

**幌延深地層研究計画
令和 4 年度調査研究成果報告
(概要版)**

令和 5 年 7 月

**日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター**

目次

1. はじめに	1
2. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画に基づく研究課題	2
3. 令和4年度の主な調査研究の成果	4
4. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認	7
4.1 人工バリア性能確認試験	7
4.2 物質移行試験	8
5. 処分概念オプションの実証	9
5.1 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	9
5.1.1 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	9
5.2 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	10
6. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証	11
6.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化	11
6.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握	11
6.1.2 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	12
6.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験	13
7. 令和2年度以降の必須の課題への対応に必要なデータ取得	14
8. 地下施設の管理	15
9. 環境調査	16
10. 安全確保の取り組み	17
11. 開かれた研究	18

1. はじめに

幌延深地層研究計画は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センターが、北海道幌延町において実施している、堆積岩を対象とした深地層の研究施設計画です。地層処分に関わる地下研究施設には、最終処分場として使用しない施設で技術を磨く地下研究施設（ジェネリックな地下研究施設）と最終処分候補地の適性を見定める地下研究施設（サイトスペシフィックな地下研究施設）の2つの種類があります。幌延深地層研究センターの地下施設はジェネリックな地下研究施設です。

幌延深地層研究センターでは、北海道および幌延町により受け入れられました「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」で示した研究課題について、令和2年度以降、第3期および第4期中長期目標期間*1を目途に取り組むこととしました。令和4年度は、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づいて、第4期中長期計画（令和4年4月1日～令和11年3月31日）に掲げた課題を達成していくための調査研究を実施しました。

なお、令和2年度以降の幌延深地層研究計画では、これまでと同様に、放射性廃棄物を持ち込むことや使用することなく、また最終処分場とはしないことを約束した「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、安全を最優先として研究を進めます。研究開発を進めるにあたっては、当初の計画の研究対象の範囲内において、国内外の関係機関の資金や人材を活用することを検討します。

*1：第4期中長期目標の期間は、令和4年4月1日～令和11年3月31日の7年間です。

2. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画に基づく研究課題

令和2年度以降の幌延深地層研究計画では、必須の課題のうち、引き続き研究開発が必要と考えられる以下の課題（令和2年度以降の必須の課題^{*2}）に取り組んでいます。

(1) 実際の地質環境における人工バリア^{*3}の適用性確認

・人工バリア性能確認試験

令和2年度以降は、注入する地下水の圧力や量を増加させ緩衝材に地下水を浸潤させた場合のデータを取得し、分析・評価します。その後、減熱時のデータを取得します。加えて、人工バリアの解体作業を行い、緩衝材の飽和度などの確認を行います。

・物質移行試験

令和2年度以降は、これまでに確立した試験手法を用いて掘削損傷領域^{*4}での物質移行に関するデータ取得を実施するとともに、有機物や微生物の影響を確認するためのトレーサー試験を実施します。

(2) 処分概念オプション^{*5}の実証

令和2年度以降は、人工バリア性能確認試験において、注入する地下水の圧力や量を増加させ、緩衝材に十分に水を浸潤させた状態を確保して施工方法（締固め、ブロック方式など）の違いによる緩衝材の品質の違いを把握すると

*2：平成26年度に、それまでの研究成果を踏まえて「必須の課題」を設定し、これらの課題を解決すべく、研究に取り組んできました。これらの研究課題に関して令和元年度に研究成果の評価を行い、この「必須の課題」の中で引き続き研究が必要とされたものについて、令和10年度までを研究期間として研究に取り組んでいます。「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」では、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、地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証、の3つを研究課題として取り組むこととしており、これらを「令和2年度以降の必須の課題」と呼んでいます。

*3：ガラス固化体、オーバーバックおよび緩衝材からなる地層処分システムの構成要素のことで、高レベル放射性廃棄物が人間の生活環境に影響を及ぼさないようにする障壁として、人工的に形成するものです。

*4：岩盤が掘削により損傷し、初期の性質から変化する領域のことです。具体的には、地下空洞掘削時の周辺岩盤に生じる応力集中の影響で坑道周辺岩盤に割れ目が発達することにより、岩盤の変形特性の変化や透水性の増大が予想されます。また、空気の侵入により地下水の酸化還元電位などの化学的な変化が生じることが想定されます。なお、掘削損傷領域を含むより広い領域で坑道への地下水排水などにより地下水圧が低下する領域のことを掘削擾乱領域といい、掘削擾乱領域では坑道埋め戻し後、低下した地下水圧が元の状態に回復することが想定されます。掘削損傷領域と掘削擾乱領域は、広義に掘削影響領域と表現されます。

*5：処分概念オプションとは、高レベル放射性廃棄物を人工バリアでくるんで地下深くに定置するという、地層処分の概念を実現するための色々な方法のことです。例えば、廃棄体を縦置きにするのか横置きにするのか、緩衝材をブロックで積み上げるのか現場で固めるのか、といった処分方法についての選択肢のことを指します。

ともに、埋め戻し方法（プラグの有無など）・回収方法^{*6}による埋め戻し材の品質の違いを実証試験で明らかにします。さらに、人工バリアの品質を踏まえて、廃棄体の設置方法（間隔など）などを確認するための実証試験を行います。また、人工バリアシステムの安全裕度の検証に向けて、緩衝材が 100℃超になった状態を想定した解析手法を開発します。

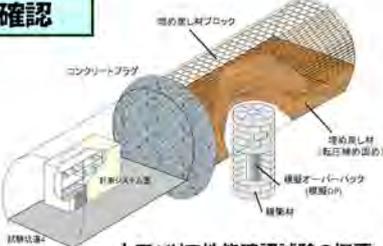
(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力^{*7}の検証

令和 2 年度以降は、より大型の断層において、地震動や坑道掘削に伴う割れ目中の地下水の流れの変化に関して、堆積岩の緩衝能力（自己治癒能力）の作用に係る実証試験を実施します。さらに、地下水が動いていない環境を調査してモデル化する技術を実証するとともに、人工バリアのひび割れに対する自己治癒能力^{*8}を解析する手法を開発します。

