

(4) 深地層の研究施設計画に関する 第2期中期計画取りまとめ案について

②個別の成果の取りまとめ案について —e. 物質移動—

**地層処分研究開発部門
東濃地科学研究ユニット
幌延深地層研究ユニット**

A1) 取りまとめの着眼点(物質の移動分野)

A1) 地質環境の初期状態の理解:

地質環境中の物質移動特性やそれに寄与する個別の現象を把握するための調査・解析・評価技術

➤ 着目した地質環境の特性とプロセス

- 岩盤の収着・拡散特性
- コロイド/有機物/微生物の存在

➤ 達成目標

- 物質の移動に関して好ましい環境条件の領域を判断できる

A1) 地質環境の初期状態の理解:

地質環境中の物質移動特性やそれに寄与する個別の現象を把握するための調査・解析・評価技術を構築

➤ 共通

- ✓ 地下水中にコロイド/有機物/微生物の存在が確認され、物質移動特性に与える影響の評価の必要性が示された。

➤ 岩盤の収着・拡散特性の把握

- ✓ 地上からの調査で取得したボーリングコア試料を用いた室内試験を実施し、地質環境中の物質の移動特性の理解に重要な実効拡散係数や収着分配係数を取得した。

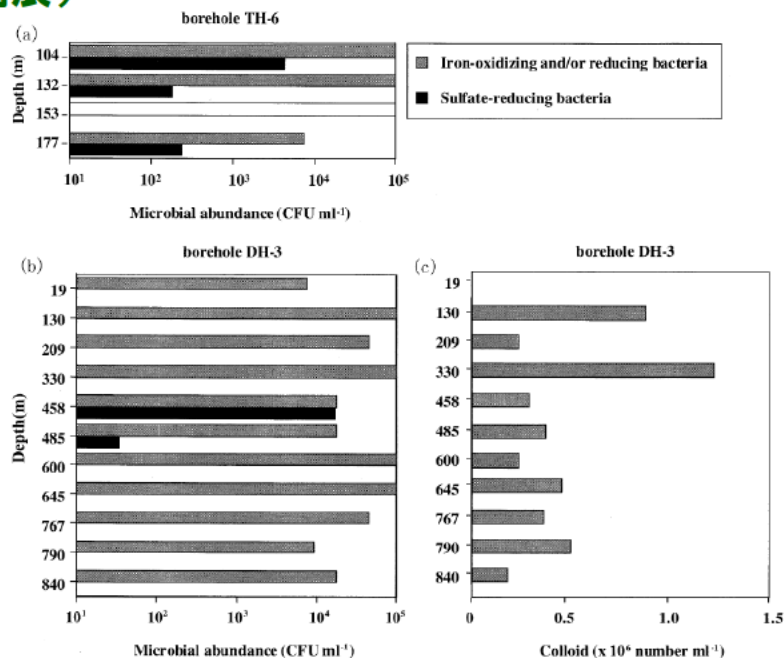
➤ コロイド/有機物/微生物の影響の把握

- ✓ 地下水中のコロイド/有機物/微生物の存在と物質移動特性への影響の可能性を示した。

成果ダイジェストA1) 地質環境の初期状態の理解 —コロイド/有機物/微生物の影響を把握するための調査技術—

地下水中の微生物の分布を把握

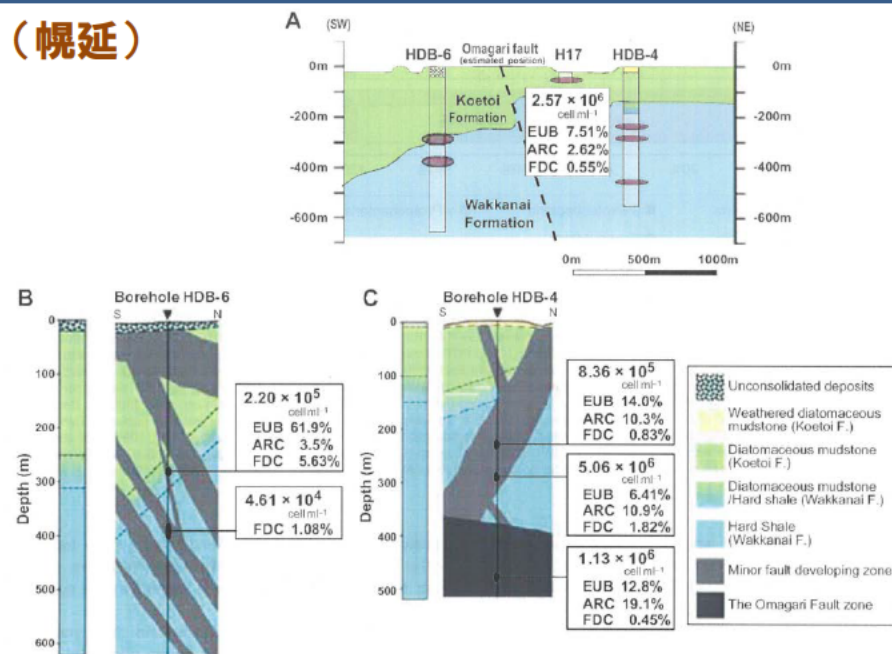
(瑞浪)



地下水中の各種微生物とコロイド粒子の深度プロファイルの例(村上ほか., 2003)

- 花崗岩中の地下水に硫酸還元菌, 鉄関連細菌の存在を確認
- 特定の深度において硫酸還元菌の存在が確認され, 地球化学的な環境との関係の可能性が示唆

(幌延)



地質構造に関連した微生物分布の例(Kato et al., 2009)

- 声問層・稚内層中の地下水で芳香族化合物の分解, アンモニア酸化, 亜硝酸酸化, 硫酸酸化, メタン酸化, 硝酸還元, 硫酸還元, 脱窒の窒素循環に関わる微生物の存在を確認
- 単一の系統のメタン生成微生物の優占を確認
- 断層や地層境界などの地質構造と微生物の分布が関連する可能性が示唆

今後の課題 メッセージ(物質の移動分野)

