

北谷浄水場粒状活性炭実施設計業務委託

報告書

令和3年2月

沖縄県企業局

(株)日水コン沖縄事務所

目 次

【仕様検討編】

第 1 章 業務概要	1
1-1. 業務の目的	1
1-2. 業務計画	1
1) 業務概要	1
2) 業務フロー及び作業実績	3
第 2 章 活性炭の物性確認	6
第 3 章 PFOS 等吸着特性の確認（回分式吸着実験）	12
3-1. 回分式吸着実験	13
1) 実験条件の確認（予備実験）	13
2) 回分式吸着実験（本実験）	17
3-2. 回分式吸着実験における反応時間変化実験	24
1) 実験方法	24
2) 実験結果	25
3) 回分試験における反応速度について	30
3-3. 吸着定数の算出	38
1) 吸着量の 72 時間値への換算	38
2) 吸着量の算出	41
3) 吸着定数の算出	46
4) 吸着定数のまとめ	50
5) 活性炭物性項目の関連性及び吸着定数（ K 、 $1/n$ ）との関連性	52
3-4. 反応速度と K 値、 $1/n$ 値の関係	59
第 4 章 PFOS 等破過曲線の確認（迅速小規模カラム試験：RSSCT）	72
4-1. RSSCT に用いる活性炭の選定	72

1) 吸着量の算出.....	73
2) RSSCT 用活性炭の選定結果.....	82
4-2. RSSCT の方法.....	85
1) RSSCT とは.....	85
2) 実験条件.....	87
3) 実験装置.....	90
4) 操作手順.....	93
5) 実験工程.....	96
4-3. RSSCT 結果.....	97
1) 実験条件と使用活性炭種.....	97
2) RSSCT 結果の補正（実施設活性炭粒径設定の見直し）.....	98
3) PFOS、PFOA の処理性.....	100
4) PFHxS の処理性.....	101
5) 有機物（蛍光強度、TOC）の測定結果.....	111
第5章 実験結果に基づく活性炭の仕様検討.....	121
5-1. 実施設における処理水濃度と活性炭交換コストのシミュレーション.....	121
1) データ棄却について.....	121
2) 回帰式の選定.....	124
3) シミュレーションの考え方（交換サイクル（年）2年を例として）.....	130
4) 活性炭の単価設定.....	131
5-2. 参考規制値とその考え方.....	133
1) PFOS 等の諸外国の規制値.....	133
2) 参考規制値の根拠.....	133
5-3. シミュレーション結果と参考規制値への適合状況.....	134
5-4. コストを含めた吸着性能の総合評価.....	137

1) 活性炭選定条件	137
2) 活性炭選定結果	137
3) 活性炭の総合評価.....	141
5-5. PFOS 等の処理に適した活性炭仕様の検討	142
1) 活性炭物性値との相関確認	142
2) 粒径、均等係数の検討	146
3) PFOS 等の処理性からみた活性炭仕様案.....	147
4) 市販活性炭の適合状況	149
5) 改良工事時の留意点	149
第 6 章 実施設の PFOS 等除去性の確認	152
6-1. 調査方法	152
6-2. 実施設の PFOS 等調査結果.....	153
1) トリハロメタン生成能、かび臭物質の結果	153
2) PFOS 等の結果	162
第 7 章 RSSCT 結果と実施設の比較	171
7-1. 検証データの選択	171
1) 処理条件の比較	171
2) 参考値と RSSCT 結果.....	172
3) 参考値による考察.....	173
4) 解析対象データの選択	176
7-2. RSSCT 結果と実施設の比較	176
1) 比較方法の検討	176
2) 比較検討のまとめ.....	186
7.3 今後の課題	187

【資料編】	189
資料 1. 活性炭粒径の違いによる炭層厚の影響確認（追加実験 A）	191
資料 2. 活性炭種の確認実験（追加実験 B）	195
資料 3. 分析値と参考値の比較	197
資料 4. 諸外国の参考規制値	203
資料 5. RSSCT 実験方法の詳細	211

【実施設計編】

第 1 章 特記仕様書	282
第 2 章 設計書	302
第 3 章 数量計算書	320

【仕様検討編】

第1章 業務概要

1-1. 業務の目的

沖縄県企業局北谷浄水場では、中部河川水源に由来するペルフルオロオクタンスルホン酸（PFOS）等有機フッ素化合物（以下、PFOS等と称す。）を粒状活性炭処理で吸着低減化しており、アメリカ環境保護庁（EPA）の生涯健康勧告値（PFOS+PFOA^{*}合計 70ng/L）及び水質管理目標設定項目（PFOS+PFOA 合計値 50ng/L（暫定目標値）、厚生労働省 令和2年4月）を遵守して水源の取水管理や粒状活性炭の除去性能の管理を行っている。

本業務は、北谷浄水場の粒状活性炭池（以下、実施設と称す。）が抱える問題を解決するため、北谷浄水場原水の水処理に適した処理施設とすることに向け、以下の事項を目的とした。

実施設で運用される粒状活性炭（以下、実施設運用炭と称す。）についてPFOS等の除去性能を確認すると共に、国内市販の粒状活性炭について回分式吸着実験や物性試験を行い、PFOS等の吸着に寄与する要素を推定する。さらに回分式吸着実験や物性試験結果を基に選定した粒状活性炭について迅速小規模カラム試験（Rapid Small-Scale Column Tests、以下RSSCTと称す。）を行い破過曲線の確認を行う。

それらの結果を基に、北谷浄水場で令和2年度から令和5年度にかけて取り替える粒状活性炭について、PFOS等に対し長期の吸着寿命を持つよう実施設計を行い、改良工事に係る発注仕様・設計図書を作成する。

※ペルフルオロオクタン酸（以下、PFOAと称す。）

ペルフルオロヘキサンスルホン酸（以下、PFHxSと称す。）

1-2. 業務計画

1) 業務概要

実施設運用炭について、PFOS等の除去性能を確認するとともに、国内市販の粒状活性炭を含めて回分式吸着実験や物性試験を行い、PFOS等の吸着に寄与する要素を推定した。さらに、回分式吸着実験や物性試験結果を基に選定した粒状活性炭について、RSSCTを行って破過曲線を確認した。

これらの結果を踏まえ、北谷浄水場で令和2年度から令和5年度にかけて取り替える粒状活性炭について、PFOS等に対し長期の吸着寿命を持つよう実施設計を行い、改良工事に係る発注仕様・設計図書を作成した。

以下、本業務の履行期間と取組事項を示す。

履行期間 令和元年（2019年）10月16日～令和3年（2021年）2月18日

取組事項 ① 設計協議

② 活性炭のPFOS等の吸着に寄与する要素の推定

③ 活性炭の吸着寿命の推定

④ ②及び③を最適化したときの、有機物等処理における現状との比較

⑤ 粒状活性炭改良工事に係る発注仕様・設計図書の作成

⑥ とりまとめ

②及び③の推定や④の比較などに当たっては、次のア～オに示す実験や調査を行った。

実験・調査の概要

- ア. 活性炭の物性値の確認 [主に②]
- イ. PFOS 等吸着特性の確認 (回分式吸着実験) [主に②]
- ウ. PFOS 等破過曲線の確認 (RSSCT) [主に③]
- エ. PFOS 等の除去性の確認 (実施設での調査) [主に④]
- オ. 実験・調査結果のとりまとめ及び報告書の作成 [⑤及び⑥]

国内で市販されている水道用粒状活性炭のうち、以下の事項を満たす 11 種を入手した。

- 実験試料の入手が可能であったもの
- 主に「石炭系 (亜炭※1 種含む)」(比較用としてヤシ殻 1 種)
※亜炭：石炭の一種 (炭化度の低い石炭)
- 活性炭メーカーより PFOS 等の物性から判断して吸着に適していると提案されたもの

そのうち 3 種は令和元年度より実施設で運用している 3 種であり、RSSCT における破過曲線と実施設の検討の対象とした。また、11 種のうち 2 種は海外において PFOS 等除去用として実績がある活性炭とした。

それぞれの活性炭物性値を確認するとともに吸着特性を表す吸着等温線を作成し、RSSCT に用いる活性炭 8 種を選定した。これら 8 種類の活性炭を用いて RSSCT を行い、活性炭処理水の PFOS 等の濃度を測定し、各活性炭の破過曲線を確認した。

ここで、以下の表 1-1 に 11 種類の活性炭の原料 (石炭・ヤシ殻等)、成型方法 (破碎・球状) を示す。また、実施設運用炭は、表内 AC1~AC3 の 3 種であった。

表 1-1 実験に使用する活性炭

AC No.	AC1	AC2	AC3 0.9mm※2	AC3 1.2mm※2	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
原料	石炭	石炭	石炭	石炭	石炭	石炭	亜炭※1	石炭	ヤシ殻	石炭	石炭	石炭
成型方法	破碎炭	破碎炭	破碎炭	破碎炭	破碎炭	破碎炭	破碎炭	破碎炭	破碎炭	破碎炭	球状 (成型)	破碎炭
実施設運用炭	実施設運用炭				-	-	-	-	-	-	-	-

※1 亜炭：石炭の一種 (炭化度の低い石炭)

※2 有効径

2) 業務フロー及び作業実績

令和元年度及び同2年度に取り組む事項を表1-2、業務全体フローを図1-1に示す。
その作業実績を表1-3、4に示す。

表1-2 年度別取組事項

取組事項	令和元年度	令和2年度
設計協議	○	○
PFOS等の除去性の確認	○	○
活性炭の物性の確認	○	—
PFOS等吸着特性の確認 (回分式吸着実験)	○	—
PFOS等破過曲線の確認 (RSSCT)	—	○
実施設計	—	○
実験・調査結果のとりまとめ 及び報告書の作成	○	○

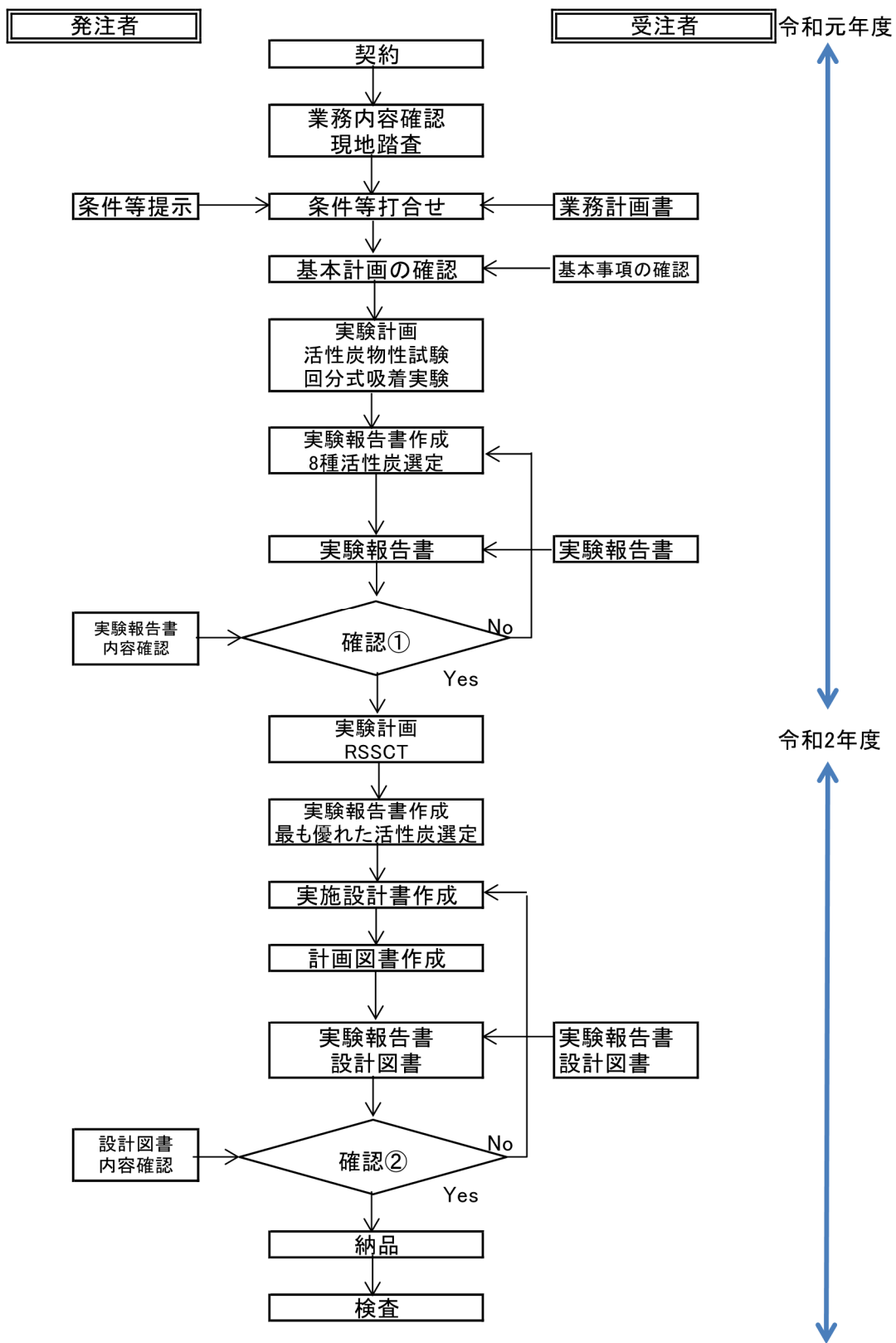


図 1-1 業務フロー

表 1-3 作業工程（計画と実績）

業務区分	月			月			月			月			月			令和元年10月	11月	12月	令和2年1月	2月	3月	備考
打合せ協議															-			-	-		-	
活性炭物性の確認																						
PFOS等除去性の確認																		-	-	-	-	
PFOS等吸着特性の確認																						
PFOS等破過曲線の確認																						
とりまとめ及び解析																						
実施計画書の作成																						
報告書作成																						
照査																						

業務区分	令和2年4月			5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月			12月			令和3年1月			2月			3月			備考
打合せ協議		-	-																																		
活性炭物性の確認																																					
PFOS等除去性の確認	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PFOS等吸着特性の確認																																					
PFOS等破過曲線の確認																																					
とりまとめ及び解析																																					
実施計画書の作成																																					
報告書作成																																					
照査		-	-																																		

- 計画
- 実績

あった。

- ABS 価は、AC4 が 28 と小さい値を示した。一方、AC6 は 61 と JWWA 品質規定（50 以下）外の値であった。
- フェノール価は AC5 が 27 と JWWA 品質規定（25 以下）外の値であった。他の活性炭は JWWA 品質規定内の値であった。
- pH 値は AC2 が 10.1 と高い pH 値を示したが、他の活性炭は JWWA 品質規定（4.0～8.0）内であった。
- 細孔容積（マイクロ孔＋メソ孔）は、AC4 が 0.733 と最も大きく、細孔容積（マイクロ孔）では、AC8 が 0.582 と大きかった。細孔容積（メソ孔）では、AC6 が 0.461 と大きかった。

図 2-2 は活性炭毎の 4 項目（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）、図 2-3 には活性炭毎の細孔容積をレーダーチャートで示す。

- 図 2-2 において、分布が似通っている活性炭は AC4、8 と AC2、7、9、10、11 であり、これらは物性値が似通っているため同じような処理能力と推測される。AC1、3、5、6 は単独の分布を示していた。
- ヨウ素吸着性能やメチレンブルー脱色力が大きい値であることから、最も吸着性能が高いと推定される AC8 はマイクロ孔が最も大きく、メソ孔は最も小さい。
- ヨウ素吸着性能やメチレンブルー脱色力が小さい値であることから、吸着性能が劣ると推定された AC6 は、メソ孔は最も大きいものの、マイクロ孔は最も小さくなっている。
- AC4 と AC5 は AC8 に次いでマイクロ孔が大きい値であった。
- AC1、AC2、AC3、AC7、AC9、AC10、AC11 はマイクロ孔もメソ孔も比較的小さな値である。

【物性項目の特徴】

- ヨウ素吸着性能（ヨウ素分子量：126.9）は活性炭の吸着性能を評価する方法である。比表面積は相関がみられるため、比表面積は品質規定化されていない。
- フェノール価（フェノール分子量：94.1）は、孔径の小さいマイクロ孔領域の評価に用いられる。
- ABS 価（ドデシルベンゼンスルホン酸分子量：348.48）は含有量が少ない（かび臭物質等）微量物質の吸着性能を評価する方法。
- メチレンブルー脱色力（メチレンブルー分子量：373.9）は脱色性能を評価、分子量の大きい物質の吸着量を判断する目安。

参考文献 : JWWA A 114 : 2006

安部郁夫 活性炭の性能評価法 炭素 TANSO 2002 No204

安部郁夫 炭の吸着のひみつ 林産試だより 1995 年 12 月号

表 2-2 活性炭物性試験結果

分析項目	AC No.	単位	実施設運用炭			その他の活性炭							JWWA 品質規定	
			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	
ヨウ素吸着性能		mg/g	840	980	1,000	1,050	980	620	920	1,470	990	920	1,020	900以上
メチレンブルー脱色力		mL/g	140	180	200	210	200	100	180	300	220	200	200	150以上
ABS価		-	50	33	31	28	33	61	39	29	35	36	37	50以下
フェノール価		-	12	12	12	17	27	14	16	16	12	12	14	25以下
pH値			7.5	10.1	8.2	8.4	7.3	7.4	6.9	7.6	6.5	7.6	7.6	4.0~8.0
細孔容積 (ミクロ孔+メソ孔)		mL/g	0.469	0.600	0.666	0.733	0.697	0.622	0.552	0.681	0.554	0.495	0.567	
細孔容積 (メソ孔)		mL/g	0.158	0.191	0.259	0.211	0.165	0.461	0.121	0.099	0.144	0.096	0.110	
細孔容積 (ミクロ孔)		mL/g	0.311	0.409	0.407	0.522	0.532	0.161	0.431	0.582	0.410	0.399	0.457	

 : 品質規定を最も高く満たしているもの
赤字 : JWWA品質規定外

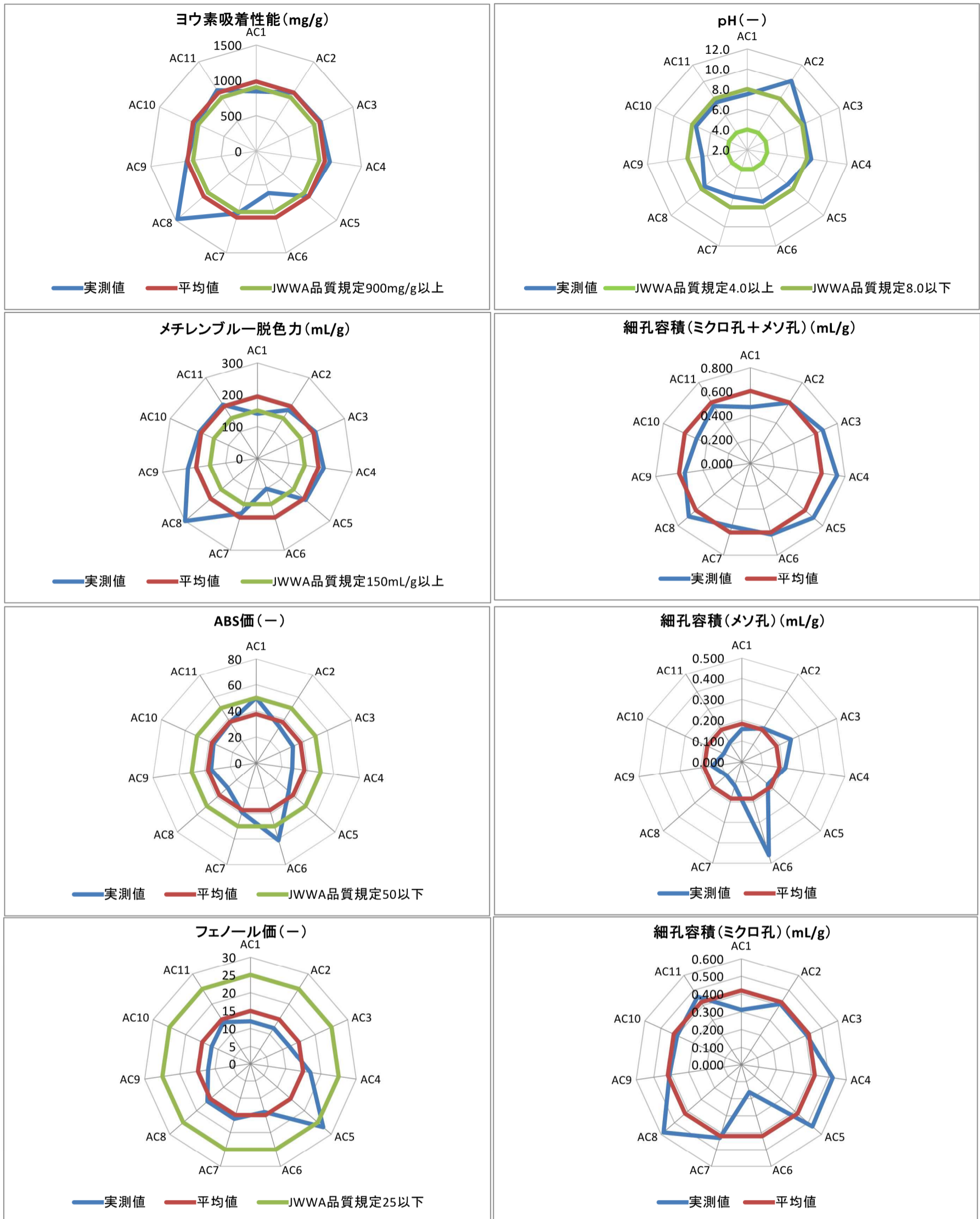
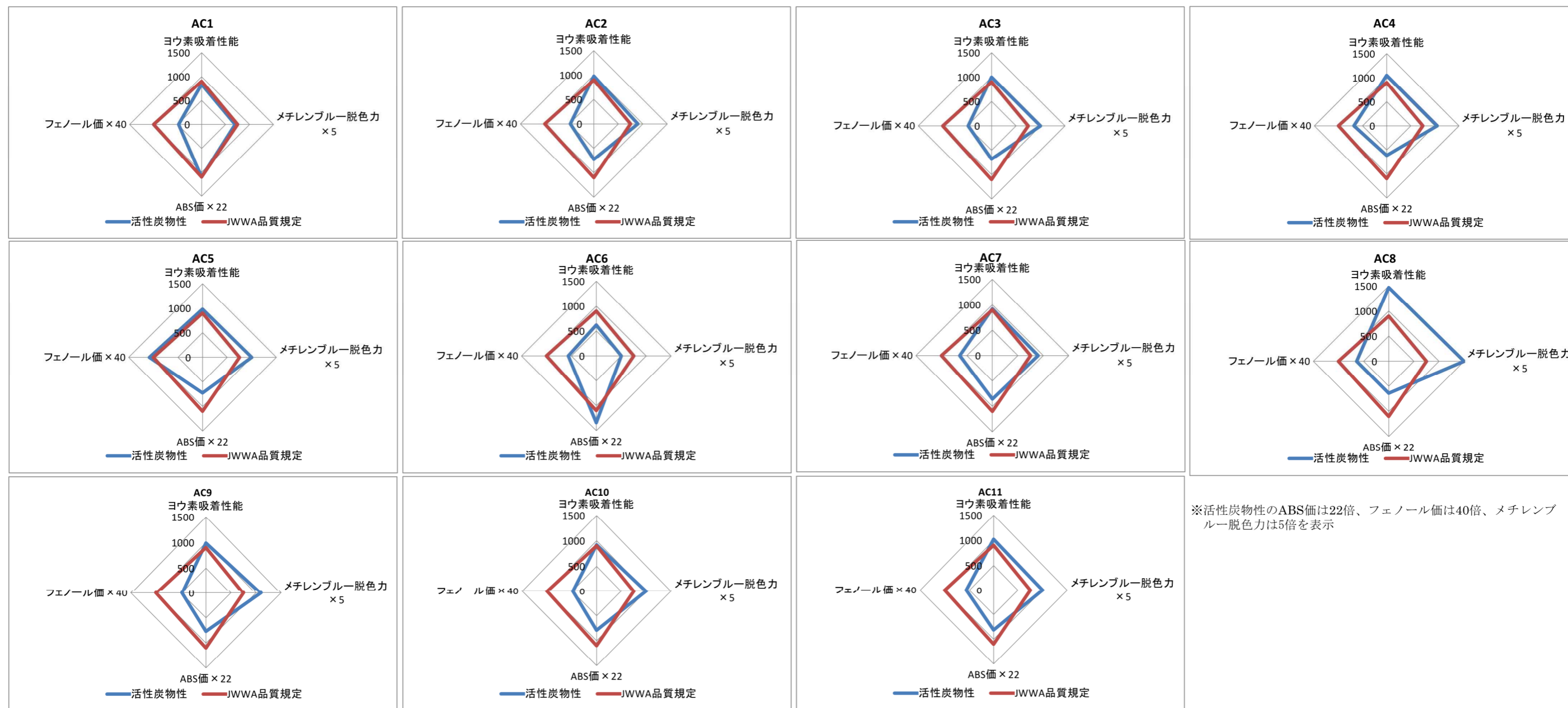


図 2-1 活性炭物性値の比較



※活性炭物性のABS価は22倍、フェノール価は40倍、メチレンブルー脱色力は5倍を表示

図 2-2 活性炭物性値の比較 (その 1)

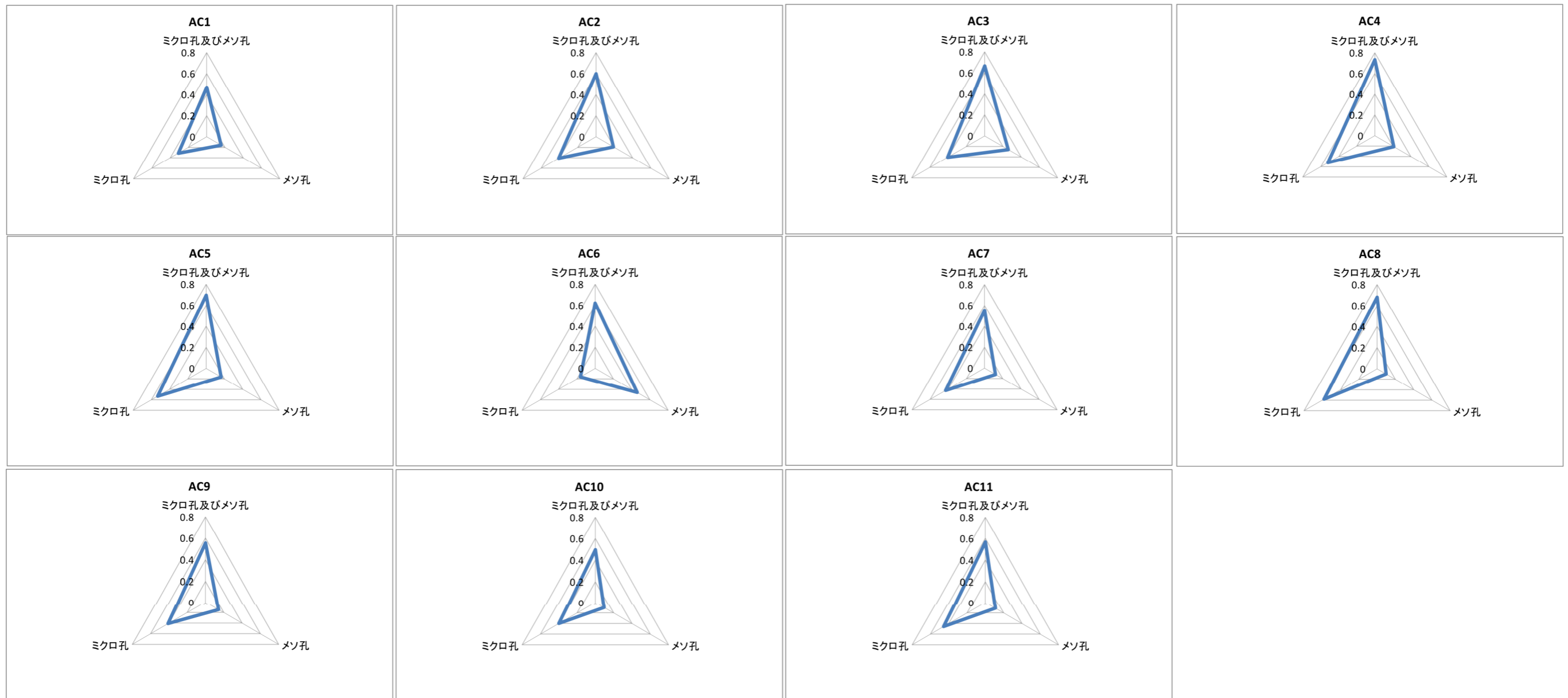


図 2-3 活性炭物性値の比較 (その 2)

第3章 PFOS等吸着特性の確認（回分式吸着実験）

11種類の活性炭の吸着特性を確認するため、各活性炭の吸着等温線を求めることとした。吸着等温線は目的物質が一定温度下で固体（活性炭）に吸着される際の、吸着後の溶液濃度（平衡濃度）と単位活性炭量への吸着量の関係を示したグラフ（図3-1参照）である。活性炭による吸着量特性を解析するために一般的に用いられる方法である。

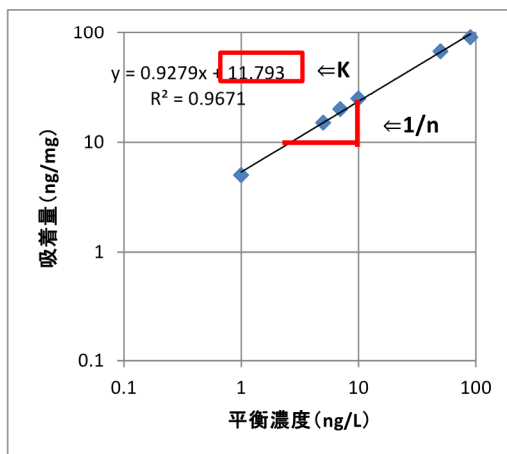


図3-1 回分式吸着等温線イメージ

【回分式吸着実験の概要】

回分 : ビーカースケールで PFOS 等の試薬添加原水に対して活性炭注入率 9 条件、反応時間 1 条件で回分（バッチ）処理して上記グラフにまとめる。

K 値 : 上記グラフの y 切片。活性炭への吸着量を示す。（単位：無次元）

K 値が大きいと原水の低濃度領域における吸着量が多い。

1/n 値 : 上記グラフの傾き。活性炭との吸着質の親和性を示す。（単位：無次元）

1/n 値が大きいと原水濃度上昇に対する吸着量も増加量が大きく、高濃度領域の吸着性能が高いといえる。

吸着等温線を把握するにあたり、回分式吸着と反応時間に着目して、以下の 2 ケースについて実験を行った。

◆回分式吸着実験

11 種の活性炭の PFOS 等に対する吸着特性を確認する。

◆時間反応変化実験

下記を確認し RSSCT 結果や実施結果との関連を確かめる。

➤ AC 毎の反応速度の違い

➤ PFOS 等物質毎の反応速度の違い

【回分式吸着実験と連続式吸着実験との違い】

回分式吸着実験では、活性炭による PFOS 等の吸着量の違いは分かるが、実処理条件での吸着寿命には直結しない。

3-1. 回分式吸着実験

まず、活性炭の注入率とその反応時間に関する条件を1種類の活性炭で予備実験を行って整理し、その結果に基づいて11種類の活性炭で実験を行った。

1) 実験条件の確認 (予備実験)

(1) 実験方法

予備実験に用いる活性炭は、物性試験結果から平均的な物性値であるAC9を選定した。実験条件における反応時間と活性炭注入率の設定を表3-1に示す10パターンとした。

【実験条件】

平成25年～平成30年における、北谷浄水場原水の過去最大値 (PFOS+PFOA合計) は112ng/Lであった。回分式吸着実験においては、活性炭吸着後の濃度が平衡濃度になるため、実験に用いる初期濃度は破過濃度より高くしておく必要がありPFOS+PFOA合計120ng/Lと設定した。また、原水中の含有比率はPFOSとPFOA及びPFHxSで、概ね5:1:3であることから、PFOS+PFOAが120ng/Lとなり、含有比率に合わせた次のとおりの濃度に調整した。(PFOS:100ng/L、PFOA:20ng/L、PFHxS:60ng/L)

対象原水は、有機物 (全有機炭素の量、以下TOCと称す。) が北谷浄水場活性炭流入水と同程度の濃度であり、原水にPFOS等を含まない石川浄水場活性炭流入水とした。

初期PFOS等濃度	: 180ng/L程度
活性炭注入率 (4段階)	: 1、3、5、30mg/L
反応時間 (5段階)	: 2、12、24、48、60時間
対象原水	: 石川浄水場活性炭流入水
測定項目	: PFOS、PFOA、PFHxS、TOC (TOCは活性炭吸着における共存有機物による阻害、競合の影響を確認するため)
活性炭の調整方法	: 活性炭は、粒状活性炭を0.075mm以下となるように粉砕して、湿式ふるい分けを行ったものを使用した。

表3-1 予備実験の条件

反応時間(時間)	活性炭(AC9)注入率(mg/L)				検体数
	1	3	5	30	
2	○		○		2
12			○		1
24	○	○	○	○	4
48			○		1
60	○		○		2

(2) 予備実験結果

①原水TOC

原水（石川浄水場活性炭流入水）は、11個のポリタンクにより採取しており、実験期間における水質変動がないこと、ポリタンクでの差異がないことの確認及び、共存有機物による阻害、競合を確認するためTOCを測定した。結果は表3-2に示すとおり平均1.1mg/Lであった。近日の北谷浄水場活性炭流入水のTOCは0.93mg/Lでありポリタンク間の差はなく、北谷浄水場活性炭流入水ともTOCに差がないと判断した。

表3-2 原水（石川浄水場活性炭流入水）のTOC濃度

原水採水時	2020/1/21採水											北谷浄水場 活性炭流入水 1/22	
石川浄水場 活性炭流入水 ポリタンクNo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均	
TOC (mg/L)	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.93

②原水PFOS等

原水のPFOS等の濃度は、表3-3の0時間に示すとおり、PFOS：120ng/L、PFOA：18ng/L、PFHxS：46ng/Lであった。設定濃度に対してPFOSがやや高く、PFOA、PFHxSはやや低い値であった。

③予備実験結果

予備実験結果を表3-3、図3-2に示す。PFOS、PFOA及びPFHxSは、活性炭の注入率が高くなるほど、処理水濃度は低下傾向がみられていた。活性炭を30mg/L注入すると定量下限未満まで処理されており、注入率が高すぎるということが分かった。

反応時間による違いを確認した、活性炭注入率5mg/Lの条件では反応時間24時間以降も各成分の減少傾向がみられた。

24時間のデータを基に活性炭注入率と濃度の関係を図3-3に示す。図3-3に示すように活性炭注入率が高くなると各成分ともに減少する傾向がみられていた。平衡濃度と吸着量の関係を図3-4に示す。これらの結果より活性炭は1～15mg/L注入することで吸着等温線が得られるものと判断した。

【吸着量の計算方法】

吸着量 q は測定した各成分の平衡濃度 C 、初期濃度 C_0 、活性炭注入率 C_{PAC} から以下の計算式より算出した。

$$q = (C_0 - C) / C_{PAC}$$

反応時間が24、48、60時間の結果から吸着量を試算し、平衡濃度と吸着量の関係をまとめると図3-5のとおりとなる。平衡濃度と吸着量は24時間値と60時間値で差はあるものの、活性炭注入率を変えた場合も同様の傾向が得られていることや、本実験の中で行う時間変動実験結果を用いて反応時間が長い場合の換算を行うことが可能なこと、また、調査期間に制約があることなどの理由により、本実験は24時間を中心

に行うこととした。

表3-3 予備実験の処理水濃度

粉炭注入率	1mg/L				3mg/L				5mg/L				30mg/L			
	PFOS	PFOA	PFHxS	合計	PFOS	PFOA	PFHxS	合計	PFOS	PFOA	PFHxS	合計	PFOS	PFOA	PFHxS	合計
	(ng/L)				(ng/L)				(ng/L)				(ng/L)			
0	120	18	46	184	120	18	46	184	120	18	46	184	120	18	46	184
2	93	17	41	151					64	14	30	108				
12									45	12	24	81				
24	86	16	37	139	64	14	30	108	34	11	17	62	<1	<1	<1	<1
48									20	10	15	45				
60	79	16	37	132					20	10	15	45				

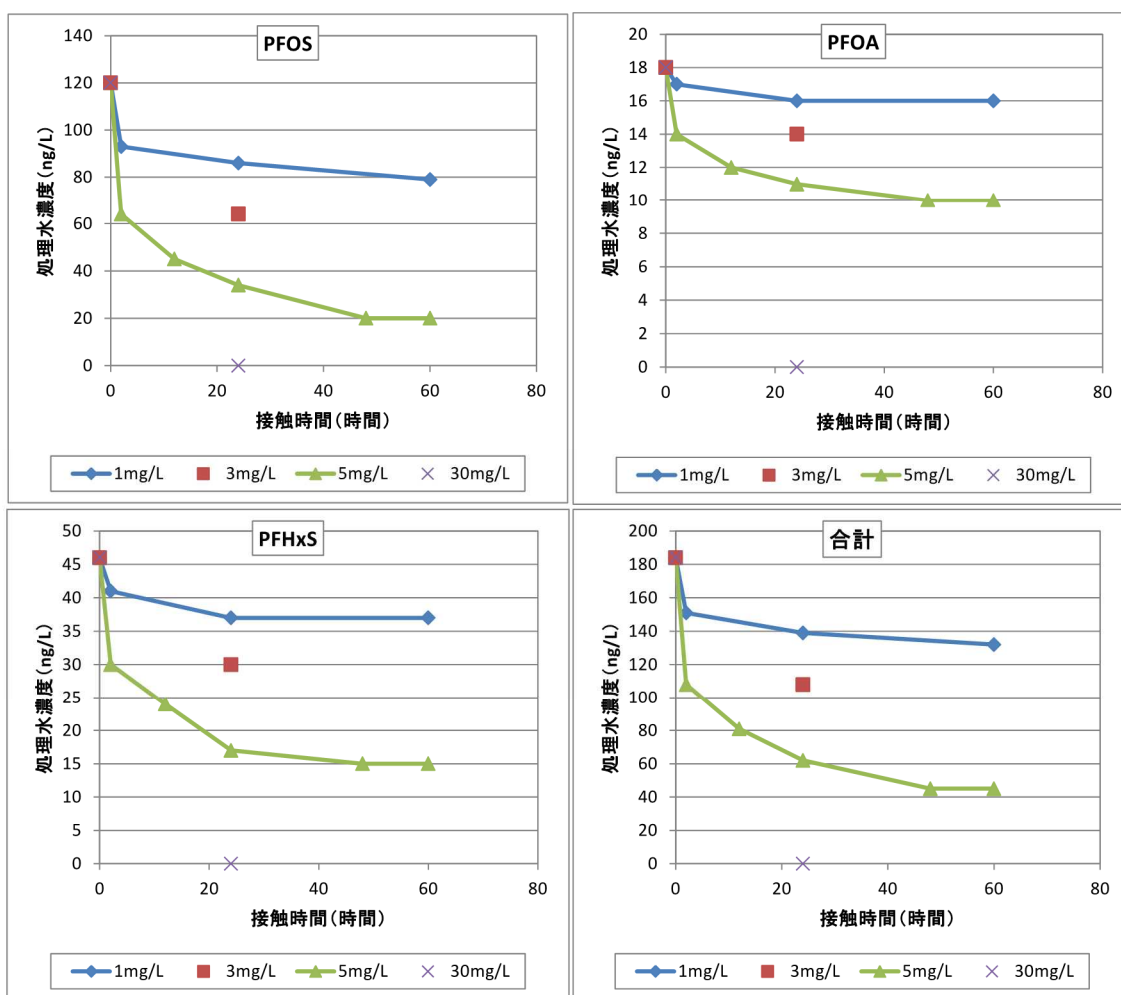


図3-2 予備実験の結果（接触時間と処理水濃度）

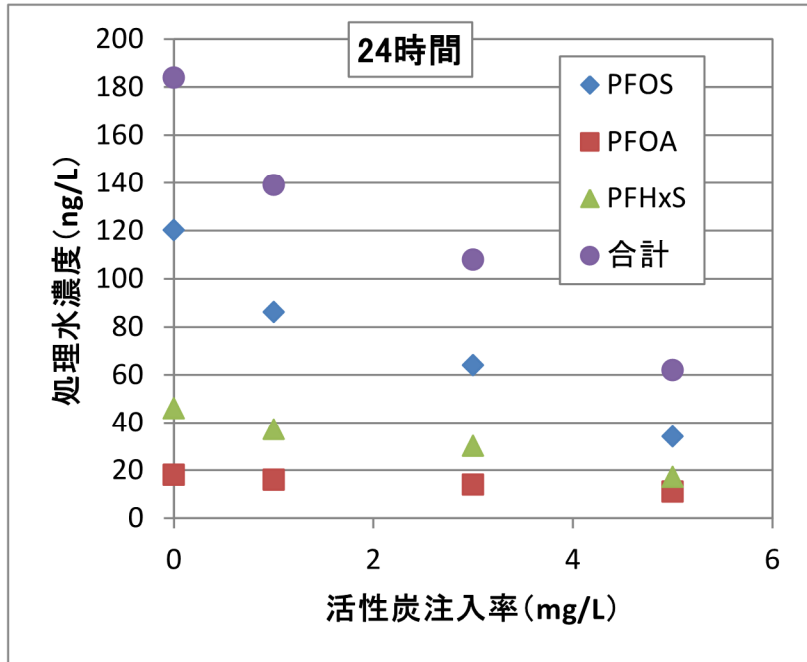


図3-3 吸着除去曲線（活性炭注入率と処理水濃度）

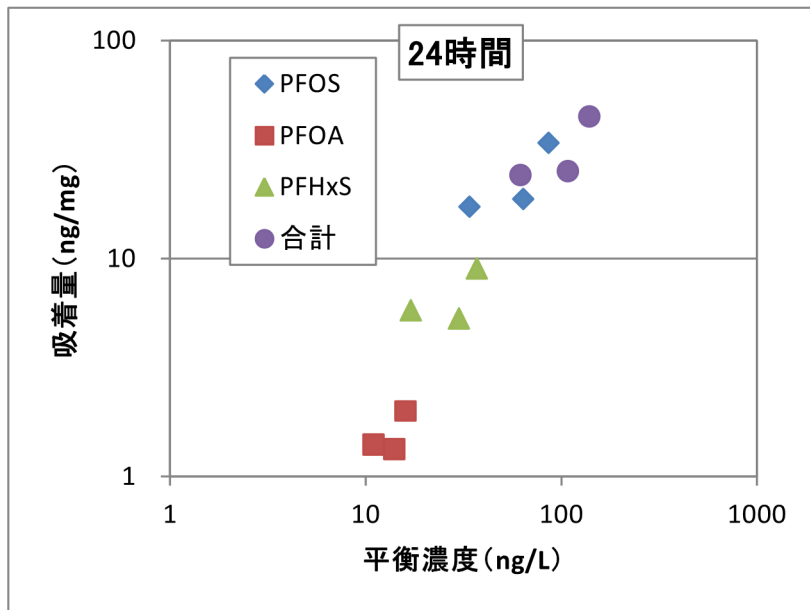


図3-4 平衡濃度と吸着量の関係

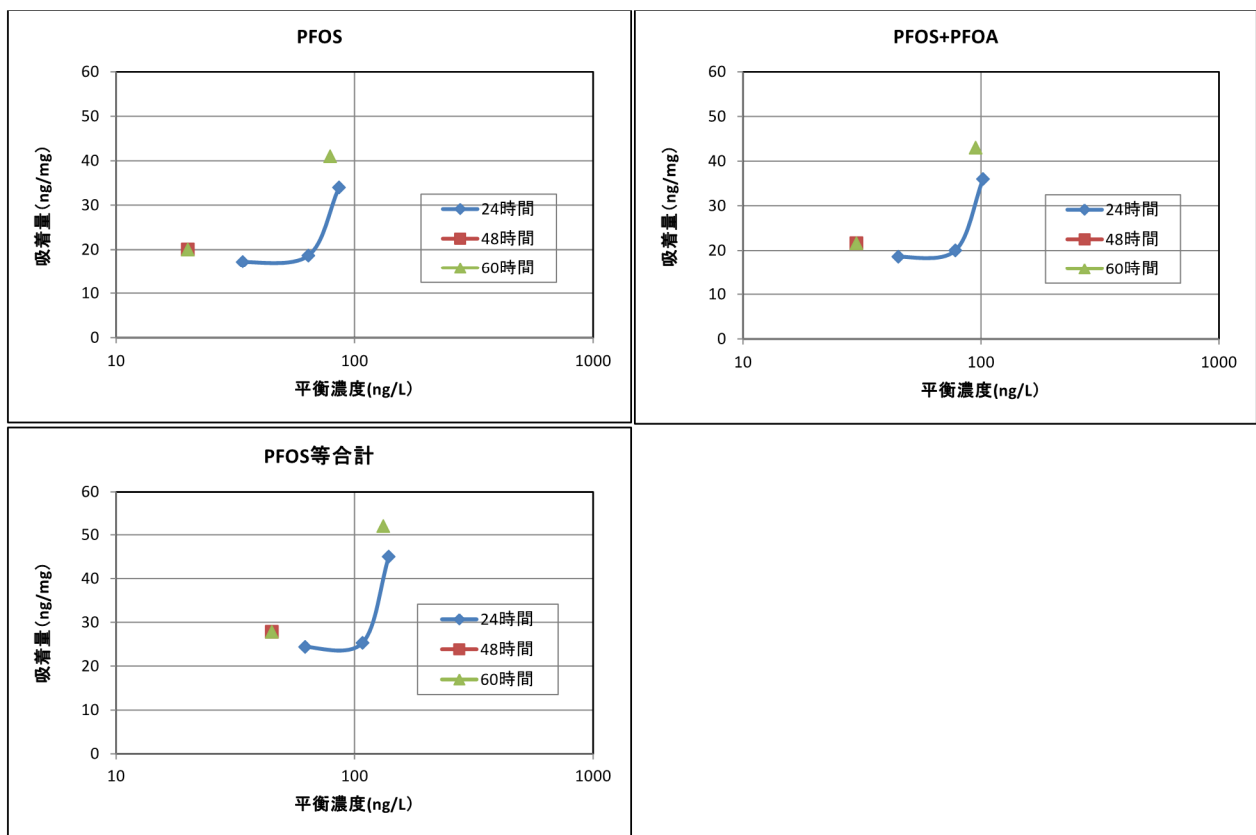


図3-5 PFOS等の反応時間別、平衡濃度と吸着量の相関

2) 回分式吸着実験（本実験）

11種活性炭のPFOS等に対する吸着特性を確認するために回分式吸着実験を行った。

(1) 実験方法

実施運用炭3種及びその他の活性炭8種の計11種の粒状活性炭について、活性炭注入率9段階、反応時間は予備実験の結果より調査期間に限りがあることから、24時間を選定し、吸着等温線を求めた。

【実験条件】

平成25年～平成30年における、北谷浄水場原水の過去最大値（PFOS+PFOA合計）は112ng/Lであった。回分式吸着実験においては、活性炭吸着後の濃度が平衡濃度になるため、実験に用いる初期濃度は破過濃度より高くしておく必要がありPFOS+PFOA合計120ng/Lと設定した。また、原水中の含有比率はPFOSとPFOA及びPFHxSで、概ね5：1：3であることから、PFOS+PFOAが120ng/Lとなり、含有比率に合わせて次のおりの濃度に調整した。（PFOS：100ng/L、PFOA：20ng/L、PFHxS：60ng/L）

対象原水は、有機物（全有機炭素の量、以下TOCと称す。）が北谷浄水場活性炭流入水と同程度の濃度であり、原水にPFOS等を含まない石川浄水場活性炭流入水とした。

初期PFOS等濃度 : 180ng/L程度

活性炭注入率（9段階） : 0.1、0.5、1、2、4、6、8、10、15mg/L

活性炭注入率は、企業局が実施した「粒状活性炭処理における有機フッ素化合物吸着性能評価」報告書の結果を参考に注入率0.1～0.125mg/Lを含む条件とした。

反応時間 : 24時間
 対象原水 : 石川浄水場活性炭流入水
 測定項目 : PFOS、PFOA、PFHxS、TOC
 (TOCは活性炭吸着における共存有機物による阻害、競合の影響を確認するため)
 活性炭の調製方法 : 活性炭は、粒状活性炭を0.075mm以下となるように粉砕して、湿式ふるい分けを行ったものを使用した。

表3-4 吸着等温線把握実験 (反応時間、活性炭注入率)

反応時間(時間)	活性炭注入率(mg/L)										検体数	
	0.0	0.1	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	15.0		
24	(○)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	9

※活性炭0mg/Lは最初に1回測定する。

(2) 実験結果

①原水の PFOS 等及び TOC

原水の PFOS 等及び TOC は、実験期間において表 3-5 に示すとおり 3 回実施した。PFOS 等の解析には平均値を用いた。TOC は平均 1.1mg/L であり、採水当初 (表 3-2 参照) と変化はみられなかった。

表3-5 回分式吸着実験 原水PFOS等及びTOC濃度

原水	PFOS (ng/L)	PFOA (ng/L)	PFHxS (ng/L)	TOC (mg/L)
開始時	110	21	41	1.1
中間時	86	16	33	1.0
終了時	110	16	36	1.1
平均	100	17	37	1.1

②回分式吸着実験結果

吸着量は予備実験と同様の計算手法で求めた。原水濃度は上記 3 回測定結果と用いて吸着量を計算した。結果を表 3-6 に、平衡濃度との関係を図 3-6～8 に示す。

【PFOS】

- 平衡濃度と吸着量の両対数グラフを作図した結果、全ての活性炭の結果において指数近似様の傾向がみられていた。

【PFOA】

- 平衡濃度と吸着量の対数グラフを作図した結果、AC9 は指数近似様（右上がり）の傾向がみられていた。
- AC3、AC4、AC5、AC11 については直線的に僅かながら右上がりの傾向が得られているが、その他の活性炭では右上がり傾向はみられなかった。これは PFOA の設定濃度が 20ng/L と低い値であることも要因と推察される。

【PFHxS】

- 平衡濃度と吸着量の対数グラフを作図した結果、AC3、AC6、AC8、AC9、AC10 については指数関数的に右上がりの傾向がみられる。
- AC1、AC2、AC4、AC5、AC7、AC11 については直線的に右上がり傾向がみられる。
- PFHxS においても設定濃度が低い値であるため、平衡濃度が高い結果は誤差が大きく出ている可能性が推察される。

表 3-6 平衡濃度、吸着量：24時間実測値

分析項目 AC No.	注入率 (mg/L)	実測値平衡濃度 (ng/L)				吸着量 (ng/mg)			
		PFOS	PFOA	PFHxS	合計	PFOS	PFOA	PFHxS	合計
原水※	0	100	17	37	154				
AC1	0.1	57	18	37	112	430.0	-10.0	0.0	420.0
	0.5	54	21	40	115	92.0	-8.0	-6.0	78.0
	1.0	41	18	34	93	59.0	-1.0	3.0	61.0
	2.0	27	14	26	67	36.5	1.5	5.5	43.5
	4.0	11	10	15	36	22.3	1.8	5.5	29.5
	6.0	4	6	8	18	16.0	1.8	4.8	22.7
	8.0	4	5	6	15	12.0	1.5	3.9	17.4
	10.0	1	2	2	5	9.9	1.5	3.5	14.9
	15.0	<1	<1	<1	<1				
AC2	0.1	63	20	40	123	370.0	-30.0	-30.0	310.0
	0.5	50	20	39	109	100.0	-6.0	-4.0	90.0
	1.0	47	21	40	108	53.0	-4.0	-3.0	46.0
	2.0	21	16	27	64	39.5	0.5	5.0	45.0
	4.0	8	11	15	34	23.0	1.5	5.5	30.0
	6.0	3	7	8	18	16.2	1.7	4.8	22.7
	8.0	2	4	5	11	12.3	1.6	4.0	17.9
	10.0	1	2	2	5	9.9	1.5	3.5	14.9
	15.0	<1	<1	<1	<1				
AC3	0.1	67	18	35	120	330.0	-10.0	20.0	340.0
	0.5	67	16	32	115	66.0	2.0	10.0	78.0
	1.0	45	15	30	90	55.0	2.0	7.0	64.0
	2.0	31	14	24	69	34.5	1.5	6.5	42.5
	4.0	10	10	13	33	22.5	1.8	6.0	30.3
	6.0	2	5	6	13	16.3	2.0	5.2	23.5
	8.0	1	3	3	7	12.4	1.8	4.3	18.4
	10.0	1	1	1	3	9.9	1.6	3.6	15.1
	15.0	<1	<1	<1	<1				
AC4	0.1	61	23	47	131	390.0	-60.0	-100.0	230.0
	0.5	43	19	35	97	114.0	-4.0	4.0	114.0
	1.0	33	17	29	79	67.0	0.0	8.0	75.0
	2.0	12	12	18	42	44.0	2.5	9.5	56.0
	4.0	3	5	6	14	24.3	3.0	7.8	35.0
	6.0	1	2	2	5	16.5	2.5	5.8	24.8
	8.0	1	1	1	3	12.4	2.0	4.5	18.9
	10.0	1	1	1	3	9.9	1.6	3.6	15.1
	15.0	<1	<1	<1	<1				
AC5	0.1	70	17	35	122	300.0	0.0	20.0	320.0
	0.5	67	16	34	117	66.0	2.0	6.0	74.0
	1.0	61	16	33	110	39.0	1.0	4.0	44.0
	2.0	43	15	23	81	28.5	1.0	7.0	36.5
	4.0	37	10	14	61	15.8	1.8	5.8	23.3
	6.0	2	4	4	10	16.3	2.2	5.5	24.0
	8.0	1	2	2	5	12.4	1.9	4.4	18.6
	10.0	1	1	1	3	9.9	1.6	3.6	15.1
	15.0	<1	<1	<1	<1				
AC6	0.1	51	19	36	106	490.0	-20.0	10.0	480.0
	0.5	43	18	34	95	114.0	-2.0	6.0	118.0
	1.0	47	17	31	95	53.0	0.0	6.0	59.0
	2.0	34	15	27	76	33.0	1.0	5.0	39.0
	4.0	11	12	19	42	22.3	1.3	4.5	28.0
	6.0	5	8	11	24	15.8	1.5	4.3	21.7
	8.0	4	5	6	15	12.0	1.5	3.9	17.4
	10.0	1	2	3	6	9.9	1.5	3.4	14.8
	15.0	<1	<1	<1	<1				

分析項目 AC No.	注入率 (mg/L)	実測値平衡濃度 (ng/L)				吸着量 (ng/mg)			
		PFOS	PFOA	PFHxS	合計	PFOS	PFOA	PFHxS	合計
原水※	0	100	17	37	154				
AC7	0.1	65	18	36	119	350.0	-10.0	10.0	350.0
	0.5	62	17	34	113	76.0	0.0	6.0	82.0
	1.0	48	16	28	92	52.0	1.0	9.0	62.0
	2.0	31	13	23	67	34.5	2.0	7.0	43.5
	4.0	10	8	12	30	22.5	2.3	6.3	31.0
	6.0	2	4	3	9	16.3	2.2	5.7	24.2
	8.0	1	2	2	5	12.4	1.9	4.4	18.6
	10.0	1	1	1	3	9.9	1.6	3.6	15.1
	15.0	<1	<1	<1	<1				
AC8	0.1	54	20	29	103	460.0	-30.0	80.0	510.0
	0.5	52	18	29	99	96.0	-2.0	16.0	110.0
	1.0	45	17	25	87	55.0	0.0	12.0	67.0
	2.0	28	15	20	63	36.0	1.0	8.5	45.5
	4.0	10	8	10	28	22.5	2.3	6.8	31.5
	6.0	1	2	2	5	16.5	2.5	5.8	24.8
	8.0	1	1	1	3	12.4	2.0	4.5	18.9
	10.0	1	1	1	3	9.9	1.6	3.6	15.1
	15.0	<1	<1	<1	<1				
AC9	0.1	78	17	30	125	220.0	0.0	70.0	290.0
	0.5	76	15	30	121	48.0	4.0	14.0	66.0
	1.0	66	14	28	108	34.0	3.0	9.0	46.0
	2.0	52	13	24	89	24.0	2.0	6.5	32.5
	4.0	38	12	20	70	15.5	1.3	4.3	21.0
	6.0	12	8	10	30	14.7	1.5	4.5	20.7
	8.0	3	4	6	13	12.1	1.6	3.9	17.6
	10.0	1	3	3	7	9.9	1.4	3.4	14.7
	15.0	<1	<1	<1	<1				
AC10	0.1	76	20	36	132	240.0	-30.0	10.0	220.0
	0.5	52	19	33	104	96.0	4.0	8.0	100.0
	1.0	43	18	33	94	57.0	-1.0	4.0	60.0
	2.0	40	17	26	83	30.0	0.0	5.5	35.5
	4.0	27	16	26	69	18.3	0.3	2.8	21.3
	6.0	8	9	11	28	15.3	1.3	4.3	21.0
	8.0	2	6	7	15	12.3	1.4	3.8	17.4
	10.0	2	3	4	9	9.8	1.4	3.3	14.5
	15.0	<1	<1	<1	<1				
AC11	0.1	69	17	36	122	310.0	0.0	10.0	320.0
	0.5	61	16	31	108	78.0	2.0	12.0	92.0
	1.0	50	15	29	94	50.0	2.0	8.0	60.0
	2.0	26	13	20	59	37.0	2.0	8.5	47.5
	4.0	8	10	11	29	23.0	1.8	6.5	31.3
	6.0	2	4	4	10	16.3	2.2	5.5	24.0
	8.0	1	3	2	6	12.4	1.8	4.4	18.5
	10.0	1	1	1	3	9.9	1.6	3.6	15.1
	15.0	<1	<1	<1	<1				

※原水濃度：3回の平均値
赤字は吸着量マイナス値

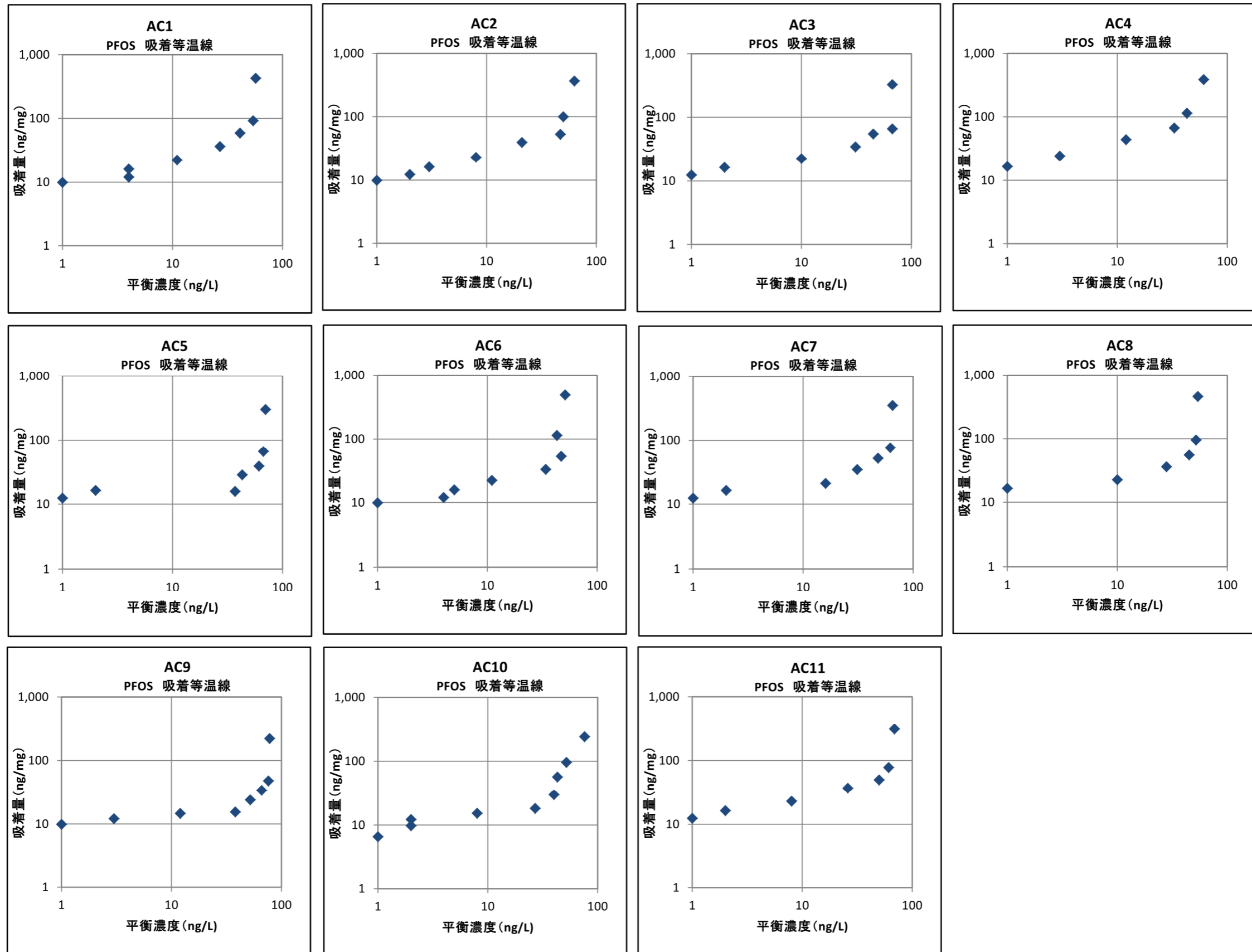


図 3-6 回分式吸着実験結果 (単体 : PFOS、24 時間実測値) (その 1)

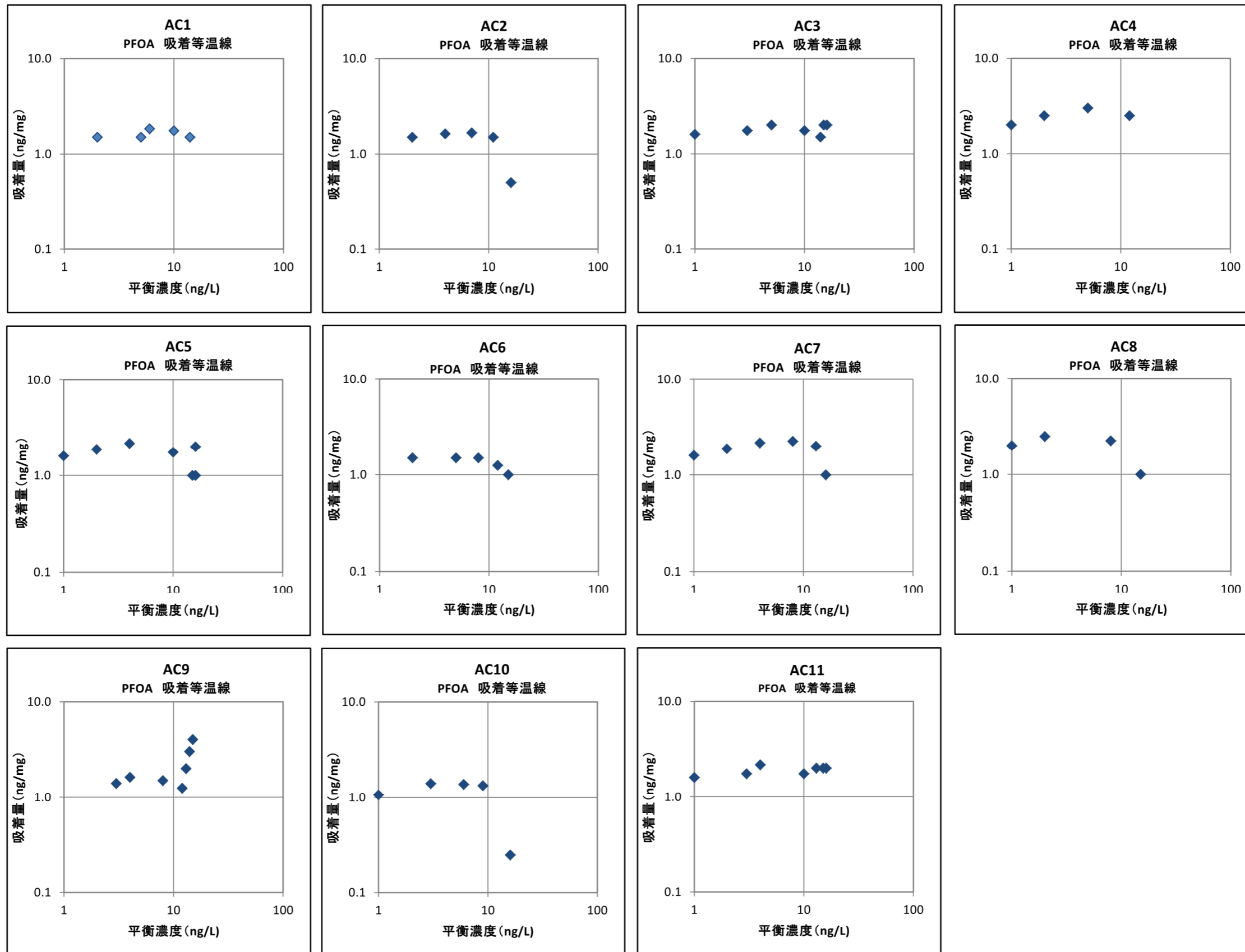


図 3-7 回分式吸着実験結果 (単体 : PFOA、24 時間実測値) (その 2)

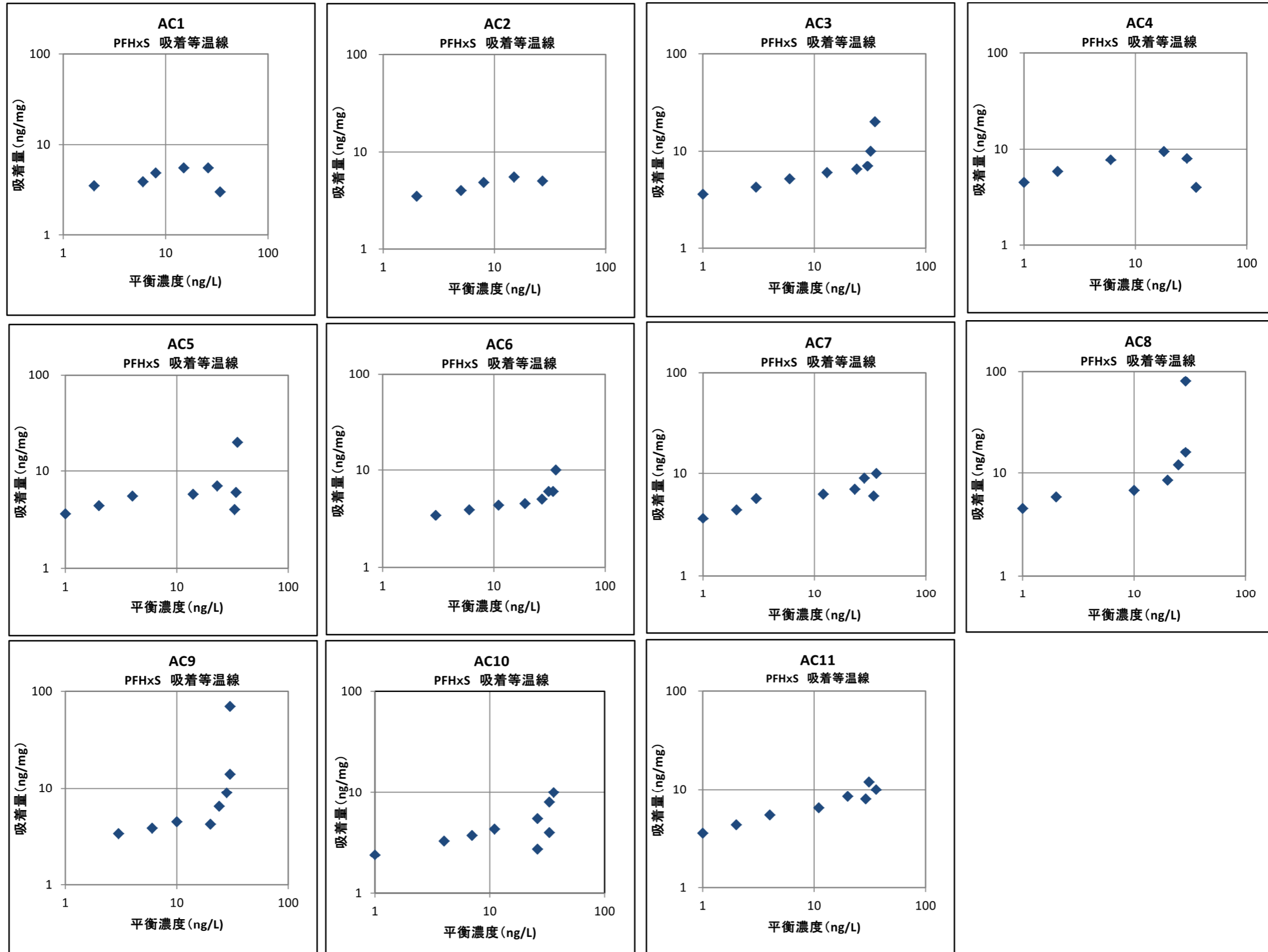


図 3-8 回分式吸着実験結果 (単体 : PFHxS、24 時間実測値) (その 3)

3-2. 回分式吸着実験における反応時間変化実験

回分式吸着実験における反応時間変化実験（以下、反応時間変化実験と称す。）は、下記を確認し RSSCT 結果や実施結果との関連を確かめた。

- AC 毎の反応速度の違い
- PFOS 等物質毎の反応速度の違い

1) 実験方法

活性炭 11 種類について、注入率を 1 条件として、最長 72 時間までの時間別の濃度変化を実験で求め、平衡状態への到達状態を確認した。

【実験条件】

平成25年～平成30年における、北谷浄水場原水の過去最大値（PFOS+PFOA合計）は112ng/Lであった。回分式吸着実験においては、活性炭吸着後の濃度が平衡濃度になるため、実験に用いる濃度は原水設定濃度より高くしておく必要がありPFOS+PFOA合計120ng/Lと設定した。また、原水中の含有比率はPFOSとPFOA及びPFHxSで、概ね5：1：3であることから、PFOS+PFOAが120ng/Lとなり、含有比率に合わせて次のとおりの濃度に調整した。（PFOS：100ng/L、PFOA：20ng/L、PFHxS：60ng/L）

初期PFOS等濃度	: 180ng/L程度
活性炭注入率	: 回分式吸着実験結果を踏まえ 3mg/L と 5mg/L の中間値として、4mg/L とした。
反応時間（4段階）	: 6、24、48、72 時間
対象原水	: 石川浄水場活性炭流入水
測定項目	: PFOS、PFOA、PFHxS、TOC (TOCは活性炭吸着における共存有機物による阻害、競合の影響を確認するため)
活性炭の調整方法	: 使用する活性炭は、粒状活性炭を0.075mm以下となるように粉碎して、湿式ふるい分けを行ったものを使用した。

表 3-7 反応時間変化実験

	活性炭注入率(mg/L)
反応時間(時間)	4.0
6	○
24	○
48	○
72	○

2) 実験結果

(1) 原水の PFOS 等及び TOC

反応時間変化実験における原水の PFOS 等及び TOC の分析結果は表 3-8 に示すとおりであり、PFOS : 100ng/L、PFOA : 17ng/L、PFHxS : 37ng/L であり、PFOS、PFOA は所定濃度であったが、PFHxS は低い値であった。TOC は 1.0mg/L で変化はみられなかった。

表 3-8 反応時間変化実験原水水質

	PFOS (ng/L)	PFOA (ng/L)	PFHxS (ng/L)	TOC (mg/L)
原水	100	17	37	1.0

(2) 反応時間変化結果

この実験では、活性炭注入率を 4mg/L とし、最長 72 時間まで反応させて、処理水の濃度変化を求めた。実験結果の処理水濃度と濃度変化、吸着量を表 3-9、10、図 3-9、10 に示し、これらの図表から読み取れる傾向を以下に示す。

- 全ての活性炭で、24 時間までに処理濃度は大きく減少していた。
- AC7、AC10 は 24 時間で吸着平衡に達したが、その他の活性炭については、概ね 72 時間で達していた。
- AC7、AC10 は PFOS、PFHxS でも概ね同傾向であるが、PFOA は 24 時間で全ての活性炭が平衡状態に達していた。

表 3-9 反応時間変化結果 処理水濃度、反応時間による変化量 (PFOS、PFOA、PFHxS、PFOS+PFOA 合計)

PFOS 原水濃度: 100ng/L (単位: ng/L)											
反応時間 (時間)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
6	33	33	24	12	40	34	29	23	40	41	39
24	15	15	13	6	37	19	8	10	38	10	8
48	8	11	6	4	6	10	8	5	16	10	4
72	5	5	2	2	2	6	7	2	10	8	3
24~72時間変化量	10	10	11	4	35	13	1	8	28	2	5
48~72時間変化量	3	6	4	2	4	4	1	3	6	2	1

PFOA 原水濃度: 17ng/L											
反応時間 (時間)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
6	15	17	14	13	11	15	11	9	12	13	12
24	13	15	10	10	10	12	7	8	12	8	10
48	12	14	12	7	8	12	7	4	9	8	8
72	12	12	10	5	6	11	7	3	8	8	7
24~72時間変化量	1	3	0	5	4	1	0	5	4	0	3
48~72時間変化量	0	2	2	2	2	1	0	1	1	0	1

PFHxS 原水濃度: 37ng/L											
反応時間 (時間)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
6	27	29	24	19	20	27	40	18	25	26	23
24	20	25	20	10	14	20	15	12	20	10	11
48	18	20	18	7	11	20	15	7	16	11	11
72	16	15	12	5	8	17	14	5	14	10	9
24~72時間変化量	4	10	8	5	6	3	1	7	6	0	2
48~72時間変化量	2	5	6	2	3	3	1	2	2	1	2

PFOS+PFOA 原水濃度: 117ng/L											
反応時間 (時間)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
6	48	50	38	25	51	49	40	32	52	54	51
24	28	30	23	16	47	31	15	18	50	18	18
48	20	25	18	11	14	22	15	9	25	18	12
72	17	17	12	7	8	17	14	5	18	16	10

表 3-10 反応時間変化結果 吸着量 (PFOS、PFOA、PFHxS、合計)

PFOS吸着量 (単位:ng/mg)

反応時間 (時間)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
6	16.8	16.8	19.0	22.0	15.0	16.5	17.8	19.3	15.0	14.8	15.3
24	21.3	21.3	21.8	23.5	15.8	20.3	23.0	22.5	15.5	22.5	23.0
48	23.0	22.3	23.5	24.0	23.5	22.5	23.0	23.8	21.0	22.5	24.0
72	23.8	23.8	24.5	24.5	24.5	23.5	23.3	24.5	22.5	23.0	24.3

PFOA吸着量

反応時間 (時間)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
6	0.5	0.0	0.8	1.0	1.5	0.5	1.5	2.0	1.3	1.0	1.3
24	1.0	0.5	1.8	1.8	1.8	1.3	2.5	2.3	1.3	2.3	1.8
48	1.3	0.8	1.0	2.5	2.3	1.3	2.5	3.3	2.0	2.3	2.3
72	1.3	1.3	1.8	3.0	2.8	1.5	2.5	3.5	2.3	2.3	2.5

PFHxS吸着量

反応時間 (時間)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
6	2.5	2.0	3.3	4.5	4.3	2.5	4.5	4.8	3.0	2.8	3.5
24	4.3	3.0	4.3	6.8	5.8	4.3	6.5	6.3	4.3	6.8	6.5
48	4.8	4.3	4.8	7.5	6.5	4.3	5.8	7.5	5.3	6.5	6.5
72	5.3	5.5	6.3	8.0	7.3	5.0	6.8	8.0	5.8	6.8	7.0

PFOS+PFOA吸着量

反応時間 (時間)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
6	17.3	16.8	19.8	23.0	16.5	17.0	19.3	21.3	16.3	15.8	16.6
24	22.3	21.8	23.6	25.3	17.6	21.6	25.5	24.8	16.8	24.8	24.8
48	24.3	23.1	24.5	26.5	25.8	23.8	25.5	27.1	23.0	24.8	26.3
72	25.1	25.1	26.3	27.5	27.3	25.0	25.8	28.0	24.8	25.3	26.8

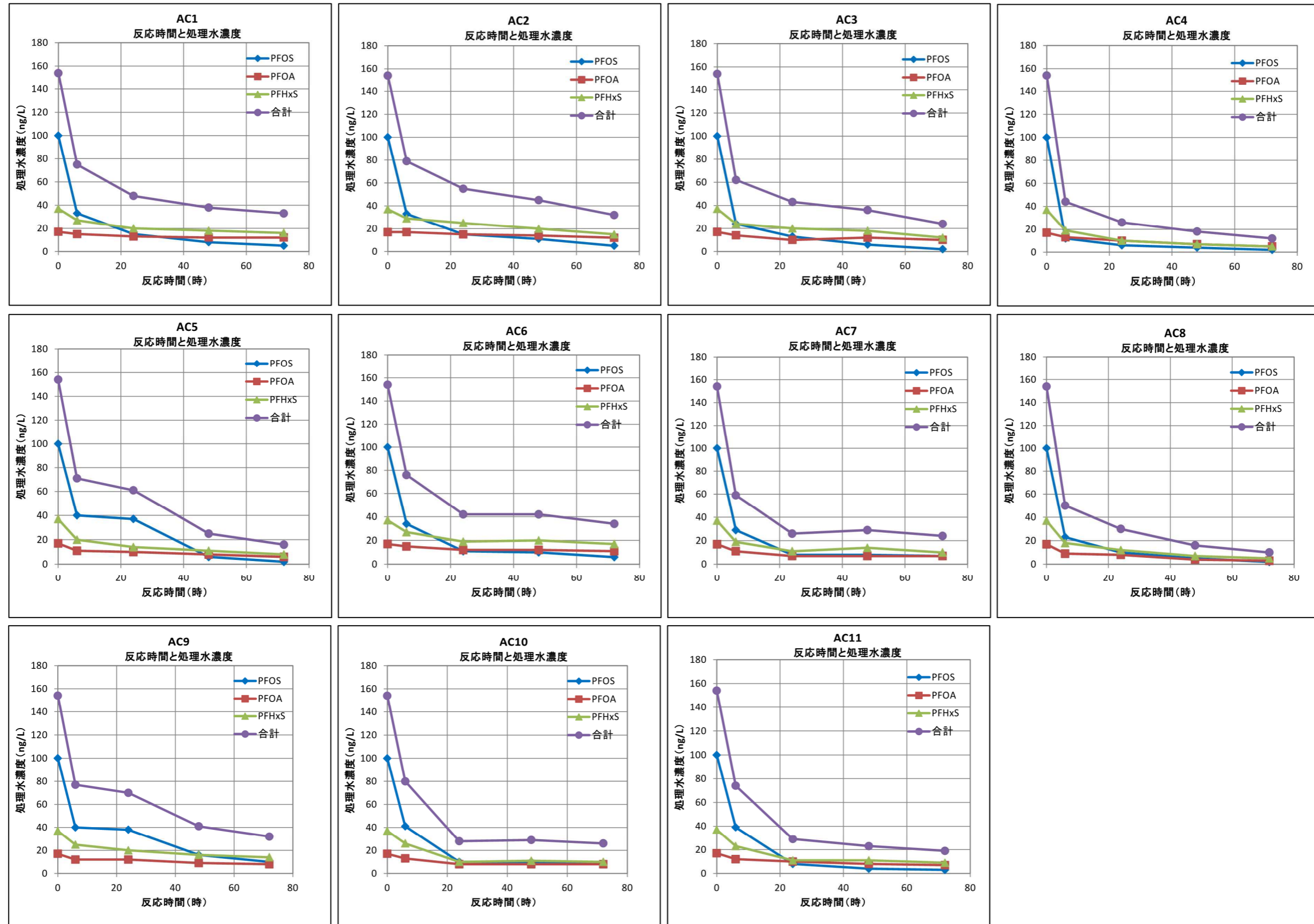


図 3-9 反応時間と処理水濃度の変化 (活性炭注入率: 4mg/L)

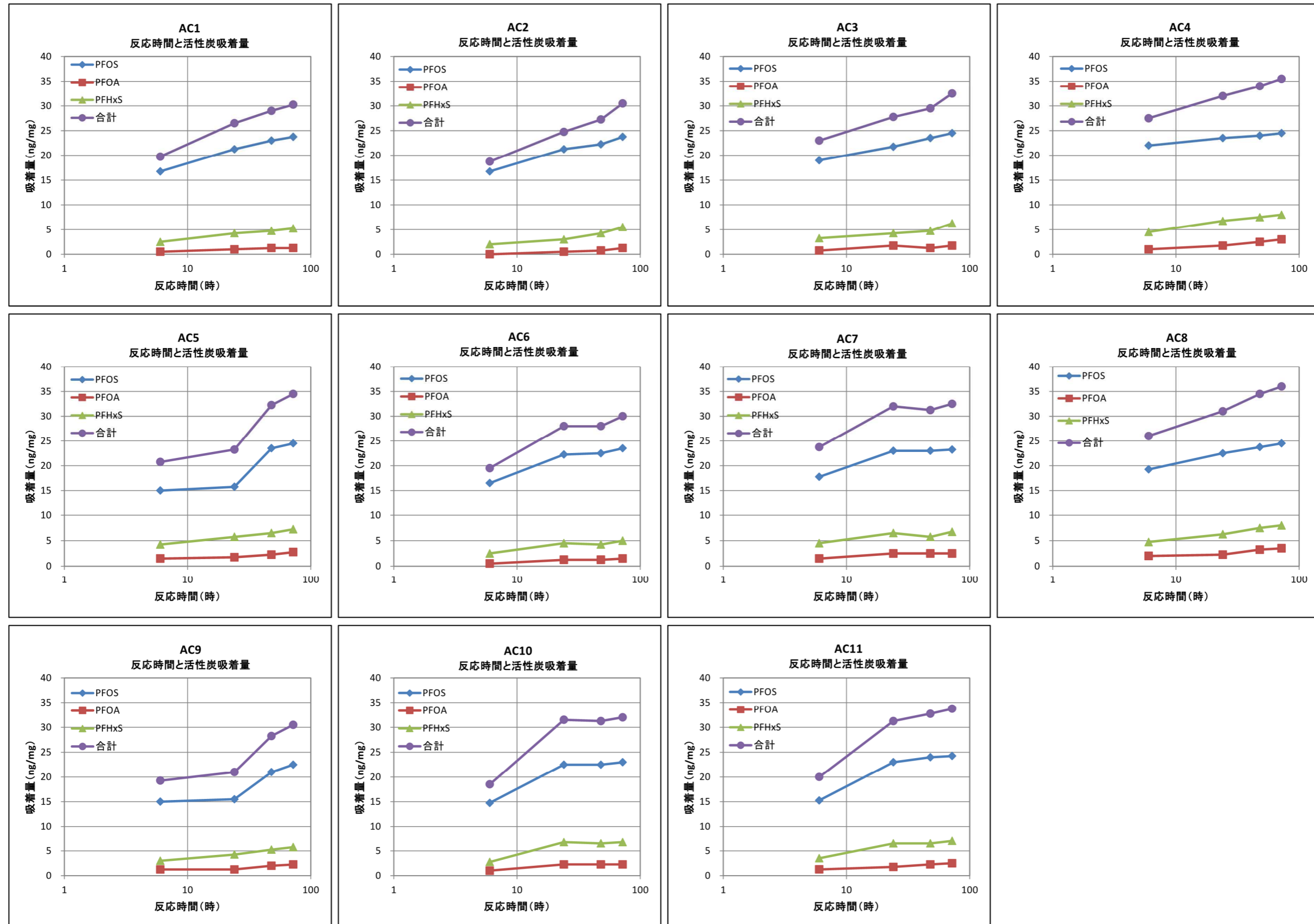


図 3-10 反応時間と吸着量の変化 (活性炭注入率 : 4mg/L)

3) 回分試験における反応速度について

(1) 検討の視点

図 3-11 に示す反応時間と処理水濃度の関係性については、すべての活性炭で共通する傾向があり、初期の急な減少期とその後の緩やかな減少期の 2 つの曲線形状が見られた。

