

幌延深地層研究計画 令和6年度調査研究計画

令和5年度の実施内容と成果
および令和6年度の計画

日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター

未来へげんき
To the Future / JAEA



令和5年度の実施内容と成果 および令和6年度の計画

- 1 令和2年度以降の必須の課題
 - 1-1 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
 - 1-2 処分概念オプションの実証
 - 1-3 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- 2
 - 2-1 地下施設の建設・維持管理
 - 2-2 環境調査、安全確保の取り組み
 - 2-3 開かれた研究

- 3 その他

幌延深地層研究計画 令和6年度調査研究計画

1 令和2年度以降の必須の課題

1-1 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

1-2 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
- 2)高温度(100°C以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験

1-3 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
- ~~2)地殻変動による人工バリアへの影響 回復挙動試験~~

令和4年度で
終了しました

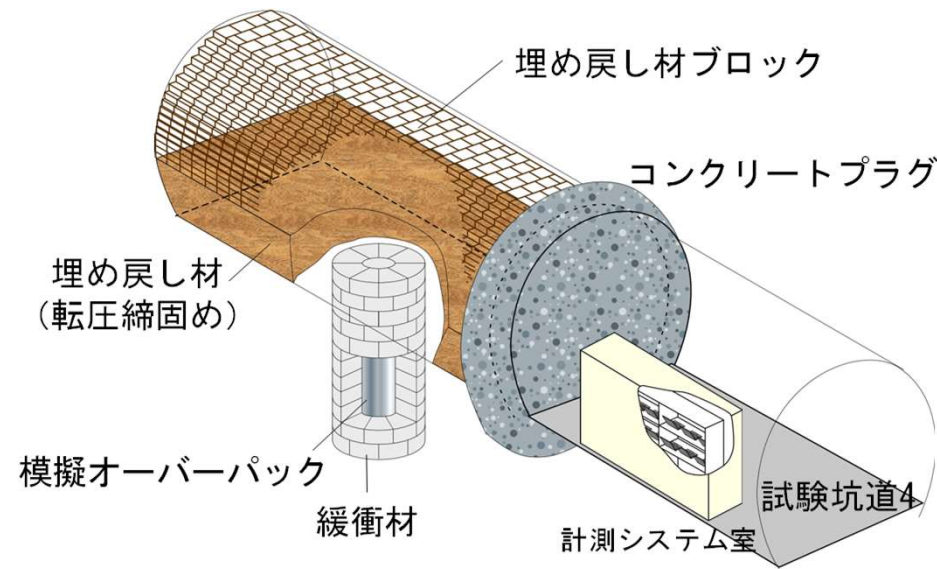
1-1 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1) 人工バリア性能確認試験(1/2)

研究開発の目的と令和10年度までの実施内容

人工バリア周辺で起こる現象の理解

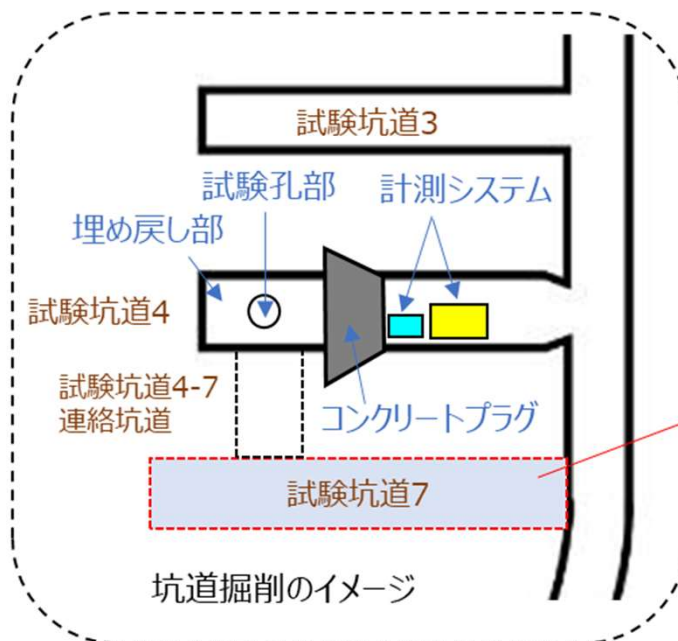
- 緩衝材に地下水を浸潤させた場合のデータ（浸潤時・減熱時）を取得し、熱-水-応力-化学連成評価手法を整備
- 人工バリアの解体作業により緩衝材の飽和度などを確認



人工バリア性能確認試験の概念図

令和5年度の実施内容と成果

- 廃棄体からの発熱が収まった状態を模擬した条件でのデータ取得を継続しました。
- 解体調査に向けた準備として試験坑道4の隣に試験坑道7を掘削しました。
- 国際共同研究DECOVALEXにて、得られたデータの解析を実施し、各機関の解析結果を比較しました。



試験坑道7の掘削の様子

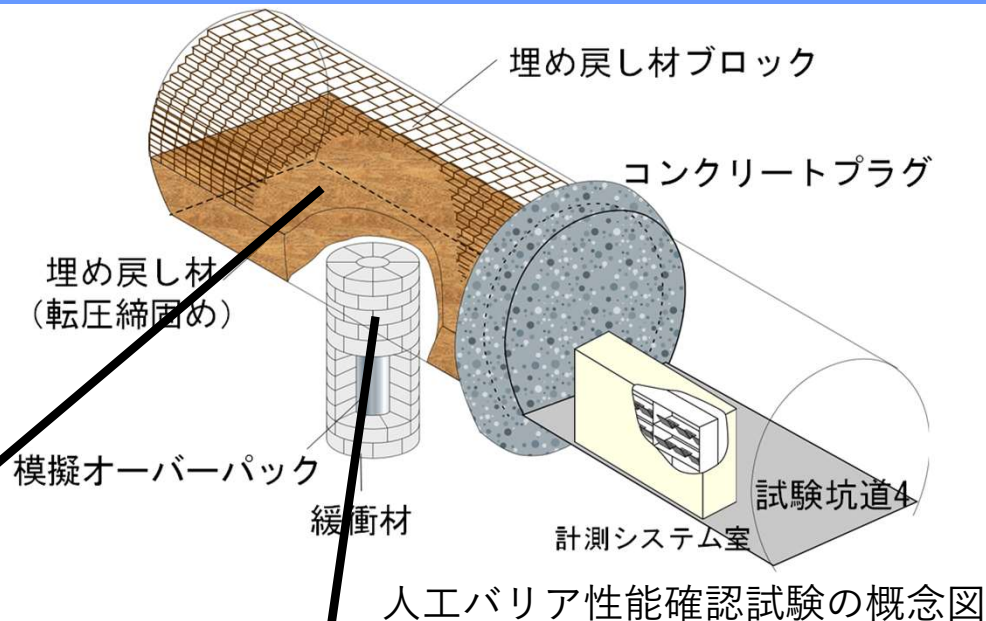
試験坑道7の掘削

1-1 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

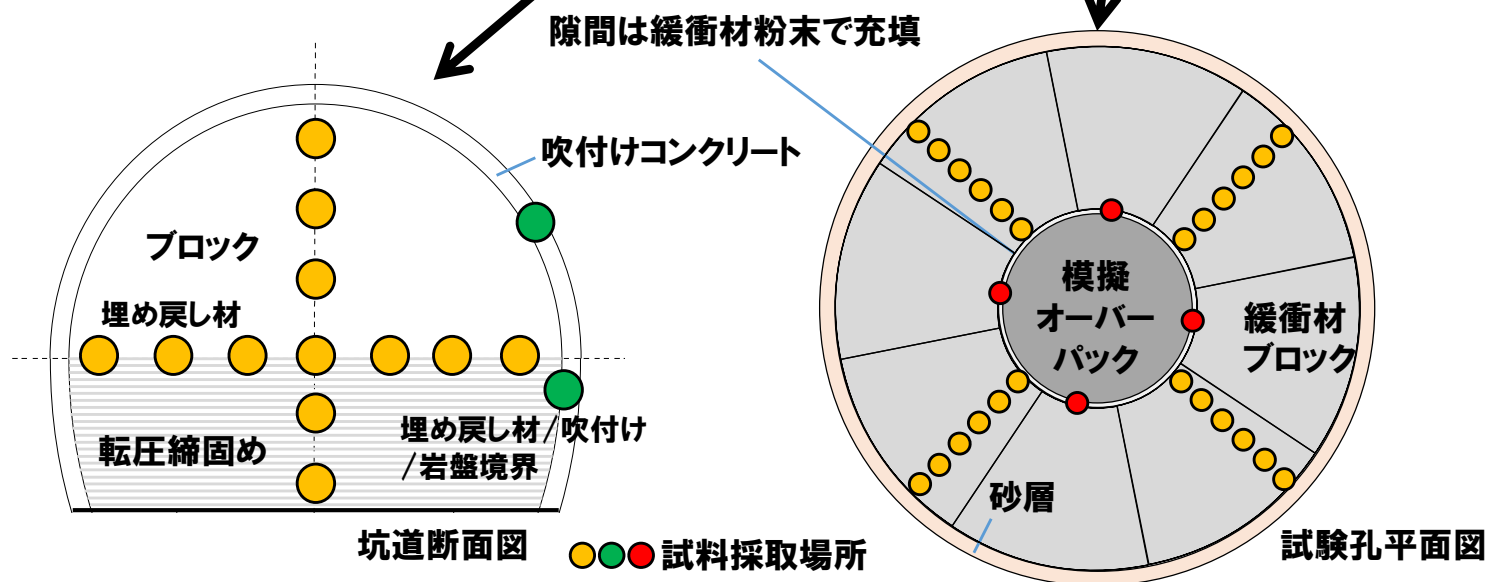
1) 人工バリア性能確認試験(2/2)

