



地層処分研究開発・評価委員会

資料4-2 (H19. 11. 27)

地層処分技術に関する研究開発 —研究開発の全体進捗状況—

平成19年11月27日

独立行政法人日本原子力研究開発機構

地層処分研究開発部門



原子力機構(地層処分研究開発部門)の役割

【原子力政策大綱】(原子力委員会, 平成17年10月11日)

- ・ 研究開発の中核的機関として, 処分事業や安全規制へ研究開発の成果を反映するよう, 地層処分技術の知識基盤を整備・維持
- ・ 国及び研究開発機関等は, 全体を俯瞰して総合的, 計画的かつ効率的に進められるよう連携・協力すべき

⇒「地層処分基盤研究開発調整会議」(平成17年7月21日発足)

【原子力機構の中期目標(H17.10~H22.3)】(文部科学省, 経済産業省)

高レベル放射性廃棄物の処理・処分技術に関する研究開発(抜粋)

高レベル放射性廃棄物の地層処分の実現に向け, 基盤的な研究開発を着実に進め, 地層処分技術の信頼性の向上を図り, 原子力発電環境整備機構による処分事業と, 国による安全規制を支える知識基盤として整備する。

そのため, 瑞浪と幌延の深地層の研究計画について, 中間的な深度までの坑道掘削時の調査研究を進める。あわせて工学技術や安全評価に関する研究開発を他の研究開発機関と連携して実施し, これらの成果を地層処分の安全性に係る一連の論拠を支える知識ベースとして体系化する。



中期計画の概要(平成17年度～平成21年度)

- 中期計画は、中期目標を達成するため機構が作成
- 高レベル放射性廃棄物の処理・処分技術に関する研究開発(抜粋)

機構は、我が国における地層処分技術に関する研究開発の中核的役割を担い、処分実施主体である原子力発電環境整備機構による処分事業と、国による安全規制の両面を支える技術を知識基盤として整備していく。

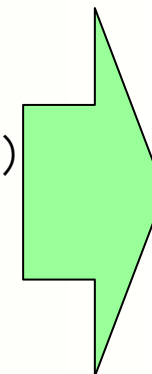
- ◆「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」について他の研究開発機関と連携して研究を推進
- ◆その成果を地層処分の安全確保の考え方や評価に係る様々な論拠を支える「知識ベース」として体系化
- ◆国内外の専門家によるレビュー等を通じて、包括的な報告書と知識ベースとして取りまとめ

地層処分研究開発

- ・処分技術の信頼性向上(人工バリアの特性, 長期複合挙動等)
- ・安全評価手法の高度化(核種データベース, 安全評価モデル等)

深地層の科学的研究

- ・深地層の研究施設計画(瑞浪, 幌延)
- ・地質環境の長期安定性に関する研究(火山, 活断層等)



処分事業(NUMO)

国の安全規制

目標

実際の地質環境への地層
処分技術の適用性確認

地層処分システムの
長期挙動の理解

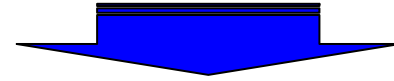
研究課題

深地層の
科学的研究

地層処分研究開発

工学技術の
信頼性向上

安全評価手法
の高度化



地質環境特性の調査・
評価技術の開発

深地層における工学技術の
基礎の開発

処分技術の実際の地質
環境への適用性の確認

処分場閉鎖等の工学
技術の信頼性向上

安全評価手法の実際の地
質環境への適用性の確認

地質環境の長期安定性
に関する研究
(隆起・侵食, 地震・断層活動,
火山活動, ナチュラルアナログ等)

人工バリア等の基本特性
データベースの開発

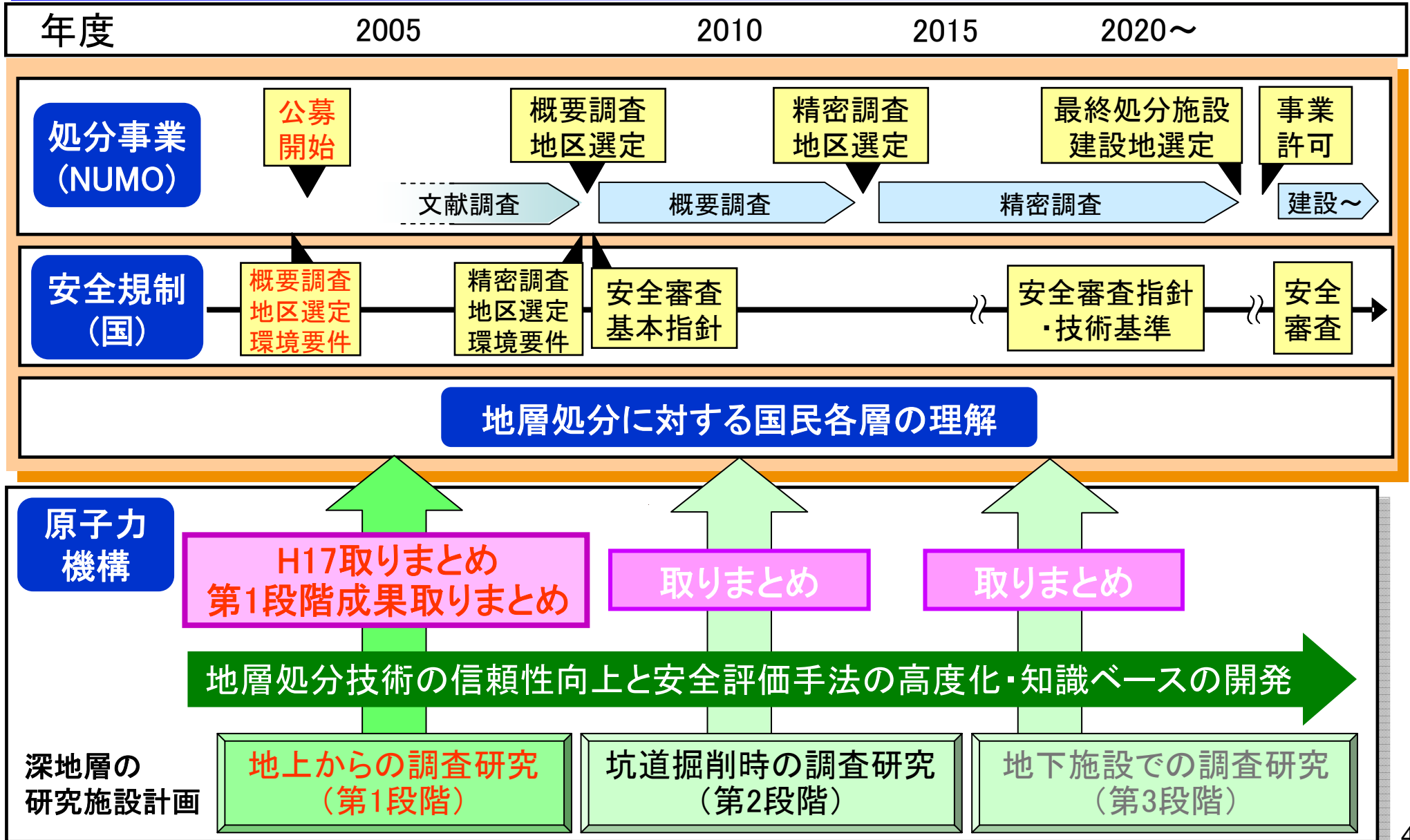
人工バリア等の長期複合
挙動に関する研究

安全評価シナリオの充実
安全評価モデルの高度化
核種移行データベースの整備

知識ベースの開発, 知識管理システムの構築



研究開発成果の段階的な取りまとめと反映





中期目標期間中における主要事項のタイムスケジュール

	平成17年度下期	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度
研究開発成果の知識ベース化	知識マネジメントシステムおよび知識ベースの構築				
	<ul style="list-style-type: none"> 知識管理の基本的考え方やシステム開発概念の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 知識マネジメントシステムの基本設計 知識ベースの構造化 	<ul style="list-style-type: none"> 知識マネジメントシステムの詳細設計 知識ベースの整備・拡充 	<ul style="list-style-type: none"> 知識マネジメントシステム（計算機支援システム）の製作 知識ベースの拡充 	<ul style="list-style-type: none"> 知識マネジメントシステム（計算機支援システム）および知識ベースの構築 プロトタイプ公開・試運用
地層処分システムの設計・安全評価技術の高度化	人工バリアの長期挙動や核種の溶解・移行等に関するデータの取得・拡充，およびデータベース更新とモデルの高度化 深地層の研究施設等のデータを考慮した処分システムの設計，長期性能の評価手法の構築				
	<ul style="list-style-type: none"> 人工バリアの長期挙動等に関するデータの拡充・公開 	<ul style="list-style-type: none"> 人工バリアの長期挙動等の個別現象モデルの高度化 処分システムの設計，長期性能への影響検討 	<ul style="list-style-type: none"> 人工バリアの長期挙動等の個別現象モデルの高度化 処分システムの設計，長期性能に関わる現象等の抽出・提示 	<ul style="list-style-type: none"> 人工バリアの長期挙動等の個別現象モデルの適用性確認 処分システムの設計，長期性能に関わる現象等の評価手法の詳細化 	<ul style="list-style-type: none"> 人工バリアの長期挙動等の個別現象モデルの取りまとめ 処分システムの設計，長期性能に関わる現象等の評価手法構築・公開
2つの深地層の研究施設設計画の推進（瑞浪、幌延）	坑道掘削時の地質環境調査技術の体系的整備 掘削の進捗に応じた調査・観測・試験の実施				
	<ul style="list-style-type: none"> 地上からの調査段階の終了 	<ul style="list-style-type: none"> 地上からの調査研究段階成果報告書公開 	<ul style="list-style-type: none"> 地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性評価開始 	<ul style="list-style-type: none"> 地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性評価継続 	<ul style="list-style-type: none"> 中間深度までの調査研究成果の取りまとめ開始
地質環境の長期安定性に関する研究	地質環境の変化を予測するための総合的なシミュレーション技術の開発				
	<ul style="list-style-type: none"> 第2次取りまとめの課題（高温異常など）解決に向けた事例研究実施 	<ul style="list-style-type: none"> 地下深部のマグマや活断層を検出する調査技術，および将来の地形変化を予測するシミュレーション技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 断層活動履歴や高温異常域の熱源を特定する調査技術，および気候・海水準変動を考慮した三次元地形変化モデルの提示 	<ul style="list-style-type: none"> 低活動性の活断層や高温異常域の熱源を特定する調査技術，および気候・海水準変動を考慮したシミュレーション技術の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 天然現象に伴う地質環境の変化を予測するための総合的なシミュレーション技術の開発

