

令和2年度 第1回確認会議 説明資料

令和2年8月31日

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

- 1. 幌延深地層研究計画の概要**
- 2. 令和元年度までに得られた成果及び
令和2年度の取り組み**
- 3. 研究課題の総括表**
- 4. 北海道からの要請事項への対応**

1. 幌延深地層研究計画の概要

1. 研究の背景

2. 幌延での研究

①第1段階の調査研究成果

②第2段階の調査研究成果

③第3段階の調査研究成果

④令和2年度以降の幌延深地層研究計画

3. 情報発信と理解醸成に向けた取り組み

地層処分技術に関する研究開発拠点



核燃料・バックエンド研究開発部門
東濃地科学センター

● 瑞浪超深地層研究所
(結晶質岩)



土岐地球年代学研究所

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

● 幌延深地層研究センター
(堆積岩)



深地層の研究施設

核燃料・バックエンド研究開発部門
核燃料サイクル工学研究所 (茨城県東海村)

エントリー



地層処分基盤研究施設
(コールド施設)

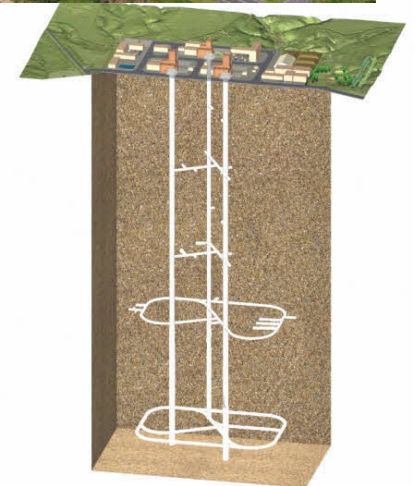
クオリティ



地層処分放射化学研究施設
(ホット施設)



雰囲気制御
グローブボックス



(イメージ図)

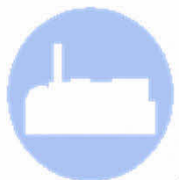
イメージ図は今後の調査研究により
見直すことがあります。

※ 瑞浪超深地層研究所では、
令和2年2月より、地下施設の
埋め戻しを開始しています。

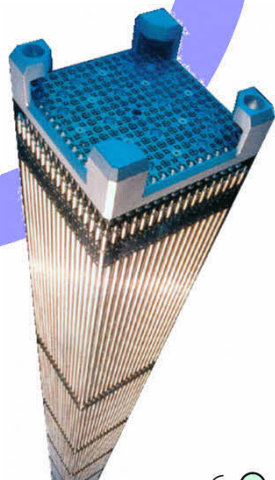
ウラン探鉱



再処理



核燃料
サイクル

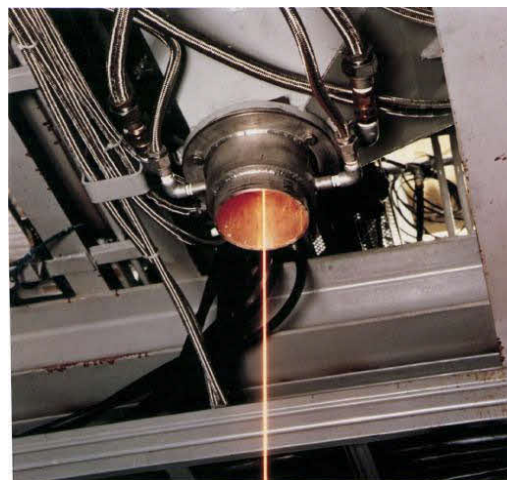


原子力発電

使用済燃料
(燃料集合体)

- 酸素
- ケイ素
- ◇ ホウ素
- ナトリウム
- ⊙ アクチニド
- ⊙ 他の廃棄物元素

ガラス固化



再処理により発生した廃液を
ホウケイ酸ガラスに混ぜて
約1,200°Cで溶融したものを
ステンレス容器に注入・固化

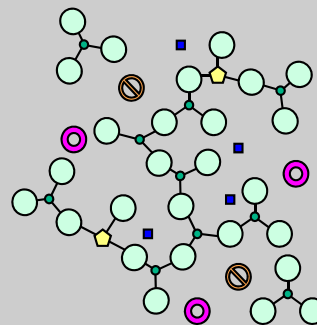
ガラス固化体 (高レベル放射性廃棄物)



ガラス

キャニスター
(ステンレス製)

ガラスの分子構造



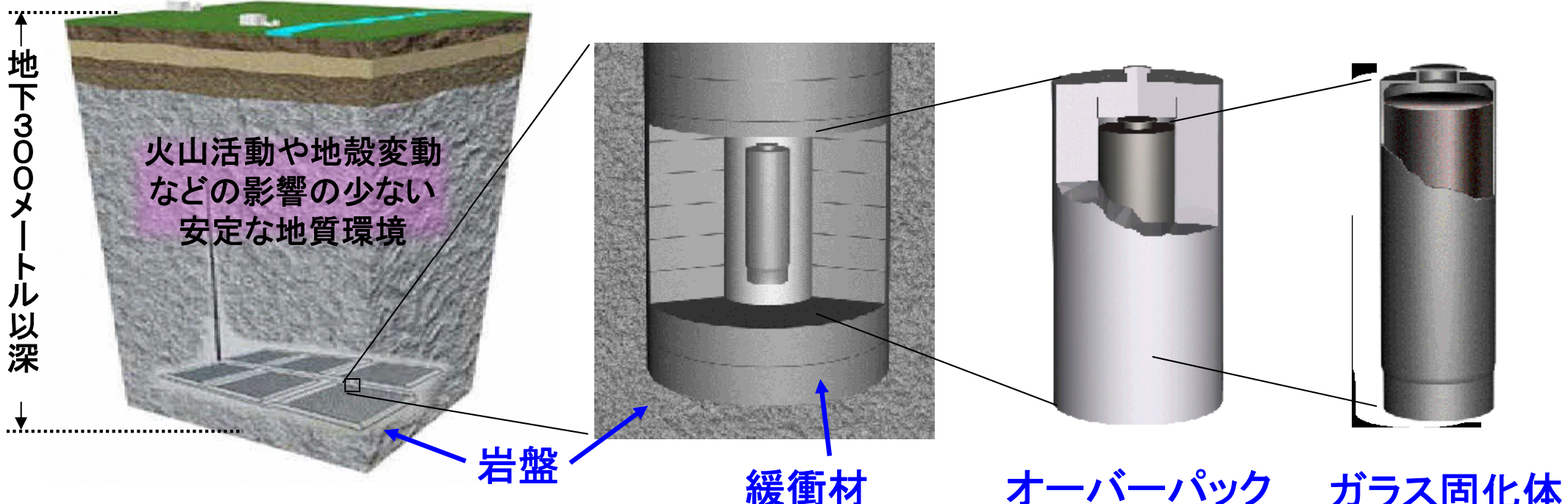
(模式図)

- ・ 高さ : 134 cm
- ・ 直径 : 43 cm
- ・ 重さ : 500 kg

100万キロワットの原子炉を
1年間運転 ⇒ 約30本

地層処分システムとは？

天然の岩盤と人工物を組み合わせた多重バリアシステム



地下深部の環境

- ・人間活動や自然現象の影響を受けにくい
- ・酸素がほとんどなく、鉄の腐食などが起こりにくい
- ・地下水の動きが極めて遅い

粘土を主成分

地下水や放射性物質の移動を遅くする

金属(炭素鋼)製

ガラス固化体と地下水の接触を遮断する

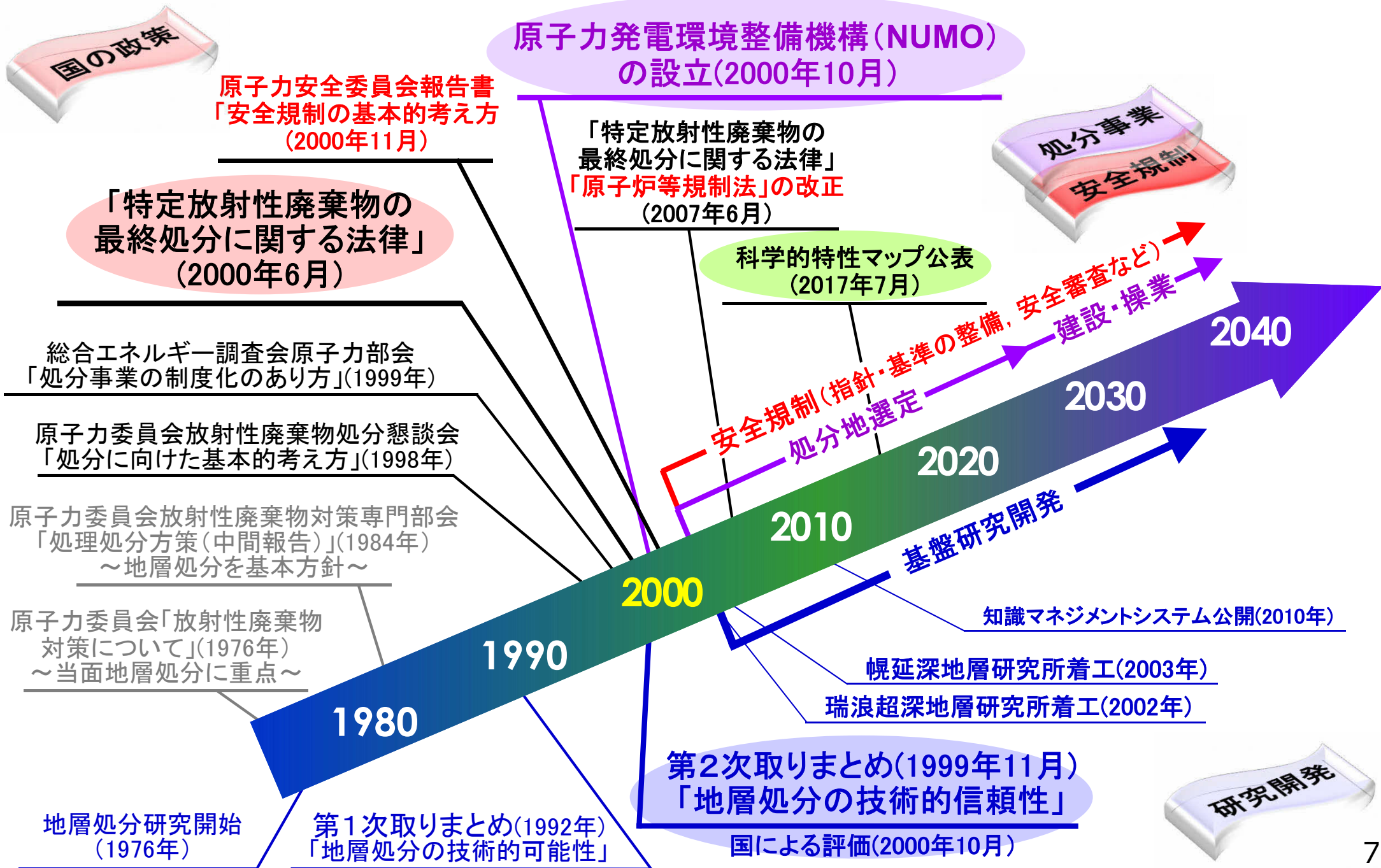
ガラス

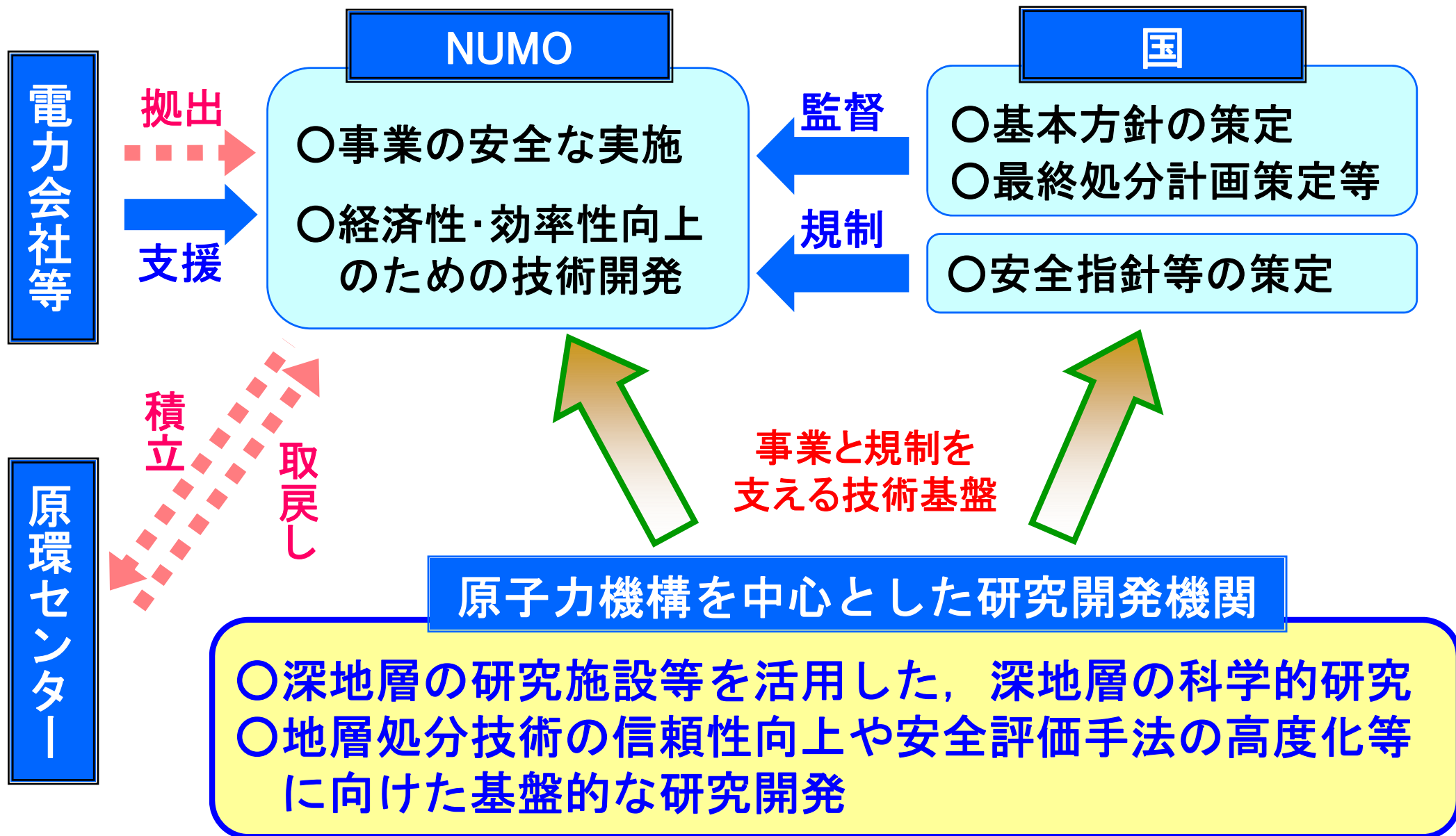
放射性物質を閉じ込め、溶け出しにくくする

天然バリア

人工バリア

わが国の地層処分計画の進展





世界の地下研究施設



カナダ
 ホワイトシェル地下研究所
 (2010に閉鎖)

スウェーデン
 エスポ硬岩研究所

ベルギー
 モル岩盤試験場

スイス
 グリムゼル原位置試験場
 モンテリー

米国
 ユッカマウンテン(ESF)

フィンランド
 オンカロ
 (2016.12より最終処分場建設開始)

フランス
 ビュール

ドイツ
 ゴアレーベン

日本
 幌延深地層研究センター
 瑞浪超深地層研究所
 (2020.2より地下施設の埋め戻し開始)



Site-specific URL :
 最終処分候補地の適性を
 見定める地下研究施設

Generic URL :
 最終処分場として使用しない場所で
 技術を磨く地下研究施設



(計画)

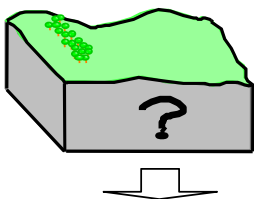
●出典: The Role of Underground Laboratories in Nuclear Waste Disposal Programmes, OECD/NEA, 2001 (一部修正加筆)

なぜ、深地層の研究施設が必要か？

- ※ 地層処分は長期にわたる初めての事業であり，具体的な調査の方法論を段階的に整備していくことが必要
 - ※ 処分候補地の調査では，確立された技術を用いて信頼性の高いデータを取得することが不可欠
- ⇒ 調査・評価技術を事前に検証するための深地層の研究施設が必要

深地層の研究施設

目的：調査するための技術の開発・確立

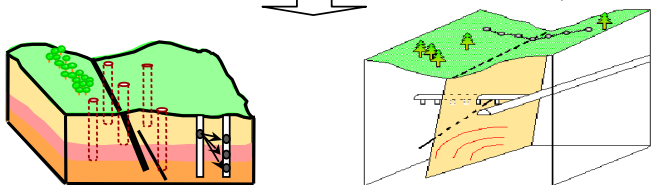
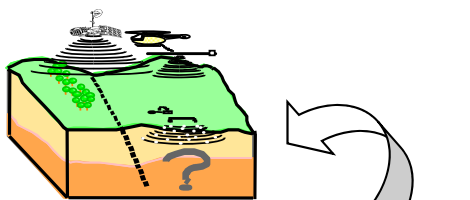


<代表的な地質環境>

- ・堆積岩(幌延)
- ・結晶質岩(瑞浪)

調査—予測—検証による技術の確立

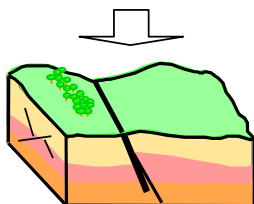
調査による
地下の予測



追加調査による予測結果の検証 長期性能の確認

地質環境の理解

調査技術の体系化
適用性確認

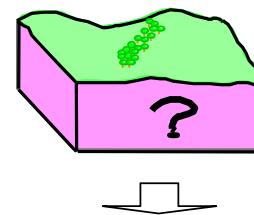


試行錯誤ができる

検証された技術
長期性能の保証

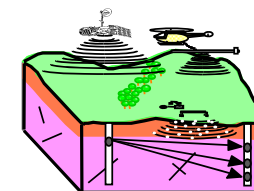
処分場候補地

目的：処分場としての適性を評価するための調査



<応募された場所>

確立された技術による適性の評価

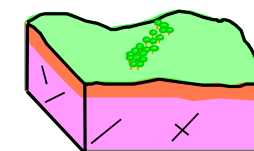


検証された調査技術による地下の把握

失敗は許されない

地質環境の理解

処分地としての適性評価
処分場の設計・安全評価



日本に2つのジェネリック地下研究施設 (Generic URL)

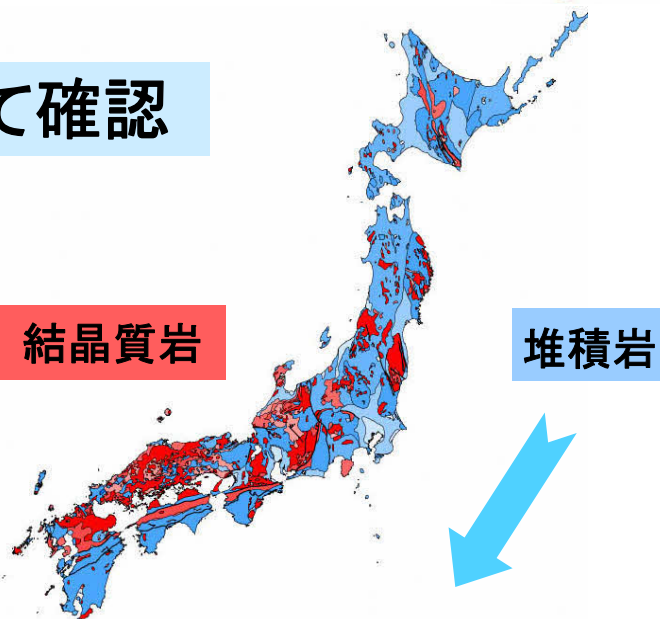


① 地層処分技術を実際の地質環境に適用して確認

② わが国固有の地質環境の理解

③ 深地層を体験・理解する場

※ 瑞浪超深地層研究所については、令和2年2月より、地下施設の埋め戻しを開始しています。



瑞浪超深地層研究所 (岐阜県瑞浪市)

