

〈論文〉

アルミニウムを用いた PAC 注入制御方式の実証

三宮 豊¹⁾, 横井 浩人¹⁾, 田所 秀之²⁾, 館 隆広³⁾¹⁾ (株)日立製作所日立研究所

(〒319-1221 日立市大みか町7-2-1 E-mail: yutaka.sangu.nf@hitachi.com, hiroto.yokoi.vb@hitachi.com)

²⁾ (株)日立製作所情報制御システム事業部

(〒319-1293 日立市大みか町5-2-1, E-mail: hideyuki.tadokoro.dw@hitachi.com)

³⁾ (株)日立製作所社会システム事業部

(〒101-8608 東京都千代田区外神田1-18-13, E-mail: takahiro.tachi.jv@hitachi.com)

概要

降雨などの原水水質急変時にも処理水水質を適正に維持可能な PAC 注入制御技術の開発を進めている。PAC の主成分であるアルミニウムに着目し、混和水中に含まれる微小なフロック中のアルミニウムをフィードバック指標とした注入制御技術を開発した。浄水場に設置したベンチスケール装置を用いて、開発方式による実験を実施した。原水濁度が急増した際、開発方式は現行方式よりも濁度変化に応じた速やかな注入補正ができ、原水濁度が 100 度以下では、沈殿処理水濁度を 1 度以下 (目標値 ± 0.4 度) に維持できた。

キーワード: PAC, 凝集剤注入, アルミニウム, 薬品注入制御

原稿受付 2012.6.18 原稿受理 2012.7.19

EICA: 17(2・3) 143-150

1. はじめに

日本では、急速ろ過法による表流水の凝集沈殿処理が、年間浄水量の約 77% を占める¹⁾。多くの浄水場の監視制御システムには、水質センシングに基づく PAC 注入制御が実装されている。原水水質に基づく FF (フィードフォワード) 制御と、沈殿処理水濁度に基づく FB (フィードバック) 制御がその代表である。しかし、降雨など原水水質の急変時には、主に FB 制御における時間遅れのため、処理水水質 (沈殿処理水濁度) が悪化する場合があった。これに対し、制御機能に頼らず、ジャーテストの結果や熟練運転員の経験とノウハウに基づいた運転管理が採用されるケースも多い。熟練運転員は今後減少していくため、水質急変に対応できる PAC 注入制御技術を開発し、自動運転の適用範囲を拡大することが、運転管理において重要と考えた。

原水水質の急変に対応するため、FF 制御もしくは FB 制御を改良した方法がいくつか提案されている。FF 制御の改良案として、従来の水質センシング位置より上流の河川やダムで計測値などを用いて水質悪化を予測し、予め PAC 注入率を増加させる方法がある。これは河川やダムで計測値と浄水場へ流入する原水の水質に相関があれば有効だが、PAC を過剰注入してしまう可能性がある。PAC が過剰注入された場合、PAC の主成分であるアルミニウム (Al) が水道水中に増加する。Al は高濃度のとき水の色度を増加させる原因となり得るため、2003 年に水質基準値 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

が定められ、さらに、2009 年に水質管理目標設定項目で $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ と設定され、規制が強化されている。このため、処理水水質を維持した上で PAC の流入量を適正に制御する技術が必要である。

FB 制御の改善案として、FB 制御の時間遅れを短縮する技術が検討されている。山口ら²⁾はフロックの集塊化開始時間を用いた PAC 注入制御方法、Dentel et al.^{3,4)}、前田ら⁵⁾および Xia et al.⁶⁾はゼータ電位に換算可能な流動電流値を指標に用いた方法、そして、渡辺ら⁷⁾および Gregory⁸⁾はレーザー光散乱を用いた方法を提案しており、浄水処理において、PAC 注入制御が依然重要で改善余地のある技術であることが伺える。

筆者らは、FB 制御の時間遅れの短縮を、PAC の主成分である Al を計測して指標とすることで、達成できるのではないかと考えた。そして、これまでに模擬原水を使用して、凝集沈殿処理後の上澄み水中の濁度と Al の指標との相関が高いことを見出し、この関係に基づく PAC 注入制御方式を考案した^{9,10)}。

本研究では、浄水場にラボスケールの凝集沈殿処理装置を設置し、混和水中の Al を用いた PAC 注入制御方式を実証した結果を報告する。

2. 実験内容

2.1 PAC 注入制御方式

FB 制御の時間遅れの短縮のため、混和池の水 (混和水中) の残留 Al 濃度に着目した。ここで、残留 Al とは、溶解分と微小な凝集フロックに含まれる Al の

