

研究計画（案）

研究計画（案）

1. プロジェクト	20. 廃棄物埋設における長期性能評価に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 核燃料廃棄物研究部門
		担当責任者	山田 憲和 首席技術研究調査官
2. カテゴリー・研究分野	【核燃料サイクル・廃棄物】 K) 放射性廃棄物埋設施設	主担当者	廣田 明成 技術研究調査官 入江 正明 技術研究調査官
3. 背景	<p>(廃棄物埋設に係る規制基準の整備状況)</p> <p>中深度処分について 2015 年から規制要求の考え方の検討を進め 2016 年 8 月に「炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について」〔1〕としてとりまとめ、2017 年 4 月に成立した改正原子炉等規制法では廃棄物埋設地の掘削等の行為の制限、坑道の閉鎖に対する規制を導入した。その後、中深度処分の規制要求に係る技術的内容を検討するとともに、長期の放射線防護の実効性をより高めていくための ALARA の考え方に関して原子力規制委員会において議論をすすめ、2018 年に規制要求の骨子案〔2〕、2020 年に中深度処分に係る規制基準等における要求事項の概要について取りまとめ、引き続き技術的な検討を進めている〔3〕。今後、規制基準及び関連する審査ガイドの整備に加えて、より具体的な中深度処分システムを想定して規制基準への適合性が審査において判断できるように知見の蓄積が必要となる。</p> <p>中深度処分の規制基準に関する検討を反映して、ピット処分及びトレンチ処分に関連する第二種廃棄物埋設事業規則及び第二種廃棄物埋設許可基準規則とその解釈が 2019 年に改正された。その中で、廃棄体及び埋設施設に関する技術基準の性能規定化が行われると共に、トレンチ処分について雨水及び地下水の浸入を十分抑制する覆土が要求されることとなった。この規則に基づき、現在、日本原電株式会社のトレンチ処分及び日本原燃株式会社のピット処分について、事業許可の審査が行われている。</p> <p>地層処分については、2017 年に地層処分を行う場所を選ぶ際に考慮する科学的特性とその日本全国の分布を示した科学的特性マップが公開され、NUMO による立地へ向けた取組が進められている。原子力規制委員会は、2015 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基本方針において、最終処分に関する安全確保のための規制に関する事項について順次整備、運用すること、及び概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項を順次示すことが適当とされている。</p> <p>加工施設等から発生する専らウランによって汚染された廃棄物については、天然起源核種であると同時に原子力利用の行為から発生した廃棄物である特性を考慮した規制の考え方について、原子力規制委員会において検討が行われている。</p> <p>RI 使用施設から発生した廃棄物については、2017 年の原子炉等規制法及び放射性同位元素等規制法の改正によって、原子炉等規制法の廃棄事業者へ廃棄を委託できるように処分規制の合理化が行われた。RI 使用施設及び核燃料物質使用施設から発生した廃棄物を含む研究施設等廃棄物は、JAEA を事業主体として埋設事業の検討が進められている。</p> <p>(規制基準の整備に対応した安全研究フェーズの段階の考え方)</p> <p>中深度処分の要件を示した許可基準規則の制定が 2020 年度中を目途に進められているため、今後行われる事業許可の審査を見据えて、規則への適合性が具体的に判断できるようにするための知見の取得と整理を行うことが必要である。廃棄物埋設は、個々の施設が設置される地質・水理環境条件及び廃棄物特性に応じて必要な機能とその性能を持つ処分システムを設計したものとなる。審査においては、具体的な条件と設計に応じてそれが規則に沿った適切なものであることについて、地質・水理環境条件、ALARA の考え方、多重性、機能維持等を組み込んだ処分システムの構成、個々の処分システム構成要素の性能とその技術的実現性を確認し、その妥当性を判断する必要がある。また、建設・操業の段階において、処分システムが設計どおりに施工され性能を発揮するものであることを確認するための方法等を整備することも必要である。これらに用いる知見のうち共通するものは、今後の浅地中処分の審査にも反映する。</p> <p>地層処分においては、10 万年を超える長期間にわたって HLW を起因とする放射線による影響から公衆と生活環境を防護する必要があり、具体的な要求深度や評価期間については中深度処分とは異なると考えられるため、さらなる技術的な検討が必要と考える。しかしながら、長半減期核種の濃度制限等、該当しない考え方はあるものの、例えば長期間にわたって公衆と生活環境を防護するための根幹的な対策として、事業者に離隔と閉じ込めといった設計上の対策を要求する考え方などは、中深度処分の考え方と共通するものと考えられる。〔1〕</p> <p>(中深度処分の特徴)</p> <p>中深度処分は、数万年を超える長期間にわたって炉内等廃棄物等を起因とする放射線による影響から公衆と、公衆を防護する上で必要な環境を防護するための根幹的な対策として、廃棄物と公衆の離隔に有効と考えられる深度へ廃棄物を埋設し、自然現象に起因する事象及び人間活動に起因する事象による廃棄物への擾乱等を防ぐとともに、その周辺の岩盤又は地盤等有する物理的及び化学的な特性や、天然バリアへの放射性核種の漏出の防止及び低減の機能を有する人工構築物を活用することにより、埋設された廃棄物からの放射性核種の漏出や生活圏への移行を抑制するものである〔1〕。このため、火山・火成活動、断層活動等の廃棄物埋設地を著しく擾乱して処分システムの機能を損なうような自然現象が起こらない場所であることの確認に加えて、放射性物質の移行を抑制する性能を安定して発揮する天然バリア及び人工バリアの状態を把握することが必要となる〔2〕。中深度処分の概念を図 1 に示す。天然バリアについては、地下水流速が遅く還元的な水質等の状態が安定して存在する場所で、その特性を損なう局所的な短絡経路となる高透水性構造が存在せず、海水準の変動に伴う地下水流動場の著しい変化等の環境条件を擾乱する事象の影響を受けない等の特性を持つことが望ましい。このため、中深度処分が行われる地下 70m 以深における岩盤の状態や関連する自然事象の程度を考慮しつつ、このような水理、地質、化学条件を把握する技術、それらの条件の長期的な変動に影響する現象を理解することが重要である。人工バリアについては、これが持つ放射性核種の閉じ込め及び移行を抑制する機能が、処分システムを構成する要素を腐食、変質させる等の緩慢な自然事象等によっても安定であることを示す必要がある。このような中深度処分に関連する安全研究の分野は、図 2 に示すような空間的及び技術分野の広がりを持つ。</p>		

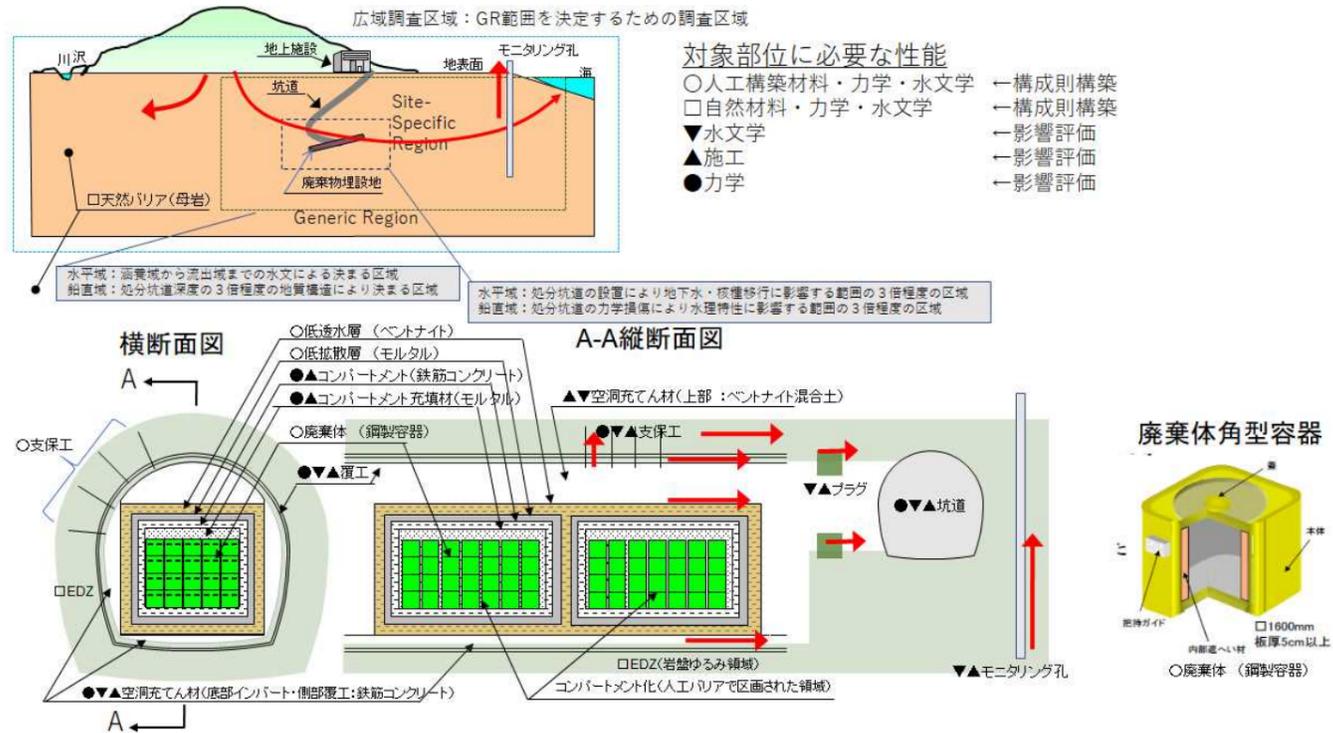


図1 中深度処分概念と安全研究項目 (電気事業連合会資料〔2〕の図に研究項目等を追記)

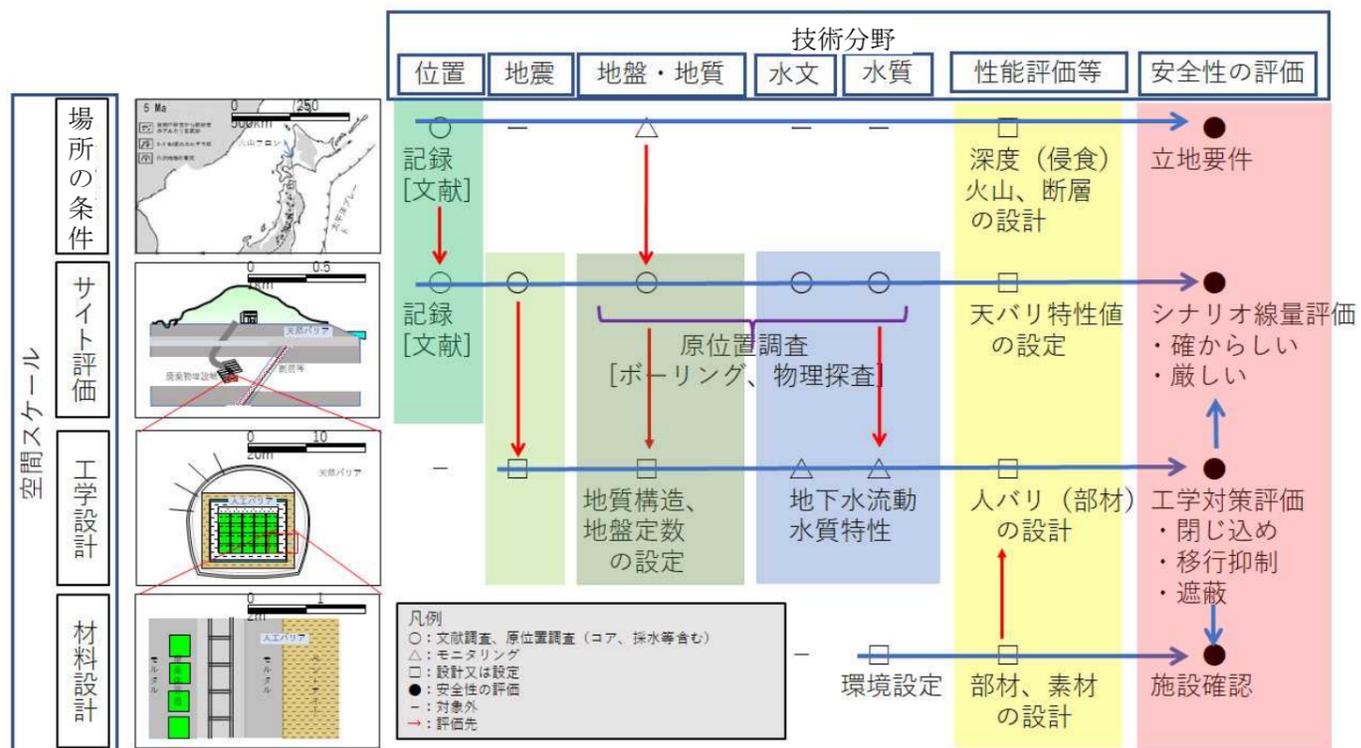


図2 中深度処分の空間スケールと対応する技術分野

(研究課題)

