

**幌延深地層研究計画
令和3年度調査研究計画
(概要版)**

令和3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
2.1	研究課題.....	2
2.2	令和2年度の成果の概要.....	3
3.	令和3年度の主な調査研究.....	4
4.	実際の地質環境における人工バリアの適用性確認.....	5
4.1	人工バリア性能確認試験.....	5
4.2	物質移行試験.....	6
5.	処分概念オプションの実証.....	7
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.....	7
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.....	7
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.....	9
6.	地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証.....	10
6.1	水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化.....	10
6.1.1	地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握.....	10
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.....	11
6.2	地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験.....	12
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.....	13
8.	地下施設の管理.....	13
9.	環境調査.....	14
10.	安全確保の取組み.....	14
11.	開かれた研究.....	15

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期及び第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3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3期中長期計画（平成27年4月1日～令和4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。

	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		浸潤時・減熱時のデータ取得、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 人工バリアの位置・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設定に必要な情報の整理、等				
2.2 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		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10cm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							

※ 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。

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

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

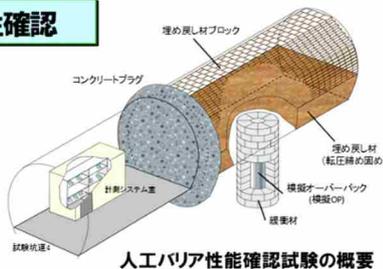
2.1 研究課題

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*1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*2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。

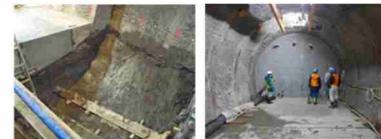


人工バリア性能確認試験の解体調査のイメージ

②処分概念オプションの実証

- 人工バリアの位置・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] 位置・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・評価手法の高度化し、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：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。

*2：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。

2.2 令和2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において、廃棄体の減熱過程^{*3}を模擬した試験を開始し、緩衝材内側への地下水浸潤が進んだことを確認しました。
- ・ 人工バリアの試験体を取り出すための試験施工では、埋め戻し材の設置、プラグの施工、試験孔の掘削を行うとともに、模擬オーバーパックおよび緩衝材の設置を開始しました。
- ・ 物質移行試験では、ブロックスケール（数m～100m規模）を対象としたトレーサー試験の準備作業を完了しました。

(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、吹付けコンクリートの経年劣化の把握を目的にコンクリート試験体の暴露試験^{*4}の準備を行いました。
- ・ 閉鎖技術の実証として、埋め戻し材の設計に必要な膨潤変形挙動に関するデータを取得し整理しました。また、掘削損傷領域を遮断するための施工技術の構築や高度化に向けて、ベントナイト^{*5}の吹付け施工試験を行うとともに、掘削損傷領域の連続性を評価する上で必要となる物性値を取得しました。

(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- ・ 過年度に実施した水圧擾乱試験^{*6}のデータの解析等を行った結果、稚内層の水理特性分布に関わる統一的な説明が可能となりました。
- ・ 幅数10cmのより大型の断層を対象とした水圧擾乱試験を実施しました。

*3: 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。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。

