

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01910

研究課題名(和文) ケイ酸の再分配に伴う間隙閉塞による核種閉じ込め天然バリアの自己修復機能の発現

研究課題名(英文) Self-restoration function of natural barrier confining radionuclides by clogging flow-paths with the redistribution of silicic acid

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) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：放射性廃棄物処分場周辺のpH変動場においては、溶解および析出に伴うケイ酸の空間的な再分配が生じる。本研究では、そのケイ酸の再分配の中でもとくに析出挙動に着目して、周辺岩盤の核種閉じ込め効果の自己修復について検討した。その結果、地下環境に想定されるアモルファスシリカや熱水変質鉱物を析出対象固相とした場合や、地下水中の種々の多価陽イオンが共存する場合の、いずれの条件においてもケイ酸の析出速度は同オーダーとなることが明らかになった。また、得られた析出速度より、地下水流動場においてケイ酸の析出が進展して岩盤中の流路を閉塞させ、核種移行を抑制する可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、地下環境に想定される多様な鉱物および共存イオン条件において概ね同様の析出速度でケイ酸が析出することを明らかにした点にある。一方、放射性廃棄物処分システムの性能評価において、セメント系材料の利用に起因した処分場周辺のpH変動により、岩盤が溶解して流路が拡張され、核種が移行しやすくなるという懸念があった。そのため、本研究で整理されたケイ酸の析出による岩盤の核種閉じ込め効果の自己修復を示したことは、処分システムの頑健性および信頼性の向上に貢献するという点において社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Spatial redistribution of silicic acid occurs around a radioactive waste repository, due to dissolution and deposition with the change of pH. This study focused on the self-restoration of the confinement for radionuclides in the host rock caused by the redistribution of silicic acid, especially deposition behavior. The experimental results showed that the deposition rates of silicic acid are on the same order of magnitude under all conditions in this study, i.e., the conditions using amorphous silica and hydrothermally-altered minerals as the solid phase for the deposition of silicic acid and coexisting various multivalent cations in groundwater. Furthermore, the analysis based on the estimated deposition rates suggests that the deposition of silicic acid in the groundwater flow-field can retard the migration of nuclides because of narrowing flow-paths in the host rock.

研究分野：原子力バックエンド

キーワード：ケイ酸 析出 コロイド セメント系材料 処分システム バックエンド 放射性廃棄物 原子力

1. 研究開始当初の背景

高レベル放射性廃棄物の地層処分システムにおいては、処分施設周辺の岩盤に低透水性や低拡散性、核種収着能といった天然バリアとしての働きを期待する。この岩盤は主にケイ酸塩鉱物から成り、例えば我が国において天然バリアとして想定される花崗岩は石英や長石類、黒雲母等から構成される。しかし、処分施設建造に用いられる多量のセメント系材料からは、カルシウム(Ca)イオンやナトリウム(Na)イオン、カリウム(K)イオン等のアルカリ成分に起因した、pH 13程度の高アルカリブルームの流出が想定され、岩盤を構成するケイ酸塩鉱物の溶解および変質が予想される。特に、ケイ酸塩鉱物の溶解に伴う岩盤内の微細流路の拡張は、透水性を増大させるために核種が地下水とともに移行しやすくなることから、バリア性能の低下に直結する。一方、高アルカリブルームは処分場周辺に流出、拡散しながら希釈され、徐々にもとの地下水(pH 8程度)に戻る。このように pH が低下する条件においては、一旦岩盤から溶解したケイ酸が溶解度の低下に伴い過飽和状態となって固相に析出することにより、流路表面の化学的特性が変化するのみならず、核種の移行経路となる微細流路や亀裂が閉塞される可能性がある。すなわち、pH 変動場におけるケイ酸の空間的な再分配によって、天然バリアの核種閉じ込め機能が自己修復される効果が期待できる。