上記の技術分野から、中深度処分等の場所と設計の適切性を判断するに当たって重要な点について、研究課題とした。研究課題は、以下の4つの分野に分類して示す

- (1) 自然事象の長期評価に関する課題
- (2) 廃棄物埋設における性能評価及び線量評価手法に関する課題
- (3) 地質環境及び水理環境モニタリングに関する課題
- (4) 浅地中処分等に関する課題

4. 目的

中深度処分の審査ガイド等の整備及び適合性審査、後続規制の確認(以下「審査等」という。)の際の判断に必要な知見の収集・整備等における人工バリアの長期性能評価手法及び天然バリアとなる地質環境の長期安定性評価手法の整備に係る科学的・技術的知見の取得を行う。

5. 知見の活用先

本プロジェクトで得られた成果は、第二種廃棄物埋設における中深度処分の地質地盤等調査ガイド、設計プロセス・線量評価ガイド等に反映する。具体的には、以下のとおり。なお、前フェーズでは、このうち①の規制基準類への反映が中心であったが、今フェーズでは②が中心となる。

- ① 下記に示す対象規則等の整備における規制要求等の検討に関する科学的・技術的知見の収集・整備
 - ・中深度処分の廃棄物埋設地の設計プロセス及び公衆被ばく線量評価審査ガイド(以下「設計プロセスガイド」という。)
 - ・中深度処分における廃棄物埋設地の位置に係る審査ガイド(以下「位置に係るガイド」という。)
 - ・廃棄物埋設に関する原子力規制委員会の確認等に係る運用ガイド(廃棄物埋設確認)(以下「確認ガイド」という。)
- ② 審査等の規制活動において、審査等の際の判断に必要な根拠となる科学的・技術的知見の収集・整備

	<p>・中深度処分及び浅地中処分の審査における基準適合性の判断</p> <p>③審査等の規制活動において、審査等の際の判断に必要な核種移行解析等のコード作成のための科学的・技術的知見の収集・整備</p> <p>・中深度処分及び浅地中処分の審査における核種移行解析等のコード作成のためのモデルの妥当性又は根拠</p> <p>④処分分野の技術基盤の構築及び人材維持・育成のための科学的・技術的知見の収集・整備</p> <p>本プロジェクトにおいては、現在進められている中深度処分の事業規則及び許可基準規則並びに審査ガイド等の整備を受けて、今後行われる審査等の際の判断に必要な知見の収集等を行う。具体的には、中深度処分の環境条件及び設計を想定して、地質環境、水理環境等の評価手法に関する科学的・技術的知見を整理する。また、地質環境及び水理環境のモニタリング及び閉鎖措置又は廃止措置における性能等の確認及び地下水等モニタリングについて具体的判断指標等について検討を行う。これらの科学的・技術的知見の抽出のために以下に示す項目について安全研究を行い、規制基準等へ反映すべき又は適用すべき判断指標等の整備を行う。</p> <p>本プロジェクトは、「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」（令和元年5月29日原子力規制委員会決定）における安全研究の目的のうち以下の分類に基づき実施する。</p> <p>① 規制基準等の整備に活用するための知見の収集・整備（以下「分類①」という。）</p> <p>② 審査等の際の判断に必要な新たな知見の収集・整備（以下「分類②」という。）</p> <p>③ 規制活動に必要な手段の整備（以下「分類③」という。）</p> <p>④ 技術基盤の構築・維持（以下「分類④」という。）</p> <p>なお、研究項目は、中深度処分に関連する技術分野の中で規制要件の観点から重要な課題のうち、原子力規制庁等において既に研究が実施されて規制の判断基準としてまとめる段階のもの、他機関で研究が進められているもの[*]、今後具体的な地質環境条件及び設計に応じて研究の要否を検討するもの^{**}を除いて設定した。</p> <p>[*] 廃棄物中の濃度が高く比較的低吸着性かつ半減期が長い C-14 の挙動（インベントリ、廃棄物からの浸出挙動、人工バリア及び天然バリア中の化学形態、移行挙動等）等</p> <p>^{**} 火山フロントの背弧側における長期的な火口の形成、金属容器の腐食挙動等</p> <p>（1）自然事象の長期評価に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】</p> <p>中深度処分における自然事象に関する規制基準等では、埋設地を設置する場所の条件として、廃棄物埋設地を損傷する火山活動、断層活動、著しい侵食、天然資源がないことが求められる。また、好ましい条件として、人工バリア等を劣化させる水質等でないこと、地下水が滞留する条件にあって例えば放射性物質が廃棄物埋設地から漏れいしても生活環境に至るまでに長時間を要すること等がある。これらの自然事象に関して数万年にわたる評価が求められていることから、以下に示す項目を抽出し、規制基準等の整備に活用可能な知見の収集等を行い、最終年度に成果の内容を取りまとめる。</p> <p>a. 中深度処分における断層等に関する評価手法の研究【分類①及び分類②】</p> <p>中深度処分における廃棄物埋設地は、断層活動による断層の著しい変動が生ずるおそれのない区域に設置しなければならない。浅地中処分の許可基準規則では、後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない場合は中期更新世以降（約40万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造、応力場等を総合的に検討した上で対象となる断層の評価を行うことが求められており〔4〕、中深度処分施設は、埋設する廃棄物の特性等を考慮して対象とする断層の範囲が検討されている。このような断層には、地下70mを超える深部の廃棄物埋設地が設置される地盤等では、トレンチ等による直接観察による評価ができないものがあることから、地表・空中からの物理探査等及びボーリング孔からの物理検層等によっても評価することになるため、それらの調査手法を調査してきた。</p> <p>これらの情報を用いて、調査方法、調査範囲、調査密度等について整理すると共に、解析対象とする深度における分解能に対して必要な調査密度や調査方法の組み合わせについて解析的に検討を行う。また、活動が否定できない断層に対する理解を深めるために、科学的に想定されるプレート運動等の設定における、地殻造構応力の空間的な広がり、継続性、活動性等及び、断層の力学的水理学的影響範囲について科学的・技術的知見の取得を行う。</p> <p>b. 中深度処分における涵養域から流出域までの地下水流動の評価手法の研究【分類②及び分類③】</p> <p>これまで申請された浅地中処分においては、埋設される廃棄物の濃度、半減期等の特性から、地下水流動については、線量評価の観点からその状態を示すこととされているが、潜在的な影響度が低くなるまでに数万年を要する廃棄物を含む中深度処分においては、遅い地下水流れの場であることが求められる。地下水の流速を直接観測することはできないため、地質構造とこれに対応した透水係数を把握し地形等による圧力ポテンシャルの境界条件を用いて解析的に地下水流動場を得る方法、ボーリング孔等を用いた地下水圧の測定値と解析値を比較することによってこれを検証する方法、水質・地下水年代を測定しその空間的分布から地下水の起源や滞留性を検討する方法等を組み合わせて検討されるものと考えられる。これら個々の測定技術についての研究は行われているが、いずれの測定も測定地点及び深度等の数が限られ不確実性を含むことから、地下水流動場を理解し、処分システムとして不利となる地下水移行経路が存在しないことを証明するために必要な調査範囲、調査項目、測定数、測定方法等を整理する必要がある。</p> <p>このため、試みに、中深度処分の廃棄物埋設地が想定される深度を含む範囲で、断層等を含む地質構造、透水係数、地形等から水理地質モデルを構築し、解析により地下水流動と水質形成についてのモデル化を行う。一方で、これらのモデルの検証のため当該地域の涵養域から湧出域までの間でボーリング調査、水文調査等を行い、地下水水質、地下水年代、地質ごとの透水係数等の分布を把握し、地下水の起源、滞留性等について検討すると共に、異なる起源の地下水の混合を把握するための判断手法についても検討を行い、地下水流動場の評価手法に係る科学的・技術的知見を取得する。ボーリング調査においては、平面的及び縦断的に複数の地下水等の採取及び分析を行うことで、地下水及び地質のデータの空間的ばらつき等の検討、地球化学データから化学環境の評価及び地下水等の試料の妥当な採取法についても調査、検討を行う。</p>
--	--

6. 安全研究概要
（始期：R3年度）
（終期：R6年度）

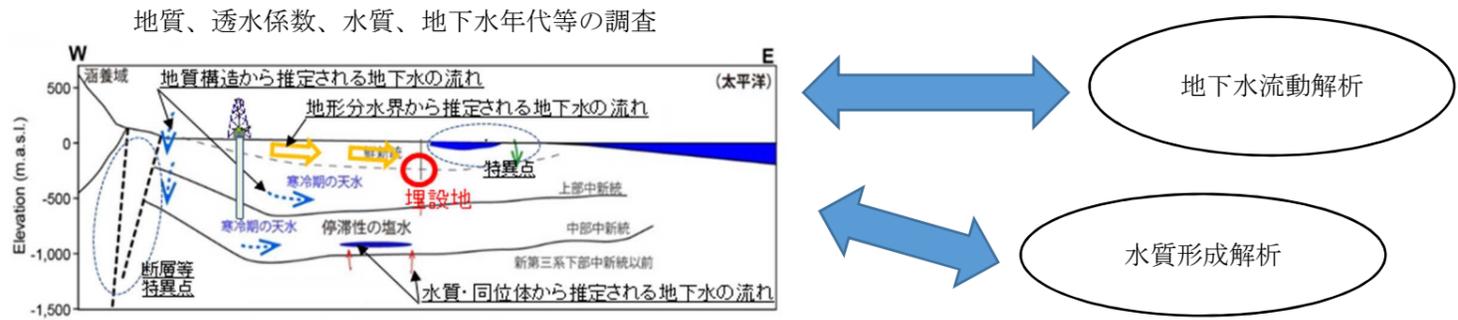


図3 ボーリング調査、地下水流動解析、水質形成解析を組み合わせた地下水評価手法

c. 中深度処分における岩盤の力学状態と水理特性等に関する研究【分類②及び分類④】

(i) 処分坑道周辺等の岩盤の力学状態、水理学特性及び物質移動特性に関する研究

放射性廃棄物を埋設する岩盤は、造構運動等の自然事象及び処分場の坑道掘削等の人為事象により様々な作用により、損傷又は破壊し、その結果、地下水の流動や放射性核種の移行経路となることが懸念される。これらの現象は埋設地の性能を損なわせるものであるため、その性状の把握及びその影響が埋設地の広範囲に及ばないための対策が必要となる。特に、放射性廃棄物を処分するための坑道等の掘削によって岩盤応力が解放された場合、物質移行経路となり得る掘削影響領域が処分坑道の周辺に形成されることが考えられる〔5〕。掘削影響領域には、坑道の構造安定性を力学的に評価する領域と水理特性を評価する領域の2つが存在し、力学的側面は土木工学（岩盤力学）的に検討が進んでいるが、同時に起こり得る水理学的特性の変化については測定例がいくらかあるが現象論的な理解が進んでいない。両者は密接に関連した現象であるため、こうした岩盤を評価するためには、岩盤の力学的状態とそれに伴う岩盤損傷等による水理学的特性の関係性を適切に把握することが必要である。

