

1. 幌延深地層研究計画 令和3年度調査研究計画

2. 稚内層深部(深度500m)における研究の実施に関する検討結果



日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター

1. 幌延深地層研究計画 令和3年度調査研究計画

□ 令和2年度の実施内容と成果および令和3年度の計画

➤ 令和2年度以降の研究課題

① 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

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

➤ 環境・安全管理について

□ 研究に対する評価やその他研究の推進に関する報告

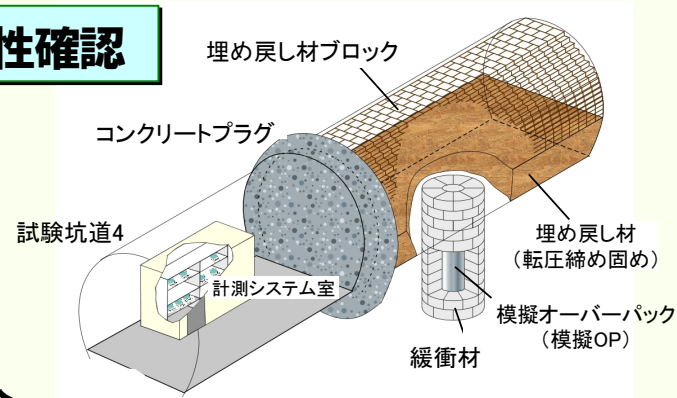
□ 情報公開の取り組み

□ その他

令和2年度以降の研究課題

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
- 物質移行試験



人工バリア性能確認試験



人工バリア性能確認試験
の解体調査のイメージ

- 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

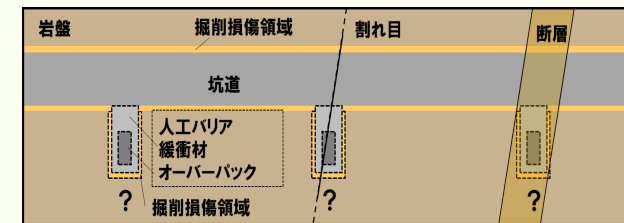
- ・操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
- ・坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 高温(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験



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

- 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
- 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

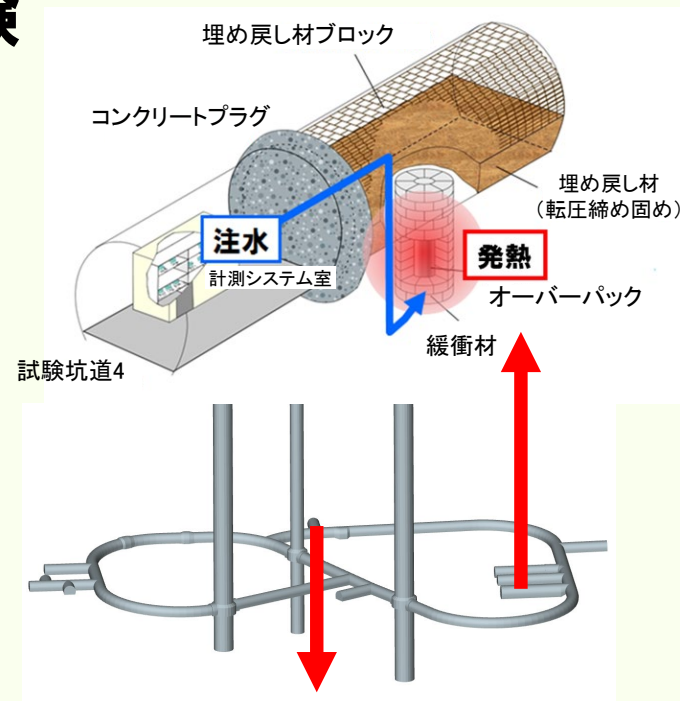
【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

人工バリア周辺で起こる現象を理解

- 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2年度の実施内容と成果】

- **廃棄体が冷めるとどうなるのか。** 模擬オーバーパックスのヒーター温度を約90℃から50℃に下げ、緩衝材中の温度変化や間隙水圧変化の観測データを取得
- 国際共同研究(DECORVALEX)で行う共同解析のために、解析モデルや解析条件を定めた。
- **人工バリアの解体方法を確認。** このため、別坑道に予備検討用の埋め戻し材、プラグ、試験孔、模擬オーバーパックス、緩衝材を設置



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3年度の計画】

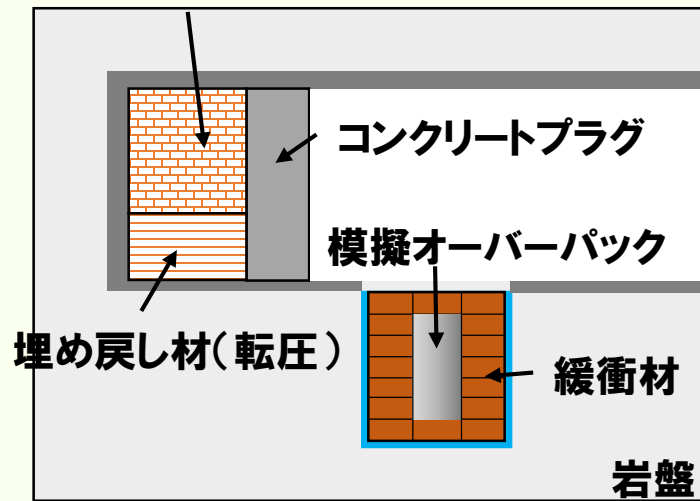
模擬オーバーパックスのヒーターを停止 熱による影響を無くした条件での試験に移行

国際共同研究(DECORVALEX)を継続 令和2年度に定めた解析条件で共同解析し、比較検証

また、空気を考慮した熱－水－応力連成挙動に関する室内試験を開始

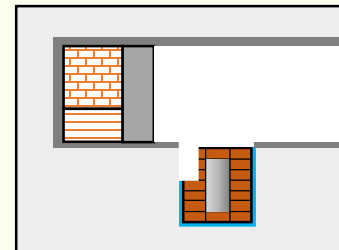
人工バリアの解体方法の予備検討として試験体を解体 緩衝材、模擬オーバーパック、埋め戻し材、コンクリート、岩盤、センサー類などのサンプリング方法を確認

埋め戻し材(ブロック)

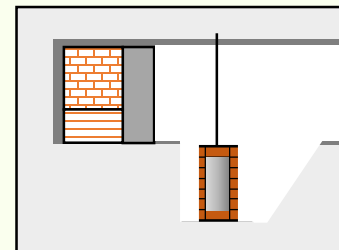


試験施工イメージ図

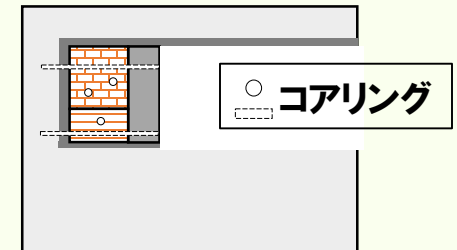
解体調査



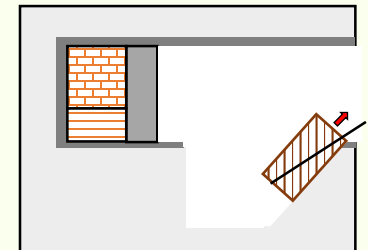
緩衝材、センサーのサンプリング



模擬オーバーパックスの一体取り出し



埋め戻し材、プラグ、岩盤のサンプリング
(一体化コアサンプリング)



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

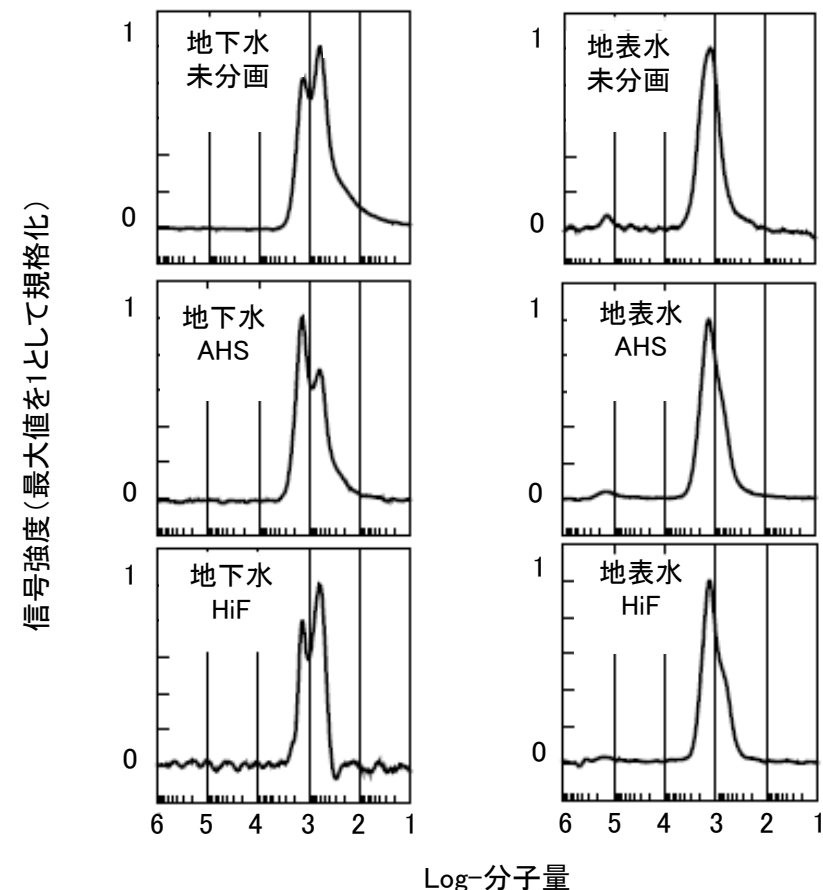
【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

堆積岩における物質移行現象の評価手法を整備

- 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2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により、**物質移行特性を評価するためのデータを取得**
- **微生物・有機物・コロイドを対象とした原位置試験計画策定**
- **地下水中の有機物データ**(濃度、サイズ分布、構成など)**を取得**
- **ブロックスケールにおける物質移行特性を評価**するためのトレーサー試験の準備作業を完了



