

選択的フッ素吸着能を有する新規フッ素吸着材の合成とその吸着挙動

成田 修司 珍田 尚俊 菅原 勝康*

チタン水酸化物からなる粉末状及びゲル状の2種類の新規吸着材を合成し、それらを用いたフッ化ナトリウム溶液中のフッ化物イオンの吸着挙動について検討を行った。

合成した新規吸着材は、TG-DTA, XRD, レーザー回折粒度分布計を用いて特性評価を行った。選択的フッ素吸着実験は高濃度の NO_3^- , SO_4^{2-} の共存するフッ化ナトリウム水溶液を用いて回分式で行った。

粉末及びゲル状の新規フッ素吸着材の吸着特性を比較した結果、ゲル状のフッ素吸着材に幾つかの優位性が認められた。その優位性は以下のとおりである。(1)ゲル状吸着材のフッ化物イオン吸着容量が粉末状の容量と比較して明らかに大きい(2)粉末吸着材では、不可能であった5 mg/l という低濃度のフッ化物イオンを吸着材投入から20分までに定量下限値以下(<0.1 mg/l)まで除去可能であった。(3)ゲル状吸着材の吸着平衡に達する時間は粉末状と比較して明らかに早く、pH が2, 3及び4の場合には粉末状の数時間に対して、10~20分であった。(4)ゲル状吸着材はpHを調節することによって、吸着したフッ化物イオンを簡便に脱着した。

1. はじめに

近年、フッ素化合物は半導体等の製造、アルミニウム電解、過リン酸肥料、タイル、レンガ、ガラス繊維、セラミックス、練り歯磨きへの添加剤などに使用され、それらの工場からの排出により最大で15 mg/lの高濃度のフッ素が水中に混入し¹⁾、フッ素の人体へ及ぼす影響が懸念されている。

フッ素の人体へ及ぼす主な影響は、神経障害、肝臓障害、骨格障害などが報告され、これらの障害を「フッ素中毒症」²⁾と総称する。現在、アメリカを中心としてイギリス、カナダ、オーストラリアなどの諸国で、フッ素が引き起こす中毒症の問題について社会問題化³⁾している。

このようなフッ素の問題が世界的に叫ばれる中、我が国では、平成11年2月に水質環境基準の改正が行われ、新たにフッ素が環境基準に追加された^{4,5)}。これを受けてフッ素の排水規制も強化され、平成13年6月には、フッ素の排水基準が15 mg/lから8 mg/lに引き下げられた⁶⁾。既存事業所には暫定基準が設けられ、3年の猶予の後、平成16年7月から実施されることになっていたが、フッ素処理の安定的な技術が開発・実用化の途上にあり、さらに一部業種について3年の暫定基準の延長となった。

現在、一般的に行われているフッ素処理工程は、従来のカルシウム凝集沈殿法で処理した後、アルミニウム塩及びイオン交換樹脂等の高額な高次処理を組み合わせることによって、基準値に対応している。この処理工程では、フッ素吸着後に発生するフッ化カルシウムの汚泥埋立地の確保及び埋立処理後の降雨等によるフッ素溶出の問題等を含んでおり、その廃棄物に関して半永久的に対処していかなければならない。そこで、我々は、廃棄物を出さないフッ素処理技術の確立を目指すために「1. 一次処理のみで、基準を満足させうる。2. 吸着したフッ素を資源化できる。3. 吸着材の再利用が可能である。」等の特徴を有

する新規フッ素吸着材の開発を目指した^{7,8)}。

本研究では、フッ素と親和性の高いチタンに着目し、粉末状とゲル状の形態の異なる2種類のチタン水酸化物からなる吸着材の開発を行い、水溶液中のフッ素吸着挙動とそれに及ぼす溶液のpHの影響を調べることを目的とした。

2 方法

2.1 フッ素吸着材の合成方法⁹⁾

2.1.1 粉末状のチタン水酸化物からなる吸着材の合成方法

オキシ硫酸チタン($\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$)を2.0 g 秤量し、ミリQ水50 mlに分散させた懸濁液を5分間静置する。その後アンモニア水10 mlをゆっくりと添加し、室温にて12時間熟成させた。生成した沈殿物のろ過、洗浄、乾燥(343 Kで10時間、その後383 Kで4時間)を行い、粉末状水酸化チタンを得た。以降これをTHPと記述する。

