

# 地層処分を支援するJAEA知識ベース — 中期計画に基づく研究開発成果の全体概要 —

日本原子力研究開発機構  
地層処分研究開発部門意見交換会  
平成21年7月1日

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門  
油井 三和

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

## 説明内容

- 背景と原子力機構中期計画
- 中期計画取りまとめに向けての  
視点と成果例
- まとめ

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

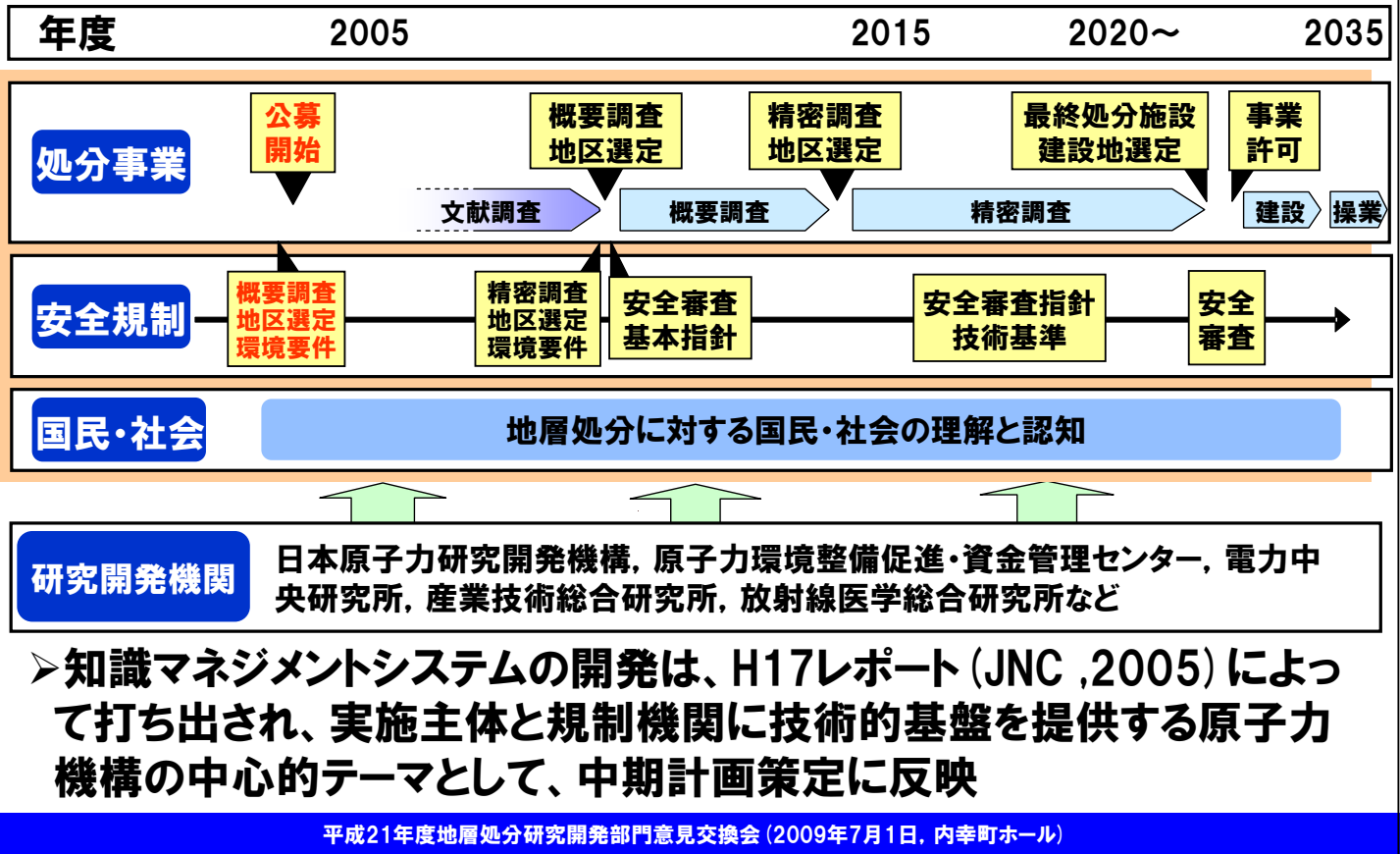
# 背景と原子力機構中期計画

## 地層処分研究開発で考慮すべき点



- **放射性廃棄物管理は原子力の持続的利用の要件として不可欠**
- **地層処分事業の長期性と安全確保の超長期性**
  - ✓ 長期的な視点に立った研究開発の推進
  - ✓ 事業の節目における重要な意思決定プロセスへの知識の継続的提供(重要なことは超長期の安全性を説明するための「知識」)
  - ✓ 知識の柔軟な創出と信頼性の継続的向上が必須(科学的知見の進歩や社会的条件などの変化に適切に対応)
  - ✓ 研究開発成果(基盤技術)の適切な技術移転
  - ✓ 地層処分に関する長期的な人材の育成と供給

# 地層処分計画の段階的な進展



# 原子力機構中期計画 (1) - 全体



- 機構は、研究開発の中核的役割を担い、
  - ✓ 処分事業と安全規制の両面を支える知識基盤を整備
  - ✓ 「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」の二つの領域を設定
  - ✓ 他の研究開発機関と連携
    - 「地層処分基盤研究開発調整会議」による運営と統合
  - ✓ 技術的信頼性の継続的強化
- 研究開発成果を
  - ✓ 安全確保の論拠を支える「知識ベース」として体系化
  - ✓ 国内外専門家によるレビュー等を通じた技術的品質の確保
  - ✓ 包括的な報告書と知識ベースとして取りまとめ

# 原子力機構中期計画(2)－研究開発



## ●地層処分研究開発

- ✓工学技術の開発および安全評価手法の開発
  - モデルの高度化とデータの拡充、データの標準的取得方法の確立
  - 実際の地質環境データを用いた設計や安全評価手法の整備等

## ●深地層の科学的研究

- ✓深地層の研究施設(URL)
  - 瑞浪URL(結晶質岩)や幌延URL(堆積岩)における地上からの調査技術やモデル手法の妥当性評価
  - 坑道掘削に係る工学技術等の適用性確認
- ✓地質環境の長期安定性に関する研究
  - 天然現象に係る調査技術の体系化やモデル開発

## ●TRU廃棄物地層処分研究開発

- ✓自らの廃棄物に対する設計・安全評価のデータ取得等
- ✓高レベル放射性廃棄物との併置処分に向けた研究開発

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会(2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 研究開発成果の品質保証



## ■外部専門家による評価委員会(年度毎に計画, 成果をレビュー・審議)

地層処分研究開発・評価委員会

深地層の研究施設計画検討委員会  
地層処分研究開発検討委員会  
地質環境の長期安定性研究検討委員会

## ■国際ワークショップ(特定テーマに対する国内外専門家によるレビュー)

知識マネジメントシステム, 品質保証,  
核種移行研究, 微生物影響評価研究,  
グラウト技術高度化 など

## ■査読付論文, JAEA研究開発報告書類など(多数)

## ■その他

国際共同研究, 国内共同研究  
特定テーマ専門委員会 など

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会(2009年7月1日, 内幸町ホール)

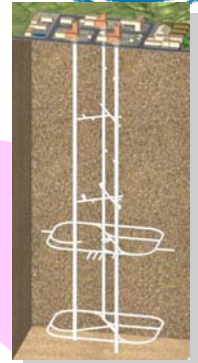
# 原子力機構の研究センター



(イメージ図)



(イメージ図)



## 東濃地科学センター

- 瑞浪超深地層研究所 (結晶質岩)

深地層の  
科学的研究

## 幌延深地層研究センター

- 幌延深地層研究所 (堆積岩)

