

2 波長吸光度変動解析法による凝集計測装置を用いた 新しい薬注制御方法

大戸時喜雄*、井上公平*、財津靖史*、窪田真和*、黒谷憲一*
中山敬**、伊藤晴夫**、丹保憲仁***、松井佳彦***

* 株式会社富士電機総合研究所
横須賀市長坂2-2-1
** 富士電機株式会社
東京都千代田区有楽町1-12-1
*** 北海道大学工学部衛生工学科
北海道札幌市北区北13条西8丁目

概要

これまで、浄水処理における凝集剤注入制御は、原水水質データによるフィードフォワード制御か、遅れ時間の大きいフィードバック制御しかなかった。筆者らは、混和池マイクロブロックを長時間で計測できる計測理論と装置を開発した。また、この計測装置を用いて、凝集初期のブロックの状態に関する情報をほぼ実時間でフィードバックし、凝集剤の注入率を制御する方法を開発し、実験プラントによる制御実験を行った。本論文では、新しい計測方法の原理と実験による検証結果について報告する。

キーワード

凝集、浄水、上水、制御、計測、凝集センサ

I. はじめに

浄水場の凝集プロセスにおけるブロック形成の制御は、コンピュータ化の進んだ今日の浄水処理システムの中にあって、自動制御化を困難とさせるボトルネックである。その原因はブロック形成状態をオンラインで測定できる適切なセンサが存在しないことと、操作量たる凝集剤注入からブロック形成までの時間遅れが大きいことによる。このため、従来、経験的な注入率式によるほか、ファジィ、ニューロなどの技術が利用されているが、原理的に原水水質をフィードフォワード的に利用するしかなく、人手の介入を必要とした¹⁾²⁾。近年、画像処理により成長ブロックの平均粒径などを計測する装置が実用化されてきた³⁾⁴⁾。

筆者らは、凝集初期状態をインラインでかつリアルタイムで計測できる凝集計測装置「凝集センサ」と、それを使った凝集剤注入制御法の開発を進めている。本論文では、開発した凝集センサの原理と実験結果、凝集センサを用いて行った制御実験結果を報告し、凝集制御の完全自動化が可能となったことを報告する。

II. 凝集状態の新しい計測方法

1. 計測原理と装置構成

凝集センサのブロック図を図. 1に示す。光学センサ部と本体（演算部）で構成され、本体内の2つの光源（紫外：低圧水銀ランプ、近赤外：近赤外発光LED）からのそれぞれの光（253.7nm, 860nm）は、石英光ファイバケーブルを用いて光センサ部の照射端に導き、液中へ2波長均一ビームを照射した。また、受光端からの2波長混合光は、光ファイバにより本体内部の2波長別の光電変換部へそれぞれ干渉フィルターを介して

伝達される。光電変換された透過光信号は、アナログ回路により対数化された後A/D変換される。演算部では、複数のブロックが通過する際に生じる吸光度のゆらぎを波長別に統計解析する。得られた統計データ（吸光度平均値、標準偏差値、2波長吸光度の相関係数）を用いて、次式により、ブロック平均粒径(D)、ブロック個数濃度(N)および溶解性成分の紫外吸光度(E_{254})を演算することができる⁵⁾⁶⁾。

$$D = \sqrt{\frac{4AE_{rms1}E_{rms2}}{\pi Q_2 E_{m1}}} \quad (1)$$

$$N = V \left(\frac{E_{m1}}{E_{rms1}} \right)^2 \quad (2)$$

$$E_{254} = E_{m2} - \frac{E_{m1}E_{rms1}}{rE_{rms1}} \quad (3)$$

E_{m2} : 紫外平均吸光度, E_{m1} : 近赤外平均吸光度, E_{rms2} : 紫外吸光度標準偏差, E_{rms1} : 近赤外吸光度標準偏差, r : 2波長吸光度変動相関係数, A : 光路断面積, Q_2 : 紫外消滅断面積, V : 単位体積変換係数

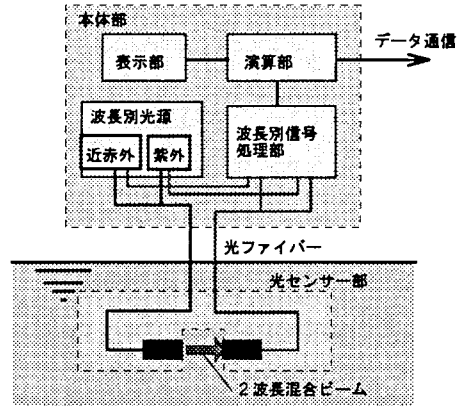


図1：凝集計測装置ブロック図

2. 実験

計測装置と制御の実験に用いた実験プラントを図. 2に示す。実験プラントは、着水井、急速混和池、ブロック形成池および沈殿池より構成され、凝集センサの光センサー部、水温計、pH電極を混和池に設置し、これらの出力をコンピュータにオンラインで入力した。原水濁度は、カオリン懸濁液を着水井に定量注入することによって任意の濁度に調整した。また、混和池には、水中カメラを設置しブロック画像計測を行い、画像処理によってブロック平均粒径を計算し、凝集センサの出力と比較した。PAC、アルカリの注入量は、コンピュータにより制御可能とし、pH7.5を維持した状態でPAC注入率を制御した。