2. 研究の目的

実施者はケイ酸の析出挙動について、これまでに析出対象としてアモルファスシリカ粉末($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)のように単純な組成のケイ酸塩鉱物を用い、基礎的な知見を取得している。しかし、地層処分が実施される深地下環境においては、地下水流路表面を覆っているとされる熱水変質鉱物を含め多様なケイ酸塩鉱物が存在する。さらに、地下水中に溶存する様々なイオンがケイ酸の析出に及ぼす影響を考慮する必要がある。そこで本研究では、アモルファスシリカに加えて代表的な熱水変質鉱物である緑泥石および絹雲母を析出対象固相として着目するとともに、種々の陽イオンが共存する場合のケイ酸の析出挙動を実験的に検討する。そして、pH 変動に伴うケイ酸析出メカニズムの解明をもとに、地層処分システムの天然バリアにおいて、核種閉じ込め効果がケイ酸の空間的な再分配によって自己修復する機能の発現を示すことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、ケイ酸の再分配による天然バリアの自己修復機能発現を示すために、種々の条件におけるケイ酸析出実験により析出メカニズムを明らかにするとともに、得られた析出速度定数に基づいてケイ酸析出が天然バリアの自己修復に寄与する可能性について検討した。

ケイ酸の析出に関して、図1のようにケイ酸を過飽和状態にして固相に析出させる実験を実施した。析出対象の固相には、アモルファスシリカに加えて代表的な熱水変質鉱物である緑泥石および絹雲母を用いた。液相の実験条件としては、共存イオンやケイ酸の過飽和度等をパラメータとした。ケイ酸析出実験では、水ガラス(Na_2SiO_3)から調整した pH 10 以上のケイ酸溶液の pH を 8 に下げることによりケイ酸を過飽和状態にすることで開始した。Na や Ca 等の共存イオンを添加する際は、pH 調整の直後に添加した。この際、液相ではコロイド状ケイ酸の生成が予想されるため、液相中の全ケイ酸濃度を誘導結合プラズマ発光分析(ICP 発光)により得るとともに、水溶性ケイ酸(主に単量体)のみをモリブデン試薬で比色定量するモリブデンイエロー法を併せて実施することで、水溶性ケイ酸およびコロイド状ケイ酸のそれぞれの経時変化を定量的に取得して析出速度を評価した。

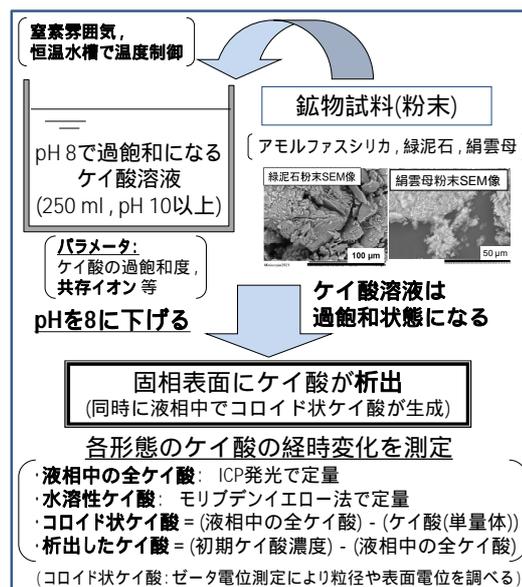


図1 ケイ酸の析出実験の概要

4. 研究成果

(1) 固相共存下における過飽和ケイ酸の析出挙動の基礎的知見

過飽和状態にあるケイ酸の析出挙動に関する基礎的な検討として、初期全ケイ酸濃度、および、固相量をパラメータとした析出実験を実施した。初期全ケイ酸濃度はケイ酸析出やコロイド状ケイ酸の過飽和度依存性を調べる意図で設定した。また、ケイ酸析出は表面積に依存すると予想されることから、実験時に添加する固相量を複数設定して表面積を変化させ、ケイ酸析出との比例関係を確認した。析出対象となる固相には、実施者の先行研究に倣い、ケイ酸の溶解度が変動

