

3-1 熱-水-応力-化学(THMC)連成挙動に関する研究

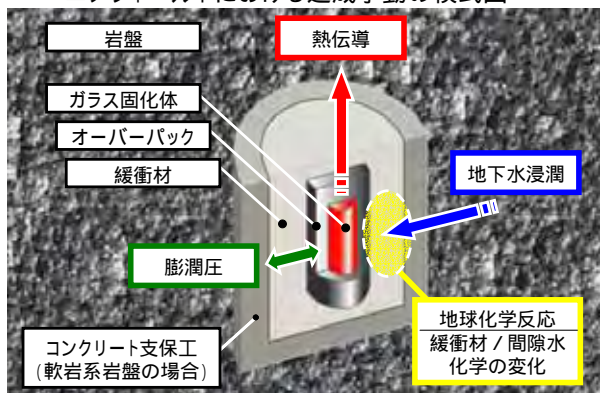
核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

伊藤 彰, 川上 進, 油井 三和

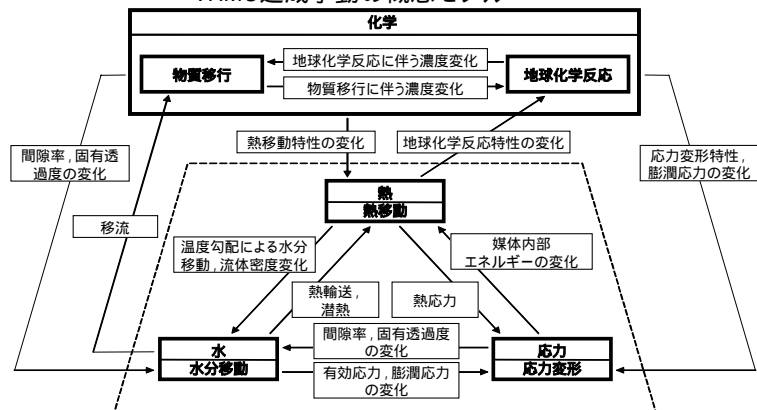
目的

熱的、水理的、力学的、化学的なプロセスが相互に影響を及ぼし合うニアフィールド連成挙動の時間的 / 空間的変遷を数値実験に基づき現実的に理解、把握する。

ニアフィールドにおける連成挙動の模式図



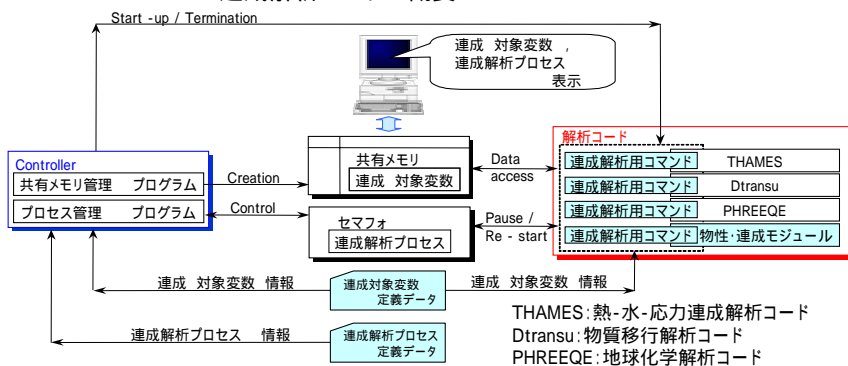
THMC連成挙動の概念モデル



実施内容

- THMC連成モデル / 解析コードのプロトタイプを開発、開発コードによる試解析を実施。
- 国際共同研究DECOVALEXにて、米国ユッカマウンテンにおける坑道規模加熱試験 (Drift Scale Test) の連成解析を実施。
- THMC連成挙動の室内試験(改良型COUPLE)を実施中。

