

研究計画（案）説明資料

廃棄物埋設における長期性能評価に関する研究 事前評価 説明資料

令和2年11月

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ
核燃料廃棄物研究部門

目次

1. 背景
2. 目的
3. 研究の概要
4. 研究計画(工程表)

1. 背景

➤ 廃棄物埋設に係る規制基準の整備状況

中深度処分（中深度埋設）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、廃棄体及び埋設施設に関する技術基準の性能規定化、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の要求等が要求された。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。

➤ 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

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。

➤ 中深度処分の特徴

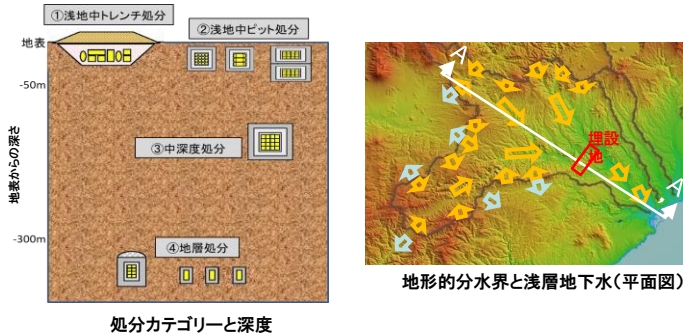
中深度処分対象の廃棄物の潜在的な影響が約10万年間継続するため、この間、廃棄物埋設地を破壊して処分システムの機能を損なうような自然現象が起こらない地質・水理環境条件が満たされることに加えて、放射性物質の移行を抑制する性能を安定して発揮する天然バリア及び人工バリアの状態を把握することが必要となる。

1.1 対象とする処分形態



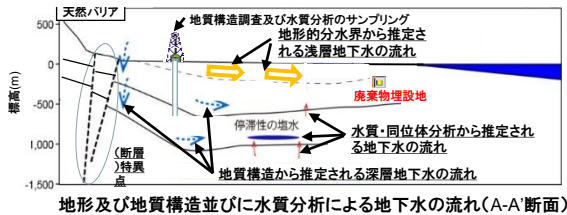
1.2 これまでの安全研究との関係性

○廃棄物埋設に関する研究



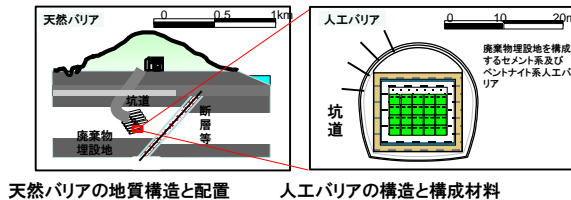
処分カテゴリーと深度

(1)天然バリアの自然事象を考慮した長期特性に関する研究



地形及び地質構造並びに水質分析による地下水の流れ(A-A'断面)

(2)廃棄物埋設における長期性能に関する研究



天然バリアの地質構造と配置

人工バリアの構造と構成材料

【安全研究の内容】

・平成29年度～令和2年度:規則を作成する上での「要件の抽出及び要求性能等」について科学的・技術的知見の整理する

・令和3年度～令和6年度:審査における「要求性能等に対する具体的判断指標及びクライテリア等」について科学的・技術的知見の整理(概念的整理をより細かく整理したもの)

(1) 天然バリアの自然事象を考慮した長期特性に関する研究 →委託

- 隆起・沈降、侵食、火山、断層等の自然事象に関する研究①
- 地下水流動及び核種移行に関する評価手法の研究②③

(2) 廃棄物埋設における長期性能に関する研究 →委託

- 人工バリアの長期性能に関する研究②
- 天然バリア中の核種移行に関する研究②③

(3) 廃棄物埋設におけるシナリオ・線量評価に関する研究 →委託

- ALARAにおけるシナリオ・経路との妥当性判断に関する研究②③

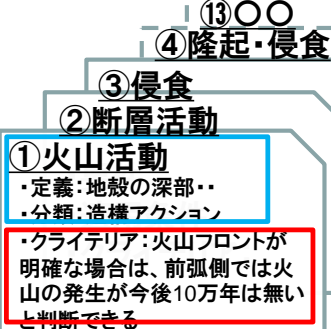
(4) モニタリングによる性能確認に関する研究 →委託

- モニタリング孔等の閉鎖措置に係る判断に関する研究③
- 性能確認モニタリングに関する研究③

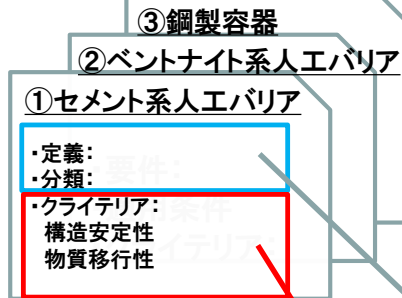
1.4 安全研究の成果のイメージ

○個別要素技術(工学技術)

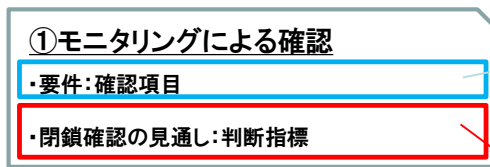
①天然バリア:13項目



②人工バリア:3項目



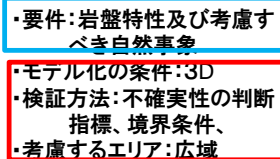
③モニタリング:1項目



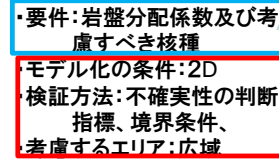
①②③を適切に組み合わせて安全評価を行う

○安全評価技術(放射線防護上の線量評価)

㊦地下水流動解析



㊧核種移行評価



アウトプット

- ・NRA技報
- ・査読付き論文
- ・学会発表

- ・H29～R2安全研究の成果を踏まえて、R3年度において、4～5編の執筆予定
- ・R3年以降の安全研究では、個別要素技術及び評価項目ごとに論文等を十数編執筆予定

到達度

規則

⇒R2年中に施行予定

○H29～R2安全研究の対象

規則を作成する上での「要件の抽出及び要求性能等」について科学的・技術的知見の整理する

審査ガイド・マニュアル等

○R3～R6(新規)安全研究の対象

審査における「要求性能等に対する具体的判断指標及びクライテリア等」について科学的・技術的知見の整理

アウトカム

- ・第二種埋設規則 (事業規則、許可基準、掘削制限規則)
- ・審査ガイド (設計プロセス、濃度制限、位置等)
- ・審査マニュアル 等

1.3 知見の活用先

本プロジェクトで得られた成果は、下記**分類**のうち、**分類②**が中心となる。

分類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
- ・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
- ・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)