するような地下環境において流路表面が析出したケイ酸に覆われてアモルファスな状態になることを想定して、アモルファスシリカ粉末(粒径: 75 ~ 150 μm , BET(N_2)比表面積: 350 m^2/g)を使用した。初期全ケイ酸濃度は 4 mM および 8 mM とし、試料溶液 250 ml に対して固相量を 0.1, 0.5, 1.0 g に設定した。試料溶液は恒温槽にて 25 に保ち、この際の pH 8 におけるケイ酸の溶解度は約 2 mM である。図 2 に、一例として初期全ケイ酸濃度 4 mM および固相量 1.0 g の場合の析出実験結果を示す。縦軸は実験開始時の全ケイ酸濃度に対する各ケイ酸化学種の分率(f)である。図 2 からわかるように経時的に水溶性ケイ酸が減少するとともに、ケイ酸析出量が増加しており、いずれの条件においても同様の傾向が確認された。そして、ケイ酸析出量は添加したアモルファスシリカ粉末試料の重量、すなわち

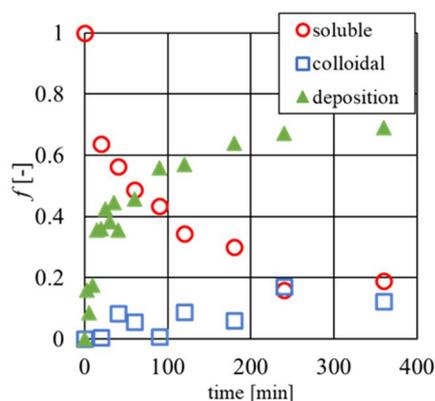


図2 過飽和ケイ酸の析出挙動
(アモルファスシリカ1.0 g, 初期Si濃度4 mM)

液相の単位体積に対する固相表面積に依存することが明らかになった。また、図 2 にも見られるように、コロイド状ケイ酸の生成が同時に確認されており、固相表面積が大きいほど、および、初期全ケイ酸濃度が小さいほど生成量は減少した。このことは、地下環境における固相割合が非常に大きいこと、および、過飽和度の増減が非常に緩やかであることを考慮すると、実環境ではコロイド状ケイ酸の生成は制限されて過飽和ケイ酸のほとんどが固相に析出することを示唆する。析出実験結果から過飽和ケイ酸の析出速度を評価する際には、析出に伴う固相の表面積変化、および、コロイド状ケイ酸生成の影響が小さいと考えられる析出実験開始から 40 分までにおける初期析出速度[1/s]を最小二乗法により二次近似して得た。そして、単位体積当たりの固相表面積に対して析出速度をプロットし、その傾きから見かけの析出速度定数[m/s]を求めた。なお、この際の初期析出速度と固相表面積は比例関係を示しており、前述したケイ酸析出量の固相表面積依存性が改めて確認された。アモルファスシリカ粉末への過飽和ケイ酸の析出においては、見かけの析出速度定数は概ね 10^{-10} m/s オーダーと見積もられた。

(2) 熱水変質鉱物への過飽和ケイ酸の析出挙動

花崗岩中の流路表面は熱水変質によって緑泥石や絹雲母に覆われていることが多いとされており、これらに対する過飽和ケイ酸の析出挙動を調べた。緑泥石は粒径 50 μm および BET(N_2)比表面積 1.0 m^2/g の粉末を、絹雲母は粒径 10 μm および BET(N_2)比表面積 4.5 m^2/g の粉末を使用した。試料溶液 125 ml に対して緑泥石 5, 10, 20 g, あるいは絹雲母 2.5, 5, 10 g 加えた。初期全ケイ酸濃度は 6 mM とした。また、海水系地下水を想定した Na イオン(塩化ナトリウム, 500 mM), およびセメント系材料からの成分溶出を想定した Ca イオン(塩化カルシウム, 5, 10 mM)が共存する場合の析出挙動についても併せて検討した。図 3 は、緑泥石 10 g (液相体積に対する固相表面積 4.0×10^4 $1/\text{m}$), および Ca イオンを共存させた場合の過飽和ケイ酸の析出挙動である。図 3 からわかるように、Ca イオン濃度が大きくなるにつれてケイ酸析出量が多くなった。これは、溶液中の電解質がケイ酸化学種の電気二重層を圧縮して反発力を弱め、水溶性ケイ酸の析出、およびコロイド状ケイ酸の粒径成長を促進したためと考えられる。一方で、固相および共存イオンのいずれの条件においても、過飽和ケイ酸の見かけの析出速度定数は $10^{-10} \sim 10^{-9}$ m/s 程度の範囲に収まり、研究成果(1)のアモルファスシリカ粉末を用いた場合と同程度のオーダーと見積もられた。このことは、過飽和ケイ酸の見かけの析出速度定数が、析出対象となるケイ酸塩鉱物の種類によらず同オーダーの範囲に収まることを意味しており、多様なケイ酸塩鉱物が存在する地下環境における過飽和ケイ酸の析出挙動が簡便に整理される可能性を示唆する。すなわち、地下環境には多様なケイ酸塩鉱物が存在するが、それらへの過飽和ケイ酸の析出は、固相の化学的特性と言うよりは、表面積のような物理的特性に支配されると考えられる。

