

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00583

研究課題名(和文) 三元素系複合含水酸化物を用いた地下水からの有害陰イオンの除去

研究課題名(英文) Removal of harmful anion in groundwater using ternary mixed hydrous oxides

研究代表者

桑原 智之 (Kuwabara, Tomoyuki)

島根大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：10397854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：三元系試料の組成比を変更するという単純な操作により、砒素吸着能力を向上することができた。吸着量(分配係数)は既存の試料と比較してヒ酸は2倍以上、亜ヒ酸は3倍以上向上した。ヒ酸と亜ヒ酸が共存した場合、SFMは亜ヒ酸を優先的に吸着したが、ヒ酸の吸着量は大幅には下がらなかった。亜ヒ酸は吸着サイトを1つ用いる単核単座錯体または単核二座錯体、ヒ酸とリン酸は吸着サイトを2つ用いる二核二座錯体を形成すると推察されたが、既報で示されているゲータイトの吸着機構とは異なった。SAMにおいて、フッ化物イオンは層間と非晶質Mg相が吸着サイトとして機能し、ホウ酸は表面が主な吸着サイトとして機能していると考えられた。

研究成果の概要(英文)：Arsenic adsorption capacity of the ternary mixed hydrous oxide could be improved by the simple operation of changing the composition ratio in sample containing iron. The adsorption amount of arsenite or arsenate, which indicated by distribution coefficient, was more than twice or three times respectively as high as in comparison with previous samples. When arsenate and arsenite coexisted in water, SFM preferentially adsorbed arsenite, but the adsorbed amount of arsenate did not decrease greatly. It was considered that arsenite was mononuclear monodentate complex or mononuclear bidentate complex using one adsorption site, and arsenate was adsorbed by binuclear bidentate complex using two adsorption sites. However, it differs from the adsorption mechanism of goethite shown in the previous report. It is thought that the interlayer and the amorphous Mg phase of SAM function as adsorption sites for fluoride ions, and the surface of SAM functions as a main adsorption site for boric acid.

研究分野：水環境保全学

キーワード：複合含水酸化物 砒素 ふっ素 ほう素 地下水 吸着

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 自然由来の有害イオン汚染の現状と対策・問題点

ふっ素・ほう素・砒素は、環境省が実施する地下水の汚染実態調査(新規汚染の調査)により環境基準を超過する事例が毎年続いている。これら汚染実態の共通の特徴は、汚染源が人為ではなく自然に由来すること、その濃度が低いことが挙げられる。そのため、技術的には対応できてもコストに見合う処理技術が無く、対策が遅れているのが現状である。

例えば、地下水を使用する温泉排水に関しては、導入可能なふっ素・ほう素の除去技術が未だ無く、2013年度に暫定排水基準の撤廃が見送られたのは記憶に新しい。また、トンネル工事など局所的に発生する建設土に関しても国内では砒素を含有する場合が多く、発生土の埋め立てや有効利用する際には安価で安全性の高い砒素封じ込め材(吸着剤)が必要となっている。

現状では、希少金属であるジルコニウムやセリウムを原料とする吸着剤の性能が非常に高いことが知られており、実用化されている。しかし、これらの吸着剤は優れた吸着性能を有するが故に、種々のイオンを含む水の処理(多成分含有処理系)では共存イオンを同時に吸着してしまうため、目的とする有害イオンの吸着量が著しく低下することが大きな問題となっている。吸着剤は改質という手段により目的物質への吸着能力を維持させたまま共存イオンに対する選択性を低下させ、吸着性能を改善することが可能であるが、単一元素を使用した吸着剤は構造が単純であるため改質が難しいという問題がある。したがって、共存イオンの影響を受けない実用性の高い吸着剤を得るための方向としては、複数の元素を使用し、合成条件も変える組成変換技術(元素種、組成比、結晶性をコントロール)により改質の幅を広げることが最も達成への可能性が高いことになる。

