

凝集センサ・コントローラシステムによる 凝集プロセス制御

CONTROL OF COAGULATION PROCESS BY FLOC SENSOR/CONTROLLER SYSTEM

秋山 浩秀、中山 敬、井上 公平、原田 健治
HIROHIDE AKIYAMA TAKASHI NAKAYAMA KOHEI INOUE KENJI HARADA

富士電機株式会社本部 第一システム統括部 水処理システム部
Fuji Electric Co.,Ltd. Water Treatment Systems Engineering Dept.

Abstract

A coagulation process for water purification mainly uses feedforward control based on raw water and empirical data and requires operator's help. We developed a new floc sensor for measuring floc size in flush mixer to use for floc control. A control system using model predictive control was developed on the floc size data. A series of experiments to confirm controllability of settled water quality by controlling flush mixer floc size. An automatic control with feedback from the coagulation process was recognized as practical and reliable. Consequently this new control method was applied for actual plant and evaluated as practical.

Key words : Coagulation process, floc sensor, micro-floc, model predictive control, settled water quality

1. はじめに

浄水場の凝集プロセスは薬品注入点から処理水質計測点までの遅れ時間が大きく、フィードバック制御による自動化が困難であり、従来からの原水水質によるフィードフォワード制御が主である。これまでに、当社では凝集剤注入直後の微小フロクの段階の平均粒径などをオンラインで計測できるセンサを開発し、このセンサを用いてフロク粒径を制御する方法で処理水質を良好に保てることを実験プラントやシミュレータおよび、実プラントでの実験も通じて明らかにしてきた^{1),2)}。

ここでは、凝集センサ・コントロールシステムの概要と本システムを採用して原水濁度変動時にも処理水質を良好に保つ自動制御法について述べ、実際のプラントに適用した例を紹介する。

2. 凝集プロセス

浄水場の原水は着水井を通った後、急速混和池で凝集剤を注入し、フラッシュミキサーにより急速攪拌を行うことで微小フロクを形成させ、原水中の浮遊物質であるコロイド粒子や懸濁物質、微生物などを吸着させる。次いで、フロク形成池でフロキュレータにより緩速攪拌を行うことでフロクを成長させ、さらに沈殿池で沈殿池固液分離を行う。このため、フロク形成池出口(沈殿池入口)で適切な大きさ・密度のフロクが形成されていること、ならびに沈殿処理後(沈殿池出口)の濁度が適切な値になっていることが必要である。

そのための操作量として、凝集剤の原水に対する注入率、急速攪拌の強度、緩速攪拌の強度がある。このうち、急速攪拌の強度、緩速攪拌の強度は一般にある適当な値に固定して、凝集剤の注入率を凝集プロセスの操作量として制御を行う。凝集剤としては、ポリ塩化アルミニウ

ム(PAC)、硫酸アルミニウム(硫酸ばんど)が広く用いられている。凝集剤の適正な注入率は原水の水質(濁度、水温、pHなど)や浄水施設により異なる。原水の水質はいろいろな条件により大きく変化し、また経年変化もある。

凝集プロセスの良否は沈殿後の上澄み水の水質によって評価するが、操作点である凝集剤注入点からこの段階までに数時間かかり、時間遅れが大きい。このため、処理水質をフィードバックして凝集プロセスを自動制御するのは困難であり、熟練した運転員の豊富な経験にゆだねられている場合が多い。

3. 凝集センサ・コントロールシステム

3.1 システム構成

このシステムは凝集センサ(光学センサ部、変換部)、pH計(センサ部、変換部)、凝集コントローラ(制御演算部)の3つの機器から成っている。

このシステムでは混和池に設置された凝集センサとpH計からの計測値つまりフロック粒径と混和池pHを設定された値になるように凝集剤注入率とアルカリ剤注入率を演算し、その値を浄水場の薬品注入装置に出力する。

3.2 制御方式

沈殿処理後の水質はフロック形成池で生成した成長フロックの沈殿性に左右され、フロックの沈降性はフロック粒径と相関がある。さらに、フロック形成池での成長フロックの粒径と混和池での微小フロックの粒径とも相関がある。そこで、凝集剤注入からの遅れ時間が短い混和池での凝集状態(微小フロックの大きさ)を計測し、制御にフィードバックさせる。これを実現させるためには、一般に100 μ m以下である微小フロックの粒径を数 μ m以下の分解能で連続あるいは数分程度の時間間隔で計測できるセンサが必要であり、これを可能とする凝集センサを開発した。

また、混和池でも数分程度の遅れ時間があり、かつ凝集センサ自体の計測時間遅れがある。そこで遅れ時間などの制御対象(フロック粒径)の動的特性を考慮して操作用出力(凝集剤注入率)を決定する制御アルゴリズムを用いる。このような制御アルゴリズムとしてモデル予測制御方式を応用した。

