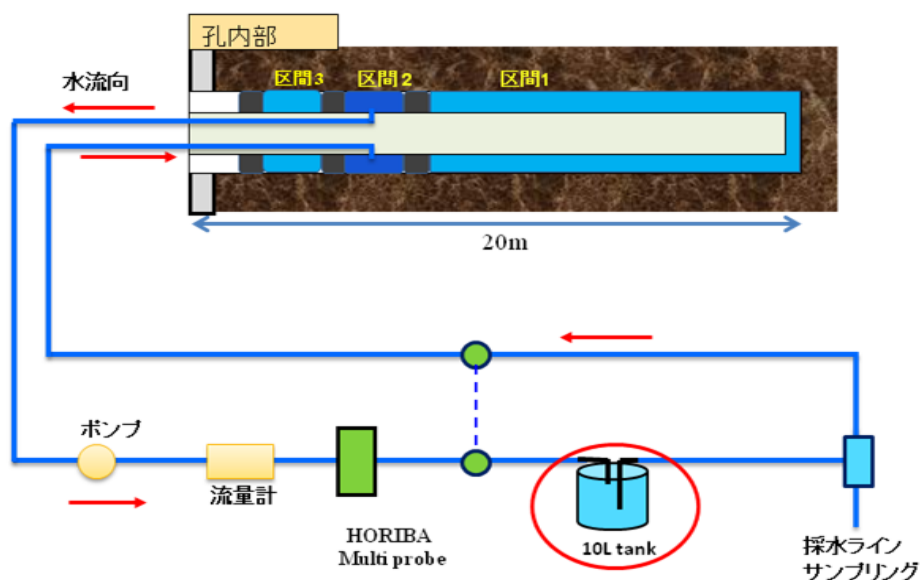


図3-27 酸化還元変化原位置試験手法

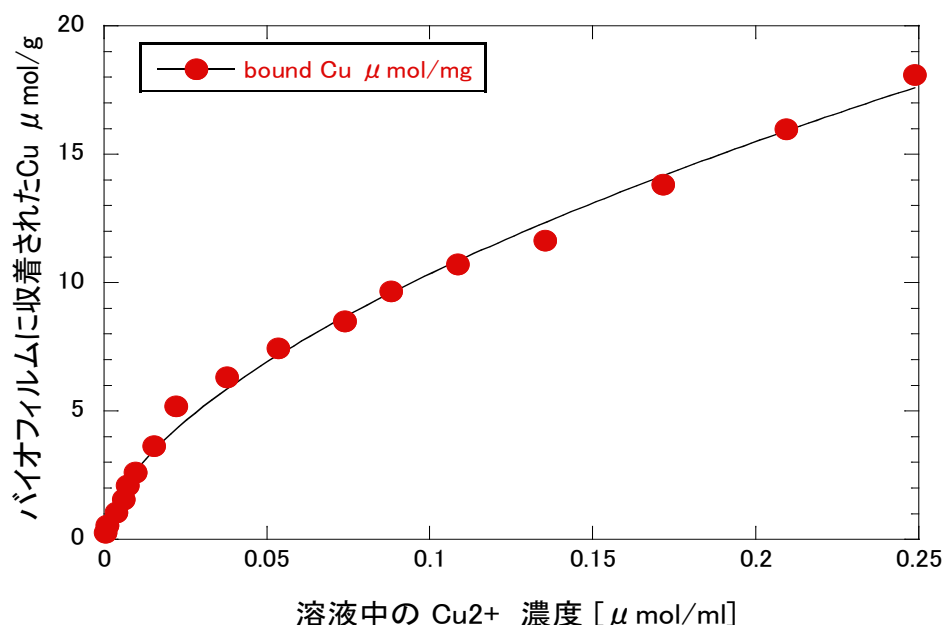


図3-28 バイオフィームに対する収着分配係数(Kd)の実験的取得方法の提示

3) バリア複合化学環境影響調査

本調査では、処分システムニアフィールドで想定される化学環境におけるバリア性能に関する予測の不確実性を低減するため、地下水の地球化学、廃棄体からの発熱、オーバーパックからの鉄供給などを考慮した環境を想定し、必要な基盤技術、情報を整備することを目的

として、①緩衝材での塩濃縮・析出現象、②100℃を超える環境下でのオーバーパック腐食挙動、③緩衝材とオーバーパックの相互作用について、必要となる定量的評価手法の開発を行った。

① 塩濃縮・析出現象評価技術の開発

坑道掘削 - 作業時における処分坑道近傍の岩盤では、坑道掘削や維持に伴い、不飽和領域が拡大するとともに、大気との地球化学反応により酸化還元フロントが進展し、脱ガス、pH 変化、鉱物の溶解沈殿等の現象を考慮することが必要である。本技術開発では、こうした現象を考慮した掘削影響領域（EDZ）の評価手法について検討を行った。このため、塩濃縮試験や深地層の研究施設における原位置データとの比較を通じて、緩衝材の間隙水化学に力点を置いた熱-水-応力-化学（THMC）連成解析モデルを構築した。具体的には、これまでに開発を行ってきた熱-水-応力連成解析モデル THAMES を中核として、既存の汎用地球化学コード PHREEQC、物質移動解析コード Dtransu-3DEL を組み合わせる評価モデルのスキームを開発した（図 3-29）。このコードを用いて DECOVALEX においてベンチマーク解析を実施（図 3-30）した。

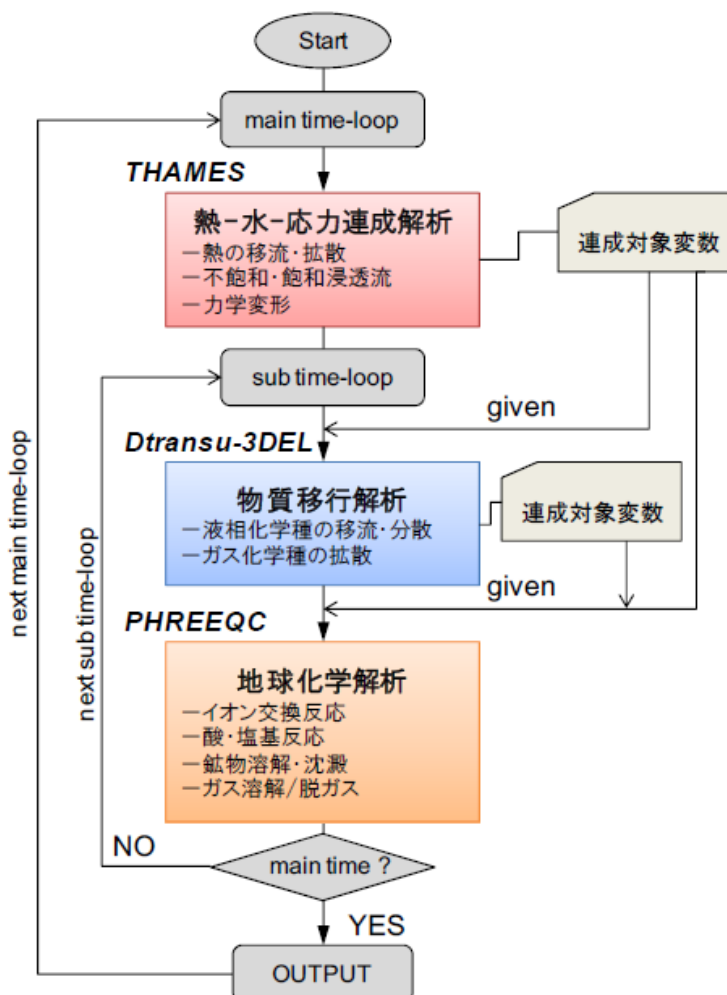


図 3-29 THMC 連成解析モデルのスキーム

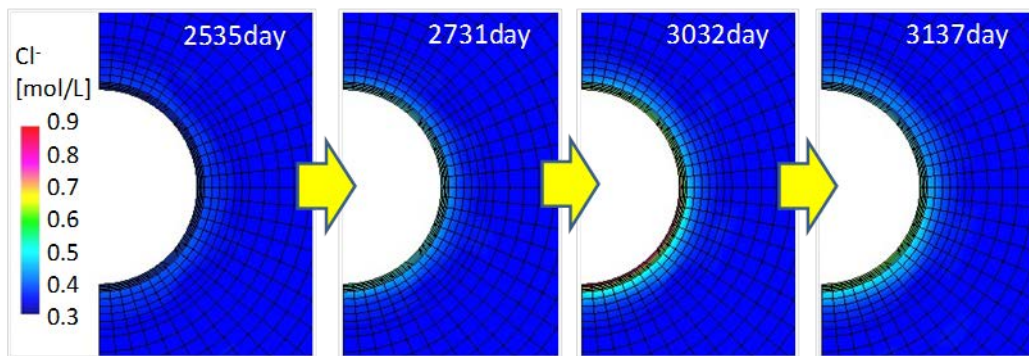


図 3－30 トンネル周辺岩盤の間隙水中の塩素イオン濃度の経時変化例

②高温環境下での人工バリア挙動評価調査

腐食進展に及ぼす温度の影響についてデータ取得を行った。得られた実験データをもとに、腐食局在化、応力腐食割れ、水素吸収に及ぼす温度の影響について評価を行った結果、100℃を超える環境における適用性、適用条件を検討し、100℃を超える環境における炭素鋼のオーバーパックの寿命評価に対しても、100℃以下の条件について開発した腐食量評価モデルを適用できる見通しを得た。不動態化については140℃以上で起こり、孔食・隙間腐食はその温度以下では生じないか、生じた場合でも腐食局在化は100℃以下と同程度と判断できた。全面腐食速度については、還元性環境において160℃の条件では100℃以下での値に比してやや高い値となったが、1年間で $10\mu\text{m/y}$ （設計上の設定）以下に低下した。全面腐食速度は還元性環境において1年間で $10\mu\text{m/y}$ 以下に低下し、長期的には更に低下が期待できる（図3－31）。第2次取りまとめ（Ref.）において炭素鋼オーバーパック設計に保守性を考慮して設定された腐食しろ（40mm）についても100℃超において適用可能と考えることが可能である。

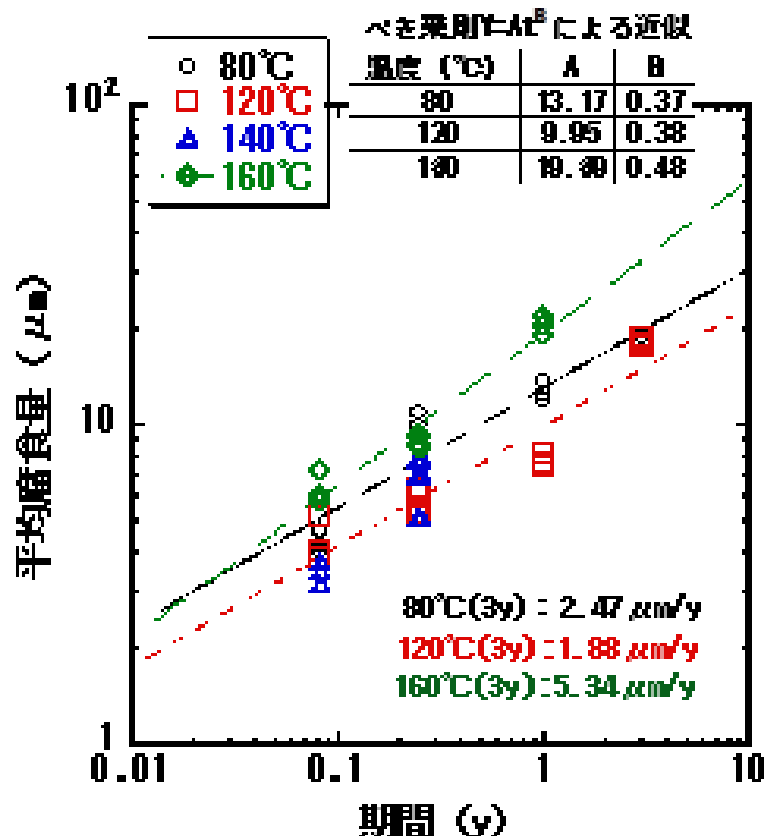


図 3-31 全面腐食挙動（還元性）試験結果
160°Cまで全面腐食（還元性）速度の顕著な増加は認められない

③人工バリア相互作用影響評価調査

100°C超での圧縮系における鉄-ベントナイト相互作用に関わる現象理解向上のため、スウェーデンの Äspö 島 HRL (Hard Rock Laboratory) における原位置試験 (Alternative Buffer Material: ABM) (Eng et al., 2007Ref.) で得られた試験後試料を対象に、鉄製ヒータとベントナイトの反応界面付近の詳細な分析及び、鉄-ベントナイト相互作用試験で得られた変質生成物を再評価するための詳細分析を実施した。その結果、鉄製ヒータとベントナイトの界面付近では、二次鉱物の生成が示唆される部分も認められたが、鉄製ヒータ近傍の褐色に変色したベントナイトの部分（ヒータから 5mm 程度）では、主に鉄製ヒータから溶出した Fe^{2+} がベントナイト中を移行し、スメクタイト層間でのイオン交換反応により、スメクタイトのイオン型の変化が生じていることが推察された（図 3-32）。また、種々の温度環境を考慮し変質評価上重要となる幾つかの代表的な二次鉱物を対象に、二次鉱物の種類と生成条件について、酸素分圧や溶液条件（Fe、Si、Al の活量）をパラメータとした二次鉱物の安定性に関わる熱力学的な検討を行い、オーバーパック／緩衝材の相互作用に伴い生じる緩衝材の長期的な変質について長期的緩衝材変質について推定を行うことが可能となった（図 3-33）。

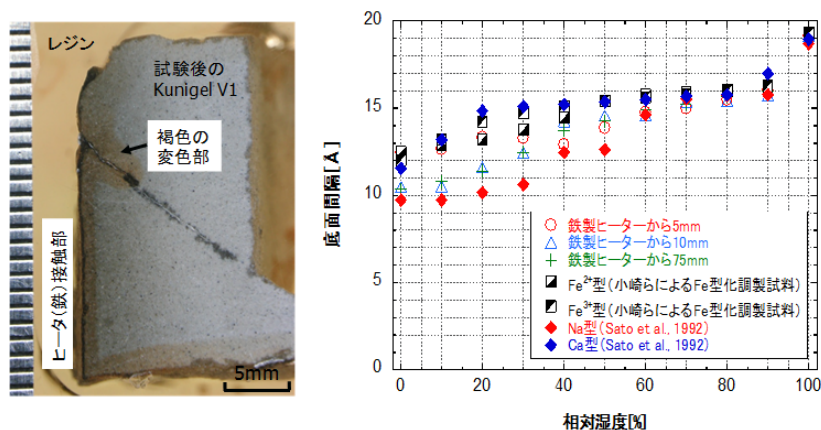


図3-32. ABM試験後試料の写真(左)及び試験後試料(鉄製ヒータから5、10、75mmの試料)とFe型・Na型・Ca型スメクタイトの底面間隔変化の比較(右)

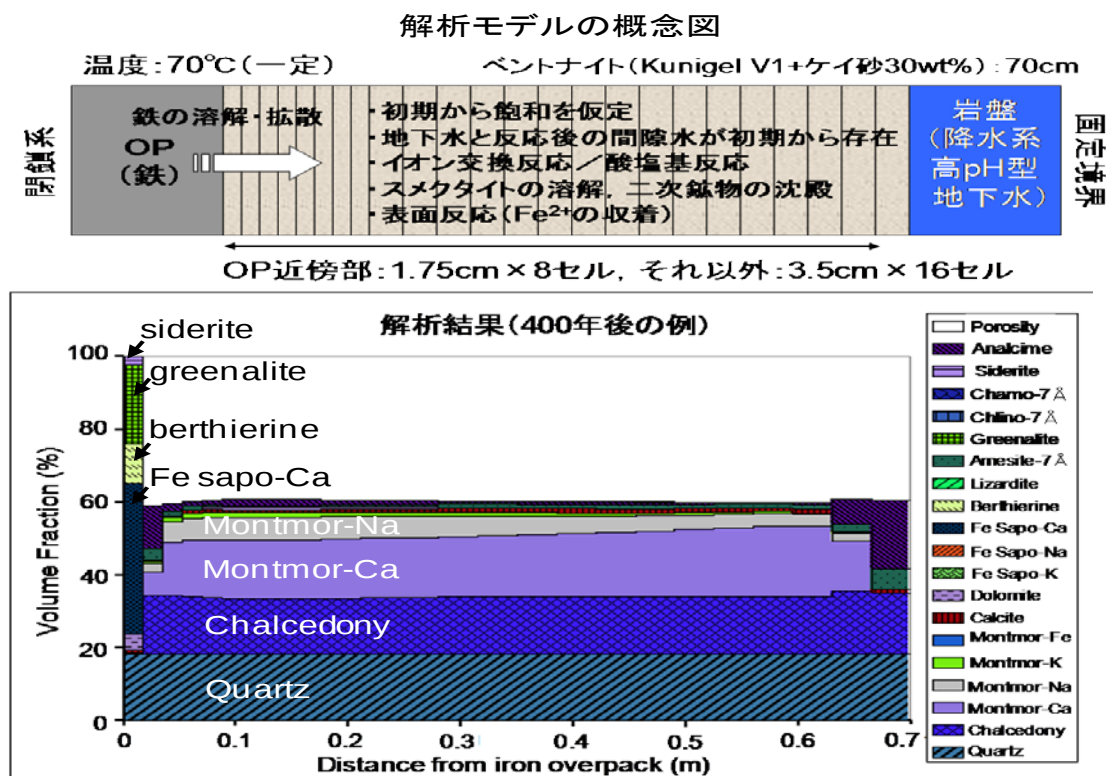


図3-33. 解析モデルの概念図と400年後の変質解析例

4) 処分環境核種移行遅延要因影響調査

ガラス固化体等から浸出した放射性核種的人工バリア(緩衝材: 圧縮ベントナイト)

及び天然バリア（岩石）中での収着・拡散は、その移行遅延を支配する重要な現象である。核種の収着・拡散現象は、地下水/間隙水の化学条件、固相の鉱物組成や間隙特性等の様々な物理化学的条件によって大きく変化する。本調査では核種の収着・拡散パラメータに焦点をあてた検討を実施した。

性能評価で考慮すべき環境条件と化学影響要因に対し、想定されるあらゆる条件下でデータを全て実測することは現実的ではなく、現象理解に基づくモデルを開発する取り組みが、国際的にも精力的に進められている。ここでは、実際の処分環境である圧縮系での収着と拡散パラメータとを関連付けて理解することに焦点をあて、多様な核種と環境条件下での信頼性の高いデータ取得手法を構築する（①データ取得標準化課題）。さらに、各種分析技術の適用により収着・拡散メカニズムを把握する（②メカニズム分析課題）とともに、核種移行評価のための現象論的モデル/データベースを構築した（③現象論的モデル/データベース課題）。この現象論的モデル/データベースは、別途開発を進めている収着・拡散に関する実測値データベースと密接に関連付けた形で構築を進め、現象論的モデル/データベース構築により得られたデータや知見を実測値データベースに反映させた。これらの課題設定とアプローチ（図3-34）については、人工バリアと天然バリアに対して基本的に共通のものとした。

更に、天然バリア中の核種移行に及ぼす有機物影響評価については、上記の①～③のアプローチを基本的に踏襲しつつ、実際の地質環境を対象として、有機物特性や影響評価データの取得及びメカニズム理解を踏まえ、影響評価モデル/データベース開発を進めた（④有機物影響評価課題）。

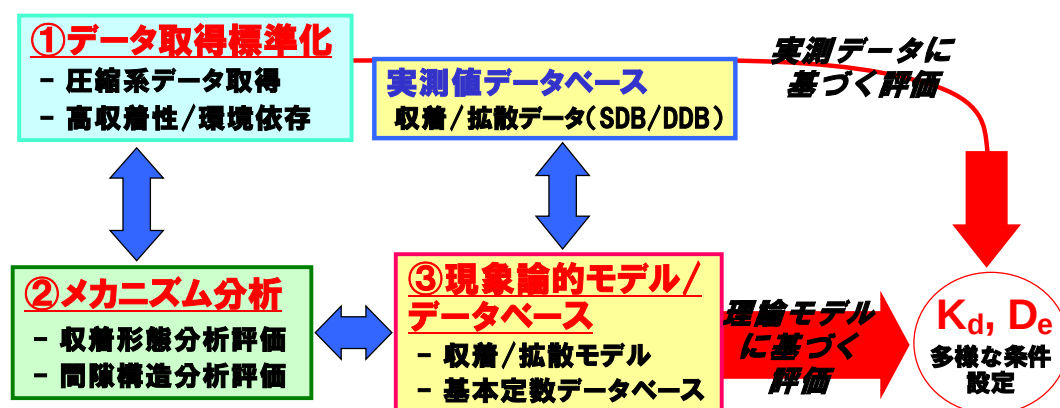


図3-34 核種移行遅延要因影響調査の全体アプローチ

① 人工バリア

多様な核種と環境条件下での信頼性の高い収着・拡散データ取得手法として拡張型の透過拡散法/トレーサー減衰法（図3-35）を提案した。この手法を、Cs等の多様なイオンを対象に、間隙水塩濃度条件を制御した系、高圧縮系までを含む0.8~1.8Mg/m³の範囲の密度条件、さらには、温度制御した系にも適用し、既往の報告事例やモデル等の整合性等を確認することにより、多様な系に適用可能な信頼性の高い手法であることを示した。さらに、核種の収着性が中収着性から高収着性へと変化していくのに応じて、試料厚さの調整、拡張トレーサー減衰法の活用、薄層削り出しの活用と、一つの試験体

系で多様な核種に、柔軟に対応していくことが可能であることを提示した。

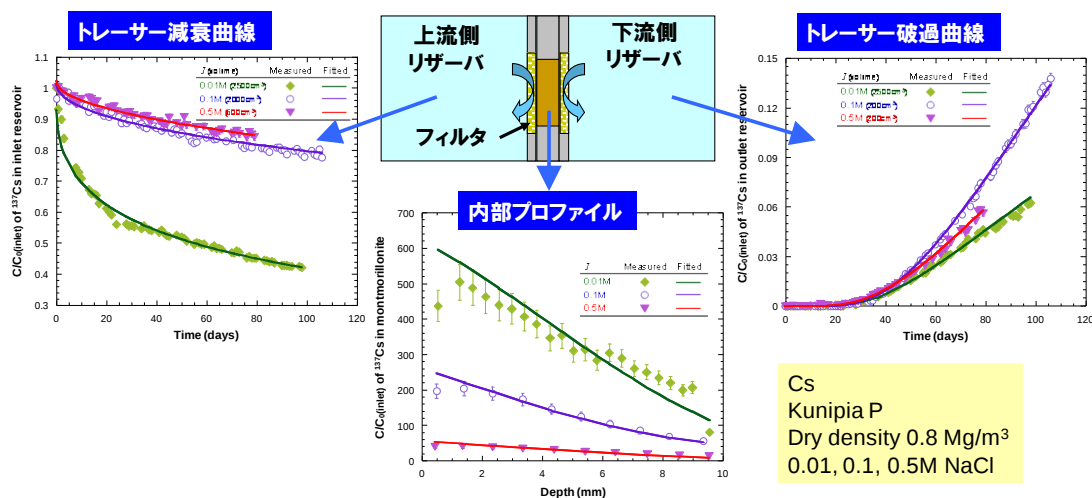


図 3-35. 拡張型の透過拡散法／トレーサー減衰法によるデータ及び解釈例（Cs の塩濃度依存性）

圧縮ベントナイト中の核種の収着・拡散挙動を整合的に評価するため、分散系から圧縮系への拡張、単純なイオンから複雑な化学種への拡張に着目して、統合収着拡散（ISD）モデルの開発を進めた。モデル概念としては比較的単純なものを採用し、1 サイト表面錯体（静電補正項無し）モデルと1 サイトイオン交換モデルを組合せた収着モデルと、均質な間隙構造と電気二重層に基づく拡散モデルとを組み合わせた。既存データや上記手法により取得したデータに基づき、バッチ系及び圧縮系でのモデル検証計算（図 3-36）を行いつつ、モデルパラメータを最終的に決定する作業を進め、10 程度の元素のデータベースを構築した。これらをもとに、収着及び拡散パラメータ（ K_d 、 D_e 、 D_a ）の整合的説明及び不確実性評価を検討し、性能評価におけるパラメータ設定を支援するツールとして有効であることを確認した。

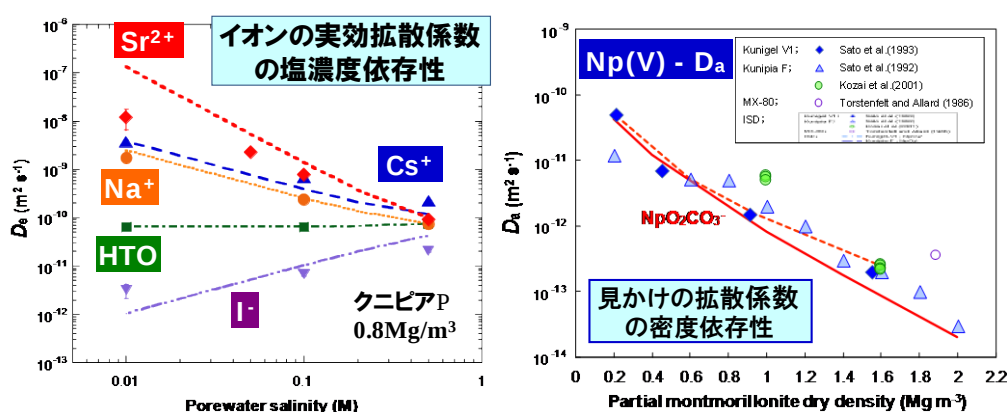


図 3-36. 統合収着拡散（ISD）モデルによる収着拡散挙動の評価事例（左図：多様なイオンの実効拡散係数の塩濃度依存性、右図：Np(V)の見かけの拡散係数の密度依存性）

② 天然バリア

天然バリア系（岩石）についても、堆積岩/泥岩（幌延）及び結晶質岩/花崗岩（グリ

ムゼル) を対象として、ベントナイト系で構築したデータ取得手法によって、低収着性から高収着性までの多様な核種の信頼性の高いデータ取得が可能であることを示した。幌延の堆積岩については、粘土を主体としたモデル化手法を提案するとともに(図3-37)、半定量的条件変換手法や収着モデルを含む複数の手法を含む性能評価パラメータと不確実性の評価手法を提示した。さらに、グリムゼル花崗岩を対象に、室内で取得されたデータとメカニズム理解に基づき、原位置拡散試験データの解釈が可能であることを示した。

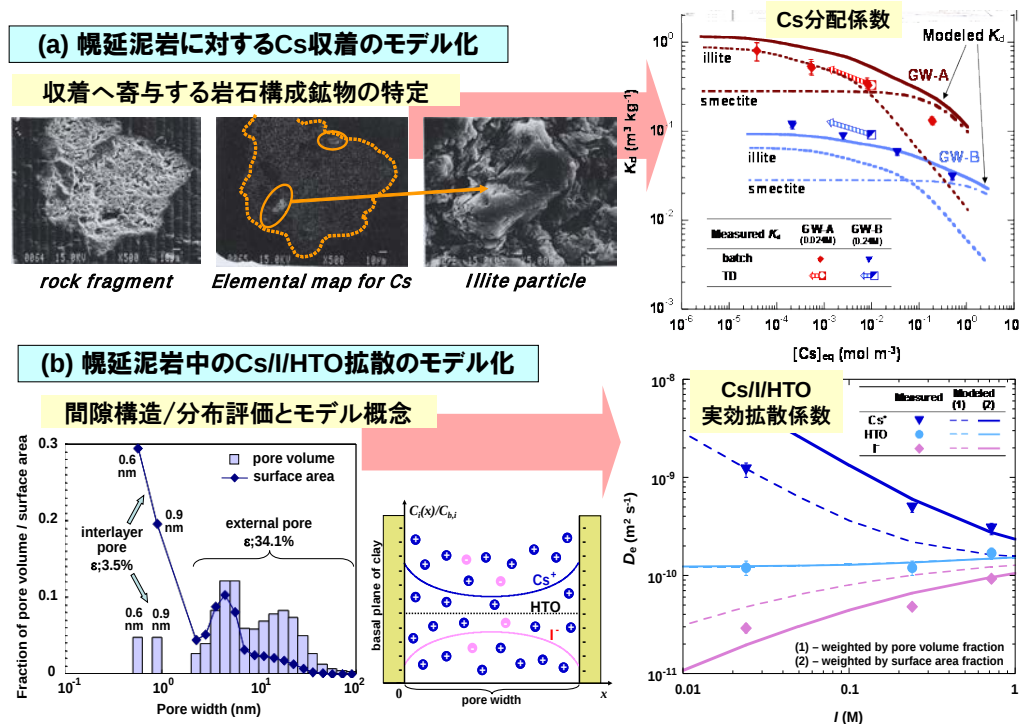


図3-37 幌延泥岩に対するCsの分配係数(a)とCs/I/HTOの実効拡散係数(b)のモデル化

有機物影響評価手法については、幌延の地下水から抽出した有機物の構造特性及び起源・供給機構に関する知見を取得した。また、選定したNICA-Donnanモデルの既存(一般化)パラメータを限られた錯形成試験から校正する手法を考案し、幌延の地下水有機物の錯形成評価への適用性確認から、その有効性を提示した(図3-38)。さらに、岩石への核種収着・拡散に対する有機物影響データの評価・解析結果から、核種-有機物-岩石が共存する3元系における核種収着・拡散が核種と有機物の錯形成モデルと核種の岩石への収着モデルとを統合する加性則アプローチにより評価可能であることを示した。このことから、2元系の相互作用モデルの加性則により、3元系の収着・拡散挙動を記述可能であることを提案した。

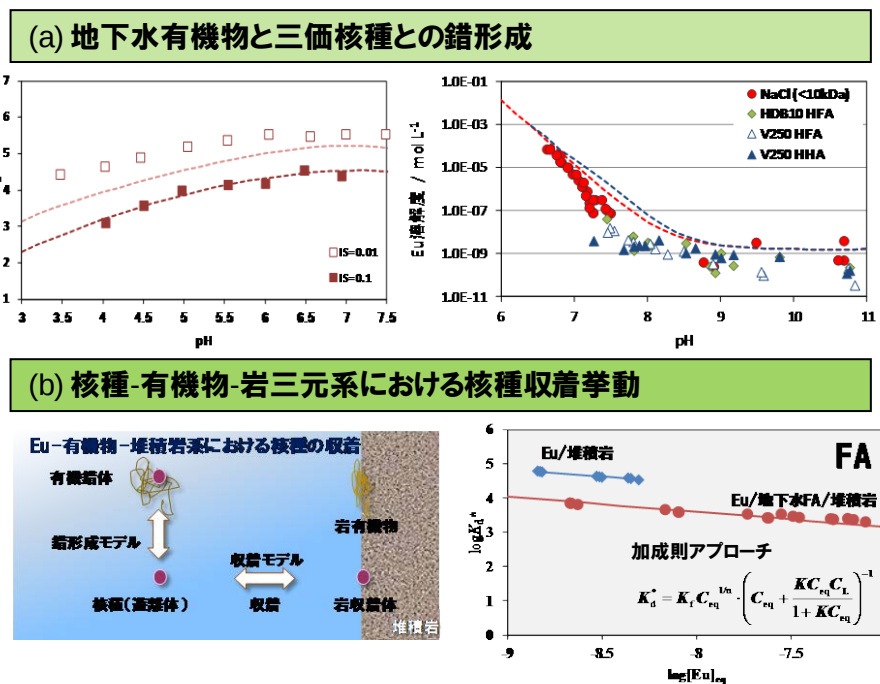


図 3-38 幌延の地下水有機物と Eu との錯形成評価への NICA-Donnan モデルの適用結果（較正モデルパラメータ使用）と Eu-地下水有機物-堆積岩三元系における Eu 収着挙動モデル化

(8) 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については、オーバーパックの遠隔溶接・検査技術、及びオーバーパックと緩衝材等の遠隔搬送・定置技術に関わる技術調査、適用性確認試験等を実施し、適用性評価に向けたデータを取得した。

HLW 第2次とりまとめにて示された人工バリアのうち、地層処分における安全確保のための要件である放射性核種の閉じ込め機能が求められているオーバーパックについて、既存の溶接技術を調査し、候補材料の特性や蓋構造を考慮した、製作・検査技術の技術オプションの整備、および実現性を提示した。TIG(Tungsten Inert Gas welding)については溶接時間の短縮を狙った高能率化の検討、MAG(Metal Active Gas welding)については溶接材料の改良による品質改善手法の検討、さらに最新技術の適用性確認として高エネルギー密度溶接であるRPEBW(Reduced Pressure Electron Beam Welding)の溶接試験を実施した。そして溶接条件を取得するとともに、溶接手法ごとの施工限界に係わる知見を整備した。溶接金属の機械的特性に影響をおよぼす溶接欠陥について、超音波探傷により溶接全層にわたる欠陥の検出精度の向上のため、エコーシミュレーションにより超音波ビームの収束条件を検討した。その結果より、表層付近はCW(Creeping Wave)法、中層部は横波PhA(Phased Array)法、深層部は縦波PhA法と探傷手法を使い分ける方法を提示した。人工的に欠陥を導入した検査用の溶接供試体に対して探傷試験を実施した後、機械加工により欠陥を露出させて実測したものと比較して、欠陥の検出確率および測定精度を評価した。検出限界寸法（欠陥高さ）は2～3mm、欠陥高さは実際よりも大きく見積もられる傾向があることを確認し、オーバーパック溶接部の非破壊検査手法として現状の超音波探傷技術の適用性を提示した（図3-39）。

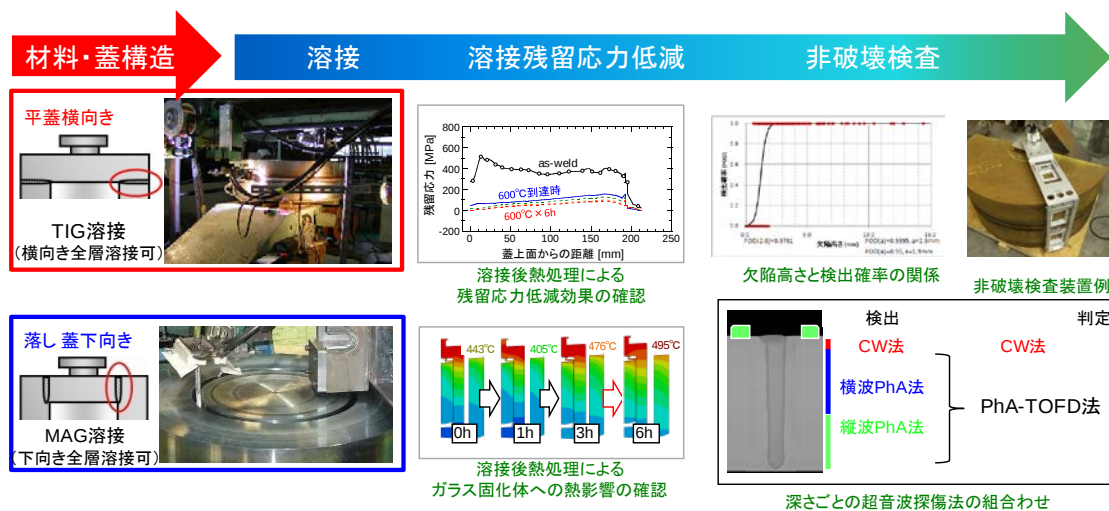


図 3-39. 遠隔操作技術高度化開発
(溶接・検査技術に関する成果の一例：オーバーパック溶接・検査システム案)

処分孔縦置き定置方式、処分坑道横置き定置方式の人工バリア仕様例（材料、形状）について、廃棄体を含むオーバーパックと緩衝材を搬送・定置する代表的な技術オプション（ブロック方式、締固め方式、ペレット充てん方式、吹付け方式、PEM 方式）を対象に実規模スケール試験を実施し、緩衝材の製作・施工、搬送・定置に関する実現性を確認した。緩衝材は、第2次とりまとめに示された仕様例（ケイ砂 30wt%混合クニゲル V1、乾燥密度 1.6Mg/m^3 、厚さ 700mm）を基本とし、この仕様を満足するための様々な緩衝材の締固め方法を各技術オプションの中で検討し、締固め方法による「密度分布（乾燥密度）」の違いを示した。また、緩衝材の締固め方法や技術オプションの組合せによっては、緩衝材定置（施工）のために、緩衝材間に「継ぎ目」が生じること、オーバーパックと緩衝材間、緩衝材と処分孔・処分坑道間に「隙間」が生じること示した一方、この隙間に対してはベントナイトペレット等による隙間充てん技術を提示した（図 3-40）。



図 3 - 4 0 遠隔操作技術高度化開発／
(搬送・定置技術に関する成果の一例：緩衝材の搬送・定置システム案)

要素技術を技術メニューにまとめ、操業に係わる種々の個別要素技術の開発レベル、適用性を示すとともに、これらの要素技術を組み合わせ、溶接／検査、処分坑縦置き定置方式、処分坑道横置き定置方式のそれぞれに対して、遠隔搬送・定置システム案を提示した（図 3 - 4 1）。



図 3 - 4 1. 遠隔操作技術高度化開発／
(操業システム成立性・技術メニューの一例)

人工バリア品質評価技術の開発については、遠隔操作技術高度化開発と連携し、人工バリアの製作・施工技術の適用性およびシステム成立性を向上させるため品質の観点から開発を進めるとともに、人工バリアの長期健全性評価に資する品質に係わる種々の知見の拡充を図った。製作・施工が品質におよぼす影響として、オーバーパックの品質については溶接時の

入熱や溶接材料の使用に起因する金属組織や化学成分と耐食性（全面／局部腐食、割れ挙動）との関係、緩衝材の品質については、施工時に生じる密度差やすき間などと、再冠水過程での挙動（膨潤挙動、パイピング・エロージョン挙動、など）の関係を抽出し、以下に示す品質評価を実施した。

オーバーパック溶接部の品質評価技術に関しては、実規模溶接試験体から採取した試験片に対して、第2次とりまとめで示された腐食シナリオの検討から抽出された腐食形態である全面腐食及び局部腐食、応力腐食割れ、水素脆化割れを調査対象とした実験室規模の耐食性評価試験を実施した。オーバーパックの耐食層の設定根拠となっている全面腐食挙動については、溶接部は母材と同等の腐食深さ、腐食速度であることを確認した。一方、局所的な破損である応力腐食割れ（Stress Corrosion Cracking, SCC）や水素脆化については、電気化学的手法と SSRT（Slow Strain Rate Test）により感受性評価試験を実施した。溶接部の割れ感受性は母材よりも低く、封入方法としての溶接がオーバーパックの局所的な破損の可能性を高めることはないことを確認した（図3-42）。

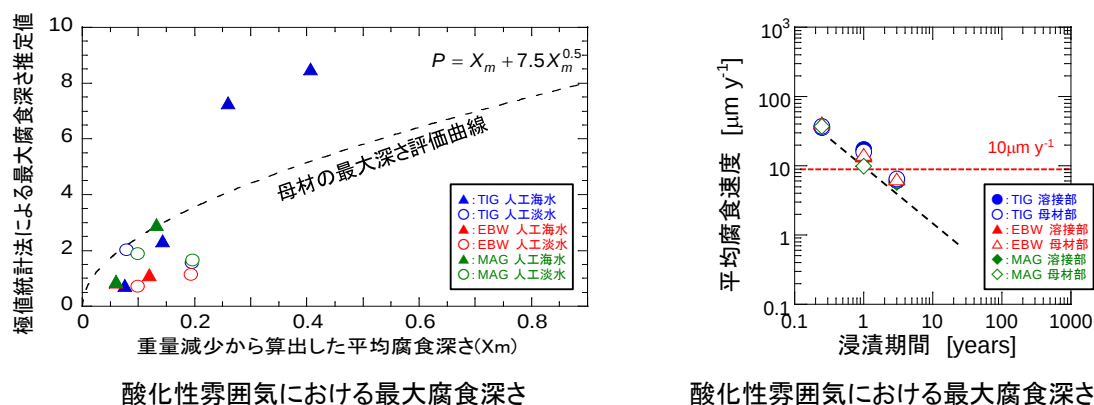
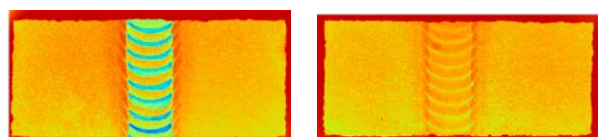
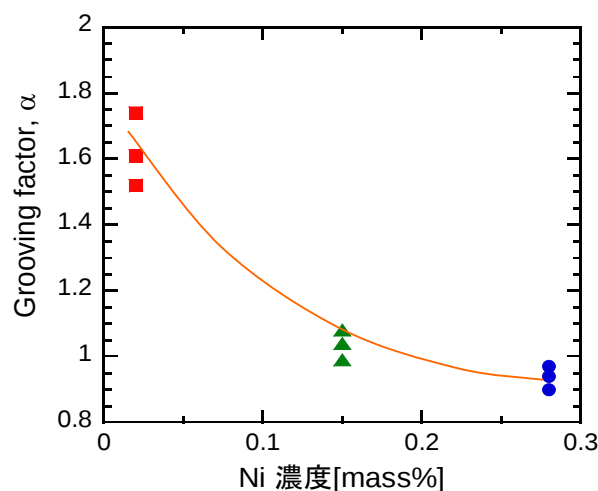


図3-42. 人工バリア品質評価・オーバーパック／
（溶接部耐食性評価試験）

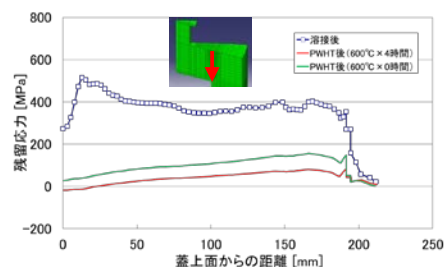
製作プロセスで実施可能な溶接部の品質改善手法として、溶接部の残留応力改善と耐食性改善に係わる開発を実施した。局所的な割れを引き起こす要因として考えられる溶接残留応力については、ABAQUS と JWRIAN（大阪大学接合科学研究所開発の溶接力学シュミレーションソフトウェア）の2種類の解析コードを用いた冗長性のある手法により評価した。TIG 溶接時に発生する残留応力を見積り、PWHT(Post Weld Heat Treatment)による応力低減、ならびに EIHSI(External Induction Heating Stress Improvement)による応力改善手法の処理条件および効果を解析により取得した。酸化性雰囲気アーク溶接（TIG、MAG）の溶接金属部では局所的な腐食が発生し、腐食深さの推定値が大きくなる傾向が認められた課題については、模擬溶接金属を使用した電気化学試験により Ni の添加が改善に有効であることを見出し、溶接材料を試作した。そして溶接試験、溶接部の継手性能試験、耐食性評価試験を実施した。上記2点の品質改善手法を、遠隔溶接システムの成立性の向上に寄与する工学的対策として提示した（図3-43）。



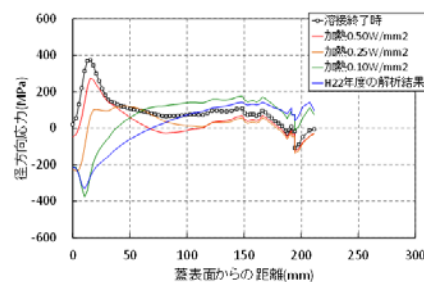
従来溶接材料(0% Ni)

改良溶接材料(0.25% Ni)

改良溶接材料による耐食性改善効果



PWHTによる残留応力低減効果



EIHSIによる残留応力の改善効果

図3-43 人工バリア品質評価・オーバーパック／
(溶接部品質改善手法)

緩衝材の品質評価技術に関しては、製作・施工された緩衝材の過渡的段階（地下水の再冠水）における事象について、緩衝材の性能を定量的に評価できる知見を取得し、工学技術へ反映すること、すなわち緩衝材の設計・施工仕様設定に資する知見を取得することを目的に、研究開発を実施した。緩衝材の性能に影響を及ぼす事象については、密度の均質／不均質事象、パイピング／エロージョン事象、水移行、イオン交換事象、間隙空気移行を挙げ、定量的な評価に向けて、その現象やメカニズムの一部を把握した。主要な成果として、緩衝材は施工時に密度分布を有する場合には、膨潤しても密度分布が残留する可能性があり、これは応力が釣り合い状態に至るまでしか膨潤しない、という力学的な解釈で説明できることを示した。また、坑道と緩衝材間に隙間があると、湧水の移行によってパイピング／エロージョンが発生する場合があります（図3-44）、この発生条件について流量などをパラメータとした定量化に向けた知見を取得した。これらの成果を踏まえ、緩衝材の乾燥密度、及び処分孔の湧水の流量等を条件とした緩衝材の設計・施工仕様設定のプロセス案（図3-45）を提示した。

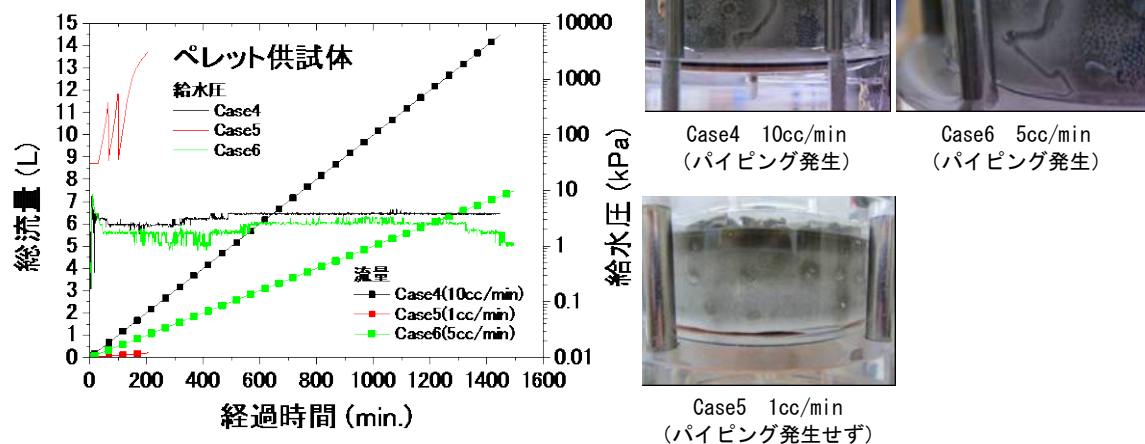


図 3-44. 人工バリア品質評価・緩衝材／
(ベントナイトペレット充填供試体のパイピング発生条件（流量）の取得試験）

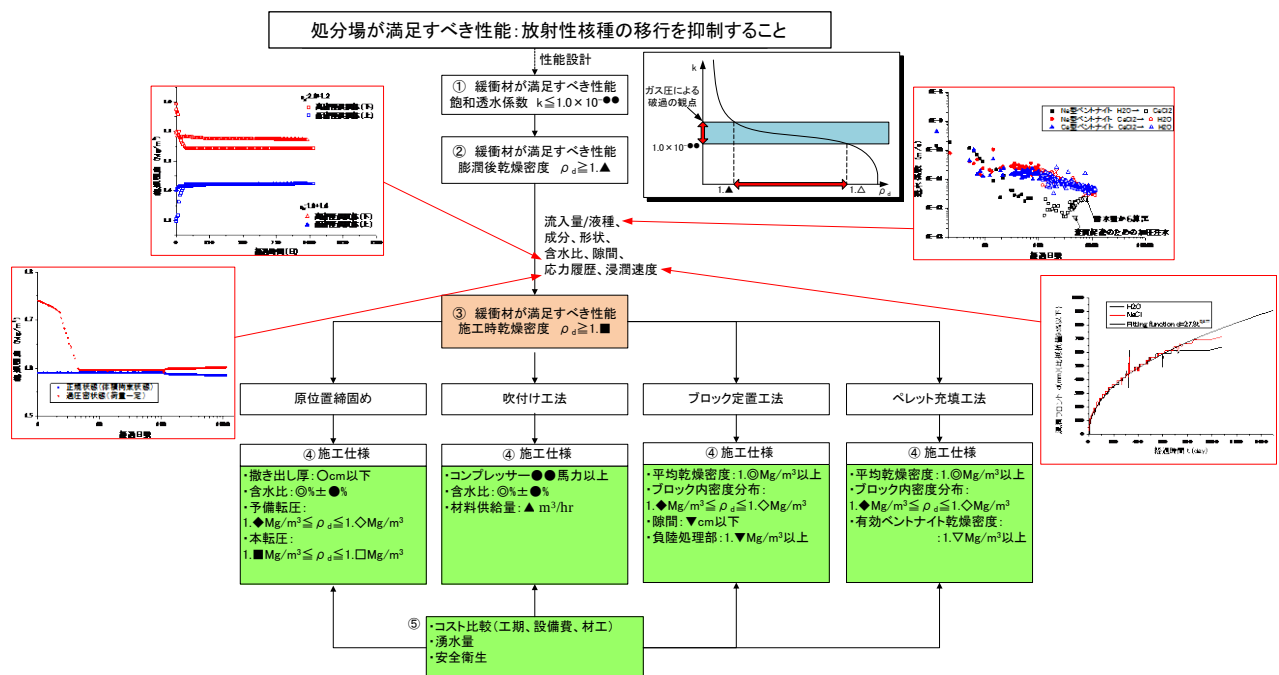


図 3-45. 人工バリア品質評価・緩衝材／
(緩衝材の設計・施工仕様設定のプロセス（案）)

モニタリング技術の開発については、各関係機関が策定するモニタリング計画に資する判断材料として、モニタリングの意義について欧州における国際共同研究 MoDeRn への参画等を通じて検討し、モニタリングに関する目的、要件や現状の技術を整理すると共に、処分事業に独自の目的である閉鎖後性能の確認のためのモニタリングについて、モニタリング機器の設置によるバリア機能の阻害（水みちの形成）を考慮した、実現可能なモニタリングの範囲（図 3-46）モニタリング対象となるパラメータの選定方法を提示した。また、計画立案

に資するモニタリング技術メニューについて、実際の利用を想定し、ツリー表示及び時期・場所マトリックスでの表示が可能なシステムを整備すると共に、各国の地層処分に関連した試験等での実績に基づく登録情報の拡充を実施した。更に、モニタリング機器の設置による水みちの形成を最小限に抑えるモニタリング技術として、地中無線通信技術について取り組んだ。緩衝材等の限られた空間に設置可能な小型地中無線送信装置（図3-47）やボーリング孔対応型の受信アンテナ、通信距離拡大のための中継装置等を開発すると共に、放射性廃棄物管理機関（フランス、Andra）との共同研究としてビュール地下研究所における通信実証試験を実施した。また、光ファイバセンサ技術について、FBG 式センサの室内試験での検討成果を踏まえ、JAEA との共同研究として、熱-水-応力連成試験設備 COUPLE を用いた工学規模における適用性を確認した。これらに加え、記録保存に関する国内外の法規制や事例の調査を実施し、マーカー、モニメント、文書等の運用制度を整理し、これらを基に記録保存の基本的概念としてのリレーシステムと永続システムを提示することにより、今後、国及び関連機関等が記録保存計画を策定する際の判断材料となる考え方の整理を行った。

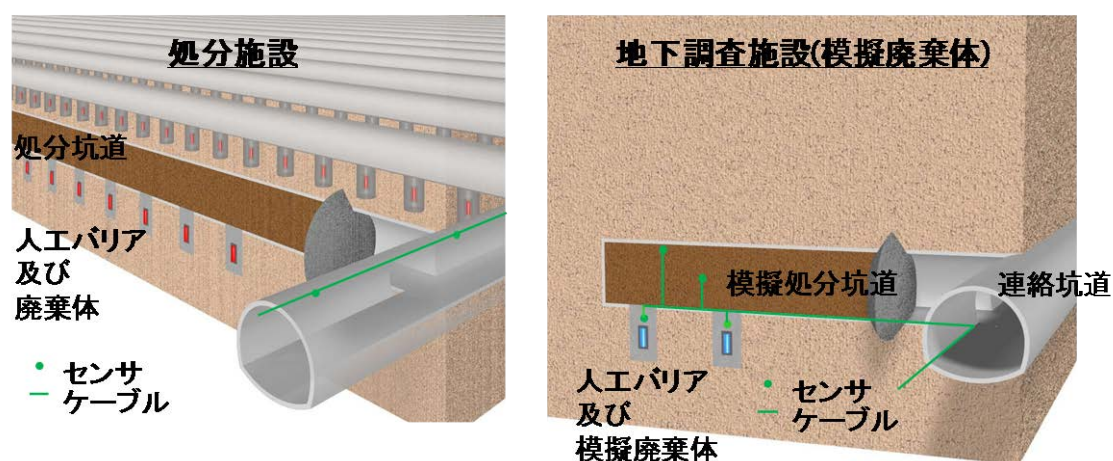


図3-46. モニタリング技術・意義（目的）の検討
（実施可能な閉鎖前モニタリング技術の例）

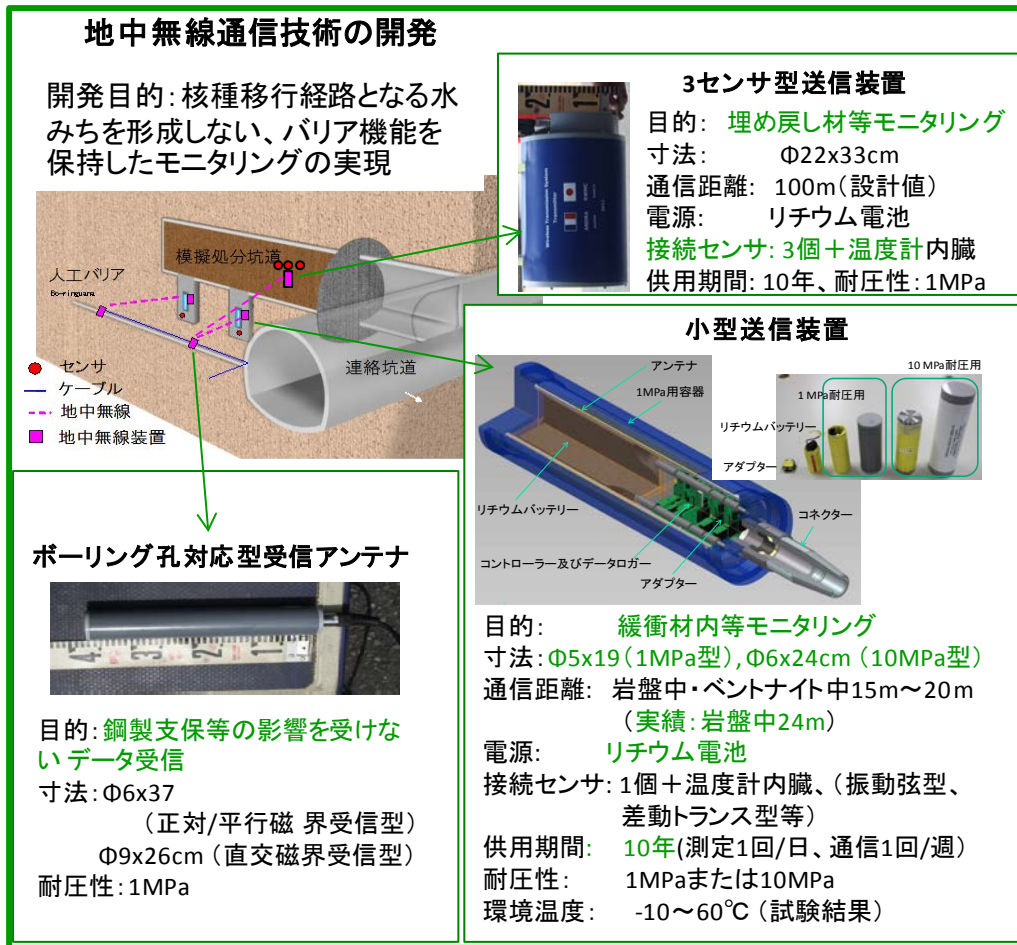


図3-47. モニタリング技術・中核的な要素技術の成果の一例／
 (地中無線通信技術の開発：開発した小型地中無線送信装置等及び想定される使用法)

処分システムに関わる巨大地震、津波等の対策技術の開発については、地層処分施設と類似した既存の施設について文献調査を行い、それらの施設の安全確保の考え方、安全性を脅かす事象として取上げている自然災害、および想定している異常状態や事故などについて知見をまとめた。また、任意の地層処分場や処分概念の設定を行い、施設、設備、操業工程ごとに求められる安全機能や操業継続に必要なとなる機能について検討し、その結果に基づき、本開発において自然災害に対する安全確保を検討する具体的な作業の選定を行った。

次に、類似施設の調査結果などに基づき、地層処分施設の操業安全を脅かす可能性がある自然災害(起因事象)を選定し、これらの起因事象が検討対象に作用した場合に発生し得る異常状態と、異常状態を起点とした被害の連鎖を検討し、被害の連鎖の帰着点である最終的な状況を抽出・整理した。このようにして抽出した地層処分施設の地上施設および地下施設それぞれの最終的な状況に対し、応急対策、恒久対策、対策のための試験・解析を「対策シート」(図3-48)を作成して検討・抽出した。そして抽出した種々の対策等を整理・類型化して、対策等に必要な技術を「技術課題」として選定し(図3-49)、リスクマネジメントの手法を参考に、技術課題の重要度評価を検討した。

さらに、選定した技術課題に関わる現況技術の調査に着手し、その調査結果に基づいて「技術開発課題」や「開発に関わる試験項目」を抽出するとともに、技術開発課題や開発に関わ

る試験項目について、概略の開発内容・方法・成果目標・開発工程などを検討・整理して、年度展開を示した（表 3－16）。

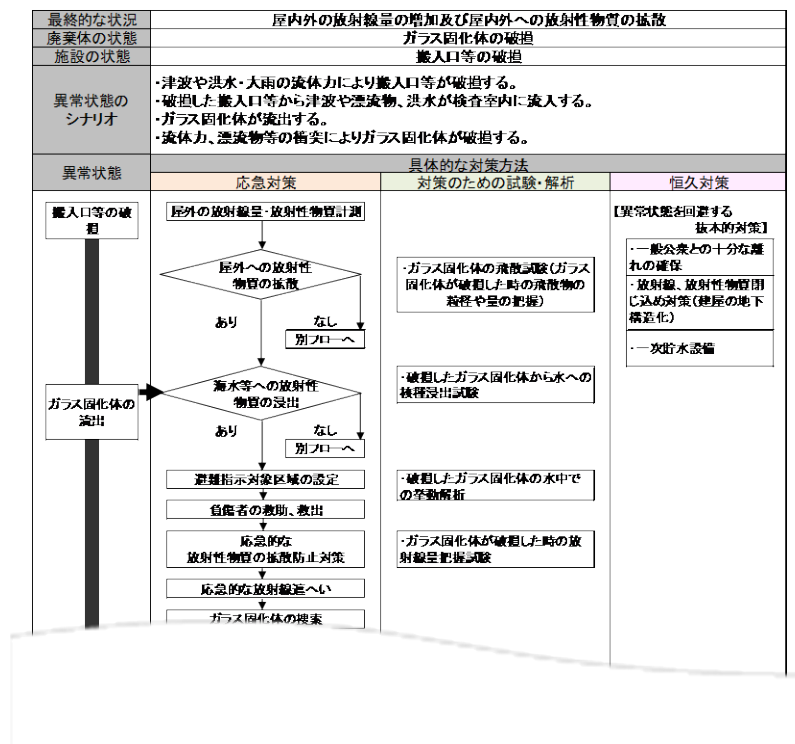


図 3－48. 処分システムに関わる巨大地震、津波等の対策技術の開発（対策の検討・抽出方法、対策シートの例）

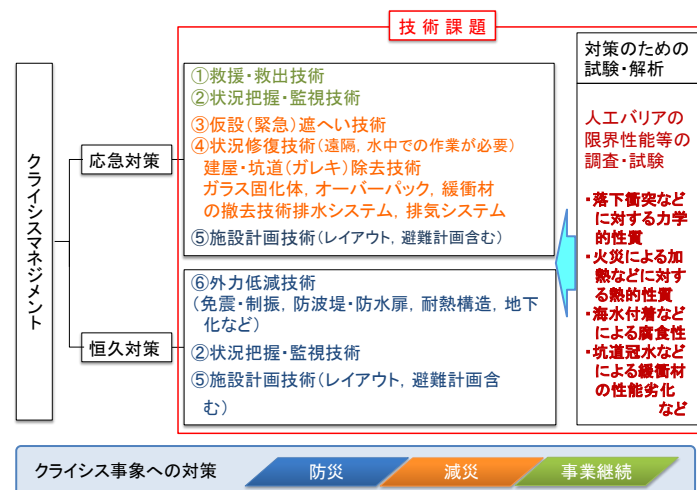


図 3－49. 処分システムに関わる巨大地震、津波等の対策技術の開発（選定された技術課題）

表 3－16． 処分システムに関わる巨大地震、津波等の対策技術の開発
（調査・試験項目の選定と年度展開の例）

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

(9) 地層処分回収技術高度化開発

「地下環境において実規模で行う実証試験の全体計画の策定」に関して、廃棄体の回収作業一連の流れを検討した(図3-50)。そのうち中核技術となる緩衝材除去技術(塩水利用)について実証試験を計画することとし、堆積岩系岩盤の処分坑道を対象とした装置の基本的な配置を検討し、緩衝材除去設備、塩水リユース設備、遠隔操作設備の3つの機能ごとに分離した配置が可能であることを提示した(図3-51)。

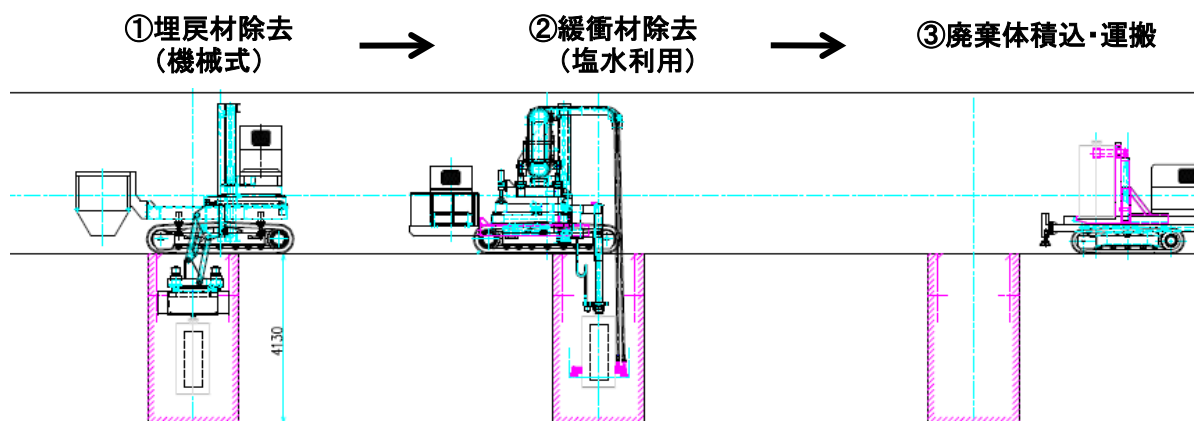


図3-50. 廃棄体の回収作業手順

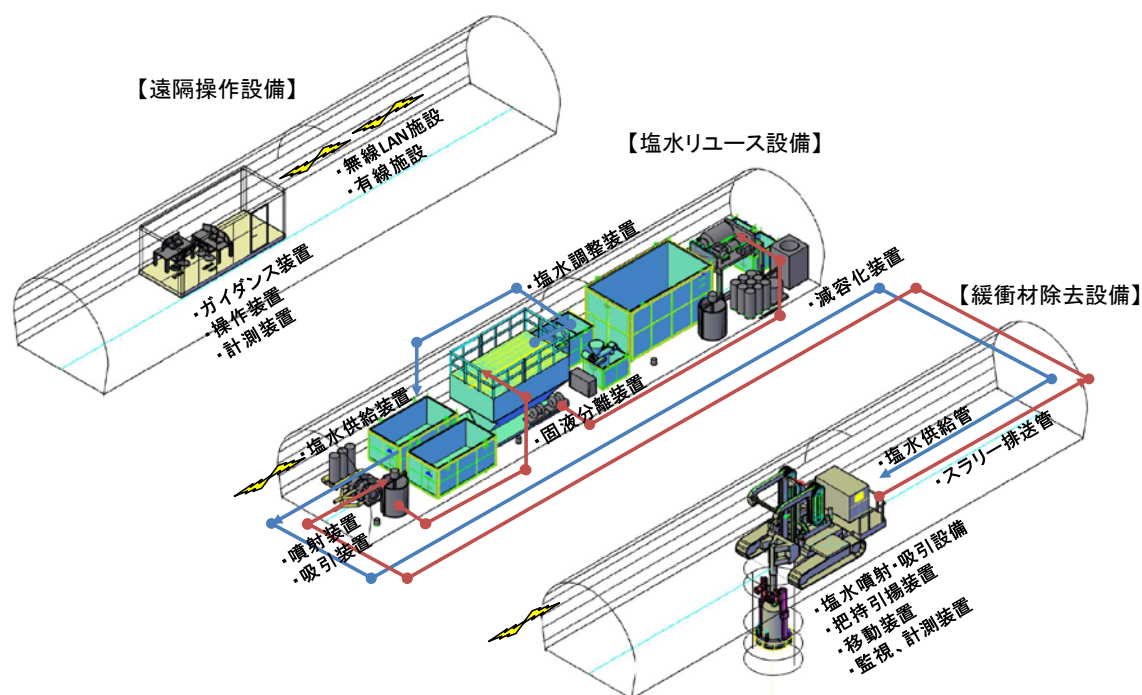


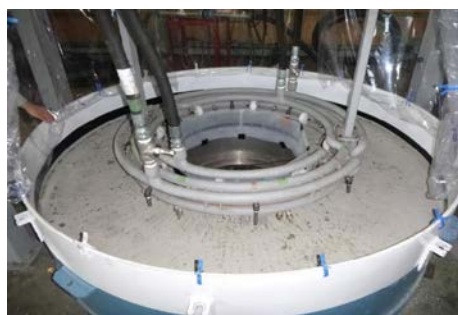
図3-51. 緩衝材除去装置の基本的な配置

「緩衝材除去装置の設計・製作」に関して、装置の全体設計を実施し、装置の機能部位(塩水噴射・スラリー吸引部、塩水噴射部昇降設備、塩水リユース設備)ごとに製作および機能確認試験を実施した。

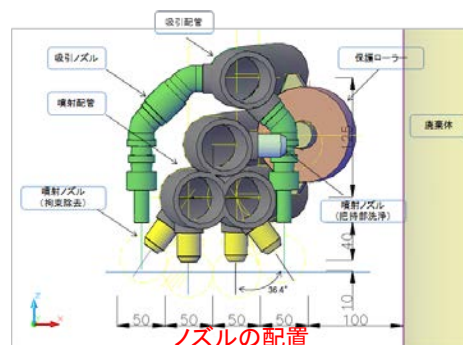
塩水噴射・スラリー吸引部は、塩水を噴射し緩衝材を分解除去し、吸引口により緩衝材のスラリーを排出する機能を有する。処分システム工学要素技術高度化開発の成果や要素試験において得られたデータにより塩水噴射ノズル配置の詳細検討を実施し、プロトタイプの製作と性能確認（図 3-52）を経て塩水噴射・スラリー吸引部を製作した（図 3-53）。

塩水噴射部昇降設備は、塩水噴射・スラリー吸引部の昇降・揺動と廃棄体の把持・振れ止めの機能および塩水噴射・スラリー吸引部への塩水の供給とスラリー排出のためのホースの伸張・巻き取り装置を有する。塩水噴射・スラリー吸引部の動作の確実性、安定性向上を目指した設計・製作を行った。製作した装置は、昇降のストローク・揺動速度・把持振れ止め等の動作確認を実施し、基本的機能に係る設計と製作の妥当性を確認した。（図 3-54）。

塩水リユース設備は、吸引されたスラリーを連続的に処理して塩水をリユースして供給する機能を有する。塩水リユースの装置構成を検討した結果、固液分離装置として沈殿濃縮装置（シックナー）を採用した。機能確認試験として緩衝材のスラリーを作製し連続運転による処理を実施した結果、 $15\text{m}^3/\text{h}$ の塩水をリユース可能であることを確認した（図 3-55）。



試験状況(全景)



ノズルの配置



試験状況(塩水噴射時)



緩衝材の除去状況

図 3-52. 塩水噴射・スラリー吸引部のプロトタイプによる性能試験

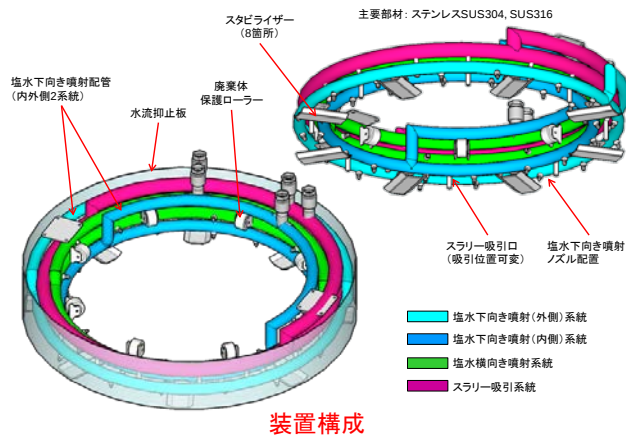


図 3 - 5 3. 塩水噴射・スラリー吸引部の構成と製作状況

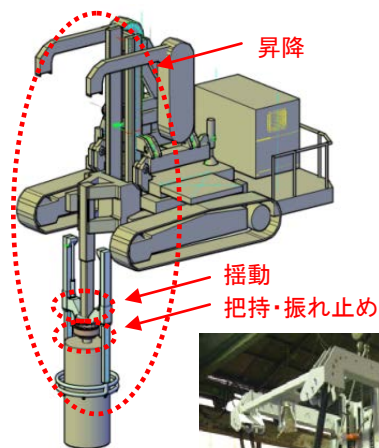


図 3 - 5 4. 塩水噴射部昇降設備の構成と製作状況

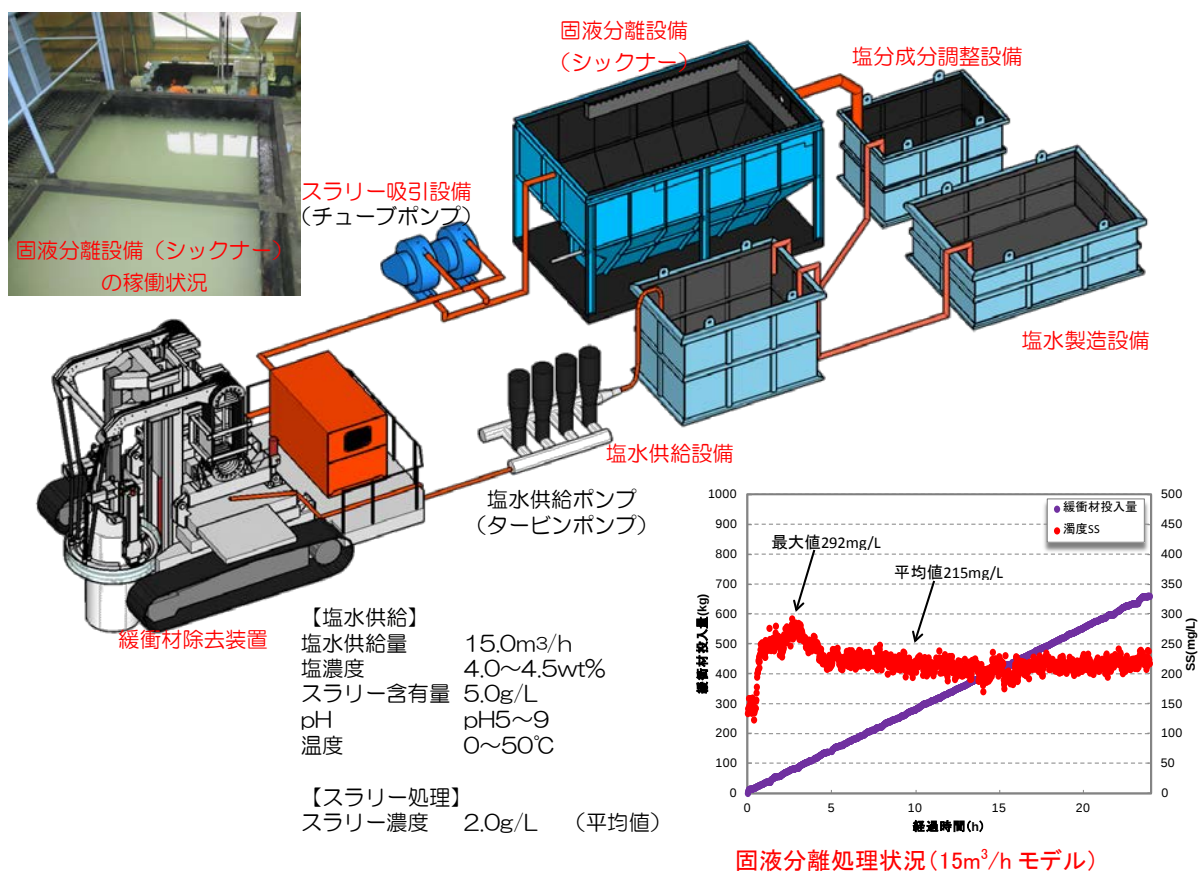


図 3 - 5 5 . 塩水リユース設備の構成と試験状況

(10) 地下坑道施工技術高度化開発

本技術開発は、地層処分の処分場の建設・操業を行う上で必要となるグラウト技術を体系的に構築することを目標に平成 19 年度より開始し、21 年度までに開発した成果をグラウト技術のプロトタイプとして提示した。平成 22 年度以降の評価期間中では、グラウト技術のプロトタイプの改良・高度化を行う事を目的に、下記の個別要素技術の成果が得られた。

1) 要素技術の開発

①グラウト技術に関する国内外の調査

地層処分で想定される地下深部の高水圧環境下でのグラウト技術とグラウトの処分システムへの影響評価手法に関する開発方針の確認のために実施した「高水圧環境におけるグラウト技術に関するワークショップ (Workshop on Grouting Technologies under high hydraulic pressure)」(2008 年 9 月 2～4 日)に引き続き、本プロジェクトで開発(以下、1)②～③、2)、3)参照)を行った技術の妥当性についての国際的なコンセンサスを得る目的で「高レベル放射性廃棄物地層処分の安全評価に係るグラウト技術に関するワークショップ (Workshop on Grouting Technologies related to Safety Assessment for HLW Geological Disposal)」(2012 年 1 月 17～18 日)を実施した。

その結果、

- ・ グラウト材料については、廃棄体を埋設する処分坑道より遠いエリアにおいては普通ポルトランドセメントの使用も可能であるが、安全性の観点からは低アルカリ性セメントの利用がより望ましいこと、
- ・ ポリウレタン系やアクリル系、またはエポキシ樹脂系などの材料には有機物を含有するなど処分システムの安全機能への影響の観点で問題があること、
- ・ 材料特性から、低アルカリ性セメントはプレグラウト材料として、溶液型は処分坑道におけるポストグラウト材としての利用に適していることなど

に関して合意が得られたが、許容湧水量の考え方やグラウト浸透モデルの用途については、それぞれのサイトで見極めるべきとのコメントがなされた。また、平成 19 年度から 21 年度までに実施した国内外のグラウト技術調査結果として公開した「施工及び材料に係るデータベース」(<http://133.188.30.54/grout/top.htm>) (図 3-56) に対し、引き続きプロジェクトで得られたデータを拡充するとともに、ユーザー管理システムを活用して、操作性、データの量等についてのアンケートや外部機関への広報を行いアクセス数の向上を図った。平成 25 年 3 月現在で GDB 登録ユーザーは 48 名、GDB アクセス数 183 回に達した。GDB 公開時(平成 20 年 11 月)からのトータルアクセス数は 1299 回に達した。

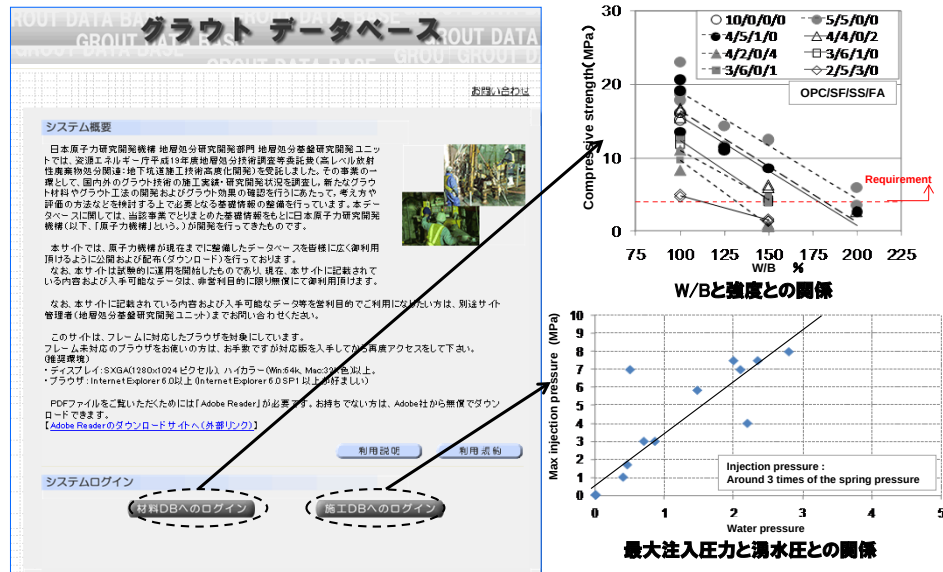


図 3-56 グラウトデータベースの例
 （左：ホームページ、右：データベース活用例）

②グラウト材料の開発

平成 19 年度から 21 年度までの本プロジェクトにおいて開発したグラウト材料（プロトタイプ：「低アルカリ性セメント系グラウト材料」、「代替材料（低アルカリ性セメント系グラウト材料よりも粒子が小さく、開口幅が小さな亀裂へも適用可能な材料）：溶液型グラウト材料、超微粒子球状シリカグラウト材料」）について、平行平板浸透試験結果に基づき、適用可能と思われる亀裂の水理学的開口幅を確認した。また、平行平板浸透試験において観察された閉塞現象については、その原因が、低アルカリ性セメント系グラウト材料と超微粒子球状シリカグラウト材料では流入部におけるケーキの形成、溶液型グラウト材料では狭隙部におけるゲル化であることを明らかにした。さらに、室内平行平板試験結果や①で述べた国際ワークショップにおける議論を踏まえて材料選定基準の見直しを行った（表 3-17）。この基準に基づき、開発と選定、を行ったグラウト材料の基本仕様を提示した（図 3-57）。また、室内平行平板浸透試験において観察された、グラウト材料ごとの浸透特性を阻害している要因について分析を行い、これに対する改善策の検討を行った。その結果、低アルカリ性セメントの団粒化の原因は、シリカフュームの生産過程において材料の取扱い易さ向上のため実施されていた粒度調整が主な原因であることが判明した。この改善策としては、シリカフュームの 1 次粒子（ピーク粒度 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ ）を人工的に凝集させ 2 次粒子の粒度を調整することで、もうひとつの主要原材料である超微粒子普通ポルトランドセメントと同等の粒径（平均粒径 $4 \mu\text{m}$ 前後）に調整することが最も有効と考えられた。同時に、粉体材料であることによる吸湿や混練水投入時の団粒化などを回避し、取り扱い性能を向上させるためには、スラリーとして製造保管することが有効と考えられた。また、超微粒子球状シリカの団粒化の原因としては、主材である超微粒子球状シリカの硬化剤である超微粒子消石灰、及び分散剤として添加するナフタレン系高性能減水剤の添加方法を含む混合手順にあることが判明したことから、混合手順の改善を図った。

表 3-17. グラウト選定基準

(*改良目標とする最小の亀裂の水理学的亀裂開口幅)

	特性項目	選定基準	摘 要
必須要件	pH	≤ 11	
	密度	設計基準密度 ±2%	
	最大粒径	≤ 設計基準水理学的亀裂開口幅	
	浸透性	浸透可能距離 ≥ 設計基準浸透距離	設計基準水理学的亀裂開口幅*で実施
		浸透可能最小開口幅 ≤ 設計基準水理学的亀裂開口幅*	
参考要件	圧縮強度	大きい方が望ましい	
	ブリーディング率	小さい方が望ましい	
	せん断強度	大きい方が望ましい	
	乾燥収縮率	小さい方が望ましい	溶液型のみに適用
	SiO ₂ 溶出率	小さい方が望ましい	溶液型のみに適用

材 料	配合 (W/B)	開 口 幅 (μm)					
		50	100	150	200	250	300
低アルカリ性セメント	400% or 600%	幾何学的開口幅 (水理学的開口幅)		125~188 μm (123~184 μm)	188 μm以上 (184 μm以上)		
超微粒子球状シリカ	400% or 600%	38~50 μm (33~44 μm)	50~188 μm (44~184 μm)		188 μm以上 (184 μm以上)		
溶液型(ゲルタイム120分)		38~50 μm (33~44 μm)	50~100 μm (44~95 μm)	100 μm以上 (95 μm以上)			

- : 非正常流れ、浸透性あり
 : 最適条件(定常流れ、浸透性あり)
 : 他材料と重なる特性

図 3-57. 開発したグラウト材料の基本仕様

③グラウト注入技術の開発

平成 19 年度から 21 年度までに開発したグラウト注入技術のプロトタイプである「高圧の地下水環境を想定した工法と装置」のうち、流量計を高精度化するとともに、暴噴対策を含む高圧地下水環境への対応方法を検討し、ボーリング孔内流量監視に基づく岩盤の間隙水圧測定クロズドシステムを提示した。さらに、本プロトタイプ及び国際ワークショップでの成果をもとに、処分坑道におけるグラウトの影響評価の観点から、処分場における許容湧水量の目安、グラウト材料、注入工法及び注入装置の適用例を示した。(図 3-58) 処分坑道では注入孔全てを坑道断面内に配置することで、坑道とともに注入孔も掘削されることになり、核種移行経路の残存を防止することが有効である。

0 m	部 位	許容湧水量 の目安※	グラウト材 料	注入工法	注入装置
300 m	浅部	1L/min/m	OPC or 低アルカリ性 セメント	従来の孔配置	既存技術で 対応可能
	深部	1L/min/m	OPC or 低アルカリ性 セメント		・高圧対応バッカー
	処分坑道	1L/min/m	低アルカリ性 セメント or 溶液型	坑道断面内への孔配置	・ジェットグラウトポ ンプ
	処分孔 設置	0.6L/min/pit	溶液型		・高圧バルブ(流量 圧力制御装置)
1000 m	処分坑道	0.6L/min/m	溶液型	坑道断面内への孔配置 	・暴噴対策装置

図 3-58. 開発したグラウト注入技術の処分場への適用例

2) 原位置適用性試験

①グラウト技術のガイドライン（平成 24 年度版）

地層処分の実施にあたって、想定される、地下深部での湧水への抑制対策の選定や施工手順の参考として活用されることを目的に、本調査研究の実施期間である 6 年間を通じて開発された要素技術、あるいはその開発過程で得られた知見を、「グラウト技術のガイドライン（平成 24 年度版）」として取りまとめた。

②原位置適用性試験

1) で開発した新技術の施工性や止水性の実証を目的として、スイスのグリムゼルテストサイト（以下「GTS」）において、結晶質岩（片麻状花崗岩）を対象に、原位置グラウト注入試験を実施した。GTS は、スイスアルプスのアール山塊中央部の結晶質岩に位置し、いくつかの大きな断層帯と山を貫通するランプロファイアが存在している亀裂性岩盤であり、試験エリアの上部の被覆岩の厚さは約 450m である。試験には、溶液型グラウト材料を適用し、注入孔周辺において、湧水 1l/min を止水するとともに 10^{-7} m/s オーダーの透水場から 10^{-11} m/s オーダーへと更なる透水性の低減が可能であることを確認した。また、溶液型のゲルタイムは硬化剤量や温度に依存して数 10 分単位で変動するため、原位置環境下で材料試験を行い、事前に特性を把握することが重要であることが分かった。図 3-59 に GTS におけるグラウト注入試験の概要と試験結果を示す。

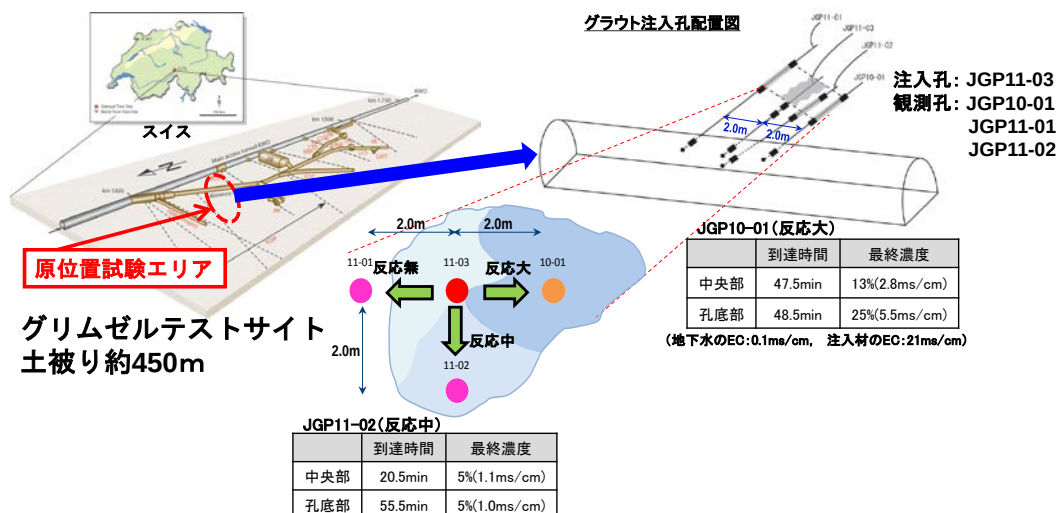


図 3-59. GTS におけるグラウト注入試験の概要と試験結果

③グラウト浸透モデルによる現象理解と施工への応用

GTS における溶液型グラウト材料を用いた原位置試験においては、想定される亀裂ネットワークへのグラウト浸透現象について評価を行うため、「等価多孔質媒体モデル」による解析を実施した。まず、原位置試験の、事前調査に基づく注入予測解析を実施し、材料の注入仕様（ゲルタイム）を決定した。グラウト注入の事後解析では、連続性の低い亀裂も等価多孔質媒体モデルでは透水亀裂として組み込まれるとともに、現場でのゲルタイムが長かったため、全体の透水量を過大に評価することになり、実測よりも高範囲に到達する結果となった（図 3-60）。グラウト浸透モデルの開発として平成 19 年度から検討を続けてきた「Gustafson & Stille モデル（G&S モデル）」と「等価多孔質媒体モデル」に関する比較検討を行った。前者はグラウト材料をビンガム流体としてモデル化した理論解であるため、材料特性の時間変化は考慮できないが、現場データを容易に反映可能である。後者は、グラウト材料特性を粘性のみでモデル化しており、材料のせん断強度は考慮できないが、材料特性の時間変化を考慮できる特徴を持つ。両モデルはともにこれまでの原位置適用試験結果から、その浸透距離は広範囲にわたることから、安全評価上保守的な評価が得られることが判明した。また、グラウト浸透現象のより詳細な解明に向けて、グラウト材料のフィルトレーション・目詰まり現象に関する既往の実験あるいは解析的研究についてレビューし、これらの現象に関与する要因を抽出した。さらに、抽出した、個々の要因の重要度について検討し、グラウト粒子の輸送という観点から、流速場及びそれを第一義的に規定する注入圧が最も重要であり、次に速度場に大きな影響を与える透水媒体の幾何学形状が重要であることを明らかにした。凝集・結合、付着・吸着などの現象も、フィルトレーション・目詰まりには重要な要因ではあるが、これらは流速に大きく依存し、流速が小さな場合に卓越する。

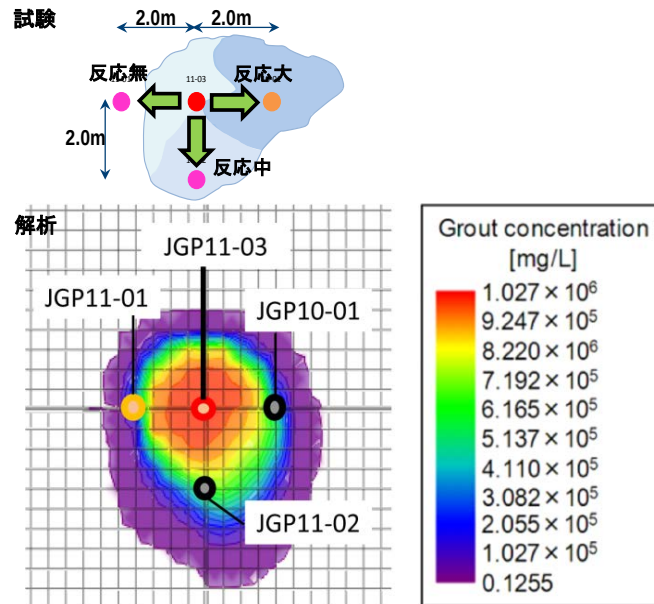


図 3-60. GTS 原位置試験に対する等価多孔質媒体モデルを用いたグラウト浸透距離の解析結果と実測値の比較

② グラウト分布の確認技術

平成 19 年度から 21 年度までのグラウト分布の確認技術のプロトタイプとして開発した、着色したグラウト材料の目視観察や物理探査手法を瑞浪超深地層研究所においてグラウト施工した普通ポルトランドセメント材料に適用し、グラウト材の浸透状況などの違いについて検討した。その結果、直径 88mm のコアスケールでネットワーク化しているような状況でも主たるグラウトの流路となる割れ目が存在し、流路より分岐する割れ目へのグラウト材の浸透は少ないこと、単一割れ目の結果と同様数十 μm の微視的な割れ目にもグラウト材が浸透する可能性があること、プレグラウト後、半年を経過した時点でのコアにはグラウト材の影響と思われる二次鉱物などの産出は認められないこと、などの知見が得られた。

堆積岩におけるグラウト浸透状況調査に対する物理探査手法の適用性の基礎的検討については、堆積岩はセメント材料と物性が類似しているため絶対値の変化で評価することは難しいことから、グラウト注入前後でのパラメータの変化率で評価することが必要であり、白浜砂岩では結晶質岩と同様の物理探査手法の適用可能性が示されたが、田下凝灰岩や幌延珪質泥岩ではグラウト注入後の時間経過に伴い変化率が変化する可能性があるため、物理探査手法の適用は難しいと考えられる結果が得られた。また、堆積岩においても結晶質岩と同様に、ボーリング削孔による目視から直接グラウトを確認する手法は有効であった。溶液型グラウト材料の浸透範囲の特定手法としては、電気伝導度計の適用が有効であることが分かった。

3) グラウト影響評価技術の開発

① 地球化学影響評価技術及び、データベース

セメント系グラウト材料による岩盤変質や核種移行への長期的な影響評価を行う上で必要となる地球化学解析手法については、平成 21 年度までに提示したプロトタイプ技術

に基づき、手法の改良やデータ整備を進めた。これにより、セメント系グラウト材料による岩盤の長期的な変質影響評価の考え方、評価にあたり必要となるモデル（ツール）やデータ（岩盤中の鉱物の溶解速度、熱力学データ）が整備された（図3-6 1、図3-6 2）。なお、平成23年度から開始されたセメント材料影響評価技術高度化開発では、地下坑道施工技術高度化開発と共通するセメント系材料による岩盤の長期変質影響評価に必要なデータ（溶解速度、熱力学データ）について、地下坑道施工技術高度化開発で整備されたデータも活用しつつ、データの拡充や妥当性検討が進められている。

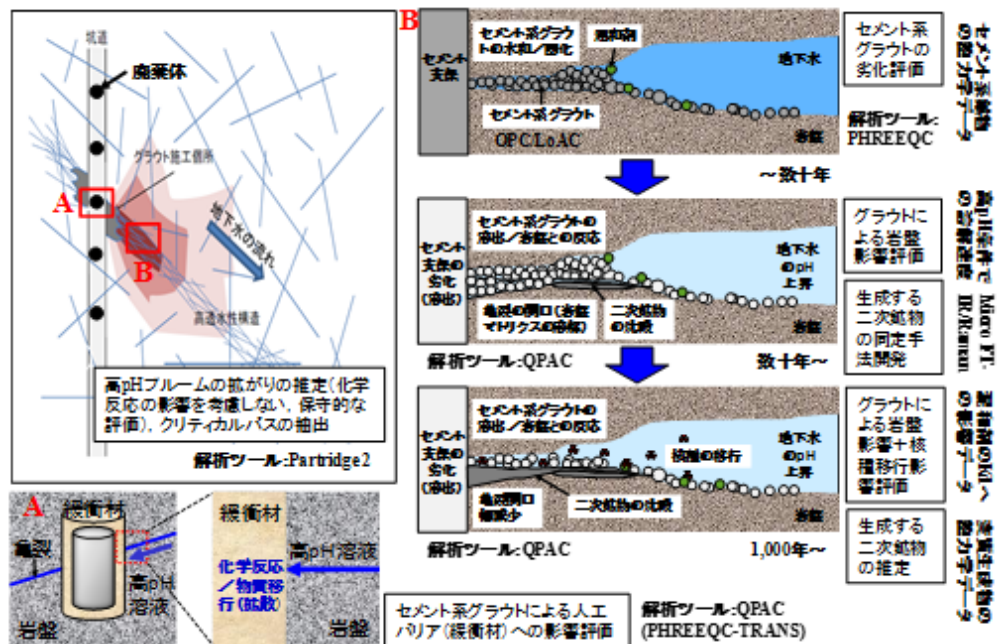


図3-6 1. グラウト影響評価において対象となる事象と整備された解析ツール（モデル）、データベース、調査・分析手法の適用方法

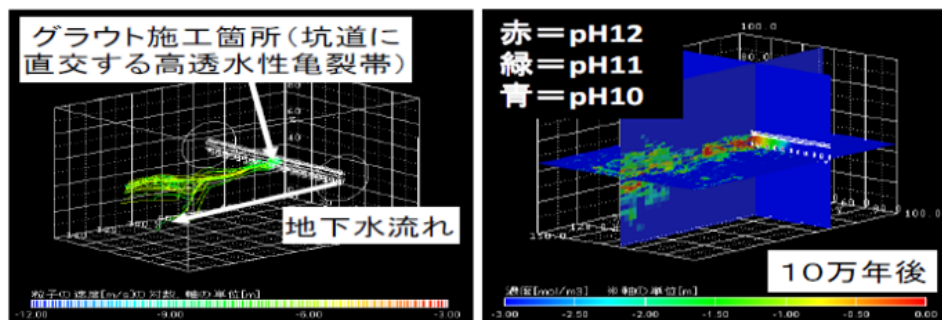


図3-6 2. セメント系グラウト材料による地下水水質への影響評価モデル解析の例

また、長期的な影響評価を行うための手順をまとめるとともに、評価例を提示した。さらに、セメント系材料の違い（普通ポルトランドセメントと低アルカリ性セメント）による岩盤変質への影響や、それに基づく材料の適用性に関する考え方について、グラウトと岩盤の相互作用だけでなく、支保や人工バリア（緩衝材）との相互作用を考慮した解析体系での核種移行解析評価を例として示した。