A1) 地質環境の初期状態の理解(サイト選定～処分開始に関する意思決定への反映):

多様な地質環境中の物質移動特性やそれに寄与する現象を適切に把握するための調査解析技術の継続的な開発

- 多様な地質環境中の物質移動特性を把握可能な調査技術の構築および地質環境に応じた試験手法・分析手法・解析評価手法の組み合わせの整備
- 整備された手法による試験実績・成果の蓄積

A2) 取りまとめの着眼点(物質の移動分野)

A2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解:

施設建設・操業時に地質環境中の物質移動特性やその不均質性を精度よく把握するための調査・解析・評価技術

➤ 着目した地質環境の特性とプロセス

- 岩盤の収着・拡散特性
- 物質移動場
- コロイド/有機物/微生物の影響
- 物質の移動特性の解析評価技術

➤ 達成目標

- 物質の移動に関して好ましい地下施設レイアウト・処分孔レイアウトを提示できる

A2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解:

施設建設・操業時に地質環境中の物質移動特性やその不均質性を精度よく把握するための調査・解析・評価技術を整備

➤ 岩盤の収着・拡散特性の把握

- ✓ 原位置試験を実施して地質環境中の物質の移動特性に関する各種パラメータを取得する技術として、多様な地下環境(例えば、溶存ガス環境下)に対応可能な原位置試験装置および試験手法を構築し、その適用性を確認した。(瑞浪と幌延の相違点:溶存ガス対策の有無)
- ✓ 地質環境中の物質の移動特性に関する各種パラメータの取得技術として、トレーサー物質の原位置分析技術を構築した。
- ✓ 収着・拡散パラメータ取得するための室内試験において、間隙水の塩濃度条件を制御しながら、低収着性から高収着性までの多様な元素に対応可能なことを示した。
- ✓ 装置・手法・技術の構築により、本格的な原位置試験の開始に必要な調査技術が整備された。

➤ 物質移動場の把握

- ✓ 岩盤中に認められる割れ目などをタイプ分けし、原位置物質移動試験を実施する対象を明確化した。(瑞浪と幌延の相違点:変質の有無, 割れ目充填鉱物)

A2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解:

施設建設・操業時に地質環境中の物質移動特性やその不均質性を精度よく把握するための調査・解析・評価技術を整備

➤ コロイド/有機物/微生物の影響の把握

- ✓ 地下水中のコロイドが地質環境中の物質の移動現象に及ぼす影響の有無は、元素の種類やコロイド生成環境により異なることを示した。
- ✓ 地下水中の有機物に着目した拡散系での物質の収着・拡散現象はモデル化可能であることを示した。
- ✓ 地下水中の微生物活動が地質環境中の物質の移動現象に及ぼす影響を評価するための調査・分析手法を整備し、適用性を確認した。
- ✓ 地下水中のコロイド/有機物/微生物が地質環境中の物質の移動現象に及ぼす影響を原位置でより精度よく把握する調査技術を整備し、その原位置適用性を確認した。

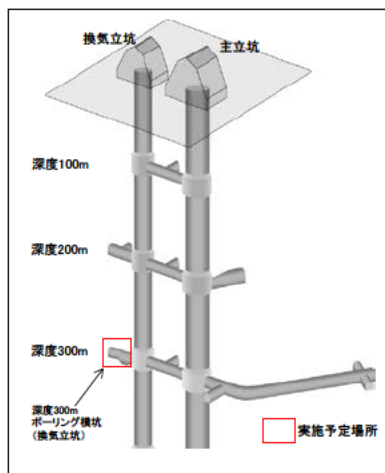
➤ 物質の移動特性の解析評価技術の構築

- ✓ 割れ目の透水不均質性を考慮した物質移動解析や幌延URLの250m調査坑道で得られた原位置試験データに基づく割れ目面内の物質移動不均質性のモデル化によって、350m調査坑道で実施する原位置試験計画を詳細化した。

成果ダイジェストA2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解 —岩盤の収着・拡散特性を把握するための調査技術—

地質環境中の物質の移動特性に関する各種パラメータの取得技術として、
多様な地下環境に対応可能な原位置試験装置および試験手法を構築

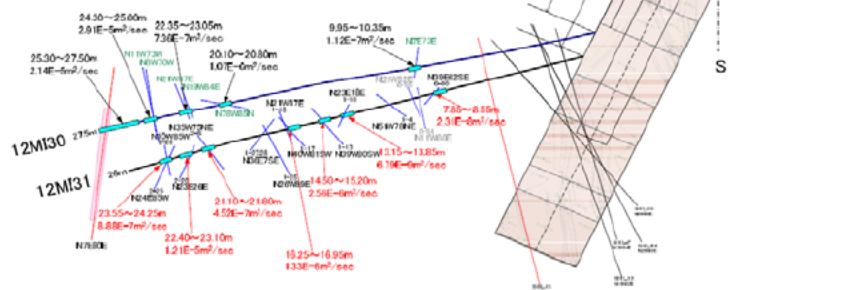
(瑞浪)



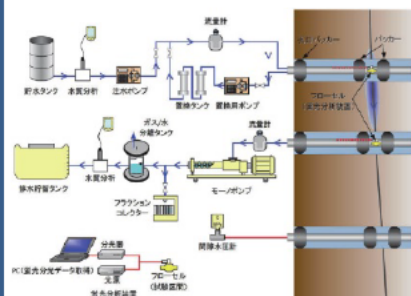
- 結晶質岩を対象として開発されたトレーサー試験装置の適用性の検討に着手(電力中央研究所との共同研究として実施中)
- 瑞浪URLの深度300mステージにおいて、ボーリング孔を用いた地質学的・水理学的調査により、物質移動特性評価技術を適用する試験対象領域の特性評価のための基礎データを取得

12M130号孔掘削方向:
・起点より8.95m
・S77°W方向
・水平より35°下向き
・掘削長27.5m

12M131号孔掘削方向:
・起点より10.25m
・S75°W方向
・水平より35°下向き
・掘削長26.0m



(幌延)



物質移動試験装置の概念図(中山ほか, 2012)

