

**幌延深地層研究計画
令和5年度調査研究計画
(概要版)**

令和5年4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年度成果および令和5年度計画の概要	4
3.1 令和4年度の成果の概要	4
3.2 令和5年度の主な業務内容	6
4. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認	9
4.1 人工バリア性能確認試験	9
4.2 物質移行試験	10
5. 処分概念オプションの実証	11
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	11
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	11
5.1.2 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	12
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	13
6. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証	14
6.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化	14
6.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握	14
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	15
6.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験	16
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	17
8. 地下施設の建設・維持管理	17
9. 環境調査	18
10. 安全確保の取り組み	18
11. 開かれた研究	19

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の計画です。

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期中長期目標期間を目途に取り組むこととしました。令和5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。

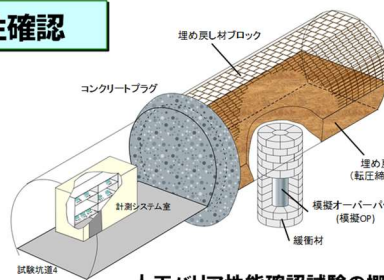
2. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画に基づく研究課題

令和2年度以降は、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づき、必須の課題*1のうち、引き続き研究開発が必要と考えられる、実際の地質環境における人工バリア*2の適用性確認、処分概念オプション*3の実証、地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力*4の検証に取り組みます。

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の特に減熱時における熱-水-応力-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

- 人工バリアの設置・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

[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。

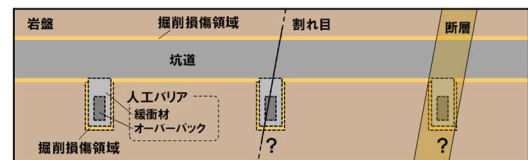


閉鎖技術オプションの整理

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）

*1: 「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、この3つの課題を「必須の課題」と呼んでいます。



*2: 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。

*3: 処分概念オプションとは、地下深部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、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1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・回収方法などについての選択肢のことを指します。

*4: 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。

なお、令和5年度より、350m調査坑道の拡張および500m調査坑道の整備に向けた立坑の掘削を行います。立坑は各深度へのアクセスならびに地下施設の換気のための役割を担っています*5。拡張する350m調査坑道では、操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証に関する試験を行い、500m調査坑道では、坑道スケール*6～ピットスケール*7での調査・設計・評価技術の体系化に関する試験を行う計画です。

	第3期			第4期中長期目標期間					
	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
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		浸潤時・減熟時のデータ取得、連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、閉鎖技術の実証		搬送定置・回収技術、閉鎖技術の実証							
2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化					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 廃棄体設置の判断や間隔の決定に必要な情報の整理、等				
2.2 高温度(100℃以上)等の限界条件下での人工バリア性能確認試験		100℃超の際に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		数十cmの幅の断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(化石海水領域)の調査・評価技術の検証、等		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		掘削準備	350m調査坑道	換気立坑	東立坑	西立坑	500m調査坑道		
【維持管理】									

 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。

幌延深地層研究計画の令和2年度以降のスケジュール

*5：立坑を3本としているのは、地下施設で火災が発生した際に、換気立坑から煙や有毒ガスなどを排気し、東立坑もしくは西立坑からの避難を可能とするためです。これは、幌延の地下水にはメタンガスが含まれているため、地下水から湧出するメタンガスの発火・爆発の可能性を考慮して、地上まで避難することを想定しているためです。

*6：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。これらの坑道がお互いにどのような影響を及ぼし合うかを検討するために必要な範囲のことを指します。

*7：廃棄体および人工バリアを垂直に設置する、竖置き方式の場合には処分坑道に多数の処分孔（ピット）が掘削されます。これらのピットがお互いにどのような影響を及ぼし合うかを検討するために必要な範囲のことを指します。

