第31回深地層の研究施設計画検討委員会
資料31-2(2022.12.20)

幌延深地層研究計画に関する
第4期中長期計画と
令和4年度の計画及び進捗

令和4年12月20日

国立研究開発法人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
幌延深地層研究センター　深地層研究部

報告内容

1. 幌延深地層研究センターの紹介
    - 経緯、施設概要、組織
2. これまでの研究開発の概要
    - 研究開発課題
    - 第3期中長期計画の成果と評価
3. 第4期中長期目標期間における取組み
    - 令和2年度以降の研究計画とスケジュール
    - 施設整備
    - 研究開発の状況
4. 国際拠点化に向けた取組み
    - 国内外の関係機関の資金や人材の活用
    - 幌延国際共同プロジェクト

幌延深地層研究センターに関わる経緯

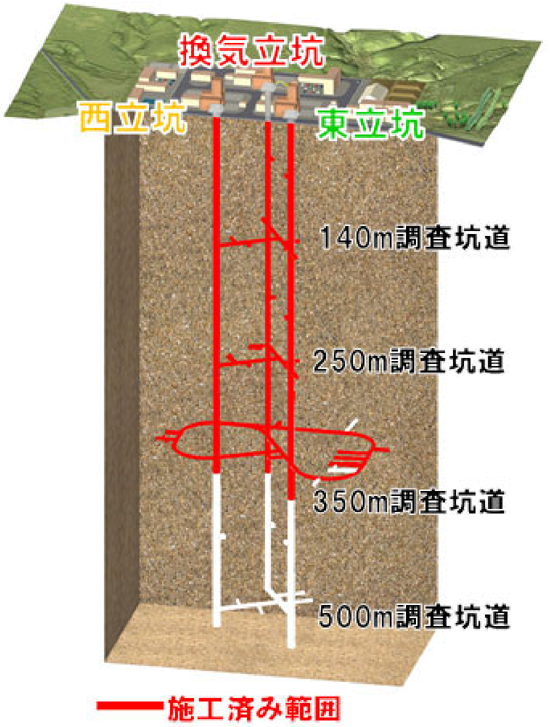
昭和55年～	幌延町が、原子力施設の誘致を進める
昭和59年7月	幌延町議会が、「貯蔵工学センター」の誘致を決議
昭和60年11月	幌延連絡所開設。開進地区で現地調査に着手
平成2年7月	北海道議会が、「貯蔵工学センター計画」反対を決議
平成10年2月	科学技術庁が、「貯蔵工学センター計画」を取りやめ、深地層試験の実施を道知事に申し入れ
平成10年10月	「深地層研究所（仮称）計画」を策定
平成10年12月	「幌延町における深地層の研究について」北海道に申し入れ
平成12年5月	幌延町が、「深地層の研究の推進に関する条例」を制定
平成12年10月	北海道が、「深地層研究所（仮称）計画」受入を表明。「北海道における特定放射性廃棄物に関する条例」を可決
平成12年11月	機構、北海道、幌延町が「幌延町における深地層の研究に関する協定（三者協定）」を締結
平成13年4月	幌延深地層研究センター開所（以降、約20年間にわたって研究開発を実施）
令和元年8月	「令和2年度以降の幌延深地層研究計画（案）」を提示
令和元年12月	幌延町、北海道が「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」の受け入れを表明
令和2年1月	令和2年度以降の幌延深地層研究計画を決定

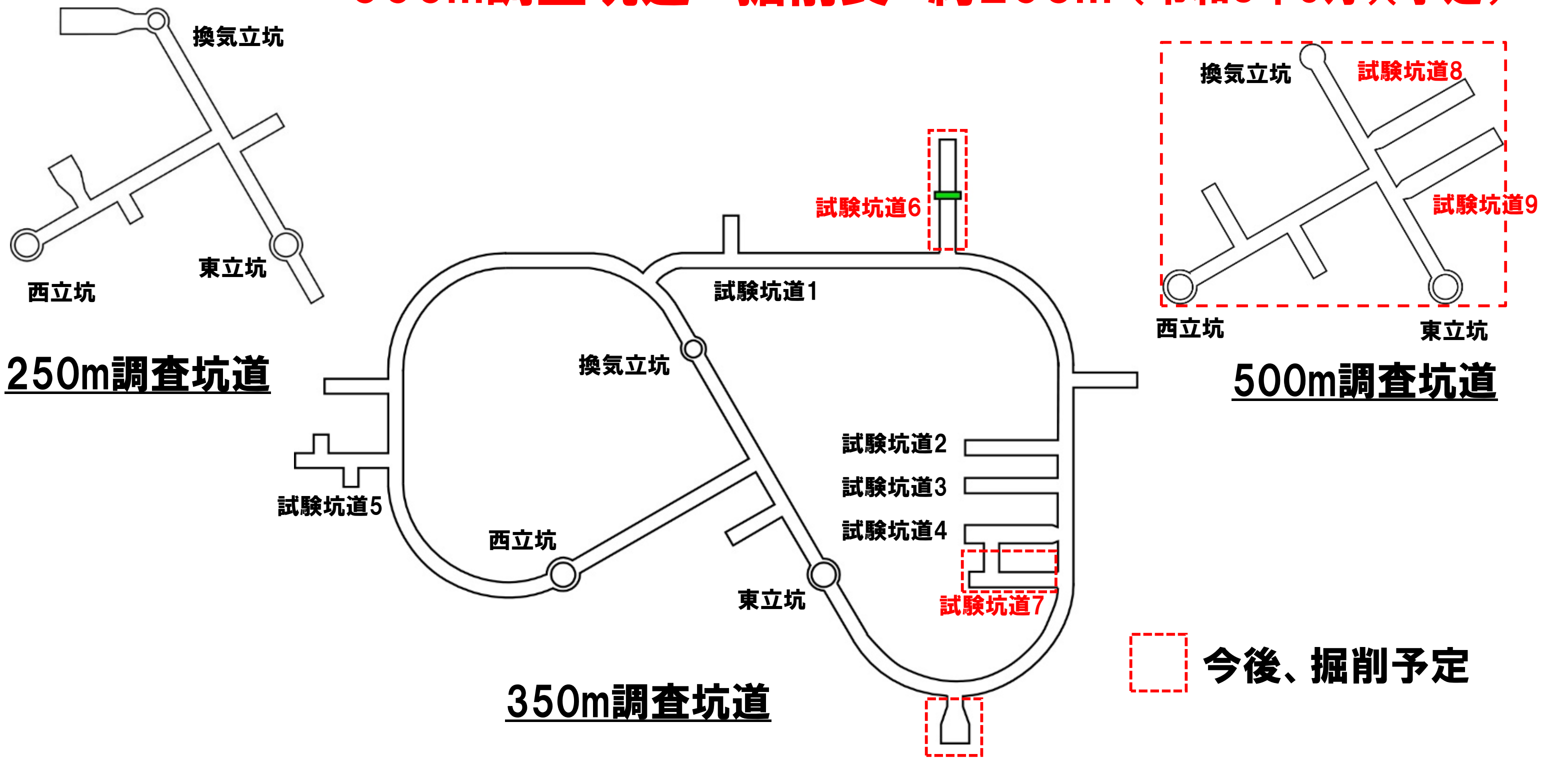
地下研究施設の概要

地下施設整備状況

東立坑　：掘削深度 380.0m
換気立坑：掘削深度 380.0m
西立坑　：掘削深度 365.0m

140m調査坑道：掘削長　186.1m（平成21年5月貫通）
250m調査坑道：掘削長　190.6m（平成22年6月貫通）
350m調査坑道：掘削長　757.1m（平成25年10月貫通）
＋約66m（令和8年3月）（予定）
500m調査坑道：掘削長　約203m（令和8年3月）（予定）





組織

センター組織図

核燃料・バックエンド研究開発部門　幌延深地層研究センター

- 保安・建設課
- 総務・共生課（財務・札幌事務所含む）
- 深地層研究部
  - 研究計画調整グループ
    - ・研究計画および外部機関との研究協力などに関わる企画・調整
  - 堆積岩工学技術開発グループ
    - ・堆積岩を対象とした処分場の設計・施工技術の研究開発
  - 堆積岩安全評価研究グループ
    - ・堆積岩を対象とした安全評価手法の研究開発
    - ・地質環境情報の取得

報告内容

1. 幌延深地層研究センターの紹介
   - 経緯、施設概要、組織
2. これまでの研究開発の概要
   - 研究開発課題
   - 第3期中長期計画の成果と評価
3. 第4期中長期目標期間における取組み
   - 令和2年度以降の研究計画とスケジュール
   - 施設整備
   - 研究開発の状況
4. 国際拠点化に向けた取組み
   - 国内外の関係機関の資金や人材の活用
   - 幌延国際共同プロジェクト

研究開発の概要（第1期・第2期中期目標期間）

- **地層科学研究**
  - □ 地質環境調査技術開発
  - □ 深地層における工学的技術の基礎の開発
  - □ 地質環境の長期安定性に関する研究

- **地層処分研究開発**
  - □ 処分技術の信頼性向上
  - □ 安全評価手法の高度化

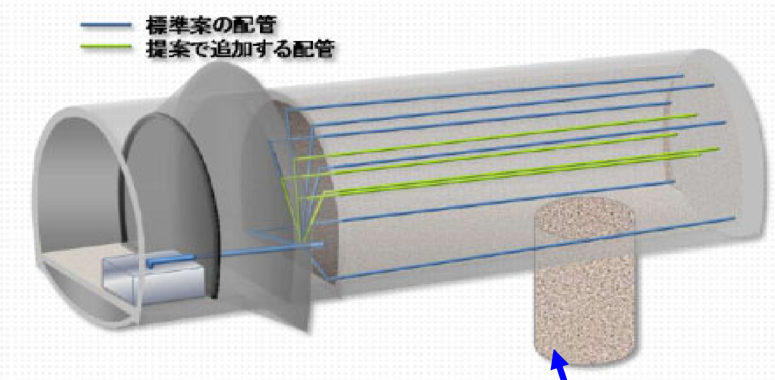
地上から行う調査研究や地下での調査により、表層から地下深部までの信頼性の高いデータを体系的に取得し、地上から地下深部までの地質環境を把握できることを提示し、実際に地下深部で、地層処分システムの設計・施工が可能かどうかを確認

