

チタン酸ナトリウム担持吸着繊維を使った東電福島第一原発港湾内の海水からの放射線ストロンチウムの除去

斎藤 恭一

千葉大学大学院工学研究科

概要 2011年3月11日に起きた東日本大震災とそれに伴う東京電力(株)福島第一原子力発電所での原子炉3基のメルトダウン事故から4年以上経った今でも、原子力発電所内では汚染水が発生し、その処理が続いている。こうした汚染水の一つに港湾内1~4号機取水口前エリアの海水がある。当研究グループは、この汚染海水からストロンチウムを除去するために、チタン酸ナトリウムを担持した繊維を提案している。

グラフト鎖内で析出するチタン酸ナトリウム粒子がマイナスの電荷をもつため、プラス電荷のアニオン交換グラフト鎖が望ましい。本研究では、ジメチルアミノプロピルアクリルアミド(DMAPAA)をグラフト重合したナイロン繊維にペルオキシチタン錯体アニオンを吸着させて、その後、水酸化ナトリウムとの反応によってチタン酸ナトリウムをグラフト鎖内に析出させた。得られたチタン酸ナトリウム担持繊維の海水からのストロンチウムの除去性能を調べ、つぎの結論を得た。

- (1) 硫酸チタン、過酸化水素、アンモニア、および水酸化ナトリウムの混合液の pH を変化させてチタンイオン種の分布を変えて、DMAPAA グラフト繊維へのチタンの吸着量を調べた。pH 1.6 で最大のチタンモル結合比 0.84 およびそれに続く最大の担持率 28% が得られた。
- (2) チタン酸ナトリウム担持繊維の海水中でのストロンチウムの吸着等温線を測定した。吸着等温線は Langmuir 型に整理できた。海水中のストロンチウム濃度 8 mg/L に対する平衡吸着量は 1.7 mg-Sr/g であった。

本研究成果を基にして、民間企業で吸着繊維の量産が実施され、福島第一原発1~4号機取水口前のエリアの汚染海水に、本吸着繊維が投入・浸漬する計画が進んでいる。

1. 緒言

2011年3月11日に起きた東日本大震災とそれに伴う東京電力(株)福島第一原子力発電所での原子炉3基のメルトダウン事故から4年以上経った今でも、原子力発電所内に貯蔵される汚染水の量は増加を続けている。汚染水処理に係る作業を減らすことは、これから40年間にわたっておこなう廃炉の計画を順調に進めるうえで必須である。汚染水処理とは、放射性物質を適当な吸着材を使って吸着除去し、その吸着材を放射線遮蔽容器に入れて長期保存することである。

現在、除染対象の一つに港湾内1~4号機取水口前の海水がある。さまざまな放射性物質のなかでも、放射性ストロンチウムの海水からの除去は難度が高い。その理由

はつぎの2点である。(1) 海水にはもともと非放射性ストロンチウムが 8 mg-Sr/L と放射性ストロンチウム(例えば、 2.2×10^{-8} mg-Sr/L)の3.6億倍の濃度で溶存していて、既存の吸着材ではその二つを区別できないことから、非放射性ストロンチウムもろとも吸着する必要があるため、および(2) ストロンチウムと同族のマグネシウムやカルシウムがモル濃度でそれぞれストロンチウムの660および130倍、夾雑イオンとして溶存していて、競争吸着となるためである。したがって、1~4号機取水口前の海水エリアの除染には、ストロンチウムに対して選択性をもつ吸着容量の高い吸着材が大量に必要となる。

化学工場での従来の吸着操作とは異なって、除染作業では「確実に、安全に、簡便に」投入と回収が行える吸着

操作が要求される。また、除染後には吸着材が放射性廃棄物になるために、可能ならば減容のできる吸着材が望ましい。本研究グループは、これらの要求を満たす吸着材として、従来のビーズや粒子状の吸着材に代わり、繊維状吸着材とそれから成型したワインドフィルターや組み紐といった繊維集合体を提案してきた¹⁻⁵⁾。繊維であれば海水に直接投入および回収が容易であり、焼却や溶融による減容が可能であるといった利点をもつ。

ストロンチウム除去用の吸着繊維として、放射線グラフト重合法を適用し、ナイロン繊維にキレート基としてイミノニ酢酸基を導入した IDA 繊維⁶⁾ およびカチオン交換基をもつモノマーであるスチレンスルホン酸ナトリウム (SSS) を導入し、チタン酸ナトリウム⁷⁻⁹⁾ という無機化合物を担持した SSS-ST 繊維^{10,11)} を作製してきた。IDA 繊維は、IDA のキレート安定度定数がストロンチウムよりカルシウムの方が高いため、ストロンチウムよりも夾雑イオンであるカルシウムを選択的に吸着する。一方で、SSS-ST 繊維は、担持したチタン酸ナトリウムがチタン酸 (TiO₂) の層を形成し、サイズ選択性によってマグネシウムおよびカルシウムよりイオンサイズの大きいストロンチウムと層間のナトリウムがイオン交換するため、ストロンチウムを選択的に吸着する¹²⁾。