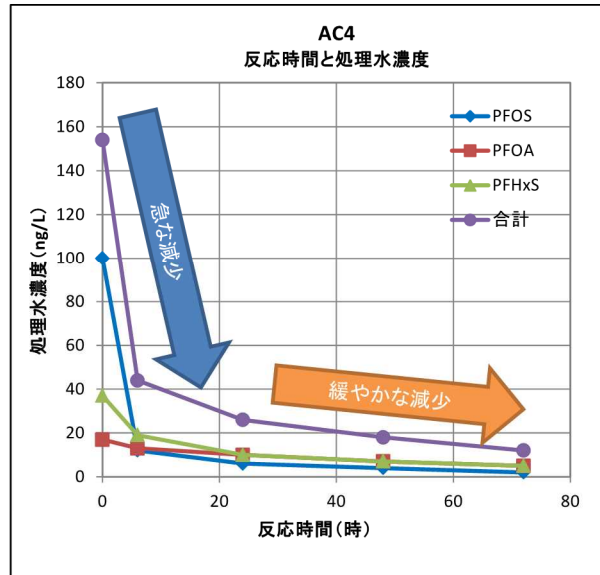


図 3-11 反応時間と処理水濃度の関係 (一例: AC4 について)

上記の傾向を踏まえ、各活性炭の特性を急な減少期における反応速度より把握するために、ここでは最も短い反応時間 (6 時間) の濃度変化状況から、次式により急な減少期の反応速度を求めて検討することとした。

【反応速度の計算方法】

6 時間反応速度 (ng/ (mg・hr))

$$= \{ \text{初期濃度 (ng/L)} - \text{6 時間後処理水濃度 (ng/L)} \} \div \text{活性炭注入量 (mg)} \\ \div \text{6 時間 (hr)}$$

なお、参考として計算した 24、72 時間の反応速度は、上記式の 6 時間後処理水濃度、6 時間をそれぞれ 24、72 時間処理水濃度、24、72 時間に置き換えて計算した。

【検討の視点】

- 活性炭の種類と反応速度の関係
- PFOS 等物質毎の反応速度の関係
- 反応速度と物性値の関係
- 反応速度と実施設での吸着特性の関係

(2) 反応速度の計算結果

前記の方法で計算した 6、24、72 時間の反応速度は表 3-11、図 3-12 に示すとおりである。

表 3-11 反応時間変化実験より求めた反応速度計算結果 (ng/(mg・hr))

反応時間	物質	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
6時間	PFOS	2.80	2.80	3.17	3.67	2.50	2.75	2.97	3.22	2.50	2.47	2.55
	PFOA	0.08	-	0.13	0.17	0.25	0.08	0.25	0.33	0.22	0.17	0.22
	PFHxS	0.42	0.33	0.54	0.75	0.71	0.42	0.75	0.79	0.50	0.46	0.58
	PFOS+PFOA	2.88	2.80	3.30	3.83	2.75	2.83	3.22	3.55	2.72	2.63	2.77
24時間	PFOS	0.89	0.89	0.91	0.98	0.66	0.85	0.96	0.94	0.65	0.94	0.96
	PFOA	0.04	0.02	0.08	0.08	0.08	0.05	0.10	0.10	0.05	0.10	0.08
	PFHxS	0.18	0.13	0.18	0.28	0.24	0.18	0.27	0.26	0.18	0.28	0.27
	PFOS+PFOA	0.93	0.91	0.98	1.05	0.73	0.90	1.06	1.03	0.70	1.03	1.03
72時間	PFOS	0.33	0.33	0.34	0.34	0.34	0.33	0.32	0.34	0.31	0.32	0.34
	PFOA	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03
	PFHxS	0.07	0.08	0.09	0.11	0.10	0.07	0.09	0.11	0.08	0.09	0.10
	PFOS+PFOA	0.35	0.35	0.37	0.38	0.38	0.35	0.36	0.39	0.34	0.35	0.37

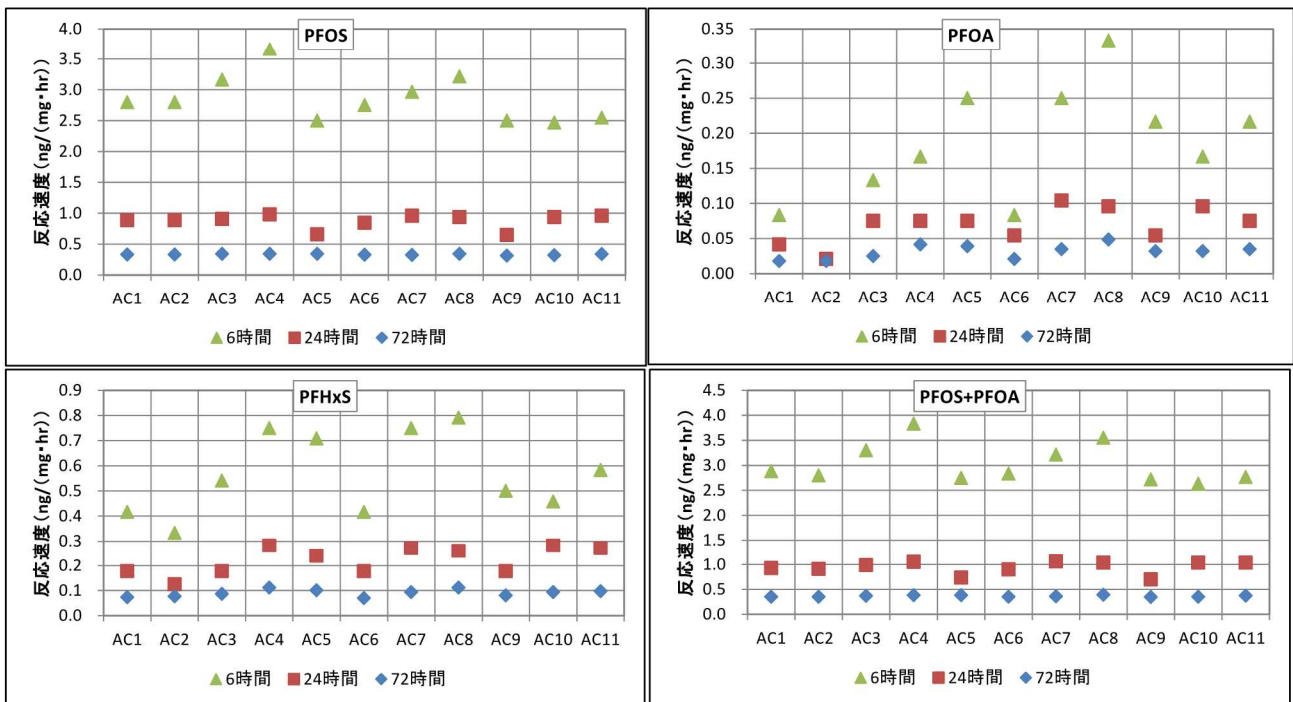


図 3-12 活性炭別の PFOS 等の反応速度 (計算結果)

(3) 反応速度の検討

PFOS 等物質毎の反応速度（6 時間）を集計し、平均値との比較を行うと表 3-12 に示すとおりである。

表 3-12 PFOS 等物質毎の反応速度、平均値、標準偏差 (ng/ (mg・hr)、6 時間データ)

物質	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11	平均値	標準偏差
PFOS	2.80	2.80	3.17	3.67	2.50	2.75	2.97	3.22	2.50	2.47	2.55	2.85	0.38
				最大						最小		—	—
PFOA	0.08	0.00	0.13	0.17	0.25	0.08	0.25	0.33	0.22	0.17	0.22	0.17	0.09
		最小						最大				—	—
PFHxS	0.42	0.33	0.54	0.75	0.71	0.42	0.75	0.79	0.50	0.46	0.58	0.57	0.16
		最小						最大				—	—
PFOS+PFOA	2.88	2.80	3.30	3.83	2.75	2.83	3.22	3.55	2.72	2.63	2.77	3.03	0.39
				最大						最小		—	—

【活性炭の種類と反応速度の関係】

<PFOS>

- PFOS に関する反応速度は、AC10 の 2.47 から AC4 の 3.67ng/ (mg・hr) の範囲で分布し、平均 2.85ng/ (mg・hr) であった。
- 標準偏差 (σ) は 0.38ng/ (mg・hr) であるため上記の分布範囲は平均値 - σ ~ 平均値 + 3 σ ng/ (mg・hr) に相当する。
- AC4 の 3.67ng/ (mg・hr) と AC10 の 2.47ng/ (mg・hr) という差のある結果が統計的に有意であるかについては、今回の実験に供した活性炭 (AC1~AC11) 毎に複数 (10~20 点) のデータを採取し、解析で判断することが望ましい。

<PFOA>

- PFOA に関する反応速度は AC2 の 0.00 から AC8 の 0.33ng/ (mg・hr) の範囲で分布し、平均 0.17ng/ (mg・hr) であった。
- 標準偏差 (σ) は 0.09ng/ (mg・hr) であるため上記の分布範囲は平均値 - 2 σ ~ 平均値 + 2 σ ng/ (mg・hr) に相当する。
- AC8 の 0.33ng/ (mg・hr) と AC2 の 0.00ng/ (mg・hr) という差のある結果が統計的に有意であるかについては、今回の実験に供した活性炭 (AC1~AC11) 毎に複数 (10~20 点) のデータを採取し、統計解析で判断することが望ましい。

<PFHxS>

- PFHxS に関する反応速度は AC10 の 0.33 から AC4 の 0.79ng/ (mg・hr) の範囲で分布し、平均 0.57 ng/ (mg・hr) であった。
- 標準偏差 (σ) は 0.39ng/ (mg・hr) であるため上記の分布範囲は平均値 \pm 2 σ ng/ (mg・hr) に相当する。
- AC8 の 0.79ng/ (mg・hr) と AC2 の 0.33ng/ (mg・hr) という差のある結果が統計的に有意あるかについては、今回の実験に供した活性炭 (AC1~AC11) 毎に複数 (10~20 点) のデータを採取し、統計解析で判断することが望ましい。

<PFOS+PFOA>

- PFOS+PFOA に関する反応速度は AC10 の 2.63 から AC4 の 3.83ng/ (mg・hr) の範囲で分布し、平均 3.03ng/ (mg・hr) であった。
- 標準偏差は 0.39ng/ (mg・hr) であるため上記の分布範囲は平均値 - 2σ ~ 平均値 + 3σ に相当する。
- AC4 の 3.83ng/ (mg・hr) と AC10 の 2.63ng/ (mg・hr) という差のある結果が統計的に有意であるかについては、今回の実験に供した活性炭 (AC1~AC11) 毎に複数 (10~20 点) のデータを採取し、統計解析で判断することが望ましい。

【PFOS 等物質と反応速度の関係】

表 3-12 の集計における PFOS 等物質毎の平均値で検討した。

PFOS	: 2.85 ng/ (mg・hr)
PFOA	: 0.19 ng/ (mg・hr)
PFHxS	: 0.57 ng/ (mg・hr)
PFOS+PFOA	: 3.03 ng/ (mg・hr)

上記のように PFOS 等物質毎に反応速度をみると、PFOS について比較的速い速度がみられた。PFOA については、初期設定濃度が 20ng/L と低い濃度であったため、反応速度も遅い結果となったものと考えられる。

PFOS 初期濃度	: 100ng/L
PFOA 初期濃度	: 20ng/L
PFHxS 初期濃度	: 60ng/L

図 3-13 は表 3-12 で計算した AC1~AC11 の反応速度を用いて、横軸に PFOS 反応速度、縦軸に PFOA、PFHxS 反応速度をプロットしたものである。図の左側の破線は PFOS 反応速度と PFOA、PFHxS 反応速度の関係の目安として PFOS 反応速度の 30% の位置を示したものである。今回の反応速度は、全てこの破線の右側にあるため、PFOS 反応速度 > PFOA 反応速度、PFOS 反応速度 > PFHxS 反応速度の関係になっていることが確認できる。

次に、PFOS 反応速度に対する PFOA 反応速度、PFHxS 反応速度の分布領域は、図中破線 (青 : PFOA、緑 : PFHxS) に示す通りで、集塊状のプロットを示しており、PFOS 反応速度に伴って、PFOA 反応速度、PFHxS 反応速度が速くなる直線的傾向はみられない。

一方、PFOA 反応速度、PFHxS 反応速度の分布の上部には、PFOS 反応速度が最も速かった AC4 と同等以上の速度を示す活性炭がみられた。図中の着色領域 (青色 : PFOA 反応速度が同等以上、緑色 : PFHxS 反応速度が同等以上) が、これに該当する。

【AC4の反応速度と同等以上の反応速度を示したもの】

- PFOA 反応速度では、AC4 : 0.17ng/(mg・hr)に対して、AC8 が約 1.9 倍、AC7、AC5 が約 1.5 倍、AC9、AC11 が約 1.3 倍であった。
- PFHxS 反応速度では、AC4 : 0.75 ng/(mg・hr)に対して、AC8 が約 1.1 倍、AC7、AC5 が約 1.0 倍であった。

このように、反応速度の速い遅いには一貫した傾向（PFOS が早ければ、PFOA、PFHxS も速い）はみられず、被吸着物質毎に異なっていた。

この結果より反応速度は、PFOS、PFOA、PFHxS を吸着する細孔の領域の違いや、被吸着物質の構造（炭素鎖の長さ等）、物性（疎水性等）により影響を受けることが推察される。

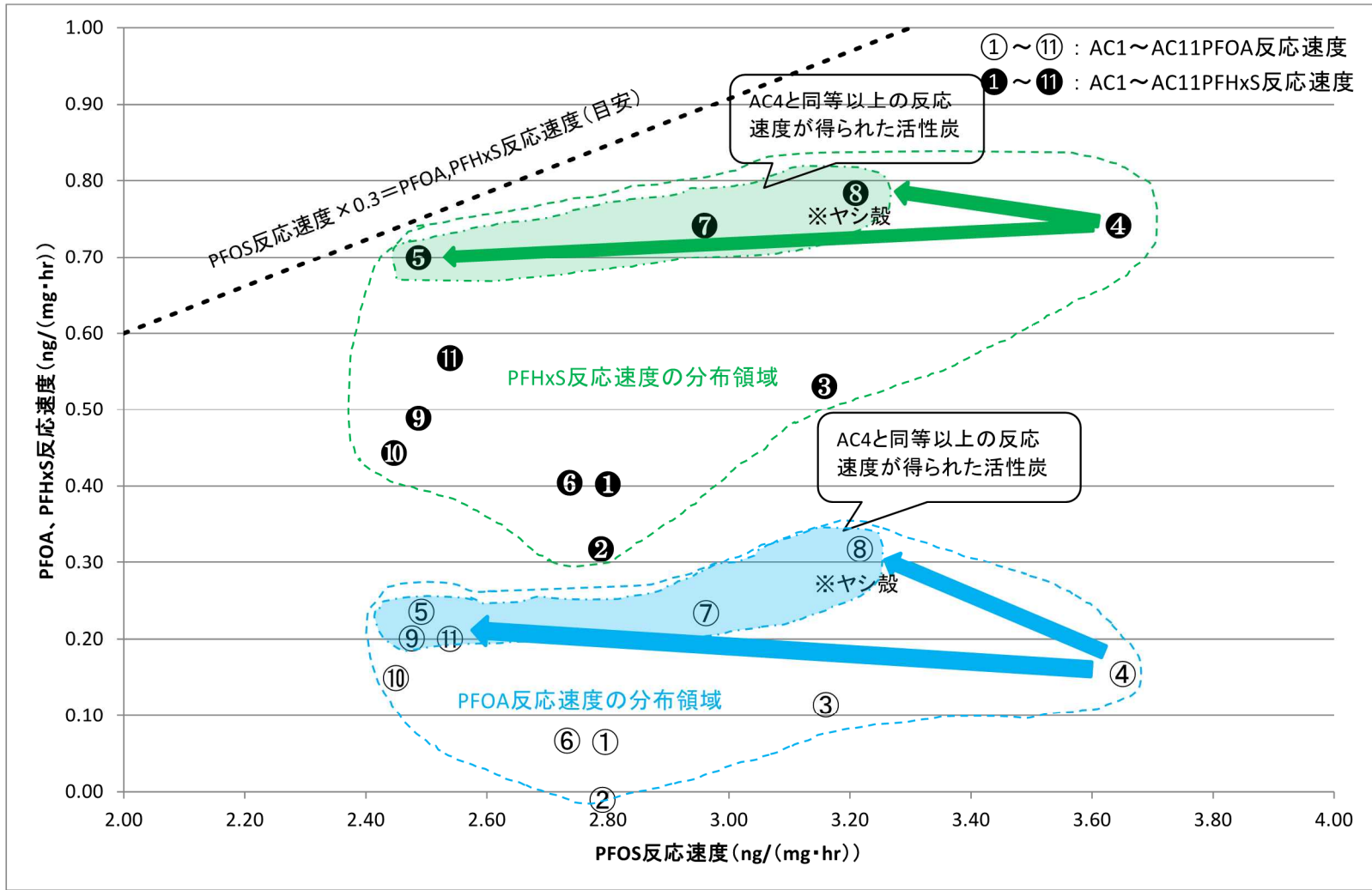


図 3-13 PFOS 反応速度と PFOA、PFHxS 反応速度

【反応速度と物性値の関係】

物性値と反応速度の関係性に関する全般的な状況は図 3-14 に示すとおりで、明確な傾向はみられない。

ここでは、反応速度と物性値の関係について大略的傾向を見出すため、PFOS に関する反応速度の上位 2 種、下位 2 種を抽出し、それぞれの物性値の範囲を集計した。整理結果は表 3-13 に示すとおりである。

表 3-13 の結果より、大略的には反応速度が速い炭種は、遅い炭種に比べて次の物性値が高く、性能が良好である結果であった。

- ヨウ素吸着量
- 細孔容積（ミクロ孔+メソ孔）
- 細孔容積（ミクロ孔）
- ABS 価 ※物性値が低い方が性能の良い

一方、フェノール価については逆の傾向で反応速度が高い炭種は性能が悪いことを示していた。

反応速度と物性値の関係については、大略的であるが一部の物性値について、ある程度の傾向がみられた。

表 3-13 反応速度と物性値の関係の大略（PFOS）

物性項目 (単位)	物性値	性能	反応速度の上位2種 AC4、AC8	反応速度の下位2種 AC9、AC10
ヨウ素吸着量 (mg/g)	高い	良い	1,050~1,470	920~990
	低い	悪い	1260	955
メチレンブルー 脱色力 (mL/g)	高い	良い	210~300	200~220
	低い	悪い	255	210
ABS価 (-)	高い	悪い	28~29	35~36
	低い	良い	29	36
フェノール価 (-)	高い	悪い	16~17	12
	低い	良い	17	12
細孔容積 (ミクロ孔+メソ孔) (mL/g)	—		0.681~0.733	0.494~0.554
			0.707	0.674
細孔容積(ミクロ孔) (mL/g)	—		0.522~0.582	0.399~0.410
			0.552	0.405
細孔容積(メソ孔) (mL/g)	—		0.099~0.211	0.095~0.144
			0.155	0.120

上段:範囲

下段:平均値

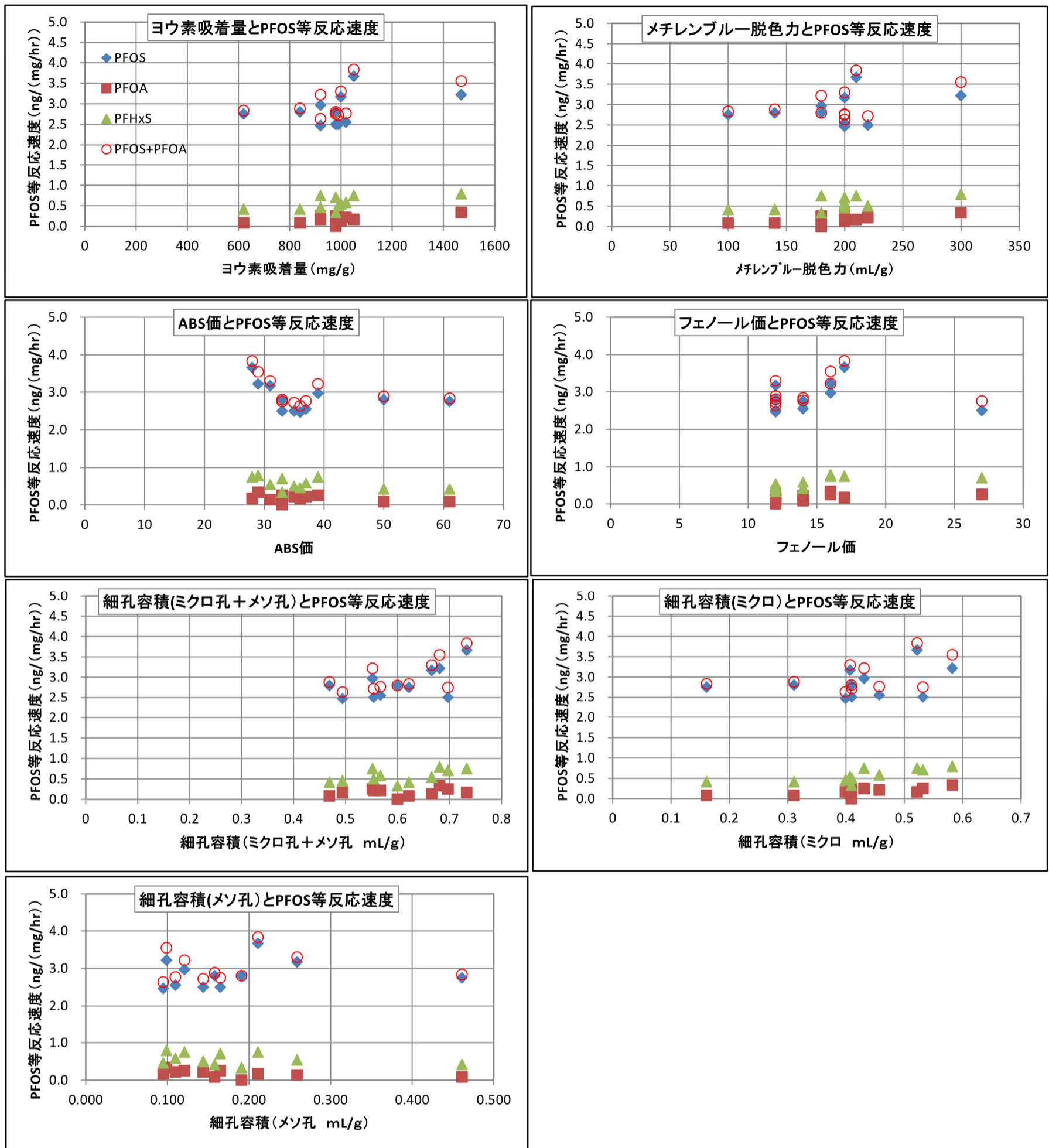


図 3-14 物性値と 6 時間反応速度の関係 (PFOS、PFOA、PFHxS、PFOS+PFOA)

3-3. 吸着定数の算出

吸着定数の算出方法は第3章の冒頭に示した手法で行った。

反応時間変化実験結果から、反応時間 24 時間と 72 時間で比べると平衡状態は以下のとおりであった。

【24 時間】

- 平衡状態に到達したと判断した活性炭 : AC7、AC10
- 平衡状態に到達しなかった活性炭 : 上記以外の活性炭 9 種

【72 時間】

- 平衡状態に到達したと判断した活性炭 : 11 種全て
- 平衡状態に到達しなかった活性炭 : なし

吸着定数を求める場合、反応時間 24 時間では平衡状態に到達していない活性炭が多数あることから過小評価となる。

そこで、回分式吸着実験結果で得られた実測値を基に、反応時間変化実験結果を用いて 72 時間換算値とし、吸着等温線を作成した。

1) 吸着量の 72 時間値への換算

- ① 24 時間と 72 時間の平衡濃度の換算係数を求めた。
換算係数 = 72 時間濃度 ÷ 24 時間濃度
- ② 全ての活性炭において換算係数を求めると表 3-14 に示すとおりである。
- ③ 24 時間で吸着平衡に到達したと判断した活性炭は、72 時間後においても処理水濃度変化がみられない。そのため換算係数は 1 付近となり 72 時間に換算しても平衡濃度が大きく変化しないことから、全ての活性炭について 72 時間への換算を行った。
- ④ 得られた換算係数で 24 時間実測値 (表 3-6 参照) を 72 時間換算値に換算すると表 3-15 に示すとおりである。

表 3-14 平衡濃度 24・72 時実測値と 72 時間換算値への換算係数

AC No.	時間	実測値(ng/L)			換算係数		
		PFOS	PFOA	PFHxS	PFOS	PFOA	PFHxS
AC1	24	15	13	20	0.33	0.92	0.80
	72	5	12	16			
AC2	24	15	15	25	0.33	0.80	0.60
	72	5	12	15			
AC3	24	13	10	20	0.15	1.00	0.60
	72	2	10	12			
AC4	24	6	10	10	0.33	0.50	0.50
	72	2	5	5			
AC5	24	37	10	14	0.05	0.60	0.57
	72	2	6	8			
AC6	24	11	12	19	0.55	0.92	0.89
	72	6	11	17			
AC7	24	8	7	11	0.88	1.00	0.91
	72	7	7	10			
AC8	24	10	8	12	0.20	0.38	0.42
	72	2	3	5			
AC9	24	38	12	20	0.26	0.67	0.70
	72	10	8	14			
AC10	24	10	8	10	0.80	1.00	1.00
	72	8	8	10			
AC11	24	8	10	11	0.38	0.70	0.82
	72	3	7	9			

2) 吸着量の算出

吸着量は、Freundlich の式で求めることができる。Freundlich の式は以下のとおり。

$$q = \frac{(C_0 - C)}{C_{PAC}}$$

ここに、 C_0 : 初期濃度 (原水濃度 3 回測定平均値)
 C : 平衡濃度 (処理水濃度)
 C_{PAC} : 活性炭注入率

上記式に 72 時間換算値を当てはめて、吸着量を求めると、表 3-16 に示すとおりである。

表 3-16 で得られた 72 時間換算値平衡濃度及び 72 時間換算値吸着量の関係を作図すると図 3-15~17 に示すとおりである。

表 3-16 72 時間換算値平衡濃度及び 72 時間換算値吸着量

分析項目		72時間換算値平衡濃度(ng/L)				72時間換算値吸着量(ng/mg)			
AC No.	注入率 (mg/L)	PFOS	PFOA	PFHxS	合計	PFOS	PFOA	PFHxS	合計
原水※	0	100	17	37	154				
AC1	0.1	19	17	30	65	810	4	74	888
	0.5	18	19	32	69	164	-5	10	169
	1.0	14	17	27	57	86	0	10	97
	2.0	9	13	21	43	46	2	8	56
	4.0	4	9	12	25	24	2	6	32
	6.0	1.3	6	6	13.3	16	2	5	23
	8.0	1.3	5	5	10.7	12	2	4	18
	10.0	0.3	2	2	3.8	10	2	4	15
	15.0								
AC2	0.1	21	16	24	61	790	10	130	930
	0.5	17	16	23	56	167	2	27	196
	1.0	16	17	24	56	84	0	13	98
	2.0	7	13	16	36	47	2	10	59
	4.0	3	9	9	20	24	2	7	33
	6.0	1.0	6	5	11.4	17	2	5	24
	8.0	0.7	3	3	6.9	12	2	4	18
	10.0	0.3	2	1.2	3.1	10	2	4	15
	15.0								
AC3	0.1	10	18	21	49	897	-10	160	1,047
	0.5	10	16	19	46	179	2	36	217
	1.0	7	15	18	40	93	2	19	114
	2.0	5	14	14	33	48	2	11	60
	4.0	2	10	8	19	25	2	7	34
	6.0	0.3	5	4	8.9	17	2	6	24
	8.0	0.2	3	2	5.0	12	2	4	19
	10.0	0.2	1.0	0.6	1.8	10	2	4	15
	15.0								
AC4	0.1	20	12	24	55	797	55	135	987
	0.5	14	10	18	41	171	15	39	225
	1.0	11	9	15	34	89	9	23	120
	2.0	4	6	9	19	48	6	14	68
	4.0	1.0	3	3	6.5	25	4	9	37
	6.0	0.3	1.0	1.0	2.3	17	3	6	25
	8.0	0.3	0.5	0.5	1.3	12	2	5	19
	10.0	0.3	0.5	0.5	1.3	10	2	4	15
	15.0								
AC5	0.1	4	10	20	34	962	68	170	1,200
	0.5	4	10	19	33	193	15	35	243
	1.0	3	10	19	32	97	7	18	122
	2.0	2	9	13	24	49	4	12	65
	4.0	2	6	8	16	25	3	7	35
	6.0	0.1	2	2	4.8	17	2	6	25
	8.0	0.1	1.2	1.1	2.4	12	2	4	19
	10.0	0.1	0.6	0.6	1.2	10	2	4	15
	15.0								
AC6	0.1	28	17	32	77	722	-4	48	766
	0.5	23	17	30	70	153	1	13	167
	1.0	26	16	28	69	74	1	9	85
	2.0	19	14	24	56	41	2	6	49
	4.0	6	11	17	34	24	2	5	30
	6.0	3	7	10	20	16	2	5	22
	8.0	2	5	5	12	12	2	4	18
	10.0	0.5	2	3	5.1	10	2	3	15
	15.0								

分析項目		72時間換算値平衡濃度(ng/L)				72時間換算値吸着量(ng/mg)			
AC No.	注入率 (mg/L)	PFOS	PFOA	PFHxS	合計	PFOS	PFOA	PFHxS	合計
原水※	0	100	17	37	154				
AC7	0.1	57	18	33	108	431	-10	43	464
	0.5	54	17	31	102	92	0	12	104
	1.0	42	16	25	83	58	1	12	71
	2.0	27	13	21	61	36	2	8	46
	4.0	9	8	11	28	23	2	7	32
	6.0	2	4	3	8	16	2	6	24
	8.0	0.9	2	2	4.7	12	2	4	19
	10.0	0.9	1.0	0.9	2.8	10	2	4	15
	15.0								
AC8	0.1	11	8	12	30	892	95	249	1,236
	0.5	10	7	12	29	179	21	50	250
	1.0	9	6	10	26	91	11	27	128
	2.0	6	6	8	20	47	6	14	67
	4.0	2	3	4	9	25	4	8	36
	6.0	0.2	0.8	0.8	1.8	17	3	6	25
	8.0	0.2	0.4	0.4	1.0	12	2	5	19
	10.0	0.2	0.4	0.4	1.0	10	2	4	15
	15.0								
AC9	0.1	21	11	21	53	795	57	160	1,011
	0.5	20	10	21	51	160	14	32	206
	1.0	17	9	20	46	83	8	17	108
	2.0	14	9	17	39	43	4	10	57
	4.0	10	8	14	32	23	2	6	31
	6.0	3	5	7	15	16	2	5	23
	8.0	0.8	3	4	7.7	12	2	4	18
	10.0	0.3	2	2	4.4	10	2	3	15
	15.0								
AC10	0.1	61	20	36	117	392	-30	10	372
	0.5	42	19	33	94	117	-4	8	121
	1.0	34	18	33	85	66	-1	4	69
	2.0	32	17	26	75	34	0.0	6	40
	4.0	22	10	20	52	20	0.3	3	23
	6.0	6	9	11	26	16	1.3	4	21
	8.0	2	6	7	15	12	1.4	4	17
	10.0	2	3	4	9	10	1.4	3	15
	15.0								
AC11	0.1	26	12	29	67	741	51	75	868
	0.5	23	11	25	59	154	12	23	189
	1.0	19	11	24	53	81	7	13	101
	2.0	10	9	16	35	45	4	10	59
	4.0	3	7	9	19	24	3	7	34
	6.0	0.8	3	3	6.8	17	2	6	25
	8.0	0.4	2	2	4.1	12	2	4	19
	10.0	0.4	0.7	0.8	1.9	10	2	4	15
	15.0								

吸着等温線選択範囲

※原水濃度：3回の平均値

赤字は吸着量マイナス値

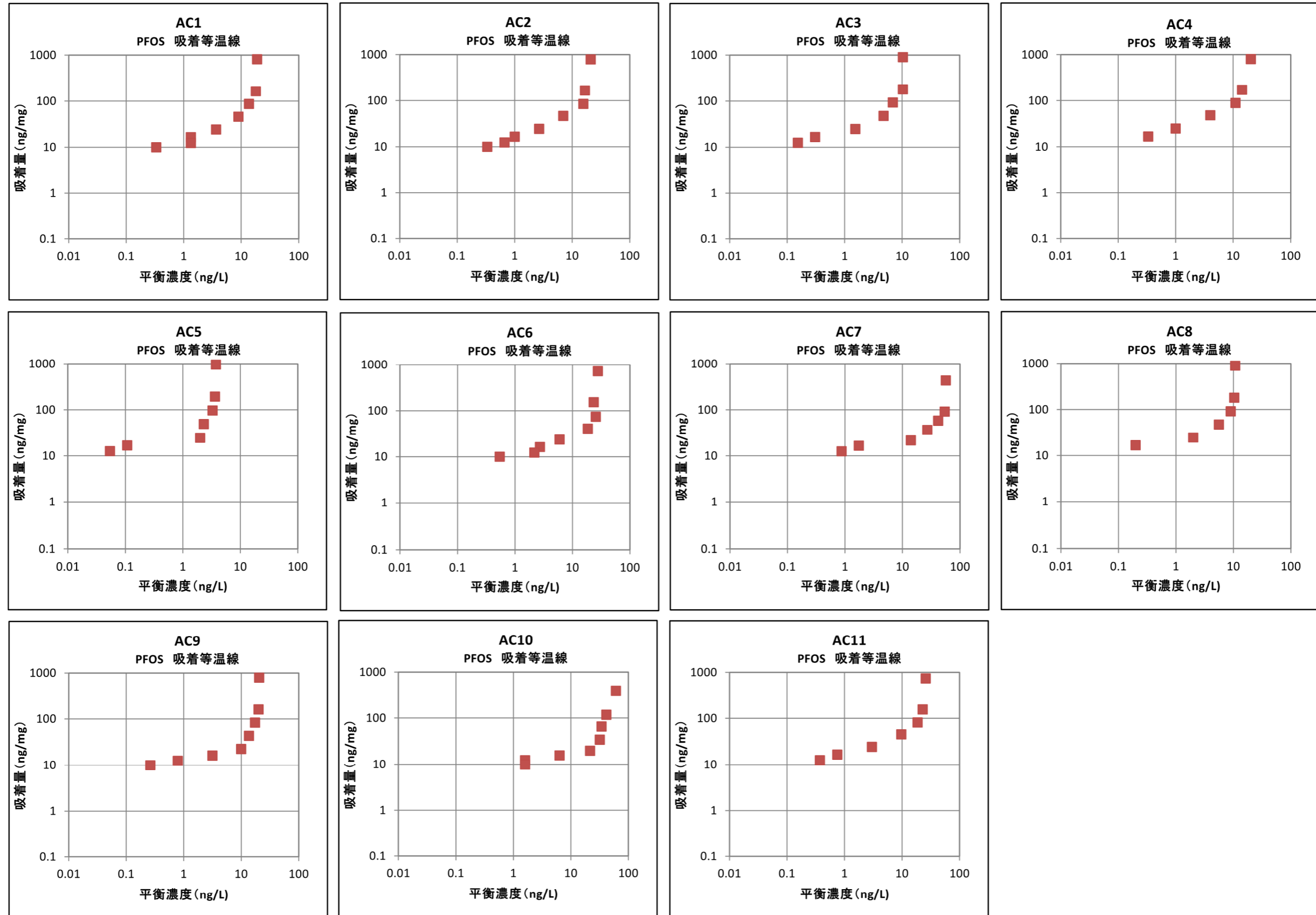


図 3-15 回分式吸着実験結果 (PFOS : 72 時間換算値) (その 1)

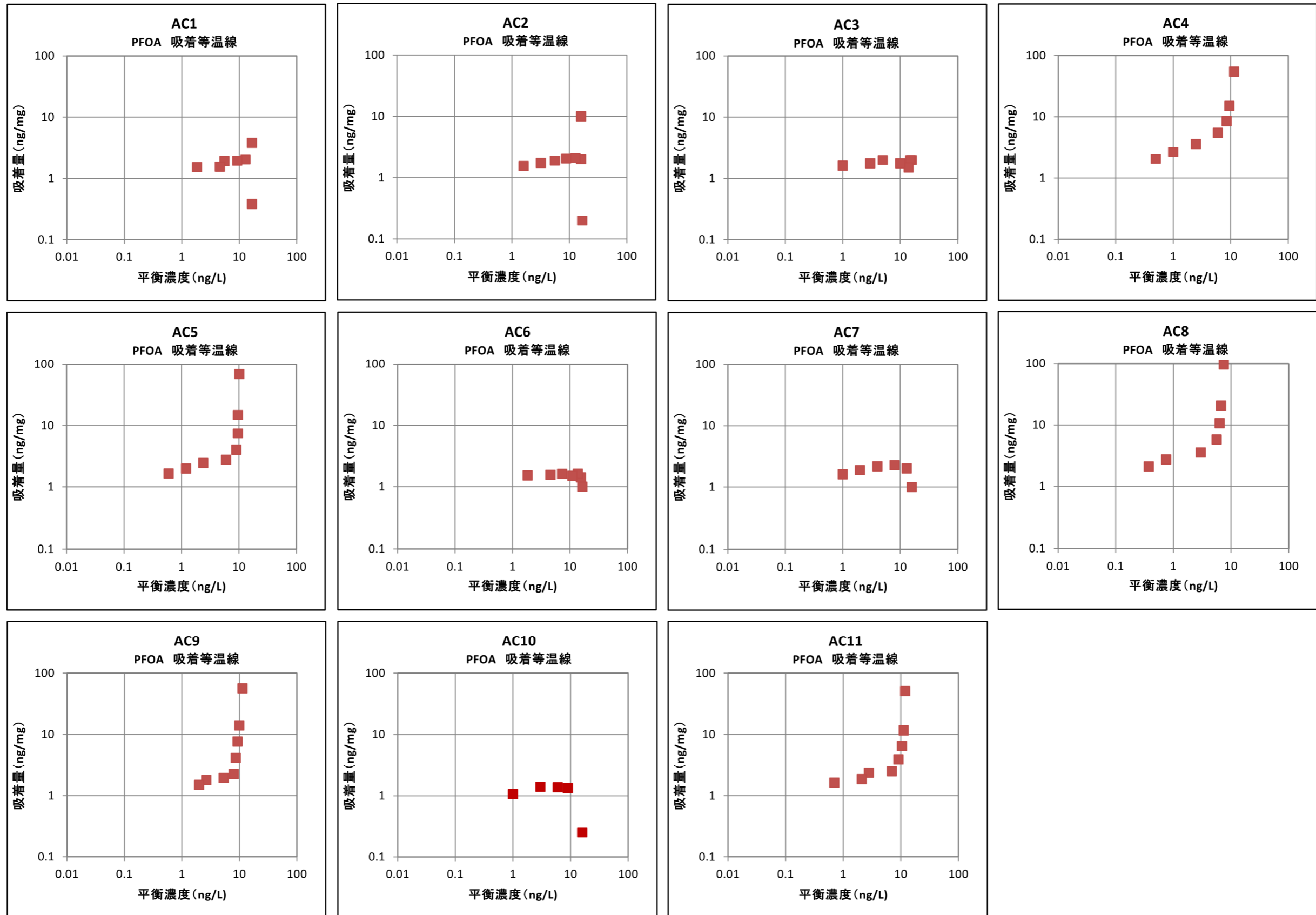


図 3-16 回分式吸着実験結果 (PFOA : 72 時間換算値) (その 2)

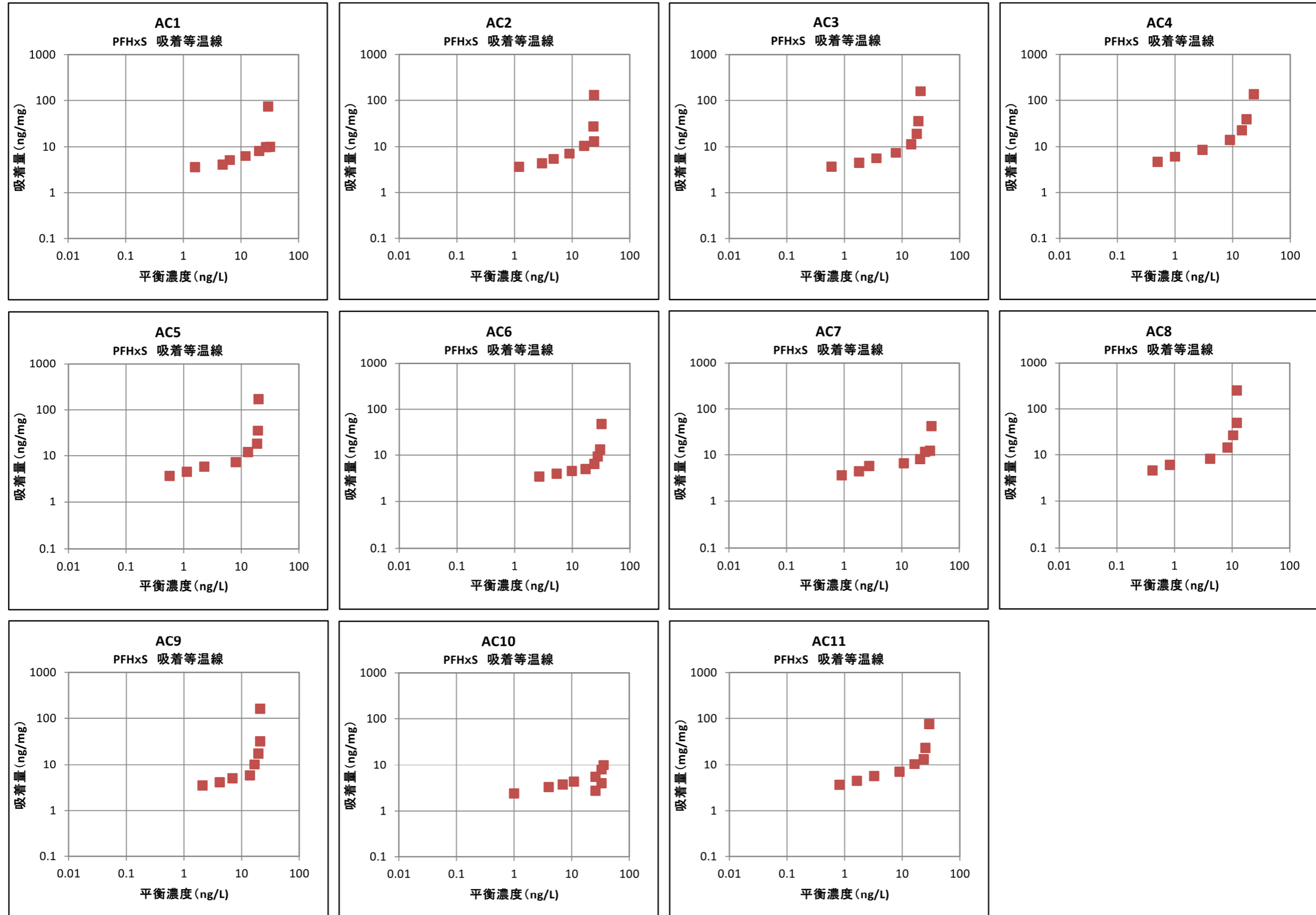


図 3-17 回分式吸着実験結果 (PFHxS : 72 時間換算値) (その 3)

3) 吸着定数の算出

Freundlich の式から吸着定数 K 、 $1/n$ を求めることができる。

$$q = \frac{(C_0 - C)}{C_{PAC}}$$

$$q = KC^{1/n}$$

ここに、 C_0 : 初期濃度 (原水濃度 3 回測定平均値)
 C : 平衡濃度 (処理水濃度)
 C_{PAC} : 活性炭注入率
 K 、 $1/n$: 吸着定数

両辺の対数を取ると以下の数式のような直線近似式が得られる。

$$\log q = \log K + (1/n) \log C$$

$1/n$ は活性炭と吸着質の親和性を、 K は活性炭への吸着容量を示している。その直線の傾きから $1/n$ 、 $C=1$ の時の吸着量から K が求められる。

- K が大きくかつ、 $1/n$ が大きい場合は低濃度の吸着性能が高く、濃度が高くなると吸着量の増加が大きい活性炭となる。
- K が大きくかつ、 $1/n$ が小さい場合は低濃度の吸着性能が高く、濃度が高くなっても吸着量の増加が少ない活性炭となる。
- K が小さくかつ、 $1/n$ が大きい場合は低濃度の吸着性能が低く、濃度が高くなると吸着量の増加が大きい活性炭となる。
- K が小さくかつ、 $1/n$ が小さい場合は低濃度の吸着性能が低く、濃度が高くなっても吸着量の増加が少ない活性炭となる。

72 時間換算値を用いて、各活性炭全てのデータで近似解析を行うと、指数近似の相関となり、直線近似が得られない (図 3-15~17 参照)。

そこで、平衡吸着濃度より低濃度 5 点について近似解析を行うと、図 3-18~20 に示すとおり、決定係数も高い直線近似相関が得られた。

低濃度 5 点の選定は、24 時間実測値で平衡濃度が 1 未満~1ng/L が連続した場合には、最初の平衡濃度 1ng/L の吸着量のみを採用した (表 3-16 参照 色付け)。

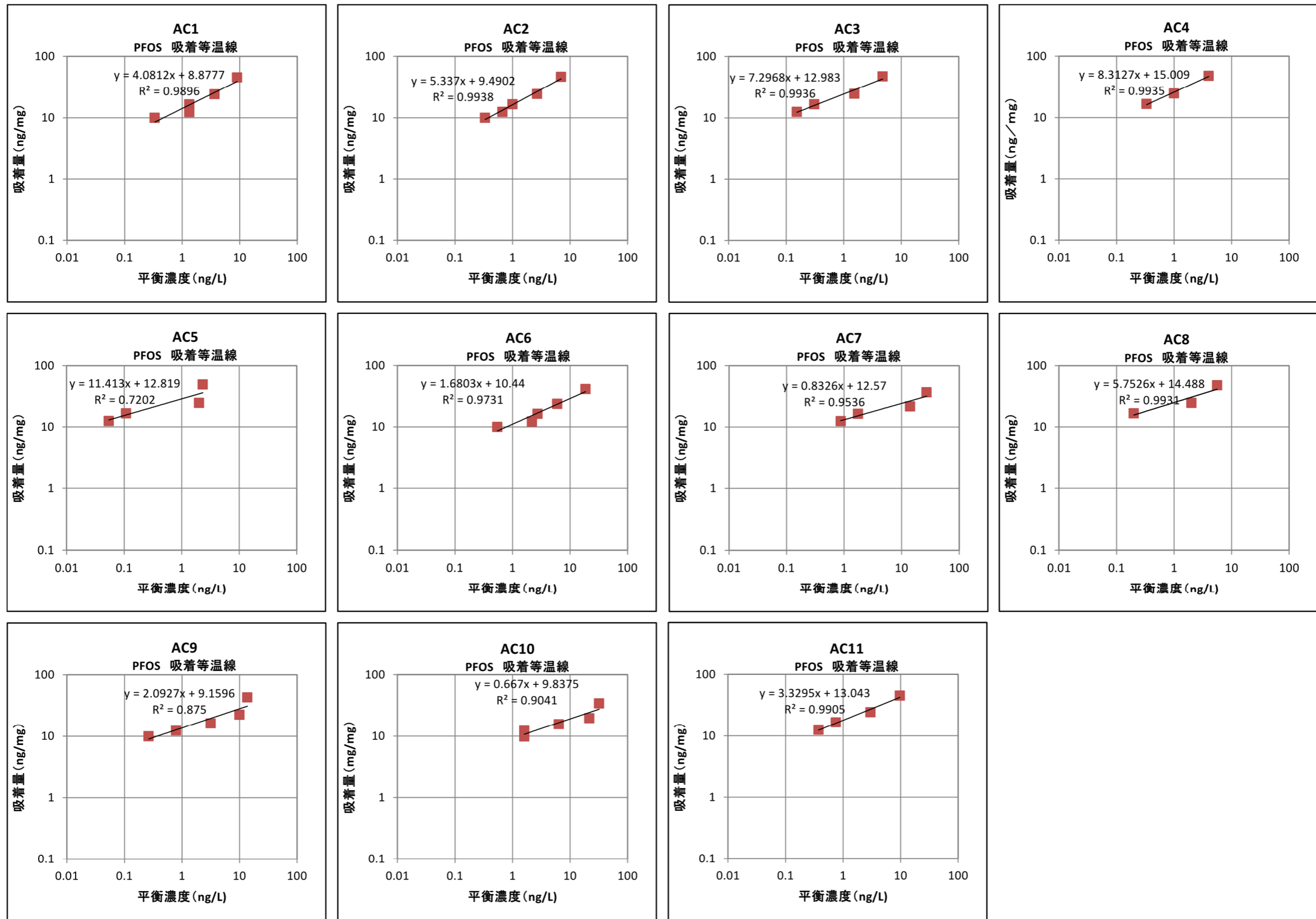


図 3-18 72 時間換算値吸着等温線 (PFOS) (その 1)

※Microsoft Excel 使用

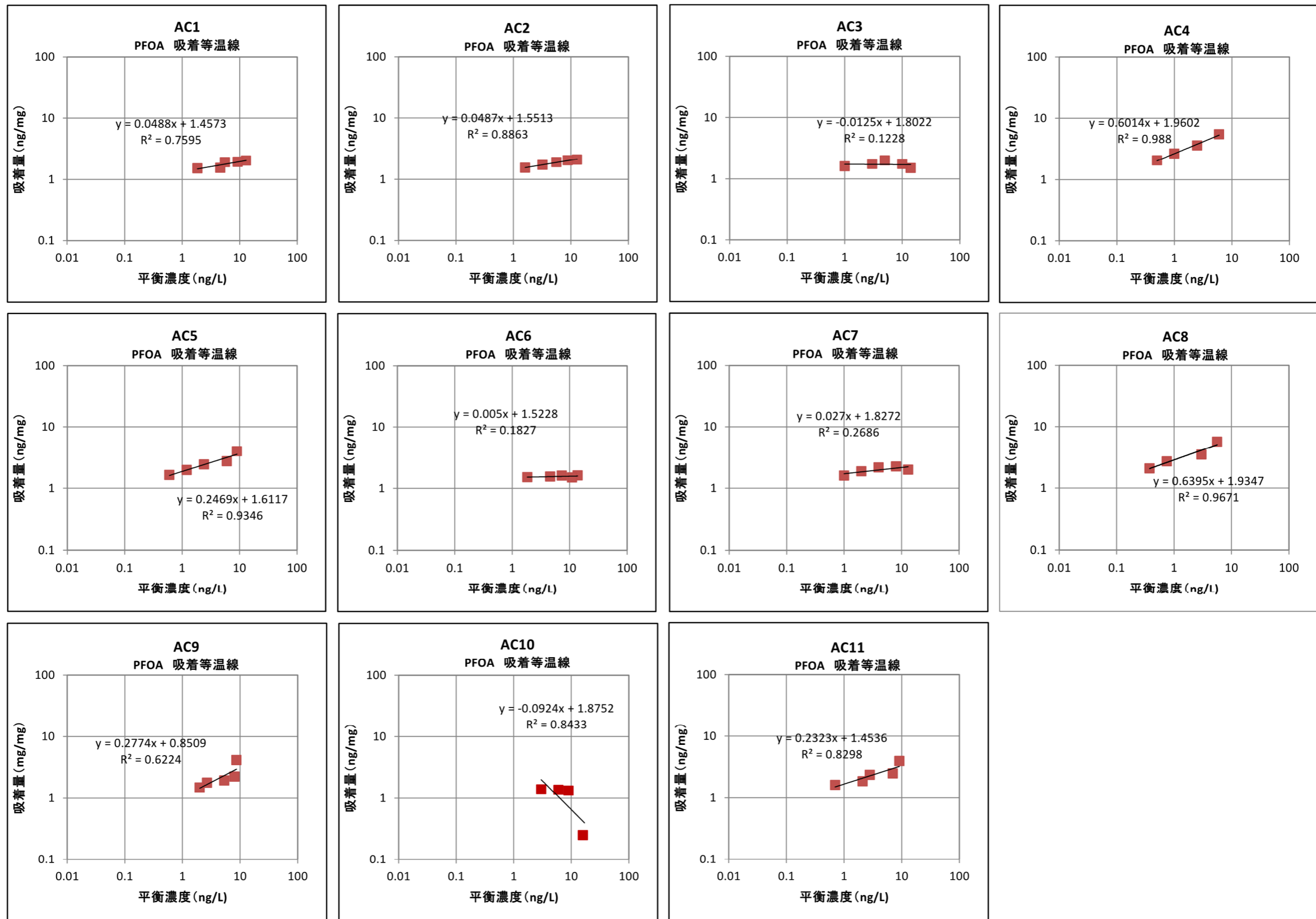


図 3-19 72 時間換算値吸着等温線 (PFOA) (その 2)

※Microsoft Excel を使用

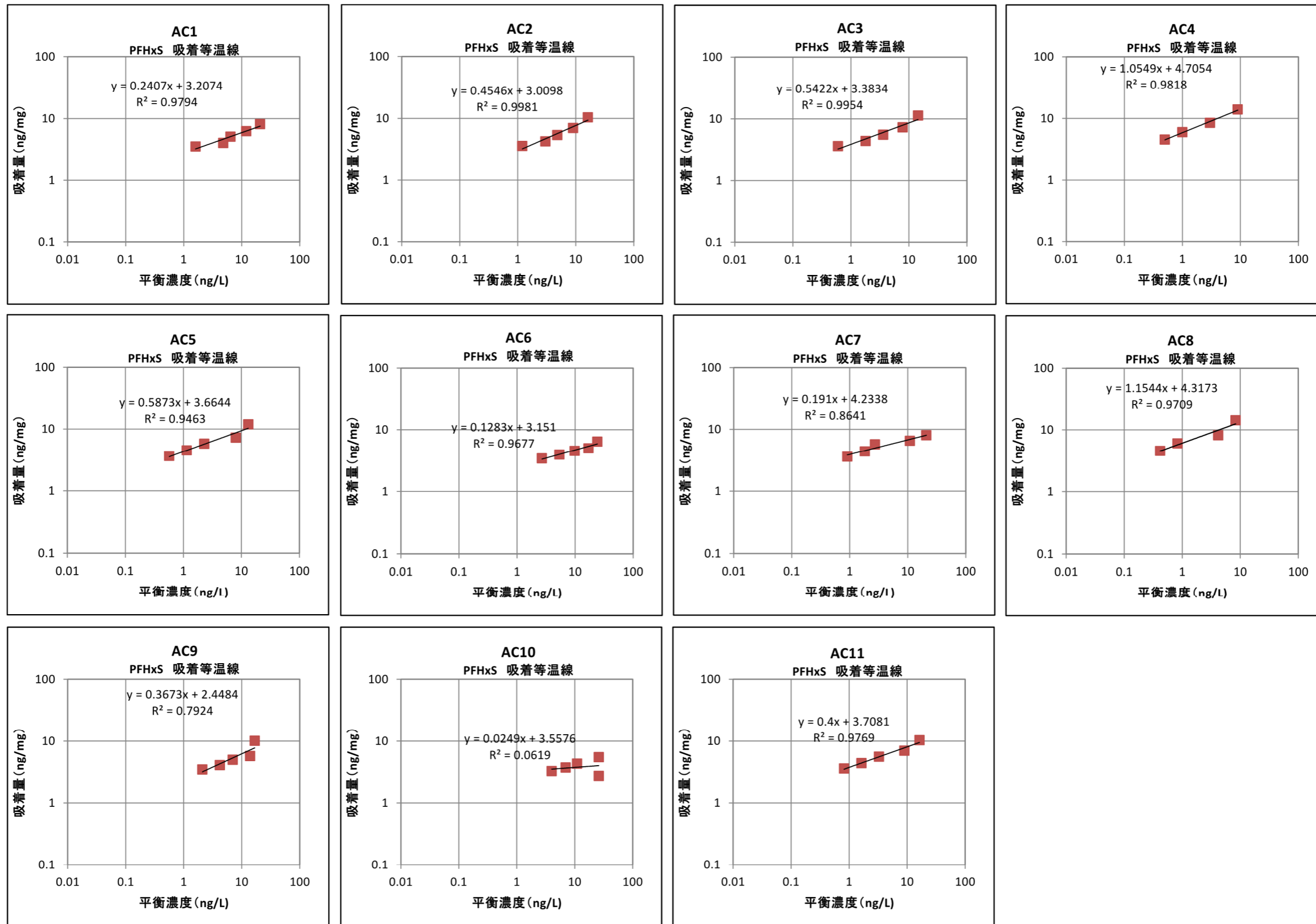


図 3-20 72 時間換算値吸着等温線 (PFHxS) (その 3)

※Microsoft Excel を使用

4) 吸着定数のまとめ

図 3-18~20 で得られた近似式より K 、 $1/n$ を求めると、表 3-17 に示すとおりであった。

表 3-17 72 時間換算値吸着定数 K、1/n

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 (—)	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

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 (—)	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

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 (—)	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

5) 活性炭物性項目の関連性及び吸着定数 (K、1/n) との関連性

参考文献 (

) で、PFOS 等の除去性に関連すると言われている細孔容積 (マイクロ孔+メソ孔) を含め、亜炭を除く石炭系 9 種類の活性炭の物性項目の関連性を把握するため散布図を作図し図 3-21 に、表 3-18 に決定係数 (R^2) 及び相関の傾向を示した。

(1) 物性項目の関連性

物性項目の関連の相関をまとめると以下のとおりとなる。

- ヨウ素吸着性能とメチレンブルー脱色力は強い正の相関が明確である。
- ヨウ素吸着性能と ABS 価、メチレンブルー脱色力と ABS 価は強い負の相関が認められる。
- ヨウ素吸着性能とマイクロ孔+メソ孔や、メソ孔は強い正の相関がある。
- ABS 価とマイクロ孔+メソ孔、マイクロ孔は強い負の相関がある。
- フェノール価とマイクロ孔は正の相関がある。
- マイクロ孔+メソ孔とマイクロ孔は強い正の相関がある。
- その他、ヨウ素吸着性能とフェノール価やメチレンブルー脱色力とフェノール価、ABS 価とフェノール価の間では相関が弱い。

表 3-18 物性項目間の相関

項目	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
ヨウ素吸着性能	0.65	正	0.77	負	0.05	正	0.60	正	0.56	正	0.14	正
メチレンブルー脱色力			0.67	負	0.03	正	0.27	正	0.42	正	0	なし
ABS価					0.07	負	0.66	負	0.54	負	0.21	負
フェノール価							0.34	正	0.58	正	0	なし
マイクロ+メソ孔									0.67	正	0.45	正
マイクロ孔											0.02	正

黄色背景: 決定係数 (R^2) 0.5以上

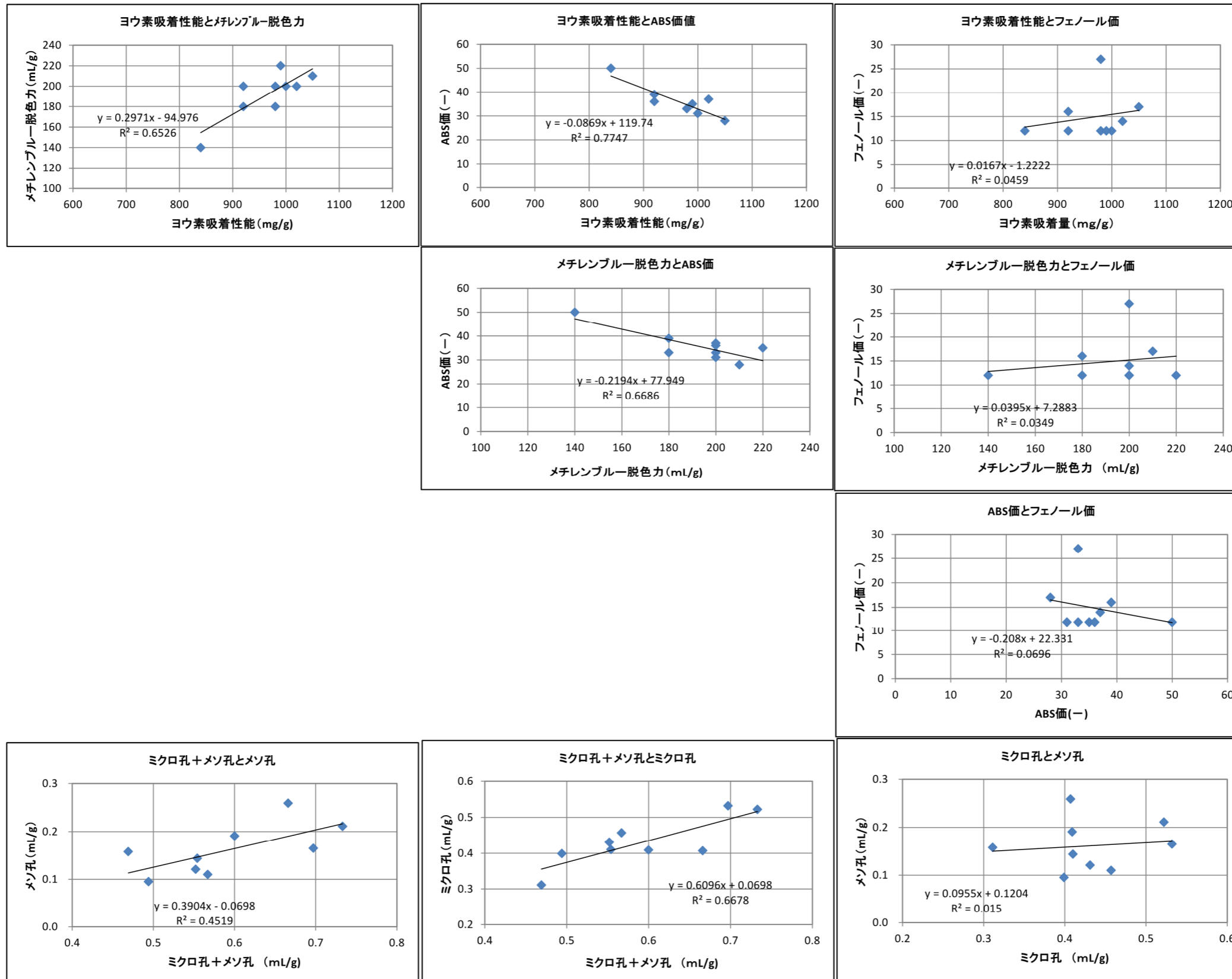


図 3-21 物性項目間の相関

※Microsoft Excel を使用

(2) 細孔容積と他の物性値の関連性

参考文献（活性炭性能評価法 安部邦夫、炭素 TANSO 2002 No.204 200-208）によると、フェノール価は孔径の小さなマイクロ孔領域の評価に用いられ、ABS 価はメソ孔領域と関連があると考えられ、メチレンブルー脱色力は、細孔径の小さい活性炭で低くなる傾向があり、ヨウ素吸着性能は比表面積の値に近似しているとされている。

細孔容積（マイクロ孔+メソ孔、マイクロ孔、メソ孔）それぞれと他の物性値の関連性を図 3-22 に示し、傾向を以下に記す。

a. 細孔容積（マイクロ孔+メソ孔）

- 決定係数（ R^2 ）は小さいがヨウ素吸着性能、メチレンブルー脱色力、ABS 価ではやや右上がりの傾向がみられていた。
- フェノール価では右下がりの傾向がみられていた。

b. 細孔容積（マイクロ孔）

- ヨウ素吸着性能、メチレンブルー脱色力、ABS 価において、右上がりの相関が高い傾向がみられていた。
- フェノール価は右下がりの傾向がみられていた。

c. 細孔容積（メソ孔）

- 決定係数（ R^2 ）は小さいがヨウ素吸着性能、メチレンブルー脱色力、ABS 価ではやや右下がりの傾向がみられていた。
- フェノール価では関連性がみられなかった。

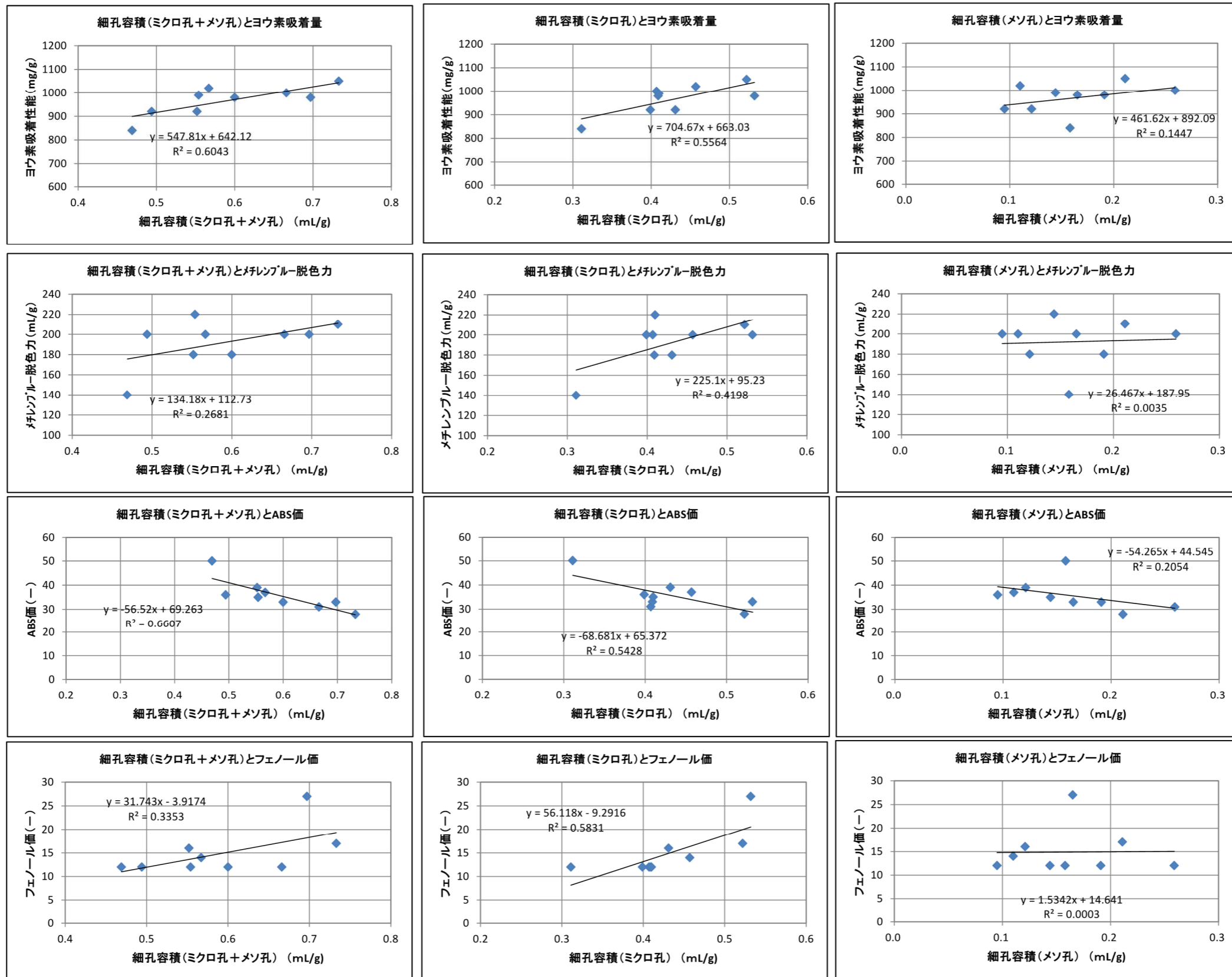


図 3-22 細孔容積と他の物性値の関連性

※Microsoft Excel を使用

(3) 吸着定数と物性値の関連性

72 時間換算値を用いて得られた定数 K 、定数 $1/n$ と物性値の関連性について散布図を作図して図 3-23、24 に、決定係数 (R^2) 及び相関傾向を表 3-19 に示した。

表 3-19 回分式吸着実験結果（吸着定数）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	K	0.41	正	0.16	正	0.32	負	0.25	正	0.59	正	0.60	正	0.11	正
	1/n	0.19	正	0.02	正	0.21	負	0.47	正	0.69	正	0.34	正	0.45	正
PFOA	K	0.00	なし	0.01	負	0.07	負	0.04	正	0.11	正	0.08	正	0.04	正
	1/n	0.42	正	0.20	正	0.19	負	0.16	正	0.39	正	0.45	正	0.05	正

決定係数 (R^2) 0.5以上

回分式吸着実験で得られた K 値や $1/n$ 値と物性値の相関を以下に示す。

- K 値についてみると、PFOS についてはマイクロ孔+メソ孔やマイクロ孔との強い正の相関がみられている。
- PFOA について K 値を見るといずれの物性値も相関がみられない。PFOA は原水濃度が低かったため、明確な結果が得られなかった可能性がある。
- $1/n$ 値について見ると、PFOS ではマイクロ孔+メソ孔との強い正の相関がみられた。
- PFOA の $1/n$ 値はいずれの項目とも相関が低い結果となっている。 K 値と同じく、原水濃度が低かったために明確な結果が得られなかった可能性がある。

(4) 物性値の関連性のまとめ

決定係数 (R^2) の大小はあるが、物性値の関連性をまとめると以下のとおりである。

- 細孔容積（マイクロ孔）と他の物性値の関連性をまとめると、ヨウ素吸着性能、メチレンブルー脱色力、ABS 価では正の相関傾向がみられ、比較的決定係数 (R^2) が高かった。
- 定数 K 及び定数 $1/n$ と他の物性値の関連性としては、ヨウ素吸着性能、メチレンブルー脱色力、ABS 価、細孔容積（マイクロ孔+メソ孔）、細孔容積（マイクロ孔）は正の相関傾向がみられていたのに対して、ABS 価は負の相関、細孔容積（マイクロ孔）は決定係数 (R^2) が低かった。

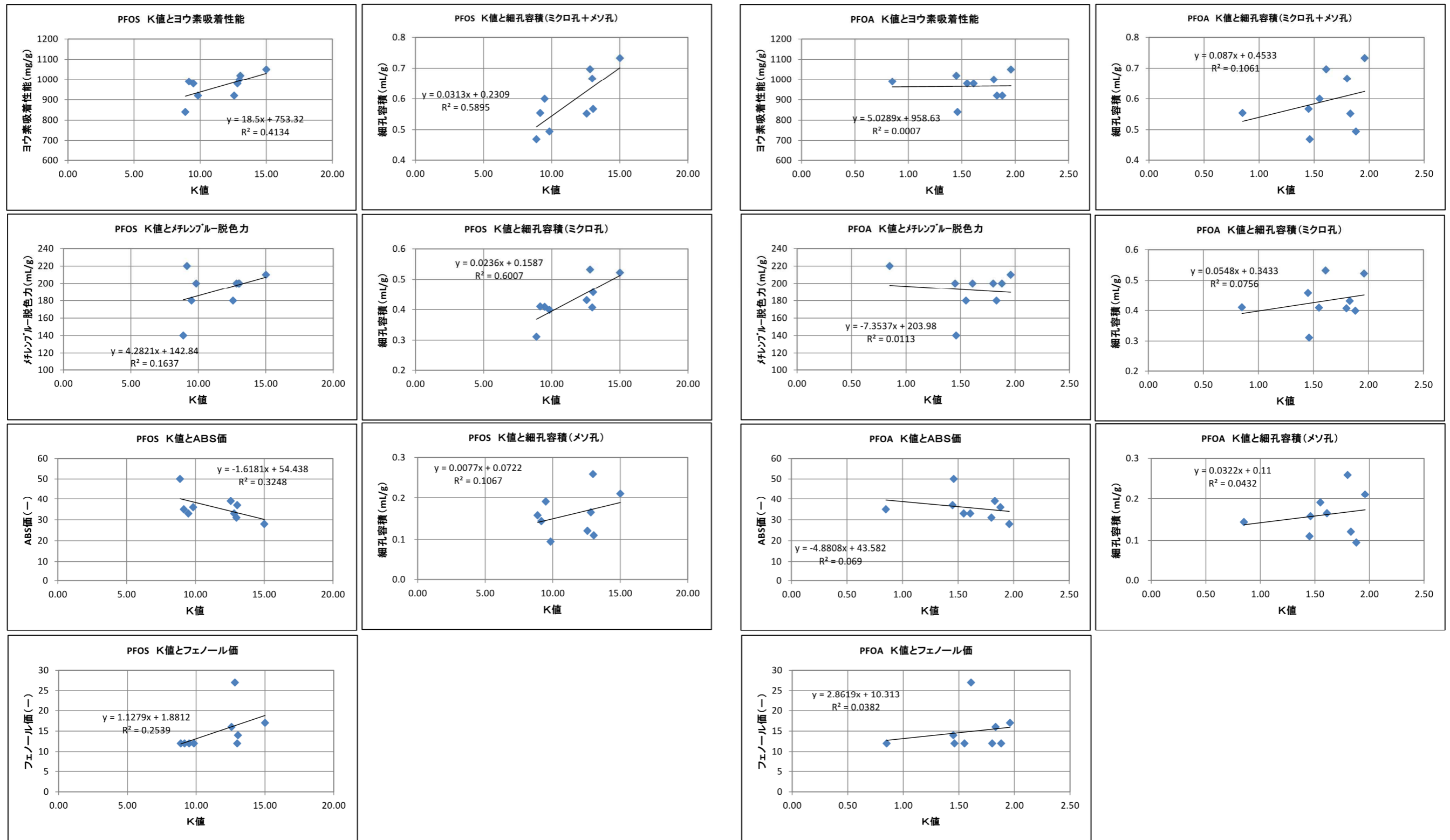


図 3-23 定数 K と他の物性値の関連性 (PFOS、PFOA : 72 時間換算値)

※Microsoft Excel を使用

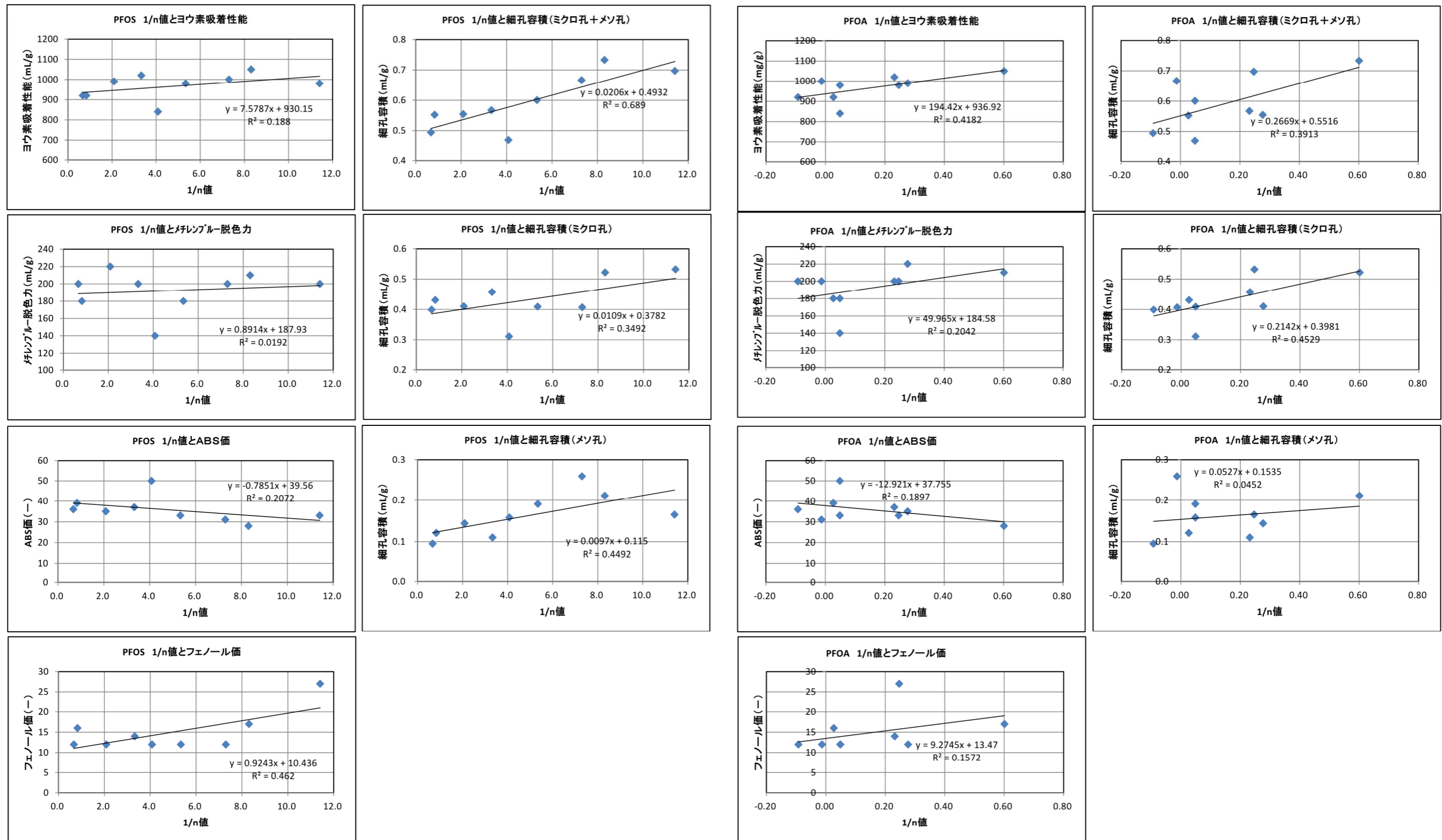


図 3-24 定数 1/n と他の物性値の関連性 (PFOS、PFOA : 72 時間換算値)

※Microsoft Excel を使用

3-4. 反応速度と K 値、1/n 値の関係

回分試験結果を Freundlich の式に適用して求めた K 値、1/n 値と反応速度を被吸着物質毎にまとめると表 3-20 のとおりである。被吸着物質の初期濃度は次のように異なるため、各指標の絶対値を異なる被吸着物質の間で比較する意味はない。このため、被吸着物質毎に反応速度と K 値、1/n 値の関係を検討することを主な視点とした。

K 値、1/n 値の 11 炭種間の相対的な大小で 4 象限のマトリクスを作成し、該当する炭種と反応速度を整理した結果は、表 3-21～23 のとおりである。なお、K 値、1/n 値の大小は 11 炭種の平均値に対する比率（1.0 以上⇒大、1.0 未満⇒小）から設定した相対比較である。

【回分試験の初期濃度】

PFOS	: 100ng/L
PFOA	: 20ng/L
PFHxS	: 60ng/L

【PFOS 吸着における反応速度と K 値、1/n 値の関係】

- 第Ⅳ象限（K 値が大きくかつ 1/n 値が大きい）
AC4、8、3、5 が該当し、平均反応速度は 3.14ng/(mg・hr)と、11 炭種平均値 2.85ng/(mg・hr)よりも速い。
- 第Ⅲ象限（K 値が小さくかつ 1/n 値が大きい）
AC2 が該当し、平均反応速度は 2.80ng/(mg・hr)と、11 炭種平均値 2.85ng/(mg・hr)と同程度であった。
- 第Ⅱ象限（K 値が大きくかつ 1/n 値が小さい）
AC11、7 が該当し、平均反応速度は 2.76ng/(mg・hr)と、11 炭種平均値 2.85ng/(mg・hr)と同程度であった。
- 第Ⅰ象限（K 値が小さくかつ 1/n 値が小さい）
AC6、10、9、1 が該当し、平均反応速度は 2.63ng/(mg・hr)と、11 炭種平均値 2.85ng/(mg・hr)より遅い。

【PFOA 吸着における反応速度と K 値、1/n 値の関係】

- 第Ⅳ象限（K 値が大きくかつ 1/n 値が大きい）
AC4、8、5 が該当し、平均反応速度は 0.25ng/(mg・hr)と、11 炭種平均値 0.17ng/(mg・hr)よりも速い。
- 第Ⅲ象限（K 値が小さくかつ 1/n 値が大きい）
AC11、9 が該当し、平均反応速度は 0.22ng/(mg・hr)と、11 炭種平均値 0.17ng/(mg・hr)よりも速い。
- 第Ⅱ象限（K 値が大きくかつ 1/n 値が小さい）
AC10、7、3 が該当し、平均反応速度は 0.18ng/(mg・hr)と、11 炭種平均値

0.17ng/(mg・hr)と同程度であった。

- 第I象限 (K値が小さくかつ1/n値が小さい)

AC2、6、1 が該当し、平均反応速度は 0.05ng/(mg・hr)と、11 炭種平均値 0.17ng/(mg・hr)より遅い。

【PFHxS 吸着における反応速度と K 値、1/n 値の関係】

- 第IV象限 (K値が大きかつ1/n値が大きい)

AC4、8、5 が該当し、平均反応速度は 0.75ng/(mg・hr)と、11 炭種平均値 0.57ng/(mg・hr)よりも速い。

- 第III象限 (K値が小さくかつ1/n値が大きい)

AC3 が該当し、平均反応速度は 0.54ng/(mg・hr)と、11 炭種平均値 0.57ng/(mg・hr)と同程度であった。

- 第II象限 (K値が大きかつ1/n値が小さい)

AC7、11、10 が該当し、平均反応速度は 0.60ng/(mg・hr)と、11 炭種平均値 0.57ng/(mg・hr)と同程度であった。

- 第I象限 (K値が小さくかつ1/n値が小さい)

AC1、6、2、9 が該当し、平均反応速度は 0.41ng/(mg・hr)と、11 炭種平均値 0.57ng/(mg・hr)より遅い。

表 3-23 のマトリクスより、第IV象限 (K 値、1/n 値がいずれも大きい) に分類された活性炭の平均反応速度は他の象限に分類された活性炭の平均反応速度よりも速い傾向がみられる。回分試験から得られたこのような特性は、他の象限の活性炭に比べて実施設における次のようなメリットにつながる可能性を示すものと考えられる。

- 被吸着物質の原水濃度に変動が生じた場合に処理水中に検出されるリスクが少ない (反応速度、1/n 値が大きい)。
- 被吸着物質の検出が始まる期間が長い (反応速度、K 値が大きい)

ただし、実施設における破過曲線の形状や寿命との関連については、接触機構が異なり、回分試験は AC1～AC11 のポテンシャルの相対比較のための試験であるため、回分試験結果からの推察はできないと考える。

表 3-20 反応速度と K 値、1/n 値 (PFOS、PFOA、PFHxS)

PFOS

項目 AC No.	単位 —	実施設運用炭			その他の活性炭									平均	意味
		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			
反応速度 (0⇒6hr)	ng/(mg・hr)	2.80	2.80	3.17	3.67	2.50	2.75	2.97	3.22	2.50	2.47	2.55	2.85	0から6時間までの反応速度	
K (0⇒72hr)	—	8.88	9.49	12.98	15.01	12.82	10.44	12.57	14.49	9.16	9.84	13.04	11.70	0から72時間のデータで算出 活性炭の吸着容量 Kが大きい:原水濃度が低濃度の場合、活性炭 単位重量当たりの吸着性能が高い Kが小さい:原水濃度が低濃度の場合、活性炭 単位重量当たりの吸着性能が低い	
平均値に対する 比率	—	0.76	0.81	1.11	1.28	1.10	0.89	1.07	1.24	0.78	0.84	1.11			
1/n (0⇒72hr)	—	4.08	5.34	7.30	8.31	11.41	1.68	0.83	5.75	2.09	0.67	3.33	4.62	0から72時間のデータで算出 被吸着物質との親和性 1/nが大きい:原水濃度の増加に対して、活性 炭単位重量当たりの吸着量の増加が大きい。 1/nが小さい:原水濃度の増加に対して、活性 炭単位重量当たりの吸着量の増加が少ない。	
平均値に対する 比率	—	0.88	1.16	1.58	1.80	2.47	0.36	0.18	1.25	0.45	0.14	0.72			

PFOA

項目 AC No.	単位 —	実施設運用炭			その他の活性炭									平均	意味
		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			
反応速度 (0⇒6hr)	ng/(mg・hr)	0.08	0.00	0.13	0.17	0.25	0.08	0.25	0.33	0.22	0.17	0.22	0.17	0から6時間までの反応速度	
K (0⇒72hr)	—	1.46	1.55	1.80	1.96	1.61	1.52	1.83	1.93	0.85	1.88	1.45	1.62	0から72時間のデータで算出 活性炭の吸着容量 Kが大きい:原水濃度が低濃度の場合、活性炭 単位重量当たりの吸着性能が高い Kが小さい:原水濃度が低濃度の場合、活性炭 単位重量当たりの吸着性能が低い	
平均値に対する 比率	—	0.90	0.96	1.11	1.21	0.99	0.94	1.13	1.19	0.52	1.16	0.90			
1/n (0⇒72hr)	—	0.05	0.05	-0.01	0.60	0.25	0.01	0.03	0.64	0.28	-0.09	0.23	0.18	0から72時間のデータで算出 被吸着物質との親和性 1/nが大きい:原水濃度の増加に対して、活性 炭単位重量当たりの吸着量の増加が大きい。 1/nが小さい:原水濃度の増加に対して、活性 炭単位重量当たりの吸着量の増加が少ない。	
平均値に対する 比率	—	0.27	0.26	-0.07	3.27	1.34	0.03	0.15	3.48	1.51	-0.50	1.26			