3. 令和4年度成果および令和5年度計画の概要

3.1 令和4年度の成果の概要

(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^{*8}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^{*9}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^{*10}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^{*11}の影響を考慮した物質移行試験に着手するとともに、原位置試験^{*12}に用いる地下水を対象に実施したコロイドと希土類元素^{*13}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～100 m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。

(2) 処分概念オプションの実証

*8: 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。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。

*9: 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。

*10: 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。

*11: 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。

*12: 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。

*13: 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ウランなどと同様の化学的性質を示すことから、希土類元素を使用した試験を行うことで、高レベル放射性廃棄物に含まれる元素の移行挙動などを知ることができます。

- ・ 搬送定置・回収技術の実証として、コンクリート試験体の暴露試験^{*14}を継続し、暴露条件による中性化^{*15}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^{*16}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^{*17}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) ^{*18}を用いた透水性^{*19}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^{*20}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し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^{*21}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

*14：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。

*15：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。

*16：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。

*17：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。

*18：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。

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

*20：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。

*21：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。

ました。その結果、令和2年度に適用した電磁探査^{*22}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。

- ・ 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^{*23}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^{*24}により推定可能であることが確認できました。

3.2 令和5年度の主な業務内容

- ・ 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

国際共同研究DECOVALEX^{*25}にて人工バリア性能確認試験を対象とした連成解析を行い、複数の解析コード^{*26}の比較検証を行います。また、物質移行試験について、令和4年度に着手した250m調査坑道でのボーリング調査を継続し、対象とする領域の割れ目の水理学的連結性や水理特性データを取得します。

- ・ 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、コンクリートの劣化に関する試験、分析を継続するとともに、地下施設に施工されている吹付けコンクリートの劣化挙動に関しても調査を進めます。閉鎖技術の実証として、掘削損傷領域の連続性を遮断するための施工技術の実証について、止水プラグの設計に対する考え方を提示するために、実際に施工可能な止水プラグの形状や材料配合などを検討する数値解析や室内試験に着手します。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ついて、令和6年度からの実施に先立ち、断層、割れ目からの湧水や掘削損傷領域の発達に関する既存情報の収集・整理を行い、500m調査坑道で想定される状況などについて検討します。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では、高温度（100℃以上）が緩衝材の特性に与える影響を検証するための原位置試験

*22：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。

*23：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、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。

*24：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。

*25：地層処分システムの性能評価において重要な課題の1つである熱－水理－力学－化学連成挙動モデルの開発・検証を目的とした国際共同研究です。

*26：連成現象をモデル化し、コンピュータを用いて温度や間隙水圧などの評価項目の挙動を解析する手段のことです。

を開始します。

- ・ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

これまでの検討結果を踏まえて、過年度に実施した水圧擾乱試験^{*27}結果の解析や、DIと断層/割れ目の水理学的連結性の関係に関する解析を行います。地下水の流れが非常に遅い領域（化石海水領域）を調査・評価する技術について、これまでに得られた成果の論文や研究開発報告書類の整備に取り組みます。また、令和4年度に引き続き、産業技術総合研究所^{*28}との共同研究として実施する海上物理探査の知見を参照しながら、海陸連続三次元地質環境モデルの検討を継続します。

