第3期中長期計画における幌延深地層研究計画の研究開発成果
ーCoolRepR4としての成果の取りまとめについてー

令和3年10月13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

本日の説明内容

1.CoolRepR4における成果取りまとめ
（1）必須の課題に関する研究開発成果と技術的評価結果
（2）必須の課題とCoolRepR4の構造
（3）成果ダイジェストの例

2. 幌延深地層研究計画の現状と今後の予定

必須の課題に関する研究開発成果と技術的評価結果

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- 人工バリア性能確認試験
- オーバーパック腐食試験
- 物質移行試験

②処分概念オプションの実証

- 処分孔等の湧水対策・支保技術などの実証試験
- 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
- 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

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の実証

- 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
- 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

令和元年度における中間評価結果

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

○研究内容の妥当性
　概ね適切であった
○目標の達成度
　概ね目標が達成できた

②処分概念オプションの実証

○研究内容の妥当性
　概ね適切であった
○目標の達成度
　概ね目標が達成できた

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の実証

○研究内容の妥当性
　適切であった
○目標の達成度
　十分に目標が達成できた

全体として概ね適切に研究が遂行され、当期5カ年の目標を達成できたと評価します。今後は、技術の確立が可能な水準に達するまで、人工バリア性能確認試験及び処分概念オプションの実証に関する試験を継続するとともに、本地下研究施設が最先端の地層処分技術を実証するプラットフォーム（共通基盤）として国内外の関係者に広く提供・活用されることを期待します。

必須の課題とCoolRepR4の構造

【必須の課題】　　【実施項目】

【CoolRepR4】
必須の課題を通して得られた知見を地層処分事業・安全規制への反映という視点で体系化

【必須の課題】	【実施項目】	【CoolRepR4】	
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 ● オーバーパック腐食に関わる原位置試験 ● 物質移行試験	→ 成果ダイジェスト（主な成果＋事業等への反映）	A2群（地質環境の短期変動・回復挙動の理解）コアメッセージ
処分概念オプションの実証	● 処分孔の湧水対策・支保技術 ● 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 ● 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	→ 成果ダイジェスト（主な成果＋事業等への反映） → 成果ダイジェスト（主な成果＋事業等への反映）	
⋮	⋮	⋮	
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 ● 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験	→ 成果ダイジェスト（主な成果＋事業等への反映）	A3群（地質環境の長期変動・回復挙動の理解）コアメッセージ
⋮	⋮	⋮	

成果ダイジェストの例

	必須の課題（幌延）	実施項目
A2群	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 ●オーバーパック腐食試験 ●物質移行試験
A2群	処分概念オプションの実証	●処分孔の湧水対策・支保技術 ●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 ●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
A3群	地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証	●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 ●地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

- 本日の説明では、「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」と「地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証」を事例として紹介
- その他の項目についてはそれぞれのページを参照

第3期中長期計画における必須の課題の進展

第3期中長期計画の評価（R3年度）

中間評価（R元年度）

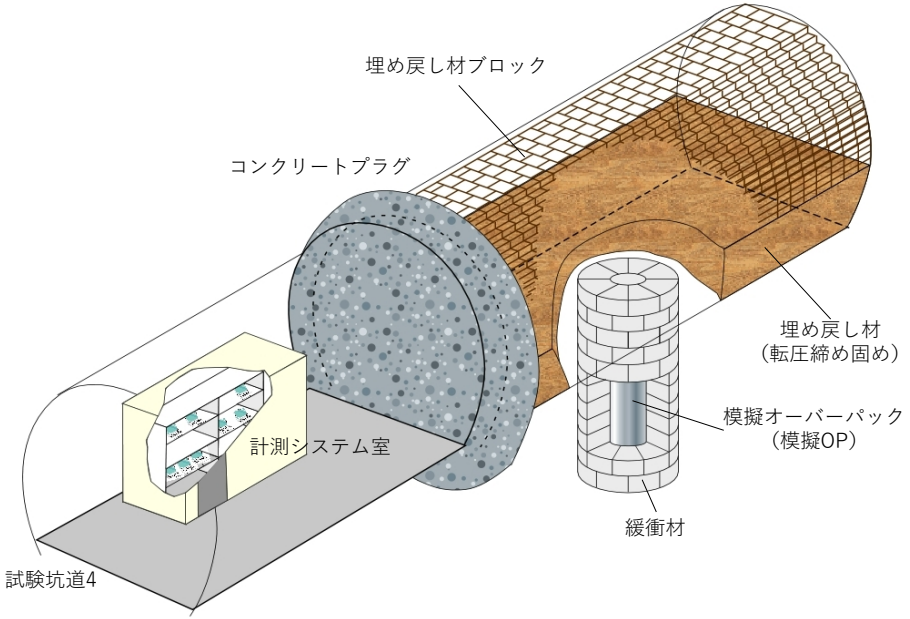
第4期中長期計画

必須の課題名	H27年度～R1年度	R2年度・R3年度	R4年度～R10年度
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	⇒ 人工バリア性能確認試験	
	オーバーパック腐食試験	（令和元年度で終了）	
	物質移行試験	⇒ 物質移行試験	
処分概念オプションの実証	処分孔の湧水対策・支保技術	（令和元年度で終了）	
	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	⇒ 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・回収技術などの技術オプションの実証、閉鎖技術の実証 ・ 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	
	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	⇒ 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	
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	⇒ 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	
	地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験	⇒ 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験	

成果ダイジェストの例
ー実際の地質環境における人工バリアの適用性確認ー

【目　的】

○実際の地質環境下における処分孔竪置き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。



人工バリア性能確認試験の概念図

○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。

【令和2年度以降の研究開発課題】

○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）

成果ダイジェストの例
ー実際の地質環境における人工バリアの適用性確認ー

【概要】人工バリア性能確認試験

【令和2年度以降の実施内容】

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

②人工バリア解体作業及び緩衝材の飽和度の確認を実施する国際プロジェクト(DECOVALEX等)における解析コード間の比較検証、改良・高度化

【令和3年度までの計画】

①減熱時及び発熱による影響をなくした条件での試験へ移行

②人工バリアの試験体を取り出すための試験施工、国際共同研究DECOVALEXの開始

【令和2年度以降の状況】

①減熱時及び発熱による影響をなくした条件での試験に移行し、データ取得開始(令和2年6月24日:約95℃から約50℃に徐々に低下、令和3年5月18日:ヒーター停止)
⇒減熱時以降のデータ取得を着実に進めている

②人工バリア解体調査のための試験施工(令和2年度に人工バリア性能確認試験の一部を模擬した埋め戻し部と試験孔部の施工、令和3年度は解体中)
⇒試験施工を着実に進め、サンプリング方法などの確認を行っている

