

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03130

研究課題名(和文) 汚染土壤中の吸着セシウムイオンのミクロ構造の解明

研究課題名(英文) Elucidation of the microstructure of the adsorbed cesium ions in contaminated soil

研究代表者

田村 堅志 (TAMURA, Kenji)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・グループリーダー

研究者番号：80370310

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：福島放射能汚染土壤中のセシウム吸着サイトとして、雲母鉱物の風化によって形成される“くさび型空間”に着目した。雲母層間のカリウムイオンの一部をアルミニウムイオンに置換してモデル土壌を調製した。27Al MAS NMR測定から、モデル土壌中の層間アルミニウムが酸素6配位であること、そしてHRTEM解析から時間経過に伴いパーミキュライト型層と緑泥石型層が不規則的に形成されていることが明らかになった。このモデル土壌にCs⁺を吸着させて133Cs MAS NMRスペクトル解析をすると、セシウムイオンは風化雲母層間のくさび型空間の異なる2つの吸着サイトに極めて強く吸着することが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射性セシウムの粘土鉱物への吸着、固定化現象は、粘土局所領域で発生する原子スケールの現象である。本研究は、このような現象を明らかにしようとした初めての試みであった。高いセシウム選択性の吸着サイトをもつモデル土壌を再現し、高分解能電子顕微鏡観察や強磁場NMR解析を実施した。その結果、風化雲母鉱物の層間でアルミニウムなどが水酸化物化(緑泥石化)して放射性セシウムの固定化に寄与する可能性が示唆された。また、この現象を再現し、セシウムの脱離に必要とされる化学処理についても検討した。得られた知見は汚染土壌の処理、処分の方法に明確な道筋を与える上で極めて重要な知見と言える。

研究成果の概要(英文)：We focused on the "wedge-site" formed in Hydroxy-Interlayered Vermiculite (HIV) as a cesium adsorption site in radioactively contaminated soil in Fukushima. A model soil was prepared in which potassium ions between the mica layers were partially replaced with aluminum ions. 27Al MAS NMR measurements revealed that the aluminum substituted between the mica layers had an oxygen 6 coordination. It was confirmed from the HRTEM observations that the chlorite type layer was formed irregularly by aging. As a result of 133Cs MAS NMR spectrum analysis after adsorbing cesium ions on this HIV-like mica (the model soil), it was clarified that the cesium ions were adsorbed extremely strongly on the two adsorption sites.

研究分野：複合材料

キーワード：セシウム 風化黒雲母 安定吸着

1. 研究開始当初の背景

除染作業によって集められた放射能汚染土壌は中間貯蔵施設 (JESCO) に 776 万 m³ (2021 年 5 月 31 日時点) を運び込まれている。今、その処理・処分の為に減容化が問題になっている。放射性セシウムは土壌中の粘土鉱物 (主に 2:1 型層状珪酸塩) に強固に吸着・結合していて、脱離が難しいため効率的な減溶プロセスが未だ提案されていない。さらに、土壌への放射性セシウムの吸着濃度は ppt オーダーと極めて低濃度のため、その吸着機構や吸着サイトなどの詳細は明らかになっておらず、その事が問題をさらに難しくしている。そのため、実際の汚染土壌の分析は、もっぱら高感度の放射線計測技術が用いられている。しかし、多くの欠陥や不均一構造を有する粘土鉱物において放射性セシウムが「どこのサイトに」、「どの程度強く」、「どの様な状態」で吸着しているか、この手法での解明には限界があるため、新たな実験手法による詳細な解析が望まれている。

従来、Cs⁺の強固な吸着状態を説明するための仮説として提案されてきたのが、フレイド・エッジ・サイト (FES) 説である。このサイトは風化によって 2:1 型層状珪酸塩 (雲母など) の末端部がはつれて Cs⁺が選択的に入り込み易くなったサイトである (図 1)。この FES に焦点を当て、FES の ¹³⁷Cs 親和性の評価方法や ¹³⁷Cs を添加した土壌を繰返し乾湿することで FES に ¹³⁷Cs が固定化させる実験等様々の報告がある。しかし、論文を詳細に検討すれば明らかかなように、図 1 の構造はあくまで、電子顕微鏡像から想定した Cs⁺が雲母系粘土に強く吸着すると説明するためのもので、定量性のある実験結果ではない。従って、この不可逆的な吸着状態を起こす要因を明らかにするためには、Cs⁺の吸着構造に関してミクロレベルでの理解が不可欠となる。

