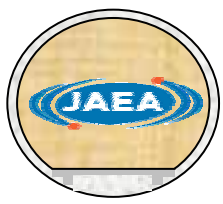


第2回地層処分研究開発検討委員会

長半減期低発熱放射性廃棄物(TRU廃棄物)の 地層処分研究開発について

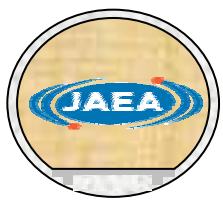
地層処分研究開発部門 TRU廃棄物処分研究グループ

バックエンド推進部門 廃棄物処理技術開発グループ



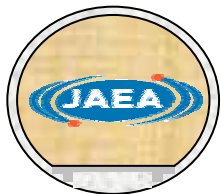
発表内容

- ・第2次TRUレポート以降の計画
全体基本計画とJAEAの役割
JAEAの実施計画
- ・第1回地層処分研究開発検討委員会で頂いた
TRU廃棄物地層処分研究に関する主なコメン
トと対応
- ・平成18年度 TRU廃棄物地層処分研究開発
の主な成果

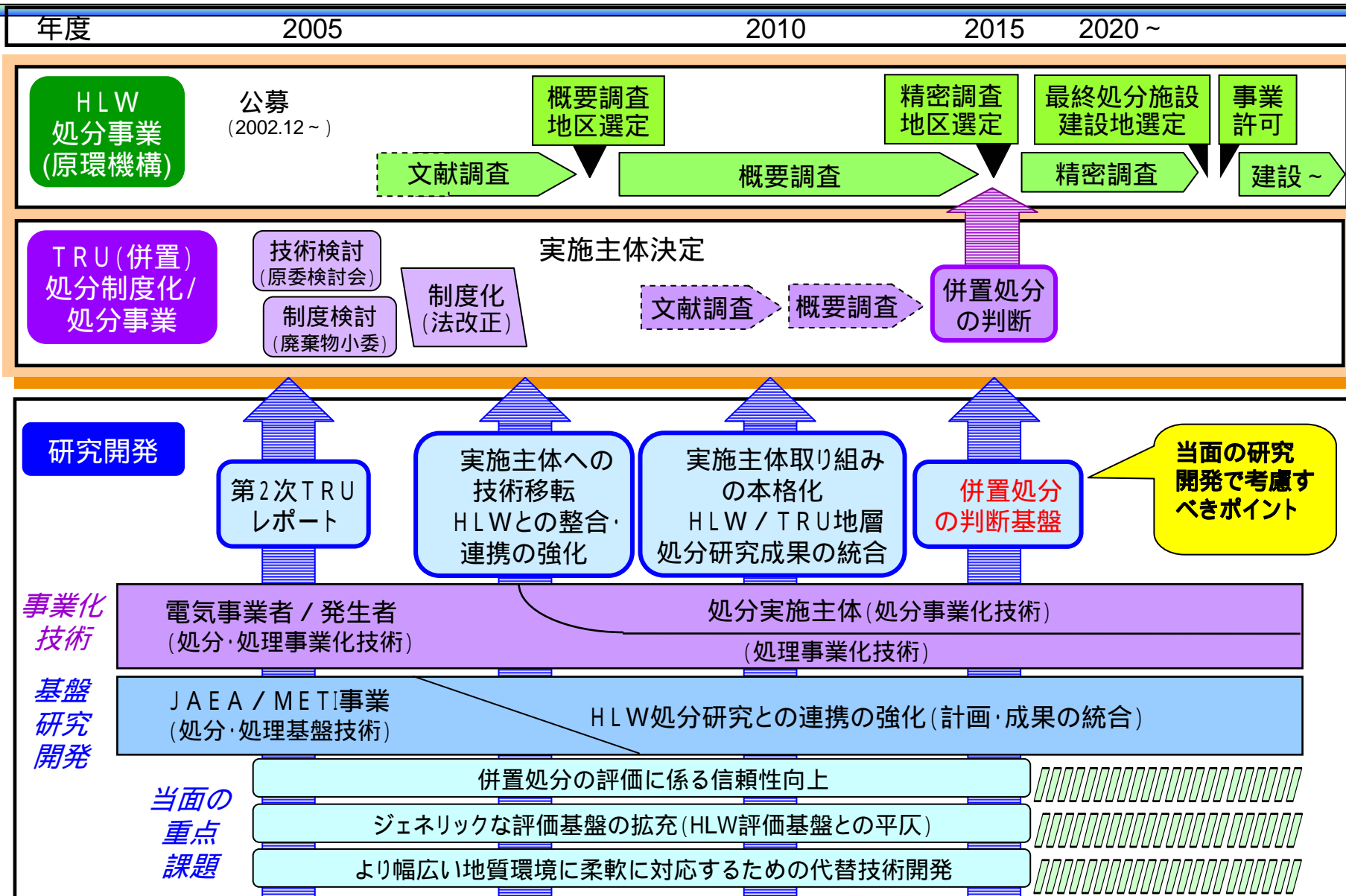


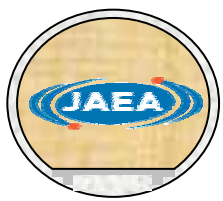
第2次TRUレポート以降の計画

全体基本計画とJAEAの役割



背景: 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)

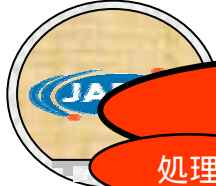




背景: 全体基本計画に示された当面の重点課題

(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
 - 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)
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
 - 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
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
 - C-14の放出・移行評価の信頼性向上と閉じ込めよう期の開発
 - 硝酸塩影響の不確実性低減のための硝酸塩分解技術



発生関連

処理

検認

処分関連

設計

性能評価

操業等工学技術

日本原燃 (JNFL)

電気事業者 処分実施主体

発生者技術開発

処分事業者技術開発

基盤的研究開発

(1) 廃棄体データベース拡充

(2) 検認技術・品質管理技術

アスファルト分解技術

(16) 硝酸塩分解技術開発

(14) ヨウ素固定化技術開発

原子力機構 (JAEA)