国際共同研究DECOVALEXの開始を開始した

成果ダイジェストの例
ー実際の地質環境における人工バリアの適用性確認ー

【成果ダイジェスト】人工バリア性能確認試験

主要な成果	○人工バリア（緩衝材、オーバーパック）、埋戻し材、プラグ、処分孔掘削技術に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法を実証 ・ 緩衝材及びオーバーパックに関する設計手法を構築し、試設計を実施し、設計要件に基づく設計の実施が可能であることを確認 ・ 真空把持装置を用いた緩衝材ブロックの定置を実証 ・ 堆積岩に対する、処分孔掘削技術の実証実験により、処分孔掘削技術（オーガー掘削：機械的な掘削方法の一種）の有効性を確認 ・ 掘削ズリ混合埋め戻し材を製作し、締固め、ブロック方式等による原位置施工や品質管理手法の適用性を確認 ・ 加熱・注水時の人工バリアの挙動に関する原位置データを取得し、解析ツールの力学モデルの高度化により、原位置データの再現性が向上することを確認 ・ 緩衝材の膨潤変形による密度変化に伴う熱特性、水理特性及び力学特性の密度依存性を考慮できるようモデルを高度化 ・ 気液二相流THM連成解析により緩衝材中の気相が水分移動だけではなく力学現象（応力や変位）にも影響を及ぼす可能性があることを確認
事業等への反映	・精密調査段階における安全性・合理性等を考慮した手順・工法の選定に寄与 ・地層処分後の安全評価における初期状態の把握やオーバーパックの寿命を評価する際の人工バリア周辺の環境条件の設定等への反映
成果の公表	学術論文12件、学会での口頭発表15件、JAEA技術資料25件、特許0件

成果ダイジェストの例
ー実際の地質環境における人工バリアの適用性確認ー

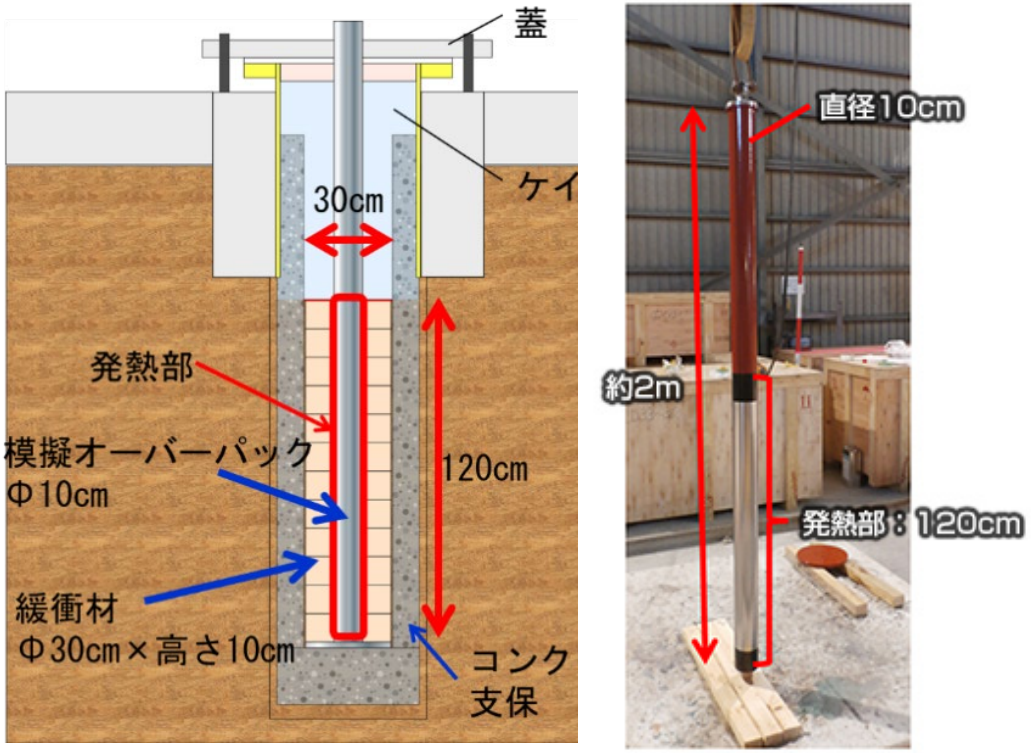
【概要】オーバーパック腐食に関わる原位置試験

【目　的】

○緩衝材の浸潤過程では、飽和度等の環境条件の不均一性によって不均一な腐食の可能性がある。また、環境条件の変化に伴って腐食挙動も経時的に変化すると考えられる。このような挙動を把握するは、ある程度のスケールの試験が必要であり、室内試験では　限界があることから、工学的スケールでの検討が必要である。緩衝材の浸潤～飽和の過程を工学規模で再現し、オーバーパックの腐食量や不均一性のデータを取得して既往の腐食量評価手法の妥当性、適用性を確認する。更に、環境条件の不均一性に加えてオーバーパック溶接部（ふたと本体）に代表される材料側の不均一性も伴う系での不均一腐食挙動を確認する。

【令和2年度以降の研究開発課題】

○令和元年度までに終了。



オーバーパック腐食試験の模式図（左）と模擬オーバーパックの外観（右）

成果ダイジェストの例
ー実際の地質環境における人工バリアの適用性確認ー

【成果ダイジェスト】オーバーパック腐食に関わる原位置試験

主要な成果	○実際の地下環境においてオーバーパック腐食試験を現地で行い、これまでの地上での腐食試験結果の妥当性を確認 ・ オーバーパックの溶接部と母材（本体）で腐食挙動に有意な差は認められないことを確認 ・ 腐食センサーを用いたモニタリングが少なくとも数年間以上は可能であることを確認 ・ 室内試験に基づく既往の評価手法の保守性、妥当性を確認
事業等への反映	・オーバーパックの設計や寿命評価に寄与
成果の公表	学術論文4件、学会での口頭発表1件、JAEA技術資料14件、特許0件

成果ダイジェストの例
ー実際の地質環境における人工バリアの適用性確認ー

【概要】物質移行試験

【目　的】

○幌延地域に分布する泥岩は断層等の構造性の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とともに、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。

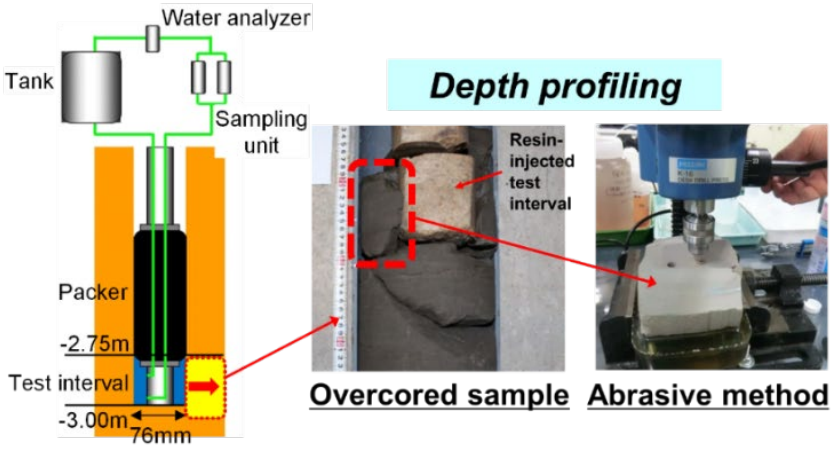
○したがって、割れ目を有する堆積岩における物質移行現象を理解するには、物質移行経路や形態および物質移行現象に影響を与える要因(有機物・微生物・コロイド等)を総合的に評価することが必要である。

