

【資料33-2-1参考】

**第4期中長期目標期間における
研究開発の計画案
(事前評価(第2回))
〔詳細版〕**

令和4年1月31日

**日本原子力研究開発機構
核燃料・バックエンド研究開発部門
地層処分研究開発推進部**

研究開発課題ごとの研究開発の計画案(詳細版)

参考資料

1. 幌延深地層研究計画

p.2～

2. 超深地層研究所計画

p.12～

3. 地質環境の長期安定性に関する研究

p.15～

4. 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システムに関する研究開発

p.19～

5. 代替処分オプションの研究開発

p.24～

1. 幌延深地層研究計画

令和2年度以降の幌延深地層研究計画における研究項目

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1.1 人工バリア性能確認試験

1.2 物質移行試験

2. 処分概念オプションの実証

2.1 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験

2.1.1 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証※

2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化

2.2 高温(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験

3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

3.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

3.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

3.1.2 地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化※

3.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

※資源エネルギー庁受託事業を活用して実施

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1.1 人工バリア性能確認試験

(研究の背景・狙い・目標・意義)

実際の地質環境下における処分孔竖置き方式を対象とした熱-水-応力-化学連成現象(ガラス固化体設置以降の加熱時から浸潤時・減熱時を模擬した現象)に関する試験をとおして、設計や連成挙動評価手法の適用性の確認(人工バリアの解体調査および緩衝材の飽和度の確認を含む)、ならびに施工方法などの工学的実現性の例示等を行い、設計、施工および評価・解析といった一連の技術に関する基盤情報を整備する。

(実施内容)

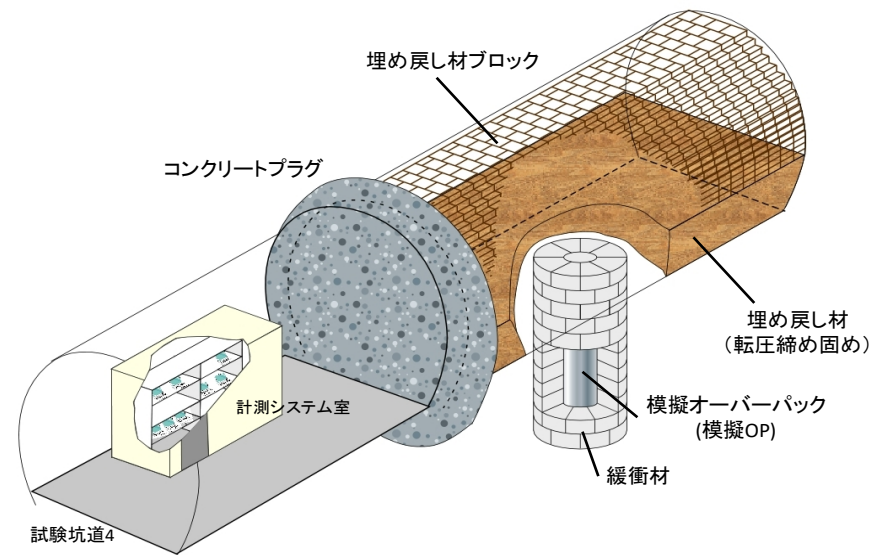
- 注入する地下水の圧力や量を増加させ緩衝材に地下水を浸潤させた場合のデータ(浸潤時・減熱時)を取得、連成モデルの適用性確認
- 国際プロジェクト(DecoValex等)における解析コード間の比較検証、改良・高度化
- 人工バリアの解体作業および緩衝材の飽和度の確認

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 地層処分後の安全評価における初期状態の把握やオーバーパックの寿命を評価する際の人工バリア周辺の環境条件の設定等への反映

(他機関・他部署との連携)

- 国内大学との連携、海外研究機関との研究協力を強化
- 国際プロジェクト(DecoValex等)を継続



人工バリア性能確認試験の概念図

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1.2 物質移行試験

(研究の背景・狙い・目標・意義)

- 幌延地域に分布する泥岩は断層等の構造的な割れ目が分布することが知られているため、岩盤基質部(=健岩部)における拡散および割れ目を介した移流・分散が主要な移行経路や形態として考えられるとともに、有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に影響を及ぼすことが考えられる。
- したがって、割れ目を有する堆積岩における物質移行現象を理解するには、物質移行経路や形態および物質移行現象に影響を与える要因(有機物・微生物・コロイド等)を総合的に評価することが必要である。

(実施内容)

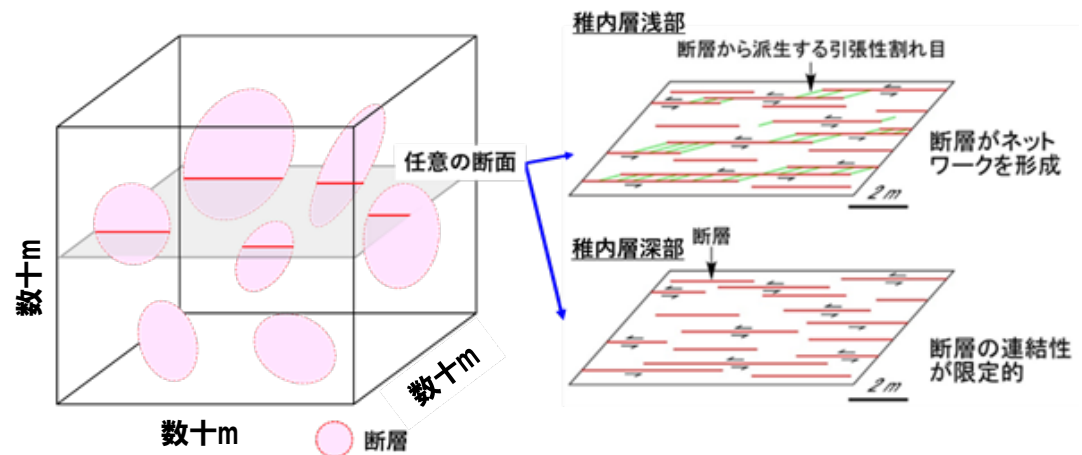
- 掘削損傷領域での物質移行に関するデータ取得
- 有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行試験
- 割れ目を有する堆積岩を対象とした掘削損傷領域を含むブロックスケール(数m~100規模)における遅延性能評価手法の整備

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 地層処分事業における「核種移行解析と線量評価」において、新第三紀堆積岩を対象とした母岩の核種移行モデルを構築する際の基盤情報として活用
- 核種移行モデル及び利用される核種移行パラメータに含まれる不確実性をより低減することで、核種移行解析結果の保守性をより合理的なものにするための基盤情報として活用

(他機関・他部署との連携)

- 国内大学との連携、海外研究機関との研究協力を強化



ブロックスケールにおける物質移行のイメージ

2. 処分概念オプションの実証

2.1 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験

2.1.1 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証

(研究の背景・狙い・目標・意義)

処分場の操業(廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む)に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証を目的として、幌延の地下施設を事例に、原位置試験を実施し、人工バリアの搬送定置・回収技術及び閉鎖技術を実証する。

(実施内容)

- 搬送定置・回収技術の実証(緩衝材や埋め戻し材の状態に応じた除去技術の技術オプションの整理、回収容易性を考慮した概念オプション提示、回収維持の影響に関する品質評価手法の提示)
- 閉鎖技術(埋め戻し方法:プラグ等)の実証
- 人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工方法の違いに係る品質保証体系の構築