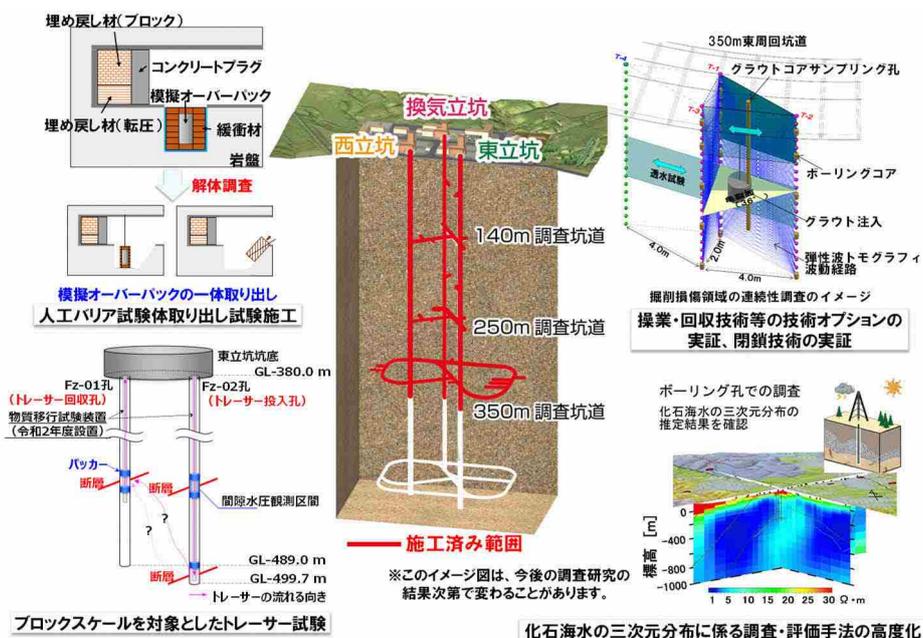
*4: 材料及び製品を特定の環境に暴露し、その環境における材料や製品の化学的性質・物理的性質及び性能の変化を調査する試験です。

*5: モンモリロナイトを主成分とする粘土の一種。放射性廃棄物の地層処分では、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。

*6: 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、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。

3. 令和3年度の主な調査研究

- 「実際の地質環境における人工バリアの適用性確認」については、人工バリア性能確認試験において発熱の影響を無くした条件での試験に移行するとともに、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を行います。また、物質移行試験について、稚内層深部のブロックスケールを対象としたトレーサー*7試験を実施します。
- 「処分概念オプションの実証」については、搬送定置・回収技術の実証として、地下環境におけるコンクリートの劣化に関する試験、分析を継続します。閉鎖技術の実証として、坑道および周辺岩盤の長期変遷が安全評価に有意な影響を及ぼす条件の詳細化を図るとともに、プラグの施工性や性能確認のための工学規模試験や埋め戻し材と緩衝材との相互作用を検討するための室内試験等を継続します。
- 「地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証」については、水圧擾乱試験の結果の解析を行うとともに、稚内層中の断層/割れ目の水理的不連結性に関する検討を継続します。地下水の流れが非常に遅い領域（化石海水領域）を調査・評価する技術の高度化として、化石海水領域の三次元分布を確認するためのボーリング調査を実施します。



令和3年度の主な調査研究

*7：地下水の流れの方向や流れる時間などを調べるために、地下水に目印として混ぜる染料やその他の薬品を指します。幌延深地層研究計画では放射性トレーサーを利用したトレーサー試験を行うことはありません。

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. 15～p. 18)