田中ほか(2013)の図3を参照
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/search/servlet/search?5040775>

遊離ガスを抑制する試験手順の例
(田中ほか, 2013)

- 既存の孔間水理試験装置を利用してトレーサー注入・回収機構を付加し、ダイポール試験を実施可能な試験機器を開発
- 試験区間からのガス排出機構と遊離ガス発生を抑制するパッカー拡張手順を構築し、溶存ガス環境下でも原位置試験実施および精度の良いデータ取得が可能
- 溶存ガスの影響を極力排除しながら精度よくデータを取得する観点で、注水系の透水試験と低流量注入・揚水によるダイポール比1のトレーサー試験の実施が有効
- 試験ごとにガス影響の排除効果を区間内流体圧縮率から確認することで、試験結果の信頼性を向上
- 地下施設での原位置試験の実施により試験機器および試験手法の適用性を確認

多様な地下環境への適用性向上のための試験実績の蓄積
試験装置および試験手法の原位置適用性についての課題抽出

今後の課題 メッセージ(物質の移動分野)

A2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解(処分開始～最終閉鎖に関する意思決定への反映):

原位置試験の実施による物質移動特性の把握および地下施設近傍領域の物質移動特性の変化や不均質性分布を把握するための調査解析技術の開発

- URLを用いた原位置物質移動試験とその結果の解析評価の実施
- 地下施設近傍領域の物質移動に寄与する構造や物質移動特性及びその短期的変化を把握可能な調査評価技術の構築
- 地下施設近傍領域の物質移動特性の三次元的な不均質性分布やその短期的変化を把握可能な調査評価技術の構築

A3) 取りまとめの着眼点(物質の移動分野)

A3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解:

地質学的時間スケールにおける物質移動現象やその特性の長期変動幅を推測するための調査・解析・評価技術

➤ 着目した地質環境の特性とプロセス

- 岩盤の収着・拡散特性
- 物質移動場

➤ 達成目標

- 地質学的時間スケールで物質移動特性の変化を予測し、物質の移動に関して長期に亘る環境条件の変化を提示できる

A3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解:

地質学的時間スケールにおける物質移動現象やその特性の長期変動幅を推測するための調査・解析・評価技術を整備

➤ 岩盤の収着・拡散特性の長期的変化

- ✓ 岩盤中の透水性割れ目近傍における元素の分布プロファイルからマトリクス拡散深さを推定した。これを用いて長期的な物質移動特性の評価が可能と考えられる。
- ✓ ボーリングコア試料のアナログ元素分析の結果から、健岩部では十数kmスケールの広域領域では顕著な元素の移動はなく、濃集が認められた一部の断層の移行経路として重要性を指摘。
(瑞浪と幌延の相違点:収着に寄与する鉱物の多寡と分布の不均質性)

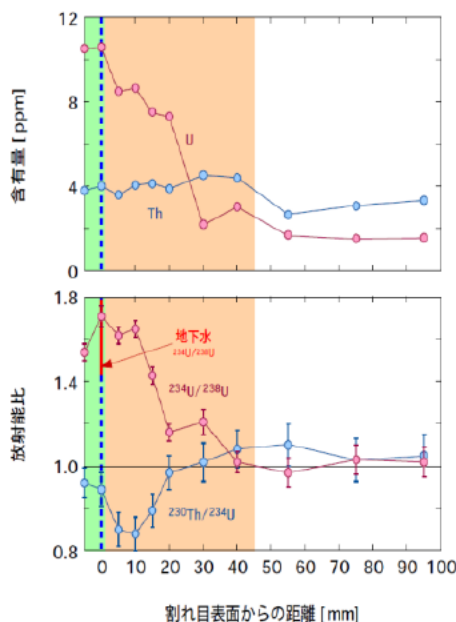
➤ 物質移動場の長期的変化

- ✓ 地質構造発達史と透水性割れ目形成プロセスの理解に基づき、長期的な物質移動場の変遷を推定可能と考えられる。

成果ダイジェストA3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解 —長期的な物質移動特性の変化を予測するための調査技術—

長期的な物質移動場の変化を予測するための情報の整理に着手

(瑞浪)

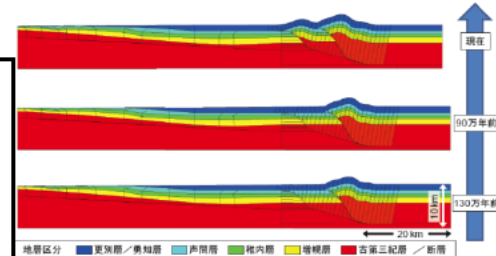


(核燃料サイクル開発機構, 2005)

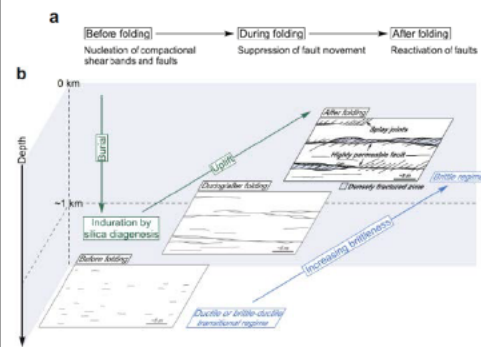
- 土岐花崗岩中に認められる透水性割れ目近傍におけるウラン系列核種(^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th)の分布プロファイルからマトリックス拡散深さを推定
- 透水性割れ目の近傍におけるマトリックス拡散は数十mm以上におよぶ

(幌延)

岩月ほか(2009)の図3
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/search/servlet/search?5024944中のURLリンク先にある論文を参照>



地形・地質構造の変遷モデル(中山ほか, 2012)



微量元素とAl濃度の相関(岩月ほか, 2009)

横ずれ断層形成プロセスの例 (Ishii et al., 2012)

- アナログ元素分析の結果から、健岩部では十数kmスケールの広域領域では顕著な元素の移動はなく、濃集が認められた一部の断層が移行経路として重要
- 地質構造発達史から地質環境の変遷を復元可能
- 隆起・沈降と岩盤の強度や脆性度に関連した透水性割れ目形成プロセスの理解