第一期中期計画報告書・知識ベースの公開（Web上）
 知識ベースへ



平成19年度実施計画

(1) 研究開発成果の知識ベース化 ➡ 別途ご報告

- ・ 研究開発成果の知識ベース化に向け、地層処分の安全性に関する論証構造や専門家の思考過程の表出化を試みる。
- ・ 課題解決に向けた思考の流れにそって、研究成果の整理を進める。

(2) 地層処分システムの設計・安全評価技術の高度化

- ・ 人工バリア等の長期挙動や核種の溶解・移行等に関するモデルの高度化、基礎データの拡充、データベースの開発を進める。
- ・ 様々な処分場概念に共通する重要課題の抽出・整理等を行う。
- ・ 深地層の研究施設の地質環境データを活用して、重要シナリオの抽出方法や不確実性を考慮した安全評価手法を例示する。
- ・ 幌延の地質環境条件に基づき、掘削影響を考慮した水－化学連成挙動解析や低アルカリ性セメントの現場施工試験準備を行う。

(3) 2つの深地層の研究施設設計画の推進

【瑞浪】

- ・ 深度200m水平坑道の掘削を通じて、花崗岩上部の断層・割れ目帯等の性状や湧水の変化、岩盤変位等を観測しつつ、得られたデータに基づき地上からの調査評価技術の妥当性評価を進める。
- ・ 深度200m水平坑道の掘削時に湧水抑制対策(グラウト)を実施し、その有効性を評価するとともに、深度200m以深の掘削時に行う調査研究の準備を進める。

【幌延】

- ・ 換気立坑と東立坑の掘削を通じて、堆積岩層の性状観察、湧水量や岩盤変位等の観測を定常化し、得られたデータに基づき地上からの調査評価技術の妥当性を検討する。
- ・ 先行ボーリング調査により、地下深部の割れ目帯の分布や湧水の状況を事前に評価する。

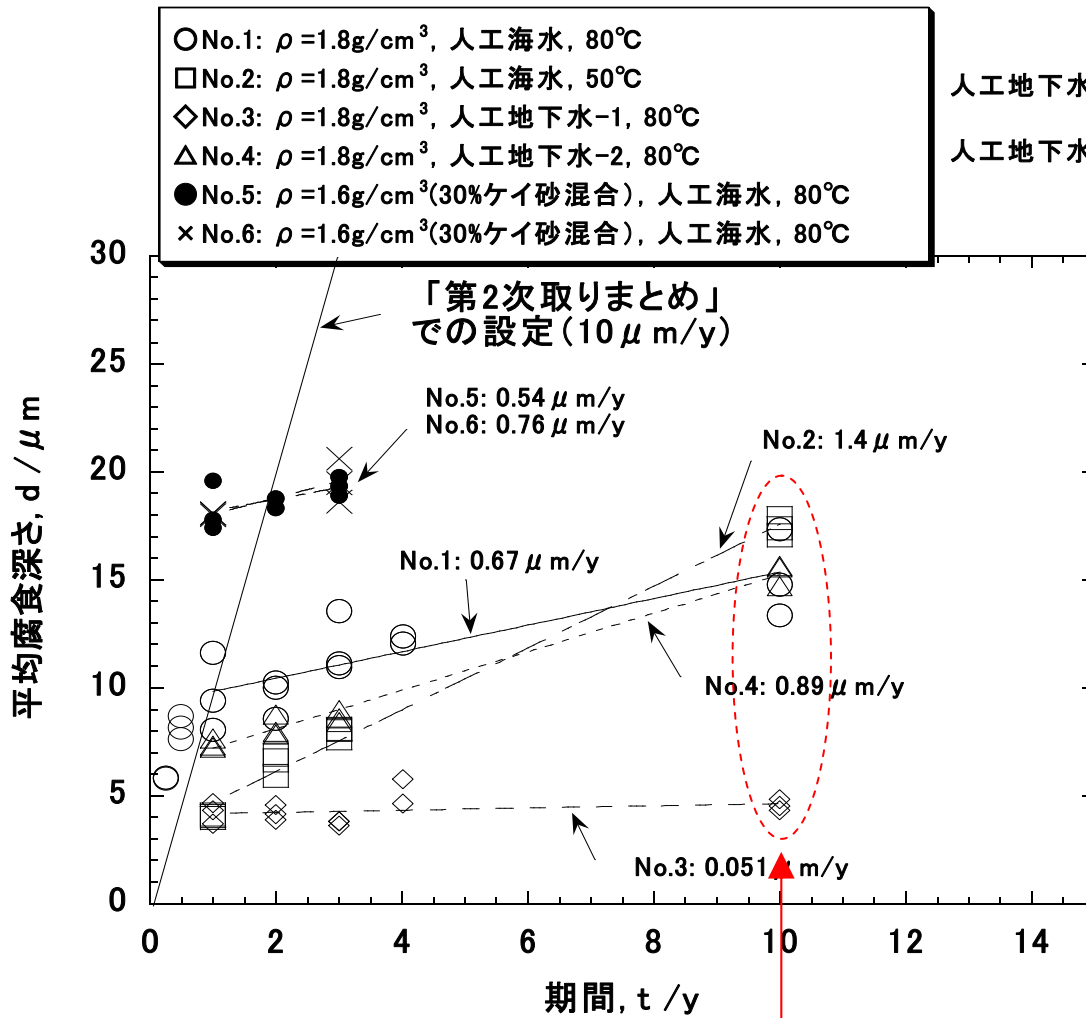
(4) 地質環境の長期安定性に関する研究

- ・ 地震・断層活動と隆起・侵食／気候・海水準変動の履歴を解明するための調査技術や将来の変化を評価するための予測モデルの開発、地下深部のマグマ等を検出するための調査手法の改良を行う。

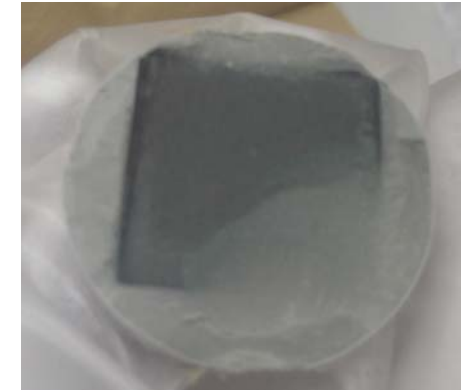


地層処分システムの設計・安全評価技術の高度化－研究計画と実績－

	平成18年度実績	平成19年度計画	平成19年度実績 (平成19年10月末)
工学技術	<ul style="list-style-type: none"> 銅製オーバーパックスの長期性能に重要な環境条件の提示 低アルカリ性セメントの現場施工試験に関する課題抽出 緩衝材基本特性データベースの英語版をWeb公開 	<ul style="list-style-type: none"> 人工バリアの長期挙動に関するデータの拡充を継続 様々な処分場概念に共通する重要課題の抽出・整理 低アルカリ性セメントの現場施工試験準備 掘削影響を考慮した水－化学連成挙動解析 	<ul style="list-style-type: none"> オーバーパックスに関する10年間の長期腐食試験試料の取り出し 工学規模熱－水－応力－化学連成試験を終了し、試験体を解体・サンプリングを実施 金属の耐久性に関するナチュラルアナログ・データの整理 重要課題抽出の一環として廃棄体の種類に応じた熱解析の実施 セメント配合に関する留意点の整理 水－化学連成挙動解析に向けた試解析の実施・モデルの改良
安全評価技術	<ul style="list-style-type: none"> 核種の溶解・移行等に関するデータの拡充・モデルの高度化 安全評価手法の適用性確認 地下施設の建設工事が地層処分システムの長期性能に及ぼす影響の整理 	<ul style="list-style-type: none"> 核種の溶解・移行等に関するデータの拡充・モデルの高度化を継続 実際の地質環境データを考慮した重要シナリオの抽出方法や不確実性を考慮した安全評価手法の例示 	<ul style="list-style-type: none"> 実際の地質環境データを考慮した変動シナリオの抽出 不確実性を考慮した安全評価を可能とする評価体系の概念の例示