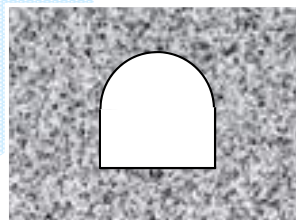
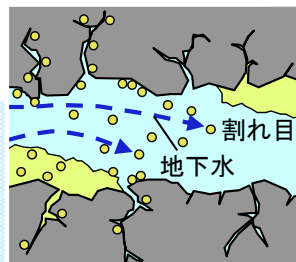


(イメージ図)

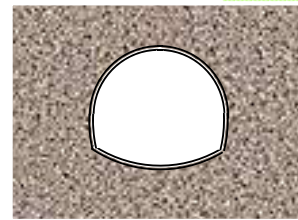
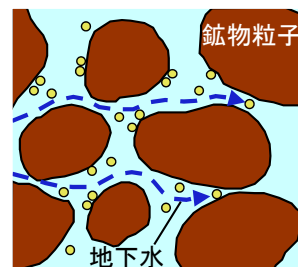
花崗岩
(結晶質岩)

淡水系

硬岩



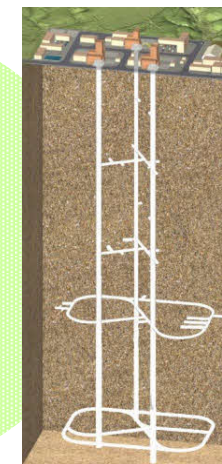
幌延深地層研究センター (北海道幌延町)



泥岩
(堆積岩)

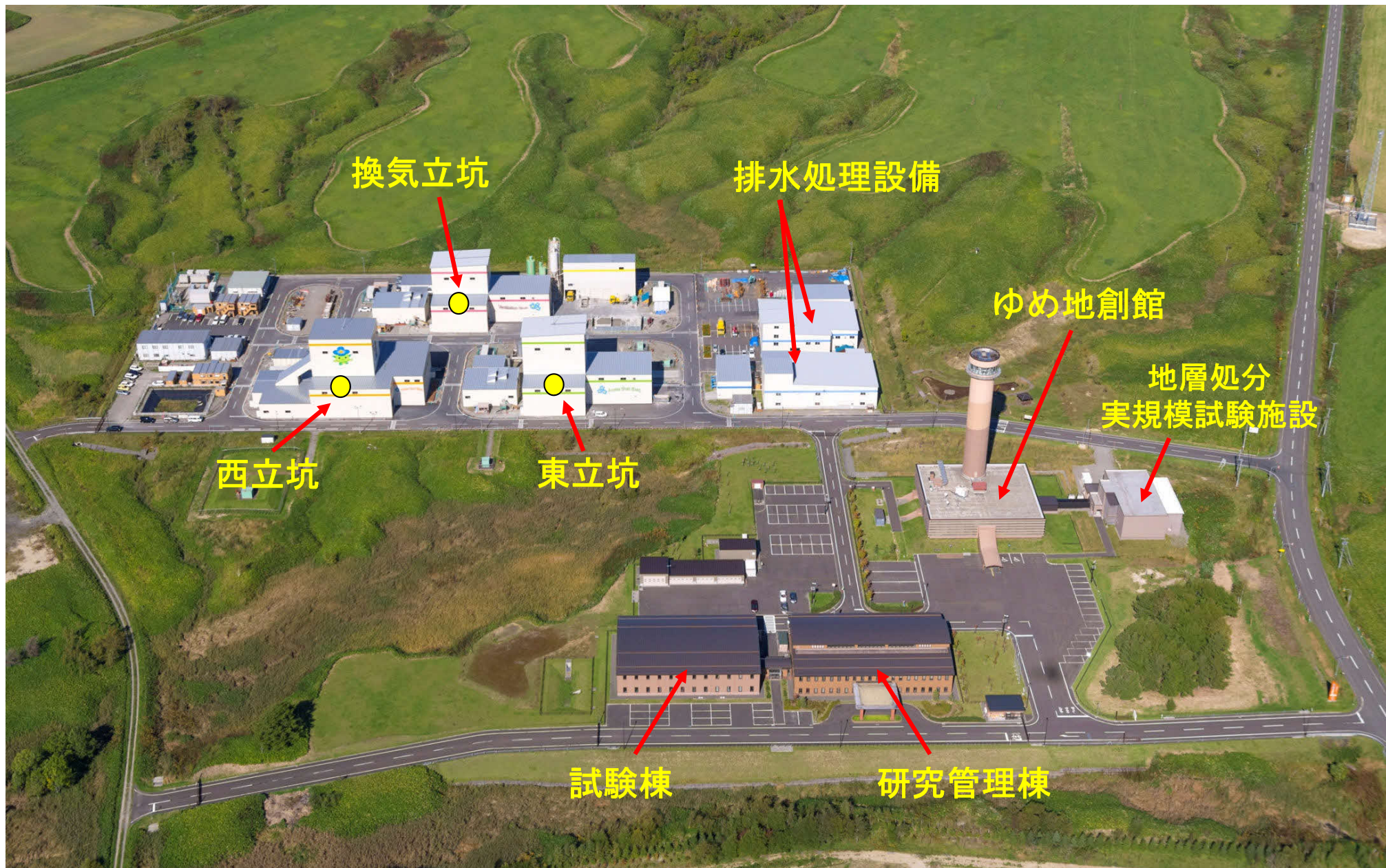
塩水系

軟岩

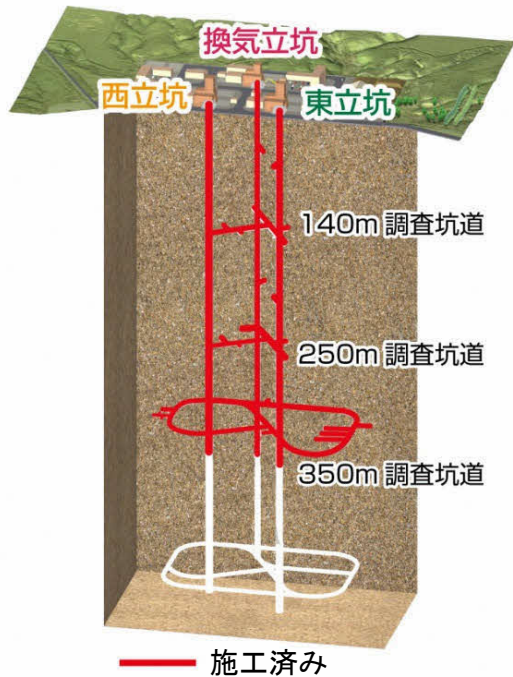


(イメージ図)

幌延深地層研究センター施設配置図



平成24年10月8日撮影



立坑掘削状況

東立坑 : 掘削深度 380.0m
換気立坑 : 掘削深度 380.0m
西立坑 : 掘削深度 365.0m

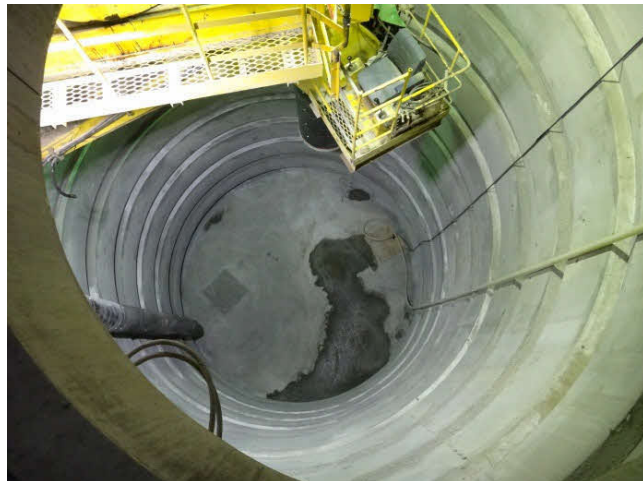
調査坑道掘削状況

深度140m調査坑道 : 掘削長 186.1 m
深度250m調査坑道 : 掘削長 190.6 m
深度350m調査坑道 : 掘削長 757.1 m

※ このイメージ図は今後の調査研究の結果次第で変わることがあります。



深度350m調査坑道
試験坑道4
人工バリア性能確認試験実施箇所
(平成28年5月11日撮影)



西立坑
(平成26年3月26日撮影)

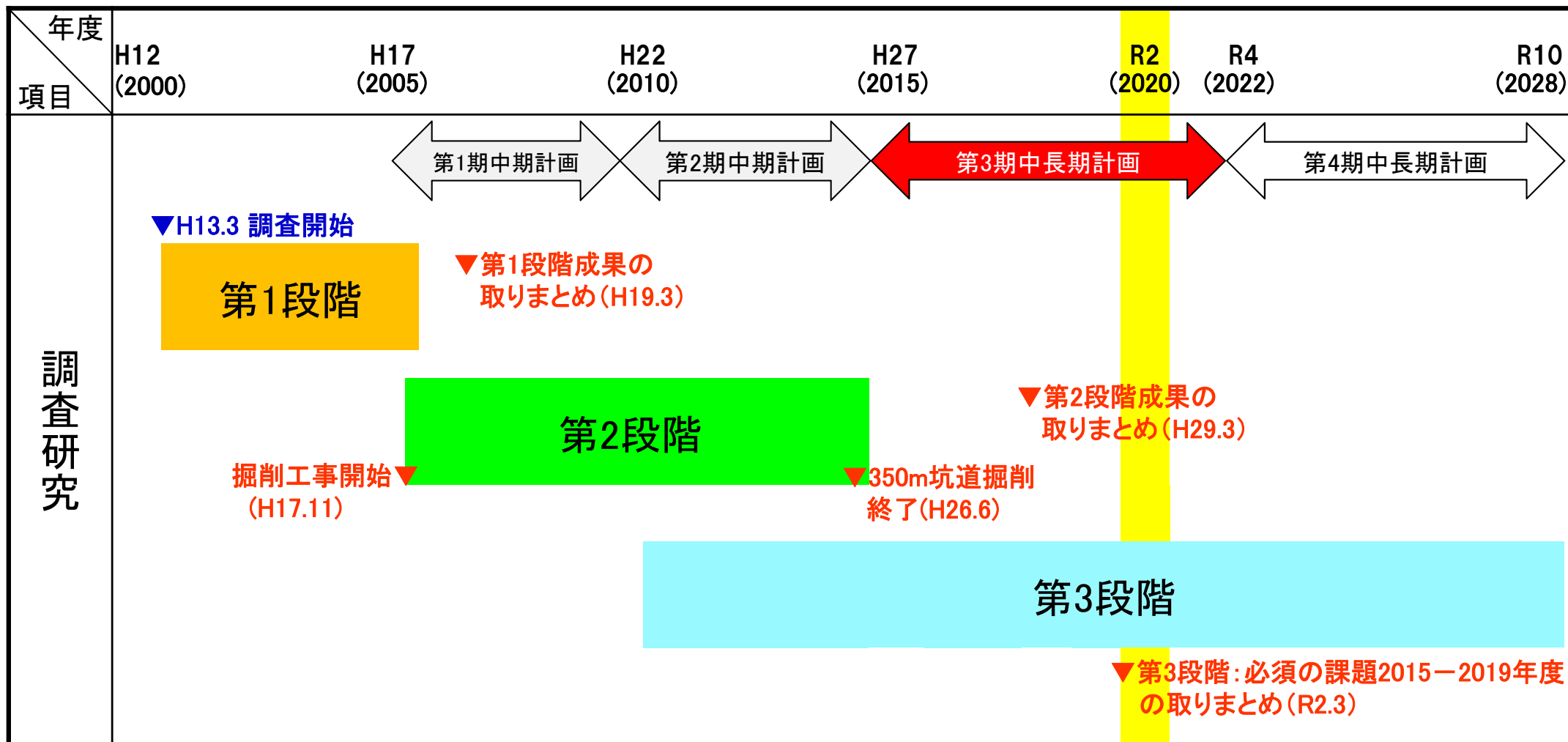


東立坑
(平成28年6月8日撮影)



深度350m調査坑道
東周回坑道
(平成28年6月28日撮影)

幌延深地層研究計画スケジュール



第1段階：地上からの調査研究段階

第2段階：坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階

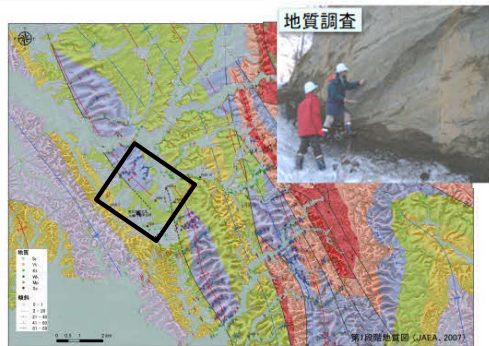
第3段階：地下施設での調査研究段階

※ 令和2年1月に「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」を策定し、令和2年度以降、第3期及び第4期中長期計画期間の9年間、研究に取り組んでいくこととしています。