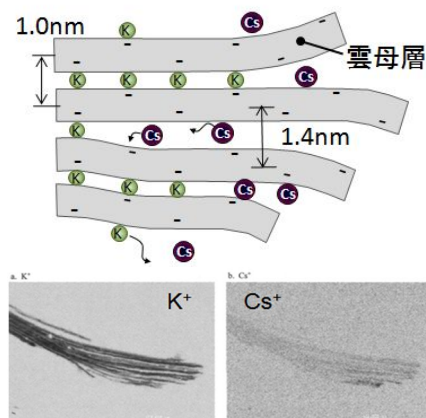


図 1 (上)フレイド・エッジ・サイト (FES) モデル、(下)電子顕微鏡像。

2. 研究の目的

これまでの研究で粘土鉱物に吸着した放射性セシウムは、時間の経過とともにより強く吸着 (固定化) するという実験的エビデンスがいくつか報告されている。このことは、一般的な層間陽イオンの吸着・脱離の議論では説明できなかった。今回、FESに関するCs⁺吸着の疑問の解答を得るため、我々はヒドロキシアルミニウムが雲母層間に入って形成される Hydroxy-interlayered vermiculite (HIV) の“くさび型空間”に着目した。汚染土壌中の粘土鉱物の結晶構造、化学組成、風化による構造変化によって、粘土鉱物層間に形成されるくさび型空間の形成と、エージング効果による放射性セシウムの吸着安定化との因果関係について詳細を明らかにすることが、本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) モデル土壌の作製 粘土鉱物として最も放射性セシウムの吸着選択性の高かった鉱物は三八面体型雲母、黒雲母が風化したものであった。そこで三八面体型雲母の金雲母と黒雲母をモデル土壌作成の出発物質とした。風化处理として層間 K⁺を Al³⁺に置換し、雲母層間に“くさび型空間”を設ける。具体的調製方法を以下に示す。

層間に K⁺をもつ天然金雲母 (Phlogopite, K-Phl) を出発物質として 2 種類の異なる経路で層間に Al³⁺をもつ 4 種類の変質雲母を調製した。第一の方法では、1 g の K-Phl を 80 mL、pH 2 の 200 mM AlCl₃ 溶液 (80 mL) 中で処理し、層間の K⁺を Al³⁺に置換した試料を用意した (KAl-Phl と表記)。第二の方法では、まず 5g の K-Phl を 4 M の 60°C の NaCl 溶液 (1 L) 中で 5 日間処理し、層間の K⁺を Na⁺に完全に置換した Na 型 Phl (Na-Phl) を作製した。次にこの Na-Phl (4 g) を濃度の異なる AlCl₃ 溶液 (3mM、100 mM、1 M) 400 mL 中で 3 時間処理し層間の Na⁺を Al³⁺と交換した。3 mM と 100 mM の溶液で処理した試料は、さらに 100 mM の KCl 溶液 400 mL 中で処理し、層間に K⁺と Al³⁺を有する試料が調製できた (KAl₃-Phl、KAl₁₀₀-Phl と表記)。1 M の溶液で処理した試料 (Al-Phl と表記) は、それ以降の処理は行わなかった。

(2) モデル土壌の評価 Al³⁺処理をした雲母試料について積層構造を高分解能透過電子顕微鏡法 (HRTEM)、粉末 X 線回折法 (XRD)、熱重量・示差熱分析法 (TG-DTA) などを用いて解析した。特に層間構造に注目し、くさび型空間の実態解明と最適なモデル鉱物調製方法の検討を行った。エージング効果を促進するため、Al³⁺置換したモデル土壌を水熱処理 (~180 °C) した。その後、

層間の置換アルミニウムの状態を強磁場 NMR 解析、HRTEM、TG により調べた。

(3) エージング効果の再現 モデル土壤に Cs⁺を吸着させて高濃度 Mg²⁺によるイオン交換処理による脱離評価を実施する。水熱処理工程の有無の影響を明らかにする。同時にマルチスケール計算によるエッジ部の Cs⁺安定化機構の理論解析を行なう。

