

三井水源地における PFAS 除去実験結果報告

I. 粒状活性炭、イオン交換樹脂および鉱物系吸着剤による PFAS 除去実験

水道機工株式会社

1. 目的

弊社開発中の粒状活性炭、イオン交換樹脂および鉱物系吸着剤による PFAS 処理技術を生かし、三井第二水源地原水に対する PFAS の処理性を確認するとともに、安定的な施設計画に役立てることを目的とする。

2. 概要

PFAS 除去を目的とした吸着剤による処理を検討する。

PFAS 除去用吸着剤として、①粒状活性炭(GAC)、②イオン交換樹脂(IE)、③鉱物系吸着剤(FS)を用いた。PFAS に関する処理性や各吸着剤の寿命に関しての情報収集を行った。

PFAS 除去吸着剤の処理性および寿命は RSSCT 法による試験を実施することで求めた。RSSCT 法は、米国の AWWA 試験法(ASTM6586)で規格された試験法である。粉碎した吸着剤を用いてカラム試験を実施することで、比較的短期間・小規模で寿命の把握が可能とされる。

3. 概略図

試験概略図を図 I-1 に示す。

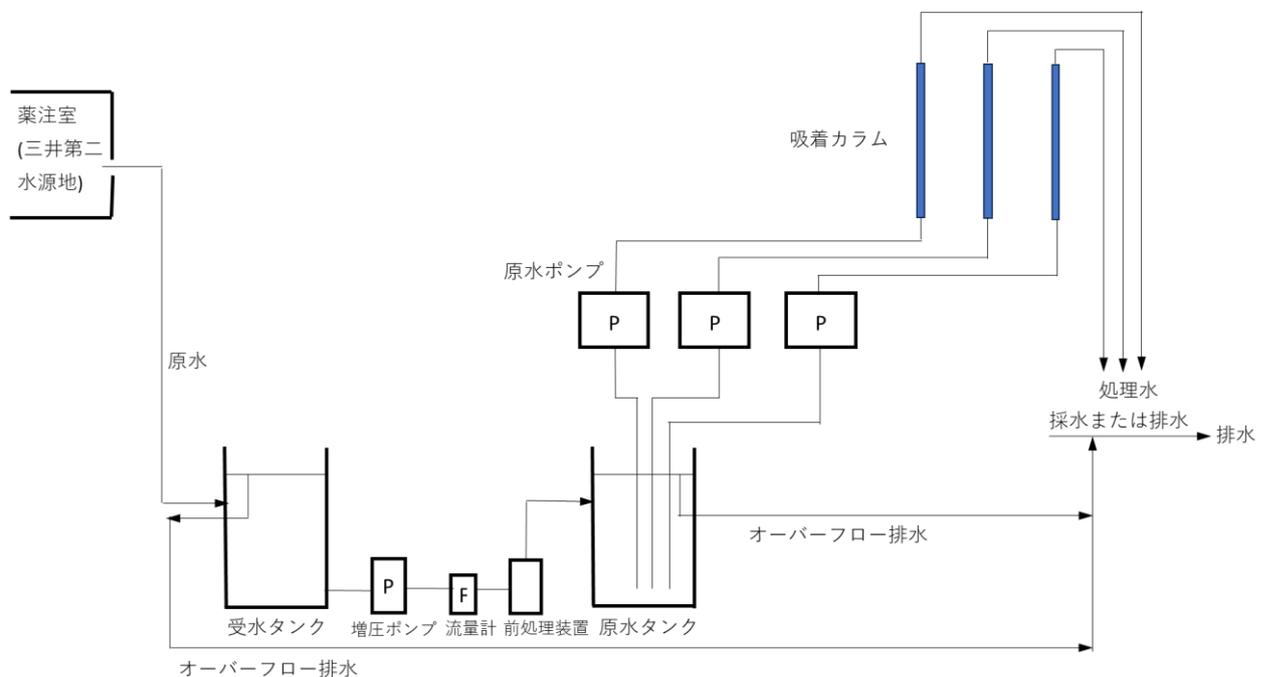


図 I-1 試験概略図

4. 使用材料

受水タンク、原水タンク、増圧ポンプ、原水ポンプ、吸着カラム、流量計、前処理装置、配管

5. 条件

吸着剤: 粒状活性炭、イオン交換樹脂、鉍物系吸着剤

SV: 10~20 h⁻¹

6. 測定項目

PFOS、PFOA

7. 手順

- ① 原水を受水槽に導水する。原水は増圧したのち、夾雑物除去のための前処理装置へ通水し、原水タンクに導水する。各槽の余剰な原水はオーバーフローから排水される。
- ② 原水を原水ポンプで加圧し、吸着カラムに通水する。
