

# 幌延深地層研究計画に関する 令和5年度の成果及び令和6年度の計画

令和6年2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. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画
2. 令和5年度の成果と令和6年度の計画
  - ① 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
  - ② 処分概念オプションの実証
  - ③ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
3. 幌延国際共同プロジェクト(HIP)・施設整備

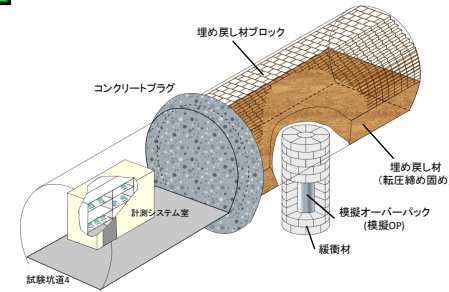
# 報告内容

1. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画
2. 令和5年度の成果と令和6年度の計画
  - ① 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
  - ② 処分概念オプションの実証
  - ③ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
3. 幌延国際共同プロジェクト(HIP)・施設整備

# 1. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画(1/4)

## 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



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

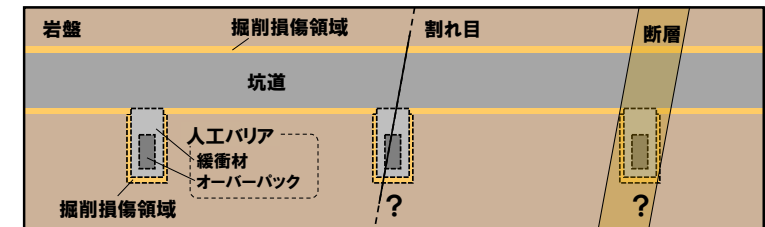
- 1) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
  - ・操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
  - ・坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 2) 高温(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験



閉鎖技術オプションの整理

## 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





廃棄体定置決定や間隔設定の考え方の整理

# 1. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画(2/4)

		第3期		第4期中長期目標期間						
		R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
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 <b>Task C</b>	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 <b>Task A</b>	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	人工バリアの位置・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 <b>Task B</b>	搬送位置・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 <b>Task B</b>				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な情報の整理、等					
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	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・水理的な緩衝能力に与える影響を把握する解析手法の開発								

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。

 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。  
 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。

## 令和5年度における研究実施の留意点:

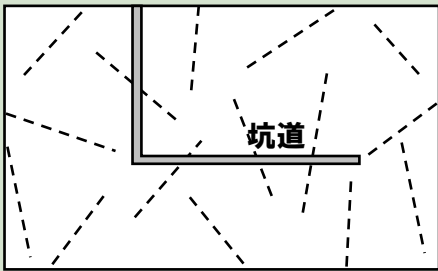
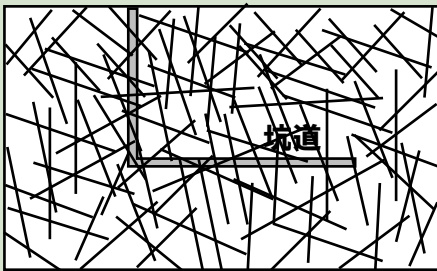
- ① 令和5年度または令和6年度の個別研究課題の成果取りまとめ
- ② 幌延国際共同プロジェクト(HIP)の着実な実施
- ③ 令和6年度以降の体系化研究の計画の具体化

# 1. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画(3/4)

## 深度500mでの研究の意義と体系化

深度350mとは性質の異なる深度500mの地層を対象に、坑道を展開して研究に取り組むことで、主に以下の成果が得られ、技術基盤の整備に、より一層貢献可能。

- 高い地圧がかかり坑道の設計・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。
- 物質が動きにくい環境で岩盤が有する物質を閉じ込める性能が実証でき、人工バリア等の技術仕様の精緻化を提案。
- 水の流れに大きな影響を及ぼす掘削影響領域を含めた安全評価技術を体系的に実証可能。

ポイント	深度500m	深度350m
処分技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 土圧が大きく、岩石が軟らかい</li> <li>• 地下水圧が高い</li> </ul> <p>⇒ 高い地圧がかかり坑道の設計・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できる</p> <p>⇒ 海外でも事例が少ない堆積岩の深度500mにおいて処分技術を実証できる</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 土圧が小さく、岩石が硬い</li> <li>• 地下水圧が低い</li> </ul> <p>⇒ 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できる</p>
安全評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 地下水や物質が割れ目内を流れにくい</li> <li>• 岩盤中の割れ目が少なく、坑道の掘削により掘削損傷領域がより広く発達すると考えられる</li> </ul> <p>⇒ 物質が動きにくい環境で、岩盤が有する物質を閉じ込める性能が実証でき、人工バリア等の技術仕様が精緻化できる</p> <p>⇒ 水の流れに大きな影響を及ぼす掘削影響領域も含めた安全評価技術を体系的に実証できる</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 地下水や物質が割れ目内を流れやすい</li> <li>• 岩盤中の割れ目が多く、坑道の掘削による掘削損傷領域の発達度合いは小さい</li> </ul> <p>⇒ 水が流れやすい割れ目が多くつながる領域を対象とした安全評価技術を体系的に実証できる</p>
イメージ図	<p>立坑</p>  <p>坑道</p> <p>----- 水が流れにくい割れ目</p>	<p>立坑</p>  <p>坑道</p> <p>———— 水が流れやすい割れ目</p>

# 1. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画(4/4)

## 令和2年度以降の課題における原位置試験の実施予定場所

### ●実際の地質環境における人工バリアの適用性確認に関わる研究

#### 1)人工バリア性能確認試験

連成解析技術の信頼性を確認するため、試験坑道4で人工バリアの解体、センサーの較正、分析を実施。

#### 2)物質移行試験

ブロックスケールにおける遅延性能評価手法を整備するため、250m調査坑道で物質移行データを取得。／有機物・微生物・コロイドの影響評価手法を整備するため、350m周回坑道で物質移行データを取得。

### ●処分概念オプションの実証に関わる研究

#### 1)閉鎖技術(埋め戻し方法・プラグ等)の実証試験

坑道閉鎖に関わる地下施設及び人工バリアの設計評価技術を体系化するための実証試験を実施。

#### 2)掘削影響試験

多接続坑道での湧水抑制対策技術及び処分孔支保技術を整備するために、試験坑道8、9でボーリング調査、物理探査などを実施。

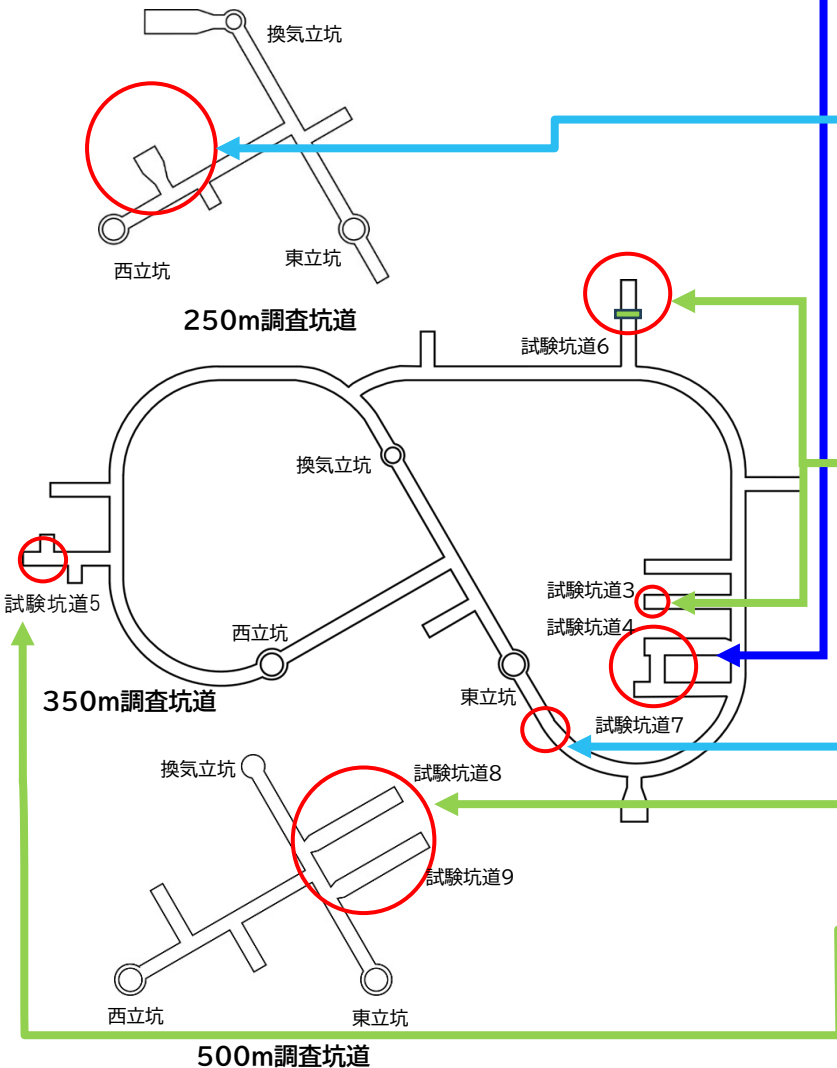
#### 3)初期地圧測定

坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術を体系化するため、500m調査坑道で初期地圧測定を実施。

#### 4)高温条件での人工バリア性能確認試験

緩衝材の最高温度が100℃を超えた状態での人工バリア性能に関する試験データを整備するため、試験坑道5で原位置加熱試験を実施。

：令和5年度の実施内容





# 報告内容

1. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画
2. 令和5年度の成果と令和6年度の計画
  - ① 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
  - ② 処分概念オプションの実証
  - ③ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
3. 幌延国際共同プロジェクト(HIP)・施設整備



# ①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

## 令和2年度以降の研究工程

	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
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	■	■	■	■	■	■	■	■	■
国際プロジェクトでの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、緩衝材の飽和度の確認	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2)物質移行試験									
掘削損傷領域の物質移行の評価手法の確立	■	■	■	■	■	■	■	■	■
有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行モデル化手法の高度化	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ブロックスケール(数m~100m規模)における遅延性能評価手法の整備	■	■	■	■	■	■	■	■	■

---

## 1) 人工バリア性能確認試験

# ①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

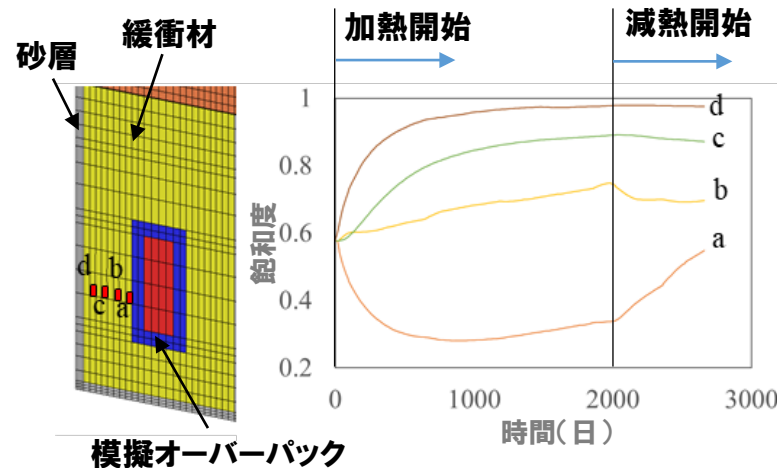
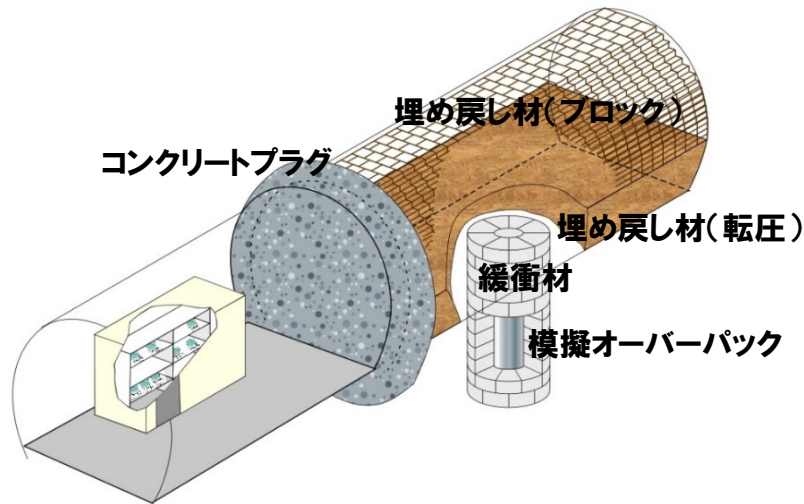
## 1) 人工バリア性能確認試験

### 【第4期中長期計画 目的】

幌延URLの地下350mで実施している人工バリア性能確認試験で取得されたデータをもとに、人工バリア定置後、緩衝材が飽和に至るまでに発生する人工バリア周辺での熱-水-応力-化学連成現象の評価と現象を予測するための解析モデルの検証を実施

### 【令和5年度の計画・進捗】

- 人工バリア性能確認試験のデータを対象とした連成解析モデルや解析結果の検証および結果のとりまとめ(国際共同研究DECOVALEX2023における複数の機関によるベンチマーク解析、異なるコードの比較分析を実施)
- 人工バリア性能確認試験の解体調査計画の具体化(HIP: Task C)



人工バリア性能確認試験で取得された温度、水分量、応力の経時変化を対象とした連成解析を実施し、各参加機関の解析結果との比較検証を行う

### 人工バリア性能確認試験の概要図

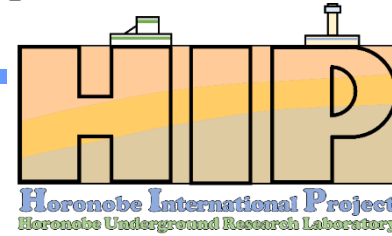
平成26年度からデータ計測を開始、令和5年度は令和8年度から開始予定の解体調査計画についてHIPで議論