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 合理的に人工バリアを回収するための手法の提示、回収可能性を維持した場合の処分場の安全性への影響に関する品質評価手法の提示
- 将来的に処分場を閉鎖する際に適用される閉鎖技術に求める性能を設定する際やその性能を担保するために必要となる設計・施工技術を選択する際の基盤情報の提示

(他機関・他部署との連携)

- 国内大学との連携、海外研究機関との研究協力を強化



(a) 坑道側面に設けた切欠き部



(b) 吹付けの実施状況

ベントナイトの吹付けによる止水プラグの施工試験

2. 処分概念オプションの実証

2.1 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験

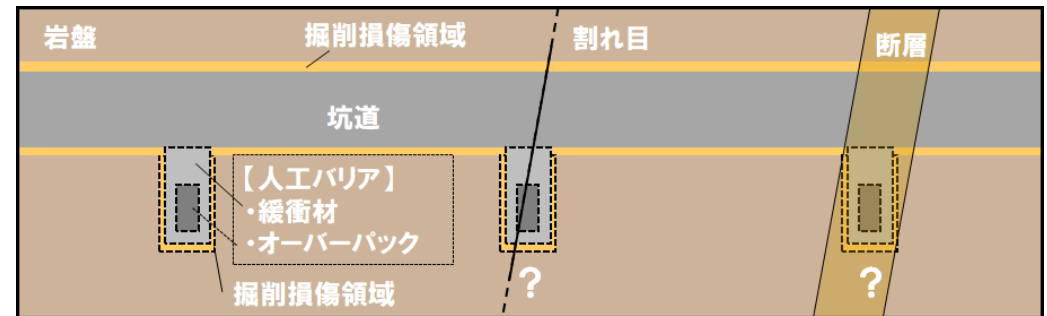
2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化

(研究の背景・狙い・目標・意義)

深度350mに至るまでに遭遇した異なる地質環境において培ってきた様々な技術を効果的に選択し組み合わせ、地質環境の調査・評価に基づく坑道の設計・施工、安全評価のためのオプションも含めた一連の技術を稚内層深部領域(深度500m)において実証する。より難易度が高く未経験の地質環境に対して、設計・施工、安全評価技術の適用を行うことにより、技術の実証性を確かなものとする事ができるとともに、より幅広い地質環境を対象とした技術や経験が得られる。

(実施内容)

- 先行ボーリングによる地質環境特性調査ならびに工学的対策技術を考慮した、地下施設及び人工バリアの設計評価技術の確認
- 多接続坑道を考慮した湧水抑制対策技術及び処分孔支保技術の整備、緩衝材流出・侵入現象評価手法及び抑制対策技術の整備
- 廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要な情報の整理



坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化の概念図

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

処分事業において想定される様々な地質環境に適用できる一連の技術を体系的に示すことができ、処分事業における様々な判断の技術的根拠の提供、人工バリアの設計の精緻化が可能となるなど、実施主体と規制機関の双方に貢献する。

(他機関・他部署との連携)

- 国内大学との連携、海外研究機関との研究協力を強化

2. 処分概念オプションの実証

2.2 高温度(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験

(研究の背景・狙い・目標・意義)

- 人工バリア設置環境の深度依存性を考慮し、種々の処分概念オプションの工学的実現性を実証し、多様な地質環境条件に対して柔軟な処分場設計を行うことを支援する技術オプションを提供する。
- 実際の処分事業では、オーバーパック表面が100℃以下になるように処分することが基本であるが、想定外の要因によって100℃を超えた状態になることを想定して、人工バリアシステムの安全裕度を検証する。

(実施内容)

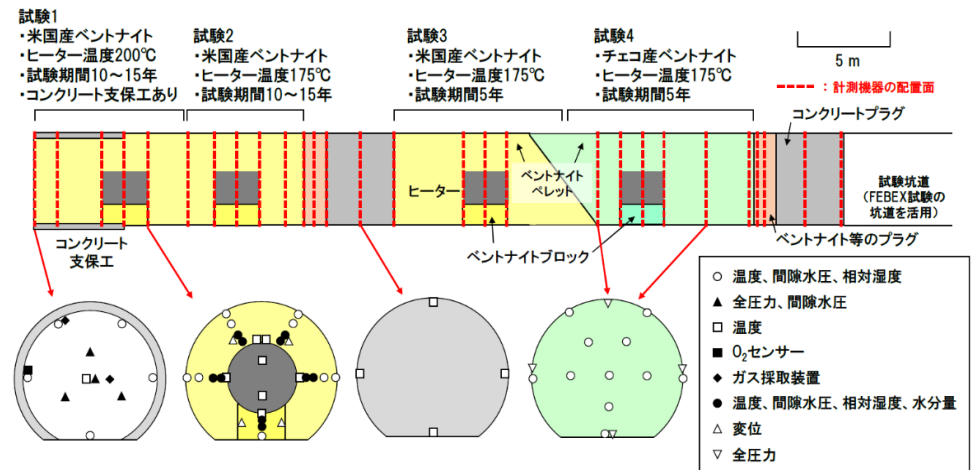
- ▶ 高温度(100℃以上)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験
- ▶ 100℃超になった際にニアフィールド(人工バリアとその周辺岩盤の領域)において発生する現象の整理
- ▶ ニアフィールドにおける上限温度設定の考え方を提示(国際プロジェクト情報を収集し、発生する現象を整理)

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- ▶ 従来の地層処分場の設計における温度条件の制限を緩和できる可能性がある
- ▶ 想定外の要因により緩衝材の温度が100℃を超えた場合の人工バリアの挙動の検討や、高温条件下での人工バリアの安全裕度の評価が可能

(他機関・他部署との連携)

- ▶ 国内大学との連携、海外研究機関との研究協力を強化



高温条件下における人工バリア試験の施工状況ならびに計測機器の配置断面図(海外での研究事例)

3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

3.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

3.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

(研究の背景・狙い・目標・意義)

- 岩盤中には大小様々な断層が存在するが、小規模なものいくつかは処分場に取り込まざるを得ない可能性がある。それらの断層が地震や隆起などの地殻変動の影響を受けた場合に、その透水性がどの程度まで上昇し得るかを検討しておく必要がある。
- 断層の透水性は断層の変形様式に大きく依存する。脆性的な変形が起こると断層の透水性は有意に上昇しやすいが、延性的な変形の場合は透水性が上昇しにくい。生じる変形が脆性的か延性的かは、変形時の岩石強度、応力などに依存する。
- 本研究では、地殻変動に対する緩衝能力が潜在的に高いことから堆積岩に重点を置き、断層の変形様式を支配する岩石の強度・応力状態を計測且つマッピングが可能なパラメータで指標化することを試みる。そのようなパラメータと断層の透水性の潜在的な上限を関係付けることができれば、処分場閉鎖後の断層の透水性について現実的な状態設定が可能となる。

(実施内容)

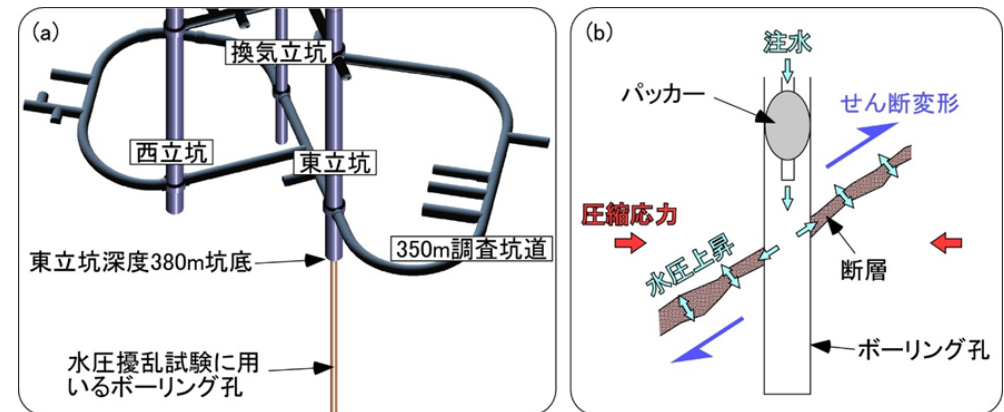
- 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握(ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験)
- DI(ダクティリティ・インデックス: 岩盤にかかる平均応力を引張強度で割った値)を用いた透水性評価の信頼性向上・隆起侵食の影響評価手法の整備
- 水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法の整備