研究開発の目的

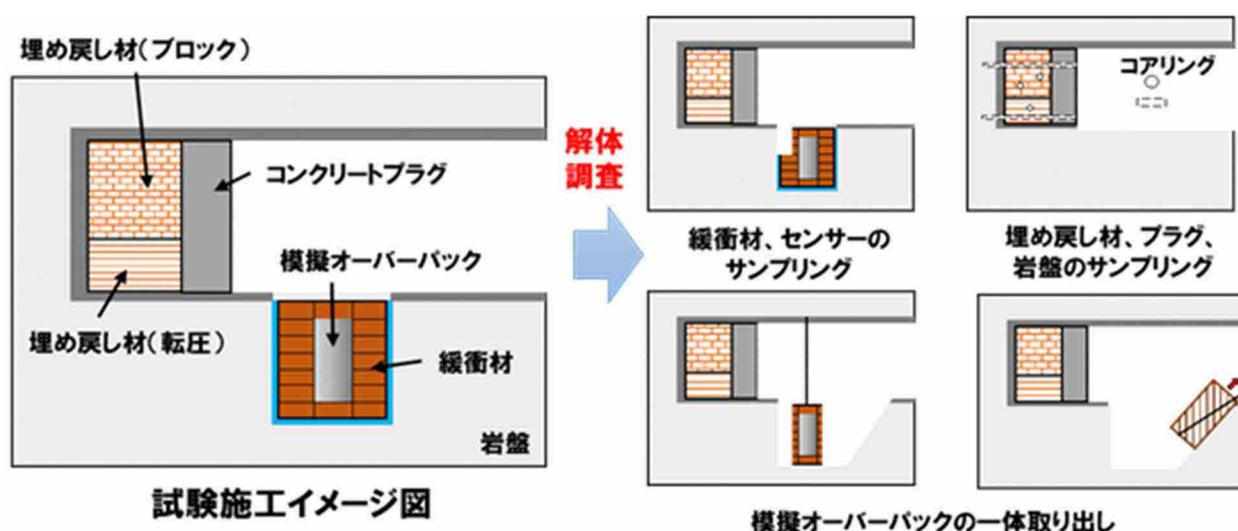
- 人工バリア周辺で起こる現象の理解

令和2年度の成果

- 廃棄体が冷めていく状況を模擬して、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しました。
- 国際共同研究 (DECOVALEX*⁸) で行う共同解析のために、解析モデルや解析条件を定めました。
- 人工バリアの解体方法の確認のため、別坑道に予備検討用の埋め戻し材、プラグ、試験孔、模擬オーバーバック、緩衝材を設置しました。

令和3年度の計画

- 発熱による影響を無くした条件での試験に移行します。
- DECOVALEXで、令和2年度に定めた解析条件で共同解析し、比較検証します。
- 人工バリアの解体方法の予備検討として試験体を解体します。センサー類などのサンプリング方法を確認します。



人工バリア解体試験施工の概念図

*8：(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)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一つである熱-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。

4.2 物質移行試験 (p. 18~p. 21)

研究開発の目的

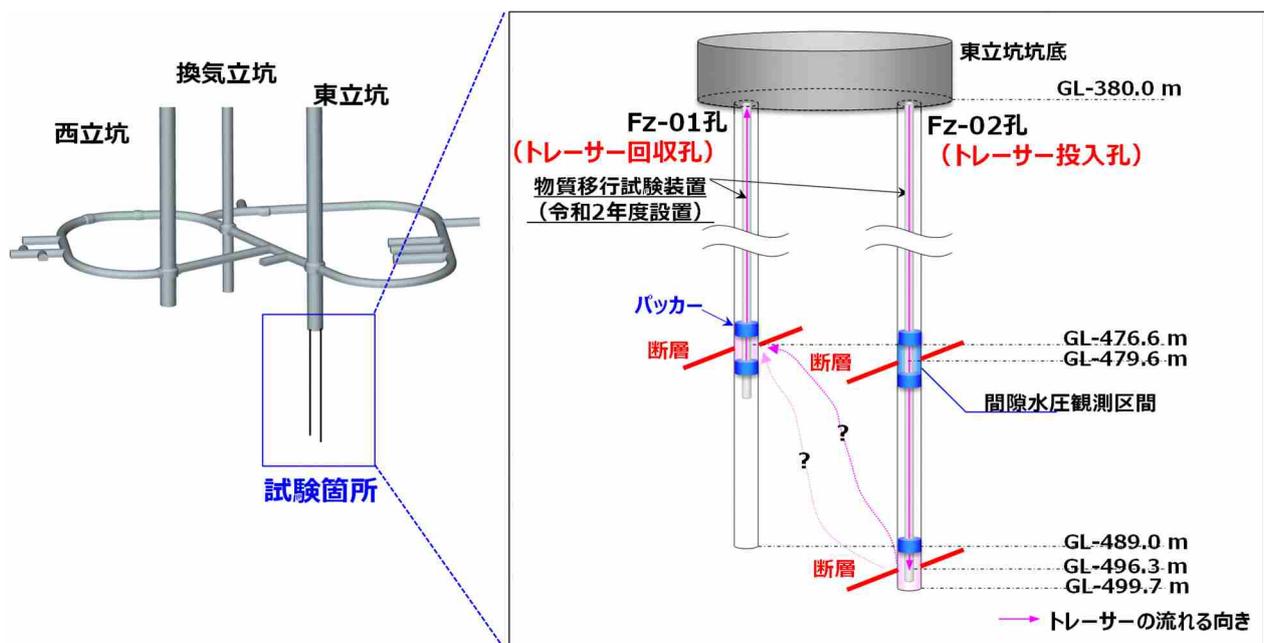
- ・ 堆積岩における物質移行現象の評価手法の整備

令和2年度の成果

- ・ 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しました。
- ・ 微生物・有機物・コロイドを対象とした原位置試験計画を検討しました。
- ・ 地下水中の有機物データ（濃度、サイズ分布、構成など）を取得しました。
- ・ 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しました。