PFHxS

項目 AC No.	単位 —	実施設運用炭			その他の活性炭									平均	意味
		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			
反応速度 (0⇒6hr)	ng/(mg・hr)	0.42	0.33	0.54	0.75	0.71	0.42	0.75	0.79	0.50	0.46	0.58	0.57	0から6時間までの反応速度	
K (0⇒72hr)	—	3.21	3.01	3.38	4.71	3.66	3.15	4.23	4.32	2.45	3.56	3.71	3.58	0から72時間のデータで算出 活性炭の吸着容量 Kが大きい:原水濃度が低濃度の場合、活性炭 単位重量当たりの吸着性能が高い Kが小さい:原水濃度が低濃度の場合、活性炭 単位重量当たりの吸着性能が低い	
平均値に対する 比率	—	0.90	0.84	0.94	1.31	1.02	0.88	1.18	1.21	0.68	0.99	1.04			
1/n (0⇒72hr)	—	0.24	0.45	0.54	1.05	0.59	0.13	0.19	1.15	0.37	0.02	0.40	0.47	0から72時間のデータで算出 被吸着物質との親和性 1/nが大きい:原水濃度の増加に対して、活性 炭単位重量当たりの吸着量の増加が大きい。 1/nが小さい:原水濃度の増加に対して、活性 炭単位重量当たりの吸着量の増加が少ない。	
平均値に対する 比率	—	0.51	0.97	1.16	2.26	1.26	0.27	0.41	2.47	0.79	0.05	0.86			

表 3-21 回分試験で得られた K 値、1/n 値の大小による活性炭の分類と反応速度の整理 (PFOS)

PFOS		K 値 (一) 11 活性炭種の相対比較	
		小 ^{※1}	大 ^{※2}
1/n 値 (一) 11 炭種 の相対 比較	小 ^{※1}	<p>【活性炭の反応速度】 AC6 : 2.75ng/(mg・hr) AC10 : 2.47ng/(mg・hr) AC9 : 2.50ng/(mg・hr) AC1 : 2.80ng/(mg・hr)</p> <p>【平均反応速度】 2.63ng/(mg・hr)</p> <p>I</p> <p>【実施設に係る特性】 原水濃度が低濃度の場合、活性炭単位重量当たりの吸着性能が低い。 原水濃度の増加に対して、活性炭単位重量当たりの吸着量の増加が少ない。</p>	<p>【活性炭の反応速度】 AC11 : 2.55ng/(mg・hr) AC7 : 2.97ng/(mg・hr)</p> <p>【平均反応速度】 2.76ng/(mg・hr)</p> <p>II</p> <p>【実処理に係る特性】 原水濃度が低濃度の場合、活性炭単位重量当たりの吸着性能が高い。 原水濃度の増加に対して、活性炭単位重量当たりの吸着量の増加が少ない。</p>
	大 ^{※2}	<p>【活性炭の反応速度】 AC2 : 2.80ng/(mg・hr)</p> <p>【平均反応速度】 2.80ng/(mg・hr)</p> <p>III</p> <p>【実施設に係る特性】 原水濃度が低濃度の場合、活性炭単位重量当たりの吸着性能が低い。 原水濃度の増加に対して、活性炭単位重量当たりの吸着量の増加が大きい。</p>	<p>【活性炭の反応速度】 AC4 : 3.67ng/(mg・hr) AC8 : 3.22ng/(mg・hr) AC3 : 3.17ng/(mg・hr) AC5 : 2.50ng/(mg・hr)</p> <p>【平均反応速度】 3.14ng/(mg・hr)</p> <p>IV</p> <p>【実施設に係る特性】 原水濃度が低濃度の場合、活性炭単位重量当たりの吸着性能が高い。 原水濃度の増加に対して、活性炭単位重量当たりの吸着量の増加が大きい。</p>

※1 小 AC1~AC11の平均値に対する比率が1.0未満

※2 大 AC1~AC11の平均値に対する比率が1.0以上

- 第 I 象限
- 第 II 象限
- 第 III 象限
- 第 IV 象限

表 3-22 回分試験で得られた K 値、1/n 値の大小による活性炭の分類と反応速度の整理 (PFOA)

PFOA		K値(-) 11活性炭種の相対比較			
		小		大	
1/n値 (一)	小 ^{※1}	【活性炭の反応速度】 AC2 :0.00ng/(mg・hr) AC6 :0.08ng/(mg・hr) AC1 :0.08ng/(mg・hr)	【平均反応速度】 0.05ng/(mg・hr)	【活性炭の反応速度】 AC10:0.17ng/(mg・hr) AC7 :0.25ng/(mg・hr) AC3 :0.13ng/(mg・hr)	【平均反応速度】 0.18ng/(mg・hr)
	大 ^{※2}	【活性炭の反応速度】 AC11:0.22ng/(mg・hr) AC9 :0.22ng/(mg・hr)	【平均反応速度】 0.22ng/(mg・hr)	【活性炭の反応速度】 AC4 :0.17ng/(mg・hr) AC8 :0.33ng/(mg・hr) AC5 :0.25ng/(mg・hr)	【平均反応速度】 0.25ng/(mg・hr)
11炭種の相対比較		I 【実施設に係る特性】 原水濃度が低濃度の場合、活性炭単位重量当たりの吸着性能が低い。 原水濃度の増加に対して、活性炭単位重量当たりの吸着量の増加が少ない。		II 【実処理に係る特性】 原水濃度が低濃度の場合、活性炭単位重量当たりの吸着性能が高い。 原水濃度の増加に対して、活性炭単位重量当たりの吸着量の増加が少ない。	
11炭種の相対比較		III 【実施設に係る特性】 原水濃度が低濃度の場合、活性炭単位重量当たりの吸着性能が低い。 原水濃度の増加に対して、活性炭単位重量当たりの吸着量の増加が大きい。		IV 【実施設に係る特性】 原水濃度が低濃度の場合、活性炭単位重量当たりの吸着性能が高い。 原水濃度の増加に対して、活性炭単位重量当たりの吸着量の増加が大きい。	

※1 小 AC1～AC11の平均値に対する比率が1.0未満

※2 大 AC1～AC11の平均値に対する比率が1.0以上

第I象限

第II象限

第III象限

第IV象限

表 3-23 回分試験で得られた K 値、1/n 値の大小による活性炭の分類と反応速度の整理 (PFHxS)

PFHxS		K値(-) 11活性炭種の相対比較	
		小	大
1/n値 (-)	小 ^{※1}	<p>【活性炭の反応速度】 AC1 :0.42ng/(mg・hr) AC6 :0.42ng/(mg・hr) AC2 :0.33ng/(mg・hr) AC9 :0.50ng/(mg・hr)</p> <p style="text-align: center;">I</p> <p>【実施設に係る特性】 原水濃度が低濃度の場合、活性炭単位重量当たりの吸着性能が低い。 原水濃度の増加に対して、活性炭単位重量当たりの吸着量の増加が少ない。</p>	<p>【平均反応速度】 0.41ng/(mg・hr)</p> <p>【活性炭の反応速度】 AC7 :0.75ng/(mg・hr) AC11:0.58ng/(mg・hr) AC10:0.46ng/(mg・hr)</p> <p style="text-align: center;">II</p> <p>【平均反応速度】 0.60ng/(mg・hr)</p> <p>【実処理に係る特性】 原水濃度が低濃度の場合、活性炭単位重量当たりの吸着性能が高い。 原水濃度の増加に対して、活性炭単位重量当たりの吸着量の増加が少ない。</p>
	大 ^{※2}	<p>【活性炭の反応速度】 AC3 :0.54ng/(mg・hr)</p> <p style="text-align: center;">III</p> <p>【平均反応速度】 0.54ng/(mg・hr)</p> <p>【実施設に係る特性】 原水濃度が低濃度の場合、活性炭単位重量当たりの吸着性能が低い。 原水濃度の増加に対して、活性炭単位重量当たりの吸着量の増加が大きい。</p>	<p>【活性炭の反応速度】 AC4 :0.75ng/(mg・hr) AC8 :0.79ng/(mg・hr) AC5 :0.71ng/(mg・hr)</p> <p style="text-align: center;">IV</p> <p>【平均反応速度】 0.75ng/(mg・hr)</p> <p>【実施設に係る特性】 原水濃度が低濃度の場合、活性炭単位重量当たりの吸着性能が高い。 原水濃度の増加に対して、活性炭単位重量当たりの吸着量の増加が大きい。</p>

※1 小 AC1~AC11の平均値に対する比率が1.0未満

※2 大 AC1~AC11の平均値に対する比率が1.0以上

- 第 I 象限
- 第 II 象限
- 第 III 象限
- 第 IV 象限

【参考資料】 24 時間実測値による吸着定数及び吸着量の算出

Freundlich の式に基づき、24 時間実測値を整理する。

24 時間実測値の結果を表 3-26 に示す。各活性炭全てのデータを両対数上で近似解析を行うと、指数近似の相関となり、直線近似が得られない。そこで、平衡濃度より低濃度から 5 点について近似解析を行うと、図 3-26~28 に示すとおり、決定係数も高い直線近似相関が得られた。

令和 2 年 4 月より水質管理目標設定項目として、PFOS+PFOA 合計値が 50ng/L（暫定目標値）以下とさだめられたことから、吸着量の検討には、PFOS+PFOA 合計値についても検討した。

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 3-24 に示す。

表 3-24 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。

得られた近似式より、定数 K、定数 1/n、吸着量ケース 1、2 を求めると、表 3-25、図 3-25 に示すとおりであった。

表 3-25 PFOS・PFOA・PFHxS 吸着量の結果 (24 時間データ)

PFOS 直線部分を選定

項目 AC No.	実施設運用炭			実験候補活性炭							
	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 (-)	9.88	10.18	13.93	15.42	13.55	11.19	12.72	13.86	10.66	10.96	13.67
1/n (-)	1.006	1.426	0.682	2.407	0.226	0.674	0.669	0.800	0.216	0.416	0.920
R ²	0.976	0.984	0.966	0.989	0.513	0.932	0.953	0.972	0.832	0.875	0.972
ケース1 28ng/L時吸着量 (ng/mg)	38.0	50.1	33.0	82.8	19.9	30.1	31.5	36.3	16.7	22.6	39.4
ケース2 11ng/L時吸着量 (ng/mg)	20.9	25.9	21.4	41.9	16.0	18.6	20.1	22.7	13.0	15.5	23.8

PFOA 直線部分を選定

項目 AC No.	実施設運用炭			実験候補活性炭							
	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 (-)	1.60	1.91	1.80	2.36	2.00	1.67	1.83	2.48	1.41	1.51	1.76
1/n (-)	0.002	-0.069	-0.013	0.027	-0.051	-0.039	0.027	-0.083	0.018	-0.061	0.015
R ²	0.004	0.632	0.123	0.108	0.489	0.808	0.269	0.664	0.085	0.550	0.116
ケース1 6ng/L時吸着量 (ng/mg)	1.6	1.5	1.7	2.5	1.7	1.4	2.0	2.0	1.5	1.1	1.9
ケース2 4ng/L時吸着量 (ng/mg)	1.6	1.6	1.8	2.5	1.8	1.5	1.9	2.1	1.5	1.3	1.8

PFHxS 直線部分を選定

項目 AC No.	実施設運用炭			実験候補活性炭							
	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 (-)	3.21	3.01	3.38	4.71	3.66	3.15	3.81	3.71	2.45	4.89	3.71
1/n (-)	0.241	0.455	0.542	1.055	0.587	0.128	0.309	1.012	0.367	0.183	0.400
R ²	0.979	0.998	0.995	0.982	0.946	0.968	0.969	0.971	0.792	0.921	0.977
ケース1 17ng/L時吸着量 (ng/mg)	7.3	10.7	12.6	22.6	13.6	5.3	9.1	20.9	8.7	8.0	10.5
ケース2 9ng/L時吸着量 (ng/mg)	5.4	7.1	8.3	14.2	8.9	4.3	6.6	12.8	5.8	6.5	7.3

PFOS+PFOA合計値

項目 AC No.	実施設運用炭			実験候補活性炭							
	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
ケース1 吸着量 (ng/mg)	40	52	35	85	22	32	33	38	18	24	41
ケース2 吸着量 (ng/mg)	23	27	23	44	18	20	22	25	15	17	26

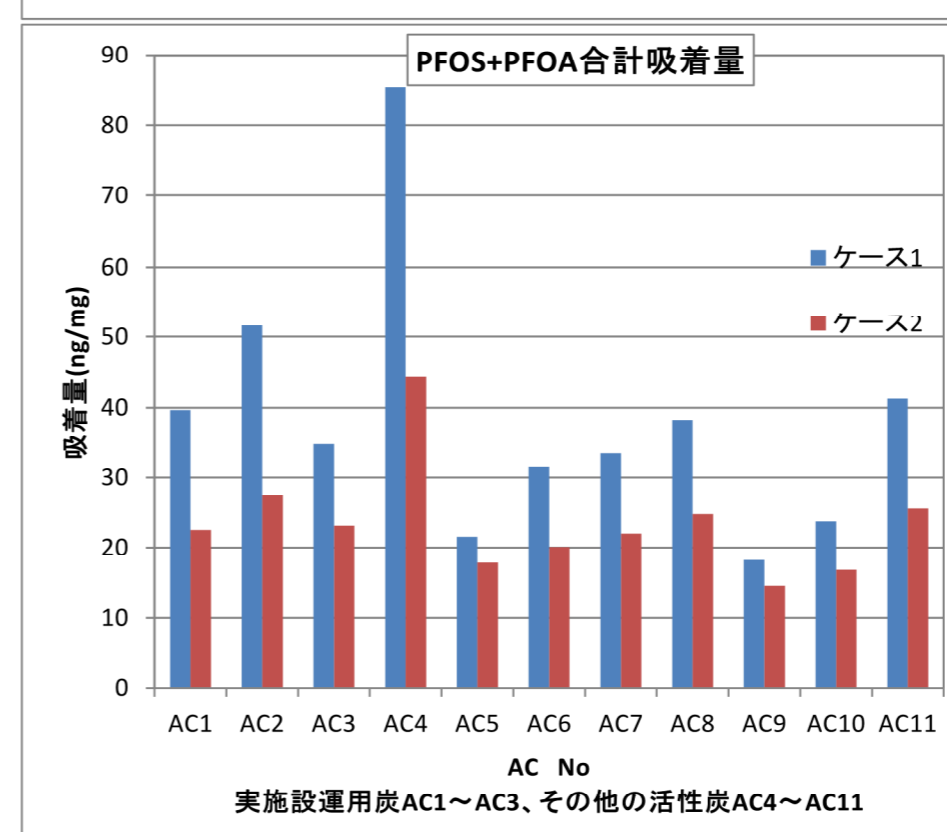
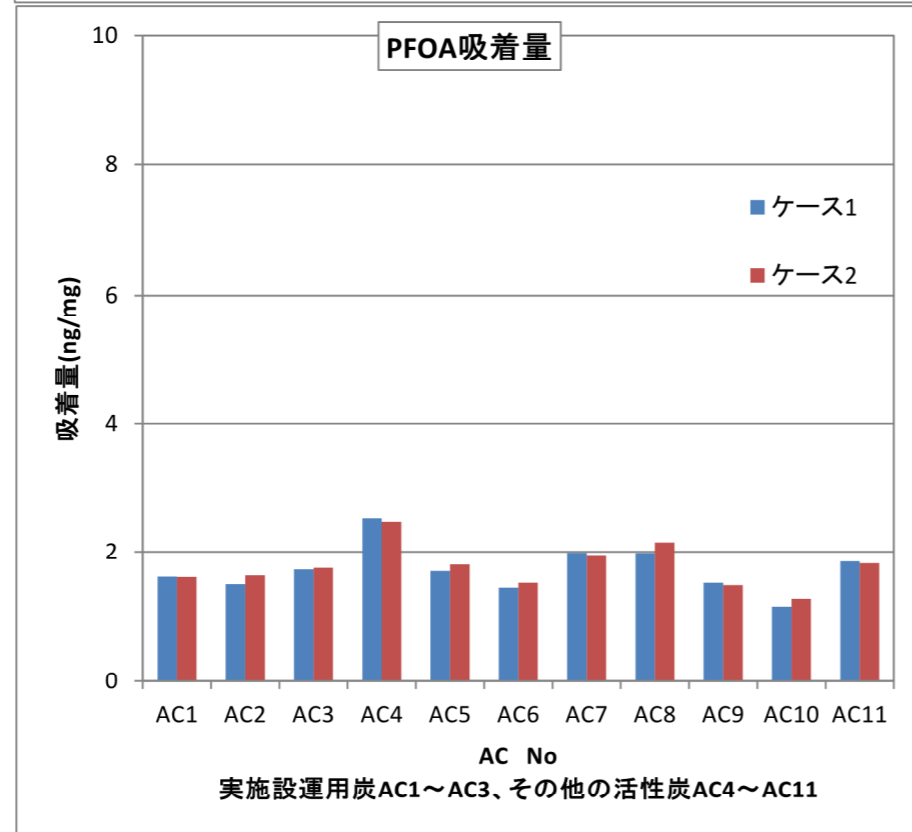
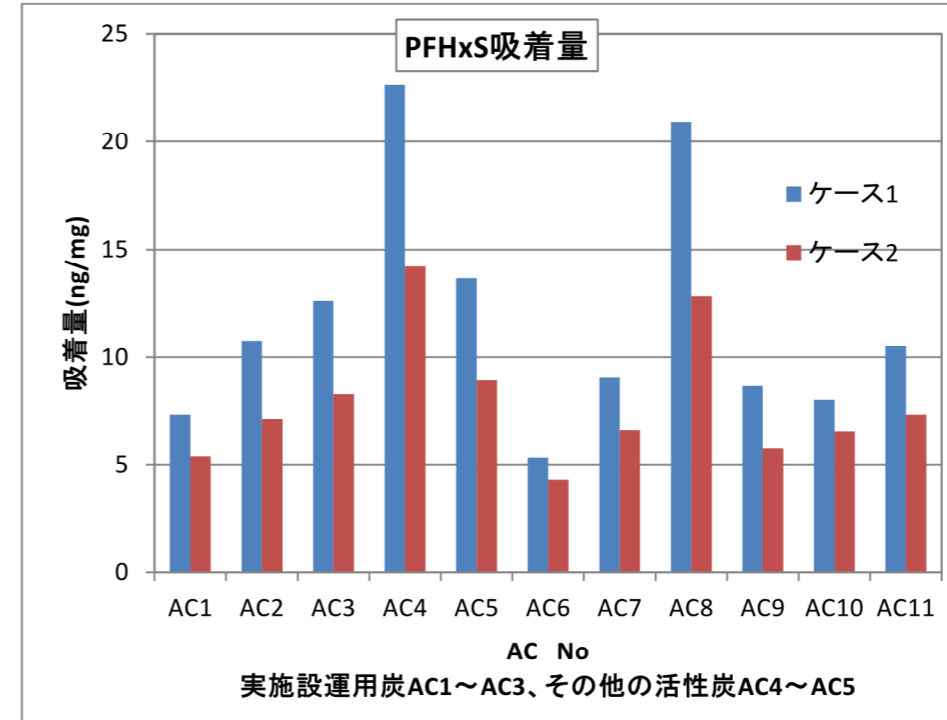
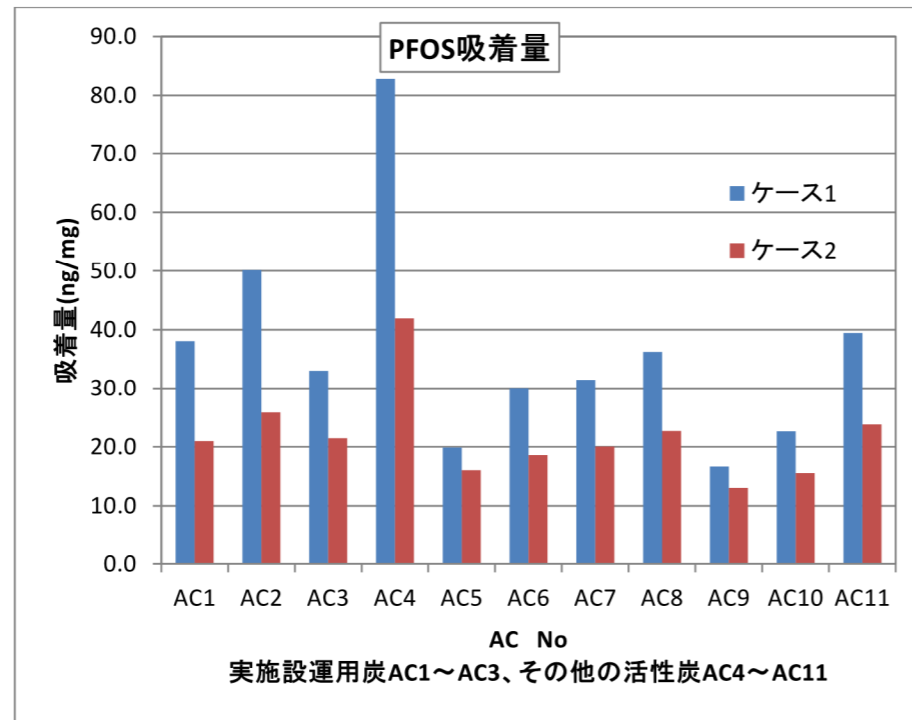


図 3-25 PFOS・PFOA・PFHxS 吸着量の結果 (24 時間データ)

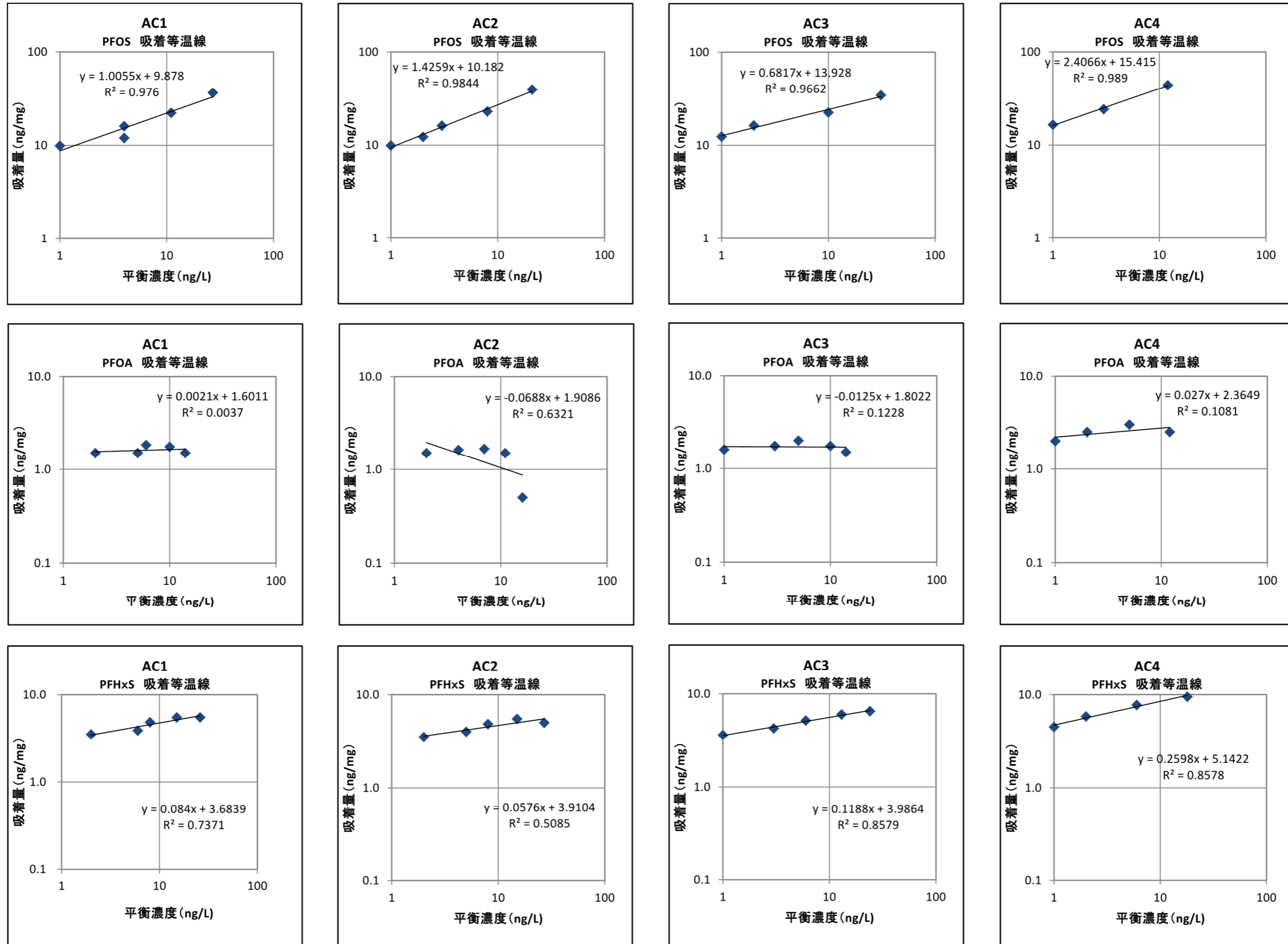


図 3-26 24 時間実測値による吸着等温線 (PFOS、PFOA、PFHxS) (その 1)

※Microsoft Excel を使用

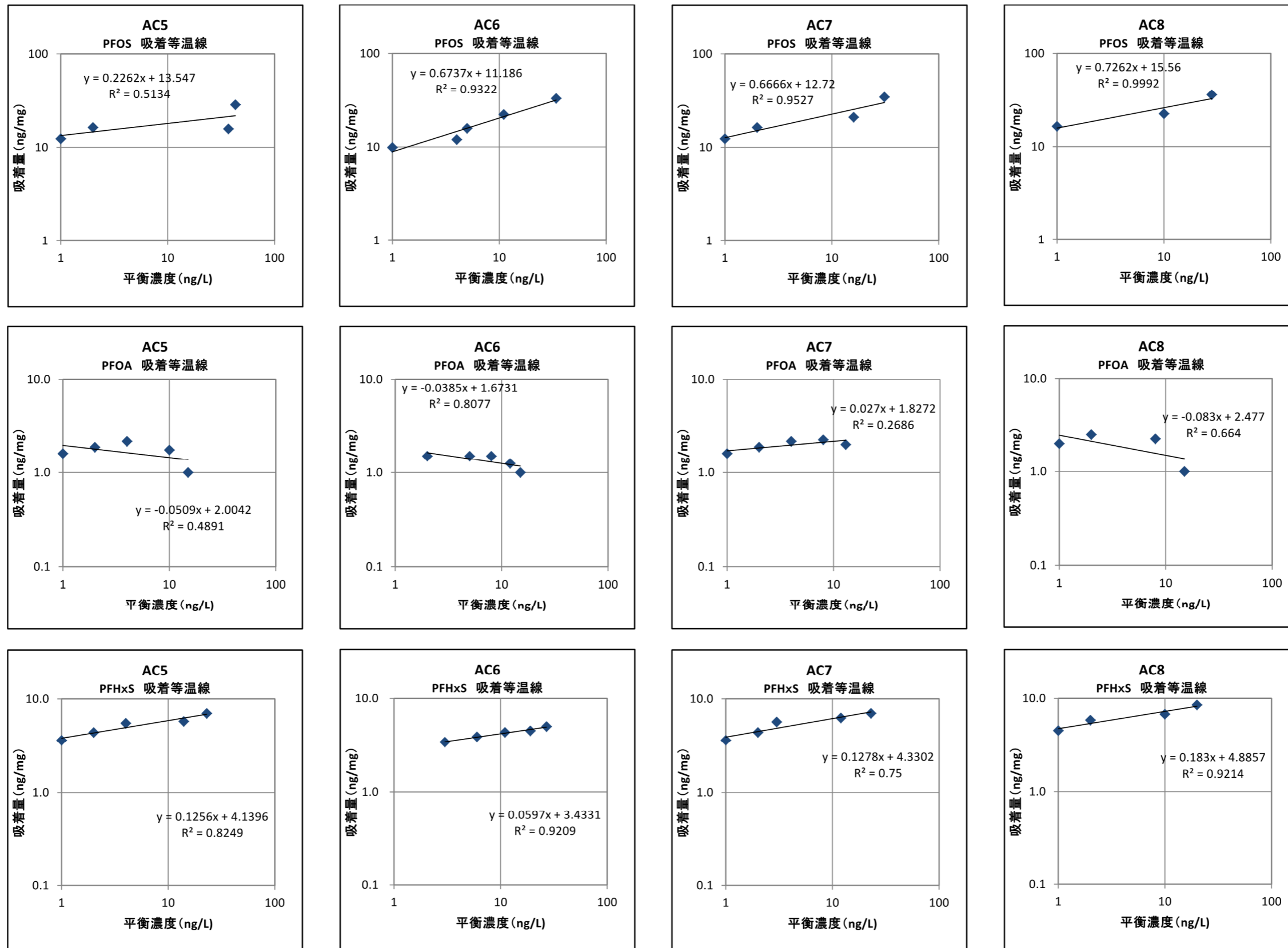


図 3-27 24 時間実測値による吸着等温線 (PFOS、PFOA、PFHxS) (その 2)

※Microsoft Excel を使用

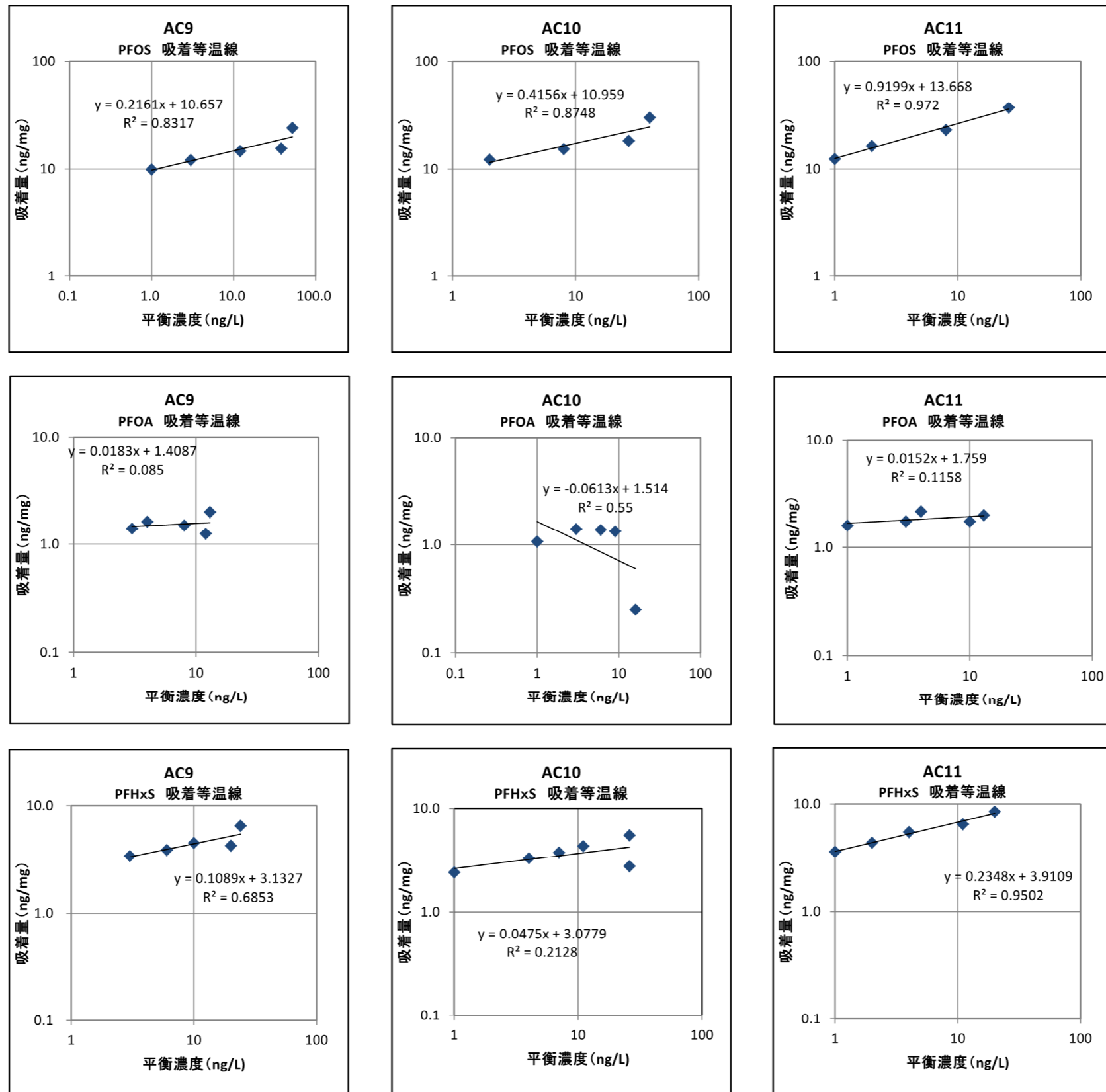


図 3-28 24 時間実測値による吸着等温線 (PFOS、PFOA、PFHxS) (その 3)

※Microsoft Excel を使用

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。

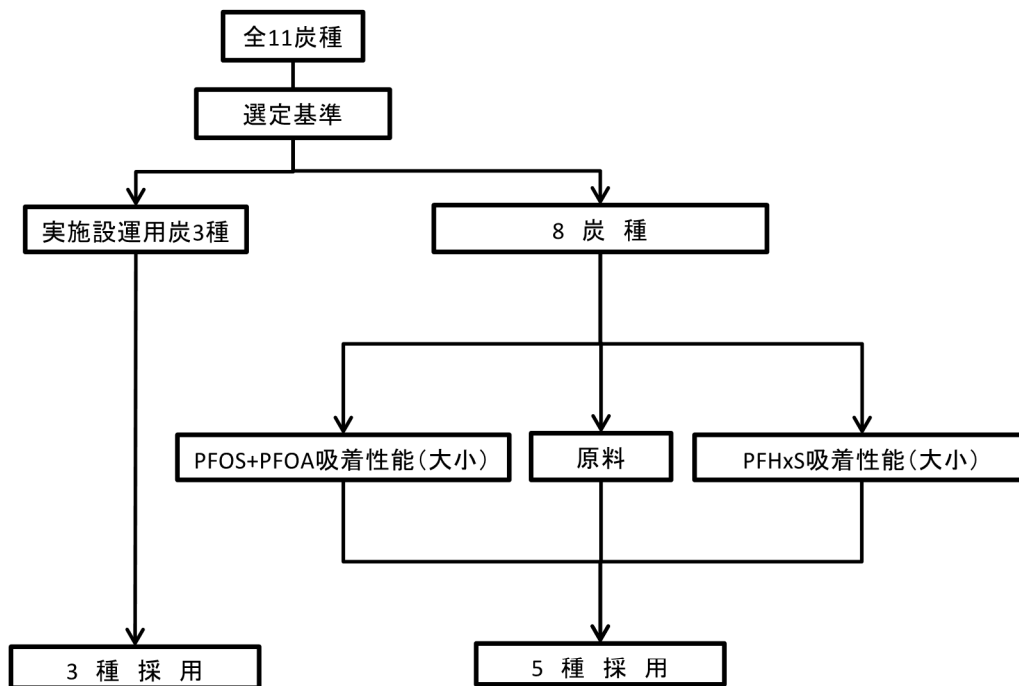


図 4-1 RSSCT に用いる活性炭の選定フロー

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

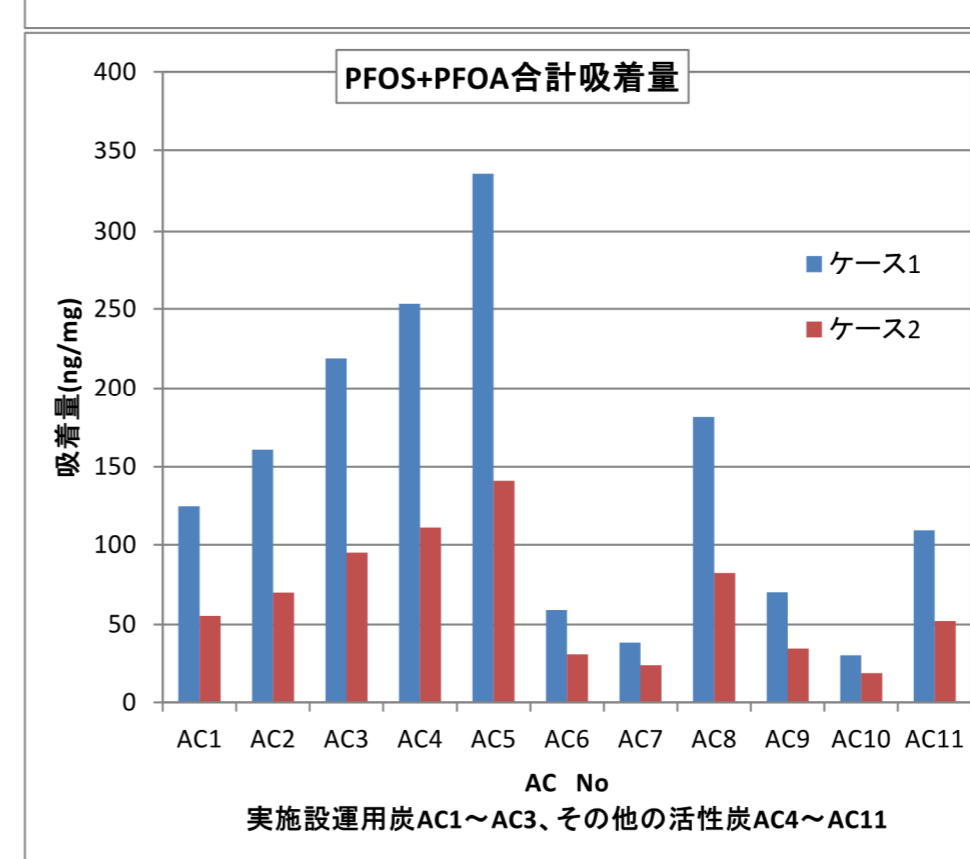
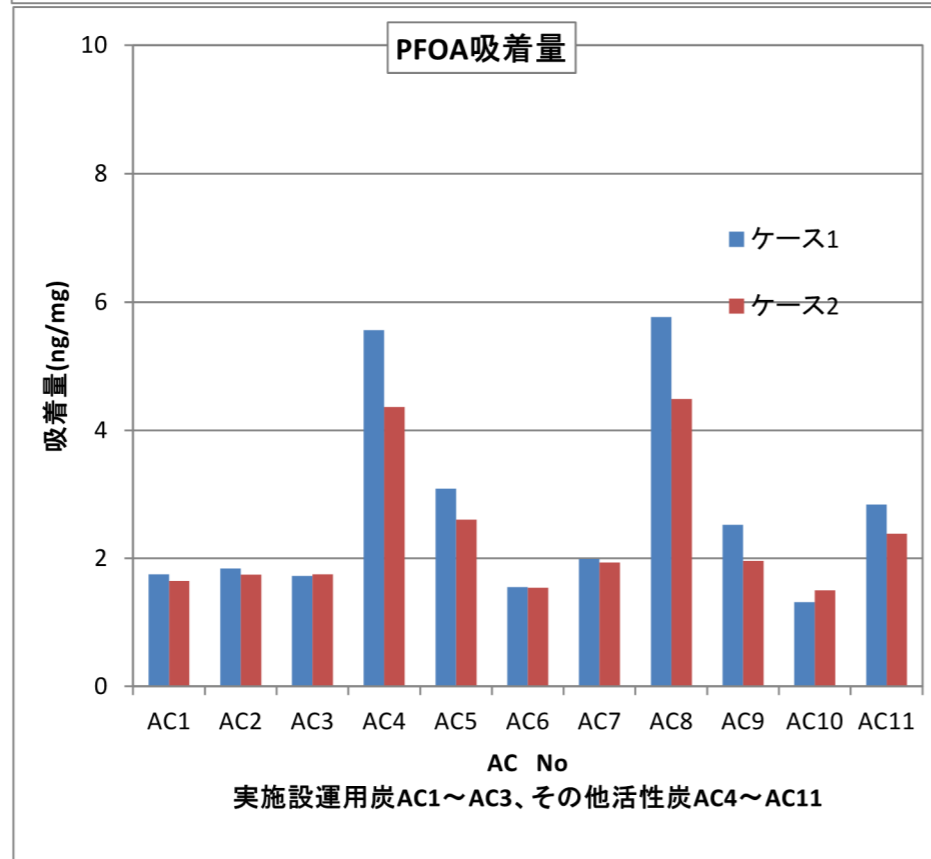
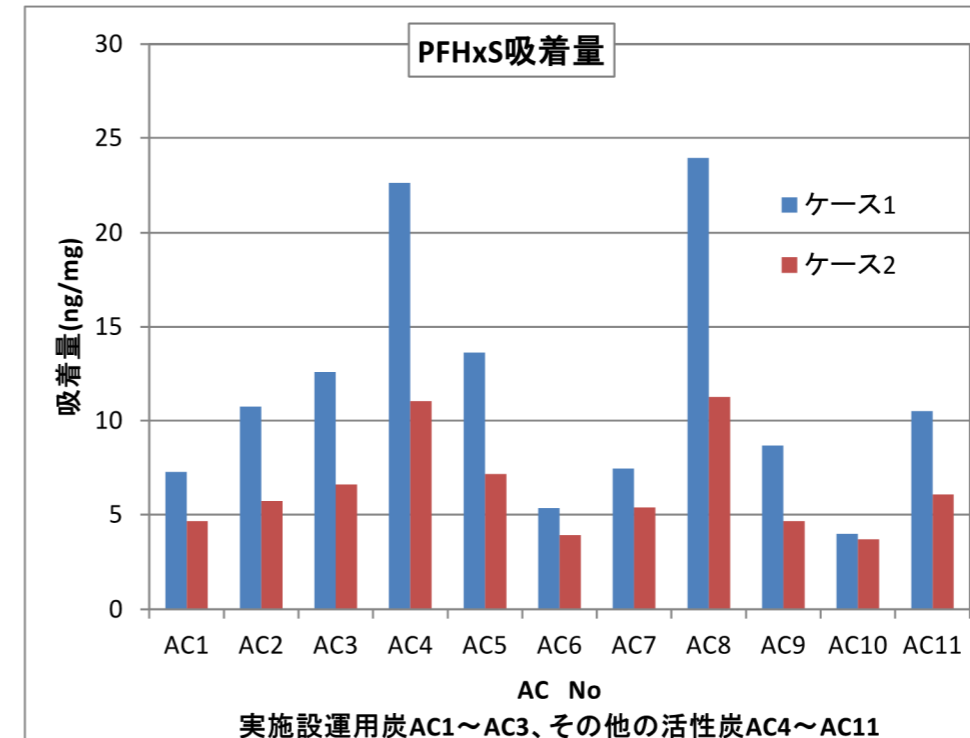
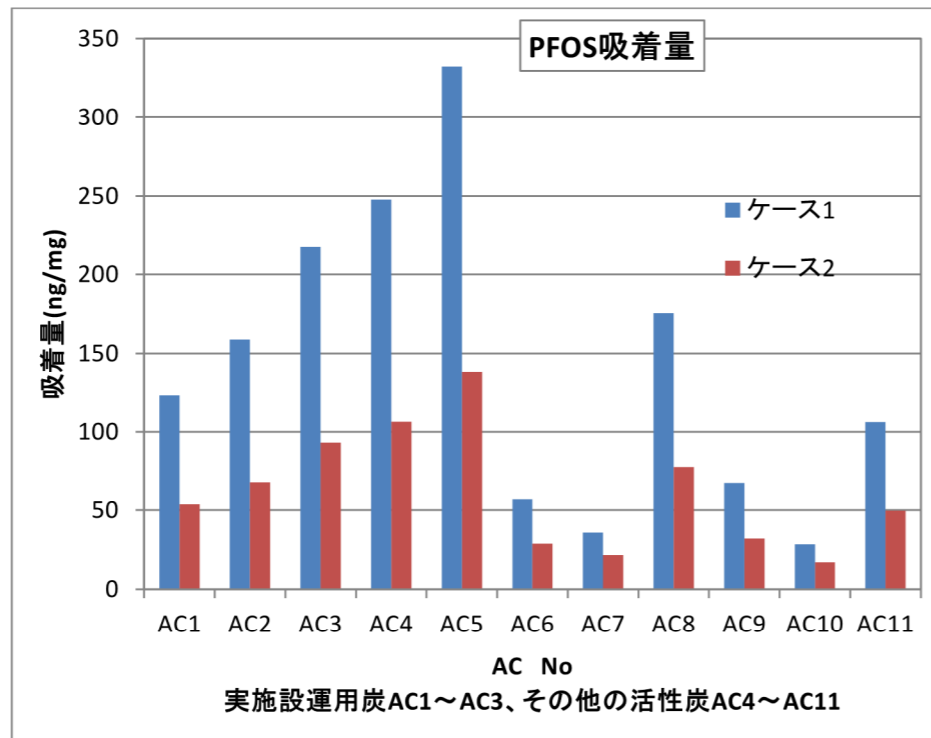


図 4-2 PFOS・PFOA・PFHxS 吸着量の算出結果(72 時間換算値)

(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。

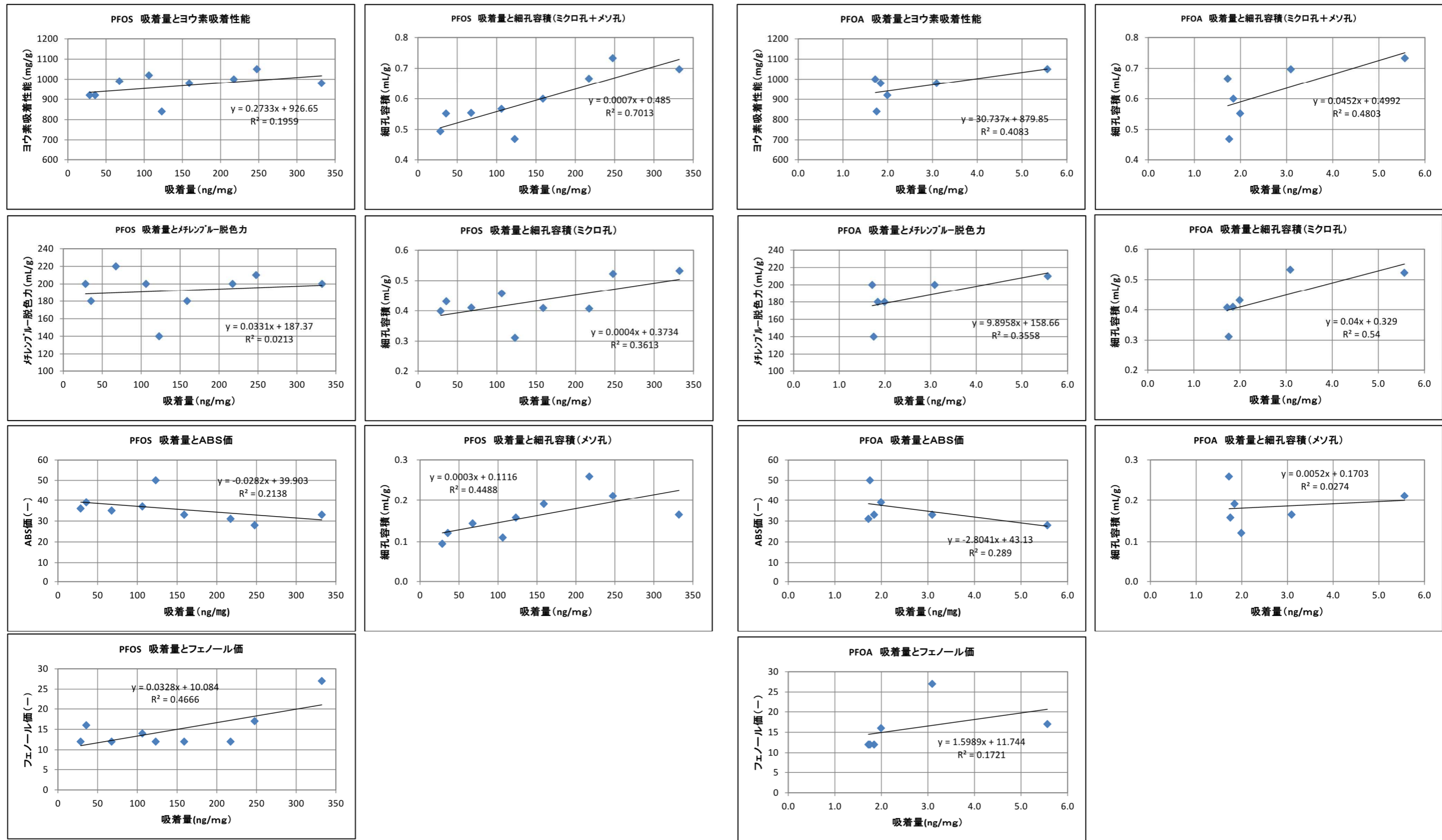


図 4-3 ケース 1 吸着量と他の物性値の関連性 (PFOS、PFOA : 72 時間換算値) (その 1)

※Microsoft Excel を使用

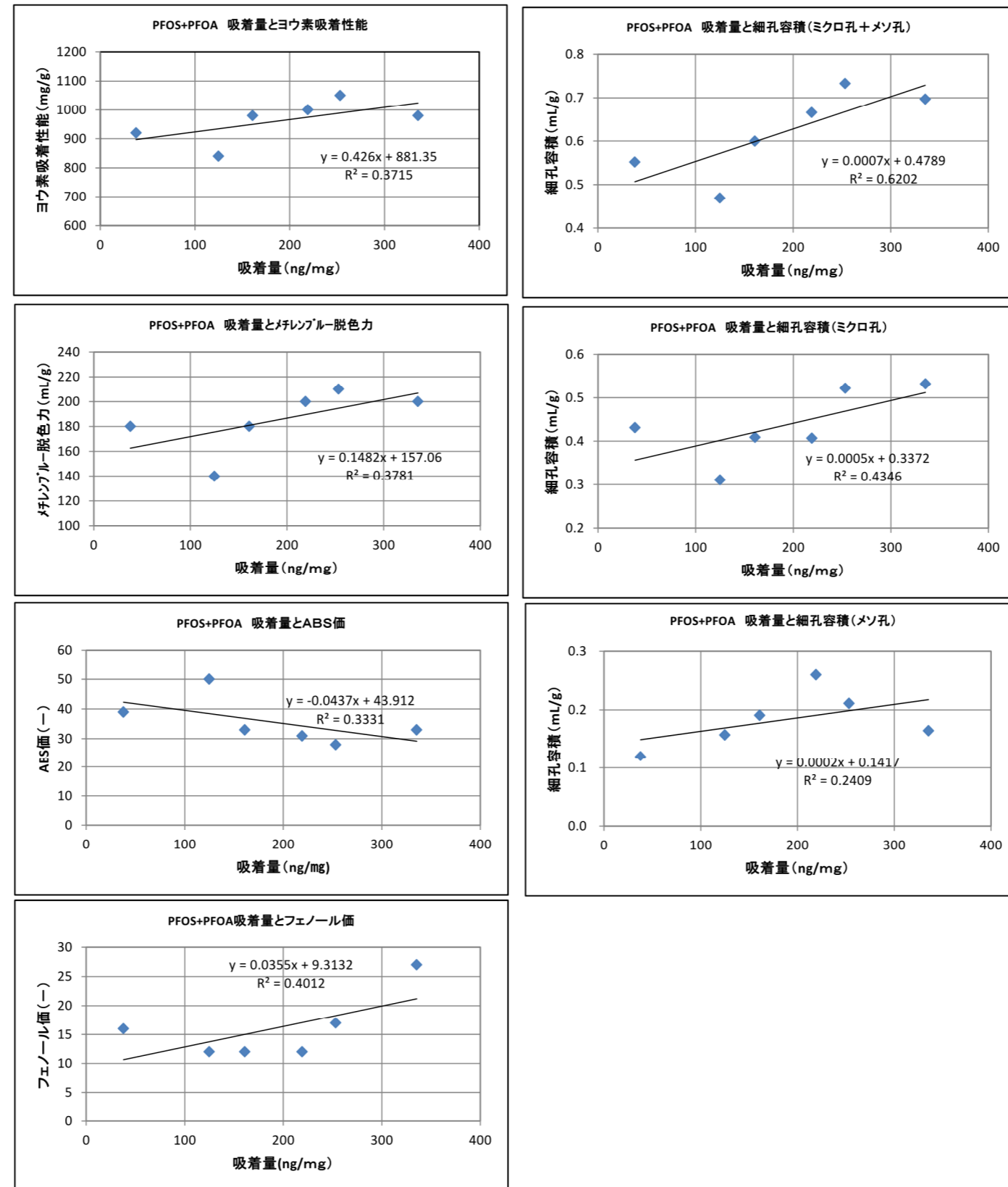


図 4-4 ケース 1 吸着量と他の物性値の関連性 (PFOS+PFOA : 72 時間換算値) (その 2)

※Microsoft Excel を使用

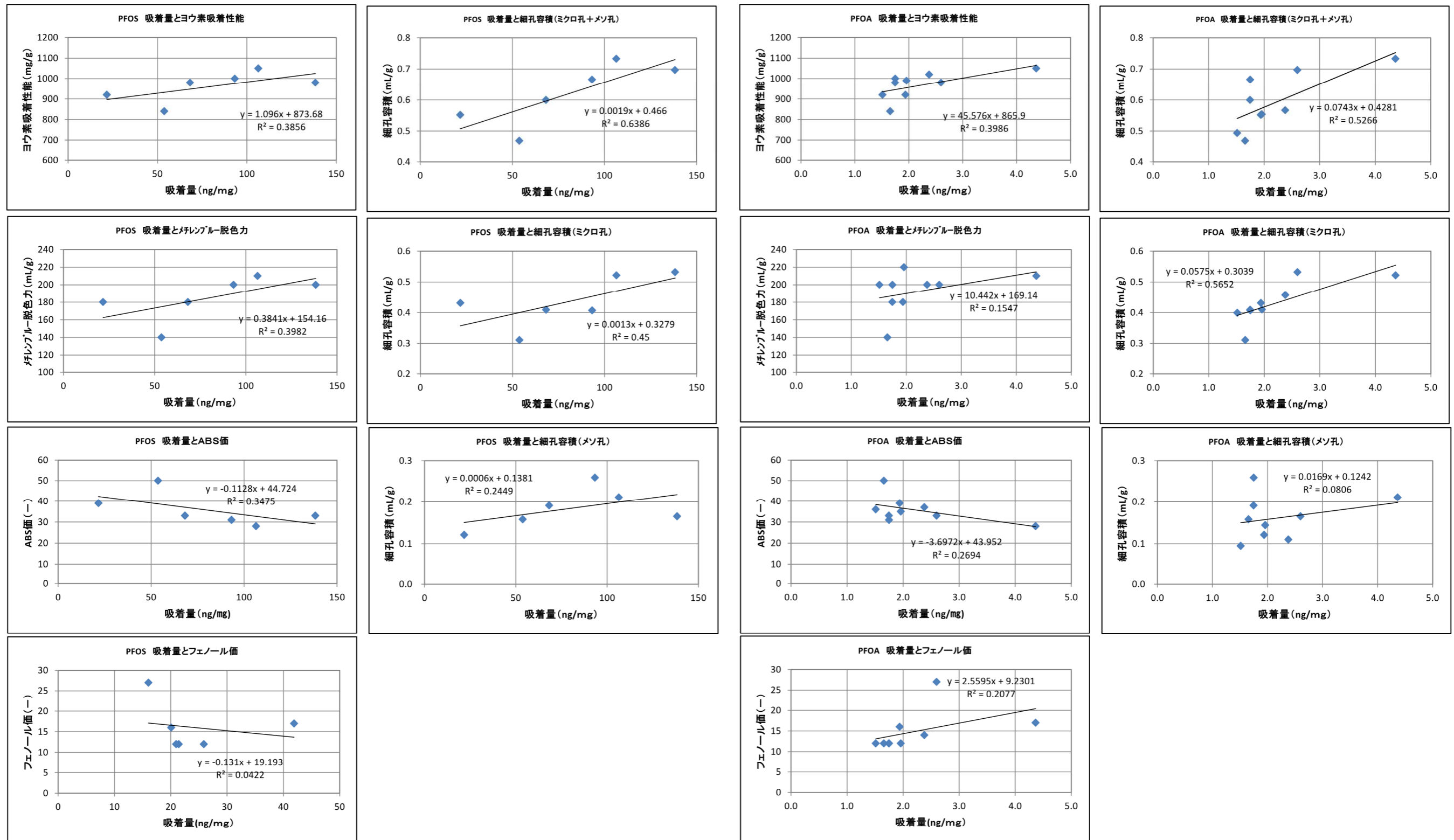


図 4-5 ケース 2 吸着量と他の物性値の関連性 (PFOS、PFOA : 72 時間換算値) (その 1)

※Microsoft Excel を使用

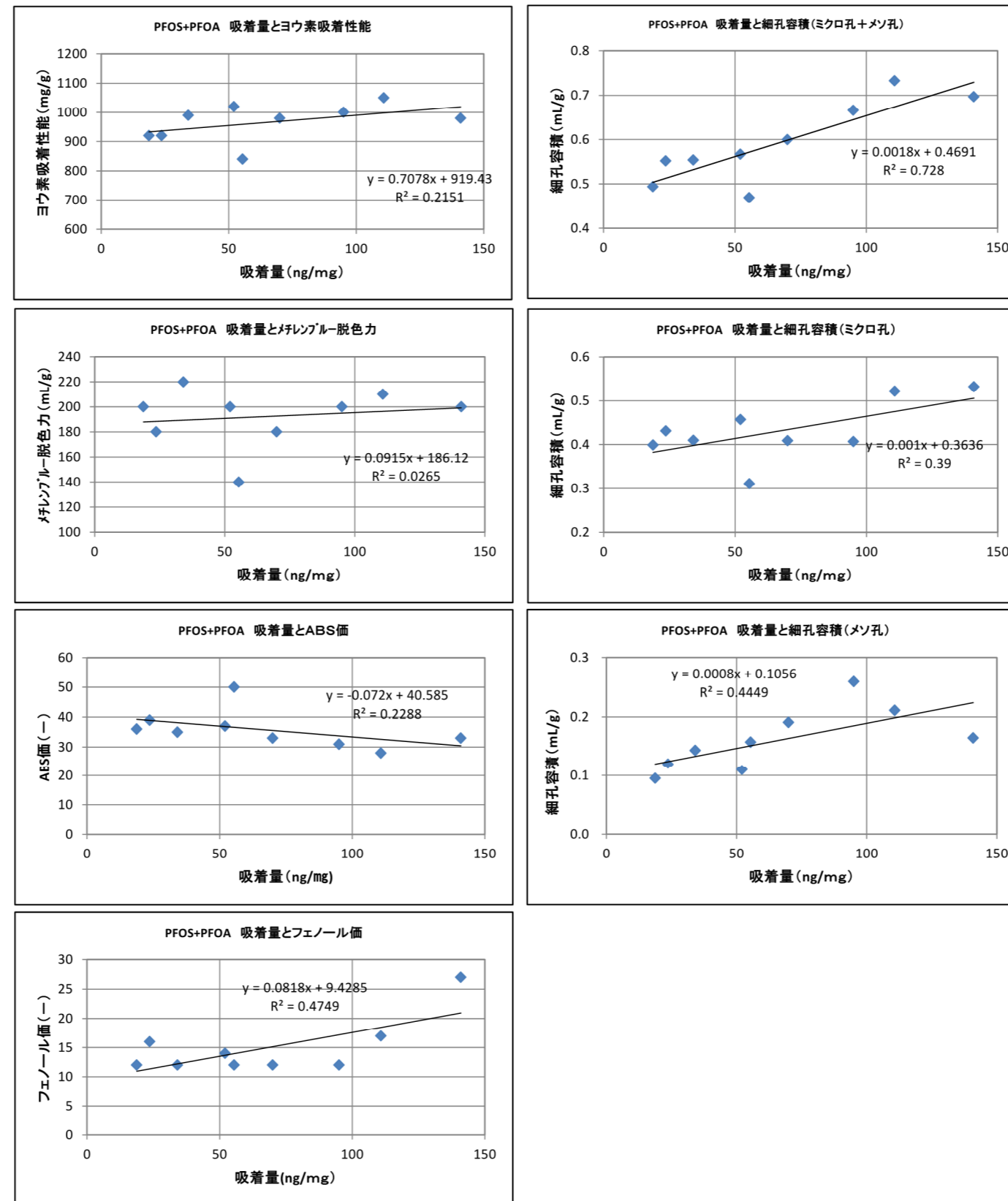
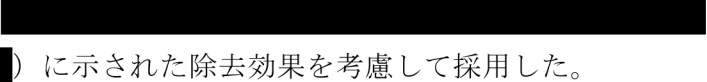


図 4-6 ケース 2 吸着量と他の物性値の関連性 (PFOS+PFOA : 72 時間換算値) (その 2)

※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・破砕] で、次いで AC4 [石炭・破砕] 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・破砕] 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・破砕] とヤシ殻の AC8 [ヤシ殻・破砕] 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、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 [破砕] 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)		
								マイクロ孔 +メソ孔	マイクロ孔	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]	■		
Large Column				
Large Column	[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]	■	■	■	

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

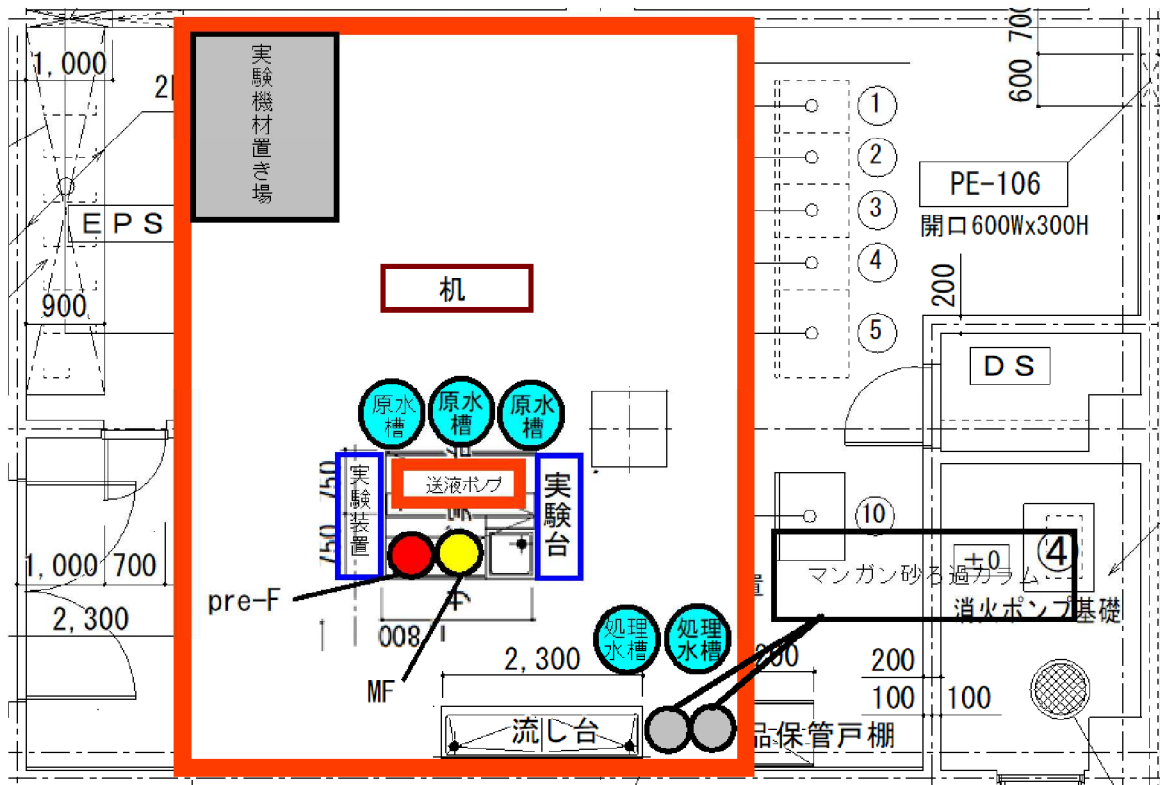


図 4-7 実験装置の設置場所

(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)

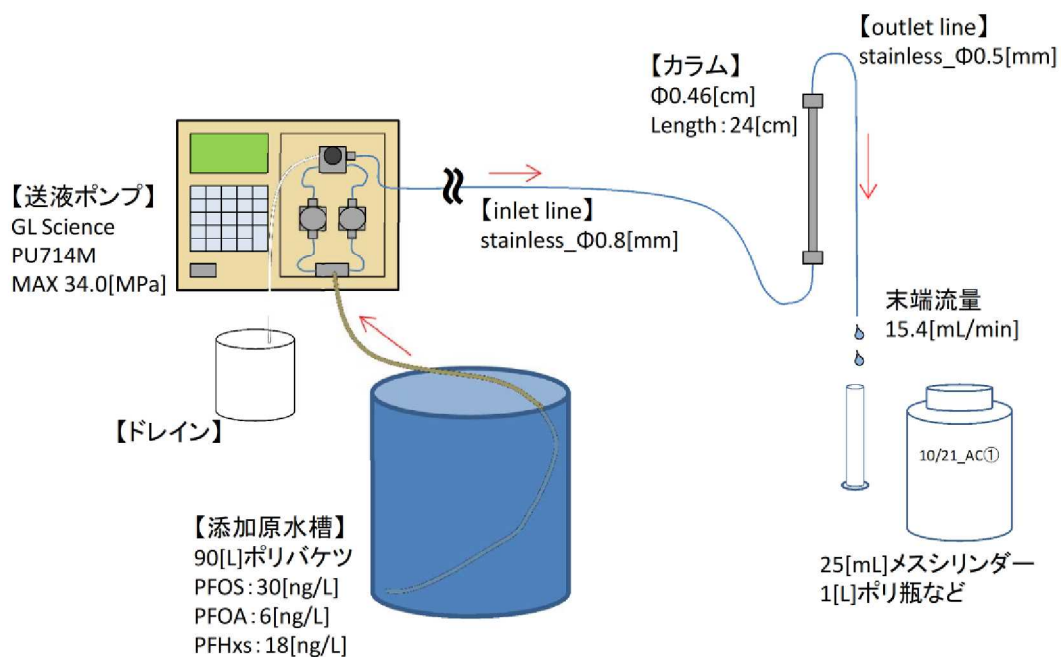


Fig.1_RSSCT装置概略

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)

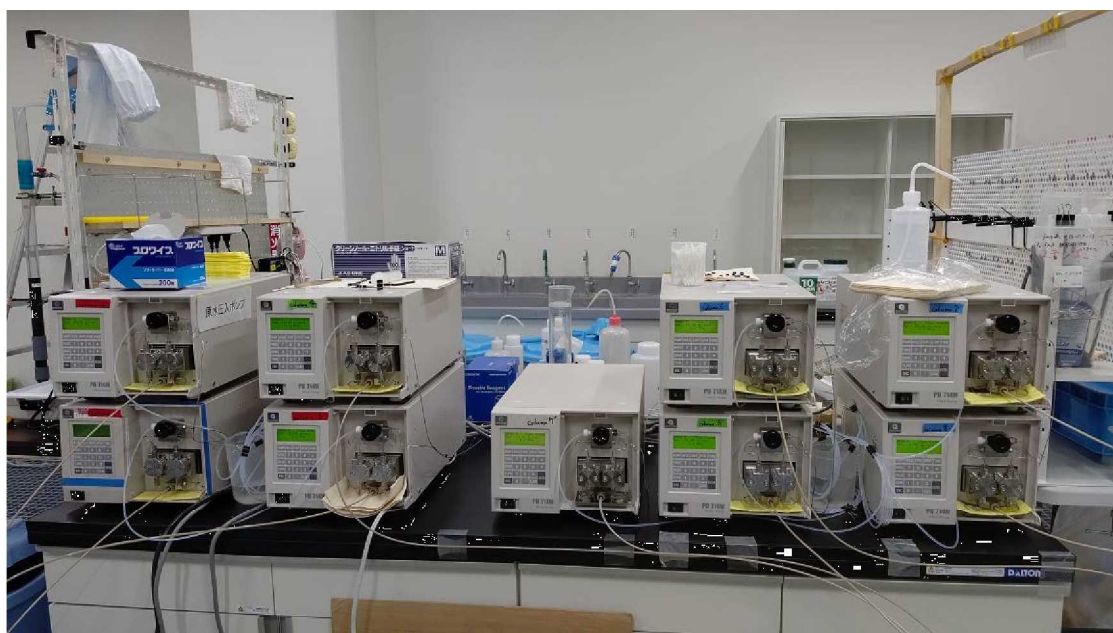


写真 4-5 送液ポンプ設置状況

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。

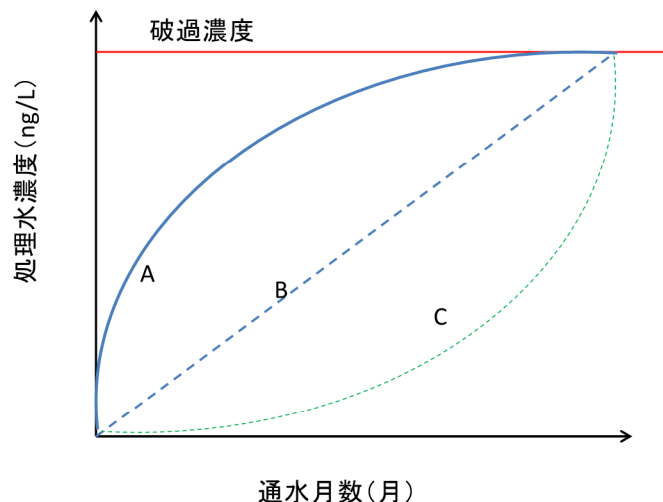


図 4-9 過渡特性の大別

- 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。

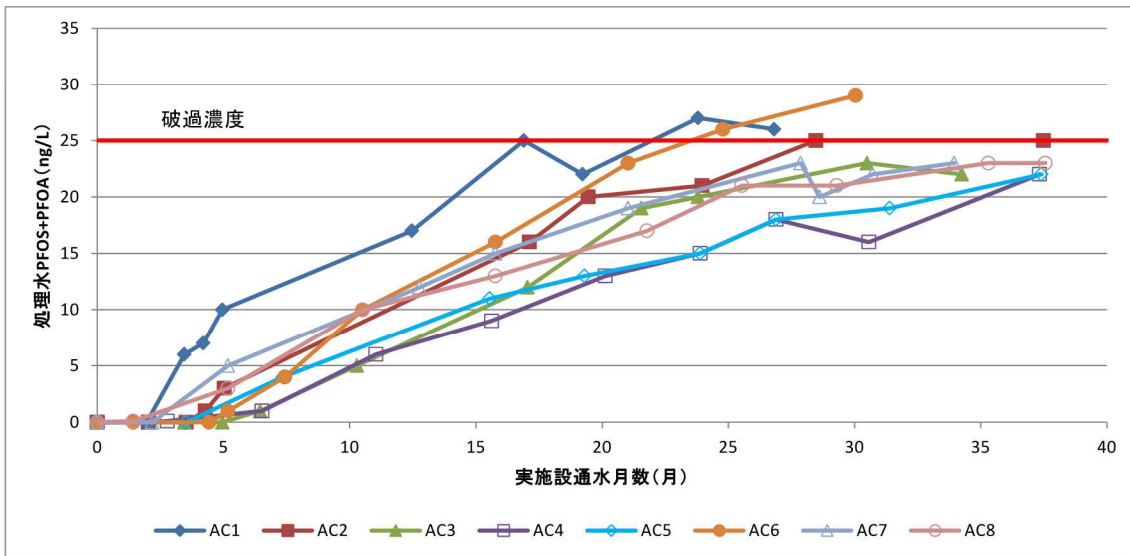


図 4-10 PFOS+PFOA の実施設通水月数と処理水濃度

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。

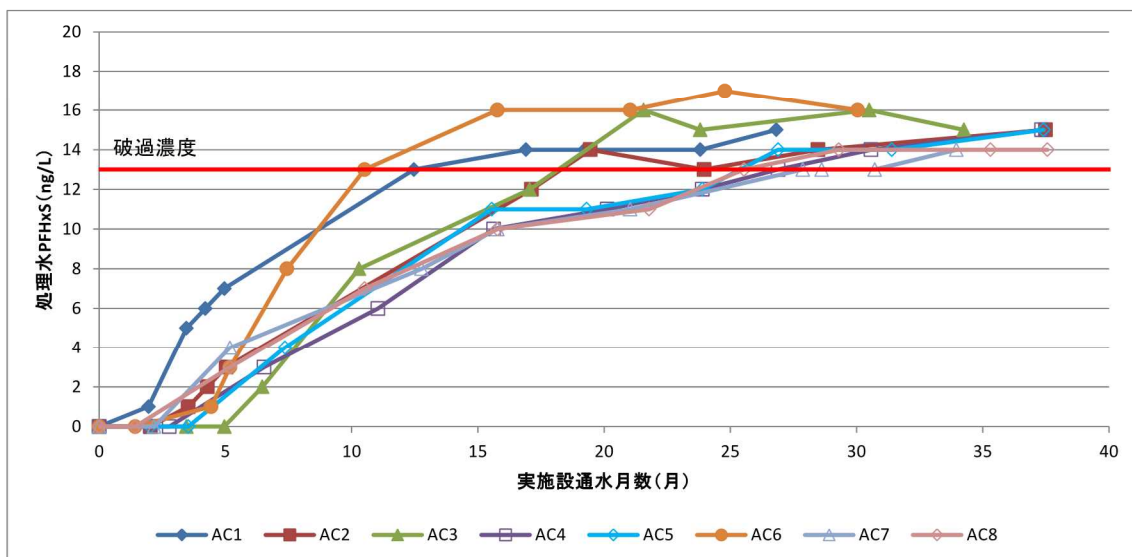


図 4-11 PFHxS の実施設通水月数と処理水濃度

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。

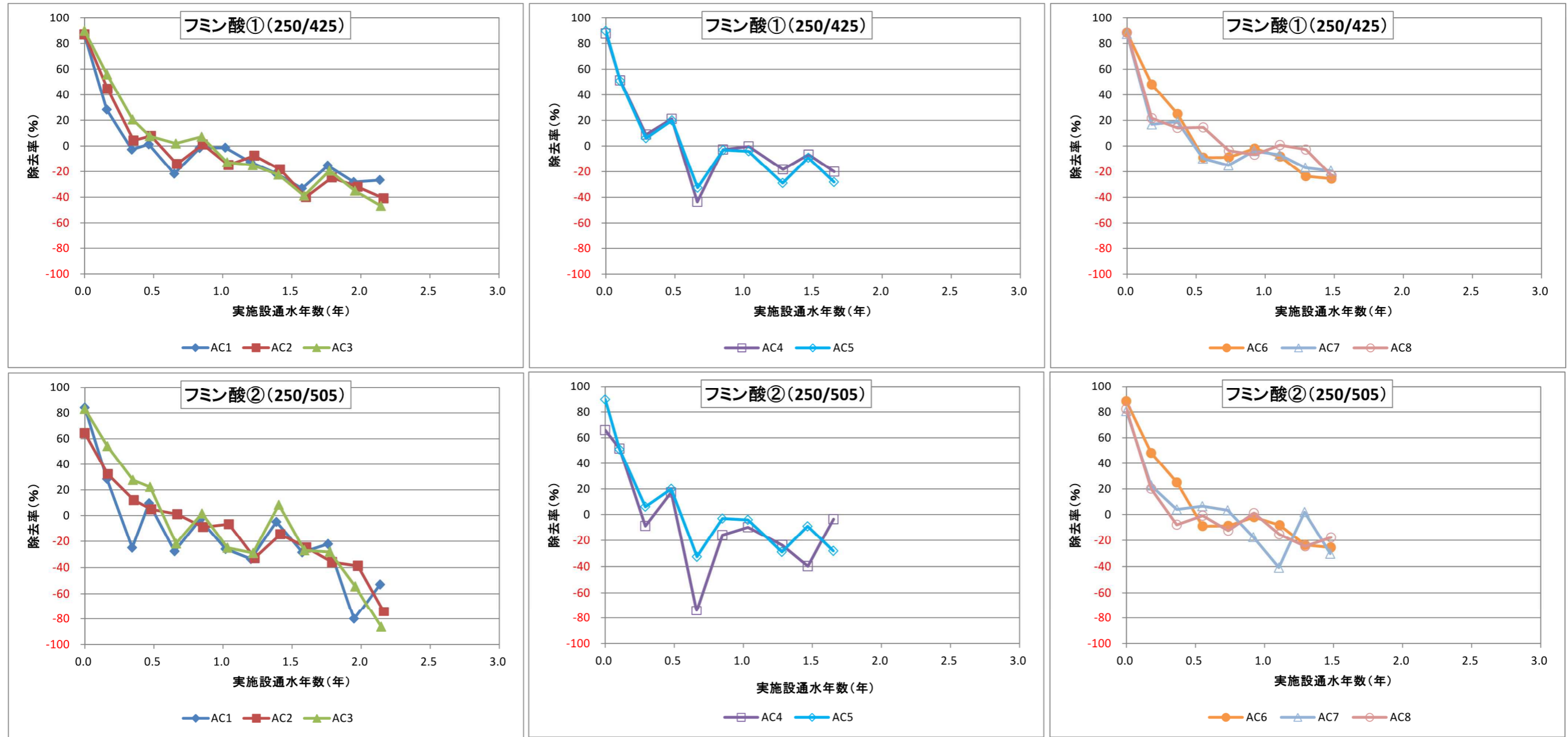


図 4-12 RSSCT における活性炭処理水の蛍光物質除去率 (その 1)
(フミン酸① (250/425)、フミン酸② (250/505))

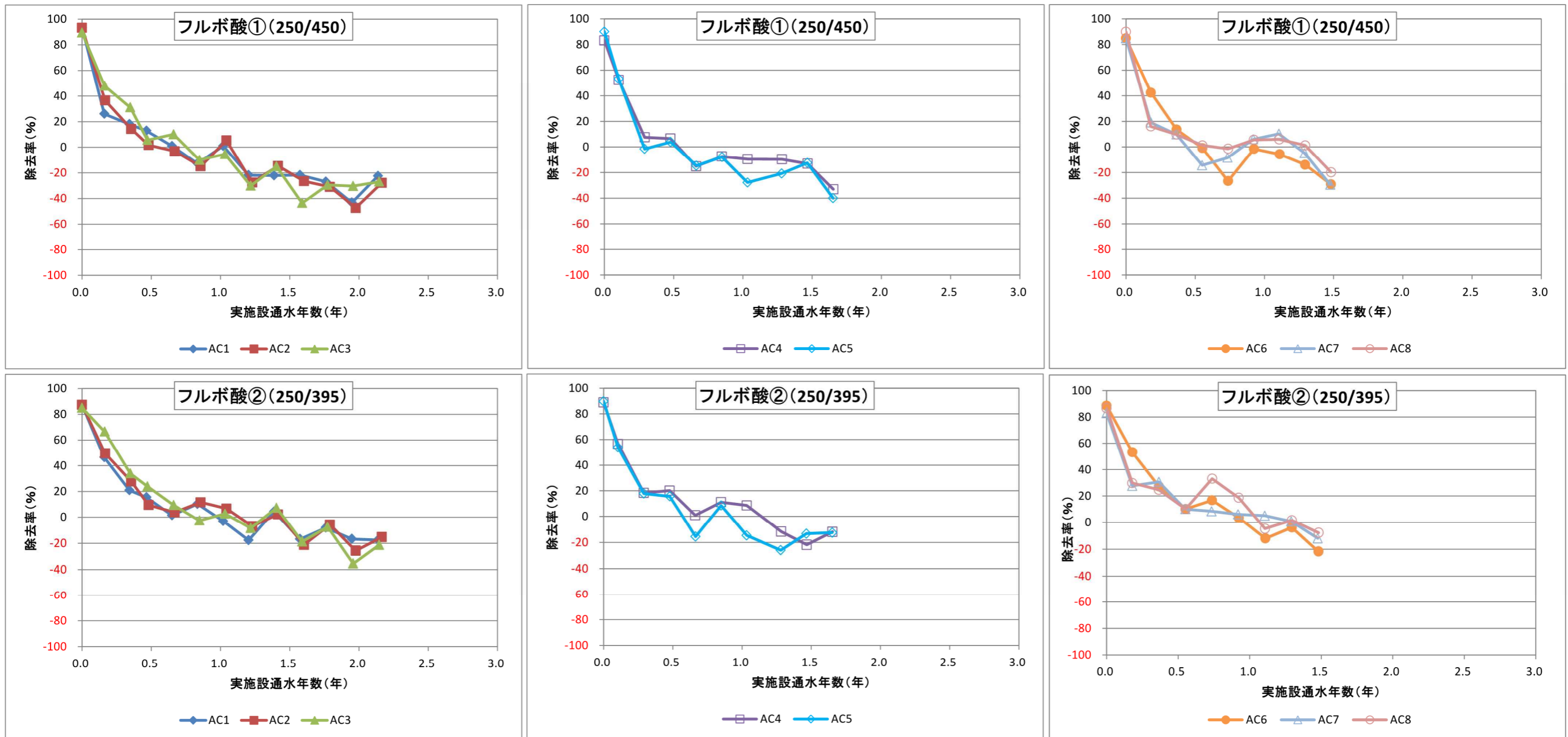


図 4-13 RSSCT における活性炭処理水の蛍光物質除去率 (その 2)
(フルボ酸① (250/450)、フルボ酸② (250/395))

(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

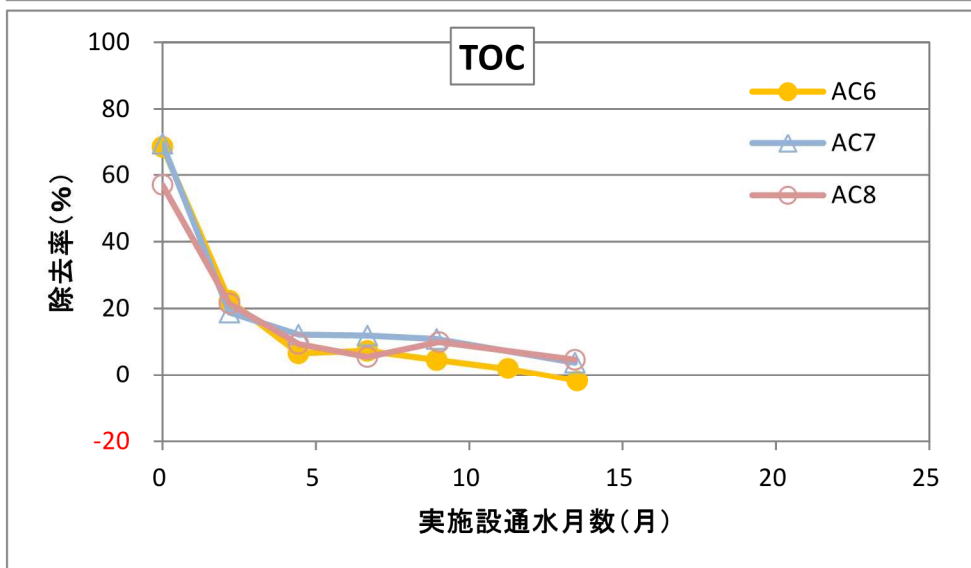
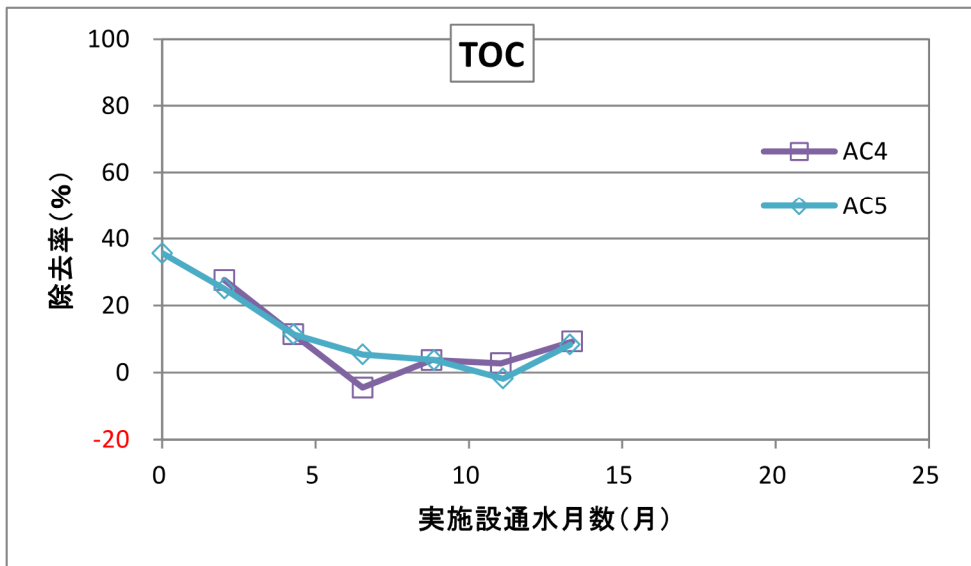
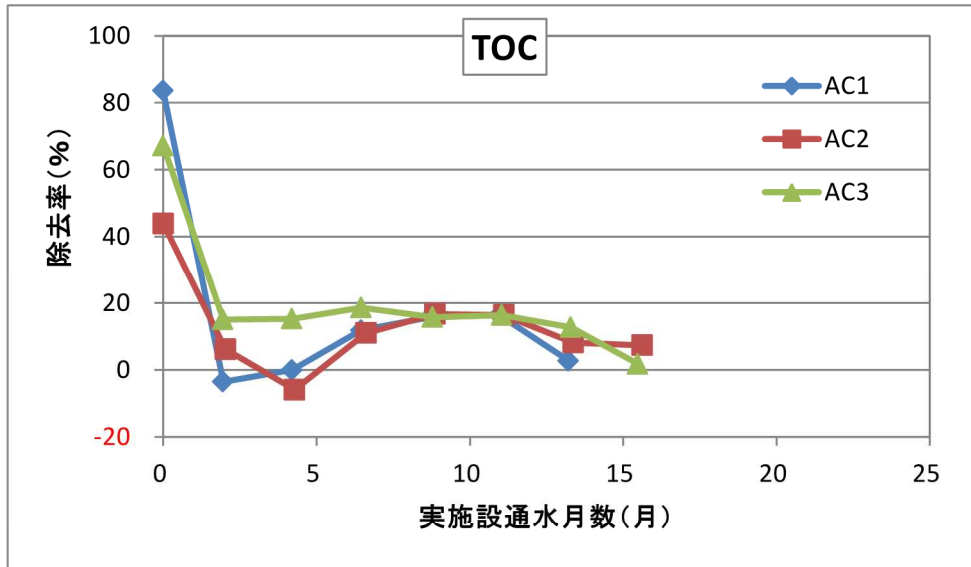