令和6年度の計画

- 人工バリア性能確認試験のデータ取得の継続
- 幌延国際共同プロジェクトにおいて、解体試験計画の具体化など



人工バリア性能確認試験の概念図



解体調査計画のイメージ図

2) 物質移行試験(1/2)

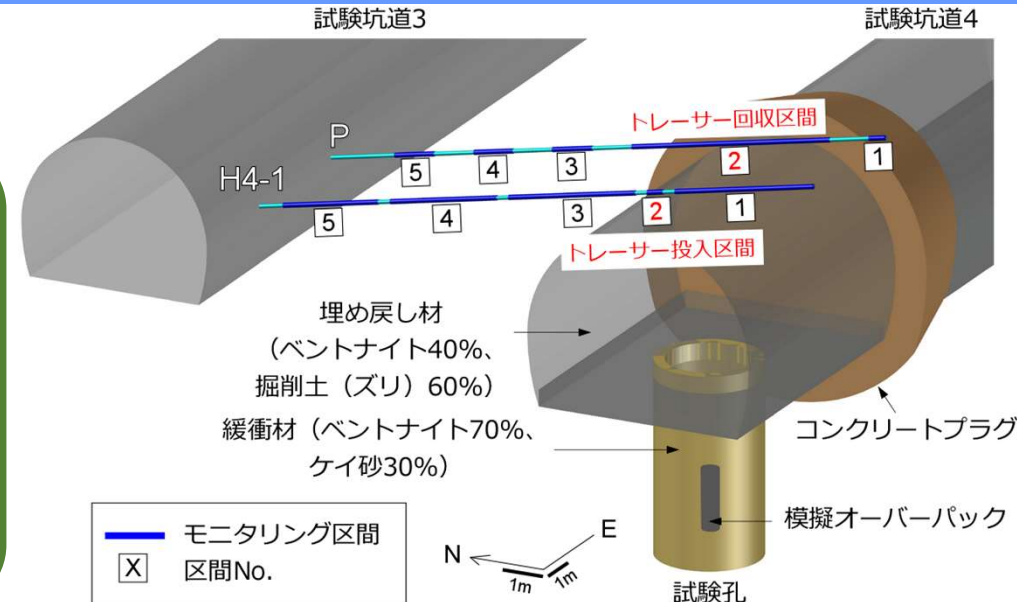
研究開発の目的と令和10年度までの実施内容

堆積岩における物質移行現象の評価手法の整備

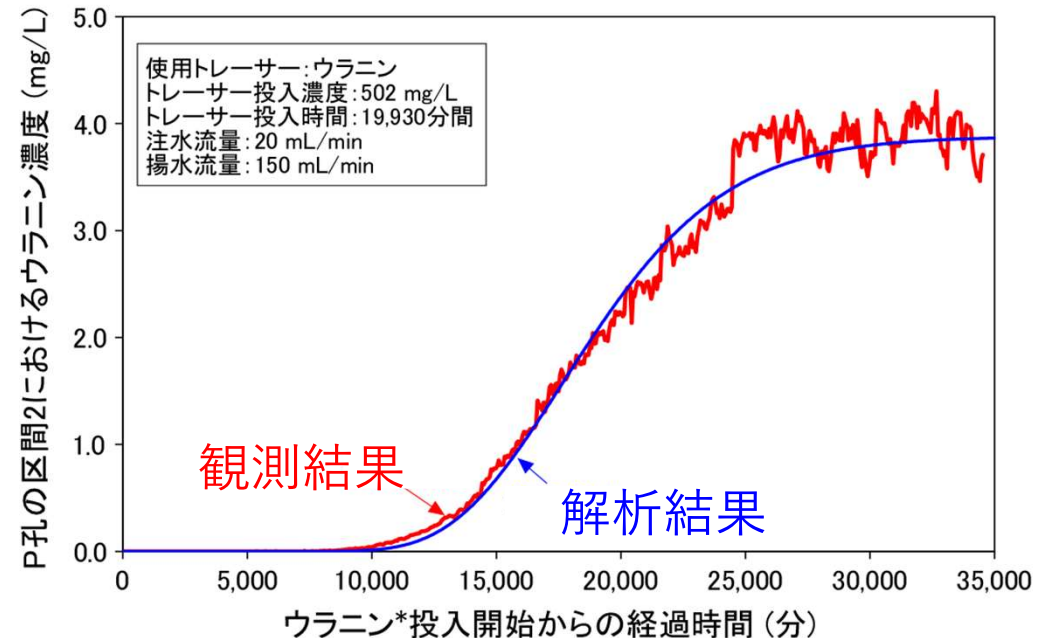
- 掘削損傷領域でのトレーサー試験を行い、物質移行に関するデータを取得
- 有機物、微生物、コロイド*の影響を考慮した物質移行試験
- ブロックスケール（数m～100m規模）の物質移行評価手法を整備

令和5年度の実施内容と成果

- 掘削損傷領域の割れ目を対象とした試験結果の解析を行った結果、一次元の解析モデルを適用することにより、堆積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ました（右下図）。
- ブロックスケールを対象とした物質移行試験結果の解析を行った結果、曲がりくねった非常に長いチューブ状の経路を仮定することで、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りました。



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



トレーサー試験の再現解析結果

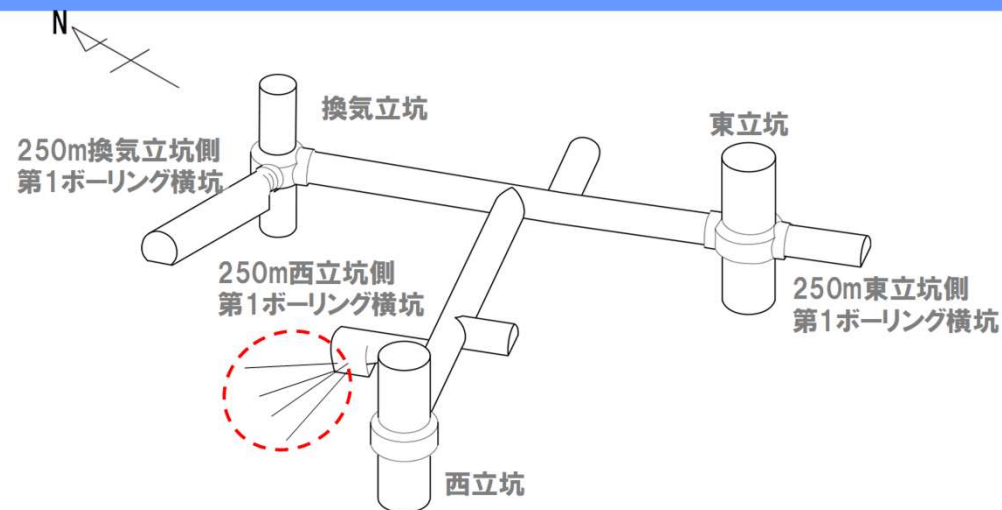
* コロイド: 大きさが1nm～1μmの液体中の浮遊物

* ウラン: 蛍光染料

2) 物質移行試験(2/2)

令和6年度の計画

- 掘削損傷領域における物質移行
 - モデル化・解析手法の取りまとめ
- 有機物・微生物・コロイド*の影響評価
 - 室内試験および原位置試験の結果の整理
 - 影響評価手法の取りまとめ
- ブロックスケールを対象とした物質移行試験
 - 新たに製作したトレーサー試験装置（下図）の適用性確認
 - 評価手法の取りまとめ



ブロックスケールを対象とした物質移行試験の実施場所(250m調査坑道)



適用性を確認するトレーサー試験装置の一部

*コロイド：大きさが1nm～1μmの粒子が液体中に浮遊し、容易に沈まない状態

1-2 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(1/7)