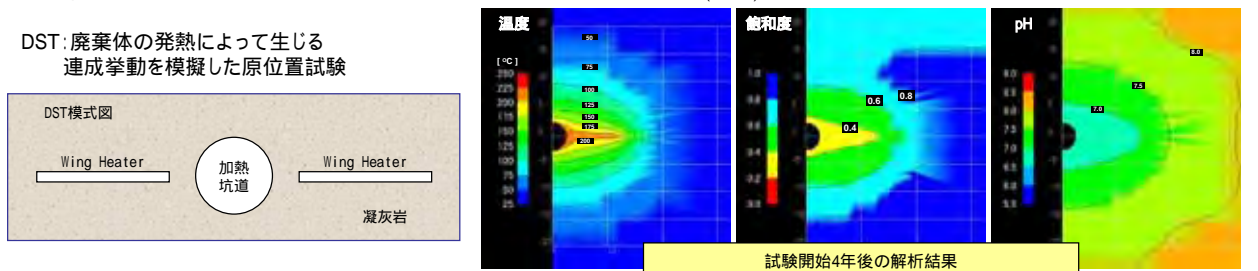
THMC連成解析コードの概要



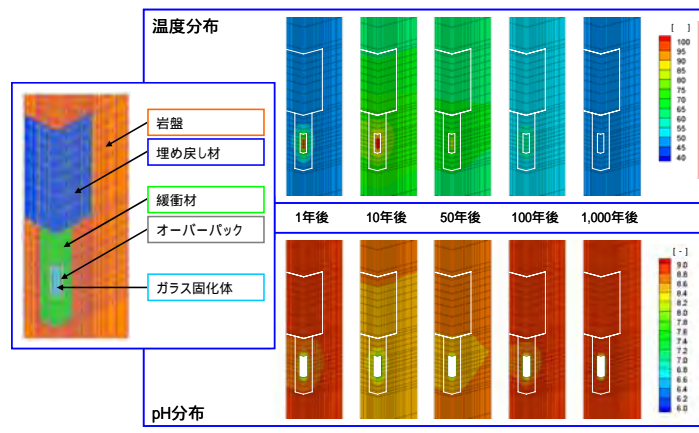
THMC連成挙動の室内試験(改良型COUPLE)



国際共同研究DECOVALEXにおける取り組み: ユッカマウンテンDrift Scale Test (DST) のTHC連成解析



第2次取りまとめ環境に対する試解析(硬岩系岩盤 処分孔縦置き方式)



成果

THMC連成モデル / 解析コードのプロトタイプを開発し、ニアフィールド数値実験の基盤を整備した。開発コードによる試解析結果と第2次取りまとめの整合を確認した。

	第2次取りまとめ	プロトタイプコードによる試解析(THC連成解析)
緩衝材中の最高温度	82 (THM連成解析) / 98 (熱解析)	90
緩衝材の再冠水時間	50年以下(THM連成解析)	20年
人工バリア設置1,000年後の緩衝材間隙水のpH	8.4(地球化学解析)	8.9

3-2 人工バリア材料に関するナチュラルアナログ研究

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部
吉川 英樹, 亀井 玄人, 油井 三和

天然における処分場環境に類似した現象を研究するナチュラルアナログ研究により、人工バリア材及び人工バリア周辺岩盤の長期耐久性評価に資するデータ取得を行っている。現在実施している研究は、土中に長期間埋没していた天然ガラスや鉄製遺物の変質・腐食に関する研究、ベントナイトの変質や粘土中の核種移行に関する研究、高アルカリ地下水の影響に関する研究やそれらを補完する室内実験である。

X線CTを用いた鉄遺物の金属ナチュラルアナログ研究

鎌倉時代初期の出雲大社境内遺跡より出土した鉄製遺物を用いて、鉄の長期腐食速度を検討した。用いた試料は、出土品の鉄帯、鉄釘、鉄斧であり、埋没期間はC-14年代測定や史料から約750年間と推定される。錆の厚さや密度分布について、高出力X線CTにより状態分析を行った。

