

PFOS等汚染水浄化対策技術の開発

芳 賀 直 樹^{*1} 林 夕紀子^{*1}
 森 川 純^{*1} 太 田 匡 哉^{*2}
 國 井 聡^{*1}

要 旨

有機フッ素化合物の一種であるPFOS, PFOAは、その有用性から多くの産業で使用されてきたが、有害性や環境残留性が問題となり、規制が強化されている。これらは水への溶解度が高いため、水を介した汚染拡大が問題となる。そこで、PFOS等含有水からPFOS等を吸着除去する浄化装置を開発した。

本浄化装置では吸着能力が高いイオン交換樹脂を採用し、水槽に貯留された汚染水を循環浄化方式にて処理する手法により、濃度推移を予測しながら浄化処理を行う工法を確立した。

本浄化装置及び浄化工法を現場に適用し、複数の浄化業務を完遂した。

キーワード 有機フッ素化合物／PFOS／PFOA／吸着処理／汚染水浄化

目 次

- | | |
|-----------|-----------|
| 1. 背景 | 4. 現場適用事例 |
| 2. 室内試験 | 5. まとめ |
| 3. 浄化工法検討 | |

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR PURIFYING PFAS-CONTAMINATED WATER

Naoki HAGA	Yukiko HAYASHI
Jun MORIKAWA	Masaya OOTA
Satoshi KUNII	

Synopsis:

PFOS and PFOA, types of organic fluorine compounds, have been widely used in many industries due to their usefulness. However, concerns over their toxicity and environmental persistence have led to stricter regulations. Their high solubility in water poses a problem for the spread of contamination through water. Therefore, we developed a purification device that adsorbs and removes PFOS and similar compounds from water containing them.

This purification system employs ion exchange resin with high adsorption capacity. It establishes a purification method that treats contaminated water stored in tanks using a circulating purification process, enabling purification while predicting concentration changes.

This purification system and purification method have been applied on-site, successfully completing multiple purification projects.

* 1 本店 ICI 総合センターICI テクノロジーセンター環境技術グループ

* 2 本店 土木事業本部 PFAS 対策推進室施工グループ

1. 背景

1.1 社会情勢

有機フッ素化合物の一種である PFOS（ペルフルオロオクタンスルホン酸）、PFOA（ペルフルオロオクタノ酸）は、その有用性から多くの産業で使用されてきた。1970 年代から広く使用されてきたものの、その有害性や環境中での分解のしにくさによる汚染の拡大が問題となり、2000 年には大手メーカーが製造中止を決定した。

残留性有機汚染物質（POPs）に関するストックホルム条約（POPs 条約）において 2009 年に PFOS が付属書 B（制限）に、2019 年に PFOA が付属書 A（廃絶）に追加され、使用規制への動きが活発化している¹⁾²⁾。

環境省では、令和 2 年 5 月 28 日付け環水大発第 2005281 号・環水土発第 2005282 号環境省水・大気環境局長通知「水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準等の施行等について（通知）」において、水環境に係る暫定的な目標値として 50 ng/L（PFOS 及び PFOA の合算値）を設定し、その前年より各都道府県の PFOS 又は PFOA の排出源となり得る施設周辺等で調査を実施している。2019 年度の調査では調査地点 171 地点のうち 13 都府県の 37 地点において、水環境の暫定目標値の超過が確認された³⁾。

地下水や環境水での一定の環境汚染が顕在化したことにより、今後は PFOS、PFOA の浄化技術が求められると考えられた。

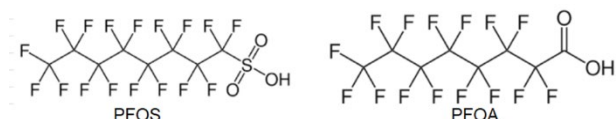


図-1.1 PFOS,PFOA 構造式

1.2 発生源及び浄化対象

PFOS、PFOA（以下、PFOS 等）はペルフルオロアルキル化合物及びポリフルオロアルキル化合物（PFAS）と呼ばれる有機フッ素化合物群の一種で、その物性から、泡消火剤、カーペット、衣服、ワックス、印刷紙、液晶、ボードなどの防汚・保護剤、塗料添加剤、航空機用油圧作動油など、様々な用途に用いられてきた。