- ③ 適宜、原水、処理水を採水し、PFAS の分析を行う。
- ④ PFAS の処理水濃度の推移を確認し、吸着剤の寿命を把握する。

【試験結果】

RSSCT 法によるカラム試験時の各吸着剤の原水 PFOS+PFOA 濃度を表 I-1 に示す。また、RSSCT 法により算出した三井水源地の処理水量相当の通水時間(通水時間_実設備相当)と PFOS+PFOA 濃度の関係を図 I-2~4 に示す。

すべての吸着剤で、PFOS+PFOA の処理が可能だった。活性炭、イオン交換樹脂、鉍物系吸着剤の順で、PFOS+PFOA 濃度の上昇が見られた。

表 I-1 各吸着剤の原水 PFOS+PFOA 濃度

項目	PFOS+PFOA 濃度 [ng/L]
粒状活性炭	40~110(平均: 71)
イオン交換樹脂	40~120(平均: 80)
鉍物系吸着剤	55~100(平均: 82)

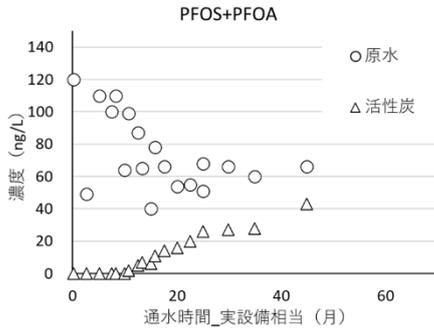


図 I-2 活性炭の PFOS+PFOA 濃度の推移

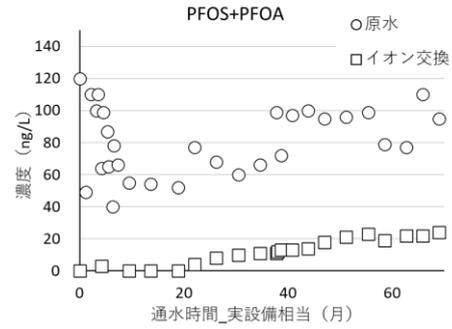


図 I-3 イオン交換樹脂の PFOS+PFOA 濃度の推移

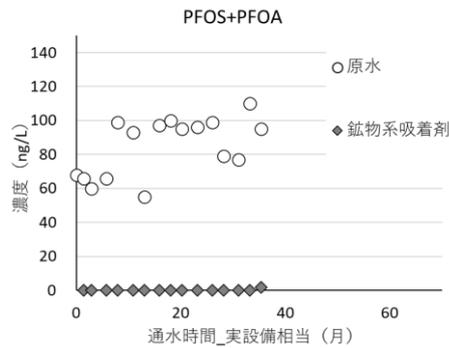


図 I-4 錳物系吸着剤の PFOS+PFOA 濃度の推移

【まとめ】

3種類すべての吸着剤において、PFOS+PFOAの処理性および通水時間(実設備相当)とPFOS+PFOA濃度の関係が明らかとなった。今回求めたPFOS+PFOA濃度の推移から、処理目標値に対する各吸着剤の寿命を求めることができる。これにより、PFAS除去設備のライフサイクルコスト(LCC)試算が可能となった。