②調査分析手法開発と、混和剤影響に関する知見整理

セメント系グラウト材料による岩盤変質の影響評価で用いられるモデルの検証／確認において必要な高 pH 条件で変質・生成する微量の二次鉱物の分析・同定に関わる調査分析手法を開発するとともに、グラウト材料に添加される混和剤等による核種移行への影響に関する知見を整備した。

二次鉱物の調査分析手法の開発では、顕微赤外分光法や顕微ラマン分光法により、岩盤の変質状況（二次鉱物の生成）の調査を行い、調査手法の適用性について検討した。その結果、高 pH 溶液（pH 14、12）と接した花崗岩試料の表面で、まず斜長石の部分に二次鉱物と考えられる CSH が生成していることが検出され、その後、生成した CSH がより結晶性の良い CSH 鉱物へと変化することを確認できた。また、Ca/Si 比の違いに応じた CSH 鉱物の同定も概ね可能であり（図 3－6 3）、調査分析手法としての適用性を確認することができた。さらに、顕微ラマン分光法と併用することにより、CSH 鉱物の同定精度を向上することも可能（より詳細に Ca/Si 比の違いに応じた CSH 鉱物の同定が可能）であることが分かった。なお、顕微赤外分光法では、有機物等が混入している場合、赤外吸収のピークが必ずしも明瞭に表れない場合があるため、実際に使用されるセメント系材料（有機系の物質である混和剤が添加される）を対象に適用する際には、予め、手法の有効性や適用範囲を十分に確認しておくことが必要であることが分かった。

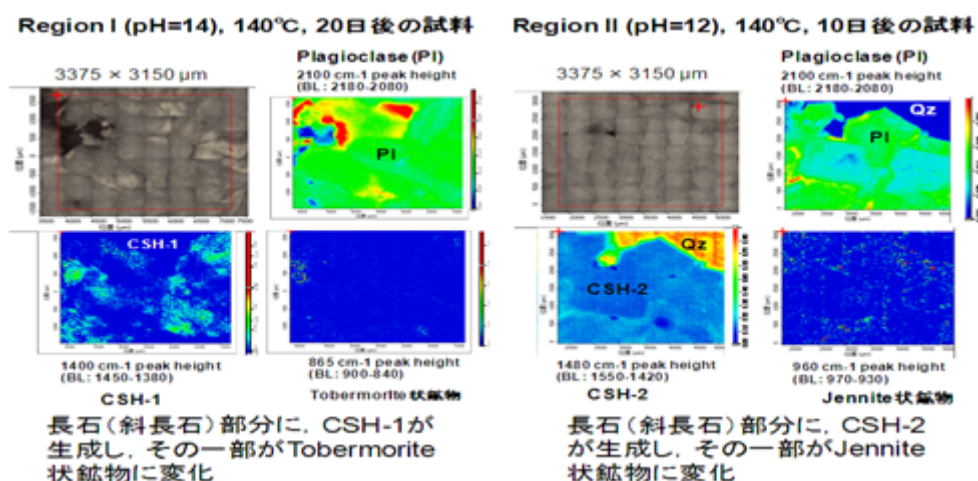
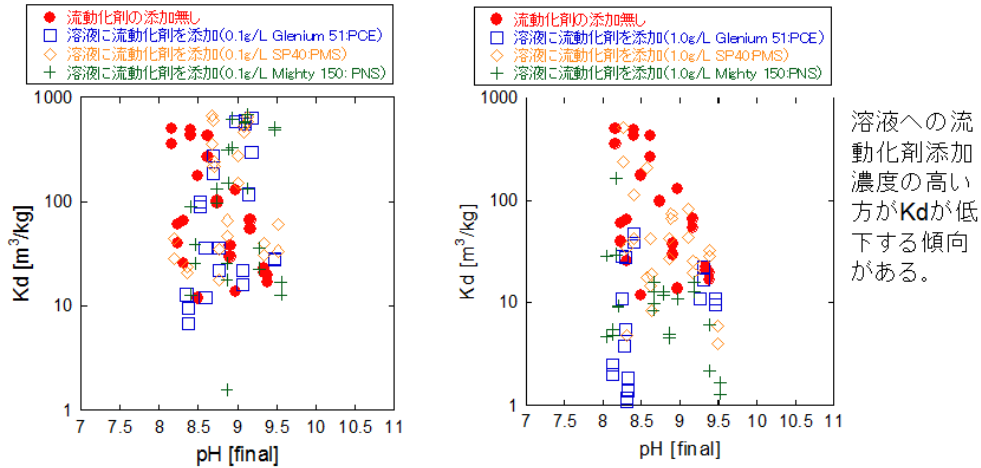


図 3－6 3. 顕微赤外分光法（面分析）による二次鉱物の分析評価の例

セメント粒子を分散させ、少ない単位水量で作業性を確保するために添加される混和剤（高性能減水剤：ここでは流動化剤として扱う）による核種の収着への影響に関わる知見を文献調査により整理した。文献調査から、用いられる流動化剤は、4 つに大別（スルホン酸系メラミン、スルホン酸系ナフタレン、リグノスルホン酸系、ポリカルボン酸系）された。文献調査で収集・抽出したデータを整理・分析することにより、これらのうち、スルホン酸系ナフタレンが相対的に核種の収着への影響が小さいこと、流動化剤の種類により核種のセメント材料への収着の影響の程度は異なるものの、流動化剤の配合量が減ると収着への影響が小さくなる傾向があること等が確認できた、（図 3－6 4）。図 3－6 4 では、流動化剤の添加が無い場合及び流動化剤の添加濃度が相対的に低い場合と高い場合での Eu の花崗岩への収着分配係数（Kd）を比較しており、相対的に流動化剤の添加濃度が高い（右図）方が、低い（左図）方に比べて Kd への影響（Kd

の低下)が大きくなる傾向があることが判った。なお、これらのデータは、溶液に流動化剤が添加されたケースであるが、実際には、流動化剤はセメント材料に添加される。セメント材料からの流動化剤の浸出量は、初期に添加される量の数%であり、浸出性は非常に低い。したがって、混和剤影響について検討する場合、実際に適用される条件を考慮した評価に留意することが重要である。



対象核種=Eu, 固相=granitic rockの場合のpH-Kd図の例
(Anderson et al., 2008のデータに基づく)

図3-64. Euを対象としたKdとpHの関係の例

(11) 人工バリア長期性能評価技術開発

1) 人工バリア長期挙動の評価

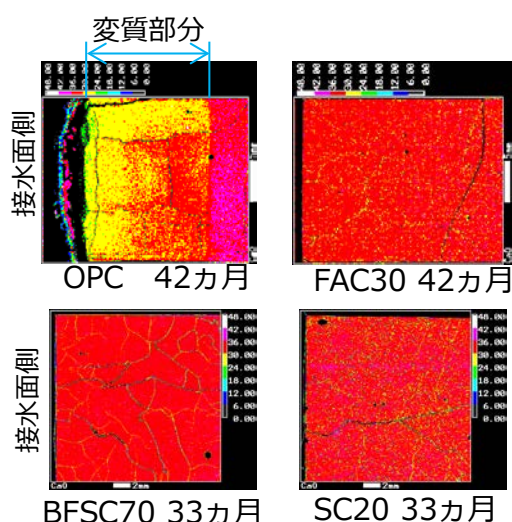
人工バリアの長期挙動の評価では、第2次TRUレポートに記載されたリファレンス条件での化学環境解析で示された、セメント系材料からの水和鉱物の溶脱やベントナイト系材料のカルシウム型化やモンモリロナイトの溶解等の人工バリア材の変質において、実験等で確認されていない現象のうち影響の大きいものの確証試験を実施し、その結果を性能評価に反映させた時の不確実性の低減効果を示した。また、多様な環境条件及び材料に対応する人工バリア材料の変質モデル及びその解析手法について検討を行った。

そこで本個別要素技術については、①多様なセメント系材料の長期変質挙動の確証試験、②セメントーベントナイト相互影響の確証試験、及び③人工バリア性能評価解析の高度化に分け、地下環境条件に対応した人工バリア材料の多様性を考慮したセメント系材料及びベントナイト系材料の変質データの取得、変質に伴う物質移行特性及び力学特性の変化に関するデータの取得、得られたデータに基づく人工バリアの長期性能評価手法の構築及び高度化について、得られた成果を示す。

①多様なセメント系材料の長期変質挙動の確証試験

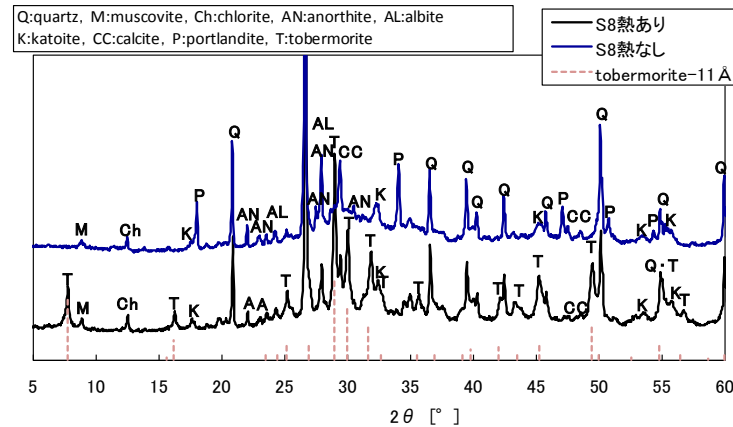
本確証試験では、多様なセメント系材料の変質過程を確認する浸漬試験、建設から40～90年程度経過した構造物のコンクリート(経年コンクリート)の分析による長期変質解析の妥当性の確認及び変質解析に必要な変質に伴う物質移行特性(拡散係数)の算定手法について検討した。多様なセメント系材料(フライアッシュセメント(FAC)、高炉

セメント (BFSC)、シリカフューム混合セメント (SC) の硬化体) の浸漬試験より、これらの材料は OPC (普通ポルトランドセメント) の場合よりも地下水の接触による変質が起りにくく、緩衝材への影響のある Ca の溶出量が少ないことを確認した (図 1)。加えて、変質前の初期鉱物及び溶解過程で生成する二次鉱物は OPC とほぼ同様であることも確認し、性能評価解析の高度化に有用な情報を得た。次に、経年コンクリートの分析結果は、これまでの変質解析結果と鉱物設定及び変質過程は大きく変わらないが、これまでの実験室での試験では初期に見られる、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が検出されない (Ca/Si 比が低下すること、及び熱影響 (推定温度 $70\sim 100^\circ\text{C}$) による C-S-H の結晶化の進行が一部で起こり、低 pH かつ溶解しにくいなど、変質解析の確証や高度化するために検討すべき事項などの有用な情報が得られた (図 3-65、図 3-66)。変質に伴う物質移行特性 (拡散係数) の算定手法は、セメントの硬化体及び空隙構造をモデル化し、ランダムウォーク法を適用して構築した (図 3-67、図 3-68)。



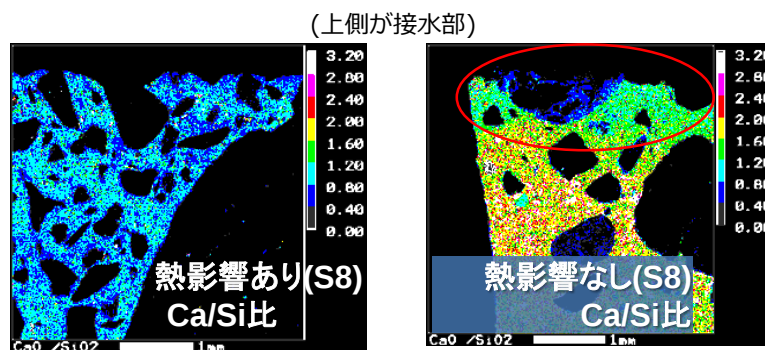
(各種セメント試料を人工海水に浸漬し、試料断面の EPMA 面分析により Ca 元素マッピングを取得。OPC : 普通ポルトランドセメント、FAC30 : フライアッシュセメント、BFSC70 : 高炉セメント、SC20 : シリカフューム混合セメント。左側が試料の接水面側。)

図 3-65. セメント系材料の浸漬試験結果



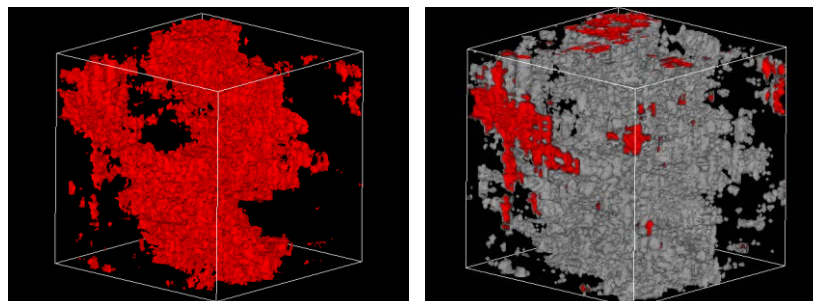
(黒線(S8 熱あり)は熱影響を受けた経年コンクリート、青線(S8 熱なし)は熱影響を受けていない経年コンクリート、結晶化の進行は、T(トバモライト)の回折ピークの出現により確認)

図3-66. 経年コンクリートの熱影響に伴う結晶化の進行に関するX線回折による確認結果



(図は試料断面のCa/Si比(C/S)の分布を示し、C/Sは青色<黄緑で、熱影響がある方がC/Sが小さく、変質がない。(熱影響がない場合は、赤線囲み部分の様に接水部(図上側)から変質がある。))

図3-67. EPMAによる経年コンクリートの熱影響に伴うCa/Si比変化の確認結果



(赤色：空隙、灰色：ケイ酸カルシウム水和物(C-S-H))

図3-68. 変質に伴う物質移行特性(拡散係数)算定手法で使用するセメント水和物と空隙構造の三次元モデル

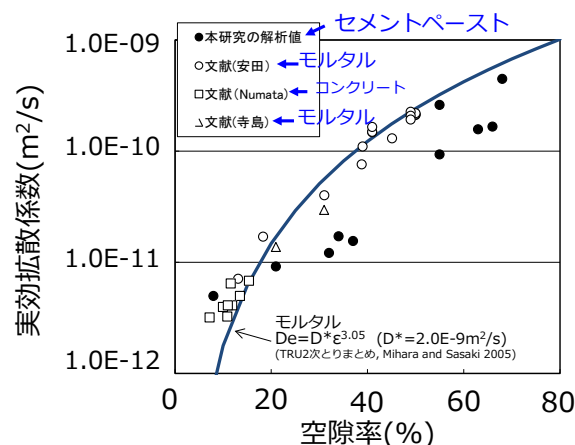


図3-69. セメント系材料の変質に伴うトリチウムの拡散係数の算出結果

② セメントーベントナイト相互影響の確証試験

高アルカリ条件での圧縮系ベントナイトの溶解速度の測定に関して、ナノレベルの分解能を持つ位相シフト干渉計による in-situ 試験（図3-70）、カラム試験等、多様な試験方法によって処分場における地下水条件も考慮した試験を行い、ベントナイトの安全性評価の不確実性を低減するための評価を行った。この結果、圧縮環境ではベントナイト（モンモリロナイト）の溶解速度は遅くなることを明らかにした（図3-71）。また、接触供試体及び天然事例調査によって取得した試料について粘土鉱物の一種であるスメクタイトの変質履歴に関する分析を行い、分析方法の適用性を含めた変質シナリオを検討し、天然環境において、ベントナイトが長期的に安定に存在することを示すことができた（図3-72）。さらに、ベントナイトとの接触試料の浸漬試験については、浸漬試料の接触界面に生成する鉱物をX線吸収微細構造解析分析（XAFS 分析）等によって分析し、この手法によってCSHを直接定量することができること、位置分解能の高い定量を実施できることの検討と共に、これまでのセメントーベントナイト相互影響に伴う変質に関する解析に対して、鉱物の溶解・生成についての情報を与えることにより、解析の信頼性を向上させる結果を得た（図3-73）。さらに、解析に関して試験結果との相違をもとに、今後の解析精度の向上に向けた課題の抽出を行った。加えて、力学・物質移行特性の変化のモデル化に関して、処分場での多様性に適応するためのベントナイトの応力ひずみに関するデータの取得及びモデル化を行い、化学・力学連成解析への反映方法を提案した（図3-74）。

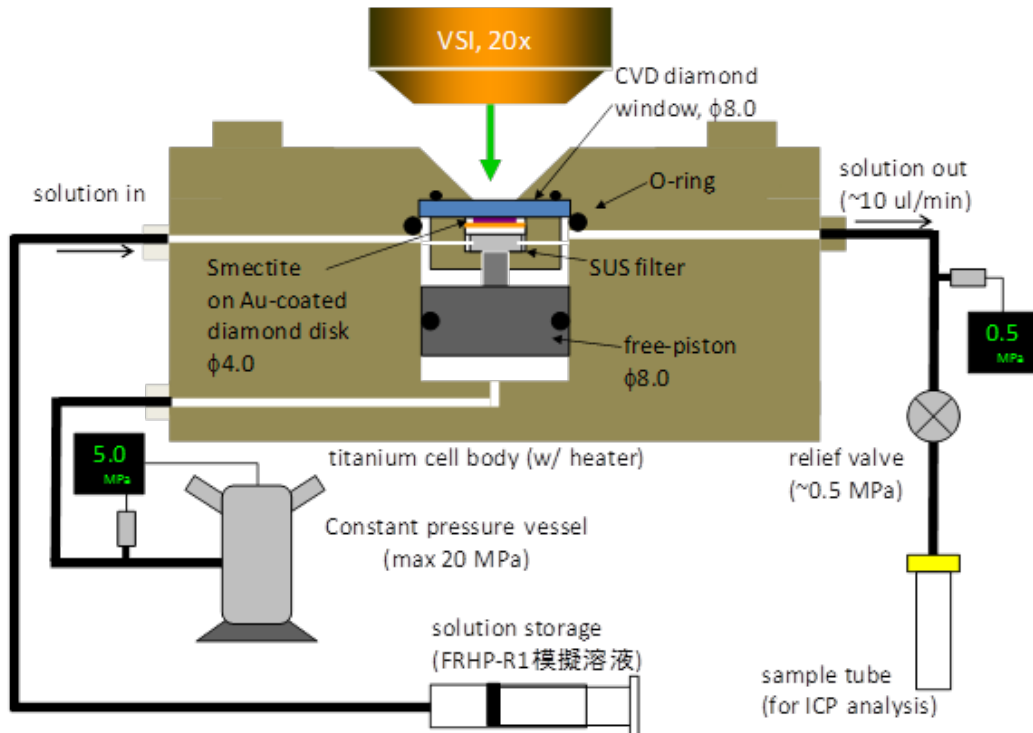


図 3-70. 自動圧縮セルとその場垂直走査干渉計計測システム

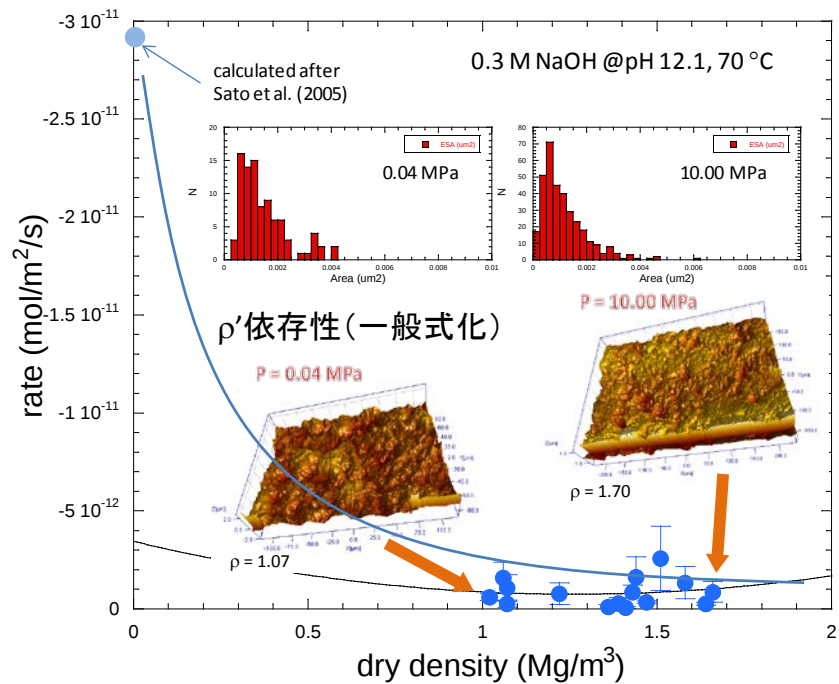


図 3-71. モンモリロナイト溶解速度と密度の関係（一般式化の一例）

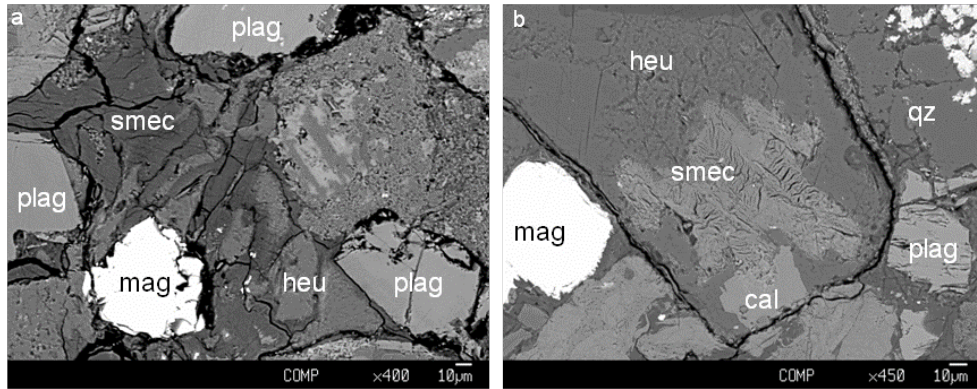


図 3-7 2. 砂質凝灰岩中のスメクタイト及びゼオライトの産状

(左：深度 GL-240.65 m、初めに存在していたゼオライト（ヒューランダイト）がスメクタイト（2八面体のモンモリロナイト）に変質、右：深度 GL-248.82 m、カルサイトと共存するスメクタイト（3八面体のサポナイト）が比較的粗粒なゼオライト（ヒューランダイト）に包有、smec:スメクタイト、heu:ヒューランダイト、qz:石英、plag:斜長石、cal:カルサイト、mag:磁鉄鉱）

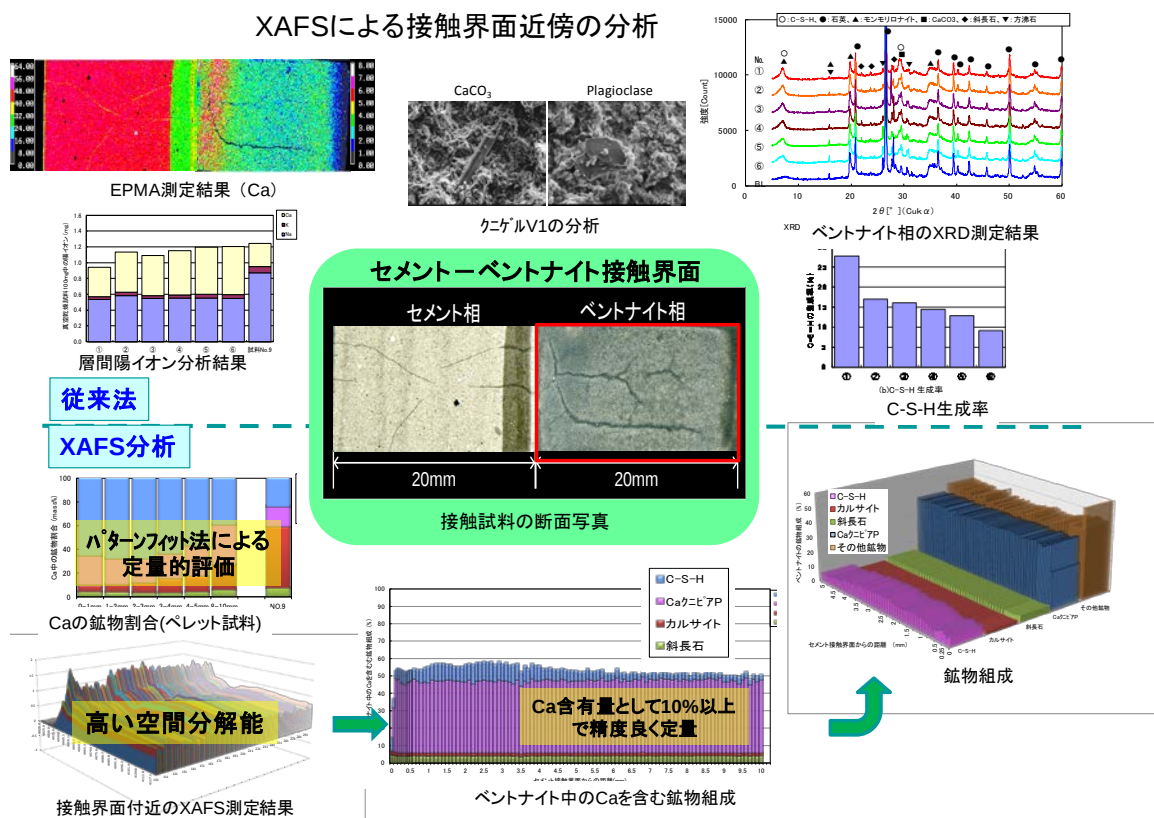


図 3-73. 接触界面近傍の分析のまとめ

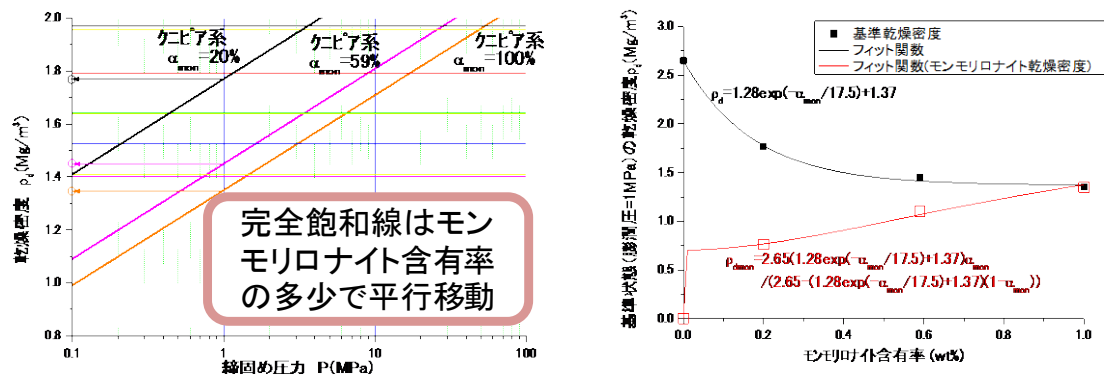


図 3-74. モンモリロナイト含有率の変化と力学特性変化

③人工バリア性能評価解析の高度化

①、②で示した試験・検討で得られた結果を解析に反映させることによって、セメント、ベントナイト双方の多様性に適応した長期挙動解析の評価の信頼性の向上を図った。また、化学変質による物質移動の変化、化学変質による力学挙動の変化を、モデルを考慮した解析について検討し、解析条件、パラメータ設定の影響を考慮して、化学・力学連成解析の有効性を示した(図3-75)。さらに、6年間に行った解析高度化の結果を総合的に考察し、核種移行計算に反映することによって、人工バリアの性能評価解析

に対する不確実性の低減効果を確認した。この結果により、不確実性の低減に加え、これまでの評価が十分に安全側であることを示した（図3-76）。

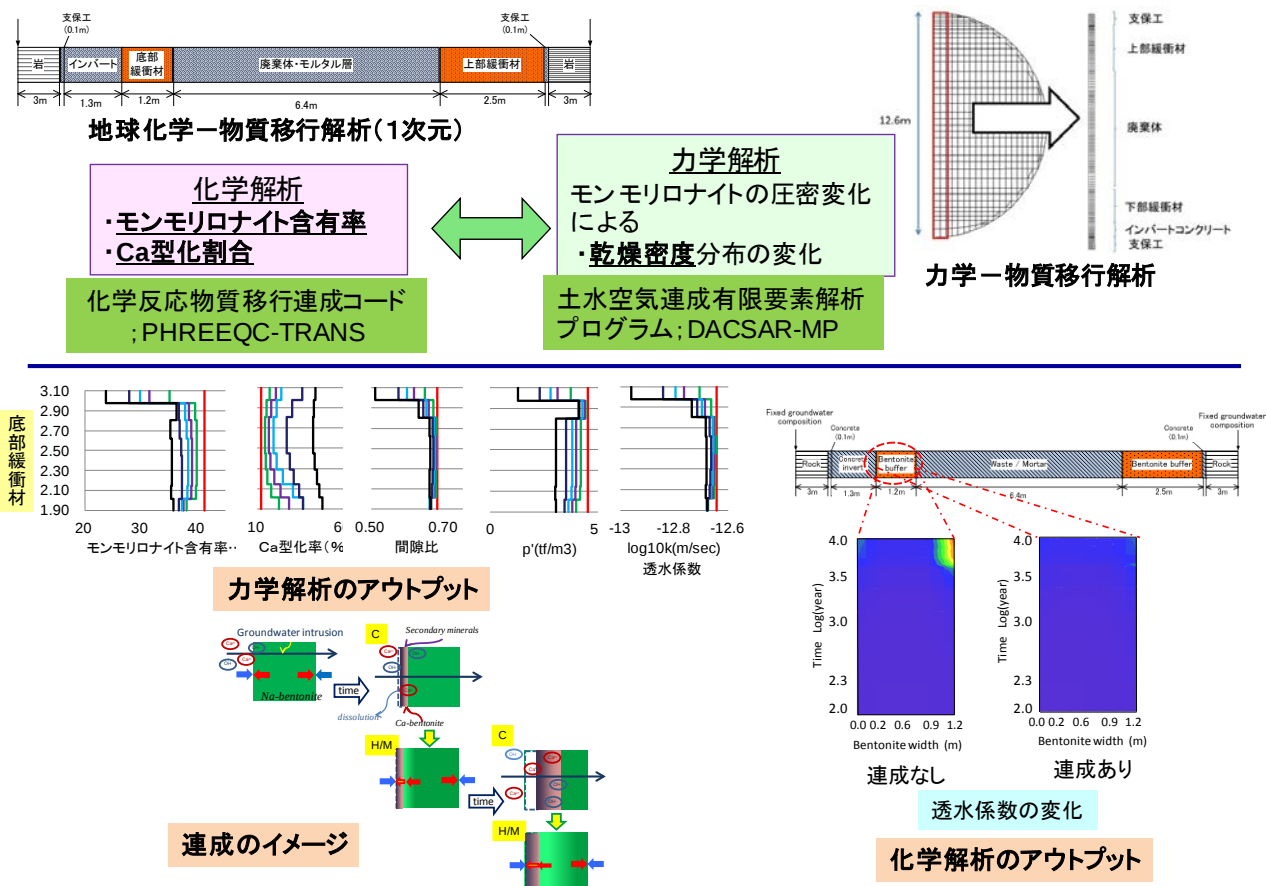
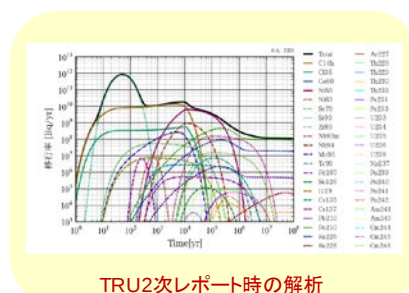
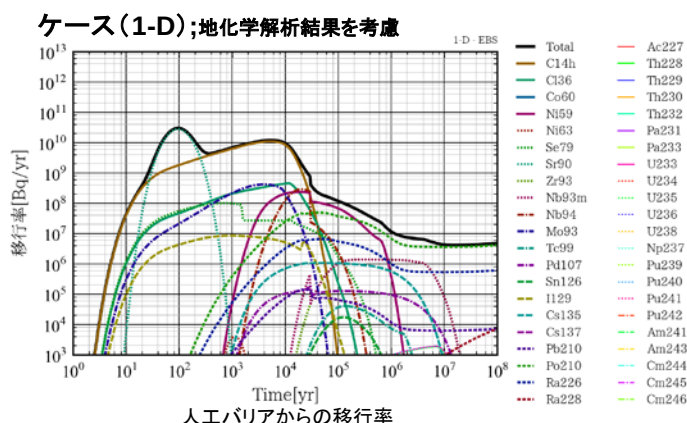
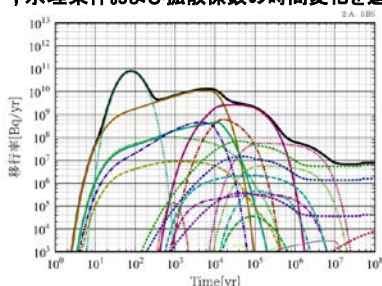


図3-75. 力学・化学連成解析の効果のまとめ



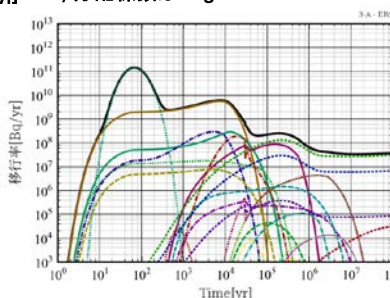
ケース2-A(廃棄体グループ2)

; 水理条件および拡散係数の時間変化を適用



ケース3-A(セメントFAC)

; 分配係数はRegionⅢ



ケース4-A

; 2-A+溶解度・分配係数の時間変化を考慮

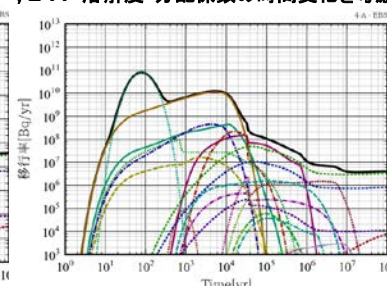


図 3-76. 人工バリアでの核種移行計算の結果

2) ガス移行挙動の評価

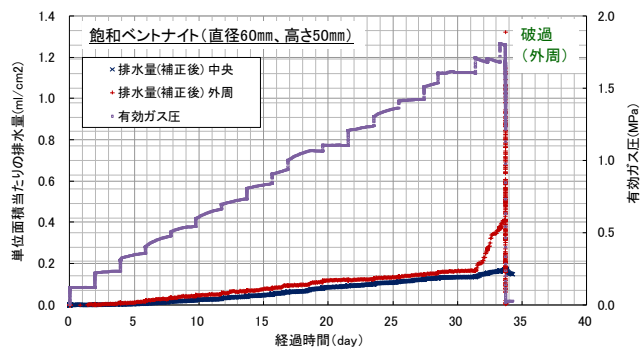
TRU 廃棄物処分における人工バリアの長期安定性の評価や性能評価に重要である、ガス移行挙動評価の信頼性の向上を目指し「①ガス移行に関する材料特性データの取得」及び「②モデル化・解析手法の高度化」を行い、またこれらを統合させるための「③ガス移行挙動評価手法」を構築した。

①材料特性データの取得

国内外の事例を整理した上で構築されたガス移行試験手法ならびに人工バリア構成材料の圧力依存透過性と力学連成挙動等の観点より構築された試験計画のもとで、ガス移行挙動の評価に必要な緩衝材としてのベントナイト系材料の特性の取得に向けた検討を実施した。具体的には、ガス移行挙動に係る基本特性要素試験では、100%のクニゲル V1 供試体でのガス移行挙動に係る基本特性（窒素ガス注入により破過に至るまでの供試体中から排出される水量の増加：図 3-77）を取得した。また、飽和・不飽和力学特性試験ではベントナイト系緩衝材材料の飽和および不飽和状態における力学に関する各種パラメータ（図 3-78）を取得した。さらに、寸法効果評価試験では、ガス注入試験を実施し、ガス移行挙動の材料における寸法効果に関するデータを取得し、取得したデータを取りまとめて供試体のスケールによるガス移行/破過への効果についての評価を行った。

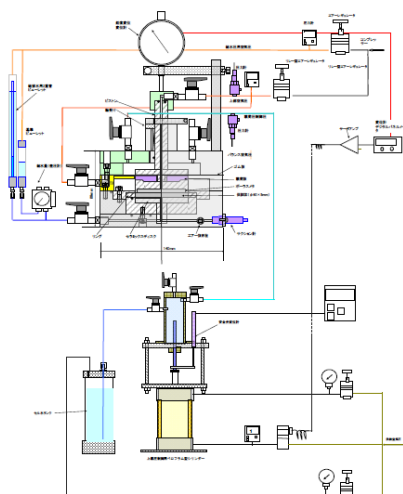


(試験装置)

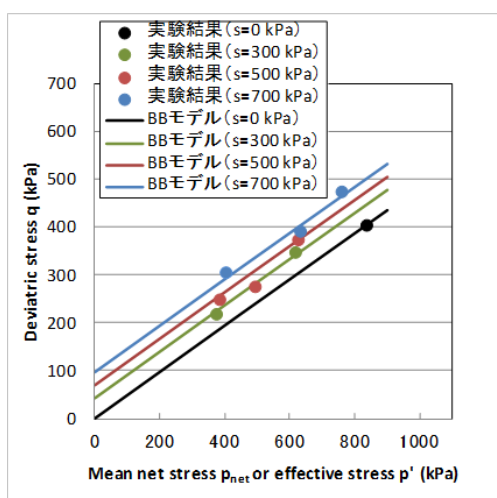


(押し出し排水量の時間変化)

図 3-77. ガス移行試験の結果 (破過に至るまでの緩衝材材料の状態把握)



(サクシオン制御試験装置)



(バルセロナベーシックモデルの検証)

図 3-78. サクシオン制御試験による飽和-不飽和力学モデルの検証

②モデル化・解析手法の高度化

国内外の動向調査を行ったうえで策定されたガス移行挙動評価のための解析実施計画に基づき、これらに係るモデル化および解析の手法についての検討を行った。具体的には、ベントナイト系緩衝材の材料特性の取得を目的に実施された室内試験の結果データを用い、ベントナイトの膨潤/収縮や力学連成を考慮した試験の再現解析 (図 3-79) を行うことにより、モデル化・解析手法の適用性向上、ガス移行に関する現象理解を目的とした検討、ならびに解析パラメータの定量化による施設の長期変遷を対象とした不確実性の低減を目的としたガスの発生および移行挙動の1,000年程度の期間の人工バリア構成部位の変遷を評価するためのモデル化・解析手法の検討を実施した (図 3-80)。さらに、ガス移行挙動評価解析実施の際に種々のモデルや関連パラメータを共通に利用可能なデータライブラリを整備した。

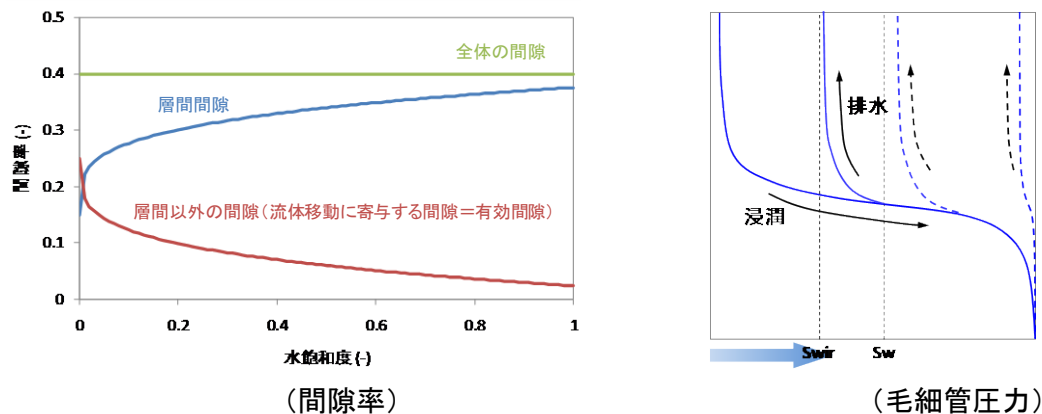


図 3-79. ベントナイトの膨潤/収縮による有効空隙率及び毛細管圧力の変化を考慮した 2 相流パラメータの概念

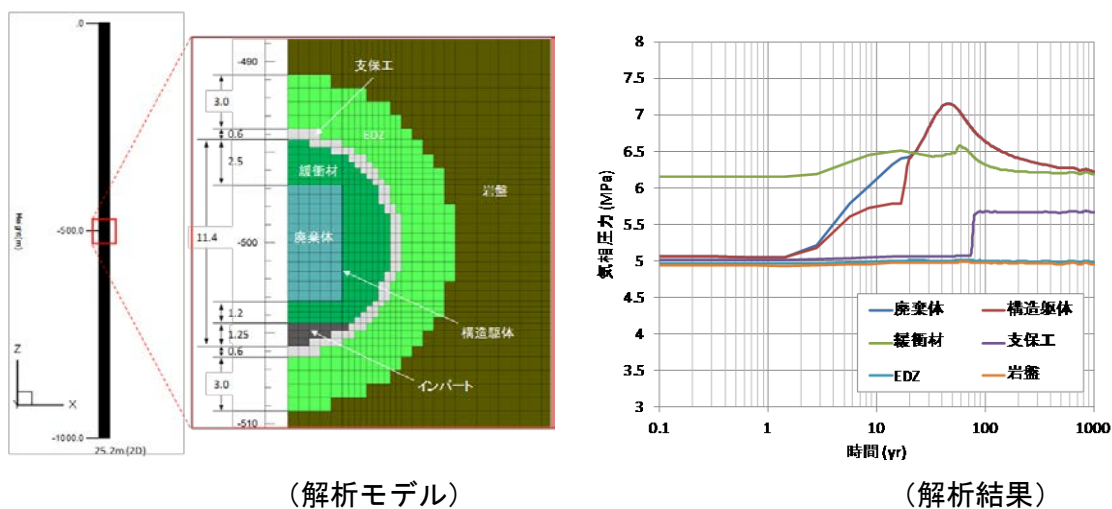


図 3-80. ガス発生を考慮した長期変遷解析における人工バリア部位毎のガス（気相）圧力の 1000 年後迄の時間変化

③ガス移行挙動評価手法の構築

本検討においては、着手段階（平成 19 年）に策定した研究計画に基づき、安全評価におけるガス発生影響の不確実性低減を目的として、処分施設の長期変遷を考慮した、TRU 2 次レポートに比べてより現実的なガス発生・移行に係るシナリオを整備すると共に、安全評価手法の構築に向けた検討を実施した。具体的には、最新の研究成果に基づき、ガス移行挙動評価手法構築の流れを設定すると共に、基礎資料となる時系列状態変化表、安全評価の展開図、統合 FEP 関連図（図 3-81）などを構築し、これらを用い蓋然性に着目したガス挙動評価に関するシナリオ（表 3-18）を設定した。また、予備的安全評価に向けた検討として、国内外のガス影響に関連した人工バリアの安全機能について、最新の研究の動向・成果を調査し、その結果を取りまとめる一方、課題とその対策について取りまとめた。

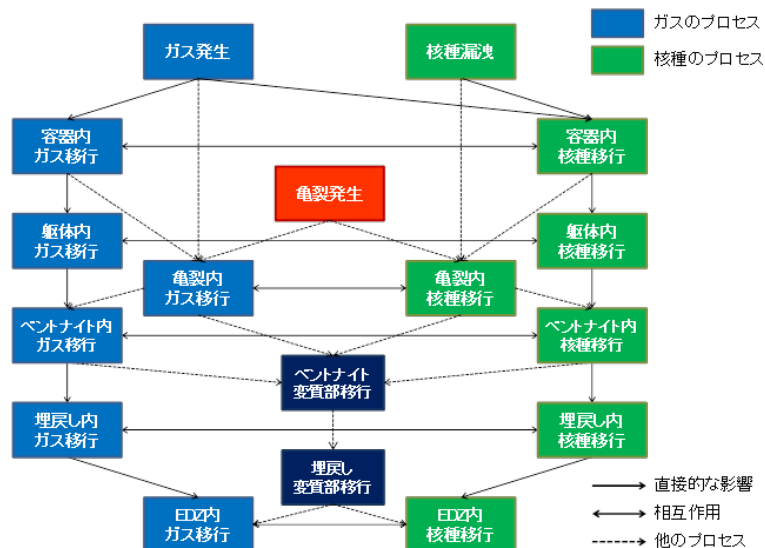


図 3-8 1. 統合 FEP 関連図（人工バリア内部での事象の相互影響）

表 3-1 8. 蓋然性に着目したガス移行挙動評価に係るシナリオの区分

不確実事象	シナリオ①（基本）	シナリオ②（変動）	シナリオ③（稀頻度）
ガス発生速度	ガス発生メカニズムと発生源、発生するガスの種類、速度および量を推定 <蓋然性の高い移行挙動> ⇒ 廃棄体グループ 2 のガス発生速度は極めて遅い [*] ため、ベントナイト中のガス移行は拡散と二相流が支配的となる。 [*] 原環センター研究成果より	ガス発生速度増加 ⇒ ベントナイト中でのガス蓄圧～破過 ⇒ 核種を含む汚染地下水の放出 ⇒ ベントナイトの自己シール性による透気経路の修復（閉じ込め性の再維持）	
廃棄体容器の損傷	設計にて期待する期間、容器は健全性を確保 <健全性喪失後> ⇒ 放射性核種の移行（拡散・移流） ⇒ 容器内ガスの移行（拡散・二相流）	初期欠陥等による健全性の損傷 ⇒ 放射性核種の早期移行 ⇒ 容器内ガスの早期移行（発生速度が加速された場合は上記のシナリオに）	
ベントナイト変質速度	ベントナイトを変質させる物質を考慮した変質速度の推定	ベントナイト変質速度の加速 ⇒ ベントナイトの核種閉じ込め機能の喪失 ⇒ 核種の移流による早期放出	間隙水等の影響により、ベントナイトの変質速度が加速し、自己修復性が喪失 ⇒ 放射性核種がベントナイト中を移流で移行

（12）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については、検討を開始した平成 14 年度当時に国内で検討されていた各技術について網羅的に調査・研究を進めてきたが、平成 18 年度以降は、固化体性能（放出期間及びヨウ素の固定化率）の見込みを得た 5 技術を対象に、固化体からのヨウ素の浸出挙動を中心に検討を進め、平成 19 年度に、目標達成の見込みを得た技術のうち固化体の製造プロセスの成立性を示すことができた 3 技術に絞り込んで開発を継続している。C-14 の長期閉じ込め技術の高度化については、高強度高緻密コンクリート並びにチタン合金において、各々の材料の実力として 6 万年間の核種閉じ込めが可能であることを確

認した。併せて、コンクリート容器の非破壊検査技術に関する検討を進め、ひび割れの検出性、サイジング（ひび割れの深さ（長さ）定量）性に関するデータを取得するとともに、課題やその解決法について示した。また、製作時に生じるコンクリート中の亀裂の進展挙動や、チタン合金の加工及び溶接部の挙動についても検討した。放射化金属廃棄物中の C-14 の放出挙動評価については、放射能インベントリや C-14 放出挙動など、ソースタームの現実的な評価について検討を行った。C-14 インベントリ評価では、C-14 の生成に与える中性子束分布、被覆管に含まれる不純物量、酸化物層の厚さ等の検討結果を計算評価に反映した結果、燃料集合体の型式や廃棄物組成毎の C-14 インベントリを提示することができた。特に、第 2 次 T R U レポート等で瞬時放出と想定されているハル酸化膜のインベントリを低減することができた。C-14 の放出挙動では、BWR（沸騰水型原子力炉）で照射された被覆管（STEP III）の浸出試験に着手した。また、金属の腐食速度データを取得したところ、第 2 次 T R U レポート等の設定値より遅いことが推定された。

1) ヨウ素固定化処理技術開発

平成 16 年度に固化体性能を中心に絞り込んだ 5 技術に対して、固化体長期性能（ヨウ素放出期間：10 年以上）とヨウ素固定化処理プロセスの成立性（ヨウ素回収率：95% 以上）に基づく技術評価を行い、平成 19 年度に 3 技術（岩石固化技術、BPI（ビスマス・鉛・ヨウ素混合）ガラス固化技術、セメント固化技術）に絞り込みを行った。3 技術の概要については図 3-82 の通りである。これらの固化体について長期性能の明確化、長期評価モデルの概念構築を実施した。また、各技術について固化処理プロセスのデータ取得を実施した。各々の成果については以下の通りである。

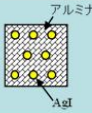
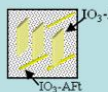
固化体	固化体概略図	固化体組成	ヨウ素固定化原理	処理プロセス	ヨウ素放出モデル
岩石固化体		• Al_2O_3 (コランダム) • AgI (14wt%)	アルミナマトリクス中に物理的に閉じ込める	腐銀吸着材をカプセルに詰め、HIP (熱間等方圧加圧) 固化処理	マトリクス溶解モデル
BPI ガラス固化体		• $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$ ガラス • BiPbO_2I (ヨウ素: 2wt%)	BiPbO_2I を鉛ガラス中に均一に固化する	脱離したヨウ素を、無機イオン交換体に吸着させ、Pb ガラスフリットと混ぜて低温で溶融固化	ガラス溶解モデル
セメント固化体		• AFm • AFt • $\text{Al}(\text{OH})_3$ (ヨウ素 1.7wt%)	ヨウ素酸の形態で AFm、AFt 鉱物に固定化する	脱離したヨウ素を、ヨウ素酸に転換し、アルミナセメントに二水石膏を加えたセメントに混練し固化	鉱物溶解・分配平衡モデル

図 3-82 代替固化技術の概要。固化体特性やヨウ素放出の評価モデルについて特徴的な 3 技術を、代替固化体として開発対象としている。

① 岩石固化体

マトリクスの溶解に影響を与える pH、AgI の溶解に影響を与える HS^- 濃度をパラメータとした固化体の浸漬試験の結果より、AgI が速やかに溶解する高 HS^- の環境においても、マトリクスの溶解が遅い中性付近であれば、ヨウ素の放出は抑制される。また、マトリクスが速やかに溶解する高 pH の環境においても、AgI の溶解が遅い低 HS^- であればヨウ素の放出は少ない傾向であった。これより、固化体からのヨウ素放出は、マ

トリクスの溶解に伴うものと考えられる。以上を踏まえ、固化体からのヨウ素放出は、マトリクスの溶解に伴い放出するモデルを構築した（図3-83）。

意図的にマトリクスの溶解に影響を与える pH、AgI の溶解に影響を与える HS⁻ 濃度の条件を変化させた試験を行い、AI の溶解とヨウ素放出は構築したモデルで想定される通りの挙動となることを確認した。

モデル式はマトリクスの溶解速度式に浸出係数 R をかけて固化体からのヨウ素放出を表現できる式とした。なお、浸出係数 R については、浸漬試験や固化体の溶解シミュレーションの解析により、AgI 溶解に係る項、マトリクス溶解に係る項、固化体構造に係る項（空隙率、固化体中のヨウ素と AI の組成比、等）によって構成される係数と考えられる。現状、浸出係数 R は、各構成要素を分離して評価できておらず、長期浸漬試験の結果をフィッティングすることで求めている。今後、浸出係数 R について詳細な検討を行い、より理論的な裏付けを確認することにより信頼性が向上すると考えられる。

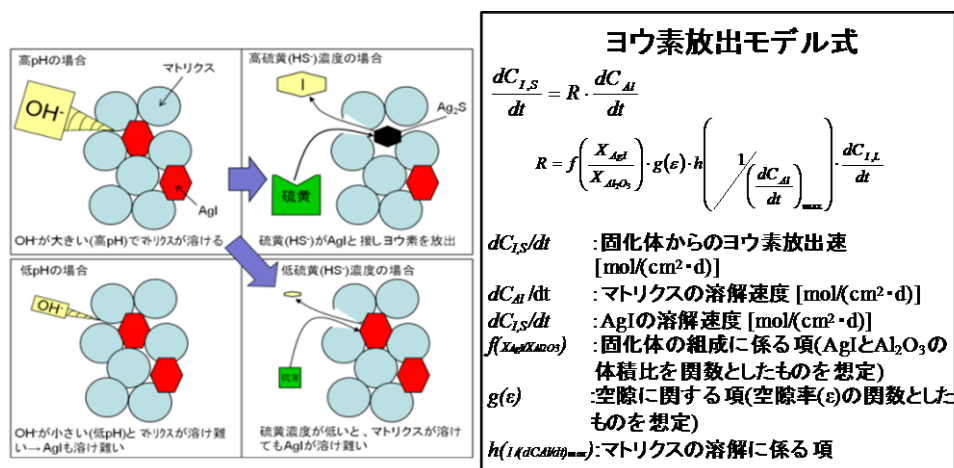


図3-83. 岩石固化体からのヨウ素放出概念（左）と評価モデル式（右）

② BPI ガラス固化体

BPI ガラス固化体の構成元素である Pb、B 及び I 等の結合及び存在形態を明らかにし、微視的構造をリバースモンテカルロ法により再現し（図3-84）、その成果をモンテカルロシミュレーションの条件設定（Pb 及び B の配位数と存在割合）に反映した。地層処分環境を模擬したバッチ試験、マイクロリアクタ通水試験及び長期浸漬試験を実施し、ガラスの初期溶解速度及び7～800日の連続的な浸漬試験データを取得した。

緩衝材間隙水及び海水系地下水において、ヨウ素、ホウ素と調和溶解することを確認するとともに、緩衝材間隙水における表面変質層の形成過程を追跡し、表面に析出した変質層はハイドロセルサイトであることを確認した。また、ホウ素の溶出速度と変質層形成の関係を明らかにした。これらにより、BPI ガラス固化体の溶出機構及びヨウ素の浸出機構に関する理解を深めることができた。さらに、変質層形成過程をモデル化し、浸漬試験結果との整合性を確認した（図3-85）。

上記の検討結果と粉碎試料を使用した浸漬試験結果も踏まえて、BPI ガラス固化体の長期浸出期間を評価し、開発目標である10万年を達成できる見通しを得た。

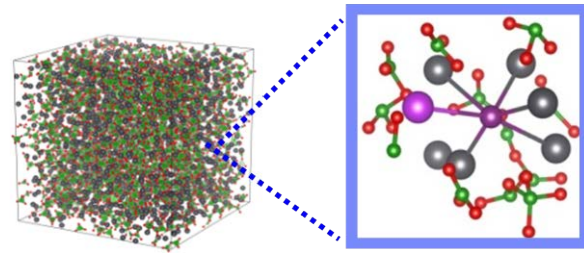
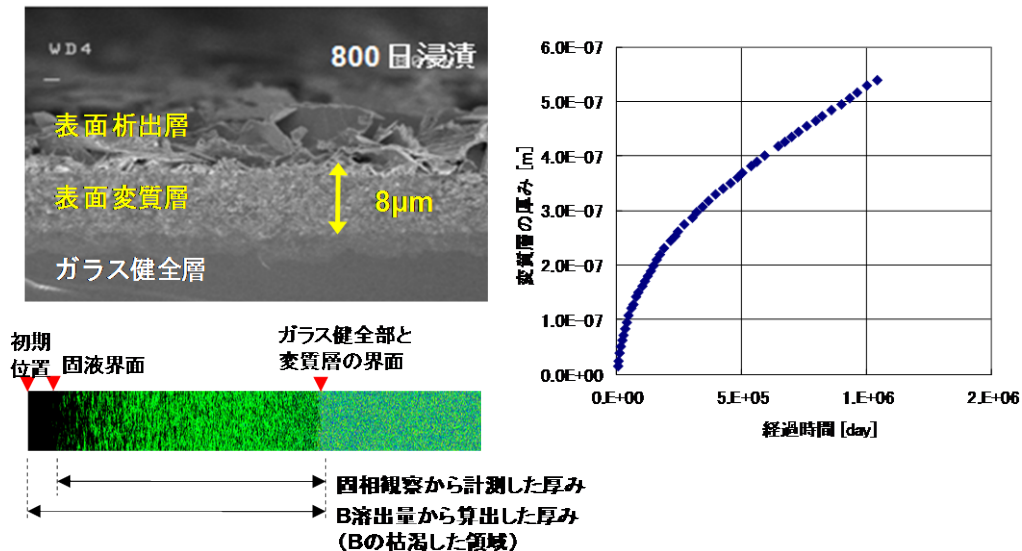


図 3-84. リバースモンテカルロ計算により得られた BPI ガラス固化体の構造モデル



- 変質層形成の早いケースでも、10万年経過後の変質層厚さは最大2mm未満
- 初期状態で割れが生じている場合でも、Φ4mm以上のガラス片として存在していれば、10年以上の浸出期間が確保される見通しが得られることを示唆

図 3-85. BPI ガラスの変質層の成長とガラスの寿命

③ セメント固化体

セメント固化体は、水和硬化時にエトリンガイト (AFt) 及びモノサルフェート (AFm) を多く析出させるセメントであり、AFt 及び AFm はその結晶構造中の SO_4^{2-} と IO_3^- とが不可逆的に置換固溶することによってヨウ素を固定化するものである。そこで、固化体の長期性能を示すために液交換によるセメント固化体の溶解とヨウ素放出挙動を確認する試験を行った。また、ヨウ素放出挙動を解析評価するため、平衡計算コード (PREEQC) をベースに純水中溶解確認試験で確認した解析モデルを構築し、降水系地下水、海水系地下水の放出ヨウ素の挙動、鉱物相の変遷を解析モデルにより再現できること検証した。溶解確認試験から、純水中、降水系地下水、海水系地下水における積算液固比とヨウ素放出割合の関係を明らかにし、固相分析と解析によりセメント固化体中では AFt が消失していることから、固相での AFt が減少 (溶解) と、液相中へのヨウ素の放出には相関があることが確認された。以上よりセメント固化体のヨウ素は、ヨウ素保持鉱物が水に溶解することで、固化体から放出されるモデルで説明できるが分かった。

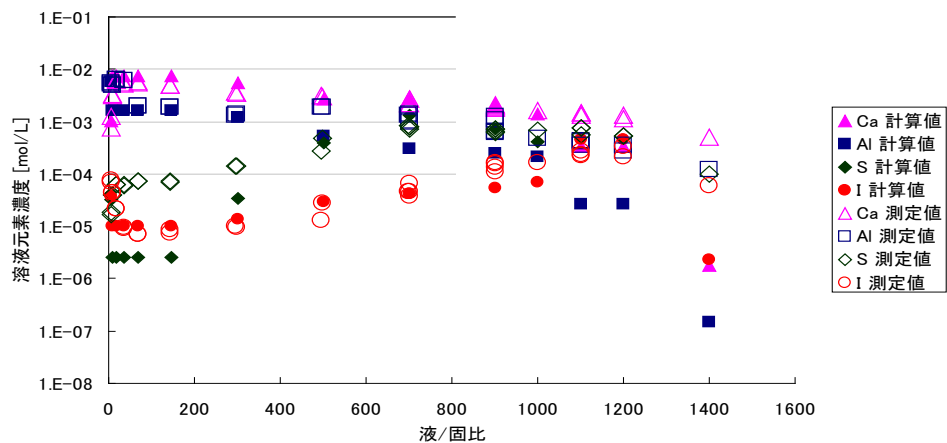


図 3－86． セメント固化体の液交換試験と、鉱物の溶解平衡に基づいたヨウ素放出モデルとの比較

④処理プロセスの成立性の検討

ヨウ素固定化処理施設設計の概念検討に反映するため、これまでに取得したプロセスデータを反映し、各処理工程の条件等の検討結果を整理した。処理条件等から、処理フローや運転条件の設定、主要機器リストの検討、施設の配置計画等について検討した。その際、2 次廃棄物を含めて廃棄物発生量（表 3－19）について検討した。いずれの固化技術においても、廃棄物発生量は第 2 次 TRU レポートにおける想定よりも少なくなったが、2 次廃棄物の取り扱いについて検討を要する。主要設備や運転管理条件などから、経済的な観点も踏まえた整理を行った。

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

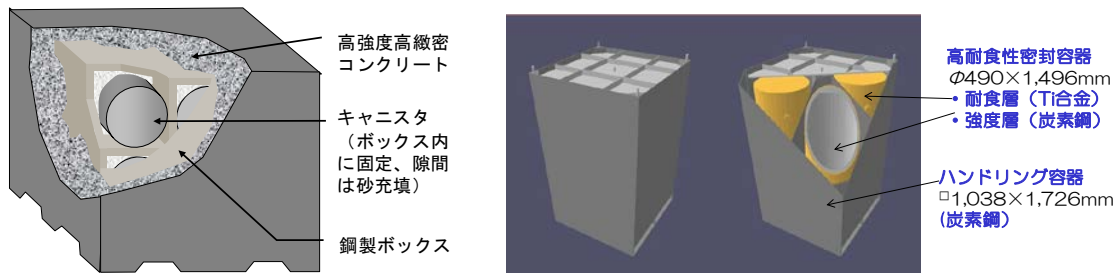
表 3－19． 各固化技術によって発生する廃棄物の物量評価

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

2) C-14 の長期閉じ込め技術の高度化

平成 16 年度までの本事業において、TRU 廃棄物の地層処分用の廃棄体容器に関する複数の技術オプションを提示した。また、長期閉じ込め性を目指した廃棄体容器の適用可能性を示した。平成 17 年度からは第 2 次 TRU レポート等で明らかになった課題への対策として、それまで検討してきた 5 種類の容器のうち、安全評価において重要な核種である C-14 の長期閉じ込めを目的とする廃棄体容器（コンクリート、金属容器各 1 種類）の長期閉じ込め性の信頼性確保に注力することとした（図 3-87）。これらの廃棄体容器は、C-14 を含む廃棄物が地下水との接触を抑制する閉じ込め期間について 6 万年間を目標としたものである。

コンクリート容器使用する材料は、止水性、長期耐久性に優れ、製作時の欠陥が生じにくい高強度高緻密コンクリートを、金属容器には、耐食性に優れた Ti 合金を選定し、おのこの材料の実力として 6 万年間の核種閉じ込めが可能であることを確認した。加えて、実規模容器を想定した製作手法を確立するとともに、品質管理手法の一つとして、コンクリート容器の非破壊検査技術に関する検討を進め、ひび割れを模擬したスリットの検出性、サイジング（ひび割れ深さの定量）性を確認した。その成果を以下に示す。



コンクリート容器

金属容器

図 3-87. 閉じ込めによる C-14 影響低減を目指した廃棄体パッケージの特徴

① 長期閉じ込め型コンクリート容器の開発

コンクリート容器は、長期にわたり容器内のキャニスターと地下水の接触を抑制するために、コンクリートの水みちとなるひび割れ及び打ち継ぎ部が発生しない様に製作することが必要である。そのため、コンクリート容器は、打ち継ぎ部が発生しない連続打設による一体成型法で製作する方法を考案し(図 3-88)、スケールモデル(600×600×450mm)の製作によりその成立性を確認している。

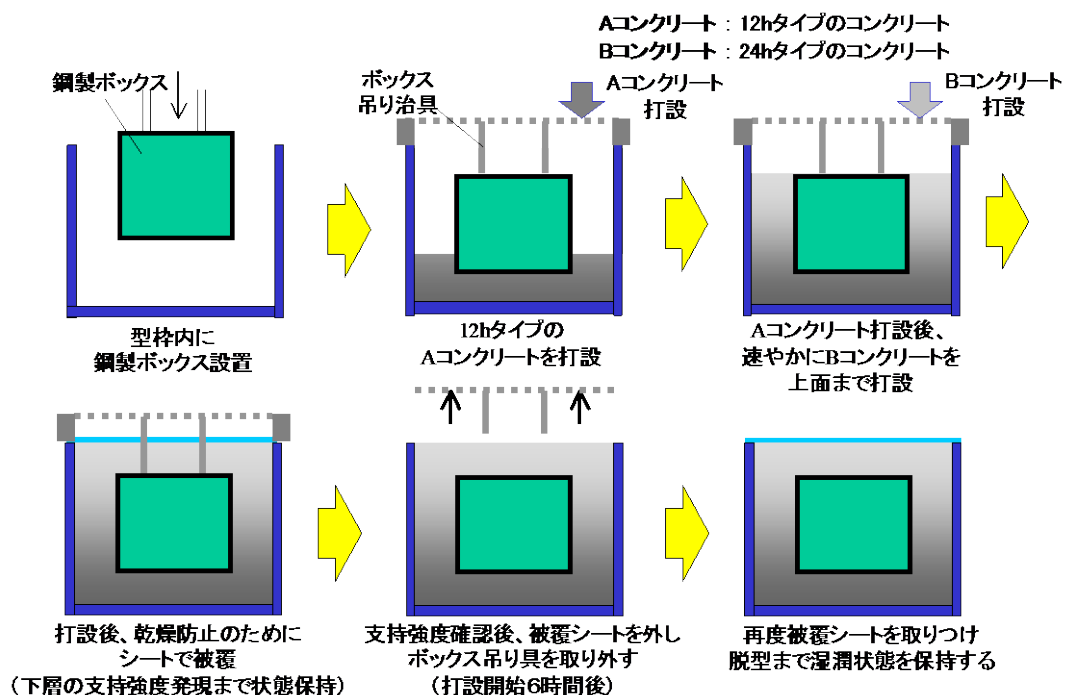


図 3-88. コンクリート容器の製作方法(一体成型法)

コンクリート容器の製造後の品質検査では、水みちとなり閉じ込め性に影響があるコンクリートのひび割れの発生がないかを確認する必要がある。そこで、超音波法を用いた非破壊検査手法を適用し、その基礎的な計測技術について検討を行った。本検討では、容器表面から検出が難しいコンクリート内部の、止水性に影響がある幅 0.05mm 以上のひび割れを対象とした。高周波数帯域の超音波を使用することが出来るステップ型のパルサーを使用することで、幅 0.06mm 程度までの高強度高緻密コンクリートのひび割れ

を検出でき、品質検査の基礎的な技術を見出した(図3-89)。

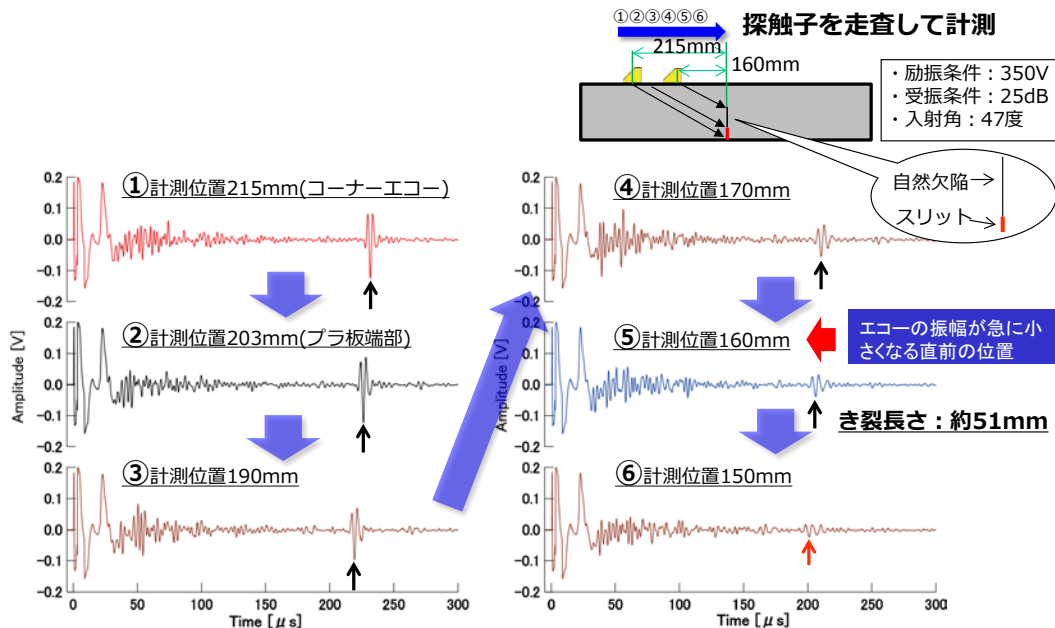


図3-89. 超音波法によるひび割れ探傷結果

高強度高緻密コンクリートの長期閉じ込め性について、水の浸透挙動、化学的な劣化（Ca の溶解）および長期的なひび割れ進展について試験によりその挙動をモデル化し、6 万年間の長期予測を行った。水の浸透挙動は、Ca の溶解に加えセメント水和を連成させた熱力学連成システム DuCOM をコアとした長期健全性評価モデルを構築して評価した。6 万年間の水の浸透深さ（図3-90）、溶脱深さ（図3-91）を予測した結果、水浸透深さ 50mm、溶脱深さ 110mm と、容器のコンクリート厚さ 200mm に対して、水浸透・溶脱深さが下回り、核種の閉じ込めに十分な裕度があることを示した。

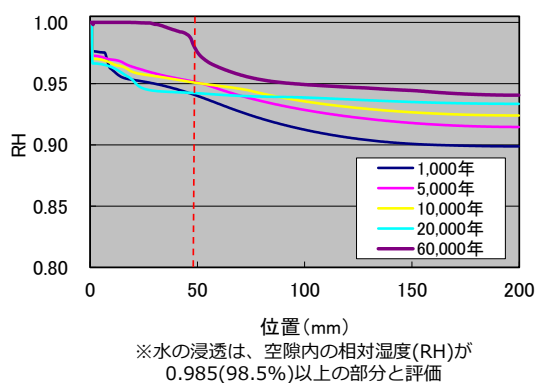


図3-90. 水の浸透挙動の予測結果

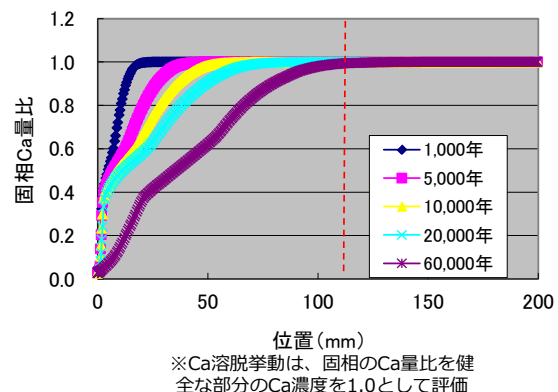


図3-91. Ca の溶解の予測結果

また、高強度高緻密コンクリートの長期のひび割れ進展挙動について、ダブルトーション法により破壊強度に満たない応力下でのひび割れ進展速度データを取得し、予測モデルを構築し、6 万年間のひび割れ進展を評価した。その結果、部材厚 200mm に到達す

るのに必要とされる引張応力は、容器に作用する地圧（7MPa 程度）等を上回ることを確認した（図 3－9 2）。一方、ひび割れへの地下水の接触し、炭酸カルシウムにより水みちとなるひび割れが閉塞する現象を試験により確認した（図 3－9 3）。

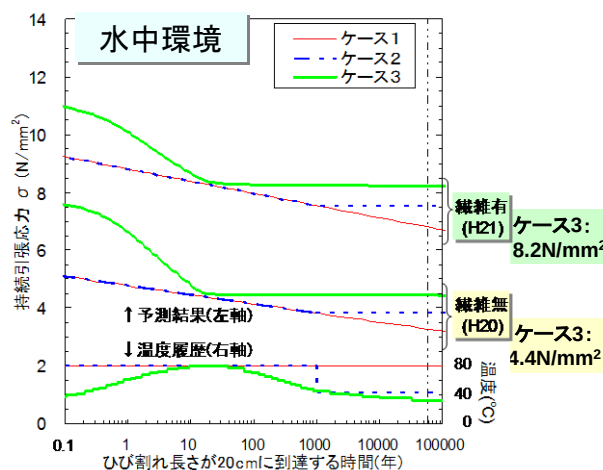


図 3－9 2. 長期ひび割れ進展評価結果

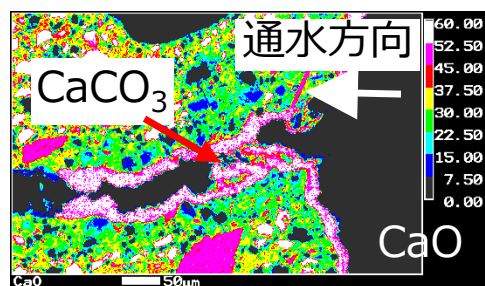


図 3－9 3. ひび割れ閉塞試験結果

②長期閉じ込め型金属容器の開発

金属容器の製作手法は、Ti 合金（耐食層）と炭素鋼（強度層）からなるクラッド鋼板の採用といった既存技術の適用性検討を経て、基本的な製作要領案を提示した（図 3－9 4）。金属容器の品質管理手法としては、先行実施している高レベル放射性廃棄物関連の開発成果を応用することとしている。

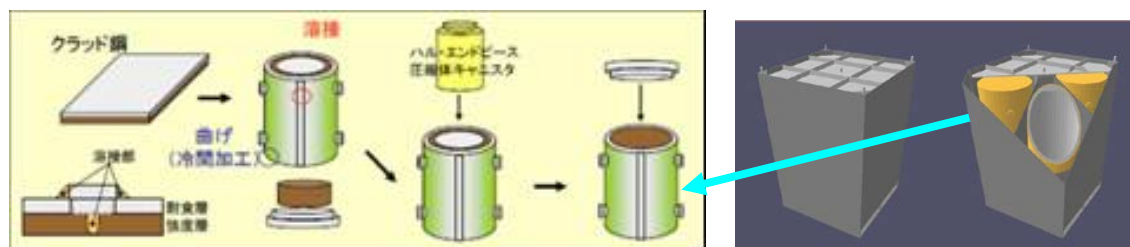


図 3－9 4 金属容器の製作方法

Ti 合金による長期的な閉じ込め性に関わる耐食性について、影響の大きい因子であるすき間腐食、脱不動態化、不動態保持による減肉、水素に起因する応力腐食割れの各挙動について、母材に加え容器の製作上発生する溶接部及び曲げ加工部について電気化学的な手法により評価を行った。酸化・還元状態や温度等が異なる様々な環境下において、Ti 合金（母材、加工影響部等）の基礎的な長期挙動データを取得した。その結果、すき間腐食感受性の無い材料 Ti-Gr. 17 (Ti-0.05Pd)を採用、脱不動態化が起こらないことを確認、不動態保持による減肉は、定電位保持試験データよりモデル化して腐食厚を見積り（図 3－9 5）、水素に起因する応力腐食割れは定電流保持試験試験および自然浸漬試験の試験片観察結果より、水素化物層厚さに関わるモデルを構築した（図 3－9 6、図 3－9 7）。以上の成果による『長期健全性評価モデル』を構

築し、6 万年後の腐食量を予測・解析し、腐食厚さが耐食層厚さの 6mm を超えることは無く、母材と同様に加工及び溶接の影響も無く、Ti 合金による容器の閉じ込め可能性を確認した(表 3－20)。

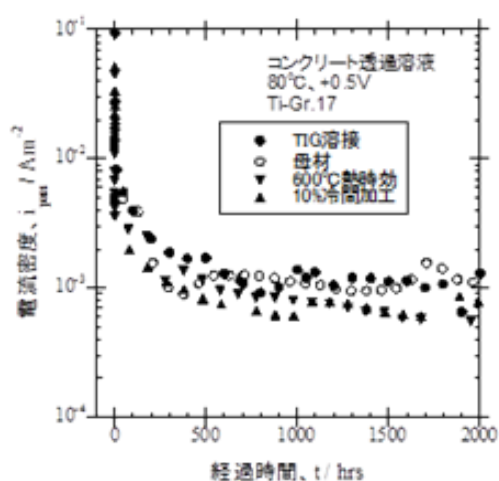


図 3－95． 定電位保持試験
(不動態健全性確認結果)

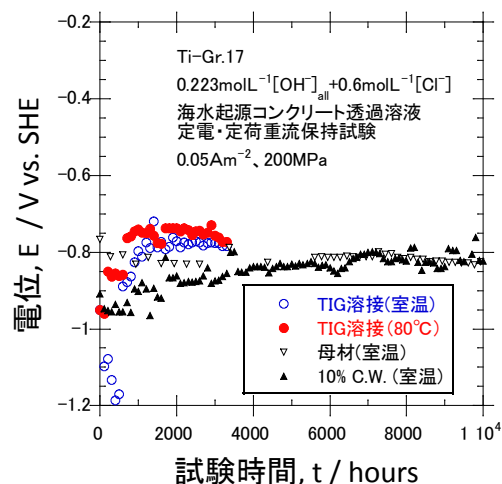


図 3－96． 定電流保持試験
(水素に起因する応力腐食割れ
感受性確認結果)

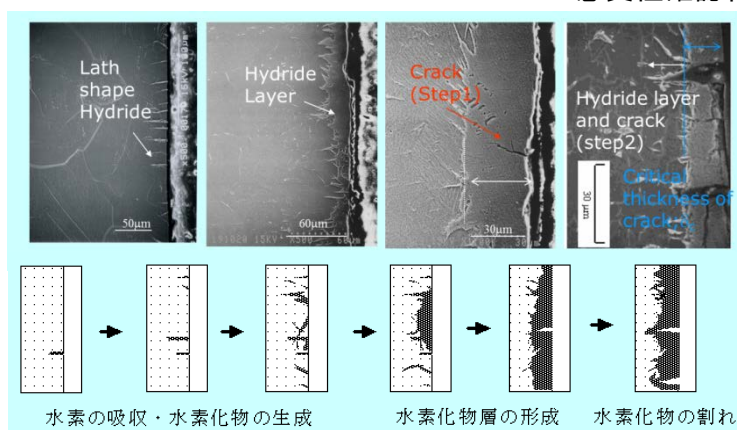


図 3－97． 水素化物層の観察結果と生成・割れによる亀裂進展モデル

表 3－20． 6 万年間の腐食量評価結果

	総減肉量	不動態保持 による減肉 量	水素化物層 の厚さ	水素に起因する 応力腐食割れ
6 万年間の 腐食量 評価結果	1.767mm	1.766mm	0.807μm	発 生 しない

3) 放射化金属廃棄物中の C-14 の放出挙動評価

C-14 のインベントリを現実的に設定するため、C-14 の生成に与える中性子束分布、被覆管に含まれる不純物（窒素）量、酸化膜の厚さ等の影響を検討した。その結果、燃料集合体の型式別に放射化計算を行うことが有効である可能性を示した。したがって、平成 21 年度までに実施した BWR のインベントリ評価に加え、PWR の燃料型式別にウラン量

換算で 32,000 MTU までの廃棄物発生量を見込み、放射化計算により総インベントリを求めた結果（表 3-21）、第 2 次 TRU レポートのインベントリのほぼ同等となった。一方で、酸化膜中のインベントリは第 2 次 TRU レポートで瞬時放出と仮定されているが、酸化膜の厚さを複数の実測データに基づいて現実的に評価した結果、大幅に低減できることが分かった。

表 3-21. 再処理量 32,000MTU に相当する C-14 インベントリ評価結果

	集合体 体数	平均燃焼度 (GWd/MTU)	平均酸化膜 厚さ/μm	重量 (ton)			C-14 インベントリ (Bq)					
				Zircaloy	Stainless steel	Inconel	Zircaloy	Stainless steel	Inconel	酸化膜	燃料付着	合計
本研究												
BWR+PWR	127,779	42.4	20 μm	10,384	1,123	739	2.92×10 ¹⁴ (66%)	1.23×10 ¹⁴ (28%)	1.65×10 ¹³ (3.7%)	1.30×10 ¹³ (2.9%)	1.34×10 ¹² (0.3%)	4.46×10 ¹⁴
BWR	91,806	42.9	9 μm	6,430	546	388	1.78×10 ¹⁴ (69%)	7.71×10 ¹³ (30%)	1.89×10 ¹² (0.7%)	1.48×10 ¹² (0.6%)	7.18×10 ¹¹ (0.3%)	2.58×10 ¹⁴
PWR	35,973	41.9	49 μm	3,954	577	351	1.15×10 ¹⁴ (61%)	4.56×10 ¹³ (24%)	1.46×10 ¹³ (7.8%)	1.15×10 ¹³ (6.2%)	6.27×10 ¹¹ (0.3%)	1.89×10 ¹⁴
TRU 2 report	75,000	45	80 μm	10,000	1,200	700	2.33×10 ¹⁴ (53%)	1.40×10 ¹⁴ (28%)	9.41×10 ¹² (6%)	5.72×10 ¹³ (13%)	0 (0%)	4.4×10 ¹⁴

また、金属廃棄物から核種放出挙動を評価するために、ステンレス鋼及びジルカロイのコールド材を用いた腐食試験を継続し、長期の腐食データを取得した。両金属ともに、経時的に腐食速度は低下し、第 2 次 TRU レポートの設定値よりも低いことが示された（図 3-98）。さらに、腐食に与える因子（照射影響など）の評価および現実的な C-14 浸出速度を得るために、BWR（沸騰水型原子炉）で照射された被覆管の浸出試験を継続している。2 カ年経過までの C-14 の浸出量を同定したが、照射影響などについて詳細に考察するためにはより長期のデータが必要である。

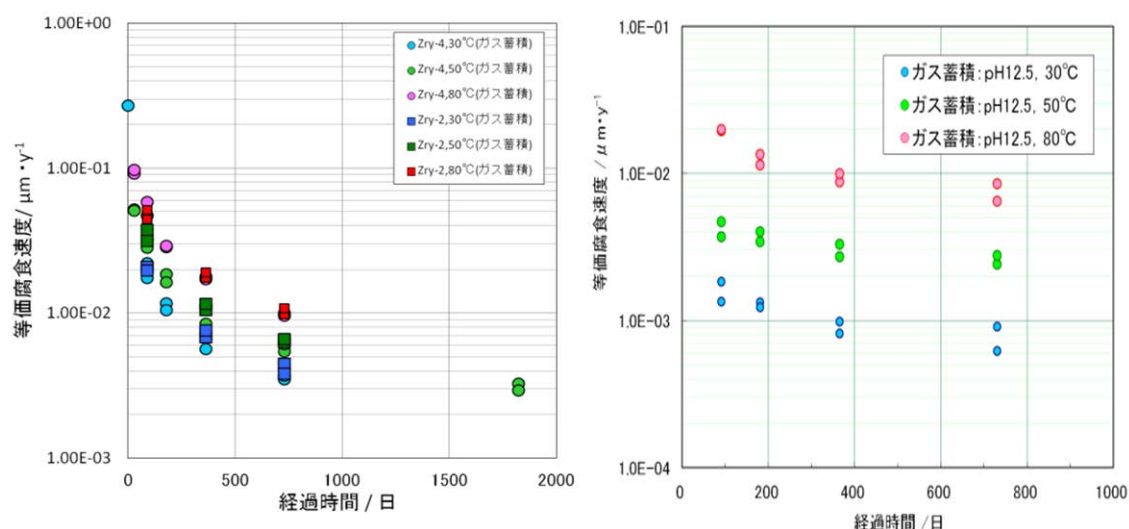


図 3-98. 高アルカリ・低酸素条件における腐食速度
（左：ジルカロイの腐食速度、右：ステンレス鋼の腐食速度）

(13) セメント材料影響評価技術高度化開発

本事業では、我が国の TRU 廃棄物の地層処分施設で充填材や構造材などに用いられるセメント材料を想定し、長期的にセメント水和物が地下水に溶解することによる、緩衝材及び周辺の岩石等のニアフィールドの長期的なバリア性能の経時的変化を反映させながら核種移行解析を実施するための技術の高度化開発を目的としている。以下に、これまでの個別の要素技術開発の成果の概要を示す。

1) 個別要素評価モデル開発/基盤的データ整備

① セメント変質評価モデルの開発

地層処分施設において用いられる可能性がある低アルカリ性セメント（フライアッシュ高含有シリカフェームセメント、以下、HFSC）を中心に、以下の検討及びデータ取得を行った。

a. セメント系材料の化学反応モデルの開発

水和物溶解沈殿モデルに関する検討では、HFSC の低アルカリ性発現機構を明らかにするため、アルカリ成分のセメント水和物への吸着を反映させた水和物溶解沈殿モデルの作成を行い、その機構及びモデルの検証実験として実施した HFSC の浸漬実験（液固比をパラメータ）の解析を行った。その結果、モデルによる解析結果は実験結果を再現し、HFSC の低液固比（10 dm^3/kg 以下）の低アルカリ性発現機構には、アルカリ成分の吸着が寄与していることが示された（図 3-99）。さらに、HFSC-人工海水系のバッチ式浸漬試験を行い、今後、上記で構築したモデルの人工海水系への適用性を検討するためのデータを取得した。

HFSC の水和反応モデルに関する検討では、普通ポルトランドセメントの水和反応モデルに適用されている既存の Shrinking Core モデルを用いて、HFSC 中フライアッシュの反応率の経時変化をフィッティングしてみたが、フライアッシュの長期における反応率を実験結果より大きく見積もる傾向となった。そこで、HFSC の特徴を反映したモデルとして、間隙水 pH の低下による経時的な反応速度の減衰を反映させた式を Shrinking Core モデルに導入し、フライアッシュ反応率を評価した。その結果、反応速度の減衰を反映することで、実験で得られたフライアッシュ反応率の経時変化を良く再現できる見通しを得た（図 3-100）。

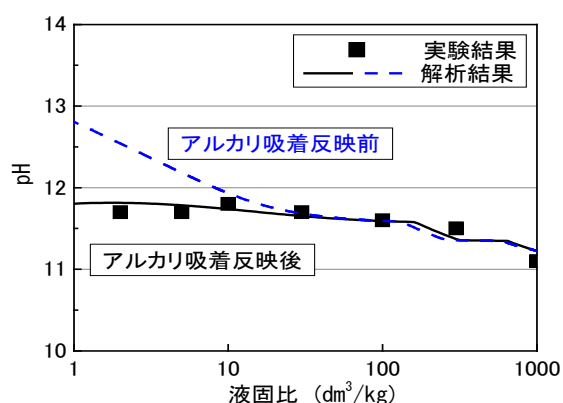
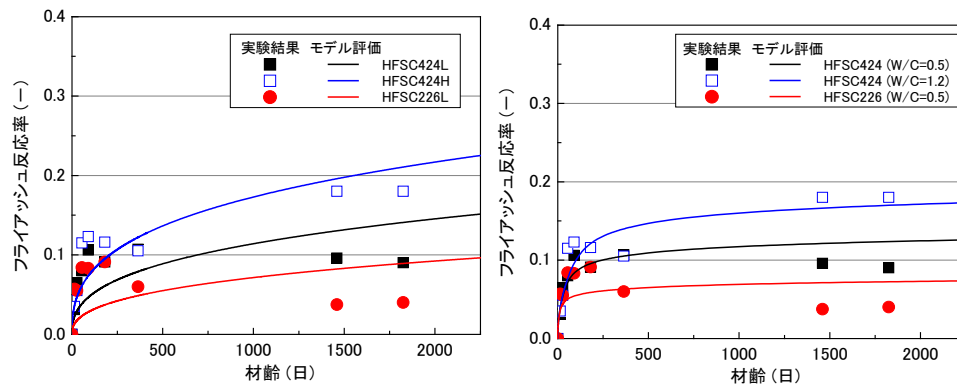


図 3-99 アルカリ吸着反映前後の水和物溶解沈殿モデルによる pH の整合性
（試製 SO_3 低含有 HFSC によるバッチ式浸漬実験の結果とその解析結果）



(図3-100) Shrinking Coreモデルによるフライアッシュ反応率の評価結果
(左図：既存の Shrinking Core モデル、右図：改良後の Shrinking Core モデルでの評価)

b. セメント系材料の変質に伴う物質輸送特性データの取得

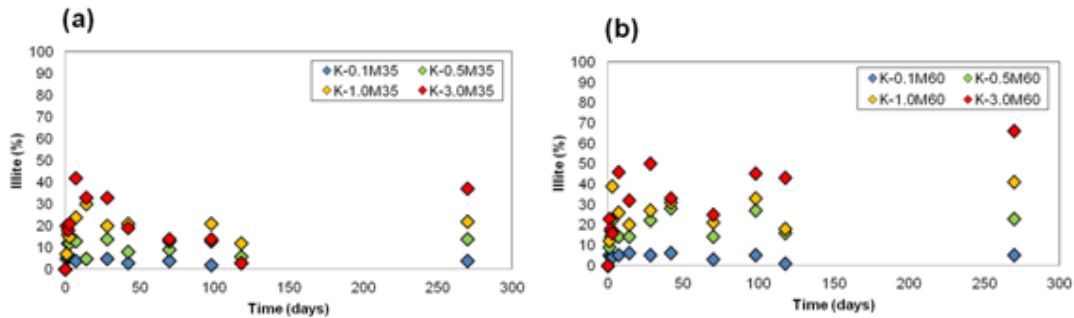
イオン交換水を用いて HFSC の通水実験を行い、間隙率と透水係数の関係を得るために必要な実験データを取得した。また、これまでの実験結果の範囲において、間隙率と透水係数の関係性を評価した。その結果、HFSC では OPC に比べて同一間隙率における透水係数が 2~3 桁程度低いことが確認された。これは OPC に比べて HFSC のほうが、間隙が微細であることに起因している可能性が高いことが示された。

② 緩衝材/岩石変質挙動評価モデル開発

a. 緩衝材の化学的変質に伴う物質輸送特性変化に関する評価モデルの開発

セメント影響を受けた緩衝材及び岩石の化学的変質及びこれに伴う物質輸送特性変化に関する現象理解及びモデル化を行うために、以下の検討及びデータ取得を行った。

緩衝材の化学的変質とこれによる透水性変化の検討では、普通ポルトランドセメント反応水に高濃度で含まれる KOH の影響を明らかにするため、KOH と反応させたスメクタイト試料の原子間力顕微鏡観察、KOH 水溶液を用いた Na 型スメクタイトへの通水実験、精製 K 型スメクタイトを用いた基本特性データの取得を行った。この結果、KOH との反応によって Na 型スメクタイトが K 型化すること、また、K 型スメクタイトは Na 型や Ca 型に比べて膨潤力が低く、透水係数が高いことが確認された。さらに、60℃における KOH との反応では、KOH 濃度の上昇に伴いスメクタイトのイライト化率が上昇することが示された(図3-101)。化学的変質に伴う透水係数変化を評価する上では、スメクタイトの K 型化やイライト化や等の影響を定式化する必要があると考えられた。



(図 3-101) スメクタイトのイライト化率の経時変化
(a) 反応温度 35°C、(b) 反応温度 60°C

主要鉱物の溶解・生成に関する地球化学モデルの検討では、緩衝材の変質評価に与える影響が最も大きいと考えられるスメクタイトの溶解速度について、Caの影響及び凝集することの影響を明らかにするため、Ca-Cl-OH系の水溶液を用いたCa型スメクタイトの分散系通水式溶解実験及びNa-OH系の水溶液を用いたNa型ベントナイト凝集系通水式溶解実験を行った。また、これまでにNa-OH系かつ分散系で決定された経験的スメクタイト溶解速度式を用いて、これらの実験結果の解析を行った。この結果、モデルによる解析結果は実験結果を再現していた。これにより、Ca系では二次的なC-S-Hゲルの生成によってスメクタイト溶解反応の化学親和度が変化し、これによってスメクタイトの溶解速度が影響を受けること、また、ベントナイトを用いた凝集系においては、随伴鉱物である玉髓の溶解によって上記化学親和度が小さく維持され、これによってスメクタイトの溶解が抑制されることが示された。

b. 岩石の化学的変質に伴う物質輸送特性変化に関する評価モデルの開発

岩石の化学的変質とこれによる透水性変化の検討では、平行平板状の花崗岩人工亀裂を作製し、模擬セメント反応水の通水実験を実施した。人工亀裂の底面は研磨して平滑にした花崗岩であり、厚さ50 μ mのテフロンシートのスペーサーを介して、上面には透明で平滑なサファイア結晶を用いた。80°Cの温度条件下で30日間の通水を実施した結果、透水量係数は3乗則に基づく評価値よりも1桁以上低い値を示した。透水量係数を変化させる要因を明らかにするために、レーザー変位計を用いて通水実験前、中、後における花崗岩通水面の表面形状測定を行ったところ、開口幅は時間とともに減少する傾向にあることが示された。しかし、開口幅変化を過大に見積もった場合でも一桁以上の透水量係数の低下を説明することはできなかった。一方、SEM-EDS/WBS及びEPMAによる表面観察及び化学成分分析の結果、通水面の下流部にC-S-Hが多量に生成していることが認められた。研磨した合成C-S-Hを平滑な底面とした人工亀裂の透水量係数は、未変質の花崗岩人工亀裂と比べて低い傾向にあったことから、同じ平滑面であってもC-S-Hが被覆することによって透水量係数に影響を与える可能性があり、これが通水実験で見られた花崗岩人工亀裂の透水量係数低下の原因と考えられた。化学的変質に伴う透水係数変化を評価する上では、流路面の材質(C-S-H被覆)による影響の理解を深め、定式化へ反映することが必要である。

c. 緩衝材／岩石の解析モデル概念検討及び地球化学的長期変遷についてのシナリオ構築

緩衝材／岩石変質評価に用いる解析モデルの概念検討では、地球化学反応-物質輸送連成解析モデルの概念検討を行い、その概念に基づき解析モデルのプロトタイプを作成した。また、解析の入力条件となる二次鉱物の設定を適切なものとするために、緩衝材／岩石の地球化学

的長期変遷についてのシナリオを構築した。地球化学反応-物質輸送連成解析モデルは、柔軟性の拡充、計算効率の向上、精度の確保を基本方針とし、設計に反映させた。作成された解析モデルの妥当性については、既往の解析事例の再現計算により確認された。

② バリア材料の変質に伴う力学評価モデル開発

廃棄体や支保工に含まれる金属材料の腐食膨張等によりセメント系材料にひび割れが発生することを考慮できる力学評価モデルを、機構が所有する力学評価ツールである MACBECE に導入した。さらに、開発した評価ツールを用いて TRU 廃棄物処分施設の長期力学挙動解析を行った。廃棄体パッケージや支保工については、主に TRU 廃棄物処分技術検討書（第 2 次 TRU レポート）に示されている概念的な設計を想定して解析モデルを作成し評価を行った。腐食膨張パラメータについては余裕深度処分等の既往の検討事例を参考に設定した。その結果、腐食速度： $0.02 \mu\text{m/y}$ 、腐食生成物の弾性係数： $2.5 \times 10^2 \text{ MPa}$ とすると、処分施設の安定性や遮水性に深刻な影響を及ぼすことはないとの結果が得られた。

上記の MACBECE によるバリア材料の化学的変質を考慮した力学評価モデルでは、化学反応-物質輸送解析から一方通行的にデータを受け取って力学解析を行うことが想定されており、化学反応-物質輸送-力学挙動間のフィードバックループを反映した連成解析を行うための課題の抽出が必要であると考えられた。そこで、まず連成挙動において着目すべき現象や現象間の相互作用をストーリーボードにて抽出し、MACBECE をベースとしてこれらの現象を対象とした評価を行うための課題を抽出した。さらに、ミクロスケールの破壊力学を粒状体個別要素法（DEM）で行い、マクロスケールの構造力学-化学反応-物質輸送連成解析を補完する手法の検討を、試解析を含め行った。今後、化学-物質輸送解析、連続体モデルによる力学解析、及び DEM による破壊力学解析の間でやり取りするデータの種類、頻度等の検討を含む連携の構造を具体化することが必要である。