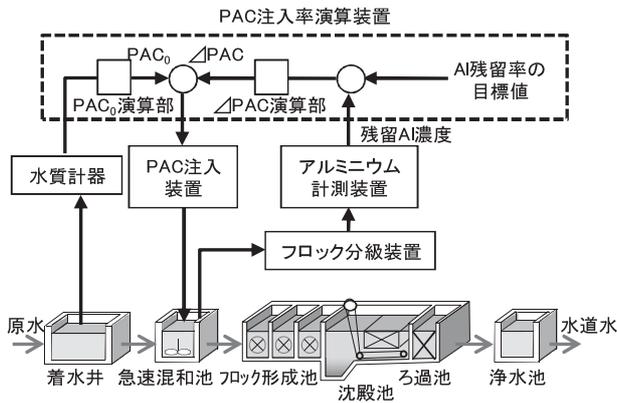


Fig.1 Flow diagram of the developed coagulant dosage control system

酸による溶解分との和と定義する。この残留 Al 濃度を注入した PAC 注入率 (Al 換算値) で除算した Al 残留率 R_{Al} (式(1)) が凝集不良と相関があることを、ジャーテストで確認している⁹⁾。この指標を使って、河川の原水水質急変を模擬した PAC 注入制御実験を実施し、Al を用いた開発方式で沈殿処理水濁度を良好に制御できることを、ラボスケールの凝集沈殿処理装置で確認した¹⁰⁾。

$$R_{Al} = \frac{(\text{残留 Al 濃度})}{(\text{PAC 注入率 (Al 換算値)})} \times 100 \quad (1)$$

本研究で開発した PAC 注入制御システムの構成を Fig.1 に示す。主な構成要素は、PAC 注入装置、フロック分級装置、アルミニウム計測装置、PAC 注入率演算装置、水質計器 (濁度, pH, アルカリ度, 水温) である。PAC 注入率は FF+FB 制御により決定する。Al を用いた PAC 注入制御方式 (開発方式) では、FF による注入率 (PAC_0) を原水濁度などの水質計器の値から演算する。FB 補正の値 (ΔPAC) は、アルミニウム計測装置で計測した残留 Al 濃度を、PAC 注入率演算装置で Al 残留率に換算し、Al 残留率の目標値との差分から求める。

現行方式の FB 補正の値は、沈殿処理水濁度の計測値と、その目標値の差分を指標として演算されることが一般的である。開発方式は現行方式と比較して、FB 制御のための採水位置が混和池にあることと、計測する水質項目が残留 Al 濃度であることが特徴である。

2.2 実験装置

(1) 凝集沈殿処理装置

Fig.2 に本研究で使用した凝集沈殿処理装置の概略を示す。凝集沈殿処理装置は開発方式と現行方式の2つの系からなり、各系それぞれ容積 10 L、滞留時間 5 min の急速混和池、容積 120 L、滞留時間 60 min のフロック形成池、容積 280 L、滞留時間 140 min の沈殿池を備えた。また、フロック分級装置、アルミニウム計測装置は、開発方式の系のみ備えた。

急速混和池では、流入した原水に希釈 PAC (PAC 原液 (10%- Al_2O_3) を 1/30 または 1/15 に希釈した PAC 溶液) を注入した。フロック形成池では、流入した混和水を緩速攪拌してフロック成長を促進した。沈殿池では、成長したフロックを沈降させて沈殿処理水を得た。フロック形成池から沈殿池へは水平方向に水が流入するため、沈殿池への短絡流が生じないように、流入口から 10 cm, 20 cm の位置にそれぞれ阻流板と整流板を設置した。

急速混和池から混和水を採水し、微小なフロックを選択分離するためにフロック分級処理をした。ここで、フロック分級装置として、円筒状の回転フィルタ (エイブル製) を使用した。この装置はフィルタを回転させながら、クロスフローろ過する方式であり、フィルタの閉塞を低減できる。凝集が良好の場合、粒径の大きいフロックの割合が多くなる¹¹⁾。しかし、凝集が不良の場合、粒径 $10 \mu m$ 以下の微小なフロックの割合が多くなると予想された。そこで、本研究では、凝集不良を検知することを目的として、フィルタの目開きを $10 \mu m$ とした。フロック分級装置より得られた微小フロックを多く含む分級処理水をアルミニウム計測装置に供給し、残留 Al 濃度を計測した。Table 1 に

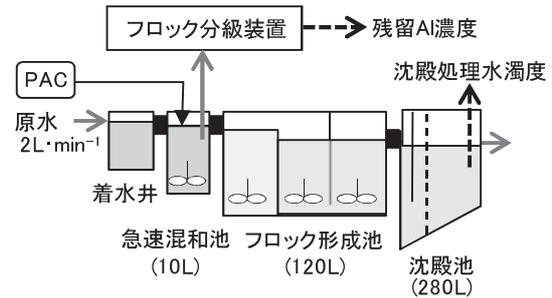


Fig.2 Specifications and setup of the coagulation-sedimentation process apparatus for coagulant dosage control experiments

Table 1 Experimental conditions of the coagulation-sedimentation process apparatus

凝集沈殿処理装置の運転条件		適正範囲
供給流量 [$L \cdot min^{-1}$]		2
急速混和池	滞留時間 [min]	4.8
	G値 [s^{-1}]	230
	GT値 [-]	66000
フロック形成池	滞留時間 [min]	60
	各池のG値 [s^{-1}] (第1, 2, 3池)	61, 18, 10
	各槽のGT値 [-]	73000, 22000, 11000
	GT値 [-]	107000
沈殿池	表面負荷率 [$mm \cdot min^{-1}$]	4.4
	長さとの比 [-]	3
	滞留時間 [h]	2.3
	有効水深 [m]	1

