

# TRU廃棄物の 地層処分研究開発について

平成21年3月10日

地層処分研究開発部門 TRU廃棄物処分研究グループ  
バックエンド推進部門

# 発表内容

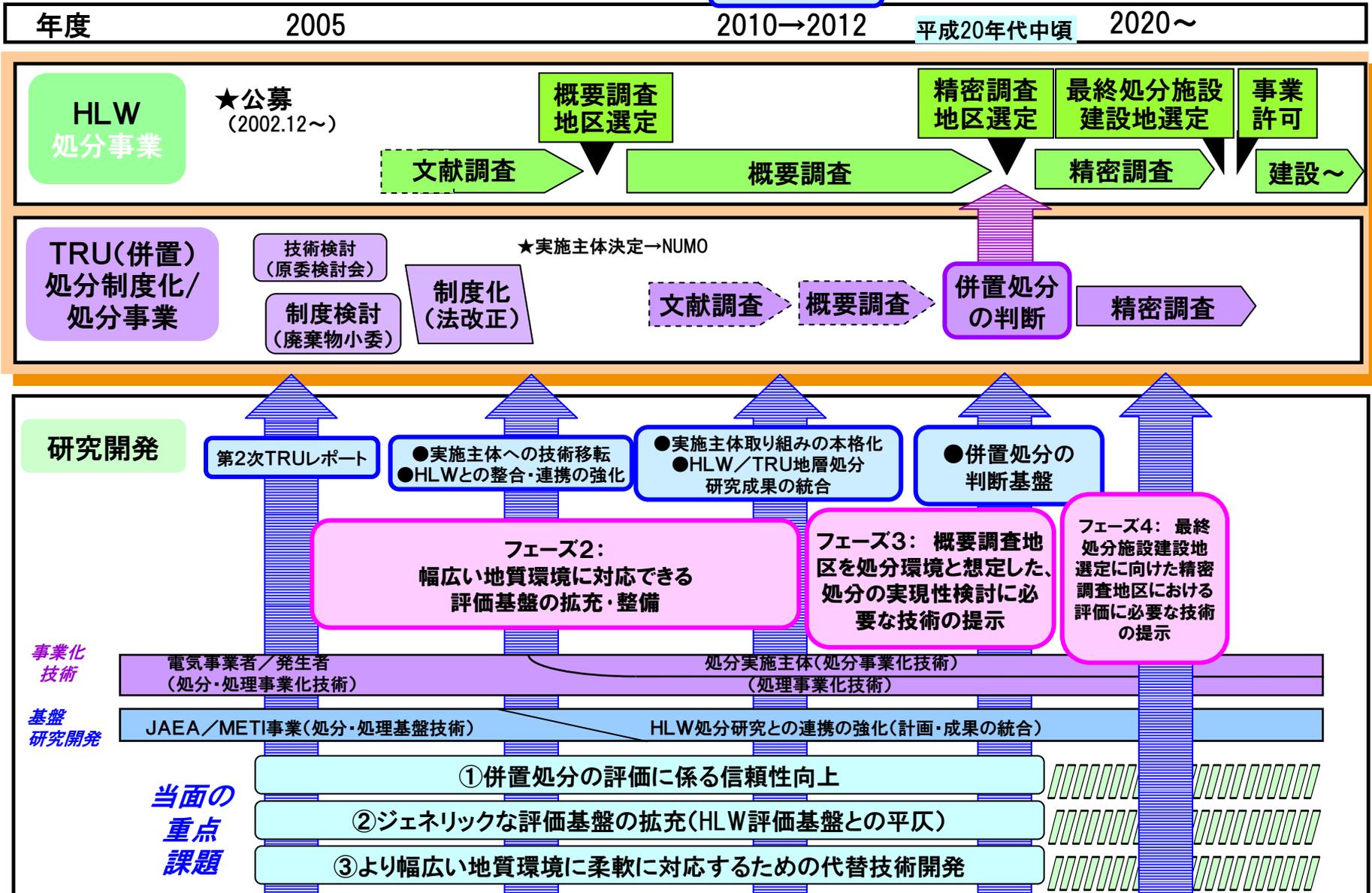
- **全体基本計画：当面の重点課題とJAEAの役割**
- **第3回地層処分研究開発検討委員会でいただいたTRU廃棄物地層処分研究に関する主なご意見と対応**
- **平成20年度 TRU廃棄物地層処分研究開発の主な成果**



# **全体基本計画：当面の重点課題及びJAEAの役割**

# TRU廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する段階的進め方 (経済産業省資源エネルギー庁・JAEA,2006に加筆)

2年延びる



# 当面の重点課題とJAEAの実施内容

(経済産業省資源エネルギー庁・JAEA,2006に加筆)

## 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(JAEA)

- 性能評価技術の体系化・高度化(処分場スケールでの相互作用評価の考慮など)  
(電気事業者→処分事業者)

## 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(JAEA)

☆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(JAEA)

## 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(ANRE)

- 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(ANRE)

☆硝酸塩影響の不確実性低減のための硝酸塩分離・分解技術(JAEA)