令和3年度の計画

- ・ 掘削損傷領域を対象とした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します。
- ・ 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ための原位置試験を開始します。
- ・ 令和2年度に準備したブロックスケールを対象としたトレーサー試験を実施します。



ブロックスケールを対象としたトレーサー試験箇所（左）および試験レイアウト（右）

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. 22～p. 27)

研究開発の目的

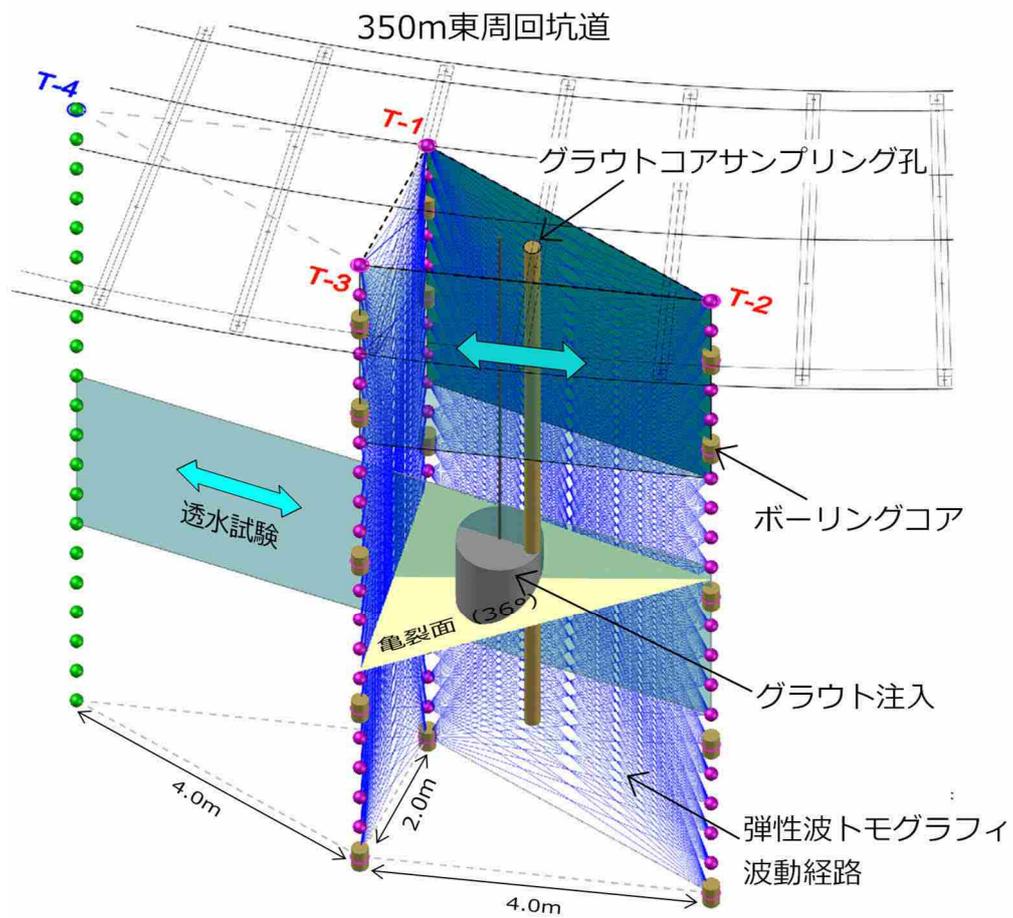
- ・ 坑道の閉鎖技術や閉鎖システムの性能を担保するための設計・施工技術の選択肢の整理

令和2年度の成果

- ・ コンクリート支保の経年変化を調査する暴露試験の準備として、コンクリート試験体を作成し、地下坑道（大気条件、湿潤条件下）に定置しました。
- ・ 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しました。
- ・ 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、自然湧水環境では、緩衝材が膨潤し隙間が埋まるに従って緩衝材が流出しなくなることを確認しました。