2.1.2 ゲル状のチタン水酸化物からなる吸着材の合成方法

$\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ を2.0 g 秤量し、ミリQ水10 mlに分散させ溶液が完全に透明になるまで攪拌した後に、アンモニア水10 mlをゆるやかに添加し、浮遊した羽衣状の生成物を得た。その後、羽衣状の生成物を静かに沈降させ、室温にて所定時間熟成させることにより水酸化チタンゲルを得た。以降これをTHGと記述する。

2.2 合成した吸着材の特性評価

2.2.1 吸着材の原料及び合成した吸着材のXRD解析

$\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 及びTHPの結晶構造を粉末X線回折装置(理学電機(株)製, RAD-PC)を用いて分析した。

2.2.2 熱重量・示差熱分析(TG-DTA)による吸着材のチタン含有量の算出

TG-DTA (理学電機(株)製, Rigaku TG8120) を用い、 $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 及び THP の重量減少特性から原料中の結晶水等の量を推算することによって、それらのチタン含有量を求めた。測定条件は標準試料としてアルミナ (Al_2O_3) を用いて、空气中で昇温速度 10 K/min, 保持時間 10 min で最高温度 600 K または 700 K まで加熱した。

2.2.3 粒度分布測定

THP と THG の粒度分布及び平均粒径をレーザー回折散乱式粒度分布測定計 (日機装(株)製, MICROTRAC9320-X100) を用いて測定した。

2.3 合成した吸着材によるフッ素の吸着実験

合成した吸着材を用いて、フッ化ナトリウム水溶液からフッ化物イオンの吸着実験を行った。その詳細を以下に述べる。

2.3.1 THP 及び THG によるフッ素吸着実験

$\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 2.0 g から調製した THP 0.5 g 及び THG を、それぞれ $[\text{F}^-]_0 = 5$ または 50 mg/l の濃度に調整したフッ化ナトリウム水溶液 1 l に投入し、硝酸を用いて溶液を pH4 に調整した。pH が安定した後に、所定の時間ごとに 10 ml 溶液を採取し、採取した溶液を 10 倍に希釈した後に、溶液中のフッ化物イオン濃度をイオンクロマトグラフィー (日本ダイネクス(株)製, イオンクロマトグラフィー DX-120) を用い定量した。

2.3.2 THG による模擬排水中 (フッ化ナトリウム溶液中) のフッ素吸着に及ぼす pH の影響

フッ素の吸着特性と pH の関係を調べるために、 $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 2.0 g から調製した THG を $[\text{F}^-]_0 = 50$ mg/l のフッ化ナトリウム水溶液に投入した後、硝酸またはアンモニア水を用いて溶液を pH 2, 3, 4 に調整し、吸着実験を行った。溶液の pH が安定した後、所定の時間で 10 ml 溶液を採取し、採取した溶液を 10 倍に希釈した後、溶液中のフッ化物イオン濃度をイオンクロマトグラフィーを用い定量した。また、酸性からアルカリ性領域におけるフッ素吸着に及ぼす pH の影響を調べるために、フッ化ナトリウム溶液 ($[\text{F}^-]_0 = 50$ mg/l) の pH を 2~10 に調整し、上記と同様の試料採取を行った後、フッ化物イオン濃度をイオンクロマトグラフィーを用い定量した。溶液の pH 変化はガラス電極式水素イオン濃度計 (TOA 社製, pH METER HM-20E) を用い常時観測した。

2.3.3 THG のフッ素吸脱着特性

$\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 2.0 g から調製した THG をフッ化ナトリウ

ム水溶液 ($[\text{F}^-]_0 = 50$ mg/l) に投入した後に、フッ化物イオンを吸着するため、硝酸を用いて溶液を pH 3 に調整した。溶液の pH が安定してから 1 時間後に 10 ml の溶液を採取した後に、フッ化物イオンを脱着するため、アンモニア水を用いて溶液を pH 9 に調整し、pH が安定してから 1 時間後に溶液を 10 ml 採取した。

pH 3 及び pH 9 における溶液採取を 1 サイクルとして、3 サイクル繰り返し行い、採取した溶液を 10 倍に希釈し溶液中のフッ化物イオン濃度をイオンクロマトグラフィーを用い定量した。

