

令和5年度における個別課題の現状および今後の予定

① 深地層の研究施設計画  
a) 幌延深地層研究計画

令和6年3月13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

# 本日の内容

- **第4期中長期計画及び年度計画**
- **令和2年度以降の幌延深地層研究計画**
- **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**
- **幌延国際共同プロジェクト(HIP)、地下施設の整備について**
- **広報活動の取り組み**

---

# 第4期中長期計画及び年度計画

# 第4期中長期計画及び年度計画

## (3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発

### 1) 深地層の研究施設計画（幌延深地層研究計画）

#### 中長期計画（令和4年4月1日～令和11年3月31日）

- 調査・研究を委託や共同研究等により重点化しつつ着実に進める。
- 「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づき、**実際の地質環境における人工バリアの適用性確認、処分概念オプションの実証及び地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証を進める。**
- **稚内層深部（深度500m）に坑道を展開して研究に取り組むとともに、更なる国内外の連携を進め、研究開発成果の最大化を図る。**
- これらの研究課題については、目標期間を目途に取り組み、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。

# 第4期中長期計画及び年度計画

## (3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発

### 1) 深地層の研究施設計画（幌延深地層研究計画）

#### 年度計画（令和5年4月1日～令和6年3月31日）

- **実際の地質環境における人工バリアの適用性確認**については、令和5年度は、国際共同研究（DECOVALEX）を通して、廃棄体周辺で起こる熱、水、応力、化学連成現象を評価する解析コードを検証する。また、せん断割れ目が卓越した水みちとして機能する岩盤における物質移行モデル化手法を構築するために、割れ目の透水性や水理学的連結性に関する情報を取得する。
- **処分概念オプションの実証**については、令和5年度は、処分場の閉鎖に関わる止水プラグの設計に必要な数値解析や室内試験を実施する。また、高温度等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験として、緩衝材の温度が100℃を超えることによる緩衝材の特性に与える影響を検証するための原位置試験を開始する。
- **地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証**については、令和5年度は、これまでに実施した水圧擾乱試験結果の評価等について取りまとめを行い成果の公表を進める。
- 令和5年度はPFI事業により**350mの研究坑道の拡張及び350～500mの立坑の掘削**を開始する。
- また、国内外の関係機関との連携を進め、研究開発成果の最大化を図るために立ち上げた**幌延国際共同プロジェクトによる研究開発**を進める。

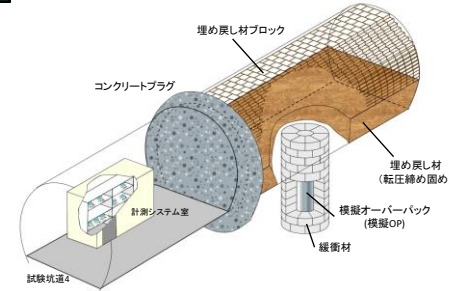
---

# 令和2年度以降の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(1/5)

## 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

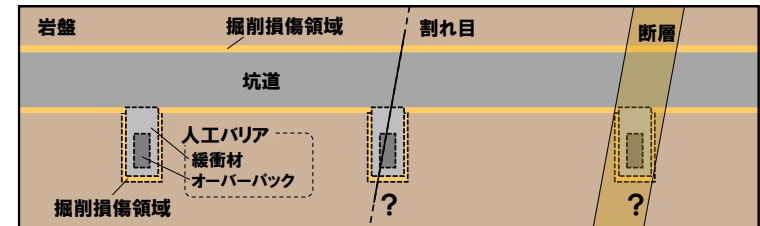
- 1) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
  - ・操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
  - ・坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 2) 高温(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験



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

# 令和2年度以降の幌延深地層研究計画(2/5)

		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

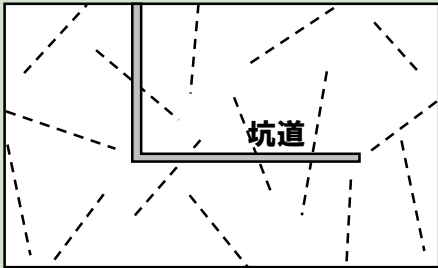
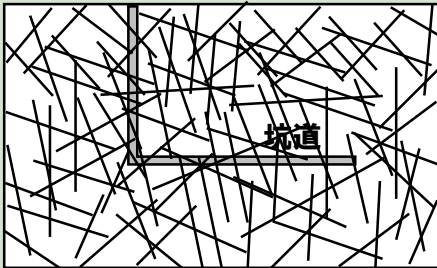


# 令和2年度以降の幌延深地層研究計画(3/5)

## 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>

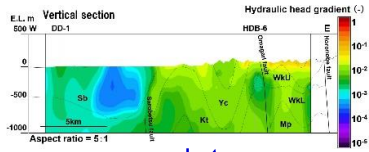
# 令和2年度以降の幌延深地層研究計画(4/5) 体系化に関する研究のイメージ

## 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

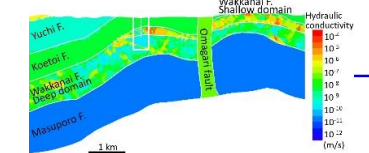
- 実際に坑道を掘削して、地質環境の調査、設計・施工、物質移動に関わる解析等を実施し、廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要な情報等を整理するなど処分技術を実証

### 地下水流動の既存モデルと解析(350mまでの知見)

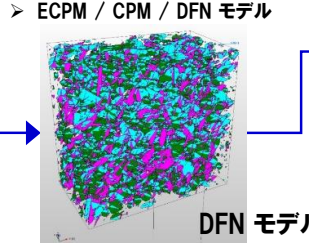
広域スケール(数10 km四方) CPMモデル



施設スケール(数 km) ECPM / CPM モデル

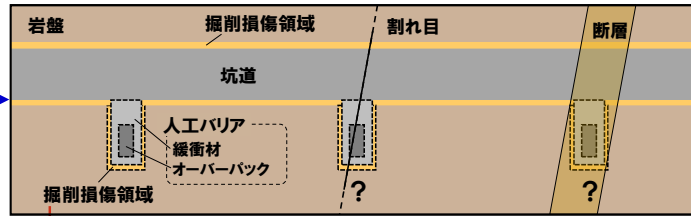


ブロックスケール(数10~数100 m)  
ECPM / CPM / DFN モデル



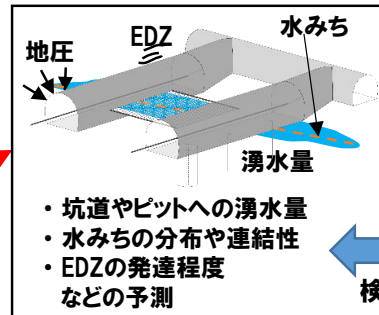
スケールに応じたモデルとアップスケールに伴う断層(水みち)による不均質性の考慮

### 処分坑道の展開領域の指標検討

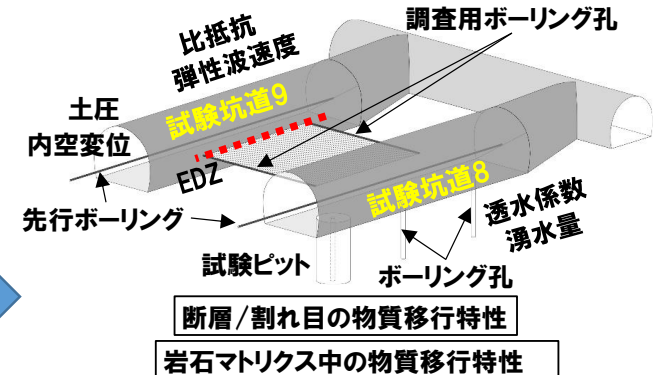


物質が移動し難い領域の事例として、500m調査坑道を対象として処分ピットの配置を事前検討し、実際に施工してその妥当性を確認するとともに、必要な工学技術を実証する。

