

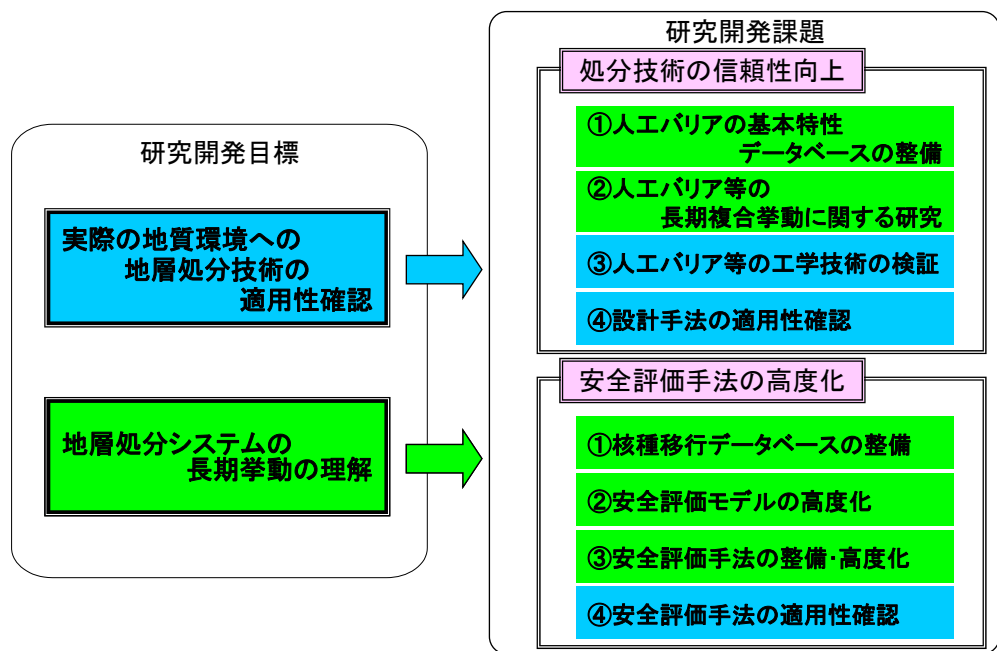
# 【個別技術報告】 処分技術の信頼性向上と 安全評価手法の高度化に向けた 取組みの現状

