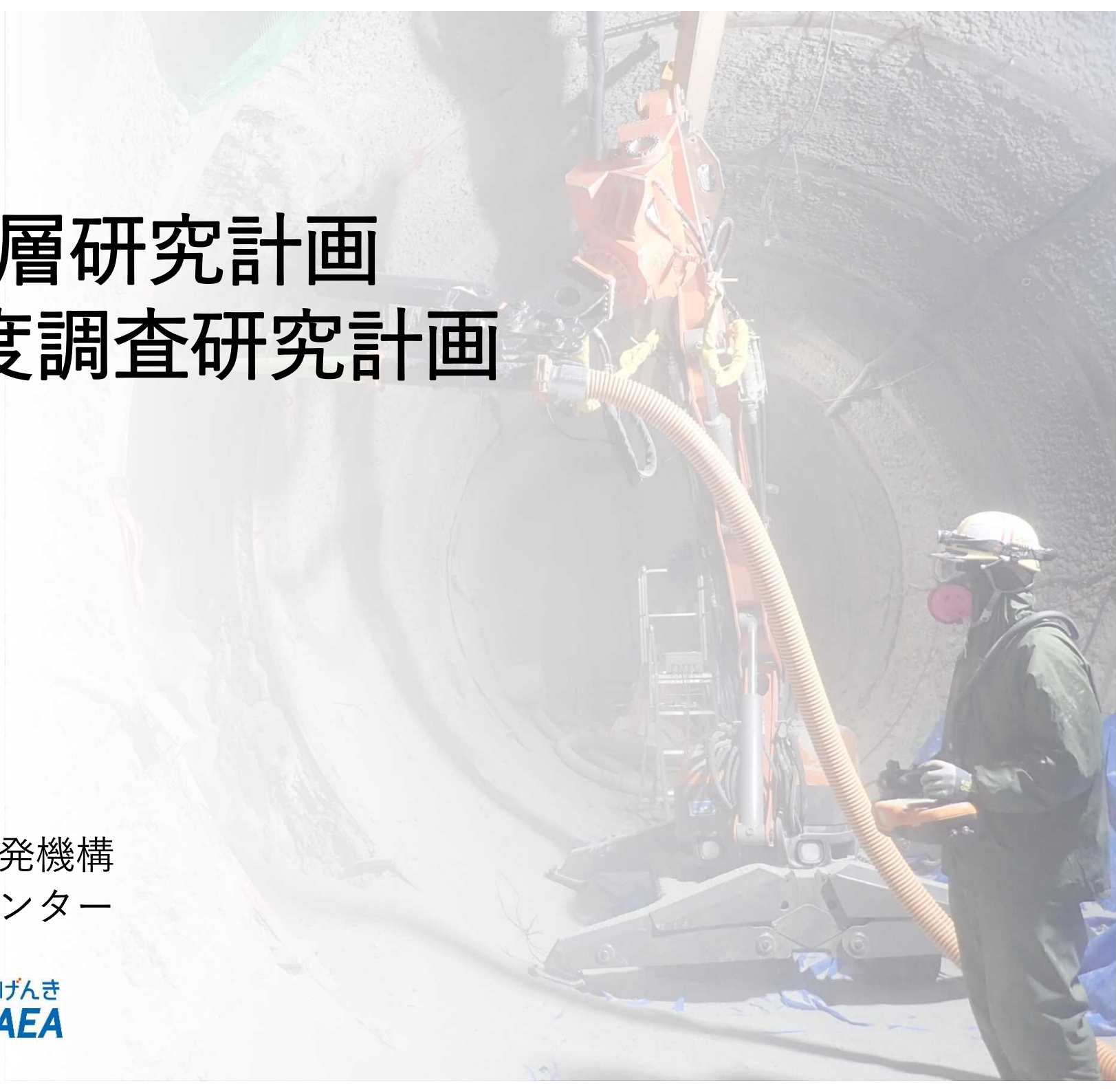


幌延深地層研究計画 令和4年度調査研究計画

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



幌延深地層研究計画

令和4年度調査研究計画

- 1 令和3年度の実施内容と成果および令和4年度の計画
 - 研究開発について
 - 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 環境・安全管理
 - 2-2 開かれた研究

幌延深地層研究計画 令和4年度調査研究計画

1 令和3年度の実施内容と成果および令和4年度の計画

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)などの限界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

1) 人工バリア性能確認試験(1/3)