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 「地質環境特性の長期変遷のモデル化技術の高度化」や「ニアフィールドにおける状態変遷を考慮した核種移行解析モデルの構築」に貢献

(他機関・他部署との連携)

- 国内大学との連携、海外研究機関との研究協力を強化



水圧擾乱試験の概要

3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

3.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

3.1.2 地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化

(研究の背景・狙い・目標・意義)

地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域に相当と仮定)の分布を把握することは、処分事業における処分場選定の際に有用な情報になり得る。このため、地上からの調査により、化石海水の三次元分布を評価する既存技術の高度化を図る。

(実施内容)

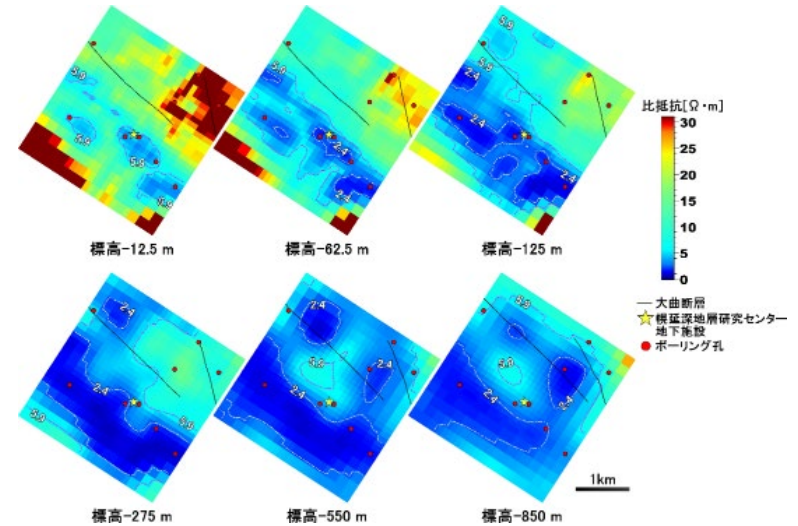
- 地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域)の調査・評価技術の検証
- 化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法の検証
- 広域スケール(10数km×10数km)を対象とした水理・物質移動評価手法の検証(地下水滞留時間)評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析)

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

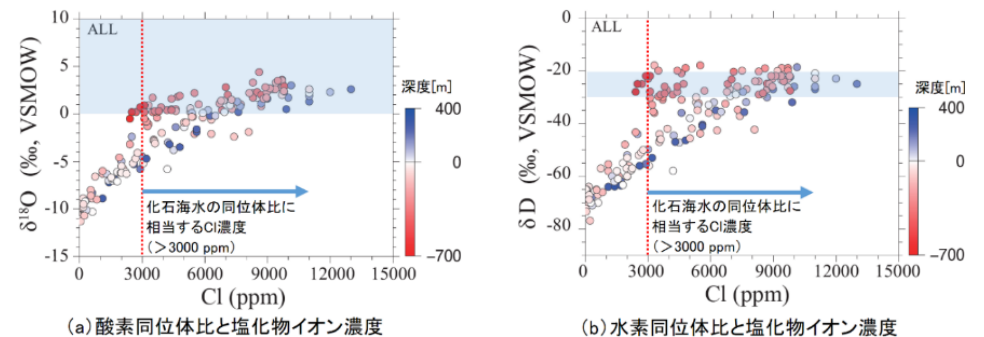
- 概要調査における、地下水の流動が緩慢な“低流動域”の空間的な広がりを地表から効率的に調査・評価する技術に寄与

(他機関・他部署との連携)

- 国内大学との連携、海外研究機関との研究協力を強化



電磁探査により得られた三次元比抵抗分布の水平断面図



(a) 酸素同位体比と塩化物イオン濃度

(b) 水素同位体比と塩化物イオン濃度

酸素・水素同位体比と塩化物イオン濃度の関係

3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

3.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

(研究の背景・狙い・目標・意義)

地震・断層活動等の地殻変動に対する堆積岩の力学的・水理学的な緩衝能力(自己治癒能力)を定量的に検証し、堆積岩地域における立地選定や処分場の設計を、より科学的・合理的に行える技術と知見を整備する。緩衝材や坑道の埋め戻し材による掘削損傷領域(EDZ)のひび割れの自己治癒能力を評価する手法の確立する。

(実施内容)

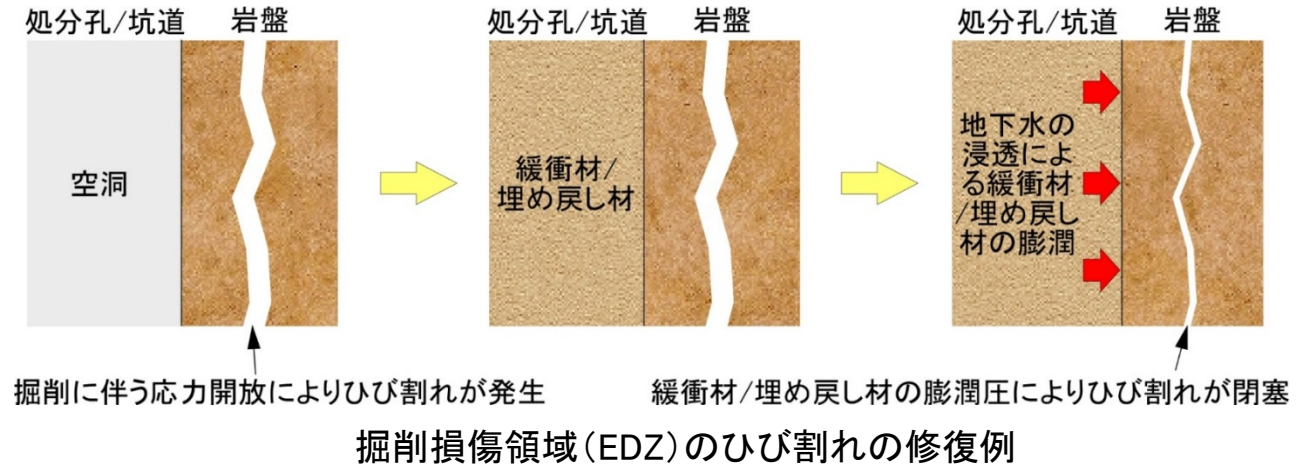
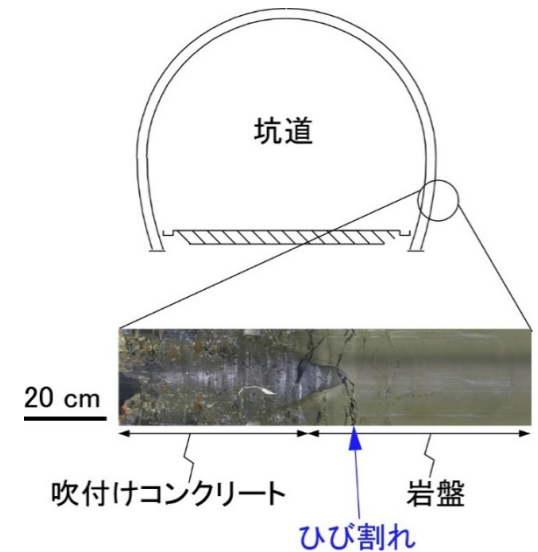
- 人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材が掘削損傷領域(EDZ)の力学的・水理学的な緩衝能力(自己治癒能力)に与える影響を把握する解析手法の開発
- ✓ DIを用いたEDZの透水性を予測する既存モデルの再検証
- ✓ 坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性を推定するモデルの構築

