



# TRU廃棄物の 地層処分研究開発について

平成20年3月5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

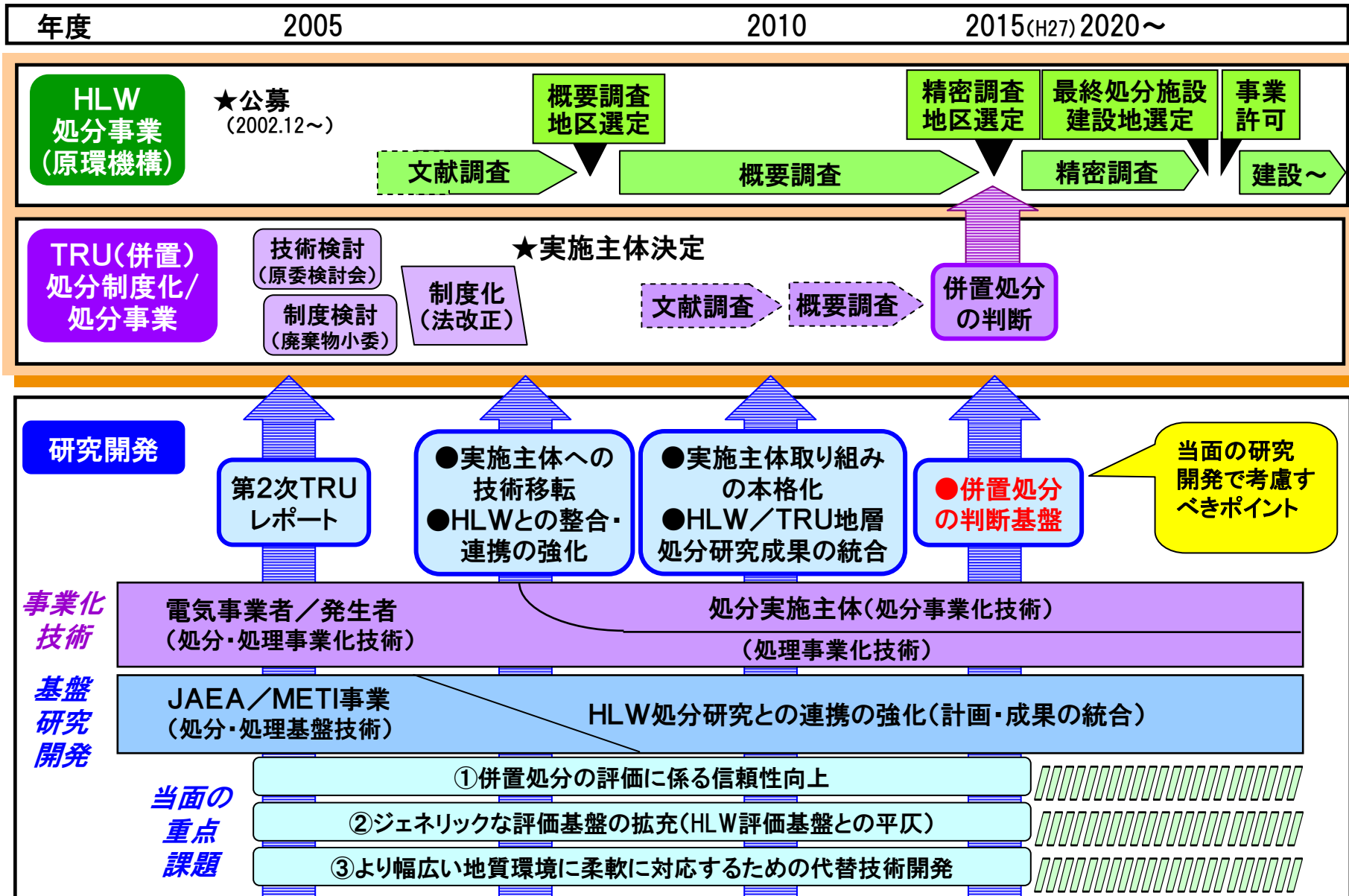
## 発表内容

- **全体基本計画：当面の重点課題とJAEAの役割**
- **第2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19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 全体基本計画に示された段階的進め方 (経済産業省資源エネルギー庁・JAEA,2006より)