(4) 福島県産風化黒雲母での検証 福島県産黒雲母原石を自動乳鉢で粉碎し、開口径 32 μm の篩を通した粉末試料 (FWB) を調製した。安定性評価のため、Cs 吸着 (Cs:200ppm) 試料を調製し、エージング処理試料を調製した (Cs₂₀₀FWB)。脱離液として水、濃度 0.10 mol/L の HCl、H₂SO₄、及び NaOH を用いた。脱離条件は、固体/脱離液= 1/100 (質量比) で遠沈管に封入し、前述の条件で 1、24 及び 168 時間振とうして分析試料とした。本試験では、Cs⁺の溶出量だけでなく、雲母を構成する代表成分元素 (Si, K, Na, Ca, Mg, Al, Fe) の溶出量を見積もり、ケイ酸塩層の破壊と吸着 Cs⁺の溶出の関係を調べた。Si の分析は、モリブデンブルー法、その他の元素は ICP-MS による分析を行った。

4. 研究成果

(1) モデル土壤 Al-PhI (S-4) 及び Cs200ppm 処理後の試料 Cs₂₀₀Al-PhI の XRD パターンを図 2 に示す。Al-PhI では鋭く弱い 1.01nm のピークと 1.4nm のピークが観測され、その間 (1.1nm 付近) に幅広いピークがみられた。この幅広いピークは 1.01nm 層と 1.4nm 層の混合層構造の存在を示唆している。Cs₂₀₀Al-PhI で観測される 1.4 nm 層は、くさび型空間形成に必要な層間の広がった部分にあると予想される。1.4nm 層構造をもつ Al 型雲母の構造は層間に水和した Al³⁺を有する場合 (パーミキュライト型) と層間にギブサイトシートを有する場合 (緑泥石型) の大きく二つに分けられる。

²⁷Al MAS NMR 測定の結果、ケイ酸塩層中の酸素 4 配位 [⁴Al (67ppm)] の強いピークが観測され、Al³⁺処理濃度の増加に伴って 2.5 ppm 付近のピークが徐々に強くなった。この 2.5 ppm 付近のピーク (1.4 nm 層) は酸素 6 配位の [⁶Al] である。各試料の比較から層間の Al は 6 個配位であることが明らかになった。

図 3 に Al-PhI の層断面方向から観察した HRTEM 像を示す。観測された 2.8 nm (1.4 nm+1.4 nm)、2.4 nm (1.0 nm+1.4 nm) の間隔、そして同一層の右上に 2 層ずつの間隔が 2.4 nm (1.0 nm+1.4 nm)、2.4 nm (1.0 nm+1.4 nm) となっており、この部分では同一層内で層間隔に変化がみられた。この結果から Al-PhI の層方向に K 型の層と緑泥石型の層が混合するくさび型空間をもつ構造が得られたと考えられる。

