

〈論文〉

流動電流値を指標とした凝集剤注入制御の実用化

福田 美意¹⁾, 村山 清一¹⁾, 阿部 法光¹⁾, 黒川 太¹⁾
毛受 卓¹⁾, 服部 大²⁾, 寺崎 啓二³⁾, 居村 研二³⁾

¹⁾ (株)東芝 電力・社会システム技術開発センター

(〒183-8511 東京都府中市東芝町1 E-mail: mii.fukuda@toshiba.co.jp, seiichi.murayama@toshiba.co.jp, norimitsu1.abe@toshiba.co.jp, futoshi.kurokawa@toshiba.co.jp, takashi.menju@toshiba.co.jp)

²⁾ (株)東芝 水・環境システム事業部

(〒212-8585 神奈川県川崎市幸区堀川町72-34 E-mail: dai.hattori@toshiba.co.jp)

³⁾ 宇和島市水道局

概要

ゼータ電位に相関のある流動電流値を指標とする凝集剤注入制御システムの現地試験での検討結果を報告する。濁質と凝集剤の荷電中和点から凝集剤量を決定するため、試験装置の混和槽出口水の流動電流値を0付近に維持する凝集剤注入制御を行った。流動電流値は水源由来の濁質流入時は負側に推移するが、未反応の凝集剤を含む返送水の流入時は正側に推移するため、返送水流入時は凝集剤必要量が低減することを確認した。本制御を用いると、従来方式である注入率一定制御に比べ15%の凝集剤削減効果を得られる可能性が示唆された。

キーワード：浄水，流動電流値，凝集剤注入制御，フィードバック制御

原稿受付 2015.6.3 原稿受理 2015.9.7

EICA: 20(2・3) 19-26

1. はじめに

一般的な浄水場においては、取水量や原水水質の変動に対応するため、注入率一定制御や原水濁度に基づく濁度比例制御などの凝集剤注入制御が用いられている。これら制御のパラメータは、季節や天候を基にした経験値や、ジャーテストなどの水質試験から設定されている。しかし、天候の急変時や水質が悪化した際には水質変化を見込んだ運用方法をとることや、水質が通常状態に戻ったことの判断が難しいことから、しばしば凝集剤の適正量を超えた過剰注入になっている。凝集剤の過剰注入は、薬品コストや汚泥量の増大だけでなく、砂ろ過池での目詰まりを引き起こし、洗浄頻度の増加にもつながる場合がある。

水質変動に応じて適切な凝集剤量を調整する技術には、三宮ら¹⁾の凝集剤の主成分である混和水中のアルミニウム濃度に着目したフィードバック制御技術がある。さらに凝集剤注入制御につながる技術として、山口ら²⁾の凝集剤を添加してから微細なフロックが形成するまでの時間を凝集剤適正量の指標とする技術がある。このように凝集剤の適正注入を検討する必要性は、多くの研究がなされている点からも伺える。

流動電流計は、水中の粒子の荷電状態の相対値を測定するオンラインセンサであり、流動電流値はゼータ電位に相関のある値とされている³⁾。原水に含まれ

る濁質の多くは表面電荷が負に帯電し、互いに反発し分散した状態にあるが、正電荷を持つ凝集剤を加えると表面電荷が中和される。表面電荷が見かけ上0となった濁質は、分子の持つファンデルワールス力によって引き合い凝集しやすい状態となる。前田ら⁴⁾は、流動電流計を用い濁質と凝集剤の荷電中和点である流動電流値0付近を最適点として凝集剤注入率を決定するシステムを構築した。流動電流計は、凝集剤を加え攪拌した直後の混和池水を測定対象とするため、時間遅れが少ない特長がある。一方、流動電流値は凝集反応に直接寄与しない水質の影響も受けるため、複数の水源から取水して水質変化が生じる場合、水質パラメータ(pH, 導電率, 水温等)による補正が行われている。

筆者らは、流動電流値を指標とした凝集剤注入制御システムについて、水質パラメータによる補正方法を一つの式を用いて表す検討を行った。浄水場でのフィールド試験において得られた知見について報告する。

2. 試験方法と装置

2.1 試験概要

試験は愛媛県宇和島市柿原浄水場において行った。柿原浄水場(以下、既設とする)はダム湖水を水源と

して比較的水質が安定しているが、台風やダムの放水時には濁度が上昇する。試験期間は2014/6~2015/3とし、前半は流動電流計の特性を把握する基礎試験を行った。基礎試験では、既設の混和池水の流動電流値を24時間連続で測定する試験と、水質パラメータに対する感度を測定する試験を行った。これらの試験結果をもとに、水質パラメータによる補正式を立案した。後半は補正式を含む凝集剤注入制御システムを試験装置に搭載し、流動電流値を指標とした注入制御試験を行った。流動電流値の制御目標値の決定方法の検討や、既設で運用されている注入率一定制御との凝集剤注入量の比較、水質変動時の制御の追従性を評価した。

2.2 試験装置と計装

(1) 流動電流計

Fig. 1に今回使用した流動電流計 (HACH: AF7000 Streaming current Monitor) を示す。流動電流計は測定値を表示するモニターと測定部が一体となっている。測定部は、両端に電極のついた円筒状のプロープと、上下運動するピストンから構成され、プロープとピストンの間には僅かな隙間がある。測定対象の水は水平方向からプロープに連続的に流入し、ピストンの上下運動によってプロープ内を上下する。ピストン表面に付着した粒子は、各々の荷電状態に応じて移動する。粒子の移動に伴って発生する電流が、粒子の荷電状態を表すゼータ電位の相関値である流動電流値 (Streaming Current Value; 以下、SC値とする) として検出される。