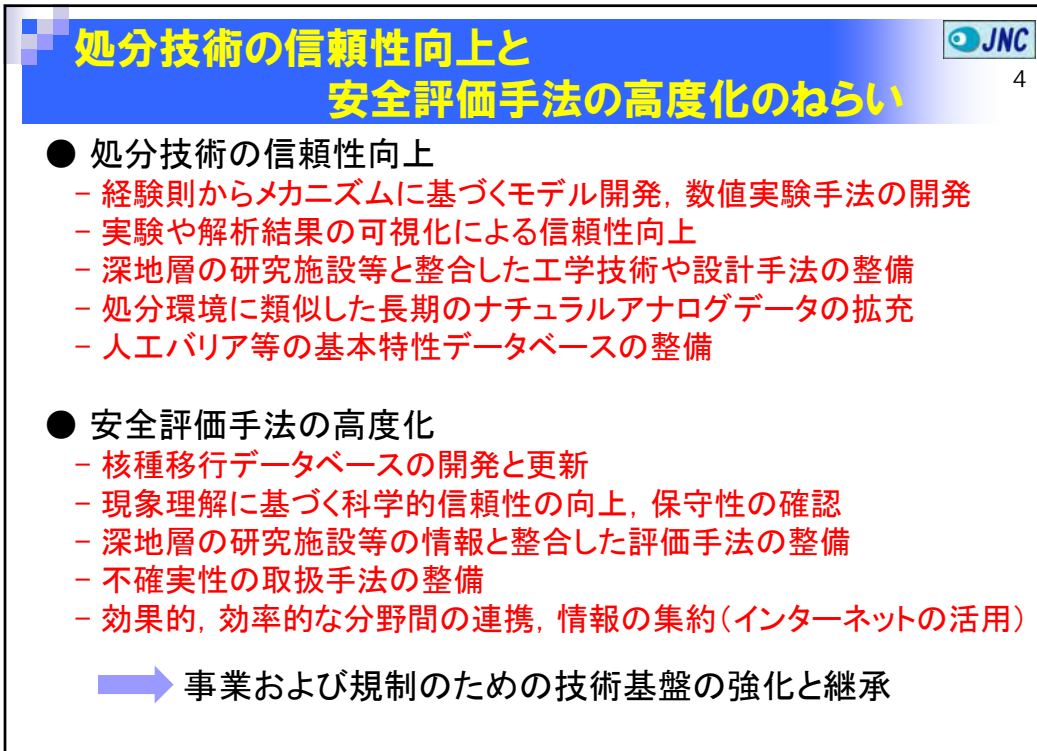
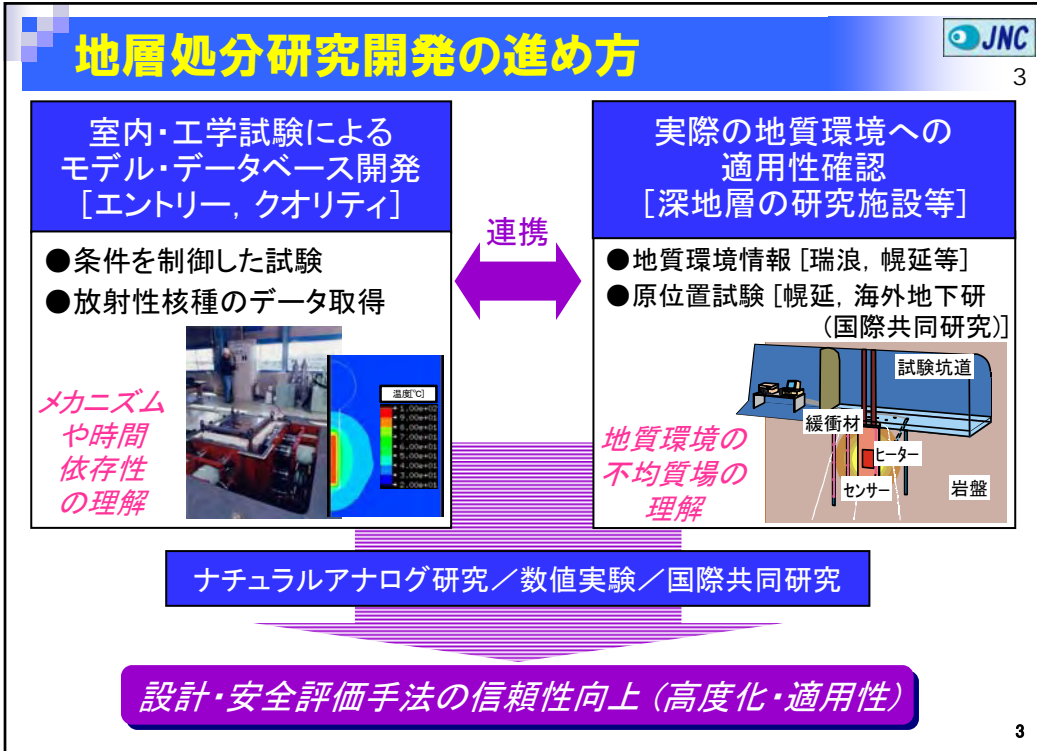
地層処分技術に関する研究開発報告会  
—わが国の地層処分計画を支える技術基盤の継続的な強化—

平成17年3月8日 有楽町朝日ホール

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部  
油井 三和

## 東海事業所における研究開発課題





## 処分技術の信頼性向上に関する 平成16年度成果例



5

①人工バリアの基本特性  
データベースの整備

・炭素鋼のマグネタイトによる腐食加速挙動

②人工バリア等の  
長期複合挙動に関する研究

・緩衝材の基本特性データベースの開発  
・X線CTによる緩衝材中のガス移行挙動の把握

③人工バリア等の  
工学技術の検証

・粘土プラグ・掘削影響領域周辺のトレーサ移行解析

④設計手法の適用性確認

・規延の地質条件を対象とした力学挙動評価

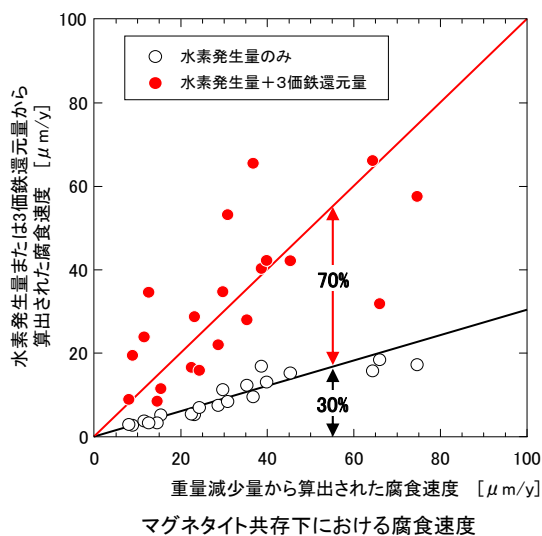
## 炭素鋼のマグネタイトによる腐食加速挙動



6

➢ 炭素鋼においては、マグネタイト共存下における腐食加速の発生が懸念されている。専門家間においても意見が分かれている。

- 実験的研究  
マグネタイト共存下における浸漬試験を行い、水素発生挙動、マグネタイト中3価鉄／2価鉄比の変化を調査した。
- 結果  
マグネタイト中3価鉄による酸化作用が腐食加速の主要因であり、水素発生反応の寄与は小さい。  
⇒ マグネタイトによる腐食加速現象が生じたとしても、3価鉄の消費によりその現象は停止し、長期的な影響は小さいことが確認された。