### 処分ピット配置の指標検討

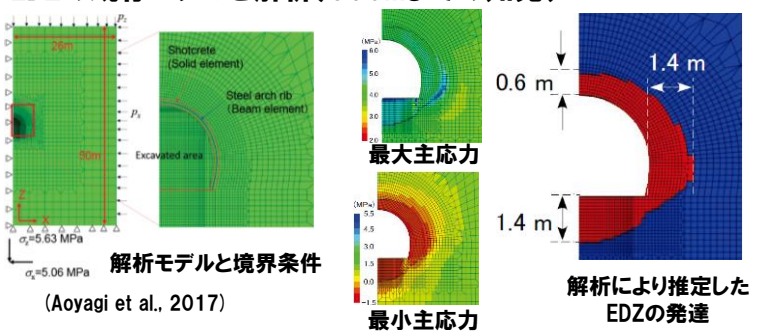


- 坑道やピットへの湧水量
- 水みちの分布や連結性
- EDZの発達程度などの予測



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

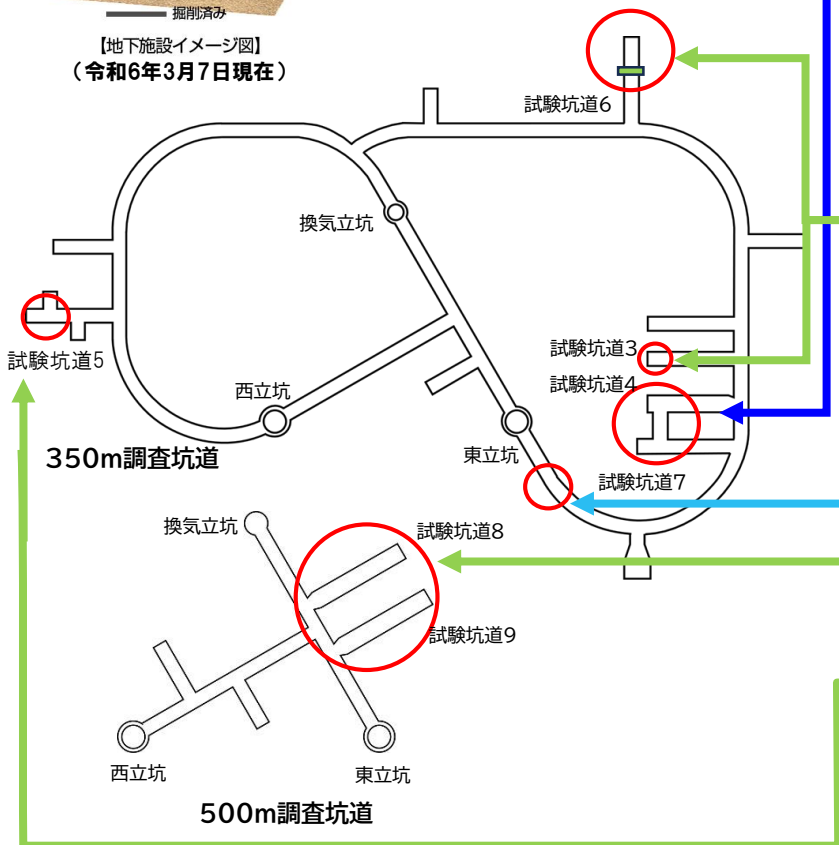
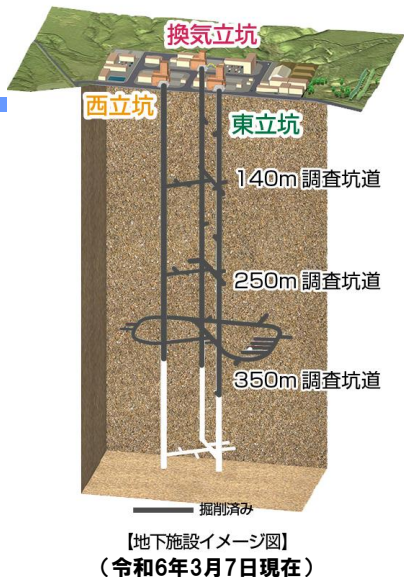
### EDZの既存モデルと解析(350mまでの知見)



## 特性の異なる岩盤中の物質移行モデルの構築、地下深部から地上までの物質移行・閉じ込め性能の評価(安全評価技術の適用性評価)

# 令和2年度以降の幌延深地層研究計画(5/5)

## 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で原位置試験を実施。

：令和5年度の実施内容

---

# 令和5年度の成果と令和6年度の計画

# 令和5年度の主な成果

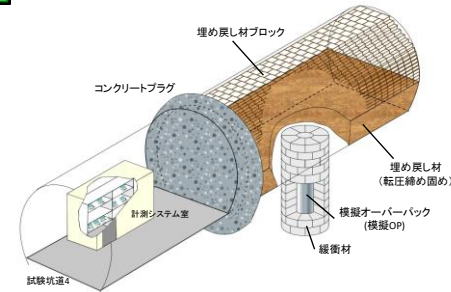
- 人工バリア性能確認試験では、熱、水理、力学、化学連成解析について、性能確認試験や連成解析でこれまで得られた知見を整理し、国際共同研究プロジェクト (DECOVALEX) の最終報告としてとりまとめた。
- 閉鎖技術の実証として、350m坑道から掘削した新規坑道周辺岩盤を対象に、各種原位置調査を実施し、今後実施する止水プラグと坑道埋め戻しの原位置施工試験計画検討のためのデータを取得した。
- 地下水の流れが非常に遅い領域の調査・評価において、物理探査やボーリング調査から化石海水の三次元分布を推定する手順を検討するとともに、地球化学的アプローチにより地下水流動を評価する手法を構築した。
- 令和2年度以降の研究計画の実施のために350mの研究坑道の拡張を完了するとともに、500m調査坑道の整備に向けて立坑の掘削を開始した。
- 幌延国際プロジェクトを11の参加機関の参加を得て開始し、管理委員会やタスク会合での議論による計画の具体化や、原位置での調査、室内試験、解析検討を実施した。

