

第 68 回日本水環境学会セミナー
(学会設立 50 周年記念事業)

PFOS, PFOA およびその他の PFAS をとりまく
国内外の現状と課題

講演要旨集

2023 年 1 月

主催 公益社団法人 日本水環境学会

第 68 回日本水環境学会セミナー
(学会設立 50 周年記念事業)

PFOS, PFOA およびその他の PFAS をとりまく
国内外の現状と課題

目 次

有機フッ素化合物に関する水環境行政の取組みについて……………	1
環境省 水・大気環境局水環境課 課長補佐 百瀬嘉則	
水道における有機フッ素化合物の実態と対応……………	2
国立保健医療科学院 生活環境研究部 上席主任研究官 小坂浩司	
土壌・水系における有機フッ素化合物類に関する挙動予測手法と効率的除去技術の開 発……………	3
京都大学大学院 地球環境学堂 環境調和型産業論分野 准教授 田中周平	

有機フッ素化合物に関する水環境行政の取組みについて

環境省 水・大気環境局水環境課
課長補佐 百瀬 嘉則

近年特に動向が注目されている有機フッ素化合物については、2010年にペルフルオロオクタンスルホン酸（PFOS）を、2021年にペルフルオロオクタノ酸（PFOA）を化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（昭和48年法律第117号）の第一種特定化学物質に指定し、製造・輸入等を原則禁止している。

また、2020年にPFOS及びPFOAを水質に関する要監視項目に位置付け都道府県等の地域の実情に応じ水質測定を行うとともに、2022年12月にこれらを水質汚濁防止法（昭和45年法律第138号）の指定物質に追加し、事故に伴って流出する場合の措置を関係事業者に義務づける（2023年2月より施行）など、監視強化やばく露防止の対応を図っている。

PFOS等の有機フッ素化合物について、その目標値や基準に関し国際的にも様々な科学的な議論が行われている一方、関係自治体や地元住民からはその影響に関する不安や、目標値や基準値の検討等の対応を求める声が上がっている。環境省では、こうした声や、国際的動向を受けて、本年早々にも専門家会議を設置し、水環境の目標値等の検討、さらにはPFOS等の総合戦略の検討を進め、国民の安全・安心のための取組を全力で進めていく。

また、昨年夏には、厚生労働省における感染症対策の体制強化の一環として、水道行政を厚生労働省から国土交通省及び環境省に移管する方針が決定され、令和6年度から環境省が水道水質基準の策定等を所管することとなった。水道に対する安全・安心をより高められるよう厚生労働省・国土交通省としっかりと連携し業務移管の準備を進め、上述のPFOS等対応についても、厚生労働省における水道水質に関する基準等の検討と足並みを揃えて進めていく。

水道における有機フッ素化合物の実態と対応

国立保健医療科学院 生活環境研究部

上席主任研究官 小坂 浩司

有機フッ素化合物は、現在、世界的に関心が高く、その対応が求められている物質群の一つである。海外の複数の国々や機関では、飲料水中のガイドライン値（暫定を含む）を公表している。日本の場合、有機フッ素化合物のうち、PFOS、PFOAが、2009年4月に要検討項目に指定され、2020年4月に水質管理目標設定項目に格上げされた（目標値：合計で50 ng/L）。また、2021年4月にPFHxSが要検討項目に設定された。検査法の整備も行われ、2020年に通知法が示された。

国内の水道水中のPFOS、PFOAの存在状況は、2000年代から調査が行われ、2010年には厚生労働省による全国調査も行われた。浄水中濃度について、2000年代から調査が行われているところの経年変化を見ると、当時に比べて現在は低下傾向にある。関連学会における有機フッ素化合物関係の発表件数の推移を見ると、2010年前後から減少傾向にあったが、近年は再び増加しており、関心の高さがうかがえる。2022年に発刊された水道統計（（公社）日本水道協会、2020年版）では、初めて有機フッ素化合物の調査結果が報告された。浄水中のPFOSとPFOAの合計値は、多くの地点で5 ng/L未満であったが、複数の地点で50 ng/Lを超過していた。現状、調査地点は十分ではないと考えられるため、より多くの地点での実態把握が求められる。また、原水中濃度が高かった地点の発生源の特定、PFOS、PFOA以外の有機フッ素化合物の調査についても情報は不足しているため、さらなる検討が必要である。

有機フッ素化合物の浄水処理方法として、活性炭処理、イオン交換処理、逆浸透膜処理が知られている。このうち、実用的な方法として活性炭処理、イオン交換処理が考えられているが、特に、国内では、活性炭処理が比較的多くの浄水場において適用されている。ただし、現状、活性炭処理の適用対象は、かび臭物質や消毒副生成物前駆物質等であるため、有機フッ素化合物の除去性は、その点も踏まえて評価し、今後、有機フッ素化合物を適用対象とする場合は、それに応じた運転方法についても考える必要がある。また、多種の有機フッ素化合物を対象とする場合、その物性（解離を考慮した分配係数、 $\text{Log } D$ ）と除去性を関連付けて評価すると有用である。

本セミナーでは、水道における有機フッ素化合物の実態や除去性等について紹介する。その一部は、厚生労働科学研究費補助金（22LA1007）において共同研究者の方々々と実施した内容である。関係水道事業者の方々に、データや試料の提供等、多大なご協力をいただいた。ここに謝意を表する。

