

第4章 PFOS等破過曲線の確認（迅速小規模カラム試験：RSSCT）

RSSCT は一定濃度の原水に対する破過曲線を確認することができ、吸着寿命や過渡特性の評価を行うことが出来る。本試験は全 11 種の炭種から大小様々な吸着量や活性炭の物性値が分布するよう 8 種の炭種を選定して実施し、前章までに確認した物性値や回分式吸着実験結果と、吸着寿命や過渡特性の関係を確認するものとした。

4-1. RSSCT に用いる活性炭の選定

RSSCT 実験に使用する炭種の選定方法の概略を以下に、選定フローを図 4-1 に示す。

- 実施運用中の 3 炭種を採用する。
- 回分式吸着実験において PFOS+PFOA 吸着量が多いものと少ないものを採用する。
- 原料として石炭系、ヤシ殻系及び亜炭を含めるものとする。
- PFH_xS 吸着量の多いものと少ないものを採用する。

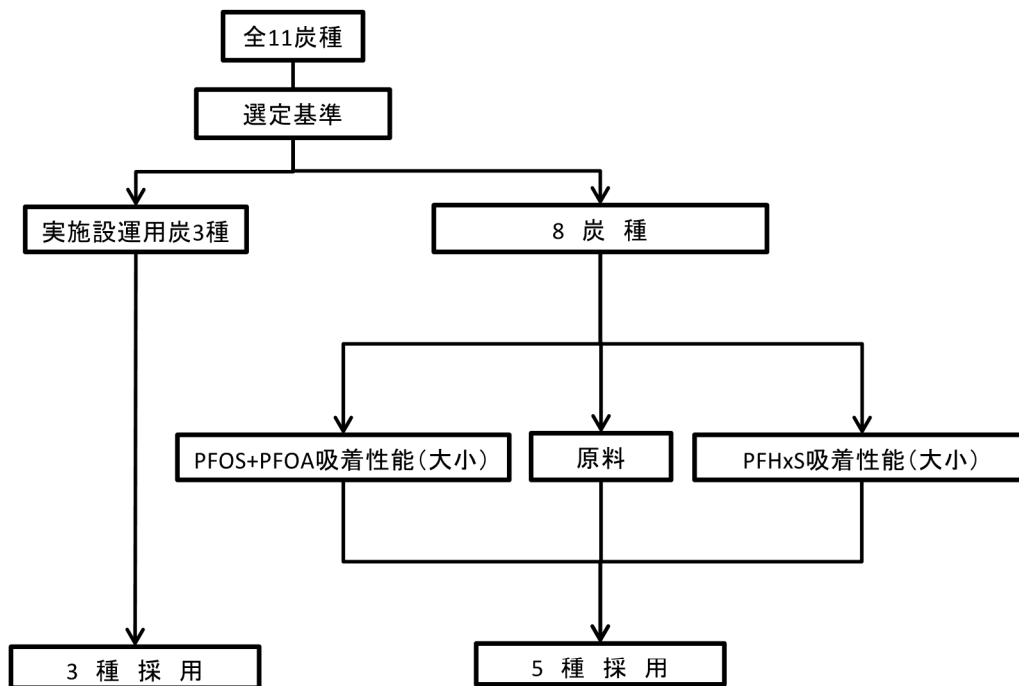


図 4-1 RSSCT に用いる活性炭の選定フロー

ここで、実験使用炭については、実施運用炭 3 種を含む 8 種で行うため、残り 8 種から 5 種を選定することとなり、これに当たっては、吸着量の多少、原料などを考慮した。

PFOS+PFOA 吸着量及び PFH_xS 吸着量は任意の平衡濃度を吸着等温線に代入することで求められる。平衡濃度の実施設の原水濃度を用いることで、原水濃度に対する吸着容量を比較できることから、実施設原水濃度実績値に対する吸着量を算出し、比較することとする。続く RSSCT においても同様に原水濃度実績値に合わせた原水を用いることから、実験使用炭の選定条件として適当と考えられる。

1) 吸着量の算出

(1) 破過濃度の設定

吸着量を想定するに当たって、破過濃度の設定は以下の2ケースとした。

ケース1：北谷浄水場原水のPFOS等濃度実績から設定

ケース2：北谷浄水場活性炭流入水のPFOS等濃度実績から設定

以上で設定した2ケースの破過濃度を表4-1に示す。

表4-1 破過濃度の設定

| | PFOS | PFOA | PFHxS | 備考 |
|------|------|------|-------|-----------------|
| 単位 | ng/L | ng/L | ng/L | |
| ケース1 | 28 | 6 | 17 | 原水構成比率5:1:3より算出 |
| ケース2 | 11 | 4 | 9 | 活性炭流入水の最大値 |

【ケース1】

北谷浄水場原水のPFOS+PFOA合計の平均値（平成30年度）は32ng/Lであり、PFOS等の含有比率は5:1:3（PFOS:PFOA:PFHxS）であることから、PFOS等は48ng/L（PFOS+PFOA:PFHxS = 6:3=32:16）となる。そこで、PFOS等原水濃度を50ng/Lとし、前述の含有比率を用いてPFOS・PFOA・PFHxSの濃度を設定した。この結果を以下に示す。

$$\text{PFOS} = 50\text{ng/L} \times 5/9 = 27.77 \div 28\text{ng/L}$$

$$\text{PFOA} = 50\text{ng/L} \times 1/9 = 5.55 \div 6\text{ng/L}$$

$$\text{PFHxS} = 50\text{ng/L} \times 3/9 = 16.66 \div 17\text{ng/L} \quad \text{合計} \quad 51\text{ng/L}$$

【ケース2】

北谷浄水場活性炭流入水のPFOS等の合計濃度については、直近実績（令和元年12月～令和2年4月）の最大値で24ng/Lであり、その内訳はPFOSが11ng/L、PFOAが4ng/L、PFHxSが9ng/Lであったことから、この値で設定した。

(2) 吸着量の算出結果

3-3章で得られた吸着定数K、1/nを用いて破過濃度に対する吸着量を求めた。ここでは、令和2年4月より水質管理目標設定項目としてPFOSとPFOAの合計値50ng/L（暫定目標値）が定められたことから、PFOS、PFOA、PFHxSの単体破過濃度だけでなく、PFOS+PFOA合計破過濃度でも吸着量を試算した。これらの結果を表4-2、図4-2に示す。吸着量の算出方法は以下のとおりである。

$$\text{吸着量} = 1/n \times \text{破過濃度} + K$$

まず、図4-2のPFOS+PFOAの吸着量を見ると、AC5、AC4の順に多く、次に実施設運用炭であるAC3、AC2、AC1の順でAC8となっている。逆に吸着量が少なかったのは、AC10、AC7、AC6の順である。

これらの傾向は、PFOS、PFOA、PFHxS単体でも概ね同様であるが、PFOAとPFHxS

については、吸着量が最も多いのが AC8 で、次に AC4、AC5、AC11、AC9、AC7 の順で、実施設運用炭 AC1、AC2、AC3 は PFOS よりも下位になっている。また、AC10 と AC6 は PFOS 同様に吸着量が少ない。

表 4-2 PFOS・PFOA・PFHxS 吸着量の算出結果

PFOS 直線部分を選定

| 項目 AC No. | 実施設運用炭 | | | その他の活性炭 | | | | | | | |
|-----------------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | AC1 | AC2 | AC3 | AC4 | AC5 | AC6 | AC7 | AC8 | AC9 | AC10 | AC11 |
| 原料 | 石炭 | 石炭 | 石炭 | 石炭 | 石炭 | 亜炭 | 石炭 | ヤシ殻 | 石炭 | 石炭 | 石炭 |
| K (ng/mg) | 8.88 | 9.49 | 12.98 | 15.01 | 12.82 | 10.44 | 12.57 | 14.49 | 9.16 | 9.84 | 13.04 |
| 1/n (-) | 4.08 | 5.34 | 7.30 | 8.31 | 11.41 | 1.68 | 0.83 | 5.75 | 2.09 | 0.67 | 3.33 |
| R ² | 0.990 | 0.994 | 0.994 | 0.994 | 0.720 | 0.973 | 0.954 | 0.993 | 0.875 | 0.904 | 0.991 |
| ケース1 28ng/L時吸着量 | 123 | 159 | 217 | 248 | 332 | 57 | 36 | 176 | 68 | 29 | 106 |
| ケース2 11ng/L時吸着量 | 54 | 68 | 93 | 106 | 138 | 29 | 22 | 78 | 32 | 17 | 50 |

PFOA 直線部分を選定

| 項目 AC No. | 実施設運用炭 | | | その他の活性炭 | | | | | | | |
|----------------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | AC1 | AC2 | AC3 | AC4 | AC5 | AC6 | AC7 | AC8 | AC9 | AC10 | AC11 |
| 原料 | 石炭 | 石炭 | 石炭 | 石炭 | 石炭 | 亜炭 | 石炭 | ヤシ殻 | 石炭 | 石炭 | 石炭 |
| K (ng/mg) | 1.46 | 1.55 | 1.80 | 1.96 | 1.61 | 1.52 | 1.83 | 1.93 | 0.85 | 1.88 | 1.45 |
| 1/n (-) | 0.05 | 0.05 | -0.01 | 0.60 | 0.25 | 0.01 | 0.03 | 0.64 | 0.28 | -0.09 | 0.23 |
| R ² | 0.760 | 0.886 | 0.123 | 0.988 | 0.935 | 0.183 | 0.269 | 0.967 | 0.622 | 0.843 | 0.830 |
| ケース1 6ng/L時吸着量 | 1.8 | 1.8 | 1.7 | 5.6 | 3.1 | 1.6 | 2.0 | 5.8 | 2.5 | 1.3 | 2.8 |
| ケース2 4ng/L時吸着量 | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 4.4 | 2.6 | 1.5 | 1.9 | 4.5 | 2.0 | 1.5 | 2.4 |

PFHxS 直線部分を選定

| 項目 AC No. | 実施設運用炭 | | | その他の活性炭 | | | | | | | |
|-----------------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | AC1 | AC2 | AC3 | AC4 | AC5 | AC6 | AC7 | AC8 | AC9 | AC10 | AC11 |
| 原料 | 石炭 | 石炭 | 石炭 | 石炭 | 石炭 | 亜炭 | 石炭 | ヤシ殻 | 石炭 | 石炭 | 石炭 |
| K (ng/mg) | 3.21 | 3.01 | 3.38 | 4.71 | 3.66 | 3.15 | 4.23 | 4.32 | 2.45 | 3.56 | 3.71 |
| 1/n (-) | 0.24 | 0.45 | 0.54 | 1.05 | 0.59 | 0.13 | 0.19 | 1.15 | 0.37 | 0.02 | 0.40 |
| R ² | 0.979 | 0.998 | 0.995 | 0.982 | 0.946 | 0.968 | 0.864 | 0.971 | 0.792 | 0.062 | 0.977 |
| ケース1 17ng/L時吸着量 | 7.3 | 10.7 | 12.6 | 22.6 | 13.6 | 5.3 | 7.5 | 23.9 | 8.7 | 4.0 | 10.5 |
| ケース2 9ng/L時吸着量 | 4.7 | 5.7 | 6.6 | 11.0 | 7.2 | 3.9 | 5.4 | 11.2 | 4.7 | 3.7 | 6.1 |

PFOS+PFOA合計値

| 項目 AC No. | 実施設運用炭 | | | その他の活性炭 | | | | | | | |
|--------------|--------|-----|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | AC1 | AC2 | AC3 | AC4 | AC5 | AC6 | AC7 | AC8 | AC9 | AC10 | AC11 |
| ケース1 吸着量 | 125 | 161 | 219 | 253 | 335 | 59 | 38 | 181 | 70 | 30 | 109 |
| ケース2 吸着量 | 55 | 70 | 95 | 111 | 141 | 30 | 24 | 82 | 34 | 19 | 52 |

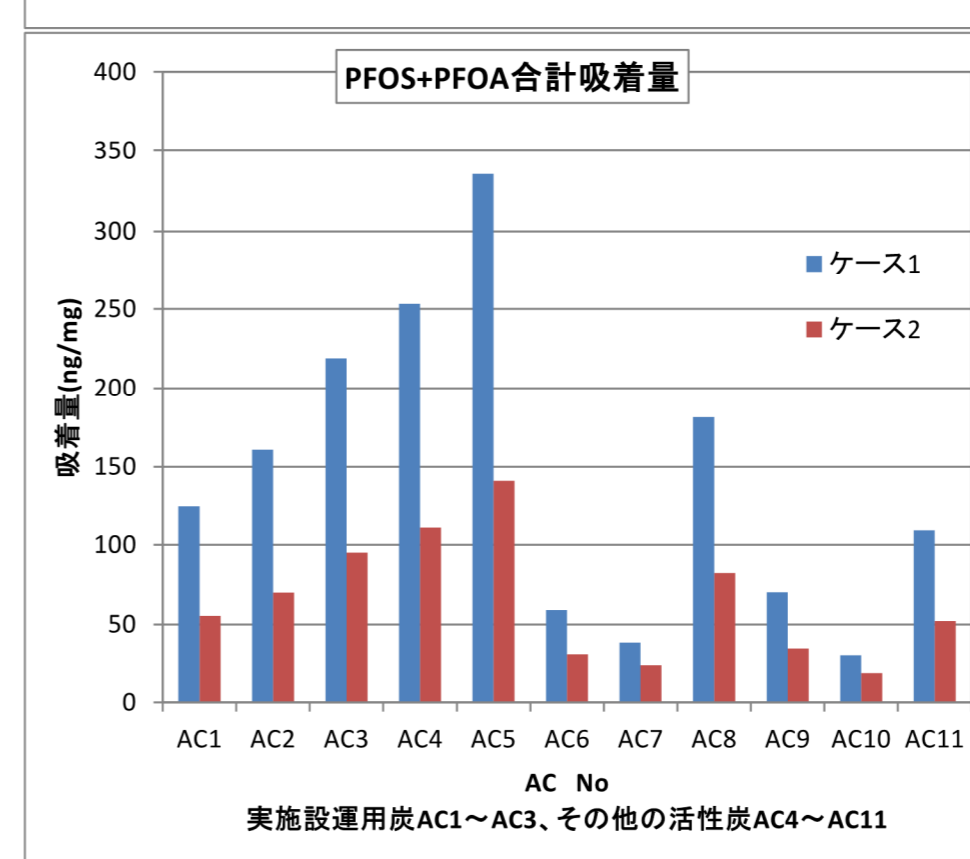
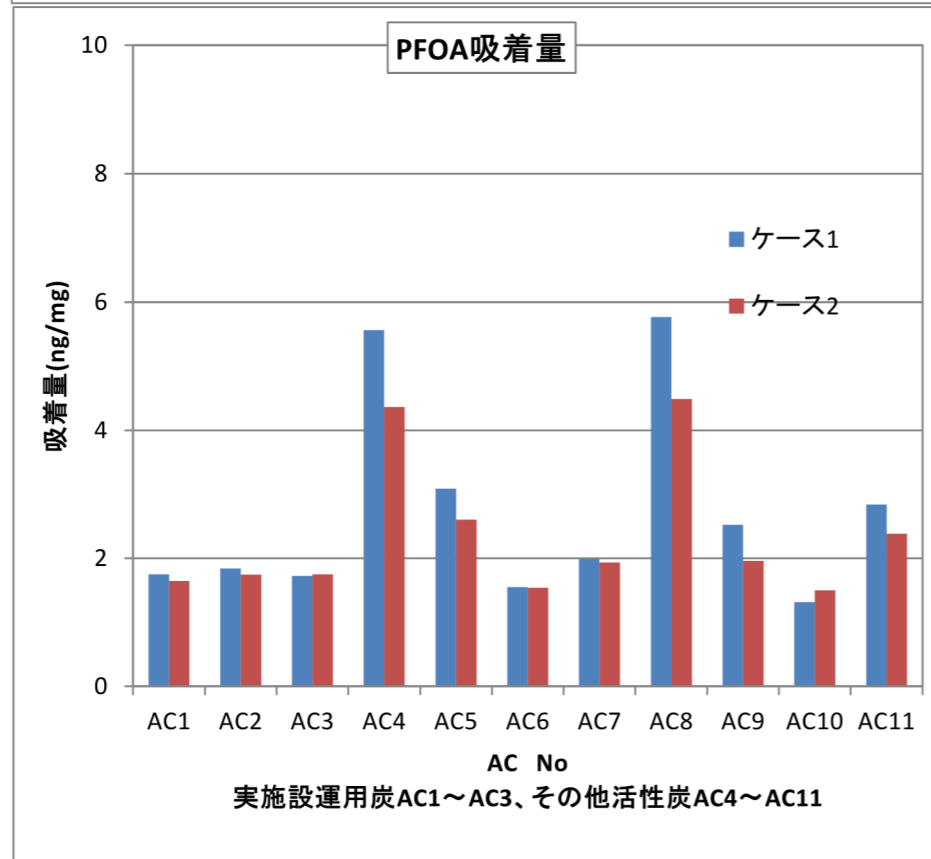
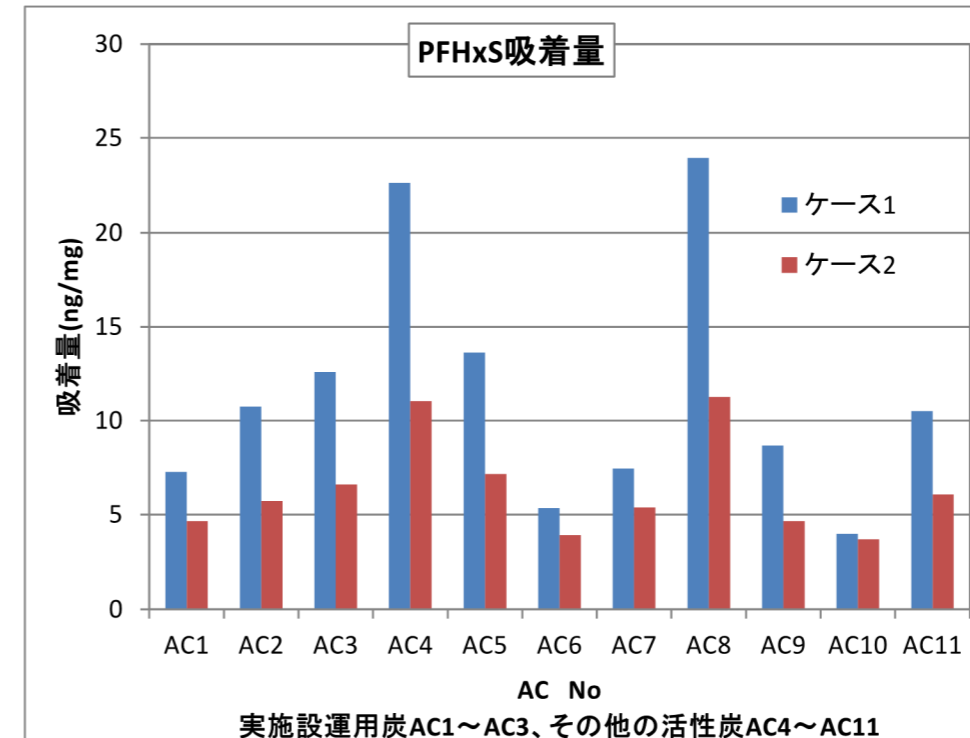
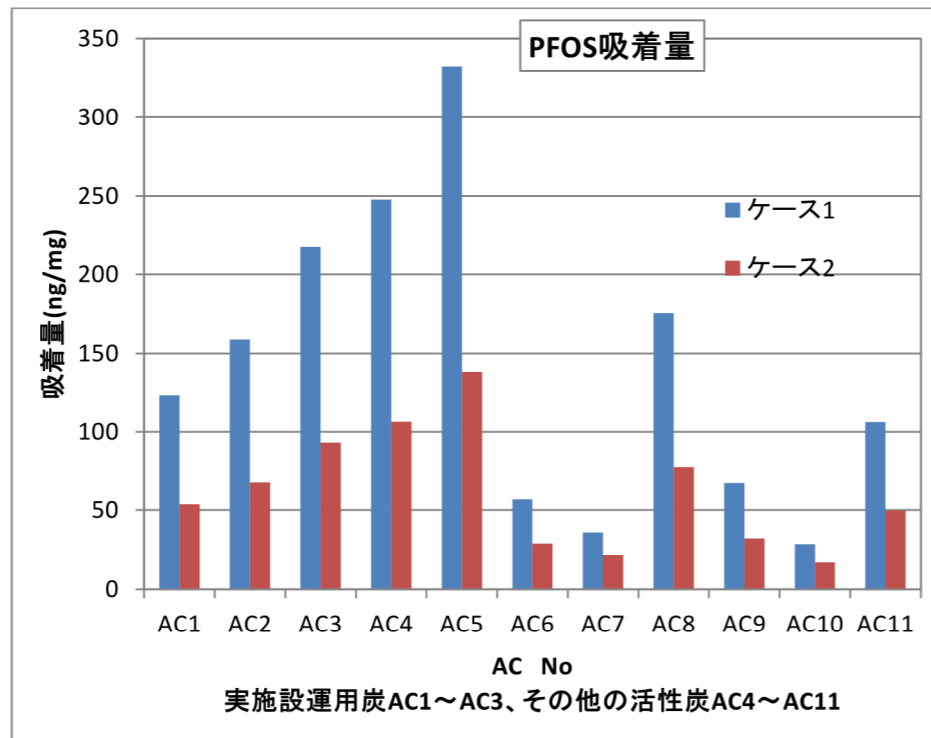