# 発生関連

発生

処理

検認

日本原燃(JNFL)

発生・処理事業者技術開発

基盤研究開発

(1) ①  
廃棄体データベース  
拡充

(5) ④  
硝酸塩分解  
技術

(5) ⑤  
アスファルト  
分解  
技術

(1) ③  
廃棄体の品質  
管理・  
検認  
手法

(5) ①  
放射性  
ヨウ素  
固定化

日本原子力  
研究開発機構  
(JAEA)

(5)② 放射性炭素  
の閉じ込め

# 処分関連

設計

性能評価

操業等工学技術

(電気事業者→)処分手業者

処分手業者技術開発

●プラクティカル(実用・応用)  
●サイト・スペシフィック  
●既存技術/合理化

(2) ①  
人工  
バリア  
材料  
物性

(2) ②  
ニア  
フィールド  
構造  
解析

(3) ①  
核種  
移行  
データ  
取得・  
整備

(3) ④  
硝酸塩/  
有機物  
影響

(3) ⑥  
システム  
性能  
評価

(4) ①  
併置  
処分  
相互  
影響  
評価

(4) ②  
併置  
処分  
概念の  
合理化・  
最適化

(2) ④  
建設・  
操業・  
閉鎖等  
の工学  
技術

(3)③ アルカリ環境下  
ベントナイト・岩反応  
(3)② セメント変質  
(3)⑤ ガス発生影響

●セオリティカル(現象理解)  
●ジェネリック  
●新技術/高度化

資源エネルギー庁  
(ANRE)



# **第3回地層処分研究開発検討委員会でいただいた TRU廃棄物地層処分研究に関する主なご意見と対応**

# 主なご意見と対応(1)

★JAEAはトータルとしてどのような研究が必要かを考えるべき。処理・処分の連携、HLWとの整合性、NUMOとのコミュニケーションに留意。

○オールジャパンの観点で、地層処分基盤調整会議においてコーディネータとして各機関の研究計画の調整を行い、全体基本計画の改訂に反映。

○JAEA内では処理・処分との情報共有を重視して処分の観点から合理性のある処理方法の検討を適宜実施。

○HLWとの評価基盤の平仄合わせの観点から、評価ツールの共有化に向けた検討に着手。

○NUMOとはNUMO-JAEA間の定期的な運営会議の場で、技術情報交換を実施することで検討中。

★アスファルト固化体に関する研究は実施しているのか？

○アスファルト固化体について、固化体を保有する国と国際的な情報交換を進めつつ、処分環境における膨潤挙動評価に着手。含有される硝酸塩については、処分後の核種移行に与える影響評価システム構築と廃液からの分離・分解技術開発を実施中。

## 主なご意見と対応(2)

★長期変質については研究を進めているのか。

○全体基本計画の課題のうち、ベントナイト系材料の化学的変質について、セメントに起因するアルカリ性溶液によるモンモリロナイトの溶解速度についての基盤的検討と溶解速度式の適用性確認を実施中。関連する鉱物や溶存化学種の熱力学データ取得、整備を行うとともに、地球化学-物質移動連成システムに対する評価モデルについて、ナチュラルアナログ研究(カリフォルニアの塩湖堆積物中のモンモリロナイトのアルカリ変質挙動の調査)による妥当性確認を実施中。



# 平成20年度 TRU廃棄物地層処分研究開発の主な成果

# 核種移行データ整備

## 中期計画

海水系地下水や廃棄体成分の影響を受けた条件及びセメント系材料の核種移行データの取得・整備

## 平成20年度の取組み課題と進捗状況

- ✓ 充填材や構造躯体の候補材料のセメント系材料の影響を受けた高アルカリ性溶液における核種の溶解度データの取得・整備

➢ コンクリートやセメント系充填材への使用が想定される高性能減水剤(有機系の流動化剤:ポリカルボン酸を主体とする有機溶液)の核種の溶解度への影響を調べるため、セメント硬化後の間隙水を高圧抽出法により準備。60Mg荷重で溶解度試験に用いる間隙水を採取(右図)。アクチノイド(Am, Th及びPu)の過飽和側からの溶解度試験を実施中。

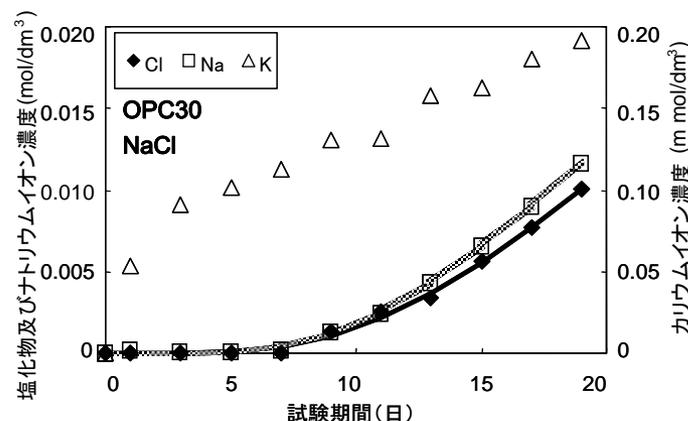
- ✓ セメント硬化体中の核種の拡散係数の取得・整備

➢ 透過型拡散試験法にて普通ポルトランドセメント硬化体中の塩素の実効拡散係数( $D_e$ )及び収着容量( $\alpha$ )を算定(右図)。

➢  $D_e$ として $4 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$ 、 $\alpha$ として13が算定。浸漬試験法で得られた見かけの拡散係数 $4 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}(=D_e/\alpha)$ と整合的。



