

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：15201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760720

研究課題名(和文) 3元素系複合含水酸化物を用いた温泉排水の超高度フッ素除去・回収システムの構築

研究課題名(英文) Establishment of the super advance treatment and recovery system of fluorine in the hot spring drainage 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) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：温泉旅館から排出されるフッ素を除去できる技術を確立するため、フッ素吸着材(Si-Al-Mg系複合含水酸化物)の吸着能力の向上と吸着能力再生条件の検討、実際の温泉水を用いたときのフッ素吸着能力を評価した。課題であったフッ素吸着容量を向上させると同時に、硝酸汚染を回避する合成方法を確立し、さらに吸着材を再利用するための最適な再生液の種類・濃度を明らかにした。適切な吸着材の造粒化方法を確立すれば、温泉旅館へ導入するためのフッ素除去技術を確立できることが示された。

研究成果の概要(英文)：The improvement of the fluoride adsorption capacity and regeneration condition of Si-Al-Mg mixed hydrous oxide was considered to establish the technique that can remove fluorine drained from a hot-spring hotel. A synthetic method of Si-Al-Mg mixed hydrous oxide was established to improve fluoride adsorption capacity, and nitric acid pollution was able to evade at the same time. Furthermore, a kind and the concentration of most suitable regeneration solution to reuse adsorbents were clarified. The fluoride removal technology that we can introduce into a hot-spring hotel will be established by Si-Al-Mg mixed hydrous oxide being granulated appropriately.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：化工物性・移動操作・単位操作

キーワード：吸着 複合含水酸化物 ふっ素 フッ化物イオン 温泉 無機合成

1. 研究開始当初の背景

(1) フッ素含有排水の規制強化と産業界、特に温泉旅館業界における問題点

平成 13 年、水質汚濁防止法によりフッ素およびその化合物の一律排水基準値が $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (海域以外への排出) に改正され、フッ素含有排水に対する規制が強化された。さらに、温泉旅館業など一律排水基準値の達成が困難な業種について定められていた暫定排水基準 (経営形態により異なるが、 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ または $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) も平成 25 年を目途に撤廃される見通しとなっている。しかし、温泉に含まれるフッ素は有効成分の一つでもあり、国内における大半の温泉に含まれている。そのため、暫定排水基準が撤廃された場合、すべての温泉旅館は温泉排水中のフッ素濃度を $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下にまで除去する義務が生ずる。すなわち、フッ素の一律排水基準値を満たすことの出来ない旅館は廃業または経営方針の転換を余儀なくされることとなる。

既存のフッ素処理技術として、工場排水処理では二段凝集沈殿処理法が確立されており、この方法により一律排水基準を達成することは可能である。しかし、①大量の汚泥発生とその処分費、②広大な処理スペースの確保、③専門的知識の必要性 (外部委託費の増加)、④処理施設導入に伴うイニシャルコストの負担など旅館業に適した処理方法ではない。したがって、すべての業種が一律排水基準を満たすためには、個人経営レベルの小規模な温泉旅館にも設置可能な廉価かつコンパクトで、安定した処理能力を発揮する高度フッ素除去技術を確立する必要がある。

(2) フッ素資源の現状と将来的な確保の重要性

フッ素は工業的に有用な材料であり、金属精錬工業やガラス加工、テフロン・メッキ加工、半導体製造工業などに使用されており、今後もその需要は拡大の傾向にある。このフッ素資源 (ホタル石 CaF_2) の産出国は限られており、そのうち上位 3 カ国で約 80% を産出している。すなわち、中国が 52%、メキシコが 17%、モンゴルが 8% を占めている。しかし、中国におけるホタル石の推定可掘年数は 8 年弱 (2007 年時点) とされていることから、既に中国政府によるフッ素資源の囲い込み政策が開始され、輸出量の制限や輸出価格の高騰を引き起こしている。日本はフッ素需要量の 100% を中国から輸入していることから、我が国が持続的に産業活動を継続し、今後も科学技術を発展させるためには、安定的なフッ素資源の確保が必須となる。

資源的観点から見ると、産業排水中に高濃度に存在するフッ素を回収し、再資源化することが重要になってくる。しかし、凝集沈殿法により除去された汚泥は不純物が多く、再資源化には適さない。したがって、フッ素のみを選択的に回収する技術を開発することができれば、将来におけるフッ素資源確保の