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

[概要] 実際の地質環境において、人工バリアや周辺岩盤中で特に減熱時における熱-水理-力学-化学連成挙動や、物質移行現象などを計測・評価する技術の高度化を行う。




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

- 人工バリアの positioning・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

[概要] 設置・回収技術や閉鎖技術も含めた、種々の処分概念オプションの工学的実現性を実証し、多様な地質環境条件に対して柔軟な処分場設計を行うことを支援する技術オプションを提供する。廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要な情報を整理する。

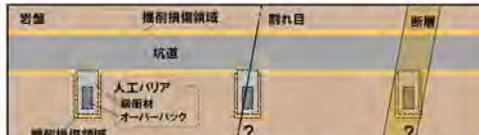



閉鎖技術オプションの整理

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

[概要] 地震・断層活動等の地殻変動に対する堆積岩の力学的・水理学的な緩衝能力を定量的に検証するとともに、化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法を高度化し、堆積岩地域における立地選定や処分場の設計を、より科学的・合理的に行える技術と知見を整備する。



廃棄体設置決定や間隔設定の考え方の整理

令和 2 年度以降に取り組むべき研究課題（令和 2 年度以降の必須の課題）

- *6：地層処分において、処分坑道に放射性廃棄物を埋設した後においても、何らかの理由でその搬出が望まれた場合にそれを搬出することを回収と言います。その回収方法として、機械的方法や高水圧などを利用して埋め戻し材を除去する方法が想定されています。
- *7：地殻変動（隆起侵食）や地震動の影響により擾乱を受けた断層や割れ目の透水特性が一定の範囲に留まろうとする能力、あるいは時間経過とともに元の状態に戻ろうとする能力のことです。
- *8：人工バリアのひび割れに対する自己治癒能力とは、坑道を掘削した際に圧力が解放されて岩盤にひび割れが発生した場合でも、坑道を埋め戻した後に人工バリアが膨潤することでひび割れに起こる作用を指します。

3. 令和4年度の主な調査研究の成果

(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では、令和4年度までの減熱過程^{*9}の試験により、緩衝材中の温度分布の変化、緩衝材内側への地下水浸潤の促進、緩衝材中の温度や飽和度^{*10}変化に伴う応力変化などの評価モデルを検証するためのデータが取得できました。
- ・ 熱－水理－力学－化学連成現象^{*11}に関する解析については、温度勾配のある環境下での緩衝材中の水分移動特性に関して、これまでにデータの不足していた条件での水分移動特性に係るパラメータを取得しました。
- ・ 解体調査については、令和3年度に確認した個々のサンプリング手法の適用性を踏まえ、施工手順やサンプリングする対象と各種調査で主に取得する情報を決定しました。
- ・ 物質移行試験では、有機物・微生物・コロイド^{*12}の影響を考慮した物質移行試験に着手し、原位置試験^{*13}に用いる地下水を対象に、有機物・微生物を含む地下水中の元素とコロイド粒子との相互作用を評価する試験を行い、原位置試験結果と室内試験結果との比較検証を行う上で、有益な情報を取得しました。
- ・ ブロックスケール（数m～100m規模）を対象として、250m調査坑道において割れ目を対象とした物質移行特性を評価するためのボーリング調査に着手し、割れ目の空間分布の評価に関わるデータを取得しました。

*9：人工バリアを構成するガラス固化体は、処分孔に設置した当初は発熱しており、時間の経過とともに発熱量が低下し、温度が下がっていきます。緩衝材の外側は、地下水の浸潤ともなって飽和度が上昇しますが、緩衝材の内側は発熱の影響により飽和度は低下します。温度が下がれば、地下水が緩衝材に入りやすくなり、時間の経過とともに緩衝材の内側まで地下水が浸潤します。このような熱と地下水の浸潤という同時並行的に生じる現象を原位置試験で再現するために、人工バリア性能確認試験では加熱過程、減熱過程の試験を行っています。

*10：土や岩盤などの間隙に含まれる水の体積と間隙の体積の比を表す値です。

*11：地下環境に設置された廃棄体の周辺の緩衝材や岩盤で、廃棄体からの熱、地下水の流れ、緩衝材が膨潤することによって発生する応力や岩盤に作用する応力、地下水と鉱物の反応などによる化学的な変化などが複合的に生じる現象です。

*12：大きさが1 nm～1 μmの粒子が水などの液体中に浮遊し、容易に沈まない状態を指します。コロイドが地層中の放射性核種の移行に影響を及ぼすことが分かっています。

*13：試料を採取して行う室内試験に対して、実際の地下環境下で行う試験のことです。

(2) 処分概念オプションの実証

- ・ 搬送定置・回収技術の実証として、コンクリート試験体の経年劣化の把握を目的に、大気条件下と湿潤条件下に試験体を定置する試験を継続し、条件の違いによる劣化の程度の違いや進行具合を確認しました。
- ・ 閉鎖技術の実証として、埋め戻し材の膨潤^{*14}変形挙動に関する室内試験を継続し、膨潤変形挙動の評価に必要なデータを整理しました。
- ・ 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^{*15}の構築について、緩衝材ブロックと岩盤の隙間での緩衝材の流出量を評価するモデルを構築するための基盤情報を整備しました。
- ・ 緩衝材の温度が 100℃を超えた状態で発生し得る現象のうち、主としてひび割れの発生が緩衝材の特性に与える影響を確認するための原位置試験の概念について検討を行い、試験計画を立案しました。

(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- ・ ダクティリティインデックス (DI) ^{*16}を用いた透水性^{*17}評価手法の信頼性向上を目的に、これまでの水圧観測データを用いて、DI と断層/割れ目の水理学的連結性^{*18}の関係を検討した結果、稚内層浅部から深部にかけて地層の数 m～数十 m 以上のスケールで見た場合の透水性が徐々に変化する様子を解析により再現することができました。
- ・ 地下水の流れが非常に遅い領域（化石海水^{*19}領域）を調査・評価する技術の高度化として、令和 2 年度の調査により推定した化石海水の三次元分布の推定結果およびその手法の妥当性を確認するためのボーリング調査を継続しました。その結果、令和 2 年度に適用した電磁探査^{*20}が化石海水領域の三次元分布の把握に有効な調査技術であることが確認できました。