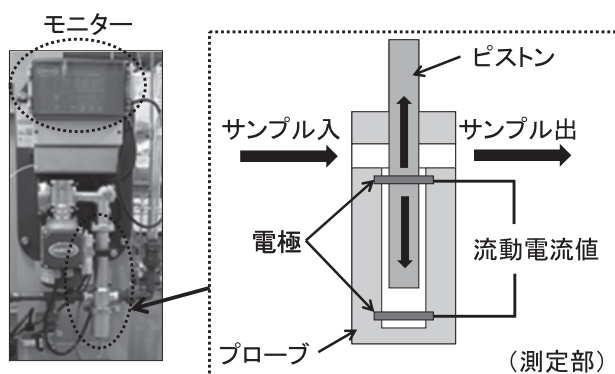


Fig. 1 Left photograph is an appearance of the Streaming current monitor. Right figure is a structure of a sensor part

(2) 試験装置と計装

試験装置の概略を **Fig. 2** に示す。試験装置の原水槽は、既設の着水井と混和池のどちらか一方から連続で取水した。原水槽には導電率計 (東亜ディーケーケー) を設置し、原水の導電率と水温を測定、記録した。原水槽から混和槽への流量は5 L/minに調整した。原水濁度は原水槽から混和槽への送水ラインを分岐して濁度計 (マイクロテック) によって記録した。

測定範囲は0.0~20.0 mg/Lであった。混和槽で凝集剤とpH調整剤を注入し、3段の攪拌翼を使い回転数285 rpm (GT値:152,000) で急速攪拌した。凝集剤とpH調整剤は、コントローラー (東芝) の演算結果に基づき、電磁定量ポンプ (イワキ) の吐出量を調節して、注入率を調整できる仕組みとした。凝集剤はPAC (ポリ塩化アルミニウム) を、pH調整剤は水酸化ナトリウム溶液か塩酸を試験目的に応じて用いた。混和槽で凝集剤を混合した混和物はpH計 (メトラートレド) によってpHを測定した直後に分岐し、一方は凝集槽へ、もう一方は送水ポンプを介して流動電流計へ送水しSC値を測定、記録した。SC値と原水導電率、混和水pHはコントローラーへ出力し、凝集剤注入率を決定するフィードバック (FB) 制御の演算に用いた。凝集槽への流量は0.50~1.0 L/minとし、流動電流計への流量は4.0~4.5 L/minとした。凝集槽では10 rpm (GT値:30,000) の緩やかな攪拌を加え、微細なフロックを衝突合一し大きく成長させた。凝集槽出口側の容積1/3の部分には上下迂流を設け、さらにフロックを成長させた。凝集槽と沈殿槽は設置スペースの都合から配管で接続し、沈殿槽に流入する際の底部からの巻き上がりを軽減するため、孔径5 mmの多孔板を設けた。沈殿槽の滞留時間は75~150 minであり、沈殿槽の出口濁度を濁度計 (東芝) で測定、記録した。記録間隔はいずれも1 minとした。沈殿槽出口濁度計からの上澄水と流動電流計からの混和物は、一旦排水槽で貯留した後に排水池へ送水した。コントローラーにはLCDタッチパネルモジュールを介して運転操作の選択と外部から設定値を入力した。

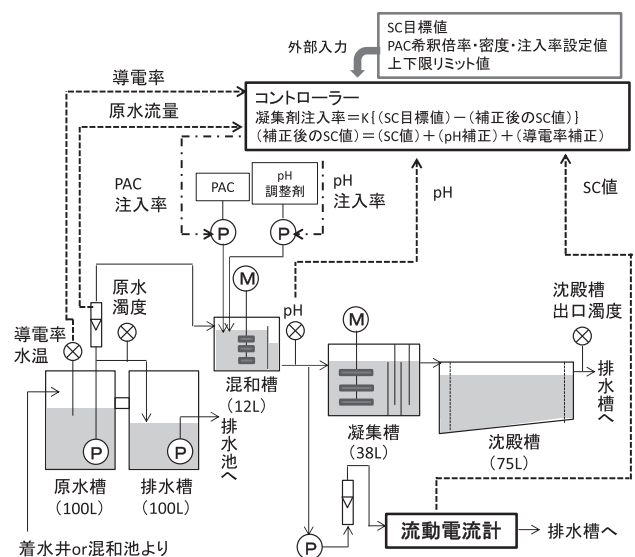


Fig. 2 Schematic diagram of the field-test equipment for the coagulant dose control system by the streaming current value of a rapid-mixing water as a control index

2.3 凝集に適するSC値の決定

凝集の原理から、制御目標値は荷電中和点であるSC値0付近にあると考えられる。制御目標値を以下の方法で確認した。Fig. 2の試験装置を用いて既設の着水井から取水した原水を連続通水し、混和槽においてPAC注入率を10~30 mg/Lの範囲で5 mg/L刻みで増加させ、SC値を記録した。原水水質は経時変化することから、滞留時間の長い凝集槽、沈殿槽は用いなかった。代わりに混和水を1 L ビーカーに分取し、卓上攪拌機によって30 rpmで15分間緩速攪拌を行ってフロックを形成した。15分静置後に上澄みを採取し、濁度を測定し凝集の良否を判定した。濁度はポータブル濁度計(アズワン)で測定した。