問題を解決することができる。

(3) 3 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、科研費若手 (B) の補助金 (課題番号 17710063 平成 17~19 年度) および鉄鋼業環境保全技術開発の助成 (平成 21~22 年度) により、Si-Al-Mg 系複合含水酸化物の金属元素組成比を変えた 10 種類の試料を共沈法にて合成し、各試料の種々の有害陽・陰イオンに対する吸着特性の評価を行った。その結果、Si : Al : Mg のモル比が 0.1 : 0.1 : 0.8 の試料がフッ化物イオンに対して特に高い選択性を有することが明らかになった。吸着剤の利点である処理時における汚泥やスラッジの発生がないこと、さらに pH や温度調整も不要であることから、高性能・コンパクトかつ維持管理も容易なフッ素除去装置の開発が可能である。以下に、 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ の模擬液に 0.1w/v% の割合で粉体の試料を添加したバッチ試験により得られた成果と問題点をまとめる。

【これまでの成果】

1. pH が中性域でフッ化物イオンに対する選択性が最も高いこと。
2. 添加 8 時間後に吸着平衡に達し、非常に速い吸着速度を有すること。
3. 吸着平衡濃度は $2.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ であり、一律排水基準を十分にクリアできること。

【問題点】

1. 吸着量は約 $7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ と少なかった。(なお、吸着等温線の結果より、最大吸着量は約 $30 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ であった。)
2. フッ化物イオン濃度の減少に伴い、硝酸イオン濃度が増加した。

2. 研究の目的

本研究は、Si-Al-Mg 系複合含水酸化物 (以下、SAM118) をフッ素吸着剤として実用化を目指し、現在暫定排水基準が適用されている個人経営レベルの小規模な温泉旅館にも設置可能な廉価でコンパクトでありながら、一律排水基準を達成することが可能な高度フッ素除去技術を開発し、同時に吸着剤の再生方法・工程の構築及び回収されるフッ化物イオンの再資源化システムを確立について検討した。

3. 研究の方法

(1) 検討項目

【2011 年度】

SAM118 の交換性陰イオンの変更とフッ化物イオン吸着量の増大を目的とした合成方法 (改良) の検討。

【2012 年度】

フッ化物イオン吸着能力再生のための最適再生液組成の検討。

【2013 年度】

SAM118 の造粒化と貫流容量の算出とフッ化物イオン資源化の検討。

(2) 方法

【2011年度】合成方法の改良

アルカリ性水溶液と金属元素を溶解させた酸性水溶液を同時滴下し、共沈により生成されるスラリーを洗浄・乾燥して SAM118 を得る。この工程において使用する酸を従来の「硝酸」から「塩酸」へと変更した（それぞれ硝酸型、塩酸型）。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。

フッ化物イオン吸着能力はバッチ法により検討し、吸着等温線を作成して評価した。また、他の陰イオンに対する選択性（分配係数）の検討もバッチ法で行った。F、B、As(III)、As(V)、PO₄、CO₃、Se(IV)、Se(VI)、SO₄、NO₂、NO₃、NH₄、K、Ca を対象に、初期濃度 5 mmol・L⁻¹ (pH7) 試料添加率 1 w/v% で吸着試験を行った。

各イオンの測定には ICP 発光分光分析法、イオンクロマトグラフィー法、燃焼酸化・赤外線分析法、アスコルビン酸還元・モリブデン青吸光度法、インドフェノール青吸光度法を用いた。

【2012年度】再生液組成の検討。

イオン種と濃度が異なる種々の再生液を作成し、フッ化物イオンの吸着・再生操作を繰り返し行い、再生率・再生回数と再生液の種類や濃度との関連性を評価した。再生試験は、始めに 100 mg F・L⁻¹ (pH7) のフッ化ナトリウム水溶液に試料添加率 1 w/v% で SAM118 にフッ化物イオンを吸着させた (F 吸着試料) 後、下記①～③の再生実験を行った。

