

VI 調 査 ・ 研 究

1 . 農 薬 調 査 結 果

2 . 高 塩 基 度 PAC 実 証 試 験 結 果

1. 農薬調査結果

1 はじめに

平成 27 年度においては、農薬（水質管理目標設定項目）120 項目のうち 104 項目について検査を行った。

筑後川の流域には水田等が多く、原水に高い頻度で農薬が検出されているため、灌漑期（4～9 月）には月 2 回、非灌漑期（10～3 月）には月 1 回調査を実施した。

- ・調査箇所 ... ・原水、活性炭処理水、浄水
- ・調査農薬^(注 1) ... ・灌漑期 月 2 回：104 項目
(GC/MS 及び LC/MS による一斉分析)
- ・非灌漑期 月 1 回：104 項目
- ・定量下限 ... 0.05µg/L または水質管理基準目標値（以下、目標値）の 1/100 の小さい方の値とした。ただし、クロルニトロフェンについては 0.01µg/L とした。

2 調査結果

ア. 農薬類（総農薬方式^(注 2)）

平成 27 年度の原水の農薬検出状況についてグラフに、その内訳を表 1 に示す。

農薬類は 5 月から 7 月にかけて 0.01 を超えて検出された。最高値は 5 月 19 日の 0.47 で、昨年度の最高値 0.12 より高かった。また、農薬が検出された回数は 3 回で昨年度より減少した。

なお、活性炭処理水及び浄水については、すべて 0.01 未満であった。

平成 27 年度 原水農薬検出状況（農薬類）

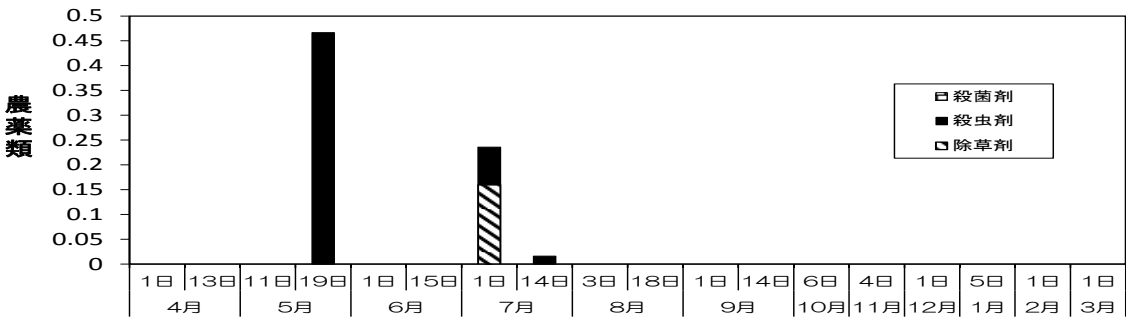


表 1 農薬類の内訳

		除草剤	殺虫剤	殺菌剤
4月	1日	<0.01	<0.01	<0.01
	13日	<0.01	<0.01	<0.01
5月	11日	<0.01	<0.01	<0.01
	19日	<0.01	フェニトリン 0.47	<0.01
6月	1日	<0.01	<0.01	<0.01
	15日	<0.01	<0.01	<0.01
7月	1日	カエンストリール 0.10 ピラジキリン 0.01 フルチアール 0.01 アモブホ 0.03 メチラット 0.01	フィプロニル 0.06 フェニトリン 0.01	<0.01
	14日	<0.01	フィプロニル 0.01	<0.01
8月	3日	<0.01	<0.01	<0.01
	18日	<0.01	<0.01	<0.01
9月	1日	<0.01	<0.01	<0.01
	14日	<0.01	<0.01	<0.01

イ. 農薬検出濃度

原水で 0.05µg/L 以上または目標値の 100 分の 1 以上検出された農薬をグラフと表 2

に示す。除草剤については、6月から検出され、7月に農薬数及び検出濃度ともピークとなり、8月まで検出された。除草剤は検出される農薬の種類・頻度が多く、中でもブロモブチド、ダイムロン、ペンタゾンの検出頻度が高かった。