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 「処分場閉鎖後の水みちを防止する技術の整備」や「ニアフィールドにおける状態変遷を考慮した核種移行解析モデルの構築」に貢献

(他機関・他部署との連携)

- 国内大学との連携、海外研究機関との研究協力を強化



2. 超深地層研究所計画

1. 地下水の環境モニタリング調査

(研究の背景・狙い・目標・意義)

坑道の埋め戻しに伴う地下深部の地下水環境の回復過程及び周辺環境への影響を確認するための環境モニタリング調査として、必要となる水質・水圧データを取得する地下水観測を実施する。

(実施内容)

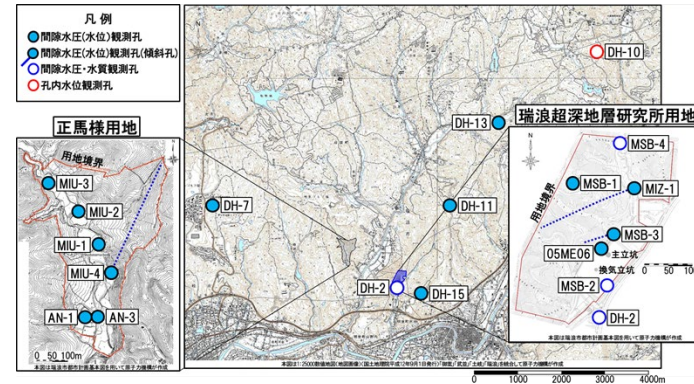
令和3年度までに整備したシステム及び既往の観測システムを用いて水圧・水質観測を行う。(令和8年度まで実施)

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 坑道埋め戻し時のデータについては、令和4年度に研究開発報告書類として公表予定。
- 坑道埋め戻し後のデータ(～令和8年度)についても研究開発報告書類として適宜公表していく。

(他機関・他部署との連携)

- 公表データについては、地層処分事業における坑道埋め戻し後の地下水環境の回復過程を評価する際の基礎データとしての活用が期待される。



地下水の環境モニタリング調査における地上観測点



地下水の環境モニタリング調査における地下観測点

2. モニタリング設備等撤去

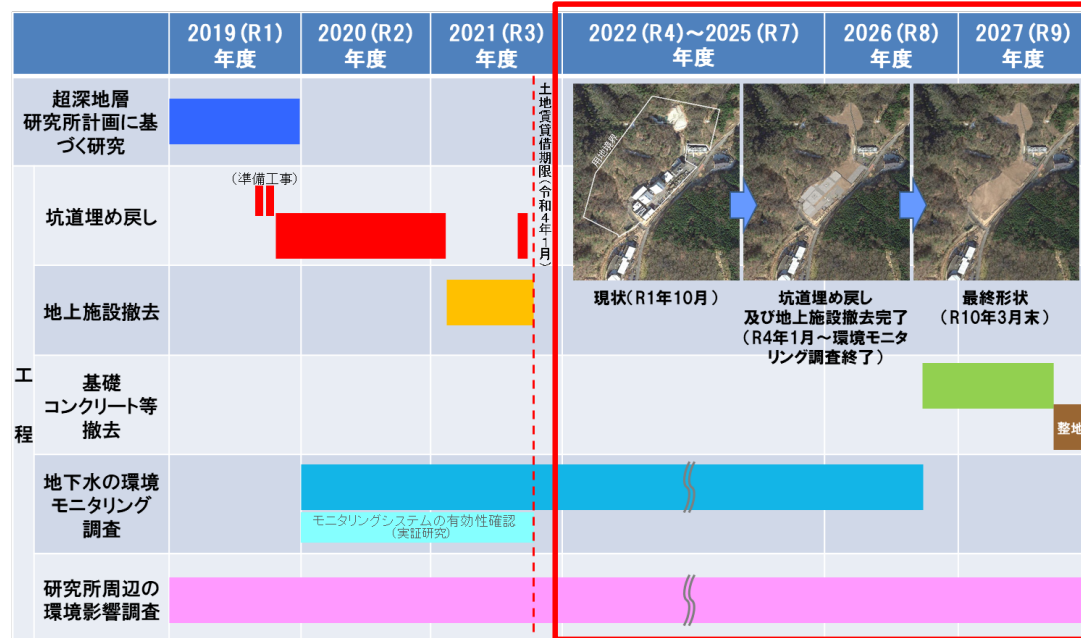
(研究の背景・狙い・目標・意義)

研究所用地内及び周辺に設置されている地上からのボーリング孔を閉塞するとともに、立坑坑口の基礎コンクリート等を撤去する。

(実施内容)

研究所用地内及び研究所用地周辺のボーリング孔等について、観測終了後の観測機器等の撤去、観測孔の閉塞措置を行う。

立坑坑口上部のコンクリートを撤去し、坑口を閉塞するとともに、敷地内のアスファルト舗装を撤去し、砕石を敷均して整地する。また、敷地周囲の植栽工・フェンスを撤去する。(令和9年1月以降実施)



* 地上観測孔を利用した坑道周辺の地下水の水圧・水質観測については、研究所設置当初から継続しています。

瑞浪超深地層研究所の埋め戻し工事工程案

3. 地質環境の長期安定性に関する研究

1. 調査技術の開発・体系化

(研究の背景・狙い・目標・意義)

令和2年に文献調査が始まり、今後近いうちに、複数の地点で同時並行的に概要調査が行われる可能性が考えられる状況となってきたが、我が国の地質環境は火山や活断層の分布、隆起・侵食の特徴や地下地質等において地域ごとに非常に大きな違いがある。そのため、地質環境の大きく異なる各サイトにおける自然現象の影響評価に的確に対応できるよう、引き続き幅広い調査・評価技術の整備を進める必要がある。本技術開発では、特に概要調査後半～精密調査において評価が求められる熱水活動(深部流体等)、断層運動、隆起・侵食、気候・海水準変動に関する調査・評価技術の拡充を行う。

(実施内容)