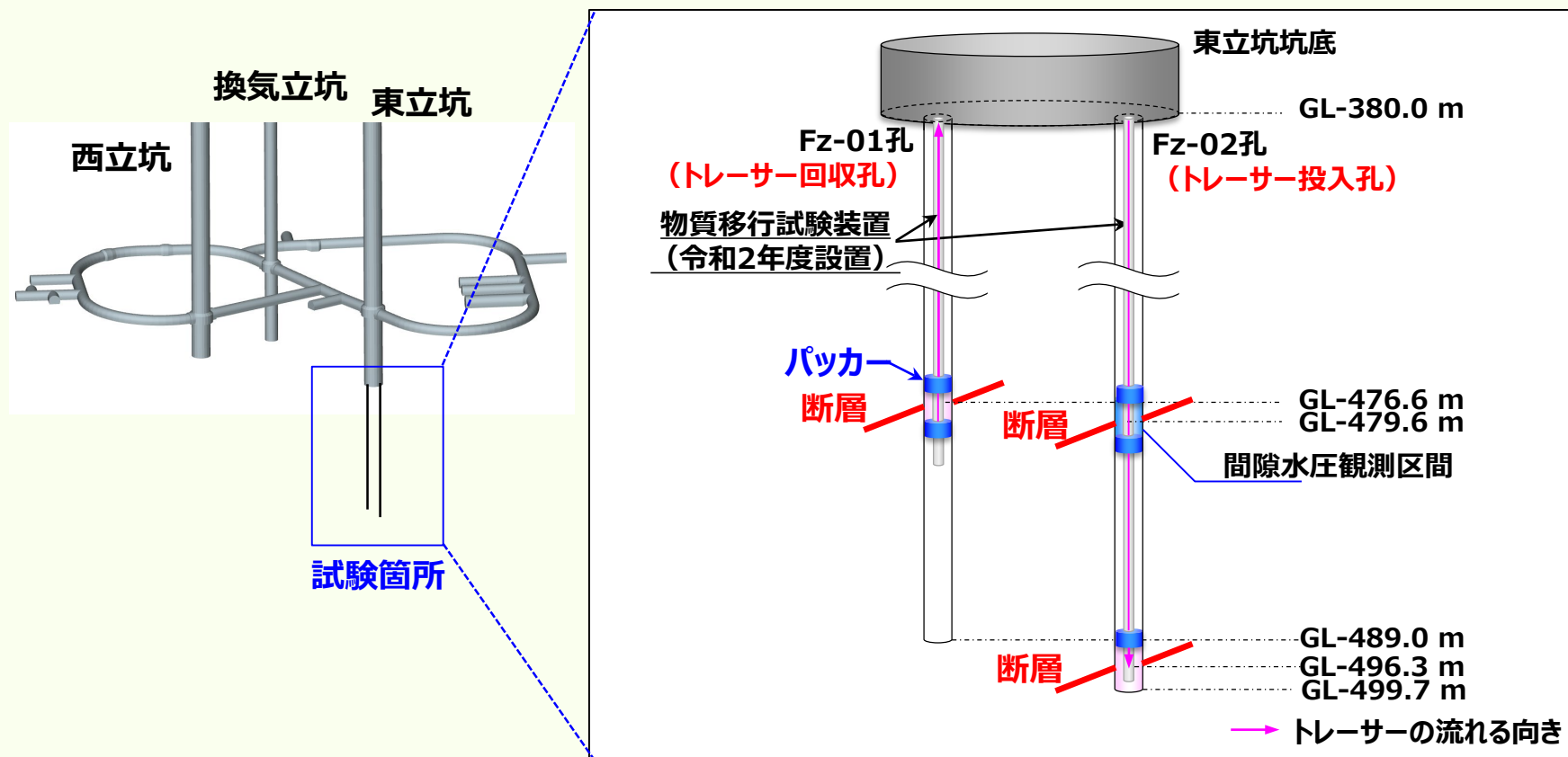
地下水(深度140m)および地表水中の有機物のサイズ分布(AHS:腐植物質、HiF:親水性物質)

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

【令和3年度の計画】

- 掘削損傷領域でのトレーサー試験の評価、水理・物質移行に関するデータ取得を継続
- 微生物・有機物・コロイドが核種移行に及ぼす影響を確認する原位置試験を開始
- ブロックスケールを対象としたトレーサー試験を実施



断層を対象としたトレーサー試験

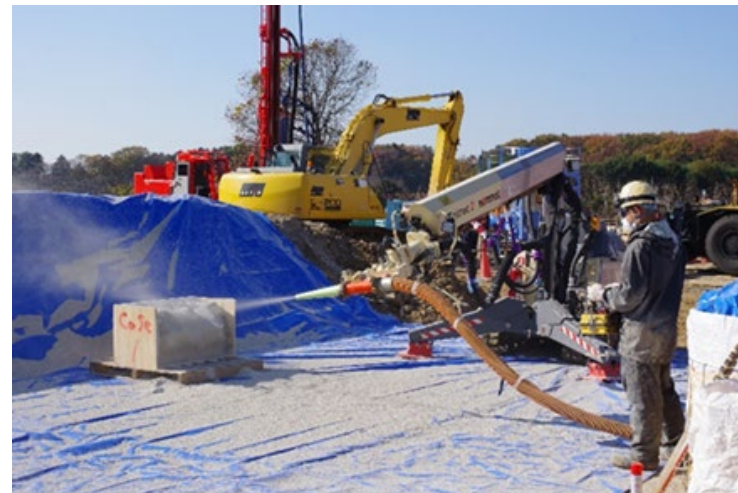
②処分概念オプションの実証

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、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ための設計・施工技術の選択肢を整理

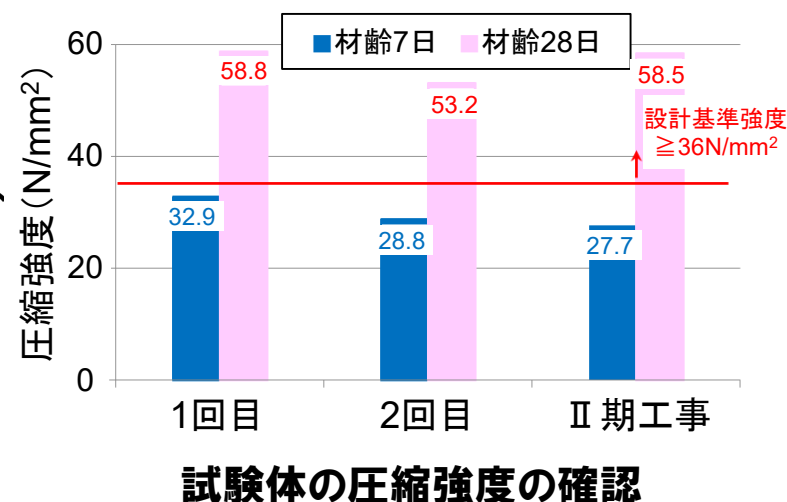
- 搬送定置・回収技術(緩衝材や埋め戻し材の状態に応じた除去技術オプション、回収容易性を考慮した概念オプション、品質評価手法)を整備
- 閉鎖技術(埋め戻し方法:プラグ等)を実証
- 人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工に係る、実証した品質保証の仕組みや考え方を体系的に整理



ベントナイト材料の吹付け試験

【令和2年度の実施内容と成果】

- **コンクリート支保の経年変化を調査する曝露試験の準備**として、地下坑道の吹付けコンクリートと同等の力学特性、成分を有する試験体を作成し、地下坑道(大気条件、湿潤条件下)に定置
- **埋め戻し材やプラグ等の設計・施工・性能評価技術を向上**させるために、止水プラグに用いるベントナイトの吹付け施工試験を実施し、材料の種類、配合の違いによる品質の違いを整理



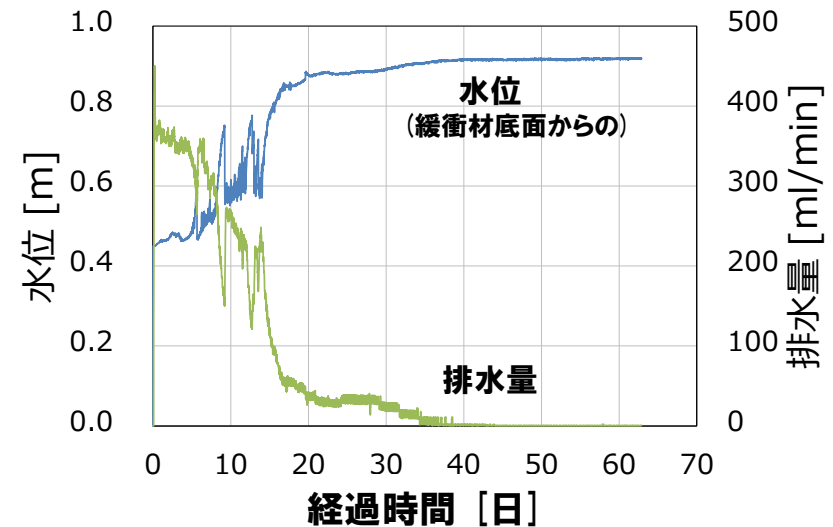
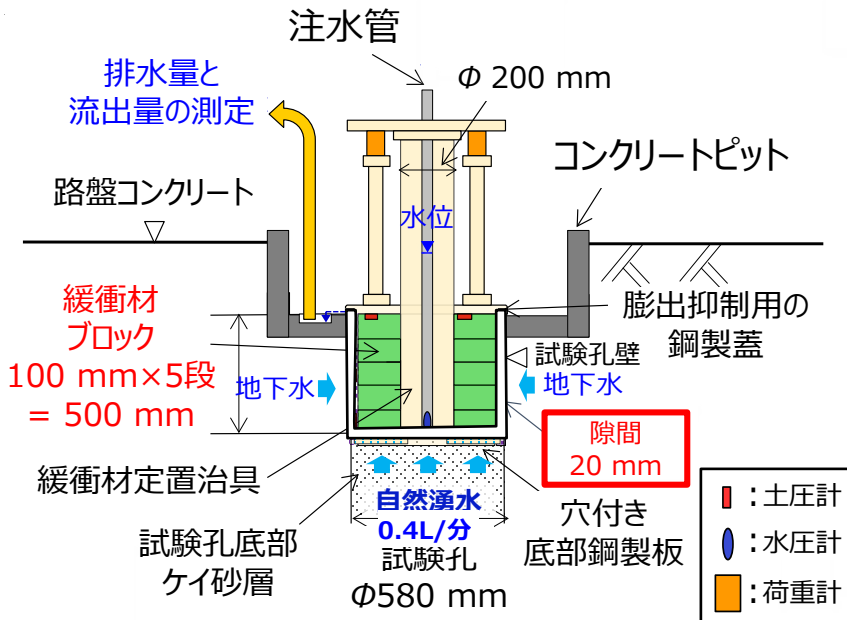
②処分概念オプションの実証

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 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2年度の実施内容と成果】

自然湧水がある場合、緩衝材は初期に少し流れ出すものの、その後は緩衝材が膨らんで隙間を埋めるため、流出は止まる

緩衝材への水の浸潤挙動を把握するための試験を実施し、上記を確認



緩衝材流出試験の概念(左)と施工状況(右)

原子力環境整備促進・資金管理センターと共同で実施

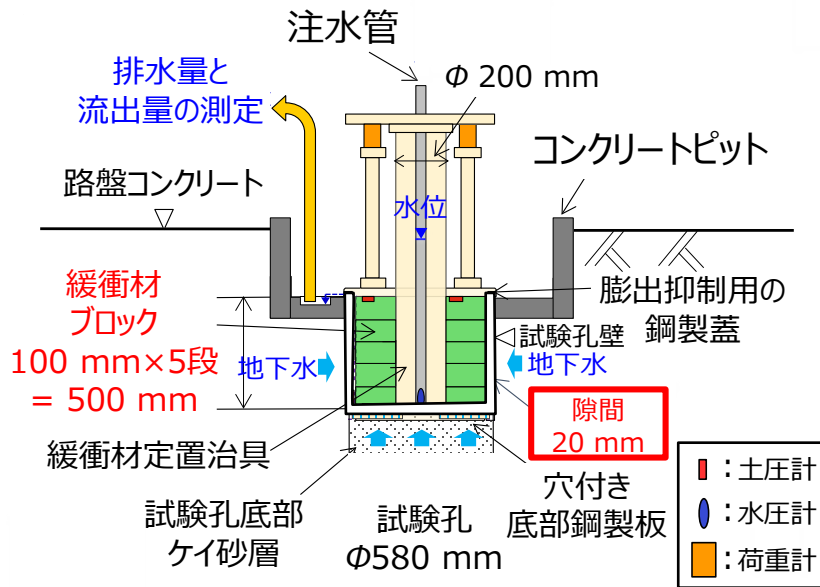
緩衝材流出試験期間中の排水量と水位

②処分概念オプションの実証

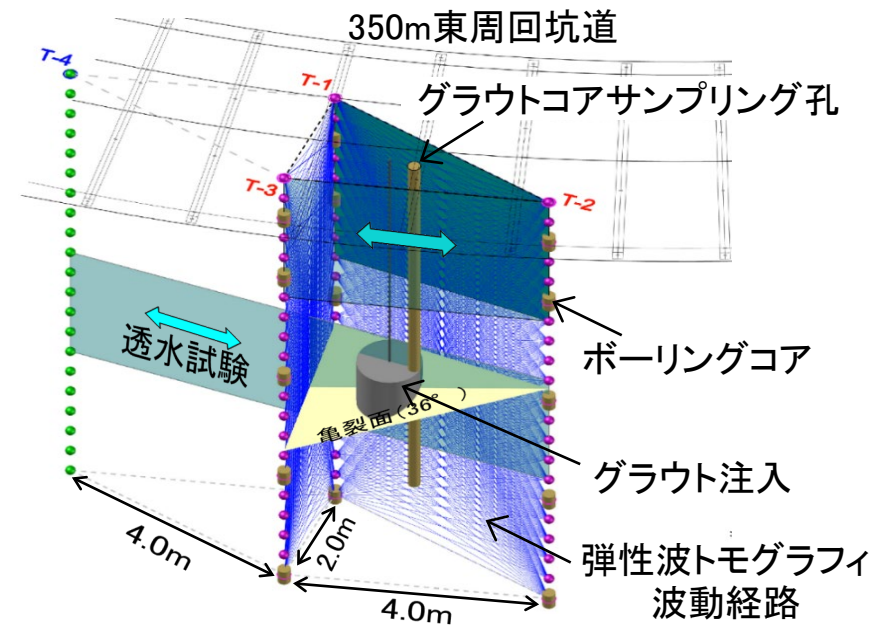
1) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証