# 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



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



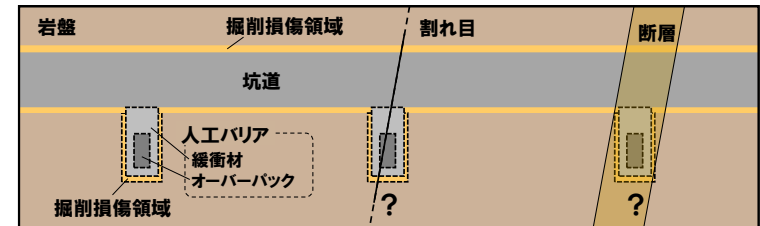
閉鎖技術オプションの整理

## 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

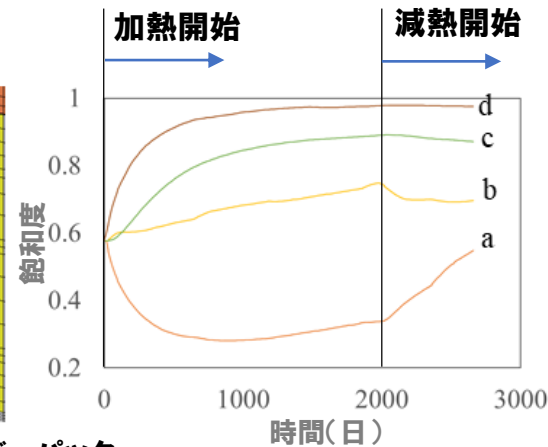
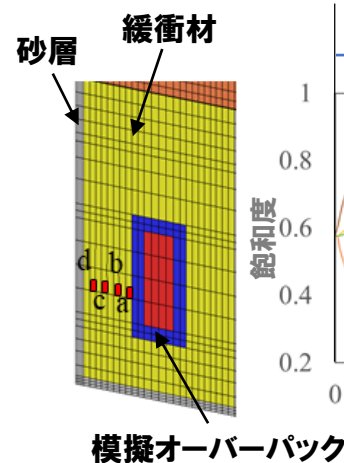
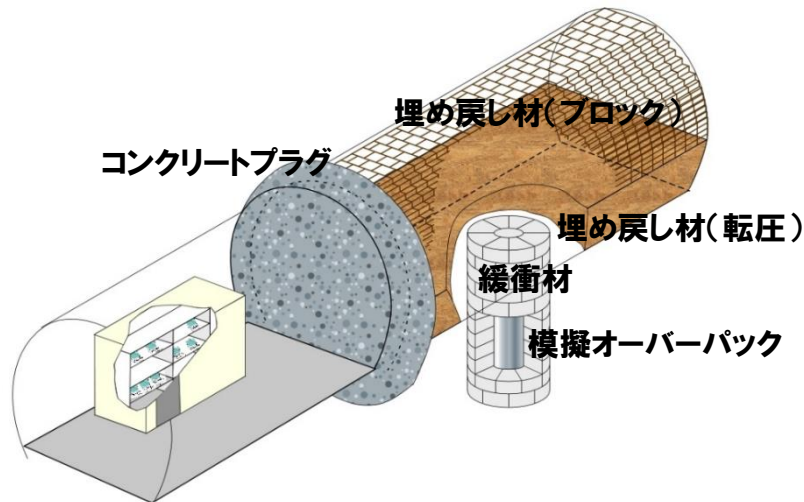
## 1) 人工バリア性能確認試験

### 【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】

- 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、段階的にヒータの温度を低下させ、令和3年度にはヒーターを停止

### DECOVALEXにおける解析検討の一例(JAEA)

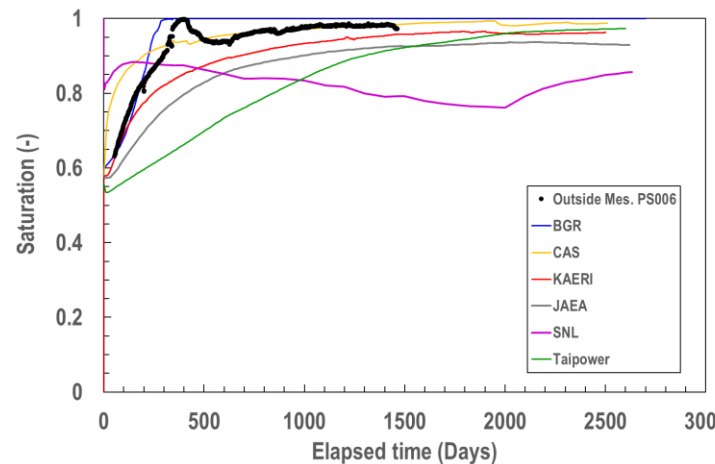
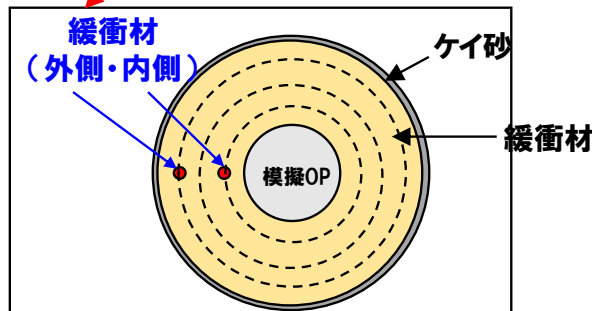
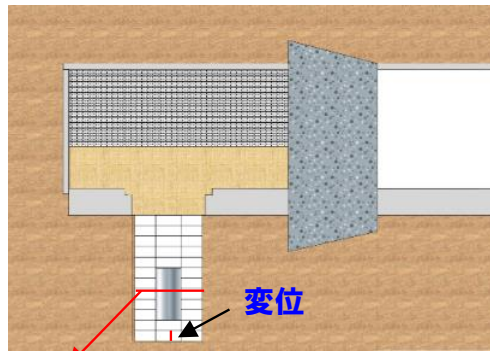
緩衝材5段目における飽和度分布の連成解析結果

# 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

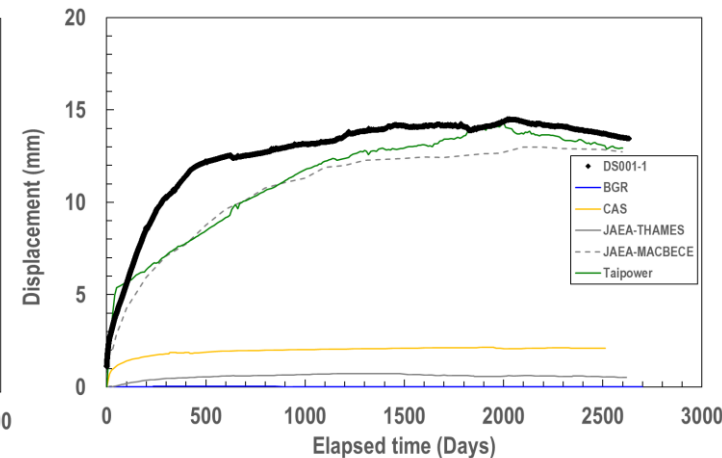
### 【令和5年度の成果】

- 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。
- これらの成果は令和5年度に終了したDECOVALEX(Task D)の最終レポートとして取りまとめており、今後公開予定。