2.3.4 ゲル状吸着材 (THG) によるフッ素の選択的吸着特性

硝酸イオン及び硫酸イオンが共存した溶液から THG のフッ化物イオン選択吸着性を調べるために、 $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 2.0 g から調製した THG の全量を $[\text{F}^-]_0 = 50$ mg/l のフッ化ナトリウム水溶液に投入し硝酸を用いて溶液を pH 4 に調整した。溶液の pH が安定してから、所定の時間ごとに 10 ml 溶液を採取した後、10 倍に希釈し、それら溶液中のフッ化物イオン、硝酸イオン及び硫酸イオン濃度をイオンクロマトグラフィーで定量した。

3 結果及び考察

3.1 吸着材のキャラクタリゼーション

$\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ と THP の XRD 結果を図 1 に示す。

$\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ の XRD パターンにおいて、低角側で

$\text{TiOSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ に帰属されるピークが観測されたことから、 $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ は $\text{TiOSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ であると考えられる。一方、THP の XRD 結果から、この物質は非晶質であることが明らかとなった。

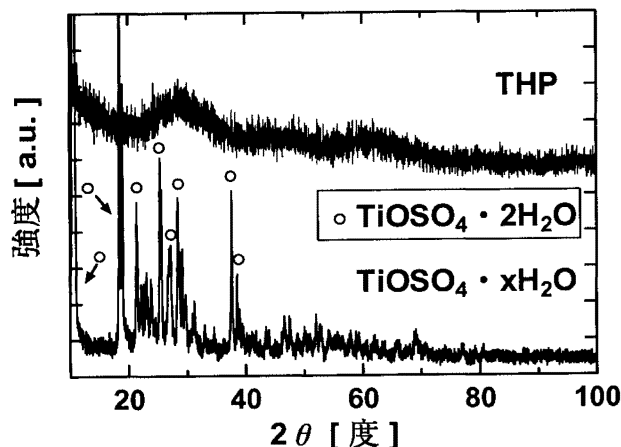


図1 XRD による THP 及び $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ の結晶構造解析

THPのTG-DTA曲線を図2に示す。TG曲線は690 Kまでに25.0%の重量減少を示した。一般的に水酸化チタンを空气中において加熱すると約650 Kでアナターゼ型の酸化チタンを生成することが知られている。したがってTHPの系においても690 Kでは全てのチタンが完全に酸化され、酸化チタンが生成したと考えられる。そこで加熱後に残った75.0 wt%の試料が全て酸化チタンであると仮定し、THPのチタン含有量を算出した。その結果、THP 1 gあたり 1.56×10^2 molのチタンを含有することが明らかとなった。

