

粒状活性炭およびイオン交換樹脂の PFAS 除去性能評価

メタウォーター株式会社

1. はじめに

有機フッ素化合物（PFAS）に関して、国内での水道水源の PFAS 処理技術として評価事例¹⁾が多いのは、粒状活性炭（GAC）である。一方、同じく吸着プロセスであるイオン交換樹脂（IER）は、GAC に比べて空塔接触時間（EBCT）が短いため必要な吸着材の容量を少なくでき、また吸着容量が大きく交換周期が長いため、廃棄物量を削減できる。逆洗が不要なため、逆洗や排水処理の設備が不要でありメンテナンスが容易である等の長所がある。しかしながら、IER は海外で導入が進んでいるものの、国内での適用事例は少なく、評価方法も確立されていない。

そこで本試験ではパイロット実験により IER の PFAS 除去性評価を行うと同時に、GAC の破過寿命予測に用いられる RSSCT（Rapid Small Scale Column Test）の適用性を評価し、IER の性能評価や寿命予測手法の確立を目的とした。本稿では、パイロット実験の途中経過を 2025 年度²⁾に続き報告する。

2. 実験方法

（1）パイロット実験

実験は 2024 年 6 月に開始した。パイロット実験装置は、水道設計指針や吸着材メーカーの推奨値を参考に実設備を想定した実験条件を設定した。吸着材の充填高さは 1.5～2m とし、吸着材を充填したカラムにはサンプリングノズルを複数設けて、SV 負荷の異なるデータ（GAC は SV=20、10 h⁻¹、IER は SV=80、30、20 h⁻¹）を取得した。実験装置のフローを図 2-1 に示す。なお逆洗排水中の PFAS の挙動を調査するため、GAC1 の系列のみ、逆洗流速 0.4m/min、逆洗時間 10min、1 回/週の頻度で逆洗を実施した。逆洗排水は、逆洗排水全量をサンプリングし、GF/B でろ過したろ液を対象とした。

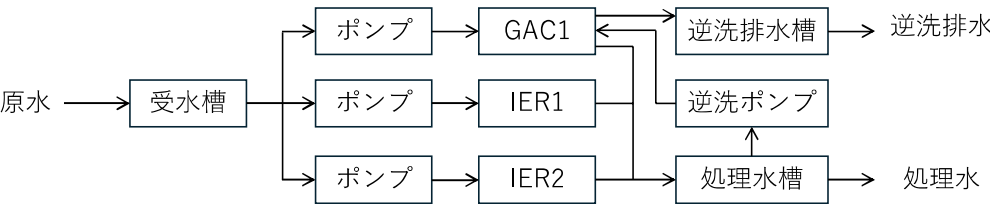


図 2-1 パイロット実験装置フロー

（2）実験原水

実験原水は三井水源地の原水（集合水）を用いた。PFAS の測定結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 原水中の PFAS 濃度 [ng/L]（2024 年 6 月～2026 年 5 月、n=78）

項目	単位	実験結果		
		平均	最小	最大
PFOS	ng/L	64	33	128
PFOA	ng/L	16	8	22
PFHxS	ng/L	45	17	65
PFNA	ng/L	15	6	22

（3）吸着材

粒状活性炭は石炭系(GAC1)1種類、イオン交換樹脂はPFAS用として市販されているもの(IER1)と一般的な陰イオン交換樹脂（IER2）の2種類（共にゲルタイプ）を用いた。

粒状活性炭およびイオン交換樹脂のPFAS除去性能評価

3. 実験結果

3. 1 処理水のPFAS分析結果

処理水のPFAS濃度の推移を図3-1に示す。

GAC1ではSV=20h⁻¹において約6.5ヵ月でPFHxSが1ng/Lが検出され、SV=10h⁻¹では約10ヵ月でPFOAとPFHxSがそれぞれ1ng/L、3ng/L検出された。国内の基準値であるPFOS+PFOAの合算値で50ng/Lを超過するまでの期間は、SV=20h⁻¹は約18ヵ月、SV=10h⁻¹は約21ヵ月であった。またSV=20h⁻¹は約18ヵ月、SV=10h⁻¹は約19ヵ月で、原水よりも処理水の方がPFHxS濃度が高くなっており、脱着した影響と推察される。この事象は、粒状活性炭の報告事例³⁾と同様の傾向である。