### 緩衝材外側の飽和度変化

緩衝材外側の飽和度変化では、初期浸潤挙動に差はみられるが、同様の傾向を示す



### 模擬OP下部の変位

模擬OP下部の変位は、解析モデルの違いにより大きな差が見られる

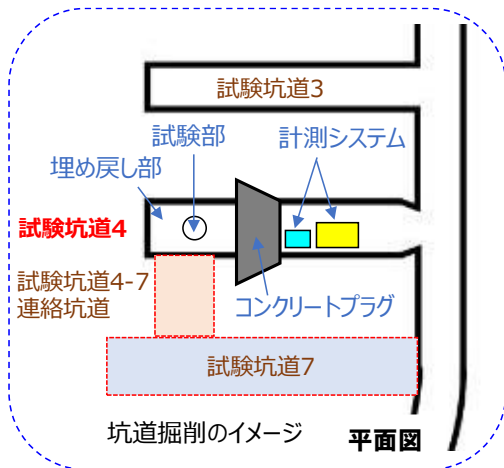


# ①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

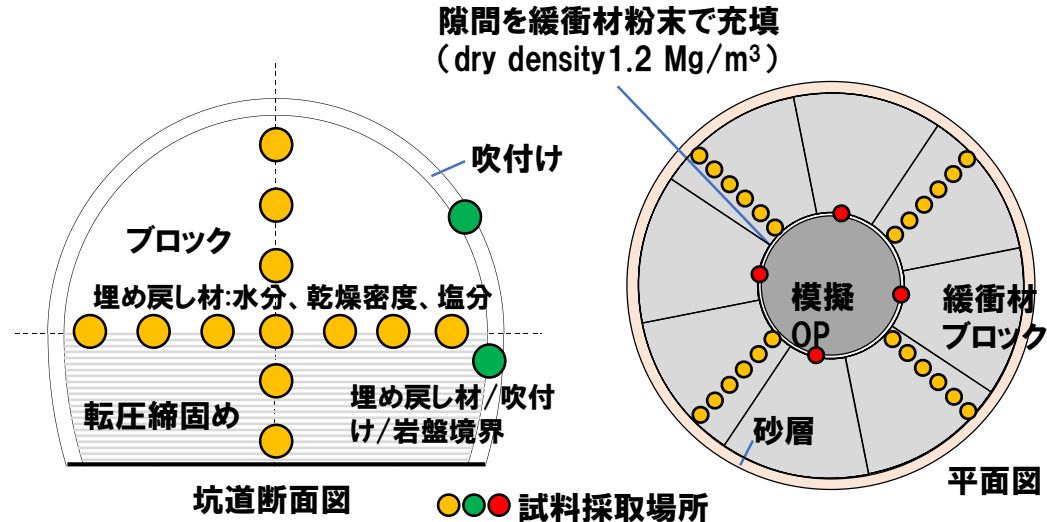
## 1) 人工バリア性能確認試験

### 【令和5年度の成果:HIP(Task C)】

- 解体調査に向けた準備として試験坑道7を掘削した(左図)。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いことが確認できた。
- 解体調査における分析項目、サンプリング位置などについて、令和4年度の計画案(右図)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、より詳細な計画の立案を進めた。



解体調査のための試験坑道7の掘削の様子



### 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)

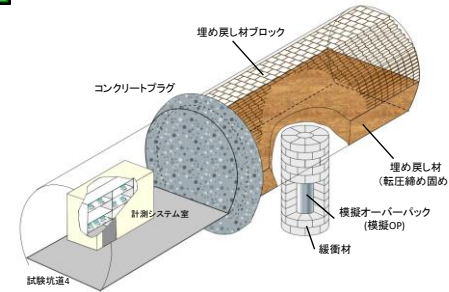
### 【令和6年度の計画】

- 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。

# 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



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



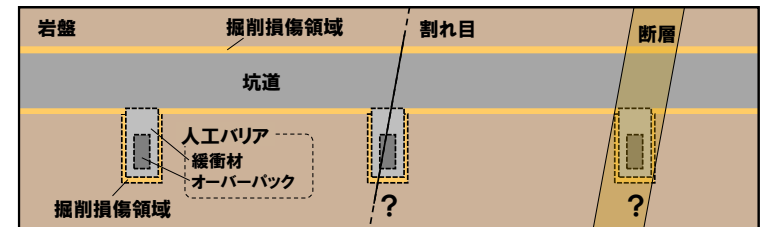
閉鎖技術オプションの整理

## 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

## 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

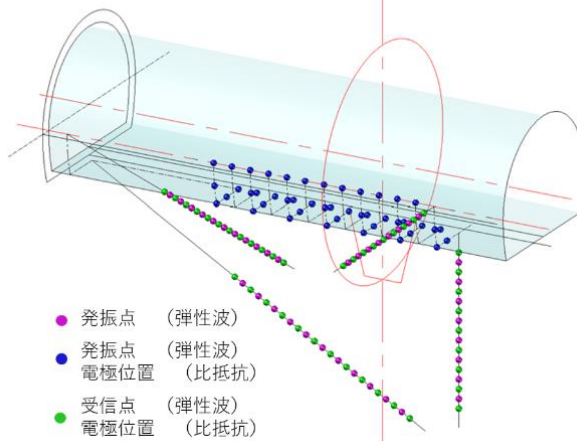
※資源エネルギー庁受託事業(地層処分施設施工・操業技術確認試験)で一部実施

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)

#### 【令和5年度の計画:HIP(Task B)】

- 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
- 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
- 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

#### トモグラフィ調査のレイアウト案

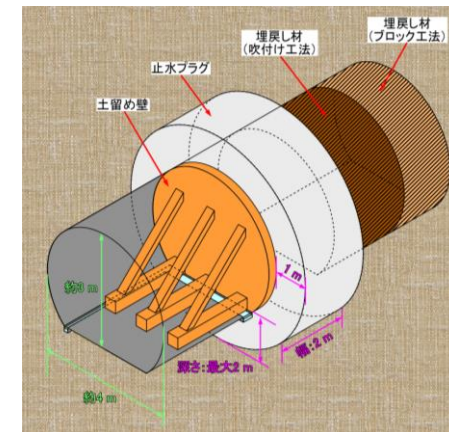


#### 坑道周辺のEDZの特性調査



#### 幌延の掘削ズ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

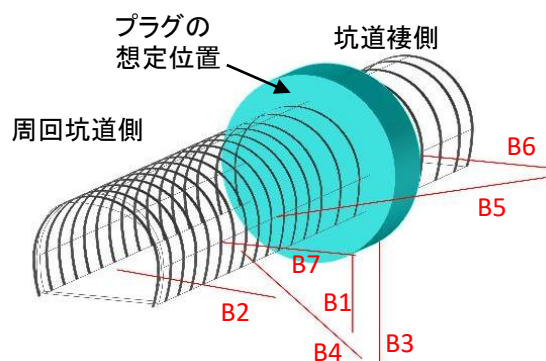
#### 閉鎖技術の実証

#### 【令和5年度の成果】

- 350m試験坑道6の掘削を完了し、ボーリングで取得したコアの観察、BTV観察、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