- ①単一組成液として、Na₂CO₃、Na₂SO₄、MgSO₄・7H₂O、MgCl₂・6H₂O、NaOH 水溶液の濃度を 1～8 mol・kg⁻¹、試料添加率 2.5 w/v% で F 吸着試料を添加して再生試験を実施し、脱離フッ化物イオン濃度を測定した。
- ②1 : 24～48 : 1 (mol・kg⁻¹) の割合で調整した NaOH-NaCl 混合水溶液に試料添加率 2.5 w/v% で F 吸着試料を添加して再生試験を実施し、脱離フッ化物イオン濃度を測定した。
- ③NaOH-NaCl = 1.5-0.0、0.1-0.0、1.5-1.5、0.1-0.1 (mol・kg⁻¹) の水溶液に試料添加率 2.5 w/v% で F 吸着試料を添加して再生試験を実施し、脱離フッ化物イオン濃度を測定した。その後、再度吸着実験を実施し、フッ化物イオン吸着量から再生率を算出した。フッ化物イオンの測定にはイオンクロマトグラフィー法とイオン電極法を用いた。

【2013年度】貫流容量の算出

エチルセルロースを用いて SAM 118 を造粒し、カラム試験により温泉水の連続通水条件下で貫流容量を算出した。SAM 118 造粒体は重量比で 80% の SAM 118 を担持させ、目開き 0.85 mm と 5.6 mm の篩により得られた造粒体をカラム試験に供した。なお、SAM 118 造粒体の単位体積当たりの重量は 1.123 g・mL⁻¹ である。

ある。内径 2.6 cm、長さ 25 cm のアクリル製カラムに SAM 118 を 23.15 ml 充填し、約 2.8 L・d⁻¹ (SV=5 h⁻¹、LV=0.22 m・h⁻¹) で通水した。通水した原水は宍道湖温泉水及び精製水とし、フッ化ナトリウムを用いてフッ化物イオン濃度を約 15 mg F・L⁻¹、pH 7.2 に調整して用いた。フッ化物イオン濃度の測定にはイオン電極法を用いた。

4. 研究成果

(2011年度)

図 1 に硝酸型 SAM118 と塩酸型 SAM118 の粉末 X 線回折図を示す。硝酸型 SAM118 と塩酸型 SAM118 はハイドロタルサイト様化合物に類似した波形を示し、どちらも層状複水酸化物が主要構成成分であることが確認できた。ピーク強度は硝酸型で強く、酸化力を有する硝酸において結晶性が向上したことが考えられた。なお硝酸型には NaCl を示すピークが確認されたが、これは洗浄不足が原因と推察された。

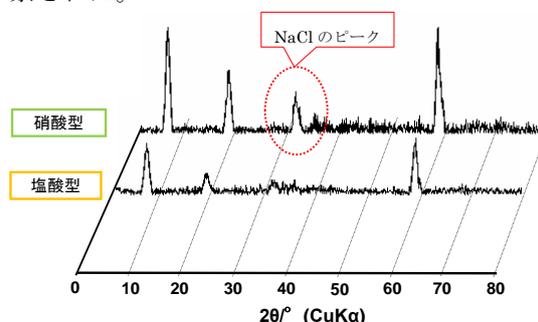


図1 硝酸型 SAM118 と塩酸型 SAM118 の粉末 X 線回折図

図 2 に硝酸型 SAM118 と塩酸型 SAM118 の熱重量 (TG)、示差熱 (DTA) 曲線を示す。どちらの試料も 100℃付近と 400℃付近に吸熱を伴う重量減少が確認された。400℃付近の重量減少は構造水の他、層間イオンの脱離を示す。両者の吸熱量に生じた差は層間物質の量、すなわち塩化物イオンなどの交換性陰イオンの量に依存すると考えられ、塩酸型 SAM118 において交換性陰イオンが多い可能性が示された。これにより、塩酸型 SAM118 は硝酸型 SAM118 よりフッ化物イオン吸着容量が向上したことが推定された。

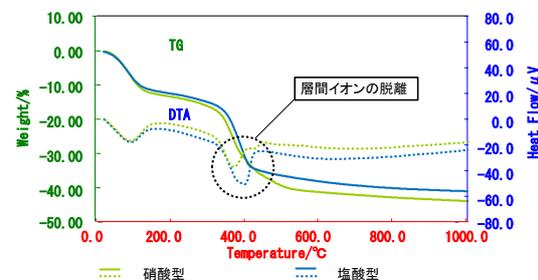


図2 硝酸型 SAM118 と塩酸型 SAM118 の熱重量 (TG)、示差熱 (DTA) 曲線

図 2 に硝酸型 SAM118 と塩酸型 SAM118 の吸着等温線と対数プロットを示す。硝酸型

SAM118 の吸着量は濃度依存性が認められるが、塩酸型では低濃度域での吸着量が多くなった。特に平衡濃度 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 付近でのフッ化物イオン吸着量は $10 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ を越え、大幅に吸着量を向上させることができた。また、対数プロットはいずれもフロイントリヒ式に該当し、直線の傾きから塩酸型 SAM118 においてフッ化物イオンに対して親和性が向上し、低濃度から高濃度のフッ化物イオンを吸着できることが示された。これは、同時に水中への硝酸汚染を回避できることも明らかになった。