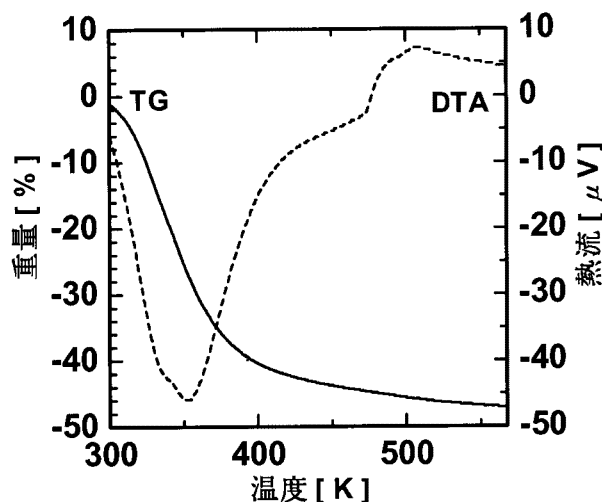


図2 THPのTG-DTA曲線

$\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ のTG-DTA曲線を図3に示す。 $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ のDTA曲線において300 Kから560 Kの間で3つの吸熱ピークが観測された。1つ目の吸熱ピークは370 Kまでの低温域で現れたことから、表面吸着水の蒸発による吸熱反応を示していると考えられる。これに対し2つ目及び3つ目の吸熱ピークは、2つの結晶水の蒸発による吸熱反応であると考えられる。また、1つ目、2つ目、及び3つ目の各吸熱ピークに対応する重量減少率は、TG曲線からそれぞれ6.1、6.9、及び10.4%であり、全体の重量減少率は23.4%であった。以上の結果から、表面吸着水を含む $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ のxの値を求めると $x = 2.7$ であった。そこで、 $\text{TiOSO}_4 \cdot 2.7\text{H}_2\text{O}$ が含有する全てのチタンがTHGの合成において使われていると仮定し、 $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 2.0 gから合成したTHGのチタン含有量を算出した。その結果、 $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 2.0 gから合成したTHGは 9.58×10^3 molのチタンを含有することが明らかとなった。

しかし $x = 2.7$ という値はXRDで同定された結晶構造のxの値と異なる。この誤差の原因は、試料表面に存在する表面吸着水の重量減少率を結晶水の重量減少率としてxの値を計算したためであると考えられる。そこで、式1に示したように、全重量減少率から表面吸着水に帰属される

重量減少率を除いた17.3%が $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 中に含まれる結晶水に帰属される重量減少率であるから、その値を用いて $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ のxの値を算出した。その結果、 $x \approx 2$ であった。これらの計算結果から $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ は2つの結晶水を持つ $\text{TiOSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ であると考えられ、この結果はXRDで同定された結晶構造のxの値と良く一致していた。

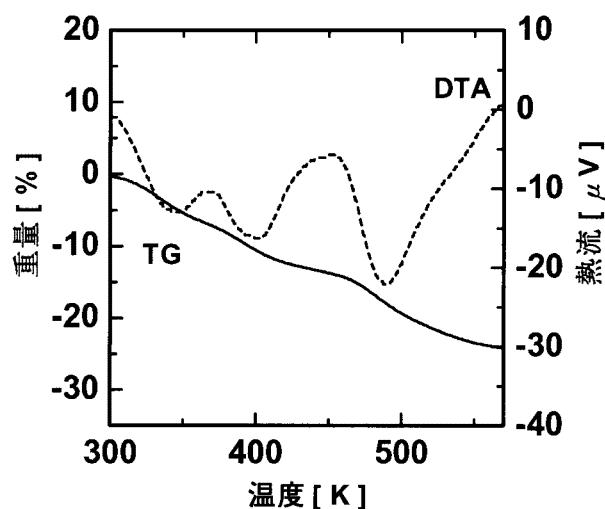


図3 $\text{TiOSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ のTG-DTA曲線

THP及びTHGの粒度分布測定結果をそれぞれ図4及び図5に示す。THPの粒度分布はブロードで非対称な形をしていた。一方、THGの粒度分布はシャープで左右対称な形をしていた。また、THP及びTHGの粒度分布はそれぞれ0.6~22 μm 及び1.8~11 μm であり、平均粒径はそれぞれ3.6及び3.7 μm であった。THPの粒度分布がブロードで非対称な形である理由として、THPの調製の際、懸濁液にアンモニア水を加えたときに、溶液に分散した $\text{TiOSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を種結晶として成長した粒子と溶液中から核発生し成長した粒子が混在している状態であることが考えられる。