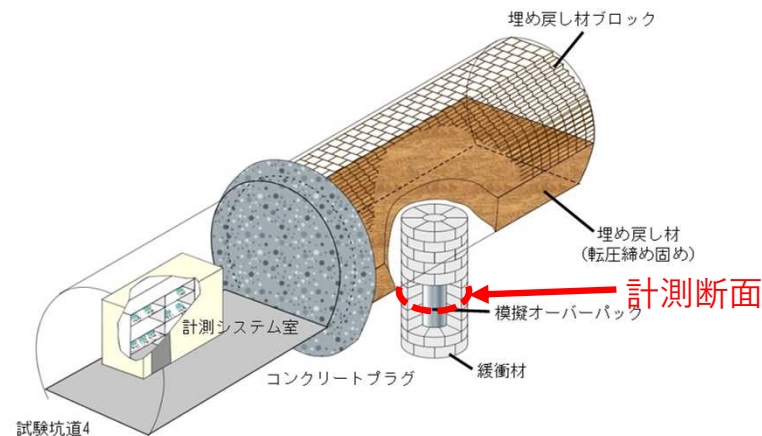
研究開発の目的と令和10年度までの実施内容

人工バリア周辺で起こる現象の理解

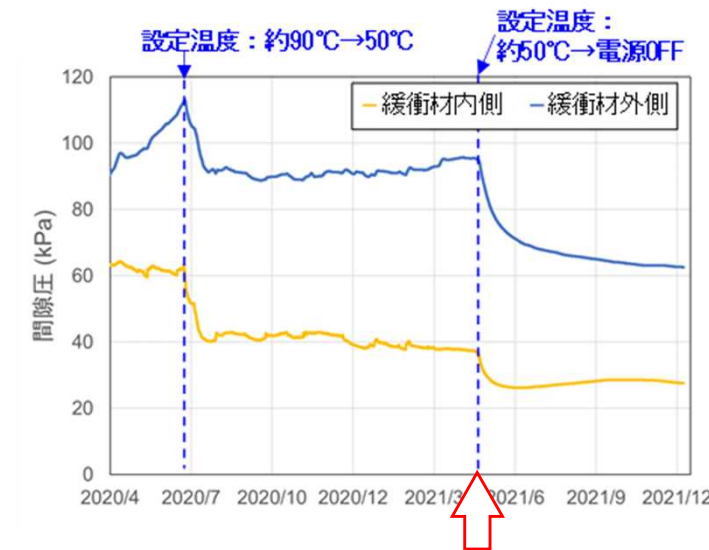
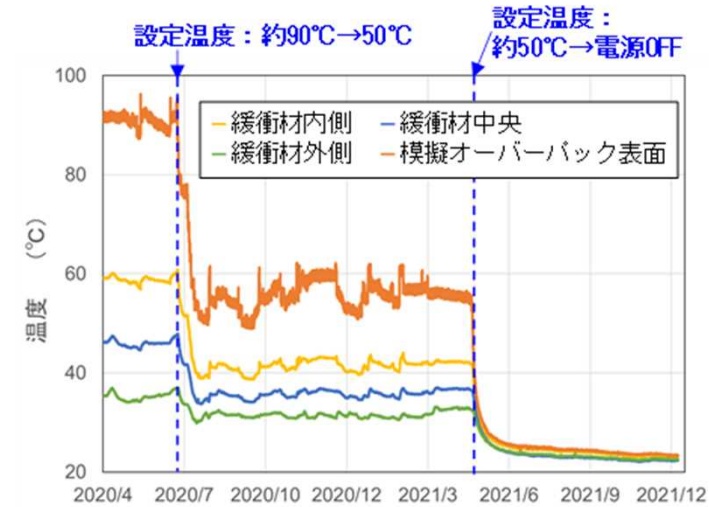
- 緩衝材に地下水を浸潤させた場合のデータ（浸潤時・減熱時）を取得し、熱-水-応力-化学連成評価手法を整備
- 人工バリアの解体作業により緩衝材の飽和度を確認

令和3年度の実施内容と成果

- 人工バリア性能確認試験ではヒーター加熱を止め、緩衝材中の温度や間隙圧の変化を観察しました（右図）。
- 緩衝材の浸潤・膨潤・変形試験結果を国際共同研究（DECOVALEX）で共同解析・比較することで、膨潤圧や変形量の解析結果の違いなどの各国の解析方法の課題を確認しました。



人工バリア性能確認試験の概念図

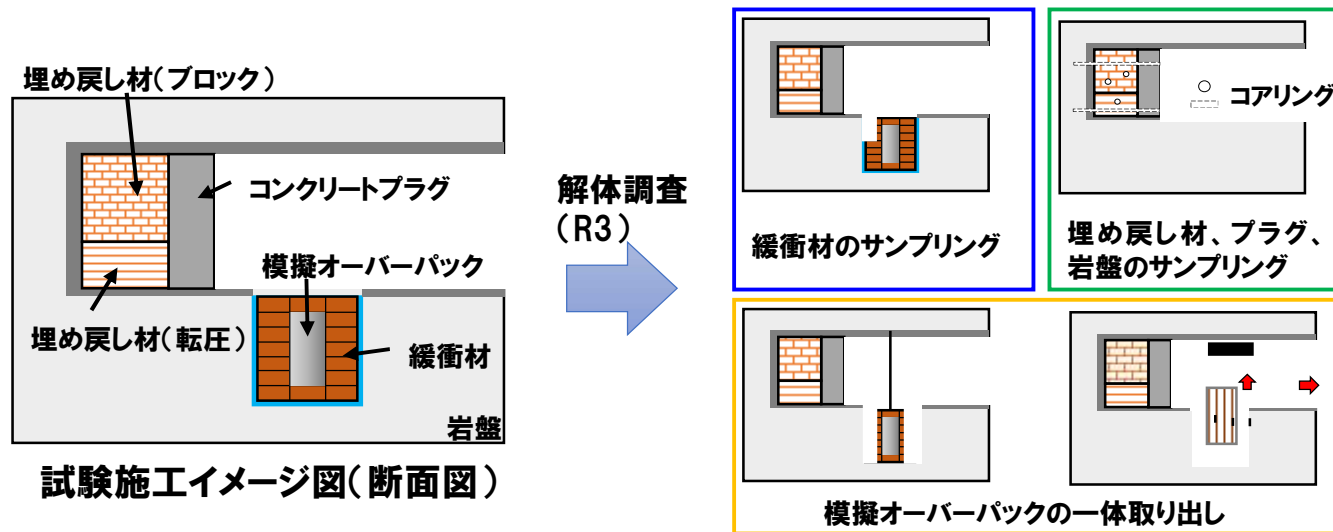


加熱を停止すると、緩衝材中の間隙圧が低下

1)人工バリア性能確認試験(2/3)

令和3年度の実施内容と成果

人工バリア性能確認試験の解体調査に先立ち、別の坑道に人工バリアを設置して緩衝材や埋め戻し材の解体を行いました。その結果、それぞれの材料の解体手法、材料間の境界部を一体的に取り出す手法などの有効性を確認できました。

