

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12383

研究課題名(和文)イオン交換サイトの拡張とナノサイズ結晶化による高機能吸着材の開発

研究課題名(英文)Development of high-performance adsorbent by expanding ion exchange sites and nano-sized crystallization

研究代表者

西岡 洋(NISHIOKA, HIROSHI)

兵庫県立大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30218119

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、水溶液中のセシウム(Cs)イオンやストロンチウム(Sr)イオンを効率よく除去するためのチタノシリケート(TS)系吸着材を開発することを目的としている。具体的にはETS-4のイオン交換特性に着目し、その結晶成長性を制御することによりイオン吸着性向上を目指した。Srを効率よく回収するためにはa軸方向に伸長したETS-4が適していた。また、SrとCsをバランスよく回収するためにはa軸とc軸がともに伸長したETS-4が適していた。なお、ドライゲルコンバージョン(DGC)法では、ETS-4合成の最適組成であってもETS-4は生成せず、他のチタノシリケートであるNatisiteが得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本提案の合成法は我々の独創的新規提案である。安価な原料と簡易な合成経路による吸着材は高速・高吸着能特性を保持し、かつ放射性同位体の崩壊熱によって膨潤や分解を生じる恐れがないため、高濃度放射能汚染水処理への応用展開が期待できることから、原発事故後の環境浄化に大いに貢献すると期待される。また、ドライゲルコンバージョン(DGC)法を用いた合成ではNatisiteを主成分とする吸着材が得られ、これは成形体であることから機械的強度も十分に大きいため、吸着塔への使用も期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a titanosilicate (TS) -based adsorbent for efficiently removing cesium (Cs) ions and strontium (Sr) ions in an aqueous solution. Specifically, we focused on the ion exchange characteristics of ETS-4 and aimed to improve the ion adsorption property by controlling its crystal growth. ETS-4 extending in the a-axis direction was suitable for efficient recovery of Sr. In addition, ETS-4 with both a-axis and c-axis extended was suitable for recovering Sr and Cs in a well-balanced manner. In the dry gel conversion (DGC) method, ETS-4 was not produced even with the optimum composition for ETS-4 synthesis, and another titanosilicate, Natisite, was obtained.