分類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
- ・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

分類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

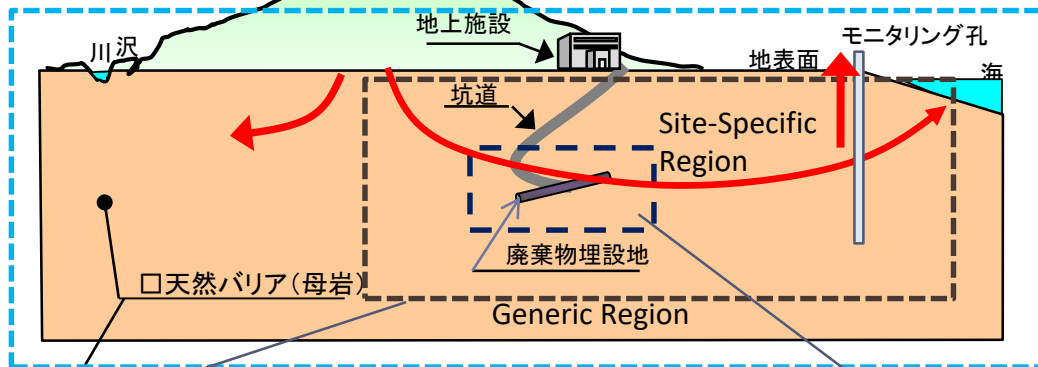
分類④: 処分分野の技術基盤の構築及び人材維持・育成のための科学的・技術的知見の収集・整備

2. 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。

3. 研究の概要

広域調査区域: GR範囲を決定するための調査区域



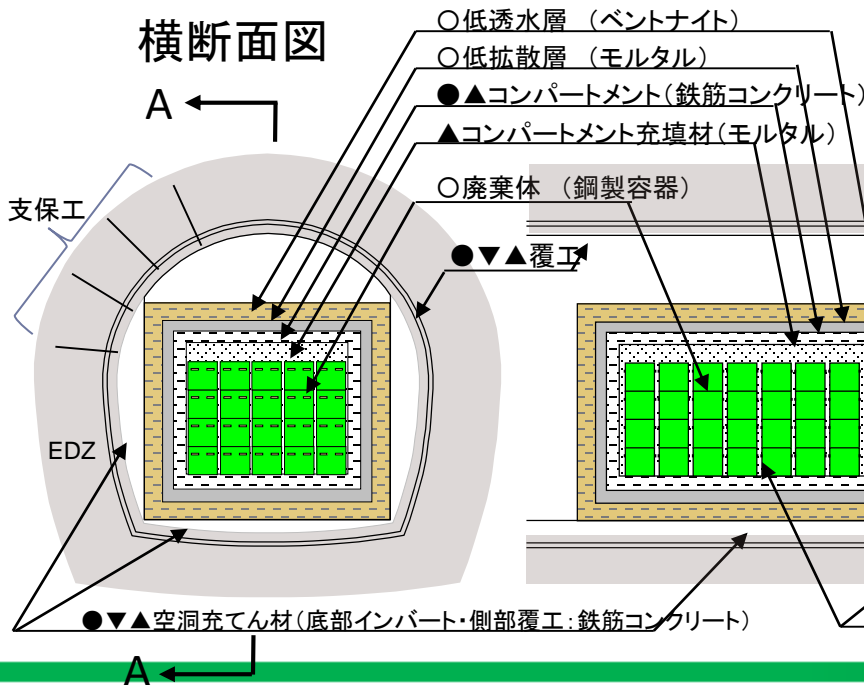
対象部位に必要な性能

- 人工構築材料・力学・水文学 ←構成則構築
- 自然材料・力学・水文学 ←構成則構築
- ▼水文学 ←影響評価
- ▲施工 ←影響評価
- 力学 ←影響評価

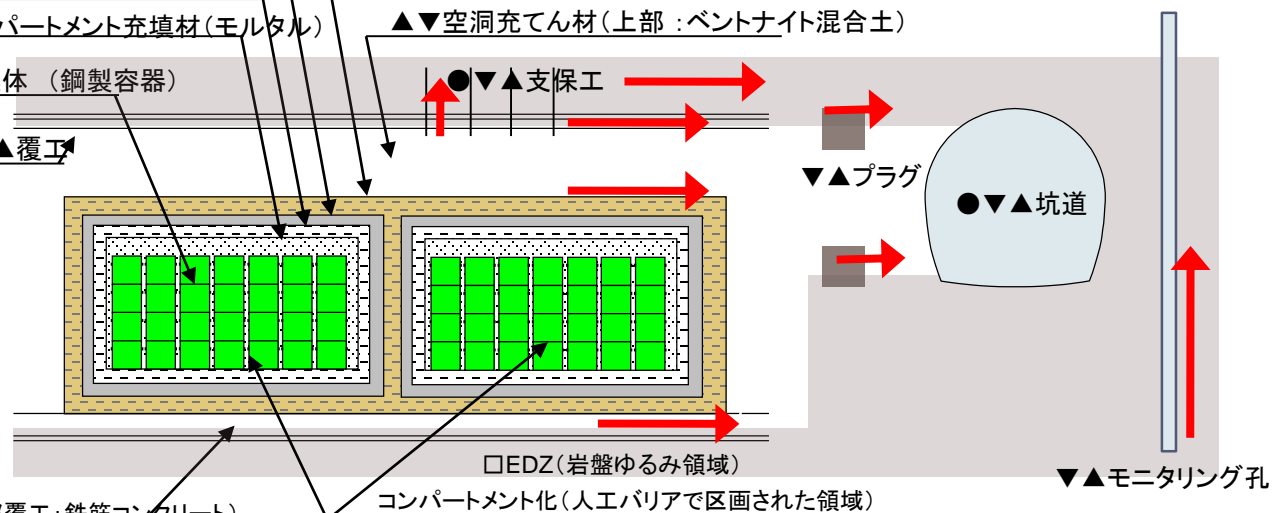
水平域: 涵養域から流出域までの水文による決まる区域
鉛直域: 処分坑道深度の3倍程度の地質構造により決まる区域

