

幌延深地層研究計画に関する 令和2年度の成果と今後の計画

令和3年3月3日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
核燃料・バックエンド研究開発部門
幌延深地層研究センター
深地層研究部

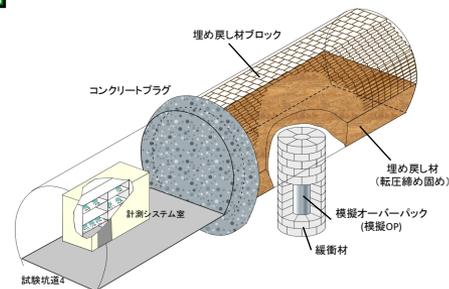
本日の内容

- **令和2年度の研究開発の内容と令和3年度の予定**
- **今後の幌延深地層研究計画に関わる検討**
 - ✓ **稚内層深部での研究意義**
 - ✓ **国際拠点化への取り組み**

令和2年度以降の幌延深地層研究計画

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
- 2) 物質移行試験



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

- 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
- ・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) 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



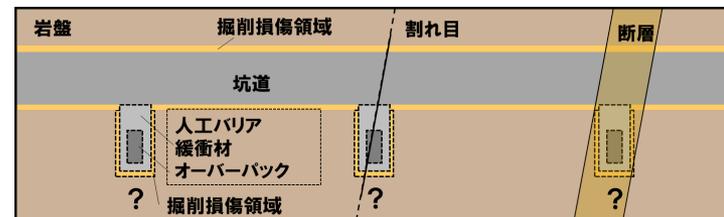
閉鎖技術オプションの整理

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- 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
- ・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

- 2) 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

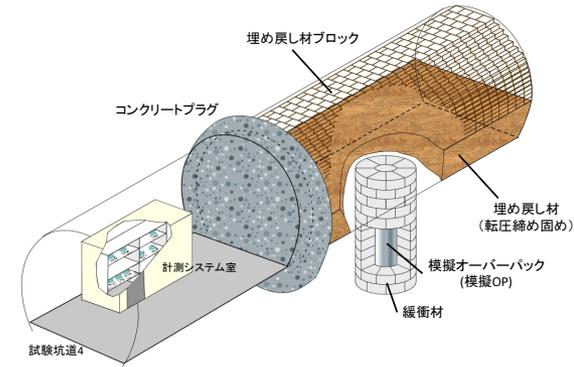
①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

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】

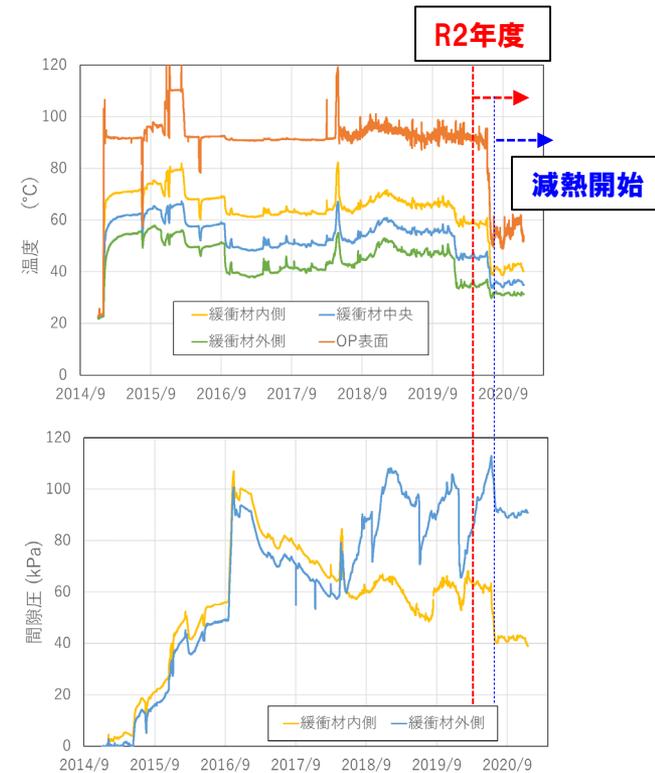
目的:人工バリア周辺で起こる現象を確認し、安全評価シナリオに反映する。

- 原位置試験を通じて人工バリアの緩衝材に地下水を浸潤させたデータ(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などを確認



【令和2年度の実施内容と成果】

- 廃棄体減熱過程を模擬して、模擬オーバーパックのヒーター温度を約90℃から50℃に減熱し、減熱過程の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
- DECOVALEX-2023において、観測データに関わる解析モデルや解析条件を設定。各国の解析コードを確認
- 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、模擬オーバーパック、緩衝材を設置



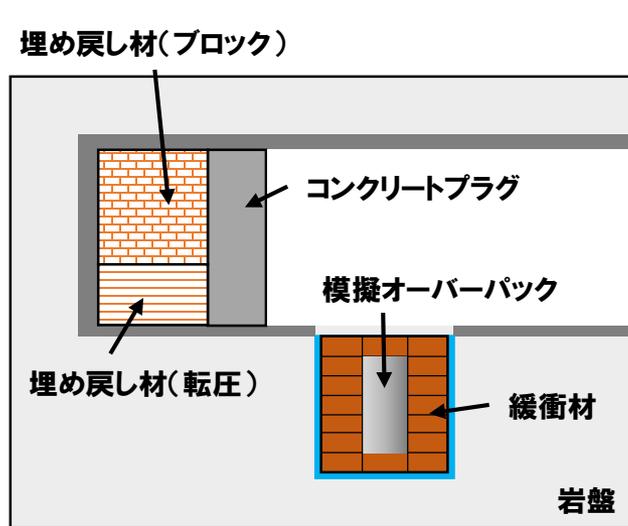
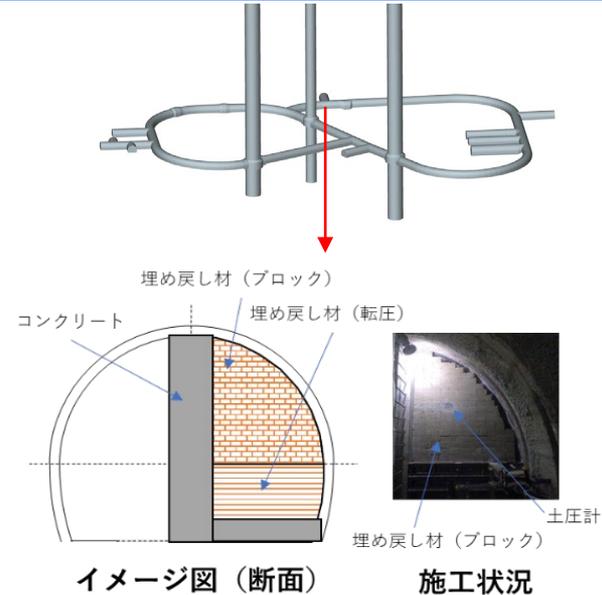
緩衝材5段目の温度と間隙圧変化

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

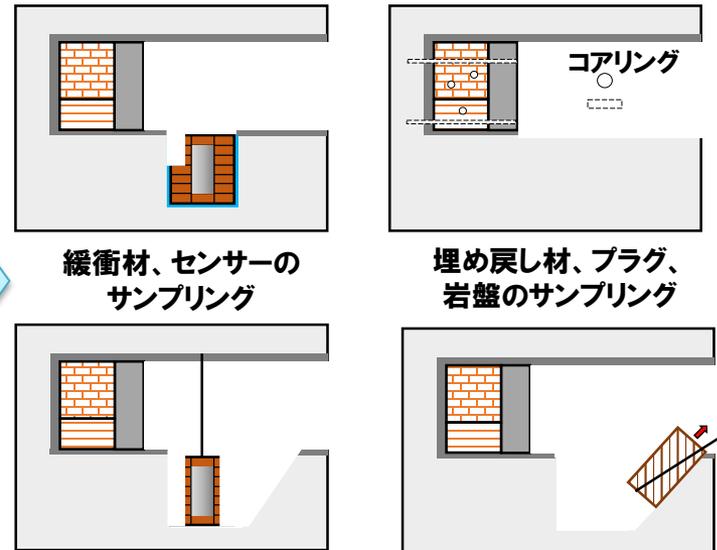
【令和3年度の計画】

- 模擬オーバーパックのヒーターを止め、発熱影響のない条件で試験を開始
- DECOVALEX-2023で、令和2年度に設定した解析条件で共同解析、比較検証。気相を考慮した熱-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