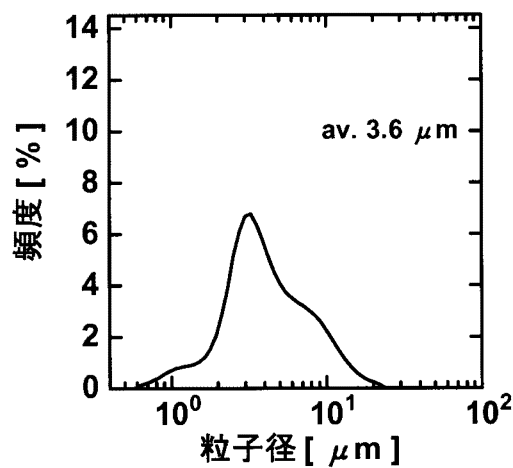


図4 THPの粒径分布

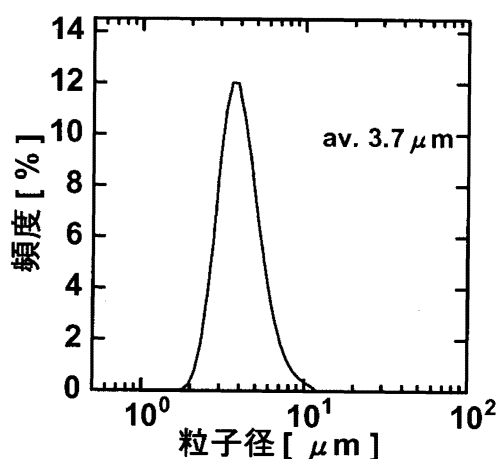


図5 THGの粒径分布

式1

$$\left(\frac{\text{全重量減少率}}{23.4\%} \right) - \left(\frac{\text{表面吸着水に帰属される重量減少率}}{6.1\%} \right) = \left(\frac{\text{結晶水に帰属される重量減少率}}{17.3\%} \right)$$

3.2 THP 及び THG によるフッ素吸着挙動

種々の濃度の水溶液からフッ化物イオンを吸着し、その吸着量を調べることによって、THP 及び THG の低濃度フッ化物イオンの吸着能力及びフッ化物イオン吸着容量の違いを検討した。

THP 及び THG を用いて $[F^-]_0 = 50 \text{ mg/l}$, pH4 のフッ化ナトリウム水溶液中のフッ化物イオンの吸着を行った結果を図6に示す。THG によるフッ化物イオンの吸着実験では、実験開始から約5分で初期濃度の70%以上を吸着し、さらに平衡に達するまでの時間は約30分であった。一方 THP によるフッ化物イオンの吸着量が平衡に達するまでの時間は約4時間であった。また、THP 及び THG によるフッ化物イオン吸着量が平衡に達したときのチタン1 molあたりのフッ化物イオン吸着量は、それぞれ 8.70×10^2 及び $1.97 \times 10^1 \text{ mol}$ であった。

また、合成した吸着材の低濃度フッ素に対するフッ素吸着性能を評価するため、フッ化物イオン濃度 $[F^-]_0 = 5 \text{ mg/l}$, pH4 における吸着実験結果を表1に示す。THG は実験開始から1時間で溶液中の全てのフッ化物イオンを吸着した。これに対し、THP は24時間経過しても溶液中のフッ化物イオンを全く吸着しなかった。

THG が THP よりもフッ化物イオン吸着能力が高い理由として、形態の違いによる表面積の差が挙げられる。すなわち THG はゲル状でフレキシブルな柔らかい構造をして

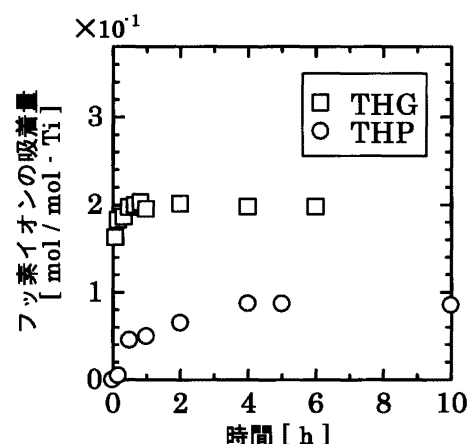


図6 吸着時間に対する THG 及び THP のフッ化物イオン吸着量の変化 ($[F^-]_0 = 50 \text{ mg/l}$, pH4.0)

表1 低濃度フッ素イオン水溶液における THG 及び THP のフッ素回収能力の比較

時間 [hour]	($[F^-]_0 = 5 \text{ mg/l}$, pH 4)	
	THG	THP
	[F ⁻] [mg/l]	
0	5.0	5.0
1	<0.1	5.0
24	<0.1	5.0

いるために外部表面だけでなく内部表面もフッ化物イオンの吸着に使うことが可能であるが、THPは棒状結晶で自由度の低い構造であるため、外部表面だけが有効に作用するからであると考えられる。

以上の結果から、実用化プロセスにおいては、低濃度のフッ化物イオンも吸着可能であり、吸着容量の大きいTHGが有効な吸着材として利用できる可能性が高いといえる。したがって、以後の実験はTHGについて行うこととする。

