

〈特集〉

流動電流値を指標とした凝集剤注入制御

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⁾, 居村 研二³⁾, 寺崎 啓二³⁾

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.kurokwa@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 (〒798-0027 愛媛県宇和島市柿原甲1950番地)

概 要

一般に、浄水場で取水する原水に含まれる濁質のゼータ電位は負であり、このゼータ電位が0に近づくとも濁質同士の反発力が弱くなり凝集する。今回考案した凝集剤注入制御システムは流動電流値を指標としている。流動電流値はゼータ電位と相関があり、正の電荷をもつ凝集剤を添加すると流動電流値が0に近づくことから、濁質と凝集剤の荷電中和点において適切な凝集剤の注入量を決定することが可能となる。この考えに基づき、試験装置を用いて、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システムの検証試験を行った結果を紹介する。

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 2016.4.27

EICA: 21(1) 11-14

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もと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。これら制御で設定される凝集剤の注入量は、季節や天候をもとにした経験や、ジャーテストなどの水質試験から決定されている。しかし、天候の変化に伴い取水する原水水質は変化する。また浄水場内では、ろ過池の洗浄に使用した洗浄排水が着水井に返送される過池の洗浄に使用した洗浄排水が着水井に返送され一時的に原水水質が変化することがある。こうした際に、凝集剤注入においては水質変化を見込んだ安全サイドでの運用を行うことが多い。さらに、水質が通常状態に戻ったことの判断が難しいことから、しばしば適正量を超えた凝集剤が注入されている。凝集剤の過剰注入は、薬品コストや汚泥量の増大、砂ろ過池での目詰まりを加速する要因ともなる。したがって、原水水質の変化を捉えた適切な凝集剤の注入量を決定することが望ましい。

流動電流計を用いた凝集剤注入制御システムは、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。このシステムは、凝集剤を加え攪拌した直後の混和池水の流動電流値を測定するため、測定までの時間遅れが少ない特徴がある。一方、流動電流値は凝集反応に大きく寄与しない

水質の影響も受けるため、水質変化に応じた水質パラメータ (pH, 導電率, 水温等) による補正が必要となる。

筆者らは、試験装置を用い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、実際の浄水場で検証試験を行った。本稿では、その結果について紹介する。

2. 試験概要と試験装置

2.1 試験概要

試験は宇和島市柿原浄水場 (以下、既設とする) において行った。試験は構築した凝集剤注入制御システムを評価試験装置に搭載し、2014年6月~2015年3月で実施した。試験では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

(1) 流動電流計

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¹⁾。水に含まれる濁質の多くは表面が負に帯電し、互いに反発して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、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。**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。測定対象の凝集剤注入後のサンプル水は水平方向からプローブに連続的に流入し、ピストンの上下運動によってプローブ内を上下する。ピストン表面に付着した粒子は、流動を加えることによって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。

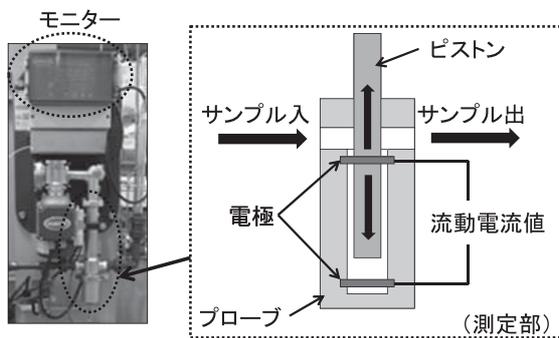


Fig. 1 Left photograph is an appearance of the Streaming current monitor. Right figure is a structure of a sensor part

(2) 試験装置と計装

試験装置の概略を **Fig. 2** に示す。試験装置で使用する試験水は、既設の着水井から連続で取水した。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によって測定した。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、コントローラーの演算結果に基づき、電磁定量ポンプの吐出量を調節して、注入率を調整する仕組みとした。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を用いた。混和槽で凝集剤を混合した混和水は pH 計によって 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集塊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、フロックを成長させるため、上下迂流を設けた。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で測定、記録した。コントローラーには LCD タッチパネルモジュールを設け、運転操作の選択と外部から設定値を入力できるようにした。

