

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18916

研究課題名（和文）放射性廃棄物のさらなる閉じ込めを狙う雲母鉱物の核種固定化メカニズムの新解釈

研究課題名（英文）New Perspective of Nuclide Immobilization Mechanisms in Mica Minerals for Further Confinement of Radioactive Waste

研究代表者

千田 太詩（Chida, Taiji）

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30415880

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、地下に遍在する薄片状黒雲母と陽イオン形態の放射性核種との相互作用について実験的に検討し、核種が薄片の端部でイオン交換により収着するのみならず、薄片内部へ拡散浸入することを明らかにした。このような黒雲母内部への核種の取り込みにより、薄片内部へのさらなる固定化も期待される。一方で、実験結果に基づき評価した薄片状黒雲母内の陽イオン核種の見かけの拡散係数は、黒雲母を含有する花崗岩マトリクス内の拡散係数より小さくなった。このことは、花崗岩における黒雲母への核種収着が薄片内への拡散に制限されることを意味し、核種移行評価において拡散過程を考慮した見かけの収着速度が必要となる可能性を示唆する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射性廃棄物処分において重要となる、地下の鉱物と放射性核種の相互作用に関して、従来の考え方は粉末試料で評価される収着および脱着のような化学平衡に基づいている。これに対し本研究では、薄片状黒雲母を用いた検討により、核種が鉱物内へ拡散浸入する過程を考慮した速度論的な扱いを加味する必要があることを提示した点に学術的意義がある。また、地下を移行する放射性核種の収着効果が大きい黒雲母について、本研究の成果はその収着効果が従来の評価手法では過剰に見積もられる場合があることを示唆しており、より現実的な核種移行評価に資するとともに、処分システムの信頼性向上に貢献するものである。

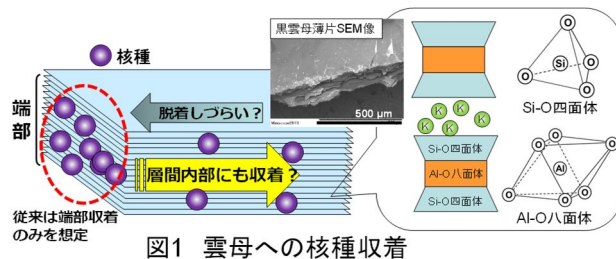
研究成果の概要（英文）：This study examined the interaction of cationic radionuclides with biotite flakes which is ubiquitous underground and revealed that the radionuclides not only sorb at the edge of the flakes by ion exchange but also diffuse into the interior of the flakes. Such incorporation of radionuclides into biotite flakes may also produce further immobilization effects within the flakes. On the other hand, apparent diffusion coefficients of cationic radionuclides in biotite flakes, which was estimated by applying a two-dimensional diffusion model to the experimental data, were smaller than that in a granite matrix contained biotite flakes. This suggests that the sorption of radionuclides onto biotite flakes in granite is restricted by the diffusion process in the flakes and apparent sorption rates on the flakes will be required to take the diffusion process into account in the assessment of the radionuclide migration.

研究分野：工学

キーワード：放射性廃棄物 地層処分 核種移行 収着 拡散 雲母 花崗岩 固定化

### 1. 研究開始当初の背景

高レベル放射性廃棄物を地下 300 m 以深へ埋設処分する地層処分では、処分場周辺の岩盤による低透水性や低拡散性といった物質移行を抑制する効果に加え、岩盤を構成する鉱物による収着効果によって、廃棄体から漏出する放射性核種の移行が遅延されることを性能評価において見込んでいる。この際、陽イオン形態の核種を収着することで知られるのが、地下環境に広く分布する雲母鉱物である。特に、処分場周辺の母岩の候補として深成岩の一種である花崗岩がわが国では想定されているが、これに薄片状で含有する黒雲母は Si-O 四面体層や Al-O 八面体層の層間に交換性の K イオンを有し、イオン交換反応により陽イオンを顕著に収着する。処分システムの性能評価では、このような黒雲母等の鉱物を均一に粉碎した粉末を用いて取得した核種収着データを適用している。しかし、一般的には、黒雲母の層間は膨潤性に乏しくイオン交換を生じないため、陽イオンの収着は薄片端部近傍に限られるとされる。すなわち、従来の粉末試料による収着挙動検討では、実環境における黒雲母と核種の相互作用が適切に把握されていない可能性がある。一方で、薄片状の黒雲母を用いた Eu の収着に関する予備検討においては、薄片端部における速やかな収着平衡のみならず、薄片内部(層間)への拡散浸入を伴う収着が生じている可能性が示唆されていた[1]。また、福島第一原子力発電所事故後に実施されている汚染土壌からのセシウム(Cs)除去に関する既往検討においては、層状ケイ酸塩鉱物の端部に収着した Cs の除去はイオン交換により容易に行えるものの、層間内部に入り込んだ一部の Cs は不可逆的に収着しており除去が困難とされている[2]。このような、層間内部への核種の浸入や固定化といった知見は、雲母鉱物の端部における収着および脱着を主に考慮している従来検討に対して、薄片状雲母内への拡散浸入が岩盤マトリクス中の核種移行に比べて十分に速い場合には、層間においてさらに大きな核種固定化機能が発現する可能性を示唆する。