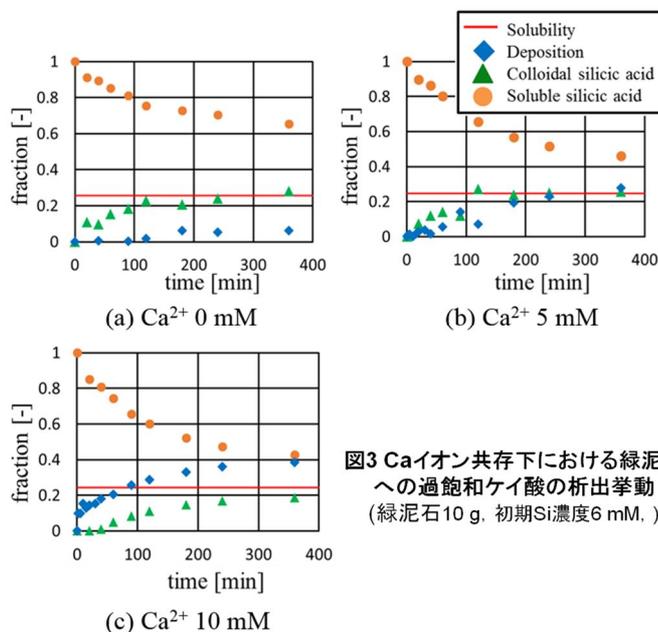


図3 Caイオン共存下における緑泥石への過飽和ケイ酸の析出挙動
(緑泥石10 g, 初期Si濃度6 mM.)