# 全体基本計画に示された当面の重点課題

(経済産業省資源エネルギー庁・JAEA,2006より)

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, 公募事業)
  - 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解技術 (JAEA, 公募事業)



**第2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)

- ◆ TRU廃棄物は最も重要なのだという認識を。地層処分の鍵。処理・処分を全体として捉えよ。JAEAでは高レベル廃棄物とTRU廃棄物を一緒に研究を。  
→高レベル廃棄物とTRU廃棄物の地層処分研究は地層処分部門が一元的に実施。TRU処分研究については、高レベルの研究と平仄を考慮して成果・知見等を活用しつつ、機構の中期計画及び、全体基本計画で機構に課せられた研究課題、達成時期等を踏まえ、限られた予算枠の中で最優先事項として位置づけ、予算措置をして進めている。また、平成19年度に資源エネルギー庁の公募事業に応募し、硝酸塩処理処分技術高度化という課題の研究を受託。高レベルとの併置の観点からの研究であると同時に、処理と処分が連携。
- ◆ セメント・ベントナイト反応については長期的な化学反応を実験室で捕捉するのは難しいので、室内実験と自然界での現象とのバランスを考えながら研究を進めるべき。→試験・解析、ナチュラルアナログ研究を併行して進めており、20年2月現在で、学会発表できる程の知見。

## 主なご意見と対応(2)

- ◆微生物影響の研究についての位置づけとアプローチは。→硝酸分解への寄与を対象。20年2月現在、硝酸塩関連の公募研究のなかでデータ取得、評価モデル改良。
- ◆JAEAは放射性廃棄物処分全体のマネージメントを。→地層処分研究開発部門とバックエンド推進部門の2部門で対応(ただし後者の本来のミッションは、自らの廃棄物の処理処分・自らの原子力施設の廃止措置を行うこと)。地層処分部門とバックエンド推進部門とが情報共有・現状認識と今後の方針策定のために、部門長の定期会合を設置(20年2月までに21回開催)。このほかバックエンド推進部門を中心に特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針策定に協力。



## 主なご意見と対応(3)

- ◆廃棄物全体に適用できるような計画(マップ)を定めるべき。→平成19年3月に策定した「低レベル廃棄物管理計画書」の中に低レベル廃棄物処理処分の全体基本計画あり。これは、旧原研と旧サイクル機構が保管していた放射性廃棄物及び原子力機構において発生する廃棄物の発生から処理、保管、処分に至るまでの管理計画(当面の5年計画、長期的な展開等)。機構ホームページで公開。
- ◆今後約8年で「併置処分の判断基準」をどのように示すのか。→処分実施主体に技術基盤を提供できるよう当面幅広い条件を想定し、高レベル廃棄物処分との平仄を考慮しつつ、検討を進めていく。
- ◆TRU廃棄物に係る研究開発は、高レベル廃棄物に比べ、遅れている感がある。研究開発と実施計画との進捗バランスをよく考えること。→機構中期計画及び全体基本計画で機構に課せられた研究開発課題等を踏まえた実施計画を立て、研究開発を進めている。



