

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

令和2年度以降、人工バリア性能確認試験や物質移行試験などの処分システムの設計・施工や安全評価に関わる基礎情報、例えば、岩盤の水の流れやすさや岩石の鉱物組成や化学組成、地下水のpHや酸化還元電位^{*}、化学組成などのデータの取得などについては、令和2年度以降の必須の課題への対応に必要なことから、引き続き必要最低限のデータを取得し、処分システムの設計・施工や安全評価に関する研究を行う試験場所の地質環境特性を明確にし、それらの手法の評価に用いることとなります。なお、処分システムの設計・施工手法や安全評価手法の信頼性を確認するために必要となるデータが取得できているかを含めて評価することが必要であるため、計測手法の妥当性を確認し、必要に応じて調査技術・機器の改良を行います。

令和5年度におけるデータ取得例として、350m調査坑道に設置している水圧・水質モニタリング装置を用いて取得された物理化学パラメータ（pHや酸化還元電位、圧力など）のモニタリング結果を示します。物理化学パラメータについては、大気中の酸素との接触や圧力の低下などの影響を低減させた原位置の地下水の値を取得する必要があるため、令和2年度以降も水圧・水質のモニタリングを継続しています。ここでは、人工バリア性能確認試験の試験箇所周辺のボーリング孔に設置した水圧・水質モニタリング装置から得られた地下水圧のモニタリング結果を示します（図33）。水圧について、採水やメンテナンスに伴う急激な変化を除き、大きな変動は見られませんでした。

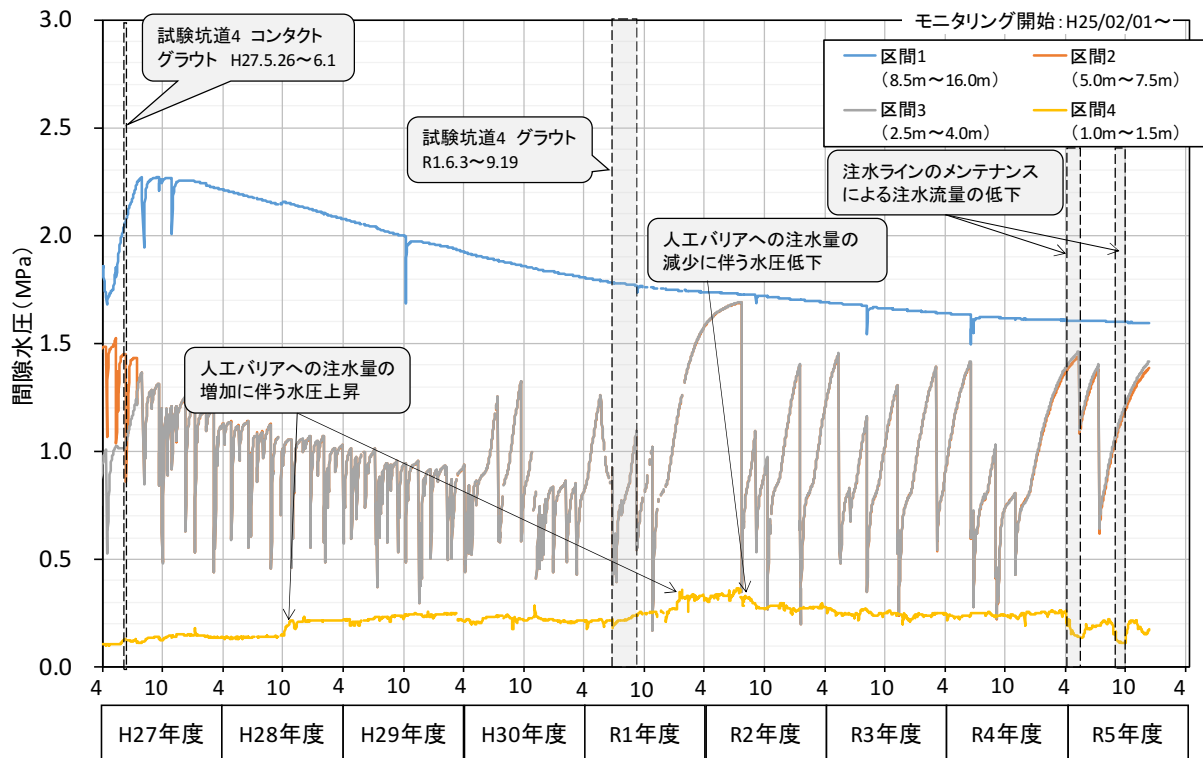


図 33 人工バリア性能確認試験の試験箇所周辺のボーリング孔 (13-350-C08 孔) における水圧の経時変化

令和6年度は、地質環境特性データとして、既存のボーリング孔や140m、250mおよび350m調査坑道を利用した地質構造・岩盤の水理・地下水の地球化学・岩盤力学に係るデータ取得などを継続するとともに、掘削工事に伴い取得されるデータについても活用します。地質構造に関しては、ボーリング調査や坑道掘削時の壁面観察で得られた地質データに基づいた地層および割れ目の空間的分布に関する特徴の整理を継続します。また、令和2年度以降の必須の課題の目的に応じて、地質構造や水理の特徴を踏まえた水理地質構造モデル^{*}を構築します。岩盤の水理に関しては、坑道掘削後の地質環境の変化を把握するため、地上から掘削された既存のボーリング孔での水圧観測を行います。地下水の地球化学に関しては、既存のボーリング孔を対象に地下水の採水調査を行うとともに、地下水の水質分布や水質の時間的な変化を把握します。また、坑道掘削の影響については、地表や坑道に設置した高精度傾斜計^{*}および坑道に設置した地中変位計などを用いて、岩盤の微小な変形の観測を継続します。さらに、上幌延観測点 (HDB-2) と地下施設での地震観測を継続します。

8. 地下施設の建設・維持管理

令和6年度は、令和5年度に引き続き、換気立坑および東立坑の掘削を行います。西立坑および500m調査坑道についても、湧水抑制対策を行った後、掘削準備を行い、掘削を開始する予定です（表4）。

坑道掘削に際しては、各種計測工を行うとともに、速やかに支保を構築し、坑道周辺の岩盤の安定性を保持しながら掘削を進めます。支保の選定は、そこで得られる岩盤の力学性状などの情報を適宜設計に反映したものとします。なお、研究所用地およびその周辺の地下には、メタンを主成分とする可燃性ガスが存在しているため、掘削切羽近傍においては、防爆仕様の機器の採用や、ガス濃度の監視などにより防爆対策を行いながら掘削を進めます。