図 4-14 RSSCT における活性炭処理水の TOC

(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 μ g/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 μ m 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。

第5章 実験結果に基づく活性炭の仕様検討

PFOS 等吸着性能の高い活性炭仕様を検討するに当たっては、RSSCT 結果を基に実施設を想定した吸着性能のシミュレーションを行って、コストを含めた総合的な評価を行い、性能と関連する物性値を活性炭仕様へと反映することとした。実施設を想定したシミュレーションでは粒状活性炭吸着池 16 池の交換サイクルや破過曲線の過渡特性を含め、より実施設の状況に即した推定方法とした。

手順と評価方法は以下のとおりである。

1. 実施設における処理水濃度と活性炭交換コストのシミュレーション
2. 参考規制値のその考え方
3. シミュレーション結果と参考規制値への適合状況
4. コストを含めた吸着性能の総合評価

5-1. 実施設における処理水濃度と活性炭交換コストのシミュレーション

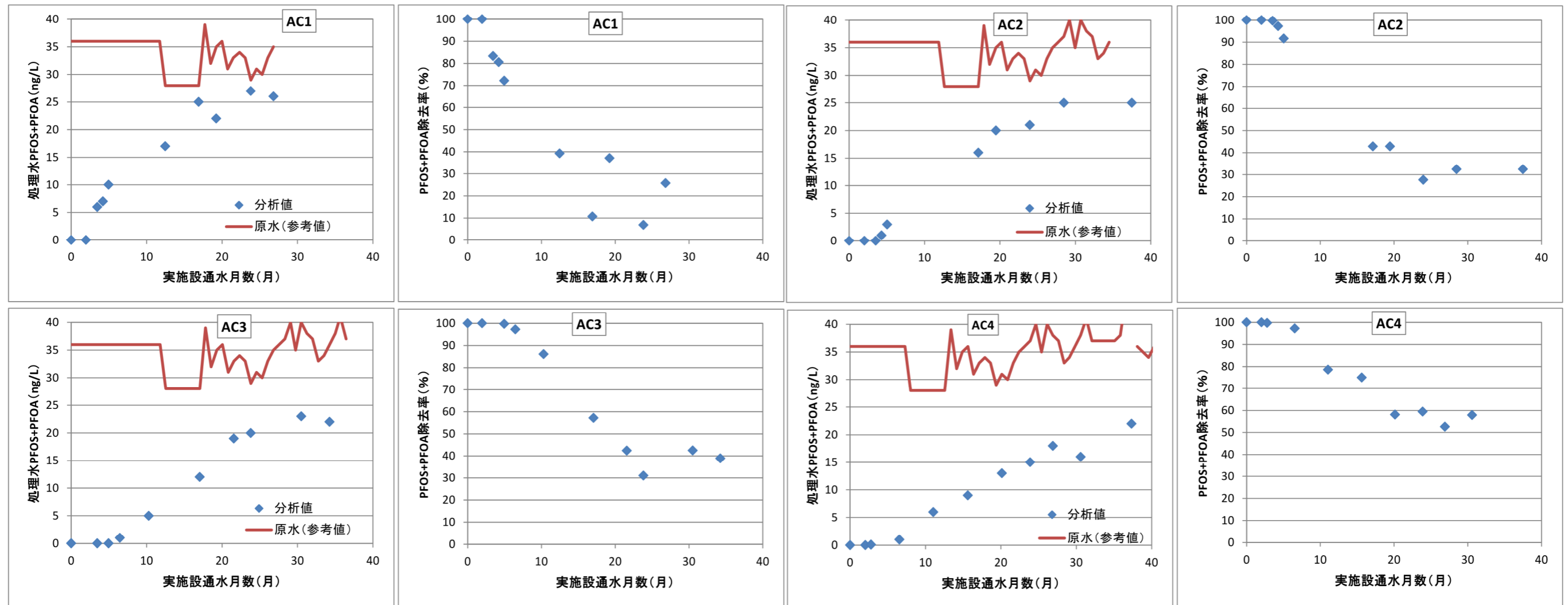
実施設における処理水濃度と活性炭交換コストのシミュレーションを行うために、以下の項目について整理を行い、活性炭交換コストシミュレーションを実施した。

- ①データ棄却検証
- ②回帰式の選定（回帰式 4 種類の比較）
- ③シミュレーションの考え方整理
- ④活性炭単価設定
- ⑤実施設を想定した交換サイクル（年）（0.66 年（8 ヶ月）、1、2、3、4、5、6 年）
- ⑥活性炭交換コストシミュレーション

1) データ棄却について

AC1～AC8 について、実施設通水月数と処理水濃度及び除去率の関係を図 5-1、2 に示す。

図 5-1、2 に示すとおり、処理水濃度の変動形状、除去率の変動形状より特に異常のあるデータはみられなかったため、データ棄却は行わず全ての分析値データを使用して検討を行った。



※最後のデータは原水に関する参考値なし

図 5-1 分析値と除去率 (その 1)

※原水濃度は水質管理事務所の測定値を参考値として用いた。

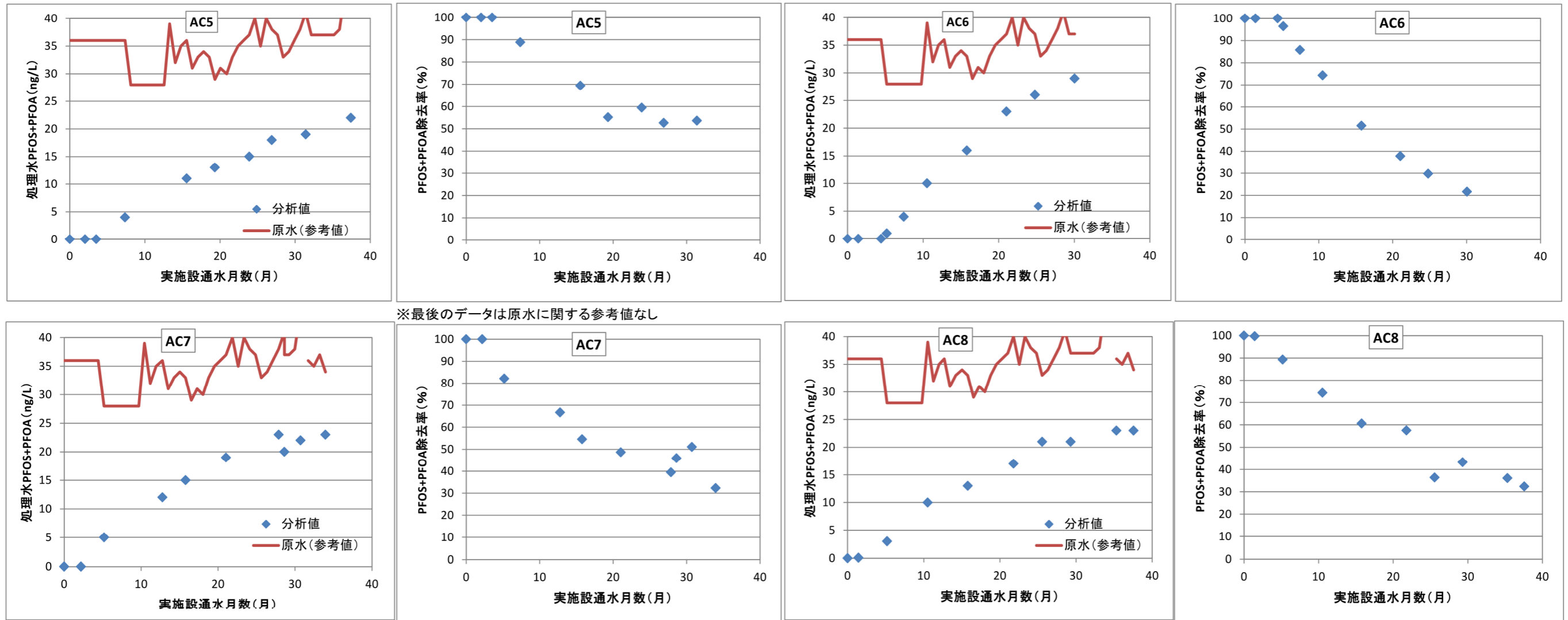


図 5-2 分析値と除去率 (その 2)

※原水濃度は水質管理事務所の測定値を参考値として用いた。

2) 回帰式の選定

回帰式の選定は次の条件で行った。

- 通水初期の合致の度合いを高めるため、処理水濃度が定量下限値未満のデータは回帰計算から除外した。
- 各実験結果から、4種類の回帰計算（直線回帰、指数回帰、累乗回帰、対数回帰）を行った。
- 決定係数（ R^2 ）が大きいこと、通水初期の合致の度合いが良好なことを主な評価軸として選定した。

結果を表 5-1、図 5-3～6 に示す。

AC1 は決定係数（ R^2 ）で判断すると累乗回帰が選定されるが、通水初期の合致の度合いが悪いことから、次に決定係数（ R^2 ）が大きい対数回帰を採用した。他の AC2～AC8 では対数回帰の決定係数（ R^2 ）が大きいことから採用した。したがって、表 5-1 に示すとおり 8 炭種ともに採用した回帰式は対数回帰となった。

表 5-1 採用回帰式一覧

AC No.	データ数	回帰種類	回帰式	決定係数(R ²)	採用
AC1	10	直線回帰	$y=0.9193x+4.6471$	0.9230	
		指数回帰	$y=6.2902e^{0.0628x}$	0.8729	
		累乗回帰	$y=2.6541x^{0.7314}$	0.9671	
		対数回帰	$y=10.409\ln(x)-7.2783$	0.9669	○
AC2	10	直線回帰	$y=0.7825x+0.6752$	0.8928	
		指数回帰	$y=1.7623e^{0.0912x}$	0.7477	
		累乗回帰	$y=0.2064x^{1.4396}$	0.9249	
		対数回帰	$y=11.674\ln(x)-15.878$	0.9859	○
AC3	10	直線回帰	$y=0.8239x-2.3692$	0.9113	
		指数回帰	$y=1.3292e^{0.0991x}$	0.7530	
		累乗回帰	$y=0.0499x^{1.8417}$	0.9170	
		対数回帰	$y=14.268\ln(x)-26.653$	0.9645	○
AC4	10	直線回帰	$y=0.6478x-1.4292$	0.9493	
		指数回帰	$y=1.6081e^{0.0826x}$	0.7221	
		累乗回帰	$y=0.0763x^{1.6401}$	0.8989	
		対数回帰	$y=11.619\ln(x)-21.681$	0.9651	○
AC5	10	直線回帰	$y=0.5853x+1.0426$	0.9741	
		指数回帰	$y=3.889e^{0.0524x}$	0.8490	
		累乗回帰	$y=0.5544x^{1.0413}$	0.9762	
		対数回帰	$y=10.892\ln(x)-18.469$	0.9816	○
AC6	10	直線回帰	$y=1.1649x-3.5289$	0.9762	
		指数回帰	$y=1.5188e^{0.1158x}$	0.7656	
		累乗回帰	$y=0.0874x^{1.8067}$	0.9176	
		対数回帰	$y=16.682\ln(x)-28.333$	0.9865	○
AC7	10	直線回帰	$y=0.6084x+3.9949$	0.9258	
		指数回帰	$y=5.6305e^{0.0471x}$	0.8289	
		累乗回帰	$y=1.4422x^{0.8115}$	0.9693	
		対数回帰	$y=9.9336\ln(x)-11.965$	0.9704	○
AC8	10	直線回帰	$y=0.5991x+2.8227$	0.9277	
		指数回帰	$y=4.3175e^{0.0523x}$	0.7625	
		累乗回帰	$y=0.7545x^{0.9902}$	0.9401	
		対数回帰	$y=10.536\ln(x)-14.765$	0.9854	○

○: 選択した回帰式

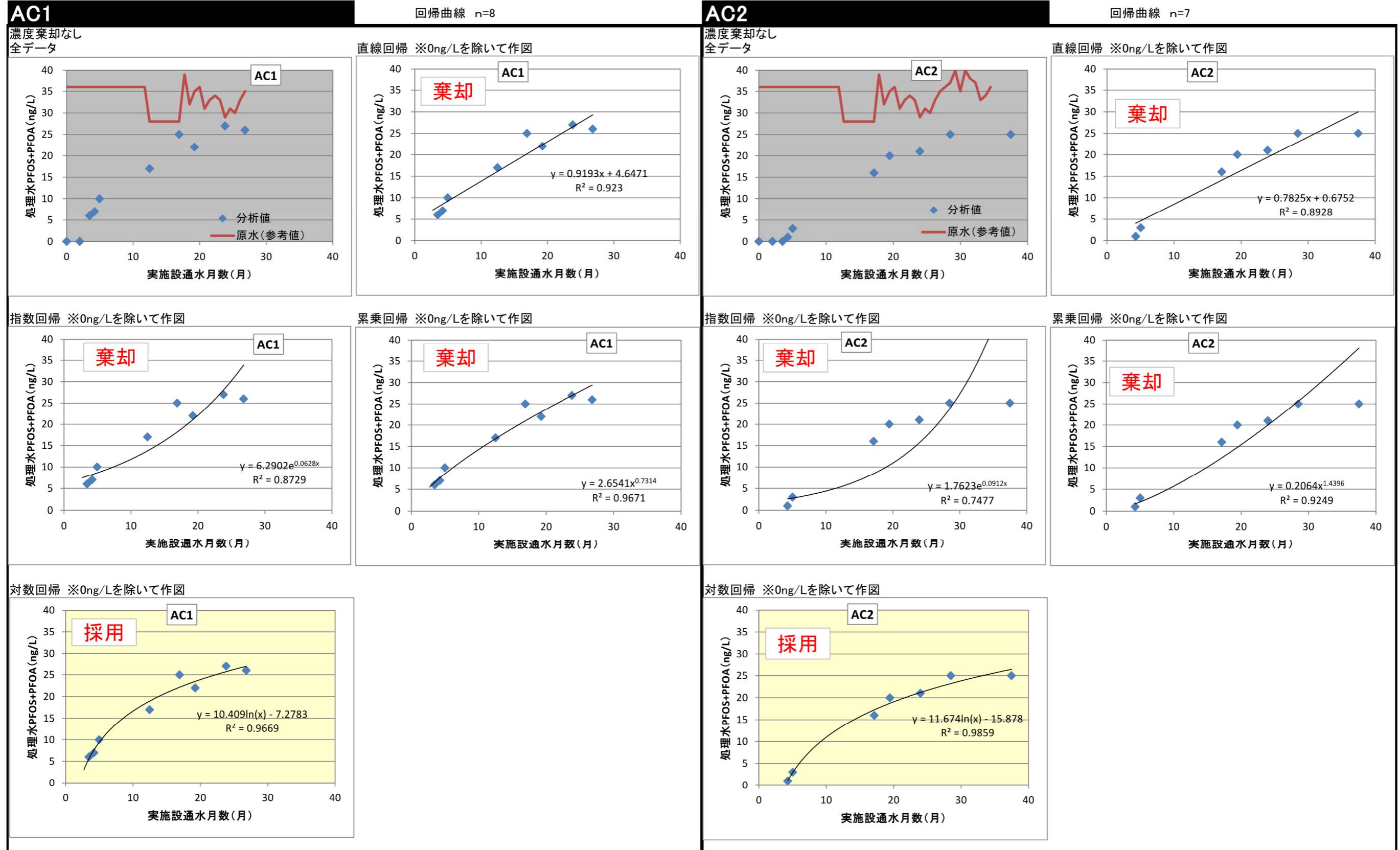
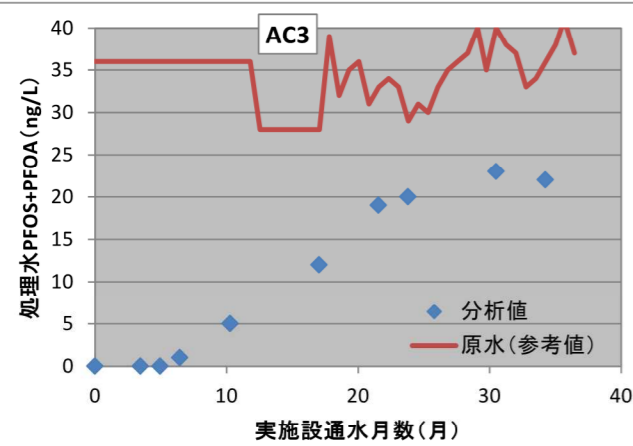


図 5-3 回帰式解析結果 (AC1、AC2)

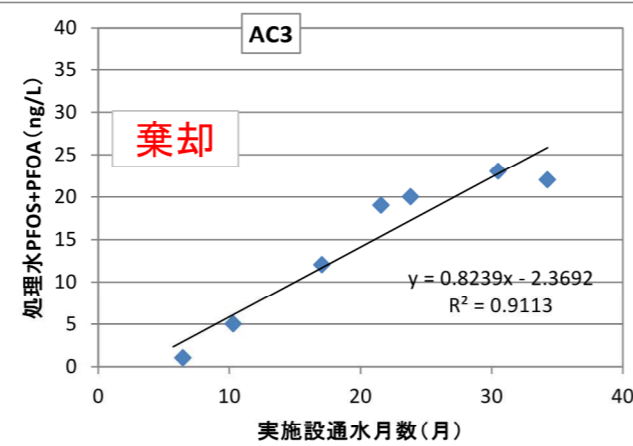
AC3

回帰曲線 n=7

濃度棄却なし
全データ



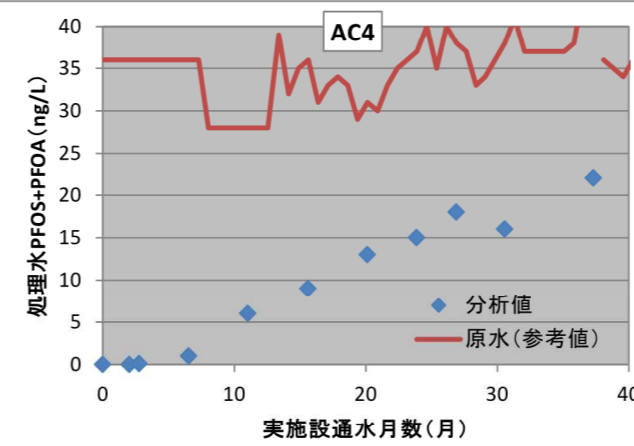
直線回帰 ※0ng/Lを除いて作図



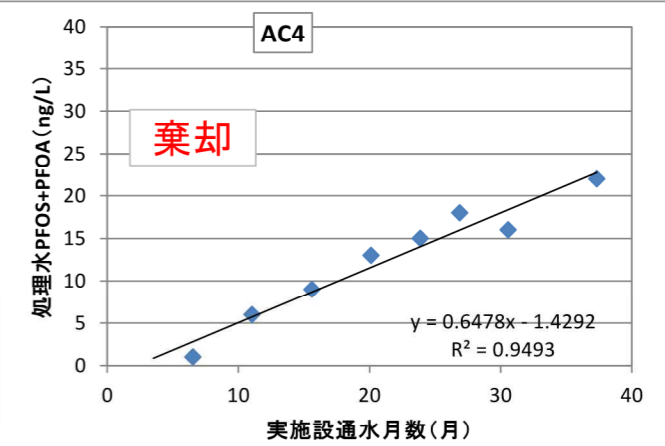
AC4

回帰曲線 n=8

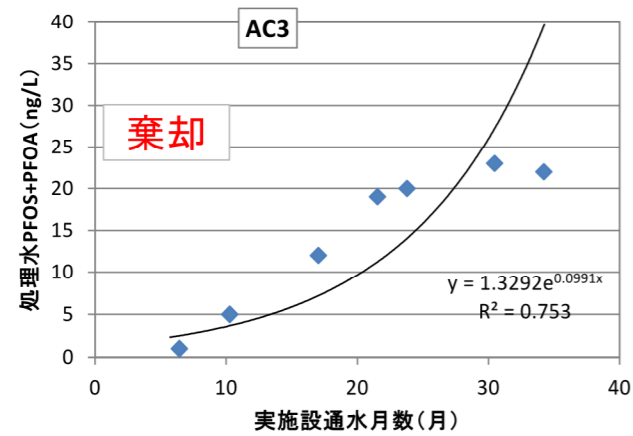
濃度棄却なし
全データ



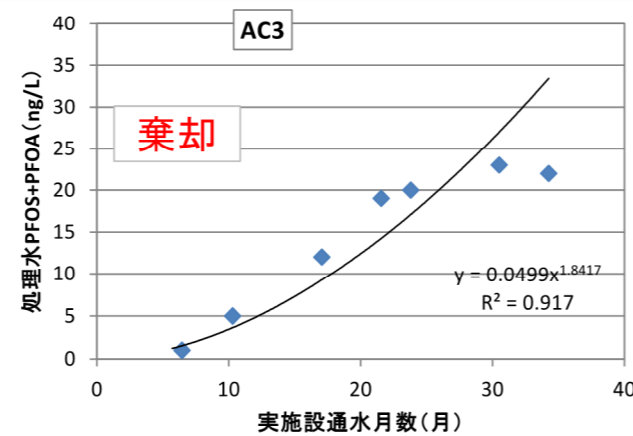
直線回帰 ※0ng/Lを除いて作図



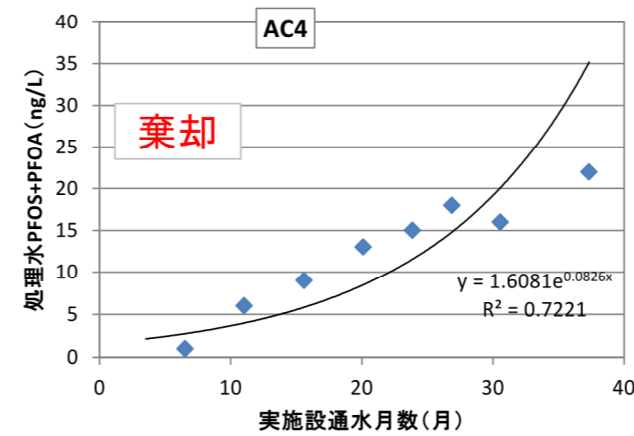
指数回帰 ※0ng/Lを除いて作図



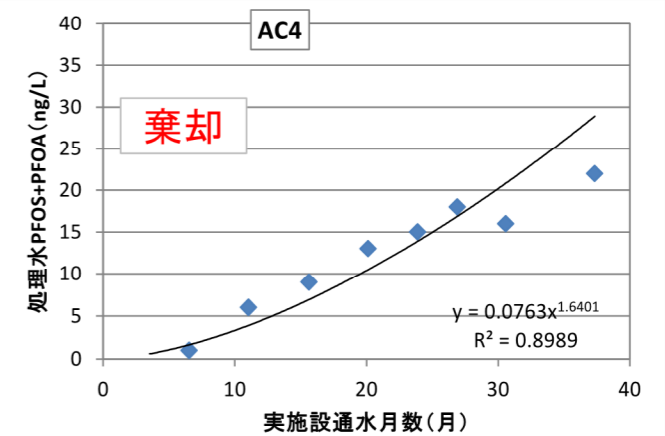
累乗回帰 ※0ng/Lを除いて作図



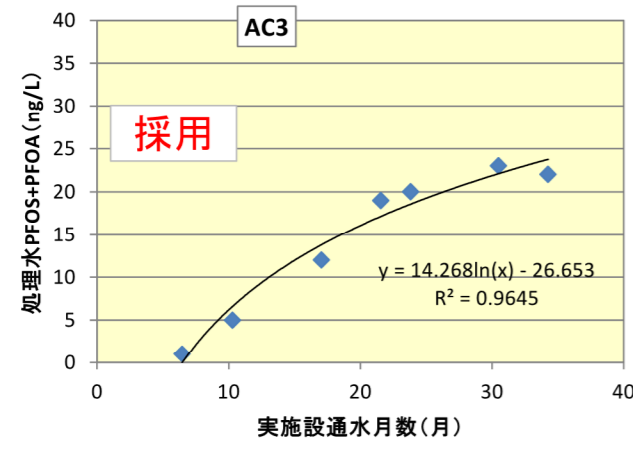
指数回帰 ※0ng/Lを除いて作図



累乗回帰 ※0ng/Lを除いて作図



対数回帰 ※0ng/Lを除いて作図



対数回帰 ※0ng/Lを除いて作図

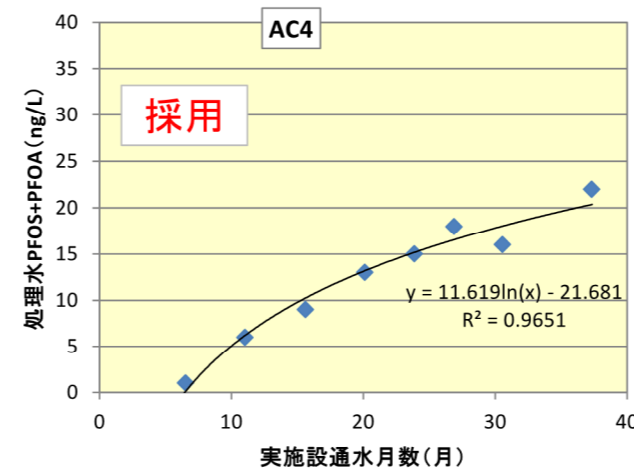
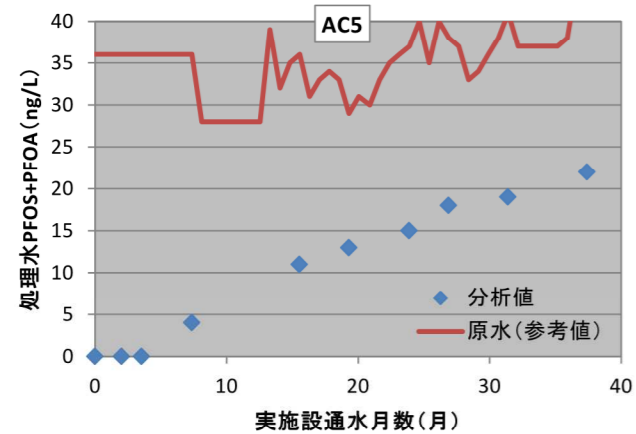


図 5-4 回帰式解析結果 (AC3、AC4)

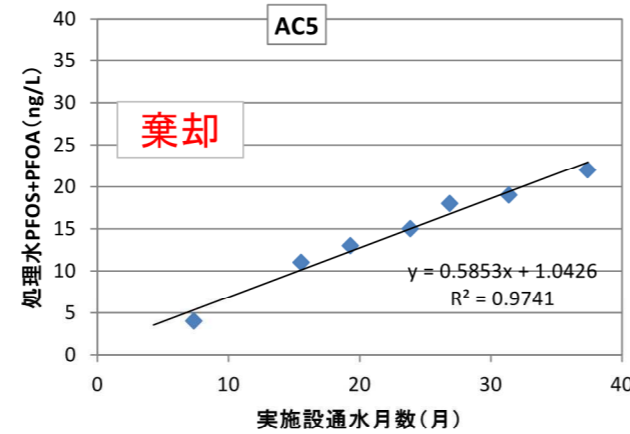
AC5

回帰曲線 n=7

濃度棄却なし
全データ



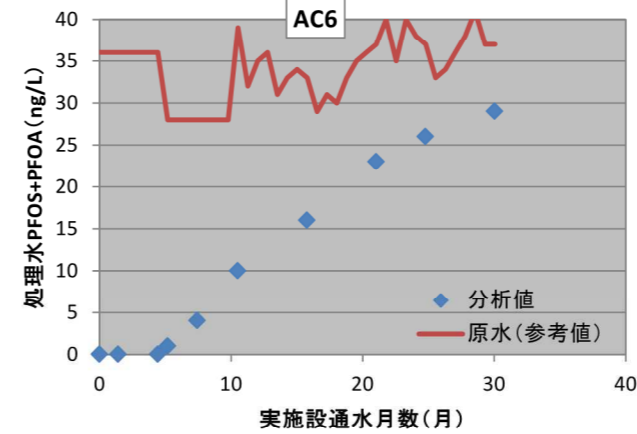
直線回帰 ※0ng/Lを除いて作図



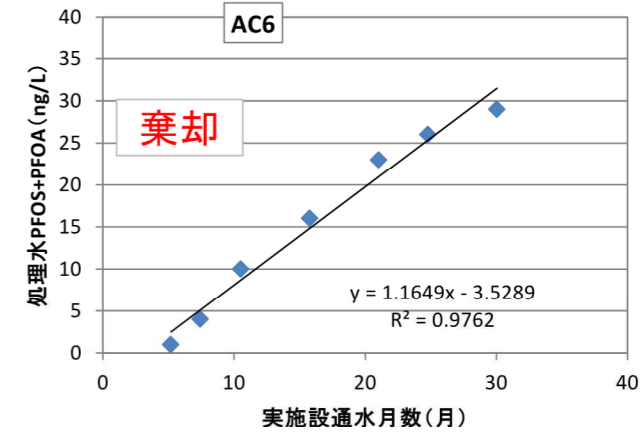
AC6

回帰曲線 n=7

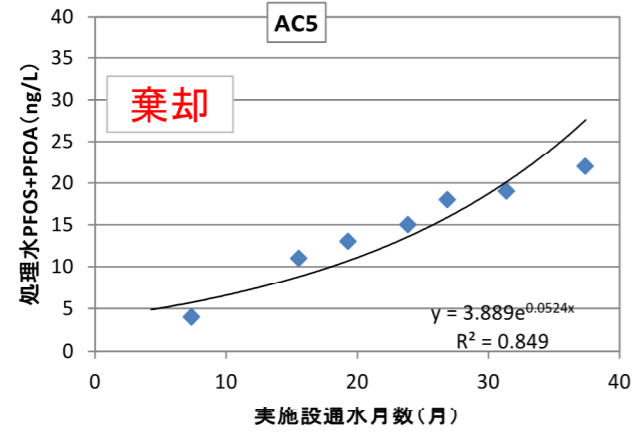
濃度棄却なし
全データ



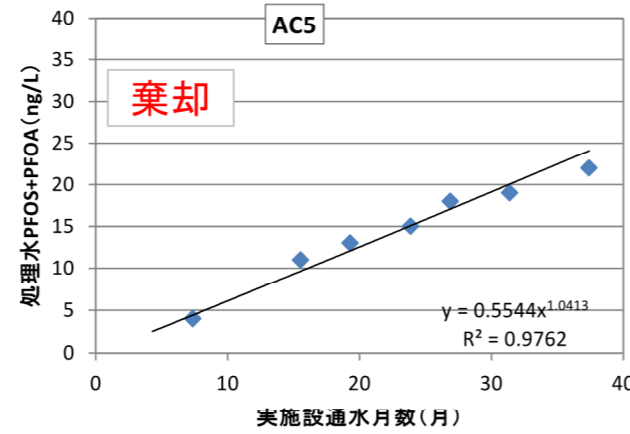
直線回帰 ※0ng/Lを除いて作図



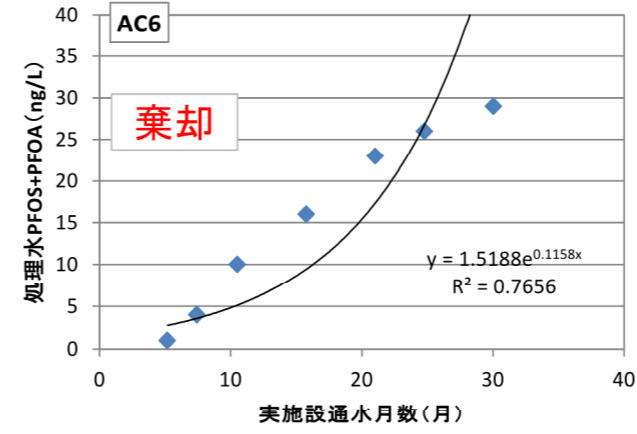
指数回帰 ※0ng/Lを除いて作図



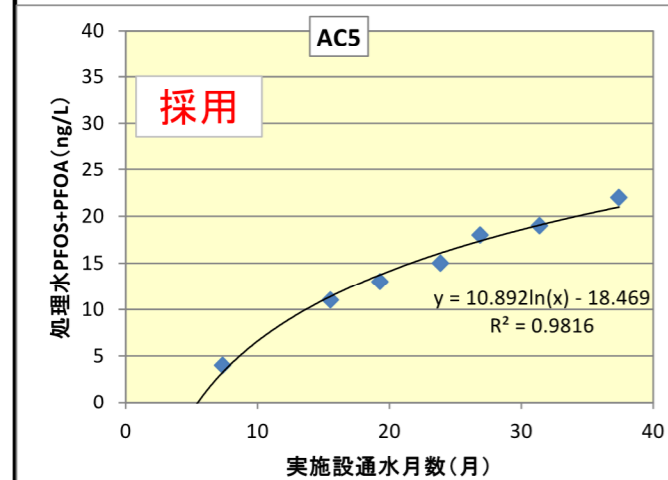
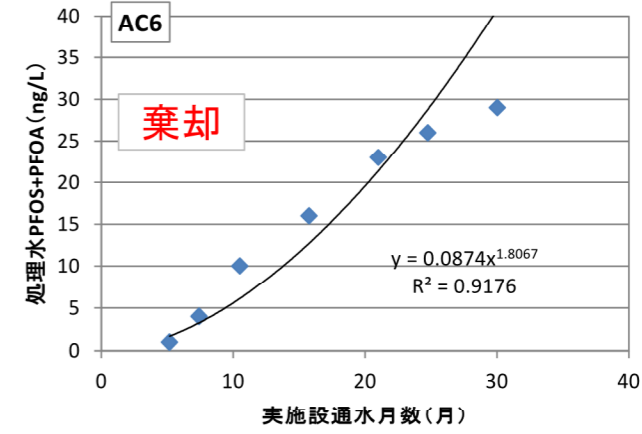
累乗回帰 ※0ng/Lを除いて作図



指数回帰 ※0ng/Lを除いて作図



累乗回帰 ※0ng/Lを除いて作図



対数回帰 ※0ng/Lを除いて作図

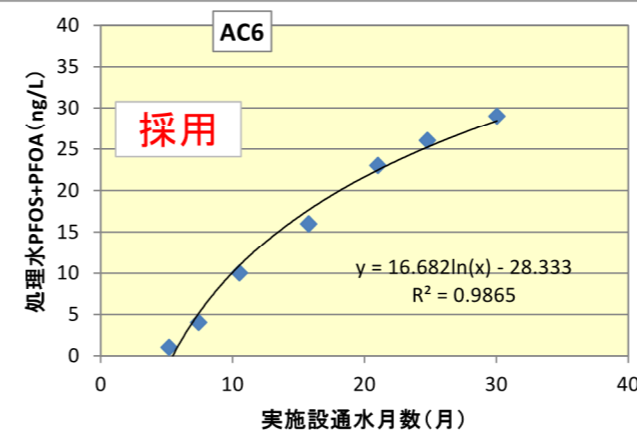


図 5-5 回帰式解析結果 (AC5、AC6)

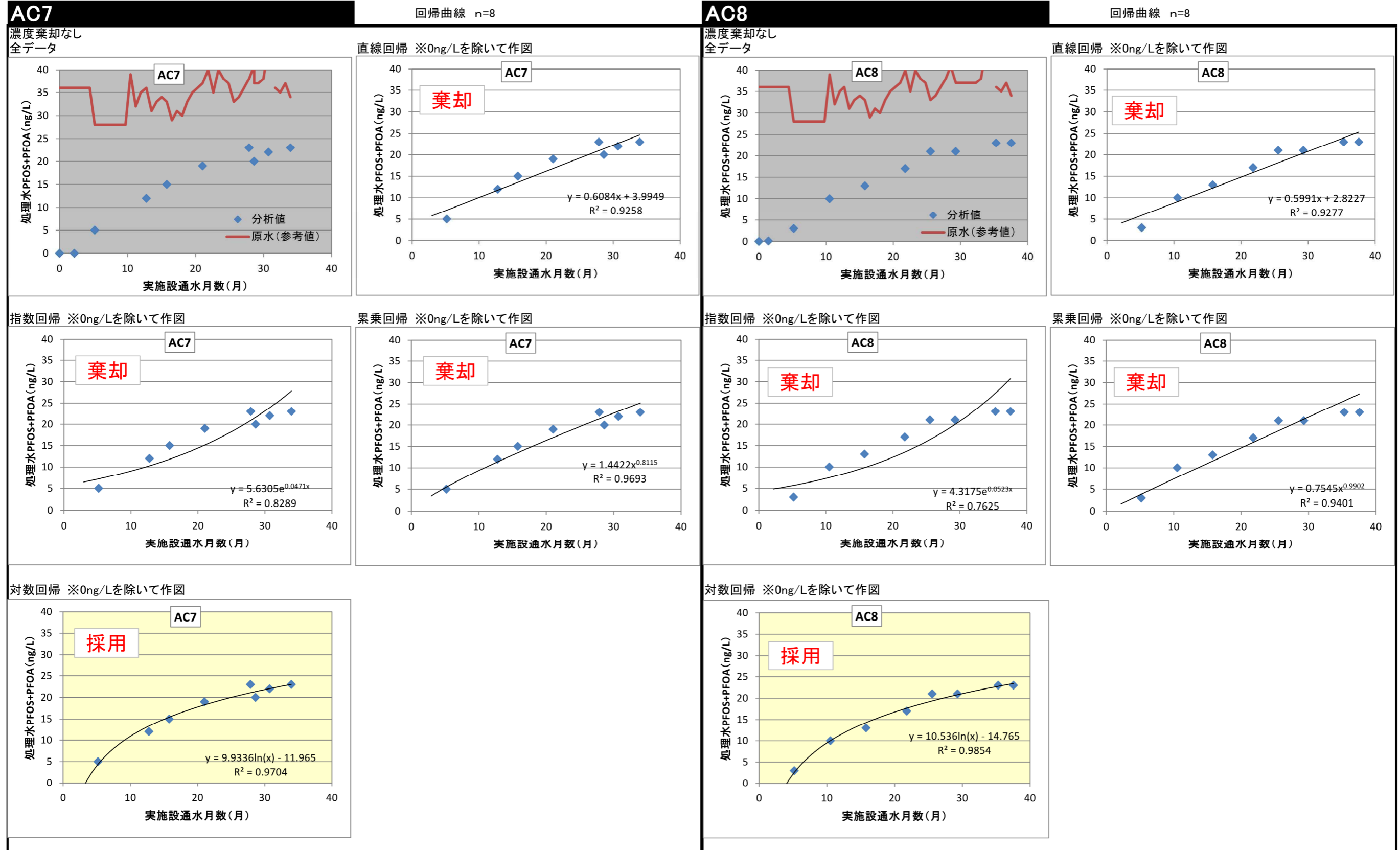


図 5-6 回帰式解析結果 (AC7、AC8)

3) シミュレーションの考え方 (交換サイクル(年)2年を例として)

シミュレーションは以下の考え方で行った。

- 採用回帰式より処理水濃度を計算 (図 5-8 参照)
流入原水濃度 36ng/L であるため、処理水濃度が 36ng/L を超過する場合は 36ng/L で固定した。
- 従前から交換サイクル(年)2年で繰り返してきたことを前提にして、1~4 系列次回交換時期を設定した。
- 1 系列活性炭交換時には、1 ヶ月停止とし、通水量を 4/3 系列 ($4 \div 3 = 1.3$) で運転するため、1 系列当たり 0.3 ヶ月を通水月数にプラスした。
- 回帰式に通水月数を入力し、処理水濃度を計算して、各系列で処理水濃度を記録した。
- 活性炭処理水濃度は、上記の系列別濃度を単純平均とした。
- 平均値列の最大値を交換サイクル(年)2年時の最大値とした。
- シミュレーション結果(例)を図 5-7 に示す。

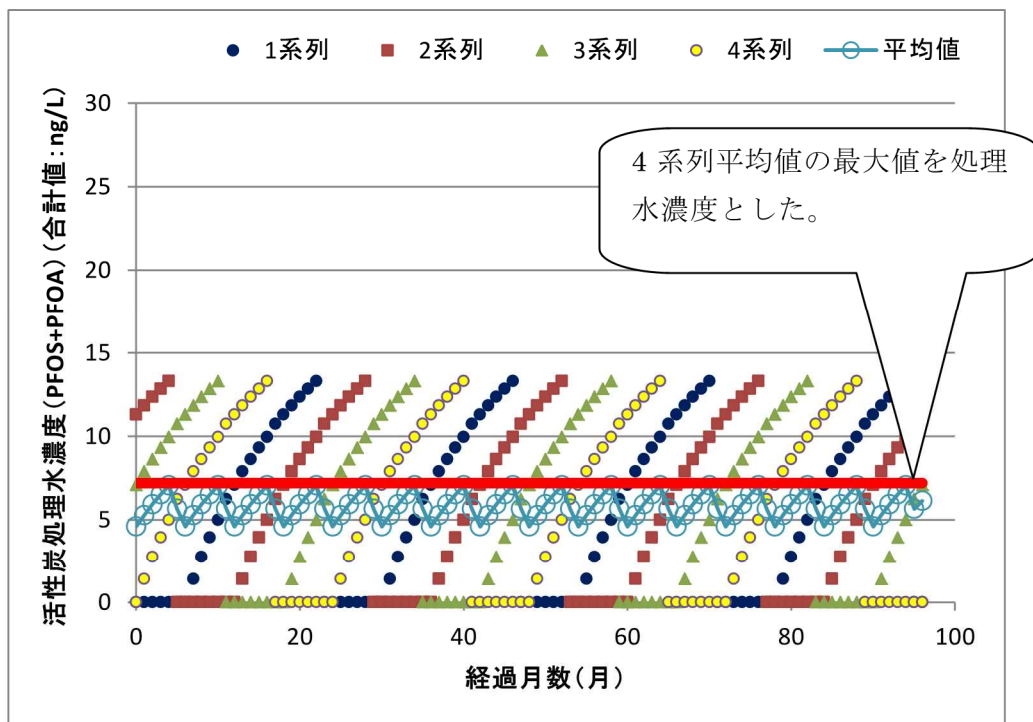


図 5-7 シミュレーション結果(例)と最大値

【シミュレーション内容】

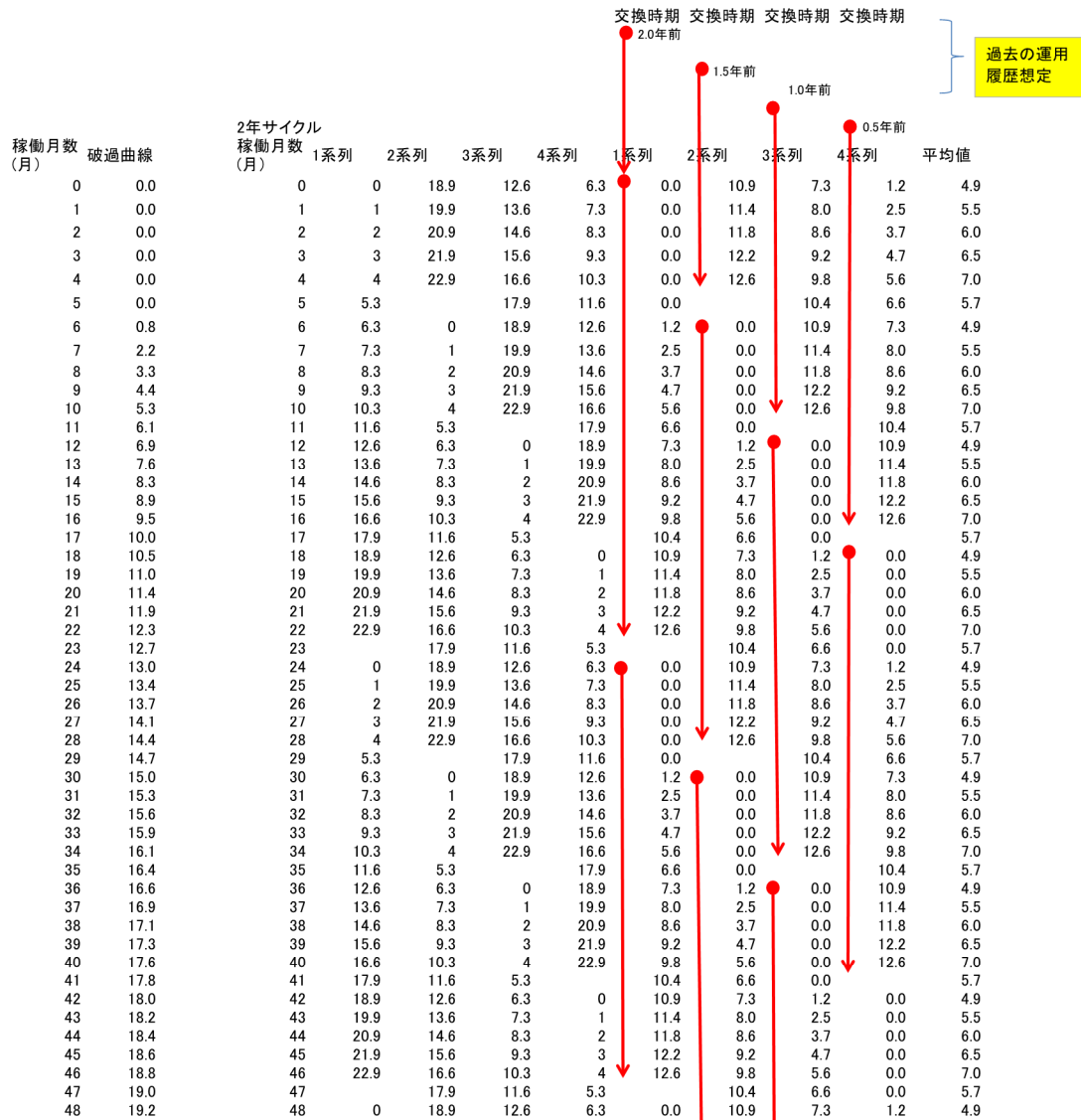


図 5-8 シミュレーションの考え方 (交換サイクル (年) 2 年を例として)

4) 活性炭の単価設定

活性炭の単価は、1 系列 4 池単位で交換する場合を想定し、活性炭量 408.96m³/池を活性炭メーカーに提示して、企業局が見積依頼を行った結果を基に設定した。ここでは請負工事費に活性炭材料費を含んでいる。

$$\text{活性炭の単価 (円/m}^3\text{)} = \text{請負工事費総額 (円)} \div 408.96 \text{ (m}^3\text{/4 池)}$$

11 メーカーの活性炭単価表を表 5-2 に示す。

表 5-2 活性炭入替え工事費（見積ベース）

見積もり条件

・4池取替費用

・投入活性炭量 408.96m³

・請負工事費は4池取替、408.96m³投入するものとして見積もり徴収

AC No.	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	破碎炭	破碎炭	破碎炭	破碎炭	破碎炭	破碎炭	破碎炭	破碎炭
活性炭単価 (円/m ³)	470,000	450,000	460,000	520,000	648,000	590,000	510,000	660,000
請負工事費 (円)	310,794,000	301,092,000	305,943,000	334,488,000	394,548,000	367,246,000	329,659,000	400,268,000
工事費込み単価 (円/m ³)	760,000	736,000	748,000	818,000	965,000	898,000	806,000	979,000
最小値に対する比率	1.03	1.00	1.02	1.11	1.31	1.22	1.10	1.33
RSSCT対象活性炭	○	○	○	○	○	○	○	○
AC No.	AC9	AC10	AC11					
原料	石炭	石炭	石炭					
形状	破碎炭	球状(成形)	破碎炭					
活性炭単価 (円/m ³)	586,000	1,100,000	600,000					
請負工事費 (円)	365,299,000	607,728,000	372,020,000					
工事費込み単価 (円/m ³)	893,000	1,486,000	910,000					
最小値に対する比率	1.21	2.02	1.24					
RSSCT対象活性炭								

5-2. 参考規制値とその考え方

シミュレーション結果を比較のための目安とする浄水濃度を設定するに当たり、国内の暫定目標値が今後強化されることを見越して、諸外国の事例を踏まえて参考規制値として設定した。

1) PFOS 等の諸外国の規制値

諸外国における PFOS 等の規制値を整理すると以下のとおりであった。

- ①アメリカ環境保護庁 (EPA) 2016.5
PFOS、PFOA の合計値 (生涯健康勧告値) 70ng/L
- ②欧州連合 (EU) 2020.12
全ての PFAS 類 (飲料水指令) 500ng/L
20 種の PFAS 類合計 (飲料水指令) 100ng/L
- ③スウェーデン食品庁 2016.12
11 種の PFAS 類合計 (Action Level : 許容摂取量の 10% を超えない限界値) 90ng/L
- ④アメリカ ニューヨーク州飲料水品質評議会 2018.12.18
PFOS、PFOA (最大許容濃度) それぞれ 10ng/L
合計 : 20ng/L
- ⑤アメリカ バーモント州自然資源庁
5 種の PFAS 類合計 (最大許容濃度) 20ng/L
- ⑥厚生労働省 2020.4.1
水質管理目標設定項目
PFOS、PFOA 合計 50ng/L (暫定) 以下

※PFAS : (poly- and perfluoroalkyl substances, 「PFAS」、パーフルオロアルキル化合物及びペルフルオロアルキル化合物) 4,000種以上の異なる化合物の総称。

2) 参考規制値の根拠

シミュレーションを実施するに当たって、参考規制値を表 5-3 に示す。

表 5-3 参考規制値設定とその根拠

参考規制値	設定根拠
20ng/L	ニューヨーク州の最大許容濃度を採用
15ng/L	スウェーデン食品庁の Action Level 値を参考 $90\text{ng/L} \div 11 \text{種} \times 2 \text{種} = 16.3 \div 15\text{ng/L}$
8ng/L	バーモント州の最大許容濃度を参考 $20\text{ng/L} \div 5 \text{種} \times 2 \text{種} = 8\text{ng/L}$

5-3. シミュレーション結果と参考規制値への適合状況

シミュレーションは、分析値を基にデータの棄却は行わず、得られた回帰式を用いて、16池を4池毎の4系列に分割して、交換サイクル内に活性炭を交換する条件で行った。参考規制値以下とするために必要な交換サイクル（年）のシミュレーション結果を表5-4に、表5-4を基に参考規制値への適合状況及び活性炭取替ランニングコストをまとめたものを表5-5に示す。

表5-5にまとめた参考規制値以下を満足する為に必要な交換サイクル（年）と同サイクルにおける処理水濃度及び活性炭取替ランニングコストの結果より、吸着寿命が比較的長いものとして次の4種が挙げられた。

【活性炭処理水濃度 20ng/L 以下を維持できる交換サイクル（年）】

AC3 : 4年間

AC4 : 5年間

AC5 : 5年間

AC8 : 4年間

表 5-4 シミュレーション結果と参考規制値への適合状況

活性炭1回再生当たり活性炭量: 408.96 m³/4池

		単位	活性炭の種類								備考
			AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	
採用回帰式	速報値を用いて作図し、決定係数が大きい回帰式を採用	—	対数回帰 10.409 × ln(x) - 7.2783 決定係数0.9669	対数回帰 11.674 × ln(x) - 15.878 決定係数0.9859	対数回帰 14.268 × ln(x) - 26.653 決定係数0.9645	対数回帰 11.619 × ln(x) - 21.681 決定係数0.9651	対数回帰 10.892 × ln(x) - 18.469 決定係数0.9816	対数回帰 y=16.682 × ln(x) - 28.333 R ² =0.9865	対数回帰 9.9366ln(x) - 11.965 決定係数0.9704	対数回帰 10.536ln(x) - 14.765 決定係数0.9854	AC1~8破過曲線
北谷浄水場系列数	—	—	4	4	4	4	4	4	4	4	4
年当たりの活性炭交換系列数	0.66年(8ヶ月)	系列数 ÷ 交換サイクル(年)	系列/年	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
	1年			4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	2年			2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	3年			1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	4年			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	5年			0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
所要活性炭量	0.66年(8ヶ月)	408.96m ³ /4池・系列×年当たりの活性炭交換系列数	m ³ /年	2478.5	2478.5	2478.5	2478.5	2478.5	2478.5	2478.5	2478.5
	1年			1635.8	1635.8	1635.8	1635.8	1635.8	1635.8	1635.8	1635.8
	2年			817.9	817.9	817.9	817.9	817.9	817.9	817.9	817.9
	3年			545.3	545.3	545.3	545.3	545.3	545.3	545.3	545.3
	4年			409.0	409.0	409.0	409.0	409.0	409.0	409.0	409.0
	5年			327.2	327.2	327.2	327.2	327.2	327.2	327.2	327.2
活性炭単価	0.66年(8ヶ月)	県提示 ・1系列=4池単位で交換する場合を想定し、408.96m ³ をメーカーに提示して見積採取 ・請負工事費を含む	千円/m ³	760	736	748	818	965	898	806	979
	1年			760	736	748	818	965	898	806	979
	2年			760	736	748	818	965	898	806	979
	3年			760	736	748	818	965	898	806	979
	4年			760	736	748	818	965	898	806	979
	5年			760	736	748	818	965	898	806	979
交換サイクル(年)毎の処理水濃度(最大値)及び1年当たりのランニングコスト	0.66年(8ヶ月)	16池処理水の混合した濃度(最大値)	ng/L	5.8	2.2	0.2	0.2	0.6	1.0	2.6	2.3
		ランニングコスト	千円/年	1,884,000	1,825,000	1,854,000	2,028,000	2,392,000	2,226,000	1,998,000	2,427,000
	1年	16池処理水の混合した濃度(最大値)	ng/L	9.8	5.2	2.4	2.0	2.8	4.3	5.6	4.4
		ランニングコスト	千円/年	1,244,000	1,204,000	1,224,000	1,339,000	1,579,000	1,469,000	1,319,000	1,602,000
	2年	16池処理水の混合した濃度(最大値)	ng/L	17.9	12.3	9.5	7.8	8.7	13.3	12.0	10.7
		ランニングコスト	千円/年	622,000	602,000	612,000	670,000	790,000	735,000	660,000	801,000
	3年	16池処理水の混合した濃度(最大値)	ng/L	22.7	17.8	14.5	11.8	12.9	19.8	16.7	15.6
		ランニングコスト	千円/年	415,000	402,000	408,000	447,000	527,000	490,000	440,000	534,000
	4年	16池処理水の混合した濃度(最大値)	ng/L	26.6	22.2	19.8	16.2	17.0	26.0	20.4	19.6
		ランニングコスト	千円/年	311,000	301,000	306,000	335,000	395,000	368,000	330,000	401,000
	5年	16池処理水の混合した濃度(最大値)	ng/L	28.5	24.3	22.4	18.3	19.0	29.0	22.2	21.5
		ランニングコスト	千円/年	249,000	241,000	245,000	268,000	316,000	294,000	264,000	321,000
6年	16池処理水の混合した濃度(最大値)	ng/L	30.3	26.5	25.2	20.5	21.1	30.1	24.1	23.5	
	ランニングコスト	千円/年	208,000	201,000	204,000	224,000	264,000	245,000	220,000	267,000	
コストパフォーマンスが良い活性炭			—	—	3	1	2	—	—	4	

参考規制値① 20 ng/L以下
 参考規制値② 15 ng/L以下
 参考規制値③ 8 ng/L以下

表 5-5 参考規制値以下を満足する為に必要な交換サイクル（年）と
同サイクルにおける処理水濃度及び活性炭取替ランニングコスト

参考規制値		単位	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8
8ng/L 以下	交換サイクル(年)	年	0.66	1	1	2	1	1	1.0	1
	処理水濃度	ng/L	5.8	5.2	2.4	7.8	2.8	4.3	5.6	4.4
	ランニングコスト	千円/年	1,884,000	1,204,000	1,224,000	670,000	1,579,000	1,469,000	1,319,000	1,602,000
15ng/L 以下	交換サイクル(年)	年	1	2	3	3	3	2	2	2
	処理水濃度	ng/L	9.8	12.3	14.5	11.8	12.9	13.3	12.0	10.7
	ランニングコスト	千円/年	1,244,000	602,000	408,000	447,000	527,000	735,000	660,000	801,000
20ng/L 以下	交換サイクル(年)	年	2	3	4	5	5	3	3	4
	処理水濃度	ng/L	17.9	17.8	19.8	18.3	19.0	19.8	16.7	19.6
	ランニングコスト	千円/年	622,000	402,000	306,000	268,000	316,000	490,000	440,000	401,000

5-4. コストを含めた吸着性能の総合評価

コストを含めた吸着性能の総合評価の手法は、次に示す考え方で行った。

1) 活性炭選定条件

①吸着寿命の比較

参考規制値 3 条件を満たす吸着寿命を比較し優れた活性炭を選定した。

②コストを含めた吸着性能の総合評価

①で選定した活性炭について以下の考え方で総合評価を行った。

(a)選定活性炭の順位付け

(a)-1 同一処理水濃度までの吸着寿命を比較した。

(a)-2 4 年を交換サイクルとしたランニングコスト比較した。

(b)活性炭の総合評価

「同一処理水濃度までの吸着寿命」と「4 年を交換サイクルとしたランニングコスト」を併せて活性炭の総合評価を行った。

2) 活性炭選定結果

(1)吸着寿命の比較

表 5-5 にまとめた参考規制値以下を満足する為に必要な交換サイクル（年）と同サイクルにおける処理水濃度及び活性炭取替ランニングコストの結果より、吸着寿命が比較的長いものとして次の 4 種が挙げられた。

【活性炭処理水濃度 20ng/L 以下を維持できる交換サイクル（年）】

AC3 : 4 年間

AC4 : 5 年間

AC5 : 5 年間

AC8 : 4 年間

一方、上記 4 種につき、同様な交換サイクル（年）4 年における処理濃度を比較すると表 5-6 のとおりであり、16.2～19.8ng/L の範囲であった。

表 5-6 交換サイクル 4 年における活性炭処理水濃度の倍率

活性炭種	処理水濃度 (ng/L)	比率(-)
AC3	19.8	1.22
AC4	16.2	1.00
AC5	17.0	1.05
AC8	19.6	1.20

活性炭処理水濃度が最も低い AC4 を 1.00 とした比率を求め、比率の低い次の 2 種を選定した。

【交換サイクル（年）、処理水濃度からの選定結果】

AC4

AC5

表 5-7 参考規制値の交換サイクル（年）の比較結果

参考規制値	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8
8ng/L以下	0.66	1	1	2	1	1	1	1
15ng/L以下	1	2	3	3	3	2	2	2
20ng/L以下	2	3	4	5	5	3	3	4

(2) コストを含めた吸着特性の総合評価

一定の処理水濃度における交換サイクル(年)からの評価結果は前章のとおりである。しかし破過曲線の形状及び過渡特性は活性炭毎に異なるため、この様な一断面のみの評価では不十分である。

このため、処理水濃度 2ng/L ピッチ毎に通水可能期間を回帰式から計算し、その平均値の比率で、破過曲線形状及び過渡特性を含めた総合的特性で検証を行うこととした。

(a)-1 同一処理水濃度までの吸着寿命

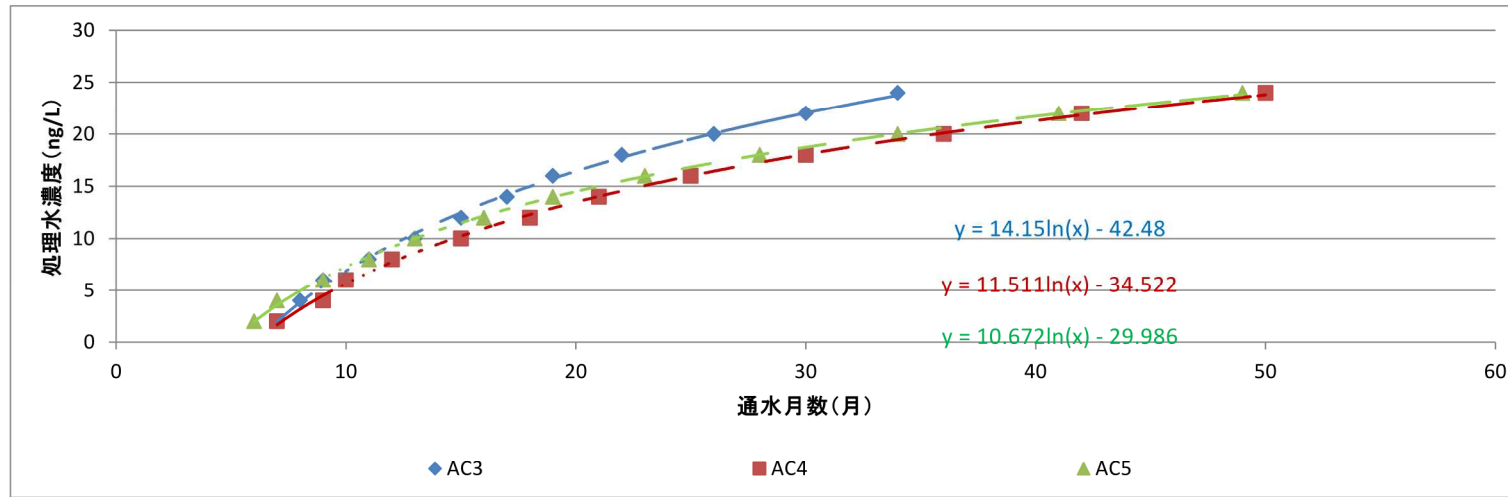
選定された 2 種類のそれぞれの回帰式を用いて、処理水濃度 2~24ng/L (2ng/L 間隔) とした場合の吸着寿命 (実施設通水月数) を求めた。

ここで、実施設運用炭である AC3 を対照として (1.00 倍)、AC4、5 に対する寿命比率を求めた。吸着寿命は全濃度範囲平均と 3 条件参考規制値範囲 (8~20ng/L) の平均とした。結果は図 5-9、表 5-8 に示すとおりであった。

全濃度範囲及び 3 条件規制値範囲において、AC4 は 1.24 倍、1.25 倍、AC5 は 1.13 倍、1.14 倍と長い結果となった。

表 5-8 同一処理水濃度までの吸着寿命のまとめ

—	AC No.	全濃度範囲平均 (2~24ng/L)	3 条件参考規制値範囲 (8~20ng/L)
吸着寿命で選定した 活性炭	AC4	1.24	1.25
	AC5	1.13	1.14
比較対照 (実施設運用炭)	AC3	1.00	1.00



処理水濃度 (ng/L)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	平均	8~20ng/L範囲 平均
異定活性炭 AC4(通水月数)	7	9	10	12	15	18	21	25	30	36	42	50	22.9	
異定活性炭 AC5(通水月数)	6	7	9	11	13	16	19	23	28	34	41	49	21.3	
比較対照 AC3(通水月数)	7	8	9	11	13	15	17	19	22	26	30	34	17.6	
寿命比率 AC4	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.24	1.25
AC5	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.13	1.14
AC3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00	1.00

※実施運用炭AC3を1.0とした。

通水月数算定に用いた回帰式

AC3: $y = 14.268\ln(x) - 26.65$ Y:処理水濃度ng/L X:月数

AC4: $y = 11.619\ln(x) - 21.681$ Y:処理水濃度ng/L X:月数

AC5: $y = 10.892\ln(x) - 18.46$ Y:処理水濃度ng/L X:月数

図 5-9 各処理水濃度に到達する通水期間（吸着寿命）の比較

(a)-2 4年交換サイクルのランニングコスト比較

つづいて吸着寿命の比較で選定した活性炭 AC4、5 及び比較対照の AC3 のランニングコストを比較した。同一の交換サイクル条件における比較が適当であることから、以下の根拠に基づき 4 年交換サイクルの単年ランニングコスト（千円/年）を比較することとした。

4 年交換サイクルとした根拠は以下のとおりである。

- 北谷浄水場は令和 2 年度から 4 年間に於いて国庫補助による活性炭取替を 4 年に 1 回のサイクル（全 16 池を 1 年に 4 池取替）で実施する予定である。
- 北谷浄水場の過年度浄水実績（令和元年度平均 23ng/L）を下回るには 4 年以下の交換サイクルが必要（比較対照の AC3 を含む場合）であるため。

ここでは、実施設運用炭である AC3 のランニングコストを 1.00 倍として AC4、AC5 のランニングコスト比率を求めた。交換サイクル（年）4 年のランニングコスト比較の結果を表 5-9 に示す。表 5-9 に示すとおり、ランニングコストは AC3 1.00 倍に対して、AC4 は 1.09 倍、AC5 は 1.29 倍の結果であった。

表 5-9 4 年交換サイクルのランニングコスト比較結果

	AC No.	4年交換サイクル ランニングコスト (千円/年)	ランニングコスト 比率(-)
吸着寿命で選定した 活性炭	AC4	335,000	1.09
	AC5	395,000	1.29
比較対照 (実施設運用炭)	AC3	306,000	1.00

3) 活性炭の総合評価

上記の検討結果を踏まえて、選定された 2 種類について総合評価を行った。それぞれの条件における最も優れている活性炭は以下のとおりであった。

吸着寿命の比較結果 AC4

4 年交換サイクルのランニングコスト比較結果 AC3

AC4 は AC3 に対して、ランニングコストは 1.09 倍掛かるが、3 条件参考規制値の範囲（8、15、20ng/L）で 1.25 倍の吸着寿命が期待できる結果となった。一方、AC5 は AC3 に対して、3 条件参考規制値の範囲（8、15、20ng/L）で 1.14 倍の吸着寿命が期待できるが、ランニングコストは 1.29 倍掛かる結果となった。

したがって、総合的*に AC4 が優れていると判断した。

*総合的内容

- ・吸着寿命が AC3 に対して 1.25 倍と優位となる。
- ・ランニングコストは AC3 に対して 1.09 倍と大きな差がない。

5-5. PFOS 等の処理に適した活性炭仕様の検討

コストを含めた吸着性能の総合評価で活性炭は AC4 が選定された。

ここでは、PFOS 等の処理に適した活性炭仕様を検討するに当たって、その活性炭の物性値を採用することが可能であるか検討を行い、活性炭仕様案を作成した。

1) 活性炭物性値との相関確認

活性炭吸着性能で最も重要な要素は、浄水場の浄水が一定濃度に達するまでの期間が長いことである。北谷浄水場を想定した吸着性能シミュレーションで算出した結果を用いて、各炭種の一定濃度になるまでの期間を求め、物性値と比較した。次に、活性炭物性項目を指定することにより、活性炭の寿命（能力）を選定できることを確認した。

北谷浄水場を想定した吸着性能シミュレーションの処理水濃度と交換サイクルの結果を表 5-10 に示す。その相関関係は図 5-9 に示すとおりであった。図 5-10 の関係式より参考規制値（8、15、20ng/L）に対する交換年数を求めると表 5-11 に示すとおりであった。

表 5-10 交換サイクル（年）と処理水濃度（ng/L）

交換サイクル(年)	0.66年 (8ヶ月)	1年	2年	3年	4年	5年	6年
AC1	5.8	9.8	17.9	22.7	26.6	28.5	30.3
AC2	2.2	5.2	12.3	17.8	22.2	24.3	26.5
AC3	0.2	2.4	9.5	14.5	19.8	22.4	25.2
AC4	0.2	2.0	7.8	11.8	16.2	18.3	20.5
AC5	0.6	2.8	8.7	12.9	17.0	19.0	21.1
AC6	1.0	4.3	13.3	19.8	26.0	29.0	30.1
AC7	2.6	5.6	12.0	16.7	20.4	22.2	24.1
AC8	2.3	4.4	10.7	15.6	19.6	21.5	23.5

表 5-11 参考規制値を満たす最長の交換年数（年）

	8ng/L	15ng/L	20ng/L
AC1	0.8	1.5	2.4
AC2	1.2	2.3	3.5
AC3	1.5	2.8	4.2
AC4	1.8	3.7	6.1
AC5	1.6	3.4	5.7
AC6	1.2	2.0	2.8
AC7	1.2	2.5	4.0
AC8	1.3	2.7	4.4

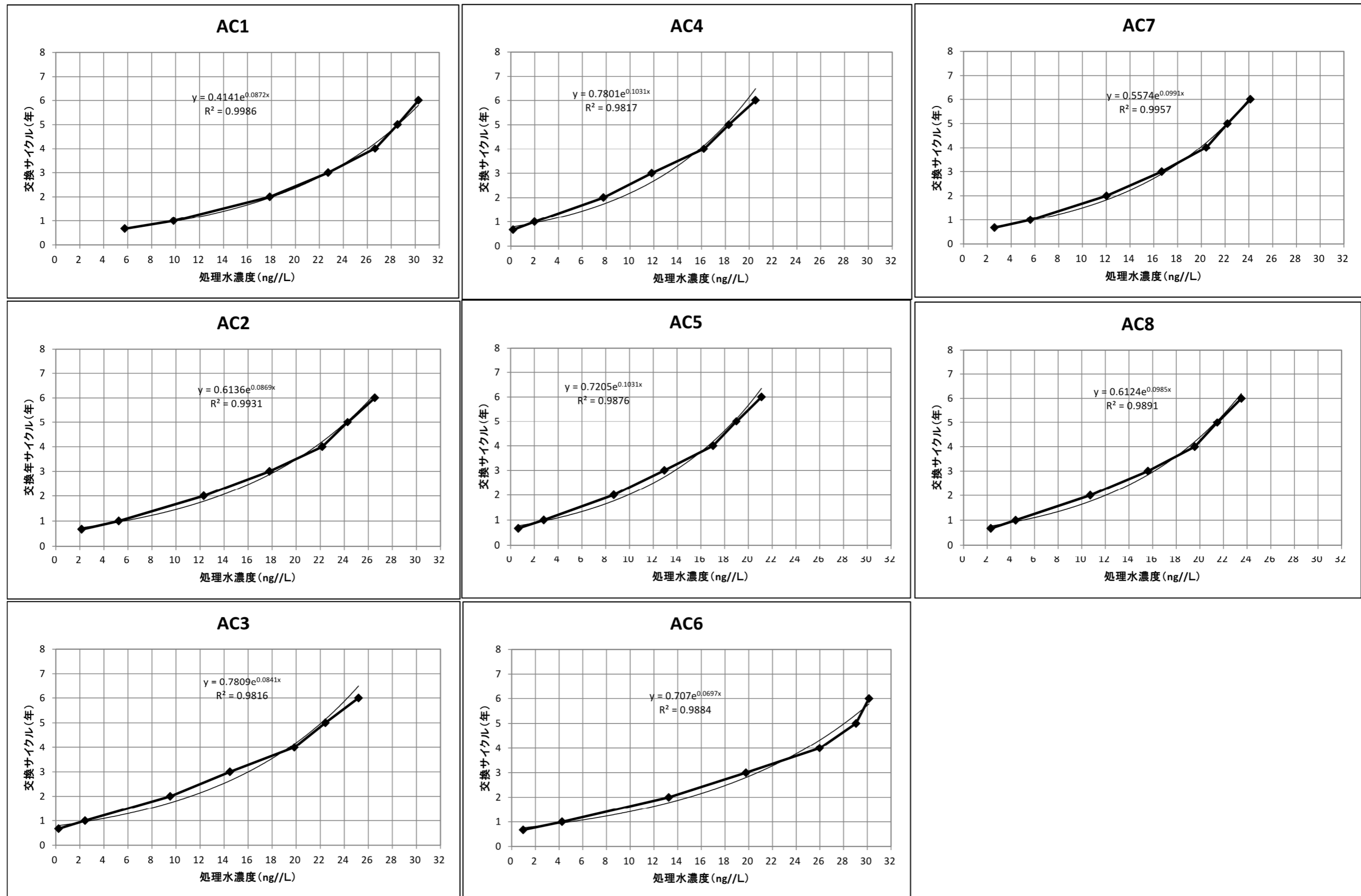


図 5-10 処理水濃度と交換サイクル（年）の関係

PFOS等の処理能力が比較的良い活性炭原材料は石炭系であり、ヤシ殻は処理能力が悪い結果であったことから、ヤシ殻は棄却した。また、石炭系の一種である亜炭についても、ヨウ素吸着性能、メチレンブルー脱色力、ABS価がJWWA品質規定より大きく外れているため棄却した。

活性炭物性項目と交換年数の関係を図 5-11 に示す。決定係数 (R^2) において、0.6 以上を一定の相関があると判断した場合、表 5-12 に示す活性炭物性項目が抽出された。

- ・ヨウ素吸着性能
- ・メチレンブルー脱色力
- ・ABS 価
- ・細孔容積（マイクロ孔+メソ孔、マイクロ孔）

表 5-12 決定係数 (R^2) が 0.6 以上の活性炭物性項目

項目	8ng/L	15ng/L	20ng/L
ヨウ素吸着性能	0.85	0.67	0.75
メチレンブルー脱色力	0.95	0.88	0.81
ABS価	0.83	0.71	0.63
フェノール価	0.30	0.42	0.48
マイクロ孔+メソ孔	0.98	0.91	0.85
マイクロ孔	0.82	0.92	0.94

フェノール価は決定係数 (R^2) が 0.30~0.48 の範囲で 0.6 を下回る結果であり、相関はないと判断されるが、参考文献によると細孔容積（マイクロ孔）と関連があるとされるため、仕様書案にはフェノール価も採用した。

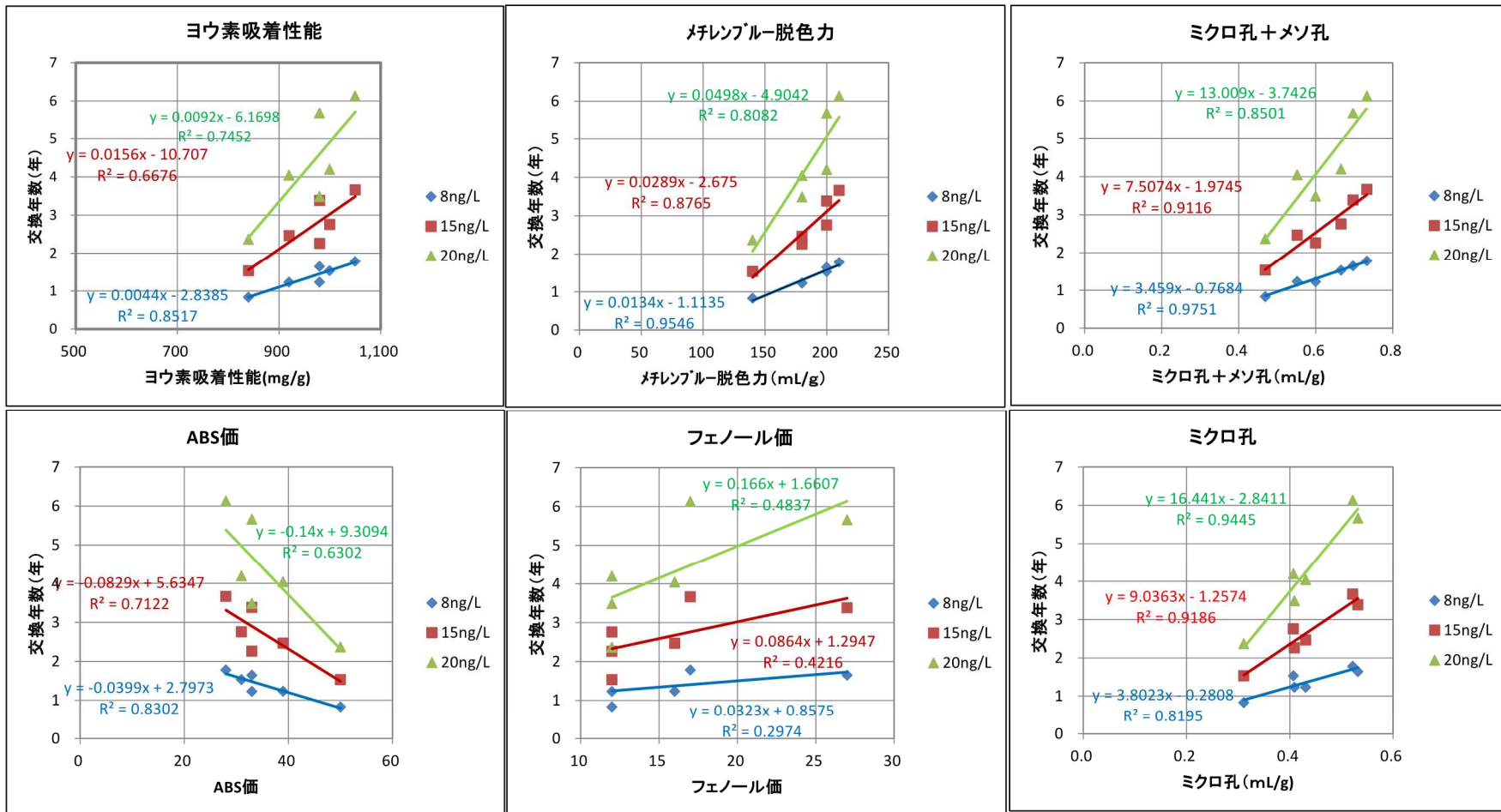


図 5-11 活性炭物性項目と交換年数の関係

2) 粒径、均等係数の検討

活性炭は想定される粒径の大小によって、吸着性能への影響が考えられる。活性炭粒径が小さい場合には、容積当たりの活性炭表面積が増加し、活性炭への反応速度が上昇する。

ここでは、実施設運用炭において、同一銘柄、粒径の違う活性炭を令和元年12月より連続モニタリングを行っている結果を用いて粒径の違いによる処理効果を比較した。

検討対象

実施設運用炭 AC3

実施設 AC3 の活性炭粒径仕様は以下のとおりである。

表 5-13 実施設運用炭 AC3 活性炭仕様

	AC3	AC3
有効径	0.9mm	1.2mm
均等係数	1.5 以下	1.3 以下

北谷浄水場における水源運用期間も含め、実施設運用炭 AC3 の処理水濃度 (PFOS+PFOA 合計) の令和2年7月～令和3年1月までの変動結果を図 5-12 に示す。

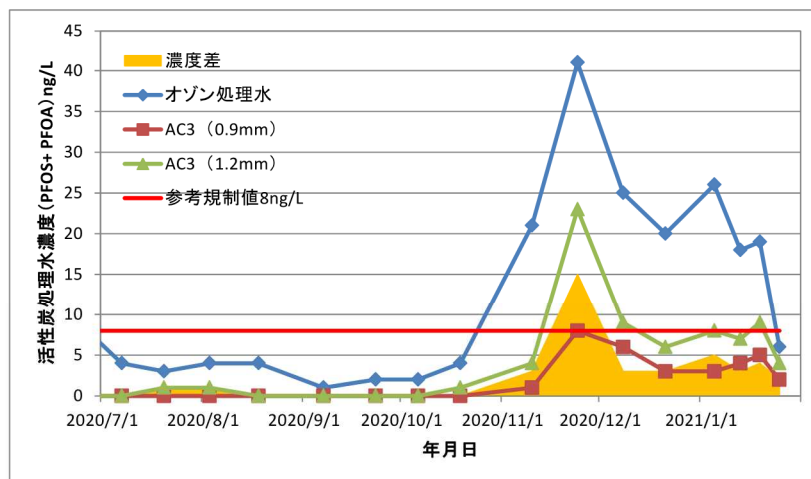


図 5-12 実施設運用炭測定結果 (AC3 0.9mm、1.2mm : 2020/7/1～2021/1/25)

図 5-12 に示すとおり、0.9mm 活性炭が低い濃度を維持していた。活性炭は長期間使用することが前提であり、長い使用期間 (2～4 年) においては逆転の可能性も考えられるが、参考規制値 8ng/L で判断すると有効径 0.9mm は調査期間内において常に参考規制値を下回る濃度を維持できていた。

したがって、暫定評価ではあるが、有効径 0.9mm、均等係数 1.5 以下を採用する。

3) PFOS 等の処理性からみた活性炭仕様案

活性炭物性項目と交換年数には相関関係があること、活性炭粒径は 0.9mm が有効であることを踏まえて、PFOS 等に処理性に適した活性炭仕様案を検討した。

総合評価で最も高い効果が得られた AC4 の物性値を仕様値として採用することとする。ただし、本業務で得られた物性値は 1 分析機関が行った値であり、分析機関による測定精度の差を考慮する必要がある。したがって、本業務で得られた物性値を絶対値として仕様書に用いることができないことから、AC4 の製造メーカーが公表している代表特性値を用いて、該当する物性値を活性炭仕様値へ反映させることとし、活性炭仕様案とする。結果を表 5-14 に示す。

採用仕様案は、粒径は 0.9mm、均等係数 1.5 以下とし、ヨウ素吸着性能、メチレンブルー脱色力、ABS 価、フェノール価は、AC4 の代表特性値を採用した。他の項目については JWWA 品質規定より設定した。

表 5-14 PFOS 等の処理に適した活性炭仕様 (案)

仕様項目	単位	JWWA品質規定	沖縄県企業局見積仕様	選定活性炭 AC4 代表特性値	最終仕様案	試験方法	備考
原料			石炭系	石炭系	石炭系		
形状			圧密成型破碎炭 (WET40~50%)	破碎炭	破碎炭		
乾燥減量	%						
平均粒径	mm						
有効径	mm	0.3~1.3	1.2		0.9	JWWA-A-114 (2006)	実施設活性炭池実績より
均等係数	-	1.2~2.0	1.3以下		1.5以下	JWWA-A-114 (2006)	
粒度							
充填密度	g/mL	0.4以上	0.4~0.5		0.4以上	JWWA-A-114 (2006)	JWWA品質規定
硬度	%	90以上	95以上		90以上	JWWA-A-114 (2006)	JWWA品質規定
pH値	-	4.0~8.0	5.8~8.0		5.8~8.0	JWWA-A-114 (2006)	沖縄県見積仕様参照
ヨウ素吸着性能	mg/g	900以上	1,000以上	1,070	1,070以上	JWWA-A-114 (2006)	選択活性炭資料
メチレンブルー脱色力	mL/g	150以上	180以上	200	200以上	JWWA-A-114 (2006)	
ABS値	-	50以下	50以下	25	25以下	JWWA-A-114 (2006)	
フェノール値	-	25以下	25以下	21	21以下	JWWA-A-114 (2006)	
比表面積	m ² /g		1,000以上		1,000以上	JIS-Z-8830 (2013)	沖縄県見積仕様参照
細孔容積 (マイクロ孔及びメソ孔)	mL/g		0.4以上	0.733 ^{注1}	0.7以上	JIS-Z-8831 (2010)	選択活性炭分析結果参照
細孔容積 (マイクロ孔)	mL/g			0.522 ^{注1}	0.5以上	JIS-Z-8831 (2010)	
ヒ素	mg/kg		2ppm以下		2以下	JIS-K-1474 (2014)	設計指針参照
亜鉛	mg/kg		50ppm以下		50以下	JIS-K-1474 (2014)	設計指針参照
カドミウム	mg/kg		0.5ppm以下		0.5以下	JIS-K-1474 (2014)	沖縄県見積仕様参照
鉛	mg/kg		10ppm以下		10以下	JIS-K-1474 (2014)	設計指針参照
塩化物	%	0.5以下	0.5以下		0.5以下	JIS-A-114 (2006)	JWWA品質規定
強熱残分	%	10以下	10以下		10以下	JIS-A-114 (2006)	JWWA品質規定
電気伝導率	μ S/cm	900以下			900以下	JWWA-A-114 (2006)	JWWA品質規定