地質学的時間スケールでの物質移動特性および物質移動場の変動の理解
 変動および変動幅を推定するための技術開発

今後の課題 メッセージ(物質の移動分野)

A3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解(処分開始～追加対策に関する意思決定への反映):

地下施設近傍・遠方領域を含めた物質移動特性の長期変動を理解・評価するための調査・解析・評価技術の開発および地質環境の長期変遷に伴う物質移動場の変化に関する理解

- 地質構造発達・地質環境変動に伴う地下施設近傍・遠方領域の物質移動特性の長期変動幅を推定可能な調査評価技術の構築
- 地質学的時間スケールでの物質移動特性変動のモデル化技術の構築

まとめ

A1) 地質環境の初期状態の理解(サイト選定～処分開始に関する意思決定への反映):

- 地質環境中の物質移動特性やそれに寄与する個別の現象を把握するための調査技術や解析評価技術の構築 ⇒ 概ね完了
- 多様な地質環境中の物質移動特性やそれに寄与する現象を適切に把握するための調査解析技術の継続的な開発が必要

A2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解(処分開始～最終閉鎖に関する意思決定への反映):

- 施設建設・操業時に地質環境中の物質移動特性やその不均質性を精度よく把握するための調査技術や解析評価技術の整備 ⇒ 本格的な原位置試験の開始に必要な調査技術の整備を概ね完了
- 原位置試験の実施による物質移動特性の把握および地下施設近傍領域の物質移動特性の変化や不均質性分布を把握するための調査解析技術の開発が必要

A3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解(処分開始～追加対策に関する意思決定への反映):

- 地質学的時間スケールにおける物質移動現象やその特性の長期変動幅を推測するための調査技術や解析評価技術の整備 ⇒ 安全評価研究と連携して検討を進める
- 地下施設近傍・遠方領域を含めた物質移動特性の長期変動を理解・評価するための調査・解析・評価技術の開発と地質環境の長期変遷に伴う物質移動場の変化に関する理解が必要

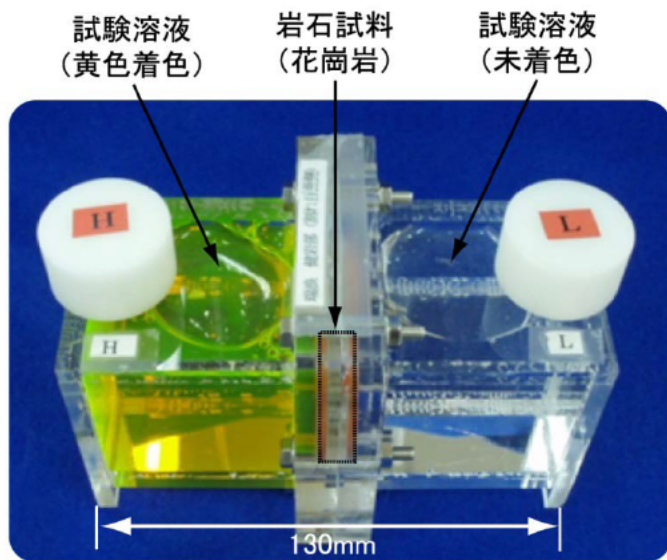
瑞浪における必須の実施項目	幌延における必須の実施項目
低透水性領域での亀裂ネットワークモデル化手法の開発	物質移動パラメータの取得 (原位置物質移動試験)
地質環境の長期変遷解析技術開発	閉鎖後の回復挙動のモニタリング (人工バリア性能確認試験)
	地殻変動に応じた堆積岩の物質移動特性変動の理解(地殻変動緩衝能力の検証)

付録

成果ダイジェストA1) 地質環境の初期状態の理解 — 岩盤の収着・拡散特性を把握するための調査技術 —

トレーサー物質を用いた室内物質移動試験により収着・拡散パラメータを取得

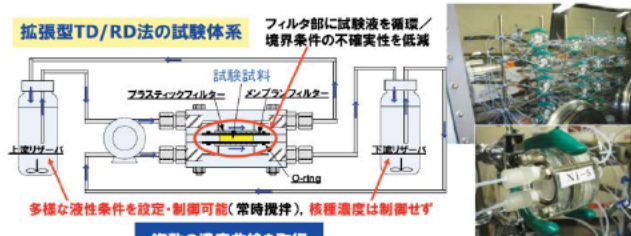
(瑞浪)



透過型拡散試験実施状況(國丸ほか., 2012a, 2012b)

- 亀裂の特性と物質移動パラメータとの関係を詳細に把握するために、コアを利用した室内における透過拡散試験を実施
- 健岩部で、非収着性トレーサーであるウランなどの物質の実効拡散係数として $10^{-4} \sim 10^{-3}$ (m²/s) 程度の値を取得

(幌延)

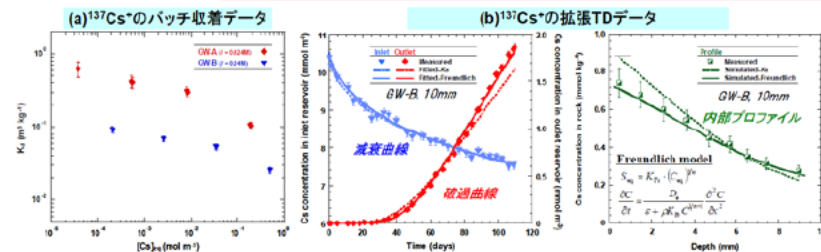


拡張型の透過拡散法／トレーサー減衰法の概要(日本原子力研究開発機構(2013)を一部改変)

- 3つの濃度曲線(3相:トレーサー減衰曲線 + 破過曲線 + 内部プロファイル)
- 2つの濃度曲線(2相:トレーサー減衰曲線 + 内部プロファイル)
- 厳密解や数値計算により同時フィッティング → 実効拡散係数 D_e /分配係数 K_d

$$c(x,t) = \frac{c_1(0)}{\delta + \gamma + 1} - 2c_2(0) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\exp\left(-\frac{D_e \cdot \epsilon_m^2 \cdot t}{a^2 \cdot L^2}\right)}{\left[\gamma \cdot \epsilon_m^2 - \delta \cdot (\delta + \gamma + 1)\right]} \left[\delta \cdot \cos\left(\epsilon_m \frac{L-x}{L}\right) - \gamma \cdot \sin\left(\epsilon_m \frac{L-x}{L}\right) \right]$$

Zhang et al.(2006); MRS Symp. Proc.