(3) 過飽和ケイ酸の析出における共存イオンの影響

研究成果(2)に述べたように、ケイ酸析出が析出対象となる固相の鉱物種類の化学的特性に依存しない可能性が示されたことを受けて、地下環境においてケイ酸析出への影響が予想される共存イオンに着目した検討を実施した。共存イオンとしては、前述の Na イオンや Ca イオンに続き、ケイ酸塩鉱物の構成成分であるとともに地下水にも溶存するマグネシウム(Mg)イオンおよびアルミニウム(Al)イオンを選択した。析出実験では、試料溶液 250 ml に対して固相としてアモルファスシリカ粉末を 0.1, 0.5, 1.0 g を加え、初期全ケイ酸濃度を 4 mM および 8 mM、試料溶液中の Mg イオン(硝酸マグネシウム)あるいは Al イオン(硝酸アルミニウム)濃度を 0~14 mM の範囲で設定した。これらの共存イオン濃度設定は通常の地下水と比べてかなり高濃度であるが、共存イオン影響を把握しやすくすることに加え、周辺鉱物やセメント系材料からの溶出によって局所的に高濃度になることを考慮した。析出実験結果より、Mg イオンの場合は前述の Na イオンや Ca イオンと同様に、Mg イオン濃度の増加とともに固相へのケイ酸析出量が増加しており、固相やコロイド状ケイ酸の電気二重層の収縮や架橋反応に起因するものと考えられる。一方、Al イオン共存の場合には、Al イオン濃度 0~0.14 mM ではケイ酸析出量が微増したものの、1.4 mM でケイ酸析出量が減少した。この際、析出実験開始直後に Al イオン濃度が約 20%低下しており、pH 8 において生成しやすい水酸化アルミニウム(Al(OH)₃)がアモルファスシリカ表面を覆い、固相表面積が小さくなったために析出速度が小さくなったと考えられる。さらに、Al イオン濃度 14 mM においては、Al イオン添加直後に Al および Si のほとんどが沈澱しており、化学平衡計算から Al(OH)₃ に加えてアルミノケイ酸塩が生成したと予想される。これら Al イオン濃度 1.4 mM および 14 mM の場合を除き、析出実験結果に基づいて取得した見かけの析出速度定数はいずれも 10⁻¹⁰ m/s 程度のオーダーとなった。この見かけの析出速度定数は Na イオンや Ca イオンを共存させた場合とも同オーダーであり、Mg イオンや Al イオンも含め、共存イオン濃度によらずケイ酸析出挙動を整理できる可能性がある。なお、析出速度の評価は研究成果(1)に述べたように析出実験開始から 40 分までの析出量の時間変化に基づいているが、それ以降において多価陽イオンの共存による架橋や凝析に伴うコロイド状ケイ酸の成長および沈澱も観察された。このことから、地下環境においてこれらの共存イオンが、コロイド状ケイ酸が存在するような過飽和状態となる場合に架橋や凝集を促すことによって、沈澱という形でケイ酸析出量の増加に寄与することが予想される。

(4) 複数の共存イオンが過飽和ケイ酸の析出挙動に及ぼす影響

地下水中に想定される陽イオンを個別に共存させた場合の研究成果(3)に続き、主要な陽イオン 2 種類を共存させた場合の過飽和ケイ酸の析出挙動について検討した。これは、実際の地下水中には多種多様な成分が溶存しており、ケイ酸析出への影響が競合する状況を想定したことによる。地下水中において比較的高い割合で溶存する陽イオンを選択し、組合せとしては Mg イオンと Ca イオン、Na イオンと Mg イオン、Na イオンと Ca イオンの 3 通りとした。Na イオンは 0~600 mM、Mg イオンと Ca イオンは 0~14 mM の範囲で濃度を設定した。析出実験時の初期全ケイ酸濃度は 8 mM、試料溶液総量は 250 ml、固相にはアモルファスシリカ粉末(0.1, 0.5, 1.0 g)を使用した。表 1 は Mg イオンおよび Ca イオンを共存させた場合の、各条件における見かけの析出速度定数である。表 1 からわかるように、共存イ

表1 MgおよびCa共存下における見かけの析出速度定数[m/s]

Mg & Ca		Ca ²⁺ 濃度 [mM]			
		0	0.7	1.4	14
Mg ²⁺ 濃度 [mM]	0	1.82 × 10 ⁻¹⁰		4.37 × 10 ⁻¹⁰	7.64 × 10 ⁻¹⁰
	0.7		2.76 × 10 ⁻¹⁰		
	1.4	4.75 × 10 ⁻¹⁰		4.87 × 10 ⁻¹⁰	3.95 × 10 ⁻¹⁰
	14	5.20 × 10 ⁻¹⁰		4.61 × 10 ⁻¹⁰	5.80 × 10 ⁻¹⁰

表2 NaおよびMg共存下における見かけの析出速度定数[m/s]

Na & Mg		Na ⁺ 濃度 [mM]		
		0	60	600
Mg ²⁺ 濃度 [mM]	0	1.82 × 10 ⁻¹⁰	4.85 × 10 ⁻¹⁰	6.34 × 10 ⁻¹⁰
	1.4	4.75 × 10 ⁻¹⁰	3.95 × 10 ⁻¹⁰	4.46 × 10 ⁻¹⁰
	14	5.20 × 10 ⁻¹⁰	3.83 × 10 ⁻¹⁰	3.99 × 10 ⁻¹⁰