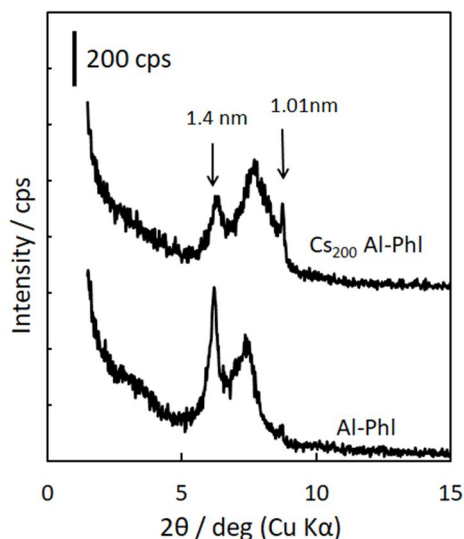


図 2 Cs⁺吸着による構造の変化

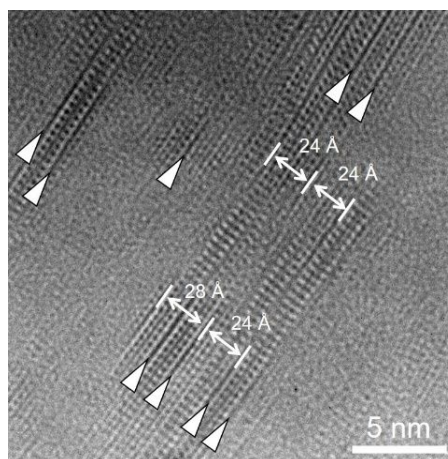


図 3 Al-PhI の HRTEM 像。2 層の間隔は図中に示した。矢頭はギブサイトシートを指す。

(2) 風化雲母層間での Cs⁺安定化 得られた各試料について Cs⁺吸着試験を行った。実土壤は低濃度の放射性セシウムで汚染されていることから、Cs⁺低濃度域 (1ppb) における各種 PhI の分配係数 (K_d値) を比較した。Al-PhI の K_d値は、K-PhI や Na-PhI と比べて一桁高い値を示す。また、HRTEM 観察と TG 測定の結果から 180 の水熱処理により置換した Al³⁺イオンはギブサイト化 (緑泥石化) が進行していることが明らかになった。

KAl₃-Phl (くさび型) と KAl₁₀₀-Phl (平行型) の試料に 7.5 mM の CsCl 水溶液で吸着処理をした後、3M の Mg(NO₃)₂ 水溶液による脱離処理を 2 回繰り返した。KAl₁₀₀-Phl は、1 回目の処理で吸着 Cs⁺ の 58%、2 回目の処理でさらに試料の 23% (計 81%) の吸着 Cs⁺ が脱離する。これはヒドロキシアルミニウムの置換量が多く、粘土シート同士が平行な状態 (1.4 nm) を保つため Cs⁺ の保持力が十分発揮されなかった。一方、KAl₃-Phl では 1 回目の処理で吸着 Cs⁺ の 27%、2 回目の処理でさらに試料の 17% (計 44%) の吸着 Cs⁺ が脱離しており、くさび空間を有する KAl₃-Phl の方がより強く Cs⁺ 吸着 (保持) していることが示された。この試料について ¹³³Cs MAS NMR スペクトルを測定した。初期吸着状態では 42 ppm 近傍に観測された強いピークは層間に吸着した Cs⁺ を示しており、2 枚のケイ酸塩シート表面の六員環酸素が 9 つ配位した状態を示している。また、このピークの高磁場側 (-50 ppm 近傍) に弱いブロードなピークも観測されている。Mg(NO₃)₂ 水溶液で脱離処理を 2 回繰り返した後、KAl₁₀₀Phl では Cs⁺ のスペクトルはほぼ消失するが、KAl₃Phl では 2 つのピークが僅かながら残る。この結果から Cs⁺ の安定吸着にくさび構造が一役かっていることが推測される。

また、原子間相互作用モデルを使った MD 計算から層間のアルミニウムの状態の違いが吸着 Cs⁺ の安定性に及ぼす影響について検討した。その結果、雲母層間で 6 個の水分子が配位したアルミニウムイオンが、ヒドロキシアルミニウム (ギブサイト) に転換することによって、静電的な反発が弱まりギブサイトの酸素に Cs⁺ が引き寄せられ、より Cs⁺ が安定吸着することが示唆された。

