

幌延深地層研究計画の現状と今後の展開

調査研究成果の概要および第3段階における調査研究計画と今後の展開

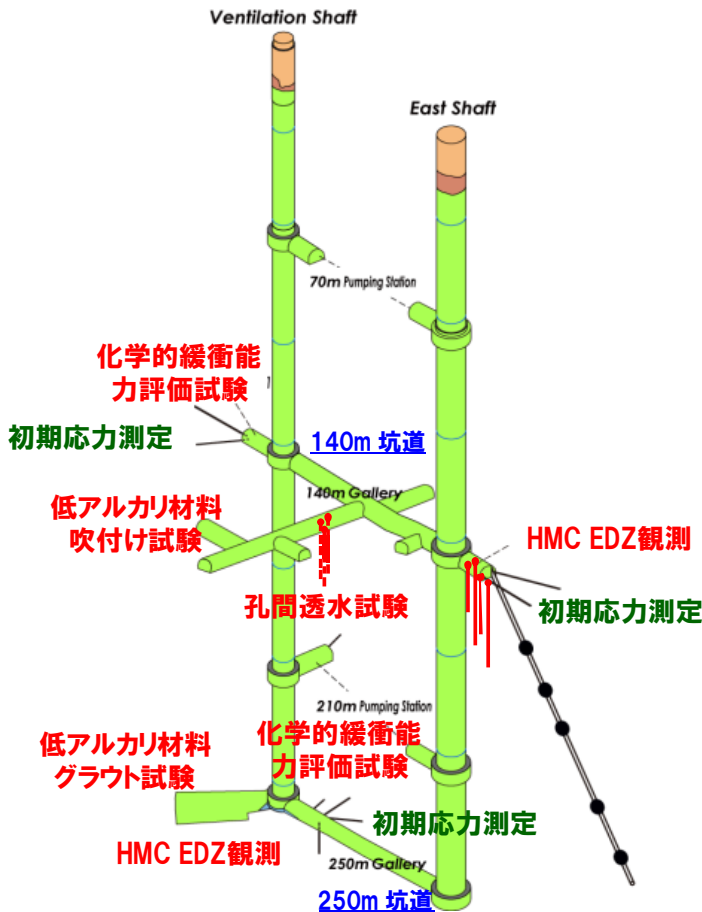
平成22年11月5日
日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門

報告内容

URLの建設、調査研究成果を広く世の中に示すことで、地層処分の“現実感”（大規模地下施設の建設実現性、処分技術の信頼性、安全評価シナリオの有効性などに由来する安心感）を、国民に提供する。

- これまでの実施内容とトピックス
- 開かれた研究資源としてのURL活用実績
- 情報発信基地としてのURL活用実績
- 第3段階の調査研究計画(深度350mまで)と今後の展開
- 今後のURL活用方策

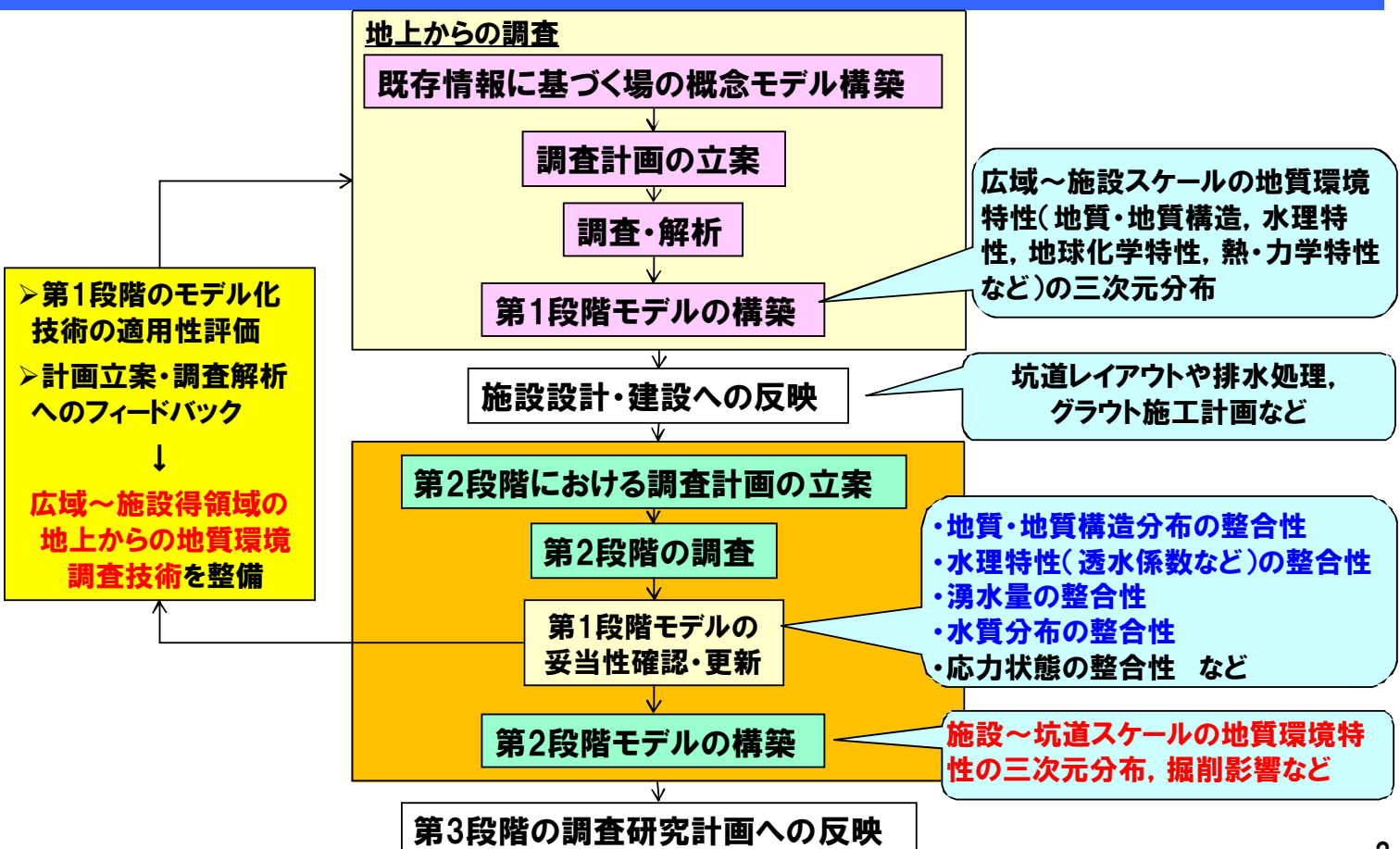
これまでの実施内容とトピックス



精密調査段階(前半)に用いる調査解析技術, 工学技術および処分技術の整備(建設時に行うべき調査項目の明確化, 調査解析技術の構築, 設計・施工技術, 処分技術の適用性確認)

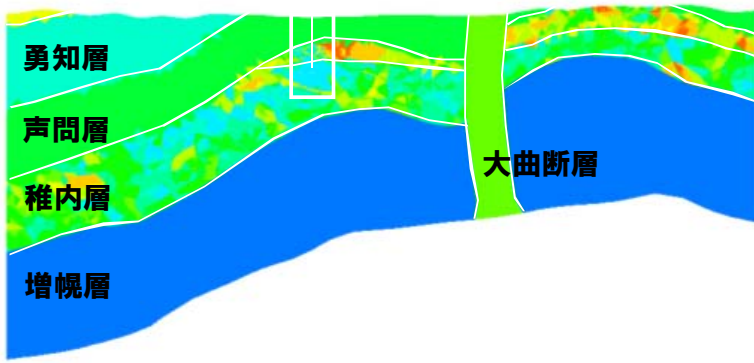
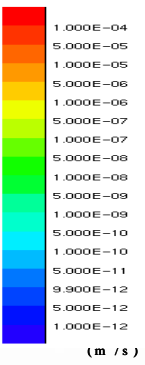
- 第1段階の調査解析技術, モデル化手法の適用性確認(反省点の整理とフィードバック)。モデルの更新と未掘削領域の地質環境の予測
- 大規模坑道建設に伴う地質環境(THMCB条件)の変化を理解するための調査技術, 概念・数値モデル化手法の開発
- 地下施設の設計手法の適用性確認と合理化
- 地下施設建設時の処分技術の実証(低アルカリ材料, 緩衝材の定置, 坑道閉鎖など)