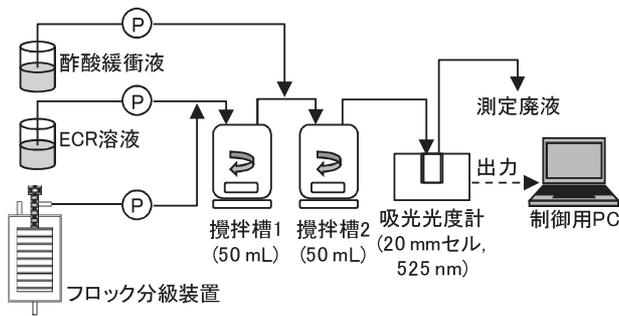


Fig.3 Schematic diagram of the aluminum concentration measuring system

Table 2 Experimental conditions of the aluminum concentration measuring system

試料水の供給量 [mL・min ⁻¹]	25.0
ECR溶液の供給量 [mL・min ⁻¹]	0.25
ECR溶液濃度 [wt. %]	0.20
酢酸緩衝液の供給量 [mL・min ⁻¹]	0.5
酢酸緩衝液濃度 [mol・L ⁻¹]	3.0

本実験で使用した凝集沈殿処理装置の運転条件と、仕様の適性範囲^{12, 13)}を示す。フロック分級装置の運転条件として、回転フィルタの回転数を 300 rpm、混和水の供給量を 200 mL・min⁻¹、ろ過水量を 100 mL・min⁻¹とした。

(2) Al 計測装置

残留 Al 濃度の計測には、呈色試薬であるエリオクロムシアンニンレッド試薬 (ECR: Eriochrome Cyanine Red, C₂₃H₁₅Na₃O₉S) と酢酸緩衝液 (pH5.0) を使用する吸光度法 (λ=525 nm) を用いた。Fig. 3 に Al 計測装置のフローを示す。本実験では ECR (メルク社製) 溶液に塩酸 (和光純薬工業製) を添加し、pH1.4 に調整した。これは ECR の劣化の防止と、微小フロックに含まれる固形分の Al を溶解することが目的である。

Table 2 に Al 計測装置の運転条件を示す。

2.3 制御ロジック

(1) PAC 注入制御

(a) 開発方式

開発方式の制御ロジックは、原水水質に基づく FF 制御と、FB 制御を組み合わせ用いた (式(2))。

$$PAC(t) = PAC_0(t) + \Delta PAC(t) \tag{2}$$

PAC(t) : 時刻 t のときの PAC 注入率 [mg・L⁻¹]

PAC₀(t) : 時刻 t のときの FF による注入率 [mg・L⁻¹]

t : 時刻 [min]

ΔPAC(t) : 時刻 t のときの FB 補正の値 [mg・L⁻¹]

式(2) の右辺の PAC₀(t) を求める FF 注入率式は、以下の式(3) を用いた。

$$PAC_0(t) = C_1 \cdot Tu_0(t)^k + C_2 \tag{3}$$

C₁, C₂, k : 係数

Tu₀(t) : 時刻 t のときの原水濁度 [度]

式(3) では 3 つの係数を与える必要がある。本実験では、沈殿処理水濁度の目標値を 0.5 度として、凝集沈殿処理装置の運転結果から C₁=2.0, k=0.6 と決定した。また、同じ原水濁度でも、季節に応じて水温、pH、アルカリ度が異なり、沈殿処理水濁度を目標値とする PAC 注入率が変化した。このため、C₂は、必要な PAC 注入率を式(3) で算出できるように手動で調整した (2010/12~2011/5: C₂=12.5, 2011/6~2011/12: C₂=23.5)。

FB 制御は、比例項と積分項からなる PI 制御を用い、PAC 補正の値を次式で与えた。

$$\Delta PAC(t) = C_3 \cdot (R_{Al}(t) - R_{Alt}(t)) \cdot PAC(t - \tau) + C_4 \cdot \Delta PAC(t - \tau) \tag{4}$$

$$R_{Al}(t) = (Al_1(t) \cdot Al_0(t)^{-1}) \cdot 100 \tag{5}$$

Al₀(t) : PAC 注入率から換算した時刻 t のときの Al 濃度 [mg・L⁻¹]

Al₁(t) : 時刻 t のときの残留 Al 濃度 [mg・L⁻¹]

C₃, C₄ : 係数

PAC(t - τ) : 時刻 t よりも 1 制御周期 (t) 前の PAC 注入率 [mg・L⁻¹]

R_{Al}(t) : 時刻 t のときの Al 残留率 [%]

R_{Alt}(t) : Al 残留率の目標値 [%]

ΔPAC(t) : 時刻 t のときの FB 補正の値 [mg・L⁻¹]

t : 制御周期 [min]