その他、凝集センサの性能の確認には、20 l程度の攪拌槽にポリスチレンラテックス (PSL) 標準粒子、カオリン、フミン酸ナトリウムを適宜添加して測定した。

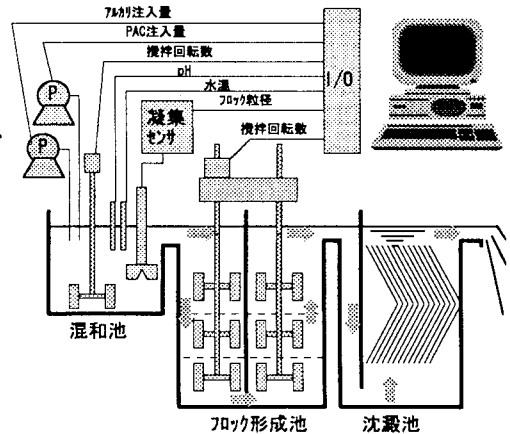


図2：実験プラント構成図

3. 凝集センサの計測実験結果

(1) フロック粒径

式(1)の演算によるセンサ出力値に対して、前述の水中カメラによるフロック画像から計算した平均フロック粒径をプロットしたグラフを図. 3に示す。フロック粒径出力値が、画像法と高い相関をもつことがわかる。また、種々の粒径のPSL懸濁液を凝集センサで測定し、公称粒径と比較した結果、最小 $2 \mu\text{m}$ までの粒径が測定可能であった。

これらの結果より、2~500 μm の広い粒径範囲の微粒子について精

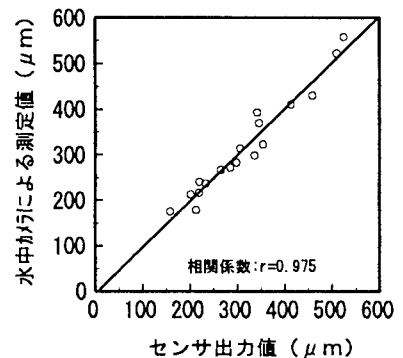


図3：凝集センサ粒径出力と画像解析径

度良く測定できることがわかった。

(2) フロック個数濃度

種々の粒径のPSL懸濁液を種々の濃度に希釈して凝集センサで測定した。式(2)の演算によるセンサ出力値に対して、PSL原液の公称個数濃度と希釈率から計算された個数濃度をプロットした結果、 $0 \sim 10^7$ の広いレンジで、個数濃度が計測でき、かつ、粒径に依存しないことがわかった。

(3) 溶解性成分紫外吸光度 (E₂₅₄)

式(3)によれば、濁質の共存下で溶解性成分の紫外吸光度の演算が可能である。そこで、種々の濃度のフミン酸溶液にカオリンを添加した試料液を凝集センサで測定し、試料液を0.2 μmフィルターで濁質除去したものの吸光度と比較した。その結果、共存濁度100mg/l以下では、除濁した結果と良く一致し、理論式の妥当性が確認された。

以上の結果より、フロック粒径、個数濃度、E₂₅₄が十分な精度で、かつ、測定周期1分程度と、ほぼ実時間で直接計測でき、凝集状態を複合的かつ定量的に把握できることが分かった。

III. 混和池フロック粒径制御による凝集剤注入制御

1. 制御原理

凝集プロセスの理論的な指標として、丹保らの提唱したGC₀T理論がある⁷⁾。これまでCampらの提唱したGT理論⁸⁾では、フロック形成初期の濁度が無視されているために、プロセスの運転指針としては不十分であった。これに対して、GC₀T理論では、安定した最適フロック形成には、攪拌強度 (G値)、滞留時間 (T値) に加えて初期フロック体積濃度 (C₀値) の積が一定である必要があることを提唱した。

筆者らは、この3つのパラメータのうち初期フロック体積濃度に着目した。GC₀Tを初期フロックの直径D₀と個数濃度N₀を使って書き直すと式(4)となる。

$$GC_0T = \frac{GN_0D_0^3T}{6\pi} \quad (4)$$

この式によれば、フロック形成池での初期フロック粒径D₀、すなわち、混和池のフロック粒径が、フロック形成に大きな影響を与える。従って、最適なフロック形成を行わせるには混和池フロック粒径を最適に制御する必要がある。凝集剤注入率を操作量として、実験プラントで行った制御実験の結果を以下に述べる。

2. 混和池フロックの最適粒径

(1) フロック粒径のステップ応答

図. 4 は、一定濁度で凝集剤注入率をステップ的に変化させて、混和池フロック粒径の動的な応答性を調べたものである。フロック粒径は凝集剤の注入率の変化に伴い、混和池の滞留時間の倍程度 (2~3分) で一定になることがわかる。