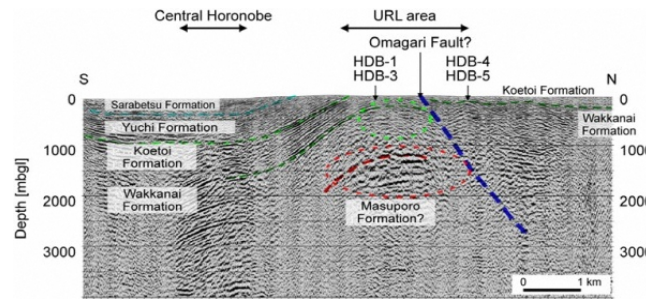
第1段階の調査研究の成果の例



地表における地質学的調査



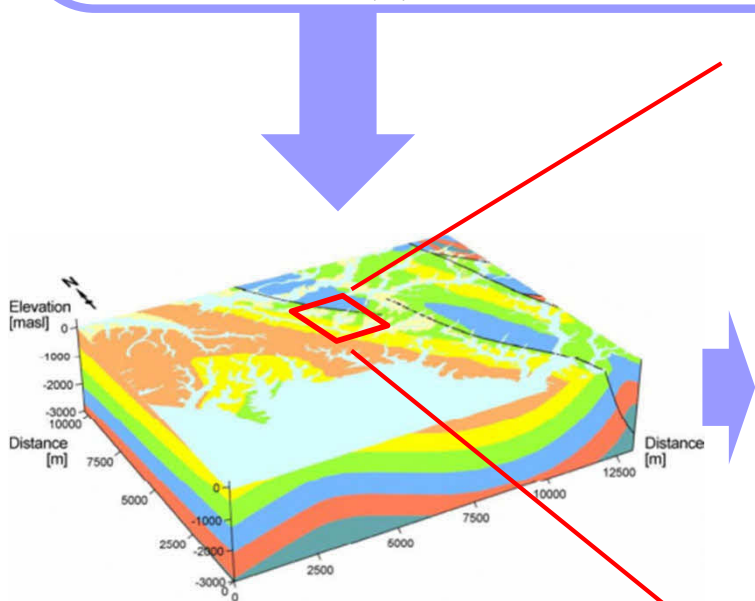
地表地質調査



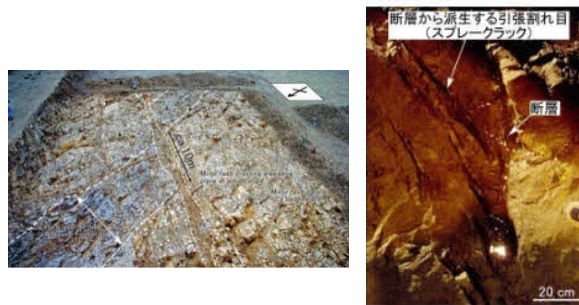
反射法地震探査



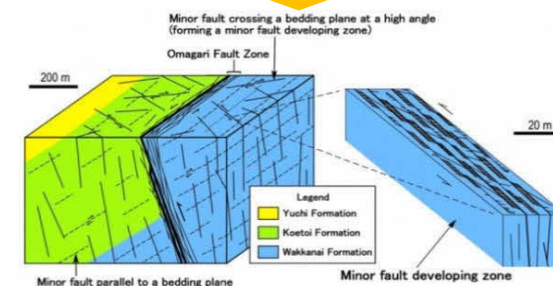
地上からのボーリング調査



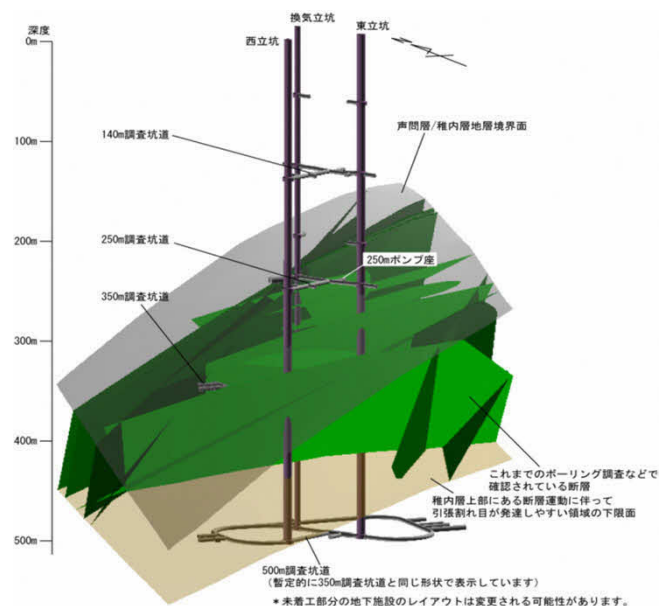
地上からの調査結果を統合した地質構造モデル



剥ぎ取り露頭調査／坑道壁面調査



小規模な断層の概念化



小規模な断層の分布をモデル化 地下施設の設計に反映

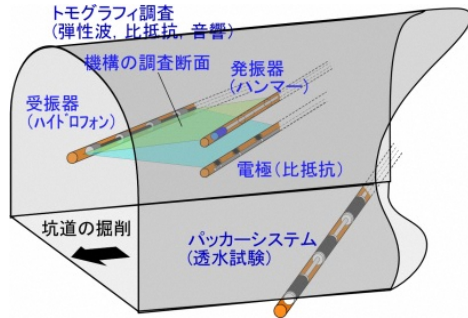
概要調査に必要な基盤技術の整備

- 地表からの調査による深部地質環境を把握するための調査解析評価技術の構築
- 地表からの調査に適用した調査・モデル化手法の有効性を確認

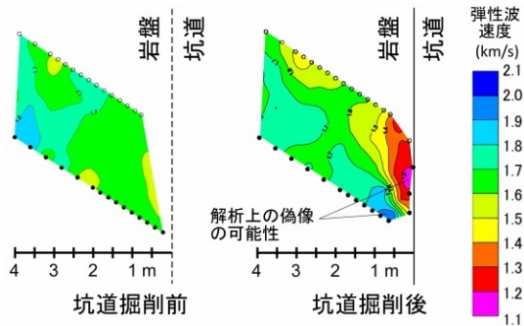
第2段階の調査研究の成果の例



掘削損傷領域を推定するための調査・解析技術



坑道での掘削影響領域調査



弾性波トモグラフィ結果

- 掘削影響領域の掘削後の経時変動はほとんどない。

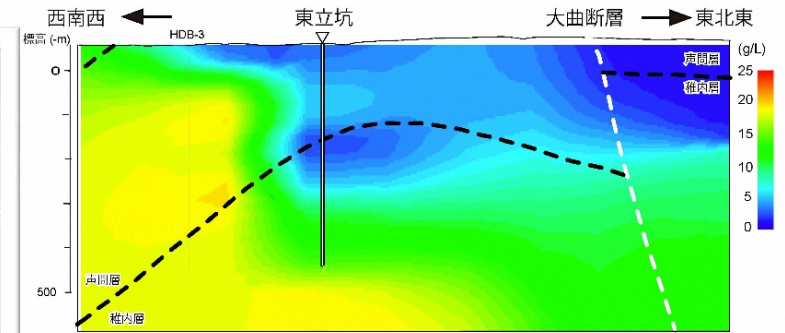
低アルカリ性コンクリート材料を用いた吹付け施工の適用性確認



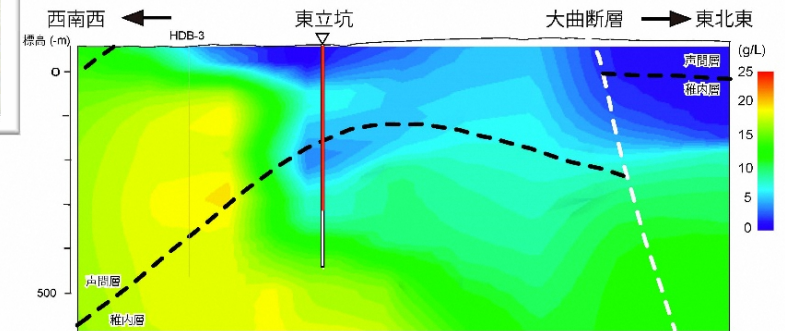
吹付け施工の様子

- HFSCを用いた吹付け施工を行い、その施工性に問題のないことを確認
- 低アルカリ性セメント材料を使用した坑道の本格的な吹付け施工は世界初

東立坑周辺における地下水中の塩分濃度の空間分布



東立坑掘削前（第1段階調査時）



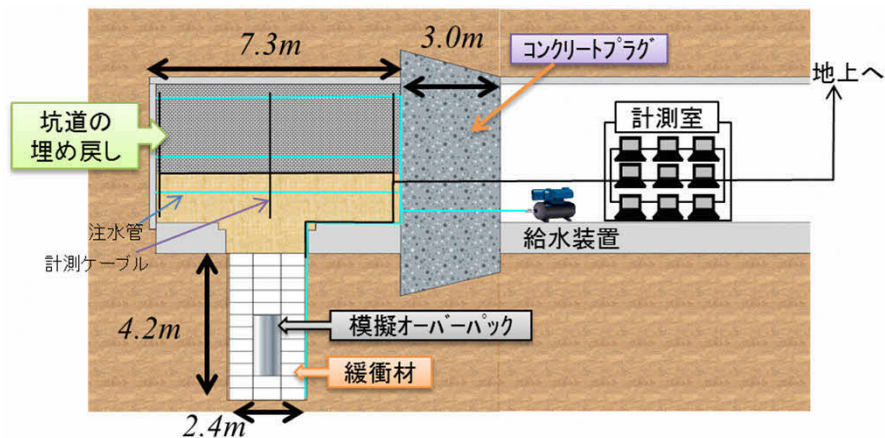
東立坑（地表から380mまで掘削）

- 浅部において塩分濃度が低下しているものの、稚内層下部における塩分濃度分布に顕著な変化は認められない。

➤ 精密調査前半に必要な基盤技術の整備

- 坑道掘削による深部地質環境の変化の程度や現象の理解及び必要な調査技術の整備
- 坑道の掘削工事・維持管理を通じて、掘削技術・施工対策技術、安全確保・維持管理技術の適用事例の提示及び有効性の確認

第3段階の調査研究の現状：人工バリア性能確認試験



①試験孔の掘削



大口径掘削機



試験孔の掘削中の様子

人工バリア性能確認試験の目的

- 【施工】
「第2次取りまとめ」で示した処分概念が**実際の地下環境**で構築できることの実証
- 【設計】
幌延を事例とした**設計手法の提示**
- 【計測】
熱－水－応力－化学連成現象を評価するための**検証データの取得**

③坑道の埋め戻し



転圧締め固め

④コンクリートプラグの設置



鉄筋組立

②人工バリアの設置



真空把持



模擬オーバーパックの設置

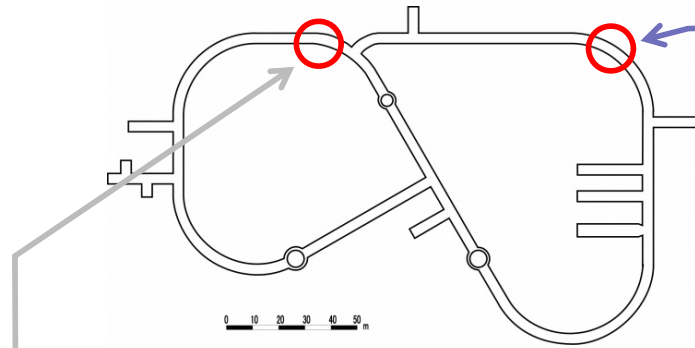


ブロック設置



脱型

第3段階の調査研究の現状：物質移行試験



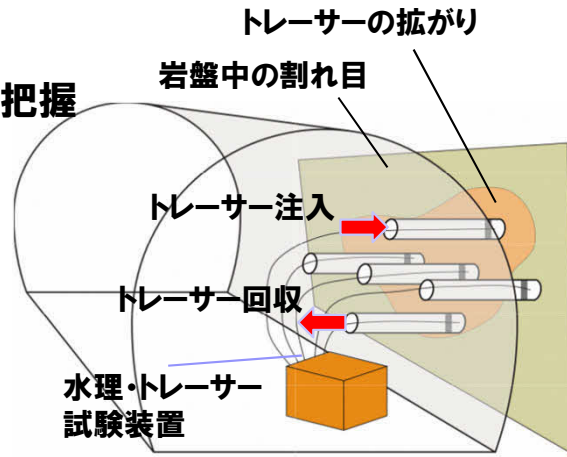
350m調査坑道

健岩部対象

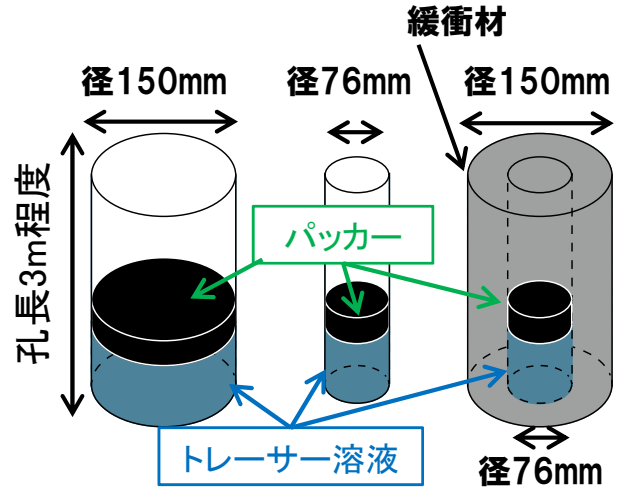
岩盤マトリクス及び人工バリア中の物質移行特性の把握

単一割れ目対象

割れ目内の物質移行特性の把握



試験概念図



大きさによる影響の比較

人工バリアと天然バリアの比較

試験概念図



削孔状況

削孔状況



ボーリング孔

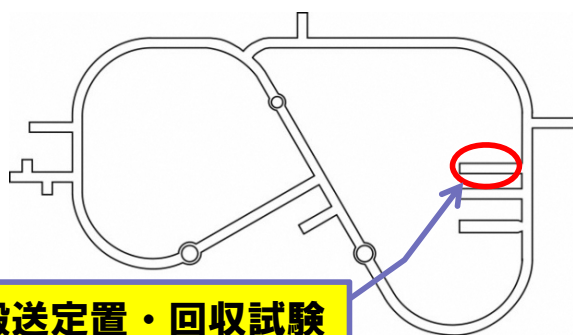


透水試験実施状況



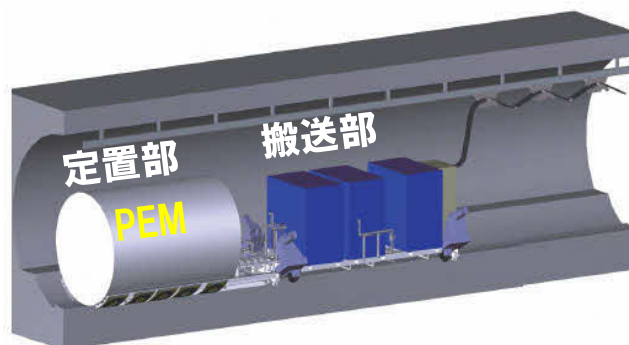
装置設置状況

第3段階の調査研究の現状：処分概念オプションの実証



搬送定置・回収試験

350m調査坑道



搬送・定置装置のイメージ図

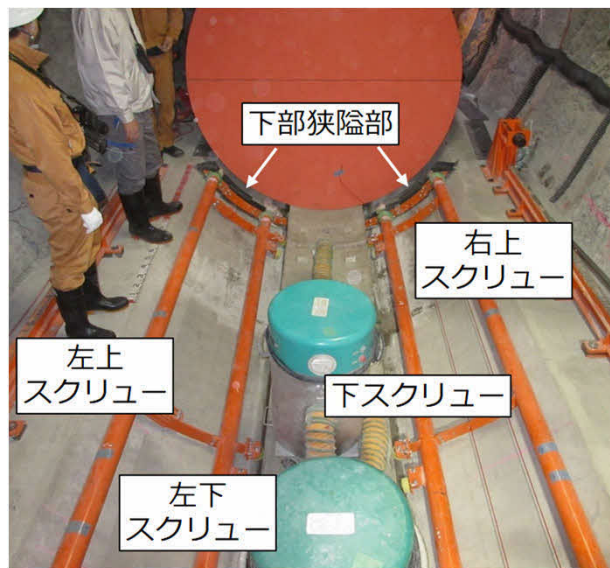
PEM (Prefabricated Engineering barrier system Module) : 鋼製容器の中にオーバーパックや緩衝材を設置して一体化したものの



模擬PEM :
直径約2.5m
長さ約3.5m

フォーク

フォークをPEMの下に差し込み、エアベアリング（空気の力で浮かすことで、軽い力でも前後に動かせるようになる）で浮かせて、模擬PEM（約36.5トン）を動かします



下部狭隘部

右上
スクリュー

左上
スクリュー

下スクリュー

左下
スクリュー

スクリュー方式による埋め戻し材の施工



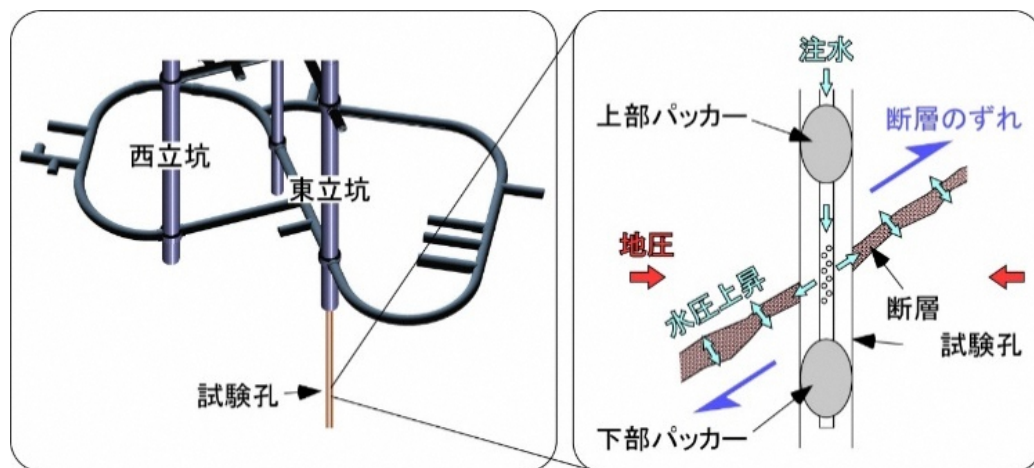
上部開放部に充填された
充填材

PEM

除去試験前の状態



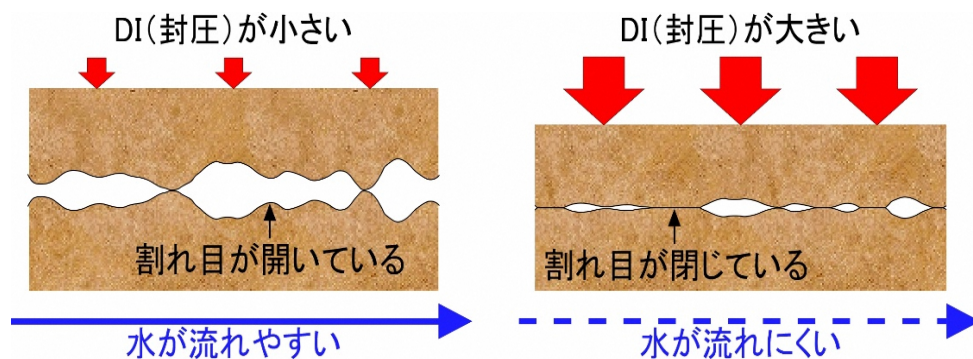
回転する刃を押し当てて、模擬PEM上部開放部の充填材を削りながら取り除きます（機械式除去）



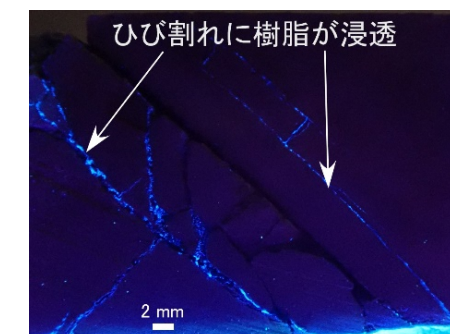
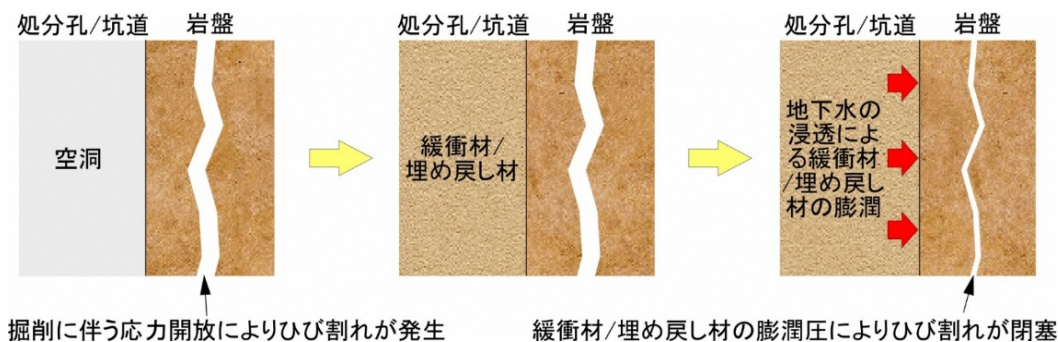
水圧擾乱試験の概念図



水圧擾乱試験の作業状況



DIと割れ目内の透水性の関係

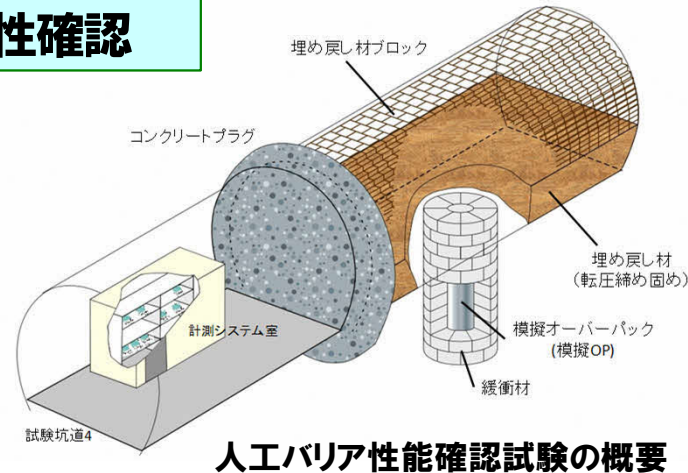


掘削損傷領域のひび割れへの蛍光樹脂の注入結果

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)をその健全部の引張強度(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。

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



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

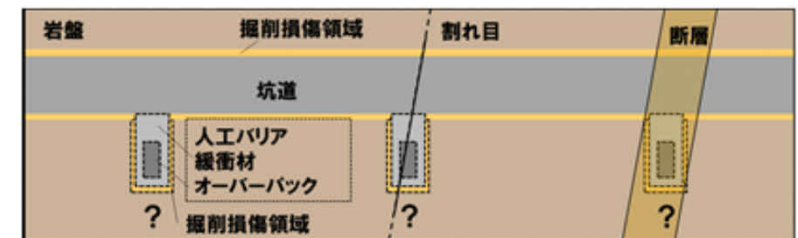
- 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
 - ・ 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
 - ・ 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 高温（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験



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

- 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



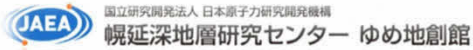
廃棄体定置決定や間隔設定の考え方の整理

情報発信と理解醸成に向けた取り組み



ホームページでの情報発信

● ゆめ地創館 館内案内動画の制作・公開



01. ゆめ地創館について



紹介・説明する施設として、平成19年6月にオープンし、年間約8千人のお客様にご来館いただいております。

- 地下施設の見学
- ゆめ地創館 館内紹介
- リンク
 - 幌延深地層研究センター
 - 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
 - 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター 地層処分実規模試験施設
- ダウンロード
 - ゆめ地創館リーフレット [PDF 655KB]
 - ゆめ地創館団体見学申込書 [PDF 65KB]
 - ！こちらは地下施設の見学申込書ではありません。

その他

- 地下施設の工事や調査研究の状況を毎週更新
- メタンガス濃度、排水量等の地下施設の管理状況を毎日更新 など

計画説明会・成果報告会、地下施設見学会などの開催



「令和2年度計画及び令和元年度成果報告」(住民説明会)
(国際交流施設 令和2年7月15日)
札幌においても報告会を実施(7月21日)
【ライブ配信もあわせて実施】



地下施設見学

4月～10月 火、木曜日
11月～3月 木曜日
4月～10月 第4日曜日

に開催

(350m調査坑道での見学の様子)

令和元年度：1,344名

令和2年度：56名

(R2.7月末)

幌延町広報誌「ほろのべの窓」での研究内容紹介の連載



【幌延町から】

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の幌延深地層研究センターの研究や取組について広く知ってもらうことを目的に、幌延深地層研究センターで行われる研究開発などに関する紹介記事を広報誌7月号から連載します。

▶幌延町

「地下の研究現場から」第1回－幌延深地層研究センター

私たちの行っている研究について、広くご理解いただくために幌延町広報誌「ほろのべの窓」の紙面をお借りして町民の皆様をはじめ、ご愛読者様に研究内容についてご紹介させていただきます。

幌延深地層研究センターで行っている地下深部の研究内容の紹介



調査坑道での調査研究の概要についての展示



地下施設リアルタイムモニタ



幌延深地層研究計画の概要についての展示

ゆめ地創館の来館者数

- 平成30年度・・・ 7,433名
- 令和元年度・・・ 8,092名
- 令和2年度・・・ 776名
- 累計・・・ 118,906名 (R2.7月末現在)

主な見学者

- 一般(地域の方々など)
- 自治体関係者
- 電気事業関係者
- 国内外の研究機関及び学会関係者など

2. 令和元年度までに得られた成果 及び令和2年度の取り組み

研究課題の変遷：必須の課題～令和2年度以降の研究課題

必須の課題(H27年度～R1年度)

令和2年度以降の研究課題(R2年度～R10年度)

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以下の課題に取り組みます。

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
- オーバーパック腐食試験 終了
- 物質移行試験

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

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 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
- 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

②処分概念オプションの実証

- 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
- 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

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
- 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

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

令和2年度以降のスケジュールの詳細は、「令和2年度調査研究計画」p.8に掲載

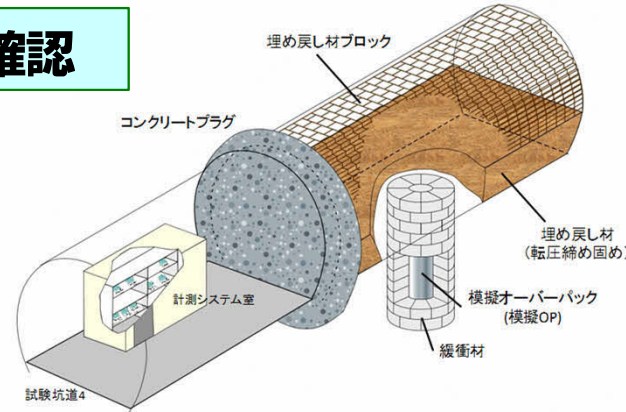
	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
	第3期			第4期中長期目標期間					
1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認	■			■					
2. 処分概念オプションの実証	■			■					
3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証	■			■					