埋没環境は酸化性(鉄帯、鉄釘)と弱酸化性から還元性(鉄斧)と推定される。鉄製遺物の錆の密度が測定でき、この密度と錆の厚さより腐食量を求めると

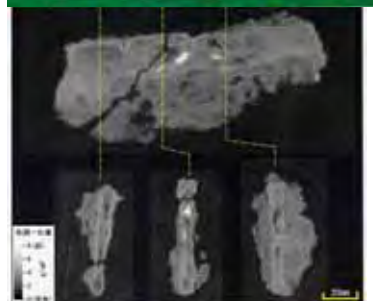
酸化性環境 : 2.0 ~ 6.3mm、

弱酸化性から還元性環境 : 0.1 ~ 0.67mm であった。

これらのデータは、第2次取りまとめの推定腐食量を超えていないことが分かった。



宇豆柱前から出土した 鉄斧
(全長 約120mm、刃幅 約75mm)
周囲は粘土質(弱酸化性から還元性)の土壌だった。



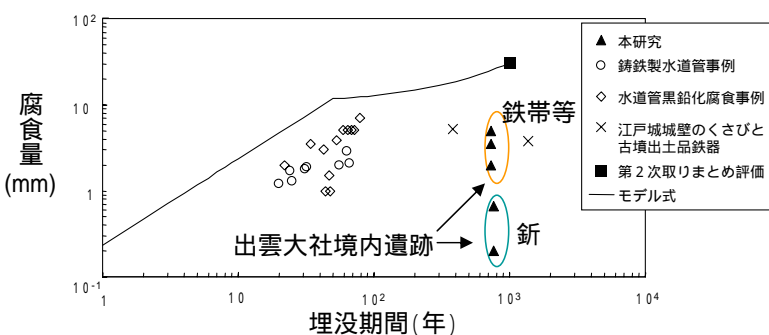
酸化性雰囲気の出土例
鉄帯(木材を束ねる材料)
周囲の黄褐色錆はヘマタイト



鉄斧(新: ちょうな)のX線CT画像

鉄製遺物と人工バリア材料の埋没環境比較

	鉄帯、鉄釘	新	オーバーバック
材質	鉄	鉄	炭素鋼(鉄)
埋没環境	酸化性	弱酸化性 ~還元性	還元性
周囲の土壌	砂質土壌	粘土	粘土
埋没期間	約750年間	約750年間	1,000年間の 評価必要
地下水	降水系 地下水	降水系 地下水	降水系地下水等



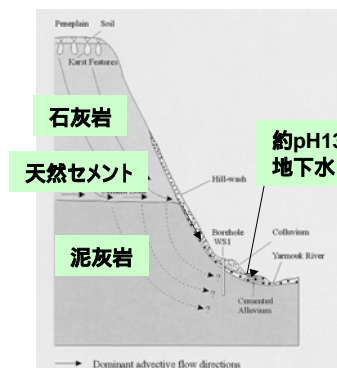
高アルカリ地下水の影響評価に関するナチュラルアナログ研究

軟岩系岩盤の支保に用いるセメント系物質と地下水との反応で生じる高アルカリ溶液によるベントナイトや周辺岩盤の長期安定性評価が重要な課題となっている。

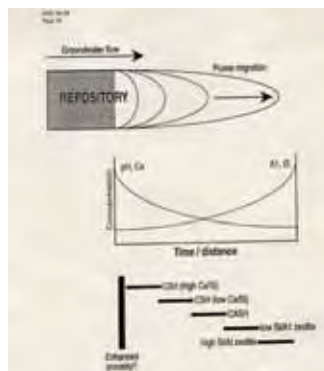
現在、Nagraなどが進めている国際共同プロジェクトに参画し、海外における天然のアルカリ性地下水湧出地点として注目されているヨルダン・マカーリンサイトの調査に参加し、検討を行っている。現地では、泥灰岩の燃焼により石灰岩が天然セメントに変質し、これと地下水との反応によって、高アルカリ地下水が生成している。



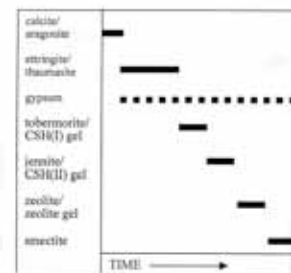
マカーリン(ヨルダン)の場所



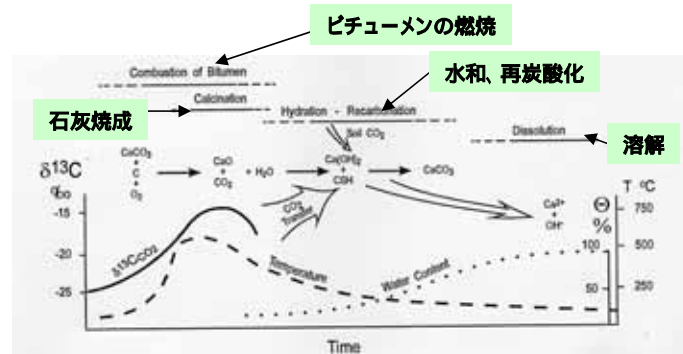
天然セメントゾーンを浸透する地下水



高アルカリ地下水ブルームの概念モデル
(Savage, 1998)



マカーリンで見られる変質鉱物



マカーリンの高アルカリ地下水形成の概念モデル
(Clark et al., 1994)

3-3 炭酸共存下におけるスメクタイトに対するNpの収着挙動

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

北村 暁, 戸村 努

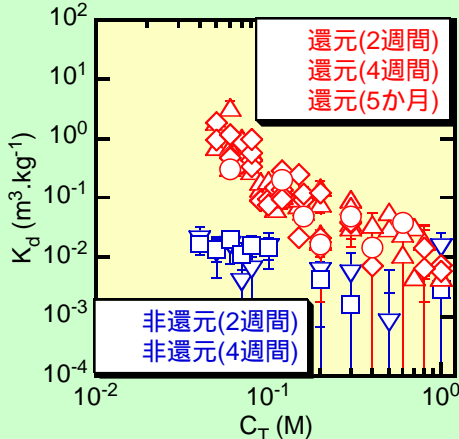
背景・目的

- 地下水によっては、還元条件で 5×10^3 ppmの HCO_3^- および 1×10^4 ppmのClを含むものがある(MRNP)ため、炭酸共存下におけるNp(IV)の移行挙動は重要
- 還元条件下におけるネプツニウムの収着挙動を調べた例は少なく、特に炭酸共存下ではほとんどない
- 還元条件、炭酸共存下におけるスメクタイトに対するネプツニウムの分配係数(K_d)を、バッチ法により取得
- K_d の全炭酸濃度依存性を解析することにより、Np(V)およびNp(IV)の各溶存化学種の分配係数を推定