注 1 : 細孔容積 (マイクロ孔及びメソ孔)、細孔容積 (マイクロ孔) は物性項目分析値より記載

4) 市販活性炭の適合状況

検討した仕様案について、メーカー代表特性値、もしくはメーカー規格値と比較した。

結果は表 5-15 に示すとおり、今回の実験対象活性炭で適合が判明したのは AC4 のみであったが、メーカーカタログ表示においては、「顧客仕様に合わせて製造」とした製品もあることから、1 社以上から調達できる可能性がある。

5) 改良工事時の留意点

これまでの北谷浄水場の活性炭改良工事においては、活性炭の生物活性炭(以下 BAC と称す)を促進するために、使用炭の再投入を行っていた。

これまでの調査結果を踏まえると、フルボ酸等が破過に到達する約 5 ヶ月までは、PFOS 等の除去性は有機物の共存による、吸着に寄与する細孔領域は一部分は両者を吸着し競合・阻害が生じていると推察されるが、それ以降は競合・阻害の影響を受けないと考えられる。

参考文献(日本水道協会 水道維持管理指針 2016 7.12.4 生物活性炭吸着設備)によると、微生物が繁殖するまでに、夏季で 2~4 週間、冬季で 3 ヶ月程度とされている。

短期間で BAC 化が立ち上がる点、今回の RSSCT で約 5 ヶ月までは TOC、蛍光強度の物理吸着が継続する点を考えると、再投入しなくても BAC 化するまでは物理吸着能があることとなるため、RSSCT 結果を踏まえると再投入は不要と考えられる。

表 5-15 活性炭仕様案の適合状況

実験対象活性炭物性値はメーカーの代表特性値あるいはメーカーの規格値

		最終仕様案	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
ヨウ素吸着量	mg/g	1,070以上	△	■	■	○	■	■	■	■	△	△	■
メチレンブルー脱色力	mL/g	200以上	△	△	■	○	■	—	■	○	△	△	■
ABS価	—	25以下	△	△	△	○	■	—	△	△	△	△	△
フェノール価	—	21以下	△	△	△	○	■	—	△	△	△	△	△
細孔容積 ミクロ孔・メソ孔	mL/g	0.7以上	△	△	△	△	△	—	△	△	△	△	△
細孔容積 ミクロ孔	mL/g	0.5以上	△	△	△	△	△	—	△	△	△	△	△
原材料		石炭	石炭							ヤシ殻		石炭	
備考			製品の平均値	標準仕様	代表特性値	性状・規格	製品の平均値	一般物性	一般物性	標準仕様なし	規格値		

△ : 顧客仕様に合わせて製造できる可能性がある。

— : ヨウ素吸着量500mg/gの低い結果より製造が難しいと考えられる。

【参考資料】回分式吸着実験結果との比較

RSSCT から選定された AC4 の性能を、回分式吸着実験結果（K 値、1/n 値）から評価すると以下のとおりであった。回分式吸着実験結果を表 5-16 に示す。

K 値は、活性炭への吸着容量を示す値であり、1/n 値は、活性炭と吸着質の親和性を示す値である。したがって、K 値が大きいことは低濃度領域での吸着量が多いことを示している。

- PFOS に対しては、AC4 が他の種類に比べて K 値が最も大きく、1/n 値は 2 番目に大きかった。
- PFOA に対しては、AC4 が他の種類に比べて K 値、1/n 値とも最も大きく、吸着性能が高いことを示している。
- PFHxS に対しては、AC4 が他の種類に対して K 値、1/n 値とも最も大きく、吸着性能が高いことを示している。
- AC4 の吸着特性から判断すると、回分式吸着実験対象の 11 種の中では、実施設における低濃度の流入水に対する吸着能力も高く、より低減できる。さらに、高濃度流入に対しても比較的能力が高い活性炭であると言える。
- 今後は PFOS 等含有水源の取水抑制などによって、より低い原水濃度への対応が求められる場合も多くなると考えられることから、吸着特性の観点からも AC4 は優れた活性炭であると考えられる。

表 5-16 回分試験結果

項目		AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC7	AC9	AC10	AC11
PFOS	K	8.88	9.49	12.98	15.01	12.82	12.57	9.16	9.84	13.04
	1/n	4.08	5.34	7.30	8.31	11.41	0.83	2.09	0.67	3.33
	R ²	0.99	0.99	0.99	0.99	0.72	0.95	0.88	0.90	0.99
PFOA	K	1.46	1.55	1.80	1.96	1.61	1.83	0.85	1.88	1.45
	1/n	0.05	0.05	-0.01	0.60	0.25	0.03	0.28	-0.09	0.23
	R ²	0.76	0.89	0.12	0.99	0.94	0.27	0.62	0.84	0.83
PFHxS	K	3.21	3.01	3.38	4.71	3.66	4.23	2.45	3.56	3.71
	1/n	0.24	0.46	0.54	1.06	0.59	0.19	0.37	0.02	0.40
	R ²	0.98	1.00	1.00	0.98	0.95	0.86	0.79	0.06	0.98

第6章 実施設のPFOS等除去性の確認

6-1. 調査方法

実施設運用炭3種(4池)について、PFOS等の除去性を確認するとともに、共存有機物の影響を把握するため、トリハロメタン生成能等についても確認した。

採水箇所は実施設16池の内、AC1、AC2、AC3(有効径0.9mm、1.2mm)、の4池の流出渠(活性炭処理水)と活性炭吸着池入口(活性炭流入水)の計5地点とした。

測定項目は表6-1に示す総トリハロメタン生成能、クロロホルム生成能、ジブロモクロロメタン生成能、ブロモジクロロメタン生成能、ブロモホルム生成能、2-メチルイソボルネオール(以下2-MIBと称す)、ジェオスミン、PFOS、PFOA、PFHxSの10項目とし、測定回数は表6-1に示すとおりである。

表6-1 水質項目及び調査頻度

分析項目	活性炭流入水	AC1	AC2	AC3 0.9mm	AC3 1.2mm	検体数	検査回数	令和元年度	令和2年度
総トリハロメタン生成能	○	○	○	○	○	5	14	5	9
クロロホルム生成能	○	○	○	○	○	5	14	5	9
ジブロモクロロメタン生成能	○	○	○	○	○	5	14	5	9
ブロモジクロロメタン生成能	○	○	○	○	○	5	14	5	9
ブロモホルム生成能	○	○	○	○	○	5	14	5	9
2-MIB	○	○	○	○	○	5	14	5	9
ジェオスミン	○	○	○	○	○	5	14	5	9
PFOS	○	○	○	○	○	5	30	9	21
PFOA	○	○	○	○	○	5	30	9	21
PFHxS	○	○	○	○	○	5	30	9	21

分析項目

トリハロメタン生成能等：総トリハロメタン生成能、クロロホルム生成能、ジブロモクロロメタン生成能、ブロモジクロロメタン生成能、ブロモホルム生成能、2-MIB、ジェオスミン

PFOS等：PFOS、PFOA、PFHxS(直鎖異性体のみ)

【運転開始日】

活性炭吸着池の運転開始日は以下のとおりである。

活性炭吸着池 AC1 令和元年 11月 30日

活性炭吸着池 AC2、AC3(1.2mm) 令和元年 11月 29日

活性炭吸着池 AC3(0.9mm) 令和元年 11月 28日

【北谷浄水場の水源運用】

令和2年は水源水量に比較的余裕があったため、北谷浄水場において以下の水源運用を行った。

比謝川取水停止期間 令和2年 6月 19日～10月 29日

6-2. 実施設の PFOS 等調査結果

令和元年 12 月より運用を開始した実施設運用炭 4 池(AC1、AC2、AC3(0.9、1.2mm))について、令和元年度はトリハロメタン生成能等 5 回、PFOS 等 10 回、令和 2 年度はトリハロメタン生成能等 9 回、PFOS 等 21 回、計トリハロメタン生成能等 14 回、PFOS 等 30 回測定を行った。

1) トリハロメタン生成能、かび臭物質の結果

総トリハロメタン等の結果を表 6-2~4、図 6-1、2 に、濃度範囲を図 6-3 に、総トリハロメタン生成能除去率を表 6-5、図 6-4 に示す。

(1) 総トリハロメタン生成能

- 活性炭流入水の総トリハロメタン生成能は 22~63 $\mu\text{g/L}$ の範囲で平均 38 $\mu\text{g/L}$ であった。
- 活性炭流入水の各成分比率は、クロロホルム生成能が 17.1%、ジブロモクロロメタン生成能が 39.7%、ブロモジクロロメタン生成能が 27.5%、ブロモホルム生成能が 15.6%であった。
- 活性炭処理水 AC1 の総トリハロメタン生成能は 2.3~22.0 $\mu\text{g/L}$ の範囲で平均 15.0 $\mu\text{g/L}$ であった。令和元年 12 月よりの運用開始であり、徐々に増加傾向がみられる。
- 活性炭処理水 AC1 の各成分比率は、クロロホルム生成能が 19.4%、ジブロモクロロメタン生成能が 37.9%、ブロモジクロロメタン生成能が 25.0%、ブロモホルム生成能が 16.2%であり、活性炭流入水と概ね同じ比率であった。
- 活性炭処理水 AC2 のトリハロメタン生成能は 2.8~27.0 $\mu\text{g/L}$ の範囲で平均 16.0 $\mu\text{g/L}$ であった。令和元年 12 月よりの運用開始であり、徐々に増加傾向がみられる。
- 活性炭処理水 AC2 の各成分比率は、クロロホルム生成能が 18.9%、ジブロモクロロメタン生成能が 39.2%、ブロモジクロロメタン生成能が 25.5%、ブロモホルム生成能が 17.8%であり、活性炭流入水と概ね同じ比率であった。
- 活性炭処理水 AC3 (0.9mm) の総トリハロメタン生成能は 8.5~26.0 $\mu\text{g/L}$ の範囲で平均 18.3 $\mu\text{g/L}$ であった。令和元年 12 月 4 日に 26.0 $\mu\text{g/L}$ と高い値がみられ、除去率も 35%と他の活性炭処理水に比べ低い状況であったが、令和 2 年 1 月 8 日の結果 10.0 $\mu\text{g/L}$ まで低減して、除去率も 73%まで回復しており他の活性炭処理水と同程度となっていた。原因については不明である。
- 活性炭処理水 AC3 (0.9mm) の各成分比率は、クロロホルム生成能が 18.3%、ジブロモクロロメタン生成能が 39.3%、ブロモジクロロメタン生成能が 26.4%、ブロモホルム生成能が 16.2%であり、活性炭流入水と概ね同じ比率であった。
- 活性炭処理水 AC3 (1.2mm) の総トリハロメタン生成能は 7.1~26.0 $\mu\text{g/L}$ の範囲で平均 18.3 $\mu\text{g/L}$ であった。令和元年 12 月よりの運用開始であり、徐々に増加傾向がみられる。

- 活性炭処理水 AC3 (1.2mm) の各成分比率は、クロロホルム生成能が 15.9%、ジブロモクロロメタン生成能が 41.0%、ブロモジクロロメタン生成能が 24.8%、ブロモホルム生成能が 18.4% であり、活性炭流入水と概ね同じ比率であった。
- 図 6-3、4 に示すとおり、現状までの結果では、活性炭処理水 AC1 が総トリハロメタン生成能は低く、除去率も高い傾向がみられた。
- 実施運用炭 4 池は、従来どおりの仕様とは異なる仕様で導入したが、総トリハロメタン生成能除去性は他の活性炭と比較して問題はなかった。
- AC3 において有効径 0.9mm と 1.2mm を比較すると、令和元年 12 月よりの運用開始であり、徐々に増加傾向がみられているが、粒径による処理水濃度の差はみられなかった。

(2) かび臭物質 (ジェオスミン、2-MIB)

- 活性炭流入水のジェオスミンは 1 未満～3ng/L の範囲であった。2-MIB は 1 未満～5ng/L の範囲であった。濃度レベルは低濃度であった。
- 活性炭処理水 AC1、AC2、AC3 (0.9mm、1.2mm) のジェオスミン及び 2-MIB は全て 1ng/L 未満であった。
- AC3 において、有効径 0.9mm と 1.2mm を比較すると、活性炭流入水が低濃度であることから、粒径による差はみられなかった。

表 6-2 トリハロメタン生成能等 水質検査結果 (その 1)

日付	活性炭流入水						
	生成能					ジェオスミン	2-MIB
	クロロホルム	ジブロモクロロメタン	ブロモジクロロメタン	ブロモホルム	総トリハロメタン		
	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	ng/L	ng/L
2019/12/3	6.1	17.0	12.0	5.4	40	1	2
2020/1/7	4.1	16.0	9.8	8.0	38	2	1
2020/2/4	3.7	12.0	6.6	6.8	29	1	<1
2020/3/3	7.1	12.0	8.6	4.3	32	2	<1
2020/4/7	8.0	22.0	13.0	9.1	52	2	<1
2020/5/19	11.0	13.0	11.0	3.5	38	1	<1
2020/6/3	9.5	15.0	9.3	6.0	40	<1	<1
2020/7/7	8.4	14.0	12.0	3.5	38	<1	<1
2020/8/3	6.8	14.0	12.0	3.6	36	<1	<1
2020/9/7	6.4	10.0	8.8	2.3	28	<1	<1
2020/10/6	3.9	8.5	6.8	2.7	22	<1	<1
2020/11/10	3.1	15.0	8.6	9.5	36	2	1
2020/12/8	4.0	15.0	9.3	6.3	35	3	5
2021/1/19	8.7	26.0	18.0	9.6	63	3	2
最大	11.0	26.0	18.0	9.6	63	3	5
最小	3.1	8.5	6.6	2.3	22	<1	<1
平均	6.5	15.0	10.4	5.8	38	2	2

表 6-3 トリハロメタン生成能等 水質検査結果 (その2)

日付	活性炭処理水 AC1							活性炭処理水 AC2						
	生成能					ジェオスミン	2-MIB	生成能					ジェオスミン	2-MIB
	クロロホルム	ジブロモクロロメタン	ブロモジクロロメタン	ブロモホルム	総トリハロメタン			クロロホルム	ジブロモクロロメタン	ブロモジクロロメタン	ブロモホルム	総トリハロメタン		
	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	ng/L	ng/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	ng/L	ng/L
2019/12/3	0.6	0.7	0.7	0.3	2.3	<1	<1	0.6	0.9	0.8	0.5	2.8	<1	<1
2020/1/7	1.0	2.2	0.9	1.7	5.8	<1	<1	1.1	3.4	1.3	2.9	8.7	<1	<1
2020/2/4	1.8	2.9	1.5	1.1	7.3	<1	<1	1.8	2.8	1.4	1.1	7.1	<1	<1
2020/3/3	2.6	4.4	2.3	1.9	11.0	<1	<1	2.6	4.3	2.2	1.9	11.0	<1	<1
2020/4/7	3.4	4.8	2.7	2.2	13.0	<1	<1	3.3	4.8	2.6	2.2	13.0	<1	<1
2020/5/19	3.9	5.5	3.7	2.0	15.0	<1	<1	4.0	5.7	3.9	2.0	16.0	<1	<1
2020/6/3	5.2	4.8	3.8	3.8	22.0	<1	<1	6.5	9.8	6.5	4.1	27.0	<1	<1
2020/7/7	3.2	7.5	5.8	2.0	18.0	<1	<1	-	-	-	-	-	-	-
2020/8/3	2.4	8.9	5.6	3.2	20.0	<1	<1	2.8	9.6	6.4	3.6	22.0	<1	<1
2020/9/7	3.7	7.1	5.9	1.5	18.0	<1	<1	3.7	7.0	5.9	4.0	18.0	<1	<1
2020/10/6	3.1	5.8	5.3	1.3	16.0	<1	<1	3.1	5.7	5.4	1.2	15.0	<1	<1
2020/11/10	2.0	7.7	5.1	3.0	18.0	<1	<1	2.3	8.2	5.5	3.2	19.0	<1	<1
2020/12/8	1.9	9.7	4.9	5.3	22.0	<1	<1	1.9	10.0	5.2	5.6	23.0	<1	<1
2021/1/19	2.9	9.2	6.6	3.2	22.0	<1	<1	3.6	11.0	7.7	3.7	25.0	<1	<1
最大	5.2	9.7	6.6	5.3	22.0	<1	<1	6.5	11.0	7.7	5.6	27.0	<1	<1
最小	0.6	0.7	0.7	0.3	2.3	<1	<1	0.6	0.9	0.8	0.5	2.8	<1	<1
平均	2.7	5.8	3.9	2.3	15.0	<1	<1	2.9	6.4	4.2	2.8	16.0	<1	<1

※2020/7/7 : AC2 はサンプルの取り違いのため欠測とした。

表 6-4 トリハロメタン生成能等 水質検査結果 (その3)

日付	活性炭処理水 AC3(0.9mm)							活性炭処理水 AC3(1.2mm)						
	生成能					ジェオスミン	2-MIB	生成能					ジェオスミン	2-MIB
	クロロホルム	ジブロモクロロメタン	ブロモジクロロメタン	ブロモホルム	総トリハロメタン			クロロホルム	ジブロモクロロメタン	ブロモジクロロメタン	ブロモホルム	総トリハロメタン		
	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	ng/L	ng/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	ng/L	ng/L
2019/12/3	6.1	7.9	9.6	2.0	26.0	<1	<1	0.4	3.3	1.1	2.3	7.1	<1	<1
2020/1/7	1.2	4.2	1.4	3.5	10.0	<1	<1	1.4	5.8	2.4	4.7	14.0	<1	<1
2020/2/4	2.0	3.4	1.8	1.3	8.5	<1	<1	2.1	4.4	2.2	1.7	10.0	<1	<1
2020/3/3	2.7	4.7	2.7	2.2	12.0	<1	<1	3.0	5.6	3.3	2.5	14.0	<1	<1
2020/4/7	3.4	5.0	3.0	2.1	14.0	<1	<1	3.6	5.5	3.2	2.7	15.0	<1	<1
2020/5/19	4.1	5.8	4.0	2.0	16.0	<1	<1	4.5	6.7	4.9	2.2	18.0	<1	<1
2020/6/3	5.4	8.7	4.9	4.0	23.0	<1	<1	5.8	9.8	5.8	4.2	26.0	<1	<1
2020/7/7	2.8	8.0	5.6	2.4	19.0	<1	<1	3.7	8.3	6.7	2.1	21.0	<1	<1
2020/8/3	3.0	10.0	7.0	3.5	24.0	<1	<1	2.0	11.0	7.6	3.8	26.0	<1	<1
2020/9/7	3.8	7.0	6.2	1.4	18.0	<1	<1	3.9	7.6	6.6	1.5	20.0	<1	<1
2020/10/6	3.0	6.3	5.8	1.4	16.0	<1	<1	2.7	6.9	5.8	1.7	17.0	<1	<1
2020/11/10	1.9	8.5	5.2	4.0	20.0	<1	<1	2.2	8.9	5.8	3.5	20.0	<1	<1
2020/12/8	1.8	9.9	5.2	5.3	22.0	<1	<1	1.8	10.0	5.3	5.6	23.0	<1	<1
2021/1/19	2.9	9.4	6.8	3.1	22.0	<1	<1	3.4	10.0	7.6	3.7	25.0	<1	<1
最大	6.1	10.0	9.6	5.3	26.0	<1	<1	5.8	11.0	7.6	5.6	26.0	<1	<1
最小	1.2	3.4	1.4	1.3	8.5	<1	<1	0.4	3.3	1.1	1.5	7.1	<1	<1
平均	3.2	7.1	4.9	2.7	17.9	<1	<1	2.9	7.1	4.9	3.0	18.3	<1	<1

表 6-5 トリハロメタン生成能除去率

日付	総トリハロメタン生成能除去率(%)			
	AC1	AC2	AC3 (0.9mm)	AC3 (1.2mm)
2019/12/3	94.3	93.0	35.0	82.3
2020/1/7	84.7	77.1	73.7	63.2
2020/2/4	74.8	75.5	70.7	65.5
2020/3/3	65.6	65.6	62.5	56.3
2020/4/7	75.0	75.0	73.1	71.2
2020/5/19	60.5	57.9	57.9	52.6
2020/6/3	45.0	32.5	42.5	35.0
2020/7/7	52.6	—	50.0	44.7
2020/8/3	44.4	38.9	33.3	27.8
2020/9/7	35.7	35.7	35.7	28.6
2020/10/6	27.3	31.8	27.3	22.7
2020/11/10	50.0	47.2	44.4	44.4
2020/12/8	37.1	34.3	37.1	34.3
2021/1/19	65.1	60.3	65.1	60.3

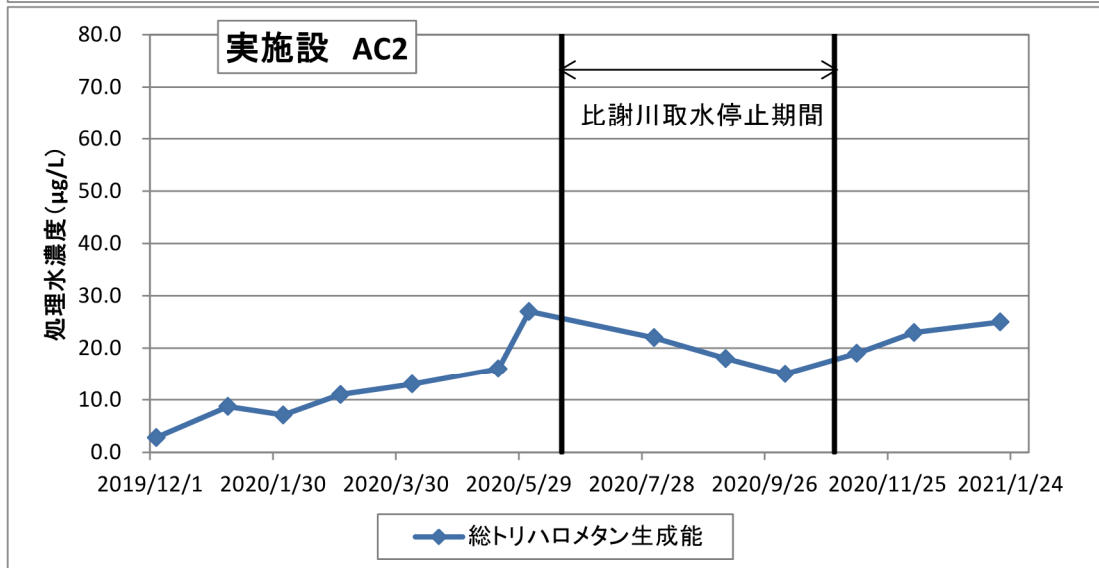
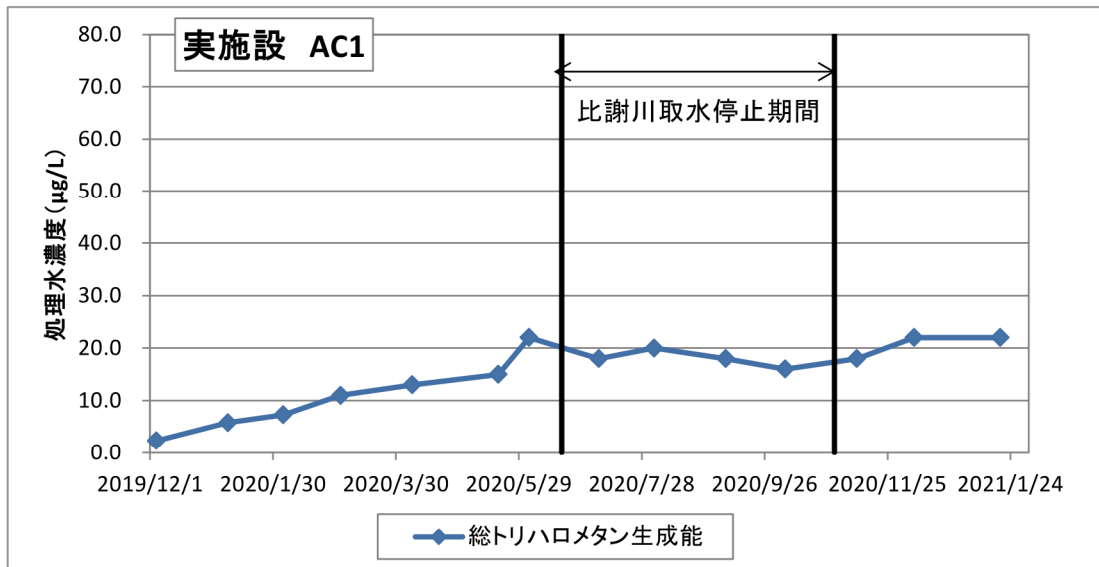
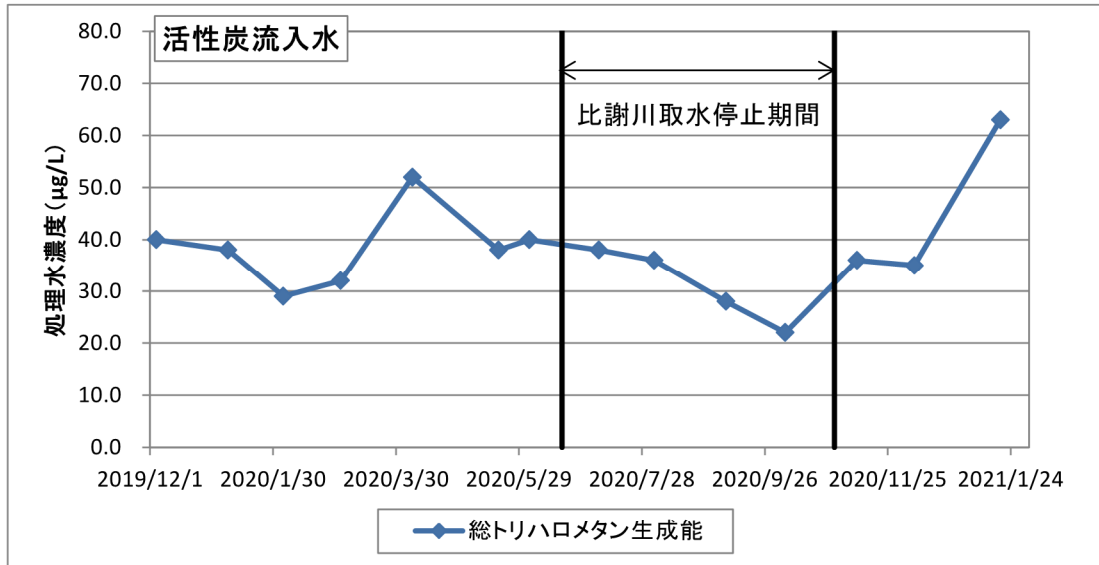


図 6-1 総トリハロメタン生成能の経月変化 (その 1)

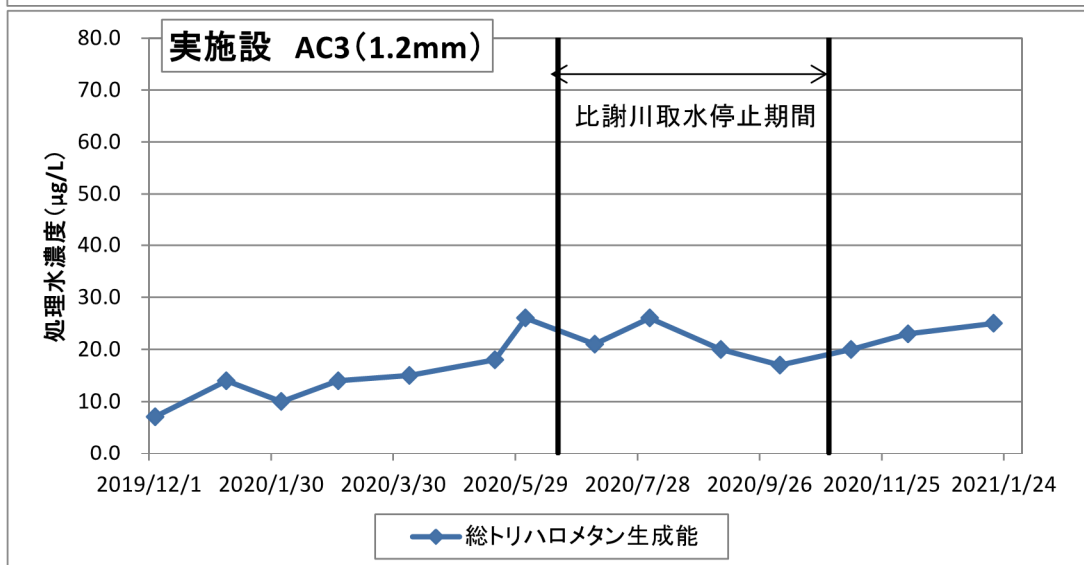
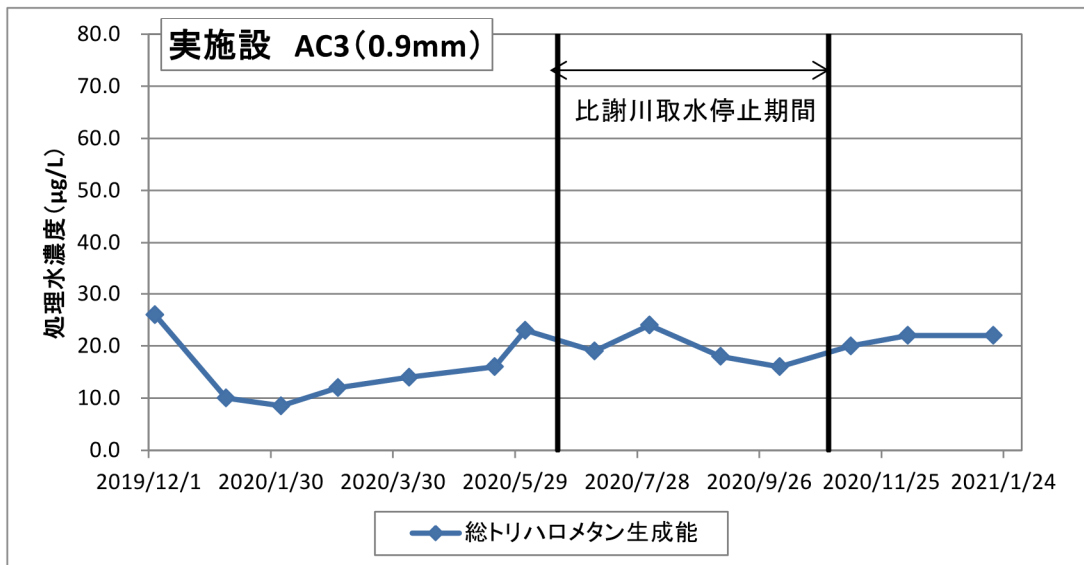


図 6-2 総トリハロメタン生成能の経月変化 (その 2)

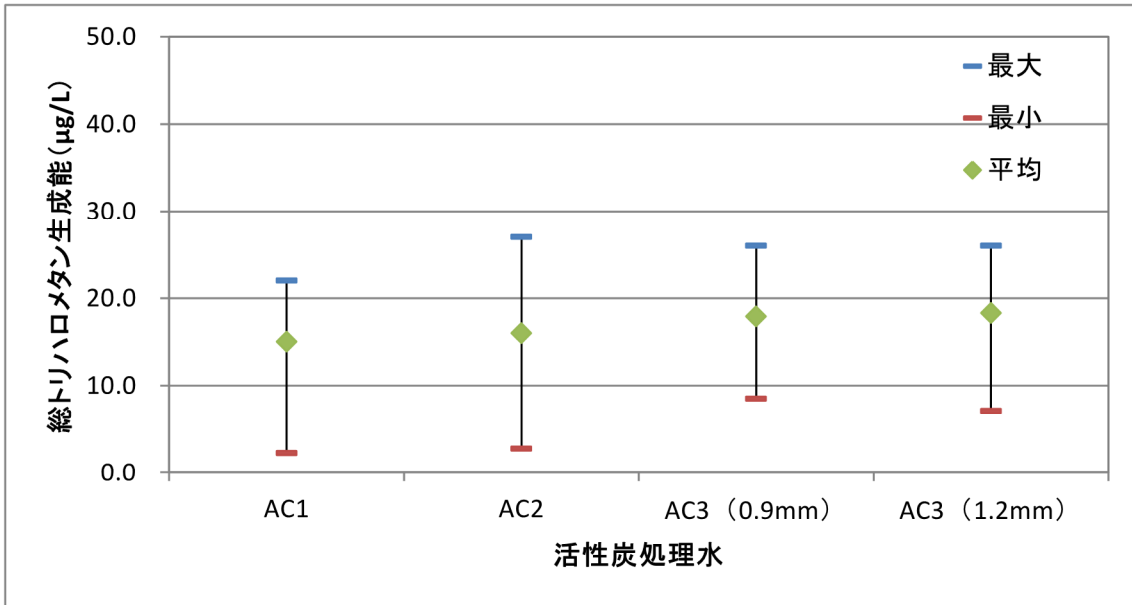


図 6-3 実運用炭におけるトリハロメタン生成能の範囲

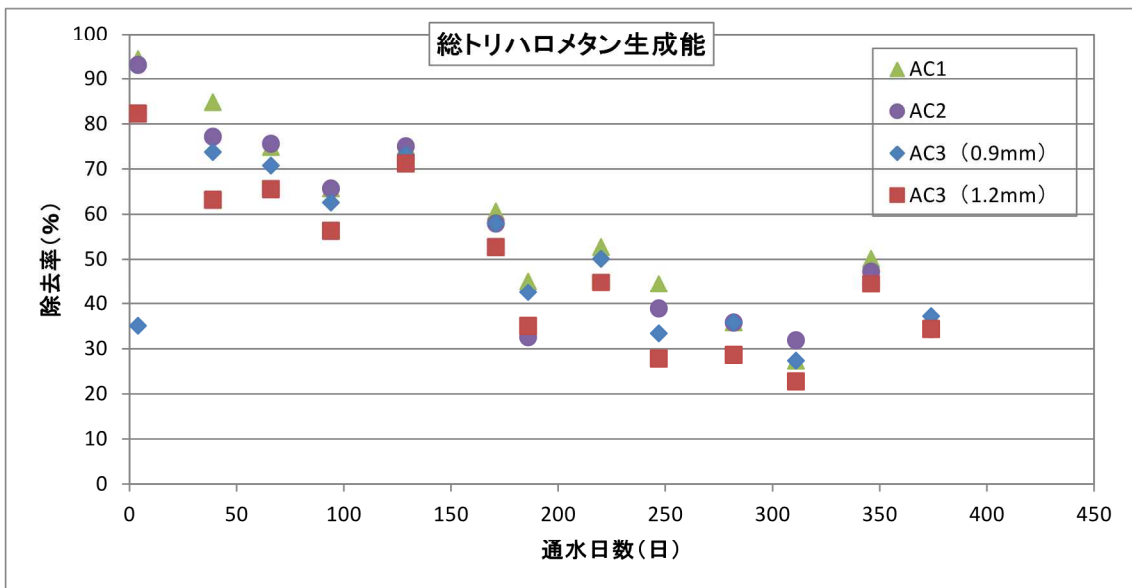


図 6-4 実施設運用炭の総トリハロメタン生成能除去率の通水日数による変化

2) PFOS 等の結果

PFOS 等の結果を表 6-12、13、図 6-7、8 に示す。

北谷浄水場の令和 2 年における水源運用は以下のとおりであった。北谷浄水場の水源運用別における活性炭流入水濃度及び活性炭処理水 AC1、AC2、AC3 (0.9mm、1.2mm) を表 6-6～10 に示す。

令和 2 年 6 月 19 日より

比謝川取水停止

令和 2 年 10 月 30 日より

比謝川取水再開

(1) 活性炭流入水

北谷浄水場の水源運用別活性炭流入水の PFOS 等の結果は表 6-6 に示す。

- 比謝川取水を行っている時期の PFOS は 4～31ng/L の範囲で平均 13ng/L、PFOA は 1 未満～10ng/L の範囲で平均 3ng/L、PFHxS は 3～21ng/L で平均 8ng/L であった。PFOS で 4ng/L が検出された 5 月 19 日は前日に 53.5mm (那覇) の降雨がみられた影響と考えられる。
- 比謝川取水停止期間は、PFOS は 1～2ng/L の範囲で平均 2ng/L、PFOA は 1 未満～2ng/L の範囲で平均 2ng/L、PFHxS は 1 未満～3ng/L の範囲で平均 2ng/L であり、PFOS 等が検出される比謝川取水停止をしたことにより、PFOS 等の濃度は低い値となっていた。
- 北谷浄水場原水における過年度 PFOS 等測定結果では、PFOS 等は 5 : 1 : 3 (PFOS : PFOA : PFHxS) の含有比率で存在しており、活性炭流入水の PFOS 等も概ね原水と同じ含有比率で存在していた。

表 6-6 北谷浄水場の水源運用別 活性炭流入水濃度

水源運用	期間	PFOS (ng/L)			PFOA (ng/L)			PFHxS (ng/L)		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
比謝川取水期間	令和元年12月1日 ～令和2年6月19日	11	4	8	4	<1	3	9	3	6
比謝川取水停止期間	令和2年6月19日 ～令和2年10月29日	2	1	2	2	<1	2	3	<1	2
比謝川取水期間	令和2年10月30日～	31	4	18	10	2	4	21	4	11

(2) 活性炭処理水 AC1

北谷浄水場の水源運用別活性炭処理水 AC1 の PFOS 等の結果を表 6-7 に示す。

- 比謝川取水を行っている令和 2 年 12 月以降は、新炭であるため活性炭流入水濃度が高くても吸着して処理水濃度は 1ng/L 未満であった。
- 比謝川取水停止期間は、活性炭流入水濃度が低下したため、PFOA 及び PhDs は 1ng/L 検出されたが、PFOS は 1 ng/L 未満であった。
- 比謝川取水を再開した後、活性炭流入水濃度が上昇し、通水期間も 1 年間を経過したことにより、活性炭 AC1 の処理水濃度も増加の傾向がみられていた。

表 6-7 北谷浄水場の水源運用別 活性炭吸着池 AC1 処理水濃度

水源運用	期間	PFOS(ng/L)			PFOA(ng/L)			PFHxS(ng/L)		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
比謝川取水期間	令和元年12月1日 ～令和2年6月19日	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
比謝川取水停止期間	令和2年6月19日 ～令和2年10月29日	<1	<1	<1	1	<1	<1	1	<1	<1
比謝川取水期間	令和2年10月30日～	6	1	3	3	1	2	6	3	4

(3) 活性炭処理水 AC2

北谷浄水場の水源運用別活性炭処理水 AC2 の PFOS 等の結果を表 6-8 に示す。

- 比謝川取水を行っている令和 2 年 12 月以降は、新炭であるため活性炭流入水濃度が高くても吸着して処理水濃度は 1ng/L 未満であった。
- 比謝川取水停止期間は、活性炭流入水濃度が低下したため、PFOA 及び PhDs は 1ng/L 検出されたが、PFOS は 1 ng/L 未満であった。
- 比謝川取水を再開した後、活性炭流入水濃度が上昇し、通水期間も 1 年間を経過したことにより、活性炭 AC2 の処理水濃度も増加の傾向がみられていた。

表 6-8 北谷浄水場の水源運用別 活性炭吸着池 AC2 処理水濃度

水源運用	期間	PFOS(ng/L)			PFOA(ng/L)			PFHxS(ng/L)		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
比謝川取水期間	令和元年12月1日 ～令和2年6月19日	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
比謝川取水停止期間	令和2年6月19日 ～令和2年10月29日	<1	<1	<1	1	<1	<1	1	<1	<1
比謝川取水期間	令和2年10月30日～	4	<1	2	3	<1	2	4	1	3

(4) 活性炭処理水 AC3 (0.9mm)

北谷浄水場の水源運用別活性炭処理水 AC3(0.9mm)の PFOS 等の結果は表 6-9 に示す。

- 比謝川取水を行っている令和 2 年 12 月以降は、新炭であるため活性炭流入水濃度が高くても吸着して処理水濃度は 1ng/L 未満であった。
- 比謝川取水停止期間は、活性炭流入水濃度が低下したため、全ての項目で 1ng/L 未満であった。
- 比謝川取水を再開した後、活性炭流入水濃度が上昇し、通水期間も 1 年間を経過したことにより、活性炭 AC3 (0.9mm) の処理水濃度も増加傾向がみられていた。

表 6-9 北谷浄水場の水源運用別 活性炭吸着池 AC3(0.9mm)処理水濃度

水源運用	期間	PFOS (ng/L)			PFOA (ng/L)			PFHxS (ng/L)		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
比謝川取水期間	令和元年12月1日 ～令和2年6月19日	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
比謝川取水停止期間	令和2年6月19日 ～令和2年10月29日	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
比謝川取水期間	令和2年10月30日～	4	1	3	4	<1	2	5	1	3

(5) 活性炭処理水 AC3 (1.2mm)

北谷浄水場の水源運用別活性炭処理水 AC3(1.2mm)の PFOS 等の結果を表 6-11 に示す。

- 比謝川取水を行っている令和 2 年 12 月以降は、新炭であるため活性炭流入水濃度が高くても吸着して処理水濃度は 1ng/L 未満であった。
- 比謝川取水停止期間は、活性炭流入水濃度が低下したため、PFOA 及び PhDs は 1ng/L 検出されたが、PFOS は 1ng/L 未満であった。
- 比謝川取水を再開した後、活性炭流入水濃度が上昇し、通水期間も 1 年経過したことにより、活性炭 AC3 (1.2mm) の処理水濃度も増加の傾向がみられており、AC3(0.9mm)よりも高い値となっていた。
- 活性炭の物理特性は、表 6-10 に示すとおり、有効径が変わっても比表面積は変化しない。

表 6-10 粉末活性炭及び粒状活性炭の典型的な物理特性

項目	単位	粉末活性炭	粒状活性炭
比表面積	m ² /g	500～1,500	500～1,500
充填密度	g/cm ³	0.20～0.75	≥0.20
有効径	mm	0.044	0.3～2.0
ヨウ素吸着量	mg/g	≥500	≥500

:ANSI/AWWA Standards B600-10 and B604-05

参考文献：American Water Works Association American society of Civil Engineers
Water Treatment Plant Design

- 活性炭吸着の概念は、図 6-5 に示すとおりであり、細孔内拡散速度は粒径の大きさによる違いはなく、反応速度は細孔内拡散速度と粒子表面積の積で求められる。

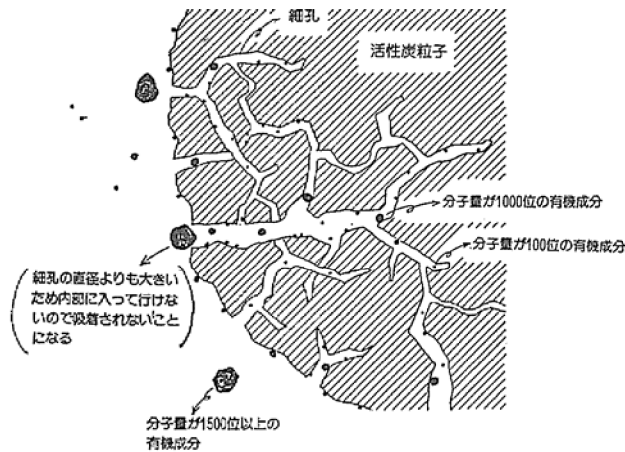
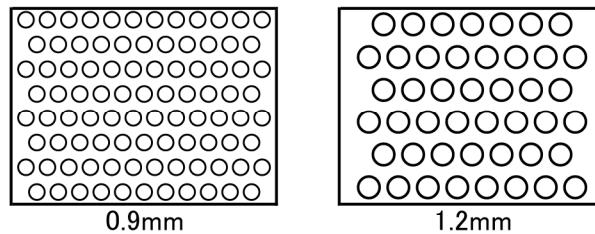


図 6-5 活性炭吸着の概念

(出典：丹保憲仁 他 浄水の技術)

- 活性炭粒径が 0.9mm の場合と 1.2mm の場合の表面積を比較すると、下記の試算のとおり、0.9mm の場合は 1.2mm の場合の 1.33 倍の表面積を有することになる。その結果、0.9mm の方が 1.2mm よりも反応速度が大きくなるものと判断される。そのため、比謝川取水を再開した後の PFOS 等の濃度は、0.9mm の値が低い値であった。



	0.9mm	1.2mm
粒子数	1.9×10^9 個	8.2×10^8 個
表面積	約 4,900 m^2/m^3	3,700 m^2/m^3

図 6-6 1m^3 当たりの活性炭充填粒子数イメージ図

活性炭表面積の比較

直径 0.9mm の場合

$$\begin{aligned}
 \text{1 粒当たりの表面積} &= 4 \times 3.14 \times 0.00045 \times 0.00045 \quad \text{m}^2 \\
 &= 0.00000254 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{1 粒当たりの体積} &= 4/3 \pi r^3 = 4/3 \times 3.14 \times 0.00045^3 \\
 &= 3.8151\text{E-}10
 \end{aligned}$$

$$\text{1m}^3 \text{ 当たりの充填粒数 (六方最密充填構造に基づき、充填率 } 74\% = \frac{\pi}{3\sqrt{2}})$$

$$(1 \times 0.74 \div 3.8151\text{E-}10) = 1,939,660,821 \quad \text{個}/\text{m}^3$$

1m³当たりの活性炭表面積

$$0.00000254 \times 1,939,660,821 = 4,927 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

直径 1.2mm の場合

$$\begin{aligned} 1 \text{ 粒当たりの表面積} &= 4 \times 3.14 \times 0.0006 \times 0.0006 \text{ m}^2 \\ &= 0.00000452 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 粒当たりの体積} &= 4/3 \pi r^3 = 4/3 \times 3.14 \times 0.0006^3 \\ &= 9.0432\text{E-}10 \end{aligned}$$

1m³当たりの充填粒数

$$(1 \times 0.74 \div 9.0432\text{E-}10) = 818,294,409 \text{ 個}/\text{m}^3$$

1m³当たりの活性炭表面積

$$0.00000452 \times 818,294,409 = 3,699 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

表面積の比率

$$4,927 \text{ m}^2/\text{m}^3 (\text{ : } 0.9\text{mm}) \div 3,699 \text{ m}^2/\text{m}^3 (\text{ : } 1.2\text{mm}) = 1.33$$

表 6-11 北谷浄水場の水源運用別 活性炭吸着池 AC3(1.2mm)処理水濃度

水源運用	期間	PFOS(ng/L)			PFOA(ng/L)			PFHxS(ng/L)		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
比謝川取水期間	令和元年12月1日 ～令和2年6月19日	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
比謝川取水停止期間	令和2年6月19日 ～令和2年10月29日	<1	<1	<1	1	<1	<1	1	<1	<1
比謝川取水期間	令和2年10月30日～	13	2	6	10	1	3	15	3	6

表 6-12 PFOS 等 水質検査結果 (その 1)

日付	活性炭流入水					AC1					AC2				
	PFOS	PFOA	PFHxS	PFOS+PFOA	合計	PFOS	PFOA	PFHxS	PFOS+PFOA	合計	PFOS	PFOA	PFHxS	PFOS+PFOA	合計
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
2019/12/3	9	3	6	12	18	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/1/7	11	4	9	15	24	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/1/22	6	1	4	7	11	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/2/4	6	<1	4	7	10	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/2/18	9	2	6	11	17	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/3/3	7	2	5	9	14	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/3/16	7	2	6	9	15	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/3/31	9	2	7	11	18	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/4/7	11	4	9	15	24	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/4/23	10	3	8	13	21	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/5/7	5	2	3	7	10	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/5/19	4	2	3	6	9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/6/3	10	3	6	13	19	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/6/16	9	3	7	12	19	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/7/7	2	2	2	4	6	<1	<1	<1	<1	<1	-	-	-	-	-
2020/7/20	2	1	1	3	4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/8/3	2	2	2	4	6	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/8/18	2	2	2	4	6	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/9/7	1	<1	<1	1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/9/23	2	<1	1	2	3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/10/6	2	<1	1	2	3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/10/19	2	2	3	4	7	<1	1	1	1	2	<1	1	1	1	2
2020/11/10	16	5	12	21	33	1	2	3	3	6	<1	1	1	1	2
2020/11/24	31	10	21	41	62	2	2	4	4	8	2	3	4	5	9
2020/12/8	19	6	15	25	40	3	3	6	6	12	2	2	3	4	7
2020/12/21	17	3	9	20	29	4	1	4	5	9	3	<1	2	3	5
2021/1/5	23	3	11	26	37	4	1	4	5	9	2	<1	3	2	5
2021/1/13	15	3	8	18	26	5	1	4	6	10	4	1	3	5	8
2021/1/19	16	3	8	19	27	6	2	4	8	12	3	1	3	4	7
2021/1/25	4	2	4	6	10	2	2	3	4	7	1	1	2	2	4

※2020/7/7 : AC2 はサンプルの取り違いのため欠測とした。

表 6-13 PFOS 等 水質検査結果 (その 2)

日付	AC3(0.9mm)					AC3(1.2mm)				
	PFOS	PFOA	PFHxS	PFOS+ PFOA	合計	PFOS	PFOA	PFHxS	PFOS+ PFOA	合計
	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
2019/12/3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/1/7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/1/22	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/2/4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/2/18	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/3/3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/3/16	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/3/31	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/4/7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/4/23	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/5/7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/5/19	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/6/3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/6/16	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/7/7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/7/20	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	1	1
2020/8/3	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	1	1
2020/8/18	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	1
2020/9/7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/9/23	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/10/6	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
2020/10/19	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	1	1
2020/11/10	<1	1	1	1	2	2	2	3	4	7
2020/11/24	4	4	5	8	13	13	10	15	23	38
2020/12/8	4	2	4	6	10	5	4	7	9	16
2020/12/21	3	<1	3	3	6	5	1	4	6	10
2021/1/5	3	<1	3	3	6	6	2	5	8	13
2021/1/13	4	<1	3	4	7	6	1	4	7	11
2021/1/19	4	1	3	5	8	7	2	5	9	14
2021/1/25	1	1	2	2	4	2	2	3	4	7

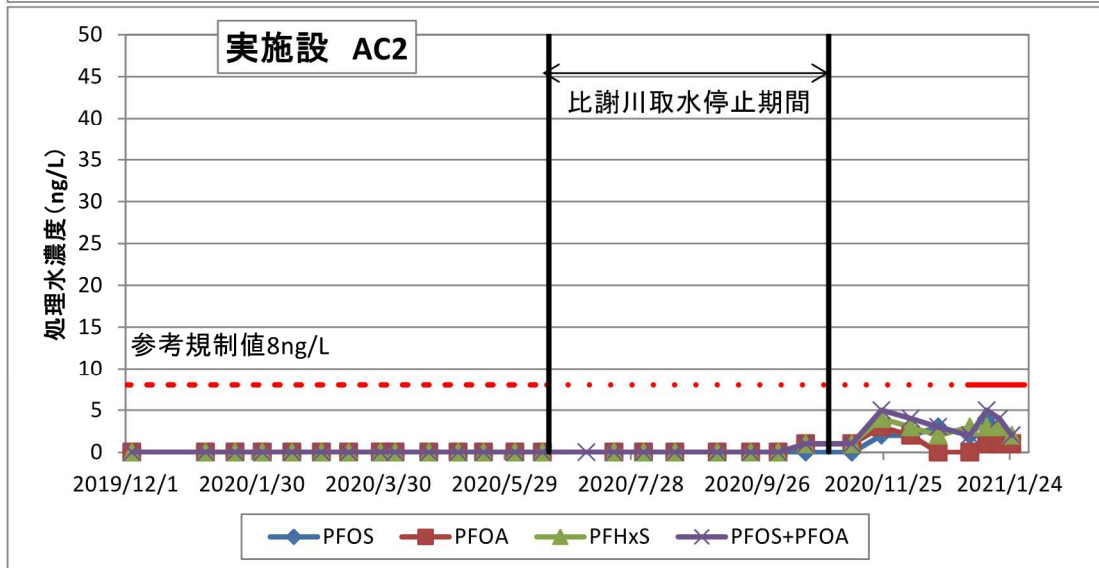
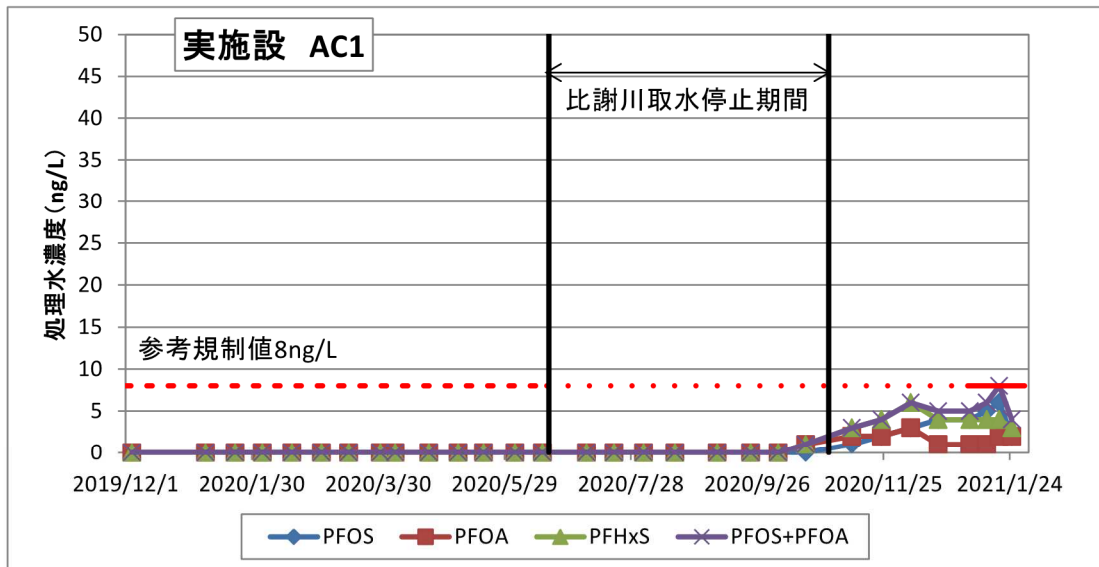
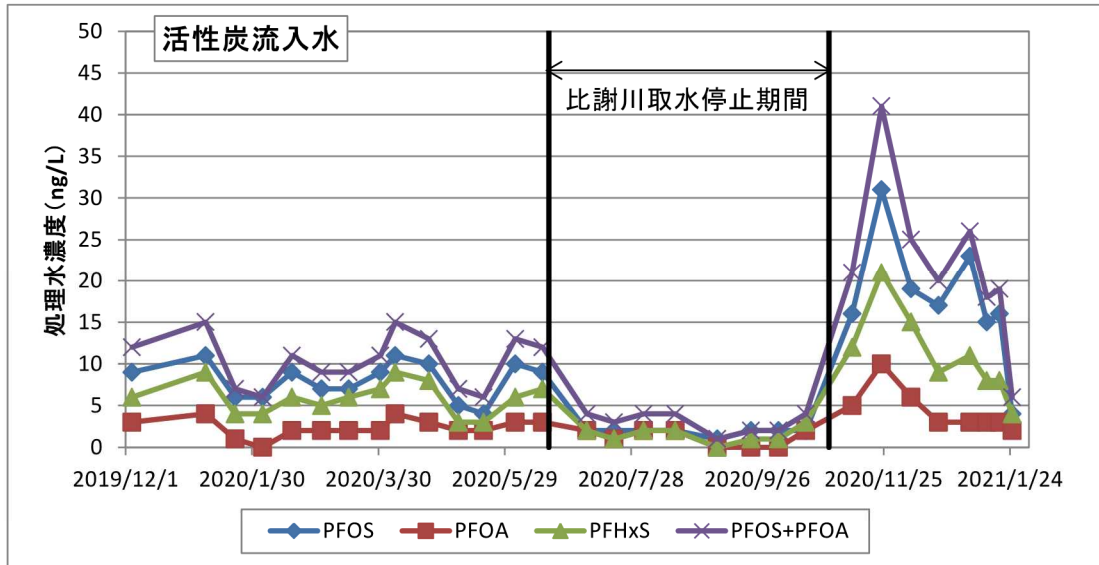


図 6-7 実施設運用炭における PFOS 等水質分析結果 (その 1)

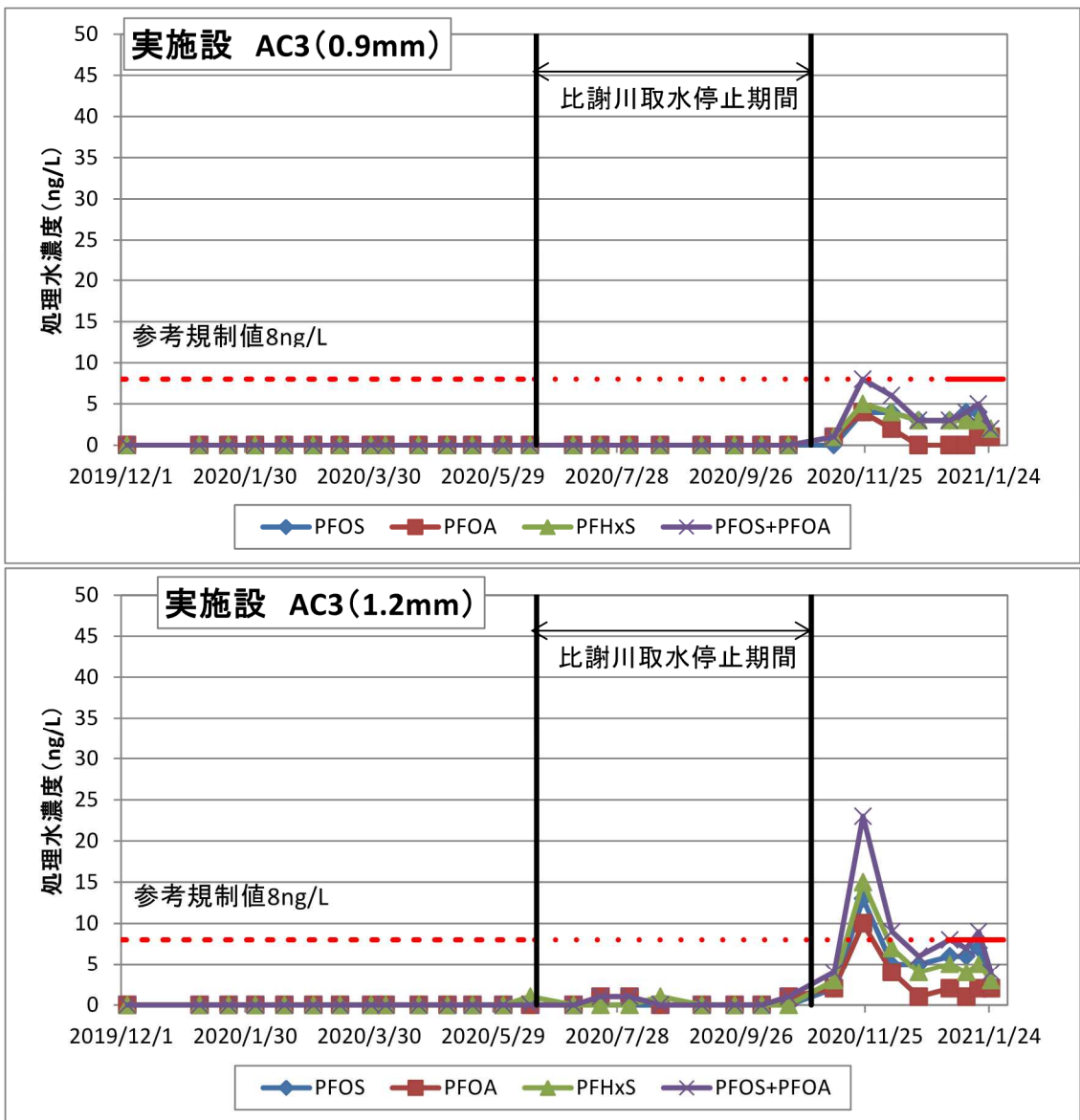


図 6-8 実施設運用炭における PFOS 等水質分析結果 (その 2)

第7章 RSSCT 結果と実施設の比較

RSSCT の主旨は、各活性炭の PFOS 等に関する処理性能を同条件で相互比較することである。一方、実施設処理との関係性を確認することも重要である。

このため、RSSCT と令和元年 12 月～令和 3 年 1 月の実施設の処理状況を比較した。

7-1. 検証データの選択

RSSCT 結果と実施設測定結果を用いて比較するに当たり、実施設と RSSCT の処理条件の違いを整理した。

1) 処理条件の比較

実施設と RSSCT における処理条件を表 7-1 に示す。表 7-1 に示すとおり、実施設と RSSCT では、通水速度、層厚は、実施設の有効径をもとに試算された値であることから、違いはないと考えられる。一方、炭層厚、逆流洗浄有無などの処理条件に違いがみられる。

表 7-1 実施設と RSSCT の処理条件

		実施設	RSSCT	主要な処理条件の違い	
活性炭重量	g	活性炭吸着池=104m ³ 104×0.5=52t 52,000,000g	2.0～2.1	—	
粒径 平均	mm	0.9～1.2	0.107		
通水速度 LV	m/時	6.71	56.5		
空間速度 SV	1/hr	3.35	236.3		
寸法		ろ過面積 52m ² 層厚 2m	φ 4.6mm 層厚24cm ^{※2}	○	
原水濃度 ^{※1}	PFOS	ng/L	1～31 平均 8.7	—	
	PFOA	ng/L	<1～10 平均 3.0		
	合計	ng/L	1～41 平均 10.0		
	PFHxS	ng/L	<1～21 平均 6.0		
水温		°C	15～30	22	
逆流洗浄			あり	なし	○

※1 実施設活性炭吸着池: 令和元年12月～令和2年12月の運用条件

※1 RSSCT: 令和2年9月21日～11月10日

※2 平均粒径の違いにより補正換算(24÷3.1684=7.57cm)

令和 2 年度は水源水量に比較的余裕があったために、北谷浄水場では 6 月 19 日～10 月 29 日まで比謝川取水を停止していたため、原水濃度の変動範囲が大きい。一方、RSSCT における原水濃度は、ほぼ一定となるように管理した。

2) 参考値と RSSCT 結果

水質管理事務所の測定値（以下参考値と称す。）で得られた実施設と RSSCT における PFOS+PFOA 結果を整理すると図 7-1 のとおりであった。

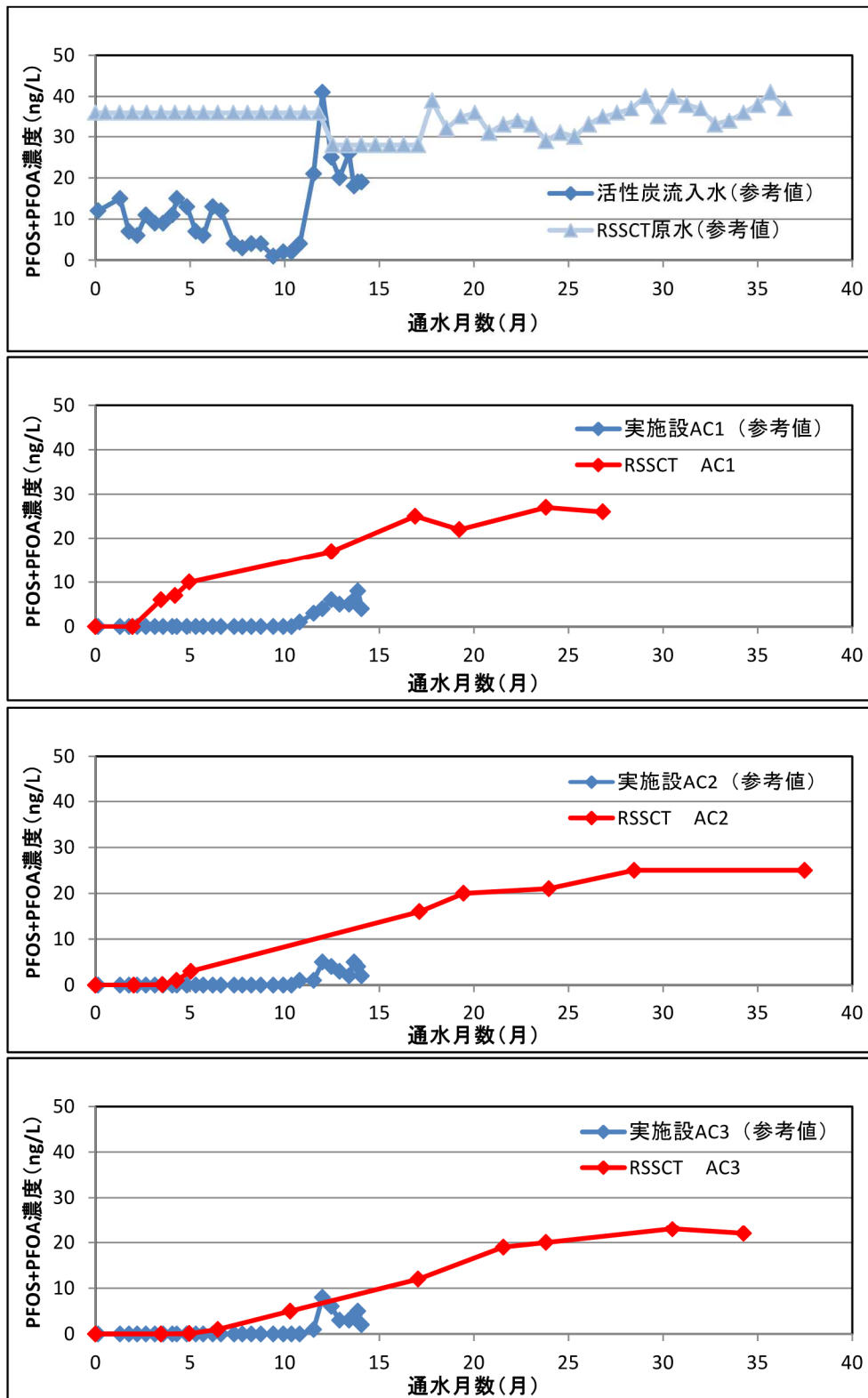


図 7-1 実施設と RSSCT の結果 (PFOS+PFOA 合計)

【活性炭流入水濃度】

- 北谷浄水場においては、令和2年6月19日から10月29日まで比謝川取水を停止する水源運用を実施していた。
- 活性炭流入水濃度は、比謝川取水停止時の前ではPFOS+PFOA合計で平均18ng/L、比謝川取水停止期間中は平均5ng/L程度、比謝川取水再開後は平均35ng/Lと濃度変動がみられた。

【活性炭処理水濃度】

- 比謝川取水停止により活性炭流入水のPFOS等の活性炭流入濃度が低下した時期に活性炭処理水濃度が変動する状況がみられた。

【実施設とRSSCTの処理濃度の関係】

- AC3については、実施設とRSSCTの処理水濃度の変化の傾向は類似していた。
- AC1、AC2については、RSSCTの方が実施設より早く立ち上がる傾向がみられた。

3) 参考値による考察

活性炭流入水濃度低下時の活性炭処理水濃度変化について検討するため、分析値より多い頻度で行われた実施設AC3の参考値を用いて検討した。

①活性炭流入水濃度と活性炭処理水濃度の関係を図7-2に示す。

- 活性炭流入水濃度が高くなると活性炭処理水濃度が高くなる傾向がある。
- 一方、実施設では比謝川取水を停止し、活性炭流入水濃度が低い時期に活性炭処理水濃度のバラツキが大きくなる時期がみられた。

②TOC流入負荷量（累積）を区間別に別けて整理した結果を図7-3に示す。

- 実施設AC3は、TOC流入負荷量（累積）30～60mg/gにおいて、活性炭流入水濃度が低濃度の場合でも活性炭処理水濃度のバラツキが大きくなった。
- RSSCT AC3では、TOC累積負荷量が増加するにしたがって、活性炭処理水濃度が概ね一定の勾配で増加していた。
- これらのことから、実施設において活性炭流入水濃度が低い時期に活性炭処理水濃度が検出されていることは、比謝川取水を停止した影響で、活性炭流入水濃度が低下し、吸着より脱着が優勢になったと推察される。

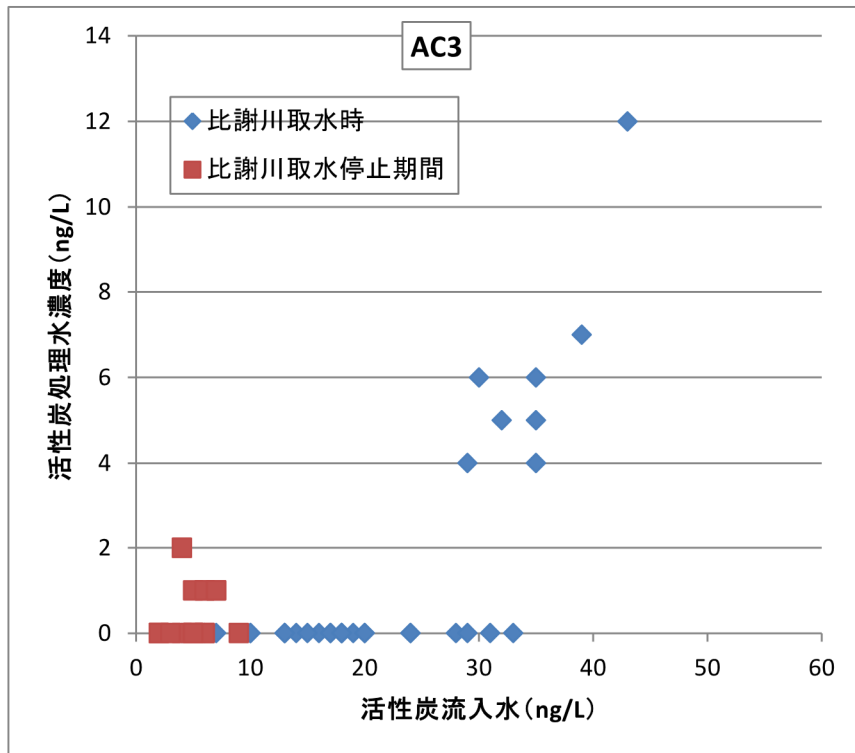


図 7-2 活性炭流入水濃度と活性炭処理水濃度の関係

実施設
AC3

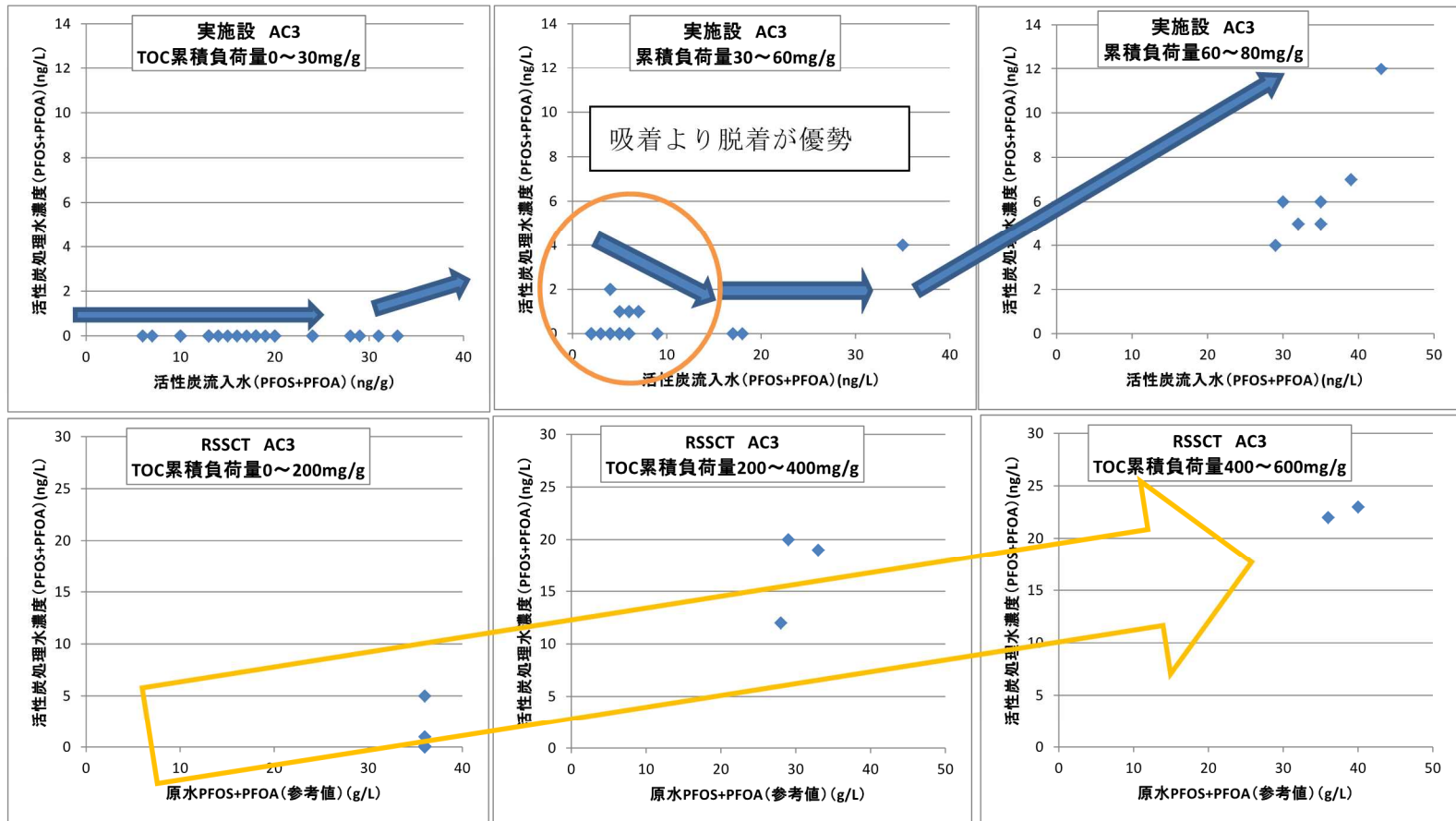


図 7-3 TOC 流入負荷量（累積）区間別における活性炭流入水（PFOS+PFOA）と活性炭処理水（PFOS+PFOA）の関係
実施設 AC3 と RSSCT AC3

4) 解析対象データの選択

参考値の傾向より比謝川取水停止期間のデータは、原水濃度の変化（低下）に伴い、吸着より脱着が優勢となる現象がみられた。一方、RSSCT では原水濃度はほぼ一定としたため、この様な傾向はみられなかった。このため、この期間のデータは実施設とRSSCTの結果の比較には馴染まないものと仮定し、PFOS等の処理水濃度のデータは、検討から除外した。

表 7-2 実施設と RSSCT での傾向の違い

	吸着より脱着が優勢となる事象
RSSCT AC3	「なし」 (図 7-3 下段での右上がり一定)
実施設 AC3	「あり」 TOC 流入負荷量 35~60mg/g に発生

また、分析値は 2 回/月の頻度であったが、参考値と比較すると、相関が確認されたため、分析値で検討することとした。

解析対象データは以下のとおりとした。

- PFOS 等処理水濃度 比謝川取水停止期間は除外
- TOC 活性炭流入水 全期間で使用 (負荷量算出に使用)
- PFOS 等活性炭流入水 全期間で使用 (負荷量・吸着量算出に使用)

7-2. RSSCT 結果と実施設の比較

1) 比較方法の検討

RSSCT は活性炭粒径を小さくし、小型カラムを用いて通水することで短期間の実験で、実施設で使用している活性炭の吸着寿命の相互比較ができる手法である。しかし、RSSCT から導かれる「吸着寿命の絶対値」については、RSSCT と実施設の処理条件の違いなどのため、実施設との関係性を確認しておく必要がある。このため、実施設とRSSCTを比較する指標を抽出し、実施設とRSSCTについて、それぞれの実態を同一座標軸上で比較した。

(1) 各指標による検討

縦軸は除去率及び活性炭処理水濃度として、横軸を以下の条件で作図した結果を図 7-4~7 に示す。

【比較指標】

- 実施設通水月数
- 活性炭 1g 当たりの PFOS+PFOA、PFHxS 流入負荷量 (累積)
- 活性炭 1g 当たりの PFOS+PFOA、PFHxS 吸着量 (累積)
- 活性炭 1g 当たりの TOC 流入負荷量 (累積)

図 7-4~7 より次の視点で RSSCT 結果の傾向を分類した結果を表 7-3 に示す。

【評価基準】

- : 線形の傾向が類似、除去率もしくは処理水濃度は近似
- △ : 線形の傾向が類似、除去率もしくは処理水濃度は異なる

- ▲：線形の傾向が異なり、除去率もしくは処理水濃度は近似
×：線形の傾向が異なり、除去率もしくは処理水濃度は異なる

①実施設通水月数について

- PFOA+PFOA、PFHxS とともに、AC3 は除去率及び活性炭処理水濃度とも○であるが、AC1 及び AC2 は除去率及び活性炭処理水濃度とも△となった。
- 活性炭処理水濃度は、活性炭流入水の流入濃度の影響を受けているため、活性炭処理水濃度が近似しなかったものと考えられる。

②活性炭 1g 当たりの TOC 流入負荷量（累積）について

- PFOA+PFOA、PFHxS とともに、AC3 は除去率で実施設通水月数と同じに○であるが、活性炭処理水濃度は△であった。AC1 及び AC2 は実施設通水月数と同様に除去率及び活性炭処理水とともに△となった。
- RSSCT では、蛍光強度や TOC は通水期間 5～15 ヶ月でほぼ破過の結果が得られていることから、活性炭における TOC と PFOS 等の吸着特性の違い（細孔容積の違い）による影響のため、TOC 流入負荷量（累積）では、活性炭処理水濃度が一致しなかったと推察される。

③活性炭 1g 当たりの PFOS+PFOA、PFHxS 流入負荷量（累積）について

- 除去率で見ると、PFOS+PFOA、PFHxS とともに、AC1 が○、AC2 及び AC3 が△となった。活性炭処理水濃度で見ると、PFOS+PFOA は除去率と同じ傾向であるが PFHxS では全て○となった。
- 実施設通水月数や TOC 流入負荷量（累積）に比べるとグラフ形状は類似していることから、活性炭への吸着特性（細孔容積）の違いによるものと推察される。

④活性炭 1g 当たりの PFOS+PFOA、PFHxS 吸着負荷量（累積）について

- 除去率で見ると、PFOS+PFOA、PFHxS とともに AC1 及び AC2 が○、AC3 は△となった。活性炭処理水濃度で見ると、PFOS+PFOA は AC1 が○、AC2 及び AC3 が△であった。PFHxS では AC1 及び AC2 は▲、AC3 は△となった。
- 活性炭処理水濃度は、活性炭流入水の流入濃度に差があるため除去率と違った結果となったと推察される。

以上のことから、PFOS+PFOA、PFHxS 流入負荷量（累積）もしくは PFOS+PFOA、PFHxS 吸着量（累積）で、縦軸指標は流入濃度の影響を考慮した除去率で RSSCT と実施設の回帰式の比較を行った。

表 7-3 RSSCT 結果と実施設結果の指標比較

横軸指標	縦軸指標	項目	AC1	AC2	AC3
実施設 通水月数 (月)	除去率	PFOS+PFOA	△	△	○
		PFHxS	△	△	△
	活性炭 処理水濃度	PFOS+PFOA	△	△	△
		PFHxS	△	△	△
TOC 流入負荷量 (mg/g)	除去率	PFOS+PFOA	△	△	○
		PFHxS	△	△	△
	活性炭 処理水濃度	PFOS+PFOA	△	△	△
		PFHxS	△	△	△
PFOS等 流入負荷量 (ng/g)	除去率	PFOS+PFOA	○	△	△
		PFHxS	○	△	△
	活性炭 処理水濃度	PFOS+PFOA	○	△	△
		PFHxS	○	○	○
PFOS等 吸着量 (ng/g)	除去率	PFOS+PFOA	○	○	△
		PFHxS	○	○	△
	活性炭 処理水濃度	PFOS+PFOA	○	△	△
		PFHxS	▲	▲	△

- ：線形の傾向が類似、除去率もしくは処理水濃度は近似
 △：線形の傾向が類似、除去率もしくは処理水濃度は異なる
 ▲：線形の傾向が異なり、除去率もしくは処理水濃度は近似
 ×：線形の傾向が異なり、除去率もしくは処理水濃度は異なる
 数値は比率が1.5以内の場合、近似しているものとした