第1段階の技術の確認とフィードバックの考え方



第1段階の地質環境モデルの構築と地上・地下施設設計

透水係数



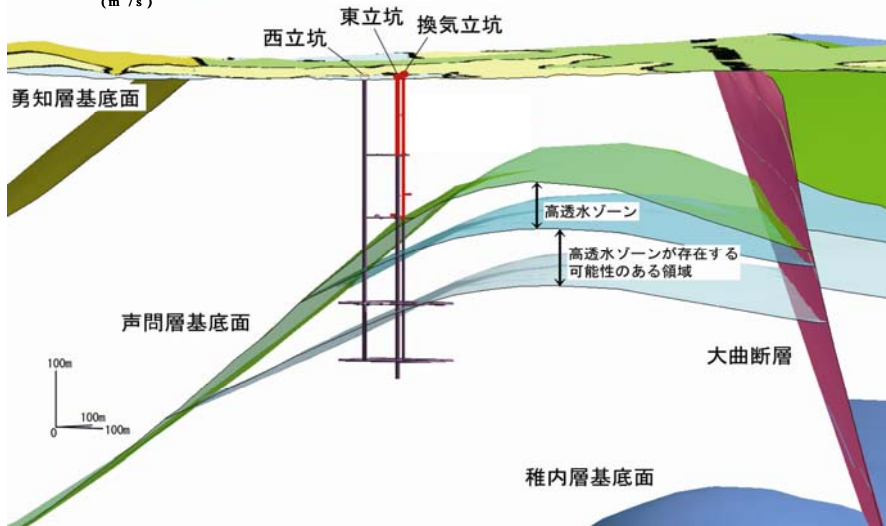
➤ 透水性地質構造の分布と可燃性ガス(メタン)の存在

-> 250m以深に分布する高透水性構造を避けるため、第2連絡坑道の深度を当初設計の深度(280m)から250mに設計変更

-> 可燃性ガスに対する安全対策として3本の立坑を設け、通気網解析で安全性を確認

➤ 排水基準を超えるホウ素、アンモニウムイオンの存在

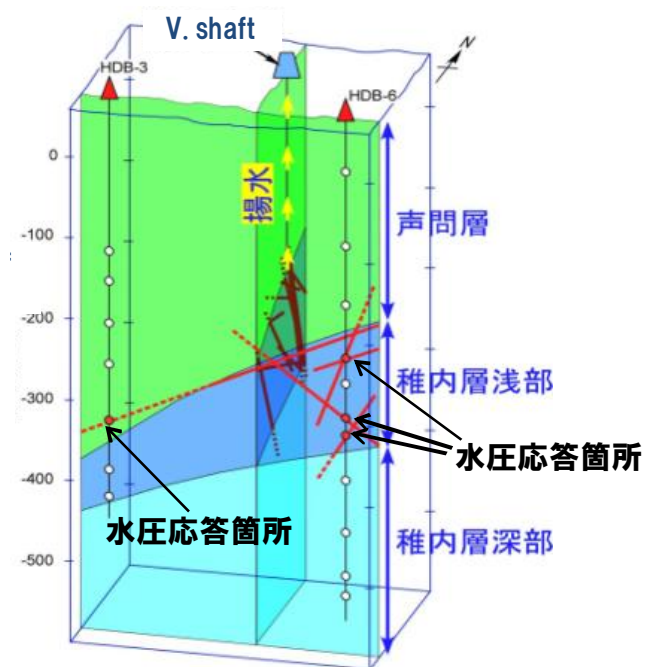
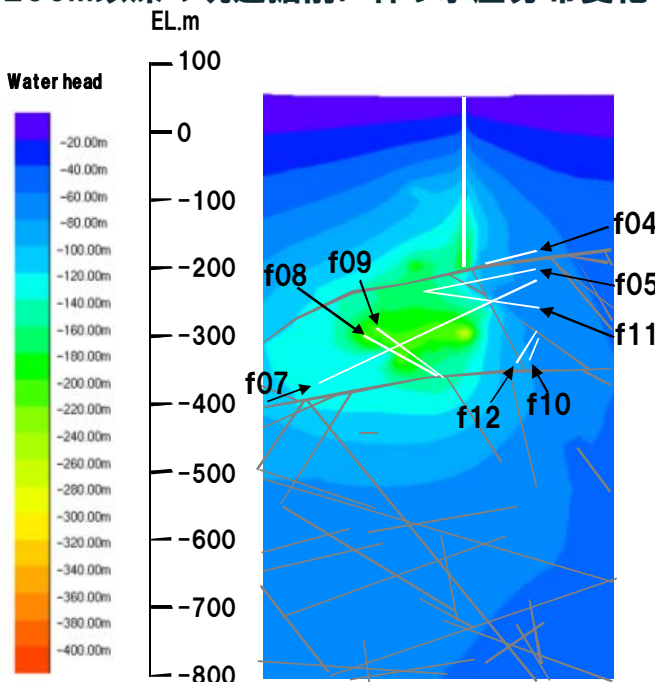
-> 排水処理施設の設計・設置