### DECOVALEXにおける解析検討の一例(JAEA)

緩衝材5段目における飽和度分布の連成解析結果

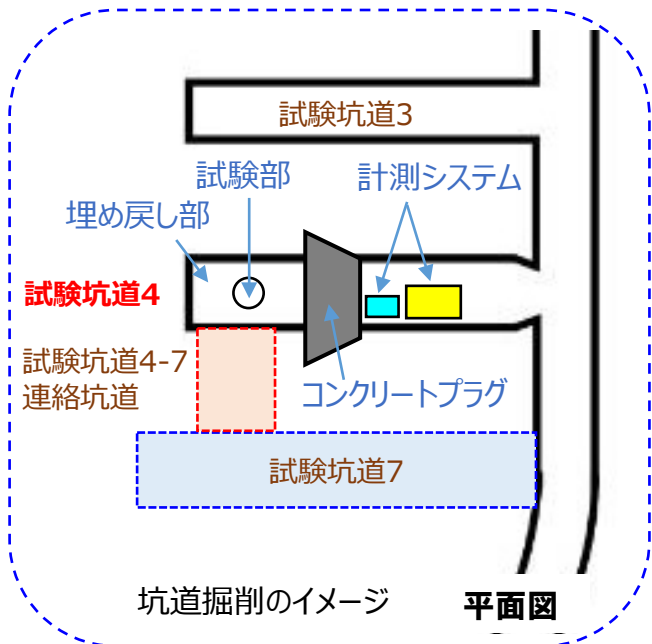
# ①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

## 1) 人工バリア性能確認試験

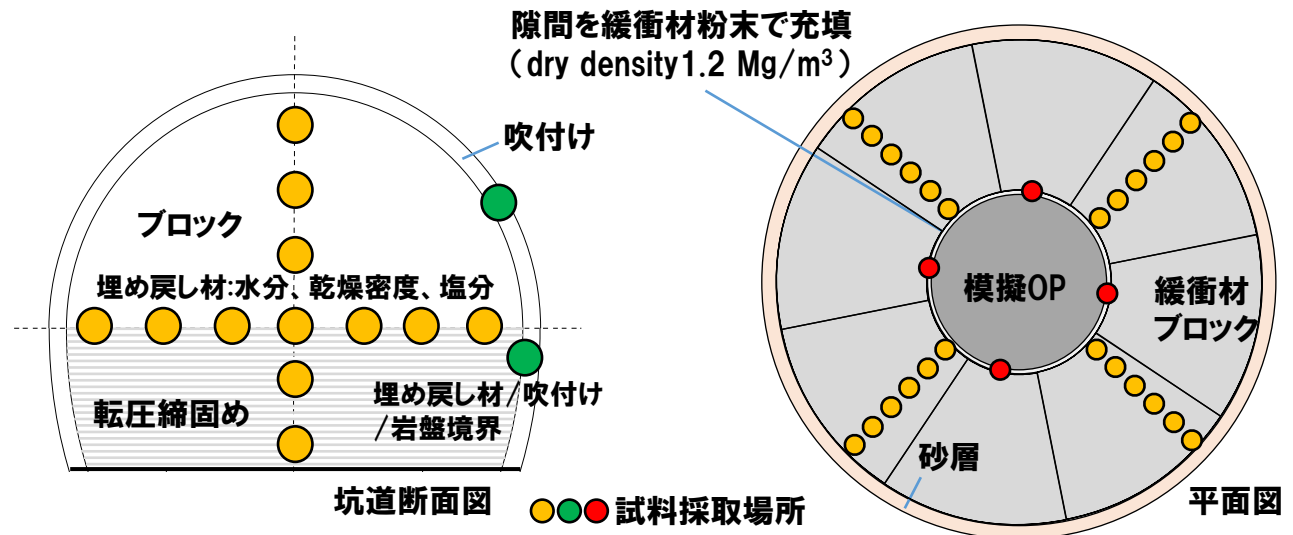


### 【令和5年度の計画・進捗:HIP(Task C)】

- 人工バリア性能確認試験の解体調査で使用する試験坑道7の掘削を開始（令和5年度に完了予定。アクセス坑道の掘削、解体調査は令和8年度以降に実施予定）
- 解体調査における各サンプリングの目的、分析項目、サンプリング位置などについて、令和4年度の計画案をベースとして、HIP参加機関のニーズやアイデアをもとに、より詳細な計画を立案



### 解体調査のための 試験坑道7の掘削



### 解体調査計画のイメージ図

連成現象の理解やモデルを検証するために必要なデータ(飽和度、乾燥密度、間隙水組成分布など)や材料界面での現象(緩衝材の膨出・隙間充填、腐食、セメント影響など)を把握するために必要なデータを整理し、解体調査時のサンプリング位置や数量を決定する

Task C参加機関

BGE(ドイツ)、BGS(英国)、CRIEPI(日本)、CSIRO(オーストラリア)、JAEA(日本)、KAERI(韓国)、NUMO(日本)、RWMC(日本)、SERAW(ブルガリア)

# ①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

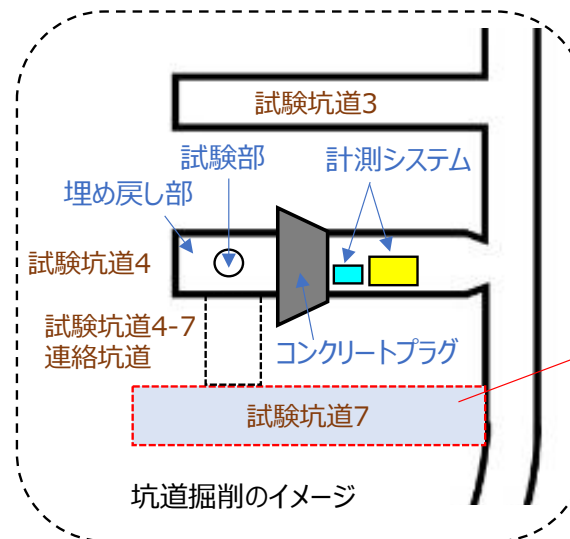
## 1) 人工バリア性能確認試験

### 【令和5年度の成果】

- 人工バリア性能確認試験のデータ計測を継続するとともに、解体調査に向けた準備として試験坑道7を掘削した(下図)。試験坑道7の掘削による緩衝材中の計測データへの影響はなく、緩衝材内側の全応力が地下水の浸潤に伴って緩やかに増加していることが確認できた。
- 国際共同研究DECOVALEXでは、人工バリア性能確認試験のデータを対象に熱-水理-力学連成解析を実施し、室内試験および原位置試験の各機関の解析結果を比較・検証した。その結果、等温条件での浸潤挙動は計測結果と解析結果がよく一致する結果が得られたが、温度勾配条件での浸潤挙動は原位置試験において、力学挙動は室内試験・原位置試験ともに、計測結果と解析結果に差異が確認され、さらなる検証が必要であることが分かった。【これらの成果はDECOVALEXの最終レポートとして公開予定】

### 【令和6年度の計画】

- 人工バリア性能確認試験の計測機器によるデータ取得を継続するとともに、HIPのタスクCにおいて解体試験計画の具体化や解析課題に取り組む。



試験坑道7の掘削の様子

試験坑道7の掘削

---

## 2) 物質移行試験



# ①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

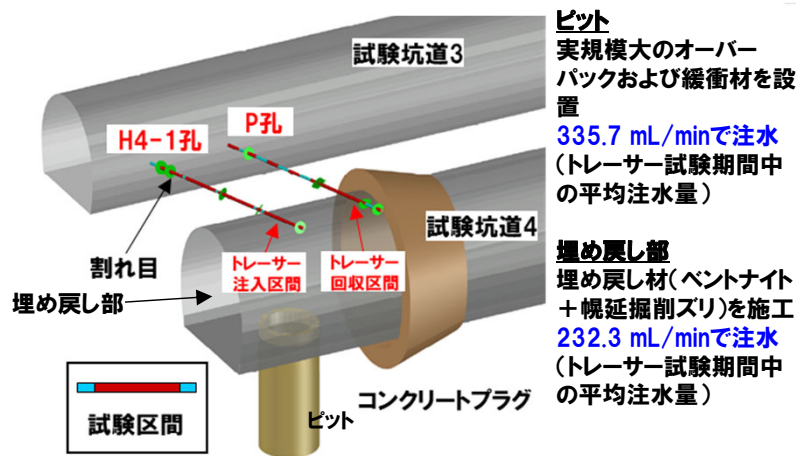
## 2) 物質移行試験(掘削損傷領域・ブロックスケール)

### 【第4期中長期計画 目的】

幌延地域に分布する水みちの特性が異なる3つの岩盤を事例に、岩盤特性の不均質性等を考慮した上で、物質移行のシナリオおよび関連因子(微生物、有機物、コロイド影響など)や坑道近傍からより広い領域を含む複数のスケールを対象とした核種移行モデルを構築・検証するとともに、これら一連のモデル化・解析手法を総合的な物質移行特性評価手法として整備

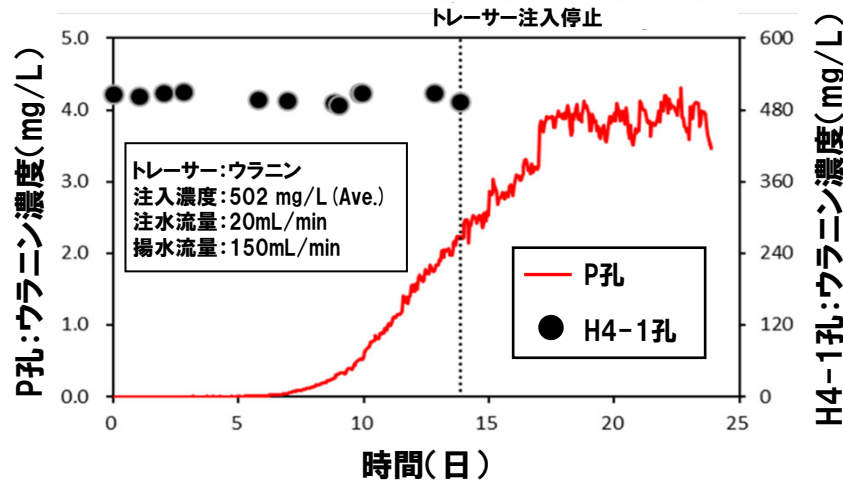
### 【令和5年度の計画・進捗】

- 原位置トレーサー試験結果に基づく掘削損傷領域の物質移行挙動(主に移流・分散)の解析評価
- 稚内層深部の断層(深度480m付近)を対象として実施したトレーサー試験結果の解析
- 声問層を対象とした物質移行モデルの構築に必要な水理・地質特性の把握



### 掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験 (350m調査坑道)

H4-1孔(注水孔)とP孔(揚水孔)の孔間のトレーサー試験を実施し、ウランを一定濃度で連続注入



### トレーサー試験結果

一定濃度の連続注入開始から約14日後以降はトレーサー注入を停止した状態で、トレーサー濃度を観測

掘削損傷領域における分散効果を1次元移流・分散モデルによる解析評価を実施

### 掘削損傷領域の物質移行挙動の解析評価の計画

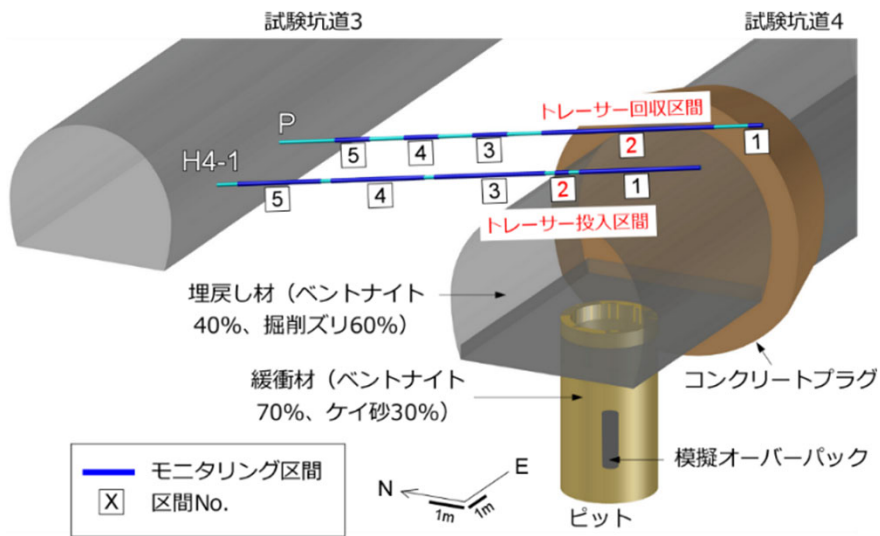


# ①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

## 2) 物質移行試験(掘削損傷領域)

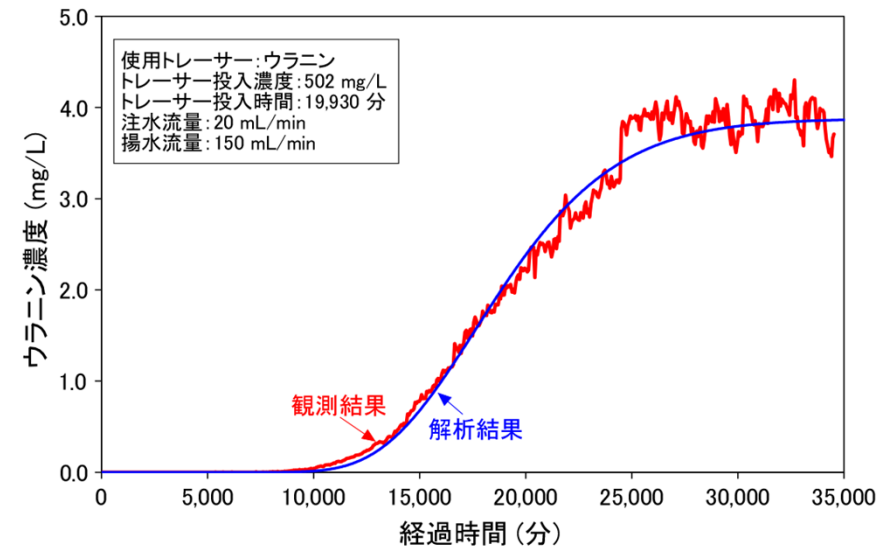
### 【令和5年度の成果】

- 過年度に実施した掘削損傷領域の割れ目を対象としたトレーサー試験の解析評価を行った結果、一次元移流分散モデルを掘削損傷領域の割れ目に適用することにより、堆積岩(泥岩)中の掘削損傷領域の割れ目の移流分散効果を評価できることが確認できた(下図)。



