

# 第1章 水道におけるPFAS問題の現状と 規制・対策動向

小坂浩司\*

## 1 PFASの規制の動向

ペルフルオロおよびポリフルオロアルキル化合物（PFAS）は、撥水・撥油性、熱・化学的安定性等の物性を持ち、テフロン加工、メッキ加工等、様々な用途に使用されている<sup>1)</sup>。PFASの統一した定義は無いが、2021年、経済協力開発機構（OECD）は、新たな定義として「少なくとも1つの完全にフッ素化されたメチルまたはメチレン基（フッ素が結合している炭素原子に水素、塩素、臭素、ヨウ素原子が結合していないもの）を含むフッ素化合物」を示している<sup>1,2)</sup>。PFASの種類も統一的な数値は無いが、米国環境保護庁（US EPA）は12,000種以上のリストを示しており、また、ペルフルオロスルホン酸（PFSA）、ペルフルオロカルボン酸（PFCA）等のいくつかの同族体がある<sup>1,3)</sup>。代表的なPFASであるペルフルオロオクタンスルホン酸（PFOS）、ペルフルオロヘキサンスルホン酸（PFHxS）はPFASに、ペルフルオロオクタン酸（PFOA）はPFCAに属する（図1）。

現在、日本の水道水質基準は、遵守と検査が義務である水質基準項目、基準項目に準じた検査が要請されている水質管理目標設定項目、今後、調査が必要な要検討項目に分類され、2024年4月時点で、それぞれ51、27、46項目が指定されている（図2）<sup>4)</sup>。PFOSおよびPFOAは、2020年、要検討項目から水質管理目標設定項目に格上げされ、暫定目標値として合算濃度で50 ng/Lが示された（耐用一日摂取量（TDI）：いずれも20 ng/kg 体重 / 日）<sup>5)</sup>。また、2021年、PFHxSが要検討項目に指定された<sup>6)</sup>。これら3物質は、現在、第一種特定化学物質に指定されている<sup>7)</sup>。

2024年6月、食品安全委員会は、PFASに対する評価書を公表した<sup>8)</sup>。PFOSについて兎動物における体重増加抑制を、PFOAについてマウス生殖・発生毒性試験で見られた胎児の前肢および後肢の近位指節骨の骨化部位数の減少、雄の兎動物の性成熟促進を採用し、いずれもTDIとして20 ng/kg 体重 / 日を設定した。環境省の水質基準逐次改正検討会では、評価書等を踏まえて水質基準項目等の分類見直しについて検討し、PFOSおよびPFOAの水質基準への格上げの方針を示した（基準値：合算濃度で50 ng/L）<sup>9)</sup>。

飲料水中のPFASの規制については、国外でも検討が進められている。米国では、2024年、第一種飲料水規則に基づく最大許容濃度（MCL）として、PFOS、PFOAについて4 ng/Lを、

---

\* Koji KOSAKA 国立保健医療科学院 生活環境研究部 上席主任研究官

## 第2章 嫌気 MBR による高濃度有機排水の処理

小松和也\*

### 1 はじめに

微生物を利用した有機排水処理法には、酸素を必要とする好気処理法と、酸素を必要としない嫌気処理法がある。嫌気処理は、酸素のない嫌気環境において生育する嫌気性菌の代謝作用により、排水中の有機物をメタンと二酸化炭素にまで分解する技術であり、活性汚泥法に代表される好気処理と比べて、以下のようなメリットがある<sup>1)</sup>。

- ①酸素供給のための曝気ブロワが不要のため、消費動力を好気処理の 1/2 ~ 1/3 に低減できる。
- ②菌体収率が小さいため、余剰汚泥の発生量が好気処理の 1/3 ~ 1/5 程度と少ない。
- ③処理に伴い、メタンガスを主成分とするバイオガスが得られる。排水性状によってばらつきはあるものの、1 kg の COD<sub>Cr</sub> が分解されると、60 ~ 80% のメタンを含有するバイオガスが 0.4 ~ 0.5 Nm<sup>3</sup> 発生する。このガスの熱量は約 12,000 kJ に相当し、ボイラにより熱として、発電機により約 1 kWh の電気として、それぞれエネルギー回収できる。

嫌気処理は、国内では 1950 年代から主に下水汚泥やし尿の処理において、汚泥の減量化、安定化を目的とした嫌気消化法が適用されていたが、排水処理としては 1980 年代以降、UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket) 法や EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) 法が開発されて、中高濃度排水 (COD<sub>Cr</sub> 濃度として 2,000 ~ 3,000 mg/L 以上) を対象に適用されるようになった。