グラフト鎖であるポリ SSS 鎖のスルホン酸基にチタンカチオン (Ti(OH)₂²⁺)¹³⁾ をイオン交換反応によって吸着させて後にアルカリ処理することによって、無定形のチタン酸ナトリウムを繊維表面に析出させて SSS-ST 繊維を得ている。チタン酸ナトリウムの結晶性が高いほどストロンチウム吸着容量は増加する¹⁴⁾。そのため、より結晶性の高いチタン酸ナトリウムを担持する繊維の作製経路を探索する必要がある。

本研究では、ナイロン繊維にジメチルアミノプロピルアクリルアミド (以後、DMAPAA と略記) というアニオン交換基を有するビニルモノマーをグラフト重合し、そのグラフト鎖にペルオキシチタン錯体アニオン^{15,16)} を吸着することで、

より結晶性の高いチタン酸ナトリウムを担持する経路を提案する。さらに、そのストロンチウム除去性能を調べ、他の吸着材と比べた。

2. 実験

2.1 試料と試薬

放射線グラフト重合の基材として、6-ナイロン繊維 (直径 40 μm, 東レ (株) 製, 以後、ナイロン繊維と略記) を用いた。チタン換算 30%硫酸チタン (IV) 溶液は和光純薬工業 (株) から購入した。市販の粒子状吸着材として、チタン酸ナトリウム粒子である Fortum 社の SrTreat¹⁷⁾ (平均粒径 600 μm) を用いた。海水には、小田原沖から採取後、ろ過した海水を用いた。

2.2 アニオン交換繊維の作製

アニオン交換グラフト繊維にチタン酸ナトリウムを担持した繊維の作製経路を Fig. 1 に示す。まず、基材のナイロン繊維に電子線を 20-200 kGy 照射した後、1.0 M DMAPAA 水溶液に浸漬し、グラフト重合した。得られた繊維を DMAPAA 繊維とよぶ。ここで、グラフト率を式 (1) で定義し算出した。そして、DMAPAA 繊維を 0.50 M NaCl および 50 mM HCl 混合溶液に浸漬することで、Cl 型にコンディショニングした。

$$\begin{aligned} \text{グラフト率} [\%] &= 100 (\text{グラフト鎖の重量}) / (\text{基材の重量}) \\ &= (W_1 - W_0) / W_0 \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 W_0 および W_1 は、それぞれ基材および DMAPAA 繊維の乾燥重量である。

2.3 DMAPAA 繊維へのペルオキシチタン錯体アニオンの吸着

DMAPAA 繊維を 50 mM 硫酸チタン水溶液、1.0 M 過酸化水素水、0.010 M アンモニア水¹⁸⁾、および水酸化ナトリウム水溶液の混合溶液 (以後、チタン溶液と呼び) に浸漬

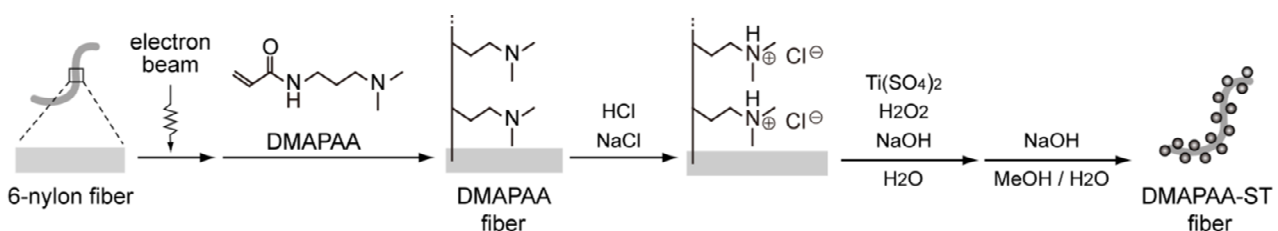


Fig. 1. Impregnation scheme of sodium titanate onto DMAPAA-grafted fiber

し、グラフト鎖にペルオキシチタン錯体アニオンを吸着させた。ここで、水酸化ナトリウム水溶液の混合量を変化させてチタン溶液の pH を 1~8 の範囲に変えた。そして、DMAPAA 繊維浸漬前後での混合溶液のチタンイオン量を誘導プラズマ結合発光分析装置 (ICP-AES) によって定量した。チタンイオンの減少量から DMAPAA 繊維に吸着したペルオキシチタン錯体アニオンの量を算出し、DMAPAA 繊維中の三級アミノ基に対するペルオキシチタン錯体アニオンの結合モル比を式 (2) によって算出した。

$$\text{チタン結合モル比} [-] = (\text{チタンイオンの吸着モル数}) / (\text{三級アミノ基のモル数}) \quad (2)$$

2. 4 DMAPAA 繊維へのチタン酸ナトリウム担持

ペルオキシチタン錯体アニオンを吸着させた DMAPAA 繊維を 1.0 M 水酸化ナトリウム水溶液に浸漬し、沈殿生成反応によってチタン酸ナトリウムを繊維表面に析出させた。得られた繊維を DMAPAA-ST 繊維と呼ぶ。DMAPAA-ST 繊維を一晩真空乾燥後、その重量を測定した。チタン酸ナトリウムの担持率を式 (3) で定義し、算出した。