図 4-2 PFOS・PFOA・PFHxS 吸着量の算出結果(72 時間換算値)

(3) 吸着量（単体、ケース 1、2）と物性値の関連性

回分試験で得られた吸着量と、各物性値の散布図を図 4-3～6 に示し、表 4-3 に相関をまとめて示した。特徴を以下に示す。

表 4-3 吸着量と物性値の相関

| PFOS等 | 指標 | ヨウ素吸着性能 | | メチレンブルー脱色力 | | ABS価 | | フェノール価 | | マイクロ孔+メソ孔 | | マイクロ孔 | | メソ孔 | |
|----------------------|------|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|
| | | R ² | 相関 | R ² | 相関 | R ² | 相関 | R ² | 相関 | R ² | 相関 | R ² | 相関 | R ² | 相関 |
| PFOS 吸着量 | ケース1 | 0.20 | 正 | 0.02 | 正 | 0.21 | 負 | 0.47 | 正 | 0.70 | 正 | 0.36 | 正 | 0.45 | 正 |
| | ケース2 | 0.39 | 正 | 0.40 | 正 | 0.35 | 負 | 0.04 | 負 | 0.64 | 正 | 0.45 | 正 | 0.24 | 正 |
| PFOA 吸着量 | ケース1 | 0.40 | 正 | 0.36 | 正 | 0.29 | 負 | 0.17 | 正 | 0.48 | 正 | 0.54 | 正 | 0.03 | なし |
| | ケース2 | 0.40 | 正 | 0.15 | 正 | 0.27 | 負 | 0.21 | 正 | 0.53 | 正 | 0.57 | 正 | 0.08 | 正 |
| PFOS+ PFOA 吸着量 | ケース1 | 0.37 | 正 | 0.38 | 正 | 0.33 | 負 | 0.40 | 正 | 0.62 | 正 | 0.43 | 正 | 0.24 | 正 |
| | ケース2 | 0.22 | 正 | 0.03 | 正 | 0.23 | 負 | 0.48 | 正 | 0.73 | 正 | 0.39 | 正 | 0.44 | 正 |

決定係数(R²)0.5以上

- ミクロ孔+メソ孔と吸着量は、PFOS でも PFOA でも、あるいは PFOS+PFOA でもおおむね正の相関がみられている。
- ミクロ孔は PFOA で正の相関が得られているが、PFOS や PFOS+PFOA では弱い正の相関がある程度である。
- ヨウ素吸着性能やメチレンブルー脱色力とは弱い正の相関がある。
- ABS 価は負の相関がみられるが、相関の程度は弱い。
- フェノール価は正の相関が多いものの、相関の程度は弱い。
- メソ孔は正相関がみられるものの、相関の程度は弱い。

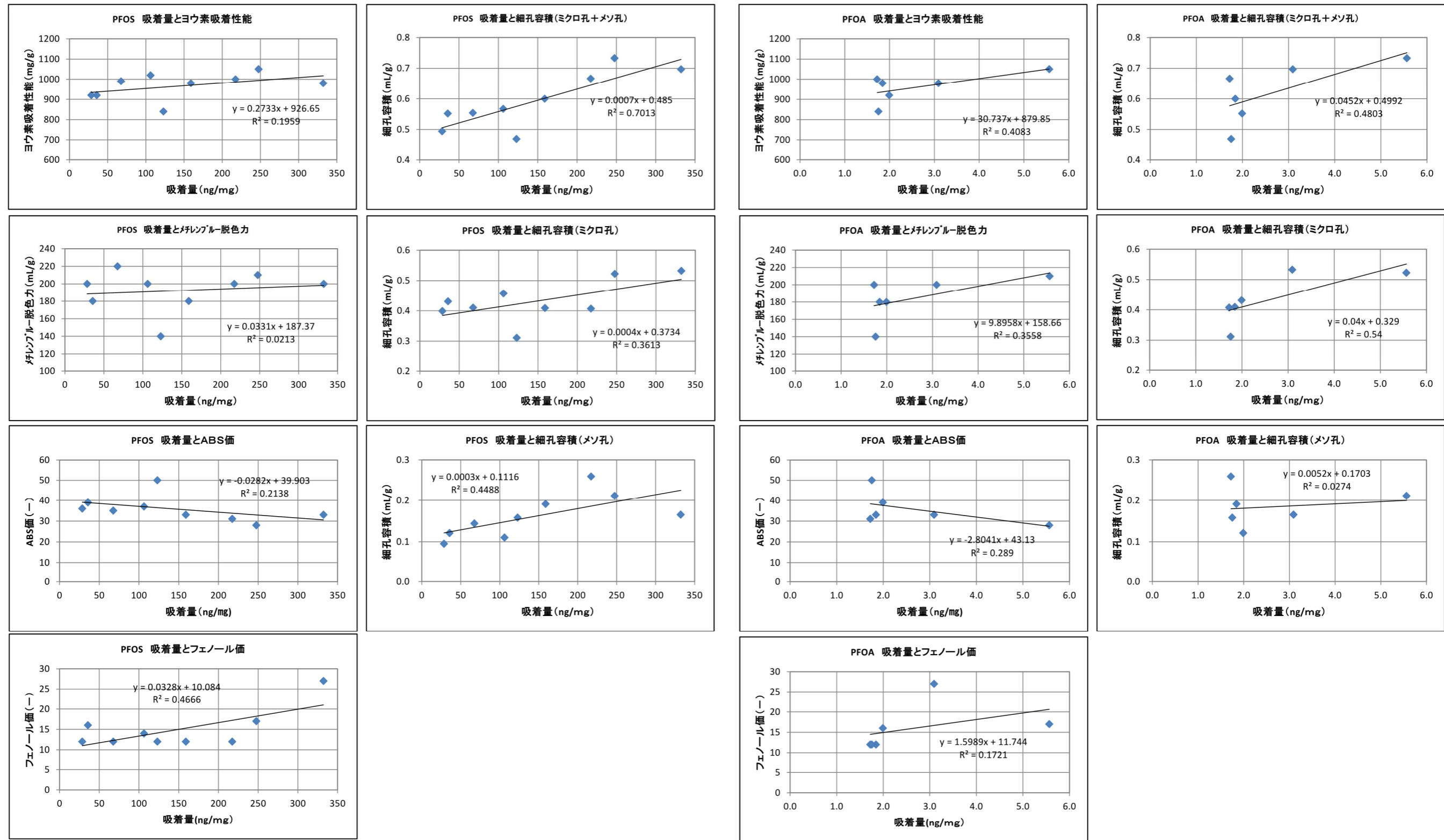


図 4-3 ケース 1 吸着量と他の物性値の関連性 (PFOS、PFOA : 72 時間換算値) (その 1)

※Microsoft Excel を使用

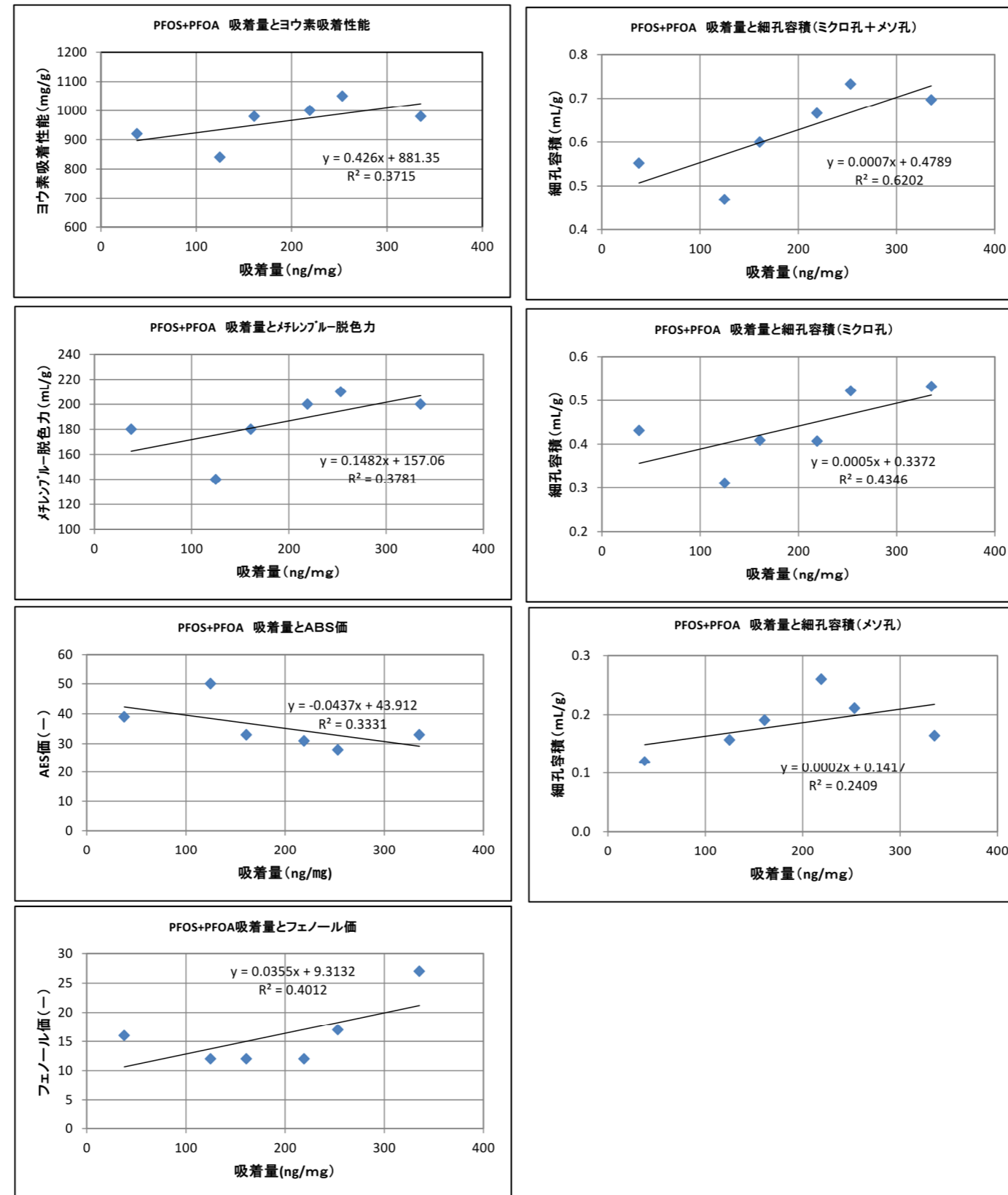


図 4-4 ケース 1 吸着量と他の物性値の関連性 (PFOS+PFOA : 72 時間換算値) (その 2)

※Microsoft Excel を使用

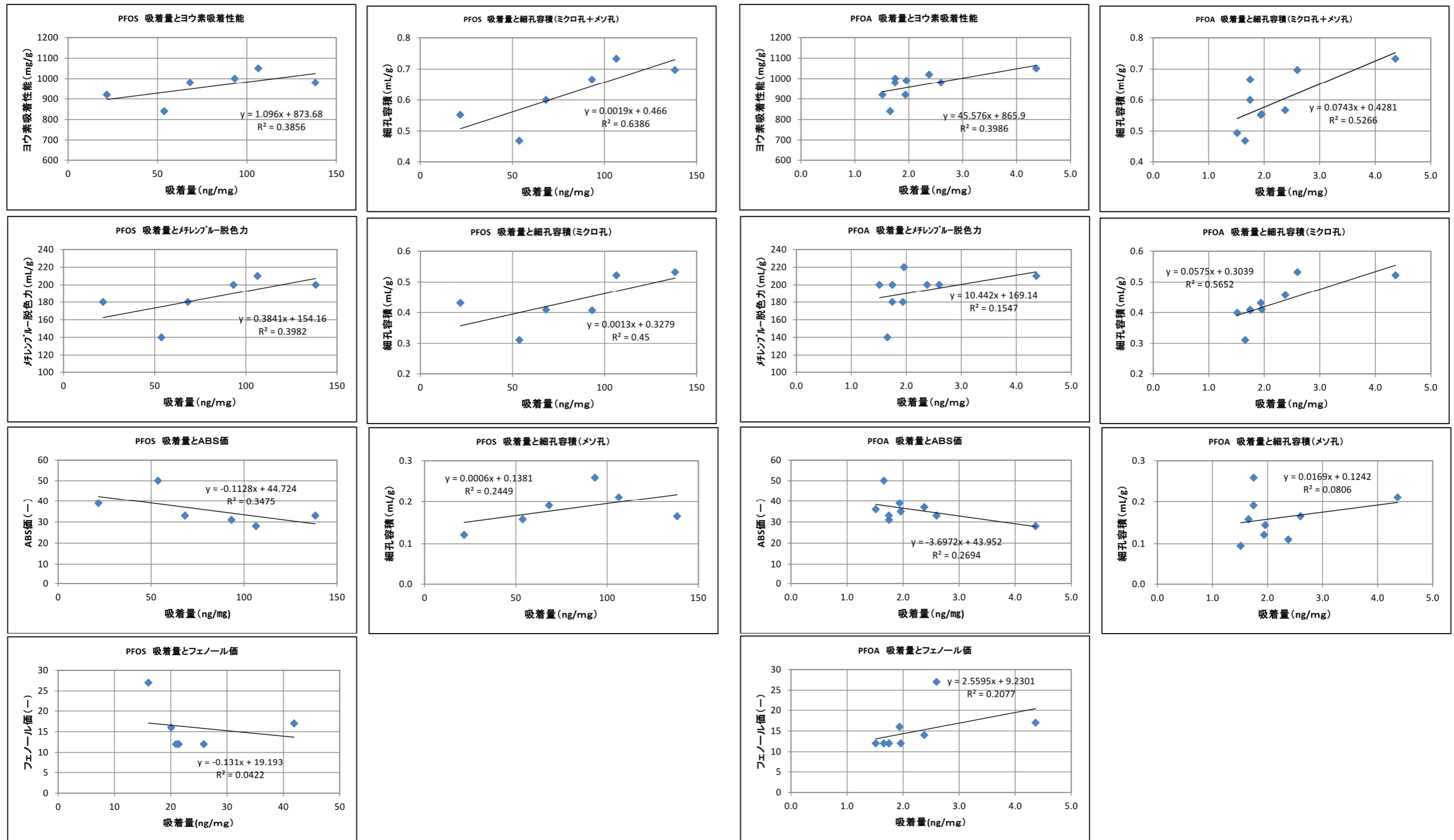


図 4-5 ケース 2 吸着量と他の物性値の関連性 (PFOS、PFOA : 72 時間換算値) (その 1)