■ 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。

研究課題の変遷: 必須の課題～令和2年度以降の研究課題

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



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

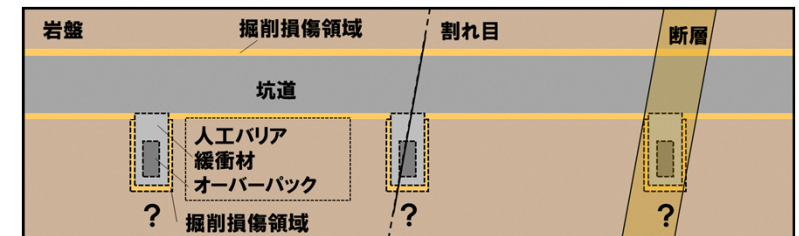
- 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
 - ・ 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
 - ・ 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 高温(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験



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

- 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・回復拳動試験



廃棄体定置決定や間隔設定の考え方の整理

【目的】

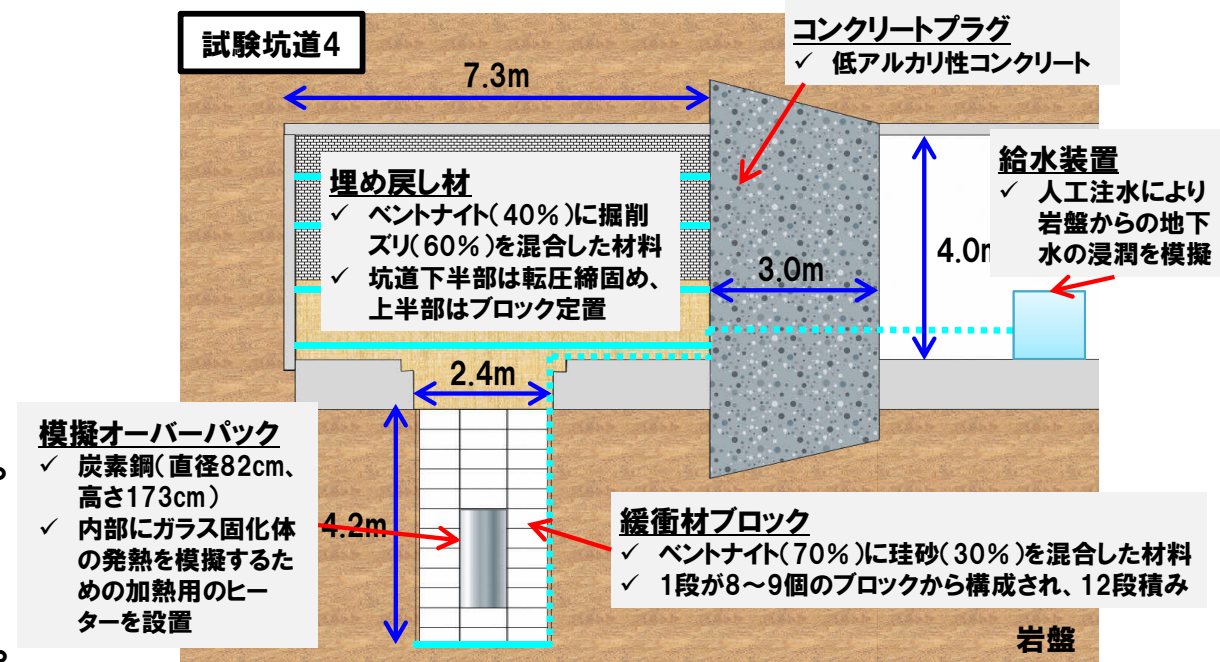
- 人工バリア(緩衝材、オーバーパック)に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の確立
- 埋め戻し材、プラグに関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の確立
- 熱-水-応力-化学連成現象(ガラス固化体設置以降の加熱時から浸潤時・減熱時の現象)の評価手法(モデル化・解析手法)の確立

【概要】

- 人工バリア(緩衝材、オーバーパック)に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の適用性確認
- 埋め戻し材、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の適用性確認
- ④ 加熱試験(③)および減熱試験(④)による熱-水-応力-化学連成評価手法の整備、適用性確認

【令和元年度の成果】

- ①、②平成30年度までに研究を終了しており、令和元年度の取り組みは無し。
- ③-1 加熱・注水時の人工バリアの挙動に関するデータを取得した。
- ③-2 解析ツールの力学モデルを拡張(緩衝材の膨潤に伴う密度低下による剛性の低下を考慮)することにより、緩衝材の膨潤挙動の実測結果と解析結果がよく合うようになった。
- ③-3 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した。



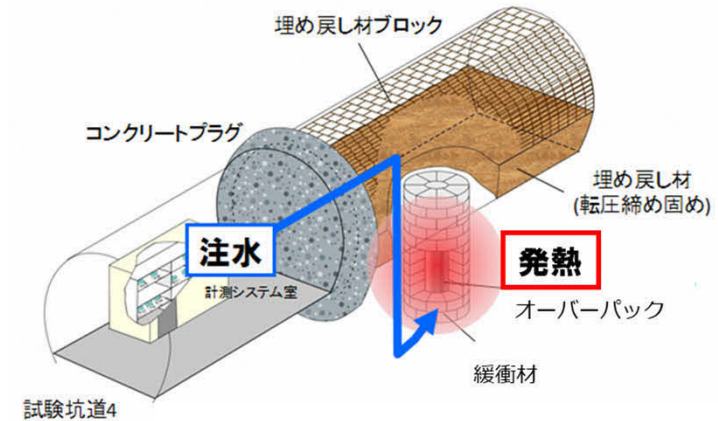
人工バリア(緩衝材、オーバーパック)、埋め戻し材、プラグ、処分孔掘削技術に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の適用性確認

【令和元年度までの総括】

- ①人工バリアに関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の適用性を確認した。
- ②埋め戻し材、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の適用性を確認した。



(上:ブロック積み上げ)



人工バリア性能確認試験の概念図

【令和2年度以降の取り組み】

令和元年度までに終了したため、令和2年度以降の取り組みは無し。

【令和2年度の取り組み】

令和元年度までに終了したため、令和2年度の取り組みは無し。



(下:転圧締め固め)
埋め戻し材の施工



緩衝材ブロックの製作と
試験孔への定置

加熱試験および減熱試験による熱-水-応力-化学連成評価手法の整備、適用性確認

【令和元年度までの総括】

③ 加熱・注水試験による熱-水-応力-化学連成評価手法を整備し、適用性を確認した。

【令和2年度以降の取り組み】

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

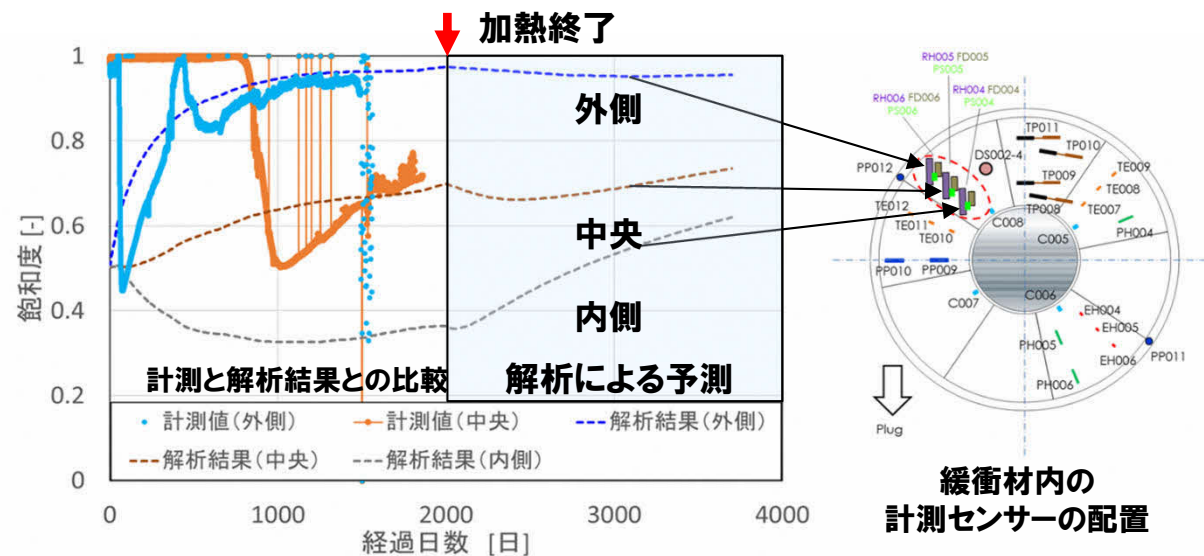
④-2 人工バリアの解体作業および緩衝材の飽和度の確認を実施する。

【令和2年度の取り組み】

④-1 人工バリア性能確認試験(加熱・減熱・注水試験のデータの分析・評価)

④-1 熱-水理-力学-化学連成挙動の解析、DECOVALEXによる共同解析等を通じた連成解析モデルの改良、気相を考慮した熱-水-応力連成挙動の解析、室内試験

④-2 人工バリアの試験体を取り出すための試験施工



ヒーターの加熱を終了した予測(グラフの水色で示した範囲内)では、グラフの点線のように、緩衝材内への水の浸み込みが、中央や内側で進むことが示されました。

DECOVALEX (International co-operative project for the DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments in nuclear waste isolation.)
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・確認を目的とした国際共同研究です。

【目的】

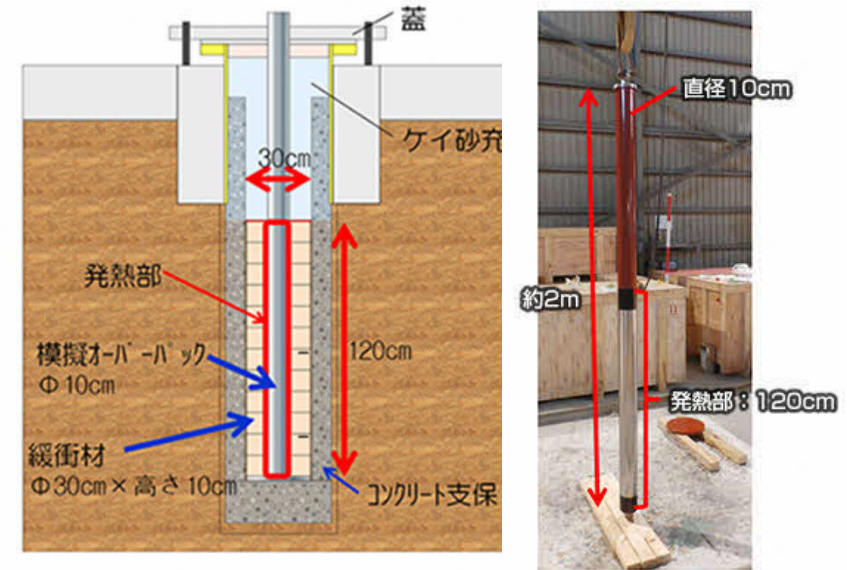
緩衝材の浸潤過程では、飽和度等の環境条件の不均一性によって不均一な腐食の可能性がある。また、環境条件の変化に伴って腐食挙動も経時的に変化すると考えられる。このような挙動を把握するには、ある程度のスケールの試験が必要であり、室内試験では限界があることから、工学的スケールでの検討が必要である。よって緩衝材の浸潤～飽和の過程を工学規模で再現し、オーバーパックの腐食量や不均一性のデータを取得して既往の腐食量評価手法の妥当性、適用性を確認することを目的とする。

【概要】

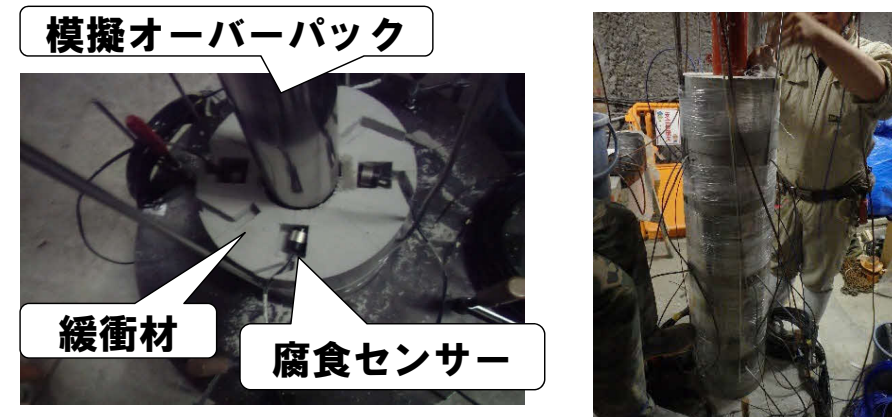
- ① 試験坑道に掘削した試験孔に緩衝材と模擬オーバーパックを設置して腐食試験を実施し、約3年間にわたる環境条件や腐食挙動のモニタリングデータを取得。
- ② 腐食挙動の経時的な変化を把握するとともに、腐食センサーの有効性を検討
- ③ 室内試験の結果との比較により、既往の評価手法の妥当性を検討

【令和元年度の成果】

- ② 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した。
- ③ 室内試験に基づく既往の評価手法の保守性、妥当性を確認した。



オーバーパック腐食試験の概念図(左)と模擬オーバーパックの外観



腐食試験の設置状況

(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認 2) オーバーパック腐食試験

【令和元年度までの総括】

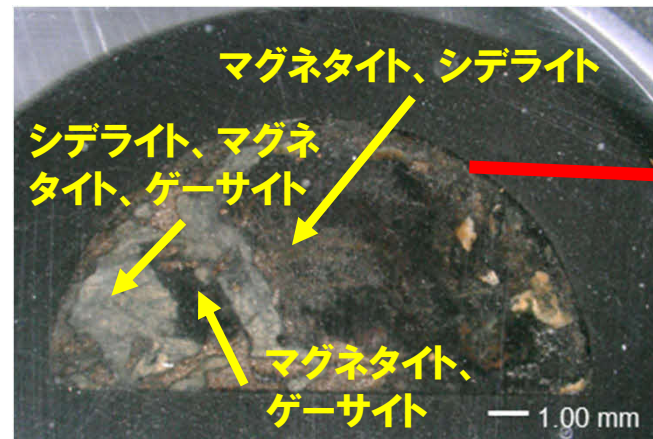
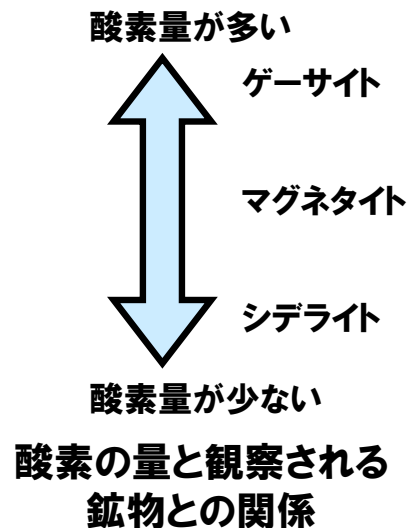
- ① オーバーパックの溶接部と母材(本体)で腐食挙動に有意な差は認められないことを確認した。
- ①② 腐食挙動のモニタリングデータを取得し、腐食センサーの有効性を確認した。
- ③ 室内試験の結果との比較により、既往の評価手法の妥当性を確認した。

【令和2年度以降の取り組み】

令和元年度までに終了したため、令和2年度以降の取り組みは無し。

【令和2年度の取り組み】

令和元年度までに終了したため、令和2年度の取り組みは無し。



腐食センサーの感知部の拡大写真
観察された鉱物は、割合の多い順に記載

腐食センサーに生じた腐食生成物の分析結果は、腐食モニタリングデータから推察される腐食挙動と整合

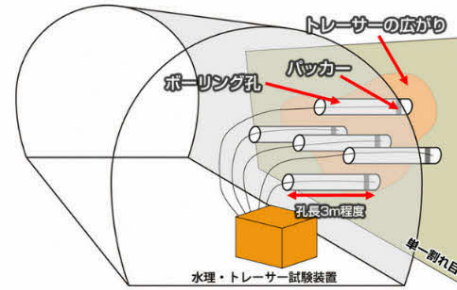
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認 3) 物質移行試験

【目的】

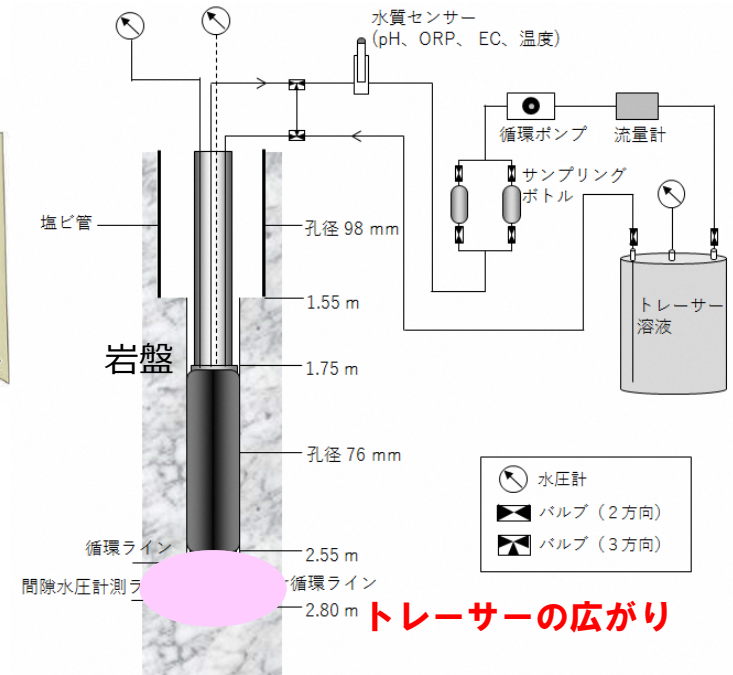
- 幌延地域に分布する泥岩は断層等の構造的な割れ目が分布しているため、岩盤基質部(=健岩部)における拡散および割れ目を介した移流・分散が主要な移行経路や形態として考えられるとともに、有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に影響を及ぼすことが考えられる。
- したがって、割れ目を有する堆積岩における物質移行現象を理解するには、物質移行経路や形態および物質移行現象に影響を与える要因(有機物・微生物・コロイド等)を総合的に評価することが必要である。

【概要】

- ① 岩盤基質部を対象とした物質移行特性の評価手法の検証
- ② 割れ目を対象とした物質移行特性の評価手法の検証
- 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
- ④ 掘削影響領域など的人為的な割れ目を対象とした物質移行特性の評価手法の検証
- 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
- 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



割れ目を対象としたトレーサー試験のイメージ



岩盤基質部を対象としたトレーサー試験のイメージ

【令和元年度の成果】

- ①, ② 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(=健岩部)や割れ目における物質の移動現象を適切に評価する手法を確立した。