三井水源地におけるPFAS除去実験結果報告

Ⅱ. 鉍物系吸着剤によるPFAS除去実験

水道機工株式会社

1. はじめに

三井第二水源地原水に対する安定的な施設計画に向けて、PFAS除去として鉍物系吸着剤を用いた場合の経済性の検討および処理の安全性、確実性を確認するため、RSSCTおよびパイロットプラント実験を行った。

2. 実験内容

2.1. RSSCTによる寿命の確認

PFAS除去として鉍物系吸着剤を用いた場合の経済性を検討するため、RSSCTを行い、鉍物系吸着剤の寿命を求めた。

RSSCTは原水を採水し、弊社試験室で実施する。PFAS分析項目は、PFOS、PFOA、PFHxS、PFNAとした。

2.2. パイロットプラント実験

三井第二水源地内にパイロットプラントを設置し、連続通水を行い、処理の安全性、確実性に関する以下のデータを収集した。

① 処理の安全性の確認

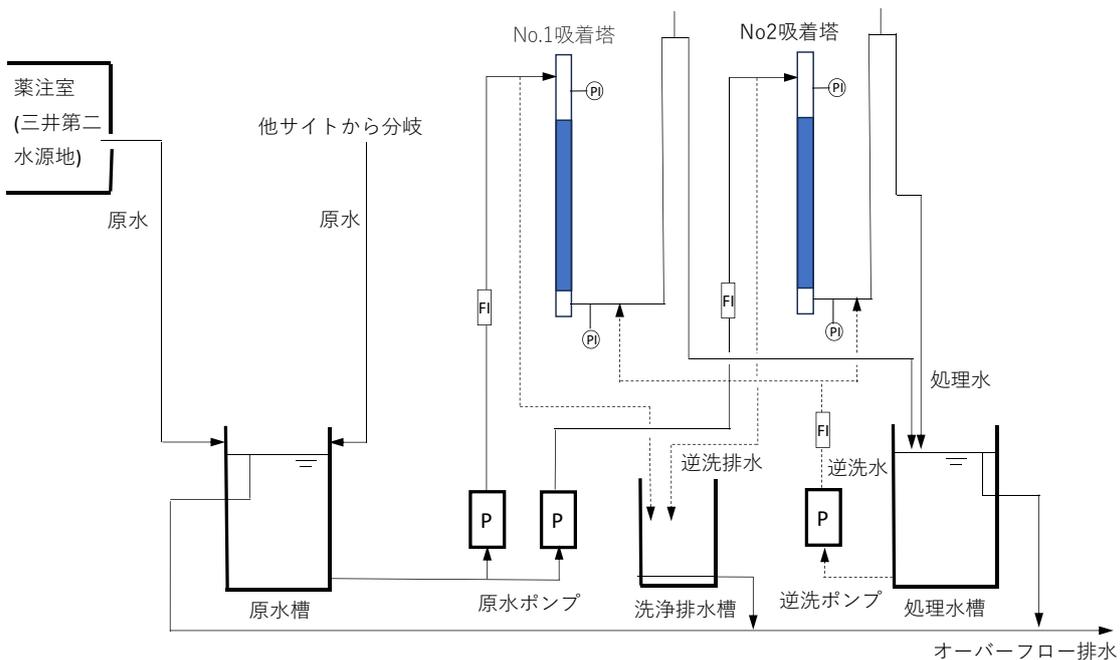
鉍物系吸着剤の処理水が水道水として適合しており、処理の安全性を確認する。このため、原水および処理水について、水道施設の技術的基準を定める省令第十五号別表第一（浄水又は浄水処理過程における水に注入される薬品等により水に付加される物質）の40項目試験および水道水質51項目試験を実施した。

② 処理の確実性の確認

鉍物系吸着剤のPFAS処理の確実性を確認するため、原水および処理水についてPFASの分析を行う。PFAS分析項目は、PFOS、PFOA、PFHxS、PFNAとした。