設計項目	要求性能・条件	設計に必要となる情報	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>ボーリング調査(コア観察、BTV観察)</li> <li>弾性波・比抵抗トモグラフィ</li> <li>透水試験・間隙水圧モニタリング</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(締め固め特性、透水性、膨潤特性等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>室内試験</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>室内試験</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>文献調査</li> <li>力学解析</li> </ul>

#### 止水プラグの設計項目と要求性能・条件、設計に必要となる情報の整理イメージ

#### 【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。

# 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

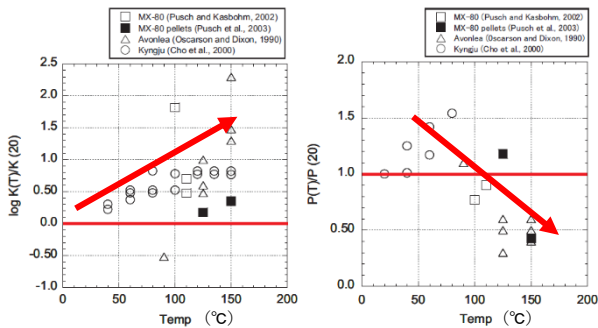
### 【第4期中長期計画 目的】

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

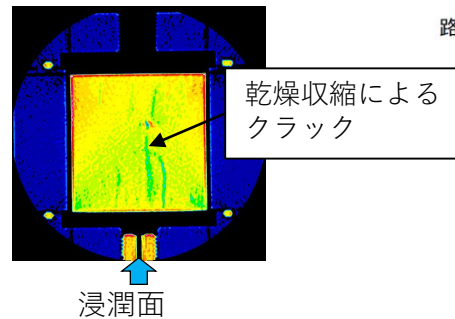
### 【令和5年度の計画】

- 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

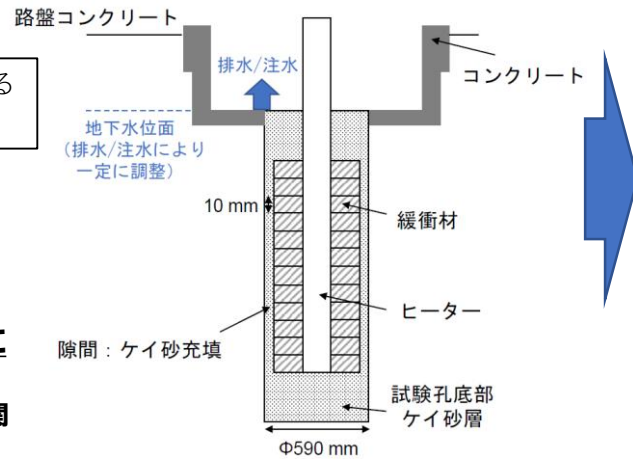
資源エネルギー庁  
受託事業 (NF長期環境変遷評価  
技術開発) で実施



**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

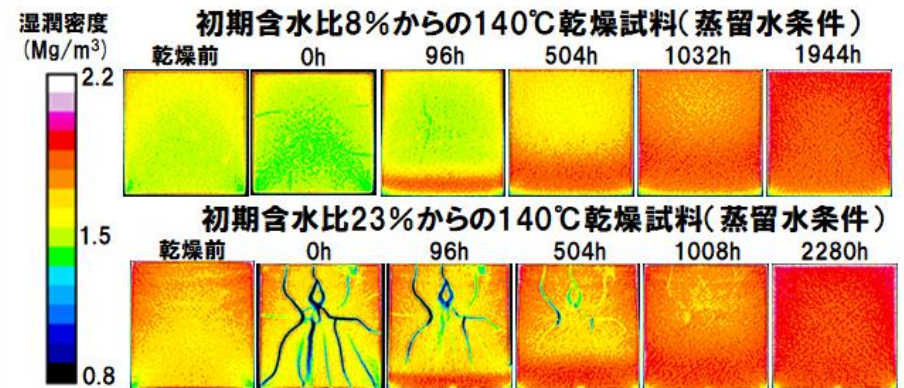
### 2) 高温度 (100℃超) などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験

#### 【令和5年度の成果】

- 原位置試験概念に基づき、350m調査坑道の試験坑道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

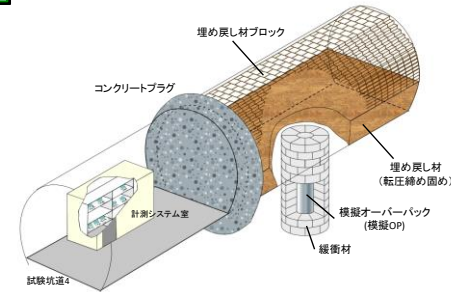
#### 【令和6年度の計画】

- 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。

# 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



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

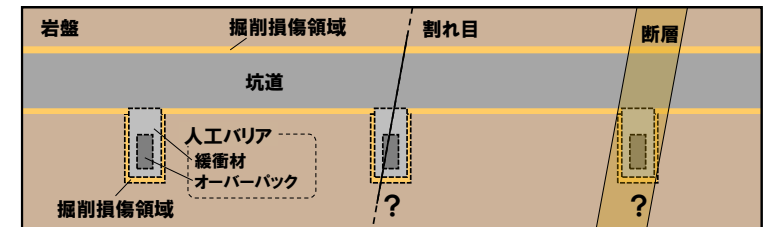
- 1) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
  - ・操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
  - ・坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 2) 高温(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験