深地層の科学的研究

工学技術の開発

安全評価手法の開発

## 東海研究開発センター

エントリー



工学技術の開発

クオリティ



安全評価手法の開発



平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 中期計画取りまとめに向けての 視点と成果例

## 中期計画取りまとめに向けての視点



- 「HLW第2次取りまとめ」と「TRU2次レポート」は日本における安全な地層処分のための基本的な技術基盤を形成
- この基礎は、引き続き実施している研究開発を通じて、特定サイトの条件への適用という観点から強化
- 現中期計画における研究開発成果の取りまとめは、地層処分実施主体と安全規制機関、また、この問題に関心のあるすべてのユーザーを支援するために作成
- 知識マネジメントシステムと直結した次世代型報告書「CoolRep」の形式は、今世紀を通じて展開される日本の地層処分プロジェクトを支援するための新たな取り組み

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

## 中期計画取りまとめに向けての視点 － 研究開発の進展 －



「HLW第2次取りまとめ」と「TRU2次レポート」の技術基盤を実際の地質環境条件への適用という観点から強化:

- 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮
- 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮
- 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
- 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性
- 情報の指数関数的な増加(情報爆発)に対応できる知識マネジメント

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮



いかに「HLW第2次取りまとめ」と「TRU2次レポート」の一般的な概念を現実的な地質環境条件に適合させるか？

研究開発の視点：

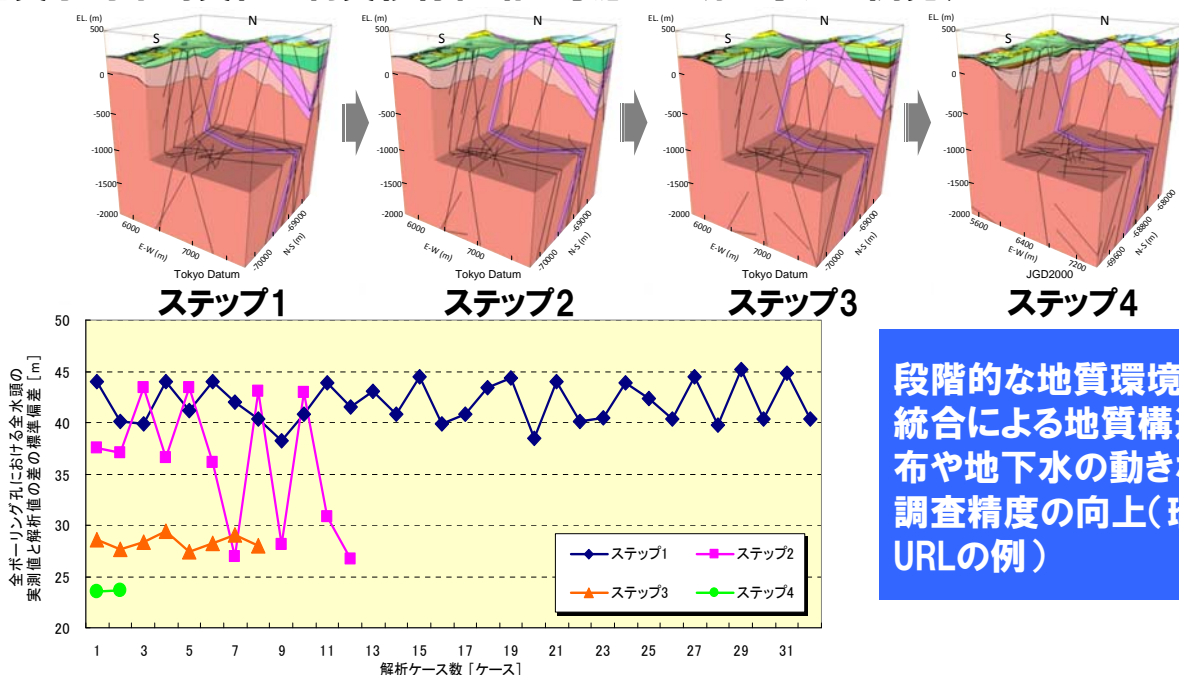
- 候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積
- 候補サイトへの工学技術の適用を支援するための知識の蓄積
- 異なる技術オプションを定量的に評価し、選択肢の検討に資するための評価ツールやデータベースの開発

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

## 候補サイトの特性を把握するための調査技術や評価手法の開発と経験の蓄積



- 調査研究の進展に応じて得られるデータに基づく地質構造の三次元分布の把握  
(地質学的不均質性や物質移行経路を考慮した調査手法を開発)



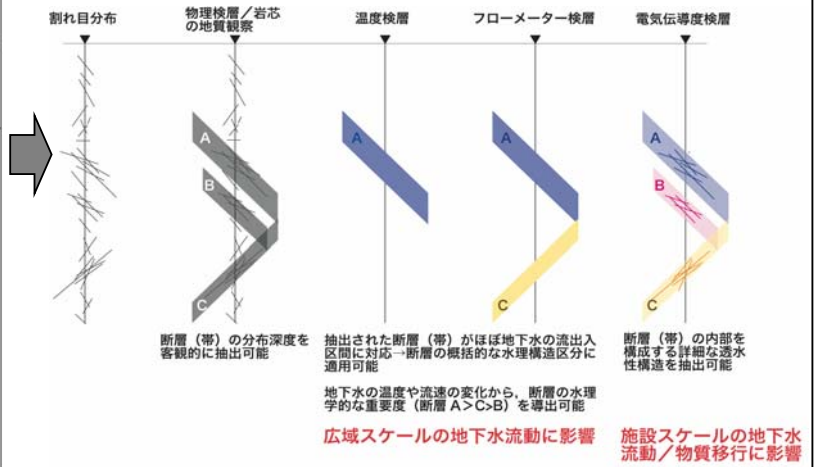
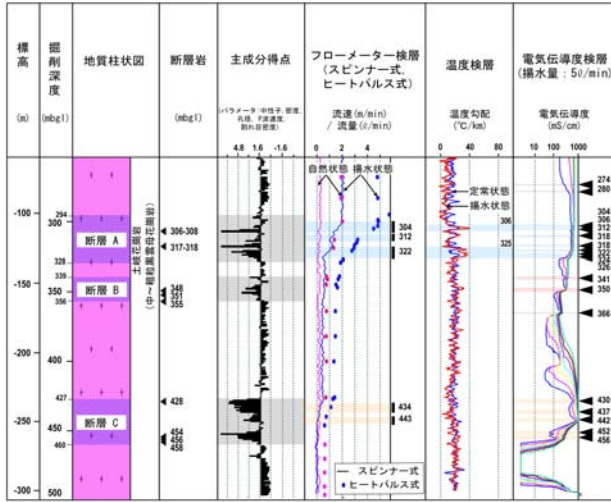
段階的な地質環境情報の統合による地質構造の分布や地下水の動きなどの調査精度の向上(瑞浪URLの例)

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 候補サイトの特性を把握するための調査技術や 評価手法の開発と経験の蓄積



## 地下水流動に影響を及ぼす水みちの抽出評価



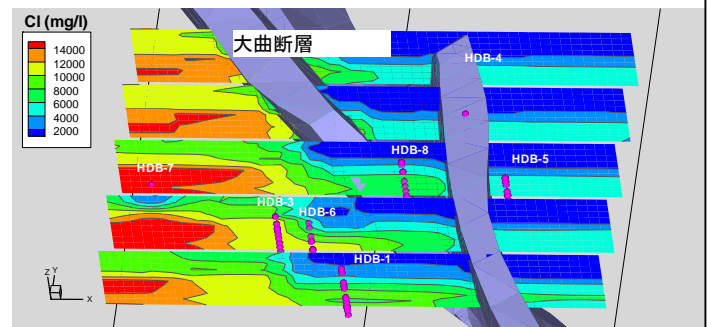
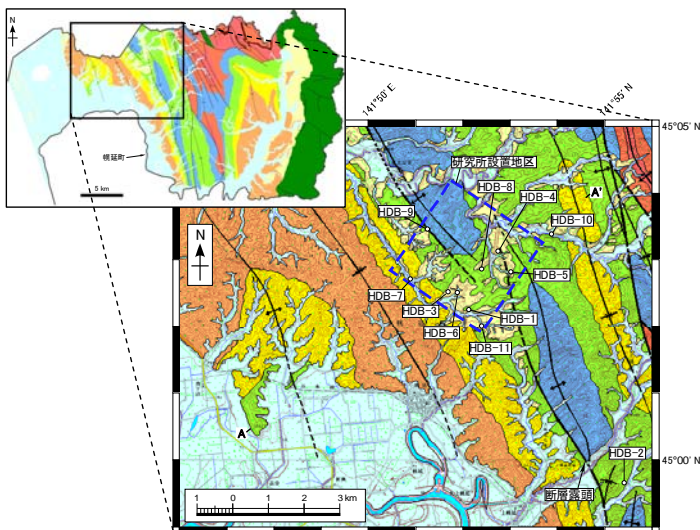
原位置における品質保証された調査手法の例示  
(瑞浪URLの例)