UASB 法や EGSB 法は、有機物の嫌気分解に関与する酸生成菌とメタン生成菌がお互いに絡み合って自己造粒する性質を利用して、沈降性に優れた直径 1 ~ 2 mm の球状のグラニューール汚泥を反応槽内で形成、保持することによって処理を行うものである。汚泥を高濃度に保持できることから、COD<sub>Cr</sub> 槽負荷 10 ~ 30 kg/m<sup>3</sup>/d の高負荷処理が可能であり、省エネ、省廃棄物、省スペースの排水処理技術として普及した。現在、国内で稼働している処理施設は、食品、飲料工場等を中心に、当社製、他社製合わせて 300 基前後に達している。

また、2000 年代以降には、流動性のある樹脂製担体の表面に嫌気性菌を付着させて、生物膜により処理を行う担体式嫌気処理が開発され、排水中の有機物組成の点などから、グラニューールの形成、維持が困難で嫌気処理が難しいとされていた化学工場や電子デバイス工場の排水に対し

---

\* Kazuya KOMATSU 栗田工業(株) イノベーション本部 イノベーション技術開発部門  
グリーンテックグループ

# 第3章 水処理分野における膜技術の最新動向

大熊那夫紀\*

## 1 はじめに

都市の開発や人口増加に伴う水不足は、世界各地で深刻な社会問題となっており、水不足対応は持続可能な社会構築に向けた活動の一つとして重要な項目となっている。日本においては、2024年正月の能登地震をはじめとして、各地での豪雨被害などで水問題が改めてクローズアップされた。そのため、2024年8月には、一年前倒しの水循環基本計画の改定が閣議決定され、復興自治体の判断により分散型システムの導入推進が可能となった。これらを受けて、国は、災害対応の水処理システムの開発を進めている。また、新規有害物質のPFAS問題の対応もあり、膜技術の活躍の場はこれまで以上に大きくなってきている。

## 2 水道分野

水道分野への膜技術の導入検討は、1991年のMAC21計画で始まった。それ以来、水道技術研究センター主導で各種プロジェクトが実施され、現在では、900か所を超える膜利用型浄水設備が稼働し、190万 $\text{m}^3/\text{d}$ の浄水量を水道として供給している。これを図1<sup>1)</sup>に示す。膜ろ過の水源は地下水から表流水に移行傾向であり、技術としては、凝集膜ろ過が主流となってきている。国内は、セラミック膜が最大のシェアと占めている。最近では、水位差膜ろ過が採用され、低動力運転が可能となっている。凝集膜ろ過の膜ファウリング制御については、山村<sup>2)</sup>の研究が進んでいる。

一方、世界では、4,000万 $\text{m}^3/\text{d}$ 以上の膜型浄水場が稼働しており、最大の膜型浄水場はアゼルバイジャンで稼働している処理能力520,000 $\text{m}^3/\text{d}$ の設備である。近年では、日本製のセラミック膜で210,000 $\text{m}^3/\text{d}$ の設備が稼働している。

## 3 海水淡水化

海水淡水化市場に占める技術動向を図2<sup>3)</sup>に示す。RO膜技術は、膜性能の向上、エネルギー回収装置の開発、再生可能エネルギーの活用などによる技術向上が顕著で、現在では約7割がRO膜法となっている。日本製の膜のシェアは1/2であるが、韓国や中国製の膜が低価格を背景

---

\* Naoki OHKUMA (一財)造水促進センター 専務理事

# 第1章 国内外の水環境・水規制の動向

## 1 水環境と水質規制

### 1.1 概要

水環境とは、水が存在する自然環境や人工環境のことで、河川・湖・海・地下水・湿地などが含まれる。水環境は、地域の生態系・人間の生活・農業・工業など、様々な側面に影響を与えている。

水質は、水の清浄さを表しており、飲料水や生活用水、工業用水としての適性を評価するものである。水質は化学物質・微生物・重金属などの影響を受けている。

水量は、特定の地域における水の総量を表しており、降水量・蒸発量・流出量などで決定される。水量は洪水や干ばつなどの自然災害に直接関係する要因である。

一方、水環境は多様な動植物の生息地であり、魚類・昆虫・水生植物などが生息している。生態系の健康は水質や水量によって大きく影響を受ける。また、農業・工業・都市開発などの人間活動は水環境に大きな影響を与えており、特に、水質汚染や過剰な水利用が起因して問題が発生することがある。