2.4 運転モードと制御ロジック

今回の試験に使用した運転モードと制御ロジックについて説明する。

(1) SC値を指標とした凝集剤注入率のFB制御

混和槽出口から分岐して計測したSC値を用いて、PAC注入のFB制御を行った。SC値の目標値 Z_{SV} とSC実測値に導電率とpHの補正を加えた補正後のSC値 Z_{PV} の偏差 e_n に基づき、PI制御によりPAC注入率を決定した。Fig. 2を用いて説明を加える。流動電流計で測定したSC値は、原水導電率による導電率補正值と混和水pHによるpH補正值を加算して補正する(Z_{PV})。その後、LCDを介して外部入力したSC目標値 Z_{SV} との入力偏差 e_n を演算し(式1)、前制御周期の入力偏差 e_{n-1} との差分からPAC注入量 A_{PAC} を演算する(式2)。PAC注入量 A_{PAC} と原水流量 f の測定値、PAC希釈倍率 D 、PAC密度からPAC注入率 R_{PAC} を演算する(式3)。外部から入力したPAC注入率の上下限のリミット値の範囲内ならばPAC注入設備に出力する。リミット値を超過した場合は、リミット値が選択される。

$$e_n = Z_{SV} - Z_{PV} \quad (\text{式1})$$

$$A_{PAC} = K \cdot (e_n - e_{n-1}) \quad (\text{式2})$$

$$R_{PAC} = A_{PAC} \cdot D^{-1} \cdot f^{-1} \cdot r_{PAC} \cdot 10^{-3} \quad (\text{式3})$$

| | | |
|-----|----------------------|-------------------------|
| { | e_n | : 現制御周期の入力偏差 [-] |
| | e_{n-1} | : 前制御周期の入力偏差 [-] |
| | Z_{SV} | : SC目標値 (外部入力) [-] |
| | Z_{PV} | : 水質パラメータによる補正後のSC値 [-] |
| | A_{PAC} | : PAC注入量 [mL/min] |
| | R_{PAC} | : PAC注入率 [mg/L] |
| | r_{PAC} | : PAC密度 [g/mL] (外部入力) |
| | K | : 比例ゲイン [mL/min] |
| D | : PAC希釈倍率 [倍] (外部入力) | |
| f | : 原水流量 [L/min] | |

(2) 凝集剤注入率一定制御

原水流量に因らず、混和槽でのPAC注入率を一定に維持する制御を行った。PAC注入率設定値はLCDから入力し、演算は式3を用いた。

(3) pH一定制御

混和槽でPACが混合された後の混和水のpHについて、 7.0 ± 0.1 となるように調整した。

2.5 水質変動への追従性評価

SC値を指標とした制御において、原水水質が大きく変動した場合を想定した試験を行った。実際の取水水源の水質は安定していたため、濁質として河川の底泥を、pHと導電率の変化が生じる電解質として炭酸水素ナトリウムを溶解し、原水槽に電磁定量ポンプ(イワキ)を用いて注入した。底泥は、一旦水に分散させて10分程度静置させた上澄みを用いた。原水の濁度と導電率の変化に対する凝集剤注入率の推移について、沈殿槽出口濁度を評価基準とした。

3. 水質パラメータによる補正

3.1 水質パラメータによる補正式の立案

流動電流計は、濁質と凝集剤の関係に加え、様々な物質を含有する水全体の荷電状態を計測しているため、水質の影響を受けやすい。SC値を指標として凝集剤注入率を決定するには、水質の影響を軽減する必要がある補正方法を検討した。補正方法は、1) 水質パラメータを変化させてSC値を測定する試験を行い、SC値と水質パラメータの関係から補正式を作成する、2) 実際の運用記録を活用し、年間あるいは月間平均値から補正の基準とする水質パラメータの値を設定する(以下、補正基準値とする)、3) 水質パラメータを実測し、補正基準値に換算した補正後のSC値を凝集剤注入率の制御指標に用いる、とした。本研究では、特に影響の大きい水質パラメータとしてpHと、電解質の濃度を表す導電率を抽出し、SC値との関係を測定した。

(1) SC値とpHの関係

SC値とpHの関係は、流動電流計へ送水する混和水のpHを徐々に上昇させて確認した。既設着水井の水を原水とし、既設の運用状態に合わせPAC注入率15 mg/Lの一定制御で運転した。試験開始時に塩酸を用いて原水pHを低下させた後、水酸化ナトリウム溶液の注入設備の吐出量を増加させ、混和水のpHを6.8~7.5の範囲で変化させた。混和水のSC値とpHの測定結果をFig. 3に示す。縦軸をSC値、横軸をpHとするとSC値とpHは負の関係にある。pHが上昇すると水素イオン濃度 $[H^+]$ が減り、相対的に水酸化物イオン濃度 $[OH^-]$ が増えるため、SC値が負側

に推移することは正しい結果と考えている。**Fig. 3** の関係を式 4 で表すことができる。 K_{pH} は **Fig. 3** の近似線の傾きとし、 pH_0 は混和槽の pH 制御目標値である 7.0 とした。

$$SC'_{pH} = SC + K_{pH} \cdot (pH_0 - pH) \quad (式 4)$$

$$\begin{cases} SC'_{pH} : \text{pH 補正後の流動電流値} [-] \\ SC : \text{SC 実測値} [-] \\ K_{pH} : \text{SC 値と pH の関係を示す傾き} [-] \\ pH : \text{混和水 pH 実測値} [-] \\ pH_0 : \text{pH の補正基準値 (外部入力)} [-] \end{cases}$$