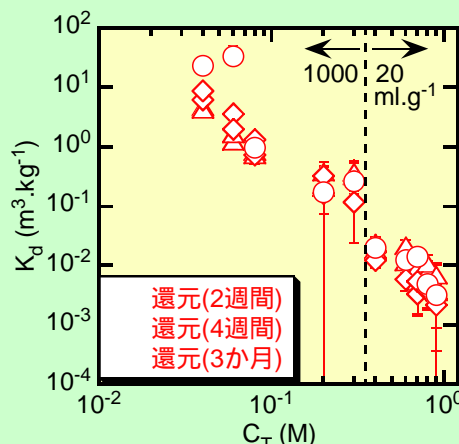
試験手順



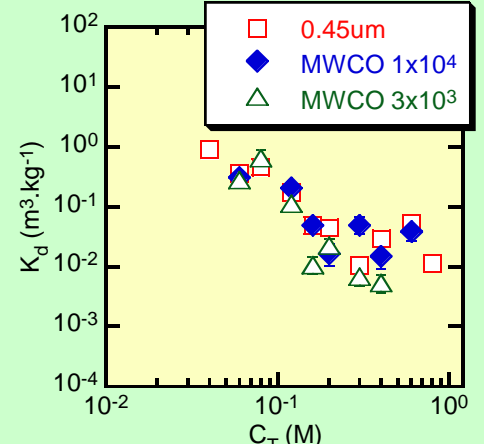
結果



還元・非還元状態でのスメクタイトに対するNpの分配係数の全炭酸濃度依存性 (液固比: 100 $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$ (還元), 20 $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$ (非還元))



還元状態におけるスメクタイトに対するNpの分配係数の全炭酸濃度依存性 (液固比: 20, 1000 $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$)



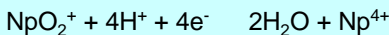
還元状態におけるスメクタイトに対するNpの分配係数のフィルター孔径依存性 (液固比: 100 $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$, 振とう156日間)

考察

- 解析: 加成則を用いた最小二乗適合

$$K_d = \sum_i K_{di} X_i \quad (K_{di}: \text{化学種 } i \text{ の分配係数, } X_i: \text{化学種 } i \text{ のモル分率})$$

NpO_2^+ , Np^{4+} のモル分率の比は,

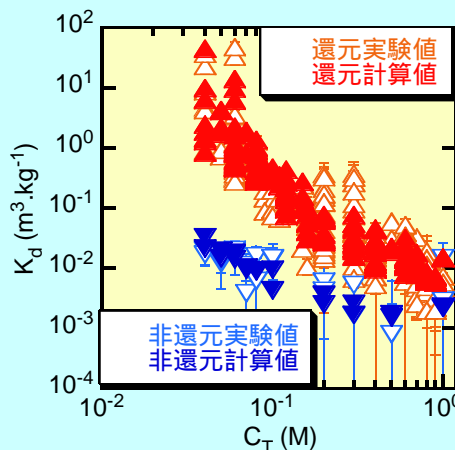


の平衡定数(K_e)と、各試験のpH, E_h の実測値を用いて算出

- 本研究では、 K_e をパラメータとして解析

解析で得られた K_{di} および $\log K_e$

化学種	K_{di}
NpO_2^+	6.74×10^{-1}
$\text{NpO}_2\text{CO}_3^-$	4.07×10^{-4}
$\text{NpO}_2(\text{CO}_3)_2^{3-}$	6.46×10^{-3}
$\text{Np}(\text{OH})_4(\text{aq})$	4.88×10^{-1}
$\text{Np}(\text{CO}_3)_4^{4-}$	2.25×10^{-1}
$\text{Np}(\text{CO}_3)_5^{6-}$	4.28×10^{-3}
$\text{Np}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2^{2-}$	1.91×10^{-1}
$\log K_e$	7.45



加成則を用いた K_d の解析結果

- Np(IV)では、 $\text{Np}(\text{OH})_4(\text{aq})$, $\text{Np}(\text{CO}_3)_4^{4-}$, $\text{Np}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2^{2-}$ が、Np(V)では、 NpO_2^+ の K_d が大きい
- 解析により得られた NpO_2^+ の K_d は、他の文献値(大気、弱アルカリ性条件下でのベントナイトに対する K_d)と同程度である。
- 還元条件下における高い K_d は、 $\text{Np}(\text{OH})_4(\text{aq})$, $\text{Np}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2^{2-}$ の化学種の収着への寄与によるもの。