そこで、岩盤の力学的状態とそれに伴う岩盤の状態を原位置試験又は室内試験により把握するとともに水理学的特性を実験的に取得して、放射性核種の移行挙動が適切に評価されていることの妥当性を確認するために必要な科学的・技術的知見を取得する。室内試験では、岩盤損傷を模擬した人工供試体及び原位置採取のコア等を用いて力学状態に対する水理特性の機構を明らかにする。原位置試験では、健全部の岩盤に予めモニタリング装置等を敷設して、坑道掘削による影響さらに埋戻したときの現象等について一連の坑道で試験を行う。

また、放射性物質を移行させる地下水は、浅地中の堆積岩中においては、それらの媒体中に比較的均質に分布する空隙（多孔質）中を平均的に流れると理解されているが、花崗岩等の結晶質岩やある程度以下の深度の堆積岩では媒体が緻密になり水を通しにくくなる一方で多数の亀裂が存在し、その限られた亀裂の空隙を比較的速く地下水が流れることが懸念されている。水理試験によって観測できるのは平均的な地下水流速であるため、亀裂内の実流速を知るためには原位置の孔間トレーサ試験やひび割れ部を含むボーリングコアを用いた室内トレーサ試験等が必要である。こうした特性を測定した試験例や亀裂ネットワークによる地下水の流れと物質移行についての解析例はあるが、多孔質の岩盤中に亀裂が含まれていて両方の特性を持つ媒体についての知見は少ない。このため、このような岩盤中の透水及び物質移行の評価において、平均的又は局所的な透水及び物質移動の速度と実際の空隙を通過する速度との関係について整理する。試験では、このような特性を持つ試料を用いたトレーサ試験等を行い、平均的な速度と地下水流速、非収着性のトレーサの移動速度、収着性のトレーサの移動速度との関係を整理する。

想定される原位置試験のイメージ

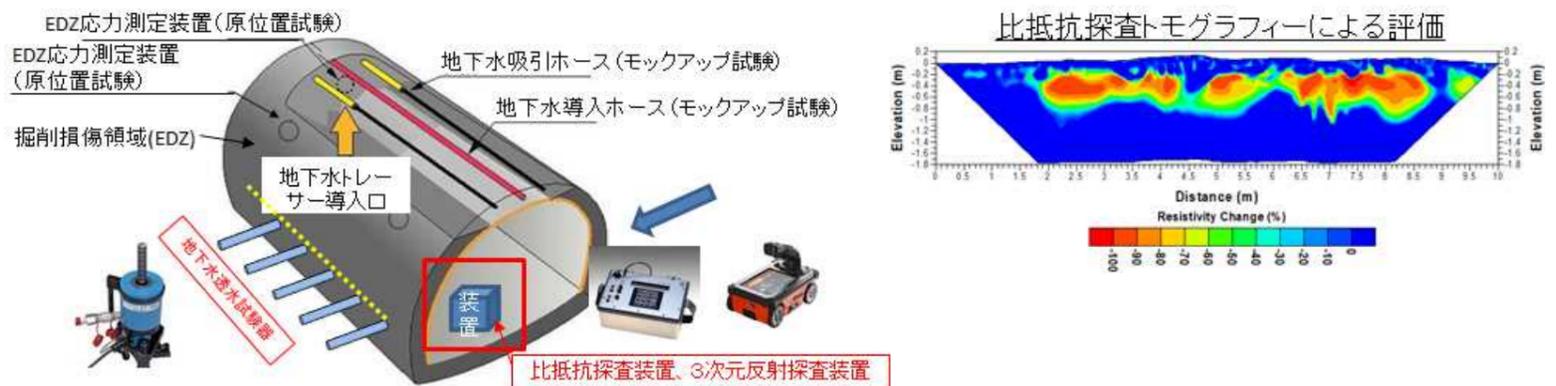


図4 掘削影響領域に関する原位置試験

想定される室内試験のイメージ

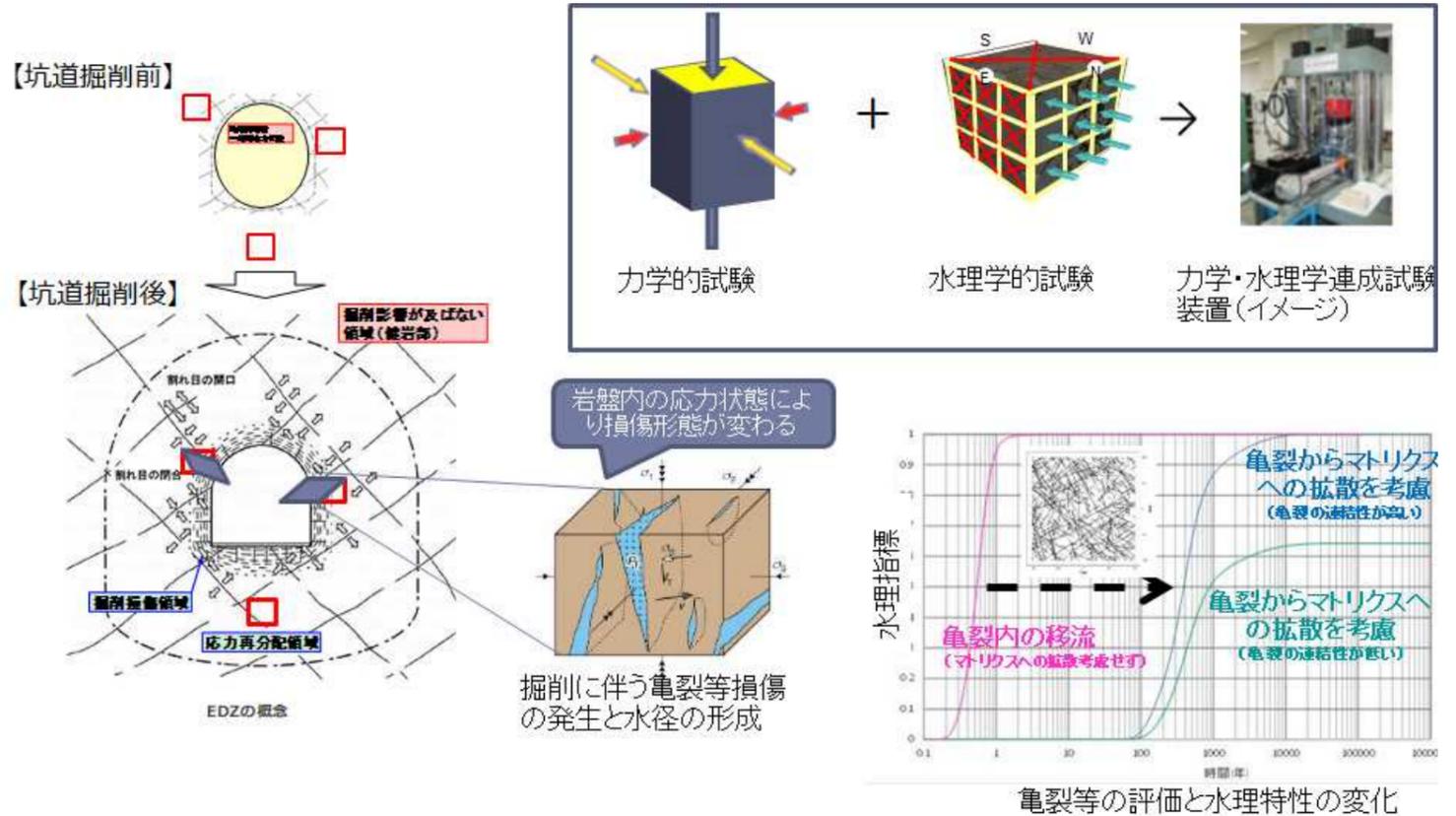


図5 力学/水理学連成試験

(ii) 処分坑道の閉鎖に用いる材料の長期的特性に関する研究

坑道の閉鎖においては、掘削影響領域の存在を考慮した上で、坑道及びその周辺が高透水性の地下水移行経路にならないよう、適切に埋戻しが行われていることの確認が必要である。坑道等の埋戻しに用いられることが想定されているベントナイト系止水材については、初期のみならず長期的な変質とそれに伴う透水性の変化についての知見が必要である。化学反応及び透水特性についてこれまで多くの研究が行われてきたが、極めて緩慢に進行する現象であるため、pH、温度条件を変えたり、希薄な粉体状の試料を用いたりする等の加速試験でデータが得られてきたが、常温で緻密に圧縮された実条件との違いもあり、統一した理解に至っていない。日本原燃(株)ピット処分の審査においては埋設される廃棄物の性状から主に埋設後1,000年間に於いて著しい変質がなく性能が維持される見通しとしたが、中深度処分ではこの期間が1桁以上長くなることから、得られる情報が限られることを前提とした性能維持期間を示すことができるロジックの構築とそれに合わせたデータ取得を考慮して、科学的・技術的知見の整理を行う。



図6 ベントナイト系人工バリアの変質試験に用いる透水試験装置

(2) 廃棄物埋設における性能評価及び線量評価手法に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】

中深度処分における規制基準等を整備するに当たっては、廃棄物埋設地における多重バリアシステムとしての人工バリア及び天然バリアの長期性能を評価するための評価手法の妥当性の確認に必要な科学的・技術的知見を取得する。そこで、以下に示す項目を抽出し、規制基準等の整備に活用可能な知見の整備等を行い、最終年度に成果の内容を取りまとめる。

a. ベントナイト系人工バリアの長期性能評価手法の研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】

埋設施設から漏出する放射性物質のフラックスを低減するために、埋設施設内の地下水流速を極めて小さくする必要があり、そのために低透水性の粘土系材料で埋設施設を覆うことが考えられているが、粘土系材料は長期間には化学的に変質して低透水性が失われることが懸念されている。この課題は、坑道の埋戻しに用いられることが想定されている材料と共通であるので、(1) c. (ii) の項において実施する。

b. セメント系人工バリアの長期性能評価手法の研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】

緻密な空隙構造を持ち低拡散性を示すセメント系材料は、埋設施設から漏出する放射性物質のフラックスを低減する機能が期待されているが、一方で応力状態に応じてひび割れを生じると、その部分が際立って大きい透水係数と拡散係数を示す特性を持つ可能性がある。このため、日本原燃(株)が行ったピット処分の申請においては、セメント系材料を用いた外周仕切設備等によって、埋設の終了までの期間について放射性物質を閉じ込めることとされたが、それより長期については低拡散性を持つ構成材として扱われていない。中深度処分において、現在電気事業者等が示している概念では、埋設終了後の数万年の期間について、性能の維持が求められる。供試体スケールでこの特性は測定されたものがあるが、応力状態と空隙構造の変化及びそれに伴う物質移動特性の変化についての現象論的な理解は進んでいない。

