

高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発 平成17年度までの成果と 次期5ヵ年研究開発計画 全体概要

地層処分研究開発部門
地層処分基盤研究開発ユニット

油井 三和

第2次取りまとめ以降の成果

- H17年取りまとめ
- 新法人設立以降の成果(H17年度下期)

次期5ヵ年計画

- 考え方, 目標, 重点課題

標題「高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する 知識基盤の構築 -平成17年取りまとめ-」

地層処分技術の知識化と管理 (知識化レポート)

- 地層処分技術の知識化
- セーフティケース概念に基づく知識の構造化と知識ベース開発の考え方

分冊1 深地層の 科学的研究

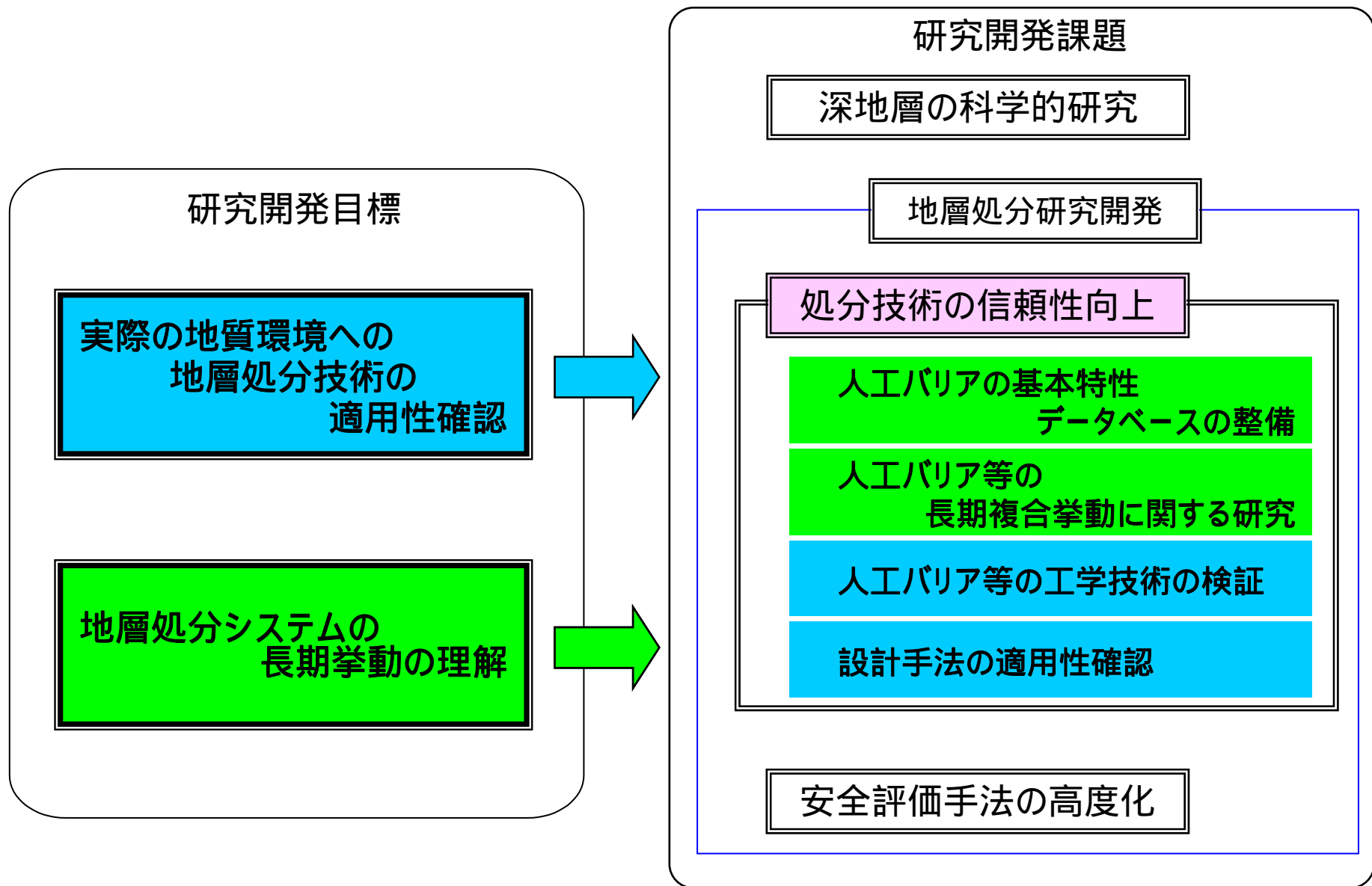
- 深地層の研究施設での調査・評価技術の適用性
- 地質環境の長期安定性

分冊2 工学技術 の開発

- 実際の地質環境情報に基づく第2次取りまとめの設計手法の適用性
- 人工バリアの長期健全性

分冊3 安全評価手 法の開発

- 実際の地質環境情報に基づく第2次取りまとめの安全評価手法の適用性
- 処分システムの長期性能



・第2次取りまとめ；

- ガス圧力の測定データに基づく評価

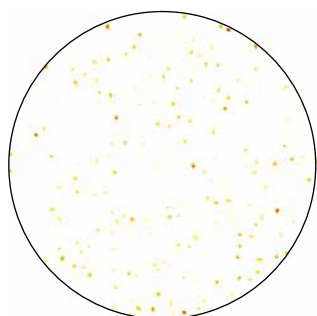


・H17取りまとめ；

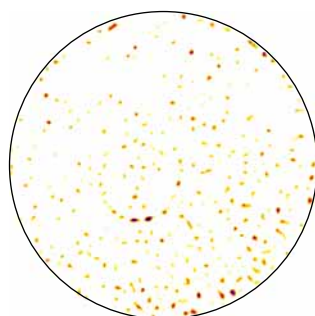
- 緩衝材中のガス移行メカニズムを把握するために、X線CT法の適用可能性を確認
- 選択的移行経路の形成によるガス移行挙動の確認



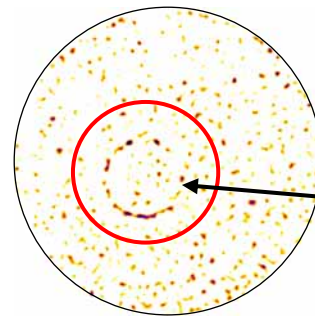
X線CTスキャナの概観



ガス供給19日後



ガス供給77日後



ガス供給96日後

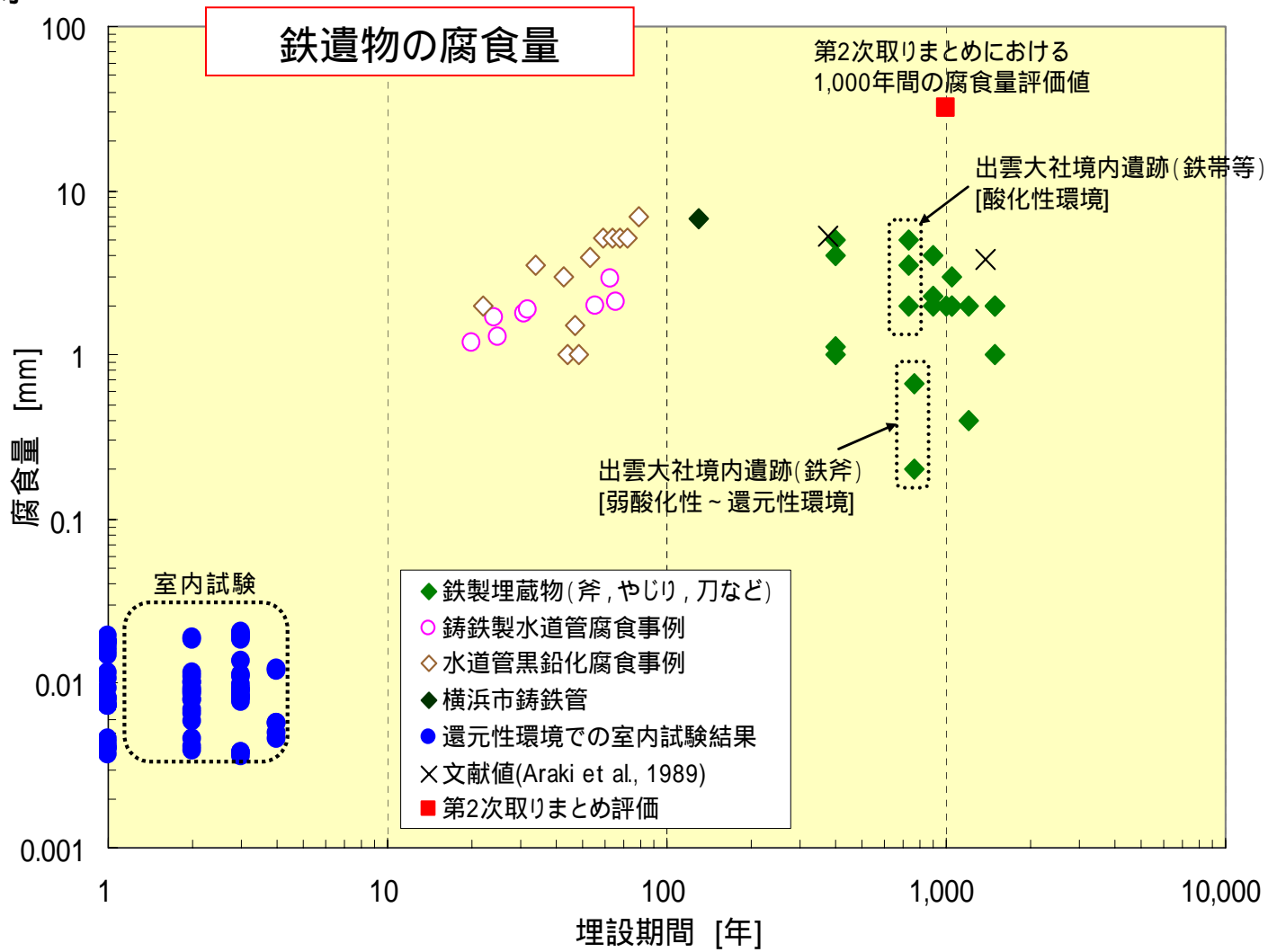
リング状に現れた局所的な変化領域(選択的移行経路の形成)