### 2. 研究の目的

本研究では、陽イオン形態をとる放射性核種の薄片状黒雲母への収着挙動について実験的に検討し、その固定化メカニズムに新たな解釈を与え、天然岩盤の未だ知られざる核種閉じ込め効果を放射性廃棄物(事故廃棄物を含む)のバリアシステムに付与することを目指した。また、処分環境に想定される薄片状の黒雲母を用いることで、より現実的な黒雲母と核種の相互作用の評価を試みた。特に、従来の核種移行評価においては、岩盤マトリクス中の核種の拡散移行に対して、鉱物への核種の収着反応は十分に速く瞬時に平衡に達すると見なしている。しかし、本研究で着目する薄片状黒雲母層間内への核種の拡散が岩盤マトリクス中の拡散と同程度、あるいは遅い場合、黒雲母への収着が十分進展する前に核種はマトリクス内を拡散移行する。すなわち、鉱物を粉碎した粉末試料から設定された核種収着能に比べてマトリクス内の収着量が低減し、従来評価よりも核種が地下環境を速やかに移行することも懸念される。

### 3. 研究の方法

本研究では、実際の放射性廃棄物処分の地下環境に想定される薄片状の黒雲母を用いた陽イオンの収着実験を軸に、種々の分析およびモデル解析を実施した。

収着実験はバッチ式とし、黒雲母とトレーサー(収着させる陽イオン)を含む溶液を接触させて、トレーサー濃度の経時変化より収着挙動を調べた。黒雲母(K(Mg, Fe, Al)<sub>3</sub>(Si, Al)<sub>4</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH, F)<sub>2</sub>)は薄片状の試料を購入し、約 5 mm × 5 mm、および、約 150 μm 厚のものを選び分けて実験に使用した。トレーサーとしては Cs, Sr, Eu を選択し、非放射性の一般試薬として市販される塩化セシウム、塩化ストロンチウム、硝酸ユウロピウムの粉末試薬より調製して 0.5 mM となるように加えた。Eu は地層処分において重要核種の一つである Am の化学アナログでもある。pH は、通常地下水に想定される pH 8 に加え、pH 依存性を調べるために pH 3 および 5 に設定し、硝酸溶液および pH 緩衝剤により調整した。また、地温勾配による温度上昇を考慮して、288 K、300 K(一部の試験は 298 K に設定)、313 K の 3 通りに温度を設定した。加えて、地下環境において共存する Na や K について、海水系地下水を想定して 0.6 M になるように添加して収着挙動に及ぼす影響を調べた。

実験では、まず、容量 50 mL の遠沈管に、諸条件に併せて調製した溶液 30 mL および薄片状黒雲母 3.0 g を入れ、恒温振盪機にて 120 strokes/min で振盪した。そして、7 日間に亘り適宜サンプリングし、トレーサー濃度および K イオン濃度(黒雲母から溶出)を調べた。この際、サンプリング量と同量、および、同じトレーサー濃度の溶液を調製して遠沈管に戻すことにより、遠沈管内の液固比を一定に保った。溶存成分の濃度は、誘導結合プラズマ発光分析(ICP-OES)および原子吸光分光分析(AAS)により定量した。収着実験後の薄片状黒雲母については、飛行時間型二次イオン質量分析(TOF-SIMS)を用いて薄片内部の元素分布を直接分析し、薄片端部から層間