**平成19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

## ■ 今後5カ年の計画

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19年度の取組み課題と主な成果

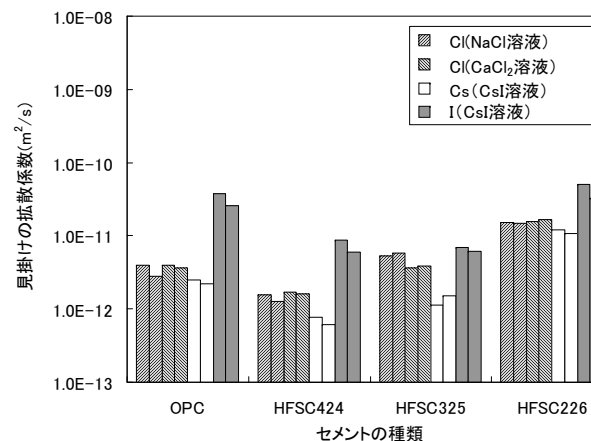
- ✓ 充填材や構造躯体の候補材料のセメント系材料について、放射性核種の拡散移行を抑制する機能について検討を実施。
- ✓ 現状の処分施設における核種移行評価モデルは、充填材及び構造躯体領域を瞬時混合領域として設定。
- ✓ セメント系材料として、普通ポルトランドセメント及び低アルカリ性セメントを対象として、セシウム及びヨウ素のみかけの拡散係数を取得。
- ✓ 低アルカリ性セメントとして、原子力機構が開発してきたフライアッシュ高含有シリカフェームセメント(HFSC)を対象。

水セメント比30%の4種類のセメント硬化体（下表参照）に対して見掛けの拡散係数を算定

→HFSC424の低アルカリ性セメントの各元素の見掛けの拡散係数は小さい

	普通ポルトランドセメント	シリカフェーム	フライアッシュ
OPC	100	0	0
HFSC424	40	20	40
HFSC325	30	20	50
HFSC226	20	20	60

数字は重量%



セメント硬化体中の元素のみかけの拡散係数算定例

(浸漬液の各元素濃度は0.5mol dm<sup>-3</sup>)

# セメント系材料の長期挙動評価

## 今後5カ年の計画

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19年度の主な成果

### 1. OPC硬化体の海水系地下水影響に関する検討

⇒ 昨年度の課題

- ・フリーデル氏塩の生成によるpH上昇反応を確認した。
- ・上記反応を初期生成水和物の設定に反映させ、モデル計算をすると、実測値よりも高pH側で評価する結果となった。

⇒ 本年度の成果

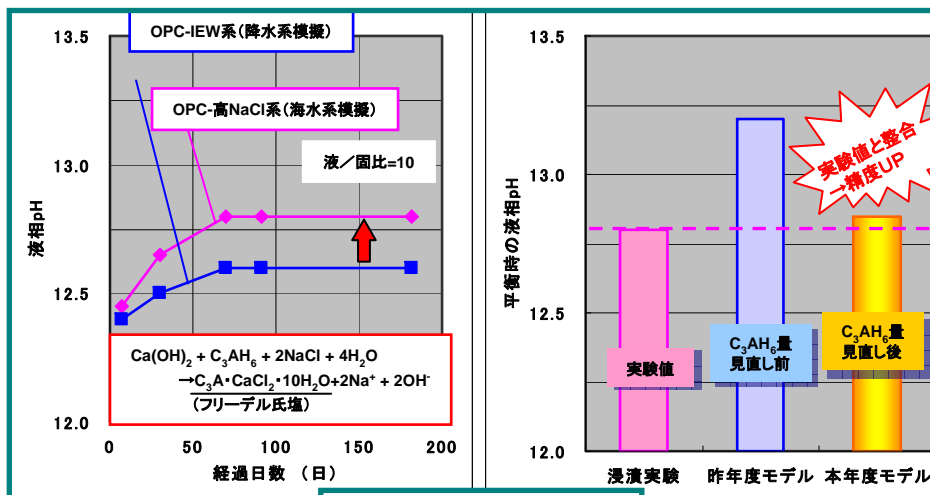
- ・C-S-H中にAlが固溶することを確認した。
- ・C-S-H中のAl固溶量の測定により OPCの初期水和生成物モデルにおけるカルシウムアルミネート水和物量の適正化を図り、セメント海水反応モデルの信頼性を高めた。