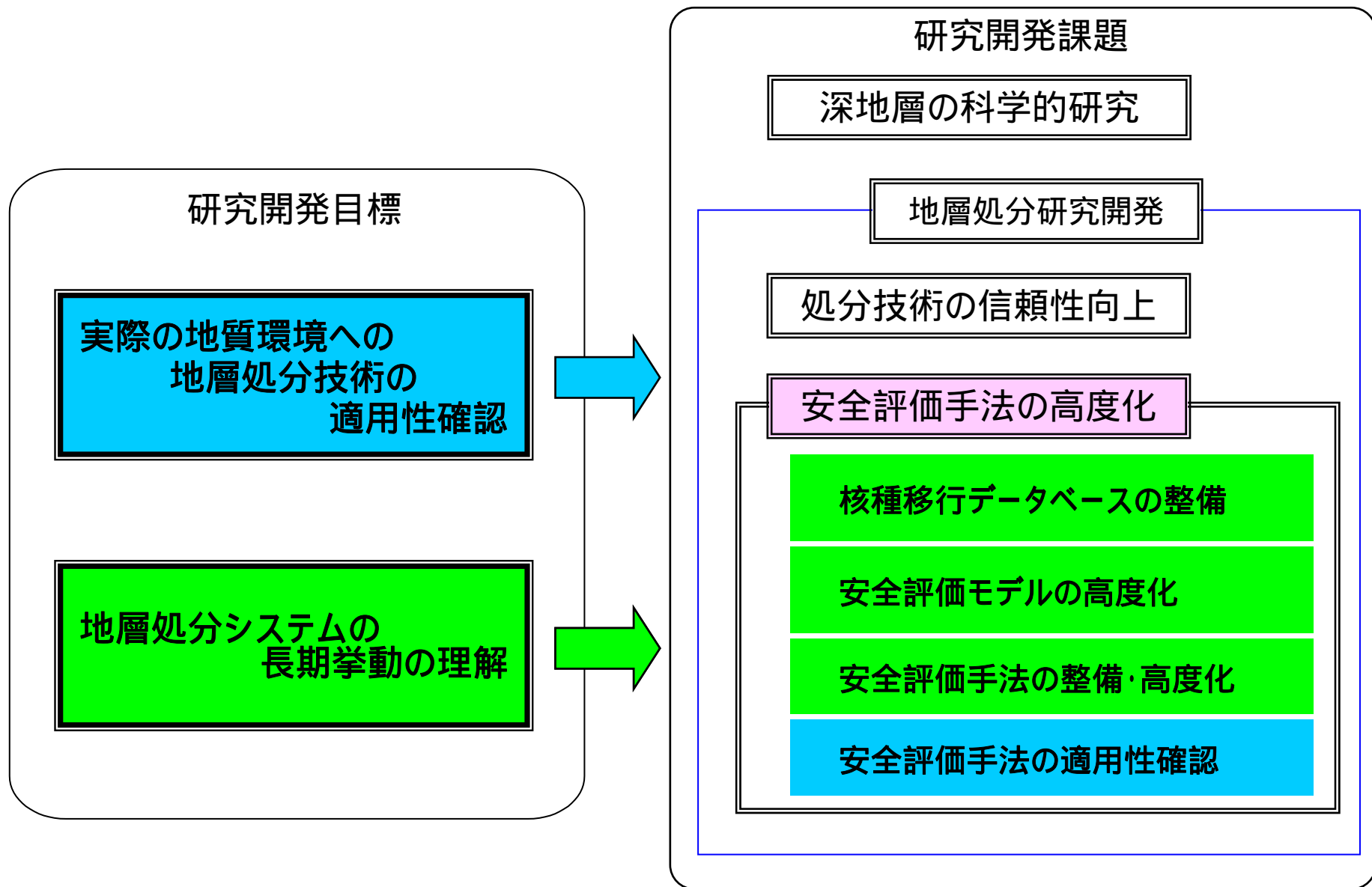
初期状態とガス供給後のCT値の差画像

- 考古学試料の研究により、鉄の長期腐食挙動について、第2次取りまとめ段階ではデータがほとんど存在しなかった1,000年規模の弱酸化性から還元性環境での腐食速度事例データを取得

- 第2次取りまとめで想定された1,000年後の腐食量評価の保守性を事例的に確認

(鉄斧の出土品)





➤ 第2次取りまとめで不足していたデータの拡充

- 海水系地下水, 堆積岩系での収着についての実験データの取得 (Cs, Seなど) と文献調査を行い, データを拡充
- アクチノイド元素の溶存化学種, 溶解度積についての実験データを拡充し, データの傾向性, 系統性を把握 (Np(IV), (IV), Pu(IV)など)

JNC - SDBを用いた分配係数のpH依存性の例
(Amの結晶質岩(酸性)に対する分配係数)



データの充実により分配係数の環境条件への依存性の理解が向上



安全評価上重要なデータの拡充, 実際の地質環境との整合性の向上

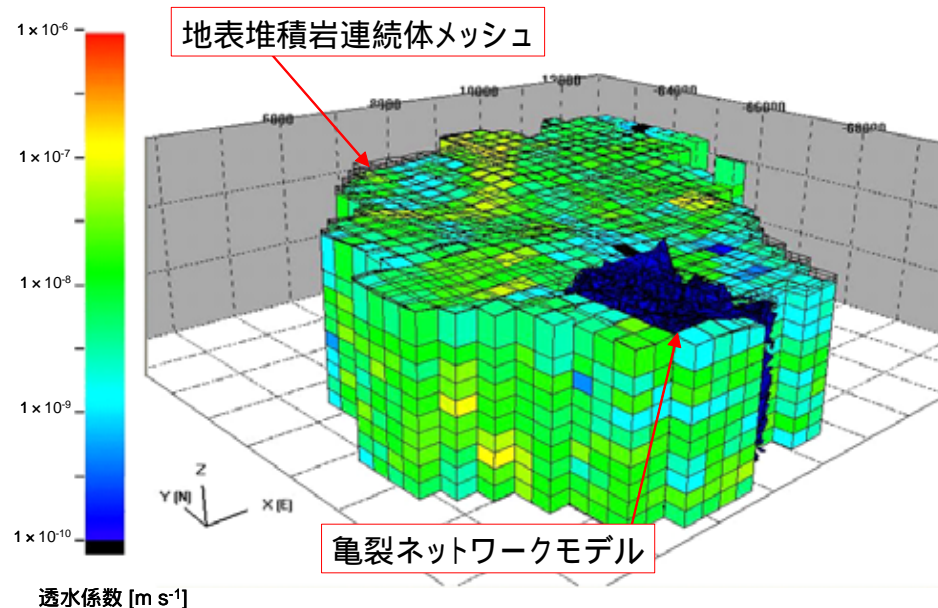
➤ 地下水流動モデルの高度化

亀裂ネットワークモデルと連続体モデルを接続した「入れ子式モデル」を開発し、H12においては不可能であった解析スケールの規模と情報の粗密への対応が可能となった



実際の地質環境への適用性の向上

入れ子式モデルによるモデル化の例



➤ 他分野のデータを用いた水理地質構造モデルの信頼性向上

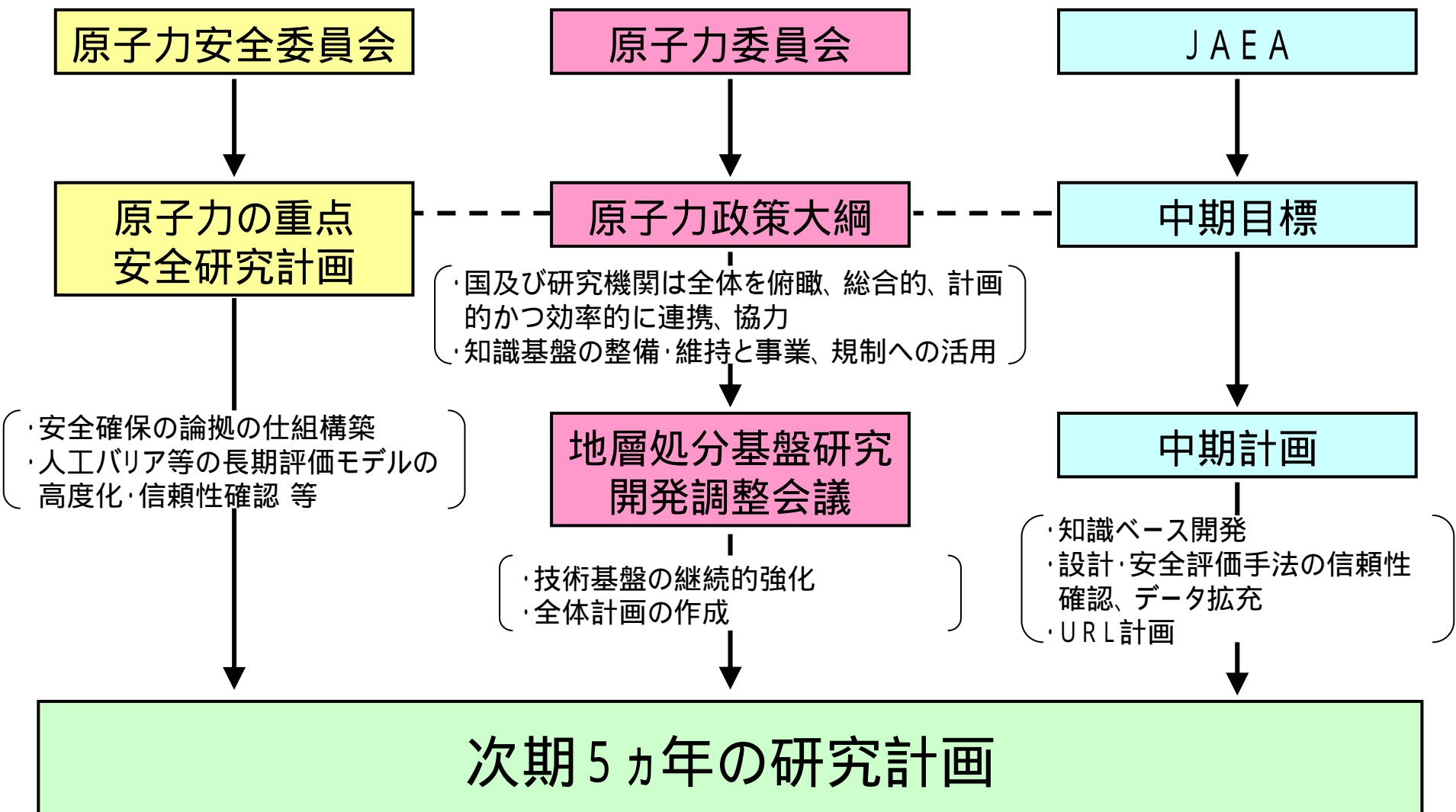
地下水の端成分の特定とバックワードトラッキングによる端成分の混合比の予測を行うことにより、地下水水質の情報を活用して水理地質構造モデルの妥当性を評価する技術を整備