【令和元年度までの総括】

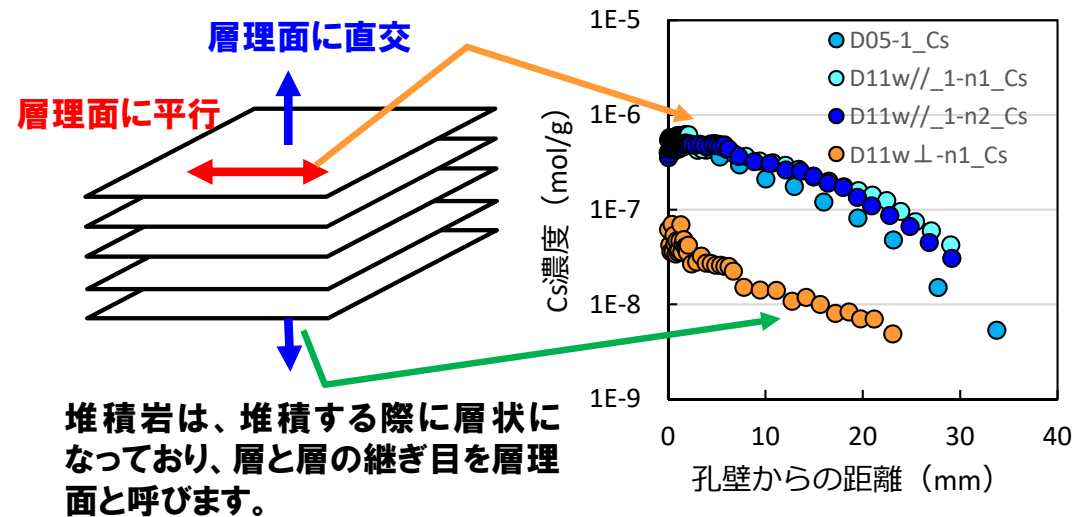
- ① 岩盤基質部(=健岩部)を対象とした原位置拡散試験を実施し、試験区間内のトレーサー濃度減衰データおよび岩石試料中の濃度プロファイルから物質移行パラメータを取得した。
- ② 割れ目を対象としたトレーサー試験を実施し、トレーサーが移行した直接的な痕跡の情報に基づき割れ目帯中の物質移行概念を構築した。
- ③ 単一の割れ目を対象としたトレーサー試験を事例とし、溶存ガス環境下でのトレーサー試験における最適な試験条件を確認した。
- ⑤ 放射性核種が有機物や微生物の存在により岩盤への吸着に与える影響を把握する室内試験を実施した。

【令和2年度以降の取り組み】

- ④ 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
- 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
- ⑥ 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

【令和2年度の取り組み】

- ④ 掘削影響領域を対象とした物質移行試験を実施。
- ⑤-1 有機物、微生物、コロイドが物質移行特性に与える影響を評価するための試験の条件設定やレイアウト等の検討
- ⑤-2 物質の移動におよぼす影響のメカニズムを理解するために必要な水質分析、濃度・種類・微生物の代謝機能などを把握するための特性調査等
- ⑥ ブロックスケール(数m~100m規模)を対象とした物質移行試験の事前調査



Cs濃度の変化率は、層理面に直交・平行方向で同様であり、Csの移行が層理面に大きく依存しないと推察されました。

処分孔等の湧水対策

【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。

【概要】

- ①突発的な大量湧水を回避するための予測手法の開発
- ②グラウト材の浸透評価手法の検討
- ③海水条件下で使用可能なグラウト材料の開発

【令和元年度の成果】

- ①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した。さらに、粘土質断層の分布の予測手法として、より汎用性の高い方法を考案した。



大量湧水発生状況(深度350m)



粘土質せん断帯に含まれるメルトインクルージョンの顕微鏡写真

グラウト：
セメントなど液体状の材料を岩盤に注入し固めることで、湧水を抑制したり強度を増すなどの改良を行う。

処分孔等の湧水対策

【令和元年度までの総括】

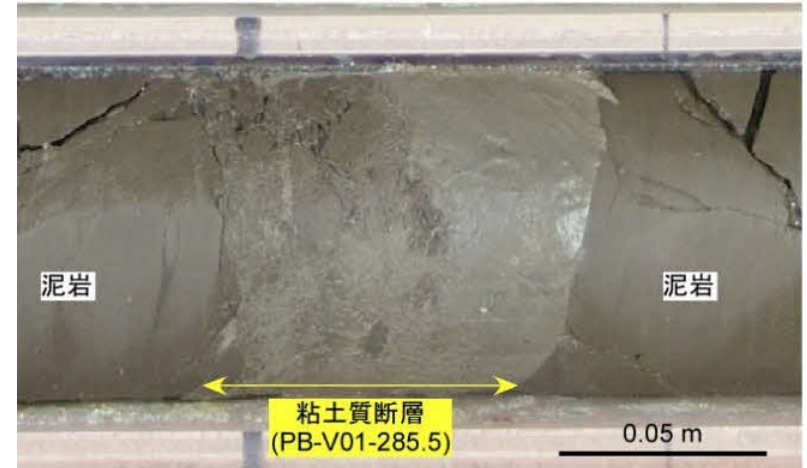
- ①突発的な大量湧水の発生の原因となりうる粘土質せん断帯の分布の予測手法として、メルトインクルージョンに着目した湧水抑制対策(グラウト)の事前予測が有効であることを確認した。
- ②等価多孔質媒体モデルによるグラウト浸透解析の結果と、現場透水試験の結果は整合的であり、設定したグラウトの改良範囲が妥当であることと、解析の有効性を確認した。
- ③海水条件下で処分孔まわりの低透水領域を改良することが可能となる溶液型グラウト材料を設計した。

【令和2年度以降の取り組み】

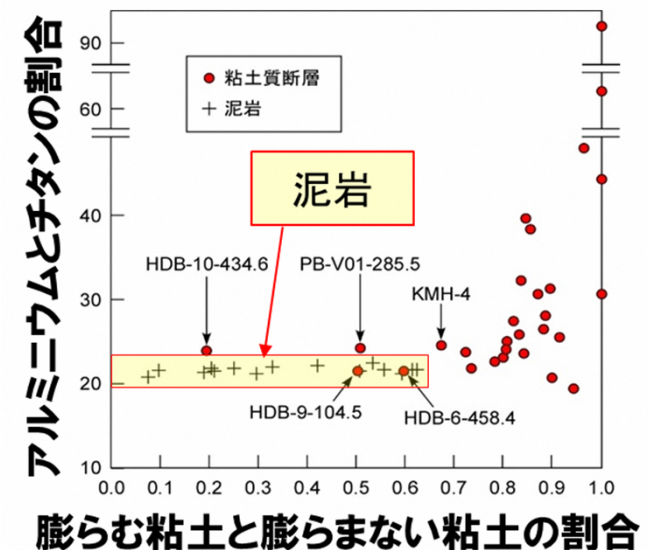
令和元年度までに終了したため、令和2年度以降の取り組みは無し。

【令和2年度の取り組み】

令和元年度までに終了したため、令和2年度の取り組みは無し。



ボーリングコアで観察される粘土質断帯



断層粘土部の膨らむ粘土と膨らまない粘土の割合や火山灰層起源の鉱物の割合を用いた同定方法

処分孔等の支保技術

【目的】

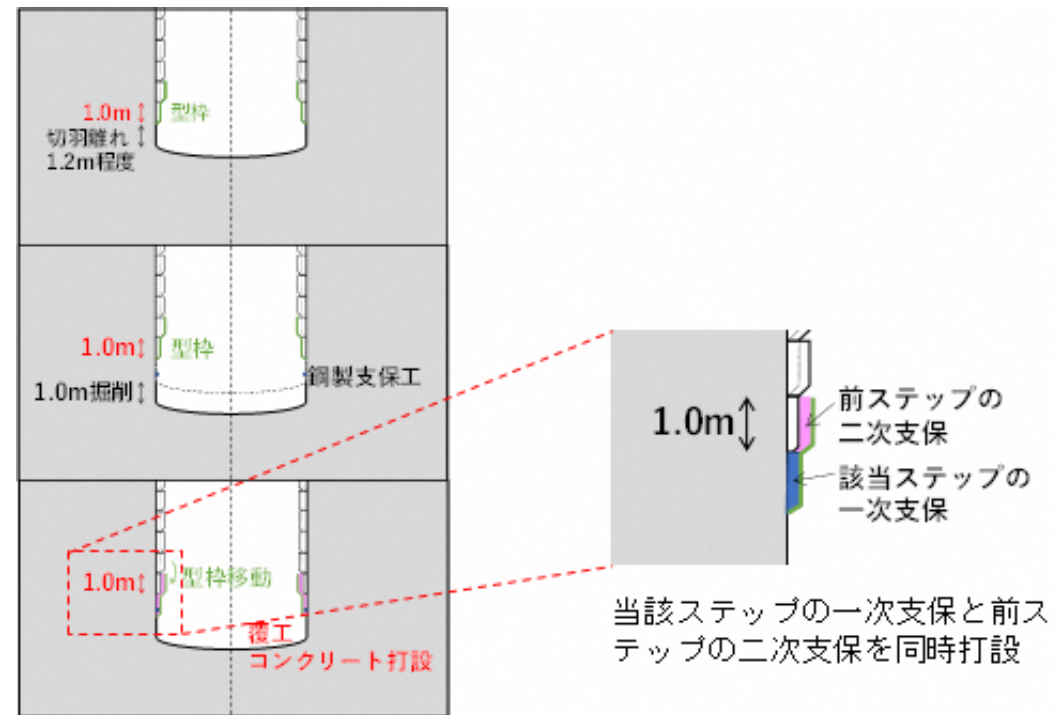
- ・ 国内外の地下空洞開発事例において、支保設計、情報化施工技術、支保及び岩盤の計測技術が構築されている。
- ・ 地層処分場で想定されるような、広範囲なおかつ深度300m以深という大深度に展開される大規模地下施設においても、既存の技術が適用可能かどうかを確認し、課題がある場合には技術の整備を行う必要がある。そこで、立坑や水平坑道における支保技術、情報化施工技術、長期的な計測技術を整備することを目標とする。

【概要】

- ①立坑掘削時の情報化施工技術の構築
- ②低強度・高地圧地山における大深度立坑支保設計手法の開発
- ③岩盤および支保工の安定性を長期的に計測する技術の構築(二重支保の適用可能性の検討)

【令和元年度の成果】

- ③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した。



深度380m以深において適用可能な二重支保の概念

処分孔等の支保技術

【令和元年度までの総括】

堆積岩に対する、支保技術の実証実験により、以下の技術の有効性を確認した

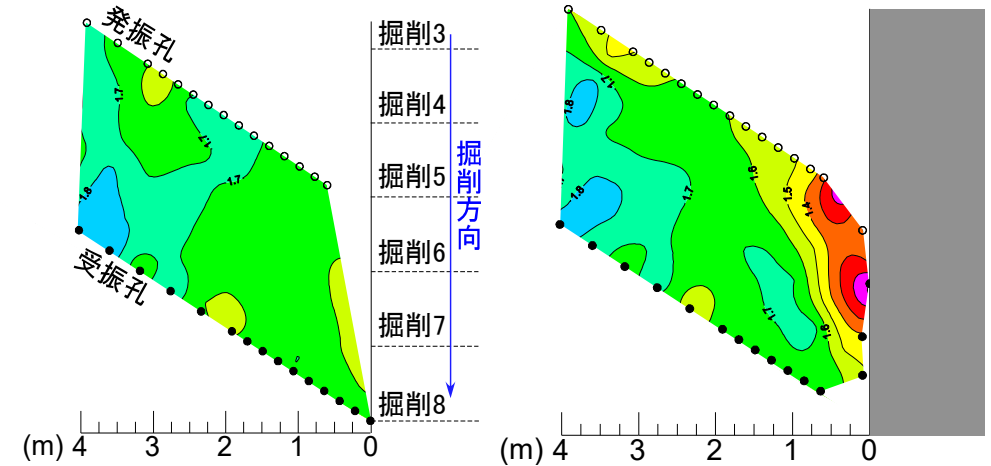
- ① 立坑掘削時の情報化施工技術の構築
- ② 低強度・高地圧地山における大深度立坑支保設計手法の開発
- ③ 岩盤および支保工の安定性を長期的に計測する技術の構築(二重支保の適用可能性の検討)

【令和2年度以降の取り組み】

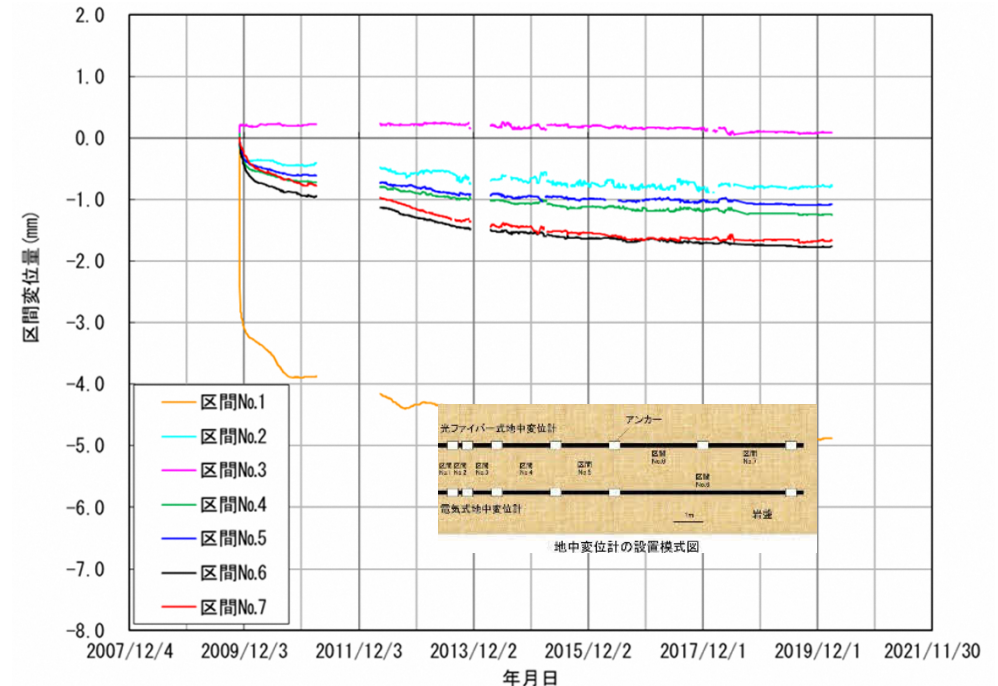
令和元年度までに終了したため、令和2年度以降の取り組みは無し。

【令和2年度の取り組み】

令和元年度までに終了したため、令和2年度の取り組みは無し。



掘削前(左図)と掘削後(右図)の弾性波速度



光ファイバー式変位計による計測結果

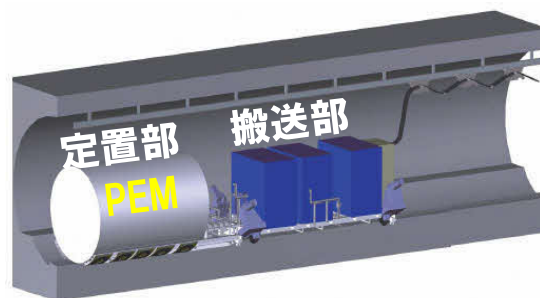
【目的】

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。

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

【概要】

- ① 処分坑道横置き定置方式について、プレハブ式人工バリアモジュール(PEM: Prefabricated Engineered barrier system Module)方式の搬送定置・回収技術の実証
- ②-1 搬送・定置技術:エアベアリング方式を用いた搬送装置(重量物の搬送技術)が地下環境で作動することを確認
- ②-2 回収技術:PEM-坑道間の狭隘な隙間に対する隙間充填技術および充填材の除去技術の整備、実証
- ③ 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)の把握に関する実証試験



搬送・定置装置のイメージ図



狭隘部の隙間充填装置

PEM (Prefabricated Engineering barrier system Module) :
鋼製容器の中にオーバーパックや緩衝材を設置して一体化したもの

【令和元年度の成果】

- ②-2 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、回収試験を実施し適用性を確認した。

【令和元年度までの総括】

- ① 処分坑道横置き定置方式について、PEM方式の搬送定置・回収技術を実証した。
- ②-1 搬送・定置技術：エアベアリング方式を用いた搬送装置(重量物の搬送技術)が地下環境で作動することを確認した。
- ②-2 回収技術：PEM-坑道間の狭隘な隙間に対する隙間充填技術および充填材の除去技術を整備、実証した。
- ③ 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)の把握に関する実証試験を実施した。



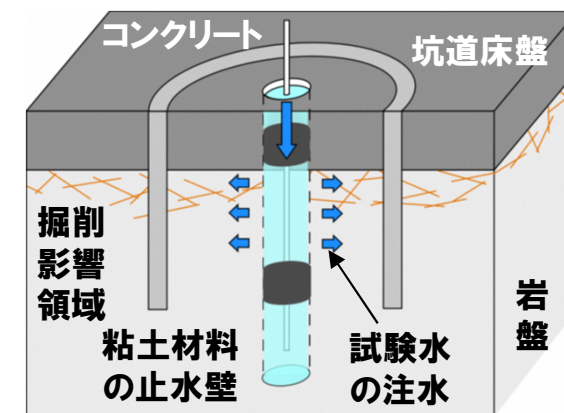
フォークをPEMの下に差し込み、エアベアリング(空気の力で浮かすこと)で持ち上げ、模擬PEM(約36.5トン)を動かします。

【令和2年度以降の取り組み】

- 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2年度の取り組み】

- 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検討、室内試験および工学規模試験。
- ②-1 搬送定置・回収技術の実証に関する試験や解析
- ②-2 緩衝材や埋め戻し材への地下水の浸潤が進んだ状態での回収において考慮すべき条件設定
- ③ 緩衝材への水の浸潤挙動を把握するための試験

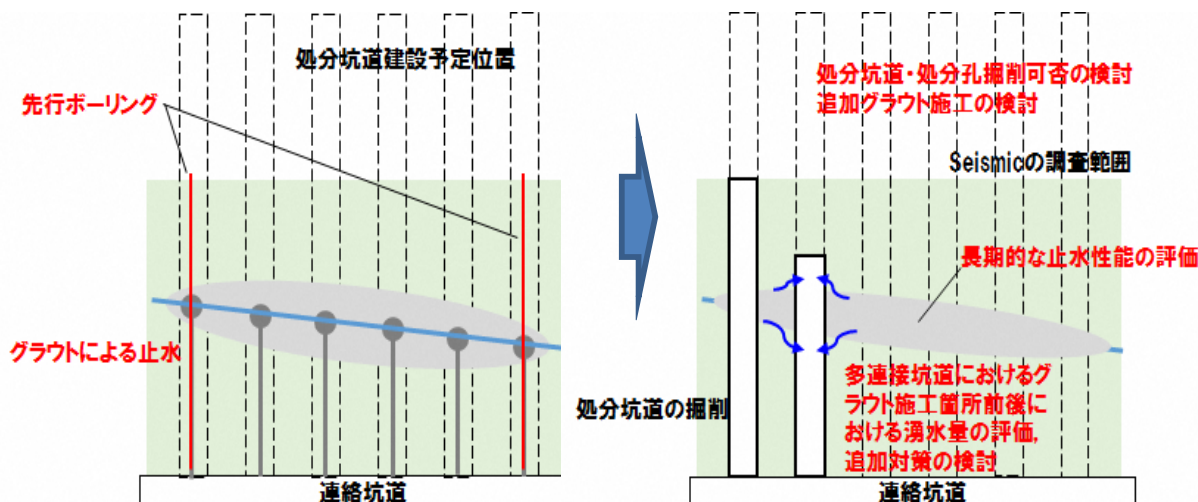


粘土止水壁による掘削影響領域の透水性変化確認

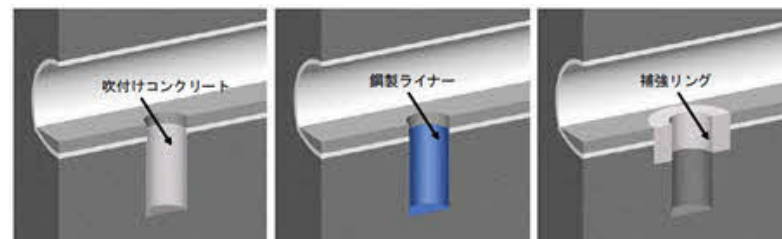
廃棄体の設置方法等の実証試験を通じた、坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化

【概要】

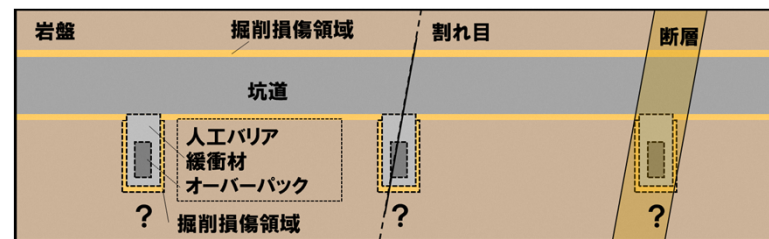
④ 廃棄体の設置方法等の実証試験を通じた、坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化