3. パイロットプラント実験

実証実験フローシートを図Ⅱ-1に示す。



【備考】通常時は逆洗を行わない想定である。点線は逆洗ラインを示す。

鉱物系吸着剤は水道施設の技術的基準を定める省令第十五号別表第二（資機材等の材質に関する試験）に合格済みである。

図 II-1 実証実験フローシート

4. 実験結果

4.1. RSSCT による吸着剤寿命の確認

RSSCT の実験装置と実設備の接触時間の比から、通水時間を求めた。さらに通水回数における PFAS 濃度の推移を求め、吸着剤の寿命を算出した。

RSSCT による PFAS 除去実験の結果を以下に示す。

なお、PFAS のうち、本実験における処理目標は、各務原市様ご提示条件の水質管理目標設定項目目標値の 20% 値である PFOS+PFOA=10 ng/L とした。次項のグラフ中の赤線は、PFOS+PFOA=10 ng/L を示す。

① 原水

RSSCT に用いた原水は 2025/5/14 に採水し、PFAS の平均濃度を表 II-1 に示す。

表 II-1 原水 PFAS 濃度

	濃度
PFOS	56
PFOA	17
PFOS+PFOA	73
PFHxS	44
PFNA	15

原水の特徴として、以下の事項が確認できた。

- PFNA<PFOA<PFHxS<PFOS の順に濃度は高かった。
- PFOS : PFOA=3.3 : 1 であることから、原水の PFOS と PFOA の合算値は、PFOS の割合が高いことが分かった。