不確実性の低減

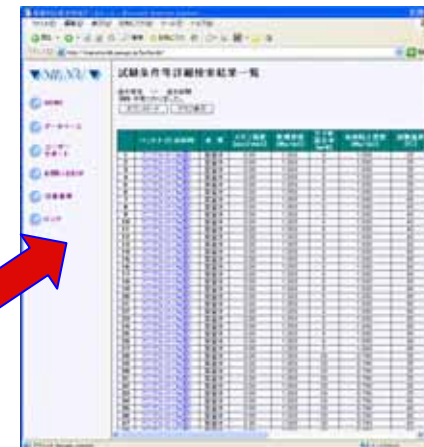
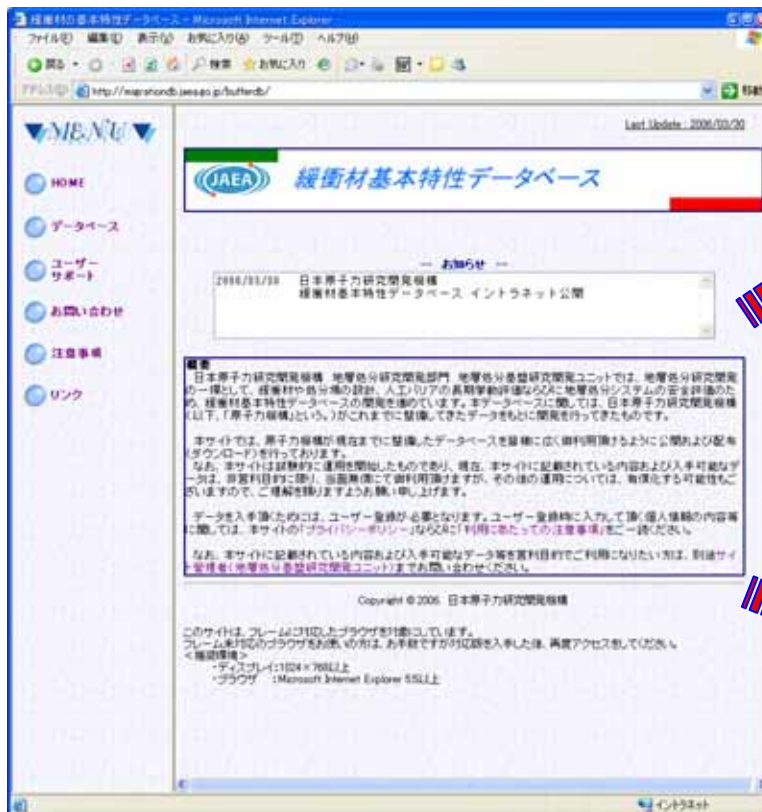
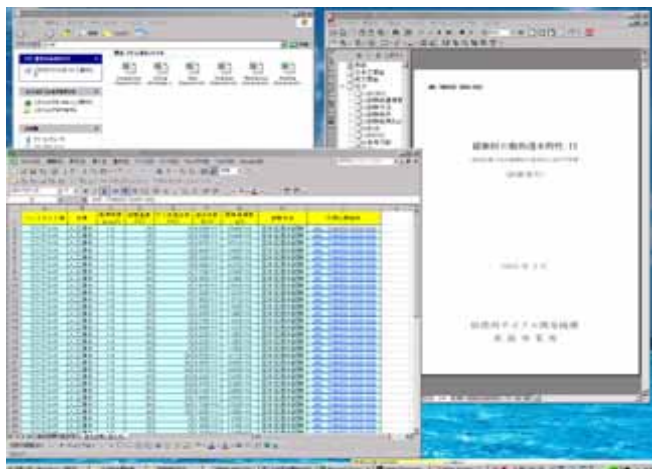
新法人設立以降(平成17年度下期)の成果

次期5ヵ年研究計画の位置付け

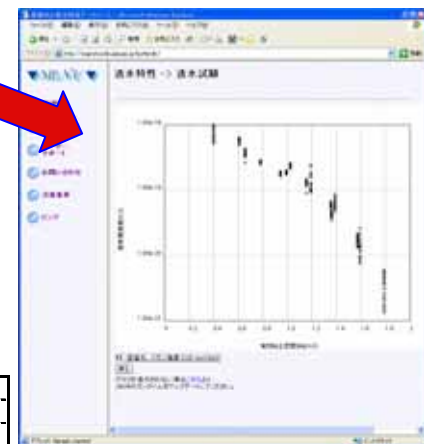


- 機構は、我が国における地層処分技術に関する研究開発の中核的役割を担い、処分実施主体である原子力発電環境整備機構による処分事業と、国による安全規制の両面を支える技術を知識基盤として整備していく。
- このため、「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」の二つの領域を設け、他の研究開発機関と連携して研究開発を進め、その成果を地層処分の安全確保の考え方や評価に係る様々な論拠を支える「知識ベース」として体系化する。
- 中期目標期間における研究開発成果を、国内外の専門家によるレビュー等を通じて技術的品質を確保した包括的な報告書と知識ベースとして取りまとめる。

- 人工バリア等の長期挙動や核種の移行等に関わるモデルの高度化、データの拡充
- 評価に必要となるデータの標準的取得方法の確立
- 地質環境データ等を考慮した現実的な処分システム概念の構築手法や全体システムモデルの整備
- 掘削深度を考慮した設計、安全評価手法の深部地質環境での適用性確認
- 総合的な技術として体系化した知識ベースを開発し、適切に管理・利用出来るように、品質管理や更新の考え方を含めた知識管理システムを構築
- 知識ベースを活用した地層処分技術の理解促進のための手法開発を進める



データ検索機能



グラフ作成機能

基本特性データ集を整備
(2004年度集約)



データベースのWeb公開
(2006年3月)

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 不飽和膨潤応力試験 飽和膨潤ひずみ試験 不飽和膨潤ひずみ試験		圧裂試験 二次元圧密試験 非圧密非排水三軸試験 圧密非排水三軸試験 圧密非排水三軸クリープ試験
締固め特性	動的締固め試験 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