- 設計変更の履歴、事由の情報管理とノウハウの蓄積
- 想定外事象に対する経験の知識化
例) 掘削土(ズリ)からの溶出水の排水管理

第1段階のモデル化手法の妥当性確認とモデル更新

深度250m以深の坑道掘削に伴う水圧分布変化

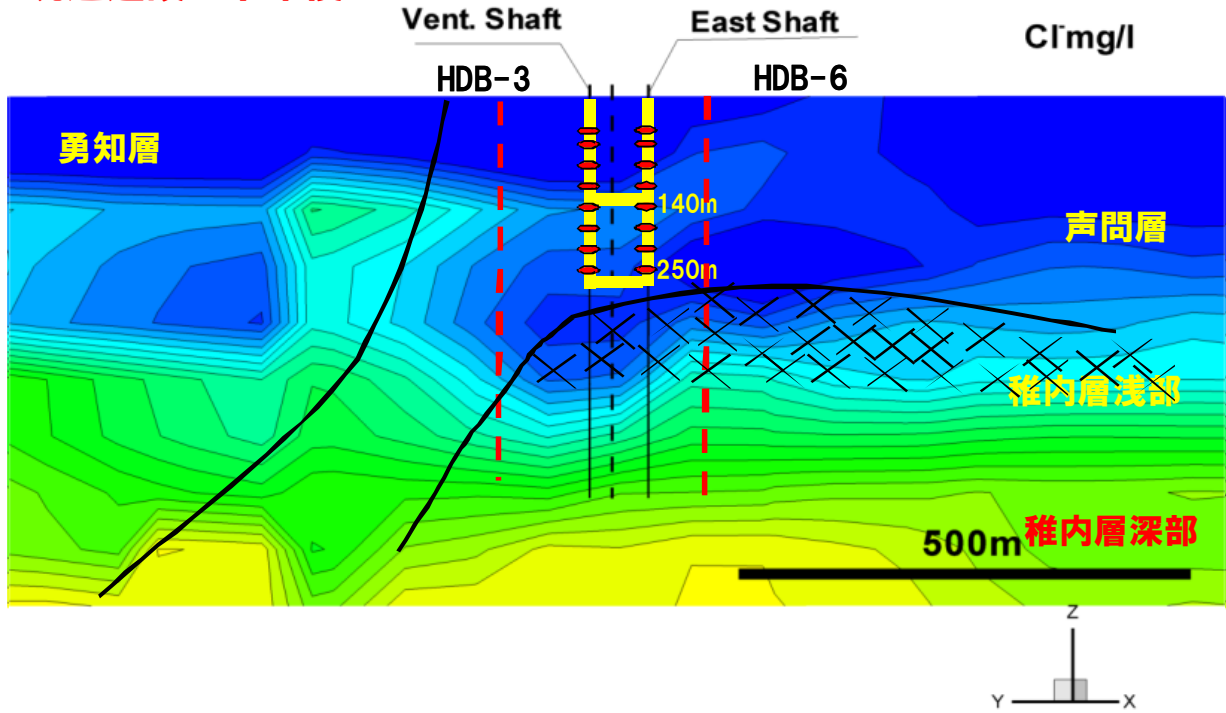


➤ 地下施設周辺の建設影響領域の評価手法を整備

➤ 次段階の建設工事とその過程の観測により評価手法を更新、最適化

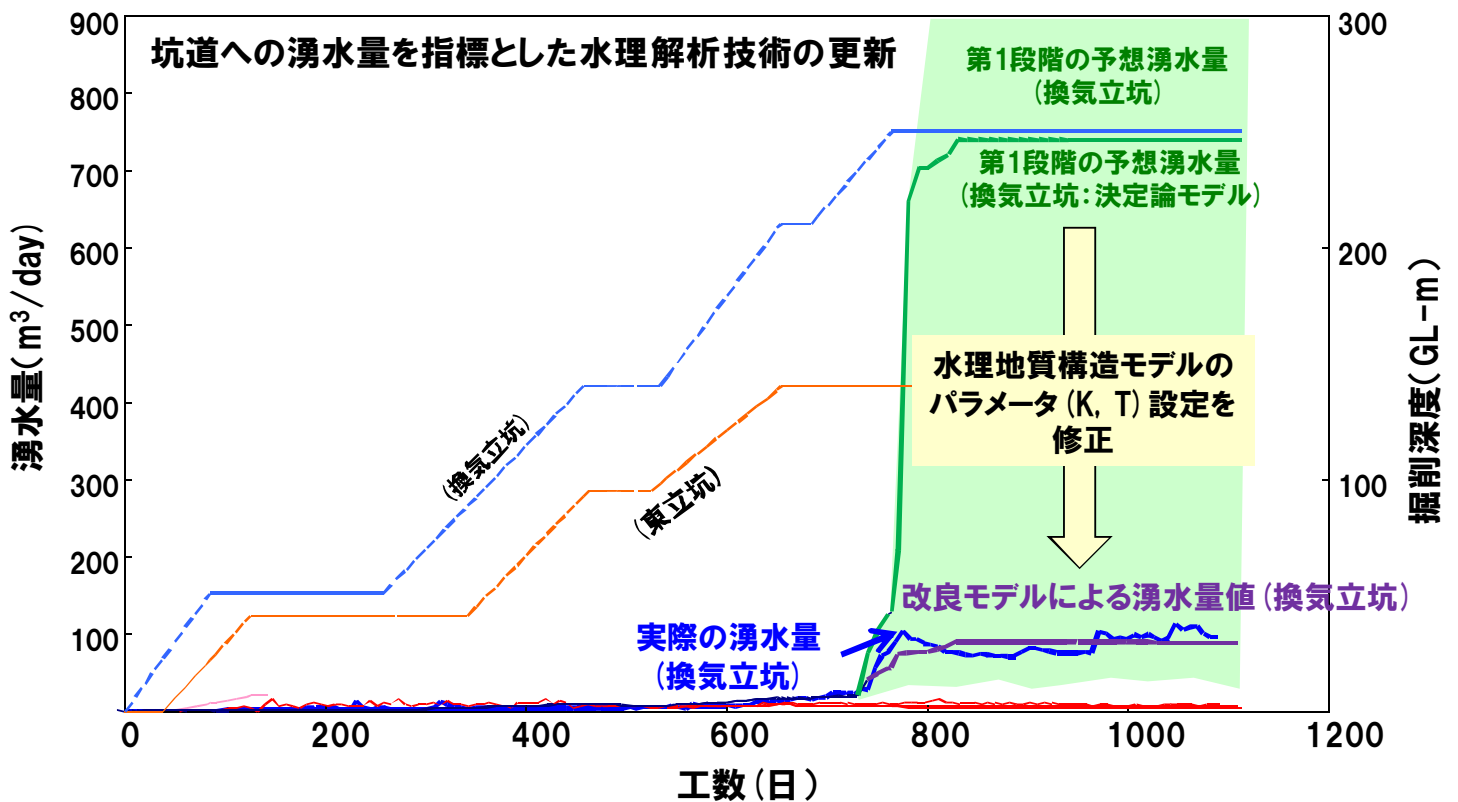
第1段階のモデル化手法の妥当性確認とモデル更新

坑道建設の半年後



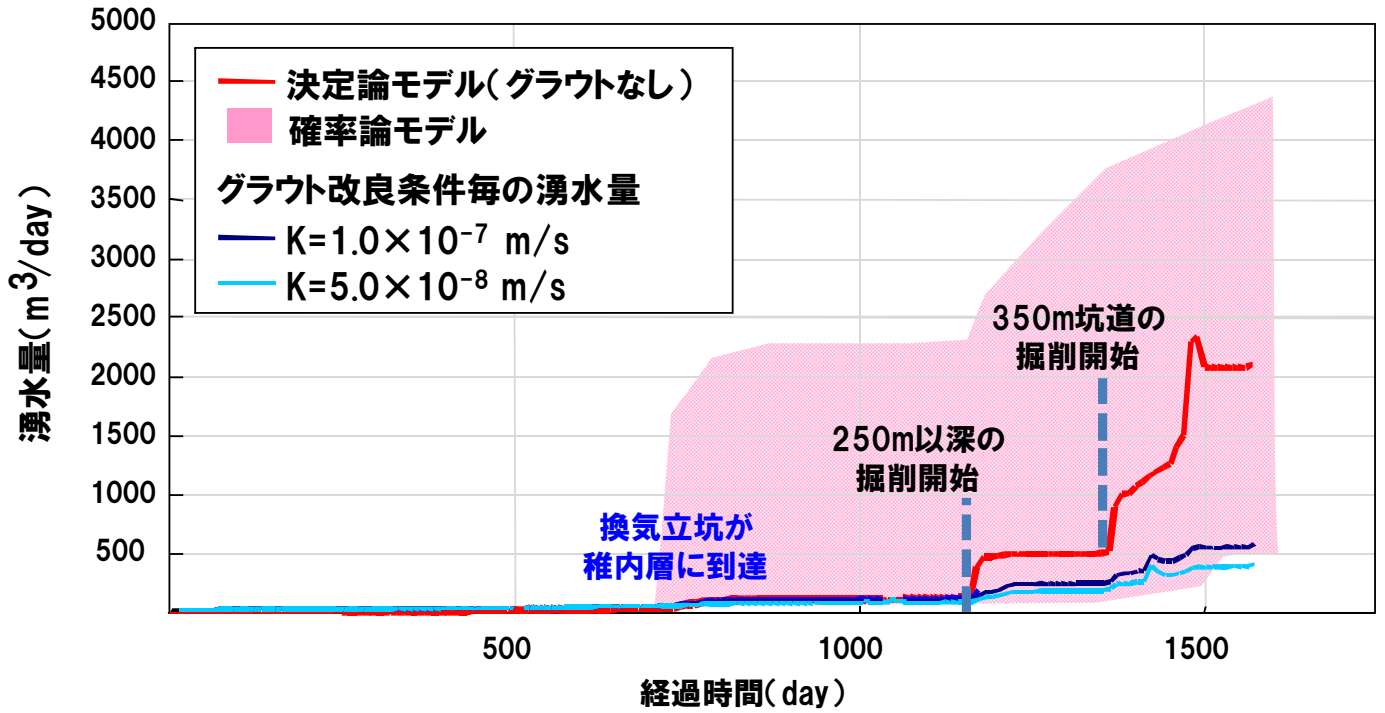
- データ量と予測値の不確実性の関係を整理して、必要な調査数量を明確化
- 異なる研究分野間(地下水流動と地球化学)の相互補完方法を手順化

第1段階のモデル化手法の妥当性確認とモデル更新



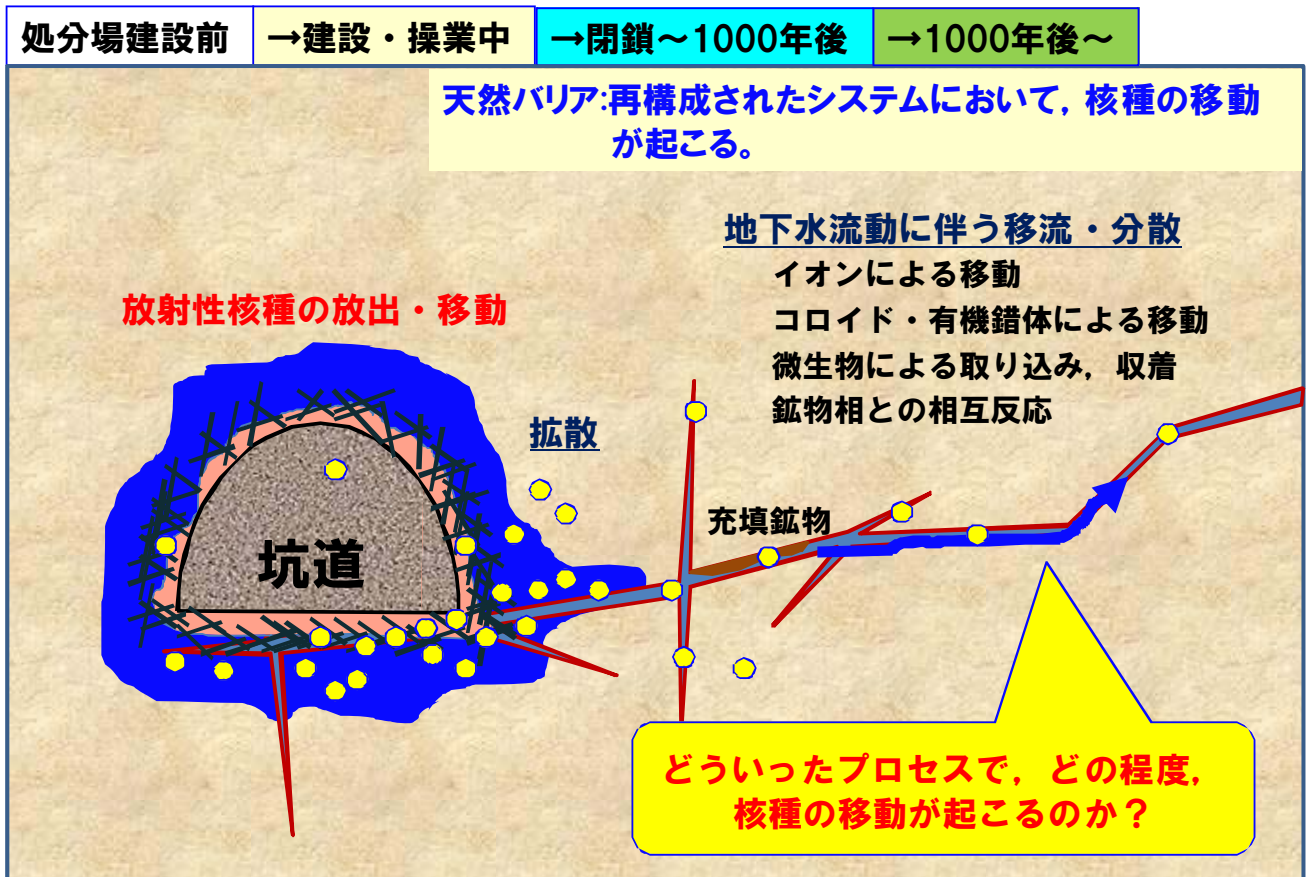
施設建設時のプロジェクト管理において、湧水量予測の不確実性の取り扱い方を経験的に整理

今後の予測とプロジェクト管理



250m以深の坑道展開におけるグラウト施工計画に解析結果を反映

建設・操業～閉鎖後のプロセス・メカニズムに関わる課題

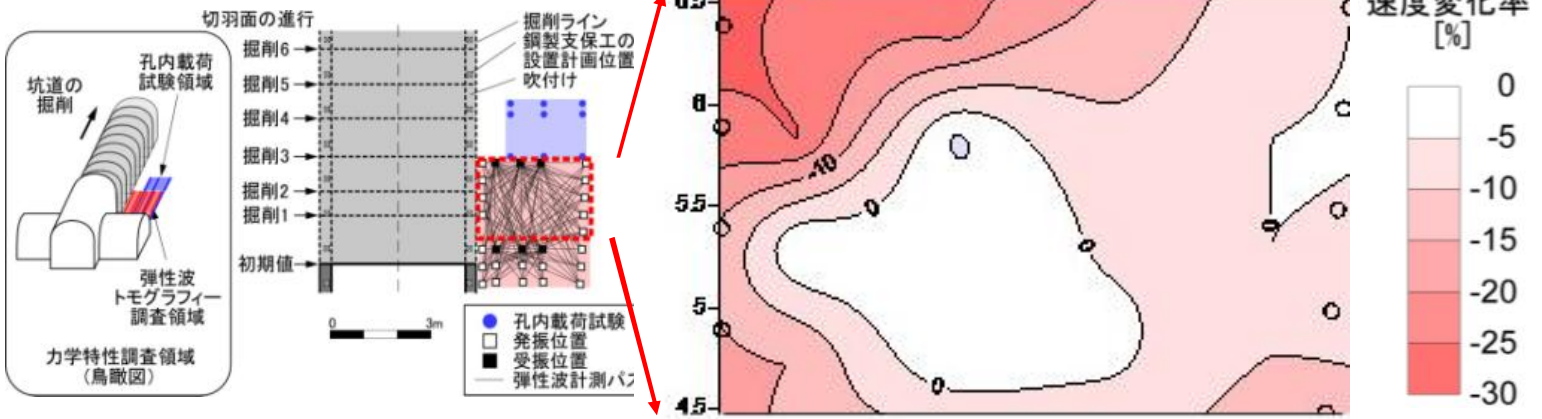


坑道周辺の地質環境変化の観測・解析技術の開発

■ 坑道周辺の掘削影響領域評価技術(弾性波トモグラフィ)

