

地層処分計画を支える 技術基盤の継続的な強化

— 国の地層処分基盤研究開発の成果と今後の展開 —

2007年3月5日

経済産業省資源エネルギー庁
(独)日本原子力研究開発機構

経済産業省資源エネルギー庁調査等事業実施機関
(財) 原子力環境整備促進・資金管理センター
(財) 電力中央研究所
(財) 産業創造研究所
(独) 産業技術総合研究所
(独) 放射線医学総合研究所

地層処分計画を支える技術基盤の継続的な強化
－国の地層処分基盤研究開発の成果と今後の展開－
(平成 19 年 3 月 5 日(月), 10:30～17:30, 全電通労働会館 全電通ホール)

プログラム

1. 開会挨拶 [10:30～10:40]

経済産業省 資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 吉野恭司

2. 国の地層処分基盤研究開発の概要 [10:40～11:25]

座長： 朽山 修(東北大学 多元物質科学研究所 教授)

(1) 地層処分基盤研究開発に係る調整会議の枠組みと全体基本戦略

経済産業省 資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 吉野恭司

(2) 日本原子力研究開発機構における地層処分技術に関する研究開発の概要

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 副部門長 石川博久

3. 高レベル放射性廃棄物に関する研究開発

～各研究開発分野の成果と今後の計画～

(1) 地質環境調査評価技術 [11:25～12:30]

座長： 山崎晴雄(首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 教授)

1)これまでの成果の概要と今後の計画

地層処分基盤研究開発調整会議 地質環境ワーキンググループ

コーディネータ 清水和彦*

2)日本原子力研究開発機構における研究開発成果

- ・テーマ「天然現象の調査技術と予測モデルに係わる研究開発の現状
－マグマ検出技術と地形変化シミュレーション－」

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門

東濃地科学研究ユニット 自然事象グループ 研究副主幹 梅田浩司

3)資源エネルギー庁調査等事業の研究開発成果

- ・テーマ「地質環境調査技術の高度化
－コントロールボーリングと地下水年代測定－」

電力中央研究所 地球工学研究所 バックエンド研究センター

重点プロジェクト課題責任者(高レベル放射性廃棄物処分技術の開発) 木方建造

- ・テーマ「塩淡水境界面の形状把握と長期予測に関する研究」

産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 地質バリア研究グループ

主任研究員 丸井敦尚

4)質疑

～休憩～

(2) 処分場の工学技術

[13:30～14:25]

座長：大西有三(京都大学大学院 工学研究科 教授)

1)これまでの成果の概要と今後の計画

地層処分基盤研究開発調整会議 工学技術ワーキンググループ

コーディネータ 油井三和*

2)日本原子力研究開発機構における研究開発成果

・テーマ「工学技術の基盤強化に向けて」

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット

ニアフィールド研究グループリーダー 内藤守正

3)資源エネルギー庁調査等事業の研究開発成果

・テーマ「遠隔操業技術の開発

－処分場における搬送・定置とオーバーパックの溶接・検査－

原子力環境整備促進・資金管理センター

処分技術調査研究プロジェクト プロジェクトマネジャー 朝野英一

4)質疑

(3) 性能評価技術

[14:25～15:25]

座長：大江俊昭(東海大学 工学部 エネルギー工学科 教授)

1)これまでの成果の概要と今後の計画

地層処分基盤研究開発調整会議 性能評価ワーキンググループ

コーディネータ 梅木博之*

2)日本原子力研究開発機構における研究開発成果

・テーマ「性能評価の技術基盤の体系化に向けて」

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット

システム性能評価研究グループリーダー 宮原 要

3)資源エネルギー庁調査等事業の研究開発成果

・テーマ「環境要因影響評価手法の開発－放射線影響評価を中心に－」

産業創造研究所 柏研究所 原子力化学工学センター 主管研究員 萩沼真之

・テーマ「放射性核種生物圏移行パラメータの収集とデータベースの開発」

放射線医学総合研究所 特別上席研究員 内田滋夫

4)質疑

* 日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門

4. TRU 廃棄物に関する研究開発 [15:25～15:50]

座長： 大江俊昭(東海大学 工学部 エネルギー工学科 教授)

「TRU 廃棄物地層処分の研究開発戦略」

日本原子力研究開発機構, 経済産業省資源エネルギー庁,
原子力環境整備促進・資金管理センター, 電気事業連絡会

代表発表者: 亀井玄人(日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門)

5. パネル総合討論「地層処分基盤研究開発への期待」 [16:05～17:25]

座長： 朽山 修(東北大学 多元物質科学研究所 教授)

パネリスト: 大西有三(京都大学大学院 工学研究科 教授)

八木絵香(大阪大学 コミュニケーションデザイン・センター 特任講師)

北山一美(原子力発電環境整備機構 技術部長)

吉村宇一郎(原子力安全基盤機構 規格基準部長)

吉野恭司(経済産業省 資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長)

河田東海夫(日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 部門長)

6. 閉会挨拶 [17:25～17:30]

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 部門長 河田東海夫

2. 国の地層処分基盤研究開発の概要

- (1) 地層処分基盤研究開発に係る調整会議
の枠組みと全体基本戦略**
- (2) 日本原子力研究開発機構における
地層処分技術に関する研究開発の概要**

2. 国の地層処分基盤研究開発の概要

(1)地層処分基盤研究開発に係る 調整会議の枠組みと 全体基本戦略

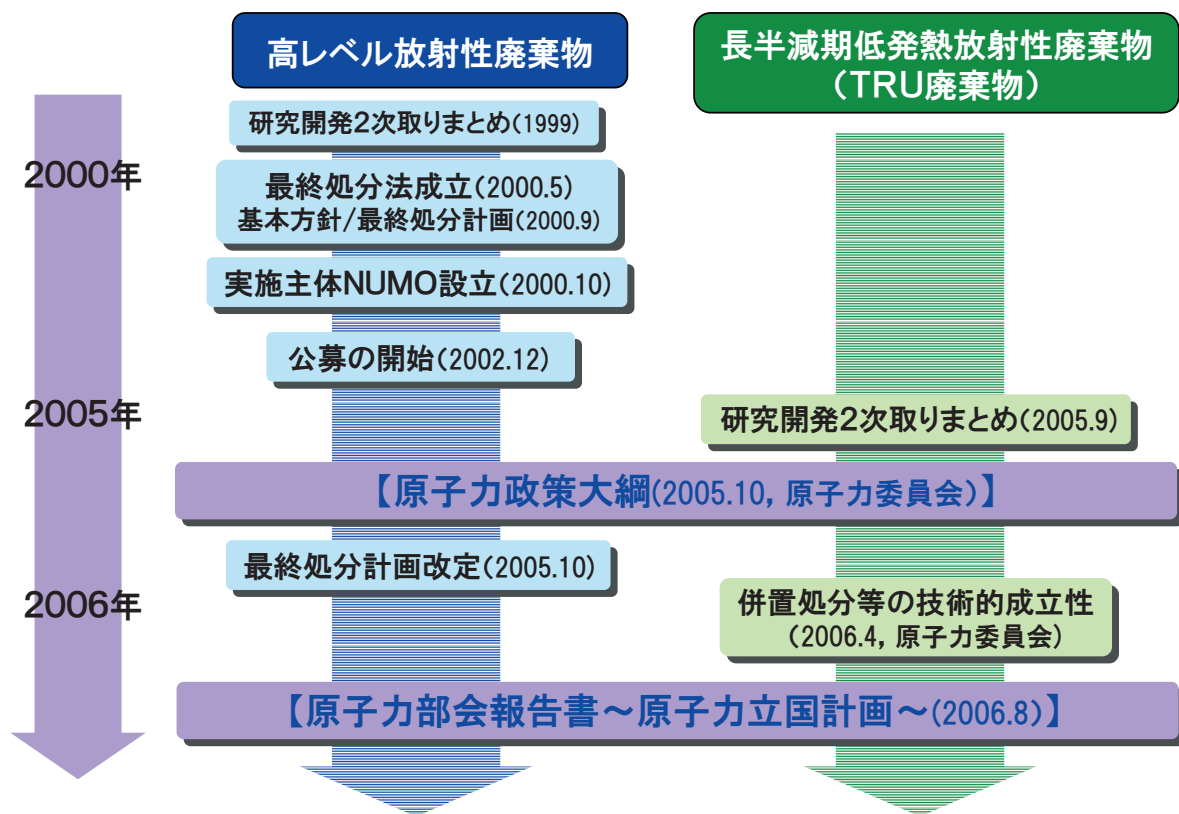
平成19年3月5日

経済産業省 資源エネルギー庁
放射性廃棄物等対策室
吉野 恭司

報告内容

1. 地層処分関連の政策動向
2. 地層処分基盤研究開発調整会議の枠組みと
これまでの活動
3. 地層処分基盤研究開発の全体基本戦略
 - 3-1) 高レベル放射性廃棄物
 - 3-2) TRU廃棄物(資源エネルギー庁の関連調査等事業の概要を含む)
4. 今後の展開と課題

わが国の地層処分に係る政策検討状況

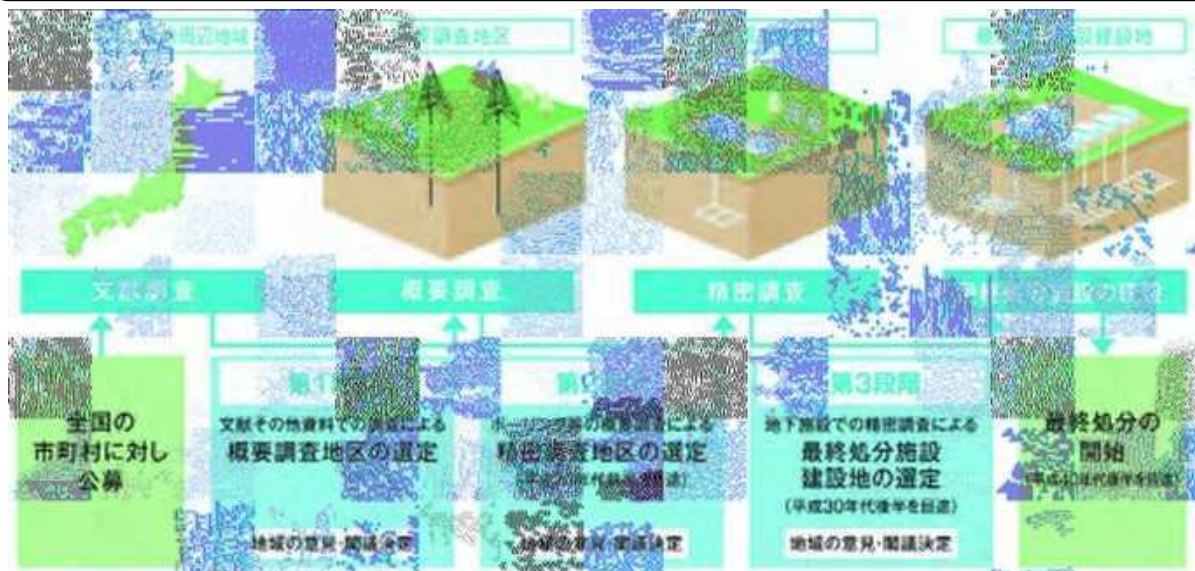


原子力立国計画：①HLW最終処分

1. 高レベル廃棄物の最終処分の候補地選定に向けた取組の強化

○今後1, 2年間で正念場との意識を持ち、国による地域支援措置の大幅な拡充、広報活動の強化など、関係者が一体となって最大限努力すべき。

※H17.10に閣議決定された最終処分計画改定において、従前の処分地選定スケジュールを維持

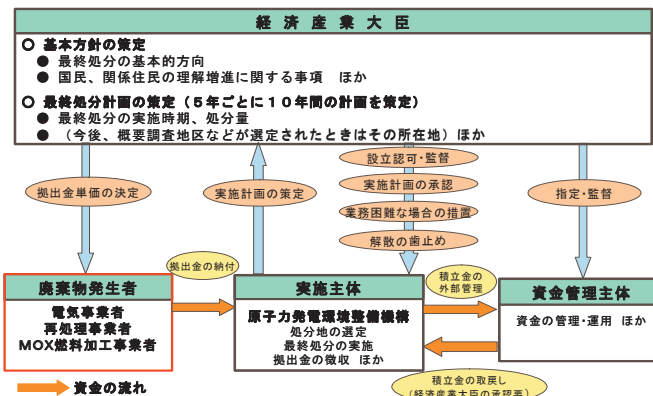


原子力立国計画:②TRU廃棄物

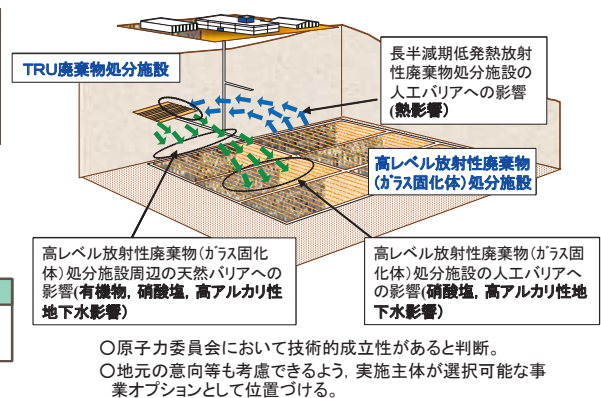
2. TRU廃棄物(長半減期低発熱放射性廃棄物)の地層処分についての制度的措置

- TRU廃棄物の地層処分については、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」による高レベル廃棄物の地層処分と同様の制度的措置がなされるべき。
- 併置処分を視野に入れると、高レベル放射性廃棄物とTRU廃棄物の両方について同じ実施主体(原子力発電環境整備機構)による処分が可能となる制度とすることが適切。
- 国及び研究機関、発生者並びに処分実施主体は、密接な連携の下、理解促進活動や技術開発を着実に進めていくことが重要。

■TRU廃棄物地層処分手業に係る制度概要(案)



■高レベル放射性廃棄物との併置処分

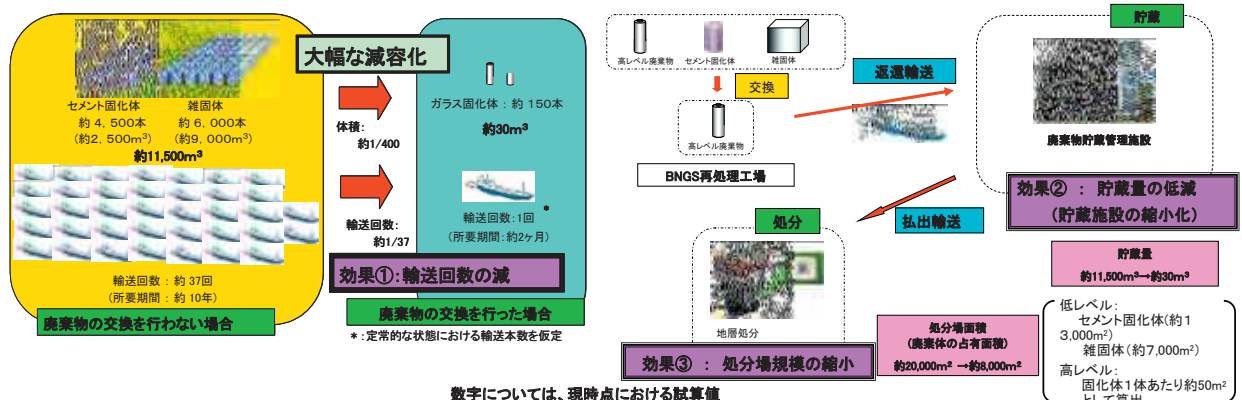


原子力立国計画:③返還廃棄物

3. 海外からの返還廃棄物に関連する制度的措置

- イギリスからの、低レベル放射性廃棄物を高レベル放射性廃棄物に交換して返還するとの提案に関し、交換のための指標(ITP)の妥当性を評価。これを踏まえ、国は、受け入れに当たっての必要な制度的措置を講じる。
- フランスより提案のあった、低レベル放射性廃棄物の固化形態の変更(アスファルト固化からガラス固化への変更)について、原子力委員会により技術的成立性が確認されたことを踏まえ、国は、処分に当たっての必要な制度的措置を講じる。

■イギリス提案(廃棄物の交換による返還)のメリット例



地層処分研究開発を取り巻く状況

【原子力委員会：原子力政策大綱(H17.10)】

「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・協力するべきである。」

【研究開発活動の着実な進展】

- 瑞浪と幌延の深地層研究の本格化をはじめとした基盤研究開発の着実な進展
- 研究開発の中核機関である「日本原子力研究開発機構」の発足
- 原環機構の事業および技術開発の段階的な展開、安全規制関連の検討の本格化

- 研究開発全体の効果的かつ効率的な推進を図ることを目的に、「**地層処分基盤研究開発調整会議**」を設置(H17.7～)

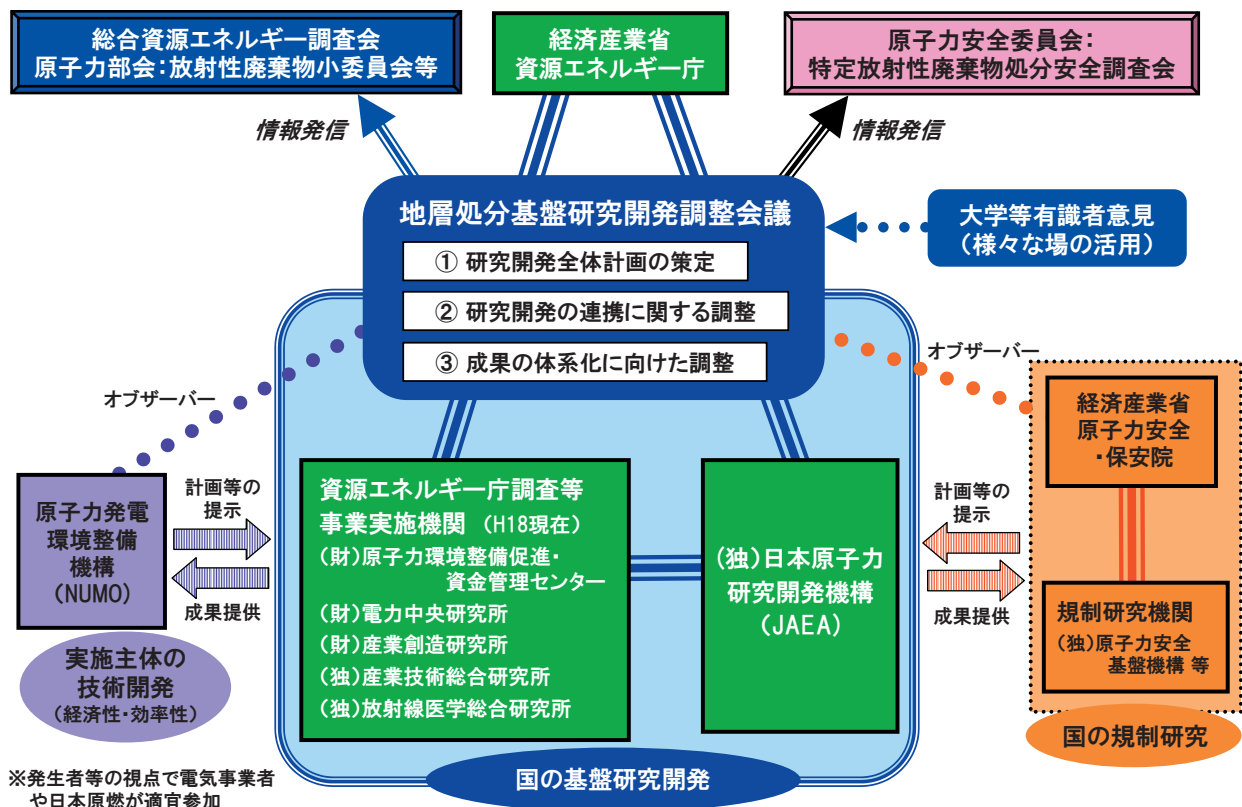
● 最終処分計画の改定(H17.10閣議決定)

国、関係機関及び機構は、それぞれの役割分担を踏まえつつ、密接な連携の下で、特定放射性廃棄物の最終処分にかかる研究開発を着実に進めていくこととする。

● 原子力部会報告書～原子力立国計画～(H18.8)

引き続き、TRU廃棄物の特性等に留意しつつ、高レベル放射性廃棄物の処分の研究開発と連携して効率的に技術開発を進めていくことが重要。

地層処分基盤研究開発調整会議の概念



調整会議の機能と組織

①研究開発全体計画の策定

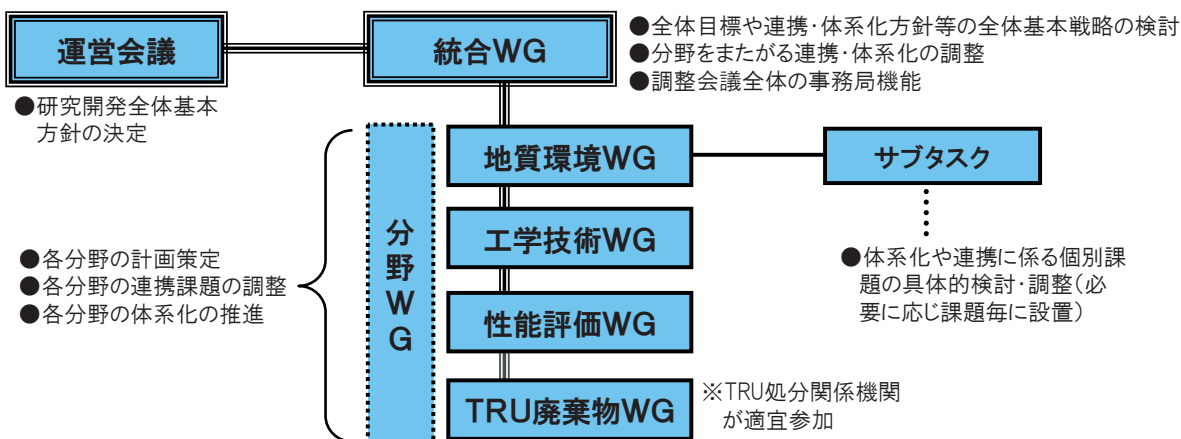
国の基盤研究開発の役割や目標、処分事業や安全規制のニーズやスケジュール等を踏まえた、連携や体系化方策を含む基盤研究開発の全体計画の策定

②研究開発の連携に関する調整

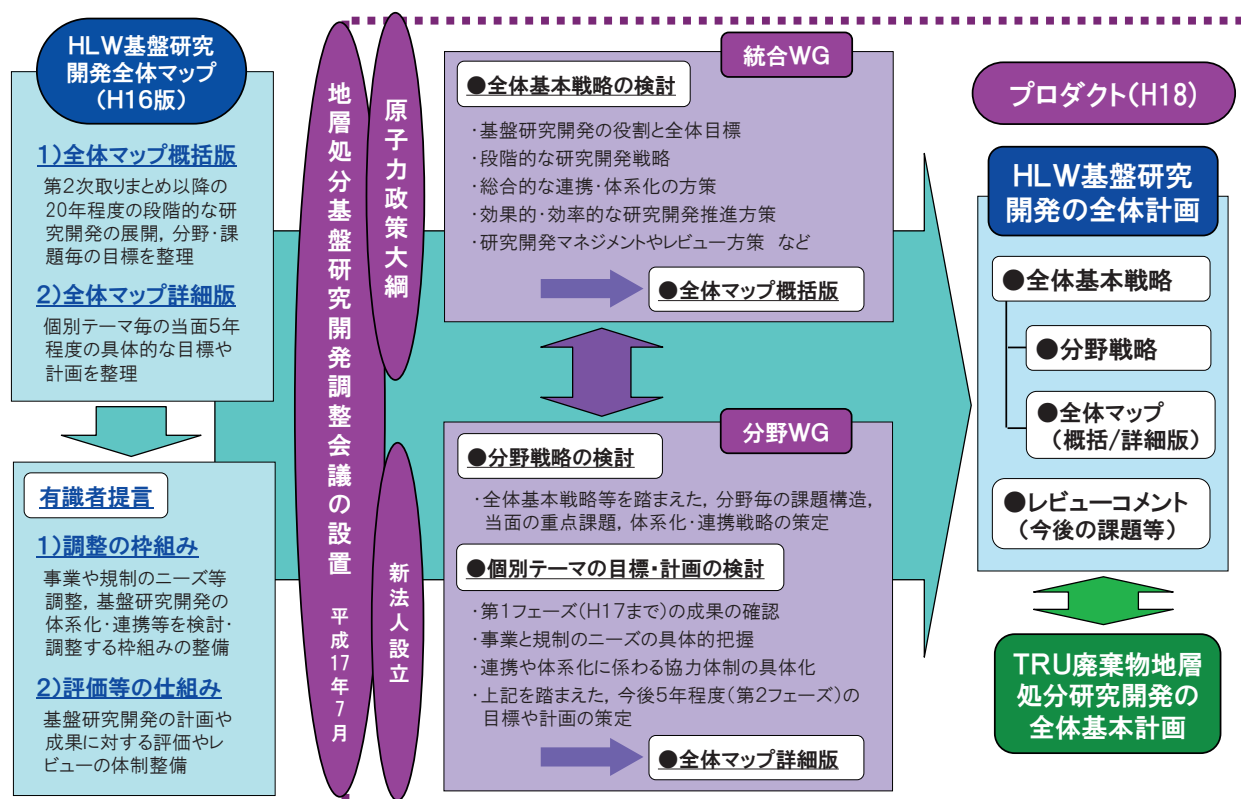
体系化や効率化の観点から連携すべき課題の明確化と、研究施設等の研究資源の有効活用を含めた共同研究等の企画・調整

③成果の体系化に向けた調整

研究開発成果の効果的な集約と反映を念頭においた体系化のあり方の検討と、それに基づく様々なレベル・視点での体系化作業の推進・調整

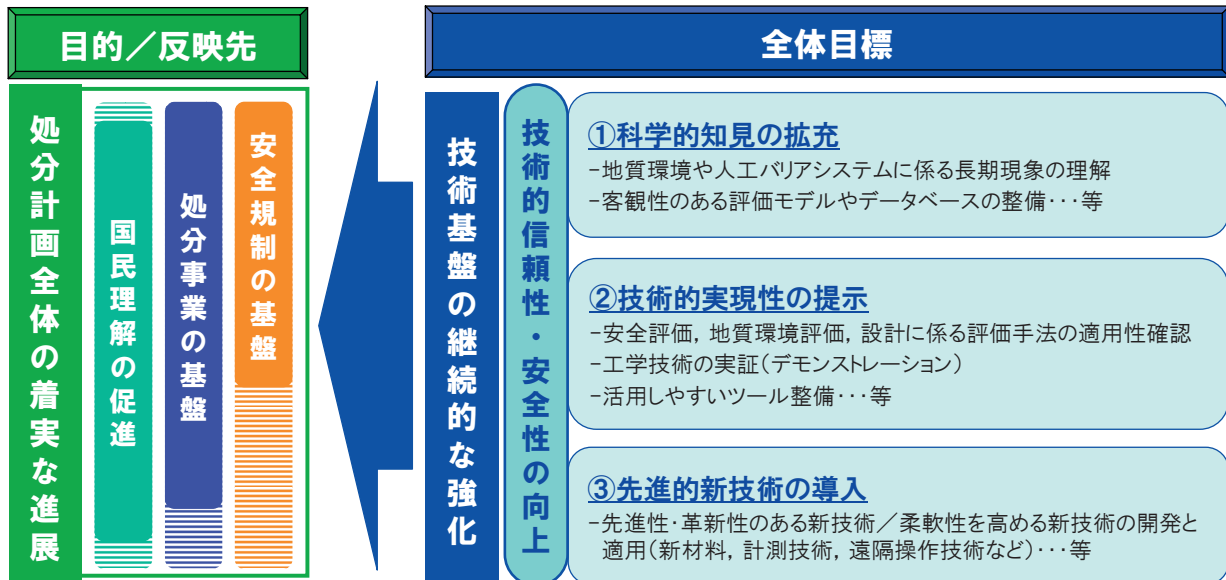


調整会議の活動経緯～検討と成果のポイント～

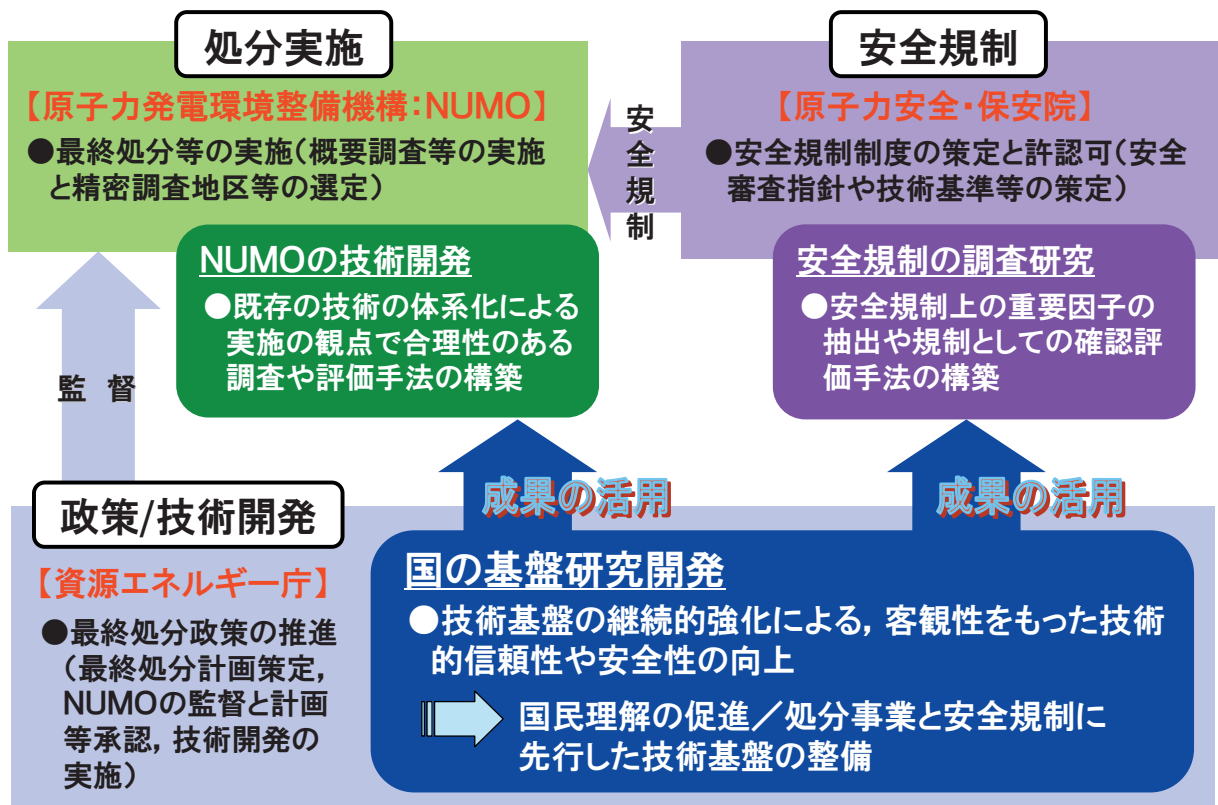


国の基盤研究開発の役割と全体目標

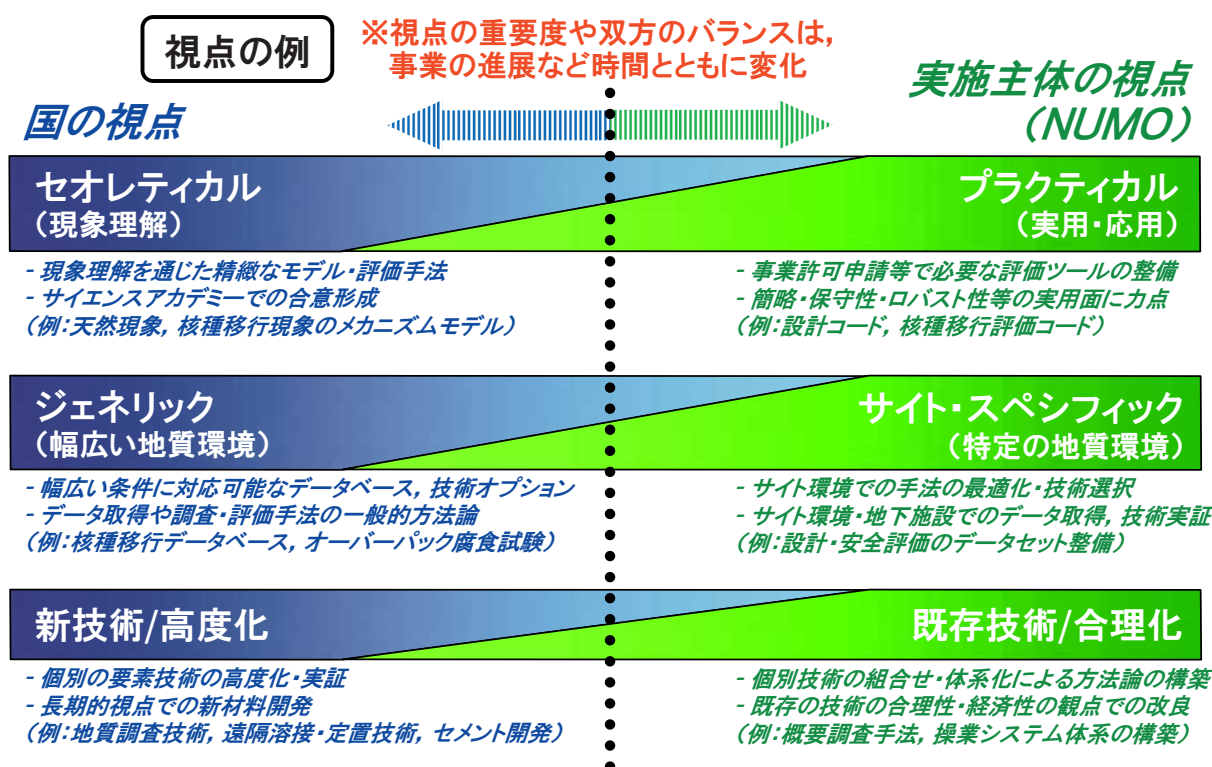
国の責任のもとで技術基盤の継続的強化を図り、客観性をもって技術の信頼性や処分の安全性を高め、もって国民の理解を促進するとともに、事業や規制に先行する形での技術の整備を通じ、処分事業や安全規制を含むわが国の処分計画全体の着実な進展に資する。



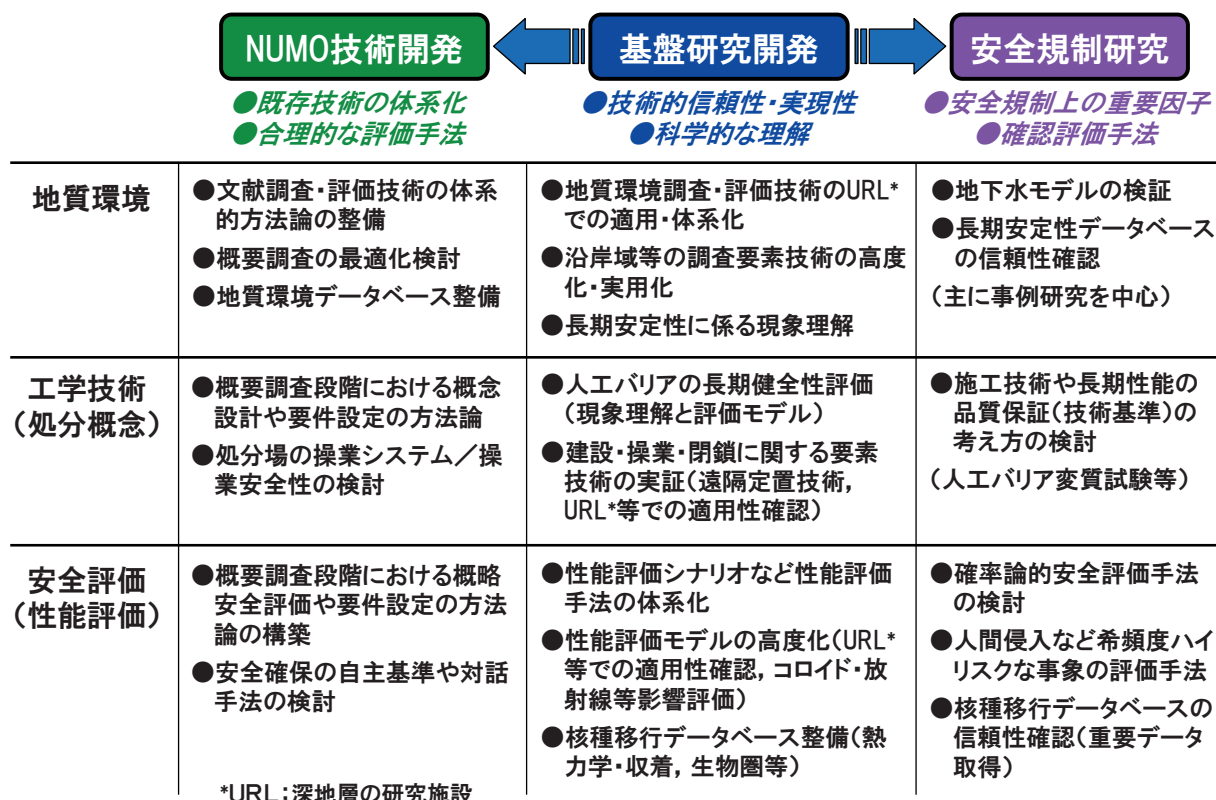
基盤研究開発の処分事業及び安全規制との関係



国の基盤研究開発と実施主体による技術開発との関係



国の基盤研究開発と、実施主体／規制機関による研究開発の関係

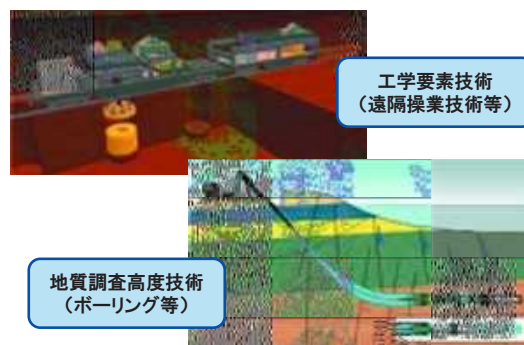


国の基盤研究開発の実施体制



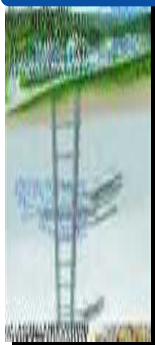
中核研究機関として深地層の研究施設等を活用し、深地層の科学的研究や安全評価手法の高度化など主に科学的な視点や体系的な視点に重点をおいた研究開発
【体系的な基礎基盤技術の構築】

地質環境調査技術や処分技術に関連した要素技術など主に工学的視点に重点をおいた周辺基盤技術の研究開発
【高度化実用化開発(事業への展開)と政策課題対応】



JAEAの研究開発: 瑞浪・幌延の深地層研究計画等

瑞浪URL



(イメージ図)

幌延URL



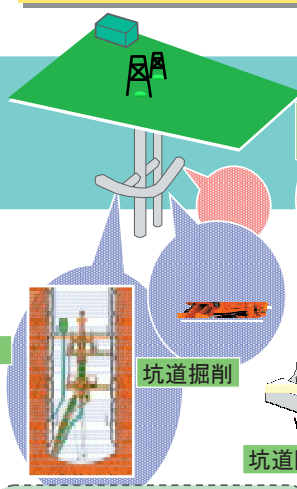
(イメージ図)

- ・瑞浪(結晶質岩, 淡水系, 硬岩), 幌延(堆積岩, 塩水系, 軟岩)
- ・地層処分技術の一連の適用性確認を通じた知識ベースとしての体系化

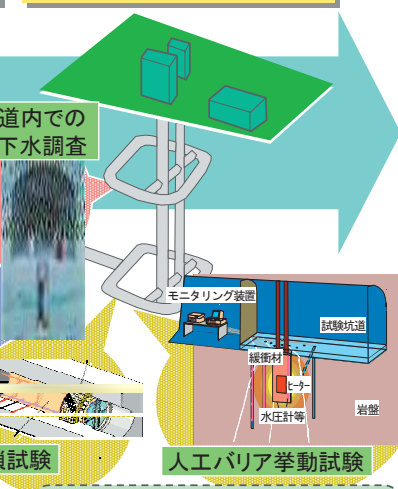
第1段階 地上からの調査研究



第2段階 坑道掘削時の調査研究



第3段階 地下施設での調査研究



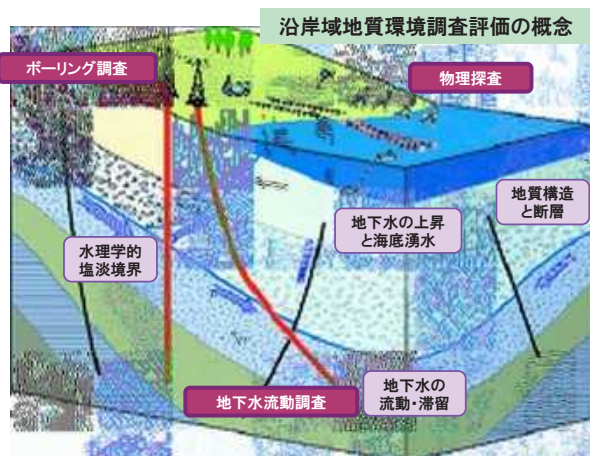
地下施設における地質環境の詳細調査・評価技術／体系的な設計・安全評価技術

資源エネルギー庁の調査等事業

地質環境調査技術や工学技術に関連した要素技術の高度化開発など
周辺基盤技術の整備

沿岸域調査技術高度化

沿岸域サイト評価において重要な塩淡水境界や断層評価について、物理探査やボーリング調査等の要素技術開発と効果的組合せによる総合評価手法を構築

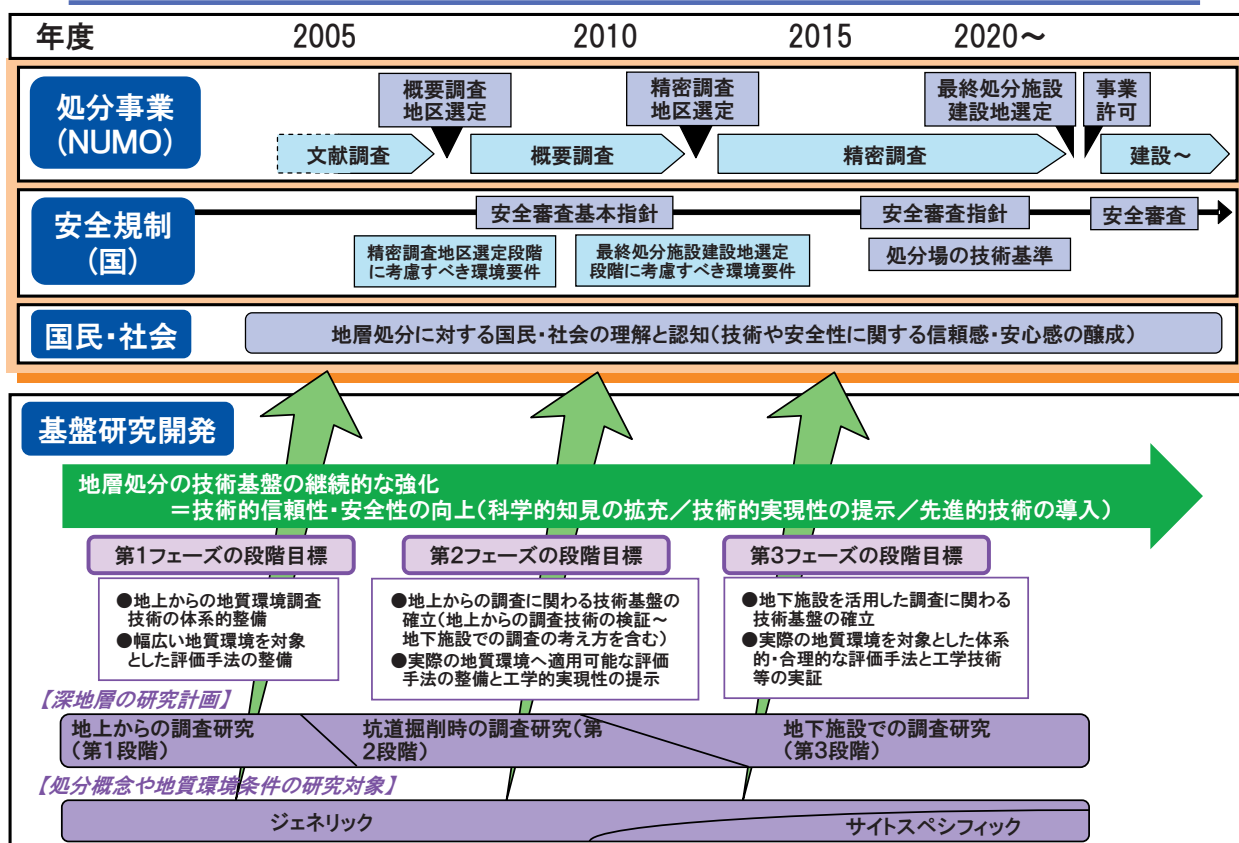


遠隔操業技術高度化

処分場操業に必要な遠隔操作技術(オーバーパックの溶接・検査, 廃棄体等の搬送・定置)について、様々な要素技術の高度化開発



段階的な研究開発の展開と成果の反映



研究開発のマネジメント戦略～柔軟性と具体性の両立～

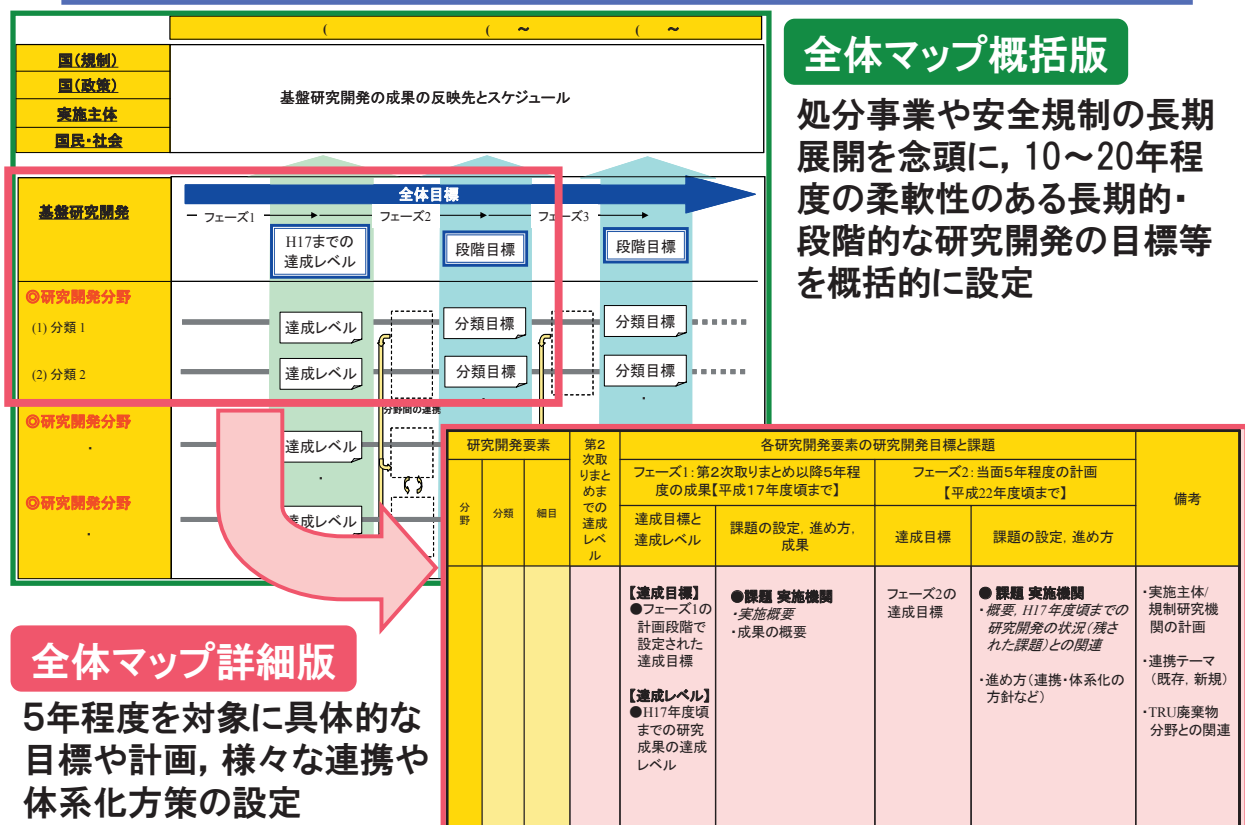
基本的考え方(2つの視点の両立)

- ①事業や規制の段階的な展開に対応可能な研究開発計画の「柔軟性」
- ②現時点における合理性や効率性に配慮した研究開発計画の「具体性」

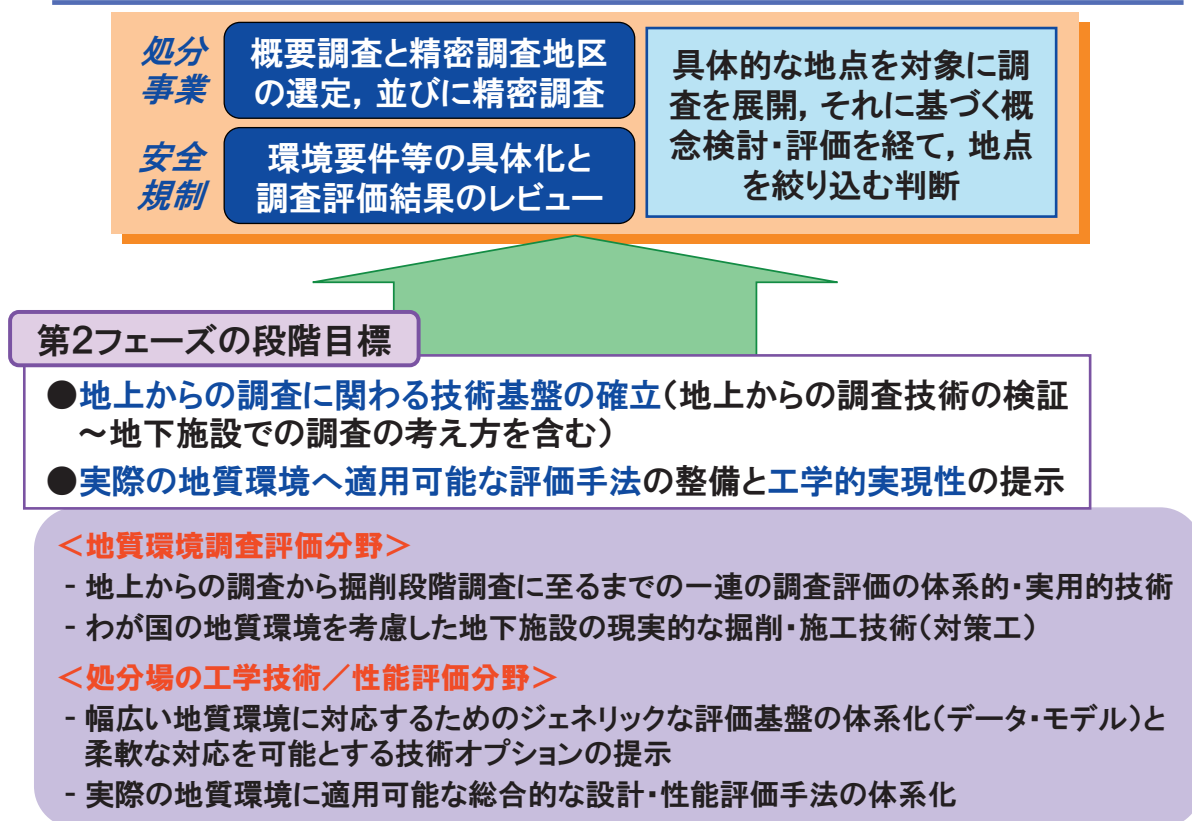
研究開発全体計画＝研究開発全体マップによる管理

- 処分事業や安全規制の長期的展開，地下研究施設の進め方を含めた10～20年程度の柔軟性のある長期的・段階的戦略を概括的に設定【全体マップ概括版】
- 5年程度を対象に，具体的な目標や計画の設定，様々な連携方策，節目での成果体系化と反映に向けた方策等を具体的提示【全体マップ詳細版】
- 事業や規制の展開に応じて適宜柔軟に計画を見直しつつ展開（全体計画の見直しによるタイムリーな対応）
 - サイト選定の進捗による地質環境の特定，材料や定置方式の技術選択
 - 安全規制の進捗による評価期間の特定，リスク論的評価の導入
 - その他，ニーズに応じた成果の反映（情報・技術の提供）・・・等

研究開発全体マップ(概括版／詳細版)

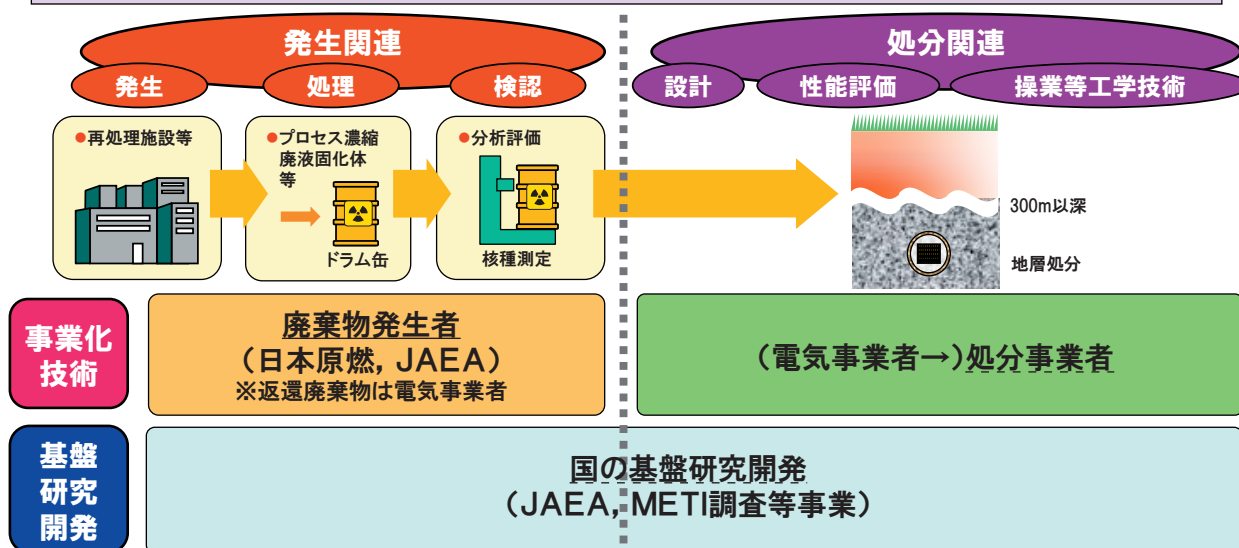


HLW地層処分の当面5年程度(第2フェーズ)の重点課題

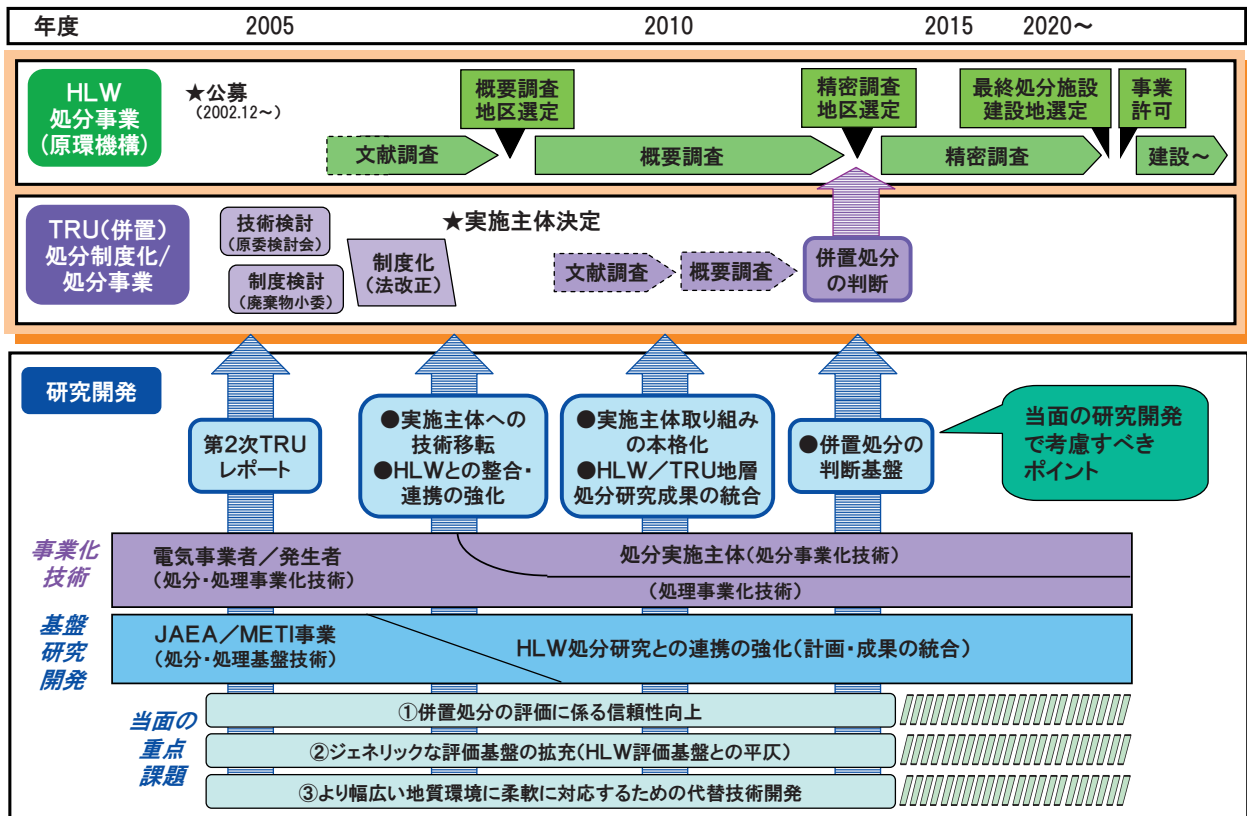


TRU廃棄物の地層処分にに関する研究開発

- 国及び研究開発機関は基盤的な研究開発, 発生者は廃棄物の安全かつ合理的な処理等を目的とした研究開発, 処分実施主体は処分事業の安全な実施, 経済性及び効率性の向上等を目的とする研究開発を行うとの役割分担を踏まえつつ, 密接な連携の下, 研究開発を着実に進めていくことが重要。
- その際, TRU廃棄物の特性等に留意しつつ, 高レベル放射性廃棄物の処分の研究開発と連携して効率的に行うことが重要。