Webアドレス

<http://migrationdb.jaea.go.jp/bufferdb/>

目的

幌延での低アルカリ性セメントを用いた原位置施工試験に先立ち、吹付けコンクリートの施工性に関する検討を実施

試験概要

幌延深地層研究施設における支保工の設計基準強度(28日材齢で36N/mm²)を満足するコンクリート配合の検討及び模擬トンネル構造物に対する吹付け施工試験の実施



写真1 模擬トンネルを用いた吹付け試験の様子

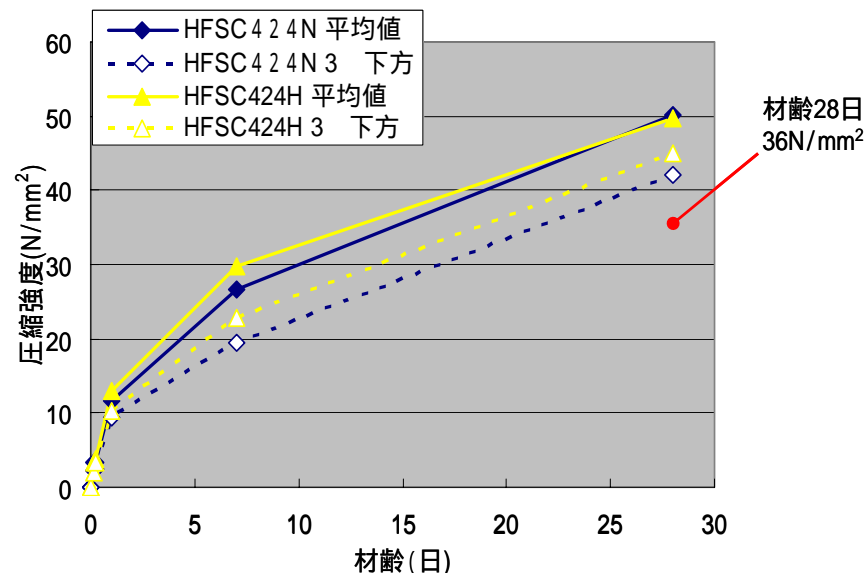
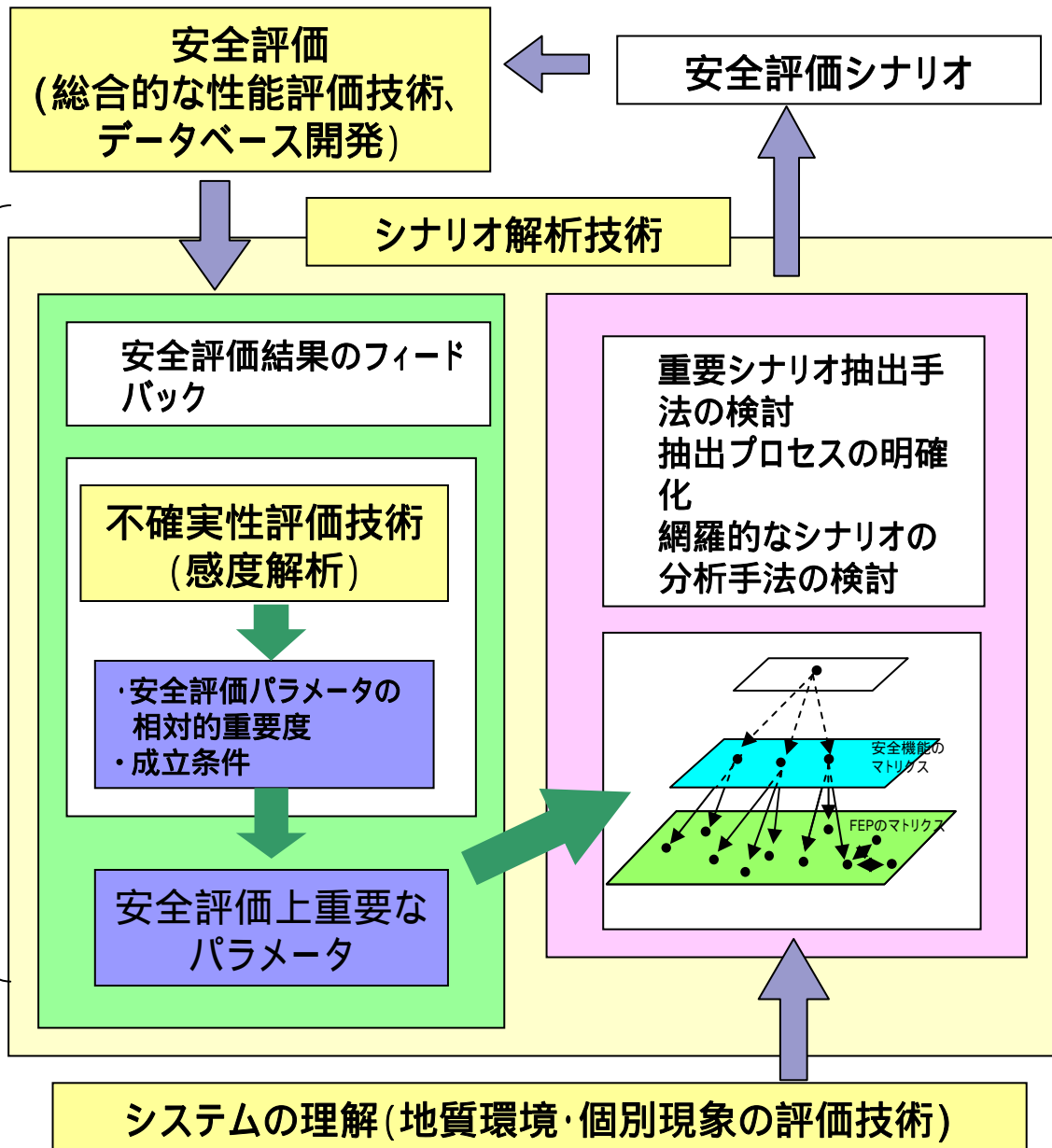
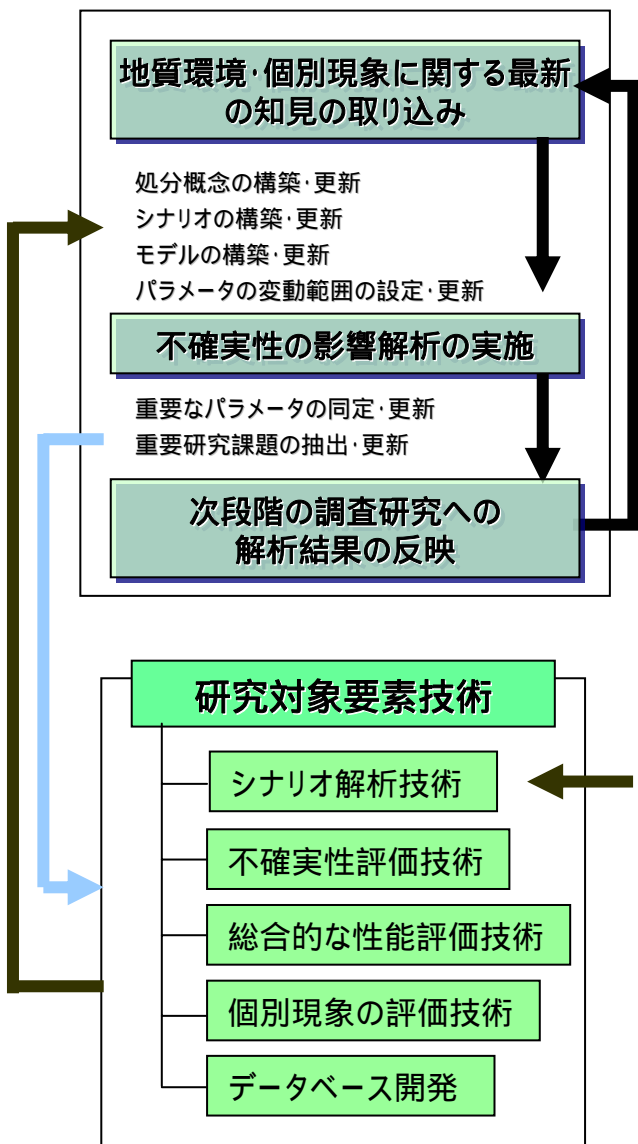


図1 吹付けコアの強度

表1 吹付け試験を行ったコンクリートの配合

セメント種類	スランブ (cm)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)								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%

評価の流れ



地層処分研究開発の次期5ヵ年計画

● 反映先と位置づけ

事業：精密調査地区選定と精密調査

規制：安全審査基本指針等の策定

“国の基盤的研究開発”とは何かを認識

● 目標

地上からの調査に関わる技術基盤の確立

実際の地質環境への適用可能な評価手法の整備と工学的実現性の提示

知識基盤(ベース)の構築

● 連携，体系化

他機関との共同研究等による研究開発の積極的な分担・協力

TRU廃棄物の併置処分や共通課題に対する合理的取り組み

- 事業や規制に先行して技術基盤を継続的に強化
 - 事業：精密調査地区選定と精密調査
 ➡ 概要調査地区選定と概要調査も視野
 - 規制：安全審査基本指針等
- 客観性をもって技術の信頼性・実現性を提示
 - 現象理解を通じた設計や安全評価手法等の信頼性向上
 - 要素技術や個別モデルの高度化
 - 新技術導入による信頼性向上
 - 幅広い地質環境に対応可能なデータベース，技術オプション，設計・評価手法の開発
- 国民の理解と事業や規制の円滑な推進
 - 国民の理解：最新の知見を取り込んだ設計・安全評価手法の公開
 - 事業や規制への反映：最新の知見を取り込んだ設計・安全評価手法等に関する知識基盤技術を両者の要求に応えることができるよう体系的に整理・管理

● NUMOのニーズ (幅広い地質環境への対応と柔軟性)

客観性のある工学技術や安全評価に関する基盤情報の体系的提示

→ 知識ベースの個別要素開発と体系化

地下研究施設での技術の適用性確認

長期的な視点に立った工学技術開発 (サイティングに対する柔軟性)

→ 幅広い地質環境や国内外の最新の動向を踏まえた技術オプション等への取組み

● 規制機関のニーズ (想定)

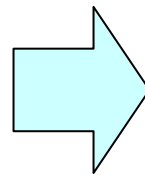
工学技術や安全評価に関する評価基盤 (モデル, データベース等) の信頼性・客観性の向上

地下研究施設を活用した工学技術に関する規制研究

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

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

実際の地質環境への適用可能な
長期健全性評価モデルの整備



知識ベースの個別要素
(e.g. 設計/施工方法,
モデル, データベース,
測定手法・設定手法)の
構築・公開・更新

地下研究施設における
適用性確認

幅広い地質環境や国内外の
最新動向を踏まえた処分
概念の高度化や柔軟性の向上

- (1) 処分場の総合的な工学技術
URLにおける適用性検討
工学技術オプション

- (2) 処分場の設計・施工技術
人工バリア
(a) オーバーパック (b) 緩衝材
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
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

- (3) 長期健全性評価技術
緩衝材
(a) 長期力学的変形挙動 (b) 長期変質挙動 (c) 流出・侵入挙動
セメント・コンクリート
岩盤
(a) 長期力学的変形挙動 (b) 長期変質挙動
熱 水 応力 化学連成挙動
ガス移行挙動
人工バリアせん断応答挙動

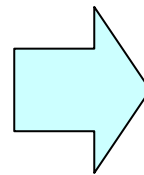
- 処分場の長期性能に有意な影響を与えない設計・建設技術(掘削技術, グラウト/支保技術, 情報化施工, 空洞安定性評価技術など)について, URLでの実績や取得データを活用し体系的に整備
- サイト条件の様々な特徴に適した処分概念の構築に資するよう, 代替の処分概念を含む工学技術オプションの成立性*に関わる共通的な技術基盤の整備

* セメント影響, 緩衝材温度制限, 品質管理...

実際の地質環境へ適用可能な
安全評価手法の整備

実際の地質環境へ適用可能な
個別モデルの整備

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



知識ベースの個別要素
(e.g. 安全評価手法,
モデル, データベース,
測定手法・設定手法)の
構築・公開・更新

地下研究施設における
適用性確認

(1) 評価手法

シナリオ解析技術
不確実性評価技術
総合的な性能評価技術

(2) モデル化技術

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
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
生物圏での核種移行 / 被ばく

(3) データベース開発

放射性元素の熱力学データベースの整備
収着・拡散データベースの整備

●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
URLで得られる地質環境情報を用いた適用性確認

●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で得られる地質環境情報を用いた適用性確認

●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設定技術の体系化

●研究機関間の連携

エネ庁事業やJNFL等との連携

長期的な視点に立った工学技術開発(サイティングに対する柔軟性)
幅広い地質環境や国内外の最新の動向を踏まえた技術オプション等への
取組み

●分野間の連携

地質環境 - 工学技術 - 安全評価 - TRU廃棄物処分の4分野の連携

●体系化

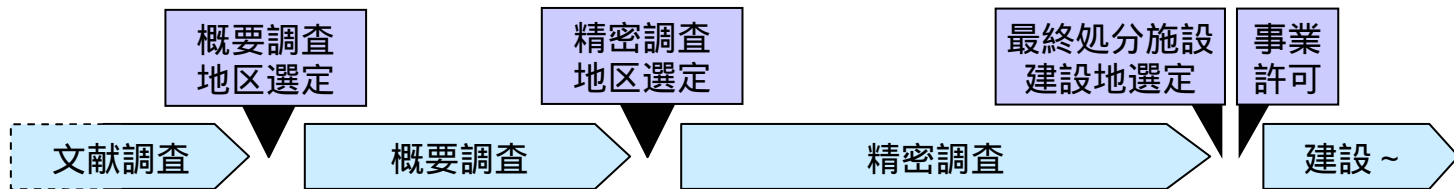
最新の知見を踏まえた設計・評価, 工学技術に関する知識ベースの個別
要素(評価手法, データベース等)をNUMO, 規制機関の要求に(直ちに)
応えることができるよう体系的に整理・管理する。