※Microsoft Excel を使用

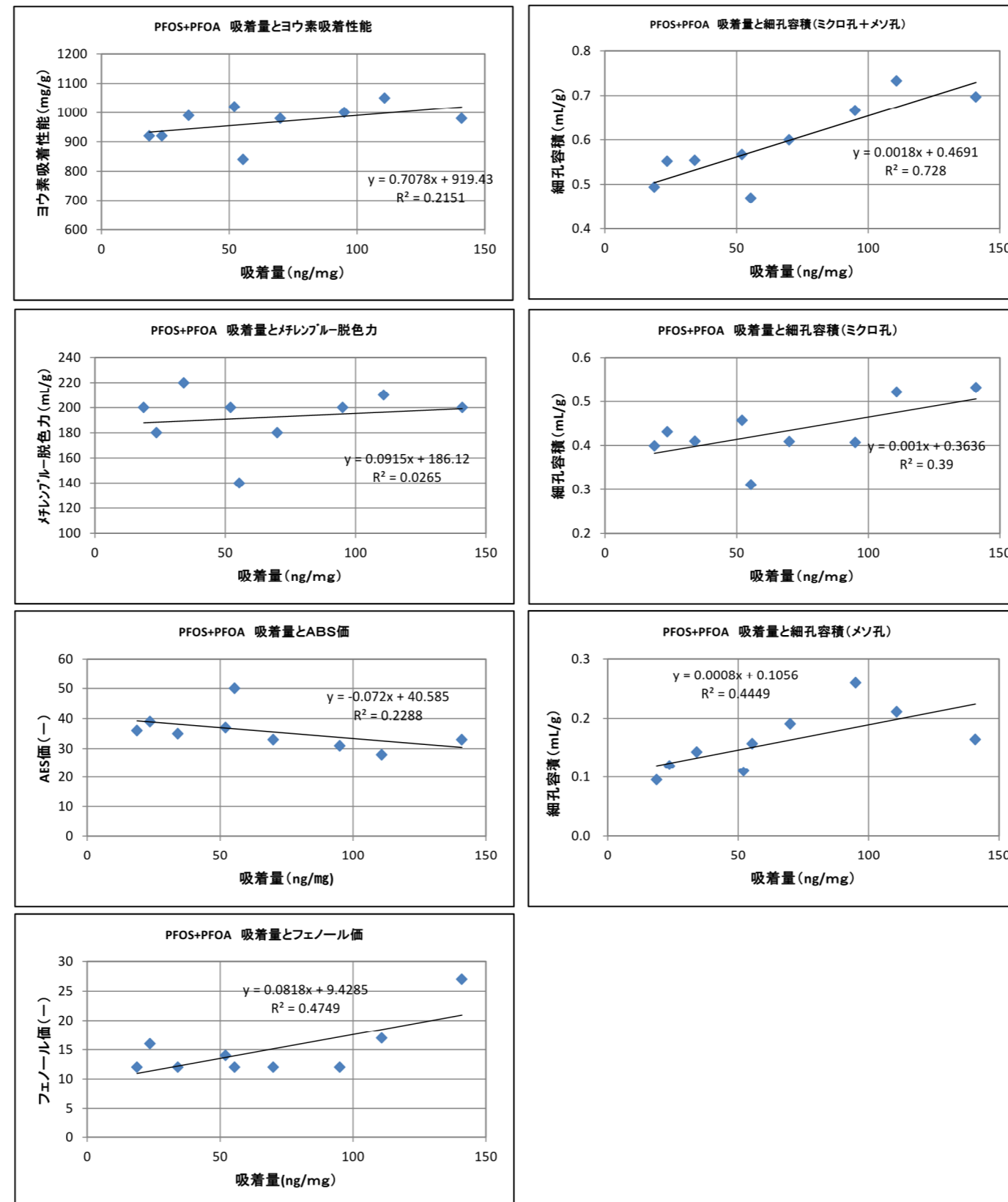


図 4-6 ケース 2 吸着量と他の物性値の関連性 (PFOS+PFOA : 72 時間換算値) (その 2)

※Microsoft Excel を使用

2) RSSCT 用活性炭の選定結果

活性炭の原料や成型方法、物性値、吸着量について、吸着量（ケース1）の多い順に整理した結果を表 4-6 に示す。

- ① 吸着量に着目すると、水質管理目標設定項目である PFOS+PFOA の吸着量が最も多いのがケース1及び2ともに AC5 [石炭・破碎] で、次いで AC4 [石炭・破碎] であることからこれらを採用した。一方、吸着量が少ないのは AC10 [石炭・球状成型]、AC7 [石炭・破碎] であった。
- ② 原料については、石炭・ヤシ殻・亜炭の3種があるが、石炭系以外では、亜炭の AC6 [亜炭・破碎] とヤシ殻の AC8 [ヤシ殻・破碎] を採用した。ここで、AC8 については、参考文献 (James D.McNamara 他 飲料水におけるパーフルオロ化合物の除去性に関する活性炭の比較 Journal AWWA Vol.110 2018) によると、ヤシ殻系は石炭系よりも破過が速いとされているが、一般には細孔容積のマイクロ孔が発達しており、後述するように吸着性能とマイクロ孔には関係性が認められることから AC8 を採用した。また、AC6 については、米国の浄水場における使用実績とメーカー提供資料 () に示された除去効果を考慮して採用した。
- ③ 成型方式に着目すると AC10 は球状成型であるが、RSSCT においては、粉碎する必要があるため、成型方式の効果を確認することができないため、不採用とした。PFOS+PFOA 吸着量が少ない活性炭として、AC7 [破碎] を採用した。
- ④ PFHxS の吸着量に着目すると吸着量が多い活性炭は AC8、AC4 であり、吸着量の少ないものは AC10、AC7、AC6 であった。AC10 は③の理由から評価が難しいことから、AC7 と AC6 を採用した。

以上で選定した活性炭と北谷浄水場で運用されている活性炭を以下に示す。

- | | |
|------------------------|---|
| ①-1 PFOS+PFOA の吸着量が多い | AC5、AC4 |
| ①-2 PFOS+PFOA の吸着量が少ない | AC7、AC10 (他要素を考慮し決定) |
| ② 原料の違い | AC6 [亜炭]、AC8 [ヤシ殻] |
| ③ 成型方式 | AC10[球状成型]成型の効果確認できない。 ①-2 は AC7 を選択 |
| ④-1 PFHxS の吸着量が多い | A8、AC4 |
| ④-2 PFHxS の吸着量が少ない | AC7 |
| ⑤ 実施設運用炭 | AC1、AC2、AC3 |

以上により、選択された活性炭は表 4-4 に示すとおりである。

表 4-4 RSSCT に用いる活性炭（選定内容）

| 選定条件 | AC1 | AC2 | AC3 | AC4 | AC5 | AC6 | AC7 | AC8 | AC9 | AC10 | AC11 |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| PFOS+PFOAの吸着量が多い | | | | ○ | ○ | | | | | | |
| PFOS+PFOAの吸着量が少ない | | | | | | | ○ | | | (○) | |
| 原料の違い | | | | | | ○ | | ○ | | | |
| 成型方式 | | | | | | | | | | △ | |
| PFHxSの吸着量が多い | | | | ○ | | | | ○ | | | |
| PFHxSの吸着量が少ない | | | | | | | ○ | | | | |
| 実施設運用炭 | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | |
| 選択活性炭 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |

AC5、AC4、AC7、AC6、AC8 を選択すると表 4-5 に示すとおり、吸着量や物性値など各データがばらける結果となり、PFHxS 吸着量の要素も含めることができる。

表 4-5 RSSCT に用いる活性炭（選定結果）

| 活性炭 | | | 物性項目 | | | | | | | | 吸着量 (ng/mg) | | 備考 |
|-----------|-----|----|----------------|-----------------|------|--------|---------|-------------|-------|-------|-------------|-------|--------|
| AC No. | 原料 | 形状 | ヨウ素吸着性能 (mg/g) | メレンブル脱色力 (mL/g) | ABS価 | フェノール価 | pH | 細孔容積 (mL/g) | | | PFOS+PFOA合計 | PFHxS | |
| | | | | | | | | マイクロ孔及びメソ孔 | マイクロ孔 | メソ孔 | | | |
| JWWA A114 | - | - | 900以上 | 150以上 | 50以下 | 25以下 | 4.0~8.0 | - | - | - | ケース1 | ケース1 | |
| AC5 | 石炭 | 破碎 | 980 | 200 | 33 | 27 | 7.3 | 0.697 | 0.532 | 0.165 | 335 | 13.6 | |
| AC4 | 石炭 | 破碎 | 1,050 | 210 | 28 | 17 | 8.4 | 0.733 | 0.522 | 0.211 | 253 | 22.6 | |
| AC3 | 石炭 | 破碎 | 1,000 | 200 | 31 | 12 | 8.2 | 0.666 | 0.407 | 0.259 | 219 | 12.6 | 実施設運用炭 |
| AC2 | 石炭 | 破碎 | 980 | 180 | 33 | 12 | 10.1 | 0.600 | 0.409 | 0.191 | 161 | 10.7 | 実施設運用炭 |
| AC8 | ヤシ殻 | 破碎 | 1,470 | 300 | 29 | 16 | 7.6 | 0.681 | 0.582 | 0.099 | 181 | 23.9 | |
| AC1 | 石炭 | 破碎 | 840 | 140 | 50 | 12 | 7.5 | 0.469 | 0.311 | 0.158 | 125 | 7.3 | 実施設運用炭 |
| AC6 | 亜炭 | 破碎 | 620 | 100 | 61 | 14 | 7.4 | 0.622 | 0.161 | 0.461 | 59 | 5.3 | |
| AC7 | 石炭 | 破碎 | 920 | 180 | 39 | 16 | 6.9 | 0.552 | 0.431 | 0.121 | 38 | 7.5 | |

：JWWA品質規定を満たしていない

ケース1: 北谷浄水場原水のPFOS等原水濃度実績50ng/Lから破過濃度を設定

ここで、表 4-6 の吸着量の多少と各物性値をみると、JWWA の品質規定とは明確な関係性がみられないが、第 2 章でも述べたように細孔容積（マイクロ孔+メソ孔）とは関係性が認められ、特にマイクロ孔とは関連性が強いと考えられる。

参考文献（安部邦夫 活性炭性能評価法 炭素 TANSO 2002 No.204 200-208）によると、フェノール価はマイクロ孔と ABS 価はメソ孔と関係しており、それぞれの値が小さく細孔容積が大きくなると考えられている。今回の結果においても、AC5 を除き、フェノール価及び ABS 価が低いほど細孔容積が高い値になっている傾向が認められる。

これまでの結果から、PFOS 等の吸着性能との関係性が高い物性項目としては、細孔容積（特にマイクロ孔）、フェノール価及び ABS 価が考えられるため、RSSCT においては、これらを留意することが必要と考えられる。

表 4-6 活性炭の物性値と吸着量（72時間での想定値、ケース1吸着量の多い順）など

| 活性炭 | | | 物性項目 | | | | | | | |
|----------------|-----|------|-----------------------|--------------------------|------|--------|---------|--------------|-------|-------|
| AC No. | 原料 | 形状 | ヨウ素 吸着性能 (mg/g) | メチレンブルー 脱色力 (mL/g) | ABS価 | フェノール価 | pH | 細孔容積(mL/g) | | |
| | | | | | | | | ミクロ孔 +メソ孔 | ミクロ孔 | メソ孔 |
| JWWA A114 品質規定 | - | - | 900以上 | 150以上 | 50以下 | 25以下 | 4.0~8.0 | - | - | - |
| AC5 | 石炭 | 破碎 | 980 | 200 | 33 | 27 | 7.3 | 0.697 | 0.532 | 0.165 |
| AC4 | 石炭 | 破碎 | 1,050 | 210 | 28 | 17 | 8.4 | 0.733 | 0.522 | 0.211 |
| AC3 | 石炭 | 破碎 | 1,000 | 200 | 31 | 12 | 8.2 | 0.666 | 0.407 | 0.259 |
| AC2 | 石炭 | 破碎 | 980 | 180 | 33 | 12 | 10.1 | 0.600 | 0.409 | 0.191 |
| AC8 | ヤシ殻 | 破碎 | 1,470 | 300 | 29 | 16 | 7.6 | 0.681 | 0.582 | 0.099 |
| AC1 | 石炭 | 破碎 | 840 | 140 | 50 | 12 | 7.5 | 0.469 | 0.311 | 0.158 |
| AC11 | 石炭 | 破碎 | 1,020 | 200 | 37 | 14 | 7.6 | 0.567 | 0.457 | 0.110 |
| AC9 | 石炭 | 破碎 | 990 | 220 | 35 | 12 | 6.5 | 0.554 | 0.410 | 0.144 |
| AC6 | 亜炭 | 破碎 | 620 | 100 | 61 | 14 | 7.4 | 0.622 | 0.161 | 0.461 |
| AC7 | 石炭 | 破碎 | 920 | 180 | 39 | 16 | 6.9 | 0.552 | 0.431 | 0.121 |
| AC10 | 石炭 | 球状成形 | 920 | 200 | 36 | 12 | 7.6 | 0.495 | 0.399 | 0.096 |

| 活性炭 AC No. | PFOS+PFOA合計 | | PFOS | | | | PFOA | | | | PFHxS | | | | 備考 |
|---------------|-------------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| | 吸着量 | | 吸着定数 | | 吸着量 | | 吸着定数 | | 吸着量 | | 吸着定数 | | 吸着量 | | |
| | ケース1 | ケース2 | K | 1/n | ケース1 | ケース2 | K | 1/n | ケース1 | ケース2 | K | 1/n | ケース1 | ケース2 | |
| AC5 | 335 | 141 | 12.82 | 11.41 | 332 | 138 | 1.61 | 0.25 | 3.09 | 2.60 | 3.66 | 0.59 | 13.65 | 7.19 | |
| AC4 | 253 | 111 | 15.01 | 8.31 | 248 | 106 | 1.96 | 0.60 | 5.57 | 4.37 | 4.71 | 1.06 | 22.64 | 11.03 | |
| AC3 | 219 | 95 | 12.98 | 7.30 | 217 | 93 | 1.80 | -0.01 | 1.73 | 1.75 | 3.38 | 0.54 | 12.60 | 6.64 | 実施運用炭 |
| AC2 | 161 | 70 | 9.49 | 5.34 | 159 | 68 | 1.55 | 0.05 | 1.84 | 1.75 | 3.01 | 0.46 | 10.74 | 5.74 | 実施運用炭 |
| AC8 | 181 | 82 | 14.49 | 5.75 | 176 | 78 | 1.93 | 0.64 | 5.77 | 4.49 | 4.32 | 1.15 | 23.94 | 11.24 | |
| AC1 | 125 | 55 | 8.88 | 4.08 | 123 | 54 | 1.46 | 0.05 | 1.75 | 1.65 | 3.21 | 0.24 | 7.30 | 4.65 | 実施運用炭 |
| AC11 | 109 | 52 | 13.04 | 3.33 | 106 | 50 | 1.45 | 0.23 | 2.85 | 2.38 | 3.71 | 0.40 | 10.51 | 6.11 | |
| AC9 | 70 | 34 | 9.16 | 2.09 | 68 | 32 | 0.85 | 0.28 | 2.52 | 1.96 | 2.45 | 0.37 | 8.69 | 4.65 | |
| AC6 | 59 | 30 | 10.44 | 1.68 | 57 | 29 | 1.52 | 0.01 | 1.55 | 1.54 | 3.15 | 0.13 | 5.33 | 3.92 | |
| AC7 | 38 | 24 | 12.57 | 0.83 | 36 | 22 | 1.83 | 0.03 | 1.99 | 1.94 | 4.23 | 0.19 | 7.48 | 5.38 | |
| AC10 | 30 | 19 | 9.84 | 0.67 | 29 | 17 | 1.88 | -0.09 | 1.32 | 1.51 | 3.56 | 0.03 | 3.98 | 3.71 | |

：JWWA品質規定を満たしていない
 ケース1：北谷浄水場原水のPFOS等原水濃度実績50ng/Lから破過濃度を設定
 ケース2：北谷浄水場オゾン処理水のPFOS等濃度実績24ng/Lから破過濃度を設定

4-2. RSSCT の方法

実施設運用炭 3 種及び回分式吸着実験結果等から選定した活性炭 5 種の計 8 種について RSSCT を行い、破過曲線作成、目標濃度に対する吸着寿命と破過までの過渡特性を確認した。なお、今回の実験では実施設の設計値と運転条件を反映することで、実施設をより正確にシミュレーション出来るよう装置設計を行った。実験に用いた活性炭種と吸着量を表 4-7 に示す。

表 4-7 RSSCT に用いる活性炭の吸着量

| 項目 AC No. | 実施設運用炭 | | | 選択活性炭 | | | | |
|------------------|--------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|
| | AC1 | AC2 | AC3 | AC4 | AC5 | AC6 | AC7 | AC8 |
| 原料 | 石炭 | 石炭 | 石炭 | 石炭 | 石炭 | 亜炭 | 石炭 | ヤシ殻 |
| 形状 | 破碎 | 破碎 | 破碎 | 破碎 | 破碎 | 破碎 | 破碎 | 破碎 |
| ケース1 吸着量 (ng/mg) | 125 | 161 | 219 | 253 | 335 | 59 | 38 | 181 |
| ケース2 吸着量 (ng/mg) | 55 | 70 | 95 | 111 | 141 | 30 | 24 | 82 |

※ケース1: 北谷浄水場原水のPFOS等濃度実績から50ng/L (PFOS+PFOA合計34ng/L)

ケース2: 北谷浄水場オゾン処理水のPFOS等濃度実績から24ng/L (PFOS+PFOA合計15ng/L)

1) RSSCT とは

RSSCT の理論式には Constant diffusivity RSSCT (以下、CD 式と称す。) と Proportional diffusivity RSSCT (以下、PD 式と称す。) がある。PD 式は高分子量物質 (NOM (Natural Organic Matter 天然有機物質) 等) の予測に適している。一方、CD 式は微量有機物の予測に適している。しかしながら、PD 式は CD 式に比べて流速を小さくできるが、破過までの時間が長くなる特徴がある。米国試験材料協会 (American Society for Testing and Materials : ASTM、以下 ASTM と称す。) では CD 式を推奨しているため、本試験では CD 式に基づいて実施することとした。

RSSCT は、実際の原水を用いて、縮小された固定床を使用して、実施設活性炭の性能を予測する試験方法である。

したがって、複数の活性炭で RSSCT を行うことにより、活性炭の選択が可能となる。

RSSCT は以下の式により成り立っている。

$$\frac{EBCT_{SC}}{EBCT_{LC}} = \frac{d^{2-X}_{SC}}{d^{2-X}_{LC}} = \frac{t_{SC}}{t_{LC}} \quad \text{式①}$$

$$\frac{v_{SC}}{v_{LC}} = \frac{d_{LC}}{d_{SC}} \quad \text{式②}$$

ここに、

EBCT_{LC} : 実施設接触時間 (Empty-Bed Contact time for large-column)

EBCT_{SC} : カラム接触時間 (Empty-Bed Contact time for small-column)

X : 細孔の拡散係数に依存 (0 or 1 for CD and PD)

d : 活性炭平均径 (particle diameter)

- t_{LC} : 実施設運転時間 (full-scale column operation time)
- t_{SC} : カラム運転時間 (small-scale column operation time)
- v : 線速度 (hydraulic loading)

【CD 式】

- X=0 活性炭粒子サイズに粒子内拡散の依存性がないと考え、拡散率を実施設と同一にする方法
- 破過までの時間を短くできるが、流速が速くなる。
- 流速が速くなるため、カラム径や活性炭粒径を細かく考える必要がある。
- ASTM で D6586 として指定している。