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

# 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

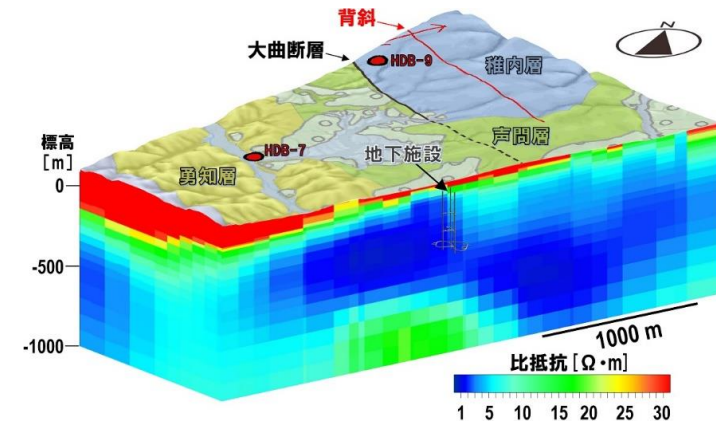
#### 【第4期中長期計画 目的】

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

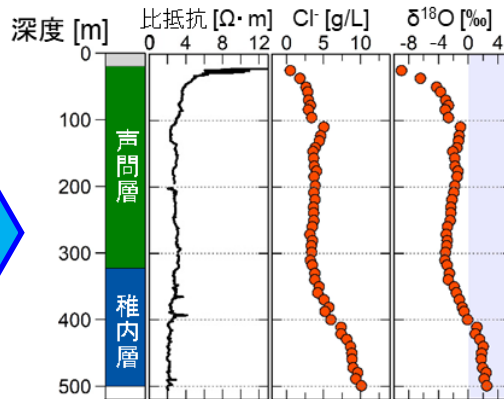
#### 【令和5年度の計画】

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。

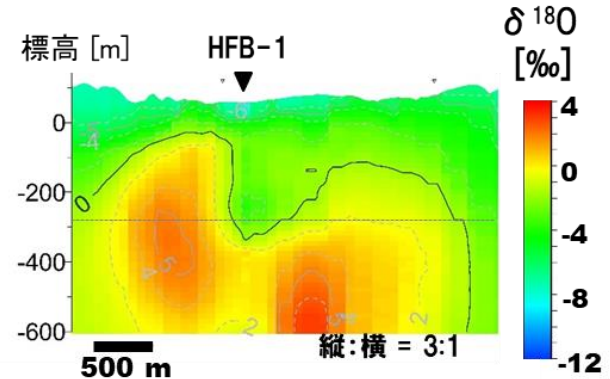
※平成31年度～令和4年度のエネ庁事業  
(岩盤中地下水流動評価技術高度化開発)



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) の深度プロファイル取得



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

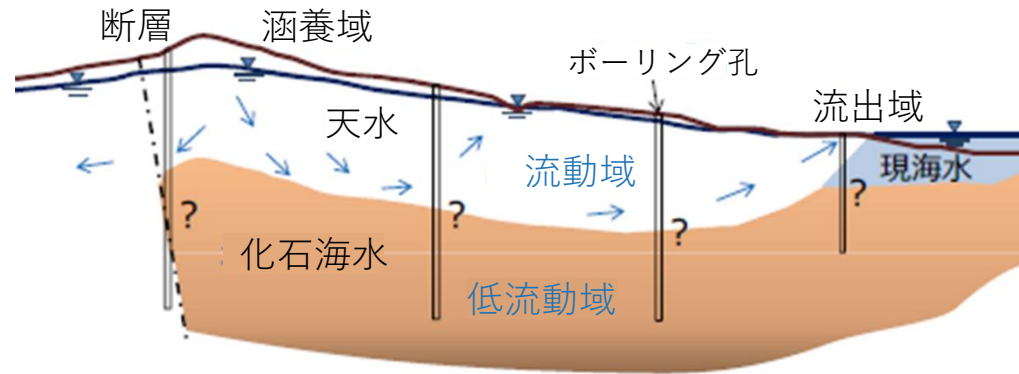


# ③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

## 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

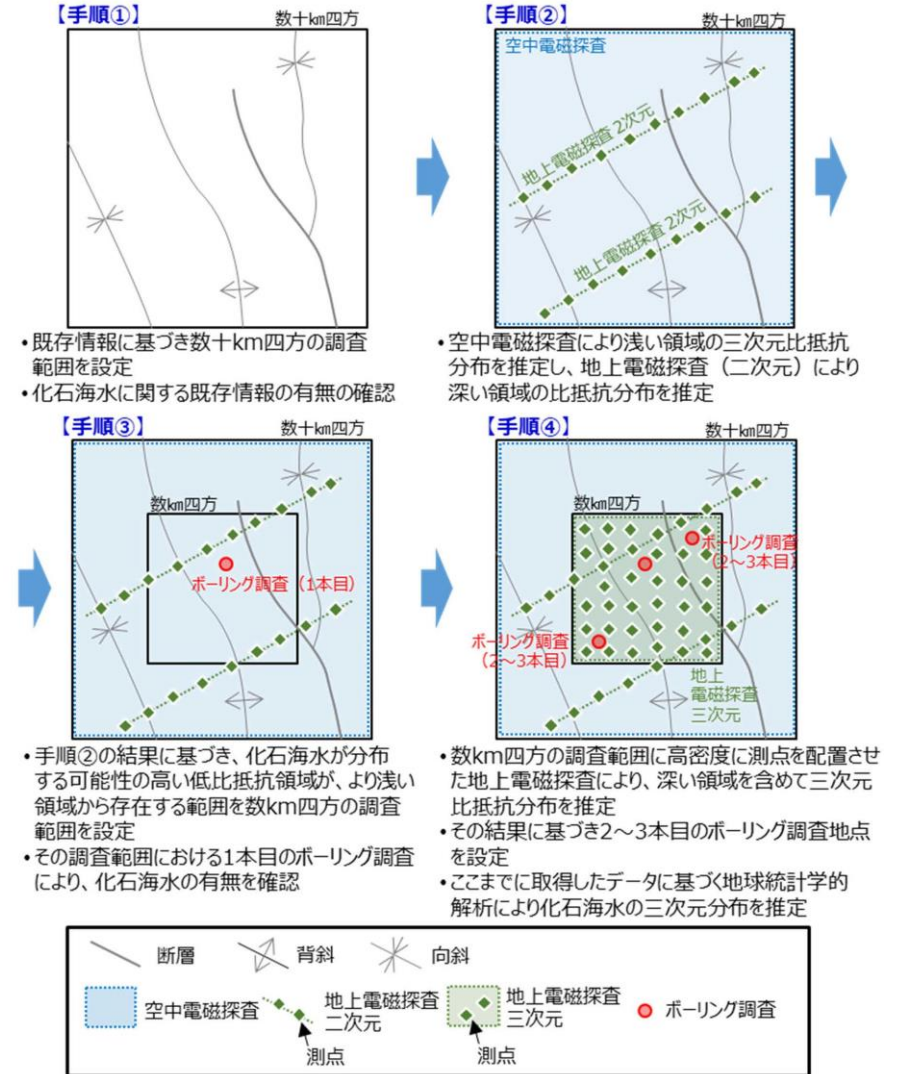
#### 【令和5年度の成果】



幌延地域の広域地下水流動概念

#### 低流動域の三次元分布の推定

- 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)を考案(数十km四方の範囲に調査を展開し(右図①②)、その結果に基づき数km四方に絞り込んだ調査範囲(右図③)において化石海水の三次元分布を推定するための調査(右図④)を展開する手順を検討)