1951 年から 2004 年までに排出された PFOA を代表的な成分とするポリフルオロカルボン酸は、2,400～5,400 t がフッ素ポリマーの製造過程で排出されたのに対し、1970 年から 2002 年までに排出された 450～2,700 t の PFOS のうち、91～460 t が泡消火剤を使用することで排出されたと推定されている⁴⁾。

主に製品の製造過程で使用される PFOA は代替品への置き換えが進む一方、泡消火剤に含まれる PFOS は泡消火剤の入れ替えが推奨されているものの、その用途の性質上、置き換えが困難な面があり、漏出事故などの報道がたびたび繰り返されている。

泡消火剤を用いる泡消火設備は「消火ポンプユニッ

ト」、「泡消火薬剤貯蔵槽・混合器」、「各種配管」、「消火用水貯水槽」等から構成される。PFOS 等を含む泡消火剤を用いた泡消火設備では、「消火用水貯水槽」に貯留された消火用水にも PFOS 等が含まれている事例が確認されている。防衛省は、これまで PFOS 等を含む泡消火剤を使用したことのある泡消火設備の水槽の水に対して水質調査を実施し、半数以上の水槽から 50 ng/L を超える PFOS 等含有水が発見されたと公表した⁵⁾。

その汚染除去対策として消火用水全量を吸引・輸送（収集運搬）し、焼却処分する事例が採用される状況にあったが、この方法の問題点として輸送コストが高額なこと、輸送中の漏洩リスクがあること、さらには消火用水を抜きとることにより消火設備としての機能が一時的に停止すること等が考えられた。

これらの問題点を解決する方法として、消火用水を抜き取ることなく浄化処理を行うための工法として可搬式 PFOS 等浄化装置の開発と、それに伴う吸着剤の選定及び浄化工法の評価を行った。

2. 室内試験

2.1 振とう吸着試験

(1) 試験方法

PFOS 等の吸着材として、活性炭やイオン交換樹脂が利用されている。本検討においては、現地に持ち運んで浄化が可能となる工法を確立することが目的であるため、より吸着能力の高い吸着材を選定し、浄化装置を小型化する必要があった。そこで、粒状活性炭とイオン交換樹脂の性能比較を行った。

濃度既知の PFOS 等を含む水 200 mL を 250 mL ポリ容器に分取し、粒状活性炭を 1,250～7,500 mg-dry/L の範囲で、イオン交換樹脂を 25～5,000 mg-dry/L の範囲でそれぞれ添加した。この試料を振とう機にて 100 rpm で 72 時間振とうして PFOS 等と吸着剤を十分に接触させた後、吸着材と水を濾別し、水相の PFOS 等濃度を測定した。

PFOS 等の濃度測定には、高速液体クロマトグラフ-質量分析計（SCIEX 社製 QTRAP4500）を用いた。

なお、本試験に用いた濃度既知の PFOS 等を含む水は入手した汚染水をろ過したものであり、PFOS 濃度 200,000 ng/L、PFOA 濃度 5,000 ng/L であった。

PFOS 等の濃度測定は「PFOS 及び PFOA 含有廃棄物の処理に関する技術的留意事項（令和 4 年 9 月 環境省環境再生・資源循環局廃棄物規制課）参考 2 分析方法例」に準じて行った⁶⁾。

測定に用いた高速液体クロマトグラフ-質量分析計を写真-2.1 に示す。



写真-2.1 高速液体クロマトグラフ - 質量分析計

機器分析の条件を表-2.1.1に示す。

表-2.1.1 分析条件

LC条件				
機器名称	: SCIEX社製	ExionLC		
カラム	: Phenomenex 社製	Kinetex® C18 2.6 μm	50×3.0mm	
注入量	: 15 μL			
カラム温度	: 40℃			
移動相	: A液: 0.02%ギ酸・2mM酢酸アンモニウム含有水			
	: B液: メタノール			
流速	: 0.6 mL/min			
MS条件				
機器名称	: SCIEX社製	QTRAP4500		
イオン化法	: ESI Negative			
SRM条件	: PFOS	499→80(定量用)	499→99(確認用)	
	: PFOA	413→369(定量用)	413→169(確認用)	
	: ¹³ C ₈ -PFOS	507→80		
	: ¹³ C ₈ -PFOA	421→376		