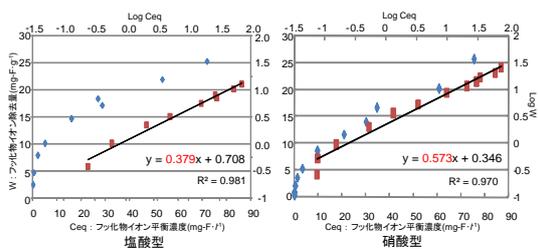


図3 硝酸型 SAM118 と塩酸型 SAM118 の吸着等温線と対数プロット

表1に塩酸型 SAM118 の単独イオン種に対する分配係数を示す。塩酸型 SAM118 のフッ化物イオン (F) に対する K_d 値が他のイオンに比べて一桁高くなっており、フッ化物イオンを選択的に吸着することが示された。これは、温泉排水のような夾雑イオンを複数含有する処理系においても、フッ化物イオンを優先的に吸着除去できることを示し、実際の温泉排水処理において有利になる。

表1 塩酸型 SAM118 の単独イオン種に対する分配係数 (K_d)

| イオン種 | 吸着量 ($\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}$) | K_d |
|---------------|---|-------|
| F | 0.477 | 5099 |
| B | 0.338 | 472 |
| As(V) | 0.189 | 120 |
| As(III) | 0.454 | 878 |
| Se(VI) | 0.102 | 45 |
| Se(IV) | 0.363 | 363 |
| PO_4 | 0.280 | 232 |
| SO_4 | 0.107 | 48 |
| CO_3 | 0.153 | 94 |
| NO_2 | 0.040 | 18 |
| NO_3 | 0.189 | 120 |
| NH_4 | 0.019 | 7 |
| K | 0.012 | 5 |
| Ca | 0.391 | 823 |

(2012年度)

表2に単一組成の再生液を使用した塩酸型 SAM118 (以降、単に SAM118 とする。) のフッ化物イオン脱離率 (%) を示す。NaOH 水溶液において脱離率が最も高く、他の水溶液の3~10倍の脱離率を示した。また、NaOH 水溶液は、濃度が高くなるほど脱離率は上昇した。しかし、最大脱離率は 18.09% と低く、単独水溶液では高い脱離率は得られないことが明らかになった。

さらなるフッ化物イオン脱離率の向上を目指し、交換性陰イオンである塩化物イオンを NaOH と混合した条件で脱離率を評価した。

図4に再生液の NaOH 及び NaCl 濃度とフッ化物イオン脱離率の関係を示す。その結果、より低い濃度で脱離率 16% 以上を示したのは NaOH-NaCl = $1.5\text{-}1.5 (\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1})$ であったことから、これを基に繰り返し再生操作を行った。

表2 単一組成の再生液を使用した SAM118 のフッ化物イオン脱離率 (%)

| | 0.5mol | 1mol | 1.5mol | 3mol | 6mol | 8mol |
|--------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|------|
| Na_2CO_3 | 6.40 | 6.47 | 6.23 | — | — | — |
| Na_2SO_4 | 1.50 | 1.50 | 1.46 | — | — | — |
| MgSO_4 | 1.37 | 1.46 | 1.33 | — | — | — |
| MgCl_2 | 1.01 | 1.07 | 0.99 | 0.80 | — | 0.32 |
| NaOH | 15.68 | 16.33 | — | 17.19 | 18.09 | — |