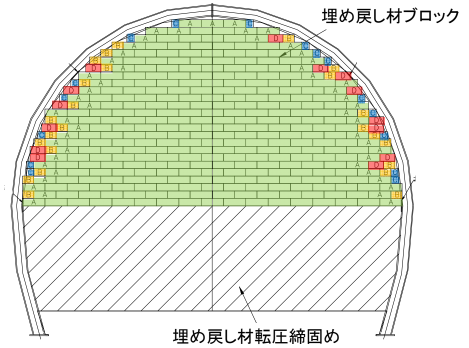
研究開発の概要（第3期・第4期中長期目標期間）

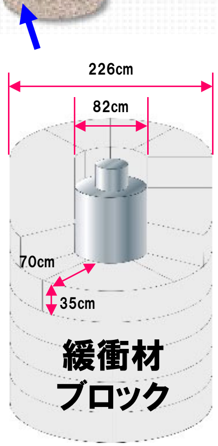
下記項目を必須の課題として実施

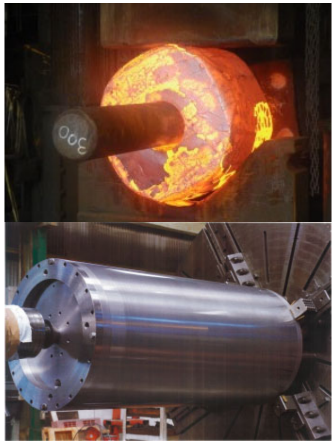
<table>
<tr><th></th><th colspan="2">← 第3期中長期目標期間 →</th><th>← 第4期中長期目標期間 →</th></tr>
<tr><th>必須の課題</th><th>平成27年度～令和元年度</th><th>令和2年度・
令和3年度</th><th>令和4年度～令和10年度</th></tr>
<tr><td rowspan="3">実際の地質環境における人工バリアの適用性確認</td><td>人工バリア性能確認試験</td><td colspan="2">人工バリア性能確認試験</td></tr>
<tr><td>オーバーパック腐食試験</td><td colspan="2">（令和元年度までに完了）</td></tr>
<tr><td>物質移行試験</td><td colspan="2">物質移行試験</td></tr>
<tr><td rowspan="3">処分概念オプションの実証</td><td>処分孔の湧水対策・支保技術</td><td colspan="2">（令和元年度までに完了）</td></tr>
<tr><td>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</td><td colspan="2">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
・ 操業・回収技術などの技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
・ 廃棄体の設置方法等の実証試験を通じた、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</td></tr>
<tr><td>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</td><td colspan="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</td></tr>
<tr><td rowspan="2">地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証</td><td>水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化</td><td colspan="2">水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
・ 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握
・ 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</td></tr>
<tr><td>地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験</td><td colspan="2">地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験</td></tr>
</table>

必須の課題①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
人工バリア性能確認試験









オーバーパック製作

緩衝材ブロック
製作

実際の地下深部に人工バリア(ガラス固化体を除く)を設置し、模擬オーバーパックを100℃に加熱

- **粘土材料への地下水浸潤**
- **膨潤圧**
- **熱伝導**

などを長期観測、システムの性能確認

大口径掘削機による ピット掘削

オーバーパック・緩衝材の設置

坑道の埋め戻し

プラグの建設

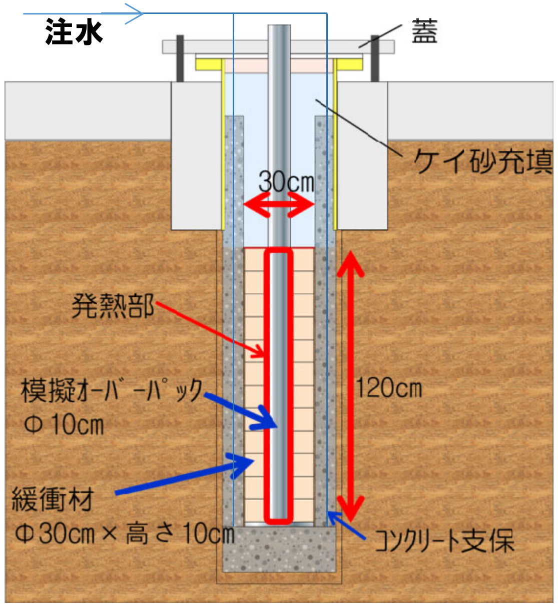
オーバーパックの加熱試験開始

必須の課題①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
人工バリア性能確認試験

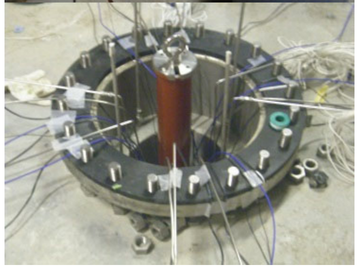
第3期中長期計画における成果の概要

主要成果	○人工バリア(緩衝材、オーバーパック)、埋め戻し材、プラグ、処分孔掘削技術に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法を実証 ・ 緩衝材及びオーバーパックに関する設計手法を構築 ・ 真空把持装置を用いた緩衝材ブロックの定置技術を実証 ・ 処分孔掘削技術(オーガー掘削:機械的な掘削方法の一種)を実証 ・ 掘削土混合埋め戻し材(締固め、ブロック方式)の施工管理手法を確認 ・ 加熱・注水時の人工バリアの挙動に関する原位置データ取得、解析モデルの再現性を確認 ・ 緩衝材の膨潤に伴う熱・水理・力学特性の密度依存性に関わるモデルを高度化 など
事業等への反映	・精密調査段階における人工バリアの設計・施工手順、工法の選定 ・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
成果公表	学術論文6件、学会での口頭発表9件、JAEA技術資料17件

必須の課題①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
オーバーパック腐食試験

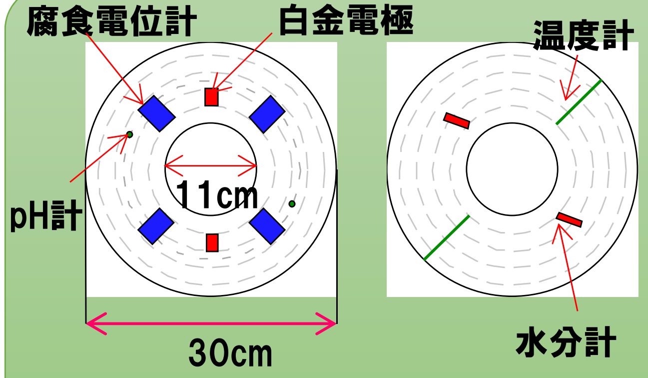


模擬オーバーパック



緩衝材除去後の模擬

計測器：6断面に配置
- 腐食電位計：12点）　　•水分計：6点
- pH計：6点　•温度計：6点
- 白金電極：6点



計測器配置の例

試験実施状況

約3年間にわたる環境条件や腐食挙動のモニタリングデータを取得し、経時的な変化を把握

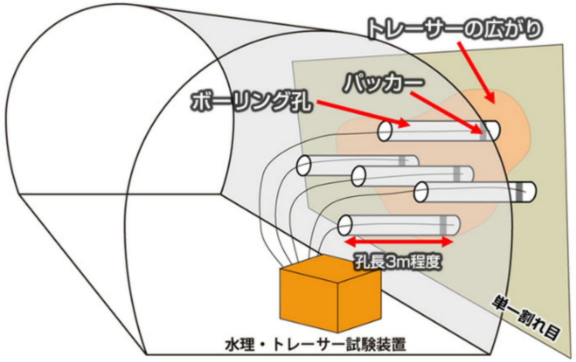
必須の課題①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
オーバーパック腐食試験

第3期中長期計画における成果の概要

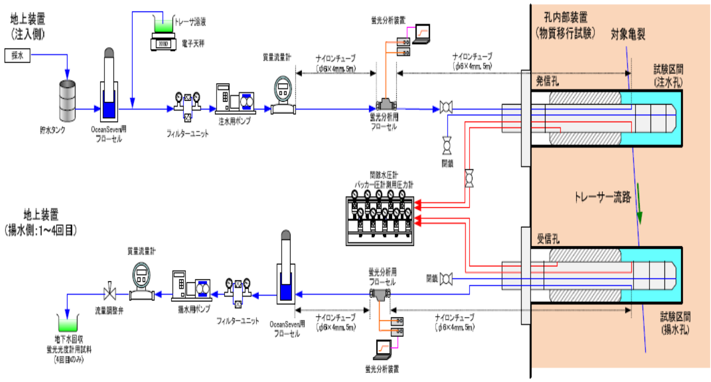
主要成果	○地下環境でオーバーパック腐食試験を行い、既往の室内での腐食試験結果の妥当性を確認 • オーバーパックの溶接部、母材(本体)で腐食挙動に有意な差は認められないことを確認 • 腐食センサーを用いたモニタリングが少なくとも数年間以上は可能であることを確認 • 室内試験に基づく既往の評価手法の保守性、妥当性を確認
事業等への反映	•オーバーパックの設計や寿命評価
成果公表	学術論文4件、学会での口頭発表1件、JAEA技術資料14件

必須の課題①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
-物質移行試験-

堆積岩中の割れ目に、非収着性トレーサー（蛍光染料）を入れ、その周辺でトレーサーの濃度を計り、物質の移動経路を推測。 次に、収着性トレーサー（Cs、Ni、Eu、等）を入れ、割れ目内での収着・拡散性を把握。

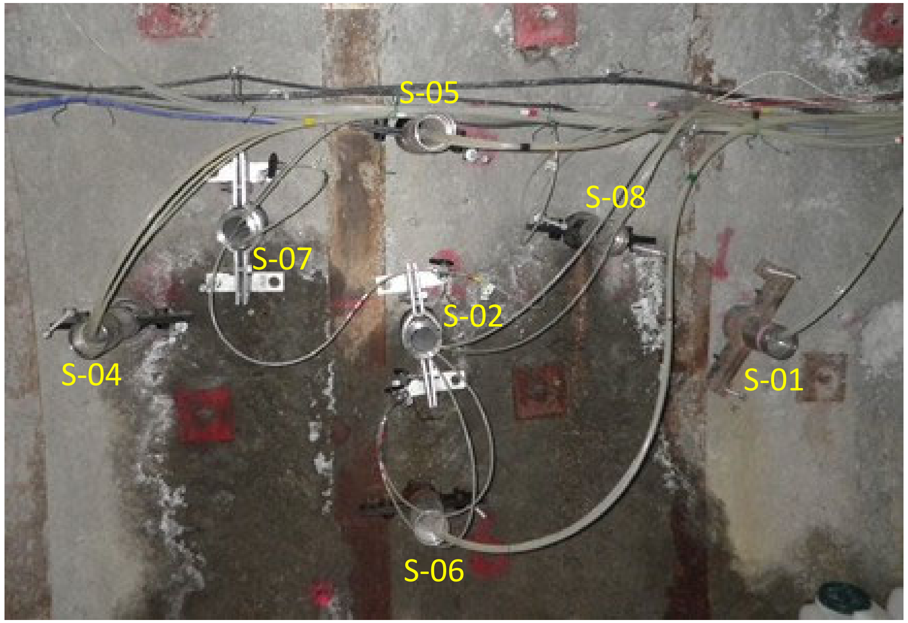


原位置トレーサー試験の概念図



試験装置概要

サンプリング後の岩石試料



トレーサー試験装置の設置

単一割れ目内の状態

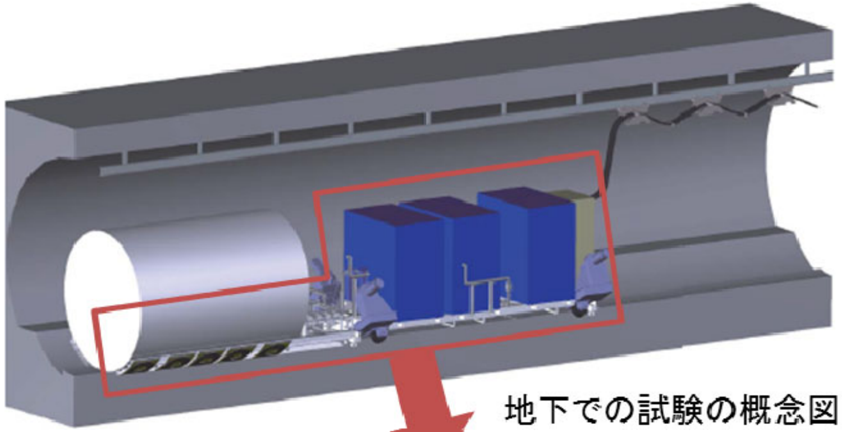
必須の課題①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
－物質移行試験－