【PD 式】

- X=1 活性炭粒子サイズに粒径内拡散の依存性があり、比例関係が存在すると考える方法
- 線速度を実施設と同一に設定する。
- 流速を小さく設定できるが、破過までの時間が長くなる。

式②を用いて RSSCT の実験条件を計画するうえで重要な点がある。式②に基づくと、運転時間とともに、急激に増加する高い圧力損失を伴うことがあり、活性炭が碎けて RSSCT ができなくなる場合がある。これは、分散 (diffusion) が起こらない範囲で線速度を下げて回避することができる。

直径に基づくペクレ数 (Pe_d) は次式で推測することができる。

$$Pe_d = 0.334 \quad (160 \leq Re \times Sc \leq 40,000) \cdots (A)$$

レイノルズ数 (Re) とシュミット数 (Sc) の乗算がこの範囲にあれば、ペクレ数は 0.334 と推測できる。

線速度が A 式で与えられる範囲より小さくなると、分子拡散 (molecular diffusion) に起因する軸方向の分散 (axial dispersion) が生じる。したがって、A 式は、圧力損失を低減するために RSSCT の線速度を低下させた時に分散が重要になるかどうかのチェックに用いることができる。SOCs (Synthetic Organic Chemicals) における典型的なシュミット数 (Sc : Schmidt Number) は約 2,000 である。したがって、RSSCT におけるレイノルズ数 (=小カラムにおける Re) は、0.1 以上でなければならない。

$$(\because 160 \leq Re \times Sc = 0.1 \times 2000 = 200)$$

レイノルズ数は次式で示される。

$$Re_{sc, \min} = 0.1 = \frac{(\rho_l \times v_i \times 2R_{sc})}{\mu_l}$$

Re_{sc, min} : 最小レイノルズ数

ρ_l : 液体の密度 (水の密度、温度の関数)

v_i : 間隙の線速度 (既知量)

R_{sc} : カラム活性炭の半径

μ_l : 水の粘性係数 (Dynamic Viscosity、温度の関数)

このとき、 $2R_{sc}=d_{sc}$, $v_i=v_{sc}/\epsilon$, $k_v=\mu/\rho l$ より、次式のように変形できる。

$$R_{sc, \min}=0.1=\frac{(d_{sc} \times v_{sc})}{(\epsilon \times k_v)}$$

d_{sc} : カラム活性炭の直径

v_{sc} : カラムの線速度

ϵ : 活性炭の間隙率 (既知量)

k_v : 水の動粘性係数 (Kinematic Viscosity、温度の関数)

この式から、 v_{sc} を求めると

$$v_{sc}=R_{sc, \min} \times \frac{(k_v \times \epsilon)}{d_{sc}}$$

$$=0.1 \times \frac{(k_v \times \epsilon)}{d_{sc}}$$

以上より、レイノルズ数とシュミット数の乗算がこの範囲にあれば、ペクレ数は0.334と推測できることから、この範囲内において流量を変更してもRSSCTは成り立つ。

2) 実験条件

実験条件は以下のとおりとした。

北谷浄水場原水のPFOS+PFOA合計の平均値(平成30年度)は32ng/Lであり、PFOS等の含有比率は5:1:3(PFOS:PFOA:PFHxS)であることから、PFOS等は48ng/L(PFOS+PFOA:PFHxS = 6:3=32:16)となる。そこで、PFOS等原水濃度を50ng/Lと設定し、この比率で混合する。(PFOS:30ng/L、PFOA:6ng/L、PFHxS:18ng/L 合計54ng/L)

原水設定濃度 3種合計 50ng/L

(PFOS:30ng/L、PFOA:6ng/L、PFHxS:18ng/L)

【実施諸元】

| | |
|--------------------|--------------------------|
| 活性炭平均粒径 | 0.9mm |
| 炭層厚さ | 2.0m |
| ろ過面積 | 52m ² /池 |
| 池数 | 16池 |
| 処理水量 | 134,000m ³ /日 |
| EBCT _{LC} | 52×16×2÷134,000×24=0.30時 |
| 線速度 | 134,000÷52÷16÷24=6.71m/時 |
| 推定寿命 | 約4年間を想定 |

上記諸元を基に、表4-8に示すとおり、RSSCTにおけるカラム条件を決定した。

| | |
|-------|---------|
| 活性炭粒径 | 0.107mm |
| カラム材質 | ステンレス |
| カラム外径 | 1/4インチ |

| | |
|-------|-----------------|
| カラム内径 | 4.6mm |
| 炭層長さ | 24cm |
| 実験期間 | 21 日間（最大 50 日間） |
| 通水量 | 15.6mL/分 |

【実施設通水月数への換算】

RSSCT 結果より、以下の解析手法（Water treatment Exmple15-15）で RSSCT の通水日数を実施設通水日数に換算する。

RSCCT 法 流出時間スケールを以下の式より実施設流出時間に変換する。

$$t_{LC} = t_{sc} \times \frac{EBCT_{LC}}{EBCT_{sc}} = t_{sc} \times \frac{0.30}{0.0042} = t_{sc} \times 71.4$$

ここで

| | |
|--------------------|------------|
| EBCT _{LC} | : 0.3 時 |
| EBCT _{sc} | : 0.0042 時 |

【破過濃度の設定】

連続通水による吸着能力の低下に伴い流出濃度が上昇して目標濃度に到達した状態を破過と定義する。今回の実験における破過濃度の設定は、浄水濃度レベルの過年度実績値（令和元年 23ng/L）への到達までを確認するという観点に加え、除去率 30%程度への推移を確認することで破過推移の傾向が捉えられることから、PFOS+PFOA = 25ng/L（原水濃度の 70%）とした。通水期間はそれぞれの炭種でおおよそ破過濃度に到達するまでとした。

表 4-8 RSSCT の実験条件試算結果

| RSSCT Design | | 0.9mm | units | design equation |
|--------------|------------|------------|------------|-----------------|
| | | Carbon | | |
| Carbon | [Redacted] | | | |
| | [Redacted] | | | |
| | [Redacted] | | | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| | [Redacted] | [Redacted] | | |
| | [Redacted] | [Redacted] | | |
| | [Redacted] | [Redacted] | | |
| | [Redacted] | [Redacted] | | |
| Large Column | | | | |
| Large Column | [Redacted] | | | |
| | [Redacted] | | | |
| | [Redacted] | | | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| Small Column | | | | |
| Small Column | [Redacted] | [Redacted] | | |
| | [Redacted] | [Redacted] | | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |
| | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] |
| [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | [Redacted] | |

青字はインプット条件
赤字はアウトプット

※ [Redacted] RSSCT 試算ファイル

3) 実験装置

石川浄水場オゾン棟内の水質発信器室の一角を借用して実験を行うこととした。実験装置の設置状況を図 4-7、写真を写真 4-1 に示す。



写真 4-1 石川浄水場 水質発信器室内 サイド実験台付近

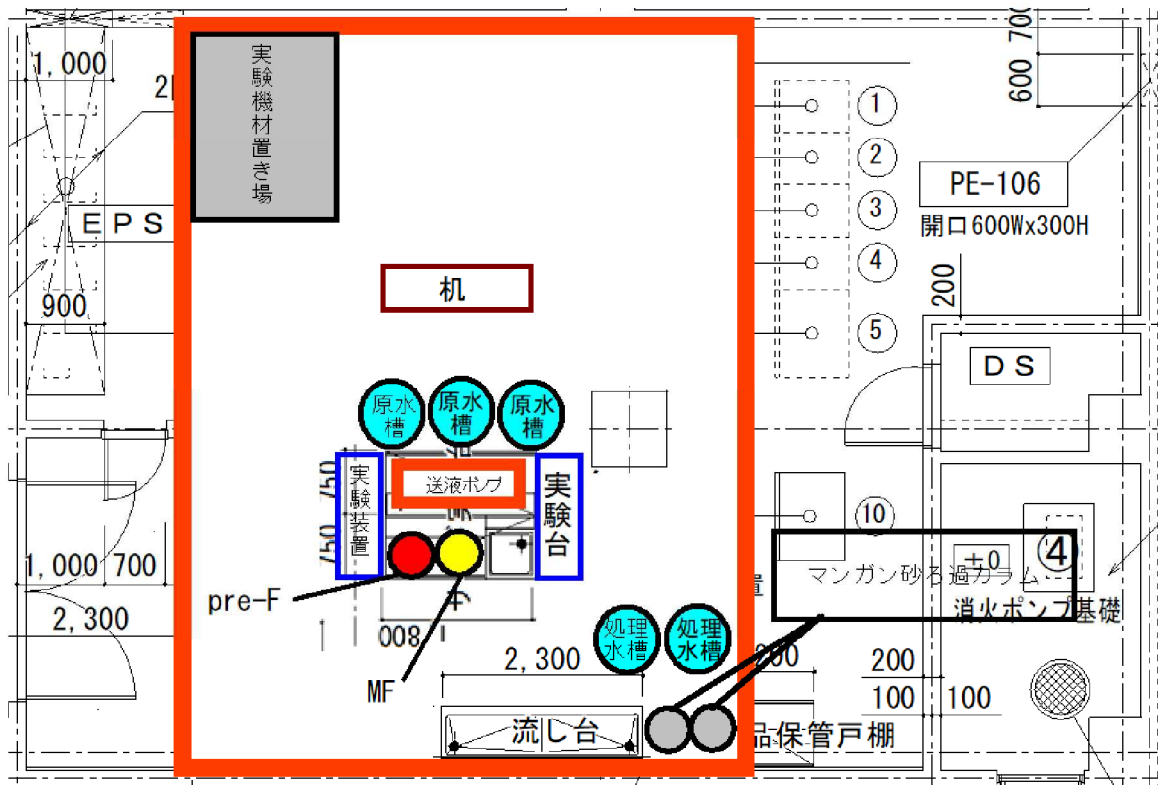


図 4-7 実験装置の設置場所

(1) 前処理装置

原水に使用する活性炭流入水に含まれるマンガン成分の析出や濁質成分による閉塞防止を目的として、除マンガン処理及び膜ろ過を行った。設置状況を写真 4-2, 3 に示す。

①マンガン砂ろ過

マンガン砂ろ過 : $\phi 50\text{mm}$

| | |
|--------------------|--|
| ろ層厚 | : 600mm |
| ろ過速度 | : 500m/日 2 系列 |
| ②ガードフィルター ハウジング | : 東京硝子機械 (型番 0985-63-76-22) φ 100mm×250mm |
| 糸巻きフィルター ろ過孔径 | : スリーエムジャパン (D-PPPA) : 3 μ m |
| ③膜ろ過 本体 | : 三菱ケミカル・クリンスイ株式会社 (型番 MP02-1) |
| カートリッジ品番 | : UMN0050 |



写真 4-2 マンガンろ過装置



写真 4-3 膜ろ過装置

(2) RSSCT 装置

実験は、随時カラム本数を増やし、8 系列（ポンプ圧力が高い系列がみられ、確認のため 1 系列追加）で実施を行った。実験装置の概略図を図 4-8、写真を写真 4-4、5 に示す。

| | |
|---------|----------------------------------|
| 送液ポンプ | : ジーエルサイエンス株式会社 HPLC 用ポンプ PU714M |
| 適用カラム内径 | : 4.6~20mm |
| 流量設定範囲 | : 0.01~20mL/分 |
| 最大圧力 | : 34MPa |
| 形式 | : ダブルプランジャーポンプ |
| 台数 | : 8 台 (1 台追加) |
| カラム | : 8 本 (1 本追加) |

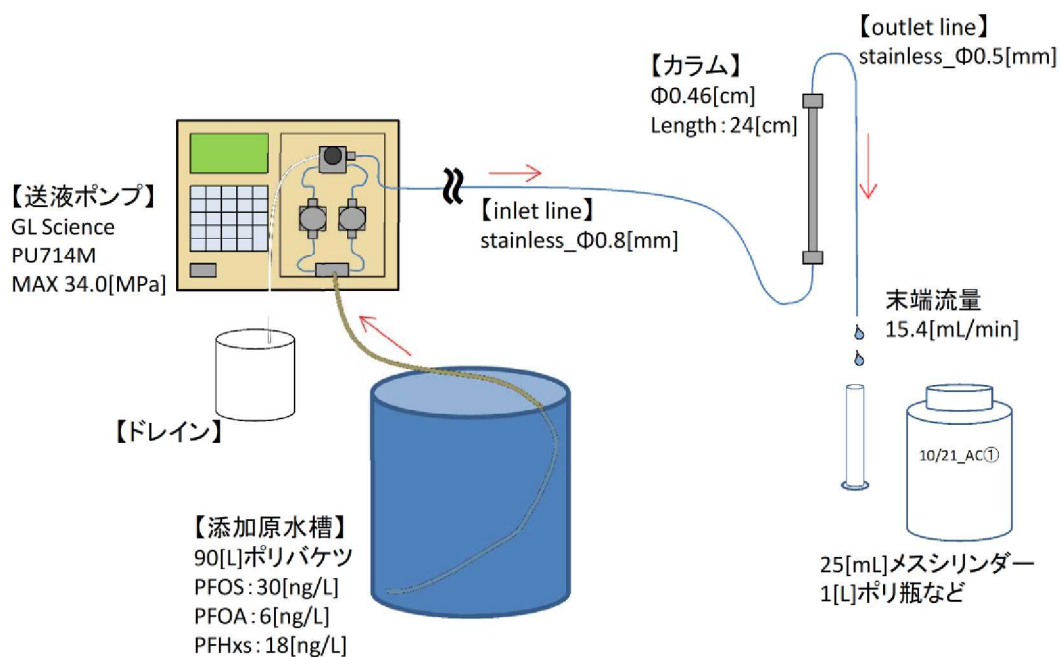


Fig.1_RSSCT装置概略

図 4-8 RSSCT 装置概略



写真 4-4 カラム設置状況

ポンプ圧力が高い系列がみられ、確認として1本追加 (8+1=9本)

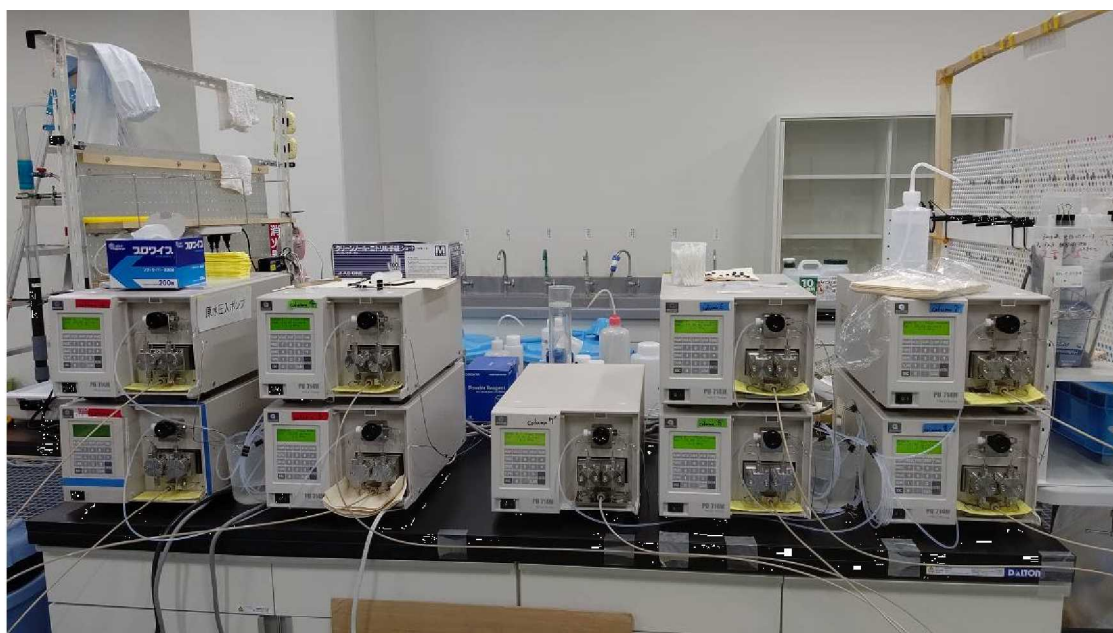


写真 4-5 送液ポンプ設置状況

ポンプ圧力が高い系列がみられ、確認として1台追加(8+1=9台)

4) 操作手順

(1) 原水調製

原水は、石川浄水場活性炭流入水を用いた。原水に添加した薬品は以下のとおりである。

PFOS : Sodium perfluoro-1-octanesulfonate 50 μ g/mL

Wellington Laboratories Japan 品番 49849-05

PFOA : Perfluorooctanoic acid 95% Sigma-Aldrich 品番 171468-5G

PFHxS : Tridecafluorohexane-1-sulfonic acid potassium salt \geq 98.0% (T)

Sigma-Aldrich 品番 50929-10G-F

調製方法は以下のとおり。

- 活性炭流入水を前日に汲み置きし、残留塩素を 1mg/L となるように添加したのち一晩放置した。
- 水温を室温付近まで下げ、この水に対しマンガン砂ろ過と 3 μ m のガードフィルター、0.1 μ m 膜ろ過を行った。
- ろ過操作で消費された残留塩素を補い 1mg/L とした後、PFOS 等二次希釈液を、作成原水量 (1,000 : 1) の比率で添加し、良く攪拌して添加原水とした。

【PFOS 等の一次希釈液原液、二次希釈液の調整】

一次希釈液原液

① PFOS

- アンプルに封入された PFOS 原液 (50 μ g/mL = 50,000,000ng/L in

MeOH,1.2mL) を 1mL とり、溶媒置換を行い水溶液へと切り替えた。

- これを 250mL に定容し、PFOS : 200,000ng/L の溶液を得る。
- これを PFOS 一次希釈液とした。

②PFOA

- Merck 社 PFOA 粉末 0.1g/L=100,000,000ng/L を作成
- 0.1g を 1000mL に溶解する。1,000,000ng/L を作成
 $100,000,000 \div 1,000,000$ 倍希釈
= 100 倍希釈
1mL \Rightarrow 100mL

③PFHxS

- Merck 社 PFHxS 粉末 0.1g/L=100,000,000ng/L を作成
- 0.1g を 1000mL に溶解する。1,000,000ng/L を作成
 $100,000,000 \div 1,000,000$ 倍希釈
= 100 倍希釈
5mL \Rightarrow 500mL

二次希釈液 (PFOS : 30,000ng/L、PFOA : 6,000ng/L、PFHxS : 18,000ng/L)