【令和3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、坑道で生じる現象の整理を継続
- 閉鎖システム（埋め戻し材やプラグなど）に関する基盤情報（場の状況に応じた施工技術、基本性能とその長期挙動）の整備を目的とした解析、室内試験、工学規模試験および掘削損傷領域の調査技術の確認を継続
- 緩衝材への水の浸潤挙動を把握する試験を継続



令和2年度に実施した試験から、湧水量を変化させた条件で試験を行い、湧水量に対しての施工方法の適用範囲を確認します。



グラウト注入後のトモグラフィ調査のイメージ

グラウト注入後の透水試験、トモグラフィ調査を行い、令和2年度（グラウト無し）と比較し、掘削損傷領域の調査技術を確認します。

②処分概念オプションの実証

2) 高温(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

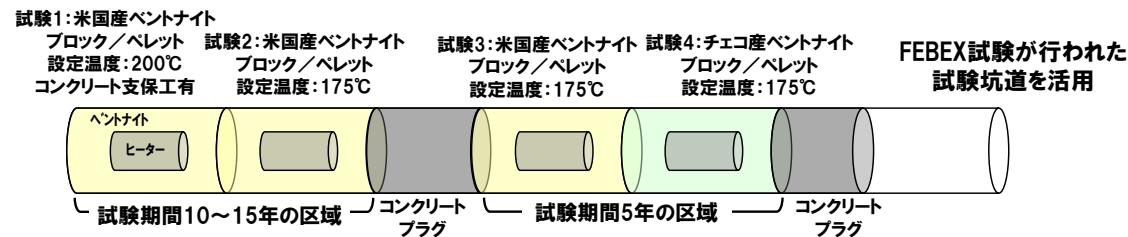
【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

想定外の要因により緩衝材温度が100℃を超えた場合、どうなるのか

➤ その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、上限温度設定の考え方を提示

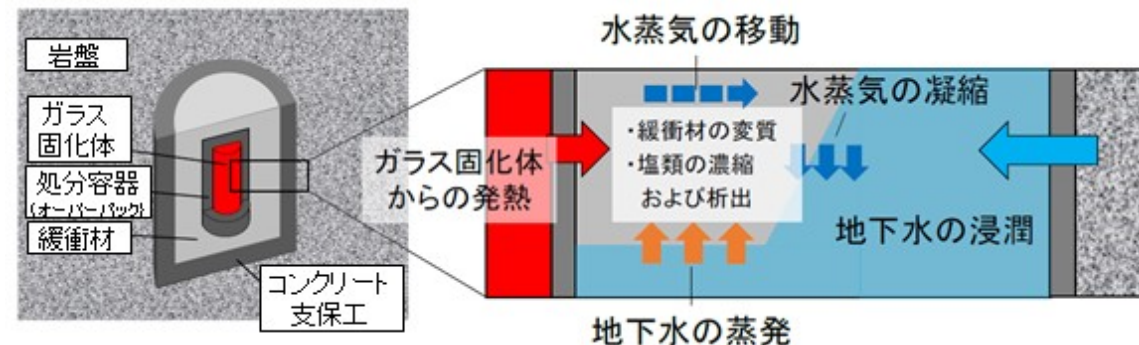
【令和2年度の実施内容と成果】

- 上記のシナリオを検討した結果、**緩衝材の挙動には蒸発による水分移動と物質移行の特性が影響を与える。**
- 海外機関が実施している100℃超の状態を模擬する原位置試験を対象として、試験条件、試験手法、計測機器の選定・配置等に関する情報を収集、整理



【令和3年度の計画】

- 海外知見の情報収集を継続
- 100℃超の状態での人工バリア周辺の挙動や特性の変化に着目した**文献の調査**



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

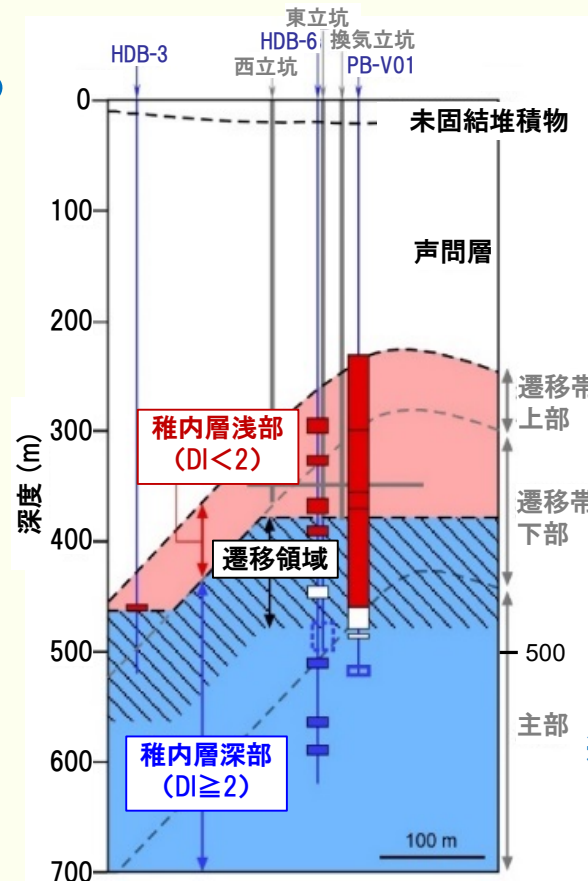
【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

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

- ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験
- 断層、割れ目の長期的な透水性の評価手法を構築

【令和2年度の実施内容と成果】

- 幅数10cmの**大型の断層を対象とした水圧擾乱試験を実施し、観測データを取得**
- **稚内層における割れ目の水理的連結性に関する既存データを再解析**し、水理的連結性の遷移領域があることが判明
- **遷移領域は深度500m程度まで達し、それ以深は水理的連結性が低い領域であることを解明**



ボーリング孔調査結果からの解釈

- 相対的に水が流れやすいと判断した部分
- 解析的には水が流れにくいと判断されるが、ボーリング孔調査からは相対的に水が流れやすいと判断した部分
- 水が流れにくいと判断した部分

水圧擾乱試験結果からの解釈

- 地下水の流れがほとんど生じていないと判断した断層の部分

ボーリング孔の直接観察の結果

- 地下水がボーリング孔内に流れ出していない断層の部分

遷移領域: 浅部領域と深部領域の境界部で、相対的に水の流れやすい所と流れにくい所が共存する領域

稚内層中の割れ目の水理的連結性に関する領域区分とボーリング孔で得られた水理学的情報

DI: 岩石の強度・応力状態を示すために定義した指標。
この値が高いほど、岩盤は見かけ上やわらかくなる。

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

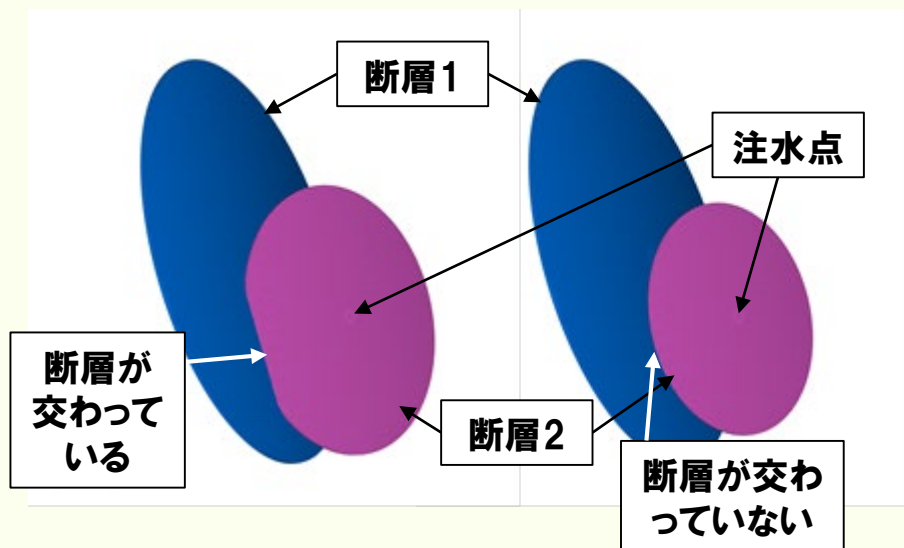
地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

【令和3年度の計画】

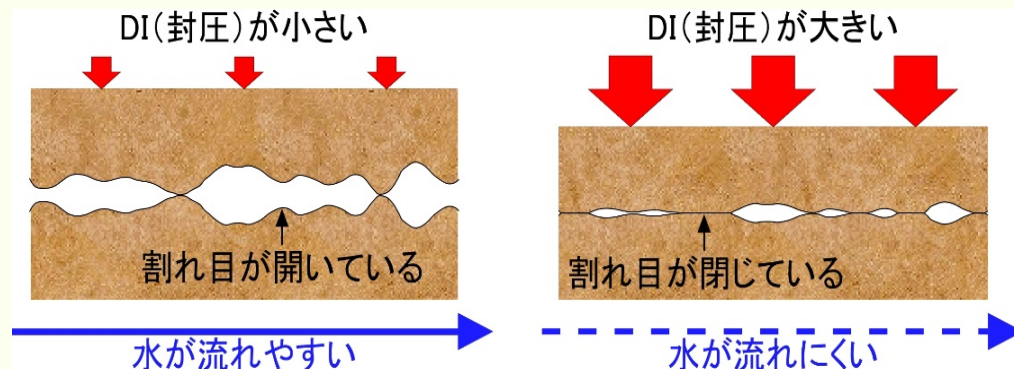
➤ 令和2年度に実施した**水圧擾乱試験結果を解析**

➤ **稚内層中の断層／割れ目が水理学的に連結しているかどうか**を解析で明らかにする方法の検討を継続

➤ 既存の室内試験結果や水圧擾乱試験結果を用いて**断層、割れ目の長期的な透水性評価手法を検討**



原位置試験から推定される断層の水理的連結性のモデル化
(左図:断層が一部で交わるモデルの例;
右図:断層が交わらないモデルの例)