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

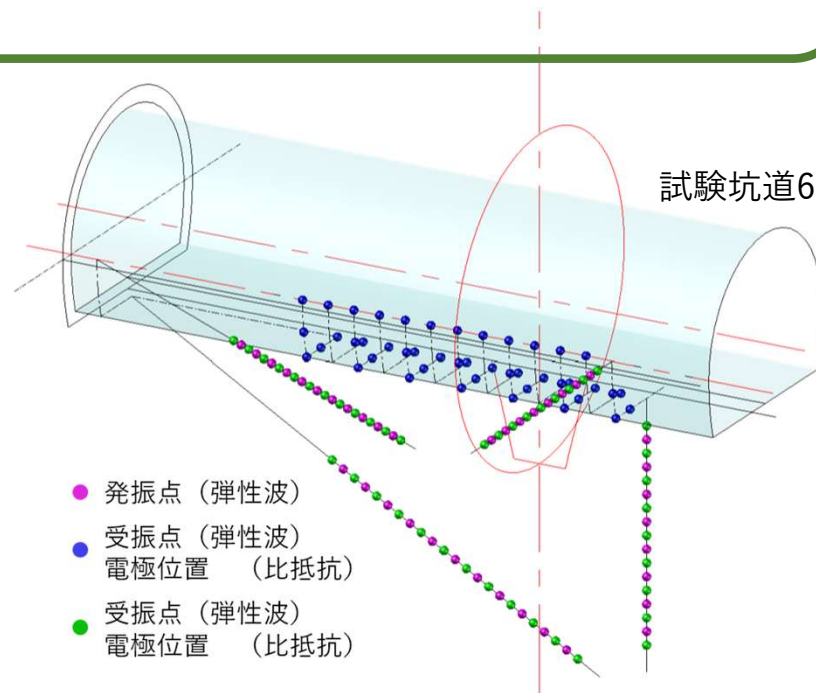
研究開発の目的と令和10年度までの実施内容

坑道の閉鎖技術や閉鎖システムの性能を担保する設計・施工技術の選択肢の整理

- 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）を整備
- 閉鎖技術（埋め戻し方法：プラグ等）を実証
- 人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工に係る、実証した品質保証の仕組みや考え方を体系的に整理

令和5年度の実施内容と成果

- 坑道壁面から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、坑道表面から厚さ数cm、岩盤との接触部から厚さ数mmにおいて中性化が進行していることなどが分かりました。
- 閉鎖技術の実証として、令和5年度に掘削した試験坑道6において、掘削損傷領域の調査のために検討した最適な観測点配置を適用した弾性波トモグラフィ*を実施しました（右図）。



*弾性波トモグラフィ：ある領域の周囲に発振点と受振器を設置し、発振点で人工的に振動（弾性波）を与え、その速度を計測することで、領域内の岩盤の損傷範囲などを確認する調査手法

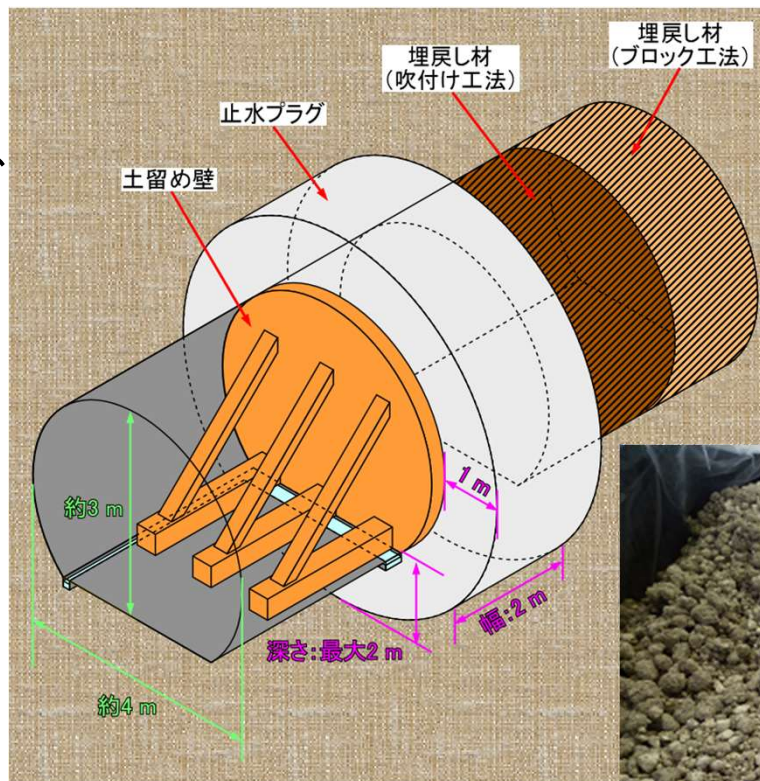
1-2 処分概念オプションの実証

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(2/7)

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

令和6年度の計画

- 搬送定置・回収技術の整備
 - 支保部材の経年変化などの整理、取りまとめ
- 閉鎖技術の実証
 - 掘削損傷領域の調査技術などの有効性や技術的な課題について取りまとめ
- 人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工の違いによる品質保証体系の構築
 - 品質保証の仕組みや考え方の体系的な整理、取りまとめ



止水プラグを用いた坑道閉鎖の施工イメージ



掘削土（ズリ）を用いた埋め戻し材

1-2 処分概念オプションの実証

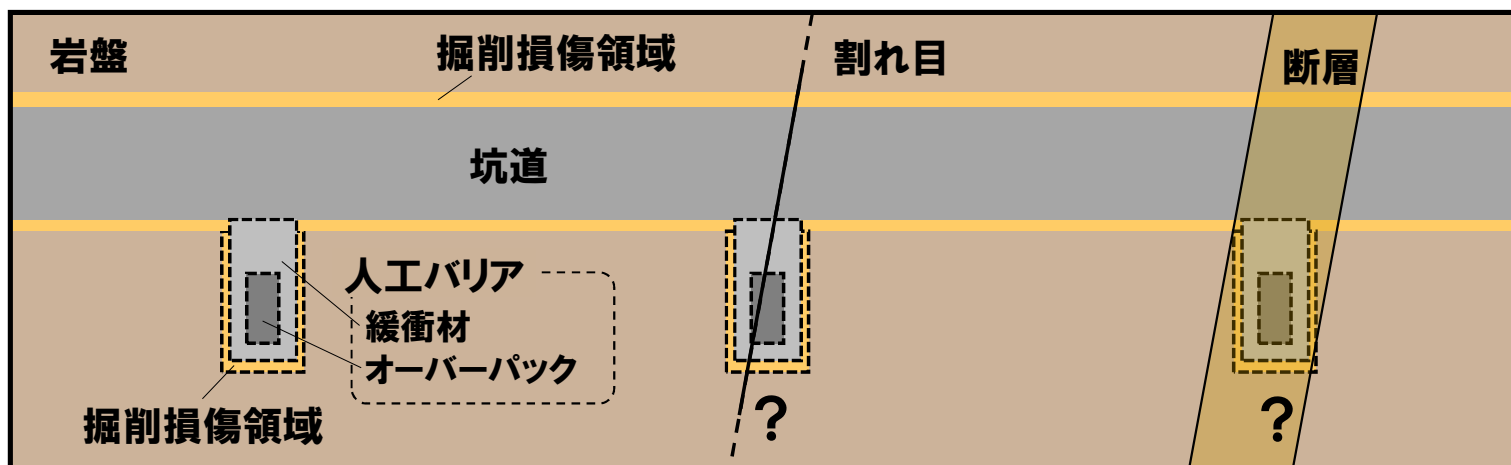
1)人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験(3/7)

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

研究開発の目的と令和10年度までの実施内容

人工バリアに要求される品質を踏まえた要素技術を体系的に適用し、
 廃棄体の設置方法（間隔など）の確認

- 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
- 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
- ③ 多接続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
- ④ 廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要なとなる情報の整理