内部へのトレーサー浸入について調べた。また、Eu を収着させた薄片状黒雲母については、液相と分離する前に蛍光分光分析により Eu の蛍光減衰挙動を取得した。

Eu を用いた収着実験後には、薄片状黒雲母からの Eu の脱着実験を行った。収着実験後に液相から分離した薄片状黒雲母を硝酸溶液で洗浄して未収着の Eu を除去した後、0.01 mM HNO<sub>3</sub> や 0.6 M KCl、0.6 M NaCl といった脱着用の溶液 (pH 5) へ収着実験時と同じ液固比にて浸漬し、Eu の脱着を試みた。なお、洗浄時に回収した Eu 量は、収着実験後の液相中の Eu 量と概ね等しく、収着実験において収着した Eu は脱着実験開始時にはほぼそのまま薄片状黒雲母に留まっていることを確認した。

これらの実験検討に加え、液相中のトレーサー濃度変化と薄片状黒雲母内部の 2 次元なトレーサーの拡散過程を関連づけたモデルにより、薄片内部におけるトレーサーの見かけの拡散係数を評価した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 薄片状黒雲母への各トレーサーの収着挙動に関する基礎的知見

図 2 は、薄片状黒雲母への Cs, Sr, Eu の収着挙動の一例 (pH 5 および 300 K) である。いずれのトレーサーも、実験開始直後に 0.04 mM 程度の速やかな濃度低下が生じた後、実験期間に亘って緩やかに濃度が低下した。これに対し、本研究に先立って実施した、同重量の黒雲母粉末 (粒径 75 μm 以下) を用いた Eu の収着実験においては、Eu 濃度 1 mM と本研究より高濃度であるにも拘わらず、実験開始直後にほぼ全ての Eu が黒雲母粉末に収着することが確認されている。黒雲母粉末はイオン交換が生じやすい端部の収着サイトの割合が薄片形状と比べて著しく大きくなることを考慮すると、図 2 に見られる実験開始直後の 0.04 mM 程度の濃度低下は薄片状黒雲母の端部への速やかなトレーサーの収着と言える。そして、それ以降の緩やかな濃度低下は薄片状黒雲母の層間内部への拡散過程を伴う収着挙動を反映していると考えられる。また、図 3 には、薄片状黒雲母への Eu の収着における温度依存性を示す。図 3 に示すように、温度の上昇に伴い Eu の収着量増加が速くなることが分かる。このような傾向は Cs および Sr にも見られており、一般的に吸着反応は温度上昇とともに低減することを考慮すると、拡散過程の促進に起因すると推測される。

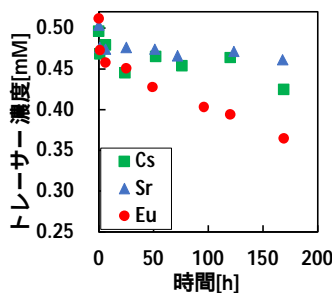


図2 薄片状黒雲母へのCs, Sr, Euの収着挙動(pH 5, 300 K)

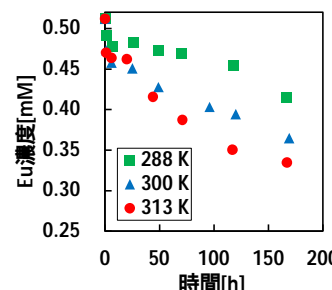


図3 薄片状黒雲母へのEuの収着に関する温度依存性(pH 5)

Cs, Sr, Eu のトレーサー間の比較としては、図 2 に示すように、Eu が最も多く薄片状黒雲母へ収着しており、次いで Cs の収着量が大きく、Sr は最も収着量が小さくなった。まず、Eu について考えると、イオン交換樹脂や粘土鉱物のようなイオン交換体に対するイオン収着は価数の大きいイオンほど収着しやすいために、1 価の Cs や 2 価の Sr に比べて 3 価の Eu の方が収着量が大きくなったと言える。収着実験直後の薄片端部への収着に加え、それ以降の拡散を伴う収着過程においても Eu の収着が他イオンより大きいことから、薄片内の拡散過程においても価数に影響されるような相互作用の寄与が大きい可能性がある。これに対し、1 価の Cs が 2 価の Sr よりも大きい収着量を示した理由としては、水和イオン半径、および、Cs の選択的収着が挙げられる。Sr の水和イオン半径は 6.3 Å であるのに対し、Cs の水和イオン半径は 4.6 Å と小さく [3]、セシウムの正電荷とイオン交換体の負電荷の距離が小さくなるために相互作用が強くなったと考えられる。また、黒雲母のような層状ケイ酸塩鉱物を構成する Si-O 四面体層には、Si-O 四面体によって形成される直径 0.26 nm 程の六員環が存在しており [4]、イオン直径が 0.33 nm とこの大きさに近い Cs が六員環の間に不可逆的に収着することが知られている。このような要因によって、薄片状黒雲母への Cs の収着量が Sr よりも大きくなったと考えられる。なお、薄片状黒雲母から溶出した K と収着したトレーサーのモル比を比較すると、Eu/K は概ね 1/4 ~ 1/2、Cs/K は 1/2 ~ 1/1 程度とイオン交換による収着が示唆された。これに対し、Sr の収着量に対して K が過剰に溶出すると見積もられた。これは、薄片状黒雲母の層間に存在する K の溶出は水素イオンによっても促されるため、図 2 に示すように Sr の収着量が非常に小さい場合には Sr 収着と K 溶出の相関が見られなくなることによる。