このため、中深度処分の廃棄物埋設地の設計におけるセメント系人工バリアについて、300年を超える長期の漏出抑制性能を評価するために必要な科学的・技術的知見として、セメント硬化体の長期安定性に関係する結晶構造や物質移行特性を支配する細孔構造及び収着について、その機構を明らかにする。さらに、セメント系人工バリアについて、体積変化によるひび割れ等の発生

が物質移行特性への影響について科学的・技術的知見の取得を行う。

c. 中深度処分における岩盤の収着・移行現象に関する研究【分類②及び分類④】

岩盤中の放射性核種の移行を考える際、微小な空隙中での放射性核種の物質輸送とその過程での鉱物への収着は、移行を遅延させる重要な機構である。この機構については、核種の分散系での収着反応評価、金属酸化物の集合体の評価など水分子の移動や空隙内の分布、表面の凹凸、電気二重層の影響等様々な評価がされているが〔6〕〔7〕、実条件でそれら全てを把握することが極めて困難であることから、当該場所の水質と岩及び放射性物質を特定すれば収着特性は固有の比例係数（収着分配係数）で表すことができるとする仮定が広く用いられている。この仮定は実用的であるとされつつも、長期間の環境条件の変化や岩等の変質に伴う環境条件の変化を考慮する必要性が出てくると、より現象に立ち戻った理解が必要であるが、特に、空隙構造とそれが収着現象及び物質移行現象に与える影響についての検討例は少ない。このため、微小空間での収着に寄与する特異的な現象を統一的に考慮することで、岩石中の微小な空隙中での特異的な収着反応のメカニズムを明らかにし、そのような特異的な収着反応が放射性核種の移行に与える影響を検討する。岩石中の放射性核種の拡散及び収着には、岩石の固相及び液相の様々な条件が影響を与えるため、各試験の目的に合わせて空隙中の液相の化学状態、空隙のサイズ等を制御した試料を用いた試験を行う。

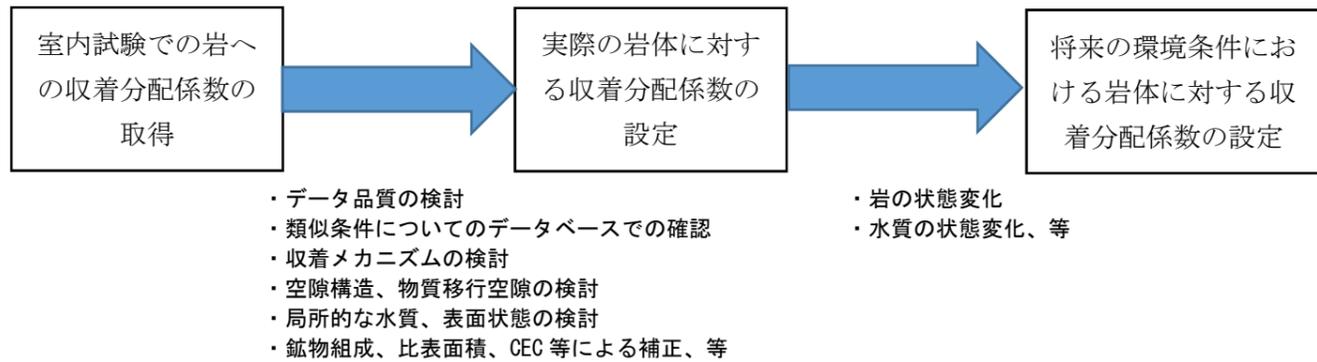


図7 評価に用いる収着分配係数の設定フロー

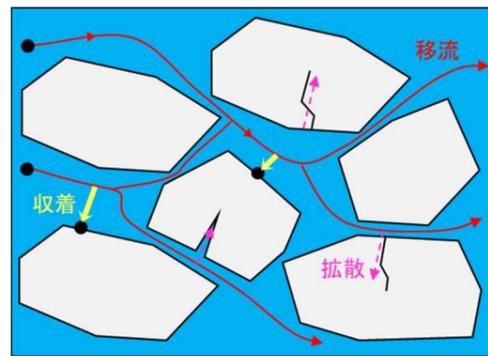


図8 空隙中の放射性核種の移行の概念

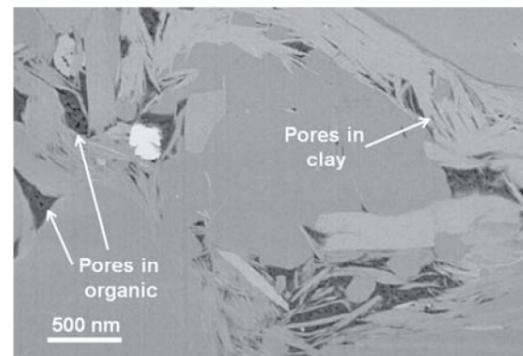


図9 岩石中の空隙の例

d. 生活環境における放射性物質の移行及び決定グループの設定【分類①及び分類②】

廃棄物埋設地から漏出した一部の放射性物質は、地下水、河川、海等へ至り、さらに生活環境中の水、土、大気、生物等を移行する種々の経路を通じて周辺住民に至るため、このような生活環境における放射性物質移行経路を考慮した被ばく線量の評価が要求される。この際、生活環境中の放射性物質の移行経路と関連するパラメータ、種々の生活習慣を持つ周辺住民のグループの設定の適切性について確認する必要がある。生活環境における放射性物質の移行は、生活環境中の種々の媒体中を定常的に移行するものとして、希釈係数、移行率等で表現されることが多いが、福島第一原子力発電所事故によって放出されたCsの環境中の動態の評価などでは、媒体相互間の移行や湖を湖水と湖底堆積物に分けて表現するなど、より現実的な扱いが検討されている。

このため、河川、海等の生活環境へ放出された放射性物質が、生活環境中の水、土、大気、生物等を移行する種々の経路を通じて周辺住民に至る環境中のそれらの動態の評価について、河川、沿岸域、農地等に着目し、国際的な研究プロジェクト、諸外国の規制におけるガイド、福島第一原子力発電所事故で放出された放射性物質の環境動態に関する研究等を参考に、移行経路、評価モデル、適用されるパラメータ等を整理するとともに、それらを組み込んだ解析モデルを構築し、試解析を行い、重要な経路、パラメータ等の検討を行う。また、周辺住民の中で最も影響を受ける可能性のある「決定グループ」の生活習慣の設定について国際機関及び諸外国における設定等を参考にして検討を行う。

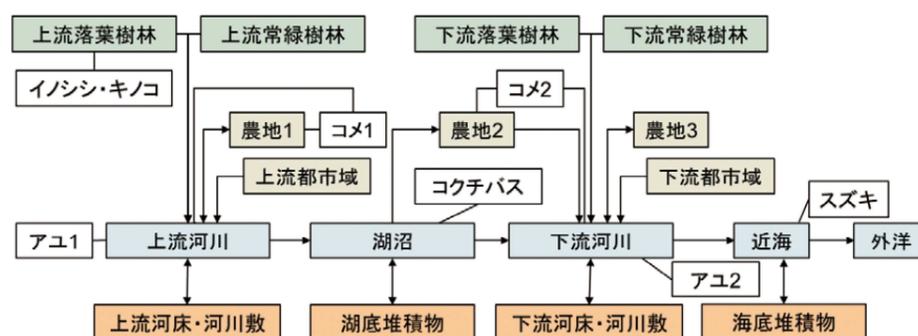


図10 福島第一原子力発電所事故によって放出されたCsの樹林、河川等を通じた移行モデルの例

JAEA-Research 2016-020 「放射性物質の環境動態に伴う被ばく経路を考慮したコンパートメントモデルの構築」(2016)より

(3) 地質環境及び水理環境モニタリングに関する研究（特に閉鎖確認に着目して）【分類①及び分類②】

廃棄物埋設施設においては、事業許可申請前の段階における環境条件を把握するベースラインモニタリング、建設・操業が適切に行われていることを確認する施設確認及び廃棄物確認、埋設の終了から廃止措置の終了に至る間の放射性物質の漏えいの監視、

その間の環境条件の維持と処分システムが設計に対応した性能を発揮しつつあることの確認等がある。これらの各段階における観測項目等について、IAEA等の国際的な動向を踏まえつつ整理を行ってきた。これらのモニタリング等に用いる観測孔は、適切に閉鎖が行われなければ、放射性物質が廃棄物埋設地から生活環境へ至る短絡経路になる可能性があるうえに、本数が多く、口径が小さいために途中で埋戻しが不十分な領域が出やすいことから、その閉鎖の確認が重要である。このため、モニタリング終了後に観測孔等の閉塞・埋戻しが適切に行われていることの確認等に関する科学的・技術的知見を整理するために以下の項目を実施する。この課題は、処分坑道の埋戻しと共通であるために、併せて検討することとする。

・閉鎖が不十分な観測及びその周辺（又は処分坑道周辺）の掘削影響領域の、水理場に対する影響に関する検討

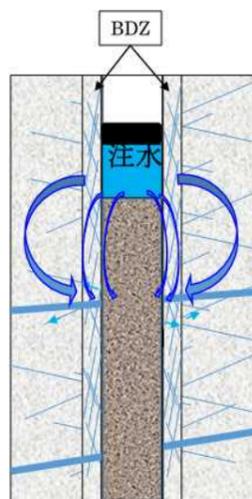
高透水性であったり、亀裂ネットワークが発達していたりする岩盤の場合には、観測孔等の閉鎖が不十分であっても、周辺岩盤と比べて特異的な高透水構造とはなりにくい。一方で、廃棄物埋設地と地表近傍の地層を粘土層などが低透水性の構造で隔離されていて（こちらの方が廃棄物埋設地としては好ましい条件）、これを貫通するボーリング孔が設けられている場合などにおいては、大きな影響を与え水理構造になり得る。このため、代表的な地質水理構造を設定し、ボーリング孔等が水理場に与える影響について検討する。

・閉鎖前に把握しておくべき亀裂、透水性等の情報に関する検討

ボーリング孔を閉鎖した際には、閉塞部より深部側の情報を得ることができなくなるため、閉塞部の両端に水圧を掛けて漏水の有無を測定する等の直接的な確認方法を用いることは困難である。閉鎖の前後における透水特性の変化の有無を用いる場合について、閉鎖前に、判断に必要となる情報を特定して取得する。

・閉鎖後の水理試験による確認方法に関する検討

閉鎖後に、閉塞部より浅い側に水圧をかけ、定常状態、非定常状態における流量、水圧等の応答を測定することによって、不十分に施工された閉塞部、ボーリング孔周辺のゆるみ域等を通じた透水の影響を確認する方法を検討する。