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会(2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 候補サイトの特性を把握するための調査技術や 評価手法の開発と経験の蓄積



## 大曲断層周辺の地下水中の塩化物イオン濃度の分布



研究所設置地区及び周辺の地質図

地質データの包括的な統合(e.g. 地質構造と地球化学)の例示  
(幌延URLの例)

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会(2009年7月1日, 内幸町ホール)

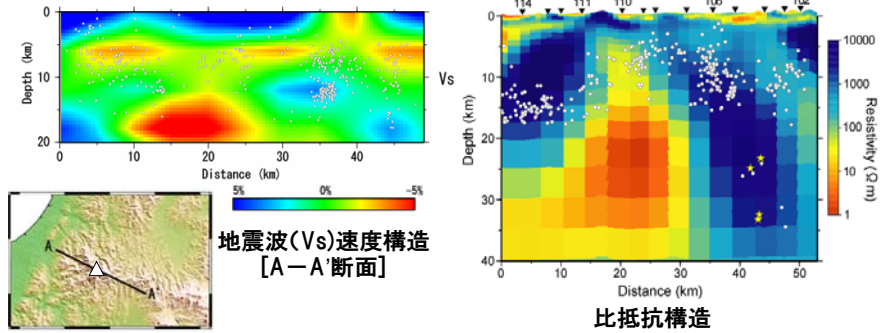


# 候補サイトの特性を把握するための調査技術や 評価手法の開発と経験の蓄積



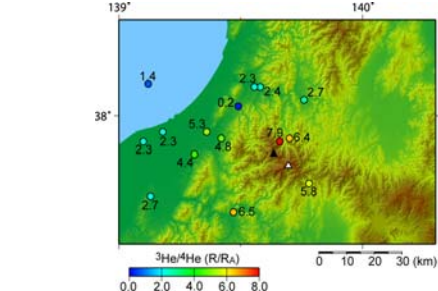
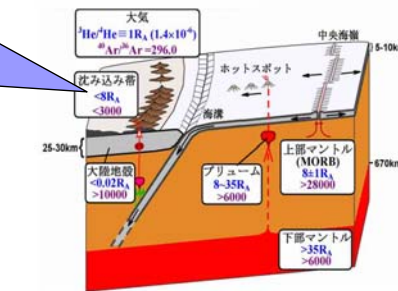
## 火山・地熱活動の調査

実際の地質環境における  
地下深部のマグマの存否  
を確認するための調査手  
法の開発



震源分布, 地震波速度構造, 比抵抗構造の解析の結果, 飯豊山地(非火山地帯)の地下には400℃以上の高温の物質が存在することが示唆→地球物理データにより, 高温物質がマグマであることを推定

マグマはマントルが溶融した物質であり, そのヘリウム同位体比もマントルのそれと同程度



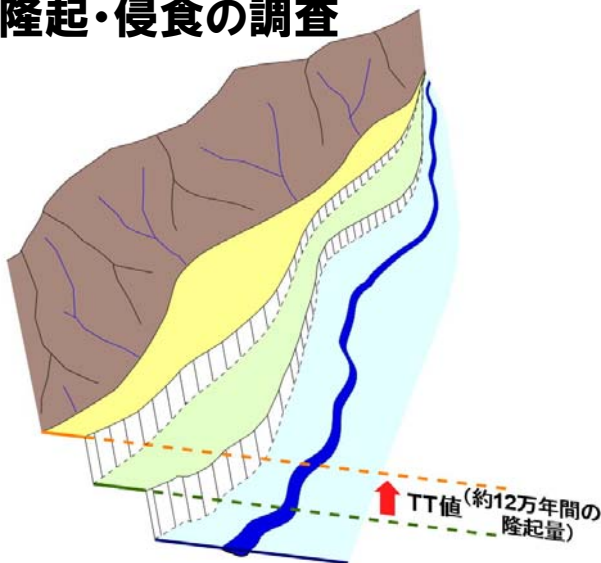
高温物質が存在している地域では, 高いヘリウム同位体比が認められ, その値は東北日本の活火山から放出される火山ガスの値と同程度→地球化学データによって, 高温物質がマグマであることを確認

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

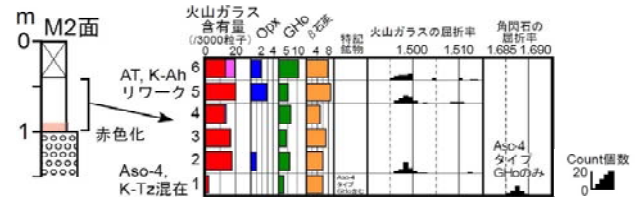
# 候補サイトの特性を把握するための調査技術や 評価手法の開発と経験の蓄積



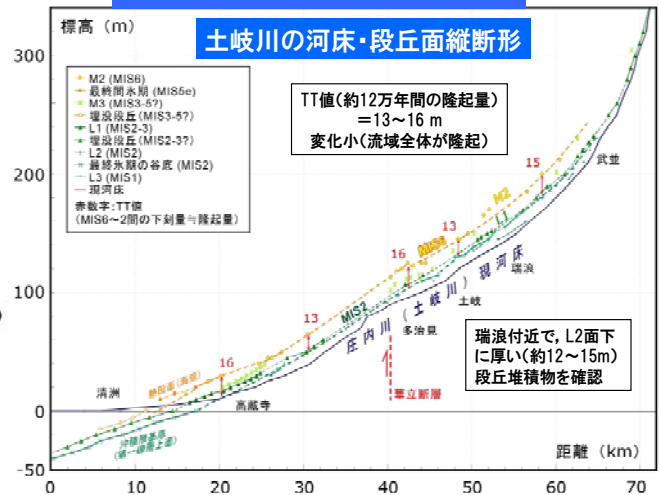
## 隆起・侵食の調査



河岸段丘の年代と比高を利用したTT法が, 内陸部の隆起量を推定する手法として有効であることを確認した。



### 段丘の形成年代を求める調査・分析



内陸部にも適用可能な隆起量の推定手法の開発

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

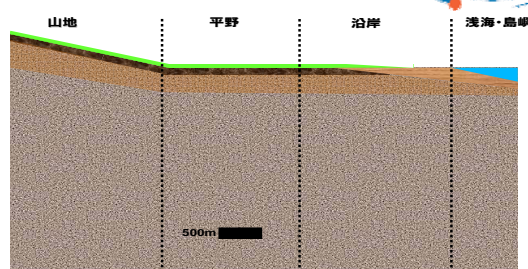
# 候補サイトの特性を把握するための調査技術や 評価手法の開発と経験の蓄積

## ➤ 隆起・侵食の安全評価手法

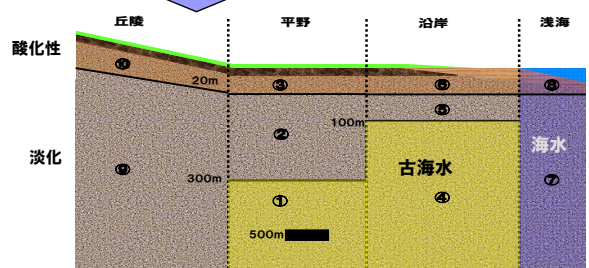
幌延の第一段階調査結果等を参考として、  
隆起・侵食事象を対象とした安全評価モデル  
を作成し、安全評価手法の構築を行う