### 2. HFSC水和物の化学的変質試験

⇒ 本年度の成果

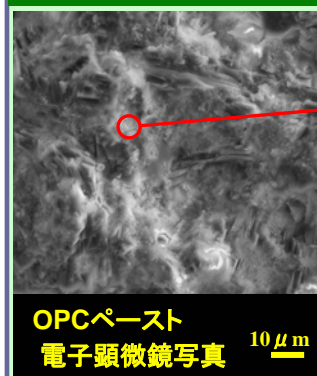
- ・長期バッチ式浸漬試験及び通水実験を通じて、化学的変質及び物質輸送特性変化を評価するための基礎データを取得。OPC硬化体の変質挙動との違いを確認した。

※OPC: 普通ポルトランドセメント  
HFSC: 低アルカリ性セメント  
IEW: イオン交換水



バッチ式の浸漬実験

### OPCのC-S-H中 Al 固溶量測定 (EPMA)



測定点	wt%				モル比		
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	合計	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	44.3	25.6	1.7	71.6	1.86	1.00	0.04
2	44.6	26.5	2.1	73.2	1.80	1.00	0.05
3	45.8	23.8	1.9	71.4	2.07	1.00	0.05
4	40.0	20.6	2.9	63.5	2.08	1.00	0.08
5	44.9	22.0	1.4	68.2	2.19	1.00	0.04
6	47.2	27.2	1.5	75.9	1.86	1.00	0.03
7	47.1	28.1	1.5	76.7	1.80	1.00	0.03
8	49.2	25.4	1.1	75.7	2.08	1.00	0.03
9	41.2	21.1	2.0	64.3	2.10	1.00	0.05
10	45.1	25.6	0.9	71.6	1.89	1.00	0.02
平均	44.9	24.6	1.7	71.2	1.96	1.00	0.04

カルシウムアルミネート水和物量の見直し(適正化)

# 高アルカリ性条件における緩衝材の長期挙動評価

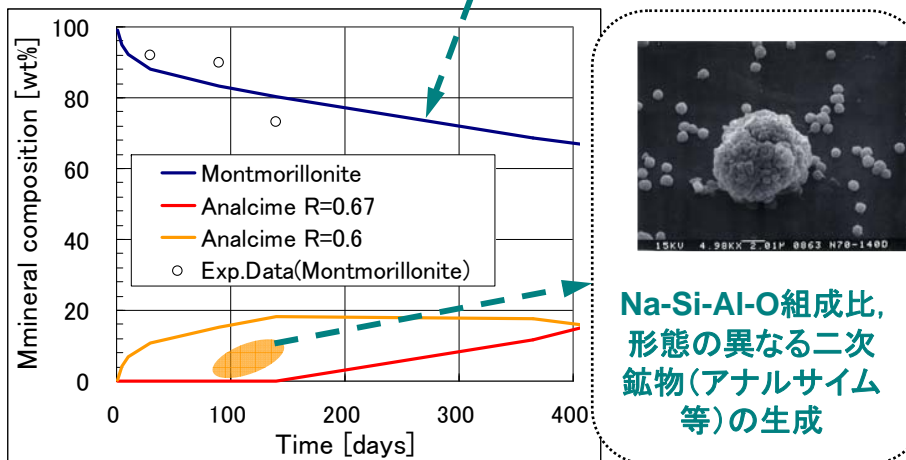
## ■ 今後5カ年の計画

- ・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19年度の主な研究成果

- ・高アルカリ条件におけるスメクタイト溶解速度データ取得, 長期溶解速度実験結果に基づくスメクタイト溶解・二次鉱物生成速度モデルの開発
- ・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
- ・緩衝材鉱物変遷に係る高アルカリ条件での溶存化学種, 鉱物の熱力学データ整備