掘削影響領域がある場合

図 11 観測孔の閉鎖確認と可能性のある地下水移行経路

(4) 浅地中処分等に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】

浅地中処分については、既に操業中の施設があり、新たな施設についての事業許可申請についての審査も現在行われているが、廃炉の進展等に伴って今後も新たな申請が行われることが想定されることから、さらに適切な審査を行うための課題について検討を行う。

a. 中深度処分及び浅地中処分における侵食に関する評価手法の研究【分類①及び分類②】

中深度処分においては、埋設地の性能に影響するような著しい侵食作用がないこと、及び 10 万年後も埋設地の深度が地表から深度 70m 以上であることを確保する必要がある。そのため、これまでの研究で、変動地形学的手法、ルミネッセンス年代測定法等の種々の手法によって、数十万年までの隆起量及び侵食量の測定法に関する研究を行ってきた。また、それらのデータを用いた将来の地形変化の予測についても、限定した条件においては、ある程度予測することができるようになっている。しかしながら、中深度処分が対象とする長期においては、沢・谷等による局所的な侵食が埋設地の深度を減少させ、地下水流動の境界条件を変える地形変化を起こす可能性があるため、更に局所的な現象についての検討が必要となる。浅地中処分については、主要な放射性核種の濃度が低減するまでの期間は事業が継続し、事業者による管理が行われ必要に応じて補修がされるが、想定される環境条件における性能を基に保全の措置を要しないことをもって事業が終了されるので、この後の期間において、シート状侵食から、リル侵食、ガリー侵食に至り局所的な溝を形成し、埋設地近傍の斜面崩壊なども引き起こす可能性について検討する必要がある。

こうした埋設地近傍の侵食に関する技術及びその評価手法について、社会基盤分野で用いられている河川治水評価に加えて、廃棄物埋設特有の長期評価を考慮して整理する。

b. 粘土系材料の透水特性、空隙構造等に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】

粘土系材料の低透水性は、粘土の配合率、化学的特性、密度、初期含水比等の物理的、化学的特性、水質等に依存する。これまで、比較的粘土の配合率が高い粘土系材料を中心として多くの測定が行われており、有効粘土密度、粘土の交換性イオン種等によって整理されてきたが、浅地中処分に用いられる比較的粘土の配合率が低い粘土系材料においては、初期含水率等の施工条件が影響することが指摘されてきている。整合性のある品質又は施工管理のためには、空隙構造とそこでの化学的特性等に注目して、力学的特性、水理学的特性等を統一的に理解することが重要である。

このため、ベントナイトによる覆土の構造安定性及び物質移行性に関する機構を明らかにし、材料、調合、締固め等の施工管理パラメータの適切性等を判断できる科学的・技術的知見の取得を行うため、ベントナイトの粒子間空隙、層間空隙等からなる空隙構造と、それらの空隙中の水質、静電場等を統一的に整理することにより、力学特性、透水特性、拡散特性等と、施工条件を含めた状態特性との関係を整理する。

行程表

	R3年度	R4年度	R5年度	R6年度
放射性廃棄物埋設の規制の考え方及び規制基準等の整備（基盤課）	<p>○中深度処分 (R2年度中に規制基準の整備（予定）)</p> <p>・位置に係る審査ガイド、設計プロセス・線量評価ガイド等の整備 ・地質地盤調査ガイド、性能確認モニタリングガイド等の整備 ・確認要領等後続規制に資する科学的・技術的知見の整備</p> <p>○トレンチ処分、ピット処分 (R1年12月に規制基準の整備)</p> <p>・（仮称）安全評価に係る審査ガイド（予定）</p> <p>○研究施設等廃棄物 (H28年度中に廃棄物性状調査及び論点整理)</p> <p>○第一種廃棄物埋設 (第一種廃棄物埋設の安全確保上少なくとも考慮すべき事項の整備)</p>			
(1) 自然事象の長期評価に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】			▽論文公表	▽論文公表
	<p>a. 断層等に関する評価手法の研究 ・断層等に係る施設の要求機能及び要求性能の整理</p> <p>b. 地下水流動場に関する評価手法の研究 ・広域の地下水流動モデル化の概念</p> <p>c. 岩盤の力学状態と水理特性に関する研究 ・室内力学試験機の製作 ・原位置におけるモニタリング装置の設置 ・国内外の文献調査等による整理</p>	<p>a. 断層等に関する評価手法の研究 ・断層等の調査法の整理</p> <p>b. 地下水流動場に関する評価手法の研究 ・試料採取データによる検証</p> <p>c. 岩盤の力学状態と水理特性に関する研究 ・室内水理学試験機の製作及び力学試験器との連結 ・原位置試験の準備</p> <p style="text-align: center;">提供</p>	<p>a. 断層等に関する評価手法の研究 ・断層等の変位・変形に関する評価</p> <p>b. 地下水流動場に関する評価手法の研究 ・試料採取データによる検証（前年から続き）</p> <p>c. 岩盤の力学状態と水理特性に関する研究 ・室内力学水理連成試験機による実験 ・原位置試験によるトンネル掘削等</p> <p style="text-align: center;">随時反映</p>	<p>a. 断層等に関する評価手法の研究 ・断層等の水理特性評価</p> <p>b. 地下水流動場に関する評価手法の研究 ・広域地下水流動モデルの構築</p> <p>c. 岩盤の力学状態と水理特性に関する研究 ・実験に基づく構成モデルの構築とシミュレーション ・原位置試験によるトンネル掘削等（前年からの続き）</p>
	位置に係る審査ガイド等の整備		地質地盤調査ガイドの整備及び確認等後続規制に資する科学的・技術的知見の整備	

							▽論文公表
	(2) 廃棄物埋設における性能評価手法に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】	<p>a. ベントナイト系人工バリアの長期性能評価手法の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・変質を考慮した透水性及び拡散等の試験の整理 ・覆土の締固めと透水性に関する試験 <p>b. セメント系人工バリアの長期性能評価手法の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・細孔構造の計測法の整理及び体積変化の評価法の検討 <p>c. 岩盤の収着に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・吸着試験の準備 <p>d. 放射性物質の移行等の設定</p>	<p>a. ベントナイト系人工バリアの長期性能評価手法の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・変質を考慮した透水試験（前年からの続き） ・覆土の締固めと透水性に関する試験（前年からの続き） <p>b. セメント系人工バリアの長期性能評価手法の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・体積変化に関する評価方法の整理 <p>c. 岩盤の収着に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・吸着試験 <p>d. 放射性物質の移行等の設定</p>	<p>▽論文公表</p> <p>論文発表</p> <p>a. ベントナイト系人工バリアの長期性能評価手法の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・変質を考慮した透水性の評価手法の整理 ・覆土の締固めと透水性に関する試験（前年からの続き） <p>b. セメント系人工バリアの長期性能評価手法の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・細孔構造の材齢変化と結晶安定性の評価 <p>c. 岩盤の収着に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・吸着試験（前年の続き） <p>d. 放射性物質の移行等の設定</p>	<p>a. ベントナイト系人工バリアの長期性能評価手法の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・変質と考慮した透水性の科学的妥当性の整理 <p>b. セメント系人工バリアの長期性能評価手法の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・物質移行評価法の整理 <p>c. 岩盤の収着に関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・岩盤収着の考え方の整理 <p>d. 放射性物質の移行等の設定</p>		▽論文公表
		設計	プロセスに係る審査	ガイド等の整備			
	(3) 地質環境及び水理環境モニタリングに関する研究【分類①及び分類②】	<p>a. 地質環境等モニタリングに関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・天然バリアに関する性能確認法の整理 ・小径孔の閉鎖評価法の整理 	<p>a. 地質環境等モニタリングに関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人工バリアに関する性能確認法の整理 ・中大孔の閉鎖評価法の整理 	<p>▽論文公表</p> <p>a. 地質環境等モニタリングに関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物埋設に関する性能確認法の整理 ・掘削孔の閉鎖評価法の妥当性評価の整理 	<p>a. 地質環境モニタリングに関する研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・性能確認に関する取りまとめ ・性能確認モニタリングの妥当性評価手法の整理 		▽論文公表
			地質地盤調査ガイドの及び確認等後続規制に資する運営ガイドの整備				
	(4) 浅地中処分等に関する研究	<p>a. 侵食に関する評価手法の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・埋設表層の侵食に評価に関する機構解明等の文献調査 <p>b. 覆土の締固めと透水性に関する試験</p>	<p>a. 侵食に関する評価手法の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・埋設表層の侵食に評価に関する機構解明等の文献調査 <p>b. 覆土の締固めと透水性に関する試験（前年からの続き）</p>	<p>a. 侵食に関する評価手法の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地表付近の侵食及び侵食防止対策の整理 <p>b. 覆土の締固めと透水性に関する試験（前年からの続き）</p>	<p>a. 侵食に関する評価手法の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・埋設表層の侵食に評価手法の整理 		
			浅地中処分に関する審査ガイドの整備				

【R3年度の実施内容】

- (1) 自然事象の長期評価に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - a. 断層等に関する評価手法の研究【分類①及び分類②】
 - ・断層等に係る施設の要求機能及び要求性能の整理
 - b. 地下水流動場に関する評価手法の研究【分類②及び分類③】
 - ・広域の地下水流動モデル化の概念
 - c. 岩盤の力学状態と水理特性に関する研究【分類②及び分類④】
 - ・掘削影響領域の力学状態を模擬できる試験装置の設計と製作
 - ・坑道の評価に係る原位置におけるモニタリング装置の設置
- (2) 廃棄物埋設における性能評価手法に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - a. ベントナイト系人工バリアの長期性能評価手法の研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - ・変質を考慮した透水性及び拡散等の試験の整理
 - b. セメント系人工バリアの長期性能評価手法の研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - ・細孔構造の計測法の整理及び体積変化の評価法の検討
 - c. 岩盤の収着・移行現象に関する研究【分類②及び分類④】
 - ・岩盤中の微小な空隙に対するイオンの拡散試験の試験装置の検討及びイオンの吸着のモデル化のための電位分布等に関する検討。
 - d. 生活環境における放射性物質の移行及び決定グループの設定【分類①及び分類②】
- (3) 地質環境及び水理環境モニタリングに関する研究【分類①及び分類②】
 - ・モニタリング孔、処分坑道等の閉鎖確認に係る評価手法の整備【分類①及び分類②】
 - ・天然バリアに関する性能評価確認法の整理
 - ・小径孔の閉鎖評価法の整理
- (4) 浅地中処分等に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - a. 侵食に関する評価手法の研究【分類①及び分類②】
 - ・埋設表層における侵食の評価に関する機構解明等の文献・事例調査
 - b. 粘土系材料の透水特性、空隙構造等に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - ・覆土の締め固めと透水性能に関する試験

7. 実施計画

【R4年度の実施内容】

- (1) 自然事象の長期評価に関する研究【分類①、分類②及び分類③】
 - a. 断層等に関する評価手法の研究【分類①及び分類②】
 - ・断層等の調査法の整理
 - b. 地下水流動場に関する評価手法の研究【分類②及び分類③】
 - ・試料採取データによる検証
 - c. 岩盤の力学状態と水理特性に関する研究【分類②及び分類④】
 - ・掘削影響領域の水理特性を模擬できる試験装置の設計と製作
 - ・坑道の評価に係る原位置における坑道掘削評価及び水理モニタリング
- (2) 廃棄物埋設における性能評価手法に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - a. ベントナイト系人工バリアの長期性能評価手法の研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - ・変質を考慮した透水性及び拡散等の試験等
 - b. セメント系人工バリアの長期性能評価手法の研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - ・細孔構造の評価法の整理及び結晶安定性の評価並びに体積変化の評価法の検討
 - c. 岩盤の収着・移行現象に関する研究【分類②及び分類④】
 - ・岩盤中の微小な空隙に対するイオンの拡散試験の試験装置を用いた試験の準備
 - d. 生活環境における放射性物質の移行及び決定グループの設定【分類①及び分類②】
- (3) 地質環境及び水理環境モニタリングに関する研究【分類①及び分類②】
 - a. モニタリング孔、処分坑道等の閉鎖確認に係る評価手法の整備【分類①及び分類②】
 - ・人工バリアに関する性能評価確認法の整理
 - ・中大孔の閉鎖評価法の整理
- (4) 浅地中処分等に関する研究【分類①、分類②】
 - a. 侵食に関する評価手法の研究【分類①及び分類②】
 - ・埋設表層における侵食の評価に関する機構解明等の文献・事例調査
 - b. 粘土系材料の透水特性、空隙構造等に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - ・覆土の透水性能に及ぼす材料鉱物組成等の影響について