水平域: 処分坑道の設置により地下水・核種移行に影響する範囲の3倍程度の区域
鉛直域: 処分坑道の力学損傷により水理特性に影響する範囲の3倍程度の区域

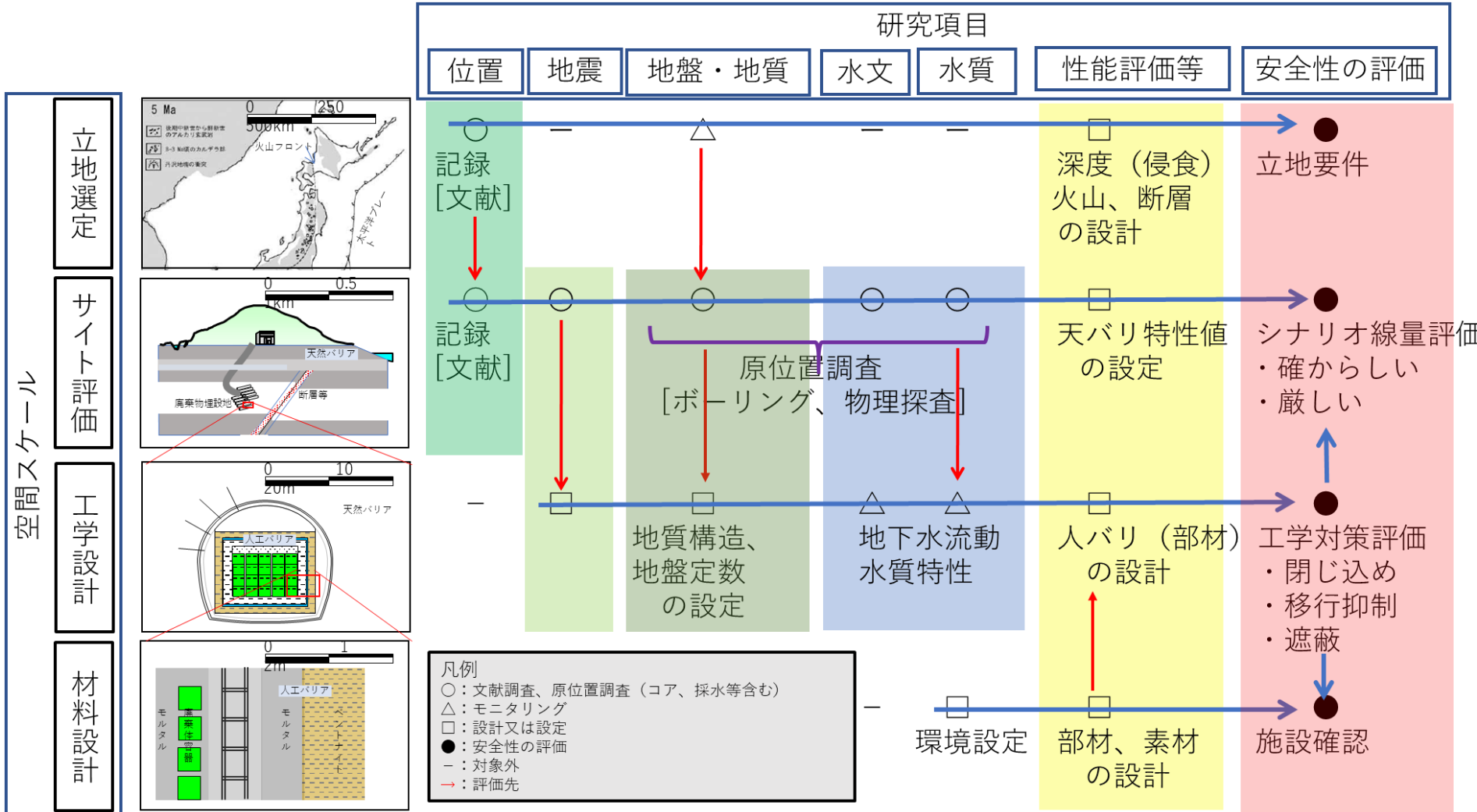
横断面図



A-A縦断面図



空間スケールと研究項目の関係



3. 研究の概要

廃棄物埋設に係る安全研究は、下記の三つのカテゴリーに分けている

(1) 自然事象の長期評価に関する研究【分類①②③④】

天然バリアに関する研究

(2) 廃棄物埋設における性能評価手法に関する研究【分類①②③④】

人工バリアに関する研究

(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①②】

性能確認モニタリング、閉鎖措置のみとおし確認等

(4) 浅地中処分等に関する研究【分類①②③④】

3.1 具体的な研究の項目

(1) 自然事象の長期評価に関する研究【分類①②③④】

a.断層等に関する評価手法の研究【分類①②】

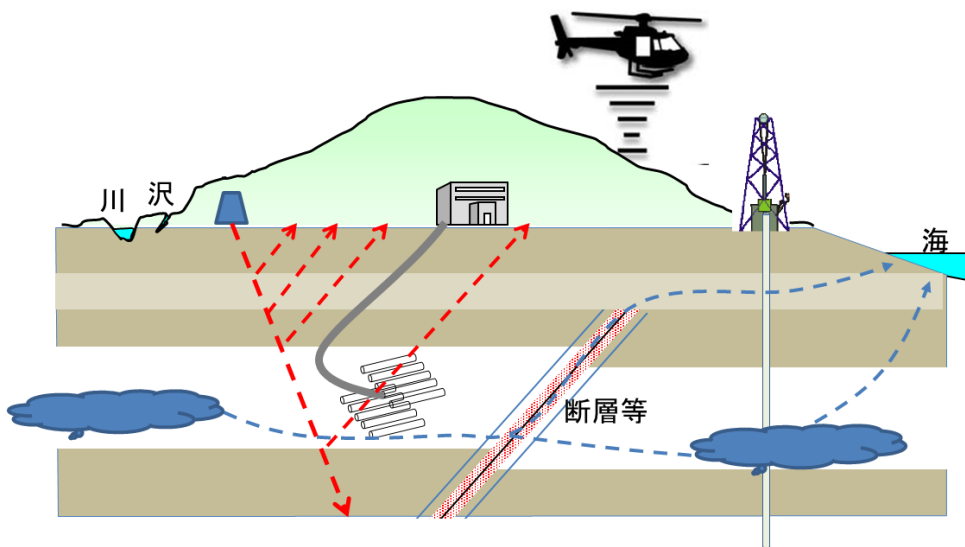
b.地下水流動場に関する評価手法の研究【分類②及び分類③】

c.岩盤の力学状態と水理特性に関する研究【分類②④】

なお、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は、今回の安全研究項目としていない。

(1) a.断層等に関する評価手法の研究【分類①②】

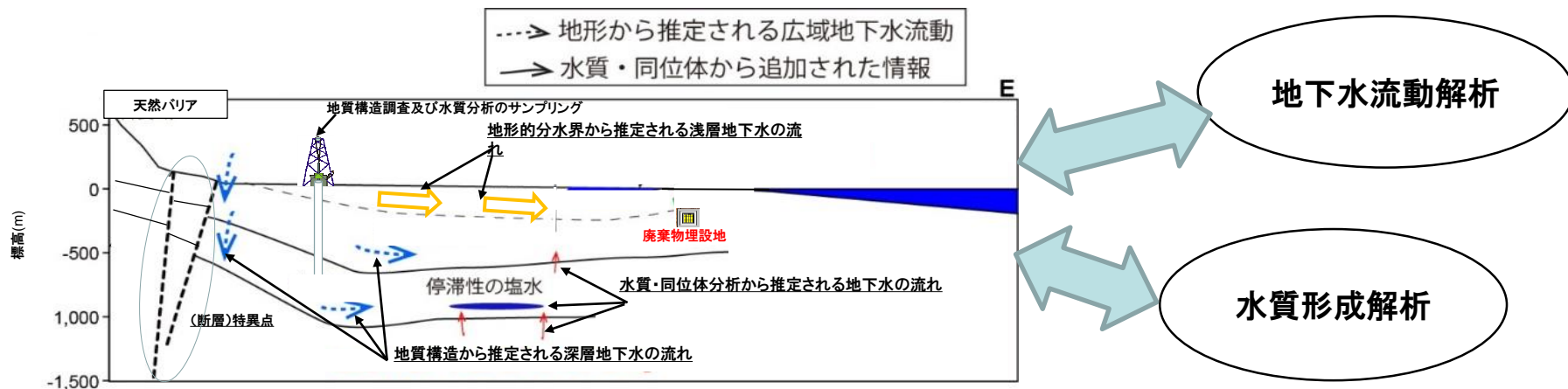