研究分野：環境浄化材料

キーワード：吸着材 無機イオン交換体 ストロンチウム セシウム

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

研究提案者は2011年の福島第一原子力発電所の事故以来、水中のセシウムイオンとストロンチウムイオンの除去を目的とした高速吸着材の開発に取り組んできた。その結果、アルミニウムの置換率を高めたトバモライトの合成に成功し、フジライト工業株式会社と共同特許登録に至った(特許第5671437号)。さらに、吸着材のハンドリング性を高めるべく磁性を付与した吸着材についても同社と共同特許登録に至っている(特許第6257969号)。具体的には、ケイ酸カルシウム系鉱物のトバモライトに着目し、ケイ素の一部をアルミニウムで置き換えた置換率を従来の12%から25%まで改善することに成功している。このアルミニウム置換型トバモライトの特徴は、セシウムイオンとのイオン交換にナトリウムイオンが寄与する点である。一方、純粋なトバモライトにもイオン交換機能はあるが、イオン交換に寄与するのはカルシウムイオンである点が異なっている。この違いを比較するために、純水または人工海水中でセシウムイオンを吸着したモルデナイト、トバモライト市販品およびアルミニウム置換型トバモライトについてSPRing-8のBL01B1にてEXAFS測定を行い、各吸着材におけるセシウムのK吸収端の動径構造関数(RSF)を比較した。その結果、アルミニウム置換型トバモライトではモルデナイト中のセシウムと同様の機構でセシウムが内圏錯体として捕捉されていることが強く示唆された。一方、トバモライト市販品では、純水系と人工海水系で異なるRSFが得られた。このことから、通常トバモライトは人工海水系ではセシウムの大部分を外圏錯体として捕捉していることが推察され、イオン交換能力の違いを裏付ける結果が得られた。この結果を踏まえ、トバモライトの結晶が*b*軸方向に優先的に成長すれば吸着サイト数の増加に繋がると考え、媒晶剤を用いて結晶を合成した。その結果、得られた結晶は、通常トバモライトの2倍以上の陽イオン交換容量(CEC)を示すことを見出した。以上のように、トバモライトのアルミニウム置換率を向上させ、さらに*b*軸方向に結晶成長させることで、イオン交換容量を高めることに成功した。しかしながら、ストロンチウムイオンの吸着率が低いことやトバモライト吸着材自体が酸に弱い点が課題として浮き上がってきた。この点を改善するために、チタノシリケートに着目した。チタノシリケートはゼオライトにおけるアルミニウムがチタンで置き換わったメタロシリケートの一種であり、ゼオライト同様に触媒作用などが注目されている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、イオン交換サイトを大幅に増大させることにより高吸着能を有する無機イオン交換体の開発である。無機イオン交換体として、チタノシリケートの一種であるETS-4に着目した。ETS-4の結晶系は直方晶であり、その結晶成長方向を制御することにより、トバモライトの場合と同様の効果が期待できる。具体的には、ETS-4を*a*軸方向に優先配向した結晶合成を実現できたならば、CECを著しく増大させることができる。CECはイオン交換サイト数の増加に比例して大幅に向上する。また、複数の放射性イオンを高速・高効率で同時吸着させるためには、それぞれのイオンに特化した優れた吸着物質の選択が必要不可欠となる。そうしたことから、本提案では、セシウムイオン吸着に適した結晶性ケイチタン酸塩(CST)、ストロンチウムイオン吸着に適すると考えられるETS-4及びそれらのナノサイズ結晶を分散した状態で保持する構造材としての多孔質シリカゲルを合成段階において同時に均一に保持するように設計を行い、原発事故後の汚染水を含む環境浄化に貢献することを目的としている。

### 3. 研究の方法

本研究開発では、1)ETS-4の結晶配向性とイオン交換容量の相関、2)DGC合成における最適条件の探索、3)結晶の構造制御のための媒晶剤や添加剤の検討、4)結晶生成の自由度を高めたセミドライゲルコンバージョン(SDGC)法の検討、5)チタノシリケートETS-4とCSTがナノサイズの結晶としてセシウムイオンとストロンチウムイオンの吸着に最適な組成で共存する吸着材の設計、6)各種吸着性評価の各項目からなる。初年度に各種ETS-4の合成と評価[1]とDGC合成条件の確立[2]及び媒晶剤や添加剤の検討[3]を行い、吸着性評価[6]の結果を[5]へ逐次フィードバックする。次年度は引き続き分配係数の高い吸着材の合成を目指して添加剤[3]やSDGC法[4]の検討を加える。添加剤の検討は結晶配向性と多孔質化をはかるものであり、SDGC法とは固相中の物質移動性を固体より高めるために必要最小限の溶媒を添加したゲルを用いて行う合成法である。また、実用面では安価に大量生産できる製造プロセスが肝要であることから、簡便な合成プロセスを考慮しながら、実用性の高い吸着材の創製と評価を実施する。

### 4. 研究成果

ETS-4の効率的な合成方法

ETS-4 の化学式は  $\text{Na}_9\text{Si}_{12}\text{Ti}_5\text{O}_{38}(\text{OH})\square 12\text{H}_2\text{O}$  で示される。合成する際の原料にはチタン源として二酸化チタンやチタンのアルコキシドを用いた例が多い。また、ケイ素源には二酸化ケイ素やオルトケイ酸テトラエチル(TEOS)が用いた例が多い。本研究では以下の2つの理由から、チタン源にはチタン酸ナトリウム( $\text{Na}_8\text{Ti}_5\text{O}_{14}$ )を使用した。ケイ素源にはメタケイ酸ナトリウム( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )または $\delta$ -ケイ酸ナトリウム( $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ )を使用した。なお $\delta$ -ケイ酸ナトリウムは株式会社トクヤマシルテックから購入した化成品のプリフィードを使用したため、以下プリフィード(Purified)と表記している。ETS-4 の化学式のうち、酸素と水素を除外したナトリウム、ケイ素、