第3期中長期計画における成果の概要

主要成果	○室内と原位置でのトレーサー試験で、基質部や割れ目における物質移動現象の評価手法を例示 • 室内と原位置の試験で、堆積岩中における各トレーサーの物質移行特性（実効拡散係数と収着分配係数）を把握 • 単一割れ目を対象としたトレーサー試験を事例とし、溶存ガスが存在する環境下でのトレーサー試験手法を確認 • 微生物や有機物と放射性物質の相互作用を確認 など
事業等への反映	• 新第三紀堆積岩を対象とした核種移行モデルを構築する際の基盤情報 • 核種移行パラメータに含まれる不確実性を低減
成果公表	学術論文3件、学会での口頭発表11件、JAEA技術資料1件

必須の課題②処分概念オプションの実証
－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－

エアベアリング方式を用いたPEM(Prefabricated Engineered barrier system Module) の搬送定置、PEMと坑道の隙間の充填技術および充填材の除去技術のデモンストレーション



地下での試験の概念図

(財) 原子力環境整備促進・資金管理センター

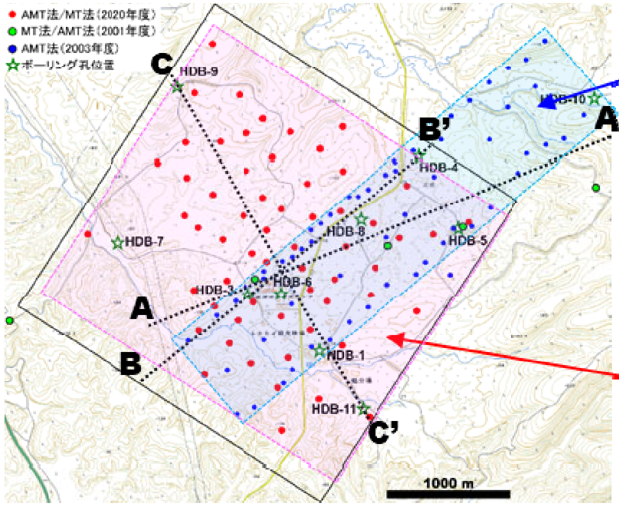
模擬PEMの設置状況

必須の課題②処分概念オプションの実証
－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－

第3期中長期計画における成果の概要

主要成果	○搬送定置・回収技術等の有効性を実証 • エアベアリング方式の搬送技術を実証 • 模擬PEM－坑道間の隙間充填方法（下部狭隘部にはペレット方式、上部空間には吹付方式）の適用性を確認 • 坑道埋め戻し方法の違い（締固め、ブロック方式等）による埋め戻し材の基本特性（密度や均一性）を把握 • 緩衝材の膨潤試験により、自然湧水環境における緩衝材流出現象を確認 など
事業等への反映	• 合理的に人工バリアを回収するための手法を提示、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を提示 • 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
成果公表	学術論文9件、学会での口頭発表25件、JAEA技術資料20件

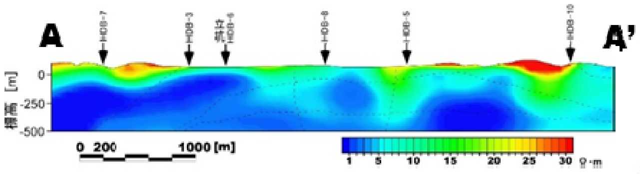
必須の課題③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
－地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化－



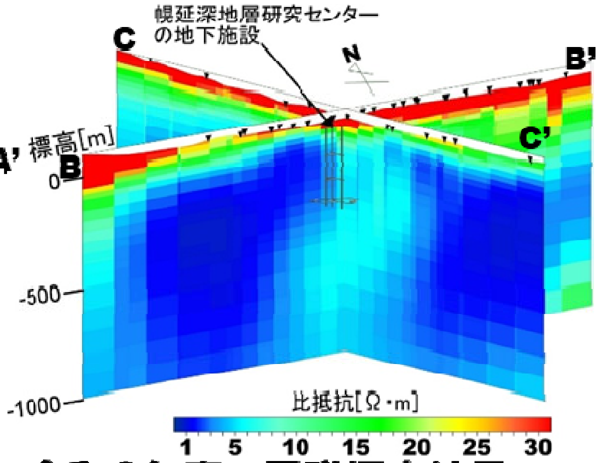
既往測点(青):
探査深度の浅いAMT法の測点を直線状に配置

令和2年度測点(赤):
探査深度の深いMT法とAMT法の測点を格子状に配置

幌延深地層研究センター周辺における電磁探査の測点配置



既往の電磁探査結果(比抵抗の3次元解析結果から断面を切り出し)



令和2年度の電磁探査結果
(比抵抗の3次元解析結果から2断面を切り出し)

【高密度電磁探査】
- 数kmスケールの3次元比抵抗分布を推定する方法(現地探査仕様、解析方法)の最適化
- 3次元比抵抗分布に基づく低流動域把握の確認

【準3次元反射法地震探査】
- 地質・地質構造分布の推定
- 地質・地質構造と低流動域(比抵抗分布)の関係性の確認

【ボーリング調査】
- 物理探査により推定した低流動域の妥当性の確認
- 拡散場の評価技術、地下水年代の評価技術の確認

【地球統計学的手法】
- 地球統計学的手法を適用する際の最適な調査地点と順序の整理

必須の課題③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
−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−

第3期中長期計画における成果の概要

主要成果	○地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術を体系的に実証 • 化石海水の指標として塩濃度及び水の安定同位体を基に分布を推定 • 既存の水理・物質移動評価手法を基に塩濃度分布を推定 • 電磁探査及び三次元反射法地震探査により、化石海水が分布する可能性が高い領域を効率的に判読 など
事業等への反映	• 概要調査における、地下水の流動が緩慢な“低流動域”の空間的な拡がりを地表から効率的に調査・評価する技術に寄与
成果公表	学術論文3件、学会での口頭発表5件、JAEA技術資料3件

第3期中長期計画の評価

地層処分研究開発・評価委員会における第3期中長期計画の事後評価

事後評価（第3期中長期計画：平成27年度～令和3年度）
総合評価：A（顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる）

- 幌延深地層研究計画については、全体として概ね適切に研究が遂行され、当期5カ年の目標を達成できたものと評価した。
  また、技術の確立が可能な水準に達するまで、人工バリア性能確認試験及び処分概念オプションの実証に関する試験を継続するとともに、本地下研究施設を最先端の地層処分技術を実証するプラットフォーム（共通基盤）として国内外の関係者に広く提供・活用されることを提言した。
  これを受けて、機構は引き続き研究開発が必要とされる課題について研究開発を進めることとし、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」を策定した。

※「研究開発課題の事後評価及び事前評価結果について（答申）（令和4年3月15日）」から関係部分を抜粋

報告内容

1. 幌延深地層研究センターの紹介
    - 経緯、施設概要、組織
2. これまでの研究開発の概要
    - 研究開発課題
    - 第3期中長期計画の成果と評価
3. 第4期中長期目標期間における取組み
    - 令和2年度以降の研究計画とスケジュール
    - 施設整備
    - 研究開発の状況
4. 国際拠点化に向けた取組み
    - 国内外の関係機関の資金や人材の活用
    - 幌延国際共同プロジェクト

「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」の提示と受け入れ

経緯

平成13年4月　幌延深地層研究センター開所（以降、約20年間にわたって研究開発を実施）
令和元年8月　「令和2年度以降の幌延深地層研究計画（案）」を提示
令和元年12月　幌延町、北海道が「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」の受け入れを表明
令和2年1月　令和2年度以降の幌延深地層研究計画を決定

北海道および幌延町により受け入れられた「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」

- 「幌延町における深地層の研究に関する協定（三者協定）」を遵守
- 必須の課題の設定
- 令和2年度以降、第3期及び第4期中長期目標期間を目途に取り組む。
- その上で、国内外の技術動向を踏まえて、地層処分の技術基盤の整備の完了が確認できれば、埋め戻しを行うことを具体的工程として示す。

※ 毎年行われる北海道と幌延町による「幌延深地層研究の確認会議」の場で、三者協定の遵守、計画の進捗・評価、積極的な情報公開などについて確認

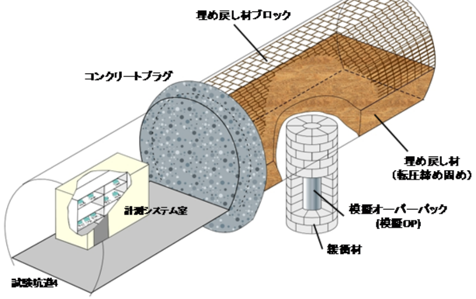
令和2年度以降の幌延深地層研究計画

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1) 人工バリア性能確認試験

2) 物質移行試験

幌延国際共同プロジェクトで対象とする課題



人工バリア性能確認試験の概要

人工バリア性能確認試験の解体調査のイメージ

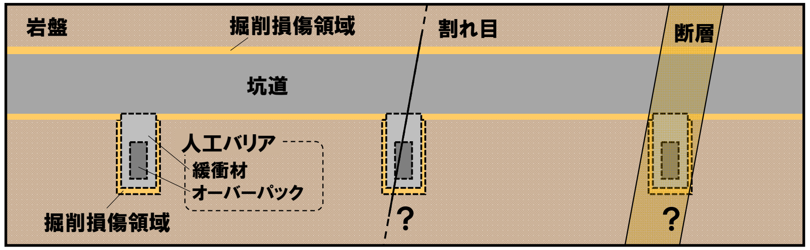
②処分概念オプションの実証

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

- **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**
- **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) 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

閉鎖技術オプションの整理



廃棄体定置決定や間隔設定の考え方の整理

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

- **地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握**
- **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**

2) 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

研究計画と坑道掘削の工程

	第3期		第4期中長期目標期間						
	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
【必須の課題】									
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	浸潤時・減熱時のデータ取得、連成モデルの適用性確認 国際プロジェクトにおける解析コード間の比較検証、改良・高度化								
1.2 物質移行試験	掘削影響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、等								
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	搬送定置・回収技術、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					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 廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要となる情報の整理、等				
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	100℃超の際にニアフィールドにおいて発生する現象の整理 国際プロジェクト情報の収集・整理、等								
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	数十cmの幅の断層を対象とした水圧擾乱試験 断層の活動性評価手法の整備、等								
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	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、等								
3.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験	人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材が掘削影響領域の力学的・水理学的な緩衝能力に与える影響を把握する解析手法の開発								
【施設計画】									
坑道掘削		掘削準備	350m調査坑道 立坑（西、東、換気）	500m調査坑道					
【維持管理】									

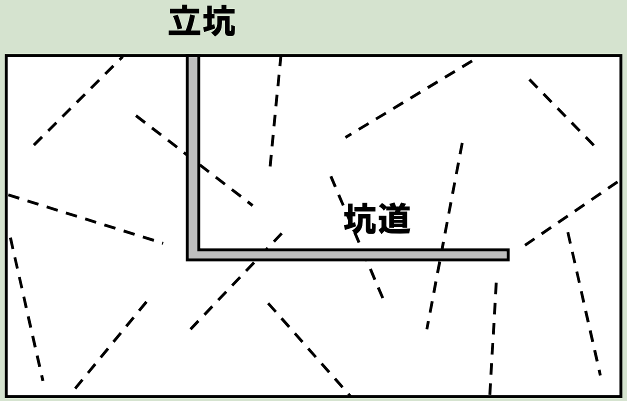
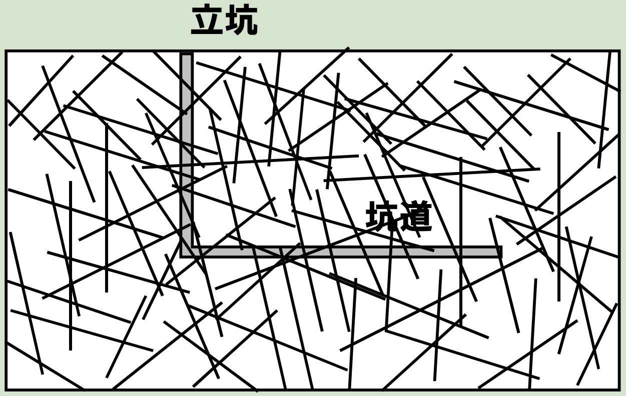
本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していきます。