(2) 吸着等温線作成と比較

吸着量は液相の溶質の濃度及び温度に依存し、それらの量的関係は吸着剤の基本的な性質である。ある温度で吸着平衡状態にある溶質濃度と吸着量の関係を表したものを吸着等温線といい、吸着の量論評価に一般的に用いられるものである⁷⁾。

試験に用いた PFOS 等含有水の初期濃度を C_0 、72 時間振とう後の濃度（平衡吸着濃度）を C_i 、試料水量を V 、添加した吸着剤量を M_i としたとき、吸着材単位重量当りに吸着した PFOS 等の量（平衡吸着量） W_i は[1]式で求められる。

$$W_i = V (C_0 - C_i) / M_i \quad [1]$$

C_i を横軸に W_i を縦軸にプロットし、図-2.1の吸着等温線を得た。

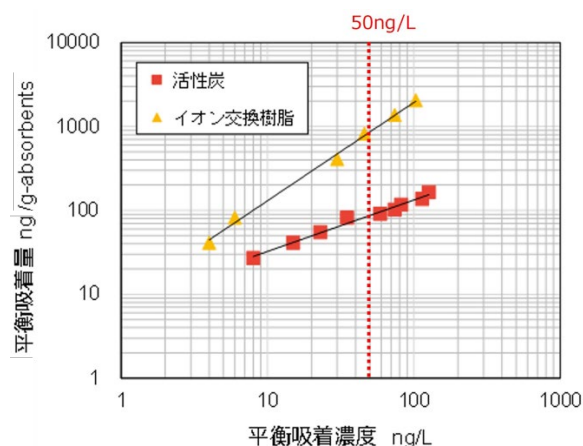


図-2.1 吸着量確認結果

一般に、吸着等温線の近似には Langmuir 式や Freundlich 式が用いられることが多いが、活性炭への有機化合物の水溶液からの吸着の場合は、Langmuir 式よりも Freundlich 式がよく適合するとされていることから、本報でも[2]式で示される Freundlich 式を用いた。

$$W = K_F C^{1/n} \quad [2]$$

ここで、 W は平衡吸着量、 C は平衡濃度、 K_F 、 $1/n$ は吸着定数である。Freundlich 式は本来実験式であり、理論的に導かれたものではないが、 $1/n$ は吸着剤と吸着質との親和力を、 K_F は親和力と吸着容量を意味するといわれている⁸⁾。

図-2.1 に示した関係線を Freundlich 式にて近似して得られた吸着定数から、PFOS 等の破過濃度 50 ng/L における各吸着剤の吸着量を求めた。その結果を表-2.1.2 に示す。

表-2.1.2 吸着量比較

吸着剤種別	粒状活性炭	イオン交換樹脂
破過濃度 (ng/L)	50	50
破過濃度における吸着量 (ng/mg-dry)	87	858

表-2.1.2 より、破過濃度 50 ng/L の時の吸着容量は、粒状活性炭が 87 ng/mg-dry に対しイオン交換樹脂は 858 ng/mg-dry となり、イオン交換樹脂が粒状活性炭の約 10 倍の吸着能力を持つことが確認された。これは、同条件での吸着除去を想定した場合、イオン交換樹脂は活性炭の 1/10 の量で浄化が可能であることを示している。

よって、筆者らが目的とする可搬式浄化装置構築には、より小型化が可能となるイオン交換樹脂が粒状活性炭よりも適していることが確認された。

2.2 循環浄化方式の検討

(1) 試験方法

浄化工法のコンセプトの一つとして、消火設備の機能を維持したまま PFOS 等汚染水を浄化するため、消火用水を抜き取ることなく PFOS 等を除去する方法として、循環式浄化方法を検討した。循環式浄化方法のイメージを図-2.2 に示す。