式(4) は PAC 注入率の大小で補正量が変化するよう、比例項に PAC(t - τ) を乗じた。また、Al₀(t) は急速混和池からアルミニウム計測装置までの時間遅れを考慮し、10 min 前の計測値を使用することとした。積分項の係数 C₄は 1, 比例項の係数 C₃は、ジューグラ・ニコルスステップ応答法で算出した上で、実際に模擬濁質を添加するなど予備実験を実施し、FB 補正の値が大きく振動・発散ないように調整した。台風期間 (2011/9/5~9/25) は C₃=0.0025 とした。

Al 残留率は、沈殿処理水濁度と相関があり、原水濁度と沈殿処理水濁度の関数で表現できることを確認している¹⁰⁾。本実験では以下の実験式を用いて Al 残留率の目標値を算出した。

$$R_{Alt}(t) = C_5 \cdot Tu_0(t)^{C_6} \cdot Tu_{st} \tag{6}$$

C₅, C₆ : 係数

Tu_{st} : 沈殿処理水濁度の目標値 [度]

Table 3 Injection ratio of NaOH

原水濁度 [度]	15~ 25	25~ 40	40~ 65	65~ 90	90~ 125	125 ~
NaOHの 添加率 [mg·L ⁻¹]	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0

式(6)の係数は、PAC 注入率を一定とした実験から得た Al 残留率と、模擬原水濁度 100 度のときの Al 残留率の実績値を用いて、定期的にチューニングした。台風期間の 2011/9/5~9/13 は $C_5=44.7$, $C_6=-0.25$, 2011/9/20~9/25 は $C_5=46.8$, $C_6=-0.17$ とした。

(b) 現行方式

開発方式と比較するため、沈殿処理水濁度を指標とする FB 制御による実験も実施した。

$$\Delta PAC(t) = C_7 \cdot (Tu_s(t) - Tu_{st}) \cdot PAC(t-\tau) + C_8 \cdot \Delta PAC(t-\tau) \quad (7)$$

$Tu_s(t)$: 時刻 t のときの沈殿処理水濁度 [度]

積分項の係数 C_8 は 1, 比例項の係数 C_7 は、ステップ応答法で求めた 0.001 とした。

(2) アルカリ剤の注入制御

PAC 注入率の増加に伴い原水のアルカリ度は消費される。本実験ではアルカリ度不足防止の目的で、水酸化ナトリウム (NaOH) 溶液を添加した。このとき、PAC 注入率は原水濁度と対応するため、原水濁度に応じて NaOH の添加率を制御した。本実験における NaOH の添加率は浄水場に準じており、Table 3 とした。

2.4 実験方法

(1) PAC 注入率一定実験

模擬原水の場合と同様に、実際の原水でも Al 残留率の目標値算出式 (式(6)) が妥当であることを確認するため、PAC 注入率をパラメータとした PAC 注入率一定実験を実施し、沈殿処理水濁度と Al 残留率のデータを取得した。実験期間は 2011/1/20~10/20 である。Table 4 に沈殿処理水濁度と Al 残留率のデータを取得したときの水質・運転条件を示す。データは PAC 注入率一定実験と、原水水質と PAC 注入率が安定していたときの PAC 注入制御実験から抽出した。

(2) PAC 注入制御実験

開発方式である FF+Al 残留率を指標とした FB 制御、現行方式である FF+ 沈殿処理水濁度を指標とした FB 制御とを比較した。

本実験期間では、2011/9/5~9/13 および 2011/9/21~9/25 の期間、台風に伴う降雨で原水が高濁度となった。2011/9/5~9/13 の期間は、原水濁度が浄水

Table 4 Water quality and operating conditions

原水濁度 [度]	1~6
原水水温 [°C]	1.0~19.0
原水 pH [-]	6.5~7.5
原水アルカリ度 [mg·L ⁻¹]	13.5~23.9
PAC 注入率 [mg·L ⁻¹]	2.4~60.0

場の計測器で 700 度を超えた。この期間の水温は 13.5~18.1°C, pH は 6.6~7.5 となった。アルカリ度は水質急変前後で約 17 mg·L⁻¹ から 8.7 mg·L⁻¹ まで低下した。沈殿池の汚泥レベルが所定の値を超えた時点で、汚泥排出作業を実施した。排出後、沈殿処理水濁度が十分安定してからデータ取得を再開した。2011/9/21~9/25 の期間では、原水濁度は最高約 20 度まで増加した。この期間の水温は 12.3~14.1°C, pH は 7.0~7.6, アルカリ度は 14.0~17.5 mg·L⁻¹ となった。原水濁度増加時は、PAC 注入率の速やかな補正が重要なため、PAC 注入率の変化速度に注目した。原水濁度低下時は、沈殿処理水濁度を維持した上での PAC 注入率の低減に注目し、開発方式と従来方式の PAC の注入量を比較した。以上の 2 点から、開発方式の有効性を検討した。