凡例	説明
黒線	個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題（2.1.2）に統合して実施する。
灰色線	2.1.2を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。

前半の取り組み：必須の課題のうち、継続的な課題への対応に3～5年程度を想定

後半の取り組み：必須の課題のうち、継続的な課題の成果をふまえて体系化して取り組む課題で5年程度を想定

深度500mの坑道展開により得られる成果

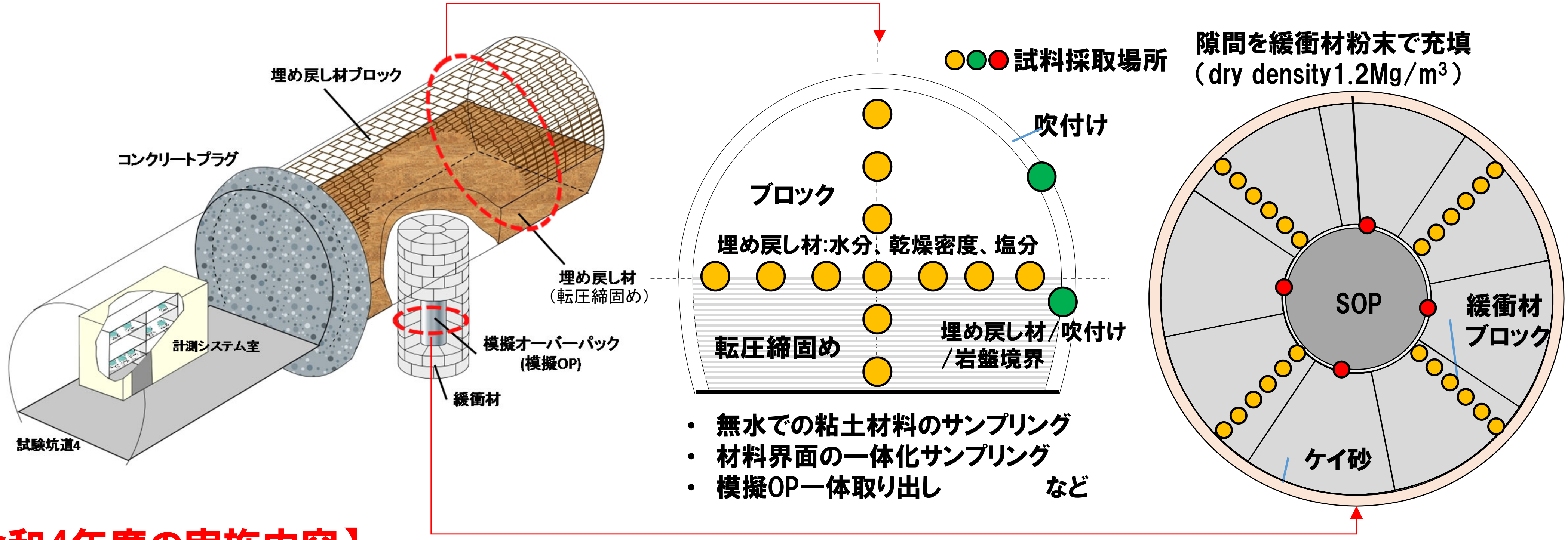
ポイント	深度500m	深度350m
処分技術	・土圧が大きく、岩石が軟らかい ・地下水圧が高い ⇒地圧が相対的に高い坑道設計・施工上の難易度が高い地質条件下で、処分技術に関わる基盤技術を実証	・土圧が小さく、岩石が硬い ・地下水圧が低い ⇒地圧が低く坑道の設計・施工上の難易度が低い地質条件下で、処分技術に関わる基盤技術を実証
安全評価	・割れ目が少なく地下水や物質が移動しにくい ・掘削損傷領域が移行経路としてより重要 ⇒物質が動きにくい環境で岩盤の物質閉じ込め性能を実証し、人工バリア等の仕様を精緻化 ⇒掘削影響領域を含めた安全評価技術を体系的に実証	・割れ目が多く地下水や物質が移動しやすい ・掘削損傷領域と割れ目が移行経路として重要 ⇒割れ目の連結性が高い領域を対象とした安全評価技術を体系的に実証
イメージ	 - - - - - 水が流れにくい割れ目	 ——— 水が流れやすい割れ目

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
1) 人工バリア性能確認試験

国際P

【第4期中長期計画　目的】

熱－水－応力－化学連成現象モデルの高度化、浸潤時の飽和度などの確認
- **緩衝材の地下水浸潤データを取得し、連成モデルの適用性確認**
- **人工バリアの解体作業及び緩衝材の飽和度の確認**



【令和4年度の実施内容】

- **国際共同研究（DECOVALEX）で、人工バリア性能確認試験のデータに基づく連成解析結果を比較、検証する。**
- **人工バリア解体試験施工の結果（緩衝材、埋め戻し材、コンクリート、岩盤および境界面の採取手法に関わる知見）をもとに、人工バリア性能確認試験場所の解体調査計画の検討を行う。**

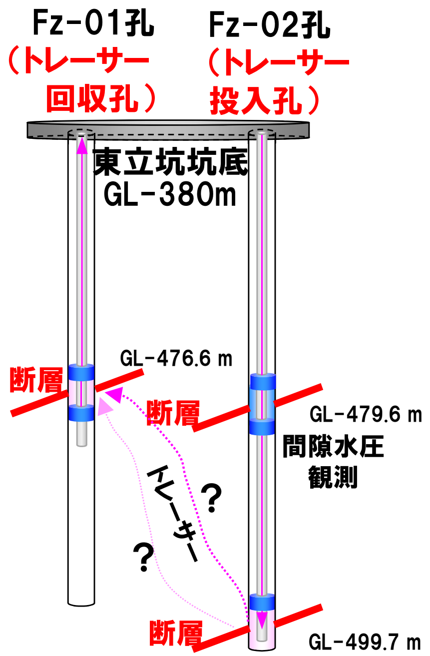
①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
2) 物質移行試験

国際P

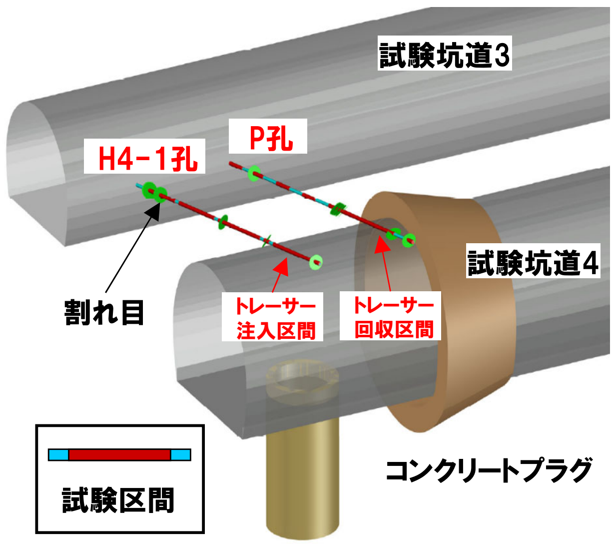
【第4期中長期計画　目的】

堆積岩における物質移行現象の評価手法の整備

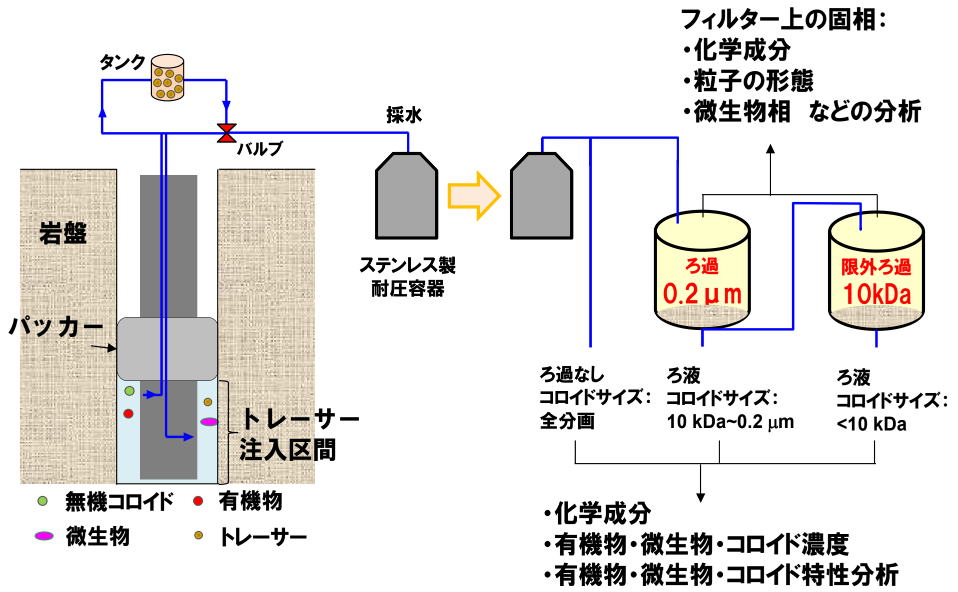
- ➢掘削損傷領域での物質移行試験、コロイド/有機物、微生物の影響確認
- ➢岩盤中の割れ目を含むブロックスケール(数m～100m規模)の物質移行評価手法の構築



断層を対象としたトレーサー試験



掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験



コロイド/有機物、微生物を対象としたトレーサー試験

【令和4年度の実施内容】

- ➢掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験結果に基づき物質移行挙動の評価手法の検討を行う。
- ➢有機物・微生物・コロイドが核種移行に及ぼす影響を確認するための原位置試験を実施する。
- ➢稚内層深部の断層(ブロックスケール)を対象として実施したトレーサー試験結果の解析を行う。

②処分概念オプションの実証

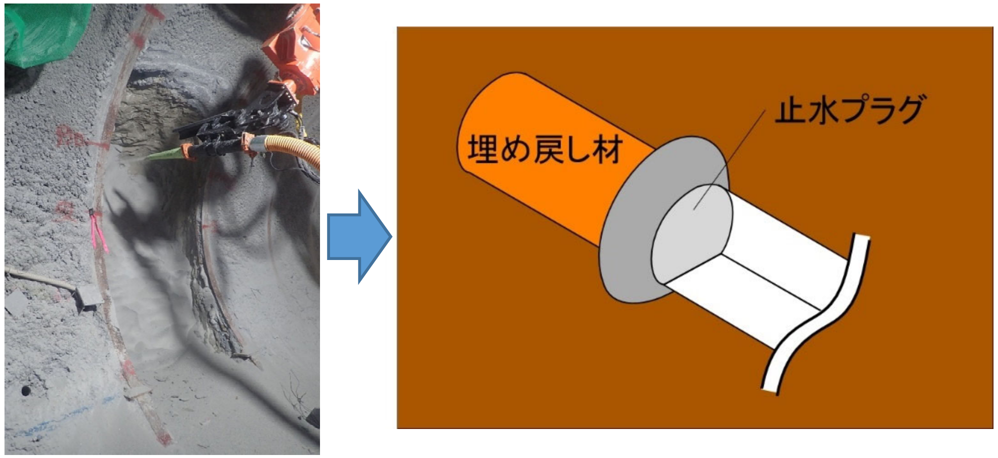
1) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験