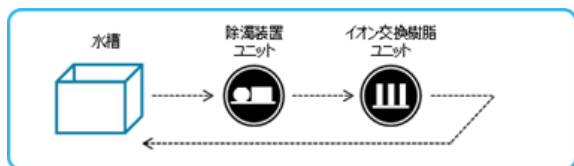


図-2.2 循環式浄化方法イメージ

消火用水槽からポンプによって浄化装置に水を送り、PFOS 等が取り除かれた水が再び浄化装置に戻る機構とすることで、消火用水を保ったまま浄化を行う方式である。

室内試験として、PFOS 等濃度約 10,000 ng/L に調整した水 30 L に対しイオン交換樹脂 20 mL を用い、チューブポンプで通水速度 6.7 mL/min で送水し、循環式浄化試験を行った。PFOS 等の濃度は 2.1(1) に示した方法で測定した。

なお、本試験における浄化目標濃度は、環境省が定める水道水質管理における目標値及び環境基準における暫定指針値の 50 ng/L とした。

(2) 循環処理試験結果

循環式浄化試験の様子を写真-2.2 に、その結果を図-2.3.1 に示す。

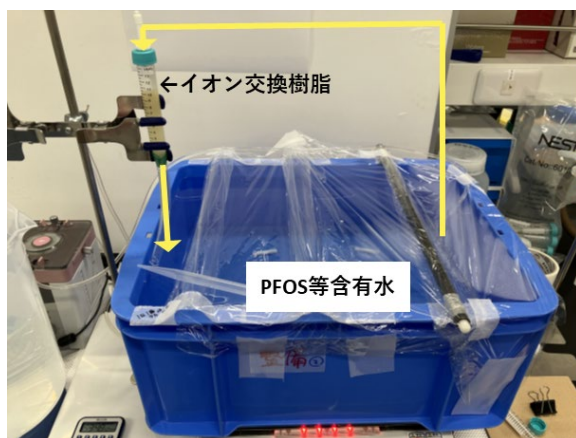


写真-2.2 循環式浄化試験

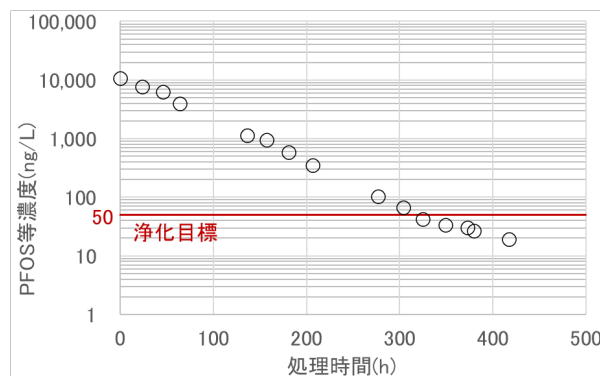


図-2.3.1 循環式浄化試験結果

図-2.3.1 にプロットした測定結果の近似式を求めたところ、式[3]が導かれた。

$$y = 10805 \times e^{(-0.016x)} \quad R^2=0.994 \quad [3]$$

これは、一次化学反応の反応速度式と等しく⁹⁾、初期濃度を C_0 、処理後の水槽内の PFOS 等濃度を C_t 、経過時間を t とすると、循環処理を実施した時間 t と t 時間後の水槽内の PFOS 等濃度 C_t には式[4]として示す以下の理論式が成り立つことを示している。

$$C_t = C_0 \times e^{(-kt)} \quad [4]$$

なお、係数 k は処理対象水量と処理速度から求められる数値である。

図-2.3.1 の試験結果に理論式[4]を重ねたものを図-2.3.2 に示した。試験結果と理論式がよく一致しており、このことから、循環処理における水槽水の濃度変化は式[4]によって把握することが可能であることが示唆された。