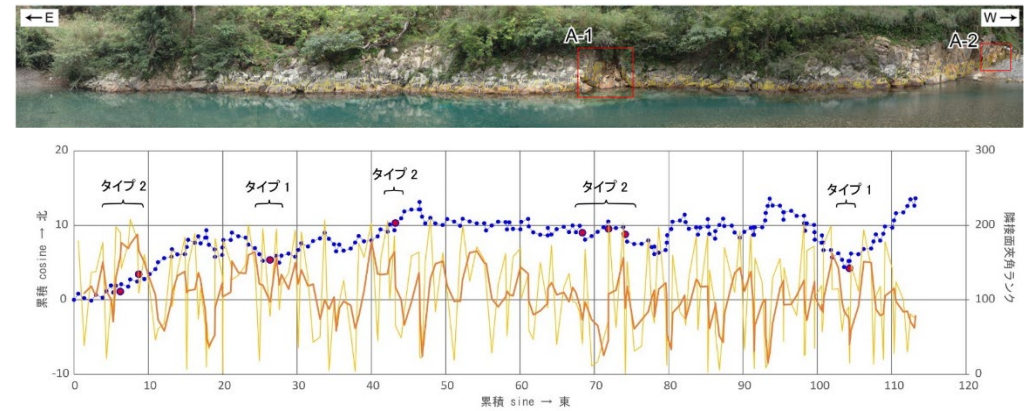
概要・精密調査における自然現象の影響評価(人工バリアへの局所的な損傷や、サイト周辺の地下水流動の変化等)に必要な知見を提供するため、特に熱水活動(深部流体等)、断層運動、隆起・侵食、気候・海水準変動の特徴および過去～現在までの履歴を把握するための各個別技術の拡充を進める。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 本技術開発から得られる成果は、概要調査～精密調査において、深部流体の流入や断層運動等の発生可能性、及びそれらが地層処分システムに及ぼす影響を調査・評価し、最適なサイト設計に反映させる上で活用できる。

(他機関・他部署との連携)

- 国内外の大学・研究機関や、共通する技術開発ニーズを有する企業(電力会社等)との協力研究を強化
- 地層処分実施主体への着実な技術継承



深部流体の湧出域において割れ目の方位解析を行い、流体の移行経路について検討した例

2. 長期予測・影響評価モデルの開発

(研究の背景・狙い・目標・意義)

地層処分における将来の地質環境の予測・評価は、過去の自然現象の偏在性や変動傾向に基づき、将来へ外挿することが基本となる。ただし過去の自然現象に関する情報を取得する過程では、しばしば様々な不確実性を伴う。一方、直接知ることができない将来の内容について幅広い理解を得るためには、最新の調査技術の適用により不確実性の極小化に努めるとともに、不確実性を適切に取り入れた形で将来の地形変化や地殻変動等を考慮した地質環境モデルを提示することが求められる。本技術開発では、そのようなモデル提示を支援するための科学的検討を行う。

(実施内容)

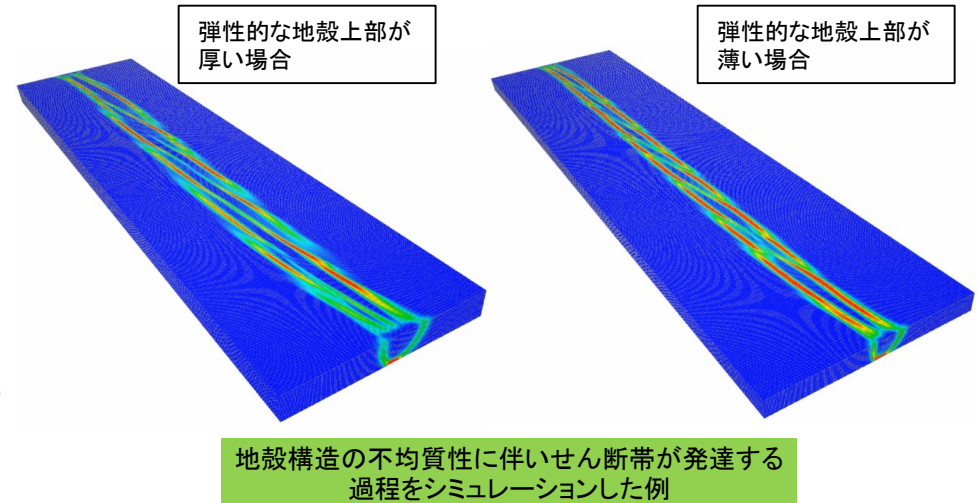
個別の自然現象の調査技術や年代測定技術の開発を通じて得られた知見について、将来における自然現象の影響評価に適切に反映するため、昨今のデジタル技術の進展も考慮しつつ、地形変化や地殻変動等に関する最適化されたモデルを提示するための手法の検討を進める。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 本成果を通じて提示される将来の地質環境の予測・評価手法は、地層処分実施主体に求められる的確な情報提供及び理解促進に貢献するのみならず、安全規制側が行う評価・審査にとっても重要な知見となる。

(他機関・他部署との連携)

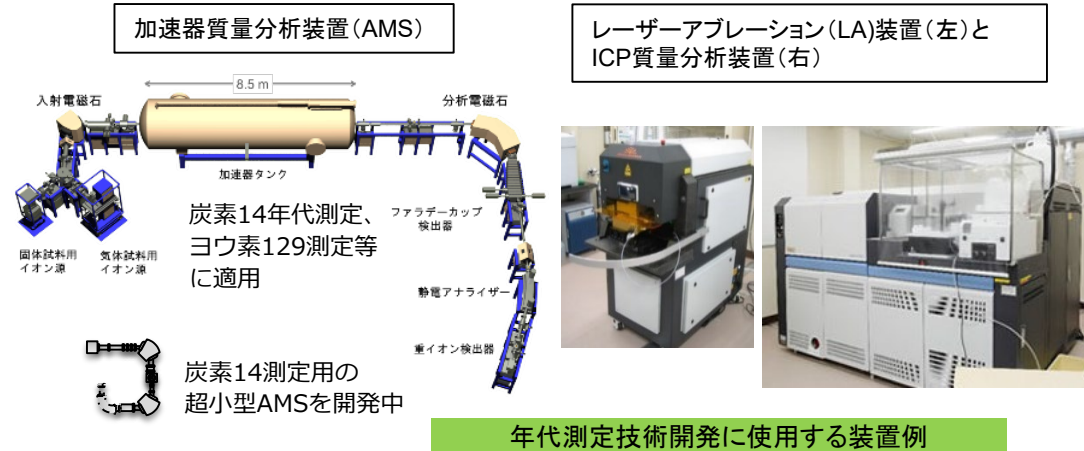
- 国内外の大学・研究機関との協力研究を強化
- 地層処分実施主体への着実な技術継承



3.年代測定技術の開発・高度化

(研究の背景・狙い・目標・意義)

地層処分事業の概要調査～精密調査の段階において必要となる編年技術として、対象となる断層運動や火成活動等の自然現象の把握と予測のため、地質試料の数千年から数千万年スケールの年代測定に対応した技術の開発や既存技術等を発展させた技術の拡充、及びそれらの適用範囲の確認と実用化に向けた改良が重要である。各種分析機器を用いた年代測定技術の開発・高度化を進め、年代測定技術の拡充と高精度化を図る。



(実施内容)

過去の自然現象の理解とこれらの将来予測に係る研究開発で重要な放射年代測定技術として、加速器質量分析装置(AMS)や光ルミネッセンス年代測定技術、誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)を用いた年代測定技術等の開発・高度化を進め、天然試料への適用実績を着実に拡充し、取りまとめる。年代測定に用いる各種機器分析法の高精度化に向けた装置や前処理手法等の改良、及び少量試料等への適用範囲の拡大を進める。特に、AMSに関しては装置の小型化のための技術開発を行う。ICP-MSを用いた分析では、レーザーとの連結によるこれまでのLA-ICP-MSとしての利用に加え、湿式での超高精度同位体分析技術の整備を行う。また、各手法の適用性評価等を着実に進める。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- ▶ 年代測定技術の高度化及び地質試料への適用性拡大により、断層の活動性、隆起・侵食速度の把握、地下水の流動経路の変遷、および古環境・古気候の推測等に貢献する。

(他機関・他部署との連携)

- ▶ 研究試料確保や分析手法の高度化に関する共同研究を継続し、各大学や他研究機関及び地層処分研究に関連する他部署(東海、幌延)との連携を進める。

4. 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システムに関する研究開発

1. 処分システムに関する工学技術の信頼性向上(1/2)