国際P

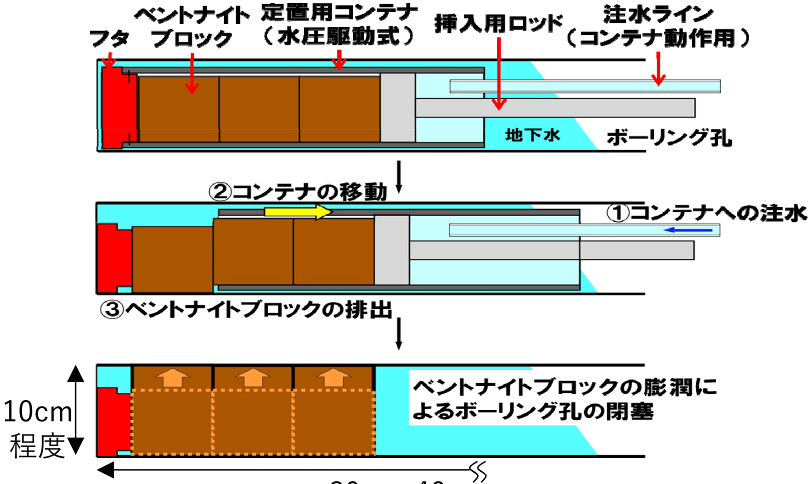
操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証

【第4期中長期計画　目的】

- 搬送定置・回収技術（緩衝材や埋め戻し材の状態に応じた除去技術オプション、回収容易性を考慮した概念オプション、品質評価手法など）の整備
- 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に係る品質保証体系の構築



ベントナイト吹付けプラグの工学規模試験



ボーリング孔閉塞試験

【令和4年度の実施内容】

- 地下環境でコンクリート物性変化データ取得を継続、坑道閉鎖後の環境の予測解析を行う。
- 止水プラグ吹付け後のベントナイト乾燥密度や含水比などの施工品質を整理する。
- ボーリング孔閉塞技術の適用性確認試験を行う。
- 緩衝材流出試験を継続し、緩衝材の施工方法に応じた長期的な緩衝材の流出量などを確認する。

②処分概念オプションの実証

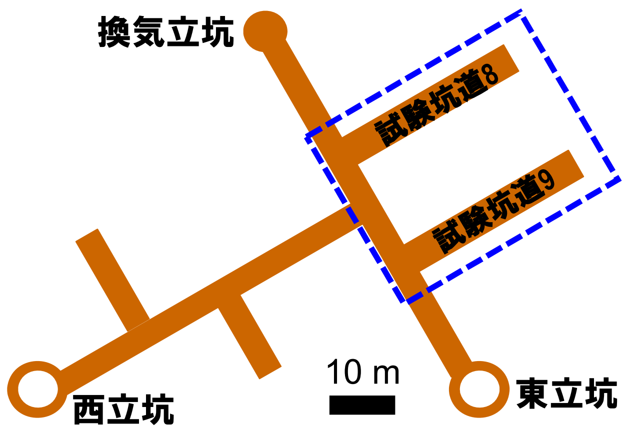
1) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験

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

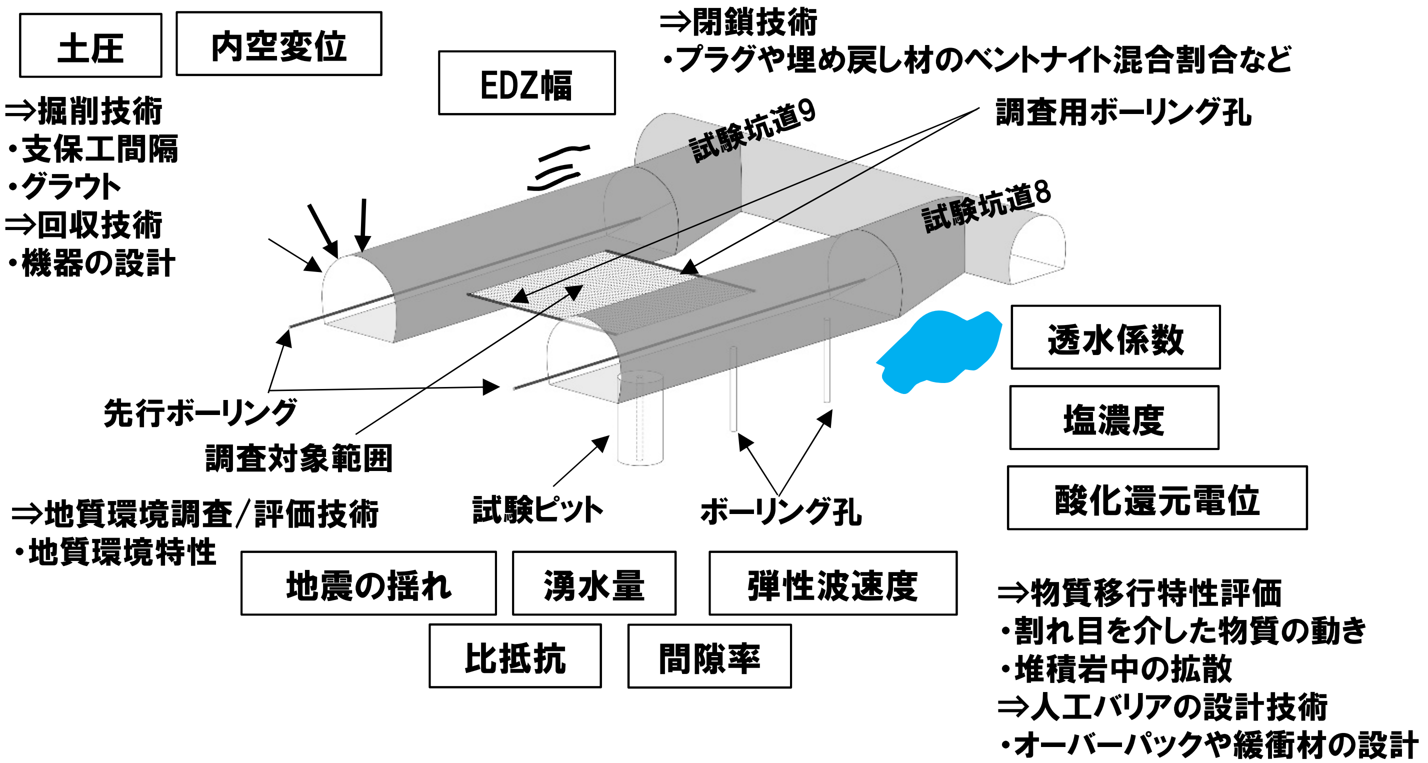
【第4期中長期計画　目的】

堆積岩における廃棄体の設置に関わる判断基準、必要な調査解析技術などを体系的に整備

- 割れ目分布や水理特性に関わるボーリング孔調査、掘削損傷領域を把握するための物理探査、それらの結果に基づく物質移行特性の評価
- 併設坑道間の相互干渉影響を確認するための掘削影響試験や長期モニタリング



500m調査坑道における原位置試験のレイアウトと関連する特性の例

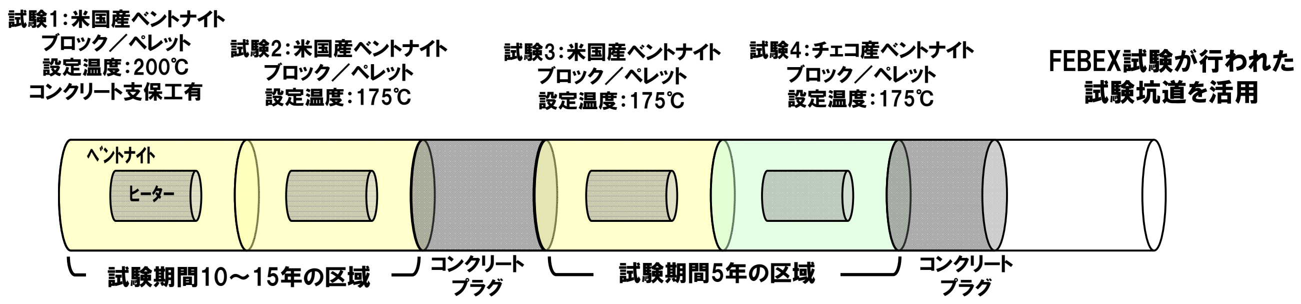


【令和4年度の実施はなし】

②処分概念オプションの実証
2) 高温度(100℃以上)などの限界条件下での人工バリア性能確認試験

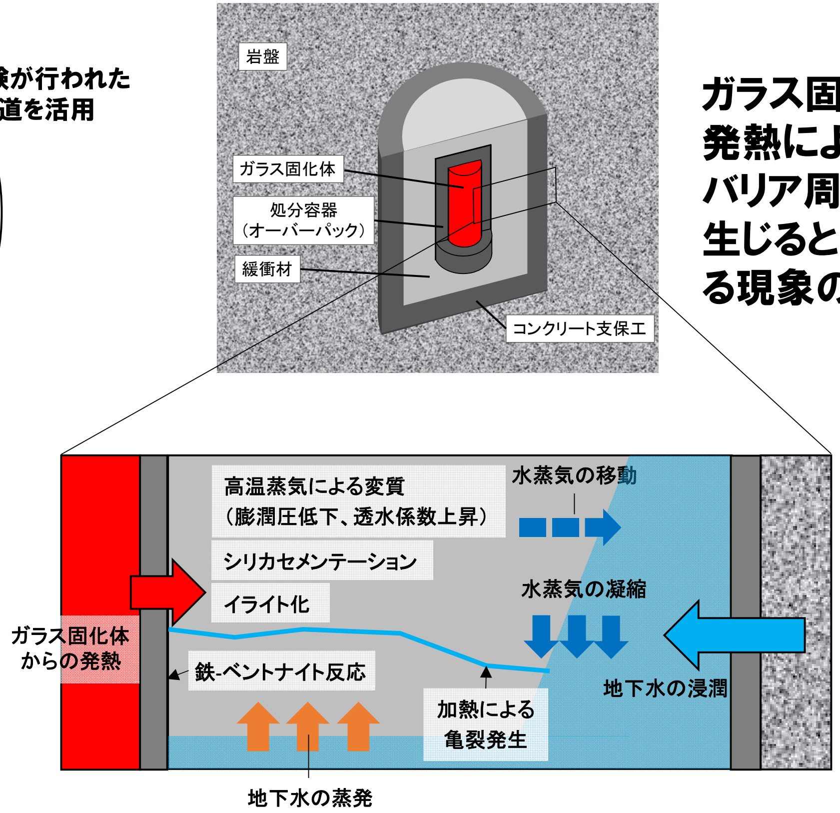
【第4期中長期計画　目的】

緩衝材温度が100℃になった状態を想定した解析手法の開発
- ➢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℃超になった際に人工バリアとその周辺岩盤において発生する現象の整理
- ➢人工バリアとその周辺岩盤における上限温度設定の考え方の提示