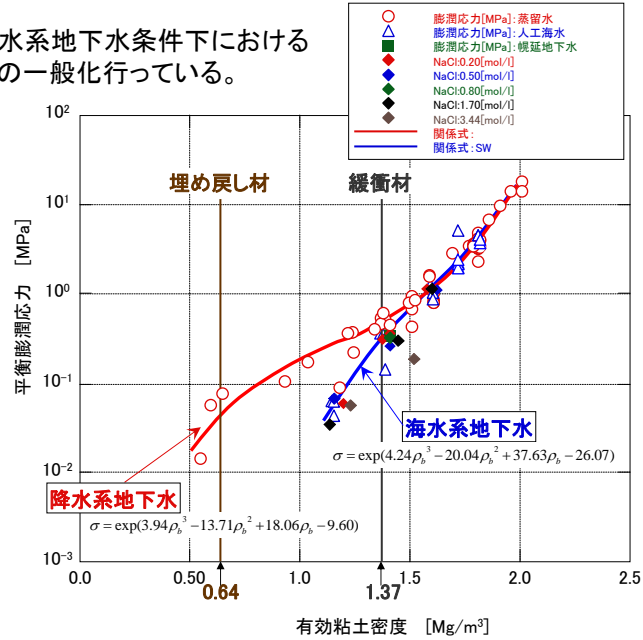
## 緩衝材の基本特性データベースの開発



7

➤ 緩衝材の基本特性として海水系地下水条件下における特性データの取得, 関係式の一般化を行っている。

- 第2次取りまとめでの緩衝材仕様においては, 地下水条件による膨潤応力に大きな差異は無い。
- ベントナイトを用いる埋め戻し材については, 第2次取りまとめ仕様において顕著な差が予測され, 仕様の設定において地下水条件を十分に留意する必要がある。
- 基本特性データ集は公開中、データベース公開は準備中である。

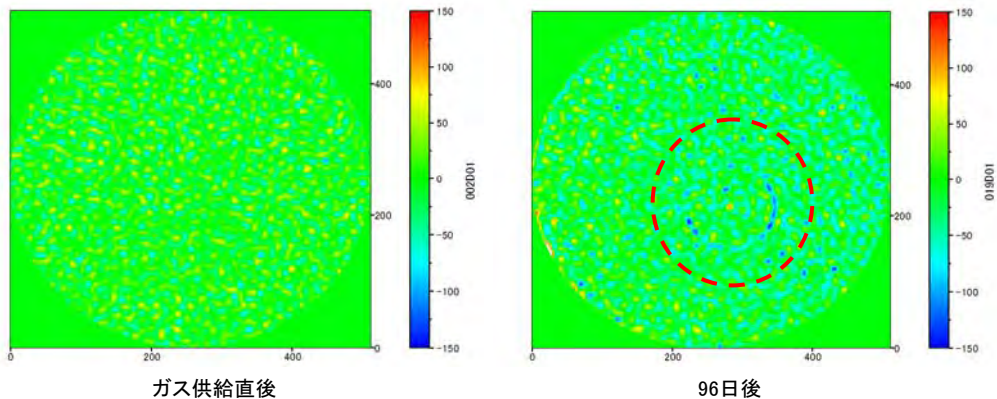


## X線CTによる緩衝材中のガス移行挙動の把握



8

➤ 緩衝材(粘土)中のガス移行挙動については, 多くのモデルが提案されているが, 直接的にガス移行挙動を観測した例はない。



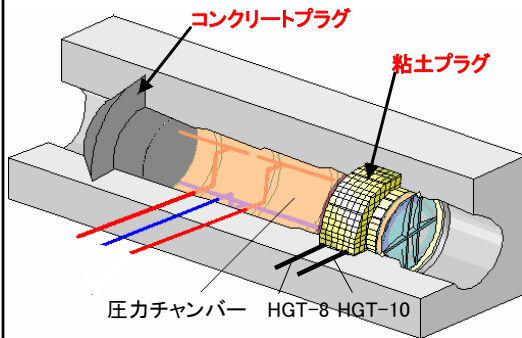
- 緩衝材中のガスの移行については, X線CTを用いた可視化試験により緩衝材中を一樣に移行するのではなく, 選択的経路を形成し移行することが確認された。