### (2) 三元素系複合含水酸化物を用いた有害イオン除去に関する研究の現状

申請者は、新規有害イオン吸着剤の開発を目的に多価金属の含水酸化物を複合化した三元素系複合含水酸化物(以下、三元系試料)の研究を行ってきた。三元系試料は Si, Al, Fe, Mg など安価な金属元素で構成され、環境親和性も高い材料である。また、金属元素種の変更や組成比を変えること、合成条件を変えることにより容易に吸着能力・特性の改質が可能である。

これまでの研究成果から、三元系試料は組成によりフッ化物イオンやヒ酸・亜ヒ酸に対して高い選択性と吸着容量を有すること、さらに炭酸イオンをほとんど吸着しないことを明らかにしている。炭酸イオンは環境水に普遍的に存在しており、陰イオン吸着の際には阻害物質となるが、三元系試料は炭酸イオ

ン以外にも共存イオンを含む温泉水からもフッ化物イオンやホウ酸イオンを除去でき、さらに吸着能力の再生もできることを確認している。このような特性を活かせば、三元系試料を有害イオン吸着剤として実用化できる可能性は高いが、現時点での課題も存在する。

#### 【課題】

- i. 砒素とほう素の吸着量とイオン選択性の向上に余地があること。
- ii. ヒ酸・亜ヒ酸の混在条件における吸着特性の評価が不十分であること。
- iii. イオン吸着機構が十分に解明されていないこと。

## 2. 研究の目的

本研究では、三元素系複合含水酸化物を用いた新規の有害イオン吸着剤の開発を目的に、「吸着容量の向上」と「イオンの吸着機構」を明らかにすることを目指し、下記の項目について検討した。

#### 【検討項目】

##### (1) 吸着量増大の検討

砒素(ヒ酸・亜ヒ酸)に対しては、構成金属元素組成比(Si:Fe:Mg=0.1:0.8:0.1)を基準に組成比をわずかに変えた試料を種々合成し、ほう素(ホウ酸)に対しては(Si:Al:Mg=0.1:0.1:0.8)を基準に合成方法を変更した試料を種々合成し、吸着等温線とイオン選択係数から低濃度域で最も効率よく各陰イオンを吸着する合成方法と組成比を明らかにする。

##### (2) ヒ酸・亜ヒ酸混在の吸着能力の検討

ヒ酸・亜ヒ酸混合液による吸着試験により得られる試料液のヒ酸・亜ヒ酸をスペシエーション分析し、ヒ酸・亜ヒ酸の同時処理能力を明らかにする。

##### (3) 吸着機構の検討

三元系試料の構造はハイドロタルサイト様構造(層状構造)とメソポーラス構造(多孔質構造)の混成であることから、層間へのイオン交換と細孔への吸着を考慮して、三元系試料のイオン吸着機構を明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 試料作成方法

三元系試料は、アルカリ性水溶液と金属元素を溶解させた混合酸性水溶液を同時滴下し、共沈により生成するスラリーを洗浄・乾燥して得た。

砒素吸着用三元系試料として、Si-Fe-Mg系試料を選択し、金属元素のmol比が(Si:Fe:Mg)=(0.00:1.00:0.00), (0.10:0.80:0.10), (0.05:0.90:0.05), (0.10:0.90:0.00), (0.20:0.80:0.00), (0.00:0.90:0.10), (0.00:0.80:0.20)となるように合成した。以降、それぞれの試料はSFM010, SFM181, SFM05905, SFM190, SFM280, SFM091, SFM082と記す。

ふっ素とほう素吸着用の三元系試料としてSi-Al-Mg系試料を選択し、金属元素のモル

比が(Si:Al:Mg)=(0.1:0.1:0.8), (0.15 : 0.15 : 0.70), (0.10 : 0.20 : 0.70), (0.1 : 0.30 : 0.60)となるように合成した。以降、それぞれの試料は SAM118, SAM1.5, SAM127, SAM136 と記す。