試験施工イメージ図

解体
調査



模擬オーバーパックの一体取り出し

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

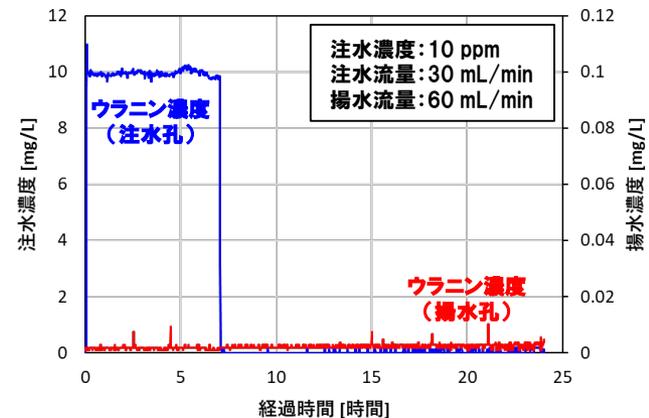
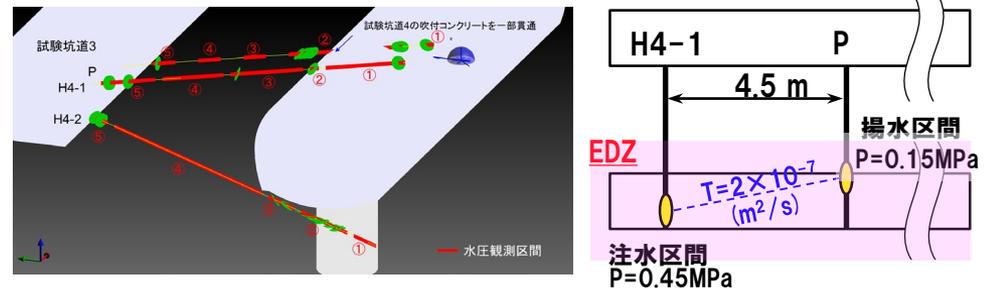
【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

目的: 堆積岩における物質移行現象の評価手法を整備する。

- 掘削損傷領域でのトレーサー試験、物質移行データの取得
- 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の構築

【令和2年度の実施内容と成果】

- 人工バリア試験坑道の掘削損傷領域を対象としてトレーサー試験を実施し、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に先立ち、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
- 稚内層深部のブロックスケールにおける物質移行試験の準備作業を完了



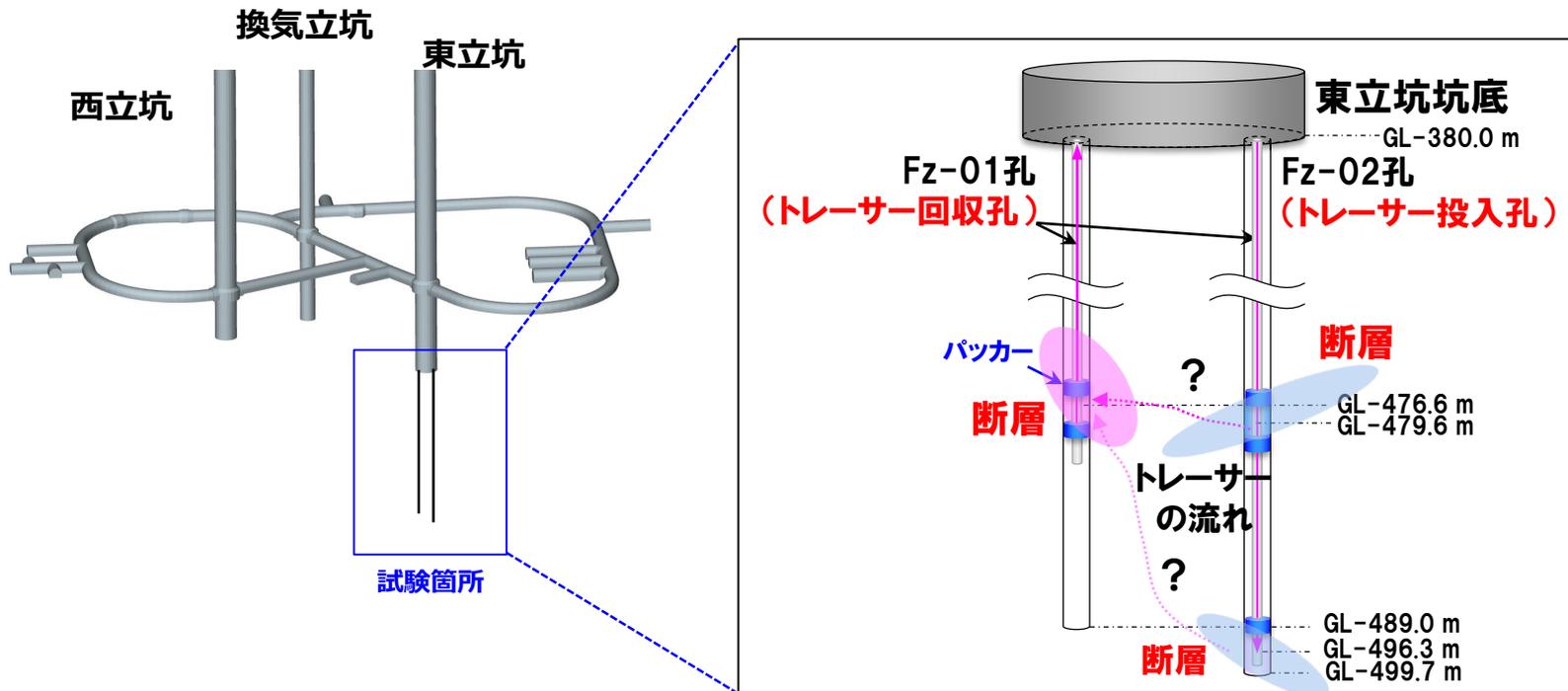
EDZを対象としたトレーサー試験結果

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
- 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
- 稚内層深部を対象とした物質移行試験を実施



稚内層深部の断層を対象とした物質移行試験

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】

目的: 坑道の閉鎖技術や性能を担保するための設計・施工技術の選択肢を整備する。

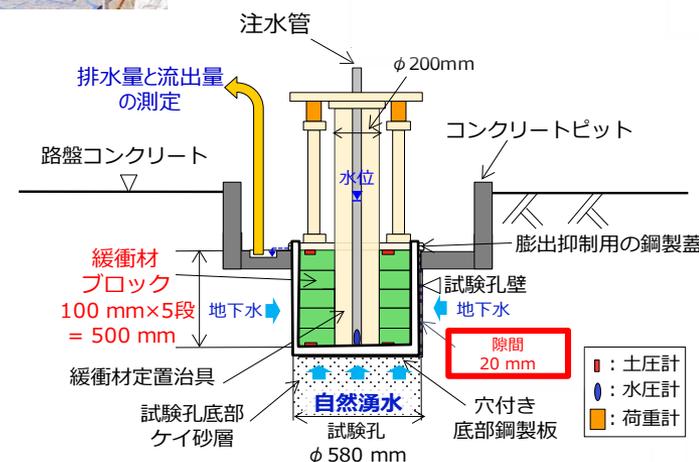
- 搬送定置・回収技術(緩衝材や埋め戻し材の状態に応じた除去技術オプション、回収容易性を考慮した概念オプション、品質評価手法など)の整備
- 閉鎖技術(埋め戻し方法: プラグ等)の実証
- 人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工に係る品質保証体系の構築

【令和2年度の実施内容と成果】

- 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、自然湧水環境では初期に緩衝材の流出があるものの、緩衝材が膨潤し隙間が埋まるに従って、排水量が減少し緩衝材が流出しなくなることを確認
- 埋め戻し材やプラグ等の設計・施工・性能評価として、埋め戻し材の吹付け施工試験を実施し、材料の種類や配合の違いによる吹付けベントナイト品質の違いを整理