傾向が類似、除去率もしくは処理水濃度近似：○

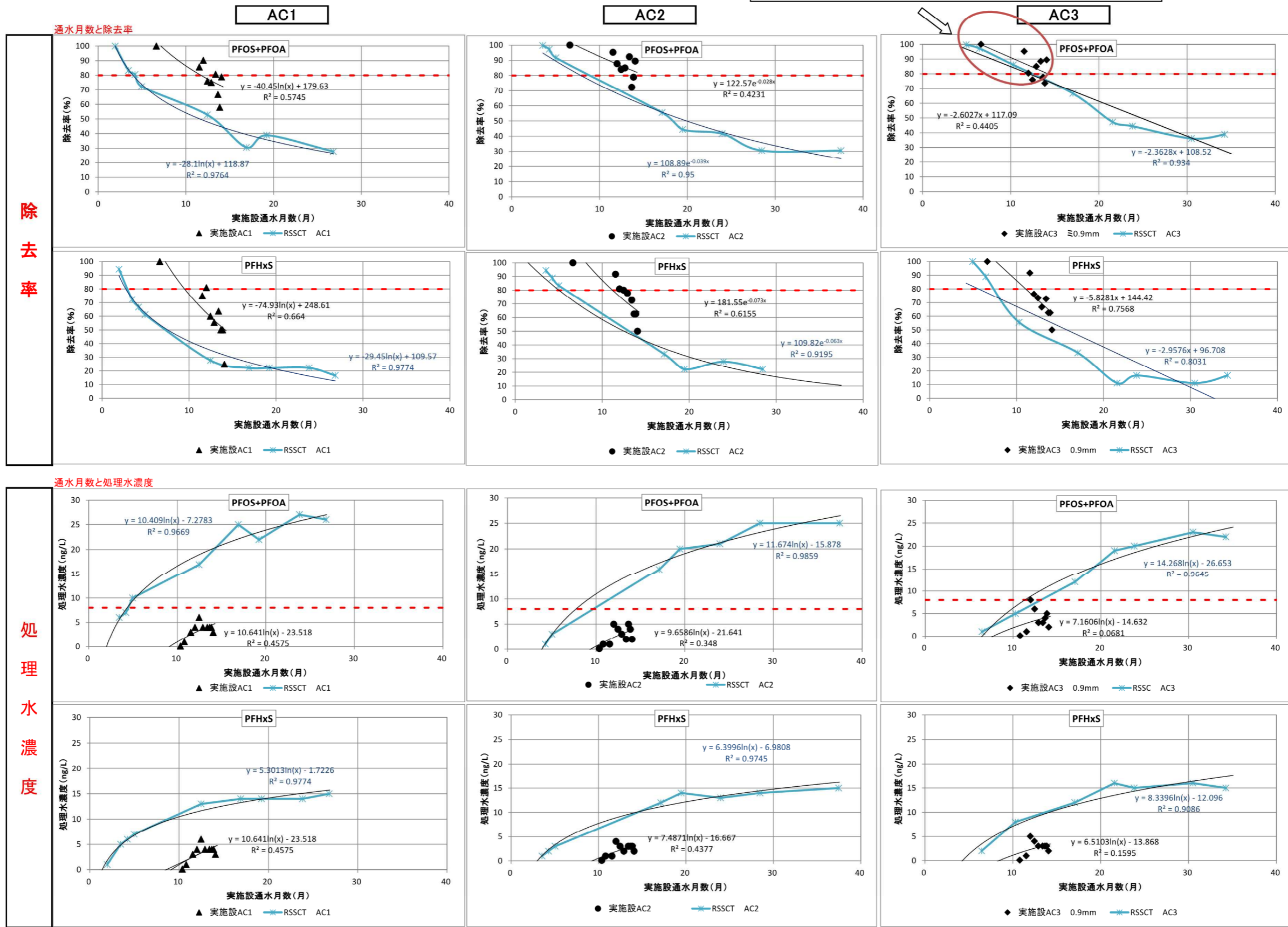


図 7-4 実施設通水月数に関する RSSCT と実施設の類似性の検討

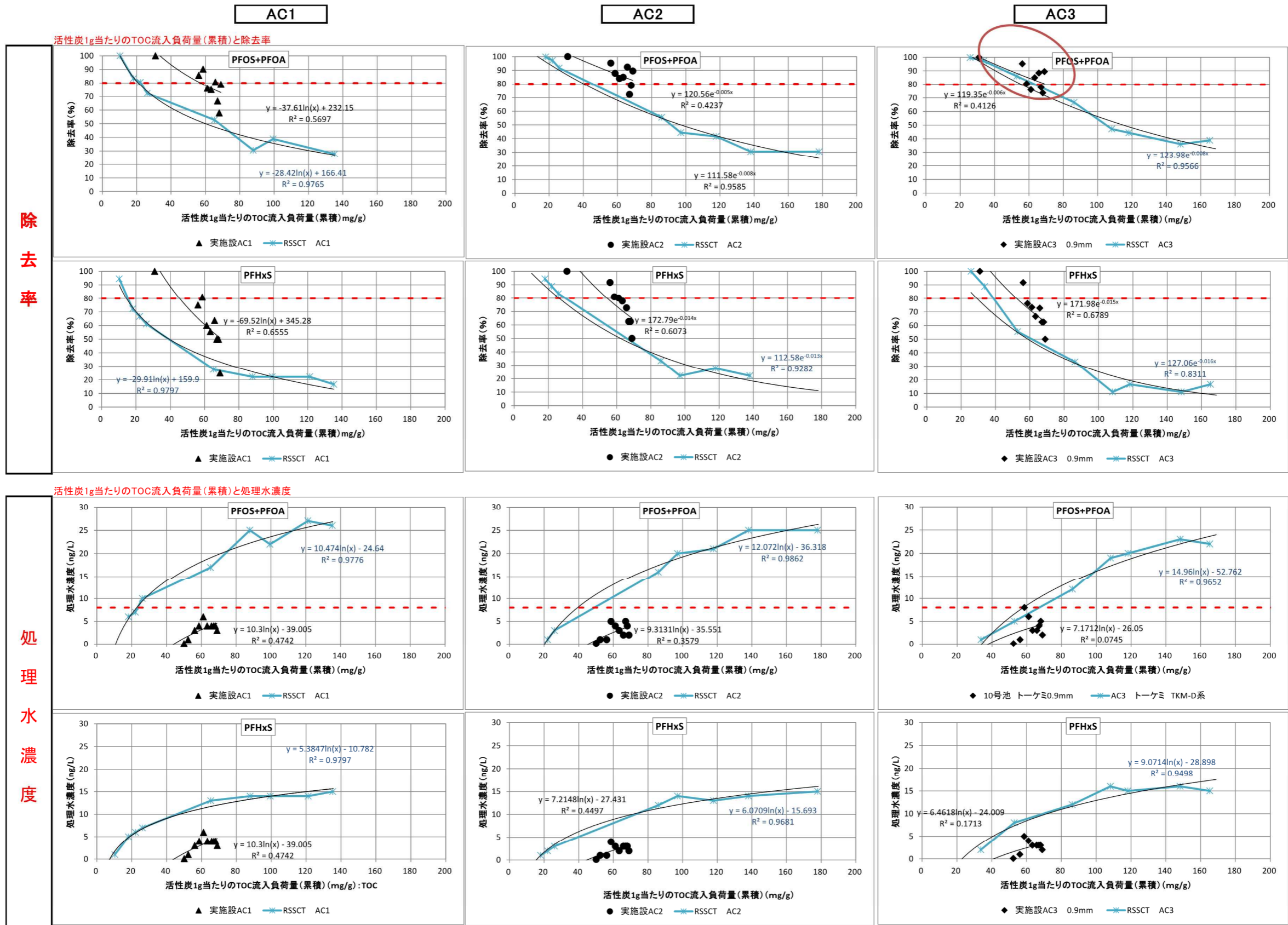


図 7-5 TOC 流入負荷量 (累積) に関する RSSCT と実施設の類似性の検討

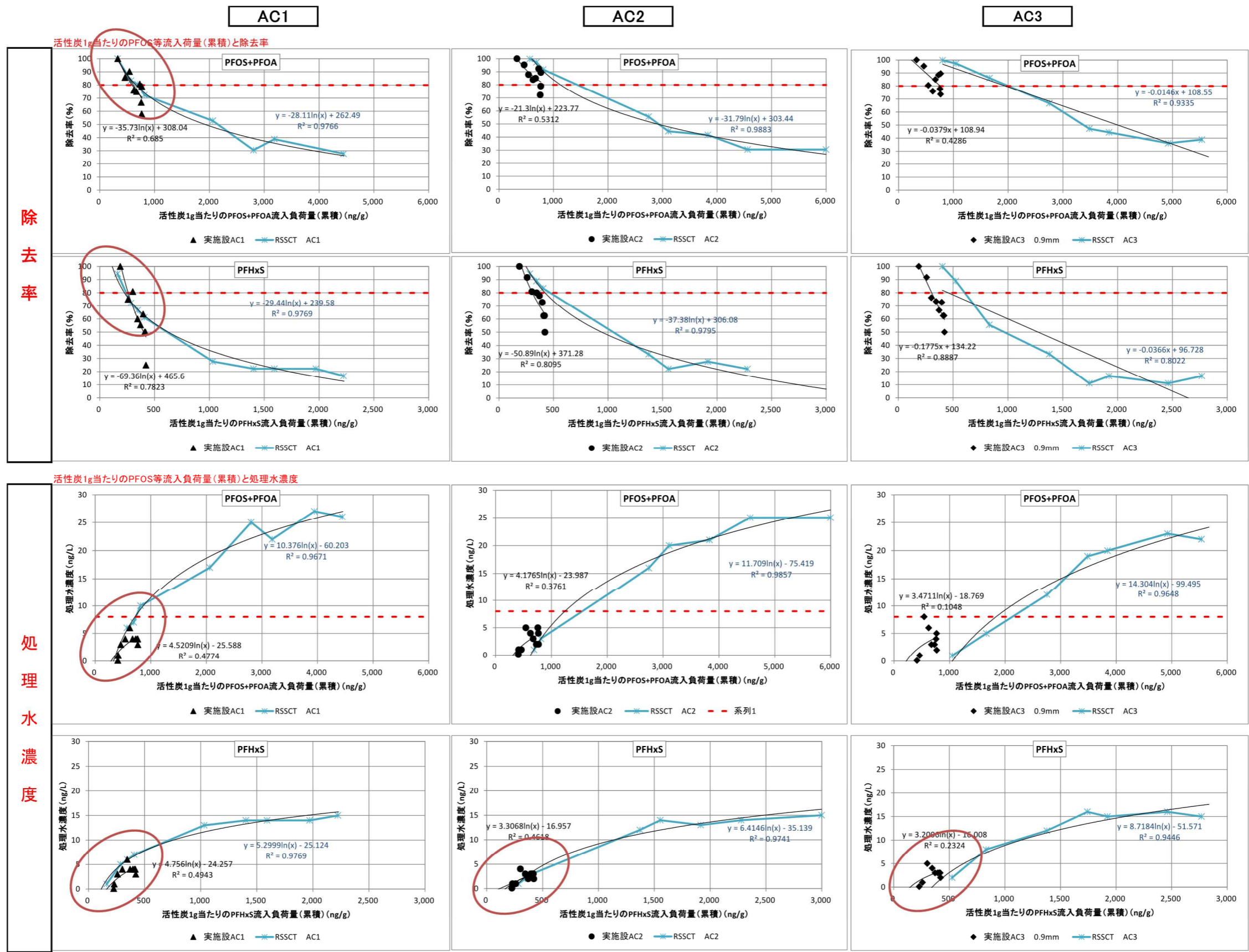


図 7-6 PFOS+PFOA 流入荷量 (累積) に関する RSSCT と実施設の類似性の検討

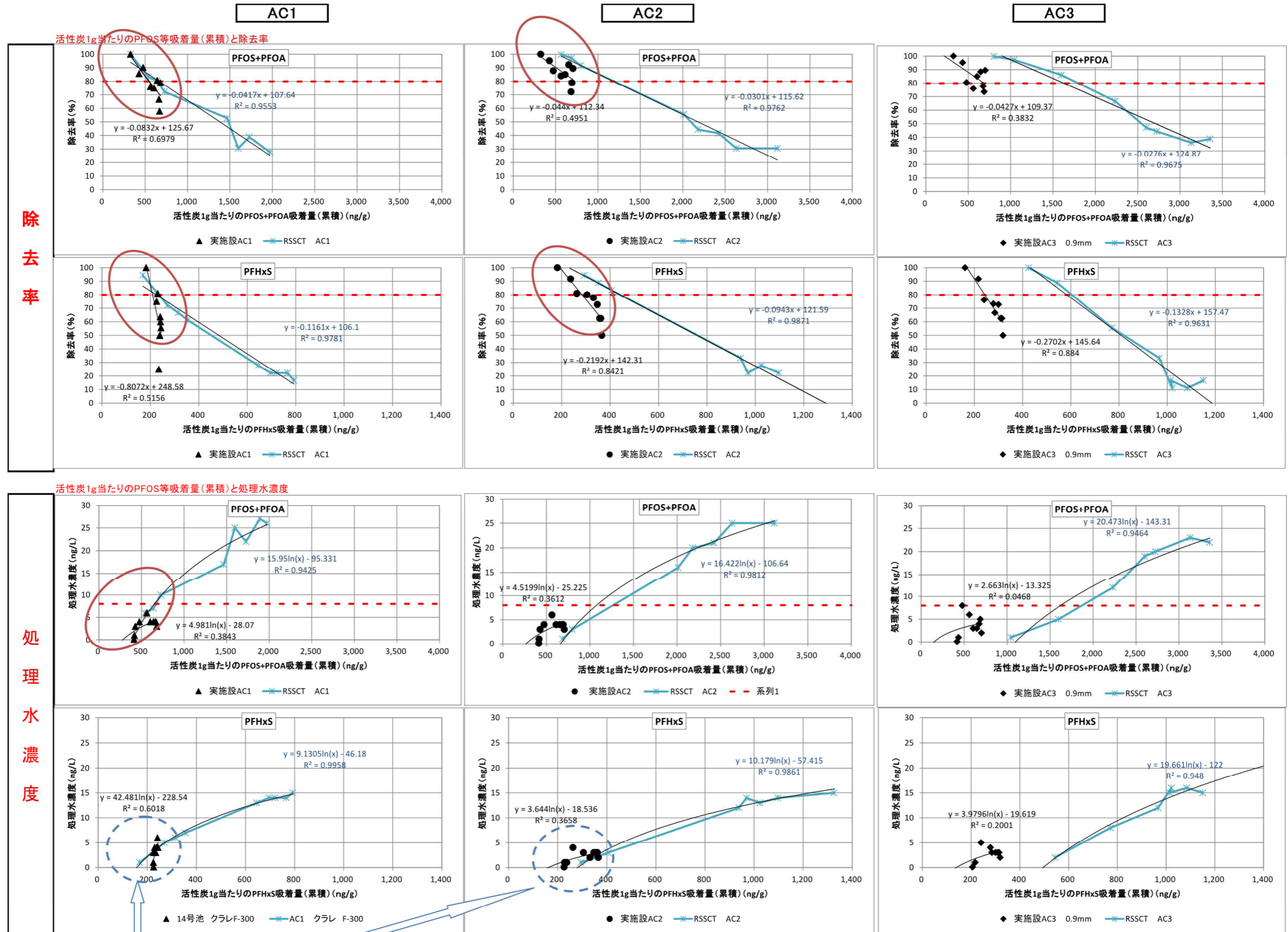


図 7-7 PFOS+PFOA 吸着量 (累積) に関する RSSCT と実施設の類似性の検討

傾向が異なり、除去率もしくは処理濃度は近似：▲

(2) 回帰式による検討

前節における RSSCT と実施設の指標比較から絞り込まれた PFOS 等吸着量（累積）と PFOS 等流入負荷量（累積）について、回帰式の比較を行った。結果は表 7-4 に示すとおりである。

表 7-4 回帰式（除去率）での評価

PFOS+PFOA									
AC No.	横軸	実施設 回帰式				RSSCT 回帰式			
		回帰種別	傾き	y切片	R ²	回帰種別	傾き	y切片	R ²
AC1	PFOS等吸着量	直線回帰	-0.083	125.7	0.70	直線回帰	-0.042	107.6	0.96
	PFOS流入負荷	対数回帰	-35.7	308.0	0.69	対数回帰	-28.1	262.5	0.98
AC2	PFOS等吸着量	直線回帰	-0.044	112.3	0.50	直線回帰	-0.030	115.6	0.98
	PFOS流入負荷	対数回帰	-21.3	223.8	0.53	対数回帰	-31.8	303.4	0.99
AC3	PFOS等吸着量	直線回帰	-0.043	109.4	0.33	直線回帰	-0.028	124.9	0.97
	PFOS流入負荷	直線回帰	-0.038	108.9	0.43	直線回帰	-0.015	108.6	0.93

PFHxS									
AC No.	横軸	実施設 回帰式				RSSCT 回帰式			
		回帰種別	傾き	y切片	R ²	回帰種別	傾き	y切片	R ²
AC1	PFOS等吸着量	直線回帰	-0.81	248.6	0.52	直線回帰	-0.12	106.1	0.98
	PFOS流入負荷	対数回帰	-69.4	465.6	0.78	対数回帰	-29.4	239.6	0.98
AC2	PFOS等吸着量	直線回帰	-0.22	142.3	0.84	直線回帰	-0.09	121.6	0.99
	PFOS流入負荷	対数回帰	-50.9	371.3	0.81	対数回帰	-37.4	306.1	1.00
AC3	PFOS等吸着量	直線回帰	-0.27	145.6	0.88	直線回帰	-0.13	157.5	0.96
	PFOS流入負荷	直線回帰	-0.18	134.2	0.89	直線回帰	-0.04	96.7	0.80

【回帰式による検討】

- ① PFOS+PFOA について実施設の回帰式を見ると、AC1 では比較的決定係数（R²）が大きく、RSSCT と同じ回帰式で評価できることが分かる（表 7-4）。AC2 や AC3 は決定係数（R²）が小さいが、除去率がまだ 80%程度までしか低下していないため、ばらつきが大きく影響しているものと考えられる。したがって、今後さらにデータを蓄積して評価する必要があると考えられる。
- ② PFHxS について実施設の回帰式を見ると、いずれの活性炭でも決定係数（R²）は大きくなっている。PFHxS について決定係数（R²）が大きいのは、二次的ではあるが、RSSCT では PFOS に比べて PFHxS の破過は短いと考えられるため、除去率が 50%程度まで低下し、ある程度の除去率変化をとらえたデータの収集ができ

たためと考えられる。

【指標及び回帰式の考察】

- ① 実施設と RSSCT 結果（図 7-6、7）を見ると、PFOS 等の漏出が始まる時期が大きく異なっている。
- ② 実施設における PFOS 等の漏出開始時期は各活性炭ともほぼ同じであるが、RSSCT の PFOS 等の漏出が始まる時期は AC1 が実施設とほぼ同じで最も早く、AC3 が最も遅い。AC2 は中間である。
- ③ RSSCT と実施設の PFOS 等の漏出開始時期の違いについて、参考文献（活性炭・基礎と応用 炭素材料科学会編）から推察すると、図 7-8 に示す活性炭吸着に関する知見から図 7-9 の模式図が考えられる。これは推察であり、今後の調査検討で確認を行うことが望ましい。

【活性炭固定層における考え方】

図 7-8（上）に示す様な固定吸着層を考える場合、上層から次第に飽和に達し、各層における流出濃度は図 7-8（下）のよりに示される。すなわち、上層（図 7-8 ではブロック 1）が最初に飽和に達するためにブロック 1 の処理水濃度は流入濃度（ C_0 ）に達する。吸着層は次第に下層に移動し、最終的には最下層まで飽和に達して、流出濃度は流入濃度と同じになる。

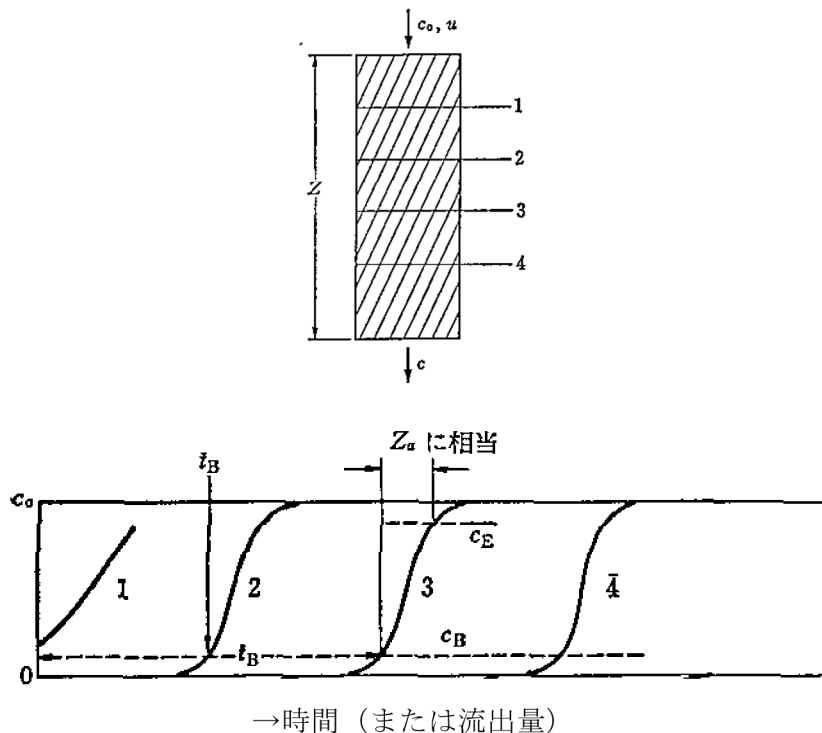


図 7-8 固定層活性炭の破過曲線の形

（出典：炭素材料科学会編 活性炭・基礎と応用）

【知見からの推察】

- RSSCT は逆洗操作がなく、短絡流が少ない系となるため、活性炭の吸着能力全量を使い切っていくと考えられることから、完全破過した層（図 7-9 黒色部分）が徐々に流出側へ移行する。
- 一方、実施設では定期的な逆洗操作が行われることから、全層がほぼ均等な状態となり、劣化は全層において徐々に進行するモデルが推察される。
- 上記の吸着モデルの違いにより、実施設では活性炭の吸着能力を完全には使い切れないため、実施設の漏出開始時期は RSSCT よりも早くなるのが推察される。ただし、逆洗浄があれば、活性炭は全体的に一様に使用され、また吸着された PFOS 等も洗い流される可能性も否定できない。
- 図 7-10 で AC3 の処理水濃度が若干低く推移していることは、AC3 の反応速度が AC1、2 に比べて速いことを示すものと考えられる。これにより RSSCT の AC3 では、活性炭の吸着能力を使い切る傾向が促進され、十分な吸着能力が残存する層（図 7-9 白色部分）の残留期間が AC1、AC2 に比べて長くなったことが推察される。
- 以上の推察は、RSSCT と実施設の層別吸着能力を回分式吸着実験で実測することで実態に近づくことが可能になると考えられる。

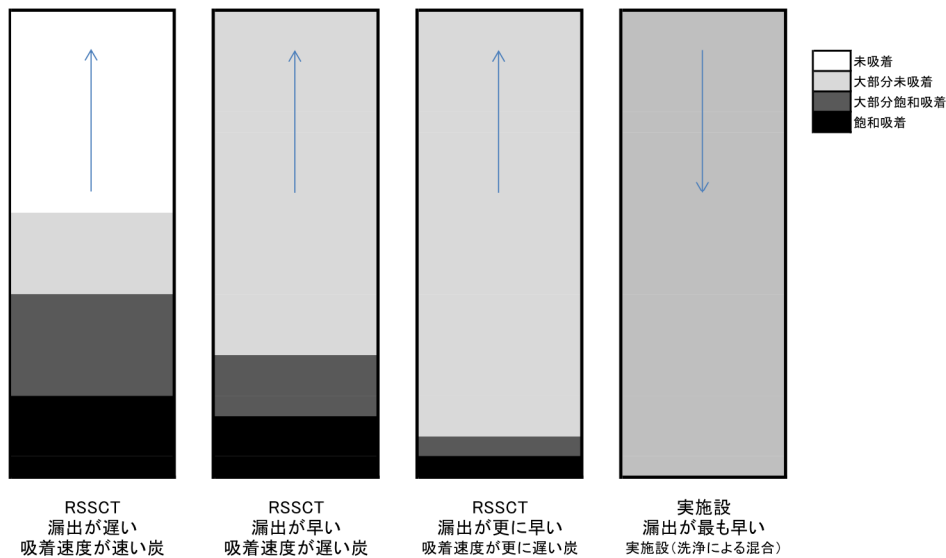


図 7-9 活性炭層内の吸着状態推定模式図（仮説）

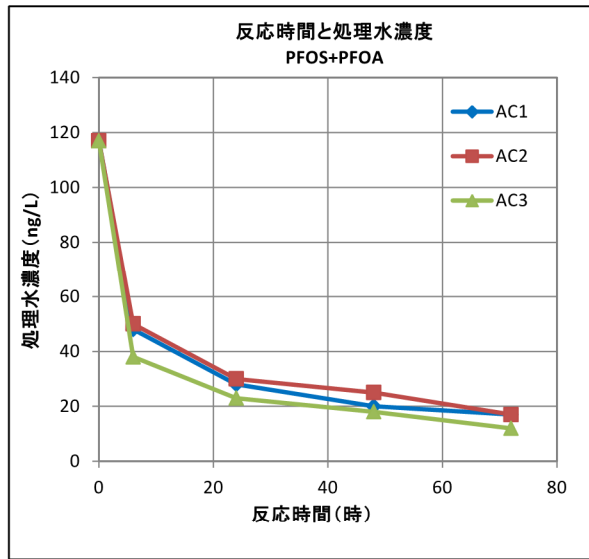


図 7-10 回分試験 反応時間変更結果 (PFOS+PFOA)

2) 比較検討のまとめ

比謝川取水停止期間の PFOS 等処理水濃度を比較検討から除外するのが望ましいと判断した。比較検討結果をまとめると以下のとおりである。

- 実施設と RSSCT の破過曲線形状は基本的に同様となることを前提に考えた。脱着が優勢となる現象は活性炭の内部濃度と外部濃度のバランスが影響すると考えられるが、その定量的反応機構は、現状では不明である。このため、脱着が優勢となった時期のデータを含めると RSSCT でみられた破過曲線とは異なる形状となるため、このようなデータの選択は妥当と考えられる。
- 縦軸の指標としては、活性炭処理水濃度よりも流入濃度変動の影響が少ない除去率の方が適していると考えられる。
- PFOS+PFOA 流入負荷量 (累積)、PFOS+PFOA 吸着量 (累積) を横軸とすることにより、RSSCT 結果は実施設と類似した傾向がみられていた。
- 指標比較から絞り込まれた PFOS+PFOA 流入負荷量 (累積)、PFOS+PFOA 吸着量 (累積) に関する回帰式の比較も行ったが、実施設の測定期間が短く、現状では判断ができない。

7.3 今後の課題

- 実施設の通水期間は約1年間であるが、RSSCTでは約3年間の通水期間に相当する実験データが得られており、比較を行うには期間不足が考えられる。例えば、過渡特性の比較を考えると実施設では初期段階しか得られておらず、破過に至る全体像を得ることが望ましい。(図7-11 イメージ参照)

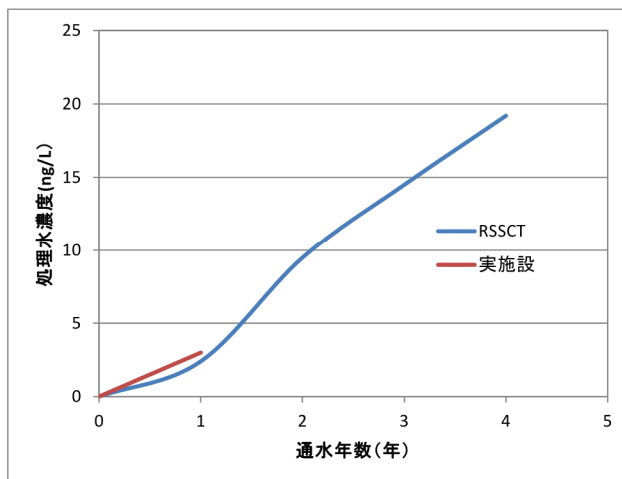


図7-11 RSSCT結果と実施設結果のイメージ

- 実施設における浄水水質の悪化のリスクを伴う長期間（4年以上：RSSCT シミュレーション結果より）の調査は困難である。そのため、継続調査を行う方法も検討すべきである。継続調査を行う方法としては、各吸着池より活性炭を採取してカラム実験を実施する。
- カラム実験装置の諸元を以下に示す。
 - カラム径 : ϕ 300mm
 - 活性炭層厚 : 2m
 - ろ過速度 : 実施設と同じ
 - 対象原水 : 北谷浄水場活性炭流入水
 - 逆洗浄 : 実施設と同じ頻度で実施

【資料編】

資料 1. 活性炭粒径の違いによる炭層厚の影響確認（追加実験 A）

RSSCT による実験条件の決定において、条件試算に用いた実施設の粒径 0.9mm は有効径であり、実験条件としては平均粒径 1.2mm を用いる必要があった。

そこで、改めて平均粒径の 1.2mm を用いて実験条件を確認すると資料表 1-1 に示すとおり、平均粒径 0.9mm では 24cm であった炭層厚は 13.2cm と短くなる。

炭層厚が違うことにより、活性炭の充填量が異なるため、本実験結果に補正が必要となる。

同一活性炭（AC1）を用いて、令和 2 年 11 月 11 日～11 月 21 日までの 10 日間、炭層厚 24cm と 13.2cm の比較実験を行った。結果を資料表 1-2、資料図 1-1～3 に示す。

(1) 通水日数と処理水濃度

まず、通水日数で PFOS+PFOA 処理濃度の比較を行った。通水日数による処理水濃度に差がみられたが、通水日数では炭層厚の違いにより空間速度（SV）に差があるため、24cm と 13.2cm 処理水濃度を直接比較ができない（資料図 1-1 参照）。

(2) 通水倍率と処理水濃度

次に、空間速度（SV）の影響を除外するために通水倍率での比較を行った。通水倍率に換算して処理水濃度の比較をした結果、処理水濃度に差がみられているが、原水濃度変動の影響を受けた可能性が否定できないことから、処理水濃度に差があるとまでは言えない（資料図 1-2 参照）。

(3) 通水倍率と除去率

そこで、原水濃度の変動影響を除外するために、原水の参考値（水質管理事務所の測定値）を用いて PFOS+PFOA の除去率を求め、通水倍率と除去率の関係を比較した。結果を資料図 1-3 に示す。資料図 1-3 に示すとおり、除去率は、炭層厚の差に影響されず同等の変動傾向を示していた。

したがって、炭層厚が有効径 0.9mm で実験条件試算したものよりも短くなることから、実施設換算日数も短くなる。ただし、通水倍率を基準とした評価では違いがみられなかったことから、関係式から求めた理想値の EBCT（接触時間）と異なったことによる実施設換算日数への影響は誤差の範囲でみられなかったと考えられる。そのため、補正は必要としない。

資料表 1-1 活性炭粒径の違いによる RSSCT の実験条件試算結果

RSSCT Design				units	design equation
		0.9mm	1.2mm		
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

資料表 1-2 活性炭粒径の違いによる炭層厚の影響確認（追加実験 A）の結果

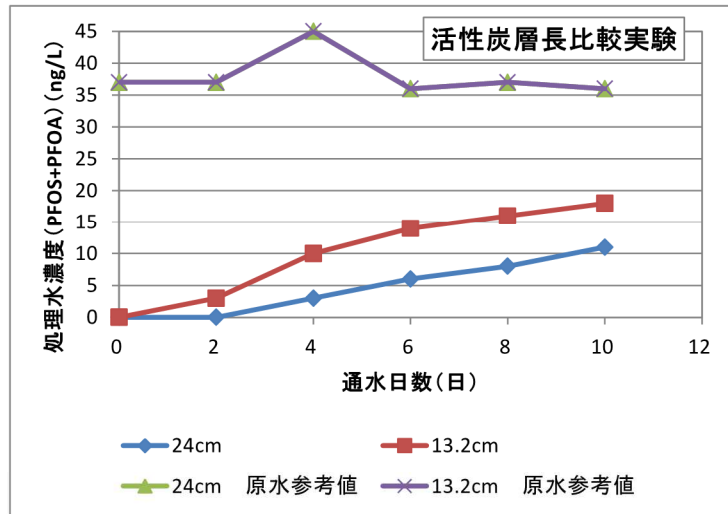
【活性炭（AC1）層長：24cm】

日付	項目 通水日数 (日)	圧力 (Mpa)	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)	活性炭重量 (g)	通水倍率 (-)	換算通水日数 (日)		通水月数 (月)	通水年数 (年)	PFOS等水質分析結果 (ng/L)				PFOS等除去率 (%)			
			日あたり	累積	実測	設定	日量	累積				カラム	実施設相当			PFOS	PFOA	PFHxS	PFOS+PFOA	PFOS	PFOA	PFHxS	PFOS+PFOA
2020年11月11日(水)	0	1.4	0	0	15.6	15.6	0	0	3.987	1.8245	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	100.0	100.0	100.0	100.0
11月12日(木)	1	2.7	1,350	1,350	15.6	15.6	21,060	21,060	3.987	1.8245	5,282	0.9	64.3	2.1	0.2								
11月13日(金)	2	3.5	1,440	2,790	15.6	15.6	22,464	43,524	3.987	1.8245	10,916	1.9	135.7	4.5	0.4	0	0	0	0	100.0	100.0	100.0	100.0
11月14日(土)	3	4.0	1,440	4,230	15.7	15.7	22,608	66,132	3.987	1.8245	16,587	2.9	207.1	6.9	0.6								
11月15日(日)	4	4.6	1,440	5,670	15.5	15.6	22,464	88,596	3.987	1.8245	22,221	3.9	278.5	9.3	0.8	2	1	3	3	94.9	83.3	84.2	93.3
11月16日(月)	5	5.1	1,440	7,110	15.7	15.6	22,464	111,060	3.987	1.8245	27,856	4.9	349.9	11.7	1.0								
11月17日(火)	6	5.6	1,440	8,550	15.8	15.8	22,752	133,812	3.987	1.8245	33,562	6.0	428.4	14.3	1.2	4	2	5	6	86.7	66.7	72.2	86.1
11月18日(水)	7	6.2	1,425	9,975	15.6	15.7	22,373	156,185	3.987	1.8245	39,173	7.0	499.8	16.7	1.4								
11月19日(木)	8	6.7	1,440	11,415	15.6	15.6	22,464	178,649	3.987	1.8245	44,808	8.0	571.2	19.0	1.6	6	2	7	8	79.3	75.0	12.5	81.1
11月20日(金)	9	7.4	1,440	12,855	15.6	15.6	22,464	201,113	3.987	1.8245	50,442	9.0	642.6	21.4	1.8								
11月21日(土)	10	7.7	1,440	14,295	15.7	15.7	22,608	223,721	3.987	1.8245	56,112	10.0	714.0	23.8	2.0	8	3	8	11	71.4	62.5	0.0	77.8

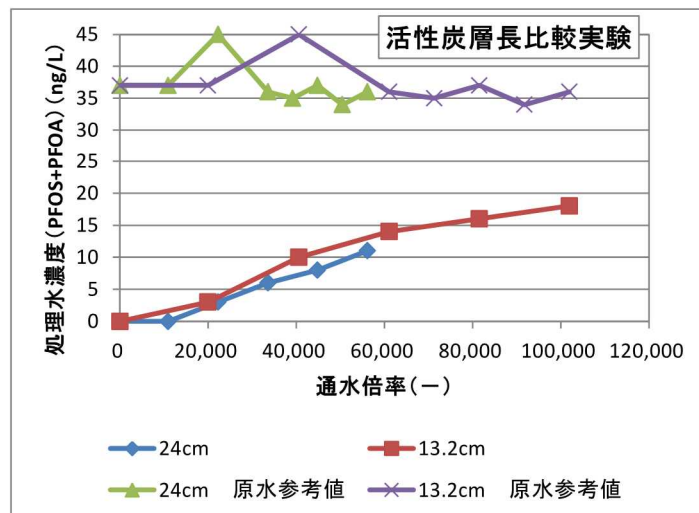
【活性炭（AC1）層長：13.4cm】

日付	項目 通水日数 (日)	圧力 (Mpa)	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)	活性炭重量 (g)	通水倍率 (-)	換算通水日数 (日)		通水月数 (月)	通水年数 (年)	PFOS等水質分析結果 (ng/L)				PFOS等除去率 (%)			
			日あたり	累積	実測	設定	日量	累積				カラム	実施設相当			PFOS	PFOA	PFHxS	PFOS+PFOA	PFOS	PFOA	PFHxS	PFOS+PFOA
2020年11月11日(水)	0	4.4	0	0	15.7	15.7	0	0	2.193	1.2339	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	100.0	100.0	100.0	100.0
11月12日(木)	1	6.7	1,350	1,350	15.7	15.7	21,195	21,195	2.193	1.2339	9,665	0.9	64.3	2.1	0.2								
11月13日(金)	2	7.4	1,440	2,790	15.6	15.7	22,608	43,803	2.193	1.2339	19,974	1.9	135.7	4.5	0.4	2	1	3	3	93.5	83.3	81.3	91.9
11月14日(土)	3	2.8	1,440	4,230	15.8	15.7	22,608	66,411	2.193	1.2339	30,283	3.0	214.2	7.1	0.6								
11月15日(日)	4	8.6	1,440	5,670	15.5	15.7	22,608	89,019	2.193	1.2339	40,592	4.0	285.6	9.5	0.8	7	3	7	10	82.1	50.0	63.2	84.4
11月16日(月)	5	9.1	1,440	7,110	15.5	15.5	22,320	111,339	2.193	1.2339	50,770	5.0	357.0	11.9	1.0								
11月17日(火)	6	9.7	1,440	8,550	15.8	15.7	22,608	133,947	2.193	1.2339	61,079	6.0	428.4	14.3	1.2	11	3	10	14	63.3	50.0	44.4	72.2
11月18日(水)	7	10.4	1,425	9,975	15.6	15.7	22,373	156,320	2.193	1.2339	71,281	7.0	499.8	16.7	1.4								
11月19日(木)	8	10.7	1,440	11,415	15.6	15.6	22,464	178,784	2.193	1.2339	81,525	8.0	571.2	19.0	1.6	12	4	12	16	58.6	50.0	-50.0	67.6
11月20日(金)	9	11.1	1,440	12,855	15.5	15.6	22,464	201,248	2.193	1.2339	91,768	9.0	642.6	21.4	1.8								
11月21日(土)	10	11.7	1,440	14,295	15.5	15.5	22,320	223,568	2.193	1.2339	101,946	10.0	714.0	23.8	2.0	14	4	12	18	50.0	50.0	-50.0	66.7

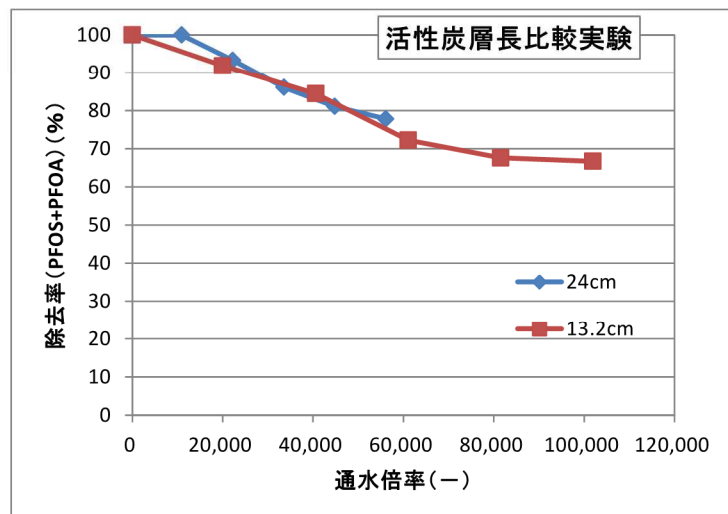
※PFOS等除去率は水質管理事務所の測定値を参考値として用いた。



資料図 1-1 炭層厚の影響確認（通水日数と処理水濃度）



資料図 1-2 炭層厚の影響確認（追加実験 A）（通水倍率と処理濃度）



資料図 1-3 炭層厚の影響確認（追加実験 A）（通水倍率と除去率）

資料 2. 活性炭種の確認実験（追加実験 B）

参考文献（Comparison of Activated Carbons for Removal of Perfluorinated Compounds From Drinking Water, Journal AWWA）によると PFOS 等の吸着寿命は、石炭系に比べてヤシ殻炭が短いとされている。本実験を継続した結果、石炭系とヤシ殻系の処理水濃度の挙動が逆の傾向であるのではないかとと思われる結果が得られたことから、石炭系（AC1）とヤシ殻系（AC8）について処理濃度の挙動の確認実験を行った。

(1) 実験条件

実験条件を以下に示す。

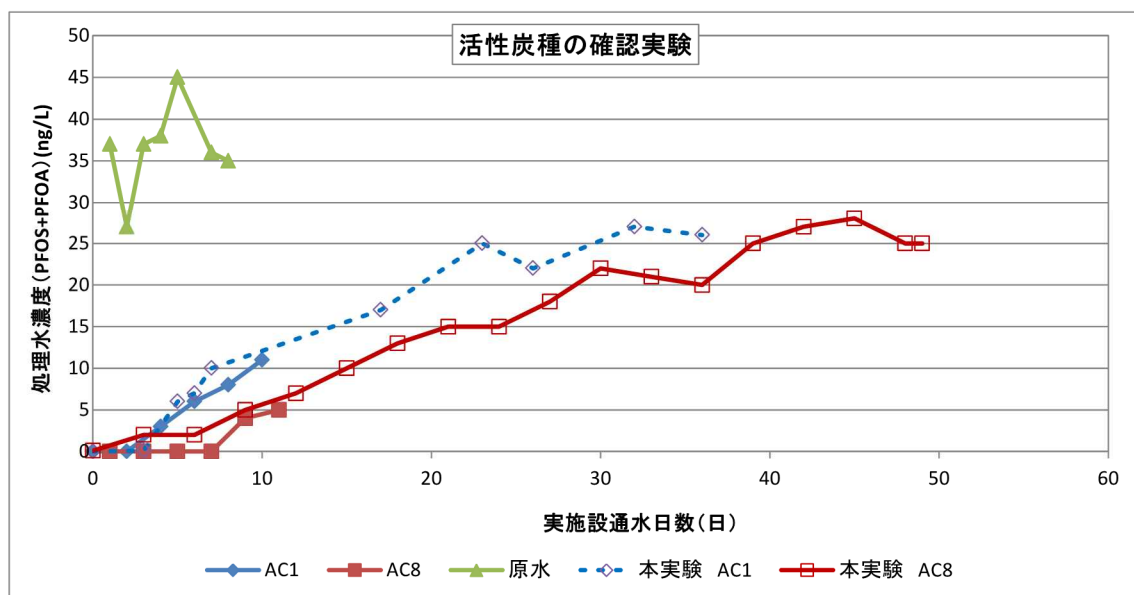
カラム	: ϕ 4.6mm
	炭層厚 24cm
処理水量	: 15.6mL/分
使用活性炭種	: AC1、AC8

(2) 実験結果及び考察

追加実験結果を資料図 2-1 に示す。

資料図 2-1 に示すとおり、本実験 AC1 と AC8 の処理水濃度の変動と活性炭種の確認実験における AC1 と AC8 の処理水濃度変動（特に 1ng/L 未満からの立ち上がりの通水日数）は同じ傾向となった。

この結果より、本実験に用いた活性炭種に間違いはなく、本実験の結果を補完することなく実験結果を用いて検討を行った。



資料図 2-1 活性炭種の確認実験の結果

資料表 2-1 活性炭種の確認結果

【AC1】

項目 日付	通水日数 (日)	圧力 (MPa)	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)	活性炭重量 (g)	通水倍率 (-)	換算通水日数 (日)		通水月数 (月)	PFOS等水質分析結果 (ng/L)			
			日あたり	累積	実測	設定	日量	累積				カラム	実施設相当		PFOS	PFOA	PFHxS	PFOS+PFOA
2020年11月11日(水)	0	1.7	0	0	15.7	15.7	0	0	3.987	1.6707	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
11月12日(木)	1	2.4	1,350	1,350	15.7	15.7	21,195	21,195	3.987	1.6707	5,316	0.9	20.3	0.7				
11月13日(金)	2	2.6	1,440	2,790	15.6	15.7	22,608	43,803	3.987	1.6707	10,986	1.9	42.8	1.4	0	0	0	0
11月14日(土)	3	7.8	1,440	4,230	15.7	15.7	22,608	66,411	3.987	1.6707	16,657	3.0	67.6	2.3				
11月15日(日)	4	3.1	1,440	5,670	15.6	15.7	22,608	89,019	3.987	1.6707	22,327	4.0	90.1	3.0	2	1	3	3
11月16日(月)	5	3.4	1,440	7,110	15.6	15.6	22,464	111,483	3.987	1.6707	27,962	5.0	112.7	3.8				
11月17日(火)	6	3.7	1,440	8,550	15.7	15.7	22,608	134,091	3.987	1.6707	33,632	6.0	135.2	4.5	4	2	5	6
11月18日(水)	7	4.6	1,425	9,975	15.5	15.6	22,230	156,321	3.987	1.6707	39,208	7.0	157.7	5.3				
11月19日(木)	8	5.2	1,440	11,415	15.3	15.4	22,176	178,497	3.987	1.6707	44,770	7.9	178.0	5.9	6	2	7	8
11月20日(金)	9	5.5	1,440	12,855	15.7	15.5	22,320	200,817	3.987	1.6707	50,368	8.9	200.6	6.7				
11月21日(土)	10	5.7	1,440	14,295	15.6	15.7	22,608	223,425	3.987	1.6707	56,038	9.9	223.1	7.4	8	3	8	11

【AC8】

項目 日付	通水日数 (日)	圧力 (MPa)	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)	活性炭重量 (g)	通水倍率 (-)	換算通水日数 (日)		通水月数 (月)	PFOS等水質分析結果 (ng/L)			
			日あたり	累積	実測	設定	日量	累積				カラム	実施設相当		PFOS	PFOA	PFHxS	PFOS+PFOA
2020年11月11日(水)	0	2.1	0	0	15.7	15.7	0	0	3.987	1.2704	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
11月12日(木)	1	15.0	1,350	1,350	15.6	15.7	21,195	21,195	3.987	1.2704	5,316	0.9	20.3	0.7				
11月13日(金)	2	15.8	1,396	2,746	15.7	15.7	21,917	43,112	3.987	1.2704	10,813	1.9	42.8	1.4	0	0	0	0
11月14日(土)	3	16.7	1,440	4,186	15.8	15.8	22,752	65,864	3.987	1.2704	16,520	2.9	65.4	2.2				
11月15日(日)	4	17.7	1,440	5,626	15.7	15.8	22,752	88,616	3.987	1.2704	22,226	3.9	87.9	2.9	0	0	0	0
11月16日(月)	5	18.6	1,440	7,066	15.5	15.6	22,464	111,080	3.987	1.2704	27,861	4.9	110.4	3.7				
11月17日(火)	6	19.0	1,440	8,506	15.8	15.7	22,608	133,688	3.987	1.2704	33,531	6.0	135.2	4.5	0	0	2	0
11月18日(水)	7	19.2	1,425	9,931	15.7	15.8	22,515	156,203	3.987	1.2704	39,178	7.0	157.7	5.3				
11月19日(木)	8	20.3	1,440	11,371	15.4	15.6	22,464	178,667	3.987	1.2704	44,812	8.0	180.3	6.0	2	2	3	4
11月20日(金)	9	20.4	1,440	12,811	15.6	15.5	22,320	200,987	3.987	1.2704	50,411	8.9	200.6	6.7				
11月21日(土)	10	19.9	1,440	14,251	15.9	15.8	22,752	223,739	3.987	1.2704	56,117	10.0	225.4	7.5	3	2	4	5

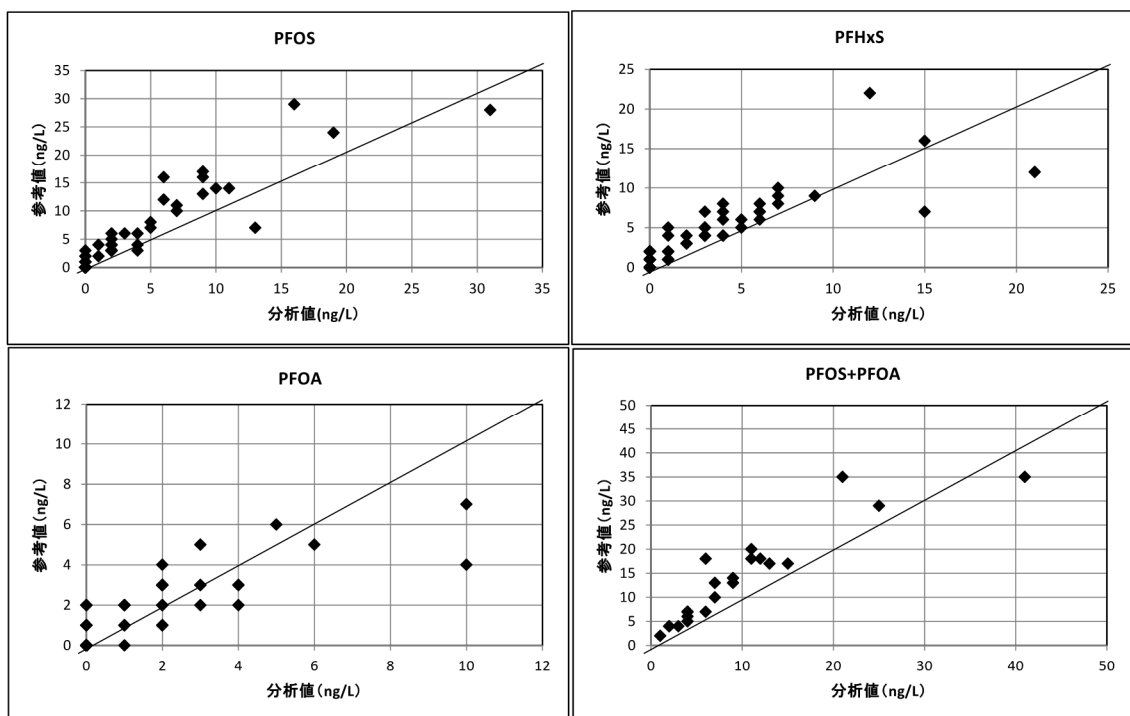
※PFOS 等原水濃度は水質管理事務所の測定値を参考値として用いた。

資料 3. 分析値と参考値の比較

分析値（本委託における分析値）は、2回/1月の頻度で実施しており、30回（1年）のデータである。比謝川取水再開後のデータ数は8点と少ないため処理性の傾向が不明確となることが危惧された。そこで、参考値（水質管理事務所の測定値）を用いて、分析値と参考値に相違がないことを確認した。

- 参考値と分析値の相関は資料図 3-1 に示すとおりであり、参考値は異性体を含む測定値で、一方、分析値は直鎖のみの測定値であることから、参考値がわずかに高くなる傾向がある。
- 横軸を実施設通水月数（資料図 3-2）、活性炭 1g 当たりの TOC 流入負荷量（累積）（資料図 3-3）にした場合、参考値と分析値の処理性変化の傾向はほぼ一致した。
- 横軸に活性炭 1g 当たりの PFOS 等流入負荷（累積）（資料図 3-4）、活性炭 1g 当たりの PFOS 等吸着量（累積）（資料図 3-5）にした場合、参考値の活性炭流入水濃度が高い分、横軸がずれる結果となっているが、参考値と分析値の処理性変化の傾向は類似していた。

以上のことより、参考値と分析値は一定の差がみられるが、処理性変化の傾向は類似しているため、分析値で今後の検討を行った。



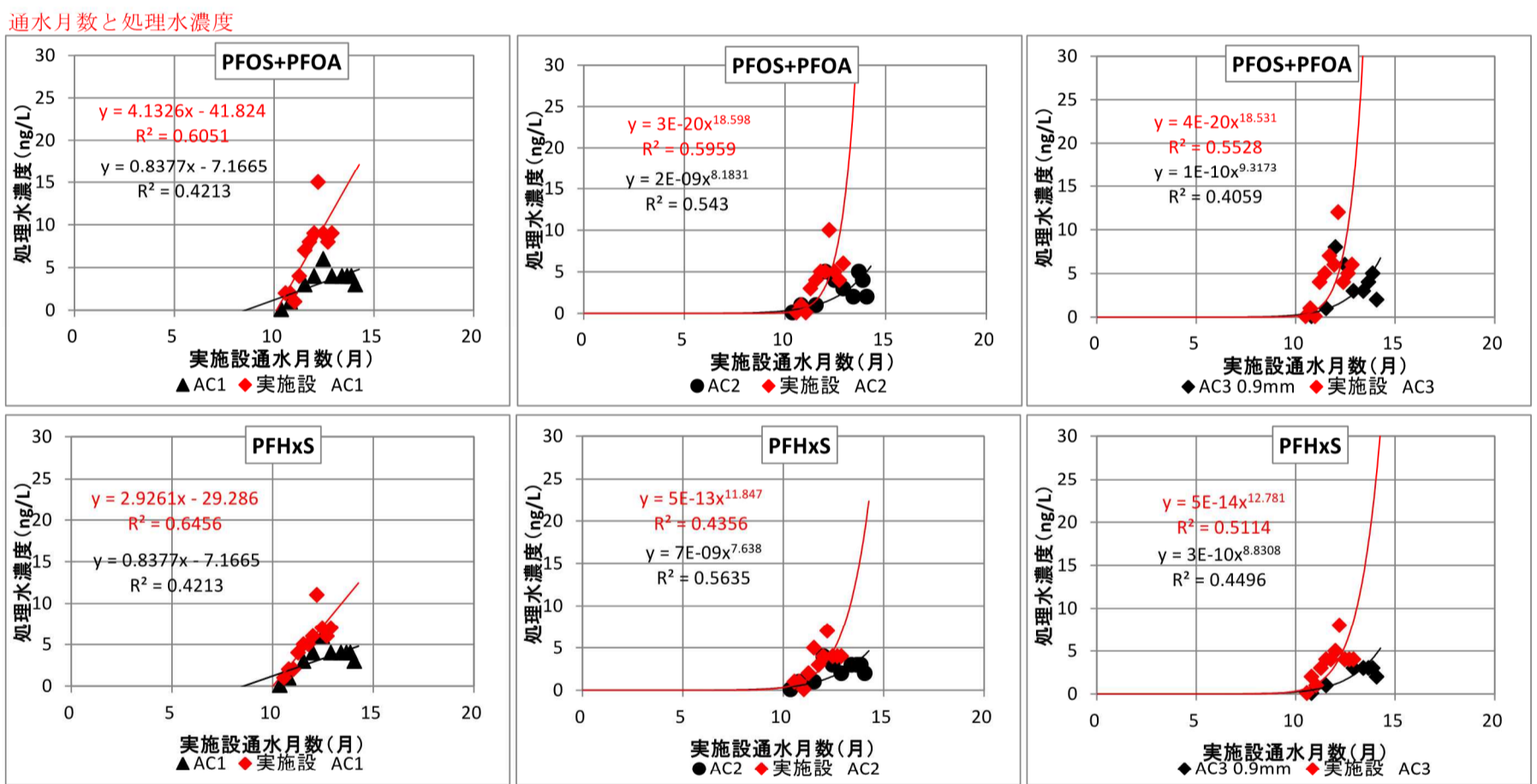
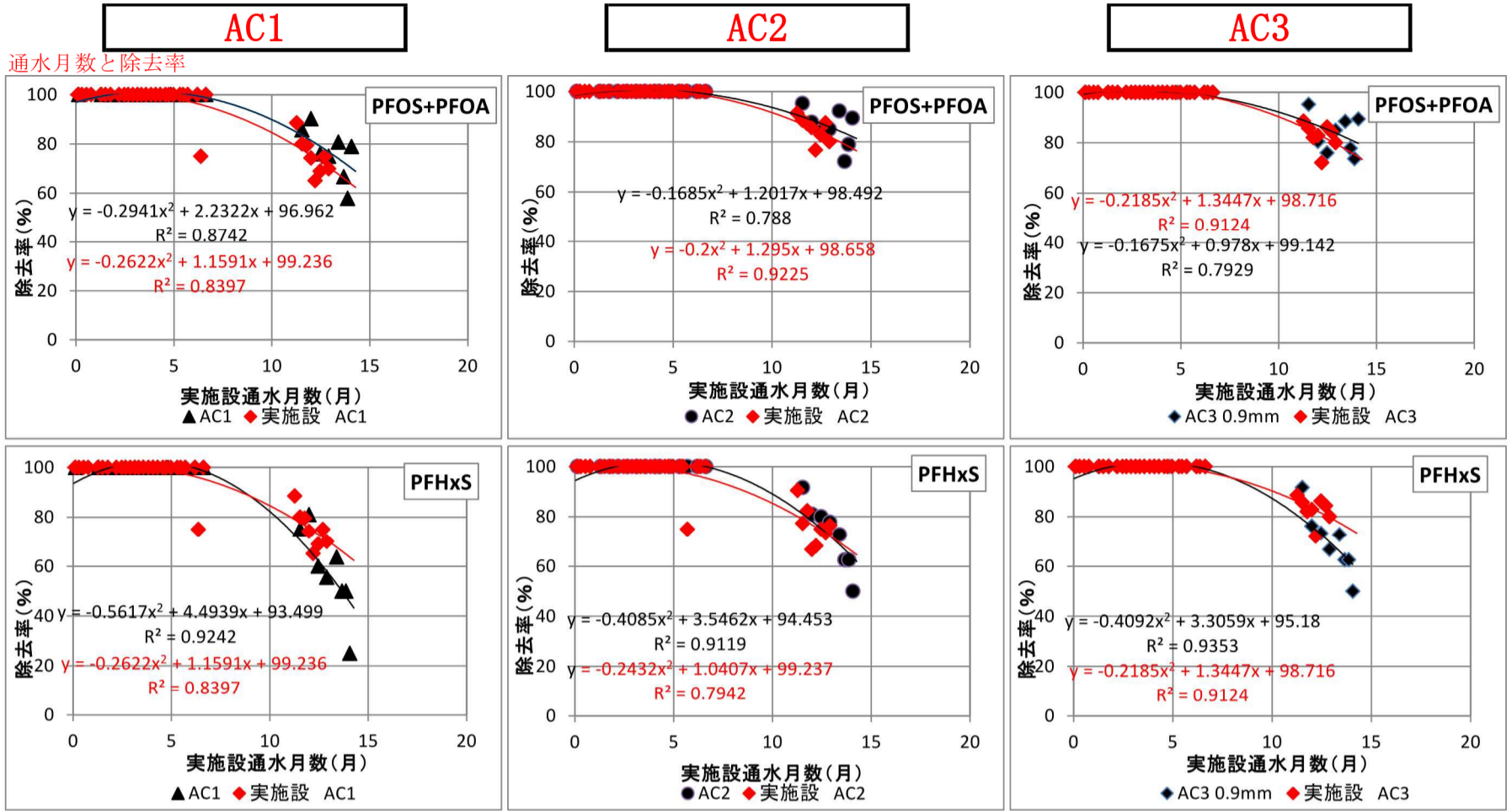
資料図 3-1 分析値と参考値の直接比較

資料表 3-1 分析値と参考値による処理性の傾向比較

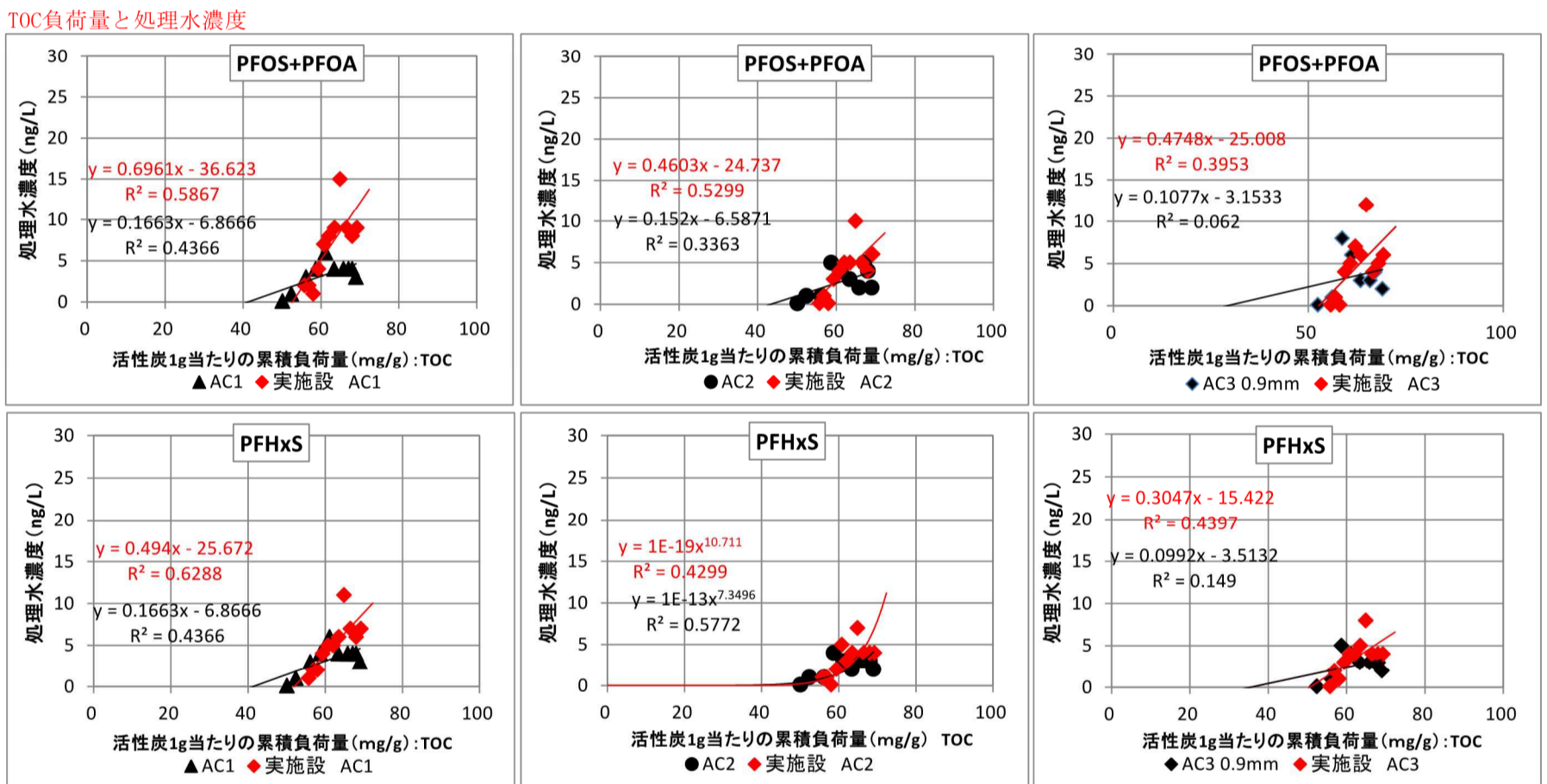
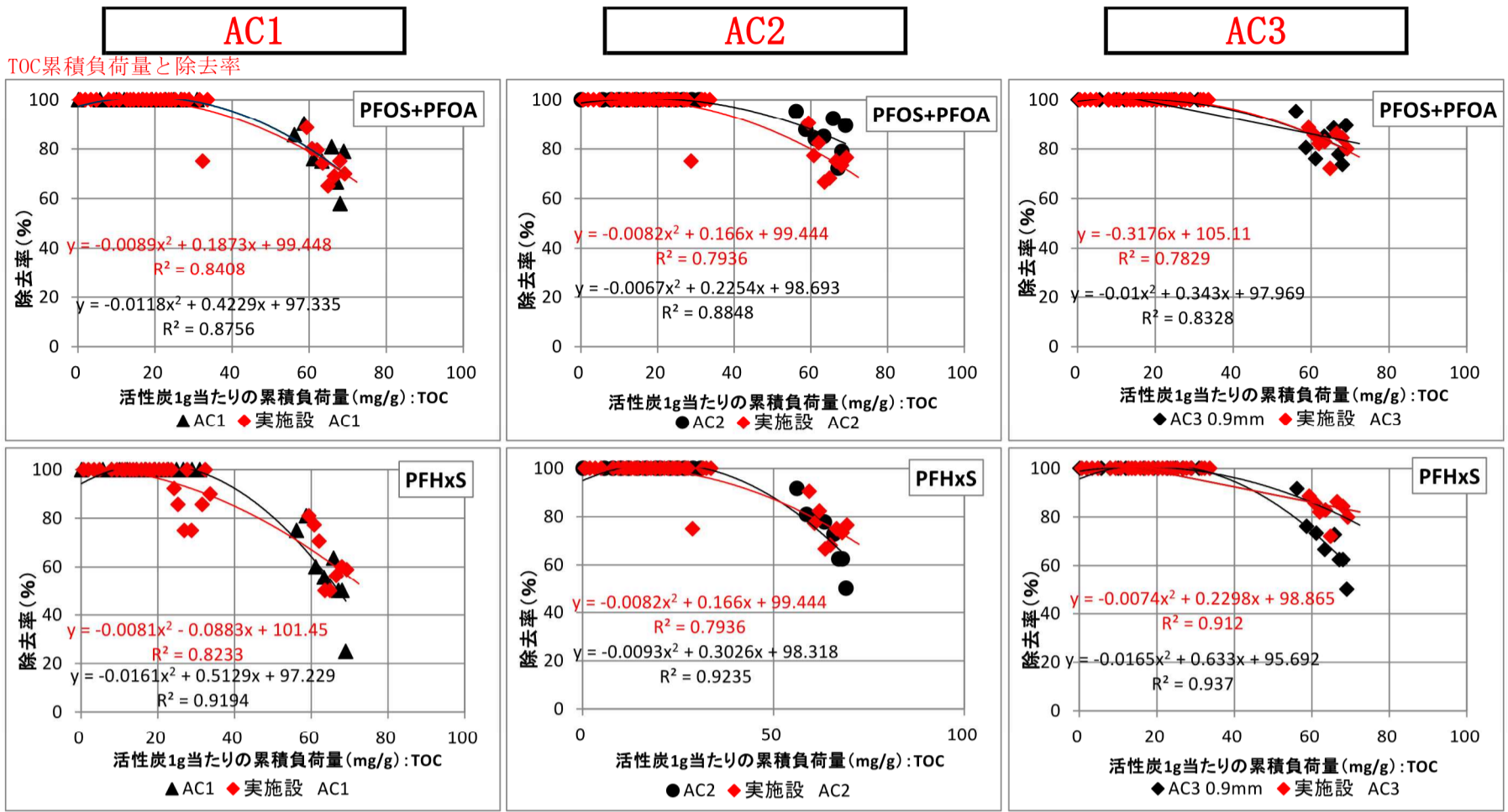
項目	横軸指標	縦軸指標	AC1	AC2	AC3
PFOS+PFOA	実施設 通水月数 (月)	除去率	◎	◎	◎
		処理水濃度	○	○	○
	PFOS流入負荷量 (ng/g)	除去率	傾向は似ているが横軸のずれがある		
		処理水濃度			
	PFOS吸着量 (ng/g)	除去率	傾向は似ているが横軸のずれがある		
		処理水濃度			
	TOC流入負荷量 (mg/g)	除去率	◎	◎	◎
		処理水濃度	○	◎	◎
平均					
PFH _x S	実施設 通水月数 (月)	除去率	◎	◎	◎
		処理水濃度	○	○	○
	PFH _x S流入負荷 量 (ng/g)	除去率	傾向は似ているが横軸のずれがある		
		処理水濃度			
	PFH _x S吸着量 (ng/g)	除去率	傾向は似ているが横軸のずれがある		
		処理水濃度			
	TOC流入負荷量 (mg/g)	除去率	◎	○	○
		処理水濃度	◎	○	◎
平均					

◎：参考値と正式分析値は傾向が一致

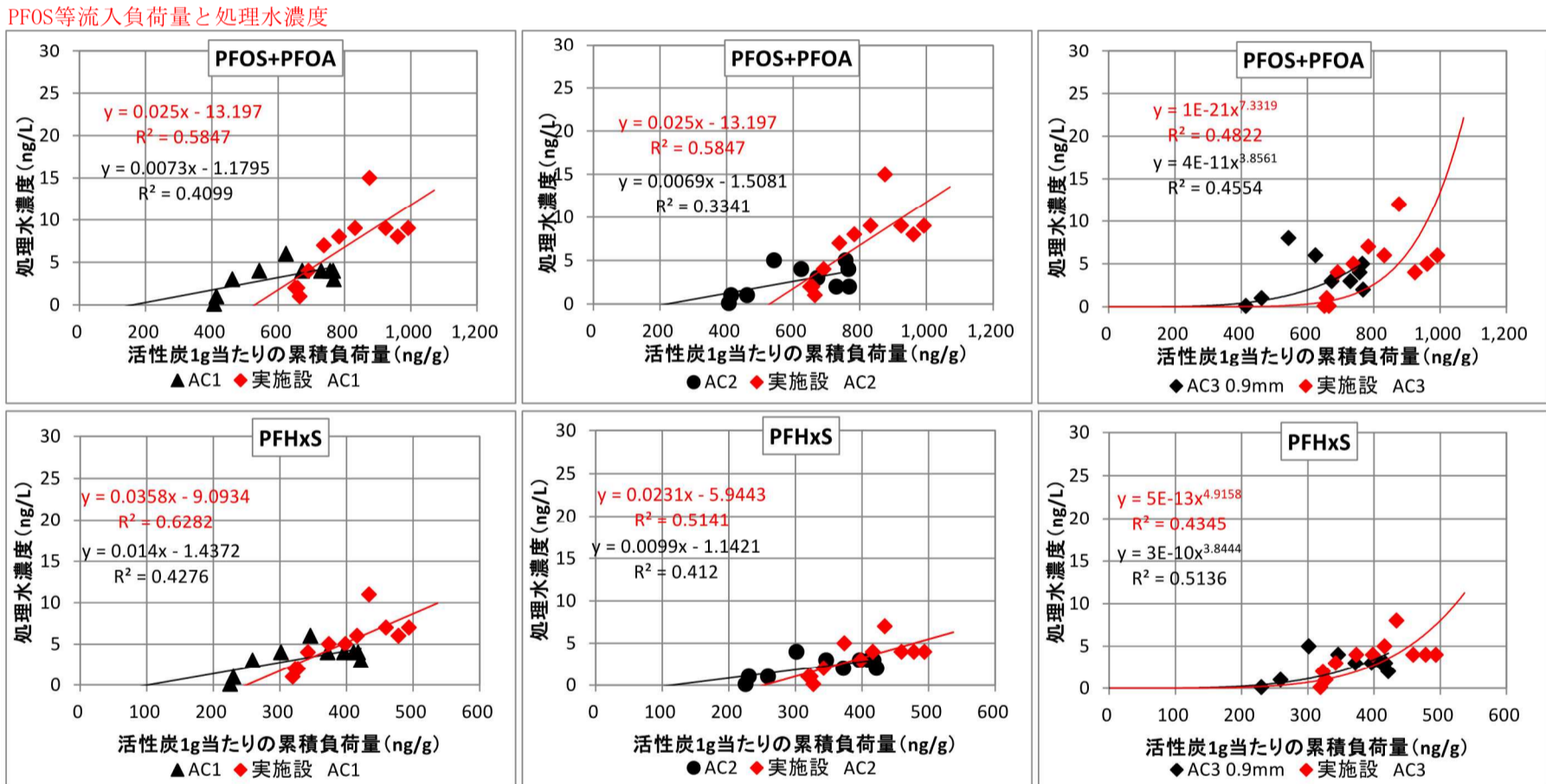
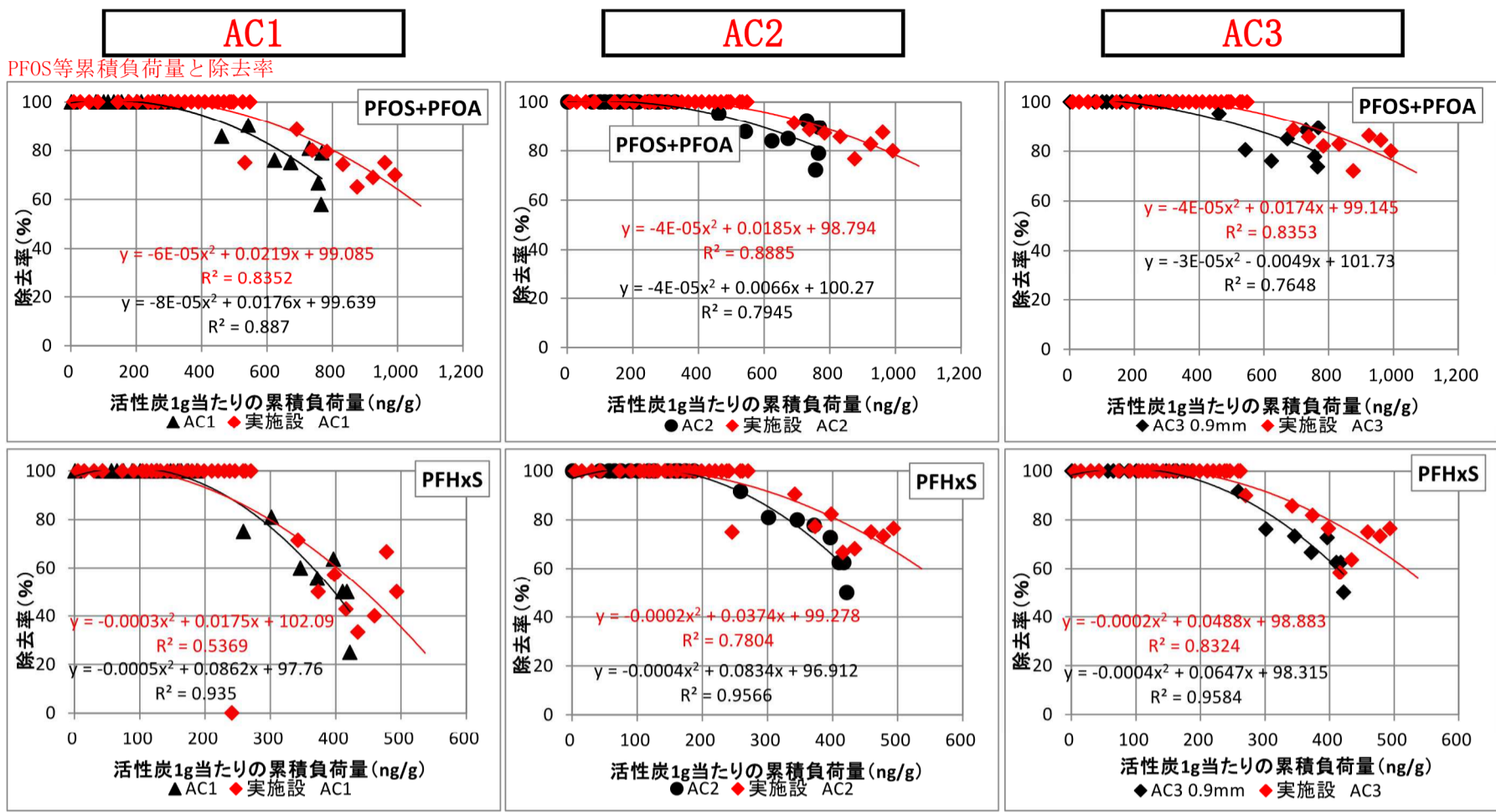
○：若干のずれがあるが傾向は一致



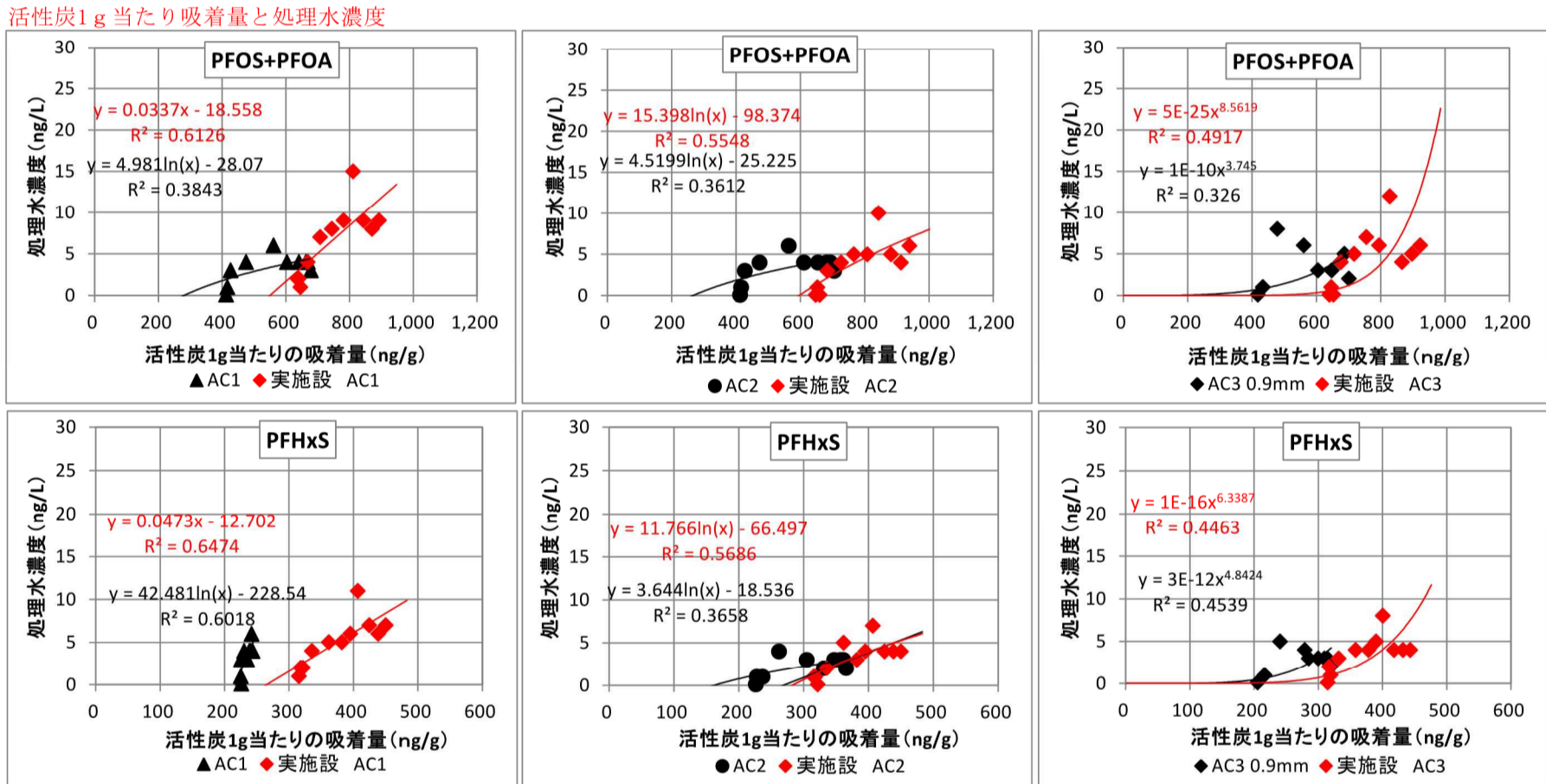
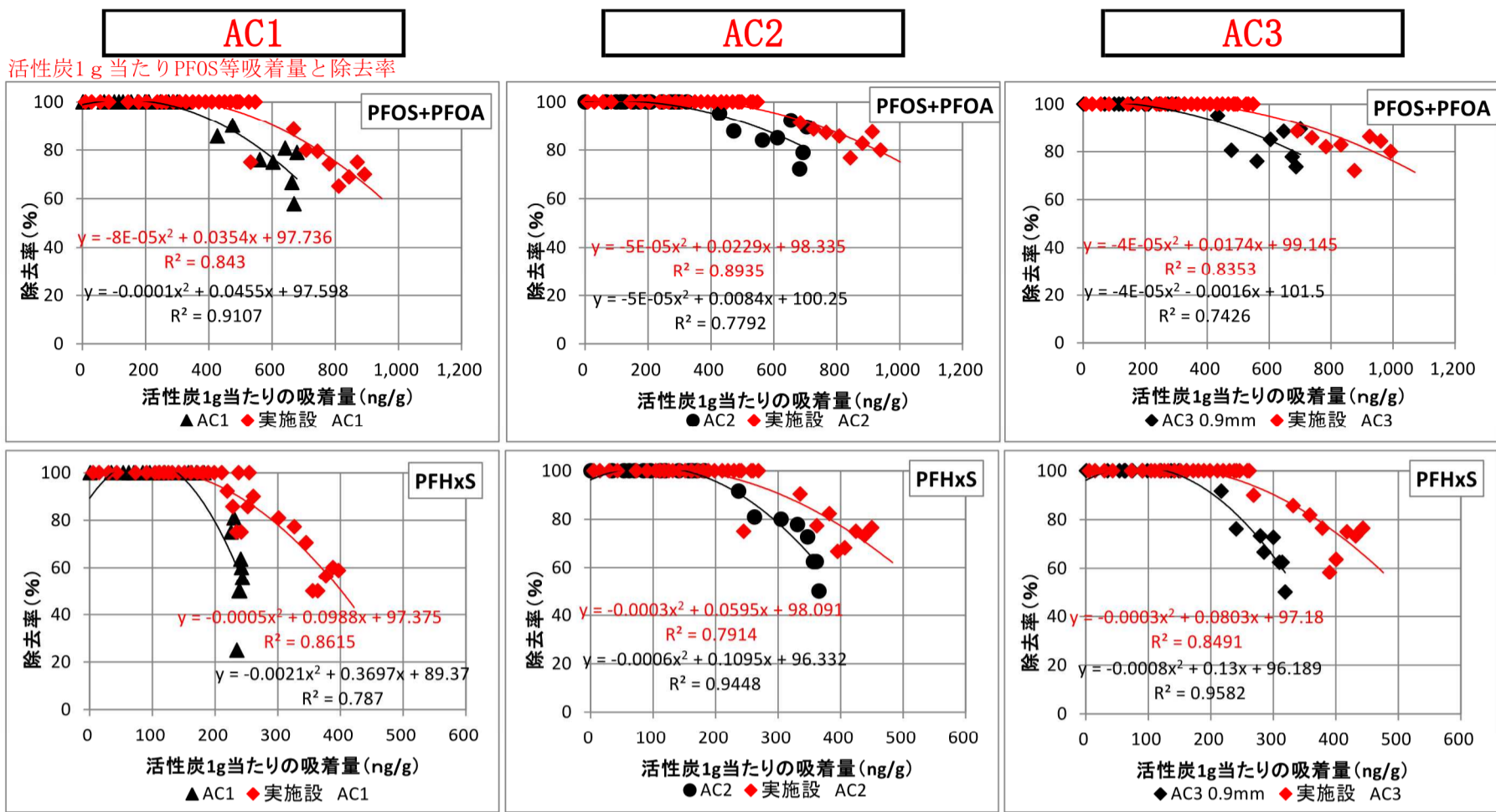
資料図 3-2 実施設通数月数と除去率、処理水濃度



資料図 3-3 TOC 流入負荷量（累積）と除去率、処理水濃度



資料図 3-4 PFOS 等流入負荷（累積）と除去率、処理水濃度



資料図 3-5 PFOS 等吸着量（累積）と除去率、処理水濃度

資料 4. 諸外国の参考規制値

諸外国の参考規制値は、以下に示す URL を参照して抽出した。

【アメリカ環境保護庁 (EPA)】

[https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/
drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos](https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos)

【欧州連合 (EU)】

[https://www.eurofins.se/tjaenster/miljoe-och-vatten/nyheter-miljo/
pfas-in-the-revised-drinking-water-directive-dwd](https://www.eurofins.se/tjaenster/miljoe-och-vatten/nyheter-miljo/pfas-in-the-revised-drinking-water-directive-dwd)

【スウェーデン食品庁】

[https://www.livsmedelsverket.se/en/production-control-and-trade/drinking-water-
production-and-control/t](https://www.livsmedelsverket.se/en/production-control-and-trade/drinking-water-production-and-control/t)

【アメリカ ニューヨーク州飲料水品質評議会】

[https://www.health.ny.gov/press/releases/2018/2018-12-18_drinking_water_qualit
y_council_recommendations.htm](https://www.health.ny.gov/press/releases/2018/2018-12-18_drinking_water_quality_council_recommendations.htm)

【アメリカ バーモント州自然資源庁】

<https://dec.vermont.gov/water/drinking-water/water-quality-monitoring/pfas>

【厚生労働省】

令和元年度第 2 回水質基準逐次改正検討会

https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000183130_00003.html

【アメリカ環境保護庁（EPA）】

An official website of the United States government.



Drinking Water Health Advisories for PFOA and PFOS

Additional PFOA and PFOS Information

- [General about PFOA, PFOS and Other PFAS](#)
- [PFOA and PFOS UCMR data](#)
- [Laboratory Method 537 Q&A](#)
- EPA programs
 - [TSCA related](#)
 - [Research Activities](#)
- Federal partners
 - [ATSDR](#)
- En español: [Avisos de salud sobre el PFOA y PFOS en el agua potable](#)

Health Advisories

EPA has established health advisories for PFOA and PFOS based on the agency's assessment of the latest peer-reviewed science to provide drinking water system operators, and state, tribal and local officials who have the primary responsibility for overseeing these systems, with information on the health risks of these chemicals, so they can take the appropriate actions to protect their residents. EPA is committed to supporting states and public water systems as they determine the appropriate steps to reduce exposure to PFOA and PFOS in drinking water. As science on health effects of these chemicals evolves, EPA will continue to evaluate new evidence.

To provide Americans, including the most sensitive populations, with a margin of protection from a lifetime of exposure to PFOA and PFOS from drinking water, EPA has established the health advisory levels at 70 parts per trillion.

【欧州連合 (EU)】



PFAS in the revised drinking water directive (DWD)

Just before Christmas a provisional agreement was reached by the EU parliament and the EU council of ministers. The provisional agreement is now subject to formal approval by the parliament and the council. Possibly these final decisions can be taken late spring or early summer. Following approval the member states have to transfer these new rules into national law.

Proposed limit values for PFAS

Among the new chemicals that are to be tested PFAS has perhaps received the most attention. In the provisional directive a list of 20 PFAS is presented and a parametric (limit) value will be given. The proposed limit value is 100 ng/l (0.1 µg/l) for the sum of the twenty. In addition, a PFAS total value is included that is, at present, likely to be 500 ng/l (0.5 µg/l). The EU commission has been given the responsibility to make sure a method for measuring all PFAS is developed over the next three years.

Thereafter a new limit value for total PFAS may be enforced. Member states can then continue to use the existing parametric value for PFAS20 or apply the PFAS total limit, or both at the same time. Later on a "harmonization" between the two approaches will be investigated.

【スウェーデン食品庁】



Start / Production, control and trade / Drinking water - production and control / PFAS in drinking water and self-caught fish - risk management

PFAS in drinking water and self-caught fish - risk management

Action levels for drinking water

There are currently no legally binding limit values for PFAS in drinking water, but drinking water must not contain substances at such concentrations that they may pose a risk to human health (Paragraph 7 of the Swedish Food Agency's Drinking Water Ordinance, SLVFS2001:30)

The Swedish Food Agency has therefore developed an action level for PFAS of 90 nanograms/litre and recommends that drinking water producers consider it until legally binding limit values are in place.

In case of the discovery of high concentrations of PFAS, please contact the Swedish Food Agency for individual discussions on risk management. This also applies to PFAS substances that are not covered by the Swedish Food Agency's action level.

【アメリカ ニューヨーク州飲料水品質評議会】

Drinking Water Quality Council Recommends Nation's Most Protective Maximum Contaminant Levels for Three Unregulated Contaminants in Drinking Water

New York State Health Commissioner to Consider Council Recommendations and to Commence a Rule Making Process That Includes 60-Day Public Comment Period

Council Recommends Nation's Most Protective MCLs for PFOA/PFOS

The Drinking Water Quality Council recommended that the Department of Health adopt an MCL of 10 parts per trillion (ppt) for PFOA and 10 ppt for PFOS. These levels, which would be the lowest in the nation, take into consideration the national adult population's "body burden," or the fact that all adults already have some level of exposure to these and other related chemicals. PFOA is a chemical that has been used to make non-stick, stain resistant, and water repellent products and PFOS is a chemical that has been used in fire-fighting foam. The State has invested millions through the State Superfund program to install granular activated carbon filtration (GACs) systems that are successfully removing PFOA and PFOS from impacted water supplies. Ultimately, as with any environmental remediation, the State is holding the responsible polluters accountable for expenses incurred at state and local levels.