合成試料の構造特性の変化を XRD の回折パターンおよび熱重量-示差熱 (TG-DTA) 曲線の比較により確認した。また、各 SFM のゼロ電荷点は、電位差滴定法によって測定した。

#### (2) 吸着特性の検討

吸着試験はバッチ法により行った。SFM に対してはヒ酸、亜ヒ酸、リン酸を対象とし、SAM に対してはフッ化物、ホウ酸を対象とした。各吸着質の測定には、ICP 発光分光分析法、イオンクロマトグラフィー法、モリブデン青吸光度法を用いた。なお、ヒ酸と亜ヒ酸のスペシエーション分析は、全量ヒ素濃度を水素化物発生 ICP 発光分光分析法により測定し、ヒ酸濃度をイオンクロマトグラフ法で測定した後、全量ヒ素濃度からヒ酸濃度を差し引くことで亜ヒ酸の濃度を求めた。

### 4. 研究成果

#### (1) 合成した SFM の構造特性

図 1 に TEM 画像を示す。SFM010 において棒状粒子 (Goethite の結晶) が観察された。SFM181 では数 nm 程度の微小粒子の凝集体と一部棒状粒子が観察された。その他の SFM については数 nm 程度の微小粒子の凝集体が観察された。

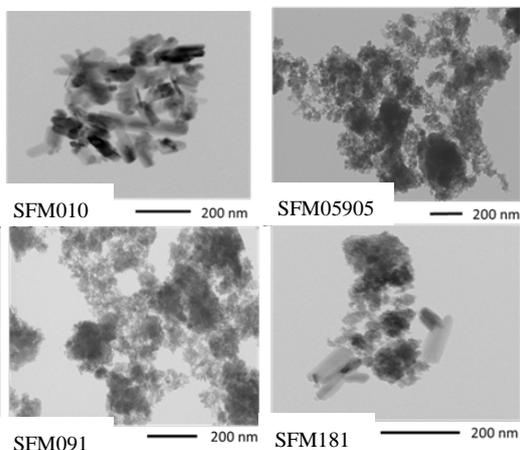
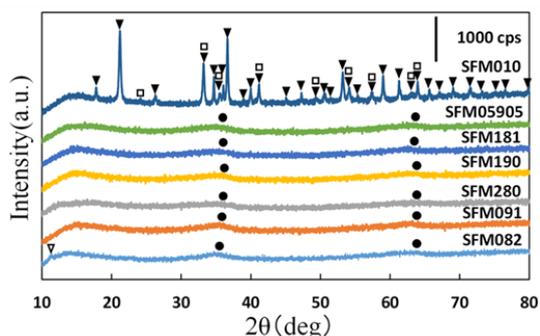


図 1 各 SFM の TEM 画像

図 2 に各 SFM の X 線回折図を示す。SFM010 では Goethite ( $\alpha$ -FeOOH) と Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) のピークが確認された。SFM082 では Ferrihydrate ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) と Hydrotalcite 様化合物の弱いピークが確認された。その他の SFM については Ferrihydrate ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) の弱いピークが確認された。

TEM および XRD の結果から、SFM010 は結晶性の高い物質であるが、二元素・三元素の SEM はほとんど非晶質であることが示された。したがって、Si や Mg の存在が Goethite への結晶成長を抑制していると考えられる。



▼ Goethite ( $\alpha$ -FeOOH), ● Ferrihydrate ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), □ Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ▽ Hydrotalcite like compound (HT)

図 2 各 SFM の粉末 X 線回折図

#### (2) 各 SFM の密度および比表面積

表 1 に各 SFM の密度および比表面積を示す。密度は Fe 比の高さに依存することから、Si および Mg 比が増加するに伴い減少する傾向が見られた。SFM010 の単位体積あたりの比表面積は  $394 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$ 、非晶質の SFM は  $628 \sim 908 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$  であり、結晶構造を有することによって単位体積あたりの比表面積が減少すること、Si および Mg の存在により比表面積が増加することが明らかとなった。