人工バリアやそれを定置する坑道の周辺において想定される地質構造の特徴を示すイメージ図（鉛直断面）

1-2 処分概念オプションの実証

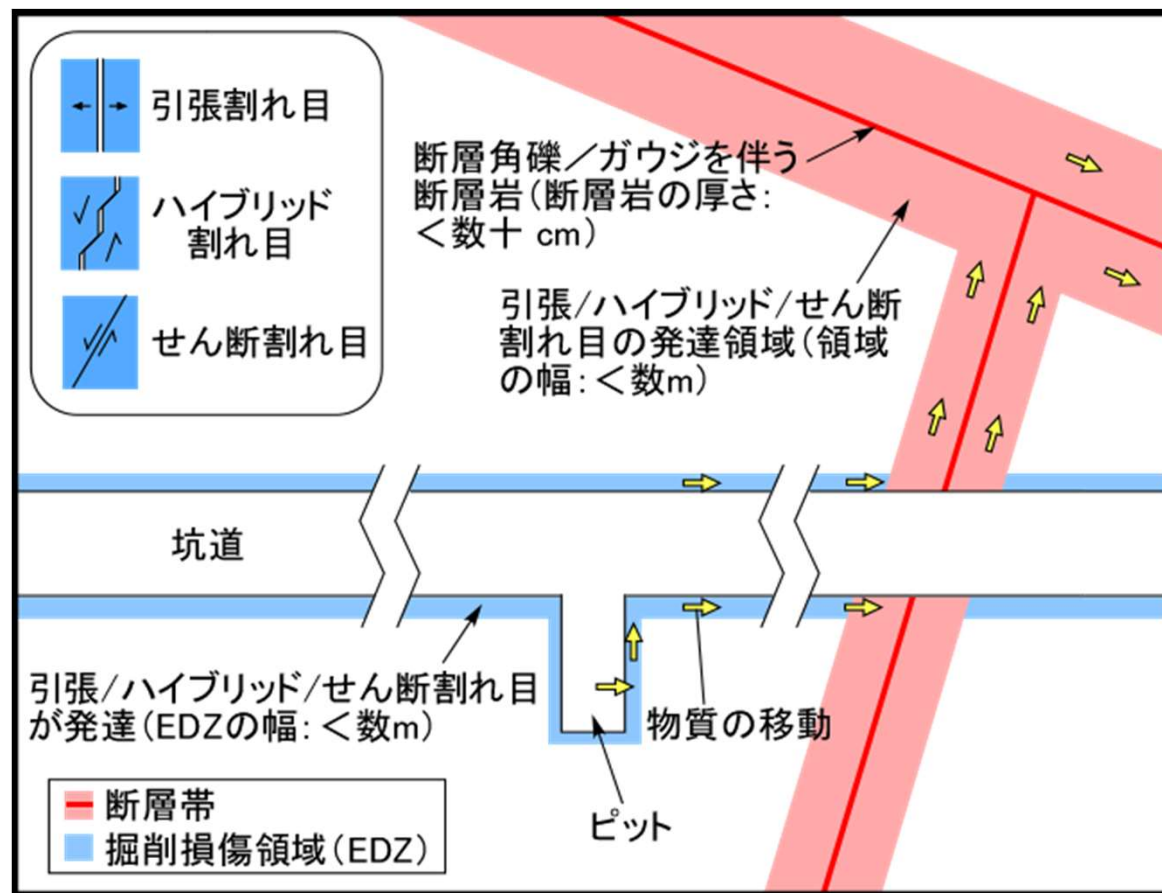
1)人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験(4/7)

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6年度の計画

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

- 物質移行試験の結果などを踏まえ、人工バリアや岩盤の閉じ込め性能に影響を及ぼすピット周辺の水みちの地下水の流れや物質の移行特性に関わる評価手法などの整理を進めます。



ピット周辺の水みちの水理特性や物質の移行特性の評価のイメージ図 (鉛直断面)

1-2 処分概念オプションの実証

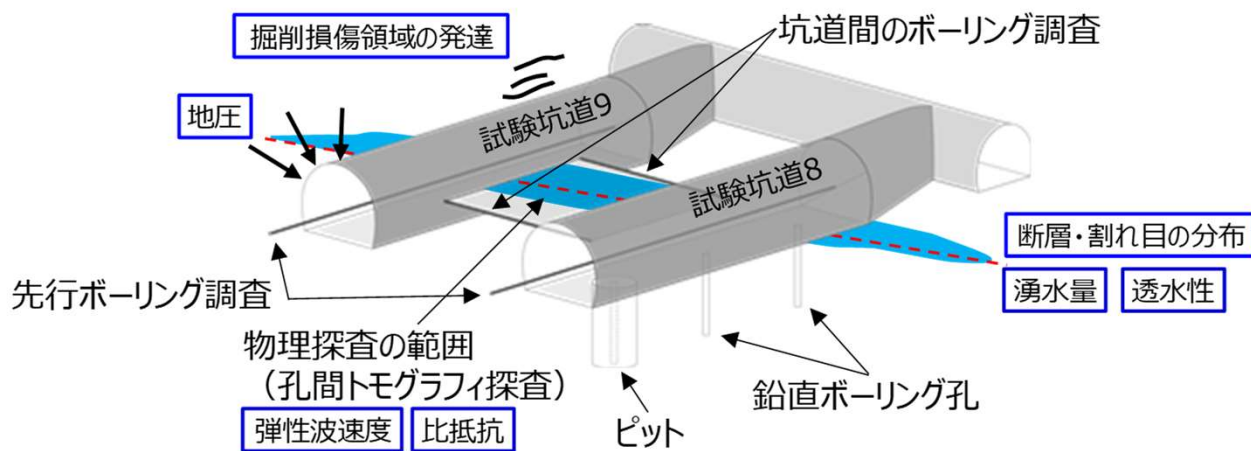
1)人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験(5/7)

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

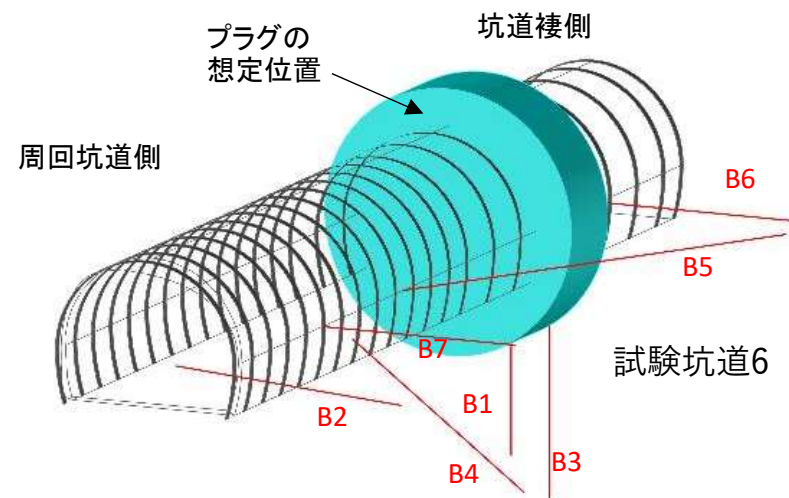
令和6年度の計画

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

- 坑道などへの湧水量や掘削損傷領域の発達範囲の予測解析の実施、500m調査坑道で取得すべきデータの検討
- 坑道の埋め戻しや止水プラグの設計に必要な試験坑道6周辺の掘削損傷領域の広がりなどの調査、埋め戻しや止水プラグの材料特性を把握するための試験の実施



500m調査坑道における原位置調査のイメージ図



試験坑道6周辺のボーリング孔配置

1-2 処分概念オプションの実証

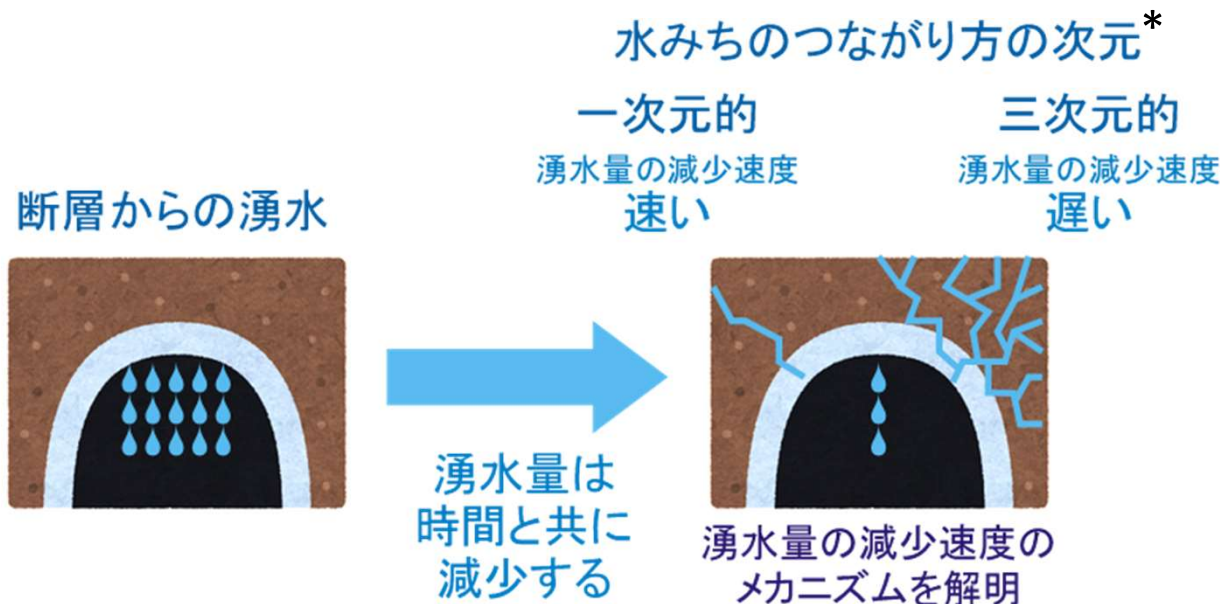
1)人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験(6/7)