高圧抽出装置によるセメント硬化体からの間隙水の採取状況(左図:硬化体のセッティング, 右図:载荷及び間隙水の採取)



透過型拡散試験セルのトレーサセルにおける各イオンの経時変化の例(OPC30:水セメント比30%の普通セメント硬化体、塩化ナトリウム溶液を使用)

# セメント系材料の長期挙動評価(1)

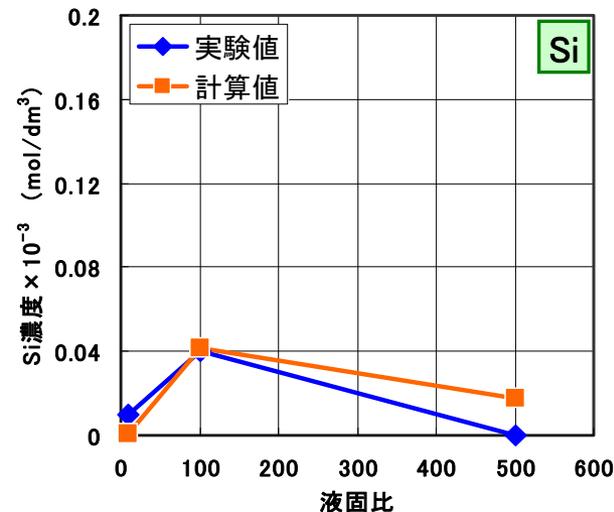
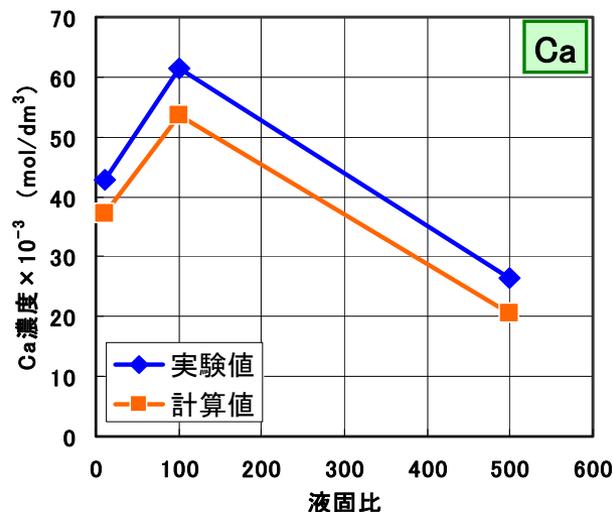
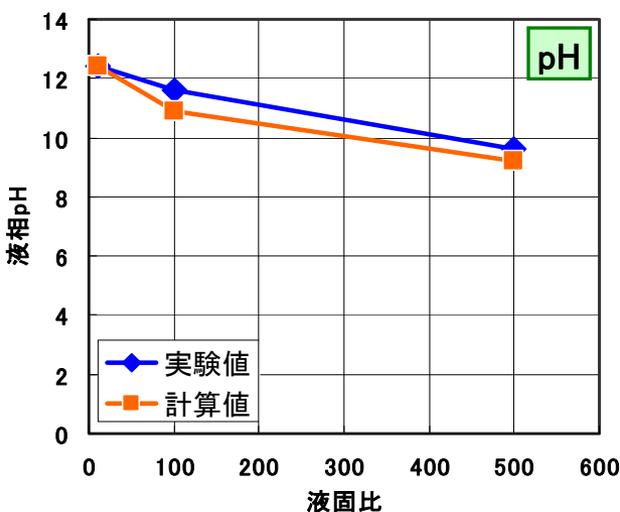
## 中期計画

地下水組成およびセメント系材料の多様性を考慮した化学-物質移動モデルの構築とそれに伴うデータベース整備

## 平成20年度の主な成果

### 1. 海水系地下水による普通ポルトランドセメント(OPC)水和物の化学的変質に関する検討

- 人工海水を用いた浸漬実験を実施し、pH及び化学組成について、昨年度、開発したモデルの計算値と実験値が整合することを確認。
- 米国材料学会主催の国際シンポジウムにて本研究成果を発表。