1.1 人工バリア等の基本特性データベースの拡充及びデータベース開発

(研究の背景・狙い・目標・意義)

オーバーパックの腐食挙動や緩衝材の基本特性は地下水水質等の環境条件による影響を受けるため、地質環境特性に応じた適切な人工バリア設計や、過渡期(廃棄体定置後のTHMC状態が大きく変化する期間)から閉鎖後長期にわたる環境条件の変遷に応じた人工バリア挙動の評価を行うには、幅広い地質環境条件とその時間的な変遷を考慮した広範な条件に対してデータを整備することが重要である。また、その知見の幅広い活用を図る観点から、既に開発したデータベースに最新の情報を追加し継続的に更新していくことも必要である。

(実施内容)

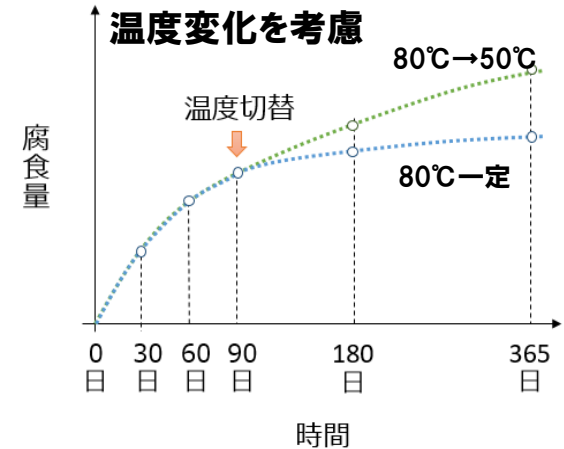
- オーバーパックの腐食挙動や緩衝材の基本特性に関して、幅広い地質環境条件とその時間的な変遷(過渡期～閉鎖後長期)を考慮した広範な条件に対してデータを取得し、その知見の幅広い活用を図る観点から、既に開発したデータベースに追加し更新する。
- 過渡期から閉鎖後長期の環境条件の時間的な変遷を考慮した試験や長期試験によるオーバーパックの腐食挙動や緩衝材の長期圧密挙動に関する現象理解を行う。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

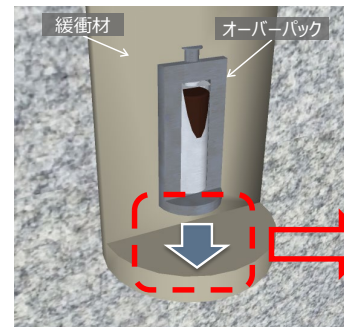
- 幅広い条件に対する人工バリアの適用性や堅牢性、長期的な挙動の推定に資するための基礎的情報としての活用が期待される。
- 長期試験等により取得された試験データは、長期挙動評価に用いるデータの信頼性確保や不確実性の低減への貢献が期待される。

(他機関・他部署との連携)

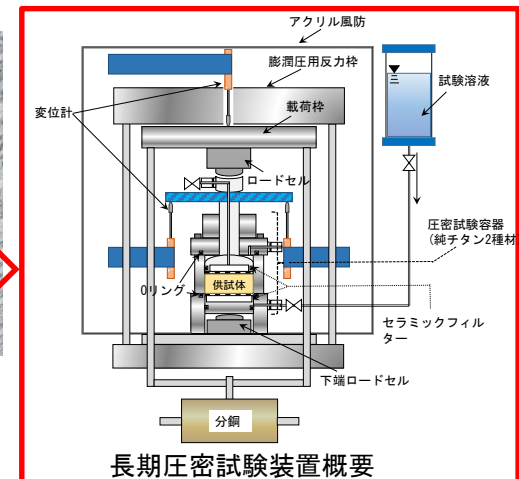
- 他機関(RWMC)、国内大学や幌延深地層研究センターとの連携を強化



環境条件の変遷を考慮した腐食試験の例



廃棄体の自重による緩衝材の変形(圧密沈下)により、廃棄体は長期的に緩やかに沈下。



長期圧密試験装置概要

長期試験による緩衝材の長期圧密挙動に関する現象理解

1. 処分システムに関する工学技術の信頼性向上(2/2)

1.2 人工バリア等の長期複合挙動に関する研究

(研究の背景・狙い・目標・意義)

ニアフィールドを構成する人工バリア等の材料の劣化・変質や材料間の相互作用などによりニアフィールドの環境条件は過渡期(廃棄体定置後のTHMC状態が大きく変化する期間)から閉鎖後長期の期間にわたり変化し、バリア構成要素の安全機能や核種移行挙動に影響を与える可能性がある。このようなニアフィールドの複合挙動を評価する技術の開発とその妥当性の確認が必要である。そのため、ニアフィールドの複合挙動を時間的な変遷を考慮しつつ評価するための連成解析コードの開発等を実施する。

(実施内容)

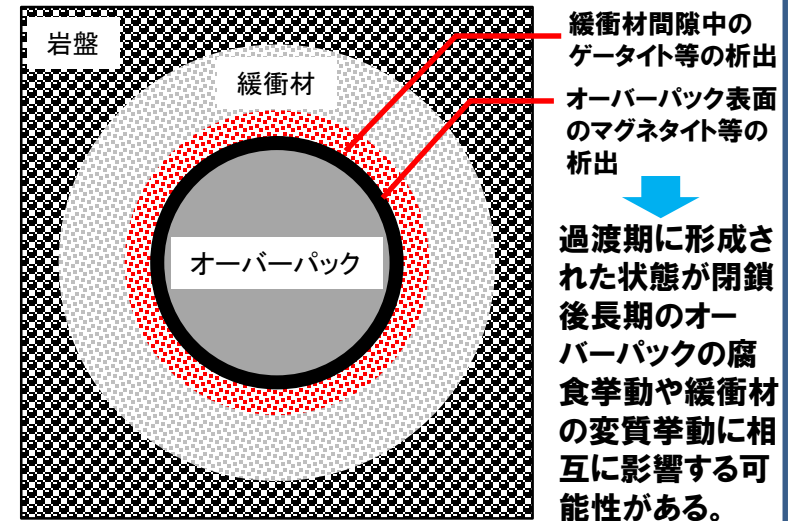
- 過渡期に生じたオーバーパックスの腐食状態や緩衝材の変質状態が、材料間の相互作用として、長期のオーバーパックスの腐食挙動や緩衝材の変質挙動にどのような影響を及ぼすかを評価する必要がある。過渡期から閉鎖後長期の環境条件の時間的な変遷を考慮した試験から得られるオーバーパックス試料及び緩衝材試料を分析し、オーバーパックス-緩衝材相互作用に関する現象理解に役立てるとともに評価モデルの高度化や妥当性の確認に資する。
- 具体的な地質環境を対象とし、処分場のデザイン間の相違を定量的に評価するため、処分坑道の掘削、埋め戻し、過渡期から長期に渡る処分場の複合挙動を三次元的に評価するための技術の開発と、その妥当性の確認を幌延深地層研究センターでの原位置試験の計測データ等を活用して行う。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