### 掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験のレイアウト

H4-1孔とP孔は試験坑道3の南側壁面から試験坑道4に向かって斜め上向きに掘削されている。H4-1孔の区間2をトレーサー投入区間、P孔の区間2をトレーサー回収区間としている。



### 掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験の解析結果 (GoldSimにより解析を実施)

### 【令和6年度の計画】

- 掘削損傷領域を対象とした物質移行試験について、これまでの成果の取りまとめを行い、モデル化/解析手法を整備する。

# 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(ブロックスケール)

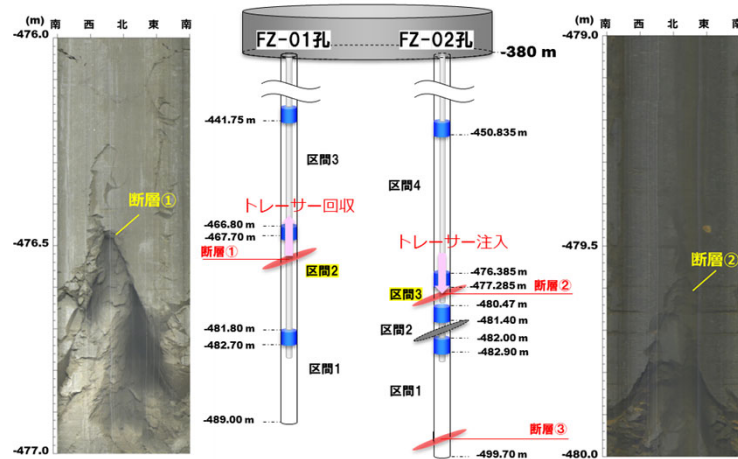


### 【令和5年度の成果】

- 過年度に実施した稚内層深部の断層を対象としたトレーサー試験(左下図)の解析評価を行った結果、試験区間を結ぶ直線距離よりも非常に長いチューブ状の経路を仮定することによって、水理学的連結性が限定的な物質の移行経路を表現できることが分かった。(右下図)。
- 声問層の割れ目の物質移行特性を評価するための調査を継続し、割れ目の透水性や水理学的連結性などの水理特性データを取得した(HIP Task Aの取り組み)。

Task A参加機関

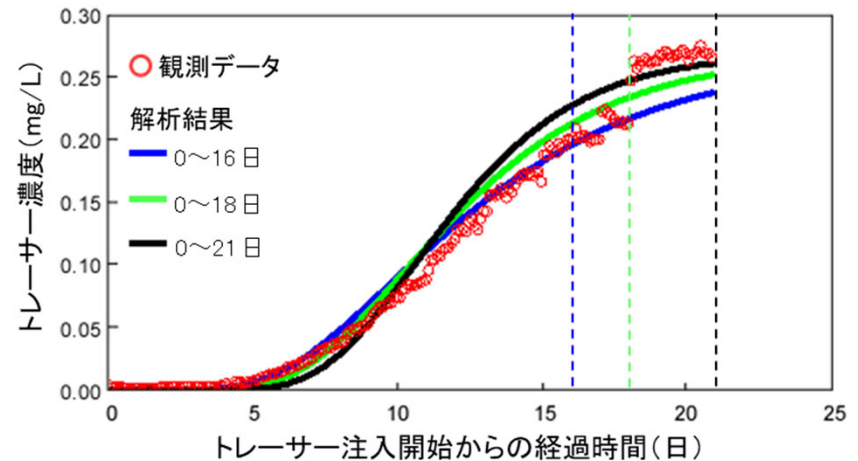
BGE(ドイツ)、BGS(英国)、CRIEPI(日本)、CSIRO(オーストラリア)、ITRI(台湾)、JAEA(日本)、KAERI(韓国)、NUMO(日本)、RATEN(ルーマニア)、SERAW(ブルガリア)



※数字は東立坑坑口を基準(0m)とした時の深度

### トレーサー試験のレイアウト

トレーサー試験中はFZ-02孔の区間②への注水(10 mL/min)、FZ-01孔の区間②からの揚水(500 mL/min)を継続。右図の解析結果はウラニウム(100 mg/L)を連続注入したトレーサー試験の解析例



### トレーサー試験結果の解析例

トレーサーが移行する流動経路の直径をパラメータとして試験中の濃度変化を再現できる条件を解析により検討した。図中赤○は観測データを示す。解析結果はそれぞれ、試験開始から16日後まで(青線)、試験開始から18日後まで(緑線)、試験開始から21日後まで(黒線)の観測データを対象とした場合の解析結果を示す。

### 【令和6年度の計画】

- 声問層において、新たに製作したトレーサー試験装置の適用性確認を行うとともに、これまでの研究成果を踏まえて、ブロックスケールの物質移行に関する評価手法のとりまとめを実施

# ①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

## 2) 物質移行試験(微生物・有機物・コロイド)

### 【第4期中長期計画 目的】

地下深部の微生物・有機物・コロイドが核種移行に与える影響を明らかにすることを目的として、微生物・有機物・コロイドの特性評価手法を検討・確立するとともに、核種移行に対する微生物・有機物・コロイドの影響評価手法を整備

### 【令和5年度の計画・進捗】

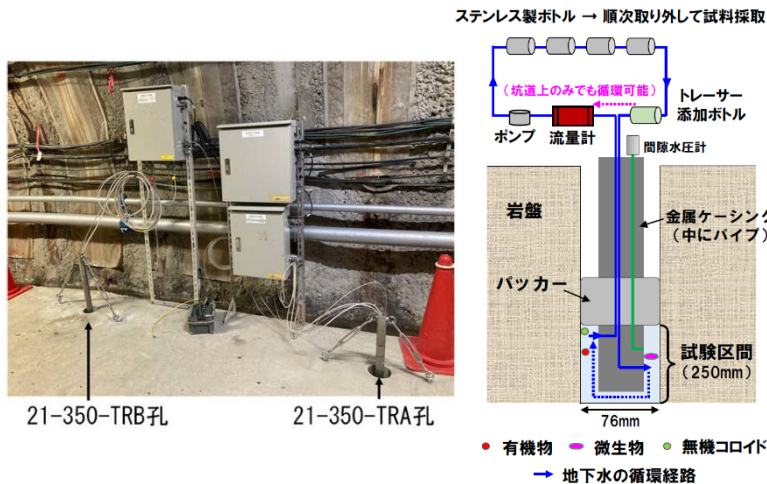
#### ● 地下水に対する希土類元素の室内添加試験の実施

昨年度の室内試験の再現性確認、より長期的な反応期間(1か月程度)でのコロイドとの反応性確認

#### ● 原位置ボーリング孔へのトレーサーの注入・循環試験の実施

トレーサーの濃度変化や存在形態から、原位置環境中におけるトレーサーの挙動を評価

資源エネルギー庁受託事業(核種移行総合評価技術開発)で一部実施



350m試験坑道の試験装置の写真(左)

および試験概念図(右)

21-350-TRA孔にトレーサーを注入・循環(2023年8月)

トレーサー	希土類元素(各50 μg/L) Co, Ni, Mo(各100 μg/L) Cs(10 mg/L)、I(100 mg/L) ※BG濃度および過去の試験実績から
試験手順	① トレーサー添加前の地下水試料を採取 ② トレーサーを添加:坑道上の経路のみで循環して試料を採取 ③ 試験区間を含めて循環し、0, 1, 2日後に試料を採取
処理・分析	未ろ過、0.2 μmろ過、10 kDaろ過 各ろ液中のトレーサー濃度・有機物濃度・微生物組成等、フィルター上の粒子のサイズ・形態・化学組成等を分析予定

原位置におけるトレーサーの存在状態や溶解度などを明らかにし、室内試験との結果の比較から、原位置で考慮すべき現象やその程度を評価

トレーサー注入・循環試験の概要

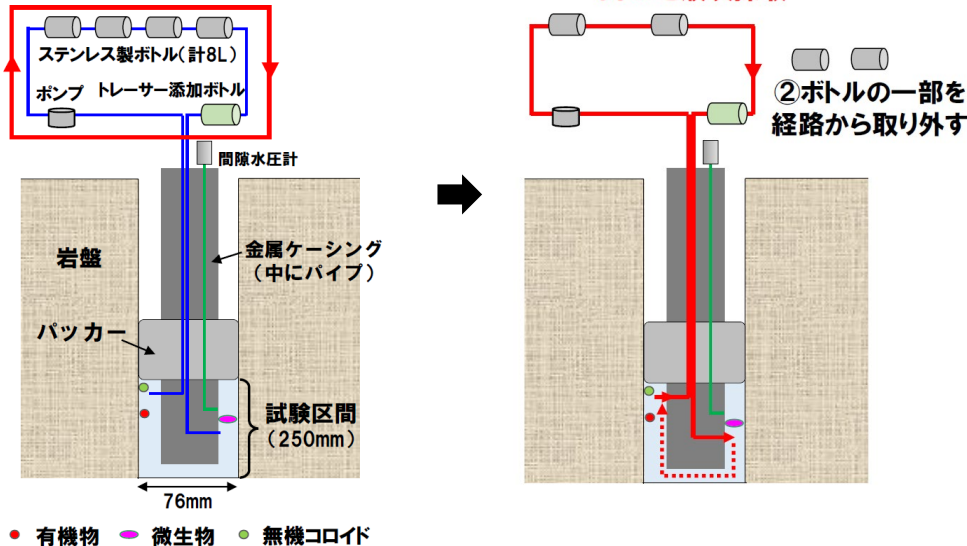
# ①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

## 2) 物質移行試験(微生物・有機物・コロイド)

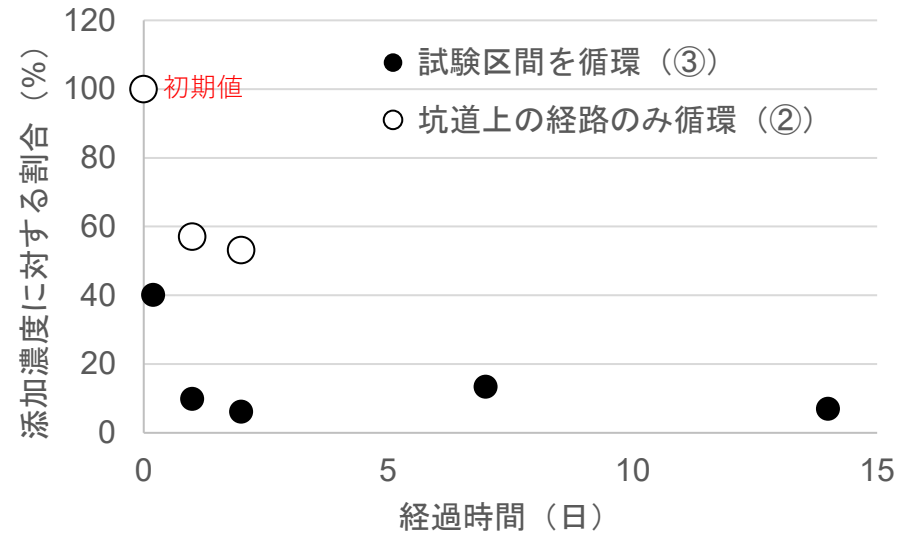
### 【令和5年度の成果】

- 有機物・微生物・コロイドの影響を考慮した原位置物質移行試験を実施し(左下図)、地下水に添加した希土類元素の濃度変化を測定し、原位置環境下での元素－有機物・微生物・コロイドの二元系と元素－有機物・微生物・コロイド－岩石の三元系の試験データを取得した(右下図)。

- ① 試験区間の地下水にトレーサーを添加し、坑道上のみ(試験装置内)で循環して混合
- ② ボトルの一部を経路から取り外す
- ③ 試験区間も含めてトレーサーを循環 → ボトルを順次採取



希土類元素添加試験の装置概念図および試験手順



地下水に添加した希土類元素(La)の濃度変化

### 【令和6年度の計画】

- 有機物・微生物・コロイドの影響評価については、これまでに実施してきた試験の結果を比較しながら整理するとともに、反応時間や有機物濃度などが希土類元素の濃度に与える影響を確認する試験を実施し、有機物・微生物・コロイドが物質移行に与える影響を評価する方法を取りまとめる。

# 報告内容

1. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画
2. 令和5年度の成果と令和6年度の計画
  - ① 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
  - ② 処分概念オプションの実証
  - ③ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
3. 幌延国際共同プロジェクト(HIP)・施設整備



## ②処分概念オプションの実証

### 令和2年度以降の研究工程

	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
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									
搬送定置・回収技術の実証									
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									
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									
地下施設及び人工バリアの設計評価技術の体系化									
多連接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									
2) 高温(100℃超)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験									
限界的条件下での人工バリア性能確認試験の解析・検討									
100℃超になった際にニアフィールド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									