【R5年度の実施内容】

- (1) 自然事象の長期評価に関する研究【分類①、分類②及び分類③】
- a. 断層等に関する評価手法の研究【分類①及び分類②】
 - ・断層等の変位・変形に関する評価
 - b. 地下水流動場に関する評価手法の研究【分類②及び分類③】
 - ・試料採取データによる検証（前年からの続き）
 - c. 岩盤の力学状態と水理特性に関する研究【分類②及び分類④】
 - ・掘削影響領域の力学状態と水理特性に関する連成試験を用い関係性を整理する
 - ・坑道の評価に係る原位置における坑道掘削評価及び水理モニタリング（継続）
- (2) 廃棄物埋設における性能評価手法に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
- a. ベントナイト系人工バリアの長期性能評価手法の研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - ・変質を考慮した透水性及び拡散等の評価手法の整理
 - b. セメント系人工バリアの長期性能評価手法の研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - 細孔構造の形成と物質移行の機構解明のための水蒸気吸着装置等による分析及び結晶安定性の TMS 法等による観察並びにひび割れ等の体積変化に関する予備試験
 - c. 岩盤の収着・移行現象に関する研究【分類②及び分類④】
 - ・岩盤中の微小な空隙に対するイオンの拡散試験の試験及びイオンの吸着のモデル化のための電位分布等に関する試験
 - d. 生活環境における放射性物質の移行及び決定グループの設定【分類①及び分類②】
- (3) 地質環境及び水理環境モニタリングに関する研究【分類①及び分類②】
- a. モニタリング孔、処分坑道等の閉鎖確認に係る評価手法の整備【分類①及び分類②】
 - ・廃棄物埋設に関する性能評価法の整理
 - ・掘削孔の閉鎖評価法の妥当性評価の整理
- (4) 浅地中処分等に関する研究【分類①、分類②】
- a. 侵食に関する評価手法の研究【分類①及び分類②】
 - ・地表付近の侵食及び侵食防止対策の整理
 - b. 粘土系材料の透水特性、空隙構造等に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - ・覆土の透水性能の確認に関する検討

【R6年度の実施内容】

- (1) 自然事象の長期評価に関する研究【分類①、分類②及び分類③】
- a. 断層等に関する評価手法の研究【分類①及び分類②】
 - ・断層等の水理特性評価
 - b. 地下水流動場に関する評価手法の研究【分類②及び分類③】
 - ・広域地下水流動モデルの構築
 - c. 岩盤の力学状態と水理特性に関する研究【分類②及び分類④】
 - ・掘削影響領域の力学状態と水理特性に関する連成試験を基に構成モデルの構築
 - ・坑道の評価に係る原位置における坑道掘削評価及び水理モニタリング（継続）
 - ・亀裂を含む岩盤中の物質移動シミュレーション
- (2) 廃棄物埋設における性能評価手法に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
- a. ベントナイト系人工バリアの長期性能評価手法の研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - ・変質を考慮したベントナイトの評価手法の取りまとめ
 - b. セメント系人工バリアの長期性能評価手法の研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - ・セメント硬化体の物質移行に関する取りまとめ
 - c. 岩盤の収着・移行現象に関する研究【分類②及び分類④】
 - ・岩盤中の微小な空隙を考慮した収着・移行現象の整理
 - d. 生活環境における放射性物質の移行及び決定グループの設定【分類①及び分類②】
- (3) 地質環境及び水理環境モニタリングに関する研究【分類①及び分類②】
- a. モニタリング孔、処分坑道等の閉鎖確認に係る評価手法の整備【分類①及び分類②】
 - ・性能確認に関する取りまとめ
 - ・性能確認モニタリングの妥当性評価手法の整理
- (4) 浅地中処分等に関する研究【分類①、分類②】
- a. 侵食に関する評価手法の研究【分類①及び分類②】
 - ・埋設表層の侵食に係る評価手法の整理
 - b. 粘土系材料の透水特性、空隙構造等に関する研究【分類①、分類②、分類③及び分類④】
 - ・覆土の性能評価に関する取りまとめ

研究計画（案）

1. プロジェクト	21. 放射性廃棄物の放射能濃度等の定量評価技術に関する研究	担当部署	技術基盤グループ 核燃料廃棄物研究部門
		担当責任者	酒井 宏隆 主任技術研究調査官
2. カテゴリー・研究分野	【核燃料サイクル・廃棄物】 L) 廃止措置・クリアランス	主担当者	酒井 宏隆 主任技術研究調査官 大塚 伊知郎 主任技術研究調査官 高橋 宏明 主任技術研究調査官

クリアランス検認（核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和 32 年法律第 166 号。以下「原子炉等規制法」という。）第 61 条の 2 第 1 項）、廃棄物等の安全性確認（原子炉等規制法第 51 条の 3 第 2 項、第 51 条の 6 第 2 項及び第 51 条の 18 第 1 項）、及び廃止措置中の実用発電用原子炉施設に対する原子力規制検査（原子炉等規制法第 61 条の 2 の 2 第 2 項及び第 3 項）において、事業（変更）許可申請書の妥当性審査及び対象となる放射性廃棄物等の放射能濃度を原子力規制委員会が確認するために必要な科学的・技術的知見を整備する必要がある（図 1 参照）。

本プロジェクトの研究は、「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」（令和元年 5 月 29 日原子力規制委員会決定）における安全研究の目的のうち以下の分類に基づき実施する。

② 審査等の際の判断に必要な新たな知見の収集・整備（以下「分類②」という。）、及び、④ 技術基盤の構築・維持（以下「分類④」という。）

(1) クリアランス検認（分類②）

中部電力株式会社浜岡原子力発電所のタービンロータ、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構新型転換炉原型炉ふげんの金属くずなどのこれまで 7 施設から発生した放射能濃度確認対象物（以下「クリアランス対象物」という。）に対してクリアランス制度を適用した実績がある。

一方で、工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度が放射線による障害の防止のための措置を必要としないものであることの確認等に関する規則（令和 2 年原子力規制委員会規則第 16 号。以下「放射能濃度確認規則」という。）により、従来規定されていたクリアランス対象物（金属くず、コンクリートの破片及びガラスくず）以外の対象物（以下「新規クリアランス対象物」という。）にクリアランス制度が適用されることになった。また、工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射能濃度についての確認を受けようとする物に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法に係る審査基準（原規規発第 2007294 号 原子力規制委員会決定。以下「放射能濃度確認審査基準」という。）により、測定において不確かさを考慮した定量評価を行うことが求められている。

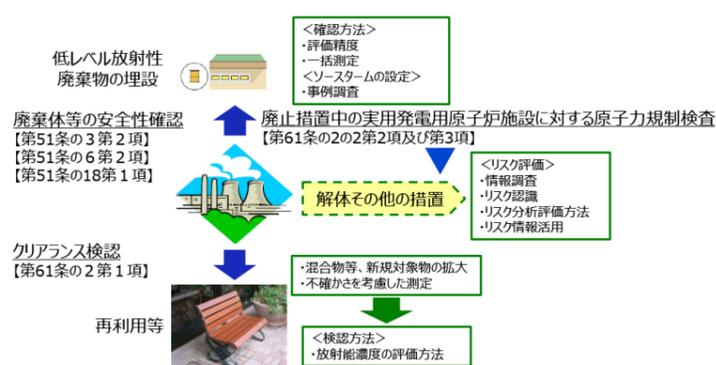


図 1 本研究の概要

「新規クリアランス対象物」という。）にクリアランス制度が適用されることになった。また、工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射能濃度についての確認を受けようとする物に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価の方法に係る審査基準（原規規発第 2007294 号 原子力規制委員会決定。以下「放射能濃度確認審査基準」という。）により、測定において不確かさを考慮した定量評価を行うことが求められている。

3. 背景

放射能濃度の測定方法では、過小評価にならないような条件設定（文献(1), (2)）の上で、適切に放射能濃度を定量評価する必要がある。さらに、放射能濃度の測定方法はクリアランス対象物によって異なる。これらに対して、原子力規制庁は放射能濃度の測定及び評価の手法が適切なものであることを確認する。

放射能濃度確認規則及び放射能濃度確認審査基準の制定に前後して、放射能濃度の測定において定量評価結果の信頼性を確保するための測定の不確かさの考慮に関する基礎検討（文献(3), (4)）及びアスベスト、PCB などの一部の新規クリアランス対象物の測定方法の検討（文献(5)）を先行的に行ったが、放射能濃度確認規則及び放射能濃度確認審査基準の制定に伴い、対象が拡大された新規のクリアランス対象物（図 2 参照）にクリアランス制度を適用する場合のクリアランスレベル検認※方法を整備することが重要である（※クリアランスレベルを用いて、放射性物質として扱う必要がない物であることを事業者が判断し、その判断に加えて国が適切な関与を行うことを「クリアランス検認」という。）。

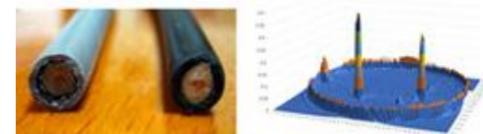


図 2 新規のクリアランス対象物と可視化の例
ケーブルのように金属と有機物が混合した新規のクリアランス対象物に含まれる放射能を定量化する際に内部の物質の分布を可視化した情報が有用となる。

対象となる規制活動根拠：原子炉等規制法第 61 条の 2 第 1 項

(2) 廃棄物等の安全性確認（分類②）

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年原子力規制委員会規則第 30 号）に基づく、廃止措置開始以降の公衆の被ばく線量評価において、廃棄物のインベントリ及び核種の放出率並びに処分システムにおける物理化学的環境変化に基づく核種の化学種の変化に基づく移行挙動変化（以下「ソースターム設定等」という。）は、重要な因子であるが、現在操業中である日本原燃株式会社廃棄物埋設施設の線量評価においては、考慮されていない。一方で、今後事業（変更）許可申請が想定される、中深度処分及び研究施設等廃棄物の埋設事業においては、これらを考慮することが想定されることから、事業（変更）許可申請の審査において、その妥当性を判断するための知見を整備する必要がある。

さらに、今後中深度処分施設、日本原子力発電株式会社のトレンチ処分施設等の操業に伴いこれまでピット処分実績のある 200L ドラム缶の廃棄体とは異なる新たな廃棄体（遮蔽材が含まれる角形容器を用いたもの、容量の大きな鉄箱等）及びコンクリート等廃棄物（容器封入又は固型化されていない放射性廃棄物。廃棄体と合わせて、以下「廃棄体等」という。）の発生が想定される。第二種埋設規則改正に伴い、放射性廃棄物の受け入れの基準（Waste Acceptance Criteria、以下「WAC」という。）を埋設事業者が保安規定に定めることになり、保安規定の審査において WAC に基づく廃棄体の放射能濃度の評価方法の妥当性を確認する必要がある。200L ドラム缶の廃棄体の放射能濃度は主に非破壊測定に基づき評価しているが、これまでの検討からその評価精度は、対象物の性状（材質、形状、充填状態、核種組成等）に依存することが明らかとなっている。また、中深度処分対象