- 1L メスフラスコに PFOS 一次希釈液原液を 150mL、PFOA 一次希釈液原液を 6mL、PFHxS 一次希釈液原液を 18mL とり、定容することで PFOS : 30,000ng/L、PFOA : 6,000ng/L、PFHxS : 18,000ng/L の混合溶液を得る。
- これを PFOS 等二次希釈液とした。

(2) カラム充填

カラムへの充填方法は以下のとおりである。

- 選定された活性炭を粉砕して、 $125\mu\text{m}$ と $88\mu\text{m}$ のふるいを用いて湿式でふるい分けを行い平均 $107\mu\text{m}$ とした。
- $\phi 4.6\text{mm}$ のステンレス製カラム (ジーエルサイエンス 型番 6010-11055) に上下部にガラスウールを詰め、湿式充填法にて 24cm に充填した。
- 充填後 16 時間連続通水を実施した。

充填した活性炭の長さ、充填量は表 4-9 に示すとおりであった。

表 4-9 活性炭充填量

| AC No. | 活性炭重量 Dry Weight 葉包紙で精秤した 活性炭乾燥重量 g | ビーカー重量 風袋 g | スラリー 調製 | 充填後乾燥重量 ビーカー中のスラ リーを乾燥して秤量 g | 活性炭残量 Dry Weight 初期充填+追加 充填後の活性 炭乾燥重量 d-b g | 充填した 活性炭重量 Dry Weight 初期充填 +追加充填 a-e g | 充填層厚 Bed Length 初期 cm | 充填層厚 Bed Length 通水・追加充填 後 cm | 内径 Column Diameter mm | 断面積 Column Area cm ² | 充填した 粉炭の密度 g/cm ³ |
|--------|---|-------------------|------------|---------------------------------------|---|--|-----------------------------------|--|--------------------------------|--|------------------------------------|
| AC1 | 3.0016 | 207.2076 | 約3% | 208.1518 | 0.9442 | 2.0574 | 24.0 | 24.1 | 4.6 | 0.17 | 0.51 |
| AC2 | 3.0062 | 165.1894 | | 166.0668 | 0.8774 | 2.1288 | 24.0 | 23.9 | 4.6 | 0.17 | 0.54 |
| AC3 | 3.0013 | 136.8697 | | 137.7620 | 0.8923 | 2.1090 | 24.0 | 23.9 | 4.6 | 0.17 | 0.53 |
| AC4 | 3.0360 | 103.7784 | | 105.1681 | 1.3897 | 1.6463 | 24.0 | 24.0 | 4.6 | 0.17 | 0.41 |
| AC5 | 2.9869 | 112.2572 | | 113.7548 | 1.4976 | 1.4893 | 24.0 | 24.0 | 4.6 | 0.17 | 0.37 |
| AC6 | 2.9849 | 116.0452 | | 117.4291 | 1.3839 | 1.6010 | 24.0 | 24.1 | 4.6 | 0.17 | 0.40 |
| AC7 | 2.9637 | 101.7610 | | 102.8895 | 1.1285 | 1.8352 | 24.0 | 24.1 | 4.6 | 0.17 | 0.46 |
| AC8 | 2.9790 | 110.4680 | | 111.6134 | 1.1454 | 1.8336 | 24.0 | 24.0 | 4.6 | 0.17 | 0.46 |

(3) 送液ポンプとの接続

- カラム中に活性炭を分散させるため、接続前に立てた状態で、上下反転させながら煮沸（10 分間）を行い、常温になるまで放冷した。
- カラムは上向流とし、カラム内への空気の混入を防ぐため、液送ポンプを稼働して水を流した状況でカラムの接続を行った。

(4) 分析項目

分析項目及び分析方法を表 4-10 に示す。

表 4-10 分析項目及び分析方法

| 分析項目 | 分析方法 |
|-------|-------------------------------|
| PFOS | JIS-K-0450-70-10 [※] |
| PFOA | JIS-K-0450-70-10 [※] |
| PFHxS | JIS-K-0450-70-10 [※] |
| TOC | 上水試験法 2011年版 |
| 蛍光強度 | 三次元励起蛍光スペクトル法 |

※PFOS 等（PFOS、PFOA、PFHxS 直鎖異性体のみ）

5) 実験工程

実験工程を表 4-11 に示す。

- 実験 1：実施設運用炭 (AC : 1、2、3)
- 実験 2：回分式吸着実験で比較的良好な成績を示した活性炭 (AC : 4、5)
- 実験 3：その他、原材料の異なる活性炭 (AC : 6、7、8)

表 4-11 実験工程

| | 名称 | AC No. | 9月 | | | 10月 | | | 11月 | | |
|-----|-----|--------|----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|
| | | | 1 | 10 | 20 | 1 | 10 | 20 | 1 | 10 | 20 |
| 本実験 | 実験1 | AC1 | | | ■ | ■ | ■ | | | | |
| | | AC2 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| | | AC3 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| | 実験2 | AC4 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | | AC5 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | 実験3 | AC6 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | | AC7 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| | | AC8 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |

4-3. RSSCT 結果

1) 実験条件と使用活性炭種

実験条件は、前章で整理した内容で実施した。実験条件及び使用活性炭種を整理すると、表 4-12 に示すとおりである。

表 4-12 実験条件と使用活性炭種

| | 名称 | AC No. | カラム長、流量 | 通水期間 | 破過の目安 |
|-----|---------------|--------|------------------|-------------|--------------------------------------|
| 本実験 | 実験1 9/21開始 | AC1 | 24cm 15.6mL/分 | 10/27迄 36日間 | 処理水濃度(FPOS +PFOA合計値)が 25ng/L以上 |
| | | AC2 | | 11/10迄 50日間 | |
| | | AC3 | | 11/ 9迄 49日間 | |
| | 実験2 9/27開始 | AC4 | 24cm 15.6mL/分 | 11/20迄 54日間 | |
| | | AC5 | | 11/16迄 50日間 | |
| | 実験3 10/1開始 | AC6 | 24cm 15.6mL/分 | 11/10迄 40日間 | |
| | | AC7 | | 11/20迄 47日間 | |
| | | AC8 | | 11/20迄 50日間 | |

実験期間中の原水の PFOS 等添加濃度を表 4-13 に、DOC 測定結果を表 4-14 に示す。表 4-13 に示すとおり、原水の PFOS 等分析値は参考値と差はなく、所定濃度となっていた。表 4-14 に示すとおり DOC は、実験期間中を通して 0.8~0.9mg/L と大きな変動はみられず、ほぼ一定の値で維持されていた。

表 4-13 原水の PFOS 等添加濃度結果

| 原水 | | 参考値 (ng/L) | 分析値 (ng/L) |
|-------|-------|---------------|---------------|
| 9月21日 | PFOS | 29 | 30 |
| | PFOA | 7 | 5 |
| | PFHxS | 19 | 17 |

参考値：水質管理事務所における測定値

分析値：本委託における分析値

表 4-14 原水の DOC 測定結果

| 月日 | DOC (mg/L) |
|--------|------------|
| 10月7日 | 0.9 |
| 10月10日 | 0.9 |
| 10月13日 | 0.8 |
| 10月16日 | 0.9 |
| 10月22日 | 0.9 |
| 10月28日 | 0.9 |
| 11月3日 | 0.8 |
| 11月17日 | 0.9 |

2) RSSCT 結果の補正 (実施設活性炭粒径設定の見直し)

RSSCT は実施設活性炭平均粒径 0.9mm で実験を実施したが、実際に実施設に導入されている活性炭の平均粒径は 1.6mm であることが判明した。

平均粒径が 1.6mm の場合の炭層厚は表 4-15 に示すとおり、7.56cm となる。

そこで、RSSCT の理論式 (式①) の関係から、流量を一定とした場合、炭層厚は 23.58cm が 7.46cm ($=23.58 \div 7.46 = 3.16$ 故に $1/3.16$) となる。

$$\frac{EBCT_{SC}}{EBCT_{LC}} = \frac{d_{SC}^2}{d_{LC}^2} = \frac{t_{SC}}{t_{LC}} \quad \text{式①}$$

ここに、

$EBCT_{LC}$: 実施設接触時間 (Empty-Bed Contact time for large-column)

$EBCT_{SC}$: カラム接触時間 (Empty-Bed Contact time for small-column)

d : 活性炭平均径 (particle diameter)

t_{LC} : 実施設運転時間 (full-scale column operation time)

t_{SC} : カラム運転時間 (small-scale column operation time)

しかし、RSSCT の実験では炭層厚を 23.58cm で行っているため、 $EBCT_{SC}$ は本来 (7.46cm) の設定値 $EBCT_{SC0}$ と以下の関係となる。

$$1.78^2 \times EBCT_{SC0} = EBCT_{SC}$$

ここで、 $\frac{EBCT_{SC}}{EBCT_{LC}} = \frac{t_{SC}}{t_{LC}}$ に当てはめると、

$$\frac{1.78^2 \times EBCT_{SC}}{EBCT_{LC}} = \frac{1.78^2 \times t_{SC0}}{t_{LC}} \quad \text{となり、}$$

$$\text{変形すると、} \quad \frac{1.78^2 \times EBCT_{SC0}}{EBCT_{LC}} = \frac{t_{SC0}}{t_{LC} \div 1.78^2}$$

したがって、 $t_{LC0} = t_{LC} \div 1.78^2 = t_{LC} \div 3.16$ となり、以下の補正を実施した。

実験で求められた実施設通水月数を 3.16 で除して、補正実施設通水月数を求め、この値を実施設通水月数とした。

表 4-15 RSSCT における平均粒径の違いによる実験条件試算結果

| RSSCT Design | | | | units | design equation |
|--------------|------------|-------|-------|------------|-----------------|
| | | 0.9mm | 1.6mm | | |
| Carbon | [Redacted] | | | | |
| | [Redacted] | | | | |
| | [Redacted] | | | | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | | |
| Large Column | [Redacted] | | | | |
| | [Redacted] | | | | |
| | [Redacted] | | | | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | | |
| Small Column | [Redacted] | ■ | ■ | | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | [Redacted] |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | [Redacted] |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | [Redacted] |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | [Redacted] |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | [Redacted] |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | [Redacted] |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | [Redacted] |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | [Redacted] |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | [Redacted] |
| | [Redacted] | ■ | ■ | ■ | [Redacted] |
| [Redacted] | ■ | ■ | ■ | [Redacted] | |

青字はインプット条件
赤字はアウトプット

※ [Redacted] RSSCT 試算ファイル

3) PFOS、PFOA の処理性

PFOS と PFOA は水質管理目標設定項目において合計値で設定されていることから、PFOS+PFOA の合計値として処理性を評価した。

RSSCT による実験期間は通水倍率 120,000 倍程度を予想していたが、破過濃度（原水濃度 25mg/L (PFOS+PFOA)）に到達しなかったことから実験期間を延長して最大 50 日間として行った。

RSSCT の実験結果を表 4-16～23 に示す。原水濃度は PFOS+PFOA 合計で 36ng/L とし、破過濃度は 25ng/L を目標として実験を行った。結果を図 4-10 に示し、特徴を以下に述べる。

【処理水に初めて PFOS、PFOA が検出された通水期間】

- 処理水に初めて PFOS、PFOA が検出された通水期間を「立ち上がり時期」と称す。
- AC1 が 8 種の中で最も処理水濃度が高い結果となっていた。特に 1ng/L 未満からの立ち上がり時期も最も速い結果となっていた。
- AC4 が 8 種の中で最も処理水の濃度が低い結果となっていた。1ng/L 未満からの立ち上がり時期も最も遅い結果となっていた。
- 1ng/L 未満からの立ち上がりの時期は、AC1、AC7、AC8、AC5、AC4、AC2、AC3、AC6 の順であった。

【過渡特性】

- 活性炭吸着の特性としては、上記に加えて通水月数による処理濃度破過曲線の形状に留意する必要がある。
- 一定濃度に到達するまでにどのような濃度変化が生じるかは「過渡特性」と言われる。模式的に過渡特性種類を例示すると図 4-9 に示すとおりとなる。

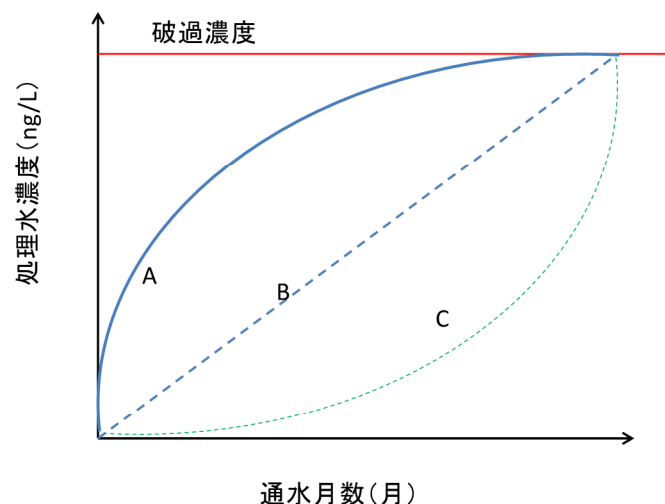


図 4-9 過渡特性の大別

- 図 4-10 の PFOS+PFOA 合計値の結果を図 4-9 に照らして整理すると次のようになり、活性炭の種類により変化がみられる。

| | |
|--------|---------|
| A パターン | AC1 |
| B パターン | AC6、AC5 |
| C パターン | AC4、AC3 |

- この結果より、8種類の中ではAC4等が低濃度を維持できる期間が比較的長くなることが推察される。ただし、最終段階においては、濃度増加傾向が大きくなるため、活性炭交換時期の見定めが重要となる。
- 一方、AC2等は初期段階においては、濃度増加勾配が大きいですが、最終段階での濃度増加傾向が小さいため、破過濃度超過リスクは少ないメリットが考えられる。
- 活性炭の選択に当たっては、このような特性も含め総合的な検討が重要となる。

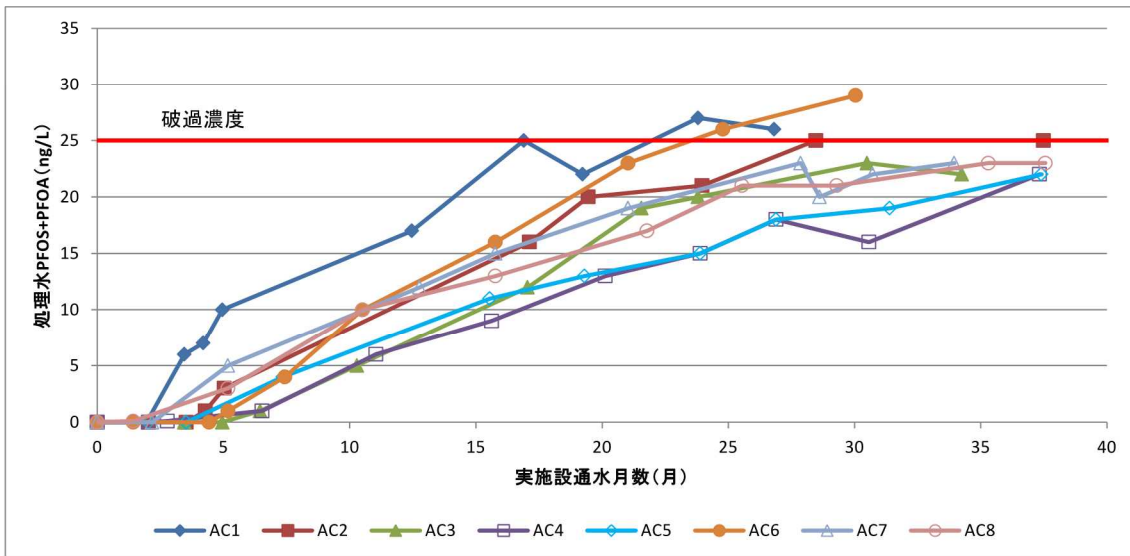


図 4-10 PFOS+PFOA の実施設通水月数と処理水濃度

4) PFHxS の処理性

原水濃度はPFHxSで18ng/Lとし、破過濃度は13ng/Lを目標として実験を行った。結果を図4-11に示し、特徴を以下に述べる。

【処理水に初めてPFHxSが検出された通水期間】

- 処理水に初めてPFHxSが検出された通水期間を「立ち上がり時期」と称す。
- AC1が8種の中で最も処理水濃度が高い結果となっていた。特に1ng/L未満からの立ち上がり時期も最も速い結果となっていた。
- AC4が8種の中で最も処理水の濃度が低い結果となっていた。1ng/L未満からの立ち上がり時期も最も遅い結果となっていた。
- 1ng/L未満からの立ち上がりの時期は、AC1、AC7、AC8、AC5、AC4、AC2、AC3、AC6の順であった。

【過渡特性】

前記の PFOS+PFOA との比較の下で、PFHxS の過渡特性を整理すると以下のとおりである。

- PFHxS に関する 8 種類の過渡特性は PFOS+PFOA に比べて差異が少なく、狭い濃度範囲に集中し、なだらかな勾配を示している。例えば通水 15 ヶ月で比較すると、PFOS+PFOA は約 15ng/L の幅に広がるが、PFHxS は約 5ng/L の幅に収まっている。
- また、AC5 に着目すると、PFOS+PFOA ではほぼ直線的 (B タイプ) を示しているが、PFHxS では凸型曲線 (A タイプ) が明らかになっており、差異がある。
- 今回は水質管理目標設定項目である PFOS+PFOA の処理性をベースとした検討を行うが、PFHxS については、ストックホルム条約 (POPs 条約) への登録が検討されており、また、国内では令和 3 年 4 月より要検討項目に追加される予定であることから、今後の動向に留意していくことが望ましい。