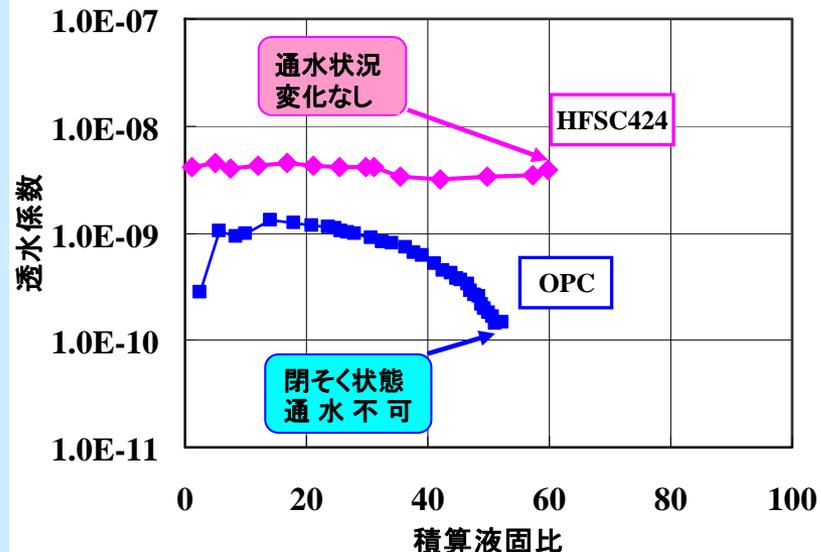
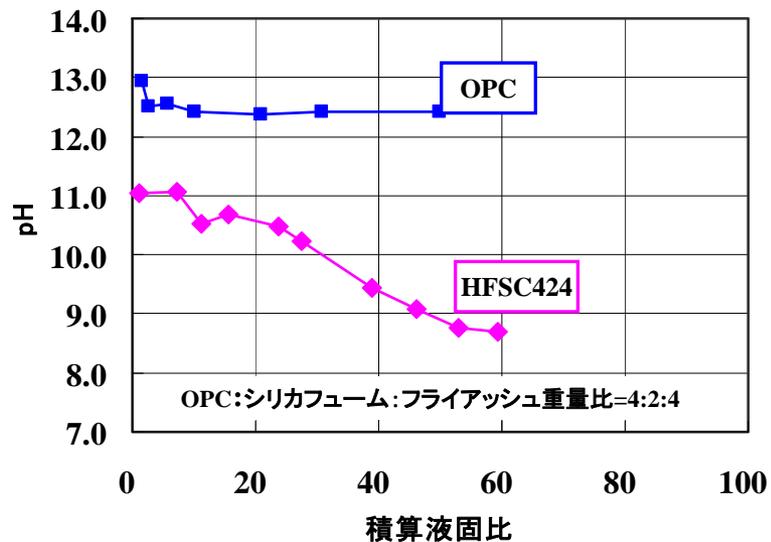
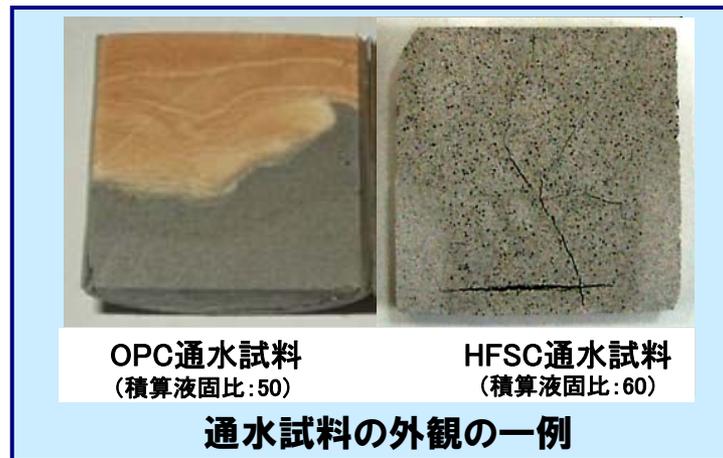
人工海水浸漬実験結果と平衡計算結果を比較した一例(左:pHの比較, 中央:Ca濃度の比較, 右:Si濃度の比較)

# セメント系材料の長期挙動評価(2)

## 2. 降水および海水系地下水によるHFSC水和物の化学的変質に関する検討

- ・ イオン交換水を用いた通水試験を実施し、降水系地下水によるHFSC水和物の変質データを拡充。
- ・ 人工海水による浸漬及び通水試験を行い、海水系地下水による変質挙動と変質に伴う物質移動特性の変化に関するデータを拡充し、OPC水和物との相違を確認。

※OPC:普通ポルトランドセメント  
HFSC:低アルカリ性セメント



人工海水通水試験結果の一例(左:pHの経時変化, 右:透水係数の経時変化)