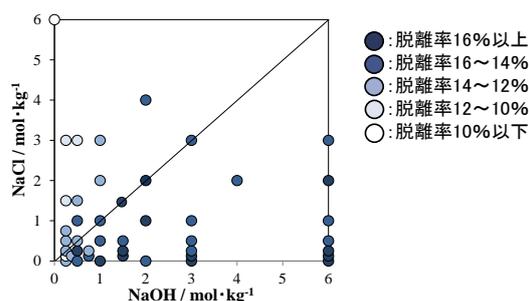


図4 再生液の NaOH 及び NaCl 濃度とフッ化物イオン脱離率の関係

図5に NaOH-NaCl 混合水溶液を用いた繰り返し再生操作における再生回数毎のフッ化物イオン脱離率を示す。いずれの溶液も脱離操作1回目の脱離率は約 20% であり、大幅な向上は認められなかったが、2回目以降に脱離率は向上し、NaOH-NaCl = $1.5\text{-}1.5 (\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1})$ では3回目以降は約 60% のフッ化物イオン脱離率を示し、脱離率が向上した。

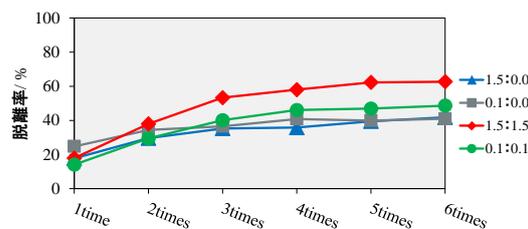


図5 $\text{NaOH} (\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1})\text{-NaCl} (\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}) = 1.5\text{-}0.0, 0.1\text{-}0.0, 1.5\text{-}1.5, 0.1\text{-}0.1$ 水溶液を用いた繰り返し再生操作における再生回数毎のフッ化物イオン脱離率

図6に NaOH-NaCl 混合水溶液を用いた繰り返し再生操作における再生回数毎のフッ化物イオン再生率を示す。初回吸着量を 100% とした場合、再生1回目ではいずれの水溶液でも約 70% の再生率であった。2回目以降、NaOH のみでは再生率は約 50% となったが、NaOH-NaCl = $0.1\text{-}0.1 (\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1})$ では再生率約 60% を維持し、NaOH-NaCl = $1.5\text{-}1.5 (\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1})$ では再生率は約 80% に上昇した。これらの結果より、SAM118 のフッ化物イオン吸着能力再生に使用する再生液には NaOH 水溶液ではなく、NaOH-NaCl 混合水溶液が適していることが明らかになった。また、 $1.5\text{-}1.5 (\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1})$

kg⁻¹)の濃度比で、少なくとも6回は80%の再生率が維持できることが示された。

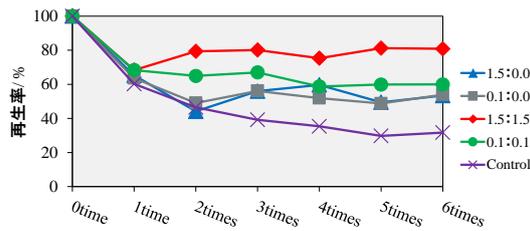


図6 NaOH(mol・kg⁻¹)-NaCl(mol・kg⁻¹) = 1.5-0.0、0.1-0.0、1.5-1.5、0.1-0.1 水溶液を用いた繰り返し再生操作における再生回数毎のフッ化物イオン再生率 (Control は洗浄のみで再吸着操作を行った)

(2013年度)

図7に作成した造粒体 SAM118 を示す。造粒体は押し出し成形法であるため、長さを一定にすることが難しい。そのため篩で粒径を揃えたが、実際には断面形状はφ2mmで一定であるのに対し、長さは5~30mmと範囲が大きくなり、かつ造粒体同士の結合も散見された。



図7 造粒体 SAM118 の写真

図8にフッ化ナトリウム水溶液(精製水)を用いた場合の造粒体 SAN118 の吸着破過曲線を、図9に温泉水を用いた場合の造粒体 SAN118 の吸着破過曲線を示す。処理水のフッ化物イオン濃度は通水後すぐに破過(処理水のフッ化物イオン濃度が上昇)しており、通水後、精製水系では約5.5L、温泉水系では約6Lで破過点である8mg・L⁻¹に到達した。貫流容量はいずれも約1gF・kg⁻¹(粉体換算)であり、造粒前の粉体状での吸着量(温泉水使用)約8gF・kg⁻¹から大きく低下した。吸着材の造粒化に伴う吸着量の現象は一般的には造粒体への拡散速度の低さや吸着サイトの減少が考えられている。しかし、想定よりも早く破過し、且つ夾雑イオンに差のある精製水と温泉水において貫流容量が変わらなかったことから、今回の結果は造粒体の粒径が一定せず、チャネリング(水道形成による短絡流)により原水と造粒体が接触できなかった可能性が考えられた。