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6年度の計画

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

- 深度500mに向けた掘削過程で得られるデータを用いた、湧水量やその減少速度の予測手法と湧水抑制対策への反映方法の整備



湧水量の減少速度を支配するメカニズムを表す概念図

*水みちのつながり方の次元：地下水の通り道となる隙間同士のつながり具合を表す指標

1-2 処分概念オプションの実証

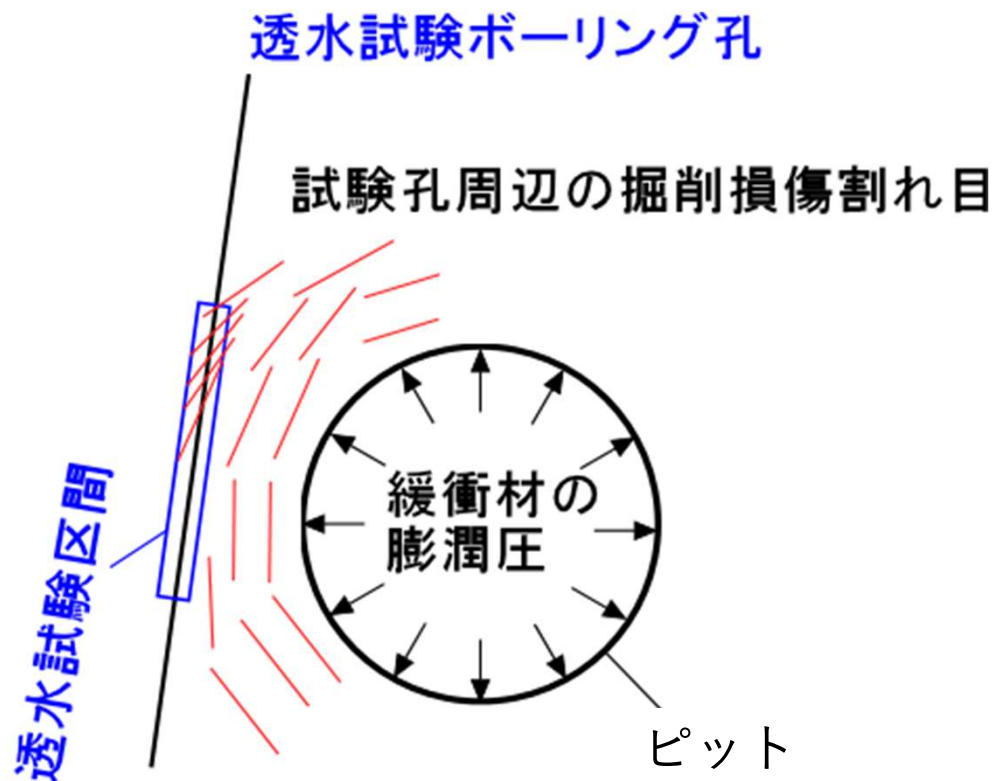
1)人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験(7/7)

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6年度の計画（続き）

④廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要な情報の整理

- ピット周辺に存在する割れ目の開きにくさやピット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



1-2 処分概念オプションの実証

2) 高温度(100°C以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験

研究開発の目的と令和10年度までの実施内容

想定外の要因により緩衝材温度が100°Cを超えた場合の挙動の確認

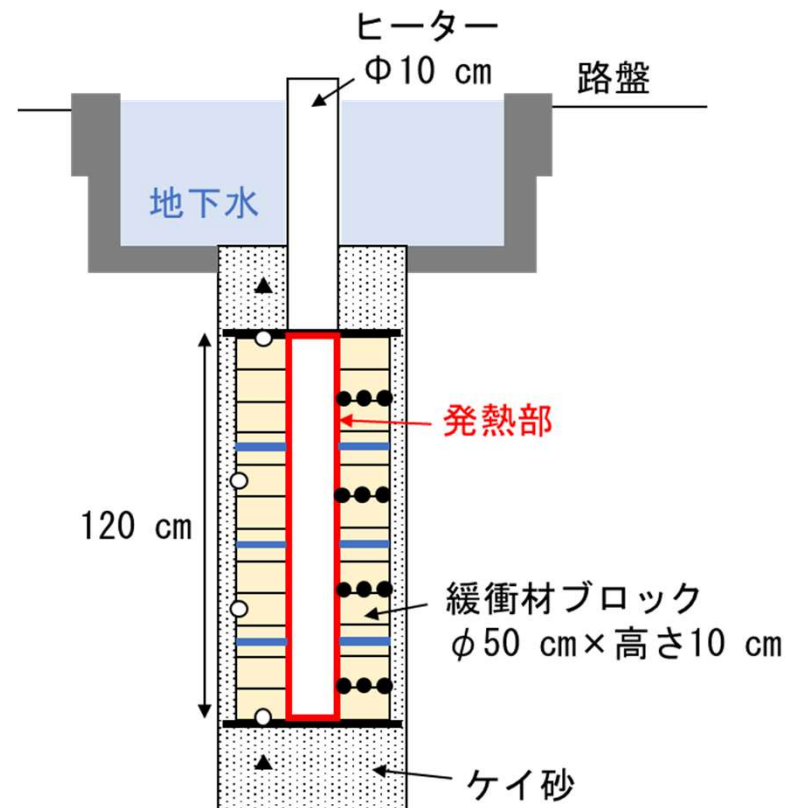
- 100°C超になった際に人工バリアとその周辺岩盤において発生する現象を整理し、人工バリアとその周辺岩盤における上限温度設定の考え方を提示

令和5年度の実施内容と成果

- 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2組設置し、原位置試験を開始しました。

令和6年度の計画

- 高温条件下での原位置試験の継続（孔内の温度や水分分布などのモニタリング）
- ひと組の試験系の解体、100°Cを超える熱履歴を経た緩衝材の特性を確認する試験・分析の実施
- 緩衝材に浸潤させる水の組成などの条件を変えた室内試験の実施



- 熱電対（温度）
- ▲ 間隙水圧計（水圧）
- 土圧計（全応力）
- 比抵抗測定電極（比抵抗→水分分布）

センサーの配置（断面図）

高温条件下での原位置試験：試験体設置の様子



1-3 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(1/3)

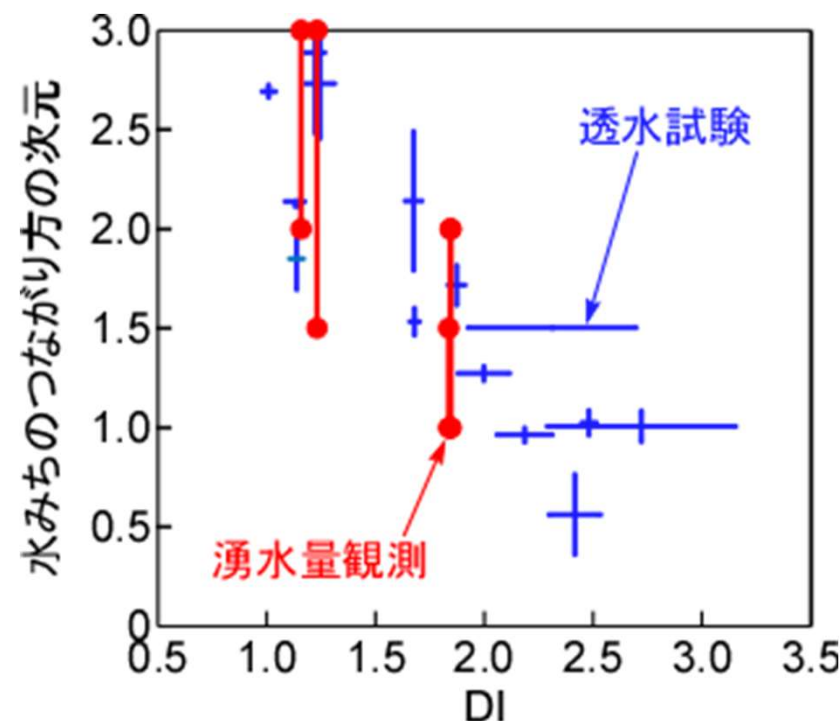
地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

研究開発の目的と令和10年度までの実施内容

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

令和5年度の実施内容と成果

- ダクティリティインデックス (DI) *と断層/割れ目の水理的連結性の関係を検討した結果、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りました。



稚内層中の断層内の水みちのつながり方の次元とDIの関係

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

1-3 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(2/3)