##### (2) 薄片状黒雲母への Eu の収着挙動における pH の影響

図 4 は、薄片状黒雲母への Eu の収着挙動に関する pH 依存性である。pH は 3, 5, 8 に設定した。pH の上昇に伴って Eu の収着が増加しており、このような pH 依存性は Cs および Sr の場合にも同様に確認された。黒雲母の表面は pH 上昇に伴ってシラノール基 (Si-OH) から水素が解離して負に帯電するため、これら陽イオンの収着が増加したと考えられる。

図 4 に示した Eu の収着挙動のうち、pH 8 に関しては Eu が Eu<sup>3+</sup> の形態ではないことに留意する必要がある。Eu は pH 6 以上で加水分解し、pH 8 における主要な化学種は水酸化ユウロピウム (Eu(OH)<sub>3</sub>) となる。収着実験においては、薄片状黒雲母と接触させる前の pH 8 の Eu 溶液には沈殿は見られないこと、また、黒雲母を加えずに Eu 溶液のみを容器にいたしたブランク試験において 7 日間に亘り沈殿は生じず、添加した Eu のほとんどが液相に存在することを ICP-

OES 分析により確認しており、黒雲母を加えない場合に Eu は加水分解種のコロイドとして液相に分散していると言える。このようなブランク試験と比較すると、図 4 に示した pH 8 における Eu 濃度の緩やかな減少に加え、黒雲母からの K 溶出量との比である Eu/K も 1/2 程度であったことから、薄片状黒雲母との相互作用が生じている可能性がある。

pH によって化学形態の異なる Eu の薄片状黒雲母への収着について、592 nm における Eu の蛍光減衰挙動を比較したものが図 5 である。縦軸は 0 μs の蛍光強度で規格化した相対強度である。Eu 溶液のみの場合を比較すると、Eu<sup>3+</sup>となる pH 5 の方が Eu(OH)<sub>3</sub>となる pH 8 よりも蛍光減衰が速やかになった。Eu の励起エネルギーは内圏の水分子の OH 伸縮振動子へ移動、緩和されるため、pH 5 においてイオン形態となる Eu<sup>3+</sup>がより多くの水分子を引きつけると言える。pH 5 における黒雲母と共存する Eu の蛍光減衰は Eu 溶液より若干速やかになっており、黒雲母との相互作用に起因すると考えられる。pH 8 の場合には、Eu 溶液のみと比べて黒雲母と共存する Eu の蛍光減衰が大幅に速くなった。このことは、pH 8 において Eu は加水分解種として黒雲母に付着するというよりは、加水分解種とは異なる形態で黒雲母と相互作用している可能性を示唆する。Eu が加水分解する条件におけるケイ酸塩との相互作用として、高アルカリ条件で安定して生成するカルシウムシリケート水和物(C-S-H)への Eu の収着挙動を蛍光分光分析により調べた研究がある[5]。pH 10 以上において C-S-H に取り込まれた Eu の蛍光スペクトルは C-S-H の結晶場の影響を受けて蛍光ピークが分裂するとともに、Eu(OH)<sub>3</sub>とは異なる勾配を示す蛍光減衰挙動が確認されている。本研究で得られた結果も、pH 8 程度となる地下水条件で加水分解する Eu が、Eu(OH)<sub>3</sub>として沈澱するのみならず、黒雲母のようなケイ酸塩鉱物と相互作用して固定化される可能性を示唆する。