3.3 THGのフッ素吸着特性の検討

3.3.1 フッ素吸着・脱着におけるpH条件

THGを用い、種々のpHにおけるフッ化ナトリウム水溶液中のフッ化物イオンの吸着挙動を調べることによって、吸着に及ぼすpHの影響を検討した結果を以下に示す。

pH 2, 3, 4の3種類のフッ化ナトリウム水溶液 ($[F^-]_0 = 50 \text{ mg/l}$) を用い、フッ化物イオンの吸着実験を行った結果を図7に示す。フッ化物イオン吸着量が平衡に達するまでの時間はpH2では約20 min, pH3, 4ではそれぞれ約10 minであった。また、そのときのチタン1 molあたりのフッ化物イオン吸着量はpH2で約 $1.5 \times 10^{-1} \text{ mol}$, pH3及び4ではそれぞれ約2.4ならびに $1.9 \times 10^{-1} \text{ mol}$ であった。これらの結果からTHGのフッ化物イオン吸着量及び吸着量が平衡に達するまでの時間は、溶液のpHにより異なることが明らかとなった。

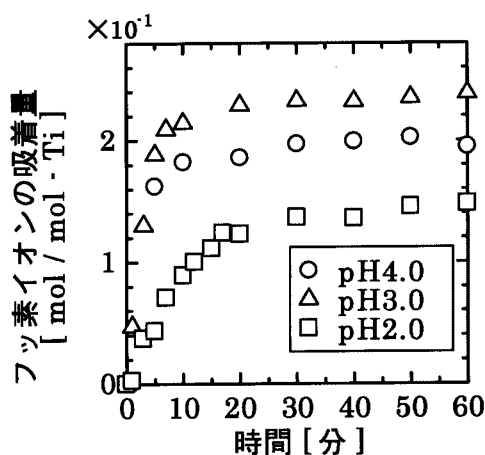


図7 THGのフッ化物イオン吸着に及ぼすpHの影響 ($[F^-]_0 = 50 \text{ mg/l}$)

pH 2, 3, 4の3種類のフッ化ナトリウム水溶液 ($[F^-]_0 = 50 \text{ mg/l}$) におけるフッ化物イオンを吸着した際の溶液のpH変化を図8に示す。初期pH 2, 3, 4の全ての溶液においてTHGによるフッ化物イオンの吸着に伴う溶液のpHの上昇が確認された。この結果はTHGの系においてフッ

化物イオンの吸着が、溶液中のフッ化物イオンとTHGの持つOH間のイオン交換反応によるものであることを示唆している。

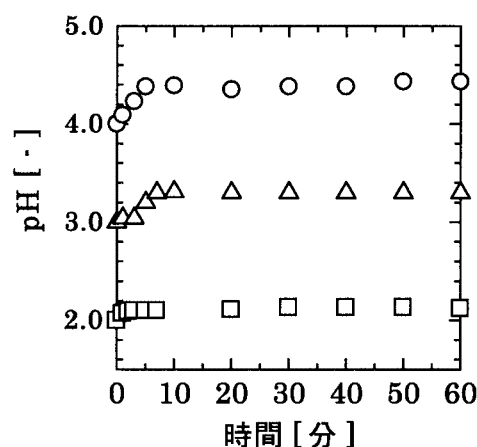


図8 THGによるフッ化物イオン吸着時のpH変化

溶液をpH2～10まで変化させ、各pHでフッ素吸着実験を行い、1時間後のフッ化物イオン濃度を図9に示す。溶液がpH2からpH3の間では溶液のpHの上昇に伴いフッ化物イオンの吸着量は増加した。pH3においてフッ化物イオンの吸着量は最も多くなり、チタン1 molあたり $2.38 \times 10^{-1} \text{ mol}$ を吸着した。一方、pH3からpH8の間では、溶液のpHの上昇に伴って吸着量が直線的に減少し、pH9以上では吸着した全てのフッ化物イオンを脱着した。これらの結果は、THGのフッ化物イオン吸着量がpH依存性を持つことを示している。つまりTHGは溶液のpHを調整することで簡便にフッ化物イオンの吸脱着が可能なのである。上記の結果は、以下のように理解できる。水酸化チタンは溶液のpHによって存在形態が変化し、pH2では $Ti(OH)_2^{2+}$, pH3では $Ti(OH)_3^+$, pH4以上では $Ti(OH)_4$ として溶液中に安定に存在することが知られている⁹⁾。したがってpH2におけるフッ化物イオンの吸着量が、pH3におけるフッ化物イオンの吸着量と比べて減少している理由は、pH2の溶液中においてTHGが一部溶解し、それらが $Ti(OH)_2^{2+}$ イオンとして溶液中に存在しているからである。また、pH3において吸着量が最も多くなるのは、pH3付近において溶液中の水酸化チタンが $Ti(OH)_3^+$ から $Ti(OH)_4$ または $Ti(OH)_3^+$ から $Ti(OH)_4$ への平衡状態にあり、存在状態が最も不安定で反応性に富むためであると考えられる。