既存の室内試験結果や水圧擾乱試験結果を用いて、割れ目の透水性と力学条件との関係性をより定量的に解明

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

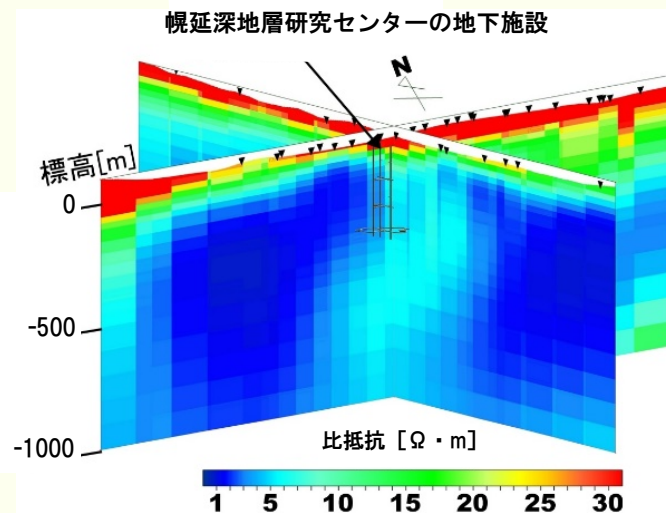
【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

地下水の流れが非常に遅い領域の分布を理解するための技術を構築

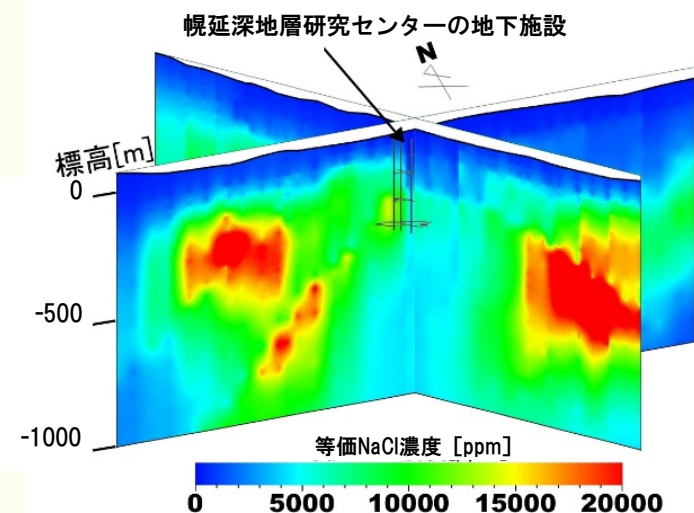
- 化石海水の分布領域の調査・評価技術の高度化
- 地下水の滞留時間、塩濃度分布を推測するための水理解析、物質移動解析

【令和2年度の実施内容と成果】

- 化石海水の分布と地質構造を把握するために物理探査（電磁探査・弾性波探査）
- 既往の物理探査よりも三次元的かつより深部への拡がりが増え、推定可能な手法を適用することにより、**深度400～500mよりも深い領域の推定結果を向上**
- 電磁探査データ(比抵抗)から地下水の塩濃度を推定した結果、**幌延深地層研究センターの周辺を境に、南西側で塩濃度が高く、北東側で低くなっていることが分かりました。**



令和2年度の電磁探査により取得した比抵抗分布



比抵抗分布から推定した等価NaCl濃度の分布 13

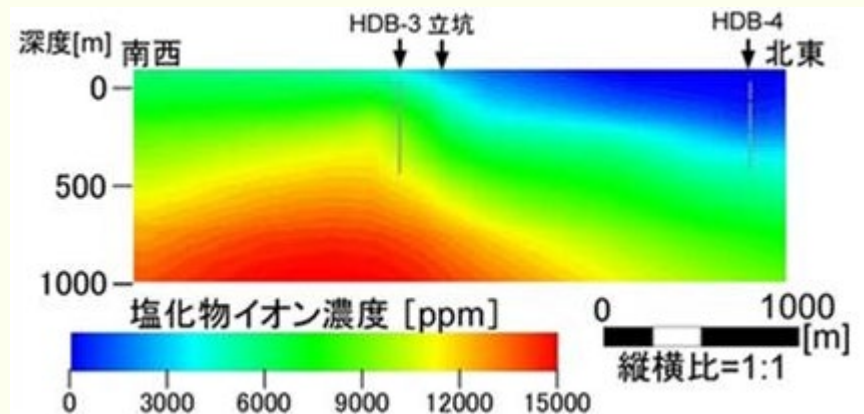
③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

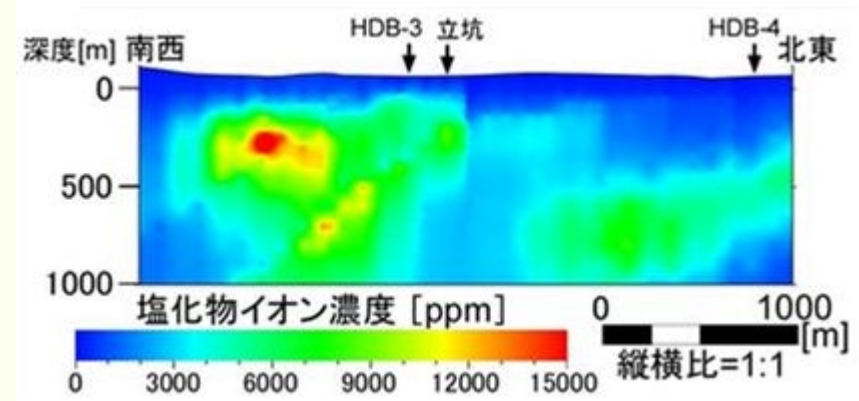
地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化

【令和3年度の計画】

- 令和2年度の物理探査の結果から推定した塩濃度分布と既往のボーリングの水質データから推定した塩濃度分布を比較して誤差が大きい領域を把握し、誤差が大きくなる原因を予測
- 予測結果を確認するためのボーリング調査を行い、予測方法が有効であるかどうかを確認
- 幌延町沿岸部の浅海域で、産業技術総合研究所との共同研究として海上物理探査を計画



ボーリング孔の水質データを用いて
クリギングにより推定した塩化物イオン濃度の分布



電磁探査により取得した比抵抗分布
から推定した塩化物イオン濃度の分布

両者を比較して誤差が大きい領域を抽出し、ボーリング調査により地下水の
流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の確からしさを確認

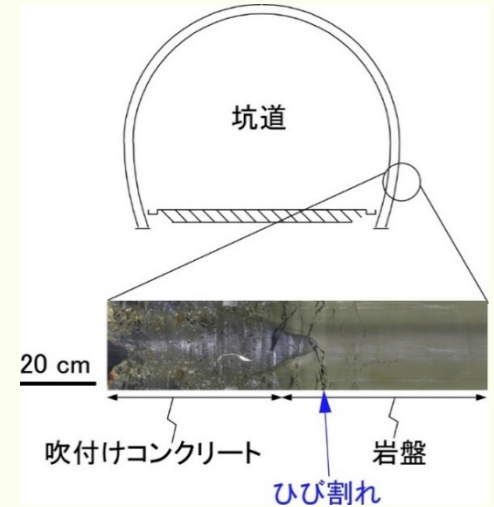
③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

2) 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

坑道閉鎖後の緩衝材や埋め戻し材の膨らみを踏まえて、坑道回りの掘削損傷領域の透水性を推測する手法を構築

- 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

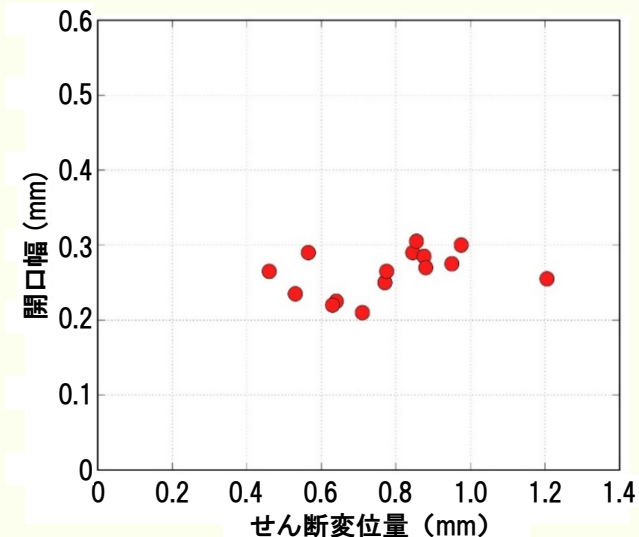


【令和2年度の実施内容と成果】

- 掘削損傷領域に樹脂を注入し、詳細観察を行い、割れ目のせん断変位量と開口幅との相関が乏しいことを確認。**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がわかりました。

【令和3年度の計画】

- 樹脂注入試験の観察・検討を継続
- 掘削損傷領域のひび割れの閉まり方に、緩衝材や埋め戻し材の膨潤が与える影響を解析



掘削影響領域の割れ目で計測された開口幅とせん断変位量の関係

1. 幌延深地層研究計画 令和3年度調査研究計画

□ 令和2年度の実施内容と成果および令和3年度の計画

➤ 令和2年度以降の研究課題

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

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

➤ 環境・安全管理について

□ 研究に対する評価やその他研究の推進に関する報告

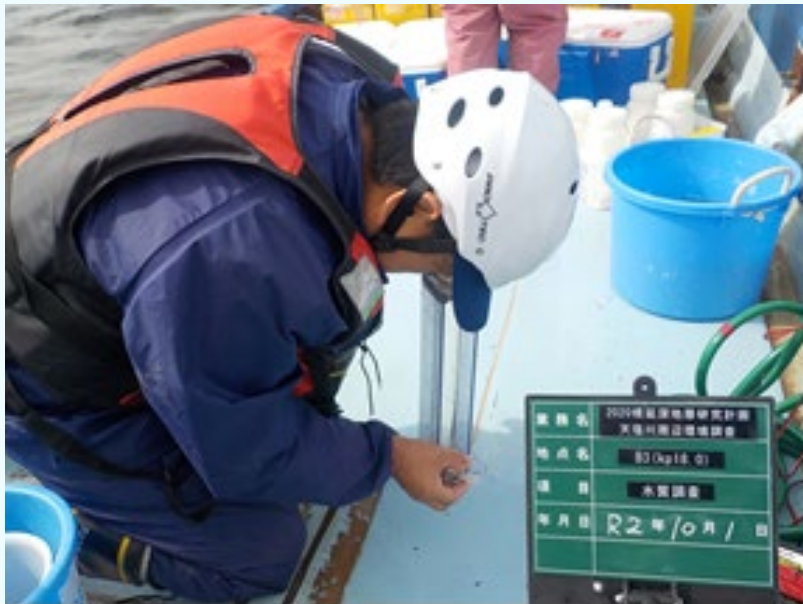
□ 情報公開の取り組み

□ その他

環境・安全管理について

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

環境・安全管理について

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。地震があった場合には、施設の情報や地下での揺れの情報をHPでお知らせしています。

【主な監視項目】

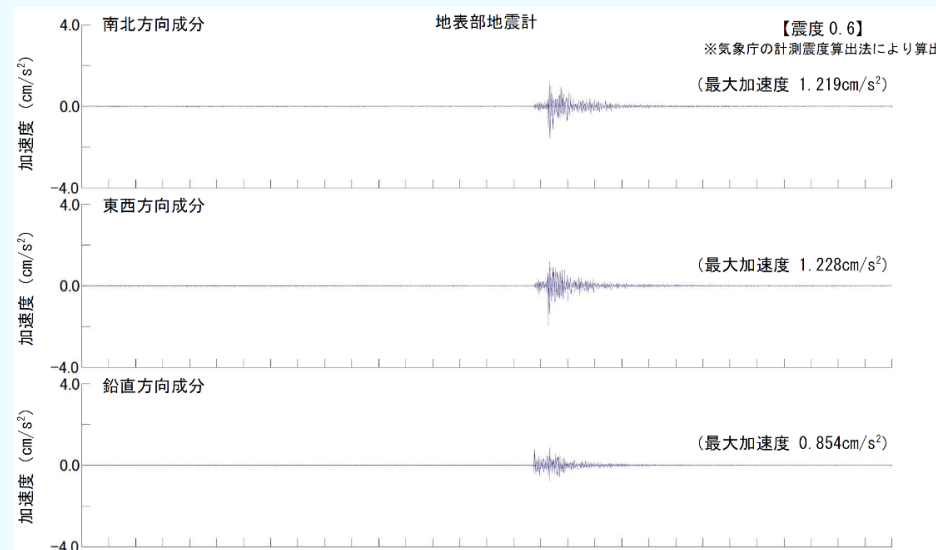
- 地下の環境(温度・湿度、一酸化炭素、酸素、メタンガス等)
- 各種警報(火災報知器、一酸化炭素、メタンガス等)
- 設備の稼働状況(換気設備、排水設備、電気設備等)
- 入出坑者
- 現場に設置されたカメラの映像