140m東側調査坑道掘削影響領域に関する力学試験実施位置(平面図)

掘削前後での弾性波速度の変化率の分布



505日後

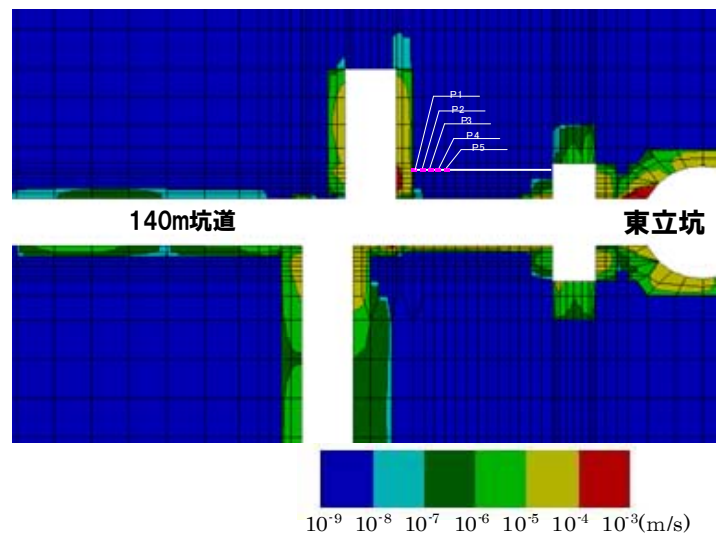
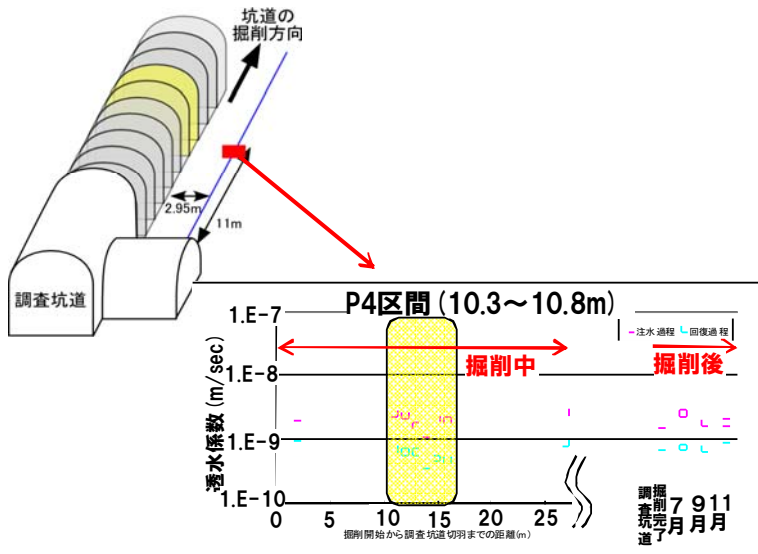
- 非破壊で掘削影響領域の拡大過程を評価するための観測技術を開発
- 調査試験の配置や期間など、坑道で実施すべき調査の計画立案に関わる情報を整理

坑道周辺の地質環境変化の観測・解析技術の開発

■ 坑道掘削影響領域に関する水理試験(透水試験)

◆ 透水試験(定圧注入試験)結果

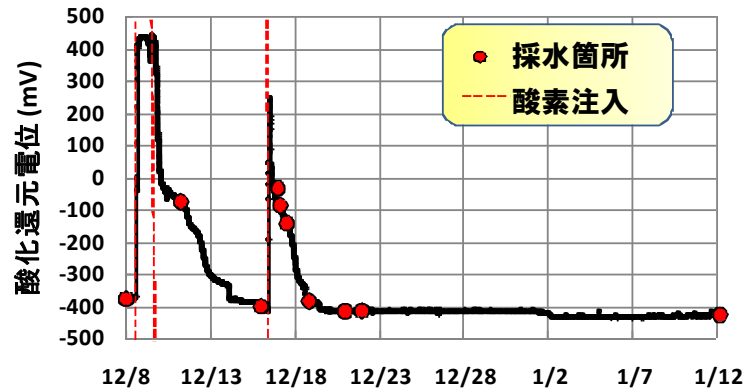
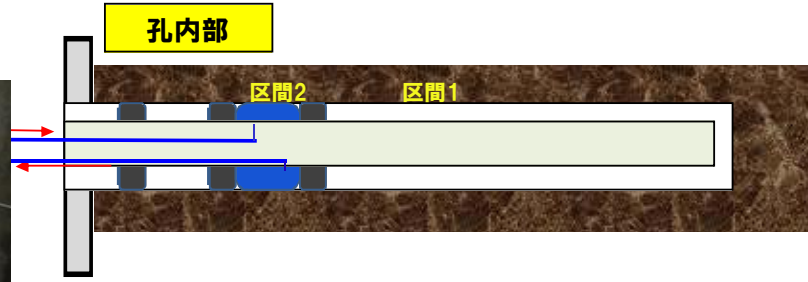
◆ 数値解析による坑道掘削後の透水係数分布



- 坑道周辺の水理学的影響領域を評価する手法を開発
- 力学-水理の複合現象として掘削影響領域の経時変化を連成解析する手法を開発

坑道周辺の地質環境変化の観測・解析技術の開発

■ 坑道掘削影響領域に関する化学的緩衝能力評価試験(REX試験)



- 建設・作業中の化学的インパクトとその回復過程を調査するための試験機器を開発
- 第3段階の坑道閉鎖試験に関わるノウハウを蓄積

開かれた研究資源としてのURL活用実績

研究資源としてのURL利用

◆事業支援研究に関わる活用

- 電力中央研究所 (CRIEPI), 産業技術総合研究所 (AIST), 原子力環境整備・資金管理センター (RWMC), 沿岸域プロジェクトなど

◆規制支援研究に関わる活用

- 原子力安全基盤機構 (JNES), 産業技術総合研究所

◆学術研究に関わる活用

- 北海道大学, 埼玉大学, 岡山大学, 広島大学など

◆地域の研究機関による活用

- 幌延地圏環境研究所 (H-RISE), 北海道立総合研究機構 (旧 道立地質研究所) など

◆国外機関との研究協力

- Nagra, モンテリプロジェクト, KAERI など

事業支援に関わる共同研究(沿岸域プロジェクト)

幌延沿岸域を事例として、沿岸域を対象とした地質環境調査手法を整備する。

- AIST, CRIEPI, RWMCなどの資源エネルギー庁からの受託事業を連携してプロジェクト化
- JAEAは、沿岸域を対象とした地質環境調査手法の体系化を主導

対象とする環境の特徴とプロジェクトの前提

- 平面的な拡がり
 - 既存情報に基づき想定される地下水流動系(涵養域～流出域)
 - 考慮する地質環境特性・プロセスに基づき沿岸付近～浅海域
- 深さ
 - 地質環境特性の把握の観点から～1,000m以深
- 時間
 - 地質環境の長期変遷を考慮し約10万年
- 地質環境特性・プロセス
 - 大規模不連続構造の分布・性状と地下水流動や水質形成に及ぼす影響
 - 地下水環境(塩水と淡水の混在や長期滞留領域)とその長期変遷



沿岸域の
イメージ図

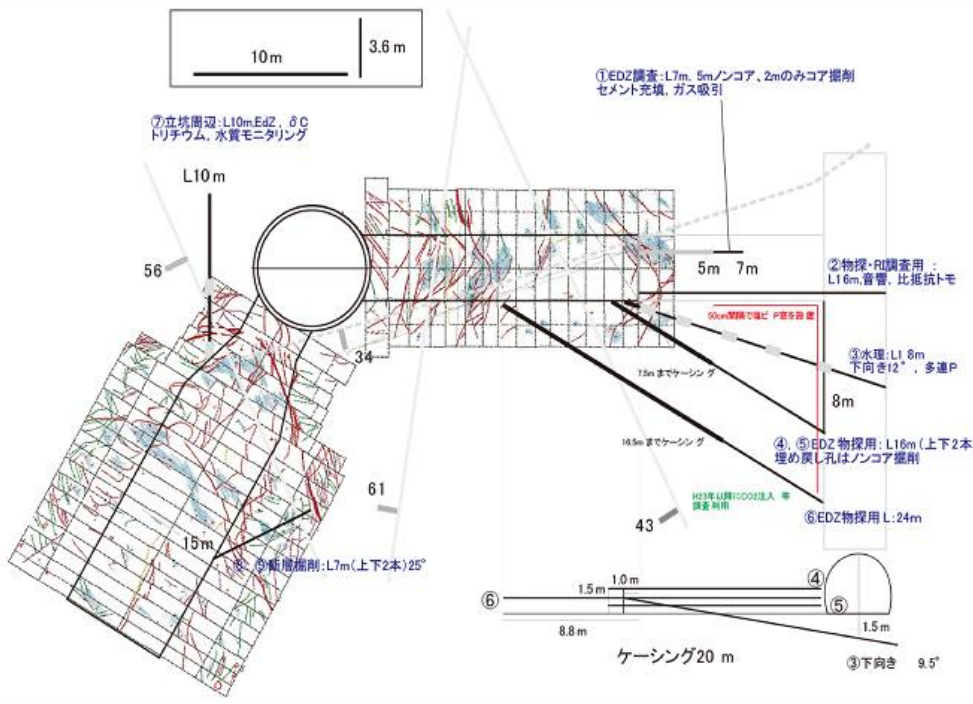
事業支援に関わる共同研究(沿岸域プロジェクト)