これまで行った断層等の地質情報に関する調査手法等とそれに伴う不確実性の調査結果を整理する。また、観測される断層の中から長期間における活動の可能性の観点から着目すべき断層を抽出するために、地殻造構応力の空間的な広がりや断層の活動性などの科学的・技術的知見の取得も併せて行う。



(1) 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】

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、地形等から水理解析の手法を用いて地下水流動場及び水質形成についてのモデル化を行う。一方で、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等を行い、地下水水質、地下水年代、地質の透水係数等の分布を把握し、地下水の起源、滞留性等を検討し、その妥当性について検討して地下水流動場評価手法に係る科学的・技術的知見を取得する。

地質、透水係数、水質、地下水年代等の調査



(1)c.室内／岩盤の力学状態と水理特性に関する研究【分類②④】

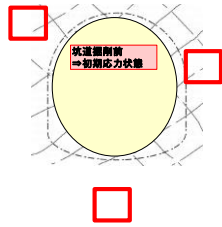
岩盤の損傷が水理特性に及ぼす影響を評価(たとえば、坑道掘削の場合)

他に断層面・地滑り面、地殻変動等がある

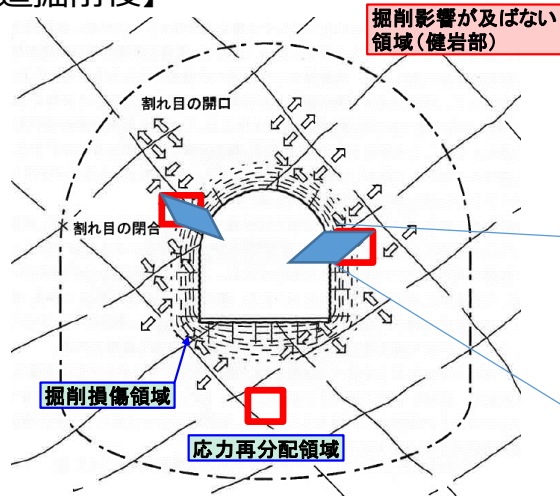
- ✓ 従来研究は、トンネル工学的に掘削することによる**力学的損傷に着目**
- ✓ 廃棄物処分では、掘削に伴って地下水流動及び核種移行への影響を**水理的に評価が必要**

→ **力学・水理学連成試験による評価が必要**
(試験装置を製作してメカニズムの解明を行う)