殺虫剤については、5月にフェニトロチオン及びアセフェート、7月にフェニトロチオン及びフィプロニル、8月から9月にブプロフェジンが検出された。

殺菌剤については、5月から7月にベノミル、6月、8月から9月までイソプロチオラン、7月から8月にピロキロン、9月にトリシクラゾールが検出された。

なお、活性炭処理水および浄水については、すべて目標値の100分の1未満であった。

※ 0.05μg/L以下または目標値の100分の1以下については、不検出とした。

平成27年度 原水農薬検出状況（農薬合計濃度）

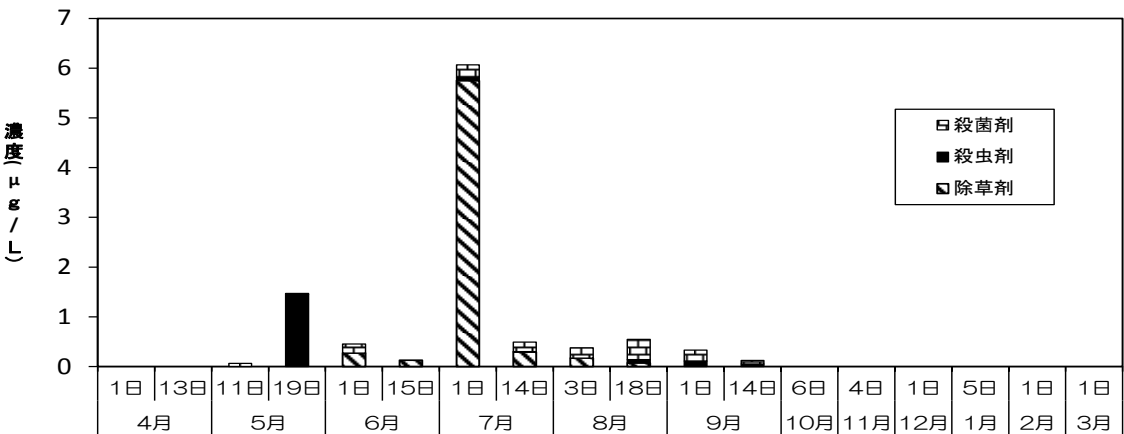


表2 平成27年度農薬検出濃度（μg/L）

		除草剤		殺虫剤		殺菌剤	
4月	1日	不検出		不検出		不検出	
	13日	不検出		不検出		不検出	
5月	11日	不検出		不検出		ベンミル	0.06
	19日	不検出		フェニトロチオン 1.4 アセフェート 0.05		ベンミル	0.18
6月	1日	ブピラクロール	0.05	不検出		ベンミル	0.06
		ブプロブチド	0.22			イソプロチオラン	0.11
	15日	ブプロブチド	0.13			不検出	
7月	1日	カフエンストロール	0.78	フィプロニル フェニトロチオン	0.032 0.03	ベンミル ピロキロン	0.07 0.18
		ピラジキニフェン	0.05				
		ジメタメトリン	0.06				
		チオベンチアル	0.05				
		ブピラクロール	0.53				
		ブプロブチド	2.6				
		メフェナセート	0.27				
		ダイムロン	1.4				
8月	14日	ベンタリオン	0.20	フィプロニル	0.008	ピロキロン	0.19
		ブプロブチド	0.09				
		ダイムロン	0.13				
9月	3日	ベンタリオン	0.17	ブプロフェジン	0.06	ピロキロン	0.07
						イソプロチオラン	0.13
	18日	ベンタリオン	0.07			イソプロチオラン ベンミル	0.28 0.12
9月	1日	不検出		ブプロフェジン	0.11	イソプロチオラン トリシクラゾール	0.09 0.12
	14日	不検出		ブプロフェジン	0.05	トリシクラゾール	0.07

3 経年変化

過去10年間の検出農薬の合計濃度の平均値を表3、最高値を表4に示す。

除草剤及び農薬合計濃度は、過去 10 年間の平均値よりやや高い値であったが、殺虫剤は過去 10 年間の最高値となった。殺菌剤は平均値より低い傾向が 5～6 年続いている。

最高値についても除草剤は過去 10 年間の最高値の平均より高く、殺虫剤は過去 10 年間の最高値となった。殺菌剤は平均値より低い傾向が数年続いている。

表3 農薬合計濃度の平均値 ($\mu\text{g/L}$)

年度	除草剤	殺虫剤	殺菌剤	合計
H17	0.15	0.06	0.13	0.34
H18	0.06	0.01	0.13	0.20
H19	0.69	0.09	0.48	1.26
H20	0.16	0.06	0.15	0.37
H21	0.29	0.11	0.23	0.63
H22	0.29	0.10	0.12	0.51
H23	0.32	0.04	0.14	0.50
H24	0.09	0.05	0.13	0.27
H25	1.00	0.05	0.11	1.16
H26	0.60	0.01	0.13	0.75
H17～26平均	0.36	0.06	0.17	0.60
H27	0.51	0.14	0.14	0.79

農薬が検出された 4～9 月の平均値を示す。

表4 農薬合計濃度の最高値 ($\mu\text{g/L}$)

年度	除草剤	殺虫剤	殺菌剤	合計
H17	1.95	0.26	0.86	3.07
H18	0.75	0.07	0.97	1.79
H19	5.94	0.46	1.07	7.47
H20	1.11	0.22	0.74	2.07
H21	1.94	0.41	1.16	3.51
H22	1.73	0.51	0.86	3.10
H23	1.97	0.19	1.05	3.21
H24	0.78	0.21	1.08	2.07
H25	6.81	0.19	0.29	7.29
H26	5.72	0.10	0.53	6.35
H17～26平均	2.87	0.26	0.86	3.99
H27	5.75	1.45	0.41	7.60

注1 農薬類 120 項目のうち、分析法を検討中の項目並びにジクワット、グリホサート及びイミノクタジン酢酸塩については、過去に検出例がないため実施せず。

注2 総農薬方式：農薬類の目標値は、「検出値と目標値の比の和として 1 以下」となっている。

2. 高塩基度 PAC 実証試験結果

1 はじめに

牛頸浄水場は、年間を通して平均的に処理能力の 90%以上と極めて高い稼働率で運転を行っている。近年は、局地的豪雨等の影響で原水濁度の急激な上昇が著しく、浄水処理の困難さが増している。そのため、安全な水道用水を安定的に送水し続けるためには、高濁度原水に対する浄水処理の強化策が不可欠となっている。当企業団では、高塩基度 PAC の導入について平成 25～27 年度にかけて検討を行った。平成 27 年度は全処理系統を用いた、1 ヶ月単位の実証試験を初めて行ったため、結果を報告する。なお、平成 28 年度から本格導入を行っている。

2 検討経過

高塩基度 PAC 導入に向けた検討は、平成 25～27 年度の 3 ヶ年で行った（表 1）。平成 25 年度は、文献調査、アンケート調査、導入事業体の視察などの情報収集及び室内実験（ジャーテスト）を行った。平成 26 年度は、仮設の PAC 注入設備（写真 1）を用い、2 系のみを高塩基度 PAC に切り替え、数日単位の実機試験を行った。平成 27 年度は、1 系、2 系の両系統に実証試験用タンク（写真 2）を設置し、1 系でも問題ないことを確認した後、全系統を用いて 1 ヶ月単位の実機試験を行った。

高塩基度 PAC は、多木化学株式会社製の PAC300A（塩基度 60%）及び PAC700A（塩基度 70%）の 2 種類を検討に用いたが、平成 26 年 4 月の実機試験でブロックの出来や処理水質について PAC700A が優れていたため、以降の試験はすべて PAC700A で行った。

表 1 高塩基度 PAC 導入に向けた検討経過

H25	H26	H27	H28～
情報収集・室内試験	実機試験 (2 系, 数日単位)	試験用 タンク設置 実機試験 (全系統)	運用開始



写真 1 H26 仮設 PAC 注入設備



写真 2 H27 実証試験用 PAC 注入タンク

3 平成 27 年度の実証試験内容

1) 予備試験

予備試験として、7 月 23 日及び 8 月 3 日～24 日の日中のみ高塩基度 PAC への切り替えを行った。
予備試験では、通常 PAC と比較した注入率の削減目標、フロック形成池の目標 pH を検討した。(表 2)

表 2 予備試験の PAC 注入状況

月	日	時間	PAC削減率(%)※	備考
7	23	9:00～17:00	0	1系のみ
8	3	9:00～16:30	0	全系
	4	9:00～16:30	-15	〃
	5	9:00～16:30	-30	〃
	6	9:00～16:30	-30	〃
	7	9:00～16:30	-30	〃
	10	9:00～16:30	-40	〃
	11	9:00～16:30	-40	〃
	17	9:00～16:30	-40	〃
	18	9:00～16:30	-40	〃
	19	9:00～16:30	-40	〃、目標pH7.2
	20	9:00～16:30	-40	〃、目標pH7.3
	21	9:00～16:30	-40	〃、目標pH7.4
	24	9:00～16:30	-40	〃、目標pH7.1