(3) 人工バリア材料物性整備

(4) ニアフィールド構造解析

(6) 核種移行データ整備

(9) 硝酸塩影響評価

(11) システム性能評価

(12) 併置処分相互影響評価

(13) 併置処分概念の合理化

(5) 建設・操業・閉鎖等工学技術の具体化

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

(8) アルカリ環境下
ベントナイト・岩反応

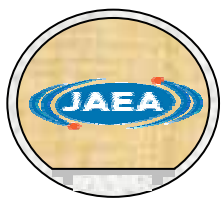
(7) セメント変質

(10) ガス発生影響

(15) 炭素廃棄体容器開発

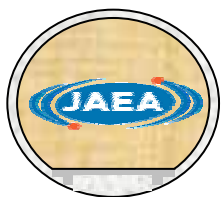
セオリティカル(現象理解)
ジェネリック
新技術 / 高度化

経済産業省 (METI)



JAEAの実施計画

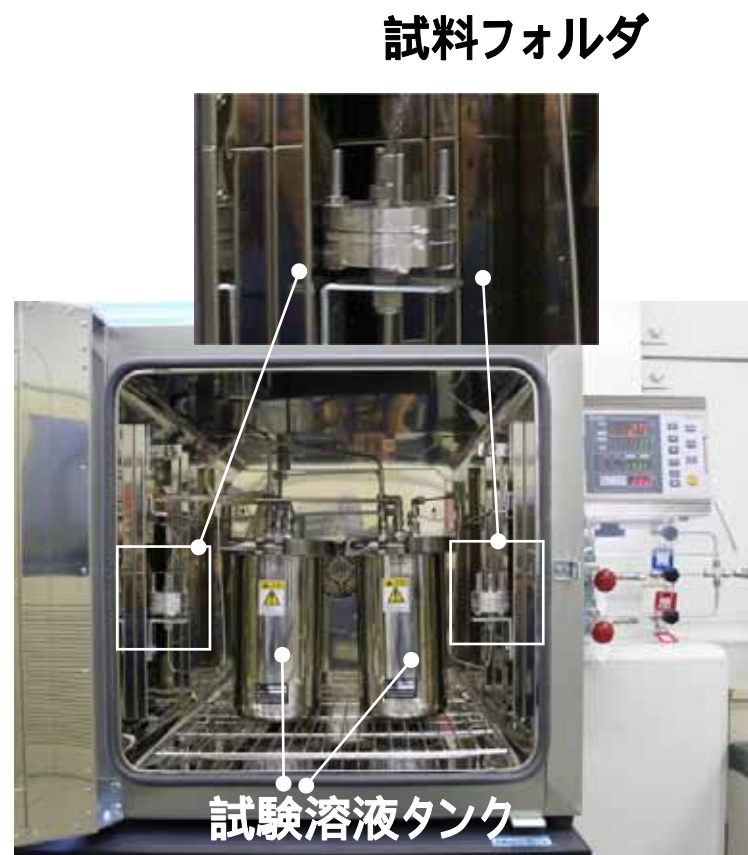
R&D Project for Geological Disposal of TRU Waste



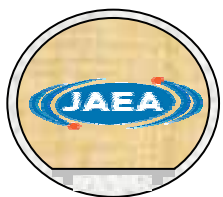
基盤情報の拡充(高アルカリ性条件における緩衝材の長期挙動評価)

◆ 研究開発の目標, 概要

- ・地下水組成、廃棄体成分、人工バリア材料の多様性に対応したシナリオ・解析評価モデル
- ・熱力学データベース整備及び速度モデルに関する信頼性向上
- ・ベントナイト圧縮体の狭隘間隙における化学
- ・緩衝材・セメント系材料境界遷移層に関する知見の拡充
- ・ベントナイトのセメンテーションに係る知見の拡充
- ・長期の実験事例、超長期の天然事例などの知見の拡充、シナリオ・解析評価モデルの確証
- ・地下水の多様性による力学変化と物質移動特性変化の評価



加圧通水型緩衝材変質実験装置

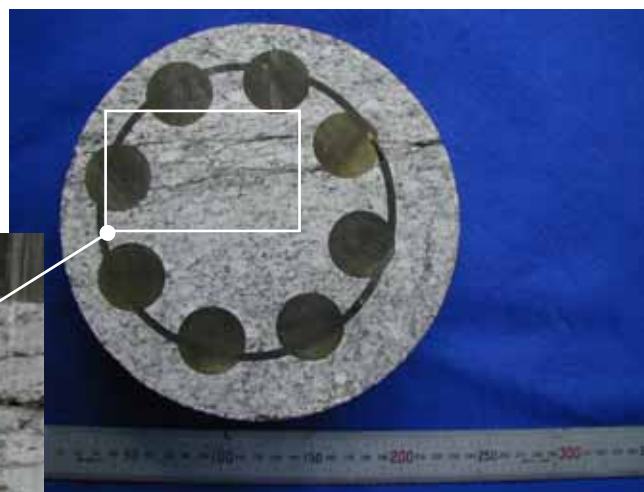


基盤情報の拡充(天然バリアへのアルカリ溶液影響評価)

◆研究開発の目標, 概要

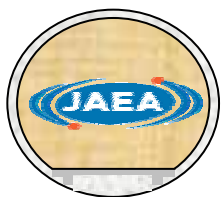
- ・変質過程のシナリオの構築
- ・岩盤中物質移行特性への影響に関する知見の拡充
- ・岩盤の不均質性を考慮した影響評価手法の提示

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における破
砕帯より採取したコア)



基盤情報の拡充(セメント系材料の長期挙動評価)

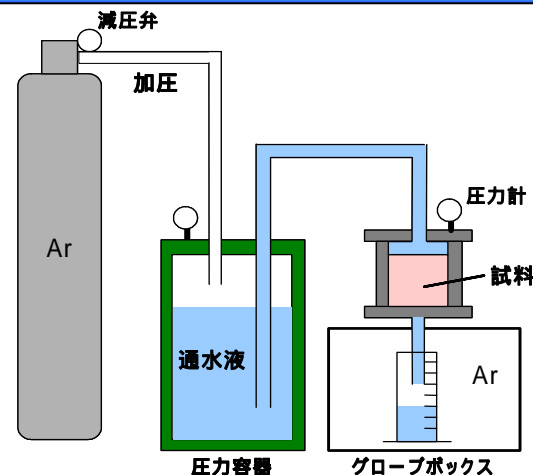
◆研究開発の目標, 概要

1. セメントの化学的変質

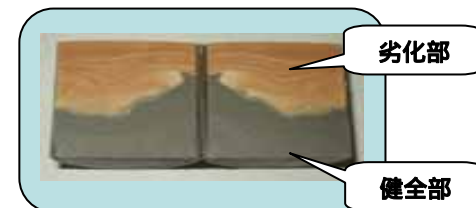
- ・海水系地下水中MgのOPCへの影響、Friedel氏塩生成に伴うpH上昇
- ・低アルカリ性セメント(HFSC = フライアッシュ高含有シリカフェームセメント)の水和反応過程
- ・セメント系材料(OPC, HFSC)の地下水または廃棄体由来成分による化学的変質
- ・熱力学データベース、反応速度データの整備, 高イオン強度下, 固相影響下での活量補正法の反映, 実地質環境に即した化学的変質現象の検討によるモデルの検証・高度化の実施