補足資料

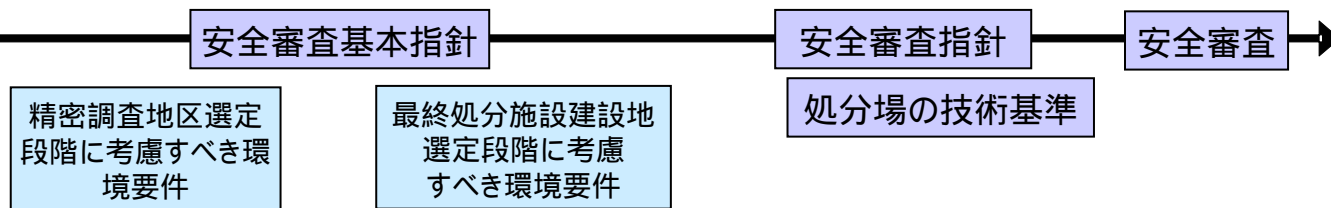
段階的な研究開発と成果の反映

年度 2005 2010 2020 ~

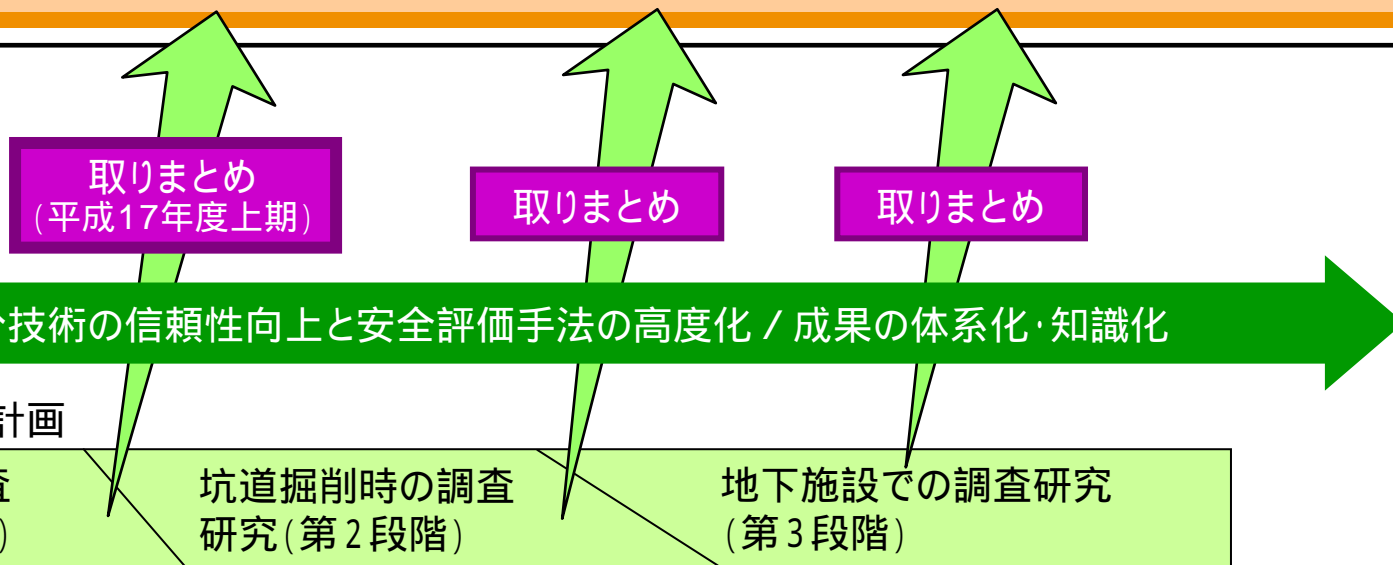
処分事業
(原環機構)

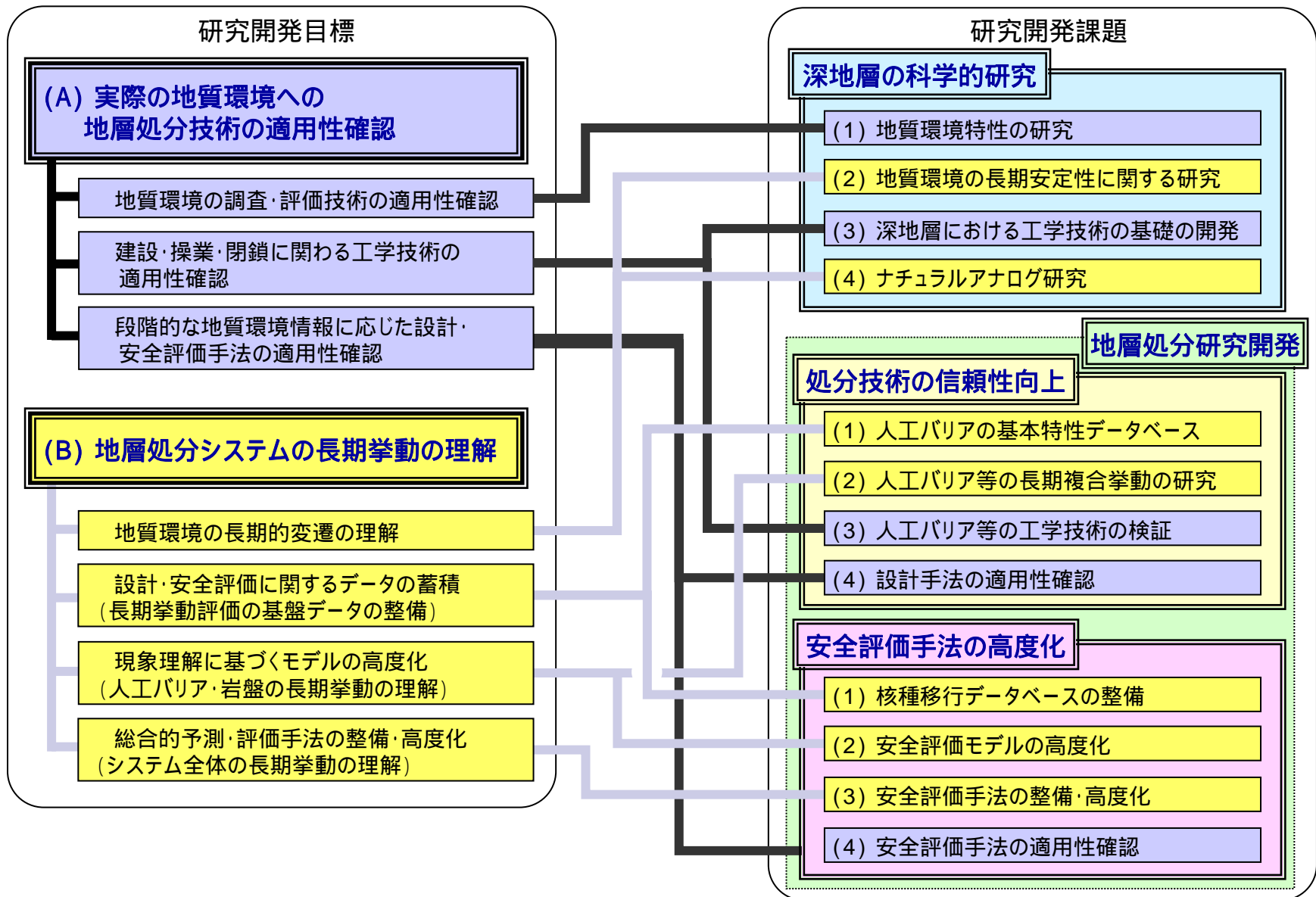


安全規制
(国)



原子力
機構



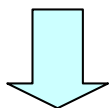


- 海水系地下水条件などにおける人工バリア基本特性データの拡充とデータベース整備
- 経験則からメカニズムに基づくモデル開発への移行, 数値実験手法の開発
- 実験や解析結果の可視化による信頼性向上
- 処分環境に類似したナチュラルアナログデータの拡充
- 深地層の研究施設などと統合した工学技術や設計手法の整備