- 固液の反応は概ね平衡に到達
- K_d は、全炭酸濃度の増加に伴い減少する傾向
- K_d の液固比依存性見られず
- フィルター孔径依存性見られず、Npコロイドは確認されず
- 非還元状態では、還元状態に比べ K_d が低く、 C_T 依存性なし
- 還元状態での高い K_d は、Np(IV)の収着によるもの

まとめ

- 還元条件では、 K_d は全炭酸濃度の増加に伴い低下
- 非還元状態のNpは、スメクタイトにほとんど収着せず
- フィルター孔径依存性が見られなかったことから、コロイドの影響はないと予想
- 加成則による解析で、 K_d の全炭酸濃度依存性を説明可、 $\text{Np}(\text{OH})_4(\text{aq})$ の K_d 大

3-4 ベントナイトコロイドに対するCsの収着挙動

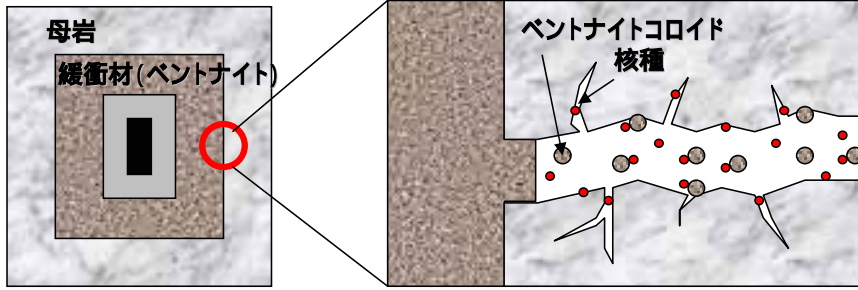
核燃料サイクル開発機構

東海事業所 処分研究部

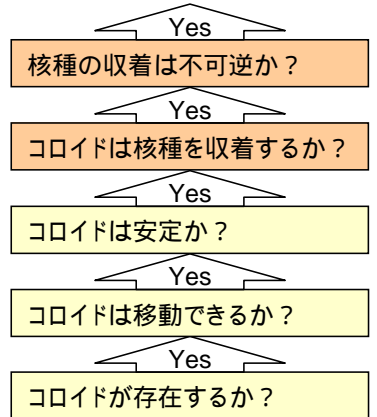
飯島 和毅, 増田 嗣也, 戸村 努

1. 背景

- 地層処分システムの母岩・緩衝材境界でベントナイトコロイドが生成する可能性がある。
- 核種は、コロイドに収着されると、亀裂に収着できないため、移行が遅延されない。
- 核種のコロイドへの収着性(分配係数、可逆性)は、コロイドの影響を評価する上で重要。



核種移行へのコロイドの影響が顕在化



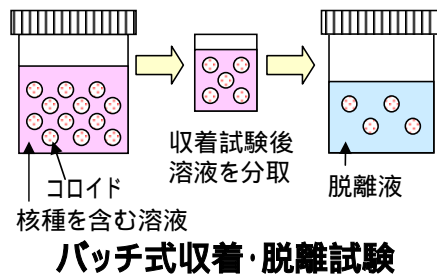
“ Colloid Ladder ”

5つの問いの答が全てYesなら、
コロイドの影響が顕在化する

本研究の目的

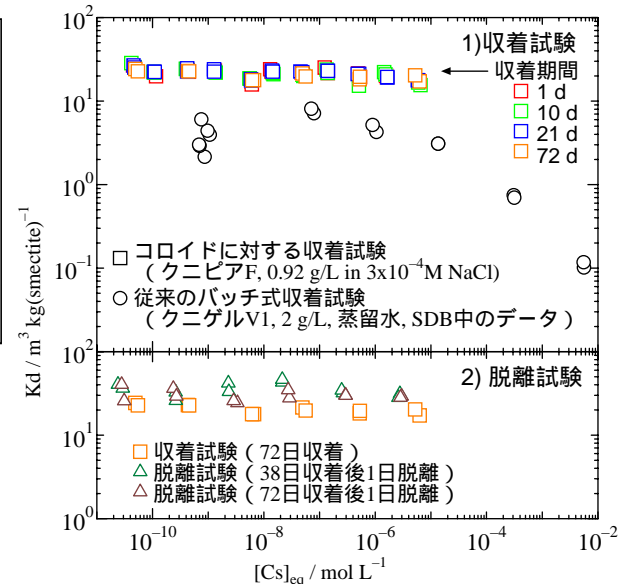
- ベントナイトコロイドに対するCsの収着性(分配係数、可逆性)データを取得する。
- ベントナイトコロイド及び粉末状ベントナイト(従来のバッチ収着試験)に対する分配係数を比較し、ベントナイトコロイドの特性に基づき、収着性の違いを考察する。