2. 化学的変質-物質輸送モデルの構築・高度化

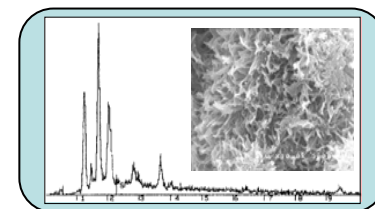
施設設計の合理化, 安全裕度の向上



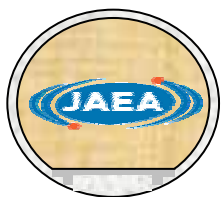
通水劣化試験装置



通水劣化試料断面



劣化部分分析一例 (SEM, EDX)



基盤情報の拡充及び併置処分 (硝酸塩影響評価)

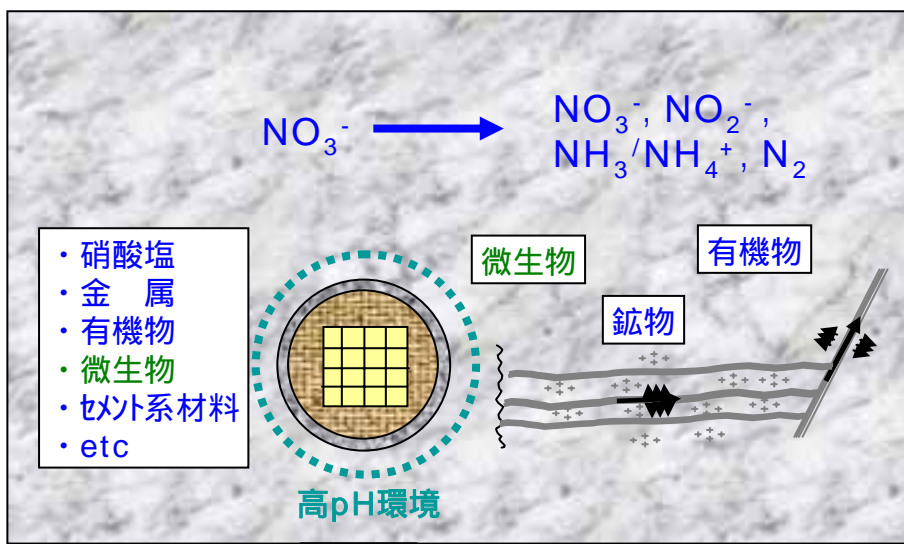
◆ 研究開発の目標，概要

1 硝酸塩変遷評価モデルの高度化並びに検証

- ・ 鉱物や多様な共存化学種による硝酸塩変遷
- ・ 高pH環境下の微生物活動による硝酸塩変遷

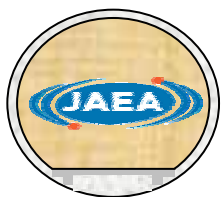
2 多様な環境における硝酸塩 / 有機物反応の評価

- ・ 硝酸塩 / 有機物反応に対する触媒作用物質に関する知見の拡充・整理及び評価



高pH環境下の微生物活動による硝酸塩変遷の研究
- 好アルカリ性脱窒菌 ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$) の取得 -





基盤情報の拡充(核種移行、性能評価に関する検討)

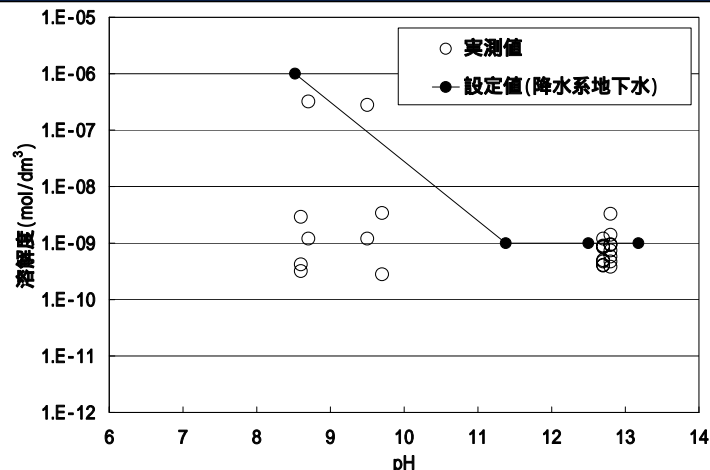
◆ 研究開発の目標, 概要

1 溶解度

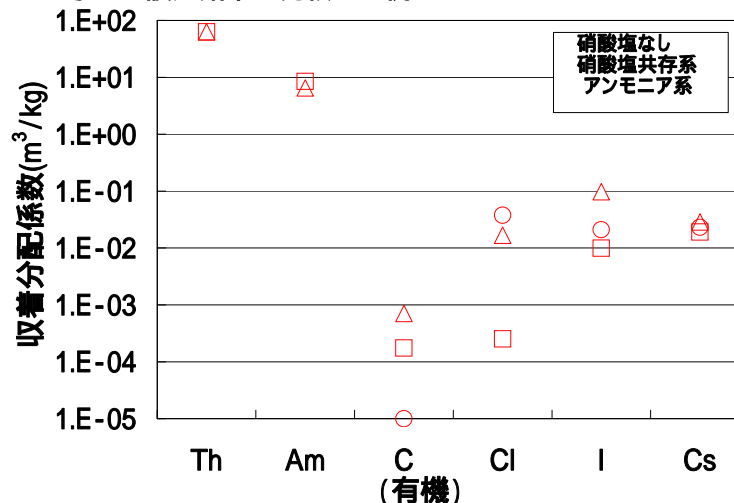
- 高アルカリ領域データ取得、熱力学データ確認
- 海水系地下水、廃棄体成分等の影響下のデータ取得
- 可溶性有機物と核種との錯体生成定数の整備
- 熱力学データベース(TDB)への反映