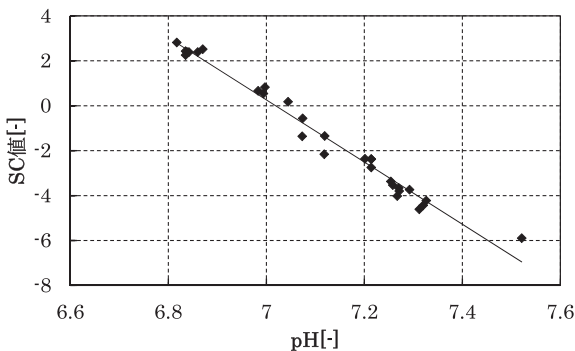


Fig. 3 Diagram showing the negative linear correlation between streaming current value and pH in adding coagulants

(2) SC 値と導電率の関係

SC 値と導電率の関係は、流動電流計へ送水する混和水の導電率を段階的に変化させて確認した。原水には既設混和池から取水した水を用いた。既設混和池では通常の運用において既に PAC と水酸化ナトリウムが混合されているため、試験装置の混和槽では PAC は注入しなかった。電解質は塩化ナトリウムを用いた。原水槽に塩化ナトリウム水溶液を添加し、5.95~50.0 mS/m の範囲で導電率を増加させると、**Fig. 4a** に示すように SC 値は導電率 20 mS/m までの範囲でほぼ一定であるが、20 mS/m 以上では正側に推移した。一方、pH は導電率 5.95~16 mS/m の範囲では上昇するものの、16 mS/m 以上では pH 6.9 付近でほぼ一定となった。導電率の増加に伴い pH が上昇する現象は、雨水由来の原水の特性和と考えている⁵⁾。導電率の増加により混和水の pH が変化するため、式 4 を用いて pH 補正後の SC 値と導電率の関係を調べた。**Fig. 4b** に示すように縦軸に pH 補正後の SC 値 (以下、 SC'_{pH} とする)、横軸は導電率の対数とすると、 SC'_{pH} と導電率は線形関係にある。この時の傾きを K_{EC} とし、SC 値と導電率の関係は式 5 のように表すことができる。

$$SC'_{EC} = SC + K_{EC} \cdot \log(EC/EC_0) \quad (式 5)$$

$$\begin{cases} SC'_{EC} : \text{EC 補正後の流動電流値} [-] \\ SC : \text{SC 実測値} [-] \\ K_{EC} : \text{SC'_{pH} と EC の関係を示す傾き} [-] \\ EC : \text{混和水 EC 実測値} [\text{mS/m}] \\ EC_0 : \text{EC の補正基準値 (外部入力)} [\text{mS/m}] \end{cases}$$

(3) 補正式の立案

SC 値と pH, 導電率の関係が得られたことから補正式を立案した。pH 補正単独の補正式 1, 導電率補正単独の補正式 2, pH と導電率補正を併用した補正式 3 を候補とした。

・ pH 単独

$$SC'_{pH} = SC + K_{pH} (pH_0 - pH) \quad (補正式 1)$$

・ 導電率単独

$$SC'_{EC} = SC + K_{EC} \cdot \log(EC/EC_0) \quad (補正式 2)$$

・ pH と導電率の併用

$$SC'_{pH,EC} = SC + K_{pH} (pH_0 - pH) + K_{EC} \cdot \log(EC/EC_0) \quad (補正式 3)$$

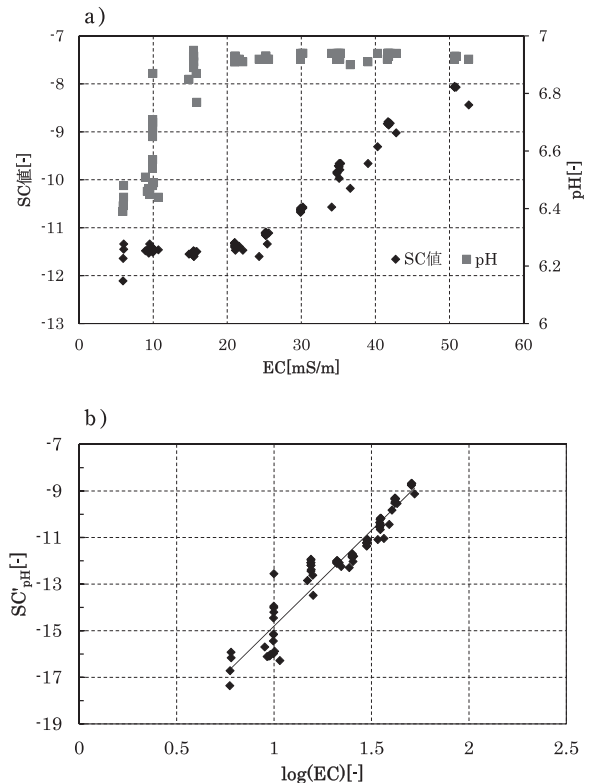


Fig. 4 Results of the examination increasing conductivity by sodium chloride

- Correlation between streaming current value and conductivity
- Linear correlation between the streaming current value corrected by pH and logarithm of the conductivity