表3 NaおよびCa共存下における見かけの析出速度定数[m/s]

Na & Ca		Na ⁺ 濃度 [mM]		
		0	60	600
Ca ²⁺ 濃度 [mM]	0	1.82 × 10 ⁻¹⁰	4.85 × 10 ⁻¹⁰	6.34 × 10 ⁻¹⁰
	1.4	4.37 × 10 ⁻¹⁰	3.68 × 10 ⁻¹⁰	
	14	7.64 × 10 ⁻¹⁰		3.76 × 10 ⁻¹⁰

オン濃度の増加に伴い見かけの析出速度定数が大きくなり、その変化幅は共存イオン濃度の和がオーダーで変化する場合に顕著になった。また、表2および表3は、Naイオンと、MgイオンあるいはCaイオンが共存する条件における見かけの析出速度定数である。MgイオンあるいはCaイオンが共存する条件のいずれも、見かけの析出速度定数はNaイオン濃度60 mMと比較して600 mMの方が大きくなるとともに、MgイオンやCaイオンの影響はほぼ見られなかった。これは、Naイオン濃度がMgイオンやCaイオンと比べて大過剰であるため、ケイ酸析出に対して支配的であったと考えられる。このことは、地下環境における過飽和ケイ酸の見かけの析出速度定数が塩水系地下水(Naイオン濃度600 mM)と淡水系地下水(Naイオン濃度3 mM)とにおおよそ区分し得ることを示唆する。一方で、表1～表3に示すように、共存イオンによる増減はあるものの、いずれの条件においても概ね 10^{-10} m/s程度のオーダーとなり、研究成果(1)～(3)で得られていたものと同程度の範囲に収まった。

(5) 過飽和ケイ酸の析出が天然バリアの自己修復に寄与する可能性の検討

研究成果(1)～(4)にて示したように、過飽和ケイ酸の見かけの析出速度定数は本研究で対象とした種々の固相や共存イオン等の条件において、概ね 10^{-10} m/sのオーダーと評価された。そこで本研究では、平行平板を仮定した流路における物質移行を表す以下の一次元移流拡散方程式に含まれるダムケラー数(D_a)に着目して、地下水流路中におけるケイ酸析出について検討した。

$$\frac{1}{P_e} \frac{\partial^2 C_s}{\partial X^2} - \frac{\partial C_s}{\partial X} - D_a C_s = \frac{\partial C_s}{\partial T} \quad D_a = \frac{kAx^*}{u}$$

$\left[\begin{array}{l} X: \text{無次元長さ}, C_s: \text{無次元ケイ酸濃度}, T: \text{無次元時間}, \\ P_e: \text{ペクレ数}, D_a: \text{ダムケラー数} \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{l} k: \text{見かけの析出速度定数[m/s]}, x^*: \text{代表長さ[m]}, \\ u: \text{地下水流速[m/s]}, A: \text{比表面積[1/m]} \end{array} \right]$

ダムケラー数は物質移行速度と化学反応速度を比較する無次元数であり、過飽和ケイ酸の析出反応が地下水移流に対してどの程度有意であるかについて、見かけの析出速度定数および他パラメータより評価した。ここで、代表長さ x^* は100 m、地下水流速 u は0.5 m/year、比表面積 A は 2.0×10^4 1/mとし[1]、見かけの析出速度定数は本研究で得られた値を参照して保守的に 1.0×10^{-10} m/sとした。その結果、ダムケラー数は 10^4 以上と見積もられた。このことは、過飽和ケイ酸の析出反応が地下水の移流に対して十分に支配的であることを意味し、地下水が核種とともに移行する流路中においてもケイ酸の析出が進展して、その間隙を狭めながら移流を低減させることを示唆する。また、実施者らの先行研究[2]にて検討したケイ酸析出に伴う流路閉塞解析より、 10^{-10} m/s オーダーの見かけの析出速度定数であれば、ケイ酸濃度が溶解度より5～10 mM高い過飽和条件では一般的な結晶質岩内の亀裂流路幅0.1 mmが500年以内に0.01 mm以下に、また、過飽和度1 mMでも1,000年で半分の0.05 mm以下に狭隘化することが示されている。わが国の地層処分の性能評価では、高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)を封入する炭素鋼製のオーバーパックは1,000年に亘り健全性が保証され、それ以降に核種漏出が始まると仮定している。よって、核種が人工バリアより漏洩して天然バリアに達する時期には、移行経路となる地下水流路が過飽和ケイ酸の析出によって著しく狭隘化していると考えられる。これにより、天然バリア中の地下水移流が抑制され、生活圏への核種の到達も従来評価よりもさらに遅延されると期待される。