※通常PACの注入率と比較した削減率の目標

2) 連続注入試験

9 月, 11 月, 1 月(12 日～)は, 1 ヶ月単位の 24 時間連続注入試験を行った。また, 2 月 8 日～17 日は通常 PAC 配管清掃のため高塩基度 PAC での運用を行い, 3 月 22 日からは平成 28 年度からの完全切り替えのため本タンクでの試験運用を行った。試験期間中は通常 PAC の概ね 30～40%程度の削減を目標にした。(表 3)

表 3 連続注入試験の PAC 注入状況

<9月試験>

期間	8月26日9:30～10月1日9:00まで	
PAC削減率	8/26～8/27	-25%
	8/28～8/31	-35%
	9/1	-20%
	9/2～9/3	-25%
	9/4～9/9	-30%
	9/10	-35%
	9/11～	-40%

<11月試験>

期間	10月30日9:30～12月1日9:00まで	
PAC削減率	10/30～11/18	-30%
	11/19	-20%
	11/20～11/22	0% * UV高く、連休のため
	11/23～	-30%

<1月試験>

期間	1月12日9:15～2月1日9:00まで	
PAC削減率	1/12～19	-30%
	1/20～1/25	-20%
	1/26～1/28	-10%
	1/29	0% * 水源切り替え対策
	1/30～	-15%

※1/19～1/29 水源切り替え(山口調整池から取水)

<2月>…通常PAC配管清掃のため

期間	2月8日13:30～2月17日15:00まで	
PAC削減率	-30%	

<3月>…4月導入に向けた本タンク試験

期間	3月22日13:00～	
PAC削減率	-30%	

4 予備試験結果

1) PAC 削減目標

平成 27 年 8 月 3 日から 11 日までに行った PAC 注入率削減試験時の沈でん処理水の濁度変化を図 1 に、ろ過水の濁度変化を図 2 に示す。

沈でん処理水濁度は、削減率 0% (8 月 3 日) では高塩基度 PAC 注入直後から低下し、通常 PAC に戻すと上昇した。削減率 15% (8 月 4 日) も同様の傾向であったが、削減率 0%と比較すると差は小さかった。削減率 30% (8 月 5～7 日)、削減率 40% (8 月 10, 11 日) では、逆に濁度が上昇する場合もあったが、0.5 度を超えることはなく、処理に問題なかった。

ろ過水濁度は、試験期間を通して夕方から上昇し、早朝から低下する日内変動がみられていたものの、いずれの削減率でも高塩基度 PAC 切り替え後は低下傾向、通常 PAC に戻した後は上昇傾向が見られた。

上記の結果、削減率 30～40%でも処理に問題がなかったことから、連続注入試験の PAC 削減目標は 30～40%とした。

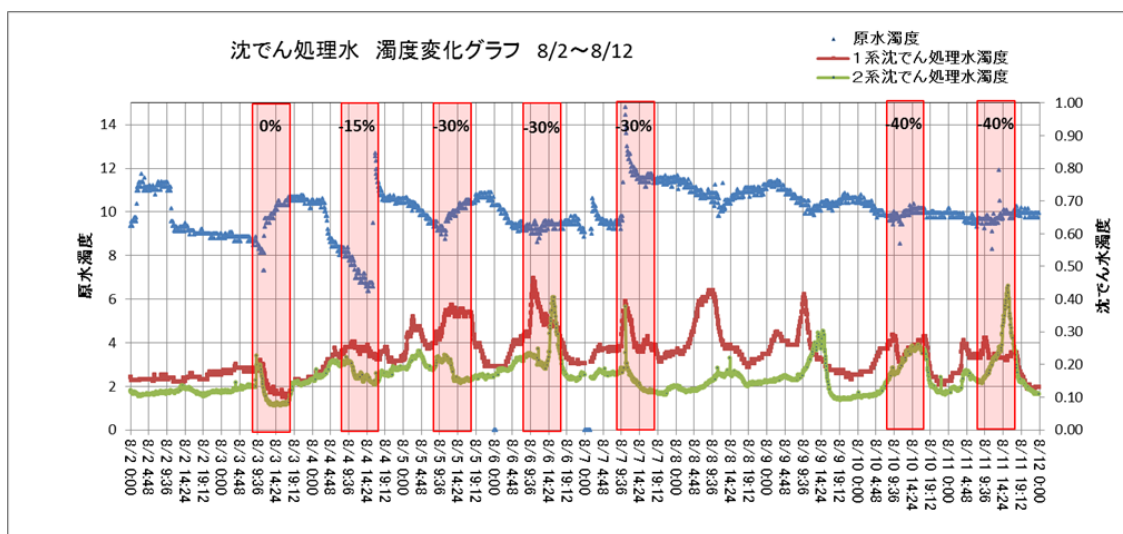


図 1 沈でん処理水濁度 (8 月 2 日～11 日)

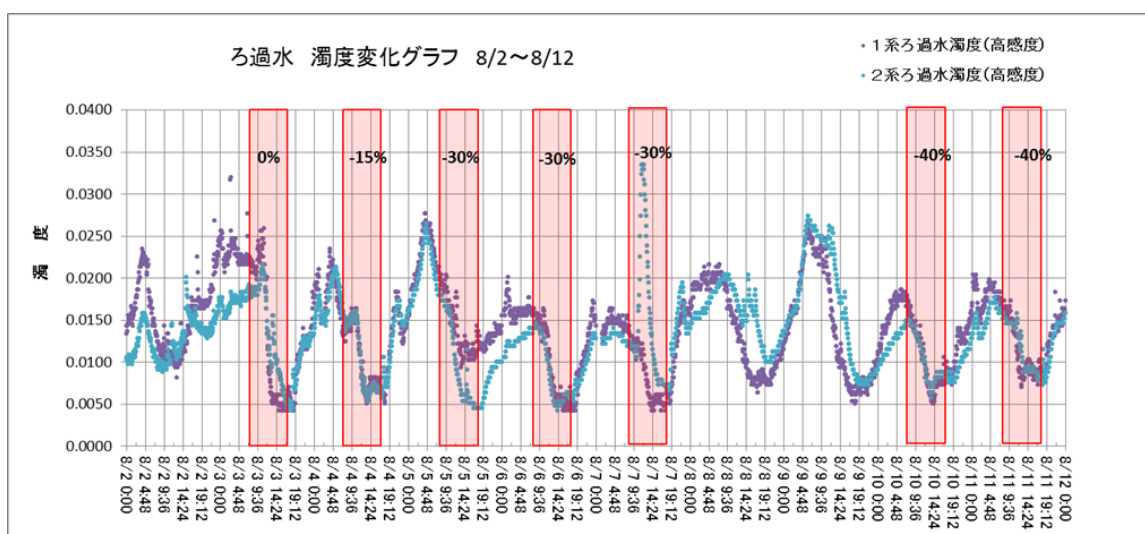


図 2 ろ過水濁度 (8 月 2 日～11 日)