土壌・水系における有機フッ素化合物類に関する挙動予測手法と効率的除去技術の開発

京都大学大学院 地球環境学堂 環境調和型産業論分野

准教授 田中 周平

はじめに

人工的に作り出された有機化合物が地球上のさまざまな生物から高濃度で検出されている。テフロン[®]の製造に使われ、製品にも含まれるペルフルオロオクタン酸 (PFOA) について、2003年にUSEPAが「人間にとっておそらく発ガン性物質である」と発表して以降、ペルオキシソーム増殖、肝臓肥大、ステロイドホルモン生産量変化、体重減少、発生毒性、生殖毒性 (*Toxicol. Appl.*, 2005) に加えて、抗体生産の抑制、胸腺や心臓の機能低下等 (*Biochem. Pharmacol.*, 2001) の影響が報告されてきた。その後、腎臓、肝臓、肺に蓄積する傾向にあり、肺においてはかなり深刻な損傷発現があると報告されている (環境省, 2011)。さらに、前駆体である 8:2 フッ素テロマーアルコール (FTOH) の慢性毒性としては、ステロイドホルモンの生産を阻害する可能性 (Liu *et al.*, 2011)、慢性毒性としては PFAAs (Perfluoroalkyl Acids) よりも強い毒性を示す可能性 (Michelle *et al.*, 2010) が報告されている。さらにアルデヒド基を持つ前駆体が、細胞毒性としては PFAAs よりも強い毒性を持つことが示されている (Rand *et al.*, 2013)。

環境汚染の変遷と規制動向

最初に有機フッ素化合物類による環境汚染の変遷と規制動向について概説する。2006年の Stewardship program や 2009年ストックホルム条約において PFOS および類縁化合物が制限 (附属書 B) されて以降、2016年の U.S.EPA による飲用水の健康基準勧告値の設定、2018年の European Food Safety Authority (EFSA) による耐容週間摂取量 (TWI) の設定などが続き、2019年にはストックホルム条約において PFOA および類縁化合物が廃絶 (附属書 A) 対象となった。産業界は代替物質として炭素鎖 6 のスルホン酸 (PFHxS) やカルボン酸 (PFHxA) の生産量を増加させたが、PFHxS が 2017年に REACH の高懸念物質に追加され、2022年にはストックホルム条約において廃絶対象となった。2022年に USEPA は PFAS に関するガイドラインを発表し、健康指針値として PFOS 0.02 ng/L, PFOA 0.004 ng/L を掲げた。これは最新の科学的見地を踏まえ、生涯にわたって摂取し続ける影響を考慮し決定したとされている。ゼロに近い量でも健康に悪影響を及ぼす可能性が指摘されている。2022年10月ニュージャージー州では PFOS, PFOA に加えて PFNA, GenX に関して土壌浄化暫定基準を州官報に掲載した。2023年からは 29種類の PFASs (Per- and polyfluoroalkyl substances) について米国全国の飲料水中の調査が実施されることが発表されている。これらの動向に伴い、2022年12月、3M社は2025年末までに PFASs の製造から撤退することを発表した。

環境動態

多種多様な有機フッ素化合物類が存在することが報告されている (OECD, 2019)。その数は 4,730 と言われ、その中で PFAAs の前駆体は 600 種類以上あると報告されている。それらは環境中で中間生成体を経由して最終生成物である PFAAs に変化することが報告されている。本報告では生成ポテンシャルの一部である酸化可能前駆体を分析可能とする TOP (Total Oxidisable Precursor) Assay について開発事例を紹介する。また、2004 年から継続している琵琶湖・淀川流域における PFASs 調査の結果概要について、PFAAs および前駆体、酸化可能前駆体、全有機フッ素の挙動を中心に報告する。

下水処理

世界各地の 46 の下水処理工程における分析の結果、放流水中の方が流入水よりも高濃度で PFOS, PFOA が含有する傾向を得た。その後、前駆体の存在が明らかとなり、返送汚泥を通じた生物処理の過程での前駆体から PFAAs への変化が明らかとなった。前駆体はパーソナルケア製品中に高濃度で含有されており、それらの一部が下水処理過程で PFAAs に変化していた。本報告では生物処理における前駆体からの変化について概説する。さらに、産業廃水中の PFASs のイオン交換樹脂による効率的処理方法の検討についても報告する。

上水処理

取水源が PFASs 汚染されていた上水処理工程において PFAAs, 前駆体, 酸化可能前駆体の挙動調査を実施した。凝集沈殿、急速ろ過、オゾン処理、生物活性炭処理における挙動を概説し、特に活性炭の使用期間と除去率の関係についての検討結果を報告する。また、今後予想される水道水中の健康指針値の低下に伴う高度処理について、特にイオン交換樹脂による吸着処理と再生、再利用の可能性の検討、さらに NF 膜による PFASs 処理における pH の影響、ゼータポテンシャルの影響についての研究事例を報告する。

土壌・地下水対策

沖縄県における PFASs 汚染事例を対象としたノンターゲット分析による前駆体の推定方法について概説する。令和 3~5 年度に実施する環境研究総合推進費「土壌・水系における有機フッ素化合物類に関する挙動予測手法と効率的除去技術の開発」の概要と現在までの進捗状況について概説する。その中で、世界各国における土壌・地下水に関する規制について紹介するとともに、世界の PFASs 汚染土壌に関する報告例をいくつか紹介する。また、沖縄県で実施したボーリング調査結果から、地下水への溶出と土壌への PFASs 含有量との関係について説明するとともに、適正溶出溶媒の検討結果を報告する。

謝辞：本研究の一部は環境省・(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(5-2101)により実施した。一緒に研究した京都大学環境調和型産業論分野のみなさまに特に感謝する。