H1870-スルー実験に基づく溶解速度式を用いたモンモリロナイト含有量変化モデル計算値

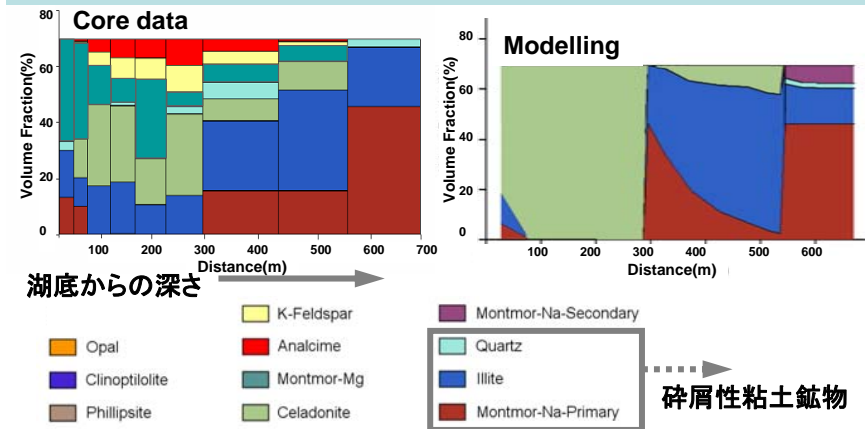


・スメクタイト長期溶解速度実験結果 (第51回粘土科学討論会, 2007; 現在, ~360日分析中)

※ $R=Si/(Si+Al)$ , 天然のアナルサイム $R=0.6\sim0.74$

・緩衝材鉱物変遷モデルを適用した天然事例解析結果 (AESJ2008年春の年会発表予定)

### Serles Lake湖沼堆積物のスメクタイト変遷の様子

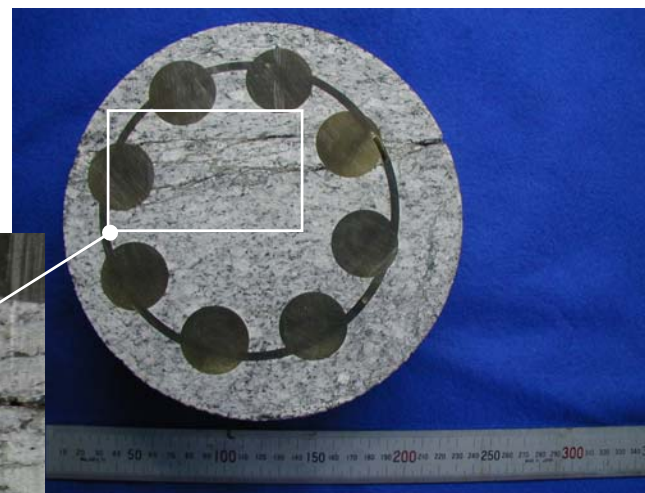


# 天然バリアへのアルカリ溶液影響評価

## ◆ 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より採取し  
たコア)

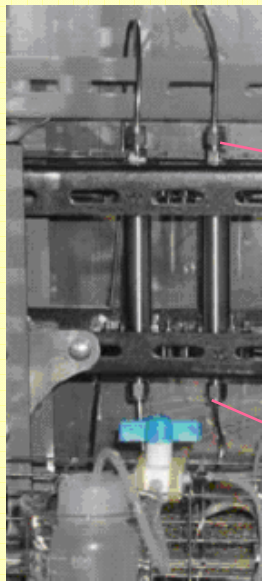
# 天然バリアへのアルカリ溶液影響評価

## 今後5カ年の計画

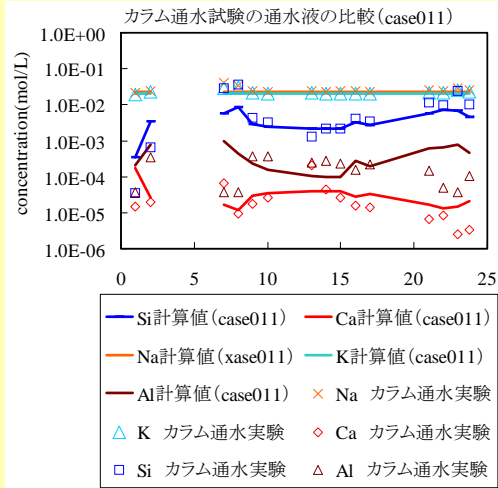
- 実際の地下深部における亀裂中のアルカリ変質挙動の評価解析手法の構築  
地下深部における亀裂を模擬した化学反応-物質移行連成モデル構築と計算の実施
- 地下深部における亀裂を用いたアルカリ溶液通水試験の実施