$$\text{チタン酸ナトリウムの担持率} [\%] = 100 \times (W_2 - W_1) / W_1 \quad (3)$$

ここで、 W_2 は DMAPAA-ST 繊維の乾燥重量である。

2. 5 DMAPAA-ST 繊維の表面観察

DMAPAA 繊維および DMAPAA-ST 繊維の表面を、卓上操作型電子顕微鏡 (SEM) を使って観察し、グラフト繊維に担持したチタン酸ナトリウムの形態を調べた。比較として、無定形のチタン酸ナトリウムを担持した SSS-ST 繊維およびその支持体である SSS 繊維の表面を同様に観察した。

2. 6 バッチ法による海水中からのストロンチウム除去速度の評価

作製した DMAPAA-ST 繊維の海水中からの Sr 除去速度の評価法として、日本原子力学会が公表している“福島第一原子力発電所内汚染処理技術のための基礎データ収集”を参照した¹⁹⁾。まず、作製した DMAPAA-ST 繊維を海水 (マグネシウム: 1,300, カルシウム: 410, ストロンチウ

ム: 8.0 ppm) に、海水重量を吸着繊維重量で割って定義される液繊維重量比を 100 として投入し、25°C、100 rpm で振とうした。所定時間経過後に液の一部を採取して、マグネシウム、カルシウム、およびストロンチウムを ICP-AES によって定量した。比較のため、IDA 繊維、SSS-ST 繊維、および SrTreat を使って同様の実験を行った。

2. 7 海水中でのストロンチウム吸着等温線の作成

DMAPAA-ST 繊維を液繊維重量比が 50-500 となるように投入し、25°C、100 rpm で 24 時間振とう後、平衡状態を確認し、ストロンチウムの残存濃度を定量した。初期濃度との差からストロンチウム平衡吸着量を算出することで、式 (4) で表される Langmuir 型の吸着等温線を作成した。ここで、 q_∞ および q_m はそれぞれ平衡および飽和吸着量 [mg-Sr/g-fiber] であり、 K および C_∞ はそれぞれ吸着平衡定数 [L/mg-Sr] および平衡濃度 [mg-Sr/L] である。さらに、式 (4) を変形して式 (5) とし、平衡濃度に対して平衡濃度/平衡吸着量をプロットすることで、傾きおよび切片から、それぞれ q_m および K を求めた。比較のため、SSS-ST 繊維を使って同様の実験をおこなった。

$$q_\infty = q_m K C_\infty / (1 + K C_\infty) \quad (4)$$

$$C_\infty / q_\infty = C_\infty / q_m + 1 / (q_m K) \quad (5)$$

3. 結果と考察

3. 1 DMAPAA の重合曲線

線量を 20~200 kGy の範囲で変えたときの DMAPAA の重合曲線を Fig. 2 に示す。線量が高いほどグラフト率は高

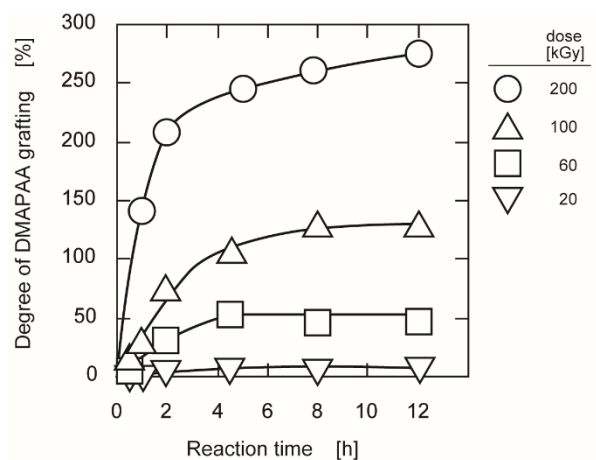


Fig. 2. Time courses of degree of DMAPAA grafting at various doses

くなる一方で、最終グラフト率に達する時間は遅くなった。グラフト率 200%以上の DMAPAA 繊維では、基材のナイロン繊維が膨潤することによる強度の劣化が観察されたため、以後の実験では 100 kGy 照射、グラフト率 130%の DMAPAA 繊維を使用した。

3. 2 ペルオキシチタン錯体アニオンの溶存形態の pH 依存性

各 pH でのチタン溶液の色を Fig. 3 に示す。また、チタン溶液の pH とチタンの結合モル比およびチタン酸ナトリウ

ムの担持率との関係を Fig. 4 に示す。pH < 2.0 でチタン結合モル比は他の pH でのそれと比較して高く、pH 1.6 で最大の 0.85 となった。このとき、pH が上がると、チタン溶液の色は赤色から橙色へと変化した。pH 3 付近ではチタンの結合モル比が減少し、pH 4、5 付近では 0 であった。このとき、チタン溶液には淡黄色のスラリー状の析出物が生じた。pH > 6.0 ではチタン結合モル比は増加し、pH 8.0 で 0.49 まで達した。このとき、チタン溶液の色は透明な黄色であり、さらに、pH が上がると薄い黄色へと変化した。