2) フロック形成池の目標 pH

8月19日～24日の間、フロック形成池の目標 pH を 7.1～7.4 まで変動させ、フロック形成池においてフロックの出来と沈降性を確認した。沈降性については、フロックを特製の容器（写真 3）に採取し、上層と中層の濁度を測定することにより評価した。

結果は、いずれの pH でもフロックの出来に問題はなく、大きめのフロックが出来ていた。沈降性についても、20 分後にはいずれも濁度 1 度以下となり、問題なかった。（表 4、図 3）

いずれの pH でも問題なく凝集が出来たため、連続注入試験では目標 pH を 7.2～7.3 とした。



写真 3 沈降性試験容器

表 4 pH7.1～7.4 でのフロックの状態

	pH7.1	pH7.2	pH7.3	pH7.4
フロック沈降性	良好	良好	良好	良好
初期(0～5分)	△	△	△	△
中期(5～20分)	○	○	○	○
後期(20～30分)	○	○	○	○
フロック大きさ	大	大	大	大

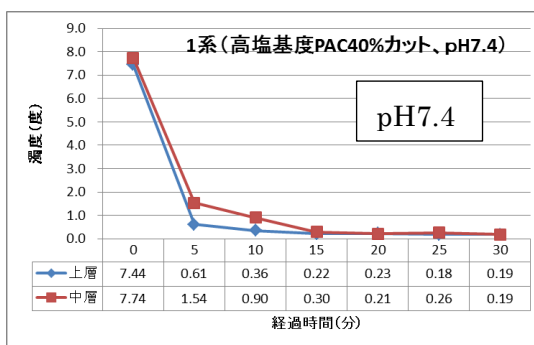
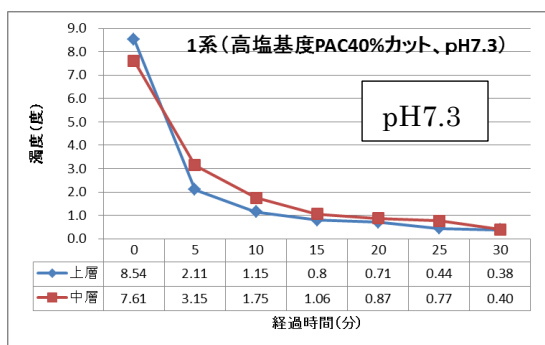
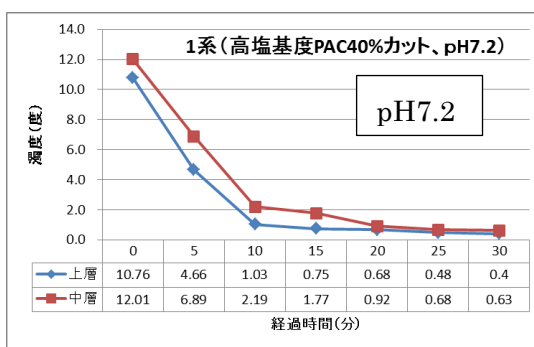
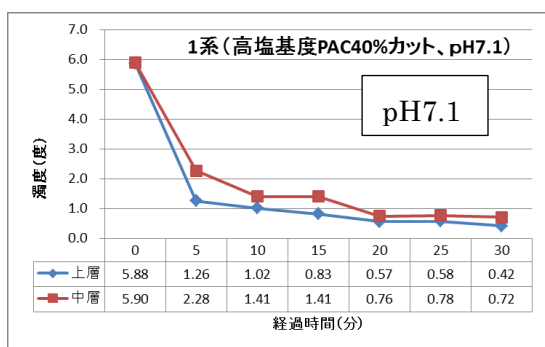


図 3 pH7.1～7.4 におけるフロック沈降性

(参考) ヒ素及びアルミニウムの除去性について

凝集 pH の違いによるヒ素及びアルミニウムの除去特性について、ジャーテスターを用いて試験を行った。調査方法は図 4、結果は表 5、図 5, 6 のとおり。ヒ素、アルミニウムともに凝集 pH が高くなると残留濃度も高くなった。ヒ素の水質基準 0.01mg/L 以下、アルミニウムの水質基準 0.2mg/L 以下を考慮すると、凝集 pH は 6.9～7.3 程度を目標に管理すれば問題ないと考えられた。

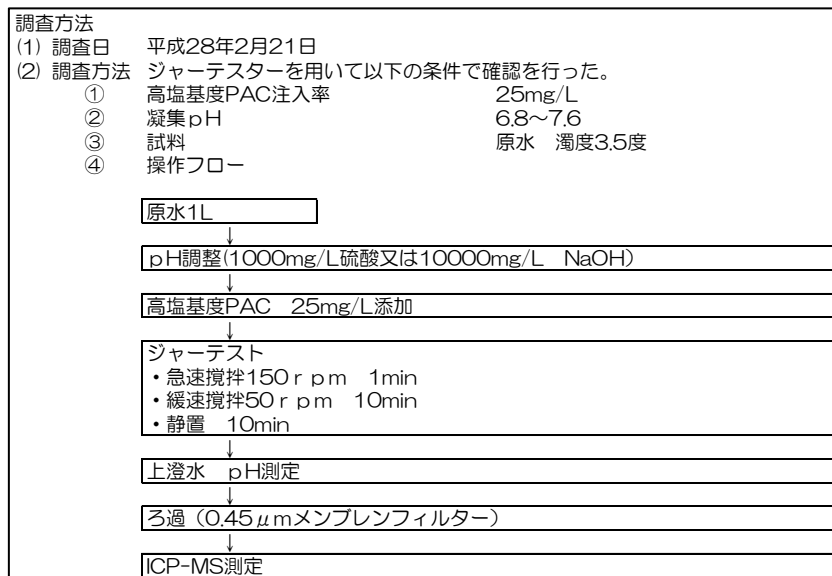


図 4 ヒ素、アルミニウム除去性ジャーテスト調査方法

表 5 残留ヒ素、アルミニウム濃度

No.	高塩基度PAC (mg/L)	凝集pH	ヒ素 (mg/L)	アルミニウム (mg/L)
1	0	7.70	0.0026	0.014
2	25	6.79	0.0007	0.026
3	25	6.93	0.0007	0.024
4	25	7.15	0.0008	0.030
5	25	7.42	0.0008	0.039
6	25	7.50	0.0009	0.046
7	25	7.62	0.0010	0.053