【令和2年度以降の実施内容】

①確立したトレーサー試験手法を用いた掘削影響領域での物質移行に関するデータ取得

②有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行試験

③割れ目を有する堆積岩を対象とした掘削影響領域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



原位置拡散試験の概要

成果ダイジェストの例
ー実際の地質環境における人工バリアの適用性確認ー

【概要】物質移行試験

【令和3年度までの計画】

①掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験のレイアウトの検討と試験の実施
②有機物、微生物、コロイドが物質移行特性に与える影響の現象理解と予備的な原位置試験の検討の実施
③ブロックスケールを対象としたトレーサー試験の準備と試験の実施

【令和2年度以降の状況】

①掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験として、既存ボーリング孔を用いたトレーサー試験を実施
⇒削損傷領域を対象とした物質移行に関するデータ取得を着実に進めている
②有機物、微生物、コロイドが物質移行特性に与える影響を確認する予備的な原位置試験を実施
⇒有機物、微生物、コロイドが物質移行特性に与える影響を確認する原位置試験の準備を着実に進めている
③ブロックスケールを対象としたトレーサー試験の準備を実施
⇒ブロックスケールを対象としたトレーサー試験の準備を着実に進めている

成果ダイジェストの例
ー実際の地質環境における人工バリアの適用性確認ー

【成果ダイジェスト】物質移行試験

主要な成果	• 室内試験と実際の地下環境におけるトレーサー試験により、岩盤基質部や割れ目における物質の移動現象を適切に評価することが可能な手法を確立 • 1次元の解析結果と実測値が整合的であり、 1次元の解析でも健岩部における移行挙動を解釈可能であることを確認 • 原位置試験及び室内試験で得られた各トレーサーの物質移行特性(実効拡散係数と収着分配係数)は同じ傾向を示しており、原位置試験データの妥当性を確認 • 割れ目内の選択的な流れを考慮したモデルにより、割れ目内の不均質な流れにおけるトレーサーの移行挙動を解釈可能となったこと • 単一の割れ目を対象としたトレーサー試験を事例とし、溶存ガス環境下でのトレーサー試験における最適な試験条件を確認 • 幌延の堆積岩において、微生物や有機物が、放射性物質の岩盤への吸着を妨げ、閉じ込め効果を低下させる可能性が室内試験で確認
事業等への反映	•地層処分事業における「核種移行解析と線量評価」において、新第三紀堆積岩を対象とした母岩の核種移行モデルを構築する際の基盤情報として活用 •核種移行モデル及び利用される核種移行パラメータに含まれる不確実性をより低減することで、核種移行解析結果の保守性をより合理的なものにするための基盤情報として活用
成果の公表	学術論文19件、学会での口頭発表30件、JAEA技術資料1件、特許0件

成果ダイジェストの例
―処分概念オプションの実証―

【概要】処分孔の湧水対策・支保技術

【目　的】

○地層処分場の建設時には、高地圧・高間隙水圧条件が予想される。また、堆積軟岩の場合には割れ目・断層に狭在物が存在する影響で従来のセメント系材料の注入が難しいことなども想定される。さらに、グラウトの周辺　岩盤や人工バリアシステムに与える影響評価、多連接坑道を対象とした湧水対策効果を評価する手法の整備なども重要である。

○地層処分の地下環境条件を考慮した湧水抑制対策技術やグラウト材の浸透評価手法の開発など、実際の地質環境における一連の湧水抑制対策技術の実証を目標とする。

【令和2年度以降の研究開発課題】

○令和元年度までに終了。

成果ダイジェストの例
ー処分概念オプションの実証ー

【成果ダイジェスト】処分孔の湧水対策・支保技術

主要な成果	○堆積岩に対する、湧水抑制技術の実証実験により、これらの技術の有効性を確認 ・突発的な大量湧水の発生の原因となりうる粘土質せん断帯の分布の予測手法として、メルトインクルージョンに着目した湧水抑制対策(グラウト)の事前予測が有効であることを確認 ・等価多孔質媒体モデルによるグラウト浸透解析の結果と、現場透水試験の結果は整合的であり、設定したグラウトの改良範囲が妥当であることと、解析の有効性を確認 ・海水条件下で処分孔まわりの低透水領域を改良することが可能となる溶液型グラウト材料を設計 ○堆積岩に対する、支保技術の実証実験により、これらの技術の有効性を確認 ・立坑掘削前のパイロットボーリング孔の情報やグラウト施工情報を基に、覆工コンクリートの高さを決定するフローを構築 ・吹付コンクリート・鋼製支保工応力計測と、弾性波トモグラフィ調査を組み合わせた解釈により、長期的に岩盤と支保工の両方の安定性をモニタリングすることが可能になったこと ・光ファイバー式変位計の長期岩盤変位計測技術としての有効性を実証
事業等への反映	・「処分場の設計技術の向上」や「処分場建設の安全性を確保する技術の高度化」に寄与
成果の公表	学術論文6件、学会での口頭発表29件、JAEA技術資料7件、特許0件

成果ダイジェストの例
―処分概念オプションの実証―

【概要】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

【目　的】

○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。

【令和2年度以降の実施内容】

①閉鎖技術（埋め戻し方法：プラグ等）の実証
②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）
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

【令和3年度までの計画】

①閉鎖システムを実証するための工学規模試験及び室内試験の開始・継続
②地下環境におけるコンクリートの劣化に関する試験の開始・継続
③緩衝材流出の抑制に関する試験の開始・継続

【令和2年度以降の状況】

①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原位置での掘削損傷領域の調査技術の適用
・プラグを設置するための切り欠き部を模擬した木製型枠への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
⇒解析、室内試験、工学規模試験を行い情報の蓄積を着実に進めている

成果ダイジェストの例
―処分概念オプションの実証―

【概要】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2年度以降の状況】（つづき）

②搬送定置・回収技術の実証に関する試験や解析

- 安全に回収作業を行うための重要な情報となる支保部材の状態把握の一環として、吹付けコンクリートの経年劣化を把握するために、坑道のものと物理・力学特性が同様のコンクリート試験体を作成し、坑道内に設置