人工地下水 1 : $[\text{NaCl}] = 0.56\text{M}$
 $[\text{NaHCO}_3] = 0.1\text{M}$
 人工地下水 2 : $[\text{NaCl}] = 2.5\text{mM}$
 $[\text{NaHCO}_3] = 2.5\text{mM}$



試料の解体
 (試料寸法は $3\text{cm} \times 3\text{cm}$. 周囲がベントナイト)



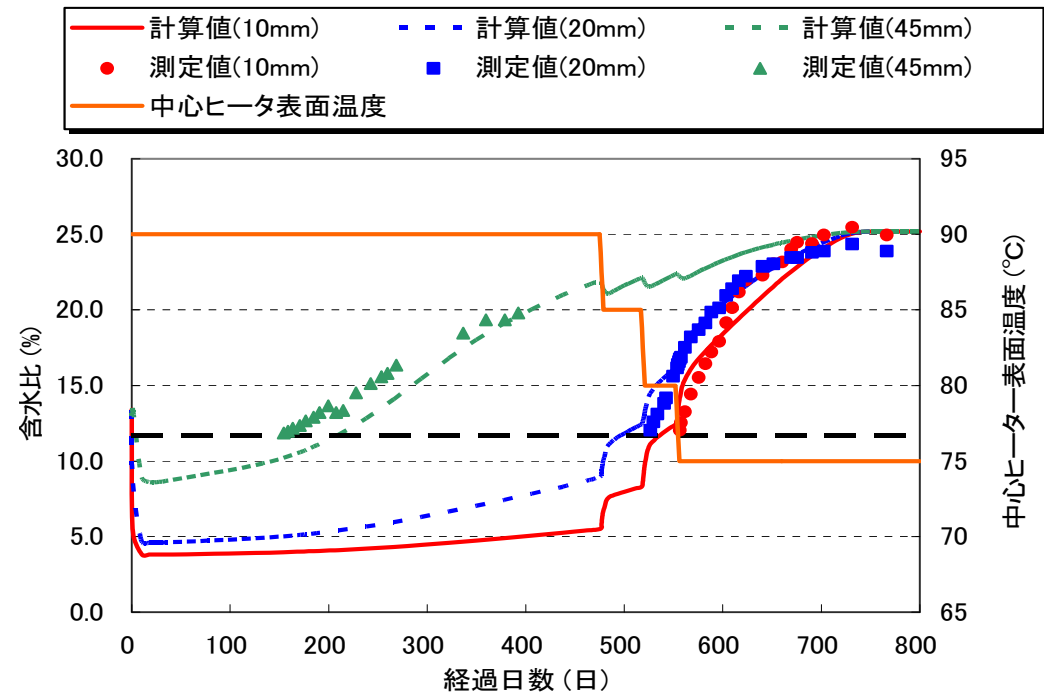
10年間の試験を行った後に炭素鋼
 取り出した後の表面の状態
 左: 80°C 海水 クニゲルV1 1.8g/cm^3
 右: 50°C 海水 クニゲルV1 1.8g/cm^3

平成18~19年度, 10年目試料をサンプリングし, 腐食量および腐食速度の評価, 並びに腐食生成物の分析を実施中。



廃棄体-緩衝材-岩盤という実際の処分を模擬した配置で境界条件を制御

- ・試験:平成17年4月11日～平成19年7月19日(830日)
- ・サンプリングを経て現在分析および解析を実施中



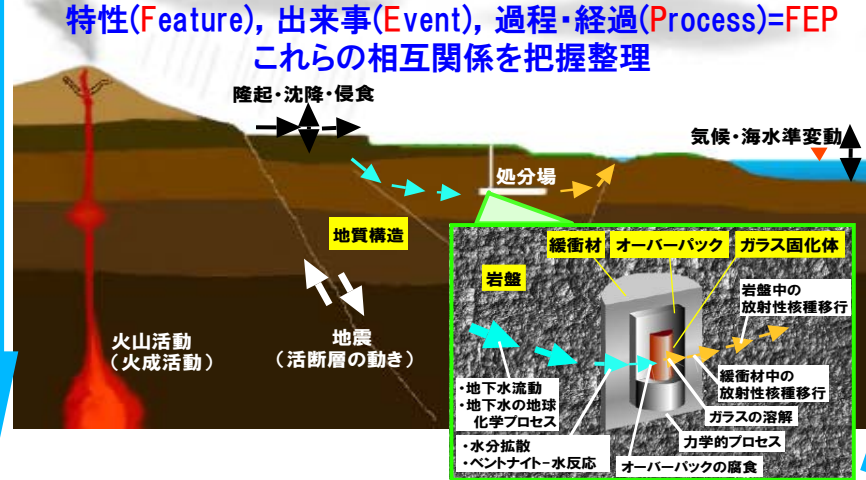
測定値と計算値との比較例(含水比)



地層処分システムの設計・安全評価技術の高度化ー平成19年度上期実施内容ー

シナリオ構築支援ツールFepMatrixの開発

地層処分システムの現象理解



計算機支援ツールFepMatrixへの展開



2007年3月
外部への
提供開始

計算機上に具現化

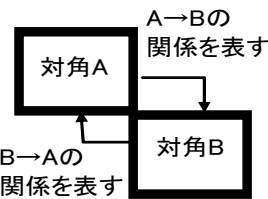
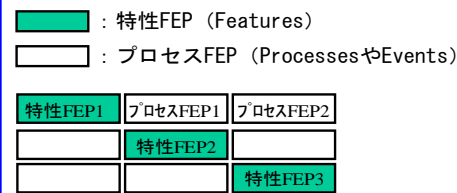
シナリオ解析に係わるいろいろな機能を提供

機能の例

FEP情報の入力・編集のイメージ

プロセスインフレンスダイアグラム表示による解析のイメージ

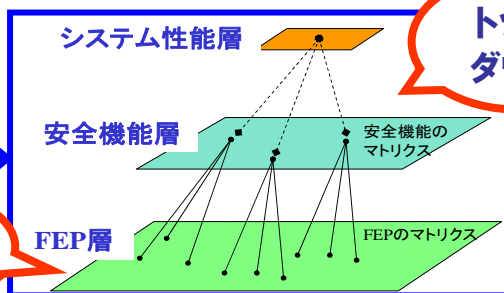
現象理解に基づく地層処分システムのモデル化とFEP解析のイメージ



マトリクス形式の整理

階層化

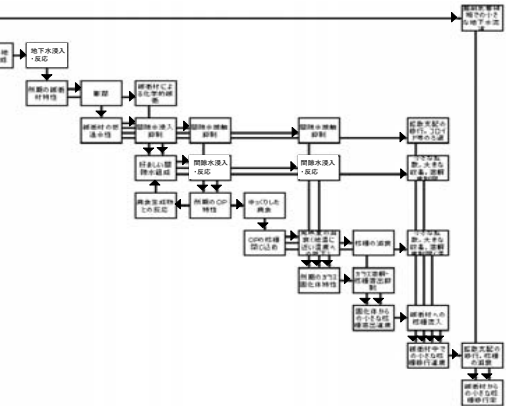
ボトムアップ



相関関係の作成・編集・修正画面



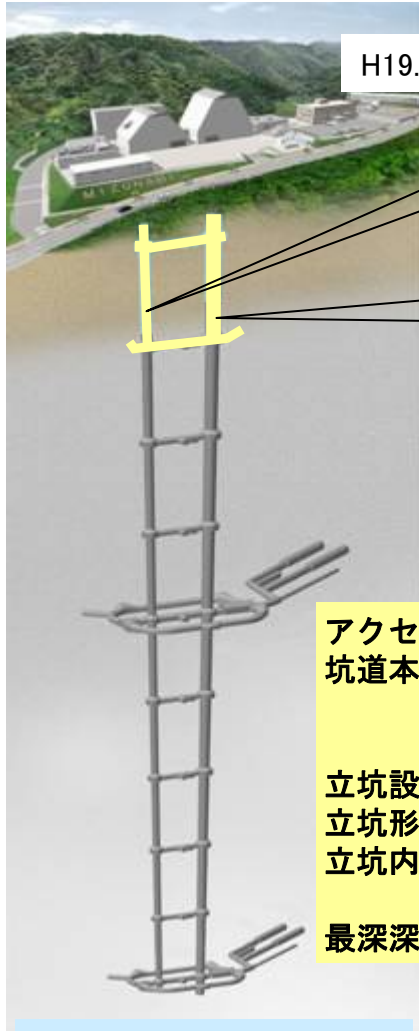
情報入力画面



今回開発した手法とFepMatrixは高レベル放射性廃棄物処分のみならず他の廃棄物処分に関するシナリオ解析にも適用可能であり、さらには自然環境にかかわる防災をはじめとする幅広い分野での活用が期待できる



2つの深地層の研究施設計画の推進 — 瑞浪超深地層研究所の現状(結晶質岩の研究) —



H19.11.22.現在の掘削深度

換気立坑
200.2m

主立坑
200.2m

アクセス方式：立坑方式
坑道本数：2本
主立坑 1本
換気立坑1本
立坑設置間隔：40m
立坑形状：円形
立坑内径：主立坑 6.5m
換気立坑4.5m
最深深度：深度1,000m(計画)