3. 実験結果

3.1 沈殿処理水濁度と Al 残留率の関係

Fig. 4 に沈殿処理水濁度と Al 残留率の関係を示す。Al 残留率は沈殿処理水濁度の増加に伴い増加した。これは PAC 注入率が小さいほど、濁質は凝集・成長し難くなり、混和水中に含まれる微小フロクが増加するためである。したがって、Al 残留率により凝集不良が検知できることが示された。また、Al 残留率と沈殿処理水濁度との関係は、各原水濁度に対して傾きの異なる直線となり、実際の原水でも、模擬原水と同様の傾向となった。Fig. 4 中の直線は、取得したデータからフィッティングした Al 残留率の目標値算出式

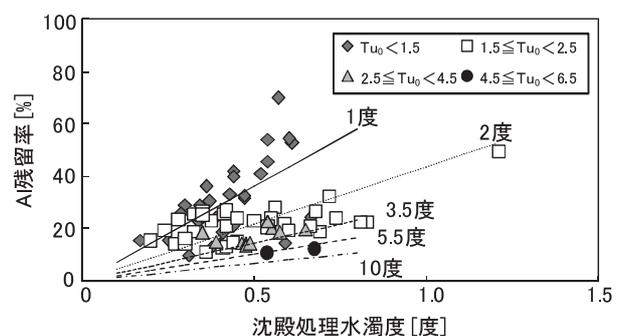


Fig.4 Relations of Settled water turbidity and aluminum residual rate (Lines show R_{Al} calculated by eq. (6))

(式(6))である。式(6)は各原水濁度の沈殿処理水濁度とAl残留率の関係と相関があり、実際の原水にも式(6)が適用できることを確認できた。

3.2 PAC注入制御実験

以下、(1) 短期間 (2011/9/21~9/25) の原水濁度変動時の結果と、(2) 長期間 (2011/9/5~9/13) の原水濁度変動時の結果を示す。

(1) 短期間の原水濁度変動時

Fig.5に降雨による原水水質の変動、残留Al濃度、PAC注入率および処理水水質の経時変化を示す。降雨は9/21 23:00から9/22 8:00までであり、9/22 3:00に最大 $10\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ の降水量となった。原水濁度は最大18度まで増加し、アルカリ度は $14.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ まで低下した。

残留Al濃度は原水濁度の変化に伴い増減した。開発方式のFB補正の値は、原水濁度増加時に $16.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 増加したのに対し、現行方式のFB補正の値は0であり、濁度増加から約24hで開発方式と同程度となった。開発方式は沈殿処理水濁度を目標値

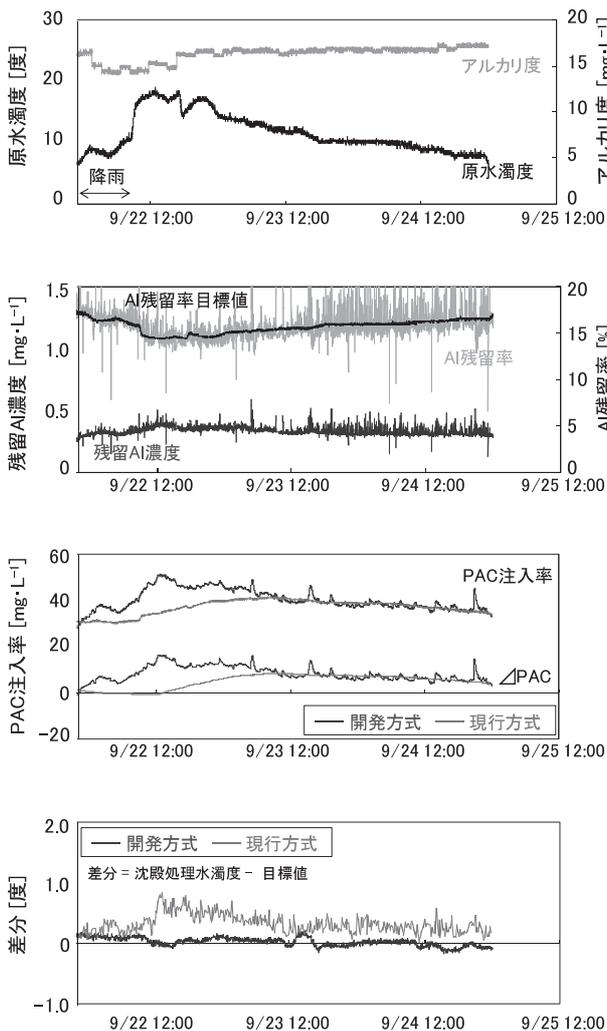


Fig.5 Results of coagulant dosage control experiment of 2011/9/21~9/25

± 0.3 度に維持できた。これに対して、現行方式は濁度急増時、目標値 $+0.5$ 度(=1度)まで悪化し、その後、沈殿処理水濁度を指標としたFB制御の働きにより、目標値を満足することができた。