ベントナイト材料の吹付け試験

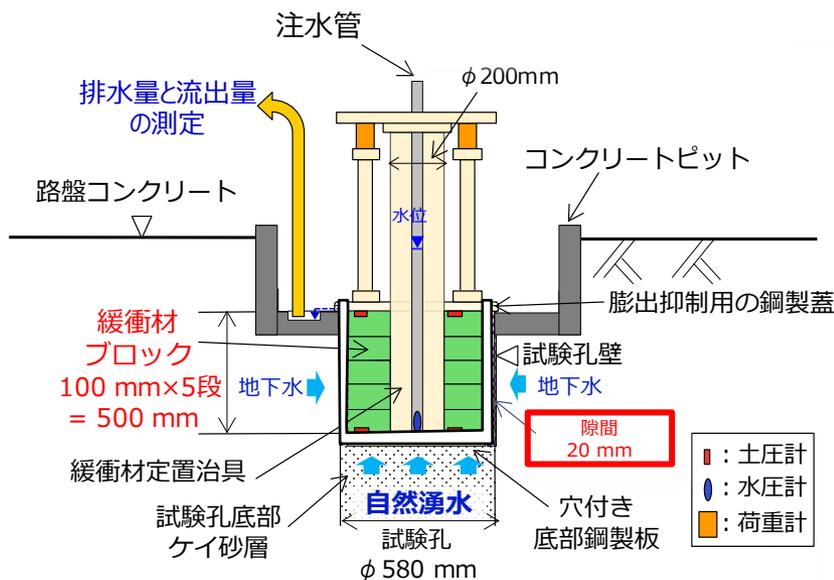


緩衝材流出試験

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

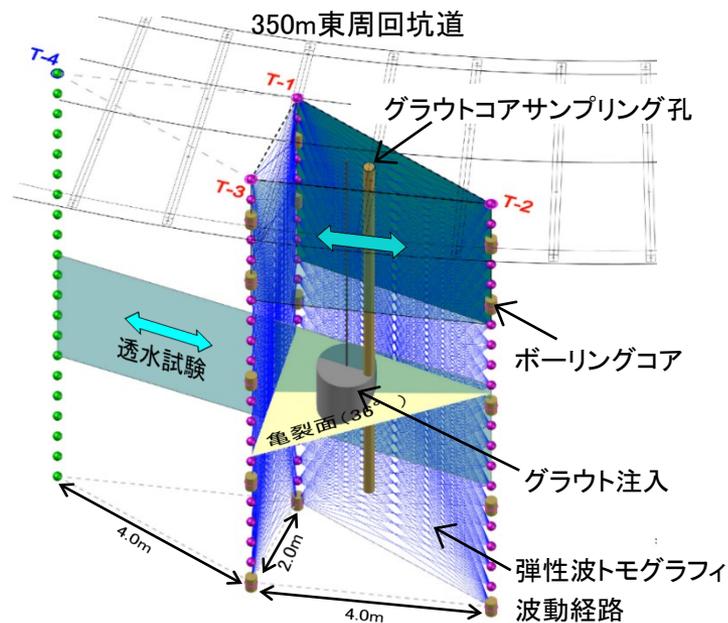
【令和3年度の計画】

- 搬送定置・回収技術の実証に関する試験と解析
- 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
- 緩衝材への水の浸潤挙動を把握するための試験を継続



緩衝材流出試験のイメージ

令和2年度に実施した試験から、湧水量の条件を変化させ、湧水量に対しての施工方法の適用範囲を確認する。



EDZの連続性調査のイメージ

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する。

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 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

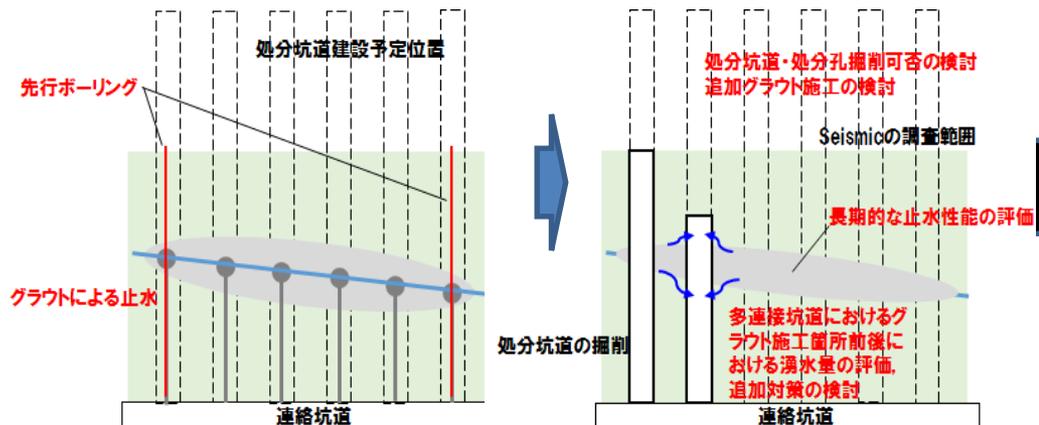
【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

目的：坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術を体系化する。

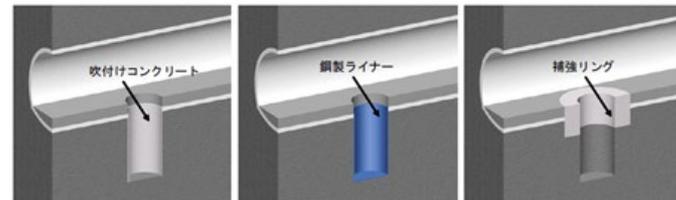
- これまでに構築した地質環境調査技術、工学的対策技術に基づき、環境条件に応じた坑道・人工バリアなどを設計し、実際に施工してみて設計・施工技術を体系的に確認
- 多連接坑道を想定した湧水抑制技術、処分孔支保技術、緩衝材流出抑制技術などを整備
- 廃棄体設置の判断や設計に必要な情報を整理

【令和2年度の実施内容と成果】

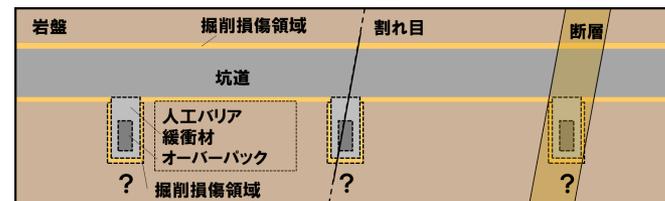
計画全体の後期に実施予定



設計評価、工学的対策の検討イメージ



支保工設計と適用事例



定置位置決定特性の考え方の整理

②処分概念オプションの実証

2) 高温度(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】

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を確認する。

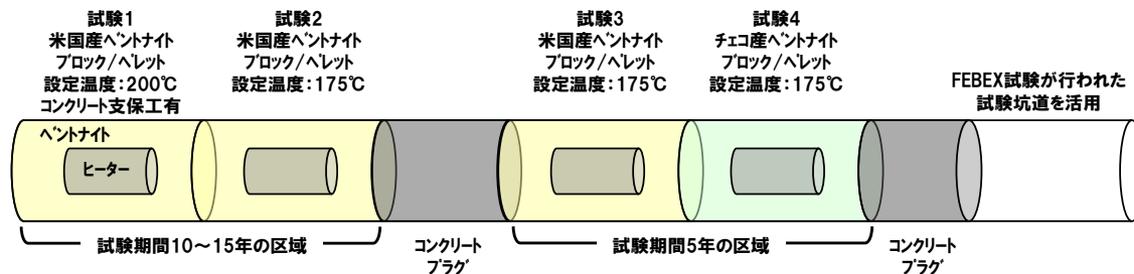
- 100℃超になった際に人工バリアとその周辺岩盤において発生する現象の整理
- 人工バリアとその周辺岩盤における上限温度設定の考え方の提示

【令和2年度の実施内容と成果】

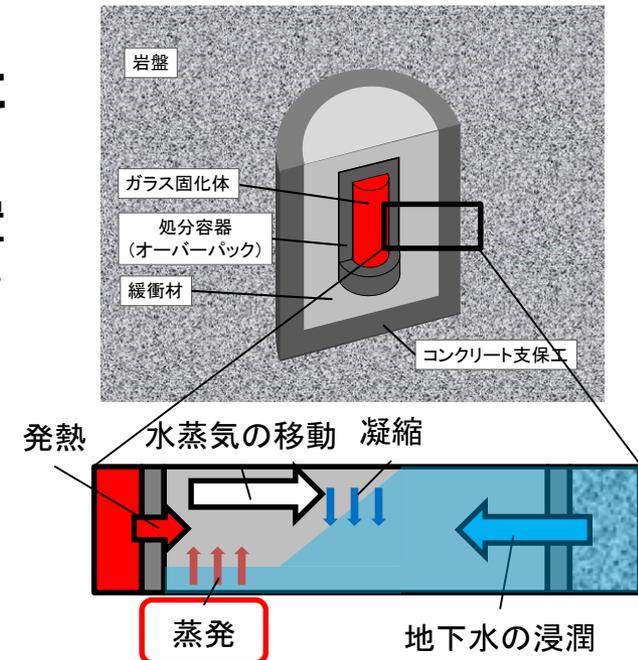
- 緩衝材温度が100℃を超えた状態のシナリオを検討し、緩衝材の挙動に与える影響が大きい特性として、蒸発による水分移動特性、物質移動特性を抽出
- 海外機関が実施している100℃超の状態を模擬する原位置試験を対象として、試験条件、試験手法、計測機器の選定・配置等に関する情報を収集、整理