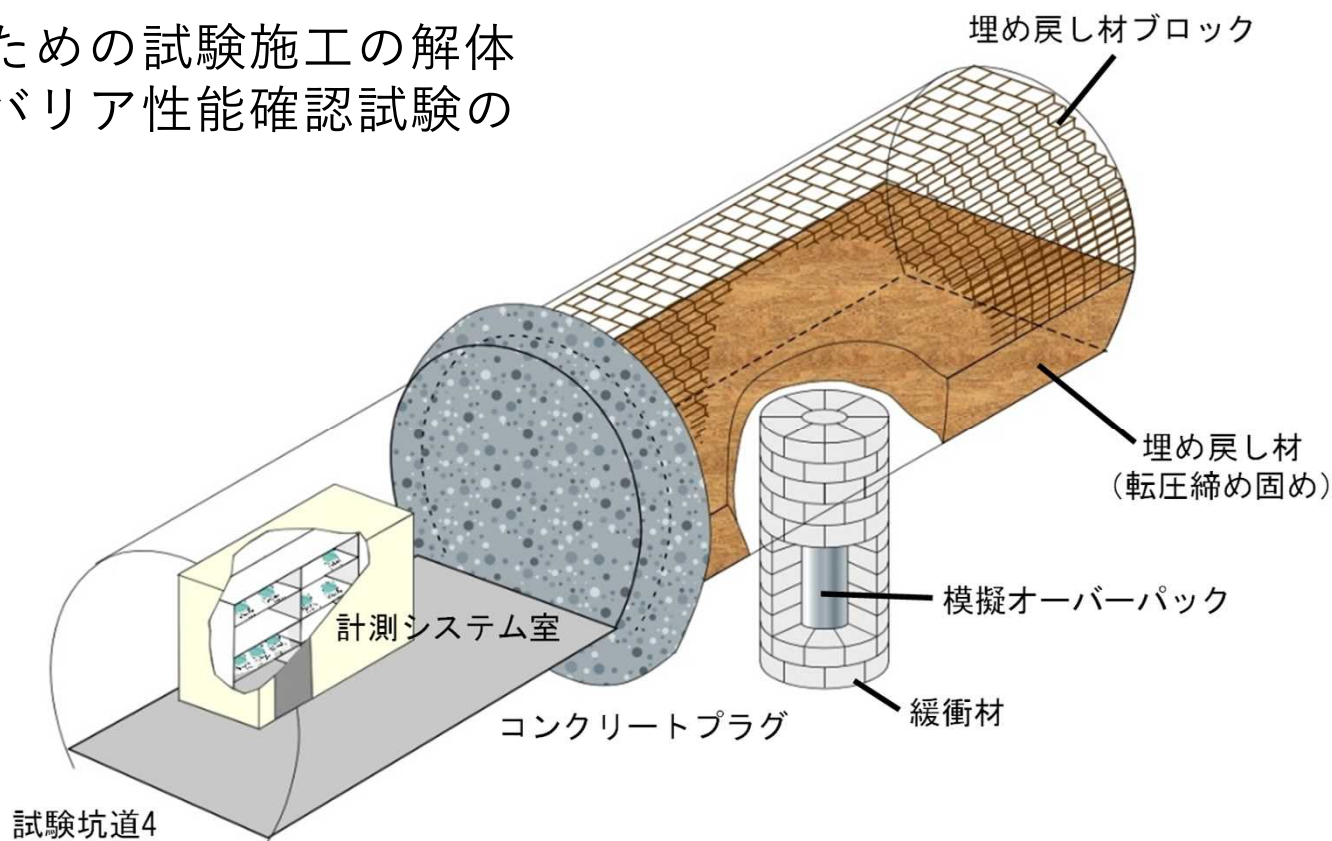


埋め戻し材、吹付けコンクリート、岩盤界面サンプリング後の試料

1)人工バリア性能確認試験(3/3)

令和4年度の計画

- 廃棄体の発熱がおさまった状態を模擬した条件で、人工バリア性能確認試験を継続します。
- 国際共同研究（DECOVALEX）で解析結果の比較検証を開始します。
- 人工バリアの試験体を取り出すための試験施工の解体調査結果を整理し、実際の人工バリア性能確認試験の解体調査計画の検討を行います。



人工バリア性能確認試験の概念図

2) 物質移行試験(1/2)

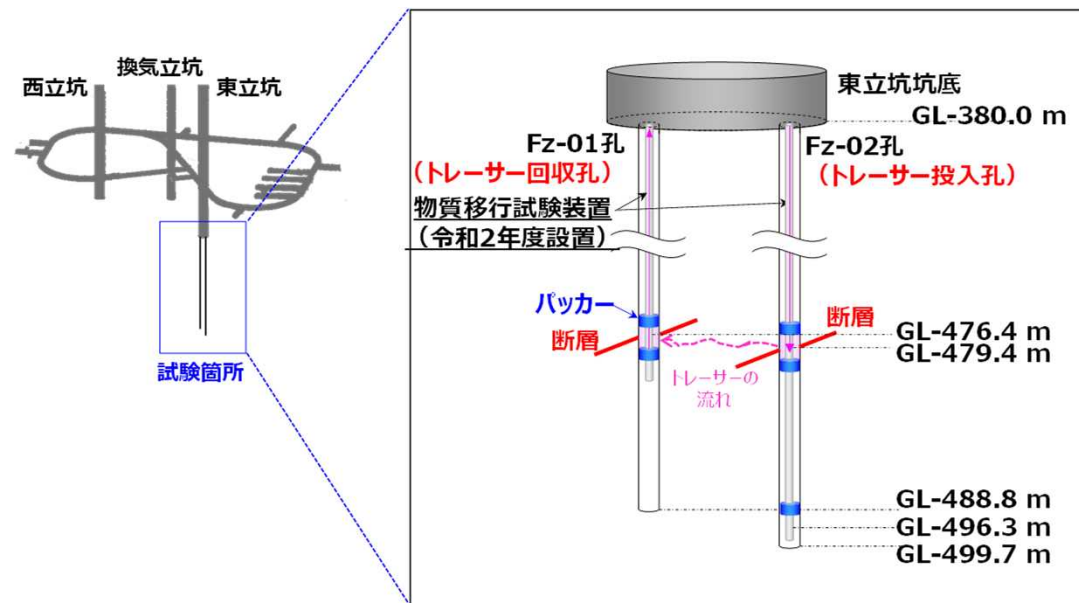
研究開発の目的と令和10年度までの実施内容

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
- 掘削損傷領域、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を整備

令和3年度の実施内容と成果

- 掘削損傷領域でのトレーサー試験を行い、物質移行特性を評価するためのデータを取得しました。
- 有機物や微生物、コロイドを対象とした原位置試験の準備作業を実施しました。
- ブロックスケールの物質移行試験を実施しました。トレーサー濃度は非常に低く、割れ目の連続性が乏しいなど、稚内層深部の物質移行概念モデルの検討に有益な情報を取得しました。