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

### 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

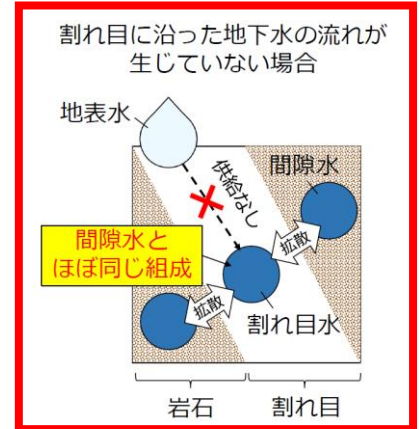
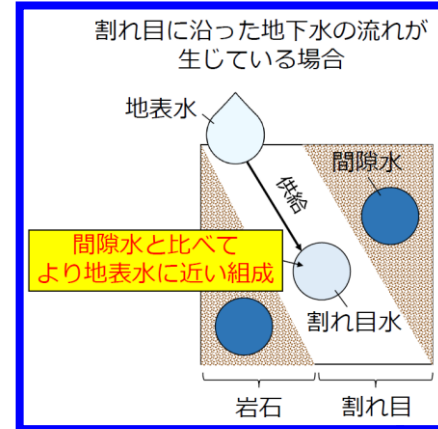
### 【令和5年度の成果】

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  
(割れ目と岩石の間隙における地下水の水質コントラストと $^{14}\text{C}$ 年代を利用した地下水流動の評価手法を構築し、論文として取りまとめた)

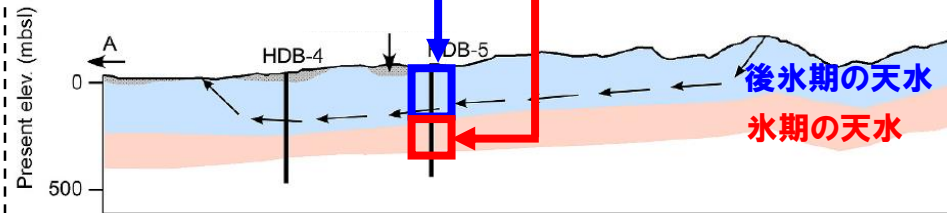
### 【令和6年度の計画】

- 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。



- 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 $^{14}\text{C}$ 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 $^{14}\text{C}$ 年代: **11 ka以前**



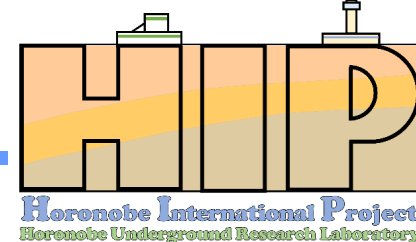
- ⇒ 天水領域の浅部: **後氷期の天水が流動**
- 天水領域の深部: **最終氷期の天水が滞留**
- 鉛直方向の動水勾配の違いに起因

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

---

# 幌延国際共同プロジェクト(HIP)、地下施設の整備について

# 幌延国際共同プロジェクト



## 目的

実際の深地層での研究開発を**多国間で協力しながら推進する**。日本のみならず参加国におけ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、それを通して次世代を担う**国内外の技術者や研究者を育成する**。

## 実施内容

- **タスクA:物質移行試験**（主に250m調査坑道を利用）  
堆積岩中の三次元物質移行モデルの開発
- **タスクB:処分技術の実証と体系化**（主に350m調査坑道と500m調査坑道を利用）  
好ましい適性を有する場所に処分孔を配置するための基準を確立するための技術開発
- **タスクC:実規模の人工バリアシステム解体試験**（主に350m調査坑道を利用）  
人工バリアシステムの解体を通じて坑道周辺で生じる現象の理解、解析手法の開発

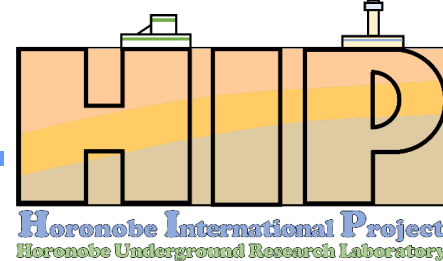
## 参加機関（8つの国と地域から11機関）

- |                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| ■ 英国地質調査所(イギリス)          | ■ オーストラリア連邦科学産業研究機構(オーストラリア) |
| ■ 原子力環境整備促進・資金管理センター(日本) | ■ 原子力発電環境整備機構(日本)            |
| ■ 台湾工業技術研究院(台湾)          | ■ 電力中央研究所(日本)                |
| ■ ドイツ連邦放射性廃棄物機関(ドイツ)     | ■ ブルガリア国営放射性廃棄物会社(ブルガリア)     |
| ■ 韓国原子力研究所(韓国)           | ■ ルーマニア原子力テクノロジー国営会社(ルーマニア)  |
| ■ 日本原子力研究開発機構(日本)        |                              |

## 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」の遵守を大前提として実施

# 幌延国際共同プロジェクト



## 令和5年度の主な実績

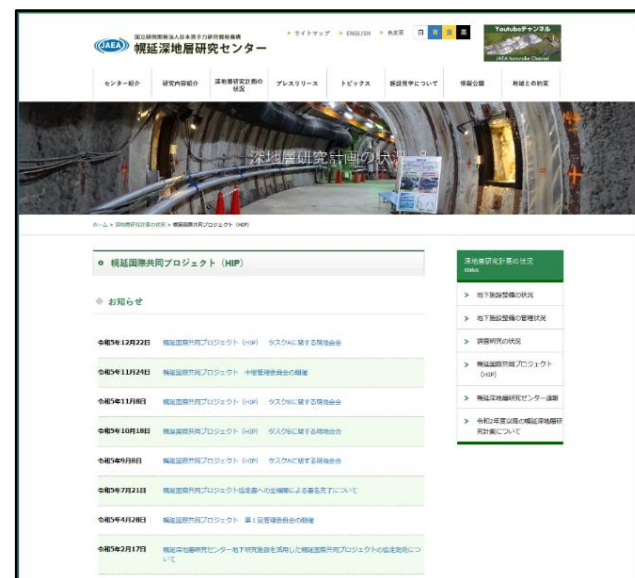
- 管理委員会やタスク会合における参加機関との議論を行い原位置試験の計画などを検討した。
- 各タスクの計画に沿って、原位置での調査、室内試験、解析検討などを実施した。
- 現地での打合せを通じて現場の確認を実施した。
- 研究進捗状況をHIP Newsとして配信(月1回程度)。

## 令和6年度の主な計画

- 各タスクの計画に沿って、原位置での調査や試験、室内試験、解析評価などを実施。
- 現場状況の確認、研究成果の取りまとめ方針などの議論のため、タスク会合を幌延URLにて開催。
- 令和6年度までのPhase Iで得られた成果を取りまとめた報告書を作成(NEAより出版・公開予定)。
- 国内学会、国際学会にて各タスクの研究成果を発表予定。

## ホームページなどでの情報発信

- 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
- 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)