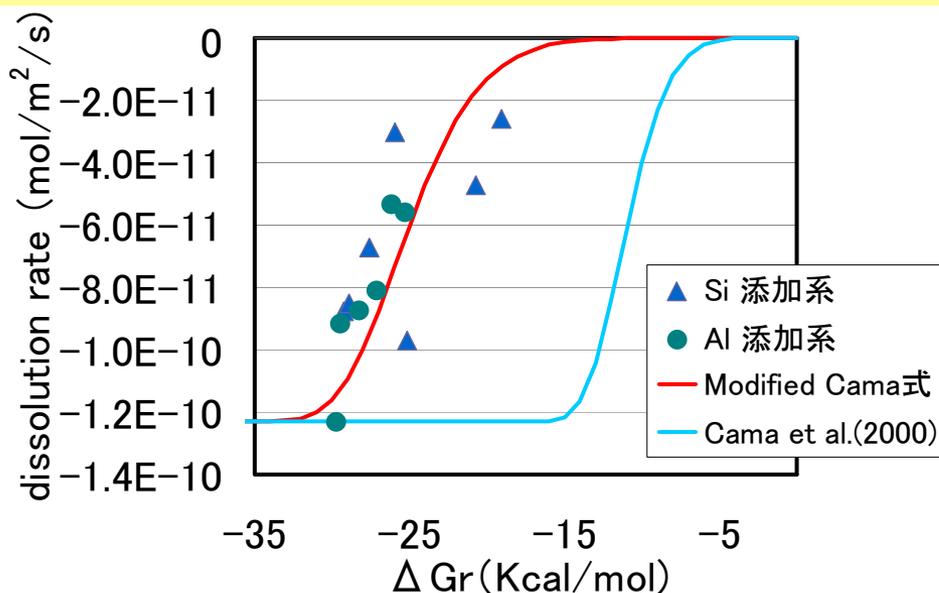
# 高アルカリ性条件における緩衝材の長期挙動評価

## ■ 中期計画

- 海水環境などの多様な環境条件でのデータ整備, 評価手法の高度化
- 鉱物の熱力学データや変質モデルなどのより適切な評価を行うための基盤整備

## ■ 平成20年度の目標及び成果

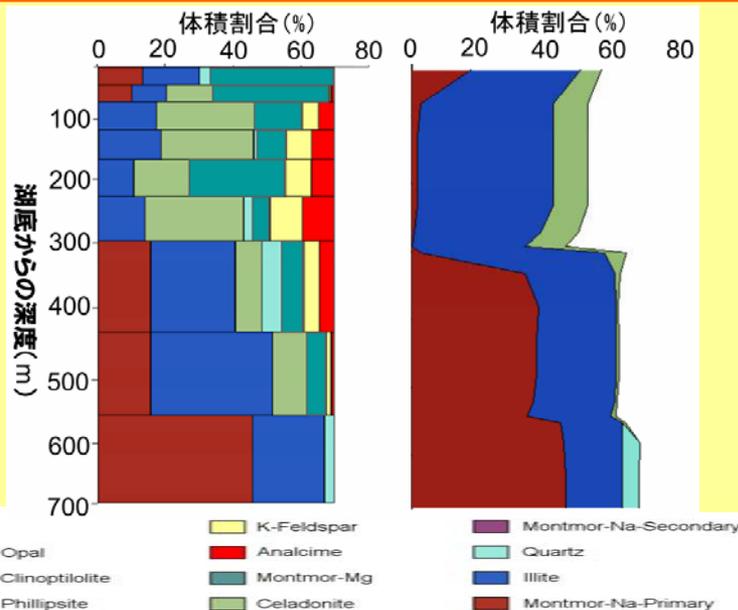
- 高アルカリ性条件におけるスメクタイト溶解速度データ取得
- 高塩濃度・アルカリ濃度における天然事例を比較対象とした, 緩衝材鉱物変遷モデルの妥当性検討



(化学構造式:  $\text{Na}_{0.39}\text{K}_{0.01}\text{Ca}_{0.06}(\text{Al}_{1.56}\text{Fe}_{0.09}\text{Mg}_{0.33}\text{Ti}_{0.01})(\text{Si}_{3.87}\text{Al}_{0.13})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ )

スメクタイトの溶解速度と  $\Delta Gr$  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)



SerlesLake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))

# 天然バリアへの高アルカリ性溶液影響評価 (1/2)

## ■ 中期計画

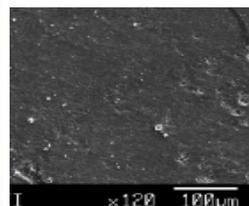
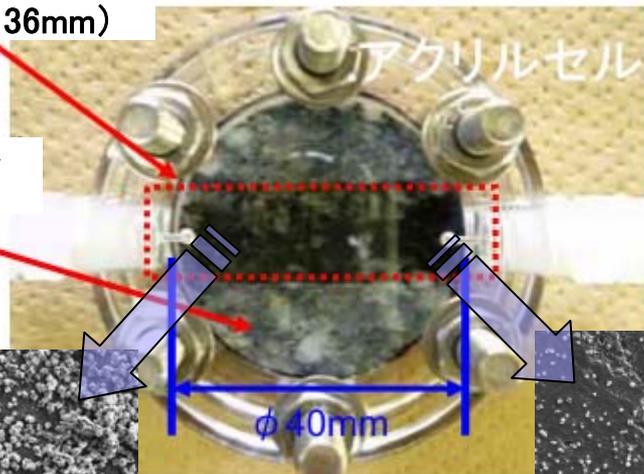
- 実際の地下深部における亀裂中の高アルカリ性溶液に基づく変質挙動の評価解析手法の構築
- 化学反応-物質移行連成モデル構築と計算の実施
- 天然亀裂を用いた高アルカリ性溶液通水試験の実施