IER1はSV=80h⁻¹（一般的には採用されない高負荷条件）において約9ヵ月でPFOAが1ng/L検出され、2026年5月（22ヵ月経過）時点では8ng/L、PFNAが約19ヵ月で1ng/L検出された。その他のサンプリングノズル（SV=30、20h⁻¹）からは、いずれのPFASとも検出されず、PFOS、PFHxSについては、SV=80h⁻¹においても検出されなかった。

IER2はSV=80h⁻¹において20日でPFOAが2ng/L、SV=30h⁻¹では約2.5ヵ月でPFOAが1ng/L、SV=20h⁻¹からは約5ヵ月でPFOAが5ng/L検出された。PFOSはSV=80h⁻¹から約11ヵ月で1ng/L、2026年5月（22ヵ月経過）時点で23ng/L検出されたが、その他のサンプリングノズル（SV=30、20h⁻¹）からは検出されなかった。そのためPFOS+PFOAの合算値50ng/Lはいずれのサンプリングノズルにおいても超過しない結果となったが、SV=80h⁻¹ではPFOS測定値の傾向よりPFOS+PFOAの合算値50ng/Lを約27ヵ月で超過すると推定される。

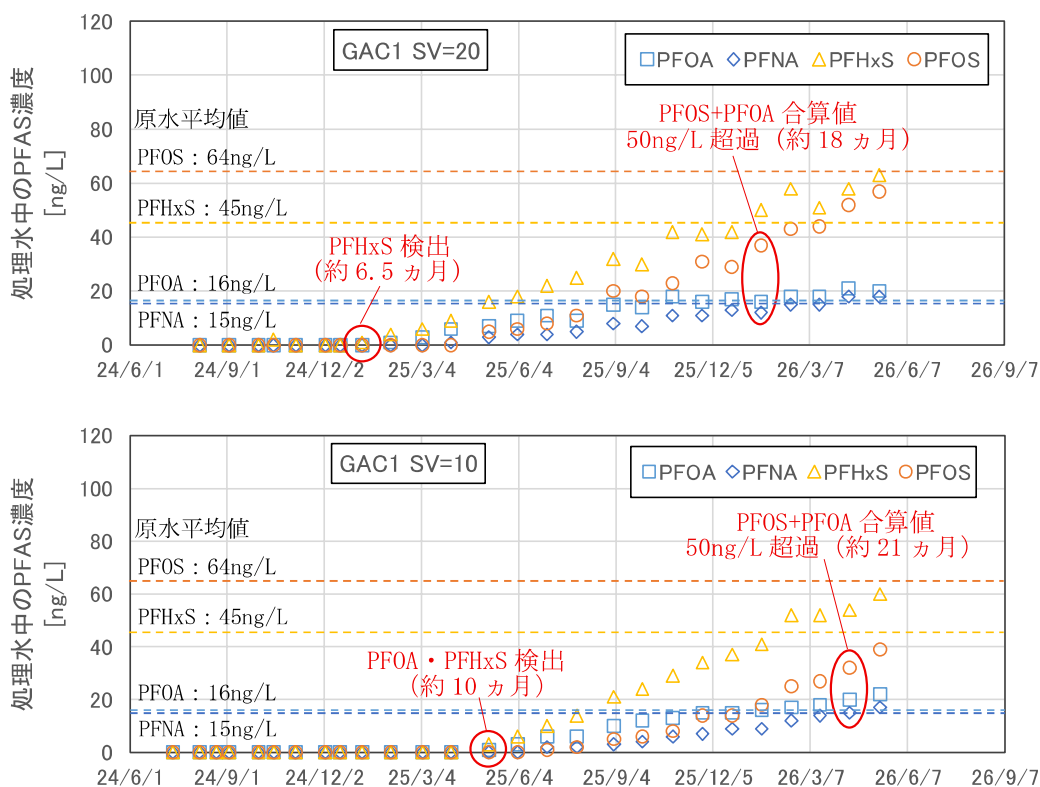


図 3-1-1 GAC1 のサンプリングノズル毎の処理水中の PFAS 濃度の推移

粒状活性炭およびイオン交換樹脂の PFAS 除去性能評価

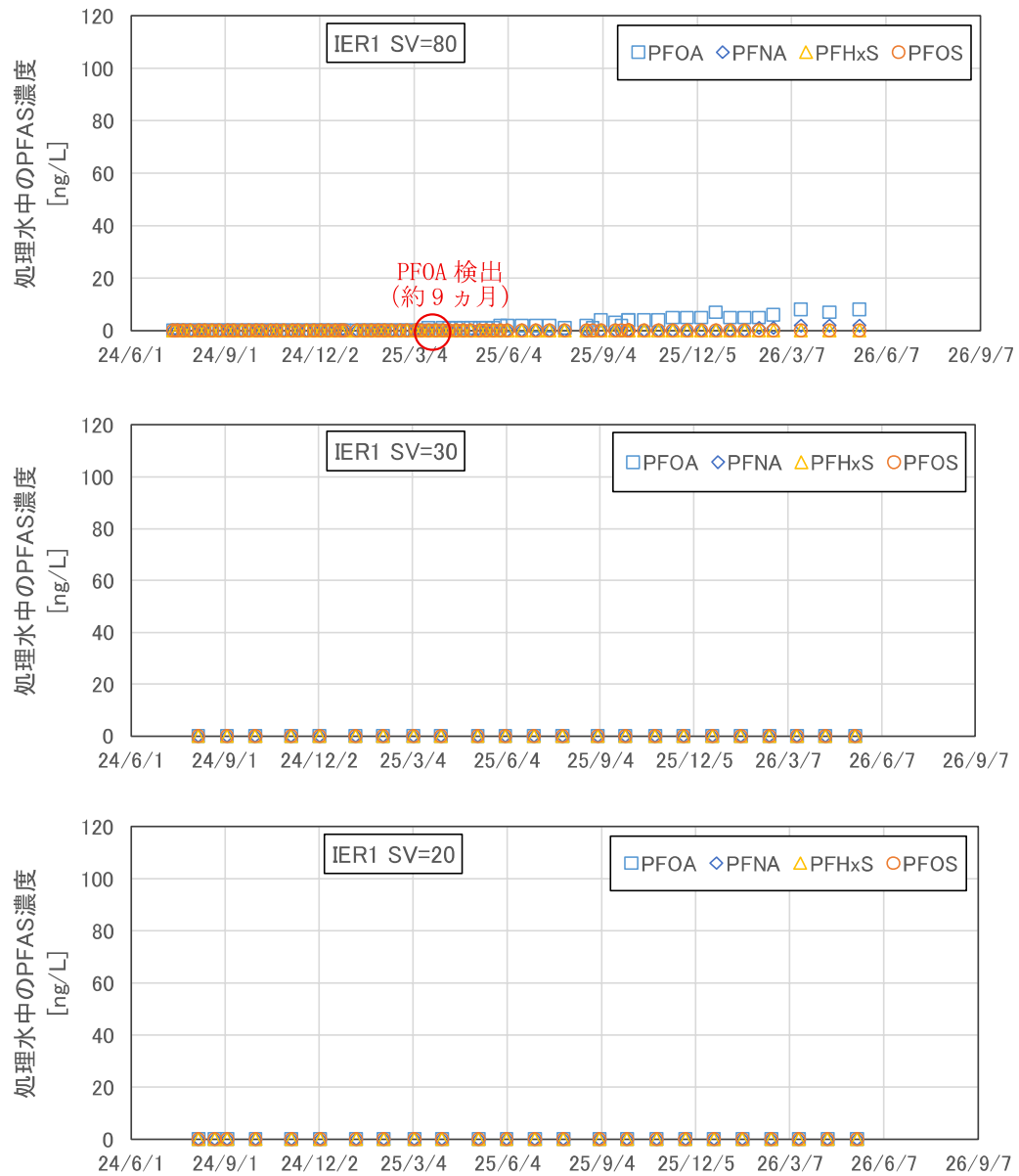


図 3-1-2 IER1 のサンプリングノズル毎の処理水中の PFAS 濃度の推移