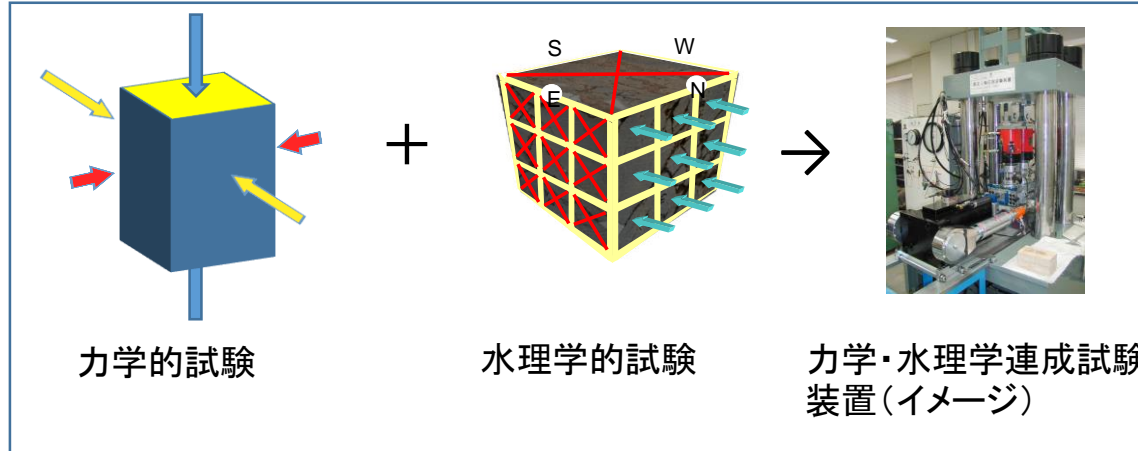
【坑道掘削前】



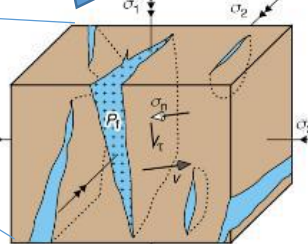
【坑道掘削後】



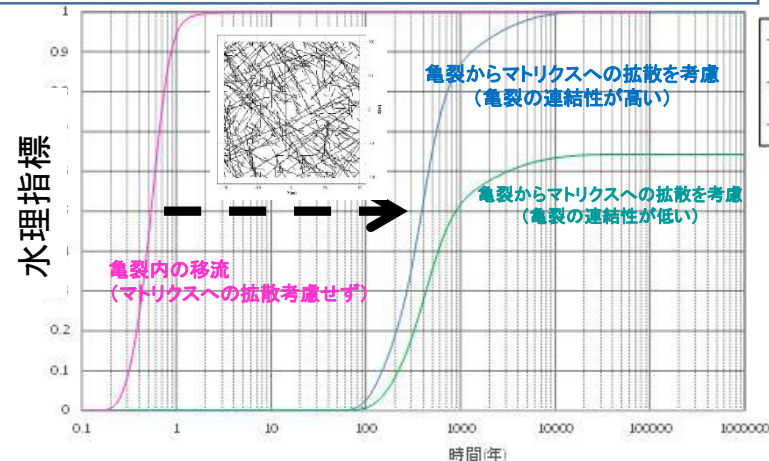
EDZの概念



岩盤内の応力状態により
損傷形態が変わる



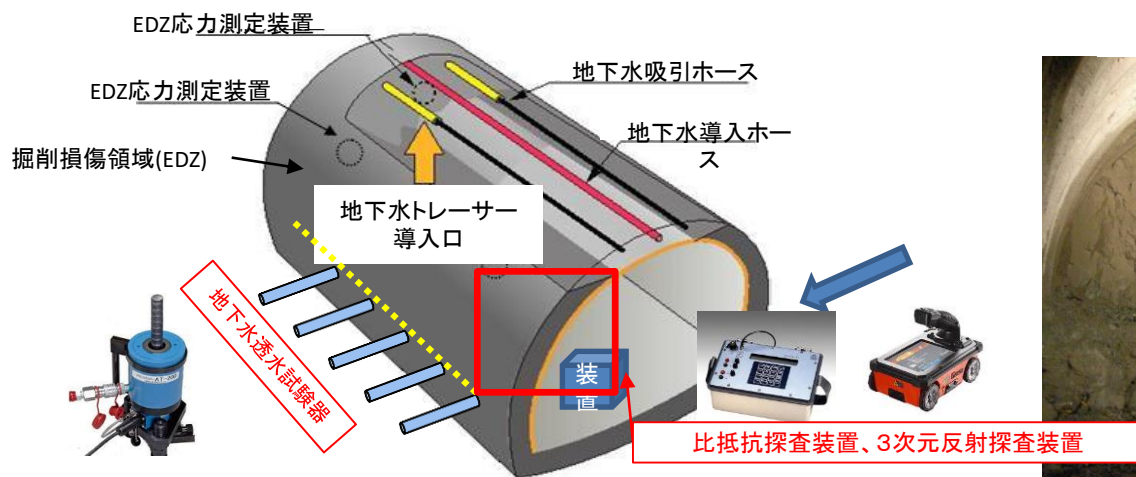
掘削に伴う亀裂等損傷
の発生と水径の形成



亀裂等の評価と水理特性の変化

(1)c.原位置／岩盤の力学状態と水理特性に関する研究【分類②④】

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。



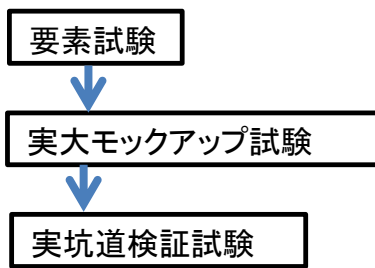
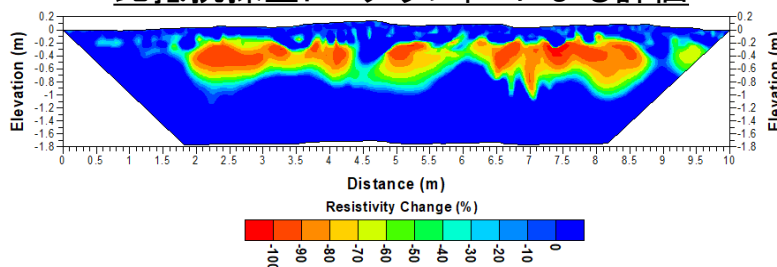
廃棄物埋設地相当の坑道



計測システム装置



比抵抗探査トモグラフィーによる評価



3.2 具体的な研究の項目(1/2)

(2) 廃棄物埋設における性能評価手法に関する研究【分類①②③④】

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①②③④】

ベントナイトの長期的な変質とそれに伴う透水性の変化について、浅地中処分における埋設後約1,000年間よりも極めて長い期間を対象とすることを考慮し、試験で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行う。本検討は、坑道等の埋戻しに用いられることが想定されるベントナイト系止水材とも共通の課題であるので、一体として実施する。

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①②③④】

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・技術的知見を取得する。具体的には、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。

3.2 具体的な研究の項目(2/2)

(2) 廃棄物埋設における性能評価手法に関する研究【分類①②③④】

c. 岩盤の収着・移行現象に関する研究【分類②④】

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が移行を遅延させる重要な機構である。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、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。

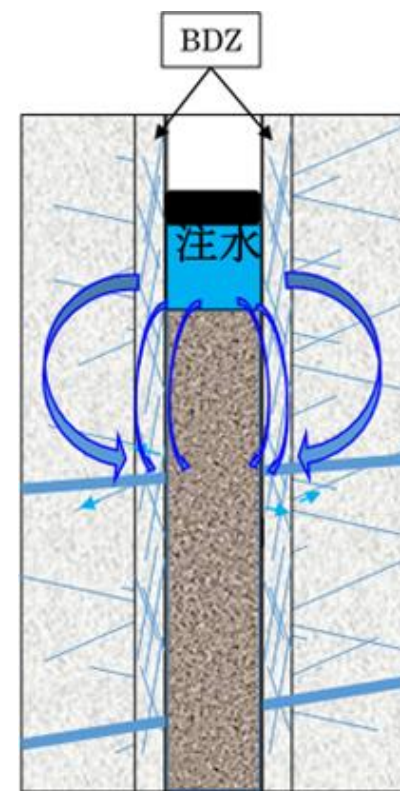
d. 生活環境における放射性物質の移行及び決定グループの設定【分類①②】

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、生物等移行する種々の経路を通じて周辺住民に至る。これまで廃棄物埋設に関する線量評価においては簡略化された扱いが用いられてきたが、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、より現実的な扱いが検討されていることから、このような解析モデルを参考に、主要な移行経路、パラメータ等の検討を行う。

3.3 具体的な研究の項目

(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①②】

- ・閉鎖が不十分なボーリング孔及びボーリング孔周辺（又は処分坑道周辺）のEdzの影響に関する検討
- ・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
- ・閉鎖後の水理試験による確認方法に関する検討



BDZがある場合

3.4 具体的な研究の項目

(4) 浅地中処分等に関する研究【分類①②③④】

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①②】

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地形変化を起こす可能性があるため、このような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、事業が継続する期間中は必要に応じて補修がされるが、事業終了後においてガリー侵食等を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①②③④】

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。

4. 研究計画(行程表)