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します。
- ・ 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します。
- ・ 緩衝材への水の浸潤挙動を把握するための試験を継続します。



掘削損傷領域の連続性調査の概念図

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（p. 28～p. 30）

研究開発の目的

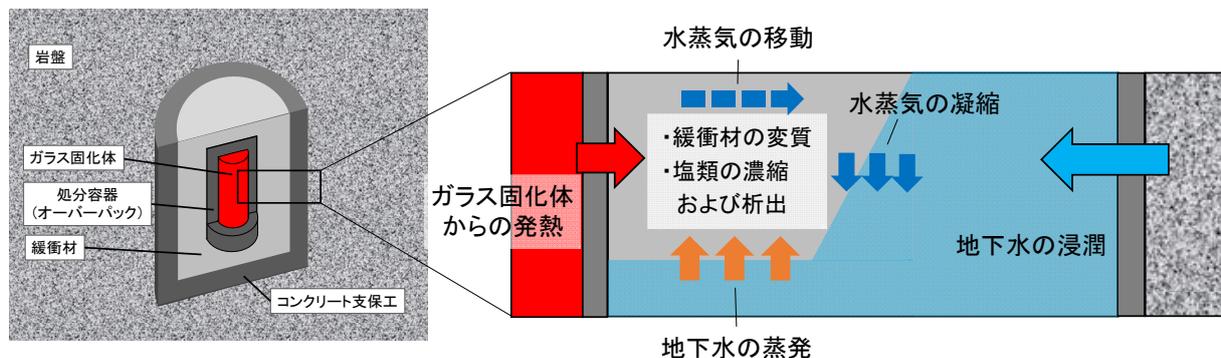
- ・ 想定外の要因により緩衝材温度が100℃を超えた場合の挙動の確認

令和2年度の成果

- ・ 緩衝材の温度が100℃を超えた状態のシナリオを検討し、緩衝材の挙動に与える影響が大きい特性として、蒸発による水分移動特性、物質移行特性を抽出しました。
- ・ 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、整理しました。

令和3年度の計画

- ・ 海外の原位置試験に関する情報収集を継続します。
- ・ ガラス固化体からの発熱により人工バリア周辺に生じうる現象に対して、100℃超の状態での挙動や特性の変化等に着目した調査を行います。



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

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. 31~p. 34)

研究開発の目的

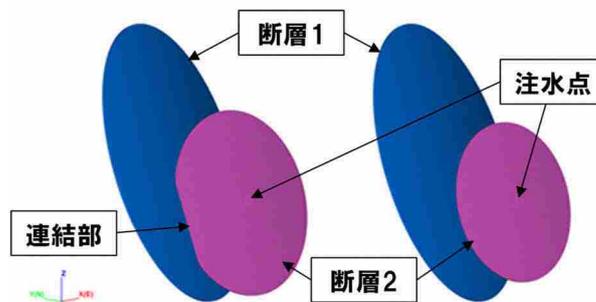
- ・ 地殻変動が透水性に与える影響を推測するための手法の整備

令和2年度の成果

- ・ 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、観測データを取得しました。
- ・ 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、水理連結性が高い領域と低い領域の遷移領域を考慮することで、地質環境データの深度分布を統一的に説明することがわかりました。
- ・ 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がわかりました。

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します。
- ・ 稚内層中の断層／割れ目が水理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します。
- ・ 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の検討を進めます。



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：断層が一部で連結するモデルの例；右図：断層が連結しないモデルの例)

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. 35～p. 38)