また、図 6 には、TOF-SIMS による、収着実験後の薄片状黒雲母における Eu 分布を示す。縦軸は試料中に均一に分布する Si で規格化した Eu 相対強度、横軸はスパッタ深さである。薄片の劈開面にイオンビームを照射、スパッタするため、劈開面に付着した Eu の影響を除外して薄片内部の Eu 分布を検討する際にはスパッタ深さ約 0.5 μm 以深を比較する必要がある。図 6 から分かるように、薄片端部から数 μm 程度内側の edge 1 における Eu 分布が、端部から 1 mm 程度内側とした edge 2 に比べて大きくなった。この結果からも、加水分解するような条件においても Eu が薄片状黒雲母と相互作用し、端部から内部へ拡散する可能性が考えられる。

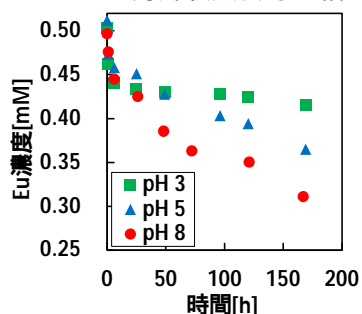


図4 薄片状黒雲母へのEu収着に関するpH依存性(300 K)

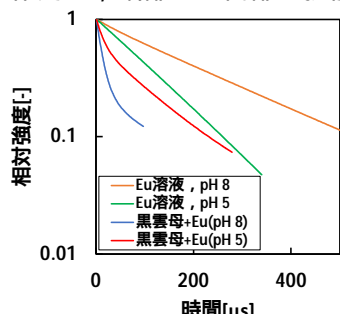


図5 各pHのEu溶液, および, 黒雲母と共存するEuの蛍光減衰

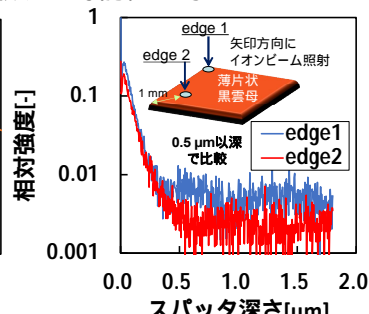


図6 収着実験後の黒雲母中のEu分布(pH 8, 288 K)

### (3) Na イオンおよび K イオン共存下における薄片状黒雲母への Eu の収着および脱着挙動

薄片状黒雲母への Eu の収着挙動に及ぼす共存イオンの影響を図 7 に示す。薄片状黒雲母への Eu の収着量は、共存イオンを加えない場合と比較して Na イオン共存時には減少した。これは、黒雲母の層間に存在する K イオンと Eu とのイオン交換が Na イオンとの競合によって阻害されたためと考えられる。ただし、0.6 M という高濃度の Na イオン共存下においても、初期濃度 0.5 mM の Eu の収着量は Na イオンを添加しない場合の

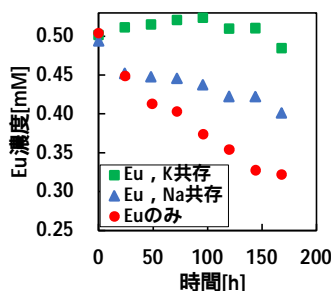


図7 Na, K共存下における黒雲母へのEuの収着挙動(pH 5, 298 K)

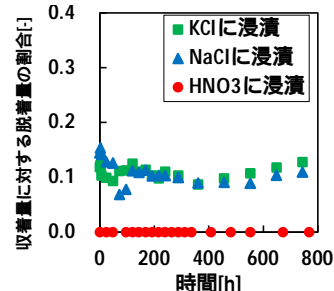


図8 薄片状黒雲母からのEuの脱着挙動 (pH 5, 298 K)

50%減程度に留まっており、Eu は Na と比べて選択的に薄片状黒雲母へ収着すると言える。一方、K イオン共存時には、Eu は薄片状黒雲母へほとんど収着しなかった。この理由として、K イオンと Eu との競合が生じることに加え、液相に過剰な K イオンが溶存しているために黒雲母からの K イオンの溶出が抑制されることが挙げられる。

Eu 収着実験後の薄片状黒雲母を 0.01 mM HNO<sub>3</sub> 溶液、0.6 M の NaCl 溶液および KCl 溶液に浸漬して Eu の脱着を試みた結果を図 8 に示す。縦軸は、収着実験により黒雲母に収着した Eu 量に対する、脱着実験中に液相へ溶出した Eu 量である。収着実験における Eu 収着量は図 7 中の「Eu のみ」に相当する。図 8 から分かるように、HNO<sub>3</sub> 溶液ではほとんど Eu が溶出しなかったのに対し、NaCl 溶液および KCl 溶液では収着量の 10%程度に相当する Eu が溶出した。