坑道掘削により発生した掘削土(ズリ)は、用地内に仮置きしたのちに掘削土(ズリ)置場に搬出します。なお、掘削土(ズリ)については有害物質の含有量および溶出量を定期的に確認します。

坑道掘削に伴って発生する排水および掘削土(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ホウ素および窒素などを取り除いた後、排水管路によって天塩川に放流します。

地下施設の掘削の進捗状況についてはホームページなどを利用して適宜、情報発信を行います。

表4 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。

9. 環境調査

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実施します。

9.1 排水量および水質調査

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、排水処理前後の水質、天塩川の水質、浄化槽排水の水質について調査を行います。また、掘削土（ズリ）置場の環境への影響を監視するため、清水川および掘削土（ズリ）置場周辺の地下水についても水質調査を行います（図 34）。



(a) 天塩川の水質調査



(b) 掘削土(ズリ)置場周辺での水質調査

図 34 水質調査の様子

9.2 研究所用地周辺の環境影響調査

研究所用地周辺の環境影響調査として、清水川の水質および魚類を対象に調査を実施します（図 35）。



(a) 清水川の水質調査



(b) 清水川の魚類調査

図 35 環境影響調査の様子

10. 安全確保の取り組み

地下施設や研究所用地周辺における調査研究や地下施設整備工事などの実施にあたっては、安全確保を最優先とした取り組みを行います。具体的には、作業計画時における安全対策の確認を徹底するとともに、作業者に対する安全教育や訓練の実施、定期的な安全パトロールなどを通じて安全確保に努めます（図 36）。



図 36 安全パトロールの様子

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、地球科学の幅広い分野にわたり、学術研究の発展にも寄与します。このため、国内外の大学・研究機関との研究協力を積極的に行うとともに、国際交流施設^{*}などを利用して国内外の専門家と意見・情報交換を行いながら、研究を進めていきます。また、幌延深地層研究センターの施設や研究フィールドを、国内外の関連する研究機関に広く開放していきます。

経済産業省資源エネルギー庁などが進めるプロジェクトなどに協力していきます。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、国内外の機関との協力を進めます。

地層処分や研究開発に関する国民との相互理解を促進するため、幌延深地層研究センターのホームページ^{*11}での情報発信、ゆめ地創館^{*}における地下深部での研究の紹介および地下施設の見学会などによる研究施設の公開を進めていきます。また、令和2年度から幌延町広報誌「ほろのべの窓」の誌面をお借りして毎月連載している、研究内容を紹介する記事については、令和6年度も継続して行います。

11.1 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
微生物を指標とした堆積岩中の水みち調査手法の開発

○名古屋大学

炭酸カルシウムのコンクリーション化による地下空洞掘削影響領域
および水みち割れ目の自己シーリングに関する研究

*11 : 幌延深地層研究センターホームページ ; <https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/>

○京都大学

水質形成機構のモデル構築および数値解析に関する共同研究

○京都大学、東北大学

地下水中の微量元素と有機物を対象とした地球化学研究

○幌延地圏環境研究所^{*12}

堆積岩を対象とした岩盤力学や微生物などに関する研究

○電力中央研究所^{*13}

地下微生物とニアフィールド構成材料の相互作用に関する研究

実地下水中のコロイドへの核種の収脱着メカニズムに関する研究
(原子力機構 核燃料サイクル工学研究所が実施する共同研究への協力)

堆積軟岩を対象とした掘削影響評価技術に関する基礎的研究

○原子力規制庁

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 (原子力機構 安全研究センターが実施する共同研究への協力)

○大林組

光ファイバー式センサーを用いた坑道掘削時の掘削損傷領域と地下水流動のモニタリング

○地層科学研究所

幌延深地層研究センターの深度 500 m を対象とした広域水理・力学場の事前検証

○安藤・間、川崎地質

ボアホールジャッキ試験による変形係数・応力測定と掘削損傷領域評価に関する研究

上記のほか、他の大学や研究機関などとの研究協力を進めます。また、原子力や地層処分に関する人材育成のための講習やトレーニングの企画に協力します (図 37)。

*12：幌延地圏環境研究所は、公益財団法人北海道科学技術総合振興センターが設置した研究所であり、国の補助を受けて、幌延深地層研究センターの施設や設備を活用した地下空間利用を中心とする研究を実施しています。

*13：一般財団法人電力中央研究所は、電力技術の専門研究機関として設立されました。電力技術の研究として、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発を実施しています。



図 37 国際原子力人材育成イニシアティブ事業[※]での実習の様子

11.2 国外機関との研究協力

○幌延国際共同プロジェクト (Horonobe International Project : HIP)
令和2年度以降の必須の課題のうち、実際の地質環境における人工バリアの適用性確認および処分概念オプションの実証に関わる以下の3つのタスクを設定しています。

タスク A : 物質移行試験

タスク B : 処分技術の実証と体系化

タスク C : 実規模の人工バリアシステム解体試験

具体的には、参加機関による管理委員会を開催するとともに、タスク A では、250m 西立坑側第1ボーリング横坑 (図2参照) から掘削したボーリング孔を利用し、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 では、500m 調査坑道における原位置調査に先立ち、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、原位置調査で取得すべきデータの検討を行います。また、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 では、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。さらに、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します。

HIP での活動については、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、情報発信を行います。

○クレイクラブ (Clay Club) *14

様々な粘土質媒体の特性の比較、粘土の物性・挙動や地下施設で実施される試験などに関する情報交換など

○環太平洋地域における地下研究施設 (URL) を活用した国際協力*15

各機関が課題とするテーマについて情報交換、解析技術の検討など

上記の他、国外の研究機関などとの研究協力や地下施設における原位試験などに関わる情報交換を進めます。

*14 : Clay Club は、経済協力開発機構/原子力機関 (OECD/NEA) の放射性廃棄物管理委員会 (RWMC) ・セーフティケース統合グループ (IGSC) の下で実施されているプロジェクトのひとつです。地層処分の実施・規制・研究機関などにより組織され、様々な粘土質媒体の特性の比較、粘土の物性・挙動や地下施設で実施される試験などに関する技術的かつ科学的情報の交換に加えて、サイト特性調査技術の詳細な評価も実施しています。