吸着材の造粒化には結合材が必須であるが、エチルセルロースに限定される訳ではない。したがって、造粒体への拡散速度を維持でき、粒径を均一にできる結合材を選定した上で造粒化技術を確認し、SAM 試料の造粒化

した際の吸着量(貫流容量)を算出・評価する必要がある。

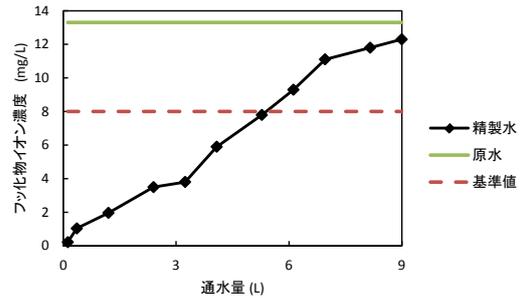


図8 フッ化ナトリウム水溶液を用いた場合の造粒体 SAN118 の吸着破過曲線

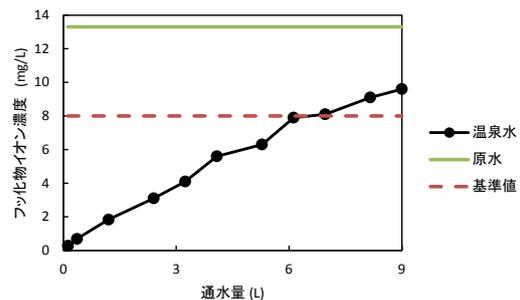


図9 温泉水を用いた場合の造粒体 SAN118 の吸着破過曲線

図10にフッ化物イオン含有再生液からCa添加により回収した物質の粉末X線回折図を示す。フッ素資源の回収を検討するため、フッ化物イオン含有再生液にカルシウム塩を添加して沈殿物を回収した結果、夾雑物を多く含むが、フッ化カルシウムのピークが認められた。したがって、今後、生成条件を検討することにより、フッ化物イオンをフッ化カルシウムとして回収できる可能性が示された。

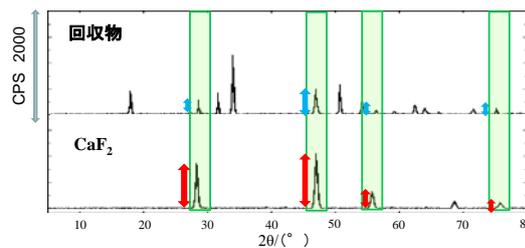


図10 フッ化物イオン含有再生液からCa添加により回収した物質の粉末X線回折図

(4) 結論 (研究成果)

- ① 合成に使用する酸を硝酸から塩酸に変更することにより、フッ化物イオン吸着量・フッ化物イオン選択吸着能力を向上させることができ、硝酸汚染も回避できることが明らかになった。
- ② フッ化物イオン吸着能力再生液にはNaOH-NaCl = 1.5-1.5(mol・kg⁻¹)溶液が適していることが明らかになり、再生率80%で6回まで維持できることが明らかになった。
- ③ 貫流容量は約1gF・kg⁻¹(粉体換算)であり、造粒前のフッ化物イオン吸着量に比べ

大幅に少なかった。原因として造粒体の形状に起因するチャネリングが生じたことが考えられ、粒径を均一にできる結合材を選定する必要があると考えられた。

本研究実施の結果、吸着材の合成方法が確立でき、材料の選定ができた。また、吸着能力再生条件を確定することができた。今後、吸着材を適切に造粒化することができれば固定床吸着装置を設計することが可能になる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 桑原智之、柳井健作、大島久満、佐藤利夫、小野寺嘉郎、金属元素種の異なる三元素系複合含水酸化物をを用いた水溶液からのフッ化物イオンの吸着、Journal of The Society of Inorganic Materials, Japan, 査読有、Vol. 20、2013、PP. 141-147.
- ② 柳井健作、桑原智之、大島久満、佐藤利夫、Si-Al-Mg 系複合含水酸化物をを用いた温泉排水からのフッ素除去に関する研究、粘土科学、査読有、Vol49、No. 3、2011、PP. 128-134.