	<p>廃棄体については、従来の二次的な汚染物だけでなく、放射化金属廃棄物が含まれると想定されている。このことから、新たな廃棄体等についてはその性状を踏まえて既存技術の適用性を確認するとともに、必要に応じて、放射化計算による確認方法等、新たに確認手法を整備することが重要である。</p> <p>対象となる規制活動根拠：原子炉等規制法第 51 条の 3 第 2 項、第 51 条の 6 第 2 項及び第 51 条の 18 第 1 項</p> <p>(3) 廃止措置リスク評価 (分類②)</p> <p>令和 2 年 4 月の原子力規制検査の開始により、従来の保安検査から、よりリスクの高い活動に着目した検査が行われることとなった。しかしながら、我が国においては実用発電用原子炉の廃止措置の実績が少なく、旧独立行政法人原子力安全基盤機構において、廃止措置の主要工程における放射性物質の飛散の可能性に関する検討を行った事例はあるものの、総合的に廃止措置のリスク評価を行った事例は確認されない一方、諸外国、特に原子力先進国において発電炉の廃止措置が進んでいる。こうした実態を踏まえ、効果的な原子力規制検査に資するため、廃止措置リスク評価手法に関する知見を整備する必要がある。</p> <p>対象となる規制活動根拠：原子炉等規制法第 61 条の 2 の 2 第 2 項及び第 3 項</p> <p>(4) 長半減期放射性核種等の定量評価に係る信頼性確保に関する研究 (分類④)</p> <p>廃止措置・クリアランス分野においては放射線計測では定量が難しい長半減期放射性核種等の分析を技術的基盤として、具体的な研究課題の解決を進めている。その中でも、長半減期放射性核種等の定量評価の妥当性確認をどのように実施するかが共通的な課題となっている。</p> <p>長半減期放射性核種等の定量評価の妥当性を確認するためには、多様な測定・分析方法が持つ不確かさの把握等の科学的・技術的知見を計画的かつ効率的に蓄積する必要がある。また、必要な分析精度を確保した放射性核種分析のためには、広範な要素技術、すなわち試料の採取、試料からの対象核種の溶解等の前処理、濃縮・化学分離、測定等に係る基礎データを取得し、各要素技術における留意点を明らかにする必要がある。</p> <div data-bbox="1465 774 1942 1145" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">図 3 分析装置の例</p>
<p>4. 目的</p>	<p>事業（変更）許可申請及び後続規制における、クリアランスの検認、廃棄物等の安全性の確認並びに廃止措置リスクの定量化を適切に行う上で、必要となる科学的・技術的知見を取得し、蓄積する。また、上記に共通する基盤技術として、最新の放射能濃度の測定技術について広く情報を集め、測定における不確かさ等について知見を蓄積する。</p> <p>(1) クリアランス検認</p> <p>今後クリアランス対象物の多様化が予想されるため、クリアランス制度を適用する際の放射能濃度の評価手法の妥当性を不確かさの考慮の下で判断する手段を整備する。</p> <p>(2) 廃棄体等の安全性確認</p> <p>中深度処分対象廃棄体及び研究施設等廃棄物を対象に、安全評価上重要となるソースターム設定等の事業（変更）許可申請における審査に必要な知見を蓄積するとともに、技術的留意点を整理する。また、廃棄物確認及び WAC に係る保安規定（変更）認可申請の審査における放射能濃度評価方法の妥当性に係る科学的・技術的知見を整理する。</p> <p>(3) 廃止措置リスク評価</p> <p>実用発電用原子炉の廃止措置の主要工程における放射性物質の飛散等による被ばくの可能性に関する知見を基に、事故発生記録等に照らしてリスクを評価する方法を検討する。</p> <p>(4) 長半減期放射性核種等の定量評価に係る信頼性確保に関する研究</p> <p>複雑な性状の試料に含まれる長半減期放射性核種等の分析に必要な前処理等様々な要素技術に関し、最新の方法による核種分析に関する研究を行い、一連の分析プロセスにおける科学的・技術的知見を蓄積する。</p>
<p>5. 知見の活用先</p>	<p>(1) クリアランス検認 (分類②)</p> <p>新規クリアランス対象物にクリアランス制度を適用する場合のクリアランス検認に活用する。</p> <p>対象となる規制活動等：放射能濃度確認規則第 2 条（放射能濃度の基準）に基づく確認並びに第 6 条（測定及び評価の方法の認可の基準）及び放射能濃度確認審査基準に基づく審査</p> <p>(2) 廃棄体等の安全性確認 (分類②)</p> <p>事業（変更）許可申請の審査及び WAC に係る保安規定（変更）認可申請の審査に関する技術基盤並びに原子力規制検査のうち廃棄物確認に関する技術基盤に活用する。</p> <p>対象となる規制活動等：原子炉等規制法第 51 条の 3 第 2 項に基づく事業（変更）許可の審査</p> <p>第二種埋設規則第 8 条（放射性廃棄物等の技術上の基準）に基づく確認並びに第 20 条第 1 項第 14 号（保安規定）及び第二種廃棄物埋設事業に係る廃棄物埋設施設における保安規定の審査基準（原管廃発第 1311278 号 原子力規制委員会決定）に基づく審査</p> <p>(3) 廃止措置リスク評価 (分類②)</p>

	<p>廃止措置中の実用発電用原子炉施設の原子力規制検査に活用する。 対象となる規制活動等：原子炉等規制法第61条の2の2第2項及び第3項に基づく廃止措置中の実用発電用原子炉施設に対する原子力規制検査</p> <p>(4) 長半減期放射性核種等の定量評価に係る信頼性確保に関する研究(分類④) 廃止措置・クリアランス分野における審査に技術的に資するために必要な技術基盤の構築・維持に活用する。</p>
<p>6. 安全研究概要 (始期：R3年度) (終期：R6年度)</p>	<p>本プロジェクトの研究は、「原子力規制委員会における安全研究の基本方針」(令和元年5月29日原子力規制委員会決定)における安全研究のうち以下の分類に基づき実施する。</p> <p>② 審査等の際の判断に必要な知見の収集・整備(以下「分類②」という。) ④ 技術基盤の構築・維持(以下「分類④」という。)</p> <p>(1) クリアランス検認(関係機関と協力実施)【分類②】 新規クリアランス対象物を放射線測定する際、組成・形状が複雑な物質が含まれる場合においても、放射能濃度の値を不確かさとともに定量的に導出する方法について、実験的手法も交えて知見を蓄積する。また、国内外の低濃度放射能測定技術及び計量・校正制度の運用・開発動向の調査を行い、事業者の行う放射線測定の定量評価の妥当性を確認するための手段の開発、バックデータの整備を進める。</p> <p>(2) 廃棄体等の安全性確認【分類②】 今後想定される中深度処分対象廃棄体及び研究施設等廃棄物におけるソースターム設定等は、廃棄物埋設施設の安全性を評価する上で重要であり、事業(変更)許可の審査において、その設定の妥当性を評価するために必要な、金属廃棄物の腐食挙動、金属の腐食に伴う放射性核種の放出挙動、廃棄物埋設施設の間隙水の物理化学的環境変化に伴う核種移行挙動等に関する情報を獲得する。 また、廃棄物確認に関して、中深度処分対象廃棄体には放射化された廃棄物が含まれることから、これら放射化核種の分析における技術的留意点及び放射化計算により放射エネルギーを評価する場合の留意点に関する知見を蓄積する。さらに、中深度処分対象廃棄体の放射能濃度を外部からの放射線測定により評価する場合の評価精度及び多数の廃棄物を一括して計測する場合の放射能濃度評価への影響について整理する。</p> <p>(3) 廃止措置リスク評価(関係機関と協力実施)【分類②】 廃止措置の主要工程における放射性物質の飛散及び被ばくにつながる関連事象を整理し、廃止措置活動のリスクに関する科学的・技術的知見を取得する。</p> <p>(4) 長半減期放射性核種等の定量評価に係る信頼性確保に関する研究【分類④】 廃棄物等の被ばく線量評価上重要で、複雑な性状の試料に含まれ、放射線計測では定量が難しい長半減期核種(^{90}Sr、^{93}Zr、^{129}I、U 同位体等)を対象にそれらの原子数を計測する分析方法に係る最新の研究動向の調査及び実験的研究を実施して、一連の分析プロセスにおける科学的・技術的知見を蓄積する。具体的には、試料の採取、試料からの対象核種の溶解等の前処理、濃縮、化学分離、質量分析等の複雑な多段階処理を通して得られる原子数の分析値の信頼性が不確かさ等も含めてどのように確保されているかを確認するための科学的・技術的知見を取得する。</p>

行程表

	R 3 年度	R 4 年度	R 5 年度	R 6 年度
(1) クリアランス検認	<p>新規クリアランス対象物のクリアランス測定法の認可申請の審査支援（得られた知見を適宜反映）</p> <p>▽学会発表↑</p> <p>▽論文公表↓</p> <p>・放射能濃度測定の信頼性確認のための測定・評価手段の検討・構築</p> <p>▽学会発表</p>	<p>のクリアランス測定法の認可申請の審査支援（得られた知見を適宜反映）</p> <p>▽論文公表↑</p> <p>▽論文公表↓</p> <p>・放射能濃度測定の信頼性確認のための測定・評価手段の検討・構築</p> <p>・測定評価試験実施</p> <p>▽論文公表</p> <p>▽学会発表</p>	<p>可申請の審査支援（得られた知見を適宜反映）</p> <p>▽学会発表↑</p> <p>▽論文公表↓</p> <p>▽学会発表</p> <p>・混合物の定量化も含む放射能濃度測定のための測定・評価手段の見直し、追加</p> <p>・測定・評価試験実施</p> <p>▽論文公表</p>	<p>た知見を適宜反映）</p> <p>▽論文公表↑</p> <p>▽論文公表↓</p> <p>・測定・評価試験の実施</p> <p>・クリアランス検認における科学的・技術的知見の取りまとめ</p> <p>↓</p> <p>クリアランス検認の信頼性確保に係る技術基盤</p>
	<p>・混合物定量化手段の検討、測定評価体系の構築</p>	<p>・混合物定量化手段の検討、測定評価体系の構築</p> <p>・試験の実施</p>	<p>・試験の実施</p> <p>・定量化手段の取りまとめ</p>	
			▽学会発表	▽論文公表
(2) 廃棄体等の安全性確認	<p>・ソースターム設定等に関する海外類似事例及び核種移行挙動に係る調査</p>	<p>・ソースターム設定等に関する海外類似事例及び核種移行挙動に係る調査</p>	<p>・ソースターム設定等に関する海外類似事例及び核種移行挙動に係る試験</p>	<p>・ソースターム設定等に関する科学的・技術的知見の取りまとめ</p> <p>↓</p> <p>中深度処分等の廃棄体確認及び事業（変更）許可申請に係る審査及び保安規定（変更）認可申請の審査並びに研究施設等廃棄物処分に係る廃棄物確認の技術基盤</p> <p>↑</p>
	<p>・放射能濃度評価に係る留意事項抽出</p> <p>・多数の廃棄物の一括測定に係る調査</p>	<p>・放射能濃度評価に係る影響に係る解析</p> <p>・多数の廃棄物の一括測定に係る解析</p>	<p>・放射能濃度評価の評価精度に係る試験</p> <p>・多数の廃棄物の一括測定に係る試験</p>	<p>・放射能濃度評価に係る影響度合いと評価精度に係る知見の取りまとめ</p>
(3) 廃止措置リスク評価	<p>・事象発生記録の調査</p> <p>・諸外国における廃止措置リスク評価の最新動向調査</p>	<p>・事象発生記録の調査</p> <p>・諸外国における廃止措置リスク評価の最新動向調査</p>	<p>・リスク認識・分析評価方法の検討</p>	<p>・リスク認識・分析評価方法の検討</p> <p>↓</p> <p>廃止措置中の実用発電用原子炉に対する原子力規制検査に係る技術基盤</p>
(4) 長半減期放射性核種等の定量評価に係る信頼性確保		▽学会発表	▽学会発表 論文公表▽	▽学会発表 論文公表▽
	<p>・最新の分析方法の調査</p> <p>・実験装置導入・整備計画立案</p>	<p>・装置導入・整備</p> <p>・試料前処理方法検討</p> <p>・化学分離方法検討</p>	<p>・装置導入・整備</p> <p>・性状の異なる試料の核種分析方法の検討</p>	<p>・試験検討結果取りまとめ</p> <p>↓</p> <p>廃棄物等の長半減期核種分析に係る技術基盤</p>