---

## 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

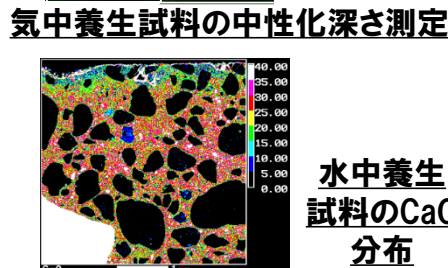
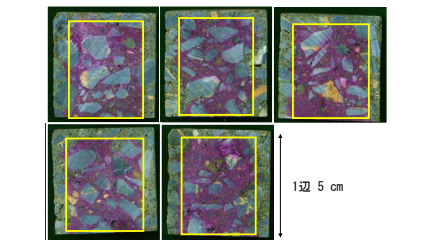
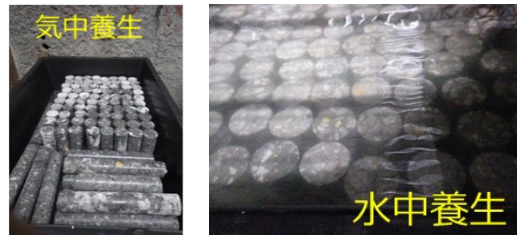
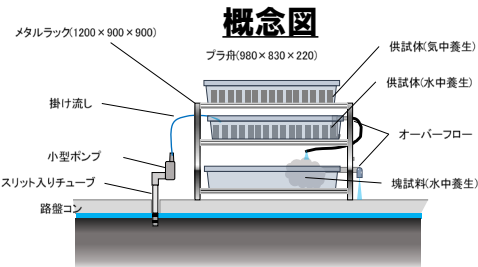
#### 【第4期中長期計画 目的】

人工バリアの搬送定置・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)を、幌延の地下施設を事例として整備

#### 【令和5年度の計画・進捗】

- 地下施設の坑道に定置した低アルカリ性コンクリート試験体の変質の把握
- 地下施設に施工されている低アルカリ性吹付けコンクリートの変質の把握
- 水分量を考慮した坑道周辺岩盤のクリープ変形に関するデータ取得

資源エネルギー庁受託事業  
(NF長期環境変遷評価技術  
開発)で実施



水分量の違い  
に応じた坑道  
施工吹付けコ  
ンクリートの  
変質状況を、定置  
試料の分析結  
果を指標として  
評価

**坑道に定置したコンクリート試験体**  
大気中で養生した場合と、原位置地下水中で  
養生した場合とを比較

**試験体の分析結果(R4)**  
気中養生: 中性化が進行(約3 mm/年)  
水中養生: Caの溶脱、地下水成分の浸透  
※今年度も同様の分析を実施予定

**坑道施工吹付けコンクリートの採取**  
水分状態が異なると考えられる試料を複数採取  
分析予定項目: 水分量、力学特性(圧縮/引張  
強度等)、空隙分布、化学特性(元素分布等)

### 回収技術に係る坑道支保材料(吹付けコンクリート)の変質の把握

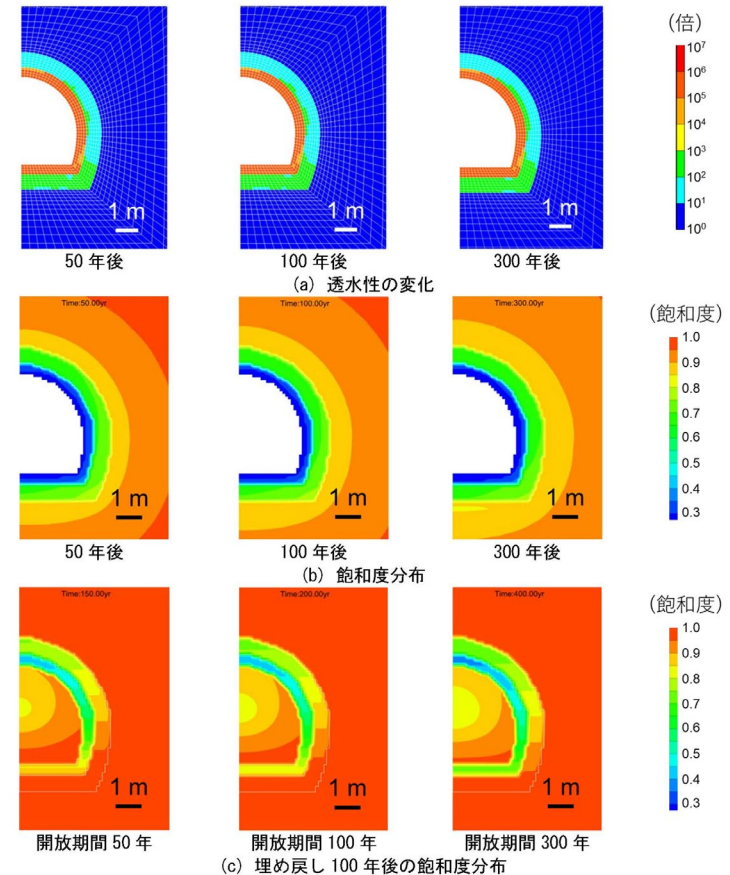
## ②処分概念オプションの実証

### 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

##### 【令和5年度の成果】

- 地下施設に実際に施工されている低アルカリ性の吹付けコンクリートを採取して分析を行った結果、これまでの室内試験で得られた結果と同様に、坑道表面から数cmおよび岩盤の接触部の数mmにおいて中性化が進行していることなどが分かり、低アルカリ性コンクリート支保工の長期的な物性変化の評価に必要な知見ならびに調査手法を整備することができた。
- 坑道の開放期間が坑道埋め戻し後の埋め戻し材の再飽和過程に及ぼす影響の評価を行った結果、透水性が顕著に変化する領域は坑道壁面から1m~2m程度の範囲であり、埋め戻し100年後にはこれらの領域を除き周辺岩盤ではほぼ飽和状態に戻ることが分かり(右図)、これまでに実施してきた一連のモデル化・解析により埋め戻し後の地質環境の回復状況を評価できる方法論を整備できた。



坑道掘削および埋め戻し後の坑道周辺岩盤の透水性および飽和度変化

##### 【令和6年度の計画】

- 支保部材の経年変化や坑道掘削・閉鎖後の地質環境変化について、これまでの調査試験結果を整理し、取りまとめを行う。

# 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

### 閉鎖技術の実証

#### 【第4期中長期計画 目的】

止水プラグについて、地質環境特性に応じた要求性能を明確化し、止水プラグの形状や材料仕様を具体化できるように設計手法の詳細化を進めるとともに、実際の地質環境条件や作業環境を考慮した地下研究施設を活用した実証的な研究をととして、施工技術の成立性を確認

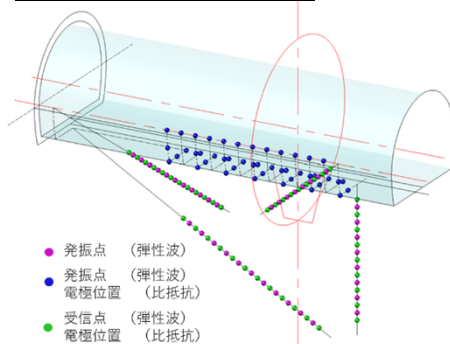
#### 【令和5年度の計画・進捗:HIP(Task B)】

※資源エネルギー庁受託事業(地層処分施設施工・操業技術確証試験)で一部実施

Task B参加機関: BGE(ドイツ)、BGS(英国)、CSIRO(オーストラリア)、JAEA(日本)、KAERI(韓国)、NUMO(日本)、RWMC(日本)、SERAW(ブルガリア)

- 350m試験坑道6の掘削を完了し、坑道掘削後のEDZの特性把握のための調査・試験に着手
  - 坑道周辺のEDZの範囲やEDZの透水性の相対的な変化を把握するためにボーリング調査(コア観察、BTV観察)、トモグラフィ調査(弾性波・比抵抗)、透水試験・間隙水圧測定を実施
- 止水プラグおよび坑道埋め戻しの仕様検討に必要な材料特性データ取得
  - 埋め戻し材と止水プラグの材料仕様の検討に必要な特性(粒度分布、透水係数、締固め性能、膨潤圧など)を取得
- 令和8年度以降に実施予定の試験坑道6の止水プラグの原位置施工試験の計画検討に着手
  - 坑道周辺のEDZの範囲や透水性の変化を踏まえ、坑道埋め戻しおよび止水プラグの要求性能を具体化
  - 上記の要求性能を実現できる材料仕様および施工方法の検討

トモグラフィ調査のレイアウト案

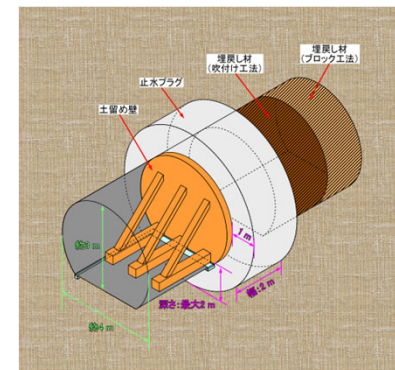


坑道周辺のEDZの特性調査



幌延の掘削土(スリ)を用いた埋め戻し材の例

材料特性データの取得



止水プラグの原位置施工試験イメージ

埋め戻しから止水プラグの設置までの一連の施工技術を確認・実証



## 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

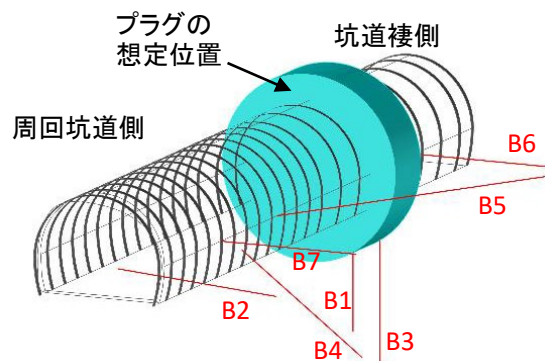
#### 閉鎖技術の実証

##### 【令和5年度の成果】

- 350m試験坑道6(左下図)の掘削を完了し、ボーリング(中央下図)で取得したコアの観察、BTV観察(右下図)、トモグラフィ探査および透水試験により、試験坑道6周辺のEDZを含む岩盤中の割れ目分布や透水性を把握した。
- 埋め戻し材に用いる掘削土(ズリ)の性質や地下水の水質など埋め戻し材の性能に影響を及ぼし得る特性、材料仕様を検討するための特性データ(締め固め性や透水係数など)を室内試験により取得するとともに、埋め戻し材や止水プラグの施工方法の検討を進めた。

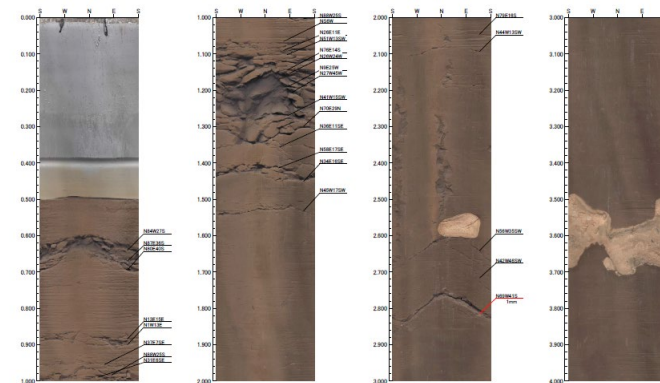


試験坑道6の掘削完了時の様子



ボーリング孔の配置図

プラグ施工の想定位置周辺にボーリング孔を掘削して、割れ目の分布や透水性を調査



BTV観察の結果の例(B1孔:0.0-4.0mabh)

試験坑道6の棲面から4.5mの位置で、底盤から鉛直下向きに5.3mの長さで掘削したB1孔においてBTV観察により割れ目の状況を確認

##### 【令和6年度の計画】

- EDZの特性把握の調査や埋め戻し材および止水プラグの仕様検討のための室内試験などを継続し、止水プラグの原位置施工試験の計画検討を進める。また、埋め戻し材や止水プラグなどの長期的な性能の考え方やEDZの調査技術などの閉鎖技術に係る個別要素技術について取りまとめる。

# ②処分概念オプションの実証

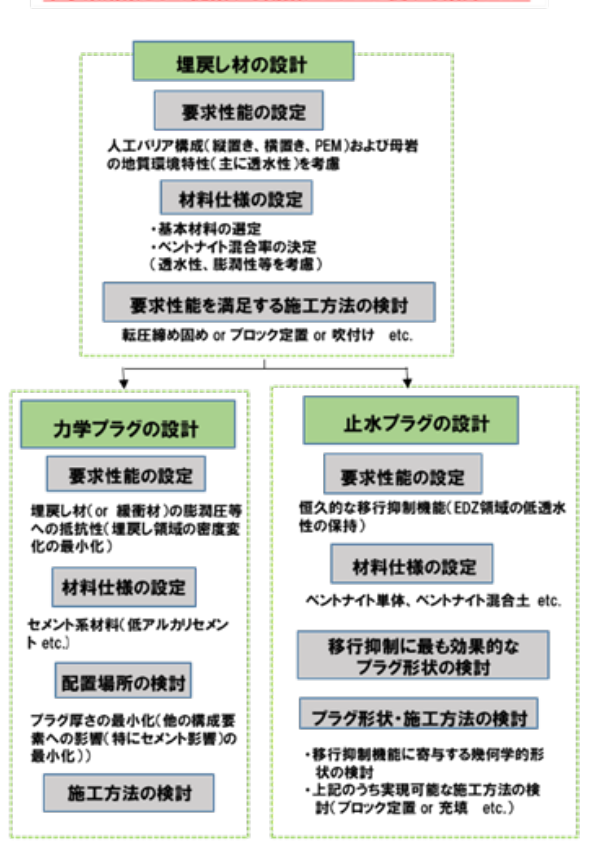
## 1) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験