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 (SC 目標値) は荷電中和点である SC 値 0 付近であるという考えに基づき、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。また、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させ、15 分静置後に上澄み水を採取し、濁度を測定して凝集の良否を判定した。濁度はポータブル濁度計で測定した。

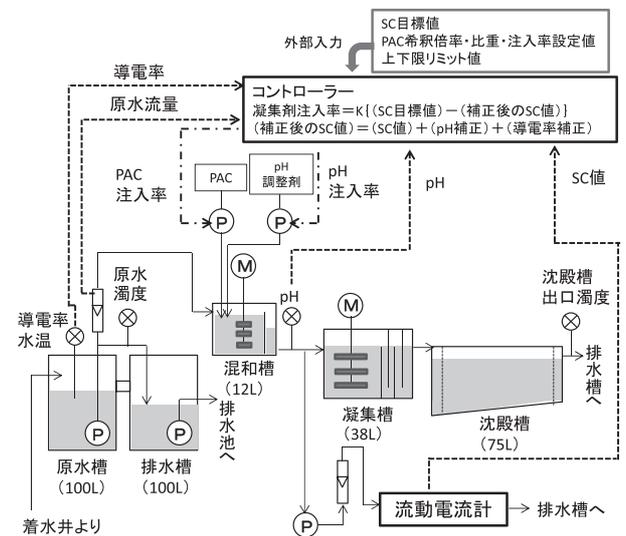


Fig. 2 Schematic diagram of the field-test equipment for the coagulant dose control system by the streaming current value of a rapid-mixing water as a control index

2.4 制御ロジック

混和槽出口から分岐して計測した SC 値を用いて、PAC 注入率を決定する FB 制御を行った。(式 1) および (式 2) に示すように、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。水質パラメータによる補正後の SC 値である Z_{PV} の演算方法については筆者らの過去の報告²⁾を参照されたい。

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

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

$$\left\{ \begin{array}{l} e_n : \text{現制御周期の偏差} [-] \\ e_{n-1} : \text{前制御周期の偏差} [-] \\ Z_{SV} : \text{SC 目標値 (外部入力)} [-] \\ Z_{PV} : \text{水質パラメータによる補正後の SC 値} [-] \\ A_{PAC} : \text{PAC 注入量} [\text{mL}/\text{min}] \\ K : \text{比例ゲイン} [\text{mL}/\text{min}] \\ T_i : \text{積分時間} [\text{min}] \end{array} \right.$$

3. 流動電流値を用いた凝集剤注入制御

3.1 PAC 注入率と SC 値の関係

PAC 注入率を段階的に増加させ、SC 値を記録するとともに 1 L ビーカーで緩速攪拌と静置を行った上澄水を評価した。Fig. 3 に PAC 注入率と SC 値の関係を示す。SC 値と PAC 注入率には正の相関関係があり、PAC 注入率が 20 mg/L の時に上澄水の濁度が最小となった。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。これらの結果から、試験日の原水に対して PAC 20 mg/L が適切な注入率であったといえる。この時の SC 値は -2.3 で 0 よりも負側であったが、荷電中和点である 0 付近において良好な凝集性を示すことを確認できた。

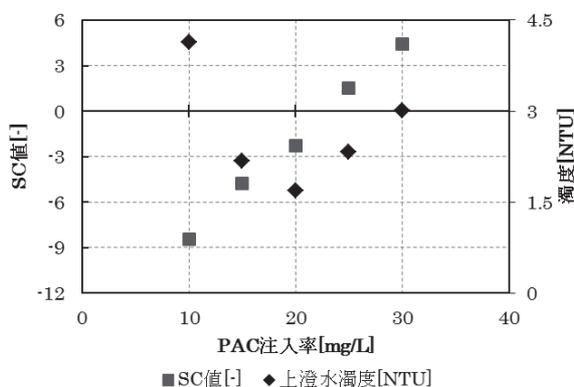


Fig. 3 Diagram showing the streaming current value corrected by pH and turbidity of supernatant water in a beaker scale test by increasing a coagulant injection rate