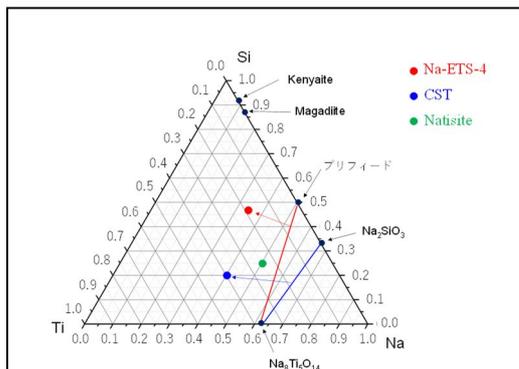


図1 原料および生成物の組成を酸素を除外して示した図

チタンを各頂点とする組成図を図1に示す。理由1として、二酸化ケイ素や二酸化チタンは安価な原料であるが、溶解に時間を要するため強アルカリ条件が必要である。そこで、溶解性の高いメタケイ酸ナトリウムやプリフィードを使用することとした。理由2として、チタン酸ナトリウムやケイ酸ナトリウム自体がナトリウムを有しているため、合成時のパラメータが少ないというメリットがある。チタン源としては  $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$  や  $\text{Na}_2\text{TiO}_3$  も検討したが  $\text{Na}_8\text{Ti}_5\text{O}_{14}$  を原料に用いるのが最適であることを見出した。そこで、チタンとナトリウムの組成を示す下の辺には  $\text{Na}_8\text{Ti}_5\text{O}_{14}$  のみ示している。一方、ケイ素源にはメタケイ酸ナトリウムやプリフィード以外にケニヤイト(Kenyaite)やマガディアイト(Magadiite)も検討した。それぞれのケイ素とナトリウムの組成より、右の辺上に各ケイ酸ナ

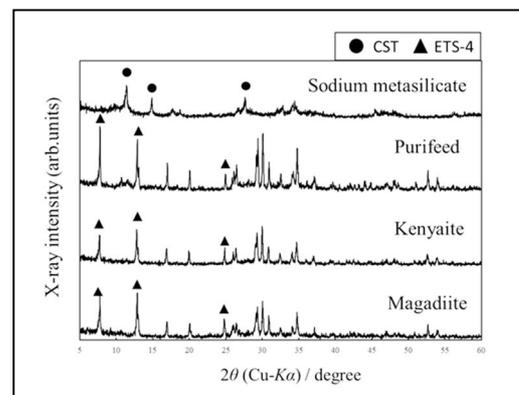


図2 ケイ素源を変えて合成した場合の生成物のXRDパターン

トリウムを示した。例えばチタン源として  $\text{Na}_8\text{Ti}_5\text{O}_{14}$  を、ケイ素源としてプリフィードを用いて、これらの原料組成比を変化させることは図の赤い線上の点から出発することになる。チタン源を同じ  $\text{Na}_8\text{Ti}_5\text{O}_{14}$  としても、ケイ素源を変えることにより、生成物の制御が可能であることを認めた。すなわち赤い線上からは組成比を変えても ETS-4 が生成し、青い線上から出発した場合には Si/Ti 比によって CST のみの生成や CST と Natisite が混在して生成することを認めた。一つの理由として、CST や Natisite はネソケイ酸塩であるためメタケイ酸ナトリウムのように  $\text{SiO}_4$  単量体を提供するケイ素源が適しており、一方、プリフィードのような二量体を提供するケイ酸塩は ETS-4 中のケイ酸リンクを構築するのに適していることが考えられる。図2にケイ素源を変えて合成した際の生成物の粉末X線回折(XRD)パターンを示す。ETS-4 および CST の代表的なピークのみを と で示しているが、他のピークもそれぞれの生成物に帰属するピークである。メタケイ酸ナトリウムを用いた場合には CST が生成し、他のケイ酸ナトリウムを用いた場合には ETS-4 が生成した。ETS-4 を合成する際のアルカリ性の強さについては CST 合成の場合よりもマイルドな条件が必要とされる。ここでは、水酸化ナトリウムのようなアルカリを別途添加しておらず、原料のみのアルカリ性によって合成を制御している。図1においてナトリウムとケイ素の組成を示す右の斜辺では、右下の位置ほどナトリウムが多いためアルカリ性が強く、逆に左上になると酸性酸化物であるケイ酸が多くなるためにアルカリ性は弱くなる。このようなアルカリ性の