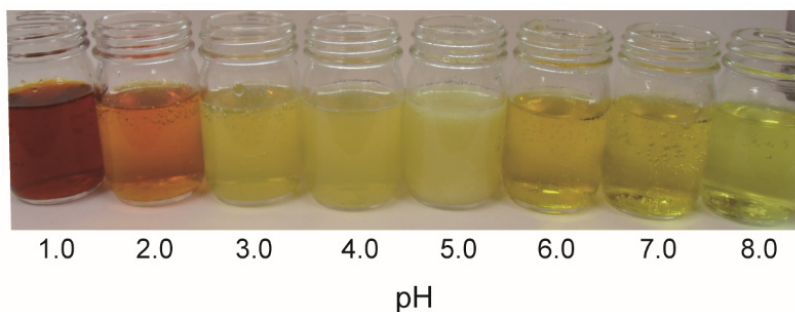


Fig. 3. Color of titanium solution vs pH ranging from 1 to 8

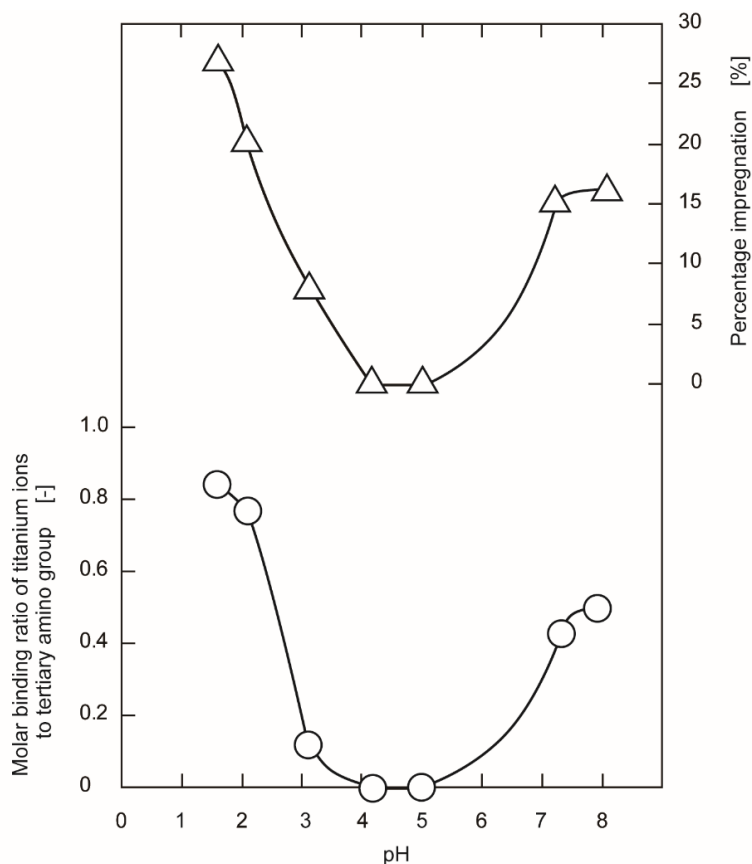


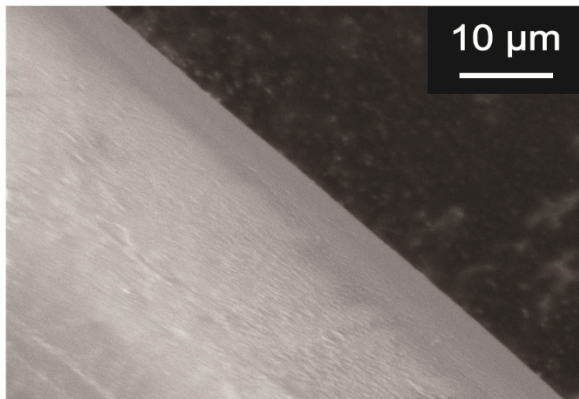
Fig. 4. Molar binding ratio of titanium ions to tertiary amino group and percentage impregnation of the product fiber as a function of titanium solution

チタン結合モル比およびチタン酸ナトリウムの担持率のチタン溶液のpH依存性は類似していた。ストロンチウム吸着容量は担持率に依存するので、以後の実験では pH 1.6 のチタン溶液を使って、担持率が最大の 28%となる