地下施設イメージ図
(平成15年7月
立坑掘削開始)



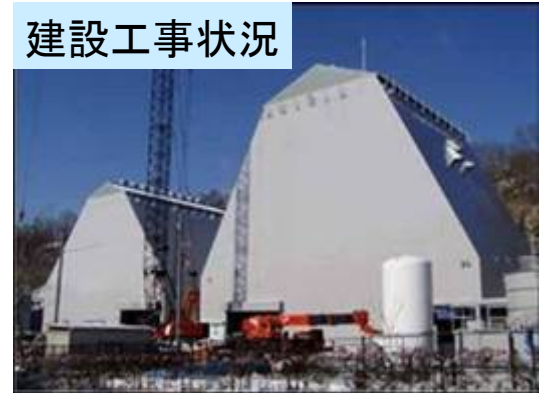
撮影：平成19年9月

200m予備ステージ貫通状況



撮影：平成19年5月

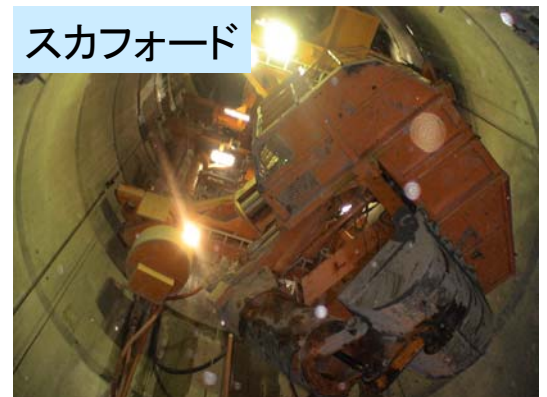
200m予備ステージでの坑壁観察



建設工事状況



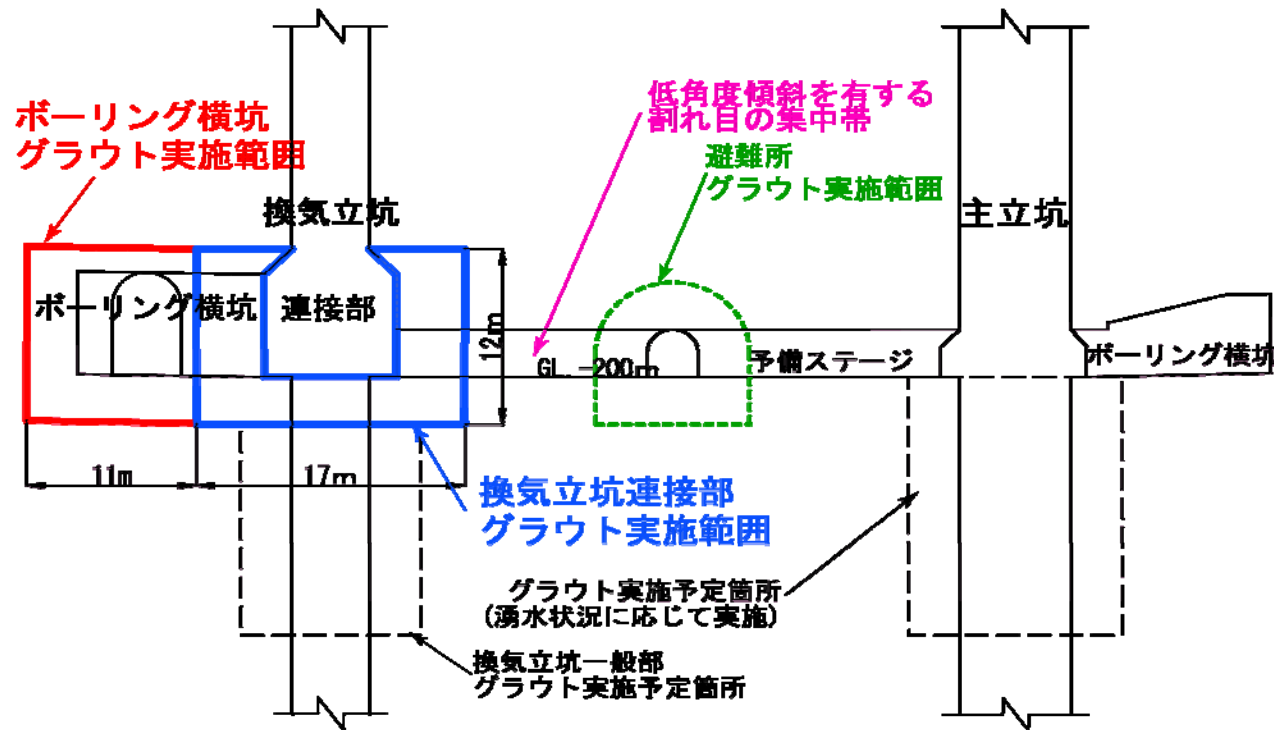
シャフトジャンボ



スcaffolding

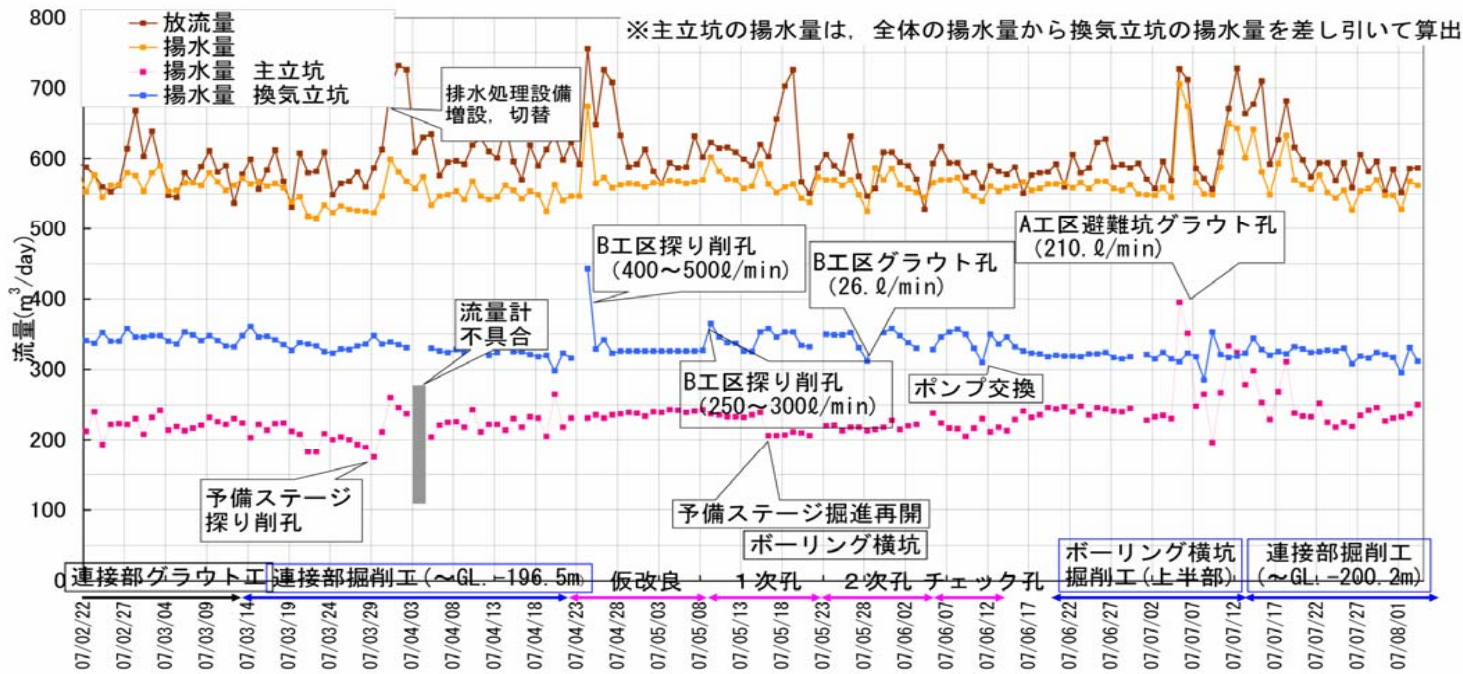


年度 項目	平成18年度実績	平成19年度計画	平成19年度実績 (平成19年10月末)
地質環境調査 技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 壁面調査 ・ 研究坑道および周辺ボーリング孔を利用した水理・水質観測 ・ 100m予備ステージにおける初期応力測定 ・ 施設建設を利用した物理探査 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 壁面調査の継続 ・ 水理・水質観測の継続 ・ 200m水平坑道におけるボーリング調査(水理、地化、ひずみ計測) ・ 200m水平坑道におけるトモグラフィー等の物理探査 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 壁面調査の実施 ・ 水理・水質観測の継続 ・ 200m水平坑道におけるボーリング調査に着手 ・ 200m水平坑道におけるトモグラフィーの実施
工学技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ パイロットボーリング調査結果に基づく湧水抑制対策計画立案 ・ 既検討技術の適用 ・ グラウトの適用性試験を実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既検討技術の適用 ・ 先行変位ボーリング ・ 200m水平坑道掘削時におけるグラウトの実施、有効性の評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既検討技術の適用の継続 ・ 200m水平坑道掘削時にグラウトの実施・有効性評価の実施