中央管理室の写真

地下施設整備の管理状況として、毎日のメタンガス濃度、地下施設からの排水量などを公開しています。

令和3年2月6日の宗谷地方北部の地震で観測されたデータの一例



https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/status/cyousa/cyousakenkyu_0302.html

1. 幌延深地層研究計画 令和3年度調査研究計画

□ 令和2年度の実施内容と成果および令和3年度の計画

➤ 令和2年度以降の研究課題

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

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

➤ 環境・安全管理について

□ 研究に対する評価やその他研究の推進に関する報告

□ 情報公開の取り組み

□ その他

外部有識者による評価

第27回深地層の研究施設計画検討委員会(令和3年3月3日開催)

主な意見

- ・ 令和2年度の研究開発が計画に沿って進められており、令和3年度以降の計画も令和2年度の成果を踏まえて設定されている。
- ・ 深度500mの稚内層深部領域を対象とした研究を実施することとなった場合は地層処分の技術基盤の整備に対してより多くの技術的貢献を期待することができ、坑道を展開した一連の技術の確認が推奨される。

第31回地層処分研究開発・評価委員会(令和3年3月4日開催)

主な意見

- ・ 稚内層深部領域(深度500m)では、地下水の動きが緩慢であることもあり、その特徴が他の地域でも一般的な特性として関連付けることができれば、地層処分の上でも重要な知見にもなることを念頭に置くべきである。
- ・ 幌延に関するこれまでの成果と今後の予定について、また深地層の研究施設計画検討委員会で評価いただいた内容については、委員会として特段問題なく了承されたものとする。

国内外の資金や人材を活用することへの取り組み

- **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

- **国外機関との研究協力:**

- 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)

- 幌延の人工バリア試験のデータを用いた解析(4つの国と地域の機関が参加)

- 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)

- 人工バリア周辺の連成現象に関わる共同研究について協議

- 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(R3.8予定)

- 国際化に向けた取り組みを推進

- 国内外の研究機関や実施主体に働きかけを行い、国際連携を進め国内外の知見や経験などを活用することで、処分技術の更なる信頼性向上を図る

- 最終処分ラウンドテーブルの取り組みに係る、国際機関(OECD/NEA)主催のワークショップ(R3.秋 開催予定)への協力

1. 幌延深地層研究計画 令和3年度調査研究計画

- 令和2年度の実施内容と成果および令和3年度の計画
 - 令和2年度以降の研究課題
 - ①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
 - 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
 - 環境・安全管理について
- 研究に対する評価やその他研究の推進に関する報告
- 情報公開の取り組み
- その他

情報公開の取り組み

幌延センターHPコンテンツの改善(<https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/>)

見学者のご質問に対する回答やご意見を掲示



お客様

ここって一日あたりの見学者の人数ってどのくらいなんですか？

幌延深地層研究センター

ゆめ地創館の来客数は、過去5年の統計から年間7千人から8千人です。年間の開館日数で割りますと、一日あたり25人ほどの方に見学いただいている事になります。



お客様

胆振東部地震の時も大丈夫だったんですか？

幌延深地層研究センター

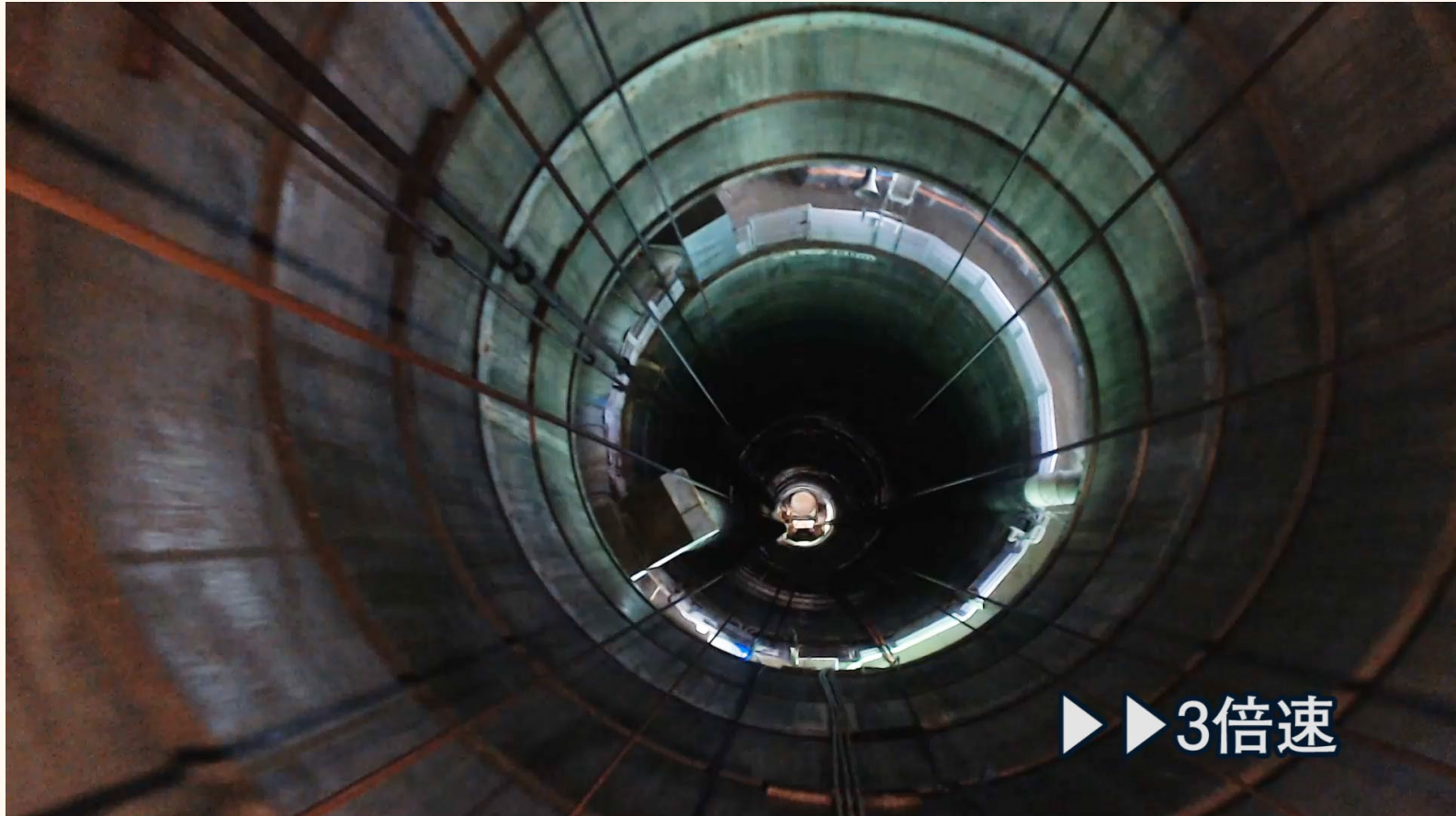
施設への影響はありませんでした。なお当時、北海道全体での節電への協力のため照明の間引き等を行いました。



情報公開の取り組み

幌延センターHPコンテンツの改善(<https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/>)

施設を訪問できない方向けに、動画紹介ページを充実



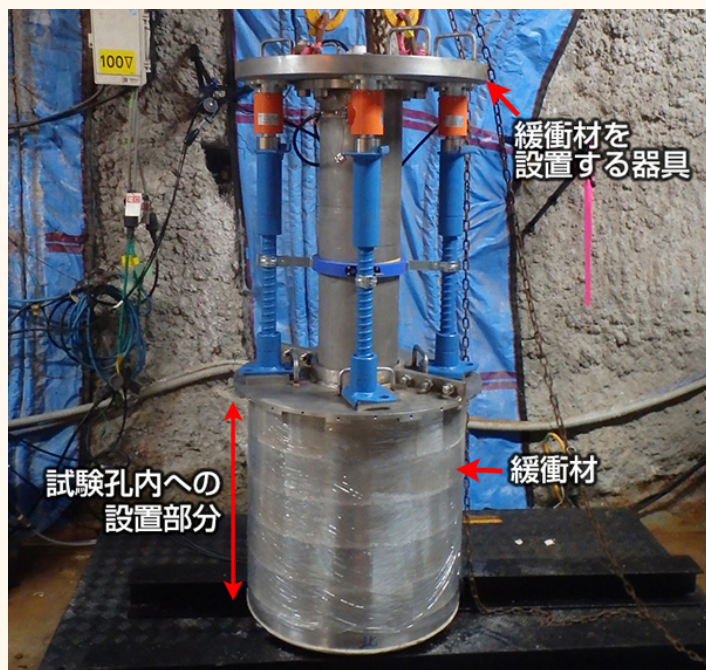
<https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/disclosure/movie.html>

情報公開の取り組み

ツイッターによる情報発信（https://twitter.com/jaea_japan）

幌延深地層研究センターでは、350m調査坑道の試験坑道5において、原子力環境整備促進・資金管理センターと共同で緩衝材流出試験を実施しています。粘土でできている緩衝材ブロックを地下水が流れている試験孔内に設置し、今後、地下水の排水量と緩衝材の流出量を計測します。

https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/status/cyou/cyousakenkyu_0211.html#1120



（令和2年11月20日）

[#幌延深地層研究センター](#) では、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の一環として、10月に実施した [#反射法地震探査](#) に引き続き、地下深部における [#化石海水](#) の拡がりを推定するための [#電磁探査](#) を実施しました。

https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/status/cyou/cyousakenkyu_0211.html#1127_2



（令和2年12月1日） 25

1. 幌延深地層研究計画 令和3年度調査研究計画

□ 令和2年度の実施内容と成果および令和3年度の計画

➤ 令和2年度以降の研究課題

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

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

➤ 環境・安全管理について

□ 研究に対する評価やその他研究の推進に関する報告

□ 情報公開の取り組み

□ その他

地層処分を取り巻く国やNUMOの活動状況

1. NUMO包括的技術報告書※1

- ✓ 原子力学会によるレビュー報告書の公表 (R1.12.20)
- ✓ 包括的技術報告書の公表 (R3.2.24)

2. 地層処分研究開発調整会議※2

- ✓ 第5回会議 (R2/1/27)、第6回会議 (R2.3.9-13)
- ✓ 地層処分研究開発に関する全体計画改定版公表 (R2.3.31)

3. 最終処分国際ラウンドテーブル※3

- ✓ G20軽井沢大臣会合 (R1.6.15-16) : 於 日本
- ✓ 第1回会合 (R1.10.14)、第2回会合 (R2.2.7) : 於 フランス
- ✓ 最終報告書の公表 (R2.8)
- ✓ 国際機関 (OECD/NEA) 主催のワークショップ (R3.秋開催予定)

4. 文献調査

- ✓ 寿都町および神恵内村において文献調査を開始 (R2.11.17)
- ✓ 上記両町村において、対話の場※4第1回を開催 (R3.4.14寿都町、4.15神恵内村)