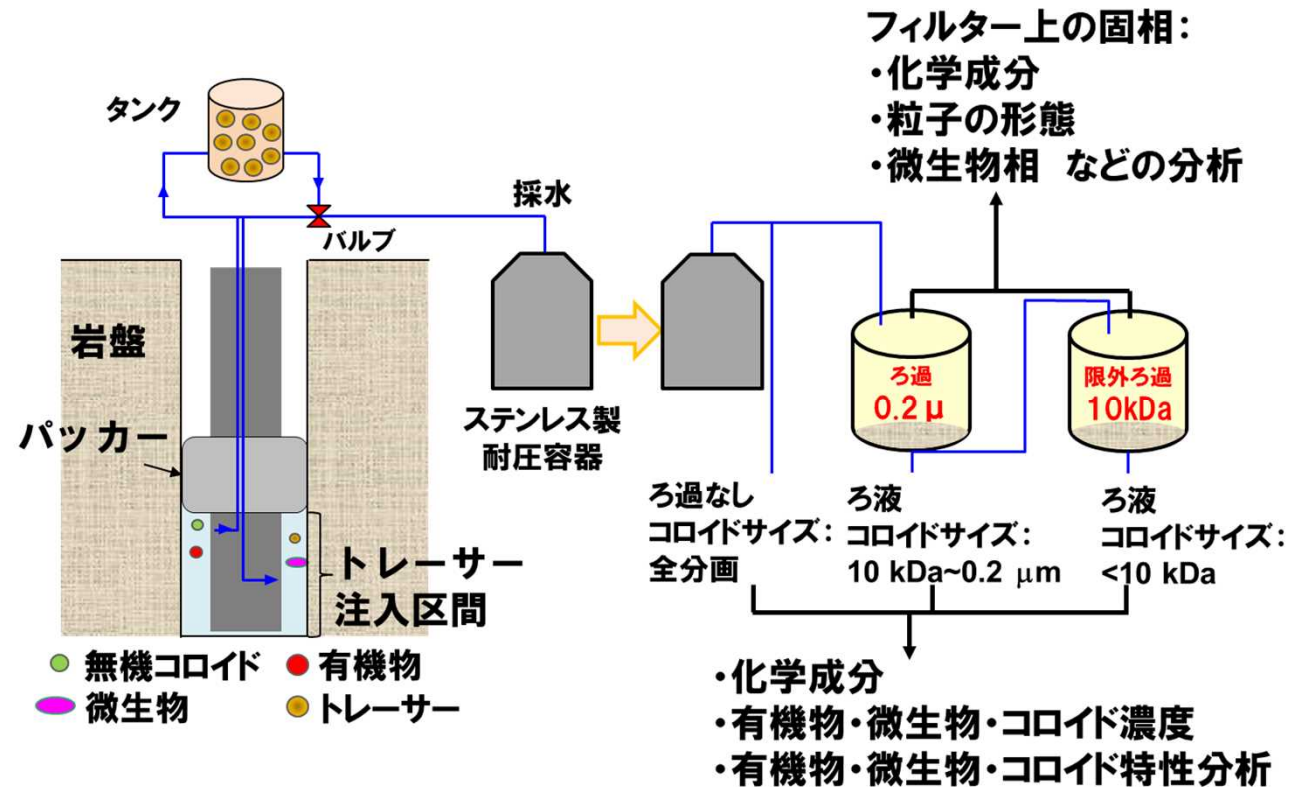


ブロックスケールの物質移行試験

2) 物質移行試験(2/2)

令和4年度の計画

- トレーサー試験結果をもとに掘削損傷領域での物質移行の評価方法を検討します。
- 有機物・微生物・コロイドが物質の動きに与える影響を確認する原位置試験（右図）を開始します。
- ブロックスケールの物質移行評価手法を構築するため、声問層の割れ目を評価するためのボーリング調査を開始します。



有機物・微生物・コロイドの影響を考慮した物質移行試験の概念図

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(1/2)

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3年度の実施内容と成果

- コンクリート材料を大気や地下水中に定置して、経年劣化を把握する暴露試験を継続した結果、地下水中ではコンクリート構造物の劣化原因となる中性化領域がごくわずかであることを確認しました。
- 止水プラグ用のベントナイト吹付けの工学規模試験（写真）を実施し、吹付け手順や材料管理方法を確認するとともに、吹付け後のベントナイトの乾燥密度に生じるばらつきを整理しました。
- 湧水のある条件での緩衝材の長期的な流出挙動を確認するため、試験孔に緩衝材を設置し、緩衝材流出量、膨潤圧、水圧などの計測を開始しました。



ベントナイト吹付けの工学規模試験

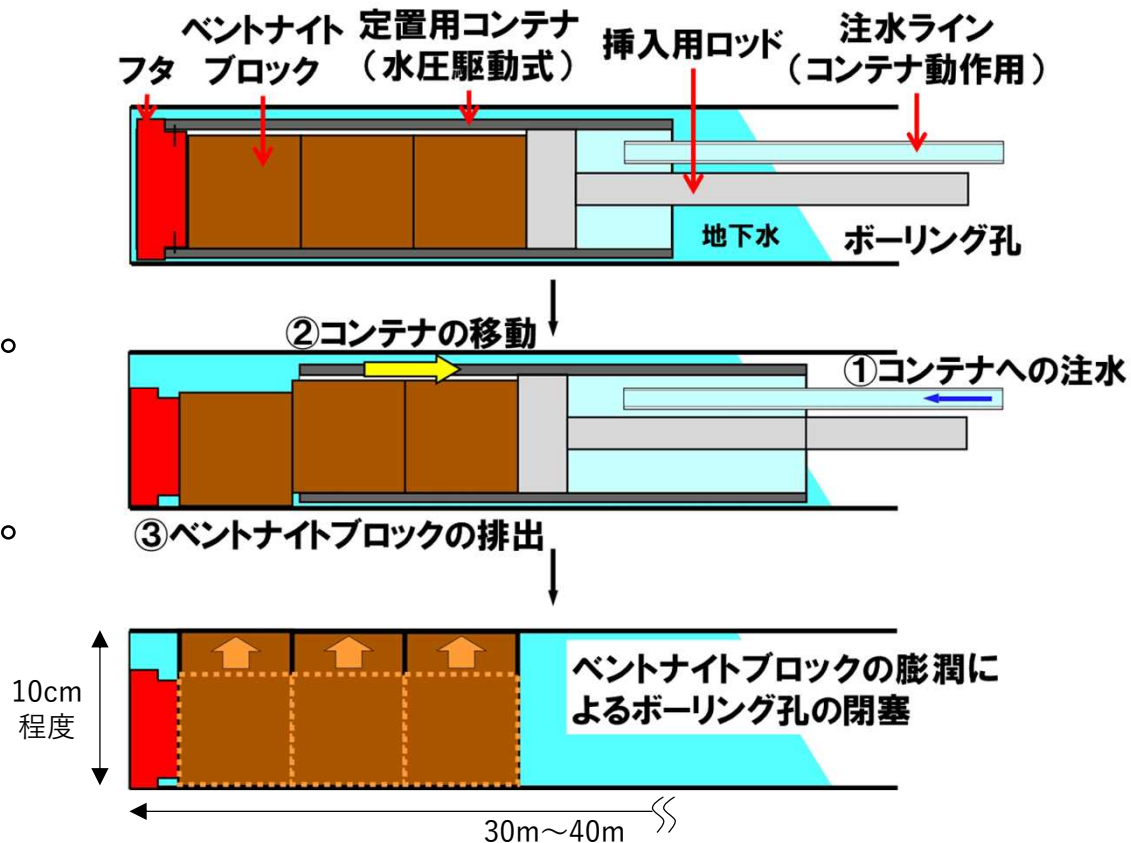


1-2 処分概念オプションの実証

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(2/2)

令和4年度の計画

- 地下環境でのコンクリートの物性変化データの取得を継続し、坑道閉鎖後の岩盤の応力状態や透水性などの予測解析を実施します。
- 吹付け後のベントナイトの乾燥密度や含水比などの施工品質の整理を継続します。
- ボーリング孔の閉塞技術の適用性を確認する原位置試験（右図）を実施します。
- 長期的な緩衝材の流出試験を継続します。