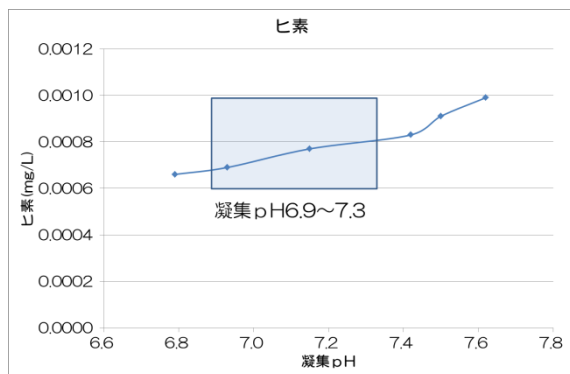


図 5 残留ヒ素濃度

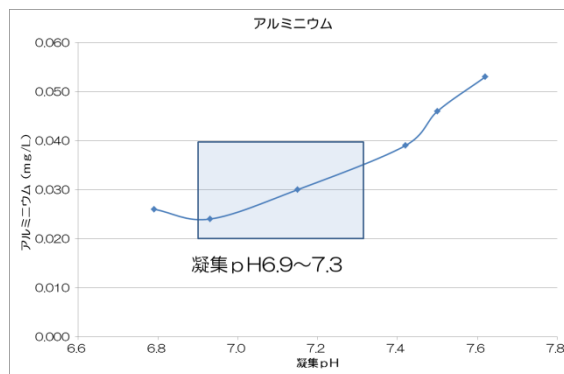


図 6 残留アルミニウム濃度

5 連続注入試験結果

1) 原水濁度

平成 27 年 9 月から平成 28 年 3 月の原水濁度（浄水場水質計器）の推移を図 7 に示す。期間中は、大雨もなく原水濁度は安定していた。

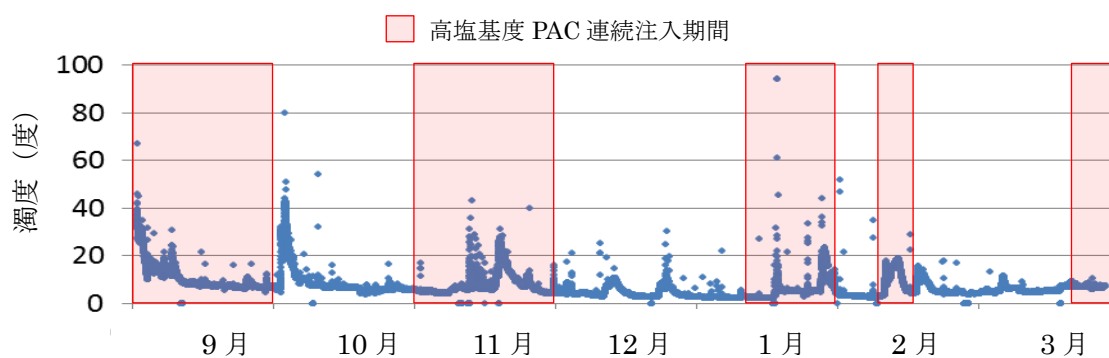


図 7 原水濁度（H27.9月～H28.3月）

2) PAC 注入率

平成 27 年 9 月から平成 28 年 3 月の PAC 注入率の推移を図 8 に示す。高塩基度 PAC 試験期間中は、削減目標を示したことにより、平常時の PAC の注入率は概ね 30mg/L 以下で低めに推移した。

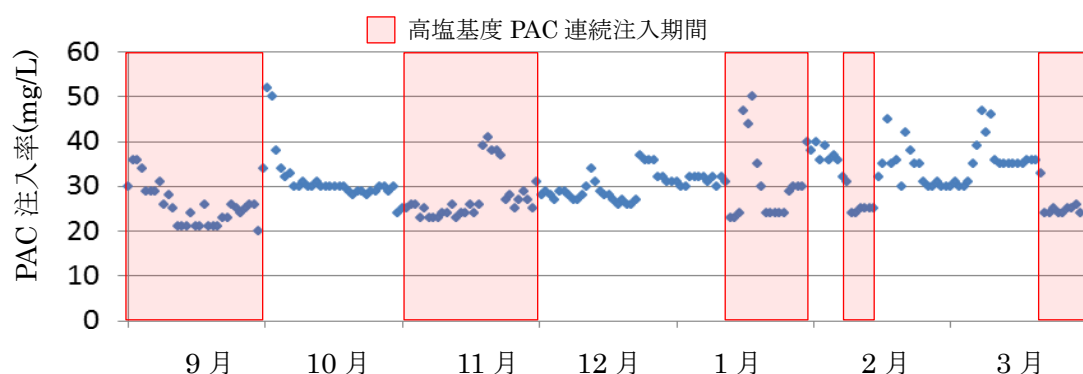


図 8 PAC 注入率（H27.9月～H28.3月）

3) フロック形成池 pH の推移

平成 27 年 9 月～平成 28 年 3 月までのフロック形成池の pH の推移を図 9 に示す。高塩基度 PAC 連続注入期間中は、フロック形成池の目標 pH を 7.2～7.3 としたため、通常 PAC（目標 pH6.9～7.0）よりも高い pH 領域で凝集を行うことが出来た。