2 収着・拡散

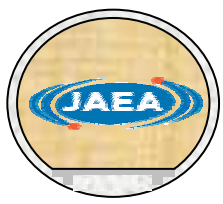
- セメント系材料等への収着データ取得
- 海水系地下水や廃棄体成分等の影響下でのセメント系材料等への収着データ取得
- 硝酸錯体・アンモニア錯体の核種収着に及ぼす影響
- 硝酸イオンによる核種の酸化状態変化及び核種収着に及ぼす影響の知見



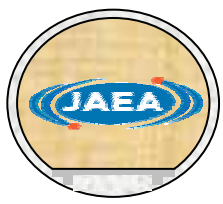
トリウム(Th:アクチニドIV価)の溶解度の取得結果と降水系地下水での設定結果の比較の一例



硝酸塩の影響を考慮した条件におけるセメント硬化体に対する核種の収着分配測定結果例(Cの有機は、ホルムアルデヒドを想定)



第1回地層処分研究開発検討委員会で頂いたTRU 廃棄物地層処分研究に関する主なコメントと対応



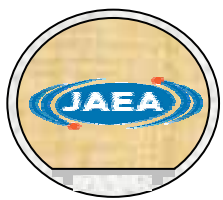
主なコメント

核種移行データの現象論的理解を進めること

処理・処分技術を総合的に検討し、有機的連携のもとに研究開発を進めること

放射性元素以外の有害物質の影響についても検討すること

TRU廃棄物が地層処分のサイト条件に対する制約とならないようにすること



核種移行データの現象論的理解を進めること(1/2)

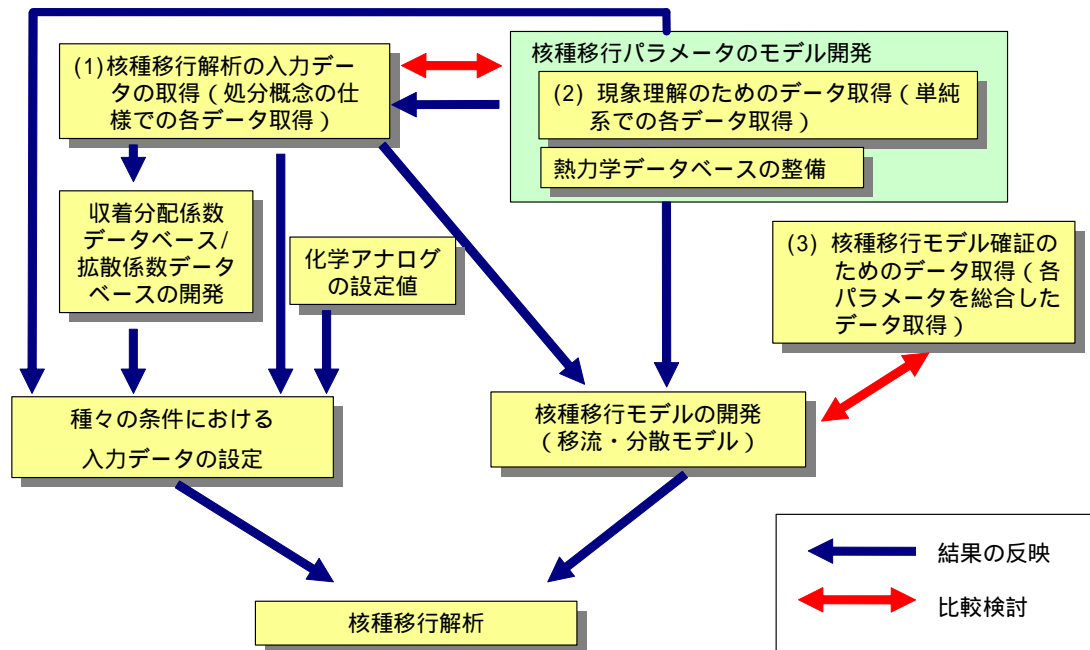
核種移行データの取得・整備:

この5年間では右図(1)「核種移行解析の入力データの取得」が主。HLWの研究成果の活用も図る。今後のモデル開発も念頭におき研究を進める

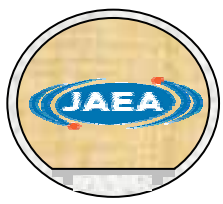
溶解度データの取得・整備

化学平衡モデルによる検証計算が行なえるよう、溶液の化学組成や、溶解度を制限する固相についてのデータを取得する

また、遷移金属(Ni及びNbなど)に対して、JAEA-TDBを充実させ、5年後にはこれまでの試験結果が説明できるように研究を進める



核種移行データ取得の位置付け



核種移行データの現象論的理解を進めること(2/2)

収着分配係数の取得・整備

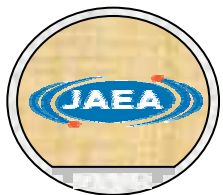
右の赤字以外の元素に対してデータを取得し、化学アナログの妥当性を検討

人工バリア材料の変質に関わる研究と連携し、核種移行解析の入力データだけではなく、収着分配係数のモデル開発に反映できるよう固相データ(比表面積やイオン交換容量など)や液相データを取得