- 幌延の第一段階調査結果等を参考に、  
地下深部における化学環境や水理環境  
を区分
- 仮想的な堆積岩分布域を設定
- 隆起・侵食による具体的な「場」の  
条件変化の類型化

→ モダンアナログ的な考え方(隆起・侵食が継続したとしても、将来においても、大局的には現在と同様の場の水理・化学的条件は保たれる)の適用により、安全評価のための概念モデルを構築



調査データからの[場]の情報



○番号は水理化学場を考慮した分類

評価モデルの構築、隆起・侵食速度に関する考え方の整理、感度解析の実施、モダンアナログ的な考え方の適用性検討

## 隆起・侵食シナリオに対する安全評価手法の例示

## 場の調査結果を踏まえた 安全評価手法の構築

# 候補サイトへの工学技術の適用を支援 するための知識の蓄積

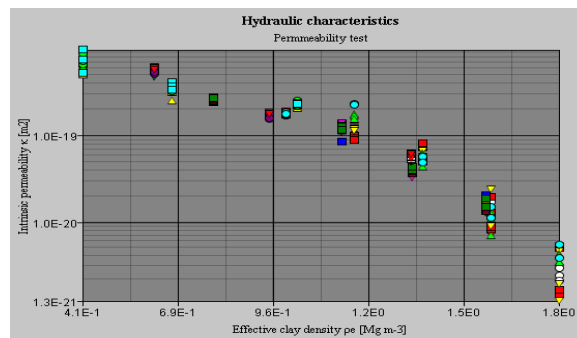
- 熱特性
- 透水性
- 力学特性
- 侵入挙動特性
- ガス移行挙動特性

データベースのトップページ

|  |  |  |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> ベントナイト系材料                                   | <input type="checkbox"/> クニグル V1 (Na型) | <input type="checkbox"/> クニグル OT-9607(Na型) |
| <input type="checkbox"/> 水質  | <input type="checkbox"/> 蒸留水           | <input type="checkbox"/> 人工海水              |
| <input type="checkbox"/> イオン強度 I [mol dm <sup>-3</sup> ]             | <input type="checkbox"/> 掘延地下水(HDB-6)  | <input type="checkbox"/> NaCl 溶液           |
| <input type="checkbox"/> 乾燥密度 ρ <sub>d</sub> [Mg m <sup>-3</sup> ]   |  |  |
| <input type="checkbox"/> ケイ砂混合率 R <sub>q</sub> [wt%]                 |  |  |
| <input type="checkbox"/> 有効粘土密度 ρ <sub>v</sub> [Mg m <sup>-3</sup> ] |  |  |
| <input type="checkbox"/> 試験温度 T [°C]                                 |  |  |

検索機能(透水性を一例)

➤ 密度や砂の混合割合、試験に使用した溶液の水質、試験温度などによる検索

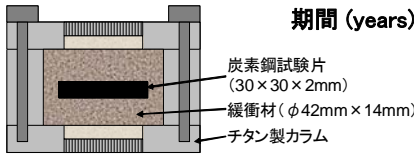
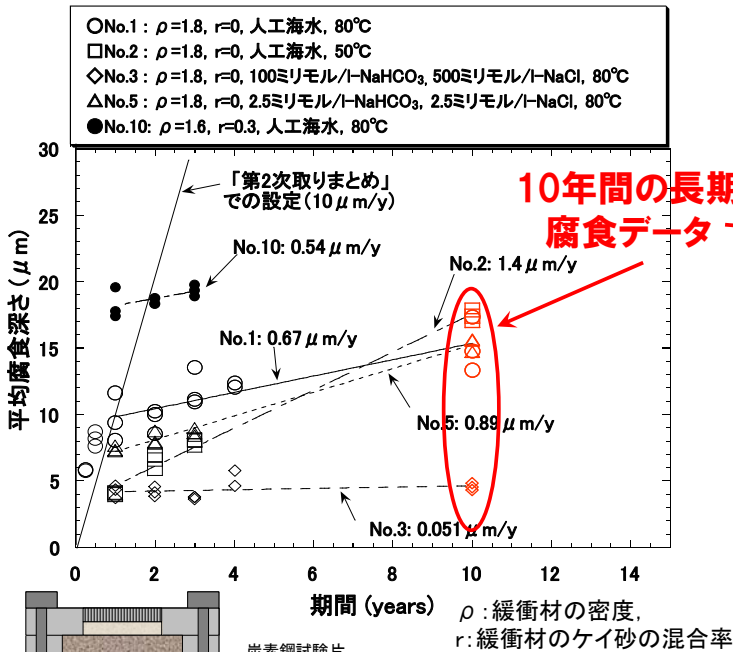


グラフ表示機能(固有透過係数の例)

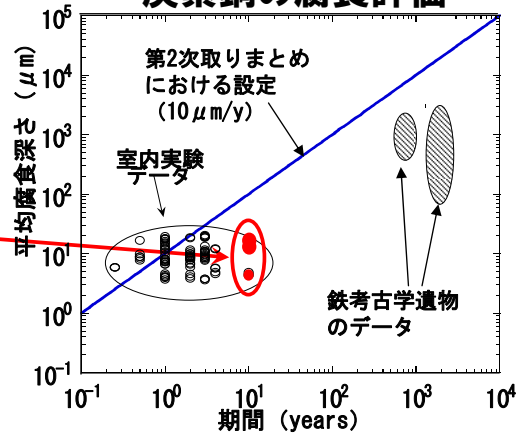
ロバストな人工バリア性能の鍵となる緩衝材に関する包括的なデータベースの開発、特に重要な海水系地下水条件に対応した緩衝材基本特性データの拡充