【令和3年度の計画】

- 海外の原位置試験に関する情報収集を継続



国際プロジェクトHotBENT試験(スイス)の概要



100℃を超えた状態で人工バリア周辺に生じると想定されるシナリオ概念

地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

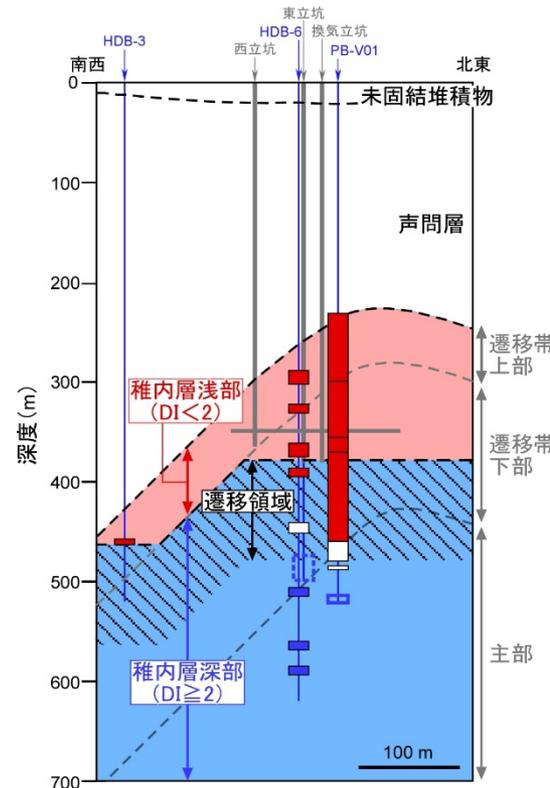
【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

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を整備する。

- 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の構築

【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、水理的連結性が高い領域と低い領域の遷移領域を仮定することで、データの統一的な説明が可能になった。
- 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と判断された。



長期水圧観測

- 立坑掘削に伴い水圧低下が認められる区間(断層/割れ目の水理的連結性が高い)
- 立坑掘削に伴い水圧低下が認められるが、解析的には初期段階の低下量が小さいと判断される区間(断層/割れ目の水理的連結性が低い)
- 立坑掘削に伴い継続的な水圧上昇が認められる区間(断層/割れ目の水理的連結性が低い)

水圧擾乱・物質移行試験

- 断層間の水圧応答がほとんど認められない区間(断層の水理的連結性が低い)

孔内検層

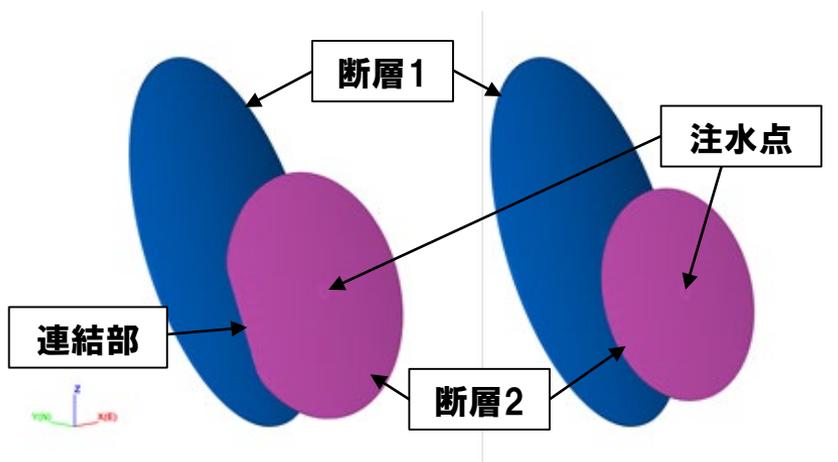
- 地下水の流出入が検出されない断層区間(断層の水理的連結性が低い)

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

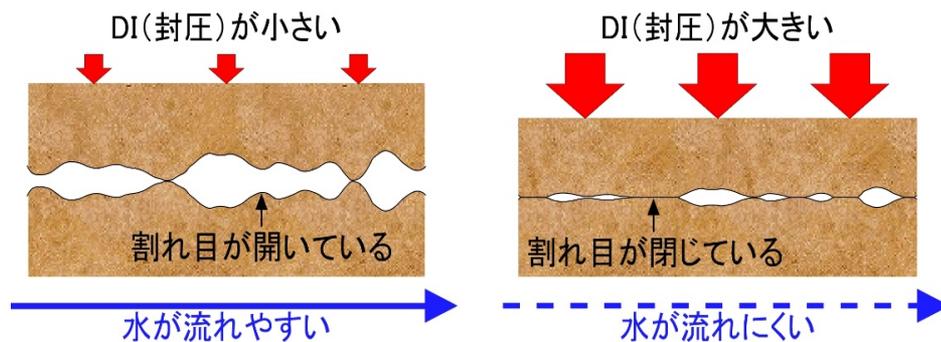
地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

【令和3年度の計画】

- 令和2年度末に実施した水圧擾乱試験結果の解析
- 稚内層中の断層／割れ目の水理的不連結性に関する検討
- 既存の室内試験結果や水圧擾乱試験結果を用いた既存のモデル(割れ目の透水性と力学条件との関係性)の検討



原位置試験から推定される断層の水理的不連結性を、複数のモデルを用いた水理解析により検討
(左:断層が一部で連結するモデル例;右:断層が連結しないモデル例)



既存の室内試験結果や水圧擾乱試験結果を用いて、上図のような概念に基づく既存のモデル(割れ目の透水性と力学条件との関係性)を検討

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

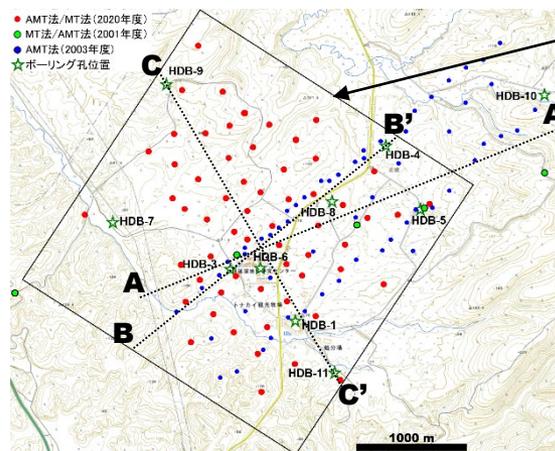
【研究開発の目的と令和10年度までの実施内容】

目的: 地下水の流れが非常に遅い領域の分布を把握するための技術を構築する。

- 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】

- 化石海水の三次元分布と地質構造を把握するための物理探査(電磁探査・反射法地震探査)を実施
 - 既往の電磁探査ではAMT法のデータがほとんどであったが、令和2年度はAMT法とMT法を併用し、さらに測点を格子状に配置
- ⇒深度500m以深の比抵抗の三次元分布の推測精度が向上
- 幌延URL南西側に、相対的な比抵抗値が低い領域が認められ、URL深部はその境に位置する。

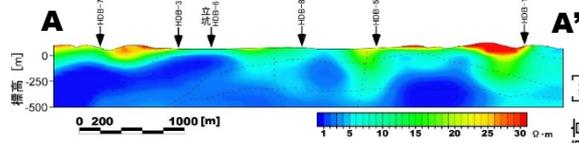


令和2年度物理探査の評価範囲

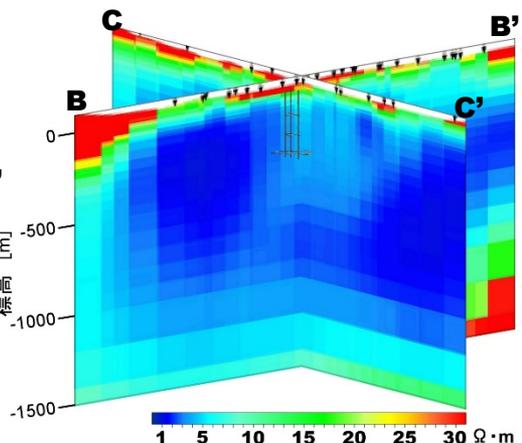
既往測点(青):
AMT法の測点を直線状に配置

今年度測点(赤):
MT法とAMT法の測点を格子状に配置

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)



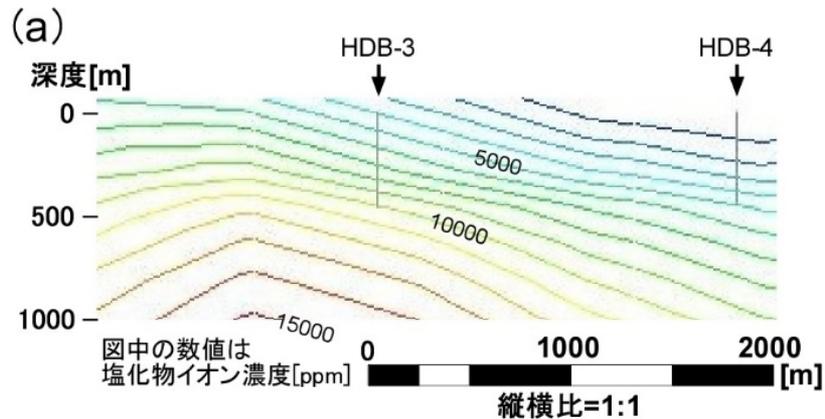
令和2年度の電磁探査結果

(比抵抗の3次元解析結果から2断面を切り出し)