核種(元素)の化学アナログの分類結果

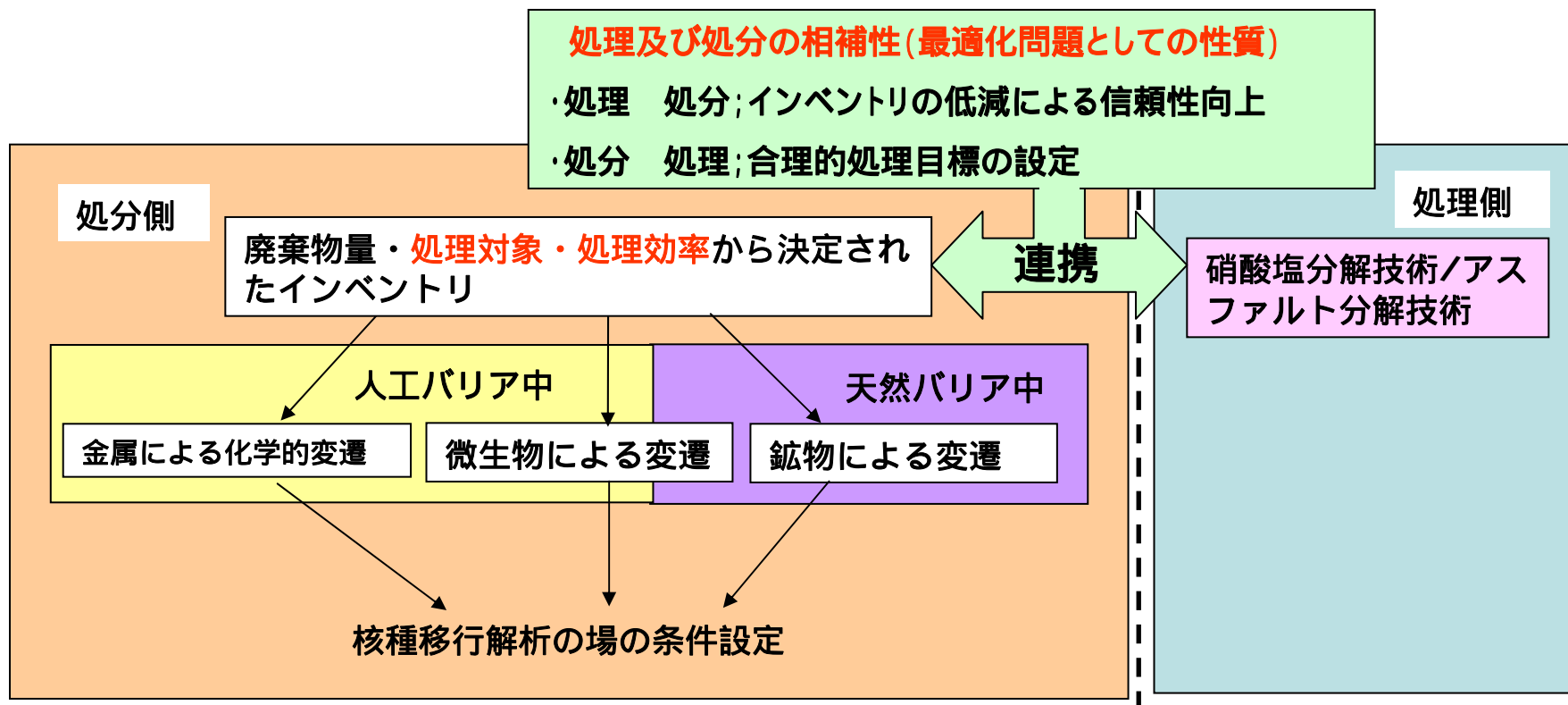
分類	元素		主要な特徴
	還元性	酸化性	
化学形態不明	C(有機)		
ハロゲン	Cl, I		
陰イオン	C(無機), Se, Mo		
		Tc	
陽イオン	I	Cs	
	II	Sr, Ra	
遷移金属	II	Co, Ni, Pb, Pd	水酸化物化学種
	IV	Sn, Zr	
		Tc	
V	Nb	水酸化物化学種	
ランタニド + アクチニド	III	<Sm>, Ac, Am, Cm	
	IV	Th	
		Pu, U, Np, Pa	
	V	-	Np, Pa
VI	-	Pu, U	

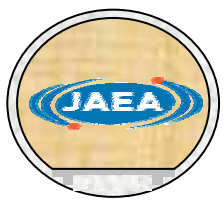
<>はHLW処分で対象。



処理・処分技術を総合的に検討し、有機的連携のもとに 研究開発を進めること

廃棄物に含有される硝酸塩の処理・処分をパイロットケースとして検討 他の分野に拡大





放射性元素以外の有害物質の影響についても検討すること

廃棄体含有化学物質の種類及び量について調査を実施中

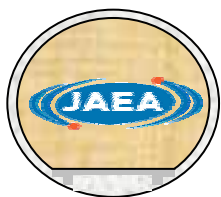
観点: 環境関連物質, 核種挙動影響物質, バリア材影響物質 etc.

含有化学物質の種類及び量に基づき対処方針を決定

- ・処分時の影響評価で対処
- ・処分施設の設計で対処
- ・廃棄物処理で対処
- ・既存規制法との整合確認

処理・処分で連携して問題解決

- ・硝酸塩の処理・処分での連携を参考として対処



TRU廃棄物が地層処分のサイト条件に対する制約とならないようにすること

固化体による核種閉じ込め性能の向上

処分の評価において最も線量を支配する核種(I-129)を含む廃棄体グループ1に対して、I-129の放出を抑制する固化体の技術開発 (JAEA及び原環センターで実施)

人工バリアによる核種閉じ込め性能の向上

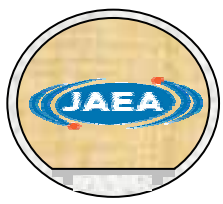
緩衝材の高圧縮成型化による核種の拡散係数の低減やセメント系材料における核種の拡散遅延モデルの導入などを図り、複数のバリア材料により核種の閉じ込め機能を向上

処理段階での不確実性低減

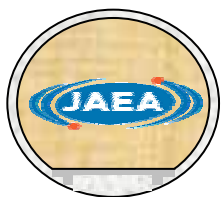
硝酸塩分解技術など、処理段階で処分後の不確実性の低減

生物圏評価モデルの向上

I-129やC-14などについては、安定同位体も存在するため、それらの影響を考慮した生物圏モデルを検討



平成18年度 TRU廃棄物地層処分研究開発の主な成果



人工バリア(ベントナイト)へのアルカリ溶液影響評価

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現実的評価を行うための基盤整備

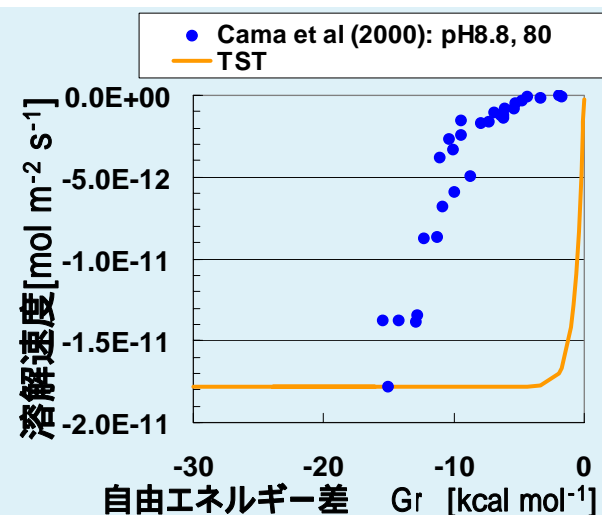
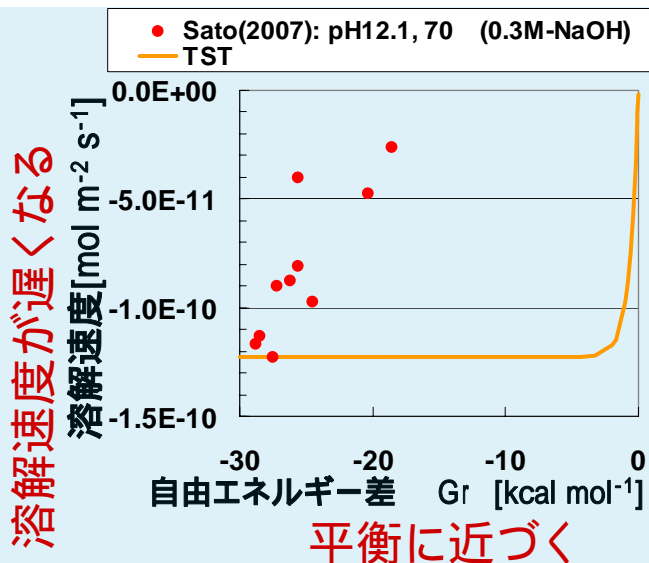
平成18年度の主な研究成果