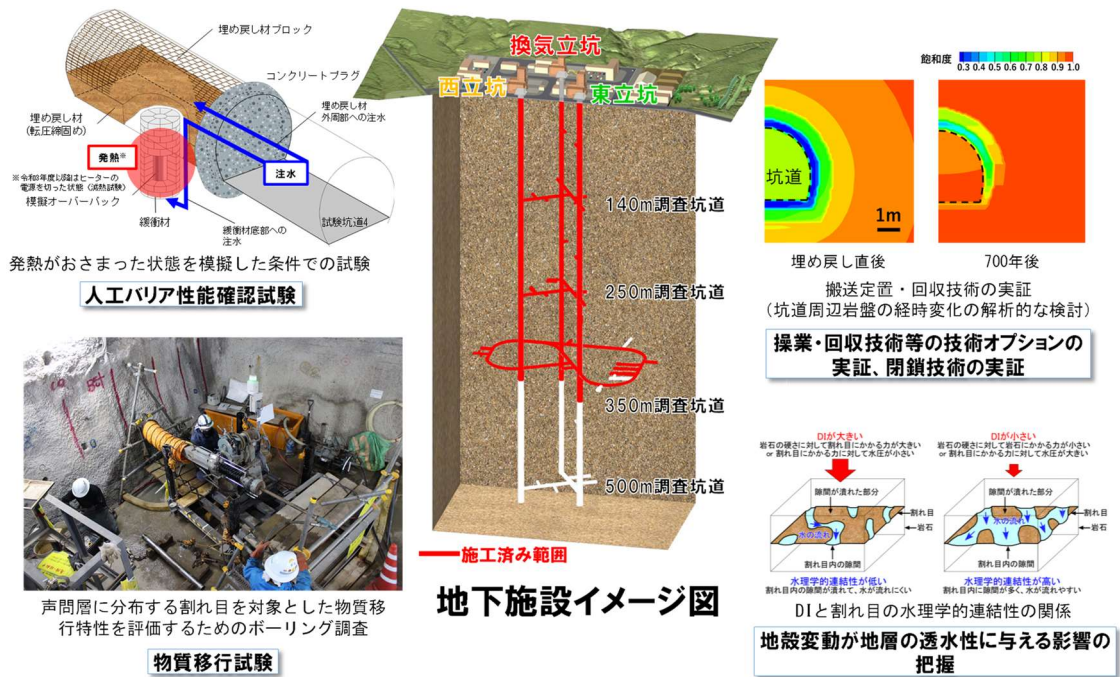
- ・ 地下施設の建設・維持管理

掘削工事を再開し、350m調査坑道の拡張として、2本の試験坑道およびボーリング横坑の掘削を行うとともに、深度500 mに向け、換気立坑から順次掘削を開始します。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て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。なお、掘削を含めた地下施設の整備については、PFI^{*29}を活用した民間活力の導入を図ります。坑道掘削により発生した掘削土（ズリ）は掘削土（ズリ）置場に搬出するとともに、有害物質の含有量など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、排水処理設備で適切に処理を行い、天塩川に放流します。

*27：注水により断層内の水圧を上昇させ断層をずらす試験のことです。試験の前後で断層の水理特性に与える影響を確認します。

*28：特定国立研究開発法人産業技術総合研究所は、産業技術の広い分野における様々な技術開発を総合的に行っている研究組織です。

*29：Private Finance Initiative（民間資金等活用事業）の略称です。公共施設などの建設、維持管理、運営などを民間の資金、経営能力、技術的能力を活用することで、国や地方公共団体などが直接実施するよりも効率的かつ効果的に事業を実施するための方策です。



令和5年度の主な調査研究

掘削工事のスケジュール（令和5年度）

	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
350m調査坑道	準備 ■■■■■■	掘削 ■■■■■■		仕上げ ■■■■■■
換気立坑	準備 ■■■■■■	掘削 ■■■■■■		
東立坑	準備 ■■■■■■	掘削 ■■■■■■		
西立坑				準備 ■■■■■■

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. 18～p. 23)

研究開発の目的

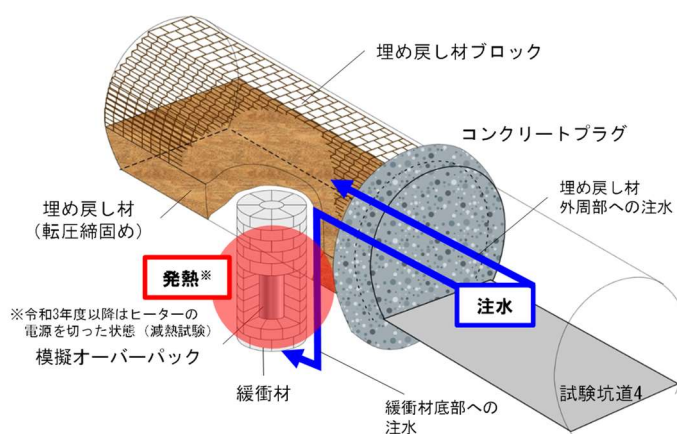
- 人工バリア周辺で起こる現象の理解

令和4年度の成果

- 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。
- 熱-水理-力学-化学連成現象に関する解析について、温度勾配のある環境下における水分移動特性に関する室内試験と緩衝材中の空気の移動に伴う空気圧の上昇に着目した解析を実施し、データの不足していた乾燥密度^{*30}条件での水分移動特性に関わる特性値を取得しました。
- 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。