# 異なる技術オプションを定量的に評価し、選択肢の検討に資するための評価ツールやデータベースの開発

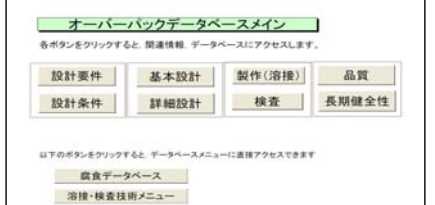
## 炭素鋼の腐食試験結果



## 炭素鋼の腐食評価



## オーバーパックデータベースの開発

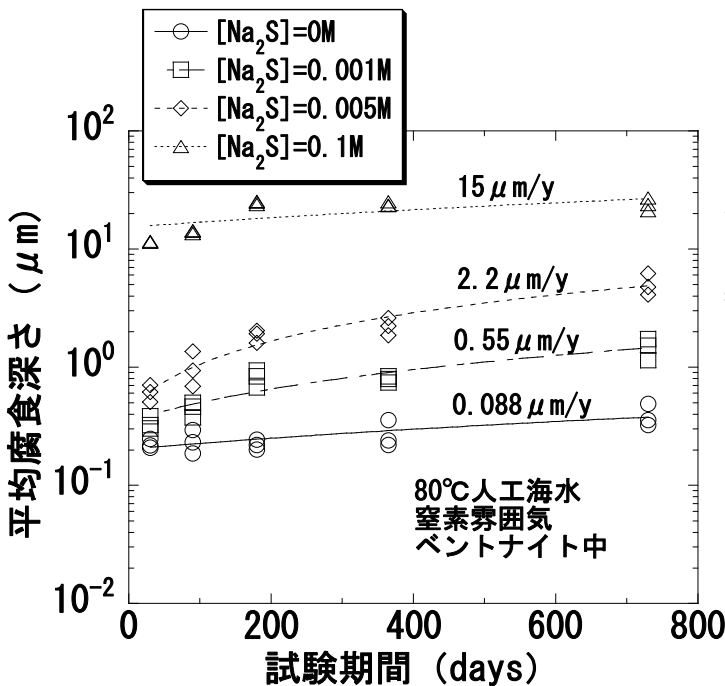


様々な地質環境に対応可能な炭素鋼オーバーパック寿命評価のためのデータベースを開発

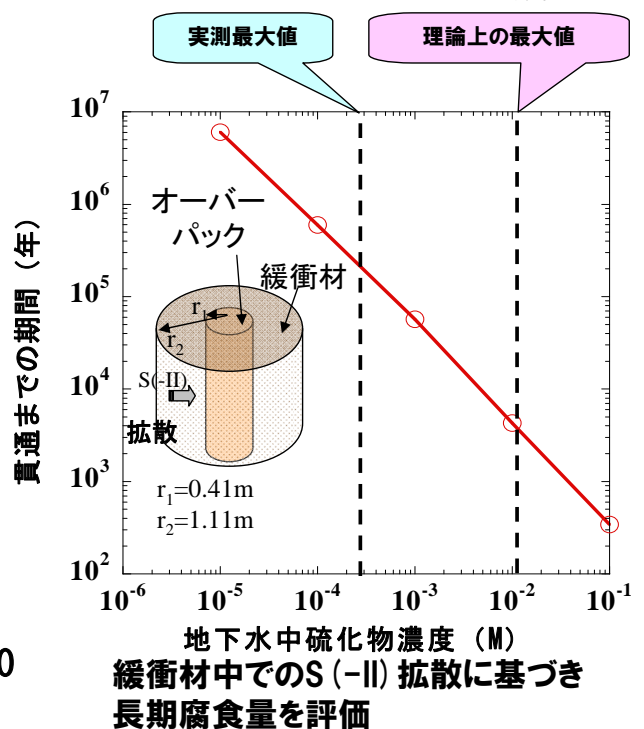
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 異なる技術オプションを定量的に評価し、選択肢の検討に資するための評価ツールやデータベースの開発

## 銅オーバーパックの腐食挙動評価



## 日本における硫化物濃度

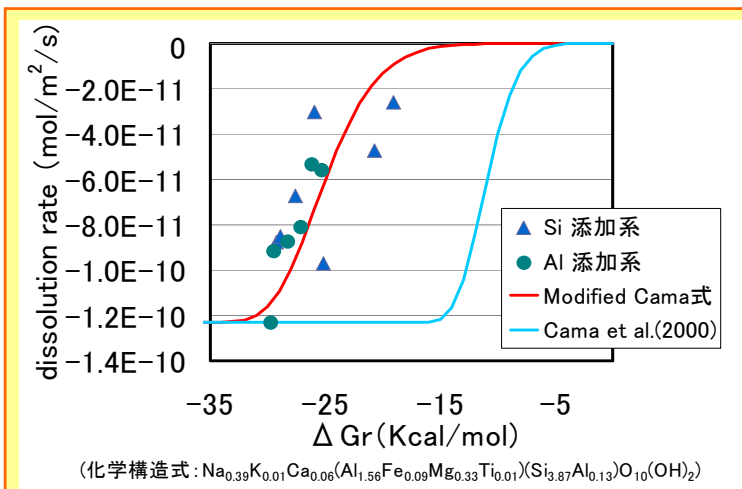


サイト特性に柔軟に対応するための人工バリアオプション 例えば、炭素鋼や銅の検討

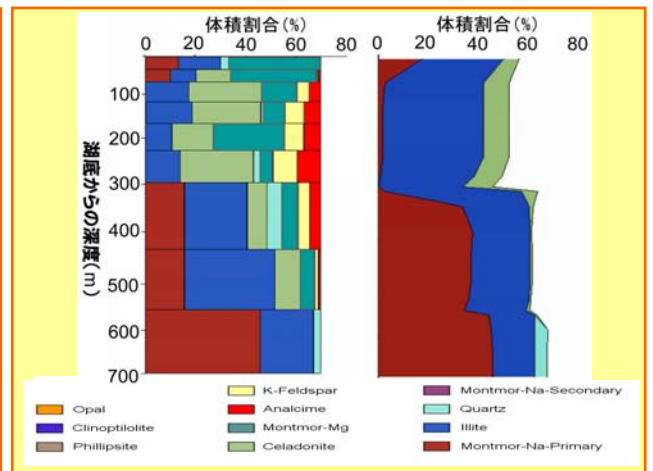
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 異なる技術オプションを定量的に評価し、選択肢の検討に資するための評価ツールやデータベースの開発

➤ 高アルカリ性条件における緩衝材の長期挙動評価( TRU廃棄物地層処分研究開発) セメント影響に関する地球化学-物質移行連成評価モデルの構築とナチュラルアナログによる妥当性確認



スメクタイトの溶解速度と $\Delta Gr$ (反応の自由エネルギー変化)の関係  
 Cama et al. (2000) (pH8.8)で求めた経験式と本実験で求めた式(処分環境を考慮したpH12以上)



Serles Lake湖沼堆積物(左:コアデータ, 右:Cama et al. (2000)のスメクタイト溶解速度式の適用性検討(堆積物の圧縮を考慮したケース))

普通セメントと低アルカリ性セメントの定量的なオプション比較が可能なモデル開発

## 中期計画取りまとめに向けてのポイント — 研究開発の進展 —

「HLW第2次取りまとめ」と「TRU2次レポート」の技術基盤を実際の地質環境条件への適用という観点から強化:

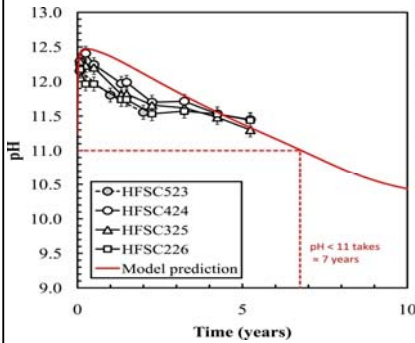
- 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮
- 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮
- 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
- 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性
- 情報の指数関数的な増加(情報爆発)に対応できる知識マネジメント

# バリア性能への影響に配慮した安全な 建設・施工技術の開発



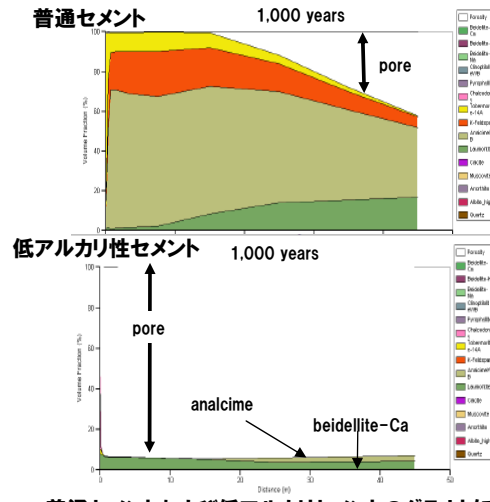
普通セメントによる人工バリアや岩盤の変質に伴う不確実性を低減するための  
低アルカリ性セメント材料 (OPC, シリカフェーム, フライアッシュ) の配合開発

- ▶ 吹付けコンクリート (支保) : 幌延URLの設計基準強度を満足する配合を選定済み
- ▶ 覆工 (場所打ち) コンクリート (支保) : 高流動コンクリートを指向した配合でFAの品質変動の影響を確認
- ▶ 低アルカリセメントグラウト: 最適な配合として超微粒子セメント:シリカフェーム=1:1を選定



目標の  
pH<11に達  
するには7  
年必要

支保工に用いる低アルカリ性セメントの水和反応に伴うpHの  
経時変化例



普通セメントおよび低アルカリセメントのグラウトによる亀裂  
閉塞予測の例

1000年後、普通  
セメントでは亀裂  
がほぼ閉塞される  
のに対して、低アル  
カリ性セメントで  
はほとんど変化が  
ない。

## 支保工やグラウトで用いる低アルカリ性セメント仕様の例示

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 低アルカリ性セメントを用いた対策技術の実証試験



## ■ 吹付けコンクリート

- ・ 地上での模擬空洞を用いた吹付け試験完了 (H18年度)
- ・ 原位置試験に向けた配合 / 試験計画設定済み (H19年度)
- ・ 幌延URL 140m坑道での原位置試験 (H21年度)