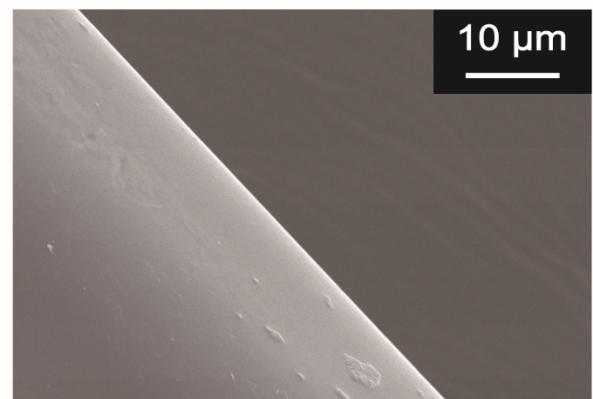
DMAPAA-ST 繊維を使用した。

3. 3 DMAPAA-ST 繊維の表面形態

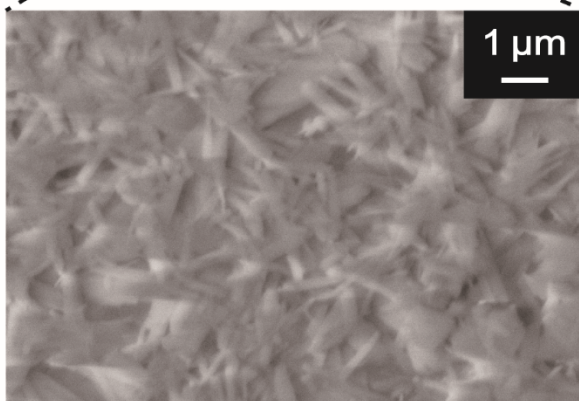
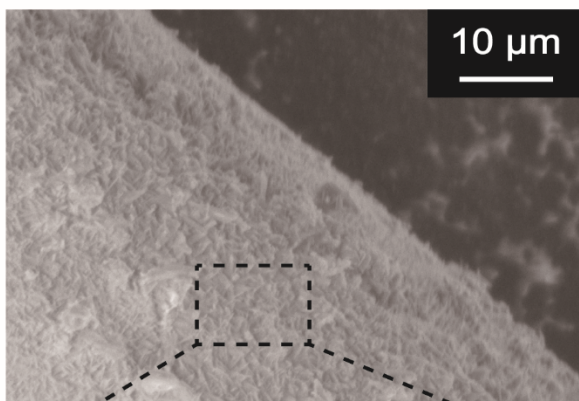
DMAPAA、DMAPAA-ST、SSS および SSS-ST 繊維の表面の SEM 像を Fig. 5 に示す。DMAPAA-ST 繊維には



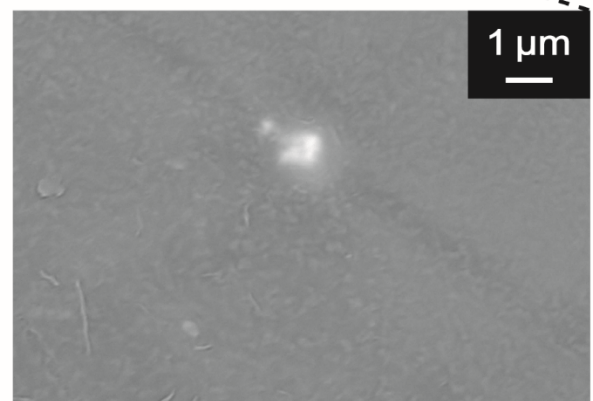
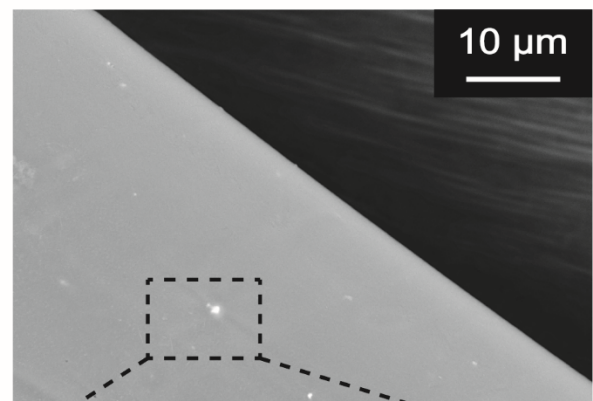
(a) DMAPAA fiber



(c) SSS fiber



(b) DMAPAA-ST fiber



(d) SSS-ST fiber

Fig. 5. SEM images of surface of fiber

(a) DMAPAA fiber (b) DMAPAA-ST fiber (c) SSS fiber (d) SSS-ST fiber

長径約 1 μm の針状結晶が担持していることが観察された。一方、SSS-ST 繊維には析出物が観察されなかった。無定形のチタン酸ナトリウムが繊維表面を覆っていると推察している。

DMAPAA-ST 繊維の表面に、チタン酸ナトリウムの析出物が観察された理由は、DMAPAA 繊維に吸着したイオン種であるペルオキシチタン錯体アニオンがチタン酸ナトリウムの層状骨格を形成するチタン酸 (TiO₂) に構造が類似しているためである。担持したチタン酸ナトリウムはマイナスのゼータ電位を有し²⁰⁾、プラス電荷をもつ DMAPAA-ST 繊維のグラフト鎖との静電相互作用によって安定に担持されると考えられる。