※1 NUMOが作成した、わが国の地質環境に対して安全な地層処分を実現するための方法を説明した包括的な技術報告書

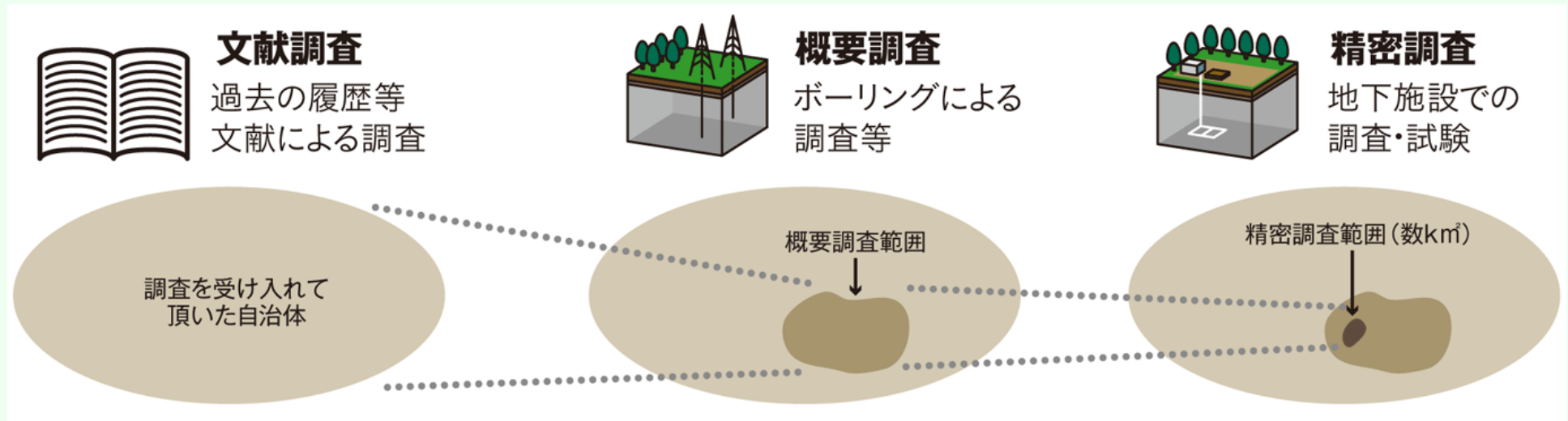
※2 地層処分に係る研究開発について、原子力政策大綱(平成17年10月閣議決定)で「国及び研究開発機関等は、全体を俯瞰して総合的、計画的かつ効率的に進められるよう連携・協力するべきである」とされたこと等を受けて、研究開発全体計画の策定等を目的として設置された会議体

※3 G20 持続可能な成長のためのエネルギー転換と地球環境に関する関係閣僚会合(於軽井沢;2019.6.15-16)において、世界の原子力主要国政府が参加する初めて立ち上げられた会議体

※4 地層処分事業(仕組みや安全確保の考え方、文献調査の進捗状況等)及び地域の将来ビジョン等に関する意見交換を通じて、地層処分事業等の理解を深めることを目的としたもの

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

幌延深地層研究センターでの研究の目的と得られる成果

研究の目的

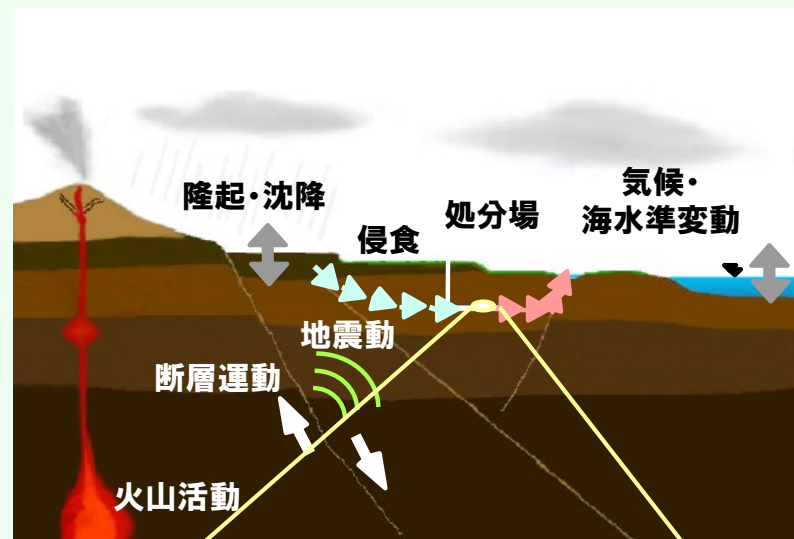
概要調査と精密調査で用いられる技術の信頼性向上のための研究

地層処分場を建設・操業・閉鎖するための調査、建設、操業、閉鎖、安全審査に使う技術

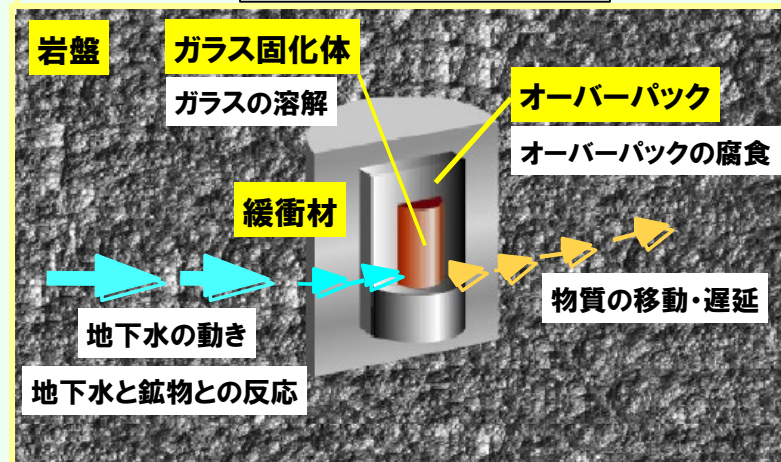
⇒ 調査機器、分析手法、調査・試験方法、解析手法、予測手法、評価手法 など

成果

実際の地下環境において、調査機器、分析手法、調査・試験方法、解析手法、予測手法、評価手法の有効性が示されること。



人工バリア周辺で生じる現象の概念図



幌延町における深地層の研究に関する協定書(抜粋)

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)

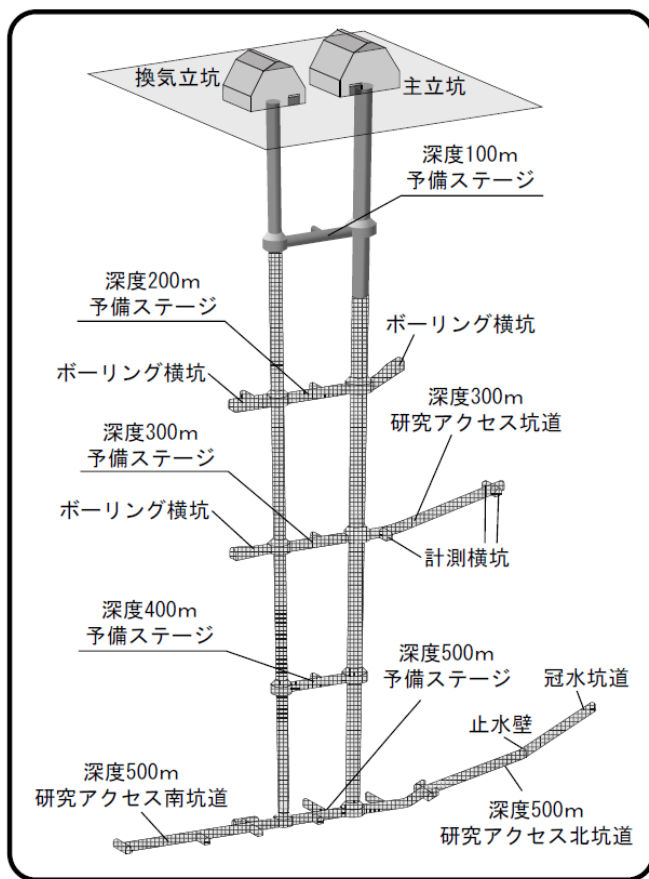
埋め戻しの事例について(瑞浪の例)

【埋め戻しの状況】

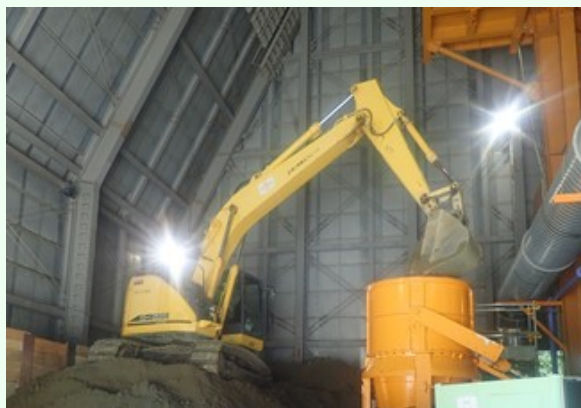
埋め戻し進捗状況(2021.3.26現在)

- ・主立坑:深度138mまで完了
- ・換気立坑:深度100mまで完了
- ・深度200m水平坑道:2021.3.11完了
- ・深度300m水平坑道:2020.12.24完了
- ・深度400m水平坑道:2020.10.6完了
- ・深度500m水平坑道:2020.8.19完了

坑道埋め戻し状況(2021.3.26現在)



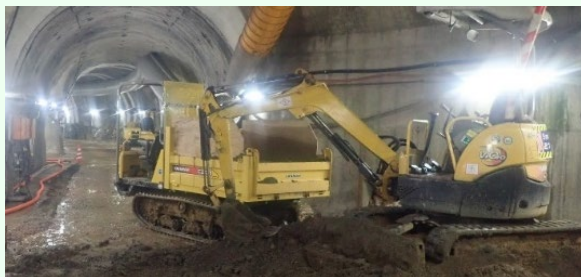
埋め戻し完了範囲



地上作業

- ・埋め戻し材をキブル(運搬容器)へ投入

- ・キブルを地上から立坑坑底へ、巻上機設備により運搬



坑道内作業

- ・立坑坑底でバックホウによりキャリアアダン(埋め戻し材運搬車両)へ積み込み、運搬



埋め戻し作業

- ・バックホウにより埋め戻し材を坑道に充填



締固め作業

- ・振動バケットを装着したバックホウにより埋め戻し、転圧

2. 稚内層深部(深度500m)における研究の実施 に関する検討結果

- ① これまでの確認会議の結果**
- ② 研究の必要性**
- ③ 研究課題の範囲**
- ④ 研究工程**
- ⑤ 結論**

① これまでの確認会議の結果

【令和元年度の確認会議での確認事項】

- 第3期及び第4期中長期目標期間において、350m調査坑道で各研究に取り組む中で、深度500mでも研究を行うことが必要とされた場合には、500mの掘削を判断すること。

【令和2年度の確認会議での確認事項】

- 今年度、500mでの研究等を実施するかどうかについて判断材料を集めるための設計を開始し、その検討を踏まえ、今年度中を目途に実施するかどうかを判断すること。
- 実施については、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」の研究課題の範囲内であることを前提に令和2年度以降の研究期間の研究工程におさまるかといった観点から判断すること。