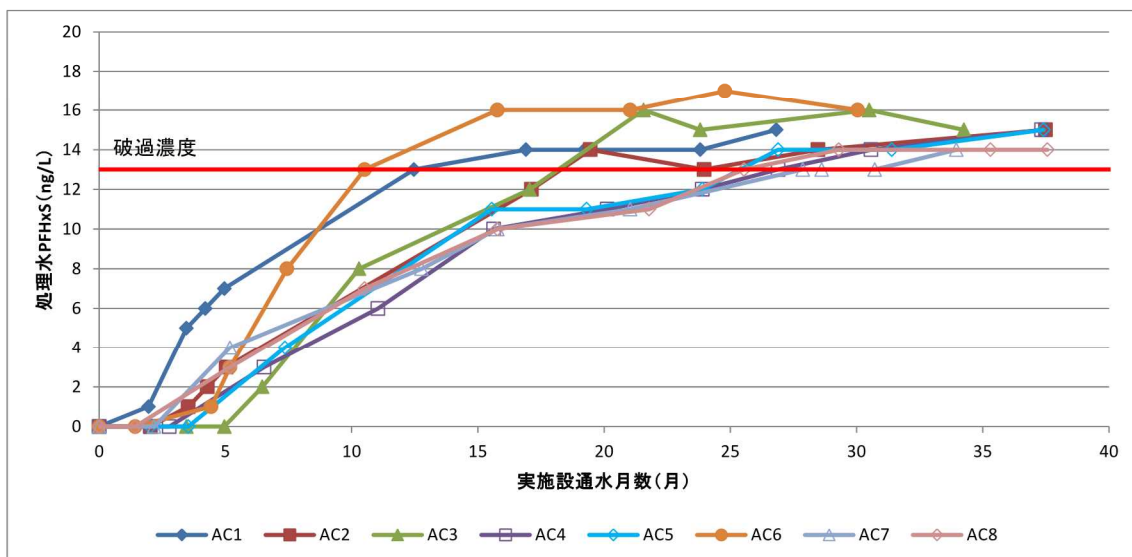


図 4-11 PFHxS の実施設通水月数と処理水濃度

表 4-16 RSSCT の結果 (AC1)

| | 実験通水 日数 | 経過時間 (分) | | カラム処理水量 (mL/分) | | カラム処理水量 (mL) | | 活性炭体積 (cm ³) | 通水倍率 (-) | 換算通水日数 (日) | | 換算通水月数 (月) | PFOS等水質分析結果 (ng/L) | | | | PFOS等除去率 (%) | | | |
|--------|------------|-------------|--------|-------------------|------|------------------|------------|-----------------------------|-------------|---------------|--------|---------------|-----------------------|-------|------|------|-----------------|-----------|-------|-------|
| | | (日) | 日あたり | 累積 | 実測 | 設定 前日当日 平均 | 日量 mL/日 | | | 累積 | カラム | | 実施設相当 | 実施設相当 | PFOS | PFOA | PFHxS | PFOS+PFOA | PFOS | PFOA |
| 9月21日 | 0 | 0 | 0 | 15.4 | 15.4 | 0 | 0 | 4.003 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 9月22日 | 1 | 945 | 945 | 15.4 | 15.4 | 14,553 | 14,553 | 4.003 | 3,636 | 0.6 | 42.8 | 0.5 | | | | | | | | |
| 9月23日 | 2 | 1,440 | 2,385 | 15.4 | 15.4 | 22,176 | 36,729 | 4.003 | 9,175 | 1.6 | 114.2 | 1.2 | | | | | | | | |
| 9月24日 | 3 | 1,440 | 3,825 | 15.4 | 15.4 | 22,176 | 58,905 | 4.003 | 14,715 | 2.6 | 185.6 | 2.0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 100.0 | 100.0 | 94.7 | 100.0 |
| 9月25日 | 4 | 1,400 | 5,225 | 15.5 | 15.5 | 21,700 | 80,605 | 4.003 | 20,136 | 3.6 | 257.0 | 2.7 | | | | | | | | |
| 9月26日 | 5 | 1,440 | 6,665 | 15.5 | 15.5 | 22,320 | 102,925 | 4.003 | 25,712 | 4.6 | 328.4 | 3.5 | 4 | 2 | 5 | 6 | 86.2 | 71.4 | 73.7 | 83.3 |
| 9月27日 | 6 | 1,440 | 8,105 | 15.5 | 15.5 | 22,320 | 125,245 | 4.003 | 31,288 | 5.6 | 399.8 | 4.2 | 5 | 2 | 6 | 7 | 82.8 | 71.4 | 68.4 | 80.6 |
| 9月28日 | 7 | 1,408 | 9,513 | 15.6 | 15.6 | 21,965 | 147,210 | 4.003 | 36,775 | 6.6 | 471.2 | 5.0 | 7 | 3 | 7 | 10 | 75.9 | 57.1 | 63.2 | 72.2 |
| 9月29日 | 8 | 1,440 | 10,953 | 15.8 | 15.7 | 22,608 | 169,818 | 4.003 | 42,423 | 7.6 | 542.6 | 5.7 | | | | | | | | |
| 9月30日 | 9 | 1,440 | 12,393 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 192,426 | 4.003 | 48,070 | 8.6 | 614.0 | 6.5 | | | | | | | | |
| 10月1日 | 10 | 1,440 | 13,833 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 214,890 | 4.003 | 53,682 | 9.6 | 685.4 | 7.2 | | | | | | | | |
| 10月2日 | 11 | 1,440 | 15,273 | 15.5 | 15.6 | 22,464 | 237,354 | 4.003 | 59,294 | 10.6 | 756.8 | 8.0 | | | | | | | | |
| 10月3日 | 12 | 1,440 | 16,713 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 259,818 | 4.003 | 64,906 | 11.6 | 828.2 | 8.7 | | | | | | | | |
| 10月4日 | 13 | 1,412 | 18,125 | 15.6 | 15.6 | 22,027 | 281,845 | 4.003 | 70,408 | 12.5 | 892.5 | 9.4 | | | | | | | | |
| 10月5日 | 14 | 1,440 | 19,565 | 15.8 | 15.7 | 22,608 | 304,453 | 4.003 | 76,056 | 13.6 | 971.0 | 10.2 | | | | | | | | |
| 10月6日 | 15 | 1,440 | 21,005 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 327,061 | 4.003 | 81,704 | 14.6 | 1042.4 | 11.0 | | | | | | | | |
| 10月7日 | 16 | 1,440 | 22,445 | 15.8 | 15.7 | 22,608 | 349,669 | 4.003 | 87,352 | 15.6 | 1113.8 | 11.7 | | | | | | | | |
| 10月8日 | 17 | 1,440 | 23,885 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 372,421 | 4.003 | 93,035 | 16.6 | 1185.2 | 12.5 | 14 | 3 | 13 | 17 | 36.4 | 50.0 | 18.8 | 39.3 |
| 10月9日 | 18 | 1,440 | 25,325 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 395,029 | 4.003 | 98,683 | 17.6 | 1256.6 | 13.2 | | | | | | | | |
| 10月10日 | 19 | 1,440 | 26,765 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 417,493 | 4.003 | 104,295 | 18.6 | 1328.0 | 14.0 | | | | | | | | |
| 10月11日 | 20 | 1,388 | 28,153 | 15.7 | 15.7 | 21,792 | 439,285 | 4.003 | 109,739 | 19.6 | 1399.4 | 14.7 | | | | | | | | |
| 10月12日 | 21 | 1,440 | 29,593 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 461,893 | 4.003 | 115,387 | 20.6 | 1470.8 | 15.5 | | | | | | | | |
| 10月13日 | 22 | 1,440 | 31,033 | 15.5 | 15.6 | 22,464 | 484,357 | 4.003 | 120,998 | 21.6 | 1542.2 | 16.2 | | | | | | | | |
| 10月14日 | 23 | 1,414 | 32,447 | 15.9 | 15.7 | 22,200 | 506,556 | 4.003 | 126,544 | 22.5 | 1606.5 | 16.9 | 20 | 5 | 14 | 25 | 9.1 | 16.7 | 12.5 | 10.7 |
| 10月15日 | 24 | 1,440 | 33,887 | 15.8 | 15.9 | 22,896 | 529,452 | 4.003 | 132,264 | 23.6 | 1685.0 | 17.7 | | | | | | | | |
| 10月16日 | 25 | 1,440 | 35,327 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 552,204 | 4.003 | 137,948 | 24.6 | 1756.4 | 18.5 | | | | | | | | |
| 10月17日 | 26 | 1,440 | 36,767 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 574,956 | 4.003 | 143,631 | 25.6 | 1827.8 | 19.2 | 18 | 4 | 14 | 22 | 35.7 | 42.9 | 22.2 | 37.1 |
| 10月18日 | 27 | 1,440 | 38,207 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 597,708 | 4.003 | 149,315 | 26.6 | 1899.2 | 20.0 | | | | | | | | |
| 10月19日 | 28 | 1,440 | 39,647 | 15.7 | 15.8 | 22,752 | 620,460 | 4.003 | 154,999 | 27.6 | 1970.6 | 20.7 | | | | | | | | |
| 10月20日 | 29 | 1,440 | 41,087 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 643,212 | 4.003 | 160,683 | 28.6 | 2042.0 | 21.5 | | | | | | | | |
| 10月21日 | 30 | 1,440 | 42,527 | 16.0 | 15.9 | 22,896 | 666,108 | 4.003 | 166,402 | 29.7 | 2120.6 | 22.3 | | | | | | | | |
| 10月22日 | 31 | 1,440 | 43,967 | 15.8 | 15.9 | 22,896 | 689,004 | 4.003 | 172,122 | 30.7 | 2192.0 | 23.1 | | | | | | | | |
| 10月23日 | 32 | 1,440 | 45,407 | 16.0 | 15.9 | 22,896 | 711,900 | 4.003 | 177,842 | 31.7 | 2263.4 | 23.8 | 23 | 4 | 14 | 27 | 4.2 | 20.0 | 0.0 | 6.9 |
| 10月24日 | 33 | 1,440 | 46,847 | 15.9 | 16.0 | 23,040 | 734,940 | 4.003 | 183,597 | 32.7 | 2334.8 | 24.6 | | | | | | | | |
| 10月25日 | 34 | 1,440 | 48,287 | 15.8 | 15.9 | 22,896 | 757,836 | 4.003 | 189,317 | 33.7 | 2406.2 | 25.3 | | | | | | | | |
| 10月26日 | 35 | 1,440 | 49,727 | 15.7 | 15.8 | 22,752 | 780,588 | 4.003 | 195,001 | 34.7 | 2477.6 | 26.1 | | | | | | | | |
| 10月27日 | 36 | 1,440 | 51,167 | 15.5 | 15.6 | 22,464 | 803,052 | 4.003 | 200,613 | 35.7 | 2549.0 | 26.8 | 21 | 5 | 15 | 26 | 27.6 | 16.7 | 11.8 | 25.7 |

※PFOS 等除去率は水質管理事務所の測定値を用いて算出した。

表 4-18 RSSCT の結果 (AC3)

| | 実験通水 日数 | 経過時間 (分) | | カラム処理水量 (mL/分) | | カラム処理水量 (mL) | | 活性炭体積 (cm ³) | 通水倍率 (-) | 換算通水日数 (日) | | 換算通水月数 (月) | PFOS等水質分析結果 (ng/L) | | | | PFOS等除去率 (%) | | | |
|--------|------------|-------------|--------|-------------------|------|------------------|------------|-----------------------------|-------------|---------------|--------|---------------|-----------------------|-------|------|------|-----------------|-----------|-------|-------|
| | | (日) | 日あたり | 累積 | 実測 | 設定 前日当日 平均 | 日量 mL/日 | | | 累積 | カラム | | 実施設相当 | 実施設相当 | PFOS | PFOA | PFHxS | PFOS+PFOA | PFOS | PFOA |
| 9月21日 | 0 | 0 | 0 | 15.9 | 15.9 | 0 | 0 | 3.970 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 9月22日 | 1 | 938 | 938 | 15.6 | 15.8 | 14,820 | 14,820 | 3.970 | 3,733 | 0.7 | 50.0 | 0.5 | | | | | | | | |
| 9月23日 | 2 | 1,440 | 2,378 | 15.4 | 15.5 | 22,320 | 37,140 | 3.970 | 9,355 | 1.7 | 121.4 | 1.3 | | | | | | | | |
| 9月24日 | 3 | 1,440 | 3,818 | 15.6 | 15.5 | 22,320 | 59,460 | 3.970 | 14,977 | 2.6 | 185.6 | 2.0 | | | | | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 9月25日 | 4 | 1,440 | 5,258 | 15.5 | 15.6 | 22,464 | 81,924 | 3.970 | 20,636 | 3.6 | 257.0 | 2.7 | | | | | | | | |
| 9月26日 | 5 | 1,440 | 6,698 | 15.5 | 15.5 | 22,320 | 104,244 | 3.970 | 26,258 | 4.6 | 328.4 | 3.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 9月27日 | 6 | 1,440 | 8,138 | 15.5 | 15.5 | 22,320 | 126,564 | 3.970 | 31,880 | 5.6 | 399.8 | 4.2 | | | | | | | | |
| 9月28日 | 7 | 1,440 | 9,578 | 15.5 | 15.5 | 22,320 | 148,884 | 3.970 | 37,502 | 6.6 | 471.2 | 5.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.7 |
| 9月29日 | 8 | 1,440 | 11,018 | 15.8 | 15.7 | 22,608 | 171,492 | 3.970 | 43,197 | 7.6 | 542.6 | 5.7 | | | | | | | | |
| 9月30日 | 9 | 1,440 | 12,458 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 194,244 | 3.970 | 48,928 | 8.6 | 614.0 | 6.5 | 0 | 1 | 2 | 1 | 100.0 | 85.7 | 89.5 | 97.2 |
| 10月1日 | 10 | 1,440 | 13,898 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 216,996 | 3.970 | 54,659 | 9.7 | 692.6 | 7.3 | | | | | | | | |
| 10月2日 | 11 | 1,440 | 15,338 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 239,748 | 3.970 | 60,390 | 10.7 | 764.0 | 8.0 | | | | | | | | |
| 10月3日 | 12 | 1,440 | 16,778 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 262,500 | 3.970 | 66,121 | 11.7 | 835.4 | 8.8 | | | | | | | | |
| 10月4日 | 13 | 1,440 | 18,218 | 15.7 | 15.8 | 22,752 | 285,252 | 3.970 | 71,852 | 12.7 | 906.8 | 9.5 | | | | | | | | |
| 10月5日 | 14 | 1,412 | 19,630 | 15.7 | 15.7 | 22,168 | 307,421 | 3.970 | 77,436 | 13.7 | 978.2 | 10.3 | 2 | 3 | 8 | 5 | 93.1 | 57.1 | 57.9 | 86.1 |
| 10月6日 | 15 | 1,440 | 21,070 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 330,029 | 3.970 | 83,131 | 14.7 | 1049.6 | 11.0 | | | | | | | | |
| 10月7日 | 16 | 1,440 | 22,510 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 352,493 | 3.970 | 88,789 | 15.7 | 1121.0 | 11.8 | | | | | | | | |
| 10月8日 | 17 | 1,440 | 23,950 | 15.8 | 15.7 | 22,608 | 375,101 | 3.970 | 94,484 | 16.7 | 1192.4 | 12.5 | | | | | | | | |
| 10月9日 | 18 | 1,440 | 25,390 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 397,709 | 3.970 | 100,179 | 17.7 | 1263.8 | 13.3 | | | | | | | | |
| 10月10日 | 19 | 1,440 | 26,830 | 15.5 | 15.6 | 22,464 | 420,173 | 3.970 | 105,837 | 18.7 | 1335.2 | 14.0 | | | | | | | | |
| 10月11日 | 20 | 1,440 | 28,270 | 15.5 | 15.5 | 22,320 | 442,493 | 3.970 | 111,459 | 19.7 | 1406.6 | 14.8 | | | | | | | | |
| 10月12日 | 21 | 1,440 | 29,710 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 464,957 | 3.970 | 117,118 | 20.7 | 1478.0 | 15.5 | | | | | | | | |
| 10月13日 | 22 | 1,440 | 31,150 | 15.5 | 15.6 | 22,464 | 487,421 | 3.970 | 122,776 | 21.7 | 1549.4 | 16.3 | | | | | | | | |
| 10月14日 | 23 | 1,440 | 32,590 | 15.7 | 15.6 | 22,464 | 509,885 | 3.970 | 128,434 | 22.7 | 1620.8 | 17.1 | 8 | 4 | 12 | 12 | 63.6 | 33.3 | 25.0 | 57.1 |
| 10月15日 | 24 | 1,440 | 34,030 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 532,493 | 3.970 | 134,129 | 23.7 | 1692.2 | 17.8 | | | | | | | | |
| 10月16日 | 25 | 1,440 | 35,470 | 15.7 | 15.7 | 22,608 | 555,101 | 3.970 | 139,824 | 24.7 | 1763.6 | 18.6 | | | | | | | | |
| 10月17日 | 26 | 1,440 | 36,910 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 577,709 | 3.970 | 145,519 | 25.7 | 1835.0 | 19.3 | | | | | | | | |
| 10月18日 | 27 | 1,440 | 38,350 | 15.5 | 15.6 | 22,464 | 600,173 | 3.970 | 151,177 | 26.7 | 1906.4 | 20.1 | | | | | | | | |
| 10月19日 | 28 | 1,440 | 39,790 | 15.4 | 15.5 | 22,320 | 622,493 | 3.970 | 156,799 | 27.7 | 1977.8 | 20.8 | | | | | | | | |
| 10月20日 | 29 | 1,440 | 41,230 | 15.5 | 15.5 | 22,320 | 644,813 | 3.970 | 162,421 | 28.7 | 2049.2 | 21.6 | 14 | 5 | 16 | 19 | 48.1 | 16.7 | 0.0 | 42.4 |
| 10月21日 | 30 | 1,440 | 42,670 | 15.3 | 15.4 | 22,176 | 666,989 | 3.970 | 168,007 | 29.7 | 2120.6 | 22.3 | | | | | | | | |
| 10月22日 | 31 | 1,440 | 44,110 | 15.4 | 15.4 | 22,176 | 689,165 | 3.970 | 173,593 | 30.7 | 2192.0 | 23.1 | | | | | | | | |
| 10月23日 | 32 | 1,440 | 45,550 | 15.7 | 15.6 | 22,464 | 711,629 | 3.970 | 179,252 | 31.7 | 2263.4 | 23.8 | 15 | 5 | 15 | 20 | 37.5 | 0.0 | -7.1 | 31.0 |
| 10月24日 | 33 | 1,440 | 46,990 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 734,381 | 3.970 | 184,983 | 32.7 | 2334.8 | 24.6 | | | | | | | | |
| 10月25日 | 34 | 1,440 | 48,430 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 757,133 | 3.970 | 190,714 | 33.7 | 2406.2 | 25.3 | | | | | | | | |
| 10月26日 | 35 | 1,440 | 49,870 | 15.3 | 15.6 | 22,464 | 779,597 | 3.970 | 196,372 | 34.7 | 2477.6 | 26.1 | | | | | | | | |
| 10月27日 | 36 | 1,440 | 51,310 | 15.5 | 15.4 | 22,176 | 801,773 | 3.970 | 201,958 | 35.7 | 2549.0 | 26.8 | | | | | | | | |
| 10月28日 | 37 | 1,432 | 52,742 | 15.3 | 15.4 | 22,053 | 823,826 | 3.970 | 207,513 | 36.7 | 2620.4 | 27.6 | | | | | | | | |
| 10月29日 | 38 | 1,440 | 54,182 | 15.5 | 15.4 | 22,176 | 846,002 | 3.970 | 213,099 | 37.7 | 2691.8 | 28.3 | | | | | | | | |
| 10月30日 | 39 | 1,440 | 55,622 | 15.2 | 15.4 | 22,176 | 868,178 | 3.970 | 218,685 | 38.7 | 2763.2 | 29.1 | | | | | | | | |
| 10月31日 | 40 | 1,440 | 57,062 | 15.4 | 15.3 | 22,032 | 890,210 | 3.970 | 224,234 | 39.6 | 2827.4 | 29.7 | | | | | | | | |
| 11月1日 | 41 | 1,365 | 58,427 | 15.7 | 15.6 | 21,294 | 911,504 | 3.970 | 229,598 | 40.6 | 2898.8 | 30.5 | 18 | 5 | 16 | 23 | 45.5 | 28.6 | 20.0 | 42.5 |
| 11月2日 | 42 | 1,440 | 59,867 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 934,256 | 3.970 | 235,329 | 41.6 | 2970.2 | 31.2 | | | | | | | | |
| 11月3日 | 43 | 1,440 | 61,307 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 956,864 | 3.970 | 241,024 | 42.6 | 3041.6 | 32.0 | | | | | | | | |
| 11月4日 | 44 | 1,440 | 62,747 | 15.7 | 15.7 | 22,608 | 979,472 | 3.970 | 246,718 | 43.6 | 3113.0 | 32.8 | | | | | | | | |
| 11月5日 | 45 | 1,440 | 64,187 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 1,002,224 | 3.970 | 252,449 | 44.6 | 3184.4 | 33.5 | | | | | | | | |
| 11月6日 | 46 | 1,440 | 65,627 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 1,024,976 | 3.970 | 258,180 | 45.6 | 3255.8 | 34.3 | 18 | 4 | 15 | 22 | 40.0 | 33.3 | 28.6 | 38.9 |
| 11月7日 | 47 | 1,440 | 67,067 | 15.4 | 15.6 | 22,464 | 1,047,440 | 3.970 | 263,839 | 46.6 | 3327.2 | 35.0 | | | | | | | | |