HotBENTプロジェクト(スイス)の概念図

既往の試験事例では、緩衝材の温度上昇が130℃までならば、1,000年後の緩衝材の変質割合は小さいと推定された。



ガラス固化体の発熱により人工バリア周辺に生じると想定される現象の概念化

【令和4年度の実施内容】

- ➢先行事例調査を基に、100℃を超えた状態で生じ得る現象のシナリオを整理し、試験計画の検討を行う。

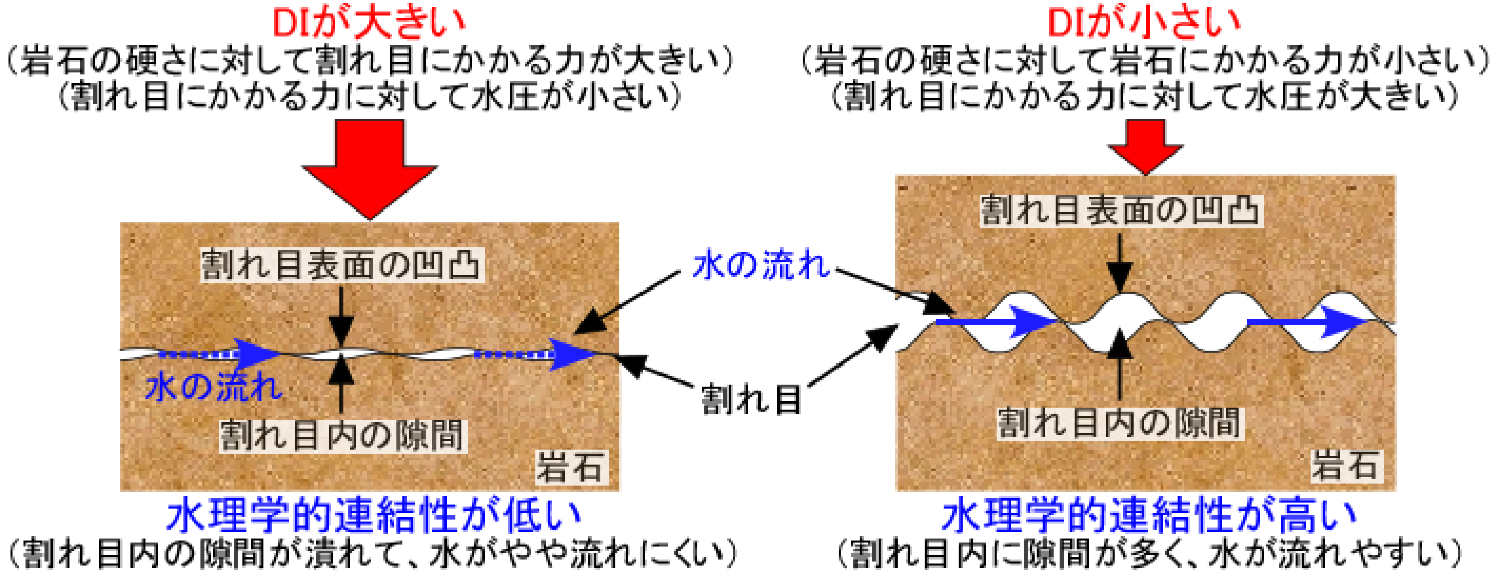
③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
1）水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

・地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

【第4期中長期計画　目的】

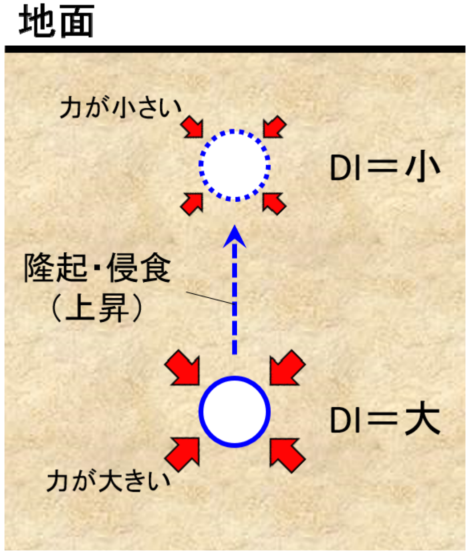
地殻変動が透水性に与える影響を推測するための手法を整備する。

- ➢ ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験
- ➢ DI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



DI*と割れ目の水理学的連結性の関係

＊DI（ダクティリティインデックス）：岩石にかかる力を岩石の引張り強さで割ったもの



隆起・侵食が透水性に与える影響

【令和4年度の実施内容】

➢既存のデータを活用して、DIと断層／割れ目の水理学的連結性の関係に関する解析を行い、DI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を整備する。

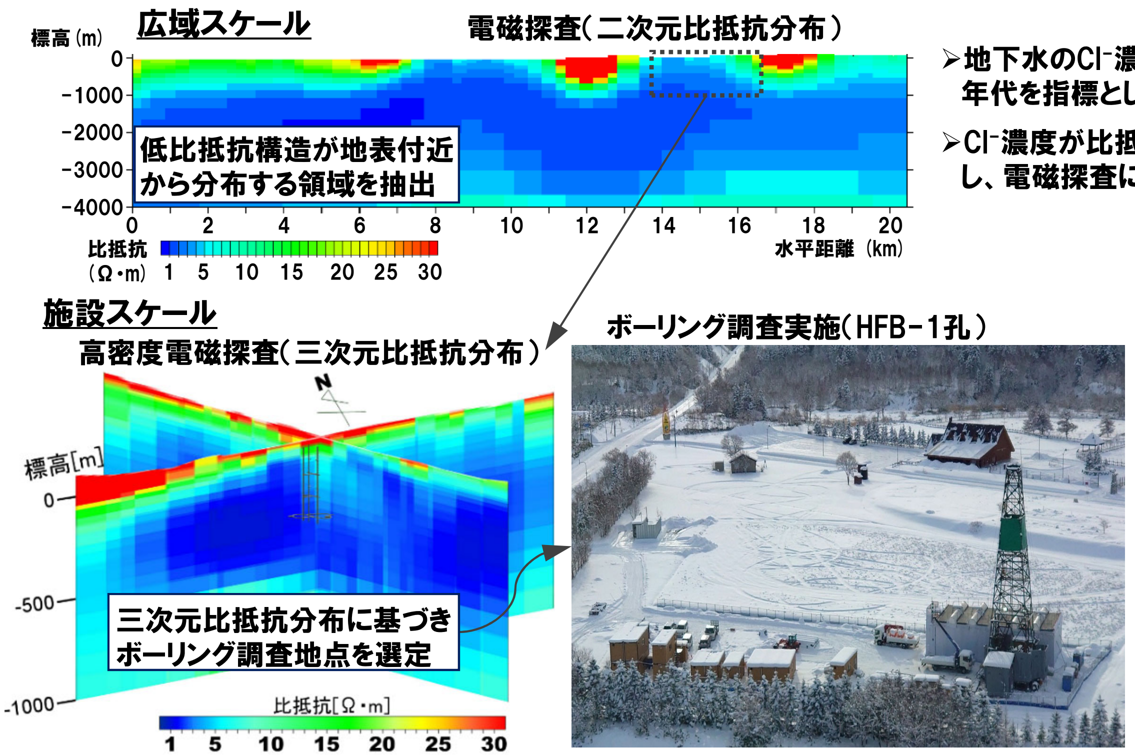
③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
1）水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

・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

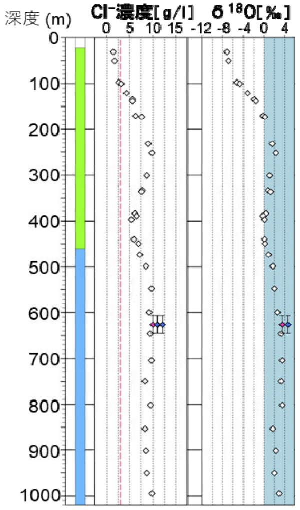
【第4期中長期計画　目的】

地下水の流れが非常に遅い領域の分布を把握するための技術を構築する。

- 化石海水の分布領域の調査・評価技術の高度化
- 地下水の滞留時間、塩濃度分布を推測するための水理解析、物質移動解析

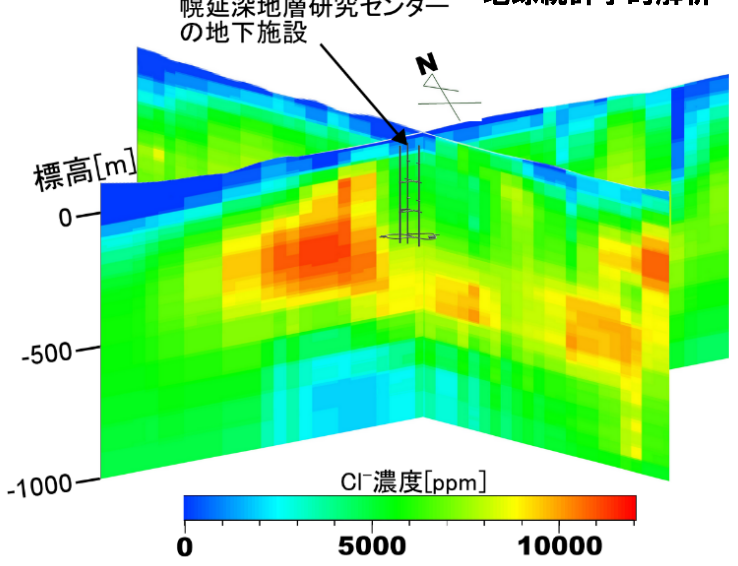


- 地下水のCl⁻濃度、酸素水素同位体比、年代を指標として低流動域を評価
- Cl⁻濃度が比抵抗と相関する特徴を着目し、電磁探査により広域の比抵抗を把握



HDB-11孔におけるボーリング調査結果の一例

地球統計学的解析



Cl⁻濃度の三次元分布（コロケーテッド・コクリギング）

三次元比抵抗分布とボーリング調査データに基づき地球統計学的解析によりCl⁻濃度、酸素・水素同位体比の三次元分布を評価

【令和4年度の実施内容】

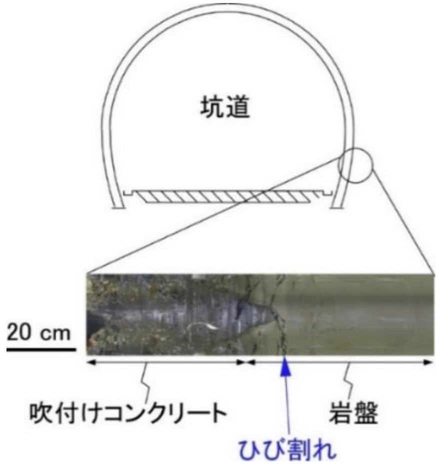
- 深度500mまでボーリング孔を掘削、化石海水の有無を確認するため水質・同位体データを取得し、化石海水の三次元分布を推定するための物理探査、ボーリング調査、地球統計学的解析、水理・物質移行解析といった一連の調査・解析手法を取りまとめる。

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
2) 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