(4) 補正式の抽出

補正式1~3について水質変動に対する補正効果を比較し抽出した。水質変動を補正すると、凝集剤注入率が一定である期間のSC値は一定値に近づくと仮定し、補正後のSC値の標準偏差の大きさを比較を行った。年間の水質変動を考慮し、対象期間は夏期(7,8月)、荒天時(台風)、冬期(1月)とし、凝集剤注入率が終日一定であった日を抽出した。SC値と原水導電率、混和水pHの測定結果から補正值1~3を用いて補正後の流動電流値を試算した。Table 1に補正式1~3について、補正後のSC値の平均に対する標準偏差を比較した結果を示す。水温は測定日の日平均値とした。SC_{pH,EC}'の標準偏差が小さく、補正式間に大きな差異は見られない。SC_{EC}'は、いずれの条件であっても最も標準偏差が大きいことから、導電率補正単独では不十分であり、pH補正との併用が必要である。

SC値と補正式1~3から求めた補正後のSC値について、Fig. 5を用いて比較を行った。試験日は2014年8月、PAC注入率は27 mg/Lで終日一定であった。pHの補正基準値pH₀は7.0、導電率の補正基準値EC₀は日平均値である5.0 mS/mを用いた。SC値とSC_{EC}'は同じような変化をしており、この期間の水質変化に対しては導電率補正の効果は小さい。SC_{pH}'とSC_{pH,EC}'は類似して、かつSC値やSC_{pH,EC}'よりも一定値に近づいているため、補正の効果が表れている。原水導電率が基準値を超過して6.0 mS/m付近になる

Table 1 Difference in standard deviation of 3 correction types

| 測定日 | 凝集剤注入率 [mg/L] | 水温 [°C] | 標準偏差 | | |
|--------------|------------------|------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| | | | SC _{pH} ' | SC _{EC} ' | SC _{pH,EC} ' |
| 7/11 | 27.0 | 20.7 | 0.38 | 0.94 | 0.30 |
| 7/12 | 27.0 | 20.3 | 0.77 | 0.79 | 0.71 |
| 8/10 (台風) | 27.0 | 21.2 | 0.93 | 2.16 | 1.35 |
| 8/18 | 21.0 | 21.6 | 0.25 | 0.78 | 0.26 |
| 1/15, 16 | 18.0 | 7.6 | 0.06 | 0.39 | 0.12 |
| 平均 | — | — | 0.48 | 1.01 | 0.55 |

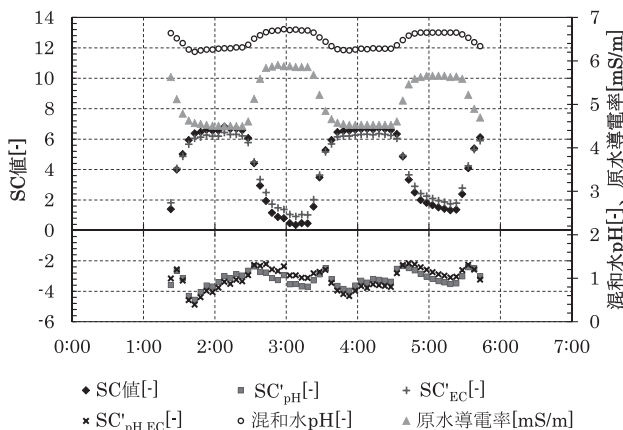


Fig. 5 Diagram which compared calculation results by the three correction styles

と補正式の違いによる差異があることから、SC値は導電率よりもpH変化の影響を強く受けていた。導電率が大きく変化する水質では、導電率の影響を受ける可能性も十分にあるため、今回の試験では補正式3を適用し、SC_{pH,EC}'をSC値を指標とする制御に用いた。

4. 流動電流値を用いた凝集剤注入制御

4.1 制御目標値の設定

PAC注入率を段階的に増加させ、SC値を記録するとともに1Lビーカーで緩速攪拌と静置を行った上澄水の評価を行った。Fig. 6にPAC注入率とSC_{pH}'の関係を示す。PAC注入率が増えるとpHが低下するため、縦軸は式4を用いて算出したSC_{pH}'とした。SC_{pH}'とPAC注入率には正の相関関係がある。また、PAC注入率が増加すると上澄水の濁度は減少し、PAC20 mg/Lの時に最も小さくなった。さらにPAC注入率を増加させると上澄水の濁度は増加した。以上の結果から、上澄水の濁度が最小になったPAC20 mg/Lが適切な注入率であったといえる。この時のSC_{pH}'は+2であり、0よりも正側にある結果となったが、凝集状態が良いSC値は荷電中和点である0付近にあることを確認できた。

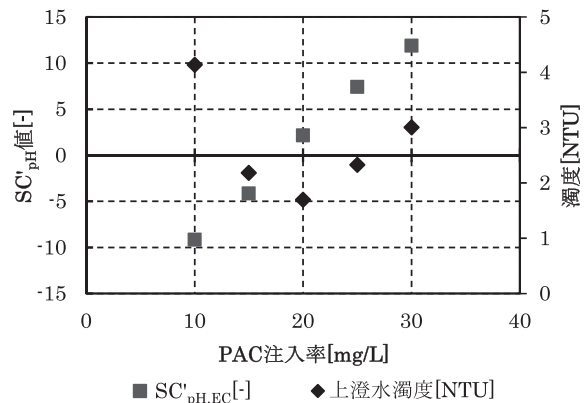


Fig. 6 Diagram showing the streaming current value corrected by pH and turbidity of supernatant water in a beaker scale test by increasing a coagulant injection rate