③ 地球化学元素に関するアルカリ条件での熱力学/速度論データの整備

地球化学元素に関する熱力学データ及び速度論データの整備に着手した。熱力学データの整備では、造岩鉱物、人工バリア構成鉱物（セメント鉱物、ベントナイト含有鉱物）、アルカリ変質に関する二次鉱物（粘土鉱物類、沸石類、長石類等）、アルカリ条件における溶存化学種について、最新の熱力学データベースの調査を行った。この結果、我が国の TRU 廃棄物の地層処分の評価用に開発された熱力学データベース（JNC-TDB-TRU）、米国の使用済み燃料の地層処分の評価用に開発された熱力学データベース（data0. ymp. R5）、仏国の地質調査所で開発されている熱力学データベース（THREMODDEM）が緩衝材/岩石変質挙動評価に必要な熱力学データを網羅していることがわかった。また、JNC-TDB-TRU と THREMODDEM では、緩衝材の変質評価に与える影響が最も大きいと考えられるスメクタイトの平衡定数に 1 桁以上の違いが認められた。二次鉱物として生成する可能性の高い沸石類についても、データベース間によって、同じ種類の沸石でも組成や平衡定数が異なることが確認された。

緩衝材変質評価に与える熱力学データの影響を確認するため、JNC-TDB-TRU と THREMODDEM を用いて、セメント-ベントナイトシステムを対象とした地球化学-物質輸送連成解析を実施した。この結果、THREMODDEM の方がスメクタイトの溶解量を大きく見積もる傾向にあることが示された。また、十字沸石が生成する解析ケースにおいて解析結果に顕著な相違が生じることが示された。各データベースに含まれる熱力学データの妥当性を評価した結果、スメクタイト及び沸石類の選定の点から判断すると、JNC-TDB-TRU に含まれるデータセットが適当

と考えられた。ただし、JNC-TDB-TRU は、25℃の平衡定数を中心に整備されており、今後、温度依存性を取り入れる必要がある。速度論データ整備では、セメント影響による花崗岩の変質現象を対象として、これに関わる鉱物反応速度データを収集し、温度依存性と pH 依存性について整理した。これらのデータに基づき、70℃の反応速度データセットを設定し、これを用いて花崗岩の通水実験のモデル解析を行った。この結果、初生鉱物の溶解や二次生成物の生成についての定性的な傾向を再現することはできたが、透水性変化を再現することはできなかった。さらに、反応速度をパラメータとした感度解析を実施したところ、透水性変化の観点からは、反応速度による解析への影響は小さく、別の影響因子の検討が必要であると考えられた。

（１４）硝酸塩処理・処分技術高度化開発

硝酸塩を含む廃棄体から溶出する硝酸イオンの処分環境における化学的変遷についてのデータの蓄積と評価モデルの検討を行い、そのような場での核種移行データを拡充し、硝酸塩影響評価システムのプロトタイプを構築した。また、再処理工程で発生する高濃度硝酸塩廃液から予め硝酸塩を除去する技術についても見通しを得ることとし、膜分離技術の中核とする除去技術の開発や膜分離後の低濃度硝酸溶液を対象とする分解プロセスの検討を行い、これらを統合した硝酸塩除去システムのプロトタイプを構築した。以下、個別課題ごとにその要点をまとめる。

１）硝酸塩の影響評価システムの構築

構築した硝酸塩の影響評価システムの概念を図 3-102 に示す。このシステムでは、開発するモデルによって処分場の廃棄体から放出される硝酸イオンの移行と化学的変遷を評価し、その化学的変遷物による核種移行パラメータ（核種の溶解度や収着分配係数）への影響を評価した核種移行解析を行うことによって、硝酸塩影響を考慮した地層処分の線量評価を可能とする。

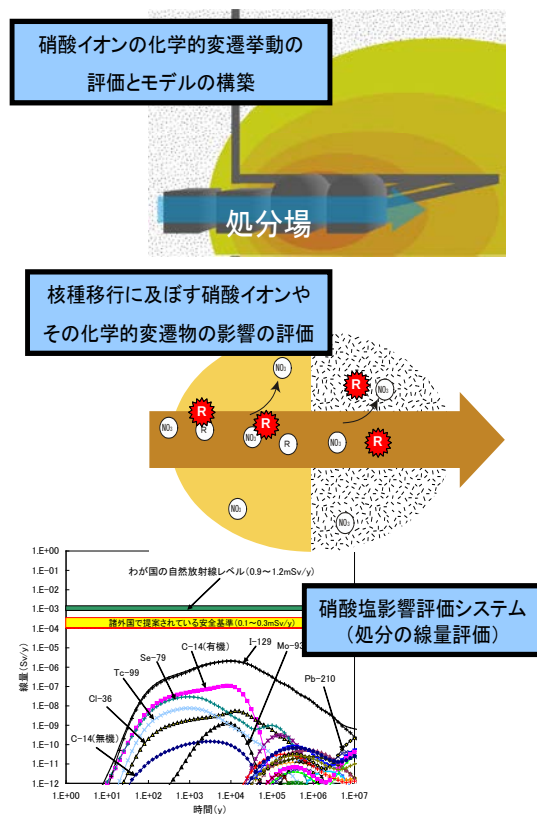


図3-102. 地層処分に対する硝酸塩影響評価システムの概念

以下に本システムを構成する要素技術開発の成果を記す。

① 硝酸イオンの化学的変遷挙動評価

硝酸塩を含有する TRU 廃棄物から溶出すると考えられる硝酸塩が処分施設内の物質や処分施設外の岩盤中の鉱物、微生物の影響を受け、化学的に変遷しながら深部地下環境に広がって形成される場の評価技術の開発を実施した。具体的には、硝酸イオンの化学的変遷に寄与する、処分施設内の金属との反応、処分施設内外の微生物との反応及び天然岩盤中の還元性鉱物との反応を、それぞれモデル化し、これらを組み合わせることにより化学反応モデルを構成した。この化学反応モデルを化学反応/物質輸送計算コードに実装することにより、硝酸塩化学変遷評価モデル (NEON ; Model for Nitrate Evolution due to Mineral Reaction、Microbial Activities and Metal CorrosiON) を構築した (図3-103)。

- 硝酸イオンの化学的変遷挙動をモデル化し、評価コード(NEON)を開発
 - ・ 処分施設内は**金属の腐食**に伴う硝酸イオンの化学的変遷挙動をモデル化
 - ・ 処分施設外は**還元性鉱物との反応及び微生物反応**による硝酸イオンの化学的変遷挙動をモデル化

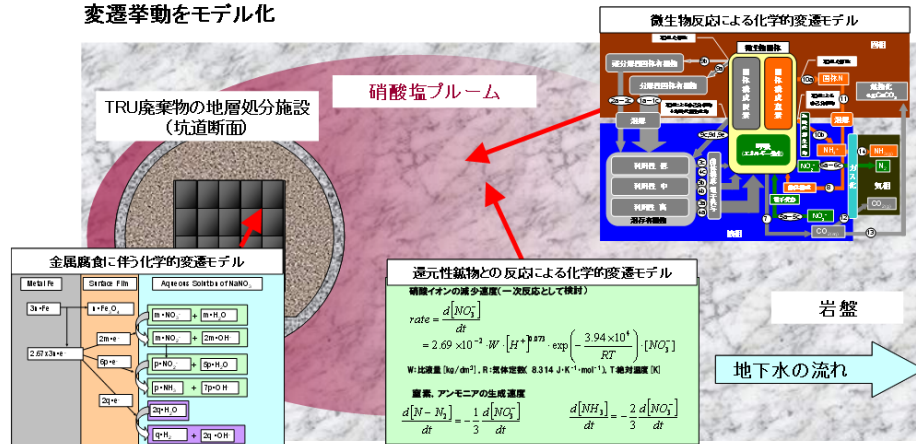


図 3-103. 硝酸塩化学変遷評価モデルの構成図

この硝酸塩化学変遷評価モデルによる評価結果では、併置処分された高レベル放射性廃棄物処分場に対し、TRU 廃棄物処分施設内の金属との反応よりも、微生物、及び黄鉄鉱による硝酸イオンの変遷が支配的であることがわかった。現時点での微生物や鉱物の反応速度等を用いる場合には、高レベル放射性廃棄物の処分施設に到達する時点では、硝酸イオンのほとんどがアンモニアに変遷することがわかった。したがって、高レベル放射性廃棄物処分施設では、アンモニアの影響評価が重要と考えられる。

② 核種移行パラメータに対する硝酸塩の影響評価

還元性である処分環境が硝酸塩によって酸化性に変化する可能性の有無を調べるため、高レベル放射性廃棄物の処分の安全評価における重要核種のうち、原子価が酸化還元条件に鋭敏な放射性元素として、セレン、テクネチウム、ウラン及びネプツニウムを選定し、それらの還元性固相（セレンは0価、その他の元素は4価）を出発物質とした不飽和溶解度試験を実施した。セレン、ウラン（IV）及びネプツニウム（IV）の還元性非晶質固相については、硝酸塩の存在による溶解度の上昇が顕著ではないことを確認したが（図 3-104 左図）、テクネチウム（IV）については、硝酸塩濃度が 10^{-3} mol/dm^3 以上において、ほぼ全溶となった（図 3-104 右図）。この原因はテクネチウムの酸化と考えられることから、収着分配係数の低下と併せ、安全評価において影響が生じる可能性が示唆された。

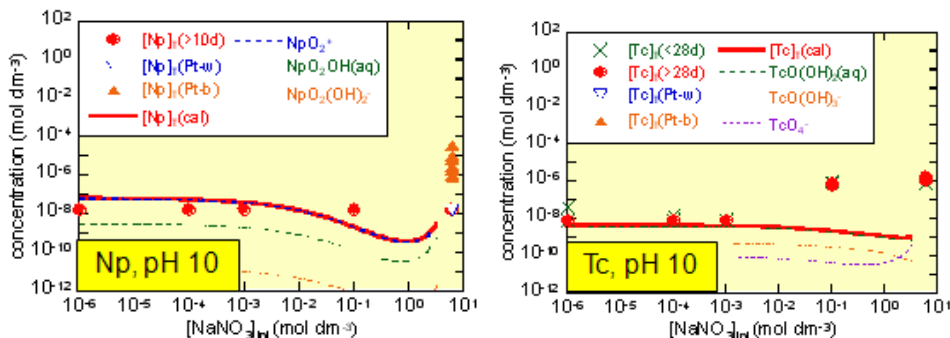


図 3-104. ネプツニウム (IV) (左図)とテクネチウム (IV) (右図)の溶解度の硝酸塩 (NaNO₃) 濃度依存性

硝酸イオンの配位による錯体形成の影響に関しては、熱力学計算によって、その可能性が示唆されたネプツニウム (V) を検討対象として選定した。硝酸錯体の溶解度に及ぼす影響を実験的に調査したが顕著ではないことを確認した。また、収着分配係数については、一般的な塩濃度の影響が確認されたのみで、硝酸塩特有の影響は確認されなかった。

溶解度に及ぼすアンモニア錯体形成の影響として、錯体形成が生じやすいと考えられる放射性元素 (ニッケル、パラジウム、スズ、ニオブ、鉛) について調査を行った。ニッケル (II) 及びパラジウム (II) の溶解度については、アンモニア濃度が高くなると溶解度が増大し収着分配係数が低下するといった顕著な影響が確認された。溶解度のアンモニア濃度依存性については、日本原子力研究開発機構熱力学データベース (<http://migrationdb.jaea.go.jp/>) を用いた熱力学計算とよい一致を示した。また、収着分配係数のアンモニア濃度依存性については、表面錯体モデルを用いて解釈できることもわかった。

以上の結果を基に、硝酸塩影響評価システムに必要な入力情報の整備として、硝酸塩及びアンモニアのプルームが高レベル放射性廃棄物近傍に到達した場合における核種の溶解度及び収着分配係数を推定し (例を図 3-105 に示す)、安全評価への反映を実施した。

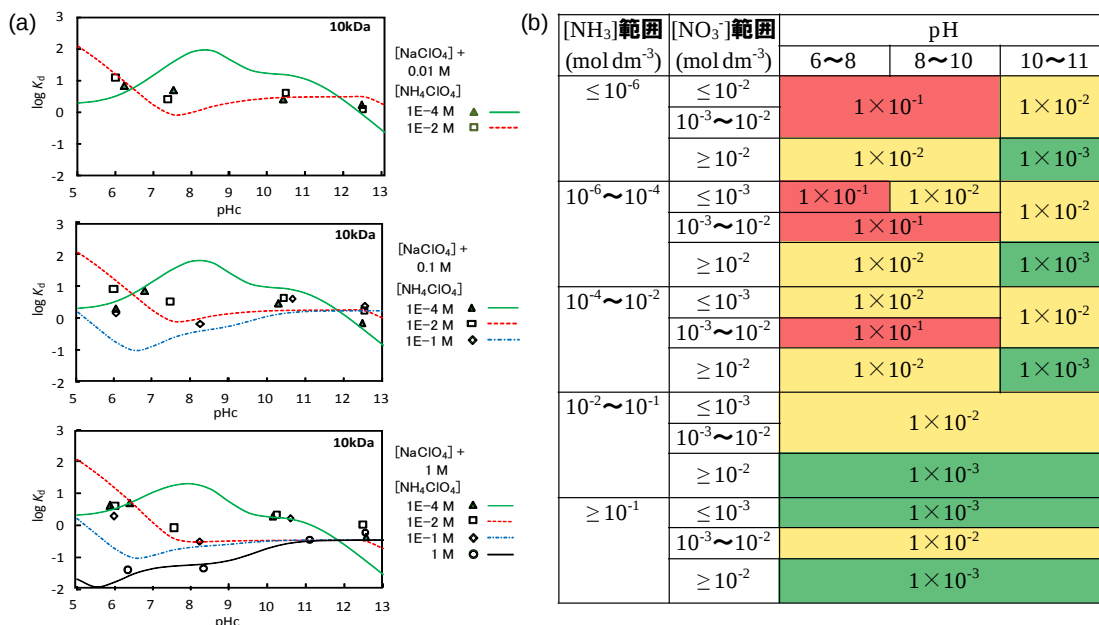


図 3-105. 核種の分配係数の推定結果の例
(a) Pd 分配係数のモデル化、(b) モデル化に基づいた推定値

③ 硝酸塩影響評価システムの構築

①で述べた TRU 廃棄物処分施設から高レベル放射性廃棄物 (HLW) 処分施設へ移行する硝酸塩、及びその化学的変遷物の時間-空間的分布の評価手法の開発と、②で述べた、そのような化学的場の状態に対応した核種移行データの整備の成果とを統合することによ

り硝酸塩影響評価システムを構築した（図3-106）。

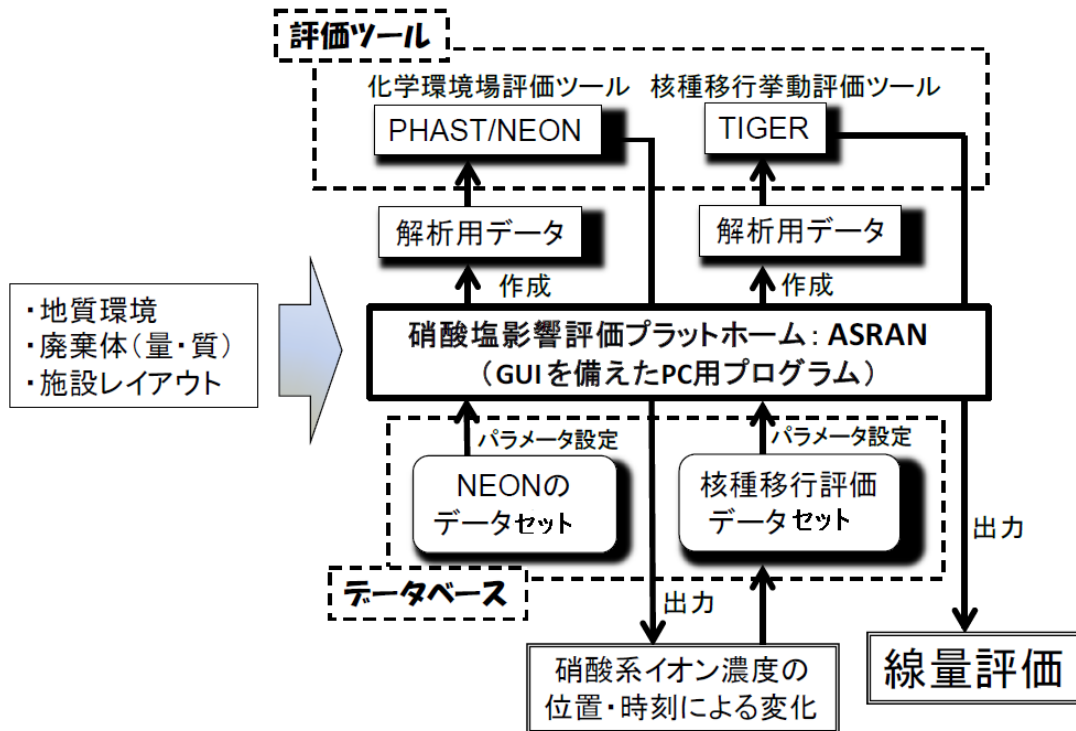


図3-106 硝酸塩影響評価システムの構成

本システムは、硝酸塩の化学的変遷挙動評価の結果や核種移行に係るデータセットを参照しつつ、核種移行評価を行うための解析用プラットフォームであり、解析支援機能、解析結果の可視化機能、並びにデータセット及び解析用インプット・アウトプット等の統合的な管理機能を有するものである。硝酸塩の化学的変遷及び TRU 廃棄物処分施設からの移行挙動の評価に対しては、本事業において開発された化学変遷評価モデル NEON と、米国地質調査所（USGS）が公開している化学反応及び物質移行解析の汎用コード PHAST（http://www.brr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phast/）を、核種移行評価ツールとしては、原子力機構が所有する核種移行解析コード TIGER により評価を行うことを前提とし、これらの解析を支援するプラットフォーム ASRAN（Analysis Support program for Radionuclide migration in Nitrate affected system）を開発した。ASRAN には、核種移行パラメータのデータセットをユーザーが自ら作成し、TIGER のインプットファイルに反映させるための機能も取り入れた。

ASRAN により支援される硝酸塩影響評価システムを用いて、高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発第2次取りまとめの性能評価における概念モデルに対する試解析を行ったところ、最大線量は第2次取りまとめレファレンスケースの5倍程度であり、海水系地下水を想定した線量評価結果と同程度であった（図3-107）。この結果、第2次 TRU レポートにおける離間距離 300m という設定の妥当性を確認することができた。また、2）に述べる硝酸塩除去システムにより、99.6%の硝酸塩を除去することができれば、硝酸塩影響を考慮しない場合と最大線量が一致し、硝酸塩の影響をほぼ無視できることが確認できた。

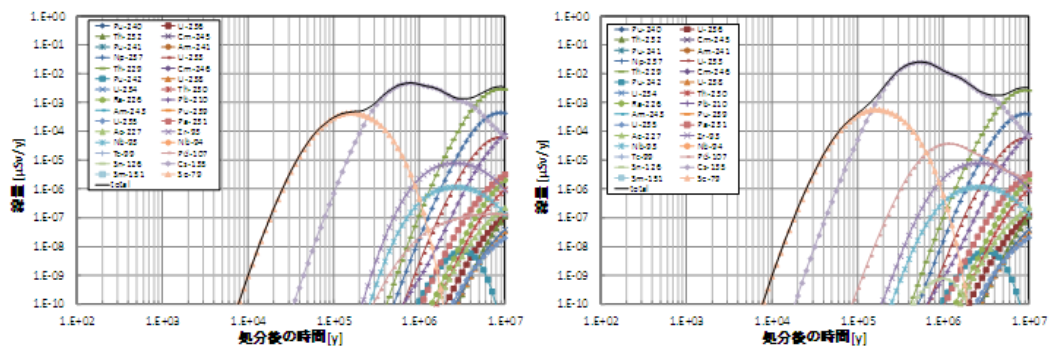


図 3-107. 硝酸塩影響評価システムによる高レベル放射性廃棄物処分の線量評価試算結果の例（左図：硝酸塩影響なし、右図：硝酸塩影響あり）

2) 放射性廃液中の硝酸塩除去技術の開発

本技術概念として、次の2つの要素技術からなるシステムを考案した(図3-108)。

- ①硝酸ナトリウムを主とする高濃度硝酸塩(5mol/dm³程度)を含む再処理廃液から、硝酸イオンとNaイオンをそれぞれ分離・回収して、再び再処理工程において活用し、これによって再処理工程から発生する硝酸塩廃棄物量を低減させる。分離については選択的イオン交換膜を用いる電気透析技術(膜分離技術)を適用する。
- ②上記による分離・回収後の再処理廃液にも希薄ながら(0.5mol/dm³以下と考えられる)硝酸イオンが残存するので、これについては窒素にまで分解させる。分解は生物学的還元分解を検討する。

これら要素技術に関する見通しを得たうえで、①と②を統合した高濃度硝酸塩除去技術を開発する。

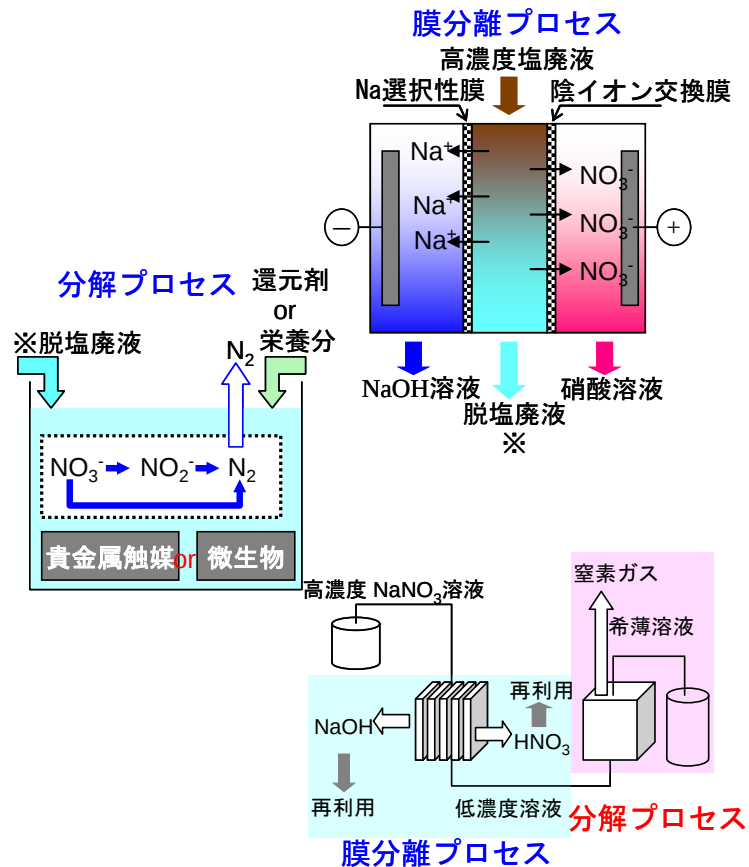


図 3-108. 放射性廃液中の高濃度硝酸塩の除去技術の概念
(膜分離プロセスで分離された硝酸ナトリウムは再処理工程で再利用される。本システムにより、再処理工程から発生する廃棄物としての硝酸塩量を削減することができる。)

以下に要素技術ごとの成果を記載する。

① 硝酸ナトリウムの膜分離技術開発

高濃度の硝酸ナトリウムを含む廃液から、大半の硝酸ナトリウムを再生可能な水酸化ナトリウム及び硝酸として分離回収するプロセスを開発した。

a. Na イオンと硝酸イオンをそれぞれ個別の電気透析セルを用いて分離する、二電気透析セル方式(図 3-109)の新しい硝酸ナトリウム分離法を考案し、その考えに基づく工学試験装置を製作した。一方の電気透析セルは Na イオンの分離にセラミック製陽イオン交換膜である NaSICON 膜を備えた Na イオン分離用セル (NaSICON 電気透析セル) であり、もう一方は 1 価陰イオン透過ネオセプタ ACS 膜とバイポーラ膜を備えた硝酸イオン分離用セル (バイポーラ電気透析セル) である。Na イオンと硝酸イオンの膜透過における電流効率や Na イオンの Cs イオンや Sr イオンに対する膜透過選択性などの装置の性能が計画通りである事を確認した。

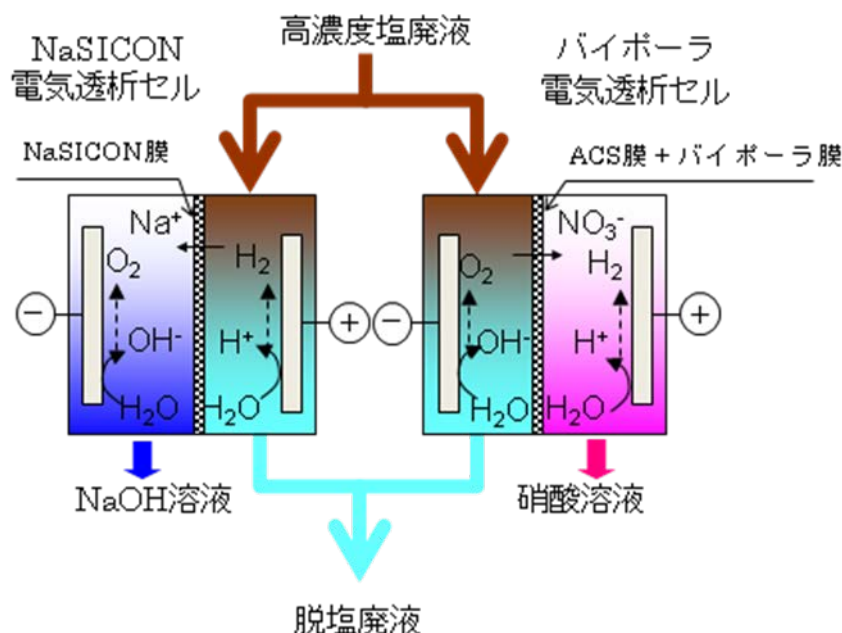


図 3 - 1 0 9 . 二電気透析セル方式の概念図

b. 上記試験装置を用いて、高濃度の硝酸ナトリウムを含む種々の試験溶液から硝酸ナトリウムを分離する試験を実施し、適用できる溶液の組成や硝酸ナトリウムの達成濃度などに関するデータを取得した。5 mol/dm³ 程度の高濃度の硝酸ナトリウムを含む溶液から 90%の硝酸ナトリウムを効率よく分離できることなどを確認し、本技術が技術的に高い実用性を有することを実証した。

② 硝酸イオンの分解技術開発

①によって硝酸ナトリウムの濃度が 0.5mol/dm³ 以下となった廃液中の硝酸イオンを、さらに窒素ガスにまで分解するプロセスの開発を行った。硝酸イオンの分解法として、以下のように、環境中の微生物(活性汚泥)を利用する生物的還元分解法を選定するとともに、試験によって実用性を評価した。

a. 硝酸イオンの分解法の技術調査を実施し、触媒と還元剤を用いる化学的分解手法と、微生物を用いる生物学的分解手法を選定し、それぞれについて概念設計を実施した。プロセスの形態及び規模、二次廃棄物の発生量、費用などの点を中心に上記二つの方法の概念設計の結果を比較し、工学試験を実施する方法として、生物学的手法を選択した。

b. 生物学的手法による硝酸イオンの分解のための工学試験装置を製作し、装置の性能が設計通りである事を確認した。

c. 試験装置を用いて低濃度の硝酸ナトリウムを含む種々の試験溶液中の硝酸イオンの分解試験を実施し、適用できる溶液の組成や硝酸ナトリウムの達成濃度などに関するデータを取得した。また、安定して長期間にわたり硝酸イオンを分解できること、活性汚泥が十分な放射線耐性を有することなどを確認し、本技術が技術的に高い実用性を有することを実証した。

③ 高濃度硝酸塩除去技術の構築

上記①及び②で開発・製作した工学試験装置を組み合わせ、種々の組成の低レベル

再処理放射性廃液の模擬廃液から硝酸塩を除去する試験を実施した。受け入れ廃液の組成変動（硝酸ナトリウム濃度：1 ～ 5 mol/dm³、pH：1 ～ 14 など）に適用できること、除去処理後の溶液の硝酸イオン濃度が目標値（1,000 ppm）以下であることなどを確認し、本技術が技術的に高い実用性を有することを実証した。

3-3-1-3-A 特許出願状況等

テーマごとに、学会、学会誌等での公表状況、特許出願状況等について表3-22～表3-30に示す。

表3-22. テーマごとの論文等件数

要素技術	論文	発表	特許等件 (出願を含む)	講演・著書 等
ボーリング技術高度化開発	4	5	0	0
岩盤中地下水移行評価技術高度化開発	9	21	12	0
地質環境総合評価技術高度化開発	9	17	0	5
沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発	11	39	0	0
海域地質環境調査技術高度化開発	2	0	0	0
先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発	4	11	0	7
処分システム化学影響評価高度化開発	19	53	0	1
処分システム工学要素技術開発	8	54	0	0
地層処分回収技術高度化開発	0	0	0	0
地下坑道施工技術高度化開発	24	13	1	0
人工バリア長期性能評価技術開発	10	27	0	0
ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発	3	23	0	0
セメント材料影響評価技術高度化開発	0	6	0	0
硝酸塩処理・処分技術高度化開発	8	12	0	4
計	111	282	13	17

表3-23. 論文、投稿、発表リスト（ボーリング技術高度化開発）

	題目・メディア等	時期
論文	土木学会誌「コントロールボーリングによる掘削・調査技術の開発」	H24.02
論文	3rd EAFORUM “Development of the Controlled Drilling Technology and Measurement Method in the Borehole”	H22.11
論文	電力土木「コントロールボーリング掘削・調査技術の開発」	H22.09
論文	IAEG Congress 2010 “Development of Controlled Drilling Technology for Soft Sedimentary Rock (Part 2): Upgrade of a Drilling and Measurement System and its Application to a Fault”	H22.09
発表	日本応用地質学会平成24年度研究発表会「水理地質構造調査のためのボーリング掘削技術の開発(その12)ー水平偏距掘削技術の現地適用ー」	H24.11

発表	日本応用地質学会平成 23 年度研究発表会「水理地質構造調査のためのボーリング掘削技術の開発(その 11)ーモニタリング装置の概要と設置方法ー」	H23. 10
発表	幌延深地層研究計画 札幌報告会 2011「幌延における原子力機構/電中研共同研究の成果ーコントロールボーリングと地下水年代測定技術ー」	H23. 07
発表	日本応用地質学会 平成 22 年度研究発表会「水理地質構造調査のためのボーリング掘削技術の開発(その 10)ーコントロールボーリングにおける掘削・調査の体系化ー」	H22. 10
発表	日本地球惑星科学連合 2010 年大会「コントロールボーリング掘削・調査技術ー掘削・調査システムと現地適用の概要ー」	H22. 05

表 3-24. 論文、投稿、発表リスト（岩盤中地下水移行評価技術高度化開発）

	題目・メディア等	時期
地下水年代測定技術調査関連		
論文	電力中央研究所報告「簡便で高精度な地下水の蛍光染料濃度測定法の提案ーボーリング調査における信頼性の高い地化学データ取得のためにー」	H22. 05
論文	電力中央研究所研究報告「地下水年代測定評価技術の開発（その 10）ー北海道幌延地域における 4He ・ 36Cl 法適用の試みー」	H22. 06
論文	電力中央研究所研究報告「地下水年代測定評価技術の開発（その 11）ー $36\text{Cl}/\text{Cl}$ 測定の高精度化を目的とした塩化物イオンと硫酸イオンの分離手法の提案ー」	H22. 06
論文	電力中央研究所研究報告「地下水年代測定評価技術の開発（その 12）ー東濃地域における 4He と 14C による地下水年代測定の適用性検討ー」	H22. 08
論文	電力中央研究所研究報告「地下水年代測定評価技術の開発（その 13）ー $36\text{Cl}/\text{Cl}$ 測定前処理法としてのカラム法における共存イオンの影響評価とその対策ー」	H23. 05
論文	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B (NIMB) [Improvement of pre-treatment method for $36\text{Cl}/\text{Cl}$ measurement of Cl in natural groundwater by AMS]	H23. 03
論文	The Fourteenth International Symposium on Water-Rock Interaction [Effect of silica phase transformation on hydrogen and oxygen isotope ratios of coexisting water]	H25. 03
論文	Journal of Hydrology [Groundwater dating using radiocarbon in fulvic acid in groundwater containing fluorescein]	H25. 04
投稿	土木学会誌「地下水年代測定技術の開発」	H24. 02
発表	日本地球惑星科学連合 2010 年大会「地下水年代測定技術の開発」	H22. 05
発表	日本地球惑星科学連合 2010 年大会「幌延地域における地下水年代測定法の適用」	H22. 05
発表	日本地球惑星科学連合 2010 年大会「瑞浪における地下水年代測定の適用」	H22. 05
発表	日本地球惑星科学連合 2010 年大会「低透水性岩盤に対する地下水年代測定適用のための技術開発」	H22. 05
発表	日本地下水学会 2010 年秋季講演会「北海道幌延町沿岸域における地下水年代調査」	H22. 11
発表	2010 年度日本地球化学会年会「北海道幌延地域の稚内層硬質頁岩に含まれる He の同位体比とその空間分布」	H22. 09
発表	日本地下水学会 2011 年秋季講演会「蛍光染料を含む地下水試料の主要イオンおよび水素・酸素同位体比評価における前処理法としての蛍光染料除去法の提案」	H23. 10
発表	日本地下水学会 2011 年秋季講演会「北海道幌延町における浅層地下水のマルチ環境トレーサーを用いた地下水年代測定」	H23. 10
発表	日本地下水学会 2012 年秋季講演会「マルチ環境トレーサー分析と Lumped Parameter model に基づく CFC の濃度低下特性の把握」	H24. 09
発表	日本地下水学会 2012 年秋季講演会「ウランを含む地下水における有機 14C を用いた地下水年代評価」	H24. 09
岩盤中物質移行特性評価技術高度化調査関連		
発表	日本地球惑星科学連合 2010 年大会「岩盤中物質移行特性評価技術の開発」	H22. 05
発表	日本地球惑星科学連合 2010 年大会「音響トモグラフィ法を用いた硬質岩盤中における水みち探査の試み」	H22. 05
発表	第 45 回地盤工学研究発表会「溶質移行特性同定へのトレーサ試験手法の影響」	H22. 08
発表	土木学会第 65 回年次学術講演会「高粘性流体の注入による割れ目の特性評価方法の原位置試験による検討」	H22. 09
発表	土木学会第 65 回年次学術講演会「トレーサ試験の評価結果に対する投入フラックス推定誤差の影響」	H22. 09
発表	日本地下水学会 2010 年秋季講演会「岩盤割れ目を対象とした原位置トレーサ試験と評価解析」	H22. 11

発表	日本地下水学会 2012 年秋季講演会「亀裂性岩盤におけるポイント希釈試験による地下水通過流量測定」	H23. 10
発表	日本地下水学会 2012 年秋季講演会「時間微分プロットを用いた岩盤割れ目の連続性の推定」	H23. 10
発表	平成 23 年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会「瑞浪超深地層研究所周辺の水理・物質移動特性評価に関する研究」	H23. 11
発表	物理探査学会第 126 回学術講演会「音響トモグラフィ法による硬質岩盤中の水みち探査への適用（その 2）ー岩石ブロックによる室内実験および花崗岩地点での原位置実験結果ー」	H24. 05
発表	日本地下水学会 2012 年秋季講演会「レジン注入による岩盤割れ目の水みち調査」	H24. 09

表 3－25. 論文、投稿、発表リスト（地質環境総合評価技術高度化開発）

	題目・メディア等	時期
論文	International Journal of Nuclear Knowledge Management「Knowledge Management for radioactive waste disposal:moving from theory to practice」	H23
論文	NEW RESEARCH ON KNOWLEDGE MANAGEMENT TECHNOLOGY, pp.165-184 「A Challenge on Development of an Advanced Knowledge Management System (KMS) for Radioactive Waste Disposal: Moving from Theory to Practice」	H24. 2
論文	日本活断層学会 「日本列島における活断層の活動開始時期の空間的特徴」	H24. 3
論文	IAEA-Research 2011-049 「地層処分事業に関わる地球化学分野の技術者が継承すべき知見のエキスパート化」	H24. 3
論文	14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management、 ICEM 2011 「TECHNICAL KNOW-HOW FOR THE INVESTIGATION AND MODELLING OF TOPOGRAPHIC EVOLUTION FOR SITE CHARACTERISATION」	H23. 9
論文	14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management、 ICEM 2011 「TECHNICAL KNOW-HOW OF SELECTION PROCESS FOR THE HORONOBÉ UNDERGROUND RESEARCH LABORATORY AREA AND SITE」	H23. 9
論文	14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management、 ICEM 2011 「TECHNICAL KNOW-HOW OF SITE DESCRIPTIVE MODELING FOR SITE CHARACTERIZATION」	H23. 9
論文	IAEA-Research 2011-031 「活断層の活動開始時期を対象とした調査・解析手法に係る既存情報の収集・整理」	H23. 12
論文	日本原子力学会バックエンド部会 「地層処分事業に関わる地球化学分野の技術者が継承すべき知見のエキスパート化 ー文献調査から精密調査段階における地球化学解析手順についてー」	H25. 2
発表	土木学会平成 23 年度全国大会 第 66 回年次学術講演会 「ボーリング掘削におけるトラブルシューティングの事例分析 ー岐阜県東濃地域における深層ボーリング孔での崩壊事例を対象とした取り組みー」	H23. 9
発表	日本地質学会第 118 回学術大会 「既存情報に基づく日本列島における活断層の活動開始時期の整理とそれに係わる不確実性の評価」	H23. 9
発表	日本地質学会第 118 回学術大会 「アナログモデル実験による地質構造発達過程の三次元モデル化に関する知識の分析・整理 ー幌延地域の事例ー」	H23. 9
発表	日本地質学会第 118 回学術大会 「アナログモデル実験による北海道幌延地域の隆起評価」	H23. 9
発表	日本地質学会第 118 回学術大会 「地質環境調査で利用される専門知識の表出化 ー地形・地質発達モデル構築の事例ー」	H23. 9
発表	AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting 2011 「Technical know-how related to the planning of fault characterization using borehole investigation」	H23. 12
発表	AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting 2011 「Spatial variations in the onset times of active faultings in Japan」	H23. 12
発表	日本地球惑星連合 2012 年大会 「実験及びシミュレーションによる削剝を考慮した圧縮スラスト帯モデリング」	H24. 5
発表	日本地球惑星連合 2012 年大会 「Evidential Support Logic による不確実性の評価 ー隆起速度の算出結果に関する評価事例ー」	H24. 5
発表	日本地球惑星連合 2012 年大会 「沿岸域の地質環境調査の体系化へ向けた事例整理」	H24. 5
発表	土木学会 平成 24 年度全国大会 第 67 回年次学術講演会 「ボーリング掘削におけるトラブルシューティングの事例分析 ー岐阜県東濃地域における深層ボーリング孔での崩壊事例を対象とした取り組み（その 2）ー」	H24. 9

発表	日本地質学会第 119 回学術大会 「地質環境調査における意思決定過程と論理構造の表出化」	H24. 9
発表	日本地質学会第 119 回学術大会 「アナログモデル実験を用いた地質発達モデルによる隆起量の定量的推定の試みー北海道北部幌延地域の事例ー」	H24. 9
発表	日本原子力学会 2012 年秋の大会 「ボーリング調査計画策定における知識の分析・整理」	H24. 9
発表	日本原子力学会 2012 年秋の大会 「採水調査のための品質マネジメントシステムの整備」	H24. 9
発表	AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting 2012 「Procedure for estimating salinity distribution based on resistivity data for a rock mass」	H24. 12
発表	平成 25 年度 日本応用地質学会 研究発表会「データフローダイアグラムと階層分析手法を用いた地質情報の不確実性表現手法の検討」	H25. 10
WS	平成 23 年度 ISIS 開発に関するワークショップ	H23. 11
WS	平成 24 年度 ISIS ワークショップ	H24. 12
セミナー	地質環境の長期安定性に関する調査・解析を対象とした情報の分析・整理に関する意見交換会（新潟大学理学部及び同大学院自然科学研究科）	H22. 5
セミナー	地質環境の長期安定性に関する調査・解析を対象とした情報の分析・整理に関する意見交換会（首都大学東京、地形・地質学研究室）	H22. 7
セミナー	地殻変動速度の算出手法に関する情報交換会（名古屋大学大学院環境学研究科、地震火山・防災研究センター）	H22. 7

表 3－26．論文、投稿、発表リスト
（沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発）

	題目・メディア等	時期
論文	地下水学会誌「日本全国の地盤調査ボーリングデータを用いた地形・地質条件に基づく地下水面の推定」	H22. 5
論文	地下水学会誌「日本列島における三次元水文地質モデルの構築と地下水賦存量の試算」	H22. 11
論文	地下水学会誌「幌延沿岸域における地下水流動・塩淡水境界解析の初期モデル構築」	H22. 11
論文	地下水学会誌「深部の地下水低流速域の抽出を目的とした地下温度分布による地下水流動場の区分」	H23. 2
論文	応用地質「ワイヤーライン工法による軟岩コア採取技術の高度化－掘削ツールの開発と北海道幌延地域の沿岸域における掘削－」	H23. 4
論文	地学雑誌「つくば市周辺地域における三次元水文地質モデルの構築と帯水層の透水性の推定への適用」	H23. 6
論文	地質調査研究報告「北海道幌延町の沿岸域における大深度ボーリングの岩相・微化石・テフラ」	H23. 9
論文	水文科学会誌「水循環における深層地下水の役割」	H24. 5
論文	Salt Water Intrusion「Estimation of origin for the water salinization in different aquifers at the coastal area」	H24. 6
論文	物理探査「幌延沿岸陸域における反射法地震探」	H24. 8
論文	International Scientific Conference on Geophysics-Cooperation and Sustainable Development「Magnetotelluric transect from land to sea for hydrogeological study in northern Hokkaido, Japan」	H24. 11
投稿	天の水・地の水「我が国の地下水賦存量と有効地下水資源量」	H22. 10
投稿	地質調査総合センター研究資料集「日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル」	H23. 1
投稿	産総研 TODAY「浅海用電磁探査装置の開発－幌延町における沿岸海底下の地下水環境調査」	H23. 11
発表	地球惑星科学連合「地下水賦存量と人口動態との比較」	H22. 5

発表	地球惑星科学連合「Quantitative evaluation of deep groundwater flow by newly introduced segmentalization approach」	H22. 5
発表	日本地下水学会「地形・地質条件に基づいた地下水位の予測の試み」	H22. 5
発表	日本地下水学会「関東平野深部帯水層の低流速域分布について」	H22. 5
発表	日本地下水学会「幌延沿岸域における地下水流動・塩淡水境界解析の解析条件」	H22. 5
発表	日本地下水学会「日本列島の地下水賦存量と流動量に関する研究」	H22. 11
発表	日本地下水学会「幌延沿岸域の浜里研究地における更別層上部の透水性」	H22. 11
発表	日本地下水学会「沿岸域における深部地下水の地球化学特性」	H22. 11
発表	AGU「Hydro-geochemical characteristics in pore water extracted from sedimentary rocks in coastal area」	H22. 12
発表	地球惑星科学連合「日本列島における三次元水文地質モデルの構築と適用」	H23. 5
発表	地球惑星科学連合「沿岸域における堆積軟岩を対象とした大深度オールコアワイヤーライン工法の高度化開発」	H23. 5
発表	地球惑星科学連合「沿岸域の地質環境評価に係るコア管理手法の体系化」	H23. 5
発表	地球惑星科学連合「海底下の地下水」	H23. 5
発表	地球惑星科学連合「北海道幌延町沿岸域における大深度オールコアボーリングの地質層序と堆積相」	H23. 5
発表	地球惑星科学連合「沿岸域の深度 100m における地下水流動・物質輸送特性評価のための単孔式プッシュプルテスト」	H23. 5
発表	日本地下水学会「海底下の地下水に関する評価手法の考察」	H23. 5
発表	日本地下水学会「幌延沿岸域における地下水流動・塩淡水境界の予備解析」	H23. 5
発表	日本地下水学会「北海道幌延町の沿岸域における深層オールコアボーリングの水文地質」	H23. 5
発表	日本地下水学会「沿岸域における深部地下水の水質形成機構」	H23. 5
発表	物理探査学会「浅海域電磁探査法の開発と幌延沿岸域での適用」	H23. 5
発表	物理探査学会「幌延沿岸域における海陸接合 MT 法の 2 次元解析」	H23. 5
発表	日本応用地質学会「ワイヤーライン工法によるコア採取技術の高度化と掘削がコア内部に及ぼす影響の評価」	H23. 6
発表	THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA「Vertical profiles of Cl ⁻ concentration and groundwater age up to 1000m depth at a coastal area」	H23. 9
発表	THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA「PUSH-PULL TEST FOR SALTWATER / FRESHWATER INTERFACE SURVEY AT A COASTAL AREA」	H23. 9
発表	AGU「Prediction of hydro-geochemical characteristics in a deep groundwater at the coastal area」	H23. 12
発表	地球惑星学連合同大会「海水準変動に伴う海底下地下水流動機構の数値解析的検討」	H24. 5
発表	地球惑星学連合同大会「沿岸域における堆積軟岩を対象とした大深度オールコア掘削の現状と課題」	H24. 5
発表	地球惑星科学連合同大会「北海道北部天塩平野周辺に分布する更別層、勇知層の地質年代-幌延町沿岸域で実施された大深度オールコアボーリングを中心として-」	H24. 5
発表	地球惑星科学連合同大会「沿岸域における地下温度鉛直プロファイルと推定される深部地下水流動-北海道北部、幌延地域の事例-」	H24. 5
発表	日本地下水学会「沿岸域における地下温度鉛直プロファイルから推定される深部地下水流動-	H24. 5

	北海道北部，幌延地域の事例-	
発表	日本地下水学会「沿岸域の低透水性堆積岩における間隙水質の鉛直プロファイル」	H24. 5
発表	日本地下水学会「幌延沿岸域における地下水流動評価のためのモデリング」	H24. 5
発表	International Workshop on Electromagnetic Induction in The Earth 「2D MT transect across a shoreline in northern Hokkaido, Japan: discovery of fresh water aquifer in young sedimentary formation beneath seafloor」	H24. 7
発表	European Geoscience Union 「The anomaly in a breakthrough curve of a single well “push-pull” tracer test: A density driven effect?」	H24. 9
発表	European Geoscience Union 「The role of the “chaser” in “push-pull” tests」	H24. 9
発表	European Geoscience Union 「Are single-well “push-pull” tests suitable tracer methods for aquifer characterization?」	H24. 9
発表	Korean Society of Earth and Exploration Geophysicists 「Two-dimensional magnetotelluric survey over a coastal area in northern Hokkaido, Japan」	H24. 9
発表	AGU 「Verification of hydrological transport process and estimated residence time in coastal aquifer」	H24. 12

表 3－27．論文、投稿、発表リスト（海域地質環境調査技術高度化開発）

	題目・メディア等	時期
発表	日本地下水学会「海底下に残存する淡水性地下水の形成要因に関する考察」	H23. 11
発表	日本地下水学会「幌延沿岸域における超長期地下水流動解析モデルに関する研究」	H24. 10

表 3－28．論文、投稿、発表リスト
（先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発）

	題目・メディア等	時期
論文	International Journal of Nuclear Knowledge Management 「Knowledge Management for radioactive waste disposal: moving from theory to practice」	H23
論文	国際会議 ATALANTE 2012 「Chemical durability of iron-phosphate glass as the high level waste from pyrochemical reprocessing」	H23. 9
論文	New Research on Knowledge Management Technology 「A Challenge on Development of an Advanced Knowledge Management System (KMS) for Radioactive Waste Disposal: Moving from Theory to Practice」	H24
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会「核燃料サイクルシステム全体を視野に入れた包括的な廃棄物マネジメントに向けた技術基盤の開発：(1) プロジェクトの全体概要と最適化検討を中核とする成果取りまとめの考え」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会「同上：(2) 地層処分概念の適用性評価や設定に係る支援技術」	H23. 9
論文	Journal of the American Ceramic Society 「Surface Structure Analysis of Cr2O3、CoO and Al2O3 doped-Iron Phosphate Glasses」	H25. 11 受理
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会「同上：(3) 核種移行解析およびレポート化の支援のための電子性能評価レポート」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会「同上：(4) 次世代性能評価技術の開発に向けた課題と対処方方針の検討」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会「同上：(5) 先進サイクルから発生する廃棄物の処分影響に関するシステムズアナリシス」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会「低放射性性廃液に対するケイ酸ガラス固化適用性検討」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会「乾式再処理工程から発生する廃棄塩の安定化/固化技術」	H23. 9

	開発：(3) 鉄リン酸塩ガラス組成の最適化に関する検討」	
発表	日本原子力学会 2013 年秋の大会「福島第一原子力発電所事故により発生したガレキ、汚染水に対する放射化学分析、(1) γ 線放出核種、H-3、C-14、Sr-90 の分析」	H25. 9
発表	日本原子力学会 2013 年秋の大会「同上：(2) Se-79、Tc-99、I-129、 α 線核種の分析」	H25. 9
発表	日本原子力学会 2013 年秋の大会「放射性廃棄物中のアクチニドの分析のための蛍光プローブを用いるキャピラリー電気泳動分離分取法の検討」	H25. 9
発表	第 54 回ガラスおよびフォトニクス材料討論会「XPS による Al2O3 および Cr2O3 添加鉄リン酸塩ガラスの表面構造の解析」	H25. 11
講演	韓国 KAERI との情報交換会議（廃棄物特性定量評価ツール）	H23. 2
講演	韓国 KAERI との情報交換会議（電子性能評価レポート）	H24. 11
講演	母岩特性評価国際ワークショップ	H22. 10
講演	ステークホルダー参加型地層処分概念に関するワークショップ	H23. 1
講演	事業成果レビューワークショップ（原子力発電環境整備機構）	H24. 11
講演	事業成果レビューワークショップ（北海道大学）	H24. 11
講演	事業成果レビューワークショップ（東北大学）	H24. 11

表 3－29．論文、投稿、発表リスト（処分システム化学影響評価高度化開発）

	題目・メディア等	時期
論文	The Journal of Physical Chemistry A 「Hemibonding of Hydroxyl Radical and Halide Anion in Aqueous Solution」	H23
論文	Geochimica et Cosmochimica Acta 「Diffusion and sorption of Cs ⁺ , I ⁻ and HTO in samples of the argillaceous Wakkanai Formation from the Horonobe URL, Japan: Clay-based modeling approach」	H23
論文	Proceedings of NEA Clay Club Workshop 「Microstructural analysis by X-ray nano-CT and its implications of H ₂ O diffusion in compacted montmorillonite」	H23
論文	Journal of Nuclear Science and Technology 「Europium binding abilities of dissolved humic substances isolated from deep groundwater in Horonobe area, Hokkaido, Japan」	H24
論文	Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXV 「An Investigation of Microbial Effect as Biofilm formation on Radionuclide Migration」	H24
論文	Mineralogical Magazine 「Microbiological influences on fracture surfaces of intact mudstone and the implications for geological disposal of radioactive waste」	H23. 8
論文	地下水学会誌「北海道幌延地域における深部地下水調査－地上からの地球化学調査の妥当性評価と地下施設建設に伴う地球化学特性変化－」	H24
論文	原子力バックエンド研究「熱－水－応力－化学連成解析による緩衝材の地球化学環境の変遷に着目したニアフィールド長期挙動評価の一例」	H24. 12
論文	原子力バックエンド研究「鉄との相互作用による緩衝材への変質影響評価：影響要因に関する解析的検討」	H25. 12
論文	FEMS Microbiology Ecology 「Occurrence and functional expression of denitrifiers and methanogens in groundwater at 140 m depth」	H25
論文	Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVII 「Construction of microbial kinetics for PA of HLW disposal」	H25
論文	Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVII 「Development of simplified biofilm sorption and diffusion experiment method using Bacillus sp. isolated from Horonobe underground research laboratory」	H25
論文	Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVII 「K _d setting approach through semi-quantitative estimation procedures and thermodynamic sorption models : A case study for Horonobe URL conditions」	H25
論文	Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVII 「Diffusion Modeling in Compacted Bentonite Based on Modified Gouy-Chapman Model」	H25
論文	Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVII 「The effect of alkaline alteration on sorption properties of sedimentary rock」	H25
論文	JAEA-Research 2010-030 「鉄共存下でのベントナイトの変質に関わる実験的研究」	H22. 9
論文	JAEA-Research 2010-052 「Development of mechanistic sorption model and treatment	H23. 2

	of uncertainties for Ni sorption on montmorillonite/bentonite]	
論文	JAEA-Research 2011-047「拡張 Poisson-Boltzmann 方程式による圧縮ベントナイト中の拡散モデルの高度化検討」	H24. 2
論文	JAEA-Research 2012-044「 K_d Setting Approaches for Horonobe Mudstone Systems : Applications of TSMs and Semi-quantitative Estimation Procedures」	H25. 3
発表	第 57 回材料と環境討論会「人工海水中における炭素鋼の腐食挙動に及ぼす γ 線照射の影響」	H22. 10
発表	第 5 回高崎量子応用研究シンポジウム「地層処分環境における地下水の放射線分解機構に関する検討」	H22. 10
発表	第 26 回日本微生物生態学会「深部地下堆積層におけるメタン生成深度」	H22. 11
発表	第 26 回日本微生物生態学会「陸域地下圏堆積層の 140m 地下水における脱窒反応」	H22. 11
発表	第 26 回日本腐植物質学会「北海道幌延地域の深部地下水腐植物質共存下における Eu(III) の溶解度モデリング : NICA-Donnan モデルの適用」	H22. 11
発表	日本原子力学会春の年会「Na 型及び Ca 型モンモリロナイト中の Ni の拡散機構に関する研究」	H23. 3
発表	日本原子力学会春の年会「幌延堆積岩中のイオンの拡散・収着挙動 : 粘土を主体としたモデル化アプローチ」	H23. 3
発表	日本原子力学会春の年会「幌延堆積岩中における高収着性核種 Am および Th の収着・拡散データの取得・評価手法の開発」	H23. 3
発表	Euroclay 2011「Experimental and modeling studies on iron-bentonite interactions」	H23. 7
発表	Goldschmidt2011「Study of deep subsurface microbial community under changing redox conditions using quantitative method」	H23. 8
発表	Goldschmidt2011「Application of NICA-Donnan model to modeling of Eu(III) solubility in the presence of deep groundwater humic substances」	H23. 8
発表	第 58 回材料と環境討論会「人工海水中における炭素鋼の腐食に及ぼす γ 線線量率の影響」	H23. 9
発表	第 54 回 放射線化学討論会「水溶液中でのヒドロキシルラジカルとハライドアニオンの半結合」	H23. 9
発表	Migration 2011「The analysis of hydrochemical buffering process at Horonobe Underground Research Laboratory, Japan」	H23. 9
発表	Migration 2011「Integrated sorption and diffusion model and database for compacted bentonite / montmorillonite systems」	H23. 9
発表	Migration 2011「Sorption and diffusion of Ni compacted montmorillonite : Effects of pH and salinity of porewater」	H23. 9
発表	Migration 2011「Development of thermodynamic sorption models for use in safety analyses: Evaluation of experimental database and modeling options, representation of uncertainties, and relevance for real systems」	H23. 9
発表	Migration 2011「Sorption / diffusion data acquisition method development for high sorbing americium in compacted bentonite」	H23. 9
発表	8th International Congress on Extremophiles「Quantitative analysis of microbial community in deep subsurface at Horonobe area」	H23. 9
発表	土木学会年次講演会「塩水浸潤における緩衝材の不飽和特性の推定」	H23. 9
発表	土木学会年次講演会「比抵抗トモグラフィによる緩衝材の再冠水挙動の把握」	H23. 9
発表	土木学会年次講演会「熱-水-応力-化学連成モデルの開発に関する国際共同研究「DECOVALEX」(その 1) -概要および Task A におけるベンチレーション試験の解析について-	H23. 9
発表	土木学会年次講演会「熱-水-応力-化学連成モデルの開発に関する国際共同研究「DECOVALEX」(その 2) -概要および Task A におけるベンチレーション試験の解析について-	H23. 9
発表	日本原子力学会秋の大会「塩濃縮・析出現象評価技術の開発 (IV)」	H23. 9
発表	日本原子力学会秋の大会「グリムゼル試験場で採取した結晶質岩の微細間隙構造と放射性核種の拡散に関する研究」	H23. 9
発表	第 27 回日本腐植物質学会「Eu-地下水腐植物質-堆積岩三元系における Eu の収着挙動」	H23. 11
発表	第 27 回日本腐植物質学会「地下水腐植物質と金属イオンとの錯体特性」	H23. 11

発表	NEA Clay Club Workshop「Microstructural analysis by X-ray nano-CT and its implications on H ₂ O diffusion in compacted montmorillonite」	H23.
発表	日本原子力学会春の年会「圧縮モンモリロナイト中でのNiの拡散機構研究」	H24. 3
発表	日本原子力学会春の年会「Na型モンモリロナイトに対するEu(III)の収着分配係数の測定と解釈」	H24. 3
発表	Interface Against Pollution (IAP2012)「Modification of the generic NICA-Donnan model parameter for the modeling of Eu bindings by deep groundwater humic substances」	H24. 6
発表	The 14th International Symposium on Microbial Ecology「Microbial structure change in the groundwater samples from two boreholes at depths of ~250m in Horonobe Underground Research Laboratory」	H24. 8
発表	The 14th International Symposium on Microbial Ecology「Planktonic and attached microbes in deep subsurface」	H24. 8
発表	土木学会年次講演会「飽和過程における緩衝材の水分特性曲線推定の試み」	H24. 9
発表	日本原子力学会秋の大会「 α 線照射による水の放射線分解における溶存水素の抑制効果に関する検討」	H24. 9
発表	日本原子力学会秋の大会「埋め戻し材を用いた岩盤中の酸化還元緩衝能力に関する原位置試験」	H24. 9
発表	日本原子力学会秋の大会「緩衝材侵入現象－(2)緩衝材侵入現象の解析的検討－」	H24. 9
発表	日本原子力学会秋の大会「塩濃縮・析出現象評価技術の開発 (V)」	H24. 9
発表	日本原子力学会秋の大会「圧縮ベントナイト中の収着拡散データ取得評価手法の開発(1) Niの収着拡散の間隙水のpHと塩濃度依存性評価」	H24. 9
発表	日本原子力学会秋の大会「圧縮ベントナイト中の収着拡散データ取得評価手法の開発(2) Amの収着拡散の間隙水の炭酸と塩濃度依存性評価」	H24. 9
発表	日本原子力学会秋の大会「埋め戻し材を用いた岩盤中の酸化還元緩衝能力に関する原位置試験」	H24. 9
発表	第59回材料と環境討論会「低酸素濃度下のベントナイト中における炭素鋼の腐食におよぼす温度の影響」	H24. 9
発表	第56回放射化学討論会「イライトへのEu(III)収着に関する分析研究」	H24. 10
発表	Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement, 5th international meeting「Reactive transport modelling of iron-bentonite interface evolution」	H24. 10
発表	Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement, 5th international meeting「Diffusion and sorption of Sr ²⁺ in compacted sodium montmorillonite as a function of porewater salinity」	H24. 10
発表	Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement, 5th international meeting「Advanced diffusion model in compacted bentonite based on modified Poisson-Boltzmann equations.」	H24. 10
発表	Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement, 5th international meeting「Diffusion of Ni in compacted Na- and Ca-montmorillonites: Results from in-diffusion measurements with characterization of solid phases in the system」	H24. 10
発表	第28回日本腐植物質学会「Euの堆積岩への収着・拡散に対する腐植物質の影響」	H24. 11
発表	Migration 2013「Diffusion and sorption of Cs ⁺ , I ⁻ and HTO in compacted sodium montmorillonite as a function of dry density」	H25. 9
発表	Migration 2013「Matrix diffusion and sorption of Cs ⁺ , Na ⁺ , I ⁻ and HTO in granodiorite: Laboratory results and their extrapolation to the in-situ condition」	H25. 9
発表	日本原子力学会秋の大会「地下水腐植物質に対するNICA-Donnanモデルパラメータの整備手法」	H25. 9
発表	日本原子力学会秋の大会「高レベル放射性廃棄物処分の人工バリアシステムにおける地下水の酸化還元状態に及ぼす α 線照射影響の熱力学的モデル化」	H25. 9
発表	第29回日本腐植物質学会「放射性核種の移行に対する腐植物質の影響評価」	H25. 11
講演	International Workshop on Radiation Effects in Nuclear Technology	H23. 3

表 3-30. 論文、投稿、発表リスト（処分システム工学要素技術開発）

	題目・メディア等	時期
論文	Corrosion Engineering, Science and Technology, Long-Term Integrity of Overpack Closure Weld for HLW Geological Disposal, (I) Prediction and Evaluation Method for Structural Integrity of the Weld Joint.	H23. 4
論文	Corrosion Engineering, Science and Technology, Long-Term Integrity of Overpack Closure Weld for HLW Geological Disposal (II) Corrosion Properties under Anaerobic Conditions.	H23. 4
論文	Corrosion Engineering, Science and Technology, Propagation Behaviour of General and Localised Corrosion of Carbon Steel in Simulated Groundwater under Aerobic Environmental Conditions.	H23. 4
論文	The 3rd East Asia Forum on Radwaste Management, Monitoring strategy to support decision-making For geological repository closure	H22.11
論文	日本原子力学会 原子力バックエンド研究, 閉鎖時の意思決定における地層処分モニタリングのあり方に関する検討	H22.12
論文	WM Symposia, 「WM2012 Phoenix」, Wireless Monitoring Study in the Meuse / Haute-Marne Underground Research Laboratory, France	H24. 2
論文	WM Symposia, 「WM2012 Phoenix」, Development of Wireless Data Transmission System for the Monitoring in Geological Disposal of Radioactive Waste	H24. 2
論文	Clay minerals, Experimental investigations of piping phenomena in bentonite based buffer materials for HLW repository	H25. 5
投稿	原環センタービックス, 欧州モニタリング共同研究 MoDeRn における原環センターの取り組み	H22. 9
投稿	原環センタービックス, 地層処分のモニタリングに関する調査研究	H23. 3
投稿	原環センタービックス, 地層処分場のモニタリングに関する国際共同研究 MoDeRn プロジェクトの活動	H25. 6
投稿	原子力バックエンド研究, 「放射性廃棄物の地層処分におけるモニタリングに関する国際会議《MoDeRn 国際会議》」参加報告	H25. 6
投稿	日本原子力学会誌, 解説 高レベル放射性廃棄物地層処分の工学技術 - 技術開発から理解促進へ - 第 1 回 オーバーパックスの溶接と溶接部の健全性評価に関する技術開発	H25. 7
投稿	日本原子力学会誌, 解説 高レベル放射性廃棄物地層処分の工学技術 - 技術開発から理解促進へ - 第 2 回 緩衝材の製作、搬送、定置と定置後の品質に関する技術開発	H25. 8
投稿	日本原子力学会誌, 解説 高レベル放射性廃棄物地層処分の工学技術 - 技術開発から理解促進へ - 第 3 回（最終回）技術開発成果を利用した理解促進	H25. 9
発表	MoDeRn RTD Workshop, Technical Menu System on Monitoring of Geological Disposal, a Development Report	H22. 6
発表	MoDeRn RTD Workshop, Wireless transmission monitoring for geological disposal	H22. 6
発表	4th international workshop on long-term prediction of corrosion damage in nuclear waste systems, Long-Term Integrity of Overpack Closure Weld for HLW Geological Disposal, (I) Prediction and Evaluation Method for Structural Integrity of the Weld Joint.	H22. 6
発表	4th international workshop on long-term prediction of corrosion damage in nuclear waste systems, Long-Term Integrity of Overpack Closure Weld for HLW Geological Disposal (II) Corrosion Properties under Anaerobic Conditions.	H22. 6
発表	4th international workshop on long-term prediction of corrosion damage in nuclear waste systems, Propagation Behaviour of General and Localised Corrosion of Carbon Steel in Simulated Groundwater under Aerobic Environmental Conditions.	H22. 6

発表	日本原子力学会「2010年秋の大会」，高レベル放射性廃棄物処分場における無線通信技術の遠隔定置装置への適用対象検討	H22. 9
発表	日本原子力学会「2010年秋の大会」，塩水を利用した緩衝材除去方法の検討：(7)緩衝材除去の効率化の検討（不飽和条件）	H22. 9
発表	日本原子力学会「2010年秋の大会」，塩水を利用した緩衝材除去方法の検討：(8)緩衝材除去の効率化の検討（飽和条件）	H22. 9
発表	日本原子力学会「2010 年秋の大会」，地層処分に関するモニタリング技術メニューの整備	H22. 9
発表	日本原子力学会「2010 年秋の大会」，欧州原子力共同体モニタリング共同研究 MoDeRn での取り組み	H22. 9
発表	日本原子力学会「2010 年秋の大会」，小型化地中無線モニタリング装置の開発と緩衝材ブロックへの設置方法の検討	H22. 9
発表	日本原子力学会「2010 年秋の大会」，地層処分にかかわる記録保存の調査	H22. 9
発表	土木学会「平成22年度全国大会第65回年次学術講演会」，緩衝材の膨出現象に伴う密度変化に関する解析的評価	H22. 9
発表	土木学会「平成22年度全国大会第65回年次学術講演会」，高レベル放射性廃棄物を対象としたベントナイトグラウトの適用性について	H22. 9
発表	土木学会「平成22年度全国大会第65回年次学術講演会」廃棄体回収のための塩水を利用した緩衝材除去技術	H22. 9
発表	土木学会「平成22年度全国大会第65回年次学術講演会」，高レベル放射性廃棄物処分場における無線通信技術の遠隔定置装置への要求仕様例の提示	H22. 9
発表	土木学会「平成22年度全国大会第65回年次学術講演会」，再冠水過程が緩衝材の品質に与える影響に関する研究（その1）	H22. 9
発表	土木学会「平成22年度全国大会第65回年次学術講演会」，再冠水過程が緩衝材の品質に与える影響に関する研究（その2）	H22. 9
発表	腐食防食学会第57回材料と環境討論会，炭素鋼溶接金属の水素脆化割れに及ぼす微小欠陥の影響	H22. 10
発表	The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), FULL-SCALE TEST ON OVERPACK CLOSURE TECHNIQUES FOR HLW REPOSITORY OPERATION - WELDING METHODS AND UT SYSTEMS FOR LONG-TERM STRUCTURAL INTEGRITY OF THE WELD JOINT -	H22. 10
発表	The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), DESIGN OPTIONS FOR HLW REPOSITORY OPERATION TECHNOLOGY, (I) DEMONSTRATION AND EVALUATION OF REMOTE HANDLING TECHNOLOGIES	H22. 10
発表	The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), DESIGN OPTIONS FOR HLW REPOSITORY OPERATION TECHNOLOGY, (II) BENTONITE BLOCK FORMING AND VERTICAL EMPLACEMENT	H22. 10
発表	The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), DESIGN OPTIONS FOR HLW REPOSITORY OPERATION TECHNOLOGY, (III) TRANSPORTATION AND HORIZONTAL EMPLACEMENT OF PRE-FABRICATED EBS MODULE (PEM)	H22. 10
発表	The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), DESIGN OPTIONS FOR HLW REPOSITORY OPERATION TECHNOLOGY, (IV) SHOTCLAY TECHNIQUE FOR SEAMLESS CONSTRUCTION OF EBS	H22. 10
発表	The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2010), DESIGN OPTIONS FOR HLW REPOSITORY OPERATION TECHNOLOGY, (V) PRELIMINARY STUDY AND SMALL SCALE EXPERIMENTS ON THE METHOD OF REMOVAL OF BUFFER MATERIAL	H22. 10

	WITH SALT SOLUTION	
発表	Reversibility and Retrievability, An International Conference and Dialogue organised by the OECD NEA, Monitoring in support of decision-making for staged implementation of geological disposal	H22. 12
発表	日本原子力学会 2011 年春の年会, 第一種廃棄物埋設における段階的な評価と意思決定のための規制体系と 事業推進との整合性 ―山岳トンネル設計・掘削事例からの示唆―	H23. 3
発表	日本原子力学会 2011 年春の年会, 閉鎖時の意思決定における地層処分モニタリングの役割に関する検討	H23. 3
発表	日本原子力学会「2011年秋の大会」, 塩水を利用した緩衝材除去方法の検討:(10)実規模スケール緩衝材除去試験その1	H23. 9
発表	日本原子力学会「2011年秋の大会」, 塩水を利用した緩衝材除去方法の検討:(11)実規模スケール緩衝材除去試験その2	H23. 9
発表	日本原子力学会「2011年秋の大会」, 緩衝材の再冠水挙動評価(1)ベントナイト系人工バリアの再冠水時の挙動および品質評価	H23. 9
発表	日本原子力学会「2011年秋の大会」, 緩衝材の再冠水挙動評価(2)ベントナイト系人工バリア長期性能の不確実性のための施工技術の高度化	H23. 9
発表	日本原子力学会 「2011 年秋の大会」, 地層処分における水理地質のモニタリングに関する事例検討	H23. 9
発表	日本原子力学会 「2011 年秋の大会」, 地中無線による小型化地中無線装置と中距離無線装置の原位置試験 (1) 小型化地中無線装置と中距離無線装置の原位置試験	H23. 9
発表	腐食防食学会第58回材料と環境討論会, 炭素鋼オーバーパック溶接金属部の選択的な腐食に及ぼす化学成分に関する検討	H23. 9
発表	土木学会「平成23年度全国大会第66回年次学術講演会」, PEM施工技術の開発(1)鋼殻リング PEM向け緩衝材の製作技術の実験的検討	H23. 9
発表	土木学会「平成23年度全国大会第66回年次学術講演会」, PEM施工技術の開発(2)鋼殻リング PEMにおける組立技術の実験的検討	H23. 9
発表	土木学会「平成23年度全国大会第66回年次学術講演会」, 長尺供試体を用いたベントナイト系人工バリア材料の一次元浸潤速度の取得	H23. 9
発表	土木学会「平成24年度全国大会第67回年次学術講演会」, PEM施工技術の開発(3)鋼殻リング PEMにおける製作・組立技術の実験的検討	H24. 9
発表	日本原子力学会「2012年秋の大会」, PEM概念における実規模スケール搬送・定置試験(1)エアベアリング、エアジャッキ方式による横置き定置	H24. 9
発表	日本原子力学会「2012年秋の大会」, PEM概念における実規模スケール搬送・定置試験(2)坑道台座方式の概念と搬送・定置試験	H24. 9
発表	日本原子力学会「2012 年秋の大会」, 緩衝材の再冠水挙動評価(3)緩衝材のパイピング・エロージョン挙動および品質評価	H24. 9
発表	日本原子力学会「2012年秋の大会」, 緩衝材の再冠水挙動評価 (4) 緩衝材の施工方法に起因した隙間や大間隙が浸潤状況に及ぼす影響	H24. 9
発表	日本原子力学会 「2012 年秋の大会」, 地層処分における性能確認モニタリングのパラメータ選定について	H24. 9
発表	日本原子力学会 「2012 年秋の大会」, 地中無線による原市試験(2)小型地中無線受信装置の原位置試験	H24. 9
発表	腐食防食学会第59回材料と環境討論会, 炭素鋼溶接金属の水素脆化割れに及ぼす微小欠陥の影響(第2報)	H24. 9
発表	Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement 5 th Interbational Meeting, Experimental investigations of piping phenomena in bentonite	H24. 10

	based buffer materials	
発表	Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement 5 th Interbational Meeting , Mechanical interpretations of homo- genizing of bentonite due to swelling behavior	H24. 10
発表	Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement 5 th Interbational meeting , Seals monitoring systems using wireless communications	H24. 10
発表	MoDeRn International Conference , Development of Miniaturized Wireless Transmitter with Low Frequency Magnetic Waves	H25. 3
発表	MoDeRn International Conference , Development of Wireless Monitoring System for Stepwise Backfill/Sealing of Geological Repository	H25. 3
発表	MoDeRn International Conference , Basic Requirement of Monitoring Activities in Geological Disposal and Role of Wireless Data Transmission	H25. 3

表 3－3 1. 論文、投稿、発表リスト（地層処分回収技術高度化開発）

	題目・メディア等	時期
	平成 2 3 年度、平成 2 4 年度はなし	

表 3－3 2. 論文、投稿、発表リスト（地下坑道施工技術高度化開発）

	題目・メディア等	時期
論文	Journal of Energy and Power Engineering 「Fundamental study on a grout penetration model for a HLW repository」	H23
論文	Clays and Clay Minerals 「POLYMER MODEL OF ZEOLITE THERMOCHEMICAL STABILITY」	H23
論文	原子力バックエンド研究「Characteristic evaluation of colloidal silica grout material developed for a high level radioactive waste geological repository」	H23
論文	日本原子力学会和文誌「亀裂性媒体におけるセメント系グラウト材料による地下水・岩盤への影響評価手法の開発」	H24
論文	土木学会第 41 回岩盤力学に関するシンポジウム「地層処分におけるグラウト技術の高度化研究（その 1）－結晶質岩サイトにおけるグラウト実証試験に向けた事前調査－」	H24. 1
論文	土木学会第 41 回岩盤力学に関するシンポジウム「地層処分におけるグラウト技術の高度化研究（その 2）－結晶質岩サイトにおける水理地質構造評価事例－」	H24. 1
論文	土木学会第 41 回岩盤力学に関するシンポジウム「地層処分におけるグラウト技術の高度化研究（その 3）－多孔質媒体モデルを用いた溶液型グラウト注入解析－」	H24. 1
論文	土木学会第 41 回岩盤力学に関するシンポジウム「結晶質岩におけるグラウト材が地下水へ及ぼす化学的影響に関する調査研究」	H24. 1
論文	第 13 回岩の力学国内シンポジウム「地層処分におけるグラウト技術の高度化研究（その 1）－プロジェクトの概要と開発技術の適用例－」	H24. 1
論文	第 13 回岩の力学国内シンポジウム「地層処分におけるグラウト技術の高度化研究（その 2）－グラウト材料の選定－」	H24. 1
論文	第 13 回岩の力学国内シンポジウム「地層処分におけるグラウト技術の高度化研究（その 3）－GTS における原位置試験の目的と成果－」	H24. 1
論文	第 13 回岩の力学国内シンポジウム「地層処分におけるグラウト技術の高度化研究（その 4）－GTS における割れ目ネットワークモデルの構築－」	H24. 1
論文	第 13 回岩の力学国内シンポジウム「地層処分におけるグラウト技術の高度化研究（その 5）－等価多孔質媒体モデルを用いた注入フィードバック解析－」	H24. 1
論文	第 13 回岩の力学国内シンポジウム「地層処分におけるグラウト技術の高度化研究（その 6）－ボーリング割れ目柱状図の作成・適用－」	H24. 1
論文	第 13 回岩の力学国内シンポジウム「地層処分におけるグラウト技術の高度化研究（その 7）－結晶質岩における地震前後のプレグラウト領域の地下水流動および水質変化－」	H24. 1

論文	JAEA-Research「地層処分を対象としたグラウト材料の開発（２）」	H24. 3
論文	SKB TR「Development of an accurate pH measurement methodology for the pore fluids of low pH cementitious materials」	H24. 8
論文	NAGRA NAB「LCS-Overcoring and analyses of borehole LCS06-00」	H24. 9
論文	ARMS-7 th Asian Rock Mechanics Symposium「Development of Grouting Technologies for HLW Disposal in Japan (1) —Overall Program and Key Engineering Technologies—」	H24. 10
論文	ARMS-7 th Asian Rock Mechanics Symposium「Development of Grouting Technologies for HLW Disposal in Japan (2) —In-situ Grouting Test Program and Site Investigation Results at the Grimsel Test Site in Switzerland—」	H24. 10
論文	ARMS-7 th Asian Rock Mechanics Symposium「Development of Grouting Technologies for HLW Disposal in Japan (3) —Development of a Hydro-geological Model using a Discrete Fracture Network—」	H24. 10
論文	ARMS-7 th Asian Rock Mechanics Symposium「Development of Grouting Technologies for HLW Disposal in Japan (4) —Planning and Results of In-situ Grouting Test—」	H24. 10
論文	ARMS-7 th Asian Rock Mechanics Symposium「Development of Grouting Technologies for HLW Disposal in Japan (5) —Development and Application of Numerical Model for Grout Injection Process during In-situ Grouting Test—」	H24. 10
論文	日本原子力学会英文論文誌「Development of a Grout Database for Geological Disposal of HLW」	H24. 11
発表	土木学会第 66 回年次学術講演会「地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 1）—平成 22 年度の実施概要—」	H23. 9
発表	土木学会第 66 回年次学術講演会「地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 2）—グラウト材料の浸透特性に関する室内試験—」	H23. 9
発表	土木学会第 66 回年次学術講演会「地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 3）—緩衝材ブロック間の隙間浸透実験による許容湧水量の検討—」	H23. 9
発表	土木学会第 66 回年次学術講演会「地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 4）—グラウト注入試験の計画立案に向けた事前調査の実施—」	H23. 9
発表	土木学会第 66 回年次学術講演会「地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 5）—結晶質岩サイトにおけるグラウト浸透モデル構築のための地質構造評価—」	H23. 9
発表	土木学会第 66 回年次学術講演会「地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 6）—結晶質岩における亀裂モデルの構築—」	H23. 9
発表	土木学会第 66 回年次学術講演会「地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 7）—サンドカラム試験によるグラウトの目詰まり特性の評価—」	H23. 9
発表	土木学会第 66 回年次学術講演会「地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 8）—等価多孔質媒体モデルを用いた注入事前解析—」	H23. 9
発表	土木学会第 66 回年次学術講演会「地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 9）—壁面凹凸を考慮したグラウト浸透モデルの理論的考察—」	H23. 9
発表	土木学会第 66 回年次学術講演会「地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 10）—グラウト分布確認のための堆積岩を対象とした物理探査手法の基礎的検討—」	H23. 9
発表	2012 年度日本地球化学会年会「花崗岩のアルカリ変質における反応・拡散複合評価」	H24. 9
発表	5th International Meeting of Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement「Development of a Consistent Set of Standard Thermodynamic Properties for Clay Minerals、Zeolites and Portland Cement Hydrates」	H24. 10
発表	5th International Meeting of Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement「In-situ Tracing of Calcium Silicate Hydrate Precipitation from High pH Leachates by Micro FT-IR」	H24. 10

表 3-33. 論文、投稿、発表リスト（人工バリア長期性能評価技術開発）

	題目・メディア等	時期
人工バリア長期挙動の評価		
論文	セメント・コンクリート論文集 No. 64「セメント硬化体の 3 元イメージモデルによる塩化物イオンの拡散予測」	H23. 2
論文	ICEM2011「Modeling of alteration behavior on blended cementitious materials」	H23. 9

論文	ICEM2011「Mineralogical analyses of old (78 and 98 years) concrete」	H23. 9
論文	ICEM2011「In-situ interferometric measurements of compacted smectite under hyperalkaline conditions」	H23. 9
論文	ICEM2011「Hydraulic/mechanical modeling of smectitic materials for HMC analytical evaluation of the long term performance of TRU geological repository」	H23. 9
論文	Clay Mineral, Volume 48, Number 2「In-situ measurement of dissolution rates of montmorillonite during and after grain fragmentation by compaction」	H25. 3
論文	Clay Mineral, Volume 48, Number 2「Chemical alteration analysis of the bentonite in consideration of the hydraulic/mechanical properties」	H25. 3
論文	高エネルギー加速器研究機構ユーザーレポート「XAFS Analysis of the Structure of Ca in Engineered Barrier Materials」	H23.
論文	高エネルギー加速器研究機構ユーザーレポート「XAFS analysis of the structure of Ca in engineered barrier materials(2)」	H24. 1
発表	日本原子力学会 第26回バックエンド夏季セミナー 「高アルカリ水の影響を受けたスメクタイトの天然事例の調査」	H22. 8
発表	日本原子力学会 2010 年秋の大会「圧縮挙動とスメクタイト溶解速度の干渉計測定」	H22. 9
発表	日本原子力学会 2010 年秋の大会「ベントナイト緩衝材の長期挙動に関する化学/力学連成解析」	H22. 9
発表	Montpellier 2012「Evaluation of Long Term Alteration caused by Cement-Clay interaction (1)- Overview of the Project-」	H24. 10
発表	Montpellier 2012「Evaluation of long-term interaction between cement and bentonite for geological disposal (2) XAFS Analysis of Calcium Silicate Hydrate Precipitates at Cementitious and Bentonite Material Interface」	H24. 10
発表	Montpellier 2012「Evaluation of long-term interaction between cement and bentonite for geological disposal, (3) In-situ measurement of dissolution rates of montmorillonite during and after grain fragmentation by compaction」	H24. 10
発表	Montpellier 2012「Evaluation of long-term interaction between cement and bentonite for geological disposal, (4) Effect of montmorillonite content on mechanical and hydraulics properties of bentonite and its numerical modeling」	H24. 10
発表	Montpellier 2012「Evaluation of Long Term Alteration caused by Cement-Clay interaction (5)- Chemical alteration analysis of the bentonite in consideration of the mechanical/hydraulic properties-」	H24. 10
発表	Montpellier 2012「The swelling behavior of montmorillonite as affected by the grain size by in situ X-ray diffraction experiments」	H24. 10
ガス移行挙動の評価		
発表	平成 23 年度土木学会全国大会「飽和ベントナイトのガス移行試験と寸法効果の検討」	H23. 9
発表	平成 23 年度土木学会全国大会「圧縮ベントナイトの再冠水・ガス移行挙動に及ぼす力学影響に関する検討」	H23. 9
発表	平成 23 年度土木学会全国大会「TRU 廃棄物処分システムにおけるガス移行長期挙動解析モデルの高度化」	H23. 9

発表	平成 23 年度土木学会全国大会「飽和・不飽和ベントナイトのせん断強度特性に関する研究」	H23. 9
発表	平成 24 年度土木学会全国大会「飽和ベントナイトのガス移行試験-破過メカニズムの検討」	H24. 9
発表	平成 24 年度土木学会全国大会「ガス移行データライブラリの開発」	H24. 9
発表	平成 24 年度土木学会全国大会「不飽和ベントナイトのせん断強度特性と水分特性」	H24. 9
発表	平成 25 年度土木学会全国大会「TRU 処分におけるガス移行挙動評価シナリオ構築手法に関する研究（その 1）」	H25. 9
発表	平成 25 年度土木学会全国大会「TRU 処分におけるガス移行挙動評価シナリオ構築手法に関する研究（その 2）」	H25. 9
発表	平成 25 年度土木学会全国大会「飽和ベントナイトのガス移行試験 -大型供試体を用いた事例 -」	H25. 9
発表	平成 25 年度土木学会全国大会「圧縮ベントナイトのガス移行時における力学影響検討」	H25. 9
発表	平成 25 年度土木学会全国大会「TRU 廃棄物処分システムにおけるガス移行長期挙動解析手法の高度化」	H25. 9
発表	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpelier 2012) ” 「 Laboratory Gas Injection Tests on Compacted Bentonite Buffer Material for TRU Waste Disposal 」	H24. 10
発表	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpelier 2012) ” 「 Long-Term Gas Migration Modeling in Compacted Bentonite Using Swelling / Shrinkage-Dependent Two Phase Flow Parameters 」	H24. 10
発表	The 5th International meeting “Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Montpelier 2012) ” 「 Geomechanical Characterisation of Unsaturated Kunigel V1 Bentonite: Swelling and Shear Strength 」	H24. 10
発表	Gas generation & migration, International Symposium & workshop (FORGE Euratom project) 「 Laboratory Gas Injection Tests and Modeling on Compacted Bentonite Buffer for TRU Waste Disposal in Japan 」	H25. 2
発表	The 4th East Asia Forum on Radwaste Management (2013 EAFORM, Beijing) 「Safety assessment scenario development for gas migration in TRU disposal in Japan 」	H25. 10

表 3－34. 論文、投稿、発表リスト
(ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発)

	題目・メディア等	時期
ヨウ素固定化処理技術開発		
論文	Advances in Science and Technology Vol. 73, 158-170 (2010) 「Development of New Waste Forms to Immobilize Iodine-129 Released from a Spent Fuel Reprocessing Plant」	H22. 9
論文	GLOBAL2011「Temperature dependence of aqueous dissolution of silver iodide under reducing condition with FeCl ₂ solution」	H23. 9
論文	資源・素材学会誌 “Journal of MMIJ”, vol 128 (2012), No7 マイクロフォーカス X 線 CT を用いた水中環境下における高強度高緻密コンクリートのき裂閉塞挙動の評価	H24. 7
発表	日本原子力学会 2010 年秋の年会「還元雰囲気における FeCl ₂ 水溶液中での AgI 溶解の温度依存性」	H22. 9
発表	日本原子力学会 2010 年秋の年会 「ヨウ素の長期閉じ込めを目指した BPI ガラス固化技術の開発（その 2）」	H22. 9
発表	平成 22 年度資材・素材関係学協会合同秋季大会「岩質材料のサブクリティカル亀裂進展における繊維補強効果」	H22. 9
発表	日本原子力学会 2011 年春の年会 「ヨウ素固定化処理プロセスの検討 -(1)BPI ガラス固化	H23. 3

	技術における乾式ヨウ素脱離工程及びパイロット溶融試験装置の検討」	
発表	日本原子力学会 2011 年春の年会 「ヨウ素固定化処理プロセスの検討 - (2) 岩石固化技術における廃銀吸着材の加熱処理工程の検討」	H23. 3
発表	日本原子力学会 2011 年春の年会 「ヨウ素固定化処理プロセスの検討 - (3) セメント固化技術における湿式ヨウ素脱離・転換工程の検討」	H23. 3
発表	日本原子力学会 2011 年春の年会 「ヨウ素固定化処理技術開発 - (11) 岩石固化体のヨウ素放出挙動の理解」	H23. 3
発表	日本原子力学会 2011 年春の年会 「ヨウ素固定化処理技術開発 - (12) BPI ガラス固化体の浸漬試験および通水試験」	H23. 3
発表	分離技術会 年会 2011 「岩石固化技術におけるヨウ素脱離防止方法」	H23. 6
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会 「ヨウ素固定化処理技術開発 - (13) 岩石固化体のマトリクス溶解挙動の理解」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会 「ヨウ素固定化処理技術開発 - (14) 岩石固化体の固化体構造に関する検討」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会 「ヨウ素固定化処理技術開発 - (15) BPI ガラス固化体のガラス構造に関する検討」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会 「ヨウ素固定化処理プロセスの検討 - (4) BPI ガラス固化技術におけるヨウ素脱離試験及びパイロット溶融試験」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会 「ヨウ素固定化処理プロセスの検討 - (5) 岩石固化技術における廃銀吸着材のガス除去方法の検討」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会 「ヨウ素固定化処理プロセスの検討 - (6) セメント固化技術におけるオゾンによる酸化処理の検討」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会 「FeS ₂ および FeS 共存還元雰囲気におけるヨウ化銀の溶解挙動」	H23. 9
発表	セラミックス協会 2012 年年会 「鉛ホウ酸塩を主成分とする 2 成分および 3 成分ガラスの逆モンテカルロ構造モデル構築」	H24. 3
発表	日本原子力学会 2012 年秋の大会 「ヨウ素固定化技術開発 - (16) 液交換試験によるセメント固化体からのヨウ素放出と構成鉱物の溶解挙動の把握 -」	H24. 9
発表	日本原子力学会 2012 年秋の大会 「ヨウ素固定化技術開発 - (17) ヨウ素酸含セメント水和鉱物の溶解度測定および熱力学平衡計算によるセメント固化体からのヨウ素放出挙動の評価 -」	H24. 9
発表	日本原子力学会 2012 年秋の大会 「ヨウ素固定化技術開発 (18) BPI ガラス固化体のガラス構造に関する検討 (その 2) 」	H24. 9
発表	Material Research Society 2012 Fall Meeting Boston 「The Study on Iodine Release Behavior from Iodine-Immobilized Cement Solid」	H24. 12
発表	Material Research Society 2012 Fall Meeting Boston 「Corrosion and Alteration of Lead Borate Glass in Bentonite Equilibrated Water」	H24. 12
発表	Material Research Society 2012 Fall Meeting Boston 「Development of the Synthetic Rock Technique for the Immobilization of Iodine: Kinetics of the Alumina Matrix Dissolution under High Alkaline Conditions」	H24. 12
放射化金属廃棄物中の C-14 の放出挙動評価		
論文	MRS2011 Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXV 「Corrosion	H24. 3

	Rates of Zircaloy 4 by Hydrogen Measurement under High pH, Low Oxygen and Low Temperature Conditions」	
論文	MRS2012 Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVI 「Long-term Corrosion of Zircaloy 4 and Zircaloy 2 by Continuous Hydrogen Measurement under Repository Condition」	H25. 3
発表	放射化金属廃棄物の C-14 の放出移行に関する研究－(9)概論：ハル・エンドピースに関する C-14 ソースタームの評価－	H23. 3
発表	放射化金属廃棄物の C-14 の放出移行に関する研究 －(10)概論：ハル・エンドピース (BWR) の C-14 インベントリの評価－	H23. 3
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会 「放射化金属廃棄物の C-14 の放出移行に関する研究 －(11) 処分の安全評価に必要とされるハル・エンドピースの特性と評価の現状－」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会 「放射化金属廃棄物の C-14 の放出移行に関する研究－ (12) C-14 分析手法に関する検討－」	H23. 9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会 「放射化金属廃棄物の C-14 の放出移行に関する研究－ (13) BWR を対象としたハル・エンドピース中の C-14 インベントリの評価－」	H23. 9
発表	第 175 回腐食防食シンポジウム（講演公募型シンポジウム）ジルコニウム合金の耐食性と腐食に関わる課題「地層処分環境におけるジルコニウム合金の腐食挙動の評価」	H24. 2
発表	日本原子力学会 2012 年春の年会 「ジルカロイ被覆管の低温腐食-(1)低温（地層処分環境）での長期腐食挙動予測の課題－」	H24. 3
発表	日本原子力学会 2012 年春の年会 「ジルカロイ被覆管の低温腐食-(2)低温（地層処分環境）での腐食試験結果と考察－」	H24. 3
発表	腐食防食協会第 59 回材料と環境討論会「地層処分環境におけるジルカロイの腐食速度の評価の必要性」	H24. 9

表 3－35. 論文、投稿、発表リスト（セメント材料影響評価技術高度化開発）

	題目・メディア等	時期
発表	2nd Asian clay conference 「X-ray CT observations of altered bentonite by hyperalkaline-fluids; Dissolution kinetics of montmorillonite in compacted bentonite」	H24. 9
発表	2nd Asian clay conference 「Alteration of montmorillonite by KOH solutions」	H24. 9
発表	日本原子力学会 秋の大会 「Ca(OH) ₂ 水溶液中におけるモンモリロナイトの溶解速度; pH 及び C-S-H 生成の影響」	H24. 9
発表	放射性廃棄物の地層処分におけるセメント影響によるニアフィールド長期挙動評価ワークショップ「セメント系材料のバリアシステムに対する影響とそれを反映した性能評価技術の開発」	H24. 11
発表	放射性廃棄物の地層処分におけるセメント影響によるニアフィールド長期挙動評価ワークショップ「セメント領域におけるアルカリ性ブルームのソースターム評価技術の開発」	H24. 11
発表	放射性廃棄物の地層処分におけるセメント影響によるニアフィールド長期挙動評価ワークショップ「バリアシステムの化学-力学-物質輸送に関わる長期変遷挙動に関する個別現象モデルの開発」	H24. 11

表 3－36. 論文、投稿、発表リスト（硝酸塩処理・処分技術高度化開発）

	題目・メディア等	時期
論文	ICEM2010 「Separation and Recovery of Sodium Nitrate from Low-Level Radioactive Liquid Waste by Electrodialysis」	H22. 10
論文	The 6th conference of the Aseanian Membrane Society in conjunction with the 7th International Membrane Science and Technology Conference 「Permselectivity between two anions of composite anion exchange membranes prepared from poly(vinyl alcohol) and poly(diallyl dimethyl ammonium chloride)」	H22. 11
論文	ICOM 2011 「Permselectivity between anions through anion-exchange membranes prepared from poly(vinyl alcohol) and polycation」	H23. 7

論文	材料と環境「高アルカリ性・高硝酸ナトリウム濃度条件における炭素鋼の腐食に伴う硝酸イオンの化学的変遷挙動とそのモデル化」	H23. 12
論文	GLOBAL 2011「Thermodynamic Interpretation on Solubility of Neptunium、 Technetium、 Selenium and Palladium in Nitrate and Ammonium Solutions」	H23. 12
論文	Springer Plus「Use of in-vitro experimental results to model in-situ experiments: bio-denitrification under geological disposal conditions」	H25. 7
論文	ICEM2013「DEVELOPMENT OF SEPARATION TECHNIQUE OF SODIUM NITRATE FROM LOW-LEVEL RADIOACTIVE LIQUID WASTE USING ELECTRODIALYSIS WITH SELECTIVE ION-EXCHANGE MEMBRANES」	H25. 9
論文	2012 MRS Fall Meeting「Sorption Behavior of Nickel and Palladium in the Presence of $\text{NH}_3(\text{aq})/\text{NH}_4^+$ 」	H25. 10
発表	ICEM2010「Separation and Recovery of Sodium Nitrate from Low-Level Radioactive Liquid Waste by Electrodialysis」	H22. 10
発表	The 6th conference of the Aseanian Membrane Society in conjunction with the 7th International Membrane Science and Technology Conference「Permselectivity between two anions of composite anion exchange membranes prepared from poly(vinyl alcohol) and poly(diallyl dimethyl ammonium chloride)」	H22. 11
発表	日本膜学会第 33 年会 「PVA 系陰イオン交換膜の作製と化学的架橋条件がイオン選択性に与える影響の検討」	H23. 5
発表	ICOM 2011「Permselectivity between anions through anion-exchange membranes prepared from poly(vinyl alcohol) and polycation」	H23. 7
発表	日本原子力学会 春の年会「地層処分環境下における微生物による硝酸塩還元反応モデルの構築」	H24. 3
発表	日本原子力学会 春の年会「放射性廃液中の硝酸ナトリウムの膜分離技術開発（４）工学試験装置の製作と性能確認試験」	H24. 3
発表	日本原子力学会 春の年会「放射性廃液中の硝酸ナトリウムの膜分離技術開発（５）工学試験装置を用いた硝酸ナトリウムの膜分離試験」	H24. 3
発表	APSORC 13「Solubility of amorphous UO_2 and NpO_2 in nitrate media containing platinum catalyst」	H25. 9
発表	Migration 2013「Solubility of $\text{TcO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ in Dilute to Concentrated NaNO_3 Solutions」	H25. 9
発表	日本原子力学会 秋の大会「硝酸塩共存下における 4 価テクネチウム溶解度」	H25. 9
発表	日本原子力学会 秋の大会「放射性廃液中の硝酸ナトリウムの膜分離技術開発（６）工学試験装置を用いた模擬低レベル放射性廃液からの硝酸塩分離試験」	H25. 9
発表	ICEM2013「DEVELOPMENT OF SEPARATION TECHNIQUE OF SODIUM NITRATE FROM LOW-LEVEL RADIOACTIVE LIQUID WASTE USING ELECTRODIALYSIS WITH SELECTIVE ION-EXCHANGE MEMBRANES」	H25. 9
講演	TRU-5 Workshop 「Evaluation of Safety Impact due to nitrate in TRU waste against the co-disposed HLW Part 1 -Chemical Evolution of Nitrate Contained in TRU waste in the Deep Underground」	H22. 3
講演	TRU-5 Workshop 「Evaluation of Safety Impact due to Nitrate in TRU waste against the Co-disposed HLW Part 2 - Influence of Nitrate on Radionuclide Migration Parameters」	H22. 3
講演	TRU-6 Workshop 「Evaluation of Safety Impact due to Nitrate in TRU Waste against the Co-disposed HLW- Evolution of Nitrate Plume and Its Effects on Nuclide Solubility and Sorption」	H25. 9
講演	TRU-6 Workshop 「Evaluation of Safety Impact due to Nitrate in TRU Waste against the Co-disposed HLW - Radiological Safety Assessment」	H25. 9