TRU廃棄物地層処分の研究開発の段階的進め方



TRU地層処分研究開発の当面の重点課題

① 併置処分の評価に係る信頼性向上

- 硝酸塩等の影響に係る現象理解とデータ・評価モデルの信頼性向上
- 性能評価技術の体系化・高度化(処分場スケールでの相互影響評価の考慮など)

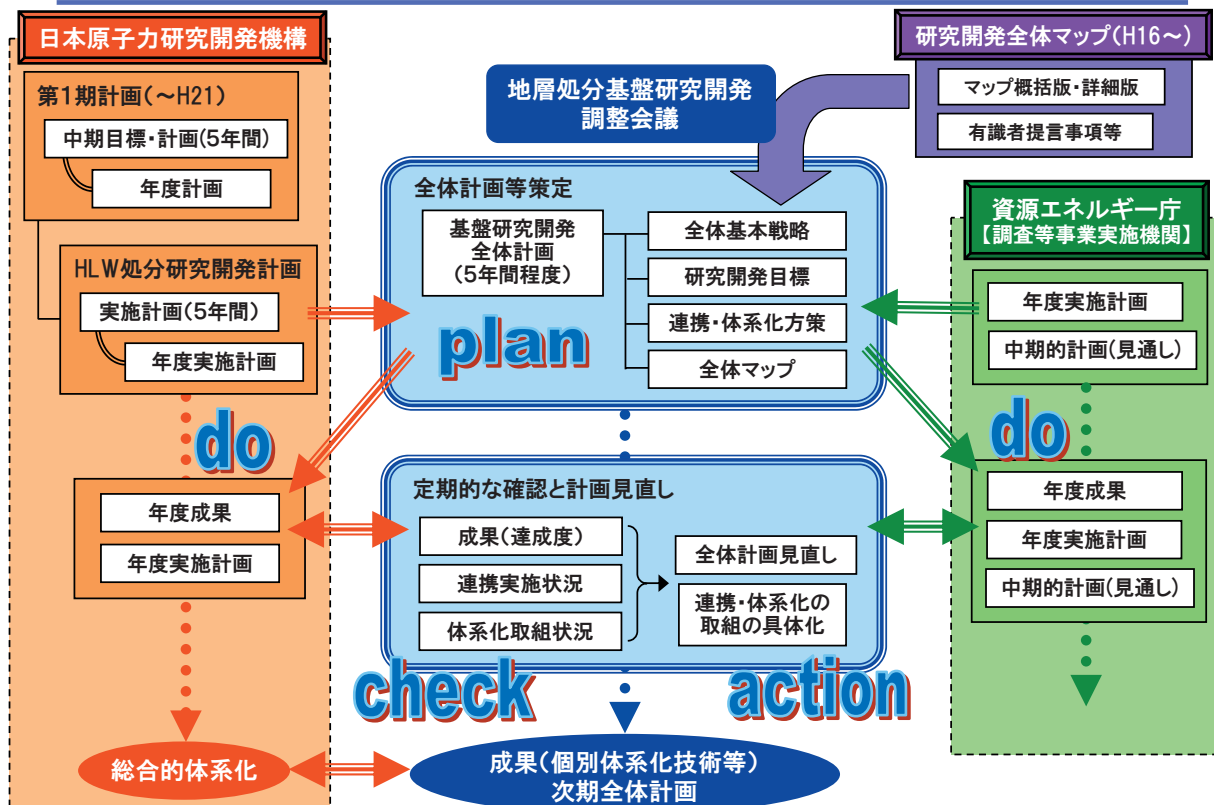
② ジェネリックな評価基盤の拡充(HLW評価基盤との平仄)

- 塩水環境下でのデータやモデルの整備など, 多様な地質環境を対象とした評価基盤の拡充
- 高アルカリ環境での人工バリア等の長期健全性に関するデータ拡充と評価モデルの信頼性向上

③ より幅広い地質環境に柔軟に対応するための代替技術開発

- ヨウ素固定化・浸出抑制技術の実現性の提示
- C-14の放出・移行評価の信頼性向上と閉じ込め容器の開発
- 硝酸塩影響の不確実性低減のための硝酸塩分解技術

基盤研究開発のマネジメントスキーム :PDCAサイクルに基づく適切な見直しと成果の体系化



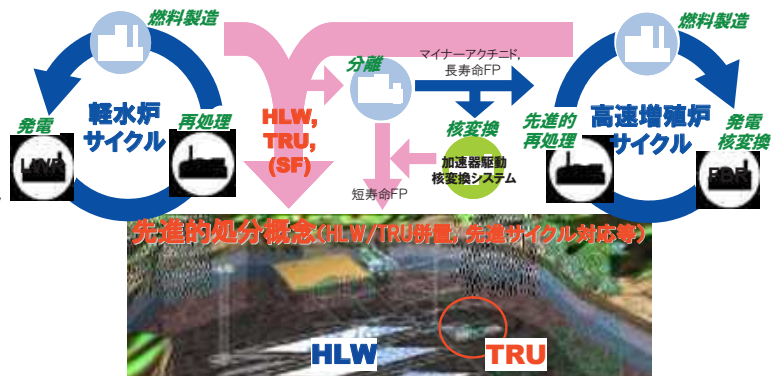
より効果的な研究開発を目指して～今後の課題①～

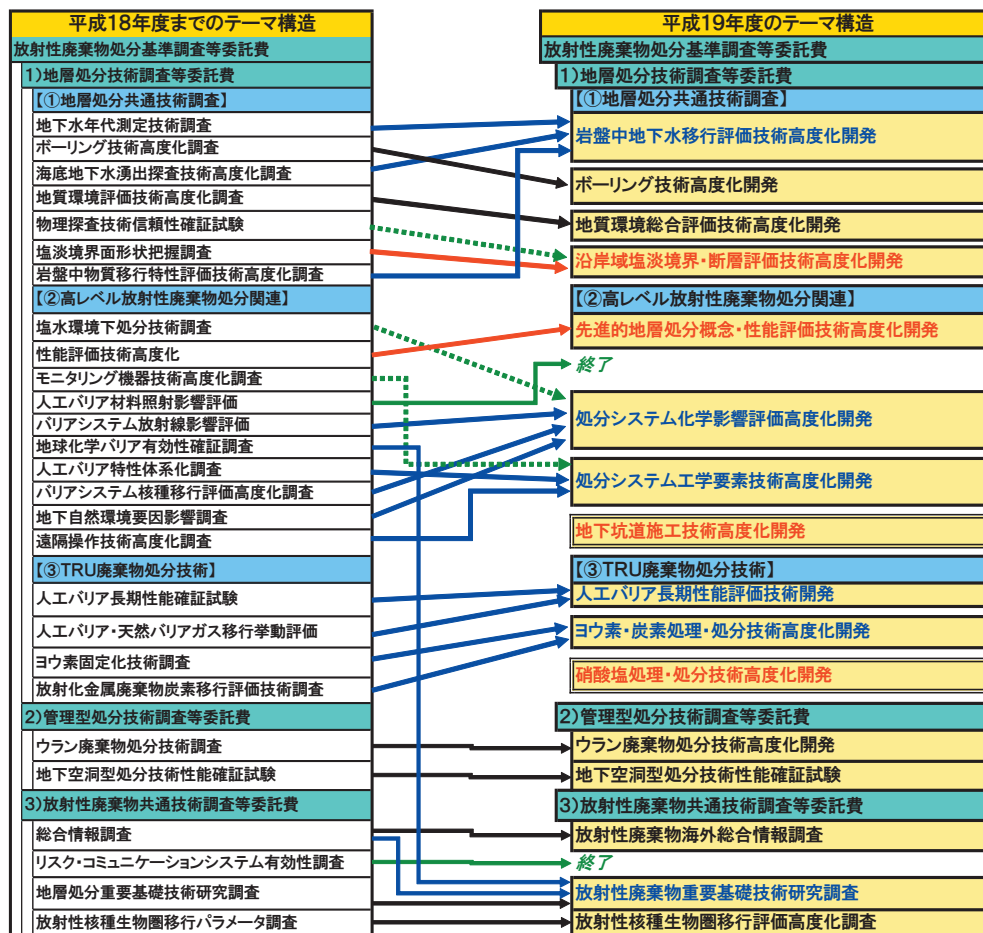
【効果的な技術基盤の確立と反映を目指して】

- 1) 処分事業や安全規制のニーズへの対応と反映方策の具体化
- 2) 段階的なセーフティケース構築を念頭においた成果の体系化・知識化

【戦略的課題への対応】

- 1) 地質環境～工学技術～性能評価の分野間連携
(実際の地質環境での一連の評価技術, 評価の時間スケールや不確実性の取扱い, 品質管理手法等)
- 2) 高レベル放射性廃棄物とTRU廃棄物の併置処分も念頭においた連携
- 3) 回収可能性, モニタリング等の制度的管理技術
- 4) 先進サイクル等を含む長期廃棄物管理戦略





資源エネルギー庁
の放射性廃棄物
関連の技術開発
テーマ構成
(H18からH19へ
の展開)

- 調整会議の議論の反映
- 政策動向への対応(併置処分, GNEP)
- 連携・体系化の促進

より効果的な研究開発を目指して～今後の課題②～

1) 学会等を通じた幅広い協力・連携

- 事業や規制の関連研究, 大学等基礎的研究領域, 国際協力までを含む効果的な研究開発の展開

2) 技術的信頼性の向上／品質の確保

- 学会レビューや研究者ピアレビュー等の詳細技術レビューの仕組み

3) 国民・社会とのコミュニケーション

- 成果等情報発信活動の促進, 事業や規制等活動を介した社会ニーズ抽出

4) 人材育成／技術継承

- 様々な研究活動を通じた長期的視点での人材の育成と技術の継承

調整会議の機能・体制の強化

- 戦略課題の検討と政策への展開, 評価や調整の中立性・透明性
- 幅広い大学等有識者の参画と中心的関与, 事業や規制主体との連携



2. 国の地層処分基盤研究開発の概要

(2) 日本原子力研究開発機構における 地層処分技術に関する研究開発の概要

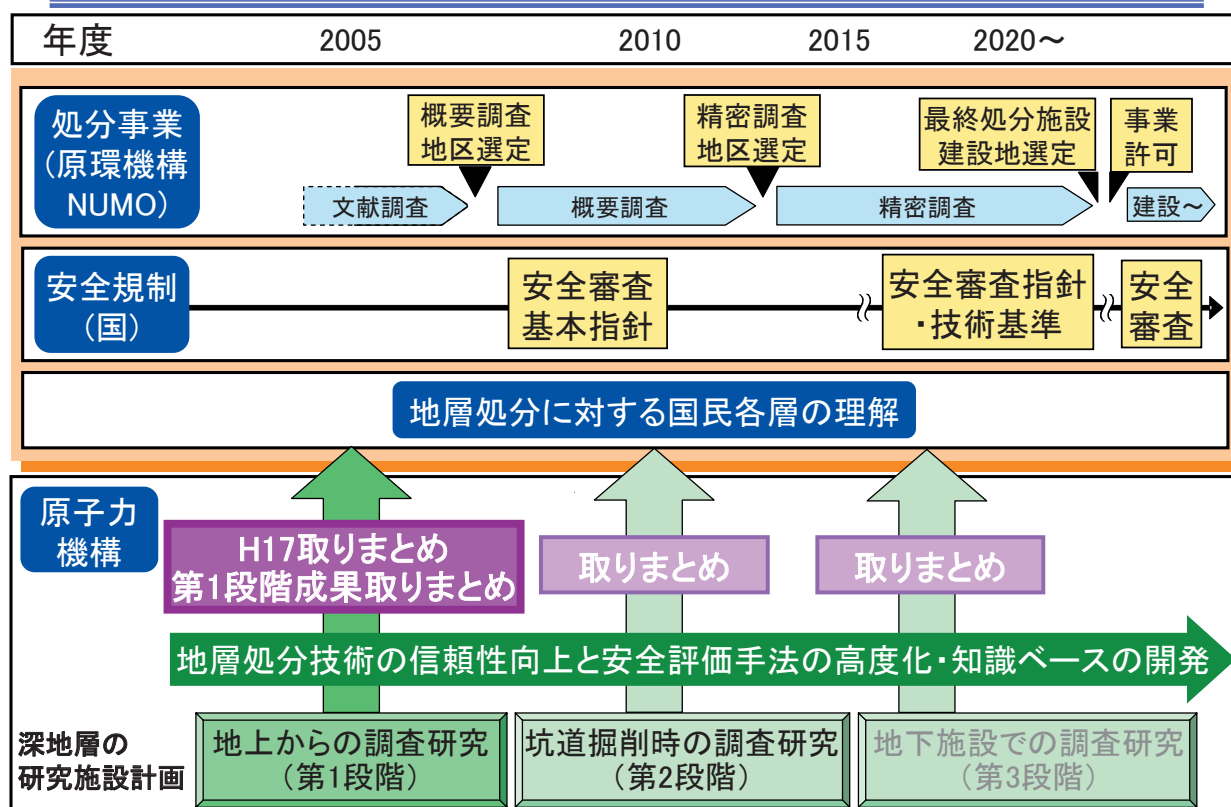
平成19年3月5日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

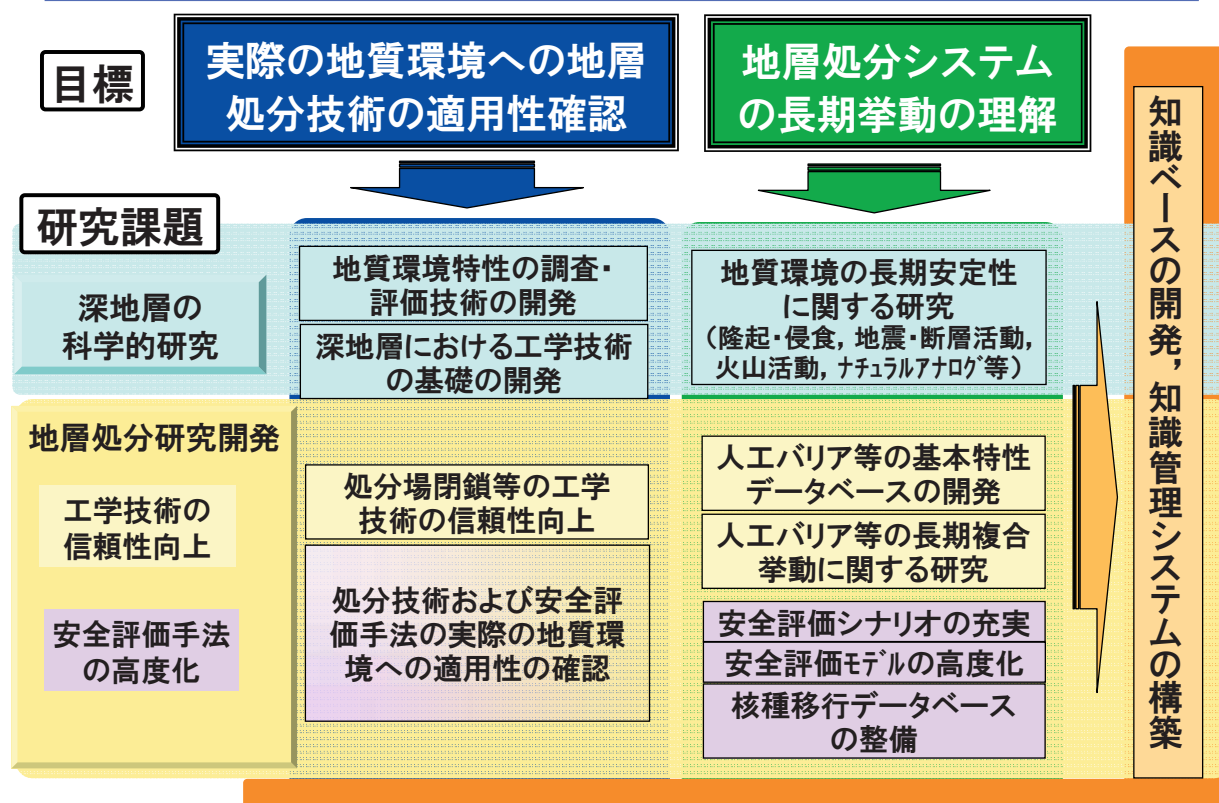
地層処分研究開発部門

石川 博久

中期計画・研究開発成果の段階的な取りまとめと反映



地層処分技術に関する研究開発の目標と課題

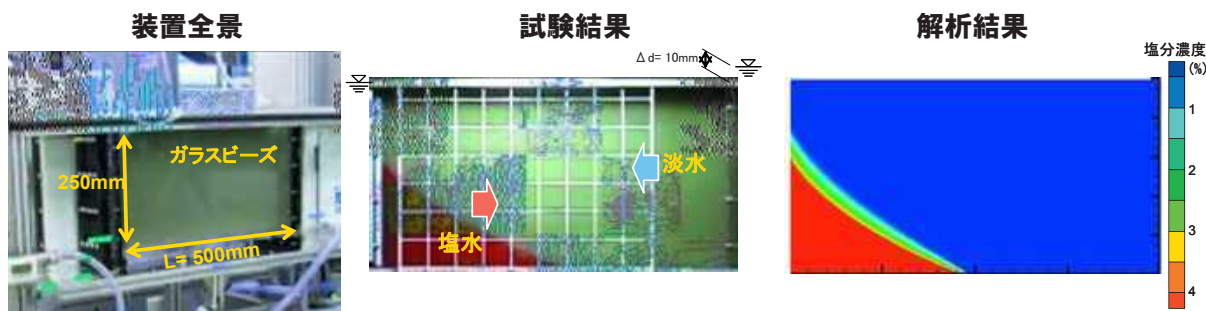


研究開発施設



研究開発の現状(エントリー, クオリティ)

地層中の塩水浸入過程の把握<エントリー>



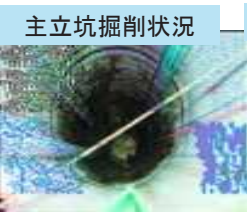
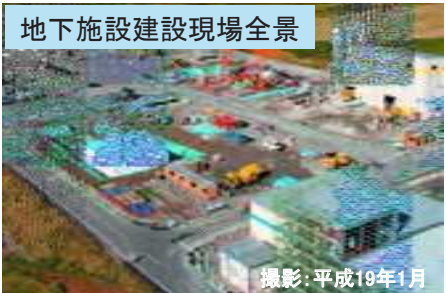
還元雰囲気下での核種移行特性データの取得<クオリティ>

- ・対象元素 : Cs, Np, Se, Ra等
- ・試験 : 溶解度試験, 拡散試験, 収着試験

圧縮ベントナイト中のNp拡散試験



研究開発の現状(URL)

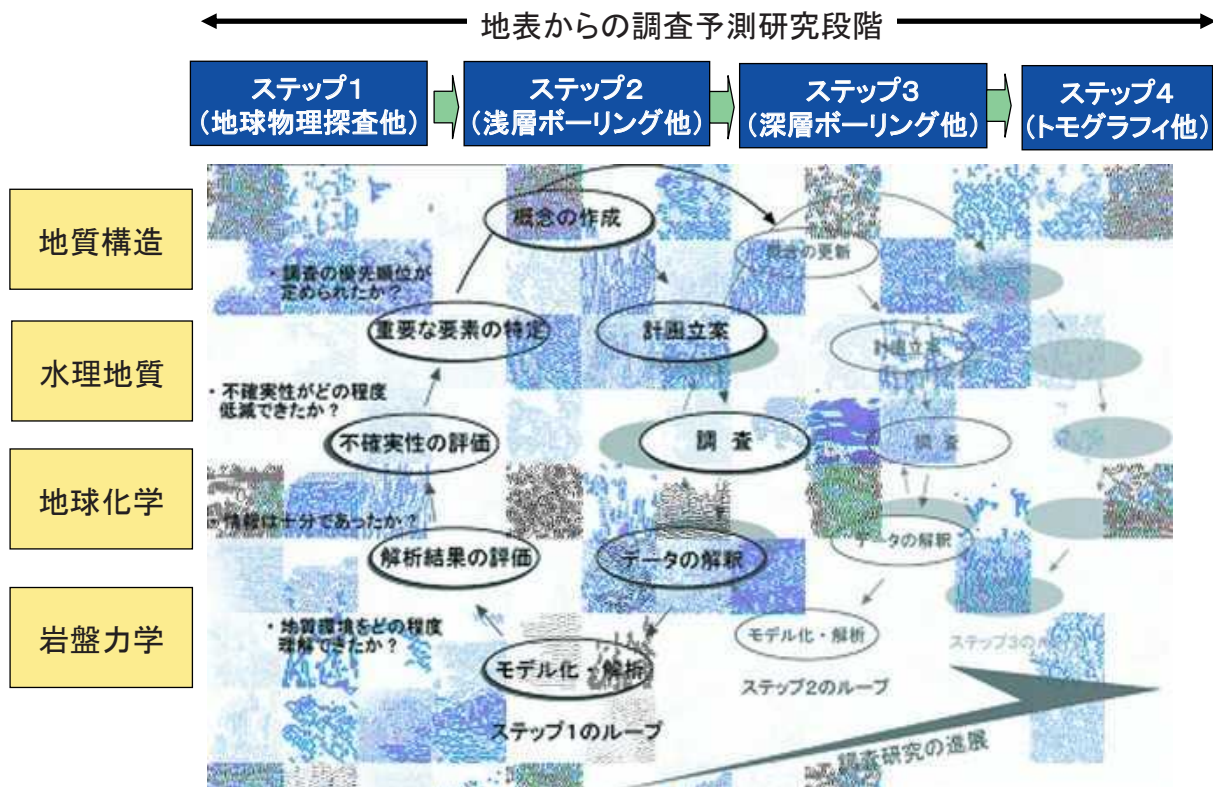
	瑞浪URL	幌延URL
第1段階 地上からの 調査研究段階	第1段階の研究成果の取りまとめ	
第2段階 坑道掘削時の 調査研究段階	建設工事状況  100m予備ステージ  撮影:平成17年6月 主立坑掘削状況  パイロッドボーリング用槽  (主立坑) 平成18年度深度200m を目標に掘削	地下施設建設現場全景  撮影:平成19年1月 PR施設  撮影:平成19年1月 立坑内調査状況  撮影:平成18年10月 平成18年度深度50mを 目標に掘削

地質環境特性の調査・評価技術の開発

安全評価，地下施設の設計・施工および環境影響評価の観点から，調査研究の個別目標と課題として整理



調査研究の繰り返しアプローチ



研究成果の概要

深地層の研究施設での地上からの調査を通じて、

【地質環境特性の調査・評価技術の開発】

- 地表から地下深部までの主要な地質構造，地下水，岩盤の物理的・化学的な特性を把握
- 地表からの地質環境特性の調査・評価技術の知見，経験・ノウハウを蓄積
- 性能評価および処分技術と連携し，技術の適用性を確認

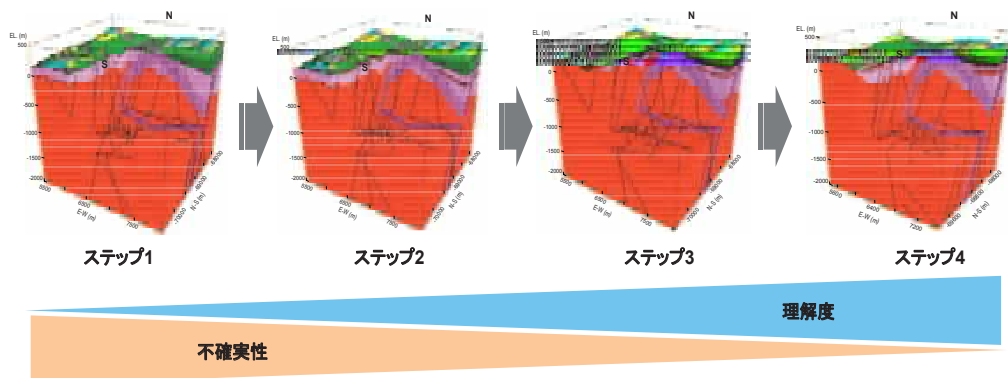
【深地層における工学技術の基礎の開発】

- 深地層の研究施設の研究坑道を設計，掘削に基づく経験を蓄積

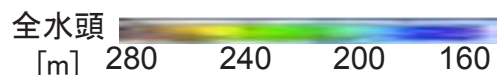
→ 統合化データフローを整備

地質構造の三次元構造/地下水の流動特性の把握(瑞浪URLの例)

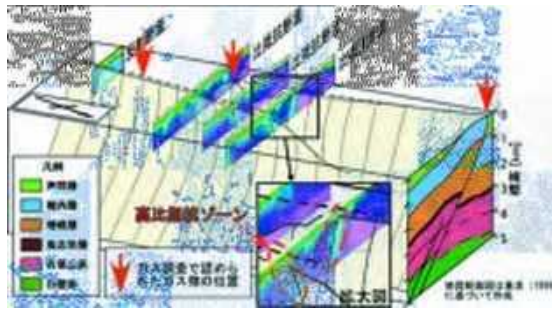
調査・解析・評価を繰り返し実施し，次の段階で調査・評価すべき項目を抽出していくことにより，地質構造地下水流動特性に関する理解度を合理的に向上



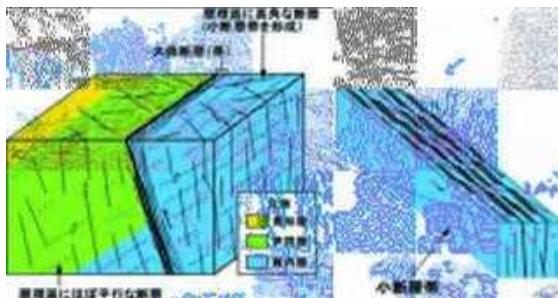
研究所用地



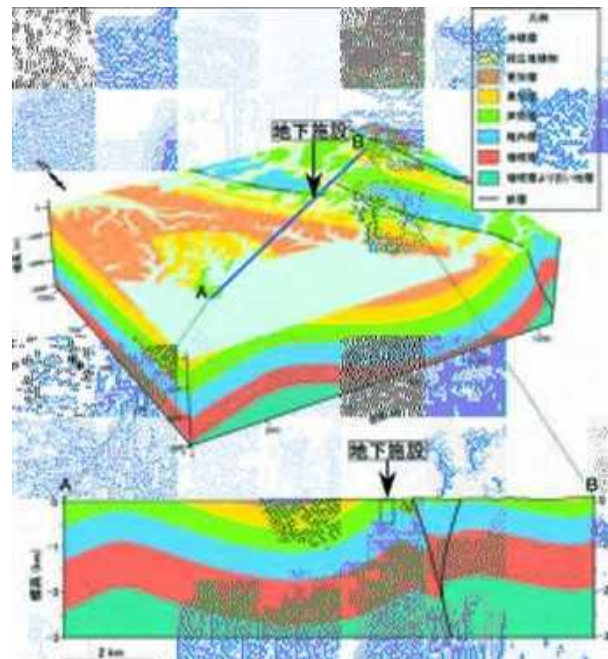
地質構造の三次元構造の把握(幌延URLの例)



大曲断層の三次元分布の推定



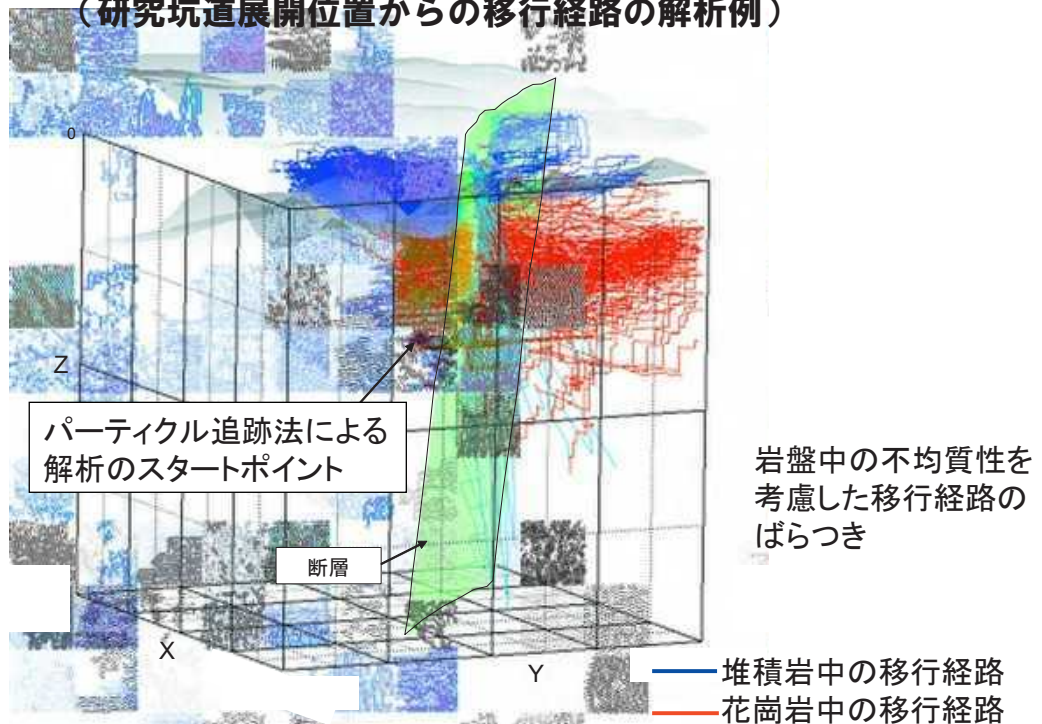
断層に関する地質構造の概念



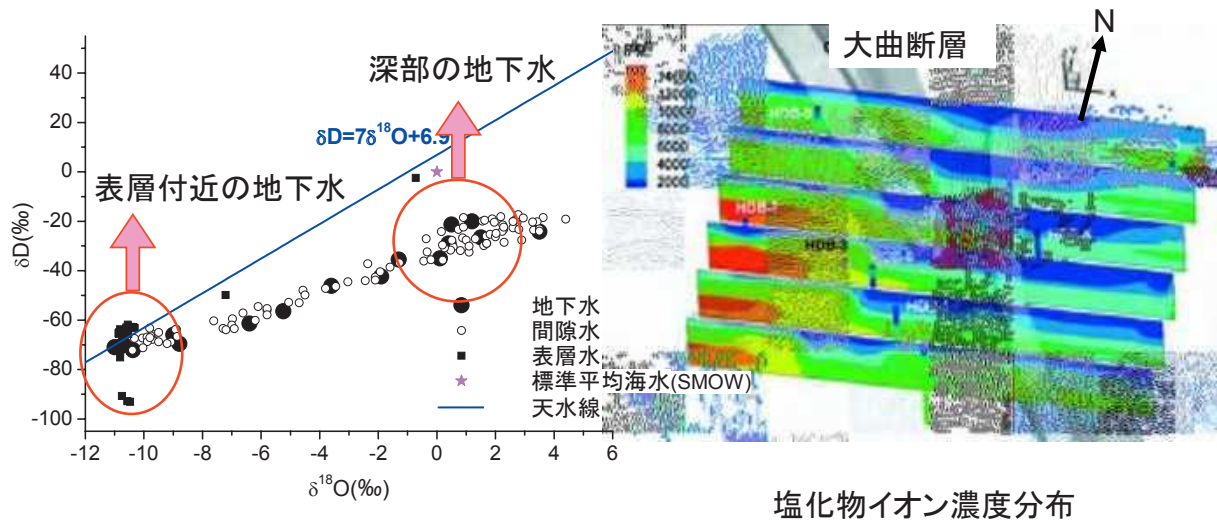
研究所設置地区および
その周辺の地質構造モデル

地下水の流動特性の把握(瑞浪URLの例)

「パーティクル追跡法」による地下水移行解析
(研究坑道展開位置からの移行経路の解析例)

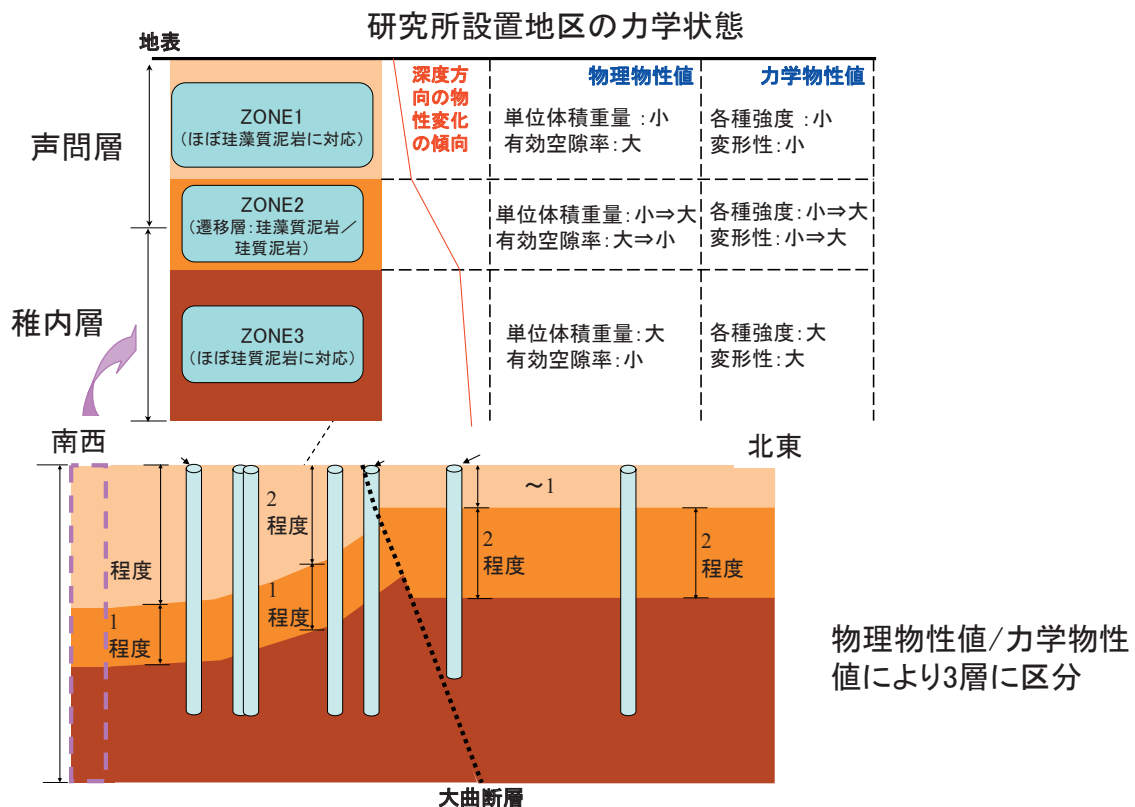


地下水の地球化学特性の把握(幌延URLの例)



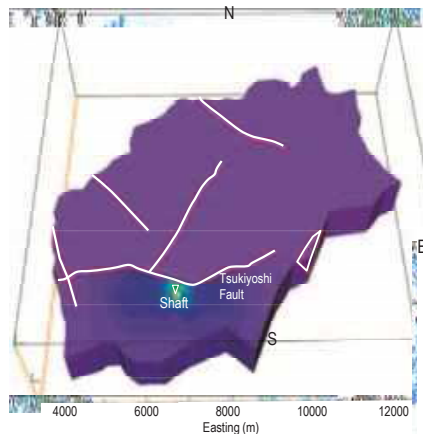
調査により得られた
酸素・水素安定同位体の分析結果

地下空洞周辺の力学状態の把握(幌延URLの例)



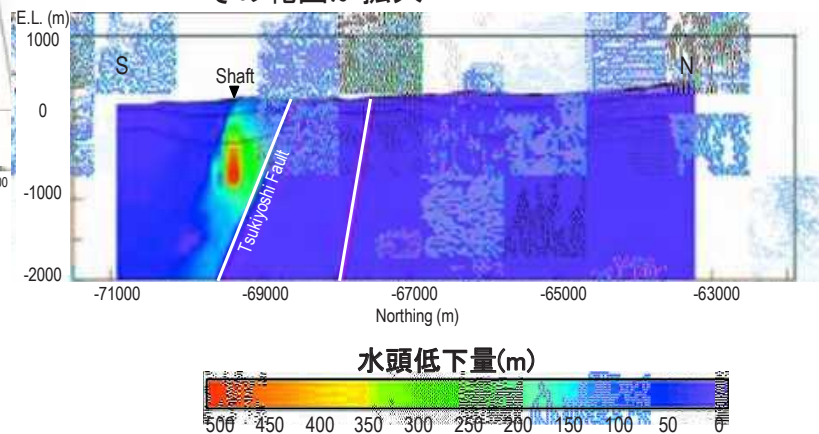
地下施設建設が周辺環境へ与える影響の把握(瑞浪URLの例)

地下水圧分布への影響把握



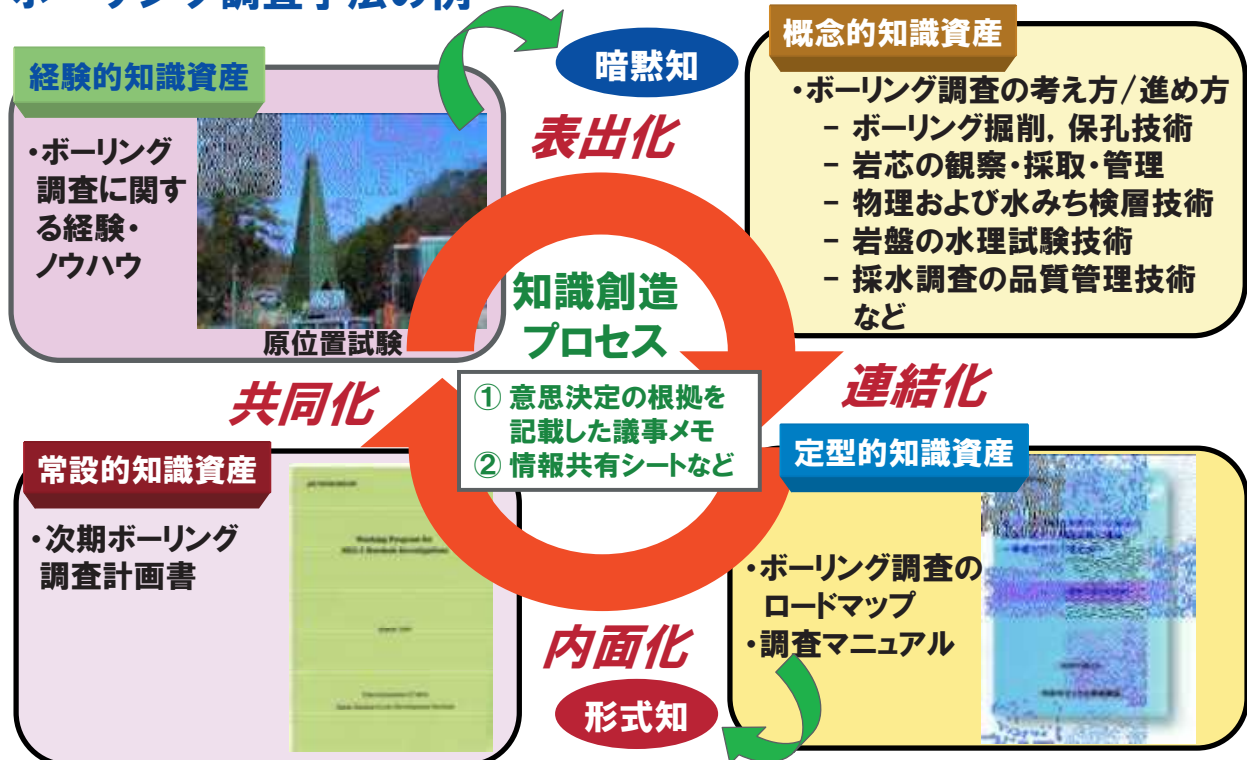
1,000m掘削後の水頭低下の予測結果の例
(圧力開放係数:0.2)

数10mオーダーの水頭低下範囲は月吉断層北側には到達しないものの、東西方向にその範囲が拡大

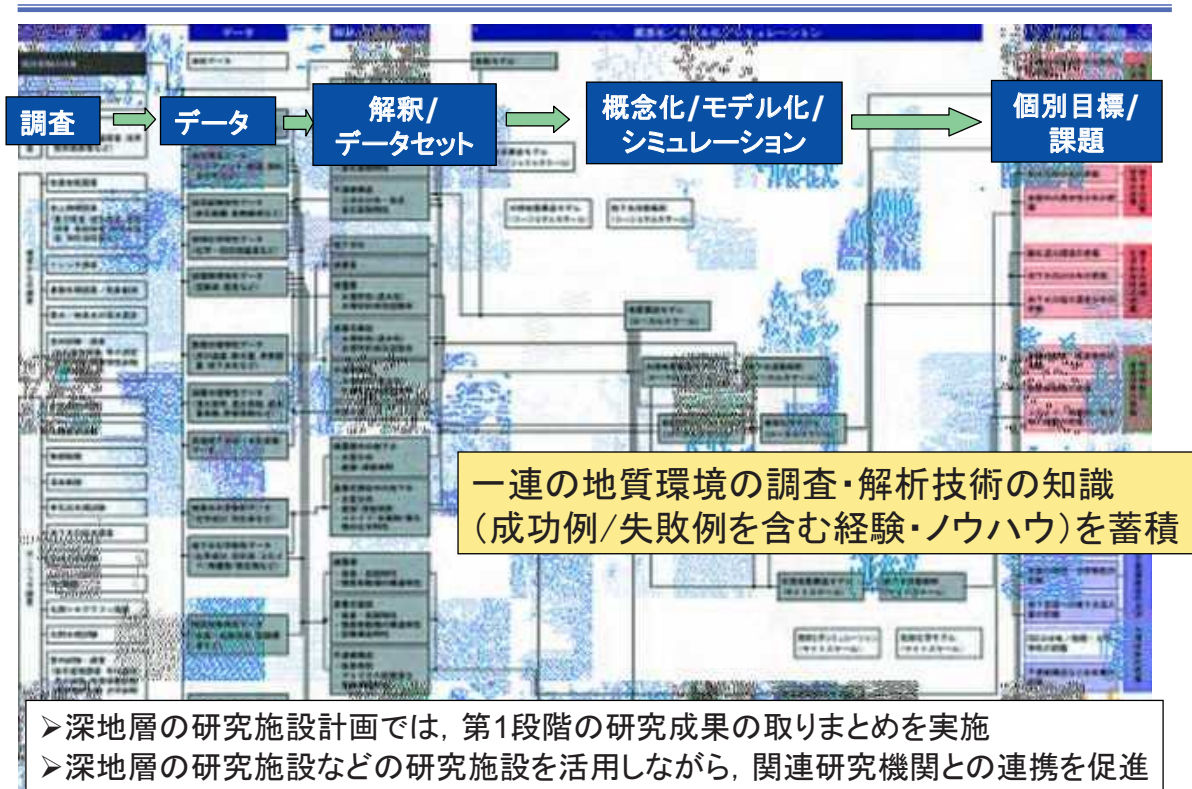


地質環境特性の調査・評価技術の経験・ノウハウ

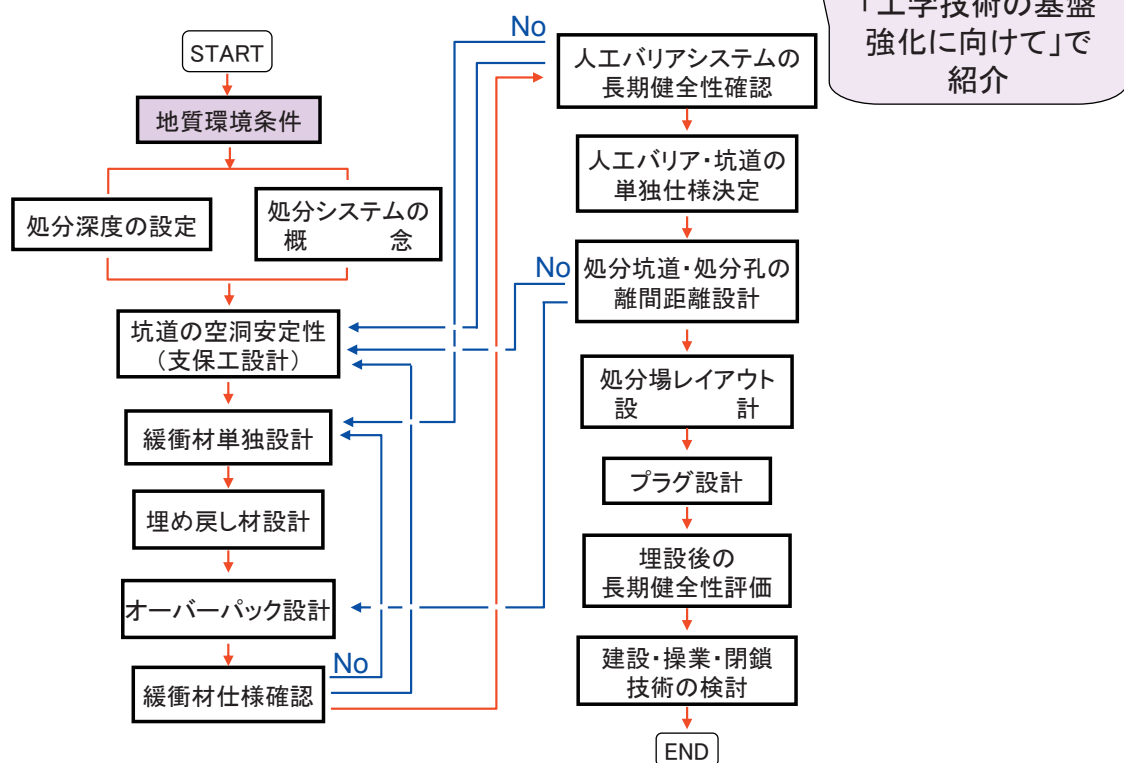
ボーリング調査手法の例



地質環境特性の調査・評価技術の知識基盤の統合



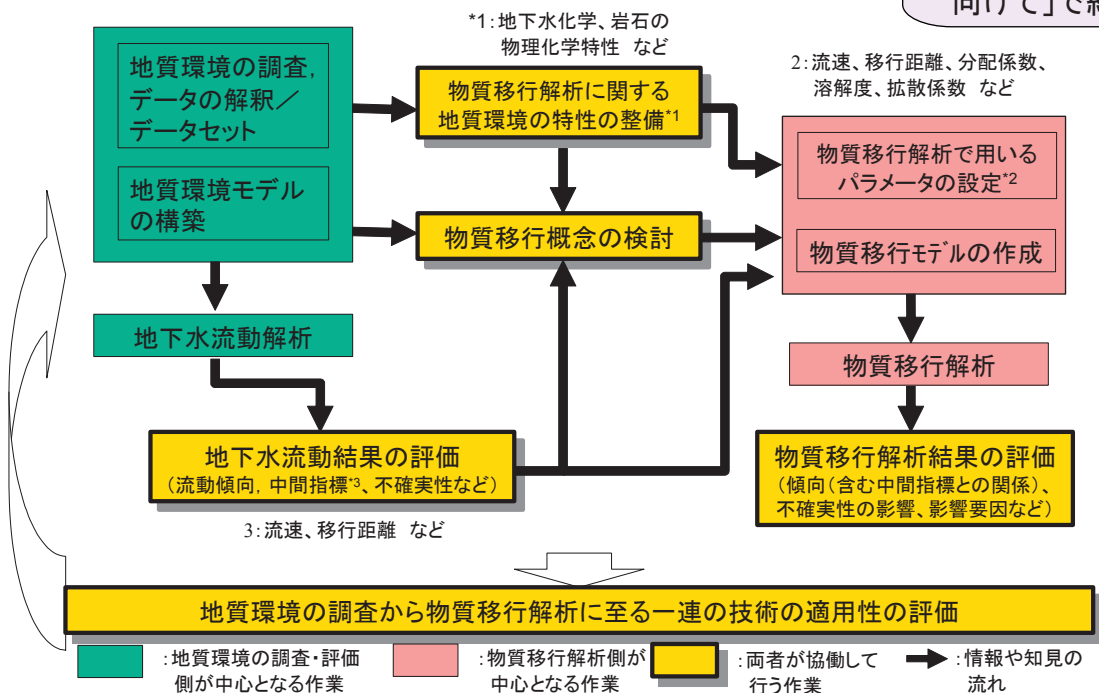
地質環境特性の調査・評価技術の開発と 工学技術の開発との連携の例



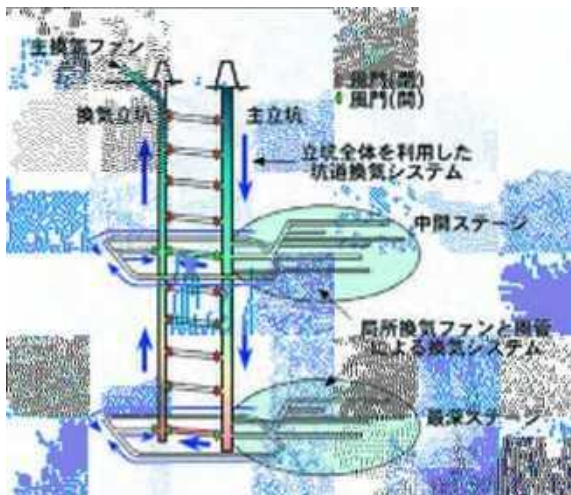
地質環境特性の調査・評価技術の開発と 性能評価手法の開発との連携の例

地質環境特性の調査から物質移行解析に いたる一連の評価技術の構築と試行

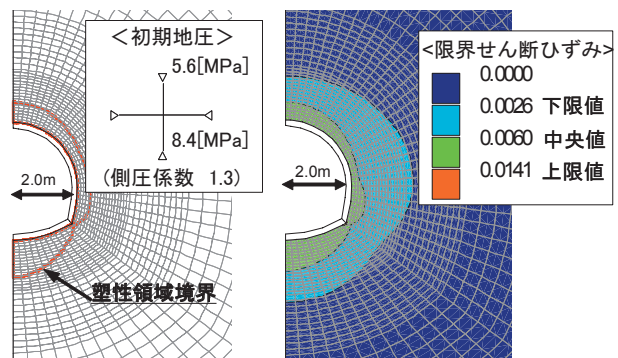
「性能評価の技術
基盤の体系化に
向けて」で紹介



深地層における工学技術の基礎の開発

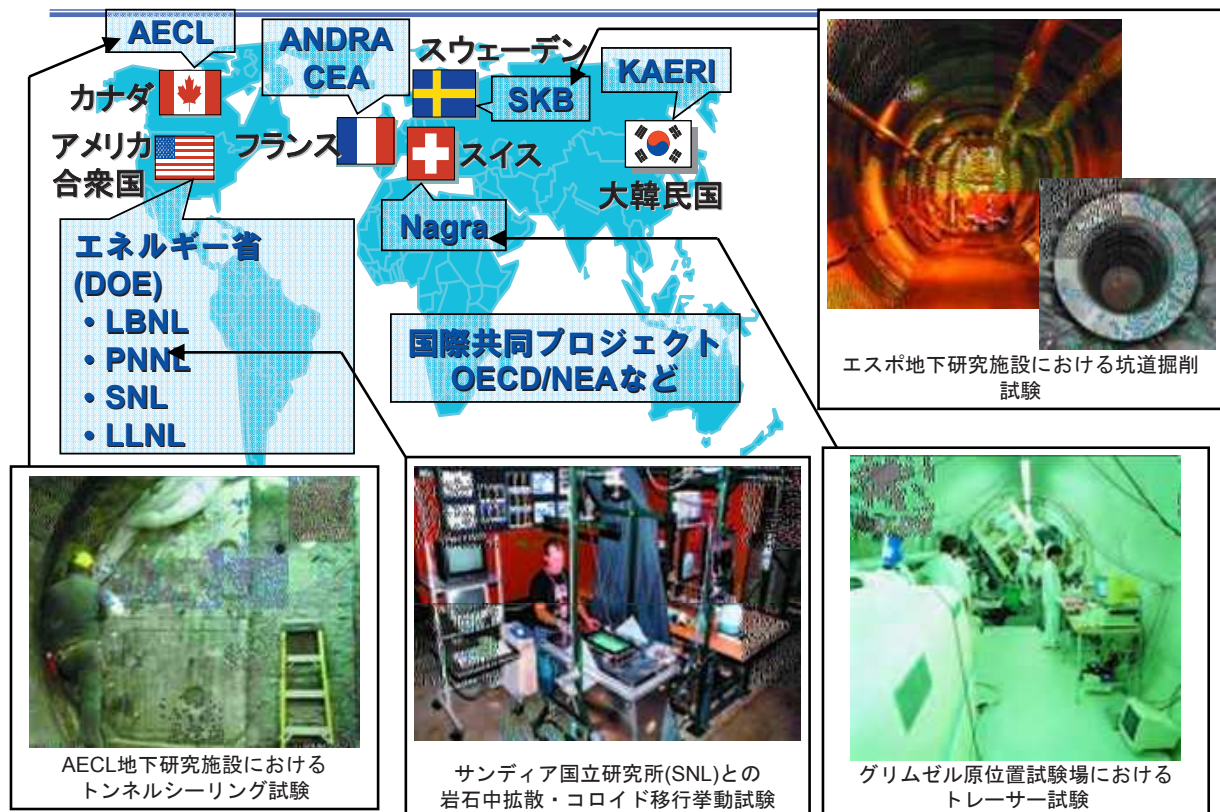


通気網解析結果に基づいて
設定した通気システムの例
(瑞浪URL)



水平坑道(深度400m)における塑性領域
および最大せん断歪分布の例
(幌延URL)

国際協力・国際共同プロジェクト

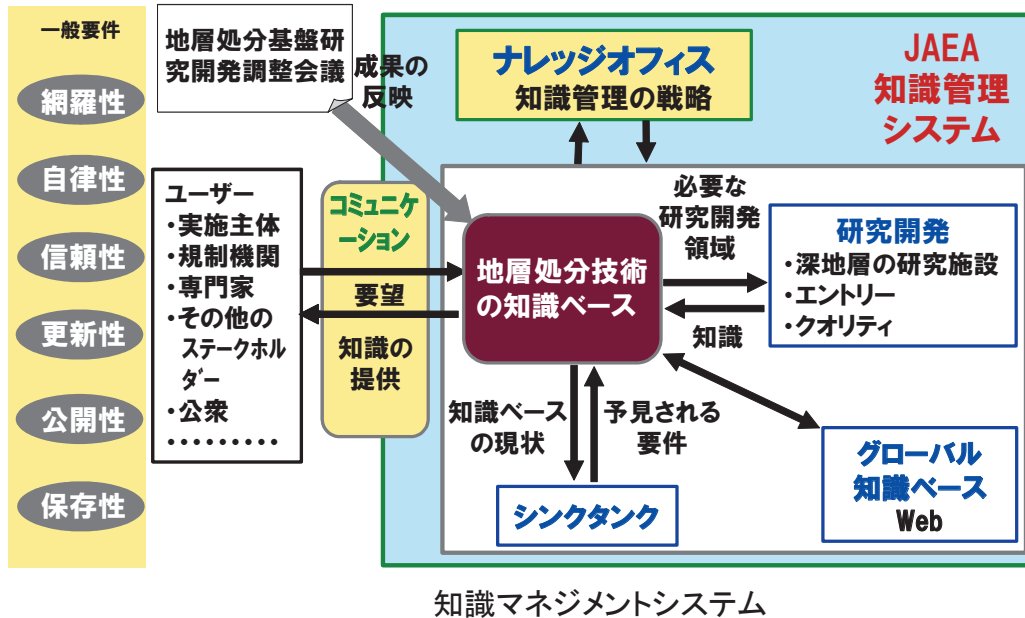


情報発信, 成果普及, 理解増進活動



まとめ

- 実施主体および安全規制機関が研究成果を活用できるよう、セーフティケースを視軸として知識マネジメントシステムを構築し、地層処分技術の知識基盤を整備



3. 高レベル放射性廃棄物に関する研究開発 ～各研究開発分野の成果と今後の計画～

(1) 地質環境調査評価技術

(1) 地質環境調査評価技術

1) これまでの成果の概要と今後の計画

平成19年3月5日

地層処分基盤研究開発調整会議

地質環境ワーキンググループ

コーディネータ 清水 和彦

発表内容

【地質環境調査評価技術の全体計画】

- ・ 研究開発目標と課題の設定
- ・ 研究開発要素の分類と分類目標
- ・ フェーズ2の分類と細目
- ・ 研究開発の重点課題と進め方

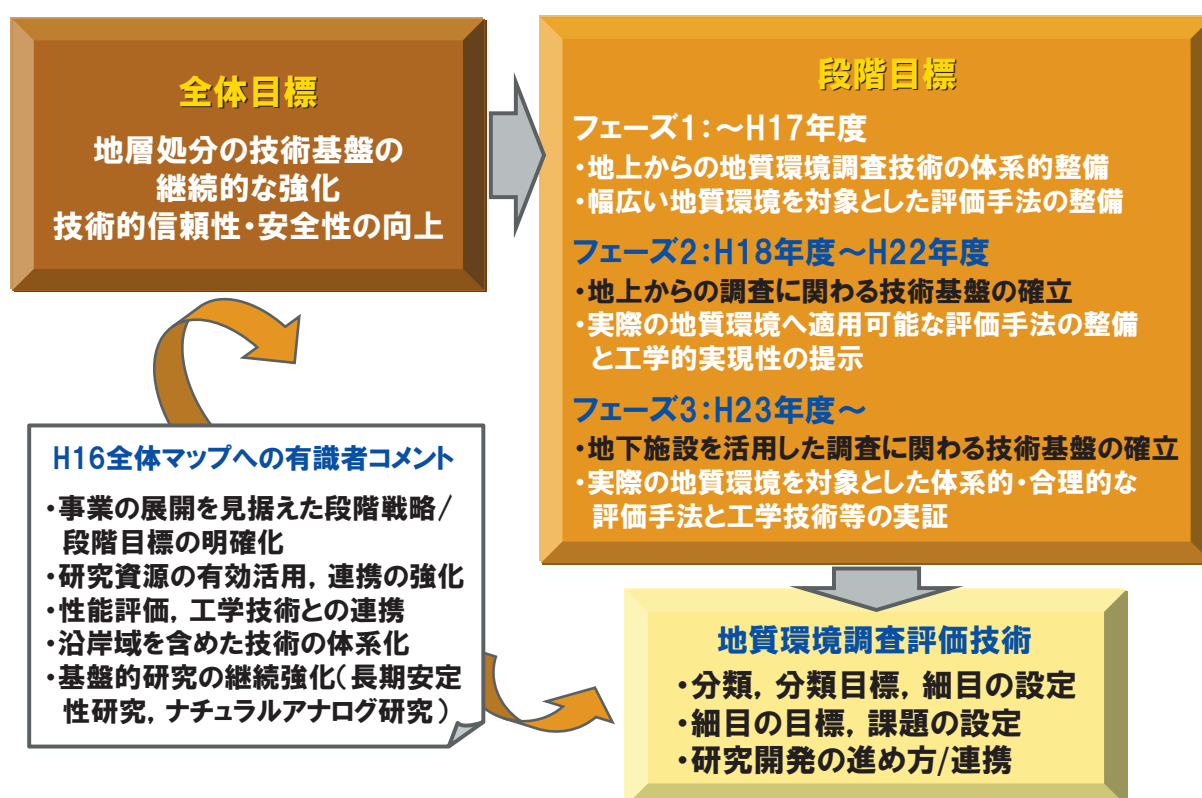
【フェーズ1の成果とフェーズ2の計画】

1. 総合的な調査評価技術
2. 地質環境特性調査評価技術
3. 地質環境の長期安定性調査評価技術
4. 深地層における工学技術

【今後の展開】

- ・ 主な連携テーマと今後の課題

研究開発目標と課題の設定(1)



研究開発目標と課題の設定(2)

■ 地質環境調査評価技術

- ・処分地の選定や処分場の設計・性能評価の検討に必要な地質環境情報を取得するための調査機器や調査手法
- ・得られたデータを用いて地質環境特性の空間的な分布や長期的な変化を推定し, モデル化するための解析・評価手法

■ 成果の反映先

平成20年代前半の精密調査地区の選定に照準

- ・フェーズ2→地上からの精密調査, 安全審査基本指針等
- ・フェーズ3→地下施設を利用した精密調査, 安全審査指針・基準等

■ 目標・課題設定の視点

- ・地質環境情報を取得するために, どのような調査評価技術が必要か?
- ・個々の技術は, 目的に応じた適切なレベルで整備されているか?
- ・それらの技術を組み合わせて, 目標とする調査が実現できるか?