4.2 SC値を指標とした制御

(1) 返送水の影響

Fig. 7に原水濁度とSC値、原水濁度、混和水pHの経時変化を示す。SC値は補正をしていない実測値であり、6分間の移動平均値とした。原水は着水井から取水し、PAC注入率は既設の運用と同じ15 mg/Lで注入率一定制御を行い、pHは7.0付近に調整した。原水濁度は2~6.5度の範囲で2時間置きに上昇低下を繰り返し、5:00過ぎには7.5度まで上昇した。着

水井から試験装置に至るまでの滞留時間を考慮すると、既設で2時間に1回行われるろ過池洗浄の返送水が着水井に流入する時間と、5:00に沈殿池の汚泥の一部が着水井に流入する時間と合致していることから、原水濁度の周期的な変化は返送水の流入による影響と考えている。原水導電率も周期的に増減しており、返送水の影響と考えている。原水濁度の増加に合わせてSC値は上昇していき、返送水やそれに含まれる濁質が正電荷を持っていることが明らかである。正電荷を持つ物質として、返送水中に未反応のPACが残存しているか、濁質に付着していると考えている。水源由来の濁質は負に帯電していてSC値は負側に遷移するが、返送水由来の濁質の流入ではSC値は正側に遷移する。同じ原水濁度の上昇であっても、SC値を測定することで河川由来の濁質か、返送水由来の濁質かを判定することができる。

(2) SC値を指標とした制御

Fig. 7においてSC値は-1.0付近を推移していたため、SC値の制御目標値(set value)を-1.0として、SC値を指標とした凝集剤注入制御を行った。指標とするSC値は、補正式3を用い $SC'_{pH,EC}$ とした。混和水pHは 7.0 ± 0.1 の範囲に調整した。**Fig. 8**に凝集制御試験におけるSC値、 $SC'_{pH,EC}$ 、式1~3によって演算、注入されたPAC注入率(R_{PAC})、原水濁度、沈殿槽出口濁度、既設でのPAC注入率設定値の変化を示す。試験日の原水濁度が高く、濁度計の測定範囲を超過したため、原水濁度は既設の着水井濁度の測定記録を用いた。PAC注入率(既設)は同時間帯に既設で注入された注入率一定制御によるPAC注入率であり、比較のために併記した。既設のPAC注入率設定値は15 mg/Lであった。 $SC'_{pH,EC}$ は目標値である-1.0に制御された。SC値は原水濁度の上昇低下に合わせて周期的に変化しており、前述した返送水の着水井への流入影響と推測している。SC値に対して原水濁度のピークがわずかに遅れているが、試験装置ではなく既設の濁度測定記録を用いたことによる遅れ時間と考えている。SC値が上昇すると R_{PAC} は減少する方向に動き、反対に低下すると R_{PAC} は増加する方向に動いている。したがって R_{PAC} の周期的な変化は返送水の影響によるものであって、返送水が流入している時間はPAC注入率が減少し、PAC添加量を削減する効果があることを示している。この間の沈殿槽出口濁度は平均で0.40NTU(0.32度相当)であり、既設の運用上の管理目標値である1度以下であったことと、同時間帯の既設の沈殿池出口濁度は平均で0.50 mg/Lであったことから、水質に対してPAC注入率は適正であったと言える。

19:00から翌朝7:00までのPAC注入率を比較すると、試験期間の既設のPAC注入率(既設)は平均

で15.1 mg/Lであり、 $SC'_{pH,EC}$ を指標とした制御試験では平均で12.7 mg/Lであった。注入率一定制御に対する $SC'_{pH,EC}$ を指標とした制御の凝集剤削減効果は、15.8%であった。これらの結果から、SC値を指標とした制御において、濁度上昇時であっても返送水に含まれる未反応のPACを利用してPAC注入率を低減できる可能性がある。

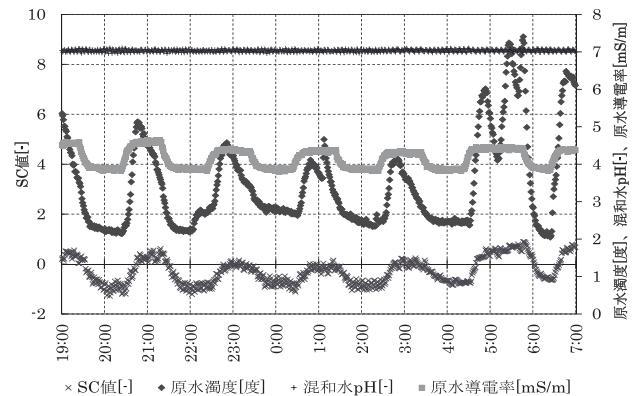


Fig. 7 Diagram showing the streaming current value and quality of the receiving tank water (turbidity, pH and conductivity)

