

ラボスケールカラム通水試験における陰イオン交換樹脂と粒状活性炭による PFAS 除去性能の評価

金沢大学大学院自然科学研究科 ○金井佑磨, Shahanaz Parvin 金沢大学理工研究域 原宏江*, 本多

中央大学理工学部 山村寛 三菱ケミカル株式会社 山崎亜希, 安藤信吾

*hiroeh@se.kanazawa-u.ac.jp

Evaluation of PFAS Removal by Anion Exchange Resins and Granular Activated Carbon in Laboratory Scale Column Tests, by Yuma Kanai, Shahanaz Parvin, Hiroe Hara-Yamamura, Ryo Honda (Kanazawa University), Hiroshi Yamamura (Chuo University), Aki Yamasaki, and Shingo Ando (Mitsubishi Chemical Corp.)

1. はじめに

ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) 及びペルフルオロオクタン酸 (PFOA) (以下, PFAS) は, 熱的・化学的安定性に優れ, 撥水剤, 防汚剤, 消火剤など広く産業利用されてきた一方, 水環境における高い残留性や人体及び生態系への影響を有することから世界的に規制が進められている. これまでに, 陰イオン交換処理の PFAS 除去に対する有効性が報告されているが, PFAS 除去に適した樹脂特性は十分に明らかになっていない. 本研究では, 2 種類の強塩基性陰イオン交換樹脂と粒状活性炭を対象に, PFAS 添加河川水を用いたラボスケールカラム通水試験を行い, 様々な共存物質の存在下において PFAS 除去に有利な樹脂特性を検討した. また, 陰イオン交換樹脂と粒状活性炭の PFAS 除去性能を比較した.

2. 実験方法

カラム作製: 三菱ケミカル製の 2 種類の強塩基性陰イオン交換樹脂及び Calgon Carbon 製の粒状活性炭を用いた (表 1). 3D プリンターを用いて全高 10 cm, 口径 1 cm の PP 製カラムを自作し, グラスウールとジルコニアビーズが吸着材を上下から挟み込む形で充填した.

通水試験: 沖縄県大工廻川で採取した河川水に PFOA 及び PFOS をそれぞれ終濃度 287 ng/L, 923 ng/L (実濃度の 10 倍の濃度) となるように添加し供給水とした. これを上記で作製した 3 カラムにデジタルポンプ (Master Flex 07528-10) を用いて流速 3 mL/min で通水した. 通水開始時から 0, 7, 14, 17 日後にカラム流出水を採取した.

LC/MS/MS 分析: カラム流出水 250 mL にサロゲートとして ¹³C₄-PFOS 及び ¹³C₄-PFOA を添加し, OASIS WAX カラム (Waters) を用いて固相抽出を行った. 定量には, LC/MS/MS (島津製作所 LCMS-8045) を用いた.

樹脂断面の元素分析: 通水試験後のカラムを超音波カッターにより切断し, 陰イオン交換樹脂を取り出して 50 度のオーブンで 2 晩乾燥させた. 集束イオンビーム装置と走査電子顕微鏡-エネルギー分散型 X 線分光装置の複合装置 (FIB-SEM-EDX) を用い, 樹脂断面の構造及び元素分布を調べた.

3. 結果と考察

カラム通水試験における陰イオン交換樹脂 (HPA25M, SA12A) 及び粒状活性炭 (FILTRASORB) による PFAS 除去率を図 1 に示す. 陰イオン交換樹脂の PFAS 除去率は, 概して, 25,000 BV 付近まで 100% 近い高い値を維持し, その後次第に低下した. ただし, ゲル型の SA12A による PFOA 除去率は 15,000 BV 以前に低下し始め, 試験終了時には 0% であった. 一方, FILTRASORB の PFAS 除去率は, 試験開始直後の 80% 前後から通水に伴い徐々に減少し, 試験終了時にはほぼ 0% となった. 吸着材 1 g に対する PFAS の累積吸着量を図 2 示す.

HPA25M・SA12A の PFAS 吸着量は試験期間を通じて FILTRASORB より高い値となったが, 25,000 BV 以降はやや停滞した. また, いずれの吸着材によっても PFOA より PFOS の吸着量が大きかった. 以上の結果から, 本研究で対象とした 3 種類の吸着材においては, 強塩基性陰イオン交換樹脂の粒状活性炭に対する優位性と, 樹脂の多孔性が PFOA 除去に有利である可能性が示唆された. さらに, PFOS に比べ PFOA の吸着が環境水中の共存物質によって妨げられやすいものと推測された.

FIB-SEM-EDX 分析により, 樹脂表面及び断面における S 元素の様な分布が確認された. 一方, F 元素は検出強度に対してバックグラウンドが高く, 吸着の有無や分布を検討することができなかった.

表 1 使用吸着材

種類	強塩基性陰イオン交換樹脂		粒状活性炭
製品名	HPA25M (三菱ケミカル)	SA12A (三菱ケミカル)	FILTRASORB (Calgon Carbon)
密度 (g/L)	690	670	540
粒径 (μm)	390	650	550~750
構造	超多孔質	ゲル型	粒状

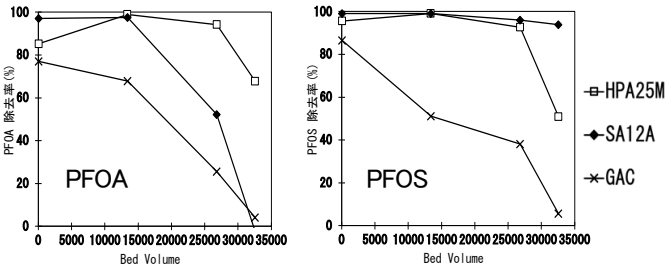


図 1 カラム通水試験における PFOA 及び PFOS の除去率(%)

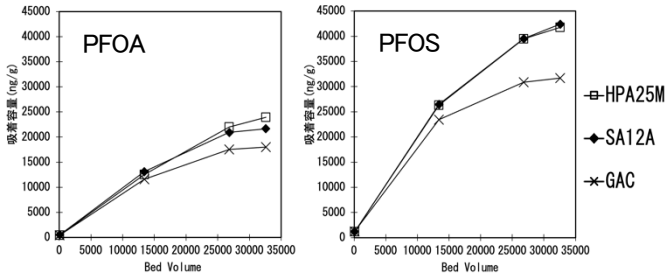


図 2 吸着材 1 g に対する PFOA 及び PFOS の累積吸着量

4. 結論

PFAS 添加河川水を用いたラボスケールカラム通水試験において, 強塩基性陰イオン交換樹脂の粒状活性炭に対する優位性が改めて確認された. また, いずれの吸着材によっても PFOS に比べ PFOA の除去が困難であることが示された.