3.2 制御目標値の設定

Fig. 4 に PAC 注入率を 15 mg/L に固定した注入率一定制御の結果を示す。PAC 注入率は、試験日の既設の注入率から設定した。Fig. 4 はこのときの SC 値、原水導電率、原水濁度、混和水 pH、沈殿槽出口濁度の経時変化を示す。SC 値は水質パラメータによる補正を行っていない実測値であり、6 分間の移動平均値で示している。混和水 pH は 7.0 ± 0.1 の範囲に調整した。Fig. 4 において、原水濁度および原水導電率は 2 時間置きに上昇低下を繰り返していることが分かる (図中 A および B)。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排水池を経て着水井に流入する時間と合致していることから、周期的な変化は返送水の流入による影響と考えられる。また、5:00 以降に原水濁度が大きく変動している原因は、5:00 に沈殿池の汚泥の一部が排水池を経て着水井に流入する時間と合致していることから、この影響を受けたものと推察している。これらの変動と流動電流値の変動は一致しており、流動電流値が原水中の濁質の帯電状態を把握でき、また、このときの流動電流値が 0 近傍にあることから流動電流値を 0 近傍の値で制御すれば適切な凝集剤注入量を決定できることが分かる。この期間の沈殿槽出口濁度は、4:00 から 5:00 の間に一時的に上昇したものの平均で 0.97 [NTU] であり、既設の管理目標値である沈殿池出口濁度 1.0 [NTU] を概ね下回っていた。

Fig. 4 の結果を踏まえ、返送水の影響を受けない時間帯 (図中 A) の SC 値は -1.0 付近を推移していたため、制御目標値を -1.0 とした。

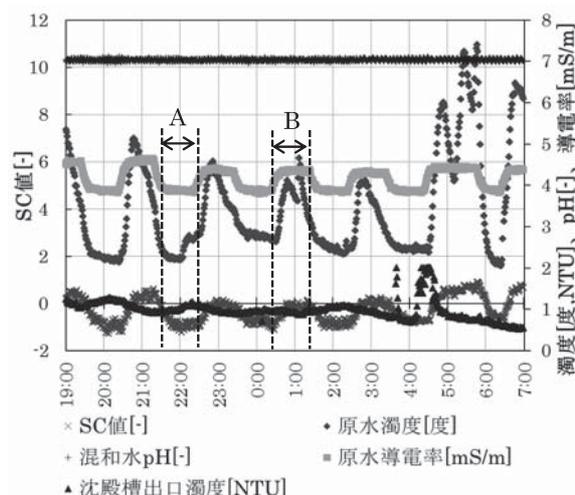


Fig. 4 Diagram showing the streaming current value and quality of the receiving tank water (turbidity, pH and conductivity)

3.3 凝集剤注入制御の検証試験結果

Fig. 5 に原水濁度 (既設)、沈殿槽出口濁度 (試験装置) の経時変化を示す。また、Fig. 6 に SC 目標値、水質パラメータを考慮して演算した補正後の SC 値、考案した凝集剤注入制御が算出した PAC 注入率、既設での PAC 注入率 (既設) の変化を示す。PAC 注入率 (既設) は同時時間帯に既設で注入された注入率一定制御 (設定値 15 mg/L) による値であり、比較のために併記した。Fig. 5 において、原水濁度が周期的に上昇低下している原因は前述した返送水の着水井への流入が影響していると推察している。