炭素鋼オーバーパックの腐食挙動

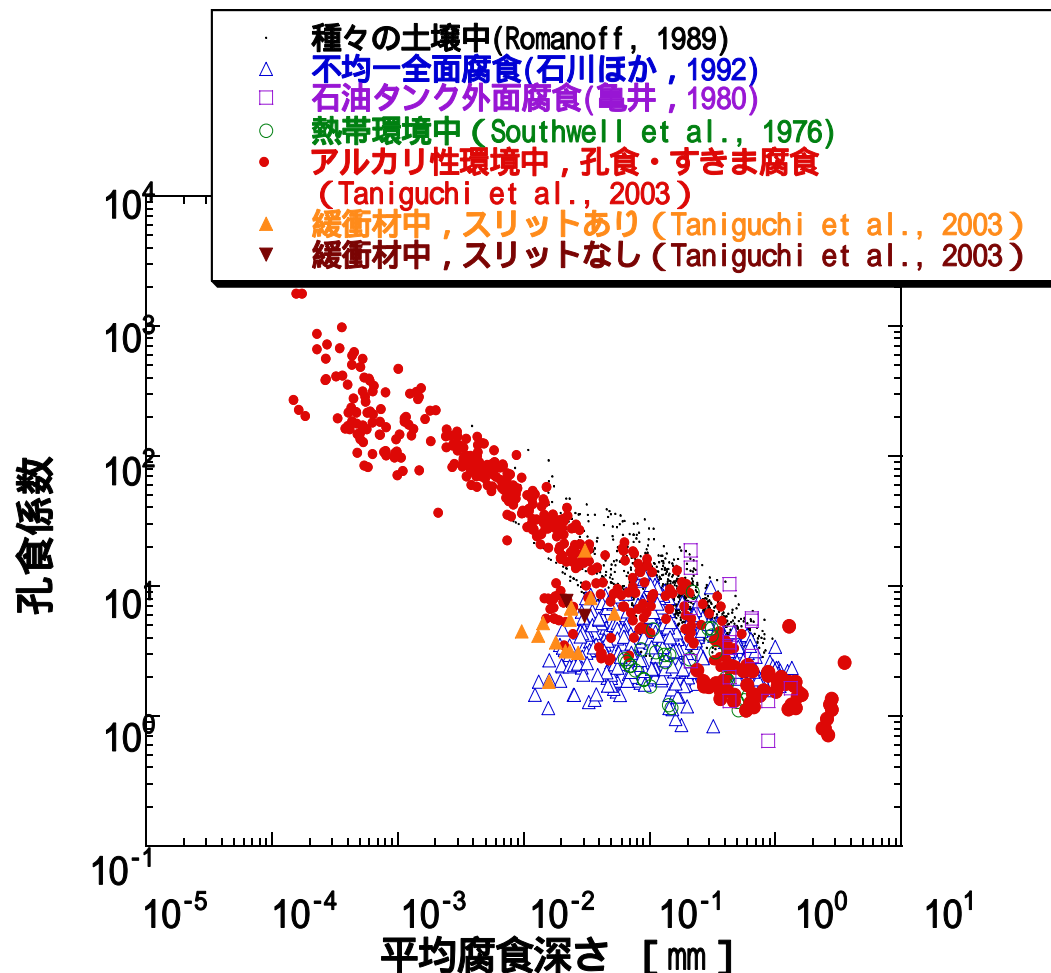
・第2次取りまとめ；

セメントによる影響，マグネタイトによる腐食加速など，限られたデータに基づく評価



・H17取りまとめ；

数年間の長期データを含めた実験データの拡充により，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。

・第2次取りまとめ；

実験データに基づく経験則による評価



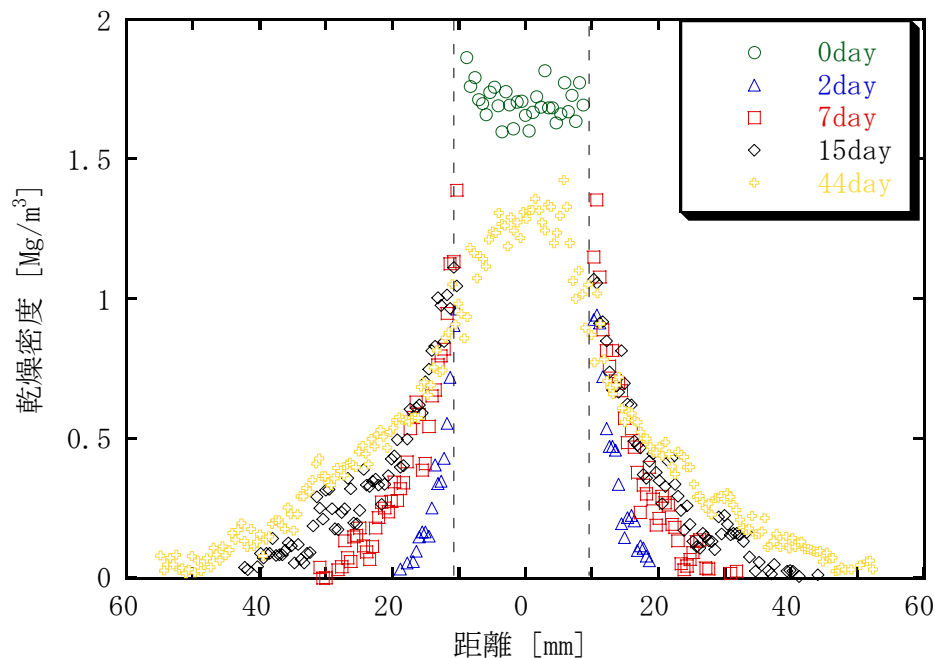
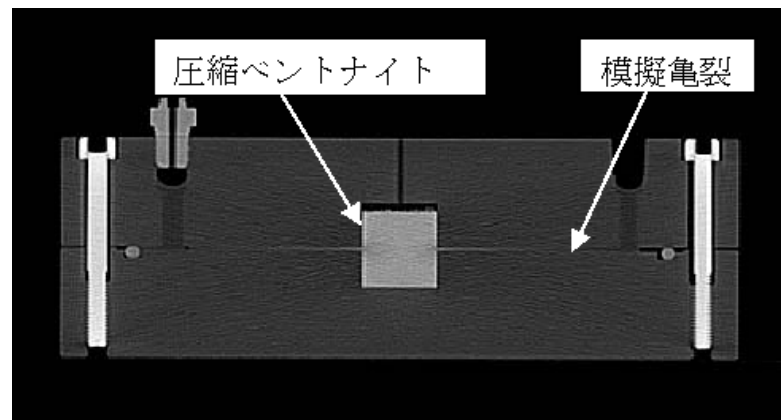
・H17取りまとめ；

➤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

➤拡散モデルによる適用性確認

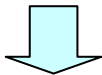
➤海水系地下水では降水系地下水に比べ緩衝材侵入は，顕著でないことを確認

非破壊検査による侵入密度分布の把握



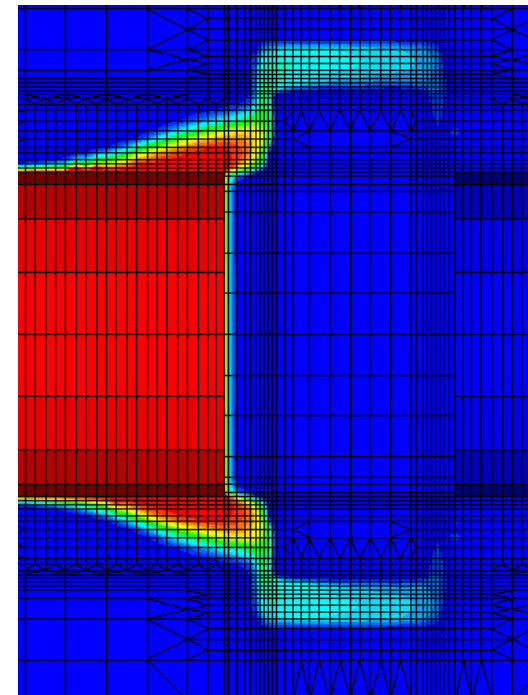
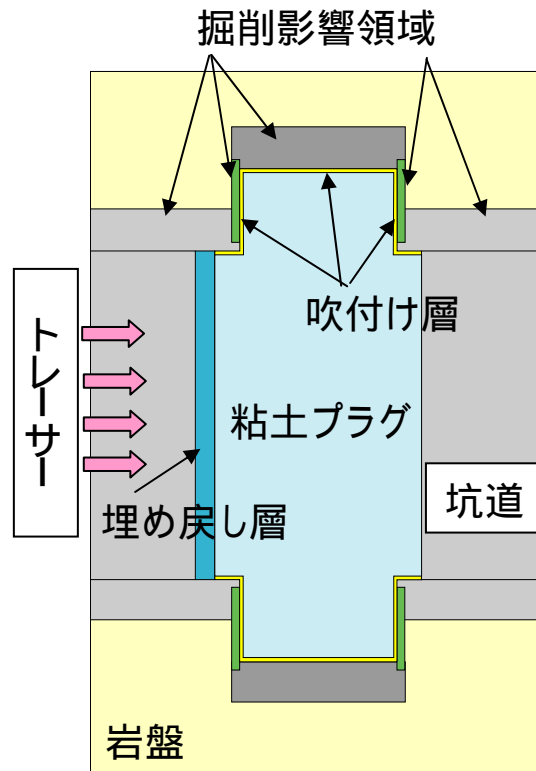
● 第2次取りまとめ;

- 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



● H17取りまとめ;

- 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択一的に移行していることが示されている。

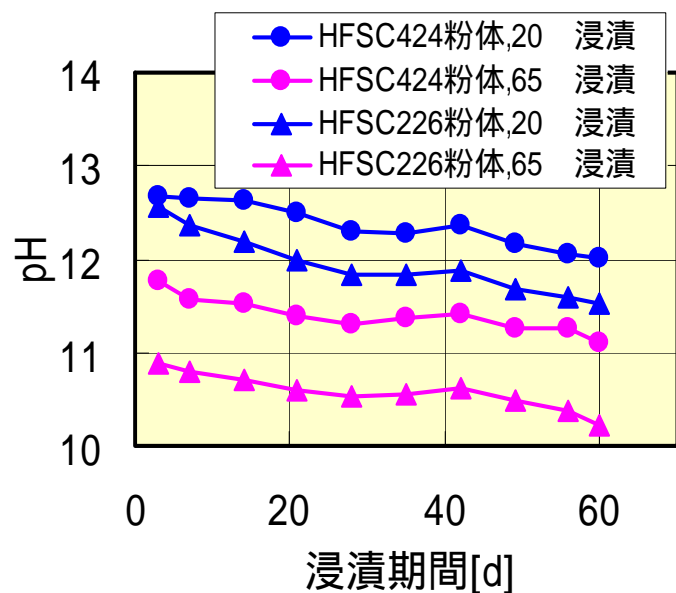
•第2次取りまとめ;

- 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)の使用を推奨



•H17取りまとめ;

- HFSCの流動性・強度特性など、施工上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



HFSCを用いたペースト粉体の浸漬試験によるpH変化



吹付けコンクリートの模擬施工状況

■ 基礎データの拡充と設計評価手法の信頼性向上

- 人工バリア等の基本特性や長期挙動に関するデータの拡充とデータベース整備
 - 個別現象や複合挙動に関するモデルの更新
 - 現象の可視化によるメカニズム理解
 - 1,000年規模の考古学的鉄製品に関するナチュラルアナログデータの取得
 - 閉鎖技術の検証と閉鎖性能の評価
 - 実際の地質環境における試設計と地上からの調査段階における留意点の整理
- ⇒ 海水系等を中心とした現象理解の向上
- ⇒ 現象理解の向上と評価モデルの信頼性向上
- ⇒ 閉鎖等の個別要素技術の強化
- ⇒ 設計手法の適用性確認

■ 今後の課題

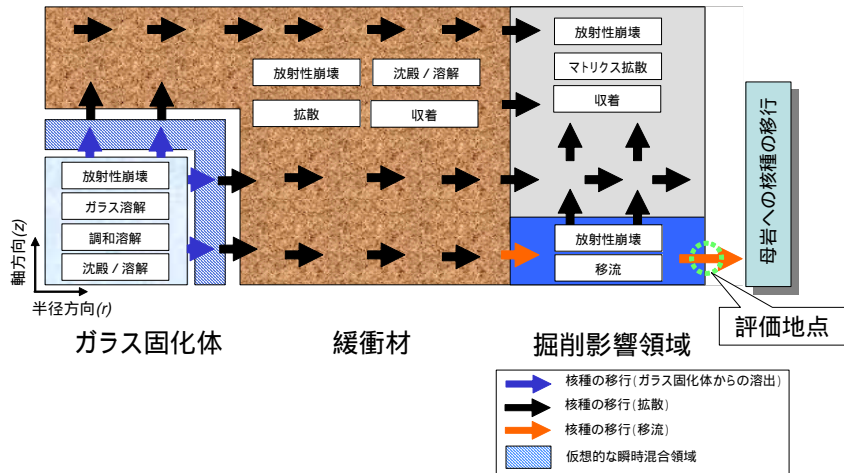
- 最新の知見に基づく設計手法やデータベースの恒常的な更新, ならびに知識ベースの構築
- 深地層の研究施設計画と連携した設計手法の適用性確認