2. 収着・脱離試験と結果



試験条件

ベントナイト:クニピアF
コロイド調製条件:
2 g/Lベントナイト懸濁液を1ヶ月静置、
上澄みを分取し、0.8mmフィルターで
ろ過したる液を使用。
コロイド濃度:0.92 g/L
脱離液: 8.4×10^{-4} M NaCl溶液
(コロイド溶液の限外ろ過と同濃度)



収着挙動

- 分配係数は、 $19 \sim 28 m^3/kg$ と粉末状ベントナイトより大きい。
- 収着期間(1~72日間)、Cs濃度($10^{-11} \sim 10^{-5} mol/L$)に依らない。

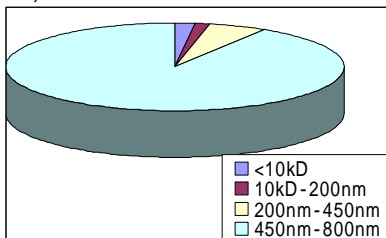
脱離挙動

- 脱離量が少ない(収着Csの20%程度)段階では、可逆的に脱離される。

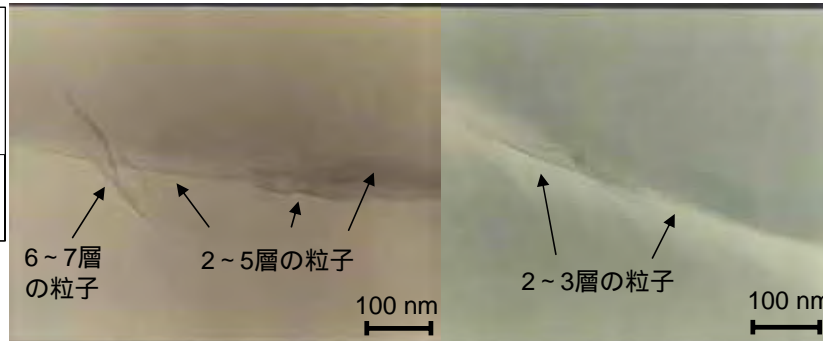
収着・脱離試験結果

3. ベントナイトコロイドの特性

1) 粒径分布



2) コロイド断面のTEM写真



コロイドの粒子形状

- 450nm以上の大きな粒子が90%以上を占める。
- 結晶シートの積層数が数層程度と少ない。
- 底面部分の面積が、粉末状ベントナイトより大きいと考えられる。

4. まとめ

- ベントナイトコロイドへのCs収着の分配係数は、粉末状ベントナイトより大きく、Cs濃度や収着期間に依らない。
- ベントナイトコロイド粒子は、比較的大きく、積層数が数層と少ないため、底面部分の面積が大きい。
- ベントナイトコロイドの方が底面部分に存在する収着サイト面積が大きいため、分配係数が大きくなったと推定された。

3-5 亀裂を有する軟岩中の流れと移行現象に関する研究

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

畑中耕一郎, 内田雅大

背景と目的

- わが国の地下深部に存在する岩盤については、亀裂内の水の流れや物質移動を対象とした多くの研究が行なわれている。結晶質岩を対象とした研究が中心、堆積岩を対象とした研究は少ない。
- 新第三紀堆積性軟岩については、地質環境の長期的な変化に起因して亀裂が生じており、粒子間隙中の流れに加えて、亀裂中の流れも有意である可能性がある。
室内試験あるいは原位置試験を通して支配プロセスを同定・評価し、モデル化を行うことが必要(仮説の妥当性の検証)である。
- 地下深部に存在する堆積岩は結晶質岩とともに高レベル放射性廃棄物地層処分研究の対象岩盤である。
堆積岩を対象とした性能評価解析において適切なモデル選定とパラメータ設定を行うことが重要である。

亀裂性岩盤と多孔質岩盤の特性をあわせ持つ、亀裂を有する堆積性軟岩に関して、水理特性と物質移動特性を室内試験により理解することを目的として本研究を実施する。

試験用岩体試料の採取

- 試験用岩体コアのサンプリングとコアの整形
 - 幌延深地層研究センターが平成14年度に掘削した試錐孔(HDB-4孔)のボーリングコアから採取
 - 岩種：硬質頁岩(稚内層) 続成変質(Opal A帯/Opal CT帯)の程度の相違に基づき稚内層に分類
 - 採取位置(HDB-4孔)：深度200m付近、300m付近、450m付近の3深度
 - 試験試料(透水試験とトレーサ試験)：同一深度で亀裂有りとし無しの試料、直径50mm x 高さ50mm