#### ETS-4 結晶の優先配向性とイオン吸着性

そこで、ケイ素源はプリフィードに決定し、 $\text{Na}_8\text{Ti}_5\text{O}_{14}$  とプリフィードの比率を変えて 200 、48 時間の条件で ETS-4 を水熱合成した。Si/Ti 比を 1 と 2 で合成した場合の XRD パターンを図3に示す。図3に示すようにいずれの条件でも ETS-4 が生成したが、Si/Ti 比が1の場合には(200)のピーク強度と(001)のピーク強度が同等であるのに対し、Si/Ti 比が2の場合には(200)のピークが極めて増大し、*a* 軸方向への結晶成長が示唆された。この(200)のピークが高い ETS-4 を以後 ETS-4-a とした。一方(200)と(001)の強度が同等の ETS-4 を ETS-4-c とした。この両

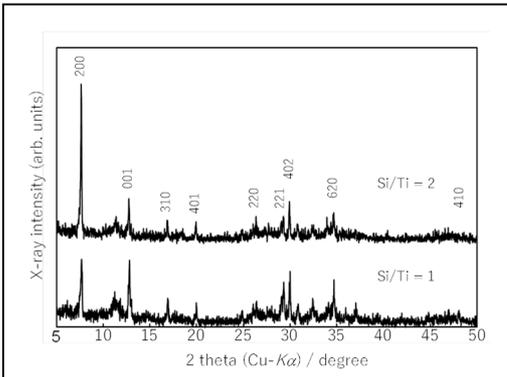


図3 Na<sub>8</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>14</sub>とプリフィードを原料として200、48時間の水熱合成で得られたETS-4のXRDパターン

る。また、分配係数  $K_d$  は以下の式に従って求めた。  
 分配係数(L/kg) =  $(C_0 - C_e)/C_e \times V/M$

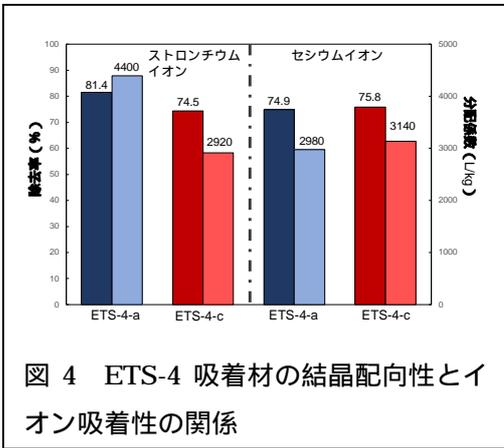


図4 ETS-4 吸着材の結晶配向性とイオン吸着性の関係

の吸着性の向上が見られた。この結果は結晶の優先配向性がイオン交換性に影響を及ぼしていることを示唆しており、申請時に予測した a 軸方向への結晶成長がイオン交換能を高めることに寄与していることを裏付けていると考えられる。