3-3-2-A 目標の達成度

テーマごとに設定した目標・指標について、それぞれの成果、達成度を表3-37～表3-40に示す。各テーマとも、設定された指標に対し一通りの成果を得ており、地層処分技術調査全体としても中間段階における目標水準を満足しているものと考えられる。なお、今後の基準整備、実施主体における処分事業に対応し、重要な参考文献としての活用されやすい成果の取りまとめ方が重要である。

表3-37. 目標に対する成果・達成度の一覧表（ボーリング技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に 対する達成 度
コントロール掘削技術	堆積性軟岩をはじめとするボーリング掘削が困難な地質を対象に、コア採取と同時に方向性を制御して、孔長1,000m、深さ500m程度で、孔底で水平となる掘削技術を開発する。	堆積性軟岩地域の断層破砕帯を対象に当初計画した孔跡に沿ってコントロール掘削を行い、深度約500m、孔長1000mの孔井を掘削する。より困難な掘削技術の知見を得るため、800m以深は水平で、方向性を偏距する掘削を目指す。	幌延地点の大曲断層を対象として設定された孔跡計画に沿って、これまでに開発した掘削システムを用いて孔長1000m、深さ約500m、孔底付近で水平でかつ水平方向に偏距する孔井を掘削し、またほぼ100%のコアを採取することができた。特に、本システムの特徴である、掘削バレルの直上に回転系があることによりぶれがない掘削が可能となり、断層集中箇所においても100%と想定以上のコアを回収できた。	達成
孔内測定・調査技術	孔内において、概要調査に必要とされる地質環境特性を取得するための測定、調査技術を開発し、現地に適用することにより技術の適用性を検証する。	孔内調査として、透水・採水、LWDを現地掘削、調査に適用させ、実用化する。これまでに開発した応力測定装置をコントロールボーリングへ適用できる装置に改良する。モニタリング技術については模擬孔で実施した設置方法での課題を明らかにし、設置のための機器の改良を行う。孔井を利用したトモグラフィを現地に適用し、その適用性を確認する。	採取されたコアの観察、測定、調査、分析および孔内のLWDおよび透水試験・採水により大曲断層の水理地質構造を推定することが可能となった。応力測定装置に関しては、これまでに開発したプロトタイプをコントロールボーリングへ適用できるように改良し、その適用性確認するために現地において予備試験を実施した。モニタリング技術については模擬孔実施した設置方法での課題を明らかにし、設置に係る機器を改良しモニタリング装置を製作した。孔井を利用したトモグラフィを現地に適用し、その適用性を確認した。	達成

掘削・調査の体系化	コントロール掘削に関する、掘削・調査技術を体系化し、手順書を作成する。	概要調査におけるコントロールボーリングの必要性を取りまとめる。これを踏まえて、これまで行った機器開発および現地への適用の経緯、またその結果のレビューを行い、手順書作成の資料を取りそろえる。	概要調査におけるコントロールボーリングの必要性(役割)について取りまとめた。これを踏まえて、これまで行った機器開発および現地への適用の経緯、またその結果のレビューを行い、手順書作成の資料を取りまとめた。	達成
-----------	-------------------------------------	--	---	----

表 3-38. 目標に対する成果・達成度の一覧表 (岩盤中地下水移行評価技術高度化開発)

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
地下水年代測定技術調査				
評価技術の開発	数万年～百万年を評価できる地下水年代測定法について、国内サイトに適用できるように複数の方法を整備する。また、水理的・地化学的に地下水年代測定結果の妥当性を検証する方法を整備する。	⁴ He 法や ³⁶ Cl 法を補足できる同位体・希ガスなどについて、採取方法、分析方法を調査し、原位置に適用できるように整備する。 地下水流動解析や地化学解析など、水理的・地化学的な観点から地下水年代測定の妥当性を検討できる方法を整備する。	有機 ¹⁴ C、希ガス温度計、 ³⁷ Cl、 ⁸⁷ Sr など地下水年代や起源の評価に有効と考えられる方法について、採取方法・測定方法を開発した。 透水係数など水理的な情報や水質の進化など地化学的な情報から、地下水年代を検証する方法を開発した。	達成
国内への適用性検討	国内サイトにおいて地下水年代が適切に評価できることを複数の地下水年代測定結果の整合性、水理的・地化学的な検討結果との整合性から実証する。	幌延(堆積岩)、瑞浪(花崗岩)などにおいて、開発してきた方法を適用するとともに、適用結果の妥当性を複数の方法や、水理的・地化学的な観点など複数の方法から検証する。	幌延(堆積岩)では、深部の地下水が堆積時からほとんど動いていないことを ⁴ He 蓄積法と ³⁶ Cl 法から示した。瑞浪では、 ⁴ He 年代、無機 ¹⁴ C 年代、有機 ¹⁴ C 年代などから地下水が数万年で循環していることを示した。	達成
開発技術の取り纏め	概要調査段階の地表調査およびボーリング調査を対象に、地下水年代測定法の適用方法を提示する。	開発してきた地下水年代測定技術と原位置への適用事例を取り纏め、概要調査における地下水年代測定の適用方法を示す。	開発してきた地下水年代測定法について、原理、採取・分析方法、評価方法などを取り纏め、評価事例を示した。	達成
岩盤中物質移行特性評価技術				

原位置トレーサ試験技術	岩盤を対象として、収着性物質の使用も可能な原位置トレーサ試験技術の有効性を、原位置において実証する。	岩盤を対象とした原位置トレーサ試験装置を試作する。 トレーサ試験結果から溶質移行パラメータを同定する手法の基本的な整備を終了する。 割れ目の分布が比較的単純な国外サイトにトレーサ試験装置や溶質移行パラメータ同定手法を適用し、有効性を示す。	岩盤を対象とし収着性物質の使用も可能な原位置トレーサ試験装置を試作・改良した。 トレーサ試験結果から溶質移行パラメータ（割れ目開口幅や分散長、分配係数）を同定する手法の基本的な整備を終了した。 スイスの Grimsel Test Site において原位置実証試験を実施し、割れ目開口幅や分散長、分配係数を推定できることを示した。	達成
各種割れ目探査技術	ボーリング孔間の割れ目特性を調査する各種探査技術（溶存ラドン濃度計測による開口幅調査、高粘性流体注入による割れ目内流動形態調査、音響トモグラフィ法による割れ目分布調査）の有効性を原位置において実証する。	ボーリング孔間の割れ目特性を調査する各種探査技術の基本的な整備を終了する。 割れ目の分布が比較的単純な国外サイトに各種探査技術を適用し、有効性を示す。	溶存ラドン濃度を計測し割れ目開口幅を推定する手法を開発し、原位置試験装置を試作・改良した。 高粘性流体注入試験装置を試作・改良し、割れ目内の流動次元や開口幅を推定できることを室内試験で確認した。 音響トモグラフィ法について、室内試験や数値実験を通じて、従来の2次元解析よりも3次元解析により、割れ目の探査精度が向上することを示した。 上記3技術についても、スイスの Grimsel Test Site において原位置実証試験を実施し、割れ目の分布、割れ目内の流動次元や開口幅を推定できることを示した。	達成

表3-39. 目標に対する成果・達成度の一覧表（地質環境総合評価技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
地質環境調査に関わる知識の表出化手法の開発	事例調査に基づき、地質環境調査計画の策定から結果の解釈・評価を経て処分システムの成立性等の検討に至る一連の作業プロセスについて、最新の知識工学の技術を活用し、データや情報の取り扱い、実際の経験に基づく調査・評価上のノウハウ、品質管理、不確実性の取扱い、様々な意思決定等を知識として表出化するための手法を開発する。	(平成24年度で終了)	国内外の地質環境調査評価事例に基づいて、含まれる作業に関連するノウハウ・判断根拠などの情報の収集・整理を行い、考慮すべき実施項目やその方法、調査を実施するうえでの留意点を整理するとともに、関連する知識の収集・分析・整理の方法論を開発した。これに基づき、収集した知識のルールベース化・事例ベース化を進めた。 ノウハウ・判断根拠などの知識をより効果的に利用するため、地質環境モデルの構築、地質環境調査計画策定及び調査の実施という主要な作業それぞれを支援するという観点から、エキスパートシステムの体系化に関する枠組みを構築した。 この枠組みに従って、JAEAの深地層の研究施設計画や沿岸域プロジェクト、国内外の地質環境調査評価事例調査などを通して蓄	達成

			積したノウハウや判断根拠などの知識に基づき、「2)次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）」の開発」において開発したインターフェイスを利用して、エキスパートシステムを作成した。 上述の通りエキスパートシステムは、JAEAの深地層の研究施設計画や沿岸域プロジェクト、国内外の地質環境調査評価事例調査など様々な状況における経験に基づき作成していることから、多様な地質環境に対して適用することが可能である。また、エキスパートシステム化したことにより、新たな知識を容易に取り込むことができ、時宜を得て柔軟に更新を行うことが可能となった。	
次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）の開発	処分事業の進捗や、求められる地質環境の変化、最新の地質環境調査技術の取り込み等、求められるシステムの性能を確認しつつ、必要に応じて開発・改良を実施する。	上記手法を適用して、知識を最新の知識工学の技術を活用しながらエキスパートシステムとして具現化することにより、調査結果の品質確保や調査・評価の進め方等に関する判断・意思決定を支援し、これらに関係専門家間等で共有するためのコミュニケーション機能を備えた、次世代型の地質環境総合評価システム（次世代型サイト特性調査情報統合システム：ISIS）を構築し、実用に資する。 開発するISISは、幅広い地質環境に適用できるようにするとともに、長期にわたる事業の間に段階的に進められる調査で得られる新たなデータを踏まえて、適宜調査計画を最適化することが可能なものとする。	プログラミングに関する知識を必要とすることなく、地質環境調査の専門家自らが、上記「1）地質環境調査に関わる知識の表出化手法の開発」で得られたノウハウや判断根拠などに基づき、ルールベースや事例ベースから構成されるエキスパートシステムを作成できるように、具体的な開発環境ツールとして、エキスパートシステム作成インターフェイスを開発した。 さらに、構築された地質環境モデルを可視化するとともに、それを用いて関係者間で議論し、その結果を保存できる機能、作成した書類の逸散を防止するための登録機能、地質環境調査の様々な作業を登録し、当該作業に関係する書類等を関連付ける機能とそれらの作業の工程を管理する機能など、地質環境調査に関わる様々な作業を支援するための機能を開発した。 開発したエキスパートシステム群とそれらを作成するインターフェイス及び上述した地質環境調査・評価に係る様々な作業支援機能を、マネジメントコクピットに統合し、プロジェクト全体の意思決定の支援、地質環境調査に関する様々な作業の支援、関係者間での情報共有、知識の追跡性の確保を行うことができる「次世代型サイト特性調査情報統合システム（ISIS）」を開発した。	達成

表 3－40. 目標に対する成果・達成度の一覧表
(沿岸域塩淡境界・断層評価技術高度化開発)

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
塩淡境界／ 地下水総合	幌延町沿岸域の浜里地区において、1200mの	1200m のボーリングを行い、同時に地質・	深部水理地質環境の把握（深部地下水が層構造をなしていて安	達成

評価	ボーリング調査を実施し、地質・地下水環境を把握するとともに、ボーリング調査結果と物理探査結果との組合せ、関連データベースの活用等を含めた、沿岸域における塩淡水境界や断層等の把握及びその長期的な変遷の評価に係る総合的な調査評価手法として構築する。	地下水試料の採取分析や水理試験等から深部地質・地下水環境の適切な評価手法を構築し、同時にこれを評価する。さらには、地質構造と水理地質構造の比較や広域・長期地下水流動の評価などに取り組む。	定しており、地震等でもこの構造は崩れないこと)ができるようになったことや、ボーリング技術やサンプリング技術に関する特許の取得、さらに深層地下水に関わる水理試験技術の開発、堆積平野の沿岸海底下には淡水領域が存在し、これが超長期的な地下水の安定に大きく関与していることなど多くの新しい知見を蓄積した。	
沿岸域地質構造／断層評価技術	物理探査技術に着目して、沿岸域に特徴的な課題である浅海域の調査、海域から陸域への連続的評価を念頭に、特に複数の物理探査による統合解析手法を開発するとともに、既存データに対する再評価、沿岸域での実証試験を通じて高精度な地質構造や断層の評価手法としての確立を図る。	これまでに調査が困難とされてきた浅海域における物理探査手法を確立する。具体的には、センサーの開発に始まる電磁探査手法を用いた海陸接合調査法の構築や既存資料までを含めた海陸接合解析技術の開発を実施する。	浅海域での電磁探査を可能にしたセンサーを新規に開発し、海陸接合探査を実現した。また同時に、海陸接合物理探査解析技術を開発すると同時に、既存データの再解析も実現し、列島沿岸域の再評価ができるようになった。さらに、これらを用いて海底下淡水地下水領域の観測おこない、世界的に見て初めての成果を挙げることができた。	達成
関連データベースの開発	全国規模の地質・地下水データベースと個別地点での詳細調査の相互補完的かつ効率的な調査評価の方法論の検討に資する。また、これらのデータを統合化しデータ処理・評価の最適化を図る手法を検討する。	日本列島の堆積層のデータベースを構築し、当該研究の適用範囲を確認することや、さらには、地下水データベースとの組み合わせにより、これを用いた地下水流動解析を実施するという具体的な目標を設定した。	列島を構成する岩石の計測標準データベースや沿岸域深部地下水データベース、列島堆積盆データベースなど HLW 事業に欠かすことのできないデータベースを構築した。この結果、列島における地下水量の把握や流動などを可視化することができるようになった。	達成

表3-41. 目標に対する成果・達成度の一覧表（海域地質環境調査技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
沿岸域地質構造評価技術の開発	3次元地震探査を行い、沿岸浅海域における3次元海底下水理地質モデルを構築する。これを用いて、海底地形と地質構造、ひいては(潜在)断層との関係を明らかにする。	深部地下水が上昇流を発生させる要因(キラー要因)として、塩淡水境界と断層の存在が挙げられる。塩淡水境界は電磁探査手法により見出すことができていたが、断層を含めた3次元的地質構造は本事業で開発した電磁探査手法により高精度に把握できるようになった。	海底設置型地震計を用いた計測技術の確立やストリーマケーブルを曳航する二船式の二つのデータ取得方式に関する検討により、浅部の空間分解能を向上させることができ、これまで困難とされてきた浅部詳細地質構造把握が可能となり、水理地質モデル構築に貢献できる成果を得た。	達成
海上掘削調査技術の開発	海上ボーリング調査対象となる沿岸域の海	既存のデータベースを駆使することで、	日本列島の堆積平野沿岸海域においては、沿岸部の	達成

発	地下水理地質モデルを構築し、地下水流動解析を実施することで、掘削地周辺の地下水環境の推定や掘削適地の評価を行う。	ボーリング調査地（対象沿岸域）の地質や地下水流動特性を事前に把握し、解析的に地下水環境を推定する技術を構築し、調査時の評価項目（分析・試験方法）を事前に把握できるようにする。	地形や地質に応じて、海底下に淡水性地下水の張り出しが存在することが解析的に求められた。この張り出しの存在が一般的であることを示せたのは大きな成果と言える。この張り出しは海水準が低下した時代（氷期）に形成されたものであり、その下の塩水域は超長期的に安定した地下水体であることも推定された。	
---	--	---	---	--

表 3-42. 目標に対する成果・達成度の一覧表
(先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発)

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
先進的地層処分概念の開発	種々の処分概念の特徴や与えられた地質環境条件、社会的条件等に対する長所・短所などを包括的に把握する方法、これに基づいて個々の処分概念の与えられた条件に対する適用性等の評価を支援する方策を提示する。また、必要に応じて新たな概念を創出する方法が提示するとともに、それら方策の実現可能性も併せて示す。 処分概念に係る情報及びその分析結果を管理するためのデータベースの機能設計を提示するとともに、機能の確認を行う。	(平成24年度で終了)	与えられた種々の条件に対する既存処分概念の適用性の系統的な分析・評価及び先進的な処分概念の創出を支援するための手順・手法の構築と試行を通じた有効性の確認を行った。 処分概念の情報を一元的に管理し web ブラウザから利用可能な処分概念データベースの実用版の整備を行った。 これらの成果は米国との国際共研（JNEAP）の作業及び韓国 KAERI との技術協力に基づく情報交換に反映した。	達成
性能評価技術／処分概念最適化技術の開発	処分システムの性能評価に係るモデルや計算コードの最新情報の調査・整理、及びそれらの統合と利用支援のための方策を提示するとともに、その方策の実現可能性を確認する。また、性能評価上重要となり得る課題の抽出とその解決案を提示するための方策を提示し、その方策の実現可能性を示す。 最適化技術については、核燃料サイクルとの関係も考慮した処分概念最適化問題の考え方、適用可能な最適化手法を提示する。	(平成24年度で終了)	性能評価統合技術について、web ブラウザ上で内容の閲覧・編集のみならず解析までを実行可能な HTML 形式の電子性能評価レポート（e-PAR）の実用版を構築するとともに、既存の解析ケースを参照用事例として実装整備した。 課題探索的性能評価技術について、セーフティケースの信頼性向上の観点から重要となり得る課題を抽出しその対策を検討するための一連の作業手順の構築、主要な作業要素について利用可能な手法や技術の開発・拡充を図るとともに、実務的な事例を対象に適用性の確認を行った。 最適化技術については、処分概念の最適化において考えるべき問題の特徴の分析及び適用すべ	達成

			き最適化手法の選定を支援するツール（問題分析支援ツール、最適化手法選択支援ツール）を構築するとともに、例題を通じて適用性の確認を行った。 これらの成果は米国との国際共研（JNEAP）の作業及び韓国 KAERI との技術協力に基づく情報交換に反映した。	
先進サイクルシステムに対応した処分概念／性能評価技術の開発	先進サイクルからの放射性廃棄物の特徴を処分の観点から分析評価し、特性に関連する定量的な評価手法／ツールの基本設計を提示するとともに機能の確認を行う。先進サイクルへの処分概念、性能評価技術の適用可能範囲を検討するための方策、及び最適化検討の基本的なアプローチを提示する。さらに、一連の技術要素の統合に必要な要件を提示する。	（平成24年度で終了）	先進サイクルの導入シナリオや技術オプションに応じて発生する放射性廃棄物の特性について最新情報の調査・整理を行うとともに、これら特性が処分に与える影響の可能性を分析・整理した。放射性廃棄物の特性についての情報は、一元的に管理するための廃棄物特性データベースとして集約し web ブラウザから利用可能な実用版として整備した。併せて、想定される廃棄物の発生を定量的に評価することを可能とするツール（廃棄物特性定量評価ツール）の実用版を整備した。 先進サイクルシステムから発生する放射性廃棄物に対する処分概念／性能評価技術については、軽水炉サイクルシステムを対象に開発した技術を対象として、先進サイクルシステムから発生する廃棄物への適用性の検討及び改良・高度化が必要な技術的課題の抽出等を行うことができるよう、前述の項目で整備した情報や技術を活用してこうした作業を効率的に実施するための手順・方法を整備した。これらの手順や方法を実用的なものとして利用可能とするためのツールのひとつとして、利用ニーズや利用シナリオに応じた情報や技術の利用を支援するための技術（統合・利用支援環境）の実用版を整備した。 これらの成果は米国との国際共研（JNEAP）の作業及び韓国 KAERI との技術協力に基づく情報交換に反映した。	達成
原子力事故廃棄物の処理・処分に係る対応	発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備に組み替えて実施	原子力事故廃棄物の処理・処分方策の検討を主に処分の観点から行い、早急に処理・処分への取組みに関する基本的な道筋を示すために、原子力事故廃棄物性状把握のための分析、及び処理・処分に向けた情報の収集・整理を通じて課題・研究開発計画を提示する。	着目すべき放射性核種とその濃度等を確認するため、発電所敷地内から瓦礫、伐採木等の試料を採取し、輸送・前処理を経て詳細な放射能分析を実施した。 また、既存処理技術及び既存処分概念に関する文献情報を収集・整理し、収集情報に基づき原子力事故廃棄物の処理・処分に向けた課題及び課題解決に向けた対策の検討を実施した。その結果に基づき、中長期ロードマップの	達成

			判断ポイントに向けた作業スケジュール及び研究開発計画案をまとめた。	
巨大地震・津波を含む想定外事象への対応	東北地方太平洋沖地震における巨大地震・津波を含めこれまでの想定を超える事象に対する地層処分システムの安全性を具体的に確認する方法を提示する。また、超長期安全性の検討に向け、人工バリアや処分施設の安全性維持限界状態評価技術の確立や限界条件（閾値）を提示する。	巨大地震・津波を含む想定外事象に対する地層処分システムの安全性を具体的に確認する方法を提示し、計画を作成する。	国内外の過去に発生した巨大地震・津波に係る地質環境に関連する情報の調査を行い、処分場設計で考慮すべき地質環境条件の範囲を抽出した。 また、処分場安全性能限界状態評価手法の検討として、地震による処分場環境条件の変化に対する人工バリア材の特性試験計画と人工バリアシステム限界状態試験計画の策定、処分場の耐震安定性評価手法の動向調査・評価と課題の抽出、さらに、岩盤の長期力学挙動評価手法の検討として、地震で損傷を受けた掘削影響領域の回復現象理解（変形・強度・透水性の観点）に関する課題の抽出を実施した。 上記成果等を踏まえ、超長期にわたる期間において人工バリアの安全機能に影響を及ぼす評価項目の抽出を実施した。	達成

表 3-43. 目標に対する成果・達成度の一覧表（処分システム化学影響評価高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
放射線影響評価 1) 人工バリアへの放射線影響評価手法	地下水の γ 線分解がオーバーパック（炭素鋼）腐食へ及ぼす影響に対する緩衝材の抑制作用の機構を解明する。	(平成24年度で終了)	・ガンマ線照射下腐食試験を行い、緩衝材中の還元性物質等の緩和作用により、 γ 線の腐食への影響がほとんどないことを確認した。 ・試験結果に基づき、炭素鋼オーバーパックの腐食に放射線が影響を及ぼさないようにする遮蔽厚については、高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発に関する第2次取りまとめでの設定値（150 mm）をさらに低減できる見通しを得た。	達成
2) 核種移行への放射線影響評価手法	地下水の α 線分解による処分場の化学環境（主に酸化還元環境）変化が核種移行に与える影響の概括的な評価手法を提示する。	(平成24年度で終了)	・地下水の α 線による放射線分解の結果生成される主要な成分の影響をモデル化するため、ヘリウムイオン照射試験を行い、モデル計算との比較から化学反応の同定と反応速度定数に関するデータセットを整備した。 ・物質収支モデルに基づく酸化還元フロント移行挙動の評価を行い、地下水の放射線分解によって発生する酸化性化学種がオーバーパック内で消費され、酸化還元フロントが緩衝材中には進展しないことが示された。	達成

処分システム微生物影響調査 1) 微生物特性評価手法の開発・改良	深部地質環境に生息する微生物代謝群の定量評価手法・活性評価手法を開発する。また、既存の文献から微生物増殖に関するパラメータの抽出を行い、データベースを構築する。これらを通じて、プロトタイプの微生物影響評価モデルに利用する微生物パラメータの提供について具体的な方針を示す。	(平成24年度で終了)	・地層処分システムに対する微生物影響に関する知見を整理し、地下水成分に与える影響、バイオフィーム生成に基づく核種移行への影響、微生物代謝による金属腐食への影響を研究課題として抽出した。 ・深部地質環境に生息する微生物代謝群を直接観察・培養法・遺伝子解析等を組み合わせた複合定量法として定量評価手法・活性評価手法を提示するとともに、既存の文献から微生物増殖に関するパラメータの抽出を行い、データベースのプロトタイプを構築した。 ・収集したデータベース値を整理することによって、微生物の特性を示す種々のパラメータの設定範囲を与えることができた。	達成
2) 微生物影響評価手法の開発	処分システムの性能に影響を与える微生物要因の抽出とその重要度を評価する。 また、微生物による深部地質環境の変化や核種移行への微生物影響に関して、地球化学反応、微生物活動及び物質移行を考慮した定量的評価モデルの開発・改良を行う。	(平成24年度で終了)	・汎用的な地球化学計算コード(PHREEQC)を用いて地下水に対する微生物影響評価用のコードを開発し、酸化還元電位、鉄イオンなどの変化について実験結果との整合性が図れ、天然環境における複雑な微生物反応をモデル化できることが示された。 ・バイオフィームが核種のマトリクス拡散に与える影響を調査するための手法開発を行い、透過拡散法の応用によりバイオフィーム特性データ取得の予察的検討から試験方法の見通しを得た。	達成
バリア複合化学環境影響調査 1) 塩濃縮・析出現象評価技術の開発	塩濃縮・析出現象の実験による現象理解を進めつつ、緩衝材中の連成プロセスの定量化に資する数値モデルを開発する。 廃棄体からの発熱による温度勾配が生じた不飽和緩衝材中で生じる塩濃縮・析出現象の定量化に見通しを得る。	(平成24年度で終了)	・緩衝材中の連成プロセスの定量化に資する数値モデルの開発に関しては、実際の地質環境中での地下水水質等を考慮した人工バリア中の塩濃縮に関する室内試験や深地層の研究施設での取得データによる現象理解を基に、熱-水-応力-化学連成解析モデルを開発した。このモデルを用いて、塩化物イオン濃度を表現可能であることを示した。 ・塩濃縮・析出現象の定量化に関して、地層処分システムを想定した熱-水-応力-化学連成解析を実施し、海水系地下水環境下での緩衝材中で、一時的にオーバーバック周辺で塩が析出するなどのガラス固化体からの放熱と地下水の浸潤に伴うニアフィールドの化学的な環境の変化を定量的に例示した。	達成

2) 高温環境下での人工バリア挙動評価調査	100℃超での主要な腐食シナリオを推定し、炭素鋼の適用性評価と概略的な寿命の評価を行う。 電気化学試験による不動態化挙動の把握や浸漬試験による腐食速度の測定及び腐食モデルによる長期腐食量を推定する。	(平成24年度で終了)	・緩衝材中ではほとんど不動態化しないため全面腐食が主要な腐食形態となる見通しを得た。 ・低酸素濃度下、緩衝材中での腐食速度は100℃よりも小さくなるため、寿命評価上は100℃以下での腐食速度設定が適用できる見通しを得た。 ・高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発第2次取りまとめにおける炭素鋼オーバーパック設計で設定された腐食しろ(40mm)についても、100℃超において適用可能と評価した。	達成
3) 人工バリア相互作用影響評価調査	100℃超のニアフィールド環境を想定し、鉄共存下における緩衝材の長期変質予測及び定量的評価のための手法を提示する。 鉄-ベントナイト相互作用に関する現象理解の向上、変質評価手法の構築及び評価の例示、変質に伴う特性変化の知見を拡充する。	(平成24年度で終了)	・SKBとの共同研究を通じて入手したHRLにおける原位置試験で得られた試料を分析した結果、鉄製ヒータから溶出したFeがベントナイト緩衝材中を移行し、スメクタイト層間でのイオン交換反応により、イオン型の変化が生じていることが推察された。 ・長期的な評価における変質幅を把握する上で重要と考えられる二次鉱物の熱力学的な安定性について検討し、鉄-ベントナイト相互作用に伴う緩衝材の長期変質評価に反映した。	達成
処分環境核種移行遅延要因影響調査 1) 人工バリア中の核種移行遅延評価手法の開発 2) 天然バリア中の核種移行遅延評価手法の開発	安全評価上重要な核種に関する圧縮ベントナイト及び岩石中の移行遅延データ取得を行い、標準的なデータ取得法のプロトタイプを提示する。これらのデータも活用し、特に圧縮ベントナイトを対象とした現象論的モデルと関連するデータベースのプロトタイプを提示する。 有機物影響を評価するための錯形成モデル及びデータベースを構築する。また、セメント高アルカリ水環境における代表的核種の収着拡散影響の基礎データを取得し、その影響を概略的に把握する。	(平成24年度で終了)	・圧縮ベントナイト及び岩石(幌延堆積岩/グリムゼル花崗岩)中において、収着性の異なる多様な核種の収着・拡散データについて、拡張型の透過拡散法とレーザー減衰法の組合せによる、圧密系、多様な核種、環境条件での信頼性の高いデータ取得法として提示した。 ・圧縮ベントナイト中のCs、I、Np、Am等のデータをもとに、収着拡散機構に基づくKd、De評価モデルと基本定数データベースを構築した。また、圧縮ベントナイト系モデルの拡張によって、幌延堆積岩におけるCs、I、HTOのKd、Deデータの推算が可能であることを示した。 ・既存の有機物錯形成モデル及びモデルデータベースから、汎用性の高いと考えられる評価モデル及びパラメータを抽出し、パラメータの最適化手法を課題とともに提示した。 ・有機物と核種に岩石が共存する3元系での収着・拡散データを拡充し、2元系の相互作用モデルの加性則によって3元系の収着挙動を記述できることを確認した。	達成

表 3-4-4. 目標に対する成果・達成度の一覧表（処分システム工学要素技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 （事後評価時点）	目標・指標 （中間評価時点）	成果	中間目標に対する達成度
遠隔操作技術高度化開発	人工バリアの長期健全性評価より示される仕様に対する、工学的実現性を提示する。 このため、重要な遠隔操作技術（遠隔溶接・検査技術、遠隔搬送・定置技術）を組み合わせた操業システムの成立性を、健全性の観点から評価し、工学的対策を含めた技術メニューを提示する。	①操業段階において特に重要な遠隔操作技術（遠隔溶接・検査技術及び遠隔搬送・定置技術）について、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含めた幅広い技術選択肢として整備する。技術の成立性と信頼性を提示すること	①適用性確認試験等 既存の溶接手法である TIG, MAG, MIG, LBW, EBW について、実際の施工を想定した溶接試験を実施し、オーバーパックの溶接に対しての施工条件、適用限界、溶接部の特性に係わる知見を体系的に整備した。エコーシミュレーションによる解析、および人工的に欠陥を導入した検査用の溶接供試体に対する探傷試験にて、オーバーパック溶接部の非破壊検査手法としての超音波探傷技術の適用性を提示した。 処分孔縦置き定置方式、処分坑道横置き定置方式の人工バリア仕様例（材料、形状）について、廃棄体を含むオーバーパックと緩衝材を搬送・定置する代表的な技術オプション（ブロック方式、締固め方式、ペレット充填方式、吹付け方式、PEM 方式）を対象に実規模スケール試験を実施し、緩衝材の製作・施工、搬送・定置に関する実現性を確認した。	達成
		② ①の成果をもって処分技術をより広く一般に紹介して理解を促進するという視点から開発を進める。技術の実現性・適用性を、客観的根拠とともに技術メニューとして提示する。	②技術選択肢（技術メニュー）の整備 平成 24 年度までの適用性確認試験結果より得られた知見を整備し、個別要素技術ごとに、成果、開発段階、根拠となるデータなどを一覧出来る知見シートを作成した。 知見シートを格納する技術メニューを整備し、操業に係わる種々の個別要素技術の開発レベル、適用性を示すとともに、これらの要素技術を組み合わせ、溶接／検査、処分孔縦置き定置方式、処分坑道横置き定置方式のそれぞれに対して、遠隔搬送・定置システム案を提示した。	達成
人工バリア品質評価技術の開発	人工バリアシステム (EBS) の長期健全性評価モデルを確立し、モデルを裏付けるデータと理論を整備する。 オーバーパックの健全性評価技術に関しては、実処分環境で想定される種々の腐食挙動や材料劣化、破壊モード等について、メカニ	① 品質の観点から技術的成立性を向上させるため、EBS の長期健全性及び施工技術の妥当性を評価するため、製作・施工技術と人工バリア材料の特性の関係を整理する。	①製作・施工技術と品質の関係の整理 製作・施工が品質におよぼす影響として、オーバーパックの品質については溶接時の入熱や溶接材料の使用に起因する金属組織や化学成分と耐食性（全面／局部腐食、割れ挙動）との関係、緩衝材の品質については、施工時に生じる密度差やすき間などと、再冠水過程での挙動（膨潤挙動、パイピング	達成

	ズムに基づく長期健全性評価モデルを構築する。オーバーパックの仕様、および設計から溶接・検査、定置に至る一連のプロセスの可否判断指標の提示に資することで、オーバーパックの製作技術の成立性を向上させる。 緩衝材の健全性評価技術に関しては、処分環境（湧水量や水質等）に適応した緩衝材施工法の選定方法を確立するため、多様な技術により構築される人工バリアの品質／健全性評価に必要な指標を具体化し、評価モデルを確立する。また、緩衝材の性能劣化事象として懸念されるパイピング／エロージョン現象等への工学的対策を確立する。		・エロージョン挙動、など）の関係を抽出し、品質評価での検討課題とした。	
		②オーバーパックの製作技術の成立性を高めるため、オーバーパック溶接部の品質評価技術に関しては、溶接部の耐食性評価試験を実施し、品質の観点から溶接封入技術の信頼性向上を図る。	②オーバーパック溶接部の品質評価技術の開発 実規模溶接試験体から採取した試験片に対して、第2次とりまとめで示された腐食シナリオの検討から抽出された腐食形態である全面腐食及び局部腐食、応力腐食割れ、水素脆化割れを調査対象とした実験室規模の耐食性評価試験を実施した。いずれの腐食形態においても、溶接部の耐食性は母材と同等以上であることを確認し、封入方法としての溶接がオーバーパックの耐食性を低下させることはないことを確認した。	達成
		③溶接部の残留応力や耐食性の改善手法を提示する。	③溶接残留応力については、TIG溶接を検討対象として、溶接時に発生する残留応力を見積り、PWHTによる応力低減、ならびに EIHSI による応力改善手法の処理条件および効果を解析により取得した。アーク溶接（TIG、MAG）の溶接金属部で発生した選択的な腐食に対してはが発生し、模擬溶接金属を使用した電気化学試験により Ni の添加が改善に有効であることを見出し、溶接材料を試作し、試験により改善効果を確認した。製作プロセスで実施可能な溶接部の品質改善手法を提示し、遠隔溶接システムの成立性を向上させた。	達成
		④緩衝材の品質評価技術に関し、施工品質（密度差、隙間等）が再冠水時の現象（膨潤挙動等）に及ぼす影響等を試験により明らかにすること。	④緩衝材の品質評価技術に関しては、製作・施工された緩衝材の再冠水時における事象について、緩衝材の初期の密度分布は、膨潤しても均質化せず、密度分布が残ることを試験により定量的に示すとともに、力学的解釈を提示した。	達成
		⑤緩衝材定置後の地下水によるパイピング・エロージョン現象についてデータを取得すること。	⑤衝材中に地下水の優先的以降経路が形成されるパイピング現象について、湧水の流量等をパラメータとした試験により発生条件を取得した。	達成
		⑥緩衝材の定置後の再冠水時の影響を踏まえた、緩衝材の設計・施工に関する仕様設定の考え方を提示すること。	⑥上記⑤及び⑥により取得された知見を踏まえ、緩衝材の乾燥密度、及び処分孔の湧水の流量等を条件とした緩衝材の設計・施工仕様設定のプロセス案を提示した。	達成

モニタリング技術の開発	地層処分実施主体等がモニタリング計画を策定する際に必要とされる、モニタリング項目の選定方法、技術的実現性の評価方法、モニタリング結果のセーフティーケースの補強等への反映方法に関する考え方を確立する。また、性能確認等のモニタリングを実現するための中核的な技術を確立する。 これに加え、地層処分に関する記録保存について関係機関が具体的計画を策定する際に必要な情報を整備する。	①各関係機関が策定するモニタリング計画に資する判断材料として、国内外の動向を踏まえ、モニタリングの意義が整理されていること。	①モニタリングの意義（目的）については国際共同研究に参画し、そこでの議論を反映した整理を実施した。さらに、特に重要なモニタリング目的として処分場閉鎖後の天然バリア・人工バリアの構成要素の性能確認を挙げ、安全機能に基づいたモニタリングパラメータ選定手法を提示した。	達成
		②透明性・追跡性等を有するモニタリング技術メニューの整備について、システムの枠組み及び基礎データが整備されていること。	②モニタリング技術メニューの整備については、モニタリング目的、時期、場所、対象（パラメータ）により方法（計測機器）を検索可能なウェブシステムを構築し、限定公開した。また、技術メニューに格納する機器データについて、地層処分関係の研究等での使用実績を考慮して整備した。	達成
		③モニタリングに共通の・中核的な要素技術のフィージビリティを確認するとともに、適用性向上に向けた技術開発課題を抽出・整理できていること。	③モニタリングに共通の・中核的な要素技術である地中無線通信技術や光ファイバセンサ技術に関する開発を実施し、工学試験や、地下研究所における試験により有効性を確認した。更に、これらの要素技術の適用性向上に向け、長期モニタリングに対応した地中無線通信装置、センサへの電源供給技術等の開発課題を抽出・整理した。	達成
		④地層処分に関する記録保存について国内外の制度等を調査し、関係機関が具体的計画を策定する際に必要な情報を整備する。	④記録保存に関する国内外の法規制や事例の調査を実施し、今後、国及び関連機関等が記録保存計画を策定する際の判断材料となる考え方の整理を行った。	達成
処分システムに関わる巨大地震、津波等の対策技術の開発	事業主体等が実施する地層処分施設の設計に反映すべく、主に処分施設閉鎖前までの処分事業操業中における、地上／地下施設を含む処分システム及び施工された人工バリア等に対する地震、津波等の大規模な自然災害の影響を検討し、安全確保のための対策技術を技術調査や適用性確認試験等の実施により開発、提示する。	①処分場概念・地層処分施設（地上及び地下施設）・設備・人工バリア等の検討対象が選定されていること。	①任意の地層処分場や処分概念の設定を行い、施設、設備、操業工程ごとに求められる安全機能や操業継続に必要な機能について検討し、その結果に基づき、本開発において自然災害に対する安全確保を検討する具体的な作業の選定を行った。	達成
		②巨大地震・津波等を原因とする多様なリスク事象の影響を工学的に検討・整理して状況設定が行われていること。	②類似施設の調査結果などに基づき、地層処分施設の操業安全を脅かす可能性がある自然災害（起因事象）を選定し、これらの起因事象が検討対象に作用した場合に発生し得る異常状態と、異常状態を起点とした被害の連鎖を検討し、被害の連鎖の帰着点である最終的な状況を抽出・整理した。	達成
		③リスク低減に向けた具体的な技術課題を抽出し、重要度評価が行われていること。	③抽出・整理した地層処分施設の地上施設および地下施設それぞれの最終的な状況に対し、応急対策、恒久対策、対策のための試験・	達成

			解析を「対策シート」を作成して検討・抽出した。そして抽出した種々の対策等を整理・類型化して、対策等に必要な技術を「技術課題」として選定し、リスクマネジメントの手法を参考に、技術課題の重要度評価を検討した。	
		④対策技術の調査に着手し、開発に係る試験項目を抽出して年度展開が提示されていること。	④選定した技術課題に関わる現況技術の調査に着手し、その調査結果に基づいて「技術開発課題」や「開発に関わる試験項目」を抽出するとともに、技術開発課題や開発に関わる試験項目について、概略の開発内容・方法・成果目標・開発工程などを検討・整理して、年度展開を示した。	達成

表 3－4 5．目標に対する成果・達成度の一覧表（地層処分回収技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
回収技術 高度化開発	処分システム工学要素技術高度化開発において塩水を用いた緩衝材除去技術に関するデータ取得が行われた。この回収技術を高度化し、地下環境で実規模の試験を実施するための装置を4年程度で開発する。 対象とする処分方式は、処分孔縦置き方式とする。	①回収技術について最新の知見に基づき、地下環境において実規模で行う実証試験の全体計画の策定を行う。	①実証試験計画の策定 地下環境において実規模で行う実証試験の全体計画の策定」に関して、廃棄体の回収作業一連の流れを検討し、そのうち中核技術となる緩衝材除去技術（塩水利用）について、実証試験を計画することとした。具体的には堆積岩系岩盤の処分坑道を対象とした装置の基本的配置を検討することによって、緩衝材除去機能、塩水リユース機能、遠隔操作機能の3つの機能ごとに分離した配置が可能であることを提示した。	一部達成
		②廃棄体を回収するための緩衝材除去装置の設計を行い、そのうち装置主要部位（塩水噴射部、スラリー吸引部、塩水噴射部昇降設備、塩水リユース設備）製作を行い、地上において各部位の機能確認を行う。	②緩衝材除去装置の開発 「緩衝材除去装置の設計・製作」に関して、装置の全体設計を実施し、装置の機能部位（塩水噴射・スラリー吸引部、塩水噴射部昇降設備、塩水リユース設備）ごとに製作および機能確認試験を実施し、設計と製作の妥当性を確認した。 塩水噴射・スラリー吸引部は、処分システム工学要素技術高度化開発の成果や要素試験において得られたデータにより塩水噴射ノズル配置の詳細検討を実施し、プロトタイプの製作と性能確認を経て塩水噴射・スラリー吸引部を製作した。 塩水噴射部昇降設備は、塩水噴射・スラリー吸引部の動作の確実性、安定性向上を目指した設計・	一部達成

			製作を行った。製作した装置は、昇降のストローク・揺動速度・把持振れ止め等の動作確認を実施し、基本的機能に係る設計と製作の妥当性を確認した。 塩水リユース設備は、塩水リユースの装置構成を検討した結果、固液分離装置として沈殿濃縮装置（シックナー）を採用した。機能確認試験として緩衝材のスラリーを作製し連続運転による処理を実施した結果、15m³/hの塩水をリユース可能であるとのデータから、設計と製作の妥当性を確認した。	
--	--	--	--	--

表 3-46. 目標に対する成果・達成度の一覧表（地下坑道施工技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
要素技術の開発	処分システムへの長期にわたる影響を低減できる新たなグラウト材料として、平成 21 年度までに開発したプロトタイプに関し、亀裂開口幅に応じて適用するグラウト材料の基本仕様を提示する。 平成 21 年度までにプロトタイプとして開発した高圧の地下水環境に適用できるグラウト注入工法と装置について、処分場での使用の際の要件と適用技術を整理する。 平成 21 年度までにプロトタイプとして開発したグラウトデータベースを改良・更新を行う。	(平成 24 年度で終了)	- 室内平行平板試験結果や POSIVA におけるグラウト材料選定の考え方を参考にグラウト選定基準を見直すとともに、基準に基づき以下の基本仕様を提示した。 - 低アルカリ性セメント (125 μm$\leq$幾何学的開口幅) - 超微粒子 OPC/シリカフューム=5/5、水結合材比 [W/B]=400%、600% - 超微粒子球状シリカ (38 μm$\leq$幾何学的開口幅) - 超微粒子球状シリカ/超微粒子消石灰=6/4、W/B=400%、600% - 溶液型 (38 μm$\leq$幾何学的開口幅) - シリカコロイド粒子径=10~20nm、シリカ濃度=30.6% - 廃棄体近傍では、離れた場所に比べ長期安全機能の確保を重視するという観点から、グラウト技術を処分場に適用する際の考え方を整理した。この考え方では、処分坑道では、注入孔全てを坑道断面内に配置することで、坑道とともに注入孔も掘削されることになり、核種移行経路の残存を防止することが有効であることを示した。 - グラウト技術を地層処分事業者などが有効に活用することができるようにするため、トンネルグラウトの施工実績と、本プロジェクトでグラウト材料開発のために実施した室内試験及び原位置試験結果を整理し、グラウトデータベースとして取りまとめ、公表した (https://groutdb.jaea.go.jp/grout/)	達成
原位置適用性試験	結晶質岩を対象として、開発したグラウト材料と施工方法の実証を原位置にて確認するための試験計画を策定すると	(平成 24 年度で終了)	スイスアルプスのアール山塊中央部の結晶質岩（亀裂性岩盤）に位置するグリムゼルテストサイト（GTS）において、溶液型グラウト材料を用いた原位置試験を実施した。その結果、注入孔周辺において、10⁻⁷m/s オーダーの低透水場から 10⁻¹¹m/s オーダー	達成

	もに、地下研究施設を用いてその適用性を確認する。 亀裂ネットワーク等を考慮したグラウト浸透モデルの改良と現象理解を行う。 堆積岩を対象とした場合の注入グラウト分布確認技術を開発する。 本研究期間である6年間を通じて開発された成果を、実際の処分事業における適用を考慮して取りまとめる。		へと更なる透水性の低減が可能であることを確認した。また、溶液型のゲルタイムは硬化剤量や温度に依存して数10分単位で変動するため、原位置環境下で材料試験を行い事前に特性を把握することが重要であることが分かった。 ・堆積岩を対象とした注入グラウト分布確認技術として、結晶質岩と同様に、ボーリング削孔による目視から直接グラウトを確認する手法は有効であるが、堆積岩はセメント材料と物性が類似しているため、基本的には物理探査手法では把握することができなかった。また、GTS 原位置試験で使用した、溶液型グラウト材料に関しては、浸透範囲の特定手法として電気伝導度計の適用が有効であることが分かった。 ・本プロジェクトにおいて開発を行ってきた技術を踏まえ、わが国の処分事業への適用を念頭に置いてグラウト技術の選定や施工に係る手順書を提示した。	
グラウト影響評価技術の開発	セメント系グラウト材料による岩盤変質や核種移行への長期的な影響評価を行う上で必要となる地球化学解析手法について、平成21年度までに提示したプロトタイプ技術に基づき、手法の改良やデータ整備を進め、影響評価で必要な手法を整備する。 また、セメント系グラウト材料による岩盤変質の影響評価で用いられるモデルの検証／確認において必要な高 pH 条件で変質・生成する微量の二次鉱物の分析・同定に関わる調査分析手法を開発するとともに、グラウト材料に添加される混和剤等による核種移行への影響に関する知見を整備する。	(平成24年度で終了)	・セメント系グラウト材料による岩盤の長期的な変質に関わる影響評価にあたり、影響評価の考え方、評価に必要なモデル(ツール)やデータ(溶解速度、熱力学データ)を整備した。また、これらをもとに、長期的な影響評価を行うための手順をまとめるとともに、影響評価例を提示した。さらに、セメント系材料の違い(普通ポルトランドセメントと低アルカリ性セメント)による岩盤変質への影響の相違や、それに基づくセメント系材料のグラウト材としての適用性に関する考え方について、グラウトと岩盤の相互作用だけでなく、支保や人工バリア(緩衝材)を考慮した解析体系での核種移行評価②に基づいて例示的に示した。 ・セメント材料に起因する高 pH 溶液と岩石との反応で生じる微量の二次鉱物の調査分析手法として、顕微赤外及びラマン分光法を適用し、CSH 鉱物のような微量の生成物を検出・同定可能であることを確認した。また、グラウト材料の作業性を確保するために添加される混和剤(有機系材料)による核種の収着への影響について、文献調査を行い、流動化剤の種類や添加量の大小による収着分配係数(Kd)への影響に関する知見を整備した。	達成

表3-47. 目標に対する成果・達成度の一覧表(人工バリア長期性能評価技術開発)

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
人工バリアの長期挙動の評価	セメント系人工バリアについては、人工バリア構築手法と初期状態を把握のために、材料および部材仕様と性能を確認する。また、物性へ	材料及び環境及の多様性に対応する人工バリア材料の変質データを取得するとともに、変質に伴う物質移行特性及び力学	セメントの多様性に適応できるモデルの構築のために、試験を行い、同一のモデル上で変質に伴う物質移行特性及び力学特性の変化を評価できる見通しを得た。また、ベントナイトについては、モンモ	達成

	の熱影響を把握し、評価起点（閉鎖時）の初期設定の妥当性を確認する。ベントナイト材料については、材料及び地下水の多様性に対応したモンモリロナイトの溶解速度を設定すると共に、化学変遷に伴う力学・物質移行特性変化の演繹的手法により現象モデルを高度化する。さらに、天然事例による評価の妥当性を確認する。	特性の変化に関するデータを取得し、得られた成果をもとに人工バリア材料の変質、物質移行・力学特性の変化を体系的に評価できる人工バリアの長期性能評価手法の高度化を実施する。また、人工バリア材料の変質に関するナチュラルアナログ試料の分析を行い、得られたデータをもとに、変質解析における設定データの妥当性、ならびに解析モデルの妥当性について検討する。	リロナイトの含有量とCa型化による力学特性の変化を解析モデルに取り込むことができた。さらに、より現実的な系での化学変質を評価し、不確実性を低減する効果を得た。さらに、ナチュラルアナログの分析においては、天然の変質が試験によるものよりも非常に遅いことを確認し、解析が変質速度の点で課題があることを明らかにした。	
ガス移行挙動の評価	TRU 廃棄物処分施設内で発生したガスが処分の長期安全性に及ぼす影響に関して、ベントナイト及びセメント系材料で構成される人工バリアシステムのガス移行挙動を把握し、ガス発生機構や現実的な施工条件も踏まえ、長期変遷・連成系（THMC）を考慮したモデル化・解析手法の高度化及び不確実性の定量化を図り、人工バリアの長期安定性の評価や性能評価におけるガス移行評価の信頼性の向上を目指す。	TRU 廃棄物処分施設内で発生したガスが処分の長期安全性に及ぼす影響に関して、「ガス移行評価に必要な材料特性データの取得」、「モデル化・解析手法の高度化」、および「ガス移行挙動評価手法の構築」について検討することにより、人工バリアの長期安定性の評価や性能評価におけるガス移行評価の信頼性の向上を目指す。	緩衝材ベントナイト系材料を対象に様々な条件でのガス移行試験によりガス移行に係る水理・ガスおよび力学パラメータを取得し、ガス移行の材料スケールの影響（寸法効果）が大きいことが明らかになった。ガス移行試験によって得られた材料特性データを用い、THMC 連成を含む再現解析よりモデル化・解析手法の適用性向上、ガス移行に関する現象理解に向けた検討や、解析パラメータの不確実性の定量化による施設の長期変遷を考慮した手法を構築した。さらに、TRU 処分施設の長期変遷を考慮した現実的なガス発生・移行に係るシナリオを用いたガス移行評価手法を構築した。	達成

表 3-48. 目標に対する成果・達成度の一覧表（ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
ヨウ素固定化処理技術開発	処分実施主体（NUMO）の事業許可申請時には、固化体技術の選定を可能とする事が必要であり、廃棄確認や品質保証の方策や、そのために併せて実施される安全評価に供する基礎データとしての各固化体の長期評価モデル及びヨウ素放出データを整備する必要がある。 また、JNFL の処理施設（固化施設）の設計までに、固化技術の選定を行えるよう、各固化体のプロセスデータの整備および選定に必要な固化体性能に関する基礎データを	I-129 を含む TRU 廃棄物を固定化した固化体からのヨウ素の浸出データや固化体物性データを取得し、固化体からのヨウ素放出機構を検討するとともに、ヨウ素放出の概念的な評価モデルの構築を行う。 固化体の製造に必要な設備のプロセスデータ及び実規模固化体サイズと処理能力に関する検討を行い、廃棄物発生量の評価を行う。	3 種類の固化技術を対象に、固化体からのヨウ素の浸出データや、化学構造や空隙率などの固化体物性データを取得した。得られた情報に基づき、固化体の特性にあわせたヨウ素放出の概念モデルとして、鉱物マトリクス溶解モデル、ガラス溶解モデル、鉱物の溶解変質モデルを構築した。 また、取得したプロセスデータに基づいた検討の結果、固化処理プロセスの概念構築および廃棄物発生量を提示した。	達成

	得ておくことが必要である。 そのため、実廃銀吸着材の性状や核種インベントリ等の必要な特性が明らかになっている必要がある。			
C-14 の長期閉じこめ技術の高度化	C-14 の長期閉じ込めのための廃棄体パッケージ（コンクリート容器および金属容器）の具体的な仕様、製作性を明らかにし、長期閉じ込めの信頼性を確保することで、その実用化に向けた見通しを提示する。	(平成 24 年度で終了)	コンクリート容器及び金属容器のそれぞれについて、材料レベルでの長期健全性に関する試験データを取得し、評価モデルを構築して、長期閉じ込め可能性に関する信頼性を高めた。加えて、容器の目標性能を踏まえた基本設計、製作手法および品質検査の概念を構築することにより実現性を高めた。	達成
放射化金属廃棄物中の C-14 の放出挙動評価	インベントリ評価及びハル・エンドピースの処分において問題となる発熱量の評価のため、廃棄物の型式や材料ごとの物量やスペックが入手することが必要である。そのための基礎情報として、廃棄物の型式や材料ごとの、重要核種の分析データ、解析データがそろっている必要がある。 さらに、事業許可申請段階では、金属廃棄物等からの核種放出（腐食挙動）について、短期的に起こる現象（付着成分等からの放出）および母材金属等の腐食に伴う長期的な核種放出挙動の双方を説明できる必要があり、また、C-14 の化学形態について根拠を持って説明できる必要がある。	放射化金属廃棄物の C-14 について、現実的なソースターム評価を行う。そのため、廃棄物の組成毎に合理的な C-14 インベントリを設定する。また、長期浸出試験により放射化金属廃棄物（燃料被覆管）からの C-14 の浸出データを取得するとともに、浸出データを補完するためのコールド材での腐食速度の取得を行う。	金属材料やハル酸化膜の特性に関するデータを取得し、C-14 インベントリを放射化計算により求め、廃棄物の組成毎に合理的な設定を行った。 また、照射済みの BWR 燃料被覆管の浸漬試験を行い、浸出する C-14 データを取得した。コールド材の腐食試験では、最長 5 カ年程度の腐食速度データを得た。	達成

表 3-49. 目標に対する成果・達成度の一覧表（セメント材料影響評価技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
(1) 個別要素評価モデル開発/基盤的データ整備 ① セメント変質評価モデルの開発	セメント系材料（低アルカリ性セメント及び OPC）からの水酸化物放出挙動に関する現象理解、データ取得及びモデル化のための、溶解・沈殿反応による間隙構造の変化と物質輸送特性の変化との関係に関する調査や定式化を行う。また、化学反応/物質輸送連成解析モデルに必要な個別モデルを構築する。これらの	低アルカリ性セメントの一つであるフライアッシュ高含有シリカフェームセメント（HFSC）の低アルカリ性発現機構の解明、HFSC 中フライアッシュの水和進行モデルの提示及び HFSC の物質輸送特性に係わるデータを取得する。	・低アルカリ性セメント（HFSC）の低アルカリ性発現機構を明らかにするとともに、その機構の一つであるアルカリ成分の吸着を反映した水和物溶解沈殿モデル（鉱物の溶解・沈殿反応を評価するモデル）を作成した。 ・人工海水系や OPC 系でのバッチ式浸漬実験を行い、セメント系材料からの水酸化物放出挙動に関するデータを取得するとともに、上記で構築したモデルの人工海水系や OPC 系への適用性評価に必	達成

	知見を、化学反応/物質輸送連成解析モデルに反映する。		要な実験データを取得した。 ・イオン交換水を用いた HFSC の透水実験を行い、間隙率の変化と透水係数変化との関係評価に必要な実験データを取得した。得られた実験データに基づいて、間隙率と透水係数の関係性を評価し、HFSC では OPC と比較して同一間隙率における透水係数が 2~3 桁程度低くなることを示した。	
② 緩衝材/岩石変質挙動評価モデル開発	緩衝材及び周辺岩盤の化学的変質とこれに伴う物質輸送特性変化に関する現象理解と、現象理解に基づく緩衝材/岩石変質評価技術開発（化学-物質輸送連成評価技術）を実施する。これらの知見を、①のセメント変質評価モデル開発で得られた知見と共に、複合現象評価へ反映することにより、核種移行解析の場の情報提供に資する。	緩衝材及び岩石の亀裂に対する通水型実験等による変質に伴う透水係数の変化に関わるデータの取得及び緩衝材/岩石変質挙動評価に用いる化学-物質輸送連成解析モデルに基づく計算ツールの開発を行う。	・緩衝材の検討では、セメント反応水に含まれる KOH との反応によってスメクタイトの K 型化やイライト化が生じること、K 型化は膨潤性と低透水性に影響を及ぼすことを実験的に示した。これにより、化学的変質とこれによる透水性変化を評価する上では、こうした過程を定式化し、モデルに反映していくことの重要性を示した。 ・岩石の検討では、花崗岩人工亀裂への模擬セメント反応水通水実験を行い、透水性と鉱物の溶解・生成反応による亀裂間隙構造変化との関係を調べた結果、C-S-H 皮膜が形成することが、亀裂間隙構造変化以上に、透水性に強く影響する可能性が示された。	達成
③ バリア材料の変質に伴う力学評価モデル開発	処分施設の長期力学挙動とそれに伴う物質輸送特性の変化を評価するために、人工バリア材料及び岩盤について、化学的変質に伴う力学特性の変化や長期クリープ挙動を反映した力学挙動解析が実施できる評価モデルの構築を行う。	セメント系材料におけるひび割れ発生を考慮できる力学解析ツールを用いて TRU 廃棄物処分施設を対象とした長期力学挙動評価の試解析を行い、力学モデルの改良に係る技術的課題を抽出すると共に、化学反応-物質輸送-力学挙動の連成解析に向けた課題を抽出する。	・廃棄物や支保工に含まれる金属材料の腐食膨張によりセメント材料にひび割れが発生することを考慮できる力学モデルを、緩衝材の化学的変質による力学特性の変化と、岩盤の長期クリープ挙動を反映した長期力学挙動解析が実施できる評価ツールに取り入れた。 ・ひび割れの等価連続体モデルを上記の評価ツールに導入することにより、セメント材料からの Ca 溶出や変形を考慮した透水係数の算出機能を拡張し、ひび割れを考慮に入れた異方性を持つ透水係数を導出できるようにした。 ・上記の評価ツールにより TRU 廃棄物処分施設を対象とした長期力学挙動評価を行い、化学-物質輸送との連成解析を行うための課題を抽出した。	達成
④ 地球化学元素に関するアルカリ条件での熱力学/速度論データの整備	人工バリア/周辺岩盤の構成鉱物とアルカリ変質に係る二次鉱物に関する熱力学データベースへの最新知見の取り込み、及び、鉱物の溶解・沈殿速度データの整備、計算ツールに実装可能な反応速度の定式化を実施する。	人工バリア構成鉱物とアルカリ変質に係る二次鉱物に関する熱力学データの整備状況及びデータの不確実性の影響を把握する。	・地球化学元素に関する熱力学データの整備では、造岩鉱物、人工バリア構成鉱物、アルカリ変質に関する二次鉱物等について、最新の熱力学データベースの調査を行った。この結果、JNC-TDB-TRU を含む 3 種のデータベースが緩衝材/岩石変質挙動評価に必要な熱力学データを網羅していることが確認された。各データベース	達成

			に含まれる熱力学データの妥当性を評価した結果、スメクタイト及び沸石類の選定の点から判断すると、JNC-TDB-TRUに含まれるデータセットが適当と考えられた。 ・速度論データ整備では、セメント影響による花崗岩の変質現象を対象として、これに関わる鉱物反応速度データを収集し、温度依存性と pH 依存性について整理した。これらのデータに基づき、70℃の反応速度データセットを設定し、これを用いて花崗岩の通水実験のモデル解析が可能となった。	
⑤ 放射性同位元素に関するアルカリ条件での核種移行データ取得及びモデル整備	高アルカリ性地下水において、高濃度の Ca^{2+} や $\text{Si}(\text{H}_4\text{SiO}_4(\text{aq}))$ との錯生成により溶解度の増大や収着分配係数 (K_d) の低下（いずれも安全評価上危険側に作用）が起こりうる条件の調査を実施する。 上記条件下での核種移行データについて、文献調査等を実施する。 必要に応じて調査結果をデータベースに反映する。	（平成 25 年度より実施予定）	・当初の計画どおり、平成 25 年度より実施予定。	
(2) 複合現象評価手法開発	複数のバリア材料（周辺母岩を含む）に跨る化学-力学-物質輸送現象に内在するフィードバックループを適切に表現できるように個別モデル群を連成させて、バリアシステム全体の長期変遷挙動解析を実施するためのツールを開発する。	（平成 25 年度より実施予定）	・当初の計画どおり、平成 25 年度より実施予定。	
(3) 性能評価モデル開発	複合現象評価で得られる核種移行場の時空間的变化を反映して性能評価を行うための手法を構築する。具体的には、人工バリア等のひび割れ・形状変化とこれらに伴う水理・物質輸送特性の変化、及び化学的変質に伴う核種移行特性への影響（分配係数の変化）等を総合的に考慮することの可能な性能評価モデルを開発する。	（平成 25 年度より実施予定）	・当初の計画どおり、平成 25 年度より実施予定。	

表 3-50. 目標に対する成果・達成度の一覧表（硝酸塩処理・処分技術高度化開発）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に 対する達成 度
硝酸塩影響評価システムの構築 ① 硝酸イオンの化学的変遷挙動評価	硝酸イオンの化学的変遷挙動評価モデルの信頼性を向上させるために、モデルの計算結果と実験結果との比較による検証を実施する。	地層処分環境における硝酸還元プロセスとその速度データを取得し、プロセス毎のモデル化（プロトタイプ作成）を行う。 モデル化にあたっては、廃棄体等に含まれる金属、地層中還元性鉱物及び微生物の影響に係るプロセスを対象とする。	硝酸イオンの化学的変遷に係る、処分施設内の金属との反応、処分施設内外の微生物との反応及び岩盤中の還元性鉱物との反応を、それぞれモデル化し、これらを組み合わせることにより化学反応モデルを構成した。この化学反応モデルを化学反応/物質輸送計算コードに実装することにより、硝酸塩化学変遷評価モデル NEON を構成した。	達成
② 核種移行パラメータに対する硝酸塩の影響評価	原子価が酸化還元反応に鋭敏な放射性元素について、データの信頼性を高めるためのデータ取得及び溶解挙動の現象理解を行う。	①の評価結果を考慮しつつ、硝酸イオンやその還元生成物のアンモニアが存在する場合での核種溶解度及び収着のデータを整備する。 溶解度については、硝酸イオン存在下では Se、Tc、アクチニド(V)、アンモニア存在下では Ni、Pd、Sn、Nb、Pb のデータを整備する。	・ 実験的調査及びモデル計算を実施することにより、核種移行パラメータに関して、硝酸イオンによる酸化性条件への変化が及ぼす影響、硝酸イオンの配位による錯体形成の影響、及び、硝酸イオンの化学変遷物質であるアンモニアの配位による錯体形成の影響を定量的に把握した。 ・ 硝酸塩影響評価システムで使用するため、上記の成果及び既往の文献情報に基づいて、硝酸イオン及びアンモニア影響を考慮した核種移行データセットを整備した。	達成
③ 硝酸塩影響評価システムの構築	硝酸塩影響評価システムを用いて、共処分概念構築に活用し、システムの有効性を確認する。	上記①及び②の成果を反映しつつ核種移行評価を行うための解析用プラットフォームの開発を通じて、硝酸塩影響評価システムを構築する。	・ 上記①、②の成果を統合し、かつ既往の性能評価ツールも利用しつつ硝酸塩影響評価システムを構築した。このシステムは、硝酸塩の地層中での化学的変遷挙動やその影響を考慮した核種移行評価モデルと関連するデータセット及び線量評価モデル、これらを統合するプラットフォーム機能から構成され、このシステムにより、硝酸塩影響下での核種移行に基づく線量評価が可能となった。	達成
放射性廃液中の硝酸塩除去技術の開発 ① 硝酸ナトリウムの膜分離技術開発	最適な膜分離試験装置の基本システムを考案する。それに基づいた工学試験装置を製作し、分離性能を確認するとともに、技術評価に必要なデータを取得する。	(平成 24 年度で終了)	・ Na イオンと硝酸イオンを個別の電気透析セルを用いて分離する新しい方法を考案した。それに基づく工学試験装置を製作し、装置の性能が計画通りである事を確認した。 ・ 製作した試験装置を用いて、高濃度の硝酸ナトリウムを含む種々の試験溶液から硝酸ナトリウムを分離する試験を実施し、分離に係るデータを取得した。高濃度の硝酸ナトリウムを含む溶液から高度かつ高効率に硝酸ナトリウムを分離できることなどを確認し、本技術が高い実用性を有	達成

			することを実証した。	
② 硝酸イオンの分解技術開発	活性汚泥を用いる生物学的な手法による硝酸イオン分解のための工学試験装置を製作し、性能を確認するとともに、技術評価に必要なデータを取得する。	(平成 24 年度で終了)	・生物学的分解手法に基づく硝酸イオン分解の工学試験装置を製作した。 ・低濃度の硝酸塩を含む種々の試験溶液を用いて、工学試験装置の硝酸イオン分解性能が計画通りであることを確認した。さらに、受け入れ廃液の組成の範囲、放射線耐性などに関するデータを取得した。安定して長期間にわたり硝酸イオンを分解することなどを確認し、同技術が硝酸イオンの分解に高い実用性を有することを実証した。	達成
③ 高濃度硝酸塩除去技術の構築	再処理低レベル放射性廃液の模擬試料を用いて、硝酸ナトリウムの膜分離試験装置と硝酸イオンの分解試験装置を組み合わせた除去技術の性能を確認する。	(平成 24 年度で終了)	・高濃度の硝酸ナトリウムを含む数種類の模擬廃液を用いて、硝酸ナトリウムの膜分離試験装置と硝酸イオンの分解試験装置を組み合わせた硝酸塩除去試験を実施した。開発した技術が塩濃度や酸性度、共存物が異なる模擬廃液から硝酸塩を高度に除去できるなどの高い性能を有することを確認した。	達成

3-4-A 事業化、波及効果について

3-4-1-A 事業化の見通し

本事業は、高レベル放射性廃棄物やTRU廃棄物の地層処分に関し、中長期的な視点で国としての基盤的研究開発を継続展開することによって、技術的信頼性や安全性を一層高め、国民の理解を得つつ技術基盤を確立していくことを目的とする。このような事業の性格から、現時点で長期的な事業化までを具体性をもって評価することは困難であるが、個々のテーマのこれまでの成果については、処分事業や国の政策及び安全規制等の検討に既に反映されているほか、地質環境調査技術や工学的要素技術から基盤的な評価技術に至るまで最終的には処分事業や安全規制に活用されることが期待される。

(1) ボーリング技術高度化開発

本事業で構築したコントロール掘削・調査技術はその多くが機器開発であるものの、掘削および調査の現地適用に際しては、現地での実績やノウハウに依存する。このため、事業化に際しては、これまでに蓄積した実績、ノウハウに基好き、掘削・調査を体系化し、手順書などを整備する。

本成果は、主として NUMO が今後進める高レベル放射性廃棄物処分地選定のための調査(概要調査および精密調査)において活用が期待でき、かつ NUMO も本技術の必要性を認識していることから、概要調査の開始時点までに実用化の道筋を作っておく必要がある。

(2) 岩盤中地下水移行評価技術高度化開発

1) 地下水年代測定技術調査

本事業で整備した地下水年代測定技術は、概要調査段階において候補岩体を選定する技術として利用が期待できる。また、地下水年代測定技術はNUMOが実施している横須賀での実証試験、断層の水理特性評価などでも実際に適用されており、その有効性と重要性も認識されている。

2) 岩盤中物質移行特性評価技術高度化調査

本技術開発で整備した岩盤中での地下水溶質の移行特性に関する調査・評価技術は、地層処分地選定のための精密調査において利用されることが期待される。

(3) 地質環境総合評価技術高度化開発

地層処分場を建設するための候補地点において実施される地質環境調査は、様々な調査技術や手法を利用し、候補地点の地質環境条件にできるだけ悪影響を及ぼさないようにしながら、地質環境の長期変動性や処分場の設計・安全評価に必要となる地質環境の特性に関する多様かつ大量のデータや情報を、設計や安全評価の結果を反映しつつ、段階的かつ体系的に取得することが求められる複雑な作業である。こうした作業を適切に進めていくためのノウハウや様々な局面における判断根拠などは、多くの場合、地質環境調査に関する専門家が知識として身につけているものであり、それはその専門家の経験に負っているところが大きい。一方で、当該候補地点が地層処分にとって適切な地質環境を有していることを様々なステークホルダーが理解するためには、地質環境調査の内容が透明性を持って示される必要がある。このため、何故そのような調査を行うと適切なデータや情報が得られるのかを明瞭に説明することができるようにしておかなければならない。

本技術開発は、地層処分に関する地質環境調査の技術や手法に関する最新の科学技術的知識や専門家に内在するノウハウや判断根拠等の知識を、先端的 IT や知識工学を利用しコンピュータ上のシステムとして明示的に表出させることにより、地質環境調査を支援するとともに、関連する知識の逸散防止と追跡性の確保、さらには効率的な技術移転や、技術伝承・人材育成に活用可能な技術の構築を目的としている。これは、NUMOが実施する文献調査、概要調査や精密調査において実際に地質環境調査計画の立案・実施あるいは調査結果の評価を行う場合に利用する、あるいは安全規制機関が規制要件・基準類等の作成を行ううえで利用することによって、それぞれの作業の支援に資するものである。

今後は、引き続き深地層の研究施設等における最新の研究開発成果を適宜反映できる仕組みを維持し、システムの信頼性をより向上するとともに、社会共有の知的財産として幅広いユーザーへの利用を促進することが重要であると考えられる。

(4) 沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発

本研究で開発した技術や手法は、すぐにでも使うことができるものであり、列島沿岸域の水理地質評価の精度を向上させると同時に必要不可欠なものとなりつつある。処分場建設の

実施主体等に積極的に利用していただくことを願っている。しかしながら、最終的には海底下の安定した地下水塊の年代測定をして、これを評価する必要がある。このためには沿岸海底下の地質・地下水サンプルを高品質な状態（海水等のコンタミを避けた状態）で取得する必要がある、海上における掘削技術の開発が求められる。

（５）海域地質環境調査技術高度化開発

沿岸域において地層処分場を設ける場合に必要な地下水環境の評価において、水理地質モデルを構築する海陸接合物理探査手法の確立と堆積平野沿岸域の地下水環境評価のための地下水流動解析手法を確立することができた。これは、概要調査に向け有効に活用できる手法であり、事業実施の成果は大きいと考える。また、今後の処分地選定に向け、断層評価手法の確立やその影響評価を実施しなければならず、断層の存在が既知の地域における実証研究実施の必要性を残した。

（６）先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発

本技術開発は、中長期的な視点で国としての基礎的研究開発を継続展開することによって、技術的信頼性や安全性を一層高め、国民の理解を得つつ地層処分の技術基盤を確立していくことを目的とする。このような事業の性格から現時点で長期的な事業化までを具体性をもって評価することは困難であるが、これまでの成果は最終的には処分事業や安全規制策定にあたって幅広く活用されるとともに、地層処分技術の社会的受容性向上に資することが期待される。

具体的には、本技術開発で整備する、処分概念オプションの提示と地質環境条件などの境界条件に応じた適切なオプションの選定を支援する技術、処分概念の特徴をより現実的に評価するとともに信頼性を向上する上で重要な課題を明らかにしこれを適切に解決するための自律的な機能を有する性能評価体系の構築と性能評価作業の実施を支援する技術、処分概念の最適化を支援する技術などは、長い処分事業期間の中で変化する可能性のある制約条件に応じて、段階的かつ反復的にセーフティケースを作成し、当該処分事業の妥当性と信頼性を継続的に提示していくという実施主体の作業や、作成されるセーフティケースをレビューし安全性を確認する規制者の作業に対し、効率的かつ柔軟性のある技術基盤を提供するものであるということが出来る。また、本技術開発において、先進サイクルを含めたサイクルシステム全体を廃棄物管理の観点から検討することは、サイクルシステムに関わる研究開発の計画立案、さらには原子力利用に関わる政策的検討や国民全体の原子力に対する理解促進に資する知見と技術を提供できると考えられる。

なお、平成 23 年度から取り組んでいる原子力事故廃棄物の処理・処分に係る検討の成果は、東京電力福島第 1 原子力発電所の廃止措置に活用されることが期待される。また、平成 24 年度から取り組んでいる巨大地震・津波を含む想定外事象への対応に関する検討の成果は、地層処分技術の安全性と信頼性の向上に資するだけでなく、原子力利用に関わる政策的検討や国民全体の原子力に対する理解促進、信頼構築に資する知見と技術を提供できると考えられる。

本技術開発の実施により、以下のような技術的、社会的な波及効果が期待される。

- ・ 地層処分を含めた核燃料サイクル全体を視野に入れた技術開発を行うことにより、処分事業のみならず将来の原子力利用全般にわたる技術的意思決定に資する検討フレームを提供

- ・異なるスケールでの現象解析モデルの開発は関連する学問分野の進展に貢献（物質移動論、腐食理論、溶液化学など）
- ・多数の定量的あるいは定性的な指標を含む最適化手法を開発することにより、意思決定の問題を扱うシステムズアナリシス分野に貢献
- ・技術開発の成果、及び得られた経験・ノウハウ等の知識を、知識マネジメントシステムの開発に反映することにより、知識工学や IT の進歩に寄与するとともに、技術の体系的な発展、継承に貢献
- ・日米原子力エネルギー共同行動計画（JNEAP）を含めた国際的活動に貢献
- ・処分場の工学技術及び性能評価に関する最新情報の提供による、他の資源エネルギー庁関連技術開発への技術的貢献
- ・東京電力福島第 1 原子力発電所の廃止措置への技術的貢献
- ・将来の原子力利用についての幅広い議論に対して、廃棄物の問題も含めた包括的な見通しを提示することが可能となり、政策決定や国民全体の原子力に対する理解促進に貢献
- ・放射性廃棄物管理分野において、国際的なリーダーシップを発揮することが可能
- ・技術開発の成果を利用しやすい形（ツール、データベース等）で提供することによる人材育成、専門家と非専門家間のコミュニケーション等への貢献が可能

（7）処分システム化学影響評価高度化開発

本技術開発では、処分システムの安全評価において、現象が複雑であることなどの理由により、従来その取扱いが定性的なものにとどまっていた、あるいは大きな保守性を見込んでいたものに注目し、そのメカニズムの解明を進めるとともに、可能な限り定量的な取り扱いを行うためのモデル開発や必要なデータ取得を進めてきている。これまでの研究開発成果については、処分実施主体が行う、より現象に即した、過度な保守性を排除した処分システムの設計や安全評価に資するとともに、それらに基づくセーフティケースの信頼性向上に反映することが期待できる。また、本研究で対象とした現象に関し、実際の処分場候補地点で進められる地質環境調査によって取得すべきサイトスペシフィックな情報、データを検討するうえで、技術的基盤を与えることができる。

例えば、人工バリア放射線影響評価の成果は、緩衝材の緩衝作用を考慮したより現実的なオーバーパックの放射線遮蔽厚さ設定への反映が期待される。また、微生物影響調査の成果は、微生物定量手法及び PHREEQC を用いた微生物影響評価手法を適用することにより、微生物によるバリアの安全機能への影響をより現実的かつ定量的に評価することにより、処分システムの設計や安全評価をより頑健なものとし、また安全規制上の妥当性の確認にあたってより明確な視点を与えることが可能となる。人工バリア複合化学環境影響調査の成果のうち、塩濃縮・析出現象評価技術の開発に関しては、連成モデルによって緩衝材中で生じる複合事象のより定量的な評価を行うことが可能となり、実験的研究による現象解明と併せて、塩濃縮析出現象が性能評価上、極端な影響を与えないことについての知見を提供している。より幅広い条件に対するバリア性能の頑健性を検討するために実施した高温環境下での人工バリア挙動評価調査に関しては、地下深部において 100℃を超えても沸騰が起らず、地下水成分の濃縮等が生じないとの前提で実験研究を進め、緩衝材温度が 100℃を超えた場合でもオーバーパック腐食形態の大きな変化や、腐食速度の増加は生じないという成果を得、これによって 100℃以下での寿命評価手法、モデルの適用が可能であることを示唆している。また、核種移行に関する放射線影響評価の成果によって、最新の知見に基づく評価手法を提

供し、実施主体が行う安全評価に反映されることによって、その信頼性の向上に資することが期待される。

（８）処分システム工学要素技術開発

本開発は、処分システムの中核技術である遠隔操作技術、人工バリア品質評価技術並びにモニタリング技術、自然災害への対策技術について、要素技術の適用性やシステムの成立性と技術オプションを提示するものであり、成果として整備される幅広い技術選択肢は、実施主体が進める処分事業に直接的、間接的に利用されることになる。また、巨大地震、津波等の対策技術は、実施主体が実施する地層処分施設の設計に利用されることになる。成果の一部は、NUMO2010年レポート及び技術レポート「放射性廃棄物の地層処分におけるモニタリングと初期ベースラインに関する検討」でも引用され、NUMOの計画策定検討にも活用されている。

本開発において提示した操業システム案や技術選択肢は、第２次取りまとめのリファレンスケースが工学的かつ現実的に製作・施工可能なものであることを示しており、さらに、その品質確保に向けた評価・改善技術に関わる技術選択肢を示している。

今後は、NUMOによる事業化に必要とされる操業システム成立性のさらなる向上に向けて、「品質の観点からの人工バリア施工方法の妥当性の提示」を強化していく必要があると考えられる。このため、これまでの開発成果の拡充とともに、様々な技術により設計、製作、施工される人工バリア（オーバーパックと緩衝材）の品質・健全性を評価、判断する技術と性能劣化事象に対する工学的対策技術の開発、セーフティーケースの信頼性強化に資するモニタリング技術の開発が必要であると考えられる。また、これらに加えて実際の地質環境を対象とした人工バリアの品質と健全性の実証試験を実施することにより、これら工学技術の信頼性や成立性等の向上に資する技術基盤を確立することが必要であると考えられる。

巨大地震、津波等の対策技術に関しては、事業主体が実施する地層処分施設の設計に反映すべく、本開発において抽出された異常状態や事故の影響緩和に向けた技術課題に基づき、安全確保のための対策技術を開発・提示する必要がある。

（９）地層処分回収技術高度化開発

本開発は、処分システムにおける操業技術を構成する要素技術の一つとして、回収技術の中核技術である塩水を利用した緩衝材除去技術について、得られた知見を高度化するものである。地下環境において実規模スケールの試験を行うための回収装置を開発し、技術を確認するものである。また、成果として整備される回収技術は、実施主体が進める処分事業において直接的、間接的に利用されることになる。

なお、塩水を利用した緩衝材除去技術に関する成果の一部は、NUMOの説明資料「高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性」、「処分場の概要」において引用され、NUMOの計画策定検討にも活用されている。

（１０）地下坑道施工技術高度化開発

本技術開発は、処分場建設に係る安全な建設や人工バリアの定置などの操業にあたって不可欠となるグラウト技術について、国内外の地下研究施設における原位置試験による実証や新材料の開発など、処分事業に直結する実際的な技術基盤を提供している。また、処分場の

建設・操業時だけでなく、施工したグラウトが処分場閉鎖後のシステムの長期安全性への影響を評価するための手法についても併せて検討を行い有益な知見を提供している。これらの成果を、開発したグラウト技術を処分事業で用いる際の考え方や適用事例をグラウト技術の手順書（ガイドライン）として取りまとめ提示することにより、処分場候補地点における各調査段階及び、許認可における処分施設の安全性の確認・評価、実際の建設・操業における、また、安全規制上の観点から、実用性の高い湧水抑制対策技術としてその活用が期待できる。

（１１）人工バリア長期性能評価技術開発

１）人工バリア長期挙動の評価

TRU 廃棄物の処分に対し、本要素技術開発は人工バリアの仕様、設計を行うためのデータを試験により、確認することを目標としており、直接事業化を目指すものではないが、本取組によって得られるデータ（情報）は、性能評価の不確実性を低減し、安全評価の尤度を見直すことができることになることに繋がり、経済的な効果も期待できる。また、TRU 廃棄物処理場の設計、計画に直接的に活用されることから、事業化に対し貢献できるものである。

２）ガス移行挙動の評価

本要素技術開発の成果は、TRU 廃棄物処分事業に係る安全評価へ資するものであり、事業主体（NUMO）が事業を進める上で利用可能なものとなっており、具体的には、ベントナイト緩衝材材料のガス移行に係る諸特性、TRU 処分の人工バリアの長期変遷の評価ツールとしての解析コードおよびパラメータ、TRU 処分システムの変遷を考慮したガス移行のシナリオにて構成され、相互の整合性も担保されている。

（１２）ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発

１）ヨウ素固定化処理技術開発

本技術開発は、ヨウ素 129 を含む廃棄物の処理・処分に關する代替技術として実用化が期待されている。複数の候補技術に対して R&D を行い、一定期間後に技術選定を行うことで有力な技術を選定し、現在 3 つの技術（岩石固化技術、BPI ガラス固化技術、セメント固化技術）を対象に事業化を目指している。

固化体の性能に関しては、ヨウ素放出モデルを構築し、性能目標である 10 万年の固化体寿命を確保できる見通しを得ている。処理プロセスの成立性についても同様に、得られたプロセスデータ等や廃棄物発生量などから、技術的成立性に見通しを得ている。

２）C-14 の長期閉じ込め技術の高度化

本技術開発により、コンクリート容器及び金属容器による、C-14 の長期閉じ込めに関する材料レベルでの長期健全性を示すと共に、容器として製作手法や品質検査手法の概念を提示した。今後、長期健全性を評価するモデルの信頼性を高め、コンクリート容器の品質検査技術の構築を進めると共に、実規模の容器の製作試験を実施し、製作手法及び品質検査手法を確認することで、地層処分の人工バリアにおける技術オプションとしての実現性を高め、原子力発電環境整備機構（NUMO）の地層処分事業へ貢献するものと考えられる。

3) 放射化金属廃棄物中の C-14 の放出挙動評価

本技術評価は、主に事業者による安全評価の際の情報として活用されることを目標としており、直接的な事業化を目指すものではないが、これらの成果として蓄積される基盤的知見やモデル等は、事業化に必要な安全評価の技術的信頼性や安全ゆう度の論拠として、事業推進に直接的に活用されるものである。

(13) セメント材料影響評価技術高度化開発

本技術開発では、TRU 廃棄物の地層処分施設で用いられたセメント材料の地下水への溶解による緩衝材及び周辺の岩石等のニアフィールドの長期的なバリア性能の経時変化を反映させながら核種移行解析を実施する技術がプロトタイプとして整備される。プロトタイプの技術であるため、信頼性向上のための技術開発は今後必要であるが、処分実施主体も本技術を使用することが可能であり、サイト選定プロセスの精密調査地区選定における予備的な安全性の評価にも活用できるものと考えられる。

(14) 硝酸塩処理・処分技術高度化開発

本技術開発の成果として構築した硝酸塩影響評価システムは、既往の性能評価ツール利用しつつ、①処分環境における硝酸イオンの化学的変遷挙動評価と②核種移行パラメータに対する硝酸塩の影響評価の成果を統合したものである。具体的には硝酸塩の地層中での化学的変遷挙動や核種移行とその結果として想定される被ばく線量に係る評価モデルと関連するデータベース及びこれらを統合するプラットフォーム機能から構成され、このシステムにより、硝酸塩影響下での線量評価が可能となり、実施主体が念頭に置いている、硝酸塩を含む TRU 廃棄物と高レベル放射性廃棄物を併置処分する場合に、それぞれの廃棄物を定置する離隔距離の設計に活用できる。

概要調査地区等の具体的な地質環境における併置処分の実現性検討に当たり、硝酸塩の存在を考慮した線量評価に活用が期待できる。また、その評価の結果、硝酸塩の影響が無視できない状況となった場合には、再処理事業において硝酸塩の発生量を低減させるべく、同じく本技術開発の成果である硝酸塩除去技術を活用することができる。

一方、本技術開発の中で、再処理プロセスから生ずる放射性廃棄物に含まれる硝酸塩の量を低減させるべく、低レベル放射性廃液から硝酸塩を除去する技術（硝酸塩除去システム）を開発している。硝酸塩影響評価システムと硝酸塩除去システムを組み合わせることで、処分場候補地点の具体的な地質環境条件に対し、処分条件としての離隔距離と処理目標（廃棄物への硝酸塩含有量）を総合的に評価して、最適な処分施設の設計を行うことが可能となる。最終処分計画では、精密調査地区選定に当たり、処分事業者は併置処分の判断を行うこととなっており、このため技術基盤の一つとして本成果が活用できると考えられる。

3-4-2-A 波及効果

成果の波及性については、高レベル放射性廃棄物及び TRU 廃棄物の処分事業への反映はもとより、余裕深度処分等の他の放射性廃棄物の処分に対して、共通的な技術や知見を提供することが可能である。本事業は、放射性廃棄物処分における基盤研究として位置づけられるものであり、事業の成果を地域への啓蒙教育、若手研究者の育成、民間企業への技術移転等に供することにより、処分事業の実施体制の強化や住民への理解促進に大きく貢献できる。

また、研究の成果は、二酸化炭素地中貯留等の地下空間利用や、原子力発電設備の高経年化対策等様々な科学技術分野の発展に寄与することが期待される。

(1) ボーリング技術高度化開発

本技術により地下における地質環境特性を効率的に調査・評価することが可能となること、要素技術としての各種調査技術はこれまでの調査手法に比べて高精度化されておりかつ従来工法での掘削による孔井にも適用可能であることから、他の地下空間利用（例えばCO₂地下貯留、エネルギー地下貯蔵など）の際の掘削・調査、評価に転用することが可能であり、期待できる。

また、コントロール掘削技術については長大トンネルの先進孔井としての期待も高まっている。しかしながらこれに対応するためには、掘削の効率化が必要となる。

(2) 岩盤中地下水移行評価技術高度化開発

1) 地下水年代測定技術調査

地下水年代測定によって、非常に古い地下水が地下深部に存在し、ほとんど地下水が流れていないことを示せば、高レベル放射性廃棄物処分の実施可能性を示す上で非常に効果的であると考えられる。また、地下水年代測定技術は、地下水の流動性を評価するツールであるため、地下水の循環など水利用などへの適用も期待できる。

2) 岩盤中物質移行特性評価技術高度化調査

本技術開発で整備された岩盤中での地下水溶質の移行特性に関する調査・評価技術、及び各種割れ目探査技術は、NUMOによる地層処分地選定のための精密調査に加え、放射性廃棄物処分事業以外においても、地下構造物建設に伴う岩盤の地質・水理調査において適用されることが期待される。

(3) 地質環境総合評価技術高度化開発

本技術開発の実施により、以下のような技術的・社会的な波及効果が期待される。

- ・ IAEAやOECD/NEAなどの原子力に関わる国際機関において知識マネジメントや技術伝承が大きな課題となっており、先進的なアプローチや方法論の提供による国際貢献が期待できる。
- ・ 上記アプローチや方法論に基づく知識の体系化により、地質環境に係る関連学術分野の進歩に貢献。
- ・ 情報化のための最先端の方法論は、専門家の育成・教育、リスクコミュニケーションなどの社会的理解促進アプローチの基盤としても貢献できる。
- ・ 体系的な調査技術の開発により、環境への影響の低減化や費用対効果の最大化といった社会貢献性の高い調査手法を提供し、建設土木プロジェクトなど一般に地質環境の調査を必要とするすべての技術分野に適用可能である。

なお、本技術開発で開発したエキスパートシステムは、専門家のノウハウ・判断根拠等に基づいて構築したものを、経験がない者がトレースすることができる仕組みになっていることから、大学における学生を対象としたセミナーや、実際の新人教育等への活用を通じ、非専門家・未経験者に対する教育・トレーニングのツールとしての有効性を確認している。

(4) 沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発

1) HLW・TRU プロジェクトに貢献

本開発研究では、既存情報をまとめた地球科学データベースや沿岸域(塩水が存在する位置)での地下水調査手法、これまでに調査が困難であった浅海域での断層探査等、新たな成果・体系化が期待できる。これらの技術は次段階の研究開発フェーズにおいて、処分場の工学技術開発研究へも大きく貢献できるものと考えている。

2) 二酸化炭素地中貯留研究に貢献

地球温暖化のもととなる二酸化炭素を地中に埋設貯留するため、大規模な排出源の近傍である沿岸域地下 800m 以深の帯水層について高精度な水理情報が求められている。本研究で得られる調査手法等は当該事業に大きく貢献できると考える。

3) 天然ガス／石油備蓄プロジェクトへの貢献

ガス備蓄は 2,000m の深度を念頭に置き、地質や地下水の性状から見て適地(大都市周辺にあり、比較的ポアラスで地下水年代の大きな帯水層)に備蓄することを考えている。本研究で培った調査技術や地球科学情報は有用な資料となる。

4) 資源開発／保護政策に貢献

工業用水等に用いる地下水は、これまで概ね 300m ないし 400m で規制してきた。地球の環境を顧慮し、適切に保護する部分と社会の再活性化のために資源として利活用する部分とをより明確に示さなくてはならなくなっている。本開発研究で構築したデータベースの構築方法や各種ノウハウなど即座に利用できるものと考えている。

5) 地球環境の変化／国土の理解を促進

多くの国民の関心事である地球温暖化、また長期的な視野で見た地球寒冷化などは海水準を変動させる要素となる。本研究で解決される塩淡水境界の物理的な平衡等が解明されることで、沿岸域の環境保護、地下水資源開発、漁場の安定化など多くの社会問題に基礎的情報を提供できる。また、沿岸域地質・断層データベースにおいては、国民の国土に対する理解を深めさまざまな問題に取り組む場合の材料として期待できる。

6) 民間企業への技術移転に貢献

本研究で培った調査技術や地球科学情報を民間企業の技術者を受け入れながら、協調して研究開発を進めることにより、高度な技術や先端のノウハウを民間に移転する。

7) 地域(大学を含む)との交流・啓蒙教育に貢献

本開発研究では、研究で得られた新しい知見や情報、特に地震に関する情報などを地域の小中学校や大学、生涯教育(高齢者対象)などで発信している。地域の理解を深めつつ、処分研究などに関しても正しい理解を持つことができるよう援助している。

8) 若手研究者(特に大学の研究者)の育成に貢献

産総研独自のイノベーション事業(若手雇用・育成プログラム)や共同研究を活用して、産総研のノウハウや機器設備利用等を若手研究者に積極的に引き継ぐ計画があり、これを実践している。

(5) 海域地質環境調査技術高度化開発

1) TRU プロジェクトに貢献

本開発研究では、既存情報をまとめた地球科学データベースや沿岸域(塩水が存在する位置)での地下水調査手法、これまでに調査が困難であった浅海域での断層探査等、新たな成

果・体系化が期待できる。これらの技術は次段階の研究開発フェーズにおいて、処分場の工学技術開発研究へも大きく貢献できるものとする。

2) 二酸化炭素地中貯留研究に貢献

地球温暖化のもととなる二酸化炭素を地中に埋設貯留するため、大規模な排出源の近傍である沿岸域地下 800m 以深の帯水層について高精度な水理情報が求められている。本研究で得られる調査手法等は当該事業に大きく貢献できると考える。

3) 天然ガス／石油備蓄プロジェクトへの貢献

ガス備蓄は 2,000m の深度を念頭に置き、地質や地下水の性状から見て適地（大都市周辺にあり、比較的ポラスで地下水年代の大きな帯水層）に備蓄することを考えている。本研究で培った調査技術や地球科学情報は有用な資料となる。

4) 東北復興に貢献

東日本大震災の影響による放射性物質の汚染は、先ず地表を汚染し、次に二次濃縮を起こし、現在は大河川の河口部へと移動している。次に想定される地下水への影響や地下水流動を介した影響範囲の変遷などを推定するため、深度別に広域の地下水流動を海域まで評価する本研究の成果は有効であるとする。

5) 地球環境の変化／国土の理解を促進

多くの国民の関心事である地球温暖化、また長期的な視野で見た地球寒冷化などは海水準を変動させる要素となる。本研究で解決される塩淡水境界の物理的な平衡等が解明されることで、沿岸域の環境保護、地下水資源開発、漁場の安定化など多くの社会問題に基礎的情報を提供できる。また、沿岸域地質・断層データベースにおいては、国民の国土に対する理解を深めさまざまな問題に取り組む場合の材料として期待できる。

(6) 先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発

本技術開発の実施により、以下のような技術的、社会的な波及効果が期待される。

- ・ 地層処分を含めた核燃料サイクル全体を視野に入れた技術開発を行うことにより、処分事業のみならず将来の原子力利用全般にわたる技術的意思決定に資する検討フレームを提供
- ・ 異なるスケールでの現象解析モデルの開発は関連する学問分野の進展に貢献（物質移動論、腐食理論、溶液化学など）
- ・ 多数の定量的あるいは定性的な指標を含む最適化手法を開発することにより、意思決定の問題を扱うシステムズアナリシス分野に貢献
- ・ 技術開発の成果、及び得られた経験・ノウハウ等の知識を、知識マネジメントシステムの開発に反映することにより、知識工学や IT の進歩に寄与するとともに、技術の体系的な発展、継承に貢献
- ・ 日米原子力エネルギー共同行動計画（JNEAP）を含めた国際的活動に貢献
- ・ 処分場の工学技術及び性能評価に関する最新情報の提供による、他の資源エネルギー庁関連技術開発への技術的貢献
- ・ 東京電力福島第 1 原子力発電所の廃止措置への技術的貢献
- ・ 将来の原子力利用についての幅広い議論に対して、廃棄物の問題も含めた包括的な見通しを提示することが可能となり、政策決定や国民全体の原子力に対する理解促進に貢献
- ・ 放射性廃棄物管理分野において、国際的なリーダーシップを発揮することが可能
- ・ 技術開発の成果を利用しやすい形（ツール、データベース等）で提供することによる人

材育成、専門家と非専門家間のコミュニケーション等への貢献が可能

(7) 処分システム化学影響評価高度化開発

本技術開発の成果に基づく波及効果としては、以下の点が期待できる。

- ・福島原子力事故による放射性物質の環境動態評価に適用可能である。
- ・関連分野への反映として、TRU廃棄物研究における硝酸還元菌の評価に手法を適用することができる。
- ・核種移行パラメータの研究は、余裕深度処分等の他の放射性廃棄物の安全性評価の向上に適用することができる。
- ・微生物特性評価手法開発は、地下圏の微生物研究、深地層の地下水のみならず、深層海底の微生物挙動、メタンハイドレート研究にも研究成果が反映できる。
- ・酸化性化学種の物質移動／化学反応モデルの構築は、環境化学分野では、汚染物質の拡散評価、S_eやA_sなどの酸化還元鋭敏な毒性をもつ元素挙動評価に資する事ができる。
- ・水溶液の重イオン照射による放射線分解のG値及び化学反応データセットは、放射線の生物作用の線質効果の理解と影響評価のための基礎データとして参照し得るものと期待される。
- ・微生物影響評価手法を応用することにより、地下水中の有機化合物汚染などの土壤汚染の微生物分解予測解析に利用できる。
- ・多様な工学分野における収着・拡散物性の標準的データ取得、評価手法として用いることができる（データ取得手法の標準化）。