3. 4 DMAPAA-ST 繊維の吸着速度

各種吸着材のストロンチウム吸着速度を Fig. 6 に示す。各種繊維は粒子である SrTreat と比較して高速に Sr を吸着した。SrTreat の吸着速度が遅い理由は、吸着サイトの大部分が粒子内に存在し、粒子内でのストロンチウムの拡散移動が律速になるためである。各種繊維の中では DMAPAA-ST 繊維が最も吸着平衡までに時間を要した。

これは、DMAPAA-ST 繊維の支持体である DMAPAA 繊維のゼータ電位がプラスであり、海水中のカチオンがグラフト鎖に接近しづらいためである。

各種吸着材の最終ストロンチウム除去率を比較すると、高い順に SrTreat、DMAPAA-ST 繊維、SSS-ST 繊維、および IDA 繊維であり、それぞれ 82、77、46、および 36%であった。SSS-ST 繊維と比較して DMAPAA-ST 繊維はチタンイオン種にペルオキシチタン錯体アニオンを採用し、より結晶性の高いチタン酸ナトリウムを担持したことで、ストロンチウム吸着容量を高めることができた。

3 種類の吸着繊維 (DMAPAA-ST、SSS-ST、および IDA 繊維) および SrTreat の海水中でのストロンチウム、カルシウム、およびマグネシウムの吸着性能を比較して Table 1 に示す。吸着性能として、液繊維重量比 100 での平衡時の除去率、吸着量、および次式 (6) で定義される選択係数を載せている。チタン酸ナトリウムを担持した 2 種類の繊維 (DMAPAA-ST および SSS-ST 繊維) は、IDA 繊維と比較して、カルシウムおよびマグネシウムに対するストロンチウムの選択係数は 1 桁大きな値を示した。

$$\begin{aligned} & \text{マグネシウムまたはカルシウムに対するストロンチウムの選択係数 [-]} \\ & = [(\text{ストロンチウム平衡吸着量}) / (\text{液中の残存ストロンチウム濃度})] \\ & \quad / [(\text{マグネシウム or カルシウム平衡吸着量}) / (\text{液中の残存マグネシウム or カルシウム濃度})] \quad (6) \end{aligned}$$

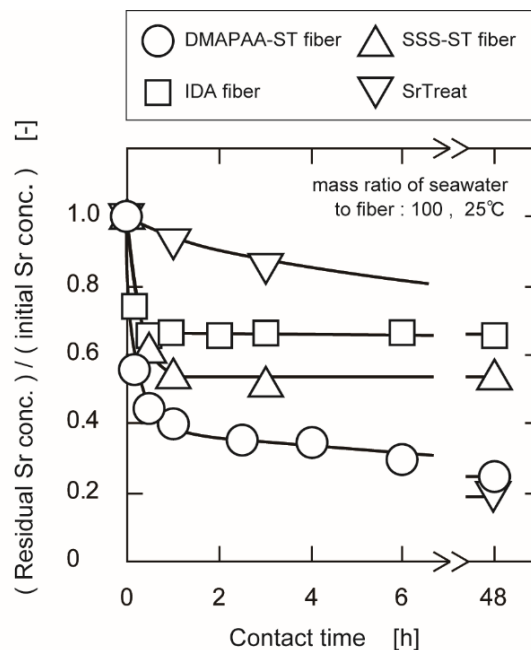


Fig. 6. Comparison of removal rate of strontium from seawater using various adsorbents in batch mode

Table 1. Strontium removal performance in seawater at a mass ratio of seawater to adsorbent of 100

Adsorbents	Functional group	Percentage impregnation [%]	Removal percentage at equilibrium [%]			Amount of adsorbed at equilibrium [mg/g-dry]			Coefficient of selectivity [-]	
			Sr	Ca	Mg	Sr	Ca	Mg	Sr/Ca	Sr/Mg
DMAPAA-ST fiber	DMAPAA	28	77	59	2.7	0.58	4.1	22	2.2	82
SSS-ST fiber	SSS	16	48	28	8.0	0.38	11	10	2.4	10
IDA fiber	GMA	—	36	76	10	0.29	28	10	0.18	5.1