カテゴリー	研究項目	R3	R4	R5	R6	
(1) 自然事象の長期評価に関する研究	a. 断層等に関する評価手法の研究	■				
	b. 地下水流動	■				
	c. 岩盤の力学状態と水理特性に関する研究	■				
(2) 廃棄物埋設における性能評価手法に関する研究	a. ベントナイト系人工バリア	■				
	b. セメント系人工バリア	■				
	c. 岩盤の収着・移行現象に関する研究	■				
	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	■				
(3) 地質環境及び水理環境モニタリングに関する研究	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研究	■				
(4) 浅地中処分に関する研究	a. 侵食に関する評価手法の研究	■				
	b. 粘土系材料の透水特性、空隙構造等に関する研究	■				

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

事前評価 説明資料

令和2年11月

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

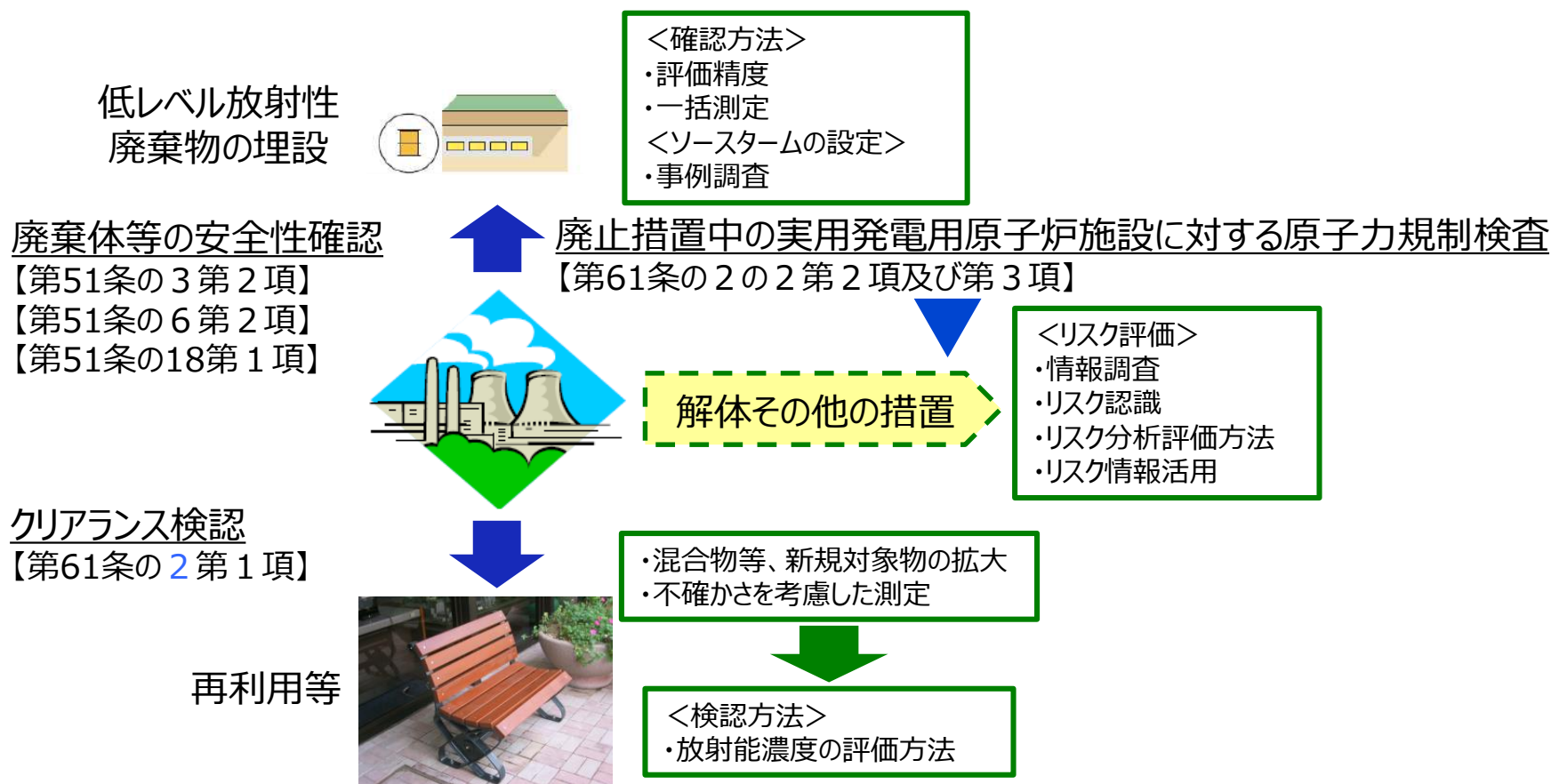
核燃料廃棄物研究部門

目次

1. 背景
2. 目的
3. 研究の概要
4. 研究計画(行程表)

1. 背景①

以下の原子炉等規制法に係る事業(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



1. 背景②

(1) クリアランス検認

- ・ クリアランス制度の適用実績(7施設)
 - 中部電力株式会社浜岡原子力発電所5号炉のタービンロータ
 - 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等
- ・ 放射能濃度確認規則※¹制定(令和2年8月)
 - 旧規則・・・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に限定
 - 新規則・・・クリアランス対象物: 固体状のもの(限定が撤廃)
- ・ 放射能濃度確認審査基準※²制定(令和元年9月、令和2年8月改正)
 - 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明確化



- ・ 放射能濃度の測定: 過小評価にならないような条件設定(参考文献(1),(2))の上で、適切に放射能濃度を定量評価する必要
 - ・ 放射能濃度の測定方法: クリアランス対象物によって異なる
- 放射能濃度の測定及び評価の手法が新規クリアランス対象物に対して適切なものであることを審査において判断することが必要**

※1: 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)
※2: 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)

1. 背景③

(2) 廃棄体等の安全性確認

- ・ 廃止措置の開始以後の公衆の被ばく線量評価(許可基準規則第10条):
 - － 中深度処分及び研究施設等廃棄物の埋設事業:評価において以下のソースターム設定等の妥当性を確認することを想定
 - ・ 廃棄体のインベントリ及び核種の放出率
 - ・ 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
 - － 審査において妥当性を判断するための知見を整備する必要
- ・ 新たな廃棄体等の発生を想定
 - － 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うものであって、実績のある200Lドラム缶の廃棄体とは異なる

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

1. 背景④

(3) 廃止措置リスク評価

- ・ 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：
令和2年4月の原子力規制検査の開始による

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

(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

- ・ 廃止措置・クリアランス分野の共通的な課題：放射線計測では定量が難しい
長半減期放射性核種等の定量評価の妥当性確認の実施手段の確立
対応する技術基盤を確立、維持する必要