(8) 処分システム工学要素技術高度化開発

遠隔溶接技術に関して、落とし蓋構造（深さ 190mm）の適用性確認試験において確立した溶接手法並びに遠隔監視手法は、TRU廃棄物、一般産業界の厚板狭開先溶接構造へも適用可能な技術である。

遠隔検査技術に関しては、フェイズドアレイTOFD法等、新規性の高い非破壊検査手法に関わる適用性確認試験により、同手法のデータ処理方法について一般産業界へも適用可能な技術が得られている。

遠隔搬送・定置技術に関しては、緩衝材の施工方法や施工品質に関する成果等について、TRU廃棄物の地層処分へも反映が期待される。

オーバーパック溶接部の品質評価技術に関しては、地下埋設環境を想定した特殊環境における炭素鋼の全面・局部腐食挙動、応力腐食割れ、溶接金属の選択腐食など、炭素鋼の腐食研究において有効な知見を提供した。溶接金属の選択腐食に対しては溶接金属の改良による品質改善の見通しを示しており、溶接性能を損なわずに選択腐食を抑制しうる新たな溶加材の開発、および一般産業界へのライフサイクルコスト低減への貢献が期待される。溶接残留応力への対策としては、応力を見積もるための解析手法の高速化・高精度化を図った。溶接後熱処理による応力改善効果を、溶接構造物の形状や溶接作業工程、熱処理条件等を考慮した評価技術は、溶接残留応力が懸念される幅広い分野へ応用が可能である。

緩衝材の品質評価技術に関しては、再冠水後の密度の均質性やパイピング・エロージョン等の発生条件に関する知見が、同様にベントナイトを適用する低レベル放射性廃棄物処分、TRU廃棄物地層処分に対しても反映されることが期待される。

モニタリング技術に関しては、機器情報を整理した技術メニューや機器開発成果等が、同

様に岩盤やベントナイトの計測が計画されている低レベル放射性廃棄物処分、TRU廃棄物地層処分にも共通する技術成果であり、反映が期待される。また、地中無線通信技術については、フランスの長寿命核種を含む放射性廃棄物の処分におけるモニタリングの検討に展開されているほか、欧州原子力共同体による共同研究 MoDeRn においても重要な技術と位置付けられており、今後他国への展開も期待される。

巨大地震、津波等の対策技術に関しては、抽出された技術開発課題や今後実施する対策技術の開発成果は、TRU廃棄物地層処分に対しても反映が期待される。

(9) 地層処分回収技術高度化開発

緩衝材除去技術に関して、塩水を用いた緩衝材をスラリー化して除去する手法は、塩水を再利用するシステムを有している。地下環境における水の供給に制約がある場合に有効な手法であり、将来、実施主体における回収技術オプションとして反映が期待される。

また、各国において議論が進められている可逆性・回収可能性に関して、わが国において緩衝材除去装置のプロトタイプを完成させ、実規模スケールでの実証試験による回収技術開発の成果を提示していくことは、地層処分技術に対する国民の安心感の醸成が期待できる。

(10) 地下坑道施工技術高度化開発

本技術開発の成果に基づく波及効果としては、以下の点が期待できる。

- ・セメント系材料を含む各種グラウト材や注入装置の開発から、セメント系材料が地下環境などに及ぼす長期影響評価に至るまで、グラウト技術全般にわたる専門家育成に貢献できる。
- ・地下数 100m 以深の高水圧下に耐えうる湧水抑制技術として、地層処分の他にも、例えば中央リニア新幹線のように山脈直下を貫く長大トンネルの建設に寄与することが期待できる。
- ・極めて緩慢なプロセスであることから、これまで注目されていなかったセメントの水和反応に対し速度論的なアプローチを試みたことにより、セメント化学に関わる基本的な理解促進に寄与することが期待できる。
- ・顕微赤外・ラマン分光法については、従来から用いられている XRD (X 線回折) や SEM-EDS (走査型電子顕微鏡／エネルギー分散型 X 線分析装置) と併用することにより、極微量の変質生成物の同定技術に関わる先駆けとなることが期待される。

(11) 人工バリア長期性能評価技術開発

1) 人工バリア長期挙動の評価

本要素技術開発により、人工バリアの長期健全性に対する過度な保守性を排除し、現実的評価を可能とすることで、バリアシステム合理化を可能にするという経済的意義を有すると考えられる。一方、多様な地質環境に対する処分システムの長期安全性を精度高く評価し、不確実性の低減や解析精度を向上することは、地層処分の社会的受容性を向上させるという社会的意義を有するものと考えられる。

2) ガス移行挙動の評価

本要素技術開発にて得られた成果は、TRU 処分概念のみでなく、ベントナイト材料のガス発生や不飽和挙動が問題となる諸事業へ利用することができ、具体的には気液二相流パラメータや力学連成データの大深度地下構造物等の土木工学分野の評価におけ

る活用が期待できる。また、海外諸国の廃棄物処分事業についてもガス移行挙動評価については検討の途上にあり、本要素技術開発の成果が海外における課題解決のために参照されることが期待できる。

(12) ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発

1) ヨウ素固定化処理技術開発

本技術開発は、再処理から発生する放射性ヨウ素を環境放出させない我が国における独自の技術開発であり、TRU 廃棄物に特有の処理・処分技術開発である。そのため、海外技術に依存することなく、技術的な波及効果は期待されていない。

しかしながら、ヨウ素固定化処理プロセスの成立性評価と多様な環境条件下における固化体のヨウ素放出モデルの構築の成果は、今後、TRU 処分実施主体が行う処分事業に対し、幅広い地質環境に対応できる技術オプションや処分場設計等に必要な基礎データを提供し、地質環境に応じた合理的な処分概念の構築に寄与するものである。したがって、TRU 廃棄物の地層処分の実施主体である原子力発電環境整備機構（NUMO）において、本事業の成果を基に、TRU 廃棄物処分概念検討および設計時の基礎情報として反映されており、平成 23 年 1 月に刊行された「地層処分低レベル廃棄物に関わる処分の技術と安全性」において、本事業の成果が参照・反映されている。

2) C-14 の長期閉じ込め技術の高度化

本事業で得られた長期閉じ込め型容器に関する技術的成果は、C-14 の長期閉じ込め技術としてだけでなく、今後、TRU 処分実施主体が行う処分事業に対し、幅広い地質環境に対応できる技術オプションや処分場設計等に必要な基礎データを提供し、地質環境に応じた合理的な処分概念の構築に寄与するものである。したがって、TRU 廃棄物の地層処分の実施主体である原子力発電環境整備機構（NUMO）において、本事業の成果を基に、TRU 廃棄物処分概念検討および設計時の基礎情報として反映されており、平成 23 年 1 月に刊行された「地層処分低レベル廃棄物に関わる処分の技術と安全性」において、本事業の成果が参照・反映されている。

3) 放射化金属廃棄物中の C-14 の放出挙動評価

本技術評価は、ソースターム評価としてインベントリの評価や、金属の腐食挙動について検討・評価した。廃棄物の特性評価としてのこれらの成果は、今後、廃棄物発生者における（廃棄物を製品と見たときの）品質保証活動に対して基礎的な情報を与えると同時に、処分者として必要な、換言すると発生者に要求すべき廃棄物情報を検討する際の論拠として位置づけられる。

また、インベントリ評価の手法・根拠などは、今後、検討が進められる直接処分のインベントリ評価にも有用である。一方、金属の腐食挙動評価については、余裕深度処分などの評価と共通の課題であり、さらに、金属の腐食によって生成する水素ガス発生量の評価にも反映できることなど、波及効果を生んでいる。

本評価で得られた成果は、欧州での共同研究である CAST プロジェクトにおいて議論・反映を行うことにより、（わが国のみならず）英国など EU 諸国の処分事業の進展に貢献できると考えられる。

(13) セメント材料影響評価技術高度化開発

本技術開発の成果に基づく波及効果としては、以下の点が期待できる。

- ・この研究の成果は、場の形状や環境条件を詳細に反映した性能評価に利用できることから、精密調査地区選定に向けて、サイト候補間の選好関係を示すための核種移行解析にも利用できると考えられる。また、サイトの条件によっては、天然バリア性能を補完するために、従来は事象の複雑性等のために保守的に無視していた事象を評価にとりこみ安全性の論証を行うことも必要になると想定されるが、このような場合等にも有効に活用できる。したがって波及効果も大きく、性能評価全体に効果を及ぼすと考えられる。
- ・化学反応による間隙構造や移行媒体の物質輸送特性について、定式化して化学反応/物質輸送間のフィードバックループを表現し、モデル化すべき現象(e.g. オーバーパック腐食生成物と緩衝材の相互作用)は他にもあり、本事業で開発した手法が有効に活用できる。したがって波及効果も大きく、性能評価全体に効果を及ぼすと考えられる。

(14) 硝酸塩処理・処分技術高度化開発

本技術開発の成果に基づく波及効果としては、以下の点が期待できる。

- ・地表近傍でのコンクリートピット処分や地下 50-100m が目安とされる余裕深度処分においても硝酸塩を含むTRU廃棄物の処分が想定される。本技術開発の成果である硝酸塩影響評価システムの活用により、安全評価の信頼性が向上する。また、その評価結果によっては硝酸塩の埋設処分量が制限されることも想定されるが、同じく本技術開発によってもたらされる硝酸塩除去技術の適用によって対処可能である。
- ・硝酸イオンという酸化剤共存下での核種挙動を評価することにより得られる技術情報は、地層処分の隆起・侵食シナリオでの核種挙動の推定に利用できる可能性があるため、地質環境の調査・評価の観点からも重要である。
- ・本技術開発により、地層中に存在する鉱物や微生物による還元プロセスに関する知見が増大し、それを踏まえた速度の評価が可能となる。この成果は、硝酸イオンや亜硝酸イオンによる環境影響評価にも適用できる。ちなみに、環境基準（環境基本法に基づく「地下水の水質汚濁に係る環境基準について」別表）としては地下水中の硝酸性または亜硝酸性窒素濃度の上限は10mg/Lとされている。具体的なサイトにおける鉱物や微生物の情報を踏まえ、地下水中の硝酸性または亜硝酸性窒素の分布の経時変化を予測することが可能となり、科学的な対策立案のための基盤的ツールになり得る。

3-5-A. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

3-5-1-A 研究開発計画

地層処分技術調査は、先行的に着手した一部のテーマを除き、平成12年度前後の高レベル放射性廃棄物の事業化等の処分関連の政策的動向を受けて、本格的にスタートしたものである。この時期に制定された最終処分法や最終処分計画、関連する国の報告書等で示された技術開発の役割分担や技術開発課題並びに事業等スケジュール等を踏まえ、計画的に技術開発課題やスケジュールを設定してきた。また、これ以降、段階的に具体化されてきた処分事業や安全規制等の考え方等も踏まえるとともに、海外における国際的な研究開発の諸成果の動向を重視しながら、見直しを進めている。

課題の選定にあたっては、原子力委員会から示された国の基盤研究開発の役割や、第2次取りまとめ評価報告書で示された今後の課題並びに深地層の研究施設計画や地層処分放射化学研究施設等を活用して、中核的に地層処分研究開発を進めるJAEAの計画等を念頭に、特に事業化への繋ぎの観点での重要な技術開発課題を関係機関との検討・調整を通じて抽出し、地質環境調査技術や処分技術に関連した要素技術等、主に工学的な視点に重点をおいた周辺基盤技術に係るテーマを設定した。

地層処分に係る国としての基盤研究開発の長期的かつ継続的な取り組みの必要性については、既に2-1. 施策の目的・政策的位置付けで述べた通りであり、処分事業の3段階の処分地選定プロセスとスケジュール、それに合わせて展開される安全規制の制度や基準の整備等を念頭においた、10～20年程度の中長期的・段階的な視点をもって技術開発スケジュールを設定している。

本事業及びJAEA等の関連研究開発を含めた国の基盤研究開発の全体としてのマネジメントに関しては、NUMOや規制関係機関を含む外部有識者による「地層処分研究検討評価委員会」を平成14年より組織し、各テーマの課題設定の妥当性や進捗状況について継続的に評価を行うとともに、新規に取り組むべき課題の抽出等を行ってきた。なお、すでに述べた通り、このような「地層処分研究検討評価委員会」の活動をさらに発展させて、「地層処分基盤研究開発調整会議」を平成17年7月に設置し、NUMOや安全規制のニーズへの対応、JAEAを含めた関連する研究開発機関間の連携や成果の体系化の調整等、全体として重複等を避け、効果的かつ効率的な研究開発の展開を図っている。

TRU廃棄物に関しても、平成12年に公表された原子力委員会の処分の基本的考え方に係る報告書等で示された課題を踏まえ、電気事業者やJAEAの計画との役割分担等も念頭に置きながら、TRU廃棄物固有核種の閉じ込め技術や、TRU処分施設の特徴に起因するバリア長期評価技術等の課題に取り組んできた。さらに、平成17年の第2次TRUレポートの公表や、それ以降の原子力委員会等による併置処分に係る検討を踏まえつつ、調整会議での議論を通じて、研究開発機関間の連携、成果の体系化の調整、各テーマの進捗状況の評価、スケジュールの見直し、硝酸塩処理・処分技術、回収可能性等の新規課題の追加を行ってきた。

地層処分技術調査のテーマごとのスケジュール展開は、以下に述べる通りである。個別テーマごとにも検討委員会等を設置し、事業開始時点や節目毎に事業の全体的な計画スケジュールを勘案して、策定を行っている。

(1) ボーリング技術高度化開発

本技術開発では、当面の概要調査において効率的なボーリング掘削、調査を実施することを目的として、平成 21 年度までに掘削、調査機器の開発、およびこれらの機器の現地適用性検討を幌延サイトにおいて実施してきた。平成 22 年度からは、実用化を目指して掘削、調査機器の高度化を実施するとともに、水平掘削を実施した。今後は、調査機器の現地適用による高度化を踏まえて、全体システムを実用化する。

表 3-5 1. 研究開発計画（ボーリング技術高度化開発）

	12-16	17	18	19	20	21	22	23	24
(1)孔曲げ掘削技術 (孔曲げ、先端探知、コア採取)	システムの構築	システムの高度化			システムの実用化				
(2)測定・検層技術 (LWD、透水・採水、 力学・応力)	装置の開発		システムの高度化			システムの実用化			
(3)モニタリング技術		概念設計	詳細設計と装置の開発				システムの実用化		
(4)物理探査技術 (弾性波トモグラフィー)					システムの構築		システムの実用化		
(5)掘削・調査技術体系化		現地適用性検討(北海道)		現地適用性検討(上幌延：大曲断層)				マニュアルの作成	

(2) 岩盤中地下水移行評価技術高度化開発

1) 地下水年代測定技術調査

地下水年代測定技術は、概要調査における重要な評価ツールとなるように、まず非常に遅い地下水流速を評価することを目的として、 ^4He 蓄積法、 ^{36}Cl 法の整備とオーストラリア大鑽井盆地での検証を平成 17 年度まで実施した。続いて、国内への適用性を確認するために、代表的な岩種である花崗岩・堆積岩で調査を実施し、適用性の向上のために既存技術の課題解決と、妥当性確認のために新たな技術の開発を実施してきた。東日本大震災の影響で工程が一年遅れたが、地下水年代測定技術の国内での適用性も確認できたことから、計画通りに実施できたと考えられる。

表 3-52. 研究開発計画（地下水年代測定技術調査）

	Phase1: 非常に古い地下水の年代測定法の開発					Phase2: 地下水年代測定法の国内への適用性検討							
	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	
文献調査	文献調査: 古い地下水の年代測定法					文献調査: 地下水の起源および万～百万年の評価方法							
技術開発項目													
・採水方法調査	圧縮抽水・遠心、同位体交換技術など												
・Cl-36の関連技術	加速器質量分析、核種生成量評価・解析など												
・He-4の関連技術	希ガス分離定量、Heフラックス測定など												
・解析技術の開発						水理的・地化学的評価方法の開発と原位置適用							
・測定技術の開発						新しい年代測定技術、採取・分析技術の開発と原位置適用							
原位置調査													
・オーストラリア大鑽井盆地	帯水層での調査					難透水層調査							
・幌延(堆積岩)						幌延(堆積岩)での岩石コア調査							
・瑞浪(花崗岩)						幌延沿岸域での調査							
						瑞浪(花崗岩)での調査							
地下水年代測定法の提案													
・Cl-36とHe-4による地下水年代測定・評価法の提案	評価法提案												
・総合的な地下水年代測定法												評価法提案	

2) 岩盤中物質移行特性評価技術高度化調査

平成 17 年度には現状技術の調査を行い、本技術開発において取り組むべき課題の抽出を行った。平成 18 年度からは原位置トレーサ試験技術、及びそれを補完する各種割れ目探査技術について、平成 17 年度に抽出された課題の解決を図り試験技術の基本的な整備を終了した。そして、各試験技術について原位置試験装置を試作し、割れ目の分布が比較的単純なスイスの Grimsel Test Site において原位置実証試験を実施した。今後は、各試験技術の改良を行い、より地質構造の複雑な国内の試験場に適用し技術の確立を図る。

表 3－53．研究開発計画（岩盤中物質移行特性評価技術高度化調査）

実施項目／年度	17	18	19	20	21	22	23	24
(1)原位置トレーサ試験技術								
現状技術調査	→							
原位置試験装置の試作	試作	→	→	改良	→	耐圧化	→	→
試験結果評価手法の開発					改良	→		
(2)各種割れ目探査技術								
1)ラドン濃度計測試験								
現状技術調査	→							
計測技術の開発					改良			→
原位置試験装置の試作			試作	→	改良	→		
2)高粘性流体注入試験								
現状技術調査	→							
試験技術の開発				→		改良		→
原位置試験装置の試作				試作	→	改良	→	
3)音響トモグラフィ								
現状技術調査	→							
探査技術の開発			→		改良			→
原位置試験装置の試作			試作	→				
(3)原位置での実証								
試験サイトの特性調査			→	→				
トレーサ試験						→		評価解析
ラドン濃度計測試験						→		評価解析
高粘性流体注入試験						→	評価解析	→
音響トモグラフィ						→	評価解析	→
レジン注入による検証								→
(4)体系化								
調査・評価フローの提案								→

(3) 地質環境総合評価技術高度化開発

本技術開発の第2フェーズにおける研究開発計画を表3-54に示す。平成24年度末までに、地質環境調査・評価に関連する様々な作業を支援するエキスパートシステム群（ルールベース、事例ベース）を作成した。また次世代型地質環境総合評価システム（I S I S）の機能要件や全体構成を明らかにし、エキスパートシステム群及び開発した各種支援ツール・機能をマネジメントコクピットに統合し、地質環境調査プロジェクト全体の意思決定の支援、地質環境調査に関する様々な作業の支援、関係者間での情報共有、知識の追跡性の確保が行える「次世代型サイト特性調査情報統合システム（I S I S）」を開発した。エキスパートシステム群の作成及びI S I Sの開発にあたっては、国内外の学会での発表等によるレビューや国内外専門家によるワークショップでのレビューを受け、それらの結果を踏まえて行った。

表3-54. 研究開発計画（地質環境総合評価技術高度化開発）

事業項目	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
(1) 地質環境調査評価情報の分析・整理						
① ノウハウや判断根拠等の分析・整理						
①a 地質環境モデルの構築に関するノウハウ・判断根拠の分析整理			地質環境モデル構築及び地質環境調査計画作成に関する情報の分析・整理、エキスパートシステム化			
①b 個別の調査計画の立案から調査・解析に関する情報の分析整理		瑞浪URL、幌延URL、沿岸域、長期安定性、他の地質環境条件を対象とした情報の分析・整理、エキスパートシステム化				
(2) 次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発						
① システムの設計・開発	設計・ESの開発環境の整備			各機能の構築		全体の統合
② 知識のモデル化	ルールベース化・事例ベース化の試行			アーカイブへの搭載		
③ エキスパートシステムの拡充		地質環境モデル構築及び説明書作成支援ES、地質環境調査計画書作成支援ES、個々の調査計画立案及び実施支援ESの拡充				
④ 技術レビュー			国内外の専門家によるレビュー 国内外のURLでの調査事例に照らした信頼性確認			
(3) 情報収集及び委員会の設置運営						
① 利用者のニーズ調査		各年度毎に実施主体、規制研究機関と情報交換を実施				
② 最新情報の調査		必要に応じて、研究成果の発表を含め最新情報の調査を実施				
③ 有識者による評価委員会		各年度毎に3回/年程度の評価委員会を開催し、有識者のコメントを計画へ反映				
各年度のプロダクト	ルールベース化及び事例ベース化の試行（瑞浪URL・地球化学）	地質環境モデル・地質環境調査計画の統合化の試行	地質環境モデル・地質環境調査計画拡張、システム実用版の仕様			全体統合

（４）沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発

高レベル放射性廃棄物等の地層処分において、処分システムの成立性や安全性を評価するうえで、地上からの調査等によって地下深部の地質構造や地下水等の状況を把握するとともに、その長期的な変遷を評価する必要がある。

本委託事業では、特に、沿岸域における調査評価技術を対象として、ボーリング調査や物理探査、地下水等のデータベースや解析評価技術といった要素技術の高度化開発や、これら技術の適切な組合せによる体系的適用試験を行い、塩淡水境界及び断層評価を中心とした沿岸域の地質環境の総合評価手法を構築する。

具体的には、これまでの国内外における関連研究開発の成果、また、資源エネルギー庁の関連委託事業で開発してきた手法や要素技術を活用しつつ、

- （１）塩淡水境界／地下水総合評価技術の開発
- （２）沿岸域地質構造／断層評価技術の開発
- （３）関連データベースの開発

のそれぞれについて、既往の知見等に基づく課題整理と計画策定を踏まえ、要素技術の開発・改良、実際の沿岸域フィールドにおける体系的な適用試験と総合評価を実施し、沿岸域での一連の地上からの調査技術と解析評価手法として体系化を図る。具体的には以下のようにマイルストーンを設定した：

① 塩淡水境界／地下水総合評価技術の開発

- ・平成 22 年度：1,000m までの掘削、地質・地下水試料の採取・分析。深部地下水の実証的年代解析と地史モデルの確認。海水準変化を伴う地下水流動解析。水理試験（Push-Pull 試験）による、実流動地下水の解析を実施する。
- ・平成 23 年度：地質サンプルや間隙地下水サンプルを使つての詳細な分析・解析・モデリング。海水準変動を伴う地下水流動解析の高精度化。水理試験（Push-Pull 試験）による高精度単孔試験手法を完成させる。
- ・平成 24 年度：1200m 孔の完成。コアサンプリングと採水により深部地質・地下水環境を把握し、深部地下水モデルを構築する。水理試験を深部で実施し、地下水の安定性を評価する。

② 沿岸域地質構造／断層評価技術の開発

- ・平成 22 年度：海底電磁探査法の 2 次元解析を実施する。解析手法を確立させる。
- ・平成 23 年度：海底電磁探査法の 3 次元解析を実施する。海陸接合解析手法の適用性評価を実施する。
- ・平成 24 年度：浅海域における海底電磁探査法の実施を行う。3 次元海陸接合解析手法の構築を実施する。

③ 関連データベースの開発

- ・平成 22 年度：全国堆積層データベース（モデル）を完成させる。
- ・平成 23 年度：全国堆積層データベースをベースとした地下水データベースのカスタマイズを行い、さらにこれと統合して情報発信を行う。
- ・平成 24 年度：ISIS へのデータ移植、統合化した情報の発信を実施する。

表 3－55. 研究開発計画（沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発）

実施項目／年度	22	23	24
塩淡水境界／地下水総合評価技術の開発	1000m 掘削	水理試験（PPT）	1200m 掘削
沿岸域地質構造／断層評価技術の開発	海底電磁探査法・海陸接合解析の開発		海底電磁探査調査
関連データベースの開発	全国堆積層 DB 構	データベースのカスタマイズと情報発信	

（５）海域地質環境調査技術高度化開発

高レベル放射性廃棄物等の地層処分において、処分システムの成立性や安全性を評価するうえで、海底下深部の地質構造や地下水等の状況を、海上ボーリング調査によって把握するとともに、その長期的な変遷を評価する必要があることも考えられる。

本委託事業では、特に、海上ボーリング調査を用いた評価技術を対象として、地下水の長期的な流動解析を含めた要素技術の高度化開発を行い、沿岸域海底下の地質環境の総合評価手法を構築する。

具体的には、平成23年度から4年の期間において、これまでの国内外における関連研究開発の成果、また、資源エネルギー庁の関連委託事業で開発してきた手法や要素技術を活用しつつ、

（１）沿岸域地質構造評価技術の開発

（２）海上掘削調査技術の開発

のそれぞれについて、既往の知見等に基づく課題整理と計画策定を踏まえ、要素技術の開発・改良、実際の沿岸域フィールドにおける体系的な適用試験と総合評価を実施し、沿岸域での一連の地上からの調査技術と解析評価手法として体系化を図る。さらに、将来的に処分事業を開始した場合に地下水が移動する範囲等を的確に評価し、将来的な安全研究にも資する。

表 3－56. 研究開発計画（海域地質環境調査技術高度化開発）

実施項目／年度	23	24
沿岸域地質構造評価技術の開発	地震探査による水理地質楮モデルの構築	
海上掘削調査技術の開発	超長期沿岸海底地下水流動解析	

(6) 先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発

本技術開発の第2フェーズにおける研究開発計画を表3-57に示す。平成21年度末までの中間段階での各技術を集約したプロトタイプの開発、それ以降のプロトタイプの試行を通じた課題の抽出等を行いつつ、国内外の学会での発表等によるレビューやワークショップでのレビューを踏まえて、平成24年度に実用版の作成を完了した。

表3-57 研究開発計画（先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発）

		課題抽出、開発計画策定 情報調査・分析、基本技術開発		プロトタイプ 開発	実用版に向けての改良・拡充		実用版	
事業項目と成果		平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度	
(1) 先進的地層処分 概念の開発	技術的に実現可能な処分概念オプションと 関連情報のデータベース	既存情報等の調査・分析			情報更新			
		データベースの設計、試作			データベースの段階的改良・更新(支援フレームとの連携)			
	境界条件に応じた処分概念の選択・改良・ 創出技術	支援フレームの検討、試作			支援フレームの段階的改良、 適用事例の拡充			
					技術取り まとめ			
(2) 性能評価技術／ 処分概念最適化 技術の開発	方法や手順の確立された性能評価解析の 繰り返し実行を支援する性能評価統合技術	既存技術等の調査・分析		e-PAR/PAIRSの 主要機能の実装、 適用事例(3事例)		e-PAR/PAIRS機能の 段階的改良、 適用事例の拡充(3事例)	技術取り まとめ	
	潜在的な課題を能動的に発見し、性能評価 上の問題としての分析と対処方針立案を支 援する課題探索的性能評価技術	課題探索フレームの構築						
		課題探索の繰り返し試行(2事例)		課題探索の繰り返し試行(4事例)			技術取り まとめ	
	最適化問題の設定、モデル化、求解の技術	既存技術等の調査・分析		最適化プロセスの詳細化、 計算機支援の開発		【これ以降は、技術の適用を通じた 検討が中心となるため、(3)での最 適化に係る検討として実施】		
		最適化プロセスの構築、試行						
(3) 先進的処分概念 ／性能評価技術 の開発 (～平成23年 度：先進サイク ルシステムに対 応した処分概念 ／性能評価技術 の開発)	廃棄物特性の定量化技術、廃棄物特性情 報のデータベース	既存技術等の調査・分析			情報更新			
		先進的廃棄物研究(既存技術の適用範囲拡大、新規技術の適用性確認、固化体特性等データ取得等)						
		データベースの設計、試作			データベースの段階的改良・更新 (情報更新、廃棄体研究の連携)			
		定量化手法の構築、試行			定量化手法の 主要機能の実装、 適用事例(5事例)		定量化ツール機能の 段階的改良、 適用事例の拡充(10事例)	技術取り まとめ
	処分概念開発、性能評価、最適化検討をサ イクル開発と連携しつつ行うための技術	サイクル条件・廃棄物特性・処分の 関係分析(HLW)			関係分析対象の拡大(LLW)			
		廃棄物管理モデルの構築、試行(HLW)			廃棄物管理モデルの 対象範囲・機能の段階的改良			
		最適化プロセスの適用事例 (2事例)			最適化プロセスの検証、 適用事例の拡充(8事例)			
		統合・利用環境の要件等の検討			統合・利用環境の主要機能の段階的実装 (個別課題の進展と連携)			
(4) 原子力事故廃棄 物の処理処分方 策の検討	技術開発ロードマップの策定					ロードマップ 検討・策定	優先的技術開発 の計画立案、 一部研究着手	
						分析装置の整備	特性データ取得	
(5) 巨大地震・津波 を含む想定外事 象への対応	廃棄物の特性を把握するための分析装置 の整備・適用						事例調査	
							課題抽出、計画策定	
(6) 情報収集、委員 会の設置・運営	有識者による計画、実施内容、成果に関す る意見・提案			各年度3回／年程度の評価委員会を開催				

(7) 処分システム化学影響評価高度化開発

本技術開発は、平成18年度までに（財）産業創造研究所にて実施された成果を踏まえ、平成19年度から平成24年度までの第2フェーズの計画として設定している。この6年の期間において、①処分システム放射線影響、②処分システム微生物影響、③バリア複合化学環境影響、④処分環境核種移行遅延要因影響に関するそれぞれの影響要因について、既往の関連研究の成果も活用しつつ、課題整理と計画策定を行い、試験データの取得等による現象理解、モデル開発やデータベース開発によって各要因の処分システム安全機能への定量的な影響評価手法を構築する。これらの影響評価手法の開発によって各現象に係わる不確実性評価を可能とするとともに、一連の影響評価を総合的に検討することを通じ、地層処分システムの長期評価に係わる総合的な技術的信頼性の向上と体系的な評価基盤の構築を図る。6年間のプロジェクト完了時に対して設定された全体目標（期待される成果）と反映先を表3-58に示す。特に平成20年度には、処分システム微生物影響及び処分環境核種移行遅延要因影響についての国際ワークショップを開催し、それまでの成果を報告して海外機関の専門家からのレビューを受けている。

表3-58. 研究開発計画（処分システム化学影響評価高度化開発）

事業項目	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
(1) 処分システム放射線影響調査	評価手法構築, データ拡充			評価手法改良, データベース化		
				チェック&レビュー		
① 人工バリアへの放射線影響評価手法の開発	γ線照射下炭素鋼腐食試験による緩衝材の抑制効果確認					
	抑制機構に係わる既往知見の整理と			緩衝材酸化還元反応試験とモデル化検討		
	モデル化検討					
② 核種移行への放射線影響評価手法の開発	イオン照射試験, 化学環境評価モデル構築			データ拡充, データベース化		
	既存シナリオ	酸化還元フロント～核種移行		α線分解影響評価事例の提示		
	情報のまとめ	影響評価ツールの整備				
(2) 処分システム微生物影響調査	測定手法, 評価手法構築			地下研等における適用性確認		
				チェック&レビュー		
① 微生物特性評価手法の開発	特性データ取得手法開発			地下研等における		
		高度化		適用性確認		
② 微生物影響評価手法の開発	室内試験によるパラメータ取得			原位置試験によるデータ取得		
	モデルの改良・精緻化			モデルの改良		
	既存シナリオ情報のまとめ					

事業項目	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
(3) バリア複合化学環境影響調査	評価手法構築, データ拡充			評価手法改良		
	チェック&レビュー					
①塩濃縮・析出現象評価技術の開発	連成解析モデル(THMC-Couplys)改良, 塩濃縮・析出試験, 測定技術開発			モデルの高度化と室内試験による評価, 長期NF解析		
②高温環境下での人工バリア挙動評価調査	100℃を超える環境下での腐食試験, 不動態化挙動, 全面腐食挙動(還元性)			不均一腐食・局部腐食挙動, 水素脆化挙動		
③人工バリア相互作用影響評価調査	温度等を変えた変質試験, 変質後の特性試験			変質予測解析手法整備		
(4) 処分環境核種移行遅延要因影響調査	測定手法, 評価手法構築			地下研等における適用性確認とモデル・データベース等の構築		
	チェック&レビュー					
①人工バリア中の核種移行遅延評価手法の開発	各種拡散法等によるデータ取得, 表面分析, 現象論的モデル・データベース開発			データ取得標準化体系, 評価モデル・データベースの構築		
②天然バリア中の核種移行遅延評価手法の開発	堆積岩系の各種試験法によるデータ取得, 有機物等影響評価試験			各種岩石(花崗岩等)への拡張とモデル化, 有機物影響評価手法の構築		
(5) 情報収集及び委員会設置・運営	情報収集			レビュー		
	委員会	委員会	委員会	委員会	委員会	委員会
			チェック&レビュー			取りまとめ

(8) 処分システム工学要素技術高度化開発

本研究開発では、平成21年度までの開発成果を基に抽出された技術課題に対して、技術調査及び試験に関わる開発計画を策定し、研究開発を実施している。

遠隔操作技術高度化開発については、遠隔溶接・検査及び遠隔搬送・定置に適用しうる要素技術の適用性を評価すると共に、操業システム成立性を考慮した技術選択肢（技術メニュー）を整備し、操業システム案の提示を行った。人工バリア品質評価技術の開発については、オーバーパック溶接部の耐食性を評価すると共に、溶接部品質向上に関わる検討を実施した。緩衝材の品質評価技術に関しては、遠隔操作技術高度化開発にて抽出された課題を踏まえ、製作・施工された緩衝材の過渡的段階（地下水の再冠水）における事象について、緩衝材の性能を定量的に評価できる知見を取得し、緩衝材の設計・施工仕様設定に資する知見を取得することを目的に研究開発を実施した。モニタリング技術の開発については、欧州原子力共同体による共同研究への参画による、最新の海外動向を踏まえたモニタリングの意義等の検討を実施すると共に、中核的な要素技術の開発と適用性評価を行い、技術メニューの整備を実施した。処分システムに関わる巨大地震、津波等の対策技術の開発については、東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波による東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえて研究開発に着手したものであり、平成25年度以降の技術開発課題と開発に関わる試験項目を選定して、年度展開を提示している。

表 3-59. 研究開発計画（処分システム工学要素技術開発）

年度 実施項目	第 1 フェーズ		第 2 フェーズ					
	H12～H18		H19	H20	H21	H22	H23	H24
(1) 遠隔操作技術高度化開発	第 1 フェーズ	計画 (H17)	技術調査、適用性確認試験・評価等				技術調査、 技術メニュー整備	
(2) 人工バリア品質評価技術 の開発		計画 (H16)	オーバーパック溶接部腐食挙動解明・長期健全性評価 評価対象年度					
				緩衝材品質評価				
(3) モニタリング技術の開発	第 1 フェーズ		調査、意義、目的の整理、技術開発、技術メニュー整備					
(4) 処分システムに関わる巨 大地震、津波等の対策技術								開発計 画、状況 設定等

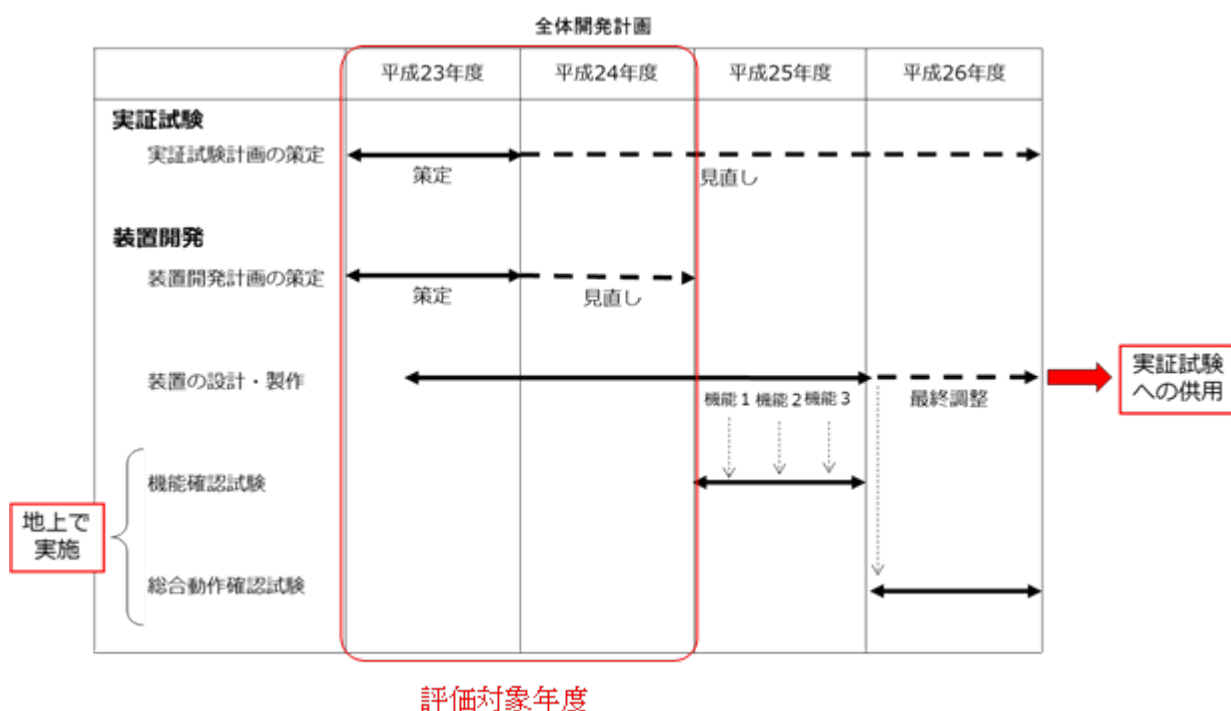
（９）地層処分回収技術高度化開発

本研究開発では、平成２２年度までに実施された処分システム工学要素技術高度化開発において、操業技術を構成する要素技術の一つとして、回収技術の中核技術である塩水を利用した緩衝材除去技術について、適用性の検討が行われた。これらの知見を高度化し、地下環境で実規模の試験を実施するための装置を４年程度で行う開発計画を実施している。なお処分方式は処分孔竖置き方式としている。

地下環境での実証試験計画については、平成２３年度には実規模の試験計画を検討するための地下環境情報を取得し、実証試験全体計画を策定した。平成２４年度には、地下環境情報の収集とともに装置開発状況の変化に照らして、見直しを行い、第２次とりまとめにおける堆積岩盤における坑道断面を用いた実証試験計画を提示した。

緩衝材除去装置の開発については、平成２３年度に基本設計を実施し、平成２４年度には、緩衝材除去装置の一部である塩水噴射・スラリー吸引設備、昇降設備及び塩水リユース設備を製作し、設備ごとに動作確認を行い、設計と製作との妥当性を確認した。特に噴射・スラリー吸引設備に関しては、プロトタイプを製作し、小規模な緩衝材除去試験を実施して、取得データにもとに設計の妥当性を検証しつつ製作に反映させることとした。

表３－６０．研究開発計画（地層処分回収技術高度化開発）



（１０）地下坑道施工技術高度化開発

本技術開発は、表３－６０に示すように「要素技術の開発」、「原位置適用性試験」、「グラウト影響評価技術の開発」で構成される。平成２１年度に実施したグラウト技術のプロトタイプに対する地下坑道施工技術高度化開発委員会のレビュー結果に基づき、平成２２年度から平成２４年度までの３年の期間に、プロトタイプの改良・高度化を図った。平成２３年度には、平成２０年度に地層処分におけるグラウト技術に関する開発方針の確認のために実施

した国際ワークショップに引き続き、プロトタイプ改良・高度化したグラウト技術について特に安全評価に焦点を当てた国際ワークショップを開催し、開発した技術の妥当性についての国際的なコンセンサスを得ている。平成24年度には本プロジェクトで開発したグラウト技術を処分事業で用いる際の考え方や適用事例をグラウト技術の手順書（ガイドライン）として取りまとめ、これを中心に全体目標として掲げたレベルに到達できるかどうか実用的な観点から、NUMOの専門家も含む地下坑道施工技術高度化開発委員会のレビューをいただいた。

表3-60. 研究開発計画（地下坑道施工技術高度化開発）

実施内容	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
	プロトタイプ開発			改良・高度化		
3.1.1 要素技術の開発						
■グラウト技術に関する調査	調査 (技術動向)	ワークショップ開催	データベースの公開 (性能比較)	データベースの改良・更新 国際ワークショップ開催		
■グラウト材料の開発	候補材料の絞り込み	グラウト材料選定、各種特性試験		亀裂開口幅の違いに応じたグラウト材料データの拡充 混和剤の移移移行影響に関するデータの整備		
■グラウト注入技術の開発	設定条件の較込み・試作	対象地質範囲の検討、注入	工法・装置プロトタイプ製作 室内試験をもって終了	アクセス坑道、処分坑道等に対するグラウト技術の要件と適用技術の整理		
3.1.2 原位置適用性試験						
■原位置適用性試験	原位置試験計画策定	サイトの検討・試験準備	亀延URL(堆積岩)におけるプロトタイプの適用	結晶質岩(グリムセルテストサイト)における原位置試験 事前調査	ガイドラインの作成	
■既存のグラウト効果確認のための現場調査	効果確認試験	モニタリング	結晶質岩を対象とした場合のグラウト分布確認技術	試験手法改良	堆積岩を対象とした場合のグラウト分布確認技術	オーバーコアリングによるグラウト充填部を含む岩石質の採取及び分析
■グラウト浸透モデルの開発	方針検討	モデル開発・改良	原位置を反映した解析 (G&Sモデル)	複雑系(亀裂ネットワーク)を対象としたモデルの改良 単純系(平行平板)におけるグラウト浸透・固化現象の解明		
3.1.3 グラウト影響評価技術の開発						
■地球化学解析手法の開発及び安全評価手法の開発	モデル開発・改良		原位置を反映した解析 (鉱物組成、地下水化学等反映)	岩盤及び人工バリアへの影響評価手法の開発		
委員会設置・運営及び情報収集	△ △ 5ヶ年の計画レビュー	△ △ △	△ △ △ △ チェック&レビュー	△ △ △	△ △	△ △

(11) 人工バリア長期性能評価技術開発

TRU 廃棄物の処分に係る人工バリア材の長期挙動及びガス移行挙動に対する理解を深め、人工バリア性能評価に係る技術的信頼性の向上及び技術基盤を確立するために、本技術開発では、精密調査地区の環境及び処分場建設の候補材料に応じた人工バリアの長期性能評価が可能となるよう、「人工バリアの長期挙動の評価」と「ガス移行挙動の評価」に大別して、必要なデータの取得、解析手法の構築、高度化を行った。

1) 人工バリア長期挙動の評価

人工バリア長期挙動の評価に関しては、平成 19 年の計画策定に従って、以下の 3 項目について、技術開発を行った。表 7 に平成 19～24 年の 6 カ年の本要素技術の研究開発計画をしめす。

①セメント系材料の長期挙動の確証試験

セメント系材料の化学変質に係わるデータの拡充、ならびに材料・環境に依らず、統一されたセメント系材料の硬化体・空隙構造変化に伴う力学、物質移行特性変化のモデル化に必要なデータ取得とそのモデルの構築を行った。

②セメントーベントナイト相互影響の確証試験

セメントーベントナイトの相互影響による化学変質、ならびに変質に伴うベントナイトの力学／物質移動を評価するモデル構築に必要なデータを取得する。

③人工バリア性能評価解析の高度化

上記①及び②の成果に基づき、不確実性の低減を図った人工バリア材の長期変質解析を実施する。

表 3－6 1. 研究開発計画（人工バリア長期挙動の評価）

項目	年度	H19 (2007)	H20 (2008)	H21 (2009)	H22 (2010)	H23 (2011)	H24 (2012)
セメント系材料の長期変質挙動の確証試験		全体研究開発計画の策定	セメント系材料の変質及び変質に伴う物質移行・力学特性変化に関するデータ取得、ならびにモデル化				
			セメント系材料の溶解変質モデル構築に係わるデータ取得				
			材料の多様性を考慮したセメント系材料の変質試験結果に基づく解析設定データの妥当性の検討				
			長期材齢を経たアナログ試料の分析による変質データの取得				
			セメント系材料の変質による核種の分配係数の設定の考え方の提示				
セメントーベントナイト相互影響の確証試験		既往の知見整理、課題抽出	セメント影響によるベントナイトの変質挙動に関するデータ取得				
			圧縮の影響によるベントナイトの溶解挙動の評価				
			粘土系材料の変質に関する天然事例の調査				
			ベントナイト系人工バリアの変質に伴う力学モデル構築に係わるデータ取得				
			ベントナイト系人工バリアの変質を考慮した物質移動モデル構築に係わるデータ取得				
			ベントナイト系人工バリアの化学・力学連成モデル構築に係わるデータ取得				
人工バリア性能評価解析の高度化		既往の知見整理、課題抽出	セメント系材料の変質解析手法の高度化				
			ベントナイト系材料の変質解析手法の高度化				
			人工バリア長期性能評価に係わる情報システムの更新				
			体系的な人工バリア長期性能評価解析				
研究の評価		既往の知見整理、課題抽出	人工バリアの長期変質挙動解析とガス移行挙動解析の連成に関する検討				総合評価
			不確実性を低減させた人工バリアの長期変質解析の達成度の確認、及び安全評価に受け渡すパラメータの体系的まとめの評価				
ガス移行挙動評価研究との連携			連成のための鍵となるパラメータの検討 ▲ 人工バリアの長期挙動とガス移行挙動の評価 ▲ 解析の連成のためのシナリオを検討し、連成解析の必要性和課題について整理				

2) ガス移行挙動の評価

ガス移行挙動の評価においては、平成 19 年度に策定された全体計画にて、以下の 3 項目の課題を設定し、技術開発を行った。表 8 に平成 19～24 年の 6 カ年の本要素技術の研究開発計画をしめす。

①材料特性データの取得

室内試験によるガス移行に係る諸物性データの取得。

②モデル化・解析手法の高度化

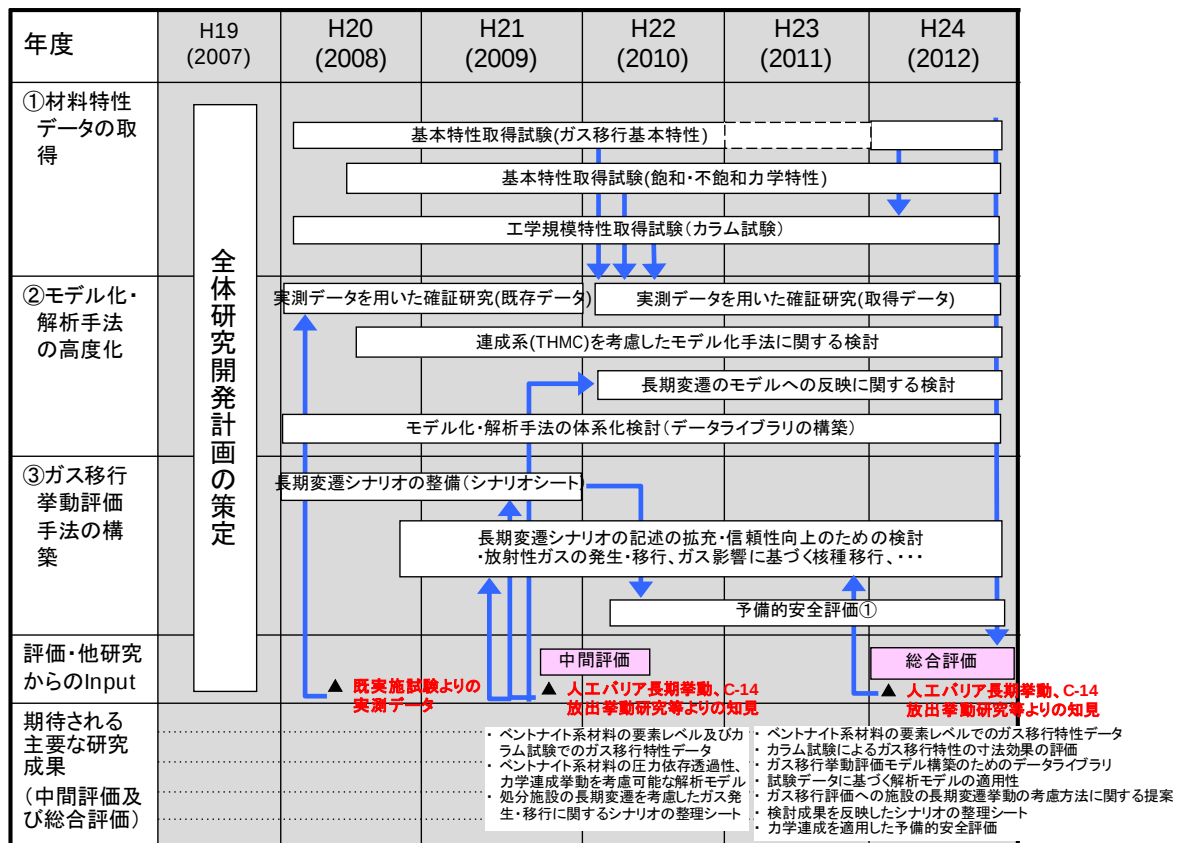
実測試験データの検証解析および連成系、長期変遷への展開によるモデル化・解析手法の体系化。

③ガス移行挙動評価手法の構築

ガス移行挙動を考慮した安全評価のための人工バリアの長期変遷シナリオ構築のためのデータ整備。

これら研究の各段階においては、成果の妥当性や研究の方向性について専門家との意見交換を行うことにより、計画の確実な進捗を担保した。

表 3－6 2．研究開発計画（ガス移行挙動の評価）



(12) ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発

TRU 廃棄物処分の代替オプションの提示や、安全評価の信頼性向上のため、1) ヨウ素固定化処理技術開発、2) C-14 の長期閉じ込め技術の高度化、3) 放射化金属廃棄物中の C-14 の放出挙動評価について、必要なデータ取得や評価に関して研究開発計画を策定し、実施した。

表 3-63. 研究開発計画

	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
1)ヨウ素固定化処理技術開発	固化体からのヨウ素放出モデルの概念構築					
	処理プロセス検討に必要な課題の整理		処理プロセスデータの取得			成立性の評価
2) C-14の長期閉じ込め技術の高度化	コンクリート容器の長期健全性評価モデルの構築 ／品質管理手法の検討		コンクリート容器の長期健全性モデルの信頼性向上 ／非破壊検査技術の検討			
	金属容器の長期健全性評価モデルの構築／溶接・加工部の長期健全性の確認					
3) 放射化金属廃棄物中のC-14の放出挙動評価	長期浸漬試験(ホット材料、コールド材料)の開始			適宜データ取得		
	インベントリ評価に関する基礎データ取得		C-14インベントリ評価(BWR)	C-14インベントリ評価(PWR)		課題の整理

(13) セメント材料影響評価技術高度化開発

個別要素評価モデル開発/基盤的データ整備については、事業開始（平成 23 年度）から 3 年（平成 25 年度末まで）程度で実施する予定である。また、これらの個別的現象の連成による複合現象評価の手法開発と、それにより得られる場の状態に基づく、核種移行評価手法の開発については、平成 25 年度から 26 年度にかけての 2 年間で実施する予定である。また、平成 24 年度には、セメントに関するワークショップを関係機関と開催し、国内の専門家からのレビューを受けている。これらによって得た助言を以降の計画に反映しつつ、平成 25 年度には、国外からの専門家からもレビューを受け、本事業終了までの 2 年間で、セメント材料の長期的な影響によるニアフィールドにおける核種移行のバリア性能の経時的変化を反映させながら核種移行解析を実施するための技術の高度化開発を目指していく。

表 3-64. 研究開発計画（セメント材料影響評価技術高度化開発）

事業項目	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	備考
1. 個別要素評価モデル開発/基盤的データ整備	個別モデル開発/基盤的データ整備			補完的モデル改良・データ取得	
① 評価モデル・データの体系化手法の開発	調査・計画策定	進捗に応じて見直し			
2 セメント変質評価モデルの開発	データ取得・現象理解・				
3 緩衝材/岩石変質挙動評価モデル開発	モデル開発・パラメータの定式化				
4 バリア材料の変質に伴う力学評価モデル開発				補完的なモデル改良・データ取得及びデータベース化	
5 地球化学元素に関するアルカリ条件での熱力学/速度論データの整備	溶存化学種及び鉱物に関する熱力学データの整備/鉱物の溶解・沈殿反応速度データの整備				
6 放射性同位元素に関するアルカリ条件での核種移行特性データ取得及びモデル整備	放射性核種の移行現象に関するモデル・データ(錯体形成・溶解沈殿・吸着等)の整備				
2. 複合現象評価手法開発	評価フレーム・ツール・パラメータ整備			連成・補完的モデル改良	
① 連成解析ツール開発	計算ツール開発・現象の因果関係に基づくパラメータの定式化・フレーム構築・個別モデル実装			連成・補完的モデル改良・プロトタイプ完成	
3. 性能評価モデル開発	評価システムのフレーム構築			評価システムのプロトタイプ作成	
① 評価システム構築	複合現象評価を反映した評価システムのフレーム構築			試解析・システム改良・プロトタイプ完成	
4. 情報収集及び委員会設置・運営	委員会 ●●●●●	委員会 ●●●●●	委員会 ●●●●●	委員会 ●●●●●	適宜関連機関と情報交換を実施

↑
ワークショップによるレビュー

(14) 硝酸塩処理・処分技術高度化開発

本技術開発の研究開発計画を表3-65に示す。硝酸塩影響評価システムの構築については、平成21年度末にベルギーで開催されたTRU廃棄物に関わる国際ワークショップ（ベルギー放射性廃棄物管理機関（ONDRAF/NIRAS）が主催、開催地ブリュッセル）に参加し、それまでの成果を報告して海外機関の専門家からのレビューを受けている。放射性廃液中の硝酸塩除去技術の開発については、平成22年度に開催された「ICEM2010 第13回 International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management（環境修復・放射性廃棄物管理国際会議）」に参加し、それまでの成果を報告して海外機関の専門家からのレビューを受けている。

これらによって得た助言を以降の計画に反映しつつ、硝酸塩影響評価システムと硝酸塩除去システムの構築を実施した。

表3-65. 研究開発計画（硝酸塩処理・処分技術高度化開発）

事業項目	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
(1) 硝酸塩の影響評価システムの構築	個別モデル開発・データ拡充			評価システム構築		
① 処分環境における硝酸イオンの化学的変遷挙動評価	モデル開発・入力データ取得			モデル改良・補完データ取得		
② 核種移行パラメータに対する硝酸塩の影響評価	溶解度取得・評価			収着分配係数取得・評価	データ補完 データベース化	
③ 硝酸塩影響評価システムの構築				システム構築	システム構築	
(2) 放射性廃液中の硝酸塩除去技術の開発	個別技術開発			試験装置製作、工学試験 総合評価試験		
① 硝酸ナトリウムの膜分離技術開発	Na ⁺ 及びNO ₃ ⁻ 分離技術開発			陰イオン交換膜の開発 試験装置製作、工学試験		
② 硝酸イオンの分解技術開発				技術調査 試験装置製作、工学試験	放射線耐性試験	
③ 高濃度硝酸塩除去技術の構築				総合評価試験		
(3) 情報収集及び委員会の設置・運営 (国際技術情報交換会議を含む)	適宜関連機関と情報交換を実施			国際WS		
	△ 委員会	△ 委員会	△ 委員会 中間評価	△ 委員会	△ 委員会	△ 委員会

3-5-2-A 研究開発実施者の実施体制・運営

(1) ボーリング技術高度化開発

本研究開発（ボーリング技術高度化開発）は、公募による選定審査手続きを経て、財団法人電力中央研究所が経産省からの委託を受けて実施した。また再委託先として住鉱資源開発株式会社※、地熱技術開発株式会社、株式会社レアックス、株式会社 3D 地科学研究所、株式会社熊谷組、株式会社地球科学総合研究所、清水建設株式会社が参加した。

※平成 22 年 11 月に住鉱コンサルタント株式会社から社名変更
開発した機器の現地適用性検討は、日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センターとの共同研究として実施した。

また、研究開発に当たっては、研究開発を総括するためのプロジェクトリーダー（財団法人電力中央研究所 木方建造）を設置するとともに、プロジェクトの内容と進め方について適切な助言を得るために、学識経験者、関連分野の高度な専門知識を有する専門家およびこの技術の将来のユーザーとなる機関の専門家からなる「ボーリング技術高度化開発検討委員会」を設置した。

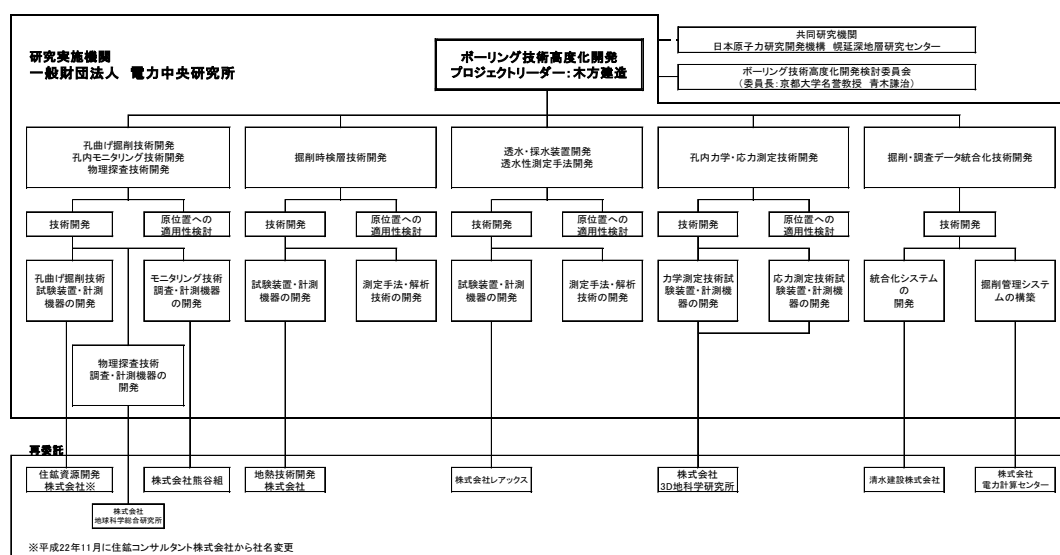


図 3-110. 研究開発実施体制（ボーリング技術高度化開発）

(2) 岩盤中地下水移行評価技術高度化開発

本技術開発は、公募による選定審査手続きを経て、一般財団法人電力中央研究所が経済産業省からの委託を受けて実施した。また、再委託先としてメーカー、コンサルタントが参加した。

また、研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー（一般財団法人電力中央研究所 木方建造）を設置するとともに、プロジェクトの内容と進め方について適切な助言を得るため、学識経験者及び関連分野の高度な専門知識を有する専門家、将来のユーザーである原子力発電環境整備機構の専門家等からなる「地下水年代測定技術調査検討委員会」、「岩盤中物質移行特性評価技術高度化調査検討委員会」を設置した。

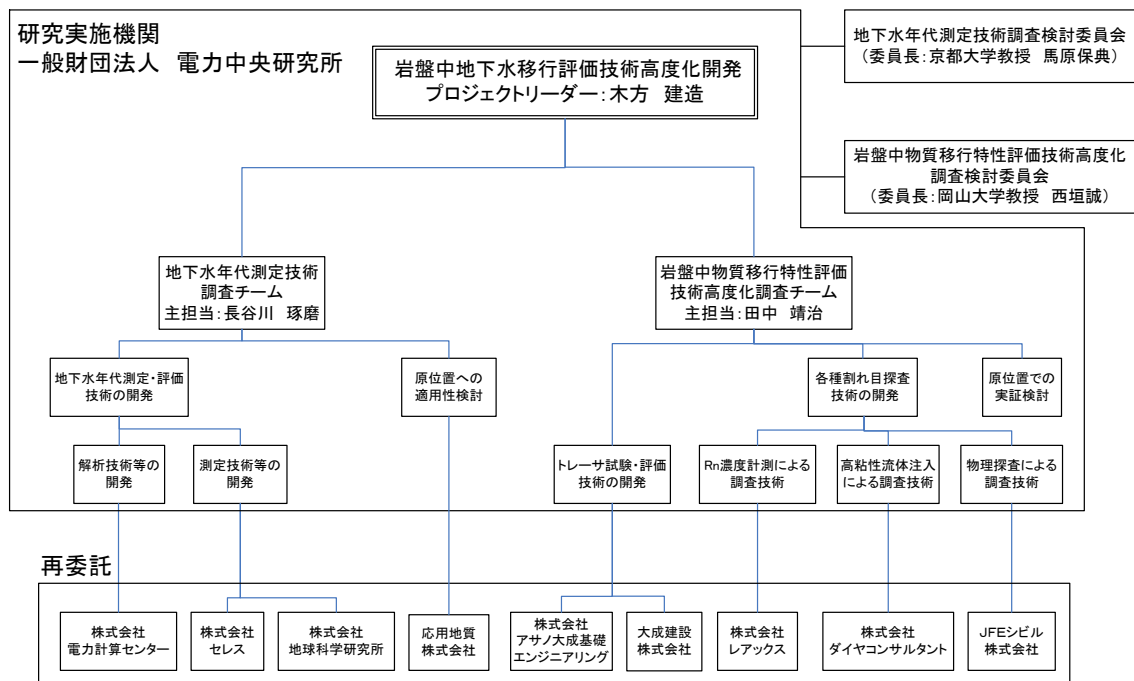


図 3 - 1 1 1 . 研究開発実施体制（岩盤中地下水移行評価技術高度化開発）

(3) 地質環境総合評価技術高度化開発

本技術開発は、公募による選定審査手続きを経て、JAEAが経済産業省からの委託を受けて実施した。

実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダーを設置するとともに、研究計画、実施方法、結果の評価等に関する審議・検討を行うため、大学及び研究機関の専門家9名 からの地質環境総合評価技術高度化開発委員会を設置した。本技術開発では、JAEAの2つの深地層の研究施設計画を推進してきた実績と、その経験に基づく体系的な地質環境調査評価技術に関する技術的研究成果を基盤とし、さらにJAEAの運営費交付金による研究開発成果、資源エネルギー庁関連技術開発成果、他の研究機関の成果を適宜反映している。また、再委託先として大学、メーカー、コンサルタントが参加した。

本技術開発の実施内容は多岐にわたり、地質環境に関する様々な分野の専門家とともに処分場の設計や性能評価に関わる専門家の参加の下に実施している。さらに、本技術開発を効率的な実施のために、国内外の研究機関との協力体制を活用している。

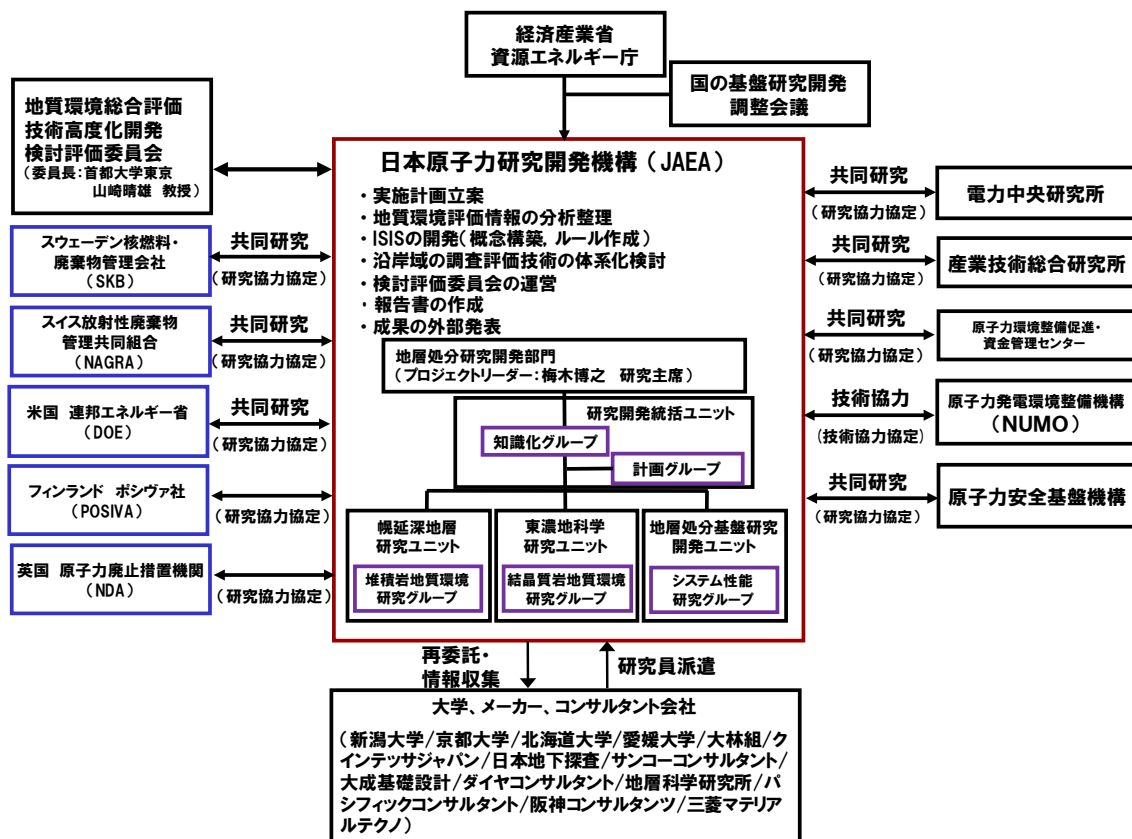


図3-112. 研究開発実施体制（地質環境総合評価技術高度化開発）

（４）沿岸域塩淡境界・断層評価技術高度化開発

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、独立行政法人産業技術総合研究所が経済産業省からの委託を受けて実施した。また、研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー（産総研・総括研究主幹丸井敦尚）を設置するとともに、研究を推進するために、ベルリン工科大学シャイト教授らからなるステアリング・ボードならびに東京大学大学院登坂博之教授らからなる運営評価委員会を設置した。

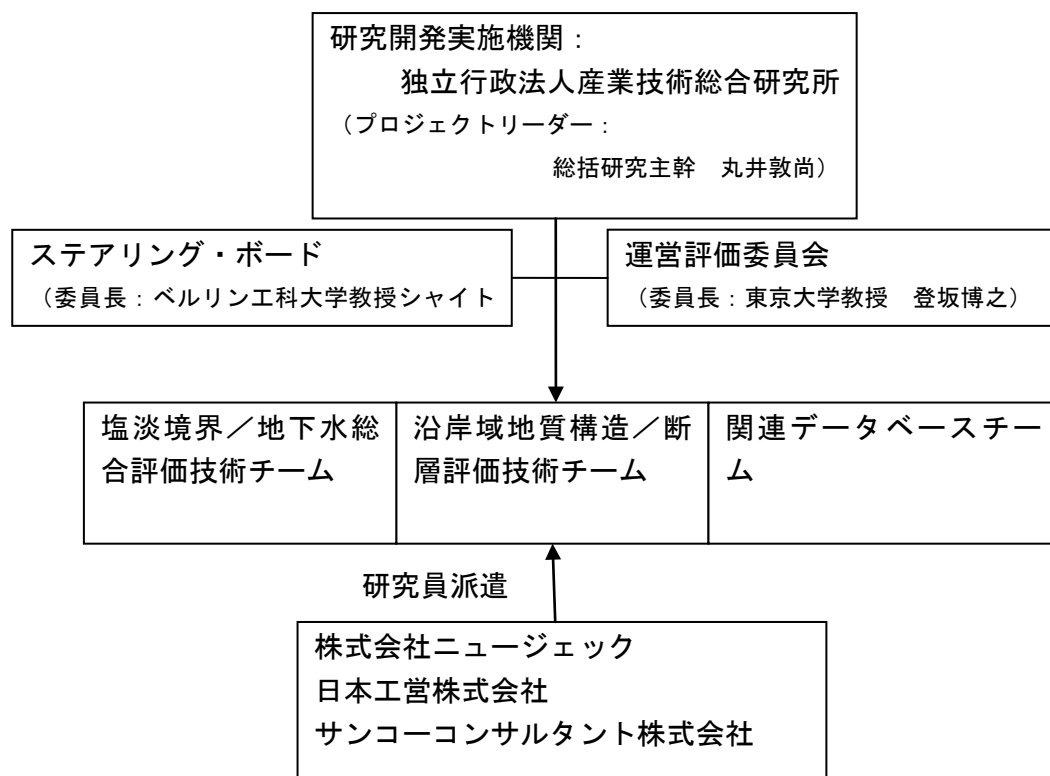


図3-113. 研究開発実施体制（沿岸域塩淡境界・断層評価技術高度化開発）

（５）海域地質環境調査技術高度化開発

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、独立行政法人産業技術総合研究所が経済産業省からの委託を受けて実施した。

また、研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー（総括研究主幹 丸井敦尚）を設置するとともに、研究評価のためのため、東京大学教授 登坂博之らからなる運営評価委員会、米国地質調査所（USGS）BOSS 博士らからなるステアリング・ボードを設置した。また、研究の成果は学会誌等による情報発信に加え、講演会や協会誌などで積極的に報じている。

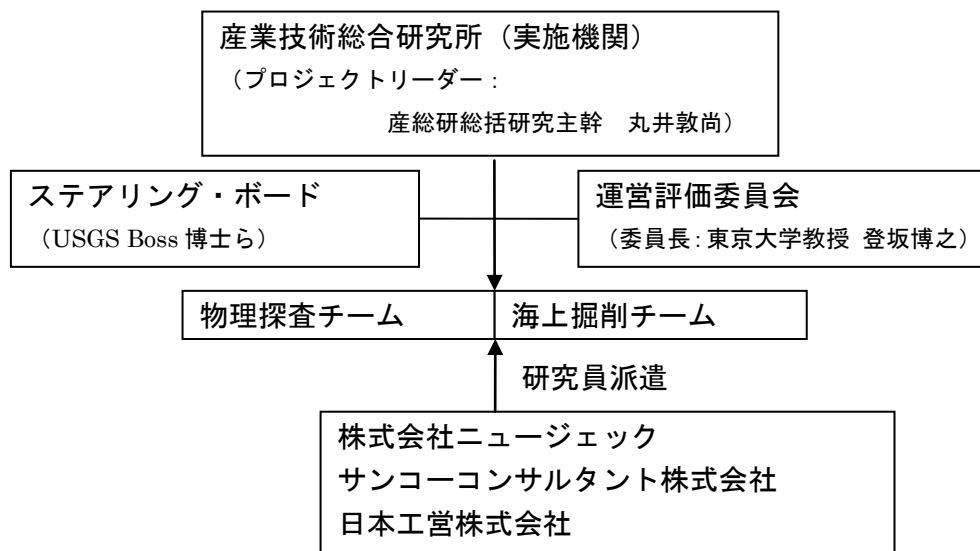


図 3－114．研究開発実施体制（海域地質環境調査技術高度化開発）

本技術開発は、公募による選定審査手続きを経て、JAEAが経済産業省からの委託を受けて実施した。

本技術開発の実施内容は多岐にわたり、処分分野以外の様々な分野の専門家との協力が不可欠であることから、これを円滑に進めるために、原子力利用に関する唯一の総合的な研究機関であるJAEAの特徴を活かし、他の部署の専門家を含めた実施体制を構築することで効果的な研究開発となるようにした。さらに、本技術開発をより効率的に実施するために、国内外の研究機関との協力体制を活用した。

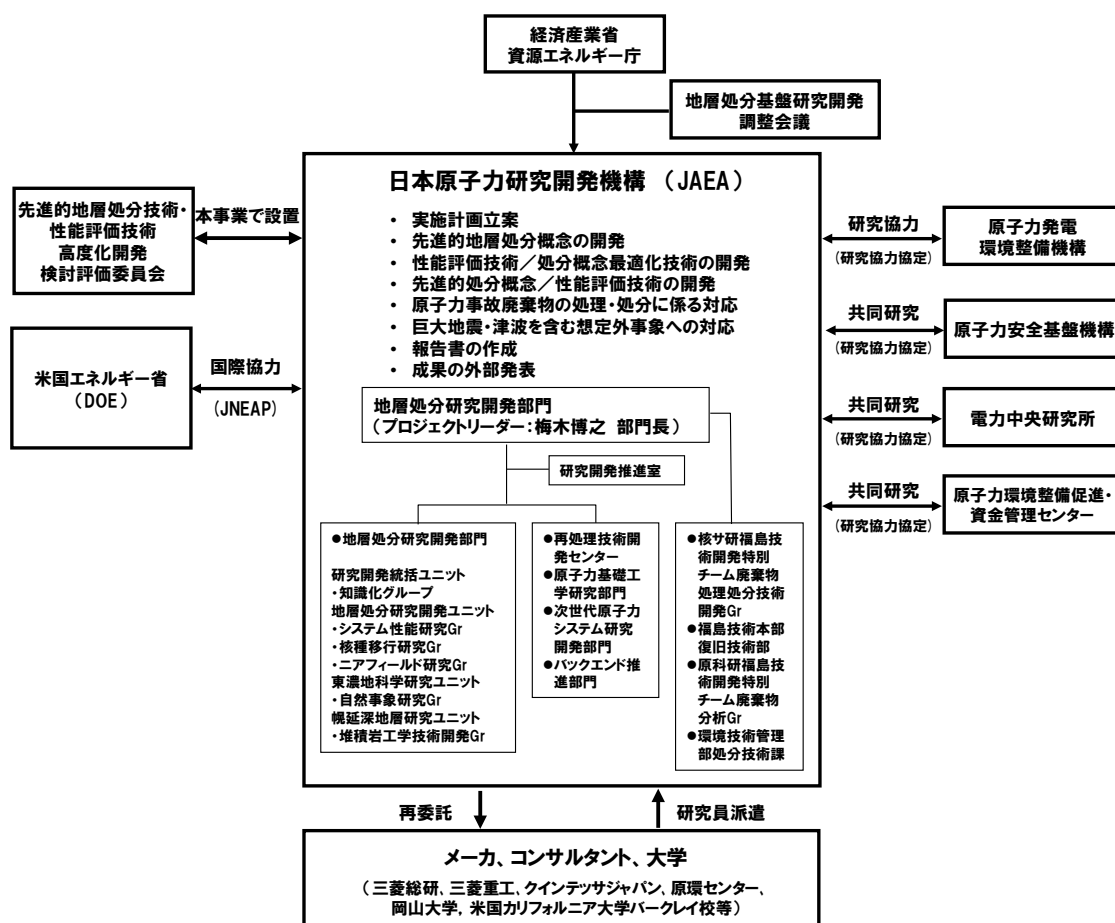


図3-115. 研究開発実施体制（先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発）

（７）処分システム化学影響評価高度化開発

本技術開発は、公募による選定審査手続きを経て、ＪＡＥＡが経済産業省からの委託を受けて実施した。また、再委託先として大学、（一般財団法人）電力中央研究所や民間会社が参加した。

さらに、本件の実施にあたっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダーを指名した。また、成果の品質をより確かなものにするという観点から、研究計画から実施方法や結果の評価に至るまでの審議・検討を行うことを目的とした、処分事業者等の専門家を含む外部の有識者等１１名で構成される「処分システム化学影響評価高度化開発委員会」を設置し、年に２～３回開催した。

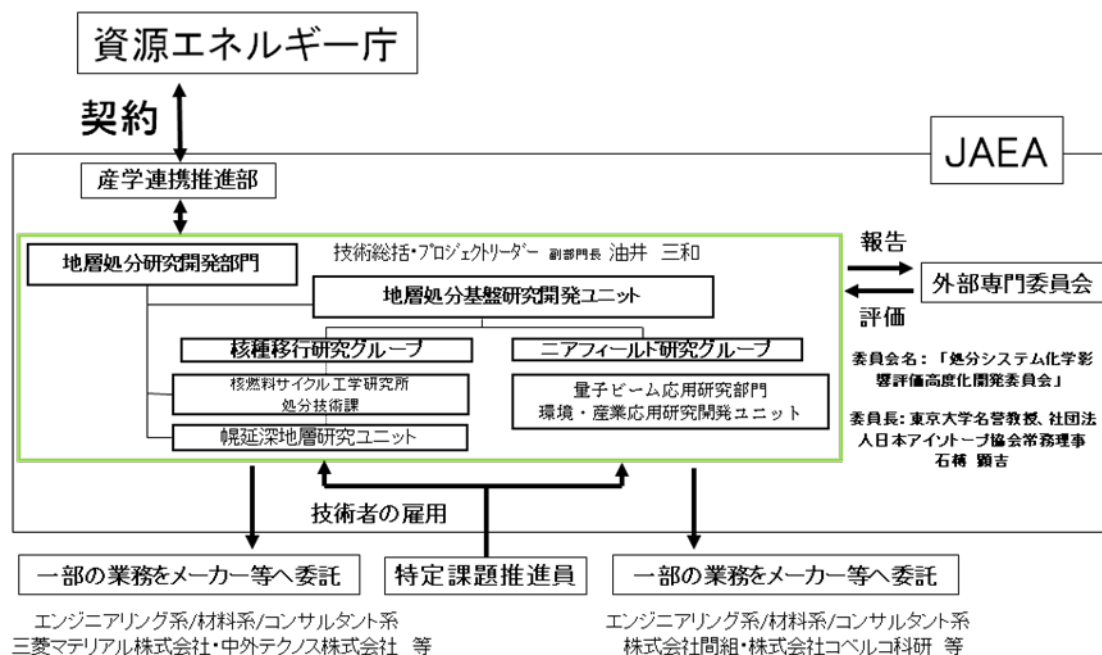


図 3-116. 研究開発実施体制（処分システム化学影響評価高度化開発）

（８）処分システム工学要素技術高度化開発

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターが経済産業省からの委託を受けて実施した。また、外注先として表〇に示す企業が参加した。

また、研究開発の実施にあたっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー（朝野英一）を設置するとともに、外部の有識者（大学、研究機関等の専門家）によって構成される委員会を各開発対象技術ごとに設置・運営し、開発計画、実施方法、結果の評価等について、開発のマイルストーンに合わせた時期に審議、検討を行い、開発成果の客観性を保つとともに、成果報告書の取りまとめに反映した。

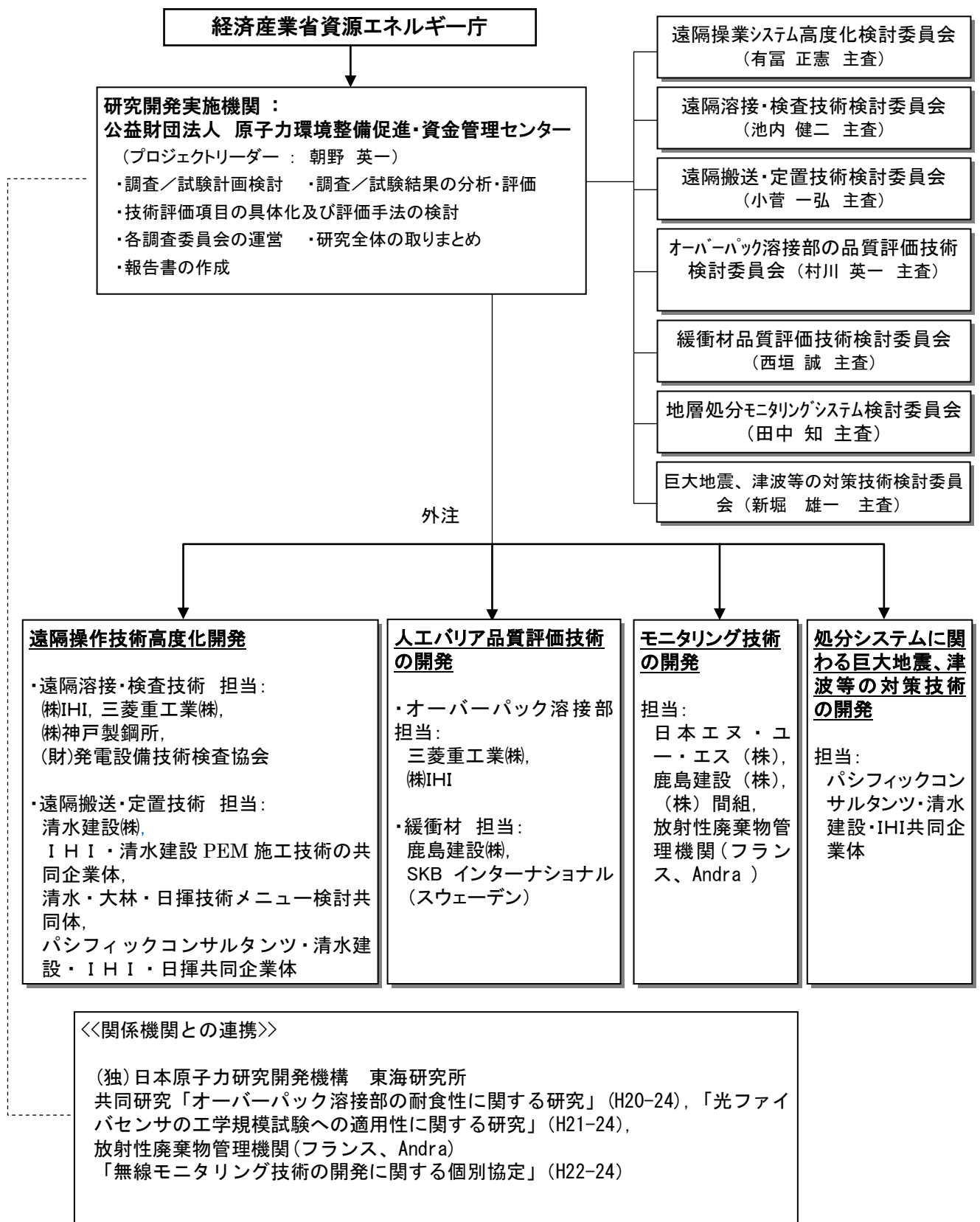


図 3 - 1 1 7. 研究開発実施体制（処分システム工学要素技術高度化開発）

(9) 地層処分回収技術高度化開発

本研究開発は、一般競争入札による選定審査手続きを経て、公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターが経済産業省からの委託を受けて実施した。また、再委託先として表〇に示す企業が参加した。

研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー（朝野英一）を設置するとともに、外部の有識者（大学、研究機関等の専門家）によって構成される委員会を設置・運営し、開発計画、実施方法、結果の評価等について、開発のマイルストーンに合わせた時期に審議、検討を行い、開発成果の客観性を保つとともに、成果報告書の取りまとめに反映した。

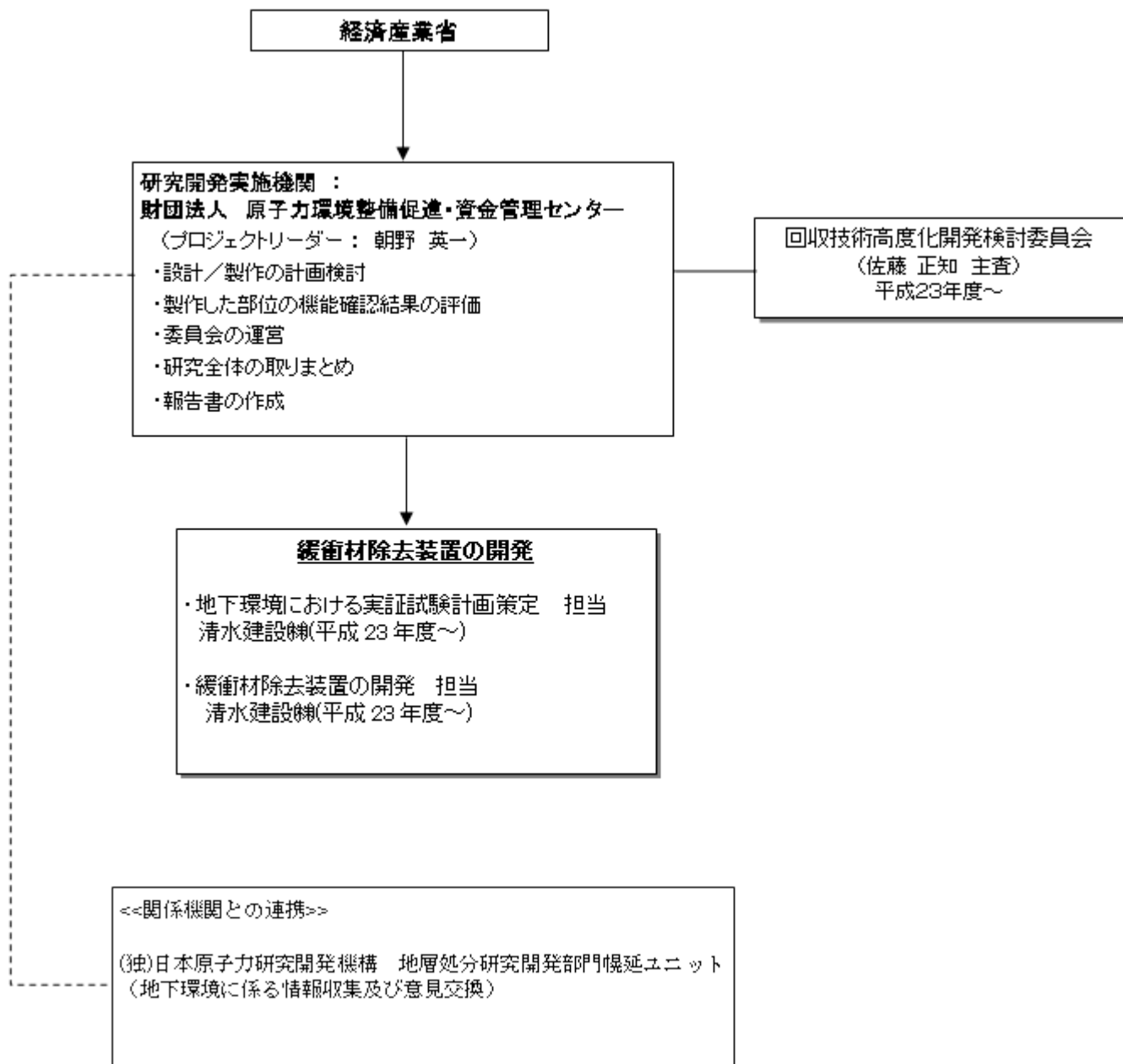


図 3 - 1 1 8. 研究開発実施体制（地層処分回収技術高度化開発）

本技術開発は、公募による選定審査手続きを経て、JAEAが経済産業省からの委託を受けて実施した。また、再委託先としてゼネコンなどの民間会社や大学等が参加した。

[illegible]

図3-118. 研究開発実施体制（地下坑道施工技術高度化開発）

（１１）人工バリア長期性能評価技術開発

当該技術調査の実施にあたっては、受託者である公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターは、廃棄物処分の研究分野に長年従事し、豊富な実績を有しているプロジェクト構成員を配置すると共に、必要となる個別の課題に対しての専門性を有する企業（メーカー、コンサルタント会社等）や、大学等を活用する形で業務を進めている。同時に、調査研究の実施にあたっては、関連分野の高度な専門知識を有する大学の有識者や処分実施主体等の研究開発成果のユーザー等により構成される検討委員会を設置し、事業の方向性、成果の達成度に関する評価を受けながら行っている。

図１８に本技術調査の実施体制を示す。

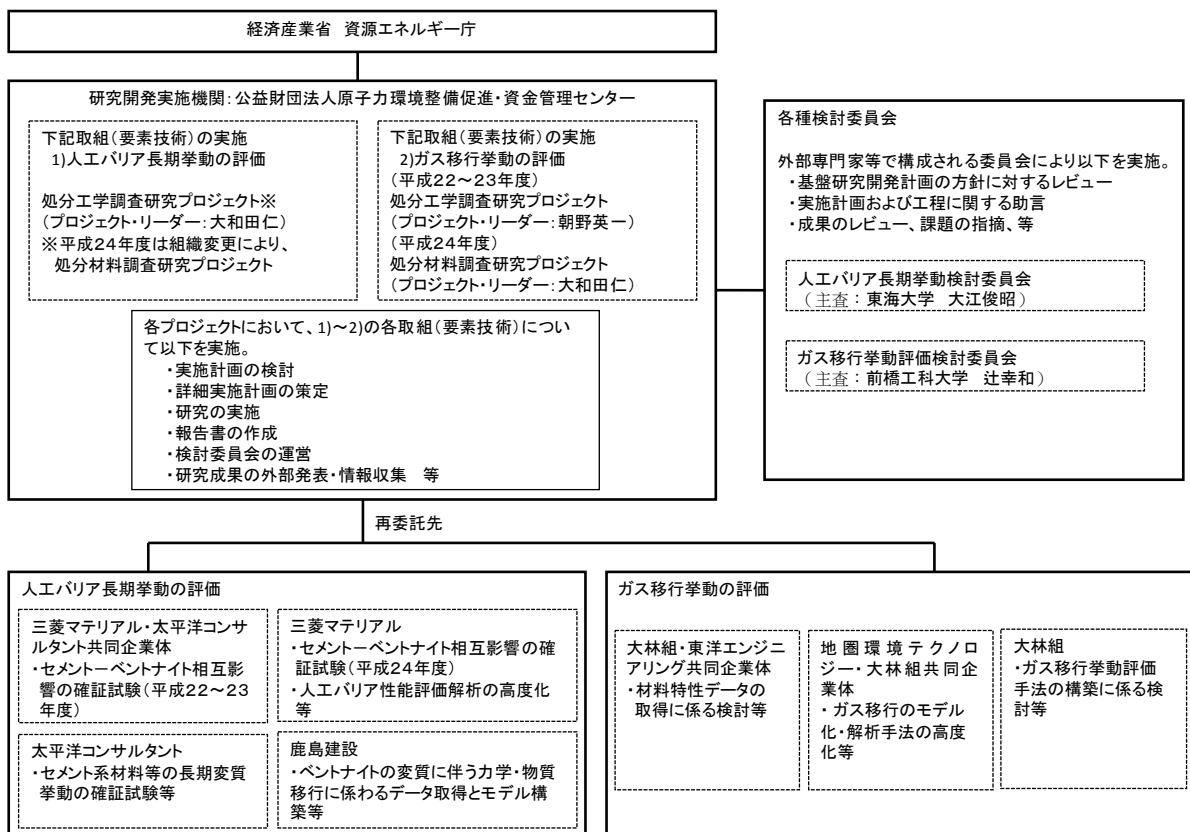


図 3-119. 研究開発実施体制（人工バリア長期性能評価技術開発）

（１２）ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターが経済産業省からの委託を受けて実施した。再委託先は無い。

また、研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー（処分材料調査研究プロジェクト 大和田仁）を設置するとともに、研究開発のレビューのため、各分野の専門家からなる委員会（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）を設置した。



図 3-120. 研究開発実施体制（ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発）

(13) セメント材料影響評価技術高度化開発

本技術開発は、選定審査手続きを経て、JAEAが経済産業省からの委託を受けて実施した。

プロジェクトの実施については、地層処分研究開発部門長が総括責任者となっている。研究開発の実施に当たっては、研究開発全般管理のためのプロジェクトリーダーを設置している。

研究開発成果の品質保証や、ニーズに適合する成果をめざすため、関係する技術領域の専門家として大学関係者及び放射性廃棄物調査研究機関職員の参加を得た外部専門委員会（セメント材料影響評価技術高度化開発委員会）を設置し、年2～3回開催して教示や意見を求め、適宜研究に反映した。品質管理に十分配慮してデータ取得等の業務の一部を外部メーカー等に外注して実施した。

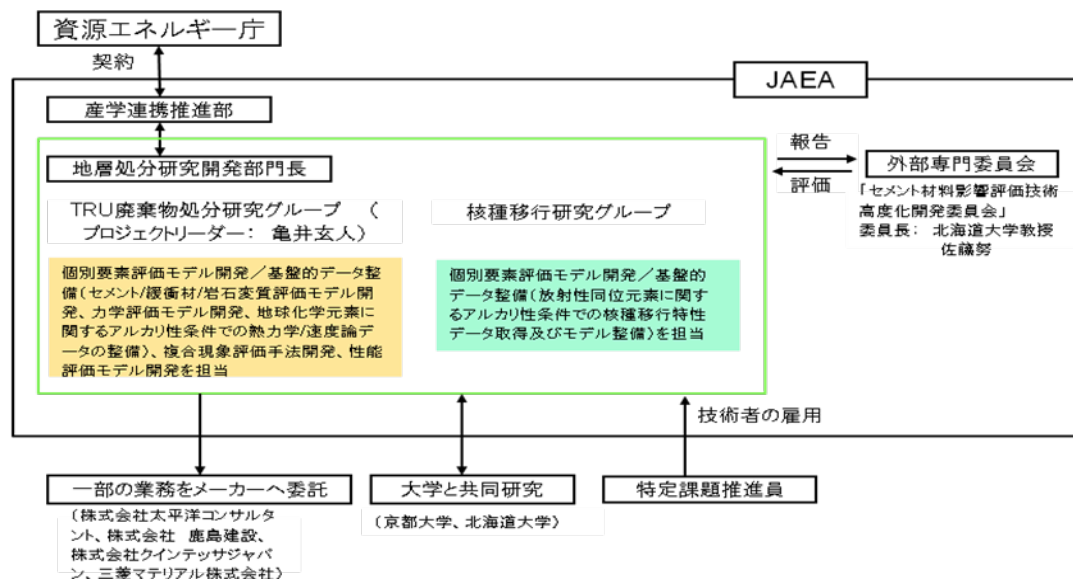


図3-121. 研究開発実施体制（セメント材料影響評価技術高度化開発）

(14) 硝酸塩処理・処分技術高度化開発

本技術開発は、選定審査手続きを経て、JAEAが経済産業省からの委託を受けて実施した。

プロジェクトの実施については、地層処分研究開発部門が総括責任者となっている。本件は処理・処分にまたがる技術開発であり、処理技術については、JAEA内のバックエンド推進部門が参加し処理技術開発について総括した。要素技術である硝酸塩影響評価システムの構築は地層処分研究開発部門が、また、硝酸塩除去技術の開発についてはバックエンド推進部門の関係部署がそれぞれ担当した。研究開発の実施にあたっては、研究開発全般管理のためのプロジェクトリーダーを設置している。

研究開発成果の品質保証や、ニーズに適合する成果をめざすため、関係する技術領域の専門家として大学関係者、核燃料サイクル事業者、地層処分事業者及び電気事業者の参加を得た外部専門委員会（硝酸塩処理・処分技術高度化開発委員会）を設置し、年3回開催（平成19年度と平成23年度は2回）し、その結果を適宜研究に反映した。品質管理に十分配慮してデータ取得等の業務の一部を外部メーカー等に外注して実施した。