粒状活性炭およびイオン交換樹脂のPFAS除去性能評価

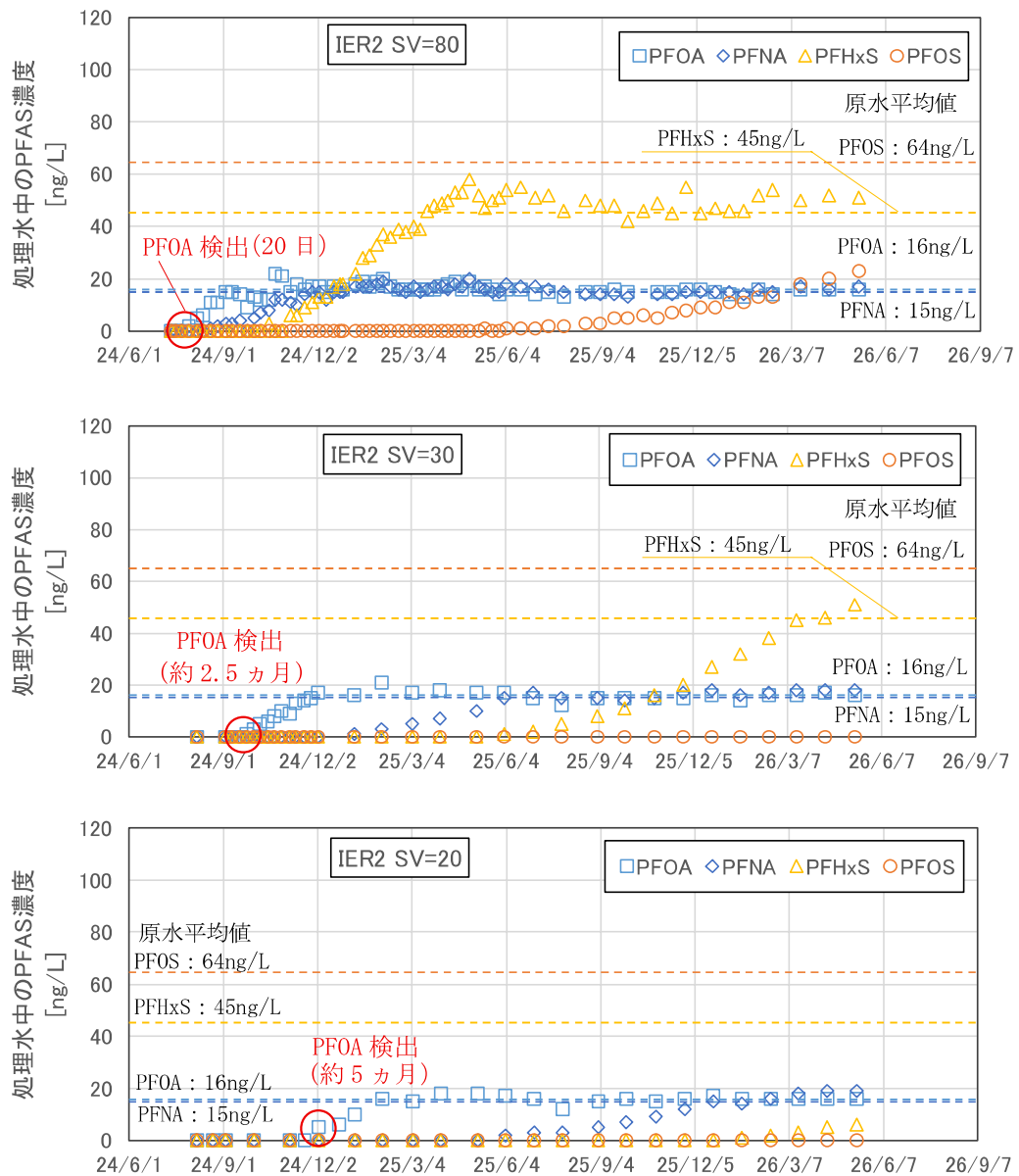


図 3-1-3 IER2 のサンプリングノズル毎の処理水中の PFAS 濃度の推移

粒状活性炭およびイオン交換樹脂の PFAS 除去性能評価

3. 2 粒状活性炭の逆洗排水水質分析結果

GAC1 の逆洗排水中の PFAS 濃度の推移を図 3-2 に示す。PFAS (PFOA、PFNA、PFHxS、PFOS) はいずれも時間経過とともに濃度増加の傾向にある。2026 年 5 月時点で逆洗排水中の PFAS は、PFOA 20ng/L、PFNA 19ng/L、PFHxS 65ng/L、PFOS 71ng/L と、いずれも原水の平均値を上回る濃度が検出された。