- 換気立坑ボーリング横坑および換気立坑の200～230mの立坑の低角度傾斜を有する割れ目の集中帯の掘削中に多量の湧水が発生することが想定される
- 対策としてプレグラウトを計画。立坑における湧水量の低減目標にもとづき、改良幅と透水係数を設定

瑞浪超深地層研究所—平成19年度上期実施内容— グラウト効果の確認—湧水量の変化—



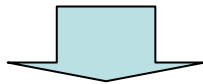
ボーリング横坑

※ロックボルトからの滴水あり

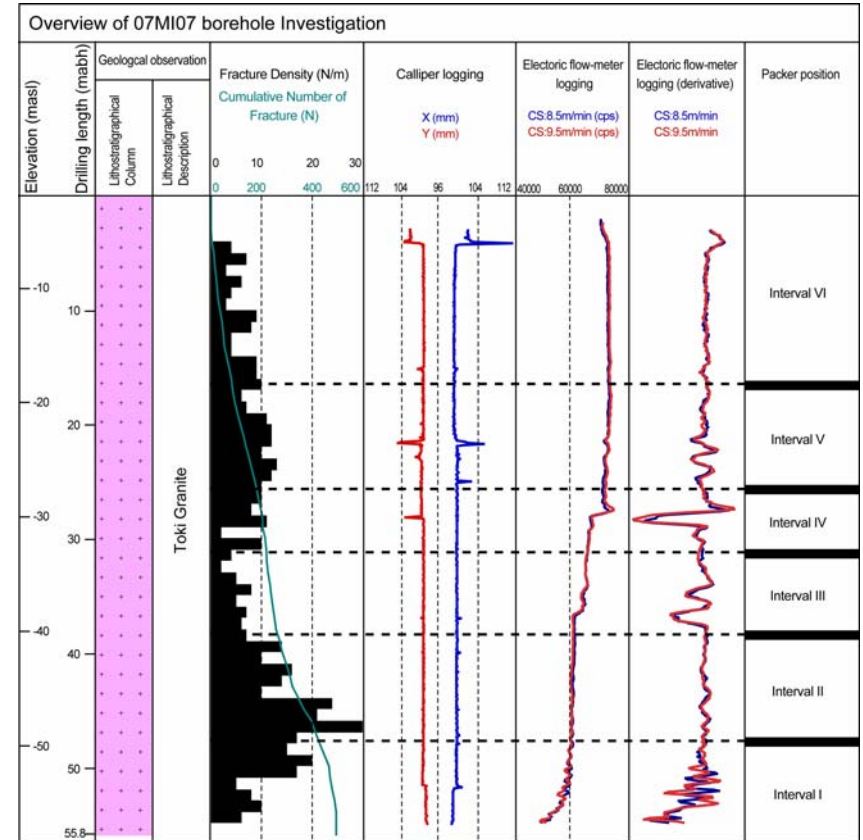
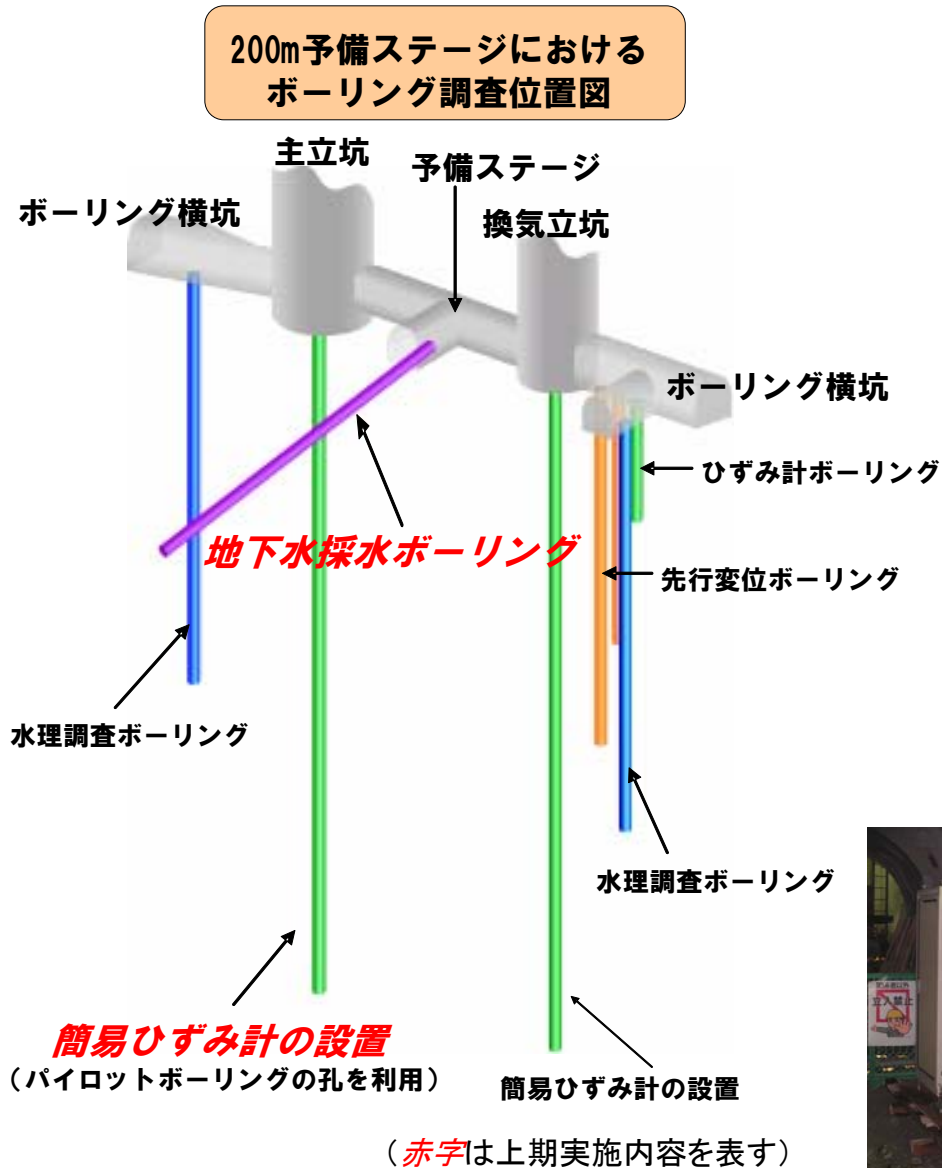


接続部

掘削時の換気立坑からの湧水量はほぼ一定



今回のグラウト実施にて湧水抑制に効果あり



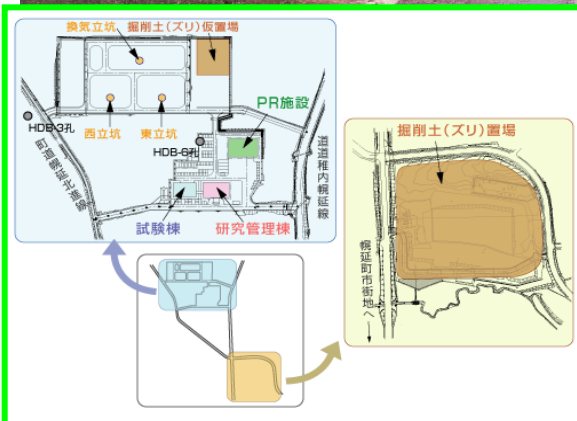
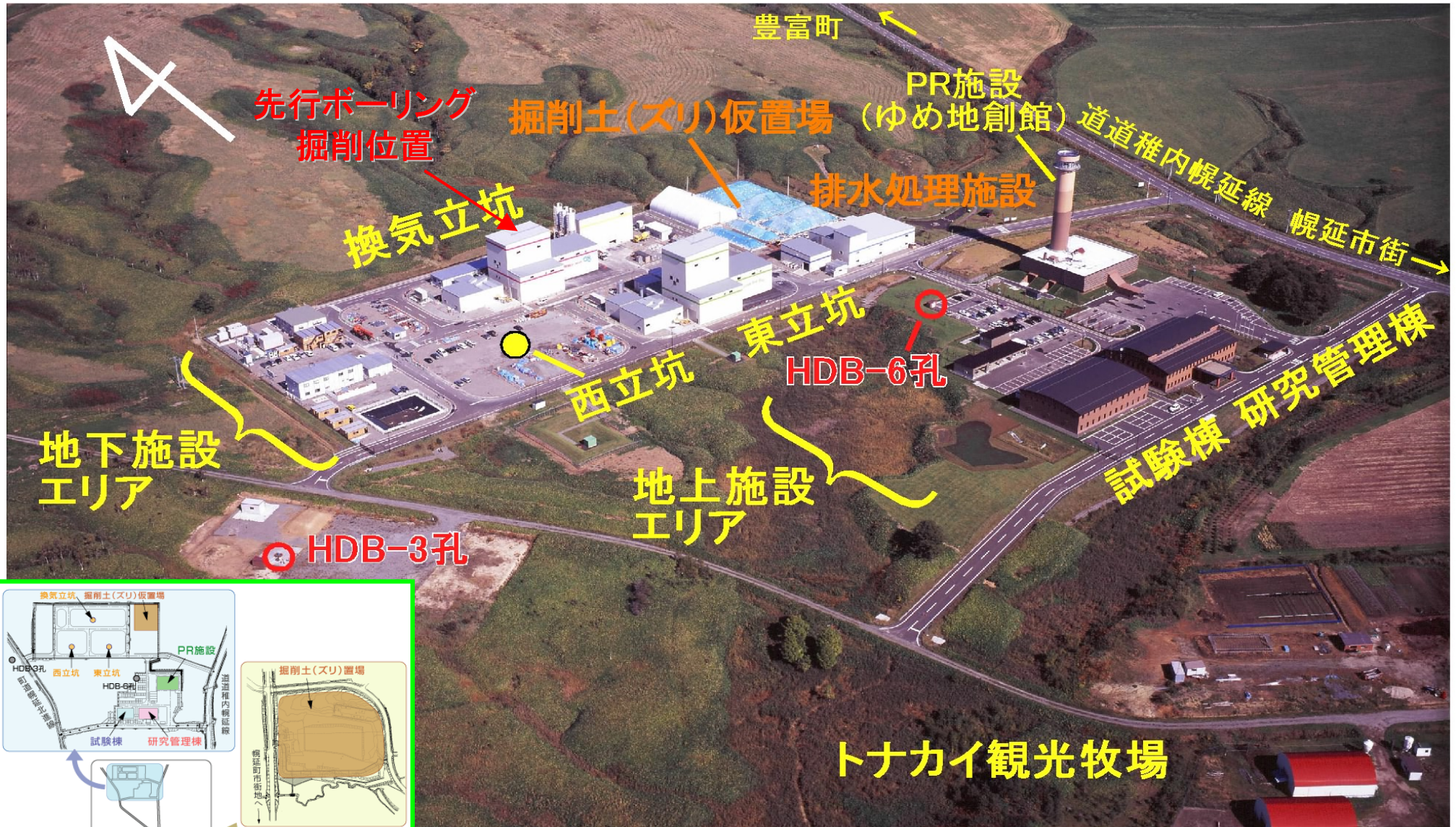
ボーリング柱状図 (07MI07号孔) と測定区間