改定版2:基本計画例



共同研究の知見に基づき、沿岸域における地質環境調査の計画立案の手順を整理

坑道を利用した共同研究(電力中央研究所)



大型試験座での断層掘削 (換気立坑深度250m)



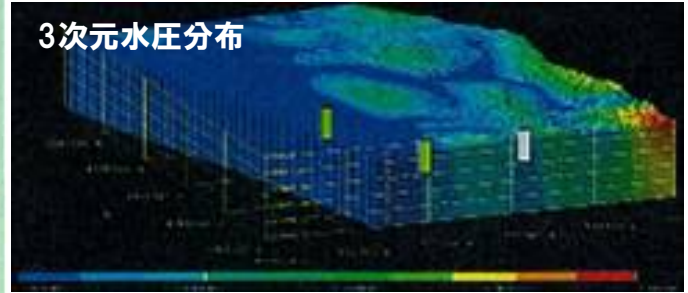
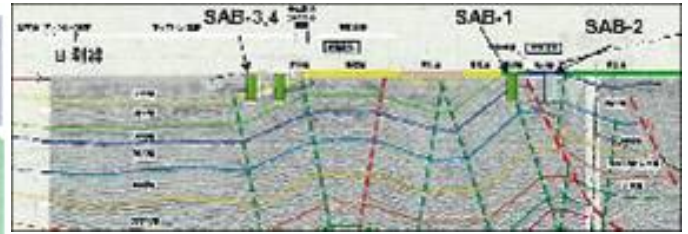
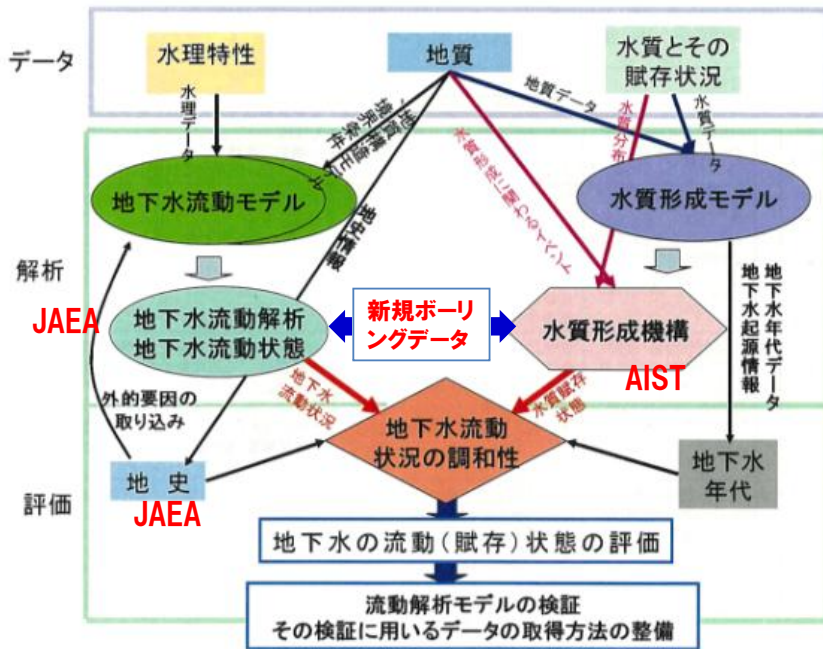
5連パッカーシステムによる坑道での透水試験

- 深部堆積岩の初期状態の検討
 - 坑道周辺の掘削影響領域 (EDZ/EdZ) の岩盤特性変化の検討
 - 地下水年代測定技術の適用性検討 など
- ボーリング掘削や観測を分担して共同で行い、研究資源・資金を有効活用

安全規制支援に関わる共同研究(JNES, AIST)

地下水流動解析モデルの総合的検証手法の検討

審査時のクロスチェックに用いる地下水流動モデル・解析コードの検証，検証用データの取得手法の整備を目的とする。

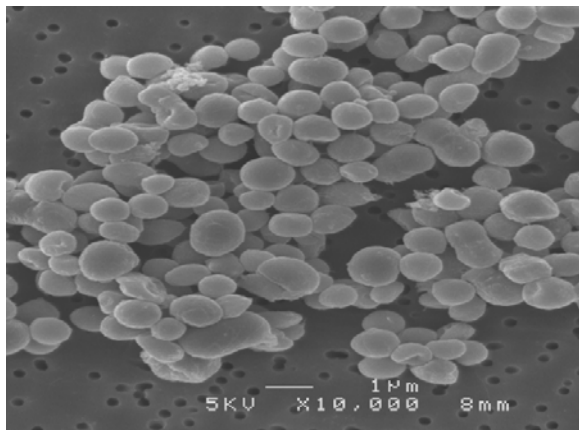


地下水流動解析検証用ボーリング孔の掘削と地下水流動，水質分布解析

ボーリング調査と解析を分担して実施し，規制側のニーズと課題を検討

地域の研究機関による活用(幌延地圏環境研究所)

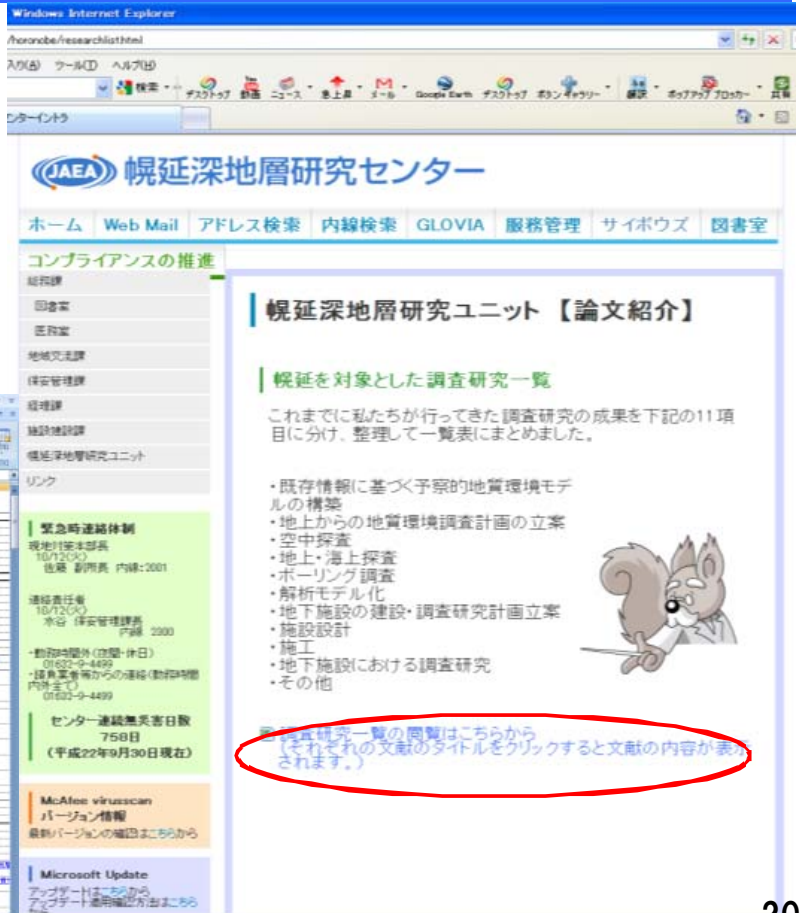
- 堆積岩特性と地質作用に関する研究，地下の微生物環境に関する研究，地下水やガスの地中移行に関する研究 など
- 地圏環境研究所から発信された関連論文など(2009年実績)
 - 学会・報告会 3件
 - 論文・報告書 1件
 - 地域における成果報告会 1件



深度140m坑道における地圏環境研究所によるボーリング調査

情報発信基地としてのURL活用実績

- 各種学会・講演会への参加
- 技術レポート・論文の公開
- HP・知識管理システムでの論文・報告書閲覧リンク先の拡充
- クールレポでの公開
- IAEA/ITCやワークショップなどの開催などを利用して得られた知見を発信