【R3年度の実施内容】

(1) クリアランス検認【分類②】

a. 放射能濃度測定信頼性確認のための測定・評価手段の検討・構築

放射能濃度測定信頼性確認のために必要な要素を抽出・評価するための代表的な測定体系の構築のための条件整理、実験体系の構築のための調査、試測定、計算評価を不確かさの考慮の下で行う。また、関連する国内外の低濃度放射能濃度測定技術及び計量・校正制度の運用・開発動向の調査を行う。

b. 混合物定量化手段の検討、測定評価体系の構築

クリアランスの対象として想定される混合物について調査を行い、内部の混合状況と濃度換算への影響について確認した上で、混合状況を定量的に確認する手段の検討と、その測定評価体系の構築のための調査、試測定、計算評価を行う。

(2) 廃棄体等の安全性確認【分類②】

a. ソースターム設定等に関する検討

中深度処分対象廃棄体及び研究施設等廃棄物に係る金属廃棄物を対象に、諸外国のセーフティケースにおける放射性核種の放出率等の設定方法に係る調査を行う。

b. 廃棄体の放射能濃度評価に係る留意事項抽出

中深度処分対象廃棄体に含まれる放射化核種について、放射化学分析及び放射化計算により放射能量を評価する場合の留意点の抽出のための調査を行う。あわせて、廃棄体の放射能濃度を外部からの放射線測定により評価する場合の影響因子を解析計算により抽出する。

c. 多数の廃棄物の一括測定に係る調査

多数の廃棄物を一括して計測する場合に放射能濃度評価へ影響を及ぼす因子を解析により抽出する。

(3) 廃止措置リスク評価【分類②】

- ・ 諸外国における廃止措置リスク評価の最新動向について調査するとともに、廃止措置の主要工程における放射性物質の飛散及び被ばくにつながる事象の抽出及び事故発生記録等の調査を行う。
- ・ 必要に応じて廃止措置安全評価コードを改良する。

(4) 長半減期放射性核種等の分析における信頼性確保に関する研究【分類④】

- ・ ^{90}Sr 、 ^{93}Zr 、 ^{129}I 、U 同位体等の最新の分析方法の調査を実施する。
- ・ 最新の分析方法の研究に必要な実験装置等の導入・整備計画立案を行う。

【R4年度の実施内容】

(1) クリアランス検認【分類②】

a. 放射能濃度測定信頼性確認のための測定・評価手段の検討・構築

放射能濃度測定信頼性確認のために必要な要素を抽出・評価するための代表的な測定体系の構築のための条件整理、実験体系の構築のための調査、試測定、計算評価を不確かさの考慮の下で行い、その結果を基に測定体系を構築するとともに、測定評価実験を開始する。また、関連する国内外の低濃度放射能濃度測定技術及び計量・校正制度の運用・開発動向の調査を行う。

b. 混合物定量化手段の検討、測定評価体系の構築

クリアランスの対象として想定される混合物について調査を行い、内部の混合状況と濃度換算への影響について確認した上で、混合状況を定量的に確認する手段の検討を行い、測定評価体系の構築のための調査、試測定、計算評価を行い、測定評価実験を開始する。

(2) 廃棄体等の安全性確認【分類②】

a. ソースターム設定等に関する検討

令和2年度に引き続き、中深度処分対象及び研究施設等廃棄物に係る金属廃棄物を対象に、諸外国のセーフティケースにおける放射性核種の放出率等の設定方法に係る調査を行う。

b. 廃棄体の放射能濃度評価に係る検討

中深度処分対象廃棄体に含まれる放射化核種の評価上の留意点について、放射化学分析における評価精度の検討のため中深度処分固有核種を中心とした分析試験を実施する。あわせて、廃棄体を外部からの放射線測定により評価する場合の影響因子について、解析によりその影響度合いを整理する。

c. 多数の廃棄物の一括測定に係る検討

多数の廃棄物を一括して計測する場合に放射能濃度評価へ影響を及ぼす因子について、解析によりその影響度合いを整理する。

(3) 廃止措置リスク評価【分類②】

- ・ R3に引き続き、諸外国における廃止措置リスク評価の最新動向について調査するとともに、廃止措置の主要工程における放射性物質の飛散及び被ばくにつながる事象の抽出及び事故発生記録等の調査を行う。
- ・ 必要に応じて廃止措置安全評価コードを改良する。

(4) 長半減期放射性核種等の分析における信頼性確保に関する研究【分類④】

- ・ 実験装置の導入・整備を実施する。
- ・ 試料の前処理方法、化学分離方法及び分析方法の検討を実施し、技術的課題を整理する。

【R5年度の実施内容】

(1) クリアランス検認【分類②】

7. 実施計画

- a. 放射能濃度測定の信頼性確認のための測定・評価手段の検討・構築
R4年度に実施した調査、実験結果を基に、測定体系の見直しを行った上で、測定評価実験を実施する。また、関連する国内外の低濃度放射能濃度測定技術及び計量・校正制度の運用・開発動向の調査結果も含め、クリアランス検認における科学的・技術的知見を取りまとめる。
 - b. 混合物定量化手段の検討、測定評価体系の構築
R4年度に実施した調査、実験結果を基に、測定体系の見直しを行った上で、測定評価実験を実施し、混合物定量化手段を取りまとめる。
- (2) 廃棄体等の安全性確認【分類②】
- a. ソースターム設定等に関する検討
ソースターム設定等に関する海外類似事例を取りまとめるとともに、試験実施の要否を検討し、必要に応じて試験計画を立案する。
 - b. 廃棄体の放射能濃度評価に係る検討
中深度処分対象廃棄体に含まれる放射化核種の評価上の留意点について、放射化前の微量元素の分析における評価精度の検討のため、中深度処分固有核種の微量元素を中心とした分析試験を実施する。あわせて、廃棄体を外部からの放射線測定により評価する場合の影響因子について、模擬体等による測定試験を実施し、過年度までの解析結果との比較により評価精度を整理する。
 - c. 多数の廃棄物の一括測定に係る検討
多数の廃棄物を一括して計測する場合に放射能濃度評価へ影響を及ぼす因子について、模擬体等による測定試験を実施し、過年度までの解析結果との比較により評価精度を整理する。
- (3) 廃止措置リスク評価【分類②】
- ・解体作業におけるリスク認識・リスク分析方法を検討する。高経年化による閉じ込め機能をはじめとする安全機能の低下と事象発生頻度の定量化について検討する。
 - ・必要に応じて廃止措置安全評価コードを改良する。
- (4) 長半減期放射性核種等の分析における信頼性確保に関する研究【分類④】
- ・実験装置の導入・整備を実施する。
 - ・性状の異なる試料の核種分析方法に係る実験的検討を実施し、技術的課題を整理する。

【R6年度の実施内容】

- (1) クリアランス検認【分類②】
- 混合物を定量化した結果が、放射能濃度測定の信頼性にどのように影響するかを取り込んだ上で、測定評価実験を実施する。また、関連する国内外の低濃度放射能濃度測定技術及び計量・校正制度の運用・開発動向の調査を行う。
- (2) 廃棄体等の安全性確認【分類②】
- a. ソースターム設定等に関する検討
海外類似事例調査及び必要に応じて実施する試験結果を基にソースターム設定等の妥当性審査における科学的・技術的知見を取りまとめる。
 - b. 廃棄体の放射能濃度評価に係る検討
放射化核種の評価、外部からの放射線測定による廃棄体の放射能濃度評価について、多数の廃棄物を一括して計測する場合の放射能濃度評価の検討と併せて放射能濃度評価に係る影響度合いと評価精度に係る知見を取りまとめる。
- (3) 廃止措置リスク評価【分類②】
- ・R5年度に引き続き、リスク認識・分析評価方法の検討を行い、検討結果を取りまとめる。
 - ・必要に応じて廃止措置安全評価コードを改良する。
- (4) 長半減期放射性核種等の分析における信頼性確保に関する研究【分類④】
- 試料の前処理方法、化学分離方法及び核種分析方法について、前年度までに得られた課題を解決するための実験的検討を進め、それぞれの要素技術の特徴を踏まえた上で、⁹⁰Sr、⁹³Zr、¹²⁹I、U 同位体等の核種分析方法に係る適用範囲や分析精度に係る知見を取りまとめる。

8. 実施体制

【核燃料廃棄物研究部門における実施者】

- 酒井 宏隆 主任技術研究調査官
- 大塚 伊知郎 主任技術研究調査官
- 高橋 宏明 主任技術研究調査官
- 佐藤 由子 技術研究調査官
- 吉居 大樹 技術研究調査官
- 古田 美憲 技術研究調査官
- 深井 恵 技術研究調査官
- 川崎 智 技術参与

【共同研究先】

- ・国立大学法人 東京大学

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国立大学法人 東京工業大学 ・ 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 ・ 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 ・ 学校法人五島育英会 東京都市大学
9. 備考	<p style="text-align: center;">文 献</p> <p>(1) <u>吉居 大樹</u>, <u>川崎 智</u>, γ線によるウランクリアランス対象物中のウラン量測定方法に関する検討, 日本原子力学会 2016 年秋の大会 1A09, 平成 28 年 9 月</p> <p>(2) 仲神 元順, 三村 隆士, 川合 健太, 渡邊 将人, 浜岡 1・2 号機 解体撤去物を対象としたクリアランス測定評価手法の開発 (1) 全体概要と二次的汚染の測定評価, 日本原子力学会 2019 年秋の大会 2G20, 令和元年 9 月</p> <p>(3) <u>酒井 宏隆</u>, <u>吉居 大樹</u>, <u>川崎 智</u>, 低濃度放射能測定における ISO 11929 に従った測定の不確かさと特性値の導出, RADIOISOTOPES 68(9) 659 - 673 令和元年 9 月</p> <p>(4) <u>酒井 宏隆</u>, <u>吉居 大樹</u>, <u>川崎 智</u>, 放射能分布の逆問題解法でのモンテカルロ法による測定の不確かさ評価, Radiation Detectors and Their Uses, Proceedings of the 33rd Workshop on Radiation Detectors and Their Uses (2019-4) 24 - 32, 令和元年 12 月</p> <p>(5) <u>吉居 大樹</u>, <u>酒井 宏隆</u>, <u>川崎 智</u>, PCB 使用安定器内の残留放射能の測定に関する基礎的検討, 日本原子力学会 2019 年秋の大会 2N05, 令和元年 9 月</p>