ただし、この関係性は、処理された水の PFOS 等濃度が「0」として吐出され、かつ、吐出された水が水槽に返送された際に一瞬で水槽内の濃度が均一になる理想条件で成立するため、水槽内の攪拌効率が不十分な場合は理論式と測定値の乖離が大きくなる点に留意する必要がある。

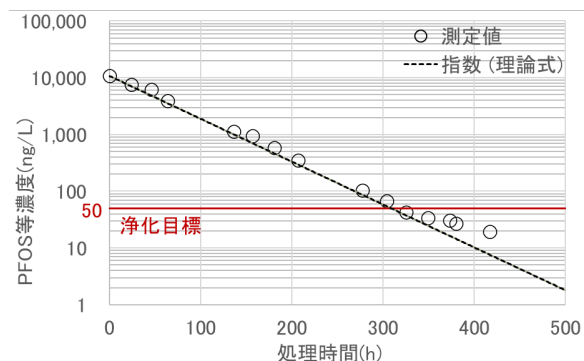


図-2.3.2 循環式浄化試験結果と理論式の比較

3. 浄化工法検討

3.1 浄化装置構成

開発した浄化装置 De-POP's ION[®]の全量を写真-3.1 に示す。本装置は処理対象水中の濁質（SS）を除去する除濁装置ユニットと、その後段に水中の有機フッ素化合物を吸着するイオン交換樹脂ユニットの 2 つから構成される。PFOS 等濃度 300,000 ng/L の水 30 m³を浄化処理することを想定し、50 L 容量のイオン交換樹脂塔を 6 塔配し、1 時間当たり 5.2 m³の水処理が可能な装置とした。

水処理装置の仕様を表-3.1 に示す。



写真-3.1 水処理装置「De-POP's ION[®]」全景

本装置を用いて数m³程度の PFOS 等含有水に対するパイロットスケール浄化試験を行い、装置の性能、及び循環式浄化法の適用性を確認した。

表-3.1 装置仕様

処理能力	5.2 m ³ /h (イオン交換樹脂ユニット 1 機での稼働の場合)
除濁装置 ユニット	砂ろ過装置 90 L×2 (ユニットサイズ: 1,700 mm×2,100 mm)
	逆洗水槽 (ユニットサイズ: 3,600 mm×1,900 mm)
イオン交換樹脂ユニット	樹脂塔 50 L×6 (ユニットサイズ: 2,600 mm×1,800 mm)

3.2 パイロットスケールでの循環浄化の検討

(1) 試験方法

12 m³の鋼製水槽に研究施設内の給水設備より共有できる地下水 6 m³を貯留し、表-3.2 に示す PFOS 及び PFOA の試薬を添加して PFOS 等濃度約 1,000,000 ng/L の試料水を調製した。ここに、模擬濁質として研究施設内のビオトープから採取した底泥（平均粒径 50 μm 程度）を加え、模擬汚染水とした。なお、模擬汚染水の PFOS 等濃度は、防衛省の調査報告結果¹⁰⁾の中でも最高濃度であった 3,700,000 ng/L と同等程度の百万オーダーに設定した。

表-3.2 試薬類一覧

名称	詳細
PFOS 試薬	東京化成工業株式会社製 CAS No.1763-23-1, 純度 98%
PFOA 試薬	東京化成工業株式会社製 CAS No.335-67-1, 純度 98%

この模擬汚染水を、イオン交換樹脂 300 L を充填した De-POP's ION[®]による循環浄化に供した。

試料採取は 12 m³鋼製水槽内の模擬汚染水及び De-POP's ION[®]処理水とし、1 時間ごとに 20 時間にわたって採水を行い、2.1 に示した方法により PFOS 等の濃度分析を行った。