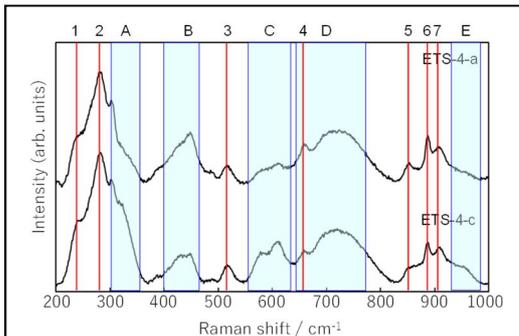


図5 ETS-4-a と ETS-4-c のラマンスペクトル

る。どちらも Ti-O 結合を示しているが特にピーク帯 B は同平面に正形状につながる Ti-O 結合を示しており、この結合はチタニア鎖をつなぐ TiO<sub>6</sub> ユニットにのみ存在している。そのためチタニア鎖 2 つとそれをつなぐ TiO<sub>6</sub> ユニット、そしてその間に存在する Na の割合が多いことを示している。またピーク 4 は結晶頂角に存在する Ti-O 結合を示しており、固体表面では Ti-OH 基となる。つまり表面水酸基を 2 つの ETS-4 のどちらも有しているが、ETS-4-a がより多くの水酸基を持つことが推測される。

#### ETS-4 結晶におけるイオン交換サイトの考察

者について純水系の試料溶液中で吸着実験を行った。セシウムイオン溶液には塩化セシウムを、ストロンチウムイオン溶液には、塩化ストロンチウムをそれぞれ純水で溶かして 200 mg/L 溶液を調製した。これらの溶液 10 mL に対して ETS-4 吸着材 0.01 g (粒子径 150 μm ~ 300 μm) を加え、25 に設定した恒温振盪機内で 24 時間振り混ぜた。その後、次にシリジフィルターで固液分離し、濾液中のセシウムイオンまたはストロンチウムイオンの残存濃度を原子吸光分析装置で測定した。なお、セシウムイオンの測定溶液はイオン化抑制剤として 10 %の硝酸カリウム溶液を添加して調製した。また、ストロンチウムイオンの測定溶液は 0.1 M の EDTA 溶液を添加して測定溶液を調製した。それぞれの検量線溶液も同様に調製した。各イオンの除去率(%)は以下の式に従って算出した。

$$\text{除去率}(\%) = (C_0 - C_e)/C_0 \times 100$$

ここで  $C_0$  は初期濃度、 $C_e$  は吸着平衡時の濃度である。

V は吸着実験に使用した溶液の体積(mL)であり、M は吸着材の質量(g)である。例えば、初期濃度が 200 mg/L で吸着平衡後の残存濃度が 40 mg/L であり、溶液の体積が 10 mL、吸着材の質量が 0.01 g の場合には分配係数は 4000 と算出される。以上の吸着実験と計算式に従って求めた除去率および分配係数を図 4 に示す。図 4 の左側はストロンチウムイオンに対する結果であり、右側はセシウムイオンに対する結果である。セシウムイオンの場合には ETS-4-a であっても ETS-4-c であっても除去率や分配係数に大きな差は見られなかった。しかし、ストロンチウムイオンの場合には、ETS-4-a と ETS-4-c で明らかな差が認められた。すなわち、ETS-4-a の場合においてストロンチウムイオンの

の吸着性の向上が見られた。この結果は結晶の優先配向性がイオン交換性に影響を及ぼしていることを示唆しており、申請時に予測した a 軸方向への結晶成長がイオン交換能を高めることに寄与していることを裏付けていると考えられる。ETS-4-a と ETS-4-c に関してはラマンスペクトルや赤外吸収スペクトルにおいても差異が認められた。特に差が顕著であったラマンスペクトルを図 5 に示す。ピーク帯 E は結晶に含まれない Si-O 結合や Si-O-Ti 結合を示し、ETS-4-c に顕著である。他に ETS-4-a に対し ETS-4-c がもつ顕著なピークとしてピーク帯 C が挙げられる。これはチタノシリケート環を構成している環構造の Si-O-Ti 結合を示しており、このことから ETS-4-c は ETS-4-a よりチタノシリケート環、さらにその環内の Na を含む割合が多いことを示していると考えられる。これに対して、ETS-4-a に顕著なピークにはピーク帯 B とピーク 4 が挙げられ