閉鎖技術の実証の実施内容は幌延国際共同プロジェクトTask Bで実施

※また、資源エネルギー庁からの受託事業「地層処分施設施工・操業技術確認試験」として実施

- 令和6年度までに幌延の堆積岩を対象として設計フローに基づいた止水プラグの設計を実施
  - ・ 設計項目に対して要求性能・条件や設計に必要な情報を整理・更新

本事業成果として提案する閉鎖システムに関する設計フロー



止水プラグの設計項目と要求性能・条件、設計に必要な情報の整理イメージ

設計項目	要求性能・条件	設計に必要な情報	実施内容 ※赤字は令和5年度から実施
要求性能の設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 周辺岩盤と同程度の透水係数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ EDZの分布</li> <li>・ EDZ、岩盤の透水性</li> <li>・ 埋め戻し材の透水性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ボーリング調査(コア観察、BTV観察)</b></li> <li>・ <b>弾性波・比抵抗トモグラフィ</b></li> <li>・ <b>透水試験・間隙水圧モニタリング</b></li> <li>・ 水理解析</li> </ul>
材料仕様の設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設定した透水係数を達成できる材料仕様(乾燥密度、材料配合等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ベントナイト混合土の材料特性(締固め特性、透水性、膨潤特性等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>室内試験</b></li> </ul>
プラグ形状の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 物質移動抑制効果の高い幾何形状</li> <li>・ 力学的安定性の観点から施工可能な形状</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 岩盤の力学物性</li> <li>・ EDZの分布</li> <li>・ EDZ、岩盤の透水性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>室内試験</b></li> <li>・ 水理解析</li> <li>・ 力学解析</li> </ul>
施工方法の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ EDZの拡大を抑制する切欠きの拡幅方法</li> <li>・ 設定した止水プラグの材料仕様を実現可能な施工方法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 切欠きの拡幅によるEDZ形成の程度</li> <li>・ 止水プラグの工法毎の施工性(乾燥密度、施工時間等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>文献調査</b></li> <li>・ 力学解析</li> </ul>

資源エネルギー庁受託事業「地層処分施設閉鎖技術確認試験」(平成30年度～令和4年度)で提案した設計フロー(原子力機構・原環センター, 2023)

## 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

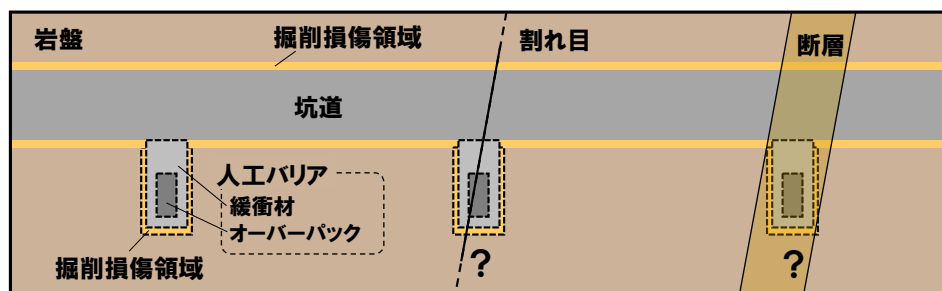
#### 【第4期中長期計画 目的】

人工バリアに要求される品質を踏まえて、要素技術(先行ボーリングによる地質環境特性調査、湧水抑制対策といった工学的対策技術)を体系的に適用し、廃棄体の設置方法(間隔など)に関連する、坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術を整理

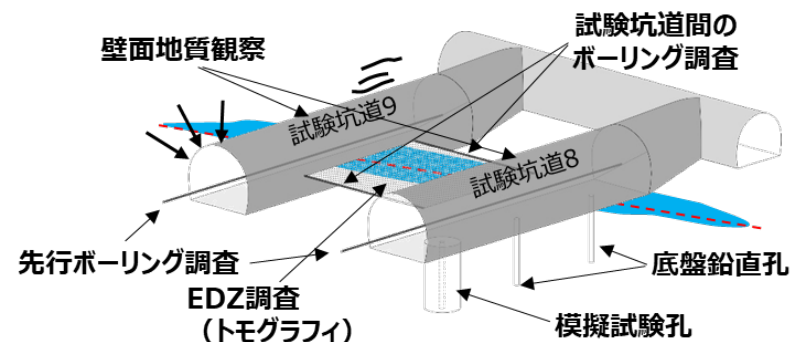
#### 【令和5年度の計画・進捗:HIP(Task B)】

Task B参加機関: BGE(ドイツ)、BGS(英国)、CSIRO(オーストラリア)、JAEA(日本)、KAERI(韓国)、NUMO(日本)、RWMC(日本)、SERAW(ブルガリア)

- 令和6年度から実施する500m調査坑道における原位置試験に先立ち、これまでの調査研究で得られた断層/割れ目からの湧水や掘削損傷領域(EDZ)の発達に関する既存情報を収集・整理し、500m調査坑道で想定される状況などを検討。



処分坑道・ピットの配置の指標検討の概念



500m調査坑道における原位置試験サイト (計画)

- 坑道/ピットの配置の判断に係る特性(指標)の整理とともに、原位置調査とモデリングを通じて整理した指標の有効性を評価
  - 令和5年度は、実施計画の具体化として、この体系化の枠組み・アプローチを検討
- 緩衝材の定置の施工性や品質確保、処分坑道の空洞安定性が坑道・ピットスケールの調査の主要な着目点。幌延の地質環境条件の場合、坑道・ピット周辺に生じる湧水やEDZ発達等が上記の着目点に影響。
  - 令和5年度は、湧水やEDZ等に係る情報収集と計画の具体化を実施

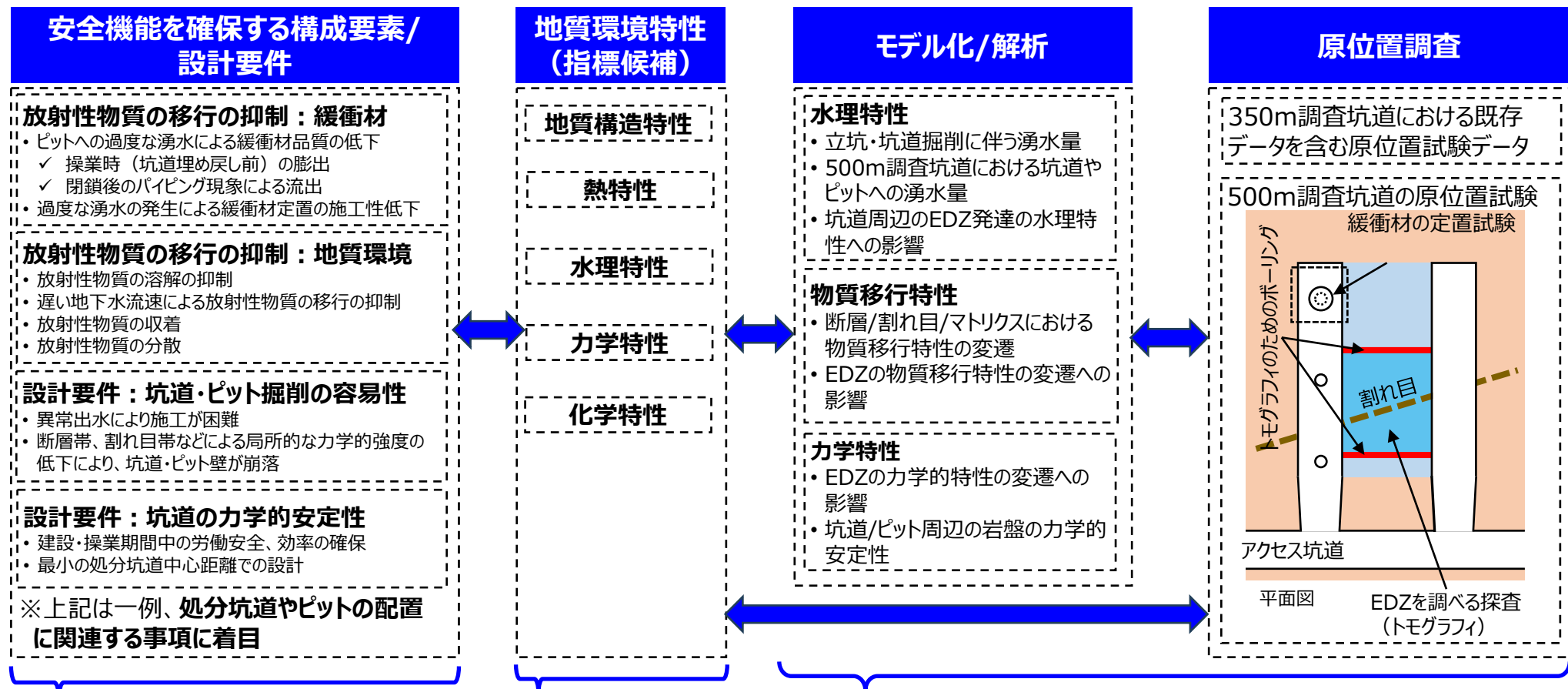
# ②処分概念オプションの実証

## 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

【令和5年度の計画・進捗:HIP(Task B)】

#### 処分坑道やピットの配置に関する調査・評価技術に関する体系化のイメージ



➢ 上記は一例、処分坑道やピットの配置に関連する事項を諸外国の事例や国内の動向に基づき抽出

➢ 安全機能を確保する構成要素の品質や設計要件を確認するための地質環境特性を抽出

- 設定した指標を評価するために必要なデータ
- 調査により直接評価、あるいはモデル化/解析により評価
  - 評価不可の場合、調査・解析手法の見直し、または評価指標の見直しが必要



# 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

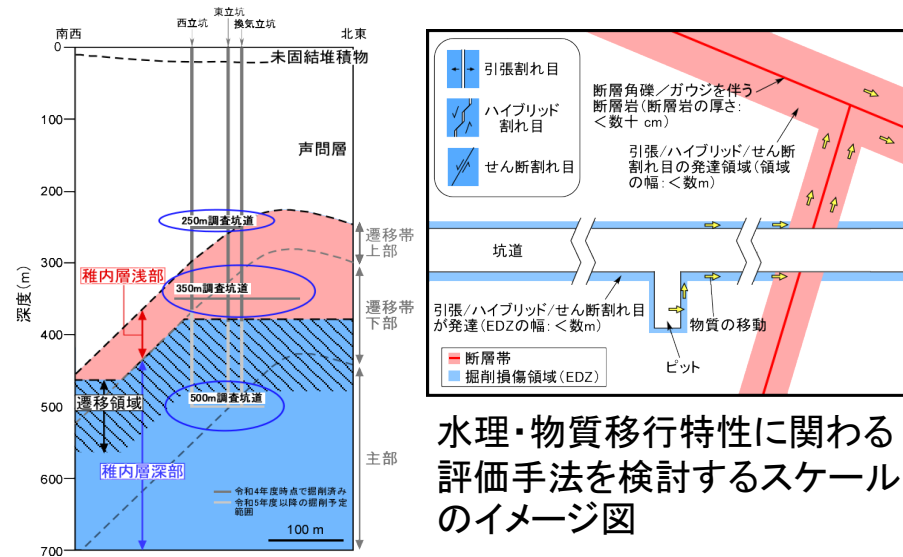
➤ 令和5年度に、既存情報の収集・整理などを実施し、以下の4つのタスクの計画を整理した。

#### 1. 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

水みちの水理特性や物質の移行特性に関する情報に加え、人工バリアや処分坑道の設計(仕様やレイアウトなど)も考慮した物質移行解析を通じ坑道スケール～ピットスケールにおける閉じ込め性能の評価手法を体系的に整理する。

##### 【令和6年度の計画】

➤ 人工バリアや岩盤の閉じ込め性能に大きく影響を及ぼすピット周辺の水みちの水理特性や物質の移行特性に関わる評価手法などの整理を進める。



水理・物質移行特性に関わる評価手法を検討するスケールのイメージ図

#### 2. 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を考慮した、地下施設および人工バリアの設計評価技術の体系化

500m調査坑道(試験坑道8および9)において、先行ボーリング調査や物理探査を行い、人工バリアを定置するピットの配置位置や坑道の間隔を設計するために、坑道やピットを掘削する段階に取得する必要がある情報とその情報の取得方法を整理する。また、350m調査坑道の試験坑道6において、実規模スケールの坑道の埋め戻しと止水プラグの施工試験を実施し、埋め戻しと止水プラグの設計から施工に至るまでの一連の技術を確認する。

##### 【令和6年度の計画】

➤ 500m調査坑道における原位置調査に先立ち、断層や割れ目から坑道などへの湧水量や掘削損傷領域の発達範囲を予測するための解析を行い、原位置調査において取得すべきデータを検討する。試験坑道6周辺の掘削損傷領域の広がりや水理特性を調査するとともに、坑道の埋め戻しと止水プラグの設計を進める。

## 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

### 3. 多連接坑道を考慮した湧水抑制対策技術および処分孔支保技術の整備、緩衝材流出・侵入現象評価手法および抑制対策技術の整備

多連接坑道の処分孔に人工バリアを設置する場合を想定し、幌延で得られたデータを用いて、湧水抑制対策、処分坑の支保技術、緩衝材の流出現象を評価/抑制する技術、緩衝材の岩盤への侵入現象を評価/抑制する技術を整備する。