室内試験の実施

透水試験

亀裂無し試料と亀裂有り試料の透水係数を計測

岩石試料の透水係数

試料名	採取深度(HDB-4)	透水係数 [m/s]	
		亀裂有り	亀裂無し
2-1i	200m付近	5.56E-09	5.49E-12
3-2i	300m付近	1.51E-09	4.88E-12
4-1i	450m付近	1.02E-08	1.63E-12

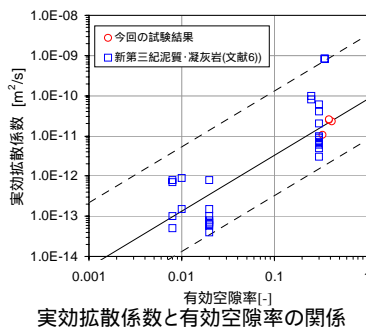
亀裂無し試料：トランジェントパルス法
亀裂有り試料：一定流量通水

拡散試験

亀裂無し試料の実効拡散係数を透過拡散法により計測

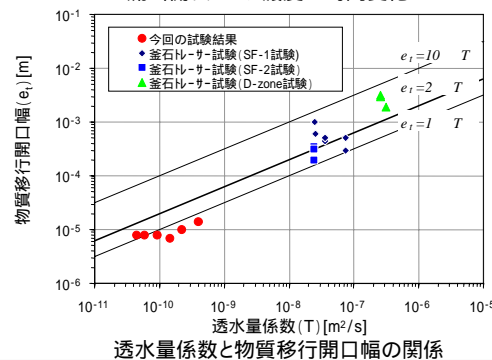
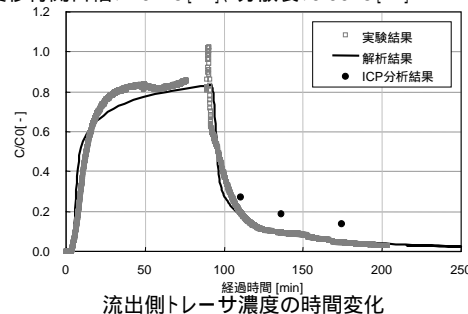
亀裂無し試料の実効拡散係数

試料名	採取深度(HDB-4)	有効空隙率 (%)	実効拡散係数 (m ² /s)
2-2i	200m付近	41.4	2.34E-11
3-4i	300m付近	38.4	2.55E-11
4-2i	400m付近	33.2	8.16E-12



トレーサ試験

- 試料名：2-1f (亀裂有り試料)
- 解析コード：FRAC3DVS (ver.3.49, Therrien他, 1999)
 - 浸透流解析及び移流・分散・拡散等を考慮した物質移動解析が実施可能な3次元解析コード
- 物質移行開口幅：1.0E-5 [m]、分散長：0.0015 [m]



結論

- 試験に使用した堆積性軟岩健岩部の空隙率は約30~40%と高いが、透水係数は10⁻¹²m/sオーダーと非常に小さい。これは、試験に使用した軟岩の空隙率は大きいにも係らず、空隙径が非常に小さいため、流れに対する抵抗力が大きくなり、空隙率が高くて大きさが透水係数の増加には寄与しないと考えられる。
- 一方、亀裂内の物質移行開口幅や分散長については、既往データと整合的な結果が得られた。特に、花崗岩地域の原位置トレーサ試験結果と同様に、透水量係数と関連づけて整理できる可能性が示された。
- 今回の試験結果から、試料採取地点周辺の地下水流れや物質移行特性に関して考察すると、
 - 地下水流れに関しては、粒子間隙よりも亀裂が卓越した水みちを形成する可能性が高い。
 - 一方、物質移行においては、亀裂内では移流分散が支配的となるが、拡散係数が大きいこと、マトリクス拡散深さが大きいことから、マトリクス拡散による遅延効果は結晶質岩と比較して大きいと考えられる。

今後の課題

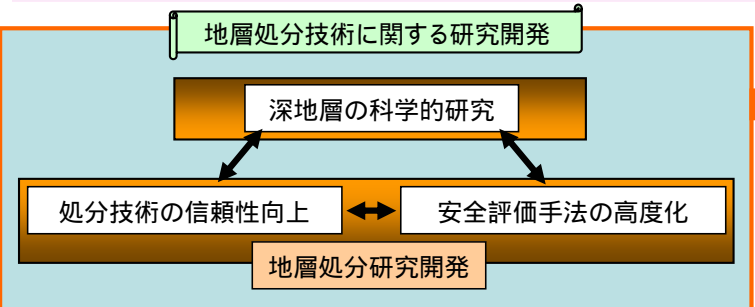
- 透水性の亀裂の頻度、連続性を調査し、堆積岩中の割れ目が移行経路となりうるかを調査する。