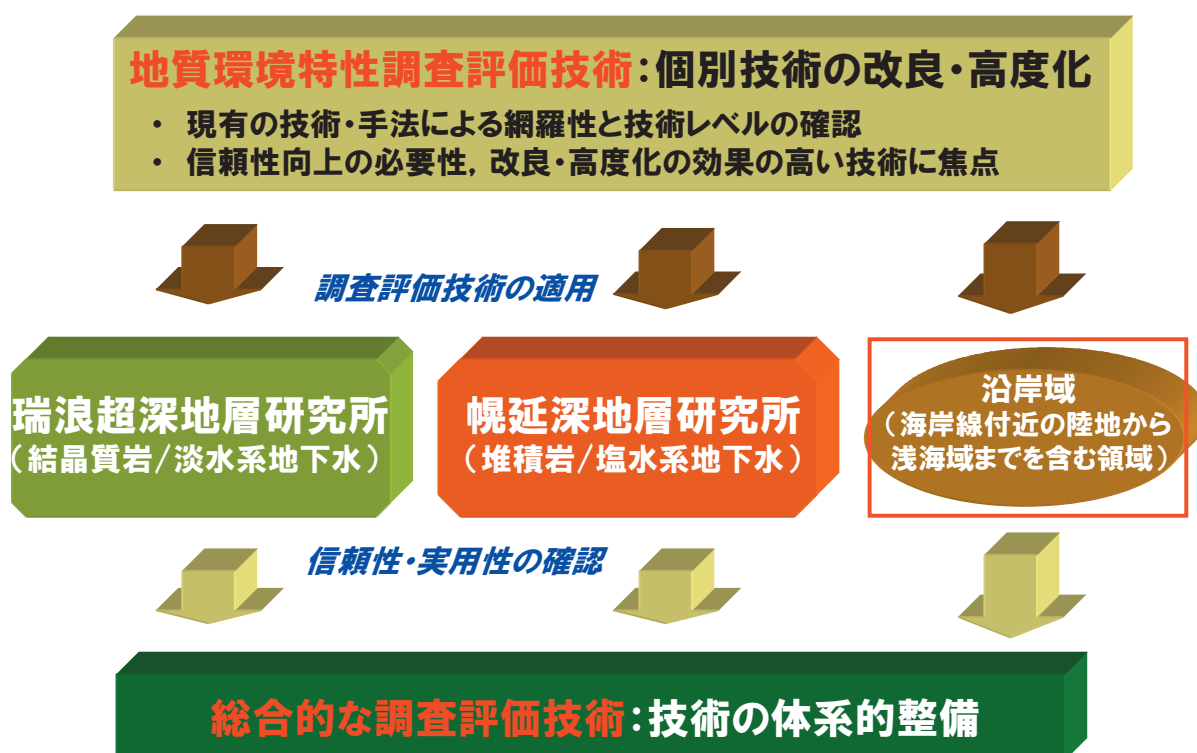
研究開発要素の分類と分類目標

分類 (フェーズ1)	分類 (フェーズ2)	分類目標 (フェーズ2)	分類目標 (フェーズ3)
1. 地質環境特性	1. 総合的な調査 評価技術	地上からの調査技術の体系 化・信頼性の確認 坑道掘削時の調査技術の体 系的整備	坑道掘削時の調査技術/ 地下施設における調査技 術の体系化・信頼性確認
	2. 地質環境特性 調査評価技術	地上からの調査/坑道掘削 時の調査に関わる個別技 術の改良・高度化	地下施設での調査に関 わる個別技術の改良・ 高度化
2. 地質環境の長期 安定性	3. 地質環境の 長期安定性 調査評価技術	天然現象に関する調査技術 の体系化と長期予測・影響 評価手法の整備	天然現象に関する長期 予測・影響評価手法の 高度化
3. 深地層の工学的 技術の基礎	4. 深地層における 工学技術	地下施設の設計・施工・維持 管理技術の整備	地下施設の設計・施工・ 維持管理技術の高度化

フェーズ2の分類と細目

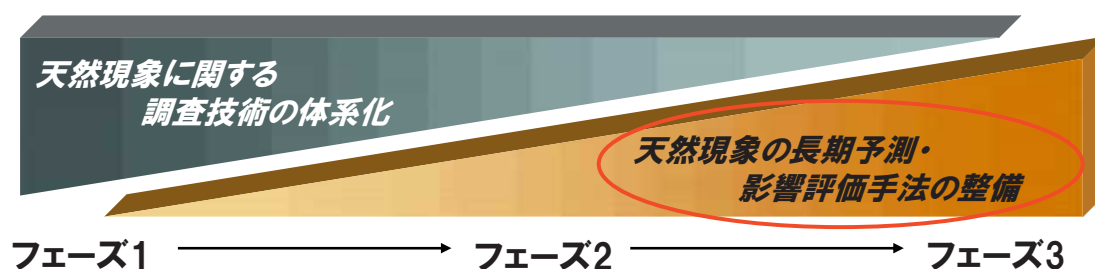
分 類	細 目
1. 総合的な調査評価技術	① 多様な地質環境を対象とした調査評価技術 ② 特定の地質環境を対象とした調査評価技術 (結晶質岩, 堆積岩, 沿岸域)
2. 地質環境特性 調査評価技術	① 地質・地質構造 ② 地下水流動特性 ③ 地球化学特性 ④ 物質移動特性 ⑤ 岩盤の熱・力学特性
3. 地質環境の長期安定性 調査評価技術	① 地震・断層活動 ② 火山・熱水活動 ③ 隆起・侵食／気候・海水準変動
4. 深地層における工学技術	① 結晶質岩(硬岩) ② 堆積岩(軟岩)

研究開発の重点課題と進め方(1)

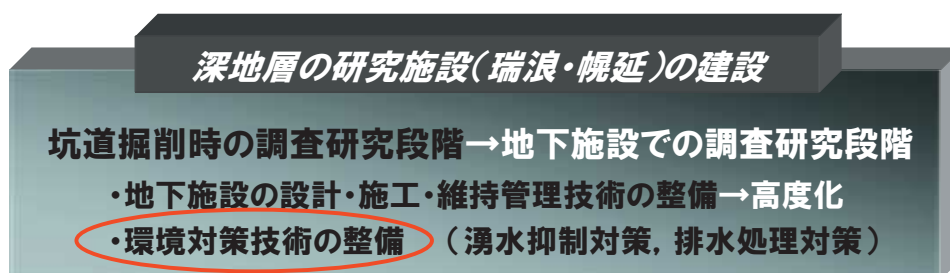


研究開発の重点課題と進め方(2)

地質環境の長期安定性調査評価技術



深地層における工学技術



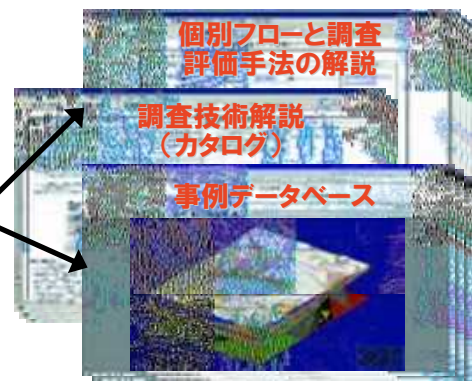
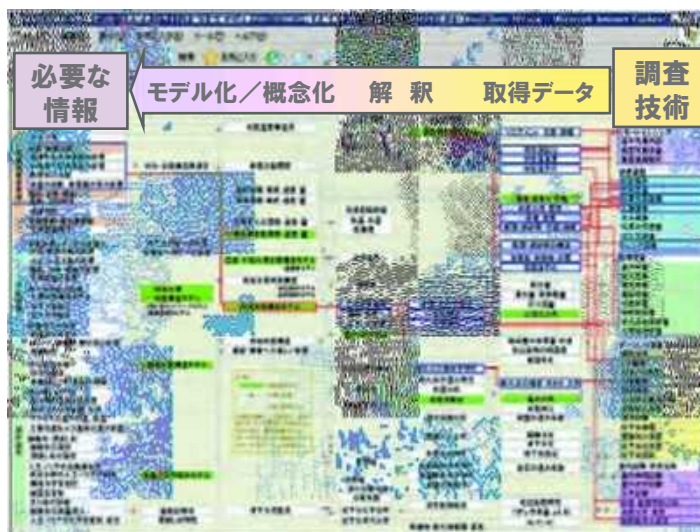
1. 総合的な調査評価技術

- ① 多様な地質環境を対象とした調査評価技術
- ② 特定の地質環境を対象とした調査評価技術
結晶質岩／堆積岩／沿岸域

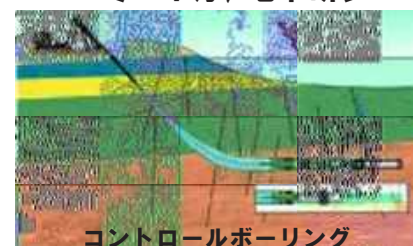
フェーズ1の主な成果(1)

■ 地質環境評価技術高度化調査〔エネ庁/原環センター〕

- ・ 一般的な調査システムフローの構築
(関連情報を相互に参照できるITベースの可視化システム)



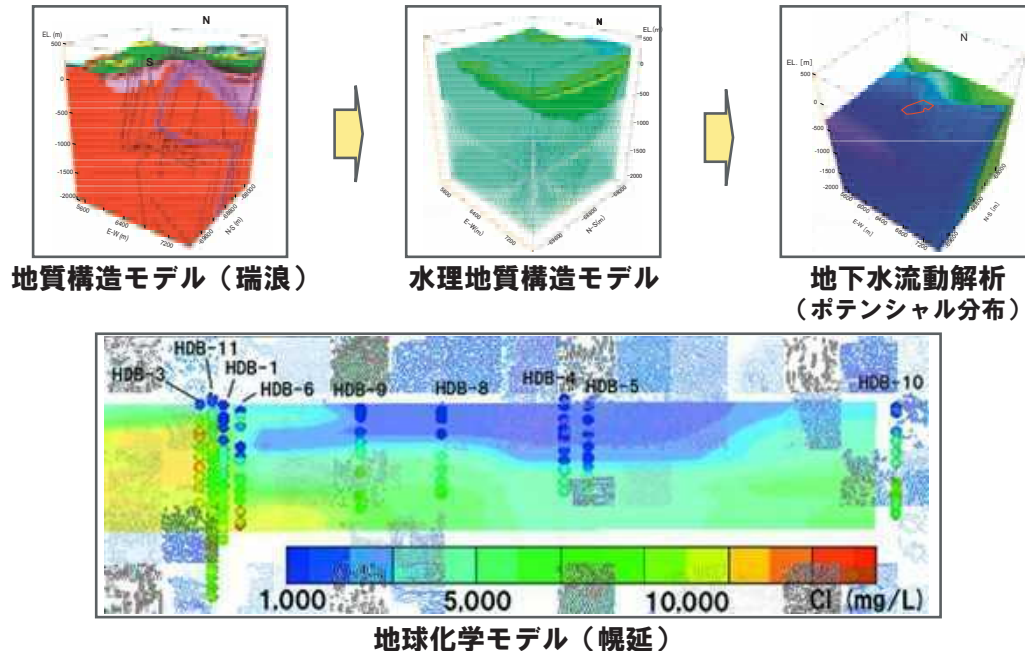
■ ボーリング技術高度化調査〔エネ庁/電中研〕



フェーズ1の主な成果(2)

■ 深地層の研究施設計画 [JAEA]

- ・ 地上からの調査による地質環境モデルの構築（結晶質岩：瑞浪，堆積岩：幌延）



フェーズ2の計画(1)

■ 達成目標

- ・ 地上からの調査技術の体系化・信頼性の確認
（結晶質岩／堆積岩／沿岸域）
- ・ 坑道掘削時の調査技術の体系的整備

■ JAEAの研究開発

2つの深地層の研究施設計画における坑道掘削時の調査研究

- ・ 結晶質岩：瑞浪超深地層研究所
 - ・ 堆積岩：幌延深地層研究所
- 地上からの調査・解析・評価の確認，体系的 метод論の提示
→坑道掘削時に行うべき一連の調査技術の整備，体系化

フェーズ2の計画(2)

■ エネルギー調査等事業

【地質環境総合評価技術の高度化】

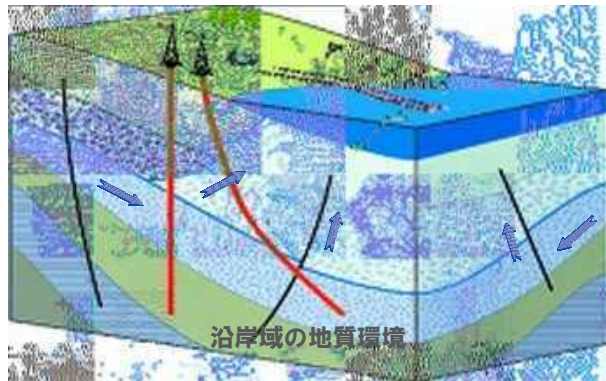
- ・ 地上からの調査に関する実践的知識を含めた技術の体系化

【ボーリング技術の高度化】

- ・ コントロールボーリング技術の開発・実証（断層，沿岸域）

【沿岸域を対象とした評価技術の高度化】

- ・ 沿岸域の特徴に着目した調査評価技術の整備
- ・ 現象の理解を踏まえた技術の体系化



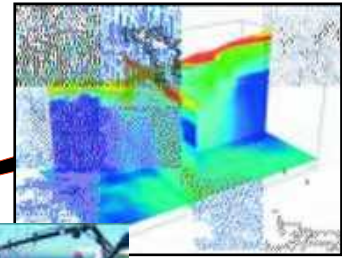
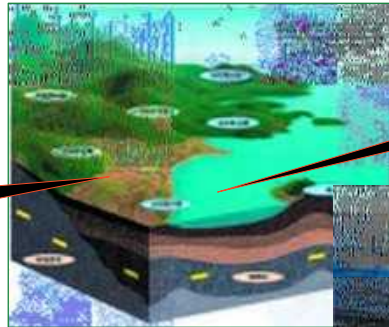
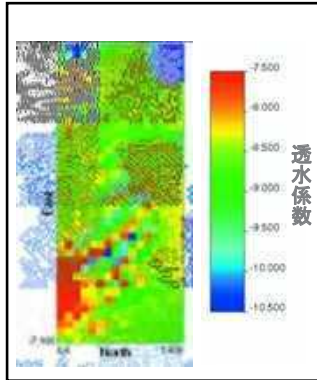
2. 地質環境特性調査評価技術

- ① 地質・地質構造
- ② 地下水流動特性
- ③ 地球化学特性
- ④ 物質移動特性
- ⑤ 岩盤の熱・力学特性

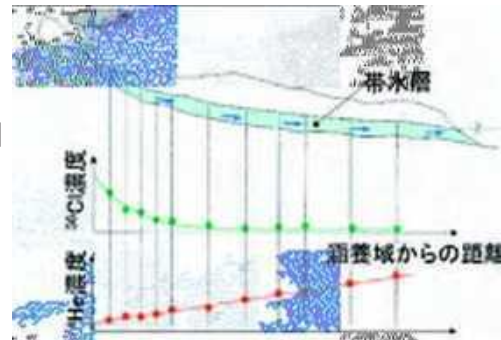
フェーズ1の主な成果(1)

■ 高精度物理探査技術高度化調査〔エネ庁/原環センター〕

・トモグラフィ技術の高度化



・海底電磁探査手法の高度化



■ 地下水年代測定技術調査〔エネ庁/電中研〕

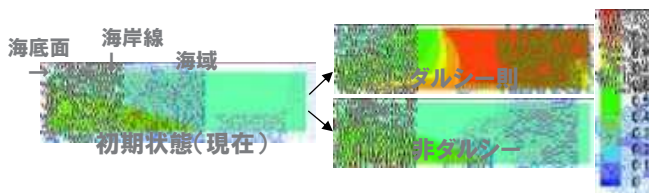
・百万年オーダーの地下水年代測定手法の開発

- ^{36}Cl : 放射壊変により流動に伴って濃度減少
- ^4He : 地盤からの供給により流動に伴って濃度増加

フェーズ1の主な成果(2)

■ 塩水環境下処分技術調査〔エネ庁/産創研〕

・非ダルシー性を考慮した地下水流動解析 →沿岸域における地下水の状態を再現

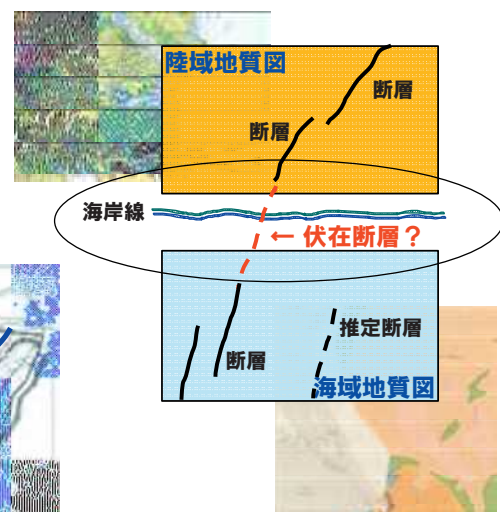


■ 塩淡水境界面形状把握調査〔エネ庁/産総研〕



■ 沿岸域断層評価手法開発調査〔エネ庁/産総研〕

・沿海域の断層/大規模破碎帯の調査に有効な基盤技術の整備



フェーズ2の計画(1)

■ 達成目標

- ・ 地上からの調査/坑道掘削時の調査に関わる
個別技術の改良・高度化

■ JAEAの研究開発

2つの深地層の研究施設計画における坑道掘削時の調査研究

- ・ 結晶質岩：瑞浪超深地層研究所
- ・ 堆積岩：幌延深地層研究所
 - 地上からの調査技術・モデル化手法の検証，有効性確認
 - 坑道掘削時に適用できる調査技術の整備

フェーズ2の計画(2)

■ エネ庁調査等事業

【沿岸域における地質構造調査手法の高度化】

- ・ 沿岸域に伏在する断層などの不連続構造を推定する手法の開発

【塩淡水境界に関する調査技術の高度化】

- ・ 塩淡水境界面の分布や形成機構の解明，長期変化を予測する手法の開発

【海底地下水湧出に関する調査技術の高度化】

- ・ 海底からの地下水湧出を探索・分析する技術の開発・整備

【地下水の年代測定技術の高度化】

- ・ 地下水の流動・混合を考慮した地下水年代測定技術の開発

【物質移行に関する原位置試験技術の高度化】

- ・ トレーサー試験技術の開発(割れ目を介した物質移行特性の評価)

3. 地質環境の長期安定性調査評価技術

- ① 地震・断層活動
- ② 火山・熱水活動
- ③ 隆起・侵食/気候・海水準変動

フェーズ1の主な成果(1)

■ 活断層の調査技術 [JAEA]

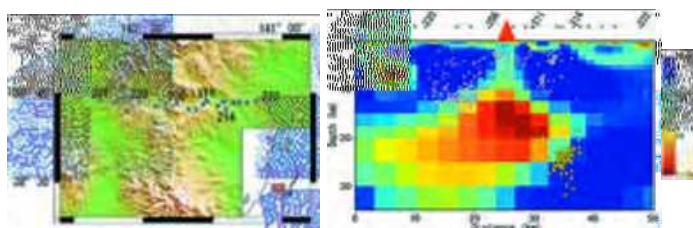
- ・地表での特徴が不明確な活断層を探索する総合的手法の開発

跡津川断層周辺の
地殻変動速度解析



■ マグマ・高温流体等の探査技術 [JAEA]

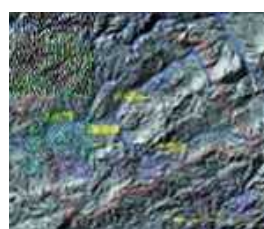
- ・地球物理学的手法と地球化学的手法を
組合せた調査技術の体系化



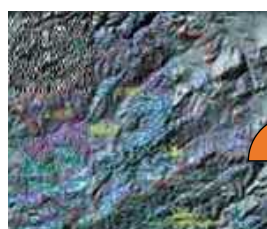
鳴子火山下の比抵抗構造と地震分布

■ 三次元地形変化シミュレーション [JAEA]

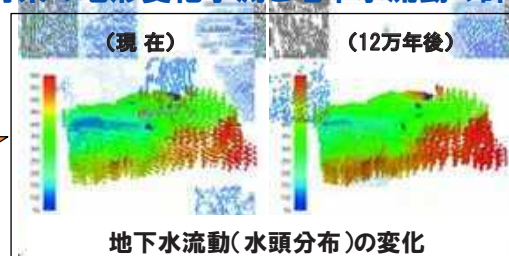
- ・将来の地形変化予測と地下水流動の評価



(現在の地形)



(12万年後の地形)



地下水流動(水頭分布)の変化

フェーズ2の計画

■ 達成目標

- ・ 天然現象に関する調査技術の体系化と
長期予測・影響評価手法の整備

■ JAEAの研究開発

【地震・断層活動】

- ・ 断層活動による周辺岩盤への影響を調査評価する手法の開発
- ・ 活動性の低い断層の特定，活動性評価手法の開発

【火山・熱水活動】

- ・ 地下深部のマグマ・高温岩体を検出する総合的な調査技術の確立
- ・ 新たな火山活動の発生可能性を評価する手法の開発
- ・ 火山・熱水活動の履歴調査技術とモデル化技術の開発

【隆起・侵食/気候・海水準変動】

- ・ 将来の地形変化を予測するシミュレーション技術の確立
 - ・ 水理学的影響などを調査評価できる手法の開発
-

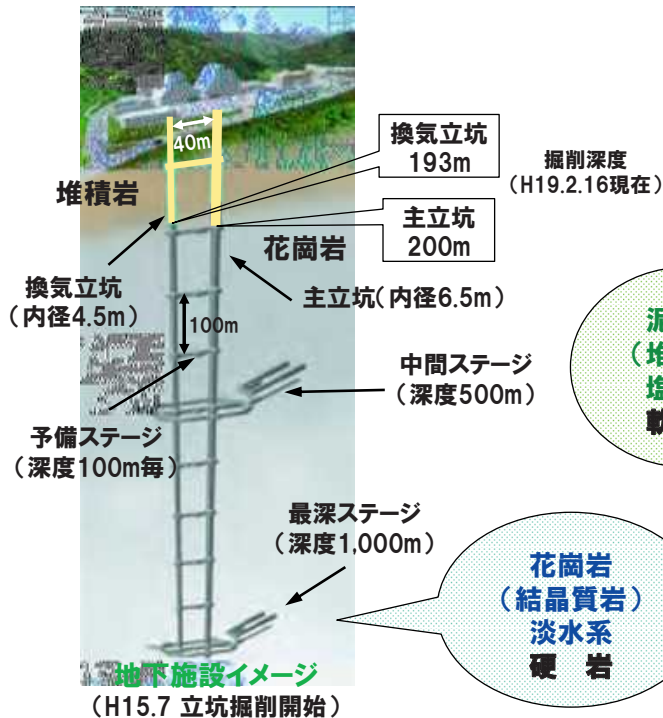
4. 深地層における工学技術

① 結晶質岩

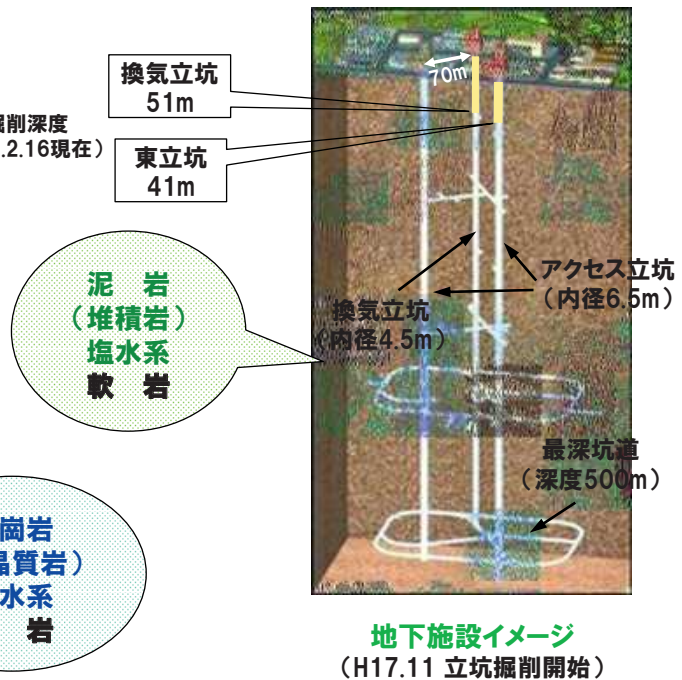
② 堆積岩

フェーズ1の主な成果(1)

■ 瑞浪超深地層研究所 [JAEA]



■ 幌延深地層研究所 [JAEA]



フェーズ1の主な成果(2)

■ 瑞浪超深地層研究所, 幌延深地層研究所 [JAEA]

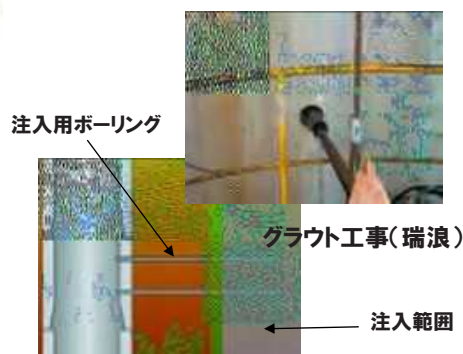
・坑道の設計/安定性評価



・掘削時のデータによる設計の妥当性確認



・環境対策技術(湧水抑制対策・排水処理)の適用



フェーズ2の計画

■ 達成目標

- ・ 地下施設の設計・施工・維持管理技術の整備

■ JAEAの研究開発

2つの深地層の研究施設の建設(坑道掘削)を通じて;

- ・ 結晶質岩:瑞浪超深地層研究所
- ・ 堆積岩:幌延深地層研究所
- 地上からの調査に基づく設計の妥当性確認
(情報化施工:施工時に取得するデータを後続の設計・施工にフィードバック)
- 地下施設の施工・維持・管理技術の適用性確認
- 周辺環境への影響評価, 環境対策技術の整備
(排水:フッ素, ホウ素, 塩分, アンモニアの処理/掘削土:有害物質の管理)

主な連携テーマと今後の課題

1. 総合的な調査評価技術

- ・ 沿岸域を対象とした現象の理解と体系的な調査評価技術の整備
- ・ 地質環境調査評価技術の体系化, 知識化
- ・ 処分場の設計・性能評価技術との連携, 一連の技術としての体系化

2. 地質環境特性調査評価技術

- ・ 深地層の研究施設計画への適用を通じた技術の適用性確認
- ・ 個別成果(ボーリング, 年代測定, 物理探査)の沿岸域への適用

3. 地質環境の長期安定性調査評価技術

- ・ 天然現象の長期予測・影響評価, 性能評価との連結
- ・ 継続的な取り組み(研究資源の維持, 効率的な役割分担)

4. 深地層における工学技術

- ・ 深地層の研究施設計画への適用を通じた個別技術の実用性確認, 体系化

(1) 地質環境調査評価技術

《《JAEA》》

2) 日本原子力研究開発機構における研究開発成果

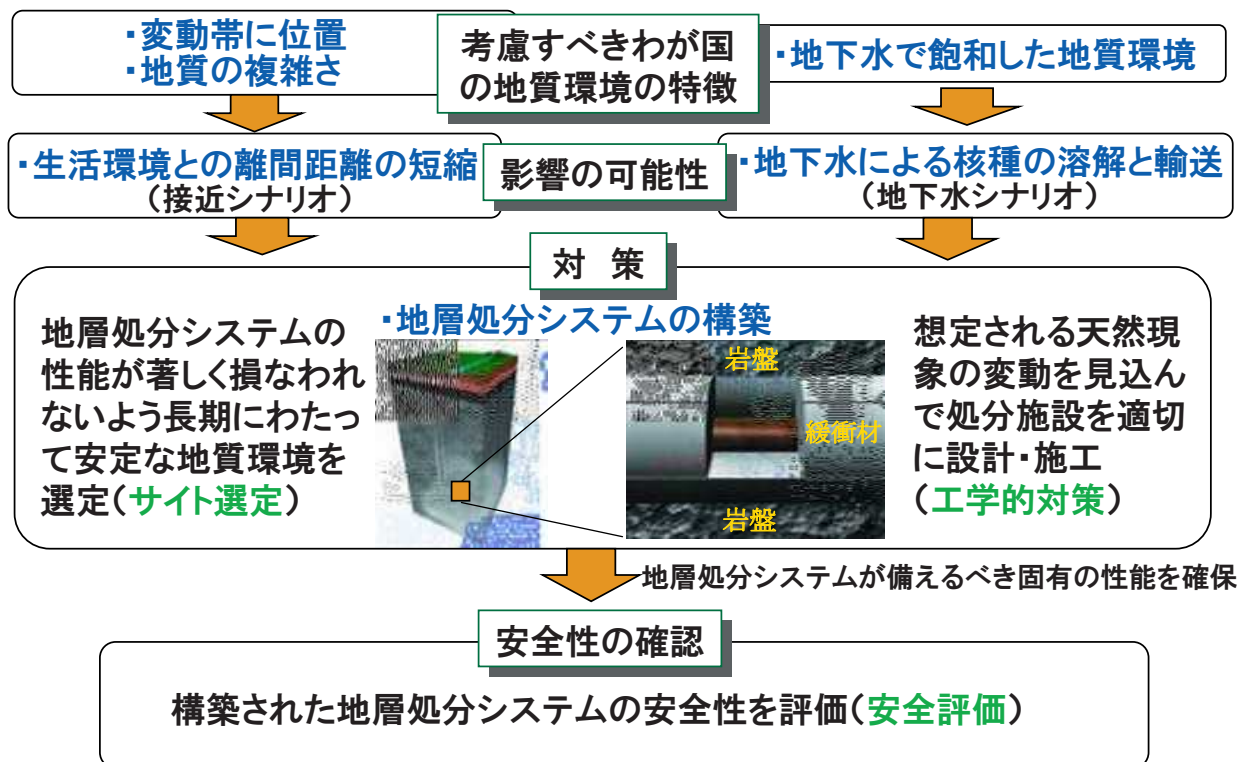
天然現象の調査技術と予測モデルに係わる 研究開発の現状 ー マグマ検出技術と地形変化シミュレーション ー

平成19年3月5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 東濃地科学ユニット
自然事象研究グループ
梅田 浩司

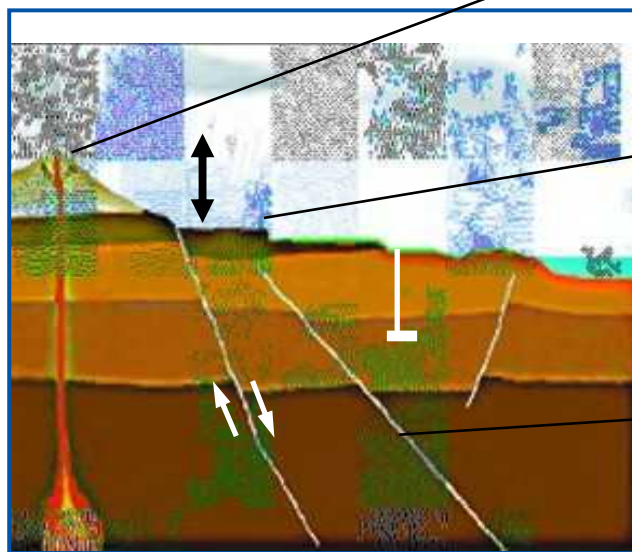
わが国の地層処分における安全確保の考え方

《《JAEA》》



地層処分において考慮すべき天然現象

「(JAIF)」



【火山・熱水活動】

- ・マグマの貫入・噴出による廃棄体の破壊
- ・地温上昇・熱水対流の発生, 熱水・火山ガスの混入による地下水の水質変化 等

【隆起・侵食／気候・海水準変動】

- ・処分施設及び廃棄体の地表への接近
- ・地下水の流動特性や水質の変化による放射性物質の移行 等

【地震・断層活動】

- ・岩盤の破断・破碎による処分施設及び廃棄体の破損
- ・岩盤の破断・破碎による地下水移行経路の形成, 岩盤歪に起因する地下水圧の変化 等

「地質環境の長期安定性」に関する研究開発の目標

「(JAIF)」

＜研究開発の目標＞

① 調査技術の開発・体系化:天然現象に関する過去の記録や現在の状況を調査するための体系的な技術の整備

→サイトの選定や安全性の検討に必要なデータの取得

② 長期予測・影響評価モデルの開発:将来の天然現象に伴う地質環境条件(熱, 水理, 力学, 地球化学等)の変化を予測・評価するための手法の整備

→天然現象による影響を考慮した安全評価への反映

サイトの選定や安全規制に必要な調査技術や評価手法の整備
〔実施側および規制側への研究成果の反映〕

現在取り組んでいる主な研究開発課題 **《(JAEA)》**

＜調査技術の開発・体系化＞

- ① 活断層に関する調査技術
- ② 火山・熱水活動履歴の調査技術
- ③ 地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術
- ④ 古地形・古環境の復元技術

＜長期予測・影響評価モデルの開発＞

- ① 断層活動の影響評価モデルの開発
- ② 火山活動等の長期予測(確率)モデルの開発
- ③ 熱水活動等の影響評価モデルの開発
- ④ 三次元地形変化モデルの開発
- ⑤ ナチュラル・アナログ研究(予測モデルの信頼性の向上)

研究成果のトピックス **《(JAEA)》**

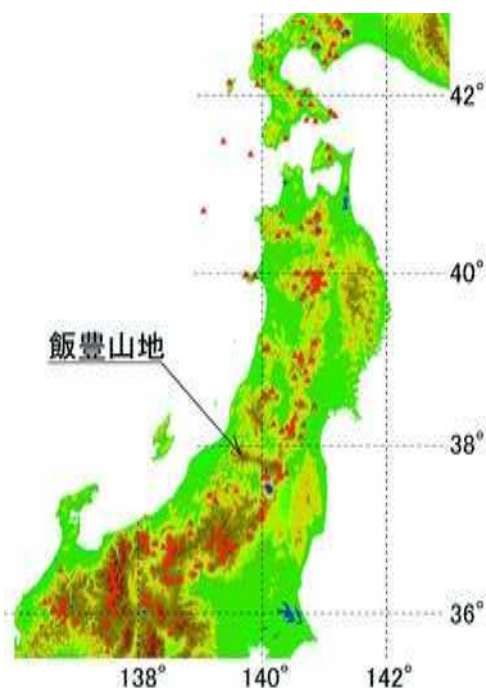
天然現象の調査技術に係わる
研究開発の現状

— マグマ検出技術について —

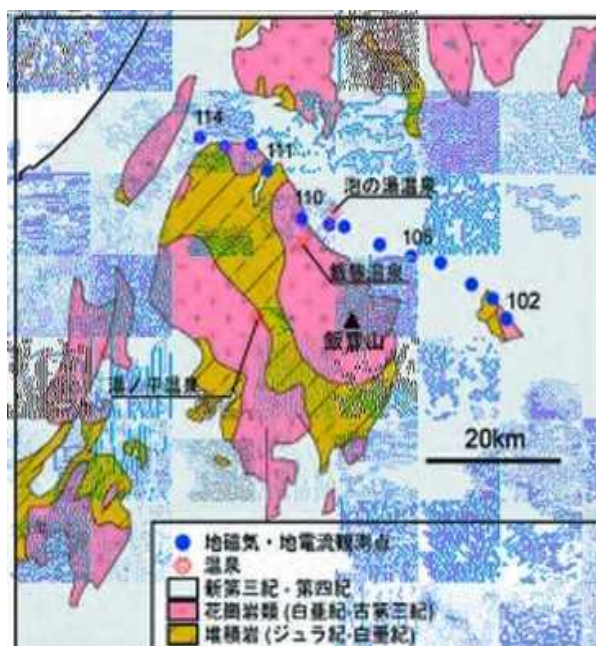
- 火山フロントより日本海側や単成火山の周辺地域での**新たな火山の発生の可能性**について、検討する必要がある。
概要調査地区選定段階以降の段階で考慮すべき環境要件(原子力安全委員会, 2002)
- 「**構造運動から生じる熱水活動**」については、場所、影響の範囲がほとんど不明であるので、研究を特に促進する必要がある。
廃棄物安全小委員会報告(総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会, 2003)

- ◆地下深部のマグマ・高温流体等の存在を予め確認するため、地球物理学的データ(地震波速度, 電気伝導度, 重力等)および地球化学的データ(希ガス同位体)等を用いた総合的な調査・解析手法を構築する。
- ◆火山から離れた高温異常域(非火山性温泉)の原因を解明する。

東北日本の第四紀火山と飯豊山地の地質



飯豊山地と第四紀火山の分布



飯豊山地周辺の地質図

地球物理学的手法によるマグマの検出 **【JAEA】**

■地震発生層の深度分布

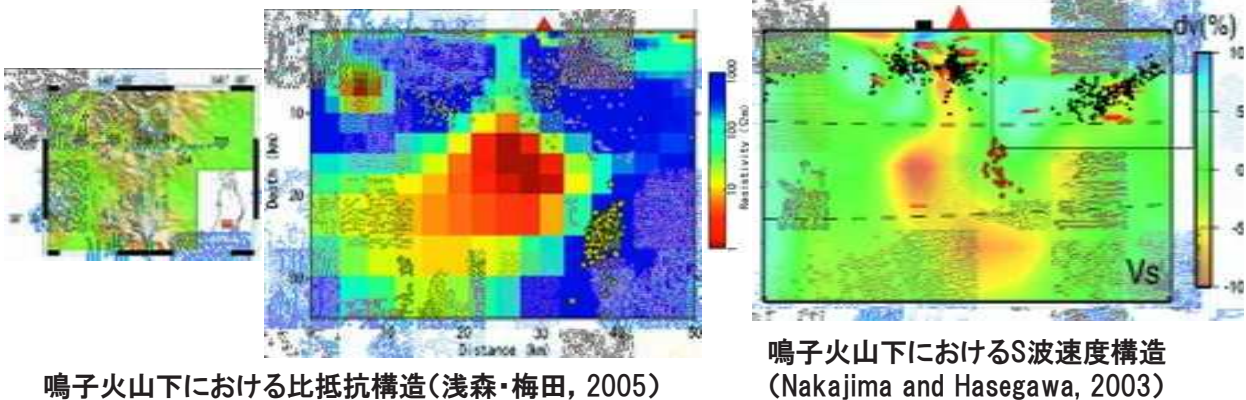
地殻内地震の発生する下面深度(cut-off depth)の温度は約400°Cに相当する。

■地震波速度構造

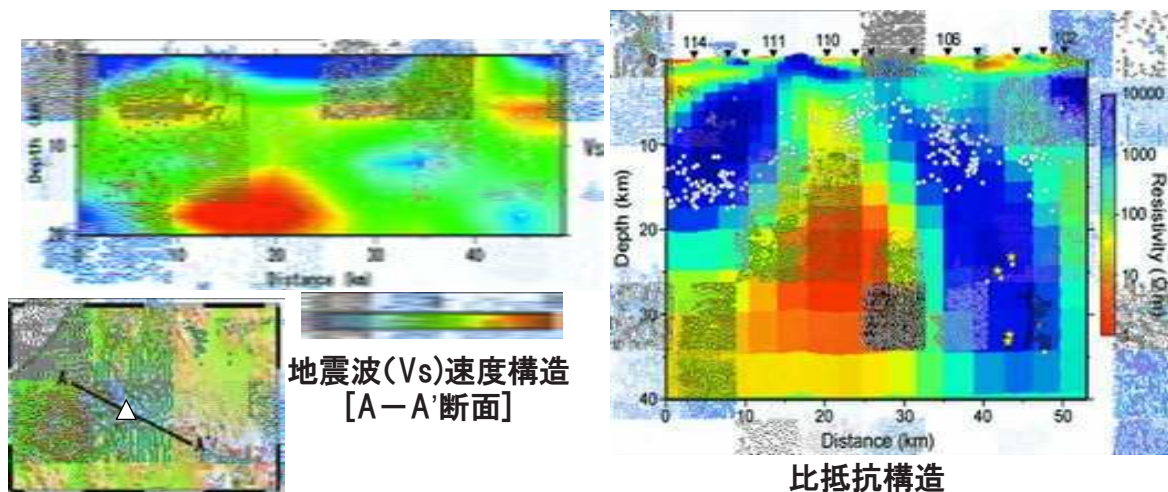
地震波速度は岩石の種類や温度・圧力等によって変化する。火山体の地下に存在する低速度域は、マグマやそれに関連する流体によって生じると考えられている。

■比抵抗構造

熱水やマグマは、地殻を構成する岩石に比べて、電気伝導度が高いことから、地下の比抵抗構造を調べることによって、マグマ等の存在を推定することができる。



飯豊山地下の地震波速度・比抵抗構造 **【JAEA】**



- 北股岳の地下15km以深には地震波低速度域と低比抵抗体が存在
- これらの異常体の上面は地殻内地震のcut-off depthと調和的

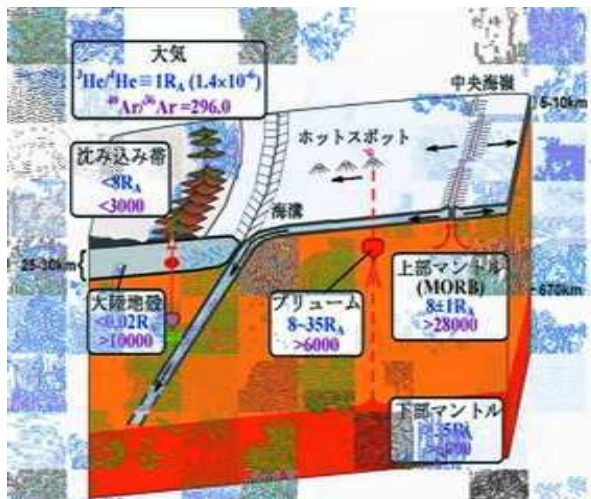
飯豊山地の地下には400°C以上の高温の物質が存在することが示唆される

①第四紀の(伏在)マグマ, ②中新世の火成活動に由来する高温岩体に伴う熱水

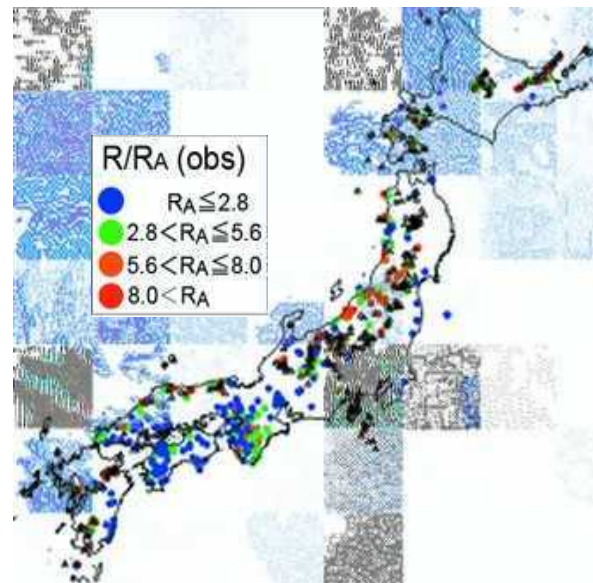
地球化学的手法(希ガス同位体)によるマグマの検出

■ヘリウム同位体

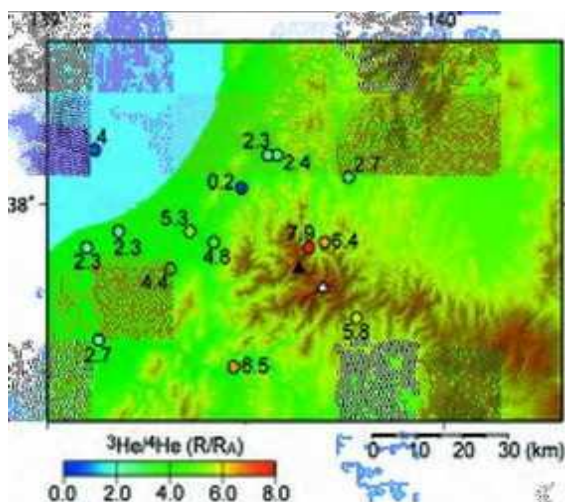
ヘリウム同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比)は、マントル起源物質の寄与を示す地球化学的指標として用いられる。一般に、非火山地帯の温泉ガスは、大気値(1.4×10^{-6})より低い値を示すが、火山周辺の温泉では、大気の数倍の値を示すことが知られている。



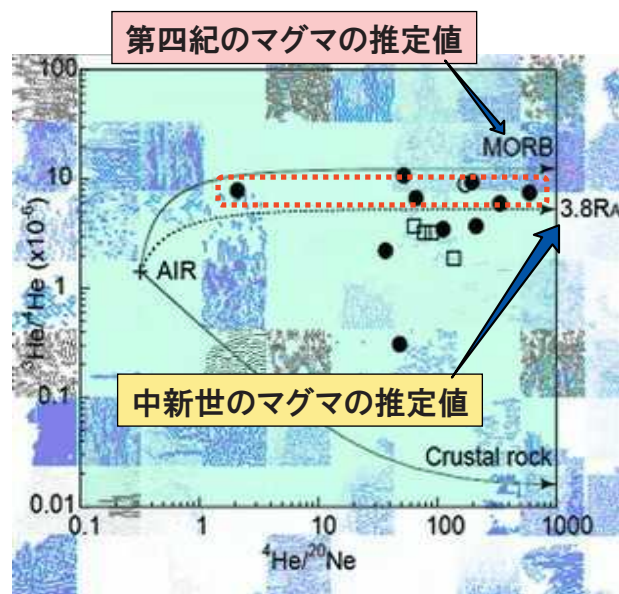
(東京大学地殻化学実験施設HPより)



飯豊山地周辺の温泉ガスのヘリウム同位体比



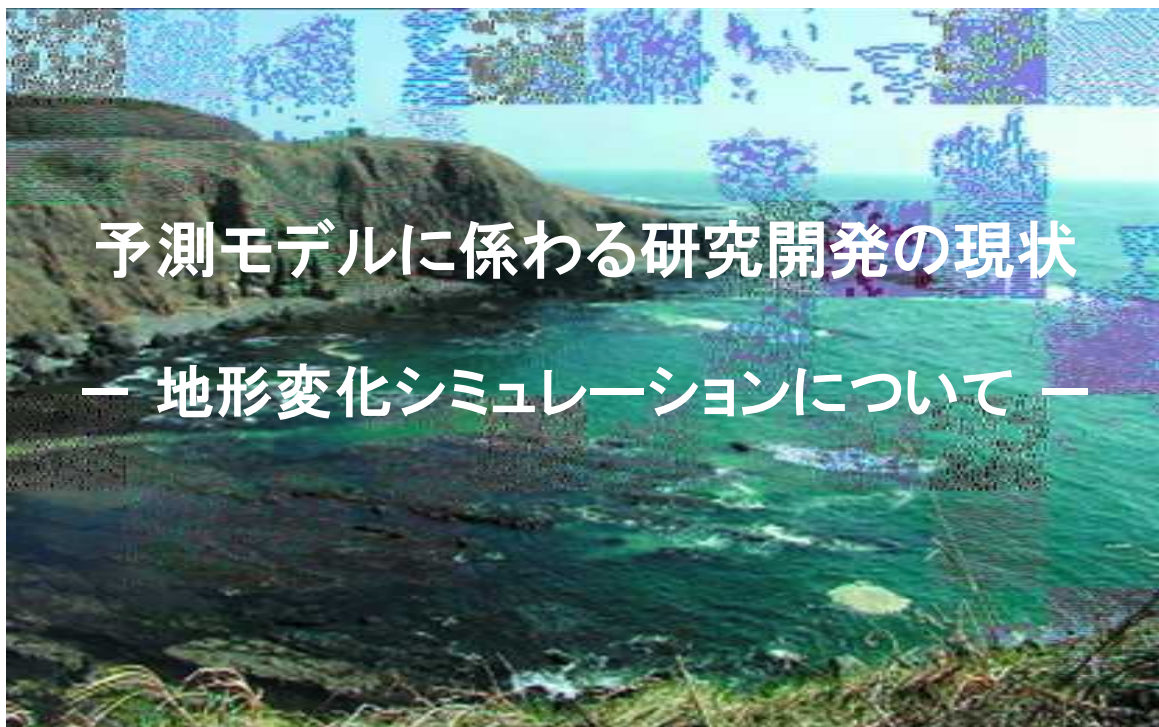
$^3\text{He}/^4\text{He}$ 比(R_A)の地理的分布



$^3\text{He}/^4\text{He}$ 比と $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比の関係

1. 飯豊山地周辺の高温異常域の熱源は、最近になって上昇してきたメルト(マグマ)に起因するものと考えられる。また、飯豊山地付近は、古い堆積岩や花崗岩の山地からなる第四紀火山の空白域であったが、今回のマグマの発見により、従来から指摘されていた東北地方の第四紀火山の配列の規則性を説明することができる。
2. 対象地域において、地下深部のマグマ・高温流体等の存在の有無を確認するためには、地質学・地球物理・地球化学的な手法を用いた総合的なアプローチが有効であるといった見通しを得た。

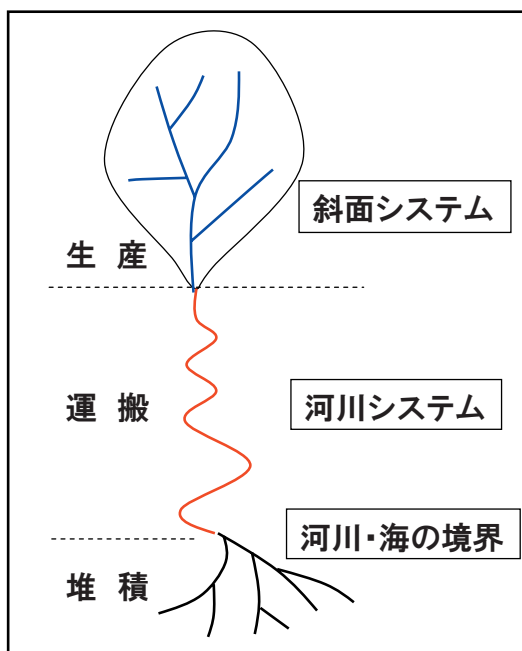
研究成果のトピックス



➤ 隆起・沈降・侵食により地下水の流動特性や水質が変化し，廃棄体中に含まれる放射性廃棄物が漏出し，周辺の地質環境中を移行し易くなること等の影響については，設計・施工での対応や処分システム全体の安全性能との関連も踏まえ，その取り扱いを審議。
概要調査地区選定段階以降の段階で考慮すべき環境要件(原子力安全委員会, 2002)

◆ 地殻変動に伴う将来の地質環境条件の変化を把握するため，水理地質構造モデルの基盤となる将来の地形を予測するためのシミュレーション技術の開発を行なう。

シミュレーションに用いる従順化モデル

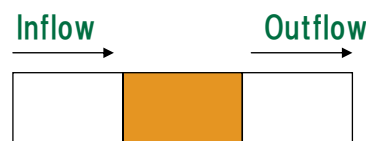


$$\frac{\partial u}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)$$

＜時間 t における位置 x の高度を u ＞

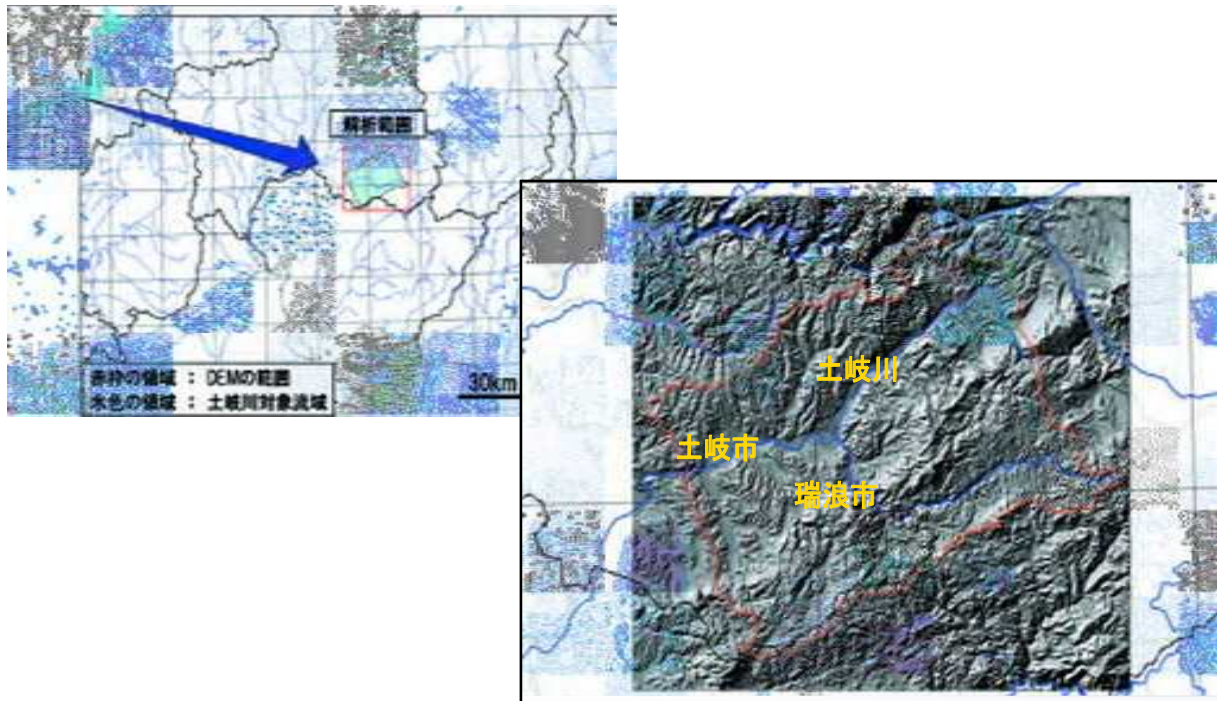
平野(1966), 野上(2000)等の従順化モデル

- 地形勾配に応じた拡散現象によるフラックスを計算。
- 高度の変化速度が曲率に比例するモデル。
- k (従順化係数)は，解析対象地域における地質，気候条件等に依存。
- 実際の計算にはデジタル標高モデル(水平方向10m, 鉛直方向0.1m)を使用。