【アメリカ バーモント州自然資源庁】

VERMONT OFFICIAL STATE WEBSITE

AGENCY OF NATURAL RESOURCES

Department of Environmental Conservation

SEARCH

CONTACT

PER AND POLYFLUOROALKYL SUBSTANCES (PFAS)

PFAS Draft Final Response Plan

The PFAS Draft Final Response Plan and additional information are available [here](#) ([/water/drinking-water/pfas](#)).

PFAS Data

Data are received and updated on a periodic basis when they are received from the laboratories.

- [Statewide PFAS Monitoring Results Received](https://anrweb.vt.gov/DEC/DWGWP/license.aspx?Report=PFASData) (<https://anrweb.vt.gov/DEC/DWGWP/license.aspx?Report=PFASData>)
- [Search for PFAS Monitoring Results by Water System](https://anrweb.vt.gov/DEC/DWGWP/SearchWS.aspx) (<https://anrweb.vt.gov/DEC/DWGWP/SearchWS.aspx>)
- [Imported Bottled Water Systems: PFAS Monitoring Results Received](https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/PFAS/Data-PFAs-received.pdf) (<https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/PFAS/Data-PFAs-received.pdf>)

As the science surrounding per and polyfluoroalkyl substances (PFAS) continues to develop, so has technical guidance and regulation. No federal maximum contaminant level (MCL) for PFAS currently exists, however, EPA has established a lifetime health advisory for perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) of 70 parts per trillion (ppt). Recent analysis of data acquired under EPA's Third Unregulated Contaminant Monitoring Rule program (UCMR3) found numerous detections nationwide of PFOA and PFOS. Many of the public water systems with detections of PFOA and PFOS have taken action to reduce these levels.

In 2019, [Act 21](https://legislature.vermont.gov/Documents/2020/Docs/ACTS/ACT021/ACT021%20As%20Enacted.pdf) (<https://legislature.vermont.gov/Documents/2020/Docs/ACTS/ACT021/ACT021%20As%20Enacted.pdf>) (S49), an act relating to the regulation of polyfluoroalkyl substances in drinking and surface waters, was signed by Governor Scott. The act provided a comprehensive framework to identify PFAS contamination in Vermont and to issue new rules to govern acceptable PFAS levels in drinking water. On March 17, 2020, a revised Vermont Water Supply Rule was adopted to establish a Maximum Contaminant Level (MCL) as well as routine public drinking water monitoring requirements for PFAS. The MCL is 20 nanograms per liter (ng/L) and it is for five PFAS in drinking water: **PFOA** (perfluorooctanoic acid), **PFOS** (perfluorooctane sulfonic acid), **PFHxS** (perfluorohexane sulfonic acid), **PFHpA** (perfluoroheptanoic acid), **PFNA** (perfluorononanoic acid). The sum of these five PFAS cannot exceed 20 ng/L.

1 nanogram per liter (ng/L) is equal to 1 part per trillion (ppt).

その他の国・機関における PFOS 及び PFOA の有害性評価値

資料1別紙5で整理した国・機関以外の国等におけるPFOS及びPFOAの有害性評価値は、次のとおり。

○デンマーク EPA (2015年)

PFOSについて、サルノデータと同レベルのNOAELを示す実験としてラットの2年間の試験におけるBMDL10:0.033mg/kg/dayを根拠として評価しており、ラットとヒトのPFOSの血中クリアランスの比(41)と不確実係数30(個体差(10)、種差の体内動態の感受性部分のみ(3))を適用して有害性評価値を0.03 μg/kg/dayと評価している。これに飲料水の割当率10%と体重当たりの一日摂取量:0.03 L/kg/dayを適用して、健康影響指針値として0.1 μg/L(100 ng/L)を設定している。

PFOAについては、EFSAやEPAの2014の評価ドラフトでも採用しているラットの13週間試験における肝臓への影響のBMDL:0.456mg/kg/dayを基に、EPAの評価で採用しているPBPKを用いたヒト暴露量への変換(ラットのLOAELとヒトの推定LOAELの比で補正)を行い、ヒト暴露量相当のBMDL10として0.003mg/kg/dayを算出した。これに不確実係数30(個体差(10)、種差の体内動態の感受性部分のみ(3))を適用して、有害性評価値を0.1 μg/kg/dayと評価している。これに飲料水の割当率10%と体重当たりの一日摂取量:0.03 L/kg/dayを適用して、健康影響指針値として0.3 μg/L(300 ng/L)を設定している。

○オランダ (2011年)、スウェーデン (2014年)、イタリア (2015年)

オランダ、スウェーデン、イタリアの健康影響指針値は基本的にEFSA(2008)の評価を基に設定している。オランダのRIVMでは、PFOSの有害性評価値0.15 μg/kg/dayに体重:70kg、飲料水の割当率10%、一人一日当たりの水摂取量2Lを適用して、暫定指針値として0.53 μg/L(530 ng/L)を設定している。

スウェーデンでは、PFOSとPFOAを含む11種のPFAS化合物についての合計値に対する指針値を設定しており、毒性情報の無い化合物はPFOS相当のTDI(EFSA(2008)のTDI)を用いている。体重の設定や割当率に関する詳細情報は得られなかったが、Action Level(許容摂取量の10%を超えない限界値)として90 ng/Lを、健康影響指針値として900 ng/Lを11種の合計値に対して適用することとしている。

イタリアにおいても、体重の設定や割当率に関する詳細情報は得られなかったが、PFOAに対する指針値としてEFSA(2008)のTDIを基にして、500 ng/Lを設定している。

○欧州食品安全機関 (EFSA) (2008年)

PFOSについて、ドイツの評価と同様のサルを用いた亜慢性毒性試験におけるNOAEL:0.03 mg/kg/dayを用いているが、不確実係数としては200(種差、個体差、ヒトにおける蓄積性)を適用し有害性評価値を0.15 μg/kg/dayと評価している。

PFOAについては、イギリスと同様にラットを用いた様々な毒性試験における肝臓への

影響におけるベンチマークドースを計算し、0.3-0.7mg/kg/day の BMDL10 を算出している。低用量側の BMDL0.3 mg/kg/day を基に不確実係数として 200(種差、個体差、ヒトにおける蓄積性)を適用し有害性評価値を 1.5 μ g/kg/day と評価している。

○イギリス (COT : COMMITTEE ON TOXICITY OF CHEMICALS IN FOOD, CONSUMER PRODUCTS AND THE ENVIRONMENT) 2006 年

PFOS について、ドイツの評価と同様のサルを用いた亜慢性毒性試験における NOAEL : 0.03 mg/kg/day (0.025 を丸めている) に不確実係数 : 100 を適用して、有害性評価値を 0.3 μ g/kg/day と評価している。健康影響指針値は体重 10kg の子供と飲料水の割当率 10%、子供の日当たりの水摂取量を 1L として、0.3 μ g/L(300 ng/L)と設定している。

PFOA については、ラットを用いた 13 週間反復投与試験、発がん性試験、生殖毒性試験における肝臓重量の増加における総合的な評価としての BMDL₁₀ 値を 0.3 mg/kg/day とし、不確実係数 : 100 を適用して、有害性評価値を 3 μ g/kg/day と評価している。健康影響指針値は体重 5kg の乳児と飲料水の割当率 50%、乳児の日当たりの水摂取量を 0.75L として、10 μ g/L と設定している。しかし、EFSA の 2008 年の評価の後では、ヒトにおける生体内半減期の長さを考慮して、EFSA の PFOA:1.5 μ g/kg/day の評価値を支持している。

○ドイツ (Ministry of Health) (2006 年)

PFOS については、サルを用いた亜慢性毒性試験における内分泌系への影響 (雄で甲状腺刺激ホルモン(TSH)の増加、雌雄で総 T3 の減少、雌で高密度(HDL)の減少)に基づく NOAEL : 0.025 mg/kg/day に不確実係数 : 300(種差、個体差、ヒトにおける実質的な蓄積性)を適用し、有害性評価値を 0.083 μ g/kg/day (\approx 0.1 μ g/kg/day) と評価している。

PFOA については、ラットにおける 2 年間の慢性試験の NOAEL : 1.5mg/kg/day と生殖毒性試験の LOAEL : 1mg/kg/day から想定される NOAEL の範囲を 0.1<1mg/kg/day であると推定し、低い方の値 0.1mg/kg/day を出発点として、不確実係数 1000 (種差、個体差、(ラットに比較した)ヒトにおける過剰に長い半減期)を適用し、有害性評価値を 0.1 μ g/kg/day と評価している。

健康影響指針値 (Health Based Guideline Value : HBGV) は、体重 : 70kg、飲料水の割当率 10%、一人一日当たりの水摂取量を 2L として、PFOS、PFOA とともに、0.3 μ g/L と設定している。

資料 5. RSSCT 実験方法の詳細

カラム充填作業フロー

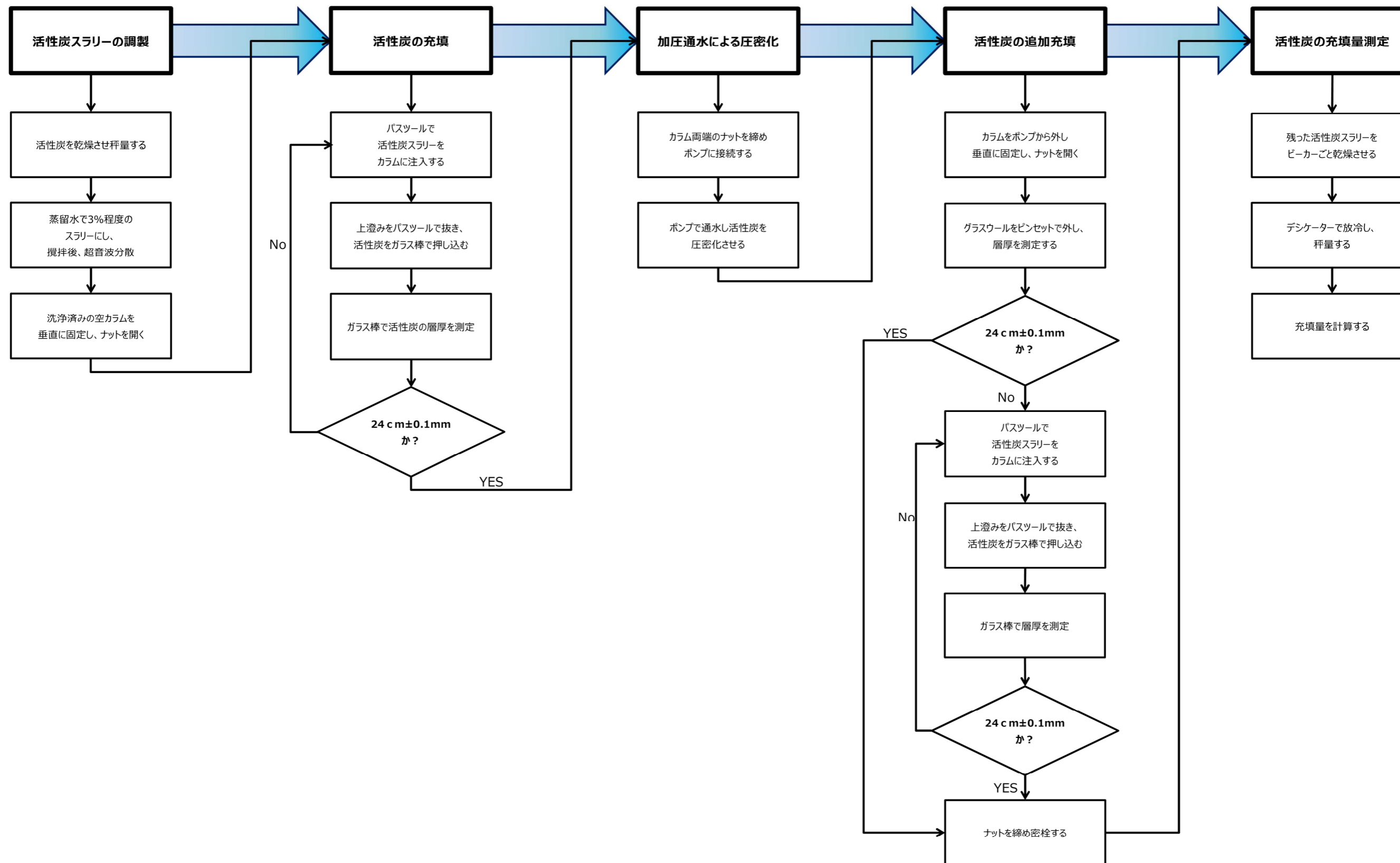
カラム充填要領

活性炭使用前後の電子顕微鏡観察

RSSCT 実験の要領

運転管理日報綴り

現地写真



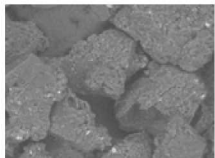
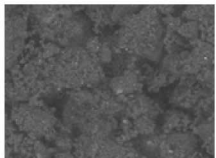
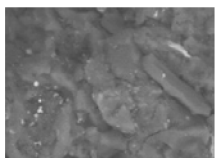

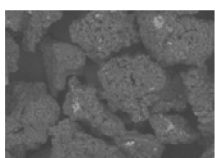
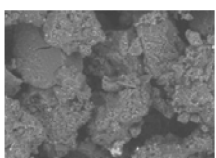
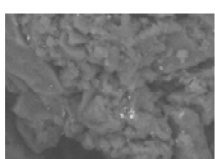
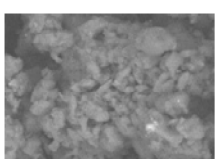
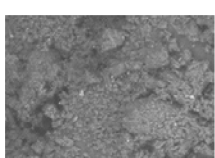
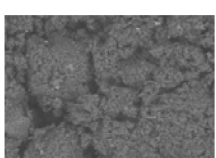
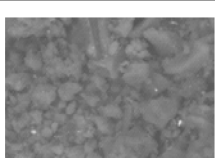
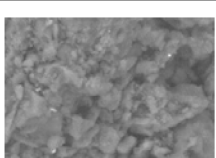
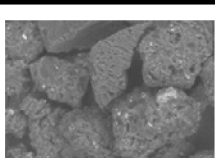
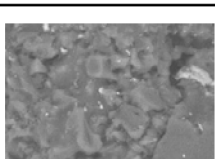
資料図 活性炭カラム充填フロー

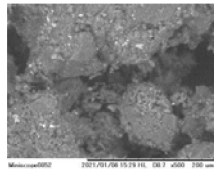
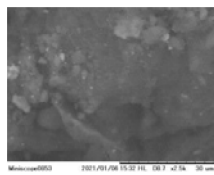
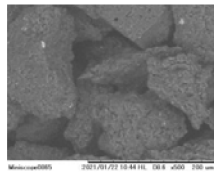
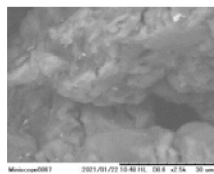
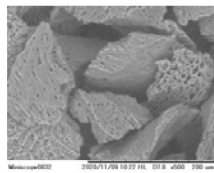
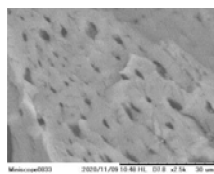
資料表 活性炭カラム充填の手順

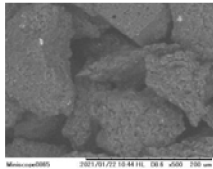
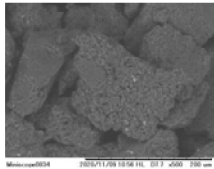
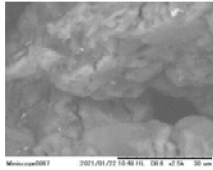
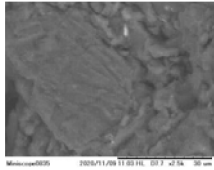
No.	写真	解説	備考
1		粒度調整された活性炭スラリーの適量を磁皿に採取し、105℃の乾燥機内で約3時間乾燥させる	-
2		①をデシケーターに移し1時間放冷する	-
3		200mLビーカーの風袋重量を測り記録する	重量を記録
4		③のビーカーに②の活性炭を約3g になるように測り取り0.1mgの値まで測定し記録する	重量を記録
5		蒸留水 約100mLを加え、3%程度のスラリーとする	-
6		スラリーをスターラーで1時間 攪拌後、超音波100V・90Wで5分間分散する	-
7		スタンドにカラムを垂直に固定する。 上から活性炭を充填していくので、上を【流入側】、下を【流出側】とし、シールなどで明記しておく。	-
8		カラムの流入側のナットをレンチ2本で開き外す。	-
9		充填の際にガラスウールや活性炭がナットの内部に付着すると液漏れの原因になるため、ポリエチレンラップなどを巻いておく。	-

No.	写真	解説	備考
10		カラム上端側からガラスウールを詰め、ガラス棒で押し込み5mmの厚さにする。 ※25cmの長さを測ってあるガラス棒が24.5cm挿入できるように調整する	-
11		パストツールを用いて活性炭スラリーをカラムに注入する。エアが入らないように少量ずつ注入し、カラム外側を金属棒などで軽く叩いて振動させ圧密する。 ※カラム下端側のシールキャップを外し、ワイパーを詰めておく。	-
12		活性炭が沈降したら上澄みをパストツールで抜く。 時々ガラス棒で押し込みながら層厚が24cm程度になるように充填する。	-
13		ナットを締め密栓し、垂直の状態で一晩置く。	活性炭と上澄みを沈降分離する
14		ナットを外し、上澄みを抜いて活性炭を追加充填する。 時々ガラス棒で押し込みながら層厚が24cm±0.1cmになるように充填する。 上端にガラスウールを詰め、密栓する。	層厚の記録
15		カラムの上下を反転し、上向流になるようポンプに接続する。	上が【流出側】、下が【流入側】
16		水道水を流量15.4ml/minで15分間通水する。	-
17		ポンプから取り外し、上下を再度反転しスタンドに固定する。 ナットを外しガラスウールを抜き、圧密で層厚の減少した分、活性炭を充填する。 時々ガラス棒で押し込みながら層厚が24cm±0.1cmになるように充填し、再度ガラスウールを詰め密栓する。 完成したらラベルに活性炭の名称などの情報をラベルする。	上が【流入側】、下が【流出側】
18		カラム充填後、ビーカーに残った活性炭スラリーの全量をビーカーごと乾燥させ、乾燥重量を記録する。	重量を記録 ビーカー重量を差し引くことで、 ビーカーに残った 活性炭の重量が計算できる。

資料表 活性炭使用前後の電子顕微鏡観察

No.	活性炭の名称	使用前写真	終了後写真	備考
1	AC1 (×500)			
	AC1 (×2500)			
2	AC2 (×500)			
	AC2 (×2500)			
3	AC3 (×500)			
	AC3 (×2500)			
4	AC4 (×500)			使用後カラム未着
	AC4 (×2500)			

No.	活性炭の名称	使用前写真	終了後写真	備考
5	AC5 (×500)			使用後カラム未着
	AC5 (×2500)			
6	AC6 (×500)			
	AC6 (×2500)			
7	AC7 (×500)			使用後カラム未着
	AC7 (×2500)			
8	AC8 (×500)			ヤシガラ系 使用後カラム未着
	AC8 (×2500)			

No.	活性炭の名称	使用前写真	終了後写真	備考
7'	AC7' (×500)			
	AC7' (×2500)			

【RSSCT 実験の要領】

北谷浄水場 RSSCTの実験内容の詳細
場所：石川浄水場 オゾン棟

令和2年9月21日～令和2年11月21日

目次

- 1.仕様
 - 1-1.RSSCT設計図
 - 1-2.ルーチン作業
 - 1-3.運転管理日報
 - 1-4.数値計算
 - 1-5.タイムテーブル

- 2.添加原水の調製
 - 2-1.添加試薬の調製
 - 2-2.添加原水調製
 - 2-3.翌日準備

- 3.送液ポンプメンテナンス
 - 3-1.実施の判断指標
 - 3-2.メンテナンス開始
 - 3-3.プランジャーシール交換
 - 3-4.ラインフィルターの清掃・交換
 - 3-5.洗浄ヘッド内部の洗浄およびシール交換
 - 3-6.メンテナンス終了

- 4.試験終了時
 - 4-1.廃棄する部品・再利用する部品
 - 4-2.保管時の処置
 - 4-3.発送時の注意事項

- 5.装置立ち上げ
 - 5-1.カラムの煮沸
 - 5-2.送液ポンプのライン新設
 - 5-3.試験開始直後

1-1.RSSCT設計図

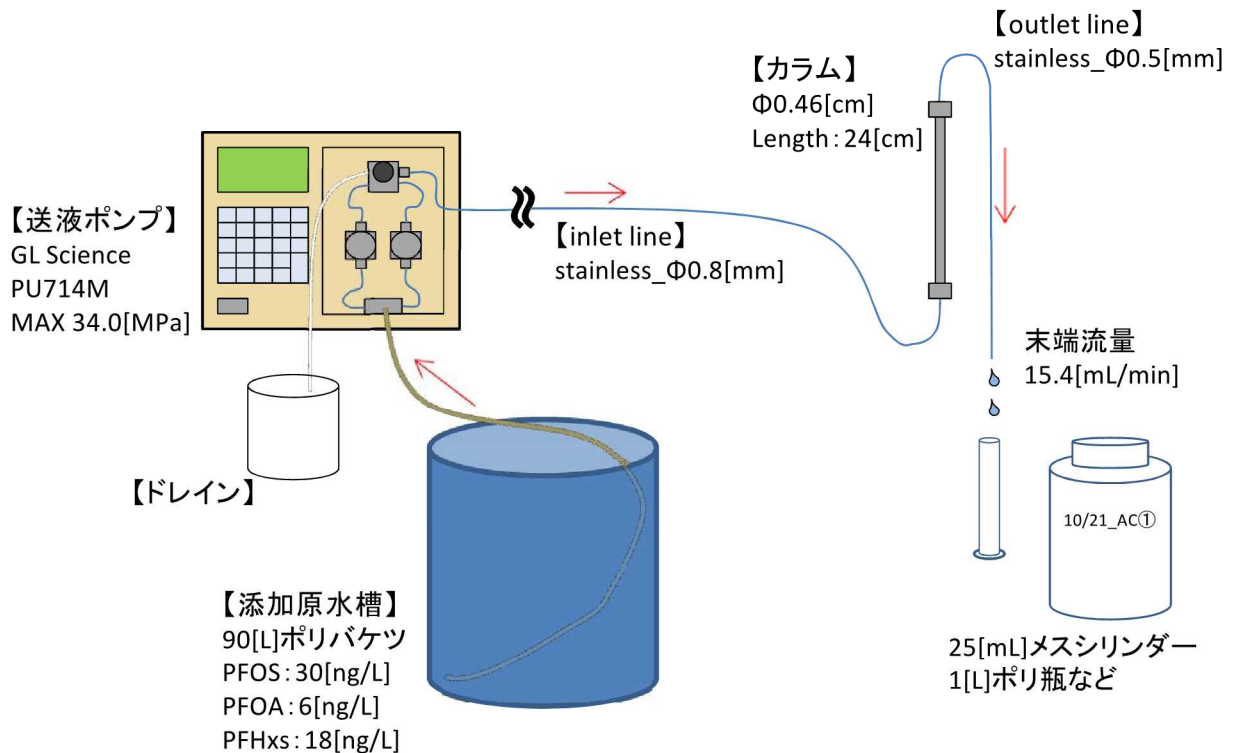


Fig.1_RSSCT装置概略

今回の試験装置は主に添加原水層、送液ポンプ、カラム、およびそれらを繋げるラインで構成される。上図 (Fig.1)にその概略を示す。

添加原水層となる90[L]ポリバケツにPFOS類を添加した原水を溜め、それをHPLC用の送液ポンプを用いてカラムへと導入するフローとなっている。

添加原水はPFOS・PFOA・PFHxSを含む二次希釈液を膜ろ過水に添加し調製する。送液ポンプは“定流量”ポンプになっており、上限値を20.00[mL/min]として小数第2位まで設定することができる。カラムは内径0.46[cm]のフレームに対し、カラム長が約24[cm]となるように試験対象の活性炭を圧密操作を行いながら充填したものを用いる。これを計8系列(後に1系統追加され現在は9系列)作製し、メンテナンスを挟みつつ昼夜連続運転を行う。

流量は末端の実測値で15.4[mL/min]を規定値としている。1日1ポンプあたり23[L]程度の添加原水を消費することになり、9系列となると少なくとも200[L]程度の添加原水を毎日作り続ける必要がある。また、送液ポンプは一般的な使用では数時間程度の運転となり、数十日間の連続運転を実施することは異例となる。そのため、試験期間中に一度ポンプの運転を止め、カラムとの接続を解除したうえでメンテナンスを実施し、再接続を行うという一連の作業が必要となる。これらの作業に加え、流量や送水圧力等の数値の記録、および通水倍率などの計算、分析用のサンプリングなどが日々のルーチン作業となる。

1-2.ルーチン作業①

作業全般としては、添加原水の調製、流量測定と流量設定変更、送水圧力・室温の確認、通水倍率等の計算、分析用試料の採水、送液ポンプの状態確認、送液ポンプのメンテナンス、運転管理日報の記入などがある。運転管理日報・添加原水調製・メンテナンスに関してはここでは大枠のみを記載し、詳細は後述する。

【添加原水の調製】

添加原水の調製はオゾン水への塩素添加→Mn砂ろ過→膜ろ過→塩素+PFOS類添加→各添加原水槽への分配という流れになる。

前日にオゾン水を汲み置き、1ppmとなるよう塩素添加したのち一晩放置する。水温を室温付近まで下げ、この水に対しMn砂ろ過(Fig.2)と膜ろ過(Fig.3)を行う。ろ過操作で消費された塩素を補い1ppmとした後、1000:1の比率でPFOS類二次希釈液を添加し、よく攪拌して添加原水とする。得られた添加原水を①～③の添加原水槽(Fig.4)に分配する。詳しくは2章に記載する。



Fig.2_Mn砂ろ過装置



Fig.3_膜ろ過装置



Fig.4_添加原水槽

【流量測定】

流量に関しては送液ポンプの設定値に関わらず、25[mL]メスシリンダーを用いた1分間の実測値を正とする。1回の測定はn=3で測定を行い、その平均値を測定値とする。これを9:00、12:00、15:00の1日3回測定し、それらの平均値(生値)を後述の日間通水量や通水倍率の計算に使用する。

それぞれの測定の間ではメスシリンダー内の残渣をよく切り、次の測定に影響のないように注意する。また、送液ポンプのコンディションが悪くなるとn=3測定の精度が落ちてくる(最大値と最小値の差が0.4[mL/min]以上となる)場合がある。その場合は測定回数を増やし、確認をしたうえでバラツキの元となる測定値を棄却する。測定値はn=3測定のすべての数値を運転管理日報に記録し、各時間帯の平均値も算出して同様に記入する。

流量の計画上の規定値は15.4[mL/min]である。そこから大きく乖離する場合は送液ポンプの取扱説明書および次ページの記載に沿って流量設定を変更し、実測値が15.4～15.9[mL/min]となるように調整する。



Fig.5_流量測定

1-2.ルーチン作業②

【流量設定変更】

流量の実測値が15.4[mL/min]を下回る、もしくは15.9[mL/min]を大きく上回る場合は送液ポンプの流量設定を変更する。流量は可能な限り15.5～15.9[mL/min]の範囲を維持し続けるよう尽力する。『n=3測定のうち1回でも15.3[mL/min]以下の数値が測定された』場合や、『n=3測定の3回すべてが15.4[mL/min]』の場合は設定値を0.10[mL/min]追加することを目安に変更するが、送液ポンプのコンディションにより微調整を行う。

取扱説明書のP16に記載されている手順に従い、ポンプ本体正面にあるボタンを使用して行う。右図(Fig.6)の表示の時、流量設定が15.50[mL/min]であることを示している。以下①～③の手順で流量設定を変更する(例として15.65[mL/min]へ変更する)。

- ①10キーを用いて「1」「5」「.」「6」「5」の順に押す
- ②右下の「ENTER」を押す
- ③表示が『set 15.65 mL/min』に変わり、変更が反映される。

設定変更後、30[min]程度は流量が安定していないため、流量測定は控えた方が良い。

【送水圧力の確認】

各カラムの送液ポンプのディスプレイ(Fig.7)に表示された値を後述の運転管理日報に記録する。9:00と15:00の1日2回記録する。数字が動き、安定しない場合は表示されている時間が一番長い数字を記録値としている。24時間あたりの変動が1.0[MPa]超や、『ポンプ圧力変動解析』Excelファイルを参照して他のカラムに比べ上昇傾向が強い等が見受けられた場合はフィルターの手清掃などメンテナンスを実施する。

【室温の確認】

試薬添加用のポリバケツ付近に吊るしてある温度計(Fig.8)の9:00時点での指示値を運転管理日報に記録する。規定値は 21 ± 1 [°C]であり、逸脱する場合は空調の設定温度を変更する。

【通水倍率などの計算】

前日の各時間帯の流量測定値の平均値(生値)[mL/min]と日間通水時間(ポンプを運転停止していた時間を1440[min]から減じた数値)[min]から日間通水量[L/日]を算出する。さらにカラムの充填体積を除することで通水倍率を計算し、累積値を算出する。詳細は別で記載する。

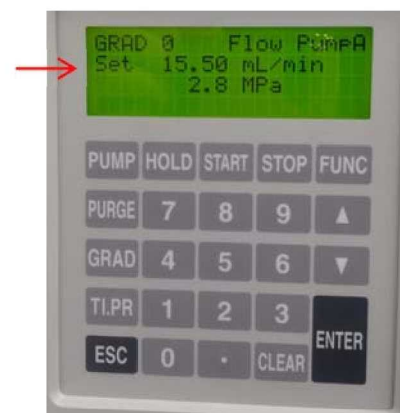


Fig.6_操作ボタンと画面



Fig.7_圧力表示



Fig.8_室温測定用温度計

1-2.ルーチン作業③

【正式分析用試料の採水】

毎日12:00を目安に1[L]ポリ瓶に各カラムの正式分析用の採水を開始する。そのままではポリ瓶が浮いてしまうため、下にスパーサーを敷いて採水すると良い(Fig.9)。流量は約16[mL/min]、1[L]ポリ瓶には1.2[L]近く採水できるため、満水になるまで80[min]ほど要する。ラベルは「総合水研究所」と印字されているラベルシール(Fig.10)に『10/20 AC①』のように日付とカラム番号を明記し、ボトル側面に貼付する。また、ポリ瓶の取り違いなどには十分注意する。

また、予備として当日調製の原水を100[mL]ポリ瓶にとり、マジックで直接『10/20 原水』のように日付と原水であることを明記する。この試料は速報分析と正式分析のいずれにも使用せず、試験室内で保管する。

採水した試料は2～3日に1回程度のペースで以下の試料発送先宛に着払いで発送する。また発送の都度、その内容を下記の■■■■のメールアドレスまで送信する。(株)総合水研究所への試料発送連絡等は日水コン側で行う。また、正式分析に関して使用するポリ瓶およびラベルシール、および発送に関わる梱包材は基本的に日水コン側で準備する。

試料発送先:

〒592-8334

大阪府 堺市 西区 浜寺石津町中 2-6-34

株式会社 総合水研究所 石津ビル 環境分析センター 試料受付担当者 行

発送連絡先:

株式会社 日水コン ■■■■(■■■■)

連絡内容:

発送伝票No.、発送試料の採水日およびカラムNo.、上記宛先への到着予定日など



Fig.9_正式分析向け採水

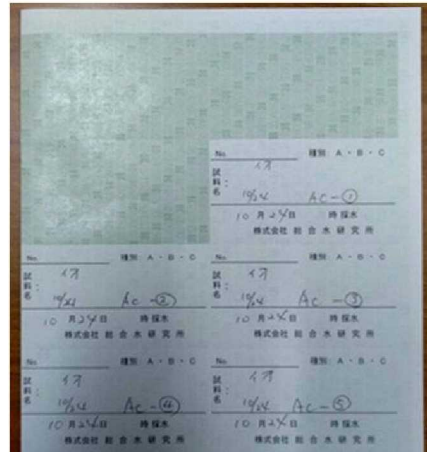


Fig.10_採水ラベルシール

1-2.ルーチン作業④

【速報分析用試料の採水】

正式分析用試料の採水と同時に速報分析用の採水も行う。ボトルは緑色のフタのポリバイアル(PFOS類)2本、ガラスバイアル(TOC)、黒ポリ瓶(蛍光)を用いる(Fig.11)。

PFOS類向けポリバイアル2本には上記の正式分析用ボトルからピペットを使用してそれぞれ5[mL]分取し、白色のラベルシールを貼付する。その他2項目の容器は正式分析用のボトルから注いで分取し、黄色のカラーラベルを貼付する。ラベルには正式分析と同様に『10/20 AC①』のように日付とカラム番号を明記する。白色のシールラベル以外はすべて企業局様側にご準備いただく。

採水スケジュールに関しては1.5に記載する。



Fig.11_速報分析向け採水ボトル

【送液ポンプの状態確認とメンテナンス】

通常使用において1回の稼働が数時間程度であるHPLC用の送液ポンプだが、今回の実験では基本的に数日間昼夜連続稼働させる。そのため、1日に最低1回は送液ポンプの状態(主に液漏れの程度と送水圧力)を確認し、その内容を運転管理日報に記録する。さらに流量実測値の安定性、前回のメンテナンス実施からの経過日数などから総合的に判断して適切なタイミングでメンテナンスを実施する。メンテナンスに関しては第3章で説明する。

液漏れに関しては主に右図(Fig.12)の赤矢印で示した部分からのものを観察する。「体感的に1時間あたりおおよそ何滴くらいか」を指標にしており、2~3滴/hあたりまでは基本的に特に対応せず経過観察としている。滴下速度が3~4滴/h程度を「内部の部品が消耗し始めた」と予想される基準とし、流量実測値や送水圧力なども絡めた要注意の観察を始める。

経験知として、ポンプヘッドや洗浄ヘッド内のシールが摩耗すると液漏れが酷くなり、その影響からか流量実測値の安定性(精度)が悪くなる、流量実測値が流量設定値よりも低くなるなどの症状が出てくる。また、摩耗したそれらの粒子が流路下流のラインフィルター(カラム一歩手前の『ガードフィルター』の目的もある)を閉塞させ、送水圧力を上昇させる場合もある。

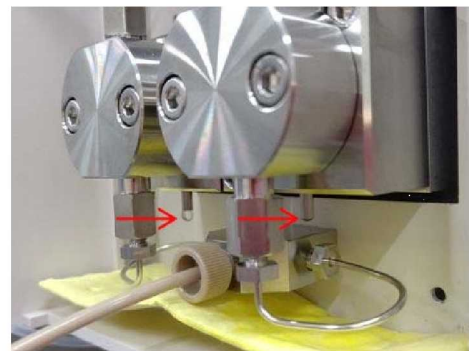


Fig.12_ポンプヘッド液漏れ

メンテナンスは上記で観察された症状や連続稼働日数などから判断し、適切なタイミングで実施する。昼前後の採水の時間帯、および定時の流量測定の前直前は避けた方が望ましい。また、当日の作業終了直前などもトラブルが起きた際に対応できない(気づかない)ため避けた方が望ましい。

メンテナンス実施の際は開始時刻と終了時刻を運転管理日報に記録し、費やした時間を1440[min]から減じて翌日の日間通水時間とする。詳しくは3章に記載する。

【PFOS類二次希釈液の調製】

添加原水を調製する際に使用する二次希釈液を1週間に1~2回程度調製する。1[L]メスフラスコにPFOS一次希釈液を150[mL]、PFOA一次希釈液を3[mL]、PFHxS一次希釈液を18[mL]とり、標線まで水を加える。必要に応じて500[mL]メスフラスコを使用して1/2スケールで調製する場合もある。詳しくは2章に記載する。

1-3.運転管理日報

日々の作業状況を記録する紙媒体のツールとして運転管理日報を使用している。手書き記入にて記録し、そのデータを同じ書式のExcelに入力することで沖縄⇄東京間の報告にも使用していた。内容は以下になる。数値計算に関する内容の詳細は別に記載する。

【室温】

9:00時点での室温。規定値は 21 ± 1 [°C]。

【原水残留塩素】

添加原水調製終了時の残留塩素。規定値は1.0[mg/L]

【サンプル採取日時】

1[L]ポリ瓶に正式分析用の採水を開始した時刻。基本的には当日12:00。

【液漏れ】

ポンプ(主にポンプヘッド)の液漏れの有無と対応を記入。「有・無」に○をつけ、メンテナンスなど実施した対策を下段に記入する。メンテナンスに関する詳細は特記欄に記入する。液漏れがあるが対応しない場合は『経過観察』と記入。

【送液ポンプメンテ】

メンテナンスを実施した開始時刻と終了時刻、および所要時間[min]を記入。

【日間通水時間】

前日9:00を起点としてポンプを稼働した時間[min]を記入する。前日に運転停止した場合はその時間を減じた数値を記入する。

【日間通水量】

前日の瞬時流量(9:00、12:00、15:00)の平均値に上記【日間通水時間】を乗じ、1000で除した値[L/日]

【通水倍率】

上記の日間通水量[L/日]に1000を乗じ、活性炭充填体積で除した数値を、前日までの累積値に加えた数値。

【瞬時流量】

1-2に記載した要領で測定した $n=3$ の数値を記入、時間帯毎の平均値は赤で記入する(もしくは赤丸をつける)。最下段にそれらの平均値を記入。

【流量設定調整】

1-2に記載した要領で設定変更の有無と変更前後の設定値を記入。「有・無」に○をつけ、「有」の場合は変更前後、「無」の場合は変更前の設定値のみを記入。

【送水圧力】

9:00時点での送液ポンプのディスプレイ表示値を記入。15:00時点のものは特記欄下部に記入。

【特記】

速報用に採水した試料の詳細(『実験③ 18日後+実験④ 6日後+原水』など)を記入。また、1-2に記載した送液ポンプの状態(ポンプヘッドの液漏れの状況やメンテナンスの詳細)と15:00時点での送水圧力[MPa]を記録する。その他、二次希釈液の調製など通常行わない作業を実施した場合も記入する。

1-4.数値計算

先述の運転管理日報では日間通水時間、日間通水量、通水倍率などの計算を行う。これらの計算は試験の運転管理を行うことが目的であり、最終報告書での計算方法とは多少の相違がある(主に時間帯平均値の取り方など)。計算例では10/22と10/23のカラム⑤のデータを用いて計算方法を例示する。

【日間通水時間[min]】

前日9:00を起点とした24時間(1440[min])内でポンプを稼働した時間[min]。前日に運転停止した場合は送液ポンプメンテ欄の所要時間[min]を減じた数値を記入する。メンテナンスやトラブルなどの運転停止がなければそのまま1440[min]となる。

計算式:

$$\text{日間通水時間}[\text{min}] = 1440[\text{min}] - (\text{前日の送液ポンプメンテ所要時間})[\text{min}]$$

【日間通水量[L/日]】

1日あたり通水した添加原水の体積[L]、流量と時間の積から求める。前日の瞬時流量(9:00、12:00、15:00)の平均値(生値)に上記の日間通水時間を乗じ、単位を[L]とするために1000で除した値[L/日]。メンテナンス実施の有無などによるが、おおよそ22.00~23.00[L/日]程度の数値となる。

計算式:

$$\text{日間通水量}[\text{L/日}] = (\text{前日の瞬時流量平均値})[\text{mL/min}] \times (\text{日間通水時間})[\text{min}] \div 1000$$

【通水倍率[-]】

当日9:00時点での累積通水量の活性炭充填体積に対する比。今回使用したカラムは内径0.46[cm](内半径0.23[cm])、活性炭層厚は圧密操作後におよそ24[cm]となるよう作成している。上記の日間通水量に1000を乗じ単位を[mL]に戻し、活性炭充填体積(0.23[cm]×0.23[cm]×円周率π×圧密操作後の活性炭層厚[cm])[cm³=mL]で除する。得られた24時間通水倍率の数値に前日までの値を加え、累積値を得る。円周率πは3.14として計算する。メンテナンス無しの場合、24時間通水倍率はおおよそ5500~5700[-]程度となる。前日までの値の小数点以下の丸めにより数値が1ずれる場合がある(Excelで計算した方が正確)。

計算式:

$$24\text{時間通水倍率}[-] = \text{日間通水量}[\text{L/日}] \times 1000 \div 0.23[\text{cm}] \div 0.23[\text{cm}] \div 3.14 \div (\text{圧密後活性炭層厚})[\text{cm}]$$

$$\text{累積通水倍率}[-] = (\text{前日までの累積値})[-] + (24\text{時間通水倍率})[-]$$

【瞬時流量】

時間帯(9:00、12:00、15:00)毎にそれぞれ平均値を計算し、それらを小数第1位までで丸める。得られた3つの時間帯の数値を平均し、その生値を翌日の通水量計算に使用する。

【計算例】

10/23カラム⑤の運転管理日報(Fig.13)を例とすると、

・日間通水時間

$$= 1440 - 40 = 1400[\text{min}]$$

・前日(10/22)瞬時流量平均値

$$= (15.6 + 15.5 + 15.9) \div 3 = 15.6666\dots[\text{mL/min}]$$

・日間通水量

$$= 15.6666\dots \times 1400 \div 1000 = 21.93333\dots$$

$$= 21.93[\text{L/日}]$$

・通水倍率(累積値)

$$= 21.93333\dots \times 1000 \div 0.23 \div 0.23 \div 3.14 \div 24.0 + 139283$$

$$= 144784.84152\dots$$

$$= 144785[-] \text{ (Excelでは丸めの関係で1ずれて144784[-])}$$

大項目	カラム	5	5
	活性炭(略称)	PLJ14M	PLJ14M
活性炭使用量	g	1.8393	1.8393
活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.0	24.0
充填密度	g/cm³	0.46	0.46
RSSOT開始時刻	月日 + 時刻	2020/9/27 16:58	2020/9/27 16:58
室温	℃ @9:00	20.8	20.4
腐水残留性毒 (腐水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0
サンプル採取日時	月日 + 時刻	2020/10/22 12:00	2020/10/23 12:00
濃度	有無	有	有
対応内容	ケル交換+7.0L交換	-	-
送液ポンプメンテ	開始時刻	13:19	-
	終了時刻	13:58	-
	所要時間 min	40	-
日間通水時間(前日9:00起迄)	min(シフト除く)	1440	1400
日間通水量	L/日	22.51	21.93
通水倍率	-	139283	144784
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)	15.6	-
	②12時(n=3平均)	15.5	-
	③15時(n=3平均)	15.9	-
	平均値	15.7	-

Fig.13_10/23_カラム⑤記入

1-5.タイムテーブル①

【1日のタイムスケジュール】

日水コンで行っていた2名体制(9系列)の場合の1日のタイムスケジュールを下図(Fig.14)に示す。メンテナンスが重ならず、大きなトラブルも無ければ1日あたり12人時程度を確保すれば十分完了する作業量である。また、図中に赤矢印で示した作業は同日内の時間帯移動や翌日への振り替えなどが可能であり、ピークタイムをずらすのに利用できる。

傾向として人員Aは時間の調整がしやすいので、空いた時間は人員Bの補助や昼前後の作業の吸収、不足した資材の手配や整理整頓など、器用に動けると良い。人員Bの作業は1つ1つの作業が大きいため時間調整はあまり融通が利かないが、練度が上がってくると午前中で添加原水の調製をすべて終えることも可能で、人員Aのフォローに入ることができるタイミングも出てくる。

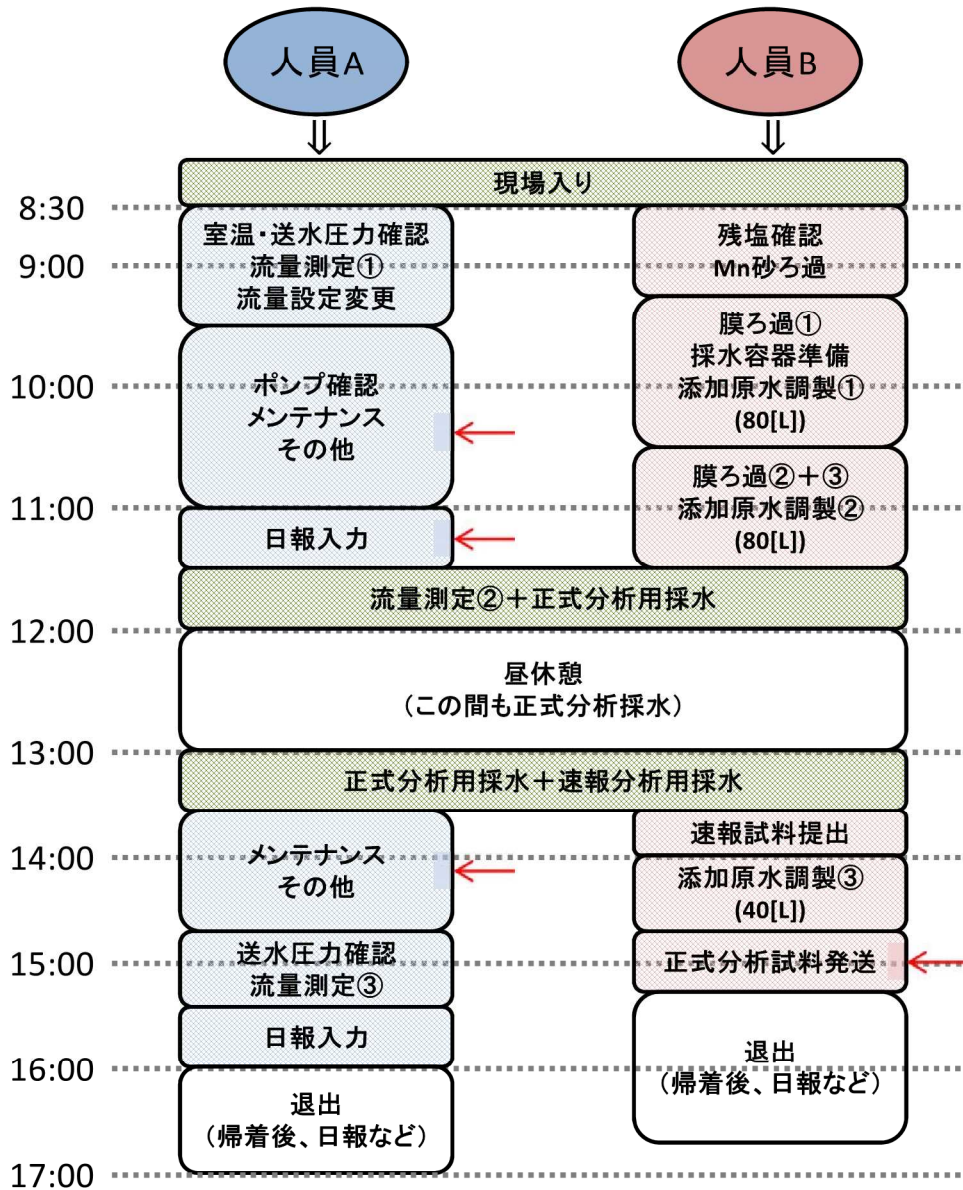


Fig.14_1日のタイムスケジュール

1-5.タイムテーブル②

【今後のスケジュール】

実験①～④の試験経過日数カレンダーおよび速報用採水日の予定を下図(Tab.1)にまとめる。

Tab.1_実験①～④の経過日数および速報分析採水の予定

	実験①			実験②			実験③			実験④			
	経過日数	カラム①	カラム②	カラム③	経過日数	カラム④	カラム⑤	経過日数	カラム⑥	カラム⑦	カラム⑧	経過日数	カラム⑦'
10/26(月)	35	○	○	○	29			25				13	
10/27(火)	36				30	○	○	26				14	
10/28(水)	37				31			27	○	○	○	15	○
10/29(木)	38		○	○	32			28				16	
10/30(金)	39				33	○	○	29				17	
10/31(土)	40				34			30	○	○	○	18	○
11/1(日)	41		○	○	35			31				19	
11/2(月)	42				36	○	○	32				20	
11/3(火)	43				37			33	○	○	○	21	○
11/4(水)	44		○	○	38			34				22	
11/5(木)	45				39	○	○	35				23	
11/6(金)	46				40			36	○	○	○	24	○
11/7(土)	47		○	○	41			37				25	
11/8(日)	48				42	○	○	38				26	
11/9(月)	49				43			39	○	○	○	27	○
11/10(火)	50		○	○	44			40				28	
11/11(水)	51				45	○	○	41				29	
11/12(木)	52				46			42	○	○	○	30	○
11/13(金)	53		○	○	47			43				31	
11/14(土)	54				48	○	○	44				32	
11/15(日)	55				49			45	○	○	○	33	○
11/16(月)	56		○	○	50			46				34	
11/17(火)	57				51	○	○	47				35	
11/18(水)	58				52			48	○	○	○	36	○
11/19(木)	59		○	○	53			49				37	
11/20(金)	60				54	○	○	50				38	
11/21(土)	61				55			51	○	○	○	39	○
11/22(日)	62		○	○	56			52				40	

2-1. 添加試薬の調製

今回の試験で日々調製する添加原水はPFOS: 30[ng/L]、PFOA: 6[ng/L]、PFHxS: 18[ng/L]を含むものとする。まずそれぞれの化合物の一次希釈液(Fig.15)を調製し、さらにそれらを使用してPFOS類二次希釈液を調製する(Fig.16)。この二次希釈液を原水に一定量添加することで添加原水とする。

【PFOS一次希釈液(PFOS: 200,000[ng/L])】

アンプルに封入されたPFOS原液(50[μ g/mL]=50,000,000[ng/L] in MeOH, 1.2[mL])を1[mL]とり、溶媒置換を行い水溶液へと切り替える。これを250[mL]に定容し、PFOS: 200,000[ng/L]の溶液を得る。これをPFOS一次希釈液とする。PFOS原液の手配は日水コン側、溶媒置換および定容などの操作、また調製濃度の確認などは企業局様側が行う。

【PFOA一次希釈液(PFOA: 1,000,000[ng/L])】

東京にて調製済、11月末日までの分はあり。

【PFHxS一次希釈液(PFHxS: 1,000,000[ng/L])】

東京にて調製済、11月末日までの分はあり。

【PFOS類二次希釈液(PFOS: 30,000[ng/L], PFOA: 6,000[ng/L], PFHxS: 18,000[ng/L])】

1[L]メスフラスコに上記で得られたPFOS一次希釈液を150[mL]、PFOA一次希釈液を6[mL]、PFHxS一次希釈液を18[mL]とり、定容することでPFOS: 30,000[ng/L]、PFOA: 6,000[ng/L]、PFHxS: 18,000[ng/L]の混合溶液を得る。これをPFOS類二次希釈液とする。また必要に応じて1/2スケールで調製を行う場合もある。



Fig.15_一次希釈液



Fig.16_二次希釈液調製

2-2. 添加原水調製

添加原水の調製はオゾン水への塩素添加→Mn砂ろ過→膜ろ過→塩素+PFOS類添加→添加原水槽への分配となる。添加原水は1カラムあたり1日23[L]程度必要となり、1日200[L]前後の添加原水を調製する必要がある。1度に調製できる添加原水は80[L]であるため、8系列試験を行っている現在では1日3週の作業を行う必要がある。

【Mn砂ろ過水】

Mn砂ろ過は右図(Fig.17)のようにオゾン水貯留槽、水圧調整用のバケツ、Mn砂ろ過塔(2本)、Mn砂ろ過水貯留槽、および送水用のポンプやホースで構成されている。オゾン水貯留槽にオゾン水を前日のうちに必要量汲み、1[mg/L]程度となるよう1%次亜を用いて塩素添加を行った後、一晩放置して水温を室温程度まで下げておく。翌朝、水温測定後、このオゾン水に対しさらに塩素添加を行い、消費された塩素を補充して1[mg/L]とする。この水に対してMn砂ろ過を行う。

Mn砂ろ過水出口に捨て水用の15[L]バケツを当て、ろ過塔下部のコックを開ける。バケツを持ったまま送水用のポンプの電源を入れ、越流用のホースをオゾン水貯留槽の液面から外して内部の空気を抜く。塔内の水位が安定したらメスシリンダーを用いて流量が20秒あたり225[mL] (680[mL/min])程度であることを確認し、大きく離れた値の場合は脚立上のバケツ付近のコックを微調整する。10[L]程度捨て水を取った後、Mn砂ろ過水貯留槽(80[L]バケツ)にろ過水を受ける。目的の水量付近になったら水温を測る。

1周目の目標水量程度のMn砂ろ過水を作成できたら、順次膜ろ過など次の工程に進む。Mn砂ろ過自体はオゾン水貯留槽を切り替えつつ、2周目3周目の添加原水調製に向けて運転を続ける方が良い。1日分の水量が確保できたら簡易ポンプを止め、水位が下がるまでしばらく放置する。

使用する簡易ポンプ(本体がピンク色)は30[分]に一度同型の別の物に切り替え、連続使用を避ける。切り替え時は越流用のホースに再び空気が入ることがあるため、一度液面から外し内部の空気を抜く。また、汲み置きのおゾン水が無い(室温付近の水をすぐに準備できない)場合は、熱交換用の簡易ポンプやバケツなどを準備し、水で冷却することで室温付近まで降下させる。

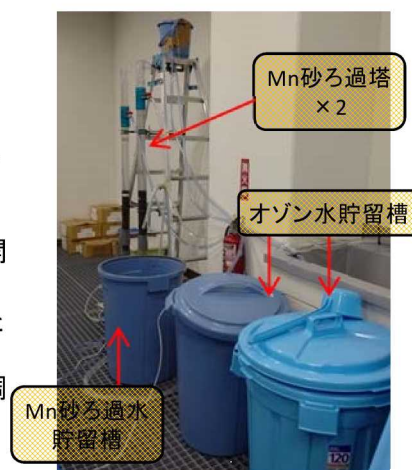


Fig.17_Mn砂ろ過装置

【膜ろ過水】

Mn砂ろ過水の1周目の目標の水量確保できたら、次に膜ろ過を行う。膜ろ過装置は、流し台付近に設置された膜およびホルダーと簡易ポンプ(本体が白色でタイマー付き)、試薬添加槽で構成されている。簡易ポンプの電源を入れ、1分間捨て水を行った後、ホースの出口付近の部分をすすぐ。一度ポンプを止めた後、試薬添加槽にホースの出口を差し、膜ろ過を開始する。1周目の目標水量が確保できたら膜ろ過を停止し、次に試薬添加槽にて塩素の補充とPFOS類の添加を行う。簡易ポンプのタイマーは15分で切れてしまうため、停止したまま放置しないよう気を付ける。

【添加原水】

上記の工程で試薬添加槽に溜めた膜ろ過水に対し塩素の補充とPFOS類の添加を行う。まず水温と塩素を測定し、ろ過操作で消費した分を添加して1[mg/L]とする。次に2-1で調製したPFOS類二次希釈液を膜ろ過水に対して1000:1の比率で添加(膜ろ過水80[L]に対し二次希釈液80[mL]、必ず2名確認を行う)し、ひしゃくを用いて入念に混和する。

調製した添加原水を各添加原水槽(現行では①~③)に分配する。使用する8[L]バケツは使用する前に汚れなどないか入念に確認する。バケツで試薬添加槽から添加原水を汲み、極力気泡が立たないように静かに添加原水槽に移す。移し切ったらひしゃくで軽く混和し、水温を測定する。最後にPFOS類二次希釈液の残量をメモに控える。



Fig.18_試薬添加槽混和

2-3. 翌日準備

1日分の添加原水調製が終了したら、Mn砂ろ過塔の逆流洗浄、翌日使用するオゾン水の汲み置きと塩素添加などを行う。

【Mn砂ろ過塔の逆流洗浄】

逆流洗浄は片方ずつ実施する。流し台の蛇口に逆流洗浄用のバルブをセットし、塔上部の越流コック(①)と塔下部の逆流洗浄用のコック(②)を開栓する。蛇口を開栓して逆流洗浄を開始し、層厚の膨張が安定するまで様子を見る。層厚の膨張は脚立の4段目から5段目の間(↓の範囲)になるよう流量を調整する。この状態で5[min]放置した後、蛇口を閉栓し、続けて越流コック(①)と逆流洗浄用のコック(②)も閉栓する。Mn砂ろ過水を取り出すコック(③)を開栓し、Mn砂ろ過塔の水位が脚立の4段目付近に下がるまで捨て水をする。

片方の逆流洗浄が終了したら左右を入れ替え、もう片方の塔も同様に洗浄を実施する。双方の洗浄が終了したらMn砂ろ過水貯留槽もよくすすぎ、清潔な状態を保つ。

【オゾン水の汲み置き】

添加原水調製やMn砂ろ過塔の逆流洗浄の待ち時間などに、翌日使用するオゾン水の汲み置きを行う。各オゾン水貯留槽に残った水を捨て、オゾン水で軽くすすいだ後、目視で汚れがないか確認する。オゾン水のホースを貯留槽にさし、水を溜める。おおよそ18[min]で80[L]のオゾン水が溜まるが、日により多少の水量の増減があるので状況に応じて調節する。目的の水量が溜まったら、水温を測定し、1[mg/L]となるよう塩素を添加し、翌日の作業開始時まで放置する。

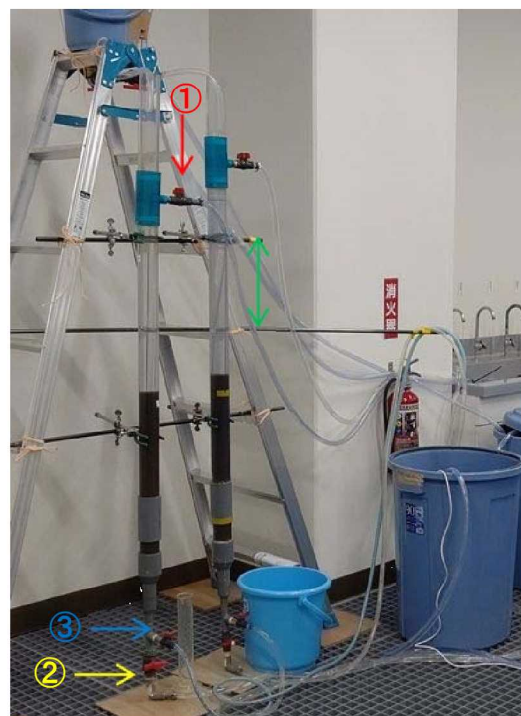


Fig.19_Mn砂ろ過塔の逆流洗浄

3-1.実施の判断指標

今回使用する送液ポンプはHPLC用であり、本来は数時間程度の連続運転での使用が通常である。今回の用途では24時間昼夜連続運転が基本となるが、必要に応じて一時的に送液を止め、メンテナンスを実施する必要がある。

【判断指標】

メンテナンス実施を決める指標として、ポンプヘッドからの液漏れの程度、圧力上昇のスピード、流量実測値の安定性、前回メンテナンスからの経過日数などがある。これらを総合的に判断して必要なメンテナンスを実施する。

Tab.2_メンテナンス実施の判断基準

項目 (症状)	指標	実施要否	実施内容	解説
ポンプヘッドからの 液漏れ	5滴/h以上	○	プランジャーシール交換 洗浄ヘッドのシール交換・内部の洗浄	流量が安定していれば問題はないが、 実施の優先度は高くなる
	3~4滴/h	△		他の指標が良ければ経過観察
	1~2滴以下	不要	-	-
圧力上昇	+1.0[MPa/day]以上	○	ラインフィルターの洗浄もしくは交換	他のコラムと比較して 上昇傾向が強ければ実施
	+1.0[MPa/day]未満	△		他の指標が良ければ経過観察
	+0.5[MPa/day]未満	不要	-	-
流量実測値の 安定性	最大値と最小値の差が 0.4[mL/min]以上	○	プランジャーシール交換 洗浄ヘッドのシール交換・内部の洗浄	流量安定性は重要なので、 最優先で実施したほうが良い
	最大値と最小値の差が 0.3[mL/min]以下	不要		-
前回メンテからの 経過日数	10日以上経過	△	適宜	部品にも本体にも個体差があるので 単純に日数だけでは判断できない

3-2.メンテナンス開始

【事前準備およびポンプの停止】

事前に必要な工具や治具はポンプ付近に揃えておく(Fig.20)。下図(Fig.21)で赤矢印で示した本体正面の『PUMP』ボタンを押し、ポンプを停止させる。この時点での時刻を運転管理日報の所定の欄に記入する。



Fig.20_工具および治具

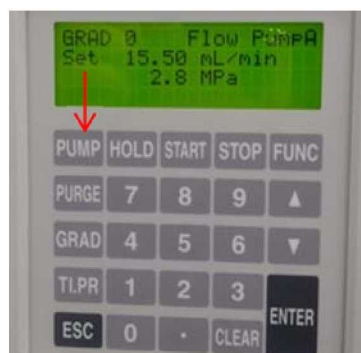


Fig.21_ポンプ停止

3-3.プランジャーシール交換

基本的な作業は取扱説明書P75～77に記載されている。ここでは注意点や実際の作業中の写真を載せる。

【注意点】

実際にポンプヘッドを取り外した状況が右図(Fig.22)になる。ポンプヘッドを取り外した際、状態の悪いシールはプランジャー側に残ることが多い。また、シールはポンプヘッドから一度外れてしまうと再び使用することはできない。ポンプヘッドより先の洗浄ヘッド内部を洗浄する際は必然的にプランジャーシールの交換が伴うことになる。

プランジャー側に残った古いシールはピンセットなどを使用し取り外す。綿棒などでプランジャー周辺とポンプヘッド内部を清掃した後、超純水ですすぎ、軽く水気を切ったうえで組み立てる。

メンテナンスの律速はポンプヘッド上下の配管の締め込み作業になる。配管ラインが歪んでいると締め込み序盤からスパナを使うことになり、作業性が著しく落ちる。交換作業は全体で20～40[min]ほど要する。

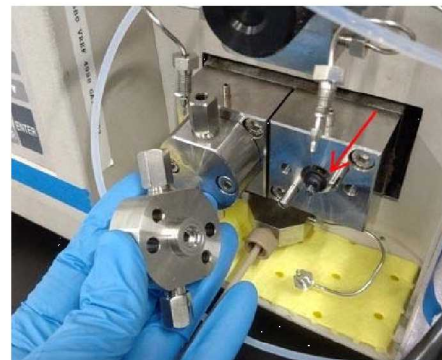


Fig.22_ポンプヘッド取り外し

3-4.ラインフィルターの清掃・交換

基本的な作業は取扱説明書P81に記載されている。ここでは注意点や実際の作業中の写真を載せる。

【注意点】

交換の際、取扱説明書には「冷蔵室にて...」の記載があるが、実施しなくても交換は可能。ただし、非常に固いのでスパナなどでフィルターを変形させながら取り除くような力技になる。基本的に清掃だけでも十分効果があり、所要時間も5[min]程度のため気軽に実施できる。

内部(本体側)は綿棒で、フィルター部分はペーパーで軽く清掃する。特にフィルターはあまり力を入れてしまうと目が潰れてしまうので注意する。



Fig.23_ラインフィルター取り外しと清掃

3-5.洗浄ヘッド内部の洗浄およびシール交換

基本的な作業は取扱説明書P75～77に記載されている。ここでは注意点や実際の作業中の写真を載せる。

【注意点】

洗浄ヘッドを取り外した状況が右図(Fig.24)になる。洗浄ヘッドはポンプヘッドに比べ重量があるため、プランジャーを破損しないよう真っすぐ引き抜くよう注意する。シールに関してはプランジャーシールとは異なり、洗浄ヘッドから外しさえしなければそのまま使用可能である。

清掃に関してはポンプヘッドと同様、綿棒やペーパーを用い、最後に必ず超純水で軽くすすぐ。プランジャーの根本付近は恐らく析出したPFOS類と思われる白い粉状のものが付着していることが多い。他にもプランジャーシールの破片と思われる黒い粉状のものなどが付着している場合もあるため、清掃は念入りに行う。

洗浄ヘッドシール付近にも汚れが付着していることも多いが、こちらは綿棒の綿を裂いて太さを調整したものを通して清掃する。太すぎるとシールを傷め、細すぎると清掃できないため微調整が必要である。

3-3のプランジャーシールの交換とあわせておよそ60[min]程度の時間を要する。



Fig.24_洗浄ヘッド取り外し

3-6.メンテナンス終了

メンテナンス終了後、流路にはエアが入っているため、そのまま送液を始めてしまうとカラムに気泡が混入してしまう。そのため、以下のような手順を踏む。

【カラム接続解除】

一度カラム流入側のラインを取り外し、本体正面の『PUMP』を押し送液を開始する。ドレンなどを使用しても良い。圧力の関係で原水がポンプまで上がってこない場合はラインフィルター部分のライン末端を取り外し、注射器とネジを使用して手作業で呼液する。添加原水がポンプまで上がってきたら排水をドレン側に切り替え、ラインフィルター側のライン末端を元に戻す。気泡が見受けられなくなったら排水をライン側に切り替え、ラインの気泡を除去するために2分程度放置する。

【カラム再接続】

カラム流入側のライン末端を下図(Fig.25)左のようにビーカー内の液面につけ、気泡が出ていないことを確認する。そのうえでライン末端をカラムの接続口に当て、20秒ほど待ち接続口内の気泡を追い出す。この状態のままカラムに接続し、スパナを使用して締め込む。この時点での時刻を運転管理日報の所定の欄に記入する。

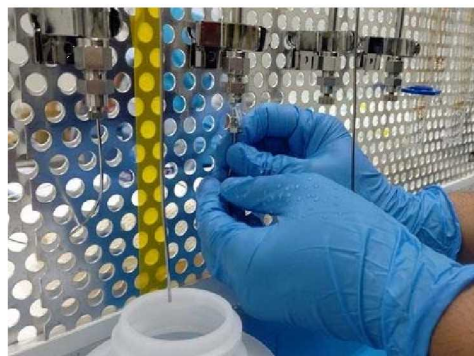
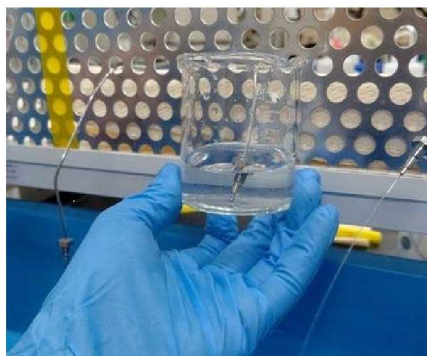


Fig.25_ラインの気泡除去

4-1.廃棄する部品・再利用する部品

今回の試験の仕様上、一部の部品はpptオーダーのPFOS類と1[mg/L]の次亜塩素酸が添加されたオゾン水に30日間以上接触し続けている。そのため、試験終了時はそれら部品に関しては使い回しを避け、廃棄をする。同じポンプを用いて新たな試験を行う際は、廃棄する部分に関しては新設が必要となる。

【廃棄する部品】

試験終了後、一旦ポンプを停止し、カラムとの接続を解除する。カラム両端を密栓し保管する(詳細は4-2に記載する)。添加原水に含まれるPFOS類が流路内で析出するのを防ぐため、再びポンプを稼働させ、精製水を200[mL]程度通水させる。再びポンプを停止させ、電源を切ったのち、以下のように分解等を行う。

基本的には上記の添加原水と接触し続けている部品は廃棄が望ましいが、一部再利用の方が作業が容易となる。特に次にそのポンプで同様の条件の試験を行う場合は再利用でも問題は無いと思われる。

下図(Fig.26)に廃棄する部品を矢印で示した。まず→で示したポンプ出口のライン(逆側の末端は下図右におけるカラム流入側ライン)となる。スパナ等を使用して取り外し、付属するオシネやフェラルなども再利用せず廃棄する。次に下図右に→で示したカラム出口側もポンプ出口のラインと同様に廃棄する。下図左に→でポンプ導入ラインも廃棄するが、ポンプ接続部分の樹脂製のオシネ(茶)とフェラル(白)、添加原水取り込み口のフィルター(金属製のメッシュと樹脂)は洗浄した後、再利用する。

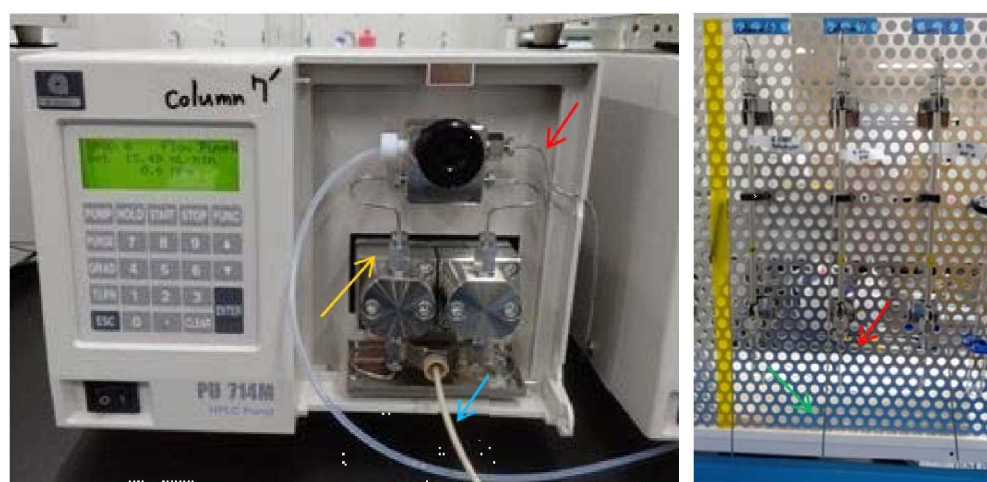


Fig.26_廃棄する部品

【再利用する部品】

上記の廃棄する部品以外は基本的に再利用を行う。上図(Fig.26)に→で示したチェックバルブに接続されたライン(上下左右4本)に関してはその他のラインと同じく添加原水に常に接触していたが、新設する場合は加工が伴うため、再利用を推奨する。新設する場合は、会議机裏の新品部品などが入れている箱(以下、部品BOX)に、長さを揃えて切断済(フェラルやオシネも組込済)のライン(Fig.27左)が数本、それらを折り曲げ加工したライン(Fig.27右)も数本準備してあるので、折り曲げ具合などを調整して新設する。



Fig.27_廃棄する部品

4-2.保管時の処置

4-1で記載した通り装置の停止を行った後、必要に応じてポンプ流路やカラムの封印を行う。

【カラムの封印】

カラムは4-1で記載した通り流入・流出双方のラインを取り外した後、両端を下図(Fig.28)右で示す部品により封印する。この部品はほぼ同じ形で穴(中に樹脂製のラインを通すため)が開いている物もあるため注意する。会議机裏の部品BOXにビニール袋に入れて置いてある(下記のポンプ流路封印用の白い部品と同梱)。さらにこの両端の部品を紙テープ(会議机上のポンプ関連の部材が入った段ボール箱に入っている、赤もしくは青)でとめ、「in」「out」などどちらが流入・流出側であったか分かるようにラベリングする。計器付近に置いてある金属バット内にカラムの外装用のケーシングがまとめて置いてあるので、対応する番号の物に入れる。

試験後のカラムの層厚測定などは東京で行うため、発送の必要がある。発送までの間、可能な限り冷蔵保管する。日水コン からの依頼があった場合はカラムを東京宛に着払いで発送(クール便でなくて良い)する。

【送液ポンプ流路の封印】

試験終了後の送液ポンプは、次の試験までに日数がある場合は内部の乾燥や固着などを防ぐため流路の封印を行う方が望ましい。

ポンプに関してはポンプ導入ラインの接続口と、ポンプ出口(ラインフィルター付近)の2ヶ所を塞ぐ必要がある。ポンプ導入ラインの接続口に関しては下図(Fig.28)左に→で示した白い樹脂製の栓で塞ぐ。また、ポンプ出口に関してはカラムの封印に使用するものと同じ部品を使用して塞ぐ。



Fig.28_カラムおよびポンプの封印

4-3.発送時の注意事項

ポンプを宅急便などで発送する場合は下図(Fig.29)に示すよう可動部を固定する(ネジ2本を締める)方が望ましい。固定用のネジは赤く塗装された物を用いる。部品BOXにビニール袋に入れて保管してある。

またポンプヘッド付近を保護するためカバーを装着する(部品BOXに入っている)。このカバーは試験時は操作の邪魔となるため取り外してある。ドレンラインを丸めてポンプ可動部周辺に収め、カバーを閉じた状態で梱包し、発送する。発送の際は精密機器ラベルを貼付し、また「バッテリー等なし」と付記した方がスムーズであることが多い。宛先はカラムと同様に東京宛に着払いにする。

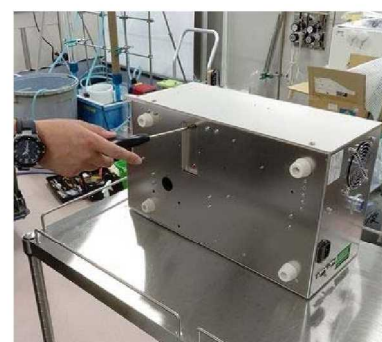


Fig.29_ポンプ可動部の固定

5-1.カラムの煮沸

新規で試験を始める場合は、カラムの煮沸とラインの新設が必要となる。ラインの新設に関しては5-2に記載する。

【カラムの煮沸】

金属製の鍋に水をはり、ホットプレートで加熱する。電源は実験室東側のコンセント(簡易ポンプの電源を取っている方)から取る。沸騰したらカラムをケーシングから取り出し、封印を解かないまま入れる。

カラムが入ることにより一旦沸騰が止まるので、再び沸騰するまで待つ。沸騰が再開してから5分間そのまま煮沸した後、 Tongue を用いて上下を入れ替え、さらに5分間煮沸する。合計10分間煮沸後、Tongue を用いて取り出し、室温まで放冷する。

水が沸騰するまで数十分かかるため、ポンプの設営(設置やラインの新設)と同時進行した方が効率が良い。また、カラム到着後すぐに試験開始しない場合は、基本的に冷蔵保管し、数日に1回は煮沸した方が良いと思われる。



Fig.30_カラムおよびポンプの封印

5-2.ポンプのライン新設

試験終了時に廃棄したラインを新たに作成する。ポンプ導入ラインに関しては薄茶色の樹脂製の物、ポンプ出口およびカラム流出ラインはステンレス製の物(ただし内径が異なる)を用いる。

【ポンプ導入ライン】

下図(Fig.31)に示した樹脂製のラインをラインカッター(樹脂用)を用いて1.6[m]程度に切る。必要なラインの長さはポンプ本体と添加原水槽間の距離により前後するが、添加原水槽の底部まで余裕をもって届く長さを担保する。このラインに、4-1の試験終了時に保管しておいたポンプ接続部分の樹脂製のオシネ(茶)とフェラル(白)、添加原水取り込み口のフィルター(金属製のメッシュと樹脂)を装着し、ポンプ本体に接続する。

フェラルとオシネに関してはスペアとして新品の物が部品BOXに保管してあるため、紛失等した場合はこちらを使用する。



Fig.31_ポンプ導入ライン

【ポンプ出口(カラム流入)ライン】

部品BOX内のステンレス製ライン(※内径0.8[mm]、ループ状にまとめてある5[m]程度の物がある)をラインカッター(金属用、会議机上の段ボール箱内に保管)を用いて必要な長さに切り、適宜成形しながら金属製のフェラルとオシネ(それぞれ2個)を通してポンプ本体およびカラムに接続する。ラインカッターの使用方法に関しては付属の説明書を参照する。

ラインのカラム側に関しては試験開始時に気泡抜き操作があるためフェラルの固定だけにとどめ一度接続を解除しておき、カラムは乾燥を防ぐため再び栓をしておく。

【カラム流出ライン】

部品BOX内のステンレス製ライン(※内径0.5[mm]、ループ状にまとめてある1[m]の物がある)を同様に切り、適宜成形しながら金属製のフェラルとオシネ(それぞれ1個)を通してカラムに接続する。上記と同様に一度接続を解除しておき、通水時のエア抜き操作直前までカラムには栓をしておく。

5-3.試験開始直後

試験開始時にはメンテナンス後の運転再開の際と同様に気泡除去の操作が必要になる。作業引継資料の3-6に記載した内容を参照しながらカラムへの接続を行う。

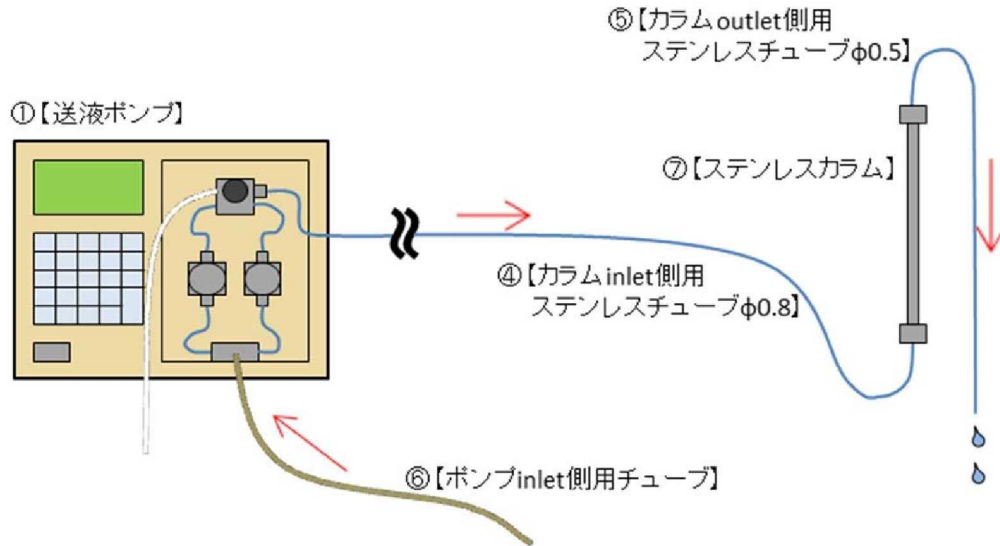
【送液ポンプ運転開始】

カラムの流入側のラインを取り外した状態で、ポンプ本体左上の「PUMP」ボタンを押し、送液を開始する。添加原水が上がってこない場合はメンテナンス終了時と同様に注射器を用いて手動で呼液する。送液を一度ドレン側に切り替え、目視で気泡が無くなるまで流し続ける。その後、送液をライン側に切り替え、同じ要領で気泡除去をしてカラムに接続する。接続した時刻を控え、運転時間の計算に使用する。

【試験開始直後の状況確認】

通水直後は送液圧力が安定しないことが多く、0.3[MPa]程度の範囲でバラつく場合がある。また流量に関しても0.3[mL/min]程度の範囲でバラついたり、多少の脈動が見受けられたりする場合がある。通水から24時間経過しても安定しない場合、部品の劣化や液漏れなどを疑い、対処した方がよい。

実験装置仕様一覧



※ステンレス製部材の接続は②【フェラル】および③【オシネ型ジョイント】を使用する

		品名	メーカー	写真	備考
			Cat. No.		
【送液ポンプ】	①	液体クロマトグラフ用 送液ポンプ PU714M	GL Science 6001-71410		SUSチューブ付属 (1/16×0.25×1[m]) (1/16×0.5×1[m]) 工具・治具など付属
【ポンプ部】	-	プランジャーシールB (有機用)	GL Science 6001-81575		2個入 プランジャーシールとして使用 黒色
	-	プランジャーシールW (水溶用)	GL Science 6001-81576		2個入 洗浄シールとして使用 白色
	-	交換用ラインフィルター (5 [μm])	GL Science 6010-96130		5個入
	-	インレットバルブセット	GL Science 6001-21002		吸引側チェックバルブ

	-	アウトレットバルブセット	GL Science 6001-21001		吐出側チェックバルブ
	-	プランジャー	GL Science 6001-81577		
	-	洗浄シール押さえ	GL Science 6001-81586		洗浄ヘッド内のシールの留め具
【配管関連】	②	ワンリングフェラル 1/16 FS (ステンレス)	GL Science 6010-41200		10個入 ステンレス製
	③	オシネ型ジョイント 1/16 OW	GL Science 6010-43020		10個入 ステンレス製
	-	1/16 チューブカッター	GL Science 3001-31701		ステンレス製ラインカット用
	④	SUS316チューブ 1/16 × 0.8 × 5M	GL Science 6010-32805		内径0.8[mm]、全長5[m] ステンレス製 ポンプ-カラム間の配管
	④	SUS316チューブ 1/16 × 0.8 × 10M	GL Science 6010-32810	同上	内径0.8[mm]、全長10[m] ステンレス製 ポンプ-カラム間の配管
	⑤	SUS316チューブ 1/16 × 0.5 × 5M	GL Science 6010-32805	同上	内径0.5[mm]、全長5[m] ステンレス製 カラム吐出側の配管 (本体に1[m]のものが付属)

	⑤	SUS316チューブ 1/16 × 0.5 × 10M	GL Science 6010-32810	同上	内径0.5[mm]、全長10[m] ステンレス製 カラム吐出側の配管 (本体に1[m]のものが付属)
	⑥	ピークチューブ ナチュラルカラー 1/8 × 2.00 × 5M	GL Science 6010-37921		内径2[mm]、全長5[m] PEEK(Polyetheretherketone)製 添加原水槽からの導入ライン用 本体付属品(PTFE製)と換装
	⑥	ピークチューブ ナチュラルカラー 1/8 × 2.00 × 10M	GL Science 6010-37922	同上	内径2[mm]、全長10[m] PEEK(Polyetheretherketone)製 添加原水槽からの導入ライン用 本体付属品(PTFE製)と換装
【カラム】	⑦	ステンレス空カラム W 1/4 × 4.6 × 250	GL Science 6010-11055		内径4.6[mm]、全長250[mm] ステンレス製 活性炭充填用カラム
【試薬】	-	Perfluorooctanesulfonate(PFOS), sodium salt (unlabeled) 50 µg/mL in methanol	Cambridge Isotope Laboratories ULM-9001-1.2		代理店: GL Science (Cat.No.: 1065-00004) 第一種特定化学物質のため、 確約書の提出が必要 メタノール溶媒でアンプルに封入 水溶媒への置換が必要
	-	Perfluorooctanoic acid 95%	Sigma-Aldrich 171468-25G		CAS No.: 335-67-1 分子量: 414.07 通称『PFOA』 粉末から溶液へ調製
	-	Tridecafluorohexane-1-sulfonic acid potassium salt ≥98.0% (T)	Sigma-Aldrich 50929-10G-F		CAS No.: 3871-99-6 分子量: 438.20 通称『PFHxS』 粉末から溶液へ調製

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

大項目	実験名称		本実験-1			本実験-2			本実験-3	
	カラム		1	2	3	4	5	6	7	8
	活性炭(略称)		AC1	AC2	AC3					
	ポンプ型式		PU714M	PU714M	PU714M					
	ポンプシリアルNo.		50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061					
活性炭使用重量	g		2.0574	2.1288	2.1090					
活性炭充填時の炭層厚	cm		24.0	24.0	24.0					
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm		24.1	23.9	23.9					
充填密度	g/cm ³		0.51	0.54	0.53					
RSSCT開始時間	月日+時刻		2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26					
室温	°C @9:00		21.0	21.0	21.0					
原水残留塩素 (原水槽貯留初期)	mg/L		1.0	1.0	1.0					
サンプル採取日時	月日+時刻		2020/9/21 17:40	2020/9/21 17:40	2020/9/21 17:40					
液漏れ	有無		有(無)	有(無)	有(無)	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	対策内容									
送液ポンプメンテ	開始時刻									
	終了時刻									
	所要時間									
日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)		-	-	-					
日間通水量	L/日		-	-	-					
通水倍率	-		-	-	-					
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)		15.5	15.8	15.6					
	②12時(n=3平均)		15.6	16.0	15.6					
	③15時(n=3平均)		15.6	15.8	15.6					
	平均値		15.6	15.9	15.6					
流量設定調整	有無		有(無)	有(無)	有(無)	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	変更前 mL/min									
	変更後 mL/min									
送水圧力	MPa @9:00		1.8	0.7	1.2					
通水終了時間	月日+時刻									
通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後									
特記 ・石川浄水場運転の大きな変化 ・県担当者様の現場での指示 など			試験開始前にcolumn1向けのデモ機の送液ポンプに関してはプランジャーシールの交換を実施した。 上記の瞬時流量および送水圧力は9:00測定ではなくRSSCT開始後の数値。 送水圧力はcolumn1に関しては実験カラムに接続する前から他の送液ポンプより1.0 [Mpa]程度高い数値であった。 流量設定はcolumn1~3すべてにおいて15.40 [mL/min]で設定した。							