2. 目的

(1) クリアランス検認

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。

(2) 廃棄体等の安全性確認

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。

(3) 廃止措置リスク評価

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。

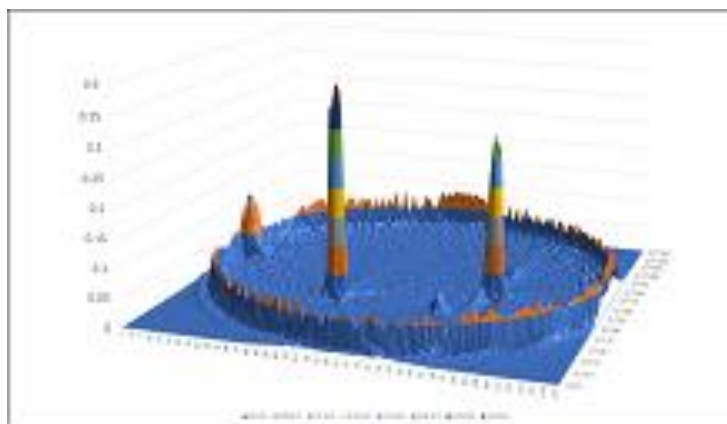
(4) 長半減期放射性核種等の定量評価に係る信頼性確保に関する研究

複雑な性状の試料に含まれる放射線計測では定量の困難な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。

3. 研究の概要①

(1) クリアランス検認

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。

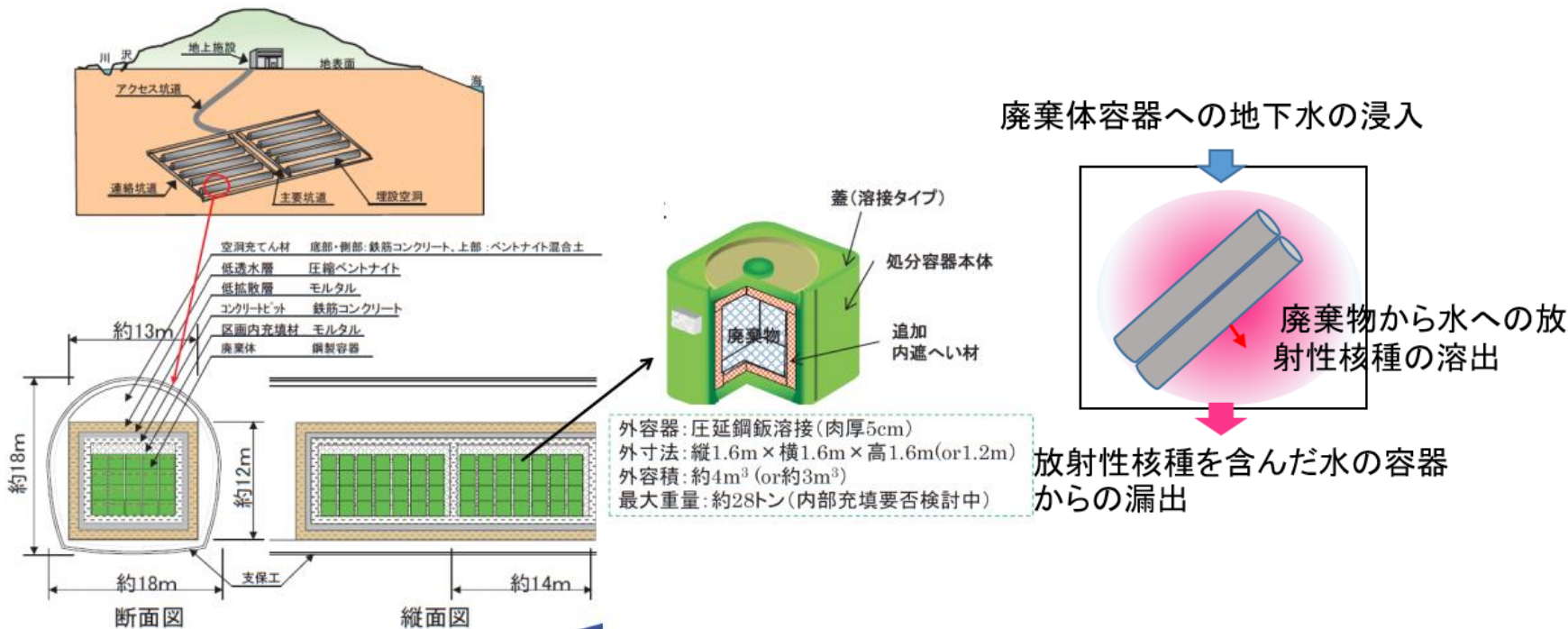


新規のクリアランス対象物と可視化の例
ケーブルのように金属と有機物が混合した新規のクリアランス対象物に含まれる放射能を定量化する際に内部の物質の分布を可視化した情報が有用となる。

3. 研究の概要②-1

(2) 廃棄体等の安全性確認（事業（変更）許可の審査）

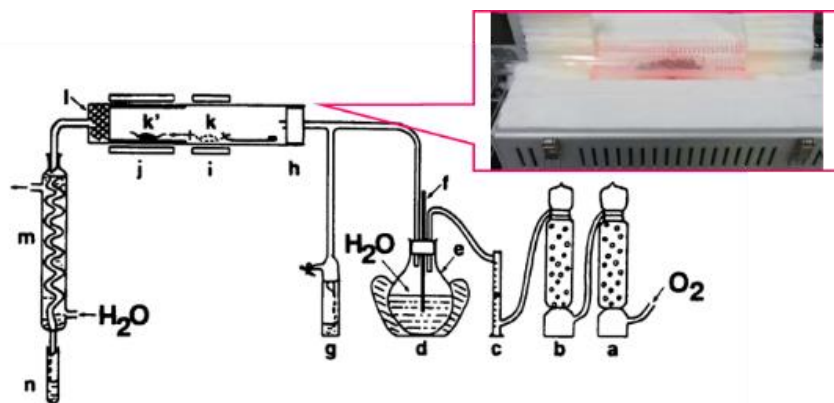
今後想定される中深度処分対象廃棄体及び研究施設等廃棄物におけるソースターム設定等は、廃棄物埋設施設の安全性を評価する上で重要であり、事業（変更）許可の審査において、その設定の妥当性を評価するために必要な、金属廃棄物の腐食挙動、金属の腐食に伴う放射性核種の放出挙動、廃棄物埋設施設の間隙水の物理化学的環境変化に伴う核種移行挙動等に関する情報を獲得する。