表 1 各 SFM の密度および比表面積

	Density / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Specific surface area / $\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$
SFM010	4.09	393
SFM05905	3.31	883
SFM181	2.96	876
SFM190	3.48	906
SFM280	3.22	872
SFM091	3.31	792
SFM082	2.76	627

#### (3) SFM の砒素吸着特性

##### ① 亜ヒ酸吸着能力の検討

各 SFM の亜ヒ酸吸着量の経時変化を図 3 に示す。亜ヒ酸の吸着平衡到達時間は、SFM091 > SFM05905 = SFM082 > SFM181 = SFM190 > SFM010 > SFM280 の順に速く、この傾向に組成比との相関は見られなかった。

表 2 に各 SFM のゼロ電荷点(PZC)を示す。PZC とは、溶液中の金属酸化物粒子の表面電荷がゼロになる pH のことであり、PZC より

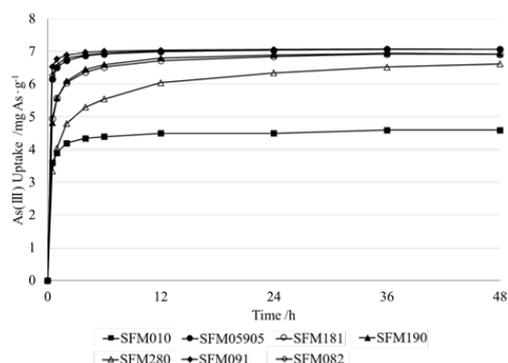


図 3 各 SFM の亜ヒ酸吸着量の経時変化 (初期濃度  $1.5 \text{ mg As} \cdot \text{L}^{-1}$ )

も溶液の pH が低い場合には試料表面は正に帯電し、高い場合には負に帯電する。溶液の pH と PZC から、0 時間～吸着平衡時において SFM の表面は正に帯電していると判断できる。このとき、電気的に中性な  $H_3AsO_3$  は内圏錯体を、負電荷を有する  $H_2AsO_3^-$  は外圏および内圏錯体の形成によって吸着されると考えられる。したがって、 $H_2AsO_3^-$  には正に帯電した SFM 表面との静電引力が働くと考えられる。各 SFM の主要成分相は含水酸化鉄であることから、吸着サイトを表面の Fe に配位した水酸基であると仮定すると、SFM010, SFM05905, SFM190, SFM280, SFM091 は  $H_3AsO_3$  と内圏錯体を形成し、SFM181 と SFM082 は  $H_3AsO_3$  とは内圏錯体を、 $H_2AsO_3^-$  とは内圏および外圏錯体を形成し吸着したと推察される。

表2 各 SFM のゼロ電荷点(PZC)

	pH <sub>PZC</sub>
SFM010	7.5
SFM05905	7.8
SFM181	8.5
SFM190	8.7
SFM280	8.4
SFM091	9.2
SFM082	9.4

## ② ヒ酸吸着能力の検討

亜ヒ酸と同様に初期濃度  $1.5 \text{ mg As} \cdot \text{L}^{-1}$  で各 SFM のヒ酸吸着量の経時変化を測定した。酸の吸着平衡は  $\text{SFM091} > \text{SFM05905} = \text{SFM082} > \text{SFM190} > \text{SFM181} > \text{SFM010} > \text{SFM280}$  の順に速く、この傾向に組成比との相関は見られなかった。

## ③ 陰イオン吸着選択性の検討

表3 に各 SFM の陰イオンに対する分配係数 ( $K_d$ ) を示す。全ての SFM において、亜ヒ酸およびヒ酸イオンに対する選択性は高かった。その他の、リン酸イオンが高い選択性を示したことから、ヒ素の吸着阻害になると考えられる。

表3 各 SFM の陰イオンに対する分配係数 ( $K_d/100$ )