## 粘土プラグ・掘削影響領域 (EDZ) 周辺の トレーサ移行解析 (TSX 試験)

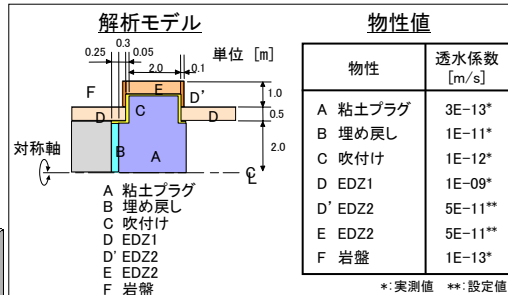


9

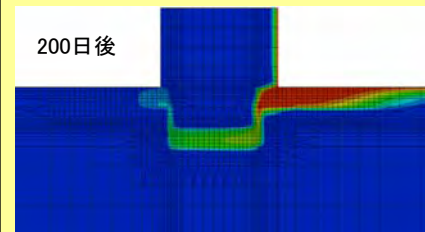
- カナダ・URLで国際共研・トンネルシーリング試験 (TSX) を実施している。



- 粘土プラグのシーリング性能を確認するとともに、岩盤性能が良好な場合、EDZが物質移行経路となり得ることを示した。



トレーサ濃度比分布解析結果の例



## 幌延の地質条件を対象とした設計評価



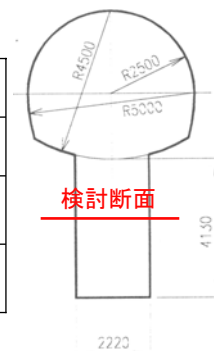
10

- 岩盤の長期力学挙動評価 (1/2) -

- 幌延 (深度450m) と代表的な軟岩 (第2次取りまとめ) における、縦置き式ピット周辺岩盤の長期力学 (クリープ) 挙動を比較した。

- 岩盤クリープ挙動に影響を及ぼす主な力学的地質環境条件

主な力学的地質環境条件	幌延深度450m	第2次取りまとめ	岩盤クリープへの影響
力学特性 (地山強度比)	2.26	0.91	地山強度比が大きいほど安定
初期応力比 (鉛直: 水平最大: 水平最小)	1 : 1.3 : 0.9 【偏圧下】	1 : 1 : 1 【等方等圧下】	等方等圧に近いほど安定
内圧効果 (緩衝材の弾性係数 [MPa])	18.3 (幌延地下水仕様)	30 (淡水仕様)	緩衝材の弾性係数が大きいほど安定



- 3次元弾塑性解析による掘削時の応力状態をもとに、2次元クリープ解析を実施。

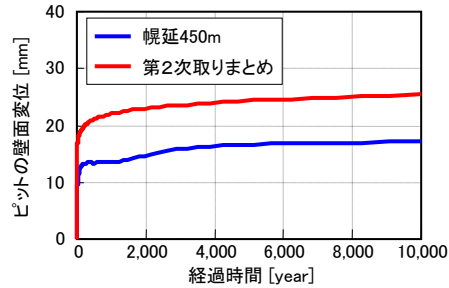
## 幌延の地質条件を対象とした設計評価

-岩盤の長期力学挙動評価(2/2)-



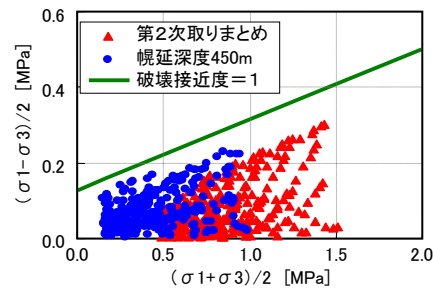
11

- 幌延450m条件は第2次取りまとめと比較して、「偏圧下」,「内圧効果が小さい」も,「岩盤の力学特性が良好」なため,ピットの壁面最大変位(岩盤クリープ)小さく,長期にわたりより岩盤の安定性が見込める。



縦置きピットにおける壁面最大変位

- 両条件ともに,緩衝材の応力状態は,1万年間弾性状態(破壊接近度=1の直線より下)にあり,力学的に安定しているため,岩盤のクリープ挙動は,人工バリア長期健全性の観点から許容内にある。



緩衝材の応力状態(1万年間)