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

【令和2年度以降の取り組み】

- 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孔支保技術の整備、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なとなる情報の整理

【令和2年度の取り組み】

本研究については、研究期間の後半に実施するため、令和2年度の取り組みは無し。

【目的】

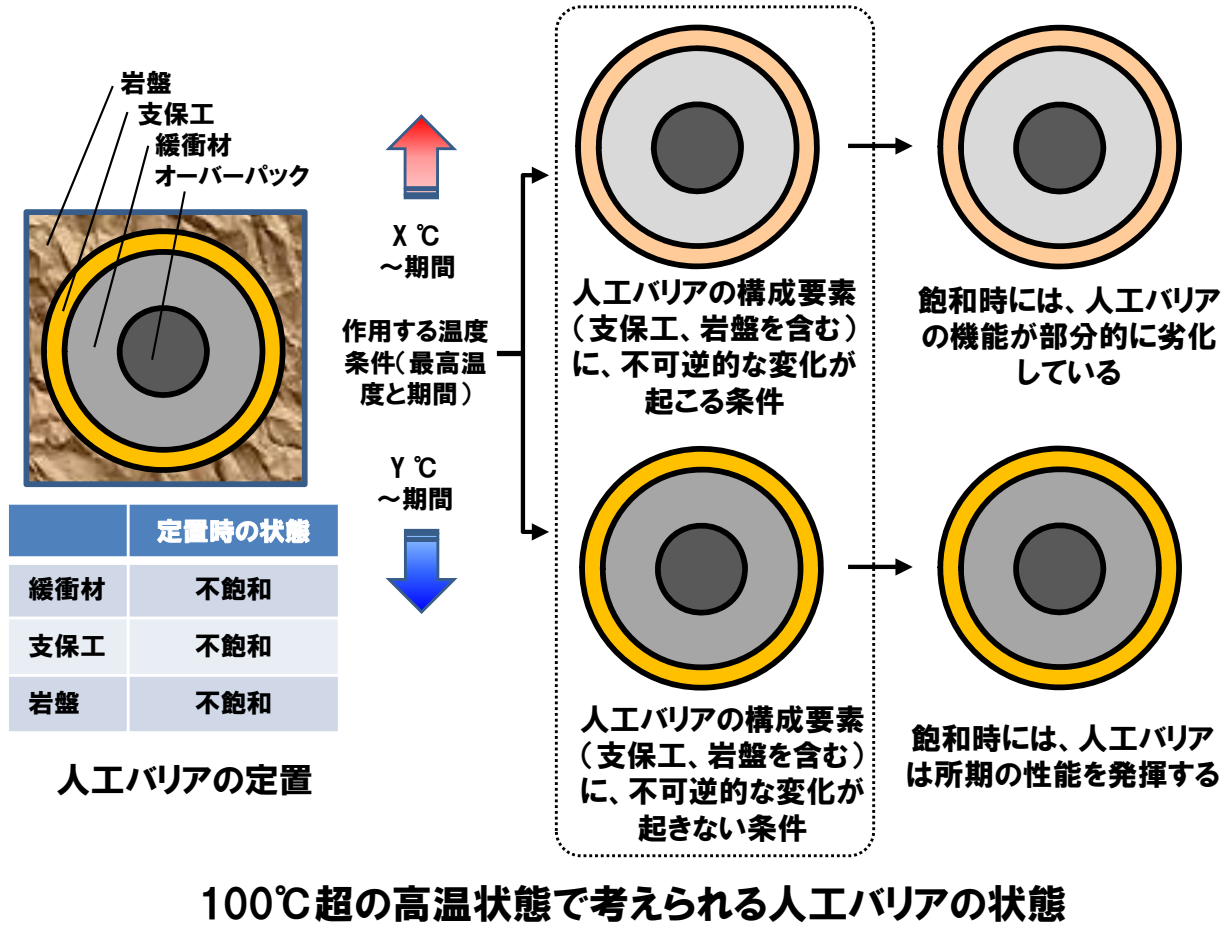
- 人工バリア設置環境の深度依存性を考慮し、種々の処分概念オプションの工学的実現性を実証し、多様な地質環境条件に対して柔軟な処分場設計を行うことを支援する技術オプションを提供する。
- 実際の処分事業では、オーバーパック表面が100℃以下になるように処分することが基本であるが、想定外の要因によって100℃を超えた状態になることを想定して、人工バリアシステムの安全裕度を検証する。

【概要】

- 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、解析的な検討を行う。

【令和元年度の成果】

- 高温度状態で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。

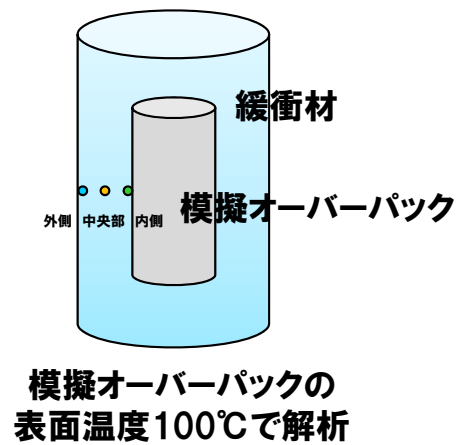
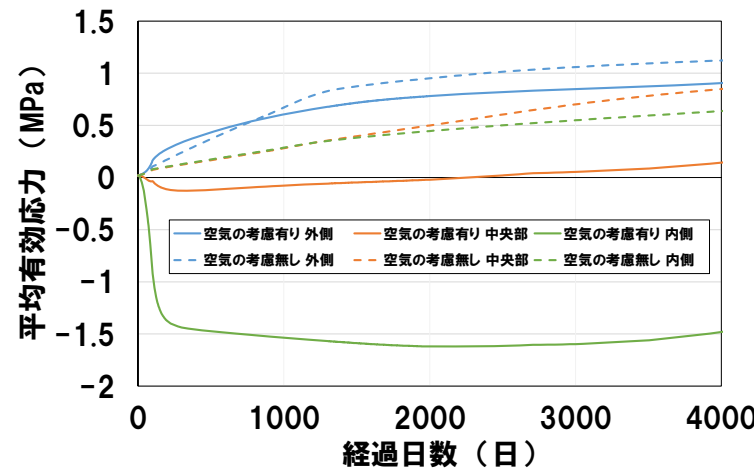


【令和元年度までの総括】

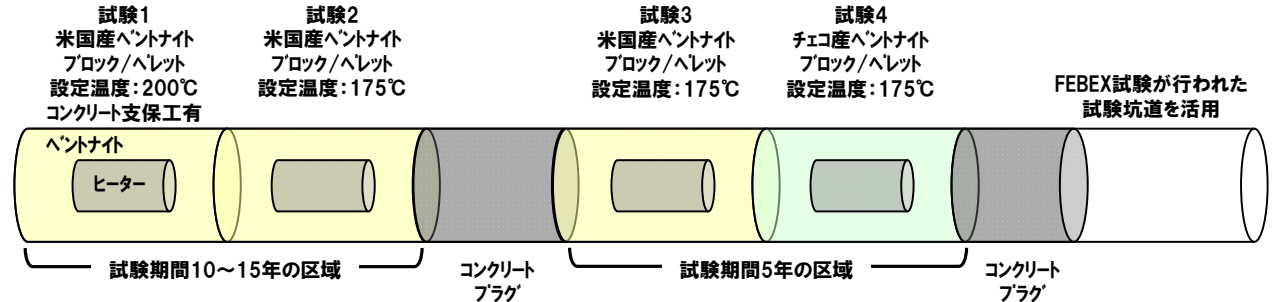
① 100℃超の高温環境下における人工バリアの閉じ込め機能を確認する研究に関する机上検討を実施した。

【令和2年度以降の取り組み】

- 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
- 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
- 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)



空気考慮の有無による解析結果の違いの解析例(平均有効応力)



国際プロジェクトHotBENT試験の概要(スイスの地下研で実施)

【令和2年度の取り組み】

- ①-2 緩衝材の最高温度が100℃を超えた状態において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
- ①-3 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

(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

【目的】

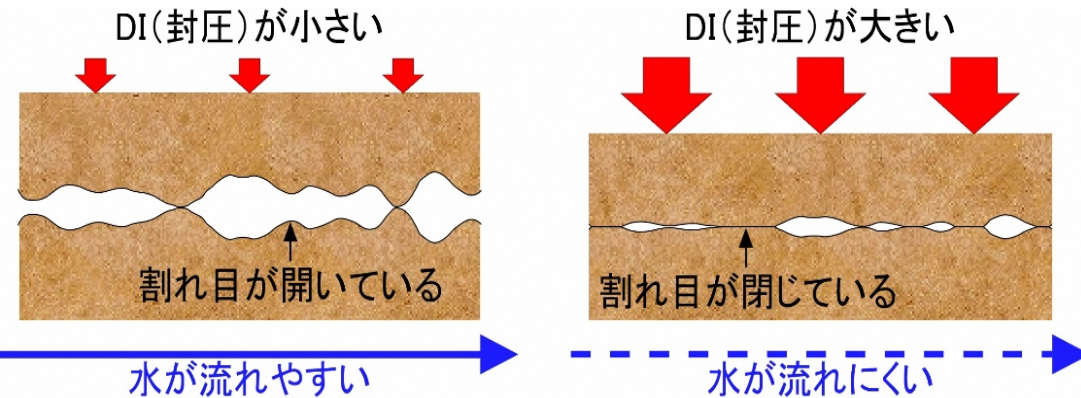
- 岩盤中の大小様々な断層が地震や隆起などの地殻変動の影響を受けた場合に、その透水性がどの程度まで上昇し得るかを検討する。
- 断層の透水性は断層の変形様式に大きく依存する。脆性的な変形が起こると断層の透水性は有意に上昇しやすいが、延性的な変形の場合は透水性が上昇しにくい。生じる変形が脆性的か延性的かは、変形時の岩石強度、応力などに依存する。本研究では、断層の変形様式を支配する岩石の強度・応力状態を計測且つマッピングが可能なパラメータで指標化することを試みる。そのようなパラメータと断層の透水性の潜在的な上限を関係付けることができれば、処分場閉鎖後の断層の透水性について現実的な状態設定が可能となる。

【概要】

- 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)の提案する。
- ② 水圧擾乱試験によるパラメータの有効性の検証する。

【令和元年度の成果】

- ②-1 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した。
- ②-2 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ダクティリティインデックス(DI)の経験式の範囲を超えないことを確認した。
- ②-3 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した。



DIと透水性の関係

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。

(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

【令和元年度までの総括】

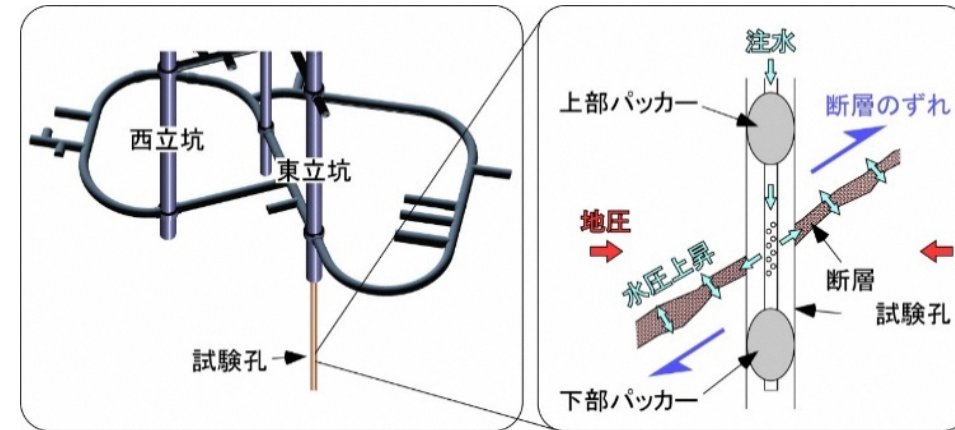
- ① 断層の変形様式(脆性的or延性的)を支配し得る岩石の強度・応力状態を表す指標を考案するために、関連する既存研究のレビューを行うとともに、机上検討やコア観察・室内実験(破壊実験)を実施した。
- ② 水圧擾乱試験を実施し、モデルの有効性を検証した。

【令和2年度以降の取り組み】

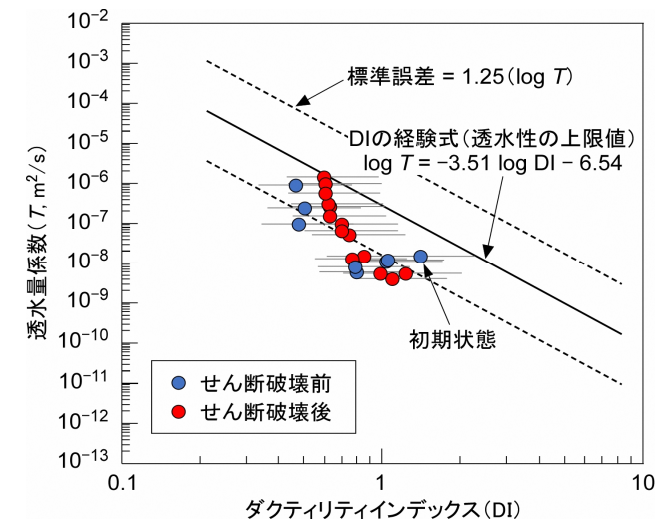
- ②-1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握(ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験)
- ②-2 DIを用いた透水性評価の信頼性向上・隆起侵食の影響評価手法の整備
- ②-3 水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法の整備

【令和2年度の取り組み】

- ②-1 試験中における断層間の水理的連結性について断層の幾何形状や透水性をパラメータとした解析
- ②-1~3 幅数10cmのより大型の断層を対象とした水圧擾乱試験
- ②-1~3 これまでに実施した断層の水圧擾乱試験や透水試験の結果の詳細解析



水圧擾乱試験中の断層の透水性とDI



水圧擾乱試験中の断層の透水性とDI

・水圧擾乱試験

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。

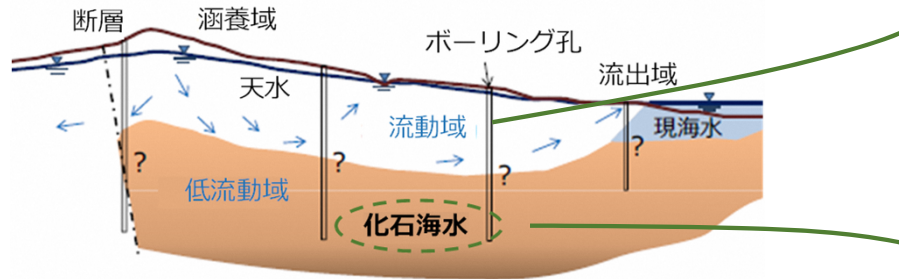
地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化

【目的】

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。

【概要】

- 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



- 浅部は流動域であり、深部は化石海水が存在するような低流動域
- 地下水の起源は、天水(降水)・現海水・化石海水

化石海水:堆積時の海水が埋没続成過程で変化し、その後、天水浸透の影響を受けていない地下水。極めて長い地史の中で隆起・浸食や海水準変動といった自然現象の影響を受けていない可能性がある。

どのように化石海水分布を調査すれば良いのか?

地上からの調査

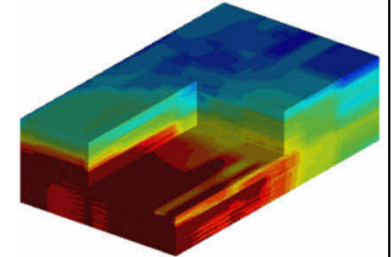


物理探査
-地震探査
-電気・電磁探査



ボーリング調査

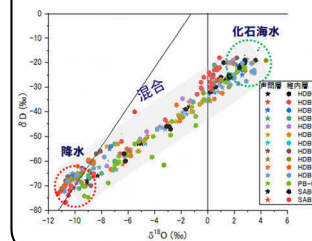
三次元分布の推定



項目: 塩濃度、酸素・水素同位体比など

どのような長期的変遷を経て現在の化石海水の分布が形成されたのか?

地球化学データ



例) 地下水の以下の項目
-化学組成
-同位体比
-地下水年代

水質形成に寄与する端成分の抽出
⇒地史を踏まえた地下水水質形成過程の仮説モデルを構築

【令和元年度の成果】

- ③-1 化石海水の指標として、Cl(塩素)及び水の安定同位体を基に分布を推定した。
- ③-2 既存の水理・物質移動評価手法を基に塩濃度分布を推定した。

処分事業における概要調査において効率的に化石海水の分布領域を調査・評価する方法に反映

(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

【令和元年度までの総括】

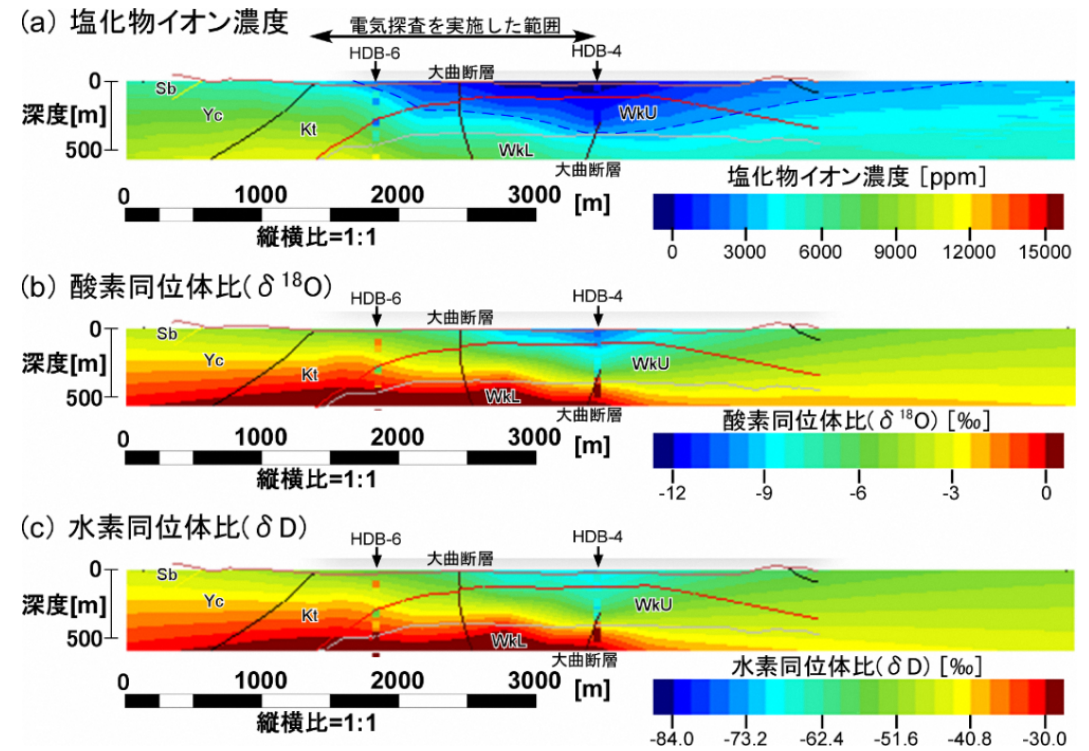
- ③-1 地上からのボーリング調査や物理探査の既存結果に基づき、地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域)の三次元分布を再評価した。
- ③-2 地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水のような塩濃度の高い地下水の分布)を解析的に評価する技術を改良した。