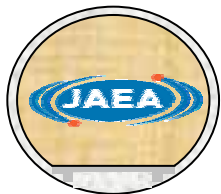
- 高塩濃度・アルカリ濃度での鉱物変遷モデルの検証対象となる天然事例の情報整理
- 多成分反応移動解析コードへのOstwald Ripeningモデルの組み込み
- 高アルカリ条件での溶存化学種の熱力学データ整備, 長期浸漬スメクタイト試料の溶解度データ取得
- 高アルカリ条件におけるスメクタイト溶解速度データ取得, 長期溶解速度実験の予察解析

フロースルー式スメクタイト溶解速度実験結果

高アルカリ条件(0.3M-NaOH)で, 平衡から離れた条件でも溶解反応が抑制される(左図)。

右図は文献値 (Cama et al.,2000: pH8.8)





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

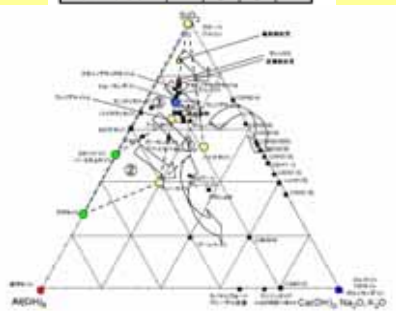
- > 地下深部における亀裂を模擬した化学反応-物質移行連成計算の実施
- > 地下深部における亀裂を用いたアルカリ溶液通水試験の実施

◆ 平成18年度の主な成果

- 高pH地下水-岩反応による鉱物変遷シナリオの作成
- 鉱物変遷シナリオに基づく変質解析、及び、浸漬試験での変質挙動再現計算
- 岩試料の初期状態の観察及び粉砕試料を用いた変質加速試験(高pH溶液への鉱物試料の浸漬)

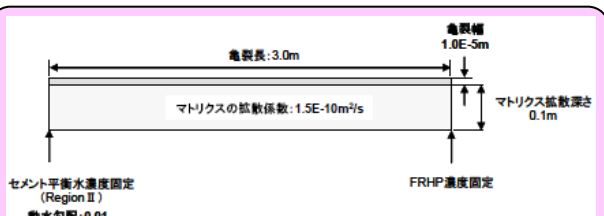
文献調査のまとめ(例)

鉱物名	41	51	71	81
カルサイト	○	○	○	○
アブライト	○	○	○	○
モンモリロナイト	○	○	○	○
セピクリン	○	○	○	○
クワリツ	○	○	○	○
カオリン	○	○	○	○
ローレンツァイト	○	○	○	○
セューラングナイト	○	○	○	○
ブレードイト	○	○	○	○

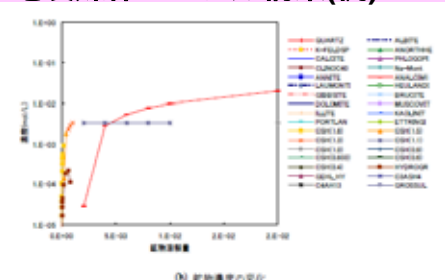


初期鉱物変質の傾向(例)

鉱物変遷シナリオの検討

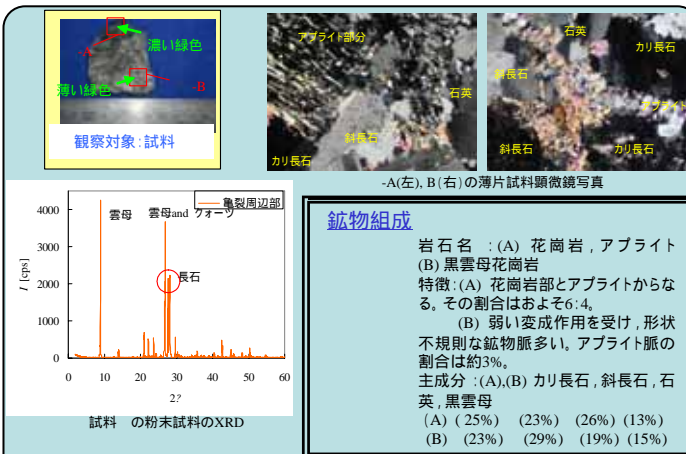


亀裂媒体のモデル構築(例)

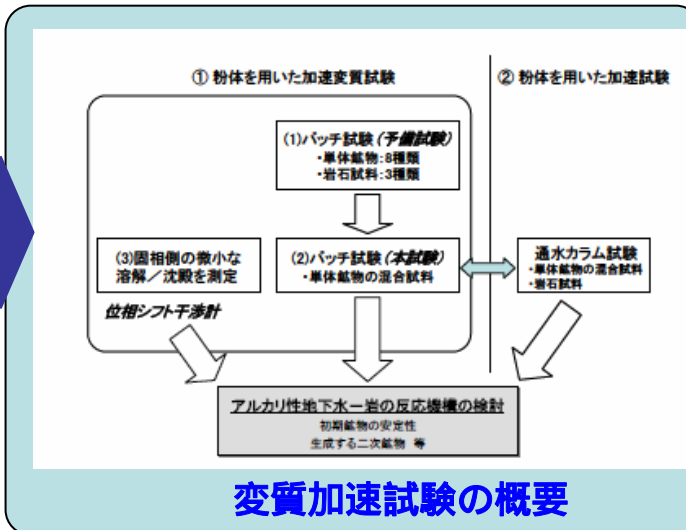


浸漬試験中の鉱物溶解・沈殿の再現解析(例)