*15 : 環太平洋地域における地下研究施設 (URL) を活用した国際協力に関する枠組みです。参加機関は、原子力機構の他、オーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO、オーストラリア)、工学技術研究院 (ITRI、台湾)、韓国原子力研究所 (KAERI、韓国)、サンディア国立研究所 (SNL、米国) です。

12. 用語集

【英数字】

DECOVALEX（デコバレックス）

DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments（連成モデルの開発とその実験結果との検証）の略称で、地層処分システムの性能評価において重要な課題のひとつである熱－水理－力学－化学連成挙動モデルの開発・確証を目的とした国際共同研究です。

【あ行】

移流

本計画書では、物質が地下水の流れによって移動する現象を指します。

ウラニン

黄緑色の蛍光染料で、フルオレセインナトリウムとも言います。化学式は $C_2O_{10}H_{10}Na_2O_5$ であらわされます。トレーサー試薬としての利用のほか、入浴剤の着色料などとしても利用されています。

オーバーパック

人工バリアの構成要素のひとつです。ガラス固化体を包み込み、ガラス固化体に地下水が接触することを防止し、地圧などの外力からガラス固化体を保護する容器のことを言います。候補材料は炭素鋼などの金属です。

【か行】

回収可能性

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、処分場の閉鎖までの間に何らかの理由でその取り出しが望まれた場合に、それを取り出し、搬出する一連の行為が実現可能であることを言います。

回収方法

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。

化石海水

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。

緩衝材の流出・侵入現象

緩衝材が地下水の流れによって流される現象を流出現象、緩衝材に含まれる粘土が膨潤することで割れ目などの隙間に侵入する現象を侵入現象と呼びます。

乾燥密度

乾燥密度とは、ある体積に含まれる土粒子のみの質量を考えた場合の密度のことを言います。

希土類元素

希土類元素は、原子番号 21 のスカンジウム (Sc) と 39 のイットリウム (Y) に、原子番号 57 のランタン (La) から 71 のルテチウム (Lu) までの 15 元素を合わせた 17 元素の総称です。レアアースとも呼ばれます。希土類元素は、高レベル放射性廃棄物に含まれる放射性核種と同様の化学的性質を示すことから、希土類元素を用いた試験を行うことにより、高レベル放射性廃棄物に含まれる放射性核種の移行挙動などを推測することができます。

掘削損傷領域

本計画書における掘削損傷領域とは、岩盤が掘削により損傷した領域のことで、坑道の周りに形成されます。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、岩盤の変形特性が変化したり透水性が増大したりします。また、空気の侵入により地下水の酸化などの化学的な変化が生じます。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の水圧や岩盤に作用する力が変化する領域のことを掘削擾乱領域と言います。掘削擾乱領域では坑道埋め戻し後、変化した地下水圧などが元の状態に回復すると想定されます。掘削損傷領域および掘削擾乱領域は、広義に掘削影響領域と表現されます。

原位置試験

地下で採取された試料を用い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。

減熱過程

人工バリアを構成するガラス固化体は、ピット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。このような温度が下がっていく段階を、本計画書では減熱過程と言います。発熱している段階（加熱過程）では、緩衝材の外側は地下水の浸潤に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。減熱過程に入り、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。

高精度傾斜計

通常の傾斜計が測定できるのは 3,600 分の 1° 程度であるのに対し、約 1 億分の 6° の傾斜量を計測することができる非常に計測精度の高い傾斜計です。微小な地殻変動を捉えるために用います。

坑道スケール

実際の処分場では、地下深くに多数の坑道が掘削されます。これらの坑道の配置を検討するために必要な評価範囲（数百 m 程度）のことを指します。

国際原子力人材育成イニシアティブ事業

文部科学省による原子力分野の幅広い人材育成を目的とした公募事業で、東京工業大学、東北大学、北海道大学などが令和 2 年度から令和 8 年度まで実施するものです。

参考

文部科学省

https://www.mext.go.jp/b_menu/boshu/detail/1419734_00001.htm

実習について（ANEC 北海道大学拠点）

令和 5 年度：<https://caren.eng.hokudai.ac.jp/anec/event/1587/>

令和 4 年度：<https://caren.eng.hokudai.ac.jp/anec/event/391/>

令和 3 年度：<https://caren.eng.hokudai.ac.jp/anec/event/369/>

国際交流施設

国内外の研究者の交流活動の拠点および地域の方々との交流を目的とした施設です。

<https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/kokusai/introduction/introduction.html>

コロイド

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可能性が指摘されています。

【さ行】

酸化還元電位

地下水の酸化還元状態を表します。酸化還元電位が低い地下水ほど含まれる酸素が少なく還元状態であることを表します。

支保（工）

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。

収着

地下水中に存在する元素が、岩盤などに取り込まれる現象です。

処分概念オプション

幌延深地層研究計画における処分概念オプションとは、地下深くの岩盤中に高レベル放射性廃棄物を埋設するという、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、廃棄体や人工バリアを縦置きにするのか横置きにするのか、

人工バリアのひとつである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、埋め戻し方法の違いおよび搬送定置・回収方法などについての選択肢のことを指します。

人工バリア

ガラス固化体、オーバーパ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。

水圧擾乱試験

注水により断層内の水圧を上昇させ、断層の剛性（変形しにくさ）や強度（破壊しにくさ）を低下させることにより、断層をずらす試験のことを指します。

水理学的連結性

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。岩盤の中には、大小さまざまな断層や割れ目が存在し、これらは独立して存在したり、他とつながって存在したりします。岩盤の中での地下水の流路は、断層や割れ目内の隙間が主なものですが、その隙間が二次元的あるいは三次元的に広くつながっている場合には、水理学的連結性が高いと表現します。一方、断層や割れ目内の隙間が一部でしかつながっていない場合は、水理学的連結性が低いと表現します。

水理地質構造モデル

地質構造の分布や形状に合わせて透水係数などの水理学的なデータを与えて、岩盤の水理特性を二次元的または三次元的な図や数式などを用いて表現したものです。

スクリー工法

本計画書では、埋め戻し材をスクリーコンベアを用いて充填する工法を指します。

【た行】

堆積岩の緩衝能力

本計画書では、地殻変動（地震など）の影響により擾乱を受けた断層や割れ目の透水特性が、その岩盤の力学状態に応じて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を指します。