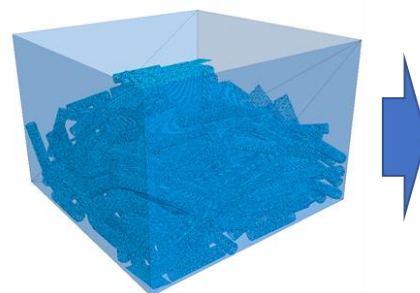
3. 研究の概要②-2

(2) 廃棄体等の安全性確認（後段規制）

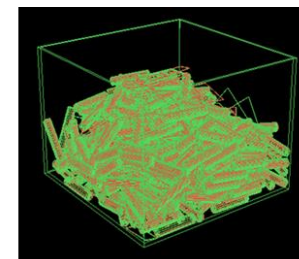
廃棄物確認に関して、中深度処分対象廃棄体に含まれることが想定される放射化核種の分析における技術的留意点及び放射化計算により放射エネルギーを評価する場合の留意点に関する知見を蓄積する。さらに、中深度処分対象廃棄体の放射能濃度を外部からの放射線測定により評価する場合の評価精度及び多数の廃棄物を一括して計測する場合の放射能濃度評価への影響について整理する。



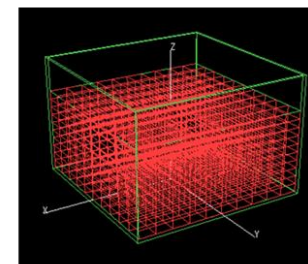
炉内構造材等に含まれる微量な親元素濃度からの放射能濃度評価に係る留意点の抽出に係る試験



PFC3D解析結果
(自由落下・相互作用考慮)



QADモデル
(廃棄物形状考慮モデル)



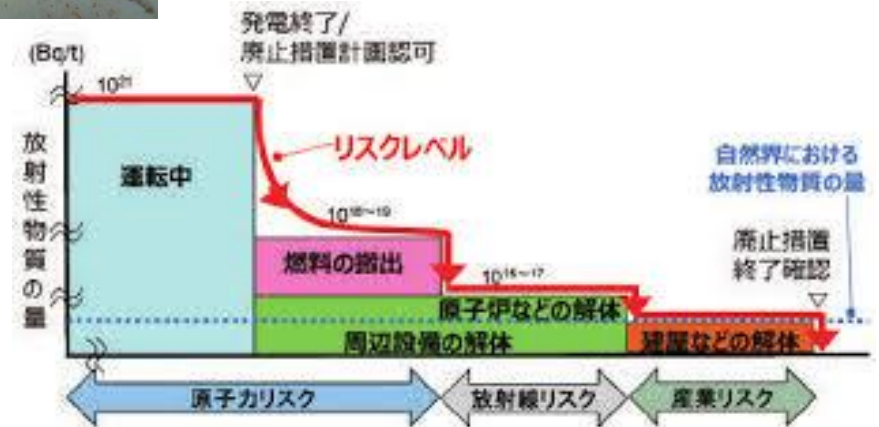
QADモデル
(均質化モデル)

想定される廃棄物モデルの作成例
(検出器応答シミュレーション入力モデル)

3. 研究の概要③

(3) 廃止措置リスク評価（関係機関と協力実施）

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。



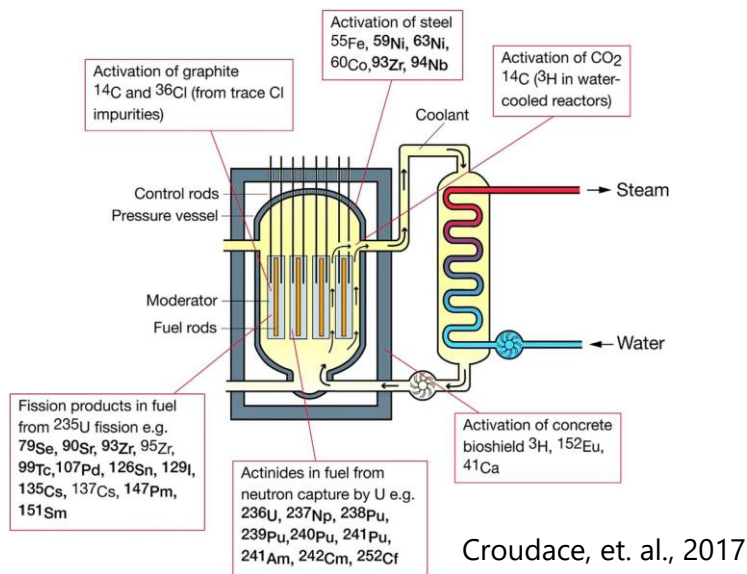
(原子力学会誌 ATOMOΣ2019年2月号)

(<http://www.robot.t.u-tokyo.ac.jp/decomi/wp-content/uploads/2016/03/20151212-02.pdf>)

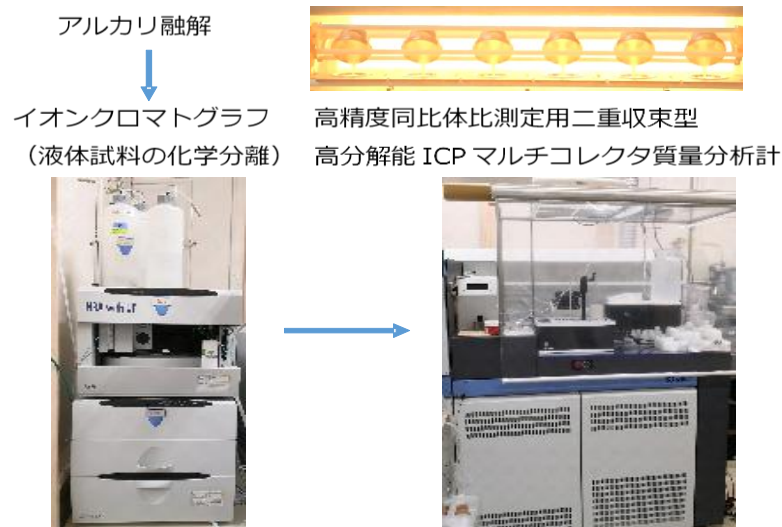
3. 研究の概要④

(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

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る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。



原子炉で形成される長半減期放射性核種等



試料の溶解、化学分離、測定等の多段階処理が必要

4. 研究計画(行程表)

	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度
(1) クリアランス検認	放射能濃度測定信頼性確認のための測定・評価			
	混合物定量化手段の検討、測定評価		↑	
(2) 廃棄対等の安全性確認	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			
	放射能濃度評価に係る影響解析・調査			
	多数の廃棄物の一括測定に係る解析・試験		↑	
(3) 廃止措置リスク評価	事象発生記録及び諸外国における廃止措置リスク評価の最新動向調査			
			↓ リスク認識・分析評価方法の検討	
(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	分析方法の調査、実験装置の導入・整備、試験実施			

研究の過程で得られた知見は適宜、審査等に活用