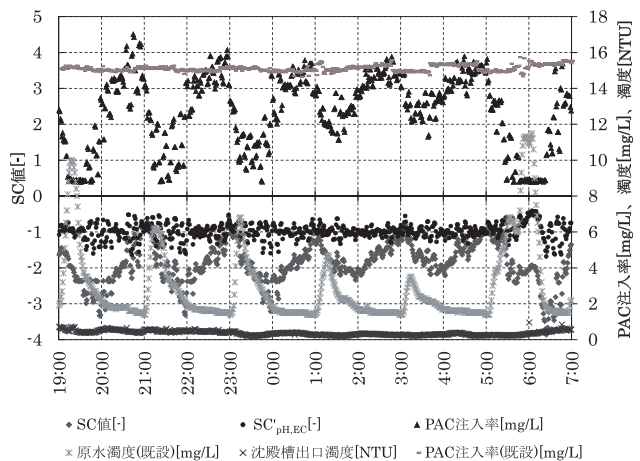


Fig. 8 Comparison a constant coagulant dose rate control system (conventional method) with the examining control system by the streaming current value in water quality variously

4.3 水質変動に対する追従性評価

原水水質の変動に対する追従性を、沈殿槽出口濁度を基準として評価した。**Fig. 9a**に原水水質の変化を示す。9:00に底泥と炭酸水素ナトリウムの添加を開始し12:00に添加終了した。原水濁度は3~17度、導電率は4~10 mS/m、pHは 7.2 ± 0.3 と通常の試験に比べ大きく変動した。**Fig. 9b**に同時間帯のSC値、制御指標である $SC'_{pH,EC}$ 、PAC注入率、沈殿槽出口濁度の変化を示す。 $SC'_{pH,EC}$ の目標値は-1.0とした。9:20に既設着水井濁度が上昇したのに伴い、原水濁度が4度から17度、pHは6.9から7.3まで急激に上

昇し SC 値は低下したが、PAC 注入率が増加して約 10 分後には $SC'_{pH,EC}$ は -1.0 付近に維持された (①)。11:00 に再び既設原水濁度が上昇し、 $SC'_{pH,EC}$ が -1.0 を超過したため PAC 注入率は大幅に減少した (②)。11:25 には pH、導電率の変動影響を観察するため炭酸水素ナトリウムの添加率を増加した。SC 値は低下したが $SC'_{pH,EC}$ を -1.0 付近に維持するよう PAC 注入率が調整された (③)。12:00 に底泥と炭酸水素ナトリウムの注入を停止したため SC 値が急激に上昇し、PAC 注入率は減少、10 分後には試験開始時と同等の水質で安定した (④)。この期間、沈殿槽出口濁度は管理目標値である 1 度以下を維持し、平均は 0.35 NTU (0.3 度相当) であった。同時時間帯の既設の沈殿池出口濁度の平均値が 0.41 mg/L であったことから、本制御系は原水水質の変動に追従できることを確認した。

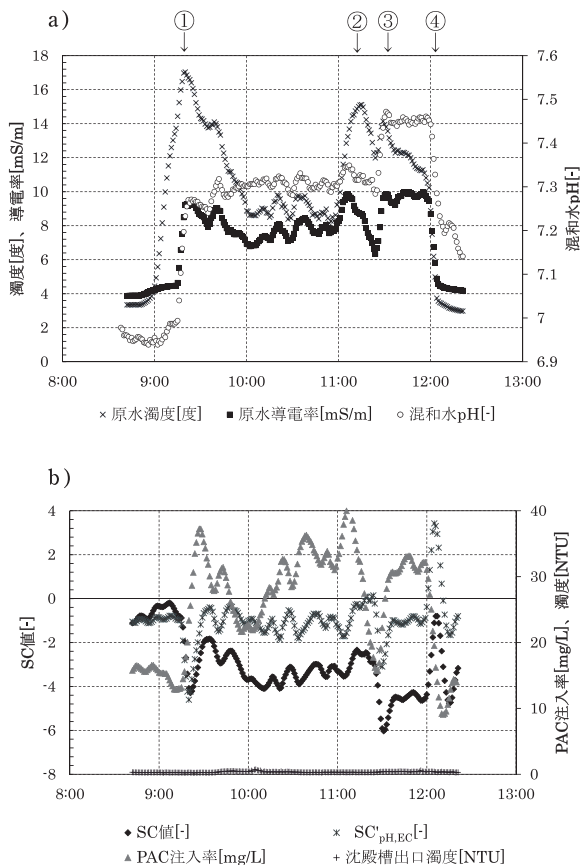


Fig. 9 Diagrams showing results of the coagulant dose control exam in the artificial change of quality of the receiving tank water

- a) Water quality of the receiving tank
- b) Measurement of the streaming current value, the streaming current corrected by pH and conductivity, the coagulant injection rate adjusted, turbidity of the sedimentation tank exit

5. 考 察

5.1 pH による粒子表面電位の変化

小林らの報告⁶⁾によると、土壤に含まれるコロイド粒子は帯電しており、水中では主に水素イオンを引き付け見掛けの表面電荷が変化する。水道水源である表流水に含まれる粒子のように、自然環境中に存在する粒子の多くは負に帯電しており、水素イオン濃度に影響を受けると考えることができる。Fig. 10 は pH の変化に対する、カオリンのゼータ電位の報告例⁷⁾と原水の SC 値測定結果を比較したものである。測定手法や測定対象となる物質が異なるため、同じ pH における各々の数値や pH の変化に対する直線の傾きは異なるが、pH の上昇つまり水素イオン濃度の減少に伴い、カオリンのゼータ電位も SC 値も直線的に低下する傾向が一致していることが分かる。また、筆者らは数社流動電流計で同じサンプル水の流動電流値を測定した結果、同じ原理で SC 値を測定するセンサであっても、ゼロ点は一致するものの、機種によって測定値や pH に対する感度が大きく異なることを確認している。相対値として測定結果が得られる流動電流計を適用し、特定の pH 条件において流動電流の目標値を設定し、凝集剤注入量の過不足の判断をする制御システムを構築する場合には、pH に対する直線的な補正式を用い SC 目標値を定めた際の pH と同じ条件としたときの現在値とを比較する必要があると考える。