## 平成19年度の主な成果

- グリムゼル花崗岩を使用したカラム通水実験結果と計算結果の比較確認



昨年度(平成18年度実施)のカラム通水実験(粒径 250 μm以下)



実験値と計算値の比較による、通水状態での化学反応モデル(初生鉱物の溶解速度式及び設定した二次鉱物(CSHゲル及びアナールサイム))の適用性の確認(平成19年度)

天然亀裂での化学反応-物質移行連成のモデリング

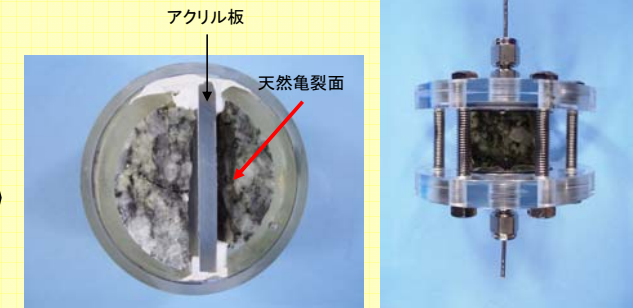
花崗岩初生鉱物の溶解速度調査結果等に基づく溶解速度式の設定(平成19年度)

$$Rate = kA(a_{H^+})^n (1 - Q/K)$$

k : 速度定数  
A : 鉱物の比表面積  
Q : イオン活動度積  
K : 溶解反応の平衡定数

minerals	k(速度定数) (mol_mineral/m <sup>2</sup> /s)	A(鉱物比表面積) (m <sup>2</sup> /g)	n(定数)	参照
クォーツ SiO <sub>2</sub>	10 <sup>-12.0</sup> at 90 °C	0.70 <sup>(*)</sup>	-0.2	NAGRA NTB 05-01 及びクォーツ単独/バッチ浸漬実験
アルバイト NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	10 <sup>-13.0</sup> at 90°C	0.70 <sup>(*)</sup>	-0.2	NAGRA NTB 05-01 及びアルバイト単独/バッチ浸漬実験
アノサイト Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> CaO <sub>8</sub>	10 <sup>-13.2</sup> at 90°C	0.70 <sup>(*)</sup>	-0.2	NAGRA NTB 05-01 及びアノサイト単独/バッチ浸漬実験
カリ長石 Si <sub>3</sub> KAlO <sub>8</sub>	10 <sup>-13.0</sup> at 90°C	0.70 <sup>(*)</sup>	-0.2	NAGRA NTB 05-01 及びカリ長石単独/バッチ浸漬実験
バイオタイト(フログノバイト Mg <sub>3</sub> AlSi <sub>3</sub> KH <sub>2</sub> O <sub>12</sub> )	10 <sup>-11.0</sup> at 90°C	0.70 <sup>(*)</sup>	-0.2	NAGRA NTB 05-01
マスコバイト Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> KH <sub>2</sub> O <sub>12</sub>	10 <sup>-13.9</sup> at 90°C	0.70 <sup>(*)</sup>	-0.22	USGS, 2004

(\*)本試験での実測値に基づく。マトリクス部の岩石粒子をBET法で測定した結果である。



### 天然亀裂へ通水実験とモデリング

- 通水実験の検討(平成19年度)
- 溶解沈殿に伴う亀裂構造の変化と物質輸送特性の変化の関係把握(例えば表面粗度と透水量係数との関係)