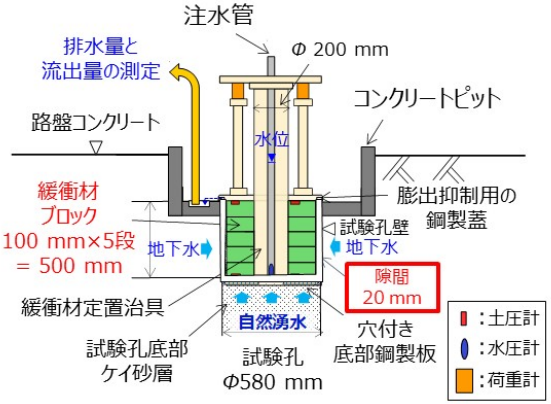
⇒解析、室内試験、工学規模試験を行い情報の蓄積を着実に進めている

③緩衝材への水の浸潤挙動を把握するための試験

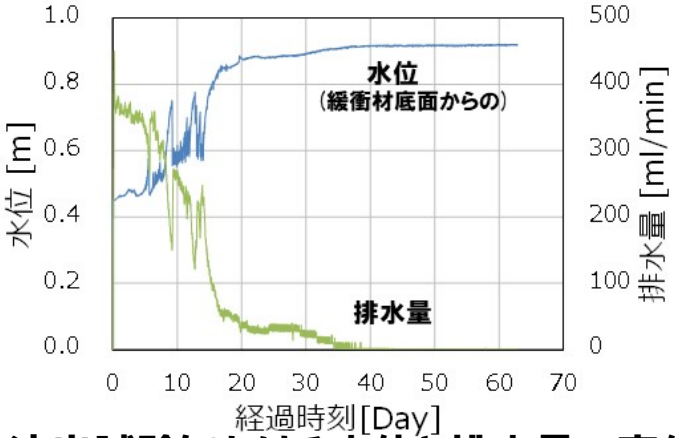
- 緩衝材への水の湿潤挙動を把握するための試験の実施

⇒自然湧水環境では緩衝材が膨潤し隙間が埋まるに従い緩衝材が流出しなくなることを確認

⇒解析、室内試験、工学規模試験を行い情報の蓄積を着実に進めている



緩衝材への水の湿潤挙動を把握するための緩衝材流出試験の概念図



流出試験における水位と排水量の変化

原子力環境整備促進・資金管理センターと共同で実施

成果ダイジェストの例
ー処分概念オプションの実証ー

【成果ダイジェスト】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

主要な成果	• 堆積岩に対する、搬送定置・回収技術等の実証実験により、これらの技術の有効性を確認 • 現場打設のコンクリート坑道面においてもエアベアリング方式で重量物が搬送可能であることを確認 • 走行時の牽引力や空気供給量などのデータを取得し、実機の製作・運転方法などに反映 • 模擬PEM-坑道間の隙間に対し、下部狭隘部にはペレット方式、上部空間には吹付け方式による隙間充填試験を実施し、適用性を確認 • 坑道の埋め戻し方法の違い(締固め、ブロック方式等)による埋め戻し材の基本特性(密度や均一性)を把握 • 緩衝材への水の膨潤を把握するための試験により、自然湧水環境では緩衝材が膨潤し隙間が埋まるに従い緩衝材が流出しなくなることを確認
事業等への反映	•合理的に人工バリアを回収するための手法の提示，回収可能性を維持した場合の処分場の安全性への影響に関する品質評価手法の提示 •将来的に処分場を閉鎖する際に適用される閉鎖技術に求める性能を設定する際やその性能を担保するために必要となる設計・施工技術を選択する際の基盤情報
成果の公表	学術論文2件、学会での口頭発表22件、JAEA技術資料13件、特許0件

成果ダイジェストの例
ー処分概念オプションの実証ー

【概要】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

【目　的】

○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。

○実際の処分事業では、オーバーパック表面が100℃以下になるように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。

【令和2年度以降の実施内容】

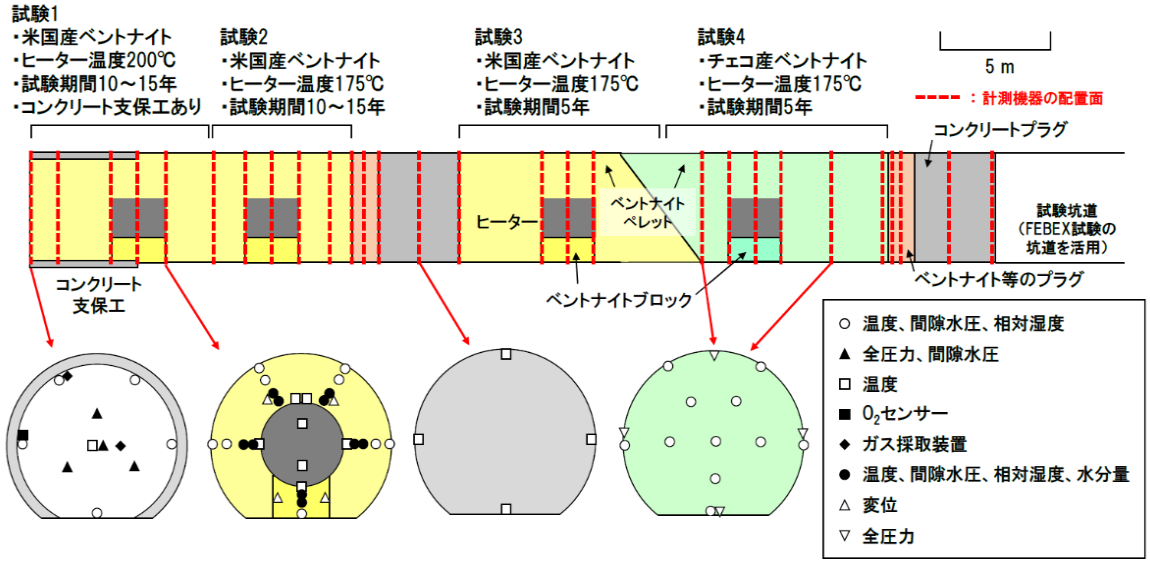
①高温度（100℃以上）などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験

②100℃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

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）

【令和3年度までの計画】

①②③限界的条件下での現象のシナリオの整理、海外での原位置試験に関する情報等の入手開始・継続



高温条件における人工バリア試験の施工状況ならびに計測機器の配置断面図（海外での研究事例）

成果ダイジェストの例
ー処分概念オプションの実証ー

【概要】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

【令和2年度以降の状況】

①、②海外原位置試験などに関する情報収集し、緩衝材の最高温度が100℃を超えた場合に人工バリアに生じうる現象や基本特性の変化などの観点からシナリオを検討

⇒緩衝材に生じうる変質現象に関して、過去の知見と、今後詳細に調査すべき項目の整理

③海外で実施され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の試験条件、試験手法、計測機器の選定・配置等に関する情報の入手