#### 【令和6年度の計画】

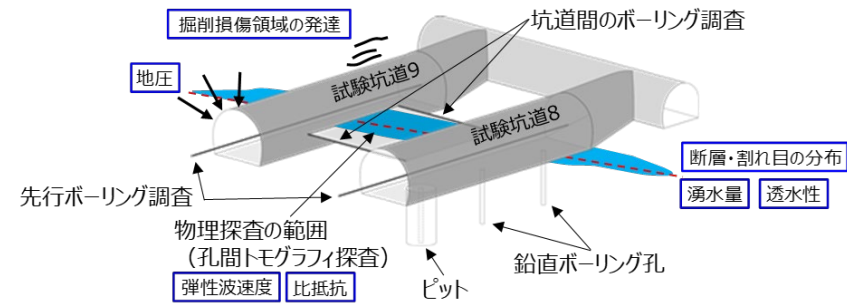
- これまでに得られたデータや深度500mに向けた掘削過程で得られるデータ(右上図)を用いて、多連接坑道を考慮した湧水抑制対策技術や緩衝材の流出現象を評価/抑制する技術について検討を進める。

### 4. 廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要な情報の整理

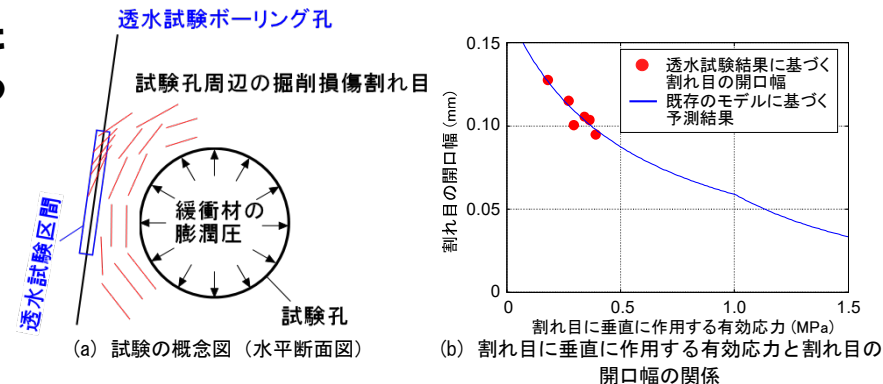
廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要な情報(割れ目の湧水量、掘削損傷領域の広がりなど)の調査・評価手法について、実際に幌延で適用した調査・評価手法を体系的に整理する。

#### 【令和6年度の計画】

- 人工バリア性能確認試験の試験孔周辺に発達した掘削損傷割れ目に対して過年度に実施した透水試験の例(右下図)などを用いて、幌延を事例とした、処分孔周辺に存在する割れ目の開きにくさや処分孔周辺の地下水の流れにくさを把握するための調査・評価手法の整理を進める。



500m調査坑道の試験坑道8および試験坑道9における原位置調査のイメージ図



試験孔周辺に発達した掘削損傷割れ目を対象とした透水試験の概念図と割れ目に作用する有効応力と開口幅の関係

---

**2) 高温度 (100℃超) などの限界的条件下での人工バリア性能  
確認試験**

# ②処分概念オプションの実証

## 2) 高温(100℃超)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験

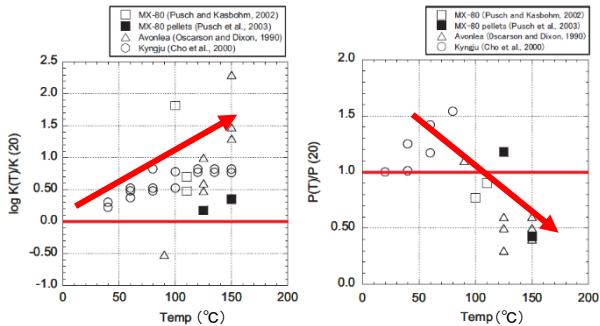
### 【第4期中長期計画 目的】

人工バリア中の緩衝材の最高温度が100℃を超えた状態で、人工バリアおよびその周辺岩盤領域(ニアフィールド)において発生しうる現象を整理し、人工バリア性能に関する試験データの整備および解析手法の開発を行い、ニアフィールドにおける上限温度設定の考え方を提示

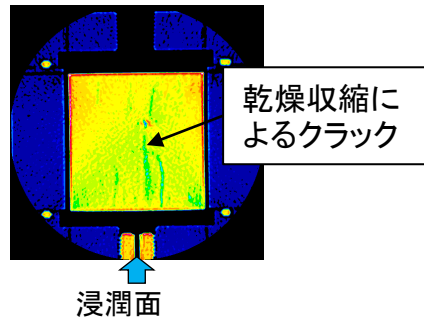
### 【令和5年度の計画・進捗】

- 100℃を超える温度履歴を経た緩衝材の特性変化等に関する室内試験の実施
- 100℃を超える温度条件での原位置試験の試験系構築、加熱・モニタリング開始
  - ・緩衝材の応力分布やひび割れに影響しうるパラメータ(形状、含水量)を変えた、複数のブロックを設置
  - ・既存温度、土圧、水位、水分分布をモニタリングするとともに、次年度以降に解体・分析

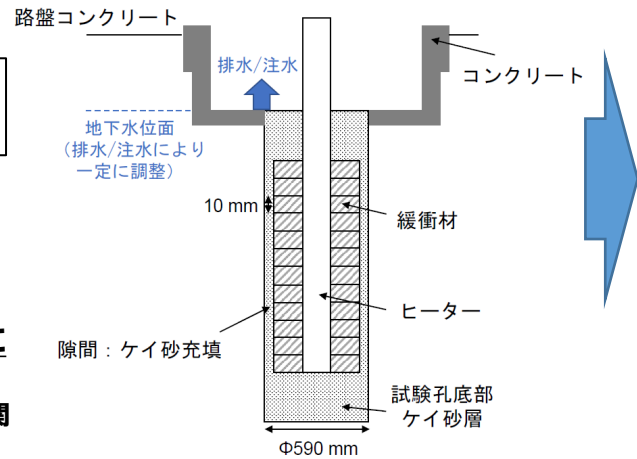
資源エネルギー庁  
受託事業(NF長期環境変遷評価  
技術開発)で実施



温度と緩衝材の透水係数(左)および膨潤圧(右)の関係 (JAEA, 2009)  
高温になるほど透水係数が上昇し膨潤圧が低下する傾向が認められる



100℃を超える加熱で緩衝材に生じたひび割れのX線CT測定  
高温条件での緩衝材のひび割れに関する定量的なデータを取得



- 100℃を超えた状態でニアフィールドにおいて発生する現象を確認
- 100℃を超える温度履歴を経た緩衝材の特性に関するデータの整備

### 室内試験によるデータ整備

100℃を超える温度履歴とそれによる乾燥・湿潤が生じた場合の基本特性(透水性、膨潤圧)の変化や、生じたひび割れの影響を評価

### 100℃を超える温度条件での原位置試験の概念図

100℃を超えて加熱した際および100℃以下まで減熱した際の緩衝材や岩盤に生じる熱/水/力学挙動等の観測・分析を実施



## ②処分概念オプションの実証

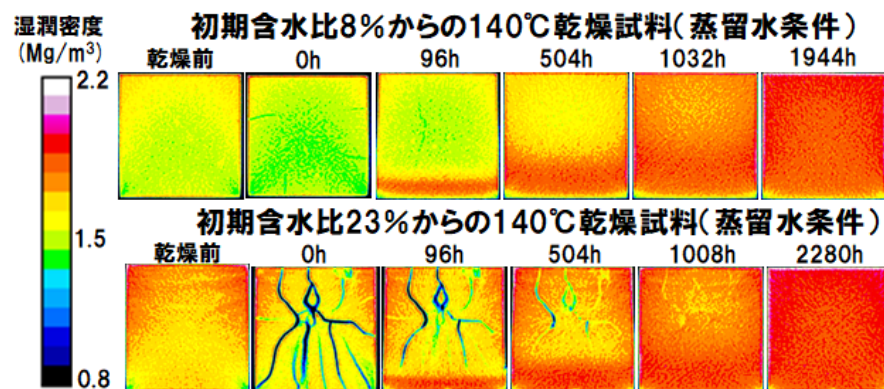
### 2) 高温度 (100℃超) などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験

#### 【令和5年度の成果】

- 令和4年度に構築した原位置試験概念に基づき、試験坑道5の既存孔にヒーター、緩衝材ブロックおよび温度や水分分布などを測定するセンサーを設置し、原位置試験(2組)を開始した(下左図)。
- 高温条件下での緩衝材への閉塞挙動等を確認するための室内試験を実施し、高温での加熱により緩衝材にひび割れが生じても浸潤速度等に変化がないこと、ひび割れは90日前後で閉塞されることを確認した(下右図)。

センサー	場所・数量等
熱電対	緩衝材ブロック4断面、各断面3点
水位計	孔内2点
土圧計	緩衝材ブロックの上下各1点、側面2点
比抵抗	緩衝材ブロック3断面、各断面36点

設置センサー表(上)  
および設置時の様子(右)



緩衝材試料の湿潤に関する室内試験

#### 【令和6年度の計画】

- 原位置試験を継続するとともに、ひと組の試験体を解体し、100℃を超える熱履歴を経た緩衝材の特性を確認する試験・分析を実施する。短期的に100℃を超える条件下で緩衝材に生じる力学的・化学的変質の有無および緩衝材の特性(膨潤・浸潤特性)に与える影響、100℃を超える条件下での人工バリアおよびその周辺に発生する現象などについて取りまとめる。

# 報告内容

1. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画
2. 令和5年度の成果と令和6年度の計画
  - ① 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
  - ② 処分概念オプションの実証
  - ③ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
3. 幌延国際共同プロジェクト(HIP)・施設整備

# ③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

## 令和2年度以降の研究工程

	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
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									
地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握									
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									
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									
広域スケールを対象とした水理・物質移動評価手法の検証									
2) 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験									
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EDZの透水性を予測するモデルの構築									



---

**1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化**

# 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】

地殻変動が地層の透水性に与える影響を推測するため、ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験と、その結果に基づく隆起侵食の影響を含めた透水性評価、断層の活動性評価の手法を整備

#### ● ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験

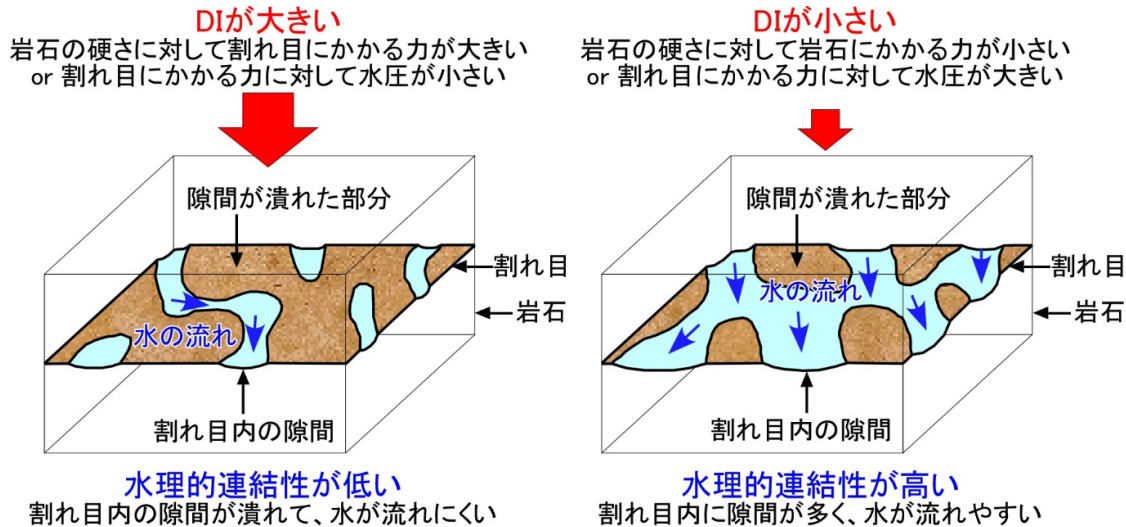
断層のずれが断層の透水性や水理的連結性に与える影響を通常の透水試験装置を用いて簡易的に調べる手法を開発  
これまで幅数センチ(断層帯幅)の断層で適用性を確認したが、より大きな幅数十cmの断層でも実施し、本手法の適用性を確認

#### ● 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

DIと断層/割れ目の透水性や水理的連結性の関係のメカニズムを水圧擾乱試験やシミュレーションの結果を用いて検討  
隆起侵食などの地殻変動が地層の透水性に与える影響をDIを用いて定量的に推定する手法を整備

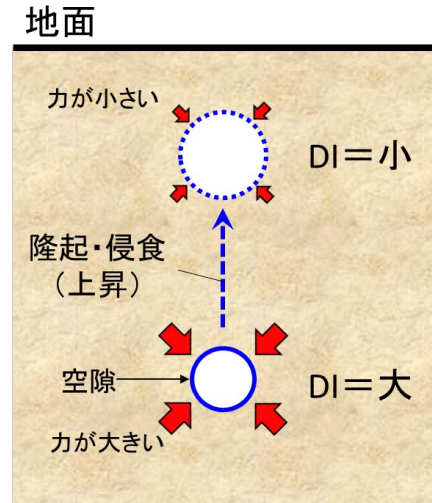
#### ● 水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法の整備