研究項目	発表・報告の形態	発表・報告の場所
1-1-1 予備調査報告書の公表		
1-1-2 調査報告書の公表		
1-1-3 予備調査報告書の公表		
1-1-4 予備調査報告書の公表		
1-1-5 予備調査報告書の公表		
1-1-6 予備調査報告書の公表		
1-1-7 予備調査報告書の公表		
1-1-8 予備調査報告書の公表		
1-1-9 予備調査報告書の公表		
1-1-10 予備調査報告書の公表		
1-1-11 予備調査報告書の公表		
1-1-12 予備調査報告書の公表		
1-1-13 予備調査報告書の公表		
1-1-14 予備調査報告書の公表		
1-1-15 予備調査報告書の公表		
1-1-16 予備調査報告書の公表		
1-1-17 予備調査報告書の公表		
1-1-18 予備調査報告書の公表		
1-1-19 予備調査報告書の公表		
1-1-20 予備調査報告書の公表		
1-1-21 予備調査報告書の公表		
1-1-22 予備調査報告書の公表		
1-1-23 予備調査報告書の公表		
1-1-24 予備調査報告書の公表		
1-1-25 予備調査報告書の公表		
1-1-26 予備調査報告書の公表		
1-1-27 予備調査報告書の公表		
1-1-28 予備調査報告書の公表		
1-1-29 予備調査報告書の公表		
1-1-30 予備調査報告書の公表		
1-1-31 予備調査報告書の公表		
1-1-32 予備調査報告書の公表		
1-1-33 予備調査報告書の公表		
1-1-34 予備調査報告書の公表		
1-1-35 予備調査報告書の公表		
1-1-36 予備調査報告書の公表		
1-1-37 予備調査報告書の公表		
1-1-38 予備調査報告書の公表		
1-1-39 予備調査報告書の公表		
1-1-40 予備調査報告書の公表		
1-1-41 予備調査報告書の公表		
1-1-42 予備調査報告書の公表		
1-1-43 予備調査報告書の公表		
1-1-44 予備調査報告書の公表		
1-1-45 予備調査報告書の公表		
1-1-46 予備調査報告書の公表		
1-1-47 予備調査報告書の公表		
1-1-48 予備調査報告書の公表		
1-1-49 予備調査報告書の公表		
1-1-50 予備調査報告書の公表		
1-1-51 予備調査報告書の公表		
1-1-52 予備調査報告書の公表		
1-1-53 予備調査報告書の公表		
1-1-54 予備調査報告書の公表		
1-1-55 予備調査報告書の公表		
1-1-56 予備調査報告書の公表		
1-1-57 予備調査報告書の公表		
1-1-58 予備調査報告書の公表		
1-1-59 予備調査報告書の公表		
1-1-60 予備調査報告書の公表		
1-1-61 予備調査報告書の公表		
1-1-62 予備調査報告書の公表		
1-1-63 予備調査報告書の公表		
1-1-64 予備調査報告書の公表		
1-1-65 予備調査報告書の公表		
1-1-66 予備調査報告書の公表		
1-1-67 予備調査報告書の公表		
1-1-68 予備調査報告書の公表		
1-1-69 予備調査報告書の公表		
1-1-70 予備調査報告書の公表		
1-1-71 予備調査報告書の公表		
1-1-72 予備調査報告書の公表		
1-1-73 予備調査報告書の公表		
1-1-74 予備調査報告書の公表		
1-1-75 予備調査報告書の公表		
1-1-76 予備調査報告書の公表		
1-1-77 予備調査報告書の公表		
1-1-78 予備調査報告書の公表		
1-1-79 予備調査報告書の公表		
1-1-80 予備調査報告書の公表		
1-1-81 予備調査報告書の公表		
1-1-82 予備調査報告書の公表		
1-1-83 予備調査報告書の公表		
1-1-84 予備調査報告書の公表		
1-1-85 予備調査報告書の公表		
1-1-86 予備調査報告書の公表		
1-1-87 予備調査報告書の公表		
1-1-88 予備調査報告書の公表		
1-1-89 予備調査報告書の公表		
1-1-90 予備調査報告書の公表		
1-1-91 予備調査報告書の公表		
1-1-92 予備調査報告書の公表		
1-1-93 予備調査報告書の公表		
1-1-94 予備調査報告書の公表		
1-1-95 予備調査報告書の公表		
1-1-96 予備調査報告書の公表		
1-1-97 予備調査報告書の公表		
1-1-98 予備調査報告書の公表		
1-1-99 予備調査報告書の公表		
1-1-100 予備調査報告書の公表		

情報発信基地としてのURL活用実績



IAEAが主催する地層処分に
関するトレーニングコース
(IAEA/ITC)



140m坑道を一般見学コースとして開放



メディアを利用した情報発信



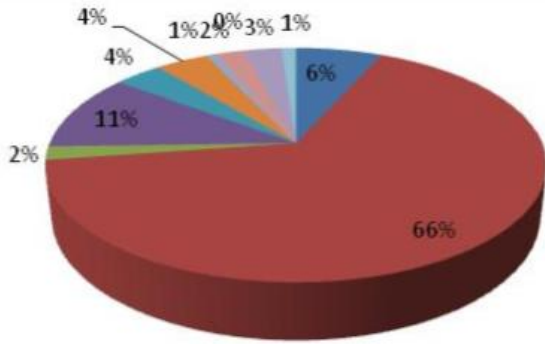
地元小学校での出前授業
(H21, 22年度で9回実施)



科学イベントでのブース出展

情報発信基地としてのURL活用実績

見学会でのアンケート分析(サンプル数約270名)



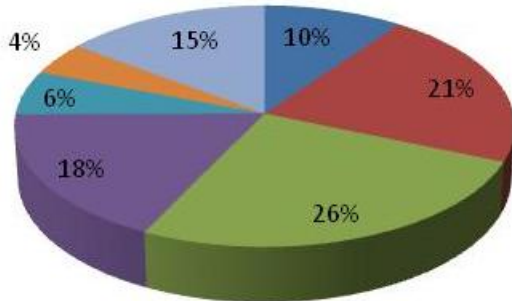
- 幌延町
- 北海道内
- 東北地方
- 関東地方
- 東海地方
- 近畿地方
- 北陸地方
- 中国地方
- 四国地方
- 九州地方
- それ以外

アンケートの概要

- ✓ お住まいは？
- ✓ 見学のきっかけは？
- ✓ 実規模試験施設の中で興味を持った対象は？
- ✓ 地層処分の仕組み(地下300m以深での処分, 多重バリアシステム)について
- ✓ 堆積岩で研究を行う理由について
- ✓ 幌延深地層研究センターで行われている研究内容(地層科学研究, 地層処分研究開発)について

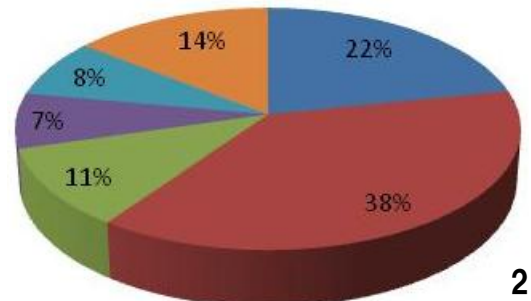
地層処分についてどのようなお考えでしたか。

[見学前]



- ① 安全
- ② どちらかといえば安全
- ③ どちらかといえば不安
- ④ 不安
- ⑤ どちらともいえない
- 無回答

[見学後]



第3段階における 調査研究計画と今後の展開

第3段階の調査研究(その1)の目標

PFI利用による**深度350m** までの**地下施設**を利用して下記の技術開発を行う。

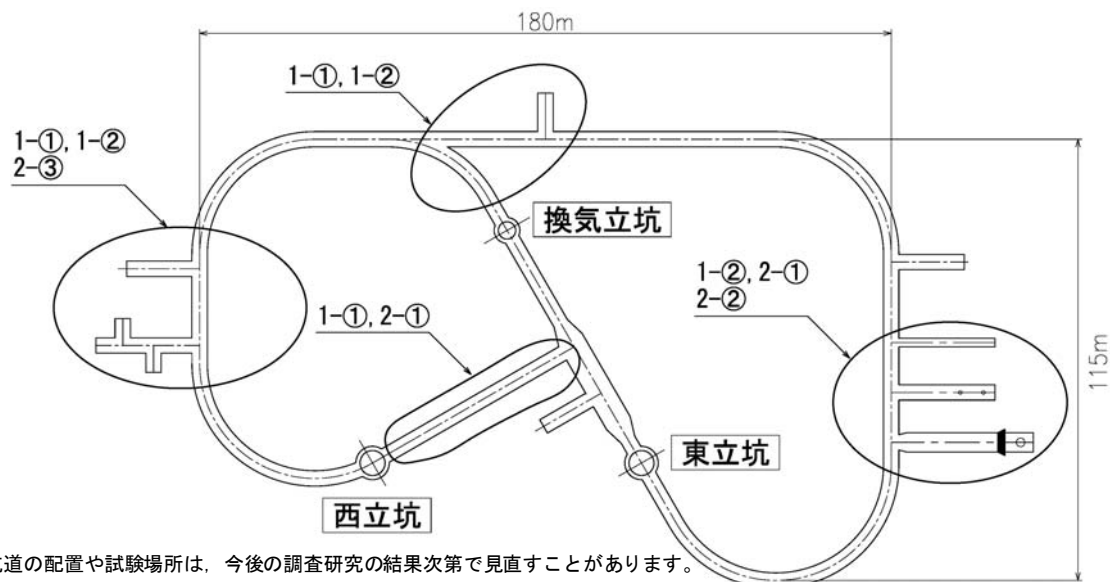
地層科学研究

- ①地上からのボーリング孔を利用した調査研究では取得することが難しい地質環境特性(物質移動特性や坑道周辺の力学・水理・地球化学特性など)を取得するための**地質環境調査技術**
- ②坑道を対象とした**工学的技術**、地下施設とその周辺影響領域を包含する地質環境特性の**長期変遷評価技術**

地層処分研究開発

- ①堆積岩環境における処分場の設計・施工や操業・閉鎖に関わる**処分技術**
- ②**安全評価手法**などに関わる技術

350m調査坑道における調査・試験項目



地層科学研究

- 1-① **地質環境調査技術**開発(地質調査, 水理試験, 採水調査, 岩盤を対象とした物質移動試験)
- 1-② **地質環境調査技術**開発(坑道掘削影響・回復試験)

地層処分研究開発

- 2-① **処分技術**の信頼性向上(低アルカリ性セメント材料の施工・影響評価試験)
- 2-② **処分技術**の信頼性向上(人工バリア性能試験)
- 2-③ **安全評価手法**の高度化(人工バリアやその周辺岩盤を対象とした物質移行試験)