$K_d/100$	SFM010	SFM05905	SFM181	SFM091	SFM082
$AsO_3^{3-}$	132	3757	1142	3747	2572
$AsO_4^{3-}$	107	678	286	702	765
$PO_4^{3-}$	94	693	314	2538	1971
$SO_4^{2-}$	18	3	3	3	6
$F^-$	43	4	13	12	8
$NO_3^-$	1	2	5	6	4
$CO_3^{2-}$	29	<1	<1	<1	<1

## ④ 亜ヒ酸とヒ酸に対する吸着等温線

図4 に亜ヒ酸に対する SFM05905 と SFM091 の吸着等温線を示す。どちらの試料も平衡濃度の増加に伴う平衡吸着量の増加

を示しており、亜ヒ酸吸着の濃度依存性が確認された。また、どちらも  $20 \sim 60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  の平衡濃度範囲で一度飽和に達するが、さらに高濃度になると平衡吸着量は再度上昇した。単分子層吸着により飽和に達した表面上で起こる多分子層吸着として、表面沈殿の生成が知られている。すなわち、この2度目の上昇は亜ヒ酸の多分子層吸着による表面沈殿の生成を示唆している。したがって、各 SFM の亜ヒ酸吸着は平衡濃度  $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  以下では内圏錯体の形成による単分子層吸着であり、それより高濃度では表面沈殿の生成による多分子層吸着であると考えられる。

図5 にヒ酸に対する吸着等温線を示す。ヒ酸においても平衡濃度の増加に伴い平衡吸着量も増加したことから、ヒ酸吸着の濃度依存性が確認された。また、SFM05905 では平衡濃度が  $10 \sim 60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、SFM091 では  $10 \sim 40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  の範囲において一度飽和に達するが、より高い平衡濃度で再び上昇が見られた。そのため、SFM05905 では平衡濃度が  $10 \sim 60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、SFM091 では  $10 \sim 40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  の範囲で内圏錯体の形成による単分子層吸着、それ以上の平衡濃度では表面沈殿の生成による多分子層吸着が起こると推測される。

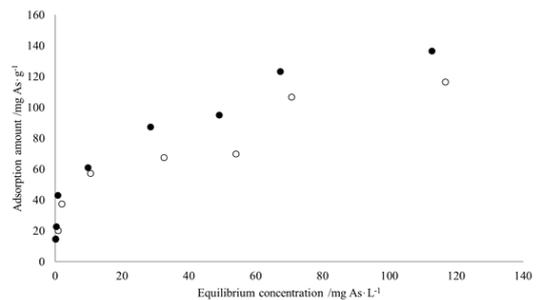


図4 亜ヒ酸に対する SFM05905(○) and SFM091(●) の吸着等温線

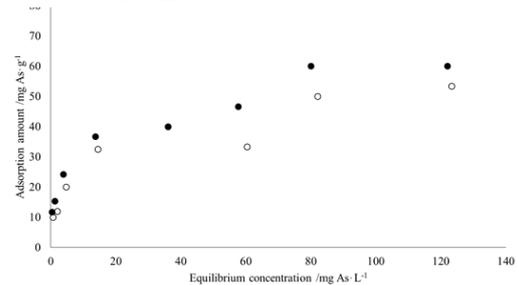


図5 ヒ酸に対する SFM05905(○) and SFM091(●) の吸着等温線

## ⑤ リン酸のヒ酸・亜ヒ酸吸着への影響

図6 にヒ酸単独、図7 に亜ヒ酸単独、図8 にリン酸単独の吸着等温線を示し、それぞれの図にヒ酸・亜ヒ酸混在系 ([a]), ヒ酸・リン酸混在系 ([b]), 亜ヒ酸・リン酸混在系 ([c]) における吸着量のプロットを示す。混在系における全てのプロットは吸着等温線の下に存在しており、混在系では単独系に比べて吸着量が低下したことから、ヒ酸・亜ヒ酸・リン酸は吸着サイトを競合している可能性が示された。