(3) 福島県産風化黒雲母での検証 福島県産風化黒雲母試料 (FWB) を酸、アルカリで溶解して ICP-OES 分析により組成分析を行ったところ、八面体シートに含まれる Fe 含有量はフロゴパイト試料 (Phl) の 2 倍以上であった。Cs 200 ppm を吸着させた Cs₂₀₀AlPhl、Cs₂₀₀AlPhl (水熱)、Cs₂₀₀FWB に対して酸、アルカリによる溶出試験を実施した。脱離液として水、濃度 0.10 mol/L の HCl、H₂SO₄、及び NaOH を用いた。脱離条件は、固体/脱離液 = 1/100 (質量比) で遠沈管に封入し、前述の条件で 1、24 及び 168 時間振とうして遠心分離後の上澄み液を分析試料とした。溶脱試験における全て溶出元素を分析した結果、特に層間イオン (Cs⁺, K⁺) の脱離量と脱離速度は水 < NaOH < HCl < H₂SO₄ の順に早くなる。いずれも HCl、H₂SO₄ 処理による Cs⁺ 脱離効果が大きかった。Cs₂₀₀AlPhl の Cs⁺ 脱離については、HCl 及び H₂SO₄ 溶液で 24 時間処理すると吸着 Cs⁺ の約 90% 以上が脱離し、さらに 2 回目の処理で脱離量は 95% 以上に達した。一方、水熱処理した Cs₂₀₀AlPhl は、例えば 0.1M の H₂SO₄ 溶液で 24 時間振とうした試料間 (水熱処理をしない Cs₂₀₀AlPhl と) の比較では層間イオンの脱離率は、30 ~ 40% 低下している。この結果から水熱処理が Cs⁺ の固定化促進に寄与していると考えられる。つまり、水熱処理 (エージング) によりヒドロキシアルミニウム化と Cs⁺ の (安定な場所への) 移動が促進されたためと考えられる。Cs₂₀₀FWB についても脱離挙動は Cs₂₀₀AlPhl とほぼ同じであったが、脱離率は Cs₂₀₀AlPhl 系より低く、化学組成 (Fe 含有量) や風化度合いなどによる安定吸着要因も存在するようである。

< 引用文献 >

- 中間貯蔵施設の概要 | 中間貯蔵施設情報サイト : 環境省 (env.go.jp)
<http://josen.env.go.jp/chukanchozou/about/>
Zachara JM, Smith SC, Liu CX, McKinley JP, Serne RJ, Gassman PL. Sorption of Cs⁺ to micaceous subsurface sediments from the Hanford site, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **66**, 193-211 (2002).
Cremers A, Elsen A, Depreter P, Maes A, Quantitative-analysis of radiocesium retention in soils. *Nature*, **335**, 247-249 (1988).
Delvaux B, Kruyts N, Cremers A. Rhizospheric mobilization of radiocesium in soils. *Environ. Sci. Technol.*, **34**, 1489-1493 (2000).
Wampler JM, Krogstad EJ, Elliott WC, Kahn B, Kaplan DI. Long-term selective retention of natural Cs and Rb by highly weathered coastal plain soils. *Environ. Sci. Technol.*, **46**, 3837 (2012).
Tamura K, Kogure T, Watanabe Y, Nagai C, Yamada H. Uptake of cesium and strontium ions by artificially altered phlogopite. *Environ. Sci. Technol.*, **48**, 5808-5815 (2014).
Tansho M, Tamura K, Shimizu T. Identification of multiple cs⁺ adsorption sites in a hydroxy-interlayered vermiculite-like layered silicate through ¹³³Cs MAS NMR analysis. *Chem. Lett.*, **45**, 1385-1387 (2016).
Mukai H, Hirose A, Motai S, Kikuchi R, Tanoi K, Nakanishi TM, Yaita T, Kogure T. Cesium adsorption/desorption behavior of clay minerals considering actual contamination conditions in Fukushima. *Sci. Rep.*, **6**, 21543 (2016).

Dzene L, Ferrage E, Viennet J-Christophe, Emmanuel Tertre, Fabien Hubert. Crystal structure control of aluminized clay minerals on the mobility of caesium in contaminated soil environments. *Sci. Rep.*,**7**, 43187 (2017).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 K. Tamura, H. Yamashita, T. Kogure, M. Morita, A. Yamagishi, H. Sato	4. 巻 25
2. 論文標題 Removal of cesium ions from radioactively contaminated soils using microwave treatment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Clay Science	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) 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 H.Sakuma, K. Tamura, K. Hashi, M. Kamon.	4. 巻 124
2. 論文標題 Caffeine Adsorption on Natural and Synthetic Smectite Clays: Adsorption Mechanism and Effect of Interlayer Cation Valence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 25369 ~ 25381
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c07834	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 田村 堅志	4. 巻 60
2. 論文標題 粘土鉱物の改質とハイブリッド技術の発展とその応用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 粘土科学	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) 10.11362/jcssjnendokagaku.60.1_1	査読の有無 無
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 田村堅志	4. 巻 68
2. 論文標題 今、見直される粘土化学	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学と教育	6. 最初と最後の頁 368-371
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 無
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 T. Okumura, N. Yamaguchi, T. Kogure.	4. 巻 49
2. 論文標題 Distinction between Radiocesium (RCs)-bearing Microparticles and RCs-sorbing Minerals Derived from the Fukushima Nuclear Accident Using Acid Treatment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1294 ~ 1297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200374	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 Kogure Toshihiro	4. 巻 55
2. 論文標題 Visualization of clay minerals at the atomic scale	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Clay Minerals	6. 最初と最後の頁 203 ~ 218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1180/clm.2020.27	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 T. Okumura, N. Yamaguchi, H. Suga, Y. Takahashi, H. Segawa, T. Kogure.	4. 巻 10
2. 論文標題 Reactor environment during the Fukushima nuclear accident inferred from radiocaesium-bearing microparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1352-1352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-58464-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 K. Tamura, R. Kawashiri, N. Iyi, Y. Watanabe, H. Sakuma, M. Kamon	4. 巻 11
2. 論文標題 Rosette-like layered double hydroxides: adsorbent materials for the removal of anionic pollutants from water	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 27954 - 27963
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.9b08719	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 T. Okumura., N. Yamaguchi, T. Dohi, K. Iijima, T. Kogure	4. 巻 9
2. 論文標題 Dissolution behaviour of radiocaesium-bearing microparticles released from the Fukushima nuclear plant	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3520
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-40423-x	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 該当する