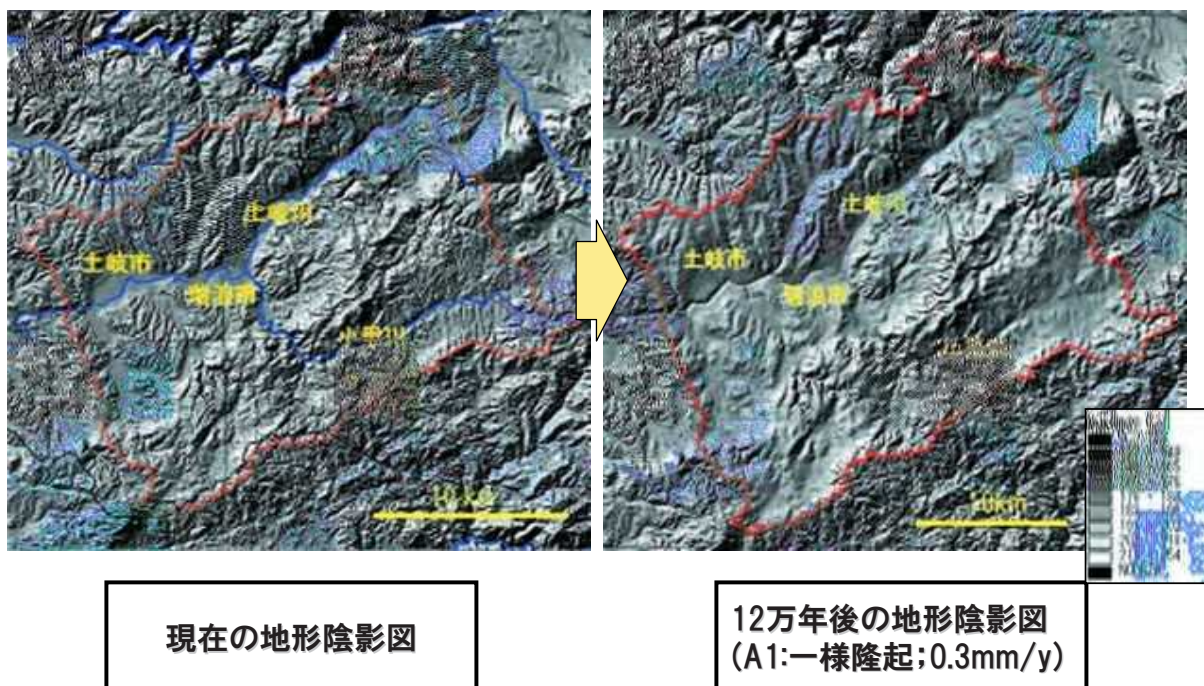


※ 流入量と流出量の差がセルの高度変化に対応

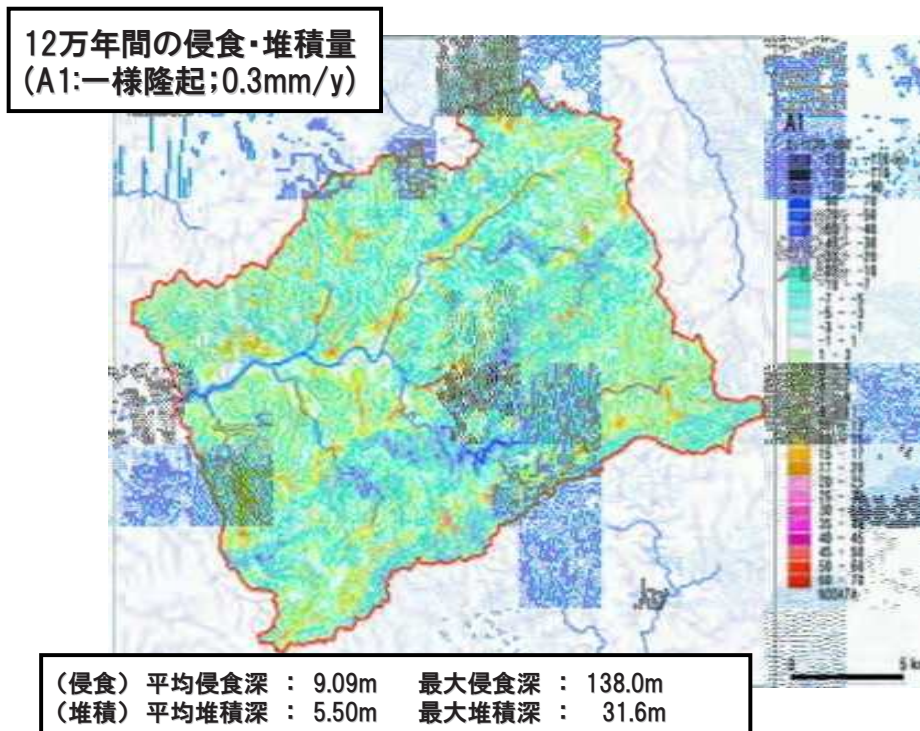
解析対象領域と10mメッシュのDEM陰影図 《JAFA》



12万年後の瑞浪周辺の地形(陰影図) 《JAFA》



12万年後の瑞浪周辺の地形(侵食・堆積量図) ((JAEA))



まとめ ((JAEA))

1. 地形変化シミュレーション技術は、将来の地形変化、さらには、地下水流動の変化を予測するために有効な手法であるという見通しを得た。
2. シミュレーション結果の妥当性を検証するための方法論を今後、構築していくことが重要となる。現時点では、地形・地質調査により過去の地形の復元を行い、上記のシミュレーションによって現在の地形を再現できるかが課題。

(1) 地質環境調査評価技術

3) 資源エネルギー庁調査等事業の研究開発成果



**地質環境調査技術の高度化
-コントロールボーリングと地下水年代測定-**

平成19年3月5日

財団法人 電力中央研究所

地球工学研究所 バックエンド研究センター

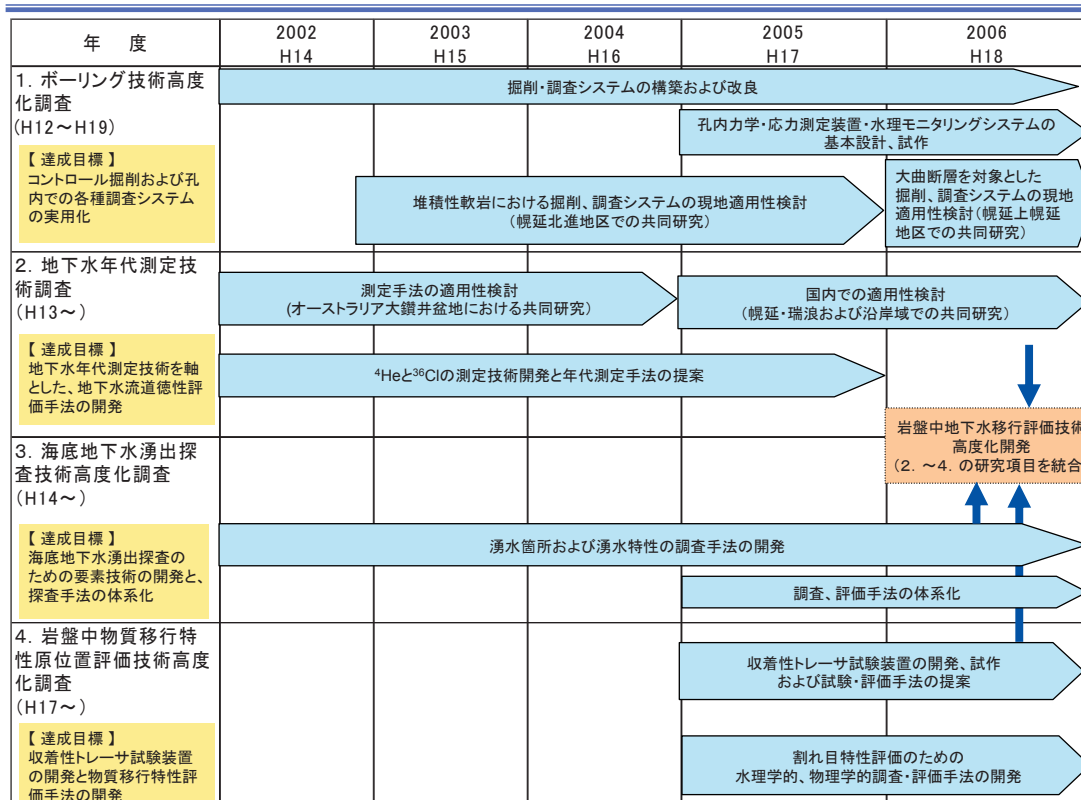
木方 建造

発表内容



- ・研究開発の枠組み
- ・研究開発の成果
 - ーコントロールボーリング掘削・調査技術
 - ー地下水年代測定技術
- ・まとめ

研究開発の枠組み



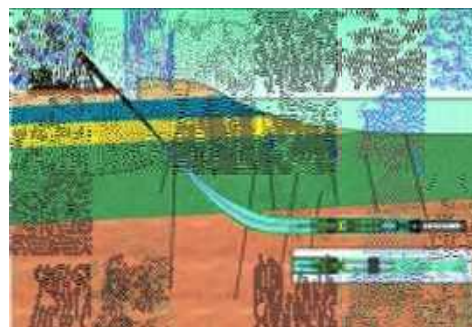
ボーリング技術高度化調査



(背景)

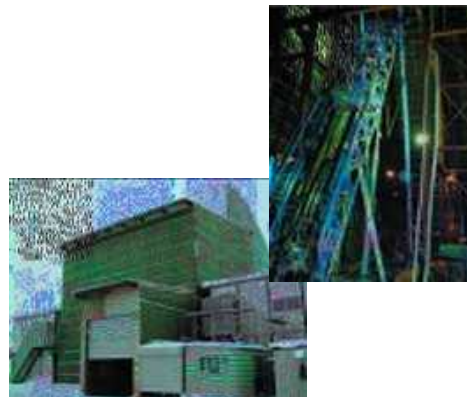
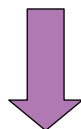
概要調査は地表調査、物理探査と数少ない**ボーリング**により実施

処分場として、**堆積軟岩、沿岸域**が注目されている

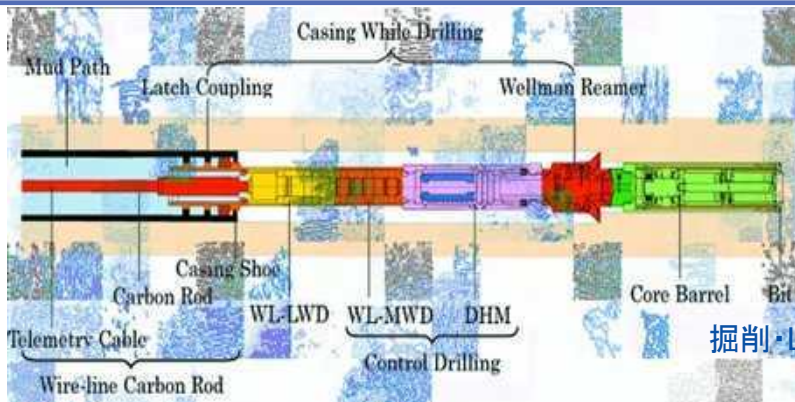


(目的)

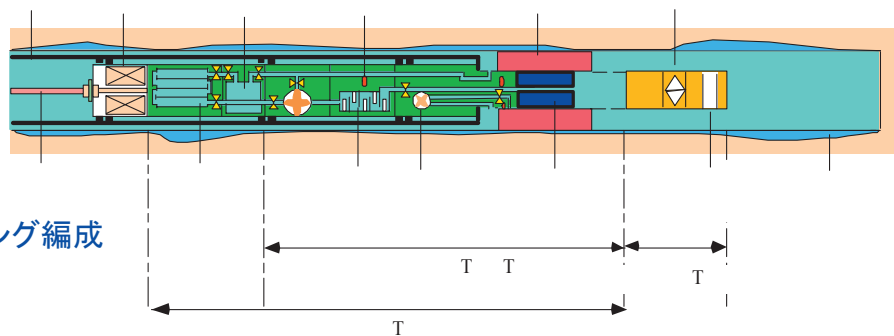
堆積軟岩にも適用できる、効率的な(方向性をコントロールできる)ボーリング掘削技術および調査技術の早期開発



主要な掘削、調査ツールス



掘削・LWD/MWD編成



透水・採水・イメージング編成

MWD (Measurement While Drilling)



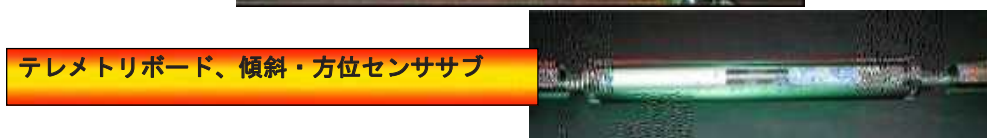
ケーブルヘッドアダプタ



ダウンホールビット荷重及びトルクセンササブ



圧力・温度センササブ

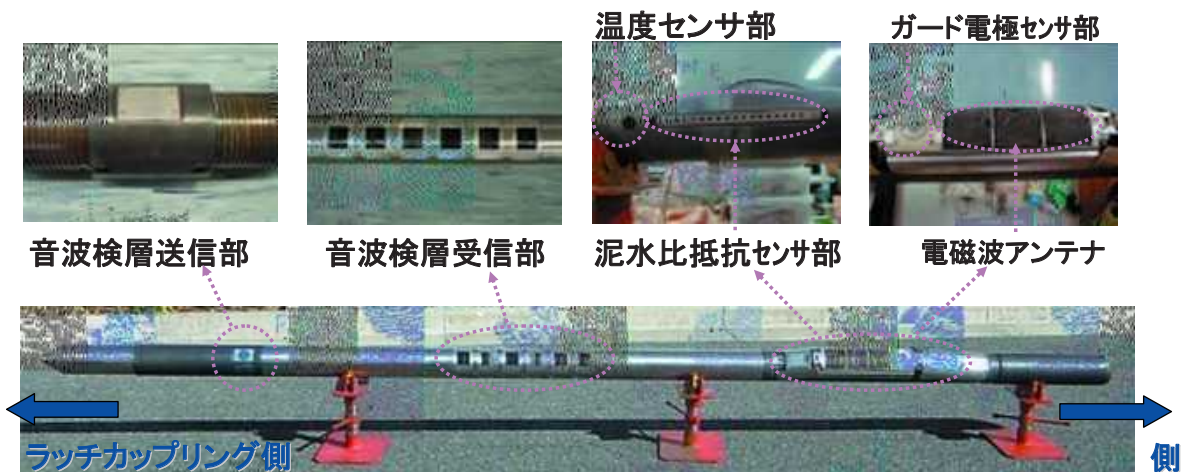


テレメトリボード、傾斜・方位センササブ

WL-MWDダウンホールツールス全体図



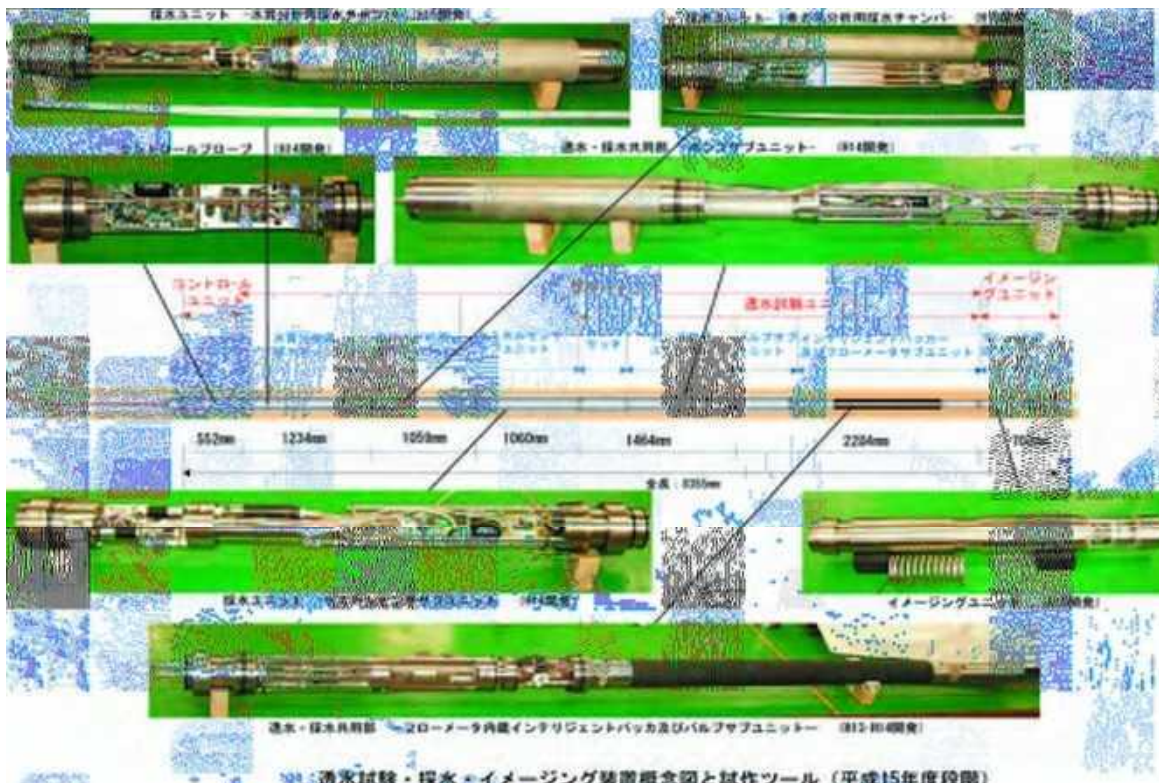
LWD (Logging While Drilling)



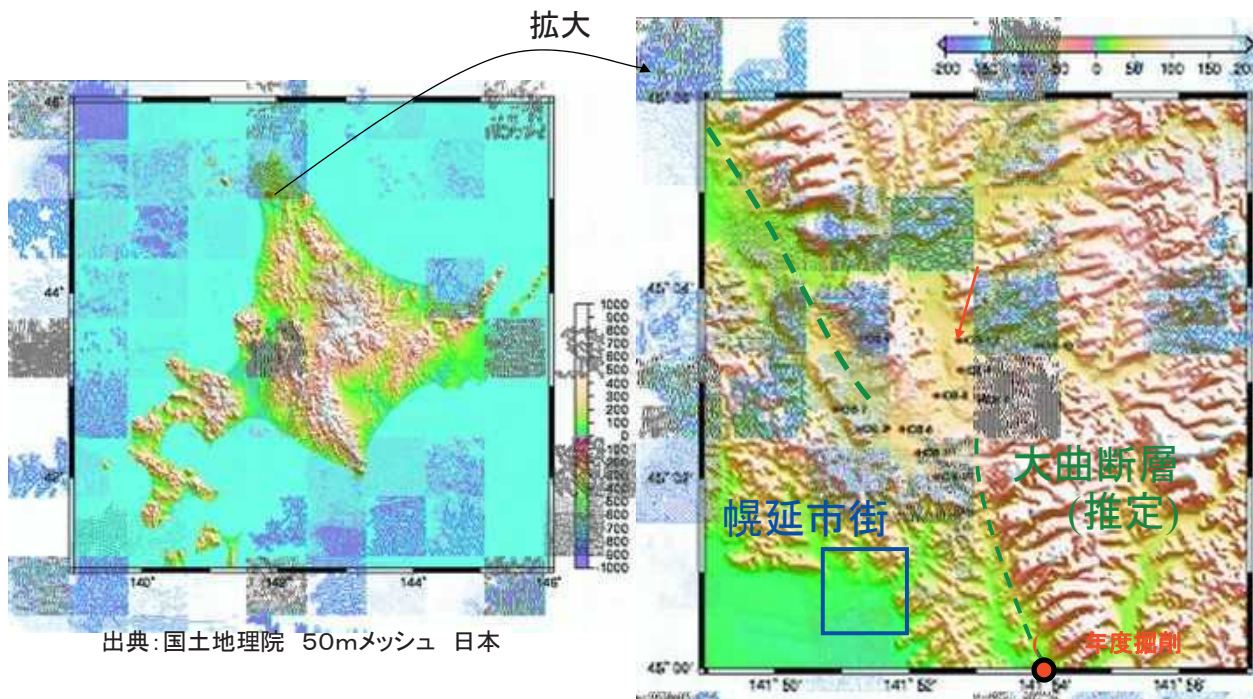
プローブ内部の電気回路とコネクタ部分



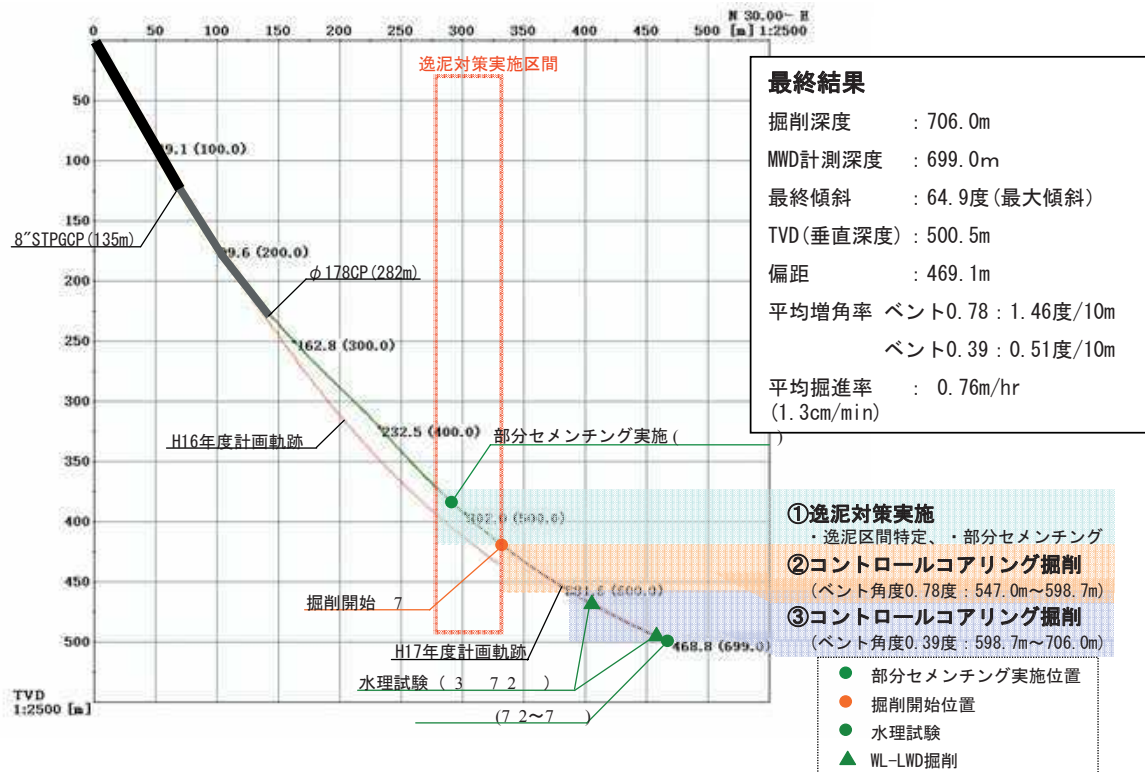
透水・採水・イメージング装置



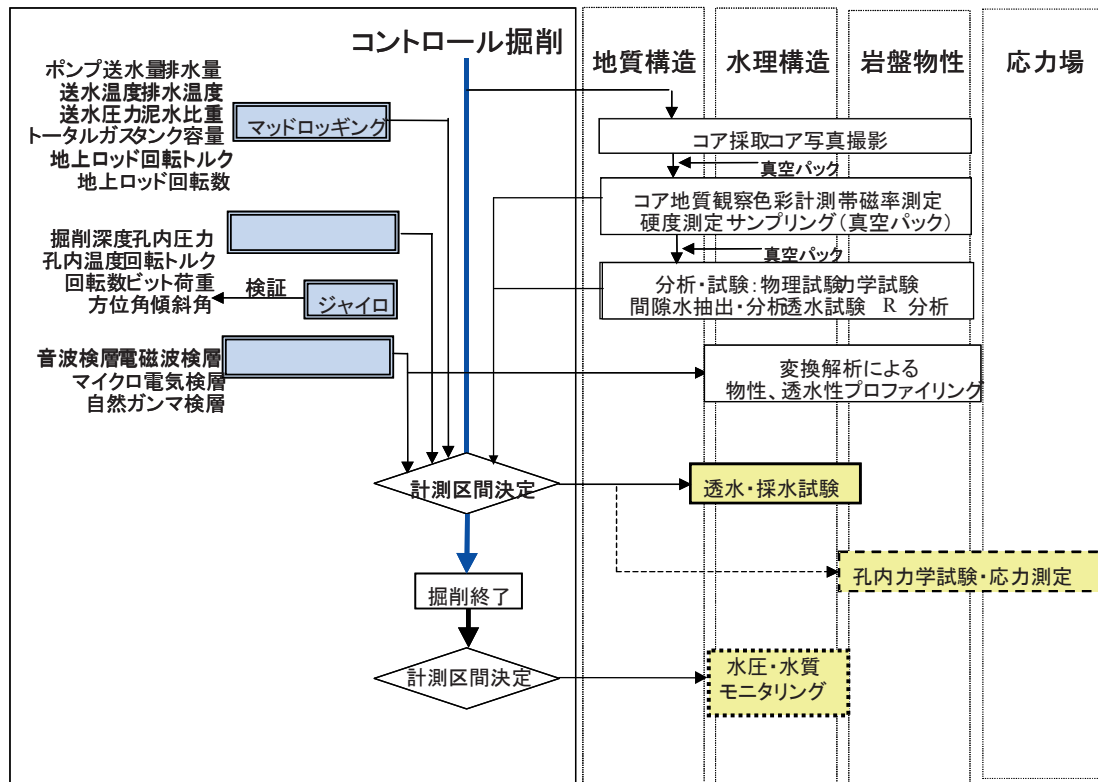
現地適用箇所 の地形



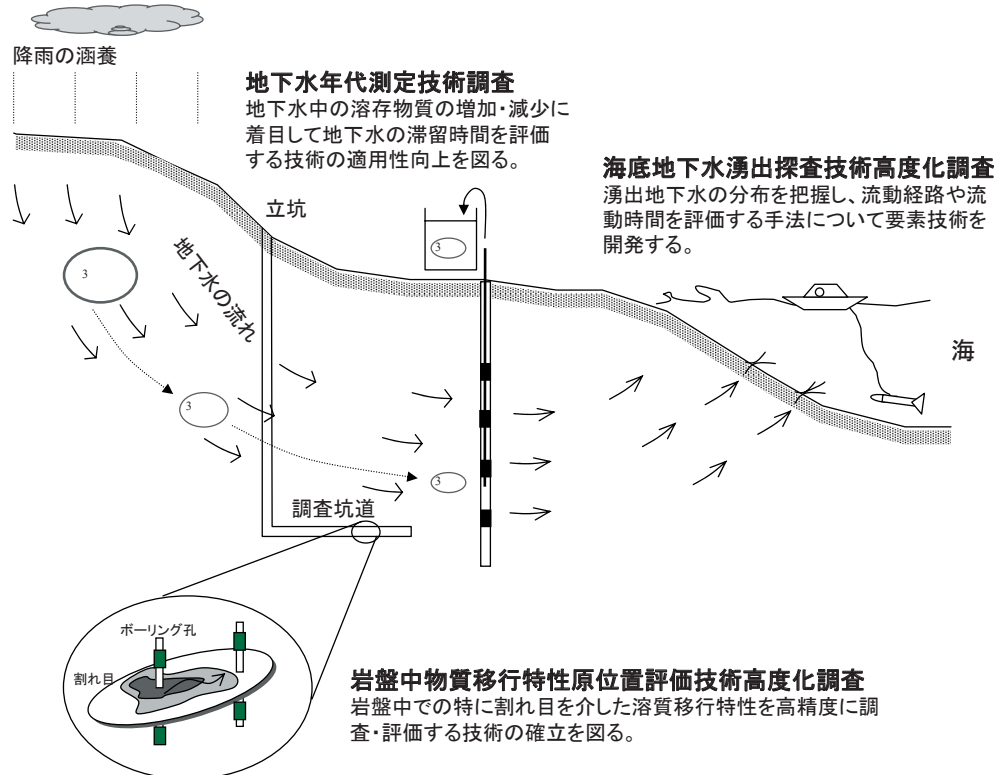
HCD-1/2孔跡図



コントロール掘削・調査システムフロー



岩盤中地下水移行評価技術高度化開発



地下水年代測定技術調査



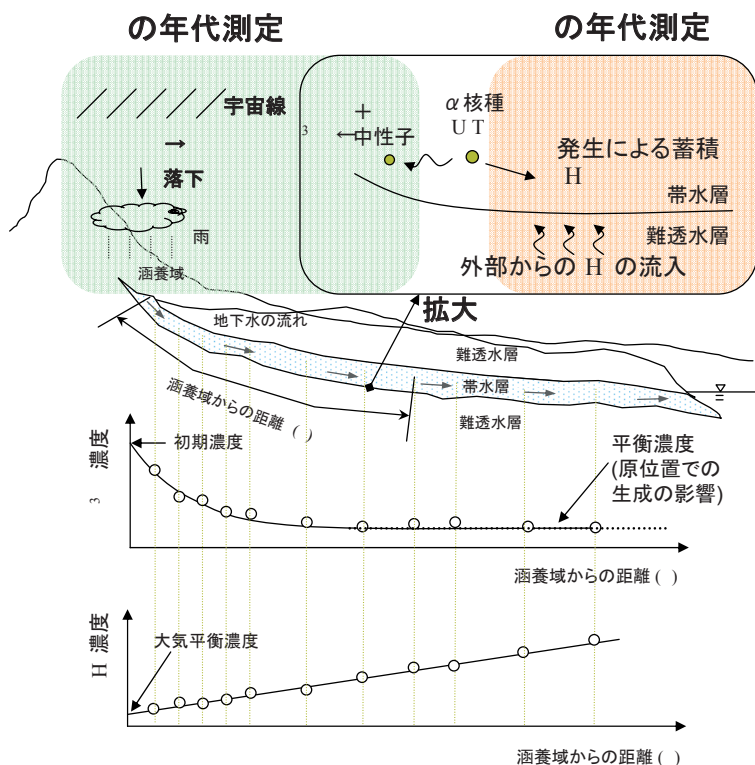
背景:

放射性廃棄物の地層処分においては、**非常に遅い**地下水流速の評価が必要とされる。現状の計測技術では、この遅い流速の計測は**困難**なため、天然の放射性同位体に着目した**地下水年代評価法**が有望とされている。

目的:

高レベル放射性廃棄物処分の安全評価において重要な**百万年程度**の**地下水年代**を評価可能な手法を整備し、原位置で検証する。

地下水年代測定の方法



天然中に存在する放射性物質の壊変に伴う濃度の減少や壊変に伴う物質の生成に着目して、地下水の古さを評価する方法

の年代測定

壊変による濃度の低減に着目して地下水の年代を推定

$$3 \text{ 年代} = -\frac{1}{\lambda} \left(\frac{C - C_{eq}}{C - C_{eq}} \right)$$

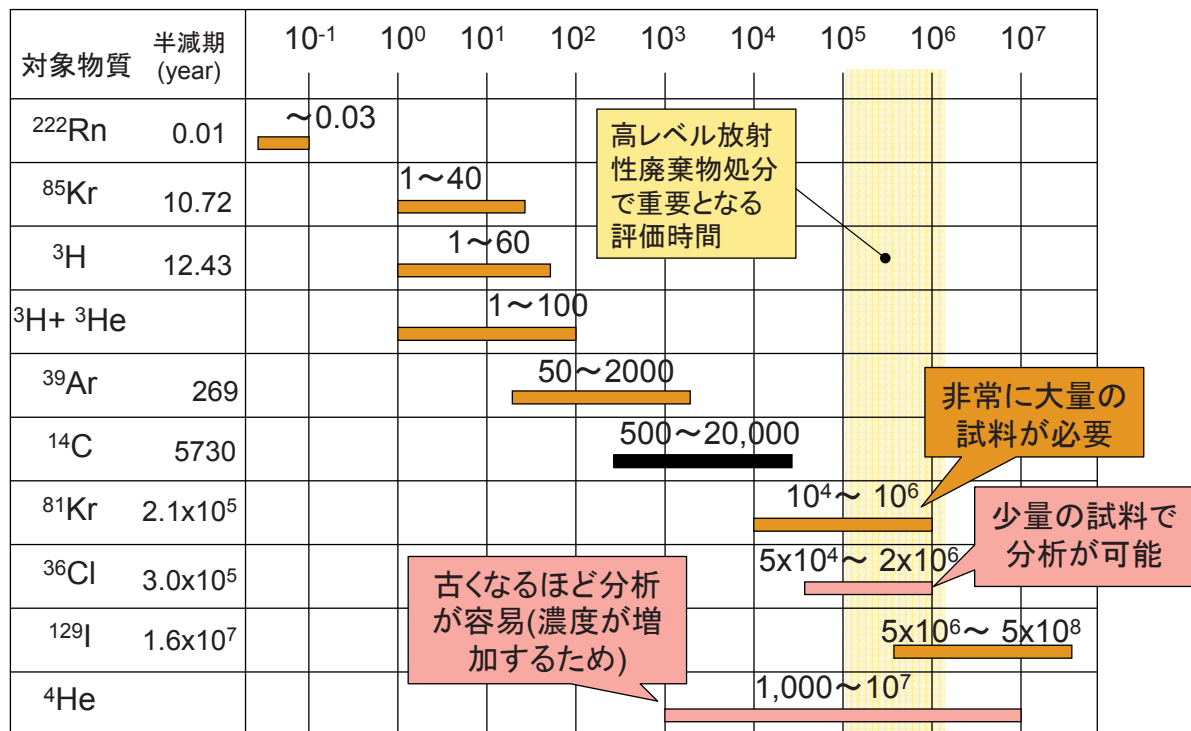
ここに、 C は初期濃度、 C_{eq} は平衡濃度、 λ は崩壊定数である。

の年代測定

地盤内で発生する H の蓄積量から地下水の年代を推定

H 年代 = H 蓄積量 / ヘリウム発生速度
ヘリウム発生速度 U と T の崩壊による発生 + 外部からの流入

年代測定法と測定できる年代の範囲

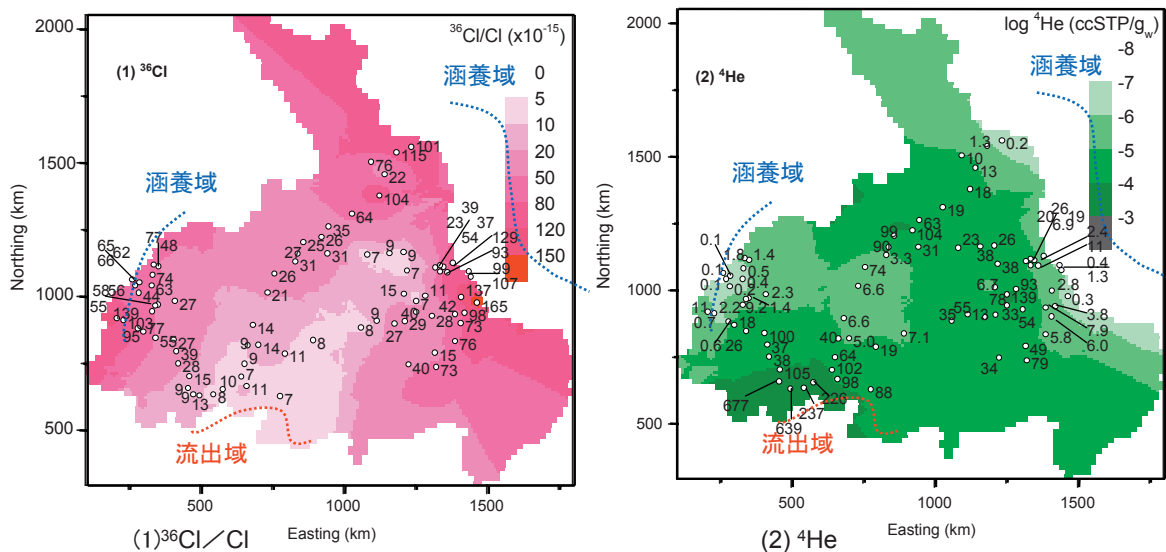
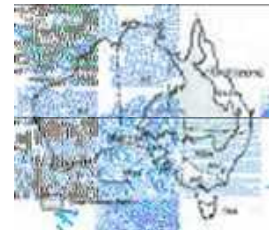


オーストラリア大鑽井盆地における地下水年代の調査結果

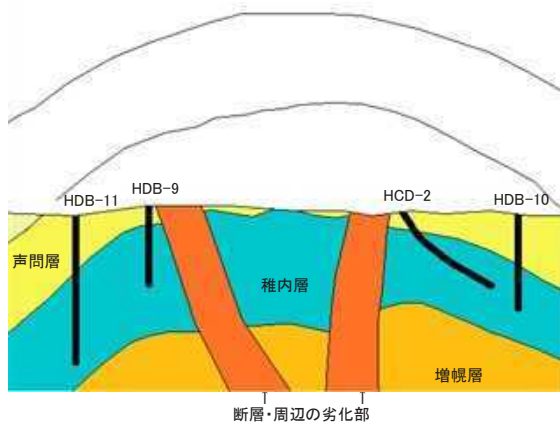


目的: 百万年程度を評価できる³⁶Clと⁴Heによる地下水年代測定法の検証
調査の利点

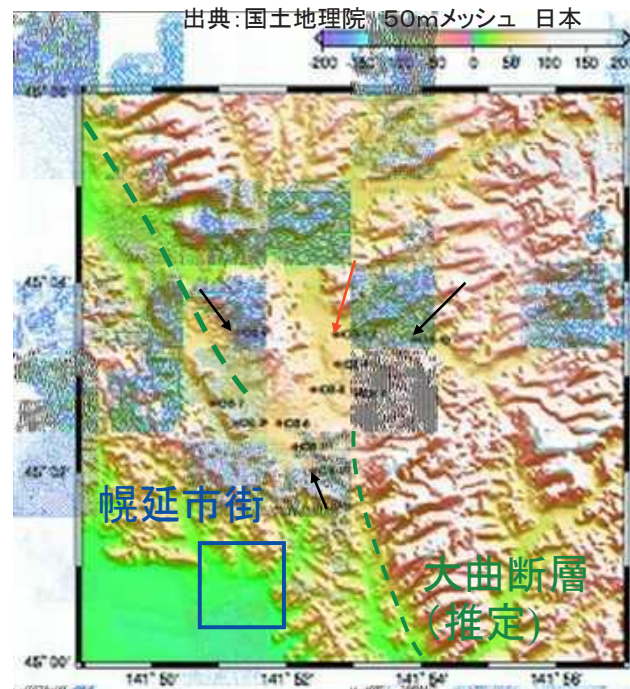
- 1) 流動経路が千キロ以上(地下水流速1m/yで百万年以上)
- 2) 被圧帯水層かつ大鑽井盆地が乾燥帯に属する(涵養域が明確)
- 3) 地層構成、地下水流動状況が良く把握されている。



国内での適用性検討(幌延)

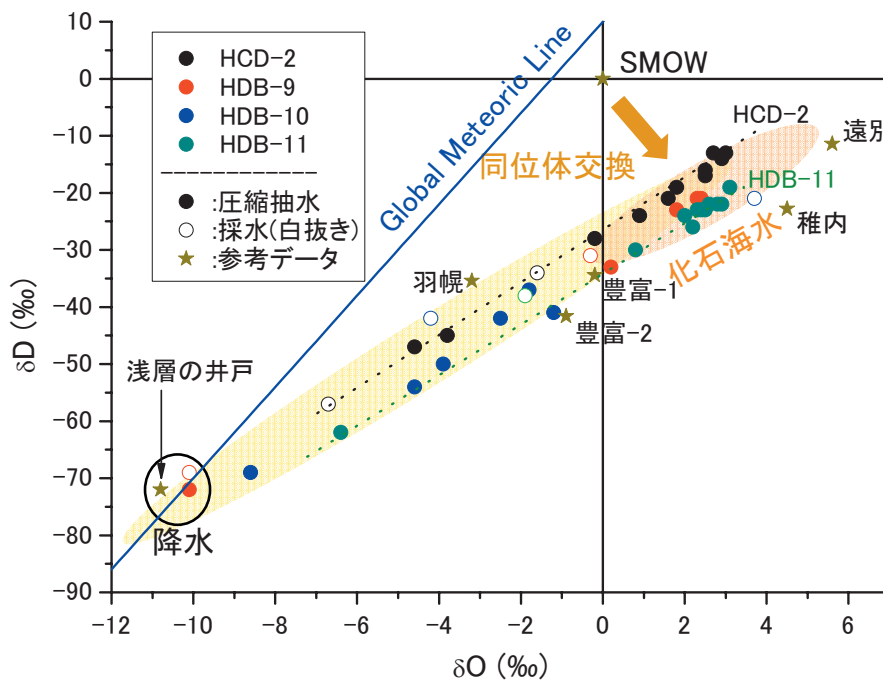


(2)概略地質概念図



(1)調査したボーリング孔(H1 年度掘削孔)
H ~11(核燃料サイクル開発機構)
H 2(電中研:コントロールボーリング)

水素・酸素同位体比による 地下水起源の検討



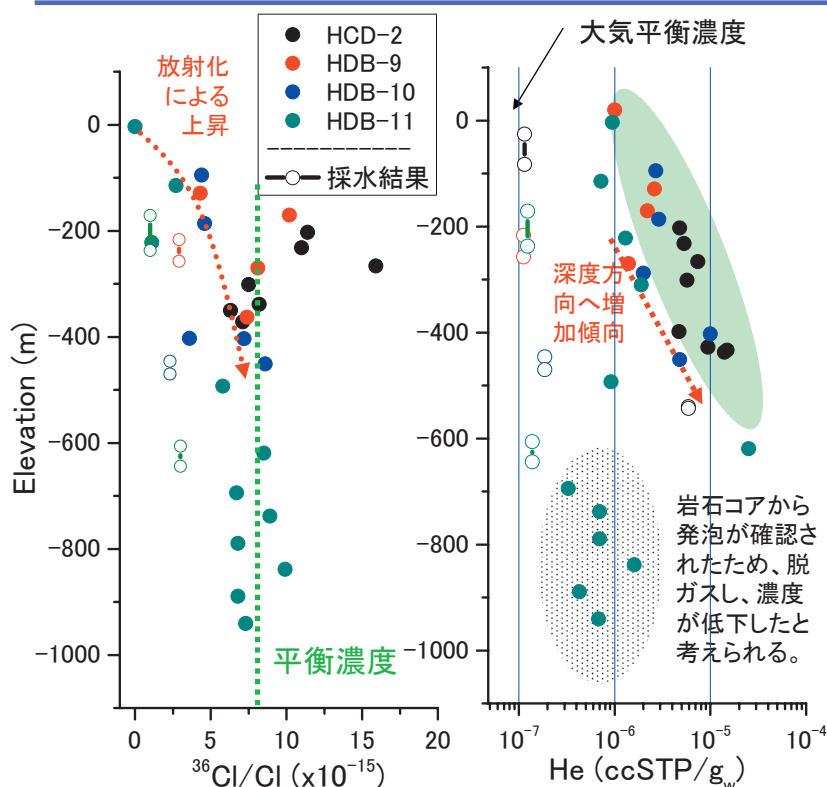
エンドメンバー

- ・降水
(天水線、浅層井戸水に近い)
- ・化石海水
(海水が同位体交換したものの、近隣の温泉の結果と類似)

地下水の形成

降水と化石海水(堆積時に閉じこめられた海水が同位体交換したものが混合して地下水が形成されている。
H 2とH 11では異なるラインにのる。

幌延における調査結果



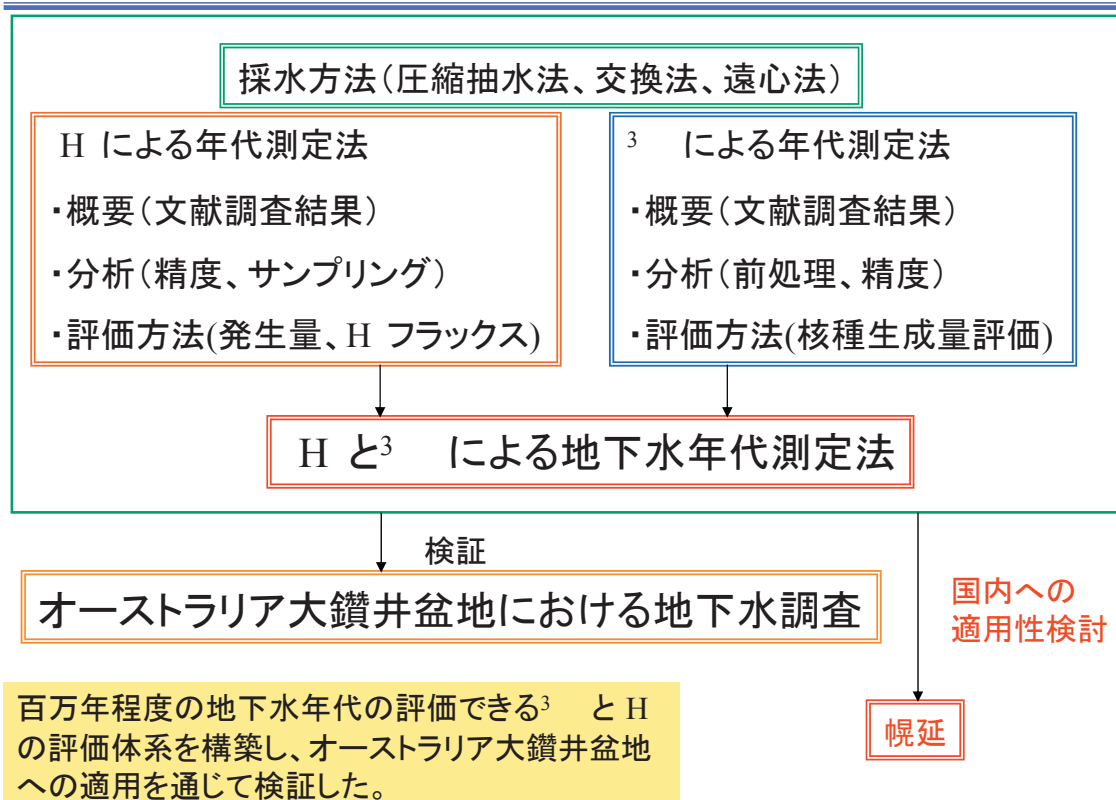
4本のボーリングについて岩石コアによる ^{36}Cl と ^4He による調査を実施し、その適用性を検討した。

^{36}Cl は地盤内での放射化により深部に向けて濃度が上昇し、放射平衡に達している。

^4He は、深部に向けて濃度の上昇が見られる。この値は大気平衡濃度より1桁以上高く深部の地下水の滞留時間は長いと考えられる。

このため、深部の地下水は数百万年の滞留時間を持つと考えられる。

地下水年代測定法の提案



まとめ



＊コントロールボーリング掘削、調査技術

掘削、調査の機器開発

: 孔曲げ掘削機器、コアリング機器、LWD、MWD、
透水・採水、力学・応力、モニタリング機器

掘削・調査システムの構築

現地適用性検討

HCD-1/2 北進地区、新第三紀堆積岩、孔長706m、最終傾斜64度(-H17)

HCD-3 上幌延地区、大曲断層、孔長800m、最終傾斜90度(H18-)

→ 掘削・調査技術の体系化(掘削・調査・評価フローの構築)

＊地下水年代測定技術

^4He と ^{36}Cl を併用した信頼性の高い地下水年代測定の提案

オーストラリア大鑽井盆地での適用性の確認

国内(幌延および瑞浪)での適用性検討

→ 地下水年代を中心とした総合的な地下水流動評価法の確立

塩淡水境界面の形状把握と 長期予測に関する研究

平成19年3月5日

独立行政法人 産業技術総合研究所

地圏資源環境研究部門

丸 井 敦 尚

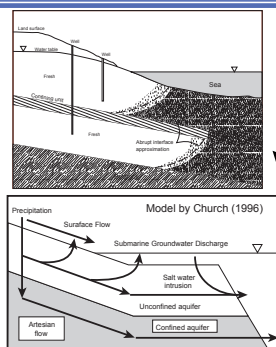
発表内容



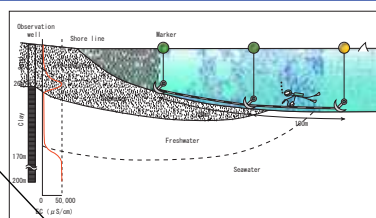
- 研究開発の枠組み
 - ー 研究目標と研究の流れ
- 研究開発の成果
 - ー 地下水観測による塩淡水境界形状の変化
 - ー 物理探査による塩淡水境界形状把握
 - ー データベースによる研究成果の適用範囲
 - ー 地下水流動解析と現地観測結果の比較
- 今後の研究開発
 - ー 深部不動地下水領域の評価法開発
 - ー 沿岸域潜在断層評価技術の高度化
- まとめ

- 研究開発の枠組み
 - ― 研究目標と研究の流れ
- 研究開発の成果
 - ― 地下水観測による塩淡水境界形状の変化
 - ― 物理探査による塩淡水境界形状把握
 - ― データベースによる研究成果の適用範囲
 - ― 地下水流動解析と現地観測結果の比較
- 今後の研究開発
 - ― 深部不動地下水領域の評価法開発
 - ― 沿岸域潜在断層評価技術の高度化
- まとめ

沿岸域の地下水研究と塩淡水境界

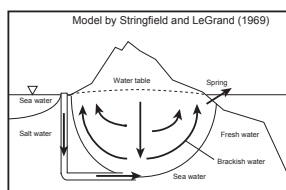
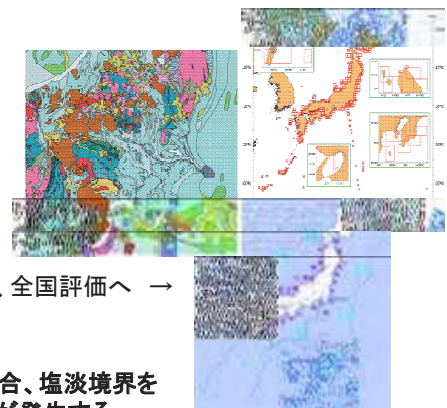


1a



← 帯水層型
塩淡水境界

メータ・データを準備し、全国評価へ →



1b

← 密度流型
塩淡水境界

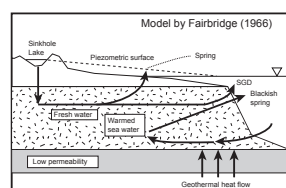
海底に地下水が湧出する場合、塩淡水境界を形成し上向きの地下水流動が発生する。

+

塩淡水境界を形成する事例として、このほかに超長期間かけて封じ込められた地層に支配される塩淡水境界の存在も報告されている。

↓

処分研究に関しては、低移動性・低温の長期的に安定した領域が求められる。

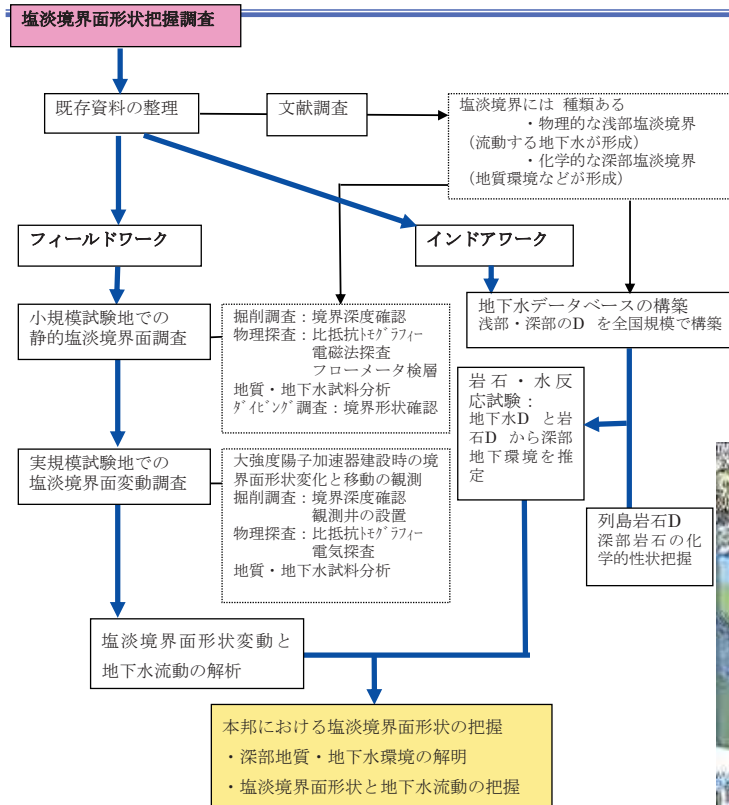


1c

← 熱対流型
塩淡水境界

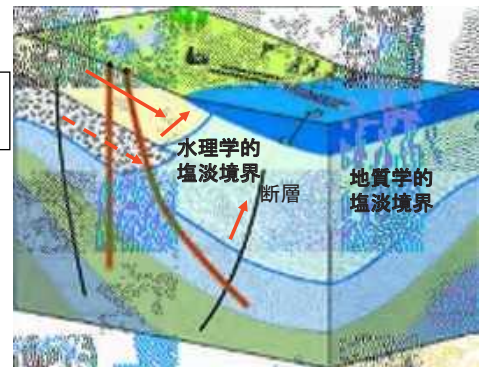
産総研ではこれまで、海底湧水調査を利尻・蓮沼で、物理探査調査を蓮沼・東海で、地下水観測をそれらの全域で実施し、塩淡水境界の物理性に関する研究を実施してきた。

研究開発の目標と流れ



現在の塩淡境界面形状を把握する→水理学的塩淡境界の物理性(平衡)とその場での地下水の上向き流動成分を把握する

地質によって支配される塩淡境界は海水準や地下水流動の変化で変形するか→長期予測(2nd STは深部の不動拡散領域)



発表内容



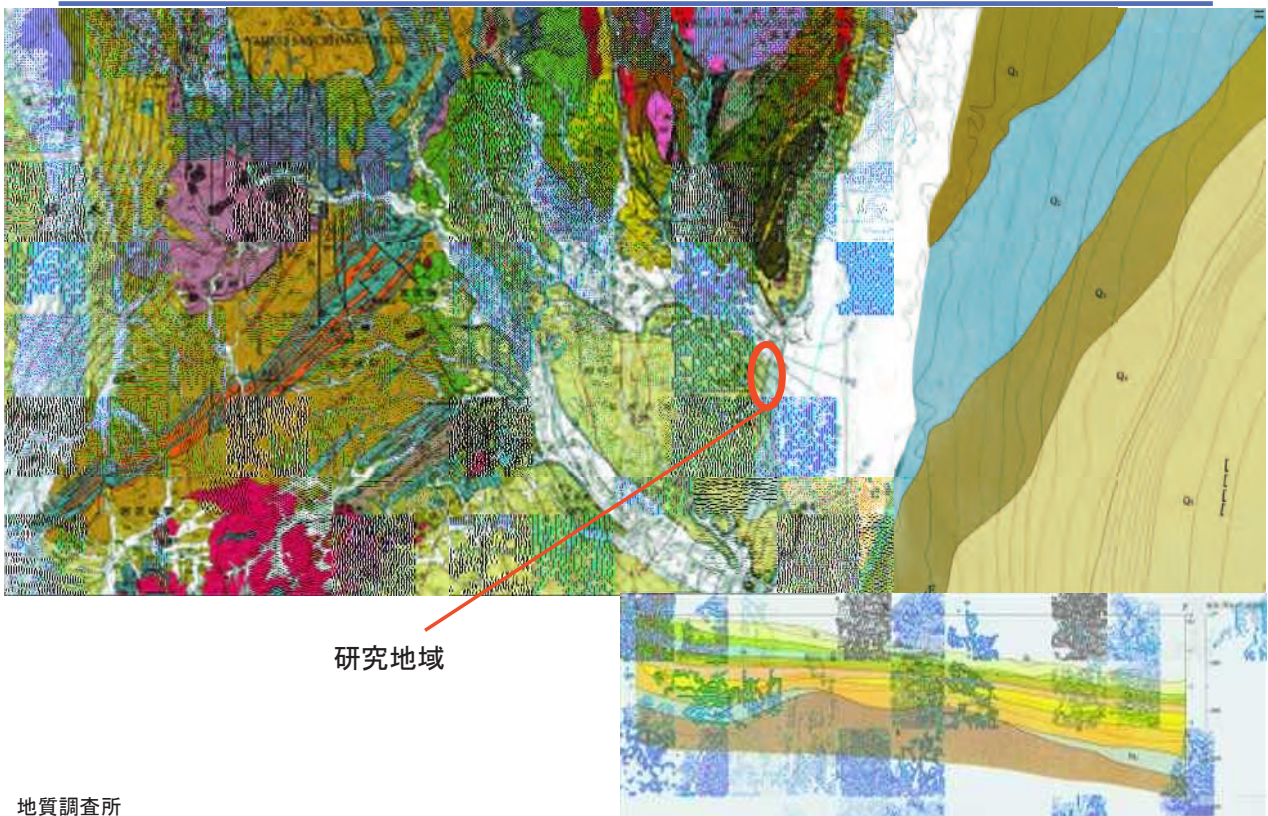
- ・研究開発の枠組み
ー研究目標と研究の流れ
- ・研究開発の成果
ー地下水観測による塩淡境界形状の変化
ー物理探査による塩淡境界形状把握
ーデータベースによる研究成果の適用範囲
ー地下水流動解析と現地観測結果の比較
- ・今後の研究開発
ー深部不動地下水領域の評価法開発
ー沿岸域潜在断層評価技術の高度化
- ・まとめ