各図中に記載した、混在系の吸着減少量を比較すると、亜ヒ酸・リン酸混在系における亜ヒ酸吸着量の減少量が最も大きく、リン酸はヒ酸よりも亜ヒ酸の吸着阻害因子になりやすいと考えられる。

吸着等温線の結果から、単分子層吸着段階において SFM 1 g 当たりの亜ヒ酸吸着量はヒ酸・リン酸の約 2 倍であった。したがって、ヒ酸とリン酸吸着には亜ヒ酸の 2 倍の吸着サイトが使用されていると仮定すると、ヒ酸/亜ヒ酸/リン酸混在系における、SFM 1 g 当たりの吸着に用いたサイト数は以下のように示される。

- [a] ヒ酸・亜ヒ酸混在系：  
 $(0.30 \times 2) + 0.67 = 1.27 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$   
 [b] ヒ酸・リン酸混在系：  
 $(0.32 \times 2) + (0.32 \times 2) = 1.28 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$   
 [c] 亜ヒ酸・リン酸混在系：  
 $0.54 + (0.37 \times 2) = 1.28 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$

[a], [b], [c] の値はほぼ等しいことから、亜ヒ酸、ヒ酸、リン酸は吸着サイトを共有し合い、亜ヒ酸は吸着サイトを 1 つ用いる単核単座錯体または単核二座錯体、ヒ酸とリン酸は吸着サイトを 2 つ用いる二核二座錯体を形成すると推察された。

ゲータイトのヒ素吸着に関して、Sun ら<sup>1)</sup>はヒ酸・亜ヒ酸が水素結合または二核錯体の形成により吸着すること、Manning ら<sup>2)</sup>は亜ヒ酸が二座配位二核錯体の形成により吸着すること、またゲータイトのリン酸吸着に関して、Parfitt ら<sup>3)</sup>はリン酸が表面水酸基に架橋二核錯体として強く吸着することを報告している。SFM091 の主要成分相は非晶質含水酸化鉄であることから、SFM091 もゲータイトと同様な吸着機構である可能性が高い。しかし、亜ヒ酸は吸着サイトを 1 つ用いる単核単座錯体または単核二座錯体という本研究結果は、既報のゲータイト上での亜ヒ素吸着の考察とは異なる。この理由として、SFM091 とゲータイトの結晶性の違い、PZC の差、ゲータイトに含まれていない Mg の存在が吸着に関与している等様々なこと考えられるが、現段階では不明である。したがって今後は、溶液化学的なアプローチだけでなく、赤外吸収分光法やラマン分光法等を用い、原子の結合状態を確認することで吸着機構を解明していく必要があると言える。

#### (4) 合成した SAM の構造特性

各 SAM の XRD パターンを Mg-Al 型ハイドロタルサイト (HT) と比較した結果、いずれの SAM も層状複水酸化物が主要な構成成分相であることが示された。

#### (5) 各 SAM のフッ素・ほう素吸着特性

- ① 各 SAM のフッ化物イオン吸着における初期濃度の影響  
 各初期濃度における各 SAM のフッ化物イ

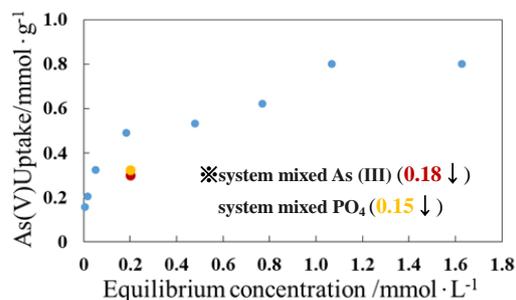


図 6 SFM091 におけるヒ酸の吸着等温線 (単独) に [a]As(III)・As(V)混在系での As(V) 吸着量 (●) と [b]As(V)・PO<sub>4</sub> 混在系における As(V)吸着量 (●) をプロット  
 ※図中の数字は単独系から低下した吸着量