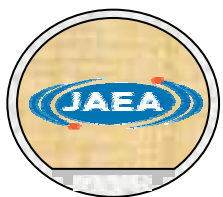
化学反応-物質移行連成計算



岩試料の初期状態の観察 (Grimsel test siteで採取)



変質加速試験の概要



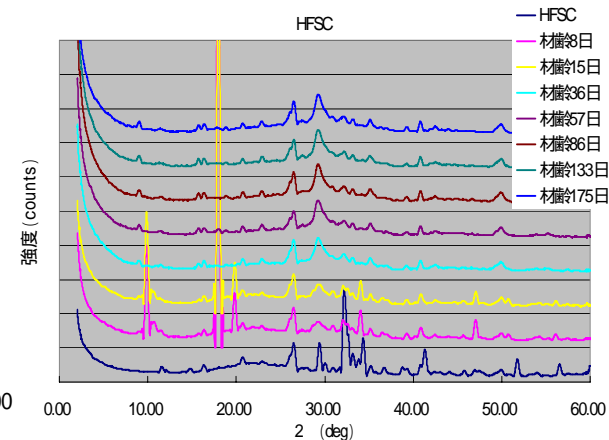
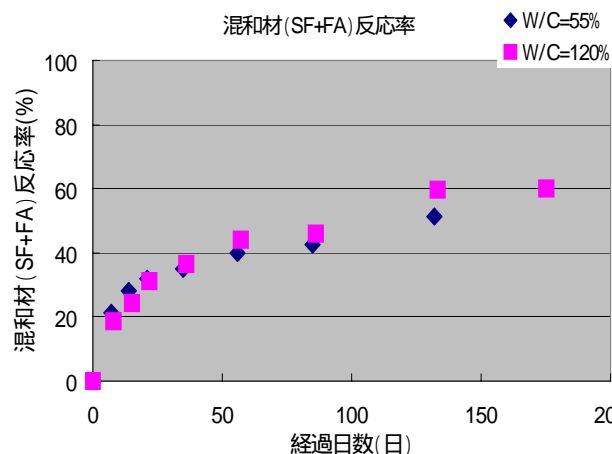
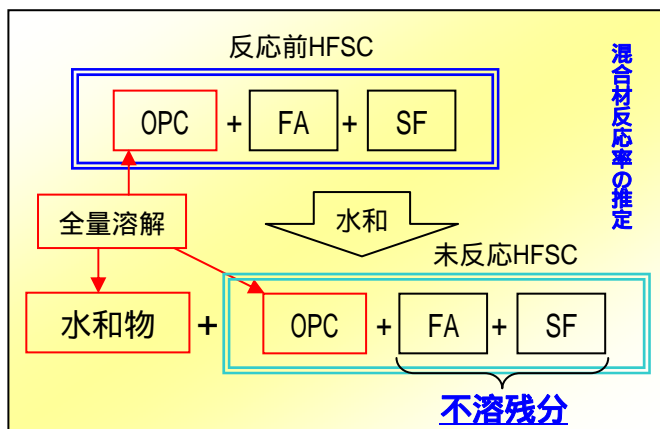
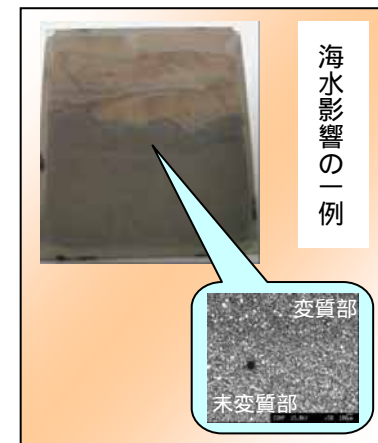
セメント系材料の長期挙動評価

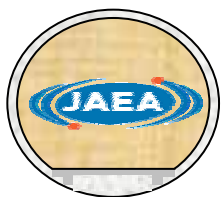
今後5カ年の計画

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18年度 of 取組み課題と成果

- 1. 普通ポルトランドセメント硬化体の海水系地下水に関する検討及び熱力学データの調査
海水系地下水影響による変質部の組織状態の確認とフリーデル氏塩生成時のpH上昇機構を解明
- 2. 低アルカリ性セメント (HFSC) の水和反応の検討及び化学的変質試験
HFSC水和過程の検討により, 酸溶解 (不溶残分) により混合材反応率 (量) の推定可能