ダクティリティインデックス（DI）

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。

多相流解析

岩盤中を流れる流体の流動シミュレーションにおいて、水の流れだけではなく、空気や蒸気などの気相の流動も考慮した解析のことです。

多連接坑道

互いに近接して平行に掘削される複数の坑道のことです。処分場では廃棄体を設置するための多数の坑道を平行に掘削する坑道配置が考えられています。

弾性波

岩盤の中を伝わる振動のことを指します。地震など自然に発生する振動や岩盤を叩くなどして人工的に与えた振動が伝わる速度を弾性波速度と呼び、これは岩盤の状態によって変化します。様々な場所での弾性波速度の分布を調べることにより坑道周辺の岩盤の状態を知ることができます。

中性化

大気中の二酸化炭素とコンクリート中の水酸化カルシウムなどの成分が反応し、コンクリート中の細孔溶液の pH が低下する現象です。中性化が進むとコンクリート中の鉄筋が腐食しやすくなり、鉄筋が腐食することでコンクリートのひび割れなどが発生し、コンクリート構造物の劣化が進みます。

透水性

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。透水係数： k は、以下の式で定義され、単位は長さ/時間 (m/s) となります。

$$Q=kAh/l$$

ここで、 Q ：流量 (m^3/s)、 A ：断面積 (m^2)、 h ：水圧差 (m)、 l ：長さ (m) を表します。

トモグラフィ

トモグラフィ調査は、調査対象範囲内の物性値（速度、比抵抗など）の分布を断面として可視化する物理探査手法です。

トレーサー

本計画書では、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をトレーサーと呼びます。幌延深地層研究計画では、トレーサーとしてウラニン（蛍光染料）やヨウ素などを用いています。これらは、いずれも放射性物質ではありません。なお、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。

【な行】

熱－水理－力学－化学連成現象

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。

【は行】

暴露試験

材料および製品を特定の環境に暴露し、その環境における材料や製品の化学的性質・物理的性質および性能の変化を調査する試験です。

ピットスケール

廃棄体および人工バリアを垂直に設置する豎置き方式の場合には、処分坑道に多数のピット（処分孔）が掘削されます。これらのピットの配置を検討するために必要な評価範囲（数十 m 程度）のことを指します。

比抵抗

岩石の電気の流れにくさを表すもので、一般的には、粘土やシルト岩などは比抵抗が低く（電気が流れやすく）、頁岩や泥岩などは特に低い比抵抗を示す傾向があります。また、砂・礫混じりの地層は比抵抗が高い（電気が流れにくい）傾向があります。

品質保証体系

本計画書では、緩衝材や埋め戻し材に要求される性能を満足することを示す方法を品質保証としており、その緩衝材や埋め戻し材を設計・施工する過程までを含めた品質保証の枠組みを品質保証体系としています。

分散

水の流れに乗って物質が媒体を移動する場合、その媒体の構成物質の不均質性と構成物質と水の間が生じる摩擦などによって、物質の移動速度に違いが生じます。その結果、物質が空間的に広がり、濃度が低下します。このようなプロセスは一般的に「機械的分散」と呼ばれますが、本計画書では単に「分散」と表現しています。

ベントナイト

モンモリロナイトを主成分とする粘土の一種です。地層処分では、緩衝材や処分坑道の埋め戻し材の原料として用いられ、ベントナイトの膨潤により緩衝材の透水性が低下し、放射性核種が緩衝材に吸着され、移行を抑制する効果があります。

防爆仕様

可燃性ガスが存在または存在する恐れのある場所で電気設備を設置または使用する場合、電気設備が原因となって生ずる爆発や火災などを防止するために、火花などが発生してもガスに引火しないようになっている構造です。

膨出

緩衝材と埋め戻し材に含まれるベントナイトの割合は、緩衝材の方が大きいため、緩衝材の方が地下水と接触した際に膨らむ力が大きくなります。このため、緩衝材と埋め戻し材の境界面では緩衝材が埋め戻し材側に膨らんでいきます。この現象を本計画書では膨出と呼びます。緩衝材が埋め戻し材側に膨らんでいくことにより、部分的に緩衝材の密度が小さくなり、期待する性能が損なわれる可能性も想定されます。

膨潤

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、この現象を本計画書では膨潤と言います。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。

飽和度

土や岩盤などの間隙に含まれる水の体積と間隙の体積との比を表す値です。

【ま行】

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をつながり具合を表す指標です。隙間同士が互いによくつながり、三次元的なネットワークを形成する場合は三次元、隙間同士をつながり限定的で、一次元的なチャンネルを形成する場合は一次元となります。

【や行】

ゆめ地創館

幌延深地層研究センターで行われている高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発について、紹介する施設です。

<https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/yumechisoukan/index.html>

【ら行】

令和2年度以降の必須の課題

「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」では、以下の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。