原水濁度8度(9/22 6:00)から18度(9/22 12:00)まで増加したときのFB補正の値は、開発方式が原水濁度の増加開始直後から増加したのに対して、現行方式が約6h後と、開発方式の方が原水水質の悪化に対して速やかに補正できた。本結果から、原水濁度の時間変化($1.7\text{ 度}\cdot\text{h}^{-1}$)が大きくても、開発方式により、沈殿処理水濁度を目標値に維持することが可能であることを確認できた。

(2)-a 原水濁度増加時

Fig.6に台風に伴う降雨で原水濁度が増加した期間における原水水質の変動、残留Al濃度、PAC注入率および処理水水質の経時変化を示す。降雨は9/5 10:00から発生し、9/6 5:00に最大 $22\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ となった。原水濁度は降雨に伴い段階的に増加し、9/6 4:00過ぎに計測上限(300度)を超えた。アルカリ度は $8.7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ まで低下した。

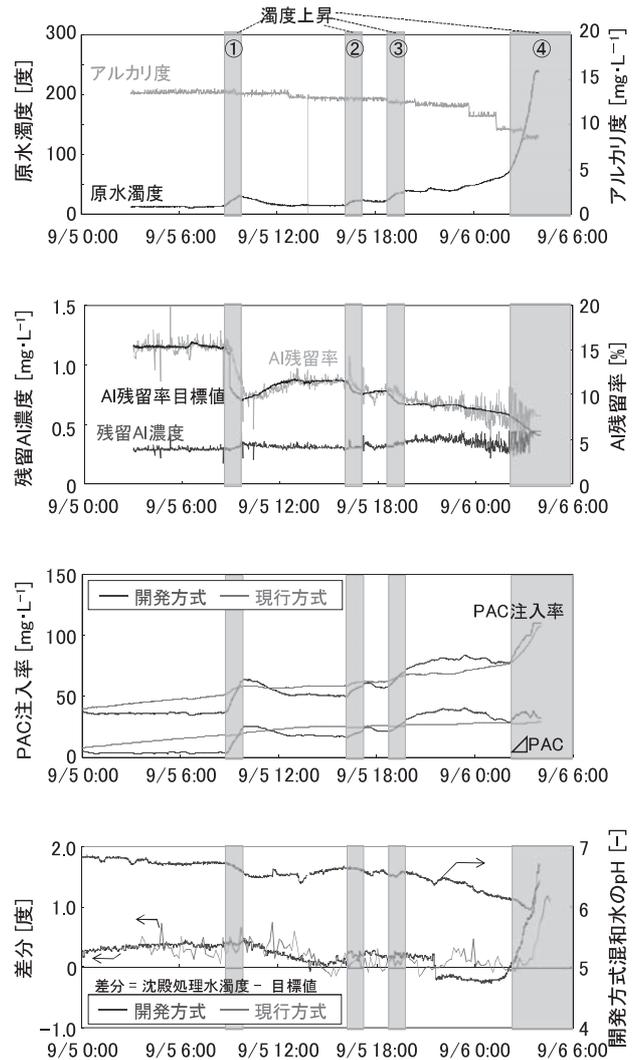


Fig.6 Results of coagulant dosage control experiment of 2011/9/5~9/6

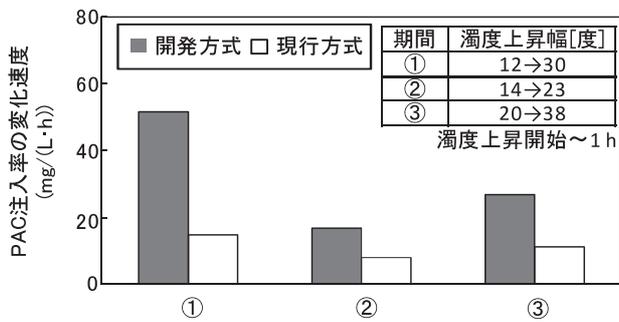


Fig. 7 Results of rate of change coagulant dosage

残留 Al 濃度は原水濁度の増加に伴い計測値のバラつきが大きくなり、原水濁度が 125 度となった時点で計測上限に達した。

開発方式の FB 補正の値は、各原水濁度増加時 (Fig. 6 中の①～④) に速い立ち上がりで PAC 注入率を補正した。これに対して、現行方式による PAC 補正は緩やかなカーブとなった。水道統計によれば、平均処理量 $3 \text{万 m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 以上で表流水を水源とする事業体の 84% は、最大濁度が 100 度以下である¹⁴⁾。結果として、原水濁度が 100 度以下では、開発方式により沈殿処理水濁度を水質管理目標設定項目である 1 度以下 (目標値 ± 0.4 度) に維持できることを確認できた。しかし、原水濁度が 240 度を越えた段階で、沈殿処理水濁度は水質基準項目である 2 度 (目標値 $+1.5$ 度) を越えた。沈殿処理水濁度が増大した原因の一つとして、アルカリ度不足が挙げられる。本実験では、原水濁度が 125 度以上るとき NaOH を $8 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 添加した。これにより PAC 注入前の原水のアルカリ度は $15 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上を維持している。しかし、混和水の pH は 6.0 と PAC の凝集に影響を与えるレベルまで低下し、結果としてアルカリ度が不足した。これは PAC 注入率が $100 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上と高い値であったことが原因と考える。