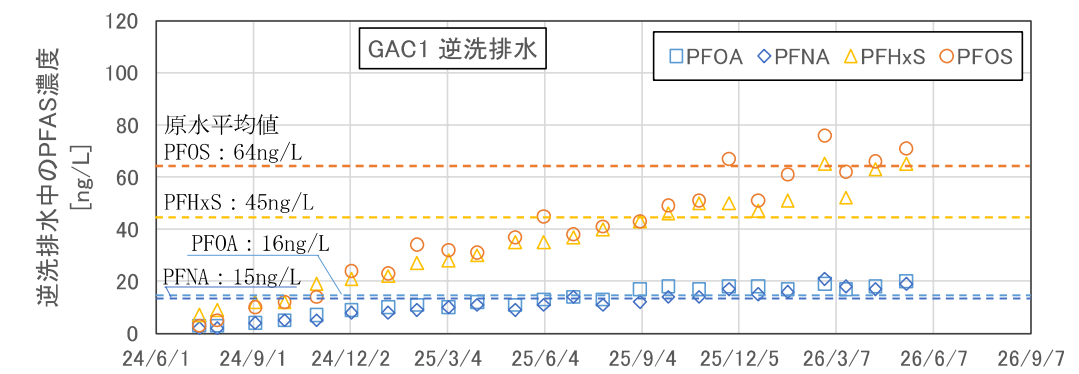


図 3-2 逆洗排水中の PFAS 濃度の推移

3. 3 水道水質基準 (51 項目)

2025/08/13 に採水した IER1 の処理水の 51 項目の測定結果を表 3-1 に示す。(2026 年度より水道水質基準は 52 項目となったが、測定は 2025 年度に実施したため、表には 51 項目の結果を示す。) 原水の参考値として各務原市で 2025/05/16 に実施した分析結果を併記する。

いずれの項目も基準値内であり、水質に問題がないことを確認した。

表 3-1 51 項目測定結果

検査項目		単位	基準値	検査結果	
				IER1 2025/8/13	原水 (三井 No. 1 ～13 取水井) 2025/5/16
1	一般細菌	個/mL	100 個/m 以下	0	検出されず、 1～2
2	大腸菌	—	検出されないこと	陰性	陰性
3	カドミウム及びその化合物	mg/L	0.003mg/以下	0.0003 未満	0.0003 未満
4	水銀及びその化合物	mg/L	0.0005mg/L 以下	0.00005 未満	0.00005 未満
5	セレン及びその化合物	mg/L	0.01mg/L 以下	0.001 未満	0.001 未満
6	鉛及びその化合物	mg/L	0.01mg/L 以下	0.001 未満	0.001 未満
7	ヒ素及びその化合物	mg/L	0.01mg/L 以下	0.001 未満	0.001 未満
8	六価クロム化合物	mg/L	0.02mg/L 以下	0.002 未満	0.002 未満

粒状活性炭およびイオン交換樹脂のPFAS除去性能評価

検査項目	単位	基準値	検査結果	
			IER1 2025/8/13	原水 (三井 No. 1 ～13 取水井) 2025/5/16
9	亜硝酸態窒素	mg/L	0.04mg/L 以下	0.004 未満
10	シアン化物イオン 及び塩化シアン	mg/L	0.01mg/L 以下	0.001 未満
11	硝酸態窒素 及び亜硝酸態窒素	mg/L	10mg/L 以下	2.10
12	フッ素及びその化合物	mg/L	0.8mg/L 以下	1.5～2.9
13	ホウ素及びその化合物	mg/L	0.05 未満	0.05 未満
14	四塩化炭素	mg/L	0.1 未満	0.1 未満
15	1,4-ジオキサン	mg/L	0.002 未満	0.0002 未満
16	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	0.05mg/L 以下	0.005 未満
17	ジクロロメタン	mg/L	0.04mg/L 以下	0.001 未満
18	テトラクロロエチレン	mg/L	0.02mg/L 以下	0.001 未満
19	トリクロロエチレン	mg/L	0.01mg/L 以下	0.001 未満
20	ベンゼン	mg/L	0.01mg/L 以下	0.001 未満
21	塩素酸	mg/L	0.01mg/L 以下	0.001 未満
22	クロロ酢酸	mg/L	0.6mg/L 以下	0.05 未満
23	クロロホルム	mg/L	0.02mg/L 以下	0.002 未満
24	ジクロロ酢酸	mg/L	0.06mg/L 以下	0.001 未満
25	ジブロモクロロメタン	mg/L	0.03mg/L 以下	0.002 未満
26	臭素酸	mg/L	0.1mg/L 以下	0.001 未満
27	総トリハロメタン	mg/L	0.01mg/L 以下	0.001 未満
28	トリクロロ酢酸	mg/L	0.1mg/L 以下	0.001 未満
29	ブロモジクロロメタン	mg/L	0.03mg/L 以下	0.002 未満
30	ブロモホルム	mg/L	0.03mg/L 以下	0.001 未満
31	ホルムアルデヒド	mg/L	0.09mg/L 以下	0.001 未満
32	亜鉛及びその化合物	mg/L	0.08mg/L 以下	0.005 未満
33	アルミニウム 及びその化合物	mg/L	1.0mg/L 以下	0.01 未満
34	鉄及びその化合物	mg/L	0.2mg/L 以下	0.01 未満
35	銅及びその化合物	mg/L	0.3mg/L 以下	0.03 未満