3-6 技術情報統合システム(JGIS)開発

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

柴田 勝志, 牧野 仁史, 若杉 圭一郎, 内田 雅大

技術情報統合システム(JGIS)開発の目的 < JGIS: JNC Geological Disposal Technical Information Integration System >



信頼性の向上のためには:
 ・3分野間・各分野内での種々の技術情報 のやりとり
 ・段階的な進展・繰り返し
 が必要。

その結果、技術情報が増大し、複雑化する

適切な情報マネジメントが必要

「技術情報統合システム」の開発

技術情報を利用しやすい形で統合的に管理可能
 調査・研究要素間での研究内容の整合性を確保
 各研究要素間で技術情報の共有の場を提供

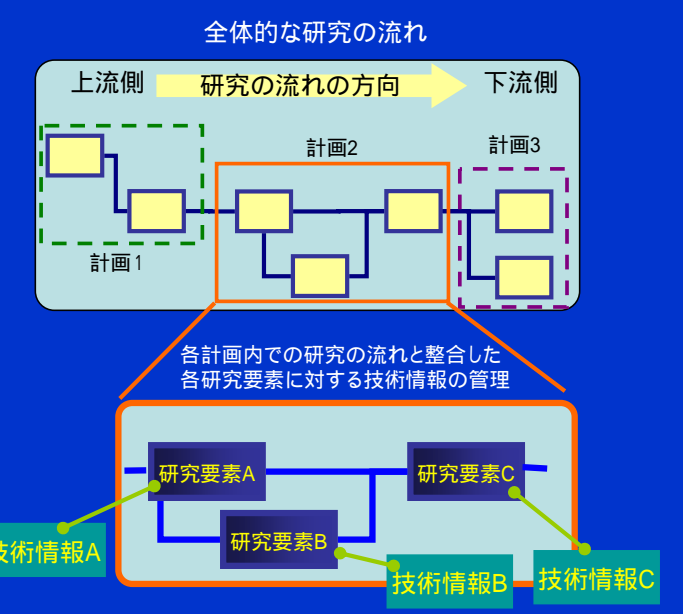
「技術情報」とは？

調査・研究において生ずる主要な情報としては、
 ・調査や解析等から得られる結果(以下、成果情報と呼ぶ)
 ・結果をトレースするための情報(例:目的・手法の前提条件・解釈・判断)や履歴(以下、品質情報と呼ぶ)
 ・結果の導出に使用した他研究要素の結果(以下、利用情報と呼ぶ)
 などがある。以上の3点をまとめて「技術情報」と呼ぶ。

技術情報統合システムの主要な機能と使用イメージ

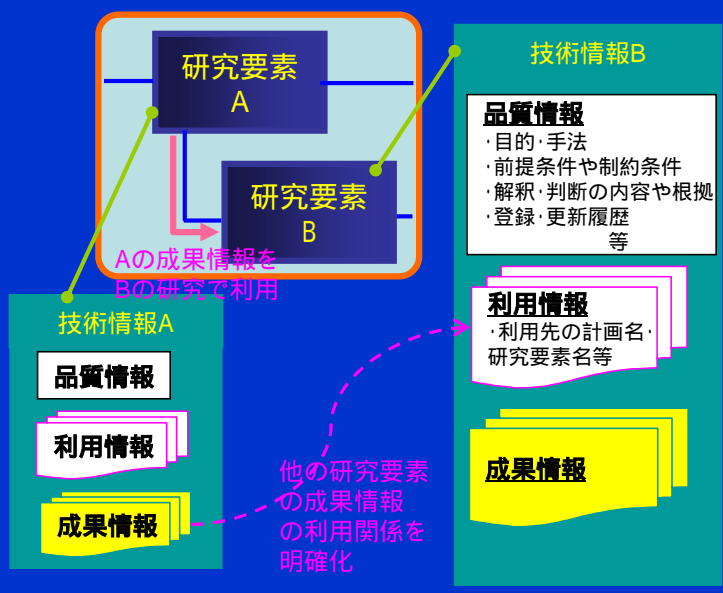
技術情報を利用しやすい形で統合的に管理可能とする

実際の研究の体系的な流れ(例:統合化データフロー等)に即した形で技術情報の統合的管理



調査・研究要素間での技術情報の整合性を確保

研究の成果情報のみではなく、研究内容の品質を記述する品質情報、他の研究成果の利用実績等を一括管理



各研究要素間で技術情報の共有の場を提供

- ・LAN,Web等の利用により各自の計算機から容易にシステムを利用
- ・技術情報の共有促進機能(登録・更新・利用の周知と対応支援)
- ・研究担当者間での技術的なコミュニケーションの支援機能