② 研究の必要性

令和元年度までの知見

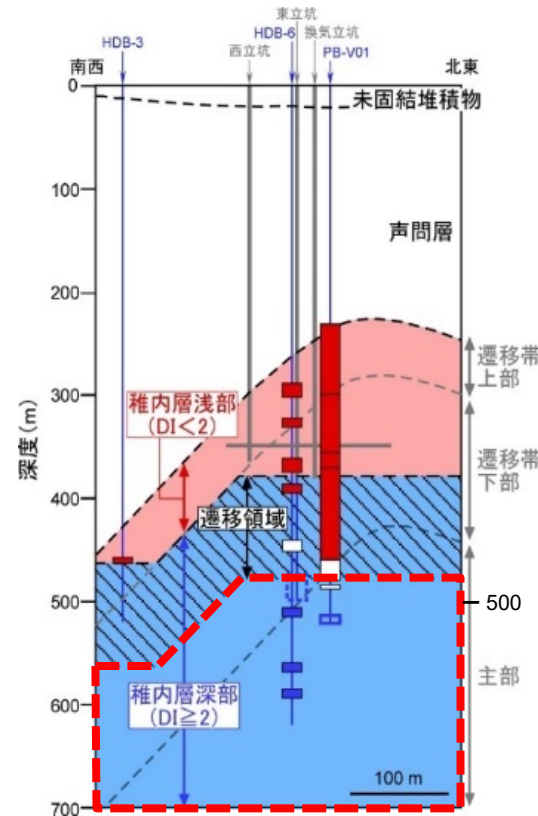
- 稚内層は、地層の中の割れ目が開きやすく、水が流れやすい浅部領域と割れ目が閉じており水が流れにくい深部領域に区分できることがわかっていました。ただし、地下施設周辺でのこれらの領域の境界深度については、まだ不確実な部分がありました。
- これまでに行った地表からの調査(電磁探査)は、深度500m程度を調査範囲としていたため、深度500mより深い部分については、空間的な広がりにも不確実な部分がありました。この深い部分は、水質分析の結果も考慮すると、化石海水※が分布する領域と推測されていました。

※ 化石海水の存在は、地下水が長期にわたって流れにくいことを表す指標の一つと考えられています。

② 研究の必要性

令和2年度の研究により新たに得られた知見(1/2)

- 令和元年度までに得られた水の流れやすさを調べる調査(水圧擾乱試験など)のデータを解析しました。
- この結果、相対的に水が流れやすい浅部領域と流れにくい深部領域との境界には水の流れやすさが徐々に変化する領域(厚さ約100m(図中の斜線部分))が存在することがわかりました。
- このことから、地下施設の深度500m以深はこの領域を超えた、水が流れにくい領域(図中の赤点線部)であることがわかりました。



❏ 水が流れにくい領域

ボーリング孔調査結果からの解釈

- 相対的に水が流れやすいと判断した部分
- 解析的には水が流れにくいと判断されるが、ボーリング孔調査からは相対的に水が流れやすいと判断した部分
- 水が流れにくいと判断した部分

水圧擾乱試験結果からの解釈

- 地下水の流れがほとんど生じていないと判断した断層の部分

ボーリング孔の直接観察の結果

- 地下水がボーリング孔内に流れ出ていない断層の部分

遷移領域: 浅部領域と深部領域の境界部で、相対的に水の流れやすい所と流れにくい所が共存する領域

稚内層中の割れ目の水の流れやすさの解釈の比較

② 研究の必要性

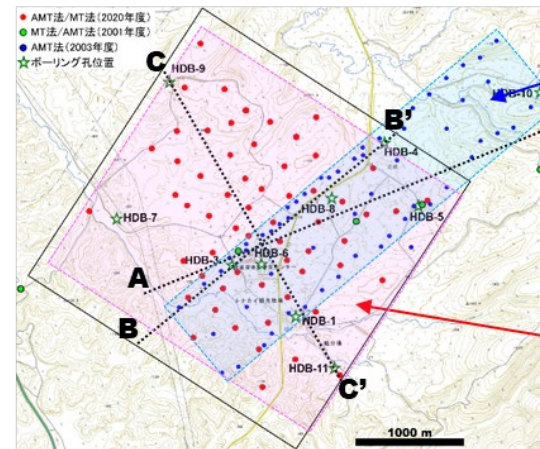
令和2年度の研究により新たに得られた知見(2/2)

- 存在が推測されていた化石海水の地下の空間的な分布をより精度良く把握するために、令和2年度に実施した地表からの調査※の結果、三次元比抵抗分布を精度よく取得できました。

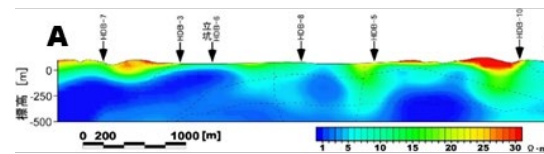
※ より深いところの調査が可能である高密度三次元電磁探査

- これまでに取得した水質データを合わせて評価※※すると、化石海水の地下深部での分布が、より精度良く把握できました。

※※ 図の青色部分が比抵抗値が小さく、化石海水の分布領域と推定されます



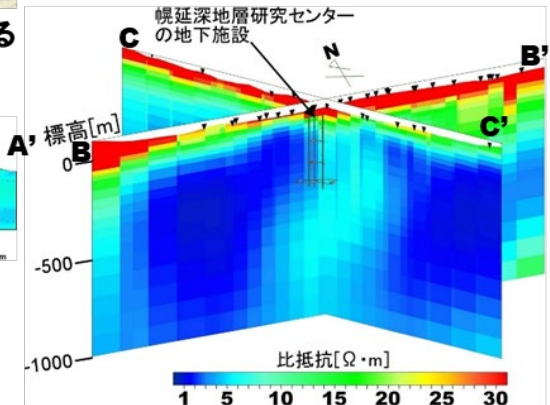
幌延深地層研究センター周辺における電磁探査の測点配置



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)

既往測点(青):
探査深度の浅いAMT法の測点を直線状に配置

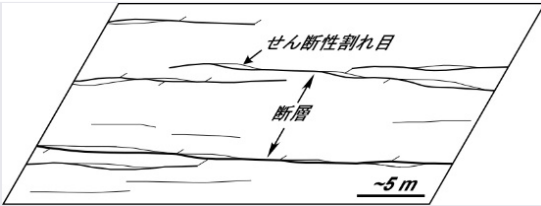
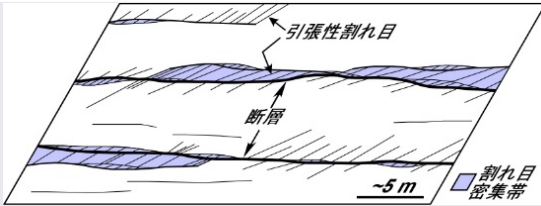
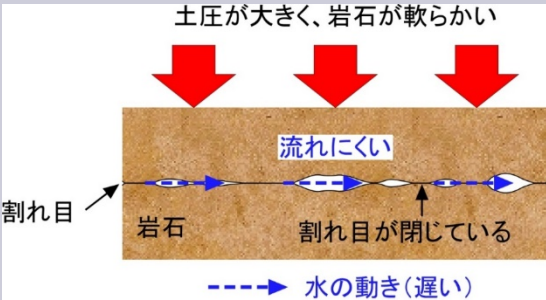
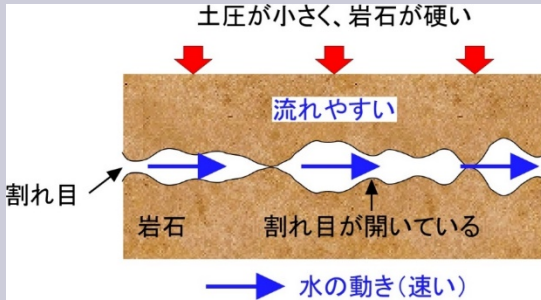
今年度測点(赤):
探査深度の深いMT法とAMT法の測点を格子状に配置



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)

② 研究の必要性

より確かになった深度500mの異なる性質の地層における地質環境の特徴

ポイント	深度500m	深度350m
土圧・ 地下水圧	・土圧が大きく、岩石が軟らかい ・地下水圧が高い	・土圧が小さく、岩石が硬い ・地下水圧が低い
地質の 状態 (分布する 割れ目の 特徴)	 断層沿いに割れ目の発達が乏しく、断層内を水が流れにくい	 断層沿いに多数の割れ目が発達し、断層内を水が流れやすい
割れ目の 開口状況	 割れ目が閉じており、水や物質が流れにくい	 割れ目が開いており、水や物質が流れやすい

② 研究の必要性

異なる地質環境を対象とした研究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 ⇒ 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 ⇒ 堆積岩の深度500mでの研究事例は海外においても少なく、大規模処分場の安全確保に貢献できる	・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できる
安全評価	・地下水や物質が割れ目内を流れにくい ・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 ⇒ 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 ⇒ 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	・地下水や物質が割れ目内を流れやすい ・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 ⇒ 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
イメージ図	---- 水が流れにくい割れ目	—— 水が流れやすい割れ目

② 研究の必要性

●深度500mでの研究の必要性について

令和2年度の研究成果によって、深度500mには深度350mとは異なる性質の地層が存在していることが、より確かになりました。

地下坑道の設計・施工上の観点などから、より難しいと考えられる**稚内層深部(500m)を対象として、坑道を展開して研究に取り組むことで、技術の信頼性向上を目的に、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**できるため、必要と判断しました。

- 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します。
- 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が提案できます。
- 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になります。

③ 研究課題の範囲

—深度500mでの研究が「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」
の研究課題の範囲内であるか—

- 深度500mの坑道においては、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」のうち、主として「坑道スケール～ピットスケール(数十～数mスケール)での調査、設計・評価技術の体系化」の研究を実施します。

※体系化の研究では、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、処分技術や安全評価技術を実証していきます。

- 「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」の範囲以外の研究は行いません。

令和2年度以降の幌延深地層研究計画における必須の研究課題

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
 - 1.2 物質移行試験
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
 - 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
 - 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
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
 - 3.1.2 地下水流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化
 - 3.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

④ 研究工程

－深度500mでの研究を行ったとしても、令和2年度以降の研究期間の研究工程におさまるか－

- 深度500mで研究を行うために必要となる立坑及び研究坑道の掘削に必要な期間は、2年3カ月です。
- 工事の準備期間を考慮すると、令和7年末までに坑道整備が終了する予定です。
- このため、深度500mで研究を行ったとしても、令和2年度以降の研究期間の研究工程におさまります。