ETS-4 の単位格子には2種類の水素が存在する。図6にETS-4の単位格子をb軸方向から見た場合とc軸方向から見た場合を示す。図6の(1)において2つのTiO<sub>6</sub>八面体と4つのSiO<sub>4</sub>四面体から構成される6員環の中に位置している水素をNa1とする。ここでは2個のNa1が見えているが、奥にもあるので、単位格子中にNa1は4個存在する。これはb軸方向からアプローチしやすいため、結晶がa軸方向に成長してもc軸方向に成長しても、イオン交換性は変わらないと考えられる。セシウムイオンではETS-4-aでもETS-4-cでも吸着性に変化がなかったことやラマン分析の結果から考えても、セシウムイオンはNa1とイオン交換しやすいと考えられる。これに対して、単位格子をc軸方向から見た図6の(2)では、6個のNa2が見えている。こちら奥の方に6個のNa2が存在しており、単位格子中に12個のNa2が存在する。イオン交換に寄与する水素は表面近傍であるため、Na2に関してはc軸方向に成長した格子よりもa軸方向に成長した格子の方がイオン交換に寄与できる表面近傍のNa2が多くなる。これはストロンチウムイオンの吸着においてETS-4-aの吸着性がETS-4-cの吸着性よりも高かったことと関連していると考えられる。すなわち、Na2の位置がストロンチウムイオンとイオン交換するサイトである可能性が高いと考えられる。極端なモデルとして、特定の軸方向に単位格子を2個3個・・・と連ねた場合の格子表面近傍のNa2の個数を見積もった結果を表1に示す。例えばab面では手前と奥に6個ずつ12個のNa2が存在し、これらがすべてイオン交換に寄与すると想定したモデルである。表1より、a軸方向に格子成長した場合の方がc軸方向へ成長した場合に比べて交換可能なNa2が増えていくことが明瞭である。実際にはいずれの方向にも結晶成長するためこれほど極端な差は生じないが、a軸優先配向のETS-4-aではストロンチウムイオンの交換に優位性が見られたことと関連していると考えられる。なお、Na1の場合には手前の面と奥の面で2個ずつ増えるため、a軸c軸いずれの方向へ1000個連ねたとしても、その個数はどちらも4000個である。なお、DV-X $\alpha$ 法を用いてETS-4の面平均有効電荷を求めた結果、ab面では-0.3274であり、ac面では-0.3325であり、bc面では-0.2578であった。いずれの負電荷を帯びているが、特に表面水酸基の量が多いac面の負電荷が強かった。そのため、陽イオンは結晶のすべての面から表面水酸基により誘導されるが特にac面に誘導されやすいと思われる。