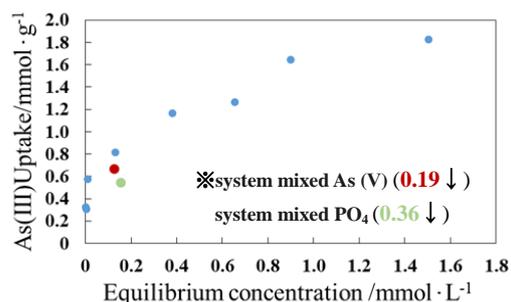


図 7 SFM091 における亜ヒ酸の吸着等温線 (単独) に [a]As(III)・As(V)混在系での As(III) 吸着量 (●) と [c]As(III)・PO<sub>4</sub> 混在系における As(III)吸着量 (●) をプロット  
 ※図中の数字は単独系から低下した吸着量

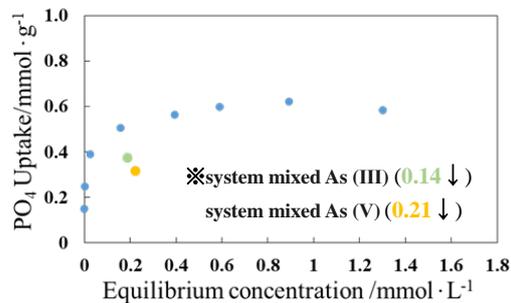


図 8 SFM091 におけるリン酸の吸着等温線 (単独) に [b]As(V)・PO<sub>4</sub> 混在系における PO<sub>4</sub> 吸着量 (●) と [c]As(III)・PO<sub>4</sub> 混在系での PO<sub>4</sub> 吸着量 (●) をプロット  
 ※図中の数字は単独系から低下した吸着量

オン吸着量を図 9 に示す。全体の傾向としては、初期濃度の上昇とともに吸着量は増加したが、9 mmol·L<sup>-1</sup> から 13 mmol·L<sup>-1</sup> に上昇しても吸着量の増加は少なく、SAM127 と SAM136 では吸着量が減少した。フッ化物イオン吸着前後で XRD 回折パターンに変化はなく、高濃度フッ化物イオンの吸着における吸着量の減少は結晶構造の変化とは関連がなかった。

#### ② 各 SAM のホウ酸吸着における初期濃度の影響

各初期濃度における各 SAM のホウ酸吸着量を図 10 に示す。初期濃度 5 mmol·L<sup>-1</sup> まで

はSAM118の吸着量が高かったが、濃度の上昇とともに各SAMで吸着量の差は小さくなった。また、 $23\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ では極端に吸着量が高くなった。各SAMにおいて、ホウ酸吸着前後のXRD回折パターンより新たな結晶相は確認できず、また積層構造は維持されていることが示された。

Mg-Al型HTでは $250\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ホウ酸水溶液によるホウ酸吸着試験後に基底面(003)および(006)が低角度側にシフトしており、層間幅が広がったことが報告されている<sup>4)</sup>。しかし、SAMにおいては $23\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (約 $249\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )のホウ酸溶液でも吸着前後のXRDの回折パターンに変化はなく、層構造は維持されていた。したがって、SAMの層構造はMg-Al型HTの層構造に比べて柔軟性が低く、層間サイズよりも大きなイオンや分子は層間に保持されない可能性が高い。すなわち、フッ化物イオンであれば層間が吸着サイトとして機能するが、ホウ酸に対しては層間以外、例えば表面や非晶質相が吸着サイトとして機能すると考えられる。