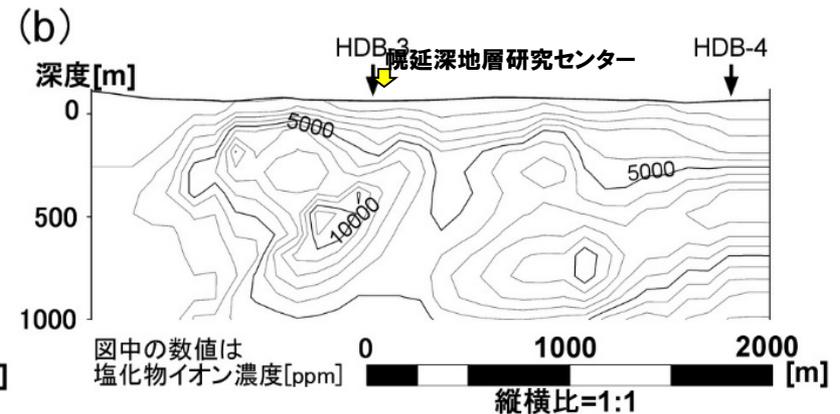
③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証 1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化 地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化

【令和3年度の計画】

- 令和2年度の物理探査の結果を踏まえて、地下水の流れが非常に遅い領域を確認するためのボーリング調査計画の検討
- ボーリングを行うことで得られる結果(岩盤の比抵抗や地下水の塩濃度、年代など)について予測解析
- 予測結果を確認するためのボーリング調査を行い、物理探査とボーリング調査、解析を組み合わせた地下水の滞留領域評価技術について妥当性を確認



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NaCl濃度の分布



電磁探査により取得した比抵抗分布
から推定した等価NaCl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する。

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】

目的：坑道閉鎖後の緩衝材や埋め戻し材の膨潤を踏まえ、掘削損傷領域の透水性を推測する手法を構築する。

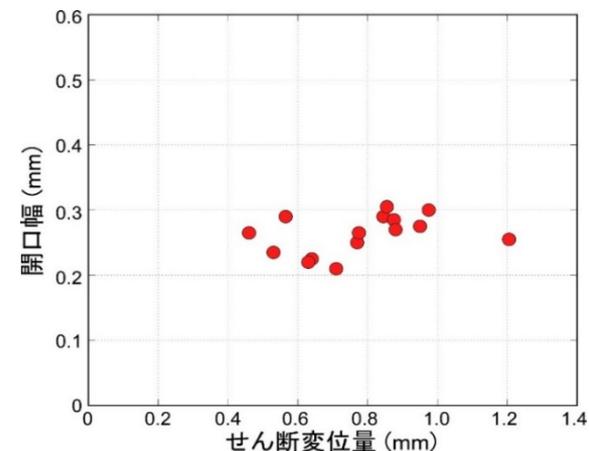
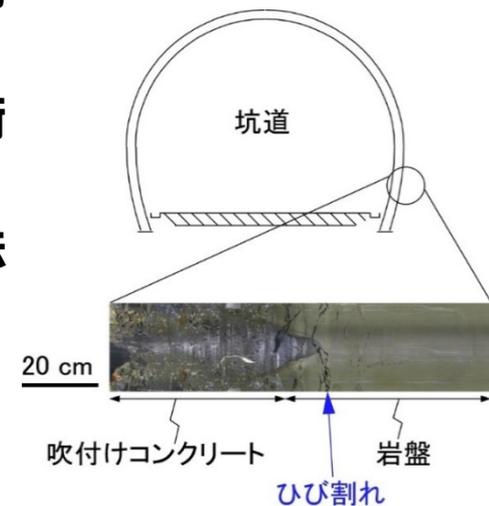
- 緩衝材や埋め戻し材が掘削損傷領域の力学的・水理的な緩衝能力(自己治癒能力)に与える影響の解析手法の構築
- 坑道近傍の力学条件に基づいて掘削損傷領域の透水性予測方法の構築
- 坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性予測方法の構築

【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、割れ目面に垂直にかかる力が大きいいため、せん断変位に伴う開口が抑制される可能性が示唆された。

【令和3年度の計画】

- 樹脂注入試験の観察・検討の継続
- 緩衝材や埋め戻し材の膨潤が、掘削損傷領域のひび割れの閉塞過程に与える影響の解析



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

今後の幌延深地層研究計画に関わる検討

令和2年度 幌延深地層研究の確認会議

(1)「確認会議」の構成員など

- ・北海道:環境・エネルギー局長(座長)、宗谷総合振興局産業振興部長
- ・幌延町:副町長、企画政策課長
- ・専門有識者(敬称略):
 - 北海道大学大学院工学研究院土木工学部門教授
 - 北海学園大学法務研究科教授
 - 北海道科学大学未来デザイン学部人間社会学科准教授
 - 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻特任教授
 - 北海道大学大学院工学研究院環境創生工学部門准教授
 - 北海道クリエイティブ株式会社
 - 北海道大学大学院工学研究院エネルギー環境システム部門准教授

石川達也
大西有二
佐々木智之
竹下徹
東條安匡
吉田聡子
渡邊直子

(2)開催経過

- 第1回(8月31日) 機構からの「令和元年度調査研究成果報告」、「令和2年度調査研究計画」の説明とこれに対する質疑、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」受入に際し、道から機構に実施を求めた事項の確認
- 第2回(10月16日) 「令和元年度調査研究成果報告」、「令和2年度調査研究計画」に対する質疑、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」受入に際し、道から機構に継続的に実施を求めた事項の履行確認
- 第3回(10月23日) 「令和元年度調査研究成果報告」、「令和2年度調査研究計画」に対する質疑、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」受入に際し、道から機構に実施を求めた事項の履行確認(質疑)で再確認が必要となった項目、「研究成果報告」及び「研究計画」に関し、「確認会議で確認できた内容」の確認

令和2年度 幌延深地層研究の確認会議 確認事項

(幌延深地層研究計画の運営上、特に留意すべき点)

- 1) 研究成果及び研究計画について
- 2) 研究終了後の埋め戻しについて
- 3) 情報公開等について
- 4) 安全確保等について

5) 三者協定との整合性について

- ・現時点で NUMO との共同研究について具体的に決まったものはないこと。仮に NUMO と共同研究を実施する場合でも、NUMO への譲渡や貸与を行わないことを前提に機構が主体となり機構の研究目的や課題と整合し機構の責任において研究施設を運営・管理すること。

6) 500mにおける研究の検討について

- ・機構は、500mの研究を実施するかどうかについて検討するのは、内部で議論した結果、必須の課題の研究を進め、技術基盤を整備していくために有効な可能性があるかと判断したためであること。
- ・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。
- ・判断した内容、理由等については、北海道及び幌延町が開催する確認会議において説明すること。

令和2年度 幌延深地層研究の確認会議 要請事項

1. 外部評価の意見とその対応を公開する際には、評価の状況を北海道及び幌延町へ報告すること
2. 研究計画に対する研究課題の進捗状況がわかるよう、研究課題毎にどのような成果を出しているのか、また、研究課題間の関連性はどうなっているのかなど、計画書の策定等にあたっては、より分かりやすい資料の作成に努めること
3. 研究終了後の埋め戻しの考え方については、瑞浪超深地層研究所の例とともに、埋め戻し方法や工事期間、周辺環境モニタリングなどの一般的な事例を整理し、来年度の確認会議で示すことを検討すること
4. 埋め戻しは、地下研究施設の建設時に発生した掘削土(ズリ)で行うこととしているが、土の性状は経年変化する可能性があることから、今後、埋め戻しの検討において考慮すること
5. 地域における報告会の説明資料作成にあたっては、道民がイメージしやすい表現を用いるなど受け手側を考慮した資料作りに務めること
6. 確認会議において、前年度の研究成果をより早期に確認するため、例年、新年度計画の提出より後になっている前年度の研究成果については、来年度以降、一部見込みになる部分もあるが、新年度の研究計画の際に提出すること
7. 来年度以降の計画書の作成にあたっては、当該年度の研究内容と前年度の研究とのつながりを意識するよう努めること
8. 幌延深地層研究センターの研究の目的と得られる成果を施設見学会や地域の説明会等において具体的に示す工夫をすること
9. 地域の説明会等において、機構の外部委員会の評価や、研究の推進に関することとして地層処分を取り巻く国等の活動状況について報告すること
10. 地域の説明会において処分場の選定プロセスとの違いなども紹介していくこと
11. 分かりやすい広報資料の作成に向け、外注や広報部署との連携を検討していくこと
12. 分かりやすい広報資料の作成に向け、リスクコミュニケーションの専門家や科学ジャーナリストの方などとも相談し、常に改善し、実行していくこと
13. 500mでの研究等を実施するかどうかについて判断した場合は、その内容、理由等について、北海道及び幌延町が開催する確認会議において説明すること