地層科学研究の実施項目

(1) 地質環境調査技術開発

① 地上からの調査技術の適用性確認と地質環境モデルの構築・更新

- 地質・地質構造の調査評価技術
- 地下水流動の調査評価技術
- 地球化学特性の調査評価技術
- 物質移動特性の調査評価技術
- 岩盤の熱・力学特性の調査評価技術

② 地下施設建設に伴う地質環境変化の調査評価技術の開発

- 施設建設が広域領域に与える影響評価技術の開発
- 施設建設が施設領域、坑道周辺に与える影響評価技術の開発

(2) 深地層における工学的技術の基礎の開発

① 地下施設建設における実施設計の適用性確認・更新

② 地下施設の耐震設計の適用性確認

③ 地下施設の通気挙動評価技術

(3) 地質環境の長期変遷評価技術の開発

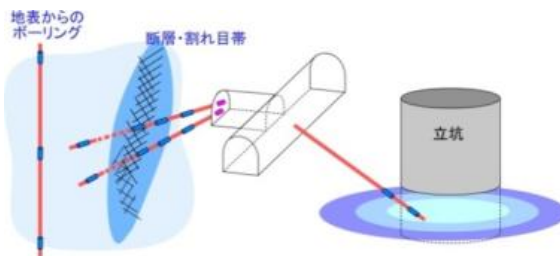
① 施設スケールを対象とした地質環境の長期変遷評価技術

② 地質環境の長期変遷に関する数値解析技術

③ 現在から将来にわたる地質環境の長期変遷を記述するための方法論

地上からの調査技術の適用性確認と地質環境モデルの構築・更新

物質移動試験 (割れ目帯・単一割れ目)



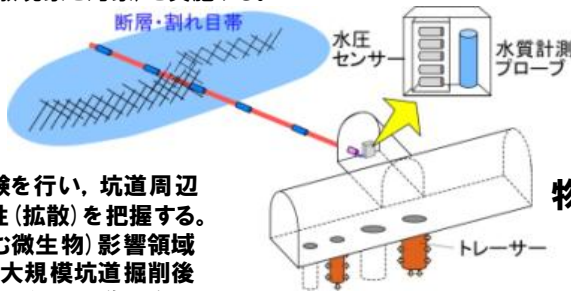
水理観測

西立坑の掘削前後を対象として立坑周辺の間隙水圧の変化の程度と平面的な影響範囲を把握する。

大規模坑道掘削による坑道周辺 (外側領域) の間隙水圧の変化を把握する。また、割れ目帯・単一割れ目の物質移動遅延特性の把握を目的に、物質移動試験 (主に移流・分散現象を対象) を実施する。

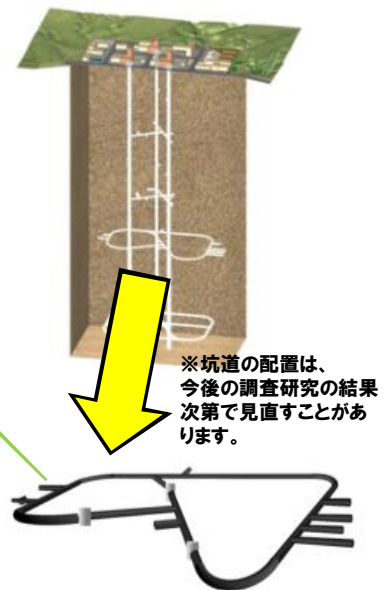
地球化学観測

水理・物質移動試験を行い、坑道周辺の水理・物質移動特性 (拡散) を把握する。また、地球化学 (含む微生物) 影響領域のモニタリングとして、大規模坑道掘削後の地球化学的影響およびその回復過程を長期観測し、地質構造毎に定常状態に達するまでのプロセスを理解する。



物質移動試験 (健岩部)

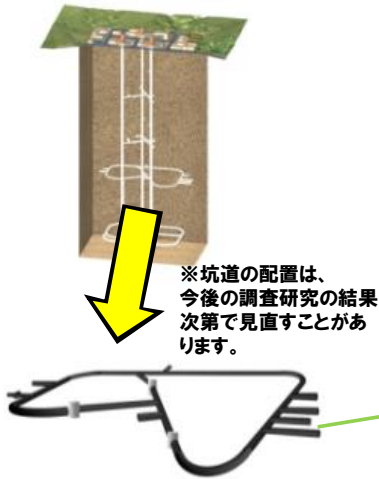
健岩部の物質移動遅延特性の把握を目的に、長期間の物質移動試験 (主に拡散現象を対象) を実施する。



※坑道の配置は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。

水理・地球化学観測および水理・物質移動試験

地下施設建設に伴う地質環境変化の調査評価技術の開発

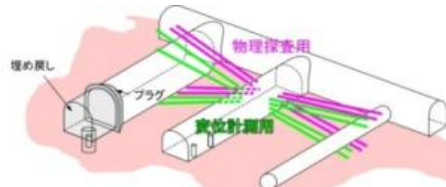


※坑道の配置は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。

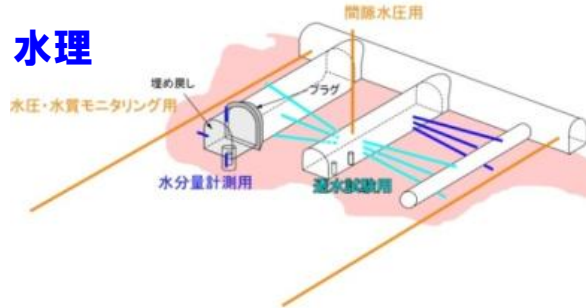
力学・水理学・地球化学(含む微生物)の観点から掘削影響領域のモニタリングを行うことにより、坑道の掘削から埋め戻し・閉鎖以降の環境回復過程を長期観測し、定常状態に達するまでの**連成プロセス**を理解する。

また、異なる断面形状・断面径の水平坑道を対象として計測を行うことにより、**坑道形状の違い**による変化の違いについても評価する。

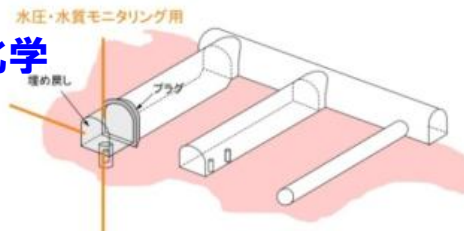
力学



水理



地球化学



【力学】

物理探査および岩盤の変位計測を行う。物理探査は繰り返し計測し、坑道掘削による掘削影響領域の発生・その経時変化(回復挙動)を力学の観点から把握する。

【水理】

透水試験、水分量計測、間隙水圧計測を行う。透水試験は繰り返し計測し、坑道掘削による掘削影響領域の発生・その経時変化(回復挙動)を水理学の観点から把握する。

【地球化学】

水質モニタリングを行う。定期的なサンプリングにより、坑道掘削による掘削影響領域の発生・その経時変化(回復挙動)を地球化学の観点から把握する。

水平坑道掘削影響試験

深地層における工学的技術の基礎の開発

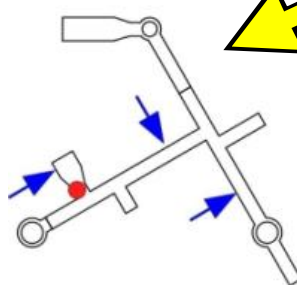
地下施設建設における実施設計の適用性確認・更新

ステップ管理計測(下図→部分)において、坑道の変形、支保に発生する応力、岩盤内の変位に関するデータを取得し、その計測値が設計許容値範囲内であることを確認する。また、設計許容値と実測値の関係から、必要に応じて後続の地下施設設計を更新する。

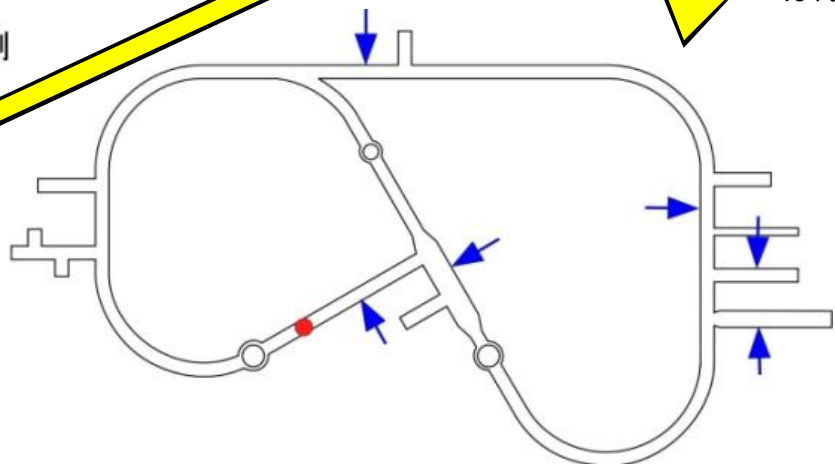
地下施設の耐震設計の適用性確認

深度ごとに設置する地震計(下図●印)により、各深度における地震波を計測する。取得した地震波から設定した波を入力値として、地下施設を事例とした耐震設計の適用性確認を行う。

→ ステップ管理計測
● 地震計



250m調査坑道



350m調査坑道

※坑道の配置は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。

地層処分研究の実施項目

(1) 処分技術の信頼性向上

- ① 処分施設の設計・施工技術の開発
 - 低アルカリ性セメント材料の開発
 - 処分施設の設計・施工管理技術の開発
- ② 坑道閉鎖技術
- ③ 処分システムの施工技術開発・品質確認
 - ガス移行挙動評価
 - テストピット挙動評価
 - 人工バリア性能試験 (THMC連成現象評価)
 - オーバーパック腐食挙動評価
 - 緩衝材の回収 (除去) 技術