硝酸塩影響評価

今後5カ年の計画

地下水や岩石等の多様性並びに廃棄体及び人工バリア由来の化学物質の影響の考慮
多様な環境における有機物/硝酸塩反応の評価

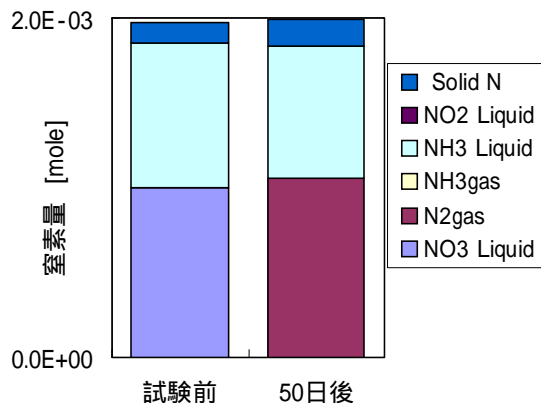
平成18年度の主な実施項目と成果

1) 中性領域における微生物影響部分の検証に係るデータ取得

微生物反応を考慮した窒素収支データを取得

2) アスファルト由来の低分子有機物を電子供与体とする好アルカリ性脱窒菌の取得

土壌から、pH10環境下で酢酸及びセメント混和剤を電子供与体として硝酸塩を還元する活性を持つ好アルカリ性硝酸塩還元菌群を取得

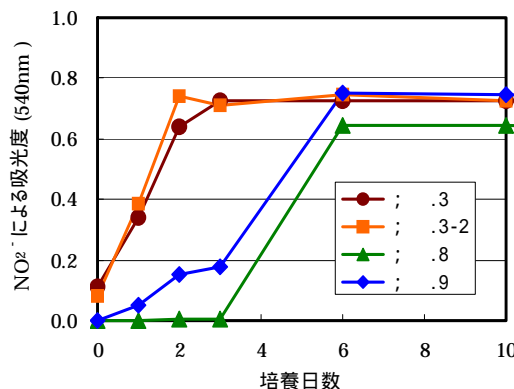


微生物反応前後の窒素収支計算結果の一例

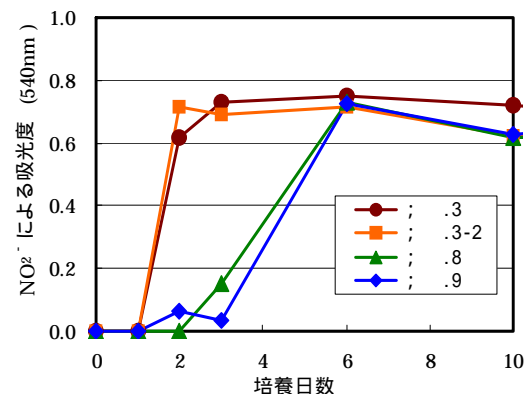
培養条件

pH 7.5, 初期硝酸濃度 0.02M, 温度 35
アスファルト接液面積 50cm², 培地中NH₃あり

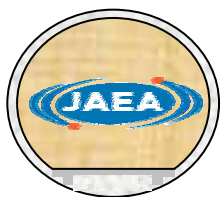
亜硝酸生成; 酢酸ナトリウム



亜硝酸生成; セメント混和剤



取得した菌の硝酸塩還元試験の結果の一例



核種移行データ整備

今後5カ年の計画

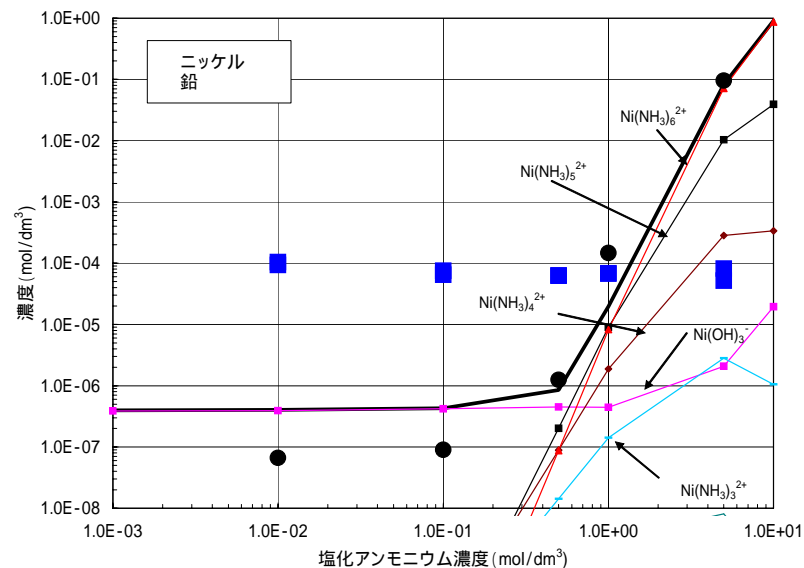
高アルカリ領域の熱力学データの適用性，海水系地下水や廃棄体成分の影響を受けた条件での核種移行データの取得・整備

平成18年度の取組み課題と成果

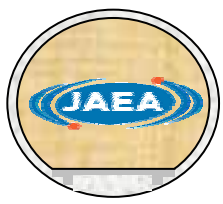
廃棄体成分の影響として，硝酸塩の分解成分としてのアンモニアの鉛の溶解度への影響を検討

過飽和側からの溶解度試験を28日間実施。塩化アンモニウム濃度上昇にともなう鉛の溶解度上昇はみられず。ニッケルの傾向とは異なるため，今度詳細な検討を行なう。

セメント添加有機物共存におけるアクチノイド（プルトニウム，アメリカウム，トリウム）の過飽和側からの溶解度試験を実施中。



高アルカリ領域(pH12~13)におけるニッケル及び鉛の硝酸塩分解成分濃度依存性
(過飽和法，浸漬期間28日，0.45 μmのろ過の後分析)



平成18年度実績(出版物)

1. 技術資料作成(JAEA Research and Review)

- 1) JAEA and FEPC 第2次TRUレポート英語版
- 2) 三原・小林 (JAEA Research) NaNO_3 の圧縮成型ベントナイトの透水係数への影響(印刷中)
- 3) 地層処分研究開発部門・バックエンド推進部門 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 Review 作成中)

2. 論文投稿

- 1) Martinほか (Waste Management '07, Proc.) TRU-2概要(投稿中)
- 2) Ohiほか (MRS2006, Proc.) 包括的感度解析(印刷中)
- 3) 三原ほか (コンクリート工学年次論文集) セメント中のCl⁻の拡散(投稿中)
- 4) Sahara, Murakami, Mihara, Ohi (ICON15, Proc.) ニアフィールド長期力学挙動(投稿中)

3. 論文掲載

- 1) Martinほか (17th Int. Sedimentological Congress, Proc.) 地質関連
- 2) 本田ほか (材料と環境) アルカリ性条件炭素鋼腐食に伴う硝酸の挙動
- 3) Alexander, Shiotsuki, Kameiほか (Waste Management'06, Proc.) TRU処分の国際動向
- 4) Xia, Kamei ほか (MRS 2006, Proc.) Seの収着

4. 外部発表(要旨集)

- 1) Oda, Sasaki, Savage, Arthur and Honda (Bridging Clays 2006, 講演要旨) 粘土のアルカリ変質
- 2) 中西ほか(日本原子力学会2006年秋の大会) セメント水和物と塩水との反応
- 3) 田島, 三原ほか(土木学会全国大会) 高アルカリと硝酸塩の影響によるベントナイトの水理特性評価

5. 出版物(報告書、パンフレット及び解説)

- 1) 原子力委員会 長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分の基本的考え方 高レベル放射性廃棄物との併置処分等の技術的成立性(作成協力)
- 2) 資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構 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
- 3) 資源エネルギー庁 TALK 考えよう、放射性廃棄物のこと。原子力エネルギーの未来のために、TRU廃棄物の地層処分(作成協力)
- 4) 資源エネルギー庁 TRU廃棄物の地層処分について考えてみませんか(作成協力)
- 5) 亀井(RANDECニュース)TRU廃棄物処分概要
- 6) 黒田・亀井(バックエンド部会誌、夏期セミナー講演再録) 併置と今後の研究課題(印刷中)
- 7) 亀井 JAEA成果普及情報誌(和文、英文概説)TRU-2概説
- 8) 亀井 粘土ハンドブック(共著書籍)地層処分と粘土の利用(印刷準備中)