原水濁度上昇など、沈殿処理水濁度に影響を与える水質変化時、FB 制御は速やかに PAC 注入率を補正できることが望ましい。そのため、原水濁度が上昇した期間 (Fig. 6 中の①～③) について、開発方式と現行方式の PAC 注入率の変化速度を比較した。PAC 注入率の変化速度の比較結果を Fig. 7 に示す。結果として、開発方式は現行方式と比較して PAC 注入率の変化速度が 2 倍以上で、原水濁度増加時、速やかに PAC を補正できることを確認できた。

(2)-b 原水濁度低下時

Fig. 8 に原水濁度増加後に漸減した期間における原水水質の変動、残留 Al 濃度、PAC 注入率および処理水水質の経時変化を示す。原水濁度は 50 度から約 80 h かけて 20 度以下となった。アルカリ度は徐々に増加し、9/13 には $13.0 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ まで回復した。

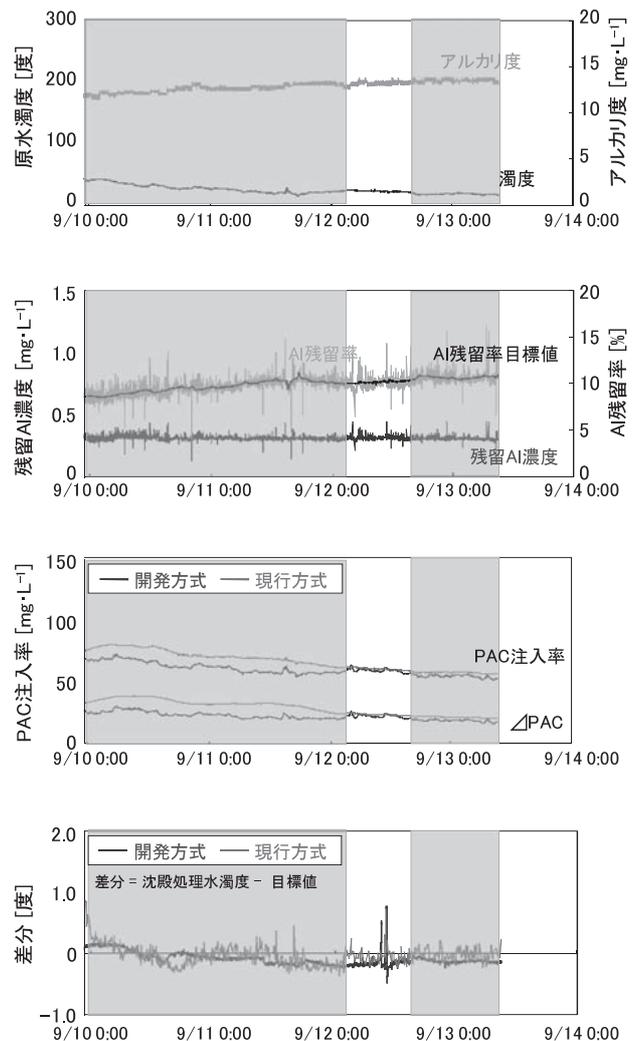


Fig. 8 Results of coagulant dosage control experiment of 2011/9/10~9/13

9/10 0:00～9/12 6:00 の期間、開発方式の FB 補正の値は約 $24.0 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ($\sigma = 2.6 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) で推移しており、PAC 注入率は原水濁度低下に伴う FB 制御に依存した。これに対して、現行方式の FB 補正の値は、9/10 0:00 時点で $8.0 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 大きかったが徐々に減少し、9/12 6:00 に開発方式と同程度となった。このことから開発方式の方が、原水水質に応じた速やかな PAC 注入率補正ができることを確認できた。また、開発方式、現行方式共に最後まで PAC 注入率には正の補正がかかり、通常より多く PAC が注入された。一般的に降雨などにより高濁度が発生した後の濁質は凝集沈殿されにくい傾向があるとされており、本期間中、ラボスケールの凝集沈殿処理装置を設置した浄水場でも、通常より $10 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 程度多く PAC を注入していた。開発方式は残留 Al 濃度から凝集状態の悪化を検知し、本期間中、 ΔPAC を正の側に補正できた。このとき、開発方式、現行方式共に沈殿処理水濁度を目標値 ± 0.3 度を維持できた。

9/10 0:00～9/12 6:00 の期間における開発方式お

よび現行方式の平均 PAC 注入率はそれぞれ $62.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $70.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ となり、開発方式の方が約 13% 低く、PAC を過剰注入せずに沈殿処理水濁度を目標値に維持できた。また、この期間における FF による注入率の平均値は $38.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ と開発方式の PAC 注入率より小さく、FF のみだと沈殿処理水濁度が増大した可能性があった。これより、開発方式は濁質性状を判断し、FF のみよりも安全側で PAC を注入できることが示唆された。以上より原水濁度低下時、開発方式は適正に PAC を補正できることを確認できた。