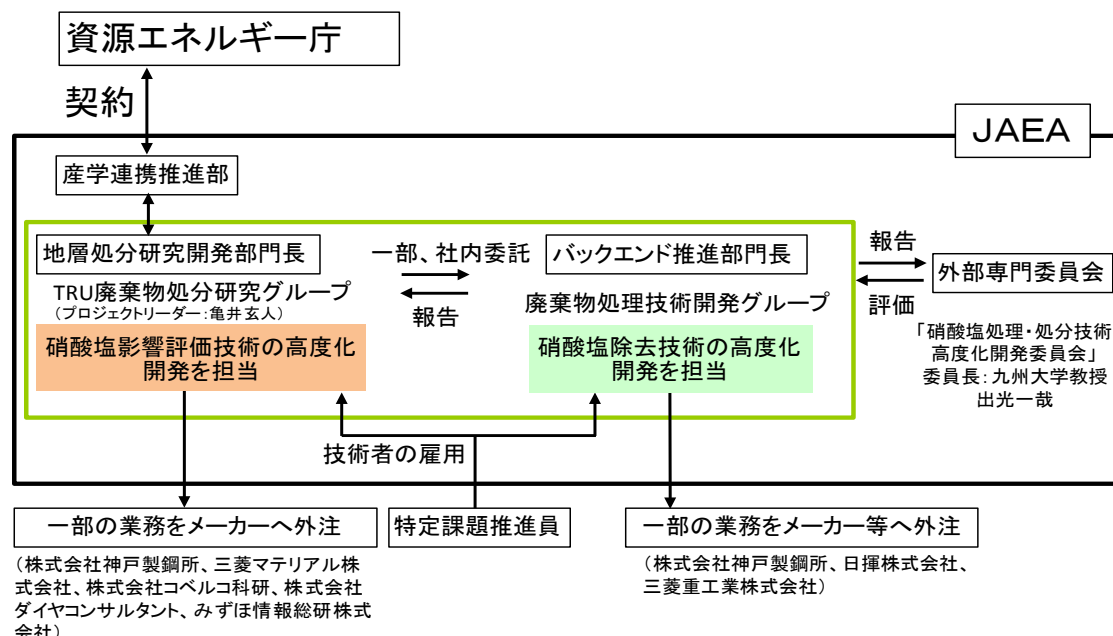


図3-122. 研究開発実施体制（硝酸塩処理・処分技術高度化開発）

3-5-3-A 資金配分

本事業に係る概算事業費（年度予算）は表3-65に示す通りである。

資金配分については、事業全般の成果と照らして妥当とする見方もできるが、費用対効果の評価や成果の事業化への寄与等が未確定であり、定量的な評価が困難な面もある。これらの点を考慮すれば、関連する情報提供及び説明において改善の余地はあると考えられる。

表3-65. 資金配分（単位：百万円）

	H22	H23	H24
A. 地層処分技術調査等委託費	2,949	3,292	3,436
ボーリング技術高度化開発	357	374	227
岩盤中地下水移行評価高度化開発	286	285	237
地質環境総合評価技術高度化開発	152	159	154
沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発	268	294	294
海域地質環境調査技術高度化開発		110	240
先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発	250	249	550
処分システム化学影響評価高度化開発	402	401	200
処分システム工学要素技術高度化開発	366	365	410
地層処分回収技術高度化開発		108	311
地下坑道施工技術高度化開発	223	223	125
人工バリア長期性能評価技術開発	170	169	158
ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発	361	360	350
セメント影響評価技術高度化開発		80	108
硝酸塩処理・処分技術高度化開発	116	115	72

3-5-4-A 費用対効果

本事業は、原子力発電を基幹電源として継続的に活用していく上で不可避の課題である高レベル放射性廃棄物やTRU廃棄物の地層処分に関して、中長期的な視点で国としての基盤的研究開発を展開することによって、技術的信頼性や安全性を一層高め、国民の理解を得つつ技術基盤を確立していくことを目的とする。このような事業の性格から、現時点で長期的な事業化までを含めた費用対効果の定量的な評価は難しいものの、以下の2つの観点で定性的には効果が見込まれるものである。

○個々のテーマのこれまでの成果については、処分事業及び国の政策並びに安全規制等の検討に既に反映されているもの、今後の概要調査段階等で活用が見込まれる成果が得られている。

○技術的信頼性や安全性の一層の向上を目指した本事業の成果は、多重バリアや処分場のより合理的な設計に資する等、継続的な側面での効果を有することが考えられるほか、高レベル放射性廃棄物とTRU廃棄物の併置処分の実現を高める観点での技術開発成果は、併置処分による経済的な効果に資することとなる。

(1) ボーリング技術高度化開発

ボーリング掘削技術や孔内での測定・検層に関する技術開発は主に鉱山や石油などの資源開発分野で実施されてきている。これらの分野では鉱床や石油胚胎層を発見することで巨額の資金を得られることから、掘削・調査技術にも巨額の資金が導入されている。本事業では、投入資金を縮減する観点から、極力既存技術を活用し、これを土木工事にダウンサイジングして、統合化することによりユニークなシステムを構築している。

本技術開発が対象としている堆積性軟岩が分布する沿岸域では、通常のボーリングでは多数のボーリング掘削が必要となったり、海上リグを構築することによる費用の増加、社会受容性の困難などが考えられる。これらの点を考慮すると資金投入に見合った調査の効果が期待できる。

(2) 岩盤中地下水移行評価技術高度化開発

1) 地下水年代測定技術調査

本技術開発で開発した地下水年代測定技術は、候補岩体の地下水の流動性を直接的に評価できる技術であり、候補地選定の重要な技術である。また、地下水だけでなく岩石コアによる調査も開発しており、ボーリング調査時に他の調査と共に実施することが可能なため、調査の効率化や合理的な実施にも寄与できるものと考えられる。

また、本技術開発では、日本原子力研究開発機構や他の経済産業省の委託研究などから、ボーリング試料の提供を受けるなど共同で実施したため、効率的に調査が実施できたと考えている。

2) 岩盤中物質移行特性評価技術高度化調査

本技術開発で開発した技術により、NUMOによる高レベル放射性廃棄物処分地選定のための精密調査において、岩盤中での溶質移行特性の高精度な評価が可能となり、安全評価の高精度化や合理的な施設設計に資することが期待される。

(3) 地質環境総合評価技術高度化開発

本技術開発は、専門家のノウハウ等に基づき作成されたエキスパートシステム群（ルール

ベース、事例ベース)、様々な支援機能(地質環境モデルを可視化機能、作成した書類の逸散を防止するための登録機能、地質環境調査の様々な作業を登録し、当該作業に関係する書類等を関連付ける機能とそれらの作業の工程を管理する機能など)を開発した上で、それらをコンピュータ上でマネジメントコクピットに統合し、プロジェクト全体の意思決定の支援、地質環境調査に関する様々な作業の支援、関係者間での情報共有、知識の追跡性の確保が行える「次世代型サイト特性調査情報統合システム(I S I S)」を開発したものであり、例えば複数地点で概要調査等を同時並行で行うような場合でも、信頼性を持った調査・評価を効率的に実施することが可能となる。これにより、データ・情報の一元管理と品質保証に基づく信頼性の向上による事業促進、処分費用の低減等の効果を期待することができる。また、このシステムを利用して段階的に蓄積される情報・データを適宜反映し、地質環境調査を柔軟に最適化することができることから、幅広い地質環境やその他の境界条件の変化に対して柔軟性や合理性のある対応を可能とし、処分費用の低減等に貢献することができる。

(4) 沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発

本技術開発では、当初掲げた目標に加えて、沿岸海底下の地下水領域を発見するという、当初期待できなかった画期的な成果を挙げることができた。この淡水領域の下位には数十万年単位で安定した地下水塊が存在することが解析的に示された。この事実は、超長期的に安定した水理地質環境を見極める重要な要素であり、これが列島の沿岸域周辺に広がっている可能性が判明したことは HLW 研究にとって大きな成果である。今後の地層処分研究に必要不可欠な成果であると考ええる。これらの成果は資財に換算できるものではなく、投入された資源量に見合った成果であると自負している。

(5) 海域地質環境調査技術高度化開発

本事業で得られた成果は、①海陸接合物理探査技術と②超長期沿岸海底地下水流動解析技術および本邦における評価結果であり、いずれも今後の地層処分研究に必要不可欠な事項であると考ええる。これらの成果は資財に換算できるものではなく、投入された資源量に見合った成果であると自負している。

(6) 先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発

本技術開発は、地層処分の技術的成立性とその信頼性向上にという観点から、地層処分の長い事業期間や将来にわたる原子力の継続的利用において想定される様々な状況等に対応可能な処分概念や性能評価技術を具体的に提示するとともに、処分概念や廃棄物管理体系の最適化に関わる技術を提示することによって、幅広い地質環境やその他の境界条件の変化への柔軟性や合理性のある対応を可能とし、処分の安全性の向上、処分費用の低減等の効果を期待することができる。

また、米国等との研究協力に貢献することにより、世界をリードする研究開発としてわが国の国際貢献上の価値を高めたことは意義深いものと言える。

原子力事故廃棄物の処理・処分に係る技術を提示することによって、東京電力福島第1原子力発電所の廃止措置に係る境界条件の変化への柔軟性や合理性のある対応を可能とし、廃止措置の着実な実施や柔軟性の確保等の効果を期待することができる。

（７）処分システム化学影響評価高度化開発

本技術開発は、高レベル放射性廃棄物の地層処分システムの設計や安全評価の信頼性向上に資するため、放射線の影響、微生物の影響、バリア間の複合作用等の化学環境（熱、水、応力、化学）変化、核種移行場（圧密体）に関わる４つの要因を対象として、定量的な影響評価技術等の高度化開発を行うことを目的として実施されたものである。これらの要因による影響が定量化されることにより、設計や安全評価上の過度の保守性を排し、処分場設計や安全評価をより現実的に経済合理性を持って効率的に実施することが可能となる。また、放射線影響や微生物影響評価モデルは、高レベル放射性廃棄物や TRU 廃棄物の地層処分だけでなく、浅地埋設、余裕深度処分に関する処分場設計や安全評価に対しても適用可能である。バリア間の複合作用の評価では、100℃を超える条件での緩衝材変質挙動、人工バリア相互作用影響を把握することで、システムの安全性に対する頑健性を向上させるとともに、処分場面積を低減することで、サイト選定の裕度拡大や処分費用の面での合理的なクライテリアの構築への反映が期待できる。

（８）処分システム工学要素技術高度化開発

本技術開発のうち、遠隔操作技術高度化開発については、遠隔操作技術に対する幅広い要素技術の適用性、処分システムの成立性及び技術オプションを定量的な情報を基に提示し、技術的信頼性の向上に貢献するものである。また、処分場の操業における中核技術である遠隔操業技術の成立性に対し、幅広い技術選択肢を提示することから、合理的、効率的かつ具体的な処分概念の成立につなげることができ、処分費用の低減等の効果を期待することができる。

人工バリア品質評価技術の開発については、高レベル放射性廃棄物処分環境における炭素鋼溶接部の耐食性に関わる体系的な評価を試みた世界的に類を見ない研究を継続しており、オーバーパック製作技術及び遠隔溶接技術の開発に対して、貴重なデータと知見を提供している。特に、ある環境条件・溶接条件によっては炭素鋼溶接部の耐食性が母材と異なる挙動を示したことは、オーバーパックの寿命評価や製作技術の今後の開発において重要な知見をもたらした。その改善策として着手した溶接部の長期腐食挙動評価、耐食性を考慮した溶加材選定、並びに残留応力評価手法の開発の成果は、信頼性のある技術選択肢の整備に貢献するものである。また、緩衝材に関して、施工品質を踏まえた技術選択肢の整備は、処分環境及び将来のシナリオが決定された時点で柔軟に信頼性・効率・コストを考慮した最適化を図るために不可欠なものであり、効率的な事業の推進を支援する経済的意義を有する。

モニタリング技術の開発については、今後の地層処分事業の各段階におけるモニタリングに関する議論や計画立案に資するものである。各段階の意思決定の際の地質環境、人工バリア等、多様な処分システムに応じたモニタリング技術を議論する際に、技術間の比較と各利害関係者間の共通の情報提供を可能にすることにより、意思決定の効率化とこれによる施工期間・施工コストの低減に寄与することが期待される。さらに技術開発においては、中核的な技術である地中無線通信技術についての放射性廃棄物管理機関（フランス、Andra）との共同研究における費用分担により、開発に必要な費用を節減している。

処分システムに関わる巨大地震、津波等の対策技術の開発については、東北地方太平洋沖地震以降、自然災害に対する原子力関連施設の安全確保は喫緊の課題であり、開発成果は地層処分システムの信頼性や安全性の向上や国民に対する地層処分事業の理解促進に資するとともに、地層処分施設や人工バリアの設計・施工への貢献が期待される。

(9) 地層処分回収技術高度化開発

本技術開発は、地下環境において実規模で行う実証試験のためのプロトタイプを製作し、廃棄体を回収するための技術が整備されていることを提示し、国民の地層処分技術に対する安心感の醸成に資するものである。また、処分場の操業における要素技術の一つである回収技術の成立性に対し、実規模での実証試験によるデータと知見を提示し、合理的、効率的かつ具体的は処分概念の成立につなげることができることから、処分費用の低減等の効果を期待することができる。

(10) 地下坑道施工技術高度化開発

本技術開発は、わが国の地下深部の地質環境の特徴を踏まえ、地層処分システムが有する長期性能への影響を最小限に抑えることを念頭に、放射性廃棄物の地層処分場を安全に建設・操業する上で不可欠なグラウト技術を体系的に構築することを目的として実施したものである。この目的に沿って適切なグラウト材料や注入工法を開発し、室内試験レベルでの確認を経た後、原位置での試験を通じた実証を行うことにより、処分場の地下施設の設計、建設に向けた経済性と要求性能の双方を考慮した現実的施工技術の確立及び施設の総合的な性能確認を行う技術を構築した。さらに、これら開発したグラウト技術を処分事業で用いる際の考え方や適用事例をグラウト技術の手順書（ガイドライン）として取りまとめ提示することにより、実用的な技術として、処分場の候補地点における地質環境調査の各調査段階や、許認可における処分施設の安全性の提示、システムの長期安全評価、また安全規制上の確認等に対する指針、データ等の提供が可能となる。

(11) 人工バリア長期性能評価技術開発

1) 人工バリア長期挙動の評価

本技術調査においては、前述の波及効果でも述べたように、TRU 廃棄物処分場の設計に対し、その仕様、成立性を評価するための基礎データを取得し、評価の高度化を行うことにより、貢献している。得られた確証データ、高度化により、実際の処分場の経済性に寄与する効果を考慮すれば、処分場建設に対しての費用対効果は大きいと考えられる。また、本事業では大学等との連携も取っており、効率的な予算配分を行っていると共に、専門分野の後継者の育成にも繋がると考えられる。そのため、処分場の現実的評価を行うことによる経済性への波及、その他の社会的受容性を向上させるという社会的意義からも費用対効果は高いと考えられる。

2) ガス移行挙動の評価

本研究の成果は TRU 廃棄物処分事業における安全評価に資するものとして十分な費用対効果が得られ、具体的には本検討に関心をもつ国内外の研究者と頻繁に意見交換を行うことによって、試験装置、解析コードおよび検討課題の選定や、結果の取りまとめが適切になされ、かつ 6 年間にわたり後戻り無く効率的に進め、費用効果の高い研究が実施できた。

(12) ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発

1) ヨウ素固定化処理技術開発

第2次TRUレポートのリファレンスケースでは、地質環境によってはヨウ素の最大被ばく線量はめやすの線量である $10\mu\text{Sv/y}$ を超えるケースがある。また C-14 でも、地質環境によってはこの値に近づく場合がある。今後選定される処分地の地質環境によっては、これら難収着性核種を含むTRU廃棄物の処分が困難となる可能性がある。本技術開発は、この問題の解決に向けたものであり、幅広い地質環境において処分可能となることで処分地の選定のゆわ度を与え、また、処分場候補地調査に関する費用が低減出来ることに加え、TRU廃棄物の地層処分の成立性を担保するものであり、その費用対効果は高い。

2) C-14 の長期閉じ込め技術の高度化

C-14 の長期閉じ込め技術の高度化による、地層処分システム性能の高度化、仕様の合理化等を目標とする廃棄体オプションを提示することにより、処分システムの経済性の向上を図るという経済的意義を有するのみならず、性能評価上の重要核種である C-14 を対象とした廃棄体について、その製作実現性、並びに信頼性の高い評価結果を提示することにより、地層処分の社会的受容性を向上させるという社会的意義も合わせて有するものと考えられる。

3) 放射化金属廃棄物中の C-14 の放出挙動評価

本技術評価は、TRU廃棄物地層処分及び余裕深度処分の事業化に向けて、処分システム性能上の支配核種となる C-14 についてのデータの取得整備、現象のより正確な把握を行うことで性能評価の信頼性が向上し、地層処分の社会的受容性を向上させるという社会的意義を有するのみならず、その成果によって、処分地選定の自由度を向上させると共に、処分概念の合理化効果も期待できるという経済的意義も合わせて有するものと考えられる。

(13) セメント材料影響評価技術高度化開発

本技術開発は、TRU廃棄物の地層処分施設の充填材や構造材などへの使用が想定されているセメント材料による、緩衝材及び周辺の岩石などの近傍における長期的なバリア性能に対する個別的影響を把握するとともに、これらを基本的構成要素としつつ、これらのモデルに関するJAEAや関連分野の研究グループが所有する既存の解析ツールを活用し、柔軟性のあるフレームワークを持つ複合現象評価手法を開発するものである。

本評価手法により、概要調査において得られる具体的な地質環境条件において、TRU廃棄物地層処分施設に使用するセメント材料の選定の判断に活用することなど、処分施設の設計の合理化を図ることができ、もって処分の安全性の向上、処分費用の低減等の効果を期待することができる。

(14) 硝酸塩処理・処分技術高度化開発

本技術開発の目的は併置処分の実現性という観点から、TRU 廃棄物に含有される硝酸塩の処分システムへの影響評価技術及び含有量低減のための処分技術の高度化である。併置処分によって、より効率的な地層処分が可能となり、経済性が向上することが見込まれるとされ、総合資源エネルギー調査会放射性廃棄物小委員会報告書（平成18年6月）によれば、高レベル放射性廃棄物との併置処分の実現にともない、両処分事業あわせて3,000億円程度の節減効果があることが示されている。本技術開発の投資額は6年間で約5.9億円であり、併置処分の実現性を科学的根拠をもって提示するための必要不可欠なツールの開発費としての費用対効果は極めて大きい。硝酸塩の影響評価技術開発と処理技術開発のために必要なデータが従来、極めて限られていたという事実を踏まえ、本技術開発ではまず、実験的手法によるデ

一タ取得を先行させ、これに基づいて評価モデル構築や処理システムの構築を行うという段階的な実施が不可欠であったと考えられる。

3-5-5-A 変化への対応

本事業においては、処分事業や安全規制の段階的展開やJAEA等の関連研究開発の計画等を念頭に、10～20年程度の中長期的な視点と同時に、当面5年程度の具体的な目標設定の視点をもって技術開発を展開している。そのような中で、当面5年程度の具体的展開についても、今後サイト選定や処分概念の具体化がなされていくことを考慮して、幅広い地質環境を考慮したジェネリックな段階から、サイトスペシフィックな段階への展開やそれに伴う処分概念の具体化に応じて、技術の選択肢を用意するといった柔軟な対応が可能となるように配慮している。これまでも、「地層処分基盤研究開発調整会議」での研究開発成果の体系化方策等の状況を踏まえながら、具体的な見直し等を行っている。

(1) ボーリング技術高度化開発

本技術開発は、地層処分の概要調査や精密調査に供する掘削及び調査技術であり、現在のところこれらの調査の概念やスケジュールには大きな変更がないため、特に対応は実施していない。なお、本技術開発の主たる対象である堆積岩沿岸地域が公募に挙がらなかった場合でも、地形や地質条件に関する情報の限られた地点での調査法として、また数少ないボーリングでの効率的な調査法として対応が可能である。

(2) 岩盤中地下水移行評価技術高度化開発

1) 地下水年代測定技術調査

地下水年代測定技術は、国内での適用性向上を図るために、瑞浪と幌延といった花崗岩と堆積岩での調査だけでなく、平成20年度から開始された沿岸域プロジェクトにも参加し、沿岸域での適用性も確認した。また、原子力発電環境整備機構と共同研究を実施している横須賀、技術協力を実施している日本原燃の六ヶ所に対しても開発してきた技術を適用し、技術を活用している。

2) 岩盤中物質移行特性評価技術高度化調査

本技術開発で整備した調査技術の基礎的な原位置実証試験は、比較的割れ目の分布が単純なスイスのGrimsel Test Siteで実施した。その後、JAEAの瑞浪超深地層研究所において研究用坑道が完成しつつあることから、次段階の実証試験は比較的割れ目の多い同研究用坑道での実施を検討している。

(3) 地質環境総合評価技術高度化開発

本技術開発は、その特徴として、幅広い地質環境やその他の境界条件の変化を前提に、段階的に蓄積される情報・データを適宜反映して、地質環境調査を柔軟に最適化することができるようなシステムを構築するものである。

さらに、地層処分事業の実施主体であるNUMOとの情報交換を通じた事業との接点の明確化と事業化への反映、並びに、安全規制関係研究機関である(独)原子力安全基盤機構(JNES)との情報交換を通じた規制側との接点及び規制検討への反映に関して適切な対応を図った。また、国内外の調査研究機関との情報交換を密にして情報共有を進めること、及び国際会議等を通じて最新の研究動向の調査を進めることにより、有用な知見が幅広く得られるように配慮した。

（４）沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発

本技術開発初年度に東日本大震災が発生した。国民の意識の変化や国の政策などが大きく変化したが、これに対応し本委託事業も方向や情報発信の方向を修正した。地層処分事業が実施された場合の国民の不安を払しょくするために必要な事項（断層の存在を含む沿岸域の水理地質構造や地下水の長期的な安定性能）を優先的に研究課題に取り上げ、変化に対応した研究に取り組んだ。

（５）海域地質環境調査技術高度化開発

本技術開発が計画された後に東日本大震災が発生し、その直後に事業が開始された。国民の意識の変化や国の政策などが大きく変化したが、これに対応し当該研究事業も方向を修正した。地層処分事業が実施された場合の国民の不安を払しょくするために必要な事項（断層などを含む地質構造や地下水の長期的な安定性能）を優先的に研究課題に取り上げ、変化に対応した研究に取り組んだ。

（６）先進的地層処分概念・性能評価技術高度化開発

本技術開発は、幅広い地質環境やその他の境界条件の変化を前提に、変化への柔軟性や合理性のある対応を可能とすることに着目したものである。また、先進サイクルなどの将来生じる変化への対応も視野に入れている。

さらに、NUMOやJNESとの情報交換を通じた処分の事業化及び安全規制検討への反映に対し、ニーズに基づく適切な対応を図っている。併せて、国内外の調査研究機関との情報交換を密にして情報共有を進めること、及び国際会議等を含む海外調査により最新の研究動向の調査を進めることにより、有用な成果が幅広く得られるように配慮している。

原子力事故廃棄物の処理・処分については、廃止措置に係る計画の進展や社会環境の変化等、様々な境界条件の変化への対応に着目している。

（７）処分システム化学影響評価高度化開発

本技術開発の実施期間中、調整会議による全体計画の見直しに検討作業等を常に念頭に置き、最新の情報に基づき計画の見直しが必要か否かについて検討、評価を行いながら計画を進めている。また、国内の専門家による検討委員会を設置し、年度ごとに実施する計画の事前レビューと年度末の成果のチェックが行われており、適宜、研究方針・成果の妥当性確認と必要な見直しを行っている。また平成21年度は、プロジェクトの中間評価という形で本技術開発全体の成果を俯瞰できるプロトタイプ技術を提示し、上記委員会での検討に加え自己評価を行うことにより、終了時期の平成24年度までの計画の軌道修正も視野に入れ、プロジェクトの妥当性を適宜再評価してきている。

また、地層処分相当とされるTRU廃棄物については、国内外のTRU廃棄物研究開発の最新動向に関する情報収集を行い、必要に応じて研究開発に反映を行ってきた。例えば、微生物影響の検討では、脱窒菌を対象にしていた研究開発に、硝酸塩評価を踏まえ、窒素サイクル中の種々の菌に関する遺伝子情報を入手するように計画を拡大した。

（８）処分システム工学要素技術高度化開発

本技術開発は、高レベル放射性廃棄物処分事業の進捗に沿って中長期的な視点を持って進められているとともに、当面の5年程度の具体的な目標を設定して実施している。またこれ

らを展開する上では、具体的なサイト選定にともなう処分概念の具体化に対応可能な技術選択肢の整備に配慮しており、今後の諸情勢の変化への対応が十分可能である。

また、モニタリングに関する検討では、平成 21 年の欧州における国際共同研究プロジェクト（MoDeRn プロジェクト）の設立に対応し、これに参画することにより検討内容の他国との比較を容易にし、妥当性のある検討を可能とした。

さらに、平成 23 年の東北地方太平洋沖地震による被害を教訓として、平成 24 年度には、処分システムに関わる巨大地震、津波等の対策技術の開発を新たに開始し、処分の安全性向上に寄与している。

これらの変化への対応を含め、NUMO との情報交換を行うことにより、NUMO の技術開発計画や処分概念構築への反映に対して、適宜適切な対応を図っている。また、調査実施機関間の情報交換を密にし、情報共有化を進めることで有用な成果が得られるように対応している。

（９）地層処分回収技術高度化開発

平成 18 年 9 月に取りまとめられた「放射性廃棄物の地層処分に係る安全規制の制度のあり方について」（総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会）において、処分場閉鎖までの間は廃棄体の回収可能性を維持することが必要である、と記され、平成 24 年 12 月に取りまとめられた「今後の原子力研究開発の在り方について（見解）」（日本原子力学会）においては、回収可能性の合理的な担保のあり方に関する研究開発を継続的に進めることが重要である、と記されている。

このような背景から、地層処分回収技術高度化開発がスタートしている。その中で回収可能性に関する各国の動向を調査し、法規制、経緯、技術的動向など回収可能性の考え方の議論に資する知見を整理した。

これらの変化への対応を含め、実施主体との情報交換を行う事により、実施主体の技術開発計画や処分概念構築への反映に対して、適宜適切な対応を図っている。また、本開発において設置した委員会及び調査実施機関との情報交換を密にし、情報共有化を進めることで有用な成果が得られるように対応している。

（１０）地下坑道施工技術高度化開発

本技術開発は今後特定される処分場候補地の地質環境条件に対して柔軟に対応できるよう、グラウト材料、注入管理工法及び長期影響評価手法の開発において幅広い技術を視野に置いて検討を行っている。また、実施期間中、調整会議による全体計画の見直しに関する検討作業等を常に把握し、国際ワークショップの開催などを通じて、最新の情報に基づき計画の見直しが必要か否かについて検討、評価を行いながら進めた。さらに、平成 21 年度に本プロジェクトの中間評価という形で本技術開発全体の成果を俯瞰できるように提示したプロトタイプ技術に対する自己評価を踏まえ、評価期間までの計画の軌道修正も視野に入れ、プロジェクトの妥当性を再評価しながら、実施した。

（１１）人工バリア長期性能評価技術開発

１）人工バリア長期挙動の評価

TRU 処分場の設計に関しての見直しが行われている中、本技術開発は人工バリアの多様性、環境の多様性に適応できる評価の高度化を目指しており、設計への柔軟な対応がで

きるという意味で、非常に有効な目標を掲げ、実施されている。そのため、今後の概要調査、精密調査においても、実環境に適応できる評価という点で多くの条件で反映できるデータの蓄積をおこなっており、変化への対応という点で優れていると考える。

2) ガス移行挙動の評価

本研究は、TRU 廃棄物処分事業の進捗に沿って中長期的な視点を持って進められているとともに、当面の 5 年程度の具体的な目標を設定して実施している。またこれらを展開する上では、具体的なサイト選定にともなう処分概念の具体化に対応可能な試験仕様や解析コードの選定に配慮しており、今後の諸情勢の変化への対応が十分可能である。

(1 2) ヨウ素・炭素処理・処分高度化開発

1) ヨウ素固定化処理技術開発

福島原発事故をうけ、環境基本法が改正されるとともに、事故原発敷地内のトリチウム等の海洋放出が厳しく監視・制限されるなど、放射性物質の環境放出については法的にも社会情勢的にもより強い規制が求められつつある。放射性ヨウ素を含有する廃棄物についても、このような状況変化を受け、その放出を制限する固化体開発の意義はますます強くなっており、その技術的信頼性や廃棄物量を定量的に評価するなどの適切な対応を行っている。

更に、高レベルガラス固化処理プロセスの改善や、再処理施設の新規制基準への対応等を踏まえ、六ヶ所再処理施設の竣工に見通しが得られつつある。その一端を担う、放射性ヨウ素の処理・処分技術については、その実現性が期待されている。

2) C-14 の長期閉じ込め技術の高度化

TRU 廃棄物の地層処分の実施主体である原子力発電環境整備機構 (NUMO) において、「地層処分技術開発二一ズの整理 ～精密調査地区選定に向けて～ (平成 22 年 6 月)」および「地層処分事業の技術開発計画 一概要調査段階および精密調査段階に向けた技術開発一 (平成 25 年 6 月)」に示されるように、C-14 の長期閉じ込め技術が求められつつある。本技術開発では、平成 10 年度より 2 種類の容器 (コンクリートおよび金属) C-14 の長期閉じ込め技術の開発を実施しており、この変化に対応している。

福島原発事故による社会情勢の変化により、放射性廃棄物の閉じ込めに関する二一ズが高まりつつある。本技術開発は、放射性廃棄物を 6 万年間閉じ込める技術であり、この二一ズへの対応が期待出来る。

3) 放射化金属廃棄物中の C-14 の放出挙動評価

福島原発事故をうけ、従来の使用済み燃料を全量再処理する政策の見直しが議論され、一定の割合で直接処分を行うことについての検討が開始された。直接処分の安全評価を行う際には、使用済み燃料 (燃料被覆管などの放射化金属を含む) 中の核種インベントリが必要となる。本評価で検討した放射化金属中の C-14 インベントリ評価の手法や根拠などは、直接処分のインベントリ評価という新たな課題にも対応することが期待出来る。

(1 3) セメント材料影響評価技術高度化開発

本技術開発は、セメント材料の変質を発端とする複合現象について評価を行うものである。

地層処分施設にセメント材料を使用しないという状況変化が生じた場合においても、緩衝材や岩盤の個別現象モデルは活用することが可能である。なお、セメント材料は、土木建築の分野で幅広く使用され構造材として実績があり、かつ、安価であることから、セメント材料に代替できる材料を使用する可能性は低い。

（１４）硝酸塩処理・処分技術高度化開発

本技術開発に係る動向については、プロジェクトの開始段階で、特に処理技術開発に係る調査を広範に行い、その結果を踏まえた手法（膜分離技術）の選択を行っている。また、脱硝技術の調査において、低濃度の硝酸溶液を対象として、いくつかの硝酸イオンの分解法や分離法が考案され、実用化されていることを見い出している。しかし、本技術開発で対象とする高濃度硝酸塩溶液にこれら脱硝法をそのまま適用することは、技術的な課題が多く困難である。高濃度の硝酸塩を含む廃液中の硝酸イオンを分解する方法は、分解用の試薬を大量に必要とするとともに、処理後の廃液中の塩濃度は高いままであるため後の固化処理が容易ではない。他方、硝酸ナトリウムを廃液中から分離除去する方法は、廃液中の塩濃度の減少とともに分離効率が低下するため、高度の除去には適さない。そこで、本技術開発では、イオン透過膜を用いた硝酸ナトリウムを分離する技術とその後の廃液中に残存する硝酸イオンを分解する技術を組み合わせることによって両者の課題を解決できる新しい脱硝システムを構築し、様々な技術進展の状況変化に対応可能なものとした。

B 管理型処分技術調査

3-1-B 事業の目的・政策的位置付け

3-1-1-B 事業目的

管理型処分技術調査は、ウラン廃棄物の処理処分システムの構築や、原子力発電施設及び核燃料サイクル関連施設から発生する放射能レベルの比較的高い低レベル放射性廃棄物を、管理型処分施設に処分する処理処分システムの構築に必要な技術的知見の収集を目的とするものである。

管理型処分技術調査に係る事業の全体像は、表 63 に示す通り、昭和 62 年に開始し、「ウラン廃棄物処分技術調査」及び「余裕深度処分技術調査」について、それぞれ、国内外の関連する処分方針や研究開発の進捗動向を踏まえながら、その方向性や課題内容について適切かつ段階的に設定しながら実施してきたものである。

①ウラン廃棄物処分技術高度化開発（昭和 63 年～平成 19 年）

ウラン廃棄物の処分の合理的実現に向けて、除染技術や検認技術の開発や、ウラン廃棄物特有の移行パラメータの整備等を実施した。

②低レベル放射性廃棄物処分技術調査（平成 14 年～平成 17 年）

余裕深度処分概念について、国内外の情報調査と安全性能の体系的な検討・評価を通じて、信頼性・合理性のある処分概念や評価の方法論を提示した。

③地下空洞型処分施設性能確証試験（平成 17 年～）

実規模大の岩盤空洞内に、コンクリートピットやベントナイト緩衝材等から構成される地下空洞型処分施設を構築し、余裕深度処分概念における人工バリア等の施工性や性能を総合的に確証する。

今回の技術評価では、平成 22 年度以降も事業が継続している地下空洞型処分施設性能確証試験について、評価を行う。

表 3-66. 「管理型処分技術調査」の展開

		S60	S61	S62	S63	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
【国の方針決定や事業化の動向】		原子力案「処分基本的考え方」																											
発電所廃棄物	浅地中ビット処分	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
	浅地中トレンチ処分	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
	余裕深度処分	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
TRU廃棄物		▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
ウラン廃棄物		▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
【管理型処分技術調査】		原子力案「処分基本的考え方」																											
A) ウラン廃棄物処分技術調査		処分システム検討																											
		海外調査、処分システム・経路性評価等																											
		除染・検証技術																											
		硝酸除染等																											
B) 余裕深度処分技術調査		処分システム検討																											
		処分システム概念検討、技術開発課題抽出等																											
		バリア要素技術開発																											
		バリア要素技術の高度化、バリア性能の把握のための工学試験等																											
B) 余裕深度処分技術調査		安全評価手法検討																											
		海外情報収集と安全性性能の体系的検討・評価																											
		処分施設性能検証																											
		実規模岩盤空洞での人工バリア等の施工性及び性能の検証試験																											

2-1-2で述べたように、経済産業省の施策である「原子力の推進・電力基盤の高度化」の目的の一つとして、本事業の目的である「放射性廃棄物処分対策」が明示されており、プログラムへの適合は明確である。

2-1-3で述べたように、原子力発電に伴って生じる放射性廃棄物の処分は、公益性が極めて高く、国民全体の利益から見ても重要な課題である。また、余裕深度処分には、地層処分と同様、安全確保の長期性と処分事業の長期性という大きな特徴があり、その研究開発は、利益事業への直結性や汎用技術への展開性に乏しいため、国の基盤研究開発への取り組みが一層求められている領域である。また、本研究開発は、海外の原子力利用事業に協力する際の科学・技術資源となるものであり、更には未来型の大型大深度地下利用事業等にも活用されうるものであるために、国としても研究開発の役割を担い、先導性と継続性をもって基盤的な研究開発を着実に進め、国民各層の理解を得つつ、わが国の処分計画の着実な進展のための基盤を整備していくことが重要である。

3-2-B 研究開発目標

3-2-1-B 研究開発目標

3-2-2-B 全体の目標設定

本事業の目標設定の考え方としては、上述した地層処分の場合と同様、国としての技術開発の意義や民間実施主体との役割分担等を適切に踏まえることが必要である。

- ・技術的信頼性・成立性や安全性といった、国が先進的に実施すべき技術開発の役割
- ・廃棄物種類・処分形態や事業進捗に応じ、民間実施主体等との適切な役割分担

このような観点を踏まえ、管理型処分のうち、検討の対象とする廃棄物種類及び処分形態の特徴や技術課題の解決という観点から、個別テーマごとに開発目標及びそのための適切な目標水準を設定している。なお、ウラン廃棄物処分技術高度化開発及び低レベル放射性廃棄物処分技術調査は、プロジェクトが終了している。

地下空洞型処分施設性能確証試験については、実規模大の岩盤空洞内に、コンクリートピットやベントナイト緩衝材等から構成される地下空洞型処分施設を構築し、余裕深度処分概念における人工バリア等の施工性や性能を総合的に確証することを目標としている。この全体目標を達成するために、要素技術ごとに目標・指標を設定し、各々が達成出来れば合体目標も達成出来るようになっている。実規模大の施設による実証試験を行うことにより、その成果のほとんどが実事業に反映出来るように目標設定した。

また、最終的な達成度を測定するための指標は、それぞれの開発目標を踏まえて抽出された技術課題が解決されることとし、具体的に中間段階及び最終段階における指標を設定している。

管理型処分技術調査全体としては、いずれのテーマも原子力委員会、原子力安全委員会等の国の基本方針に立脚した目標を設定している。

3-2-3-B 個別要素技術の目標設定

テーマの要素技術ごとの開発目標や、目標水準及びその設定理由を表 64 に示す。地下空洞型処分施設性能確認試験については、本中間評価期間における目標と、プロジェクト終了段階における最終目標とを示す。

表 3-67. 個別要素技術の目標（地下空洞型処分施設性能確認試験）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
1) 実現可能な埋設施設試験計画の策定	① 処分施設に要求される性能を実現出来る施設形態の提示。 ② 処分施設施工確認試験・性能確認試験及び施設・岩盤挙動計測試験の基本計画、詳細試験計画の提示。	① 処分施設に要求される性能を実現出来る施設形態の提示。 ② 処分施設施工確認試験・性能確認試験及び施設・岩盤挙動計測試験の基本計画、詳細試験計画の提示。	処分施設施工確認試験・初期性能確認試験及び施設・岩盤挙動計測の基本計画及び詳細試験計画が策定されていることを目標とし、施設形態、試験計画の提示を目標水準とする。
2) 処分施設施工確認試験・初期性能確認試験 ・埋戻し材試験 ・緩衝材試験 ・低拡散材試験 ・コンクリートピット試験 ・充填試験	① 処分施設の埋戻し材、緩衝材、低拡散材、コンクリートピット、充填の構成部材毎の試験における適用可能な施工技術の確立。 ② 上記施工技術で施工された人工バリアの施工後の初期性能が要求性能を満たし、実証されていること。	① 処分施設の構成部材、緩衝材、低拡散材、コンクリートピット、充填の一部の構成部材毎の試験における適用可能な施工技術の確立。 ② 上記施工技術で施工された埋戻し材の施工後の初期性能が要求性能を満たし、実証されていること。	処分施設の構成部材毎にバリア性能を確保するための施工技術、施工方法等の実施工への適用性を明確にすること、施工後の施設の力学安定性及び核種閉じ込めに係る初期性能を明確にすることを目標とする。適用可能な施工技術の確立、及び施工された人工バリアの初期性能が要求性能を満たし、実証されていることを目標水準とする。
3) 施設・周辺岩盤挙動計測 ・埋戻し材 ・緩衝材 ・低拡散材 ・コンクリートピット ・周辺岩盤	① 施工中、施工後の埋戻し材、緩衝材、低拡散材、コンクリートピットの構成部材において力学挙動を示す計測データの取得。 ② 周辺岩盤の力学・水理挙動を示す計測データの取得。 ③ 計測結果からの埋設施設・周辺岩盤の力学・水理挙動の把握、施設を構成する部材が建設中・建設後に人工バリアや周辺岩盤へ与える影響の程度の把握及び地下水流動解析手法の検証。	① 施工中、施工後の埋戻し材、緩衝材、低拡散材、コンクリートピットの一部の構成部材において力学挙動を示す計測データの取得。 ② 周辺岩盤の力学・水理挙動を示す計測データの取得。 ③ 計測結果から埋設施設・周辺岩盤の力学・水理挙動の把握、施設を構成する部材が建設中・建設後に人工バリアや周辺岩盤へ与える影響の程度の把握。	施工中、施工後の処分施設や周辺岩盤の力学・水理挙動を計測し、力学的安定性や地下水流動を評価することを目標とし、挙動計測データの取得、力学・水理挙動の把握、人工バリアや周辺岩盤へ与える影響の程度の把握及び地下水流動解析手法の検証を目標水準とする。

4) 巨 大 地 震 が地下空洞 型処分施設 に与える影 響の検討	①巨大地震時の地下空洞型 処分施設の挙動解析及び評 価。 ②複数の地震計の地下空洞 型処分施設等への設置及び 計測データの取得。 ③挙動解析の実施と計測デ ータと解析結果の比較分析 及び評価。	①巨大地震時の地下空洞型 処分施設の挙動解析及び評 価。	東北地方太平洋沖地震の発生 を受け、埋設施設の設計・施工技 術等に反映することを目的に、地 下空洞型処分施設等に複数の地 震計を設置して観測し、挙動を解 析するとともに、観測データと解 析結果の比較分析等を行い、巨大 地震が地下空洞施設に与える影 響について検討する。
--	---	---	---

3-3-B 成果、目標の達成度

3-3-1-B 成果

3-3-1-1-B 全体成果

地下空洞型処分施設性能確認試験の成果については、施設に要求される性能を実現するための試験計画の策定を確実に実施するとともに、施工試験を順次実施し、目標どおりの成果を達成した。

これらの調査・研究開発は、最終的には処分事業に関する基盤的な研究開発及び余裕深度処分の技術的信頼性の向上のための技術課題の解決に資するものと位置付けている。

3-3-1-2-B 個別要素技術成果

(1) 地下空洞型処分施設性能確認試験

本性能確認試験は、実規模・実環境下における試験としてはわが国でも初めてのものである。平成 22 年度から 24 年度までの成果としては、充填材、側部緩衝材、上部コンクリートピット、上部低拡散材について施工確認試験と初期性能確認試験を実施して、施工技術・工法の適用性及びそれらの初期性能を確認し、施工技術を確立した。また、施設・周辺岩盤の挙動を計測し、処分施設の力学的安定性及び地下水流動を評価した。

1) 施工確認試験・初期性能確認試験

① 充填試験（上部充填材）

上部充填材は、廃棄体の上部に打設する充填材であり、後続する作業である上部コンクリートピット施工のため、他の材料とは異なり、高い遮へい性能（部材厚の確保等）が必要とされる部材である。施工については、放射線管理下での無人化施工を満たす自己充填性、上部コンクリートピットの施工に支障をきたさないセルフレベリング性（自重のみで平滑面を作る性質）が要求される。

これらの要求を満足させるため、高い流動性を有する低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の材料の配合を基に熱影響を小さくするため混和剤の種類と量、コンクリートピットとの隙間を抑制するための膨張剤の量を調整し、室内及びコンクリートプラントで試験を行った上で適切な材料配合を決定した。

打込み方法は、バケットによる方法を採用した。バケットの移動時間を考慮し、6 箇所からの打込みを行い、自己充填性やセルフレベリング性を確認した。また、表面均し装置による均しを実施し、これらの施工方法の適用性を検証した。更に、物性値を把握するため、初期性能確認試験を実施した。

施工確認試験の結果、自己充填性については、コンクリートが隅々まで充填されることが確認された。打込み中にこわばり（乾燥等で表面が固くなる現象）が発生し、この現象が顕著になると打込み面の平滑性の確保が難しくなることが確認された。表面均し装置を併用した結果、表面も平滑にならされ、高低差 40mm 以内を達成した。

硬化後の上部充填材と側部コンクリートピットの間には幅 1~2mm、深さ 50cm 程度の隙間が発生したが、平成 21 年度に発生した隙間の深さ 100cm 程度と比較すると半分程度

の深さに抑制され、膨張剤の効果が確認された。また、打込み後の養生によってひび割れ、隙間の発生を抑制できることを確認した。これらのひび割れや隙間をさらに少なくする対策としては、上部充填材の表面仕上げ方法や材料の配合調整があげられる。

また、初期性能確認試験の結果、コンクリートの強度は実規模の施工環境下において、材齢 91 日で 60N/mm^2 以上となっており、十分な強度を有している。

上部充填材の使用材料を表 3－68 に、決定した上部充填材の配合を表 3－69 に示す。また、充填材の施工状況を図に示す。

表 3－68．上部充填材の使用材料

材料	記号	概要
セメント	LPC	低熱ポルトランドセメント（太平洋セメント社） 密度= 3.22 g/cm^3 、比表面積= $3,640\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	S	石灰砕砂（八戸松館産）：密度= 2.66g/cm^3 、FM=2.79
粗骨材	G	石灰碎石（八戸松館産）：最大骨材寸法=20mm、 岩種：石灰岩、密度= 2.69g/cm^3 、FM=6.63
石灰石微粉末	LS	石灰石微粉末（宮城石灰工業株式会社製） 密度= 2.71g/cm^3 、比表面積= $5,510\text{cm}^2/\text{g}$
フライアッシュ	FA	フライアッシュ、Ⅱ種（東北電力株 能代火力 発電所） 密度= 2.18g/cm^3 、比表面積= $3,820\text{cm}^2/\text{g}$
膨張剤	LEX	改良型ハイパーエクスパン（太平洋マテリアル） 密度= 3.05g/cm^3
混和剤	SP	高性能AE減水剤（BASF ポゾリス）、SP8LS：ポリ カルボン酸エーテル系化合物と配合ポリマーの 複合体 +Ad
	Ad	減水剤 遅延型（Ⅰ種）（BASF ポゾリス）、ポゾリ ス No. 89：変性リグニンスルホン酸化合物とオキ シカルボン酸化合物の複合体
	As	空気量調整剤（エムエムビー） マイクロエア 404：ポリアルキレングリコール誘 導体

表 3－69．上部充填材の配合

Gmax (mm)	スランプ [°] フロー (cm)	空気量 (%)	W/B (%)	W/P (%)	s/a (%)				
20	70±5	2.5±1.5	45	28.0	52.5				
使用材料および単位量 (kg/m ³)									
W	粉体 P				S	G	SP P×%	Ad P×%	As P×%
	結合材 B			LS					
	LPC	FA	LEX						
160	229	107	20	215	845	780	1.10	0.20	0.02



バケット設置状況



上部充填材充填状況

図 3-123. 充填材施工状況

以上のことから、今回採用した施工技術・施工方法において、バケットによる打込み工法の適用性が把握でき、その結果、施工性（自己充填性、セルフレベリング性）、品質（フレッシュなコンクリートの材料特性・充填高さ等の出来形）、初期性能（コンクリート強度特性等）が確認されたことから、採用した施工技術・施工方法が現実の施設の施工においても実現できることを確認した。また、実施工の留意点についても把握した。

② 側部緩衝材試験

緩衝材に求められる要求機能は、「止水（透水係数、密度、膨潤特性）」である。

側部緩衝材の施工試験方法として、実規模の狭隘部での施工が可能と考えられる小型振動ローラによる転圧工法、及び吹付け機を用いた吹付け工法を選択した。

小型振動ローラによる転圧工法については車輪幅や撒出し厚さを変えた施工確認試験を実施した。さらに、車輪幅・撒出し厚を同一にした条件で施工を繰り返し、品質のバラつきを把握した。吹付け機を用いた吹付け試験は、人力及び吹付けロボットでのノズル操作による吹付け施工確認試験を実施した。吹付け時に発生する跳ね返り（以下、リバウンド材）の発生率の低減のためのノズルワークの改善と、リバウンド材を再利用するためのシステムの開発を行い、品質への影響を評価した。

緩衝材の透水係数をはじめ、密度、強度、膨潤特性等を把握するため、初期性能試験を実施した。試験には、小型振動ローラによる転圧工法及び吹付け機を用いた吹付け工法で施工した緩衝材のそれぞれから採取した試料を使用した。

使用材料は、ベントナイト原鉱（クニゲル GX、最大粒径；転圧工法の場合 10 mm、吹付

け工法の場合 5mm) を使用し、含水比調整方法は、ミキサを用いた水添加混合法式を採用した。

小型振動ローラによる転圧工法による施工確認試験では、車輪幅（転圧幅）・撒出し厚さを変化させて試験を実施し、それぞれの転圧幅・撒出し厚さに最適な転圧回数を検討した。それらの施工条件から転圧幅 710mm、転圧回数は無振動転圧 4Pass と振動転圧 4Pass を選択し、単一の施工条件における大量のデータを取得した。その結果、施工後の乾燥密度のバラつきの範囲は管理基準値以内 ($1.6 \pm 0.1 \text{ Mg/m}^3$) に抑制することができ、平均値で 1.62 Mg/m^3 となった。図 3-124 に含水比と乾燥密度の関係を示す。

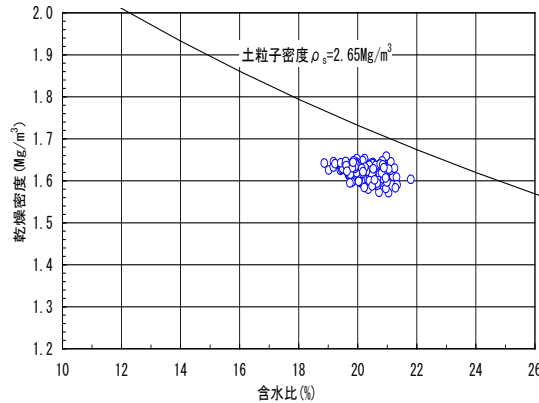


図 3-124. 含水比と乾燥密度の関係

吹付け施工確認試験の結果、改良した材料供給システムやリバウンド回収方式、吹付けロボット固定機や吹付けノズルワークにより、リバウンド材発生率は、約 33%にまで低減することができた。有効利用のためにリバウンド材を混合して吹付けた場合には、施工の進捗に従い含水比が低下する。これに対し、含水比、材料供給量とベントナイト乾燥密度の関係をまとめた図 3-125 に従い、リバウンド材混合率により決定される含水比に応じた材料供給量を設定して施工した。その結果、施工後の乾燥密度のバラつきの範囲は管理基準値以内 ($1.6 \pm 0.1 \text{ Mg/m}^3$) に抑制することができ、吹付け施工後の乾燥密度は、 1.61 Mg/m^3 となった。

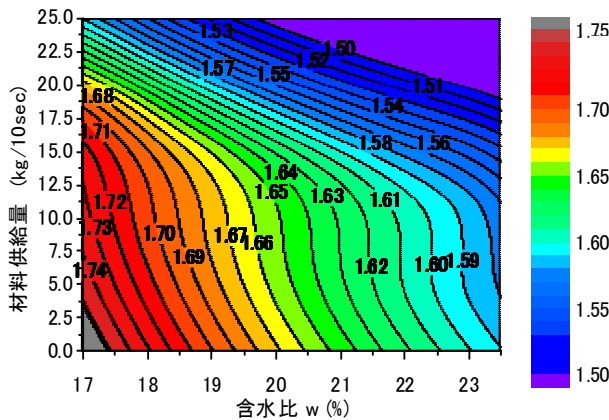


図 3-125. 吹付けベントナイトの含水比—供給量—乾燥密度の関係

初期性能試験を実施した結果、緩衝材の透水係数は、約 $1\sim 2\times 10^{-13}\text{m/s}$ 程度の性能が得られ、緩衝材の透水係数の目標値である $5\times 10^{-13}\text{m/s}$ を満足することが確認された。膨潤力も基準値を満足しており、初期性能は、満足していることが確認できた。

以上のことから、今回採用した小型振動ローラによる転圧工法及び吹付け機を用いた吹付け工法の適用性が把握でき、その結果、良好な施工性（狭隘部の作業等）、品質（乾燥密度のばらつき等の材料特性、層厚さ等の出来形）、初期性能（透水係数、密度、膨潤特性等）が確認されたことから、採用した施工技術・施工方法が現実の施設の施工においても実現できることを確認するとともに、適用できる技術として確立することができた。また、実施工の留意点についても把握した。

③上部コンクリートピット試験

コンクリートピットに求められる要求機能は、「建設・作業中の安全確保（強度特性）」である。

上部コンクリートピットの材料配合は、平成 21 年度に実施した側部コンクリートピット施工確認試験に使用された材料配合（低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）を基にした。打込み方法は、平成 20 年度に実施した底部コンクリートピットの施工試験の結果、フレッシュ性状でのこわばりや表面仕上げ不足によるひび割れ、プラスチック収縮ひび割れが発生する等、施工性に課題が残されたことを受け、現地施工の前にひび割れを抑制するための施工方法に係わる室内試験を実施し、その結果を基に検討した上で適切な打込み方法を選定した。こわばりの緩和のためにミスト（霧状の水）を表面に散布し、打込み箇所を移動しながら打込みを実施した。また、ひび割れ抑制のために、A. バイブレータを使用した表面仕上げ、B. 打込み後、数十分経過後に再度バイブレータをかける再振動、及び C. 2 種類の養生マットを用いた養生を実施し、これらの方法の適用性を検証した。また、初期性能確認試験を実施して、圧縮強度、静弾性係数等を確認した。施工確認試験の状況を図 3-126 に示す。

施工確認試験の結果、流動性については、底部施工時の流動勾配と同程度であり、ミスト散布により表面の乾燥が抑制され、こわばりが解消されることが分かった。

硬化後の上部コンクリートピットのひび割れについては、打込み翌日コンクリート表面には沈下ひび割れやプラスチック収縮ひび割れの発生はなかった。バイブレータを使用した再振動及び表面仕上げの効果が確認された。また、2 種類の養生マットの効果（保温、保水）を確認できた。これらのことより、ひび割れ抑制のための 3 つの方法の適用性を確認できた。

また、初期性能確認試験として、圧縮強度等を測定し、これまでの成果と同程度の値であることを確認し、十分な強度が得られた。今回のコンクリートの材料配合が施工性や品質管理面から見ても採用可能な材料であることが明らかになった。

以上のことから、今回採用した施工技術・施工法の適用性が把握でき、その結果、良好な施工性（コンクリートの施工性、狭隘部の作業等）、品質（フレッシュなコンクリートの材料特性・部材の厚さ等の出来形）、初期性能（圧縮強度、弾性係数等）が確認されたことから、採用した施工技術・施工方法が現実の施設の施工においても実現できることを確認するとともに、適用できる技術として確立することが出来た。また、実施工の留意点についても把握できた。



コンクリート打込み状況



表面仕上げ状況

図 3-126. 上部コンクリートピット施工確認試験状況

④上部低拡散材試験

低拡散材に求められる要求機能は、「拡散抑制」である。

上部低拡散材の材料配合は、平成 22 年度に実施した側部低拡散材施工確認試験に使用された材料配合（低熱ポルトランドセメントにフライアッシュを混入したモルタル）を基にした。打込み方法は、平成 20 年度に実施した底部低拡散材の施工試験の結果、上記③上部コンクリートピットと同様な課題が残されたことを受け、現地施工試験前に上部コンクリートピットと同じく、施工方法に係わる室内試験を実施し、その結果を基に検討した上で適切な打設方法を選定した。

こわばりの緩和のためにミスト（霧状の水）を表面に散布し、打込み箇所を移動しながら打込みを実施した。また、ひび割れ抑制のために、A. バイブレータを使用した表面仕上げ、B. 打込み後、数十分経過後に再度バイブレータをかける再振動、及び C. 2 種類の養生マットを用いた養生を実施し、これらの方法の適用性を検証した。また、拡散係数、空隙率等を確認するため、初期性能確認試験を実施した。施工確認試験状況を図に示す。

施工確認試験の結果、流動性については、底部施工時の流動勾配より小さくなったが、ミスト散布により表面の乾燥が抑制され、こわばりが解消されることが分かった。

硬化後の上部低拡散材のひび割れについては、打込み翌日、モルタル表面には沈下ひび割れやプラスチック収縮ひび割れの発生はなく、養生期間終了後（材齢 7 日）でもひび割れは発生しなかった。今回採用したバイブレータを使用した表面仕上げ及び再振動の施工方法がひび割れの抑制に効果があることが確認された。また、2 種類の養生マットの効果（保温、保水）を確認した。

初期性能確認試験として、この部材の拡散試験を開始したばかりで拡散係数は測定されていないが、空隙率は約 16.8%程度であり、これまでの成果と同程度の値が測定されている（過去の試験結果から、配合が同じで空隙率が同程度であれば、拡散係数は、確保されている）。今回のモルタルの材料配合が施工性や品質管理面から見ても採用可能な材料であることが明らかになった。

以上のことから、今回採用した施工技術・施工方法の適用性が把握でき、その結果、良好な施工性（モルタルの流動性、狭隘部の作業等）、品質（フレッシュなモルタルの材料特性・部材の厚さ等の出来形）、初期性能（拡散係数の代用指標の空隙率等）が確認さ

れたことから、採用した施工技術・施工方法が現実の施設の施工においても実現できることを確認するとともに、適用できる技術として確立することが出来た。また、実施工の留意点についても把握した。



モルタル打込み打設状況



表面仕上げ状況

図 3-127. 上部低拡散材施工確認試験状況

⑤上部埋戻し材試験

上部埋戻し材に求められる要求機能や候補材料について既往文献や土木学会、原子力学会等の埋戻し材料関係の動向を調査した。文献調査等をもとに、要求機能の整理を行った結果、施工性、透水性、力学的安定性、物理・化学的安定性という4項目を抽出すると共に、上部埋戻し材の現地施工確認試験時の要求機能の目標値を設定した。

また、要求機能を満たすことが可能と考えられる候補材料を抽出し、配合等を検討した。この検討結果に基づいて、土質系材料（ベントナイト混合土等）とセメント系材料（高流動コンクリート）の室内試験を実施し、候補材料の物性を確認した。

更に、実施工を想定し狭隘で特異な形状の空間となる上部埋戻し材に対して、実用的な施工方法、施工手順等を検討した。また、地下空洞内の試験施設における上部埋戻し部へ適用できる施工方法、施工手順等を検討した。

2) 施設・周辺岩盤挙動計測

平成 22、24 年度に施工した充填材、側部緩衝材、上部コンクリートピットと上部低拡散材等の挙動を計測するための計測器（温度計、沈下計、ひずみ計、鉄筋計、無応力計、有効応力計、土圧計、加速度計等）を設置し、平成 21 年度までに施設に設置した計測器を含め、力学挙動を示す計測データを取得した。また、平成 19 年度に周辺岩盤に設置した計測器（岩盤変位計、間隙水圧計）の力学・水理挙動を示す計測データを取得した。なお、これら計測器からの計測データを集中監視するための計測システムを設置しており、これに新たに設置した計測器の信号受信用の機器も増設した。

3) 巨大地震が地下空洞型処分施設に与える影響の検討

巨大地震が地下空洞型処分施設に与える影響を同施設の建設、操業時及び埋戻し直後等を対象に、二次元有限要素法 (FEM) による地震応答解析を行い、検討・評価した。解析モデルを図 3-128 に示す。解析には、仮想的に設定した 3 パターンの地震動を用いた。

大きな地震動を地下空洞型処分施設に与えた時の挙動を解析的に検討した結果、地震

時の安全性に関する見通しが得られた。

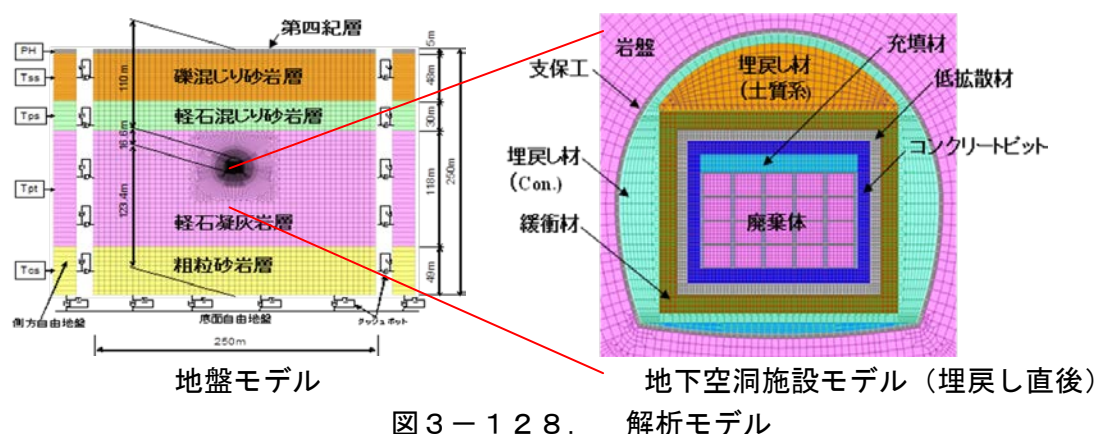


図 3-128. 解析モデル

3-3-1-3-B 特許出願状況等

テーマごとに、学会、学会誌等での公表状況、特許出願状況等について表 70、71 に示す。

表 3-70. 論文等件数

要素技術	論文	学会発表	特許等件 (出願を 含む)	講演・著書等
地下空洞型処分施設性能確証試験	7	31	—	7

表 3-71. 論文、投稿、発表リスト（地下空洞型処分施設性能確証試験）

	題目・メディア等	時期
論文	The ASME 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management -ICEM2010- 「The progress and results of a demonstration test of a Cavern-type Disposal Facility」	H22.10
論文	19 th International Conference on Nuclear engineering -ICONE 19- 「Current Status of The Demonstration Test of Underground Cavern-Type Disposal Facilities」 (Proceedings)	H23.9
論文	The ASME 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management -ICEM2011- 「Demonstration Test of Underground Cavern-Type Disposal Facilities, Fiscal 2010 status」	H23.10
論文	International Symposium on Radiation Safety Management -ISRS- 「Demonstration Test of Underground Cavern-Type Disposal Facilities for LLW」	H23.11
論文	GLOBAL2011 「Current Status of The Demonstration Test of Underground Cavern-Type Disposal Facilities」	H23.12
論文	放射性廃棄物の地下空洞型処分施設に用いるセメント系低拡散層の施工とその品質評価	H24.11
論文	放射性廃棄物の地下空洞型処分施設に用いる区画内充てん材の施工品質の評価	H24.12
発表	日本原子力学会バックエンド部会第 26 回バックエンド夏期セミナー「地下空洞型処分施設性能確証試験の実施状況（施工確認試験を中心として）」	H22.8
発表	地盤工学会第 45 回地盤工学研究発表会「放射性廃棄物処分におけるベントナイト緩衝材の施工方法について—地下空洞型処分施設性能確証試験結果による—」	H22.8

発表	土木学会第65回土木学会年次学術講演会「地下空洞型処分施設性能確証試験における進捗状況及び成果概要について」	H22.9
発表	土木学会第65回土木学会年次学術講演会「膨張材を使用した高流動モルタル打設時の側圧について—地下空洞型処分施設性能確証試験—」	H22.9
発表	土木学会第65回土木学会年次学術講演会「コンクリート・モルタルのひび割れ予測評価に関する考察—地下空洞型処分施設性能確証試験—」	H22.9
発表	土木学会第65回土木学会年次学術講演会「発熱廃棄体の表面温度に関する検討—地下空洞型処分施設性能確証試験—」	H22.9
発表	土木学会第65回土木学会年次学術講演会「廃棄体の発熱が充てん材の諸性状に及ぼす影響—地下空洞型処分施設性能確証試験—」	H22.9
発表	土木学会第65回土木学会年次学術講演会「区画内充てん材の流動性とポンプ圧送性—地下空洞型処分施設性能確証試験—」	H22.9
発表	土木学会第65回土木学会年次学術講演会「吹付け工法による側部緩衝材の施工確認試験例—地下空洞型処分施設性能確証試験—」	H22.9
発表	土木学会第65回土木学会年次学術講演会「緩衝材部材としてのベントナイトの圧密・せん断」特性—地下空洞型処分施設性能確証試験—」	H22.9
発表	日本原子力学会 2010 年秋の大会「ベントナイト緩衝材の施工方法の差異による初期性能比較—地下空洞型処分施設性能確証試験結果による—」	H22.9
発表	2010EAFORM 3rd Conference 「 Construction methodology of bentonite buffer for a Cavern Type Disposal Facility 」	H22.11
発表	2010 EAFORM 3rd Conference 「 Construction methodology of cementitious EBS components for a Cavern Type Disposal Facility 」	H22.11
発表	地盤工学会第46回地盤工学研究発表会「放射性廃棄物処分における狭隘部ベントナイト緩衝材の施工結果について—平成22年度地下空洞型処分施設性能確証試験による—」	H23.7
発表	土木学会第66回土木学会年次学術講演会「狭隘部におけるベントナイト締固めによる側部緩衝材（低透水層）の施工性確認—地下空洞型処分施設性能確証試験による—」	H23.9
発表	土木学会第66回土木学会年次学術講演会「締固め工法により施工された側部緩衝材の初期性能確認—地下空洞型処分施設性能確証試験による—」	H23.9
発表	土木学会第66回土木学会年次学術講演会「放射線管理下における無人化施工を想定した上部充てん材の施工性—地下空洞型処分施設性能確証試験による—」	H23.9
発表	土木学会第66回土木学会年次学術講演会「廃棄体発熱の影響を考慮した上部充てん材の施工性—地下空洞型処分施設性能確証試験による—」	H23.9
発表	土木学会第66回土木学会年次学術講演会「粒状ベントナイトの吸水特性とその水分拡散係数としての評価」	H23.9
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会「ベントナイト緩衝材に対するトリチウム水の実効拡散係数の測定—地下空洞型処分施設性能確証試験結果による—」	H23.9
発表	地盤工学会第47回地盤工学研究発表会「放射性廃棄物処分における狭隘部ベントナイト緩衝材の吹付けによる施工結果評価について—平成23年度地下空洞型処分施設性能確証試験による—」	H24.7
発表	地盤工学会第47回地盤工学研究発表会「放射性廃棄物処分における狭隘部ベントナイト緩衝材の小型振動ローラによる施工結果評価について—平成23年度地下空洞型処分施設性能確証試験による—」	H24.7
発表	地盤工学会第47回地盤工学研究発表会「余裕深度処分のための地下空洞型処分施設における試験施工箇所から採取したベントナイト系緩衝材の水分拡散係数のばらつき調査」	H24.7
発表	土木学会第67回土木学会年次学術講演会「狭隘部におけるベントナイト締固めによる側部緩衝材（低透水層）の施工性確認—平成23年度地下空洞型処分施設性能確証試験による—」	H24.9
発表	土木学会第67回土木学会年次学術講演会「狭隘部におけるベントナイト吹付けによる側部緩衝材（低透水層）の施工性確認—平成23年度地下空洞型処分施設性能確証試験による—」	H24.9
発表	土木学会第67回土木学会年次学術講演会「低発熱型セメントと膨張材を用いた高流動モルタルのひび割れについて—平成23年度地下空洞型処分施設性能確証試験による—」	H24.9

発表	地盤工学会第48回地盤工学研究発表会「低レベル放射性廃棄物処分における上部埋戻し材に関する材料特性評価試験について」	H24.7
成果反映	原子力安全基盤機構「平成21年度放射性廃棄物処分に関する調査（余裕深度処分に関する調査）報告書」	H22.9
広報資料等	原環センター「原環センター 2009年度技術年報 地下空洞型処分施設性能確認試験」	H22.11
広報資料等	原環センター「原環センター 2010年度技術年報 地下空洞型処分施設性能確認試験」	H23.10

3-3-2-B 目標の達成度

テーマ毎に設定した目標・指標について、それぞれの成果、達成度を表-72に示す。

テーマで設定された指標に対し一通りの成果を得ており、管理型処分技術調査全体としても中間段階における目標水準を満足しているものと考えられる。なお、今後の基準整備、事業化に対応し、重要な参考文献としての活用されやすい成果の取りまとめ方が重要である。

表3-72. 目標に対する成果・達成度の一覧表
(地下空洞型処分施設性能確認試験)

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
1) 実現可能な埋設施設試験計画の策定	①処分施設に要求される性能を実現出来る施設形態の提示。 ②処分施設施工確認試験・性能確認試験及び施設・岩盤挙動計測試験の基本計画、詳細試験計画の提示。	①処分施設に要求される性能を実現出来る施設形態の提示。 ②処分施設施工確認試験・性能確認試験及び施設・岩盤挙動計測試験の基本計画、詳細試験計画の提示。	・平成18年度までに、処分施設に要求される施設性能を実現し、実施の施工に採用できる施工技術、施工方法の策定と、性能の確認方法を策定し、各確認試験及び挙動計測の基本計画、詳細計画を示した。 ・平成18年度までに、処分施設に要求される性能と、施設形態を詳細に検討した上で、実規模試験施設の構造設計を行い、施設の詳細な仕様を示した。	達成
2) 処分施設施工確認試験・初期性能確認試験 ・埋戻し材試験 ・緩衝材試験 ・低拡散材試験 ・コンクリートピット試験	①処分施設の埋戻し材、緩衝材、低拡散材、コンクリートピット、充填の構成部材毎の試験における適用可能な施工技術の確立。 ②上記施工技術で施工された人工バリアの施工後の初期性能が要求性能を満たし、実証されていること。	①処分施設の構成部材、緩衝材、低拡散材、コンクリートピット、充填の一部の構成部材毎の試験における適用可能な施工技術の確立。 ②上記施工技術で施工された埋戻し材の施工後の初期性能が要求性能を満たし、実証されていること。	・構成部材毎のバリア性能を確保できる施工技術、施工方法等を詳細に調査検討し、地下空洞型処分施設に適用できる技術や方法を具体化し、その実施工への適用性を明確にした。 ・平成21年度までに底部・側部埋戻し材、底部緩衝材、底部・側部低拡散材、底部・側部コンクリートピット、充填の一部について施工試験を実施した。また、平成22～24年度においても、充填の残り、側部緩衝材、上部コンクリートピット、上部低拡散材の施工試験を実施した。その結果、選	一部達成

・充填試験			定した施工技術や施工方法等が、現実の処分施設の施工において実現できることを確認し、適用できる技術として確立した。 ・平成 19～24 年度までの充填、緩衝材、コンクリートピット、低拡散材、埋戻し材施工において、実施設の各バリア材に要求される特性（強度、透水性、低拡散性、ひび割れ特性等）の初期性能が確保されることを実証した。	
3) 施設・周辺岩盤挙動計測 ・埋戻し材 ・緩衝材 ・低拡散材 ・コンクリートピット ・周辺岩盤	①施工中、施工後の埋戻し材、緩衝材、低拡散材、コンクリートピットの構成部材において力学挙動を示す計測データの取得。 ②周辺岩盤の力学・水理挙動を示す計測データの取得。 ③計測結果からの埋設施設・周辺岩盤の力学・水理挙動の把握、施設を構成する部材が建設中・建設後に人工バリアや周辺岩盤へ与える影響の程度の把握及び地下水流動解析手法の検証。	①施工中、施工後の埋戻し材、緩衝材、低拡散材、コンクリートピットの一部の構成部材において力学挙動を示す計測データの取得。 ②周辺岩盤の力学・水理挙動を示す計測データの取得。 ③計測結果から埋設施設・周辺岩盤の力学・水理挙動の把握、施設を構成する部材が建設中・建設後に人工バリアや周辺岩盤へ与える影響の程度の把握。	・平成 19～24 年度まで、緩衝材、コンクリートピット、低拡散材、埋戻し材、及び周辺岩盤に、温度計、沈下計、ひずみ計、鉄筋計、無応力計、有効応力計、土圧計、加速度計等、力学・水理挙動を計測するための計測器を設置し、計測を実施した。また、計測したデータを基に、ピットの沈下・変形・ひび割れ発生、地下水流動等の解析・評価を実施し、人工バリアや周辺岩盤に与える影響の程度を把握した。また、地下水流動解析手法の妥当性を検証した。	一部達成
4) 巨大地震が地下空洞型処分施設に与える影響の検討	①巨大地震時の地下空洞型処分施設の挙動解析及び評価。 ②複数の地震計の地下空洞型処分施設等への設置及び計測データの取得。 ③挙動解析の実施と計測データと解析結果の比較分析及び評価。	①巨大地震時の地下空洞型処分施設の挙動解析及び評価。	・平成 24 年度に東北地方太平洋沖地震の発生を受け、埋設施設的设计・施工技術等に反映することを目的に、巨大地震時の地下空洞型処分施設の挙動解析及び評価を実施し、巨大地震が地下空洞施設に与える影響について検討した。	一部達成

3-4-B 事業化、波及効果について

3-4-1-B 事業化の見通し

本確認試験における研究成果は今後、余裕深度処分やTRU廃棄物地層処分の事業化が進む上で、実規模、実環境における我が国初の確認試験の貴重なデータとして、大きな貢献が期待できると考えられる。これらの成果の処分事業、あるいはそれに対する安全規制等に向けての反映については、試験空洞の借用先である日本原燃（株）をはじめとする関係機関との情報交換を密に実施し、情勢に応じた適切な反映を図られると期待できる。

4－2－B 波及効果

発電所廃棄物の余裕深度処分における施設の設計、建設に向けた経済性と要求性能とを考慮した現実的施工技術の確立及び施設の総合的な性能確認が出来るとともに、TRU廃棄物処分への施工技術及び処分施設安全性確認、評価、安全規制等に対するデータ等の提供ができる。実際、本確証試験の成果は、「土木学会エネルギー委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会 設計・品証WG（平成19年6月発足）」や「平成20・21年度放射性廃棄物に関する調査（余裕深度処分に関する調査）報告書（原子力安全基盤機構）」に参照・反映されている。

また、地下空洞型処分施設に対する実規模、実環境における我が国初の確証試験であり、国としての処分の安全性を確証できる。

なお、実規模、実環境において施設を建設し、処分施設の安全性を直接示すことによって、国としての取り組みが理解され、国民に対する安全・安心文化の醸成も期待できる。

3-5-B. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

3-5-1-B 研究開発計画

研究開発計画の適切・妥当性の判断指標として、計画（課題への対応）、採択スケジュール等、選別過程、実施者の選択の4つが挙げられる。管理型処分技術調査の事業全般に関しては、平成23年東北地方太平洋沖地震発生を受け、巨大地震が地下空洞型処分施設に与える影響の検討を追加実施する等、課題への対応を臨機応変に行った。これらの判断指標に照らして適切・妥当と考えられ、全体として共通する問題点や改善すべき点は見当たらない。

地下空洞型処分施設性能確証試験については、低レベル放射性廃棄物処分技術調査を含む過去の余裕深度処分技術調査の成果や、日本原燃（株）が進めている次期埋施設本格調査の進捗等を踏まえ、研究開発計画を策定してきた。

実施者については、いずれのテーマもRWMCが担当した。RWMCは、放射性廃棄物の処理・処分に関する研究、開発及びその成果の普及並びに法律に基づく資金管理業務の実施等を通じて、放射性廃棄物の安全かつ合理的な処理・処分体制の確立を推進すること等により、原子力利用に係る環境の整備促進を図り、我が国原子力開発の進歩発展と国民の合意形成の増進に資し、もって国民経済の健全な発展と国民生活の安定的向上に寄与することを目的に設立された公益財団法人である。

本技術調査の実施にあたっては、原子力分野だけでなく、地質分野、土木分野、物理化学分野、エンジニアリング分野等の広範かつ専門的な知見が不可欠である。また、基盤的な技術であり、かつ、社会から高い受容性を得る必要があることから、事業の実施及び評価には中立性の確保が求められる。

RWMCは、処分事業者である日本原燃（株）等とは独立した中立的第三者機関であり、放射性廃棄物全般及びその周辺技術にわたる広範な調査業務能力を有していることから、上記の諸条件を満足する機関と考えられ、本事業の実施者として、適切な選択であると考えられる。

なお、本事業の実施工程は表3-73に示す通りである。

表 3－73．研究開発計画（地下空洞型処分施設性能確証試験）

実施項目	年度	平成						
	17	18	19	20	21	22	23	24
1.実現可能な埋設施設試験計画の策定								
(1)基本計画の策定								
(2)詳細試験計画の策定								
2.処分施設施工確認試験								
(1)埋戻し材試験								
(2)緩衝材試験								
(3)低拡散材試験								
(4)コンクリートピット試験								
(5)充填試験								
3.初期性能確認試験								
(1)埋戻し材試験								
(2)緩衝材試験								
(3)低拡散材試験								
(4)コンクリートピット試験								
(5)充填試験								
4.施設・岩盤挙動計測								
(1)埋戻し材								
(2)緩衝材								
(3)低拡散材								
(4)コンクリートピット								
(5)周辺岩盤								

3-5-2-B 研究開発実施者の実施体制・運営

本事業は、RWM Cにおいて実施しており、当該機関により、開発目標の設定、事業計画の立案をはじめ、試験・測定・装置等の使用の検討及び決定、事業の工程管理、試験結果の考察・取りまとめ等を行っている。

また、プロジェクトの実施にあたり、必要に応じて一部業務を専門業者（メーカー、エンジニアリング会社、ゼネコン等）に外注している。外注する上で、技術能力のほか、効率性や経済性の観点等を含めて、競争入札を導入して外注先を決定している。

RWMCにおいて、テーマを担当するプロジェクトリーダーは、廃棄物処分研究分野若しくは必要とされる関連研究分野に長年従事し、豊富な実績を有している。

RWMCは、事業計画立案、事業の推進において、国の政策への適合性、社会情勢の変化、中立公平性等を考慮して事業の方向性を示し、必要によっては計画の変更を行う等、事業全体の運営を実施している。また、各テーマにおいて検討委員会を設置・運営している。

検討委員会としては、テーマ毎に学識経験者及び関連分野の高度な専門知識を有する専門家等による委員会を設け、これら委員会における幅広い見識と高度な専門知識に基づく審議に基づき、プロジェクトの推進と実施事業の適正な評価を行っている。

また、この委員会の委員には処分事業者等の専門家を加え、成果の移転がスムーズに行えるようにしている。

本技術調査のテーマにおける実施体制を図3-129に示す。

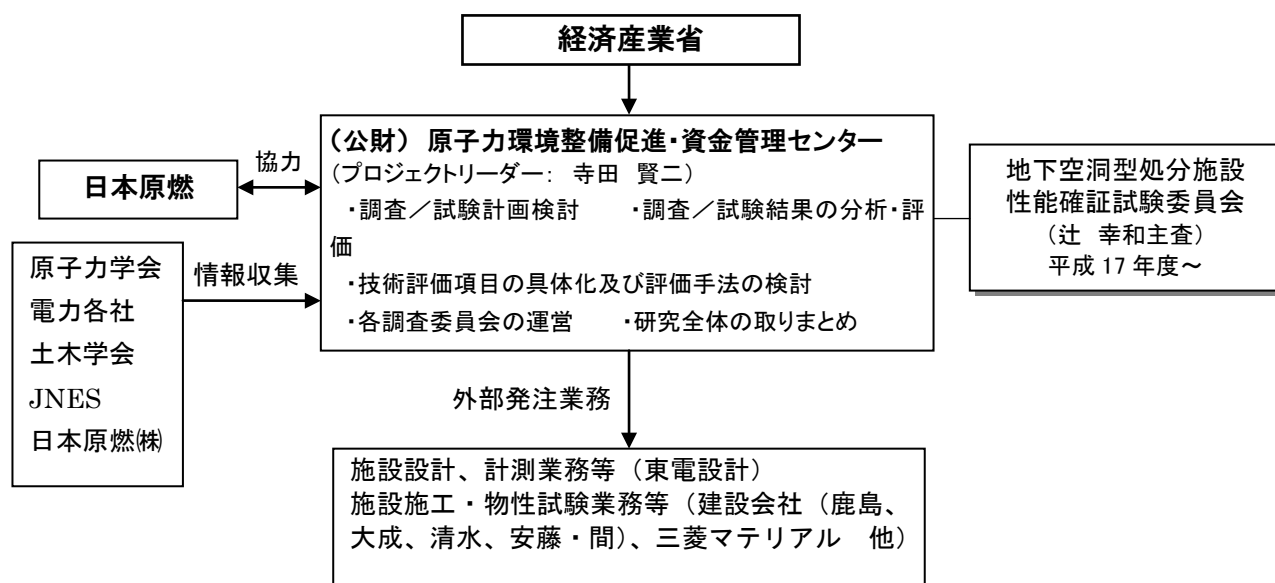


図3-129. 研究開発実施体制（地下空洞型処分施設性能確証試験）

3-5-3-B 資金配分

本委託事業に係る概算事業費（年度予算）は表3-74に示すとおりである。

資金配分については、事業全般の成果と照らして妥当とする見方もできるが、費用対効果の評価や成果の事業化への寄与等が未確定であり、定量的な評価が困難な面もある。しかし地下空洞型処分施設の建設は、地層処分の基幹となる事業であり、その技術開発は絶対的な安全性の確保に向けて行われる必要性を義務付けられ、国際的にも焦眉の開発事業である。これらの点を考慮すれば、十分な技術開発、関連する情報提供および説明責任を果たすためには、改善の余地はあると考えられる。

表3-74. 資金配分 （単位：百万円）

年度	22	23	24
B. 管理型処分技術調査等委託費	297	311	290
地下空洞型処分施設性能確認試験	297	311	290

3-5-4-B 費用対効果

本確認試験の実施を通じて、発電所廃棄物の余裕深度処分における施設の設計、建設に向けた経済性と要求性能とを考慮した現実的施工技術の確立及び施設の総合的な性能確認が出来るとともに、TRU廃棄物処分への施工技術及び処分施設安全性確認、評価、安全規制等に対するデータ等の提供ができる。

また、地下空洞型処分施設に対する実規模、実環境における我が国初の確認試験であり、国としての処分の安全性を確認できる。

3-5-5-B 変化への対応

本研究の実施期間中のTRU廃棄物処分や余裕深度処分に関する動向を把握し、最新の情報に基づき詳細な研究計画の見直しが必要か否かについて検討、評価を行いながら進めており、最新の技術情報に基づく試験が行われている。また、計画策定に当たっては検討委員会を設置し、計画の事前レビューと成果のチェックが行われており、適宜、研究方針を土木分野等の専門家のチェックを受けて詳細な計画を見直している。

C 放射性廃棄物共通技術調査

3-1-C 事業の目的・政策的位置付け

3-1-1-C 事業目的

放射性廃棄物共通技術調査は、放射性廃棄物処分に関する諸外国の関連政策や事業等に係る最新情報の収集を行う「放射性廃棄物海外総合情報調査」、放射性廃棄物の処分全般に共通する技術的信頼性や安全性の向上及び国民の理解促進等を目的として、地層処分技術に関する基礎研究開発を行う「放射性廃棄物重要基礎技術研究調査」、及びわが国の風土に応じた被ばく経路や線量評価等に関する技術開発を行う「放射性核種生物圏移行評価高度化調査」を実施している。

それぞれのテーマの概要は以下の通りである。

1) 放射性廃棄物海外総合情報調査

放射性廃棄物に係る海外の最新の政策や事業の動向等を的確に把握し、国際的動向とも整合をとりつつ我が国の政策立案を進めていくことを目的として、海外の放射性廃棄物に関連する情報を収集・分析する。また、それらを関係者間で参照・活用が可能な形態としてデータベースとして整備するとともに、幅広く情報普及を図るための情報の整理・発信を行う。

2) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

放射性廃棄物の最終処分の安全規制、安全評価のために必要な研究開発や深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発において、学界をはじめとする広範な関連諸分野の人材を活用して進めるべき学際的な研究テーマについて、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がある基礎的研究を大学等研究機関の研究者を活用して実施する。

3) 放射性核種生物圏移行評価高度化調査

放射性廃棄物処分の安全評価においては、処分場から人間が生活環境を含む生物圏に至るまでの核種移行プロセスとこれによる被ばく経路についてモデル化を行い、人間への影響を評価することが必要である。わが国における放射性廃棄物処分の安全評価の信頼性向上に資するため、わが国の生物圏における移行パラメータを整備し、核種移行を予測するモデルを開発する。

本技術評価では、このうち、「地層処分重要基礎技術研究調査」と「放射性核種生物圏移行評価高度化調査」について、評価を実施する（「放射性廃棄物海外総合情報調査」は調査事業であるため、評価対象外である）。

3-1-2-C 政策的位置付け

2-1-2で述べたように、経済産業省の施策である「原子力の推進・電力基盤の高度化」の目的の一つとして、本事業の目的である「放射性廃棄物処分対策」が明示されており、プログラムへの適合は明確である。

3-1-3-C 国の関与の必要性

2-1-3で述べたように、原子力発電に伴って生じる放射性廃棄物の処分は、公益性が極めて高く、国民全体の利益から見ても重要な課題である。また、処分事業には、安全確保の長期性と処分事業の長期性という大きな特徴があり、その研究開発は、利益事業への直結性や汎用技術への展開性に乏しいため、国の基盤研究開発への取り組みが一層求められている領域である。また、本研究開発は、海外の原子力利用事業に協力する際の科学・技術資源となるものであり、更には未来型の大型大深度地下利用事業等にも活用されうるものであるために、国としても研究開発の役割を担い、先導性と継続性をもって基盤的な研究開発を着実に進め、国民各層の理解を得つつ、わが国の処分計画の着実な進展のための基盤を整備していくことが重要である。

官民の役割分担についても、「原子力政策大綱」等に則り、研究開発を全体として計画的かつ効率的に進めるため、本事業を担当する経済産業省、JAEAによる地層処分研究開発を管轄する文部科学省、地層処分実施主体であるNUMO、規制官庁の原子力安全・保安院、及び関連研究機関等が参加する「地層処分基盤研究開発調整会議」における調整のもとで全体マネジメントを行っているところである。事業の実施者においては、大学等の有識者による外部検討委員会を設けて事業を実施するとともに、調整会議においても目標の達成度や実施の効率性、成果の技術的意義について適宜評価を行っており、事業の効率的な実施に努めているところである。

3-2-C 研究開発目標

3-2-1-C 研究開発目標

放射性廃棄物共通技術調査においては、処分事業や安全規制を含むわが国の放射性廃棄物処分計画全体の着実な進展に資することを全体の目標とし、放射性廃棄物の処分全般に共通する技術的信頼性や安全性の向上及び国民の理解促進等を目的として、平成19年度以降、放射性廃棄物重要基礎技術研究調査、放射性核種生物圏移行評価高度化調査を実施している。これらの各テーマは、当面する5年程度の具体的な技術開発の目標・計画を設定して事業を展開しているとともに、必要に応じて段階的な指標を設定して、達成度の把握を実施するようにしている。

3-2-2-C 全体の目標設定

(1) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

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していくことが重要である。放射性廃棄物の地層処分技術のうち、最終処分事業の安全な実施、経済性及び効率性の向上等を目的とする技術開発は、実施主体が担当するものとし、国及び関係機関は、最終処分の安全規制、安全評価のために必要な研究開発や深地層の科学研究等の基盤的な研究開発及び地層処分技術の信頼性の向上に関する技術開発等を積極的に進めていくことが必要であるとされている。こうした研究のうち基盤的な研究開発には、学際的な研究テーマも多く含まれ、学術分野をはじめとする広範な関連諸分野の人材を活用して進めるべき研究テーマも少なくないことが想定されることから、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がある基礎的研究を大学等研究機関の研究者を活用して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標とする。

上記の本テーマの全体目標に沿って、具体的な調査は次の要素（要素技術）で展開されている。

- 1) 基礎的研究テーマの整理
- 2) 重要基礎技術研究調査
- 3) 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整備

上記1)では、地層処分分野の基盤技術整備に向けた研究開発の実施に資するため、国内外における最新の研究開発動向の把握を行うものである。基礎的研究テーマの抽出に資する情報の整備として、国内については関連する研究開発機関等との連携の場を通じて、研究開発動向に関する情報を収集・整理して体系的な把握を行い、国外については海外で公開されている関連文献のうち、地層処分の安全性を示すために地質関連・工学関連・評価技術関連等の分野における最新の研究成果を取りまとめた性能評価報告書等を対象とした情報を収集して体系的に整理するものである。

上記2)～3)は、上記1)の情報も踏まえつつ、わが国の地層処分事業の長期的展開も視野に、現段階から着手する必要がある基礎的研究テーマを着実に実施するものである。特に、2)については、若手研究者等の育成や他研究分野からの参加による研究者の裾野拡大、研究実施の新たな観点や新規アプローチの創出、着実な成果が要求される特定研究テーマへ

の取組等にも配慮し、主に公募プロセスを取り入れた学際分野を含む広範な人材活用によって研究を実施するものである。また、3)は、国際共同研究のフレームワークの活用や海外特定フィールドを活用した研究の実施など、前記2)のアプローチではその参画或いは研究の実施が難しいと想定される特定テーマの研究を実施するものである。

(2) 放射性核種生物圏移行評価高度化調査

放射性廃棄物の地層処分に係わる安全評価では、地下の処分場から放射性核種が地下水により移動し、最終的に人間の生活環境を含む生物圏に到達する事が予想される。したがって、その生物圏における核種移行プロセスとこれによる被ばく経路について適切にモデル化を行い、人間への影響を評価することが必要である。しかし、生物圏においては、核種挙動はその地域の環境や人間活動に大きく影響されるため、核種移行モデルに使用される移行パラメータは、それぞれの国や地域において収集・整備する必要がある。

本研究は、以下の調査・研究を行い、我が国の生物圏における核種移行評価の高精度化に資するため、我が国の生物圏における核種移行パラメータの整備・拡充を行うものである。

- 1) 沿岸域における核種挙動評価
- 2) TRU廃棄物処分に係わる重要核種 (C-14、I-129 等) 移行挙動評価
- 3) ラドン挙動評価
- 4) 生物圏移行パラメータ推定法開発及びデータベースの高度化・拡充

3-2-3-C 個別要素技術の目標設定

上記の各要素(要素技術)の目標を表3-75、76に整理する。なお、放射性廃棄物重要基礎技術研究調査のうち、地球化学バリア有効性確認調査は本中間評価対象期間内での終了案件であるため、表内の中間評価時点における目標・指標の記述は割愛する。

表3-75. 個別要素技術の目標(放射性廃棄物重要基礎技術研究調査)

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
基礎的研究テーマの整理	地層処分分野の基盤技術整備に向けた基礎的研究の実施に資するため、国内外における最新の研究開発動向等を調査し整理する。	同左(左記目標に沿って、中間評価時点における、国内外における最新の研究開発動向を調査し整理する)。	下記の放射性廃棄物に関する基礎技術研究調査の実施における適切な研究テーマの選定には、左記の目標で示される情報の収集・整理成果が重要な入力情報となる。
重要基礎技術研究調査	上記情報を活用しつつ、新規研究テーマ及び研究実施者を抽出・選定して、研究を着実に実施するとともに、研究内容及び成果の共有・普及活動を実施する。	同左(中間評価対象期間における研究テーマの優先度等も踏まえて、左記事項を着実に実施する)。	深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発及び地層処分技術の信頼性の向上に関する技術開発等を積極的に進めていくことの重要性・必要性に加え、長期的な事業展開も念頭に置いた学際分野を含む広範な人材活用が望まれることを踏まえ、左記の具体的な実施方法論を目標として設定している。
多重バリアの長期安定性に関する基礎情	多重バリアの長期安定性に係る天然現象(ナチュラアナログ:NA)の優先課題と	多重バリアシステムの長期安定性において重要な課題である「ベントナイト緩	多重バリアシステムを基本とする地層処分場の長期にわたる安全性を説明する論拠の1つと

報の収集及び整備	して選定した「ベントナイト緩衝材とセメント系材料の相互作用に係わる NA 調査・研究」を実施し、NA により鉱物変質過程と変質の規模、時間スケールを明らかにし、多重バリアシステムの長期安定性の論拠として活用できる情報として取りまとめる。	衝材とセメント系材料の相互作用」について、NA の環境条件を満たし、その研究展開が可能な調査研究地点を選定し、この地点における地質、地質調査、地下水調査、岩石鉱物学的調査等により、NA の主要プロセスやその環境条件を明らかにし、アルカリ環境下のベントナイトの長期健全性を評価する。	して、安全評価上考慮すべき現象と類似した天然現象(ナチュラアナログ)を、その現象理解や性能評価に活用することが求められている。
----------	--	--	---

表 3-76. 個別要素技術の目標（放射性核種生物圏移行評価高度化調査）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
1) 沿岸域における核種挙動評価	我が国の沿岸域における核種挙動に関するデータ並びに海底堆積物や海産生物への移行に関するパラメータを収集し、データベースを構築する。	一級河川の河口から沿岸域を対象に、海水（汽水含む）、堆積物、海産生物等の海洋試料中の元素や化学成分の濃度を得て、沿岸域における核種挙動に関するデータ並びに海底堆積物や海産生物への移行に関するパラメータを収集し、データベースを構築する。そのために以下のことを行う。 (1) 微量元素や化学成分の分離・分析法の開発 (2) 河口-沿岸域調査(4 地域/年)、その内、1 地域は年 3 回の定期調査の実施 (3) 沿岸域における元素や化学成分の移行や濃縮に関するデータを収集し、沿岸域における移行パラメータの整備 (平成 24 年度で終了)	河川水に流入した核種は、河口へと運ばれ、最終的に海洋へ到達する。河口から沿岸域において、河川より流入する放射性核種は沈殿等により沿岸域にとどまる可能性がある。その結果、そこに棲息する海藻や甲殻類、さらに海底に棲息する魚介類等への核種移行は、外洋とは異なる可能性があるためデータ収集を行い評価する必要がある。
2) TRU 廃棄物処分に係わる重要核種（C-14、I-129 等）移行挙動評価	C-14 や I-129 の挙動に影響を与える土壌微生物の活動を統括的に評価する指標を求める。さらに、その指標を導入した新たな移行パラメータを提案する。	TRU 廃棄物処分に係る重要核種である C-14 及び I-129 を対象として化学形態別に土壌-土壌溶液分配係数(Kd) や土壌-農作物移行係数(TF) など、移行パラメータを収集しデータを取りまとめる。そのために以下のことを行う。 (1) 土壌に添加後の低分子有機化合物（酢酸、メタノール）の経時的化学形態変化の解析 (2) 日本各地の農耕地土壌を用いて、低分子有機化合物の C-14 の固相・液相・気相分配率と、Kd 値の取得 (3) 水稻および他の農作物への C-14 移行係数の取得 (4) C-14 水稻移行モデルの	放射性炭素（C-14）や放射性ヨウ素（I-129）は物理的半減期が長く、そして処分場を構成する人工バリア材や母岩への収着率が小さいことから TRU 廃棄物の安全評価において線量支配核種と評価されている。炭素は生物圏における生物の必須元素である。環境中の有機態の C-14 は微生物の作用により別の有機態 C-14 へ、あるいは無機態 C-14 へと変化する。このような C-14 の化学的形態変化は、生物圏における移行に影響を及ぼす。従って、より現実的な C-14 移行に関する影響評価を行うためには、様々な化学形態の C-14 の環境中における挙動、すなわち農作物への移行および土壌への収着に関するパラメータを収集する必要がある。