- サイクル機構の役割に鑑み，網羅性，全体評価のための統合よりも個別重要課題の技術基盤の強化を重視

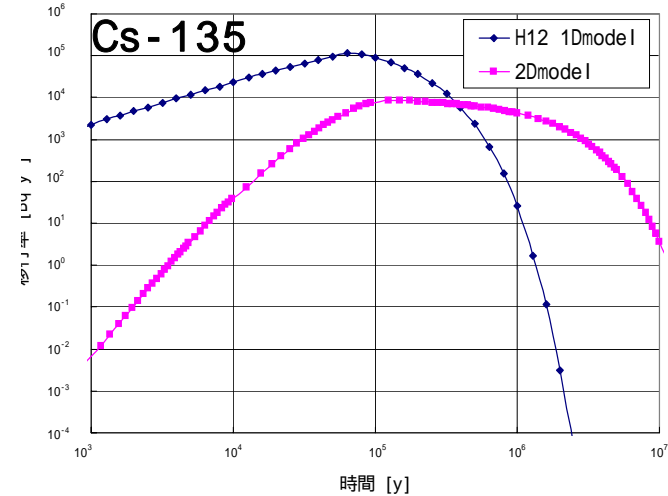
- 全体評価を実施しないため，以下の視点を安全評価手法の開発の指標として考慮
 - ・安全評価上重要なデータの拡充
 - ・現象理解，定量的モデルの現実性向上
 - ・合理的評価技術の整備
 - ・実際の地質環境や設計条件等との整合性，適用性の向上
 - ・不確実性の取り扱いの向上
 - ・追跡性，透明性，わかりやすさの向上

- 第2次取りまとめで保守的に簡略化あるいは無視したプロセス等を取り込んだ代替モデルの開発と影響評価(掘削影響領域での核種移行遅延, ガラスの割れの影響)を実施

2次元人工バリア中核種移行モデルの概念図



掘削影響領域からの移行率の経時変化



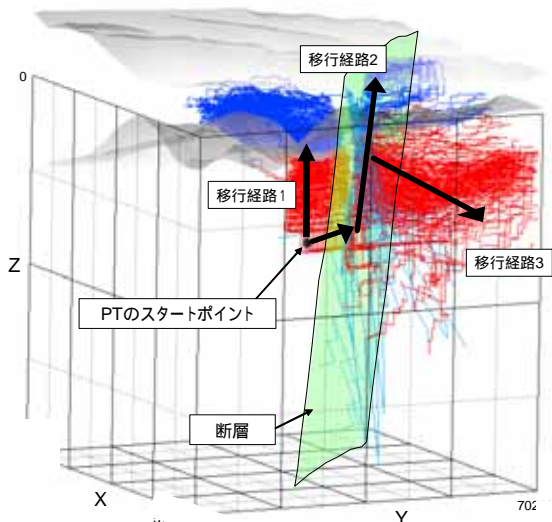
⇒ 不確実性の取扱い技術の向上, 合理的な評価技術の整備

- データ不確実性を分布として定量化するため, 実際の地質環境の特徴, 利用可能な情報および専門家の知見・判断を基に設定する体系的手順(誘出法)を整備
- データ不確実性の組合せが評価結果へ与える影響を網羅的かつ効率的に評価するためのモンテカルロ法を用いた影響評価技術を整備
- 目的に応じて重要なパラメータを分析するために, 重回帰分析, クラスタ分析, 決定木分析などを組合せたり使い分ける技術を整備

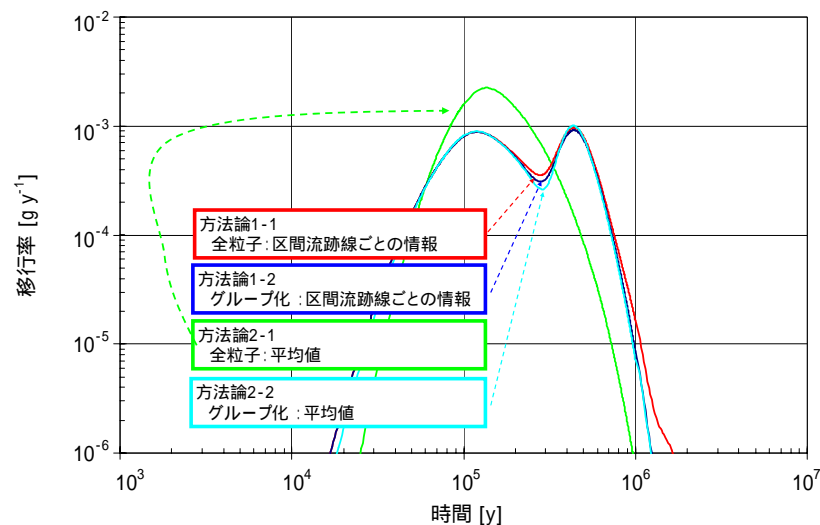
⇒ 不確実性の取扱い技術の向上, 合理的な評価技術の整備

- 地質環境の調査から物質移行解析に至る一連の作業の枠組みを整備するとともに、物質移行解析における移行経路情報の処理の複数のオプションを構築

物質移行解析の対象とする移行経路の例



物質移行解析結果の例(複数の方法の比較)



H12では実施しなかった、実際の地質環境を対象とした地下水流動解析と物質移行解析を接続する手順を整備



実際の地質環境への適用性の向上

- 安全評価に係る個別技術を、深地層の研究施設計画や海外の地下研究施設での調査試験データへ適用し、実際の地質環境に適用する際に重要と考えられる課題や留意点を抽出



実際の地質環境への適用性の向上

■ 基礎データの拡充と安全評価手法の信頼性向上

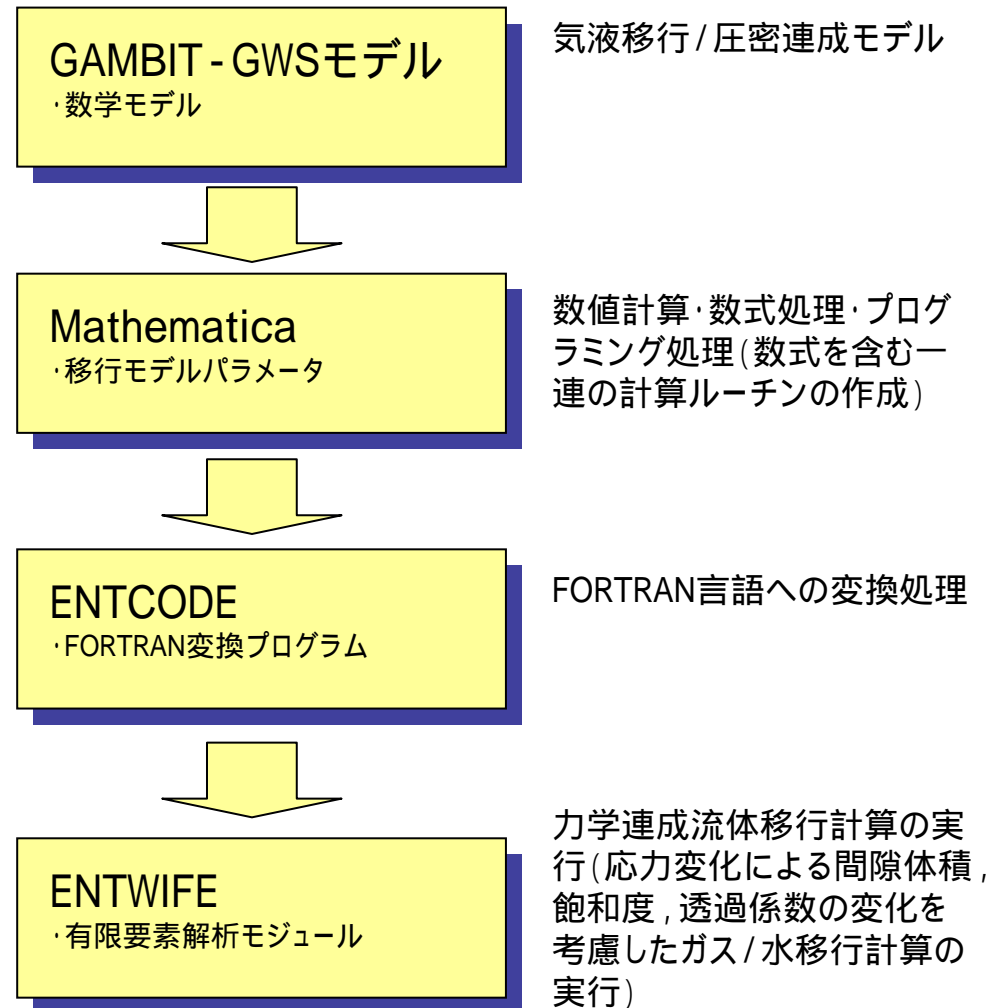
- **核種移行データベースの整備**: 溶解度, 分配係数(海水系, 堆積岩)などのデータの拡充, データベース公開
- **安全評価モデルの高度化**: 亀裂中の水理・物質移動, コロイド, 有機物などの現象理解の進展と実際の地質環境への適用性の向上
- **安全評価手法の整備・高度化**: シナリオ解析, 天然現象影響評価, 不確実性評価技術の高度化, 整備
- **安全評価手法の適用性確認**: 地下水流動解析と物質移行解析技術の実際の地質環境への適用性向上

■ 今後の課題

エントリー, クオリティ, 深地層の研究施設計画を活用した技術基盤の継続的な強化と知見の拡充を以下のように行い, 知識ベースとして知見の蓄積を図る

- **核種移行データベースの整備**: データベースの更新の継続, パラメータ設定技術としての体系化
- **安全評価モデルの高度化**: 重要な個別現象モデルの高度化
- **安全評価手法の整備・高度化**: 安全評価技術としての体系化
- **安全評価手法の適用性確認**: 地質環境の調査等の段階に応じた手法・技術の体系化

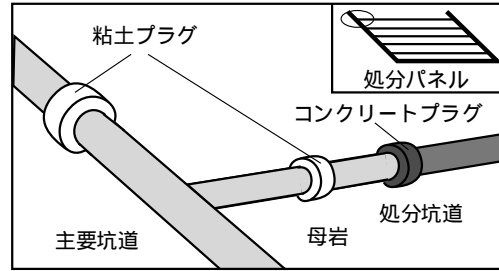
- これまで国際共同研究(GAMBIT Club)において開発を進めてきた応力連成ガス移行モデル(GAMBIT-GWSモデル)を動作させるための環境の整備とモジュール類の導入
- GAMBIT-GWSモデル: 応力との連成は, 多孔質媒体の力学的変形と媒体中の物質移行の組み合わせに対して, Biotの圧密理論を適用し定式化(Biotの式; 土粒子そのものの変形や気体の剛性を考慮した飽和した土の支配方程式)