水圧擾乱試験により得られる断層の変位などの情報を利用して、断層の力学的な状態を評価する手法を整備



#### DI\*と割れ目の水理的連結性の関係

\*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

# 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

#### 【令和5年度の計画・進捗】

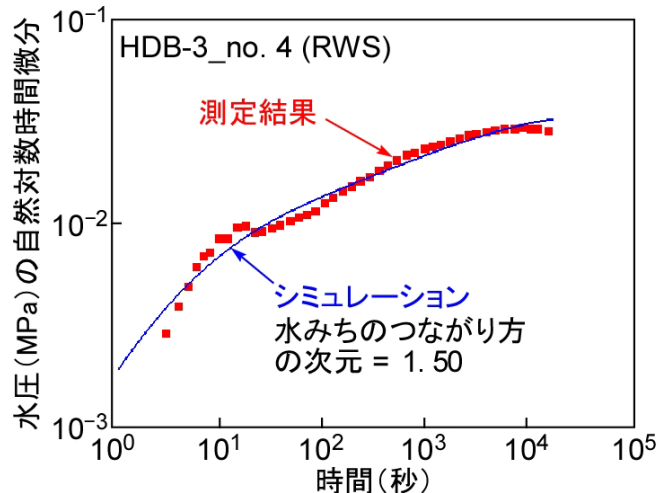
「DIを用いた透水性評価手法の信頼性向上・隆起侵食の影響評価手法の整備」や「水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法の整備」を目的として、以下を実施

#### ● DIと断層/割れ目の水理的連結性の関係に関する解析

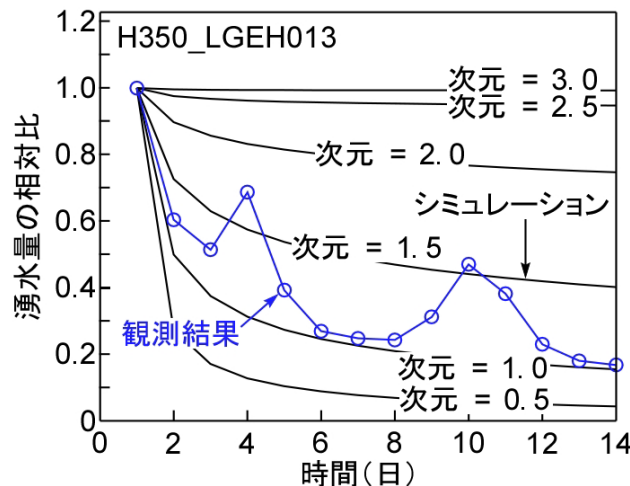
これまでデリバティブプロットを用いて定性的に判定していた水みちのつながり方の次元(水理的連結性)について、専用のシミュレーター(nSIGHTS)を用いた計算を実施し、次元を定量的に決定(下図参照)。

#### ● 過年度に実施した水圧擾乱試験の結果の解析

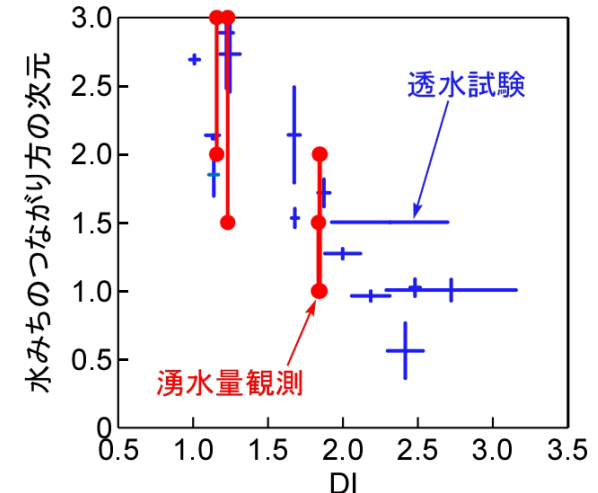
断層の活動性を評価する上で重要となる原位置の応力場を水圧擾乱試験の結果から算出する方法を検討。



ボーリング調査における断層を対象とした透水試験時の水圧変化を専用のシミュレーターにより解析し、水みちのつながり方の次元を決定\*



坑道掘削時に遭遇した断層からの湧水量変化(観測値)とシミュレーション結果を比較し、次元を決定\*(上図の例では次元を1.0~1.5と推定)



地下施設周辺の稚内層中の水みちのつながり方の次元とDIの関係\*  
・ 今後、得られた関係の物理的な意味を解析を通じて検討

\*Ishii (2023, Hydrogeology Journal)

### 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

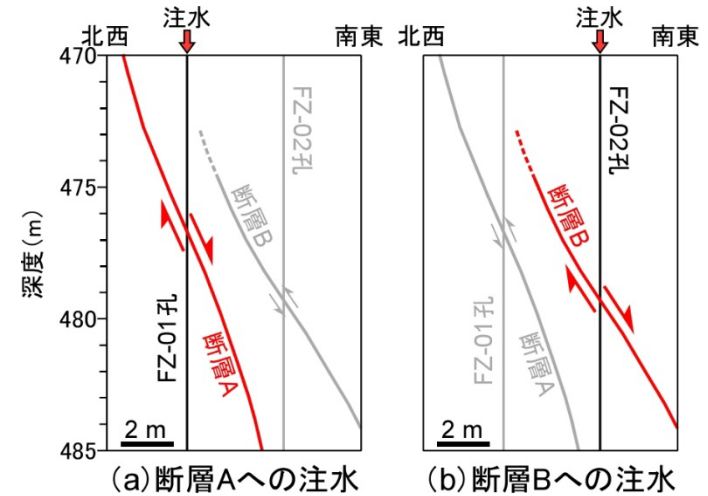
##### 【令和5年度の成果】

➤ 断層の水理学的連結性とDIの関係に関する解析を行った。断層の水理学的連結性は断層内の水みちのつながり方の次元として数値化することができ、次元の値が小さいほど、水理学的連結性が低いことを表す。解析の結果、地下施設周辺の稚内層中の断層内の水みちのつながり方の次元とDIが相関していることが分かった(前頁下図)。

➤ 水圧擾乱試験時の観測結果(右図)から原位置の応力状態を推定する方法を検討した結果、既往の水圧破碎試験と整合する推定結果を得ることができ(右表)、水圧擾乱試験により原位置の応力状態を推定できることが分かった。

##### 【令和6年度の計画】

- 過年度に実施した水圧擾乱試験の結果の解析などを行い、断層/割れ目の水理学的連結性とDIの関係や断層の活動性に関する検討を行う。
- これらの検討や既往の検討の結果に基づき、地殻変動が地層の透水性に与える影響、DIを用いた透水性の評価手法・隆起侵食の影響の評価手法、および水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法について取りまとめる。



水圧擾乱試験時に観測した断層のずれ

##### 推定された応力状態

手法	応力比(鉛直:水平最大:水平最小)
水圧擾乱試験	1.0:0.8:0.7 or 1.0:0.9:0.7
水圧破碎試験	1.0:0.9:0.7



# 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】

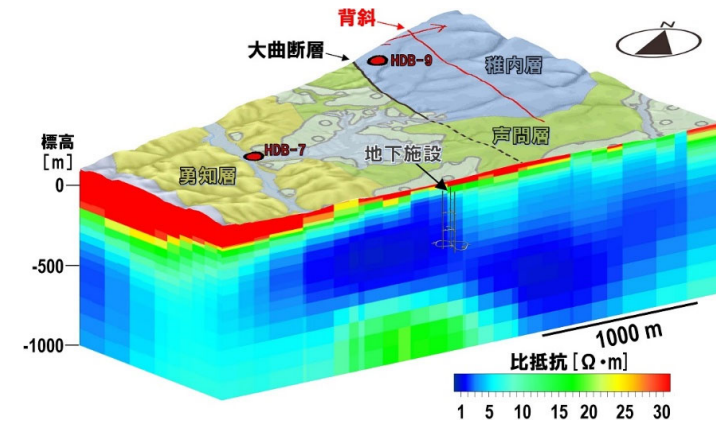
地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化を目的として、化石海水が存在するような地下水の流れが非常に遅い領域(低流動域)の三次元分布を調査・評価する手法の検証および広域スケールを対象とした水理・物質移行評価手法の検証

#### 【令和5年度の計画・進捗】

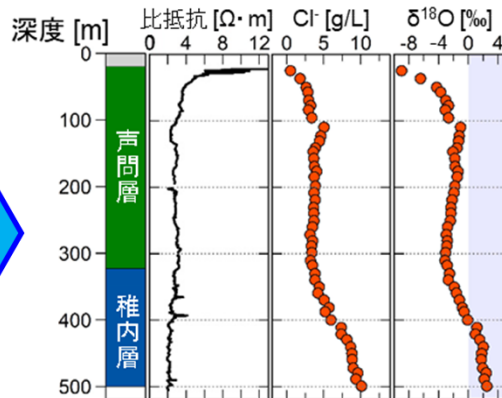
これまでに電磁探査とボーリング調査を組み合わせ、低流動域の三次元分布を調査・評価する方法をエネ庁事業の報告書※として作成。令和5年度は、これまでのエネ庁事業の成果を中心に、地球化学的な観点も含めた方法論の検討と成果取りまとめを進める。

- 低流動域の三次元分布の推定手法 (下図及び次のスライド)
- HFB-1孔ボーリング調査の詳細な試験結果のとりまとめ

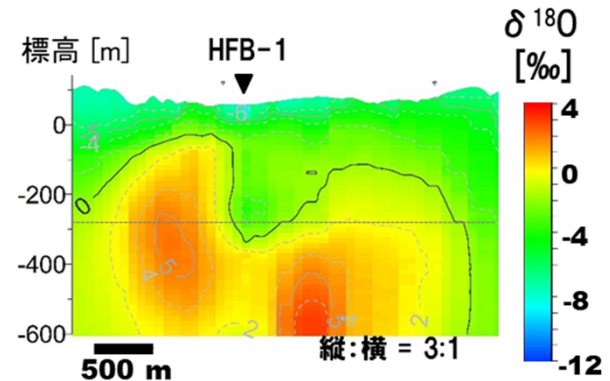
※平成31年度～令和4年度のエネ庁事業  
(岩盤中地下水流動評価技術高度化開発)



電磁探査による三次元比抵抗分布の取得



ボーリング調査による比抵抗、水質 (Cl⁻濃度、酸素同位体比) の深度プロフィール取得



地球統計学的解析による三次元分布の推定

### 低流動域の三次元分布推定の流れ

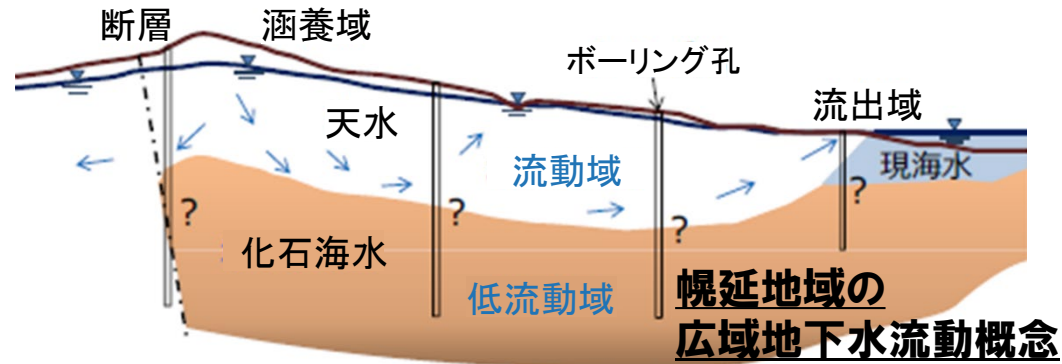


# ③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

## 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

#### 【令和5年度の計画・進捗】



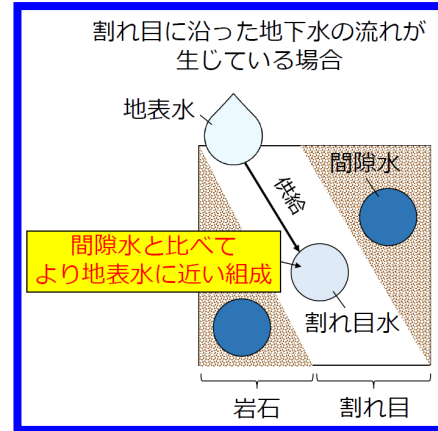
#### 低流動域の三次元分布の推定

##### 低流動域の三次元分布を推定

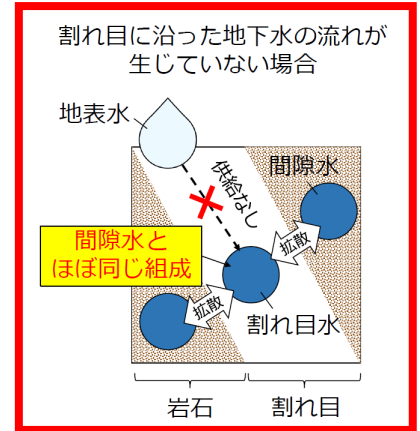
- 物理探査やボーリング調査などの地上からの調査により、低流動域の三次元分布を推定

##### 長期的に安定な水理場・化学環境であることの確認

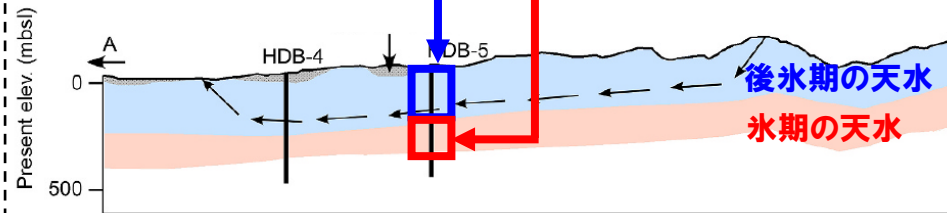
- 地下水の水質形成や年代といった地球化学的アプローチにより、着目した水質が低流動を示す指標になることを確認