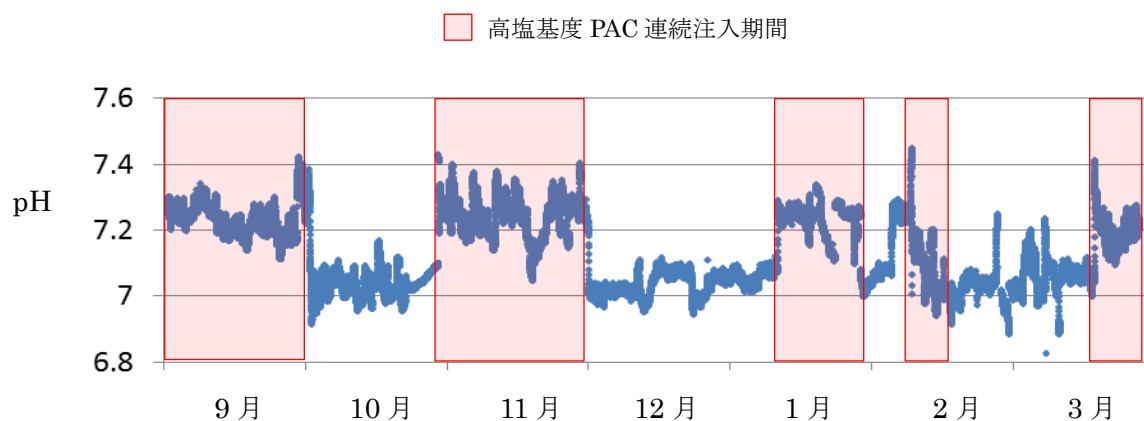


図 9 フロック形成池 pH の推移

4) 沈でん処理水濁度

平成 27 年 9 月～平成 28 年 3 月までの沈でん処理水濁度（浄水場水質計器，1 系）の推移を図 10 に示す。沈でん処理水濁度については，通常 PAC と比較して顕著な差は見られなかった。ただし，高塩基度 PAC は，通常 PAC より注入率を下げていることから，少ない注入率でも同等の効果が得られるものと考えられる。

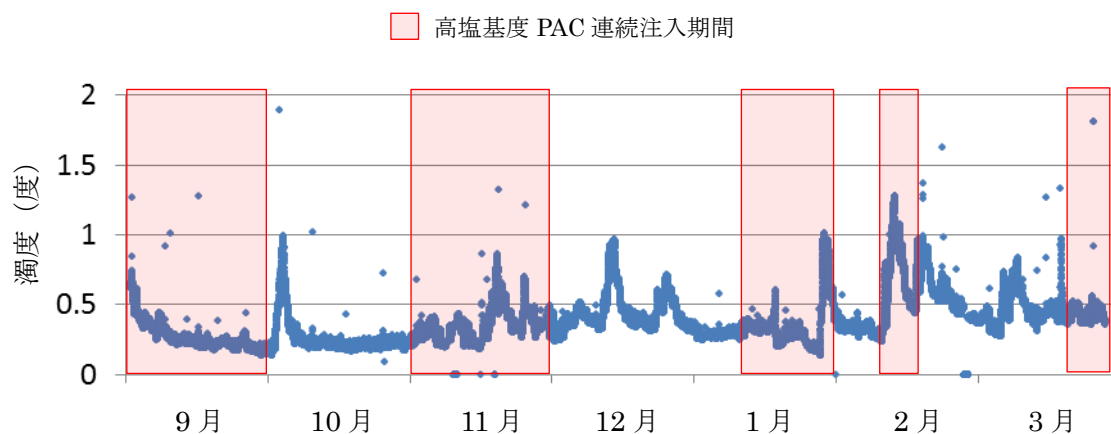


図 10 沈でん処理水濁度の推移

5) ろ過水濁度

平成 27 年 9 月から平成 28 年 3 月までのろ過水濁度（浄水場水質計器，1 系）の推移を図 11 に示す。高塩基度 PAC 注入期間中は濁度が明らかに低下しており，概ね 0.01 度以下と低めに推移した。

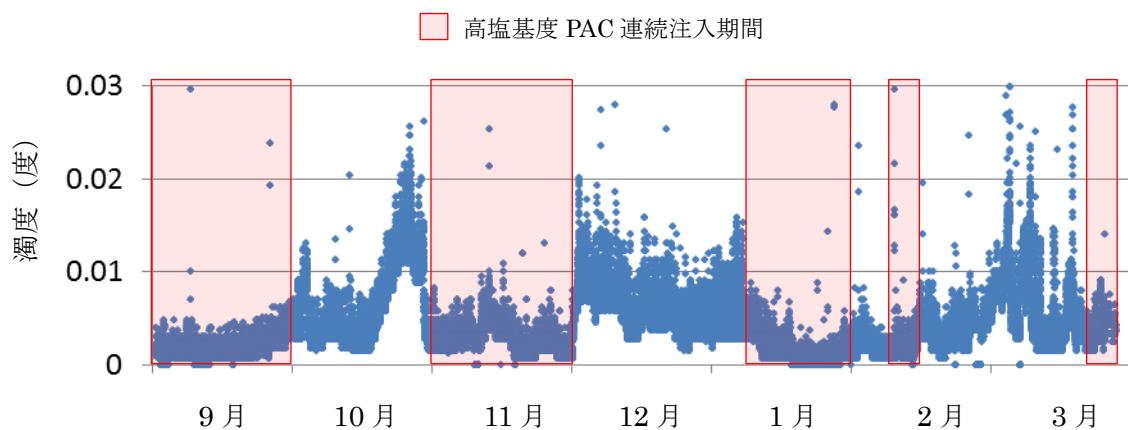


図 11 ろ過水濁度の推移

6) ピコプランクトン，微粒子数

11月の高塩基度PAC切り替え時にピコプランクトンカウンタを用いてろ過水の蛍光及び非蛍光粒子数を測定した結果を図12に示す。蛍光粒子数，非蛍光粒子数ともに顕著な減少が見られ，高塩基度PACの効果によりピコプランクトン由来の蛍光粒子と，その他の非蛍光粒子がともに減少したと考えられる。

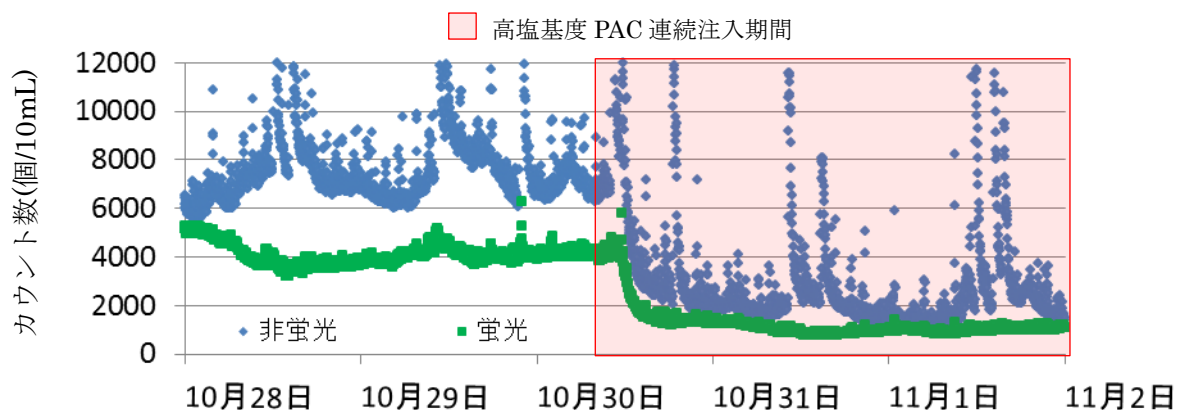


図12 高塩基度PAC切り替え時のピコプランクトンカウンタの推移（1系ろ過水）

図9の蛍光粒子と非蛍光粒子を合わせた総粒子数を，粒子径別に集計したものを図13に示す。 $0.5\mu\text{m}$ ～ $2\mu\text{m}$ 以上までいずれの粒子径でもカウント数の低下が確認され，高塩基度PACの効果により，ろ過水の微粒子数が低下したものと考えられる。