## 安全評価手法の高度化に関する

平成16年度成果例



12

①核種移行  
データベースの整備

・熱力学データベースの公開と信頼性向上

②安全評価モデルの高度化

・共沈現象の解明とモデル化  
・核種の収着挙動に関する研究  
・コロイド, 有機物及び微生物の影響評価に関する研究  
・岩盤中水理・物質移行モデルの高度化

③安全評価手法の  
整備・高度化

・ガラス溶解に関する不確実性評価  
・地層処分技術の技術情報統合システムの利用

④安全評価手法の  
適用性確認

## 熱力学データベースの公開と信頼性向上

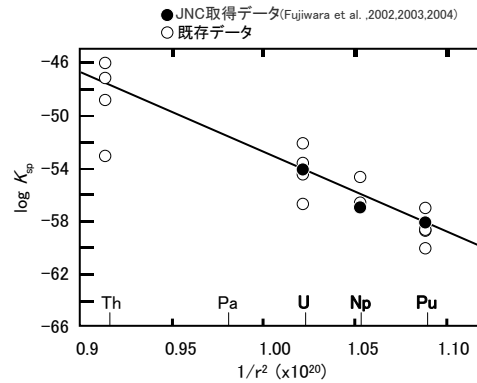


13

➤ 最新の知見に基づく熱力学データベースの更新・公開と恒常的信頼性向上

- 熱力学データベース(JNC-TDB)の公開(2003年8月より)  
国内外の利用登録者250名突破, ユーザー指摘による改良を実施した。
- 熱力学データの信頼性確認  
(アクチニド4種の溶解度積の取得)

アクチニド水和酸化物の平衡定数, 溶解度積( $K_{sp}$ )の値は, 溶解度の大小を論ずる上で重要な値である。アクチニド4種(ネプツニウム, ウラン, プルトニウム)の結晶イオン半径と溶解度積の関係について, 直線的な傾向が確認された。このような傾向性は, 試験の困難な熱力学データを求める際に重要である。



結晶イオン半径と溶解度積の関係

## 共沈現象の解明とモデル化



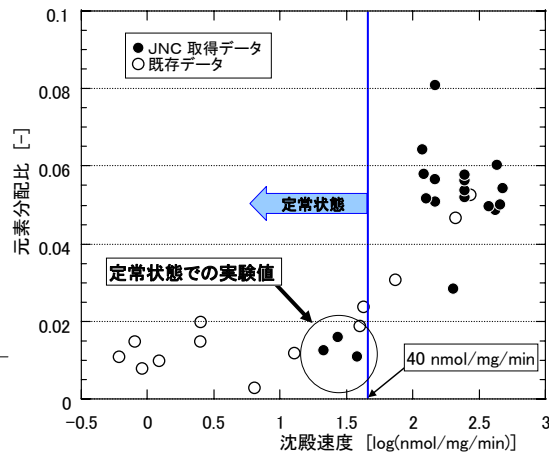
14

-Ra(Ba)-Ca-CO<sub>3</sub>系共沈挙動-

➤ 現実的な核種の溶解度は, 熱力学的に安定で複雑な固溶体等により支配されると想定されるが, 熱力学モデルや基本定数が整備されていない。

- 元素分配比の方解石沈殿速度依存性を取得  
→ ラジウムは簡易モデル(第2次取りまとめ)の50~100倍と推定される。
- 反応機構を固溶体反応と仮定し, モデル化を踏まえて基本定数を整備した。

$$\text{元素分配比} = \frac{\text{(固相中Ba/Ca mol比)}}{\text{(溶液中Ba/Ca mol比)}}$$



方解石沈殿速度と元素分配(Ba/Ca)比

# 核種の収着挙動に関する研究

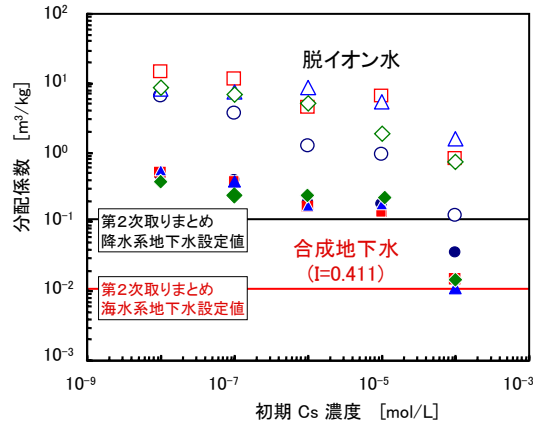
- 幌延堆積岩を対象としたCsのバッチ収着試験とモデル化 -



15

➤ 堆積岩や海水系地下水における核種の分配係数データの充実と収着現象の理解が求められている。

- 幌延地域の堆積岩(声間層・稚内層)に対するセシウム(137Cs)の分配係数の濃度依存性を取得した。
- 第2次とりまとめにおける“泥質・凝灰質岩”に対する分配係数設定値を上回る。  
→ 保守性を確認
- 得られた分配係数は、イライトを支配固相としたイオン交換モデルにより解釈が可能である。