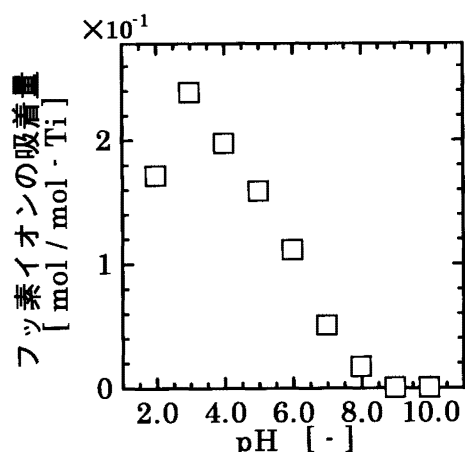


図9 pH上昇に伴うTHGのフッ化物イオン吸着量の変化 ($[F^-]_0 = 50 \text{ mg/l}$)

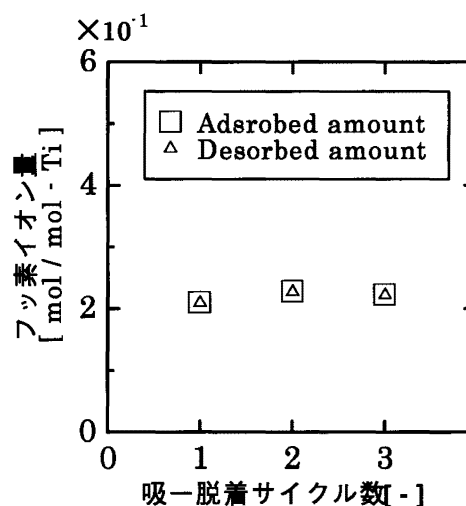


図10 吸-脱着サイクル数の増加に伴うTHGのフッ化物イオン吸脱着量の変化 ($[F^-]_0 = 50 \text{ mg/l}$)

3.3.2 吸脱着サイクル数に伴う吸着量の変化

3.3.1において水酸化チタンゲルのフッ化物イオン吸着量はpH依存性を持ち、また、溶液のpHを調整することで簡単にフッ化物イオンの吸脱着が可能であることが明らかとなった。そこで、水酸化チタンゲルを用いて、フッ化ナトリウム水溶液中のフッ化物イオンの吸着操作及び吸着後の吸着材中のフッ化物イオンの脱着操作を繰り返し行い、それぞれの操作におけるフッ化物イオン濃度を定量し、吸脱着サイクルに伴う吸着量の変化について検討した結果を図10に示す。

1回目の吸脱着サイクルにおけるフッ化物イオンの吸着量及び脱着量はそれぞれ2.1及び $2.1 \times 10^{-1} \text{ mol}$ であり、フッ化物イオンの脱着率は100%であった。また2回目及び3回目のサイクルにおけるフッ化物イオンの吸着量は、それぞれ2.2、 $2.2 \times 10^{-1} \text{ mol}$ であり、1回目のサイクルと比べほとんど変化はなかった。一方、フッ化物イオンの脱着量はそれぞれ2.2、 $2.2 \times 10^{-1} \text{ mol}$ であり、脱着率は共に100%であった。以上の結果から、THGによるフッ化物イオンの吸着量及び脱着量は、3回の吸脱着サイクルではほとんど変化せず安定に吸脱着を繰り返すことが明らかとなった。