1-2 処分概念オプションの実証

2) 高温(100°C以上)などの限界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

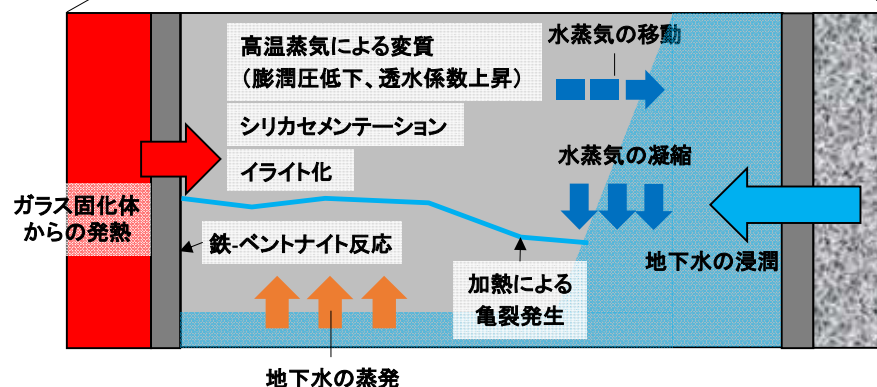
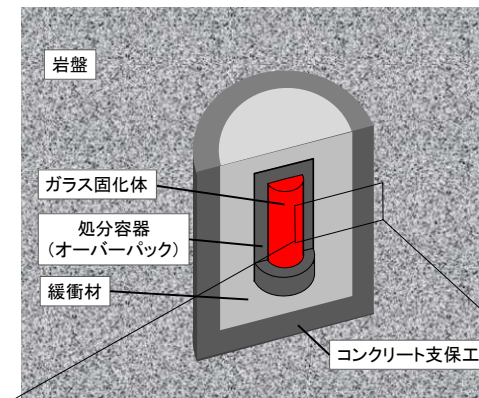
- 100°C超になった際に人工バリアとその周辺岩盤において発生する現象を整理し、人工バリアとその周辺岩盤における上限温度設定の考え方を提示

令和3年度の実施内容と成果

- 海外機関が実施した計測データを整理した結果、緩衝材の温度上昇が130°C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ました。

令和4年度の計画

- 先行事例調査を基に、100°C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います。



ガラス固化体から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図

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(1/4)

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3年度の実施内容と成果

割れ目の水の流れやすさは

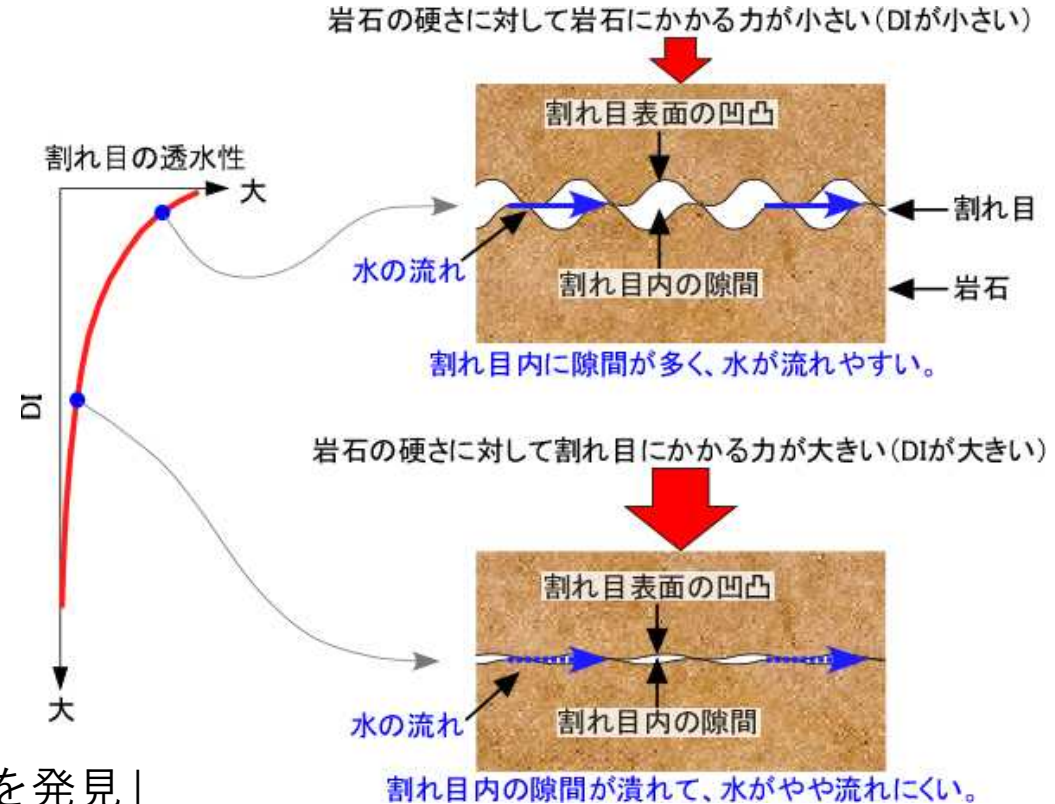
- ・ 岩石にかかる力
- ・ 岩石の硬さ
- ・ 割れ目のかみ合わせ

の3つの要素の組み合わせによって決まることを明らかにしました。

(令和3年12月6日プレスリリース)

「地下深部の割れ目の水の流れやすさに関わる法則性を発見」

https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/press/r3/press_1206.html



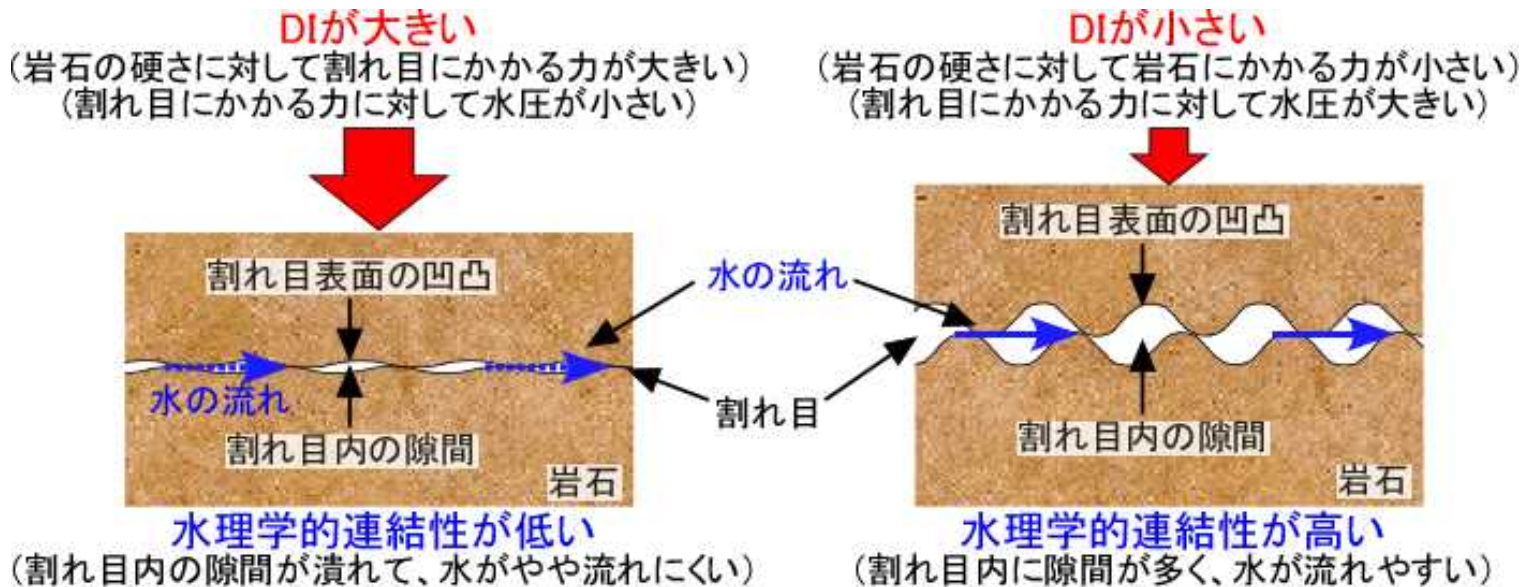
1-3 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化(2/4)