- ・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

参考資料

令和2年度以降の研究工程

1.1 人工バリア性能確認試験

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R6の実施内容	研究期間									
					前半					後半				
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
<p>実際の地質環境下における処分孔設置方式を対象とした熱-水-応力-化学連成現象（ガラス固化体設置以降の加熱時から浸潤時・減熱時を模擬した現象）に関する試験をとおして、設計や連成挙動評価手法の適用性の確認（人工バリアの解体調査および緩衝材の飽和度の確認を含む）、ならびに施工方法などの工学的実現性の例示等を行い、設計、施工および評価・解析といった一連の技術に関する基盤情報を整備する</p> <p>これらをとおして、廃棄体埋設後において、廃棄体周辺で起こる現象の理解を深め、安全評価において前提としている環境条件が達成されること確認するとともに、その予測技術を確立することで、人工バリアの設計に反映する</p>	<p>③④ 熱-水-応力-化学連成現象（ガラス固化体設置以降の加熱時(③)から浸潤時・減熱時(④)を模擬した現象)の評価手法(モデル化・解析手法)の確立</p>	<p>④浸潤時・減熱時のデータを含め、ガラス固化体設置以降の加熱・注水時から浸潤時・減熱時を全て模擬したデータに基づく熱-水-応力-化学連成現象のモデルの高度化、及び浸潤時の実際の飽和度などの確認(解体調査による)</p>	<p>④-1 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(浸潤時・減熱時)を取得、連成モデルの適用性確認</p>	<p>R6は実施しない</p>	前半の5年程度で実施					体系化して取り組む課題(②)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの設置・品質確認などの方法論に関する実証試験)で実施				
					④-1 浸潤時・減熱時のデータ取得・連成モデルの適用性確認									
					<p>緩衝材中発熱がおの温度の低下や緩衝材内側の低下を認識</p>					<p>発熱がおの温度の低下や緩衝材内側の低下を認識</p>				
					<p>令和4年度までに得られる成果 減熱過程における ○緩衝材で生じる連成現象の把握 ○解析用パラメータの整理 ○熱-水理-力学連成解析モデルの適用性の確認</p>					<p>令和9年度までに得られる成果 解体調査における ○緩衝材で生じる連成現象の把握 ○解析用パラメータの整理 ○熱-水理-力学連成解析モデルの適用性の確認</p>				
			国際プロジェクト(DECOVALEX等)における解析コード間の比較検証、改良・高度化	R6は実施しない	国際プロジェクトでの解析コード間の比較検証、改良・高度化					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施				
			④-2 人工バリアの解体作業および緩衝材の飽和度の確認を実施する	R6は実施しない	<p>解析モデルや条件を設定した結果の把握</p>					<p>各国の解析コード間の比較検証にたいして、評価結果を整理</p>				
					④-2 人工バリアの解体作業、緩衝材の飽和度の確認									
					<p>試験施工では、埋戻し材、ラグ、試験孔、人工バリアを設置、注水開始</p>					<p>試験施工では、埋戻し材、ラグ、試験孔、人工バリアを設置、注水開始</p>				
					<p>令和4年度までに得られる成果 ○人工バリアの解体作業の方針及び施工手順・方法の決定</p>					<p>令和9年度までに得られる成果 ○人工バリア周辺における連成現象の実データの取得</p>				
<p>※1 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。</p> <p>※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。</p>					<p>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」)に統合して実施する。</p> <p>「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」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。</p>									

1.2 物質移行試験

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R6の実施内容	研究期間									
					前半					後半				
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
<p>・幌延地域に分布する泥岩は断層等の構造的な割れ目が分布することが知られているため、岩盤基質部（＝健岩部）における拡散および割れ目（掘削損傷領域などの人為的な割れ目も含む）を介した移流・分散が主要な移行経路や形態として考えられる</p> <p>・有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に影響を及ぼすことが考えられる</p> <p>・したがって、割れ目を有する堆積岩での物質移行経路や形態と物質移行に与える要因（有機物・微生物・コロイド等）を総合的に評価することが必要</p> <p>・そのために、幌延の泥岩を事例として、岩盤基質部（＝健岩部）および割れ目の双方を対象とした原位置トレーサー試験等を実施し、それぞれの構造の物質移行特性評価手法を構築することが重要</p> <p>・世界的にも事例が少ない泥岩中の割れ目を対象としたトレーサー試験手法を確立することも重要</p> <p>・あわせて、有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に及ぼす影響を把握することが重要</p>	<p>① 岩盤基質部（＝健岩部）を対象とした物質移行特性（物質の移動速度や岩盤へのくつきやすさ等）の評価手法の検証</p> <p>② 割れ目を対象とした物質移行特性（物質の移動速度や岩盤へのくつきやすさ等）の評価手法の検証</p> <p>③ 泥岩中の割れ目を対象としたトレーサー試験手法の検証</p> <p>④ 掘削損傷領域などの人為的な割れ目を対象とした物質移行特性（物質の移動速度や岩盤へのくつきやすさ等）の評価手法の検証</p> <p>⑤ 有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に及ぼす影響を把握</p> <p>⑥ 割れ目を有する堆積岩での物質移行特性の総合的な評価手法の確立</p>	<p>④ 掘削損傷領域の物質移行の評価手法の確立</p> <p>⑤ 有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行モデル化手法の高度化</p> <p>⑥ 割れ目を有する堆積岩での物質移行特性の総合的な評価手法の確立</p>	<p>確立した試験手法を用いて掘削損傷領域での物質移行に関するデータ取得を実施するとともに、有機物や微生物が放射性物質を取り込んで移動する影響が限定的であることを確認する。また、物質移行評価手法の高度化するため以下を実施</p> <p>④ 確立したトレーサー試験手法を用いた掘削損傷領域での物質移行に関するデータ取得</p> <p>⑤ 有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行試験</p> <p>⑥ 割れ目を有する堆積岩を含むブロックスケール（数m～100m規模）における遅延性能評価手法の整備</p>	<p>④ 掘削損傷領域におけるモデル化／解析評価手法の取りまとめ</p> <p>⑤ 有機物・微生物・コロイドが核種移行に及ぼす影響の現象理解の継続、原位置トレーサー試験の継続、評価方法の取りまとめ</p> <p>⑥ 声問層におけるトレーサー試験装置の適用性の確認および稚内層深部を事例としたブロックスケールの評価手法の取りまとめ。</p>	<p>前半の5年程度で実施</p>					<p>体系化して取り組む課題（(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施</p>				
	<p>④ 掘削損傷領域の物質移行の評価手法の確立</p>					<p>体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施</p>								
	<p>掘削損傷領域の水領域の物理・物質移行特性を評価するためのデータの取得を拡充</p> <p>掘削損傷領域の物質移行特性を評価するためのデータの取得を拡充</p> <p>掘削損傷領域の物質移行特性を評価するためのデータの取得を拡充</p> <p>掘削損傷領域の物質移行特性を評価するためのデータの取得を拡充</p>					<p>令和6年度までに得られる成果 ○原位置試験データ（非吸着性/吸着性トレーサー）の取得 ○EDZにおけるモデル化/解析評価手法の提示</p>								
	<p>⑤ 有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行モデル化手法の高度化</p>					<p>体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施</p>								
	<p>室内試験データ（地中掘削・装置取得）の準備 原位置試験の準備 掘削・装置取得、基礎データを取得</p> <p>室内試験データ（コロイドへの元素取加したトレーサー濃度変化を確認）の準備 原位置試験の準備 掘削・装置取得、基礎データを取得</p>					<p>令和6年度までに得られる成果 ○室内試験データの拡充 ○有機物・微生物・コロイドの影響を考慮した物質移行モデルの提示</p>								
	<p>⑥ ブロックスケール（数m～100m規模）における遅延性能評価手法の整備</p>					<p>体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施</p>								
<p>原位置試験の準備 稚内層深部の断層物質移行経路の連続性について掘削・装置取得</p> <p>声問層の物質移行特性を掘削・装置取得</p> <p>声問層の物質移行特性を掘削・装置取得</p>					<p>令和6年度までに得られる成果 ○原位置試験データ（非吸着性/吸着性トレーサー）の取得 ○幌延を事例としたブロックスケールの評価手法の提示</p>									