*14：ベントナイトは水と接触すると水を吸って膨らむ性質があり、その現象を膨潤と言います。膨潤しようとするベントナイトを膨らまないように拘束した時に発生する圧力を膨潤圧と言います。

*15：地層処分における品質とは、人工バリアや埋め戻し材に要求される性能などを指します。これらの品質保証に関する事項を体系的に整理したものを品質保証体系と呼びます。

*16：岩石の強度・応力状態を示すために新たに定義した指標であり、この値が高いほど、岩石は見かけ上、やわらかくなります。岩盤にかかる平均有効応力（岩石に実際にかかる平均的な負荷応力）をその健岩部の引張強度（岩石の引っ張り破壊に対する強度）で除した値で定義されます。

*17：岩盤の水の通しやすさのことです。透水性を表す指標として、透水係数が用いられます。

*18：地下水の流れを評価する上で、断層や割れ目の中の隙間のつながり具合を水理学的連結性と言います。

*19：地層の堆積時に地層中に取り込まれた海水が地質学的な長い時間をかけて変質した古海水のことです。化石海水が存在する場所は、地下水の流れが非常に遅いと考えられ、物質の移動が非常に遅く地層処分に適した場所と考えられます。

*20：電磁波を利用して、対象となる岩盤などの電気的特性を観測し、その性質・状態を推定する調査手法です。

- ・地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動の検討として、掘削損傷領域の割れ目を対象とした既往の段階注水試験のデータ解析を行った結果、坑道埋め戻し後の緩衝材や埋め戻し材の膨潤による掘削損傷領域の透水性の変化をDIの経験式^{*21}により推定可能であることが確認できました。

(4) 地下施設の管理・環境調査

- ・地下施設の管理としては、令和5年度からの掘削の準備として、積込み機の整備、セメントサイロの設置などを行いました。また、地下施設の維持管理として、機械設備や電気設備の運転・保守および設備の更新を行いました。
- ・地下施設からの排水および掘削土（ズリ）置場の浸出水は、これまでと同様に、排水処理設備において適切に処理した上で天塩川に放流しています。また、地下施設からの排水などの水質調査および研究所用地周辺の環境影響調査を行い、水質汚濁防止法の排水基準や北るもい漁業協同組合との協定値を超える排水がないことを確認しています。

(5) 開かれた研究・成果の発信

- ・北海道科学大学、東京大学、京都大学、幌延地圏環境研究所、産業技術総合研究所などと研究協力を行いました。
- ・国際共同研究であるDECOVALEX、モンテリ・プロジェクトなどに参加し、情報共有を図りました。
- ・幌延国際共同プロジェクト^{*22}について、令和5年2月に協定が発効し、プロジェクトを開始しました。令和5年3月31日現在、原子力機構を含めた6機関が参加しています。
- ・研究計画から成果までの情報を国内外の学会や学術誌などを通じて広く公開するとともに、ホームページやSNSなどを活用した情報発信を継続しました。

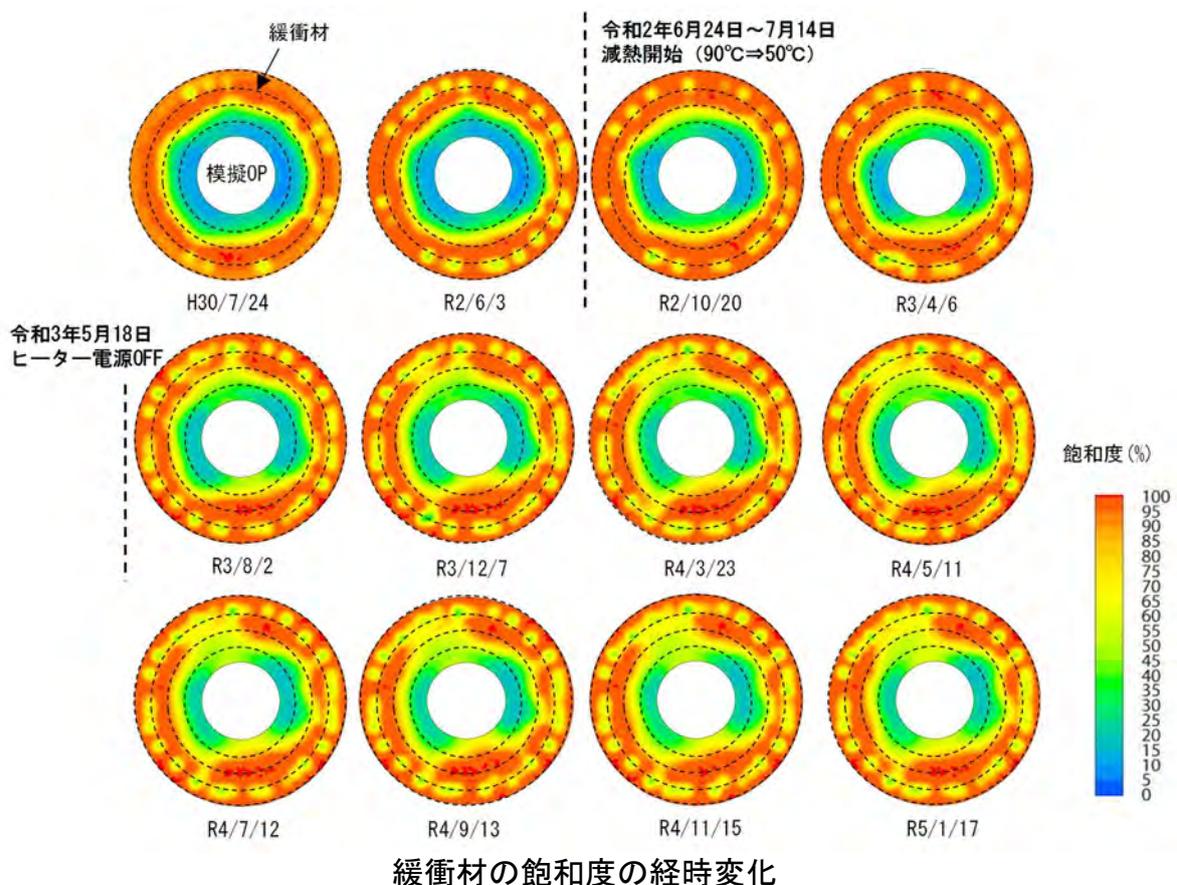
*21：理論的根拠は明らかではないが、実験や観測などによる実測値から導かれた関係を数式で表したものです。