取得した試験データの例(日本原子力研究開発機構, 2013)

- 多様な元素と環境条件に対する信頼性の高い収着・拡散パラメータ取得することを目的に室内物質移動試験を実施
- バッチ法と拡張型透過拡散／トレーサー減衰法を採用
- 比較的単純な化学種のCs, I, HTOや収着性が高いNi, Np, Am, Th, Se等をトレーサーとして収着・拡散パラメータを取得

多様な環境条件における岩盤の収着・拡散特性に関するデータの拡充

成果ダイジェストA2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解 —岩盤の収着・拡散特性を把握するための調査技術—

地質環境中の物質の移動特性に関する各種パラメータの取得技術として、
トレーサー物質の原位置分析技術を開発

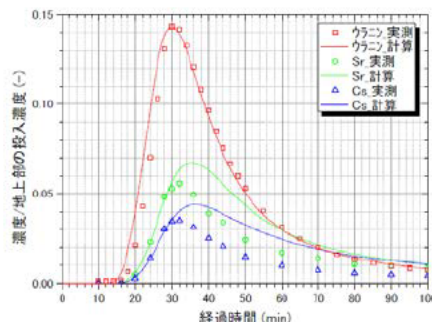
(瑞浪)



軸並列型



並列型ポート部(拡大)
パッカー—体型トレーサ投入装置

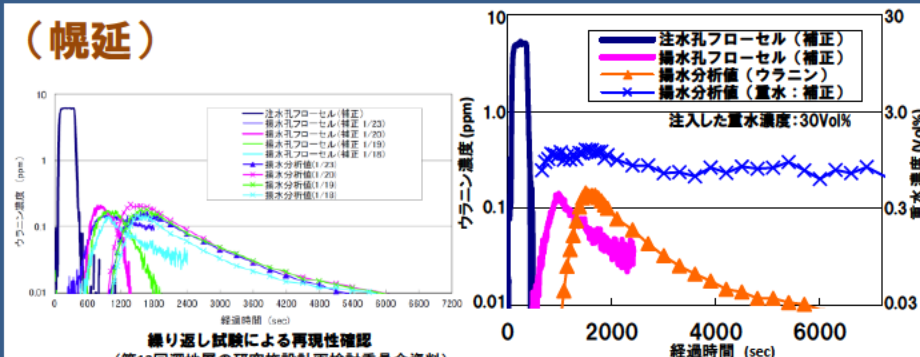


スイスでの原位置トレーサ試験結果と計算結果の比較

(電力中央研究所, 2013)

- 結晶質岩を対象として、収着性物質の使用も可能なトレーサ試験装置と、試験結果から物質移動パラメータを同定する手法を開発
- スイスGrimsel Test Siteで収着性物質を用いたトレーサ試験が可能なことを確認
- 瑞浪URLにおいて適用性確認試験に着手 (電力中央研究所との共同研究として実施中)

(幌延)



繰り返し試験による再現性確認
(第12回深地層の研究施設計画検討委員会資料)

ウランと重水素を用いたトレーサ性能確認試験の例
(第12回深地層の研究施設計画検討委員会資料)

- 注入・揚水両側原位置にフローセルを設置した原位置オンライン分析機能により原位置パラメータ取得精度向上
- トレーサーにウランを用い、光ファイバーを介したフローセルによる原位置蛍光分析技術の堆積岩環境への適用性を確認
- 回収側フローセルの分析値が揚水試料の分析値と異なり、フローセル内のマイクロバブルによる蛍光散乱が考えられたが、補正により有効なデータが取得可能
- 地下水・岩石との反応によりウランの蛍光特性の変化が認められたため、非収着性トレーサーとして重水素(吸光光度計により分析)の適用性を確認
- 重水素分析では、オンライン分析を想定した場合に分析精度(定量下限値)の向上が課題(例えば、光路長の増大、散乱した光の集積など)

地下水・岩石に対する各トレーサー物質の適用性および適用範囲把握
多様な地質環境・原位置試験手法と適切なトレーサー物質の組み合わせ・分析手法の整備

成果ダイジェストA2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解 —物質移動場を把握するための調査技術—

岩盤中に認められる割れ目などをタイプ分けし、原位置物質移動試験を実施する対象を明確化

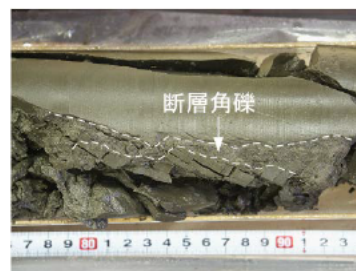
(瑞浪)

タイプ	充填鉱物	割れ目近傍の母岩の変質	透水性	形成時期 温度目安
I割れ目 (高温型)	緑泥石	無し	低透水性	69-43Ma 300-200°C
II断層	—	強変質	遮水性	64-43Ma 400-300°C
III割れ目 (高温変質型)	緑泥石	緑色・白色	低透水性	64-43Ma 300-200°C
IV割れ目 (低温型)	方解石 緑泥石 または無し	橙色・グレー	高透水性	69-24Ma <200°C
V割れ目 (低角度)	方解石 または無し	無し	高透水性	43-22Ma <100°C

石橋ほか, 2012

- 地上からのボーリング調査, 研究坑道掘削時の調査, 研究坑道からのボーリング調査により, 物質移動の経路となりえる断層や割れ目を地質学的な観点で5つに分類

(幌延)