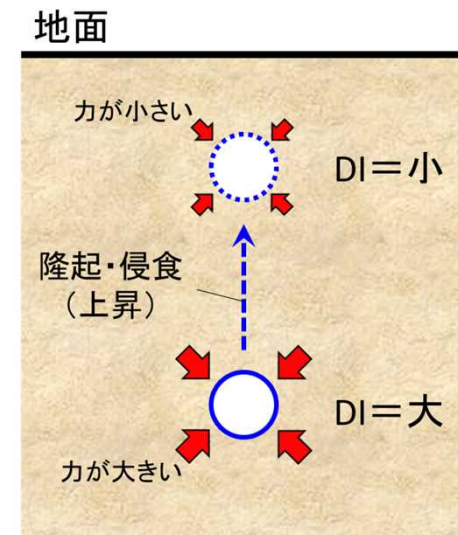
地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

令和4年度の計画

- 令和3年度に再検証したDIモデルと、水圧擾乱試験の結果との比較検証を継続します。
- DIと断層/割れ目の水理学的連結性の関係を解析し、隆起・侵食が透水性に与える影響の評価手法を検討します。



DIと割れ目の水理学的連結性の関係



隆起侵食に伴う
DIの減少

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(3/4)

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

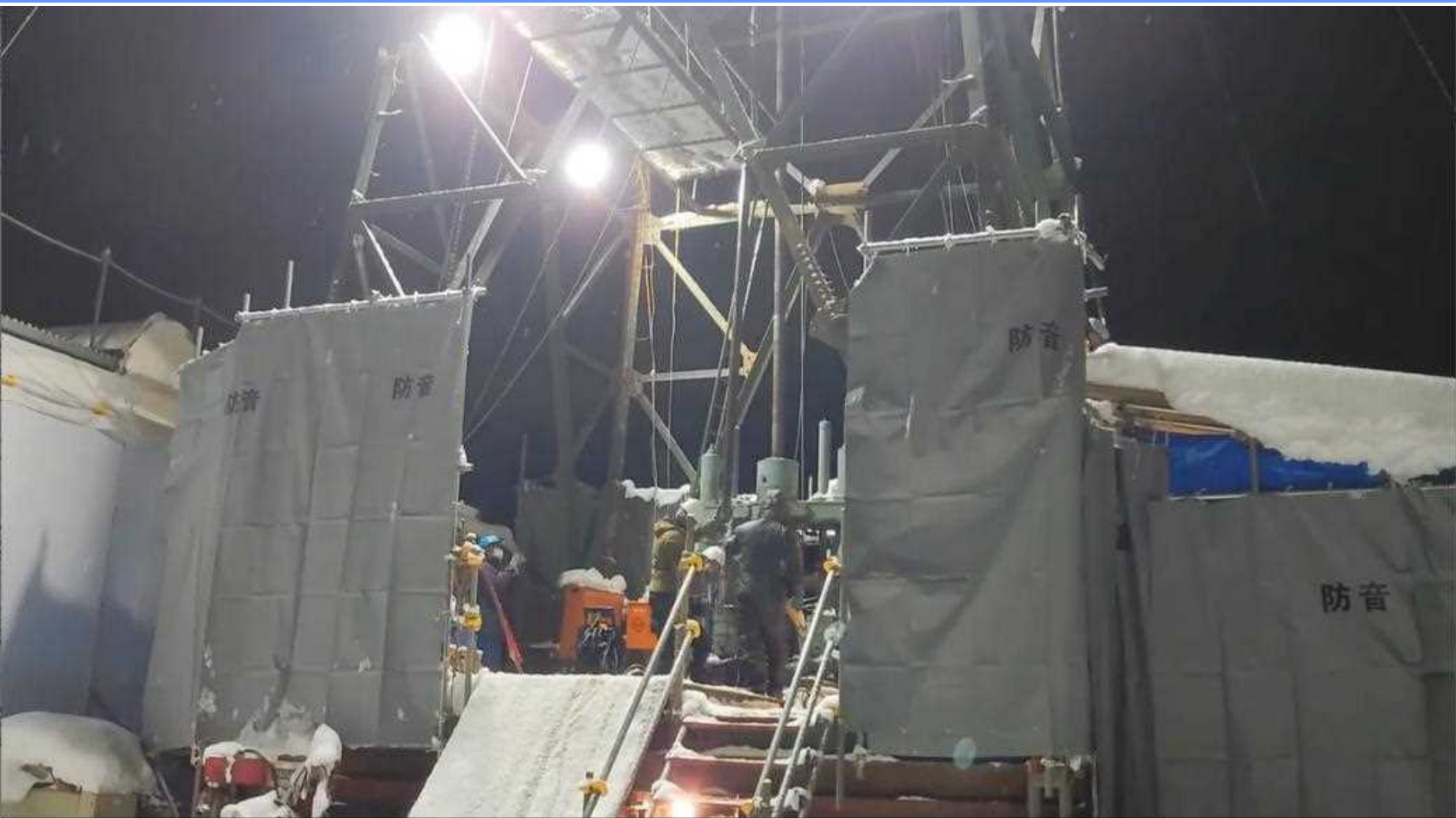
地下水の流れが非常に遅い領域の分布を把握するための技術の構築

- 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3年度の実施内容と成果

- 令和2年度に推定した化石海水の三次元分布の妥当性を確認するため、ボーリング調査（深度200mまで）を実施し、地質環境特性を把握しました。過去の電磁探査データを加えた比抵抗（電流の流れにくさ）分布を再解析し、地層分布と比抵抗分布が調和的であることを確認しました。
- 地形や海水準などの長期変化を考慮した感度解析を実施し、長期的地形変化や地下水の密度変化などが化石海水領域に影響を及ぼし得ることを明らかにしました。

ボーリング調査の様子(岩石コアの採取)