*22：幌延国際共同プロジェクトホームページ(英語); <https://www.jaea.go.jp/english/04/horonobe/IJP/HIP/index.html>

4. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

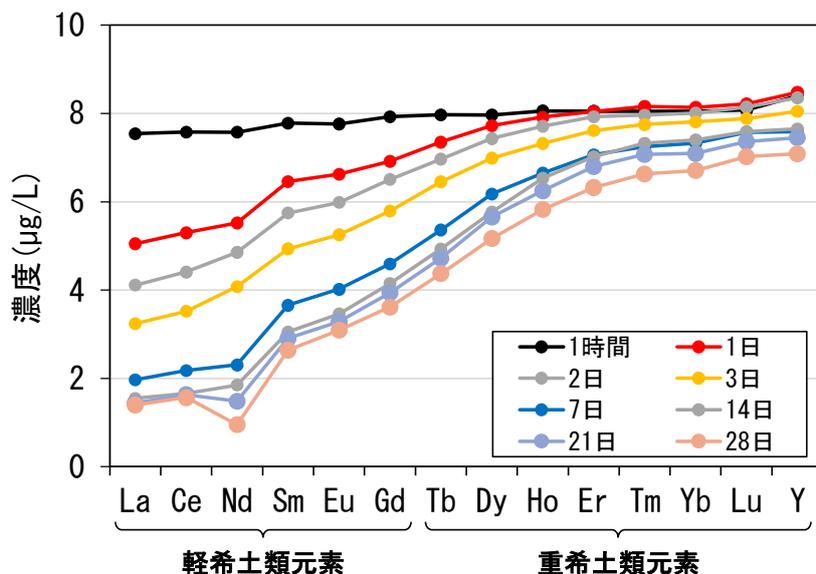
4.1 人工バリア性能確認試験 (p. 17~p. 26)

- ・ 廃棄体の発熱が収まった状態を模擬した条件での試験を継続し、緩衝材の温度分布は一定であること、緩衝材内側の飽和度は増加傾向にあることを確認しました。令和4年度までの減熱過程の試験から、廃棄体の発熱が収まった状態における緩衝材中の温度・飽和度・応力分布の変化など、評価モデルを検証するための主要なデータを取得することができました。
- ・ 国際共同研究 DECOVALEX では、室内試験などから求められたパラメータを使用し、人工バリア性能確認試験を対象とした連成解析結果を比較検証するため、参加機関ごとに解析モデルの作成に着手しました。
- ・ 人工バリア性能確認試験の解体調査に向け、試験施工で確認した個々のサンプリング手法を踏まえ全体的な作業方針と施工手順、実際のサンプリング対象と各種調査で主に取得する情報の整理を完了しました。



4.2 物質移行試験 (p. 26～p. 37)

- 掘削影響領域を対象とした物質移行試験について、過年度に実施したトレーサー*23試験結果の解析評価を行いました。
- 有機物・微生物を含む地下水中のコロイド粒子と希土類元素との相互作用を評価する試験を行った結果、軽希土類元素*24の方が重希土類元素よりもコロイド粒子になりやすい傾向が見られましたが、希土類元素自体がコロイド粒子を形成する影響や、容器への吸着・沈殿反応の影響が大きいことが分かりました。
- ブロックスケールを対象とした物質移行試験について、250m 調査坑道において割れ目を対象としたボーリング調査に着手し、水理学的連結性や物質移行特性を評価する対象となる割れ目の分布などの情報を取得しました。



幌延の地下水（深度 350 m）中のコロイド粒子に対する希土類元素の相互作用
350m 調査坑道から採取した地下水に希土類元素を添加して、0.2 μm のフィルターでろ過した後の地下水中に残った希土類元素の濃度を示しています。

*23：地下水中に溶存する物質が地層中を移行する際の経路や収着・拡散といった挙動などを調査するために、地下水に添加する物質のことです。幌延深地層研究計画では放射性のトレーサーを用いた試験を行うことはありません。

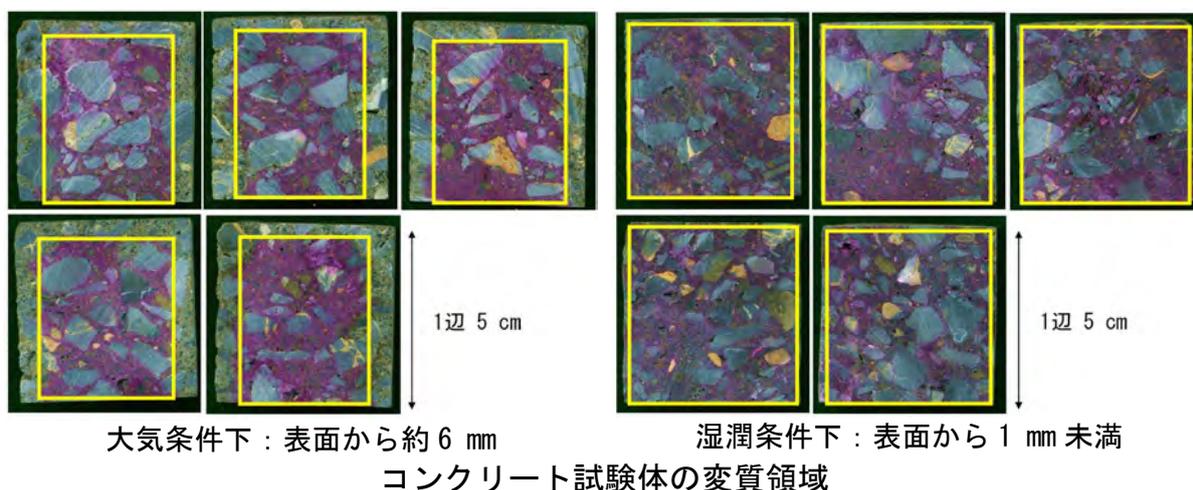
*24：希土類元素のうち、原子番号 57 のランタン (La) から 63 のユウロピウム (Eu) までの 7 元素を軽希土類元素、原子番号 71 のルテチウム (Lu) までの 8 元素を重希土類元素と呼びます。