		構築 (5) 日本各地の農耕地土壌を用いて、土壌-土壌溶液における IO_3^- の分配係数の取得	I-129 も安全評価上重要な核種であるが、土壌環境中におけるヨウ素の化学形は複数存在するため、化学形態別の Kd を求めるとともに微生物による影響を評価する必要がある。
3) ラドン挙動評価	実験室で得られた土壌中ラドン実効拡散係数のデータを用いて、間隙率および水分飽和度をパラメータとした我が国における土壌中ラドン実効拡散係数の推定式を求める。さらに、その推定式を用いて、地表面からのラドン散逸率を推定するモデルを構築する。	ラドンチェンバーを用いた室内トレーサ実験により土壌中におけるラドン実効拡散係数を求め、ラドン散逸に関する土性(土壌の種類)による違いを明らかにする。さらに、ラドン散逸率の測定値とモデルによる推定値との比較を行い、ラドン散逸率推定モデルを構築するとともに、それを全国規模に適用して全国のラドン散逸率マップを作成する。そのために以下のことを行う。(1) 室内実験により、土壌中におけるラドンの実効拡散係数を評価し、推定モデルの構築 (2) フィールドにおいてラドン散逸率や関連するパラメータの測定および評価 (3) 上記の評価結果を併せて、ラドン散逸率推定モデルを構築と、得られた推定モデルを用いたラドン散逸率のマッピング (平成 24 年度で終了)	ウラン廃棄物処分の安全性評価において、ラドンによる被ばく評価を正しく行うことが必要である。 ラドンによる被ばく線量については、土性や土壌水分量等により、移行パラメータが大きく異なるため、我が国における表層土壌中のラドン挙動を支配するパラメータを把握する必要がある。
4) 生物圏移行パラメータ推定法開発及びデータベースの高度化・拡充	農作物中の分析が困難な重要核種である Th や Pu 等について、環境中の濃度が測定できる分析法を開発し、データベースに追加する。 さらに、気候変動を考慮して生物圏での核種移行パラメータに影響を及ぼす重要ファクターの調査およびその影響解析を行い、データベースにそれらの情報を取り込み、データベースを高度化する。	既往のデータベース及び本調査により得られる知見を統合し、統計解析手法等により生物圏移行パラメータ推定法を開発するとともに、データベースの高度化と拡充を行う。さらに、原子力発電所事故により環境中に放出された放射性核種の中・長期の挙動予測にも活用可能なパラメータを収集する。そして、これらの調査研究の成果を統合し、生物圏移行パラメータデータベースを整備・拡充する。そのために以下のことを行う。 (1) データベースに蓄積された測定データ及び農耕地基盤に関する全国調査データなどを用いた、Kd 及び TF の推定モデルの構築 (2) 分析法の高度化を行い、これまで得られていなかったデータをデータベースに追加することによる環	放射性廃棄物の地層処分場から環境中へ放出された放射性核種は環境の違いによって動態が大きく異なる。従って、我が国独自の環境移行パラメータを収集・整備する必要がある。すなわち、まだ得られていない元素についての TF や Kd のデータを追加し、さらに沿岸域等におけるデータを収集し、データベースを充実させることは重要である。また、環境移行パラメータを得ることが困難であったり、実測していない場合に環境移行パラメータを推定することができれば、放射性核種の環境移行予測の精度が向上し、放射性廃棄物地層処分の安全評価がより適切になると考えられる。 福島第一原発事故で放出された放射性核種の環境移行に関するデータは、環境移行パラメータの変動および移行メカニズムを解明する重要な情報を含んでいる。放射性廃棄物処分に関わる重要核種の長期的な挙動を推定す

		境移行パラメータデータベースの拡充 (3) 東京電力福島第一原子力発電所事故に由来するデータの収集による放射性核種の環境挙動に関するデータを蓄積	るための追加的な情報となる。また、得られた情報そのものも、福島第一原発事故の影響を受けた地域等で有効活用される。
--	--	--	---

3-3-C 成果、目標の達成度

3-3-1-C 成果

3-3-1-1-C 全体成果

成果については、個別テーマごとに着手した年度が異なることから進捗状況等も様々であるが、評価期間の中では、技術の高度化やデータの整備等においてほぼ当初目標どおりの成果が達成された。

これらの調査・研究開発は、最終的には処分事業に関する基盤的な研究開発及び放射性廃棄物処分の技術的信頼性の向上のための技術課題の解決に資するものと位置付けている。なお、成果が効果的、合理的に適用できるよう、わが国全体の廃棄物の取組みの中で、反映先を明確にすると、さらに付加価値が高まる。

3-3-1-2-C 個別要素技術成果

(1) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

1) 基礎的研究テーマの整理

国内の最新研究開発動向の把握に関しては、関連する研究開発機関等との連携の場をとおして、研究開発動向に関する情報を収集・整理して体系的な把握を行った。具体的には、平成17年7月に発足した地層処分基盤研究開発調整会議（以下、調整会議）における新たな研究開発計画の検討において、同計画の外部有識者レビューの実施に必要な体制整備及びレビュー作業の支援を実施し、当該評価対象期間には以下の平成25年度からの5カ年を対象とした新しい計画書の取りまとめを行った。本計画書は資源エネルギー庁のホームページで公開されている。

・「地層処分基盤研究開発に関する全体計画（平成25年度～平成29年度）」（平成25年3月版）

平成25年度からの新規計画書の検討においては、国の基盤研究開発を担う関係機関により実施されている研究開発動向や計画に加え、実施主体（原子力発電環境整備機構：NUMO）との間で計画策定段階から情報の共有を行い、相互補完性や整合性を確保し、実施主体の研究開発に関するニーズ情報の把握も行っている。また、新規計画書においては、その方針検討段階から外部有識者の意見を反映するとともに、新規取組みとして、直接処分の研究開発及び地層処分に係る技術的取組に関する社会との共有のための方策の検討などに着手している。

国外については、海外で公開されている関連文献のうち、地層処分の安全性を示すために地質関連・工学関連・評価技術関連等の分野における最新の研究成果を取りまとめた性能評価報告書や関連文書等を対象とした情報を収集して体系的な整理を行った。具体的には、本中間評価対象期間中には、地層処分事業の進捗を有する、或いは性能評価研究に有意な進捗を示す欧米各国（フランス、スウェーデン、フィンランド、スイス、英国）を対象に、表3-77に示す性能評価・安全評価報告書、研究開発関連文書やサイト選定における評価報告書などの調査を行い、内容を取りまとめるとともに、想定されている処分システムや地質環境等の技術情報の把握を行った。なお、これらの収集資料（原文資料）の

うち重要なものについては、参考和訳資料を作成して原文資料とともにデータベースとしての整備を行い、関係者にいつでも利用可能な環境を提供することによる情報共有の促進を図るとともに、平成21年度までに整備を行った、図3-130に示す概要情報を取りまとめた一般向けのホームページへの追加情報の整備・公開を行い、地層処分事業に関する知識普及や理解促進に資する情報提供を行っている。

表3-77. 調査対象とした各国の性能評価・安全評価報告書等

国	性能評価・安全評価報告書等名称
フランス	・2006年から2009年までの放射性廃棄物管理研究に関する成果報告書、ANDRA（2010年） ・放射性物質及び放射性廃棄物管理国家計画「(PNGMDR)、ANDRA（2010年）
スウェーデン	フォルスマルクにおける使用済燃料の最終処分場の長期安全性－SR-Siteプロジェクト総括報告書、TR-11-01、SKB社（2011年）
フィンランド	セーフティケース中間概要報告書 POSIVA 2010-02、ポシヴァ社（2010年）
スイス	・低中レベル放射性廃棄物処分場及び高レベル放射性廃棄物処分場のための候補サイト地域の提案－要件、作業の進め方、結論の説明、NTB 08-03、Nagra（2008年） ・地質学的な基礎情報－本文及び付属文書、NTB 08-04、Nagra（2008年） ・廃棄物の割り当て、バリア・システム、地質学的要件の根拠づけ－安全性及び工学的成立性に関する報告書、NTB 08-05、Nagra（2008年） ・モデルを利用した放射性物質インベントリの確認（MIRAM 08）、NTB 08-06、Nagra、（2008年） ・候補サイト地域の提案に対する安全工学的側面の評価報告書、ENSI 33/070、ENSI（2010年） ・候補サイト地域の提案に対する ENSI の安全性に関する評価書に対する見解、KNS 23/219、KNS（2010年） ・提案された候補サイト地域の安全性と建設技術的な実現可能性に対する KNE の見解表明、KNE（2010年）
英国	英国における一般的な条件での閉鎖後安全評価（PCSA）、NDA（2010年）

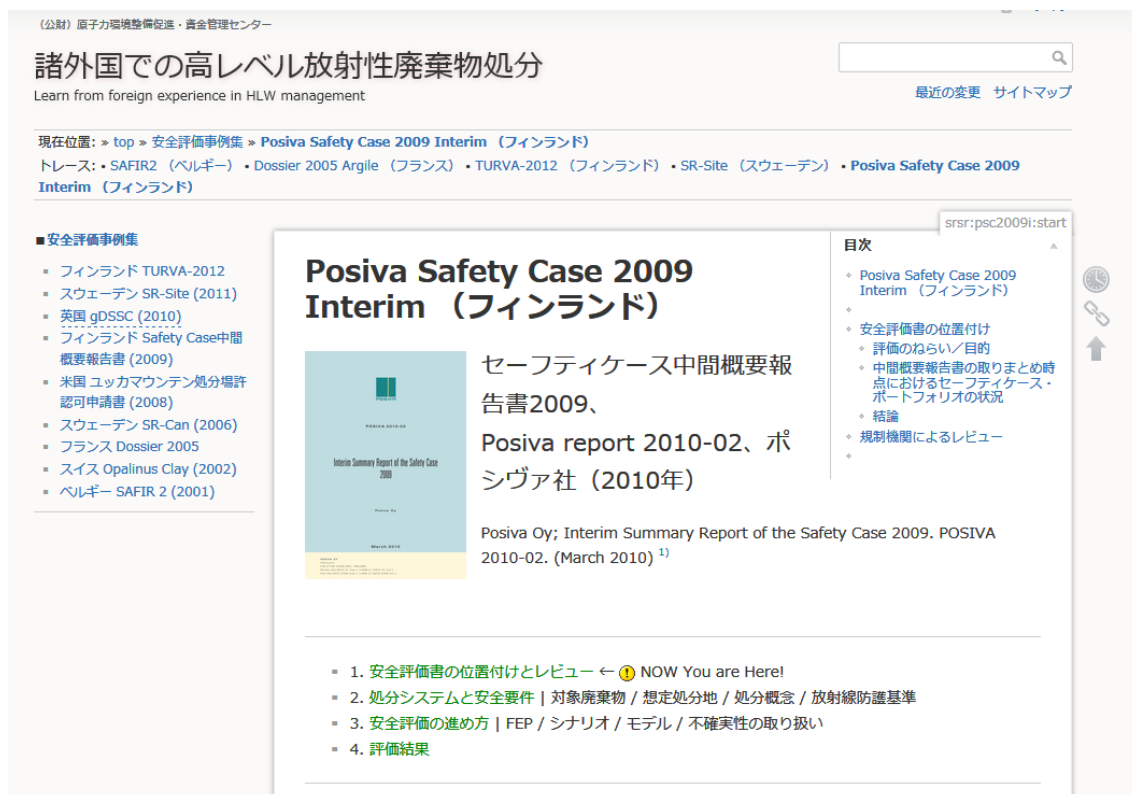


図 1－130. 各国の性能評価報告書等の概要を紹介する一般向けホームページ

2) 重要基礎技術研究調査

本取組では、わが国の地層処分事業の長期的展開も視野に、現段階から着手する必要がある基礎的研究テーマを抽出し、学術分野をはじめとする広範な関連諸分野の人材を活用して着実な研究を実施してきている。本プロジェクトが開始された平成13年度以降、次の個別研究テーマを実施し（各個別研究は原則3ヶ年計画で実施）、それぞれ着実な成果が得られている。

- ・平成13年度選定研究5件（研究期間：平成13年度～15年度）
- ・平成16年度選定研究7件（研究期間：平成16年度～18年度）
- ・平成17年度選定研究2件（研究期間：平成17年度～19年度）
- ・平成18年度選定研究2件（研究期間：平成18年度～20年度）
- ・平成19年度選定研究7件（研究期間：平成19年度～21年度）
- ・平成22年度選定研究8件（研究期間：平成22年度～24年度）

※平成20、21、23、24年度は新規選定研究無し。

平成21年度までに終了した研究は、過去に3度行われた本プロジェクトの技術評価において（平成15年度、平成19年度、平成21年度いずれも本プロジェクトの中間評価として実施）、成果を含めた取組に対する評価が行われている。以下では、今回の中間評価対象期間である平成22年度～24年度に行われた取組の成果として、①平成22年度より開始した8件の新規テーマの選定、②着実な研究実施及び研究内容・成果の共有・普及活動、③個別研究テーマの実施成果について整理する。上記の①及び②の整理は、いずれも「3－2－C 研究開発目標」において本要素（要素技術）の目標として示した項目に対応するものである。

①新規テーマの選定

平成 22 年度より開始した新規テーマのうち自然科学分野の研究については、公募及び推薦を組み合わせた方法により、研究テーマ及び研究実施者の選定を実施した。その考え方は、1) 若手研究者等の育成や他研究分野からの参加による研究者の裾野拡大、2) 研究実施の新たな観点や新規アプローチの創出、3) 着実な成果が要求される特定研究テーマへの取組等に配慮することであり、上記 1) 及び 2) に対応する方法として公募方式、3) に対応する方法として推薦方式を取り入れた。

公募方式では、募集時に調整会議で平成 21 年度に改訂された国の基盤研究開発計画書を提示したうえで、研究者の自由な発想や問題意識に基づいた研究提案を募集し、同計画書との整合性や期待される成果の有効性などを基に研究テーマとその実施者を選定している。なお、公募方式では若手研究者の育成も念頭に、募集時に研究提案者を 40 歳以下に制限する条件を付している。推薦方式では、関係者（大学所属有識者、実施主体、国の基盤研究開発を担う関係機関等）への事前ヒアリング調査等により、現在手掛けている既存の基盤研究開発等を踏まえて、信頼性の向上等を図る上で着実な成果が望まれる基礎的研究課題（研究テーマ）を抽出し、その研究テーマに関する着実な研究実施が可能と考えられる研究者を選定している。以上の取組により合計 7 件の自然科学分野の研究テーマ及びその研究実施者の選定を行った。なお、これらの選定作業は、本プロジェクトのもとに設置された専門家等から構成される委員会のもとで実施している（後述②を参照）。

また、上記 7 件の自然科学分野の研究テーマとは別に、社会科学分野の研究を実施している（過去に平成 19 年度から 21 年度までの期間においても 1 件の研究を実施）。これは、地層処分事業の推進には自然科学系分野のみならず、社会科学分野の研究への取組も必要であるとする審議会等での議論にも対応するものである。

②着実な研究実施及び研究内容・成果の共有・普及活動

各個別研究をより良いものとするために、本プロジェクトのもとに専門家等から構成される委員会を設置し、適宜、研究計画のレビュー及び年度研究成果の評価を実施している。今回の評価対象期間における開催実績は表 3-78 のとおりであり、各研究実施者からの年度研究成果の報告の際には、当該委員会委員だけでなく、関係機関の研究者等も交えて、活発な議論・情報交換が行われるような場を提供している。なお、社会科学系研究に関しては、委員会構成委員の専門分野の妥当性等の事情もあるため、委員会では評価ではなく研究に対する意見を頂く形式で実施された。

表 3-78. 中間評価対象期間における委員会開催実績

開催日	実施概要
平成 22 年 6 月 30 日(水)	平成 22 年度 第 1 回地層処分重要基礎技術研究委員会 公募枠へ応募があった研究テーマについて書類審査を実施し、また推薦枠で応募された研究テーマについて確認を行い、合計で 7 件の自然科学系研究テーマについて第 2 次審査（プレゼンテーション審査）をすることを決定した。
平成 22 年 7 月 28 日(水)	平成 22 年度 第 2 回地層処分重要基礎技術研究委員会 7 件の自然科学系研究テーマについて第 2 次審査（プレゼンテーション審査）を行い、平成 22 年度の地層処分に係る基礎的研究テーマ及び研究実施者として採択することを決定した。

平成 23 年 3 月 9 日（水）	平成 22 年度 第 3 回地層処分重要基礎技術研究委員会 重要基礎技術研究調査として実施された 7 件の自然科学系研究テーマについて、限定公開方式による平成 22 年度の研究成果の評価・討論が行われた。また、1 件の社会科学系研究テーマに関して報告され、研究成果に対して議論された。
平成 24 年 3 月 1 日（木）	平成 23 年度 第 1 回地層処分重要基礎技術研究委員会 重要基礎技術研究調査として実施された 7 件の自然科学系研究テーマについて、限定公開方式による平成 23 年度の研究成果の評価・討論が行われた。また、1 件の社会科学系研究テーマに関して報告され、研究成果に対して議論された。
平成 25 年 3 月 5 日（火）	平成 24 年度 第 1 回地層処分重要基礎技術研究委員会 重要基礎技術研究調査として実施された 7 件の自然科学系研究テーマについて、限定公開方式による 3 ヶ年研究の最終年度としての総括的な研究成果の評価・討論が行われた。また、1 件の社会科学系研究テーマに関しても総括的な研究成果が報告され、研究成果に対して議論された。

③個別研究テーマの実施成果

当該評価の対象期間内に実施された 8 件の個別研究テーマの実施概要及びその成果について表 3-79 に整理する。

表 3-79. 重要基礎技術研究調査における個別研究テーマの実施概要・成果

研究テーマ、研究実施者、研究実施期間	研究実施概要	研究実施成果
・無機物質、微生物を媒介とした核種移行ナノプロセスの解明 ・宇都宮 聡 九州大学大学院理学研究部化学部門准教授 ・平成 22 年～24 年	無機ナノ物質、微生物に対する核種（アクチノイド及び模擬の希土類元素）の収着反応と収着後の核種固定反応プロセス・メカニズムを、実験的手法と最先端の分析技術を用いて原子・分子レベルから解明し、その本質的理解と核種移行への効果を定量化する。	高アルカリ条件にて反応させたベントナイト-炭素鋼間の界面を X 線回折分析と透過型電子顕微鏡観察を行ったところ、炭素鋼から溶出した鉄イオンがモンモリロ層間に浸入し、膨潤性のない 1:1 型鉄含有鉱物が生成したことが確認された。また、微生物に希土類元素を吸着させた後に微生物表面を電子顕微鏡観察とエネルギー分散型 X 線分析を行ったところ、微生物表面にリン酸塩鉱物が生成していることが確認された。また、pH3 における希土類元素固定化が pH5 の条件より小さかったことから、細胞表面の官能基の解離状態の違いが希土類元素固定化のプロセスへ影響していることが示唆された。
・ガラス固化体のキャ	ガラス固化体を対象にそのキャ	ランタン (La) 含有量及びアルカリ含有量の異なる模擬ガラスを対象に溶解実験を実施し、

ラ ク タ リ ゼ ー シ ョ ン と ガ ラ ス 溶 解 現 象 の 基 礎 的 研 究 ・大窪 貴洋 千葉大学 大学院工 学研究科 助教 ・平成 22 年 ～24 年	ク タ リ ゼ ー シ ョ ン の た め の 構 造 解 析 手 法 を 構 築 し、ガ ラ ス の 構 造 学 的 な 見 地 か ら ガ ラ ス 溶 解 現 象 の 基 礎 科 学 的 理 解 を 深 め、よ り 定 量 的 な ガ ラ ス 固 化 体 の 溶 解 プ ロ セ ス を 提 案 す る こ と を 目 的 と す る。	溶液の元素分析による規格化浸出量の算出及び変質ガラス試料の固体高分解能核磁気共鳴法による構造解析を行った。ガラス溶解実験の結果、アルカリ含有量が高いガラスの場合は、ナトリウム (Na) とホウ素 (B) の浸出量が多かったが、La を含有したガラスでは Na や B の溶解が抑制された。また、溶解実験前後の、アルカリ含有量の異なるガラスのネットワーク構造を、^{29}Si を対象としたマジックアングルスピニング固体 NMR 測定 (^{29}Si MAS NMR) により解析した結果、溶解試験後の模擬ガラスの Si 構造では、Q^2、Q^3、Q^4 構造 (それぞれケイ素イオンに架橋した酸素原子数が 2, 3, 4 つの構造) の中で、Q^3 が多くなる傾向を示した。これらの結果から、B の浸出によって生じた変質相中の Si が再結合し、$\text{Q}^4 \Rightarrow \text{Q}^3$ 及び $\text{Q}^2 \Rightarrow \text{Q}^3$ への構造変化が生じていることが示唆された。 これらの結果は、本研究で用いた構造解析手法がガラス、及びその溶解によって生じる変質相の特性を理解する上で有用なツールとなりうることを示している。
・ナノカロリー メ ト リ ー に よ る 放 射 性 核 種 の 岩 石 鉱 物 へ の 収 着 反 応 機 構 の 解 明 ・桐島 陽 東北大学 多元物質 科学研究 所 助教 ・平成 22 年 ～24 年	金属イオンの鉱物への収着反応における静電作用効果と表面錯体形成によるそれぞれの反応熱データを取得し、その結果を基に既存の表面錯体モデルによる反応機構の考え方の妥当性を判断し、モデルの改良を行うことを目的とする。	γ-アルミナのプロトン化・脱プロトン化反応の平衡定数を得るため、γ-アルミナの電位差滴定を行い、滴定曲線を解析して平衡定数と官能基容量を求めた結果、固液比が大きくなるほどプロトン化反応の平衡定数は大きくなる一方で、官能基容量は逆に小さくなった。 また、γ-アルミナのプロトン化・脱プロトン化反応の反応エンタルピーを得るために、γ-アルミナ懸濁液への過塩素酸溶液の滴下により発生する熱量をナノカロリーメーターを用いて測定し、電位差滴定によって求めた平衡定数と官能基容量を用いた解析から、プロトン化・脱プロトン化反応の反応エンタルピーをそれぞれ求めた。ΔG (ギブズ自由エネルギー変化) と ΔH (エンタルピー変化) 及び固相の表面ポテンシャルの関係から、固相表面で起こる脱プロトン化反応の自由エネルギー変化は固相表面の静電ポテンシャルに依存するが、その依存分は反応のエントロピー項の変化 ($T\Delta S$) によって補償されること、また、固相表面 ($\equiv\text{XO}$) とプロトン間 ($\equiv\text{XO-H}$) の結合エネルギーは静電ポテンシャルに依存しないため、エンタルピー項は一定となる事が示された。
・大気圧変動 等 による	処分場の操業中 と閉鎖後における	砂試料に対して再冠水後の飽和過程移行試験を実施し、圧力と飽和度の関係を求めたところ

水分移動及び再冠水における飽和状態への移行現象に関する研究 ・小松 満 岡山大学 廃棄物マ ネジメン ト研究セ ンター 准教授 ・平成 22 年 ～24 年	地下環境（土質、岩盤及びベントナイト）の不飽和領域の形成と再冠水挙動に関して、地盤—大気相互作用の確認、及びそのモデル化のための課題を整理することを目的とする。	ろ、水圧変化に伴う飽和度の増加は 0.5MPa（水深 50m 相当）の範囲でそのほとんどが起ることが判明した。また、計測された背圧—飽和度の相関は、理論圧縮曲線から推定した飽和度変化の形状と類似したことから、本研究で実施した試験条件下では、水圧上昇による間隙中の気泡の圧縮が飽和度上昇に支配的に貢献していることが示唆された。 また、（独）日本原子力研究開発機構瑞浪超深地層研究所及び幌延深地層研究センターの坑道で地中レーダーを用いたワイドアングル測定（CPM 測定）による飽和度測定の適用性試験を実施したところ、堆積岩盤では岩盤からの明確な反射は検出できなかったが、結晶質岩盤では岩盤からの反射を検出し、計測が可能であることが示された。プロファイル測定においても、堆積岩盤では支保工による反射が見られたが、岩盤からの明瞭な反射は検出されない一方で、結晶質岩盤では測定により反射が計測され、岩盤からの反射が測定可能と判断された。
・流動場分画法を利用した天然地下水中のコロイドに関する研究 ・斉藤 拓巳 東京大学 大学院工 学系研究 科 助教 ・平成 22 年 ～24 年	深部地下環境におけるコロイドの核種キャリアとしての影響の理解に資するため、コロイドを流体力学的性質に基づき連続的に分画可能な流動場分画法を用いて、地下水に含まれるコロイド自体とコロイドによって移行が支配される元素を定性・定量分析するための手法を開発することを目的とする。	流動場分画法（FI-FFF）と誘導プラズマ質量分析装置（ICP-MS）をオンラインで接続し、FI-FFF によって分画したコロイドのサイズ、元素濃度分析が可能となるシステムの構築を行った。さらに、前処理濃縮、及びグラディエント法を用いてコロイドの分画分解能改善を図った。 また、（独）日本原子力研究開発機構瑞浪超深地層研究所のボーリング孔より採取された地下水試料中に含まれるコロイドのサイズ及び元素分析を行い、環境条件に応じたコロイドの分類・動態評価を行った。その結果、地下水に含まれるにコロイドのサイズと元素組成の相関から 2nm 付近に存在する有機物コロイドが地下水に含まれる主要なコロイドであること、有機コロイドに希土類元素（La, Ce, Eu, Lu）やアクチニド元素（Th, U）、及び重金属（Cu, Zn）が取り込まれて存在すること、及び Al, Si（, Fe）を含む無機コロイド（粘土コロイド又は水酸化物コロイド）が 20 nm 付近と 80 nm 以上のサイズ領域に存在し、一部の微量元素（希土類元素とアクチニド元素）のホスト相となっている可能性について知見を得た。
・カルデラ火山地域における大	カルデラ形成前後から現在までの火山噴出物の微量	阿蘇中央火口丘群の主要岩体周辺域、及び始良カルデラ火山を対象として、カルデラ形成後噴出物の採取を行った。採取試料を対象にし

規模噴火再発の可能性評価 ・三好 雅也 福井大学教育地域科学部講師（平成22、24年度）／山本順司 京都大学地球熱学研究施設助教（平成23年度） ・平成22年～24年	元素及び同位体組成の詳細な時間変化を調べることに、現在のカルデラ火山直下における大規模珪長質マグマの蓄積を定量的に解明し、カルデラ噴火再発の可能性の予測に資する知見を得ることを目的とする。	て、K-Ar 年代測定、$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比等の分析を行い、火山岩体の形成年代及びマグマの化学組成についての検討を行った。 阿蘇カルデラについては、岩石学的特徴や岩石試料の主成分元素組成・微量元素組成分析、Sr 同位体分析の結果から、間カルデラ期のマグマ組成は、同時期あるいは直後に噴出したカルデラ形成期のマグマと類似することが明らかとなった。また、始良カルデラでは、少なくともカルデラ形成噴火（29 ka）の数千年前には大規模火砕噴火のマグマが地下に蓄積されていた可能性が示唆された。 カルデラ火山と間カルデラ火山の位置関係から、阿蘇カルデラでは大規模マグマの蓄積時に、カルデラ中心から 20km 以上外側の範囲までマグマが移動・貫入したことが示唆された。
・温度・拘束圧制御下における珪質岩石の透水・物質輸送特性の評価と連成モデルの開発 ・安原 英明 愛媛大学大学院理工学研究科准教授 ・平成22年～24年	熱・水・応力・化学連成作用による透水・物質輸送特性の経時変化に起因するメカニズムを解明し、様々な境界条件で透水・物質輸送特性を長期予測できる連成モデルを構築することを目的とする。	（独）日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センターより提供された北海道幌延町産の泥岩を用いて、単一の不連続面を有する試料を対象に、温度・拘束圧・化学条件を制御した透水試験を実施した。さらに、力学－化学連成現象に起因する岩石不連続面透水特性の経時変化を記述できる解析モデルを用いて実験結果の再現解析を実施した。 20℃と 90℃条件、及び超純水とオイルを用いた透水試験を実施し、すべての境界条件で透水性が低下することを確認した。これらの結果から、不連続面を有する泥岩中の透過率低下が、化学作用（鉱物溶解現象）だけでなく力学作用（変形・破壊現象）によっても影響されている可能性が示唆された。 力学－化学連成現象に起因する岩石不連続面透水特性の経時変化を記述できる解析モデルを用いて、透水試験結果の再現解析を実施した結果、透過率の減少過程及びその後の上昇過程を定性的に再現できることを確認した。不連続面の開口幅を変化させるメカニズムの原因として、温度・応力に依存する鉱物溶解の影響が確認されたが、解析モデルにおいても、力学作用の考慮が実験結果の再現にも必要であることが確認された。
・放射性廃棄物処分事	処分事業に対する国民・社会の理	「立地選定制度の国際間比較」、「日本における地域支援制度の変遷と意義の検討」に関する

業の社会的側面の基礎研究 ・加藤 浩徳 東京大学大学院工学系研究科 准教授（平成 23、24 年度）／森田 朗 東京大学大学院法学政治学研究科 教授（平成 22 年度） ・平成 22 年～24 年	解促進と信頼性向上に資するため、重要な社会的側面に係る知見を得ることを目的とする。	調査を、主に文献調査により実施した。フィンランドとフランスの事例分析の結果、処分事業に着手することや事業のプロセス設計等について広く社会全体での明確な合意を確保することが事業推進の正当性付与や合意形成に有効であるという知見が得られた。 また、行政に対する信頼・公正感・高レベル放射性廃棄物処分事業に対する態度・処分施設立地に関するオプション（1 か所立地・複数立地・中間貯蔵継続）に対する人々の選好を検討するため、震災直前及び震災後に実施したウェブアンケート調査結果を分析し、公衆の信頼に対する震災・原子力発電所事故による変化・影響について調査した。その結果、震災前と比較して、震災後の行政への信頼については国の行政に対する信頼のみが低下し、地方行政についてはむしろ向上する結果となった。高レベル放射性廃棄物処分施設受け入れ態度の変化については、震災後は容認方向に変化するという極めて興味深い結果となった。この結果は、公平性・正義性やアジェンダセッティングが信頼に対して優越して態度形成に影響している可能性を示唆する。また、高レベル放射性廃棄物処分場の「現行 1 か所立地」「複数立地」「中間貯蔵継続」についての比較評価を行ったところ、処分場の「複数立地」の賛成が多い結果になったにもかかわらず、実現可能性の評価においては「中間貯蔵継続」が圧倒的であった。この結果から、処分場立地の実現可能性に対して回答者がかなり厳しい見方をしていることが伺えた。
---	--	--

3) 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整備

多重バリアシステムを基本とする地層処分において、地層処分システムの安全性を説明する論拠の 1 つとして、安全評価上考慮すべき現象と類似した天然現象（ナチュラルアナログ：Natural Analogue (NA)）を、その現象理解や性能評価に活用するために、これまでの検討において NA の重点的課題分野である「セメント系材料の影響による人工バリア（ベントナイト緩衝材）の長期健全性」の NA 調査・研究を高アルカリ地下水とベントナイト層が近接することが確認されたフィリピン国ルソン島北西部（図 3-131）を対象として実施した。

この NA 調査・研究では、ベントナイトのアルカリ変質に関わる地質学的・鉱物学的特性、ベントナイトの基本物理特性、高アルカリ地下水の地球化学的特性と地下水年代、及び岩石の形成年代等に係るデータの取得に加え、数値モデルによるベントナイト変質解析により、高アルカリ地下水環境下でのベントナイト変質反応に伴う鉱物変質過程の理解とその時間スケールを評価した。これらの結果に基づき、主に過去に高アルカリ地下水と接触し

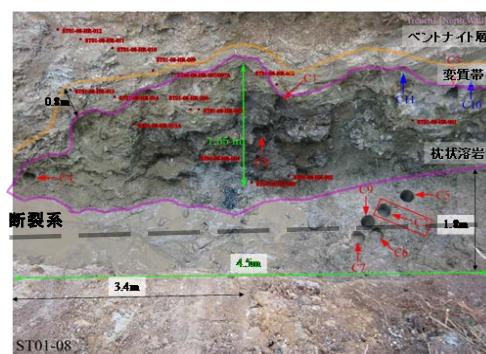
ていた証拠が確認された Fossil Type の NA サイト（Saile 鉱山とその周辺地）を中心にベントナイトの長期健全性評価へのナチュラルアナログの適用性と信頼性向上のための課題を整理した。



図 3－131．調査対象地域

①ベントナイトの生成と地質環境及び基本物理特性。

Saile 鉱山のベントナイト層は、広範囲に水平に堆積していること、微量成分分析より、地下水との反応はほとんどおこらず源岩（の REE（Rare-Earth Element）のパターン）の特徴を持つ。また、Saile 鉱山 Quarry（採石場）、トレンチ内の枕状溶岩との境界部（変質部：Bleached Zone（図 3－132））ともベントナイト層中のイライトの含有率はたかだか 15%であり、局所的なアルカリ変質によるものではない。採石場のベントナイト層、ゼオライト層が層状に産し、しかも同一層内の走行方向において主成分鉱物に差異が認められなかった。採石場のベントナイト試料に蜂の巣状の自生スメクタイトが確認された。以上の結果から、Saile 鉱山のベントナイトが続成作用によって生成したものであり、ベントナイトが生成した後にアルカリ地下水と接触した環境であることが確かめられた。このベントナイト試料のスメクタイト含有量については、ベントナイトの未変質部（アルカリとの相互作用がない領域）では 58.7～62.7%であったが、ベントナイトの変質部は 30.7～36.0%であった。鉱物分析から、いずれの試料もスメクタイトを多く含むが、物性試験を行った変質部の試料は方解石が含まれていた。



枕状溶岩直上の紫と橙の間が変質部（Bleached Zone）

図 3－132．Saile 鉱山のベントナイトー枕状溶岩の断面と変質部（Bleached Zone）

②高アルカリ地下水の生成・進化のプロセスと環境条件

pH の高い Manleluag (pH10.5~11)、Poonbato (pH11 以上) の地下水は Ca が多く含まれ、Mg がほとんど含まれていないという低温型蛇紋岩作用にともなう高アルカリ地下水生成の典型的な特徴があり、高 pH、高 Ca 濃度、還元性、温泉水程度の温度の地下水 (Manleluag) は低アルカリセメントの浸出水とアナログである。水—岩石シミュレーションから、水—岩石反応の程度は Poonbato > Manleluag > Bigbiga > Saile 鉱山であり、滞留時間も同様の傾向を示し、Poonbato > Manleluag > Bigbiga > Saile 鉱山である。この結果は、涵養高度による滞留時間の推定、酸素・水素同位体データとも調和的である。

③高アルカリ環境下でのベントナイトの長期変質プロセスと環境条件

ベントナイト—枕状溶岩の接触界面には、アルカリ地下水によってスメクタイトが変質したアルカリ変質帯が確認されたが、顕微鏡スケールで 5mm 程度の幅である。このアルカリ変質帯は、アルカリ地下水の主要溶存イオン (Si, Al, Mg, Fe, <Mn>, Ca, K, Na, OH, <Cl>) との陽イオン交換反応や溶解—沈殿反応及び、還元—酸化反応により、Ca—スメクタイトの Fe 型化 (Fe—スメクタイト、サポナイト) と還元—酸化反応によるノントロナイトと共生鉱物として針鉄鉱 (ゲーサイト) 及び、カリ長石、Ca—沸石 (主に輝沸石と少量の斜プチロ沸石) とシリカ鉱物で構成されている (図 3—133)。

TL 年代測定法により、断裂系充填物である方解石の生成年代は、最小で 25.1ka、最大で 120ka と評価され、年代のオーダーは数 10ka であると考えられる。Fossil Type のサイトにおいて高アルカリ地下水が閉塞された年代だと考えられる方解石の TL 年代と断裂系が生じた際に高アルカリ地下水の湧水があったとした Aksitero 累層や Moriones 累層の堆積年代と Saile 鉱山採石場の断裂系の関係から、かなりの長期間に渡り (少なくとも 23Ma 以前~数 10ka まで) 高アルカリ地下水がベントナイト層と接触していた。

地球化学計算によるアルカリ地下水と接触したベントナイトの変質解析から、二次鉱物による沈殿によりクロッキングを起こすことが示唆された。また、pH が初期鉱物の溶解量に大きく影響することが確認できた。

Cation Substitution / Dissolution-Precipitation / Reduced-Oxidized Condition

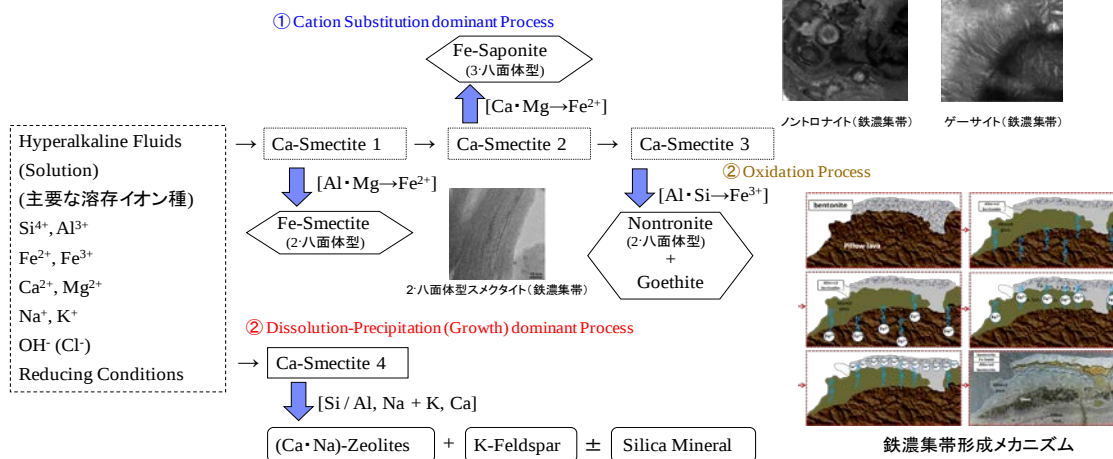


図3-133. 高アルカリ環境下におけるアルカリ変質鉱物生成シナリオ

④Fossil Type のNAによるベントナイトの長期健全性評価

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

(a) 変質部（Bleached Zone）の規模（範囲と程度）

変質部の範囲は、枕状溶岩の表面（コンタクト）からベントナイト層へ約40cm程度であることが観察され、また、枕状溶岩の波状的な表面からほぼ等距離の幅で分布していることから、高アルカリ地下水（Ca-OHタイプの水質）が、ベントナイトには拡散支配で移行したことが推察される。変質部の変質の程度については、境界部の界面に限られるアルカリ変質帯を除いて、Ca-ス멕タイトと随伴鉱物として主に輝沸石と斜プチロ沸石で構成されており、不均質に方解石が見られる部分を除き、未変質部との鉱物組成、CEC、膨潤力の顕著な違いは見られない。

(b) ベントナイトのアルカリ変質帯での物質移行

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

(c) ベントナイトの実測物性値

ベントナイト試料のス멕タイト含有量、CEC、膨潤力などの物性はス멕タイト含有率と正の相関があるため、未変質部の試料のほうが（緩衝材の機能として）変質部よりいい傾向を示すが、乾燥密度が増加していることからCECや膨潤力が単位重量当たりの特性値であることを考えると、緩衝材としての機能が著しく低下したとはいえない。間隙率と乾燥密度は物質移行に極めて影響の高い物性であるが、これらの物性は境界部の方が間隙率が小さく（乾燥密度は高い）未変質部の方が大きい（乾燥密度は低い）。この理由はベントナイトの間隙に方解石が充填したためと考えられるが、方解石の生成はアルカリ変質とはそのメカニズムは異なるが、ベントナイトが変質した境界部のほうが未変質部より逆に物質移行を抑制する傾向が見られることは、長期的にベントナイトの変質が進まない方向に現象が進むという点で界面のアルカリ変質挙動と共通である。

(d) ベントナイトの実測物性値

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

以上の(a)～(d)の評価から、Ca系アルカリ地下水環境下でのベントナイトのアルカリ変質反応は、その規模、変質鉱物の生成プロセス及び、基本物性等から考察し、ベントナイト系緩衝材に求められる諸特性の著しい劣化が確認されないことから、ベントナイ

トの長期健全性が保たれるものと評価できる。

⑤Active Type の NA サイトの探査

Fossil Type のサイトでは根本的に解決できない問題でも高アルカリ地下水が、現在もベントナイト層に浸水している Active Type のサイトが見つければ大きく進展が見込める可能性があることから、Active Type のサイトの候補地である Bigbiga 地区において、詳細な地質調査、ガス計測調査、地下水の地球化学的調査、構造試錐調査・試錐孔間での簡易揚水試験及び、試錐コアによる偏光顕微鏡観察と XRD 解析を実施した。これらの結果から、Active Type の露頭発見のための 3 つの探査要素として、①高アルカリ地下水の湧水、②ベントナイト層の賦存、そして、③Zambales オフィオライト基盤岩中で形成・進化した高アルカリ地下水の流路となるオープンスペースとしての割れ目集中帯・断裂系が基盤岩からベントナイト層への連続的な連結が明確化された。

(2) 放射性核種生物圏移行評価高度化調査

1) 沿岸における核種挙動移行評価

(a) 分析法の確立

・河口-沿岸域の Cs の分析法

海水中の Cs 濃度は、 $100\sim 400\text{ ng L}^{-1}$ と報告されており、ICP-MS 等で測定を行う場合には多量に存在する Na や K の影響を除去する必要がある。そこで、リンモリブデン酸アンモニウム (AMP) および陽イオン交換樹脂を用いて、海水試料中の Cs を分離・濃縮し、ICP-MS で Cs を定量する分析法を確立した。

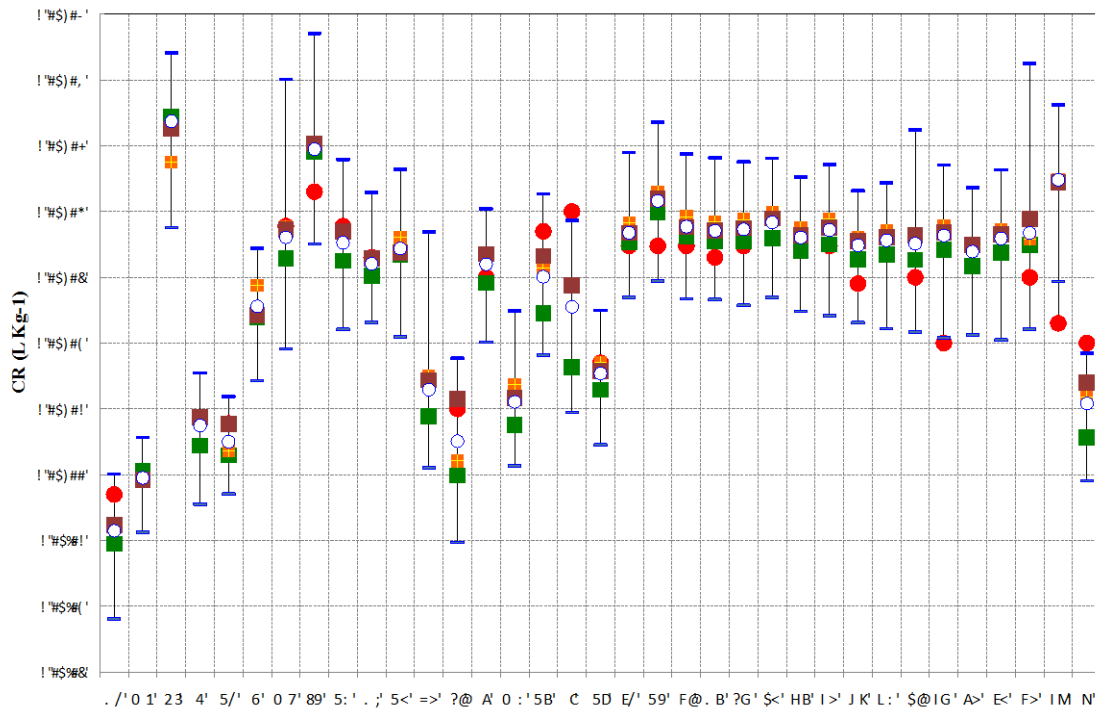
・河口-沿岸域の水中のヨウ素 (I) 分析

本研究では、海水中の全 I の高感度分析法を確立 (水酸化テトラメチルアンモニウム (TMAH) で希釈後、二重収束型 ICP-MS (SF-ICP-MS) で測定した。確立した分析法による I の検出下限値は、 2.3 pg mL^{-1} であった。確立した方法により日本沿岸 14 海域から採取した 67 海水試料中の全 I を測定した結果、 $1.44\sim 69.75\text{ ng mL}^{-1}$ であった。

(b) 河口-沿岸域における調査および移行パラメータ導出

全国の 7 河川の河口から沿岸域において海洋調査を実施し、元素及び化学成分の分布を明らかにした。さらに季節変動の影響を明らかにするために、1 箇所の河口から沿岸域において、年 3 回の定期調査を実施した。また、海底堆積物と海産生物の採取を行ない元素濃度を求めた。得られたデータより海底堆積物-海水の分配係数 (K_d) と海産生物の濃縮係数 (CR) を取得した。本調査で得られた海藻類の CR 値と IAEA のデータを比較した結果を図 2 に示す。ほとんどの元素で本調査で得られた海藻類の CR 値は、IAEA の推奨値と同じであるが、U や Th 等、一部の元素では違いが見られた。

本調査で得られた移行パラメータは、IAEA の Technical Report Series のデータ集に採用され、また、ヨーロッパで開発された ERICA モデルのデータベースにも採用された。



沿岸域における海藻類CR値およびIAEAのCR-推奨値
 ■: 褐藻類CR幾何平均値, ■: 紅藻類CR幾何平均値, ■: 緑藻類CR幾何平均値,
 I, O: 海藻類CR-範囲と幾何平均値, ●: TRS422-推奨値

図 3-134. 本調査で得られた海藻類の CR 値と IAEA のデータ

2) TRU 廃棄物処分に係わる重要核種 (C-14, I-129 など) 移行挙動評価

(a) 炭素の化学形態

液体クロマトグラフを接続した IRMS (LC-IRMS) を用い、有機態 C-14 の経時的化学形態変化分析方法の検討を安定同位体である C-13 を用いて行った。土壌に添加したメタノールは、添加直後は化学形変化を起こさないこと、および土壌によって濃度の減少傾向が全く異なることがわかった。メタノールや酢酸の化学形であれば、土壌には物理的・化学的にほとんど収着されないが、長期間土壌と接触する間に化学形が徐々に変化し、一部が土壌に収着され、一部は気体となって土壌-土壌溶液混合系から放出されることがわかった。

(b) 炭素の固液気相分配率および土壌-土壌溶液分配係数 (Kd)

平成 19 年度に確立した実験系により、全国各地の農耕地土壌 (畑地 79, 水田 63, 合計 142 土壌) を用い、ギ酸態 ^{14}C 、ホルムアルデヒド態 ^{14}C およびメタノール態 ^{14}C の固相、液相、気相分配率を求めた。ギ酸態 ^{14}C の固相、液相、気相分配率は、それぞれ 5.7%、4.7%、そして 89.6% (全土壌の平均値) であった。ホルムアルデヒド態 ^{14}C の固相、液相、気相分配率は、ギ酸態 ^{14}C と似ていた。メタノール態 ^{14}C の固相、液相、気相分配率は、22.8%、0.5%、そして 76.8% であった。メタノールの場合、液相には ^{14}C がほとんど残存しない事が分かった。

これら低分子有機化合物の ^{14}C について、日本の農耕地土壌における Kd を求めた。ギ酸の場合、Kd の平均値は $4.0 \times 10^1 \text{ L/kg}$ 、ホルムアルデヒドの平均値は $4.1 \times 10^1 \text{ L/kg}$ であった。メタノールの場合、平均値は $6.1 \times 10^2 \text{ L/kg}$ で、その他の低分子有機化合物と比較して高い値であった。メタノールの高い Kd 値は、前述したように液相に ^{14}C がほとんど残らなかったことが要因の一つと考えられる。

各相への ^{14}C 分配率と pH との関係について調査した結果、液相における ^{14}C 分配率と pH との間には正の相関関係がみられた。特に pH6.5 以上では、急激に ^{14}C の液相分配率が増加した。この傾向は、H21 および H22 年度に得られた酢酸での結果と同じである。溶液の pH の上昇に伴い増加した低分子有機化合物の ^{14}C の液相分配率は、溶液に溶けることができる全炭素量の増加と関係あることが示唆された。

一方、メタノールは、酢酸、ギ酸、ホルムアルデヒドとは異なる反応を示した。全体的に ^{14}C の液相分配率は低く、土壌溶液の pH と液相分配率との関係が明確ではなかった。これまで液相の ^{14}C 分配率は、pH に依存する炭酸ガスの溶解度曲線ときわめてよく一致していたことから、液相中の ^{14}C は炭酸か重炭酸イオンの形態で存在することが示唆されていたが、メタノールの場合、液相中の ^{14}C は、炭酸や重炭酸イオンでは無いことを示唆している。

(c) 炭素の土壌-農作物移行係数 (TF)

ギ酸態 C-14 の水稻への TF を取得した。玄米への TF は 3.6 で、H20 および H21 年度に得られた酢酸態 ^{14}C の TF よりも大きかった。酢酸態 ^{14}C の土壌-コマツナ TF は 0.62~3.32 であり、土壌-コカブ TF は、2.2 であった。

TF は「土壌 ^{14}C 濃度に対する作物 (可食部) ^{14}C 濃度の比」として表される。 ^{14}C のガス化により、土壌中の ^{14}C 濃度は低くなる。さらに、ガス化した ^{14}C の主化学形態は $^{14}\text{CO}_2$ である可能性が示唆されており、 $^{14}\text{CO}_2$ は光合成により植物体に取り込まれるために、植物体 ^{14}C

濃度が高くなる結果となる。この様に、 ^{14}C のガス化が土壌および植物の ^{14}C 濃度に影響することにより、見かけ上、TFが高くなると考えられる。従って、 ^{14}C のようにガス化が顕著な放射性核種については、ガス化した ^{14}C が光合成により植物体に移行する ^{14}C を明確に評価する必要がある。

(d) 水稻移行モデル構築

平成 22 年度は、水稻全体モデルの改良を行い、リターコンパートメントをモデルに追加した。このモデル化により、2 年目以降に灌漑水からの曝露が無い場合でもリターから移行した ^{14}C を曝露源とすることが可能となった。

平成 24 年度は、水稻全体モデルのモデルパラメータの精度向上を図るために、過年度から継続している実験結果のトレース及び、炭素、窒素の循環モデルに関する文献調査を実施し、移行パラメータの値を検討した。土壌乾燥実験の結果から、湛水状態では CO_2 放出量は少ないが、土壌の表面水が蒸発し乾燥が進むと土壌内で分解された有機物が CO_2 として放出され、その放出は、土壌水の蒸発に伴うものであることが示唆された。現行モデルの「土壌 1 から近傍大気」の移行は、土壌内の分解半減期として 25~50 day を設定していたが、落水中は蒸発による移行であるとして、移行半減期を場合分けするよう改良を行った。蒸発による CO_2 放出の半減期が 2~3 日であったことから、落水期間中は「土壌 1 から近傍大気」への移行半減期を従来の 1/10 の 2.5 day~5 day にした。

植物栽培装置を用いた水稻栽培実験について、詳細にトレース解析を実施したところ、収穫時のイネの ^{14}C 濃度、土壌内 ^{14}C 濃度を再現することができた。また、RI 非添加のコントロールのイネについても大気曝露としてトレース解析を行い、概ね実験のトレースができた。図 3-135 に水稻移行モデルと移行半減期を示す。

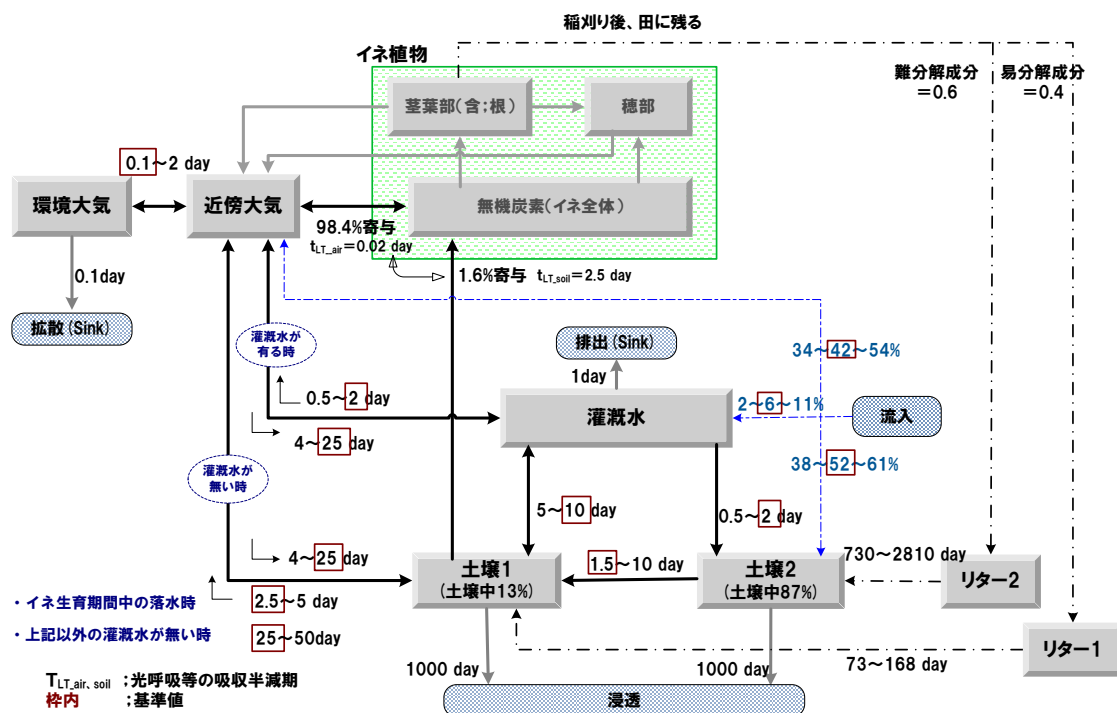


図 3-135. 水稻移行モデルと移行半減期
本調査および文献調査により得られたデータを用いて
構築した水稻全体モデルにおける ^{14}C の移行半減期を決定

(e) ヨウ素の土壌-土壌溶液分配係数 (K_d)

平成 19 年度に確立した実験方法により、水田土壌と畑土壌を用いてヨウ素 (I_3^-) の K_d を求めた。実験は 2 種類の温度 [通常の室温 (23°C) と微生物活動を抑制するための 4°C] で行った。

平成 22 年度は、水田土壌 ($n=63$) を用い、平成 23 年度は畑土壌 ($n=79$) を用い、 I_3^- の K_d を求めた。水田土壌における I_3^- の幾何平均値は 4°C 条件下では $3.1 \times 10^1 \text{ L/kg}$ 、 23°C 条件下では幾何平均値 $4.0 \times 10^1 \text{ L/kg}$ であった。畑土壌における I_3^- の K_d は、 4°C 条件下において幾何平均値 $2.4 \times 10^1 \text{ L/kg}$ 、 23°C 条件下において幾何平均値 $2.7 \times 10^1 \text{ L/kg}$ であった。これらの結果から、 4°C 、 23°C とともに、水田土壌の方が畑土壌より I_3^- の K_d が高いことが分かった。

水田土壌、畑土壌をまとめた全土壌試料における I^- と I_3^- の K_d を IAEA によってまとめられている全土壌種における I の K_d と比較した。日本の農耕地土壌の K_d は IAEA による K_d 範囲内であるものの、比較的高い値であることが示された。ちなみに、IAEA では、 I の K_d として Mineral ($1.0 \times 10^{-2} - 5.4 \times 10^2 \text{ L/kg}$) と Organic ($8.5 \times 10^0 - 5.8 \times 10^2 \text{ L/kg}$) を示している。

3) ラドン挙動評価

(a) ラドン実効拡散係数

放医研では、ラドン濃度を一定のレベルに保つことのできる「ラドン標準場」を有している。これを利用して、一定濃度のラドンを満たした下部タンクから、土壌サンプル中を拡散して上部タンクに上昇してくるラドンを測定する実験系を平成19年度から21年度にかけて構築した。このシステムを用いて、平成22年度から23年度にかけて、関東ローム土壌（間隙率：0.67）及び豊浦砂（間隙率：0.44）を用いて、また、平成24年度はシラス（間隙率：0.55）及びベントナイト（間隙率：0.58）を用いて、水分飽和度を変化させて実効拡散係数を取得した。本研究から得られたデータを用いて関数近似を行い、水分含量や空隙率を考慮した実効拡散係数推定式を求めた。

$$D_e = 0.7 D_{e(Air)} \exp \{-0.3mp - 8.85m^{5p}\} \quad (1) \text{式}$$

D_e は実効拡散係数 ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)， p は間隙率， m は水分飽和度， $D_{e(Air)}$ は、空気中における実効拡散係数 ($1.2 \times 10^{-5} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$) である。

(b) フィールドにおけるラドン散逸率及び関連パラメータの測定・評価

平成22年度は、19年度から21年度と同様に1年あたり2つの測定サイトを選定して、ラドン散逸率や関連パラメータ（土壌水分量や土中温度）の測定・評価を行った。1回の調査でなるべく広範囲にわたって測定を行うサイトと季節変動を見るために年4回の測定を実施するサイトである。宮城県（年4回）と広島県である。平成23年度はなるべく広範囲にデータを取る観点から、測定は各サイト1回とし、福岡県、北海道、愛媛県、高知県にて調査を行った。平成19年度から23年度の調査で日本全国を北から南まで比較的均等にカバーできた。

また、散逸率の測定ポイントでは、土壌のサンプリングを行った。サンプリングした試料を実験室に持ち帰って ^{226}Ra などの放射性核種濃度を評価するとともに、散逸係数の水分・温度依存性などを評価した。これらの測定値をもとに、散逸係数を水分・温度の関数として表現した。

(c) ラドン散逸率の推定法とマッピング

ラドン散逸率の推定法に関しては、できる限り少ないパラメータ、もしくは簡単に得られるパラメータを用いてある程度の精度の推定を行うことを主眼として検討を進めた。具体的には、UNSCEARの2000年報告書に示されている評価式を改良した次式を基本に検討を行った。

$$J = A_{Ra} \cdot f \cdot \rho_b \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{0.75} \sqrt{D_e \cdot \lambda_{Rn}} \quad (2) \text{式}$$

A_{Ra} は各測定ポイントから持ち帰った擾乱土壌中の ^{226}Ra 濃度， ρ_b は乾燥バルク密度でコアサンプルから評価した値を代入した。 λ_{Rn} はラドンの壊変定数であり，その値は $2.1 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ である。 D_e は実効拡散係数であり，本研究で得られたデータを関数化した(1)式を用いた。 T は土壌温度である。 f は散逸係数であり，次式で表される。

$$f = f_0[1 + 0.87(1 - \exp(-20.8m)) \cdot [1 + 0.013(T - 298)]] \quad (3) \text{ 式}$$

f_0 は、サンプルごとに得られた乾燥状態の散逸係数、 m はフィールド調査で得られた水分飽和度である。

平成 19 年度から 23 年度にかけてフィールド調査で採取した土壌試料のうち、ラジウム濃度が $15 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ dry}$ 以上の土壌に限った場合、全 76 データとなり、最小値の範囲は 0.047–0.243（平均値、中央値は 0.15）であった。一方、最大値の範囲は、0.091–0.483（平均値、中央値とも 0.29）であった。UNSCEAR などの既報では、安全評価に用いるための散逸係数の値として 0.2 を推奨しており、一定値として計算に代入している。本研究で用いた試料において、散逸係数は水分飽和度が 0.2 程度で散逸係数が最大値に達し、その後ほぼ一定になる傾向であったこと、およびフィールド調査ではほとんどの場合、水分飽和度が 0.2 以上であったことを考えると、「散逸係数の最大値」の平均値（中央値）である 0.30 を代表値とする方がより妥当であると考えられる。

(2) 式によって計算されたラドン散逸率の計算値と実測値（平成19年度から23年度までに取得した全227個の散逸率測定データ）を比較したところ、38%に相当する87データが1/2 – 2 倍の範囲、61%に相当する138データが1/3 – 3倍の範囲に入っていた。さらに、推定値を実測値に近づけるため、実験データの見直しを行ったところ、水分飽和度が低いと地表面だけ乾燥しているため推定値が高めに出て、水分飽和度が高いと推定値が低めに出るという傾向が認められた。そこで、室内実験で得られた実効拡散係数の関数をフィールドに適用するにあたって、水分飽和度で補正することとした。

$$D_e(Rn) = \frac{0.7D_{e(Air)} \exp(-0.3mp - 8.85m^{5p})}{-2.76m + 2.93} \quad (4) \text{ 式}$$

この補正した実効拡散係数を用いて、再度、ラドン散逸率の計算値と実測値を比較したところ、全227データの50%に相当する114データが1/2 – 2倍の範囲、71%に相当する162データが1/3 – 3倍の範囲に入っていた。補正前と比べると、一致の程度は改善された事が分かる。

前述の推定法を全国規模に適用することによって、季節変動も考慮した全国ラドン散逸率マップを作成した。6月と11月の計算結果を図3 – 136に示す。

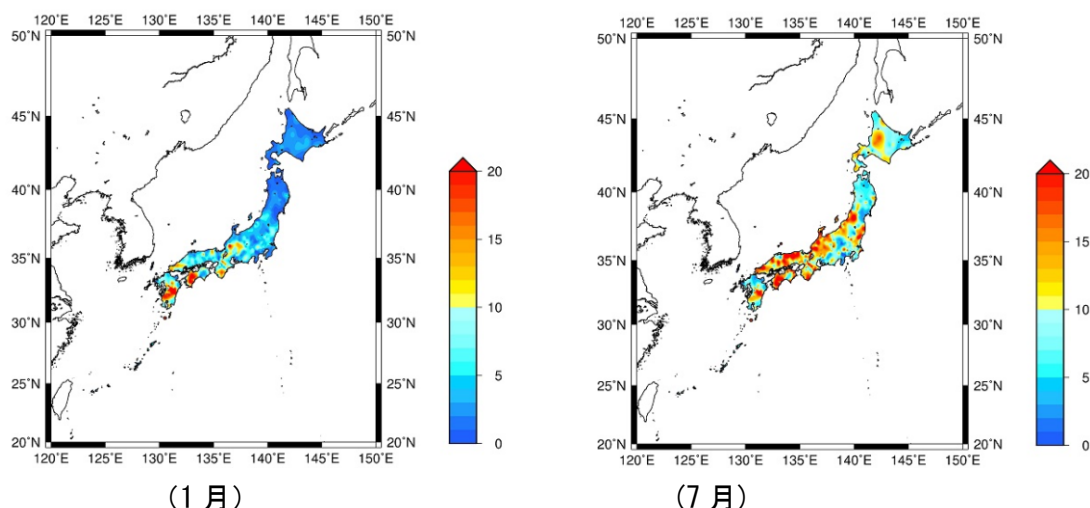


図 3-136. ラドン散逸率マップの一例（6 月および 11 月）

(d) データベース

本研究において、フィールド調査から得られた主要なパラメータをデータベースとしてまとめた。ラドン・トロン散逸率、空間ガンマ線線量率の他、サンプリングしてきた土壌を分析して得られる間隙率、ラジウム (^{226}Ra , ^{228}Ra) 濃度、土壌粒子密度などである。 ^{226}Ra 濃度はちょうど100データを取得し、 $2.1 - 92.5 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ dry}$ の範囲であった。算術平均値は $29.7 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ dry}$ 、中央値は $26.3 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ dry}$ であり、UNSCEAR2000年報告書による中央値 ($35 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ dry}$) よりやや低いレベルであった。乾燥バルク密度、土壌粒子密度および間隙率はそれぞれ204データを取得し、それらの範囲は $1.00 - 1.84 \text{ g cm}^{-3}$ 、 $2.38 - 2.77 \text{ g cm}^{-3}$ および $0.28 - 0.62$ であった。水分飽和度は、実効拡散係数を評価する上で重要なパラメータであるが、範囲としては $0.039 - 1.0$ で、中央値、平均値はそれぞれ 0.555 と 0.566 であった。約70%のデータが 0.4 以上、約55%が 0.5 以上、約40%が 0.6 以上であった。このことから、水分飽和度の高い領域での実効拡散係数が実用的には重要であることがわかる。

4) 生物圏移行パラメータ推定法開発およびデータベースの高度化・拡充

本課題では、次の2つの研究課題、

- ・ 環境移行パラメータの推定法の開発
- ・ 生物圏データベースの高度化

を実施してきた。また、平成23年度からの2年間においては、

- ・ 東京電力福島第一原子力発電所事故対応

として、平成23年3月11日に発生した東日本大震災による福島第一原発事故に由来するデータの収集を行い、放射性核種の環境挙動に関するデータを蓄積した。

以下に、これらの研究成果について報告する。

(a) 環境移行パラメータ推定法の開発

- ・ ヨウ素 K_d

ヨウ化物イオン (I^-) の K_d (以下、農耕地 $K_d\text{-I}$ と記す) 推定モデル構築を行った。約100

個の独立変数から探索的手法により重回帰モデルを作成した。次に、選択された独立変数のうち、測定が比較的困難なものを削除し、残りの独立変数でさらに重回帰分析を行ったが、徐々にモデルの決定係数 (R^2) が減少し適合度が下がった。 R^2 は、0.51~0.70 であった。

・ヨウ素 TF

TF-I を説明するにあたり土壤中の可給態存在量を間接的に表すと考えられる K_d が選択されるのかどうかに着目して推定法の検討を行った。探索的手法による重回帰分析により、 K_d -I の時と同様に、選択された独立変数の中で測定しにくいものがあった場合には排除する形で、3 つの推定モデルを構築した。独立変数に何も制限を加えない場合では K_d -I が選択された。順位は 4 番目であったが、 R^2 は 0.635 と良い適合度であった。

・沿岸域 K_d

我が国の沿岸域で採取した堆積物や海水中の元素データを取得し、堆積物-海水分配係数 (K_d) を導出してデータベースを作成している。種々の測定データから 5 核種の K_d 推定モデルの構築を行なった。対象とした元素はコバルト (Co)、ニッケル (Ni)、ストロンチウム (Sr)、サマリウム (Sm)、ウラン (U) である。

単回帰モデル作成を試みた結果、Sr を除き良い相関がみられたが、独立変数の中で希土類元素濃度が多く抽出されていた。

Ni と Sr の 2 元素について重回帰モデルを構築した。 K_d -Ni では、構築したモデル 5 ケースの内、1 ケースを除いて、取り込み変数が 5-6 個で決定係数 (R^2) は、0.85~0.91 であった。Sr については、構築されたモデルの R^2 が低く (0.37~0.26)、適応可能な推定モデルは得られなかった。

・農耕地 TF

Nb, Zr, Mo, Sn および Sm の TF を推定するモデル構築を探索的手法により約 100 項目の独立変数を使って行った。Zr, Nb および Sm で $R^2 > 0.8$ が得られた。

・沿岸域の海水-海産生物濃縮係数 (CR)

CR-Sr, CR-Cs および CR-U の重回帰モデル構築を行った。海産物群によって違いがあったため、貝類・甲殻類の群と海藻類の群に分けてモデル構築を行った。CR-Sr で取り込まれた独立変数は最も少ないケースは 6 個であった。貝類甲殻類と海藻類の 2 つに分けることでモデルの R^2 値は向上し 0.9 を超えた。CR-U および CR-Cs も、Sr と同様に、種類を分けることで高い R^2 値が得られた。図 3-137 に CR-Cs の実測値と推定値との比較を示す。

・推定モデル評価

実用的な観点から構築された数式モデルの評価を行った。これらのモデルのうち、必ずしも決定係数 (R^2) が高くない、すなわち、適合性が高くないものもある。また、 R^2 が高い場合でも、用いられる独立変数の数が多い場合には、必ずしもすべての項目が埋められないケースも考えられる。さらに、選択された独立変数の測定に高度な技術を要するなど、データ自体が得にくい場合もある。従って、構築されたモデルに対し、次のような評価基準を設けて、最終的な適合性を評価した。

- ① R^2 が高いこと ($R^2 > 0.5$)
- ② 選択された項目 (x) が少ないこと
- ③ 比較的容易に求められる項目であること

上述の①と②から、 R^2/x を指標とし、これが 0.1 を超えるものについて、さらに③を満足するものを適合性が良いと判断した。

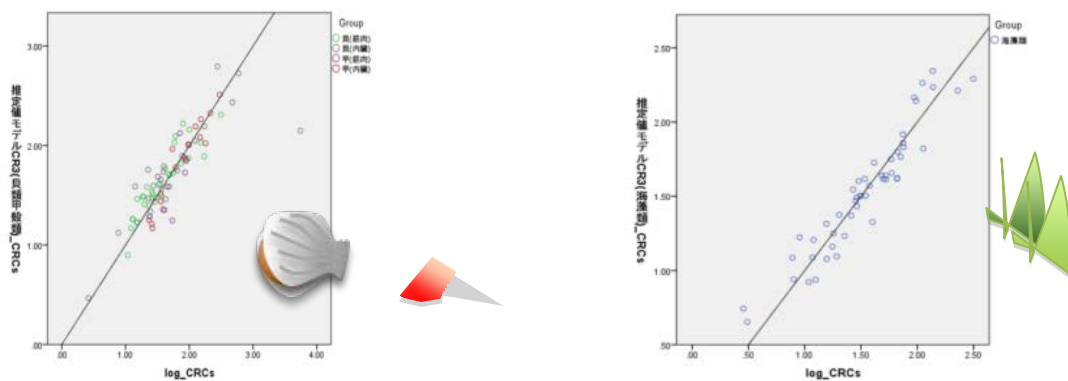


図 3 - 1 3 7. CR-Cr の実測値と推定値との比較(貝・甲殻類と海藻類の結果)

(b) データベースの高度化・拡充

・沿岸堆積物および海産生物中のヨウ素濃度

海産生物の一部はヨウ素濃度が高いことが知られており、将来的に環境に放出された ^{129}I を蓄積する可能性がある。したがって、ヨウ素の濃縮係数を求めておくことは重要である。しかし、一方でヨウ素濃度が低い試料もある。そこで、試料の希釈倍率の選定や装置の適正な利用により正確な定量を行うために、あらかじめヨウ素濃度の予備的なスクリーニングを行うことで、作業効率を向上させる方法について検討した。スクリーニングのために、既存方法を用いて試料からヨウ素を抽出した後、高マトリクス試料分析が可能な ICP 発光分光分析法 (ICP-OES) による測定法を開発した。

・炭素の移行係数

植物体の炭素は大気由来で説明が行われるのが一般的であるが、一方、有機酸（窒素源として）や無機態炭素として根から吸収されるものもある。植物全体から見るとその量は極めて少ないが、土壌から植物への ^{14}C の移行を評価する上で、その数値がどの程度であるのかを明らかにすることは重要である。実際のフィールドにおいて、 $\delta^{13}\text{C}$ 値から TF を評価した。

白米の乾物重ベースの TF は幾何平均 0.2（範囲：0.04-0.4）、葉菜類の TF は幾何平均 0.8（範囲：0.2-2.1）となり、これまでの報告値と近い値になった。

上述の炭素 TF については、最大可能な移行率を考慮しており、さらに経根吸収だけではなく土壌から放出される CO_2 を吸収する経路も含んでいるので TF としては大きめの値である。

・水田土壌から、玄米、白米、糠への移行係数

我が国の主食であるコメについて、詳細に比較するために、玄米、白米および糠の TF データを整備した。糠中の濃度はほとんどの元素で高いため、TF は糠が最も高い。玄米や白米に対して、糠 TF は、それぞれ幾何平均で 4-5 倍高いという結果が得られた。Cr, Mo, Ag および Cd については、TF が変わらなかった。

・文献値からの海水-沿岸域生物濃縮係数 CR の導出

これまでに我が国で報告されている海水、海産生物、堆積物中の放射性核種濃度データを用いて CR を導出した。CR データ採取は可食部（魚介類では筋肉部）と全体（whole body）を対象に行った。生物への移行のデータとしては、 ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{106}Ru , ^{144}Ce および $^{239+240}\text{Pu}$ についてデータが報告されており、生物群の分類は、浮魚、底生魚、タコ、甲殻類、そして大型藻類である。放射性 Cs については、筋肉部の CR は魚種間によらず 19-160 と 1 桁の範囲内である。浮魚および底生魚とほぼ同じであることから、一般的な魚の CR の期待値としては、

30-40 ではないかと考えられる。甲殻類および藻類については、魚類と同程度の値であった。したがって、沿岸海域においては放射性 Cs の食物連鎖による顕著な濃縮はないと考えられる。

放射性 Sr については、骨に蓄積される傾向が知られているが、今回の調査において魚では筋肉、whole body とも CR が 10 を超えることは無く、GM は 2-3 であった。IAEA では海洋環境における移行パラメータを Technical Report Series No. 422 にまとめているが期待値として 3 を示しており、今回文献調査によって得られた値と同程度である。

Pu では Whole body のデータとしては、魚では 25-180 であった。IAEA-TRS-422 に記載の fish では期待値を 100 としているが、オーダー的にはそれほど違わないといえる。Pu については、本文献調査の結果もデータが少ないことから、より確からしい値を得るためには、データの蓄積が必要である。

・文献値からの海水-沿岸堆積物 K_d の導出

すでに報告されている海水中濃度および堆積物中濃度を使用して、海水-堆積物分配係数 K_d データを導出した。Cs- K_d の GM は 200 (範囲：35-1500) であり、安定同位体を用いた値は 3500 であった。IAEA-TRS-422 では推奨値として 4000 を採用しているが、実際には 1 桁程度小さい可能性が示唆された。Cs 以外にも Co, Ru, Ce では、安定元素で導出した値の方が高くなった。Sr- K_d の GM は 23 (範囲：2-120) であり、安定同位体で導出した値とほとんどかわらなかった。

安定元素を用いた時には、IAEA-TRS-422 には交換画分として 20% を全ての元素について一律に使用し、これとの比を K_d として採用しているが、核種によっては適切ではない可能性が示唆された。しかしながら、今回得られたデータは比較的短期の挙動であり、長期的には重要核種の地球上での循環は安定元素と近似できると考えられるので、安定元素についても着実に蓄積してデータベース化しておくことが必要である。

・Mn の K_d

Mn は土壌の酸化還元反応に影響を受けて化学形が変化するが、その挙動の変化により他の放射性核種の挙動に影響を及ぼす可能性がある。そこで、日本全国の農耕地 142 地点から採取した土壌を用いてバッチ収着実験により K_d を測定した。 K_d の幾何平均値 (Geometric Mean) は水田土壌で 980 L/kg (範囲：140- 1.4×10^5)、畑土壌で 3,210 L/kg (範囲：52- 2.5×10^6) であった。なお t 検定の結果、水田と畑の K_d には統計的な差がなかった。得られた値は IAEA-TRS-472 の報告値 (範囲：36- 7.9×10^4) よりも高い傾向であったが、我が国の Mn-Kd 値のほとんどは IAEA の範囲内であった。

・我が国の農耕地土壌 K_d のまとめ

これまでに得られている K_d についてすべてをまとめて IAEA から報告されている TRS-472 の値と比較した。GM を比較した結果は以下の通りである。

本研究 / IAEA-TRS472

Mn : 1900 / 1200

Ni : 550 / 280

Se : 85 / 200

Sr : 280 / 52

Sn : 7200 / 1600

Sb : 66 / 62

Cs : 3300 / 1200

この結果から、Se を除くと、我が国の GM の方が高い傾向にある。しかし、Sr と Sn は約 5 倍の違いがあったものの、他の核種についてはそれほど大きな違いは見られなかった。

国際的には土壌種類（有機質、砂質、粘土質、壤土）といった分類も行われているが、特に水田の場合には還元的な環境になることから、酸化還元電位に影響を受けやすい元素については、土地利用形態による分類も有効であると考えられる。本研究では土壌種のみならず水田と畑に分けて土地利用別のデータ整理も行った。

・土壌-農作物移行係数（TF）のまとめ

各土壌 - 農作物セットについて、土壌中の濃度と農作物中濃度から TF を算出し、穀類（白米、玄米、糠、麦類）、葉菜類、果菜類、根菜類および芋類について、検出試料数、算術平均値、標準偏差、幾何平均値、幾何標準偏差、最小 - 最大、そして 95%信頼区間についてまとめた。

さらに、本調査では、グローバルフォールアウト ^{137}Cs の TF についても同時に採取していることから、安定 Cs の TF データと比較した。全体には ^{137}Cs の TF が高いが、安定 Cs の TF に対し、玄米、麦類、大豆、果菜類では 2-3、葉菜類や根菜類では 5-6 倍高い程度である。

本研究で得られた TF の GM について、IAEA-TRS472 と比較した（図 3-138）。穀物の U の TF は IAEA-TRS472 では 6.2×10^{-3} であり、本研究で得られた白米および玄米の GM (2.7×10^{-5} および 3.9×10^{-5}) よりも 2 桁高い結果であった。麦類では玄米よりも若干高い値 9.8×10^{-5} を示していた。I の TF は葉菜類と果菜類でやや高く、玄米を含む穀類で低かった。IAEA-TRS-472 と比較すると、ほとんどの群で同等の値であったものの、葉菜類で 2 倍、穀類で 1 ケタ近い違いがあった。この違いは、トレーサー実験（IAEA データ）と実環境下での分析値（本調査結果）の差を示している可能性がある。

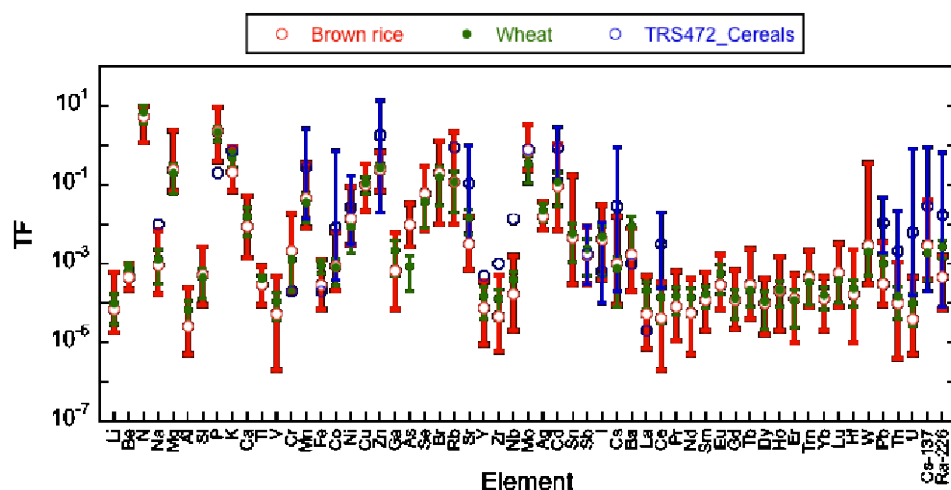


図 3-138. 本調査で得られた TF 値と IAEA の TF 値

(c) 福島第一原子力発電所事故対応（平成 23 年度および 24 年度）

福島第一原発事故で放出された放射性核種の環境移行については、現状では各環境構成物（植物、土壌、水等）に到達してから平衡に達するまでの過渡期であるため、長期を考慮するときの環境移行パラメータとしては必ずしも適当ではない。しかしながら、環境移行パラメータの変動および推移を経時的に測定しメカニズムを解明することは、放射性廃棄物処分

に関わる重要核種の長期的な挙動を推定するための追加的な情報となる。また、得られた情報そのものも、福島第一原発事故の影響を受けた地域等で有効活用される可能性がある。そこで、福島第一原発から放出された放射性核種を対象として、各環境構成物中の動きや環境との相互作用について明らかにするために、各種調査実験を行った。

・土壌中での挙動

福島第一原発事故由来の降下物および土壌に関わる放射能調査として、平成 23 年度は、裸地で行った土壌汚染の鉛直分布を調べた。その結果、放射性 Cs は表層にとどまり鉛直方向にほとんど浸透していないことを示している。しかし、時間が経過すると表層濃度が下がる傾向にあり、風や降雨により水平方向への移動が示唆された。平成 24 年度は草地において深度分布測定を行い、放射性 Cs が土壌表層に留まっていることを確認した。すなわち、土壌粒子が移動しなければ、福島第一原発由来の放射性 Cs の移動性は低いことを示している。

表層に留まっている放射性 Cs が降雨によってどの程度土壌深部に溶脱するのかについて、数年分に対応する水を流して測定したところ、ほとんど移動しないことがわかった。また、トレーサー実験により高濃度に土壌を $^{137}\text{Cs}^+$ で汚染させた場合でも、土壌の種類によらず水では 1% 未満しか溶出しなかった。したがって、淡水環境中では Cs^+ 単体で移動することは、短期的にはほぼ考慮しなくて良い結果が得られた。ただし、汚染された落葉層がある場合には、 Cs^+ が水で数% 溶出することが実験によって明らかになっている。雨により落葉層から下方に溶出した Cs^+ は土壌層で収着されると考えられる。

土壌からの放射性 Cs の除染については、物理的には表層に留まっている状況を利用した表面薄層除去、さらに環境に適用可能な試薬やオゾン水について検討を行った。用いた試薬のうち、最も溶出率が高かった 0.1M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ でも 15.4% しか溶出できなかった(図 3-139)。また、オゾン水でも効果的な除去は望めなかった。

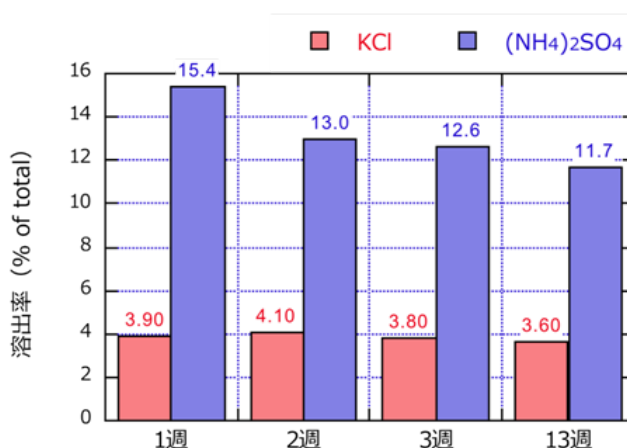


図 3-139. 土壌からの放射性 Cs の溶出実験結果

・植物への移行と分布

植物への移行については、大気放出由来の放射性核種の植物体（樹木）への主な移行経路について研究を進めた。特に葉への収着については、放射性核種の存在形態や、葉の性状、降下時の気象条件（風、雨量）が主に影響している。植物体表面からの移行については、葉

面からの放射性 Cs の吸収に加え、樹皮表面からの移行経路がある。植物葉中の放射性 Cs 濃度を連続的に測定したところ、濃度が徐々に下がってきた（図 3－140）。これは植物体表面からの吸収が減少したこと、植物体の生長に伴って希釈されたこと、さらには経根吸収が小さいことが反映されていると考えられる。

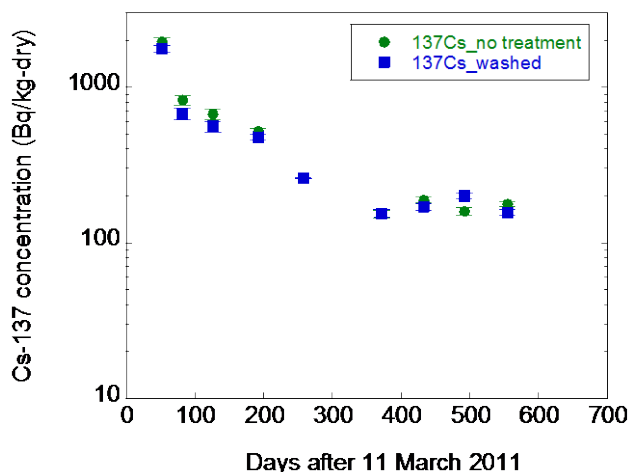


図 3－140. 植物葉中の Cs-137 濃度変化

・ 土壌-植物移行係数

放出量の多かった放射性テルルに関する TF の取得を行った。分析にはアナログとして安定 Te (^{126}Te) を用いることで定量が可能となり、検出下限値は土壌試料に対し 0.17 ng/g、植物試料では 0.02 ng/g が得られた。標準物質等を使って TF を試算したところ、およそ 0.02–2.0 が得られ、この値は IAEA-TRS-472 の記載データ (0.1–1.0) に近いことがわかった。

・ ウランおよびプルトニウムの分析

ウランは、生野菜を 10g 程度用いて SF-ICP-MS で分析する方法を検討した。公定法では 500g を用いており、さらに α 線スペクトロメトリーで測定していたため、U 同位体比を測定するまでに時間がかかっていたが、開発した方法では処理開始から SF-ICP-MS で測定終了するまで約 3 時間で U 濃度と同位体比を報告できる。

プルトニウム (Pu) については環境中での分布および同位体比を測定し、放出情報について知見を追加した。比較的汚染度の高かった地域で採取された土壌と落葉層の試料を測定した。 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は 0.019–1.4 mBq/g-dry であり、大気圏内核実験によって土壌に存在するグローバルフォールアウトの濃度範囲内であることがわかった。しかし、同位体の原子数比 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ は、3 点のサンプル（土壌 1 試料、落葉層の 2 サンプル）でグローバルフォールアウトの比よりも高く、半減期 14 年の ^{241}Pu も検出された。この結果は、福島第一原発由来の汚染があったことを示している。

・ 調理加工

野菜類の調理加工による放射性セシウムの除去割合を測定についてのデータを蓄積した。直接沈着（表面汚染）した野草の水洗いおよび茹でることによる残存割合を IAEA-TRS-472 と比べたところ、洗浄による報告値のない ^{132}Te を除き、同程度の範囲であった。 ^{131}I も放射性 Cs と同程度であり、元素毎に大きな違いが無かった。表面と内部による汚染の比較では、茹で

るという行為では差がほとんど出ず、洗浄ではバラツキが大きいことがわかった。より詳細な線量評価に用いる場合には、植物の種類や部位に着目したパラメータが必要であろう。

さらに、お茶からの抽出率や精米の歩留まり率と放射性 Cs の残存割合米についても報告した。お茶はおよそ 6 割の抽出であり、玄米については通常の白米まで精米し米研ぎを行うと、濃度がおよそ 1/3 になることがわかった。

また、農水産物のモニタリングデータを利用し、沿岸生物の放射性 Cs の生態学的半減期も導出した。食物連鎖が関与するため生物学的半減期に比べて生態学的半減期は長いことが示されたが、この傾向をさらに明らかにするためには、数年のスパンのモニタリングが必要であることもわかった。

3-3-1-3-C 特許出願状況等

テーマごとに、学会、学会誌等での公表状況、特許出願状況等について表3-80～表3-82に示す。

表3-80. テーマごとの論文等件数（重要基礎技術研究調査）

要素技術	論文	学会発表	特許等件 (出願を含む)	講演・著書等
放射性廃棄物重要基礎技術研究調査	11	46	0	1
放射性核種生物圏移行評価高度化調査	46	99	0	0
計	57	145	0	1

表3-81. 論文、投稿、発表リスト（放射性廃棄物重要基礎技術研究調査）

	題目・メディア等	時期
重要基礎技術研究調査		
論文	Adsorption of ytterbium onto <i>Saccharomyces cerevisiae</i> fungal cells - A pH-dependent contribution of phosphoryl functional group. (M. Jiang, T. Ohnuki, S. Yamazaki, K. Tanaka & S. Utsunomiya, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, (2012) DOI 10.1007/s10967-012-2285-x.)	H24
論文	Post-adsorption process of Yb phosphate nano-particle formation by <i>Saccharomyces cerevisiae</i> . (M. Jiang, T. Ohnuki, K. Tanaka, N. Kozai, E. Kamiishi, & S. Utsunomiya, Geochimica et Cosmochimica Acta, 93 (2012) 30-46.)	H24
論文	地下水面下の不飽和領域における空気残留特性：地下水位の上昇に伴う冠水過程（榊利博／小松満：地下水学会誌 55, p269-277, 2013）	H25
論文	Size and elemental analyses of nano colloids in deep granitic groundwater: Implications for transport of trace elements (T. Saito, Y. Suzuki, T. Mizuno: Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 435, 20 October 2013, Pages 48-55)	H25
論文	Genetic relationship between the post-caldera and caldera-forming magmas of Aso volcano, SW Japan: Constraints from Sr isotope and trace element compositions. (Masaya Miyoshi, Tomoyuki Shibata, Masako Yoshikawa, Takashi Sano, Taro Shimura, Toshiaki Hasenaka, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 106, 114-119, 2011.)	H23
論文	阿蘇カルデラ内北西部ボーリングコア基盤岩類の岩石学的特徴及び K-Ar 年代. 地質学雑誌, (三好雅也・湯口貴史・新村太郎・森康・荒川洋二・豊原富士夫 117, 585-590, 2011.)	H23
論文	K-Ar ages determined for post-caldera volcanic products from Aso volcano, central Kyushu, Japan. (Masaya Miyoshi, Hirochika Sumino, Yasuo Miyabuchi, Taro Shimura, Yasushi Mori, Toshiaki Hasenaka, Kuniyuki Furukawa, Koji Uno, Keisuke Nagao, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 229-230, 64-73, 2012.)	H24
論文	Lateral magma intrusion from a caldera-forming magma chamber: Constraints from geochronology and geochemistry of volcanic products from lateral cones around the Aso caldera, SW Japan (Masaya Miyoshia, et al., Chemical Geology Volume 352, 16 Pages 202-210, 2013.)	H25
論文	NIMBY, deliberation, and democratic decision making: A comparative analysis of radioactive waste repository siting cases in Korea and Japan (小松崎俊作, 山口陽央, 堀井秀之, International journal of policy studies, 1(1), pp.47-70, 2010.07)	H22

論文	韓国における放射性廃棄物処分場立地過程の政治過程分析（山口陽央，小松崎俊作，堀井秀之，社会技術研究論文集 Vol.8, 2011）	H23
発表	Mechanisms of REE-phosphate nanoparticle formation on cell surfaces (M. Jiang, H. Shiotsu, T. Ohnuki, S. Utsunomiya, ASRC International Workshop of Transformation of Radionuclides by Microorganisms, Clays, Plants: Implication for Migration and Remediation, Ibaraki Quantum Beam Research Center, March 12-13, 2012, Tokai, Japan)	H24. 3
発表	Characteristic of the long-term accumulation of lanthanides on <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (H. Shiotsu, M. Jiang, Y. Nakamatsu, T. Ohnuki, S. Utsunomiya, The 22nd V.M. Goldschmidt conference, June 24-29, 2012, Montreal, Canada.)	H24. 6
発表	Structural investigations of aluminoborosilicate glasses containing MoO ₃ by solid-stateNMR (R. Monden, K. Deguchi, S. Ohki, T. Shimizu, S. Nishiyama, Y. Iwade and T. Ohkubo, 4th Asian Conference on Molten Salt Chemistry and Technology, September 23-27 (2012))	H24. 9
発表	Dissolution behavior of Na ₂ O-B ₂ O ₃ glass using micro-channel flow-through test (Y. Ohsasa, Y. Inagaki, S. Nishiyama, Y. Iwade, T. Ohkubo, 4th Asian Conference on Molten Salt Chemistry and Technology, September 23-27 (2012))	H24. 9
発表	Structural studies of nuclear waste form glasses and glass ceramics by solid-state NMR and Raman spectroscopies (T. Ohkubo and Y. Iwade, 2012 Glass and Optical Materials Division Annual Meeting, May 20-24 (2012))	H24. 5
発表	固体核磁気共鳴法による高レベル放射性廃棄物ガラスの溶解挙動解析（大窪貴洋，岩館泰彦，第 53 回ガラス及びフォトニクス材料討論会）	H24. 10
発表	マイクロチャネル流水試験法によるホウケイ酸ガラスの溶解特性評価（大笹洋平，大窪貴洋，稲垣八穂広，西山伸，岩館泰彦，第 53 回ガラス及びフォトニクス材料討論会）	H24. 10
発表	固体 NMR によるモリブデン含有アルミノホウケイ酸ガラスの構造解析”（門田隆輔，西山伸，岩館泰彦，大窪貴洋，出口建三，大木忍，清水禎，日本原子力学会「2012 年秋の大会」）	H24. 9
発表	ガラス溶解によるガラス分子構造の変化（大窪貴洋，岩館泰彦，出口建三，大木忍，清水禎，日本原子力学会「2012 年秋の大会」）	H24. 9
発表	熱量滴定によるγ-アルミナのプロトン化反応のエンタルピー測定（斎藤祐樹，桐島陽，佐藤修彰，日本原子力学会「2013 年秋の大会」）	H25. 9
発表	大気圧変動による水分移動促進効果に関する基礎的研究（小松満・佐藤友哉・榊利博：土木学会第 66 回年次学術講演会）	H23. 9
発表	動的水圧作用による飽和度上昇メカニズムに関する基礎的研究（小松満・佐藤友哉：第 63 回土木学会中国支部研究発表会）	H23. 5
発表	大気圧変動による水分移動促進効果に関する基礎的検討（その 1）（小松満・佐藤友哉・榊利博：土木学会第 67 回年次学術講演会）	H24. 9
発表	大気圧変動による水分移動促進効果に関する基礎的検討（その 2）（小松満・佐藤友哉・榊利博：土木学会第 67 回年次学術講演会）	H24. 9
発表	流動場分画法と ICP-MS を用いた花崗岩中の地下水におけるコロイドの分析（小出将志，斉藤拓巳，長崎晋也，山本祐平，水野崇，2011 年度地球化学学会年会）	H23. 9
発表	流動場分画法と ICP-MS を用いた花崗岩系深部地下水中的コロイド分析（小出将志，斉藤拓巳，長崎晋也，山本祐平，水野崇，日本原子力学会 2012 年春の年会）	H24. 3
発表	Size And Elemental Analyses Of Nano-Colloids In Deep Granitic Groundwater: Implications For Transport Of Trace Elements (Saito, T., Mizuno, T., IAP2012, Nancy, France)	H24. 6
発表	流動場分画法による地下水コロイドのサイズ分画：グラディエント導入による分画レンジの拡張（小出将志，斉藤拓巳，田中知，日本原子力学会 2013 年春の年会）	H25. 3
発表	阿蘇後カルデラ期火山噴出物の地球化学的研究（三好雅也 他，日本鉱物科学会 2010 年年会）	H22. 9
発表	中部九州阿蘇カルデラ形成後火山噴出物の噴火年代（三好雅也 他，日本地球惑星科学連合 2011 年度連合大会）	H23. 5
発表	Lateral magma intrusion from a caldera-forming magma chamber: Constraints from geochronology and geochemistry of volcanic products from lateral cones around the Aso caldera, SW Japan (Miyoshi et al., IAVCEI 2013)	H25. 7
発表	Long-term evolution in intact and fracture permeability in sandstone and	H23. 12

	mudstone under stress and temperature conditions (H. Yasuhara, S. Nakashima, and K. Kishida, Proc. 24 th KCCNN Symposium on Civil Engineering, Hyogo, Japan)	
発表	Long-term evolution of rock permeability in sandstone and mudstone under pressure- and temperature-controlled conditions (H. Yasuhara, N. Kinoshita, S. Nakashima, and K. Kishida, Proc. 46th US Symp. on Rock Mechs., Chicago)	H24. 6
発表	Spontaneous Alteration of Rock Permeability under Constant Confining Pressure and Temperature Conditions (H. Yasuhara, Manabu Takahashi, Naoki Kinoshita, Shinichiro Nakashima and Kiyoshi Kishida, Proc. 7th Asian Rock Mechanics Symposium (2012 ARMS7), Seoul)	H24. 10
発表	拘束圧・温度制御下における堆積岩の長期透水試験 (菊池 紗帆, 安原 英明, 木下 尚樹, 高橋 学, 第 13 回岩の力学国内シンポジウム・第 6 回日韓ジョイントシンポジウム)	H25. 1
発表	NIMBY, deliberation, and democratic decision making: A comparative analysis of radioactive waste repository siting cases in Korea and Japan (小松崎俊作, KAPS International Conference, ソウル)	H22. 6
発表	Design of decision-making process and feedback from sociological STS study: The case of a high-level radioactive waste disposal program in Japan (寿楽浩太, 2010 Annual Meeting of Society for Social Studies of Science (4S), Komaba I Campus, University of Tokyo, Tokyo, Japan)	H22. 8
発表	A comparative analysis of radioactive waste repository siting cases in Korea and Japan (小松崎俊作, Nuclear Power and Waste Management: Experiences from Japan and Sweden, Center for Public Sector Research (CEFOS), University of Gothenburg, Sweden)	H22. 9
発表	技術専門家支配に対する建設的批判の可能性: 高レベル放射性廃棄物処分場立地プロセスの制度設計を通して考える (寿楽浩太, 第 83 回日本社会学会大会, 名古屋)	H22. 11
発表	A COMPARATIVE ANALYSIS OF FACILITY SITING CASES RELATED TO RADIOACTIVE WASTE IN JAPAN, KOREA AND FRANCE (小松崎俊作, 堀井秀之, Reversibility and Retrievability - An International Conference and Dialogue, フランス・ランス)	H22. 10
発表	Rethinking the Introduction of Participatory Process in Japanese Nuclear Scene (寿楽浩太, 2011 Annual Meeting of Society for Social Studies of Science (4S), Cleveland City Centre Hotel, Cleveland)	H23. 11
発表	How trust affects the attitude toward construction of High Level Nuclear Waste disposal facilities before 3.11? (高浦佑介、高木大資、池田謙一, Asian Conference on Psychology and Behavioral Science, 大阪)	H24. 3
発表	原子力発電・高レベル放射性廃棄物処理場に関する人々の認知の変化の検討: 3・11 前後の比較による社会心理学的分析 (高浦佑介、高木大資、池田謙一, 環境科学会, 横浜)	H24. 9
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		
論文	NATURAL ANALOGUE OF BENTONITE REACTION UNDER HYPERALKALINE CONDITIONS:OVERVIEWBOF ONGOING WORK AT THE ZAMBALES OPHIOLITE, PHILIPPINES, ICEM2010	H22
発表	日本地球惑星科学連合 2010 年大会「フィリピン国ルソン島北西部における高アルカリ地下水環境下のベントナイトの長期健全性に関するナチュラアナログ研究」	H22. 05
発表	日本地球惑星科学連合 2010 年大会「フィリピン産オフィオライトに近接するベントナイト鉱床での高アルカリ地下水ーベントナイト相互作用に関するナチュラアナログ研究」	H22. 05
発表	日本地球惑星科学連合 2010 年大会「ベントナイト, オフィオライト-水岩石反応に関するナチュラアナログ研究」	H22. 05
発表	2010 年度日本地球化学会年会「高アルカリ地下水を対象とした放射性廃棄物の安定地層処分のためのナチュラアナログ研究」	H22. 09
発表	日本粘土学会第 54 回粘土科学討論会「フィリピン国ルソン島北西部のアルカリ環境下におけるベントナイトの鉱物学的特性」	H22. 09
発表	6 th Japan-Korea Workshop on RadWaste (日韓ワークショップ)「GEOCHEMICAL BEHAVIOR OF BENTONITE REACTION UNDER HYPERALKALINE CONDITIONS -OVERVIEW OF ONGOING PHILIPPINES NATURAL ANALOGUE PROGRAM-」	H22. 10
発表	12th NAWG(the Natural Analogue Working Group) Workshop「The International Philippines Natural Analogue Project (IPNAP) - NA studies for bentonite reaction	H23. 05

	under hyperalkaline conditions -」	
発表	日本原子力学会 2011 年秋の大会「ベントナイトと高アルカリ水を胚胎する岩体の境界における鉱物学的研究－フィリピン Saile ベントナイト鉱床はナチュラルアナログとなりうるか－」	H23. 09
発表	日本粘土学会第 55 回粘土科学討論会「フィリピン北西部に産するベントナイトの高アルカリ地下水による変質に関する鉱物学的検討」	H23. 09
発表	日本地球惑星科学連合 2012 年大会「フィリピン共和国ルソン島ザンバレスオフィオライトに産する方解石脈の熱ルミネセンス年代測定」	H24. 05
発表	Montpellier 2012「Natural analogue study for interaction between hyperalkaline groundwater and bentonite at Mangatarem Region in the Philippines」	H24. 10
発表	13th NAWG(the Natural Analogue Working Group) Workshop「The International Philippines Natural Analogue Project (IPNAP) - NA studies for bentonite reaction under hyperalkaline conditions -」	H25. 05
発表	日本粘土学会第 55 回粘土科学討論会「ベントナイトと高アルカリ地下水の相互作用に関するナチュラルアナログ研究－ベントナイトの変質とその後のクロッキング現象－」	H25. 09
広報資料	原環センタートピックス No.98「セメント－ベントナイト相互作用のナチュラルアナログ調査－フィリピン国ルソン島北西部におけるナチュラルアナログ調査の概要－」	H23. 07