## ■ 平成20年度の目標及び成果

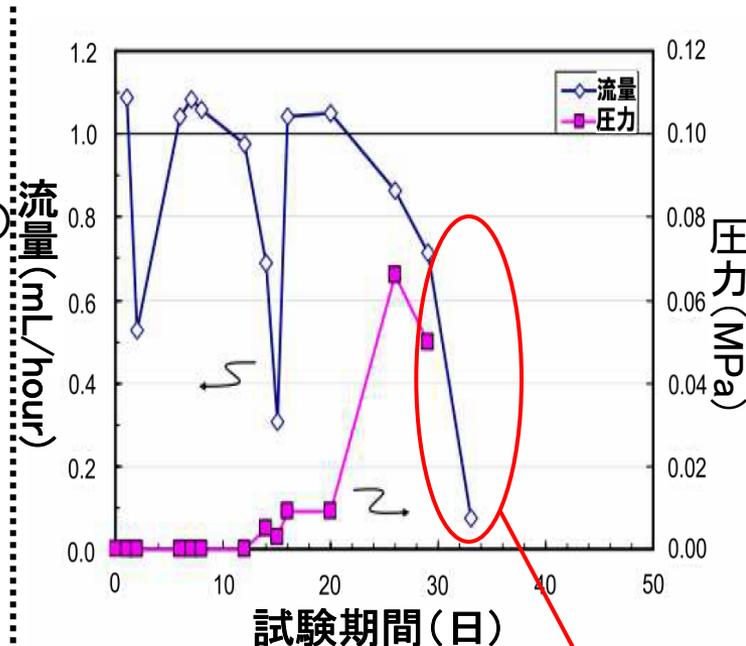
- グリムゼル花崗岩の人工平行平板亀裂への通水試験の実施(降水系セメント浸出模擬水)

流路(14×36mm)

テフロンシート  
厚さ10 $\mu$ m



SEM写真(通水前)