試験地の空中写真



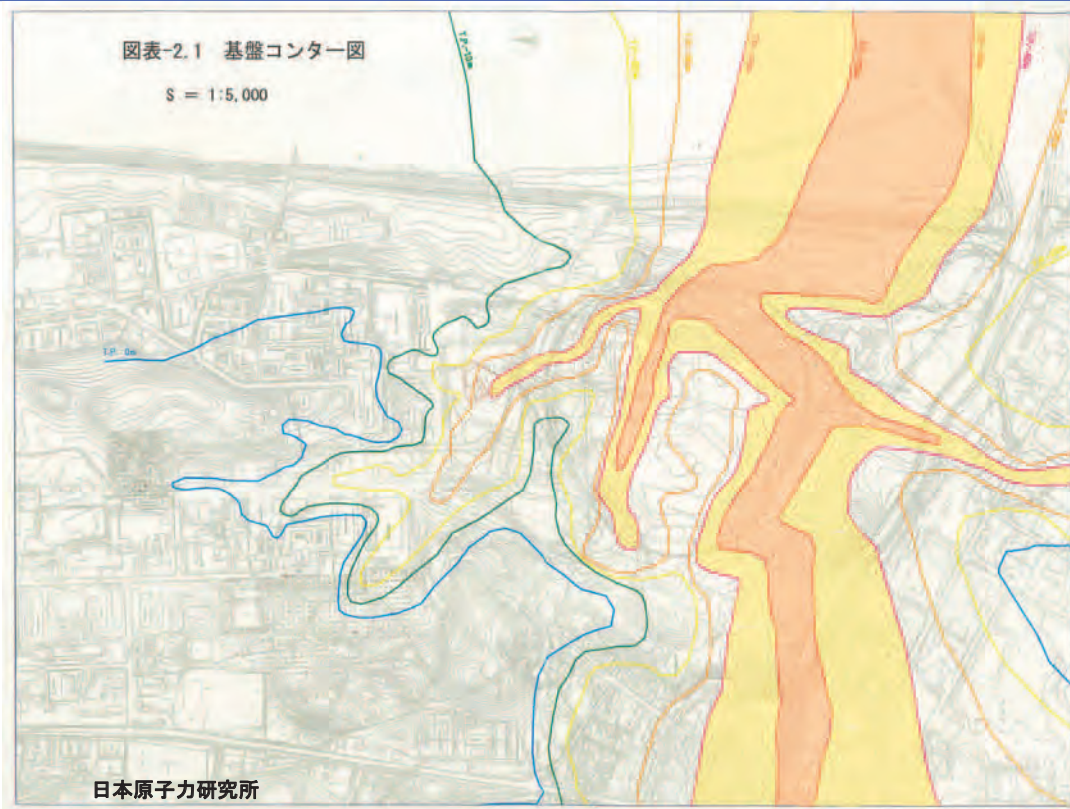
年 月日本原子力研究所撮影

試験地の地質

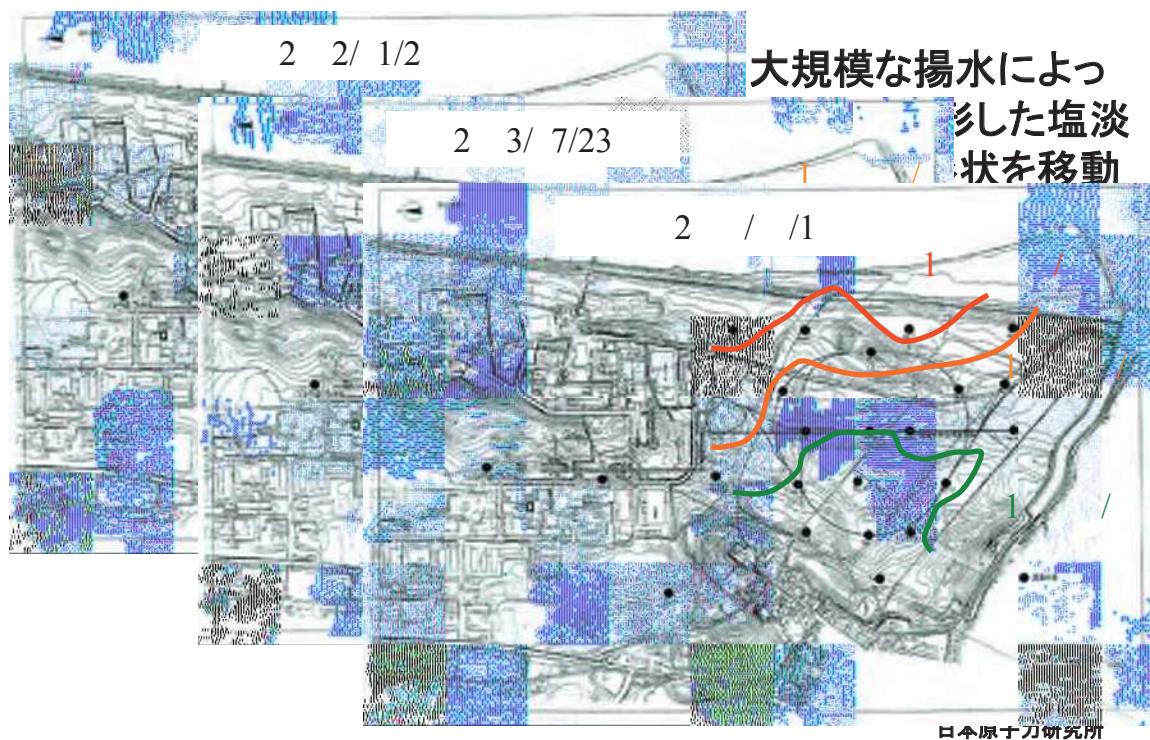


研究地域

地質調査所



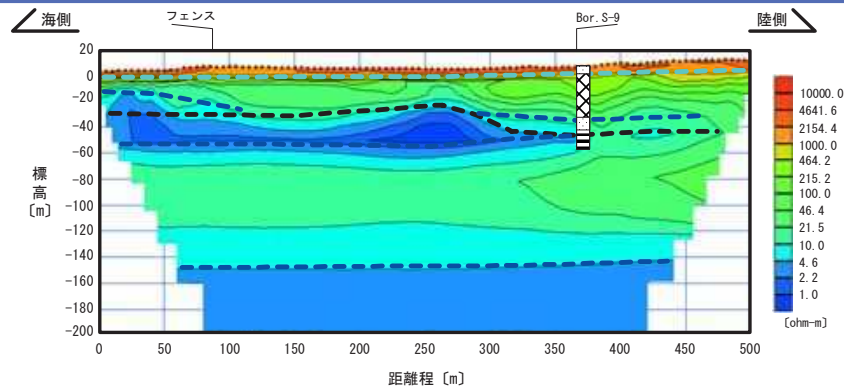
塩淡水境界面の移動と形状把握



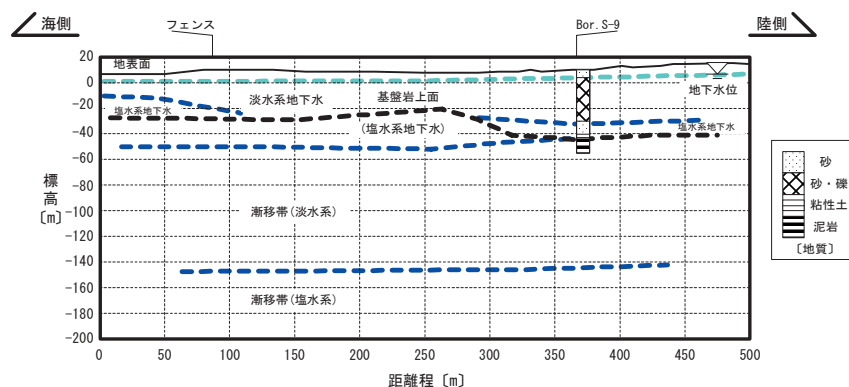
電気探査による塩淡水境界面形状把握



解析結果



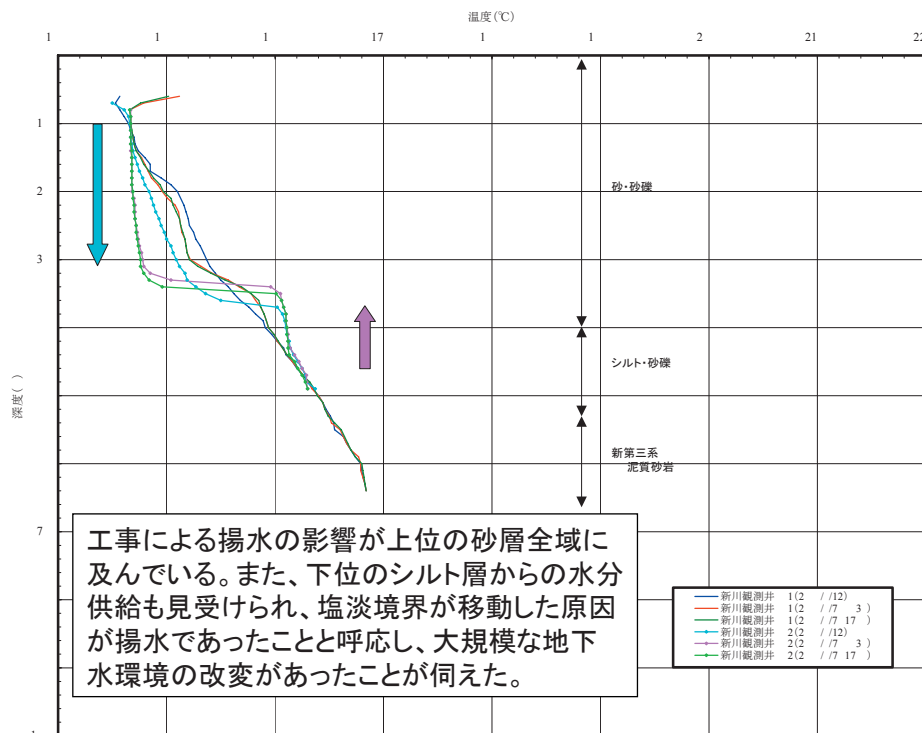
解釈結果



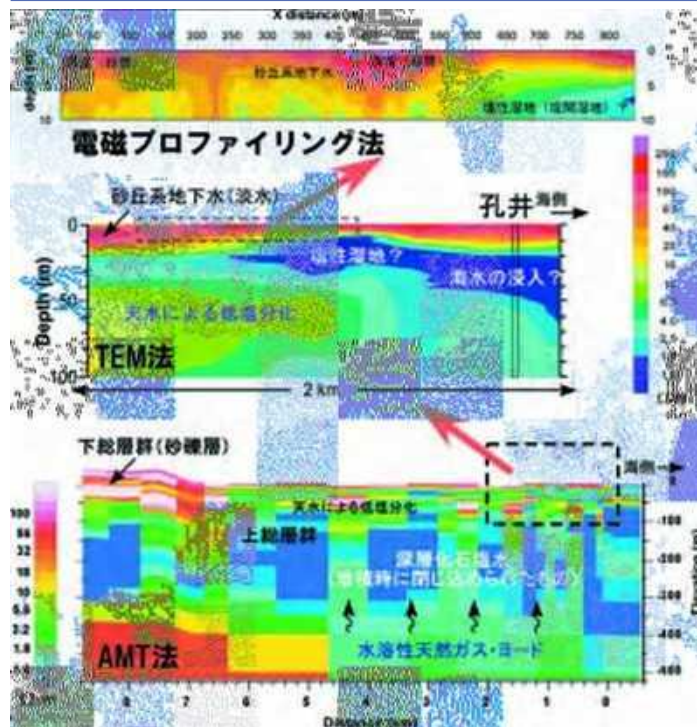
地下水観測（温度プロファイル）



M9-新川観測井



物理探査手法の統合化

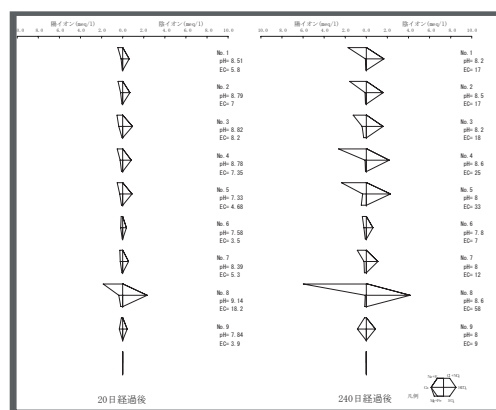


各種の電磁探査法により推定された比抵抗の深度断面図。中段のカラースケールはTEM法と電磁プロファイリング法の比抵抗断面図に共通で、下段に示したカラースケールはAMT法の比抵抗断面図のものである。

データベースによる適応地評価

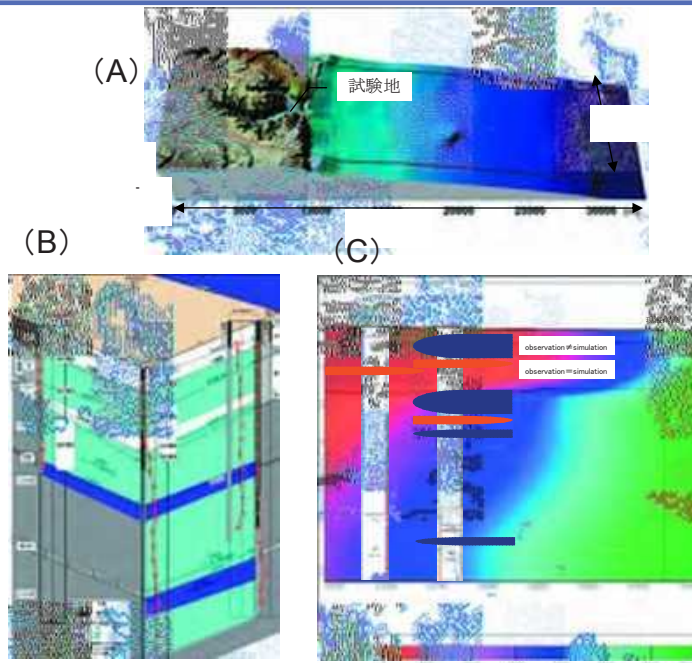


↑ 地下水データベースの一例、地質図とのオーバーレイにより対象地域の適応性について具体的に議論できる。



← 丹波帯Ⅱ型地層群構成岩石を用いた岩石水反応試験の結果、240日後にはほぼ飽和している。

統合化した地下水流動解析



研究成果の統合化、(A)は解析領域（本研究対象地域）の概略を示す。(B)は物理探査で得られた地質構造にボーリング調査結果と地下水試料分析結果を重ね、塩淡水境界面を3次元的に示した。この結果、図中青く示した深度100mと170m付近に明瞭な塩水の侵入が見られた。(C)は地下水流動解析結果と地下水の長期観測結果による塩淡水侵入を示したもので、暖色が淡水・冷色が塩水領域を示す。とりわけ潮汐や周辺工事の影響を受けなかった深部において、(B)によく対応した2つの塩水侵入が観測され、流動解析において示した圧力分布(塩水侵入領域)ともよく合致した。このように結果を統合することで、塩淡水境界の形状や地下水の実流動さらには水理地質構造との関連が明確になった。

発表内容



- 研究開発の枠組み
 - ― 研究目標と研究の流れ
- 研究開発の成果
 - ― 地下水観測による塩淡水境界形状の変化
 - ― 物理探査による塩淡水境界形状把握
 - ― データベースによる研究成果の適用範囲
 - ― 地下水流動解析と現地観測結果の比較
- 今後の研究開発
 - ― 深部不動地下水領域の評価法開発
 - ― 沿岸域潜在断層評価技術の高度化
- まとめ

深部不動地下水領域の評価法開発

安全で安心できる処分を担保するための地下水研究

- 長期的な海水準変動や地球環境変化予測に対応した塩淡水境界位置の移動予測(時間軸を加味した広域地下水流動解析)
- これに伴い深部地下水の移動する可能性がある領域を評価する(現位置における井戸を使った水理試験)

沿岸域潜在断層評価技術の高度化

地下水の選択的上昇流動に関与する水理地質構造を的確に把握する

- 海域と陸域の連続的な構造理解(特に断層構造)
- 電磁探査・電気探査・弾性波探査などの統合化技術確保

深部不動地下水領域の評価法開発

沿岸域潜在断層評価技術の高度化

二課題(地下水・物理探査)について沿岸域の問題点を抽出し、現位置試験を実施する。

⇒研究を体系化してとりまとめ

積極的な連携・技術移転

- ・これまでに実施されてきた沿岸域研究に関する課題(海底湧出調査など)との連携
- ・先行する処分研究(瑞浪・幌延)との連携
- ・現位置試験をする場合の地域研究機関との連携

これまでの研究では、
塩淡水境界面の形状と移動の様子を試験地における実証試験により観測することができた。また、これをとらえるための地下水観測手法や物理探査手法を複数確認することができた。

塩淡水境界面およびその形状にしたがって流動する地下水を試験地での実証試験により観測することができた。さらに、この現象を統合的な地下水流動解析手法により確認することができた。

長期的に見て地形、気候(降水量)、海水準などが変化するときの塩淡水境界面の形状変化を予測するための実証的な要素データを取得することができた。

これからの研究においては、
塩淡水境界面形状と地下水流動の観測などから沿岸域における地下水環境を把握し、長期的に安定した地下水の不動領域を評価する技術を獲得する。

浅海域の物理探査技術を向上させ、陸域から海域までを総合的に把握し、断層など処分計画に重要な地質構造を高精度に評価する技術を確保する。

3. 高レベル放射性廃棄物に関する研究開発 ～各研究開発分野の成果と今後の計画～

(2) 処分場の工学技術

(2) 処分場の工学技術

1) これまでの成果の概要と今後の計画

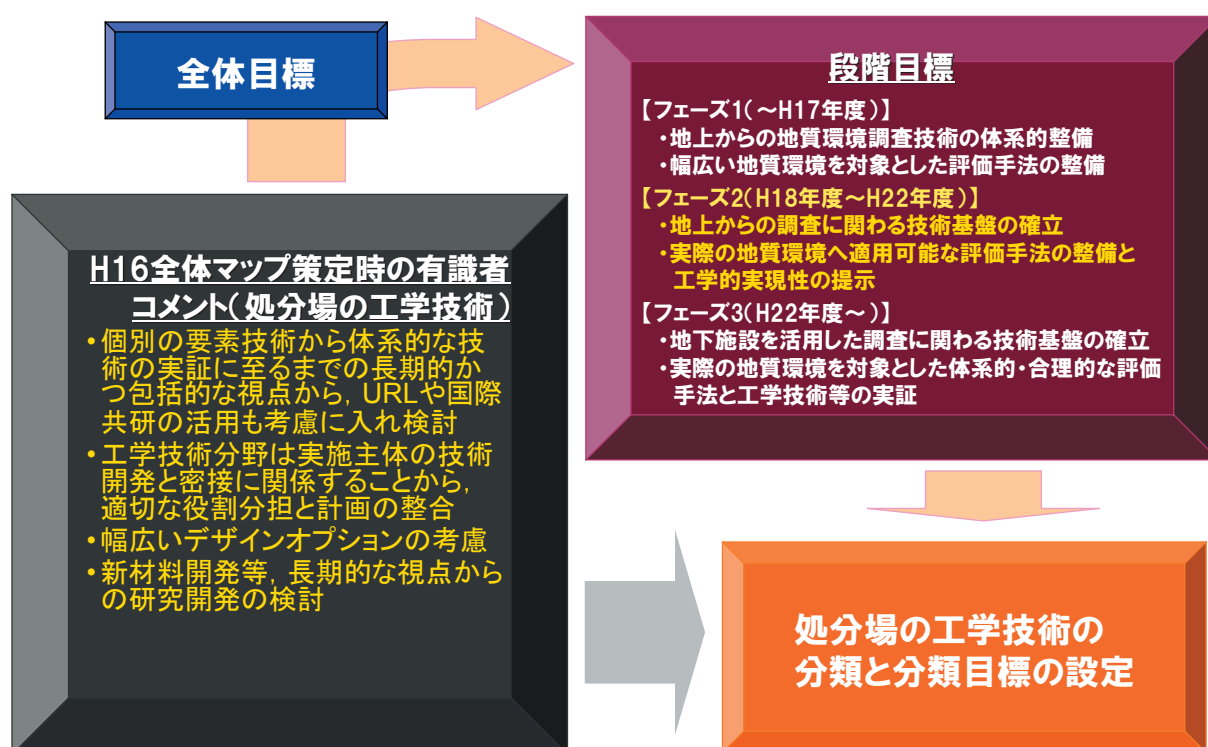
平成19年3月5日

地層処分基盤研究開発調整会議
工学技術ワーキンググループ
コーディネータ 油井 三和

発表内容

- 処分場の工学技術分野の研究計画の全体像
- これまでの成果の概要と今後の計画

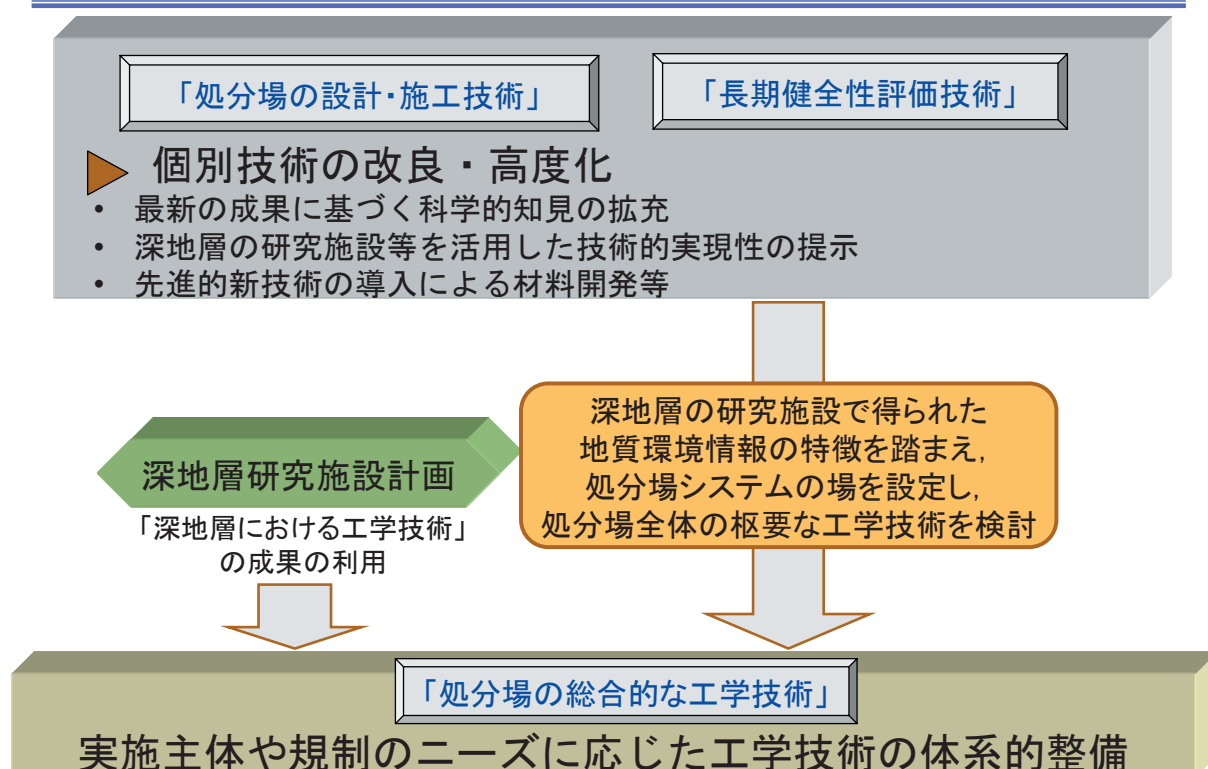
研究開発の段階目標



処分場の工学技術分野の分類、達成レベル、分類目標

分類	達成レベル		分類目標	
	第2次取りまとめ	フェーズ1	フェーズ2	フェーズ3
(1) 処分場の総合的な工学技術	幅広い地質環境に柔軟に対応できる設計評価の基本的な流れを提示	人工バリア等の設計評価手法の体系的整理	実際の地質環境への適用を考慮した柔軟性のある工学技術の体系化	実際の地質環境への適用性が確認された工学技術全体の体系化
(2) 処分場の設計・施工技術	幅広い地質環境を対象に、現状技術で実現可能と考えられる建設・操業・閉鎖技術を概念的に提示	閉鎖等の個別要素技術の強化	設計・建設技術の実際の地質環境への適用性確認と操業・閉鎖技術の整備	処分場の設計・施工技術の実際の地質環境への適用性確認
(3) 長期健全性評価技術	降水系地下水を中心とした実測データや基本モデルを整備し、保守的な考え方に基づく設計技術を提示	海水系を中心とした現象理解の向上と評価モデルの拡充・高度化	実際の地質環境へ適用可能な長期健全性評価モデルの整備	実際の地質環境に対する長期健全性評価モデルの総合的な適用性確認

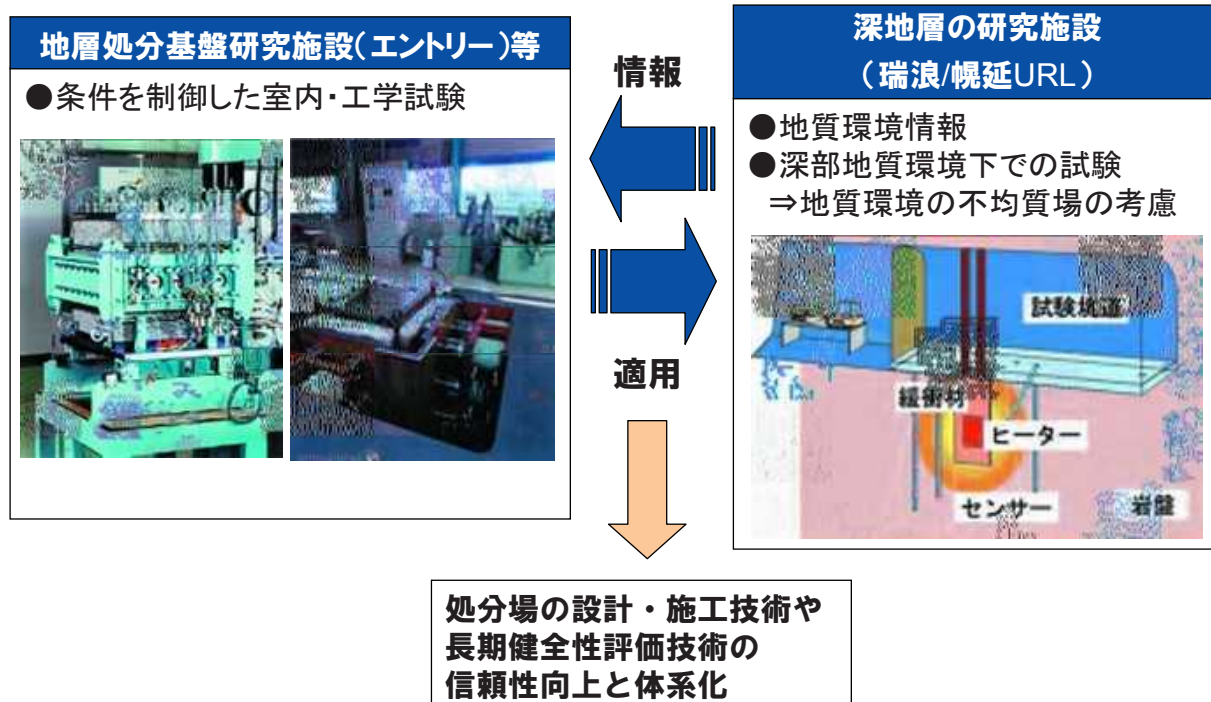
フェーズ2での研究開発計画の基本構造



フェーズ2の研究開発要素

分類	細 目	
(1) 処分場の総合的な工学技術	① URL における適用性検討	
	② 工学技術オプション	
(2) 処分場の設計・施工技術	① 人工バリア(オーバーバック/緩衝材)	a) オーバーバック
		b) 緩衝材
	② 支保・グラウト・シーリング	a) シーリング
		b) 支保(低アルカリ性セメント)
		c) グラウト
	③ 建設・操業・閉鎖等の工学技術	a) 建設技術
		b) 操業技術
		c) 閉鎖技術
		d) 品質管理
		e) 回収技術
(3) 長期健全性評価技術	① ガラス固化体	
	② 緩衝材	a) 緩衝材の長期力学的変形挙動
		b) 緩衝材の長期変質挙動
		c) 緩衝材流出・侵入挙動
	③ セメント・コンクリート	
	④ 岩盤	
	⑤ 熱-水-応力-化学連成評価技術	
	⑥ ガス移行挙動	
	⑦ 人工バリアせん断応答挙動	

深地層の研究施設を活用した 工学技術の適用性確認と体系化



フェーズ2での重点課題

設計・建設技術の体系的整備

- 処分場の長期性能に有意な影響を与えない設計・建設技術(掘削技術、グラウト/支保技術、情報化施工、空洞安定性評価技術など)について、深地層の研究施設での実績や取得データを活用し体系的に整備

工学技術オプションの成立性や実現性に関わる 技術基盤の整備

- サイト条件の様々な特徴に適した処分概念の構築に資するよう、代替の処分概念を含む工学技術オプションの成立性*に関わる共通的な技術基盤の整備

*セメント影響、緩衝材制限温度、操業性、回収可能性、品質管理……

(1) 処分場の総合的な工学技術

① URLにおける適用性検討

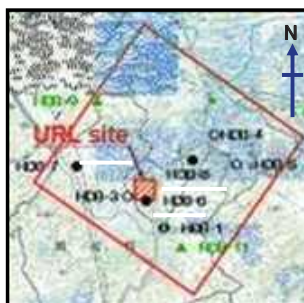
② 工学技術オプション

フェーズ1の主な成果【URLにおける適用性検討】

幌延URLを対象とした検討

処分孔竖置き方式を例として、

- 第2次取りまとめの考え方と最新の知見を踏まえ処分場全体設計フローを更新
- オーバーパック及び緩衝材の設計に関する手順の明確化
- 地上からの調査に基づく設計データの設定
- 人工バリアおよび処分場の設計を試行し、設計手法の適用性を確認
- 地上からの調査段階における設計上の留意点を整理



試錐調査配置図

幌延における地上からの調査によって得られたデータをもとに力学、水理、熱及び地下水化学特性をそれぞれ設定

地下水化学特性の設定例

幌延を一例とした検討

Na, K, Ca, Mg, Cl については、水質分析結果より、pH, Eh, C, Fe, S については、一般的な深部地下水に関する地球化学的知見とその不確実性をもとに地球化学モデルにより推定

空洞安定性評価指標に関する第2次取りまとめとの比較

指 標	第2次取りまとめ	幌延の地質環境
支保工の応力	許容応力度以内	許容応力度以内
応力状態	局所安全率1.5を下回る領域が対策工により改良可能な範囲であること	塑性領域が対策工により改良可能な範囲であること
変形(岩盤の直ひずみ及び最大せん断ひずみ)	桜井・足立(1988)による限界ひずみと弾性係数の関係における中央値を上回る領域が対策工により改良可能な範囲であること	情報化施工のための指標

フェーズ2の計画

①URLにおける適用性検討

坑道掘削段階において得られる情報をもとに、
地上からの調査段階における手法の適用性を検証

- ・フェーズ1での設計手法や設計上の留意事項の妥当性確認
- ・処分坑道横置き方式の検討

②工学技術オプション

概念オプションの成立性や実現性に必要な技術基
盤の提示

- ・温度・セメント・放射線などの影響評価
- ・設計・建設・操業・閉鎖技術の留意点の整理

《《JAEA》》

(2) 処分場の設計・施工技術

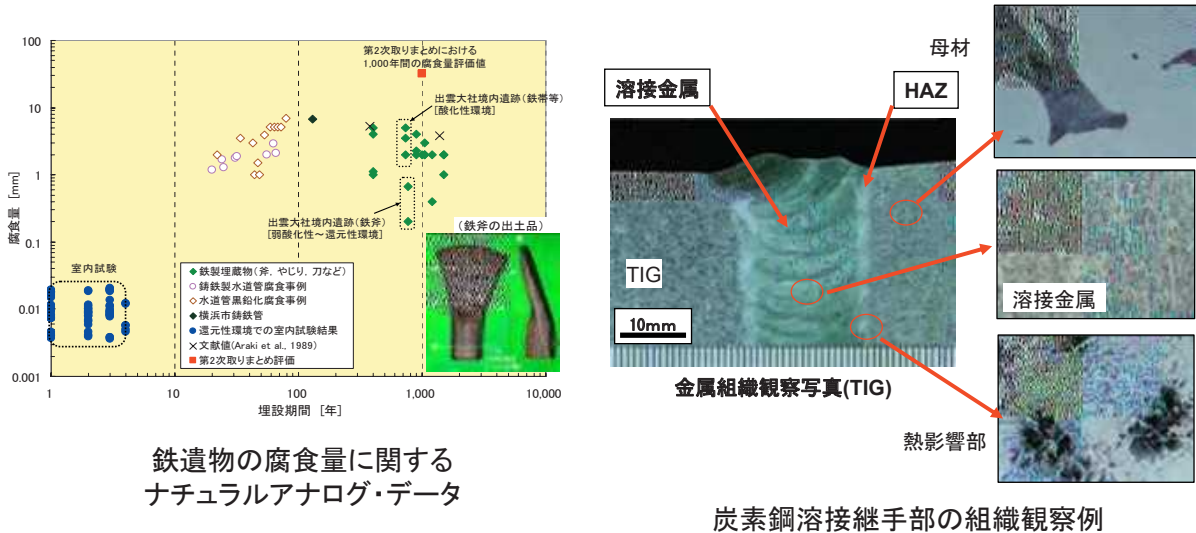
①人工バリア(オーバーパック／緩衝材)

②支保・グラウト・シーリング

③建設・操業・閉鎖等の工学技術

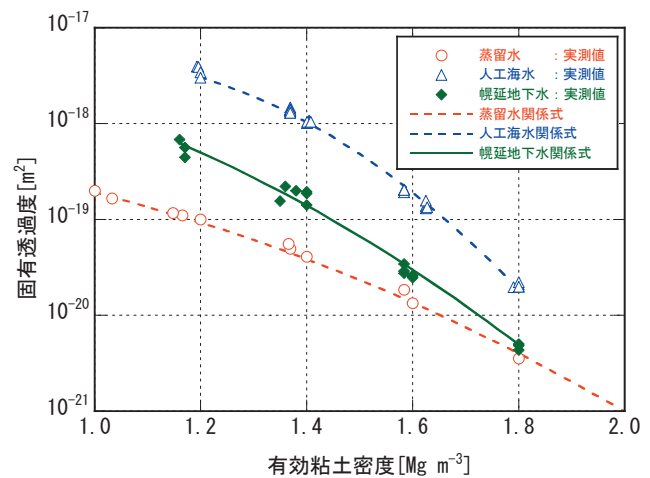
フェーズ1の主な成果(1) 人工バリア【オーバーバック(炭素鋼)】

- ・長期試験(最大4年)やナチュラルアナログデータ(1,000年規模の弱酸化性から還元性環境での事例)の蓄積によるオーバーバックの長期信頼性の向上
- ・高pH化, マグネタイトによる腐食などに対する生起可能性, 生起条件およびその影響について定量的な評価手法の提示
- ・オーバーバック溶接部の耐食性に関する実験的検討を開始【RWMC共同研究】



フェーズ1の主な成果(2) 人工バリア【緩衝材の基本特性】

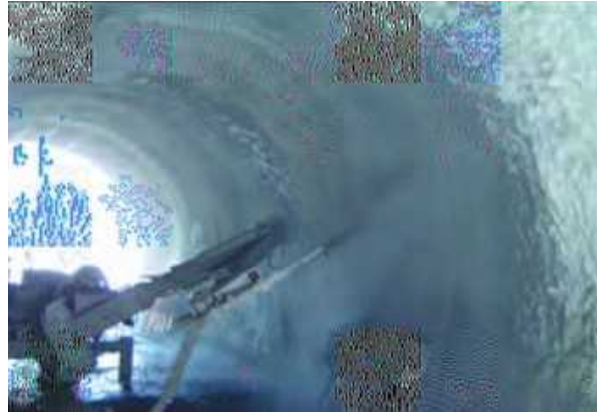
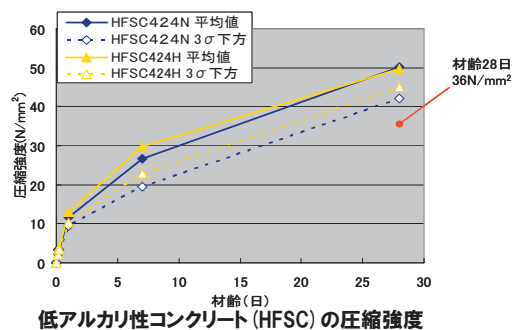
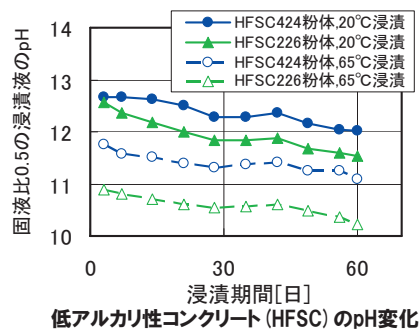
- ・海水系地下水条件下におけるデータの拡充と関係式の提案
- ・設計等に必要となる緩衝材の基本特性データをデータベースとしてWeb公開
- ・膨潤応力や熱物性の測定に関する標準的手法を検討
- ・塩水系地下水条件下における緩衝材ブロック隙間の充填および透水性能を把握【IRI】



海水系地下水条件下における有効粘土密度と固有透過度の関係

フェーズ1の主な成果(3): 支保【低アルカリ性セメント】

- ・コンクリート打設性能や吹き付け性能等の施工性について問題ないことを確認
- ・pHの低下挙動のデータ取得・モデル開発による目標pH達成についての見通し



低アルカリ性コンクリートの吹付試験

フェーズ2の計画(1)

① 人工バリア

a) オーバーパック

- ・材料選定指針の基盤、溶接影響や放射線影響の評価手法提示、腐食データベースの開発、URLにおける適用性確認

b) 緩衝材

- ・緩衝材基本特性データベースの公開・更新、測定手法の標準化
- ・緩衝材施工オプションと関連付けた基本特性把握

② 支保・グラウト・シーリング

a) シーリング

- ・堆積岩/結晶質岩に対する閉鎖要件の明確化、埋戻し材及び止水プラグに関する設計基盤情報の提示

b) 支保

- ・URL掘削段階における低アルカリ性コンクリートの施工例の提示

フェーズ2の計画(2)

③建設・操業・閉鎖等の工学技術

a) 建設技術

- ・URL掘削段階における技術の例示
- ・操業技術の成立性を考慮したオプションの提示

b) 操業技術

- ・遠隔溶接、定置技術などのオプションの提示

c) 閉鎖技術

- ・操業技術の成立性を考慮したオプションの提示

d) 品質管理

- ・URL掘削段階の情報や最新の知見に基づく人工バリアや処分施設の品質管理計画の提示

e) 回収技術

- ・操業技術の成立性を考慮した閉鎖前の回収技術オプションの提示
-

(3)長期健全性評価技術

①ガラス固化体

②緩衝材

③セメント・コンクリート

④岩盤

⑤熱－水－応力－化学連成挙動

⑥ガス移行挙動

⑦人工バリアせん断応答挙動

フェーズ1の成果例【熱-水-応力-化学連成評価技術】

◆解析モデル

- ・熱-水-応力連成コードに物質移行及び地球化学コードを付加したプロトタイプ・コードの構築

◆検証

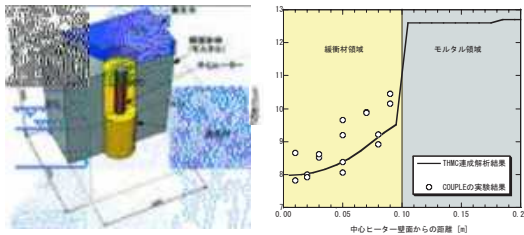
- ・室内連成試験、塩の蓄積挙動、ユッカマウンテン坑道加熱試験（国際共研）に対する検証解析

◆解析評価

- ・第2次取りまとめにおける結果の妥当性を確認



現象理解，理論／経験則に基づくプロトタイプ・コードの構築

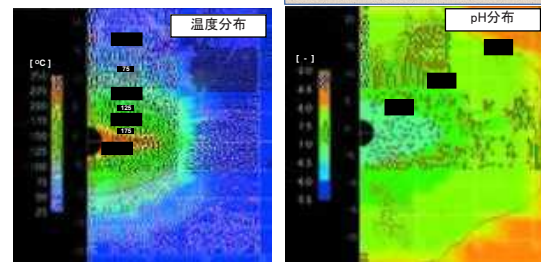


室内連成試験装置
(COUPLE)

180日後のpH分布
と解析結果

室内連成試験に対する検証解析

米国ユッカマウンテン処分場における
原位置試験を対象としたJAEAによる
解析結果



試験開始から4年後の解析結果

フェーズ2の計画(1)

①ガラス固化体 第1フェーズで終了

②緩衝材

a) 長期力学的変形挙動

- ・緩衝材-岩盤の連成モデルの構築、二次圧密の加速挙動の解明

b) 長期変質挙動

- ・近年注目されている鉄-緩衝材相互作用評価の実施
- ・100℃を上回る場合の評価方法の提示

c) 流出・侵入挙動

- ・降水系条件における実岩盤を想定した侵入モデルの改良、ベントナイトコロイド生成条件の明確化

③セメント・コンクリート(TRU処分研究と連携)

- ・多様な環境を考慮した化学-物質移行モデル構築とデータベース開発

フェーズ2の計画(2)

④岩盤

a) 長期力学的変形挙動

- ・URL掘削段階における評価手法の検証、EDZの性状・自己回復特性の把握

b) 長期変質挙動(TRU処分研究と連携)

- ・アルカリ変質シナリオ構築と影響評価手法の提示

⑤熱－水－応力－化学連成評価技術

- ・URLを対象とした数値実験システムの提示、THMC原位置試験計画とセンサー計測技術の提示

⑥ガス移行挙動

- ・応力を考慮したガス移行評価手法とパラメータ設定手法の提示

⑦人工バリアせん断応答挙動

- ・断層ずれのせん断速度の効果を考慮した評価手法の提示

フェーズ2での主要な連携内容(1)

・地質環境－工学技術間の連携：

- 「深地層における工学技術」の実績に基づく
 - 地下施設の設計・建設技術の提示
 - グラウト(低アルカリ性セメント)の適用性検討
 - 低アルカリ性セメントを用いた吹付け施工試験

・工学技術－性能評価間の連携：

- 掘削影響領域における物質移行経路の評価

フェーズ2での主要な連携内容(2)

- ・ **工学技術－TRU廃棄物処分研究間の連携：**
 - セメント影響を考慮した緩衝材の基本特性把握と変質劣化の評価
 - コンクリート支保の人工バリアへの化学的影響を熱-水-応力-化学連成解析コードに取り込み
 - 低アルカリ性セメントの開発
- ・ **JAEA-ANRE事業間の連携：**
 - 炭素鋼、チタンの溶接・検査技術

まとめ：フェーズ2における研究開発の重点

地質環境、性能評価、TRU廃棄物処分研究の分野間の連携およびJAEA-ANRE事業間の連携を踏まえた

- 設計・施工技術や長期健全性評価技術の信頼性向上と体系化
特に、URL掘削段階の情報を活用した設計・建設技術の体系的整備
- 工学技術概念オプションの成立性や実現性に必要な技術基盤の整備

工学技術の基盤強化に向けて

平成19年3月5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 地層処分基盤研究開発ユニット

ニアフィールド研究グループ

内藤 守正

発表内容

《JAEA》

- ・ フェーズ1での取組みと成果
 - 基盤強化に向けた研究開発の取り組み
 - 研究開発成果

- ・ 今後に向けて

フェーズ1における分類と目標

分類	細 目		フェーズ 1 の分類目標
(1)工学技術	①人工バリア (オーバーパック/ 緩衝材)	a) 全体(適用性検討)	閉鎖等の個別要素技術の 強化
		b)オーバーパック	
		c)緩衝材	
	②支保・グラウト・シーリング		
	③建設・操業・閉鎖 等の工学技術	a)建設技術	
		b)操業・閉鎖技術	
c) 品質管理			
(2)長期健全性	①ガラス固化体		海水系等を中心とした現 象理解の向上と評価モデ ルの拡充・高度化
	②緩衝材	a)緩衝材の長期力学的変形挙動	
		b)緩衝材の長期変質挙動	
		c)緩衝材流出・侵入挙動	
	③セメント・コンクリート		
	④岩盤		
	⑤熱-水-応力-化学連成評価技術		
	⑥ガス移行挙動		

基盤強化に向けた研究開発の取り組み 《JAEA》

(1) 工学技術

- ◆ データの質と量の強化
取得条件の多様化, 取得手法の標準化
- ◆ 工学技術の実証
室内や原位置の試験利用
- ◆ 技術の適用性確認と経験／ノウハウの蓄積
URL(地上からの調査段階)を通じて得られた知見の整理
- ◆ 代替材料開発

(2) 長期健全性

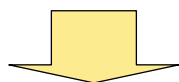
- ◆ モデルの高度化
個別現象や複合挙動の特徴をより表現
- ◆ 現象の理解促進
可視化技術の導入

(1) 工学技術 データの質と量の強化： 炭素鋼オーバーパックの腐食

「JAEA」

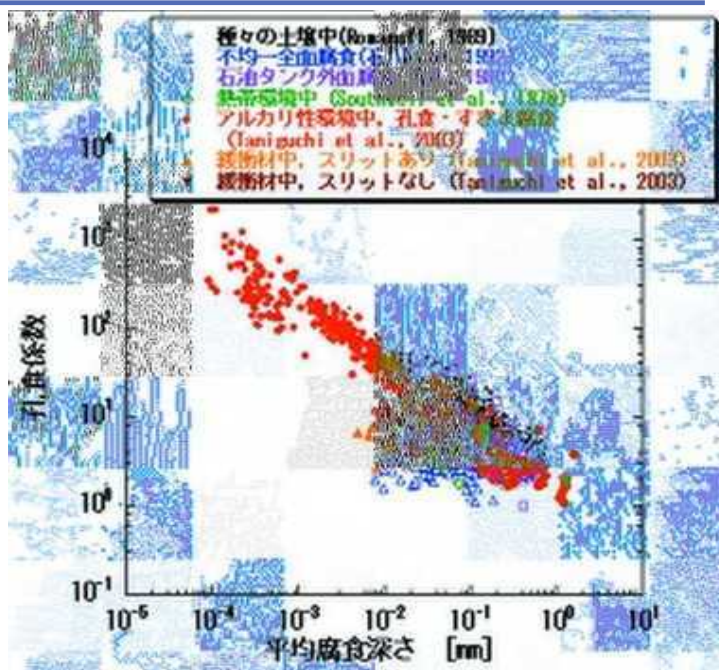
➤H12(第2次取りまとめ)

日本における地下水条件の範囲での腐食挙動評価を実施。セメントによる影響、マグネタイトによる腐食加速などは限られたデータに基づく評価



➤H12以降

セメント、マグネタイト影響、数年間の長期データを含めた実験データの拡充により(右図に一例)、1,000年間の腐食寿命評価の信頼性が向上



炭素鋼の孔食係数の平均腐食深さ依存性

高pH環境において炭素鋼が不動態化して局部腐食を生じたとしても顕著な腐食の局在化は生じない。

(1) 工学技術 データの質と量の強化： 緩衝材特性データベースの公開

「JAEA」

➤H12

降水系地下水条件下における各基本特性データを整備し関係式を提案し、設計の考え方を例示。



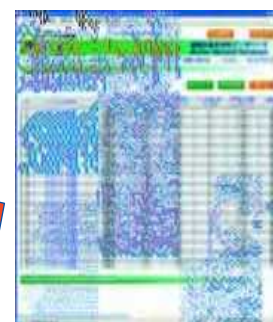
➤H12以降

海水系地下水条件下におけるデータの拡充と関係式の提示及び緩衝材基本特性データベースのWeb公開(2006)。具体的な地質環境での試設計の例示と課題の抽出



緩衝材の基本特性データ

透水特性	透水試験	力学特性	一軸圧縮試験
膨潤特性	飽和膨潤応力試験		圧裂試験
	不飽和膨潤応力試験		二次元圧密試験
	飽和膨潤ひずみ試験		非圧密非排水三軸試験
	不飽和膨潤ひずみ試験		圧密非排水三軸試験
締固め特性	動的締固め試験		圧密非排水三軸クリープ試験
	静的締固め試験		動的三軸試験
熱特性	熱物性測定(熱伝導率・熱拡散率)		弾性波速度測定
乾燥収縮特性	乾燥収縮試験		液状化試験



データ検索機能



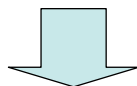
グラフ作成機能

(1) 工学技術 工学技術の実証

《JA-EA》

➤H12

結晶質岩系岩盤での粘土プラグの施工の実証および降水系地下水条件下での埋め戻し材仕様の提示



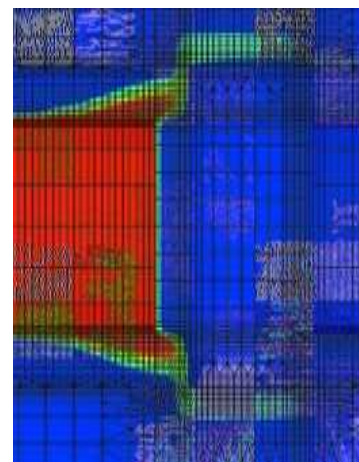
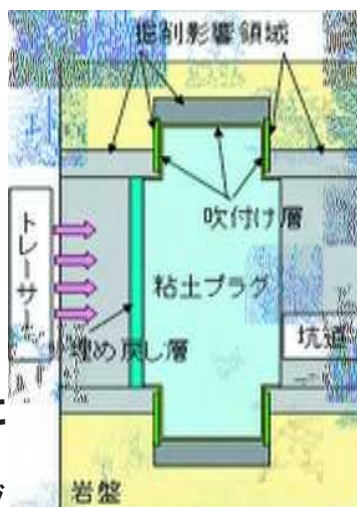
➤H12以降

データの拡充によるシーリングに関する評価手法の体系化

結晶質岩系岩盤におけるプラグ性能の提示

海水系地下水条件下における埋め戻し材の適用性に関わる基本データの拡充

シナリオ分析による閉鎖性能評価のための手法開発



原位置試験閉鎖要素 3次元トレーサ解析結果
(トレーサ濃度分布100日後)

トレーサは掘削影響領域を選択的に移行

(1) 工学技術 技術の適用性確認： 処分場全体設計フロー

《JA-EA》

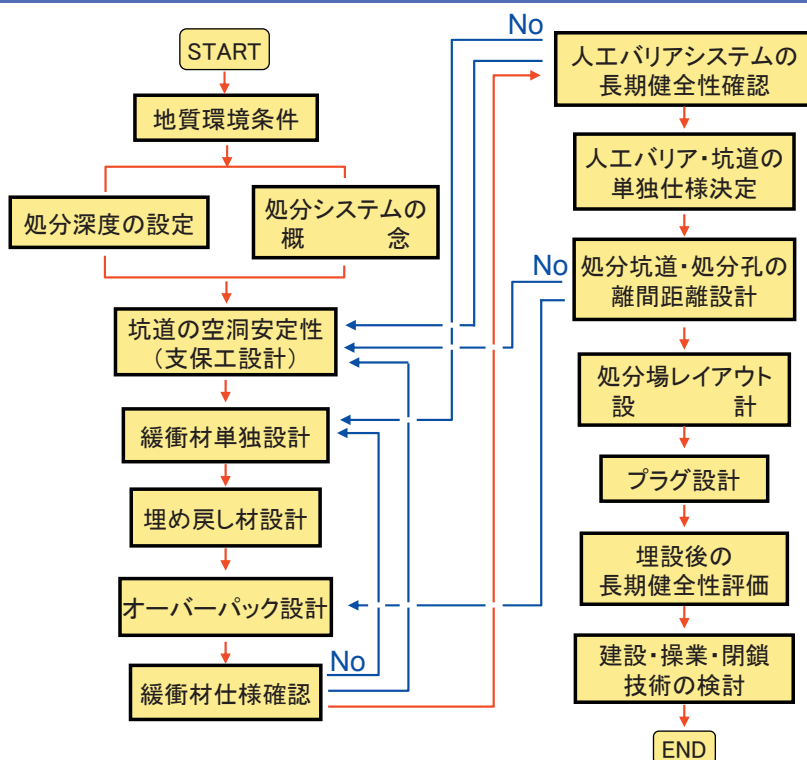
➤H12

幅広い地質環境を一般化して扱う処分場設計フローを提示



➤H12以降

処分孔竖置き方式を対象として人工バリア設計や施設設計等の個々の構成要素間の相互関係を明確化し、一般性・客観性をより向上させた設計フローへと見直し、幌延URLで得られた地質環境情報を用いて設計検討を実施



(1) 工学技術 技術の適用性確認： 緩衝材の設計

《JAEA》

➤H12

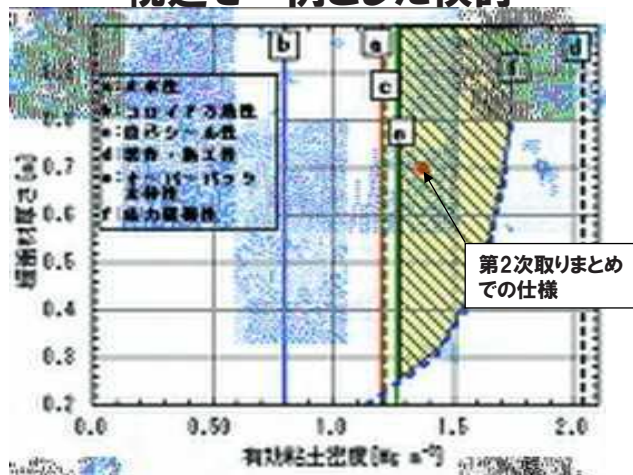
幅広い地質環境を一般化して
扱う人工バリアの設計の考え方を
例示



➤H12以降

設計手法の適用性確認を通じて、
地上からの調査段階に
おける留意点を整理

幌延を一例とした検討



緩衝材設計例(ブロック方式)

(1) 工学技術 経験／ノウハウの蓄積： URLでの適用性検討

《JAEA》



試錐調査配置図

幌延における地上からの調査によって得られたデータをもとに
力学、水理、熱及び地下水化学特性をそれぞれ設定

幌延を一例とした検討

Na, K, Ca, Mg, Cl については、水質分析結果より、pH, Eh, C,
Fe, S については、一般的な深部地下水に関する地球化学的
知見とその不確実性をもとに地球化学モデルにより推定

地上からの調査段階における留意点の整理

- ① 処分孔の安定性の適切な評価
 - ・建設・操業中の岩盤クリープ挙動の考慮
- ② 地下水化学データの取得
 - ・大気との接触が避けられない場合、地下水水質の深度依存性に関する知見、熱力学的解析結果及び地層中に認められる鉱物に関する情報を総合的に考慮
- ③ 埋め戻し材設計
 - ・ベントナイト配合率が低い埋め戻し材の海水条件での自己シール性に係るデータの拡充
- ④ 緩衝材設計
 - ・設計要件の一つである自己シール性の範囲を設定するための判断基準の整備

(1) 工学技術 代替材料(低アルカリ性コンクリート)開発 ((JAEA))

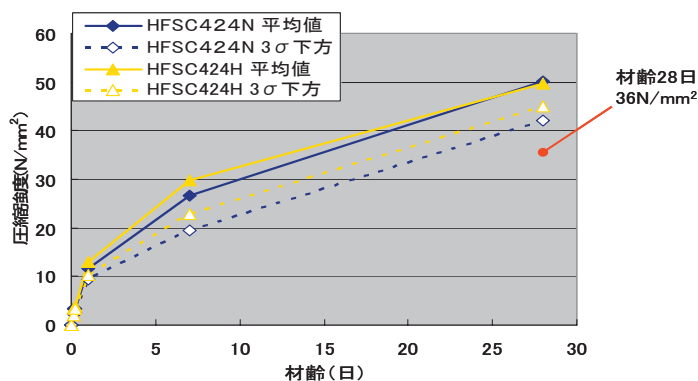
➤H12

- 普通セメントによる地下水のpH上昇を抑制するため低アルカリ性セメント(HFSC, pH11以下を目標)の使用を推奨



➤H12以降

- コンクリート打設性能や吹き付け性能等の施工性について問題ないことを確認
- pHの低下挙動のデータ取得・モデル開発とpH目標達成についての見通し
- 幌延における支保工の設計基準強度(材齢28日で 36N/mm^2)を満足するコンクリート配合の選定、模擬トンネルに対する吹き付け施工試験を実施

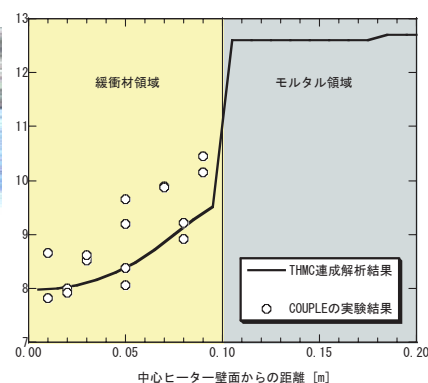
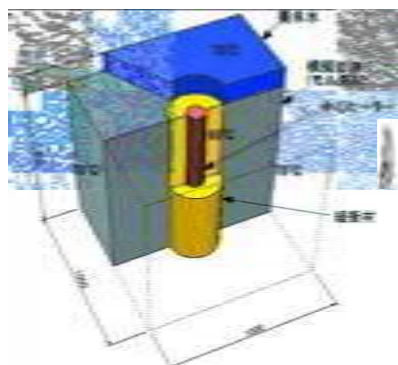


セメント種類	スランブ (cm)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)								急結剤
				W	OPC	HPC	SF	FA	S	G	減水剤	
HFSC 424N	18±2	40	60	200	200	-	100	200	950	645	C × 1.1%	HFSC × 10%
HFSC 424H		45	60	203	-	180	90	180	975	663	C × 1.2%	HFSC × 10%