② 鉍物系吸着剤の寿命

通水倍数と PFAS 濃度の関係を図 II-2 に示す。

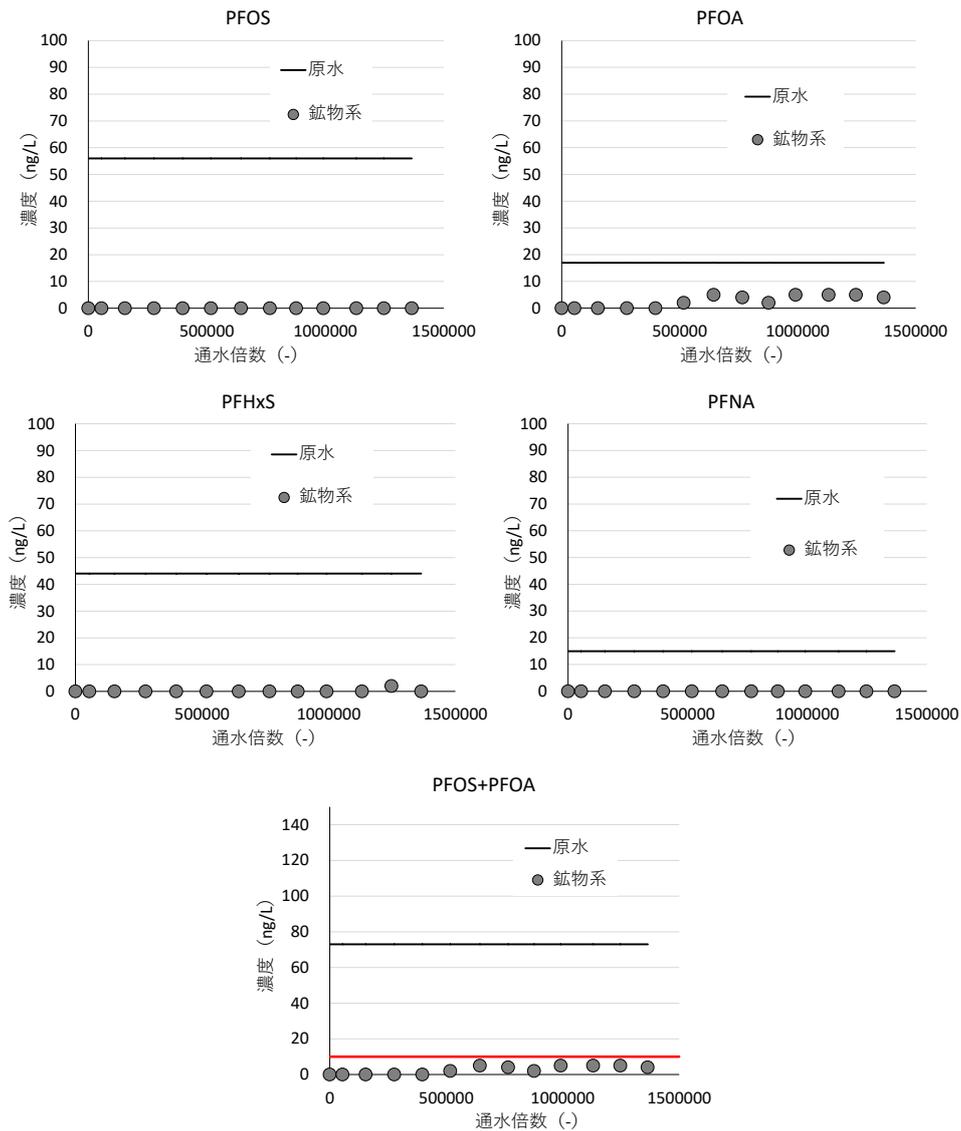


図 II-2 通水倍率と PFAS 濃度の関係

鉍物系吸着剤の PFAS 処理について、以下の事項が確認できた。

- 通水倍数約 1,365,000 までの通水期間中、PFOS、PFNA は検出されず、PFHxS は 2ng/L 以下であった。

- PFOA は、通水倍数約 517,000 以降に処理水濃度の上昇が確認され、他の PFAS に比べて除去しにくいことがわかった。
- 処理目標を PFOS+PFOA=10 ng/L とした場合、通水倍数約 1,365,000 において目標値は超過しなかった。このことから、鉱物系吸着剤の寿命は、通水倍数約 1,365,000 以上であった。これをもとに、経済性の検討が可能となった。

4.2. パイロットプラント実験

① 処理の安全性の確認

水道施設の技術的基準を定める省令第十五号別表第一の 40 項目試験結果を表 II-2 に、水道水質 51 項目試験結果を表 II-3 に示す。

表 II-2 から、硝酸態窒素および亜硝酸態窒素は原水由来であり、これを除いたいずれの項目も基準内であり、鉱物系吸着剤を処理に用いても問題ないことを確認した。

表 II-3 から、いずれの項目も水道水質基準内であり、全ての項目で原水と同等の水質であり、鉱物系吸着剤の処理の安全性を確認した。

表 II-2 40 項目試験結果

項目	単位	基準	原水	処理水
カドミウム及びその化合物	mg/L	0.0003 以下	<0.0003	<0.0003
水銀及びその化合物	mg/L	0.00005 以下	<0.00005	<0.00005
セレン及びその化合物	mg/L	0.001 以下	<0.001	<0.001
鉛及びその化合物	mg/L	0.001 以下	<0.001	<0.001
ヒ素及びその化合物	mg/L	0.001 以下	<0.001	<0.001
六価クロム化合物	mg/L	0.002 以下	<0.001	<0.001
亜硝酸態窒素	mg/L	0.004 以下	<0.004	<0.004
シアン化物イオン及び塩化シアン	mg/L	0.001 以下	<0.001	<0.001
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	mg/L	1.0 以下	2.5	2.5
ホウ素及びその化合物	mg/L	0.1 以下	<0.1	<0.1
四塩化炭素	mg/L	0.0002 以下	<0.0002	<0.0002
1,4-ジオキサン	mg/L	0.005 以下	<0.005	<0.005
シス-1,2-ジクロロエチレン及び トランス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	0.004 以下	<0.002	<0.002
ジクロロメタン	mg/L	0.002 以下	<0.001	<0.001
テトラクロロエチレン	mg/L	0.001 以下	<0.001	<0.001
トリクロロエチレン	mg/L	0.001 以下	<0.001	<0.001
ベンゼン	mg/L	0.001 以下	<0.001	<0.001
塩素酸	mg/L	0.4 以下	<0.05	<0.05