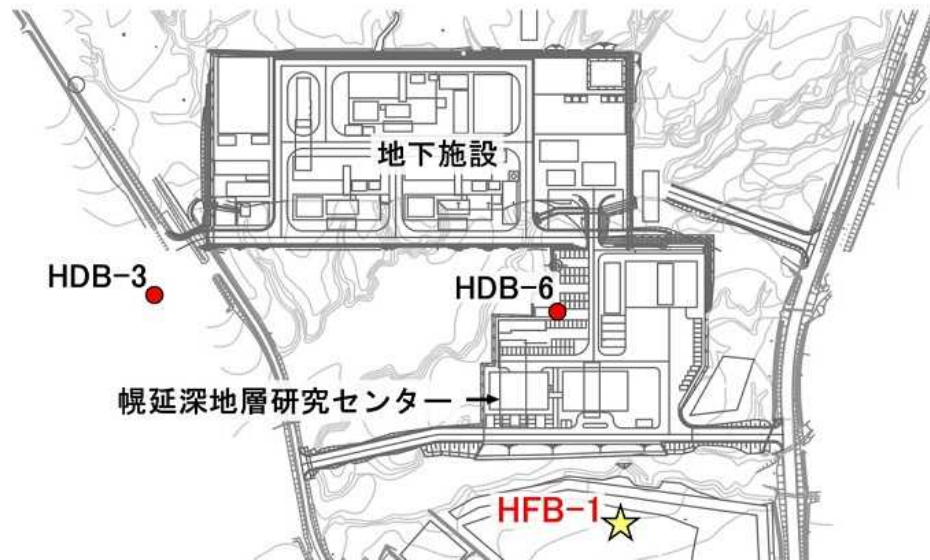
1-3 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化(4/4)

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4年度の計画

- 令和3年度に掘削したボーリング孔を延長し、稚内層中の化石海水の分布を確認するため地下水の水質・同位体データの取得を継続します。
- 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・物質移行解析など調査・解析手法を取りまとめます。



ボーリング調査実施地点 (HFB-1孔)



ボーリング調査現場の全景

1-3 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(1/2)

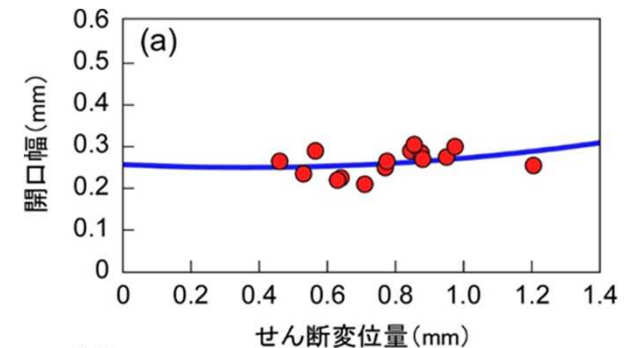
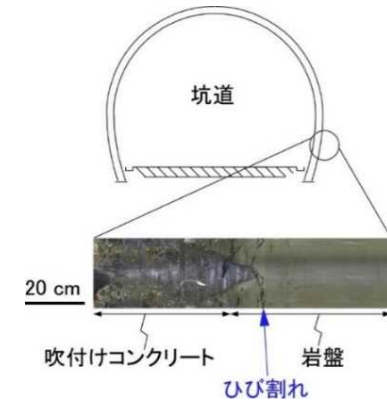
研究開発の目的と令和10年度までの実施内容

坑道閉鎖後の掘削損傷領域の透水性の推測手法の構築

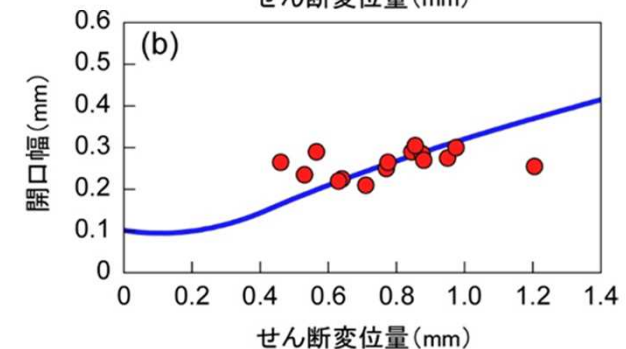
- 緩衝材や埋め戻し材が掘削損傷領域の力学的・水理的な緩衝能力（自己治癒能力）に与える影響の解析手法を開発
- 坑道近傍の力学条件に基づいて掘削損傷領域の透水性を予測する方法を構築
- 坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性を予測する方法を構築

令和3年度の実施内容と成果

- 樹脂が注入された掘削損傷領域の割れ目試料の観察結果を検証するシミュレーションを行い、割れ目の開口幅とせん断変位量の間に関係がないことを確認しました。
- 掘削損傷領域の割れ目を対象とした注水試験データを検討し、緩衝材や埋め戻し材の膨潤圧が掘削損傷領域の透水性に与える影響を検討するための基礎データを取得しました。



割れ目面にかかる力を原位置相当(3.2MPa)とした場合



割れ目面にかかる力を原位置相当の圧力より極端に小さくした場合

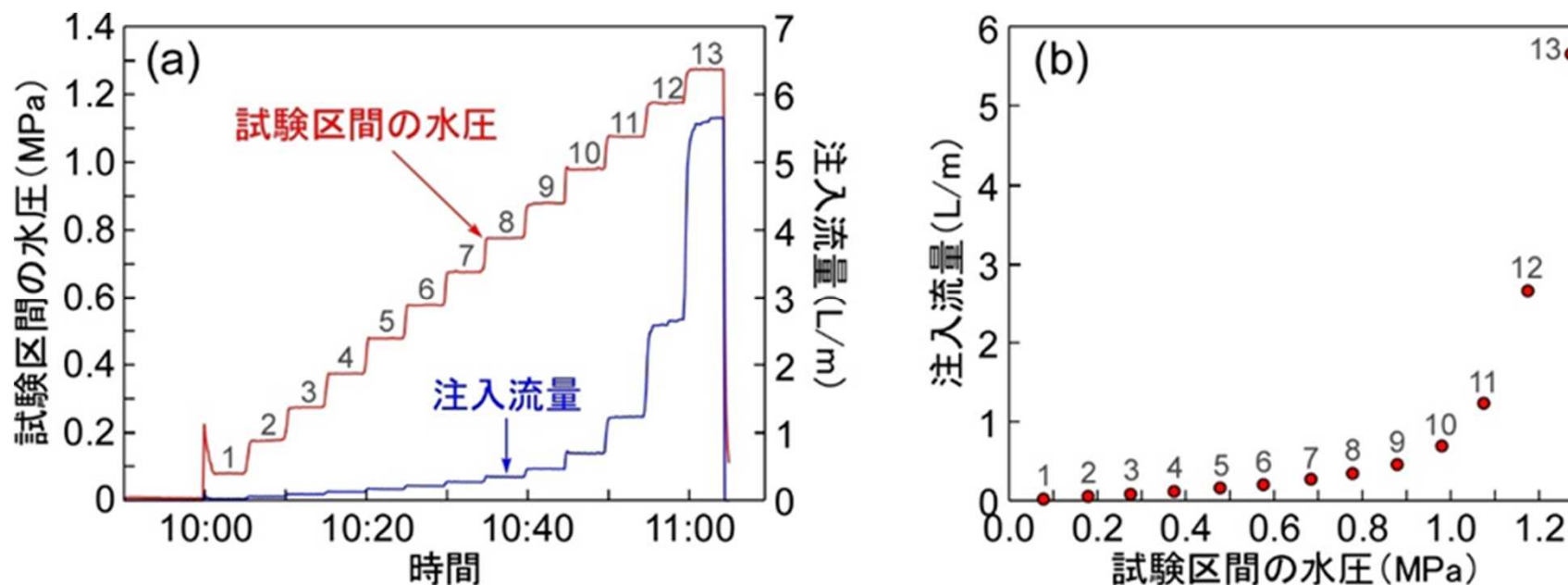
樹脂注入後の掘削損傷領域の割れ目試料で観察された開口幅とせん断変位量の関係（赤丸）とシミュレーション結果（青線）