水質連続モニタリング装置



2つの深地層の研究施設計画の推進 — 幌延深地層研究所の現状(堆積岩の研究) —

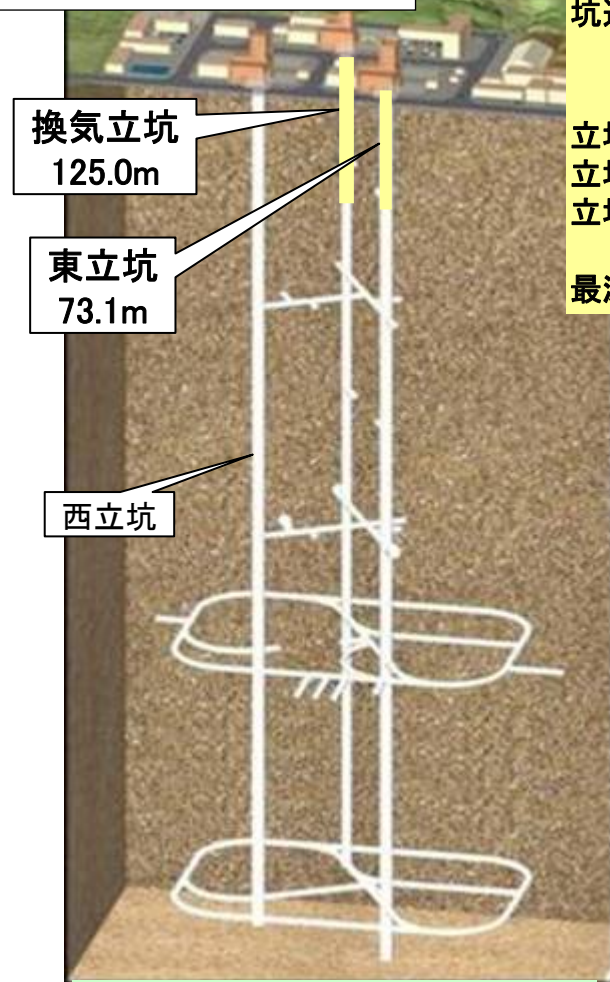


平成19年10月撮影



2つの深地層の研究施設設計画の推進 — 幌延深地層研究所の現状(堆積岩の研究) —

(H19.11.22.現在の掘削深度)
換気立坑, 東立坑を掘削中



アクセス方式 : 立坑方式
坑道本数 : 3本
 アクセス立坑2本
 換気立坑 1本
立坑設置間隔 : 1辺70mの正三角形配置
立坑形状 : 円形
立坑内径 : アクセス立坑6.5m
 換気立坑 4.5m
最深深度 : 深度500m(計画)

地下施設イメージ図
(平成17年11月
立坑掘削開始)

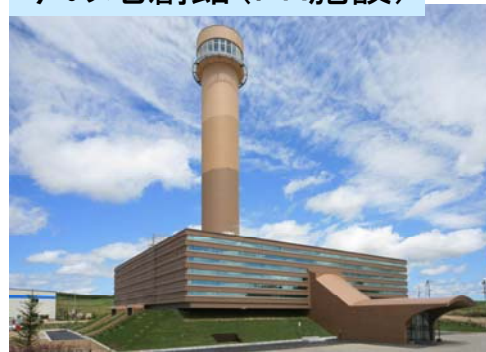
研究管理棟・試験棟



地下施設建設工事状況



ゆめ地創館(PR施設)

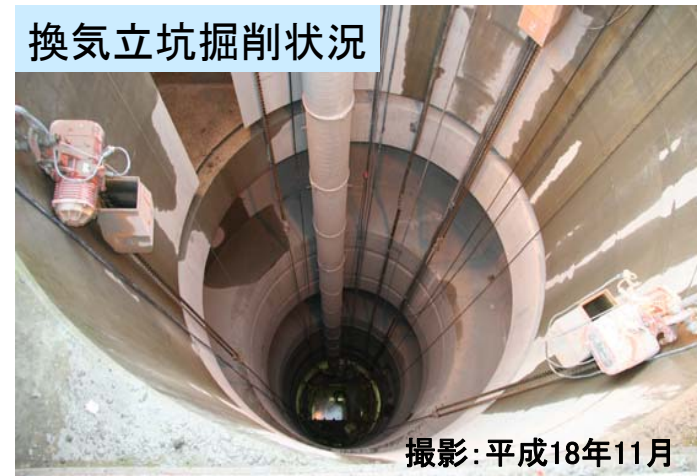


平成19年6月開館

掘削土(ズリ)置場



換気立坑掘削状況





2つの深地層の研究施設計画の推進

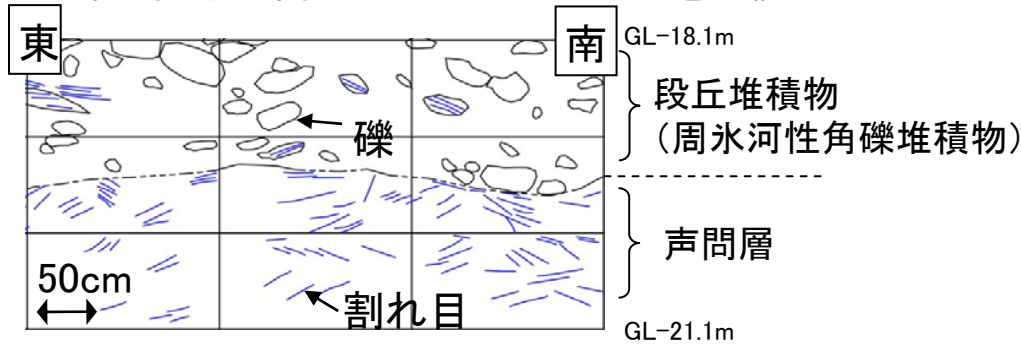
幌延深地層研究所－研究計画と実績－

項目 \ 年度	平成18年度実績	平成19年度計画	平成19年度実績 (平成19年10月末)
地質環境調査 技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 地質調査の実施 表層水理調査の実施 立坑掘削に伴う地質環境データの取得 コントロールボーリングの掘削 	<ul style="list-style-type: none"> 地質調査の継続 表層水理調査の継続 立坑掘削に伴う地質環境データの取得継続 先行ボーリング調査に伴う地質環境データの取得 コントロールボーリングの掘削の継続 	<ul style="list-style-type: none"> 地質調査の継続 表層水理調査の継続 立坑掘削に伴う地質環境データの取得継続 先行ボーリング調査に着手 コントロールボーリングの掘削の継続
地質環境 モニタリング 技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 地下水水圧観測装置の設置 高精度傾斜計の設置 遠隔監視システムによる観測 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水水圧の観測実施 高精度傾斜計による観測 遠隔監視システムによる観測の継続 	<ul style="list-style-type: none"> 観測実施, 新規観測装置設置 高精度傾斜計による観測 遠隔監視システムによる観測の継続
工学技術 処分技術	<ul style="list-style-type: none"> 情報化施工プログラムの作成, 運用開始 低アルカリ性コンクリート材料の施工試験計画策定 	<ul style="list-style-type: none"> 情報化施工プログラムの運用継続 地中変位計などの計測機器の設置 低アルカリ性コンクリート材料の施工試験計画の詳細化 	<ul style="list-style-type: none"> 情報化施工プログラムの運用継続 計測機器の設置, 計測実施 施工試験計画の詳細化