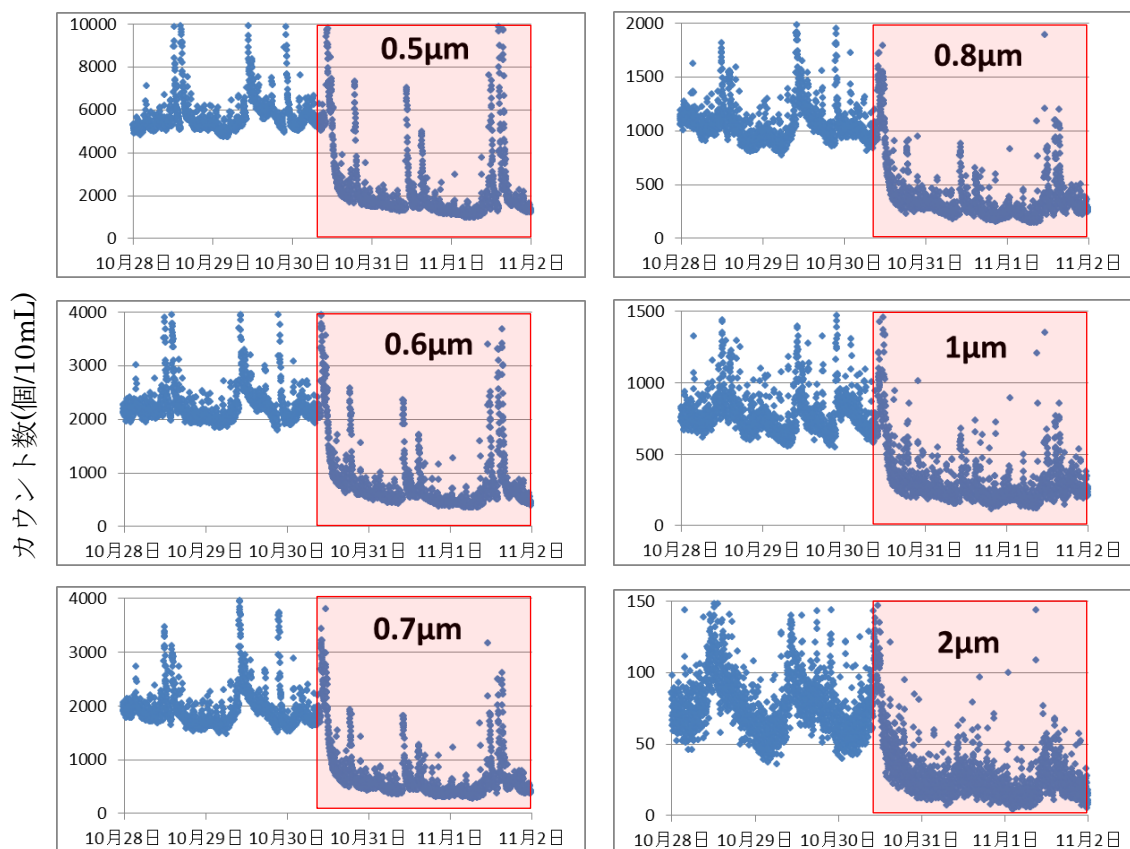


図13 高塩基度PAC切り替え時の粒子径別のカウント数

※ $0.5\mu\text{m}$ ： $0.5\mu\text{m}$ 以上 $0.6\mu\text{m}$ 未満， $0.6\mu\text{m}$ ： $0.6\mu\text{m}$ 以上 $0.7\mu\text{m}$ 未満

$0.7\mu\text{m}$ ： $0.7\mu\text{m}$ 以上 $0.8\mu\text{m}$ 未満， $0.8\mu\text{m}$ ： $0.8\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 未満

$1\mu\text{m}$ ： $1\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 未満， $2\mu\text{m}$ ： $2\mu\text{m}$ 以上

7) UV 吸収値

平成 27 年度年間を通した原水及び 1 系沈でん処理水の UV 吸収値（E260 50mm，毎日試験）を図 14 に示す。また，高塩基度 PAC 使用期間中と通常 PAC 使用期間中の UV 吸収の平均値及び UV 除去率（原水の UV 吸収値から沈でん処理水の UV 吸収値を差し引き，原水の UV 吸収値で割ったもの）を表 6 に示す。高塩基度 PAC 使用期間中の UV 吸収の平均値は 0.040 で通常 PAC の 0.050 より低くなったが，通常 PAC 使用時は原水の UV 吸収値が高く，UV 除去率で比較するとほとんど差はなかった。高塩基度 PAC は通常 PAC よりも 30～40%程度注入率を下げていることから，注入率を下げても通常 PAC と同程度以上の UV 除去性があると考えられる。