浄化装置による試験状況を写真-3.2 に示す。

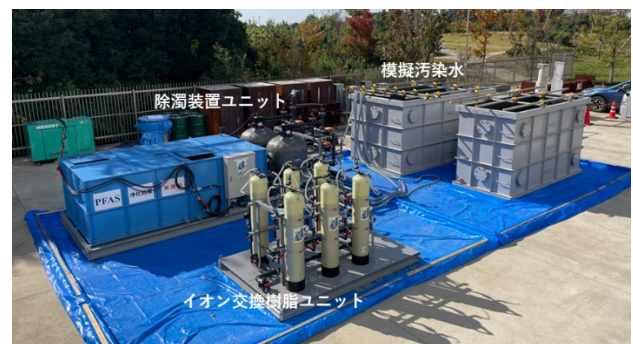


写真-3.2 浄化装置による試験状況

(2) 試験結果

De-POP's ION[®]による浄化試験の結果及び式[4]によって導いた理論式から算出された曲線を図-3.2.1 に示した。

浄化開始から 8 時間程度までは理論値と測定値はほぼ一致しており、De-POP's ION[®]の浄化性能が PFOS 等汚染水の浄化に有効であることが確認された。浄化開始から 9 時間を経過したところから、理論値と測定値に乖離が見られ始めるが、模擬汚染水の濃度が浄化目標濃度 50 ng/L を下回るまでに要した浄化時間の差は 20 %弱であった。

PFOS 等汚染の浄化は求められる浄化レベルが 50 ng/L と非常に低濃度であり、濃度測定も困難なレベルである。そのため、測定結果の真度（添加濃度に対する測定結果の割合）は 70～130 %が許容範囲となっている¹¹⁾。これらを鑑み、パイロットスケール試験での理論値と測定値の 20%弱の乖離については許容範囲であると判断した。

理論値と測定値の乖離の原因は、濁質を添加したことによってその濁質が 12 m³水槽の内壁に付着し、そこに吸着した PFOS 等が徐々に水相に溶出するためと考えられた。

これらの結果から、De-POP's ION[®]を用いた循環浄化は浄化工法として有効であり、理論式に対して安全率を見込むことによって浄化計画の立案及び工程管理が可能で

あることが確認された。

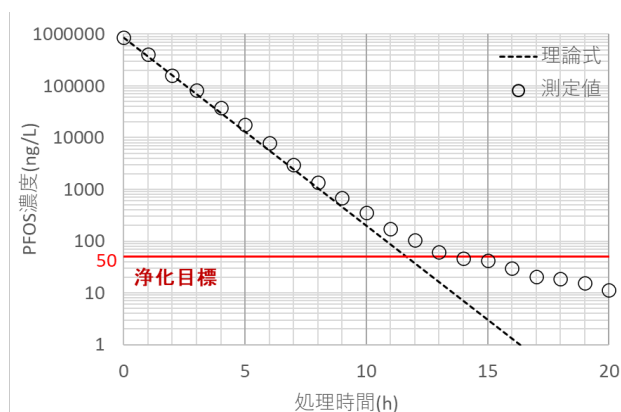


図-3.2.1 試験結果及び理論式との比較

また、12 m³水槽内の模擬汚染水の濃度と De-POP's ION[®]処理水の濃度を比較することで、汚染水が装置を1回通過することによる濃度減少量を確認した。

12 m³水槽内の模擬汚染水濃度と De-POP's ION[®]装置出口で採取した処理水の PFOS 等濃度を図-3.2.2 に示した。

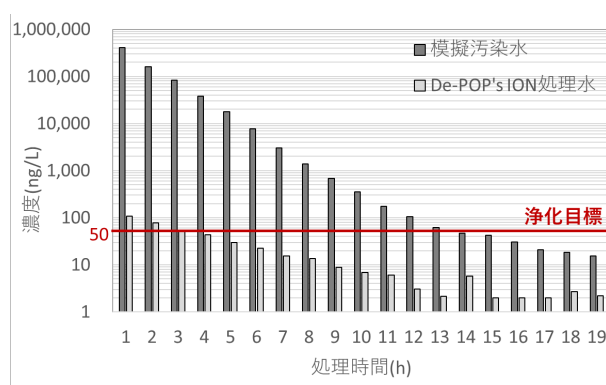


図-3.2.2 浄化装置前後の汚染水濃度比較

試験結果から、3 時間経過後の模擬汚染水濃度約 80,000 ng/L 程度の時点で、De-POP's ION[®]処理水は 50 ng/L を下回っていることが確認された。これにより、汚染水の PFOS 等濃度が一定程度以下であれば、図-3.2.3 に示すような、処理水を元的水槽に戻さずに別水槽に移送する、もしくはそのまま放流する処理方式（ワンスルー処理）にも応用が可能であることが確認された。