1-3 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(2/2)

令和4年度の計画

- 掘削損傷領域の割れ目を対象に実施した注水試験のデータを詳細解析し、坑道埋め戻し後の緩衝材や埋め戻し材の膨潤が、掘削損傷領域の透水性に与える影響を定量的に評価する手法を検討します。



掘削損傷領域の割れ目を対象に実施した既往の注水試験のデータの例

注水試験中の試験区間の水圧と注入流量の(a)推移と(b)両者の関係。

図中の1~13の番号は試験中のステップの番号を表す

幌延深地層研究計画

令和4年度調査研究計画

- 1 令和3年度の実施内容と成果および令和4年度の計画
 - 研究開発について
 - 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 環境・安全管理
 - 2-2 開かれた研究

地下施設の管理

- 掘削に必要となる設備の整備
- 地下施設の維持管理（機械設備や電気設備の点検保守・修繕など）
- 排水処理 など



令和3年度に行った巻上機の整備の様子

環境調査

- 水質・魚類に関する調査
- 地下施設からの排水等の水質調査



水質調査の様子（天塩川）

安全確保の取組み

- 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



安全パトロールの様子

地下施設では、安全に関する様々な情報を中央管理室において常時監視しており、異常値が検出されたら直ちに対応できるよう備えています。

【主な監視項目】

- 地下の環境（温度・湿度、一酸化炭素、酸素、メタンガス等）
- 各種警報（火災報知器、一酸化炭素、メタンガス等）
- 設備の稼働状況（換気設備、排水設備、電気設備等）
- 入出坑者
- 現場に設置されたカメラの映像



地下の環境を監視するセンサー

2-2 開かれた研究

・国内機関との研究協力

東京大学、京都大学、東北大学、名古屋大学、幌延地圏環境研究所、産業技術総合研究所、電力中央研究所など

・国外機関との研究協力

DECOVALEX、モンテリ・プロジェクト（スイス）、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、最終処分ラウンドテーブルの取り組みに係る資源エネルギー庁と国際機関（OECD/NEA）主催のワークショップへの協力など

また、OECD/NEA（経済協力開発機構／原子力機関）の協力を得て、地下研究施設を活用した幌延国際共同プロジェクトを立ち上げるため、その準備会合への参加機関の募集を行い、複数国の機関から参加希望を受けて第1回準備会合を開催しました。

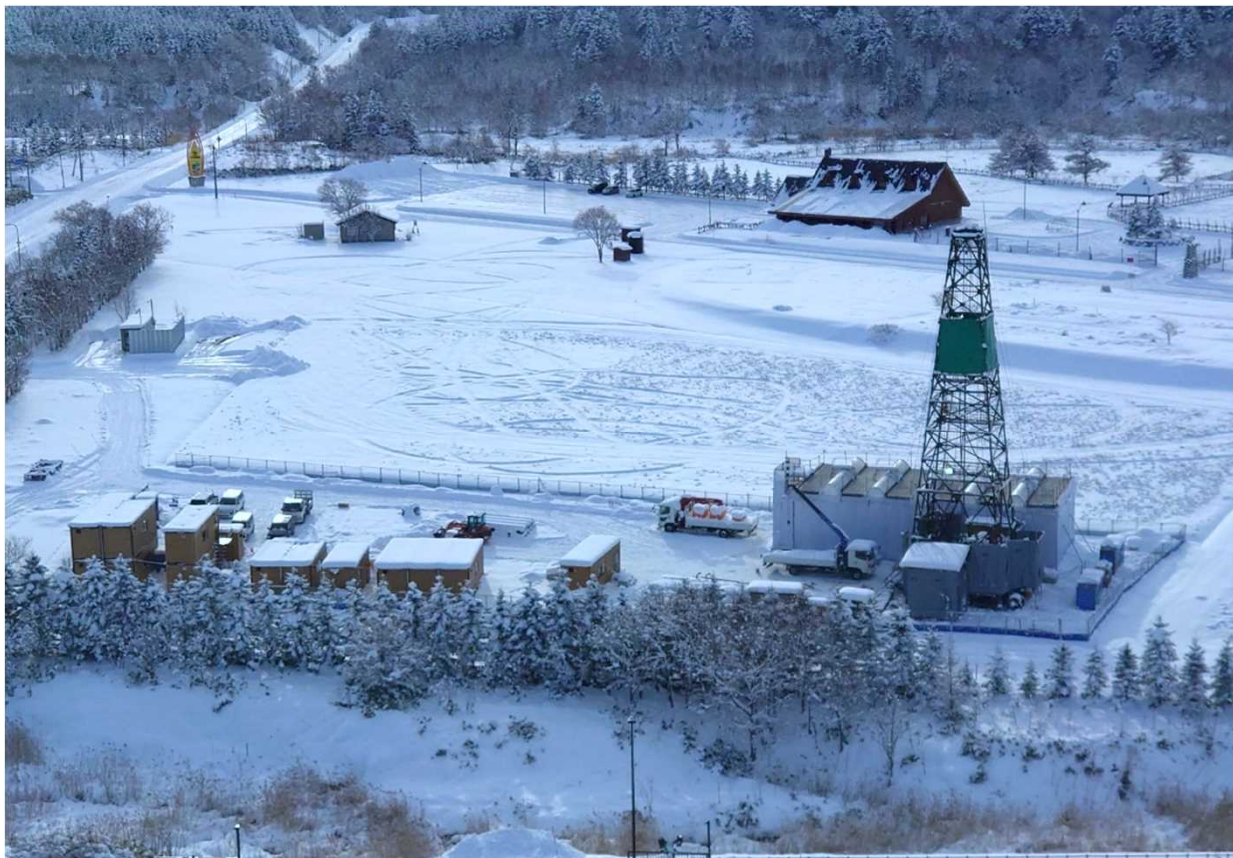
第1回準備会合（3月4日）に参加した機関

- ・ 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）
- ・ ルーマニア原子力研究所（ルーマニア）
- ・ ロシア科学アカデミー原子力安全研究所（ロシア）



第1回準備会合へ参加した国と地域

- ・ 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においては、「幌延町における深地層の研究に関する協定書」を尊重します。



ご清聴ありがとうございました。