⇒情報の蓄積を着実に進めている

緩衝材の変質に関する知見の整理の例

変質が生じうる場所	想定される変質現象	発生の要因	緩衝材の特性に与える影響など	100℃を超えた状態での知見
岩盤／緩衝材境界部～緩衝材内部	スメクタイト（天然ケイ酸アルミニウム）のイオン型変化（Na 型→Ca 型）	・ 地下水や方解石に由来する Ca との相互作用	・ 緩衝材の体積（密度）変化が生じた場合に，膨潤性能が低下する可能性がある。 ・ Ca 型スメクタイトに対する核種の収着データが充実化されている。	・ 100℃超での実験・解析例などはなし。
緩衝材内部～緩衝材／オーバーパック境界部	塩・鉱物の沈殿	・ 高温環境での地下水の蒸発	・ 緩衝材内部に沈殿した塩のセメンテーションにより，緩衝材の可塑性や膨潤性能が低下しうる。 ・ ヒーター加熱温度 90℃の室内試験において，残存空気が緩衝材中に閉じ込められている場合にヒーター近傍で塩濃縮が生じる。生じた塩や鉱物は水の浸透にしたがい長期的には溶解する。 ・ 緩衝材性能に与える影響は小さいと考えられる。	・ 100℃超での実験・解析例などはなし。
	スメクタイトのイオン型変化（Na 型→Fe 型）	・ オーバーパックの腐食に由来する Fe との相互作用	・ Fe 型スメクタイトは Ca 型と同程度の膨潤性能を有すると考えられる。 ・ 解析上は，緩衝材特性に与える影響は小さいと考えられる。	・ ナチュラルアナログ研究では，変質期間が～10 年・温度が～50℃程度の場合，および変質期間が 100～1,000 年・温度が 100℃前後の場合に，Fe 型スメクタイトが生成する可能性がある。

成果ダイジェストの例
ー処分概念オプションの実証ー

【成果ダイジェスト】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

主要な成果	• 高温度状態では空気の影響が出るため、空気や水蒸気を考慮した解析を行った結果、空気考慮の有無が膨潤挙動に影響を及ぼすことが分かったこと • 緩衝材の最高温度が100℃を超えた場合に緩衝材に生じうる変質現象に関して、過去の知見と、今後詳細に調査すべき項目を整理
事業等への反映	•従来の地層処分場の設計における温度条件の制限を緩和できる可能性がある •想定外の要因により緩衝材の温度が100℃を超えた場合の人工バリアの挙動の検討や、高温条件下での人工バリアの安全裕度の評価が可能
成果の公表	学術論文0件、学会での口頭発表0件、JAEA技術資料0件、特許0件

成果ダイジェストの例
ー地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証ー

【概要】水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
ー地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握ー

【目　的】

○岩盤中の大小様々な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する。

○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。本研究では、断層の変形様式を支配する岩石の強度・応力状態を計測且つマッピング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。

【令和2年度以降の実施内容】

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）

②DI（ダクティリティインデックス）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

③水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法の整備

【令和3年度までの計画】

①幅10cmの大型の断層を対象とした水圧擾乱試験の実施と解析

②稚内層中の断層／割れ目が水理学的不連結性に関する検討の開始・継続

成果ダイジェストの例
ー地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証ー

【概要】水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
ー地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握ー

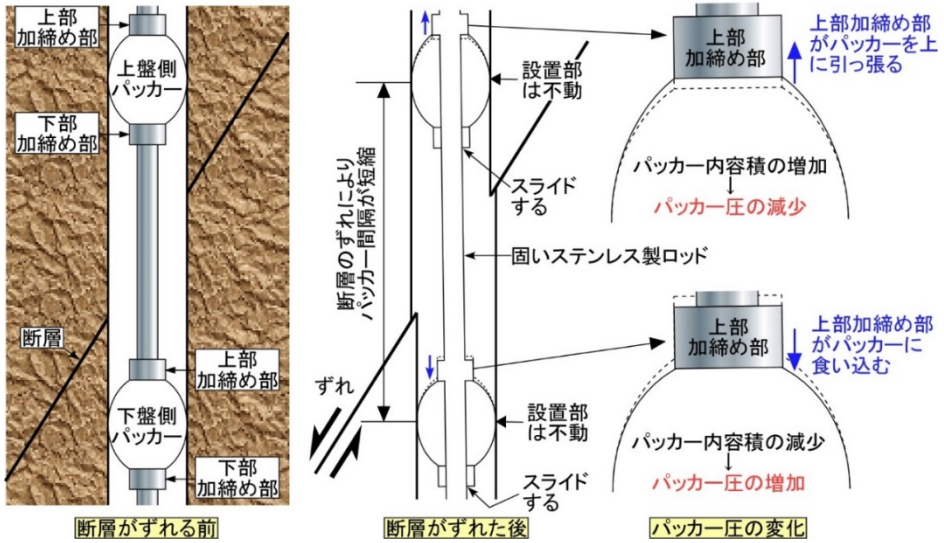
【令和2年度以降の状況】

①幅10cmの大型の断層を対象とした水圧擾乱試験の実施、試験結果の解析開始
- DIを用いた経験式の信頼性を確認するための簡便な水圧擾乱試験方法の適用

⇒専用な装置を用いることなく安価に実施できる水圧擾乱試験方法を開発

①②既存の室内試験結果や水圧擾乱試験結果を用いた断層、割れ目の長期的な透水性評価手法の検討
- DIを用いた経験式の信頼性を確認するための簡便な水圧擾乱試験方法の適用

⇒地殻変動と断層の透水性の関係を示すモデルの有効性を水理力学連成モデルによるシミュレーションと海外地下研の水圧擾乱試験の結果により再検証



簡便な水圧擾乱試験方法

②稚内層中の断層/割れ目が水理学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開始

⇒ DI(ダクティリティインデックス)を用いた透水性評価の信頼性向上に向けた検討を進展させている

成果ダイジェストの例
ー地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証ー

【成果ダイジェスト】水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
ー地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握ー

主要な成果	○地下水の流れに関し、堆積岩の緩衝能力（自己治癒能力）を定量化するため、堆積岩での地震動が透水性に与える影響範囲を推定 ○これまでの検討では、断層の幅が数cmの規模の小さな断層に着目し、試験を行い、断層への地震動の影響などを確認。手法の妥当性が確認できたため、この手法を使って、処分場の設計・施工や安全評価とリンクした形で研究を進めることが可能となったこと • DIが断層のダメージゾーンの変形様式と定量的な対応付けが可能であることが確認でき、DIが指標として有効であることを確認 • 地殻変動（応力状態の変化）に対する断層の透水性を予測できることを確認 • 水圧擾乱試験では、断層内の水圧を人工的に上昇させることによって断層内にせん断変形を誘発させ、それに伴う断層の透水性の変化を観測 • 水圧擾乱試験を行った結果、新たにせん断変形が起こったり、有効応力が低下しても、断層帯亀裂の透水性はDIの経験式の範囲を超えないことを確認 • 以上のように、数cmの規模の小さな断層を対象に水圧擾乱試験を実施し、DIを用いた地殻変動と断層の透水性の関係を示すモデルの有効性を確認 • 上記モデルの有効性を水理力学連成モデルによるシミュレーションと海外地下研の水圧擾乱試験の結果により再検証 • 上記経験式の信頼性を確認するための簡便な方法として、水圧擾乱試験方法を開発
事業等への反映	•「地質環境特性の長期変遷のモデル化技術の高度化」や「ニアフィールドにおける状態変遷を考慮した核種移行解析モデルの構築」に貢献
成果の公表	学術論文9件、学会での口頭発表7件、JAEA技術資料0件、特許0件