断層岩を伴うせん断割れ目
Ishii et al., 2010



シアバンド
Ishii et al., 2011



断層岩を伴わないせん断割れ目
Ishii et al., 2010



引張割れ目
Ishii et al., 2010

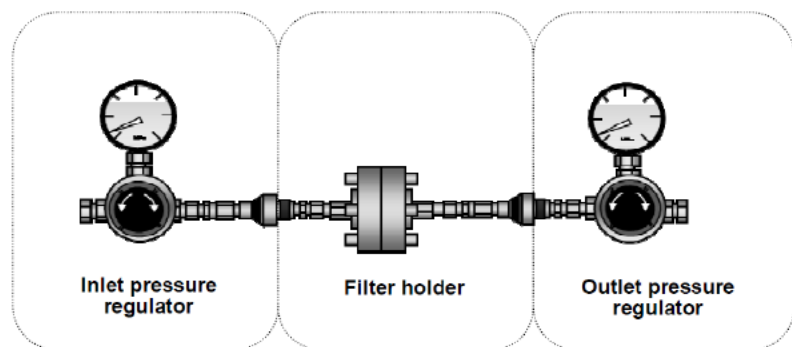
- 地上からのボーリング調査, 研究坑道掘削時の調査, 研究坑道からのボーリング調査により, 不連続構造を地質学的な観点から4つに分類

物質移動に寄与する割れ目の抽出および岩盤中でのそれらの分布状況の把握
岩盤中の主要な物質移動経路の構造および生じている物質移動現象の把握

成果ダイジェストA2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解 —コロイド/有機物/微生物の影響を把握するための調査技術—

地下水中的コロイドが地質環境中の物質の移動現象に及ぼす影響の有無は、
元素の種類やコロイド生成環境により異なる

(瑞浪)



Aosai et al., 2010

- 坑道から掘削したボーリング孔において、湧水圧を利用して、限外ろ過法により地下水中的コロイドを捕集するシステムを構築し、現場調査への適用性を確認
- フィルターホルダーなど地下水と接触する部分を不動態化処理することにより、ステンレスからの鉄の溶出を低減可能

(幌延)

鴻上ほか(2013)の図1を
参照
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/search/servlet/search?5041678>

(鴻上ほか, 2013)

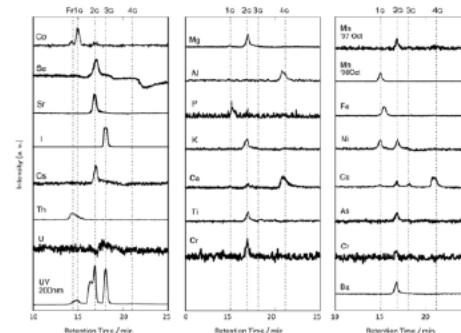


Fig. 5 – SEC-ICP-MS chromatograms obtained with the GL-W540 column and a 50 mM Tris-HCl buffer (pH 7.0). An SEC-UV chromatogram at 200 nm is also shown. The retention time of the SEC-ICP-MS chromatogram was adjusted to that of the SEC-UV chromatogram by subtracting a constant time lag between the UV-Vis detector and the ICP-MS.

(Kozai et al., 2013)

- 地下水中的元素の存在形態や移動挙動理解を目的に、幌延URLで採取した地下水中的天然コロイド・懸濁物と希土類元素との相互作用について検討・評価
- 幌延URLの地下水中的コロイドとイオンの同時定性分析の結果、Uが低分子シリカに結合してシリカがUのキャリアーとなるが、有機物コロイドにはSe, Sr, I, Cs, ThやUなどの元素が全く含まれず、それらのキャリアーにはならない
- 幌延地下水の環境では希土類元素はリン酸塩沈殿の形成によりその溶解度が制限され、微量部分がフミン物質等と疑似コロイドを形成し、それらが地下水中を移動する可能性がある
- コロイド生成や地下水中的天然有機酸との相互作用により、元素によっては見かけの溶解度が上昇している可能性があり、溶存状態に関するより詳細な検証が必要

成果ダイジェストA2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解 —コロイド/有機物/微生物の影響を把握するための調査技術—

地下水中の有機物に着目した拡散系での物質の収着・拡散現象はモデル化可能

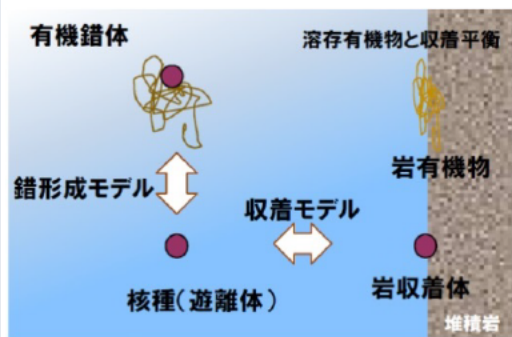
(瑞浪)

Yamamoto et al. (2010) のFig. 2を参照
<http://dx.doi.org/10.1115/ICEM2010-40072>

Yamamoto et al., 2010

- 地下水中的コロイドを限外ろ過法によりサイズ分画
- サイズ分画ごとの希土類元素濃度の分析結果、熱力学計算から、希土類元素は有機物(フミン酸)と錯体を形成かつコロイド態で存在

(幌延)



研究結果に基づく元素—有機物—堆積岩三元系における収着挙動の概念図
(JAEA: 平成23年度 地層処分技術等調査事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム 科学影響評価高度化開発報告書 平成24年3月)

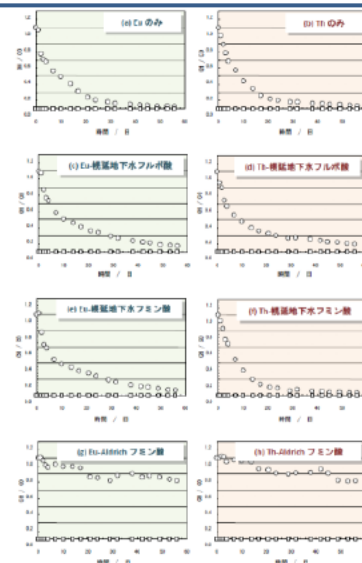


図5.4-5 腐植物質共存下におけるEuおよびThのトレーサー減衰曲線 (○) と破過曲線 (—)