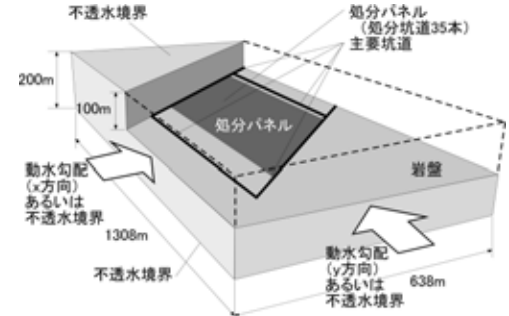
数値解析の概略フロー

1. 目的

- ・処分システムに求められる閉鎖性能の考え方の提示
- ・閉鎖要素（埋め戻し材, 粘土プラグなど）の設計要件の明確化



坑道交差部モデル

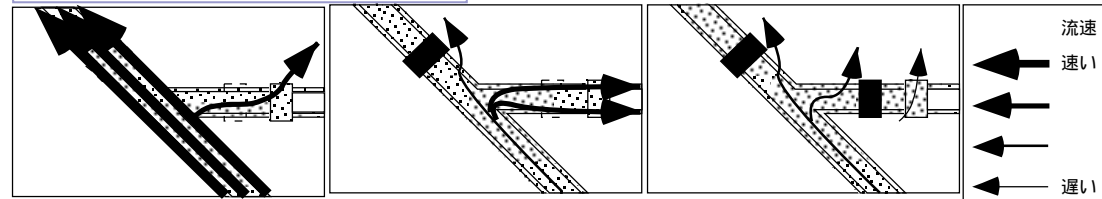


パネルモデル

2. 実施内容

- ・構成要素を考慮した水理解析
- ・閉鎖要素に対する検証データ (TSX試験等) を用いた解析評価手法の構築

坑道交差部モデル解析結果



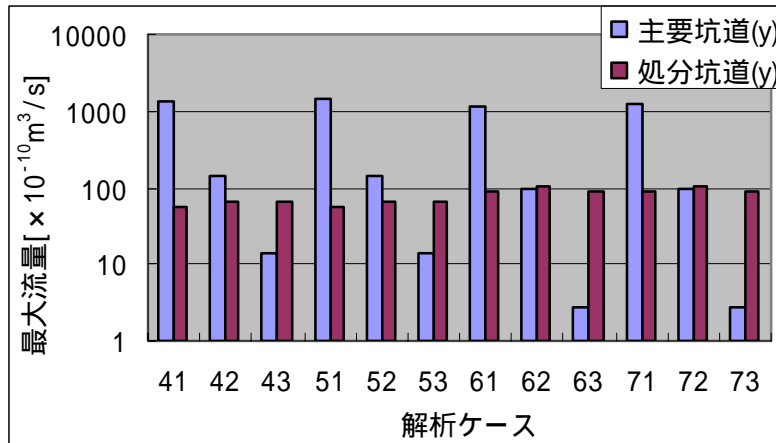
プラグ無し

プラグ1箇所

プラグ2箇所

3. 結果

コンクリートプラグの透水性, 圧力勾配の方向, 粘土プラグの設置は, 全体の地下水流動及び処分坑道の流量に大きく影響するが, 埋め戻し材の透水性の影響は小さい。



パネルモデル解析結果

ケース No.	粘土プラグ 処	主	主要坑道 (m/s)	その他
41	○	○	10 ⁻⁵	処分坑道: 10 ⁻⁶ m/s
42	○	○	10 ⁻⁶	コンクリート: 10 ⁻⁵ m/s
43	○	○	10 ⁻⁷	岩盤: 10 ⁻⁸ m/s
51	×	○	10 ⁻⁵	粘土プラグ: 10 ⁻¹¹ m/s
52	×	○	10 ⁻⁶	
53	×	○	10 ⁻⁷	
61	×	×	10 ⁻⁵	
62	×	×	10 ⁻⁶	
63	×	×	10 ⁻⁷	

掘削により得られた地質環境情報に基づき、地表からの調査段階における地下施設の設計手法の適用性確認

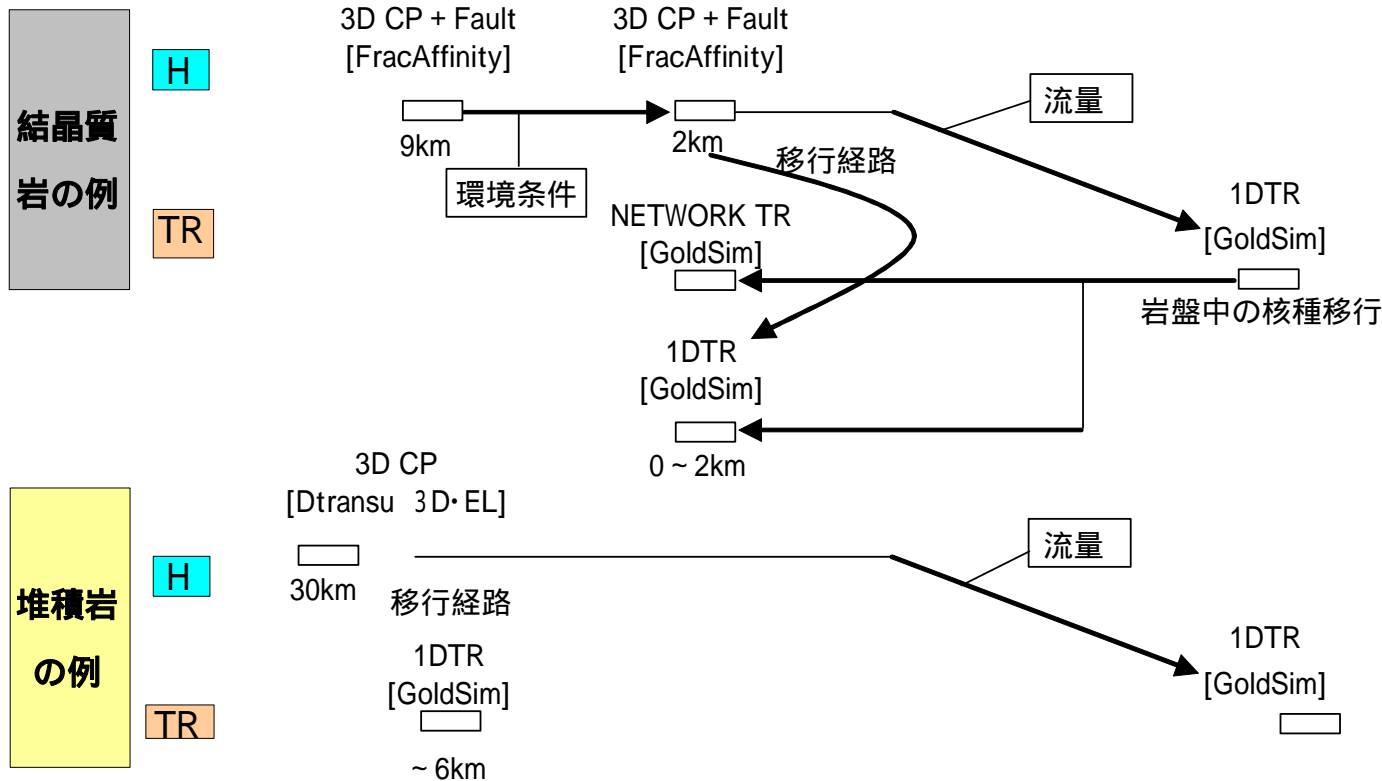
情報化施工(掘削時における岩盤変位などの計測データを支保設計へフィードバック)計画の立案および適用事例の提示

性能評価の観点から建設技術に要求される要件(掘削影響領域【EDZ】、水みち、掘削対策工に用いる材料選定)等の整理

原位置試験(THMC、オーバーパック、緩衝材等)の準備

- 幌延での地質環境データを用いた予備解析による連成挙動の把握 等
- 腐食・環境モニタリング手法の検討、オーバーパック候補材料の適用性検討 等
- 原位置試験に関わる人工バリア基本特性データの取得 等

広域 (10km 以上)	Local (1 - 10km)	処分場 (10m-1km)	パネル	坑道	EBS 周辺岩盤 (1 - 10m)	EBS	ガラス	マイクロ
-----------------	---------------------	------------------	-----	----	-----------------------	-----	-----	------



H Hydraulic Process 1D TR One-dimension Radionuclide Transport Model
TR Radionuclide Transport Process CP Continuum Porous Model

[] 解析コード名

- 国の政策や電力の動向を踏まえたタイムリーな基盤研究開発
 - TRUの併置処分(差別化と整合性)
(高pH, 硝酸塩等やI-129, C-14に配慮したレイアウト検討等)
 - 高燃焼度化やMOX燃料対応
(発熱影響等)
- NUMOの公募動向を踏まえた基盤研究開発
 - 幅広い地質環境に対する柔軟性(施工性, 物流等)への対応

●地質環境調査評価技術との連携

- 「深地層における工学技術」での実績と経験を踏まえた処分場の設計・建設技術の検討
 - グラウト(低pHセメント)の適用性検討
 - 低pHセメントを用いた吹付け施工試験

●性能評価技術との連携

- 掘削影響領域における物質移行経路の評価

●TRU廃棄物処分研究との連携

- セメント影響
 - セメント影響を考慮した緩衝材基本特性の把握と変質劣化の評価
 - T-H-M-C連成解析コードについて, コンクリート支保による人工バリアへの化学的影響の取り組み
- チタンの溶接・検査技術

●評価手法

●総合的な性能評価技術:

- 総合的な性能評価のための評価体系に関わる検討 < JAEA >
- 多様なスケールに応じた評価技術, 処分場スケールを対象とした解析技術等 < JAEAとANRE事業の共同研究 >

●モデル化技術

●収着現象のモデル化:

- 収着現象の性能評価における取扱いも検討 < JAEA >
- 特定の現象の現象理解や現象モデルの整備 < ANRE事業 >

●生物圏での核種移行 / 被ばく:

- モデル化や評価技術の開発 < JAEA >
- 生物圏での核種移行パラメータの取得 < ANRE事業 >

●データベース開発

●収着データベースの整備:

- データベース事業やパラメータ設定手順・手法 < JAEA >
- データベース取得 < ANRE事業 >