以上の研究成果(1)～(5)より、天然バリアとして核種移行を抑制する機能が見込まれる処分場周辺の地下岩盤において、高アルカリプルーフによる岩盤溶解のために一時的に透水性の増大が生じるとしても、その後のケイ酸の空間的な再分配によって地下水流路が狭隘化して地下水移流を低減すると考えられる。これが天然バリアの自己修復機能であり、その結果、廃棄体から溶出した核種の移行が一層抑制されるといった、さらなる核種閉じ込め効果の発現が期待できる。そして、これらの結果に基づいて、天然バリアの核種閉じ込め性能が時間の経過に伴い向上するといった側面を示すことにより、地層処分システムの頑健性および信頼性の向上に資する。

< 引用文献 >

- [1] 核燃料サイクル開発機構，わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第2次取りまとめ-分冊3 地層処分システムの安全評価，JNC TN1400 99-023，1999。
- [2] 千田太詩，科学研究費助成事業 研究成果報告書，16K18345，時間スケールの異なる機能発現による自己完結型長期安定緩衝バリアへの挑戦，2018。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Takafumi Saito, Taiji Chida, Yuichi Niibori	4. 巻 Paper No. 20138
2. 論文標題 Deposition Behavior of Supersaturated Silicic Acid on the Surfaces of Chlorite and Sericite Around Geological Repository	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of WM2020	6. 最初と最後の頁 1-8
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Taiji Chida, Naoya Hara, Yuichi Niibori	4. 巻 Paper No. 20148
2. 論文標題 Influence of Borate on Sorption of Strontium and Barium to Calcium Silicate Hydrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of WM2020	6. 最初と最後の頁 1-8
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Atsushi Ohmukai, Taiji Chida, Yuichi Niibori	4. 巻 Paper No. 20261
2. 論文標題 Influences of Mg Ions and Al Ions on Deposition Behavior of Supersaturated Silicic Acid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of WM2020	6. 最初と最後の頁 1-8
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tsuyoshi Sasagawa, Taiji Chida and Yuichi Niibori	4. 巻 98
2. 論文標題 Deposition rate of supersaturated silicic acid on Na-type bentonite as a tunnel backfill material	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Geochemistry	6. 最初と最後の頁 377-382
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.apgeochem.2018.08.007	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 -

1. 著者名 Masaya Ishijima, Taiji Chida, Yuichi Niibori	4. 巻 Paper No. 19116
2. 論文標題 Fundamental Study on Sorption Behavior of Europium to Mica Flakes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of WM2019	6. 最初と最後の頁 1-9
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shogo Tanaka, Yuichi Niibori, Taiji Chida	4. 巻 Paper No. 19137
2. 論文標題 Estimation of Deposition Behavior of Supersaturated Silicic Acid around Geological Disposal Facility	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of WM2019	6. 最初と最後の頁 1-6
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Taiji Chida, Masayuki Hayashi, Yuichi Niibori	4. 巻 Paper No. 19165
2. 論文標題 Alteration of Granite Surface with the Formation of Calcium-Silicate-Hydrate by Alkaline Groundwater	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of WM2019	6. 最初と最後の頁 1-9
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 白沢暢, 千田太詩, 関亜美, 新堀雄一
2. 発表標題 CaイオンおよびMgイオン共存下における過飽和ケイ酸の析出挙動の評価
3. 学会等名 日本原子力学会 2021年秋の大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太原亮, 千田太詩, 関亜美, 新堀雄一
2. 発表標題 二次鉱物としてのマグネシウム含有カルシウムシリケート水和物とユウロピウムとの相互作用の評価
3. 学会等名 日本原子力学会 2021年秋の大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 泉浦匡秀, 関亜美, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 地下環境におけるMgイオン共存下でのケイ酸の再分配挙動とその核種移行の抑制効果
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