1. 著者名 T. Okumura, N. Yamaguchi, T. Dohi, K. Iijima, T. Kogure	4. 巻 68
2. 論文標題 Inner structure and inclusions in radiocesium-bearing microparticles emitted in the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microscopy	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) 10.1093/jmicro/dfz004	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 該当する

1. 著者名 Mukai, H., K. Tamura, R. Kikuchi, Y. Takahashi, T. Yaita, T. Kogure	4. 巻 190
2. 論文標題 Cesium desorption behavior of weathered biotite in Fukushima considering the actual radioactive contamination level of soils	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Environ. Radioact.	6. 最初と最後の頁 81-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jenvrad.2018.05.006	査読の有無 無
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 H. Sakuma, K. Tamura, K. Minagawa.	4. 巻 47
2. 論文標題 Doughnut"-Like Clay Microparticles Fabricated Using a Hybrid Method of Spray Drying and Centrifugal Disc Atomization.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 68-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.170891	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 H. Sakuma, Y. Tachi, K. Yotsuji, S. Suehara, T. Arima, N. Fujii, K. Kawamura, A. Honda	4. 巻 65
2. 論文標題 Stability of montmorillonite edge faces studied using first-principles calculations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Clays and Clay Minerals	6. 最初と最後の頁 252-272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1346/ccmn.2017.064062	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 田村堅志, 渡邊雄二郎	4. 巻 25
2. 論文標題 汚染土壌からの放射性セシウムの除去技術	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan	6. 最初と最後の頁 115-121
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 無
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22件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 田村堅志, 川名正悟, 渡邊雄二郎, 佐久間博, 端健二郎, 山岸皓彦
2. 発表標題 湿式処理による風化黒雲母からのセシウム脱離
3. 学会等名 環境放射能除染学会 第9回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森山里咲, 田村堅志, 渡邊雄二郎
2. 発表標題 アルカリ水熱処理によるポルサイト合成におけるカチオン種の影響
3. 学会等名 環境放射能除染学会 第9回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥村大河, 山口紀子, 小暮敏博
2. 発表標題 福島原発事故に由来する放射性セシウム担体物質の新しい判別法
3. 学会等名 日本原子力学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Inoue, S., K. Tamura, K. Midorikawa, T. Kogure
2. 発表標題 literplayer Structure in K-AL Exchanged Phillogopite
3. 学会等名 The 4th Asian Clay Conference 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kogure, T., T. Okumura, D. Beaufort
2. 発表標題 Vermicular Illite-Kaolinite Intergrowth Diagenetically Formed in a Sandstone Reservoir
3. 学会等名 The 4th Asian Clay Conference 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 緑川 慶, 田村 堅志, 端 健二郎, 渡邊 雄二郎, 佐久間 博, 出口 健三