また、Eu の溶出が生じた条件においても、Eu 濃度は、脱着実験開始直後に上昇した後は 700 時間以上に亘りほぼ一定となった。これは、脱着実験開始時に添加された Na イオンや K イオンが黒雲母端部に収着した Eu と速やかにイオン交換したものの、薄片状内部へ浸入、収着した Eu の脱着は顕著には進展しなかったためと考えられる。このことより、液相と接触する黒雲母の端部では収着した陽イオン核種が溶存陽イオンとイオン交換しやすいのに対し、拡散過程を通じて薄片内に浸入した陽イオン核種は容易に溶出せず固定化される可能性が示唆される。

#### (4) 薄片状黒雲母内部におけるトレーサーの見かけの拡散係数の評価

本研究で得られた種々の収着実験結果に対し、薄片状黒雲母内部におけるトレーサーの拡散浸入を反映した二次元の物質移行モデルを適用することにより、薄片内の見かけの拡散係数を評価した。図 9 にモデル解析と結果の概要を示す。本研究では、薄片状黒雲母内部のトレーサー濃度変化と溶液中のトレーサー濃度変化を関連付けるモデル式(図 9(a))により薄片状黒雲母への収着挙動を表現することとした。そして、収着実験にて得られた各トレーサーの濃度変化に対して、シャーウッド数  $S_h$ 、定数  $\gamma$ 、代表時間  $t^*$  をパラメータとしてフィッティングを行い(図 9(b))、薄片状黒雲母内の見かけの拡散係数  $D$  を評価した。その結果、薄片状黒雲母内の Eu の見かけの拡散係数は図 9(c)のように得られた。なお、pH 8 において Eu は加水分解することから、 $Eu^{3+}$  として存在する pH 3 および 5 の値と単純に比較できないことに留意する必要がある。これらの見かけの拡散係数のアレニウスプロットより得られた活性化エネルギーは、pH 3 において 3.92 kJ/mol と得られ、薄片状黒雲母内の Eu の収着が拡散過程に律速される可能性が示唆された。一方、pH 5 および pH 8 における活性化エネルギーはいずれも 40~50 kJ/mol 程度と得られており、薄片内の Eu の拡散過程に付随してイオン交換のような化学反応の寄与が大きいと考えられる。また、Na 共存下および pH 5、298 K における Eu の見かけの拡散係数は  $4.5 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$  であり、Na を添加しない図 9(c)内の pH 5 および 300 K の値と同程度に見積もられた。なお、Sr ではいずれの pH および温度においても概ね  $10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$  オーダー、Cs では  $10^{-14} \sim 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$  オーダーの見かけの拡散係数が得られ、Eu と比較して顕著に小さいことが確認された。

本研究で得られた薄片状黒雲母内の見かけの拡散係数と、黒雲母を含有する花崗岩マトリクス内の拡散係数を比較する。地層処分安全評価に適用される花崗岩中の拡散係数は  $9.0 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$  (318 K) であり[6]、本研究で得られた薄片状黒雲母内の Eu の見かけの拡散係数はこの値より同程度か小さく、Sr や Cs の場合には 1~2 桁小さくなった。これらのことは、花崗岩マトリクス内の薄片状黒雲母への核種収着において、従来の粉末試料による分配係数評価に基づき仮定されている局所平衡が成立せず、薄片内の拡散に核種収着が律速される可能性を示唆する。すなわち、花崗岩マトリクス内における Cs や Sr、Eu のような陽イオン核種の移行評価には、薄片状黒雲母内部の拡散過程を加味した見かけの収着速度を考慮する必要があると言える。