稚内層深部で研究を実施するかどうかの判断について

前提

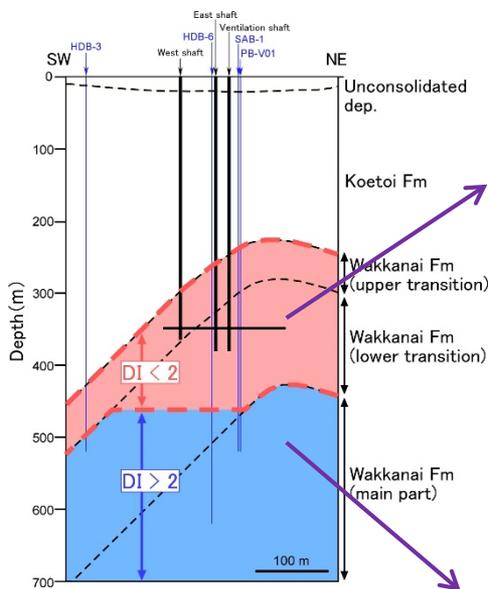
稚内層深部において行う研究は、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」の必須の研究課題の範囲内

原子力機構の判断ポイント

- ✓ 稚内層深部における研究を実施したとしても、令和2年度以降の研究期間を前提とした研究工程であること。
- ✓ 稚内層深部での研究を通じて成果を得ることにより、稚内層浅部（深度350m）での研究を通じて得られた成果と合わせて、技術基盤の整備により一層寄与できること。

Geological conditions of each domain in Horonobe URL

Water conducting features (= faults)

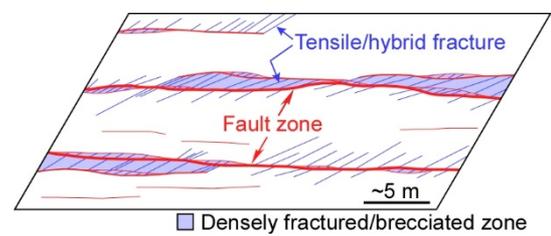


Geological section

Wakkanai Fm is mechanically divided into two domain; the shallow domain preferable to tensile failure ($DI < 2$) and the deep domain suitable to shear failure ($DI > 2$)

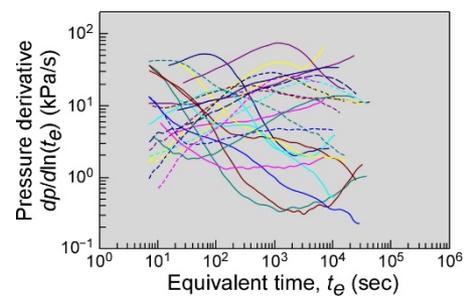
Ductility Index (DI)
= Effective mean stress / Tensile strength

Shallow domain ($DI < 2$)



Fault connectivity based on outcrop & borehole data

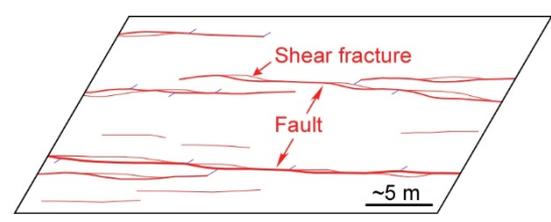
- Faults are hydraulically connected by numerous dilational fractures along the faults.



Pressure derivatives from packer tests for faults

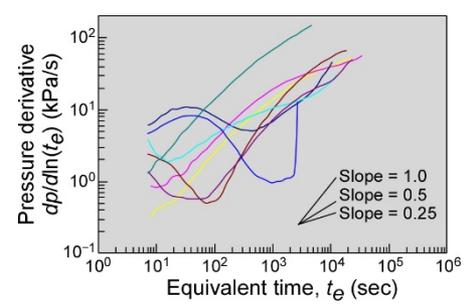
- Derivatives during the hydraulic test indicate 2D to 3D flow, suggesting the faults are hydraulically connected.

Deep domain ($DI > 2$)



Fault connectivity inferred from borehole data

- Faults are estimated to be hydraulically less connected by a few dilational fractures along the faults.

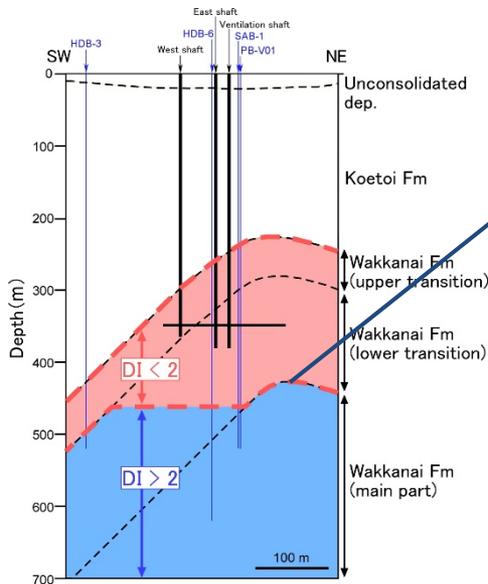


Pressure derivatives from packer tests for faults

- Derivatives during the hydraulic test indicate 1D flow to no flow, suggesting the hydraulic connectivity of faults is limited.

Geological conditions of each domain in Horonobe URL

Water pressure and chemistry



Geological section

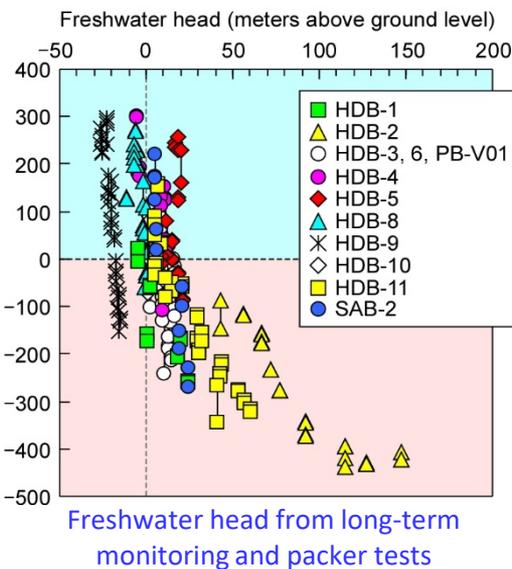
Wakkanai Fm is mechanically divided into two domain; the shallow domain preferable to tensile failure ($DI < 2$) and the deep domain suitable to shear failure ($DI > 2$)

Ductility Index (DI)

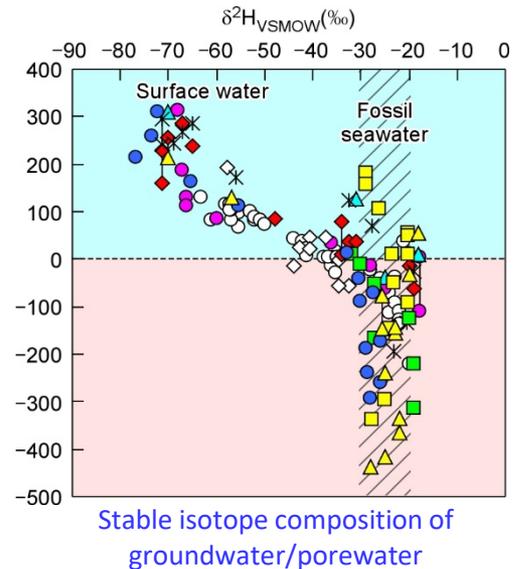
= Effective mean stress / Tensile strength

Shallow domain
 $DI < 2$

Deep domain
 $DI > 2$



Freshwater head from long-term monitoring and packer tests



Stable isotope composition of groundwater/porewater

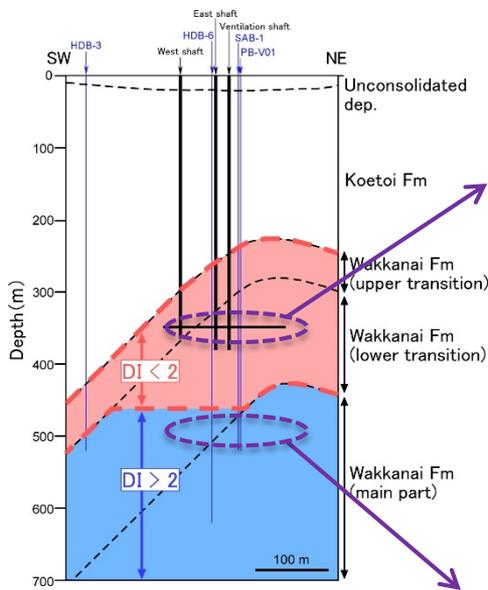
Shallow domain ($DI < 2$)