見直した令和2年度以降のスケジュール

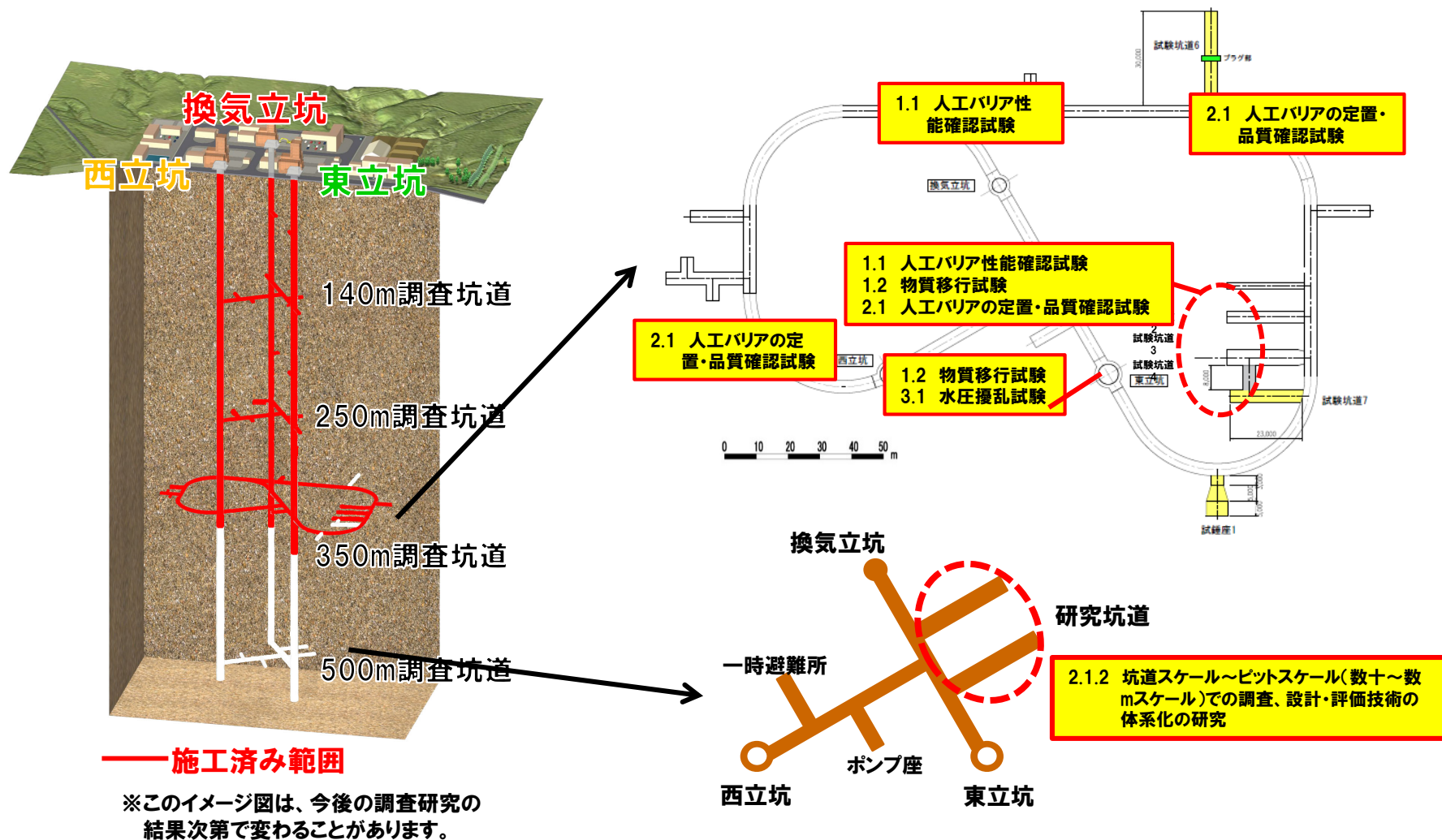
	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
	第3期		第4期中長期目標期間						
1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認									
1.1 人工バリア性能確認試験	浸透・浸透時のデータ取得、達成モデルの適用性確認、国際プロジェクトにおける解析コード間の比較検証、改良・高度化						※		
1.2 物質移行試験	掘削影響領域での物質移行に関するデータ取得、有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行試験、等								
2. 処分概念オプションの実証									
2.1 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験									
2.1.1 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の検証	搬送定置・回収技術、閉鎖技術の実証								
2.1.2 坑道スケール・ベッピスケールでの調査・設計・評価技術の体系化					坑道スケール・ベッピスケールでの調査・設計・評価技術の体系化、廃棄物処理の判断や閉鎖の認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℃超の熱・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10cmの薄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									
【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く

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。

※ 人工バリア性能確認試験については、材料の水分量や密度、腐食の度合いなど詳細なデータ取得するための解体調査を当初令和5、6年度に予定していたが、500m掘削中(令和5～7年度)は、安全管理上、作業が2箇所(2切羽)までに限定され、規模の大きな作業が困難になるため、令和8、9年度に実施することとしました。

設計の結果示された坑道のレイアウト・試験実施場所(案)



深度500mにおける実施内容

【令和2年度以降の幌延深地層研究計画(案)について(令和元年9月10日確認会議説明資料より)】

- 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技術を考慮した、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適用事例の提示、緩衝材流出・侵入現象評価手法及び抑制対策技術の提示
- 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

稚内層深部領域(深度500m)での研究の具体化

【研究課題】

- ・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

【実施概要】

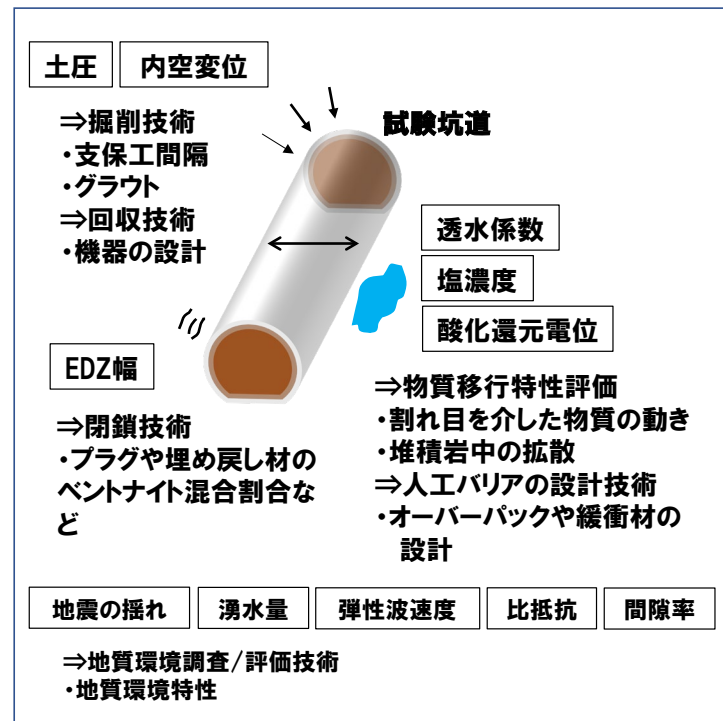
- ・人工バリアの品質を踏まえて、これまで実証してきた要素技術を体系的に適用し、廃棄体の設置方法(間隔など)を確認する

【実施内容】

- ・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技術を考慮した、地下施設及び人工バリアの設計評価技術の確認
- ・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となる情報の整理

【得られる成果】

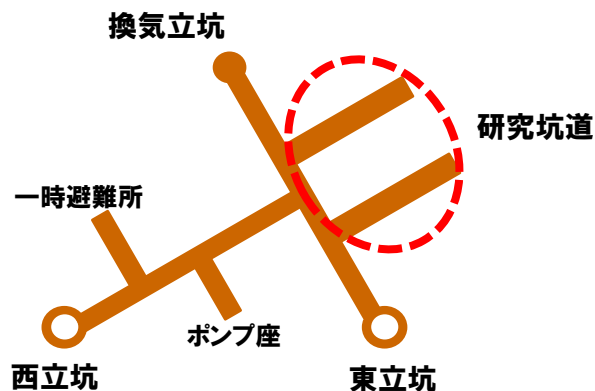
- ・幌延を事例とした地質環境条件下での、坑道掘削時の調査・設計・評価技術の実証
- ・処分孔配置の判断指標、適切な対策技術の選定方法の提示



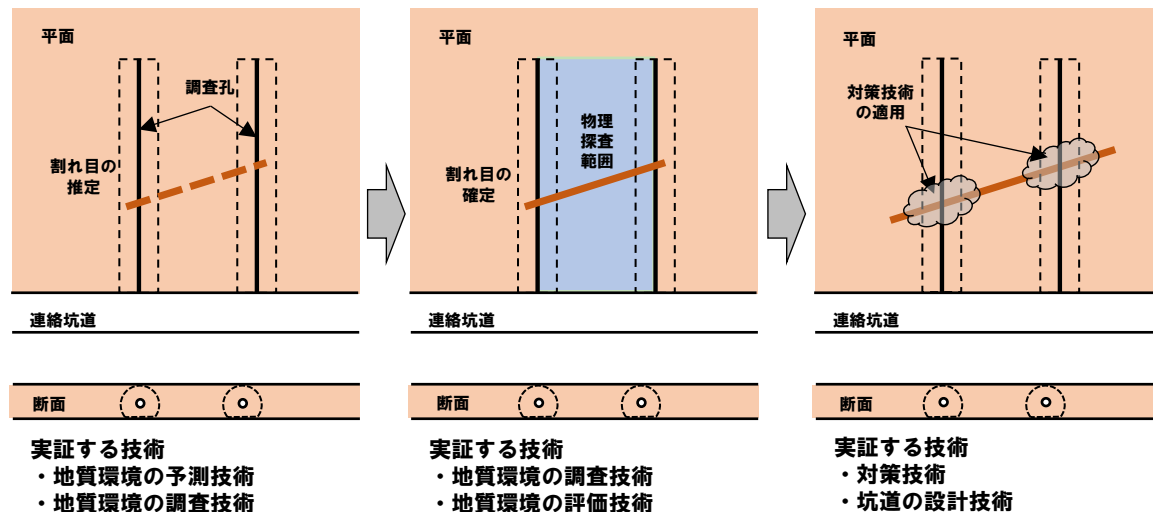
対象とする技術の一覧

深度500mにおける実施内容

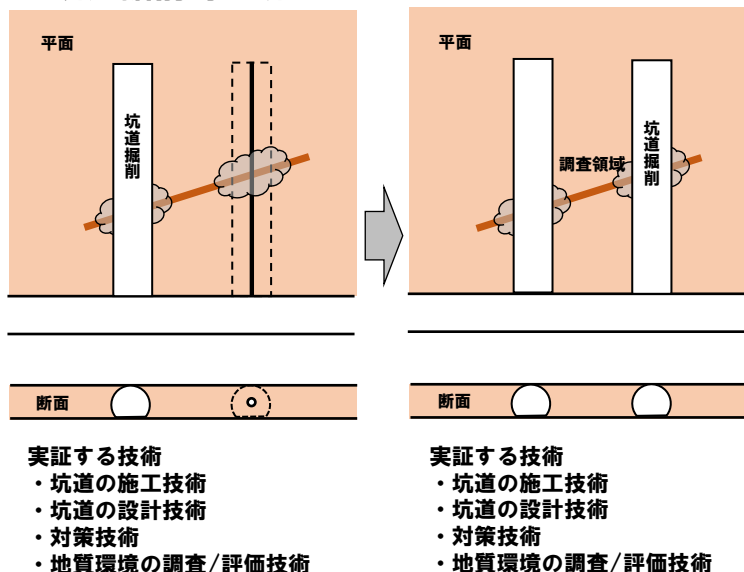
- 体系化の研究は、令和6年度から令和10年度にかけて行うものです。
- 体系化の研究の原位置試験は、右図のように、坑道を掘削しながら行います。
- 500m調査坑道のうち、体系化の研究で使う2本の研究坑道は、令和7年度に掘削する予定です。



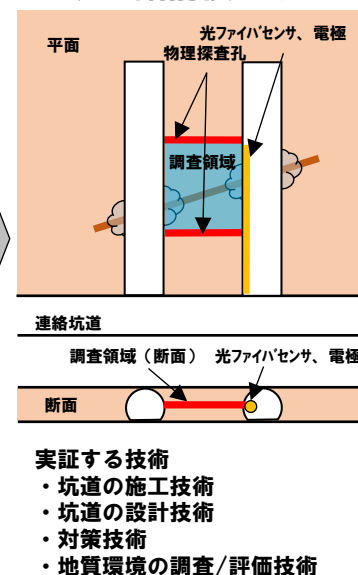
1. 坑道掘削前の事前調査



2. 坑道掘削時の調査



3. 坑道掘削後の調査



⑤ 結論

- 稚内層深部(深度500m)で研究に取り組むことで、技術の信頼性向上を目的に、技術基盤の整備に、より一層貢献できるため、必要と判断しました。
- 深度500mで実施する研究内容を具体的に示し、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」の必須の研究課題の範囲内であるという前提を確認しました。
- 深度500mにおける「研究の工程」を検討した結果、「令和2年度以降の研究期間の研究工程におさまること」が確認できました。

これらを踏まえて、原子力機構の判断として、稚内層深部で研究する方針としました。



ご清聴いただきありがとうございました。