幌延堆積岩に対するCs収着挙動

- ● 108.45~108.80m 声間層 イライト 16%
- ■ 266.60~267.00m 声間層 イライト 13%
- △ ▲ 404.65~405.00m 稚内層 イライト 12%
- ◇ ◆ 504.70~505.00m 稚内層 イライト 20%

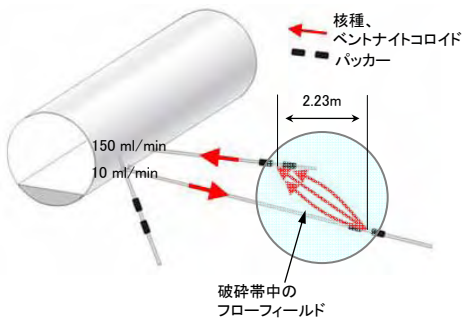
# 天然バリア中の核種移行に及ぼすコロイドの影響に関する解析

- 核種移行に及ぼすコロイドの影響評価 (1/2) -



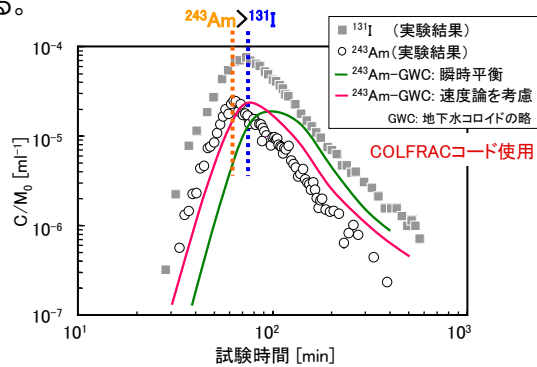
16

➤ 亀裂性媒体及び多孔質媒体におけるコロイド影響に関する理解や基本モデルの構築が求められている。



グリムゼル原位置試験場(スイス)におけるコロイドおよび核種移行実験の概略図

(1998年~2004年まで、国際共同研究プロジェクトとしてJNCも参加)



原位置実験の解析結果(Am)

- アクチノイドは非収着性のヨウ素より移行が速い(これまでに知見とは異なる！)  
→ コロイドへの核種収着に速度論を導入することで解釈が可能

↓  
長期的評価(性能評価)へ応用

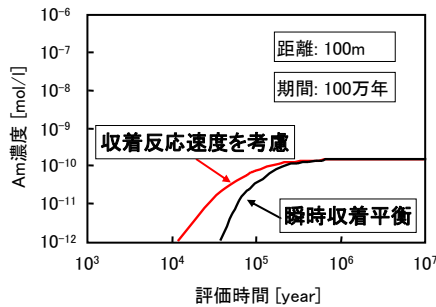


## 天然バリア中の核種移行に及ぼすコロイドの影響に関する解析 -核種移行に及ぼすコロイドの影響評価 (2/2) -

### グリムゼル原位置試験条件

地下水流速: 40 m/d  
コロイド濃度: 0.1 ppm

評価距離、評価期間のみを変更して解析

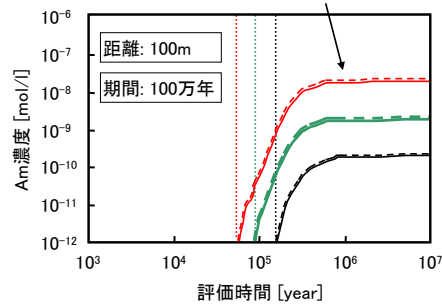


### 性能評価条件

地下水流速: 0.14 m/d (50m/y)

コロイド濃度: --- 0.1 ppm  
- - - 1 ppm  
- - - 10 ppm

実線: 瞬時収着平衡  
破線: 収着反応速度を考慮



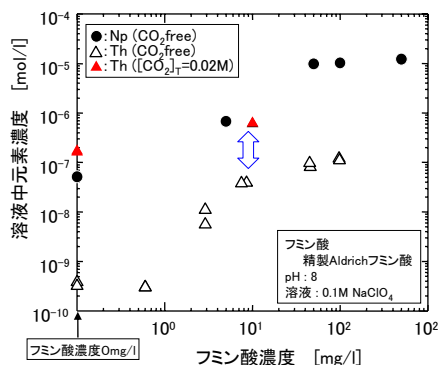
各条件におけるAmの移行解析(COLFRACコード使用)

- 性能評価では、核種-コロイドの収着反応速度を考慮する必要性は低い。
- 短期の原位置試験結果のみでは、直接安全評価は行えない。
- コロイド影響が顕著となる条件として①地下水流速、②コロイド濃度が示された。