5. 処分概念オプションの実証

5.1 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

5.1.1 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 (p. 38～p. 79)

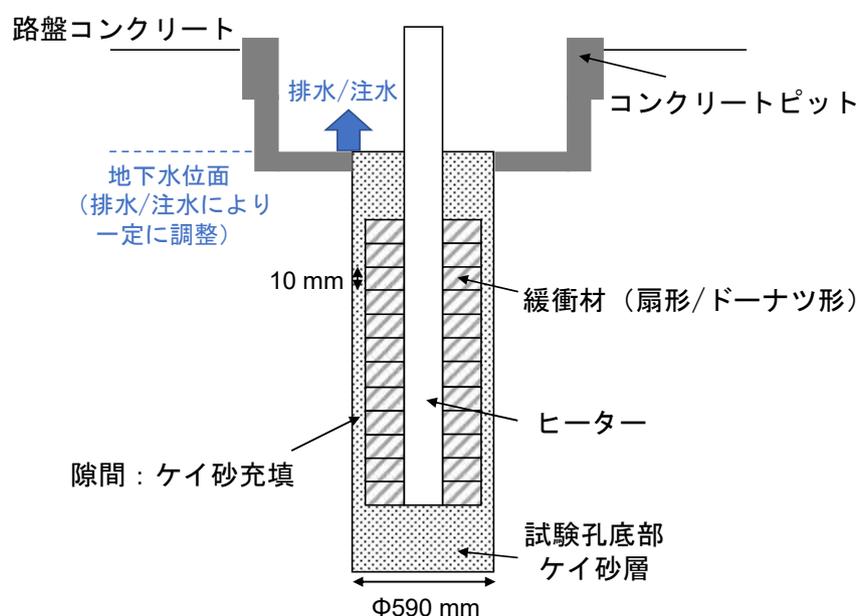
- ・ コンクリート支保^{*25}の経年劣化を把握するための試験を継続し、約1年9か月経過後の大気条件下および湿潤条件下での、表面からの変質の程度の違いや進行具合を確認しました。その結果、大気条件下では定置から約8か月経過時点で、表面から約3 mmであった変質領域が、定置から約1年9か月後には約6 mmとなっていることを確認しました。また、湿潤条件下での変質領域は大気条件下に比べてごくわずかであることが分かりました。
- ・ 坑道内から掘削された水平に近いボーリング孔を閉塞するために、実際の岩盤中に掘削したボーリング孔内にベントナイトブロックを設置する原位置試験を行い、孔口から20 m以上奥の位置にベントナイトブロックを定置する技術の適用性を確認しました。
- ・ 緩衝材の流出挙動について、原位置試験を継続するとともに、モデルの妥当性や適用性の検証を行い、緩衝材の流出量を評価するモデルを構築するための基盤情報を整備することができました。



*25：地下空間の安定を保つために設ける、ロックボルト、鉄骨、コンクリートの壁などの構造物です。

5.2 高温度（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験（p. 79～p. 87）

- ・ 緩衝材の温度が100℃を超えた状態で発生し得る現象のうち、主としてひび割れの発生が緩衝材の特性に与える影響を確認するための原位置試験の概念について検討を行い、試験計画を立案しました。
- ・ 原位置試験は、350m 調査坑道の試験坑道5の既存の試験孔を用いて、緩衝材の含水比や、形状（扇形・ドーナツ形）を変化させたケースを同時に行います。
- ・ 海外機関が実施している緩衝材の最高温度が100℃を超えた状態を模擬する原位置試験について、情報の入手を継続しました。



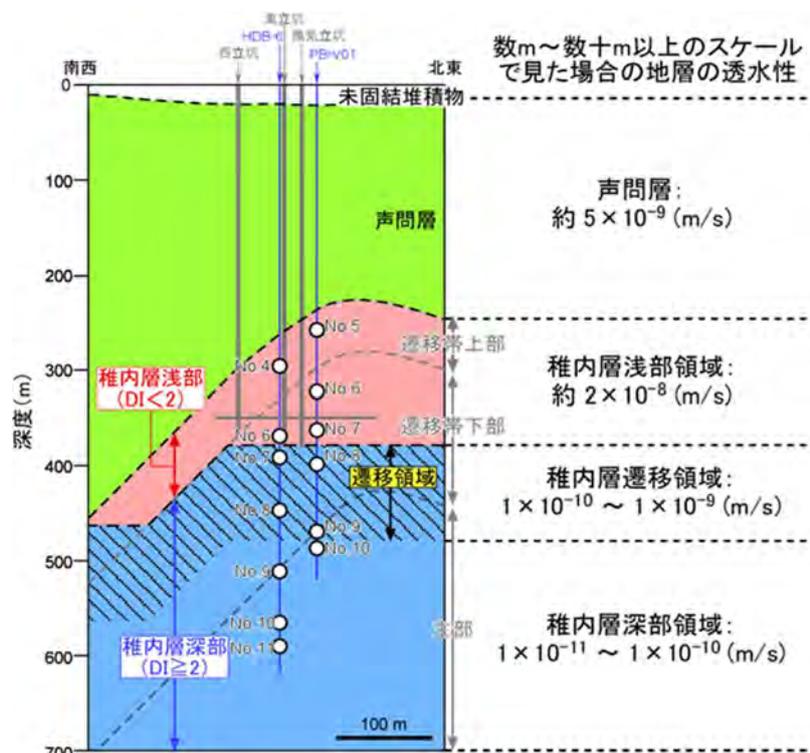
原位置試験の概念図

6. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

6.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

6.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握 (p. 88~p. 93)