項目	単位	基準	原水	処理水
臭素酸	mg/L	0.005 以下	<0.001	<0.001
亜鉛及びその化合物	mg/L	0.1 以下	<0.05	<0.05
鉄及びその化合物	mg/L	0.03 以下	<0.03	<0.03
銅及びその化合物	mg/L	0.1 以下	<0.05	<0.05
マンガン及びその化合物	mg/L	0.005 以下	<0.005	<0.005
陰イオン界面活性剤	mg/L	0.02 以下	<0.02	<0.02
非イオン界面活性剤	mg/L	0.005 以下	<0.005	<0.005
フェノール類	mg/L	0.0005 以下	<0.0005	<0.0005
有機物（全有機炭素(TOC)の量）	mg/L	0.3 以下	<0.3	<0.3
味	—	異常でないこと	異常なし	異常なし
臭気	—	異常でないこと	異常なし	異常なし
色度	度	0.5 以下	<0.5	<0.5
アンチモン及びその化合物	mg/L	0.002 以下	<0.001	<0.001
ウラン及びその化合物	mg/L	0.0002 以下	<0.0002	<0.0002
ニッケル及びその化合物	mg/L	0.002 以下	<0.001	<0.001
1,2-ジクロロエタン	mg/L	0.0004 以下	<0.0004	<0.0004
亜塩素酸	mg/L	0.6 以下	<0.06	<0.06
二酸化塩素	mg/L	0.6 以下	<0.06	<0.06
銀及びその化合物	mg/L	0.01 以下	<0.001	<0.001
バリウム及びその化合物	mg/L	0.07 以下	0.008	0.010
モリブデン及びその化合物	mg/L	0.007 以下	<0.007	<0.007
アクリルアミド	mg/L	0.00005 以下	<0.00005	<0.00005

表Ⅱ-3 水道水質 51 項目試験結果

項目	単位	基準	原水	処理水
一般細菌	個/mL	100 以下	84	57
大腸菌	—	検出されないこと	不検出	不検出
カドミウム及びその化合物	mg/L	0.003 以下	<0.0003	<0.0003
水銀及びその化合物	mg/L	0.0005 以下	<0.00005	<0.00005
セレン及びその化合物	mg/L	0.01 以下	<0.001	<0.001
鉛及びその化合物	mg/L	0.01 以下	<0.001	<0.001
ヒ素及びその化合物	mg/L	0.01 以下	<0.001	<0.001
六価クロム化合物	mg/L	0.02 以下	<0.001	<0.001
亜硝酸態窒素	mg/L	0.04 以下	<0.01	<0.01
シアン化物イオン及び塩化シアン	mg/L	0.01 以下	<0.001	<0.001
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	mg/L	10 以下	2.5	2.5
フッ素およびその化合物	mg/L	0.8 以下	<0.08	<0.08
ホウ素及びその化合物	mg/L	1 以下	<0.1	<0.1
四塩化炭素	mg/L	0.002 以下	<0.0002	<0.0002
1,4-ジオキサン	mg/L	0.05 以下	<0.005	<0.005
シス-1,2-ジクロロエチレン及び トランス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	0.04 以下	<0.002	<0.002
ジクロロメタン	mg/L	0.02 以下	<0.001	<0.001
テトラクロロエチレン	mg/L	0.01 以下	<0.001	<0.001
トリクロロエチレン	mg/L	0.01 以下	<0.001	<0.001
ベンゼン	mg/L	0.01 以下	<0.001	<0.001
塩素酸	mg/L	0.6 以下	<0.05	<0.05
クロロ酢酸	mg/L	0.02 以下	<0.002	<0.002
クロロホルム	mg/L	0.06 以下	<0.006	<0.006
ジクロロ酢酸	mg/L	0.03 以下	<0.003	<0.003
ジブロモクロロメタン	mg/L	0.1 以下	<0.01	<0.01
臭素酸	mg/L	0.01 以下	<0.001	<0.001
総トリハロメタン	mg/L	0.1 以下	<0.01	<0.01
トリクロロ酢酸	mg/L	0.03 以下	<0.003	<0.003
ブロモジクロロメタン	mg/L	0.03 以下	<0.003	<0.003
ブロモホルム	mg/L	0.09 以下	<0.009	<0.009
ホルムアルデヒド	mg/L	0.08 以下	<0.008	<0.008