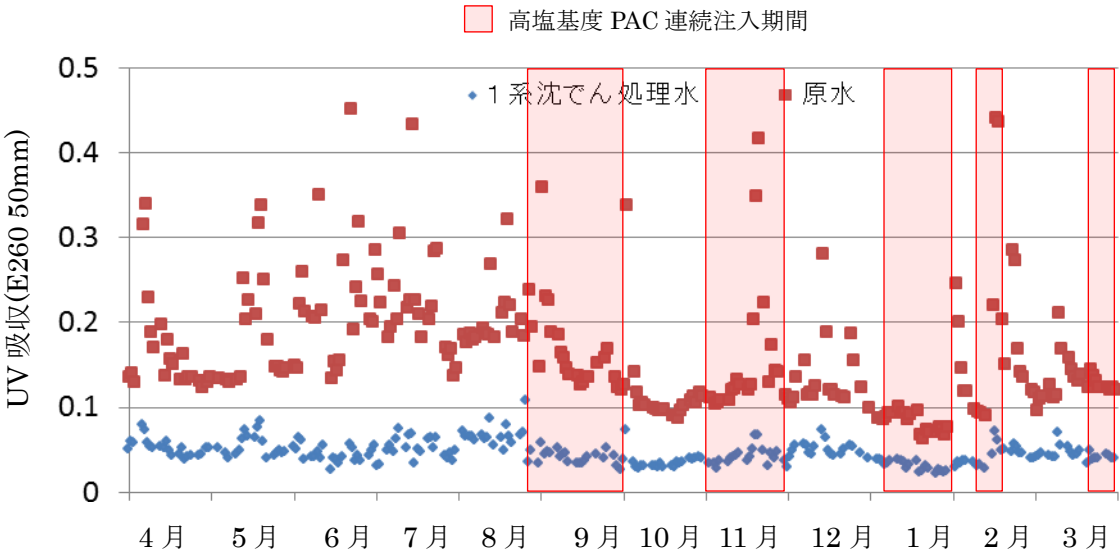


図 14 平成 27 年度の原水，沈でん処理水（1 系）の UV 吸収値の推移

表 6 平成 27 年度の原水及び沈でん処理水（1 系）の UV 吸収の平均値及び UV 除去率

	原水	1系沈でん処理水	UV除去率
高塩基度PAC	0.149	0.040	73%
通常PAC	0.175	0.050	72%

8) 浄水薬品削減効果

高塩基度 PAC を使用した平成 27 年 9 月、11 月及び平成 28 年 1 月と、通常 PAC を使用した過去 5 年（平成 22～26 年度）9 月、11 月、1 月の PAC、苛性ソーダ、硫酸の平均注入率を表 7 に示す。PAC の使用量は過去 5 年と比べて 35% の削減になっていたが、通常どおり浄水処理を行うことができた。また、従来は凝集 pH 域を 6.9～7.0 で運用していたが、試験中は pH7.1～7.3 で運用したため、前苛性、硫酸、後苛性（pH7.5 程度に調整）の注入量が大幅に削減された。

表 7 PAC、苛性ソーダ、硫酸の平均注入率

		9月	11月	1月	平均
PAC	H27	27.4	26.3	27.4	27.0
	過去5年※	41.7	40.7	42.1	41.5
	増減	-34%	-35%	-35%	-35%
苛性ソーダ	H27	1.27	1.19	2.01	1.49
	過去5年※	4.24	4.50	4.39	4.38
	増減	-70%	-74%	-54%	-66%
硫酸	H27	0.02	0.77	4.79	1.86
	過去5年※	0.72	3.79	3.50	2.67
	増減	-97%	-80%	37%	-47%

※平成22～26年度の平均

単位：mg/L

9) 汚泥処理への効果

平成 27 年 8 月～12 月までの濃縮槽からの引抜スラッジ濃度（濃縮スラッジ濃度）を図 15 に示す。汚泥処理への効果は、PAC 切り替え後 10 日程度経過して現れはじめ、濃縮スラッジ濃度の上昇がみられた。また、その間加圧脱水機の 1 サイクル当たりの処理量も増加していた。これは PAC 注入率の削減により、アルミニウムの濁度に対する添加比（ALT 比）が低下し、比抵抗値が小さくなって脱水性が向上したことが主な原因と考えられる。また、濃縮槽上澄水の透視度が上昇しており、着水井へ返送される上澄水の水質改善にもつながったと考えられる。

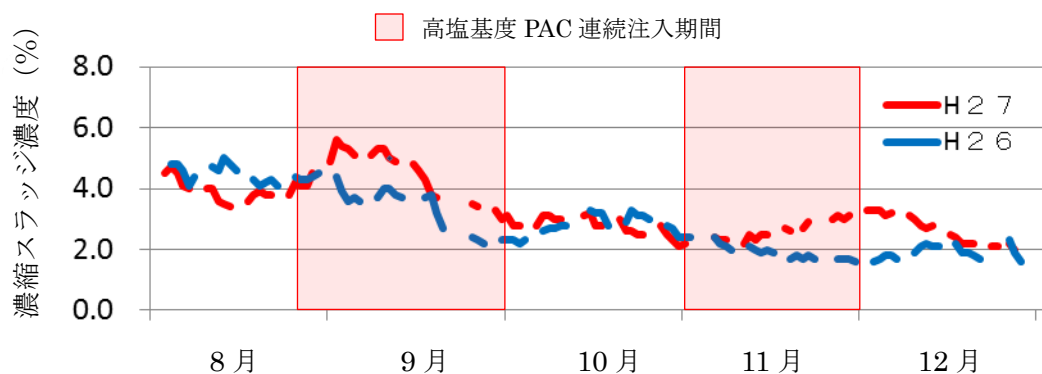


図 15 平成 27 年 8 月～12 月の濃縮スラッジ濃度の推移

6 まとめ

浄水処理の強化策として、高塩基度 PAC の導入に向けた検討を平成 25 年度から平成 27 年度までの 3 年間で行った。平成 27 年度は、実証試験用タンクを設置し、1 ヶ月単位の連続注入試験を行った。

凝集 pH については、pH7.4 程度まで問題なく凝集が出来たため、実機試験では目標 pH を 7.2～7.3 とした。参考に凝集 pH の違いによるヒ素、アルミニウムの除去性を試験したところ、ともに pH が高くなると残留濃度も高くなるが、凝集 pH を 6.9～7.3 程度で管理すれば問題ないと考えられた。

処理水水質について、沈でん処理水濁度は、通常 PAC より注入率を下げたにも関わらず、同程度であった。一方、ろ過水の濁度は大きく低下し、ピコプランクトンを含む微粒子の除去性に優れるためと考えられた。UV 吸収については、通常 PAC よりも注入率を下げたにも関わらず、通常 PAC と同程度またはやや低くなった。

浄水薬品の使用量は、PAC は 30～40% の削減が出来、凝集 pH を 7.2～7.3 に上げたことで苛性ソーダ、硫酸も大幅に減少した。

汚泥処理についても濃縮槽からの引抜スラッジ濃度の上昇、ALT 比の低下による比抵抗値低下が原因と考えられる脱水機の脱水性向上等、処理効率の向上が見られた。

平成 28 年度からは高塩基度 PAC での運用を開始しており、今後さらなる効果の検証を行っていく予定である。