- Water pressure: Generally hydrostatic
- Water chemistry: Young surface water (^{14}C contains) mix to fossil seawater to depths of hundreds meters
- Flow system: Advection-dominant through fault network

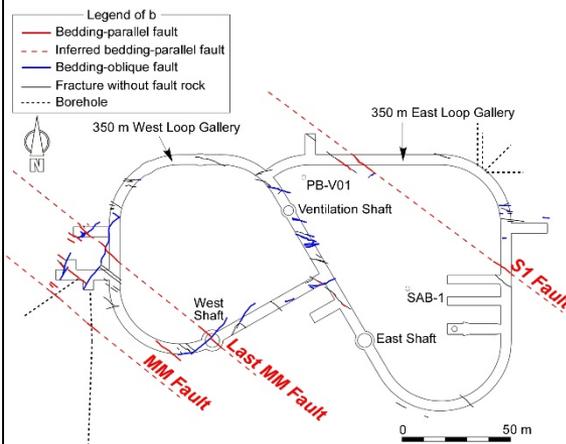
Deep domain ($DI > 2$)

- Water pressure: Increasing with depth, indicating low effective K
- Water chemistry: Fossil seawater that has reached isotope equilibrium with the surrounding rock (clay/silica minerals) without mixing with young surface water; ^{36}Cl and 4He age > 1 Ma
- Flow system: Hydraulically closed due to the limited fault connectivity

From the R & D perspective of elemental technology...



Shallow domain

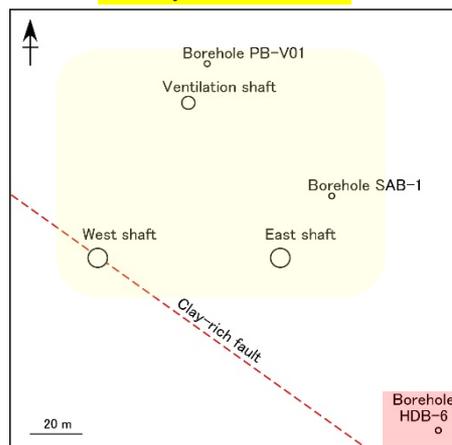


Occurrence of faults at 350 m level

- Mass transport in the area where fractures are connected over hundreds meters (**severe geological feature case**).
- Dismantling the current EBS
- Demonstration of robotic systems for remote operation
- Evaluation of an initial environments if repository maintained for retrievability

Longer research period

Deep domain



Occurrence of fault at 500 m level

- Mass transport in regions where small-scale faults exist, but with limited hydraulic connectivity and relatively closed migration paths (**preferable geological feature case**).
- Demonstrate the construction technology of a repository tunnel for sedimentary rocks under higher rock stress
- Differences in geological characteristics and engineering know-how can be compared between two depths.

Shorter research period

Geological section

Wakkanai Fm is mechanically divided into two domain; the shallow domain preferable to tensile failure ($DI < 2$) and the deep domain suitable to shear failure ($DI > 2$)

Ductility Index (DI)

= Effective mean stress / Tensile strength

* Unlikely occurrence of hydraulically connected bed-oblique faults

深地層の研究施設計画検討委員会(第26回)での議事録要旨

日本の地質環境に対する適合性について

- 稚内層浅部では、地質環境と生物圏とのインターフェース(GBI)や地質環境に依存しない操業技術に関する実証的研究が有効と考えられる。
- 稚内層深部では、バリア機能の評価のための研究や工学技術の最適化に焦点を当てた実規模試験、地下施設の長期健全性を評価する試験(岩盤クリープによる空洞変形、セルフシーリングの可能性、大深度掘削技術の整備など)が有効と考えられる。
- 浅部と深部領域でのデータの比較、統合により、幅広い知見やノウハウを蓄積でき、地層処分システムの有効性や信頼性に対する理解を一層深めることが期待される。
- 他方、幌延における研究手法やデータが他地域の堆積岩に直接的に適用できるとは限らない。調査・評価に共通したアプローチやプロセス、ベストプラクティス、教訓の視点に立った体系化や汎用的技術の整備にも取り組むべき。
- 処分概念や工学技術の“最適化”の意味が必ずしも明確ではないが、国際的に関心が高いトピックである。コストや期間、環境影響など複数の視点があり、外部専門家との議論や内外ニーズ、国際的動向等に基づき、より具体的な考え方を示していくべき。
- 今後の研究計画において、工学技術や安全評価に関するテーマに重点が置かれていることは理解できる。一方で、研究の場としての地質環境特性、特に坑道掘削に伴う地下水流動場や水質の長期的変化、地質環境モデルの妥当性確認などは、これらテーマの基礎情報として重要であることを改めて認識・共有すべき。

深地層の研究施設計画検討委員会(第26回)での議事録要旨

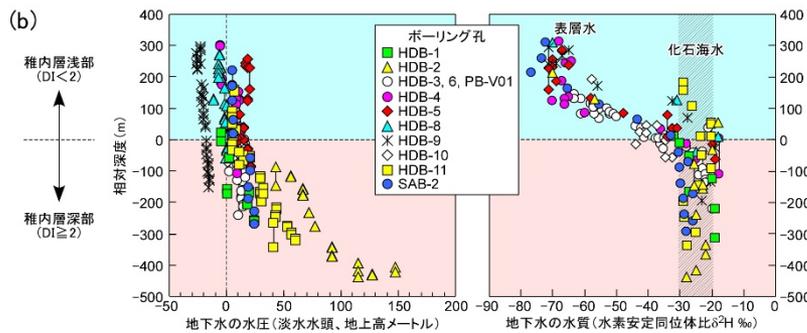
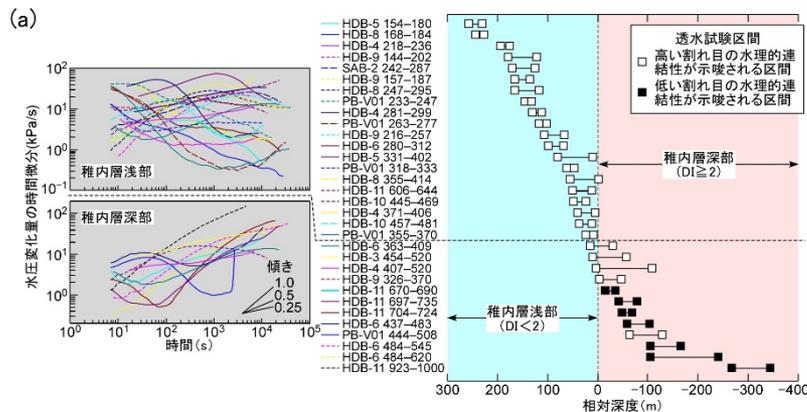
国際的な研究開発の視点について

- 幌延URLは、地下深部の堆積岩に直接アクセス可能な世界でも数少ないジェネリックな地下研究施設であり、国内はもとより国際的にも開かれた先進的な共同研究・トレーニング拠点として現在以上に発展する能力と可能性を有している。
特に、地理的に近接するアジア諸国や環太平洋諸国の地層処分計画の発展に大きく寄与する可能性があり、日本の放射性廃棄物管理分野での国際貢献の観点から、よりグローバルな連携・協力を深めていくことが強く望まれる。
- 幌延URLは、諸外国の地層処分計画が想定している多くの地質環境特性や地理的な条件(候補母岩に特徴的な地質構造や地下水環境、岩盤特性、沿岸部への近接性など)を備えているほか、国際的に関心を持たれる多数の研究テーマが計画されている。
特に、処分概念オプションの実証として考えられる処分概念の最適化や、無線や遠隔操作といったロボティクスを含む工学技術開発、実際の地質環境における人工バリアの適用性確認として考えられる掘削影響領域を含むニアフィールドの物質移行現象の理解とモデル化などは、先進性のある共通的な課題として有望と考えられる。
- 機構は、幌延URLを活用した国際的な研究協力を一層推進するために、国内外の関係者とさらなる議論を行うことが重要である。