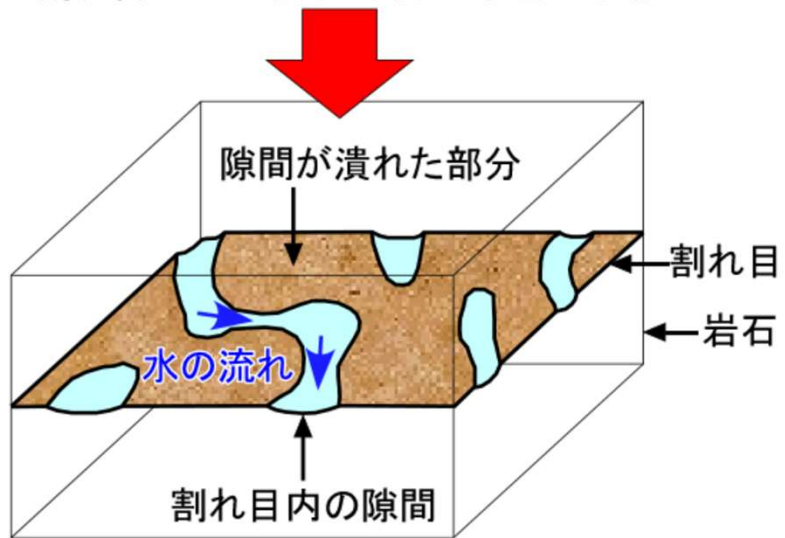
地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

令和6年度の計画

- 断層/割れ目の水理学的連結性とDIの関係や断層の力学的な安定性に関する検討
- これまでの成果の取りまとめ

DIが大きい

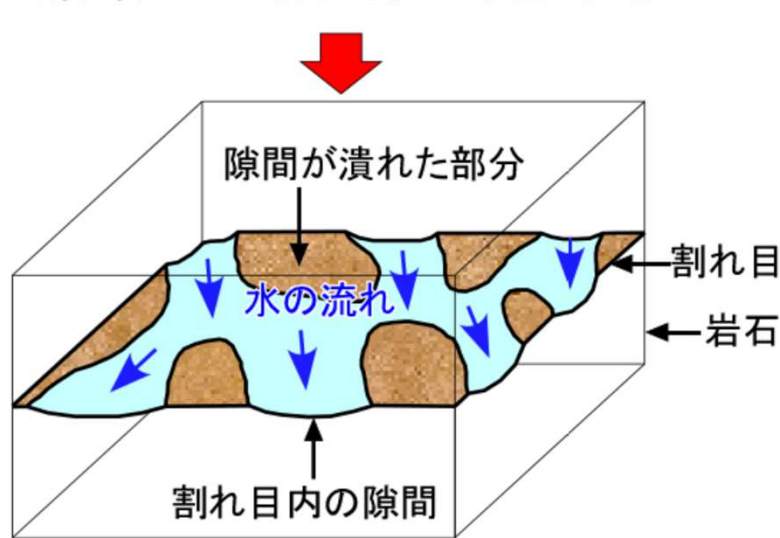
岩石の硬さに対して割れ目にかかる力が大きい
or 割れ目にかかる力に対して水圧が小さい



水理学的連結性が低い
割れ目内の隙間が潰れて、水が流れにくい

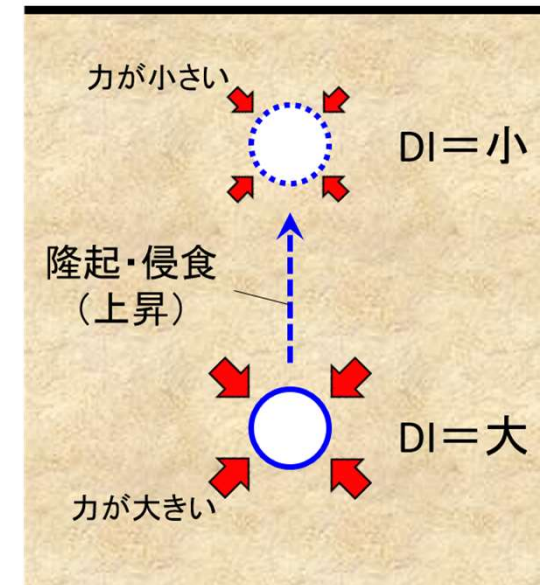
DIが小さい

岩石の硬さに対して岩石にかかる力が小さい
or 割れ目にかかる力に対して水圧が大きい



水理学的連結性が高い
割れ目内に隙間が多く、水が流れやすい

地面



隆起侵食に伴う
DIの減少

DIと割れ目の水理学的連結性の関係

1-3 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(3/3)

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

研究開発の目的と令和10年度までの実施内容

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の構築

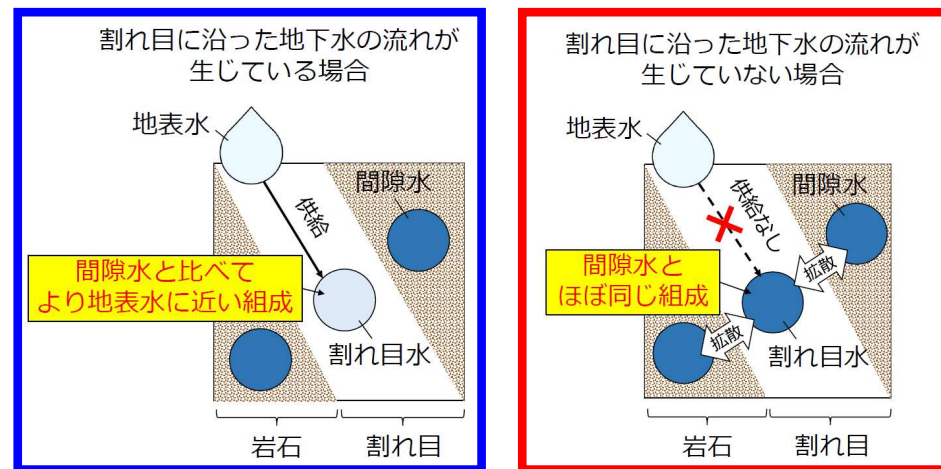
- 化石海水の分布領域の調査・評価技術の高度化
- 地下水の滞留時間、塩濃度分布を推測するための水理解析、物質移動解析

令和5年度の実施内容と成果

- これまでの成果を踏まえた調査手順の整理を行い、データの一部を研究開発報告書として公表するとともに、地下水の水質や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ました。

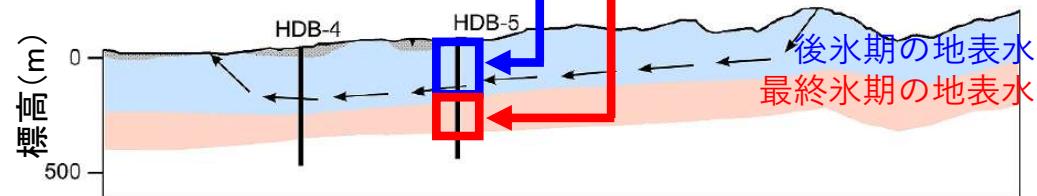
令和6年度の計画

- 取りまとめを継続



割れ目の水が後氷期の地表水で特徴付けられる

割れ目の水が氷期の地表水で特徴付けられる



地表水の浸透領域の浅部：後氷期の天水が流動

地表水の浸透領域の深部：最終氷期の天水が滞留

地下水の水質や年代を利用した地下水流動の評価手法

令和5年度の実施内容と成果 および令和6年度の計画

1

令和2年度以降の必須の課題

- 1-1 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
- 1-2 処分概念オプションの実証
- 1-3 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

2

- 2-1 地下施設の建設・維持管理
- 2-2 環境調査、安全確保の取り組み
- 2-3 開かれた研究

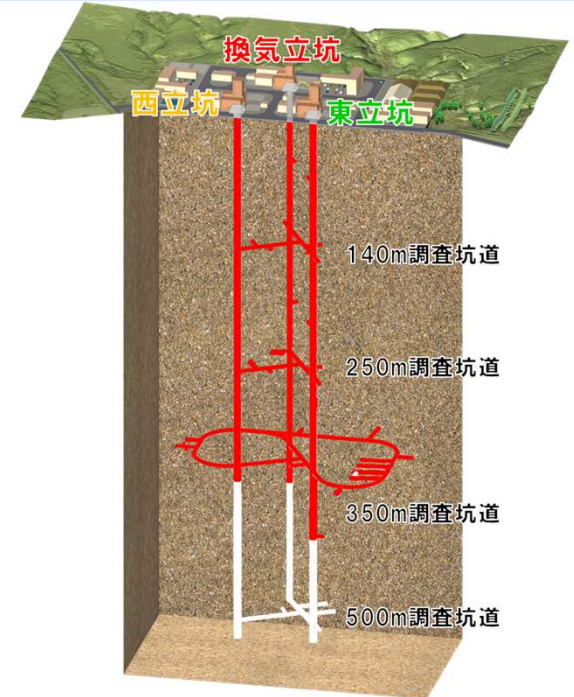
3

その他

2-1 地下施設の建設・維持管理

令和5年度の実績（令和6年3月末現在）

- 350m調査坑道の拡張を完了（R6.1.31）
 - 試験坑道6：25m
 - 試験坑道7：28m
 - 350m東立坑側第1ボーリング横坑：13m
- 立坑掘削状況
 - 東立坑（R5.9.29掘削開始）：深度424m/515m
 - 換気立坑（R6.2.12掘削開始）：深度393m/500m