令和5年度の計画

- 国際共同研究DECOVALEXを通して、人工バリア性能確認試験を対象とした連成解析を行い、異なる解析コードとの比較検証を行います。なお、廃棄体の発熱が収まった状態を模擬した条件での人工バリア性能確認試験のデータ取得を自動計測機器により継続します。



人工バリア性能確認試験の概念図

*30：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。

4.2 物質移行試験 (p. 23～p. 27)

研究開発の目的

- ・ 堆積岩における物質移行現象の評価手法の整備

令和4年度の成果

- ・ 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^{*31}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^{*32}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認められました。
- ・ 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。

令和5年度の計画

- ・ 過年度に実施したトレーサー試験結果の評価を行い、掘削損傷領域に分布する割れ目の物質移行挙動のモデル化/解析手法の検討を継続します。
- ・ 令和4年度に実施した、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結果を踏まえ、試験条件などを変化させた物質移行試験を実施します。
- ・ 令和4年度に着手した250m調査坑道におけるボーリング調査を継続し、割れ目の水理的連結性や、調査エリア周辺の間隙水圧分布などの水理特性データを取得します。



声問層を対象としたボーリング調査

*31：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。

*32：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21のスカンジウム (Sc)、39のイットリウム (Y) および原子番号64のガドリニウム (Gd) から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. 28～p. 36)

研究開発の目的

- ・ 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・施工技術の選択肢の整理

令和4年度の成果

- ・ コンクリート支保^{*33}の経年劣化を調査する暴露試験を継続し、暴露条件（大気条件下、湿潤条件下）による中性化の程度の違いや進行具合を確認しました。
- ・ 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。

令和5年度の計画

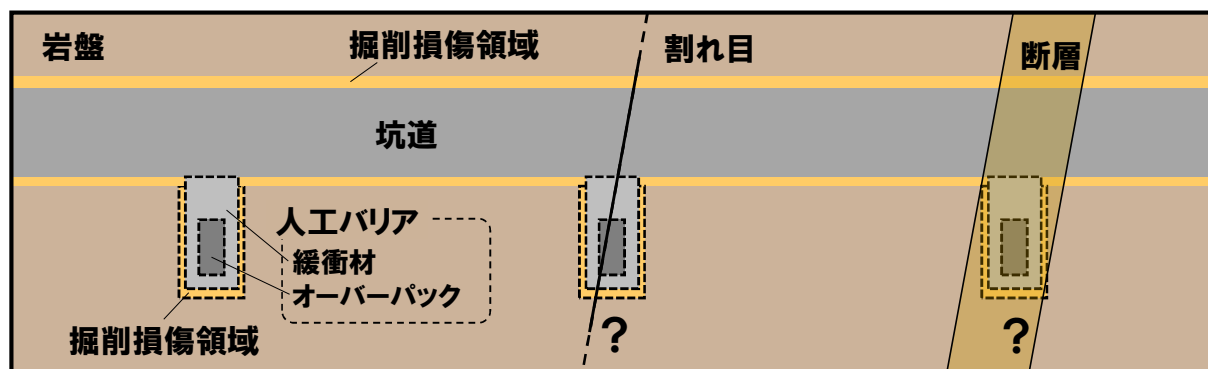
- ・ 地下環境でのコンクリートの劣化に関する試験、分析を継続するとともに、地下施設に施工されている吹付けコンクリートの現在の劣化挙動に関する調査を進めます。
- ・ 止水プラグの地下水移行抑制機能を評価するための、粘土止水壁に対する透水試験を継続します。
- ・ 止水プラグの設計に対する考え方を提示するため、実際に施工可能な止水プラグの形状や材料配合などを検討する数値解析や室内試験に着手します。