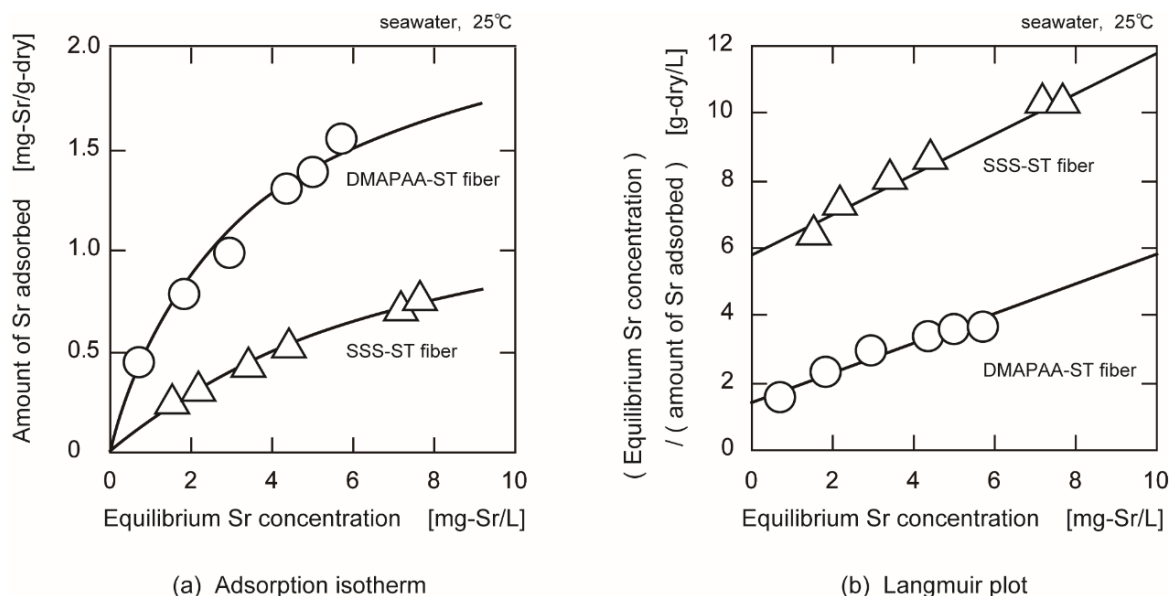


Fig. 7. Adsorption isotherms of DMAPAA-ST and SSS-ST fiber for strontium in seawater

3. 5 DMAPAA-ST 繊維の吸着等温線および Langmuir plot

DMAPAA-ST 繊維および SSS-ST 繊維の吸着等温線および Langmuir plot をそれぞれ **Figs. 7 (a)** および **(b)** に示す。両繊維とも吸着等温式を Langmuir 型に整理できた。SSS-ST 繊維と比較して、DMAPAA-ST 繊維の海水中のストロンチウム濃度での平衡吸着容量は 2.2 倍となった。また、吸着平衡定数は 2.6 倍となった。吸着平衡定数が大きいほど、低濃度での吸着に有利であることを示す。DMAPAA-ST 繊維の吸着平衡定数が SSS-ST 繊維のそれより大きく、低濃度での吸着に有利である理由は、

DMAPAA-ST 繊維に担持されたチタン酸ナトリウムは SSS-ST 繊維に担持されたそれと比べより結晶性が高く、TiO₆ の層状構造がより強固に形成されることで、ストロンチウムとより強く結合するためだと考えられる。

セシウム除去用のフェロシアン化コバルト担持繊維 (Co-FC 繊維²¹) のセシウムに対する吸着平衡定数は DMAPAA-ST 繊維のストロンチウムに対するそれとほぼ同等の値であった。このことから、DMAPAA-ST 繊維に担持したチタン酸ナトリウムのストロンチウムに対する結合力は Co-FC 繊維のセシウムに対する結合力とほぼ等しいことがわかった。

4. 結 言

東京電力(株)福島第一原子力発電所の汚染水からのストロンチウムを除去するために、チタン酸ナトリウムを繊維に担持してきた。チタンのイオン種としてカチオン種 $\text{Ti}(\text{OH})_2^{2+}$ とアニオン種 $[\text{Ti}_2\text{O}_5(\text{OH})_3]^-$ がある。グラフト鎖内で析出するチタン酸ナトリウム粒子がマイナスの電荷をもつため、プラス電荷のアニオン交換グラフト鎖が望ましい。本研究では、ジメチルアミノプロピルアクリルアミド (DMPAA) をグラフト重合したナイロン繊維にペルオキシチタン錯体アニオンを吸着させて、その後、水酸化ナトリウムとの反応によってチタン酸ナトリウムを析出させた。得られたチタン酸ナトリウム担持繊維の海水からのストロンチウムの除去性能を調べ、つぎの結論を得た。

- (1) ナイロン繊維への DMPAA のグラフト重合速度は、電子線照射での線量の増加に伴って増加した。線量を 100 kGy として反応時間 8 時間で得られた DMPAA のグラフト率 130% の繊維の強度は十分であった。
- (2) 硫酸チタン、過酸化水素、アンモニア、および水酸化ナトリウムの混合液の pH を変化させてチタンイオン種の分布を変えて、DMPAA グラフト繊維へのチタンの吸着量を調べた。pH 1-3 および 6-8 の範囲でペルオキシチタンのアニオン種が吸着した。pH 1.6 で最大のチタンモル結合比 0.84 およびそれに続く最大の担持率 28% が得られた。
- (3) チタン酸ナトリウム担持繊維の海水中でのストロンチウムの吸着等温線を測定した。吸着等温線は Langmuir 型に整理できた。海水中のストロンチウム濃度 8 mg/L に対する平衡吸着量は 1.7 mg/g であった。