2. 発表標題 変質黒雲母のセシウム吸着特性と吸着サイトの固体NMR解析
3. 学会等名 環境放射能除染学会 第8回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 雄二郎, 山中 隆蔵, 田村 堅志
2. 発表標題 セシウム吸着モルデナイトから転換したポルサイトの熱安定性及び溶液安定性評価
3. 学会等名 環境放射能除染学会 第8回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤久子, 田村堅志, 山下浩, 大森大輔, 金子芳郎, 山岸皓彦
2. 発表標題 汚染土壌の減容化に向けた粘土化学的手法の開発
3. 学会等名 環境放射能除染学会 第8回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中 隆蔵, 緑川 慶, 田村 堅志, 渡邊 雄二郎
2. 発表標題 セシウム吸着モルデナイトのポルサイト転換条件の検討
3. 学会等名 無機マテリアル学会 第139回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上紗綾子, 田村堅志, 緑川慶, 小暮敏博
2. 発表標題 金雲母層間でのAl水酸化物層の形成によるくさび型空間の形成
3. 学会等名 第63回粘土科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 緑川慶, 渡邊雄二郎, 田村堅志, 山岸皓彦
2. 発表標題 風化バイオタイトへのセシウムイオン吸着機構: エージング効果
3. 学会等名 無機マテリアル学会第137 回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 緑川慶, 渡邊雄二郎, 田村堅志, 佐久間博
2. 発表標題 ヒドロキシアルミニウム変質粘土鉱物へのセシウムの移動性
3. 学会等名 第28 回インテリジェント・ナノ材料シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤久子, 山下浩, 田村堅志, 大森大輔, 山岸皓彦, 森田昌敏
2. 発表標題 ミニフィールド装置を用いた汚染土壌からのセシウム除去のオンサイト実験
3. 学会等名 第7回環境放射能除染学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山岸皓彦, 田村堅志, 山下浩, 佐藤久子, 森田昌敏
2. 発表標題 汚染土壌のマイクロ波処理による脱セシウム化機構の研究
3. 学会等名 第7回環境放射能除染学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤久子
2. 発表標題 セシウムイオンの土壌中での動態および、汚染土壌の減容化に向けた粘土カラム方式ミニフィールド装置を用いたセシウム除去方法
3. 学会等名 第54回日本分析化学会中国四国支部分析化学講習会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田村堅志、森本和也、佐久間博、渡邊雄二郎
2. 発表標題 雲母鉱物層間への多価金属イオンの導入と加水分解による架橋体の形成
3. 学会等名 第61回粘土科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丹所正孝、田村堅志、清水禎、佐藤久子、山下浩、山岸皓彦、森田昌敏
2. 発表標題 風化バイオタトへのCsイオン吸着サイトの考察
3. 学会等名 第61回粘土科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤久子、田村堅志、山下浩、金子芳郎、山岸皓彦、森田昌敏
2. 発表標題 汚染土壌の減容化に向けた粘カラム方式ミニフィールド装置による実証実験
3. 学会等名 第61回粘土科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤久子、田村堅志、山下浩、大森大輔、金子芳郎、山岸皓彦、森田昌敏
2. 発表標題 汚染土壌の減容化に向けた粘土化学的手法の開発
3. 学会等名 第6回環境放射能除染研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山岸皓彦、田村堅志、山下浩、佐藤久子、森田昌敏
2. 発表標題 マイクロ波処理による汚染土壌の脱セシウム化
3. 学会等名 第6回環境放射能除染研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下浩、田村堅志、佐藤久子、森田昌敏
2. 発表標題 遊星ボールミル粉砕法を併用した汚染土壌の脱セシウム化
3. 学会等名 第6回環境放射能除染研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田昌敏、山岸皓彦、田村堅志、山下浩、佐藤久子
2. 発表標題 土壌中の放射性セシウムの特性と酸抽出効果
3. 学会等名 第6回環境放射能除染研究発表会
4. 発表年 2017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	佐久間 博 (SAKUMA Hiroshi) (20400426)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主幹研究員 (82108)	
研究分担者	佐藤 久子 (SATO Hisako) (20500359)	愛媛大学・理工学研究科(理学系)・教授 (16301)	
研究分担者	小暮 敏博 (KOGURE Toshihiro) (50282728)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授 (12601)	
研究分担者	森本 和也 (MORIMOTO Kazuya) (10565683)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員 (82626)	

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