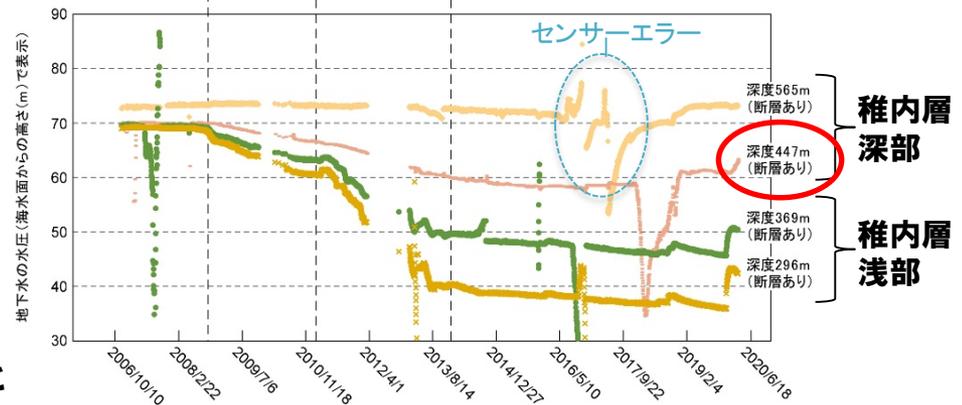
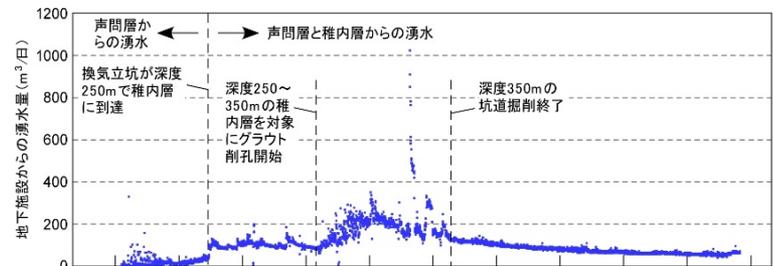
第26回委員会以降の知見(稚内層深部の地質環境)

令和元年度までの知見

稚内層が、割れ目内に隙間ができやすい水理的連結性の高い領域と割れ目内に隙間ができにくい水理的連結性の低い領域に区分されることが判っていたが、研究所周辺での同領域の境界深度の推測には不確実な部分があった。



稚内層深部に位置するHDB-6孔深度447mで坑道掘削に伴う水圧低下が観測される。
⇒区分の境界深度を再検討する必要があった。



地上からのボーリングデータに基づく稚内層の領域区分と水理・同位体データの比較

(a) 稚内層の割れ目を対象とした透水試験時の水圧変化
(b) 地下水の水圧と同位体比の深度分布

(上図) 坑道掘削中の湧水量

(下図) HDB-6孔(東立坑から南東91m)の水圧変化

稚内層深部での研究実施に関わる判断

「地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証」

令和元年度までの水圧擾乱試験データの解析、地上からの高密度3次元電磁探査を実施

- ✓ 水理的連結性の遷移領域を仮定することで既往データを統一的に説明でき、深度500m付近で遷移領域が終わり水理的連結性の低い領域となること
- ✓ 深度500m付近の化石海水の3次元的な空間分布から、深度500m以深は地下水が長期滞留する領域であること

などが明らかになった。

⇒ **技術基盤の整備を達成する上で、深度500m付近は深度350mと比較してより適している。**

「実際の地質環境における人工バリアの適用性確認」

深度350mで掘削損傷領域(EDZ)を対象とした物質移行試験を実施し、移行経路となり得るEDZの広がり把握

EDZがより広がると想定される深度500mにおいて比較研究を行うことにより、技術基盤の整備により一層寄与できる。

各深度での研究の意義

ポイント	500mへ延伸掘削ケース	350mでの追加掘削ケース
地質環境	<ul style="list-style-type: none"> 断層が少なく割れ目の水理的連結性に乏しいため岩盤の透水性が低く、地下水が長期的に閉鎖的条件にある領域が分布する。 	<ul style="list-style-type: none"> 断層が多く割れ目の水理的連結性があり、透水性が比較的高いためプレグラウトなどが必要となることがある。
研究の意義	<ul style="list-style-type: none"> 深度500mにおける坑道設計、建設を行うことで、深度の違いによる掘削損傷領域の評価や、それに基づく設計技術の検証が可能となる。現有の建設技術で、高地圧下での堆積岩で坑道建設を行うことで、地下施設建設に関わる基盤技術を実証できる。 「実際の地質環境における人工バリアの適用性確認」：地下水が長期滞留する物質移行経路が閉鎖的な環境において物質移行特性を実証できる。 「処分概念オプションの実証」：地質環境が乱れていない領域に坑道展開することで回収可能性維持に関わる坑道周辺の変化を把握しつつ、坑道スケール～ピットスケールの調査・設計・評価技術を提示できる。 深度350mと比較することで、技術基盤の整備により一層寄与することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 断層や割れ目の頻度が高く、安全評価上、厳しい条件での試験となることから、350mでの試験研究により確認された技術の一部は安全裕度を含むものとなる。

深度500m掘削を行う場合の試験概要(案)



350m坑道水平面図

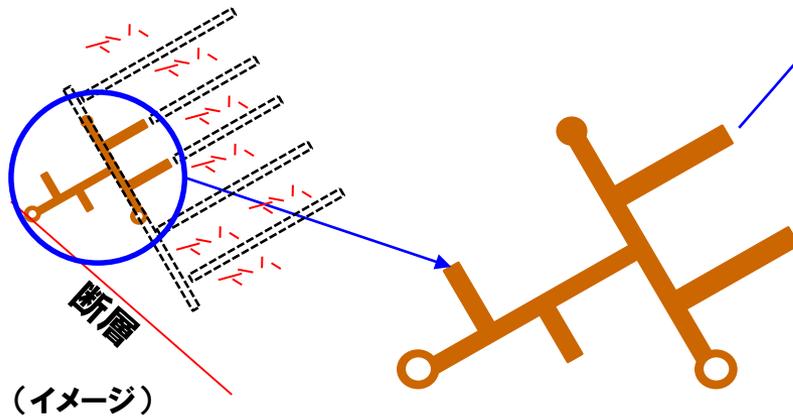
500m坑道水平面図

深度500mでの研究内容の一例(処分概念オプションの実証)

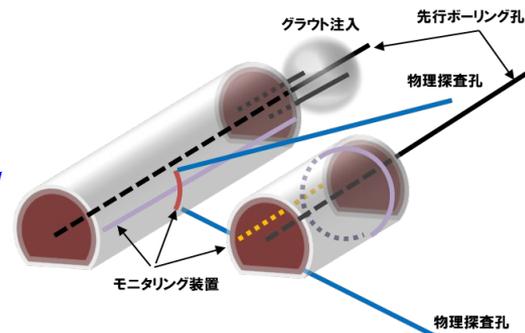
坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化

- ① 地上からの調査の情報および深度350mまでの坑道建設により得られた情報に基づき、500mの地質環境条件を整理
- ② 予測された地質環境条件とこれまでに構築された工学的対策技術を踏まえ、坑道・人工バリア(坑道・ピットの配置、間隔、etc.)などを設計
- ③ 実際に施工し、調査～設計・施工に関わる一連の技術を体系的に確認(処分場の坑道スケールの設計に関わる方法論の例示)

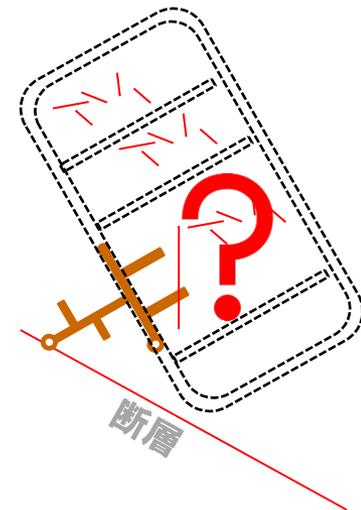
・地質環境の予測と坑道レイアウト設計(坑道を展開するのに適した領域や坑道の離間距離など)



・予測された地質環境と設計・施工技術の確認



- ・多接続坑道を考慮した湧水抑制対策及び処分孔支保技術の確認
- ・坑道、処分孔配置の判断に関わる技術的根拠、適切な対策技術の選定方法の整理



・坑道レイアウト設計へのフィードバック

国際拠点化への取り組み

令和2年度

- 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) 共同解析テーマのひとつとして、幌延の人工バリア試験のデータを用いた解析テーマを提案し、採用。中国、台湾、韓国、ドイツの研究機関が参加
- Pacific Rim Partnership(環太平洋の研究機関による研究協力) 米国、オーストラリア、台湾、韓国、日本の研究機関による、地下研究所の相互利用や情報交換に関わるパートナーシップ協力憲章を締結

今後の予定

- 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
- 国際化に向けた取り組みを推進 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開催への協力、幌延における国際共同研究への参加呼びかけ

ご清聴 ありがとうございます