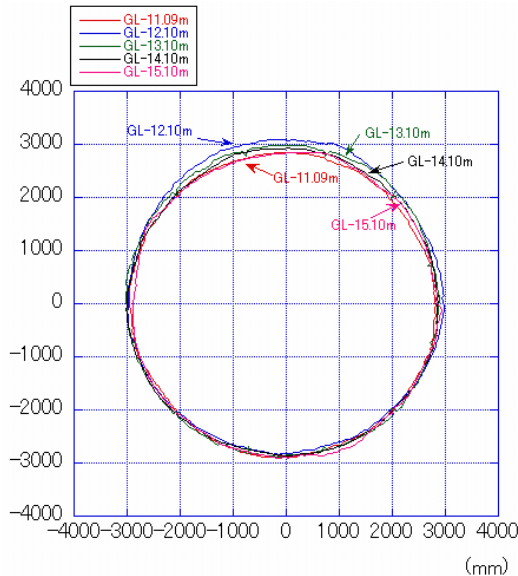
立坑壁面観測・断面形状計測

地質観察結果の例(東立坑)

礫・割れ目に関しては10cm以上のものを記載



換気立坑の断面形状計測結果の例



壁面観察調査

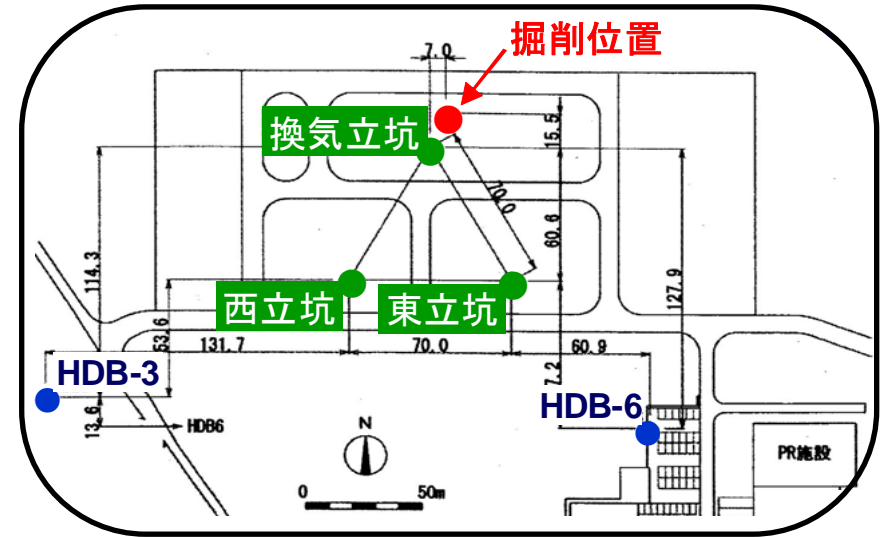
スケッチ・写真(10cm以上の礫や割れ目を記載)

簡易原位置試験・計測

弾性波速度、シュミットハンマー反発度試験、エコーチップ硬さ試験、針貫入試験、カッター切削試験、点載荷試験、色彩判定、坑道壁面形状計測

先行ボーリング調査

坑道掘削時の湧水箇所や湧水量, 岩盤の透水性などを事前に確認するための調査を行い, グラウト施工計画や排水処理設備の増設計画に反映

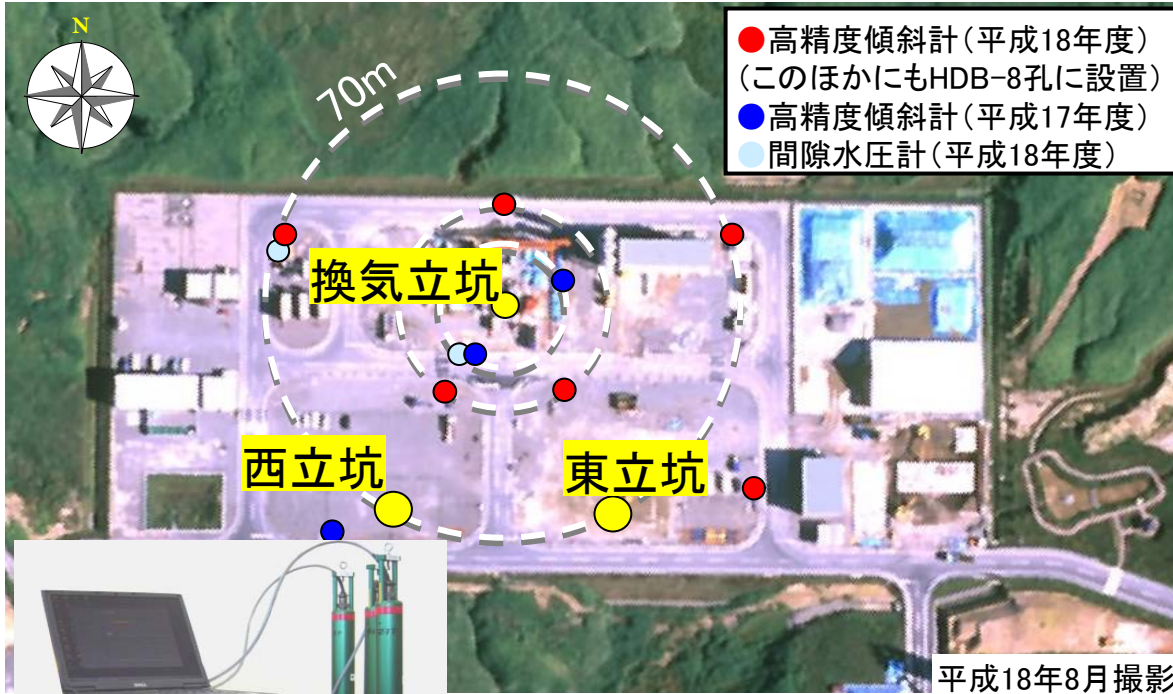


- ・岩芯観察 (コア記載, 写真撮影)
- ・水理試験 (透水試験, 揚水試験)
- ・室内試験 (物理試験, 力学試験, 岩石・鉱物学試験)
- ・物理検層 (孔径・温度・音波・孔壁画像検層・フローメータ検層・流体電気伝導度検層)
- ・湧水箇所・湧水量評価

ボーリング孔を用いたモニタリング技術開発(地盤変形・地下水圧)