Fig. 6 に示すように考案した凝集剤注入制御を用い

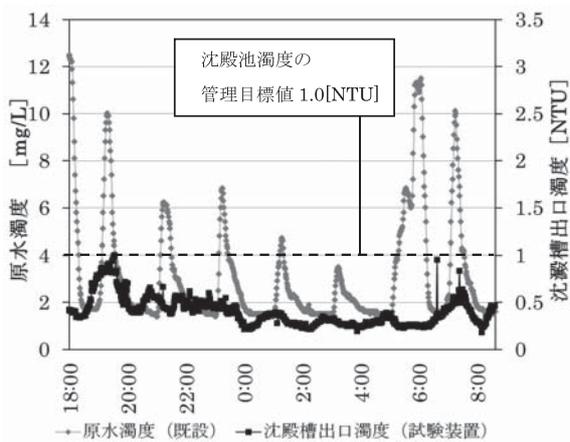


Fig. 5 Diagram showing water turbidity change with time, existing receiving basin and sedimentation tank exit of the field-test equipment

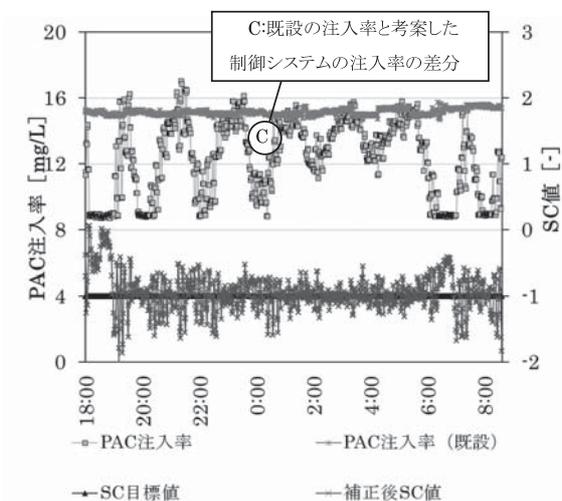


Fig. 6 Comparison a constant coagulant dose rate control system (conventional method) with the examining control system by the streaming current value in water quality variously

た試験では、補正後の SC 値は目標値である -1.0 に安定して制御されていることが分かる。また、Fig. 5 に示すように沈澱槽出口濁度は管理目標値 1.0 [NTU] 以下に制御されていることが分かる。

Fig. 5 および Fig. 6 から PAC 注入率は原水濁度のピークと比較してわずかに遅れているが、原水濁度は既設の濁度計を用いて測定したことによる遅れ時間と考えられる。原水濁度が上昇すると PAC 注入率は減少する方向に動き、反対に低下すると増加する方向に動いている。したがって PAC 注入率の周期的な変化

は返送水の変化を捉えた制御の結果である。この結果から、既設の注入率一定制御と比較して、考案した凝集剤注入制御を用いると、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 (Fig. 6 の C 参照)。以上の検証試験の結果から、原水濁度の変動に対応し、かつ、沈澱槽出口濁度を管理目標値の 1.0 [NTU] 以下に維持しながら、適切な凝集剤注入を行うことが示された。今回の評価試験において、従来方式に比べ凝集剤注入量を平均 13% 、最大で 15% 削減出来る結果を得た。

4. ま と め

SC 値を用いた凝集剤注入制御を考案し、実際のフィールドで評価試験を行った。原水中の濁質の表面電荷が中和され、凝集しやすい状態とされる SC 値 $=0$ 付近を維持することで、適切な凝集剤の注入制御を行うことが可能であること、また、返送水中に含まれる濁質により変動する原水濁度に応じて適切な凝集剤を注入可能であることを確認した。今回の検証試験を通じて、従来方式と比べ凝集剤の削減効果があることを確認した。通常は原水濁度の上昇に応じて凝集剤注入率を増加する運用が行われているが、濁質の荷電状態を考慮することで凝集剤量の削減につながるケースが明らかとなった。

謝 辞

本研究の実施にあたり、宇和島市水道局様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) 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, p. 71-81 (1996)
- 2) 福田美意, 村山清一, 阿部法光, 黒川 太, 毛受 卓, 服部 大, 寺崎啓二, 居村研二 : 流動電流値を指標とした凝集剤注入制御の実用化, Journal of EICA 環境システム計測制御学会, Vol. 20, No. 2/3, p. 19-26 (2015)