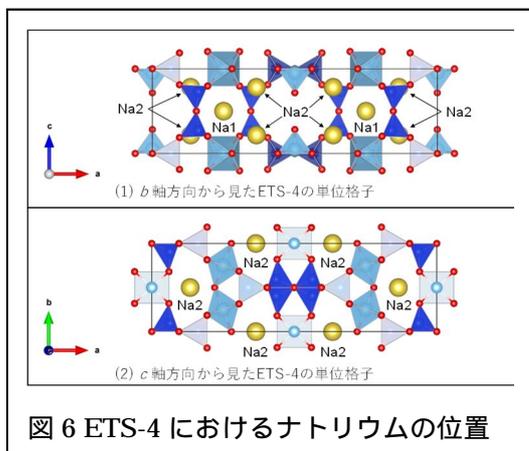


図6 ETS-4における水素の位置

図6の(1)において2つのTiO<sub>6</sub>八面体と4つのSiO<sub>4</sub>四面体から構成される6員環の中に位置している水素をNa1とする。ここでは2個のNa1が見えているが、奥にもあるので、単位格子中にNa1は4個存在する。これはb軸方向からアプローチしやすいため、結晶がa軸方向に成長してもc軸方向に成長しても、イオン交換性は変わらないと考えられる。セシウムイオンではETS-4-aでもETS-4-cでも吸着性に変化がなかったことやラマン分析の結果から考えても、セシウムイオンはNa1とイオン交換しやすいと考えられる。これに対して、単位格子をc軸方向から見た図6の(2)では、6個のNa2が見えている。こちら奥の方に6個のNa2が存在しており、単位格子中に12個のNa2が存在する。イオン交換に寄与する水素は表面近傍であるため、Na2に関してはc軸方向に成長した格子よりもa軸方向に成長した格子の方がイオン交換に寄与できる表面近傍のNa2が多くなる。これはストロンチウムイオンの吸着においてETS-4-aの吸着性がETS-4-cの吸着性よりも高かったことと関連していると考えられる。すなわち、Na2の位置がストロンチウムイオンとイオン交換するサイトである可能性が高いと考えられる。極端なモデルとして、特定の軸方向に単位格子を2個3個・・・と連ねた場合の格子表面近傍のNa2の個数を見積もった結果を表1に示す。例えばab面では手前と奥に6個ずつ12個のNa2が存在し、これらがすべてイオン交換に寄与すると想定したモデルである。表1より、a軸方向に格子成長した場合の方がc軸方向へ成長した場合に比べて交換可能なNa2が増えていくことが明瞭である。実際にはいずれの方向にも結晶成長するためこれほど極端な差は生じないが、a軸優先配向のETS-4-aではストロンチウムイオンの交換に優位性が見られたことと関連していると考えられる。なお、Na1の場合には手前の面と奥の面で2個ずつ増えるため、a軸c軸いずれの方向へ1000個連ねたとしても、その個数はどちらも4000個である。なお、DV-X $\alpha$ 法を用いてETS-4の面平均有効電荷を求めた結果、ab面では-0.3274であり、ac面では-0.3325であり、bc面では-0.2578であった。いずれの負電荷を帯びているが、特に表面水酸基の量が多いac面の負電荷が強かった。そのため、陽イオンは結晶のすべての面から表面水酸基により誘導されるが特にac面に誘導されやすいと思われる。

表1 特定の軸に単位格子を連ねた場合の各モデルにおける交換可能なNa2の個数

単位格子数	成長方向								
	a軸			b軸			c軸		
	ab面	bc面	ac面	ab面	bc面	ac面	ab面	bc面	ac面
1	12	4	8	12	4	8	12	4	8
2	24	4	16	20	8	8	12	8	16
3	36	4	24	28	12	8	12	12	24
10	120	4	80	84	40	8	12	40	80
100	1200	4	800	804	400	8	12	400	800
1000	12000	4	8000	8004	4000	8	12	4000	8000

### まとめ

本課題の成果をまとめると以下ようになる。なお、吸着等温線や吸着速度に関する実験も実施したが、結果のみを列挙する。

- ・ a軸方向の結晶成長度合いに差のあるETS-4の吸着について比較したところ、a軸方向に結晶成長しているETS-4はストロンチウムイオンを多く吸着し、セシウムイオンの吸着では差が見られなかった。したがって、ストロンチウムイオンの吸着性を高めるためにはa軸方向への結晶成長が効果的である。なお、水熱合成時間を長くした場合や媒晶剤としてカリウム塩を添加することもa軸方向への結晶成長に効果的である。

- ・ ETS-4へのストロンチウムイオンとセシウムイオンの吸着の反応速度は擬二次反応速度式に従うため吸着速度は溶液中の吸着質濃度や吸着材内部への拡散速度に依存し、吸着材表面への吸着と吸着材内部への拡散という二段階の吸着機構と考えられる。

- ・ ETS-4へのストロンチウムイオンとセシウムイオンの吸着等温線はFreundlich型吸着等温式に従うことから、表面での均一な吸着ではなく、不均一な吸着である可能性が高い。