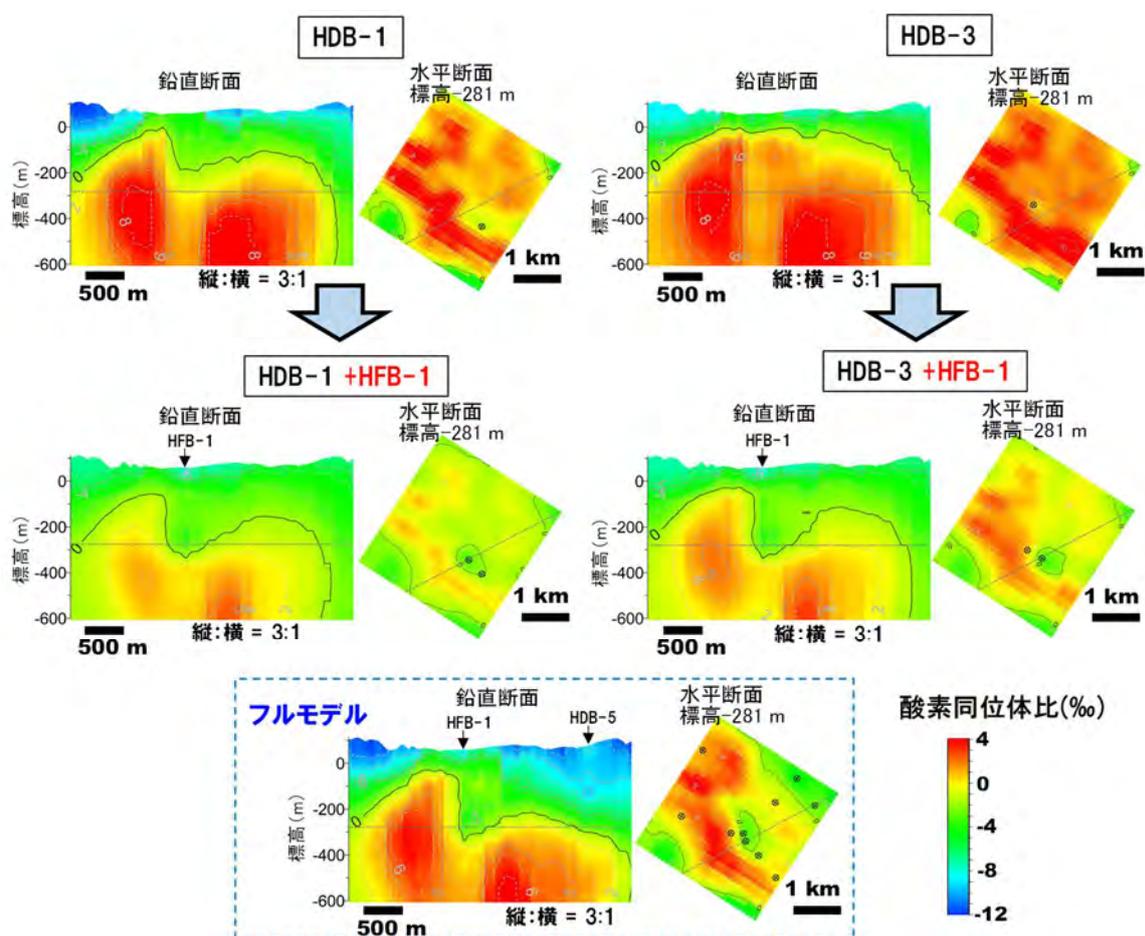
- 令和3年度に再検証したダクティリティインデックス (DI) モデルと、令和2年度に実施した水圧擾乱試験結果との比較検証を行い、DI の経験式と水圧擾乱試験中の断層の透水性の変化が整合することを確認しました。
- DI を用いた透水性評価手法の信頼性向上を目的に、これまでに得られた水圧観測データから DI と断層/割れ目の水理学的連結性の関係を検討した結果、稚内層浅部から深部にかけて地層の数 m~数十 m 以上のスケールで見た場合の透水性が徐々に変化する様子を数値解析により再現することができました。



地下施設建設時の地下施設周辺のボーリング孔 (HDB-6 孔および PB-V01 孔) での水圧変化から数値解析により推定された各地層の透水性

6.1.2 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 (p. 94 ~p. 111)

- ・ 化石海水の三次元分布の推定結果およびその手法の妥当性を確認するためのボーリング調査を継続し、令和 2 年度に実施した電磁探査が化石海水領域の三次元分布の把握に有効な調査技術であることを確認しました。
- ・ 物理探査およびボーリング調査によるデータ取得から地球統計学的解析による化石海水領域の三次元分布の推定に至る一連の手法を整理しました。
- ・ 長期的な時間変化を考慮した地下水流動解析を実施した結果、稚内層深部では地下水の流れが非常に遅い可能性が確認されました。

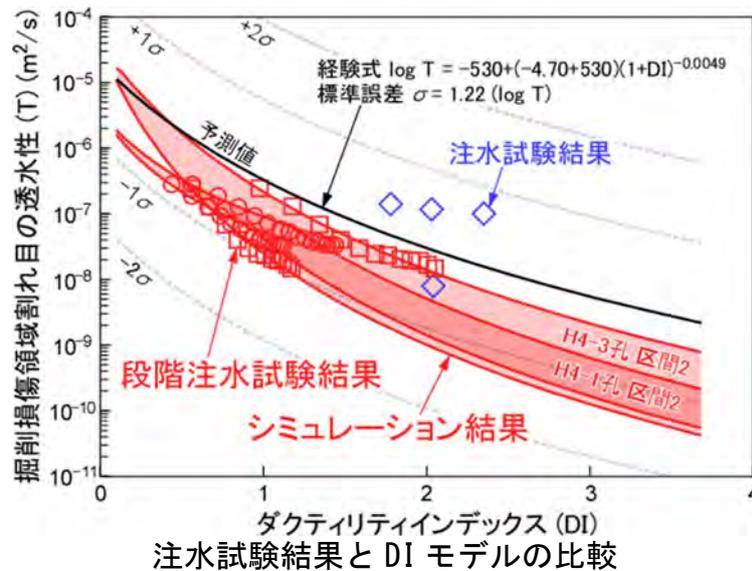


地球統計学的手法で得られた酸素同位体比の分布の例

上段は HDB-1 孔と HDB-3 孔のそれぞれ 1 孔ずつ使ったケース、中段はそれらに HFB-1 孔を追加したケース、下段はフルモデルのケースを示しています。また、鉛直断面に示す点線は標高-281 m を示し、水平断面の点線は鉛直断面の位置を示しています。黒線は、酸素同位体比が 0‰ となる等値線を示しており、それを境に酸素同位体比が高い（色が赤い）範囲は、化石海水が存在すると推定されます。HFB-1 孔を追加したケースは、1 孔を使ったケース（HDB-1 孔または HDB-3 孔）に比べ全体の推定値が低下し、フルモデルで推定された三次元分布と類似した結果が得られました。