項目	単位	基準	原水	処理水
亜鉛及びその化合物	mg/L	1 以下	<0.05	<0.05
アルミニウム及びその化合物	mg/L	0.2 以下	<0.02	<0.02
鉄及びその化合物	mg/L	0.3 以下	<0.03	<0.03
銅及びその化合物	mg/L	1 以下	<0.05	<0.05
ナトリウム及びその化合物	mg/L	200 以下	10.7	10.4
マンガン及びその化合物	mg/L	0.05 以下	<0.005	<0.005
塩化物イオン		200 以下	7.5	7.4
カルシウム、マグネシウム等（硬度）	mg/L	300 以下	42	44
蒸発残留物	mg/L	500 以下	122	142
陰イオン界面活性剤	mg/L	0.2 以下	<0.02	<0.02
ジェオスミン	mg/L	0.00001 以下	<0.000001	<0.000001
2-メチルイソボルネオール	mg/L	0.00001 以下	<0.000001	<0.000001
非イオン界面活性剤	mg/L	0.05 以下	<0.005	<0.005
フェノール類	mg/L	0.005 以下	<0.0005	<0.0005
有機物（全有機炭素(TOC)の量）	mg/L	3 以下	<0.3	<0.3
pH 値	—	5.8~8.6	6.3	6.4
味	—	異常でないこと	異常なし	異常なし
臭気	—	異常でないこと	異常なし	異常なし
色度	度	5 以下	<0.5	<0.5
濁度	度	2 以下	<0.1	<0.1

② 処理の確実性の確認

原水および処理水について、PFAS の分析結果を表 II-4 に示す。

PFAS は全て検出限界以下であり、鉍物系吸着剤で確実に PFAS を除去できることを確認した。

表 II-4 PFAS 分析結果

採水日		2025/6/8	2025/6/16
原水	PFOS (ng/L)	46	55
	PFOA (ng/L)	13	22
	FPOS+PFOA (ng/L)	58	76
	PFHxS (ng/L)	36	46
	PFNA (ng/L)	18	17
処理水	PFOS (ng/L)	<1	<1
	PFOA (ng/L)	<1	<1
	FPOS+PFOA (ng/L)	<2	<2
	PFHxS (ng/L)	<1	<1
	PFNA (ng/L)	<1	<1

5. おわりに

三井第二水源原水に対する安定的な施設計画に向けて、PFAS 除去として鉍物系吸着剤を用いた場合の経済性の検討および処理の安全性、確実性を確認するため、RSSCT およびパイロットプラント実験を行った。結果を下記のとおりである。

- RSSCT の結果から、PFOS+PFOA=10 ng/L とした場合の鉍物系吸着剤の寿命は、通水倍数約 1,365,000 以上であった。これをもとに、経済性の検討が可能となった
- 鉍物系吸着剤について、パイロットプラント実験を実施し、以下の事項を確認した。
 - ① 鉍物系吸着剤の処理水について、水道施設の技術的基準を定める省令第十五号別表第一の 40 項目試験および水道水質 51 項目試験を実施し、水道水として適合しており、処理の安全性を確認した。
 - ② 鉍物系吸着剤の処理水について、PFAS の分析の実施し、確実に PFAS が処理されていることを確認した。

今後もパイロットプラント実験を継続し、PFAS の処理性や RSSCT との差異を確認する。

以上