- 割れ目水と間隙水の水質に **コントラスト有**
- 現在と同じ同位体比の天水が浸透
- 天水の<sup>14</sup>C年代: 4~7 ka



- 割れ目水と間隙水の水質に **コントラスト無**
- より寒冷な時期を示す同位体比の天水が浸透
- 天水の<sup>14</sup>C年代: 11 ka以前



- ⇒ 天水領域の浅部: **後氷期の天水が流動**
- ⇒ 天水領域の深部: **最終氷期の天水が滞留**
- ⇒ 鉛直方向の動水勾配の違いに起因

割れ目水と間隙水の水質コントラストおよび<sup>14</sup>C年代を利用した地下水流動の評価手法を構築

# 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

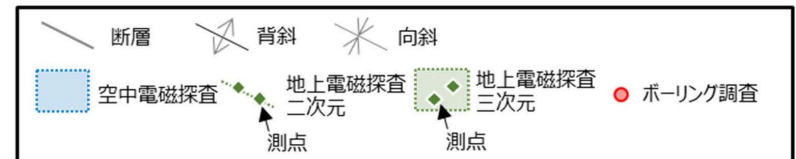
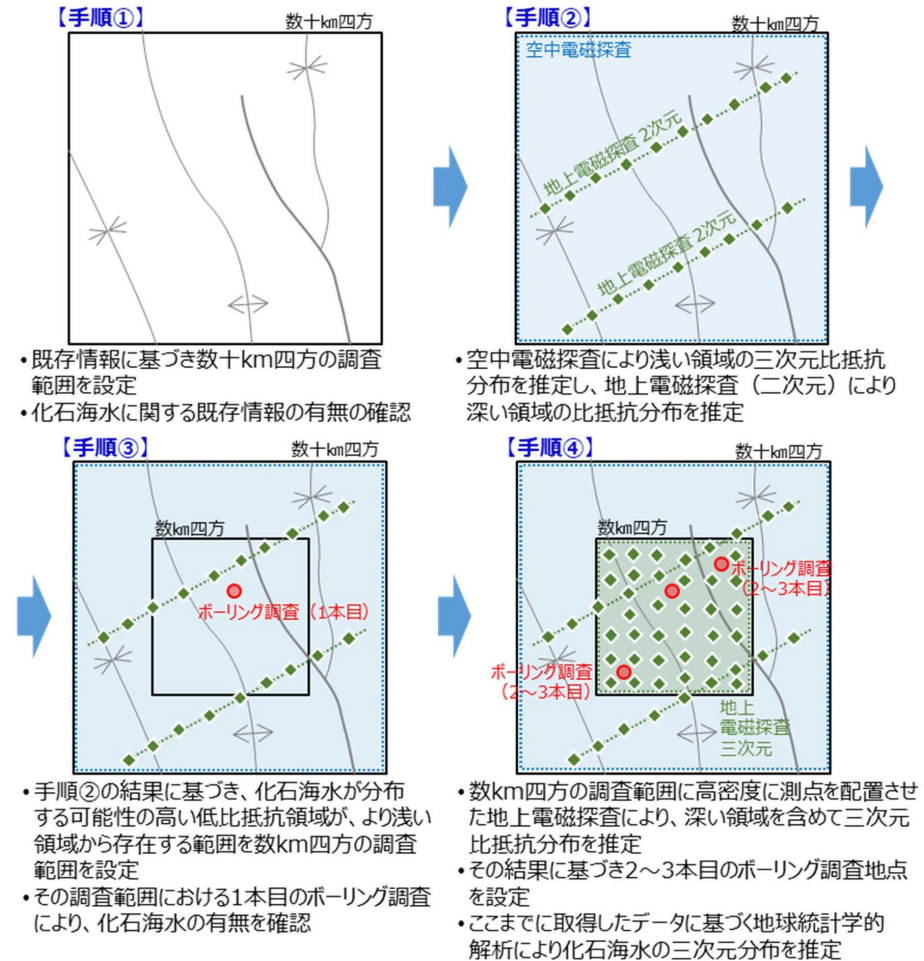
### 地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化

#### 【令和5年度の成果】

- これまでに得られた成果を踏まえた調査手順の整理を行い、化石海水の三次元分布を推定する手順(右図)を検討するとともに、地球化学的アプローチにより地下水流動を評価する手法を構築した。
- 産業技術総合研究所との共同研究として、これまで把握が困難であった浅海域の地下構造を、海上物理探査に用いる音波(弾性波)の発振源を調整することで把握することができた。また、既存の調査孔を用いた地下温度測定を実施した結果から、当該地域の地下深部の地下水の流れが非常に遅いことを確認することができた。

#### 【令和6年度の計画】

- 引き続きこれまでに得られた成果に基づき、地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する方法を取りまとめる。



化石海水の三次元分布を推定するための電磁探査およびボーリング調査の手順

# 報告内容

1. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画
2. 令和5年度の成果と令和6年度の計画
  - ① 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
  - ② 処分概念オプションの実証
  - ③ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
3. 幌延国際共同プロジェクト(HIP)・施設整備

# 幌延国際共同プロジェクト

## 令和5年度の主な成果

- 管理委員会や設定した3つのタスクについて参加機関との会合を行い原位置試験の計画などを検討するとともに、現地での打合せを通じて現場の確認などを実施した。

### タスク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」)

### タスクB: 処分技術の実証と体系化

(「処分概念オプションの実証」)

### タスク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」)

## 令和6年度の主な計画

- タスクAでは、250m西立坑側第1ボーリング横坑から掘削したボーリング孔を利用し、声問層を対象とした物質移行モデルの構築に必要な水理地質構造の情報を整理するとともに、原位置トレーサー試験、対象領域のモデル化および採取した岩石試料を用いた室内試験を実施する。
- タスクBでは、500m調査坑道における原位置調査に先立ち、断層/割れ目からの湧水や掘削損傷領域の発達を予測するための解析を行うとともに、原位置調査で取得すべきデータの検討を行う。また、廃棄体・人工バリアの定置、坑道の閉鎖、廃棄体の回収など、一連の操業技術の実証に向けて、埋め戻し材や止水プラグの材料仕様の検討、施工方法の確認や検証などを行う。
- タスクCでは、人工バリア性能確認試験でこれまで取得してきた情報をもとに、解体調査で取得する試料の配置や分析方法など、解体調査の詳細化に向けた検討を行う。
- 参加機関の理解促進のための現場状況の確認や、研究成果の取りまとめ方針などについて議論するタスク会合を実施する。

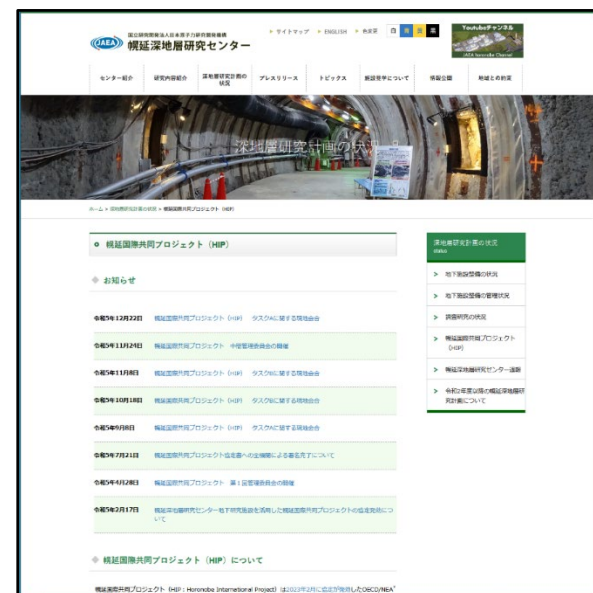
# 幌延国際共同プロジェクト

## 成果の発信計画

- 成果報告書作成予定
  - 令和6年度までに得られた各タスクの成果を取りまとめた報告書を作成し、NEAより出版・公開。
- 学会発表予定
  - OECD/NEAが主催する国際会議Seventh International Conference on Geological Repositories (ICGR-7) (2024年5月、釜山にて開催)における「地下研を活用した国際協力の促進」のセッションにて、HIPの概要と進捗を報告予定。
  - 令和6年度に開催される国内学会、国際学会にて各タスクの研究結果を発表予定。

## ホームページなどでの情報発信について

- 協定発効後、署名機関名は週報にて随時お知らせ
- HIPホームページの更新
- NUMOの技術者を含め、関係者が幌延を訪問した際のお知らせ  
関係者の訪問日時、目的、所属、参加人数、活動の状況(写真等)  
ただし、個人を特定する情報については、個人情報保護の観点から非公表



HIPホームページ(日本語)

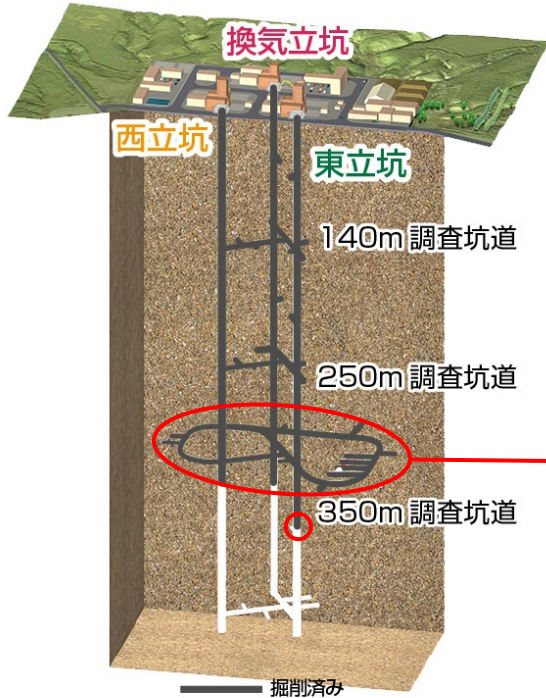
[https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/status/hip/project\\_hip.html](https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/status/hip/project_hip.html)





# 地下施設の整備

## 実施状況

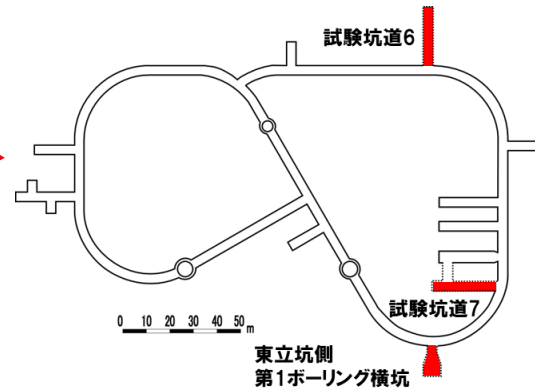


【地下施設イメージ図】  
(令和6年2月8日現在)

	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
350m調査坑道	準備 掘削			仕上
換気立坑		グラウト		準備 掘削
東立坑		グラウト	準備 掘削	
西立坑				グラウト

※本工程は今後の施工計画策定や工事進捗に応じて変更となる場合があります。

■ 当初の予定  
■ 更新後の予定



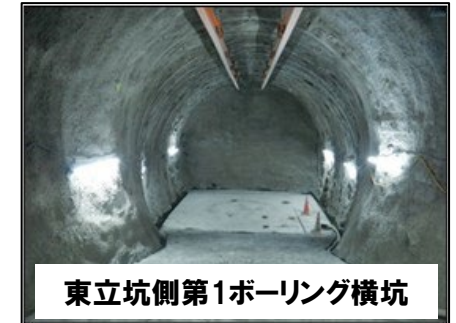
350m調査坑道平面図  
(拡張範囲:点線部)



試験坑道6



試験坑道7



東立坑側第1ボーリング横坑

## 350m調査坑道

試験坑道6、試験坑道7、東立坑側第1ボーリング横坑の掘削を完了

## 東立坑

深度380mより掘削を再開し、2月8日現在、深度417mまで掘削完了

## 換気立坑

2月12日に深度380mより掘削を再開



換気立坑坑底(380m)



東立坑坑底(415m)

# 地下施設の整備

## 【令和6年度の計画】

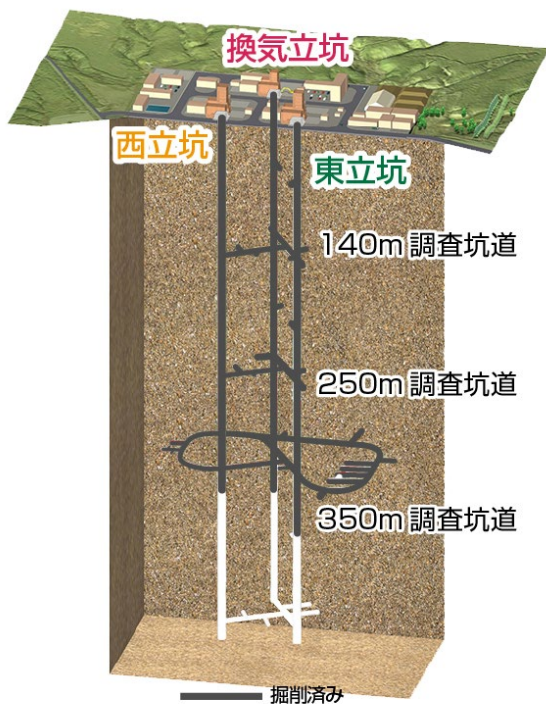
### 掘削工事

- 換気立坑、東立坑の掘削継続
- 西立坑の掘削開始
- 深度500m調査坑道の掘削開始

### 令和6年度の掘削工事のスケジュール

	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
換気立坑		掘削		
東立坑	掘削			
西立坑		グラウト		準備 掘削
500m調査坑道	グラウト	準備	掘削	

※本工程は、令和6年2月時点で今後のスケジュールを想定したものであり、今後の施工計画策定や工事進捗に応じて変更となる場合があります。



【地下施設イメージ図】  
(令和6年2月8日現在)

### 掘削に関する調査研究(令和6年度)

- 壁面観察(500m調査坑道;立坑接続部を除く)
- ステップ管理計測
  - コンクリート応力測定
  - 立坑ウォーターリングにおける湧水量測定、湧水の採水・分析
  - 底盤観察(東立坑深度480m付近)