成果ダイジェストの例
ー地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証ー

【概要】水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
ー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ー

【目　的】

○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。

【令和2年度以降の実施内容】

①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
②化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法の検証
③広域スケール（10数km×10数km）を対象とした水理・物質移動評価手法の検証

【令和3年度までの計画】

①②地下水の塩濃度分布の推定手法の検討の実施
①②化石海水領域の三次元分布を把握するための物理探査の実施とボーリング調査の開始

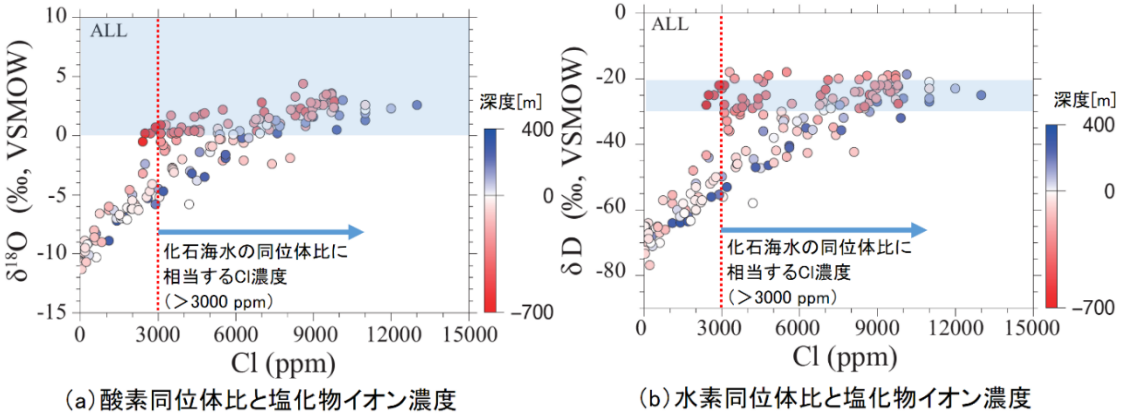
成果ダイジェストの例
ー地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証ー

【概要】水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
ー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ー

【令和2年度以降の状況】

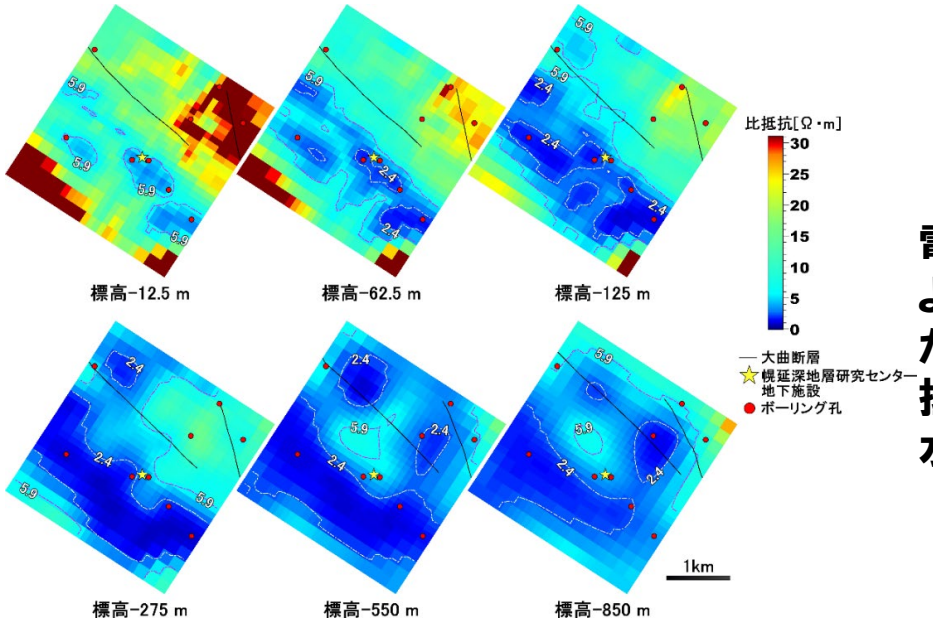
①②地上からの既存ボーリング孔から採取された地下水の酸素・水素同位体比と塩濃度、比抵抗検層の関係を整理
⇒化石海水の三次元分布の推定に電気探査や電磁探査を適用できる可能性があることがわかった

①②化石海水の分布と地質構造を把握するための電磁探査及び準三次元反射法地震探査の実施
⇒電磁探査と反射法地震探査を組み合わせて実施することにより、化石海水が分布する可能性が高い領域を効率的に判読できることが分かった
⇒技術の高度化に向けて、着実に調査・評価を進めている



(a)酸素同位体比と塩化物イオン濃度　(b)水素同位体比と塩化物イオン濃度

酸素・水素同位体比と塩化物イオン濃度の関係



電磁探査により得られた三次元比抵抗分布の水平断面図

成果ダイジェストの例
ー地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証ー

【成果ダイジェスト】水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
ー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ー

主要な成果	• 地下水の流れが非常に遅いと推定される領域がDIの分布図とおおむね一致していることを示すことができたこと。化石海水の指標として、Cl及び水の安定同位体を基に分布を推定 • 既存の水理・物質移動評価手法を基に塩濃度分布を推定 • 電磁探査及び準三次元反射法地震探査を実施して、化石海水が分布する可能性が高い領域を効率的に判読できることが分かったこと
事業等への反映	•概要調査における、地下水の流動が緩慢な“低流動域”の空間的な拡がりを地表から効率的に調査・評価する技術に寄与
成果の公表	学術論文7件、学会での口頭発表17件、JAEA技術資料13件、特許0件