流量低下

通水方向

Caを主成分とし、SiO<sub>2</sub>をわずかに含む二次鉱物

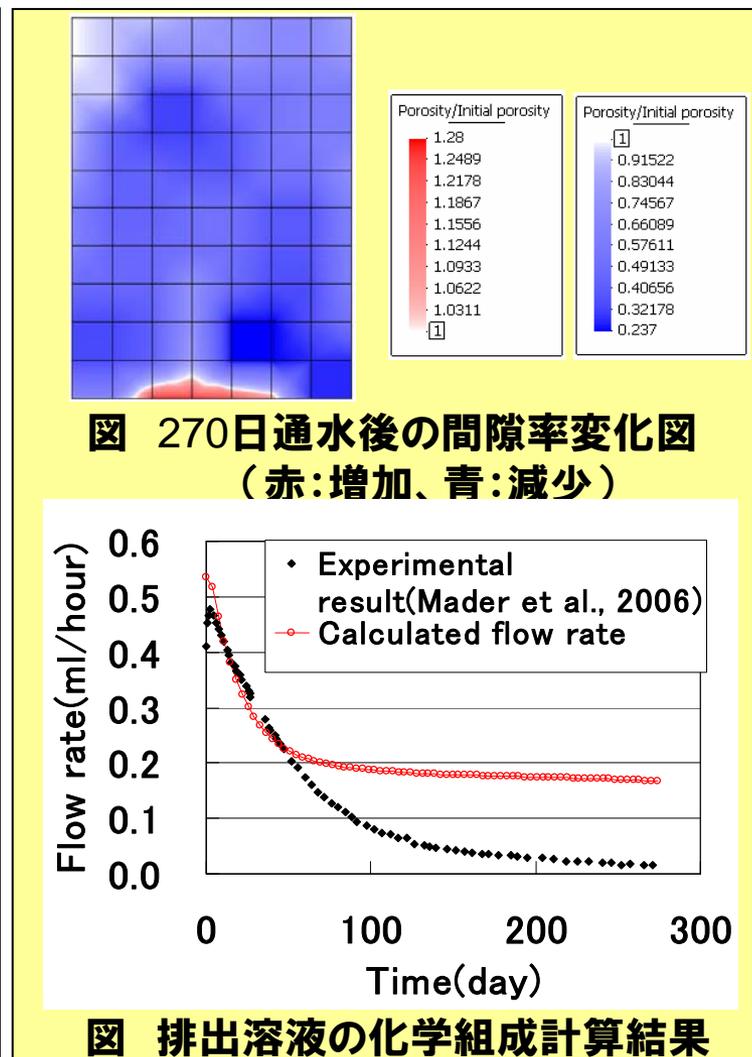
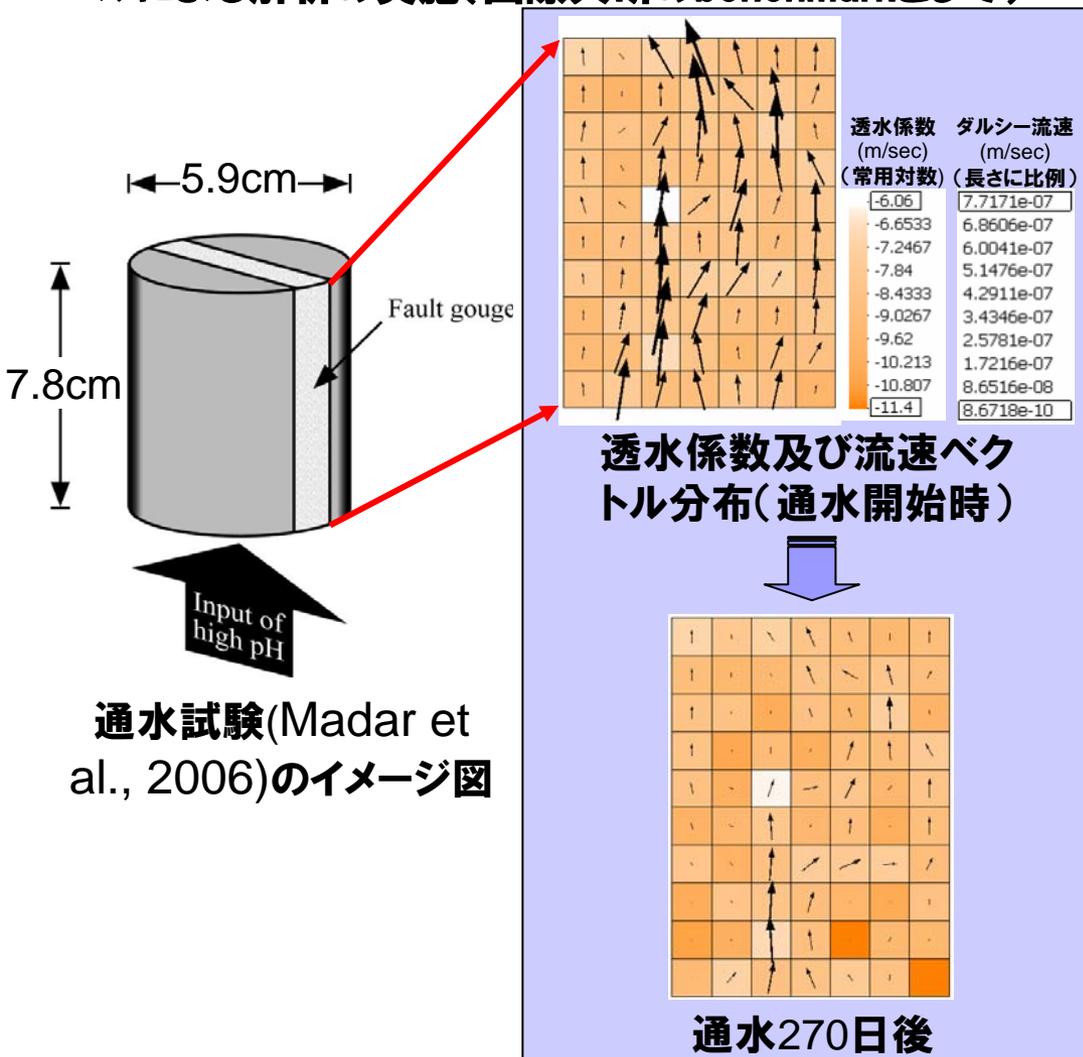
上流側SEM写真  
(通水31日後)

下流側SEM写真  
(通水31日後)

# 天然バリアへの高アルカリ性溶液影響評価 (2/2)

## ■平成20年度の目標及び成果

- ・ グリムゼル花崗岩の天然亀裂への通水試験(Madar et al., 2006)の化学反応-物質移行連成モデルによる解析の実施(国際共研のbenchmarkとして)



# 平成20年度実績

## 1.研究開発報告書類:

- 1) 亀井玄人、本田明、三原守弘、小田治恵、村上裕、増田賢太、山口耕平、松田節郎、市毛悟、高橋邦明、目黒義弘、山口大美、榊原哲朗、佐々木紀樹:TRU廃棄物の処理・処分技術に関する研究開発 平成19年度報告, JAEA-Research 2008-082(2008)
- 2) 増田賢太, 本田明, 小田治恵, 中西博, 佐々木良一, 高瀬敏郎, 赤木洋介, 藤田英樹, 根岸久美: 海水影響下での普通ポルトランドセメントペーストの化学的変質に関する検討, セメント水和物と塩水の反応によるpH上昇現象の評価手法, JAEA-Research 2008-104(印刷中).
- 3) 三原守弘、鳥居和之: 低アルカリ性セメント硬化体の間隙構造と塩化物イオンの見掛けの拡散係数に関する研究, JAEA-Research 2008-109(2009)(印刷中).