(JAEA: 平成22年度 地層処分技術等調査事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム 科学影響評価高度化開発報告書 平成23年3月)

- 元素—有機物—母岩三元系における有機物錯体の堆積岩へのマトリクス拡散は、ほとんど起こらない
- 三元系における三価元素の収着は、有機物との錯平衡モデルと岩への収着モデルとを統合する加減則アプローチでモデル化可能
- 三元系における三価元素のマトリクス拡散は、有機物との錯形成モデルと岩への収着・拡散モデルで記述可能
- 幌延URLで得られた本知見が必ずしも全ての地下水有機物の系に対して有効とは限らず、研究の展開が必要

本結果の汎用性についての研究展開

原位置・室内試験に基づく移流・分散による有機錯体の地下水中的移動に関する検討

成果ダイジェストA2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解 —コロイド/有機物/微生物の影響を把握するための調査技術—

地下水中の微生物活動が地質環境中の物質の移動現象に及ぼす影響として、
バイオフィームが拡散・収着現象に与える影響を把握

(瑞浪)

FUKUDA et al. (2010) のFigure 3を参照
<http://dx.doi.org/10.1007/s00248-010-9683-9>

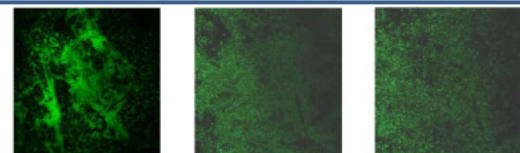
Fukuda et al., 2010

- 地下水中の微生物の活性を評価するために、地下水に種々の電子供与体を添加し、微生物の遺伝子を解析
- 電子供与体の種類により優勢となる種が異なる。

(幌延)



地質環境中での物質の移動現象に及ぼす微生物影響の概念図



幌延URLより採取したバイオフィームの共焦点レーザー顕微鏡による拡大図

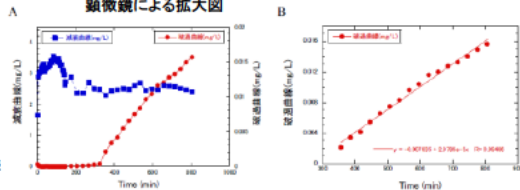


図 3.3.3-6 バイオフィームへのCu²⁺の拡散試験結果
(A) 減衰曲線と破過曲線 (B) 破過曲線と近似曲線

左図、右下图(JAEA: 平成24年度 地層処分技術等調査事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム科学影響評価高度化開発報告書 平成25年3月)

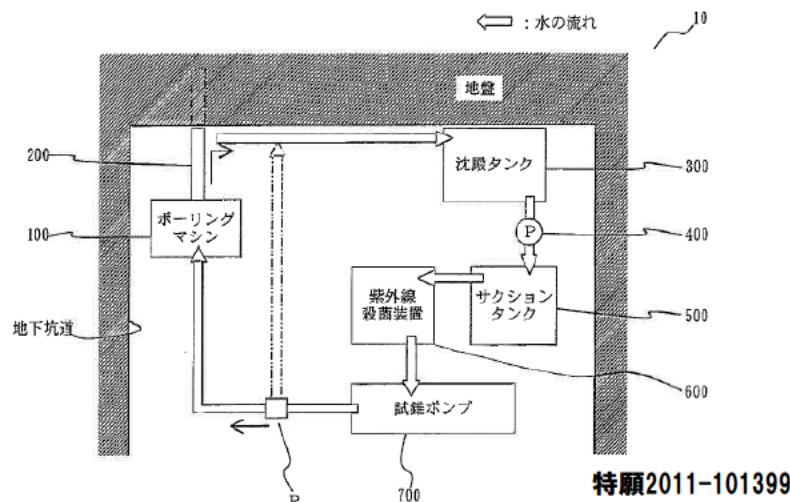
右上図(JAEA: 平成23年度 地層処分技術等調査事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム科学影響評価高度化開発報告書 平成24年3月)

- 地質環境中で微生物がバイオフィームを形成し、間隙閉塞や母岩鉱物の変質・劣化を生じる可能性を想定
- 幌延URLより採取した堆積岩・地下水試料を用いて酸化還元条件を変化させ、化学的変化と微生物的变化のデータを取得し、条件に対する微生物影響の調査と微生物影響評価モデル解析との比較検討を実施
- 大気暴露により間隙水は酸化状態となるが、大気と遮断されると微生物作用により速やかに還元状態へ回復
- バイオフィーム中の菌体密度差によるチャンネル構造が物質の移動現象に影響
- バイオフィームが岩石表面を覆うことにより元素はバイオフィームにゆっくり拡散されるが、非常に高濃度に収着され、その後、岩石へのマトリクス拡散が生じる

成果ダイジェストA2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解 ーコロイド/有機物/微生物の影響を把握するための調査技術ー

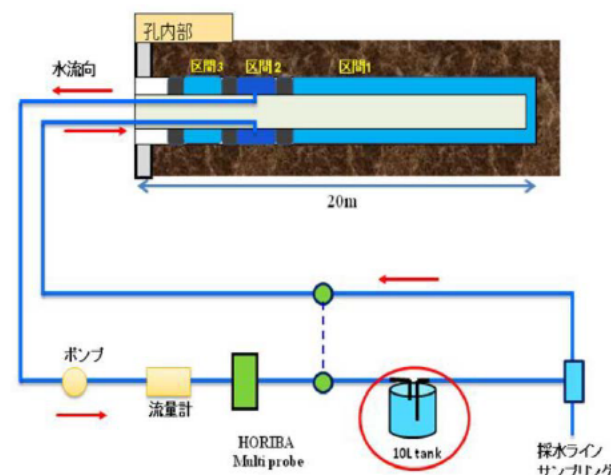
地下水中の微生物活動が地質環境中の物質の移動現象に及ぼす影響を評価するための調査・分析手法を整備し、適用性を確認

(瑞浪)