なお、本課題に関連して得られた吸着材については企業との共同研究へと発展し、特許出願に至った。

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 1件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 西岡 洋, 井上 達央, 樽磨 直希, 姫路 佳孝, 五百住 優太, 福室 直樹	4. 巻 8
2. 論文標題 トバモライト系新規吸着材におけるセシウムイオンの局所構造	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SPring-8/SACLA 利用研究成果集 (SPring-8/SACLA Research Report	6. 最初と最後の頁 21,24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18957/rr.8.1.21	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 T. Migita, M. Kobune, R. Ito, T. Obayashi, T. Kikuchi, H. Fujisawa, K. Kanda, K. Maenaka, H. Nishioka, N. Fukumuro, and Shinji Yae	4. 巻 59
2. 論文標題 Fabrication and characterization of micropillar-type multiferroic composite thin films by metal organic chemical vapor deposition using a ferroelectric microplate structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Appl. Phys.	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) 10.7567/1347-4065/ab4a98	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. Nishioka and T. K. Sen	4. 巻 Ser. E
2. 論文標題 Solvothermal Synthesis and Characterization of Magnetic Bamboo Charcoal (BC) Nanocomposites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of The Institution of Engineers (India)	6. 最初と最後の頁 1,11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s40034-019-00142-4	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

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松岡雄大, 西岡洋
2. 発表標題 チタンダストを利用した無機イオン交換体の開発
3. 学会等名 第20回環境技術学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡雄大, 西岡洋
2. 発表標題 ストロンチウムイオンの除去を目的としたチタン酸ナトリウムの合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡雄大, 西岡洋
2. 発表標題 チタンダストを用いた無機イオン交換体の開発
3. 学会等名 第36 回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡雄大, 西岡洋
2. 発表標題 海中のストロンチウムイオンの除去を目指したチタン酸ナトリウムの合成
3. 学会等名 第36回ゼオライト研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡雄大, 西岡洋
2. 発表標題 乾式合成したチタン酸ナトリウムによるランタノイドイオンの除去性
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西岡 洋, 渡邊 涼介
2. 発表標題 チタン酸ナトリウムとケイ酸ナトリウムを原料とした吸着剤の合成およびCs, Srイオンに対する吸着特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西岡 洋, 島田 祐太郎
2. 発表標題 二酸化チタンを原料としたチタノシリケート吸着剤の合成およびCs, Srイオンに対する吸着特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊 涼介, 西岡 洋
2. 発表標題 種々の合成条件で合成したETS-4によるSr <sup>2+</sup> イオンの吸着特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡 雄大, 西岡 洋
2. 発表標題 海水中からのストロンチウムイオンの除去を目的としたチタン酸ナトリウムの合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊 涼介, 西岡 洋
2. 発表標題 種々の合成条件で合成したチタノシリケートによるSrイオンの吸着特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会関西支部第14回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伍々仁志, 西岡洋
2. 発表標題 チタン酸ナトリウム吸着剤を用いたSrの除去
3. 学会等名 日本セラミックス協会関西支部第14回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島田祐太郎, 西岡洋
2. 発表標題 TiO <sub>2</sub> を用いたチタノシリケートの合成とCs, Srの吸着
3. 学会等名 日本セラミックス協会関西支部第14回学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 マイナーアクチノイドの分離方法及び無機吸着剤の製造方法	発明者 西岡洋, 塚本泰介, 小川尚樹, 垣谷健太, 柿木浩一, 島田隆	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-143601	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ランタノイド又はノ及びマイナーアクチノイドを吸着した無機吸着剤の処理方法	発明者 西岡洋, 塚本泰介, 島田 隆, 柿木浩 一, 小川尚樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-144089	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究協力者	小舟 正文  (KOBUNE MASAFUMI)		
研究協力者	菊池 丈幸  (KIKUCHI TAKEYUKI)		
研究協力者	島田 祐太郎  (SHIMADA YUTARO)		
研究協力者	伍々 仁志  (GOGO HITOSHI)		
研究協力者	渡邊 涼介  (WATANABE RYOSUKE)		
研究協力者	松岡 雄大  (MATSUOKA YUUDA1)		
研究協力者	来光 理沙  (RAIKOU RISA)		

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
研究協力者	春川 陵  (HARUKAWA RYOU)		
研究協力者	福本 健太  (FUKUMOTO KENTA)		

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