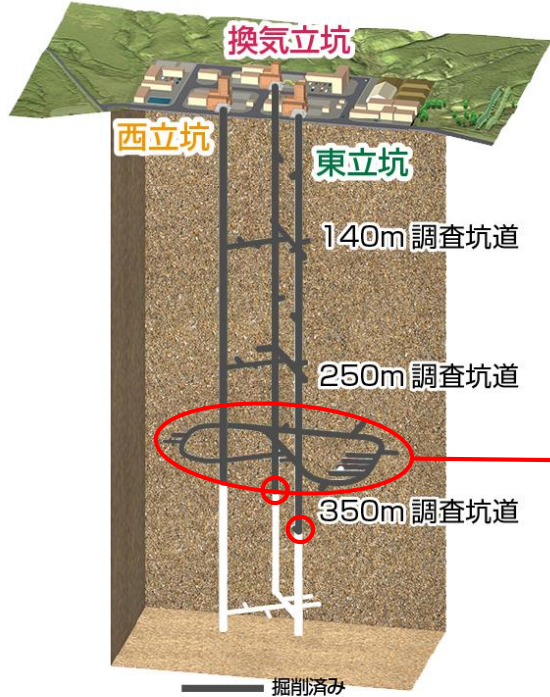
HIPホームページ(日本語)

[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

## 【令和5年度の成果】

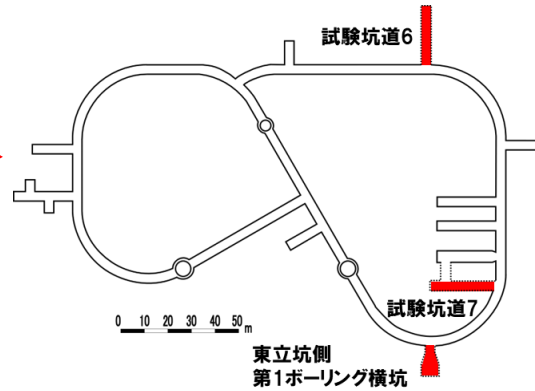


【地下施設イメージ図】  
(令和6年3月7日現在)

	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、3月7日現在、深度420mまで掘削完了

## 換気立坑

深度380mより掘削を再開し、3月7日現在、深度386mまで掘削完了



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】

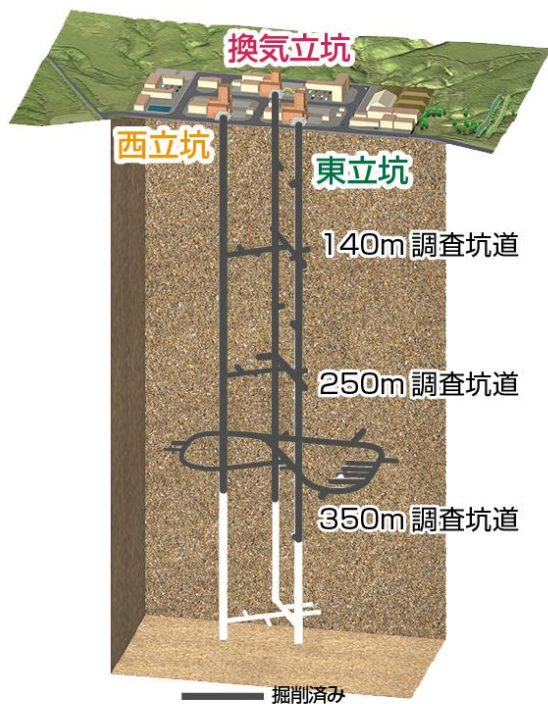
### 掘削工事

- 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3月7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)

---

# 広報活動の取り組み



# 広報活動の取り組み

## 見学会の実施・出展

### 地下施設の見学者数

- 令和3年度: 498名
- 令和4年度: 1,430名
- 令和5年度: 500名

累計: 15,141名(令和6年2月末現在)

### ゆめ地創館の来館者数

- 令和3年度: 2,701名
- 令和4年度: 4,767名
- 令和5年度: 6,320名

累計: 134,995名(令和6年2月末現在)

### 地上施設の見学者数

- 令和5年度: 358名

累計: 363名(令和6年2月末現在)

※令和5年度より地下施設の工事が再開されたため、平日の地下施設の見学に代えて地上施設の見学を実施。



<https://my.matterport.com/show/?m=yiX6s67b75C&q=1>



ゆめ地創館(平成19年6月30日開館)  
地下深部での研究内容を紹介

\*館内や地下施設の様子を3D画像でご覧いただけるタブレットを設置しています。



地下施設の見学



「おもしろ科学館2023 in ほろのべ」に出展  
(令和5年7月22～23日開催)

# 広報活動の取り組み

## 情報公開の取り組み

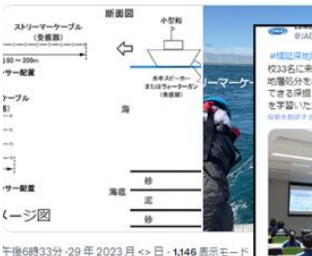
### ホームページでの情報発信



- 幌延深地層研究センター紹介動画の制作・公開
- 地下施設とゆめ地創館の見学を疑似体験できる3Dコンテンツの公開
- 一般の方・小中学生向け資料集のページ新設



### X(旧Twitter)での情報発信



### 幌延町広報誌「ほろのべの窓」での研究内容紹介の連載

※2020年7月号から連載を開始



# 広報活動の取り組み

## その他の活動



幌延町の観光と幌延深地層研究センターの  
紹介マンガの配布  
※幌延町との合同企画(令和5年3月発行)



小学生への課外授業の実施(ゆめ地創館)

# 令和5年度の成果のまとめと今後の計画

## 成果のまとめ

- 人工バリア性能確認試験では、熱、水理、力学、化学連成解析について、性能確認試験や連成解析でこれまで得られた知見を整理し、国際共同研究プロジェクト (DECOVALEX) の最終報告としてとりまとめた。
- 閉鎖技術の実証として、350m坑道から掘削した新規坑道周辺岩盤を対象に、各種原位置調査を実施し、今後実施する止水プラグと坑道埋め戻しの原位置施工試験計画検討のためのデータを取得した。
- 地下水の流れが非常に遅い領域の調査・評価において、物理探査やボーリング調査から化石海水の三次元分布を推定する手順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。
- 令和2年度以降の研究計画の実施のために350mの研究坑道の拡張を完了するとともに、500m調査坑道の整備に向けて立坑の掘削を開始した。
- 幌延国際プロジェクトを11の参加機関の参加を得て開始し、管理委員会やタスク会合での議論による計画の具体化や、原位置での調査、室内試験、解析検討を実施した。

## 今後の計画

- 人工バリア性能確認試験のデータ取得を継続するとともに、解体試験計画の具体化や解析課題に取り組む。
- 閉鎖技術の実証として、止水プラグや埋め戻し材データ取得を継続し、原位置施工試験計画を具体化する。
- 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化について、整理した4つのタスクについての計画の更なる具体化と調査・解析等に着手する。
- 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証として、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。
- 地下施設の掘削工事を継続し、深度500mに向けた東立坑・換気立坑の掘削を継続するとともに、西立坑及び深度500m坑道の掘削を開始する。
- 幌延国際プロジェクトの各タスクの計画に沿って、原位置での調査や試験、室内試験、解析評価などを継続し、Phase Iで得られた成果を取りまとめた報告書を作成する。