1. 発表者名 白沢暢, 泉浦匡秀, 千田太詩, 関亜美, 新堀雄一
2. 発表標題 塩水環境における過飽和ケイ酸の析出に及ぼすMgイオンおよびCaイオンの影響
3. 学会等名 日本原子力学会 2022年春の年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾朝涼太, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 地下冠水環境を考慮した二次鉱物としてのMg-Si系水和物とCsとの相互作用
3. 学会等名 日本原子力学会「バックエンド部会」第36回バックエンド夏期セミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木龍, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 地層処分システム周辺のアルカリフロントにおける流動を伴うコロイド状ケイ酸の挙動に関する基礎的研究
3. 学会等名 日本原子力学会 東北支部会 第44回研究交流会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊悠斗, 新堀雄一, 千田太詩
2. 発表標題 放射性廃棄物処分システムの天然バリアを考慮した薄片状黒雲母とユウロピウムとの相互作用の評価
3. 学会等名 日本原子力学会 東北支部会 第44回研究交流会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 天川仁誠, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 セシウム及びバリウム共存条件におけるCa-Al-Si系水和物とユウロピウムとの相互作用の評価
3. 学会等名 日本原子力学会 2021年春の年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 波多野新, 石島雅也, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 花崗岩マトリクス内のみかけの収着速度を考慮した核種移行評価
3. 学会等名 第15回量子エネルギー工学フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大向諄, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 MgイオンおよびAlイオン共存下における過飽和ケイ酸の析出挙動評価
3. 学会等名 日本原子力学会 2019年秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤聖史, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 緑泥石および絹雲母への過飽和ケイ酸の析出挙動に及ぼす共存イオンの影響
3. 学会等名 日本原子力学会 2019年秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石島雅也, 豊田丈通, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 二次イオン質量分析法を用いたユウロピウムの薄片状雲母鉱物への収着挙動の評価
3. 学会等名 日本原子力学会「バックエンド部会」第34回バックエンド夏期セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中 翔悟, 新堀 雄一, 千田 太詩
2. 発表標題 地下処分場周辺流動場における過飽和ケイ酸の析出挙動の評価
3. 学会等名 日本原子力学会「バックエンド部会」第34回バックエンド夏期セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大向諄, 笹川剛, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 冠水条件における過飽和ケイ酸の析出挙動に関する基礎的検討
3. 学会等名 第14回量子エネルギー工学フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石島 雅也, 千田 太詩, 新堀 雄一
2. 発表標題 薄片試料による黒雲母および金雲母, 白雲母へのユウロピウムの収着挙動評価
3. 学会等名 日本原子力学会 2018年秋の大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大向諄, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 Mg 共存下における過飽和ケイ酸の析出挙動の評価
3. 学会等名 日本原子力学会 東北支部会 第42回研究交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中 翔悟, 小堤 健紀, 千田 太詩, 新堀 雄一
2. 発表標題 処分場周辺流動場を想定した過飽和ケイ酸の析出による透水性変化に関する基礎的研究
3. 学会等名 日本原子力学会 2019年春の年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大向諄, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 Mgイオン共存条件における過飽和ケイ酸の析出挙動評価
3. 学会等名 第4回次世代廃炉イニシアティブカンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤聖史, 千田太詩, 新堀雄一
2. 発表標題 地下の処分環境に遍する緑泥石および絹雲母への過飽和ケイ酸の析出挙動
3. 学会等名 第4回次世代廃炉イニシアティブカンファレンス
4. 発表年 2019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 (Niibori Yuichi) (90180562)	東北大学・工学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	関 亜美 (Seki Tsugumi) (80912328)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	

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
---------	---------