※1 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していく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

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 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」）に統合して実施する。

「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」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。

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

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R6の実施内容	研究期間													
					前半					後半								
<p>・処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証を目的として、幌延の地下施設を事例に、原位置試験を実施し、人工バリアの搬送定置・回収技術及び閉鎖技術を実証する</p> <p>① 処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証</p> <p>② 個別の要素技術の実証試験</p> <p>③ 埋め戻し材、プラグに関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の確立</p>	<p>① 処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証</p> <p>② 個別の要素技術の実証試験</p> <p>③ 埋め戻し材、プラグに関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の確立</p>	<p>①②③ 操業・回収技術などの技術オプションの実証、閉鎖技術の実証</p>	<p>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（締め、ブロック方式等）の違いによる緩衝材の品質の違いを把握する。また、埋め戻し方法（プラグの有無等）・回収方法による埋め戻し材の品質の違いを把握する。</p> <p>① 搬送定置・回収技術の実証（緩衝材や埋め戻し材の状態に応じた除去技術の技術オプションの整理、回収容易性を考慮した概念オプション提示、回収維持の影響に関する品質評価手法の提示）</p> <p>② 閉鎖技術（埋め戻し方法：プラグ等）の実証</p>	<p>① 支保部材の経年劣化および坑道掘削・閉鎖後の地質環境変化に関する事象について取りまとめ</p> <p>② 閉鎖システム（埋め戻し材やプラグなど）に関する基礎情報の整備を目的とした解析検討、室内試験および原位置試験の継続、取りまとめ</p> <p>③ 埋め戻し材の施工技術オプションの整備に向けた要素試験などの実施および施工品質などに関するデータの取得、取りまとめ</p>	前半の5年程度で実施					体系化して取り組む課題（②処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施								
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施				
					<p>地下環境でのコンクリートの劣化に関する試験を開始</p> <p>乾燥および湿潤条件でのコンクリートの中性化の程度の違いを確認</p> <p>乾燥および湿潤条件での低アルカリ性吹付けコンクリートの物性・化学特性データを取得</p>										<p>令和6年度までに得られる成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ○実際の地下環境における支保部材の経年変化に係るデータ取得 ○坑道掘削・閉鎖後の地質環境変化に関する事象の把握 			
<p>閉鎖システムに関する基礎情報の整備を目的とした解析検討、室内試験を実施</p> <p>閉鎖システムに関する基礎情報の整備を目的とした解析検討、室内試験を実施</p> <p>閉鎖システムに関する基礎情報の整備を目的とした解析検討、室内試験を実施</p> <p>閉鎖システムに関する基礎情報の整備を目的とした解析検討、室内試験を実施</p>										体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施								
<p>③ 人工バリアの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の構築</p> <p>自然湧水環境での緩衝材の流出状況を確認</p> <p>流量による緩衝材の流出試験を実施</p> <p>隙間へのケイ砂充填による緩衝材の流出抑制効果を確認</p> <p>埋め戻し材の各工法に適用可能な材料範囲や施工品質に関するデータを取得</p>										体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施								
<p>令和6年度までに得られる成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ○緩衝材の膨潤挙動に影響を与える事象の整理 ○止水プラグの施工に関する重要技術の抽出 ○EDZ調査技術の評価・高度化 ○坑道内からのボーリング孔に対するシーリング技術の整備・実証 																		

※1 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していく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

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 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」）に統合して実施する。
 「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」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。

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

2.1.2 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

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R6の実施内容	研究期間									
					前半					後半				
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
・処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証を目的として、幌延の地下施設を事例に、原位置試験を実施し、人工バリアの搬送定置・回収技術及び閉鎖技術を実証する ② 個別の要素技術の実証試験 ③ 埋め戻し材、プラグに関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の確立	① 処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証 ④ 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	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）を確認するため以下を実施 ④-1 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 ④-2 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 ④-3 多連接坑道を考慮した湧水抑制対策技術及び処分支保技術の整備、緩衝材流出・侵入現象評価手法及び抑制対策技術の整備 ④-4 廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要となる情報の整理	④-1 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 ④-2 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 ④-3 多連接坑道を考慮した湧水抑制対策技術及び処分支保技術の整備、緩衝材流出・侵入現象評価手法及び抑制対策技術の整備 ④-4 廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要となる情報の整理	ビット周辺の水みちの水利特性や物質の移行特性に関わる評価手法などの整理 500m 調査坑道における坑道への湧水量や掘削損傷領域の発達範囲の予測 埋め戻し材、プラグの設計に必要な掘削損傷領域の広がりや水利特性の調査、材料特性を把握するための試験 既存データや坑道の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や緩衝材の流出抑制対策への反映方法の整備	他の研究課題を取り込んで体系化して取り組む課題として、後半の5年程度で実施									
										④-1 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				
										④-2 地下施設及び人工バリアの設計・評価技術の体系化				
										④-3 多連接坑道を考慮した湧水抑制対策技術及び処分支保技術の整備、緩衝材流出・侵入現象評価手法及び抑制対策技術の整備				
					④-4 廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要となる情報の整理									

※1 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していく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

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 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」）に統合して実施する。
 「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」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。