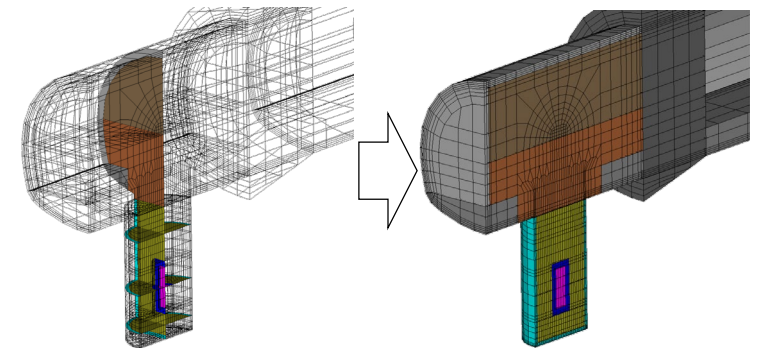
- ニアフィールドの複合挙動を評価するための技術の開発と原位置試験を活用した妥当性の確認により、過渡期から閉鎖後長期にわたるニアフィールドの複合挙動をより現実的に把握できる技術の構築に貢献する。

(他機関・他部署との連携)

- 他機関(RWMC)、国内大学や幌延深地層研究センターとの連携を強化



過渡期における状態の概念図



ニアフィールド力学解析手法の三次元化のイメージ図

2. 安全評価手法の高度化(1/2)

2.1 システム性能評価に係る手法の開発

(研究の背景・狙い・目標・意義)

処分地が特定されていない段階での処分システムの性能評価では、地表環境が将来も継続することを前提として評価が行われてきた。しかし、今後、処分地選定の調査が進み概要調査地区が特定されると、地形や土地利用などの具体的な地表環境が明らかとなり、長期的な変遷も評価可能となる。概要調査において得られた情報を基づき、精密調査地区選定に反映するために、処分候補サイトの間の評価が可能のように、地表環境の違いやその長期変遷の処分システムの影響を評価するための処分システムの性能評価手法を開発する。

(実施内容)

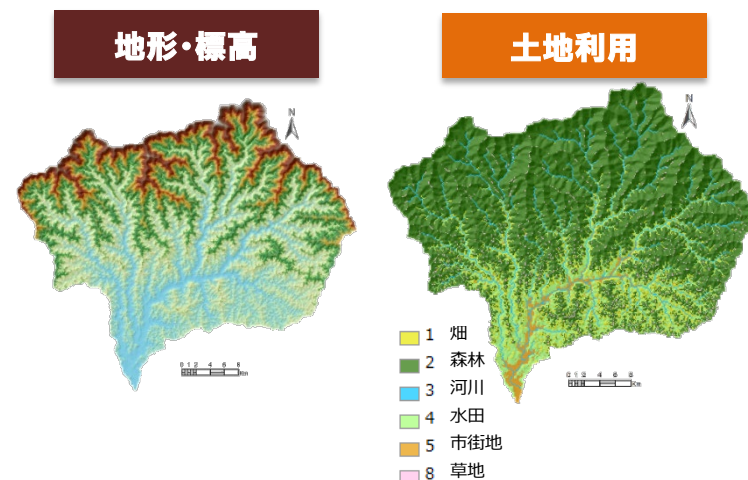
- 沿岸部、内陸部などを対象に仮想的な地表環境とその長期変遷を計算により求め、土地利用等の地表情報を設定。
- 設定された地表環境について、広域地下水流動を考慮した移行経路を設定。
- 広域地下水流動解析の結果に基づき、処分場から核種の生活圏への核種移行解析手法を構築。
- 仮想的な地表環境とその長期変遷を考慮し、生活圏での線量評価手法を構築。
- 処分場からの核種の移行率に基づき線量評価を実施。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- NUMOによる実際のサイトを対象とした精密調査地区選定のための安全評価、国の安全規制に対する基盤技術としての反映。
- 中深度処分の安全評価への共通的技術基盤としての反映。

(他機関・他部署との連携)

- 資源エネルギー庁受託事業にて一部評価手法の開発を実施
- 機構内関連部門や国内大学と連携



地形・処分場深度変化解析ツールを用いて作成した仮想的な地表環境(地形・標高及び土地利用)の例

2. 安全評価手法の高度化(2/2)

2.2 放射性核種の移行に係る現象理解とデータベース開発

(研究の背景・狙い・目標・意義)

実際のサイト条件を対象により現実的かつ精緻な評価を可能とするための、実際のサイトの地質環境の特徴や処分システムの長期的な環境変遷を適切に反映することが可能な核種移行評価モデル・データベースを、先端的分析・計算科学技術の適用や、地下研究施設等での原位置知見や天然事例研究に基づき高度化するとともに、それらの性能評価体系への反映を図る。

(実施内容)

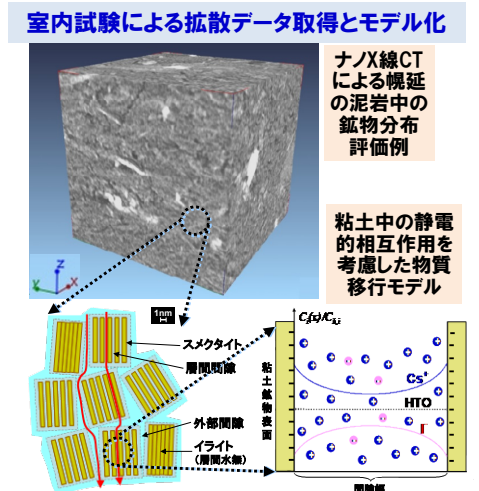
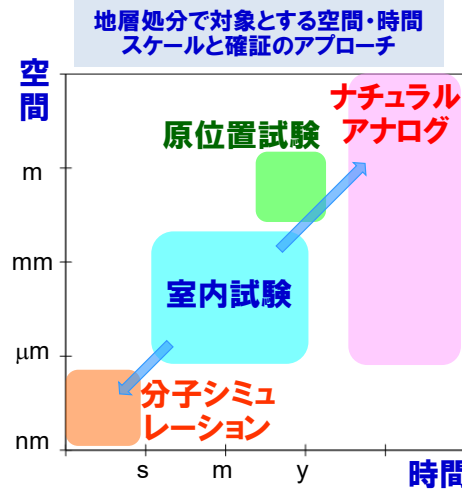
- 多様な環境条件や長期変遷を考慮した緩衝材ベントナイトやセメント中の核種移行評価モデル・データベースの先端的分析・計算科学技術の適用による適用した高度化と確証
- 幌延深地層研究センターを含む国内外の特徴の異なる堆積岩・結晶質岩を対象とした、実際の地質環境の特徴や長期変遷を考慮可能な核種移行評価技術の室内・原位置試験や天然事例研究による高度化と確証
- 幌延の深地層研究施設等を活用した、深部地下水中のコロイド・有機物・微生物の特性や元素との相互作用に係るデータ取得・評価の方法論と影響評価モデルの高度化

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- NUMOによる実際のサイトを対象とした概要調査・精密調査段階の安全評価、国の安全規制に対する基盤技術としての反映。
- 機構内廃棄物を含む中深度処分や、福島事故廃棄物処分の安全評価への共通技術基盤としての反映。

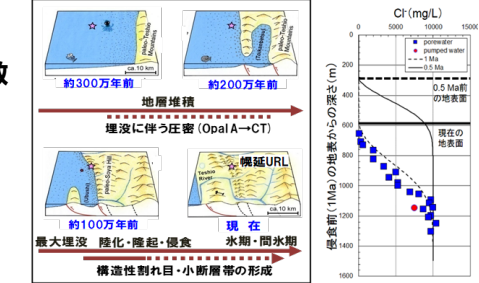
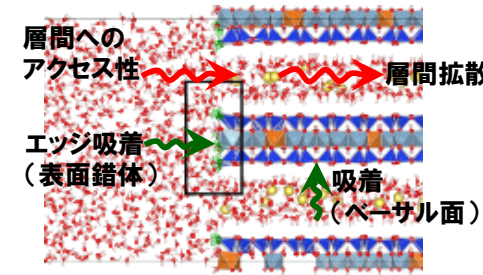
(他機関・他部署との連携)