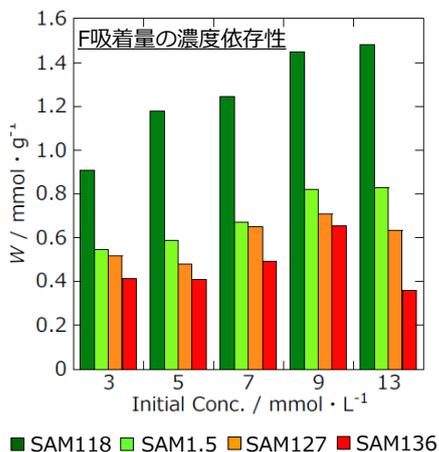


図9 各初期濃度における各SAMのフッ化物イオン

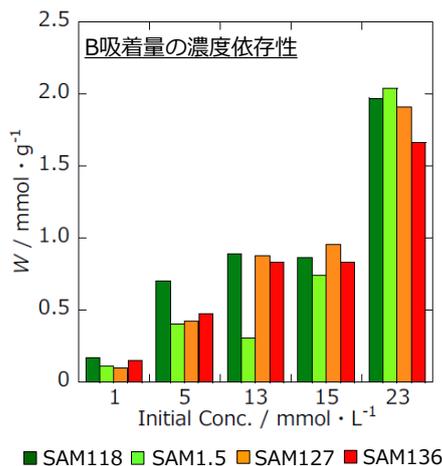


図10 各初期濃度における各SAMのホウ酸吸着量

#### <引用文献>

- 1) X.Sun, H. E. Doner, An investigation of arsenate and arsenite bonding structures on goethite by FTIR, *Soil Sci*, 161, 1996, 865-872.
- 2) Bruce A. Manning, Mathew L. Hunt, Christopher Amrhein, Jory A. Yarmoff, Arsenic (III) and

Arsenic (V) reactions with zerovalent iron corrosion products, *Environmental Science and Technology*, 36, 2002, 5455-5461.

- 3) Parfitt. R.L, Anion adsorption by soils and soil materials, *advance in Agronomy*, 30, 1978, 1-50.
- 4) A. N. Ay et al., Boron removal by hydroxalite-like, carbonate-free Mg-Al-NO<sub>3</sub>-LDH and a rationale on the mechanism, *Microporous and Mesoporous Materials*, 98, 2007, 1-5.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① 桑原智之, 松村麻由, 前野真一, 佐藤利夫, 組成比の異なるSi-Fe-Mg系複合含水酸化物の地下水ヒ素の吸着特性, *Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan*, Vol.23, 2016, 15-24.
- ② 桑原智之, 福井 惇, 前野真一, 佐藤利夫, Si-Al-Mg系複合含水酸化物のフッ化物イオン吸着能力再生特性, *Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan*, Vol.22, 2015, 261-267.

[学会発表] (計8件)

- ① 安田拓馬・桑原智之・前野真一・佐藤利夫, Si-Fe-Mg系複合含水酸化物のヒ酸・亜ヒ酸・リン混在系でのヒ素吸着特性, 第61回粘土科学討論会, 2017年9月.
- ② 前野真一・桑原智之・佐藤利夫, Si-Al-Mg系複合含水酸化物のフッ素・ホウ素吸着能に対する濃度・pH依存性の検討, 第51回日本水環境学会年会, 2017年3月.
- ③ 松村麻由・桑原智之・前野真一・佐藤利夫, 鉄含有率の高いSi-Fe-Mg系複合含水酸化物のヒ素吸着能力の評価, 第50回日本水環境学会年会, 2016年3月.
- ④ 桑原智之・松村麻由・前野真一・佐藤利夫, 組成比の異なるSi-Fe-Mg系複合含水酸化物のヒ素吸着特性の比較, 無機マテリアル学会 第131回学術講演会, 2015年11月. 他4件

[その他]

ホームページ等

新規無機吸着材料の開発と有害イオンの制御

[http://www.shimane-u.ac.jp/announce/files/PDF\\_seisi/seisi76.pdf](http://www.shimane-u.ac.jp/announce/files/PDF_seisi/seisi76.pdf)

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

桑原 智之 (KUWABARA, Tomoyuki)

島根大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：10397854

##### (2)研究分担者

佐藤 利夫 (SATO, Toshio)

島根大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：40170766