※PFOS 等除去率は水質管理事務所の測定値を用いて算出した。

表 4-21 RSSCT の結果 (AC6)

| | 実験通水 日数 | 経過時間 (分) | | カラム処理水量 (mL/分) | | カラム処理水量 (mL) | | 活性炭体積 (cm ³) | 通水倍率 (-) | 換算通水日数 (日) | | 換算通水月数 (月) | PFOS等水質分析結果 (ng/L) | | | | PFOS等除去率 (%) | | | | |
|--------|------------|-------------|-------|-------------------|------|------------------|------------|-----------------------------|-------------|---------------|------|---------------|-----------------------|-------|------|------|-----------------|-----------|-------|-------|-------|
| | | (日) | 日あたり | 累積 | 実測 | 設定 前日当日 平均 | 日量 mL/日 | | | 累積 | カラム | | 実施設相当 | 実施設相当 | PFOS | PFOA | PFHxS | PFOS+PFOA | PFOS | PFOA | PFHxS |
| 10月1日 | 0 | | 0 | 0 | 15.8 | 15.8 | 0 | 0 | 4.003 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 10月2日 | 1 | | 1,259 | 1,259 | 15.9 | 15.9 | 20,018 | 20,018 | 4.003 | 5,001 | 0.9 | 64.3 | 0.7 | | | | | | | | |
| 10月3日 | 2 | | 1,440 | 2,699 | 15.8 | 15.9 | 22,896 | 42,914 | 4.003 | 10,720 | 1.9 | 135.7 | 1.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 10月4日 | 3 | | 1,440 | 4,139 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 65,666 | 4.003 | 16,404 | 2.9 | 207.1 | 2.2 | | | | | | | | |
| 10月5日 | 4 | | 1,440 | 5,579 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 88,274 | 4.003 | 22,052 | 3.9 | 278.5 | 2.9 | | | | | | | | |
| 10月6日 | 5 | | 1,440 | 7,019 | 15.8 | 15.7 | 22,608 | 110,882 | 4.003 | 27,700 | 4.9 | 349.9 | 3.7 | | | | | | | | |
| 10月7日 | 6 | | 1,440 | 8,459 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 133,634 | 4.003 | 33,383 | 5.9 | 421.3 | 4.4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 100.0 | 100.0 | 94.7 | 100.0 |
| 10月8日 | 7 | | 1,440 | 9,899 | 15.7 | 15.8 | 22,752 | 156,386 | 4.003 | 39,067 | 6.9 | 492.7 | 5.2 | 0 | 1 | 3 | 1 | 100.0 | 83.3 | 81.3 | 96.4 |
| 10月9日 | 8 | | 1,440 | 11,339 | 15.7 | 15.7 | 22,608 | 178,994 | 4.003 | 44,715 | 7.9 | 564.1 | 5.9 | | | | | | | | |
| 10月10日 | 9 | | 1,440 | 12,779 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 201,602 | 4.003 | 50,363 | 8.9 | 635.5 | 6.7 | | | | | | | | |
| 10月11日 | 10 | | 1,440 | 14,219 | 15.7 | 15.7 | 22,608 | 224,210 | 4.003 | 56,011 | 9.9 | 706.9 | 7.4 | 1 | 3 | 8 | 4 | 95.5 | 50.0 | 50.0 | 85.7 |
| 10月12日 | 11 | | 1,419 | 15,638 | 15.8 | 15.8 | 22,420 | 246,630 | 4.003 | 61,611 | 10.9 | 778.3 | 8.2 | | | | | | | | |
| 10月13日 | 12 | | 1,440 | 17,078 | 15.7 | 15.8 | 22,752 | 269,382 | 4.003 | 67,295 | 11.9 | 849.7 | 8.9 | | | | | | | | |
| 10月14日 | 13 | | 1,440 | 18,518 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 292,134 | 4.003 | 72,979 | 13.0 | 928.2 | 9.8 | | | | | | | | |
| 10月15日 | 14 | | 1,440 | 19,958 | 15.7 | 15.8 | 22,752 | 314,886 | 4.003 | 78,663 | 14.0 | 999.6 | 10.5 | 6 | 4 | 13 | 10 | 80.6 | 50.0 | 18.8 | 74.4 |
| 10月16日 | 15 | | 1,440 | 21,398 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 337,638 | 4.003 | 84,346 | 15.0 | 1071.0 | 11.3 | | | | | | | | |
| 10月17日 | 16 | | 1,440 | 22,838 | 15.8 | 15.8 | 22,752 | 360,390 | 4.003 | 90,030 | 16.0 | 1142.4 | 12.0 | | | | | | | | |
| 10月18日 | 17 | | 1,440 | 24,278 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 382,998 | 4.003 | 95,678 | 17.0 | 1213.8 | 12.8 | | | | | | | | |
| 10月19日 | 18 | | 1,440 | 25,718 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 405,462 | 4.003 | 101,290 | 18.0 | 1285.2 | 13.5 | | | | | | | | |
| 10月20日 | 19 | | 1,440 | 27,158 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 427,926 | 4.003 | 106,901 | 19.0 | 1356.6 | 14.3 | | | | | | | | |
| 10月21日 | 20 | | 1,440 | 28,598 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 450,390 | 4.003 | 112,513 | 20.0 | 1428.0 | 15.0 | | | | | | | | |
| 10月22日 | 21 | | 1,440 | 30,038 | 15.5 | 15.6 | 22,464 | 472,854 | 4.003 | 118,125 | 21.0 | 1499.4 | 15.8 | 11 | 5 | 16 | 16 | 59.3 | 16.7 | 0.0 | 51.5 |
| 10月23日 | 22 | | 1,440 | 31,478 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 495,318 | 4.003 | 123,737 | 22.0 | 1570.8 | 16.5 | | | | | | | | |
| 10月24日 | 23 | | 1,440 | 32,918 | 15.9 | 15.8 | 22,752 | 518,070 | 4.003 | 129,421 | 23.0 | 1642.2 | 17.3 | | | | | | | | |
| 10月25日 | 24 | | 1,440 | 34,358 | 15.7 | 15.8 | 22,752 | 540,822 | 4.003 | 135,104 | 24.0 | 1713.6 | 18.0 | | | | | | | | |
| 10月26日 | 25 | | 1,440 | 35,798 | 15.7 | 15.7 | 22,608 | 563,430 | 4.003 | 140,752 | 25.0 | 1785.0 | 18.8 | | | | | | | | |
| 10月27日 | 26 | | 1,440 | 37,238 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 586,038 | 4.003 | 146,400 | 26.0 | 1856.4 | 19.5 | | | | | | | | |
| 10月28日 | 27 | | 1,440 | 38,678 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 608,502 | 4.003 | 152,012 | 27.0 | 1927.8 | 20.3 | | | | | | | | |
| 10月29日 | 28 | | 1,440 | 40,118 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 630,966 | 4.003 | 157,623 | 28.0 | 1999.2 | 21.0 | 18 | 5 | 16 | 23 | 41.9 | 16.7 | 11.1 | 37.8 |
| 10月30日 | 29 | | 1,440 | 41,558 | 16.0 | 15.8 | 22,752 | 653,718 | 4.003 | 163,307 | 29.0 | 2070.6 | 21.8 | | | | | | | | |
| 10月31日 | 30 | | 1,440 | 42,998 | 15.7 | 15.9 | 22,896 | 676,614 | 4.003 | 169,027 | 30.0 | 2142.0 | 22.5 | | | | | | | | |
| 11月1日 | 31 | | 1,440 | 44,438 | 15.6 | 15.7 | 22,608 | 699,222 | 4.003 | 174,675 | 31.0 | 2213.4 | 23.3 | | | | | | | | |
| 11月2日 | 32 | | 1,440 | 45,878 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 721,686 | 4.003 | 180,286 | 32.0 | 2284.8 | 24.0 | | | | | | | | |
| 11月3日 | 33 | | 1,440 | 47,318 | 15.7 | 15.7 | 22,608 | 744,294 | 4.003 | 185,934 | 33.0 | 2356.2 | 24.8 | 21 | 5 | 17 | 26 | 30.0 | 28.6 | 10.5 | 29.7 |
| 11月4日 | 34 | | 1,440 | 48,758 | 15.5 | 15.6 | 22,464 | 766,758 | 4.003 | 191,546 | 34.0 | 2427.6 | 25.5 | | | | | | | | |
| 11月5日 | 35 | | 1,440 | 50,198 | 15.5 | 15.5 | 22,320 | 789,078 | 4.003 | 197,122 | 35.0 | 2499.0 | 26.3 | | | | | | | | |
| 11月6日 | 36 | | 1,440 | 51,638 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 811,542 | 4.003 | 202,734 | 36.0 | 2570.4 | 27.0 | | | | | | | | |
| 11月7日 | 37 | | 1,440 | 53,078 | 15.7 | 15.7 | 22,608 | 834,150 | 4.003 | 208,381 | 37.0 | 2641.8 | 27.8 | | | | | | | | |
| 11月8日 | 38 | | 1,440 | 54,518 | 15.5 | 15.6 | 22,464 | 856,614 | 4.003 | 213,993 | 38.0 | 2713.2 | 28.5 | | | | | | | | |
| 11月9日 | 39 | | 1,440 | 55,958 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 879,078 | 4.003 | 219,605 | 39.0 | 2784.6 | 29.3 | | | | | | | | |
| 11月10日 | 40 | | 1,440 | 57,398 | 15.6 | 15.6 | 22,464 | 901,542 | 4.003 | 225,217 | 40.0 | 2856.0 | 30.0 | 24 | 5 | 16 | 29 | 20.0 | 28.6 | 23.8 | 21.6 |

※PFOS 等除去率は水質管理事務所の測定値を用いて算出した。

5) 有機物（蛍光強度、TOC）の測定結果

参考文献（

）によると、微量物質の活性炭吸着では、原水中に共存する有機物質（フミン質等）による吸着阻害や競合が生じることが報告されていることから、石川浄水場活性炭流入水に含まれる有機物をフミン質存在量と有機物量で評価し、PFOS等処理性への影響を確認した。フミン質存在量の指標として蛍光強度、有機物全体の指標としてTOCを測定した。結果を以下に示す。

(1) 蛍光強度（フミン酸、フルボ酸等）

蛍光強度は、三次元蛍光スペクトルを測定し、過去の調査でフミン酸様物質、フルボ酸様物質の傾向が確認された励起波長/蛍光波長のピークにおける蛍光強度を測定した。対象物質における励起波長/蛍光波長は以下のとおりで、波長は参考文献（水の分析（第4版））より設定した。

フミン酸①：Ex/Em (nm) 250/425

フミン酸②：Ex/Em (nm) 250/505

フルボ酸①：Ex/Em (nm) 250/450

フルボ酸②：Ex/Em (nm) 250/395

8種類の活性炭における測定結果を表4-24に、実施設通水月数と蛍光強度除去率を図4-12、13に示し、特徴を以下に述べる。

- 原水のフミン酸①は2.12～3.91の範囲で平均2.95、フミン酸②は0.96～1.75の範囲で平均1.34であった。フルボ酸①は1.78～3.12の範囲で平均2.39、フルボ酸②は2.10～3.51の範囲で平均2.77であった。
- フミン酸①、フミン酸②は、8種の活性炭とも通水初期は高い除去率を示していたが、実施設通水月数の経過にもなって、除去率は減少傾向にあった。実施設通水月数5～10ヶ月で除去率はほとんど0%となっていた。
- フルボ酸①、フルボ酸②は、8種の活性炭とも通水初期は高い除去率を示していたが、実施設通水月数の経過にもなって、除去率は減少傾向にあった。実施設通水月数5～10ヶ月で除去率はほとんど0%となっていた。
- フミン酸、フルボ酸などの有機物は、実施設通水月数5～10ヶ月程度で破過していることがわかる。

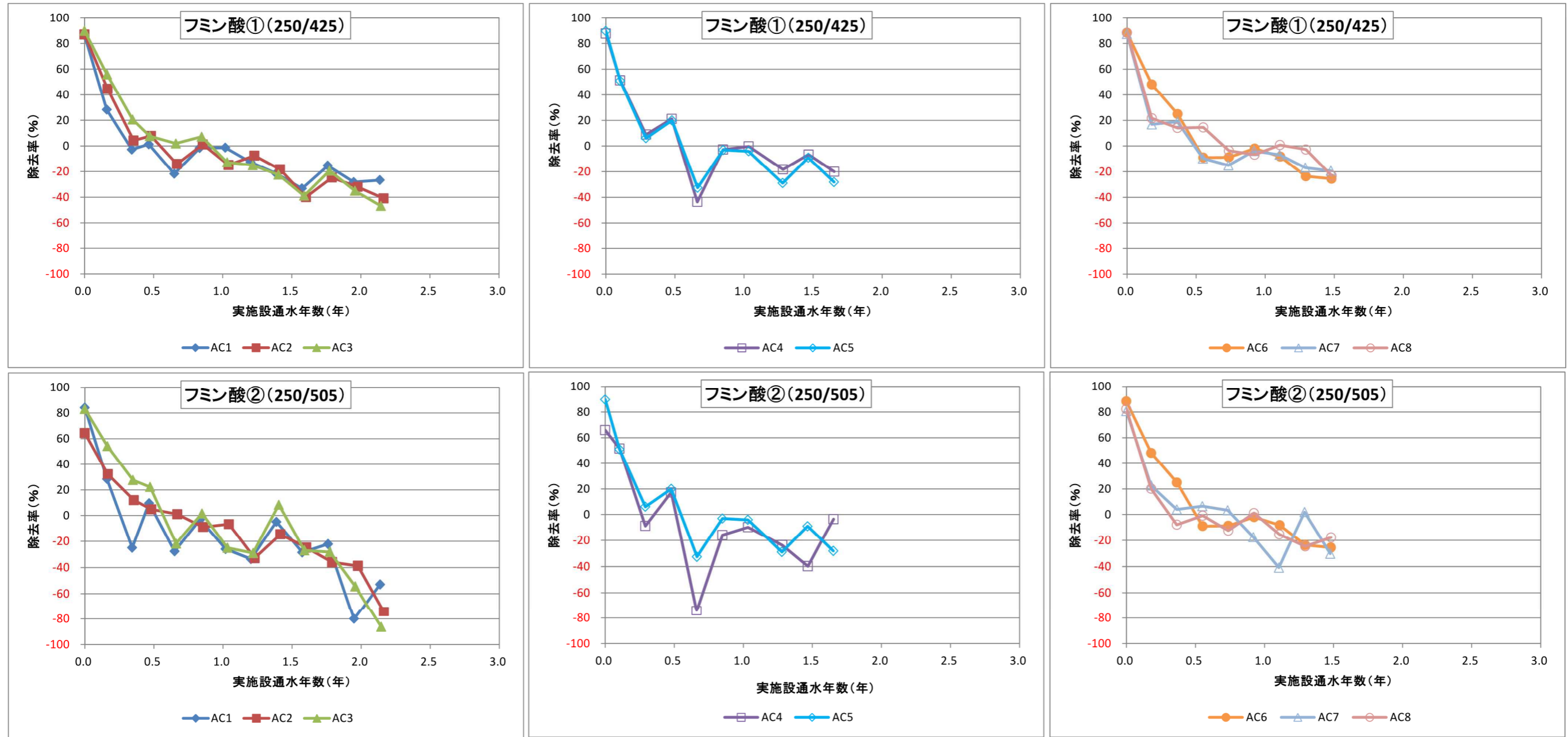


図 4-12 RSSCT における活性炭処理水の蛍光物質除去率 (その 1)
(フミン酸① (250/425)、フミン酸② (250/505))