水質汚染は世界が抱えている深刻な問題の1つである。世界には水質が悪化して水道水が飲めなくなり、飲み水が確保できない地域がある。また、川の水が生命線だった地域では、きれいな水が確保できないため汚れた水を生活用水や飲み水として使用し、重篤な感染症によって命を落としてしまう人も多い。さらに、海洋の水質汚染は海洋生物の減少につながり、漁獲量が減って食卓への影響も大きくなる。

水質悪化の主要な原因は、生活排水・産業排水・地球温暖化などで流れ出る汚染物質が自然の持つ浄化力を大きく上回ってしまっているからである。生活排水は家庭から出る排水である。通常は水中に棲む微生物によって分解されるが、汚れが多すぎると分解しきれず、残った汚れがどんどん溜まってしまい水質汚染につながる。

産業排水は工場や事業所、農場などから流れ出る汚れた水である。かつて日本では、多くの産業排水が河川に流れ込み、イタイイタイ病や水俣病などを引き起こす要因となった。その後規制が強化されたために、現在では産業排水による水質汚染は減少している。

その一方で、今日ではプラスチックによる環境汚染や健康への影響が問題化し、クローズアップされている。中でもマイクロビーズによる海洋汚染の問題が世界中で大きな問題となりつつある。マイクロビーズは、マイクロプラスチックの1つである。マイクロプラスチックとは用途や形状を問わず、5 mm以下のプラスチック粒子をいい、マイクロビーズは目に見えないほど小さな球状のビーズを指す。大きさの定義は正確には決まっていないものの、環境省の資料によると、数 $\mu$ ~数百 $\mu$  (0.001 mm~0.1 mm)程度とされている。

### 1.3.2 水質規制

米国には「水質浄化法（CWA）」、「安全飲料水法（SDWA）」、「連邦食品・医薬品・化粧品法（FFDCA）」、「資源保全回収法（RCRA）」、「スーパーファンド法（CERCLA）」などの規制が存在する。

水質浄化法は、米国における水質汚染規制の基本法であり、地表水の水質基準等の根拠法でもある。しかし、この法律には地下水汚染防止に直接かかわる条項はなく、地下水関連は安全飲料水法などが規制対象となっている。水質浄化法では規制が及ぶ範囲を可航水域という言葉で表している。これは、同法がもともと、河川港湾法などの航路関係の法律を補完するものとして制定されたことに由来している。しかし、実際には水質浄化法は航行可能な水域ばかりでなく、上流河川・湖沼・湿地帯なども規制対象に含めて運用されている。そのため、オバマ政権時代に規制対象となる水域を「合衆国の水域」として定義し直す規則が制定された。

安全飲料水法は、飲料水の水質を保証するための法律である。この法律に基づき、環境保護庁（EPA）が飲料水の水質基準を設定し、州・自治体・上水道事業者等を監督している。ただし、ボトル・ウォーターは連邦食品・医薬品・化粧品法によって規制されている。

連邦食品・医薬品・化粧品法は、食品、医薬品、および化粧品の安全性を確保するための法律である。2015年に成立したマイクロビーズ・フリー・ウォーター法により、製造・販売・流通禁止の対象に、マイクロビーズが意図的に添加されたリンスオフ製品が加えられている。具体的には、2017年7月にマイクロビーズを使用した水で洗い流すことができる化粧品（歯磨き粉含む）の製造が禁止され、2018年6月には販売が全面禁止となった。ただし、生分解が可能なプラスチックには明確な言及がなく、一部の識者の間では「法案に抜け穴がある」と指摘されている。

その他、資源保全回収法は、固形廃棄物および有害廃棄物の処分に関する法律で、地下水汚染防止にも関連している。また、スーパーファンド法は、有害物質で汚染された土地の浄化のための法律で、地下水汚染防止にも関連している。

PFASについては、世界中でもかなり早い段階で規制に取り組んでいる。2009年から水道水の暫定健康勧告値を設定するなどの規制が整備され始め、その後、2020年の大統領選でバイデン氏がPFASの規制強化を公約に掲げて当選、さらなる規制の強化を進めている。2023年3月には飲料水中のPFASについて国家統一基準案が発表されている。

## 1.4 EUの水環境と水質規制

### 1.4.1 水環境

世界で最も早く産業革命が起こったヨーロッパでは、社会や生活に大変革をもたらした反面、同時に大量の石炭やコークス消費に伴う環境破壊を凄まじい速度で進行させた。ヨーロッパの環境意識が高いのは、このような過去の苛烈な環境破壊の反省を背景としており、環境保全に対する責任が生まれ、生活排水や排気ガスに関する規制に世界のどこよりも早く着手することに結び