成果ダイジェストの例
―地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証―

【概要】地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

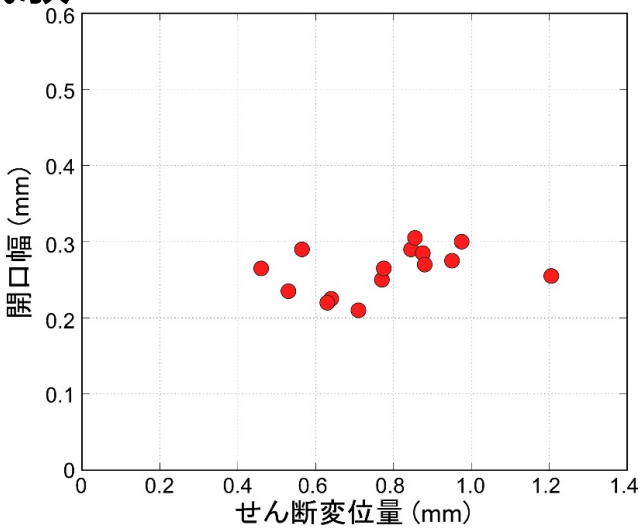
目　的

○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。

令和2年度以降の実施内容

①人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材が掘削影響領域（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（机上検討）

- DIを用いたEDZの透水性を予測する既存モデルの再検証
- 坑道埋め戻し後のEDZの透水性を予測するモデルの構築



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年度までの計画】

①緩衝材や埋め戻し材の膨潤圧が掘削影響領域の亀裂の透水性に与える影響について亀裂を対象に実施した既往の樹脂注入試験結果の解析、坑道埋め戻し後の掘削損傷領域の透水性を推定するモデルの構築の開始

【令和2年度以降の状況】

①掘削損傷領域に樹脂を注入し、割れ目のせん断変位量と開口幅を詳細観察

⇒深度350 mの地圧条件では割れ目面に垂直にかかる力が大きいため、EDZ割れ目のせん断変位による割れ目開口が抑制されることがわかった

⇒EDZ割れ目への樹脂注入と詳細観察が、坑道埋め戻し後のせん断変位による割れ目開口の可能性を検討する上で有効であることを確認

⇒緩衝材や埋め戻し材がEDZの緩衝能力に与える影響を把握するために着実にデータを取得

成果ダイジェストの例
ー地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証ー

【成果ダイジェスト】地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

主要な成果	• 国内外の関連する研究事例を収集 • DIの経験式を用いた掘削影響領域(EDZ)の透水性予測結果は実測値と概ね整合しており、埋め戻し後の予測の見通しが得られたこと • EDZ割れ目への樹脂注入と詳細観察が、坑道埋め戻し後のせん断変位による割れ目開口の可能性を検討する上で有効であることを確認
事業等への反映	•「処分場閉鎖後の水みちを防止する技術の整備」や「ニアフィールドにおける状態変遷を考慮した核種移行解析モデルの構築」に貢献
成果の公表	学術論文7件、学会での口頭発表25件、JAEA技術資料12件、特許0件

成果ダイジェストのまとめ

必須の課題	実施項目	成果ダイジェスト（一部）	成果の公表※
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	人工バリア（緩衝材、オーバーパック）、埋戻し材、プラグ、処分孔掘削技術に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法を実証	学術論文：12件 口頭発表：15件 技術資料：25件
	オーバーパック腐食に関わる原位置試験	実際の地下環境においてオーバーパック腐食試験を現地で行い、これまでの地上での腐食試験結果の妥当性を確認	学術論文： 4件 口頭発表： 1件 技術資料：14件
	物質移行試験	室内試験と実際の地下環境におけるトレーサー試験により、岩盤基質部や割れ目における物質の移動現象を適切に評価することが可能な手法を確立	学術論文：19件 口頭発表：30件 技術資料： 1件
処分概念 オプションの実証	処分孔の湧水対策・支保技術	堆積岩に対する、湧水抑制技術の実証実験により、これらの技術の有効性を確認	学術論文： 6件 口頭発表：29件 技術資料： 7件
	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	堆積岩に対する、搬送定置・回収技術等の実証実験により、これらの技術の有効性を確認	学術論文： 2件 口頭発表：22件 技術資料：13件
	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	高温度状態では空気の影響が出るため、空気や水蒸気を考慮した解析を行った結果、空気考慮の有無が膨潤挙動に影響を及ぼすことが分かったこと	学術論文： 0件 口頭発表： 0件 技術資料： 0件
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	地下水の流れに関し、堆積岩の緩衝能力（自己治癒能力）を定量化するため、堆積岩での地震動が透水性に与える影響範囲を推定できるようになったこと	学術論文： 9件 口頭発表： 7件 技術資料： 0件
	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	物理探査を組み合わせて実施することにより、化石海水が分布する可能性が高い領域を効率的に判読できることが分かったこと	学術論文： 7件 口頭発表：17件 技術資料：13件
	地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験	DIの経験式を用いた掘削影響領域（EDZ）の透水性予測結果は実測値と概ね整合しており、埋め戻し後の予測の見通しが得られたこと	学術論文： 7件 口頭発表：25件 技術資料：12件

※成果については、関係する深地層の科学的研究等に関するものも含む。また、上記の他、全体に係るものとして、学術論文1件、JAEA技術資料7件がある。

本日の説明内容

1.CoolRepR4における成果取りまとめ
（1）必須の課題に関する研究開発成果と技術的評価結果
（2）必須の課題とCoolRepR4の構造
（3）成果ダイジェストの例

2. 幌延深地層研究計画の現状と今後の予定

幌延深地層研究計画の現状と今後の予定
ー令和3年度確認会議の概要ー

●<u>令和3年度確認会議開催実績</u>

➢第1回(4/16)，第2回(5/18)，第3回(6/7)，第4回(6/15)，第5回(7/16)
※第2回～第4回はオンライン開催

➢令和2年度の成果、令和3年度の計画、および稚内層深部(深度500m)における研究の実施に関する検討結果についてご説明し、約250件のご質問に回答した。

●<u>令和3年度確認会議における主な確認事項</u>

➢確認事項に関する文書を北海道および幌延町より受領(7/30)

- 外部評価において、令和2年度の研究が計画に沿って進められており、令和3年度以降の計画も令和2年度の成果を踏まえて設定されていることや計画の進捗状況と今後の予定などについて特段問題ないとの評価を得ていること。
- 令和2年度の研究成果によって、深度500mには深度350mとは異なる性質の地層が存在していることがより確かになったこと。深度500mで研究を行うことで、技術の実証性を確かなものとすることができるとともに、より幅広い地質環境を対象とした技術や経験を得ることができること。
- 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が、仮にNUMOの資金や人材を活用する場合でも、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。

幌延深地層研究計画の現状と今後の予定
ー500mにおける研究の実施についてー

第27回委員会資料より

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。

幌延深地層研究計画の現状と今後の予定
ー500mにおける研究の実施についてー

研究工程

	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設定に必要となる情報の整理、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								
【施設計画】									
坑道掘削			掘削準備	350m調査坑道	立坑（西、東、換気）		500m調査坑道		
【維持管理】									