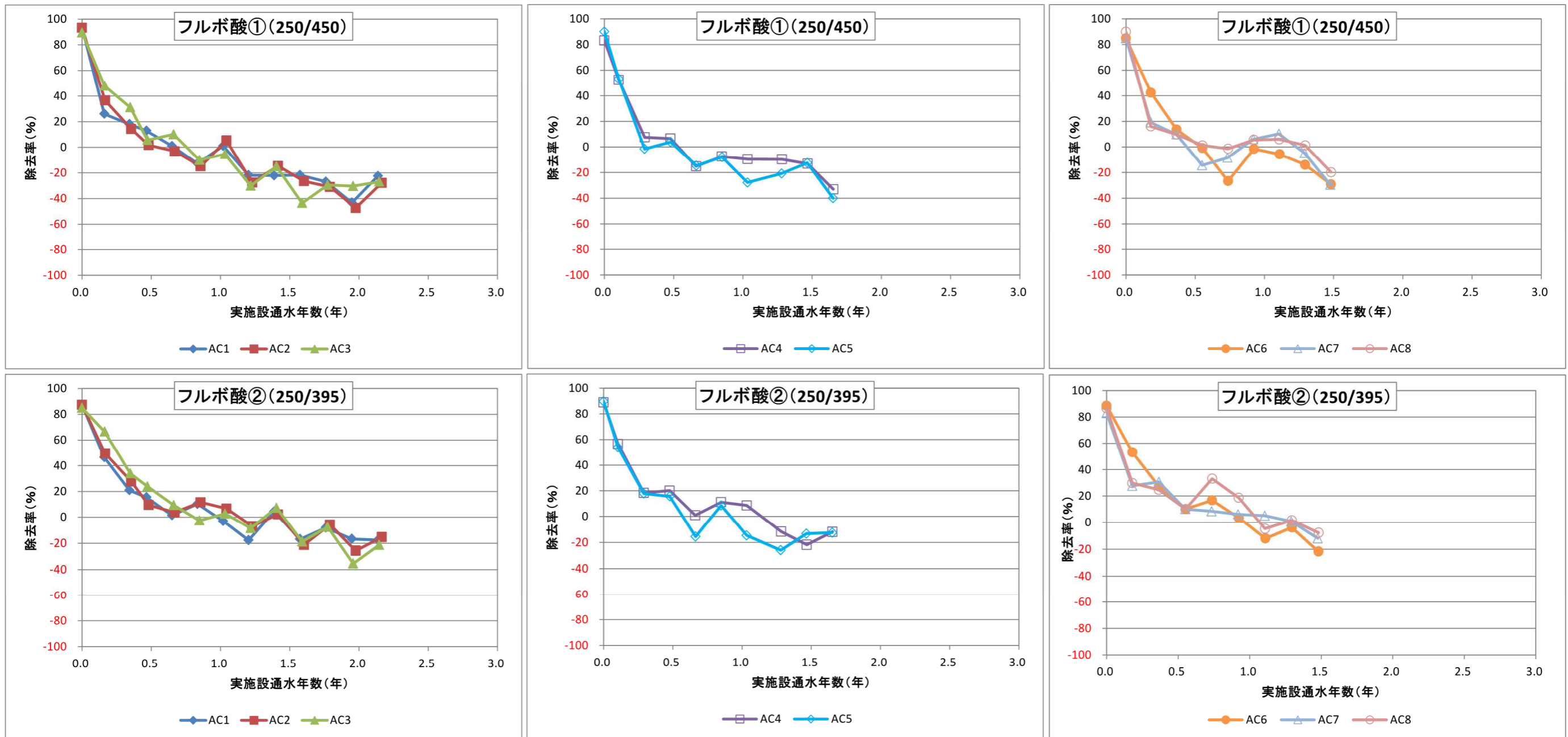


図 4-13 RSSCT における活性炭処理水の蛍光物質除去率 (その 2)
(フルボ酸① (250/450)、フルボ酸② (250/395))

(2) TOC

原水の TOC は 1.07~1.18mg/L の範囲であり、大きな変動はみられなかった。8 種類の活性炭における測定結果を表 4-25 に、実施設通水月数と TOC 除去率の関係を図 4-14 に示し、特徴を以下に述べる。

- AC1、2 は、通水初期は高い除去率であったが、実施設通水月数 5 ヶ月程度で除去率が 0%以下となった。その後除去率は回復がみられ 6 ヶ月以降除去率 10~20%程度を維持していた。
- AC3 は、通水初期は高い除去率であったが、2 ヶ月までに急激な除去率の低下がみられた。その後は除去率 15%程度で推移した。
- AC4、5 は、通水初期は他の活性炭に比べ除去率 40%と低い値を示していた。実施設通水月数 5~10 ヶ月まで緩やかに除去率が低下しその後は 10%以下で推移した。
- AC6、7、8 は、通水初期は高い除去率であったが、実施設通水月数 6 か月までに除去率 20%に急激に低下したが、その後は除去率の低下が緩やかになり除去率 10%程度で推移した。
- TOC 除去率は、8 種類の活性炭ともに、実施設通水月数の経過に伴って低下傾向となり、10~20%程度で推移した。
- AC1~3 で比較すると AC3 は、実施設通水月数 2 ヶ月以降 15%程度の除去率を維持しており、AC1、2 と変動に違いがみられていた。この 3 種の物性値を比較するとフェノール価を除く物性値で AC3 が優れていることから、TOC の除去性に違いがみられたものと推察する。
- AC1、2、4 は、一旦除去率が 0%以下となった後に AC1、2 は 10~20%に回復し、AC4 は 10%の回復がみられていた。3 種とも石炭系であり原料の違いではなく、活性炭の物性値の違いによるものと推察できるが、除去率回復現象において、物性項目及び物性値の違いが起因するか、起因しないかについては不明であり、判断することが難しい。

表 4-25 TOC の測定結果 (mg/L)

| | 原水 | AC1 | AC2 | AC3 | AC4 | AC5 | AC6 | AC7 | AC8 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 9月21日 | 1.16 | 0.19 | 0.65 | 0.38 | | | | | |
| 9月24日 | 1.13 | 0.81 | 0.81 | 0.65 | | | | | |
| 9月27日 | 1.18 | 0.98 | 1.03 | 0.91 | | 0.76 | | | |
| 9月29日 | 1.16 | 1.17 | 1.06 | 0.96 | | | | | |
| 9月30日 | 1.18 | | | | 0.84 | 0.87 | | | |
| 10月1日 | 1.14 | | | | | | 0.36 | 0.35 | 0.49 |
| 10月2日 | 1.14 | 1.18 | 1.25 | 1.00 | | | | | |
| 10月3日 | 1.14 | | | | 1.01 | 1.01 | | | |
| 10月4日 | 1.12 | | | | | | 0.87 | 0.91 | 0.88 |
| 10月5日 | 1.11 | 1.04 | 1.05 | 0.96 | | | | | |
| 10月6日 | 1.16 | | | | 1.16 | 1.05 | | | |
| 10月7日 | 1.07 | | | | | | 1.00 | 0.94 | 0.97 |
| 10月8日 | 1.08 | 0.96 | 0.95 | 0.96 | | | | | |
| 10月9日 | 1.10 | | | | 1.04 | 1.04 | | | |
| 10月10日 | 1.10 | | | | | | 1.02 | 0.97 | 1.04 |
| 10月11日 | 1.09 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | | | | | |
| 10月12日 | 1.09 | | | | 1.06 | 1.11 | | | |
| 10月13日 | 1.11 | | | | | | 1.06 | 0.99 | 1.00 |
| 10月14日 | 1.08 | 1.07 | 1.01 | 0.96 | | | | | |
| 10月15日 | 1.12 | | | | 0.98 | 0.99 | | | |
| 10月16日 | 1.08 | | | | | | 1.06 | | |
| 10月17日 | | | 1.01 | 1.07 | | | | | |
| 10月18日 | 1.12 | | | | 1.02 | 1.05 | | | |
| 10月19日 | 1.08 | | | | | | 1.10 | 1.04 | 1.03 |

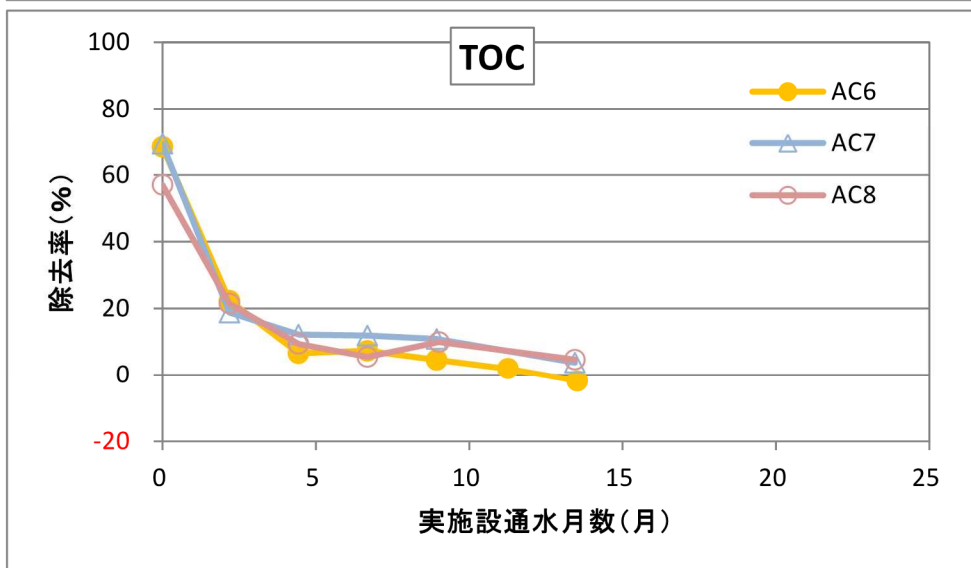
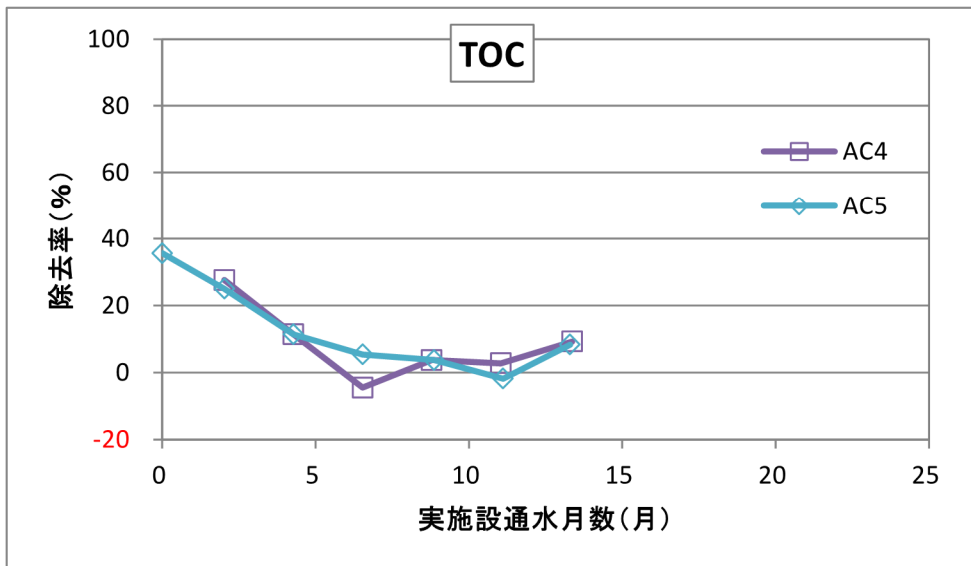
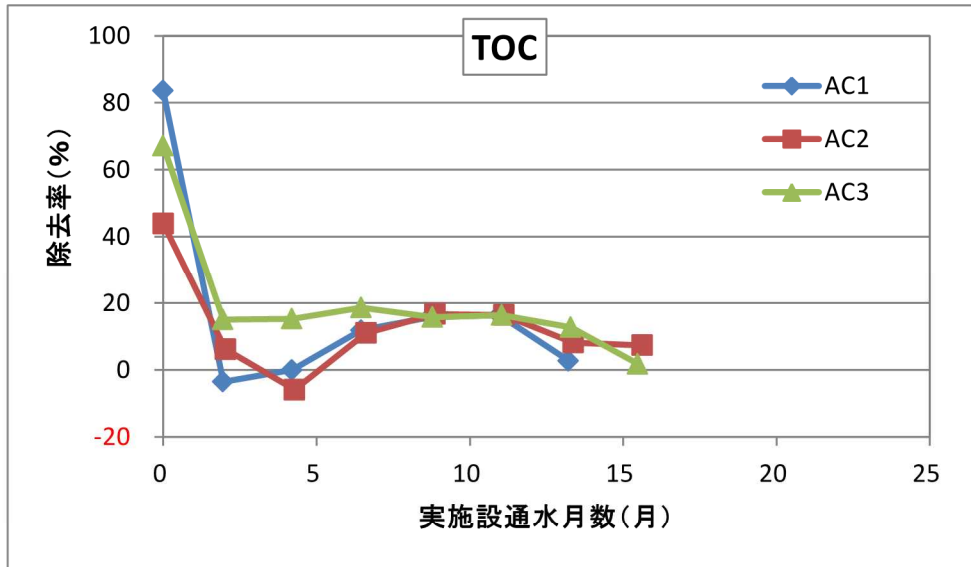


図 4-14 RSSCT における活性炭処理水の TOC

(3) PFOS 等の吸着における有機物の影響

AC1～8において、蛍光強度（フミン酸、フルボ酸）の吸着寿命までの過渡特性に大きな違いがみられなかった。TOC では炭種間で吸着寿命までの過渡特性に違いがみられていた。また、AC1～AC3 は変動傾向にばらつきがみられているが、この差について詳細に議論するほど明確でなかった。

蛍光強度（フミン酸、フルボ酸）、TOC は、実施設通水月数 5～15 ヶ月でほぼ破過に近い状態を示していた。

一方、PFOS 等は同じ実施設通水月数でも吸着の継続がみられていることから、活性炭における吸着機構（細孔径）の違いによるものと考えられる。

実施設は、オゾン活性炭処理であり、有機物は生物活性炭の効果（生物分解による除去率の回復）が期待できるが、PFOS 等は物理吸着と考えられる。また、交換時には生物効果を必要としないことから再投入は不要と考える。

上記の傾向を実施設通水期間で分けたデータ整理により確認すると表 4-26 に示すとおりである。ここでは、以下のような主旨で通水期間を分類した。

- 2.5 ヶ月 : フミン酸、フルボ酸、TOC の除去率プラス時期
- 5 ヶ月 : フミン酸、フルボ酸、TOC の流入≒流出時期
- 10 ヶ月 : フミン酸、フルボ酸、TOC の除去率ゼロ以下

また、対象とする活性炭は、PFOS+PFOA の処理性が比較的良好であった AC4 で検討する。

- 実施設通水期間 2.5 ヶ月ではフミン酸、フルボ酸の除去率は 75%以上であったが、TOC 除去率は 30%となっていた。一方、PFOS+PFOA 処理水濃度は 1ng/L 未満で除去率は 100%であった。
- 実施設通水期間 5 ヶ月では、フミン酸、フルボ酸、TOC それぞれの除去率は 10%程度まで低減していた。一方、PFOS+PFOA 処理水濃度は 1ng/L 未満で除去率は 100%であった。
- 実施設通水期間 10 ヶ月では、フミン酸、フルボ酸、TOC ともに除去率は 3%未満と破過に達している状況であった。一方、PFOS+PFOA 処理水濃度は 1ng/L で除去率は 97.2%であった。

表 4-26 通水期間別の PFOS+PFOA 処理状況 (AC4)

| AC4 | 実施通水月数(月) | | |
|-----------------------|-----------|-------|------|
| | 2.5ヶ月 | 5ヶ月 | 10ヶ月 |
| フミン酸除去率(%) | 76.8 | 9.6 | -9.4 |
| フルボ酸除去率(%) | 86.0 | 13.2 | 1.8 |
| TOC除去率(%) | 27.6 | 11.4 | 2.8 |
| PFOS+PFOA処理水濃度 (ng/L) | 0.0 | 0.0 | 1.0 |
| PFOS+PFOA除去率(%) | 100.0 | 100.0 | 97.2 |

この事象の解釈の参考として、共存有機物が PFOS 等の吸着と阻害する事象に関する研究の一例を整理する。

参考文献：木村功二 他

粉末活性炭による残留性有機フッ素化合物類の吸着除去特性および影響要因の検討

環境工学研究論文集、第 45 巻、2008 年、

この文献では、PFOS 等の単成分系における吸着と混合成分系における吸着の違いや、共存有機物による PFOS 等の吸着阻害について実験検討が行われている。吸着阻害に関する部分を抜粋要約すると以下のとおりである。

琵琶湖水 (DOC3.8mg/L) を溶媒とした PFOS 等 8 成分混合系における吸着実験では、溶存有機物に吸着が阻害され、PFOS、PFHxS で超純水を溶媒とした場合に比べて除去率が 60%低下した。他の 6 成分 (PFHxA 等) はほぼ除去できなかった。

RSSCT における前記事象は、共存有機物 (フミン酸、フルボ酸、TOC) が破過した段階では、PFOS 等の吸着阻害が少なかったことを示している。吸着阻害の少なさに付き、上記文献に照らして背景条件の違いを整理すると以下のとおりである。

- 共存有機物濃度レベルの違い
 - RSSCT 活性炭流入水 TOC : 約 1.0mg/L
 - 文献実験水 TOC : 3.8mg/L
- PFOS 等初期濃度
 - RSSCT 活性炭流入水 : 約 36ng/L (PFOS+PFOA)
 - 文献実験水 : 100 μg/L (PFOS 等)
- PFOS 等の成分混合状態
 - RSSCT 活性炭流入水 : 3 成分 (PFOS 28ng/L、PFOA 6ng/L、

| | |
|-----------------------|--|
| | PFHxS 17ng/L) |
| 文献実験水 | : 8成分 (各 100 μg/L) |
| ● オゾン処理による有機物の低分子化の有無 | |
| RSSCT 活性炭流入水 | : あり (活性炭流入水=オゾン処理水) |
| 文献実験水 | : なし (琵琶湖水の 1 μm ろ液) |
| ● 活性炭種と吸着機構の違い | |
| RSSCT 活性炭 | : AC4 上向流接触 粒径 0.107mm RSSCT |
| 文献活性炭 | : カルゴン社 Filtrasorb400 粒径 0.075mm 回分試験 |

このように、共存有機物による PFOS 等除去率の 60%低下という知見が導かれた際の実験条件は RSSCT 条件と差異があり、同列比較は難しい。

多くの文献で指摘されている共存有機物による吸着阻害現象を前提とすると、RSSCT でみられた実施設通水月数 10 ヶ月の実態は、フルボ酸等の有機物と PFOS 等を吸着する細孔領域は、概ね分かれているものの一部分は両者を吸着する領域があることが推察される。

フルボ酸等の有機物が破過する前で (有機物と PFOS 等の吸着が競合する細孔領域が残っている段階)、PFOS 等の処理水へ検出し始めた時期に高い密度の調査を行えば、共存有機物による吸着阻害の実態が確認できる可能性がある。