[学会発表] (計13件)

- ① 池田諒平、前野真一、桑原智之、佐藤利夫、フッ素吸着材 Si-Al-Mg 系複合含水酸化物の高機能化を目指した合成方法の検討、無機マテリアル学会 第 127 回学術講演会、上杉博物館 伝国の杜 置賜(おきたま)文化ホール(米沢市)、平成 25 年 11 月 14~15 日.
- ② 前野真一、池田諒平、桑原智之、佐藤利夫、種々の金属元素比で合成した Si-Al-Mg 系複合含水酸化物のホウ素吸着特性の検討、無機マテリアル学会 第 127 回学術講演会、上杉博物館 伝国の杜 置賜(おきたま)文化ホール(米沢市)、平成 25 年 11 月 14~15 日.
- ③ 桑原智之、福井 惇、前野真一、池田諒平、佐藤利夫、フッ素吸着材 Si-Al-Mg 系複合含水酸化物の吸着能力繰り返し再生の検討、無機マテリアル学会 第 127 回学術講演会、上杉博物館 伝国の杜 置賜(おきたま)文化ホール(米沢市)、平成 25 年 11 月 14~15 日.
- ④ 池田諒平、桑原智之、前野真一、佐藤利夫、フッ素吸着材 Si-Al-Mg 系複合含水酸化物の高機能化を目的とした合成方法の検討、第 57 回粘土科学討論会、高知市文化プラザかるぼーと(高知市)、2013 年 9 月 4~6 日.
- ⑤ 前野真一、桑原智之、池田諒平、佐藤利夫、金属元素組成比を変えて合成した Si-Al-Mg 系複合含水酸化物の構造特性の

検討、第 57 回粘土科学討論会、高知市文化プラザかるぼーと(高知市)、2013 年 9 月 4~6 日.

- ⑥ 桑原智之、福井惇、池田諒平、前野真一、佐藤利夫、フッ素吸着材 Si-Al-Mg 系複合含水酸化物の吸着能力再生の検討、第 57 回粘土科学討論会、高知市文化プラザかるぼーと(高知市)、2013 年 9 月 4~6 日.
- ⑦ 福井惇、桑原智之、柳井健作、池田諒平、佐藤利夫、Si-Al-Mg 系複合含水酸化物のフッ素吸着能力再生条件の検討、無機マテリアル学会 第 125 回学術講演会、2012 年 11 月 1~2 日、名古屋大学(名古屋市).
- ⑧ 桑原智之、柳井健作、城市侑、大島久満、佐藤利夫、構成元素の異なる 3 元素系複合含水酸化物によるフッ化物イオン除去特性の評価、無機マテリアル学会 第 123 回学術講演会、アバンセホール(佐賀市)、2011 年 11 月 16~18 日.
- ⑨ 村上友章、桑原智之、佐藤利夫、小島正至、異なる pH 条件における石炭灰造粒物のリン除去、無機マテリアル学会 第 123 回学術講演会、2011 年 11 月 16~18 日、アバンセホール(佐賀市).
- ⑩ 城市侑、桑原智之、佐藤利夫、Ti 導入型ハイドロタルサイト様化合物のヒ素吸着能力の評価、無機マテリアル学会 第 123 回学術講演会、2011 年 11 月 16~18 日、アバンセホール(佐賀市).
- ⑪ 桑原智之、柳井健作、城市 侑、佐藤利夫、構成元素の異なる 3 元素系複合含水酸化物のフッ素除去性能の比較(ポスター)、第 55 回粘土科学討論会、鹿児島大学郡元キャンパス、2011 年 9 月 14~16 日(鹿児島市).
- ⑫ 城市侑、桑原智之、佐藤利夫、Ti 導入型ハイドロタルサイト様化合物の焼成と光触媒性能の評価(ポスター)、第 55 回粘土科学討論会、鹿児島大学郡元キャンパス、2011 年 9 月 14~16 日(鹿児島市).
- ⑬ 村上友章、桑原智之、佐藤利夫、小島正至、石炭灰造粒物のリン除去と pH の関係(ポスター)、第 55 回粘土科学討論会、鹿児島大学郡元キャンパス、2011 年 9 月 14~16 日(鹿児島市).

[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

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