140m研究アクセス坑道を用いた  
HFSC吹付け試験の様子 (幌延)

## ■ 覆工コンクリート

- ・ 特性に関する室内試験および原位置試験に向けた配合選定 (H20年度)
- ・ 幌延URL立坑底部で原位置試験 (予定)

## ■ グラウト材料

- ・ 原位置試験に向けた配合 / 試験計画設定済み (H20年度)
- ・ 幌延URL 250m坑道での原位置試験 (H21年度)

処分場におけるセメントの各適用部  
位に対し、低アルカリ性セメントの実  
用性に関わる技術的根拠の整備

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

## 建設・操業時の様々な安全対策



水平坑道貫通(幌延140m研究アクセス坑道)



水平坑道建設(瑞浪300m水平坑道)



先行ボーリング(瑞浪300m水平坑道)



グラウト注入(瑞浪主立坑)

深地層の研究施設の建設を通じて得られた経験

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会(2009年7月1日, 内幸町ホール)

## 中期計画取りまとめに向けてのポイント — 研究開発の進展 —

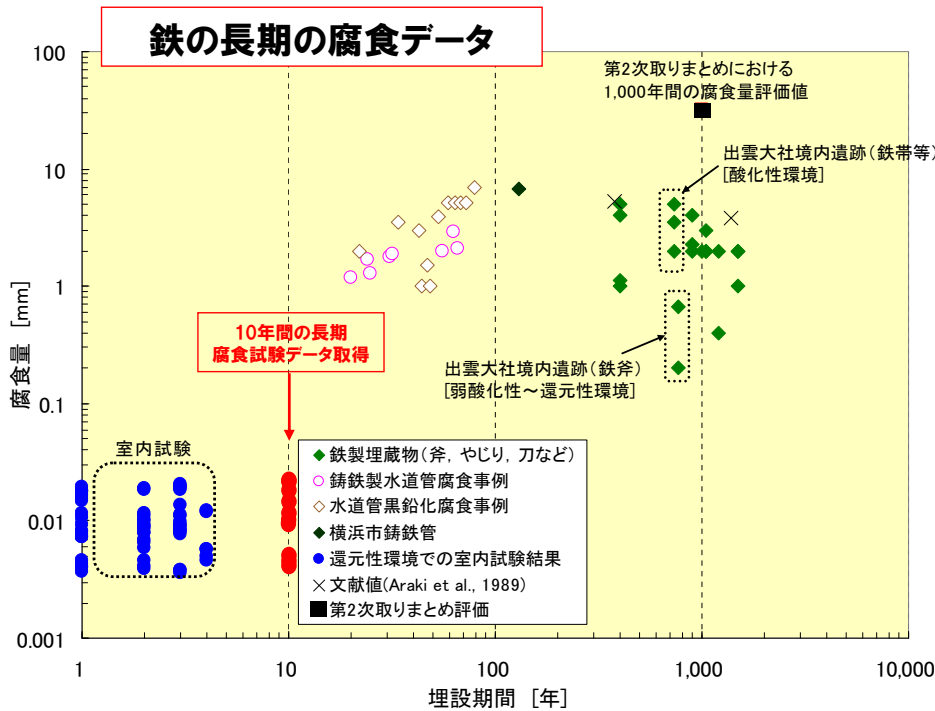


「HLW第2次取りまとめ」と「TRU2次レポート」の技術基盤を実際の地質環境条件への適用という観点から強化:

- 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮
- 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮
- **関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供**
- 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性
- 情報の指数関数的な増加(情報爆発)に対応できる知識マネジメント

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会(2009年7月1日, 内幸町ホール)

# ナチュラルアナログによる長期性能の理解促進



- これまでに、ガラス、鉄、銅、ベントナイトのナチュラルアナログデータを拡充・整備。
- さらに、室内試験で10年間の長期腐食データなど拡充。
- これらの成果により、1年、10年、100年、1000年オーダーのデータを俯瞰して見られるようになった。

地下深部の環境条件を再現して実施された実験結果に基づく長期性能の推定とナチュラルアナログによる支援

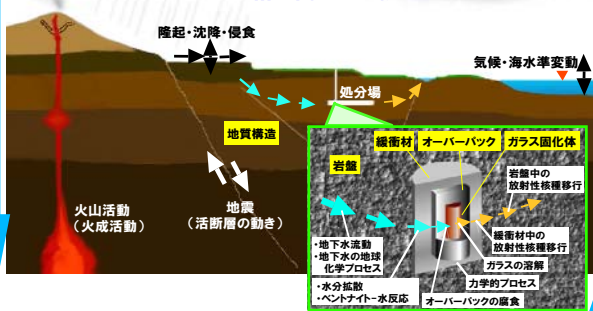
平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 地層処分の安全性に関する様々な懸念に関するコミュニケーションツールの開発