## 天然バリア中の核種移行に及ぼす 有機物及び微生物の影響に関する評価

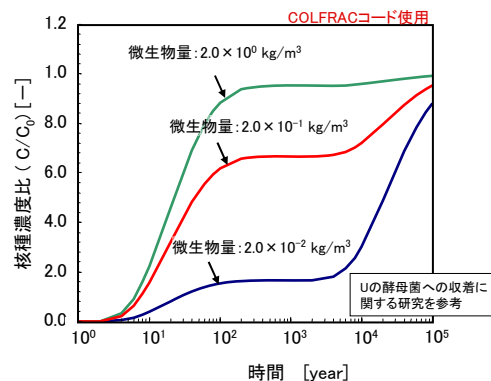
➢ 有機物及び微生物の影響に関する理解や概念モデルの構築が求められている。

- アクチニドの溶解度に及ぼす天然有機物の影響評価(Np, Th)



- アクチニド4価: 数mg/lのフミン酸の存在で、有意に溶解度が増加した。
- 溶液中の炭酸濃度が約0.02mol/lより高い場合はフミン酸の影響は有意でない。

- 微生物の挙動をコロイド相当とした影響評価の検討(U移行挙動)



- 微生物のバイオフィルム、バイオコロイドの存在割合が重要である。

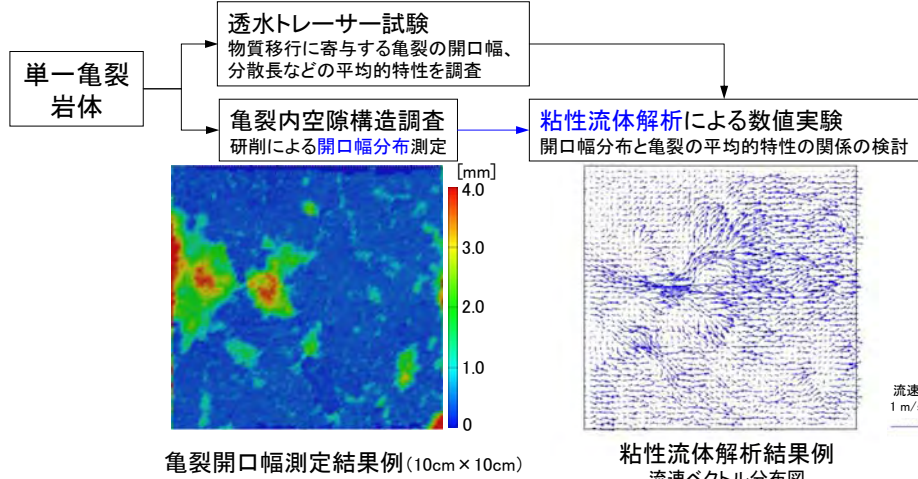
# 岩盤中水理・物質移行モデルの高度化

-亀裂モデルの信頼性向上に向けたアプローチ-



19

- 天然の単一亀裂中の水理・物質移行に影響を及ぼす開口幅などのパラメータの現実的な設定や既存の平行平板モデルの妥当性確認が求められている。



- 既存モデルの妥当性やより信頼性の高いパラメータ値設定方法の提示が可能。

# 岩盤中水理・物質移行モデルの高度化

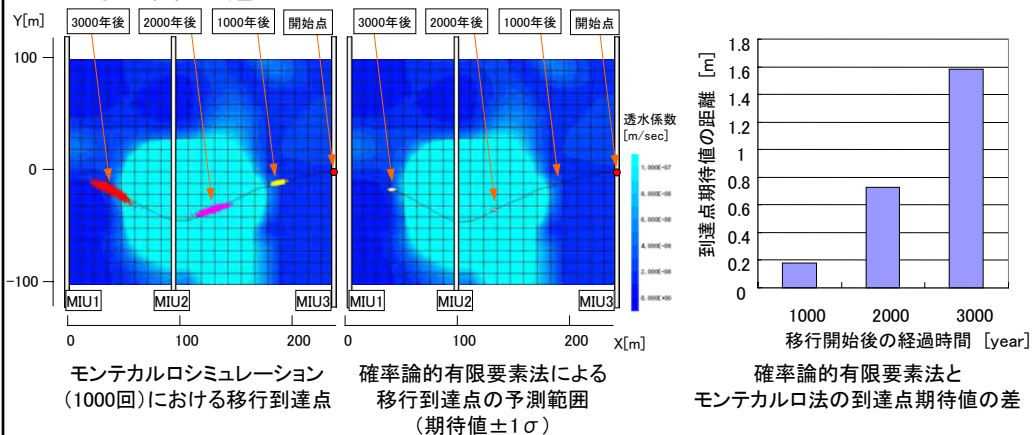
-不均質場における移行経路の不確実性評価手法の開発-



20

- 広域スケールにおける調査データが限られた条件下での地下水流動に関する不確実性の定量化や手法の検証が進められている。

- モンテカルロ法による移行到達点と確率論的有限要素法による移行到達点の予測範囲の違い