引用文献

- 1) 斎藤恭一, 藤原邦夫, 須郷高信, グラフト重合による高分子吸着材革命, 丸善(2014)
- 2) R. Ishihara, K. Fujiwara, T. Harayama, Y. Okamura, S. Uchiyama, M. Sugiyama, T. Someya, W. Amakai, S. Umino, T. Ono, A. Nide, Y. Hirayama, T. Baba, T. Kojima, D. Umeno, K. Saito, S. Asai and T. Sugo, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **48**, 1281-1284 (2011)
- 3) 岡村雄介, 藤原邦夫, 飯島直樹, 正田哲也, 鈴木晃一, 須郷高信, 清水 威, 板垣龍人, 高橋 淳, 小野孝

之, 菊池 隆, 染谷孝明, 石原 量, 小島 隆, 梅野太輔, 斎藤恭一, 日本イオン交換学会誌, **24**, 8-13 (2013)

- 4) 後藤聖太, 天海 亘, 藤原邦夫, 須郷高信, 小島 隆, 河合(野間)繁子, 梅野太輔, 斎藤恭一, 日本海水学会誌, **68**, 298-304 (2014) **64**, 219-228 (2015)
- 5) M. Sugiyama, S. Goto, T. Kojima, K. Fujiwara, T. Sugo, D. Umeno, K. Saito, *Radioisotopes*, **64**, 219-228 (2015)
- 6) 原山貴登, 海野 理, 内山翔一郎, 杉山まい, 藤原邦夫, 須郷高信, 浅井志保, 小島 隆, 梅野太輔, 斎藤恭一, 日本海水学会誌, **66**, 295-300 (2012)
- 7) E. A. Behrens, P. Sylvester, and A. Clearfield, *Environ. Sci. Technol.*, **32**, 101-107 (1998)
- 8) M. C. Duff, D. B. Hunter, D. T. Hobbs, S. D. Fink, Z. Dai, and J. P. Bradley, *Environ. Sci. Technol.*, **38**, 5201-5207 (2004)
- 9) A. Clearfield, D. G. Medvedev, S. Kerlegon, T. Bossier, J. D. Burns, and M. Jackson, *Solvent Extr. Ion Exch.*, **30**, 229-243 (2012)
- 10) 海野 理, 河野通堯, 藤原邦夫, 須郷高信, 河合(野間)繁子, 梅野太輔, 斎藤恭一, 日本海水学会誌, **68**, 89-93 (2014)
- 11) 河野通堯, 海野 理, 藤原邦夫, 須郷高信, 小島 隆, 梅野太輔, 斎藤恭一, 日本海水学会誌, **68**, 258-263 (2014)
- 12) Y. Inoue and H. Yamazaki, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **24**, 462 (1987)
- 13) Y. Fovet, J.-Y. Gal, and F. T.-Chemla, *Talanta*, **53**, 1053-1063 (2001)
- 14) M. Nyman and D. T. Hobbs, *Chem. Mater.*, **18**, 6425-6435 (2006)
- 15) J. Muhlebach, K. Muller, and G. Schwarzenbach, *Inorg. Chem.*, **9**, 2381-2390 (1970)
- 16) H. Ichinose, M. Terasaki, and H. Katsuki, *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, **22**, 33-40 (2001)
- 17) J. Letho, L. Brodtkin and R. Harjula, *Nucl. Technol.*, **127**, 81-87 (1999)
- 18) H. Ichinose, M. Taira, S. Furuta and H. Katsuki, *J. Am. Ceram. Soc.*, **86**, 1605-1608 (2003)

- 19) “Contaminated liquid water treatment for Fukushima Daiichi NPP (CLWT) ” , [http://www.Nuce-aesj.org/projects: clwt: stary](http://www.Nuce-aesj.org/projects/clwt:stary). (1970)
- 20) 尾方 昇, 井上信子, 日本海水学会誌, **24**, 149-153
- 21) 天海 亘, 杉山まい, 藤原邦夫, 須郷高信, 梅野太輔, 齋藤恭一, 日本海水学会誌, **68**, 18-24 (2014)

Removal of Radioactive Strontium from Seawater of Harbor near TEPCO Fukushima Daiichi NPP Using Sodium-Titanate-Impregnated Fiber

Kyoichi SAITO

Chiba University

Summary

Radioactive substances such as cesium-137 and strontium-90 were released to the environment by Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant of TEPCO, which was damaged by the East Japan Earthquake. In the area in front of seawater intake of No.1 to 4 reactors of the nuclear power plant, seawater contaminated with radioactive substances such as cesium-137 and strontium-90 is currently stored at extremely low concentrations.

For the removal of strontium from seawater, sodium titanate was impregnated onto a commercially available 6-nylon fiber by radiation-induced graft polymerization and subsequent chemical modifications. First, dimethylaminopropyl acrylamide was graft-polymerized onto an electron-beam-irradiated nylon fiber, followed by binding of peroxo complex of titanium anions onto the anion-exchange group of the graft chain. Then, bound titanium species were converted into sodium titanate by a reaction with sodium hydroxide. Equilibrium binding capacity of the fiber for strontium in seawater was calculated as 1.7 mg/g from Langmuir adsorption isotherm.