4. ま と め

原水水質の急変にも対応可能な PAC 注入制御技術の実現を目的として、混和池出口の PAC 混和水の AI 計測に基づく PAC 注入制御技術を開発した。浄水場にラボスケールの凝集沈殿処理装置を設置し、水道原水を用いて開発方式の実証を行った。

降雨により原水濁度が $9 \sim 18 \text{ 度} \cdot \text{h}^{-1}$ の割合で急激に上昇した際、開発方式では現行方式に比べて PAC 注入率の変化速度が 2 倍と、原水濁度の変化に追従した制御ができた。これにより、原水濁度が 100 度以下では、開発方式の沈殿処理水濁度は水質管理目標設定項目である 1 度以下 (目標値 ± 0.4 度) に維持できた。

原水濁度が減少する際、開発方式は FF による注入率に対して、PAC を増加させる補正をしたが、この値は現行方式よりも 13% 小さい値で、かつ沈殿処理水濁度の目標値 ± 0.3 度を維持できた。

AI を指標とする開発方式は、PAC の過不足を判断し、現行方式よりも速やかかつ適正な PAC 注入率補正を実現できる。

謝辞

本実証試験を行うにあたり、石狩東部広域水道企業団の方々から多大なるご支援・ご助言を頂きました。

ご協力に感謝を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 日本水道協会編：水道統計施設・業務編平成 18 年度版，日本水道協会 (2010)
- 2) 山口太秀：集塊化開始時間測定法の原理と同法を用いた凝集アナライザの開発，環境システム計測制御学会誌，Vol. 15, No. 2/3, pp. 37-40
- 3) S. K. Dentel, A. V. Thomas and K. M. Kingery: Evaluation of the Streaming Current Detector -I. Use in Jar Tests, Water Research, Vol. 23, No. 4, pp. 413-421 (1989a)
- 4) S. K. Dentel, A. V. Thomas and K. M. Kingery: Evaluation of the Streaming Current Detector -II. Continuous Flow Tests, Water Research, Vol. 23, No. 4, pp. 423-440 (1989b)
- 5) 前田 勉：流動電流計を用いた凝集剤注入制御の実用化，環境システム計測制御学会誌，Vol. 10, No. 3, pp. 13-20 (2005)
- 6) S. Xia, X. Li, Q. Zhang, B. Xu and G. Li: Ultrafiltration of Surface Water with Coagulation pretreatment by streaming current control, Desalination, Vol. 204, pp. 351-358
- 7) 渡辺 実：光散乱方式凝集センサーを用いた凝集剤注入制御システムの排水処理プロセスへの適用，環境システム計測制御学会誌，Vol. 13, No. 2/3, pp. 12-18 (2008) pp. 159-162
- 8) J. Gregory: Monitoring Particle Aggregation Processes, Advances in Colloid and Interface Science, Vol. 147-148, pp. 109-123 (2009)
- 9) 横井浩人：PAC 注入制御への残留アルミニウムの適用性に関する基礎検討，環境システム計測学会誌，Vol. 14, No. 2/3, pp. 12-18 (2009)
- 10) 横井浩人：アルミニウムを指標とした PAC 注入制御手法の開発，環境システム計測学会誌，Vol. 15, No. 2/3, pp. 41-44 (2010)
- 11) 海老江邦雄：急速攪拌による粒子集塊化の動的挙動と粒子数の低減に関する研究：水道協会雑誌，Vol. 76, No. 5, pp. 3-15 (2007)
- 12) 土木学会編：環境工学公式・モデル・数値集，土木学会，(2004)
- 13) 日本水道協会編：水道施設設計指針 2000 年版，日本水道協会 (2000)
- 14) 日本水道協会編：水道統計 (水質編) 2008 年版，日本水道協会 (2008)

Verification of PACl Injection Control System Based on Aluminum Concentration Measurement

Yutaka Sangu^{1)†}, Hiroto Yokoi, Hideyuki Tadokoro²⁾ and Takahiro Tachi³⁾

¹⁾ Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

²⁾ Information and Control Systems Division, Hitachi, Ltd.

³⁾ Social Infrastructure Systems Division, Hitachi, Ltd.

† Correspondence should be addressed to Yutaka Sangu :
(Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd. E-mail : yutaka.sangu.nf@hitachi.com)

Abstract

An automatic coagulant dosage control technology for water purification plants was developed to deal with rapid changes of feed water qualities. In this study, improved FB control was used for coagulant dosage control. In order to shorten the delay time, an indicator based on aluminum concentration of water in the mixing tank was developed. Aluminum, mostly in the form of PACl, is commonly used as a coagulant in Japanese water purification plants. Using a bench-scale coagulation-sedimentation process apparatus established in the water purification plant, the effectiveness of the developed system was verified. Except a case of raw water turbidity is beyond 300 mg-kaolin/L, Settled water turbidity was within ± 0.4 mg-kaolin/L of target value. In addition, the aggravation of the coagulation state was detected by aluminum in a small flocs included in water in the mixing tank.

Key words : PACl, coagulation, aluminum, control