(2) 長期健全性 モデルの高度化: 熱-水-応力-化学連成挙動モデル ((JAEA))

➤H12

熱-水-応力連成モデルの開発及び検証を行い、廃棄体定置後のニアフィールド挙動を評価



➤H12以降

熱-水-応力-化学連成モデルを開発し、室内連成試験等を通じた検証を実施し、廃棄体定置後のニアフィールド挙動を評価

室内連成試験装置(COUPLE) 180日後のpH分布と解析結果

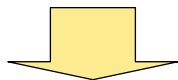
室内連成試験による連成モデルの検証

(2) 長期健全性 現象の理解促進: 緩衝材の流出・侵入挙動

《JAERA》

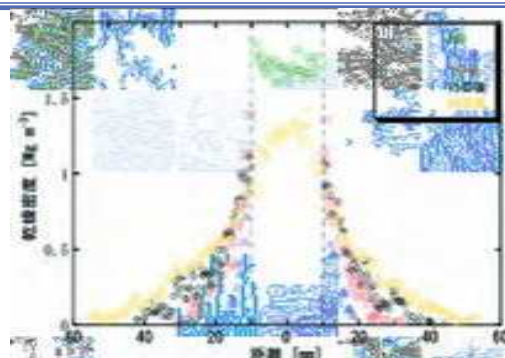
➤ H12

- ・実験データに基づく経験則による評価

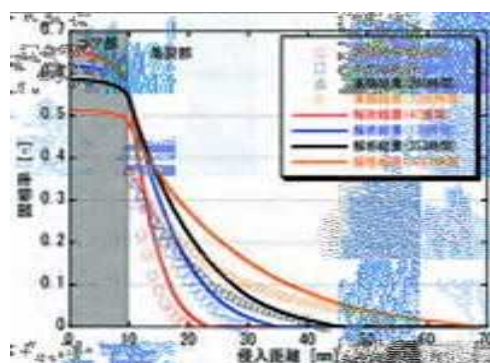


➤ H12以降

- ・第2次取りまとめでは得られていなかった緩衝材の亀裂侵入密度のデータをX線CTを用いて取得
- ・CTデータ等を用いた拡散モデルの適用性確認
- ・緩衝材の侵入現象は、海水系の場合ほとんど効かないが、降水系地下水環境では顕著



(X線CTを用いた侵入密度分布測定結果)



(実験結果のシミュレーション解析結果)

今後に向けて:細目の設定

《JAERA》

フェーズ1

分類	細目	
(1) 工学技術	①人工バリア (オーバーバック/緩衝材)	a) 全体 (適用性検討)
		b) オーバーバック
		c) 緩衝材
	②支保・グラウト・シーリング	
	③建設・操業・閉鎖等の工学技術	a) 建設技術
		b) 操業・閉鎖技術
		c) 品質管理
(2) 長期健全性	①ガラス固化体	
	②緩衝材	a) 緩衝材の長期力学的変形挙動
		b) 緩衝材の長期変質挙動
		c) 緩衝材流出・侵入挙動
	③セメント・コンクリート	
	④岩盤	
	⑤熱・水・応力・化学連成評価技術	
	⑥ガス移行挙動	



フェーズ2以降

分類	細目	
(1) 処分場の総合的な工学技術	①URLにおける適用性検討	
	②工学技術オプション	
(2) 処分場の設計・施工技術	①人工バリア (オーバーバック/緩衝材)	a) オーバーバック
		b) 緩衝材
		c) 緩衝材
	②支保・グラウト・シーリング	a) シーリング
		b) 支保 (低pH耐性セメント)
		c) グラウト
	③建設・操業・閉鎖等の工学技術	a) 建設技術
		b) 操業技術
		c) 閉鎖技術
		d) 品質管理
		e) 回収技術
(3) 長期健全性評価技術	①ガラス固化体	
	②緩衝材	a) 緩衝材の長期力学的変形挙動
		b) 緩衝材の長期変質挙動
		c) 緩衝材流出・侵入挙動
	③セメント・コンクリート	
	④岩盤	
	⑤熱・水・応力・化学連成評価技術	
	⑥ガス移行挙動	
	⑦人工バリアせん断応答挙動	

(1) 処分場の総合的な工学技術

- ① URLにおける適用性検討: 工学技術の実証(URLを利用した工学技術の体系化)
- ② 工学技術オプション: 概念成立性に関わる新技術の開発

(2) 処分場の設計・施工技術

- ① 人工バリア(オーバーパック/緩衝材): オーバーパック材料選定指針の基盤整備, 腐食データベースの開発, 緩衝材基本特性データベースの更新, 測定手法の標準化等
- ② 支保・グラウト・シーリング: 閉鎖要件の明確化, 低アルカリ性コンクリートの施工例の提示等
- ③ 建設・操業・閉鎖等の工学技術: URL掘削段階における建設技術の例示, 操業・閉鎖技術のオプションの提示等

(3) 長期健全性評価技術

- ① ガラス固化体: フェーズ1にて終了
- ② 緩衝材: 緩衝材-岩盤力学連成モデルの構築, 鉄-緩衝材相互作用評価等
- ③ セメント・コンクリート(TRU処分研究と連携): 化学-物質移行モデル構築等
- ④ 岩盤: EDZの性状・自己回復特性の把握, アルカリ変質シナリオ構築等
- ⑤ 熱-水-応力-化学連成評価技術: URLを対象とした数値実験システムの提示等
- ⑥ ガス移行挙動: 応力を考慮したガス移行評価手法とパラメータ設定手法の提示
- ⑦ 人工バリアせん断応答挙動: せん断速度の効果を考慮した評価手法の提示

(2) 処分場の工学技術

3) 資源エネルギー調査等事業の研究開発成果

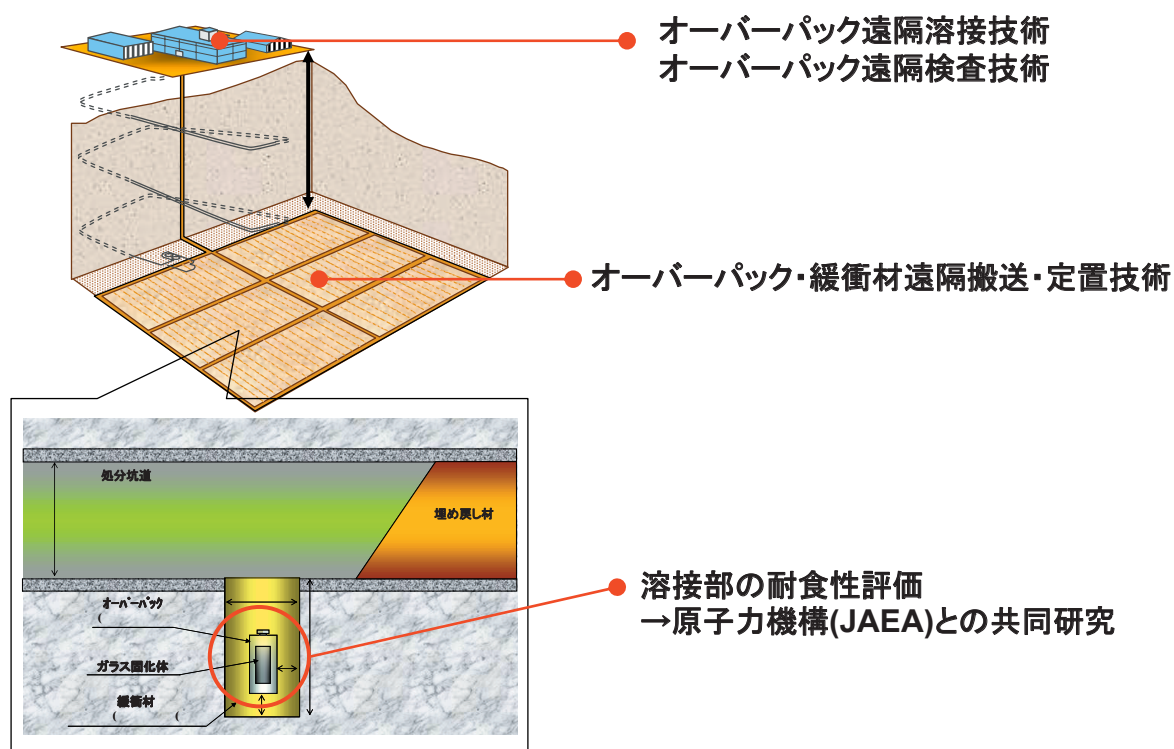
遠隔操業技術の開発 ～処分場における搬送・定置とオーバーパックスの 溶接・検査～

平成19年3月5日

財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

朝野 英一

遠隔操業技術の開発 ～処分場における搬送・定置とオーバーパックスの溶接・検査～



遠隔操業技術の開発

～処分場における搬送・定置とオーバーパックの溶接・検査～

目的

- 要素技術の適用性—適用条件、到達度など—の定量的な評価、提示
- 要素技術のシステムとしての成立性の評価、提示
- 製作、施工したオーバーパック、緩衝材の健全性に関する検討、評価



- ・技術調査
- ・適用性確認試験(要素試験、実規模試験)

成果

- 幅広い技術選択肢
- 操業システムのオプション
- 人エバリアの設計手法、品質確保に関する知見

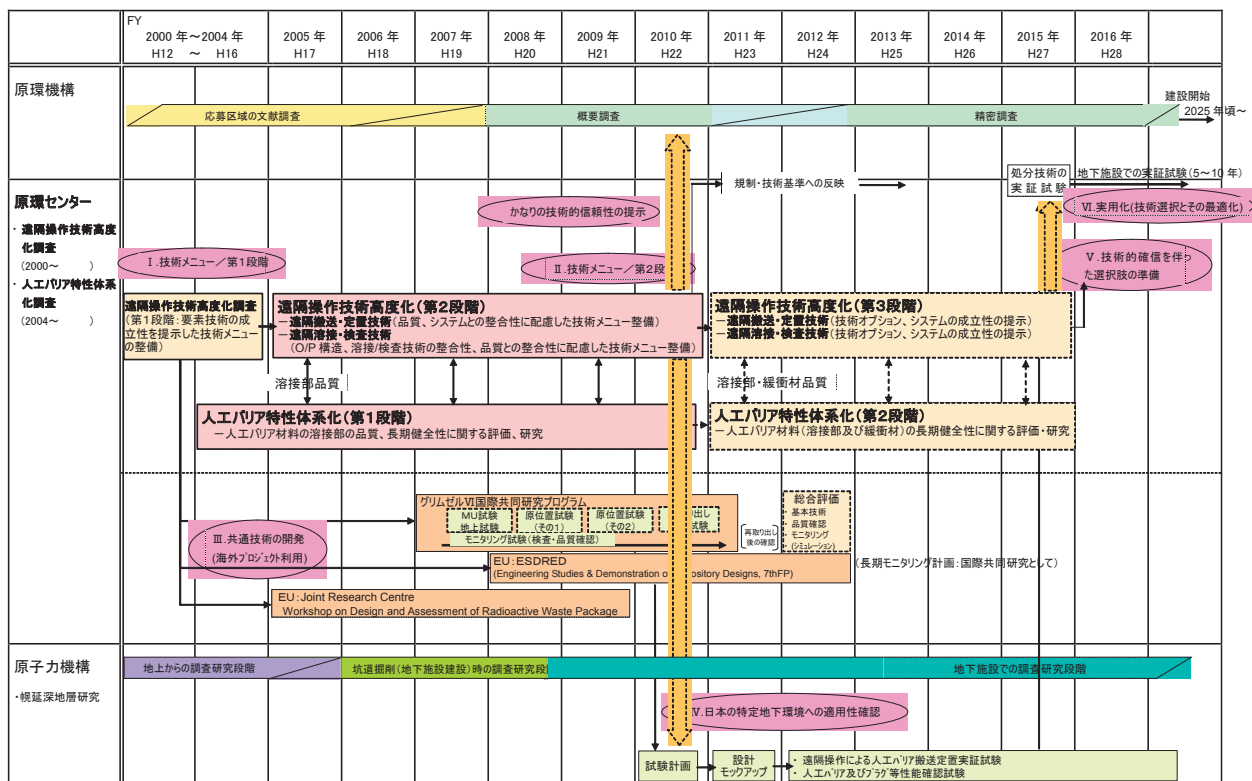
工学技術

- ・技術メニュー
- ・データベース
- ・オプション



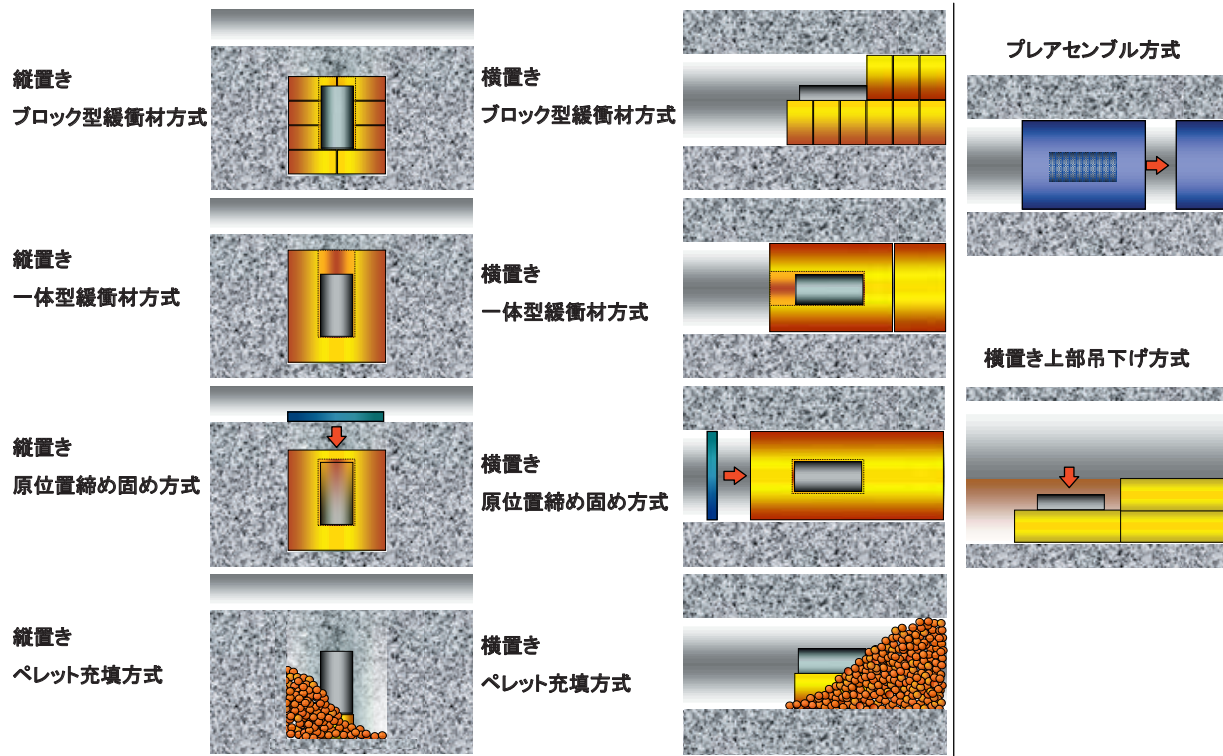
- ◆実施主体の技術選択支援 : 透明性、追跡性、説明責任
- ◆安全規制への情報提供 : 透明性、信頼性、説明責任

遠隔操業技術の開発計画



遠隔搬送・定置技術

検討対象とした定置概念

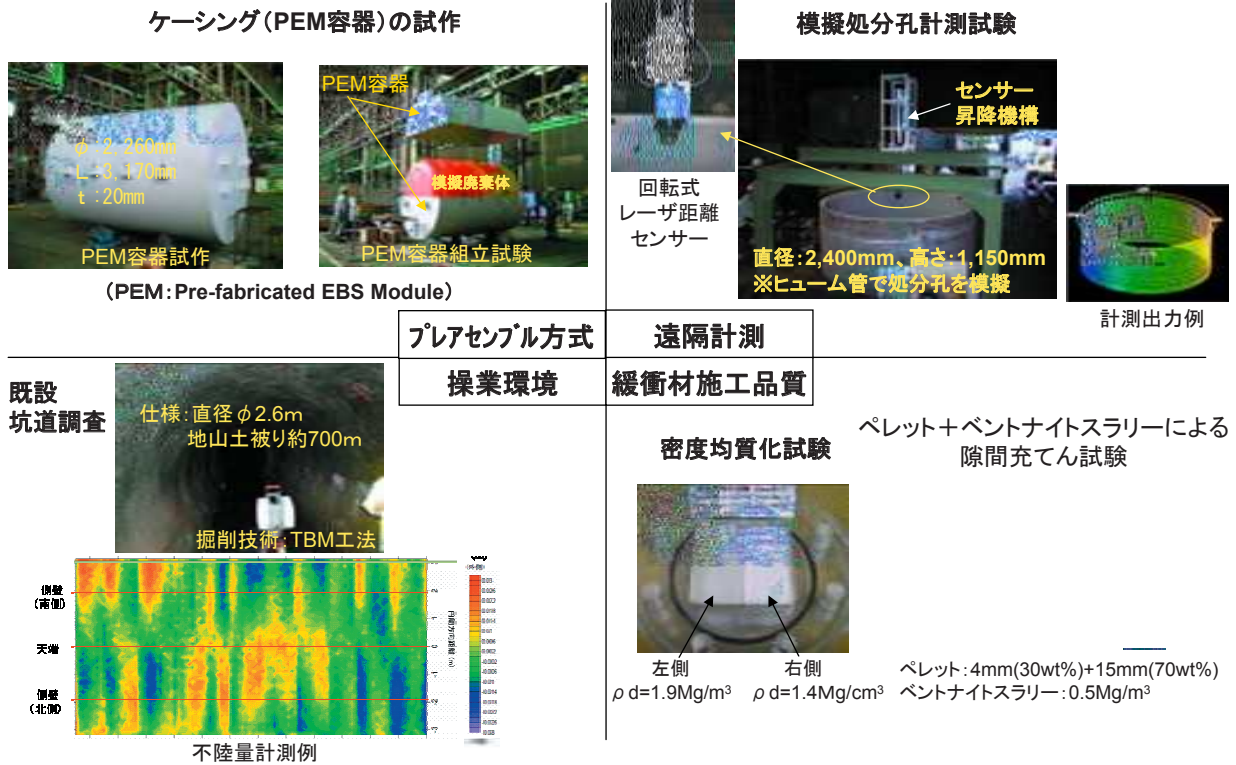


遠隔搬送・定置技術

適用性確認試験等の実施例－１－

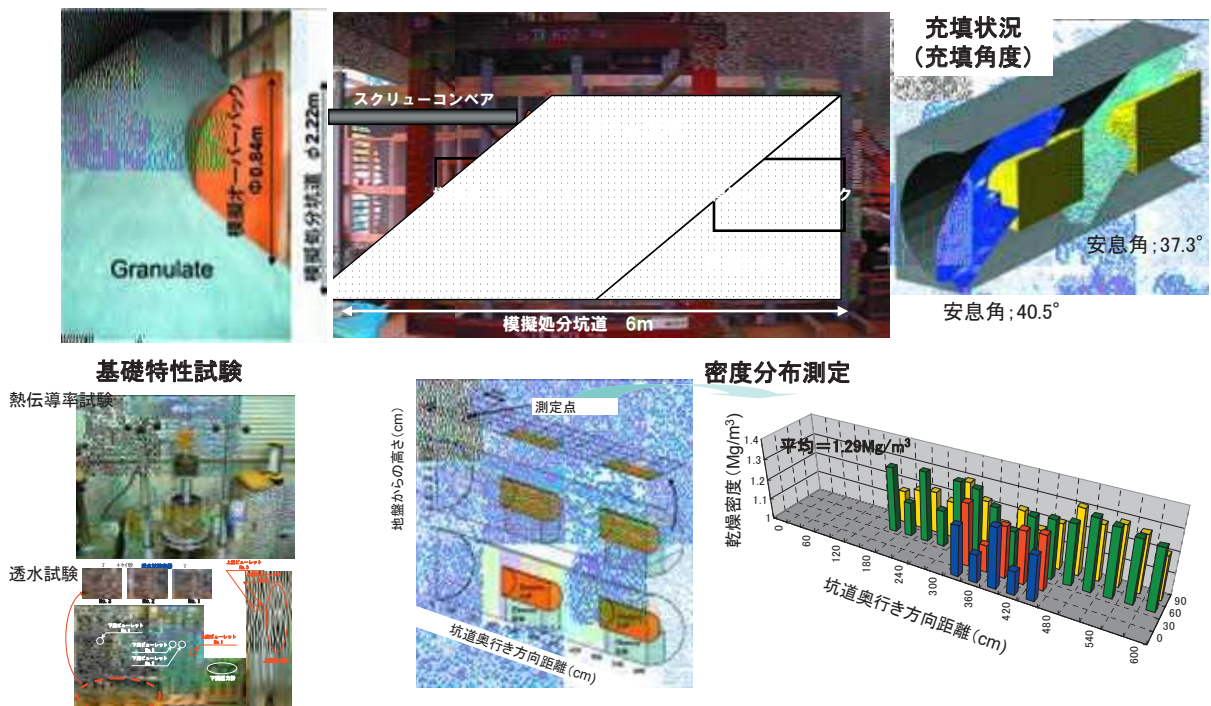


適用性確認試験等の実施例－２－



横置き定置方式の適用性確認試験の実施例

実規模ベントナイトペレット充填試験



遠隔溶接・検査技術

適用性確認試験等の実施例

TIG 溶接 (Tungsten Inert-Gas arc welding)

施工状況



施工後外観 (t:190mm)

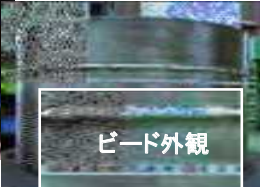


EBW (Electron Beam Welding)

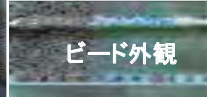
施工状況



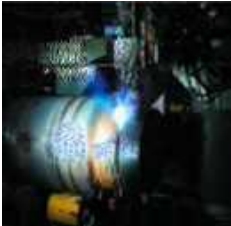
施工後外観 (t:100mm)



ビード外観



施工状況



施工後外観 (t:190mm)



探触子



検査状況

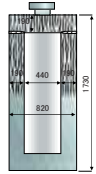
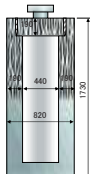
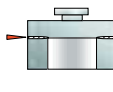
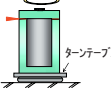
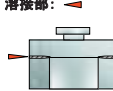
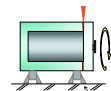
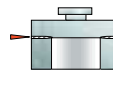
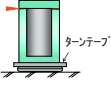
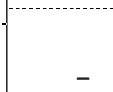
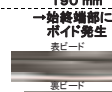


MAG 溶接 (Metal Active-Gas arc welding)

クリーピングウェーブ法 (Creeping Wave)

遠隔溶接・検査技術

溶接技術の適用性

1.炭素鋼 オーバーバック ・オーバーバック板厚 = 190mm 耐食性:腐食40mm 耐圧性:耐圧厚さ110mm (蓋部) 遮へい性 :必要厚さ190mm	2. 溶接技術	3.試験結果	溶接深さ (mm)		
			50~100mm 100 mm	100~150 mm 150 mm	190mm 190 mm
①平蓋  ②落とし蓋 	I. TIG溶接 ・溶接姿勢:横向き溶接 ・オーバーバック姿勢:縦置き 溶接部:  	I. TIG溶接 溶接後外観 & マクロ組織観察 溶接時間 残留応力	無欠陥  11.9 h (28層/28パス)	無欠陥  20.0 h (31層/45パス)	無欠陥  24.5 h (38層/54パス) 406 MPa
	II. MAG溶接 ・溶接姿勢:下向き溶接 ・オーバーバック姿勢:横置き 溶接部:  	II. MAG溶接 溶接後外観 & マクロ組織観察 溶接時間 残留応力	無欠陥  0.9 h (6層/12パス)	無欠陥 継手表面 (スラグ除去後)  1.7 h (11層/22パス)	一スラグ巻込み発生  スラグ (0.5mm) 2.4 h (20層/40パス) 380 MPa
	III. EBW ・溶接姿勢:横向き溶接 ・オーバーバック姿勢:縦置き (真空室内) 溶接部:  	III. EBW 溶接後外観 & マクロ組織観察 溶接時間 残留応力	無欠陥  —	100 mm →始端部に スパイク発生  スパイクは、耐食性必要 厚さ (40mm) よりも深い 位置に発生。 10min (1層/1パス)	190 mm →始端部に ボイド発生 表ビード  26min (1層/1パス) 281 MPa

非破壊検査技術の適用性

【探傷条件例Ⅰ】

探触子の操作範囲

： 制約条件なし

余盛表面仕上げ
： 機械加工、又は
グラインダー仕上げ

【探傷条件例Ⅱ】

探触子の操作範囲

： 溶接中心より

以上～

以内

余盛表面仕上げ

： 機械加工、又は

グラインダー仕上げ

【探傷条件例Ⅲ】

探触子の操作範囲

： 溶接中心より

以上～

以内

余盛表面仕上げ

： 溶接まま

探傷条件	Ⅰ-1	Ⅰ-2	Ⅰ-3	Ⅰ-4	Ⅰ-5	Ⅰ-6	Ⅰ-7
① 走査方式	CW*	CW**	CW**	TOFD	TOFD	TOFD	ACFM
② 周波数 (MHz)	10	10	10	10	5	5	5kHz
③ 振動子 (mm)	20×10	φ3	φ3	φ6	φ12	φ12	10
④ 屈折角 (°)	-	-	-	60	60	45	-
⑤ 探触子間隔 (mm)	5	38~53	20	80	280	380	-
検出性/定量性	●: 非検出, ○: 検出, ◎: 検出+定量 d: きずの位置 (深さ), H: きずの高さ, L: きずの長さ						
余盛	0.5H×5L	○	●	○	○	○	○
1H×5L	○	○	○	○	○	○	○
2H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=5	2H×5L	○	○	○	○	○	○
4H×5L	○	○	○	○	○	○	○
d=10	2H×5L	○	○	○	○	○	○
4H×5L	○	○	○	○	○	○	○
5H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=20	2H×5L	○	○	○	○	○	○
4H×5L	○	○	○	○	○	○	○
d=30	5H×10L	○	○	○	○	○	○
d=70	1H×10L	○	○	○	○	○	○
d=110	2H×10L	○	○	○	○	○	○
3H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=150	○	○	○	○	○	○	○
d=190	○	○	○	○	○	○	○
検出性	○	○	○	○	○	○	○
定量性	○	○	○	○	○	○	○

・必要探傷条件

： 7条件

・検出性

： 面状きず1mmH以上

・定量性

： 面状きず2mmH以上

探傷条件	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅱ-4	Ⅱ-5	Ⅱ-6	Ⅱ-7	Ⅱ-8
① 走査方式	CW*	CW**	CW**	TOFD	TOFD	TOFD	TOFD	ACFM
② 周波数 (MHz)	10	10	10	10	5	5	5	5kHz
③ 振動子 (mm)	20×10	φ3	φ3	φ6	φ12	φ12	φ12	10
④ 屈折角 (°)	-	-	-	60	45	35	25	-
⑤ 探触子間隔 (mm)	5	53	60	80	120	140	180	-
検出性/定量性	●: 非検出, ○: 検出, ◎: 検出+定量 d: きずの位置 (深さ), H: きずの高さ, L: きずの長さ							
余盛	0.5H×5L	○	○	○	○	○	○	○
1H×5L	○	○	○	○	○	○	○	○
2H×10L	○	○	○	○	○	○	○	○
d=5	2H×5L	○	○	○	○	○	○	○
4H×5L	○	○	○	○	○	○	○	○
d=10	2H×5L	○	○	○	○	○	○	○
4H×5L	○	○	○	○	○	○	○	○
5H×10L	○	○	○	○	○	○	○	○
d=20	2H×5L	○	○	○	○	○	○	○
4H×5L	○	○	○	○	○	○	○	○
d=30	5H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=70	1H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=110	2H×10L	○	○	○	○	○	○	○
3H×10L	○	○	○	○	○	○	○	○
d=150	○	○	○	○	○	○	○	○
d=190	○	○	○	○	○	○	○	○
検出性	○	○	○	○	○	○	○	○
定量性	○	○	○	○	○	○	○	○

・必要探傷条件

： 8条件

・検出性

： 面状きず1mmH以上

・定量性

： 面状きず3mmH以上

(一部深さは除く)

探傷条件	Ⅲ-1	Ⅲ-2	Ⅲ-3	Ⅲ-4	Ⅲ-5	Ⅲ-6	Ⅲ-7	Ⅲ-8
① 走査方式	CW*	CW**	CW**	TOFD	TOFD	TOFD	TOFD	ACFM
② 周波数 (MHz)	10	10	10	10	5	5	5	5kHz
③ 振動子 (mm)	20×10	φ3	φ3	φ6	φ12	φ12	φ12	10
④ 屈折角 (°)	-	-	-	60	45	35	25	-
⑤ 探触子間隔 (mm)	5	53	60	80	120	140	180	-
検出性/定量性	●: 非検出, ○: 検出, ◎: 検出+定量 d: きずの位置 (深さ), H: きずの高さ, L: きずの長さ							
余盛	0.5H×5L	○	○	○	○	○	○	○
1H×5L	○	○	○	○	○	○	○	○
2H×10L	○	○	○	○	○	○	○	○
d=5	2H×5L	○	○	○	○	○	○	○
4H×5L	○	○	○	○	○	○	○	○
d=10	2H×5L	○	○	○	○	○	○	○
4H×5L	○	○	○	○	○	○	○	○
5H×10L	○	○	○	○	○	○	○	○
d=20	2H×5L	○	○	○	○	○	○	○
4H×5L	○	○	○	○	○	○	○	○
d=30	5H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=70	1H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=110	2H×10L	○	○	○	○	○	○	○
3H×10L	○	○	○	○	○	○	○	○
d=150	○	○	○	○	○	○	○	○
d=190	○	○	○	○	○	○	○	○
検出性	○	○	○	○	○	○	○	○
定量性	○	○	○	○	○	○	○	○

・必要探傷条件

： 8条件

・検出性

： 面状きず1mmH以上

・定量性

： 面状きず3mmH以上

(一部深さは除く)

技術メニューの整備

① 工程別構成技術表 (各方式毎)

工程	技術	知見①	知見②	知見③
1	1.1	○	○	○
2	2.1	○	○	○
3	3.1	○	○	○
4	4.1	○	○	○
5	5.1	○	○	○
6	6.1	○	○	○
7	7.1	○	○	○
8	8.1	○	○	○
9	9.1	○	○	○
10	10.1	○	○	○
11	11.1	○	○	○
12	12.1	○	○	○
13	13.1	○	○	○
14	14.1	○	○	○
15	15.1	○	○	○
16	16.1	○	○	○
17	17.1	○	○	○
18	18.1	○	○	○
19	19.1	○	○	○
20	20.1	○	○	○
21	21.1	○	○	○
22	22.1	○	○	○
23	23.1	○	○	○
24	24.1	○	○	○
25	25.1	○	○	○
26	26.1	○	○	○
27	27.1	○	○	○
28	28.1	○	○	○
29	29.1	○	○	○
30	30.1	○	○	○
31	31.1	○	○	○
32	32.1	○	○	○
33	33.1	○	○	○
34	34.1	○	○	○
35	35.1	○	○	○
36	36.1	○	○	○
37	37.1	○	○	○
38	38.1	○	○	○
39	39.1	○	○	○
40	40.1	○	○	○
41	41.1	○	○	○
42	42.1	○	○	○
43	43.1	○	○	○
44	44.1	○	○	○
45	45.1	○	○	○
46	46.1	○	○	○
47	47.1	○	○	○
48	48.1	○	○	○
49	49.1	○	○	○
50	50.1	○	○	○
51	51.1	○	○	○
52	52.1	○	○	○
53	53.1	○	○	○
54	54.1	○	○	○
55	55.1	○	○	○
56	56.1	○	○	○
57	57.1	○	○	○
58	58.1	○	○	○
59	59.1	○	○	○
60	60.1	○	○	○
61	61.1	○	○	○
62	62.1	○	○	○
63	63.1	○	○	○
64	64.1	○	○	○
65	65.1	○	○	○
66	66.1	○	○	○
67	67.1	○	○	○
68	68.1	○	○	○
69	69.1	○	○	○
70	70.1	○	○	○
71	71.1	○	○	○
72	72.1	○	○	○
73	73.1	○	○	○
74	74.1	○	○	○
75	75.1	○	○	○
76	76.1	○	○	○
77	77.1	○	○	○
78	78.1	○	○	○
79	79.1	○	○	○
80	80.1	○	○	○
81	81.1	○	○	○
82	82.1	○	○	○
83	83.1	○	○	○
84	84.1	○	○	○
85	85.1	○	○	○
86	86.1	○	○	○
87	87.1	○	○	○
88	88.1	○	○	○
89	89.1	○	○	○
90	90.1	○	○	○
91	91.1	○	○	○
92	92.1	○	○	○
93	93.1	○	○	○
94	94.1	○	○	○
95	95.1	○	○	○
96	96.1	○	○	○
97	97.1	○	○	○
98	98.1	○	○	○
99	99.1	○	○	○
100	100.1	○	○	○

② 知見シート管理表

知見①										知見②										知見③																														
知見	知見①	知見②	知見③	知見④	知見⑤	知見⑥	知見⑦	知見⑧	知見⑨	知見⑩	知見⑪	知見⑫	知見⑬	知見⑭	知見⑮	知見⑯	知見⑰	知見⑱	知見⑲	知見⑳	知見㉑	知見㉒	知見㉓	知見㉔	知見㉕	知見㉖	知見㉗	知見㉘	知見㉙	知見㉚	知見㉛	知見㉜	知見㉝	知見㉞	知見㉟	知見㊱	知見㊲	知見㊳	知見㊴	知見㊵	知見㊶	知見㊷	知見㊸	知見㊹	知見㊺	知見㊻	知見㊼	知見㊽	知見㊾	知見㊿
知見①	知見①	知見②	知見③	知見④	知見⑤	知見⑥	知見⑦	知見⑧	知見⑨	知見⑩	知見⑪	知見⑫	知見⑬	知見⑭	知見⑮	知見⑯	知見⑰	知見⑱	知見⑲	知見⑳	知見㉑	知見㉒	知見㉓	知見㉔	知見㉕	知見㉖	知見㉗	知見㉘	知見㉙	知見㉚	知見㉛	知見㉜	知見㉝	知見㉞	知見㉟	知見㊱	知見㊲	知見㊳	知見㊴	知見㊵	知見㊶	知見㊷	知見㊸	知見㊹	知見㊺	知見㊻	知見㊼	知見㊽	知見㊾	知見㊿
知見②	知見①	知見②	知見③	知見④	知見⑤	知見⑥	知見⑦	知見⑧	知見⑨	知見⑩	知見⑪	知見⑫	知見⑬	知見⑭	知見⑮	知見⑯	知見⑰	知見⑱	知見⑲	知見⑳	知見㉑	知見㉒	知見㉓	知見㉔	知見㉕	知見㉖	知見㉗	知見㉘	知見㉙	知見㉚	知見㉛	知見㉜	知見㉝	知見㉞	知見㉟	知見㊱	知見㊲	知見㊳	知見㊴	知見㊵	知見㊶	知見㊷	知見㊸	知見㊹	知見㊺	知見㊻	知見㊼	知見㊽	知見㊾	知見㊿
知見③	知見①	知見②	知見③	知見④	知見⑤	知見⑥	知見⑦	知見⑧	知見⑨	知見⑩	知見⑪	知見⑫	知見⑬	知見⑭	知見⑮	知見⑯	知見⑰	知見⑱	知見⑲	知見⑳	知見㉑	知見㉒	知見㉓	知見㉔	知見㉕	知見㉖	知見㉗	知見㉘	知見㉙	知見㉚	知見㉛	知見㉜	知見㉝	知見㉞	知見㉟	知見㊱	知見㊲	知見㊳	知見㊴	知見㊵	知見㊶	知見㊷	知見㊸	知見㊹	知見㊺	知見㊻	知見㊼	知見㊽	知見㊾	知見㊿

知見①

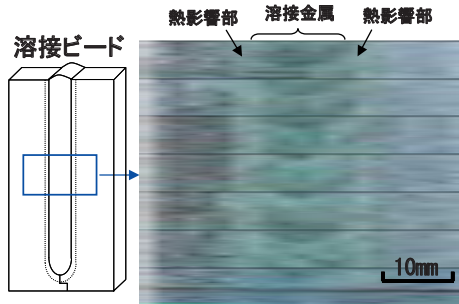
知見②

知見③

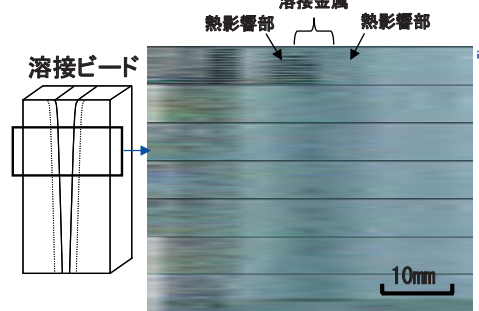
③関連知見シート

オーバーパック封入部の溶接影響／封入部の健全性と溶接法の妥当性

TIG溶接



電子ビーム溶接(EBW)



第2次とりまとめ

【課題】溶接部、熱影響部に対する腐食試験、機械試験、残留応力の評価
→溶接部に要求される品質の定量化

第2次取りまとめ以降のオーバーパックの腐食研究：原子力機構(JAEA)

遠隔操業技術の開発(H12～)
：原環センター(RWMC)

●オーバーパックの腐食寿命評価

●オーバーパックの溶接技術の適用性評価

共同研究

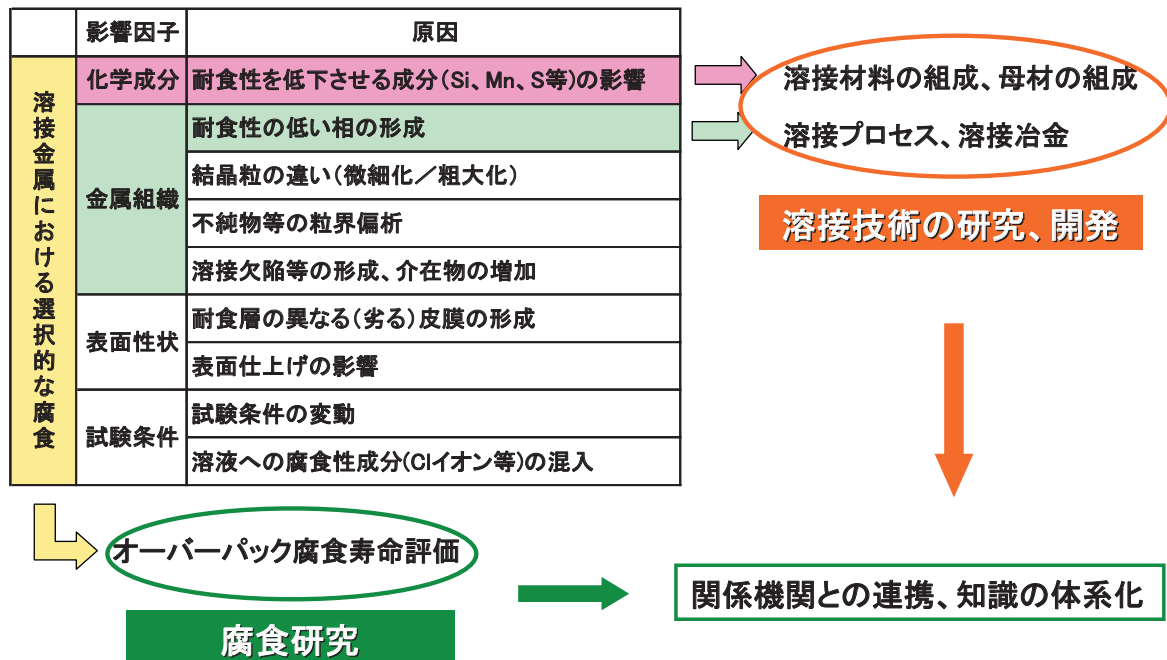
オーバーパック溶接部の耐食性評価に関する研究(H16～)

炭素鋼溶接部の腐食挙動（酸化性雰囲気での浸漬試験の短期の結果から）

・浸漬試験後の試験片の腐食状況と減肉分布（80℃、空気吹き込み、90日間浸漬後）

	TIG溶接	電子ビーム溶接(EBW)	環境の特徴
人工海水	脱スケール後の外観 表面減肉深さ分布 0.4mm	脱スケール後の外観 表面減肉深さ分布 0.4mm	・平均腐食深さが大きい。 ・TIGの溶接金属に選択的な腐食が発生。
人工海水＋緩衝材（ペントナイトスラリー）	脱スケール後の外観 表面減肉深さ分布 0.2mm	脱スケール後の外観 表面減肉深さ分布 0.2mm	・平均腐食深さが小さい。 ・TIGの溶接金属に選択的な腐食が発生。
溶接部の腐食挙動	・溶接金属において選択的な腐食を受けやすい。		・溶接金属の選択的な腐食は受けにくい。

アーク溶接の溶接金属における選択的な腐食：原因、対策への対応



遠隔操業技術の開発 ～処分場における搬送・定置とオーバーパックの溶接・検査～

まとめ

- 遠隔操業技術／コア技術の実証的確認
 - 適用性、成立性、到達度等を確認
 - 技術オプションの提示
- 原環センター／原子力機構の連携
 - 共同研究の実施(溶接部の耐食性評価)

今後の展望

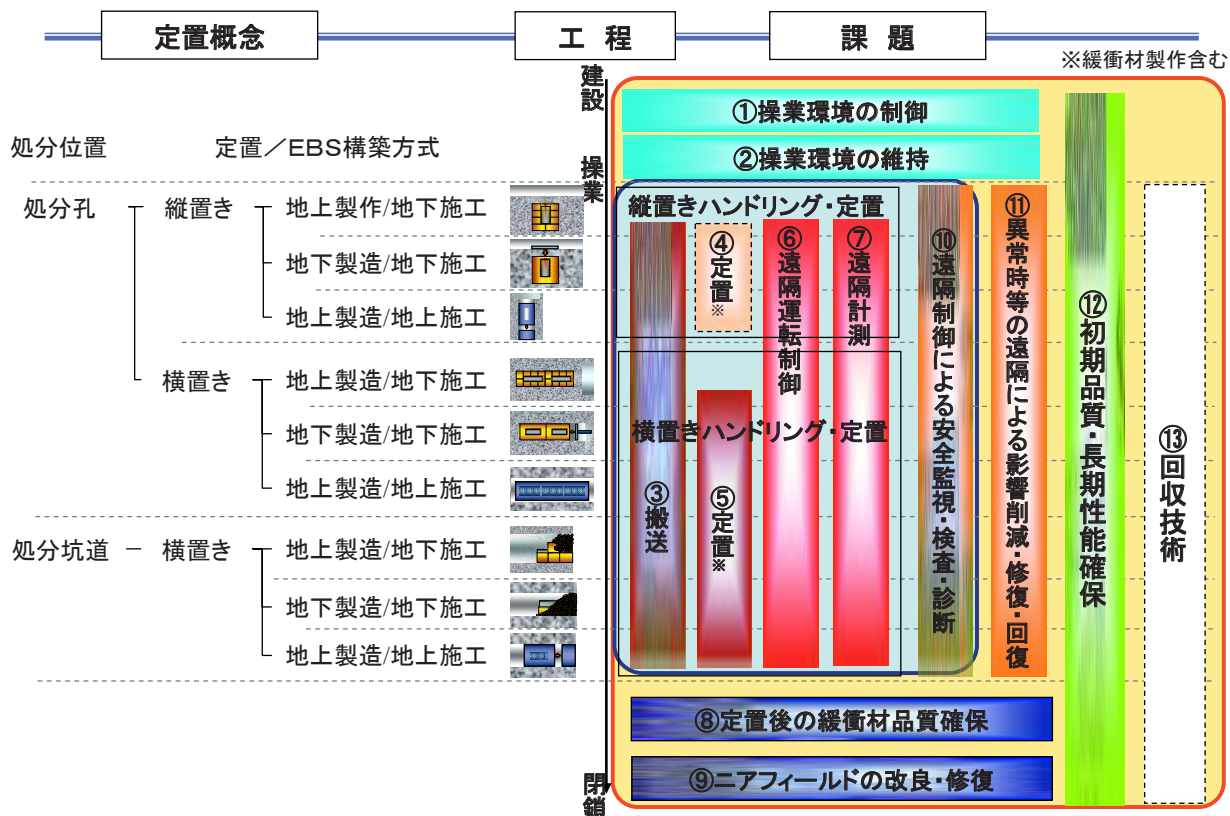
- 科学的知見の拡充
 - 技術オプション整備の継続：透明性、信頼性、追跡性、説明責任
- 技術的実現性の提示
 - 工学技術の視点から、現実的環境条件を考慮した施工品質、長期性能の検討
- 先進的新技術の導入
 - 新技術の取り込み、応用・適用範囲の拡大

関係機関との連携、知識の体系化

基盤技術整備／実施主体支援／安全規制への協力

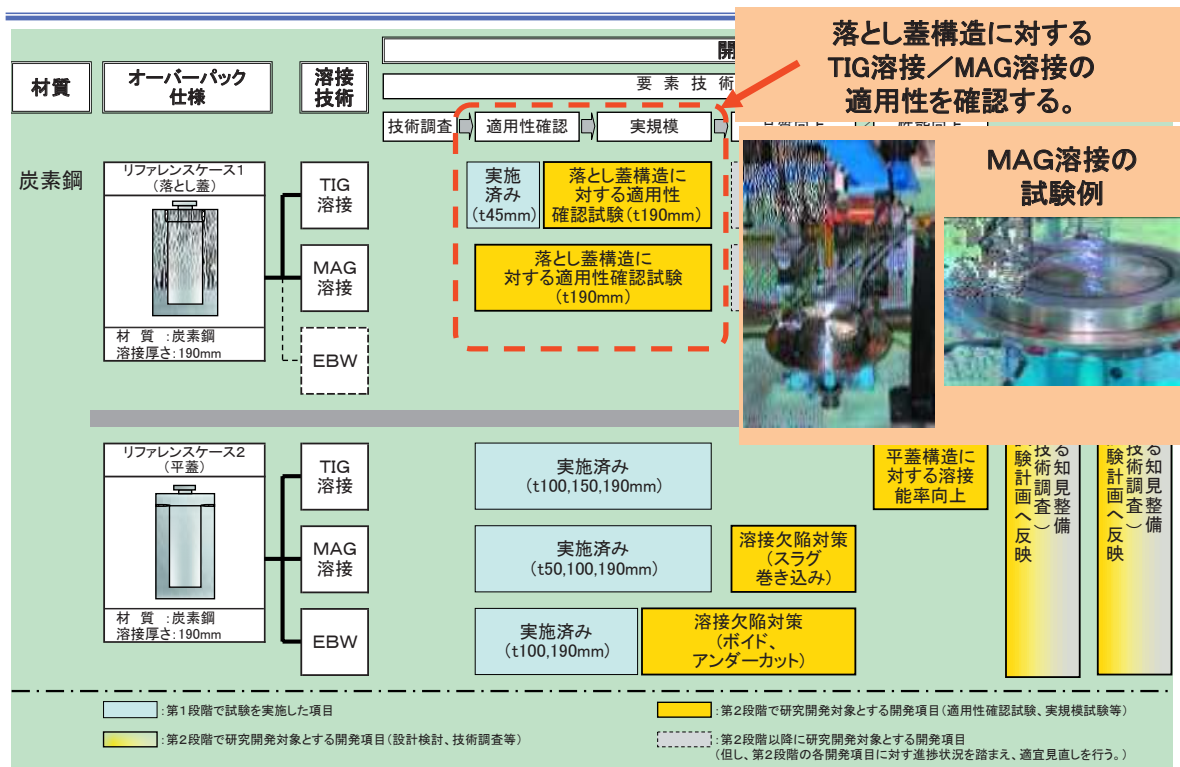
遠隔搬送・定置技術

定置概念及び工程に基づく課題の整理



遠隔溶接・検査技術

オーバーパック蓋構造に基づく課題の整理（溶接技術）



3. 高レベル放射性廃棄物に関する研究開発 ～各研究開発分野の成果と今後の計画～

(3) 性能評価技術

(3) 性能評価技術

1) これまでの成果の概要と今後の計画

平成19年3月5日

地層処分基盤研究開発調整会議

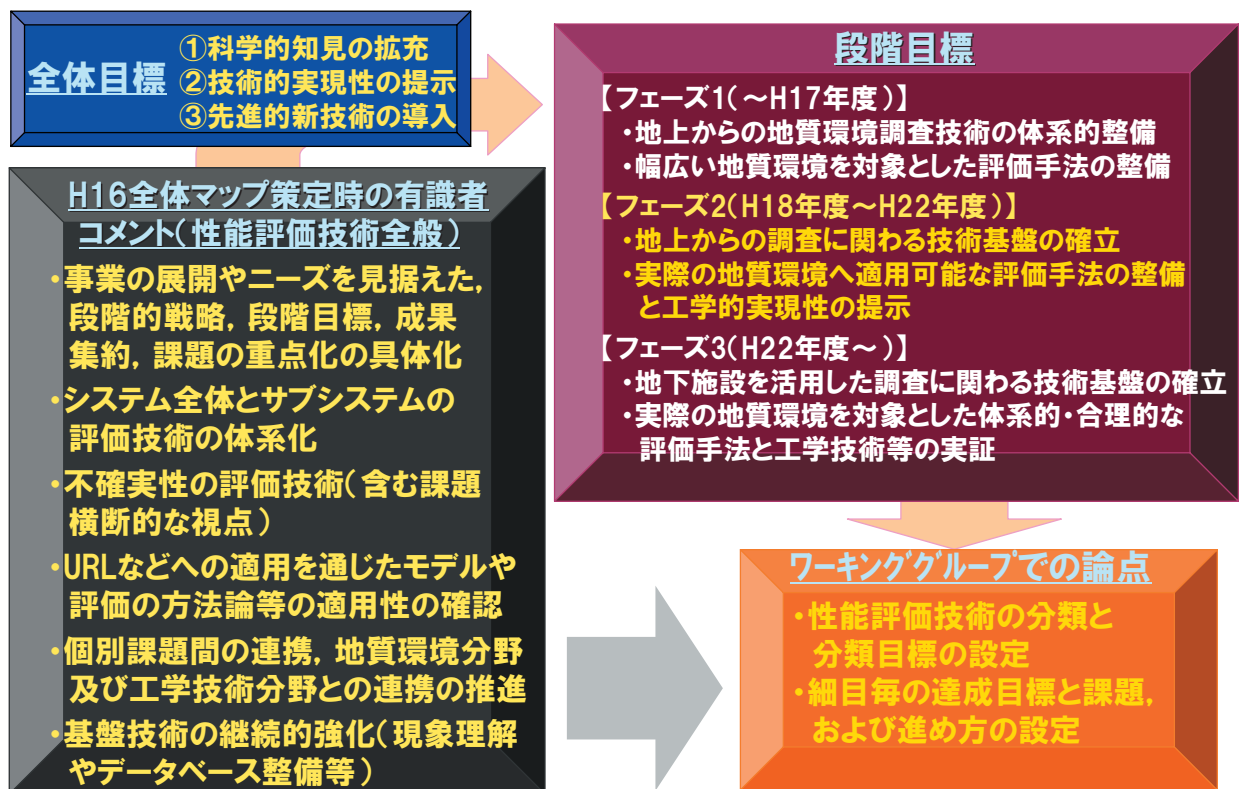
性能評価ワーキンググループ

コーディネータ 梅木 博之

発表内容

- **性能評価技術分野の研究開発計画の全体像**
 - ・全体目標, 段階目標とワーキンググループでの論点
 - ・性能評価技術分野の課題の分類と分類目標
 - ・フェーズ2研究開発計画の基本構造
 - ・フェーズ2研究開発要素
 - ・フェーズ2研究開発の重点
- **フェーズ1までの成果の概要とフェーズ2の計画**
 - ・評価手法
 - ・モデル化技術
 - ・データベース開発
- **まとめ**

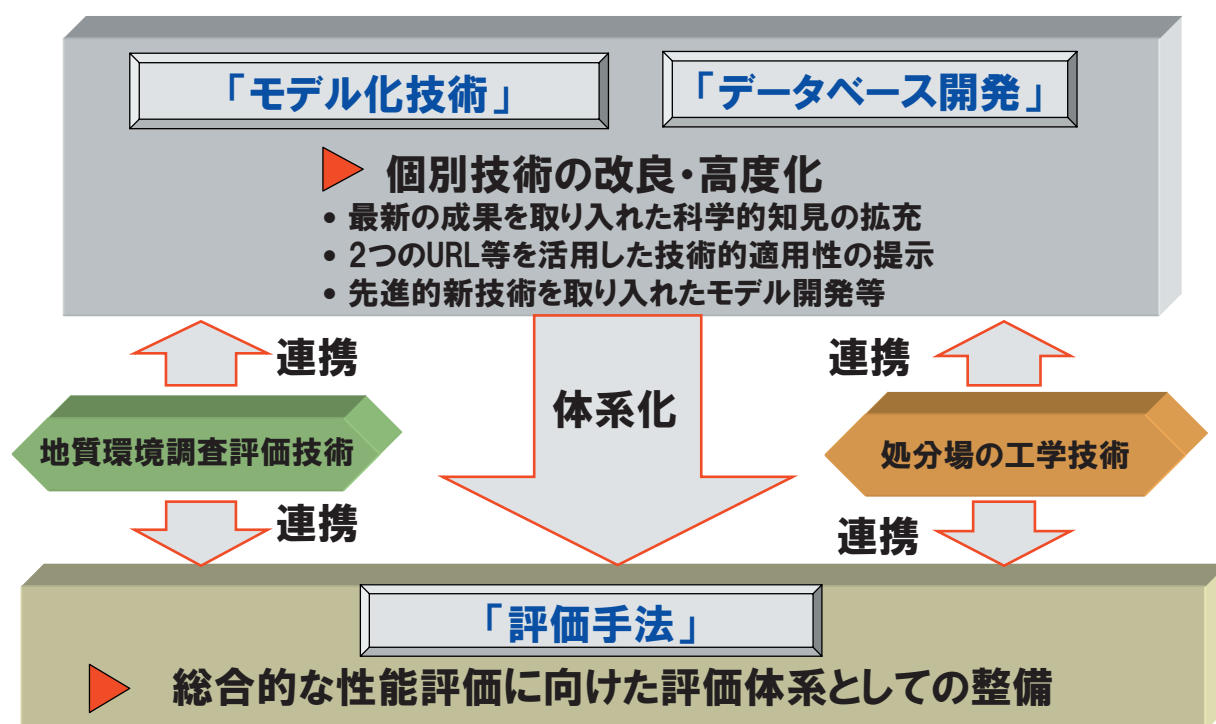
全体目標、段階目標とワーキンググループでの論点



性能評価技術分野の課題の分類と分類目標

分類	達成レベル (第2次取りまとめ)	分類目標 (フェーズ1)	分類目標 (フェーズ2)	分類目標 (フェーズ3)
(1) 評価手法	国際的な考え方を踏襲しつつ、幅広い地質環境を考慮したシナリオ構築手法、決定論的アプローチを基本とした保守的な安全評価手法を提示	個別評価手法の強化と総合評価の方法論の整備	実際の地質環境へ適用可能な評価手法の整備・改良	実際の地質環境に対する評価手法の総合的な適用性確認
(2) モデル化技術	主に室内試験に基づき、人工バリアは比較的現実的、天然バリア等は簡略・保守的な評価モデルを提示	室内・工学試験等による現象理解の向上と評価モデルの拡充・高度化	実際の地質環境へ適用可能な個別モデルの整備・改良	実際の地質環境に対する個別モデルの適用性確認
(3) データベース開発	降水系条件を中心としたデータ取得、国内外の文献調査に基づきデータベースを整備し、保守的な設定手法を提示	海水系等を中心としたデータベースの拡充	データベースの拡充、性能評価用パラメータの設定手法の整備	実際の地質環境に適用可能なデータセット/性能評価用パラメータセットの設定手法の体系的整備

フェーズ2研究開発計画の基本構造



フェーズ2研究開発要素

分類	細 目	
(1) 評価手法	①シナリオ解析技術	
	②不確実性評価技術	
	③総合的な性能評価技術	
(2) モデル化技術	①人工バリア中の核種移行	a) 地下水化学／間隙水化学
		b) ガラス固化体からの核種溶出
		c) 緩衝材中の核種移行
	②天然バリア中の核種移行	a) 岩盤中の核種移行
		b) コロイド・有機物・微生物
	③生物圏での核種移行／被ばく	
(3) データベース開発	①放射性元素の熱力学データベースの整備	
	②収着・拡散データベースの整備	
	③処分場システムデータベースの整備	

フェーズ2研究開発の重点

(1) 評価手法

- シナリオ解析，不確実性評価の技術の体系化
- 総合的な性能評価のための手法の統合(シナリオ解析技術，不確実性評価技術，モデル化技術，データベース開発)
- URL等で得られる地質環境条件を用いた適用性確認
- 重要研究課題の抽出と反映

(2) モデル化技術

- ニアフィールド現象に関するより詳細な理解とモデル化
- 現象モデルと性能評価モデルの合理的階層化
- URL等で得られる地質環境条件を用いた適用性確認
- 重要研究課題の抽出と反映

(3) データベース開発

- データベースの信頼性向上のための継続的なデータ取得
- データベースの管理(更新・公開)
- 性能評価で用いるパラメータの設定技術の体系化

評価手法： ① シナリオ解析技術

フェーズ1の主な成果

- FEPの相関関係の効率的な整理手法 [JAEA]:
マトリクス形式と階層化の組合せ 等
- 天然現象を発端とするシナリオの体系的な構築手法 [JAEA]:
事例研究成果の取込み手順の明確化，THMC形式での情報整理 等