# 平成19年度実績

## 学会等発表:

- (1) Sahara et al.: Evaluation Of The Long-Term Mechanical Behavior In The Near-Fields Considering Chemical Transitions Of Barrier Materials, Proceedings of 15th International Conference on Nuclear Engineering, ICON15, Nagoya(2007)
- (2) 三原守弘ほか:フライアッシュ高含有シリカフェームセメント硬化体の塩化物イオンの見掛けの拡散係数の評価(第61回セメント技術大会, 6月)
- (3) 三原守弘ほか:EPMAを用いたセメント硬化体に対するCl<sup>-</sup>の拡散係数及び間隙構造の評価(コンクリート工学年次大会 7月)
- (4) Mihara, M. et al.: Development of Radionuclide Migration Datasets of Safety Assessment for TRU Waste in Japan, Migration07, August(2007)
- (5) 三原守弘・小林一三:圧縮成型ベントナイトの透水係数に及ぼすNaNO<sub>3</sub>濃度の影響(原子力学会2007年秋の大会,9月)
- (6) 亀井玄人・黒田茂樹:TRU廃棄物の地層処分-第2次TRUレポートの成果-(原子力学会 再処理・リサイクルセミナーポスター 6月)
- (7) Savage, D. et al.: Natural Systems Evidence for the Alteration of Clay under Alkaline Conditions: an Example from Searles Lake, California, Clay in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement, 3rd International Meeting (2007)
- (8) Savage, D. et al.: Natural Systems Evidence for the Alteration of Clay under Alkaline Conditions: an Example from Searles Lake, California, Workshop on long term clay buffer performance in HLW depositories, Lund(2007)
- (9) Sato, T. et al.: Effect of Deviation from Equilibrium on Dissolution Rate of Smectite under Hyperalkaline Condition, Clay in natural and engineered barriers fro radioactive waste confinement, 3rd International Meeting(2007)
- (10) 小田治恵ほか:項アルカリ条件でのスメクタイトの溶解速度と二次固相生成の関係, 第51回粘土科学討論会(2007)
- (11) Gallardo, A. et al.:緩衝材のアルカリ変質評価研究における天然事例の適用;カリフォルニア州Searles Lakeの事例:(1)地下水流動解析(日本原子力学会 2008年春の年会, 3月)
- (12)小田ほか.:緩衝材のアルカリ変質評価研究における天然事例の適用;カリフォルニア州Searles Lakeの事例:(2)地球化学・物質移動連成モデル(原子力学会 2008春の年会, 3月)
- (13) 山口耕平: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(原子力学会2008春の年会, 3月)

## 論文投稿:

- (1)藤田英樹ほか:硝酸塩がセメント水和物の溶脱挙動へ及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, No.61 (2008)(印刷中)
- (2) Martin, A. et al.: Key Issues Identified From Project Tru-2 On The Generic Co-location Concept Of Transuranic (TRU) Waste And High-level Radioactive Waste (HLW) Repositories In Japan, ICEM2007(2007)
- (3) Mihara, M et al.: Development of Low-alkaline Cement Using Pozzolans for Geological Disposal of Long-lived Radioactive Waste, Doboku Gakkai Ronbunshuu Division F Vol.64 No.1, pp. 92-103(2008)
- (4) Mihara, M. et al.: Development of Radionuclide Migration Datasets for Safety Assessment of TRU Waste Disposal in Japan, Radiochimica Acta (submitted)
- (5) 三原守弘, 鳥居和之:フライアッシュ高含有シリカフェームセメント硬化体における塩化物イオン拡散係数の算定, セメント・コンクリート論文集, No.61 (2008)(印刷中)
- (6) 藤田英樹ほか:セメントペースト硬化体の間隙水に残存する有機混和剤の溶存挙動の評価セメント・コンクリート論文集, No.61 (2008)(印刷中)

## 公開技術資料:

- (1) 亀井, 本田, 三原, 小田, 村上, 増田, 山口, 中西, 佐々木, 市毛, 高橋, 目黒, 山口, 青山, 小華和:TRU廃棄物の処理・処分技術に関する研究開発 平成18年度報告 JAEA-Research 2007-067(2007)