表 3－8 2. 論文、投稿、発表リスト（放射性核種生物圏移行評価高度化調査）

	題目・メディア等	時期
論文	S. Ogiyama, H. Takeda, N. Ishii, S. Uchida: Migration of ^{14}C in the paddy soil-to-rice plant system after ^{14}C -acetic acid breakdown by microorganisms below the plow layer. Journal of Environmental Radioactivity, 101, 177-184, 2010.	H22. 6
論文	細田正洋, 床次眞司, 石川徹夫, S. K. Sahoo, 反町篤行, M. Janik, N. Kavasi, 内田滋夫: 環境移行パラメータ推定支援ツールを用いたラドン散逸率の評価, Radioisotopes, 59, 423-428, 2010.	H22. 7
論文	K. Tagami, S. Uchida, A. Takeda, S. Yamasaki, N. Tsuchiya: Estimation of plant unavailable iodine concentrations in agricultural fields, Soil Science Society of America Journal, 74, 1562-1567, 2010.	H22. 7
論文	H. Takata, T. Aono, K. Tagami, S. Uchida: Processes controlling cobalt distribution in two temperate estuaries, Sagami Bay and Wakasa Bay, Japan, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 89, 294-305, 2010.	H22. 9
論文	T. L. Yankovich, N. A. Beresford, M. D. Wood, T. Aono, P. Andersson, C. L. Barnett, P. Bennett, J. Brown, S. Fesenko, J. Fesenko, A. Hosseini, B. J. Howard, M. Johansen, M. Phaneuf, K. Tagami, H. Takata, J. Twining, S. Uchida: Whole-body to Tissue-specific Concentration Ratios for Use in Biota Dose Assessments for Animals, Radiation and Environmental Biophysics, 49, 549-565, 2010.	H22. 9
論文	K. Tagami, S. Uchida: Can elemental composition data of crop leaves be used to estimate radionuclide transfer to tree leaves?, Radiation and Environmental Biophysics, 49, 583-590, 2010.	H22. 10
論文	H. Takata, T. Aono, K. Tagami, S. Uchida: Concentration ratios of stable elements for selected biota in Japanese estuarine areas, Radiation and Environmental Biophysics, 49, 591-601, 2010.	H22. 10
論文	M. Hosoda, S. Tokonami, A. Sorimachi, T. Ishikawa, S. K. Sahoo, M. Furukawa, Y. Shiroma, Y. Yasuoka, M. Janik, N. Kavasi, S. Uchida, M. Shimo: Influence of soil environmental parameters on thoron exhalation rate, Radiation Protection Dosimetry, 141, 420-423, 2010.	H22. 10
論文	鈴木弘行、熊谷宏、榎本秀一、石井伸昌、内田滋夫: 鋳物廃砂を原料とする土壌改良資材の過テクネチウム酸吸着特性 —植物による過テクネチウム酸吸収の抑制剤としての利用可能性—、保健物理、44、387-392、2010.	H22. 12
論文	M. Hosoda, T. Ishikawa, A. Sorimachi, S. Tokonami, S. Uchida: Development and application of a continuous measurement system for radon exhalation rate, Review of Scientific Instruments, 82, 015101-1-015101-4, 2011.	H23. 2
論文	S. K. Sahoo, M. Hosoda, A. Sorimachi, T. Ihikawa, S. Tokonami, S. Uchida:	H23. 2

	Thorium, Uranium and Rare Earth Elements Concentration in Weathered Japanese Soil Samples, In Proceedings of the the Fifth International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology (ISORD-5), Progress in Nuclear science and technology, Vol. 1, p.416-419, 2011.	
論文	H. Takata, T. Aono, K. Tagami, S. Uchida: Determination of naturally occurring uranium concentrations in seawater, sediment, and marine organisms in Japanese estuarine areas, J Radioanal Nucl Chem, , 287, 795-799, 2011.	H23. 4
論文	N. Kamei-Ishikawa, S. Uchida, K. Tagami and N. Satta: Soil Solution Ni Concentrations over which Kd is Constant in Japanese Agricultural Soils, J. Nucl. Sci. Technol, 48, 337-343, 2011.	H23. 4
論文	N. Ishii, S. Uchida: Bacteria contributing to the behavior of radiocarbon in sodium acetate. Radiat. Prot. Dosim., 146, 151-154, 2011.	H23. 5
論文	N. K. Ishikawa, S. Uchida, K. Tagami: Iodide sorption and partitioning in solid, liquid, and gas phases in soil samples collected from Japanese paddy fields. Radiat. Prot. Dosim., 146, 155-158, 2011.	H23. 6
論文	N. Ishii, S. Fuma, K. Tagami, S. Honma-Takeda, S. Shikano: Responses of the bacterial community to chronic gamma radiation in a rice paddy ecosystem. Int. J. Radiat. Biol. 87, 663-672, 2011.	H23. 6
論文	H. Takata, J. Zheng, K. Tagami, T. Aono, S. Uchida: Determination of ²³² Th in seawater by ICP-MS after preconcentration and separation using a chelating resin. Talanta, 85, 1772-1777, 2011.	H23. 8
論文	K. Tagami, S. Uchida, N. Ishii: Measurement of the fate of acetic acid form carbon in soil solution of flooded soils using high performance liquid chromatography coupled with isotope ratio mass spectrometry. Geoderma, 165, 25-30, 2011.	H23. 8
論文	K. Tagami, S. Uchida: Can we remove iodine-131 from tap water in Japan by boiling?: experimental testing in response to the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident., Chemosphere, 84, 1282-1284, 2011.	H23. 8
論文	N. K. Ishikawa, K. Tagami, S. Uchida: Relationships among ¹³⁷ Cs, ¹³³ Cs, and K in plant uptake observed in Japanese agricultural fields, J Radioanal Nucl Chem, 290, 247-252, 2011.	H23. 10
論文	K. Tagami, S. Uchida, Y. Uchihori, N. Ishii, H. Kitamura, Y. Shirakawa: Specific activity and activity ratios of radionuclides in soil collected about 20 km from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: Radionuclide release to the south and southwest, Sci. Total Environ., 409, 4885-4888, 2011.	H23. 11
論文	T. Takahashi, S. Takahashi, K. Yamamoto, K. Tagami, N. Ishi and S. Uchida: Development and analysis of a dynamic compartment model to predict carbon-14 behavior in rice paddy field for dose assessment of atmospheric release, Proc. Radiochim. Acta, 1, 263-268, 2011.	H23. 11
論文	S. Uchida, K. Tagami: Iodine transfer from agricultural soils to edible part of crops, Proc. Radiochim. Acta, 1, 279-283, 2011	H23. 11
論文	K. Tagami, S. Uchida, N. Ishii: Extractability of radiocesium from processed green tea leaves with hot water: the first emergent tea leaves harvested after the TEPCO' s Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, J. Radioanal. Nucl. Chem., 292, 243-247, 2012	H24. 4
論文	J. Zheng, H. Takata, K. Tagami, T. Aono, K. Fujita, S. Uchida: Rapid determination of total iodine in Japanese coastal seawater using SF-ICP-MS. Microchem. J., 100, 42-47, 2012.	H24. 1
論文	J. Zheng, K. Tagami, S. Uchida: Rapid analysis of U isotopes in vegetables using ICP-MS: application to the emergency U monitoring after the nuclear accident at TEPCO' s Fukushima Dai-ichi nuclear power station. J. Radioanal. Nucl. Chem., 292, 171-175, 2012.	H24. 5
論文	K. Tagami, S. Uchida, N. Ishii, S. Kagiya: Translocation of radiocesium from stems and leaves of plants and the effect on radiocesium concentrations in newly emerged plant tissues, J. Environ. Radioactiv, 111, 65-69, 2012.	H24. 9
論文	G. Prasad, T. Ishikawa, M. Hosoda, A. Sorimachi, S.K. Sahoo, N. Kavasi, S. Tokonami, M. Sugino, S. Uchida: Seasonal and diurnal variations of radon/thoron exhalation rate in Kanto-loam area in Japan, Journal of	H24. 6

	Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 292, 1385-1390, 2012.	
論文	田上恵子、内田滋夫：精米と米研ぎによる放射性セシウムの残存割合の変化および糠層中の放射性セシウム濃度分布, Radioisotopes, 61, 223-229, 2012.	H24. 5
論文	J. Zheng, K. Tagami, Y. Watanabe, S. Uchida, T. Aono, N. Ishii, S. Yoshida, Y. Kubota, S. Fuma, S. Ihara: Isotopic evidence of plutonium release into the environment from the Fukushima DNPP accident. Science Reports, 2, 304; Doi:10.1038/srep00304, 2012.	H24. 3
論文	J. Zheng, T. Aono, S. Uchida, J. Zhang, M. C. Honda: Distribution of Pu isotopes in marine sediments in the Pacific 30 km off Fukushima after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Geochem. J., 46, 361-369, 2012.	H24. 6
論文	H. Takata, T. Aono, S. Uchida: Distributions of trace metals Co, Cu and Cd in northern Sagami Bay, Japan and their relationship to estuarine variables, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 111, 84-94, 2012.	H24. 10
論文	H. Takata, T. Aono, K. Tagami, S. Uchida: Influence of dissolved organic matter on particle-water interactions of Co, Cu and Cd under estuarine conditions, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 111, 75-83, 2012.	H24. 10
論文	田上恵子、内田滋夫：福島第一原発事故後のツクシへの ¹³⁴ Csと ¹³⁷ Csの移行と分布および調理・加工による除去、Radioisotopes, 61、511-516、2012.	H24. 10
論文	G. Prasad, T. Ishikawa, M. Hosoda, A. Sorimachi, M. Janik, S. K. Sahoo, S. Tokonami, and S. Uchida: Estimation of radon diffusion coefficients in soil using an updated experimental system, Review of Scientific Instruments, 83, 093503, 2012.	H24. 9
論文	G. Prasad, T. Ishikawa, M. Hosoda, S.K. Sahoo, N. Kavasi, A. Sorimachi, S. Tokonami, and S. Uchida: Measurement of radon/thoron exhalation rates and gamma-ray dose rate in granite areas in Japan, Radiation Protection Dosimetry, 152, 130-134, 2012.	H24. 11
論文	鈴木 弘行、石井 伸昌、田上 恵子、内田 滋夫：埋設処分対象の低レベル放射性廃棄物に由来する放射性炭素の水稻による経根吸収(2)-酢酸を放射性炭素の起源とした場合の植物体中分布-, 保健物理, 47, 266-269, 2012.	H24. 12
論文	A. Melintescu, D. Galeriu, S. Tucker, P. Kennedy, F. Siclet, K. Yamamoto, S. Uchida: Carbon-14 transfer into potato plants following a short exposure to an atmospheric ¹⁴ CO ₂ emission: observations and model predictions, Journal of Environmental Radioactivity, 115,183-191, 2013.	H25. 1
論文	K. Tagami, S. Uchida: Marine and freshwater concentration ratios (CR _{wo-water}): review of Japanese data. J. Environ. Radioactiv, (online available).	H24. 7
論文	N. Ishii, K. Tagami, H. Takata, K. Fujita, I. Kawaguchi, Y. Watanabe, S. Uchida: Deposition in Chiba Prefecture, Japan, of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant fallout. Health Physics., 104, 189-194, 2013.	H25. 1
論文	N. K. Ishikawa, K. Tagami, S. Uchida: Effect of biological activity due to different temperatures on iodide partitioning in solid, liquid, and gas phases in Japanese agricultural soils. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (online available) (DOI 10.1007/s10967-012-2096-0).	H25. 1
論文	K. Tagami, S. Uchida: Comparison of food processing retention factors of ¹³⁷ Cs and 40K in vegetables, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (online available) DOI 10.1007/s10967-012-2169-0).	H25. 3
論文	B. J. Howard, N. A. Beresford, D. Copplestone, D. Telleria, G. Proehl, S. Fesenko, R. A. Jeffree, T. L. Yankovich, J. E. Brown, K. Higley, M.P. Johansen, H. Mulye, H. Vandenhove, S. Gashchak, M. D. Wood, H. Takata, P. Andersson, P. Dale, J. Ryan, A. Bollhöfer, C. Doering, C.L. Barnett, C. Wells: The IAEA handbook on radionuclide transfer to wildlife, Journal of Environmental Radioactivity (online available) doi: 10.1016/j.jenvrad.2012.01.027.	H25. 2
論文	H. Takata, J. Zheng, K. Tagami, T. Aono, K. Fujita, S. Yamasaki, N. Tsuchiya, S. Uchida: Distribution coefficients of stable iodine in estuarine and coastal regions, Japan, and their relationship to salinity and organic carbon in sediments, Environmental Monitoring and Assessment (online	H25. 3

	available), DOI:10.1007/s10661-012-2816-5. 2012-08-25.	
論文	W. Bu, J. Zheng, T. Aono, K. Tagami, S. Uchida, J. Zhang, M. C. Honda, M. Yamada (2013): Vertical distribution of plutonium isotopes in marine sediments off the Fukushima coast following the Fukushima daiichi nuclear power plant accident. Biogeosciences, 10, 2497-2511. doi:10.5194/bg-10-2497-2013, 2013	H25. 3
論文	田上、内田、我が国の沿岸域における放射性核種の堆積物-海水分配係数-土壌から海水への放射性核種溶出率の推定-、分析化学、2013. 3. 18 (in press)	H25. 3
論文	石井、田上、川口、内田、コマツナによる浄水発生土を含む園芸土からの ^{137}Cs 経根吸収、Radioisotopes、2013. 3. 11 (in press)	H25. 3
プロシ ー ディ ング	K. Tagami, S. Uchida: Estimation of carbon-14 transfer from agricultural soils to crops using stable carbon isotope ratios, Waste Management Symposium Proceedings, 36(10346), 1-6, 2010	H22. 8
プロシ ー ディ ング	S. Uchida, K. Tagami: Measurement of Stable Iodine in Crops and Soils as an Analogue of Iodine-129, Waste Management Symposium Proceedings, 36(10347), 1-9, 2010	H22. 8
プロシ ー ディ ング	N. Ishii, H. Koiso, S. Uchida: Contribution of the carboxyl group of acetate to the ^{14}C -containing gas production in agricultural soils, Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science (ISBN: 978-0-646-53783-2), 24-26, 2010.	H22. 6
プロシ ー ディ ング	N. K. Ishikawa, S. Uchida, K. Tagami: Iodine sorption and its chemical form in the soil-soil solution system in Japanese agricultural fields, Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science (ISBN: 978-0-646-53783-2), 125-128, 2010.	H22. 6
プロシ ー ディ ング	田上恵子、内田滋夫: $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を用いたイネによる炭素の経根吸収割合の推定、第11回「環境放射能」研究会プロシーディングス、27-32、2010.	H22. 12
プロシ ー ディ ング	荻山慎一、石井伸昌、内田滋夫: 酢酸を起源とする ^{14}C の水田生態系における動態、第11回「環境放射能」研究会プロシーディングス、159-165、2010.	H22. 12
プロシ ー ディ ング	高橋知之、高橋千太郎、山本一英、石井伸昌、田上恵子、内田滋夫: ^{14}C の水田圃場系移行モデルの開発と解析、「炭素 14 の環境中移行挙動評価」京都大学原子炉実験所専門研究会報告書 (KURRI-KR-153), 81-87, 2010.	H22. 4
プロシ ー ディ ング	K. Tagami, S. Uchida: Some considerations on water-to-fish transfer data collected in Japan for radionuclides and stable elements, Waste Management Symposium Proceedings, 37(11252), 1-9, 2011	H23. 8
プロシ ー ディ ング	S. Uchida, K. Tagami: Transfer of zirconium, niobium and molybdenum from Japanese agricultural fields to edible parts of crops, Waste Management Symposium Proceedings, 37(11254), 1-9, 2011	H23. 8
プロシ ー ディ ング	H. Takata, T. Aono, K. Tagami, S. Uchida: Influence of Dissolved Organic Matter on the Partitioning of Cobalt and Copper between Particles and Estuarine Seawater, International Conference on the Biogeochemistry of Trace Element Proceedings, S14_60, 2011	H23. 10
プロシ ー ディ ング	田上恵子、内田滋夫: 魚 (whole body) への Cs-137 移行係数: 文献調査結果より、「環境放射能」研究会プロシーディングス No. 12、99-104、2011	H23. 12
プロシ ー ディ ング	藤田一広、高田兵衛、白坂純一、田上恵子、内田滋夫: 沿岸域における海産生物及び堆積物中ヨウ素の環境移行パラメータ、「環境放射能」研究会プロシーディングス No. 12、105-110、2011.	H23. 12

ング		
プロシ ー ディ ング	田上恵子、石井伸昌、鄭 建、内田滋夫：食用野草へ沈着した放射性核種の調理・加工による除染、第53回環境放射能調査研究成果論文抄録集（平成22年度）、77-78, 2011.	H23. 12
プロシ ー ディ ング	田上恵子、内田滋夫：農作物の調理・加工による放射性セシウムの除去割合、KEK「環境放射能」研究会プロシーディングス No. 13, 154-159, 2012	H24. 12
プロシ ー ディ ング	高田兵衛、青野辰雄、白坂純一、田上恵子、内田滋夫：日本沿岸域における海産生物中の銀濃度及び濃縮係数の推定、KEK「環境放射能」研究会プロシーディングス No. 13, 197-202, 2012	H24. 12
プロシ ー ディ ング	J. Zheng, Aono, T, Uchida, S, Zhang, J, Honda, M. G: Distribution of Pu isotopes in marine sediments in the Pacific 30 km off Fukushima after the Fukushima DNPP accident. Proceedings of the 13th Workshop on Environmental Radioactivity, KEK, 135-137, 2012.	H24. 12
プロシ ー ディ ング	石井伸昌、田上恵子、内田滋夫：東京電力福島第一原子力発電所事故後の放医研における放射能調査、「環境放射能モニタリングと移行挙動研究」京都大学原子炉実験所専門研究会報告書（KURRI-KR-170：ISSN 1342-0852）、5-10, 2012.	H24. 2
プロシ ー ディ ング	田上恵子、内田滋夫：直接沈着経路と土壌経路による放射性セシウムの樹木への吸収と分布、「環境放射能モニタリングと移行挙動研究」京都大学原子炉実験所専門研究会報告書（KURRI-KR-170：ISSN 1342-0852）、60-65, 2012.	H24. 2
プロシ ー ディ ング	J. Zheng, K. Tagami, and S. Uchida: Release of Plutonium Isotopes from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, In Proceedings of International Symposium on Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations, 2012.	H24. 12
プロシ ー ディ ング	W. Bu, J. Zheng, T. Aono, K. Tagami,, S. Uchida, J. Zhang, Q. Guo and M. Yamada: Investigating Plutonium contamination in Marine Sediments off Fukushima Coast Following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, In Proceedings of International Symposium on Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations, 2012.	H24. 12
プロシ ー ディ ング	G. Yang, J. Zheng, K. Tagami,, S. Uchida: Direct Determination of Tellurium in Soil and Plant Samples by Sector-field ICP-MS for the Study of Soil-plant Transfer of Radioactive Tellurium Subsequent to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, In Proceedings of International Symposium on Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations, 2012.	H24. 12
プロシ ー ディ ング	K. Iwata, K. Tagami,, and S. Uchida: Estimation of Ecological Half-lives of Radiocesium in Marine Biota at the Offshore of Fukushima, Japan, In Proceedings of International Symposium on Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations, 2012.	H24. 12
プロシ ー ディ ング	N. Ishii, H. Koiso, K. Tagami, and S. Uchida: Elution of Radiocesium from Soil and Sludge, In Proceedings of International Symposium on Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations, 2012.	H24. 12
プロシ ー ディ ング	K. Tagami, S. Uchida, N. Ishii, and J. Zheng: Estimation of Tellurium-132 Distribution in Fukushima Prefecture, In Proceedings of International Symposium on Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations, 2012.	H24. 12
発表(国)	K. Tagami, S. Uchida: Estimation of soil-to-plant transfer factor of	H22. 5

際)	radium-226, International Workshop on Ra-226 Environmental Behaviour, Paris, 2010.05.	
発表(国際)	N. Ishii1, S. Uchida: Bacteria contributing to the behavior of radiocarbon in sodium acetate, The Third Asian and Oceanic Congress on Radiation (AOCRP-3), Tokyo, 24-28, May 2010.	H22.5
発表(国際)	N. K. Ishikawa, S. Uchida, K. Tagami: Iodide sorption and partitioning in solid, liquid, and gas phases in soil samples collected from Japanese paddy fields, The Third Asian and Oceanic Congress on Radiation (AOCRP-3), Tokyo, 24-28, May 2010.	H22.5
発表(国際)	T. Ishikawa, M. Hosoda, A. Sorimachi, S. K. Sahoo, N. Kavasi, S. Tokonami, M. Sugino and S. Uchida: Seasonal and diurnal variations of radon exhalation rate in Kanto-loam areas in Japan, The Third Asian and Oceanic Congress on Radiation (AOCRP-3), Tokyo, 24-28, May 2010.	H22.5
発表(国際)	M. Hosoda, Y. Shiroma, K. Fukahori, D. Motomura, A. Sorimachi, T. Ishikawa, S. Tokonami, M. Furukawa, S. Uchida: Radon exhalation from soil in the subtropical region in Japan, The Third Asian and Oceanic Congress on Radiation (AOCRP-3), Tokyo, 24-28, May 2010.	H22.5
発表(国際)	A. Sorimachi, M. Hosoda, M. Janik, T. Ishikawa, S. Tokonami, S. Uchida: Performance test of experimental system for measuring effective diffusion coefficient in soil samples, The Third Asian and Oceanic Congress on Radiation (AOCRP-3), Tokyo, 24-28, May 2010.	H22.5
発表(国際)	M. Hosoda, S. Tokonami, A. Sorimachi, T. Ishikawa, S. K. Sahoo, M. Furukawa, Y. Shiroma, Y. Yasuoka, M. Janik, N. Kavasi, S. Uchida, M. Shimo: Influence of soil environmental parameters on thoron exhalation rate, International Workshop on the Environmental Thoron and Related Issues, Chiba, 19-22, May 2010	H22.5
発表(国際)	S. Uchida, K. Tagami: Correlations between Concentrations of Selenium and 61 Elements in Forty-five Major Japanese Rivers, The 9th International Symposium on Selenium in Biology and Medicine (Selenium 2010), Kyoto, May 31 - June 4, 2010.	H22.6
発表(国際)	K. Tagami, S. Uchida: Ranges of Selenium Concentrations in Agricultural Soil and Crop Samples Collected in Japan, The 9th International Symposium on Selenium in Biology and Medicine (Selenium 2010), Kyoto, May 31 - June 4, 2010.	H22.6
発表(国際)	N. K. Ishikawa, K. Tagami, S. Uchida: Estimation of plant uptake of selenium from soil using soil and crop properties in Japanese agricultural fields, The 9th International Symposium on Selenium in Biology and Medicine (Selenium 2010), Kyoto, May 31 - June 4, 2010.	H22.6
発表(国際)	T. Aono, H. Takata, Y. Nakaguchi, K. Tagami, S. Uchida: Distribution and behavior of selenium in two estuarine areas of Japan, The 9th International Symposium on Selenium in Biology and Medicine (Selenium 2010), Kyoto, May 31 - June 4, 2010.	H22.6
発表(国際)	M. Hosoda, A. Sorimachi, T. Ishikawa, M. Furukawa, S. Tokonami, S. Uchida: Influence of environmental factor on radon emanation coefficient, Third European IRPA congress, Helsinki, Finland, June 14-18, 2010.	H22.6
発表(国際)	S. Uchida, K. Tagami, N. K. Ishikawa: Soil-to-plant transfer factor database in Japan -use of stable elements as analogues of radionuclides-, 55th Annual Meeting of the Health Physics Society, Salt Lake, Utah, 27 June - 1 July, 2010.	H22.6
発表(国際)	H. Takata, K. Tagami, T. Aono, S. Uchida: Determination of water-to-biota concentration ratios and sediment-water distribution coefficients of stable elements in Japanese estuarine areas, 55th Annual Meeting of the Health Physics Society, Salt Lake, Utah, 27 June - 1 July, 2010.	H22.6
発表(国際)	N. Ishii, H. Koiso, S. Uchida: Contribution of the carboxyl group of acetate to the ¹⁴ C-containing gas production in agricultural soils, The 19th World Congress of Soil Science, 1-6 August, Brisbane, Australia, 2010.	H22.8
発表(国際)	N. K. Ishikawa, S. Uchida, K. Tagami: Iodine sorption and its chemical form in the soil-soil solution system in Japanese agricultural fields, The 19th	H22.8

	World Congress of Soil Science, 1-6 August, Brisbane, Australia, 2010.	
発表(国際)	K. Tagami, S. Uchida: Seawater-sediment distribution coefficients in estuarine areas, EMRAS II Fourth WG4-6 Joint Meeting, Vienna, 2010.09	H22.9
発表(国際)	S. Uchida and K. Tagami: Comparison of Soil-to-Plant Transfer Factors for Rice and Wheat Grains, The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, Tsukuba, 2010.10.	H22.10
発表(国際)	K. Tagami and S. Uchida: Consideration on Soil Origin Carbon Transfer to Leafy Vegetables Using Stable Carbon Isotope Ratios, The 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, Tsukuba, 2010.10.	H22.10
発表(国際)	K. Tagami, S. Uchida: New whole body CRwo values for some marine fish and relationship to geometry ~Japanese literature survey~ EMRAS II Fifth WG5 Meeting, Vienna, 2011.01	H23.1
発表(国際)	H. Takata, T. Aono, K. Tagami, S. Uchida: Effect of salinity and dissolved organic matter on the partitioning of cobalt in a temperate estuary, Aquatic Sciences Meeting (ASLO 2011), San Juan, Puerto Rico, 13-18 February 2011.	H23.2
発表(国際)	S. Uchida, and K. Tagami: Transfer of Zirconium, Niobium and Molybdenum from Japanese Agricultural Fields to Edible Parts of Crops, Waste Management Conference 2011 (WM2011), Phoenix, AZ, March 7-11, 2011.	H23.3
発表(国際)	K. Tagami, and S. Uchida: Some Considerations on Water-to-Fish Transfer Data Collected in Japan for Radionuclides and Stable Elements, Waste Management Conference 2011 (WM2011), Phoenix, AZ, March 7-11, 2011.	H23.3
発表(国際)	N. Ishii, K. Tagami, S. Ogiyama, S. Sakurai, S. Uchida: Behavior of ^{14}C -organic materials in Japanese paddy fields, 56th Annual Meeting of the Health Physics Society, West Palm Beach, Florida, 2011.06.	H23.6
発表(国際)	S. Uchida, K. Tagami: Comparison of soil-plant transfer factors of naturally existing elements for rice and wheat, 56th Annual Meeting of the Health Physics Society, West Palm Beach, Florida, 2011.06.	H23.6
発表(国際)	K. Tagami, S. Uchida, Nobuyoshi Ishii: Reduction of radioactivity concentrations in edible wild plants by food processing, 56th Annual Meeting of the Health Physics Society, West Palm Beach, Florida, 2011.06.	H23.6
発表(国際)	N. Ishii, H. Koiso, S. Uchida: Determination of carbon species formed by decomposition of acetate in Japanese paddy soil, International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, Hamilton, Canada, 2011.06.	H23.6
発表(国際)	K. Tagami, S. Uchida, N. Ishikawa: Comparison of Soil-Soil Solution Distribution Coefficients between ^{85}Sr and Stable Sr, and ^{137}Cs and Stable Cs, Obtained by Radiotracer Experiments and Soil Solution Extraction Experiments, International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements (ICOBTE 2011), Florence, 2011.07.	H23.7
発表(国際)	S. Uchida, K. Tagami: Transfer of Alkaline Earth Elements from Agricultural Soil to Leafy Vegetables, International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements (ICOBTE 2011), Florence, 2011.07.	H23.7
発表(国際)	H. Takata, T. Aono, K. Tagami, S. Uchida: Influence of Dissolved Organic Matter on the Partitioning of Cobalt and Copper between Particles and Estuarine Seawater, International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Florence (ICOBTE 2011), Italy, 2011.07.	H23.7
発表(国際)	K. Tagami: Can we use Re as an analogue of Tc in the environment?, International Workshop on the Geosphere-Biosphere Interface Zone, Louvain la Neuve, 2011.09.	H23.9
発表(国際)	N. Ishii, S. Uchida: Effect of microbial interaction on the fate of technetium in aquatic environments, International Union of Microbiological Societies 2011 Congress, Sapporo, 2011.9.6-9.	H23.9
発表(国際)	J. Zheng, M. Yamada: Determination of plutonium isotopes in seawater reference materials using isotope-dilution ICP-MS. 18th International Conference on Radionuclides Metrology and its Application. Tsukuba, Japan, 9/19-23, 2011	H23.9
発表(国際)	G. Prasad, T. Ishikawa, M. Hosoda, M. Janik, A. Sorimachi, S. K. Sahoo, S. Tokonami, S. Uchida: The relationship between radon effective diffusion	H23.12

際)	coefficient and moisture saturation for two types of soil in Japan, 4th International Congress of Environmental Research, Surat, India, 2011.12	
発表(国際)	K. Tagami, S. Uchida: Field observation on transfer of radiocesium from plant surface to newly emerged tissues, ASRC International Workshop of Transformation of Radionuclides by Microorganisms, Clays, Plants: Implication for Migration and Remediation, Tokai Village, 2012.03.	H24. 3
発表(国際)	G. Prasad, T. Ishikawa, M. Hosoda, S. K. Sahoo, Norbert Kavasi, Atsuyuki Sorimachi, Shinji Tokonami, Shigeo Uchida: Measurement of radon exhalation rate and gamma dose rate in granite areas in Japan, Symposium on the Natural Radiation Exposures and Low Dose Radiation Epidemiological Studies, Hirosaki, 2012.03.	H24. 3
発表(国際)	J. Zheng, T. Aono, S. Uchida, J. Zhang, M. Honda: Characterization and distribution of Pu isotopes in marine sediments 30 km off Fukushima after the Fukushima DNPP accident. 2012 Spring Conference of the Oceanographic Society of Japan, Tsukuba, March 27, 2012.	H24. 3
発表(国際)	S. K. Sahoo, M. Hosoda, G. Prasad, H. Takahashi, A. Sorimachi, T. Ishikawa, S. Tokonami, S. Uchida: Thorium, uranium and rare earth elements concentration in weathered Japanese soil samples, Symposium on the Natural Radiation Exposures and Low Dose Radiation Epidemiological Studies, Hirosaki, 2012.03.	H24. 3
発表(国際)	K. Tagami, S. Uchida: Change of radiocesium concentrations in tree leaves before and after abscission, SETAC, Berlin, 2012. 5. 23	H24. 5
発表(国際)	S. Uchida, K. Tagami, H. Koiso: Radiocesium distribution in a Japanese bamboo forest, SETAC, Berlin, 2012. 5. 23	H24. 5
発表(国際)	N. Ishii, K. Tagami, S. Uchida: Contribution of the methyl- and carboxyl-group of acetate to the C-14 containing gas production in agricultural soils, 2012 BIOPROTA, Nancy, France, 2012. 5. 22.	H24. 5
発表(国際)	S. K. Sahoo, M. Hosoda, H. Takahashi, A. Sorimachi, T. Ishikawa, S. Tokonami, S. Uchida: Naturally occurring radionuclides and rare earth elements pattern in weathered Japanese soil samples, Third International Geo-Hazards Research Symposium, Tehri Garwal, India, June 10-14, 2012	H24. 6
発表(国際)	J. Zheng: Plutonium isotopes in marine sediments after the Fukushima DNPP accident, 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting, Otsu, 2012. 7. 10-13 (ASLO: Association for the Sciences of Limnology and Oceanography)	H24. 7
発表(国際)	J. Zheng, K. Tagami, S. Uchida: ICP-MS analysis of Pu isotopes in environmental samples: what can it tell us about the Fukushima Daiichi Nuclear Power plant accident? Asia-Pacific Winter Conference on plasma spectrochemistry, Jeju, Korea, 2012. 8. 26-30.	H24. 8
発表(国際)	K. Tagami, S. Uchida: Distribution of radiocesium in field horsetail collected after the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, SETAC Asia Pacific 2012 Meeting, Kumamoto, 2012. 09	H24. 9
発表(国際)	S. Uchida, K. Tagami: The effect of climate differences on the transfer of selenium and arsenic from soil to brown rice in Japan, SETAC Asia Pacific 2012 Meeting, Kumamoto, 2012. 09	H24. 9
発表(国際)	N. Ishii, S. Uchida: Removal of technetium-99 by Euglena gracilis. SETAC Asia/Pacific 2012, Kumamoto, Japan, 24-27 September 2012.	H24. 9
発表(国際)	N. K. Ishikawa, A. Ito, K. Tagami, T. Umita: Behavior of Cs and Sr in sewage treatment plant, 12th South Pacific Environmental Radioactivity Association Bi-annual Conference (SPERA2012), Sydney, Australia, 2012. 10. 16 - 19.	H24. 10
発表(国際)	J. Zheng: Release of plutonium isotopes from the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. In International Symposium of Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power stations. Research Reactor Institute, Kyoto University, Japan, 2012. 12. 14.	H24. 12

発表(国際)	K. Tagami, S. Uchida, N. Ishii, J. Zheng : Estimation of Tellurium-132 distribution in Fukushima prefecture, In International Symposium of Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO' s Fukushima Daiichi nuclear power stations. Research Reactor Institute, Kyoto University, Japan, 2012.12.14.	H24. 12
発表(国際)	W. Bu, J. Zheng, T. Aono, K. Tagami, S. Uchida, J. Zhang, Q. J. Guo, M. Yamada : Investigating plutonium contamination in marine sediments off Fukushima following the Fukushima daiichi nuclear power plant accident, In International Symposium of Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO' s Fukushima Daiichi nuclear power stations. Research Reactor Institute, Kyoto University, Japan, 2012.12.14.	H24. 12
発表(国際)	G. S. Yang, J. Zheng, K. Tagami, S. Uchida: Direct determination of tellurium in soil and plant samples by sector-field inductively coupled plasma mass spectrometry for the study of soil-plant transfer of radioactive tellurium following the Fukushima daiichi nuclear power plant accident, In International Symposium of Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO' s Fukushima Daiichi nuclear power stations. Research Reactor Institute, Kyoto University, Japan, 2012.12.14.	H24. 12
発表(国際)	Ishii, N., Koiso, H., Tagai, K., Uchida, S., Elution of radiocesium from soil and sludge, In International Symposium of Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO' s Fukushima Daiichi nuclear power stations. Research Reactor Institute, Kyoto University, Japan, 2012.12.14.	H24. 12
発表(国際)	K. Iwata, K. Tagami, S. Uchida: Estimation of ecological half-lives of radiocesium in marine biota at the offshore of Fukushima, Japan, In International Symposium of Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO' s Fukushima Daiichi nuclear power stations. Research Reactor Institute, Kyoto University, Japan, 2012.12.14.	H24. 12
発表(国際)	J. Zheng, K. Tagami, S. Uchida, T. Aono, W. T. Bu: Accurate plutonium isotope analysis using SF-ICP-MS provided evidence for the release of plutonium from the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. The 2013 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry. Krakow, Poland, February 10-15, 2013.	H25. 2
発表(国際)	J. Zheng, K. Tagami, S. Uchida: Exploring analytical potential of ICP-MS for the determination of radioactive Cs isotopes. The 14th Environmental Radioactivity Symposium, Tsukuba, Japan, 26-28 February, 2013.	H25. 2
発表(国際)	K. Tagami, S. Uchida: Radiocesium concentration change in game animals: use of food monitoring data -. Waste Management Conference 2013 (WM2013), Phoenix, USA, 24-28 Feb 2013.	H25. 2
発表(国際)	S. Uchida, K. Tagami: Removal of radiocesium from food by processing: data collected after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Waste Management Conference 2013 (WM2013), Phoenix, USA, 24-28 Feb 2013.	H25. 2
発表(国内)	田上恵子, 石井伸昌, 小磯寛之, 内田滋夫: LC-IRMS を用いた土壌溶液中の ^{13}C ラベル酢酸の測定, 第 47 回アイソトープ・放射線研究発表会, 東京, 2010. 07	H22. 7
発表(国内)	高橋知之, 川口勇生, 内田滋夫: 日本環境における生物線量評価のための土壌-植物移行係数の導出と適用, 第 47 回アイソトープ・放射線研究発表会, 東京, 2010. 07	H22. 7
発表(国内)	藤田一広, 田上恵子, 内田滋夫: 産生物中ヨウ素の ICP 発光分光分析法による定量, 2010 日本放射化学会年会・第 54 回放射化学討論会, 吹田市, 2010. 09.	H22. 9
発表(国内)	藤田, 高田, 白坂, 田上, 内田: 沿岸域における海産生物及び堆積物中ヨウ素の環境移行パラメータ. 第 12 回「環境放射能」研究会, つくば, 8-10, March 2011.	H23. 3
発表(国内)	田上, 内田: 魚 (whole body) への Cs-137 移行係数: 文献調査結果より. 第 12 回「環境放射能」研究会, つくば, 8-10, March 2011.	H23. 3
発表(国内)	内田: 放射性物質の農地等における移動・循環問題 -食の安全と環境-, 農業農村工学会土壌物理研究部会, 東京, 2011. 06.	H23. 6

発表(国内)	藤田, 白坂, 高田, 田上, 内田: 沿岸域における堆積物中ヨウ素の定量, 第 48 回アイソトープ・放射線研究発表会, 東京, 2011. 07.	H23. 7
発表(国内)	田上恵子, 内田滋夫: 水道水中の放射性ヨウ素除去に関する検討, 2011 日本放射化学会年会・第 55 回放射化学討論会、長野市、2011. 09.	H23. 9
発表(国内)	高田兵衛, 鄭 建, 田上恵子, 青野辰雄, 内田滋夫: キレート樹脂固相抽出法を用いた海水中の ^{232}Th の分離濃縮, 2011 年度日本海洋学会秋季大会, 福岡, 九州大学, 2011. 9/26~30.	H23. 9
発表(国内)	石川徹夫, 細田正洋, M. Janik, 反町篤行, 床次眞司, 内田滋夫: 土壌中のラドン実効拡散係数の評価, 日本保健物理学会 第 44 回研究発表会, 2011. 10. 17-18.	H23. 10
発表(国内)	田上恵子, 石井伸昌, 鄭 建, 内田滋夫: 食用野草へ沈着した放射性核種の調理・加工による除染, 第 53 回環境放射能調査研究成果発表会, 2011. 12. 1, 東京.	H23. 12
発表(国内)	石井伸昌, 田上恵子, 内田滋夫: 放医研における福島原発由来の放射能調査、京都大学原子炉実験所専門研究会、2011. 12. 8-9, 熊取、大阪府	H23. 12
発表(国内)	田上恵子, 石井伸昌, 内田滋夫: 直接沈着経路と土壌経路による放射性セシウムの樹木への吸収と分布、京都大学原子炉実験所専門研究会、2011. 12. 8-9, 熊取、大阪府	H23. 12
発表(国内)	田上恵子, 内田滋夫: 農作物の調理加工による放射性セシウムの除去割合 -米を中心に-, 第 13 回「環境放射能」研究会、つくば市、2012. 02	H24. 2
発表(国内)	高田兵衛, 青野辰雄, 白坂純一, 田上恵子, 内田滋夫: 日本沿岸域における海産生物中の銀濃度及び濃縮係数の推定、第 13 回「環境放射能」研究会、つくば、2012. 02	H24. 2
発表(国内)	田上恵子: 農作物のモニタリングと調理加工による除染方法、日本化学会第 92 回春季年会、横浜市、2012. 03	H24. 3
発表(国内)	鄭 建、青野辰雄、張 勁、本多牧生: 東京電力福島第一原発事故由来の Pu 放出について、第 13 回「環境放射能」研究会、つくば市、2012. 02	H24. 2
発表(国内)	田上恵子, 内田滋夫, 石井伸昌: 農作物の調理・加工による放射性セシウム除去効果について、第 49 回アイソトープ・放射線研究発表会、東京、2012. 07	H24. 7
発表(国内)	田上恵子, 内田滋夫, 石井伸昌: 樹木への付着後の放射性セシウムの動きについて、第 49 回アイソトープ・放射線研究発表会、東京、2012. 07	H24. 7
発表(国内)	石川奈緒, 加賀谷功人, 千葉光悦, 伊藤歩, 海田輝之, 田上 恵子: 下水処理プロセスにおける Cs と Sr の動態に関する研究、第 49 回下水道研究発表会, 神戸, 2012. 7. 24-26	H24. 7
発表(国内)	田上 恵子, 内田 滋夫: タケノコ中の放射性セシウム濃度低減の遅延に関する考察、2012 日本放射化学会年会・第 56 回放射化学討論会、東京、2012. 10.	H24. 10
発表(国内)	G. S. Yang, J. Zheng, K. Tagami, S. Uchida: Preliminary study on the soil-to-plant transfer of tellurium in Japanese environment. The 14th Environmental Radioactivity Symposium, Tsukuba, Japan, 26-28 February, 2013	H25. 2
発表(国内)	岩田佳代子, 田上恵子, 内田滋夫: 福島県沖の海洋生物中の放射性セシウムの生態学的半減期. 第 14 回「環境放射能」研究会、つくば、26-28 Feb 2013.	H25. 2
発表(国内)	W. T. Bu, J. Zheng, T. Aono, K. Tagami, S. Uchida, J. Zhang, M. C. Honda, Q. J. Guo, M. Yamada (2013): Vertical distribution of Pu isotopes in marine sediments off the Fukushima coast after the FDNPP accident, 2013 年度日本海洋学会春季大会、東京、	H25. 3
発表(国内)	高田兵衛, 青野辰雄, 田上恵子, 内田滋夫: 河口沿岸水の重金属分配における溶存有機物の影響、2013 年度日本海洋学会春季大会、東京、平成 25 年 3 月 21-25 日	H25. 3

3-3-2-C 目標の達成度

テーマごとに設定した目標・指標について、それぞれの成果、達成度を表3-83～表3-84に示す。各テーマとも、設定された指標に対し一通りの成果を得ており、放射性廃棄物共通技術調査全体としても中間段階における目標水準を満足しているものと考えられる。なお、今後の基準整備、実施主体における処分事業に対応し、重要な参考文献としての活用されやすい成果の取りまとめ方が重要である。

表3-83. 目標に対する成果・達成度の一覧表（放射性廃棄物重要基礎技術研究調査）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
1) 基礎的研究テーマの整理	地層処分分野の基盤技術整備に向けた基礎的研究の実施に資するため、国内外における最新の研究開発動向等を調査し整理する。	同左（左記目標に沿って、中間評価時点における、国内外における最新の研究開発動向を調査し整理する）。	国内については、調整会議の枠組みを通して、地層処分に関連する研究開発動向・計画やその他関連情報を包括的に把握するとともに、新たな研究開発計画の検討において、外部有識者レビューのための体制整備及びレビュー作業の支援を実施し、新規研究開発計画書の取りまとめの支援を行った（平成25年度から5年間を対象とする新規計画書）。 国外については、地層処分事業の進捗を有する、或いは性能評価研究に有意な進捗を示す欧米各国（フランス、スウェーデン、フィンランド、スイス、英国）に関する性能評価・安全評価報告書を中心とした最新動向の調査を完了するとともに、知識普及や理解促進に資する情報提供の取組を実践した。	達成
2) 重要基礎技術研究調査	上記情報を活用しつつ、新規研究テーマ及び研究実施者を抽出・選定して、研究を着実に実施するとともに、研究内容及び成果の共有・普及活動を実施する。	同左（中間評価対象期間における研究テーマの優先度等も踏まえて、左記事項を着実に実施する）。	平成22年度には新規8件の研究テーマ及び研究実施者の選定を行い、原則3ヶ年の各個別研究計画を着実に進めた。また、着実な研究の実施や研究内容・成果の共有・普及活動に資するため、有識者で構成される委員会を設置し、効果的な運営を行った。	達成
3) 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整備	多重バリアの長期安定性に係る天然現象（ナチュラアナログ：NA）の優先課題として選定した「ベントナイト緩衝材とセメント系材料の相互作用に係わるNA調査・研究」を実施し、NAにより鉱物変質過程と変質の規模、時間スケールを明らかにし、多重バリアシス	多重バリアシステムの長期安定性において重要な課題である「ベントナイト緩衝材とセメント系材料の相互作用」について、NAの環境条件を満たし、その研究展開が可能な調査研究地点を選定し、この地点における地質、地質調査、地下水調査、岩石鉱物学的調査等	フィリピン国ルソン島北西部のNA調査により、高アルカリ地下水環境下でのベントナイトは、(1)cmスケールでの鉱物変化は認められないこと、(2)変質鉱物によるクロッキング、(3)相互作用のあった変質部の基本物性は健全部より物質移行を抑制する傾向を示すこと（高密度、低間隙率）、(4)フィールドのマクロな観点からアルカリ地下水	達成

	テムの長期安定性の論拠として活用できる情報として取りまとめる。	により、NA の主要プロセスやその環境条件を明らかにし、アルカリ環境下のベントナイトの長期健全性を評価する。	が噴出する地域で地層処分を超える長期間ベントナイト鉱床が存在し、ベントナイトの諸特性の著しい劣化が確認されないことから、高アルカリ地下水環境下でも多重バリアシステムを構成するベントナイト系緩衝材の長期健全性が十分保たれることを示した。	
--	---------------------------------	--	---	--

表 3-84. 目標に対する成果・達成度の一覧表（放射性核種生物圏移行評価高度化調査）

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	成果	中間目標に対する達成度
1) 沿岸域における核種挙動評価	我が国の沿岸域における核種挙動に関するデータ並びに海底堆積物や海産生物への移行に関するパラメータを収集し、データベースを構築する。	一級河川の河口から沿岸域を対象に、海水（汽水含む）、堆積物、海産生物等の海洋試料中の元素や化学成分の濃度を得て、沿岸域における核種挙動に関するデータ並びに海底堆積物や海産生物への移行に関するパラメータを収集し、データベースを構築する。そのために以下のことを行う。 (1) 微量元素や化学成分の分離・分析法の開発 (2) 河口-沿岸域調査(4 地域/年)、その内、1 地域は年 3 回の定期調査の実施 (3) 沿岸域における元素や化学成分の移行や濃縮に関するデータを収集し、沿岸域における移行パラメータの整備 (平成 24 年度で終了)	(1) 海水中の微量元素である安定 Cs やヨウ素の分析法を確立した。 (2) 7 河川の河口から沿岸域において海洋調査を実施し、水試料の採取及び水温や塩分濃度、pH 等を測定した。また、海底堆積物と海産生物を採取した。 (3) 採取した水試料、海底堆積物および海産生物中の元素濃度を測定し、元素及び化学成分の沿岸域における分布を明らかにするとともに、海底堆積物-海水の分配係数 K_d と海産生物の濃縮係数 (CR) を取得し、沿岸域における移行パラメータを整備した。本調査で得られた移行パラメータは、IAEA の Technical Report Series のデータ集に採用され、また、ヨーロッパで開発された ERICA モデルのデータベースにも採用された。	達成
2) TRU 廃棄物処分に係わる重要核種 (C-14、I-129 等) 移行挙動評価	C-14 や I-129 の挙動に影響を与える土壌微生物の活動を統括的に評価する指標を求める。さらに、その指標を導入した新たな移行パラメータを提案する。	TRU 廃棄物処分に係る重要核種である C-14 及び I-129 を対象として化学形態別に土壌-土壌溶液分配係数 (K_d) や土壌-農作物移行係数 (TF) など、移行パラメータを収集しデータを取りまとめる。そのために以下のことを行う。 (1) 土壌に添加後の低分子有機化合物（酢酸、メタノール）の経時的化学形態変化の解析 (2) 日本各地の農耕地土壌を用いて、低分子有機化合物の C-14 の固相・液相・気相分配率と、 K_d 値の取得 (3) 水稻および他の農作物	(1)・メタノールは、土壌に添加した後、すぐには化学形変化を起こさず、化学形を長く保つこと、を明らかにした。 ・低分子有機化合物メタノールは、土壌には収着されないが、長期間土壌と接触する間に化学形が徐々に変化し、一部が土壌に収着され、一部は気体となって土壌-土壌溶液混合系から放出されることがわかった。 (2)・ギ酸、ホルムアルデヒドおよびメタノール態 ^{14}C の固相、液相、気相分配率を求めた。ギ酸とホルムアルデヒドの固相および液層への分配率は 5-7%、気相へは 85-90% であった。メ	達成

		への C-14 移行係数の取得 (4) C-14 水稻移行モデルの構築 (5) 日本各地の農耕地土壌を用いて、土壌-土壌溶液における IO_3^- の分配係数の取得	タノールの場合、液相には 1% 以下であり、^{14}C がほとんど残存しなかった。 ・日本の農耕地土壌（142 試料）における K_d を求めた。ギ酸およびホルムアルデヒドの平均値は 40 L/kg であった。メタノールの K_d（平均値：$6.1 \times 10^2 \text{ L/kg}$）は、これまで調査した低分子有機化合物の中で最も高い値を示した。 （3）・ギ酸態 C-14 の水稻への TF を取得した。ギ酸態 ^{14}C の玄米への移行係数は、3.6 であった。水稻の部位の中では、玄米の TF が最も小さかった。また、酢酸態 ^{14}C のコマツナの TF は $0.62 \sim 3.32$ であり、コカブは、2.2 であった。 ・^{14}C のガス化により、土壌 ^{14}C 濃度は低くなる。さらに、ガス化した ^{14}C の主化学形態は $^{14}\text{CO}_2$ である可能性が示唆されており、$^{14}\text{CO}_2$ は光合成により植物体に取り込まれるために、植物体 ^{14}C 濃度が高くなる結果となる。この様に、^{14}C のガス化が土壌および植物の ^{14}C 濃度に影響することにより、見かけ上、移行係数が高くなると考えられる。 （4）リターコンパートメントをモデルに追加し、2 年目以降に灌漑水からの曝露が無い場合でもリターから移行した ^{14}C が曝露源とすることが可能となった。さらに、水稻全体モデルのモデルパラメータの精度向上を図るために、実験結果のトレース及び、移行パラメータ値をより適切な値に設定した。その結果、収穫時のイネの ^{14}C 濃度、土壌内 ^{14}C 濃度を再現することができた。また、水稻栽培実験の RI 非添加のコントロールのイネについても大気曝露としてトレース解析を行い、概ね実験のトレースができた。 （5）・4°C と 23°C における IO_3^- の分配係数を求めた。水田土壌における IO_3^- の K_d' 範囲は、4°C 条件下において $3.9 \times 10^0 - 1.6 \times 10^2 \text{ L/kg}$（GM:$3.1 \times 10^1 \text{ L/kg}$）、$23^\circ\text{C}$ 条件下において $7.3 \times 10^0 - 2.1 \times 10^2 \text{ L/kg}$（GM:$4.0 \times 10^1 \text{ L/kg}$）であった。畑土壌における IO_3^- の K_d' 範囲は、4°C 条件下において	
--	--	---	--	--

			$4.2 \times 10^{-1} - 2.8 \times 10^2$ L/kg (GM: 2.4×10^1 L/kg), 23°C 条件下において $8.4 \times 10^{-1} - 1.6 \times 10^2$ L/kg (GM: 2.7×10^1 L/kg) であった。 ・これらの結果から、4°C、23°C ともに、水田土壌の方が畑土壌より 10_3 の K_d' が高いことが分かった。 ・日本の農耕地土壌の K_d 範囲は IAEA が報告している K_d の範囲内であるものの、比較的高い値であることが示された。	
3) ラドン挙動評価	実験室で得られた土壌中ラドン実効拡散係数のデータを用いて、間隙率および水分飽和度をパラメータとした我が国における土壌中ラドン実効拡散係数の推定式を求める。さらに、その推定式を用いて、地表面からのラドン散逸率を推定するモデルを構築する。	ラドンチェンバーを用いた室内トレーサ実験により土壌中におけるラドン実効拡散係数を求め、ラドン散逸に関する土性(土壌の種類)による違いを明らかにする。さらに、ラドン散逸率の測定値とモデルによる推定値との比較を行い、ラドン散逸率推定モデルを構築するとともに、それを全国規模に適用して全国のラドン散逸率マップを作成する。そのために以下のことを行う。(1) 室内実験により、土壌中におけるラドンの実効拡散係数を評価し、推定モデルの構築 (2) フィールドにおいてラドン散逸率や関連するパラメータの測定および評価 (3) 上記の評価結果を併せて、ラドン散逸率推定モデルを構築と、得られた推定モデルを用いたラドン散逸率のマッピング (平成 24 年度で終了)	(1) 関東ローム土壌(間隙率: 0.67), 豊浦砂(間隙率: 0.44), シラス(間隙率: 0.55)及びベントナイト(間隙率: 0.58)を用いて、水分飽和度を変化させて実効拡散係数を取得した。そして、本研究から得られたデータを用いて、水分含量や空隙率を考慮した実効拡散係数推定式を求めた。 (2) ・宮城県(年4回)と広島県、福岡県、北海道、愛媛県、高知県にて調査を行った。平成19年度から23年度の調査で日本全国を北から南まで比較的均等にカバーできた。 ・土壌試料を実験室に持ち帰って²²⁶Raなどの放射性核種濃度を評価するとともに、散逸係数の水分・温度依存性などを評価した。 ・これらの測定値をもとに、散逸係数を水分・温度の関数として表現した。 (3) ・ラドン散逸率の推定法に関しては、できる限り少ないパラメータ、もしくは簡単に得られるパラメータを用いてある程度の精度を有した推定を行うことを目的として、我が国に適用できるモデルを開発した。 ・ラドン散逸率の計算値と実測値を比較したところ、全227データの50%に相当する114データが1/2 - 2倍の範囲、71%に相当する162データが1/3 - 3倍の範囲に入っており、十分実用可能であることが明らかとなった。 ・本推定法を全国規模に適用することによって、季節変動も考慮した全国ラドン散逸率マップを作成した。 (4) ・本研究において、フィールド調査から得られた主要なパラメータをデータベースとして	達成

			まとめた。(ラドン・トリウム散逸率, 空間ガンマ線線量率の他, サンプルングしてきた土壌を分析して得られる間隙率, ラジウム (^{226}Ra , ^{228}Ra) 濃度, 土壌粒子密度など)	
4) 生物圏移行パラメータ推定法開発及びデータベースの高度化・拡充	農作物中の分析が困難な重要核種である Th や Pu 等について, 環境中の濃度が測定できる分析法を開発し, データベースに追加する。さらに, 気候変動を考慮して生物圏での核種移行パラメータに影響を及ぼす重要ファクターの調査およびその影響解析を行い, データベースにそれらの情報を取り込み, データベースを高度化する。	既往のデータベース及び本調査により得られる知見を統合し, 統計解析手法等により生物圏移行パラメータ推定法を開発するとともに, データベースの高度化と拡充を行う。さらに, 原子力発電所事故により環境中に放出された放射性核種の中・長期の挙動予測にも活用可能なパラメータを収集する。そして, これらの調査研究の成果を統合し, 生物圏移行パラメータデータベースを整備・拡充する。そのために以下のことを行う。 (1) データベースに蓄積された測定データ及び農耕地基盤に関する全国調査データなどを用いた, Kd 及び TF の推定モデルの構築 (2) 分析法の高度化を行い, これまで得られていなかったデータをデータベースに追加することによる環境移行パラメータデータベースの拡充 (3) 東京電力福島第一原子力発電所事故に由来するデータの収集による放射性核種の環境挙動に関するデータを蓄積	(1)・ヨウ素 Kd 作成したモデルの決定係数 (R^2) は 12 変数を取り込んだ場合, 0.70, 7 変数では 0.51 であり, 測定が比較的困難なものを削除したケースでは, 適合度があまり高くない結果であった。 ・ヨウ素 TF 取り込み変数が 5-8 のケースで R^2 は 0.58~0.63 となり, 良い適合度であった。 ・農耕地 TF (Nb, Zr, Mo, Sn および Sm) TF-Zr, TF-Nb, そして TF-Sm では取り込み変数が 7 個程度でも, R^2 が 0.85 以上で良い適合度であった。また, Mo や Sn でも単回帰モデルよりも R^2 が高くなったが, 0.7 を超えることはなかった。 ・沿岸域 CR (CR-Sr, CR-Cs および CR-U) CR-Sr は貝類甲殻類と海藻類に分けることで R^2 値が向上し, 7 変数でも 0.9 を超えた。CR-U では, Sr と同様に, 種類に分けることで高い R^2 値が得られた。CR-Cs は, 3 から 7 変数で R^2 は 0.71~0.91 であった。 ・沿岸域 Kd Ni と Sr の 2 元素について推定モデルを検討した。Kd-Ni では, 2 変数で R^2 が 0.59, 5-6 変数では, R^2 が 0.85~0.91 と高い適合度であった。一方, Sr については, 構築されたモデルの R^2 が低く, 適合度が悪い結果となった。 (2)・Mn の Kd のデータを追加 日本全国の農耕地土壌 (142 地点) を用いてバッチ収着実験により Kd を求めた。Kd の幾何平均値は水田土壌で 980 L/kg (範囲: $140\sim1.4\times10^5$), 畑土壌で 3,210 L/kg (範囲: $52\sim2.5\times10^6$) であった。なお t 検定の結果, 水田と畑の Kd には統計的な差がなかった。 ・米中の元素濃度 (白米・糠データの追加) および TF の追加 分析法を改良し, 白米中の元素濃度を求めた。また, 糠についても元素分析を行い, これらのデータ	達成

			を用いて白米および糠の TF を整備しデータベースに追加した。穀物の U の TF は IAEA-TRS472 では 6.2×10^{-3} であり、本研究で得られた白米および玄米の TF-GM (2.7×10^{-5} および 3.9×10^{-5}) はそれよりも 2 桁低い値であった。 ・炭素の TF 土壌及び農作物中の ^{13}C を分析し、フィールドにおける C の TF を求めた。白米の TF は平均 0.2 (範囲: 0.04-0.4) となり、一般的に用いられている TF (乾物重ベースで 0.12) に近いことがわかった。葉菜類の TF は幾何平均 0.8 (範囲: 0.2-2.1) となり、これまでの報告値と近い値になった。 ・海水-沿岸域生物濃縮係数 CR これまでに我が国で報告されている海水、海産生物中の放射性核種濃度データを用いて CR を導出した。CR データ採取は可食部 (魚介類では筋肉部) と全体 (whole body) を対象に行った。^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{106}Ru, ^{144}Ce および $^{239+240}\text{Pu}$ のデータがあり、^{137}Cs については、筋肉部の CR は魚種間によらず 19-160 と 1 桁の範囲内であった。 (3)・土壌中での挙動 表層の放射性 Cs の降雨による土壌深部への溶脱について、数年分に対応する水を流してもほとんど移動しないことがわかった。ただし、汚染された落葉層がある場合には、Cs^+ が水で数%溶出するが、雨により落葉層から下方に溶出した Cs^+ は土壌層で収着されると考えられる。土壌からの放射性 Cs の除染について、0.1M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の場合 15.4%の溶出が認められた。オゾン水では効果的な除去は望めなかった。 ・植物への移行と分布 大気放出由来の放射性 Cs の植物体 (樹木) への主な移行経路、植物内の転流および葉や果実の放射性 Cs 環境半減期を求めた。 ・土壌-植物移行係数 プランター等を用いて行う小規模家庭菜園に着目し、赤玉土、腐葉土、浄水発生土などを含む園芸用土壌を用いて ^{137}Cs の TF を求め、最大 0.69 (乾重ベース) を得た。また、放出量の多かった放射性テルルに関する TF の取得も行った。およそ 0.02-2.0 が得ら	
--	--	--	---	--

			れた。 ・プルトニウム (Pu) の分析 比較的汚染度の高かった地域で採取された土壌と落葉層の試料を測定した。$^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は $0.019 \sim 1.4 \text{ mBq/g-dry}$ であり、大気圏内核実験によって土壌に存在するグローバルフォールアウトの濃度範囲内であった。しかし、同位体の原子数比 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ は、3 点のサンプル (土壌 1 試料, 落葉層の 2 サンプル) でグローバルフォールアウトの比よりも高く、さらに ^{241}Pu も検出された。この結果は、福島第一原発由来の汚染があったことを示している。 ・生態学的半減期 農水産物のモニタリングデータを利用し、沿岸生物の放射性 Cs の生態学的半減期を導出した。食物連鎖が関与するため生物学的半減期に比べて長いことが示された。 ・調理加工 野菜類の調理加工による放射性セシウムの除去割合のデータを蓄積した。葉菜の洗浄による ^{131}I の除去割合は放射性 Cs と同程度であった。玄米については通常の白米まで精米し米研ぎを行うと、濃度がおよそ $1/3$ になることがわかった。	
--	--	--	---	--

3-4-C 事業化、波及効果について

3-4-1-C 事業化の見通し

本事業は、放射性廃棄物処分に関し、共通的な基盤的研究テーマを、中長期的な視点で継続展開することによって、処分技術の信頼性や安全性を一層高め、国民の理解促進に資することを目的とする。このような事業の性格から、現時点で長期的な事業化までを具体性をもって評価することは困難であるが、個々のテーマのこれまでの成果については、処分事業や国の政策及び安全規制等の検討に既に反映されている。

(1) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

1) 基礎的研究テーマの整理

既に個別要素技術の目標において記述しているように、本取組は主に重要基礎技術研究調査の入力情報として活用されることを目標としており、直接的な事業化を目指すものではないが、後述の波及効果で示すように、本取組で整理される情報は、地層処分事業に資する研究開発や技術開発の計画書等としてその事業推進に直接的に活用される。

2) 重要基礎技術研究調査

本研究調査で扱う各個別研究テーマは、放射性廃棄物の地層処分に係る研究開発や技術開発のうち、基礎的かつ、長期的な性格を有するものであり、早急な実用化をめざすものではない。しかし、これらの成果として蓄積される基盤的知見等は、処分技術の信頼性向上に大きく寄与するとともに、事業化に必要な技術開発の基礎的な一端を担うものである。

3) 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整備

NAにおけるフィールド調査、鉱物・化学分析、年代測定、物性試験等により、その類似現象が生じた場の環境条件とキーププロセスを解明することで、多重バリアシステムの長期安定性に係る評価上重要な事象の傍証として示すことに加え、評価モデルの再現性確認や現象理解に基づくモデルのパラメータや条件設定の最適化にNAを活用することで、セーフティケース（安全性の論拠）の一つとしてNAの成果が活用できる。

(2) 放射性核種生物圏移行評価高度化調査

1) 沿岸における核種挙動移行評価

河口-沿岸域の海洋調査と海底堆積物と海産生物の採取は完了し、国内の海底堆積物-海水の分配係数(Kd)と海産生物の濃縮係数(CR)を取得することができ、データベースを構築した。沿岸域では河川水流入の影響により、元素の挙動や海産生物の生息も地域毎に異なることから貴重なデータであり、今後活用されることが期待できる。また、これまでに取りまとめられているIAEA-Technical Report Series No. 422と比較することで、わが国の特徴を知ることができる。これらのデータは、IAEAの最新のTechnical Report SeriesやICRPのレポートに引用されている。

2) TRU廃棄物処分に係る重要核種の移行挙動評価

日本全国から採取した農耕地土壌より得られた本事業の成果は、生物圏におけるC-14およびI-129の移行プロセスとこれに伴う被ばく経路を推定し、ヒトへの影響評価に役立つこと

が期待できる。

3) ラドン挙動評価

本調査の成果は、今後、処分実施主体や安全規制当局等が実施する様々なウラン廃棄物処分に係る安全評価に活用されるものと考えられる。またウラン廃棄物処分の事業化の円滑な推進に資することができる。

4) 生物圏移行パラメータ推定法開発およびデータベースの高度化・拡充

環境移行パラメータの拡充をすることで、我が国独自の放射性核種生物圏移行パラメータ・データベースを充実し、放射性核種の環境移行予測の精度が向上し、放射性廃棄物地層処分の安全評価がより適切になる。データベースは論文などにより公開されている。

また、開発した分析法に関しても、論文として採用されているため、世界的な信頼を得ることができた。したがって、信頼性の高い分析法として利用されると考えられる。

3-4-2-C 波及効果

本事業は放射性廃棄物処分における基盤研究として位置づけられるものであり、事業の成果を地域への啓蒙教育、若手研究者の育成、民間企業への技術移転等に供することにより、処分事業の実施体制の強化や住民への理解促進に大きく貢献できる。

(1) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

1) 基礎的研究テーマの整理

国内情報の整理として、本取組で運営支援を行う調整会議のもとで整備される研究開発計画は、地層処分事業に必要となる研究開発や技術開発の中長期的な計画として参照されるものであり、事業推進への効果は高い（直接的な効果をもたらす）。

また、国外情報の整理として整備される、地層処分事業の進捗を有する、或いは性能評価研究に有意な進捗を示す欧米各国の性能評価・安全評価報告書を中心とした情報の取りまとめ結果は、わが国における地層処分事業における性能評価・安全評価研究及び将来の評価書整備に直接的に参照可能であるとともに、これらの情報は安全規制制度整備等においても参照される情報として活用されることが期待される。

2) 重要基礎技術研究調査

本研究調査の枠内で実施される個別研究テーマは、わが国の地層処分事業の長期的展開も視野に、現段階から着手する必要がある基礎的研究テーマであり、調整会議で策定された研究開発計画に整合するように研究テーマが選定されている。これらの成果は、上位の研究開発等において参照されるべき基礎・基盤的な研究成果として活用されることが期待される。

さらに、本研究調査のように幅広い分野の将来有為な若手研究者に、基礎研究の機会を提供することは、放射性廃棄物の地層処分事業の進捗に資するだけでなく、人的な裾野を広げることに繋がるものと考えられる。

3) 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整備

本研究調査において得られる成果は、わが国の処分概念だけでなく、ベントナイト材料とセメント材料を使用する可能性のある諸外国の処分においても重要な知見となり得る。国際ワークショップ等における情報交換により、ベントナイトの長期健全性に関してわが国と諸外国相互のデータ・知見の蓄積と評価の信頼性向上に活用されることが期待される。また、NA 研究が様々な分野の大学等の専門家や事業者の技術者が参加する学際的な研究であることに加え、フィールド調査における現地での経験者との共同作業・議論をすることで、若手研究者（技術者）の人材育成の場として NA 研究を活用することができる。

(2) 放射性核種生物圏移行評価高度化調査

1) 沿岸における核種挙動移行評価

得られた海底堆積物-海水の分配係数（Kd）と海産生物の濃縮係数（CR）のデータは、分析法も確立しており国際誌にも掲載されていることから、IAEA のデータ集に採用されると共に、EC が開発した環境影響評価モデル（ERICA）のデータベースに登録することができた。ERICA はヨーロッパはじめ多くの研究機関で使用されているため、今後、活用される

ことが期待される。

2) TRU廃棄物処分に係る重要核種の移行挙動評価

本事業でとりまとめた成果は学会および学術雑誌において公表しているため、放射性廃棄物の安全評価において活用されることが期待される。また、炭素の土壌-植物系での挙動は、農学や地球環境の分野においても関心があることから、今後他の学術分野で活用されることが期待される。また、炭素の水稻移行モデルでは、トリチウムの環境挙動およびそのモデル化に実績のある研究室（京都大学原子炉）と連携し、大気からの移行パスの扱いや化学形態変化に関するモデル化などを行った。このような連携は、本事業の研究を発展させるだけでなく、大学の研究室において構築したモデルが使用されることも期待できる。

3) ラドン挙動評価

土壌から散逸するラドンは、屋内ラドンを高濃度化する要因の一つである。本調査で得られた日本各地のラドン散逸率は、屋内ラドンが高濃度化する地域（家屋）との関係を調べる上でも有用である。また、開発したラドン散逸率推定モデルは、ウラン廃棄物の安全評価だけでなく、公衆のラドン被ばく評価にも役立つ。本調査で得られたラドンの実効拡散係数およびその推定式は、二酸化炭素など他の気体の土壌中での挙動評価にも応用可能であると考えられる。

4) 生物圏移行パラメータ推定法開発およびデータベースの高度化・拡充

本事業において得られた生物圏環境移行パラメータ・データベースは、実際のフィールドにおける安定元素を測定して得られたデータベース、すなわち、安定元素をアナログとしたデータベースである。長半減期核種を含む廃棄物であれば、高レベル廃棄物、TRU 廃棄物、ウラン廃棄物の生物圏における安全評価だけでなく、低レベル廃棄物、研究所廃棄物など、他の廃棄物の安全評価に使用できるものである。また、福島原子力発電所から放出された放射性核種に汚染された廃棄物の処分の安全評価においても役立つ。さらに、放射性廃棄物だけではなく、重金属の処理・処分に係わる安全評価にも使用可能である。また、我が国で得られたパラメータは、東南アジア諸国に対しても十分適用できるものである。

これまでに分析できなかった元素の分析法も開発しており、これらの環境試料中の微量安定元素（U, Th や Pu など放射性核種も含む）の分析技術は、環境科学、農学、保健物理、放射生態学、地球科学など、多くの分野で応用できるものである。

3-5-C. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

3-5-1-C 研究開発計画

放射性廃棄物共通技術調査については、放射性廃棄物処分の事業化等の政策的動向を踏まえつつ実施してきた。これらのテーマについては、計画的に技術開発課題やスケジュールを設定して事業を実施している。特に、地層処分に関する研究分野については、先に述べた調整会議での議論に基づき、計画の設定や見直しを適宜行っている。

(1) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

平成19年度以降の6ヶ年を対象とした本調査の研究開発計画を表3-85に示す。

基礎的研究テーマの整理では、国内については調整会議における定期的な研究開発計画の策定や適宜の改訂といった活動とも連携しつつ、継続的な国内研究開発動向に関する情報収集・整理を行い、体系的な把握を行う。また、国外については、海外主要国の性能評価・安全評価報告書等を中心に、適宜、公開される最新技術情報等を継続的に調査し、これらの技術情報の把握・取りまとめを行う計画としている。

重要基礎技術研究調査では、上記の国内外の動向も踏まえつつ、適時のタイミングで新規研究テーマ及び研究実施者の選定を行い、着実な研究の実施を行うこととしている（個別研究テーマの研究実施期間は原則3ヶ年としている）。ここで扱う研究テーマに関する技術的視点での長期的な計画は定めていないが、新規研究テーマの選定時に、上記の国内外の動向、特に、適宜、策定・改訂が行われる調整会議における研究開発計画と整合させることで、最新のわが国の地層処分に係る研究開発計画に沿ったものとしている。

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では、平成18年度まで実施した、地層処分技術調査等性能評価技術高度化「多重バリア長期安定性調査」で得られたナチュラルアナログ調査・研究の重点テーマについて検討を進め、文献調査及び予察調査の結果、高アルカリ地下水とベントナイト層が近接し過去に接触していることが確認されたフィリピン国ルソン島北西部のフィールドがセメント系材料の影響によるベントナイト系緩衝材の長期健全性のNAにおいて稀有なサイトであり、有用な成果が見込まれることから、平成22年度よりこのNA調査・研究にテーマを絞り込んで検討を進めた。NA調査では、地質・地下水調査等による環境条件、岩石鉱物学的調査、年代測定によりアルカリ環境下のベントナイトの長期現象における変質プロセスの理解とその時間スケールを評価した。そして、Fossil TypeのNAサイトで得られた結果に基づき、ベントナイトの長期健全性を評価した。また、さらに多くの情報が期待できる現在も高アルカリ地下水と接触しているベントナイト（Active Typeのサイト）の確認のための予察調査を実施した。

表3-85. 研究開発計画（放射性廃棄物重要基礎技術研究調査）

	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
1) 基礎的研究テーマの整理	国内基礎技術情報の収集及び整理					
	海外最新技術情報の収集及び整理					
2) 重要基礎技術研究調査	新規研究テーマの選定及び実施、継続研究テーマの実施					
	★新規テーマ決定 ★レビュー	★レビュー	★レビュー	★新規テーマ決定 ★レビュー	★レビュー	★レビュー
	研究成果の情報発信					
3) 多重バリアの長期安定性に関する基礎情報の収集及び整備	高アルカリ地下水の影響によるベントナイトの長期健全性に関する調査・研究					
	文献調査	予察調査	Fossil Typeのサイト	ナチュラアナログ詳細調査	※2019年の成果のとりまとめ 閉鎖性長期経過後のベントナイトの長期健全性評価	
	地質調査	地質調査 地下水調査 トロンチン調査 簡易試験調査	岩石鉱物学的調査 地質・断層系調査 地下水調査 トロンチン調査	年代測定 鉱物学的・地球化学的調査 地下水調査 地質・断層系調査	基本物性試験 年代測定 鉱物学的・地球化学的調査 地下水調査	モデル解析 年代測定 鉱物学的・地球化学的調査 ベントナイトのアルカリ消費プロセスの評価
	地質環境の長期安定性に関する調査・研究	Active Typeのサイト				
	ナチュラアナログ情報データベースの整備					

(2) 放射性核種生物圏移行評価高度化調査

設定された目標を達成するために適切かつ妥当な計画であったと考えられる。すべての課題において各年度確実に目標が達成されており、最終的にも設定された目標をすべて達成できた。事業の目標を確実に達成するために、外部の有識者から構成される放医研の評価委員会に進捗状況などを報告し、チェックを受け、逐次修正や改良を行い、目標を達成することができた。個別要素技術の研究開発計画を表3-86に示す。

表 3-86. 研究開発計画（放射性核種生物圏移行評価高度化調査）

実施項目／年度	19	20	21	22	23	24
沿岸における核種挙動評価						
① 分析法の検討		海水中の微量元素の分析法の検討				
② 海洋環境の調査		河口—沿岸域における海洋環境の調査			沿岸域調査	
③ 核種移行パラメータの算出とデータベース構築		核種移行パラメータの算出とデータベースの構築				
TRU 核種環境挙動						
① 化学形態	分析法	酢酸の化学形態変化	酢酸以外の化学形態変化			
② 固液気相分配率および移行係数	実験系	酢酸の分配率・移行係数	酢酸以外の分配率・移行			
③ モデル	概念設計	モデルの精緻化				モデル完成
④ ヨウ素分配係数	実験系	I ⁻ の分配係数	IO ₃ ⁻ の分配係数			
ラドン挙動評価						
① 室内実験	実験系の構築		実効拡散係数の評価及び関数化			
② フィールド調査	ラドン散逸率の測定、及び Ra 濃度、間隙率などの測定					
③ 散逸率推定モデル構築と散逸率のマッピング		散逸率推定手法の開発およびマッピング				
生物圏移行パラメータ推定法開発およびデータベースの高度化・拡充		農耕地 Kd および土壌—農作物 TF の推定				沿岸パラメータ推定
① 環境移行パラメータ推定法の開発						
② 環境移行パラメータ・データベースの拡充	データの追加（Kd, TF および沿岸データ等）				環境挙動データ	
③ 東京電力福島第						

一原子力発電所事故のデータの収集						
------------------	--	--	--	--	--	--

3-5-2-C 研究開発実施者の実施体制・運営

(1) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

当該研究調査の個別テーマの実施にあたっては、調査事業の受託者である公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターは、廃棄物処分研究分野もしくは必要とされる関連研究分野に長年従事し、豊富な実績を有しているプロジェクト員（職員）を配置するとともに、必要となる個別課題への専門性を有する大学（主に、重要基礎技術研究調査における基盤的研究テーマの実施）や企業（メーカー、コンサルタント会社等）等を活用する形で業務を進めている。同時に、調査事業の実施にあたっては、それぞれに事業毎に関連分野の高度な専門知識を有する大学等有識者や処分実施主体等の研究開発成果のユーザー等から構成される検討委員会の設置、国内外の関係研究機関との共同研究や情報交換等の仕組みを活用して実施している。

なお、上記の検討委員会においては、テーマ毎に学識経験者及び関連分野の高度な専門知識を有する専門家等による審議に基づき、プロジェクトの内容と進め方の適切性について評価を行っている。図3-141に本研究調査事業の実施体制を示す。

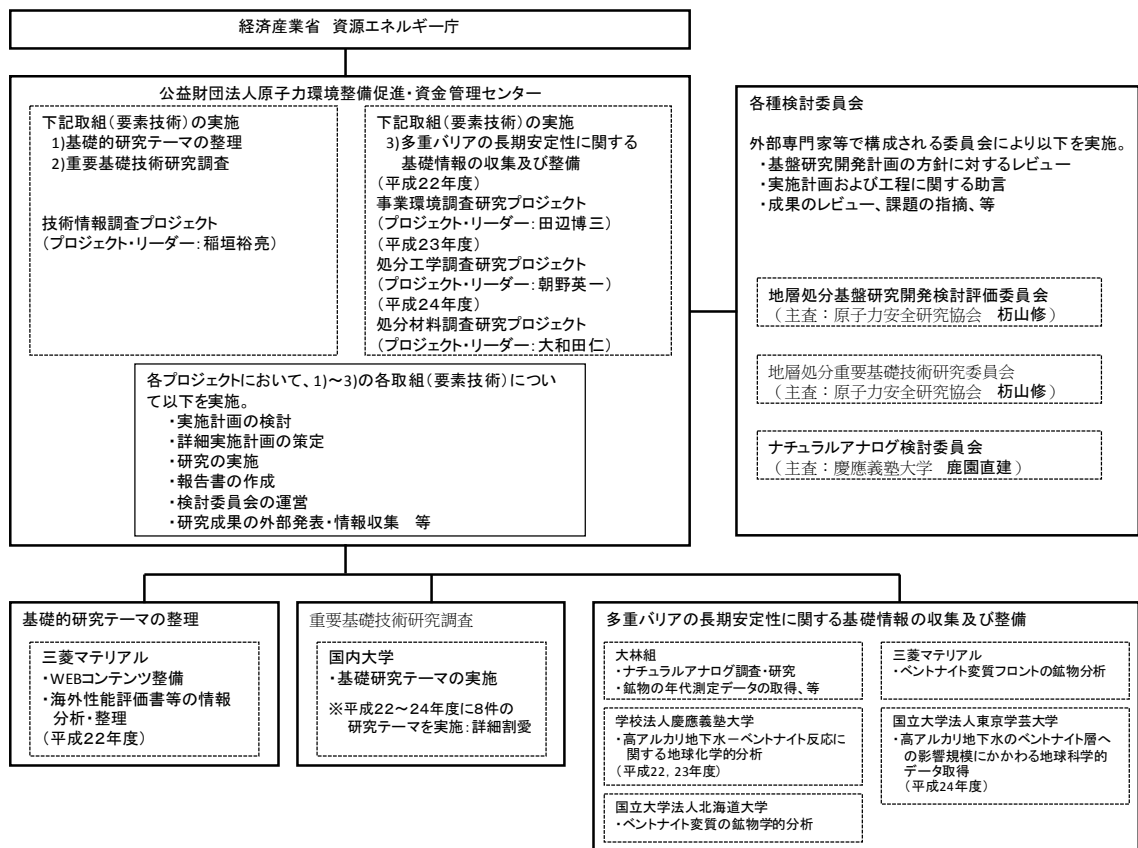


図 3 - 1 4 1. 研究開発実施体制（放射性廃棄物重要基礎技術研究調査）

（２）放射性核種生物圏移行評価高度化調査

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、独立行政法人放射線医学総合研究所（放医研）が経済産業省からの委託を受けて実施した。また、再委託先として、環境総合テクノス（株）、VIC（ヴィジブル・インフォメーション・センター）（株）、有限会社ワイファーストが参加した。また、プロジェクトの実施にあたり、必要に応じて一部業務を専門業者（東京ニュークリアサービス（株））に外注した。再委託先の決定や外注業者の決定に関しては、すべて技術審査や過去の実績、効率性および経済性の観点を含め競争入札を導入して決定した。

また、研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー（放医研 特別上席研究員 内田滋夫）を設置するとともに、本事業の推進と事業体制の適切な評価のため、有識者からなる評価委員会を設置した。これら委員会において幅広い見識と高度な専門知識に基づく審議を行い、プロジェクトの推進と実施事業の適正な評価を行った。

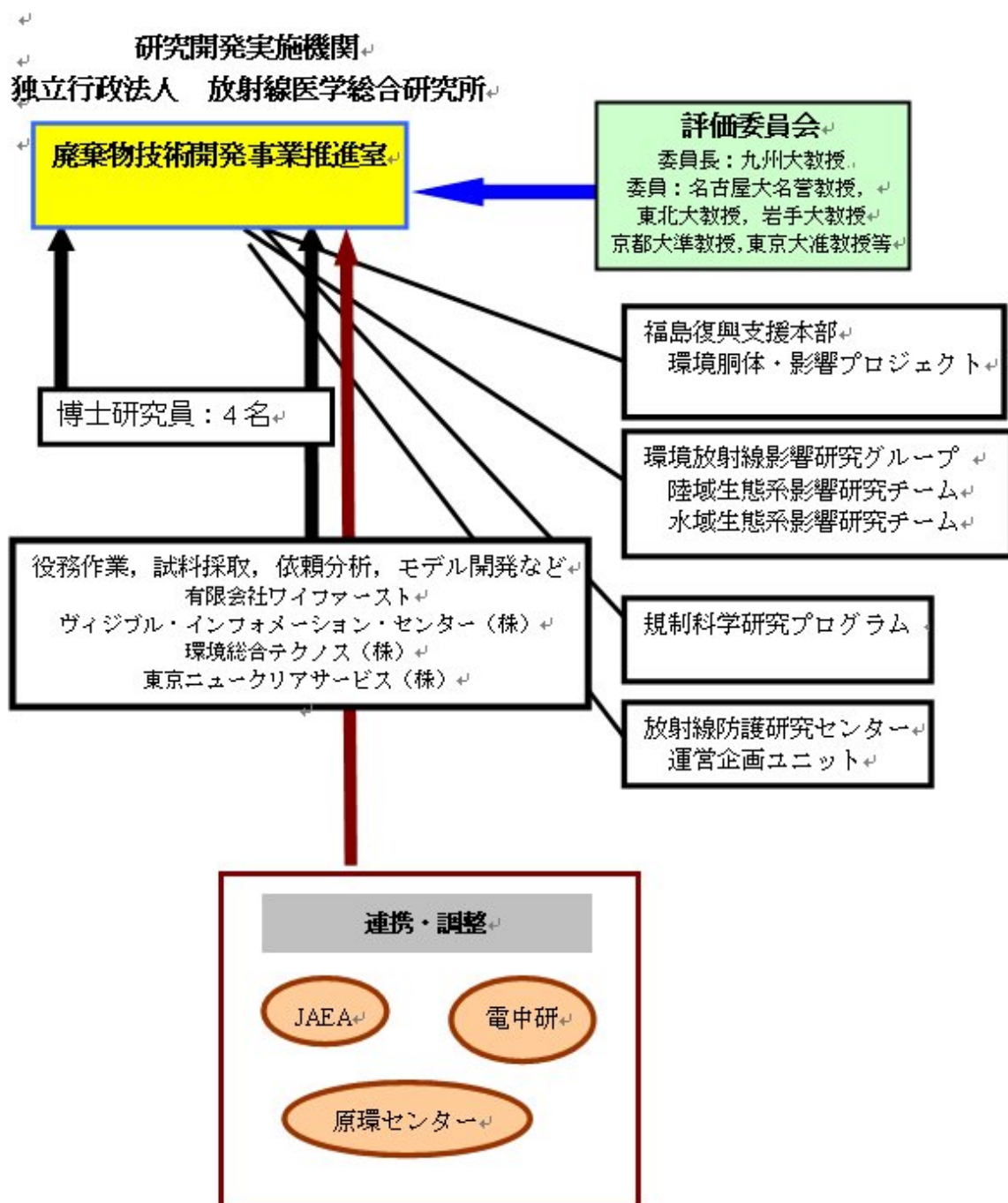


図 3－1 4 2．研究開発実施体制（放射性核種生物圏移行評価高度化調査）

3－5－3－C 資金配分

本事業に係る概算事業費（年度予算）は表 3－8 7 に示す通りである。

資金配分については、事業全般の成果と照らして妥当とする見方もできるが、費用対効果の評価や成果の事業化への寄与等が未確定であり、定量的な評価が困難な面もある。これら

の点を考慮すれば、関連する情報提供及び説明において改善の余地はあると考えられる。

表 3－87. 資金年度配分（単位：百万円）

年度	22	23	24
C. 放射性廃棄物共通技術調査等委託費	437	449	414
放射性廃棄物重要基礎技術研究調査	125	124	116
放射性核種生物圏移行評価高度化調査	134	147	123

※「放射性廃棄物共通技術調査等委託費」には、上記 2 件の研究開発事業の他に、調査事業である「放射性廃棄物海外総合情報調査」が含まれるが、技術評価の対象外のため、明記していない。

3－5－4－C 費用対効果

本事業は、原子力発電を基幹電源として継続的に活用していく上で不可避の課題である高レベル放射性廃棄物や TRU 廃棄物の地層処分に関し、中長期的な視点で国としての基盤的研究開発を展開することによって、技術的信頼性や安全性を一層高め、国民の理解を得つつ技術基盤を確立していくことを目的とする。このような事業の性格から現時点で長期的な事業化までを含めた費用対効果の定量的な評価は難しいものの、以下の 2 つの観点で定性的には効果が見込まれるものである。

- 個々のテーマのこれまでの成果については、処分事業や国の政策及び安全規制等の検討に既に反映されているもの、今後の概要調査段階等で活用が見込まれる成果が得られている。
- 技術的信頼性や安全性の一層の向上を目指した本事業の成果は、多重バリアや処分場のより合理的な設計に資するなど、継続的な側面での効果を有することが考えられるほか、高レベル放射性廃棄物と TRU 廃棄物の併置処分の実現を高める観点での技術開発成果は、併置処分による経済的な効果に資することとなる。

（１）放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

基礎的研究テーマの整理では、特に国内における研究開発動向に関する情報を収集・整理・体系的な把握については、調整会議（関連する研究開発機関等による無償ベースでの協力・連携の場）を活用することにより、特別な調整経費を要することなく、効果的な活動を展開している。また、重要基礎技術研究調査では、人件費の計上を要しない大学等所属研究者等を活用して基礎研究テーマの実施を行うことで研究費への重点的な予算配分を実現している。更に、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で実施した高アルカリ地下水の影響によるベントナイトの長期健全性に関する NA 調査・研究では、フィリピンでの現地調査においてフィリピン大学の、試料分析において当テーマに関心のある国内の大学の協力を得ながら進めることで、費用効果の高い研究が実施できた。

（２）放射性核種生物圏移行評価高度化調査

１）沿岸における核種挙動移行評価

河口—沿岸域の調査は毎年 4 地域、うち 1 地域は年間 3 回の定期調査を実施し、太平洋、日本海や東シナ海に面した地域での海底堆積物や海産生物の採取を行い、これらの元素分析

および化学成分のデータを取得した。得られたデータベースは我が国における沿岸域での初めての移行パラメータデータであり、貴重なデータである。さらに、IAEAのデータベースにも登録を行うことができ、ICRPの出版物にも引用されており、費用対効果は妥当と考えられる。

2) TRU廃棄物処分に係る重要核種 (C-14, I-129) の移行挙動評価

TRU 廃棄物処分に係わる重要核種 (C-14, I-129) 挙動評価は、TRU 廃棄物中に含まれる放射性炭素 (C-14) や放射性ヨウ素 (I-129) の生物圏における挙動に関する知見の収集を目的とし実施した。

C-14 標識低分子有機化合物の土壌中における化学形態変化、固相・液相・気相に分配される C-14 の割合、水稻穂部および籾部への移行係数、さらに、これらのデータを利用した C-14 水稻移行モデル構築を行った。また、日本全国各地の農耕地土壌におけるヨウ素の化学形態別 (環境水中で主要な化学形である I^- および IO_3^-) の分配係数を得ることができた。これらの成果は TRU 廃棄物処分の安全評価に対して役立つものであり、費用対効果は妥当と考えられる。

3) ラドン挙動評価

本調査で得られた土壌中ラドンの挙動に関するパラメータおよび推定モデルは、ウラン廃棄物処分の安全評価に必要となるパラメータであり、我が国の環境に対応したデータとして有効活用できる貴重なものである。特にラドン実効拡散係数のデータは、国内では (独) 放射線医学総合研究所しか所有していない国際レベルの精度を持つラドン標準場を用いて取得されたものであり、他の方法では得られないものである。以上のことから、費用対効果は妥当と考えられる。

4) 生物圏移行パラメータ推定法開発およびデータベースの高度化・拡充

本研究開発は費用を効果的に用いて行われており、得られた成果は積極的に論文発表や学会発表されている。構築されたデータベースは、国際的な機関 (IAEA や ICRP 等) が採用しており、多くの国や研究機関が用いることが期待されている。

本調査により、多くの重要核種関連元素の情報を得る事により、人への被ばく線量評価を行う際に用いられる環境移行パラメータに現実的な値を採用することができるようになった。また、提案した推定法については、得ることが困難なパラメータや実測していない地点におけるパラメータの推定が可能となり、日本の全ての地点でのデータ採取をしなくてすむようになり、コストを軽減することができるようになる。開発された環境移行パラメータ推定モデルについては海外でも利用価値があると期待される。

3-5-5-C 変化への対応

(1) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

基礎的研究テーマの整理に関する、国内における研究開発動向に関する情報収集・整理などにおいては、処分事業や安全規制の段階的展開、(独) 日本原子力研究開発機構 (JAEA) 等の関連研究開発の計画等を念頭に、10～20年程度の中長期的な視点と同時に、当面5年程度の具体的な目標設定の視点をもって技術開発を展開している。そのような中

で、当面5年程度の具体的展開についても、今後の処分事業動向などを考慮して、計画期間中に研究開発計画の中間評価を行い、必要に応じ計画の見直しを行うといった柔軟な対応が可能となるように配慮している。

（２）放射性核種生物圏移行評価高度化調査

変化への対応は十分に可能であった。年度ごとに研究計画を立案し、年度末には成果の報告を行っている。さらに、年に2度、有識者からなる評価委員会を開催し、事業の進捗状況および成果の評価を受けている。また、本調査の実施に当たっては、廃棄物関連の国際会議や国内の日本原子力学会などに参加することにより情報収集を行うとともに、JAEA等との情報交換会を開催するなどして情勢の把握を行った。

平成23年3月に発生した東北地方太平洋沖地震およびその後に発生した津波により、東京電力福島第一原子力発電所事故が生じた。平成23年度は電力も十分ではない状況が続き、また研究所全体が福島原発対応が中心となり本事業に多くの労力を避けられない状況が生じた。しかし、所内で電力を調整しながら早朝や週末に実験や分析を行うようにし、さらに所内で環境試料を採取するなど、柔軟に対応して本調査を遂行した。特に沿岸域の調査は、平成23年度は実施することが困難であったため、現地調査は次年度に繰り越し、平成23年度は分析法の開発やこれまでに開発した分析法によりデータの収集を中心に実施した。