(2) 混和池フロック粒径と処理水質

沈殿処理後の水質を良好に維持するための、混和池フロック粒径の

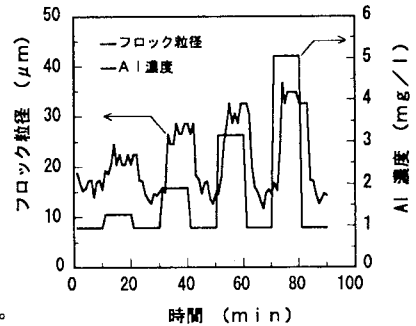


図 4：混和池フロック粒径の応答性

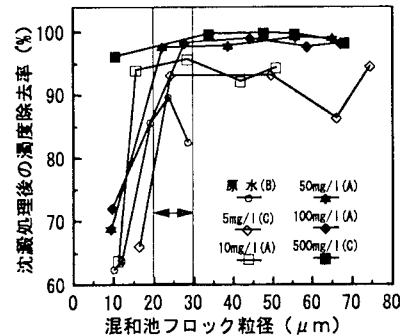


図 5：混和池フロック粒径と濁度除去率

最適値を実験的に求めた。

実験は、種々の濁度の原水について凝集剤注入率を変化させ、混和池フロック粒径と沈澱処理水上澄み濁度を調べた。結果を、図. 5に示す。図の横軸は混和池フロック粒径を、縦軸は濁度除去率である。

この結果から、凝集沈殿プロセスの濁度除去率を度によらず90%以上に維持するためには、混和池フロック粒径を20~30 μ mに制御すれば良いことがわかる。

(3) 制御実験

そこで、凝集センサからのフロック粒径出力に基づいて、混和池フロック粒径が一定となるように凝集剤注入率を制御するプログラムを、モデル予測制御を適用して作成した。9)

図. 6は、混和池フロック粒径を21 μ mに制御し、原水濁度を60度まで段階的に変化させたときの沈澱処理水濁度および濁度除去率の変化である。急激な原水濁度変化にもかかわらず、沈澱処理水濁度は1以下に抑えられ、濁度除去率も原水濁度1度以下を除いて90%以上を維持していることが確認された。

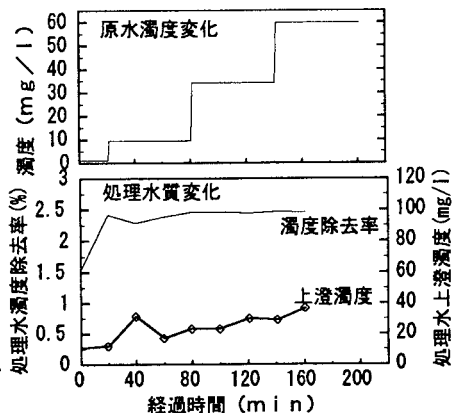


図6：混和池フロックを21 μ mに制御した時の沈澱処理水の濁度および濁度除去率変化

IV. 結論と考察

凝集状態の新しい計測理論と、理論に基づいた計測装置「凝集センサ」、ならびに凝集センサを用いた新しい凝集剤注入率制御法について報告した。

本計測装置は凝集状態を、①フロック粒径、②フロック個数濃度、③溶解性成分紫外吸光度の3つの重要なパラメータで定量化できる。また、本計測装置を用いて混和池におけるマイクロフロック粒径を最適に制御することによって、GC₀T理論に適った、遅れ時間のない自動フィードバック制御が可能である。今後、本制御方法によるプラント全体からみた経済的効果の定量化などを明らかにしていきたいと考える。

<謝辞>

横浜市水道局殿、札幌市水道局殿、および北海道大学工学部小沢技術長殿に実験その他の便宜を頂いたことに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 柳下修ほか：ファジ理論の浄水場薬品注入制御への応用、システムと制御、vol. 28, No. 10, pp597-604, (1984)
- 2) 守本正範ほか：浄水場の凝集剤注入へのファジ制御の適用、富士時報、vol. 63, No. 10, pp684-689
- 3) 一木博幸、馬場研二：画像認識によるフロック監視に関する研究 (I)、水道協会雑誌、Vol56, No. 7, pp13-23(1987)
- 4) 一木博幸、馬場研二：画像認識によるフロック監視に関する研究 (II)、水道協会雑誌、Vol56, No. 8, pp48-56(1987)
- 5) 松井佳彦ほか：2波長の吸光度変動を用いた有機着色成分の凝集沈殿評価、水道協会雑誌、No. 679, pp2-9(1991)
- 6) 松井佳彦ほか：2波長の吸光度変動を用いた凝集・フロック形成の評価、水道協会雑誌、No. 696, pp2-10(1992)
- 7) 丹保憲仁：フロッキュレーター設計指標のG値とGC₀T値、水道協会雑誌、Vol. 60, No. 10, pp11-18(1991)
- 8) Camp, T. R.: Flocculation and flocculation basins, Proc. ASCE, Vol. 79, No. 283, pp. 1-18(1953)
- 9) 窪田ほか：凝集センサの出力に基づく凝集プロセスのモデル予測制御、第44回全国水道研究発表会講演集、pp120-122(1993)