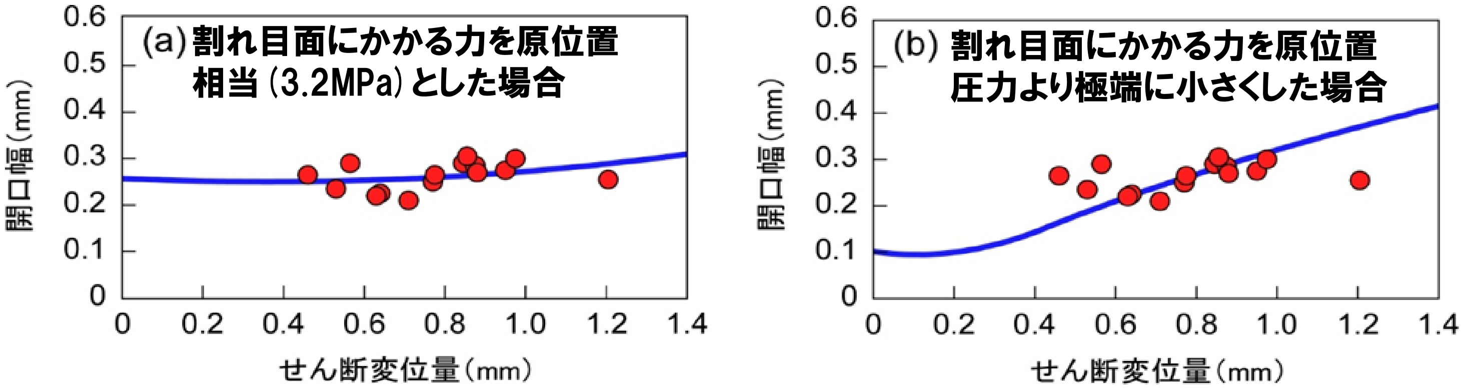
【第4期中長期計画　目的】

緩衝材や埋め戻し材が掘削損傷領域の力学的・水理学的な緩衝能力(自己治癒能力)に与える影響の解析手法を構築する。

- ✓ 岩盤の強度・応力条件から掘削損傷領域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予測するモデルの構築



掘削損傷領域に樹脂を注入、観察
割れ目のせん断変位量と開口幅との相関が乏しい。



樹脂注入後の掘削損傷領域の割れ目試料で観察された開口幅とせん断変位量の関係(赤丸)とシミュレーション結果(青線)

深度350mの地圧では割れ目面に垂直にかかる力が大きいため、割れ目の開口が抑えられることを確認

【令和4年度の実施内容(技術基盤の整備の完了を目指す)】

- ➢ 掘削損傷領域の注水試験結果を解析し、坑道埋め戻し後の緩衝材や埋め戻し材の膨潤による地圧変化に伴う割れ目の開閉が、掘削損傷領域の透水性に与える影響をモデル化する。
- ➢ 地圧変化に伴う割れ目のせん断変位の影響を評価する樹脂注入試験のモデルと合わせて、坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性を予測するモデルを構築する。

報告内容

1. 幌延深地層研究センターの紹介
    - 経緯、施設概要、組織
2. これまでの研究開発の概要
    - 研究開発課題
    - 第3期中長期計画の成果と評価
3. 第4期中長期目標期間における取組み
    - 令和2年度以降の研究計画とスケジュール
    - 施設整備
    - 研究開発の状況
4. 国際拠点化に向けた取組み
    - 国内外の関係機関の資金や人材の活用
    - 幌延国際共同プロジェクト

国内外の関係機関の資金や人材の活用

【令和4年度の実施内容】

- DECOVALEX(連成モデルの開発とその実験結果との検証に関する国際共同研究)
  - ●幌延の人工バリア性能確認試験のデータを用いた解析(6つの国・地域の機関が参加)
    令和4年4月と11月にWSを開催:解析結果の比較検証を実施
- Pacific Rim Partnership(環太平洋の研究機関によるパートナーシップ協力憲章)
  - ●相互教育、情報交換の実施
- 地層処分に関するトレーニングコースの招致
  - ●韓国の大学生を対象としたトレーニングコースの幌延開催(令和4年8月予定)⇒コロナ禍を受け令和5年7月に延期
- 国際化に向けた取り組みを推進
  - ●最終処分ラウンドテーブルの議論内容を受けて、資源エネルギー庁とOECD/NEA(経済協力開発機構／原子力機関)が主催する、地下研究施設を活用した国際協力に関するワークショップ(令和4年11月1日～3日)への協力
- 幌延国際共同プロジェクトの立ち上げ
  - ●参加国を募り、プロジェクトの準備会合を複数回開催し、研究内容、役割分担などを議論し、プロジェクト協定書を締結する。

幌延国際共同プロジェクト

【前提】
•「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に沿って令和10年度末までを限度として実施
•「幌延町における深地層の研究に関する協定書」を遵守

【目的】
アジア地域の地層処分に関わる国際研究開発拠点として、深地層での研究開発を多国間で協力しながら推進する。先進的な安全評価技術や工学技術に関わる研究成果を最大化するとともに、それを通して知識と経験を共有し次世代を担う国内外の技術者や研究者を育成する。

【プロジェクトの研究開発課題】
「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」の中で国際的に関心の高い以下の項目を実施する。
（( )内は「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」の課題名）

•Task A：物質移行試験（実際の地質環境における人工バリアの適用性確認）
•Task B：処分技術の実証と体系化（処分概念オプションの実証）
•Task C：実規模の人工バリアシステム解体試験（実際の地質環境における人工バリアの適用性確認）

【参加機関の募集】
既往の研究者間のネットワークやOECD/NEAのメーリングリストを活用して、国内外の研究機関、地層処分事業の実施機関・規制機関に幌延深地層研究センターの概要を紹介し、プロジェクトへの参加を呼びかけ

幌延国際共同プロジェクト　参加機関

- プロジェクトに関心を示した機関とプロジェクトの内容に関わる議論を行うため、令和4年3月～10月にかけて準備会合を5回開催。最終的に以下の機関が参加を表明。
- 基本合意したプロジェクト協定書について、各機関で署名の手続きを実施。
- 2機関以上が署名した時点で協定書が発効。

機関	A	B	C
英国地質調査所（BGS）	○	○	○
オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）	○	○	○
韓国原子力研究所（KAERI）	○	○	○
原子力環境整備促進・資金管理センター（RWMC）		○	○
原子力発電環境整備機構（NUMO）	○	○	○
台湾工業技術研究院（ITRI）	○		
電力中央研究所（CRIEPI）	○		○
ドイツ連邦放射性廃棄物機関（BGE）	○	○	○
ブルガリア国営放射性廃棄物会社（SERAW）	○	○	○
ルーマニア原子力テクノロジー国営会社（RATEN）	○		

幌延国際共同プロジェクト Task A:物質移行試験

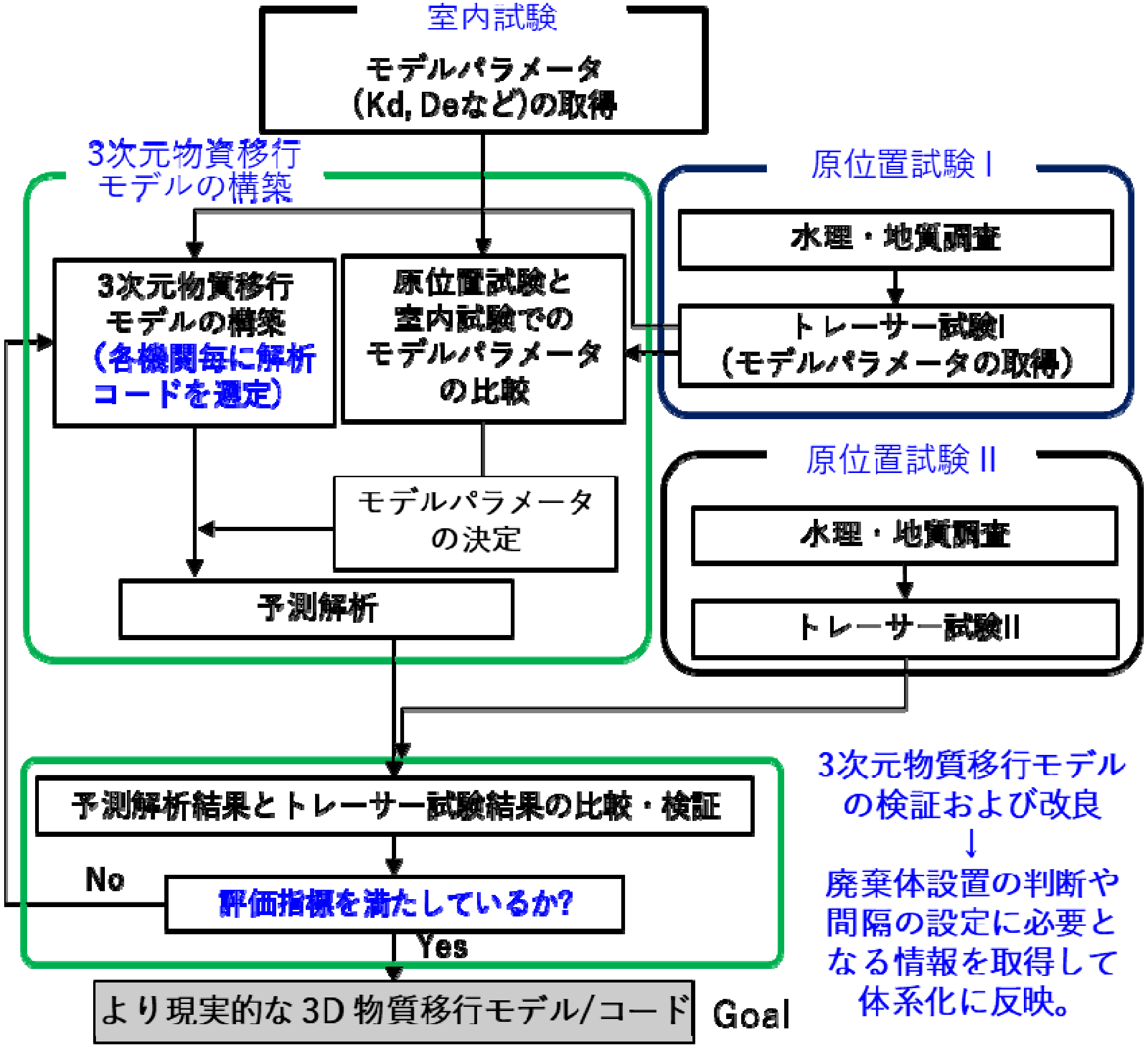
【国際共同プロジェクトで取り組む内容】

①新第三紀堆積岩を対象として水理地質特性の調査および室内試験･原位置トレーサー試験を実施し、得られたデータを基に3次元物質移行モデルを構築する。

②3次元物質移行モデルを用いた予測解析を実施し、原位置トレーサー試験の結果と比較することで、①で構築した3次元物質移行モデルの検証および改良を実施する。

【目標成果】

調査～モデル構築／検証までの一連の評価手法を確立し、かつ使用する解析コードを各国の手法と比較しながら確認することで、精密調査後半で実施する核種移行評価に用いる技術の信頼性を提示する。



幌延国際共同プロジェクト Task B:処分技術の実証と体系化

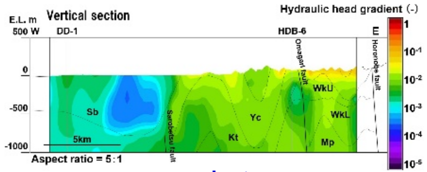
【国際共同プロジェクトで取り組む内容】

処分坑道・ピットを配置するための設計概念や指標および関連技術を体系的に整備、最適化

- 指標の候補をあらかじめ検討し、予測解析により指標に関連する着目すべき特性を定量的に明確化
- 地質環境調査技術の適用として、指標に基づき断層・割れ目やEDZの特性に関するデータを取得
- 地質環境調査により必要性が判断された場合、工学的対策(グラウト)を実施
- 適用した調査技術やモデルの妥当性を評価するためのデータ取得と事後解析

地下水流動の既存モデルと解析(350mまでの知見)