フェーズ2の計画

シナリオの構築から評価までを行う一連の技術の体系化

- スクリーニング技術等の改良・高度化 [JAEA]
- 「情報の集約～シナリオ構築～評価内容の設定」の一連の技術の体系化 [JAEA]
- シナリオの不確実性の具体的な評価事例の整備 [JAEA]
(適用性確認，重要研究課題の抽出)

評価手法：② 不確実性評価技術

フェーズ1の主な成果

- パラメータ不確実性の影響評価 [JAEA]:
モデルの構築, 評価例の提示 等
- パラメータの分布設定 [JAEA]:
幌延の岩石試料を用いた分配係数の設定の試行 等
- モデル不確実性の影響評価 [JAEA]:
代替モデルの構築 (掘削影響領域での遅延プロセス 等)

フェーズ2の計画

不確実性の評価・分析に関わる一連の技術の体系化

- 不確実性の分類・整理, 分布設定への取り込み手法の整備 [JAEA]
- 不確実性の影響評価技術の整備・体系化, 統計的分析手法の整備・体系化 [JAEA]
- 不確実性の低減対策(優先度の設定等)の具体的事例の整備
(適用性確認, 重要研究課題の抽出) [JAEA]

評価手法：③ 総合的な性能評価技術

フェーズ1の主な成果

- 実際の地質環境の調査研究から物質移行解析にいたる一連の評価の試行 [JAEA]
- 多様な技術情報を体系的に管理可能なシステム(JGIS)の開発 [JAEA]
- 総合的な性能評価技術を多様な側面から向上させるための個別技術の検討 [ANRE (RWMC) / JAEA]:
多様なスケールを対象とした評価手法の調査・整理, 処分場規模での核種移行解析手法の開発 等

フェーズ2の計画

総合的な性能評価に関わる一連の技術の集約と体系化

- 総合的な性能評価を一貫して行うための評価体系の例示
(適用性確認, 重要研究課題の抽出) [JAEA]
- 総合的な性能評価を多様な側面から向上させるための個別技術の拡充 [ANRE/JAEA]

モデル化技術：① 人工バリア中の核種移行 a) 地下水化学／間隙水化学

フェーズ1の主な成果

- 地下深部で採取し地表で測定した地下水データの信頼性評価と補正手法(脱ガスの影響の補正等)の開発 等 [JAEA]

フェーズ2の計画

水質形成モデルの構築に関わる一連の技術の体系化

- 水質形成モデルの適用性確認, 一連の技術の体系化 [JAEA]
- 掘削に伴う水質変化の範囲, 程度の推定手法の開発 [JAEA]

モデル化技術：① 人工バリア中の核種移行 b) ガラス固化体からの核種溶出

フェーズ1の主な成果

- 長期溶解速度データの拡充(高アルカリ環境での知見, ガラス溶解速度データベース) 等 [JAEA]
- 詳細評価技術の開発(ガラス固化体の溶解・変質挙動, オーバーパックおよびガラス固化体の破壊・変形挙動 等 [ANRE (RWMC) / JAEA]
- 放射線影響評価(放射線分解生成物によるガラスの溶解量のデータ取得 等) [ANRE (IRI)]

フェーズ2の計画

複合挙動, 相互作用等を考慮したガラス溶解と核種溶出の現象理解, 評価手法やツールの高度化と体系化

- 現実的な系(実ガラス, ベントナイト複合)での現象理解 等 [JAEA]
- ガラスの破壊とガラス溶解・変質層形成を結合したモデルの開発 等 [ANRE]

モデル化技術： ① 人工バリア中の核種移行 c) 緩衝材中の核種移行

フェーズ1の主な成果

- 分配係数, 拡散係数の環境依存性のデータ取得, モデル化 等 [JAEA]
- 固溶体モデルによるRa溶解度評価手法の構築 等 [JAEA]
- 緩衝材変質の影響評価(Mg変質のCs分配係数への影響の把握 等) [ANRE (IRI)]
- 放射線の影響評価(放射線分解生成物の生成・分解のデータ取得 等) [ANRE (IRI)]

フェーズ2の計画

環境条件や緩衝材の状態に応じた核種移行プロセスの理解,
パラメータ値等の設定に適用可能なモデル化技術の整備

- 分配係数, 実効拡散係数等の設定へのモデルの適用性向上等 [JAEA]
- 緩衝材変質(Fe変質)の影響の把握, 試験条件・手法の違いの影響の把握, 放射線分解生成物の挙動に関するデータ拡充とモデルの高度化 等 [ANRE]

モデル化技術： ② 天然バリア中の核種移行 a) 岩盤中の核種移行

フェーズ1の主な成果

- 水理・物質移行：
結晶質岩の不均質性や堆積岩中の亀裂の影響の把握 等 [JAEA]
- 収着と拡散：
分配係数および拡散係数の環境依存性のデータ取得, モデル化 等 [JAEA]

フェーズ2の計画

環境条件等に応じた水理・物質移行現象, 核種移行現象の理解
の深化, 評価技術の詳細化と体系化

- 水理・物質移行現象のスケール依存性等を含む理解の向上 等 [JAEA]
- 地質環境の特徴や調査の進展等に応じた水理・物質移行評価のための一連の評価技術の体系化 [JAEA]
- 分配係数, 実効拡散係数等の設定へのモデルの適用性向上 等 [JAEA]
- 場の物理化学状態(鉱物組成, 間隙状態, 変質等)による収着拡散メカニズムの違い等に関する知見の整備, 現象モデルの詳細化 [ANRE]

モデル化技術： ② 天然バリア中の核種移行 b) コロイド・微生物・有機物

フェーズ1の主な成果

- コロイド・有機物：
影響評価コードの開発と核種との相互作用のデータ取得 等 [JAEA]
- 微生物：
影響評価コードの開発とバイオフィルムのデータ取得 等 [JAEA]

フェーズ2の計画

核種移行に及ぼす影響の理解，モデル化，および影響の顕在化する可能性のある環境条件等の明確化

- 特性評価手法の確立，性能評価での取り扱いの具体化 等 [JAEA]
- 微生物挙動の理解と性能評価への影響の評価 等 [ANRE/JAEA]
- ロシアの放射性物質で汚染されたサイトでのコロイドの特性や核種の収着形態等のデータ収集，現象理解 等 [ANRE]

モデル化技術： ③ 生物圏での核種移行／被ばく

フェーズ1の主な成果

- 地圏と生物圏とのインターフェイス(GBI)の設定の基本的手法，重要パラメータの効率的な抽出・分析の技術 等 [JAEA]
- わが国の風土と生活様式を反映した移行パラメータの取得・整備 等 [ANRE (NIRS)]

フェーズ2の計画

地表環境の特徴等に対応可能なモデル化技術，データベース整備

- 地表環境の特徴等を取り込んだGBI設定および核種移行／被ばくのモデル化の技術の改良・整備と体系化 [JAEA]
- 地域特性を考慮したデータの取得・整備の継続 [ANRE]
- 生物圏評価用データベースの更新 [JAEA]

データベース開発：① 放射性元素の熱力学データベースの整備

フェーズ1の主な成果

- アクチニドIV価の Np-OH-CO_3 錯体、水和酸化物固相のデータの取得 [JAEA]
- 熱力学データベース(JNC-TDB)の利用環境の整備・公開 [JAEA]
- 核種の相互影響下でのアクチニドIV価の水酸化物溶解度データの取得(U-Pu, U-Np) [ANRE (RWMC)]

フェーズ2の計画

データベースの管理, パラメータ設定手法の整備

- 信頼性向上のためのデータ取得を含むデータベースの更新・公開 [JAEA]
- 核種移行で用いる溶解度をその不確実性と合わせて設定するための一連の設定手法の整備と体系化 [JAEA]

データベース開発：② 収着・拡散データベースの整備

フェーズ1の主な成果

- 海水系地下水条件やアルカリ環境でのデータ取得 [JAEA]
- 収着データベース(JNC-SDB)の利用環境の整備・公開 [JAEA]
- 拡散データベースの整備・公開 [JAEA]
- 分配係数と拡散係数の塩水環境下での温度依存性データの取得, データ取得方法の比較 [ANRE (IRI)]

フェーズ2の計画

データベースの管理, パラメータ設定手法の整備

- 信頼性向上のためのデータ取得を含むデータベースの更新・公開 [JAEA]
- 核種移行で用いる分配係数と拡散係数をその不確実性と合わせて設定するための一連の設定手法の整備と体系化 [JAEA]
- 圧縮ベントナイト中の拡散収着データの取得手法の高度化 [ANRE]

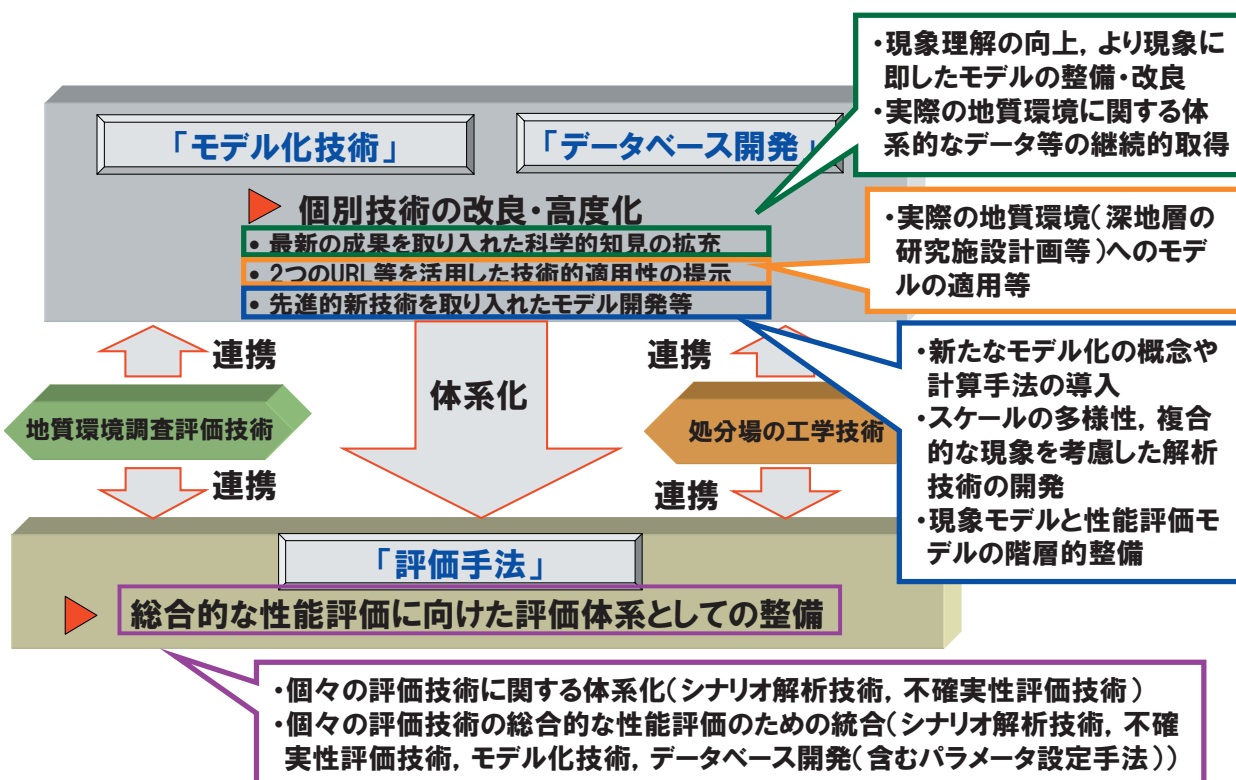
データベース開発：③ 処分場システムデータベースの整備

フェーズ2の計画

性能評価で用いるデータの集約，利用しやすい形態での整備

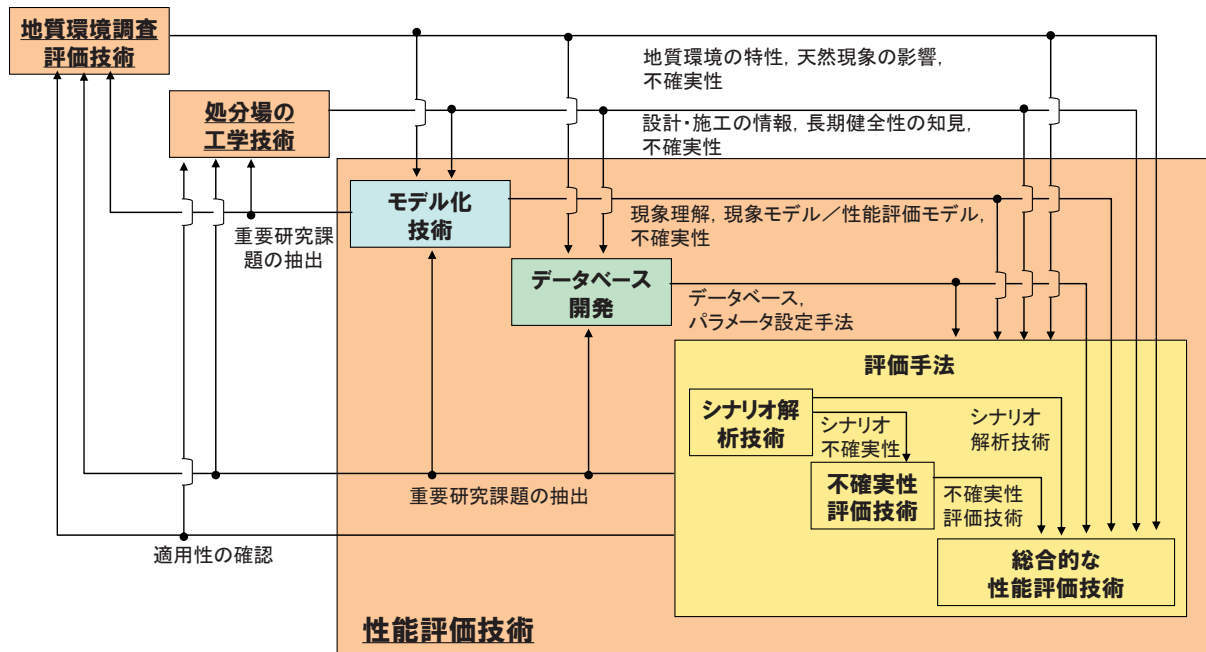
- ガラス溶解速度データベース，生物圏評価用データベース [JAEA]
- 試験研究，解析評価で得られるデータ 等 [JAEA]
- 他分野で取得・整備され性能評価で用いるデータ 等 [JAEA]

まとめ：全体目標に対するフェーズ2の取り組み



まとめ：フェーズ2研究開発の連携

分野間および性能評価技術分野内の連携



まとめ：フェーズ2研究開発の連携

機関間での連携(JAEA-ANRE事業間)

➤ 評価手法

- 多様なスケールに応じた評価技術, 処分場規模での核種移行解析技術 等

➤ モデル化技術

- 地下水化学に関する情報の統合
- ガラス溶解に関する現象理解とモデル化
- 収着・拡散に関する現象理解とモデル化
- 微生物影響に関する現象理解とモデル化
- 生物圏評価に関するデータベースの整備 等

➤ データベース開発

- 収着・拡散に関するデータ取得, データベース開発 等

(3) 性能評価技術



2) 日本原子力研究開発機構における研究開発成果

性能評価の技術基盤の体系化に向けて

平成19年3月5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 地層処分基盤研究開発ユニット

システム性能評価グループ

宮原 要

発表内容



- ◆フェーズ1におけるJAEAの研究開発の全体像
- ◆フェーズ1における研究開発課題への取組みと
主な成果
 - 「評価手法」
 - 「モデル化技術」
 - 「データベース開発」
- ◆フェーズ2における取組み

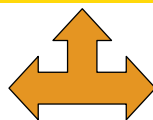
フェーズ1におけるJAEAの研究開発の全体像

分類	細 目	
(1) 評価手法	①シナリオ解析技術	
	②不確実性評価技術	
	③総合的な性能評価技術	
(2) モデル化技術	①人工バリア中の核種移行	a) 地下水化学／間隙水化学
		b) ガラス固化体からの核種溶出
		c) 緩衝材中の核種移行
	②天然バリア中の核種移行	a) 岩盤中の核種移行
		b) コロイド・有機物・微生物
	③生物圏での核種移行／被ばく	
(3) データベース開発	①放射性元素の熱力学データベースの整備	
	②収着・拡散データベースの整備	

体系化の要素となる技術基盤の開発・高度化と
適用性の向上に重点をおいた研究開発

性能評価技術

地質環境調査評価技術



処分場の工学技術

連携の技術基盤の整備

「評価手法」の研究開発課題への取組み

①シナリオ解析技術

- 重要なシナリオの系統的な抽出
 - ・ FEPの相関関係の取扱いの改良
 - ・ 天然現象影響の特徴の取扱いの改良

②不確実性評価技術

- 重要因子の抽出
 - ・ 複数のパラメータの不確実性の影響評価
 - ・ 重要度の高いパラメータの分析・抽出

③総合的な性能評価技術

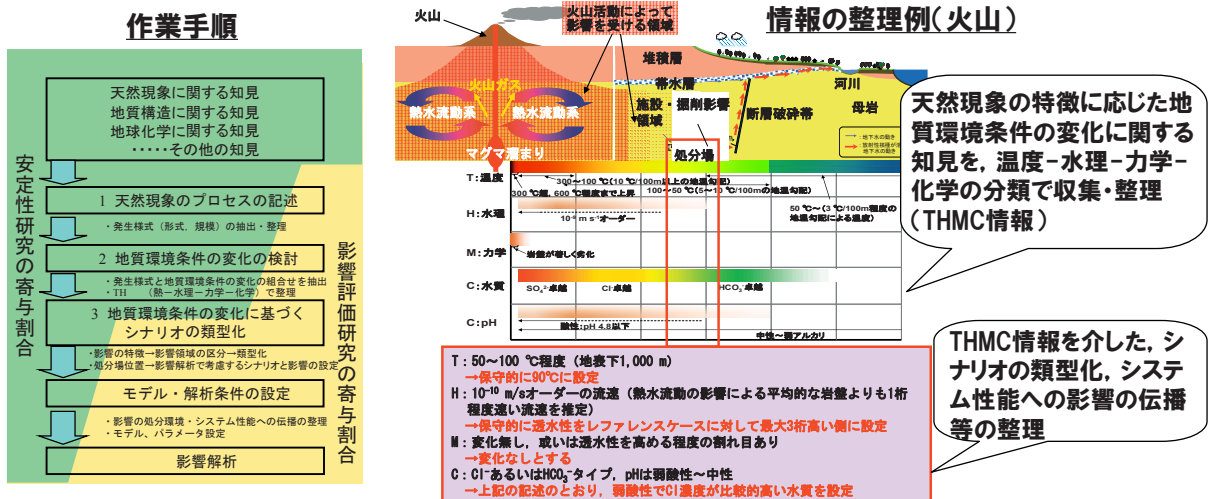
- 一連の評価技術の適用と課題の抽出
 - ・ 実際の地質環境の情報を活用した評価の試行

「評価手法」①シナリオ解析技術



重要なシナリオの系統的な抽出

- シナリオ解析の重要な要素の1つであるFEPの相関関係の処理についての基本的手法の構築
 - マトリクス形式での相関関係の整理および階層化(FEP層, 安全機能層)の概念の導入
 - FEP処理を支援する計算機ツールの構築
- 天然現象を発端とするシナリオ構築の基本的手法の構築
 - 天然現象の特徴(発生や影響の様式, 地域性等)に関する知見をシナリオの構築および影響評価に効果的に取り込む系統的な作業手順の構築



「評価手法」②不確実性評価技術



重要因子の抽出

●パラメータ不確実性の影響評価技術の開発

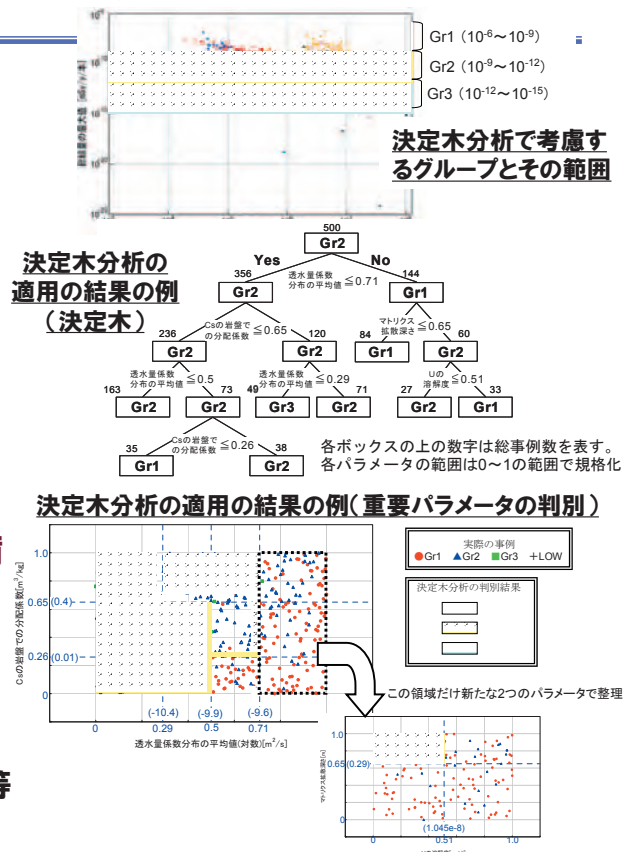
- ・影響評価: 複数のパラメータの不確実性の影響を評価可能なモデルの構築, および第2次取りまとめの条件でのモンテカルロシミュレーションによる影響評価の例示
- ・影響分析: 多変量解析手法による重要度の高いパラメータの分析・抽出の試行(重回帰分析とクラスタ分析の組合せ, 決定木分析等)

●パラメータの分布設定技術の開発・整備

- ・幌延の環境条件での分配係数の設定試行(誘出法)等

●モデルの不確実性評価のための代替モデルの開発

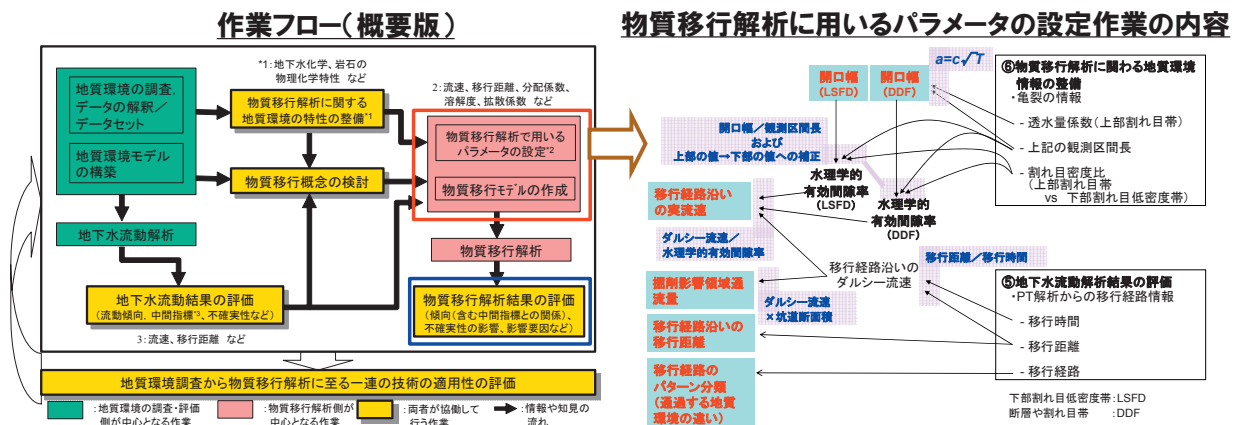
- ・掘削影響領域での遅延プロセスのモデル化等



「評価手法」 ③総合的な性能評価技術

一連の評価技術の適用と課題の抽出

- 実際の地質環境の調査研究から物質移行解析にいたる一連の評価に関する検討
 - ・ 評価の概念(考慮すべき要素, その構造等)及び必要な技術(評価手法, ツール等)を整理し, 評価における作業フローおよび作業内容として体系化
 - ・ 深地層の研究施設計画からの情報を用いた評価手法の検討, 高感度の因子の抽出



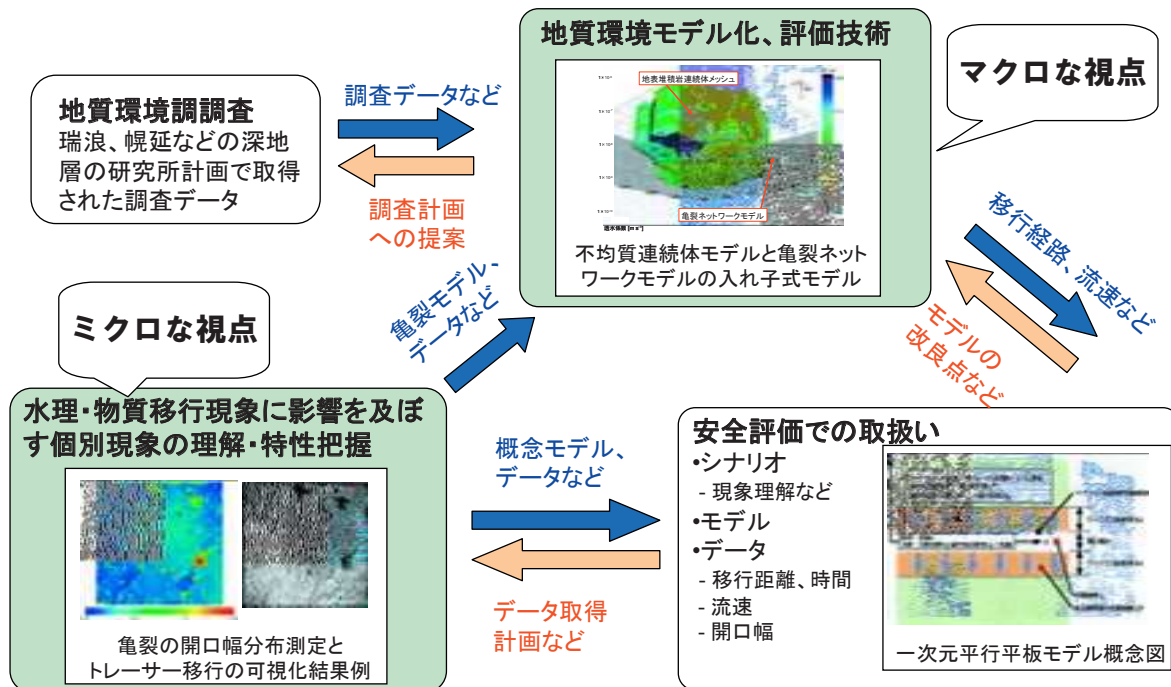
「モデル化技術」の研究開発課題への取組み

- ①人工バリア中の核種移行
 - a) 地下水/間隙水化学
 - b) ガラス固化体からの核種溶出
 - c) 緩衝材中の核種移行
 - 実際の条件の反映(地下深部条件、人工バリアの設置条件と長期挙動の考慮)
- ②天然バリア中の核種移行
 - a) 岩盤中の核種移行
 - b) コロイド・有機物・微生物
 - 現象理解とモデル化への体系的アプローチ
- ③生物圏での核種移行/被ばく
 - 地表環境の特徴の取扱い(地表近傍での地下水移行等の特徴のモデルへの取り込み)

「モデル化技術」②a) 岩盤中の核種移行

ミクロとマクロの視点の組合せによる体系的アプローチ

天然バリアを対象とした安全評価に必要な技術開発



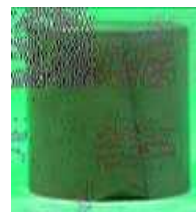
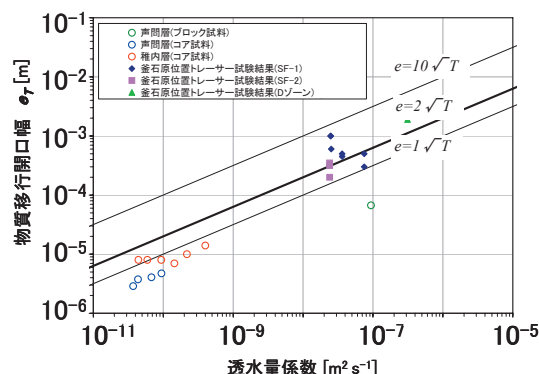
「モデル化技術」②a) 岩盤中の核種移行

ミクロとマクロの視点の組合せによる体系的アプローチ

●ミクロな視点

- 結晶質岩：岩石試料中の単一亀裂や亀裂交差部での亀裂開口幅分布の測定による不均質性等の把握とその影響を評価する手法の提示
- 堆積岩：亀裂を含む岩石試料の透水係数や拡散係数の測定等による堆積岩中の亀裂が水理・物質移行現象に与える影響の定量的な把握

亀裂を有する堆積岩の亀裂部における物質移行開口幅と透水量係数

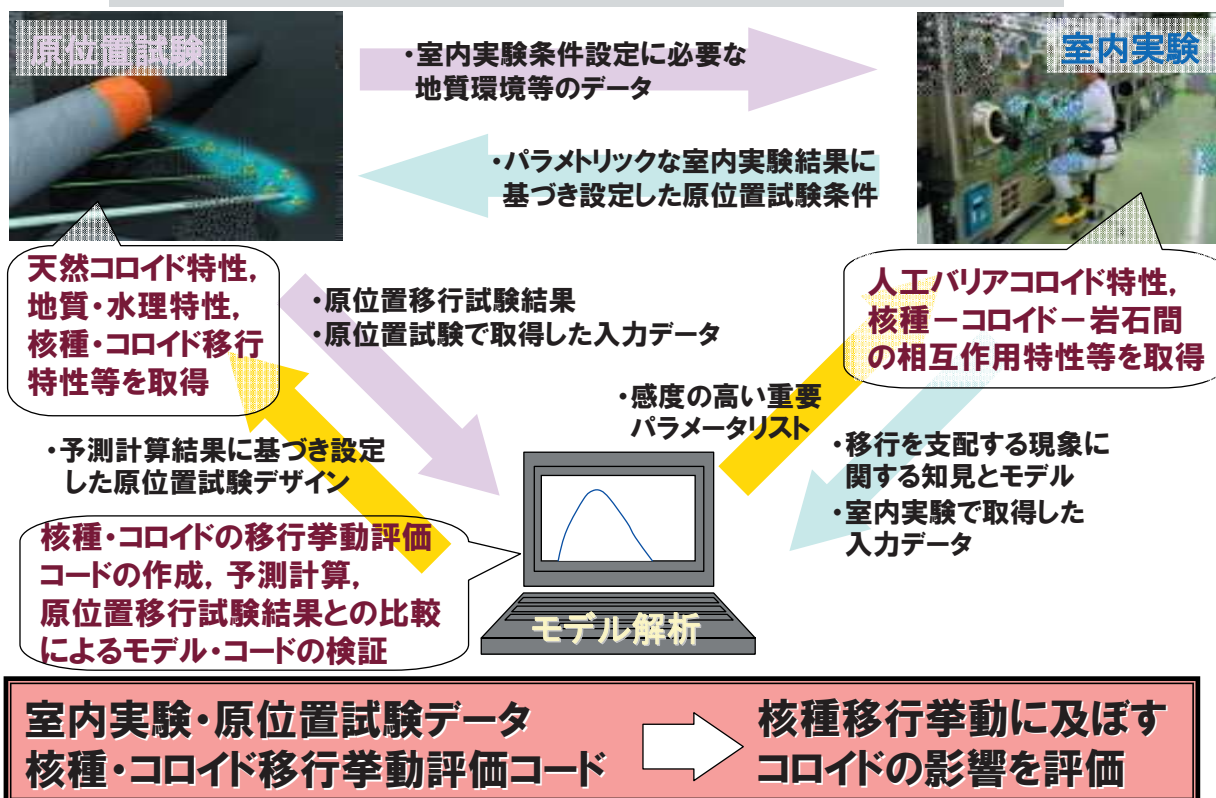


●マクロな視点：

- 総合的な性能評価技術で実施した「実際の地質環境の調査研究から物質移行解析にいたる一連の評価」の一部として、核種移行解析に必要な地下水の移行経路や移行時間等を評価する手法を例示

「モデル化技術」② b) コロイド・微生物・有機物

室内、原位置、解析の組合せによる体系的アプローチ



「モデル化技術」② b) コロイド・微生物・有機物

室内、原位置、解析の組合せによる体系的アプローチ

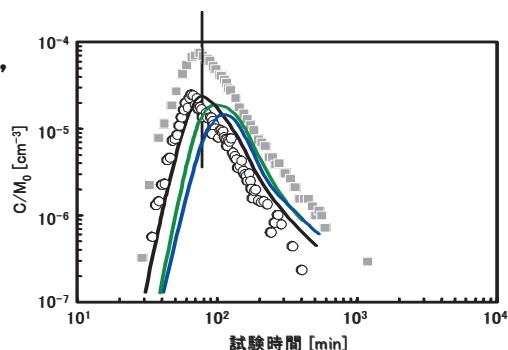
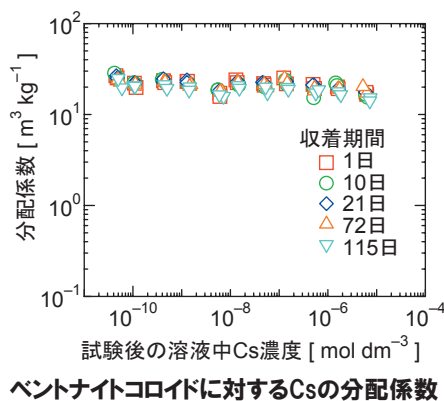
●コロイドの核種移行に及ぼす影響に関するコードの開発とデータ取得

- 核種とコロイドの相互作用を速度論的に取り扱えるCOLFRAC-MRLの開発

(亀裂性媒体と多孔質媒体の両方を対象, 室内試験やグリムゼルにおける原位置試験の結果と比較し妥当性を確認, 感度解析によりコロイド濃度が高いあるいは流速が速い場合に相互作用の速度が核種移行に影響を及ぼす可能性のあることを提示)

- コロイドと核種の相互作用データの取得

(コロイド: ベントナイトコロイドへのCsの分配係数, 収着速度を取得, 収着の可逆性を提示)



■ I-131 (実験結果) ○ Am-243 (実験結果)

— コロイド非共存と仮定した場合のAm-243の移行

— Am-243 — 地下水コロイドの収着反応: 瞬時平衡を考慮

— Am-243 — 地下水コロイドの収着反応: 速度論を考慮

CRR原位置実験結果のCOLFRAC-MRLによる解析結果

「データベース開発」の研究開発課題への取り組み

①放射性元素の熱力学データベースの整備

➤熱力学データの拡充と信頼性

- ・信頼性向上が求められるデータの整備
- ・海水条件での溶解度評価への対応

②収着・拡散データベースの整備

➤収着データの拡充と信頼性

- ・海水条件でのデータ取得
- ・データの信頼性評価

「データベース開発」 ①放射性元素の熱力学データベースの整備

熱力学データの拡充と信頼性

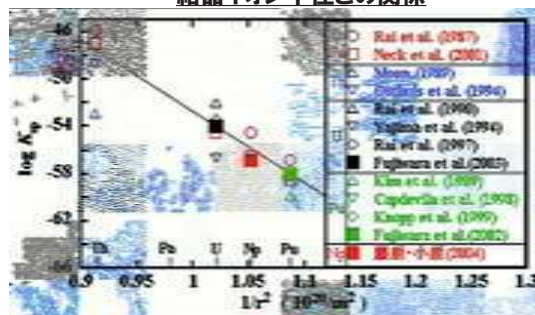
●熱力学データの取得と熱力学データの利用環境の整備

- アクチノイドIV価の Np-OH-CO_3 錯体、水和酸化物固相の熱力学データ取得
(データ不足やばらつきがあり信頼性向上が必要と考えられたデータの整備)
- 高イオン強度での溶解度計算に対応できるPitzerモデルのパラメータ整備
(海水程度のイオン強度($I=0.6$)ではPitzerモデルの導入の必要性は高いことを確認)
- 熱力学データベース(JNC-TDB)の利用環境の整備, ホームページを通じた公開

JNC-TDB公開ホームページ



An(IV) 水和酸化物の溶解度積と結晶イオン半径との関係



「データベース開発」 ②収着・拡散データベースの整備

収着データの拡充と信頼性

●分配係数のデータに関するデータベースの整備

- (実測データが少なく拡充が求められた)海水系地下水条件やアルカリ環境でのデータ取得

Cs : 海水系地下水条件にベントナイトや堆積岩(砂岩, 泥岩)

Sn, Pb, Th: 海水系地下水条件やアルカリ環境における堆積岩(凝灰岩, 砂岩)

- 収着データベースの更新(約1,200件増加)

(第2次取りまとめ段階で約19,900件
→2004年段階で約21,100件)

利用環境の整備(データ検索システム),
ホームページでの公開

- データの信頼性付与の考え方と判断基準の案の策定, 一部のデータを例とした適用性確認
(試験条件・試験手法のトレーサビリティ, 適切性の判断の指標)

収着データベースWeb版



フェーズ2での取組み

- 実際の地質環境条件や設計条件に対する重要なシナリオの, 安全機能に着目した系統的な抽出技術の整備
- 個別現象の不確実性, 生起可能性, 時間変遷などを考慮した不確実性の影響評価技術の整備
- 体系的なアプローチ(室内, 原位置, 解析等)の推進による, より詳細な現象理解と個別モデルの整備・改良
- 性能評価に用いるデータの処分場システムデータベースとしての集約
- 試験データ, データベースおよびモデルを適切に組合わせた性能評価パラメータの設定手法の整備
- 異なるスケールのモデルの統合, 現象モデルと性能評価モデルの合理的な階層化
- 深地層の研究施設計画等で得られる地質環境条件への適用



実際の地質環境に適用可能な総合的な性能評価手法の体系化

(3) 性能評価技術

3) 資源エネルギー庁調査等事業の研究開発成果

環境要因影響評価手法の開発 ～放射線影響評価を中心に～

平成19年3月5日

財団法人 産業創造研究所

萩沼 真之

(財)産業創造研究所に おける地層処分研究

処分システムの環境場に付随する不確実性要因について、処分に与える影響を試験的に調査するとともに科学的見地から考察を加え、現象を科学的に理解し処分システム信頼性及び現実性、処分設計合理性の向上を図る

評価項目

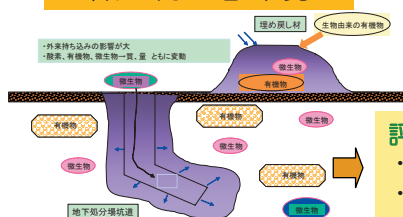
- ・ 腐食挙動
 - ・ 緩衝材止水性
 - ・ 緩衝材変質
 - ・ 塩析出
 - ・ 地下水流動特性
 - ・ 地球科学特性
- 等

・ 塩水環境



図 沿岸海底下の特徴

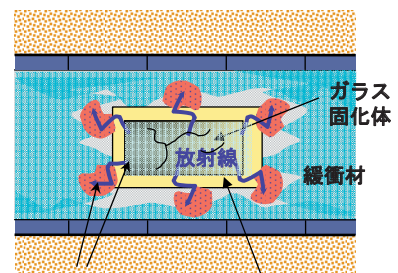
・ 微生物生息環境



評価項目

- ・ 影響要因の抽出
- ・ 微生物の定量手法
- ・ 影響評価モデル整備

・ 放射線照射環境



地下水の放射線分解による化学環境変化

オーバーパック

評価項目

- ・ 人工バリア内化学環境評価モデル整備
- ・ 腐食挙動

発表内容

- 研究開発の目的及び必要性
- 放射線影響評価への取り組み
 - ・人工バリア内で予想される放射線線量率
 - ・考慮すべき放射線関連事象
 - ・研究開発の全体構成
 - ・研究開発の成果
 - －放射線分解生成物の生成挙動
 - －緩衝材中における分解生成物の消費挙動
 - －放射線影響評価解析
 - ・放射線影響評価のまとめ
- 微生物影響評価への取り組み

研究開発の目的及び必要性

性能評価における不確実性環境要因

- ・廃棄体からの放射線照射影響
- ・地下深部の微生物影響
- ・コロイド、有機物 等

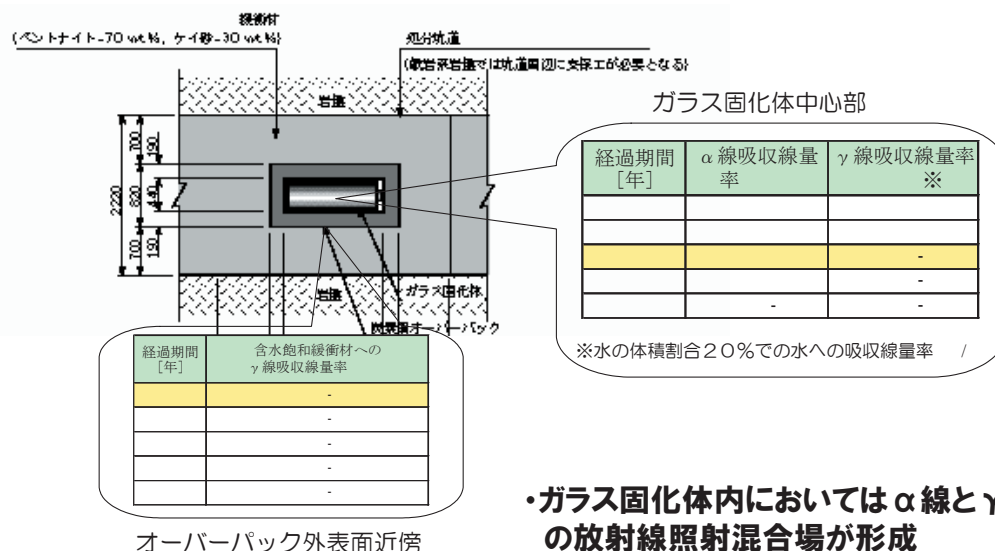
これらの環境要因については処分性能へ有意な影響は及ぼさないと考えられているが、処分の信頼性向上のためには、その影響を定量的に評価することが必要である。

環境要因影響の検討としては、以下のアプローチが重要

- ・起こりうる影響シナリオの整理
- ・現象の科学的理解
- ・評価手法の整備・高度化

放射線影響評価

人工バリア内で予想される放射線線量率



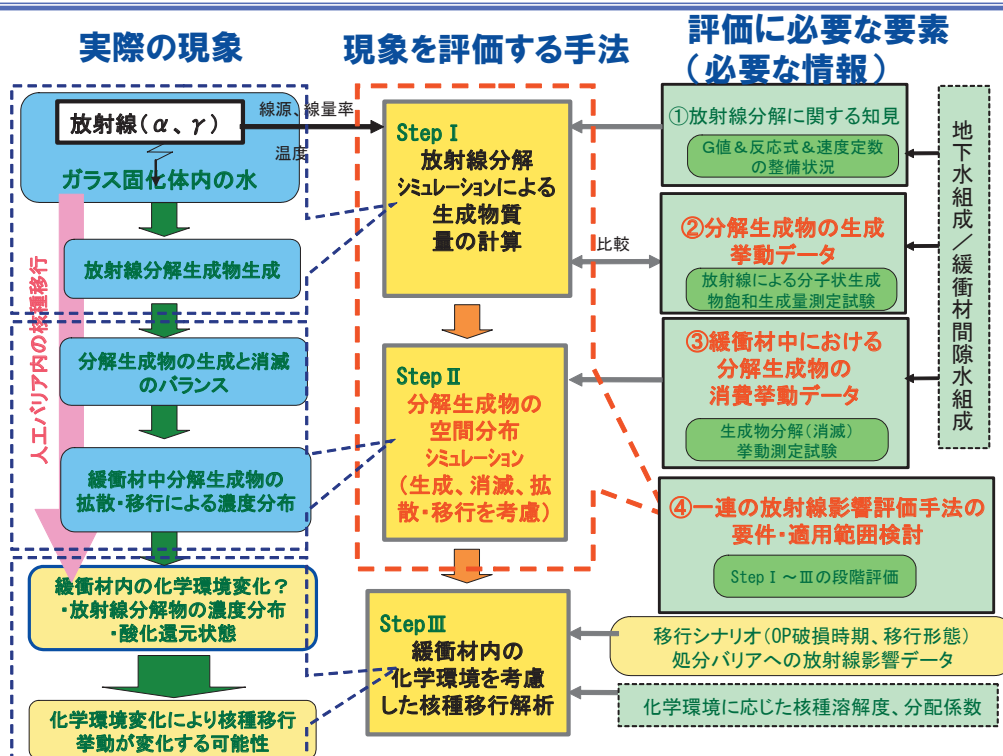
- ・ガラス固化体内においてはα線とγ線の放射線照射混合場が形成
- ・オーバーパックの外表面ではオーバーパックの遮蔽能力によりγ線照射場が主体
- ・放射線線量率は経時的に減少するが、1000年後においてもガラス固化体中心部で長半減期核種からのα線により数10Gy/h程度の吸収線量率が予想される。

考慮すべき放射線関連事象

バリア名	オーバーパック開口前の挙動	オーバーパック開口後の挙動
ガラス固化体		α線、γ線による水の放射線分解に起因し、ガラス固化体内に過酸化水素、水素、酸素が生成
オーバーパック	オーバーパックを通過したγ線による水の放射線分解に起因し、過酸化水素、水素、酸素が生成し、局所的な酸化性雰囲気領域の発生の可能性	ガラス固化体から酸化性化学種が流出し、局所的な酸化性雰囲気領域の発生の可能性
緩衝材	オーバーパック腐食挙動への影響の可能性	- 核種の溶解及び収着能力への影響の可能性 - 鉄イオンとの反応、緩衝材との反応→酸化性雰囲気緩和の可能性
イメージ		

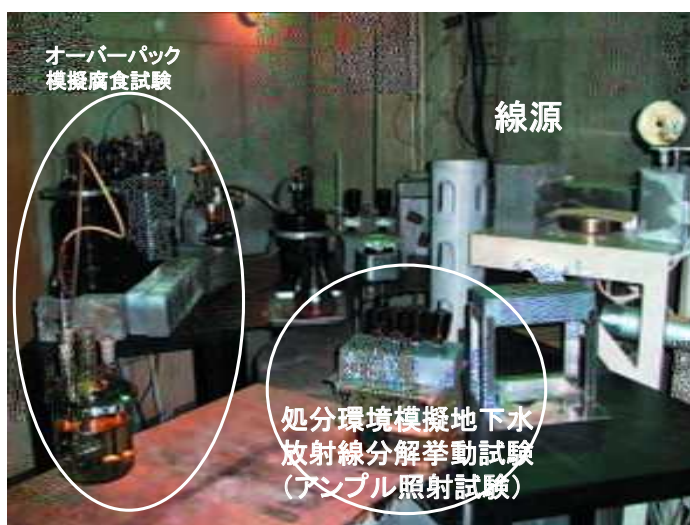
※本表は可能性が考えられる放射線事象を定性的に記述したものであり、実現象及び影響を示したものではない。

研究開発の全体構成

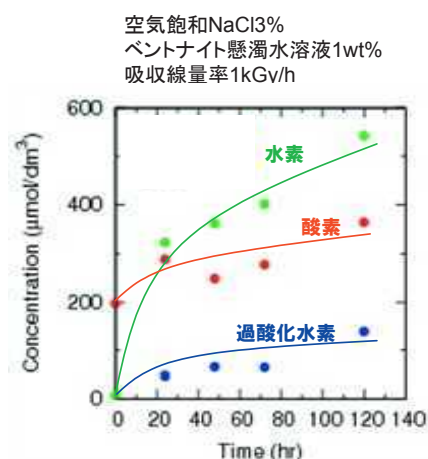


研究開発の成果 —放射線分解生成物の生成挙動

・放射線化学的な試験による水の放射線分解生成物の生成に関するデータ取得



Co-60放射線照射設備を用いた地層処分研究



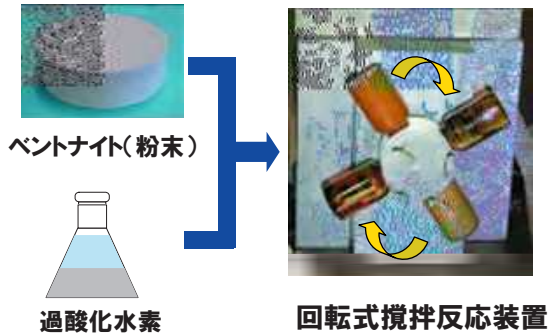
γ線照射試験結果の例

純水条件に比較して処分地下水環境では水の放射線分解は促進されることが試験により確認された。

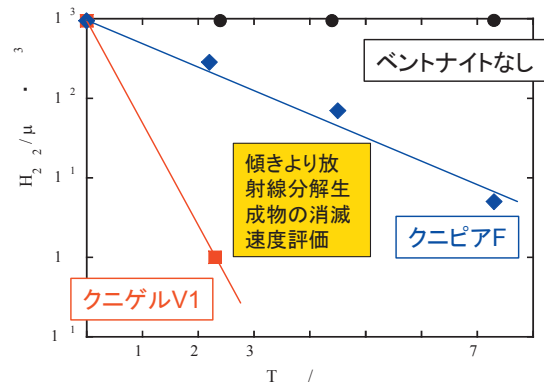
研究開発の成果

－緩衝材中における分解生成物の消費挙動

緩衝材中における放射線分解生成物：
過酸化水素及び酸素の分解・消費挙動
に関するデータ取得



酸化性環境を支配する可能性のある放射線分解生成物である過酸化水素は緩衝材中において分解消費されることが確認された。

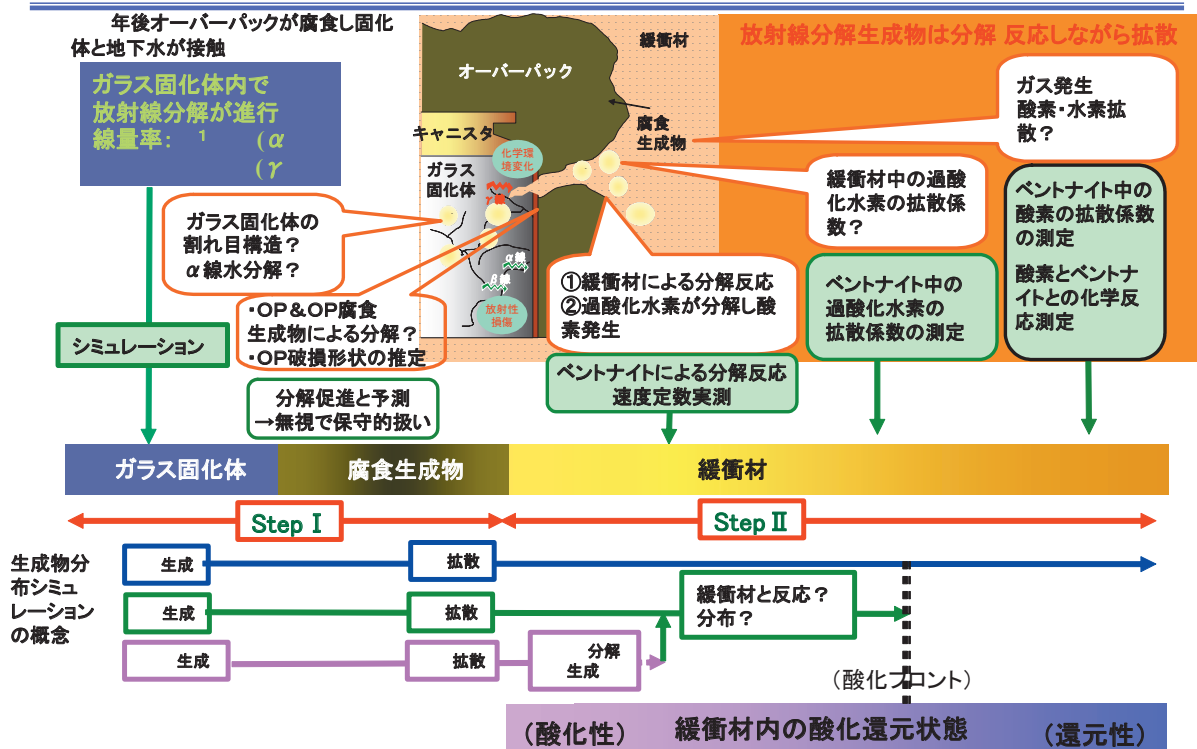


【実験条件】溶液: 3₂、固液比: /1
【試験環境】空気飽和、室温

ベントナイト懸濁液中(攪拌)での過酸化水素濃度の変化

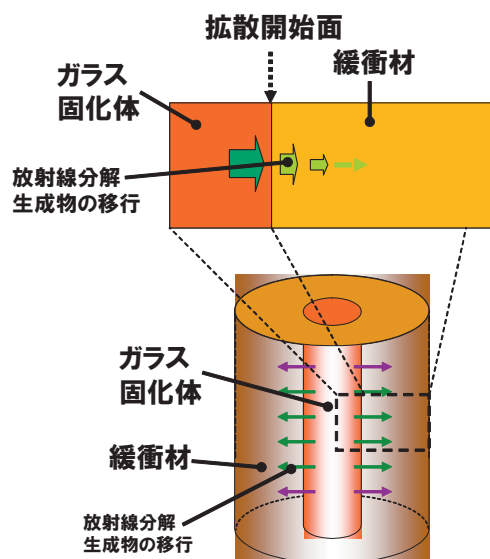
研究開発の成果

－放射線影響評価解析

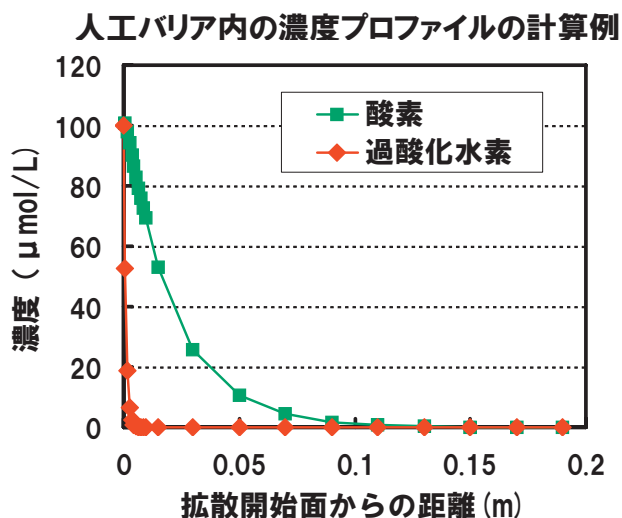


研究開発の成果

—放射線影響評価解析



- ・固化体側から過酸化水素が一定量(100 μM)供給
- ・過酸化水素:実効拡散係数 $5 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$:分解半減期2h
- ・消費された過酸化水素は酸素となり拡散・消費
- ・酸素:実効拡散係数 $5 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$:半減期110h



緩衝材内での酸化性放射線分解生成物の拡散・分解・消費を考慮した実験と解析により、緩衝材内の過酸化水素、酸素濃度分布評価の見通しを得た。

放射線影響評価のまとめ

これまでの成果

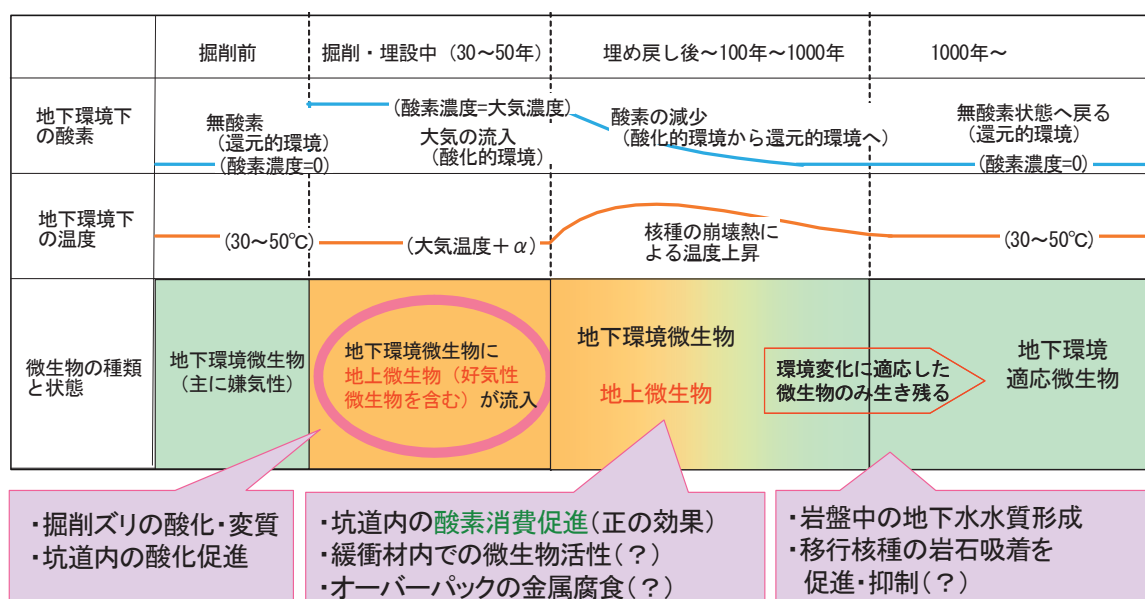
- ・放射線影響事象の抽出を実施し、考慮すべき影響シナリオを整理した。
- ・処分地下水環境での放射線分解生成物の生成及び分解に関するデータを取得し、現象の定量的理解を進めた。
- ・放射線分解を考慮した人工バリア内化学環境評価モデル概念を構築した。