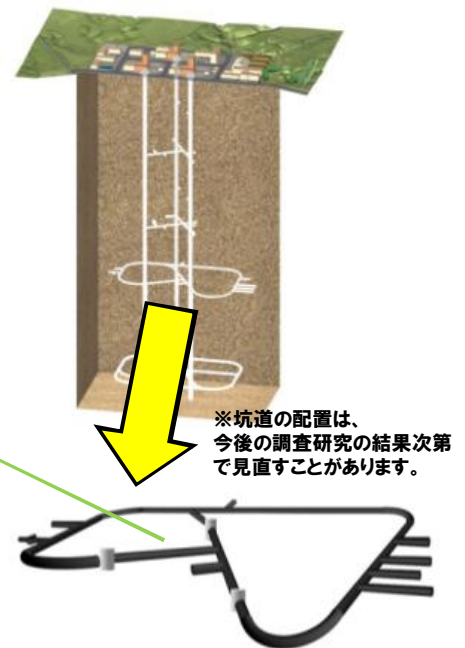
(2) 安全評価手法に高度化

- ① 人工バリアおよびその周辺岩盤を対象とした物質移行挙動評価
- ② 安全評価手法の適用性確認

処分施設の設計・施工技術の開発

低アルカリ性セメント材料の開発

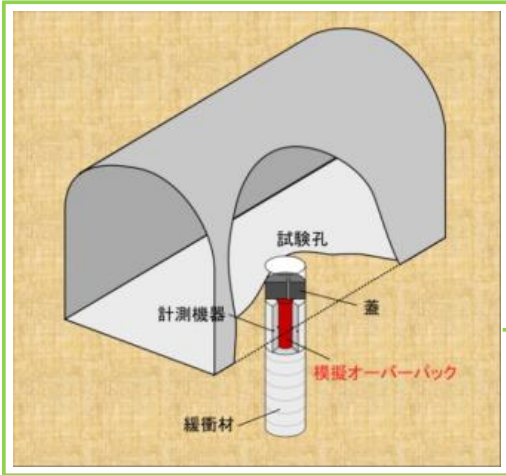
低アルカリ性セメントの施工性（支保工（吹付けコンクリート，覆工コンクリート），グラウトとしての適用性），周辺岩盤および地下水への影響（化学的影響）を把握する。



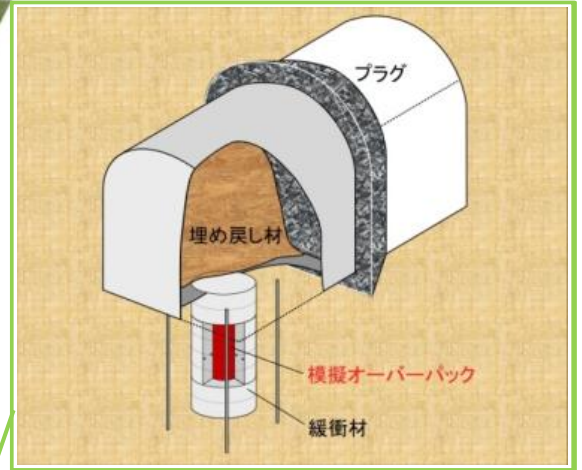
処分システムの施工技術開発・品質確認

オーバーパック腐食挙動評価

飽和した緩衝材中で発熱している廃棄体（ヒーターで温度環境を再現）が接触している環境を再現し、オーバーパックの腐食挙動を把握する。試験終了後に腐食速度や腐食生成物を分析評価する。



※坑道の配置は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。



人工バリア性能試験

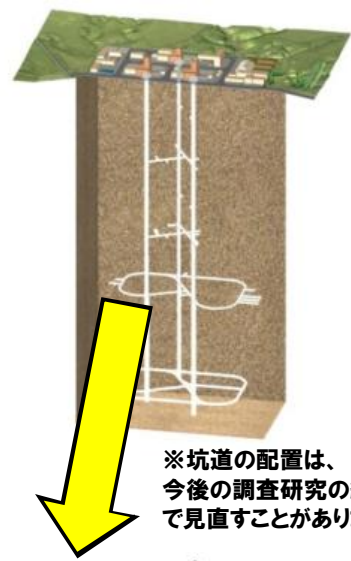
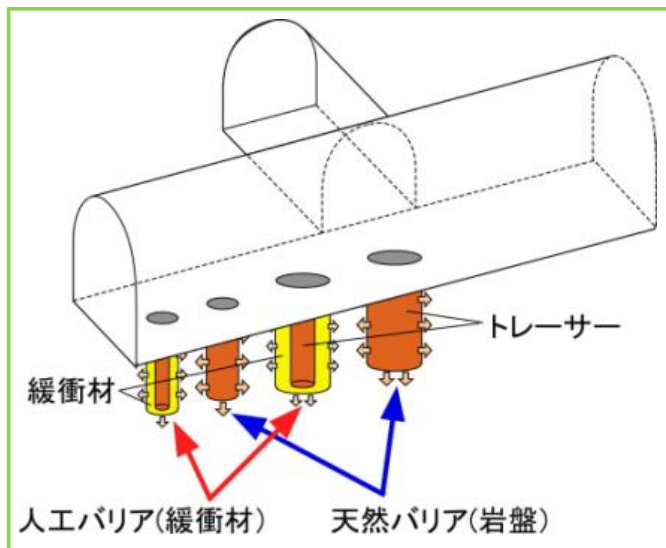
坑道の埋め戻し（プラグの施工を含む）までを考慮した実規模の人工バリア（廃棄体はオーバーパック中心にヒーターを挿入することで再現）を構築し、幌延を事例とした地質環境条件下のニアフィールドで起こる、緩衝材が飽和に至る過渡期での熱-水-応力-化学連成挙動を把握する。

人工バリアおよびその周辺岩盤を対象とした物質移行挙動評価

物質移行試験

人工バリアを構成する緩衝材の物質移行遅延機能を評価するため、緩衝材を挿入したボーリング孔を用いて、緩衝材を対象とした物質移行試験を行う。

また、岩盤（天然バリア）を対象とした物質移行試験との比較により、人工バリア、天然バリアの機能の比較・評価を行う。



※坑道の配置は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。

今後のURL活用の方策

今後のURL活用の方策(1/2)

①国内研究機関との研究協力

実規模の人工バリアの体感

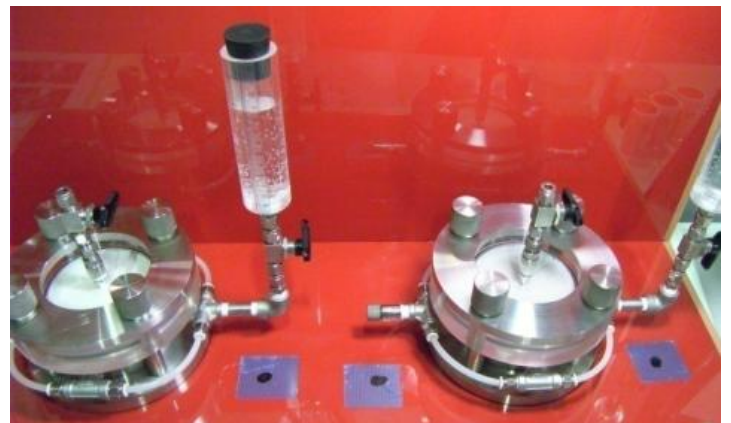
実規模の人工バリア(ブロック緩衝材)を定置する試験設備を整備*。

*共同研究「地層処分実規模設備整備事業における工学技術に関する研究」



真空把持装置

緩衝材定置試験設備



緩衝材の隙間閉塞能力の可視化試験装置

➤地下(350m坑道)における人工バリア定置技術の実証への展開

今後のURL活用の方策(2/2)

②国際協力

-国際会議の招聘

ITC*(IAEA)(2010)

*International Training Center



Mont Terri Project SM-53管理委員会
(平成22年5月12日~13日)
於：国際交流施設

-国際プロジェクトの定例会議のホスト

Mont Terri Project SM-53(Nagra)(2010)

DECOVALEX-2011Project(SKB)(2008)

Clay Club(OECD-NEA)(2006)



地層処分システムの性能評価に関する国際ワークショップ
「DECOVALEX-2011Project」
(平成20年10月21日~23日)
於：ゆめ地創館

-幌延の地下施設を活用した国際プロジェクトの立案

アジアのURLとしての位置付け(地層科学研究, 地層処分研究)

350m坑道を活用した国際プロジェクトの実施

(1) 横置き方式の人工バリア挙動評価(定置技術を含む)

(2) ガス移行挙動評価

など

地域産業振興への貢献, 理解促進にむけて

①地域産業振興への貢献

幌延地圏環境研究所における低温熟成チーズの開発

(幌延町の生物資源(微生物)の活用に関するプロジェクト)

➢ 機構が幌延で採取した菌を提供など



写真 幌延地圏環境研究所 提供
様々な食材への応用範囲が広い
低温熟成チーズ

②理解促進にむけて

-地下施設見学会(定期, 不定期)

-地域の方々への説明会

(平成22年度計画説明会、平成21年度成果報告会、札幌報告会2010、幌延フォーラム2010)

-プレスリリース

平成22年度(~10月): 18件



幌延フォーラム2010

次世代への橋渡し

①地下施設特別見学会

- おもしろ科学館親子エネルギーツアー
- 兵庫少年少女合唱団体験ツアー



兵庫少年少女合唱団体験ツアーの様子

②アウトリーチ活動による地層処分研究の課外授業

- 周辺地域学校への出張授業
- スーパーサイエンススクール
- 教育者育成セミナー



周辺地域学校へ出張授業の様子

③地元小中学生等への地下施設を活用した体験学習

- サマーサイエンスキャンプ

おわり