## 2.論文

- 1) 三原守弘、アンドラード オスバルド、鳥居和之: 透過型拡散セル試験によるセメント硬化体中のCl<sup>-</sup>の拡散係数の評価, セメント・コンクリート論文集(2009)(印刷中)
- 2) Fujita, H., Mihara, M., et al.: Concentration and Molecular Weight of Super-plasticizer in Pore Water from Hardened Cement Pastes, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.6, No.3, pp.389-395(2008)
- 3) 本田明, 増田薫, 今北毅, 加藤修, 西村務: アルカリ性条件における炭素鋼の腐食に伴う硝酸イオンの化学的変遷挙動のモデル化, 材料と環境 (印刷中).
- 4) A.Honda, K.Masuda, H.Nakanishi, H.Fujita and K.Negishi : Modeling of pH Elevation Due to the Reaction of Saline Groundwater with Hydrated Ordinary Portland Cement Phases, Mat. Res. Soc., Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXII (印刷中).

## 3.学会等発表

- 1) 三原守弘、アンドラード オスバルド、鳥居和之: 低アルカリ性セメント硬化体中のヨウ素及びセシウム<sup>90</sup>の拡散係数(セメント技術大会, 5月)
- 2) Mihara, M., Osvaldo, A and Torii, K.: Pore Structure and Diffusivity of Chloride in HFSC Pastes, 2nd International Workshop Mechanisms and modelling of waste/cement interactions, CEMENT08.
- 3) 三原守弘、本田明、亀井玄人、中澤俊之、山田憲和: 硝酸塩の影響を考慮した放射性元素の溶解度の評価(1)、日本原子力学会2008年秋の大会
- 4) 中澤俊之、山田憲和、三原守弘、本田明、亀井玄人: 硝酸塩の影響を考慮した放射性元素の溶解度の評価(2)、日本原子力学会2008年秋の大会
- 5) 村上, 本田他: 好アルカリ性脱窒微生物の活性(日本水処理生物学会第45回大会)
- 6) 増田, 本田他: OPC水和物の海水系地下水中の化学的変遷挙動のモデル化(日本原子力学会2008年秋の大会)
- 7) 本田, 増田他: Modeling of pH elevation due to the reaction of saline groundwaters with hydrated ordinary Portland cement phases(MRS2008)
- 8) 本田・小田他: 課題探索的性能評価の方法論の開発[先進処分公募](日本原子力学会2008年秋の大会)
- 9) Adrian H. GALLARDO, Chie ODA, et al., Groundwater Patterns in a Playa Basin, California: Analogue Studies for Geological Disposal(XXXVI IAH, 2008/10/27-31, 富山)
- 10) 小田ほか: 緩衝材アルカリ変質評価への天然事例の適用(BE夏期セミナー, 7月)
- 11) 山口ほか: 高アルカリ性間隙水の浸入に伴う母岩の変質に関する研究(BE夏期セミナー, 7月)

## 平成21年度の計画

**TRU廃棄物の地層処分研究開発について、核種移行データ、セメント系材料の変質挙動、高アルカリ性溶液の緩衝材や岩盤への影響等に係る基礎データの収集拡充及びセメント系材料の影響を考慮した処分システムの長期安定性評価等に係るモデル検討を継続して進める。**

# TRU廃棄物とHLWとの処分評価基盤の平仄あわせ

		高レベル放射性廃棄物	TRU廃棄物
性能評価モデル	放射線	実験的に化学的環境・オーバーパックの腐食影響について評価。	HLWでの評価を参考に評価。
	熱	T-H-M-Cモデルにて温度を評価。	単純な熱伝導解析により評価。
	水理	亀裂ネットワークモデル(FracMan等)による評価。	
	構造力学	緩衝材の変形(関口・太田モデル,足立・岡モデル)、岩盤のクリープ(大久保モデル)を連成させたモデル(MuDIAN)により評価。緩衝材のせん断挙動については評価モデルを整備中(ABAQUS等を利用)	緩衝材の変形(関口・太田モデル)、岩盤のクリープ(大久保モデル)を連成させたモデル(MACBECE)により評価。
	ガス移行	緩衝材中のガス移行及び力学連成モデル(GAMBIT)で評価。	緩衝材及び岩盤については、HLWと共通。
	化学環境	T-H-M-Cモデルにて化学環境を評価。	H-Cモデル(PHREEQC-TRANS等)にて評価。
	核種移行	既存の解析モデル・ツール(MESHNOTE, Matrix, GoldSim等)を利用して評価。	処分施設内の核種移行については、パラメータの時間的変遷を考慮できるモデル(TIGERコード)にて評価。岩盤のモデルについては、HLWと共通。
	生物圏	HLW及びTRU廃棄物処分研究ともに評価手法は共通。評価パラメータについては、放射線医学研究所と協力しながらデータを整備。TRU廃棄物処分に評価対象核種(ヨウ素、炭素、塩素など)についてもデータ整備を実施。	
データベース		熱力学データベースについては、高アルカリ性領域やTRU廃棄物処分評価対象核種についてもデータを整備中。収着分配係数や拡散係数データベースについても共通。特にTRU廃棄物の研究においては、セメント系材料を中心にデータ取得・整備。	