— 施工済み範囲（令和6年3月末現在）
地下施設イメージ図



試験坑道7掘削状況



東立坑掘削状況



東立坑側第1ボーリング横坑

換気立坑の掘削の様子(深度394m)



2-1 地下施設の建設・維持管理

令和6年度の計画

- 換気立坑および東立坑の掘削を継続
- 湧水抑制対策実施後、西立坑および500m調査坑道の掘削を開始
- 防爆仕様の機器の採用、ガス濃度の監視などによる防爆対策の実施
- 坑道掘削により発生した掘削土（ズリ）の搬出、有害物質の含有量などを定期的に確認
- 地下施設からの排水は、排水処理を行い天塩川に放流
- 掘削の進捗状況はホームページなどを利用して適宜情報を発信

掘削工事のスケジュール（令和6年度）

	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	湧水抑制対策			準備 掘削
500m調査坑道			準備 掘削	

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。

2-2 環境調査、安全確保の取り組み

環境調査

- 地下施設からの排水等の水質調査
- 水質・魚類に関する調査
を継続



水質調査の様子（天塩川）

安全確保の取り組み

- 安全教育の実施
- 定期的な安全パトロールの実施
- 訓練の実施
などを継続



安全パトロールの様子

2-3 開かれた研究

- 国内機関との研究協力

東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、幌延地圏環境研究所、電力中央研究所、原子力規制庁など

- 国外機関との研究協力

幌延国際共同プロジェクト、Clay Club、環太平洋地域における地下研究施設を活用した国際協力など



韓国使用済核燃料研究所および韓国原子力研究所との意見交換



原子力国際人材育成イニシアチブ事業への協力
(地下での実習の様子)

2-3 開かれた研究

幌延国際共同プロジェクト*

令和5年度の実績

- 管理委員会

- 第1回管理委員会 (R5.4.11-12、パリ郊外)
- 第1回中間管理委員会 (R5.11.15 : Web)
- 第2回管理委員会 (R6.3.6 : Web)

- 現地タスク会合

- タスクA : CRIEPI・NUMO (R5.9.6)、NUMO (R5.12.18-19)
- タスクB : KAERI (R5.10.13)、NUMO (R5.11.1-2)

※Webでのタスク会合は適宜実施



第1回管理委員会



タスクA現地会合



タスクB現地会合

* 幌延国際共同プロジェクトの実施内容は、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」の範囲内であり、令和10年度末までを限度として実施します。

* 幌延国際共同プロジェクトは、「幌延町における深地層の研究に関する協定書」の遵守を大前提に進めます。

2-3 開かれた研究

幌延国際共同プロジェクト

令和6年度の計画

- **タスクA：物質移行試験**

声問層を対象とした物質移行モデルの構築に必要な走向傾斜や透水性、割れ目同士の連結性に関する情報を整理するとともに、トレーサー試験などを実施します。

- **タスクB：処分技術の実証と体系化**

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、500m調査坑道で実施する原位置調査で取得すべきデータの検討を行います。

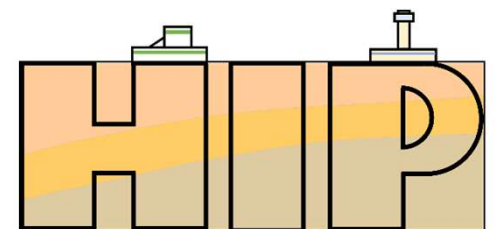
廃棄体・人工バリアの定置、坑道の閉鎖、廃棄体の回収など、一連の操業技術の実証に向けて、埋め戻し材や止水プラグの材料特性の検討などを行います。

- **タスクC：実規模の人工バリアシステム解体試験**

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、解体調査の具体化に取り組みます。

- 上記の他、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ことを目的としたタスク会合を実施

- 活動状況や参加機関が地下施設を訪問した場合の対応状況などについてホームページで適宜、情報を発信



令和5年度の実施内容と成果 および令和6年度の計画

1

令和2年度以降の必須の課題

- 1-1 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
- 1-2 処分概念オプションの実証
- 1-3 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

2

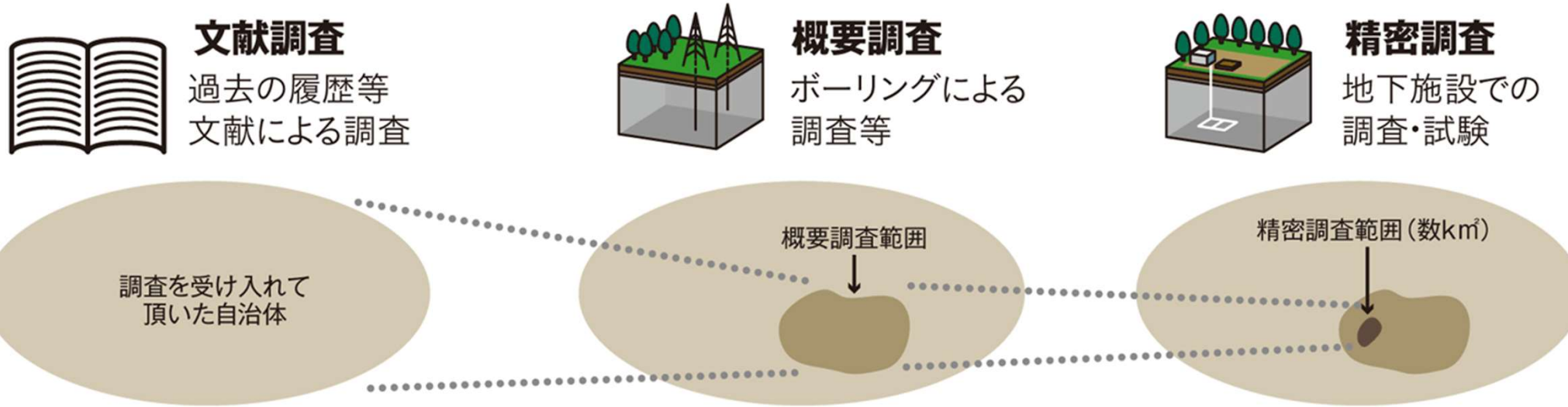
- 2-1 地下施設の建設・維持管理
- 2-2 環境調査、安全確保の取り組み
- 2-3 開かれた研究

3

その他

3 その他：処分場の選定プロセスと幌延深地層研究センターの関係

- 処分場の選定プロセスは「法律」によって定められています。
「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律(平成12年法律第117号)」
- 幌延深地層研究センターでは、処分場の選定プロセスにおける概要調査と精密調査で用いられる技術について、信頼性の向上を図るという目的のために研究を行っています。
- 「幌延深地層研究センターがなし崩し的に処分場になるのではないか」という懸念や不安のご意見がありますが、**法律に基づくプロセスを経ずに処分場とすることはできません。また、処分場としないことを定めた三者協定を道および町と締結しています。**



処分場の選定プロセス

平成12年11月：科学技術庁原子力局長立会いの下、サイクル機構と北海道及び幌延町との間で「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

- 第2条：丙は、研究実施区域に、研究期間中はもとより研究終了後においても、放射性廃棄物を持ち込むことや使用することはしない。
- 第3条：丙は、深地層の研究所を放射性廃棄物の最終処分を行う実施主体へ譲渡し、又は貸与しない。
- 第4条：丙は、深地層の研究終了後は、地上の研究施設を閉鎖し、地下施設を埋め戻すものとする。
- 第5条：丙は、当該研究実施区域を将来とも放射性廃棄物の最終処分場とせず、幌延町に放射性廃棄物の中間貯蔵施設を将来とも設置しない。
- 第6条：丙は、積極的に情報公開に努めるものとする。
- 第7条：丙は、計画の内容を変更する場合には、事前に甲及び乙と協議するものとする。

※丙：日本原子力研究開発機構(締結当時は、核燃料サイクル開発機構)