6.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験 (p. 111～p. 117)

- 掘削損傷領域の割れ目を対象とした既往の段階注水試験（段階的に注水圧を増加させる注水試験）のデータ解析を行いました。その結果、掘削損傷領域の割れ目の DI を変化させた時の透水性の変化が、令和 3 年度に再検証した DI の経験式と整合的であることが確認できました。



令和 2 年度から令和 4 年度の成果のまとめ

令和 2 年度から 3 年間、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の評価手法を構築するために、既往の試験結果を用いた机上検討を行ってきました。その結果、坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性の変化は、

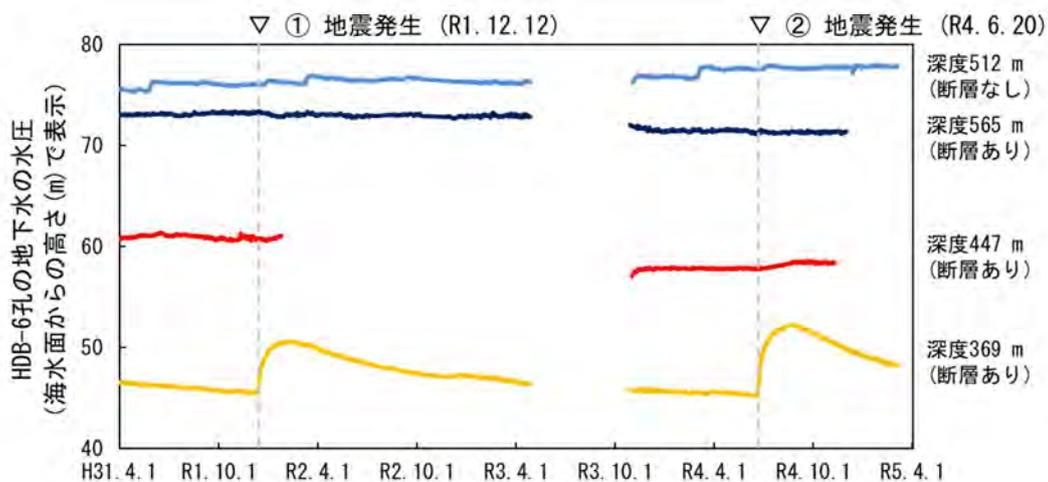
- 推定される DI の変化などから見積もることができ、段階注水試験や樹脂注入試験を行うことにより確認できることが分かりました。
- 個々の割れ目の透水性の変化量を評価し、それらを足し合わせることで推定することも可能であることが分かりました。

これらにより、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評価する手法を整備することができ、所期の目標を達成することができました。

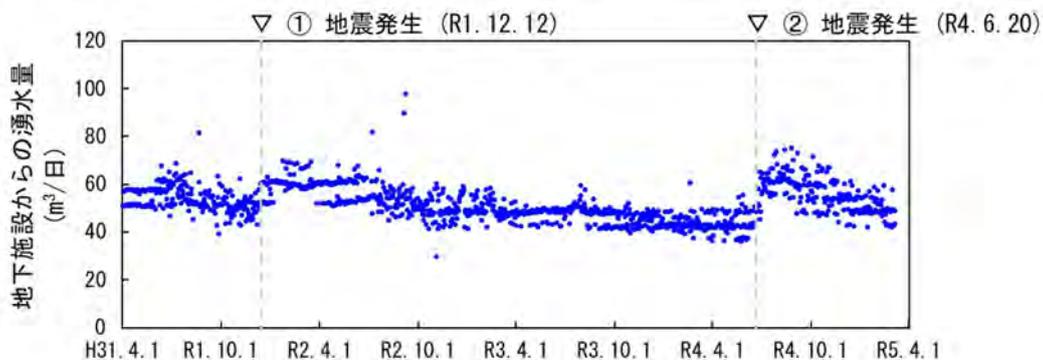
7. 令和2年度以降の必須の課題への対応に必要なデータ取得

(1) 岩盤の水理 (p.118~p.119)

- ・ 坑道掘削後の地質環境の変化を把握するため、HDB-6 孔での水圧観測を継続しました。
- ・ 深度 369 m の水圧は令和元年 12 月 12 日の地震、令和 4 年 6 月 20 日の地震（いずれも幌延町震度 4）に伴い、水圧が増加した後、元の水圧に戻る傾向が観測されましたが、深度 447 m 以深ではそのような水圧変化が認められませんでした。
- ・ 上記のことから、深度 369 m では、割れ目の水理学的連結性が高い一方で、深度 447 m 以深では水理学的連結性が低いことが示唆されます。この結果は 6.1.1 で検討している深度 400 m 以深で割れ目の水理学的連結性が低い領域が分布するという結果と一致しています。



HDB-6孔の水圧観測結果



地下施設からの湧水量

HDB-6 孔の水圧観測結果と地下施設からの湧水量の比較

8. 地下施設の管理

掘削の準備として、積込機の整備、セメントサイロの設置、高圧受変電設備の増設などを実施しました。また、地下施設の維持管理として、機械設備や電気設備の運転・保守および設備（キブルワイヤー、排水設備など）の更新を行いました。