※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

■ 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。

※ 人工バリア性能確認試験については、材料の水分量や密度、腐食の度合いなど詳細なデータ取得するための解体調査を当初令和5、6年度に予定していたが、500m 掘削中（令和5～7年度）は、安全管理上、作業が2箇所（2切羽）までに限定され、規模の大きな作業が困難になるため、令和8、9年度に実施することとしました。

幌延深地層研究計画の現状と今後の予定
ー500mにおける研究の実施についてー

●深度500mでの研究の必要性について

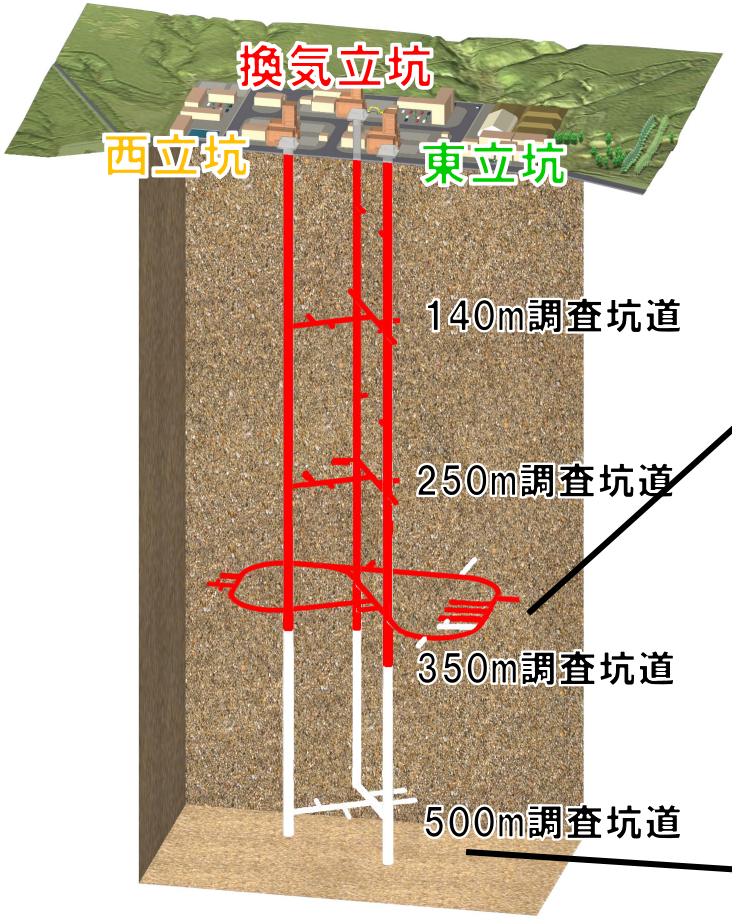
令和2年度の研究成果によって、深度500mには深度350mとは異なる性質の地層が存在していることが、より確かになりました。

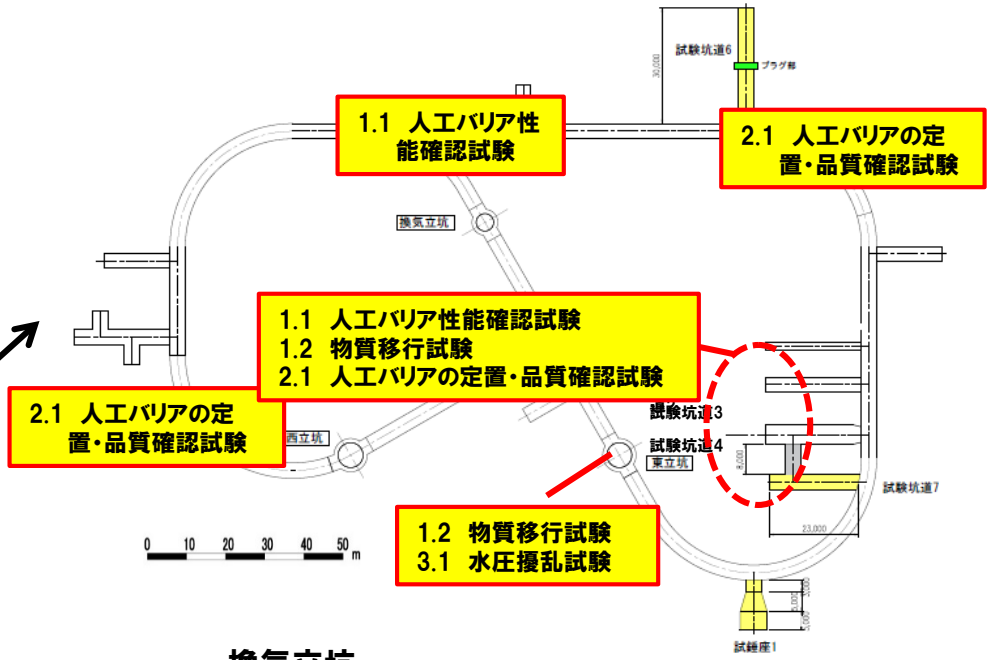
地下坑道の設計・施工上の観点などから、より難しいと考えられる稚内層深部（500m）を対象として、坑道を展開して研究に取り組むことで、技術の信頼性向上を目的に、主に以下の成果が得られ、技術基盤の整備に、より一層貢献できるため、必要と判断しました。

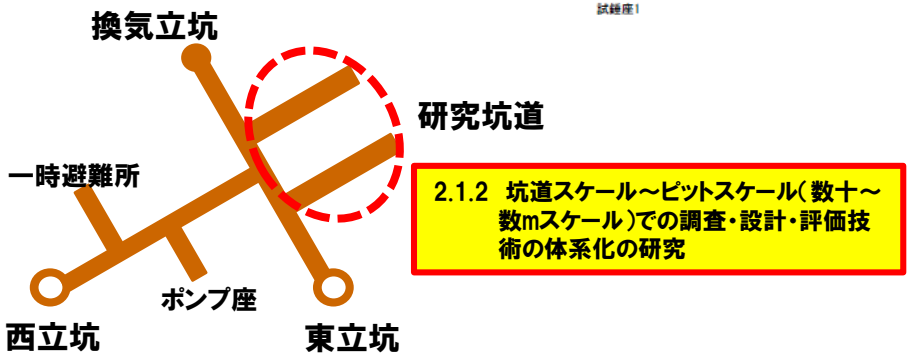
- 高い地圧がかかり坑道の設計・施工上の難易度が高い地質条件下で、処分技術に関わる基盤技術を実証します。
- 物質が動きにくい環境で岩盤が有する物質を閉じ込める性能が実証でき、人工バリア等の技術仕様の精緻化が提案できます。
- 水の流れに大きな影響を及ぼす掘削影響領域を含めた安全評価技術を体系的に実証可能になります。

幌延深地層研究計画の現状と今後の予定
ー500mにおける研究の実施についてー

坑道のレイアウト・試験実施場所（案）







地下施設イメージ図

令和3年8月更新

ご清聴ありがとうございました