今後の研究開発の内容と進め方

- ・解析上の不確定パラメータの影響把握とその取り扱いの具体化
- ・化学環境評価モデルの高度化

微生物影響評価

処分の各過程における環境変化と微生物関連事象整理



微生物影響評価

研究開発の内容と進め方

- ・起こりうる影響シナリオの整理
- ・現象の科学的理解
- ・評価手法の整備・高度化

深部地下環境の微生物挙動を適切に取り込み、処分への影響を評価できるようにするため、以下の検討を実施。

- ー性能評価で考慮する特性・プロセスに影響を与える微生物の要因の抽出
- ー微生物影響評価コードの入力となるデータ(微生物量、種類、増殖活性など)の取得技術の構築
- ー実際の地質環境(URL等)を対象にしたデータ取得と評価コードの適用性の確認



放射性核種生物圏移行パラメータの収集と データベースの開発

平成19年3月5日

独立行政法人 放射線医学総合研究所

廃棄物技術開発事業推進室

内田 滋夫

発表内容



・研究開発の枠組み

研究開発の目的、必要性、全体の構成

・研究開発の成果

移行パラメータ収集およびデータベース構築

土壌-農作物移行係数(TF)

土壌-土壌溶液分配係数(Kd)

河川水元素濃度

水田移行モデル開発

マッピングシステム開発

・まとめ

・今後の展望

研究開発の枠組み –目的–



日本の風土、農業活動などを反映した移行パラメータの収集、およびデータベースの構築。

特に、生物圏に焦点を絞り、水田・畑土壌から農作物への移行係数（TF）および土壌中での分配係数（Kd）を収集する。

研究開発の枠組み –必要性–



放射性廃棄物の地層処分に関する安全評価においては、処分施設から生物圏・人までの核種移行プロセスとこれによる被ばく経路についてモデル化を行い人間への影響を評価することが必要である。

しかし、生物圏においては、その移行パラメータはその地域の環境や人間活動に大きく影響され、その地域において収集する必要がある。

研究開発の枠組み ー全体の構成ー



調査 1 : データ収集とデータベース構築

日本の風土、農業活動などを反映した移行パラメータを収集し、
土壌特性や土壌元素濃度等のデータと合わせて、環境パラメータ
データベースとして整備する。

調査 2 : マッピングシステムの開発・ 移行モデル構築

土壌元素濃度や移行パラメータの平面的な分布状況を把握する
マッピングシステムや移行モデルを開発する。

調査 3 : 移行パラメータに影響する要因と そのメカニズム解析研究

放射性核種の環境挙動に及ぼす微生物等の影響などについての
機構解析研究を行う。

研究開発の成果 (1) 土壌－農作物の移行係数の収集

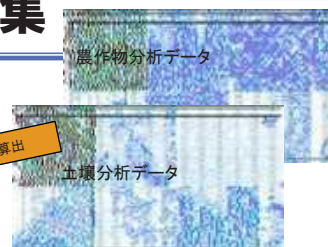
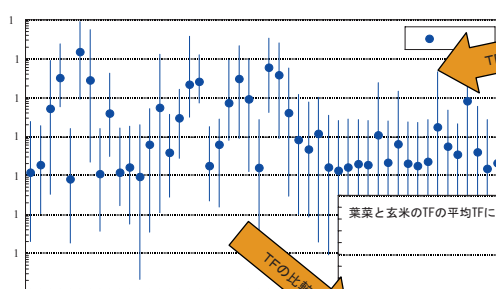


土壌・農作物採取地

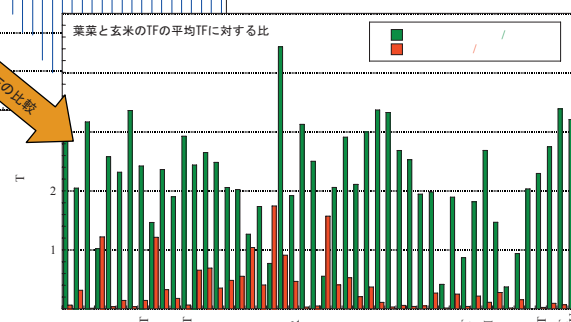
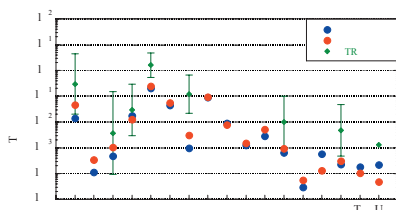
平成18年度までに148試料
水田土壌-米: 63試料、
畑土壌-畑作物: 85試料



これまでに分析した全試料の平均移行係数 (TF)



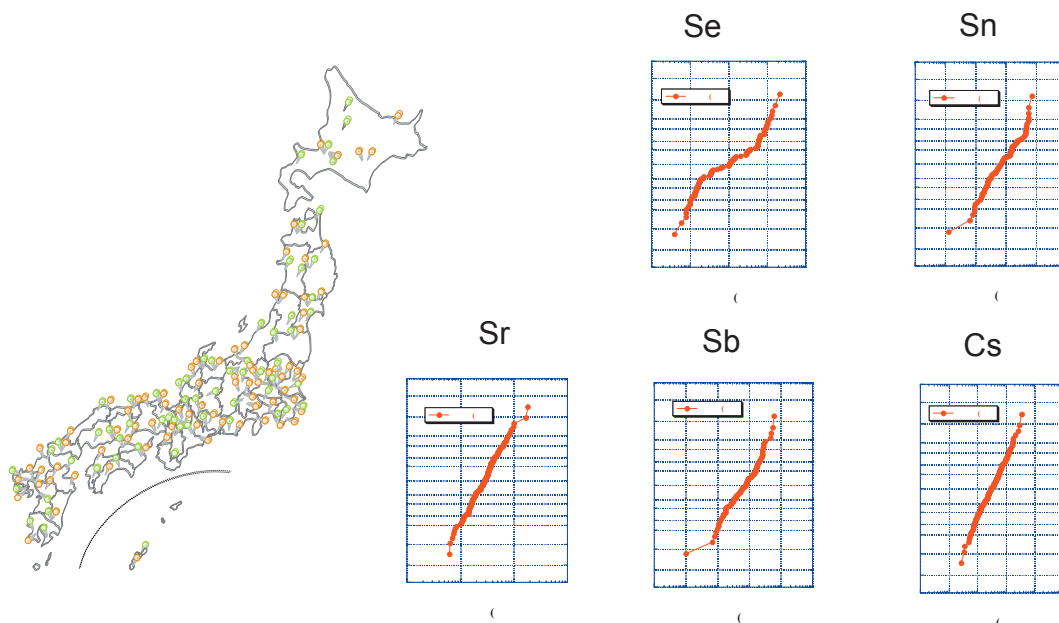
全国から集めた試料（水田土壌-米、畑土壌-畑作物）について、約60元素・核種のデータを取得。
玄米、葉菜、果菜などの種類別の移行係数について、特にTRS-364 (IAEA) との違い、日本の他のデータとの比較する。



移行係数 (TF: Transfer Factor)

$$TF = \frac{\text{農作物中の放射能濃度 (Bq/kg dry or wet)}}{\text{土壌中の放射能濃度 (Bq/kg dry)}}$$

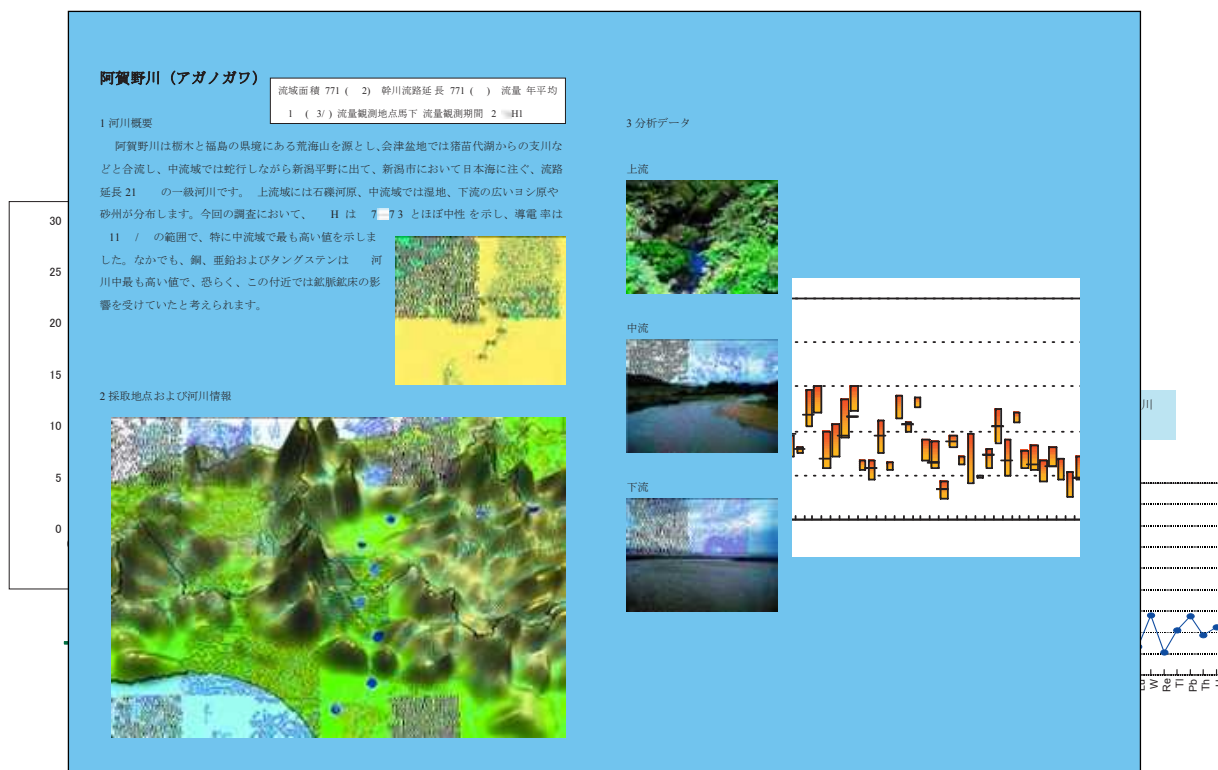
研究開発の成果(2) 土壌-土壌溶液分配係数(Kd)



土壌採取場所 ● 水田土壌 ● 畑土壌

核種によるKの分布(全土壌について)

研究開発の成果(3) 河川水元素濃度データ



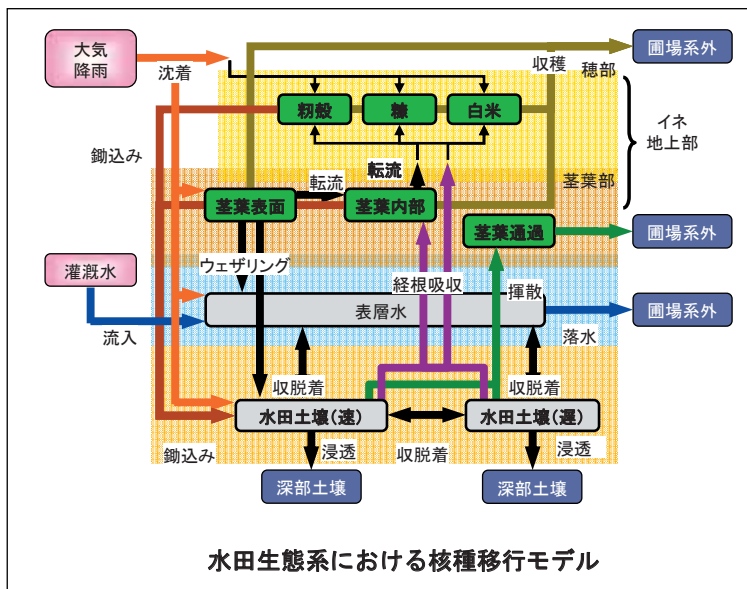
研究開発の成果 (4) 水田生態系における核種移行モデル構築

日本における主な土地利用形態の一つである水田-水稻生態系は、湛水を行うことによって水稻の生育に適した独特の環境を作り出しているが、同時に、土壌の物理的・化学的特性を大きく変化させており、ヨーロッパの農地利用形態である畑とは、大きく異なる。

ヨウ素モデル：H14&15

Sr,Csモデル：H16

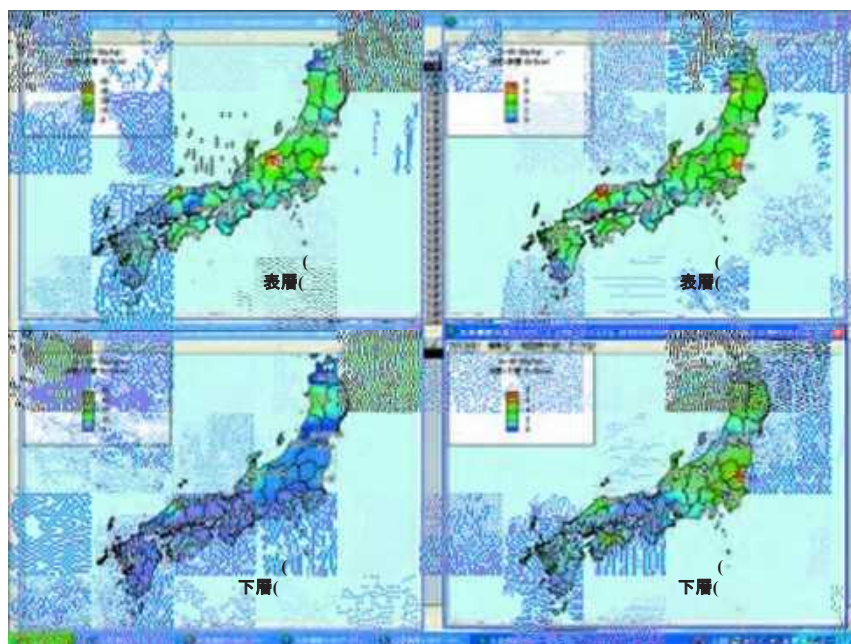
汎用モデルの開発:H17



研究開発の成果 (5) マッピングシステムの開発

Cs-137は、表層 (0-5cm) で濃度が高く (黄緑色から赤色)、下層 (5-20cm) では、低い (藍色) ことが分かる。

一方、Sr-90は、下層 (5-20cm) でも、黄緑色や赤色があり、濃度が高いことを示している。



土壌中グローバルフォールアウトCs-137及びSr-90濃度分布図
(表層0-5cmと下層5-20cm)

研究開発の成果 (6)

統合運用環境システム(INCEL)の開発



平成14年度より、データの収集を行うとともに、データベース構築やモデル構築のためのソフトウェアの開発を手がけてきた。平成18年度には、これらのソフトを連携するために**統合運用環境システム(INCEL)**を開発した。



まとめ



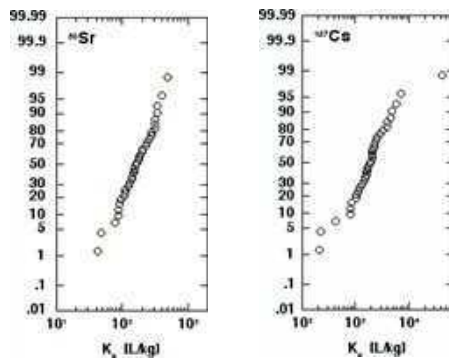
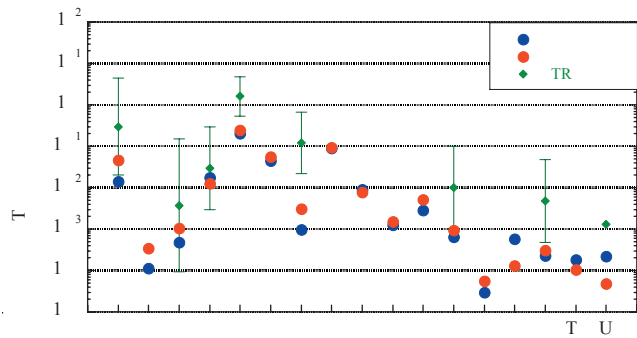
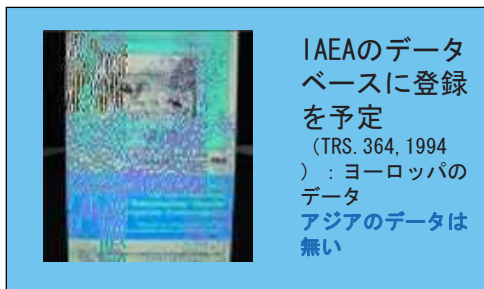
本調査では、生物圏における重要な長半減期核種の移行パラメータを得るための手法として、天然に存在する元素に着目して全国規模でのデータ採取を行った。すなわち、全国から農耕土壌、および、そこに生育している農作物を収集し、土壌-農作物移行係数(TF)、土壌-土壌溶液分配係数(Kd)を求め、データベースを構築した。さらに河川水に関しても、全国の45の一級河川上流から下流までの河川水元素濃度を求め、データベースを構築した。

水田移行モデル(RICE)を開発し、本調査で取得した移行パラメータを用いて、水稻-米への核種移行をより精度良く予測可能となった。

マッピングシステム(Md_Soil)を開発し、本調査で取得した様々な移行パラメータの全国的な分布が把握可能となった。

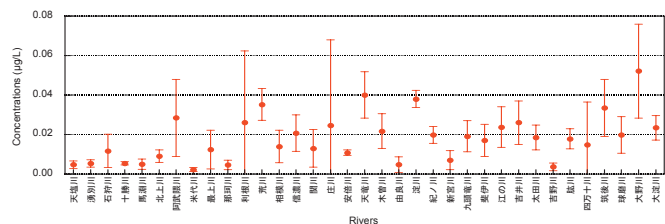
本調査で開発したソフトを連携するため、統合運用環境システム(INCEL)を開発した。

今後の展望(1) データ(データベース)の登録と公開



土壌—土壌溶液分配係数

水田—コメ 移行係数



各河川のウラン濃度
(10地点平均)

今後の展望(2) 残された課題



- 1) 河口から沿岸域における元素の挙動と移行に関するデータ収集
- 2) 放射性炭素 (C-14) 等の農作物移行パラメータの整備及び移行モデル構築
- 3) ラドンの移行パラメータの収集
- 4) 陸域における移行パラメータ推定手法の開発

4. TRU 廃棄物に関する研究開発

4. TRU廃棄物に関する研究開発

TRU廃棄物地層処分の研究開発戦略

平成19年3月5日

(独)日本原子力研究開発機構

経済産業省資源エネルギー庁

(財)原子力環境整備促進・資金管理センター

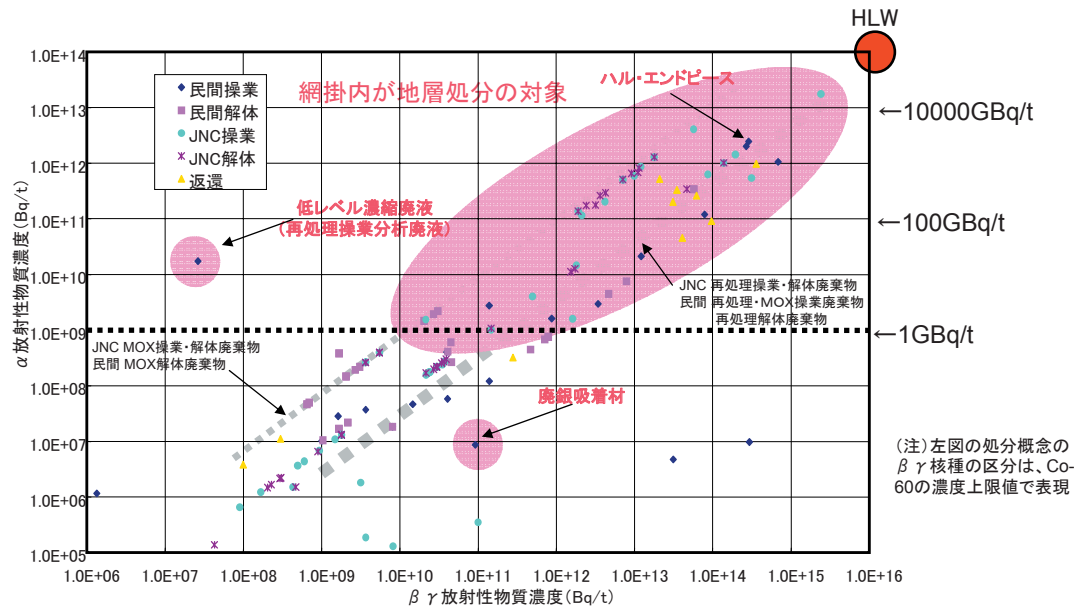
電気事業連合会

代表発表者: 亀井玄人(日本原子力研究開発機構)

発表内容

- ・TRU廃棄物と処分施設
- ・重点課題、段階的進め方、役割分担
- ・ヨウ素129, 炭素14への対策
- ・併置処分の評価
- ・基盤情報の拡充
- ・まとめ

地層処分対象のTRU廃棄物



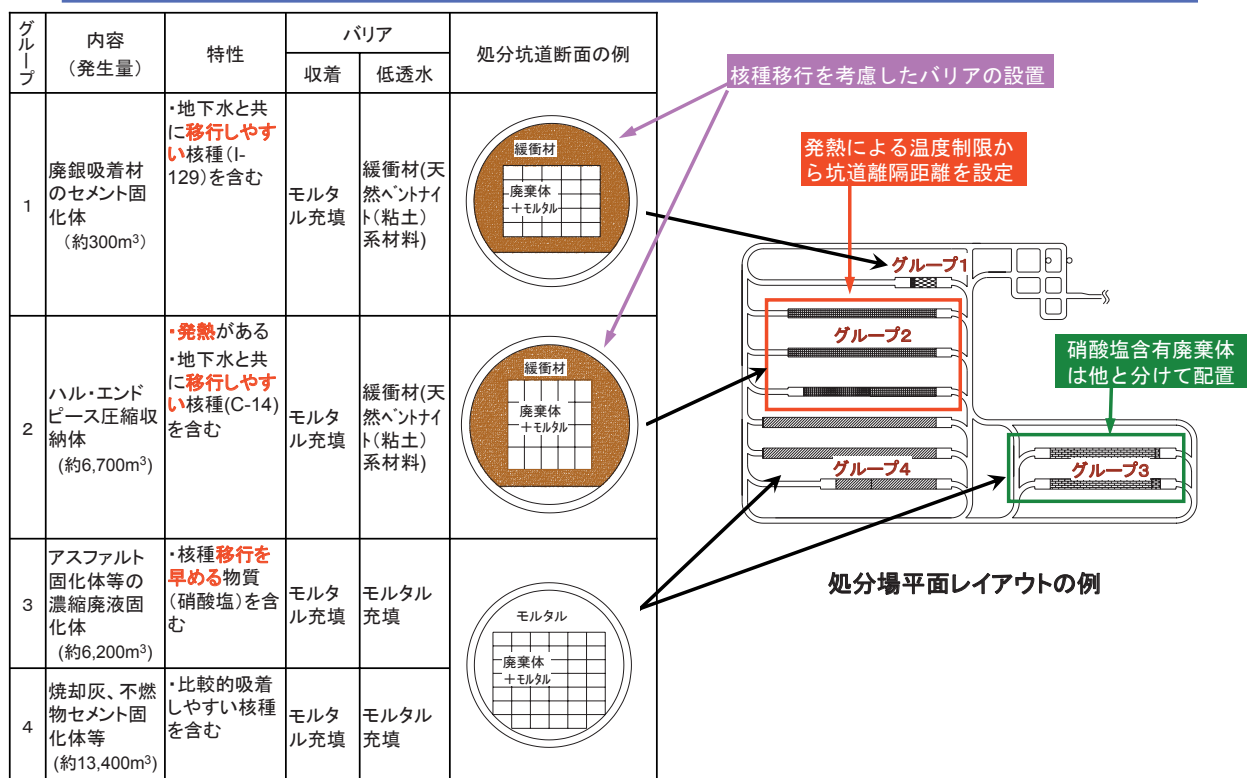
地層処分対象TRU廃棄物と高レベル放射性廃棄物(HLW)

項 目		地層処分対象のTRU廃棄物 (第2次TRUレポート)	HLW(H12レポート)
廃棄体	性状等	・再処理時の燃料構成材、施設保守時廃棄物 ・多種、多様な性状(広範囲な濃度分布) ・低発熱または発熱なし ・一部に、硝酸塩などの化学物質を含む	・再処理時の高レベル放射性廃液 ・単一の性状(ガラス固化体) ・高発熱、高放射能濃度 ・オーバーバックを有する
処分施設	設計の考え方	・低発熱のため、廃棄体を密に位置する(処分場投影面積が狭い) ・廃棄体の性状に応じてベントナイト系緩衝材を設置 ・セメント系材料を比較的多く用いる	・高発熱のため1本ごとに適切な離間距離を設ける(処分場投影面積が広い) ・ベントナイト系緩衝材を設置
線量評価	安全確保の考え方	・人工バリア、天然バリアの多重バリアシステムにより核種の移行を抑制する	・同左
	地質環境条件評価モデル	・わが国を代表する地質環境条件 ・1次元平行平板モデルの重ね合わせ	・同左
	核種移行パラメータ	・ベントナイトの低透水、天然バリアの分配収着などを設定 ・処分環境として、硝酸塩の存在、セメントによる高アルカリ性地下水等を考慮	・ガラス固化体の浸出率、オーバーバックの閉込め、ベントナイトの低透水、天然バリアの分配収着などを設定
	線量評価値 (代表的な地質環境条件での地下水シナリオ)	・国際的な基準以下 ・約1万年後で約0.002mSv/y ・支配核種はI-129、C-14	・国際的な基準以下 ・約80万年後で約0.000005mSv/y ・支配核種はCs-135

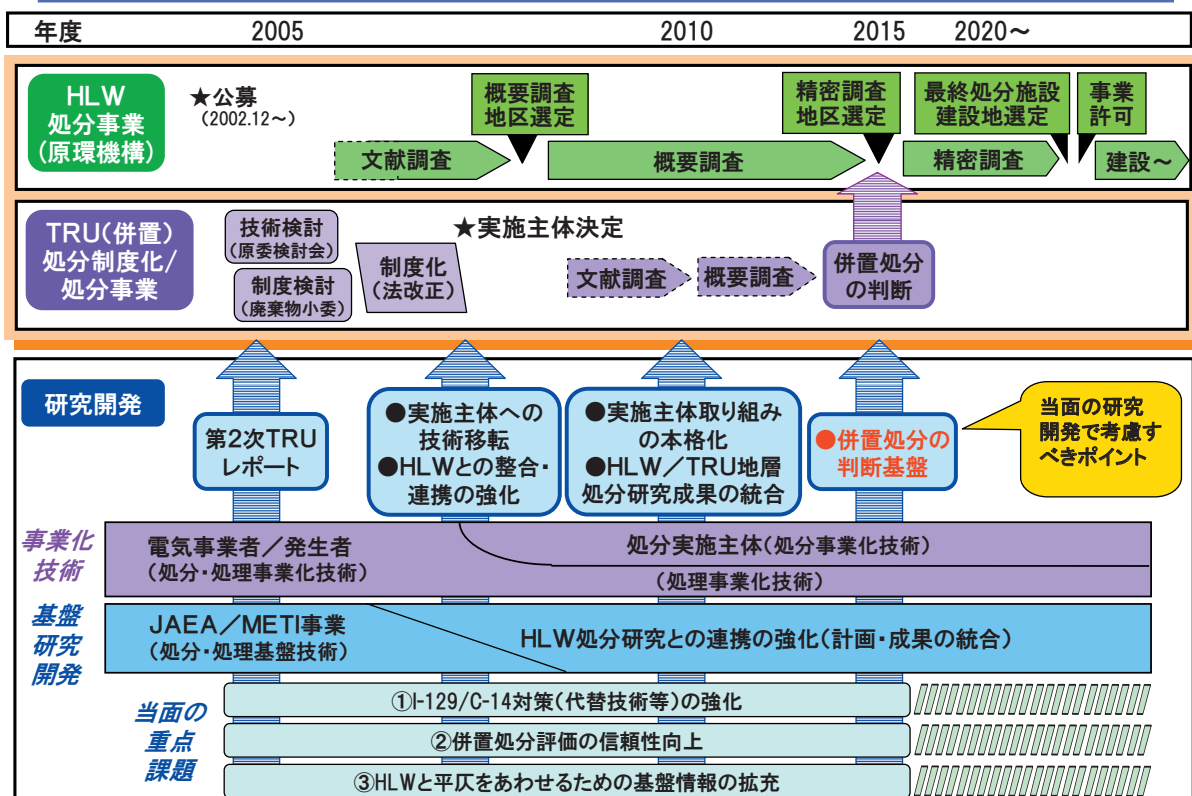
●TRU廃棄物の地層処分については、LW処分の知見を活用。その特性や特有の事象に着目した安全評価アプローチを実施。(地層処分可能との見通し、併置処分の技術的成立性等)

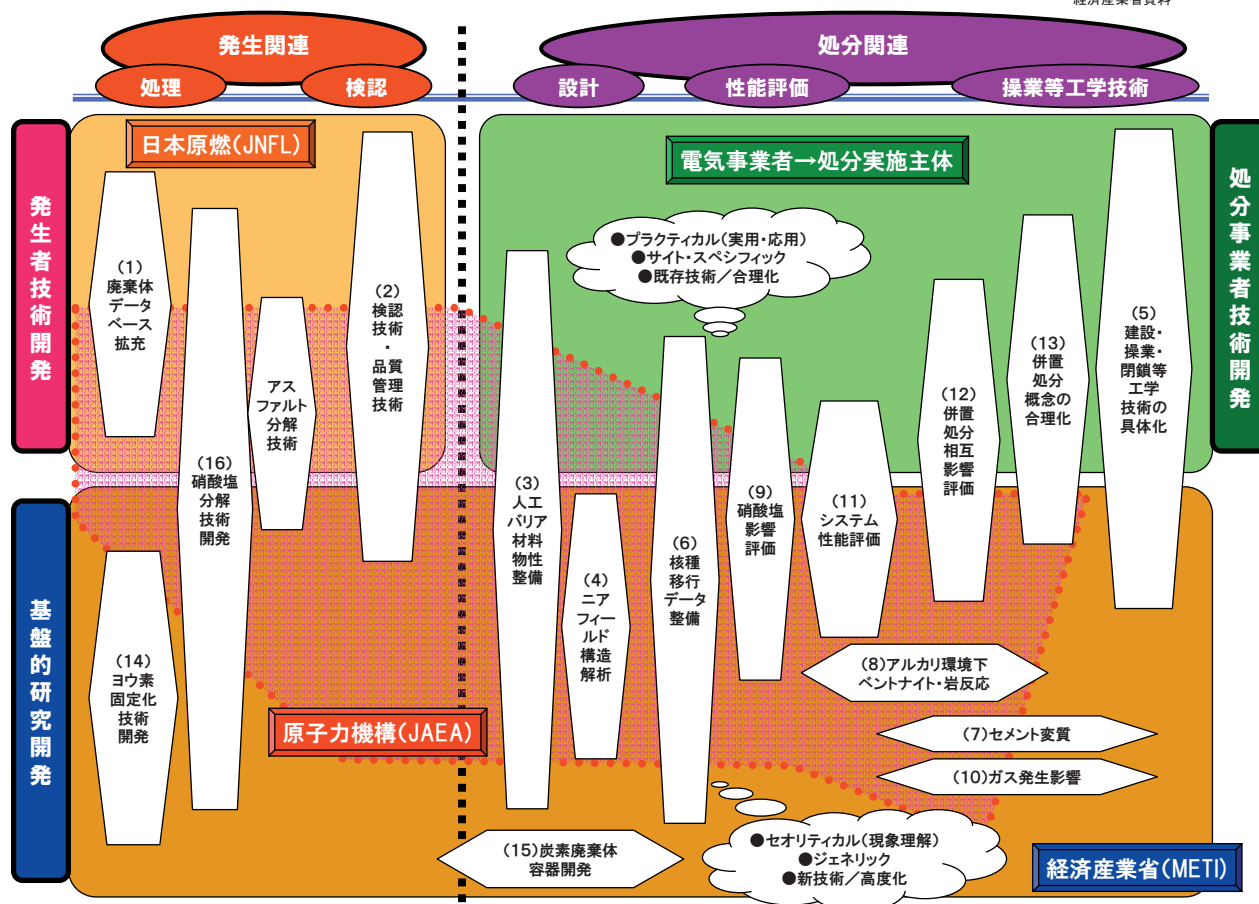
●さらなる安全性の確保、安全評価の信頼性向上に向けて、技術開発課題や実施体制について引き続き検討中。
(参考資料：原子力委員会報告書「長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分の基本的考え方」より抜粋)

TRU廃棄物地層処分施設の例



段階的進め方





当面の重点課題

1. I-129及びC-14の対策の強化

- ヨウ素固定化技術(代替技術)の実現性&技術選定
- C-14対策の総合的取り組み＝放出・移行挙動＋閉じ込め容器(代替技術)

2. 併置処分の評価の信頼性向上

- 硝酸塩や高アルカリ環境の影響評価技術の高度化及び低減技術(硝酸塩分解技術/低アルカリ性セメント等)の開発
- 性能評価技術の高度化(処分場スケールでの相互作用評価の考慮など)

3. HLW評価との平仄をあわせるための基盤情報の拡充

- 塩水環境下でのデータやモデルの整備など, 多様な地質環境へ対応するジェネリックな評価基盤の拡充(HLW2次レポート以降のHLW研究拡充部分への対応) ……など

I-129/C-14対策(ヨウ素の固定化技術)

<第1次TRUレポートでの取扱い>

我が国の幅広い地質環境条件に柔軟に対応する上で有効となる固化体性能の向上を目指した固化処理技術の高度化を課題として示した。



<実施内容>

8つのヨウ素固定化技術について、固化体性状調査、各種溶液条件下での浸漬試験等を実施。また、固化処理プロセスのヨウ素回収率の調査を実施。



<第2次TRUレポートへの反映内容>

開発の現状と取得データを取りまとめ、4つの技術(*)について10⁵年以上のヨウ素放出期間に見通し

- ・廃棄体からI-129を長期間にわたり放出抑制することで、I-129の被ばく線量を低減
- ・放出期間10⁵年以上で約1桁の被ばく線量低減が可能
- ・I-129の半減期は長く(1.6×10⁷年)、放射能減衰による被ばく線量低減には期待できない → 廃棄体/容器等による閉じ込めに効果は見込めない



技術選定

<今後5年の課題>

➤ 固化体の長期性能の精査

➤ 工学規模での処理プロセスデータの整備

検討したヨウ素固定化技術

固化技術	固化体中でのヨウ素固定化	性能評価モデル(想定)
岩石固化体*	SiO ₂ 結晶(石英) 粒間にAgIを固定	石英粒間拡散モデル
アパタイト固化体	フッ素アパタイト(Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ F ₂) 結晶マトリクス中にヨウ素吸着ゼオライトを固定	浸出モデル
AgIガラス*	ガラス(3AgI-2Ag ₂ O-P ₂ O ₅)構成成分として固定	浸出モデル (表面層による浸出抑制)
BPIガラス	ガラス(6.5PbO-3B ₂ O ₃ -0.5ZnO)マトリクス中にヨウ素を固定	浸出モデル (表面層による浸出抑制)
セメント固化体*	エトリンガイトとモノサルフェートにIO ₃ ⁻ を吸着	分配平衡モデル
合成ソーダライト	合成ソーダライト(Na ₈ (AlSiO ₄) ₆ I ₂) 成分としてヨウ素を固定	溶解平衡モデル
合成鉛アパタイト	合成鉛アパタイト(Pb ₁₀ (VO ₄) ₆ I ₂) 成分としてヨウ素を固定	収着モデル(イオン交換)
銅マトリクス固化体*	銅マトリクス中に炭銀吸着材を固定	浸出モデル

第2次TRUレポート 表7.2-1から抜粋

I-129/C-14対策(C-14の長期閉じ込め技術)

<第1次TRUレポートでの取扱い>

C-14が処分システムの安全評価上の重要核種であることが示されたが、その影響低減のための対策は未検討



<実施内容>

C-14の半減期が、5,730年であることに留意して、その10倍の期間を目標(6万年)*として閉じ込め可能な容器の開発を検討。閉じ込め可能なものとして高強度高緻密コンクリート及びチタン合金-炭素鋼複合容器を選定し、長期の閉じ込め関わるデータ及び評価を実施



<第2次TRUレポートへの反映内容>

高強度高緻密コンクリート及びチタン合金-炭素鋼複合容器ともにC-14の6万年間閉じ込め可能性について見通しを得た。



<今後5年の課題>

➤ 廃棄体の長期性能の精査

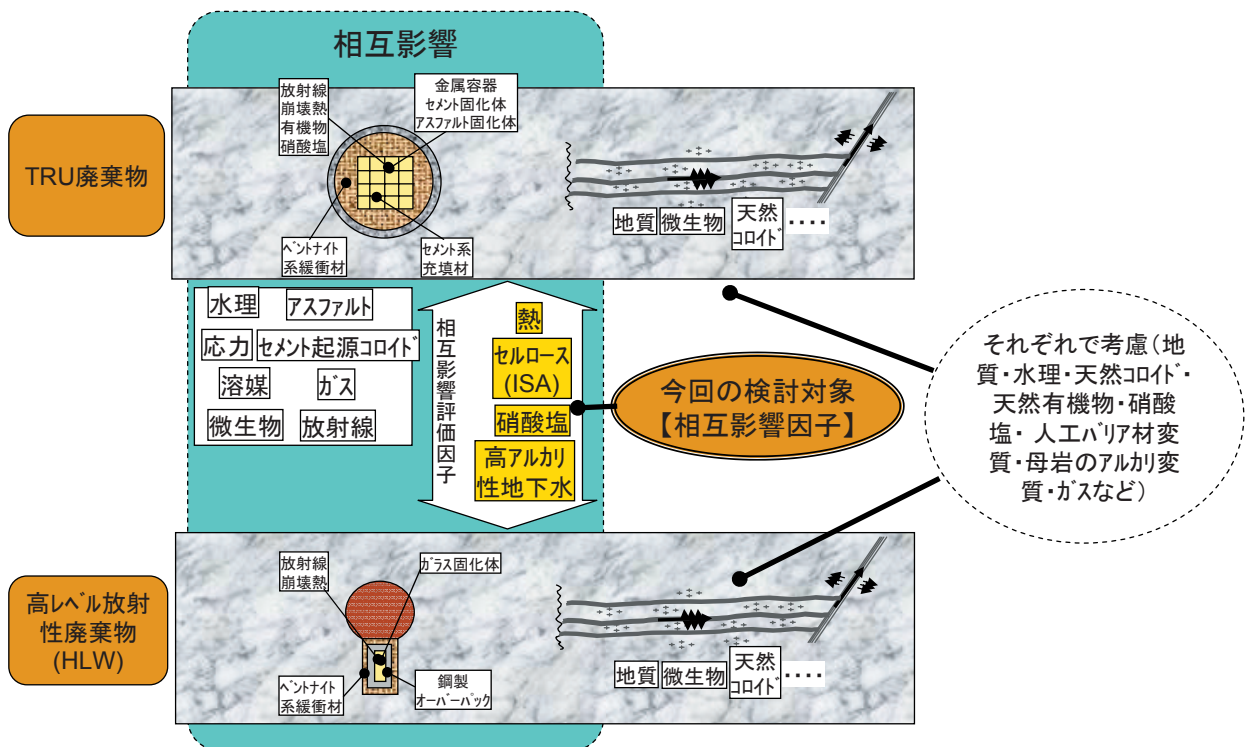
➤ 廃棄体の製作方法の具体化

閉じ込めによるC-14影響低減	
高強度高緻密コンクリート容器	チタン合金-炭素鋼複合容器
・継ぎ目とひび割れのない一体成形 → 水浸透を抑制 ・高強度高緻密コンクリートの低透水性 → 透水係数≒4×10⁻¹⁹cm/s ・水浸透/化学劣化評価で成立性を評価 → 6万年後の水浸透距離≒14cm → 化学劣化深さ≒4cm	・幅広い環境(pH、温度、塩化物イオン濃度)で優れた耐食性 → 脱不動態化しない → すき間腐食感受性無し ・水素化物層の成長速度および亀裂深さを予測し、成立性を評価 → 6万年後の水素化物層 ≒35μm → 亀裂深さ ≒17μm

第2次TRUレポート 表7.3-1から抜粋

* 半減期の10倍の期間、核種を閉じ込めることにより、放射性核種量は初期と比較して1,000分の1となる。

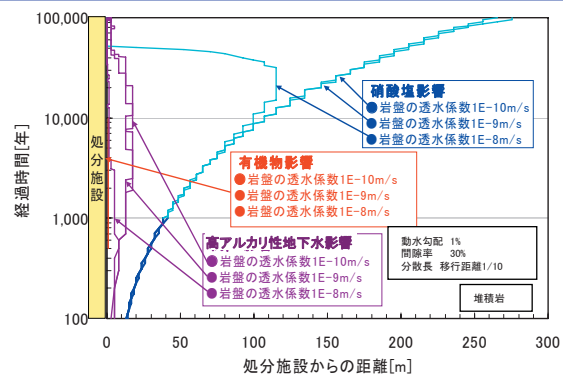
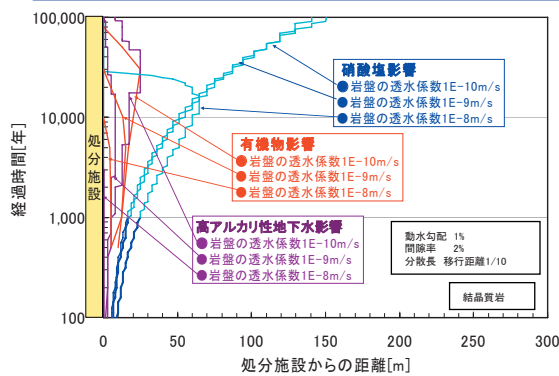
併置処分(相互影響因子)



併置処分(評価方法)

影響因子	影響の方向	相手側施設で想定される影響と判断目安		評価手法
熱	HLW→TRU	充填材の核種の吸着性の低下	TRU廃棄物処分施設内温度 80℃以下	2次元鉛直領域を熱伝導解析コードで解析
有機物	TRU→HLW	・核種の溶解度の増加 ・バリア材の核種の収着分配係数の低下	イソサッカリン酸濃度 $1 \times 10^{-6} \text{mol/dm}^3$ 以下	2次元鉛直領域を2次元物質移行解析コードで解析
硝酸塩		・オーバーパックの局部腐食への影響 ・バリア材の核種の収着分配係数の低下	硝酸塩濃度 $1 \times 10^{-4} \text{mol/dm}^3$ 以下 (バリア材の核種の収着分配係数の低下に関しては 0.1mol/dm^3 以下)	2次元鉛直領域を2次元物質移行解析コードで解析
高アルカリ性地下水		・緩衝材のベントナイト成分の溶解促進 ・オーバーパックの不動態化 ・ガラス固化体の溶解の促進	pH11以下	1次元領域を地球化学－物質移行練成解析コードで解析

併置処分(相互影響評価結果)



相互影響因子の影響範囲の時間変化(右:結晶質岩、左:堆積岩)

最もその影響範囲が遠方まで及ぶと評価されたのは硝酸塩。その場合でも地下施設間が約300mあればその影響が十分小さい。

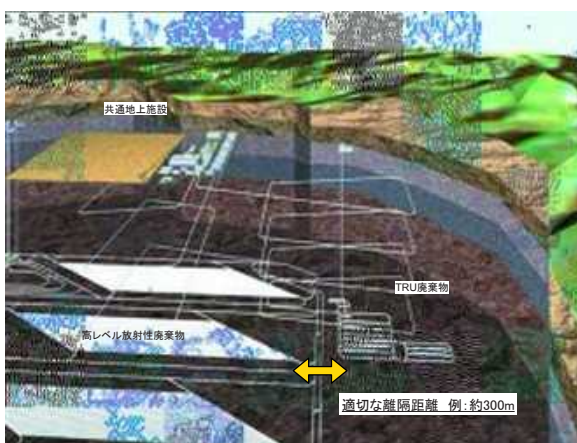
長半減期低発熱放射性廃棄物処分技術検討会：この離隔距離については確保すべき距離として固定的に定める性格のものでなく、今後処分サイトが決まればそれに応じて設定されるべきもの。

相互影響因子と離間距離の目安値のまとめ

相互影響因子	離隔距離の目安
熱	約50m
有機物	約20m
硝酸塩	約300m
高アルカリ性地下水	約30m

併置処分(今後の検討)

より合理的な評価のために



*上の施設鳥瞰図はイメージであり、実際の縮尺を示したものではありません。

・影響要因のクライテリア評価

硝酸塩等の種々の物理化学特性等に及ぼす影響に関するさらなる合理的定量的知見の拡充

・相互影響を効果的に回避するためのシステム性能条件の検討評価

一 地質環境及びその不均質性を考慮した各影響範囲の時間的・空間的挙動の評価

一 工学的対策(プラグ等)の効果の把握

基盤情報の拡充及び併置処分(硝酸塩影響評価)

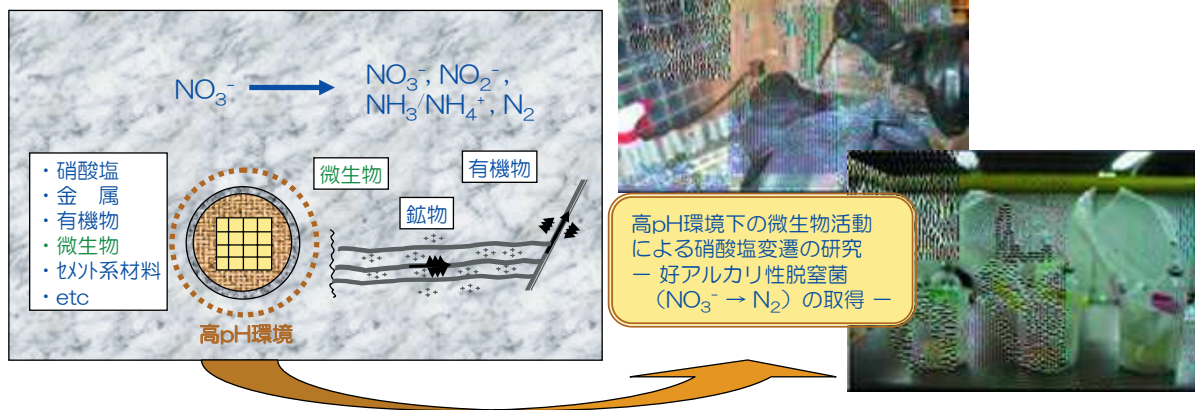
◆研究開発の目標、概要

1 硝酸塩変遷評価モデルの高度化並びに検証

- ・ 鉱物や多様な共存化学種による硝酸塩変遷
- ・ 高pH環境下の微生物活動による硝酸塩変遷

2 多様な環境における硝酸塩/有機物反応の評価

- ・ 硝酸塩/有機物反応に対する触媒作用物質に関する知見の拡充・整理及び評価

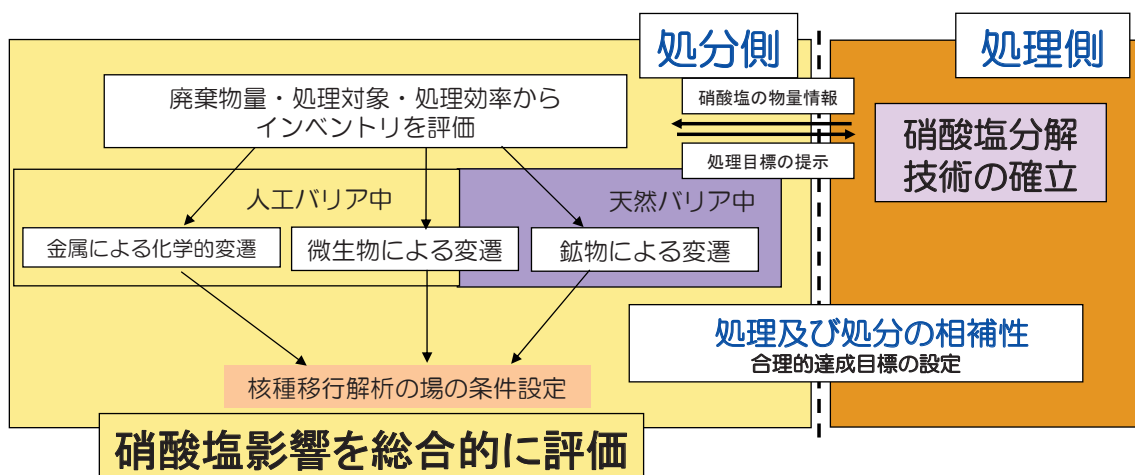


処理・処分の連携による戦略的対策： 硝酸塩対策の例

・**処分側**: 硝酸塩が核種移行に及ぼす影響を総合的に評価

・**処理側**: 放射性廃液等を対象に、硝酸塩分解技術を確立

これらは、相互補完的関係。常に情報共有しながら進め、各々の研究の進展に基づく硝酸塩の物量情報や処理目標の提示を行い、合理的に研究を進める。



基盤情報の拡充(セメント系材料の長期挙動評価)

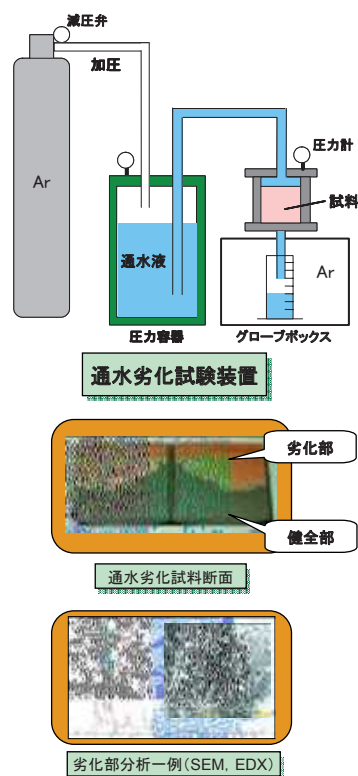
◆研究開発の目標、概要

1. セメントの化学的変質

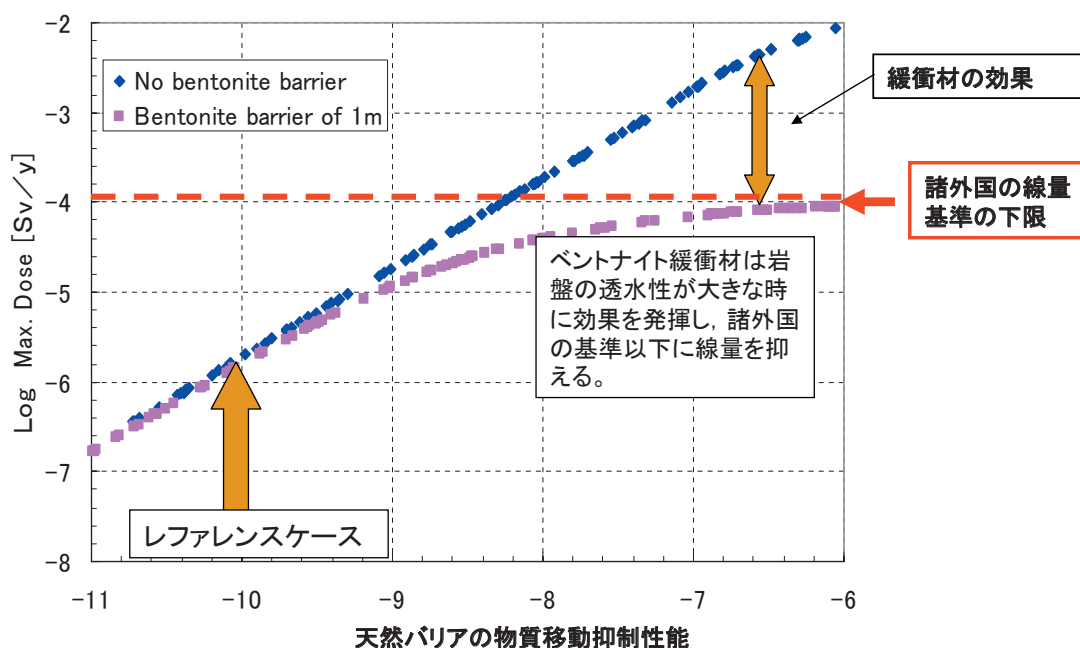
- ・ 海水系地下水中MgのOPCへの影響、Friedel氏塩生成に伴うpH上昇
- ・ 低アルカリ性セメント（HFSC＝フライアッシュ高含有シリカフェームセメント）の水和反応過程
- ・ セメント系材料（OPC, HFSC）の地下水または廃棄体由来成分による化学的変質
- ・ 熱力学データベース、反応速度データの整備、高イオン強度下、固相影響下での活量補正法の反映、実地質環境に即した化学的変質現象の検討によるモデルの検証・高度化の実施

2. 化学的変質-物質輸送モデルの構築・高度化

→ 施設設計の合理化, 安全裕度の向上



多様な地質環境にも対応→緩衝材の機能が重要



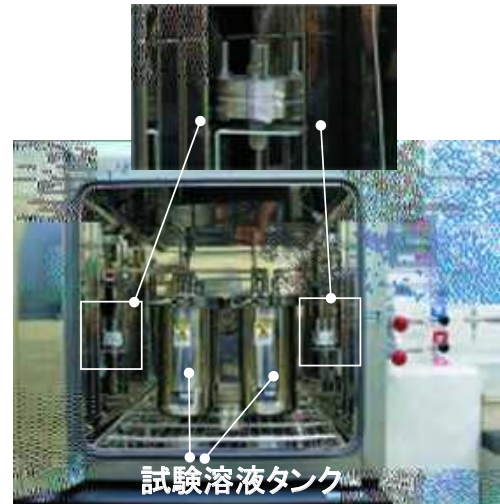
(ここでは亀裂透水量係数(m^2/s)の対数平均値を指標とした。本田・稲垣、私信)

基盤情報の拡充(高アルカリ性条件における緩衝材の長期挙動評価)

◆研究開発の目標, 概要

- ・地下水組成、廃棄体成分、人工バリア材料の多様性に対応したシナリオ・解析評価モデル
- ・熱力学データベース整備及び速度モデルに関する信頼性向上
- ・ベントナイト圧縮体の狭隘間隙における化学
- ・緩衝材・セメント系材料境界遷移層に関する知見の拡充
- ・ベントナイトのセメンテーションに係る知見の拡充
- ・長期の実験事例、超長期の天然事例などの知見の拡充、シナリオ・解析評価モデルの確証
- ・地下水の多様性による力学変化と物質移動特性変化の評価

試料フォルダ



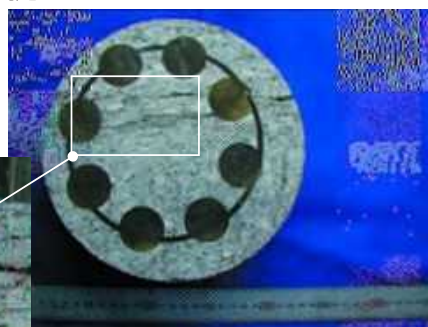
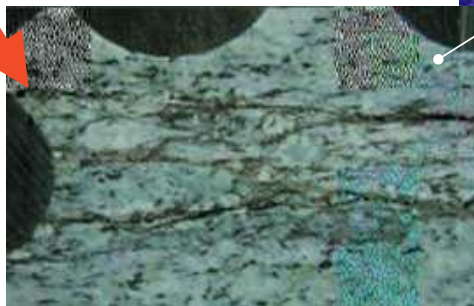
加圧通水型緩衝材変質実験装置

基盤情報の拡充(天然バリアへのアルカリ溶液影響評価)

◆研究開発の目標, 概要

- ・変質過程のシナリオの構築
- ・岩盤中物質移行特性への影響に関する知見の拡充
- ・岩盤の不均質性を考慮した影響評価手法の提示

天然の亀裂



亀裂を含む花崗岩を用いたアルカリ変質実験を検討

(写真はグリムゼルテストサイトにおける破砕帯より採取したコア)

基盤情報の拡充(核種移行、性能評価に関する検討)

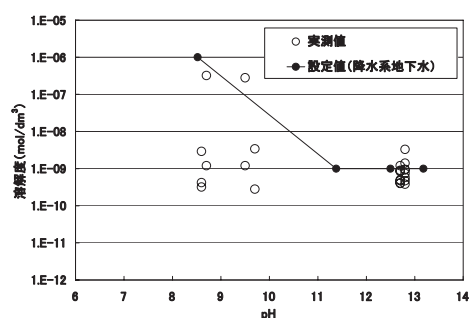
◆ 研究開発の目標, 概要

1 溶解度

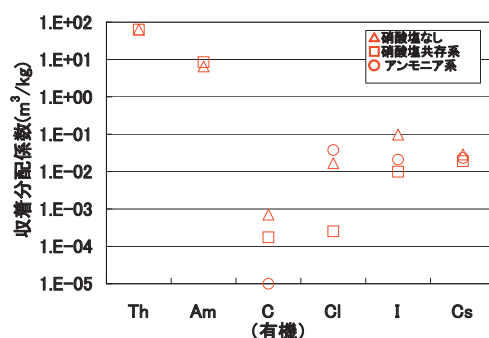
- 高アルカリ領域データ取得、熱力学データ確認
- 海水系地下水、廃棄体成分等の影響下のデータ取得
- 可溶性有機物と核種との錯体生成定数の整備
- 熱力学データベース(TDB)への反映

2 収着・拡散

- セメント系材料等への収着データ取得
- 海水系地下水や廃棄体成分等の影響下でのセメント系材料等への収着データ取得
- 硝酸錯体・アンモニア錯体の核種収着に及ぼす影響
- 硝酸イオンによる核種の酸化状態変化及び核種収着に及ぼす影響の知見



トリウム(Th:アクチノイドIV価)の溶解度の取得結果と降水系地下水での設定結果の比較の一例



硝酸塩の影響を考慮した条件におけるセメント硬化体に対する核種の収着分配測定結果例(Cの有機は、ホルムアルデヒドを想定)

まとめ

各機関の役割分担のもと、当面の重点課題として、

- ヨウ素129, 炭素14への対策
- 併置処分の評価の信頼性向上
- HLWとの平仄を合わせた基盤情報の拡充

を図り、具体的な地質環境条件における併置処分実施の判断への技術基盤の提供をめざす。