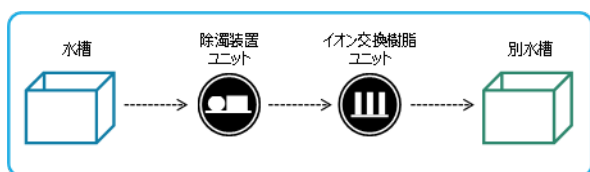


図-3.2.3 ワンスルー式浄化方法イメージ

4. 現場適用事例

4.1 防衛省本局 地下駐車場水槽水の事例

防衛省駐車場にある、機械室地下水水槽水の浄化を行った。浄化対象は、PFOS 等濃度 830,000 ng/L、水槽容量 24,500 L であった。

本装置を地下駐車場の一角に設置し、水槽内に設置した水中ポンプにて送水することで循環処理による浄化を行った。

浄化装置設置状況を写真-4.1.1 に示す。

浄化の結果、約 200 時間を要して水槽水中の PFOS 等濃度を浄化目標である 50 ng/L 以下までに低減した。



写真-4.1.1 浄化装置設置状況

また、本装置を 2 t トラックの荷台に設置したまま、100 V 水中ポンプで送水する方式にて浄化処理を試行した。トラック上での稼働状況を写真-4.1.2 に示す。



写真-4.1.2 浄化装置設置状況(トラック上で稼働)

これにより、諸々の制約はあるものの、設置撤去の時間を大幅に削減でき、かつ、2 t トラック 1 台分という駐車スペースと 100 V 電源を確保することが可能であれば、浄化作業が実施可能であるという機動性の高さが確認された。

一方で、本浄化業務においては、浄化対象水の濃度が低下するにしたがって理論値との乖離が確認され、浄化目標値を下回るまでの時間は理論値の約 4 倍となった。

主な原因としては、コンクリート製であった水槽壁面に PFOS 等汚染水が浸透しており、水槽内の PFOS 等含有水の濃度が低下するにしたがって壁面から PFOS 等が再溶出したためと考えられた。比較的高濃度の汚染水を貯留したコンクリート製水槽では、その壁面からの PFOS 等の再溶出が問題となる可能性が示唆され、その対策手法の開発が今後の課題となった。

4.2 横須賀教育隊 防火用水槽水の事例

海上自衛隊横須賀教育隊に設置されている訓練実習場防火用水槽水 (PFOS 等濃度 51 ng/L, 水槽容量 200,000 L) の浄化を行った。

本業務は、防火用水槽内に設置した水中ポンプにて浄化装置に通水し、浄化装置通過後の水を地上に仮設した約 140 m³の鋼製水槽に貯水し、それを再度、元的水槽に返送するワンスルー方式にて実施した。

浄化装置設置状況を写真-4.2 に示す。

浄化の結果、のべ約 28 時間で 13 ng/L まで濃度を低減した。なお、本事例の浄化を循環方式で実施した場合の理論上の浄化時間は約 46 時間であり、本事例のように、仮設の水槽を設置するに十分なスペースがあれば、ワンスルー方式による浄化方法を選択することで、短時間での浄化が可能であることが確認された。



写真-4.2 浄化装置設置状況

5. まとめ

新規環境汚染物質として注目を集めている有機フッ素化合物の PFOS 等について、それらを含む水の浄化に関する研究開発を行った。

PFOS 等の吸着剤としての性能は粒状活性炭に比べてイオン交換樹脂が 10 倍程度の吸着容量を有していることが確認された。この結果から、吸着材としてイオン交換樹脂を採用することとし、1 時間当たり 5.2 m³の処理能力を持つ水処理装置 De-POP's ION[®]を開発した。