- 機構内関連部門や国内外関係機関との連携による先端分析・計算科学技術の活用



分子シミュレーション:量子化学・分子力学計算(粘土のナノサイズ層間中のイオンの拡散評価)

天然事例による物質移行モデルの確証(幌延URLのナチュラルトレーサー解析評価例)



5. 代替処分オプションの研究開発

1. 使用済燃料直接処分に関する閉じ込め性能に関する評価検討等の拡充・整理

(研究の背景・狙い・目標・意義)

使用済燃料の直接処分に特徴的な現象は、直接処分の閉じ込め性能の把握や処分施設の設計検討等において重要な課題である。これらに関する基礎基盤研究の着実な推進を目的として、直接処分に特徴的な現象の理解深化や評価技術の整備・拡充を進める。

(実施内容)

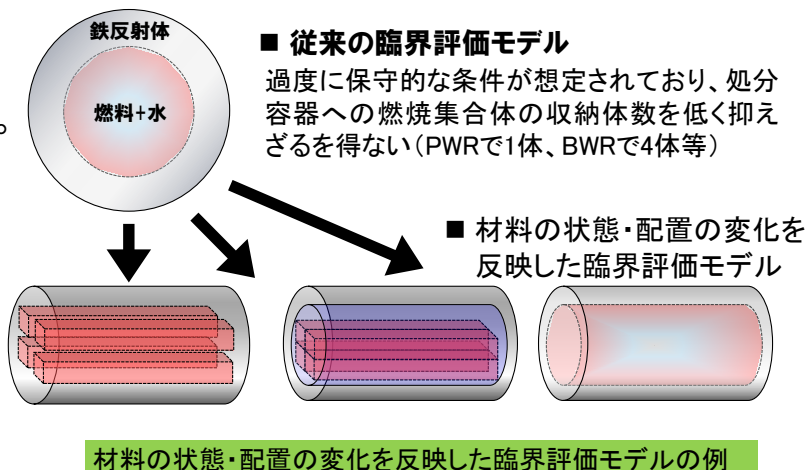
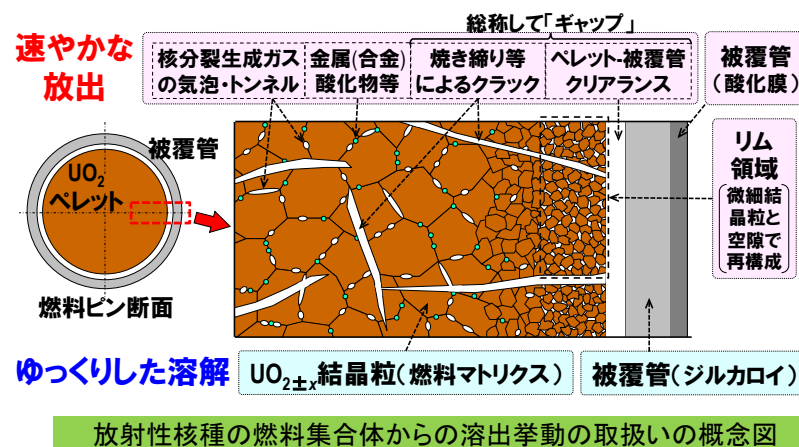
使用済燃料の直接処分に係る閉じ込め性能に関する現象の理解深化・評価技術や処分施設の設計検討等の整備・拡充を達成するために、直接処分に特徴的な現象として、例えば、使用済燃料からの核種の溶解挙動や使用済燃料の処分容器内での臨界安全性等について、地質環境や使用済燃料の特性の多様性を考慮に入れた評価検討等の拡充と系統的整理を進める。その中では、高レベル放射性廃棄物処分と使用済燃料直接処分での共通・相違部分(工学技術関係、性能評価関係)の最新の知見に基づく精査と、相違部分についての検討事例の蓄積等も適宜進める。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 使用済燃料の直接処分に特徴的な現象の理解や評価技術等の整備・拡充により、使用済燃料の直接処分に係る理解と技術基盤が高まることが期待される。
- この技術開発成果は、将来に向けて幅広い選択肢を確保し、柔軟な対応を可能とする観点からの、代替処分オプションに関する調査・研究の着実な推進に寄与する成果の一つと考えられる。

(他機関・他部署との連携)

- 国内大学との連携、海外研究機関等との協力研究を強化



2. その他代替処分オプション(超深孔処分)の成立性に係る技術や情報の調査・整理

(研究の背景・狙い・目標・意義)

使用済燃料の直接処分以外の代替処分オプションとして、諸外国において超深孔処分に着目した検討が実施されてきている。超深孔処分のわが国での成立の可能性の検討等に資することを目的として、超深孔処分の特徴や課題、わが国の地質環境条件との関係等の理解・整理を進める。

(実施内容)

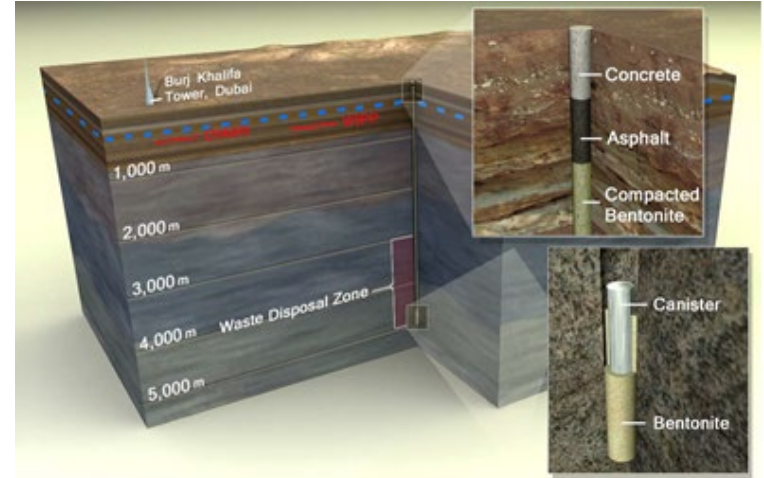
超深孔処分の特徴や課題、わが国の地質環境条件との関係等の理解・整理を進めるために、超深孔処分で鍵となる超深孔の掘削、維持、廃棄体の定置等に係る技術の調査・整理、及び超深部での地質環境条件の把握等に係る技術の調査・整理とともに、超深孔処分の実施のための技術的要求事項や地質環境条件に応じたその要求の達成の難易度、条件、課題等を明らかにしていく。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 超深孔処分の実施のための技術的要求事項やその要求の達成の難易度、条件、課題等の整備は、超深孔処分の成立の可能性を検討するための基盤となることが期待される。
- この技術開発成果は、将来に向けて幅広い選択肢を確保し、柔軟な対応を可能とする観点からの、代替処分オプションに関する調査・研究の着実な推進に寄与する成果の一つと考えられる。

(他機関・他部署との連携)

- 海外研究機関等との協力研究を強化



超深孔処分の検討例(米国サンディア国立研究所)

【要求事項】	超深孔が適切に掘削できる。	超深孔が健全に維持できる。	廃棄体が支障なく定置できる。	超深孔が安全に閉鎖できる。
【設計要件】	深度確保 坑径確保	坑径維持 坑壁維持	廃棄体降下 廃棄体定置 廃棄体防護	閉鎖の実施 シールの実施 シール性能維持
建設段階	作業準備段階	作業段階	閉鎖段階	

超深孔処分が成立するための各段階での要求事項や設計要件のイメージ