研究開発の目的

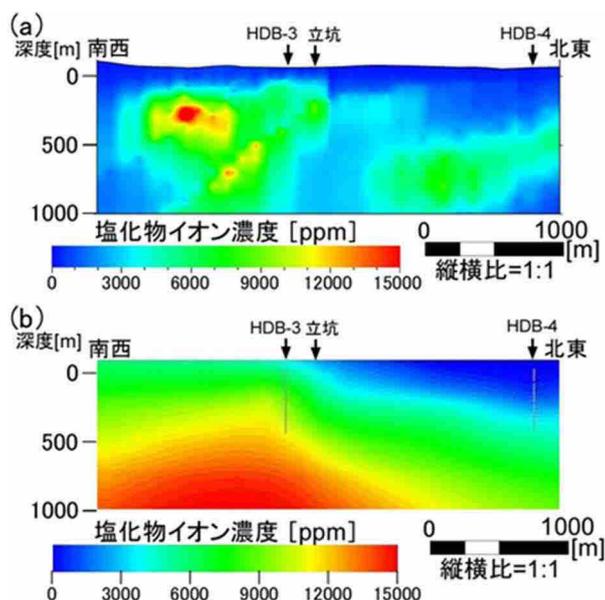
- 地下水の流れが非常に遅い領域の分布を理解するための技術の構築

令和2年度の成果

- 化石海水の分布と地質構造を把握するための物理探査を行いました。
- 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や推定可能な手法を適用し、深度400～500mよりも深い領域の推定結果を向上させました。
- 電磁探査データ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周辺を境に南西側で塩濃度が高く、北東側で低くなること分かりました。

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します。
- 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します。
- 幌延町沿岸部の浅海域において、産業技術総合研究所との共同研究として、海上物理探査を実施します。



幌延深地層研究センター周辺における塩化物イオン濃度の分布 (a) 電磁探査により得られた比抵抗分布に基づき推定した結果、(b) 既往のボーリング孔における水質データに基づき推定した結果

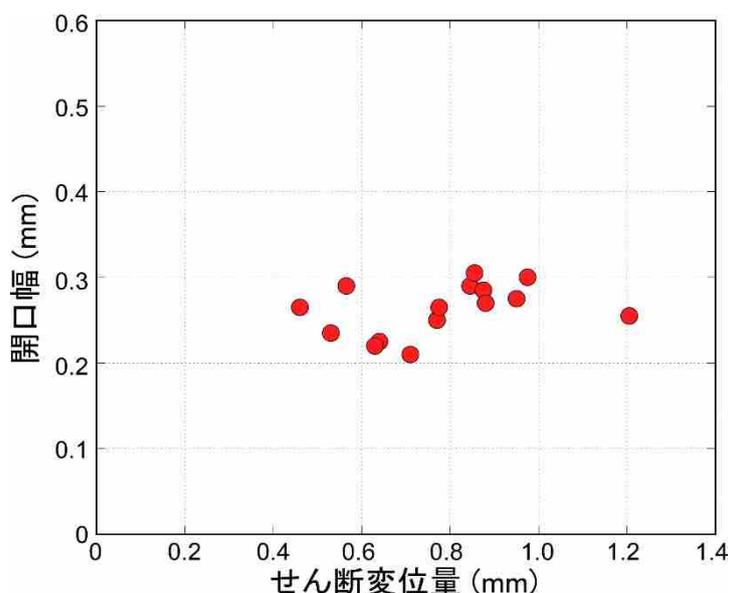
6.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験 (p. 38～p. 39)

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、坑道回りの掘削損傷領域の透水性を推測する手法の構築

令和2年度の成果

- 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しました。深度350mの地圧で、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。



掘削損傷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

令和3年度の計画

- 樹脂注入試験の観察・検討を継続します。
- 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）と深度350m調査坑道での地震観測を継続します。

8. 地下施設の管理

- ・ 令和2年度に引き続き、試験坑道1における人工バリア解体試験施工に関連する工事を行うとともに、施設内の機械設備や電気設備などの維持管理（設備運転や保守点検など）を行います。
- ・ 地下施設からの排水は、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。



工事および維持管理の様子

9. 環境調査

研究所用地周辺における水質・魚類に関する調査、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を定期的に行います。また、排水の放流先である天塩川の水質調査を行います。



水質調査の様子

10. 安全確保の取組み

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。実施内容は以下の通りです。

- ・ 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

Clay Club、モンテリ・プロジェクト（スイス）、DECOVALEX、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

- ・ 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など、国内外の機関との資金や人材の活用についての意見交換など

- ・ ホームページ^{*9}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、および地下施設見学会の実施など



深度350m調査坑道での見学の様子

*9 : <http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/>