*33：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。

5.1.2 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 (p. 36～p. 37)

研究開発の目的

- 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



坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化の概念図

令和5年度の計画

- 令和6年度から実施する坑道内でのボーリング調査や坑道掘削などの原位置試験に先立ち、断層/割れ目からの湧水や、掘削損傷領域の発達に関する既存情報の収集・整理を行い、500m調査坑道で想定される状況などを検討します。

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. 37～p. 40）

研究開発の目的

- ・ 想定外の要因により緩衝材温度が100℃を超えた場合の挙動の確認

令和4年度の成果

- ・ 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。
- ・ 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。

令和5年度の計画

- ・ 令和4年度に策定した試験計画に基づき、緩衝材の温度が100℃を超えた後に徐々に低下する温度変化が緩衝材の特性に与える影響を検証するための原位置試験を開始します。試験は350m調査坑道の既存孔（深さ1～2 m程度、直径0.6 m程度）を利用し、中心にヒーター、その周囲に緩衝材ブロックを設置して、最高140℃程度の温度で加熱する計画です。試験の実施にあたっては、海外での原位置試験の情報も適宜反映していきます。

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. 41~p. 45)

研究開発の目的

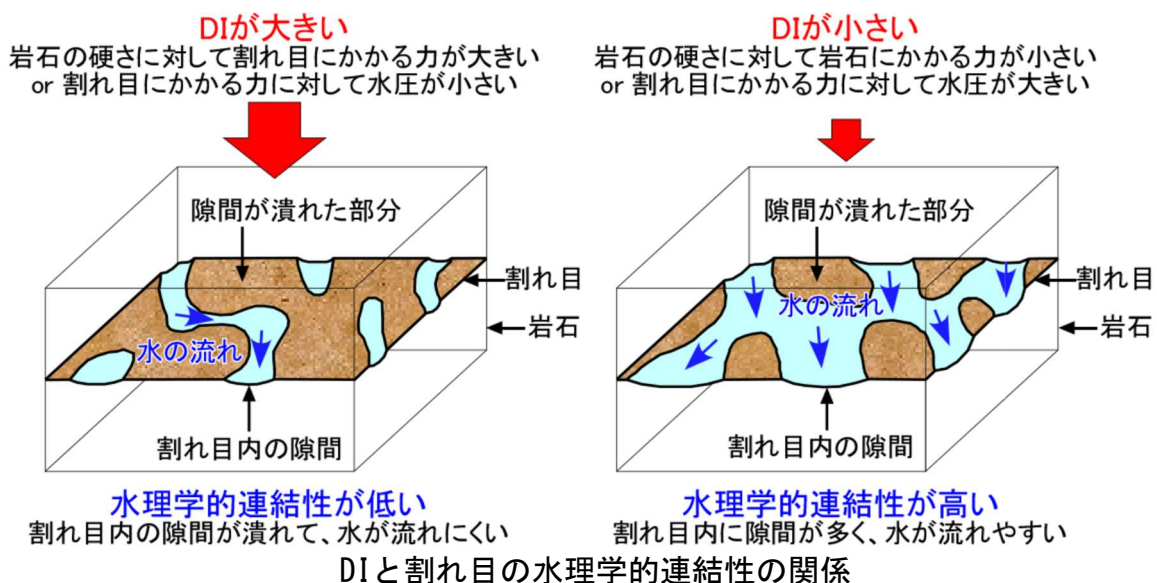
- 地殻変動が透水性に与える影響を推測するための手法の整備

令和4年度の成果

- 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だけ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。

令和5年度の計画

- 過年度に実施した水圧擾乱試験結果の解析や、DIと断層/割れ目の水理学的連結性の関係に関する解析を行います。



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. 45～p. 50)