- 地下水中の微生物を調査する際には、ボーリング掘削に使用される掘削水などに汚染の評価が重要
- 掘削水の残留率評価には掘削水に蛍光染料などのトレーサ物質を添加することが一般的
- 蛍光染料は芳香族化合物の場合が多く、微生物に対しては活動の阻害剤になる場合が多く、好ましくない
- ボーリング掘削水を紫外線で滅菌してから使用するシステムを構築し、現場調査へ適用
- 本手法を用いることにより、掘削水中の生菌数を1/4～1/5に低減

(幌延)



孔内部・坑道部の循環ラインと分析システムの概念図
(JAEA: 平成22年度 地層処分技術等調査事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム科学影響評価高度化開発報告書 平成23年3月)

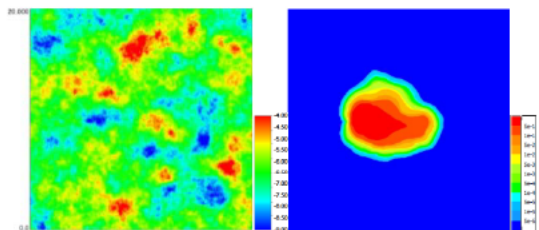
- 地下環境の酸化還元状態の変化への微生物活動の関与は室内試験・解析結果から確認されているが、原位置での地下水ー岩石ー微生物反応の評価が重要
- 原位置における物理化学パラメータを取得するため、ボーリング孔を利用して構築した孔内部・坑道部の循環ライン上で水質モニタリング可能な原位置試験を実施し、その原位置適用性を確認
- 加圧ろ過タンクによる循環試験水体積の追加により、試験開始後の定期的な地下水試料採取時のモニタリングへの影響を低減

地下水中の微生物の活性に関して不確実性の小さな原位置試験データを蓄積
微生物活動が物質の移動現象へ与える影響を適切に評価

成果ダイジェストA2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解 —物質移動特性の解析・評価技術の構築(調査計測, モデル化, 評価, パラメータ設定手法)—

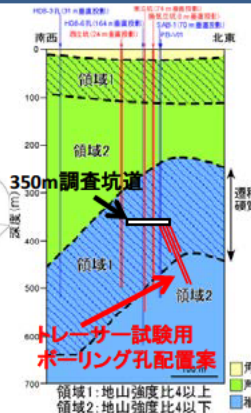
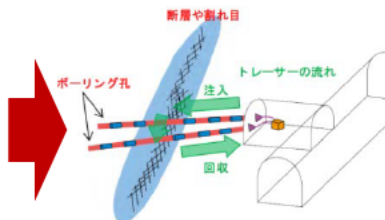
割れ目の透水不均質性を考慮した物質移動解析や250m調査坑道で得られた原位置試験データに基づく割れ目面内の物質移動不均質性のモデル化による原位置試験計画の詳細化

(幌延) 孔間トレーサー試験(移流・分散系: 領域1, 2)

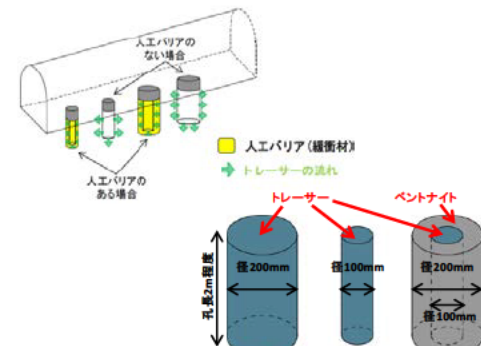


割れ目内の透水不均質性として2次元平行平板割れ目モデルに発生させた透水係数分布

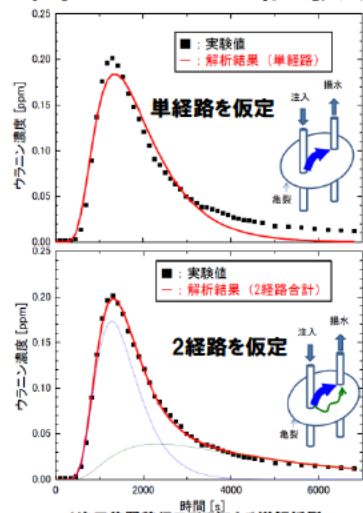
トレーサー濃度分布
(ダイポール比: 0.2, バックグラウンドの地下水流れ方向: 注入孔→揚水孔, 動水勾配: 0.1) (横田ほか, 2013)



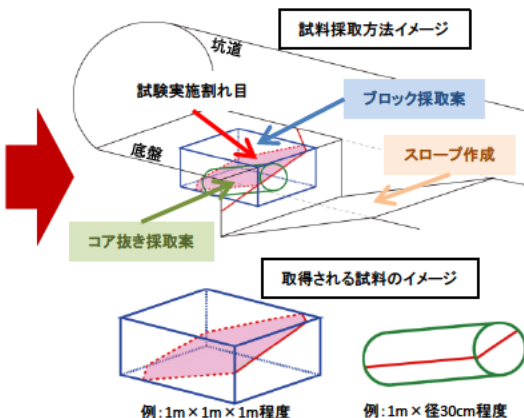
トレーサー試験(拡散系: 領域1)



孔間トレーサー試験(割れ目面内不均質性: 領域1)



1次元物質移行モデルによる逆解析例 (中山ほか, 2013)



- 割れ目の透水不均質性を考慮した物質移動解析の結果, バックグラウンドの地下水流れとダイポール比が小さく, 流れがバックグラウンドの地下水流れに平行となる条件のとき, 一次元平行平板割れ目モデルで物質移行パラメータをよりバラツキ小さく導出できた。
- 250m調査坑道での原位置試験結果を基に1次元解析解を用いた試解析では, 複数経路(2経路)の存在が示唆された。
- 上記結果を参考に、幌延の地質環境を考慮した健岩部(拡散系)・割れ目帯(移流・分散系)・割れ目内部(収着・マトリクス拡散評価)を対象とした原位置トレーサー試験計画の詳細化および試験に着手

原位置トレーサ試験の実施とその結果に基づく領域1を対象とした物質移動評価及び安全評価手法の適用性確認
領域2も含めた堆積岩物質移動評価技術の確立と安全評価研究への反映