粒状活性炭およびイオン交換樹脂の PFAS 除去性能評価

検査項目		単位	基準値	検査結果	
				IER1 2025/8/13	原水 (三井 No. 1 ～13 取水井) 2025/5/16
36	ナトリウム及びその化合物	mg/L	200mg/L 以下	10. 2	9. 1～13
37	マンガン及びその化合物	mg/L	0. 05mg/L 以下	0. 001 未満	0. 001 未満
38	塩化物イオン	mg/L	200mg/L 以下	6. 3	4. 0～14. 0
39	カルシウム、マグネシウム等（硬度）	mg/L	300mg/L 以下	43. 3	43～56
40	蒸発残留物	mg/L	500mg/L 以下	122	110～140
41	陰イオン界面活性剤	mg/L	0. 2mg/L 以下	0. 02 未満	0. 02 未満
42	ジェオスミン	mg/L	0. 00001mg/L 以下	0. 000001 未満	0. 000001 未満
43	2-メチルイソボルネオール	mg/L	0. 00001mg/L 以下	0. 000001 未満	0. 000001 未満
44	非イオン界面活性剤	mg/L	0. 02mg/L 以下	0. 002 未満	0. 002 未満
45	フェノール類	mg/L	0. 005mg/L 以下	0. 0005 未満	0. 0005 未満
46	有機物(全有機炭素(TOC)の量)	mg/L	3mg/L 以下	0. 2 未満	0. 3 未満
47	pH 値	—	5. 8 以上 8. 6 以下	6. 6	6. 3～6. 6
48	味	—	異常でないこと	異常なし	異常なし
49	臭気	—	異常でないこと	異常なし	異常なし
50	色度	度	5 度以下	0. 5 未満	0. 5 未満
51	濁度	度	2 度以下	0. 1 未満	0. 1 未満

4. まとめ

- ・ IER1 の SV=30、20h⁻¹ の条件では、約 2 年の通水期間において PFAS は検出されなかった。
- ・ GAC1 の SV=20h⁻¹ では約 18 カ月、SV=10h⁻¹ では約 21 カ月で PFOS と PFOA の合算値が 50ng/L を超過した。
- ・ IER2 は、GAC に比べて PFOA が検出されるまでの通水期間は短い、サンプリングノズルの位置によっては PFOS の検出タイミングは遅く、もしくは未検出のため、PFOS と PFOA の合算値は 50ng/L を超過しなかった。
- ・ 今回測定した逆洗排水中の 4 項目の PFAS 濃度は、時間経過に伴い増加傾向にあり、2026 年 5 月時点ではいずれも原水の平均値を上回る濃度が検出された。
- ・ IER1 処理水の水道水質基準（51 項目）の測定結果は、いずれの項目も基準値内であり、水質に問題がないことを確認した。

今後もパイロット実験を継続して実施し、これまでに得られた RSSCT の破過曲線とパイロット設備の破過曲線を比較することで、RSSCT 破過曲線の補正係数を検証する予定である。

粒状活性炭およびイオン交換樹脂の PFAS 除去性能評価

5. 参考文献

- 1) 福原次朗（沖縄県企業局）ら，RSSCT 法を用いた市販粒状活性炭の PFOS 等吸着性能評価，令和 3 年度全国会議（水道研究発表会），p. 220-221，2021.
- 2) 資料 2-1 PFAS 処理技術の性能に関する試験報告書 1（粒状活性炭およびイオン交換樹脂の PFAS 除去性能評価），第 4 回各務原市水質改善対策委員会，2025.
- 3) 内間一志（沖縄県企業局）ら，粒状活性炭処理における有機フッ素化合物吸着性能の評価（Ⅱ），令和 5 年度全国会議（水道研究発表会），p. 688-689，2023.

以上