積込機の整備



キブルワイヤーの交換

設備の整備および更新状況

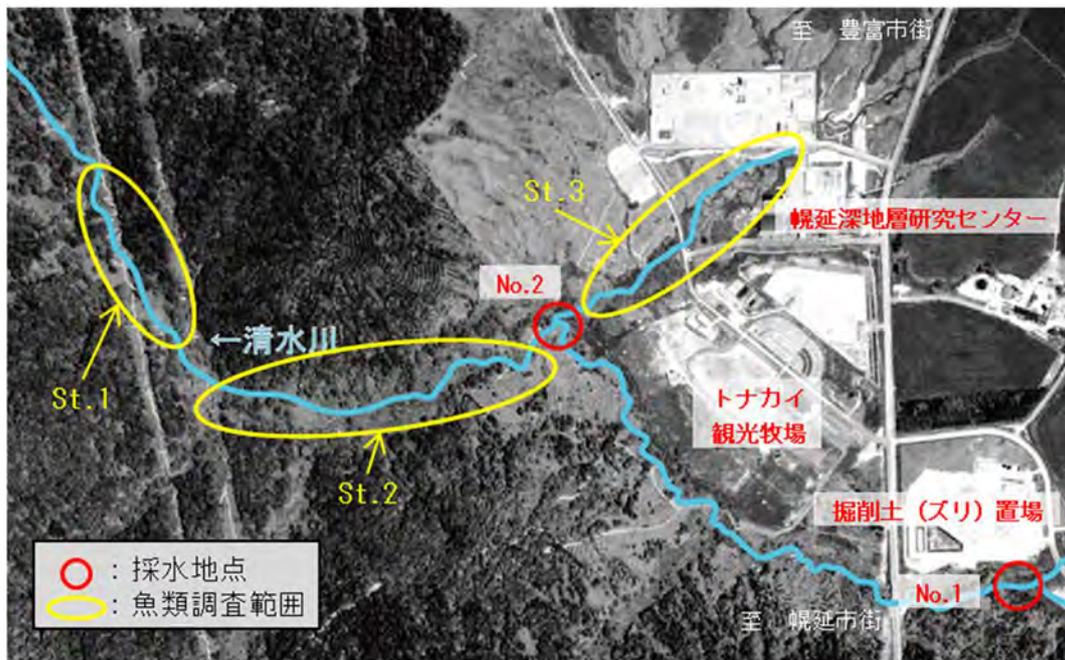
地下施設の建設により発生した掘削土（ズリ）には重金属などが含まれていますが、自然由来であることから土壤汚染対策法の適用外となっています。しかし、幌延深地層研究センターでは、周辺環境の保全に万全を期すため、土壤汚染対策法に準拠した管理を行っています。具体的には、対象となる物質が土壤汚染対策法に定める範囲内であることを確認するため、掘削土（ズリ）について建設現場における簡易分析と公的機関による詳細な分析を実施し、同法に準じた適切な管理のもと掘削土（ズリ）置場へ搬入し、保管しています。

地下施設からの排水と掘削土（ズリ）置場に設置している浸出水調整池の浸出水については、硝酸性窒素処理設備、濁水処理設備、脱ホウ素設備、脱窒素設備および揚水設備から構成される排水処理設備で処理を行っています。処理済排水は、排水基準値を超過していないことを確認した後、排水管路を通じて天塩川へ放流しています。

9. 環境調査

排水処理設備から天塩川へ放流している排水量について監視を行うとともに、処理前後の排水の水質、天塩川の水質、浄化槽排水の水質について、調査を行っています。また、掘削土（ズリ）置場周辺の地下水についても水質調査を行っています。これらの分析結果の詳細は、幌延深地層研究センターのホームページ*26で公開しています。水質調査の結果、環境への影響は観測されませんでした。

また、幌延深地層研究センター周辺の環境影響について、清水川の水質および魚類を対象に調査を実施しています。各調査結果は、これまでと比較して大きな変化はありませんでした。



環境調査実施場所

*26 : <https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/disclosure/suishitsu.html>

10. 安全確保の取り組み

安全確保の取り組みとして、直営作業、請負作業、共同研究作業においては、作業の計画段階からリスクアセスメント評価を実施し、安全対策の妥当性の確認や改善に努めました。

そのほか、所長や保安・建設課などによる定期的な安全パトロールを実施し、現場の安全確認や改善などに努めました。

さらに、新規配属者や請負作業・共同研究作業の責任者などに対して安全教育を実施したほか、全国安全週間などの機会を捉えて、従業員のみならず請負企業も含めた安全行事に積極的に取り組むなど、安全意識の高揚に努めました。



安全パトロールの状況（令和4年4月11日の実施状況）



安全行事（安全大会：令和4年7月1日）の状況

11. 開かれた研究

幌延深地層研究計画で実施する地下深部を対象とした研究は、国内外の大学・研究機関との共同研究や研究協力をはじめ、広く関連する専門家の参加を得て進めています。

○国内機関との研究協力

- 北海道科学大学
AI技術を活用した画像認識による坑道壁面の地質判読に関する研究
 - 東京大学
地下研究施設原位置における核種移行への有機物影響に関する研究
 - 幌延地圏環境研究所
堆積岩の地下深部の微生物の生態系の把握
 - 産業技術総合研究所
海陸連続三次元地質環境モデルの妥当性の検証に向けたデータ取得手法の高度化
 - 原子力規制庁（原子力機構 安全研究センターとの共同研究への協力）
放射性廃棄物処分坑道の閉鎖措置確認に向けた掘削損傷領域およびベントナイトの透水性に関する研究
- など

○国外機関との研究協力

- DECOVALEX
人工バリア性能確認試験を対象とした共同解析
 - 幌延国際共同プロジェクト（Horonobe International Project : HIP）
複数回の準備会合を行い、プロジェクトの内容や実施分担などについて議論、令和5年2月8日に協定^{*27}が発効し、令和10年度末までを限度としてプロジェクト開始
- など

*27：協定には、放射性廃棄物を持ち込まないことや、放射性廃棄物の最終処分の実施主体に譲渡・貸与しないことなど、「幌延町における深地層の研究に関する協定書」に関わる記載があります。また、期間については、「本協定は、2025（令和7）年3月31日まで有効であり、管理委員会の全会一致の承認を得て、2029（令和11）年3月31日を限度として追加延長することができるものとする。」との記載があります。