【令和2年度以降の取り組み】

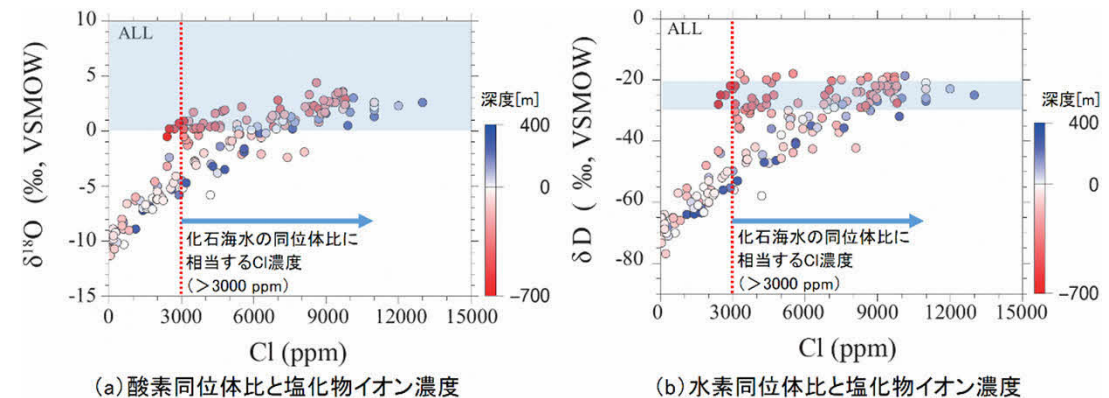
- ③ 地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域)の調査・評価技術の検証
- ④-1 化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法の高度化
- ④-2 広域スケールを対象とした水理・物質移動評価手法の高度化(地下水滞留時間評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析)

【令和2年度の取り組み】

- ③, ④-1 化石海水領域の三次元分布を把握するための物理探査
- ③, ④-1 地下水の塩濃度分布の推定
- ④-2 化石海水領域を評価する水理解析手法の改良



塩濃度および酸素・水素同位体比の空間分布の推定結果



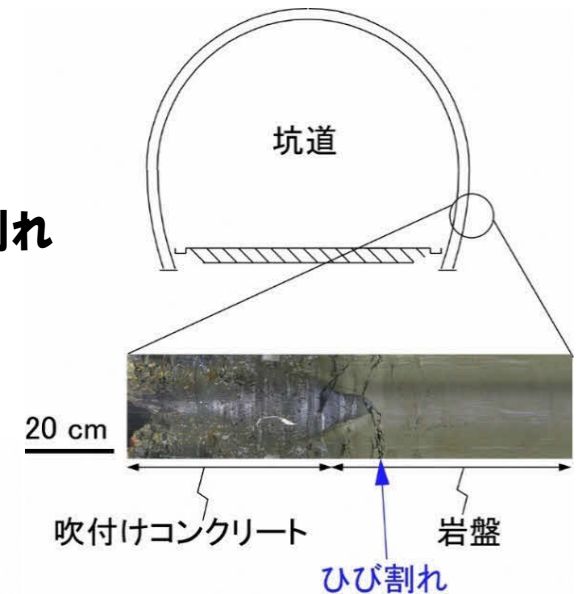
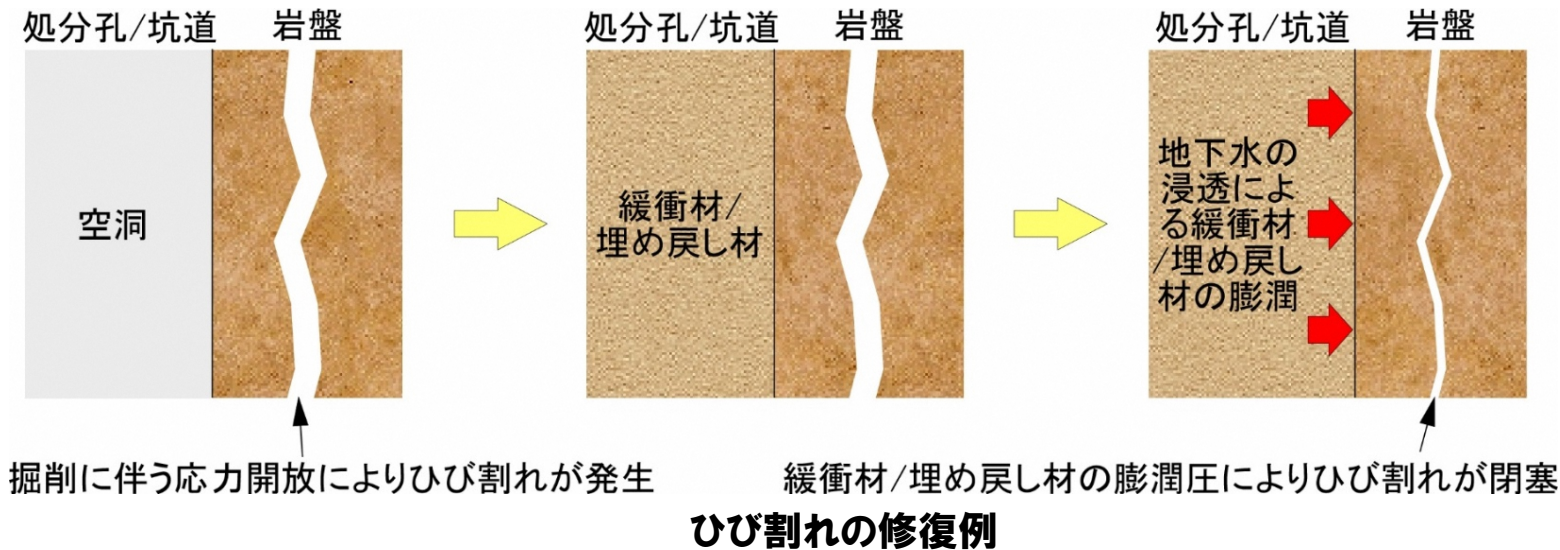
酸素・水素同位体比と塩化物イオン濃度の関係

【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。

【概要】

- ① 人工バリアの緩衝材や坑道の埋め戻し材による掘削影響領域(EDZ)のひび割れの自己治癒能力を評価する手法の確立する。
- ② 人工バリアの自己治癒能力(ひび割れの修復)を実証する。



【令和元年度の成果】

- ① 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。

【令和元年度までの総括】

① 国内外の関連する研究事例を収集

① 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。

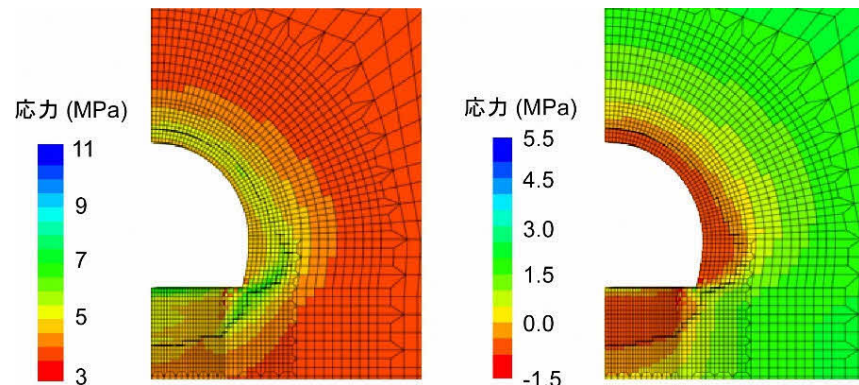
【令和2年度以降の取り組み】

②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

- 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

【令和2年度の取り組み】

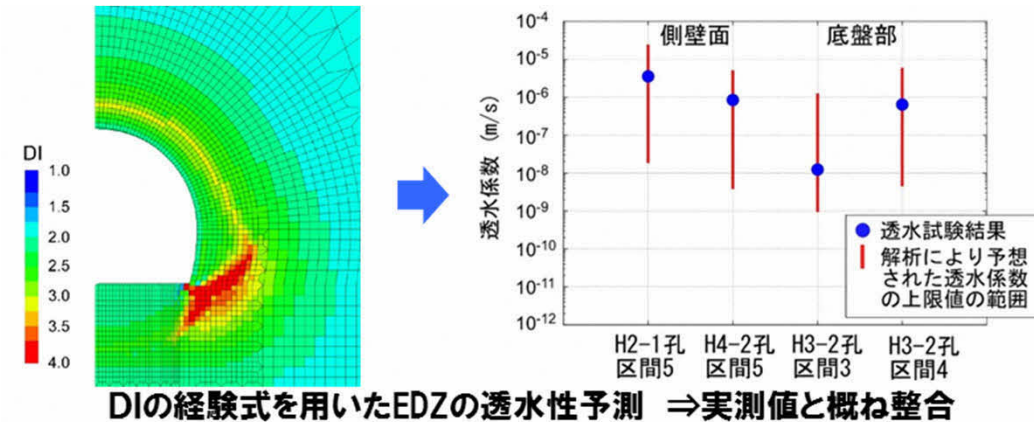
②緩衝材や坑道埋め戻し材の膨潤圧が掘削影響領域の亀裂の透水性(あるいは開口幅)に与える影響について亀裂を対象に実施した既往の樹脂注入試験結果の解析



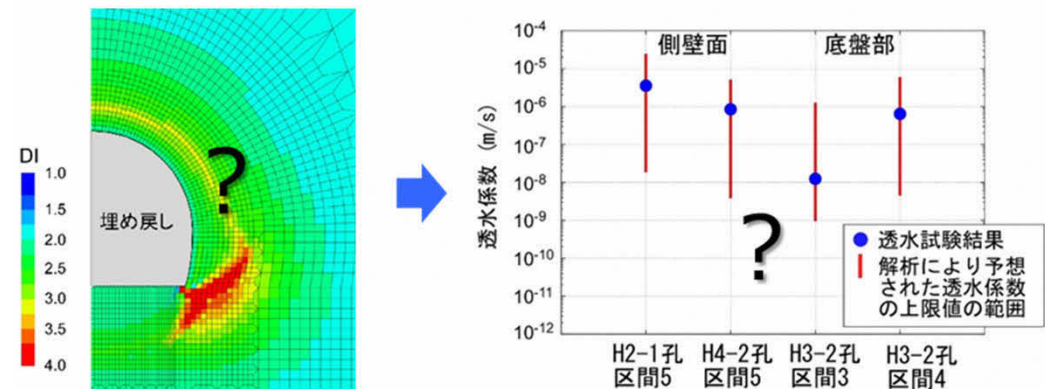
(a)最大有効主応力

(b)最小有効主応力

掘削直後の坑道周辺の有効応力分布例



DIの経験式を用いたEDZの透水性予測 ⇒ 実測値と概ね整合



坑道埋め戻し後のEDZの透水性を予測するモデルの構築

総括

必須の課題の成果についての平成30年度での外部委員会の評価や、令和2年度以降の研究計画(案)の策定、確認会議での説明にあたっては、令和元年度に得られる成果を見込んでのものでした。

今回、令和元年度までの成果を再度評価したところ、見込みどおり成果が得られました。このことは外部委員会においても同様の評価をしていただきました。

令和2年度は、お示しした計画のとおり、進めてまいります。

3. 研究課題の総括表

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	実施内容 ※H27～R1に実施した内容 下線はR1の実施内容	成果・達成状況 ※H27～R1に得られた成果・達成状況 下線はR1に得られた成果	国内外の状況	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R2の実施内容	引き続き研究が必要な理由	研究期間	
										前半	後半
人工バリア性能確認試験	<p>・実際の地質環境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>※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複合的に生じる現象のこと</p> <p>※※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て、温度が下がっていく。緩衝材は、処分孔に設置した当初は乾燥しているが、坑道を埋め戻すと地下水が緩衝材に入ってきて、時間の経過とともに浸潤していく。また、温度が下がれば、地下水が緩衝材に入りやすくなる。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、加熱時・浸潤時・減熱時の試験を行うとともに、最終的には緩衝材をサンプリングして実際の浸潤状態のデータを解体調査で取得することをスコープに入れている</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>①人工バリア(緩衝材、オーバーバック)に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の適用性確認</p> <p>②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適用性確認</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>①人工バリア(緩衝材、オーバーバック)に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の適用性確認</p> <p>②埋め戻し材、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の適用性確認</p> <p>③④加熱・注水試験による熱-水-応力-化学連成評価手法の整備、適用性確認</p>	<p>【総括】人工バリア(緩衝材、オーバーバック)、埋め戻し材、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施した</p> <p>①-1 緩衝材及びオーバーバ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した</p> <p>①-2 真空保持装置※を用いた緩衝材ブロックの positioning を実証した</p> <p>※人工バリアの一つである緩衝材を positioning するための装置で真空に吸引することで緩衝材を吸着・保持し、 positioning を行う</p> <p>②-1 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)の有効性を確認した</p> <p>②-2 掘削スリ※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した</p> <p>※地下施設の掘削により出た土砂</p>	-	なし	-		-	-	-
				<p>③-1 加熱・注水時の人工バリアの挙動に関するデータを取得した</p> <p>③-2 解析ツールの力学モデルを拡張(緩衝材の膨潤に伴う密度低下による剛性の低下を考慮)することにより、緩衝材の膨潤挙動※の実測結果と解析結果がよく合うようになった</p> <p>※緩衝材や埋め戻し材が地下水が浸潤することで膨らむ挙動のこと</p> <p>③-3 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なモデルを高度化した</p>	<p>・国外でも、熱-水-応力-化学の連成現象の再現モデルの検証プロジェクト(Decovalex※)が進行中であるなど課題として指摘されている※ International co-operative project for the Development of Coupled models and their Validation against Experiments in nuclear waste isolation. (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-応力連成モデルの開発・検証を目的とした国際共同研究のこと</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>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</p>	<p>④-1 人工バリア性能確認試験(加熱・注水試験のデータの分析・評価)</p> <p>④-1 熱-水理-力学-化学連成挙動の解析、Decovalexによる共同解析等を通じた連成解析モデルの改良、気相を考慮した熱-水-応力連成挙動の解析、室内試験</p> <p>④-2 人工バリアの試験体を取り出すための試験施工</p>	<p>・外部評価では、試験を継続し、人工バリア内の過渡的な現象を再現する予測モデルの妥当性の検証が必要と指摘</p> <p>・国外でも、熱-水-応力-化学の連成現象の再現モデルの検証を課題として取り上げられ、プロジェクト(Decovalexなど)が進行中であるなど課題として指摘</p> <p>・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を確認するとともに、検証されたモデル化・解析手法を整備するためには、浸潤時・減熱時のデータを使ったモデル化・解析技術の検証が必要</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位置・品質確認などの方法論に関する実証試験)で実施

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	実施内容 ※H27~R1に実施した内容 下線はR1の実施内容	成果・達成状況 ※H27~R1に得られた成果・達成状況 下線はR1に得られた成果	国内外の状況	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R2の実施内容	引き続き研究が必要な理由	研究期間	
										前半	後半
オーバーバック腐食試験	・緩衝材の潤滑過程では、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には、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 ・緩衝材の潤滑～飽和の過程を工学規模で再現し、オーバーバ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バック溶接部（ふたと本体）に代表される材料側の不均一性も併う系での不均一腐食挙動を確認する	① 実際の地質環境でのオーバーバックの耐食状況の確認 ② 腐食モニタリング手法の検証 ③ 既往の腐食手法の検証	① 試験坑道に掘削した試験孔に緩衝材と模擬オーバーバックを設置して腐食試験を実施 ・約3年間にわたる環境条件や腐食挙動のモニタリングデータを取得し、経時的な変化を把握 ② 腐食挙動のモニタリングデータを取得し、腐食センサーの有効性を検討 ③ 室内試験の結果との比較により、 <u>既往の評価手法の妥当性を検討</u>	【総括】実際の地下環境においてオーバーバ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した ① オーバーバ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した ② 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した ③ 室内試験に基づく既往の評価手法の保守性、妥当性を確認した	-	なし	-		-	-	-
物質移行試験	・幌延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（掘削影響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 ※物質移行のメカニズムを表している用語であり、移流とは、地下水流による物質の移動のこと。分散とは、物質が空間的にランダムに広がること ・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 ・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 ・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 ・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	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 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 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 ④ 掘削影響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 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 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	①-1 岩盤基質部（＝健岩部）を対象とした原位置拡散試験※を実施し、その後オーバーコアリング※※を実施 ※拡散とは物質が濃度の高い所から低い所へと広がる現象のことであり、この現象を観測する試験 ※※拡散試験を実施した試験孔の周囲の岩盤を大口径のボーリング掘削により岩盤資料を採取すること ①-2 試験区間内のトレーサー濃度減衰データおよび岩石試料中の濃度プロフィールから物質移行パラメータを取得 ②-1 割れ目を対象としたトレーサー試験（ダイボール試験※）を実施 ※トレーサー試験の一種で、2つのボーリング孔を用い、一方のボーリング孔からトレーサーを投入し、もう一方のボーリング孔で揚水しながらトレーサー濃度の変化を観測する試験 ②-2 トレーサーが移行した直接的な痕跡の情報に基づき割れ目帯中の物質移行概念を検討 ③ 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検討 ※地下水に溶け込んだ気体のこと ⑤ 放射性核種が有機物や微生物の存在により岩盤への吸着に与える影響を把握する室内試験を実施	①-1②-2 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、 <u>岩盤基質部（＝健岩部）や割れ目における物質の移動現象（物質の移動速度や岩盤へのくつきやすさ等）を適切に評価することが可能な手法を確立した</u> ①-2 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できた ①-2 原位置試験および室内試験で得られた各トレーサーの物質移行特性（実効拡散係数と吸着分配係数：物質の移動速度や岩盤へのくつきやすさ等）を示すパラメータ）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できた ②-2 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 ③ ガスが溶存する地下水環境下における物質移行試験技術を開発した ⑤ 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されている	・国外でも、掘削影響領域などの長期的影響や閉鎖後の擾乱の回復に関する課題が指摘されている ④ 掘削影響領域での物質移行の評価手法の確立 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 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 ※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、緩衝材や処分坑の埋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る	④ 掘削影響領域での物質移行に関するデータ取得 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 ⑥ 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	④ 掘削影響領域を対象とした物質移行試験 ⑤ 有機物、微生物、コロイドが物質移行特性に与える影響を評価するための試験の条件設定やレイアウト等の検討 ⑤ 物質の移動におよぼす影響のメカニズムを理解するための必要な水質分析、濃度・種類・微生物の代謝機能などを把握するための特性調査等 ⑥ ブロックスケール（数m～100m規模）を対象とした物質移行試験の事前調査	・外部評価では、実験において計測できなかった項目や、解析による計測結果の評価においては評価しきれなかった項目などが散見されると指摘された ・国外でも、掘削影響領域などの長期的影響や閉鎖後の擾乱の回復に関する課題が指摘 ・微生物の特定について技術的に進展し、スイスやスウェーデンにおいてベントナイトコロイドに関する原位置移行試験が実施中であるなど課題として指摘 ・割れ目を有する堆積岩の物質移行の総合的な評価のためには、人為的に掘削影響領域において発生した割れ目の物質移行の評価が必要であるがこれについては分かっていない ・これまでの研究成果から、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確認されていることから、原位置で確認する必要性が生じたため ・物質移行を総合的に評価するためには、割れ目（掘削影響領域などの人為的な割れ目も含む）を有する堆積岩での物質移行特性の総合的な評価が必要	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	