2.2 高温(100℃超)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R6の実施内容	研究期間																			
					前半					後半														
					前半の5年程度で実施																			
<p>人工バリア設置環境の深度依存性を考慮し、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</p> <p>実際の処分事業では、オーバーバックが100℃以下になってから処分することが基本であるが、想定外の要因によって100℃を超えた状態になることを想定して、人工バリアシステムの安全裕度を検証する</p>	<p>① 100℃超の高温での限界環境が人工バリアに与える影響と上限温度設定の考え方の整備、解析的な検討</p>	<p>① 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による緩衝材が100℃超になった状態を想定した解析手法の開発</p>	<p>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するため以下を実施</p> <p>①-1 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</p>	<p>①-1 高温条件下での人工バリアの挙動に関する原位置試験の計測および解体</p>	<p>①-1 限界的条件下での人工バリア性能確認試験の解析・検討</p>					<p>体系化して取り組む課題(②処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験)で実施</p>														
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	<p>体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施</p>										
					<p>海外での先行研究事例の調査結果を課題の抽出(試験条路まえた出、原位置挙動に関する原位置試験の概要検討・計画策定)を入手</p>										<p>高温条件下での人工バリアの挙動に関する原位置試験を開始</p>					<p>令和6年度までに得られる成果 ○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データの収集</p>				
			<p>①-2 100℃超になった際にニアフィールド(人工バリアとその周辺岩盤の領域)において発生する現象の整理</p>	<p>①-2 シナリオ整理の継続、ニアフィールド構成材料を対象とした試験、分析</p>	<p>①-2 100℃超になった際にニアフィールドにおいて発生する現象の整理</p>					<p>体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施</p>														
					<p>シナリオ先行研究事例の調査結果を課題の抽出(水分移動、物質移動特性)を入手</p>										<p>100℃超での人工バリアの膨潤・浸潤挙動を確認するための試験の実施</p>					<p>令和6年度までに得られる成果 ○100℃超になった際にニアフィールドにおいて発生する現象の整理</p>				
					<p>①-3 ニアフィールドにおける上限温度設定の考え方を提示(国際プロジェクト情報を収集し、発生する現象を整理)</p>										<p>①-3 ニアフィールドにおける上限温度設定の考え方を提示</p>					<p>体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施</p>				
<p>海外での原位置試験の情報(試験条路まえた出、原位置挙動に関する原位置試験の概要検討・計画策定)を入手</p>										<p>海外での原位置試験の情報(試験条路まえた出、原位置挙動に関する原位置試験の概要検討・計画策定)を入手</p>					<p>令和6年度までに得られる成果 ○ニアフィールドにおける上限温度設定の考え方の提示</p>									

※1 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していく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

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 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」)に統合して実施する。

「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」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。

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

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R6の実施内容	研究期間														
					前半					後半									
<p>・岩盤中には大小様々な断層が存在するが、小規模なものいくつかは処分場に取り込まざるを得ない可能性がある。それらの断層が地震や隆起などの地殻変動の影響を受けた場合に、その透水性がどの程度まで上昇し得るかを検討しておく必要がある</p> <p>・断層の透水性は断層の変形様式に大きく依存する。脆性的な変形が起こると断層の透水性は有意に上昇しやすいが、延性的な変形の場合は透水性が上昇しにくい。生じる変形が脆性的か延性的かは、変形時の岩石強度、応力などに依存する</p> <p>・本研究では、地殻変動に対する緩衝能力が潜在的に高いことから堆積岩に重点を置き、断層の変形様式を支配する岩石の強度・応力状態を計測でき、かつマッピング（空間的な分布図を示すこと）が可能なパラメータで指標化することを試みる。そのようなパラメータと断層の透水性の潜在的な上限を関係付けることができれば処分場閉鎖後の断層の透水性について現実的な状態設定が可能となる</p> <p>・断層は動いたとしても、その透水性は、地層の力学的な緩衝能力が働くことにより、一定の値を超えない。この現象を定量的に示したい</p>	<p>①地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力を表現するパラメータ（指標）の提案</p> <p>②水圧擾乱試験によるパラメータの有効性の検証</p>	<p>② 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握</p>	<p>断層の幅が数十 cm の断層における断層のずれが断層内の地下水の流れに与える影響に関して、堆積岩の緩衝能力（自己治癒能力）を実証するために、以下の検討や試験を実施する</p> <p>②-1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握（ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験）</p>	<p>②-1 既往の水圧擾乱試験の結果の解析と取りまとめ</p>	前半の5年程度で実施														
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	体系化して取り組む課題（(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施					
					②-1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施									
					より大型の水圧擾乱試験やシミュレーションの結果と改訂した水圧擾乱試験を結果に基きモデルを改良					大型の断層内の水みちのつながりた水圧擾乱試験の結果と改訂の次元性を確認					令和6年度までに得られる成果 ○ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験データの取得				
					②-2 DI を用いた透水性評価の信頼性向上・隆起侵食の影響評価手法の整備					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施									
					割れ目の水圧擾乱試験やシミュレーションの結果に基きモデルを改良					断層内の水みちのつながりた水圧擾乱試験の結果と改訂の次元性を確認					令和6年度までに得られる成果 ○DIを用いた透水性評価手法の高度化				
②-3 水圧擾乱試験による断層の活動性（力学的な安定性）評価手法の整備					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施														
より大型の断層の活動性（力学的な安定性）評価に係る既存情報を整理					大型の断層を対象とした水圧擾乱試験による断層の活動性（力学的な安定性）評価の整備					令和6年度までに得られる成果 ○水圧擾乱試験による断層の活動性（力学的な安定性）評価手法の整備									

※1 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していく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

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 坑道スケール～ビットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」）に統合して実施する。

「2.1.2 坑道スケール～ビットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」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。

3.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

3.1.2 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

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R6の実施内容	研究期間															
					前半					後半										
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10							
・地下水の流れが非常に遅い領域（化石海水領域に相当と仮定）の分布を把握することは、処分事業における処分場選定の際に有用な情報になり得る。このため、地上からの調査により、化石海水の三次元分布を評価する既存技術の高度化を図る	③ 地下水の流れが非常に遅い領域（化石海水領域）を調査・解析・評価する手法の確立 ④ 三次元分布を調査・解析・評価する手法の確立	③④ 地下水の流れが非常に遅い領域（化石海水領域）を調査・評価する技術の高度化	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ため以下を実施 ③ 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	③、④-1 R4までの成果に基づく、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手法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の整理・取りまとめ ④-1 化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法の検証	前半の5年程度で実施					体系化して取り組む課題（(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施										
					③ 地下水の流れが非常に遅い領域の調査・評価技術の検証					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施										
					化石海水領域を把握するための物理探査を実施し、比抵抗分布を推定					電磁探査により推定した化石海水の三次元分布を推定するためのボーリング調査を実施					R3に掘削したボーリング孔の延長による水質などのデータ追加とR2に推定した化石海水分布の妥当性確認					令和6年度までに得られる成果 ○化石海水領域の調査・評価技術の整備・高度化
					④-1 化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法の検証					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施										
化石海水領域の把握に必要なボーリングの位置・本数等を検討					物理探査とボーリング調査のデータの組み合わせにより化石海水分布を推定する方法の検討					地球統計学的解析による化石海水領域の三次元分布推定に係る一連の手法の整理					令和6年度までに得られる成果 ○化石海水の三次元分布に係る調査・評価技術の整備・高度化					
④-2 広域スケール(十数km×十数km)を対象とした水理・物質移動評価手法の検証(地下水滞留時間)評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析)					④-2 R4までに実施した水理・物質移動解析の結果に基づく古水理地質学的変遷が化石海水領域に与える影響を評価するための広域スケールのモデル化・解析手法の整理・取りまとめ					化石海水領域に与える影響を整理						令和6年度までに得られる成果 ○広域スケールを対象とした水理・物質移動評価手法の整備				
広域スケールの地下水流動に深度・気候などが与える影響を整理					化石海水領域に与える影響を整理					地球統計学的解析による化石海水領域の三次元分布推定に係る一連の手法を整理					これまでの成果に基づく古水理地質学的変遷を考慮した広域スケールの解析手法の整理					