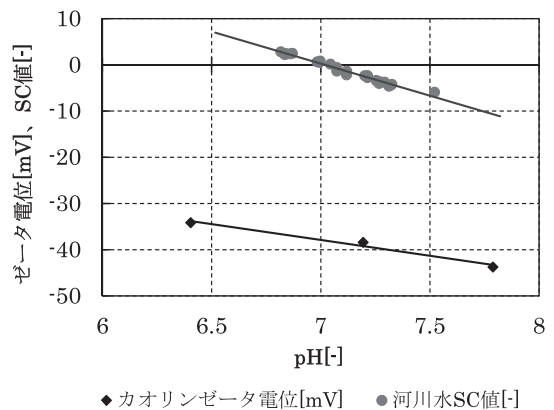


Fig. 10 Surface electric charge of kaolinite and a streaming current of a river water by increasing pH

6. ま と め

SC 値は pH や導電率などの水質パラメータの影響を受けるが、SC 値とそれぞれの水質パラメータの関係を実測し、基準状態に換算する補正方法を用いて影響を軽減することができた。pH と導電率の SC 値への影響は、pH は負の線形関係、導電率は非線形だが導電率の対数と正の線形関係にあることが分かった。

また、SC 値と pH の関係が線形関係にあることは、粒子表面電位の変化からも記述できる見込みを得た。

濁質の荷電が中和され、凝集しやすい状態とされる「SC 値=0」付近となるような凝集剤注入制御で適正な注入率を維持できることを確認した。

本試験において、返送水中に含まれる濁質は水源由来の濁質と異なって正に帯電しており、SC 値が正側に推移しているという新たな知見を得た。SC 値が正側に推移している時間帯は凝集剤量を削減できる可能性があり、SC 値を指標とした凝集剤注入制御では、従来方式に比べ平均 13%、最大で 15% の凝集剤削減効果を確認した。この効果は他機場に展開できる可能性があり、今後の検討要素とする。

謝辞

本研究の実施にあたり、宇和島市水道局の方々にはご理解と数々のお力添えをいただき、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 三宮 豊, 横井浩人, 田所秀之, 館 隆広: アルミニウムを用いた PAC 注入制御方式の実証, Journal of EICA, Vol. 17, No. 2/3, pp. 143-149 (2012)
- 2) 山口太秀, 田中良春, 松井佳彦, 海老江邦夫: 凝集制御への適用を目的とした集塊化開始時間測定装置の開発, 全国水道研究発表会講演集, 60th, pp. 116-117 (2009)
- 3) Christopher A. Walker, James T. Kirby and Steven, K. Dentel: The Streaming Current Detector: A Quantitative Model, Journal of colloid and interface science, Vol. 182, No. 1, pp. 71-81 (1996)
- 4) 前田 勉, 岡田喜一, 古川博文, 毛受 卓, 猪俣吉範, 栗原潮子, 有村良一, 黒川 太: 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講演集, Vol. 10, No. 3, pp. 13-20 (2005)
- 5) 玉置元則: 我が国の雨水の化学的性状, 環境技術, Vol. 14, No. 2, pp. 132-146 (1985)
- 6) 小林幹佳: 土壌と界面電気現象 4. 表面電荷の測定とモデル, 日本土壤肥科学雑誌, Vol. 85, pp. 258-263 (2014)
- 7) 宮脇律郎, 佐野貴司, 大橋文彦: 日本粘土学会参考試料の分析・評価, 粘土科学, Vol. 48, pp. 158-198 (2010)

Practical Use of Coagulant-dose Control System Adopted Streaming Current Value as Control Index

Mii Fukuda^{1)†}, Seiichi Murayama¹⁾, Norimitsu Abe¹⁾, Futoshi Kurokawa¹⁾
Takashi Menju¹⁾ Dai Hattori²⁾, Keiji Terasaki³⁾ and Kenji Imura³⁾

¹⁾ Plant systems and solutions R&D Dept., Toshiba Corporation Power Systems Company

²⁾ Division Water & Environmental Systems Div. Water & Environmental Systems Engineering Dept.,
Toshiba Corporation Community Solutions Company

³⁾ Uwajima Water Works Bureau

† Correspondence should be addressed to Mii Fukuda :

(Plant systems and solutions R&D Dept., Toshiba Corporation Power Systems Company

E-mail : mii.fukuda@toshiba.co.jp)

Abstract

This paper presents the experimental results of a field study for a new coagulant dosage control system using the streaming current value which has correlation with the so called "zeta potential".

The streaming current value corrected by pH and conductivity was adopted as a control index to reduce the effect of the water quality condition and to capture the pure electrical charge between coagulant and turbidity. It has been confirmed that the corrected streaming current can properly captures negatively charged turbidity of water source as a negative value and positively charged turbidity of the return water containing coagulant from the sand filter or the clarifier as a positive value. The coagulant consumption was reduced when the returned water flow into the receiving well. Compared to conventional coagulant injection ratio control, 15 percent of coagulant dose was reduced at the water purification plant where the experiment was conducted.

Key words : drinking water, streaming current value, coagulant dose control system, feedback control system