3.3.3 選択的フッ素吸着特性

一般に工場排水にはフッ化物イオンの他に硝酸イオン、硫酸イオン等の様々なアニオンが共存している。本研究でターゲットにした排水においても硝酸イオン、硫酸イオン等のアニオンが共存していた。このような工場排水中において、合成した吸着材を用いてフッ化物イオンの吸着を行う場合、吸着材にフッ化物イオンの吸着選択性があるならば、排水中のフッ化物イオンを選択的に吸着可能であり、共存アニオンの吸着によるフッ化物イオンの吸着効率の低下を避けることができる。

そのため選択的なフッ化物イオンの吸着能力は効率の良いフッ素吸着を目指す上で重要な条件と言える。

そこで、原料由来の硫酸イオン及び硝酸イオンが共存したフッ化ナトリウム水溶液中の、フッ化物イオンの吸着実験をTHGを用いて行い、それぞれのイオンの吸着量の時間変化を調べることによって、THGの選択的フッ素吸着特性を検討した結果を表2に示す。フッ化物イオンの吸着阻害が起こりやすいように、硝酸イオン及び硫酸イオンを高濃度で共存させた。溶液中のフッ化物イオン、硝酸イオン及び硫酸イオンの初濃度はそれぞれ50、 8.0×10^3 及び $11 \times 10^3 \text{ mg/l}$ であったが、THGによる吸着を開始してから24時間後の濃度はそれぞれ12、 8.0×10^3 及び $11 \times 10^3 \text{ mg/l}$ であった。フッ化物イオン、硝酸イオン及び硫酸イオンのうち、フッ化物イオンの濃度だけが時間の経過に伴って減少したが、他のアニオンの濃度にはほとんど変化はなかった。また、THGによるフッ化物イオンの吸着量は60分間でチタン1 molあたり $2.1 \times 10^{-1} \text{ mol}$ であった。これらの結果からTHGはフッ化物イオンに対して選択的な吸着能力を持ち、吸着速度及びチタン1 molあたりのフッ化物イオン吸着量も共存アニオンの影響を受けることなく、フッ化物

イオン単独の溶液における吸着結果とはほぼ同様の吸着特性を示すことが明らかとなった。

表2 THGのフッ化物イオン吸着に及ぼす共存アニオンの影響 ($[F^-]_0 = 50\text{mg/l}$, pH 4)

時間 [分]	F^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
	[mg/l]		
0	50	8.0×10^3	1.1×10^3
10	15	8.0×10^3	1.1×10^3
27	12	8.0×10^3	1.1×10^3
60	12	8.0×10^3	1.1×10^3

4 まとめ

1 粉末状のフッ素吸着材 (THP) とゲル状のフッ素吸着材 (THG) のフッ素吸着比較実験の結果より, THG は低濃度のフッ化ナトリウム水溶液から, 定量下限値以下までフッ化物イオンを吸着することが可能であり, またTHGはTHPと比較して吸着容量も大きいことが明らかとなった。

2 THGは溶液のpHを調整することによって簡便にフッ素イオンの吸脱着が可能であり, さらにTHGによるフッ化物イオンの吸着量及び脱着量は3回の吸脱着サイクルではほとんど変化しない結果が得られた。

3 THGは大量の硝酸イオン及び硫酸イオンの存在する溶液中においても, フッ化物イオンを選択的に吸着可能であった。

参考文献

- 1) 社団法人 日本水道協会ホームページ.
<http://www.jwwa.or.jp/index.html>
- 2) Japanese society for fluoride research home page.
<http://members.jcom.home.ne.jp>
- 3) Japan fluoride Alert network. <http://members.jcom.home.ne.jp>
- 4) 環境庁：水質汚濁に係わる環境基準についての一部を改正する件, 平成11年2月22日, 環境庁告示第14号。
- 5) 環境庁：地下水の水質汚濁に係わる環境基準についての一部を改正する件, 平成11年2月22日, 環境庁告示第16号。
- 6) 環境庁：排水基準を定める省令の一部を改正する省令, 平成13年6月13日, 環境庁告示第16号。
- 7) 特許 特開2005-118639「フッ素イオン吸着材及びその合成方法並びにフッ素イオンの回収方法」。
- 8) 氏家千栄子, 成田修司, 菅原勝康, ケミカルエンジニアリング 2005, Vol.50, No. 2, 42-45.
- 9) Charles F. Baes, Ed., *Text book Binding* (1976).