令和 5 年 7 月に開催された PFAS に対する総合戦略専門家会議において、PFAS に対する今後の対応の方向性が示された。その中で、PFOS 等への更なる対応の強化と PFOS 等以外の PFAS への対応方針が示された。具体的には、「市中在庫量の把握などの管理強化」、「泡消火薬

剤の更なる代替促進」、「環境中への流出防止」、「水質暫定目標の取り扱いの検討」が挙げられている¹²⁾。近年では、PFOS 等による環境汚染も顕在化しており¹³⁾、環境浄化技術の確立が求められる。

一方、現時点において、PFOS 等は土壤汚染対策法の規制対象には含まれておらず、暫定的な測定方法がまとめられているに留まっている¹⁴⁾。PFAS を過去に製造・使用していた工場等跡地等では、高濃度の検出が見込まれるため、浄化復元ニーズを踏まえて、技術開発に取り組む必要があると考えられる。

これらの状況を踏まえ、本技術を用いた地下水浄化や土壤浄化技術の確立に向けた検討を今後も継続していく。

また、PFOS 等以外の PFAS への対応方針にも述べられているように、規制対象となる PFAS は今後増加する可能性が高いと考えられる。規制が進んでいる欧米では、すでに複数の PFAS に対する暫定規制値を設けている例も多い¹⁵⁾。

今後は、国際的な動向も見極めながら、規制対象となる可能性の高い他の PFAS に対する本技術の有効性の確認も継続する必要がある。

参考文献

- 1) 環境省：POPs 条約第 4 回締約国会議 (COP4) の結果について、2009
<https://www.env.go.jp/press/11117.html>
- 2) 環境省：ストックホルム条約第 9 回締約国会議 (COP9) の結果の概要、2019
<https://www.env.go.jp/content/900513529.pdf>
- 3) 環境省：令和元年度 PFOS 及び PFOA 全国存在状況把握調査の結果について、2020
<https://www.env.go.jp/press/108091.html>
- 4) 村上道夫、滝沢智：フッ素系界面活性剤の水環境汚染の現況と今後の展望、水環境学会誌 Journal of Japan Society on Water Environment Vol.33, No.8, pp.103-114, 2010
- 5) 防衛省：. 自衛隊施設における泡消火設備専用水槽水質調査結果について、2022
<https://www.mod.go.jp/j/press/news/2022/07/22e.pdf>
- 6) 環境省環境再生・資源循環局廃棄物規制課：PFOS 及び PFOA 含有廃棄物の処理に関する技術的留意事項、2022
<https://www.env.go.jp/content/000077696.pdf>
- 7) 安部郁夫：吸着の化学、オレオサイエンス 第 2 巻 第 5 号 pp.275-281, 2002
- 8) 安部郁夫：活性炭の性能評価、炭素 TANSO No.204 pp.200-208, 2002
- 9) 小木修：微分方程式で理解する反応速度論：ぶんせき 2014 3 pp.94-100, 2014
- 10) 防衛省：令和 4 年 7 月 22 日、自衛隊施設における泡

消火設備専用水槽水質調査結果について

<https://www.mod.go.jp/j/press/news/2022/07/22e.pdf>

- 11) 厚生労働省：水道水質検査方法の妥当性評価ガイドライン，2012

<https://www.mlit.go.jp/common/830003687.pdf>

- 12) 環境省：PFAS に関する今後の対応の方向性，第 5 回 PFAS に対する総合戦略検討専門家会議，2024

<https://www.env.go.jp/content/000242250.pdf>

- 13) 環境省：PFOS，PFOA の国内の検出状況，第 5 回 PFAS に対する総合戦略検討専門家会議，2024

<https://www.env.go.jp/content/000242268.pdf>

- 14) 環境省：「PFAS に関する今後の対応の方向性」を踏まえた対応状況について，第 5 回 PFAS に対する総合戦略検討専門家会議，2024

<https://www.env.go.jp/content/000242830.pdf>

- 15) 環境省：PFOS，PFOA 以外の PFAS に係る国際動向，第 5 回 PFAS に対する総合戦略検討専門家会議，2024

<https://www.env.go.jp/content/000242270.pdf>