研究開発の目的

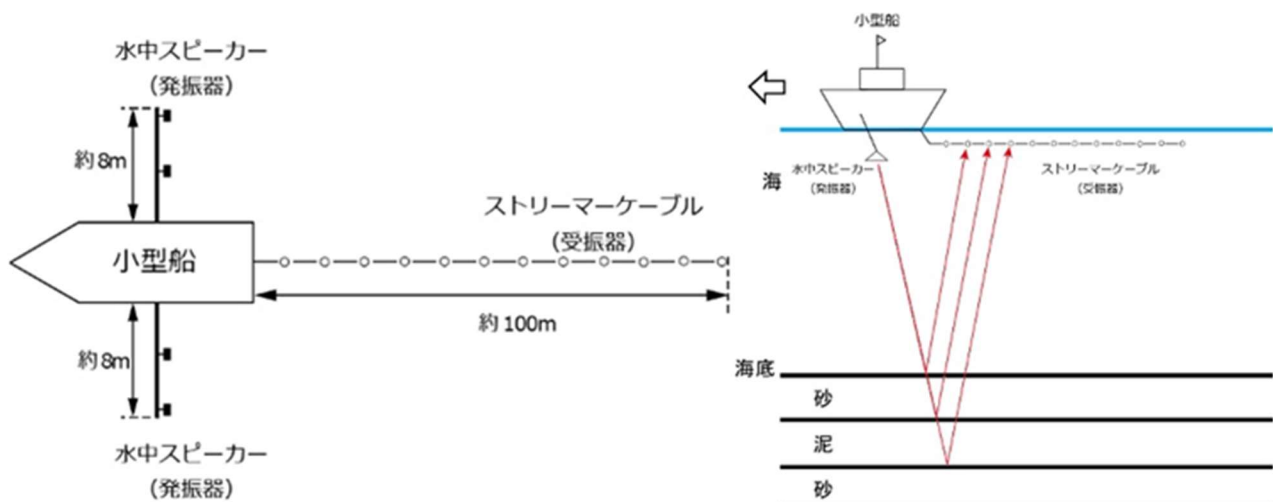
- 地下水の流れが非常に遅い領域の分布を理解するための技術の構築

令和4年度の成果

- 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。

令和5年度の計画

- これまでに得られた成果の論文投稿や研究開発報告書類の整備に取り組みます。
- 令和4年度に引き続き、産業技術総合研究所との共同研究として、海陸連続三次元地質環境モデルの妥当性の検証を目的とした海上物理探査を行います。



海上物理探査のイメージ図

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. 50～p. 54)