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	実施内容 ※H27～R1に実施した内容 下線はR1の実施内容	成果・達成状況 ※H27～R1に得られた成果・達成状況 下線はR1に得られた成果	国内外の状況	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R2の実施内容	引き続き研究が必要な理由	研究期間	
										前半	後半
処分孔等の湧水対策・支保技術などの実証試験	<p>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</p> <p>※地下において岩盤に作用する力が大きく、地下水の圧力も高い状態のこと</p> <p>※※岩石・岩盤は強度により軟らかい軟岩と硬い硬岩に分けられる。幌延深地層研究センターにおいて研究対象としている地層のほとんどは堆積軟岩に区分される</p> <p>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</p>	<p>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</p>	<p>① 突発的な大量湧水を回避するための予測手法の開発</p> <p>② グラウト材の浸透評価手法の検討</p> <p>③ 海水条件下で使用可能なグラウト材の開発</p>	<p>【総括】 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した</p> <p>① 突発的な大量湧水の発生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、マルチインクルージョン※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した</p> <p>※ガラス状の物質。結晶中に取り込まれたマグマが噴火時に急冷してガラスとなったもの。火山灰に含まれる</p> <p>② 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した</p> <p>※断層や割れ目が卓越した領域を透水性の等しい媒質におきかえて作成した数値解析モデルのこと</p> <p>③ 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した</p> <p>※処分孔掘削技術については、人工バリア性能確認試験の実施内容に記載</p>	-	なし	-		-	-	-
	<p>国内外の地下空洞開発事例において、支保設計、情報化施工※技術、支保及び岩盤の計測技術が構築されている</p> <p>このような事例がある中で、地層処分場で想定されるような、広範囲に及び、なおかつ深度300m以深という大深度に展開される大規模地下施設においても、既存の技術が適用可能かどうかを確認し、課題がある場合には技術の整備を行う必要がある。そこで、立坑や水平坑道における支保技術、情報化施工技術、長期的な計測技術を整備することを目標とする</p> <p>※坑道を掘削している段階で、地質情報等の情報を基に、必要に応じて設計や施工方法を修正して、以降の施工に反映させる施工管理方法のこと</p>	<p>地層処分の地下環境条件を考慮した支保設計、情報化施工技術、長期的な継続技術の確立</p>	<p>① 立坑掘削時の情報化施工技術の構築</p> <p>② 低強度・高地圧地山における大深度立坑支保設計手法の開発</p> <p>③ 岩盤および支保工の安定性を長期的に計測する技術の構築(二重支保※の適用可能性の検討)</p> <p>※坑道の掘削時に坑道を支える方法の一種。掘削時に仮設の支保工を打設し(一次支保)、ある程度掘削が進行した段階で本設に支保工(二次支保)を打設することにより安定性を確保する支保構造のこと</p>	<p>【総括】 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した</p> <p>① 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した</p> <p>※本格的な地盤調査前に試験掘りをして予備調査をすること</p> <p>② 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</p> <p>③ 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した</p>	-	なし	-		-	-	-

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	実施内容 ※H27～R1に実施した内容 下線はR1の実施内容	成果・達成状況 ※H27～R1に得られた成果・達成状況 下線はR1に得られた成果	国内外の状況	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R2の実施内容	引き続き研究が必要な理由	研究期間	
										前半	後半
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	・処分場の操業（廃棄体の搬送・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・回収、処分場の閉鎖を含む）の工学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・回収技術及び閉鎖技術を実証する	① 処分場の操業（廃棄体の搬送・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・回収技術の実証 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※ ※坑道の埋め戻しの施工方法の実証試験については、(1)実際の地質環境における人工バリアの適用性確認のうち、人工バリア性能確認試験のなかで実施	① 処分坑道横置き方式について、プレハブ式人工バリアモジュール (PEM: Prefabricated Engineered barrier system Module) 方式の搬送・回収技術の実証 ②-1 搬送・設置技術：エアベアリング方式を用いた搬送装置（重量物の搬送技術）が地下環境で動作することを確認 ②-2 回収技術：PEM-坑道間の狭隙な隙間に対する隙間充填技術および充填材の除去技術の整備、実証 ③ 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）の把握に関する実証試験※ ※坑道の埋め戻しの施工方法の実証試験については、(1)実際の地質環境における人工バリアの適用性確認のうち、人工バリア性能確認試験のなかで実施した	① 堆積岩に対する、搬送・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した ②-1 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した※PEMと坑道に設置した台座との間に空気膜を構成して非接触で運動させること ②-1 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した ②-2 模擬PEM-坑道間の隙間に対し、下部狭隙部にはベレット方式、上部空間には吹付け方式による隙間充填試験を実施し、適用性を確認した※ ※搬送、設置を平成30年度（2018年度）までに実施 ※回収試験は平成31年度（2019年度）に実施 ③ 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	・国外でも、特定サイトの処分環境や処分概念に最適化された搬送・回収技術の実証が実施中	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	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（締固め、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。このため、以下を実施 ① 閉鎖技術（埋め戻し方法：プラグ等）の実証 ② 搬送・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）※回収方法とは機械的方法や高水圧を利用した方法などが想定される 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（(1)実際の地質環境における人工バリアの適用性確認のうち、人工バリア性能確認試験とあわせて実施）	① 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、室内試験および工学規模試験 ② 搬送・回収技術の実証に関する試験や解析 ③ 緩衝材への水の浸潤挙動を把握するための試験	・外部評価では、今後は、技術の確立が可能な水準に達するまで、処分概念オプションの実証に関する試験を継続、と評価 ・国外でも、特定サイトの処分環境や処分概念に最適化された搬送・回収技術の実証が課題 ・坑道の埋め戻し施工方法（締固め、ブロック方式等）の違いによる埋め戻し材の品質の違い（密度や均一性などの基本特性）が実証試験で確認できたが、緩衝材の施工方法や坑道閉鎖に関するオプションの実証には至っていない ・緩衝材の施工方法や坑道閉鎖に関する様々なオプションの実証は未実施 ・処分事業において、地質環境に対して柔軟な施工を行うためには、オプションを整備しておくことが必要	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
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証性を検証し、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、オーバーバックが100℃以下になつ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	① 100℃超の高温での境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	① 100℃超の高温環境における人工バリアの閉じ込め機能を確認する研究に関する机上検討	① 高温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	・国外でも、スイスがその重要性を認識し、プロジェクトを開始	① 高温（100℃以上）などの境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 ①-1 高温（100℃以上）などの境界的条件下での人工バリア性能確認試験 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 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）	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 ①-1 高温（100℃以上）などの境界的条件下での人工バリア性能確認試験 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 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）	後半の5年程度で実施するため、R2は実施しない	・外部評価では、今後、開発～実証した技術と既存技術をどのように組み合わせで適用していくのか、全体像として示していただくのがよいと評価 ・国外では、個々の要素技術を一連のもの、体系化してその有効性を確認することが課題 ・事業や規制が重要と判断する廃棄体設置の判断や定置間隔の設定についての情報を整備することが必要	前半の5年程度で実施	他の研究課題を取り組むこと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	
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証性を検証し、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、オーバーバックが100℃以下になつ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	① 100℃超の高温での境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	① 100℃超の高温環境における人工バリアの閉じ込め機能を確認する研究に関する机上検討	① 高温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	・国外でも、スイスがその重要性を認識し、プロジェクトを開始	① 高温（100℃以上）などの境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 ①-1 高温（100℃以上）などの境界的条件下での人工バリア性能確認試験 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 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）	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 ①-1 高温（100℃以上）などの境界的条件下での人工バリア性能確認試験 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 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）	後半の5年程度で実施するため、R2は実施しない	・外部評価では、今後、開発～実証した技術と既存技術をどのように組み合わせで適用していくのか、全体像として示していただくのがよいと評価 ・国外では、個々の要素技術を一連のもの、体系化してその有効性を確認することが課題 ・事業や規制が重要と判断する廃棄体設置の判断や定置間隔の設定についての情報を整備することが必要	前半の5年程度で実施	他の研究課題を取り組むこと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	

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	実施内容 ※H27~R1に実施した内容 下線はR1の実施内容	成果・達成状況 ※H27~R1に得られた成果・達成状況 下線はR1に得られた成果	国内外の状況	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R2の実施内容	引き続き研究が必要な理由	研究期間	
										前半	後半
水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化	<p>・岩盤中には大小様々な断層が存在するが、小規模なものは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>※断層の変形様式(脆性的or延性的)とは、断層の変形の仕方、すなわち、レンガの破壊のような脆性的な破壊か、粘土のような延性的な変形をするかということ</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>【補足】 幌延では小規模の断層のうち、断層の幅に着目してさらに規模を分けて、試験の対象としている(断層の幅が数cmの規模の小さな断層~数10cmの規模の大きな断層)</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>①断層の変形様式(脆性的or延性的)を支配し得る岩石の強度・応力状態を表す指標を考案するために、関連する既存研究のレビューを行うとともに、机上検討やコア観察・室内実験(破壊実験)を実施</p> <p><u>②水圧擾乱試験を実施し、モデルの有効性を検証</u></p>	<p>【総括】 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た</p> <p>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した。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</p> <p>①-1ダクティリティインデックス: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した</p> <p>※断層の周囲に形成される亀裂が発達した領域</p> <p>①-2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した</p> <p>②-1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した</p> <p>②-2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した</p> <p>②-3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した</p>	<p>・本課題は堆積岩特有の課題</p> <p>・国外では、スイスのウエレンベルグの泥岩やオパリナスクレイの深部では、低透水であることが知られているが、その深度依存性※については明らかになっていない</p> <p>※深度の違いによって、岩盤や地下水の特性が変化すること</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10cmの断層における地震動や坑道掘削に伴う、割れ目における地下水の流れの変化に関して、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</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>②-2 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</p> <p>②-3 水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法の整備</p>	<p>②-1試験中における断層間の水理的連結性について断層の幾何形状や透水性をパラメータとした解析</p> <p>②-1~3 幅数10cmのより大型の断層を対象とした水圧擾乱試験</p> <p>②-1~3 これまでに実施した断層の水圧擾乱試験や透水性試験の結果の詳細解析</p>	<p>・外部評価では、できるだけ一般論として堆積岩の特性評価を意識したまとめと今後の課題とする必要がある、と評価</p> <p>・外部評価では、処分場の設計・施工や安全評価とリンクした形で指標活用に向けた具体化が課題と指摘※</p> <p>※本課題は、DIを指標として、処分システム的设计・施工や安全評価とのリンクを図ることから、地層処分研究開発として実施</p> <p>・国外では、スイスのウエレンベルグの泥岩やオパリナスクレイの深部では、低透水であることが知られているが、その深度依存性については明らかになっていないことが課題であり、幌延の泥岩との違いを調べる必要がある</p> <p>・提案したパラメータの有効性を確かなものとするためには種々の断層(処分場に取り込まざるを得ない可能性がある小規模の断層のうち、断層の幅に着目してさらに規模を分けて、試験の対象としている断層(断層の幅が数cmの規模の小さな断層~数10cmの規模の大きな断層)への適用が必要</p> <p>・複数の断層で試験を実施して、パラメータの有効性を示すことで、一般論としての堆積岩の特性評価が可能となる</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	
	<p>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</p> <p>※岩盤が形成された当時の首の海水が地層の間隙に閉じこめられたもの</p> <p>【補足】 断層の繋がり具合は、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)と密接に関係すると考えられる。この分布を把握することは、処分事業において、地下水の流れが非常に遅い領域などを処分場選定の際に考慮する場合に有用な情報になり得る</p>	<p>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</p> <p>④三次元分布を調査・解析・評価する手法の確立</p>	<p>③-1地上からのボーリング調査や物理探査の既存結果に基づき、地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域)の三次元分布の再評価</p> <p>③-2地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域)の塩濃度の高い地下水の分布を解析的に評価する技術の改良</p>	<p>③-1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。化石海水の指標として、α(塩素)及び水の安定同位体を基に分布を推定した</p> <p>③-2 既存の水理・物質移動評価手法を基に塩濃度分布を推定した</p>	<p>・本課題は堆積岩特有の課題</p> <p>・国外では、スイスのウエレンベルグの泥岩やオパリナスクレイの深部では、低透水であることが知られているが、その深度依存性については明らかになっていない</p>	<p>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</p> <p>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</p> <p>④-1化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法の検証</p> <p>④-2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(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)</p> <p>※地下水が地下に留まっている平均時間</p>	<p>③④-1化石海水領域の三次元分布を把握するための物理探査</p> <p>③④-1地下水の塩濃度分布の推定</p> <p>④-2化石海水領域を評価する水理解析手法の改良</p>	<p>・外部評価では、処分場の設計・施工や安全評価とリンクした形で指標活用に向けた具体化が課題と指摘※</p> <p>※本課題は、DIを指標として、処分システム的设计・施工や安全評価とのリンクを図ることから、地層処分研究開発として実施</p> <p>・国外では、スイスのウエレンベルグの泥岩やオパリナスクレイの深部では、低透水であることが知られているが、その深度依存性については明らかになっていないことが課題であり、幌延の泥岩との違いを調べる必要がある</p> <p>・将来処分場として想定されるエリア(地下水の流れが非常に遅い領域)に出現する断層の特性や繋がり具合、隆起・侵食等による変化などの活動性の長期的な予測が可能となる</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	

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	実施内容 ※H27～R1に実施した内容 下線はR1の実施内容	成果・達成状況 ※H27～R1に得られた成果・達成状況 下線はR1に得られた成果	国内外の状況	R 2以降の課題	R 2以降の実施内容	R 2の実施内容	引き続き研究が必要な理由	研究期間	
										前半	後半
地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験	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影響領域(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	① 地震や断層活動に起因する岩盤の損傷により、人工バリアの自己治癒能力(ひび割れの修復)を確認する研究の机上検討	①-1 国内外の関連する研究事例を収集 ①-2 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	・本課題は堆積岩特有の課題 ・海外の地下研の泥岩は幌延の泥岩と比べて膨潤性に富む ・国外の泥岩を対象とした地下研において、掘削影響領域(EDZ)の透水性が低下する現象について実験的に検討 ・坑道埋め戻し後は掘削影響領域(EDZ)の透水性が低下することが予想されているが観測した例はない	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影響領域(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 ✓ 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	② 緩衝材や坑道埋め戻し材の膨潤圧が掘削影響領域の亀裂の透水性(あるいは開口幅)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の結果の解析	・外部評価では、地層処分事業における処分場の設計・施工や安全評価とリンクした形での指標活用に向けた具体化を期待すると評価※ ※本課題は、処分システム設計・施工や安全評価とのリンクを図ることから、地層処分研究開発として実施 ・海外の泥岩を対象とした地下研において、EDZの透水性が低下する現象について実験的に検討。坑道埋め戻し後はEDZの透水性が低下することが予想されているが観測した例は無いため、課題となっている。海外の地下研の泥岩は幌延の泥岩と比べて膨潤性に富むのでこのような差異を確認する必要がある ・人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材が地下水の飽和に伴って膨潤することで、掘削影響領域の自己治癒能力が発揮され、これを評価することで、処分場の設計・施工や、安全評価での指標活用を具体化し、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ことができる	前半の3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

4. 北海道からの要請事項への対応

北海道からの要請事項への対応

1. 今後とも「三者協定」に則り研究に当たること

- 北海道および幌延町との三者協定は、幌延深地層研究センターが深地層研究計画を進めるにあたって大前提と認識しており、最終処分場としないことや研究終了後は埋め戻すことなどを遵守いたします。

2. 9年間の研究期間を通じて必要な成果を得て研究を終了できるよう取り組むこと

3. 研究の実施主体として責任をもって計画に即して研究を進めること

- 今後は9年間の研究期間を通じて必要な成果を得て研究を終了できるよう、毎年度、PDCA(P:計画・D:実行・C:評価・A:改善)サイクルを着実に回していきます。

北海道からの要請事項への対応

4. 安全管理に関する情報や埋め戻しの考え方など、道民の皆様の不安や懸念の解消につながる情報について、あらゆる機会を通じ、分かりやすくかつ丁寧に提供すること

- 安全管理に関する情報や埋め戻しの考え方など、道民の皆様の不安や懸念の解消につながる情報を、地域での説明会等において、分かりやすく丁寧に提供してまいります。
- 情報公開やコミュニケーションに関する有識者の方々ともご相談し、機構の取り組みについて常に改善し、実行していきます。
- 令和2年度以降の幌延深地層研究計画において「国内外の動向を踏まえて、地層処分の技術基盤の整備の完了が確認できれば、埋め戻しを行うことを具体的工程として示します」としています。埋め戻しの考え方については、本提示に先立ち、一般的な事例等をお示しすることを検討します。
- 「幌延が将来処分場になるのではないか」という不安や懸念の解消のため、地層処分に関する法律や、国等が全国で説明している関連内容を、地域での説明会等において紹介する機会を設けることを検討します。

北海道からの要請事項への対応

5. 研究の進捗状況を分かりやすく説明できるよう、今後の研究の工程表を整理し公表すること

○今後の研究の9年間の工程表を整理し、令和2年度調査研究計画にて公表しました。

6. 道及び幌延町が三者協定に基づき毎年度開催する確認会議において、毎年度の計画や実績のみならず、研究に対する評価やその他研究の推進に関することについても報告するとともに、地域での説明会等で積極的に情報発信すること

○確認会議や地域での説明会等において、毎年度の計画や実績に加えて、機構の外部委員会(「深地層の研究施設計画検討委員会」、「地層処分研究開発・評価委員会」)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も報告いたします。

○プレス発表を通じて、多くの研究成果等の情報を発信するとともに、インターネット等をより活用し、迅速に幅広く情報発信していきます。

○近隣市町村の自治体や住民の方々がこれまで以上に幌延深地層研究センターの地下施設をご覧いただけるような機会を設けてまいります。

研究に対する評価や その他研究の推進に関することの報告

【今後の予定】

全体工程を踏まえつつ、令和2年度以降の研究成果を最大化するため、以下の内容を実施するかどうかについて判断する材料を集めるための設計を行います。

- ✓ 幌延の稚内層は、地層による物質の移行抑制機能の観点から厳しい条件である、現在の深度350mに代表される浅部(割れ目が多く透水性が高い)と、好ましい条件である深部(割れ目が少なく透水性が低い)に区分されます。一方、稚内層の深部は、地圧が高く、均一な応力場でないことから操業にとって厳しい条件も有します。このような2つの領域を含む稚内層において研究開発を展開することにより、地層処分技術をより効果的に整備します。
- ✓ 坑道スケール～ピットスケール(数十～数mスケール)での調査、設計・評価技術の体系化の研究については、これまでに開発した要素技術を組み合わせることにより一連の技術としてその妥当性を実証するものです。この研究では、これまでに開発した地下の地質環境条件の予測手法や地下施設建設のための施工技術等を活用し、既存の坑道掘削により地質環境が乱されていない地層中に新規に坑道を掘削することで、予測手法の妥当性を確認し、地層処分技術の信頼性をさらに高めます。

研究に対する評価や その他研究の推進に関することの報告

【国内外の資金や人材を活用することへの取り組み】

現在の取り組み状況

- 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)
 - 現在進行中: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が採用され、4つの国と地域の機関が参加
- Pacific Rim Partnership(環太平洋の研究機関で協力協定を検討)
 - 今後の進め方を検討中:各機関が協力を希望するテーマについて議論中
- 地層処分に関するトレーニングコースの招致
 - 現在進行中: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(当初R2.8をR3.8に延期)

今後の予定

- 国内外の機関(国外の実施主体や研究機関、地層処分研究開発調整会議の関係機関)との国際化に向けた取り組みを推進していくため、働きかけを行っていく

研究に対する評価や その他研究の推進に関することの報告

【第26回深地層の研究施設計画検討委員会(令和2年6月12日開催)】

概要

- ・海外の専門家(スイス、スウェーデン、アメリカ、IAEA)にも参加いただき、令和2年度以降の幌延深地層研究計画について、技術的な観点からの議論と計画遂行にあたっての意見を聴取

主な意見

- ・幌延では、地質環境特性の異なる2つの領域(浅部領域・深部領域)に区分される稚内層が分布しており、それぞれの特徴を有効に活用することにより、多様な日本の地質環境に適した地層処分技術をより効果的に整備できると考えられる。
- ・深部領域は、地下水の流れが非常に遅い等、人工バリアや天然バリアの評価の研究に適した地質環境特性が期待できるほか、海外の堆積岩でも大きな課題となっている大深度(高地圧)環境下での安全な坑道掘削・長期維持管理技術の確立に貢献できる利点がある。

研究に対する評価や その他研究の推進に関することの報告

主な意見(つづき)

- 処分概念オプションの実証における“体系化”の課題は、国際的に極めて関心が高いトピックである。外部専門家との議論や内外のニーズ、国際的な動向等に基づき、より具体的な考え方を明示していくべきである。
- 幌延は、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、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。
- 機構は、国際的な研究協力を推進するために、研究計画や成果に関する資料を可能な限り英語化し、ウェブサイト等を通じて、広く公開する必要がある。また、今回と同様のビデオ会議システムを活用し、海外を含む専門家との意見交換や議論を継続的かつ多角的に開催していくことが望ましい。