## 地層処分システムの現象理解

特性 (Feature), 出来事 (Event), 過程・経過 (Process) = FEP  
これらの相互関係を把握整理



## 計算機支援ツールFepMatrixへの展開



2007年3月  
外部への  
提供開始

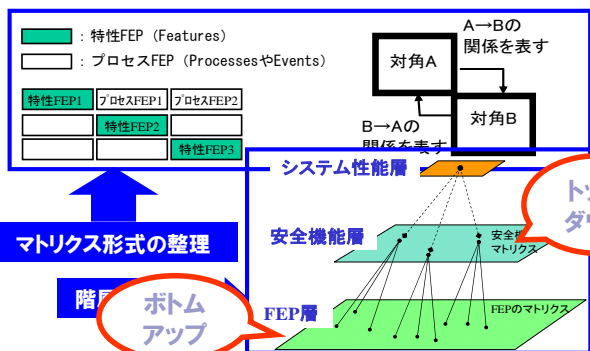
シナリオ解析に係わるいろいろな機能を提供

### 機能の例

FEP情報の入力・編集のイメージ

プロセスインフルエンスダイアグラム表示による解析のイメージ

## 現象理解に基づく地層処分システムのモデル化とFEP解析のイメージ



計算機上に具現化

相関係数の作成・編集・修正画面

情報入力画面

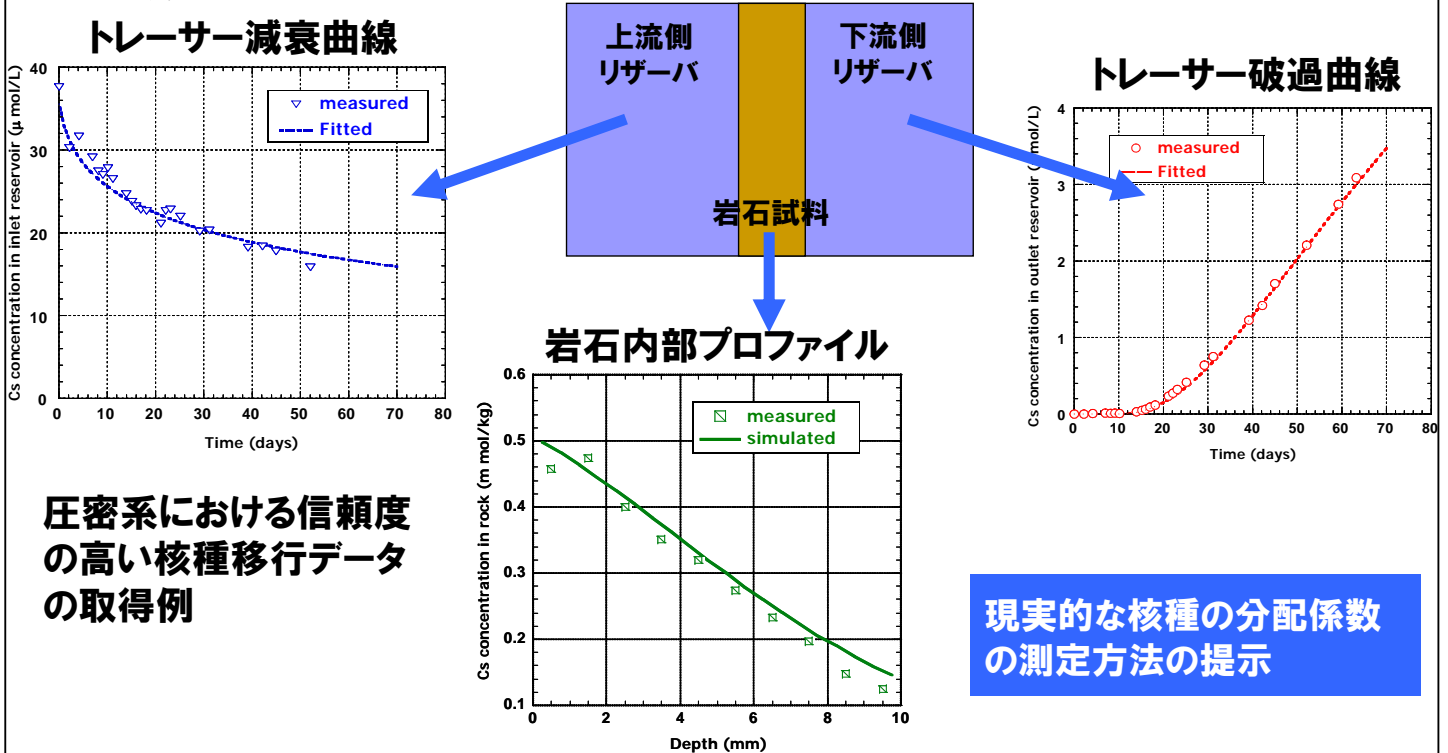
## シナリオ解析手法 (FepMatrix) の公開

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 核種移行パラメータの設定に関する専門家間の合意形成と品質保証 (1)



バッチ法に加えて、現実的な圧密固相中の核種移行データの取得方法例：  
幌延堆積岩試料を用いたCsの拡散試験結果



圧密系における信頼度の高い核種移行データの取得例

現実的な核種の分配係数の測定方法の提示

# 核種移行パラメータの設定に関する専門家間の合意形成と品質保証 (2)



独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
核種移行データベース  
Nuclide Migration Database

メイン検索画面 収着データベース Sorption Database

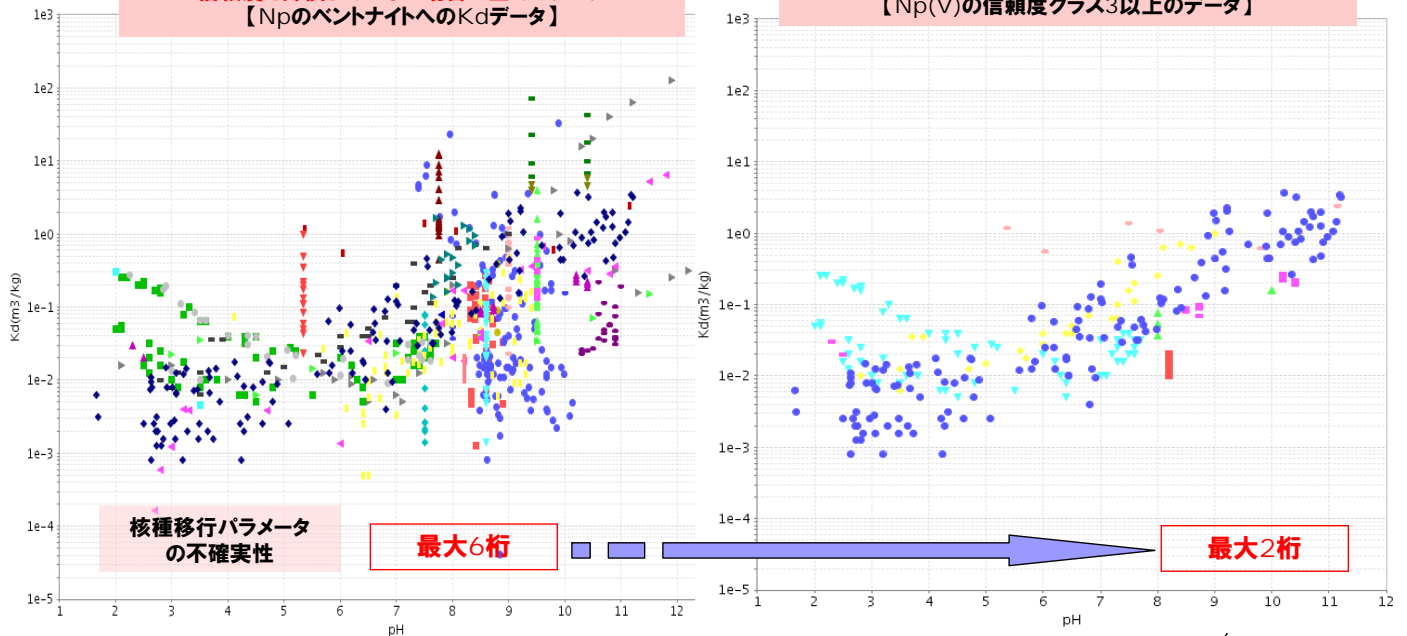
核種の分配係数の設定のための信頼度を付与した実用的な収着データベースの公開

2009年3月Web公開

基準1) 文献記載内容の網羅性

信頼度を評価していない場合の全てのデータ  
【NpのベントナイトへのKdデータ】

信頼度情報及び対象条件により抽出されたデータ  
【Np(V)の信頼度クラス3以上のデータ】





# 中期計画取りまとめに向けてのポイント － 研究開発の進展 －



「HLW第2次取りまとめ」と「TRU2次レポート」の技術基盤を実際の地質環境条件への適用という観点から強化:

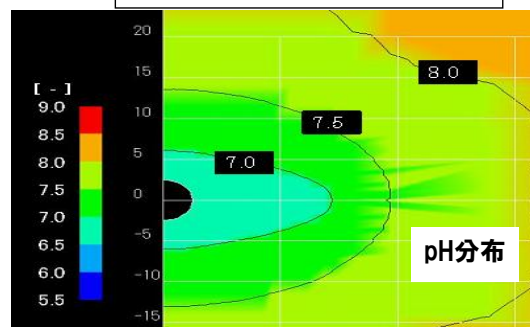
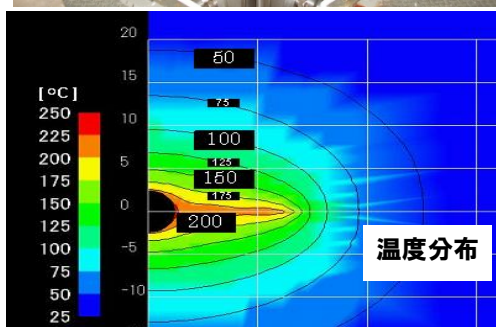
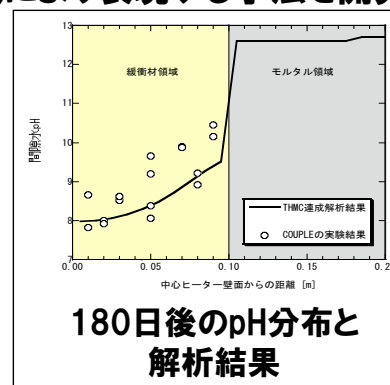
- 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮
- 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮
- 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
- **科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性**
- 情報の指数関数的な増加(情報爆発)に対応できる知識マネジメント

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

## 処分場の長期的変遷の可視化による理解促進や人工バリアの初期性能のモニタリング等に対応可能な数値解析技術の開発



➤ オーバーパックの腐食挙動や核種移行挙動の場となる人工バリアやその周辺環境の熱-水-応力-化学の時空間変化を数値実験により表現する手法を開発



最新の科学を取り入れたリアルな数値解析技術を開発

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 中期計画取りまとめに向けてのポイント － 研究開発の進展 －