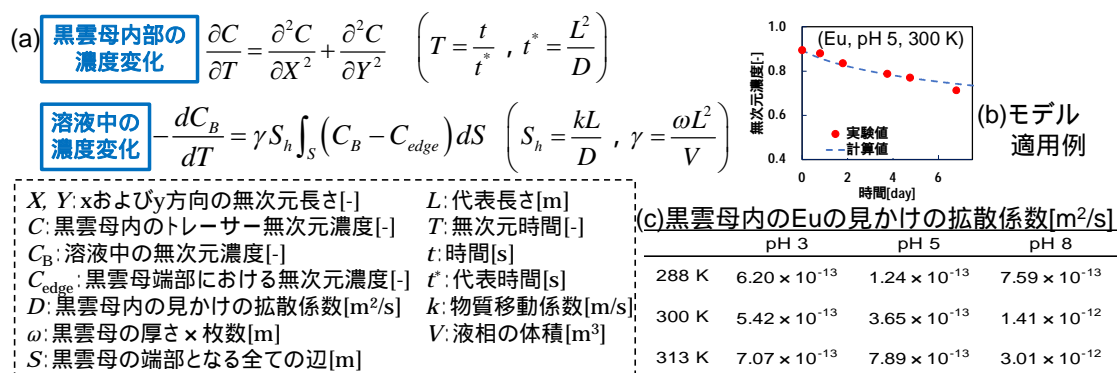


図9 モデル解析と結果の概要 (a)モデル式、(b)モデル適用例、(c)得られた見かけの拡散係数

以上の研究成果より、実環境に遍在する黒雲母への陽イオン核種の収着は、端部におけるイオン交換のみならず、薄片内部への拡散過程を伴うことが明らかになった。薄片内部へ拡散浸入した核種は端部に収着した核種に比べて溶出が抑制される可能性も示唆され、端部におけるイオン交換のみを考慮する従来の扱いに比べて、さらなる核種固定化機能を期待し得る。一方で、母岩マトリクス内の核種収着が薄片内の拡散過程に律速される可能性も併せて指摘した。このことは、地層処分システムにおける核種移行のより現実的な評価に寄与するものとなる。

#### <引用文献>

- [1] 石島ら, 日本原子力学会 2018 年秋の大会予稿集, 2F19, 2018.
- [2] 奥村ら, *Comput. Sci. Eng. (計算科学技術部会 ニュースレター)*, **20**, 10-23, 2013.
- [3] Y. Marcus, *Ion properties*, CRC press, 1997.
- [4] 日本粘土学会, *粘土ハンドブック(第三版)*, 技報堂, 2009.
- [5] T. Chida, et al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, 1-10, 2024. (DOI:10.1080/00223131.2024.2307437)
- [6] 原子力発電環境整備機構, *包括的技術報告: わが国における安全な地層処分の実現 - 適切なサイト選定に向けたセーフティケースの構築 -*, NUMO-TR-20-03, 2021.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Chida Taiji, Seki Tsugumi, Watanabe Yuto, Niibori Yuichi	4. 巻 9
2. 論文標題 Dynamic behavior of sorption of europium onto biotite flakes under the condition of saline groundwater	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 MRS Advances	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1557/s43580-024-00770-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Chida Taiji, Suto Kengo, Seki Tsugumi, Niibori Yuichi	4. 巻 61
2. 論文標題 Interaction of europium with calcium silicate hydrate under conditions saturated with groundwater	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1~10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00223131.2024.2307437	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Rintaro Kobayashi, Taiji Chida, Tsugumi Seki, Yuichi Niibori	4. 巻 Paper No. 441
2. 論文標題 Influence of Temperature on Sorption Behavior of Europium on Biotite Flakes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IYNC2022 Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 波多野快, 千田太詩, 関亜美, 新堀雄一
2. 発表標題 黒雲母薄片へのEu の収着挙動に及ぼすNa およびCa 共存の影響
3. 学会等名 日本原子力学会東北支部 第47回研究交流会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taiji Chida, Tsugumi Seki, Yuto Watanabe, Yuichi Niibori
2. 発表標題 Dynamic behavior of sorption of europium onto biotite flakes under the condition of saline groundwater
3. 学会等名 47th Symposium on Scientific Basis for Nuclear Waste Management (SBNWM2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林凜太郎, 千田太詩, 関亜美, 新堀雄一
2. 発表標題 薄片状黒雲母への陽イオンの収着挙動に関する温度依存性
3. 学会等名 日本原子力学会 2023年春の年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林凜太郎, 関亜美, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 廃棄物の処分環境温度における黒雲母薄片に対するユウロピウムの収着挙動の評価
3. 学会等名 第7回次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンス (NDEC-7)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	新堀 雄一	東北大学・工学研究科・教授	
	(Niibori Yuichi)		
	(90180562)	(11301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	関 亜美  (Seki Tsugumi)  (80912328)	東北大学・工学研究科・助教    (11301)	追加：2022年6月30日

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関