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

大項目	実験名称		本実験-1			本実験-2			本実験-3	
	カラム		1	2	3	4	5	6	7	8
	活性炭(略称)		AC1	AC2	AC3					
	ポンプ型式		PU714M	PU714M	PU714M					
	ポンプシリアルNo.		50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061					
活性炭使用重量	g		2.0574	2.1288	2.1090					
活性炭充填時の炭層厚	cm		24.0	24.0	24.0					
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm		24.1	23.9	23.9					
充填密度	g/cm ³		0.51	0.54	0.53					
RSSCT開始時間	月日+時刻		2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26					
室温	°C @9:00		20.8	20.8	20.8					
原水残留塩素 (原水槽貯留初期)	mg/L									
サンプル採取日時	月日+時刻		2020/9/22 12:00	2020/9/22 12:00	2020/9/22 12:00					
液漏れ	有無		有(無)	有(無)	有(無)	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	対策内容									
送液ポンプメンテ	開始時刻									
	終了時刻									
	所要時間									
日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)		945	938	934					
日間通水量	L/日		14.71	14.88	14.57					
通水倍率	-		3675	3749	3670					
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)		15.4	15.7	15.6					
	②12時(n=3平均)		15.4	15.8	15.6					
	③15時(n=3平均)		15.4	15.9	15.6					
	平均値		15.4	15.8	15.6					
流量設定調整	有無		有(無)	有(無)	有(無)	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	変更前 mL/min									
	変更後 mL/min									
送水圧力	MPa @9:00		2.0	0.8	1.2					
通水終了時間	月日+時刻									
通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後									
特記 ・石川浄水場運転の大きな変化 ・県担当者様の現場での指示 など										

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

大項目	実験名称	本実験-1			本実験-2			本実験-3	
	カラム	1	2	3	4	5	6	7	8
	活性炭(略称)	AC1	AC2	AC3					
	ポンプ型式	PU714M	PU714M	PU714M					
	ポンプシリアルNo.	50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061					
活性炭使用重量	g	2.0574	2.1288	2.1090					
活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0	24.0					
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.1	23.9	23.9					
充填密度	g/cm ³	0.51	0.54	0.53					
RSSCT開始時間	月日+時刻	2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26					
室温	℃ @9:00	20.0	20.0	20.0					
原水残留塩素 (原水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0	1.0					
サンプル採取日時	月日+時刻	2020/9/23 12:00	2020/9/23 12:00	2020/9/23 12:00					
液漏れ	有無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	対策内容	経過観察	増し締め						
送液ポンプメンテ	開始時刻								
	終了時刻								
	所要時間								
日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)	1440	1440	1440					
日間通水量	L/日	22.18	22.75	22.46					
通水倍率	-	9214	9480	9329					
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)	15.4	15.8	15.4					
	②12時(n=3平均)	15.4	15.8	15.4					
	③15時(n=3平均)	15.4	15.8	15.5					
	平均値	15.4	15.8	15.4					
流量設定調整	有無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	変更前 mL/min	15.40		15.40					
	変更後 mL/min	15.45		15.45					
送水圧力	MPa @9:00	1.9	0.9	1.3					
通水終了時間	月日+時刻								
通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後								
特記	<p>column1→ 左ポンプヘッドから液漏れ(1時間)に1滴程度あり、経過観察(写真①) 9:00の瞬時流量n=3測定時に15.3 [mL/min]が1回測定されたため、11:00頃に設定値を15.40 → 15.45 [mL/min]に変更した。</p> <p>column2→ 9:00の時点でカラム下部(流入側)のキャップ部分から少量の液漏れ、増し締めで対応し、漏れは解消されたが、錆が確認された(写真②)</p> <p>column3→ 瞬時流量が15.4 [mL/min]を下回る時が出てきたため、column1と同様に設定値を15.45 [mL/min]に変更した。</p> <p>その他、残り5台のポンプの設置に向け不足部品や器具の確認、発注を試験課に依頼。 ポンプへの導入用チューブ、留め具、カラムへの導入用チューブ(ステンレス)、カッター、フェラル、オシネを発注した。</p>								

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

大項目	実験名称	本実験-1			本実験-2			本実験-3	
	カラム	1	2	3	4	5	6	7	8
	活性炭(略称)	AC1	AC2	AC3					
	ポンプ型式	PU714M	PU714M	PU714M					
	ポンプシリアルNo.	50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061					
活性炭使用重量	g	2.0574	2.1288	2.1090					
活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0	24.0					
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.1	23.9	23.9					
充填密度	g/cm ³	0.51	0.54	0.53					
RSSCT開始時間	月日+時刻	2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26					
室温	℃ @9:00	20.6	20.6	20.6					
原水残留塩素 (原水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0	1.0					
サンプル採取日時	月日+時刻	2020/9/24 10:30	2020/9/24 10:30	2020/9/24 10:30					
液漏れ	有無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	対策内容	経過観察		経過観察					
送液ポンプメンテ	開始時刻								
	終了時刻								
	所要時間								
日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)	1440	1440	1440					
日間通水量	L/日	22.18	22.75	22.22					
通水倍率	-	14754	15211	14927					
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)	15.4	15.7	15.6					
	②12時(n=3平均)	15.4	15.8	15.6					
	③15時(n=3平均)	15.4	15.8	15.5					
	平均値	15.4	15.8	15.6					
流量設定調整	有無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	変更前 mL/min	15.45		15.45					
	変更後 mL/min	15.50		15.50					
送水圧力	MPa @9:00	1.7	1.0	1.3					
通水終了時間	月日+時刻								
通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後								
特記	<p>column1→ 昨日に引き続き左ポンプヘッドから液漏れあり、滴下速度に変化はないので経過観察 瞬時流量が15.4 [mL/min]を下回る時が出てきたため、9:00頃に設定値を15.45 → 15.50 [mL/min]に変更した。</p> <p>column2→ 昨日増し締めで対応したカラム下部の液漏れに関しては解消された。</p> <p>column3→ 左ポンプヘッドから液漏れあり、column1の滴下速度より遅く数時間に1滴程度のため経過観察とした。</p> <p>15:00時点での送水圧力はcolumn1:1.6 [MPa]、column2:1.0 [MPa]、column3:1.3 [MPa]であった。</p> <p>【ラベルシールの変更指示】 企業局提出用のサンプルに使用するシールに関して変更指示あり(写真①および②)。 今まですべてのボトルに対して白いラベルシール(写真①)、ニチバン製、マイタックラベルML-8、こちらが用意を使用していたが、 TOC用のガラスバイアルと蛍光用の黒いポリボトル(写真②右上)に関しては黄色いラベル(写真②右下、巴川製紙製、TCL153002、浄水場担当者様側で準備)に変更。 PFOS類用のバイアル(写真②)に関しては現行のまま白いラベルシールを使用する。</p>								

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

大項目	実験名称	本実験-1			本実験-2			本実験-3	
	カラム	1	2	3	4	5	6	7	8
	活性炭(略称)	AC1	AC2	AC3					
	ポンプ型式	PU714M	PU714M	PU714M					
	ポンプシリアルNo.	50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061					
活性炭使用重量	g	2.0574	2.1288	2.1090					
活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0	24.0					
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.1	23.9	23.9					
充填密度	g/cm ³	0.51	0.54	0.53					
RSSCT開始時間	月日+時刻	2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26					
室温	℃ @9:00	20.2	20.2	20.2					
原水残留塩素(原水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0	1.0					
サンプル採取日時	月日+時刻	2020/9/25 12:00	2020/9/25 12:00	2020/9/25 12:00					
液漏れ	有無	有 無	有 無	有 無	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	対策内容	経過観察		経過観察					
送液ポンプメンテ	開始時刻								
	終了時刻								
	所要時間								
日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)	1440	1440	1440					
日間通水量	L/日	22.18	22.70	22.42					
通水倍率	-	20294	20930	20573					
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)	15.4	15.8	15.5					
	②12時(n=3平均)	15.4	15.8	15.5					
	③15時(n=3平均)	15.6	15.9	15.6					
	平均値	15.5	15.8	15.5					
流量設定調整	有無	有 無	有 無	有 無	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	変更前 mL/min								
	変更後 mL/min								
送水圧力	MPa @9:00	1.6	1.0	1.3					
通水終了時間	月日+時刻								
通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後								
特記	<p>・石川浄水場運転の大きな変化 ・県担当者様の現場での指示など</p> <p>column1→ 引き続き左ポンプヘッドから液漏れあり、滴下速度に変化はないので経過観察。 右ポンプヘッドからも液漏れが始まるが、1時間に1滴程度の滴下速度のため本日は経過観察。明日もしくは明後日、プランジャーシールの交換を実施予定。</p> <p>column3→ 引き続き左ポンプヘッドから液漏れあり、滴下速度は1時間に1滴程度のため経過観察とした。来週初頭を目安にメンテナンス実施予定。 15:00時点での送水圧力はcolumn1:1.6 [MPa]、column2:1.0 [MPa]、column3:1.3 [MPa]であり、9:00時点の数値と変化がなかった。</p>								

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

大項目	実験名称	本実験-1			本実験-2			本実験-3	
	カラム	1	2	3	4	5	6	7	8
	活性炭(略称)	AC1	AC2	AC3					
	ポンプ型式	PU714M	PU714M	PU714M					
	ポンプシリアルNo.	50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061					
活性炭使用重量	g	2.0574	2.1288	2.1090					
活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0	24.0					
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.1	23.9	23.9					
充填密度	g/cm ³	0.51	0.54	0.53					
RSSCT開始時間	月日+時刻	2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26					
室温	℃ @9:00	20.3	20.3	20.3					
原水残留塩素(原水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0	1.0					
サンプル採取日時	月日+時刻	2020/9/26 12:00	2020/9/26 12:00	2020/9/26 12:00					
液漏れ	有無	有 無	有 無	有 無	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	対策内容	9/27にメンテナンス	経過観察	経過観察					
送液ポンプメンテ	開始時刻								
	終了時刻								
	所要時間								
日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)	1440	1440	1440					
日間通水量	L/日	22.27	22.80	22.37					
通水倍率	-	25857	26673	26208					
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)	15.5	15.8	15.5					
	②12時(n=3平均)	15.5	15.8	15.6					
	③15時(n=3平均)	15.6	15.8	15.5					
	平均値	15.5	15.8	15.5					
流量設定調整	有無	有 無	有 無	有 無	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	変更前 mL/min								
	変更後 mL/min								
送水圧力	MPa @9:00	1.7	1.1	1.4					
通水終了時間	月日+時刻								
通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後								
特記	<p>・石川浄水場運転の大きな変化 ・県担当者様の現場での指示など</p> <p>column1→ 引き続き左右ポンプヘッドから液漏れあり、滴下速度に変化はないので経過観察。明日、プランジャーシールの交換予定。</p> <p>column2→ 右ポンプヘッドから壁漏れが始まったが、数時間に1滴程度の速度のため経過観察。</p> <p>column3→ 引き続き左ポンプヘッドから液漏れあり、滴下速度は1時間に1滴程度のため経過観察とした。来週初頭を目安にメンテナンス実施予定。 15:00時点での送水圧力はcolumn1:1.7 [MPa]、column2:1.1 [MPa]、column3:1.4 [MPa]であり、9:00時点の数値と変化がなかった。</p>								

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

大項目	実験名称	本実験-1			本実験-2		本実験-3		
	カラム	1	2	3	4	5	6	7	8
	活性炭(略称)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5			
	ポンプ型式	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M			
	ポンプシリアルNo.	50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061	714M-1064	714M-1063			
	活性炭使用重量	g	2,0574	2,1288	2,1090				
	活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0	24.0				
	カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.1	23.9	23.9				
	充填密度	g/cm3	0.51	0.54	0.53				
	RSSCT開始時間	月日+時刻	2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26	2020/9/21 16:55	2020/9/21 16:58		
	室温	℃ @9:00	21.5	21.5	21.5	-	-		
	原水残留塩素(原水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
	サンプル採取日時	月日+時刻	2020/9/27 12:00	2020/9/27 12:00	2020/9/27 12:00	2020/9/27 17:30	2020/9/27 17:30		
	液漏れ	有無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有・無	有・無
		対策内容	ブランジャーシール交換	経過観察	経過観察				
		開始時刻	13:21						
	送液ポンプメンテ	終了時刻	13:53						
		所要時間 min	32						
	日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)	1440	1440	1440	-	-		
	日間通水量	L/日	22.37	22.75	22.37	-	-		
	通水倍率	-	31445	32404	31842	-	-		
		①9時(n=3平均)	15.4	15.8	15.4	-	-		
		②12時(n=3平均)	15.4	15.8	15.4	-	-		
		③15時(n=3平均)	15.8	15.8	15.6	15.6	15.7		
		平均値	15.5	15.8	15.5	15.6	15.7		
		有無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有・無	有・無
	流量設定調整	変更前 mL/min							
		変更後 mL/min							
	送水圧力	MPa @9:00	1.8	1.2	1.4	0.7	0.6		
	通水終了時間	月日+時刻							
	通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後							
特記	<p>column1→ 左右両ポンプヘッドのブランジャーシールの交換等、1回目のメンテナンスを実施(写真①、14:00)、所要時間は32 [min]であった。メンテナンス後の送水圧力は1.8 [MPa](14:00)、1.9 [MPa](15:30)と変化した。</p> <p>column2、3→ 左右ポンプヘッドから液漏れが確認できたが、数時間に1滴程度の速度のため経過観察。来週初頭を目安にメンテナンス実施。</p> <p>column4、5→ 実験-2を通水開始した(写真②~⑥、17:00)。送水圧力はcolumn4で0.7 [MPa]、column5では0.6 [MPa]、瞬時流量はcolumn4で15.5 [mL/min]、column5では15.7 [mL/min]であった。</p> <p>-石川浄水場運転の大きな変化 -県担当者様の現場での指示など</p>								

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

大項目	実験名称	本実験-1			本実験-2		本実験-3		
	カラム	1	2	3	4	5	6	7	8
	活性炭(略称)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5			
	ポンプ型式	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M			
	ポンプシリアルNo.	50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061	714M-1064	714M-1063			
	活性炭使用重量	g	2,0574	2,1288	2,1090	1,9963	1,8393		
	活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0		
	カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.1	23.9	23.9	24.0	24.0		
	充填密度	g/cm3	0.51	0.54	0.53	0.50	0.46		
	RSSCT開始時間	月日+時刻	2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26	2020/9/21 16:55	2020/9/21 16:58		
	室温	℃ @9:00	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3		
	原水残留塩素(原水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
	サンプル採取日時	月日+時刻	2020/9/28 12:00	2020/9/28 12:00	2020/9/28 12:00	2020/9/28 12:00	2020/9/28 12:00		
	液漏れ	有無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有・無	有・無
		対策内容	経過観察	経過観察	ブランジャーシール交換				
		開始時刻			14:04				
	送液ポンプメンテ	終了時刻			14:32				
		所要時間 min			28				
	日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)	1408	1440	1440	965	962		
	日間通水量	L/日	21.87	22.75	22.27	15.05	15.10		
	通水倍率	-	36908	38135	37452	3776	3789		
		①9時(n=3平均)	15.6	15.8	15.4	15.7	15.7		
		②12時(n=3平均)	15.6	15.8	15.5	15.7	15.7		
		③15時(n=3平均)	15.6	15.8	15.7	15.6	15.7		
		平均値	15.6	15.8	15.5	15.7	15.7		
		有無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有・無	有・無
	流量設定調整	変更前 mL/min			15.45				
		変更後 mL/min			15.40				
	送水圧力	MPa @9:00	2.1	1.3	1.5	0.8	0.7		
	通水終了時間	月日+時刻							
	通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後							
特記	<p>column1→ 左ポンプヘッドから液漏れが確認されたが、1日数滴程度の速度であるため経過観察。</p> <p>column2→ 左右ポンプヘッドから液漏れが確認できたが、数時間に1滴程度の速度のため経過観察。</p> <p>column3→ 1回目のメンテナンスを実施(14:00)、所要時間は28 [min]であった。左右のブランジャーシールの交換の他、カラムの排出ラインの部材を交換。直後の送水圧力は1.0 [MPa]であった。</p> <p>【PFOS-希釈液調製】 昨日到着したPFOS原液のアンブル2本を企業局の矢野様に提出、前回と同じ内容で溶媒置換と一次希釈を依頼した。</p> <p>【会議机を使用開始】 企業局からお貸しいたいた会議机2つのうち1つを使用し、資材置き場および作業机として展開した。次亜塩素酸ナトリウムやDPO試薬などの薬品類、および工具類を使用することから一部を養生し、それらを扱う作業はその部分で行うこととした(写真①および②)。</p> <p>-石川浄水場運転の大きな変化 -県担当者様の現場での指示など</p>								

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

大項目	実験名称	本実験-1			本実験-2		本実験-3		
	カラム	1	2	3	4	5	6	7	8
	活性炭(略称)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5			
	ポンプ型式	PUJ14M	PUJ14M	PUJ14M	PUJ14M	PUJ14M			
	ポンプシリアルNo.	50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061	714M-1064	714M-1063			
活性炭使用重量	g	2.0574	2.1288	2.1090	1.9963	1.8393			
活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0			
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.1	23.9	23.9	24.0	24.0			
充填密度	g/cm3	0.51	0.54	0.53	0.50	0.46			
RSSCT開始時間	月日+時刻	2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26	2020/9/27 16:55	2020/9/27 16:58			
室温	°C @9:00	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0			
原水残留塩素(原水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			
サンプル採取日時	月日+時刻	2020/9/29 12:00	2020/9/29 12:00	2020/9/29 12:00	2020/9/29 12:00	2020/9/29 12:00			
液漏れ	有無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有・無	有・無	有・無
	対策内容	経過観察	経過観察	経過観察					
送液ポンプメンテ	開始時刻								
	終了時刻								
	所要時間 min								
日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)	1440	1440	1412	1440	1440			
日間通水量	L/日	22.46	22.75	21.93	22.56	22.61			
通水倍率	-	42520	43866	42977	9435	9480			
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)	15.6	15.8	15.7	15.7	15.6			
	②12時(n=3平均)	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6			
	③15時(n=3平均)	15.6	15.8	15.8	15.8	15.6			
	平均値	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6			
流量設定調整	有無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有・無	有・無	有・無
	変更前 mL/min								
	変更後 mL/min								
送水圧力	MPa @9:00	2.3	1.3	1.2	0.8	0.8			
通水終了時間	月日+時刻								
通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後								
特記	<p>・石川浄水場運転の大きな変化・県担当者様の現場での指示など</p> <p>column1→左ポンプヘッドから液漏れが確認されたが、1日数滴程度の速度であるため経過観察。</p> <p>column2→左右ポンプヘッドから液漏れが確認できたが、数時間に1滴程度の速度のため経過観察。</p> <p>【計器類メンテナンス】 オン操実験室内に設置されている水質計器類のメンテナンス業者様2名が来訪。</p> <p>【実験①,⑧日後試料提出】 12:00から採水開始、13:30に企業局・矢野様に提出。</p> <p>【15:30時点の送水圧力[MPa]】 column1→2.3、column2→1.3、column3→1.2、column4→0.8、column5→0.8であり、9:00時点の数値から変化がなかった。</p>								

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

大項目	実験名称	本実験-1			本実験-2		本実験-3		
	カラム	1	2	3	4	5	6	7	8
	活性炭(略称)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5			
	ポンプ型式	PUJ14M	PUJ14M	PUJ14M	PUJ14M	PUJ14M			
	ポンプシリアルNo.	50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061	714M-1064	714M-1063			
活性炭使用重量	g	2.0574	2.1288	2.1090	1.9963	1.8393			
活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0			
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.1	23.9	23.9	24.0	24.0			
充填密度	g/cm3	0.51	0.54	0.53	0.50	0.46			
RSSCT開始時間	月日+時刻	2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26	2020/9/27 16:55	2020/9/27 16:58			
室温	°C @9:00	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0			
原水残留塩素(原水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			
サンプル採取日時	月日+時刻	2020/9/30 12:00	2020/9/30 12:00	2020/9/30 12:00	2020/9/30 12:00	2020/9/30 12:00			
液漏れ	有無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有・無	有・無	有・無
	対策内容	経過観察	経過観察	経過観察					
送液ポンプメンテ	開始時刻								
	終了時刻								
	所要時間 min								
日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)	1440	1440	1440	1440	1440			
日間通水量	L/日	22.46	22.75	22.70	22.66	22.46			
通水倍率	-	48131	49598	48696	15118	15095			
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)	15.6	15.8	15.8	15.8	15.8			
	②12時(n=3平均)	15.6	15.8	15.8	15.6	15.6			
	③15時(n=3平均)	15.6	15.9	15.9	15.8	15.7			
	平均値	15.6	15.8	15.8	15.7	15.7			
流量設定調整	有無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有 [○] 無	有・無	有・無	有・無
	変更前 mL/min								
	変更後 mL/min								
送水圧力	MPa @9:00	2.5	1.3	1.3	0.8	0.8			
通水終了時間	月日+時刻								
通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後								
特記	<p>・石川浄水場運転の大きな変化・県担当者様の現場での指示など</p> <p>column1および3→左ポンプヘッドから液漏れ、1日数滴程度の速度であるため経過観察。</p> <p>column2→左右ポンプヘッドから液漏れ、数時間に1滴程度の速度のため経過観察。</p> <p>【計器類メンテナンス】 昨日に引き続き水質計器類のメンテナンス業者様2名が来訪。</p> <p>【実験②,③日後試料提出】 12:00から採水開始、13:20に企業局・矢野様に提出。</p> <p>【15:00時点の送水圧力[MPa]】 column1→2.5、column2→1.4、column3→1.4、column4→0.9、column5→0.9であった。</p> <p>【通水倍率計算式】 活性炭層体積(cm3)=0.23(cm)×0.23(cm)×3.14×[圧密操作後の活性炭層厚](cm) 通水倍率=[前日までの通水倍率]+[日間通水量](L)÷1000÷[活性炭層体積](cm3)</p>								

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

担当者

大項目	実験名称	本実験-1			本実験-2			本実験-3	
	カラム	1	2	3	4	5	6	7	8
	活性炭(略称)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8
	ポンプ型式	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M
	ポンプシリアルNo.	50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061	714M-1064	714M-1063			
活性炭使用重量	g	2.0574	2.1288	2.1090	1.9963	1.8393	1.9510	2.1852	1.8236
活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.1	23.9	23.9	24.0	24.0	24.1	24.1	24.0
充填密度	g/cm ³	0.51	0.54	0.53	0.50	0.46	0.49	0.55	0.46
RSSCT開始時間	月日+時刻	2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26	2020/9/27 16:55	2020/9/27 16:58	2020/10/1 12:01	2020/10/1 12:03	2020/10/1 12:05
室温	℃ @9:00	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	-	-	-
原水残留塩素(原水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
サンプル採取日時	月日+時刻	2020/10/1 12:00	2020/10/1 12:00	2020/10/1 12:00	2020/10/1 12:00	2020/10/1 12:00	2020/10/1 13:00	2020/10/1 13:00	2020/10/1 13:00
液漏れ	有無	有	有	有	有	有	有	有	有
	対策内容	経過観察	経過観察	経過観察					
送液ポンプメンテ	開始時刻								
	所要時間 min								
日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)	1440	1440	1440	1440	1440	-	-	-
日間通水量	L/日	22.46	22.80	22.80	22.66	22.61	-	-	-
通水倍率	-	53743	55353	54463	20801	20802	-	-	-
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)	15.4	15.8	15.9	15.8	15.8	-	-	-
	②12時(n=3平均)	15.5	15.7	15.7	15.8	15.8	-	-	-
	③15時(n=3平均)	15.5	15.7	15.7	15.7	15.8	15.8	15.8	15.8
	平均値	15.5	15.7	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
流量設定調整	有無	有	有	有	有	有	有	有	有
	変更前 mL/min								
送水圧力	MPa @9:00	2.7	1.4	1.5	0.9	0.9	-	-	-
通水終了時間	月日+時刻								
通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後								
特記	<p>column1および2→ポンプヘッドから液漏れ、数時間に1滴程度の速度であるため経過観察。 column3→ポンプヘッドから液漏れ、1時間に2滴ほどの滴下速度。今週末を目安にメンテナンス予定。</p> <p>【実験③開始】12:00頃からcolumn6~8に通水開始。いずれも流量設定は15.40 [mL/min]にて開始し、13:00時点での送水圧力はcolumn6:0.8 [MPa]、column7:0.9 [MPa]、column8:0.7 [MPa]であった。13:00から0日後サンプルの採水開始、14:20に企業局、矢野様に提出。</p> <p>【PFOS一次希釈液受取】上記の0日後サンプルの提出時に、企業局、矢野様よりPFOS一次希釈液(250 [mL]ボトル2本)を受領。PFOSの濃度は①200,000 [ng/L]、②172,000 [ng/L]との旨、連絡を頂いた。</p> <p>【15:30時点の送水圧力[MPa]】column1→2.8、column2→1.4、column3→1.5、column4→0.9、column5→0.9、column6→0.8、column7→1.0、column8→0.8であった。</p>								

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

担当者

大項目	実験名称	本実験-1			本実験-2			本実験-3	
	カラム	1	2	3	4	5	6	7	8
	活性炭(略称)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8
	ポンプ型式	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M
	ポンプシリアルNo.	50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061	714M-1064	714M-1063	1066	1065	1067
活性炭使用重量	g	2.0574	2.1288	2.1090	1.9963	1.8393	1.9510	2.1852	1.8236
活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.1	23.9	23.9	24.0	24.0	24.1	24.1	24.0
充填密度	g/cm ³	0.51	0.54	0.53	0.50	0.46	0.49	0.55	0.46
RSSCT開始時間	月日+時刻	2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26	2020/9/27 16:55	2020/9/27 16:58	2020/10/1 12:01	2020/10/1 12:03	2020/10/1 12:05
室温	℃ @9:00	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
原水残留塩素(原水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
サンプル採取日時	月日+時刻	2020/10/2 12:00	2020/10/2 12:00	2020/10/2 12:00	2020/10/2 12:00	2020/10/2 12:00	2020/10/2 12:00	2020/10/2 12:00	2020/10/2 12:00
液漏れ	有無	有	有	有	有	有	有	有	有
	対策内容	経過観察	経過観察	ブランジャーシール交換	経過観察	経過観察	-	-	-
送液ポンプメンテ	開始時刻	-	-	14:12	-	-	-	-	-
	所要時間 min	-	-	26	-	-	-	-	-
日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)	1440	1440	1440	1440	1440	1259	1257	1255
日間通水量	L/日	22.27	22.66	22.70	22.70	22.75	19.89	19.86	19.83
通水倍率	-	59307	61060	60182	26497	26509	4969	4961	4974
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)	15.3	15.8	15.8	15.8	15.9	15.8	15.9	15.9
	②12時(n=3平均)	15.5	15.8	15.9	15.8	15.8	16.0	16.1	16.0
	③15時(n=3平均)	15.6	15.9	15.8	15.7	15.9	15.8	15.8	15.9
	平均値	15.5	15.8	15.8	15.8	15.9	15.9	15.9	15.9
流量設定調整	有無	有	有	有	有	有	有	有	有
	変更前 mL/min	15.50	-	-	-	-	15.40	15.40	15.40
送水圧力	MPa @9:00	3.1	1.5	1.7	0.9	1.0	0.9	1.1	0.8
通水終了時間	月日+時刻								
通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後								
特記	<p>【液漏れの状況とメンテナンス実施計画】column1→ポンプヘッドから液漏れ、1時間に数滴程度の速度のため後日メンテナンス実施。column2および4、5→ポンプヘッドから液漏れ、数時間に1滴程度の速度のため経過観察。column3→ポンプヘッドから1時間に2滴ほど滴下のため2回目のメンテナンス実施(14:00)。左右ブランジャーシール交換、所要時間26[分]であった。直後の送水圧力は1.7 [MPa]であり、メンテナンス実施前と変化はなかった。</p> <p>【実験①11日後試料提出】12:00から0日後サンプルの採水開始、14:40に企業局、矢野様に提出。追加のサンプル分取用ボトル(ガラスバイアル、ポリボトル)を受領。</p> <p>【企業局ご担当者様来訪】14:50から15:20にかけてご担当者様2名が来訪。column1の送水圧力やメンテナンスの方法、カラム接続時の気泡除去の方法などに関して相互にコミュニケーションを取る機会を頂いた。次回メンテナンス時にcolumn1の送液ポンプに関して、ポンプ出口付近のガードフィルターに目詰まりがないか確認するよう指示を頂いた。また、実験経過日数に対する送水圧力の変動にも意見交換させていただいた。</p> <p>【15:45時点の送水圧力[MPa]】column1→3.2、column2→1.5、column3→1.7、column4→0.9、column5→1.0、column6→0.9、column7→1.1、column8→0.8であった。</p>								

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

担当者

大項目	実験名称 カラム	本実験-1			本実験-2			本実験-3	
		1	2	3	4	5	6	7	8
		活性炭(略称)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7
	ポンプ型式	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M
	ポンプシリアルNo.	50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061	714M-1064	714M-1063	1066	1065	1067
活性炭使用重量	g	2.0574	2.1288	2.1090	1.9963	1.8393	1.9510	2.1852	1.8236
活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.1	23.9	23.9	24.0	24.0	24.1	24.1	24.0
充填密度	g/cm ³	0.51	0.54	0.53	0.50	0.46	0.49	0.55	0.46
RSSCT開始時間	月日+時刻	2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26	2020/9/27 16:55	2020/9/27 16:58	2020/10/1 12:01	2020/10/1 12:03	2020/10/1 12:05
室温	℃ @9:00	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
原水残留塩素(原水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
サンプル採取日時	月日+時刻	2020/10/3 12:00	2020/10/3 12:00	2020/10/3 12:00	2020/10/3 12:00	2020/10/3 12:00	2020/10/3 12:00	2020/10/3 12:00	2020/10/3 12:00
液漏れ	有無	有	有	有	有	有	有	有	有
	対策内容	ブランジャーシール交換	経過観察	経過観察	経過観察	経過観察	-	-	-
送液ポンプメンテ	開始時刻	13:58	-	-	-	-	-	-	-
	終了時刻	14:26	-	-	-	-	-	-	-
	所要時間 min	28	-	-	-	-	-	-	-
日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)	1440	1440	1414	1440	1440	1440	1440	1440
日間通水量	L/日	22.27	22.80	22.39	22.70	22.85	22.85	22.94	22.94
通水倍率	-	64870	66803	65822	32192	32240	10677	10693	10729
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)	15.5	15.7	15.8	15.6	15.8	15.7	15.8	15.8
	②12時(n=3平均)	15.5	15.8	15.7	15.6	15.7	15.9	15.8	15.7
	③15時(n=3平均)	15.7	15.9	15.9	15.8	15.9	15.9	15.8	15.8
	平均値	15.6	15.8	15.8	15.7	15.8	15.8	15.8	15.8
流量設定調整	有無	有	有	有	有	有	有	有	有
	変更前 mL/min	15.65	-	-	-	-	-	-	-
	変更後 mL/min	15.30	-	-	-	-	-	-	-
送水圧力	MPa @9:00	3.4	1.6	1.9	0.9	1.1	1.0	1.3	0.9
通水終了時間	月日+時刻								
通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後								
特記	【液漏れの状況とメンテナンス実施】 column1→ポンプヘッドから1時間に3滴ほど滴下のため2回目のメンテナンス実施(14:00)。左右ブランジャーシールおよびガードフィルターの交換と清掃(写真①~④)。所要時間28 [min]であった。直後の数値は送水圧力が2.0 [MPa]まで降下、瞬時流量が15.9 [mL/min]まで上昇した(15:00)。流量設定を15.65 → 15.30 [mL/min]に変更(15:10)し、直後の瞬時流量は15.7 [mL/min](15:15)であった。 column2→5→ポンプヘッドから液漏れ、数時間に1滴程度の速度のため経過観察。 column6→8→液漏れなし								
	【実験② 6日後試料サンプリング】 12:00から6日後サンプルの採水開始、土曜日のため週明けに提出予定。								
	【15:00時点の送水圧力[MPa]】 column1→2.0、column2→1.6、column3→2.0、column4→0.9、column5→1.1、column6→1.0、column7→1.4、column8→0.9であった。								
	【石川浄水場運転の大きな変化・県担当者様の現場での指示など								

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

担当者

大項目	実験名称 カラム	本実験-1			本実験-2			本実験-3	
		1	2	3	4	5	6	7	8
		活性炭(略称)	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7
	ポンプ型式	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M	PU714M
	ポンプシリアルNo.	50011(デモ機)	714M-1062	714M-1061	714M-1064	714M-1063	1066	1065	1067
活性炭使用重量	g	2.0574	2.1288	2.1090	1.9963	1.8393	1.9510	2.1852	1.8236
活性炭充填時の炭層厚	cm	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
カラム圧密操作後の活性炭層厚	cm	24.1	23.9	23.9	24.0	24.0	24.1	24.1	24.0
充填密度	g/cm ³	0.51	0.54	0.53	0.50	0.46	0.49	0.55	0.46
RSSCT開始時間	月日+時刻	2020/9/21 17:15	2020/9/21 17:22	2020/9/21 17:26	2020/9/27 16:55	2020/9/27 16:58	2020/10/1 12:01	2020/10/1 12:03	2020/10/1 12:05
室温	℃ @9:00	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3
原水残留塩素(原水槽貯留初期)	mg/L	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
サンプル採取日時	月日+時刻	2020/10/4 12:00	2020/10/4 12:00	2020/10/4 12:00	2020/10/4 12:00	2020/10/4 12:00	2020/10/4 12:00	2020/10/4 12:00	2020/10/4 12:00
液漏れ	有無	有	有	有	有	有	有	有	有
	対策内容	-	シール交換、フィルター清掃	フィルター清掃	経過観察	経過観察	-	-	-
送液ポンプメンテ	開始時刻	-	13:38	14:20	-	-	-	-	-
	終了時刻	-	14:06	14:29	-	-	-	-	-
	所要時間 min	-	28	9	-	-	-	-	-
日間通水時間(前日9:00起点)	min(メンテ除く)	1412	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440
日間通水量	L/日	21.98	22.75	22.75	22.56	22.75	22.80	22.75	22.70
通水倍率	-	70361	72534	71553	37851	37948	16372	16376	16425
瞬時流量 mL/min	①9時(n=3平均)	15.4	15.7	15.7	15.6	15.8	15.8	15.8	15.6
	②12時(n=3平均)	15.6	15.8	15.7	15.6	15.7	15.8	15.8	15.6
	③15時(n=3平均)	15.8	15.9	15.7	15.7	15.7	15.8	15.7	15.6
	平均値	15.6	15.8	15.7	15.6	15.7	15.8	15.8	15.6
流量設定調整	有無	有	有	有	有	有	有	有	有
	変更前 mL/min	15.30	15.40	15.40	15.40	15.40	15.30	15.20	15.30
	変更後 mL/min	15.45	-	-	-	-	-	-	-
送水圧力	MPa @9:00	2.2	1.7	2.2	0.9	1.1	1.0	1.8	0.9
通水終了時間	月日+時刻								
通水終了後の活性炭層厚	mm @21日後								
特記	【液漏れの状況とメンテナンス実施】 column1→液漏れなし。 column2→ポンプヘッドから1時間に3滴ほど滴下のため1回目のメンテナンス実施(13:38~)。左右ブランジャーシール交換およびガードフィルターの清掃(写真①および②)。所要時間28 [min]であった。直後に測定した送水圧力は1.6 [MPa]であった(15:00)。 column3→ポンプヘッドから液漏れ、1時間に2滴程度の速度であった。液漏れに関しては許容範囲であったが、ガードフィルターの清掃を行った(写真③および④)。所要時間9 [min]であった。直後に測定した送水圧力は1.8 [MPa]であった(15:00)。 column4、5→ポンプヘッドから液漏れ、1時間に1滴程度の速度のため経過観察。 column6→8→液漏れなし								
	【実験③ 3日後試料サンプリング】 12:00から3日後サンプルの採水開始、日曜日のため週明けに提出予定。								
	【15:00時点の送水圧力[MPa]】 column1→2.2、column2→1.6、column3→1.8、column4→0.9、column5→1.1、column6→1.0、column7→2.0、column8→0.9であった。								
	【石川浄水場運転の大きな変化・県担当者様の現場での指示など								

2020年10月11日(日)
担当者: [redacted]

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

Table with columns for Experiment Name, Column (1-8), and various experimental parameters like active carbon usage, flow rate, and leakage status.

2020年10月12日(月)
担当者: [redacted]

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

Table with columns for Experiment Name, Column (1-8), and various experimental parameters like active carbon usage, flow rate, and leakage status.

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

担当者: []

Table with columns: 大項目, 実験名称, カラム, 本実験-1 (AC1-AC3), 本実験-2 (AC4-AC5), 本実験-3 (AC6-AC7), 本実験-4 (AC8-AC7). Rows include: 活性炭使用量, 活性炭充填時の炭層厚, カラム圧密操作後の活性炭層厚, 充填密度, RSSCT開始時間, 室温, 原水残留塩素, サンプル採取日時, 液漏れ, 送液ポンプメンテ, 日間通水時間, 日間通水量, 通水倍率, 瞬時流量, 流量設定調整, 送水圧力, 送水終了時間, 通水終了後の活性炭層厚. Includes detailed notes on leaks and maintenance.

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

担当者: []

Table with columns: 大項目, 実験名称, カラム, 本実験-1 (AC1-AC3), 本実験-2 (AC4-AC5), 本実験-3 (AC6-AC7), 本実験-4 (AC8-AC7). Rows include: 活性炭使用量, 活性炭充填時の炭層厚, カラム圧密操作後の活性炭層厚, 充填密度, RSSCT開始時間, 室温, 原水残留塩素, サンプル採取日時, 液漏れ, 送液ポンプメンテ, 日間通水時間, 日間通水量, 通水倍率, 瞬時流量, 流量設定調整, 送水圧力, 送水終了時間, 通水終了後の活性炭層厚. Includes detailed notes on leaks and maintenance.

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

Table with columns for experimental runs (本実験-1 to -4) and rows for various parameters like flow rate, pressure, and leakage. Includes a '特記' (Remarks) section at the bottom.

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

Table with columns for experimental runs (本実験-1 to -4) and rows for various parameters like flow rate, pressure, and leakage. Includes a '特記' (Remarks) section at the bottom.

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

担当者:石嶺 金城

Table with columns for experimental parameters (カラム, 活性炭, etc.) and specific values for columns 4, 5, 7, 8, and additional columns A-1, A-2, B-1, B-2. Includes notes on pump stops and flow adjustments.

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

担当者:小島、玉城

Table with columns for experimental parameters and specific values for columns 4, 5, 7, 8, and additional columns A-1, A-2, B-1, B-2. Includes notes on flow adjustments and pump stoppage.

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

担当者: 新城、金城

Table with 10 columns: 大項目, 実験名称, 本実験-② (4, 5), 本実験-③ (7, 8), 追加実験-A (A-1, A-2), 追加実験-B (B-1, B-2). Rows include parameters like 活性炭使用重量, RSSCT開始時間, 室温, 流量設定調整, etc.

RSSCT(高圧)実験 運転管理日報

担当者: 小島

Table with 10 columns: 大項目, 実験名称, 本実験-② (4, 5), 本実験-③ (7, 8), 追加実験-A (A-1, A-2), 追加実験-B (B-1, B-2). Rows include parameters like 活性炭使用重量, RSSCT開始時間, 室温, 流量設定調整, etc.

現地写真集

【送液ポンプ・遠景①】

ポンプ8台稼働時

手前床上に添加原水槽、
実験台上に送液ポンプを設置

添加原水槽の下には
薬品吸収用のシートを敷設



【送液ポンプ・遠景②】

ポンプは当初計画から変更し、
スタッキングしてすべて実験台上に集約



【送液ポンプ・近景①】

添加原水の液漏れが想定されたため、
ポンプヘッド下にも薬品吸収用のシートを設置

送液ポンプのドレイン廃液は
1ヶ所にまとめて配管した



【送液ポンプ・近景②】

PTFEを含む部材からのコンタミが予想されたため、

ポンプ導入ラインは本体付属のものから
PEEK製のものに換装した

ポンプヘッドの導入側のラインも
同様の理由からステンレス製のものに換装した

ドレインに関しては実験に影響がないため、
本体付属のものを使用した



【カラム・遠景】

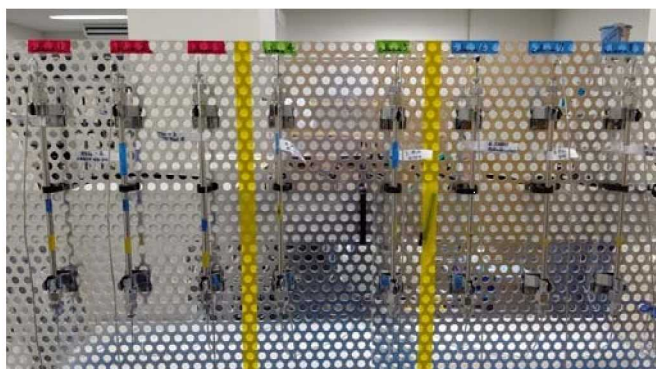
送液ポンプの吐出側からステンレス製ラインを配管、
カラムはすべて実験台横に集約した



【カラム・近景①】

8系列稼働時

左から実験①、②、③の順に設置した



【カラム・近景②】

9系列稼働時の採水風景

採水容器が浮いてしまわないよう下にスペーサーを敷き、
そのうえで容器を置いて採水を行った

流量の規定値は15.4mL/minであったため、
採水には80min程度を費やした



【Mn砂ろ過装置】

オゾン水に塩素添加し、Mn砂ろ過を行った

簡易ポンプを使用して脚立上のバケツに送液し、
自重で2本の装置に分配した

下部のラインからMn砂ろ過水を得、バケツに貯留した



【膜ろ過装置】

Mn砂ろ過水に対して膜ろ過を行った

簡易ポンプを使用して送液し、
膜ろ過水を試薬添加槽へと貯留した



【試薬添加槽】

膜ろ過水に対してPFOS類の添加を行った

PFOS類二次希釈液を1000:1の比率で加え、
ひしゃくを用いてよく混和した

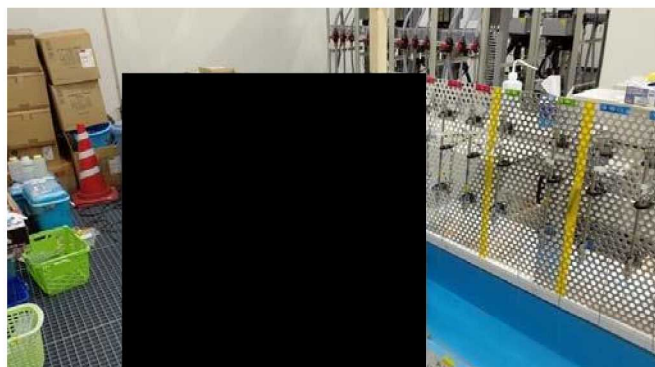
得られた添加原水を添加原水槽へ分配した



【流量測定】

毎日9:00、12:00、15:00に
それぞれの系列において流量を測定した

25mLメスシリンダーを用いて1分間採水し、
規定値15.4[mL/min]を維持するよう
送液ポンプの設定値を調整した

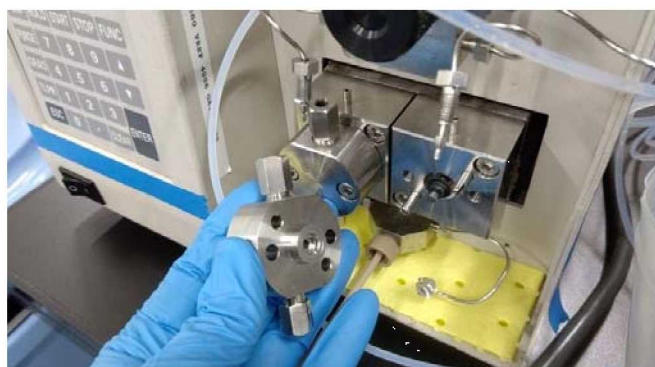


【送液ポンプメンテナンス①】

プランジャーシール交換

長時間の稼働のためシール材が摩耗し、
ポンプヘッドからの液漏れが生じる、
流量が不安定になるなどの症状が出る

ポンプヘッドを外し、
内部のシール材の交換や清掃を行う



【送液ポンプメンテナンス②】

ラインフィルター清掃

ポンプ吐出部のフィルターが目詰まり、送液圧力の上昇などの症状がでる

フィルターを外し、ペーパーなどを用いて清掃する



【送液ポンプメンテナンス③】

洗浄シール交換

プランジャーシールと同様にシール材が摩耗し、ポンプヘッドからの液漏れなどの症状が出る

ポンプヘッドと洗浄ヘッドを外し、内部のシール材の交換や清掃を行う



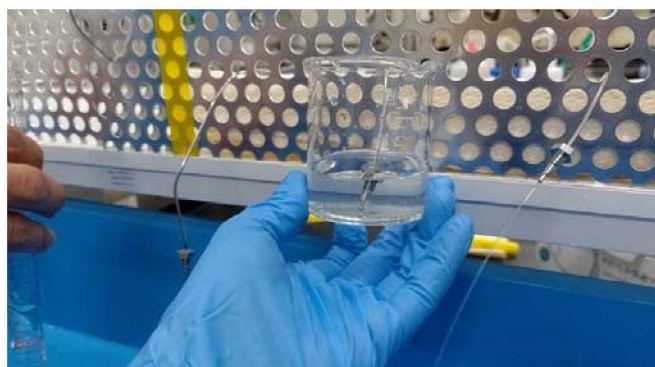
【送液ポンプメンテナンス④】

送液ライン内のエア抜き確認

メンテナンスから復旧させる際、気泡のカラム内への流入を防ぐため実施

数分間に渡って目視で確認し、カラムへの接続を行った

実験開始時にも同じ作業を行った

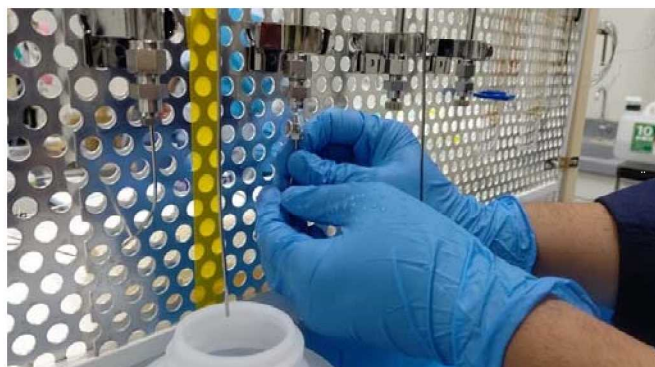


【送液ポンプメンテナンス⑤】

送液ラインのカラムへの接続

エア抜きと同様に実施

実験開始時にも同じ作業を行った



【実施設計編】

第 1 章 特記仕様書

北谷浄水場粒状活性炭実施設計業務委託

特記仕様書

令和 3 年 2 月

沖縄県企業局

(株)日水コン沖縄事務所

目 次

第 1 章	総 則	1
第 2 章	活性炭吸着池機械設備機器仕様	9
第 3 章	機器据付仕様	12
第 4 章	撤去工事仕様	14
	現場施工における条件明示	15

1 工事名 北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事（その ）

2 工事場所 北谷町字宮城地内

3 工 期 自 令和 年 月 日
至 令和 年 月 日

1. 総括事項

- (1) 本特記仕様書は、沖縄県企業局が発注する北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事(その)に適用するものである。
- (2) 本工事は、すべて沖縄県企業局工事請負契約約款並びに本特記仕様書、日本水道協会発刊「水道工事標準仕様書（設備工事編）」、設計図に基づいて施工しなければならない。本特記仕様書に記載なき事項についても、関連法令・規格及び基準、その他参考図書に基づき施工しなければならない。なお、これら図書等については、最新版を適用すること。
- (3) 受注者は、工事着手前に必要な調査・測量を行い、設計図書を確認すると共に本特記仕様書及び設計図書の記載事項に疑義を生じた場合は、すべて監督職員と協議し、施工しなければならない。なお、協議を怠って生じた損害は、すべて受注者の負担とする。
- (4) 受注者は、工事着手に先立ち、現地の状況、関連工事、その他について綿密な調査を行い、充分実情把握の上、施工をしなければならない。
- (5) 受注者は、監督職員が主催する工程、設計、施工及び検査等の打合せ会議に出席しなければならない。

2. 工事場所

北谷町字宮城地内

3. 工事期間

本工事期間は契約書によるものとし、竣工期間を厳守し、一切の工事を完了しなければならない。

4. 現場事務所の設置

- (1) 受注者は、工事現場内又は、現場付近に現場事務所を設置しなければならない。
- (2) 事務所内には、本工事の概要、実施工程表、組織表、その他必要事項を一目で理解できるよう作成し、掲示すること。

5. 県産品の優先使用について

- (1) 本工事に使用する資材等が県内で産出又は製造され、その規格、品質、価格等が適正である場合は、これを優先して使用するよう努めなければならない。
- (2) 県産品の使用資材について、県産建設資材使用状況報告書を毎月提出すること。

6. 労務費について

本工事の労務費は、平成7年4月1日以降法定労働時間を考慮したものとしている。

7. 本工事の設計時期

本工事設計書は、下水道用設計標準歩掛表（令和2年度）に基づき作成している。又、労務単価、資材単価等は令和3年3月時点の価格を採用している。

8. 作業排水等の場外流出に関する事項について

(1) 試運転を含む工事期間中で発生する、清掃水や床排水につき場外（海域）に濁水のままで直接排出させてはならない。排出基準項目・基準値に則して必要な対策を講じるものとする。

(2) 不測の事態により、異常な水質の場外排出が発生の場合、受注者は迅速に対策を行い、監督職員に報告しなければならない。

9. 提出書類

(1) 受注者は、契約締結後、速やかに着手届、現場代理人届、主任技術者届又は監理技術者届（経歴を含む）を監督職員に提出しなければならない。また、現場代理人、主任技術者又は監理技術者の雇用関係を証明する書類（健康保険被保険者証等の写し）を提示しなければならない。

(2) 受注者は、契約締結後、速やかに施工計画書を監督職員に提出しなければならない。

(3) 受注者は、契約締結後、速やかに本特記仕様書及び設計図に基づき下記の書類を監督職員に提出しなければならない。

- ① 運転方案計画書
- ② その他発注者が必要と認めるもの

(4) 受注者は、監督職員が指定する様式により、月報その他の書類を遅滞なく提出しなければならない。

- ① 全体工程表
- ② 月間工程表（バーチャート）（月一度の月間工程会議に工事实績と予定を提出する）
- ③ 工事月報（月一度の月間工程会議に工事实績と進捗状況写真を提出する）
- ④ 週間工程表（バーチャート）（週一度の週間工程会議に工事实績と予定を提出する）
- ⑤ 使用材料及び機材報告
- ⑥ 工種別作業内容、進捗状況、出来高
- ⑦ その他発注者が必要と認めるもの

(5) 使用資機材等は「水道施設の技術的基準を定める省令 第15号」の第1条第17号を満足する証明書、各種試験成績書等を提出しなければならない。

(6) 受注者は、監督職員の指示に従って、着工前写真、工程写真、完成写真等を適時撮影し、これをアルバム状にまとめて監督職員に提出しなければならない。なお、写真やアルバムの大きさ、部数等は事前に監督職員と打合せを行うこととする。

(7) 施工体制台帳の提出

- ① 受注者は、別紙「様式例4（工事担当技術者）」を追加して施工体制台帳を作成し工事現場に備えるとともに、監督職員に提出するものとする。なお、様式には監理技術者、主任技術者（下請負を含む）及び元請負の専門技術者（専任している場合のみ）の顔写真、氏名、生年月日、所属会社名を記載するものとする。
- ② 受注者は、工事を施工するために締結した下請契約の代金の総額によらず、施工体制台帳を作成し提出しなければならない。施工体制に変更が生じた場合は、その都度提出すること。
- ③ 施工体制台帳には、全ての下請業者について、下請契約の請負代金額を明示した請負契約書を添付すること。

10. 竣工図書

(1) 工事竣工図書の作成

受注者は、竣工図書として、電子納品される成果品とは別に下記の書類を提出すること。

※部数について以下を基準とするが、監督職員と協議して決定すること。

- | | |
|------------------------|----|
| ① 竣工図製本（A1） | 3部 |
| ② 竣工図製本（A3） | 3部 |
| ③ 竣工図データ（TIFF形式、SFC形式） | 1式 |

※CD-R又はDVD-Rに格納し提出

- ④ その他発注者が必要と認めるもの

(2) 受注者は上記と同様、関連する下記事項のものにつき、官庁提出書類等の写しを提出すること。

- ① 各種手続き並びに許認可等の書類の写し
② その他発注者が必要と認めるもの

11. 電子納品

(1) 本工事は電子納品対象工事とする。電子納品とは、工事の各段階の最終成果を電子データで納品することをいう。ここでいう電子データとは、各種納品要領等（以下「要領」という）に示されたファイルフォーマットに基づいて作成されたものを指す。

なお、書面における署名又は押印の取扱については、別途監督職員と協議するものとする。成果品は「要領」に基づいて作成した電子データを電子媒体（CD-R）で3部提出する。「要領」で特に記載の無い項目については、監督職員と協議のうえ決定するものとする。

(2) 成果品は電子納品チェックシステムによるチェックを行い、エラーが無いことを確認した後、ウイルス対策を実施すること。

又、「要領」に基づいた電子データとなっているか（一財）沖縄県建設技術センターにて確認を受け、「確認証」の発行を受けること。

12. 公共事業労務費調査に対する協力

(1) 本工事が発注者の実施する公共事業労務費調査の対象となった場合、受注者は、調査票等に必要事項を正確に記入し発注者に提出する等、必要な協力を行わなければならない。又、本工事の工期経過後においても同様とする。

(2) 調査票等を提出した事業所を監督職員が事後に訪問して行う調査・指導の対象に受注者になった場合、受注者はその実施に協力しなければならない。又、本工事の工期経過後においても同様とする。

(3) 公共事業労務費調査の対象工事となった場合に正確な調査票等の提出が行えるよう、受注者は、労働基準法等に従って就業規則を作成すると共に賃金台帳を調整・保存する等、日頃より使用している現場労働者の賃金時間管理を適切に行っておかななければならない。

(4) 受注者が本工事の一部について下請契約を締結する場合には、受注者は下請工事の受注者（当該下請工事の一部に係る二次以降の下請人を含む。）が前（3）項と同様の義務を負う旨を定めなければならない。

13. 建設リサイクル法の遵守

(1) 受注者は、本工事により発生する特定建設資材廃棄物について、「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」（建設リサイクル法）及び「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（廃棄物処理法）を遵守し適正に処理しなければならない。

- (2) 受注者は、その請け負った建設工事の全部又は一部を他の建設業を営む者に請け負わせようとするときは、当該他の建設業を営む者に対し、建設リサイクル法第10条第1項第1号から第5号までに掲げる事項について、別紙告知書様式で告げなければならない。（下請者への告知）
- (3) 受注者は、工事着手前に、「再生資源利用計画書」及び「再生資源利用促進計画書」を監督職員に提出しなければならない。
- (4) 受注者は、「再生資源利用計画書」及び「再生資源利用促進計画書」に従い特定建設資材廃棄物が適正に処理されたことを確認し、工事完了時に、「再資源化等報告書」、「再生資源利用実施書」及び「再生資源利用促進実施書」を監督職員に提出しなければならない。
- (5) 本工事で発生する建設廃棄物を現場外に搬出する場合、以下のいずれかとする。但し、島内、もしくは建設発生木材（伐採木を含む）・建設汚泥については工事現場から50km以内に以下の施設がない場合は、この限りではない。
- ① 搬出した廃棄物の種類を原材料とするゆいくる材を製造している再資源化施設へ搬出
 - ② 搬出した廃棄物の種類を原材料とするゆいくる材の製造を行っていないが、そこで再資源化された後にゆいくる材製造業者へ出荷している施設へ搬出
- (6) 本工事における再資源化に要する費用（運搬費を含む処分費）は、前記（5）に掲げる施設のうち受入条件が合うものの中から、運搬費と受入費の合計が最も経済的になるものを見込んでいる。従って、正当な理由がある場合を除き再資源化に要する費用の変更は行わない。
- ※ 正当な理由がある場合とは次の場合をいう。
- ①当初搬入を予定していた再資源化施設が、災害不可抗力により利用不可能となった場合
 - ②その他正当な理由と監督職員が認める場合
- (7) 受注者は、工事請負契約前に建設リサイクル法第13条に基づく書面を作成し、建設廃棄物搬出先等について発注者の確認を得なければならない。

1.4. 現場の管理

受注者は、監理技術者、主任技術者（下請負を含む）及び元請負の専門技術者（専任している場合のみ）に、工事現場において、工事名、工期、顔写真、所属会社名及び社印の入った名札を着用させるものとする。

<名札の例>

監理（主任）技術者 氏名 ○○ ○○ 工事名 ○○○○○○○ 工期 自○○年○○月○○日 至○○年○○月○○日	
<div style="border: 1px solid black; width: 80%; margin: 0 auto; padding: 5px;"> 写 真 2 cm × 3 cm 程度 </div>	◇◇◇◇◇株式会社 印

注1) 用紙の大きさは、名刺サイズ以上とする。

注2) 所属会社の社印とする。

1 5. 工事保険等

(1) 建設業退職金共済に加入（請負金額 500 万円以上の工事）

- ① 建退共制度の発注者用掛金収納書を契約後 1 ヶ月以内に監督職員に提出すること。
- ② 当該建設現場に「建設業退職金共済制度適用事業主工事現場」の標識を掲示すること。
- ③ 未加入下請業者に対して加入を指導すること。

(2) 建設労災補償共済に加入

- ① 建設労災補償制度への加入証明書等を契約後 1 ヶ月以内に監督職員に提出すること。

(3) 火災保険、賠償責任保険、その他必要な保険に加入すること。（保険期間は、原則として工事着工日から工事完成日+14 日以上とする）

1 6. 関連規定等の適用

受注者は、本特記仕様書に記載する工事の関係規定等に従い、誠実にしてかつ完全な施工を行うものとする。

(1) 施工に関するもの

- ① 労働基準法
- ② 労働安全衛生法
- ③ 労働者災害補償保険法
- ④ 建設業法
- ⑤ 建築基準法
- ⑥ 消防法
- ⑦ 公害対策基本法
- ⑧ 大気汚染防止法
- ⑨ 水質汚濁防止法
- ⑩ 電気事業法
- ⑪ 高圧ガス取締法
- ⑫ 毒物及び劇物取締法
- ⑬ その他関係法令、条例並びに県条例

(2) 機器、材料に関するもの

- ① 日本工業規格（J I S）
- ② 電気学会電気規格調査会標準規格（J E C）
- ③ 日本電機工業会規格（J E M）
- ④ 日本電線工業会規格（J C S）
- ⑤ 日本水道協会規格（J W W A）
- ⑥ 日本ダクタイル鋳鉄管協会規格（J D P A）
- ⑦ その他関連規格

1 7. 運転調整計画書並びに、報告書の提出

段階毎の作業やテスト・調整の目的、その手順等につき受注者は判定方法等を含めた計画書を作成提出のこと。

計画書に基づき報告書も段階毎に提出とする。なお、本工事に関連した他受注者と共同で調整事項の関連が解るようにし、監督職員を交えて内容協議を行うことにする。

1 8. 試運転調整に要する費用、その他

単体調整や組合せ試験に要する費用は、全て受注者の負担とする。但し、総合試運転実施に要する電力、薬品、原水及び浄水については、発注者より支給するものとする。

調整期間中を含めて受注者の責めに起因する不具合が発見、又は発生した分についての復旧対応は、全て受注者の負担とする。

19. 工事施工における高度技術・創意工夫・社会性に対する評価

受注者は、工事施工において、自ら立案実施した創意工夫や技術力に関する項目、又は地域社会への貢献として評価できる項目に関する事項について、工事完了時までに所定の様式により提出することができる。

20. 下請業者の県内企業優先活用

受注者は、下請契約の相手方を県内企業（主たる営業所を沖縄県内に有するもの）から選定するように努めなければならない。

21. 対外補償及び保護

工事中は人畜、構造物、田畑、工作物等に損傷を与えぬよう注意しなければならない。万一、損傷を与えた場合は、受注者の費用をもって補償又は原形に復するものとする。これらの処理に対し、後日、苦情申し立ての原因を残さぬよう十分注意すると共に、同意書、領収書等その証となる書類の写しを監督職員に提出しなければならない。

22. 他工事との協調

(1) 本工事の他、諸種の工事が同一場所内で行われており、その施工時期は各々単独、あるいは同時に施工されるものであるが、各々密接な関連を持っている。従って、受注者は自己担当工事の他これに関連する工事には一層の注意を払い、共に協調の精神をもって工事の円滑な進捗をはかるよう努力すること。

(2) 特に、同一構内及び同一構造物内外で行われる種類の異なる工事は、施工順序、施工時期、関連箇所の施工方法等については十分打合せの上、支障のないよう工事の進行をはかること。

23. 情報共有システム(CALS)の使用

(1) 本工事は沖縄県が指定する情報共有システム(CALS)を利用するものとする。

現場事務所等に情報共有システム(CALS)が使用可能なインターネット環境を整えること。なお、現場条件等により、当該整備が不可能な場合は、監督職員と協議すること。

情報共有システム(CALS)とは、業務や工事の履行期間中において、受発注者間でインターネットを介して協議簿、図面等の各種データのやり取りを行い、情報共有サーバーを用いてそれらのデータを共有・交換するものである。

(2) 沖縄県 CALS システム使用許諾料の支払い

受注者は、沖縄県 CALS システムの利用にあつては、使用許諾料を、「沖縄県 CALS システム運營業務」を受託している者に支払うこと。

(3) 支払証明

沖縄県 CALS システムの使用許諾料を支払ったときは、速やかに監督職員に支払いの事実を報告し確認を受けること。（支払いの事実を証明する書類（銀行振り込みの写し等）を提出）

24. ワンデーレスポンス実施対象工事

(1) この工事はワンデーレスポンス実施対象工事である。

「ワンデーレスポンス」とは

受注者からの質問、協議への回答は、基本的に「その日のうち」に回答するよう対応することである。但し、即日回答が困難な場合は、いつまでに回答が必要なのかを受注者と協議のうえ、回答期限を設けるなど、何らかの回答を「その日のうち」にすることである。

- (2) 受注者は計画工程表の提出にあたって、作業間の関連把握や工事の進捗状況等を把握できる工程管理方法について、監督職員と協議を行うこと。
 - (3) 受注者は工事施工中において、問題が発生した場合及び計画工程と実施工程を比較照査し、差異が生じた場合は速やかに文書にて監督職員へ報告すること。
 - (4) 効果・課題等を把握するためアンケート等のフォローアップ調査を実施する場合があるため、協力すること。
25. 本工事の請負代金額の変更協議をする場合及び本工事と関連する工事を本工事受注者と随意契約する場合の取扱いについて
- 本工事の請負代金額の変更協議をする場合及び本工事と関連する工事を本工事受注者と随意契約する場合にあたって、変更協議又は関連する工事の予定価格の算定は、本工事の請負費率（元契約額÷元設計額）を変更設計額又は関連工事の設計額に乗じた額で行う。
26. 不正軽油の使用の禁止等について
- (1) 受注者は、工事の施工に当たり、工事現場で使用し、若しくは使用させる車両（資機材等の搬出入車両を含む。）又は建設機械等の燃料として、不正軽油（地方税法第144条の32の規定に違反する燃料をいう。）を使用し、又は使用させてはならない。
 - (2) 受注者は、県の税務当局が実施する使用燃料の抜取調査に協力しなければならない。
27. 資材等の運搬について
- 資材等の運搬が運送契約によって行われる場合は、正規の運転免許を受けた者の車両に限って使用することとする。
28. 主任技術者又は監理技術者の専任を要しない期間について
- (1) 1級土木施工管理技士の資格を有する者、若しくはそれと同等以上と認められる者で、監理技術者資格者証及び監理技術者講習修了証を有し、資格確認申請締切日以前に3か月以上の雇用関係にある者を選任で配置できる者。
「それと同等以上と認める者」とは、技術士（上下水道部門、総合技術監理部門「上下水道」、衛生工学部門「水質管理」・「廃棄物管理」、総合技術監理部門「水質管理」・「廃棄物管理」）の資格を有する者。
 - (2) 請負契約の締結後、現場施工に着手するまでの期間（現場事務所の設置、資機材の搬入又は仮設工事等が開始されるまでの期間）については、主任技術者又は監理技術者の工事現場への専任を要しない。なお、現場施工に着手する日については、請負契約の締結後、監督職員との打合せにおいて定める。
 - (3) 工事完成後、検査が終了し（発注者の都合により検査が遅延した場合を除く）、事務手続き、後片付け等のみが残っている期間については、主任技術者又は監理技術者の工事現場への専任を要しない。なお、検査が終了した日は、監督職員が工事の完成を確認した旨、受注者に通知した日（工事検査合格通知書における日付）とする。
29. 衛生管理について
- 受注者は、現に稼働している取水ポンプ場、浄水場、増圧ポンプ場、調整池の構内において、工事又は業務に従事する日数が通算で30日以上になる者、又は浄水、送水過程の水に直接触れる作業や触れる可能性のある作業に従事する者について、次の書類を事前に監督職員に提出しなければならない。

但し、立ち入る場所が限定され水道水の汚染のおそれがないと判断される場合等は、対象外とする。

(1) 水道法第21条に基づく健康診断を実施し感染症の病原体検査（赤痢菌、サルモネラ、腸チフス、パラチフス）を実施し、病原体の保有者でないことを証明する書類を提出すること。なお、証明書の有効期間は、6ヶ月とする。

(2) 作業員名簿。

(3) その他監督職員が必要と認めるもの。

30. 地下埋設物・躯体埋込み配管等の確認について

施工区域内の地下埋設物・躯体埋込み配管等については、設計図書及び貸与された資料等（既存完成図、施工図等）を確認のうえ、現地で調査を行うこと。

第2章 活性炭吸着池機械設備機器仕様

1. 概要

本工事は、活性炭吸着池内において必要なる過材の搬入・充填工事を施工する。
ろ過形式は重力式下向流であり、自然平衡方式により定流量ろ過を行うものである。

2. 活性炭吸着池設計諸元

処理水量	通常	189,100m ³ /日
吸着池数	全体	16池 (8池×2系列)
	今回	4池 (0.5系列)
ろ過形式	重力式下向流	
吸着池面積	51.12m ² /池 (4.8m×10.65m)	
ろ層構成	粒状活性炭 2.0m	
ろ過速度	通常時 231.2m/日 (通常水量を16池で運転)	
洗浄方式	逆流洗浄及び空気洗浄の併用	
洗浄周期	3日 (72時間)	
	(将来処理フロー変更後、2日 (48時間))	
逆洗速度	空気水同時洗浄時	0.2m/min
	水単独洗浄時	0.9m/min (最大)
空洗速度	空気水同時洗浄時	1.0m ³ /m ² ・min (最大)
洗浄時間	空気水同時洗浄	5min
	水単独洗浄	10min (最大)
	捨水時間	24min (標準)

3. 粒状活性炭仕様

本資材は、吸着池においてろ過層のろ材として敷設するものである。

JWWA (日本水道協会) 制定の A 114 : 2006 に示す各項目において下記の仕様、品質規格に適合する材料とする。

水道水質に影響を与える溶解性物質、ごみ、その他の不純物を含まず、かつ、平成12年厚生省告示第45号「資機材等の材質に関する試験」に基づく試験結果が平成12年厚生省令第15号「水道施設の技術的基準を定める省令」に適合したものとする。

形式	水道用粒状活性炭
層厚	2,000mm
数量	10.65m×4.8m×2.0m=102.24m ³ /池 4池=408.96m ³

別紙 1 粒状活性炭仕様

項目	規格	試験方法	備考
原料	石炭系	—	
形状	破碎炭	—	
有効径	0.9 mm	JWWA-A-114 (2006)	
均等係数	1.5 以下	JWWA-A-114 (2006)	
充填密度	0.40g/ml以上	JWWA-A-114 (2006)	
硬さ	90 % 以上	JWWA-A-114 (2006)	
pH	5.8~8.0	JWWA-A-114 (2006)	
ヨウ素吸着量	1,070 mg/g 以上	JWWA-A-114 (2006)	
メレンブルー脱色力	200 ml/g 以上	JWWA-A-114 (2006)	
ABS価	25以下	JWWA-A-114 (2006)	
フェノール価	21以下	JWWA-A-114 (2006)	
比表面積	1,000m ² /g 以上	JIS-Z-8830 (2013)	
細孔容積 (マイクロ孔+メソ孔)	0.7 ml/g 以上	JIS-Z-8831 (2010)	JIS法の範囲で試験すること。 解析法、理論の指定は行わない。
細孔容積 (マイクロ孔)	0.5 ml/g 以上	JIS-Z-8831 (2010)	
ヒ素	2ppm以下	JIS-K-1474 (2014)	
亜鉛	50ppm以下	JIS-K-1474 (2014)	
カドミウム	0.5ppm以下	JIS-K-1474 (2014)	
鉛	10ppm以下	JIS-K-1474 (2014)	
塩化物	0.5 %以下	JWWA-A-114 (2006)	
強熱残分	10 %以下	JWWA-A-114 (2006)	
電気伝導率	900 μs/cm以下	JWWA-A-114 (2006)	

別紙 2. 粒状活性炭外観検査（重量変化測定）要領

- (1) 適量の試料を 1L ビーカーに入れ、 $115\pm 5^{\circ}\text{C}$ に設定した乾燥機で 5 時間以上乾燥させる。
- (2) 乾燥させた (1) をデシケータ中で放冷させる。
- (3) 試料 25 g を量り取る (0.01g 単位まで重量を読み取る)
- (4) 試料を内径 40 mm、高さ 400 mm のカラムに充填し、試料の高さに印をつける。
- (5) 試料を精製水で湿らせ、粒状活性炭に含まれている空気を抜きながら、試料の膨張率が 50% 程度となるように洗浄水量を調整し、1 時間逆洗する。浮遊した粒子はそのまま流し出し元には戻さない。
- (6) 洗浄後、カラム内の全ての試料を 1L ビーカーに移す。カラムの壁面に付着した活性炭も精製水で洗い取り、同じビーカーに移す。
- (7) 1L ビーカーに 500mL 程度の精製水を入れ、ビーカーを手回しで数回攪拌する。静置後に上澄み液を捨てる。この操作を計 3 回行う。浮遊している粒子があれば上澄み液とともに流し出し、流れ出た浮遊粒子は元に戻さない。
- (8) ビーカー内に残った水分を出来る限り捨て、ビーカーごと試料を $115^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ に設定した乾燥機で 5 時間以上乾燥させる。
- (9) 乾燥させたビーカー内の試料を全て取出し、0.01g 単位まで重量を量り、記録する。
- (10) 上記 (3) と (9) の結果から重量変化率 (%) を算出し、重量変化率が 1.0% 以内であることを確認する。

第3章 機器据付仕様

1. 工事施工

- (1) 工事に使用する材料はすべて受注者が調達するものとする。主要材料の購入に当たっては、その仕様について監督職員と十分協議を行い承諾を受けなければならない。
- (2) 材料の保管は、受注者の責任において管理するものとし、保管中に生じた事故については、受注者の責任と負担において処理しなければならない。
- (3) 受注者は、常に工事進捗状況について把握し、予定の工事工程と実績とを比較して、工事の円滑な進行を図ること。
- (4) 受注者は工事の出来高、品質等が、この仕様書、設計図書等に適合するよう十分な施工管理を行うこと。
- (5) 施工上、製作図、施工図、詳細図等を必要とする場合は、これらを作成のうえ、監督職員の承諾を得ること。
- (6) 受注者は監督職員が常に施工状況の確認ができるよう、必要な資料の提出及び報告書等適切な措置を講ずること。
- (7) 施工箇所付近の後片付け及び清掃等は、受注者の責任により工事完成日までに完了しなければならない。

2. 工事範囲

本工事の工事範囲は以下のとおりとする。

- (1) 粒状活性炭吸着池 (1, 3, 5, 7, ~~2, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 15, 10, 12, 14, 16~~号池) の既設活性炭の全量撤去・・・4池 (408.96m³)
- (2) 撤去した活性炭の場内小運搬及び廃棄処理・・・・・・・・・・4池 (408.96m³)
- (3) 粒状活性炭吸着池 (1, 3, 5, 7, ~~2, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 15, 10, 12, 14, 16~~号池) の新規活性炭の投入・・・・・・4池 (408.96m³)

3. 粒状活性炭の品質

- (1) 受注者は、契約後速やかに使用する粒状活性炭の製造方法等（原料、賦活法、製造場所、製造能力、品質管理方法等）に関する書面を提出すること。
- (2) 粒状活性炭は、JWWA（日本水道協会）制定のA114：2006及び「第2章 活性炭吸着池機械設備機器仕様」で示す仕様をみたすものとし、かつ水道施設の技術的基準を定める省令に適合するものとする。
- (3) 製造搬入する粒状活性炭は、前項の品質規格（別紙1）の全項目（水道施設の技術的基準を定める省令第1条第17号ハで示す別表第2の項目を含む全て）に適合していることを証明するため、監督職員立会いのもと検査試料を採取し、第三者機関による検査を行いその品質規格の全項目において適合していることを証明しなければならない。また、前章の外観検査要領（別紙2）に基づき外観検査を実施すること。
- (4) 品質検査の結果が不合格であった場合は、受注者の負担でその全てを交換しなければならない。

(5) 発注者は、粒状活性炭の品質確認のため、必要に応じて品質検査を行うことができる。

4. 新炭投入後の出来高確認

(1) 新炭投入後の出来高確認は、監督職員の立会いのもと行うものとする。

(2) 出来高確認は、通常行う洗浄を3回以上かつ逆洗排水濁度が1.0度以下となるまで行い微粉炭及び浮遊炭を十分排出したのち行う。なお、許容差は設計層厚以上+5%以下とする。

5. 要領及び条件

(1) 新規に投入する粒状活性炭は、事前に浮粒炭やPH値の高い粒状活性炭や製造時に発生する微粉炭を取り除き、前条の品質を満たした状態で現場搬入すること。

(2) 工事に際しては、活性炭製造メーカーと密接に連絡を取りながら、技術指導を受けて実施すること。

第4章 撤去工事仕様

1. 概要

本工事は、既設稼働中の活性炭吸着池の改良に伴い、活性炭を撤去するものである。

工事実施にあたっては、監督職員の指示に従い稼働中の活性炭吸着池への影響が出ないよう細心の注意を払うこと。

2. 撤去品仕様

(1) 機器類

1)活性炭：	粒状活性炭	4 池分
	吸着池面積	51.12m ² /池 (10.65m×4.8m)
	ろ層構成	2.0m
	撤去数量	51.2m ² ×2.0m=102.24m ³
		102.24m ³ ×4 池=408.96m ³

3. 撤去品の処分

(1) 撤去品の場内の運搬、撤去品の廃棄処理（運搬含む）まで本工事範囲とする。

(2) 撤去品については、PFOS を含有している可能性があるため、撤去品の一部を採取・分析しその結果（PFOS の含有量）を監督職員に報告すること。

(3) 撤去品については、「建設廃棄物処理指針」、「産業廃棄物保管基準」に基づき、適正に処理すること。尚、撤去品の PFOS 含有が一定濃度を超える場合は、「PFOS 含有廃棄物の処理に関する技術的留意事項」に基づき適正に処理すること。

(4) 撤去品の分析費及び処分費（運搬含む）は、準備費の積み上げ積算として計上している。また、産業廃棄物の種類としては「燃えがら」として焼却処分を想定している。

現場施工における条件明示

1. 工 期

- (1) 工期は、契約日翌日～令和 年 月 日
- (2) 本工事は、運用している施設を休止して施工するため、施設停止期間において水処理量に制限が生じる。そのことを踏まえ、水処理量に影響がないように監督職員と協議の上、工程管理を行うこと。
- (3) 本工事では、関連して発注される別工事（耐震補強工事等）があることから、その工事業者と相互に連絡を保ちながら、協調の立場にたって円滑な工事の進捗に努めること。
また、浄水場の運用に影響を及ぼすため、工事工程、実施計画等について、報告・調整を密に行うこと。
- (4) 関連工事等の影響、他機関との協議及び諸手続等、不測の事態で工程が遅れることも考えられるため、余裕を持った計画工程を設定すること。

2. 公 害

工事中は、資材・クレーン類の搬入作業は、付近の住宅の生活環境を保全するよう注意しなければならない。万一、損傷を与えた場合は、受注者の費用をもって補償、または、原形に復するものとする。これらの処理に対し、後日、苦情申し立ての原因を残さぬよう十分注意すると共に、同意書、領収書等その証となる書類の写しを発注者に提出しなければならない。

3. 安全対策

- (1) 工所用出入口付近には小学校があることから、工事車両等の通行には細心の注意を払うこと。
- (2) 浄水場では施設見学が実施されることから、見学者には十分注意して作業を行うこと。

4. その他

- (1) 以下の事項について、別工事業者と連携を密にし実施すること。
 - ・ 現場事務所の設置
 - ・ 交通の安全を確保するための交通整理員の設置
 - ・ 濁水及び赤土流出調査に関すること。
 - ・ 安全衛生及び防犯パトロールの実施に関すること。
 - ・ 各種情報の交換及び作成に関わること。
 - ・ 労働基準監督署及び警察署との連絡調整に関すること。
 - ・ 建設用機器及び車両による事故防止に関すること。
 - ・ 災害発生原因の調査並びに発生防止に関すること。
 - ・ 重大災害発生時の協力体制に関すること。
- (2) 同一場所で複数の工事が輻輳することにより生ずる労働災害を防止するため、労働安全衛生法（昭和 47 年法律第 57 号）第 30 条第 2 項の規定に基づき、元方事業者の中から同条第 1 項に規定する措置を講ずるものとして統括安全衛生管理義務者の指名を行っている。統括安全衛生管理義務者が指名された際、労働災害の防止について、統括安全衛生管理義務者と十分調整を行うこと。
- (3) 監督職員が水処理量確保のため、施工が完了した工事目的物の使用承諾を求めた場合、協力すること。

第 2 章 設計書

北谷浄水場粒状活性炭実施設計業務委託

設 計 書

令和 3 年 2 月

沖縄県企業局

(株)日水コン沖縄事務所

令和
令和

年 月 日
年年度 施工

提出

(参考資料) 金抜き設計書

位 置 北谷町字宮城地内

工事名称 北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事 (その)

予算項目

この資料は、入札参加社の迅速な見積りに資することとともに、発注者が用いた積算資料を参考として提示するものであり、請負契約において何ら拘束力を生じるものではない。

沖 縄 県 企 業 局

工 事 設 計 書						
予 算 科 目	建設改良費	整 理 番 号	第 号	資 金 別	国庫・県単	
事 業 名 称			主 な 積 算 基 準			
北谷浄水場施設整備事業			・ 下水道設計標準歩掛表（令和2年度）			
工 事 名 称			工 事 場 所			
北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事（その ）			北谷町字宮城地内			
	主務課長	調整監	主務班長	審 査	検 算	設 計
① 工事価格		② 消費税相当額		①+② 工事費		(③/① = a)
③ 落札価格		④ 消費税相当額		③+④ 請負費		
⑤ 変更工事価格						
⑤ × a = ⑥ 変更請負価格		⑦ 消費税相当額		⑥+⑦ 変更請負額		
工 事 概 要	本工事は北谷浄水場の粒状活性炭吸着池の改良工事である。					
設 計 変 更 理 由						

積算内訳

1. 工事名	
工 事 名	北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事(その)
施 工 地 名	沖縄県北谷町字宮城地内
2. 工事内容	
1) 事 業 所 名	沖縄県企業局
2) 主 工 種	水道施設工事
3) 工 期	自 平成 年 月 日 日間 至 平成 年 月 日
4) 工 事 概 要	本工事は北谷浄水場の粒状活性炭吸着池の改良工事である。

積算内訳書

工事名	北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事(その)				事業区分	
	工事区分・工種・種別	単位	数量	金額	工事区分	水道施設工事
機器費		式	1			
直接工事費		式	1			
共通仮設費		式	1			
純工事費						
現場管理費		式	1			
間接工事費						
据付工事原価						
工事原価						
一般管理費等		式	1			
工事価格						
消費税相当額		%	8			
工事費						

本工事費内訳表

北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事(その)

工種	種別	細別・名称	単位	数量	単価	金額	摘要
機器費			式	1			内1号一式当り内訳表
直接工事費	複合工費		式	1			内2号一式当り内訳表
	仮設費		式	1			内3号一式当り内訳表
	直接工事費計		式	1			
間接工事費	共通仮設費		式	1			内4号一式当り内訳表
	純工事費		式	1			
	現場管理費		式	1			内5号一式当り内訳表
	間接工事費計		式	1			
据付工事原価			式	1			
工事原価			式	1			
一般管理費等			式	1			内6号一式当り内訳表
工事価格			式	1			
消費税相当額		10%	式	1			
請負工事費							

様式4

一式当り内訳表

内4-1号 工種：準備費 工事名：北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事(その)

種別	細別	規格・名称	単位	数量	単価	金額	摘要
準備費(撤去)	処分費	活性炭	池	4			代3号
	運搬費	活性炭	池	4			代3号
	PFOS分析費		検体	1			見積
準備費計							

沖縄県企業局

様式4

一式当り内訳表

内5号 工種：現場管理費 工事名：北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事(その)

種別	細別	規格・名称	単位	数量	単価	金額	摘要
現場管理費	現場管理費＝現場管理費対象額×現場管理費率						
	純工事費		式	1			本工事内訳表
	現場管理費対象額						
	現場管理費率		%				
現場管理費計	現場管理費						

沖縄県企業局

様式4

一式当り内訳表

内6号 工種：一般管理費 工事名：北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事(その)

種別	細別	規格・名称	単位	数量	単価	金額	摘要
一般管理費等	一般管理費等	一般管理費等対象額×一般管理費等率					
	工事原価		式	1			本工事内訳表
	一般管理費等対象額						
	一般管理費等率	標準一般管理費等率×前払金支出割合補正係数×機器費補正係数					
	標準一般管理費等率		%				
	前払金支出割合補正係数						
	機器費補正係数						内1号一式当り内訳表
	機器費						
	工事原価に占める機器費の割合						
	補正係数						
	一般管理費等率		%				
一般管理費等計	一般管理費等						
	改め						

沖縄県企業局

様式4

代価表

工事名：北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事(その)

代1号

種別	細別	規格・名称	単位	数量	単価	金額	摘要
機器費	材料費	活性炭 仕様のとおり	m3	102.24			見積
	据付費	活性炭	m3	102.24			見積
	計		池	1			

沖縄県企業局

様式4

代価表

工事名：北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事(その)

代3号

種別	細別	規格・名称	単位	数量	単価	金額	摘要
準備費(撤去)	処分費	活性炭	m3	102.24			見積
	計		池	1			
	運搬費	活性炭	t	81.8			見積 $102.24m^3 \times 0.8t/m^3 = 81.8t$
	計		池	1			

沖縄県企業局

第 3 章 数量計算書

北谷浄水場粒状活性炭実施設計業務委託

数量計算書

令和 3 年 2 月

沖縄県企業局

(株)日水コン沖縄事務所

数量総括表

工事名：北谷浄水場粒状活性炭吸着池改良工事(その1)

工種	種別	細別	単位	数量	摘要
1.機器費	活性炭	材料、据付	池	4	
2.直接工事費	複合工事費	活性炭撤去費	池	4	
		試料採取	検体	1	
3.間接工事費	共通仮設費 準備費	活性炭処分(県外)	池	4	PFOS含有量3mg/kg以下
		活性炭運搬費(県外)	池	4	
		PFOS分析費	検体	1	

メーカー名	[Redacted]										
品名	[Redacted]										
回分式実験No	⑨	⑩	⑪	⑧	⑦	④	③	①	②	⑤	
RSSCT法No	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC8				
決定稿	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC8	AC9	AC10	AC11	

【メーカー提示物性結果】

分析項目	AC No.	実施設運用用炭					その他の活性炭					
		⑨	⑩	⑪	⑧	⑦	④	③	①	②	⑤	
メーカー		[Redacted]										
品名		[Redacted]										
分析項目	単位	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	AC8	AC9	AC10	AC11
ヨウ素吸着性	mg/g	[Redacted]										
メチレンブルー	mL/g	[Redacted]										
ABS価	-	[Redacted]										
フェノール価	-	[Redacted]										
pH値		[Redacted]										
有効径	mm	[Redacted]										
均等係数	-	[Redacted]										
硬度	%	[Redacted]										
充填密度	g/mL	[Redacted]										
強熱残分	%	[Redacted]										