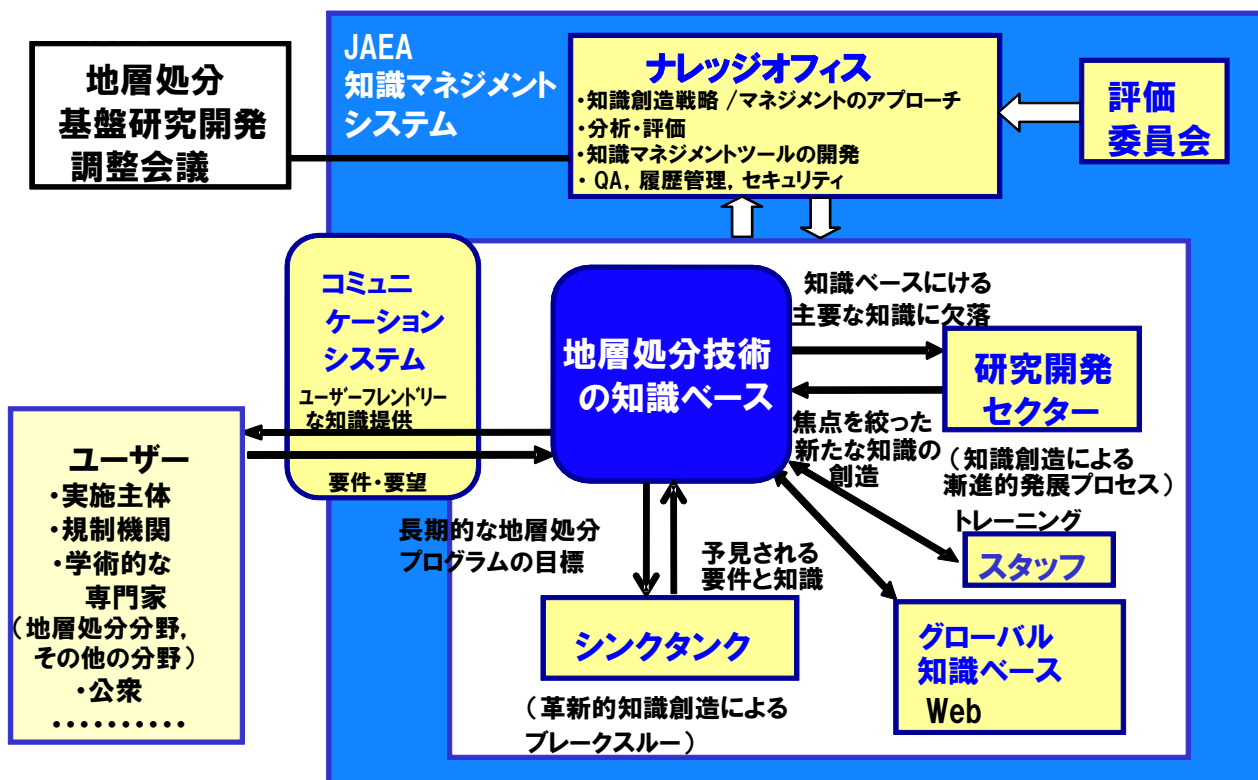


「HLW第2次取りまとめ」と「TRU2次レポート」の技術基盤を実際の地質環境条件への適用という観点から強化:

- 候補サイトへの適用を念頭においた現実的な地質環境条件の考慮
- 処分場の建設・操業等の制約条件と閉鎖後の長期安全性への配慮
- 関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供
- 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応できる柔軟性
- 情報の指数関数的な増加(情報爆発)に対応できる知識マネジメント

平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

## 知識マネジメントシステムの基本構成



平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

- 候補サイトが明らかになった場合、直ちに適用できるように地質環境調査、工学技術および安全評価の各分野の技術基盤を整備してきた。
- 中期計画の包括的な報告書（名称: CoolRep H22）を取りまとめてWebサイト上に公開し、世界に先駆けて開発した知識マネジメントシステムを通じて地質環境調査、工学技術、安全評価の各分野の最新の知識ベースにアクセス可能となるシステムの原型を構築した。
- 処分事業と安全規制を恒常的に支援できるシステムの構築により、処分事業を着実に進めるための支援体制を整備することが可能となる。今後も継続的に強化される基盤技術を同システムに導入していく。

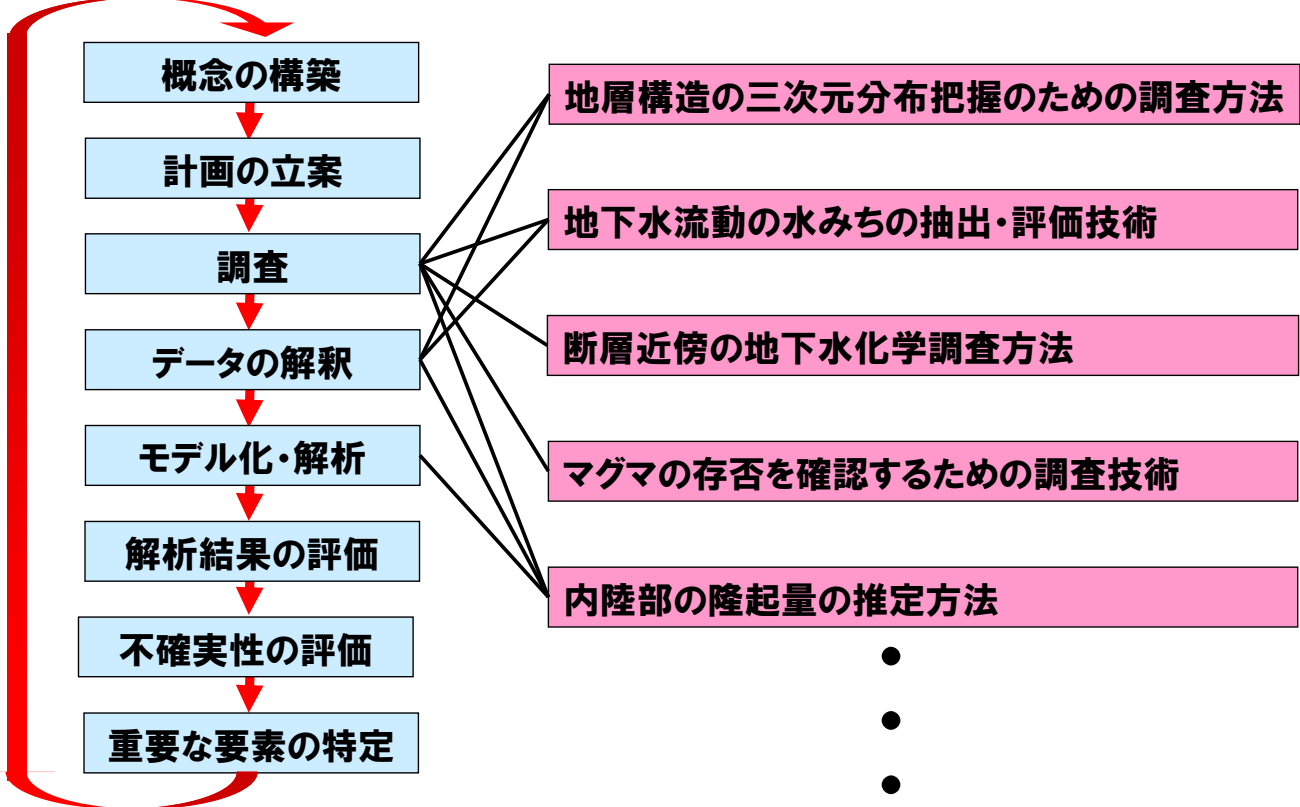
## 参考資料

# 地質環境調査を支える知識ベース



## 地質環境調査フロー

## 知識ベース (例)



平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 工学技術を支える知識ベース



## 処分場の設計フロー

## 知識ベース (例)



平成21年度地層処分研究開発部門意見交換会 (2009年7月1日, 内幸町ホール)

# 安全評価を支える知識ベース



## 安全評価フロー

## 知識ベース (例)