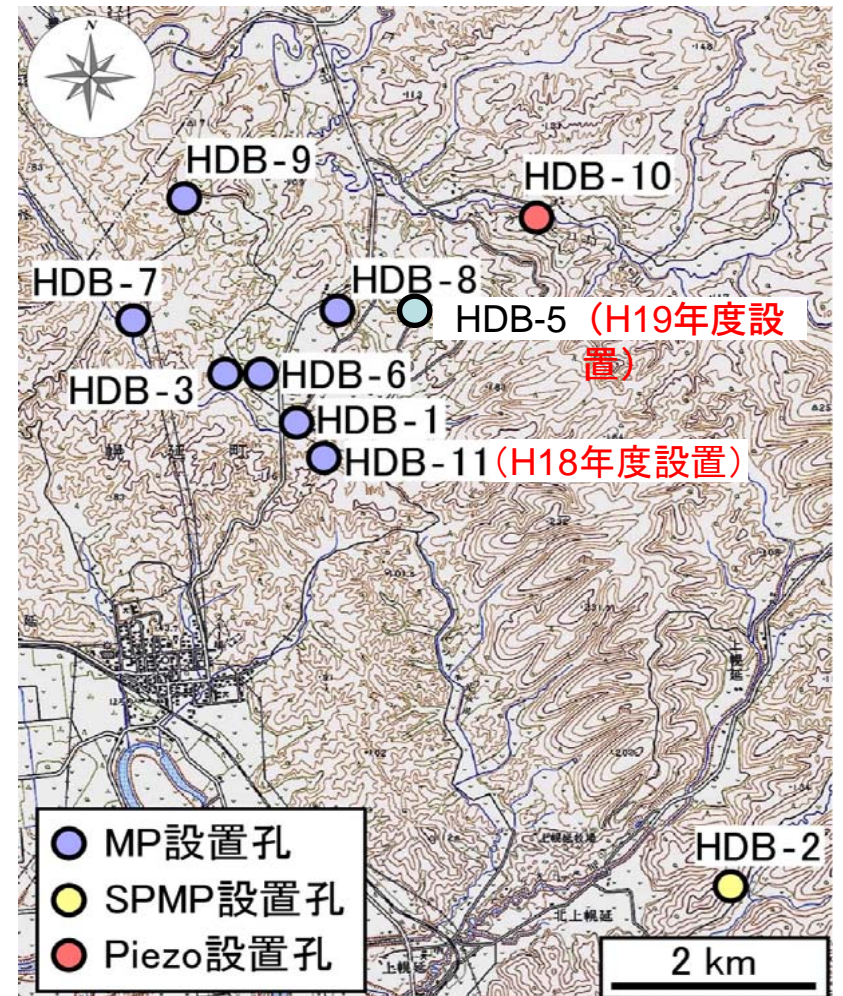
地下施設建設(立坑掘削)に伴う地盤変形のモニタリング

地下施設周辺の傾斜計設置位置



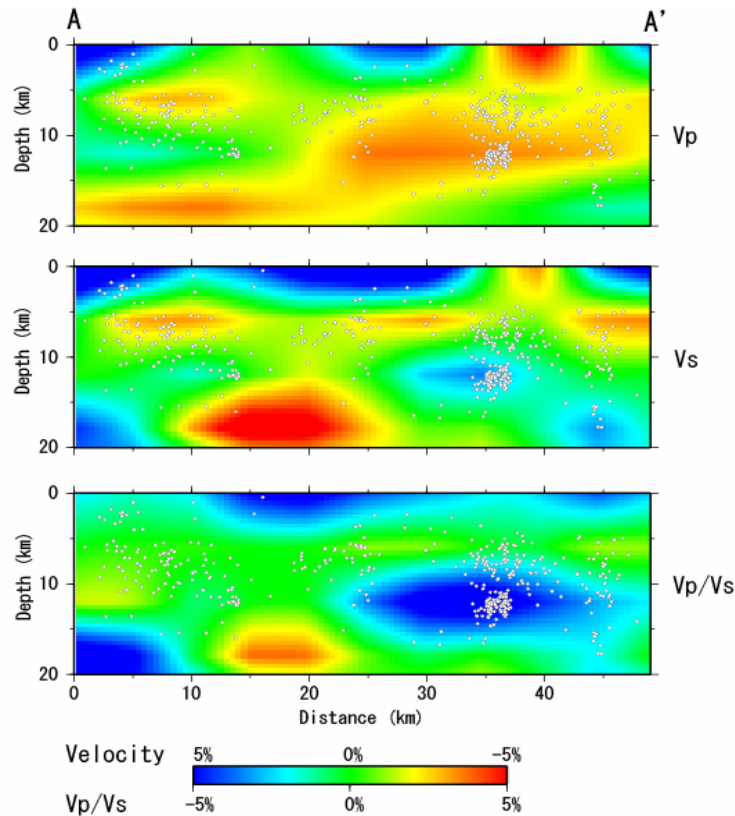
高精度傾斜計

水圧モニタリング装置設置位置

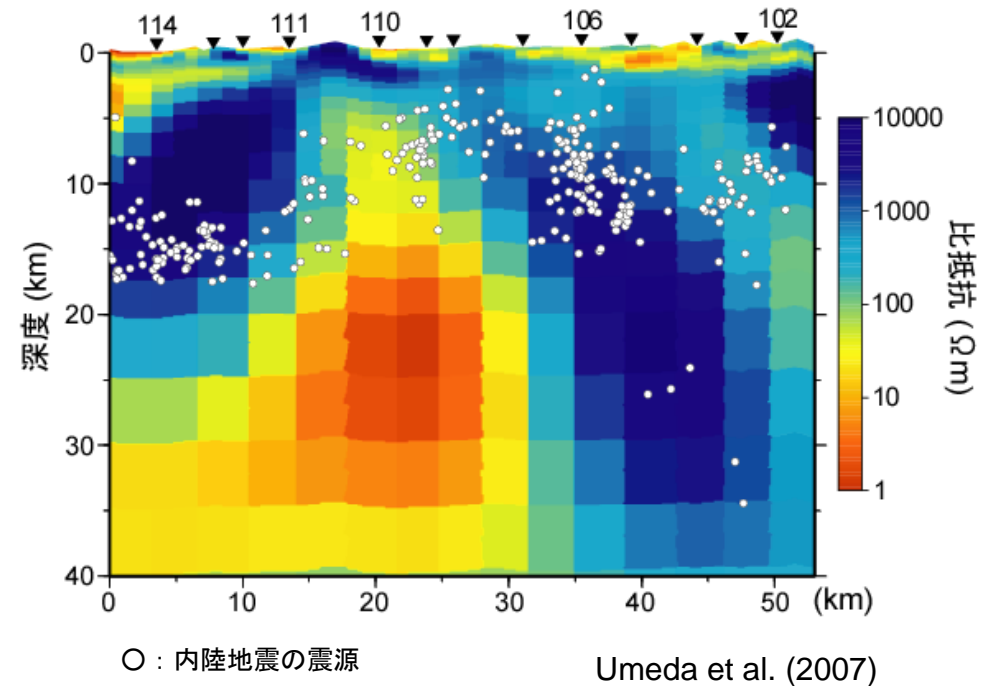


国土地理院発行5万分の1地形図「豊富」「雄信内」使用

平成18年度実績	平成19年度計画	平成19年度実績 (平成19年10月末)
<ul style="list-style-type: none"> ・ マグマや活断層を検出するための調査技術開発の実施 ・ 将来の地形変化を予測するシミュレーション技術の適用性評価の実施 ・ 陸域地下構造フロンティア研究の成果を報告書として公開 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地下深部のマグマ等を検出するための調査手法の改良 ・ 地震・断層活動、隆起・侵食／気候・海水準変動の履歴を解明するための調査技術開発 ・ 将来の変化を評価する予測モデルの開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地下深部のマグマ等を検出するための調査手法として、物理探査手法の適用試験の実施 ・ 断層活動による地形変化やマグマによる熱水活動の評価モデル開発の実施



飯豊山地下の地震波速度構造



飯豊山地下の比抵抗構造

飯豊山の北西の北股岳の地下15km以深に顕著な低比抵抗体の存在が確認され、地震波のS波低速度域の分布と調和的である。また、低比抵抗体の上面の形状は、地殻内地震の震源の下限深度 (cut-off depth) と調和的であることから、地下15km以深には400℃以上の高温領域が存在することを強く示唆する。

【原子力機構の中期目標（該当箇所抜粋）】

- ・自らの廃棄物に対し合理的な処分を目指すため、TRU廃棄物(中略)の物理的・化学的特性、核種移行への影響等に関する研究開発並びに処分場の設計・安全評価に関するデータ取得を進める。
- ・(中略)地層処分相当については、高レベル放射性廃棄物との併置処分等の合理的な処分ができるよう検討を進める。

中期計画に従い、以下の研究開発を実施

○人工バリア・岩盤長期挙動

- ・セメントおよび緩衝材の長期変質挙動を把握するための変質実験を実施中
- ・長期変質挙動評価に用いるための化学反応・物質移動モデルを開発中

○硝酸塩挙動・微生物影響

- ・硝酸塩／鉍物反応実験および高pH環境での硝酸塩還元に参加する微生物の代謝スキームを取りまとめ

○核種移行データ整備

- ・Puの溶解度試験を実施中
- ・Clを対象とした透過拡散試験の検討およびデータベース化を継続実施

○システム性能評価

- ・処分施設の長期力学的安定性評価のための力学挙動解析システムを改良
- ・第2次TRUレポートでのシステム性能評価解析の代替ケースの詳細解析を行うため、核種移行の解析条件を整理中



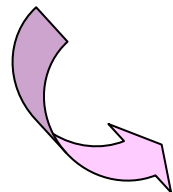
研究成果の公開

— 瑞浪、幌延における地上からの調査研究段階（第1段階）の成果の取りまとめ —



成果報告会の開催
(2007年9月)

研究成果報告書の公開
(2007年3月)
部門HPからダウンロード可能



成果報告会での配付資料(要旨集と年度報告書)

研究施設の公開

- 東濃地科学センター
 - ・地下施設見学会: 10回
 - ・見学者総数: 2,100名
- 幌延深地層研究センター
 - ・施設見学会: 5回
 - ・見学者総数: 1,100名
 - ・平成19年夏にPR施設を開館
(平成19年6月30日開館)
- 東海研究開発センター
 - ・見学者総数: 1,300名



PR施設

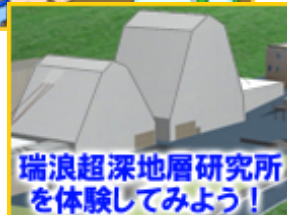
広報・広聴活動

- 東濃地科学センター
 - ・地域への事業説明会: 20箇所/年
 - ・東濃地球科学セミナー: 1回
 - ・東濃エネルギーセミナー: 1回
 - ・広報誌「地層研ニュース」: 毎月500部を周辺各戸に配布
 - ・マスメディア: 新聞広告, プレス発表, 取材対応など
- 幌延深地層研究センター
 - ・自治体への事業説明会(北海道, 幌延町)
 - ・住民説明会: 1回/年
 - ・広報誌「ひろば」: 年3回(約24,000世帯に配布)
 - ・マスメディア: 新聞広告, プレス発表, 取材など



ホームページ

- コンテンツ
 - ・研究開発の概要, 成果取りまとめ状況
 - ・深地層の研究施設の状況・環境情報
 - ・学習・体験ツール
- アクセス件数
 - ・地層処分研究開発部門: 799,057
 - ・東濃地科学センター: 2,909,696
 - ・幌延深地層研究センター: 1,243,425
(合計: 4,952,178件)



研究開発成果の普及

- 地層処分研究開発全般
 - ・地層処分基盤研究開発に関する報告会
(平成19年3月5日, 資源エネルギー庁との共催)
- 東濃地科学センター
 - ・地層科学研究に関する情報・意見交換会
(平成18年10月19-20日)
- 幌延深地層研究センター
 - ・札幌報告会2006(平成18年7月24日)
 - ・幌延フォーラム2006(平成18年10月23日)