※1 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していく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

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 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」）に統合して実施する。
 「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」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。

3.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R6の実施内容	研究期間										
					前半					後半					
					前半の5年程度で実施										
・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（自己治癒能力）を定量的に検証し、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	① 人工バリアの緩衝材や坑道の埋め戻し材による掘削損傷領域（EDZ）のひび割れの自己治癒能力を評価する手法の確立 ② 人工バリアの自己治癒能力（ひび割れの修復）を実証	② 地殻変動による人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材の掘削損傷領域（EDZ）への自己治癒能力の実証	人工バリアのひび割れに対する自己治癒能力を実証するため以下の机上検討を実施 ② 人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材が掘削損傷領域（EDZ）の力学的・水理学的な緩衝能力（自己治癒能力）に与える影響を把握する解析手法の開発 ✓ DI を用いた EDZ の透水性を予測する既存モデルの再検証	R6 は実施しない	②-1 DI を用いた EDZ の透水性を予測する既存モデルの再検証					体系化して取り組む課題（(2) 処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施					
					試料観察に基づき、EDZ の割れ目開口状況を定量的に把握	水圧擾乱試験やシミュレーションの結果に基づきモデルを改良	EDZ の透水性と改良モデルの整合性を確認	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">令和4年度までに得られる成果 ○DI を用いた EDZ の透水性を予測する既存モデルの再検証</div>															
			✓ 坑道埋め戻し後の EDZ の透水性を予測するモデルの構築	R6 は実施しない	②-2 坑道埋め戻し後の EDZ の透水性を予測するモデルの構築					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施					
					試料観察に基づき、EDZ の割れ目開口状況を定量的に把握	坑道埋め戻し後の割れ目のずれが EDZ の透水性に与える影響を確認	埋め戻し材の膨潤圧が EDZ の透水性に与える影響の評価手法を構築								
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">令和4年度までに得られる成果 ○坑道埋め戻し後の EDZ の透水性を予測するモデルの構築</div>															

※1 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していく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

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 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」）に統合して実施する。
 「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」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。

参考文献

- (1) 中山雅 (編) : 幌延深地層研究計画 令和 3 年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2022-025, 2022, 164p.
- (2) 中山雅 (編) : 幌延深地層研究計画 令和 4 年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2023-032, 2024, 159p.
- (3) Saito, T., Nishi, S., Amano, Y., Beppu, H. and Miyakawa, K. : Origin of dissolved organic matter in deep groundwater of marine deposits and its implication for metal binding, *ES&T Water*, vol.3, no.12, 2023, pp.4103-4112.
- (4) 中山雅 (編) : 幌延深地層研究計画 令和 2 年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2021-053, 2022, 133p.
- (5) 原子力環境整備促進・資金管理センター, 日本原子力研究開発機構 : 令和 4 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業[JPJ007597]回収可能性技術高度化開発 3 ヶ年取りまとめ報告書, 2023, 107p.
- (6) 日本原子力研究開発機構, 原子力環境整備促進・資金管理センター : 令和 4 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 [JPJ007597] 地層処分施設閉鎖技術確証試験報告書, 2023.
- (7) 日本原子力研究開発機構, 原子力環境整備促進・資金管理センター : 令和 4 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 [JPJ007597] 地層処分施設閉鎖技術確証試験 5 ヶ年取りまとめ報告書, 2023.
- (8) 日本原子力研究開発機構 : 坑道掘削時の断層からの湧水量の減少速度を支配するメカニズムを解明—トンネル工事現場や放射性廃棄物の地層処分場での湧水抑制対策に貢献—, 令和 5 年 7 月 12 日プレス発表, 2023, <https://www.jaea.go.jp/02/press2023/p23071201/> (参照 : 2024 年 3 月 1 日)
- (9) Aoyagi, K. and Ishii, E.: Evaluation of temporal changes in fracture transmissivity in an excavation damaged zone after backfilling a gallery excavated in mudstone, *Environmental Earth Sciences*, vol.83, no.96, 2024.
- (10) 日本原子力研究開発機構 : 平成 24 年度地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム化学影響評価高度化開発—6 ヶ年研究成果の取りまとめ—, 2013.
- (11) Ishii, E.: Effects of flow dimension in faulted or fractured rock on natural reductions of inflow during excavation: a case study of the Horonobe Underground Research Laboratory site, Japan, *Hydrogeology Journal*, vol.31, 2023, pp.893-911.
- (12) 日本原子力研究開発機構 : 割れ目がずれると割れ目内の隙間 (地下水の通り道) はつながるか?—隙間のつながり具合を現場で簡単に調べる試験手法を開発—,

令和 4 年 10 月 26 日プレス発表, 2022, <https://www.jaea.go.jp/02/press2022/p22102601/> (参照 : 2024 年 3 月 1 日)

- (13) 早野明, 佐藤菜央美 : 地下水の流れが非常に遅い領域の分布を推定するための調査手順の検討, 日本原子力学会北海道支部第 41 回研究発表会, 2024.
- (14) 宮川和也, 早野明, 佐藤菜央美, 中田弘太郎, 長谷川琢磨 : HFB-1 孔調査データ集, JAEA-Data/Code 2023-009, 103p.
- (15) Mochizuki, A and Ishii, E.: Paleohydrogeology of the Horonobe area, Northern Hokkaido, Japan: Groundwater flow conditions during glacial and postglacial periods estimated from chemical and isotopic data for fracture and pore water, *Applied Geochemistry*, vol.155, 2023, 105737.