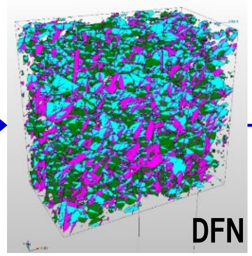
広域スケール (数10 km四方) CPMモデル



施設スケール (数 km) ECPM / CPM モデル

境界条件

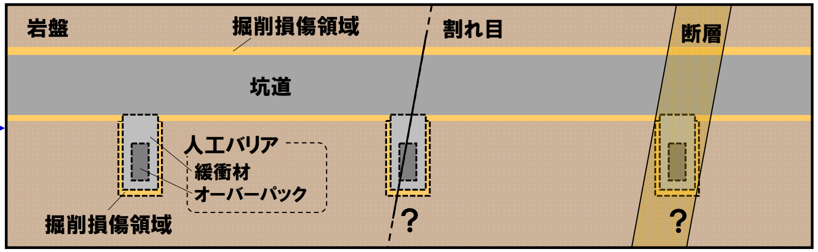
ブロックスケール (数10～数100 m)
➢ ECPM / CPM / DFN モデル



DFN モデル

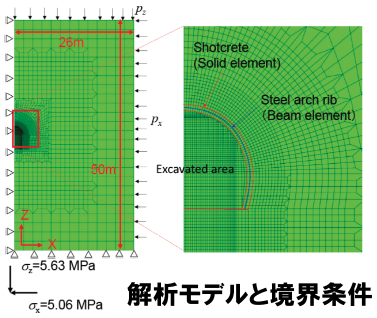
スケールに応じたモデルとアップスケールに伴う断層(水みち)による不均質性の考慮

処分坑道の展開領域の指標検討



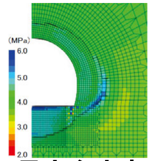
物質が移動し難い領域の事例として、500m調査坑道を対象として処分ピットの配置を事前検討し、実際に施工してその妥当性を確認するとともに、必要な工学技術を実証する。

EDZの既存モデルと解析(350mまでの知見)

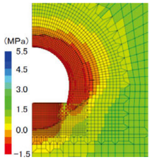


解析モデルと境界条件

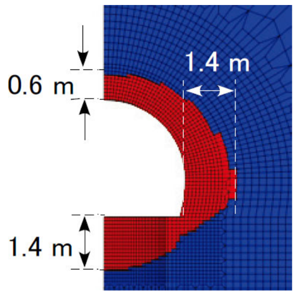
(Aoyagi et al., 2017)



最大主応力

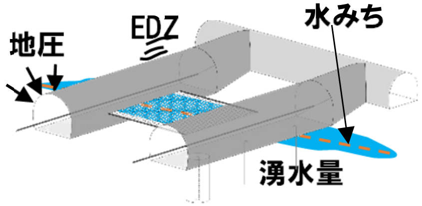


最小主応力



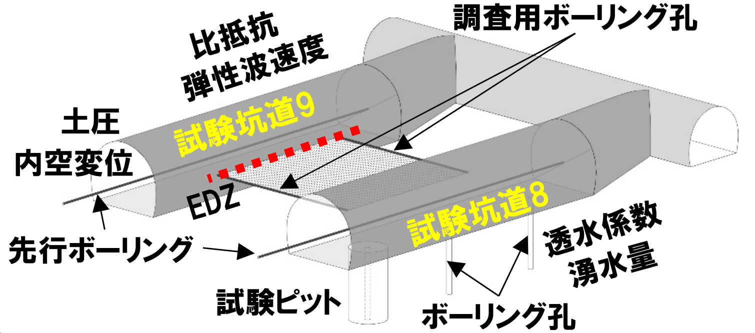
解析により推定したEDZの発達

処分ピット配置の指標検討



- 坑道やピットへの湧水量
- 水みちの分布や連結性
- EDZの発達程度などの予測

検証

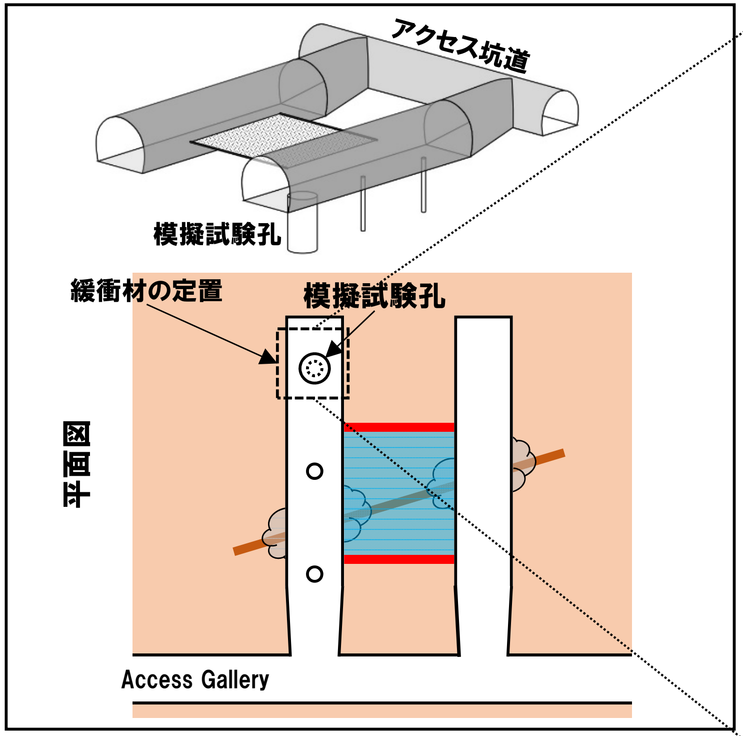


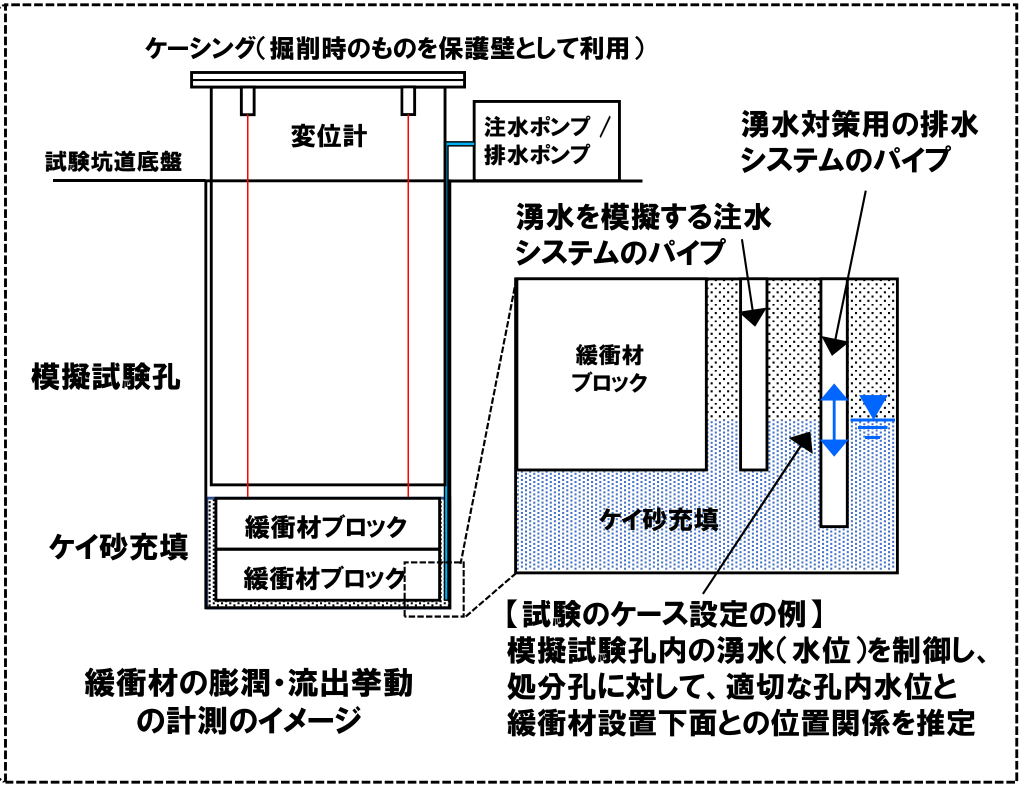
断層/割れ目の物質移行特性

岩石マトリクス中の物質移行特性

地質環境特性に基づきグラウトの必要性や処分坑道・ピットの配置を決定

幌延国際共同プロジェクト Task B：処分技術の実証と体系化





人工バリアを処分場に設置してからトンネルを埋め戻すまでの期間を想定し、緩衝材の膨潤・流出挙動と処分場への湧水量の許容値を検証するためのデータを取得

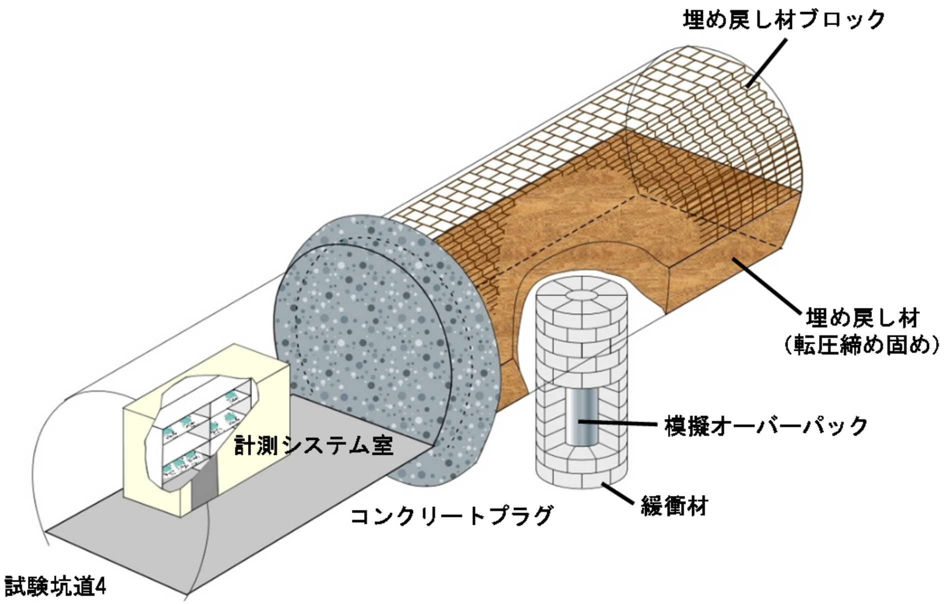
今後得られる情報に基づき、試験レイアウトや実際に適用する具体的方法などを検討し、詳細計画に反映する。

【目標成果】

既存の地質環境情報、原位置試験・解析に基づき、「処分坑道・ピットの配置、設計に関する調査・評価技術の枠組み」を構築する。

- 処分坑道と交差する断層／割れ目を考慮した処分ピット／ホールの配置に関わる指標の整理
- 地質環境調査、処分坑道、ピット/ホール配置、工学的対策を含む関連技術を体系的に整理
- 関連する工学技術の実証

幌延国際共同プロジェクト Task C:実規模の人工バリアシステム解体試験



令和3年度に実施した人工バリア解体試験施工の知見をもとに、実規模の人工バリアシステムの解体調査を行う。

【国際共同プロジェクトで取り組む内容】

これまでに取得した人工バリア試験データに加え、解体調査で取得するデータ（粘土材料中のより詳細な飽和度、乾燥密度、塩濃度分布や材料界面の情報）を用いたベンチマークテストを実施する。

①解体調査計画の決定と実施

②解体調査時に予測される飽和度、乾燥密度、塩濃度分布などの予測解析

③予測解析と解体調査データの比較による解析モデルの更新

【目標成果】

各国の共通課題となっている人工バリアの物理化学特性の評価について、幌延の人工バリア試験結果を共通の解析対象として、各機関の解析コードを用いて解析、比較することで、熱－水－応力－化学連成解析手法の信頼性を提示する。