3 その他:【参考】地震が起きた際の地下への影響

地下は地表より地震の揺れが小さく影響が少ない

○ 地下の揺れは？

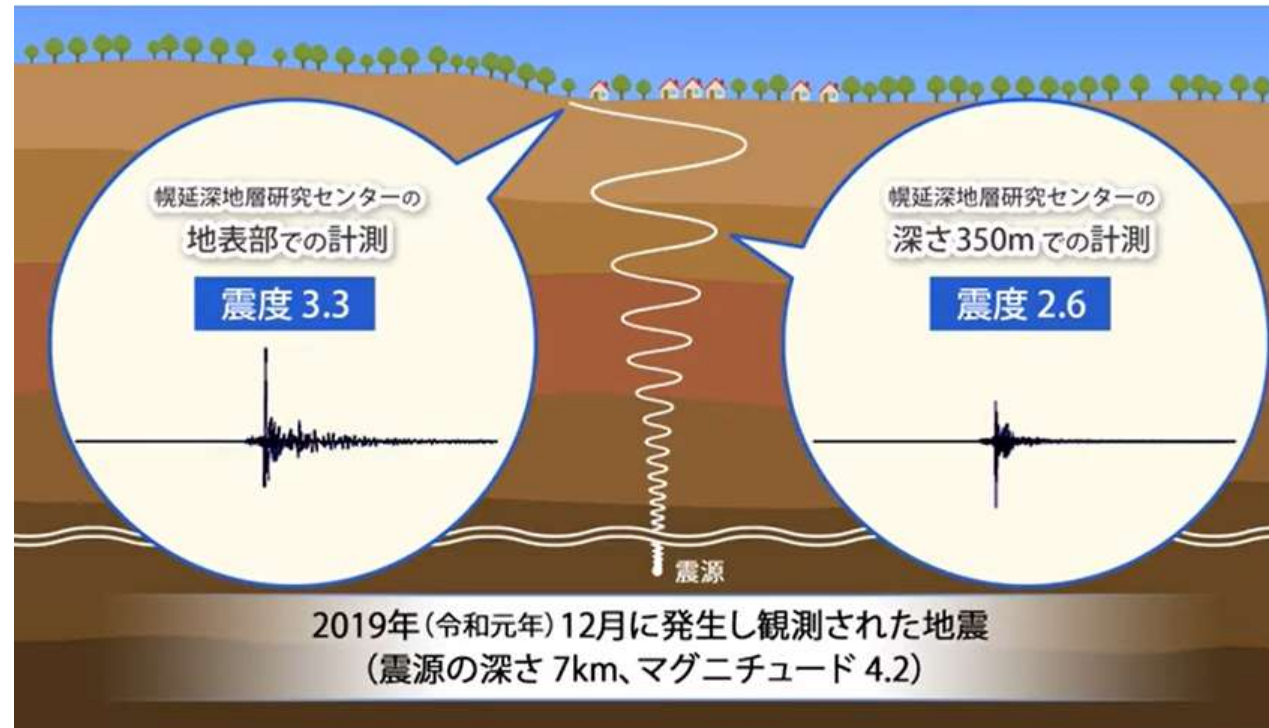
- ・地表の1/3~1/5と小さい
- ・幌延の観測結果でも確認

○ 処分場を閉鎖した後は？

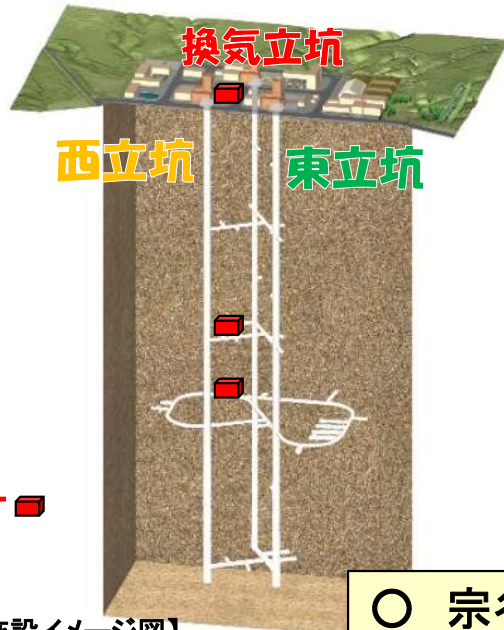
- ・岩盤と人工バリアと一緒に揺れる
- ・破壊される可能性は非常に低い

○ 幌延深地層研究センターでは？

- ・地表と地下施設に地震計を設置・観測
- ・地下施設の耐震安定性評価の信頼性向上



地震計による観測結果(波形データ)



【地下施設イメージ図】

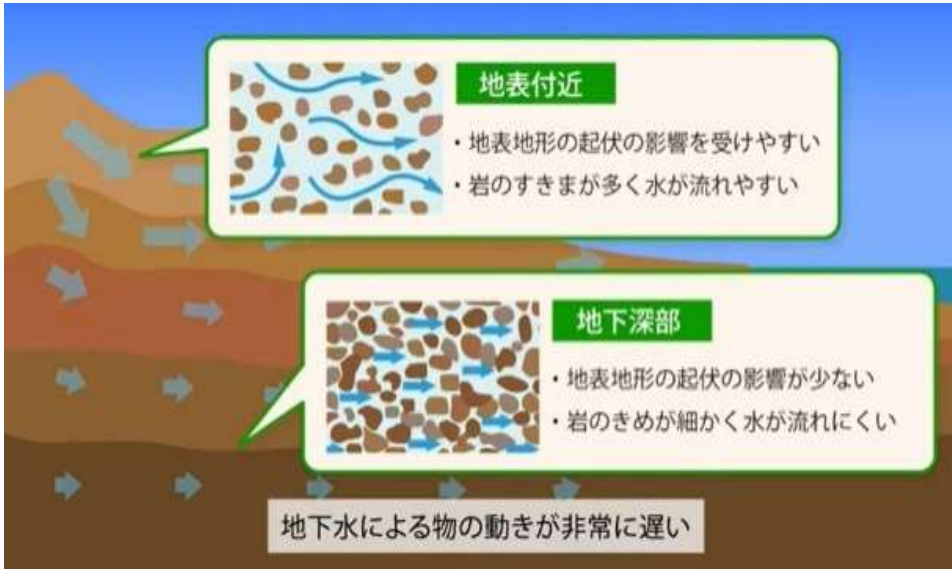
地下施設は十分な耐震安全性を確保

○ 宗谷地方での地震で地下施設は？

- ・宗谷丘陵の西側にサロベツ断層帯が存在、そこで地震が発生すると震度6弱程度と想定
- ・幌延深地層研究センターの地下施設に与える影響を評価、十分な耐震安全性を確保

3 その他:【参考】地下での地下水の動き

地層処分の対象となる**深度300mより深いところでは、地下水の流れが非常に遅い**ことが知られています。地層処分の長期安全性を評価するためには、放射性物質が地下水の流れに乗って移動することを想定し、**地下での地下水の流れを把握することが重要**となります。

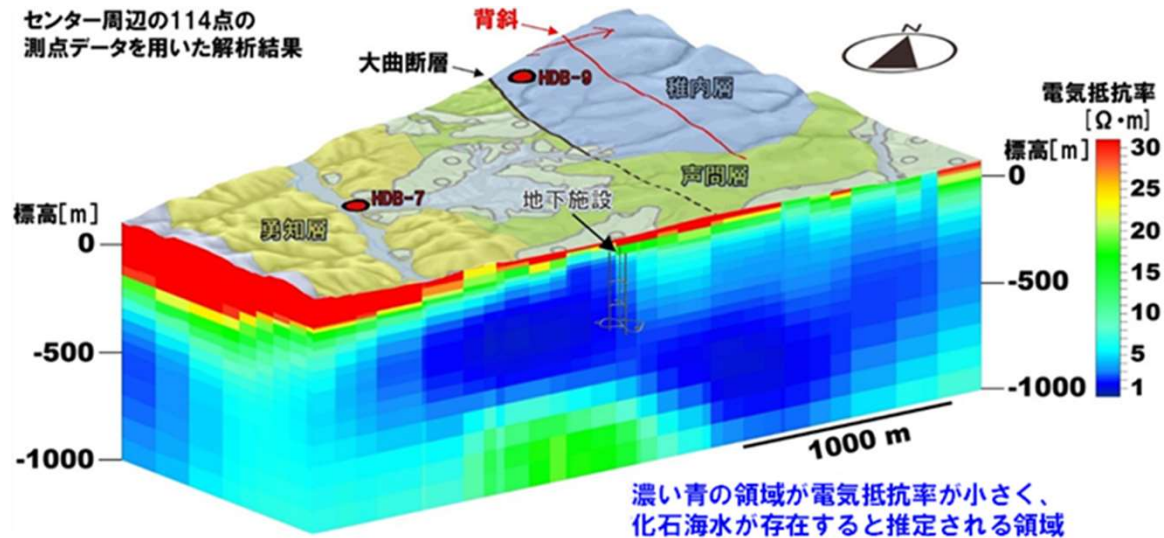


地表付近と地下深部での地下水の流れイメージ図




化石海水 (100万年より古い地下水)

- 幌延深地層研究センターでは、
- 地下深部の地下水の性質・起源・年代を調べる方法の研究
 - 地下水の流れが遅い場所を把握するための研究
- などを行っています。



電磁探査によりセンター周辺における電気抵抗率を測定し、化石海水の三次元分布を推定

A person wearing a dark winter jacket, pants, and a blue helmet is seen from behind, skiing on a vast, snow-covered field. The skier is using two black poles. The background features several bare trees and a clear blue sky. The scene is brightly lit, suggesting a sunny day.

ご清聴ありがとうございました。