研究開発の目的

- 坑道閉鎖後の緩衝材や埋め戻し材の膨潤を踏まえて、坑道周りの掘削損傷領域の透水性を推測する手法の構築

令和4年度の成果

- 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。

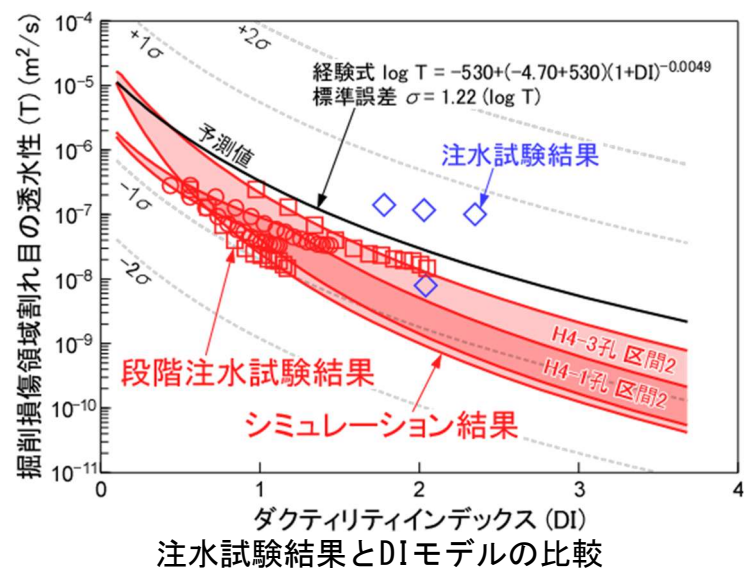
令和2年度から令和4年度の成果のまとめ

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。

今後は、「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します。



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

- ・地質環境特性データとして、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。
- ・坑道掘削の影響を調査するため、地表や坑道に設置した高精度傾斜計^{*34}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。
- ・地震に伴う地質環境特性の変化に関わるデータ取得のため、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

- ・掘削工事を再開し、350m調査坑道の拡張として、2本の試験坑道およびボーリング横坑の掘削を行うとともに、深度500 mに向け、換気立坑から順次掘削を開始します。
- ・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て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。
- ・掘削を含めた地下施設の整備については、PFIを活用した民間活力の導入を図ります。
- ・掘削にあたっては、可燃性ガスの存在を考慮し、防爆仕様^{*35}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ます。
- ・坑道掘削により発生した掘削土（ズリ）は掘削土（ズリ）置場に搬出するとともに、有害物質の含有量などを定期的に確認します。
- ・地下施設からの排水は、これまでと同様に、排水処理設備で適切に処理を行ったうえで、天塩川に放流します。

*34：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。

*35：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つて生ずる爆発や火災等を防止するために、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。

9. 環境調査

坑道内および掘削土（ズリ）置場で発生する排水の水質調査、天塩川の水質調査ならびに研究所用地周辺における水質・魚類に関する調査を継続します。



天塩川の水質調査の様子



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などにおける調査研究に関わる作業の実施にあたっては、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を最優先に取り組みます。



安全パトロールの様子

11. 開かれた研究

国内外の大学・研究機関との研究協力を行うとともに、国際交流施設^{*36}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、幌延深地層研究計画の施設や研究フィールドは、国内外の関連する研究機関に広く開放していきます。幌延国際共同プロジェクト(HIP)^{*37}では、管理委員会を開催するとともに、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テーマを対象に研究を進めます。なお、HIPは令和5年2月8日に協定が発効し、開始されました。原子力機構が把握している参加機関は、令和5年2月末日現在、英国地質調査所(英国)^{*38}、原子力テクノロジー国営会社(ルーマニア)^{*39}、および工業技術研究院(台湾)^{*40}です。

・ 国内機関との研究協力

北海道科学大学、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、産業技術総合研究所、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、DECOVALEX、モンテリ・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

上記の他、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への協力、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置試験などに関わる情報交換を進めます。

*36：国内外の研究者の交流活動の拠点および地域の皆様との交流を目的とした施設です。

*37：アジア地域の地層処分に関わる国際研究開発拠点として、幌延深地層研究センターの地下施設を利用した研究開発を国内外の機関で協力しながら推進し、我が国のみならず参加国における先進的な安全評価技術や工学技術に関わる研究開発の成果を最大化することを目的としています。

*38：英国地質調査所：BGS (British Geological Survey) は、英国政府の研究機関で、公共の利益に焦点を当てつつ、地球上で生じる様々なプロセスなどに関する地球科学的研究に加え、客観的な地球科学的データや情報の社会への提供などの活動を行っています。

*39：原子力テクノロジー国営会社：RATEN (Regia Autonomă Tehnologii pentru Energia Nucleară) は、ルーマニアの原子力エネルギー分野の研究開発の調整および原子力エネルギー計画の科学的・技術的支援を行う国有企業の研究機関で、放射性廃棄物管理を含む原子力分野の幅広い研究開発を行っています。なお、準備会合には原子力研究所 (RATEN ICN) が参加していましたが、協定書にはRATENが署名しました。

*40：工業技術研究院：ITRI (Industrial Technology Research Institute) は、台湾における応用研究と技術サービスを行う非営利の研究開発機関です。日本の様々な企業、大学と複数の国際共同研究などを行っています。