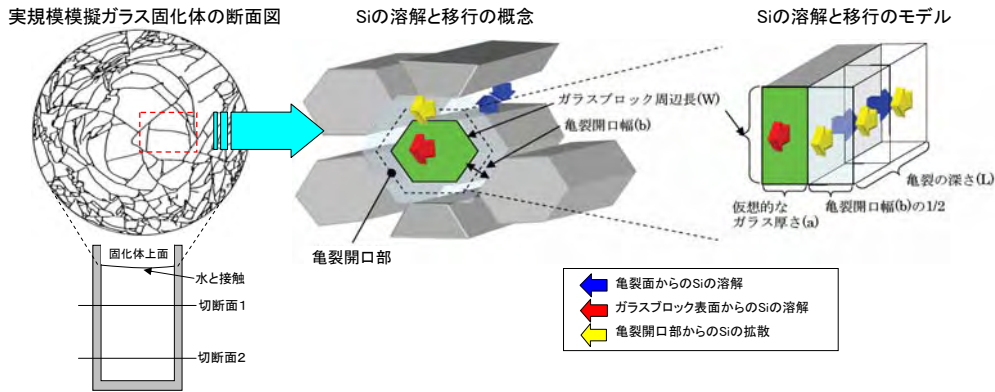


- 目的に応じた手法の多様化と信頼性確認

# ガラス溶解に関する不確実性評価

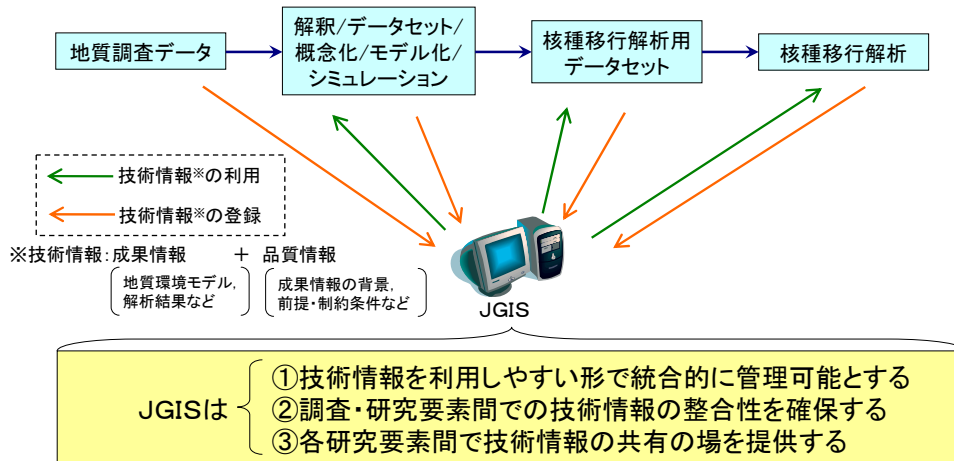
-ガラス割れによる表面積増加の影響-

➤ 不確実性評価の一環として、ガラス溶解に関する割れの不確実性評価を実施



- 実規模模擬ガラス固化体を用いた浸出試験の条件に本モデルを適用：割れによる100倍以上の表面積増加に対して、シリカの溶解量の増加は2倍程度。表面積、亀裂開口幅などの感度は小さい。
- ガラス固化体の溶解量は亀裂による表面積の増加に比例しない。

# 地層処分技術の技術情報統合システム (JGIS) の利用



- H17取りまとめにおいて、多種・多様な技術情報のやりとりを必要とする、地質環境の調査から核種移行解析への展開など、連続性や整合性が重要な作業が発生する、JGISの概念および機能が有効になると考えている。

## 1. 処分技術の信頼性向上に関する研究成果

- ・ 人工バリアの長期挙動評価に関するデータの拡充
- ・ 現象の可視化によるメカニズム理解
- ・ 閉鎖性能に関する評価
- ・ 実際の地質環境における人工バリア設計条件の設定

## 2. 安全評価手法の高度化に関する研究成果

- ・ 核種移行データベースの公開・更新と信頼性の高いデータ取得
- ・ コロイド等の影響評価モデル開発
- ・ 不確実性の定量化技術の開発
- ・ 分野間の連携を効率的に行う技術情報統合システムの整備