4. 自動制御実験

凝集センサ・コントローラシステムを秋田県企業局工業用水道管理事務所の実プラントに設置し、自動制御実験を行った。ここでは原水濁度が約70mg/l程度の中高濁度になった時に自動制御を行った結果について報告する。

4.1 プラントの概要

秋田県企業局工業用水道管理事務所の処理水量は約140000 m^3 /日である。原水は取水後、沈砂池を通過して着水井に入り、凝集剤が注入される。凝集剤の注入点の着水井では攪拌機はなく、その後1系と2系に分かれ、各混和池に入りここで攪拌機が1台ずつあり急速攪拌している。このうち1系の混和池出口付近に凝集センサを設置してフロック粒径を計測し、凝集コントローラにより凝集剤注入率を操作してフロック粒径を制御した。制御周期ならびにデータ収集の周期は1分とした。また、処理水の水質は処理水の濁度を15分間隔で計測値を記録し、作図した。

4.2 フロック粒径の設定値

(1). 取水量に応じたフロック粒径設定値

フロック粒径は取水量に応じて変化する。これは取水量が変化することにより凝集剤注入点からフロック粒径計測点までの滞留時間が変わることによる。取水量が少ないときには滞留時間が長くなり、フロックが大きく成長する。取水量が多いときはこの逆となる。このため、取水量に応じてフロック粒径の設定値を変化させることにした。

(2). 原水濁度に応じたフロック粒径設定値

原水濁度に応じてフロック粒径設定値を変更する必要があることがこれまでの実験でわかっている。³⁾ 原水濁度の上昇時にも設定粒径を一定にする制御方式では原水濁度の上昇に伴って処理水濁度も上昇してしまう場合があった。これは原水濁度の上昇により原水中の濁質の量そのものが多くなり、フロックの個数が多くなる。一方、凝集センサで計測しているフロック粒径は平均値であるため沈殿池で沈殿しない不沈降性の微小なフロックの個数そのものも増えてくる。この不沈降性フロックの個数が多くなるのが、処理水濁度の上昇につながる。このために、原水濁度によってフロック粒径の設定値を変更する必要があることが分かった。

凝集センサではフロック個数濃度を計測しており、フロック粒径(d)とフロック個数濃度(N)により濁質

そのものの量が推定できる。ある濁度時のこれらの関係はほぼ d^2N が一定の関係であることがわかった。ここで、この d^2N と原水濁度の関係を図1に示す。図1から分かるように d^2N は原水濁度と良好な相関があり、 d^2N で原水濁度を推定できる。さらに、最大60mg/l時までの原水濁度に対して処理水濁度が良好な時のフロック粒径と d^2N の関係を図2に示す。図2により処理水濁度を良好にするためのフロック粒径は d^2N の直線式で表せる。つまり、 d^2N の直線式でフロック粒径を設定して、この設定値に制御すれば、常に処理水濁度が良好に保てる。ここでは図2の結果を回帰分析をし、回帰式を以下のように求めた。

$$SV = 3 \times 10^{-6} d^2 N + 37.433 \dots\dots\dots(1)$$

- SV：フロック粒径設定値(μm)
- d：フロック粒径計測値(μm)
- N：フロック個数濃度(個/ml)

5. 制御結果

凝集センサにより1分周期で計測されるdとNから(1)式を用いてSVを求め、その10点の移動平均をとり、このSVに取水量によるフロック粒径の変化率をかけて、フロック粒径設定値(SV)を決定した。この設定値にフロック粒径を追従させるような凝集剤の注入率を決定した。この制御方式で制御した結果のフロック粒径、フロック粒径設定値(SV)、凝集剤注入率、原水濁度、処理水濁度を図3に示す。図3が示すように、11:00~12:00に設定値が大きくなっているのはこの時間帯は取水量が少なく滞留時間が長いのを考慮して変化させている。この

取水量による設定値の変化も含めてフロック粒径は設定値にほぼ追従している。この日は早朝から原水濁度が徐々に上昇し、制御中は常に60mg/l以上で最大80mg/lまで上昇している。この原水に対して上記の設定値にフロック粒径を制御した結果、処理水濁度は1mg/l程度と良好に保てた。

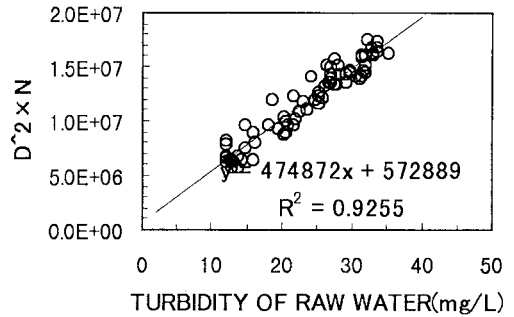


図1. d^2N と原水濁度の関係

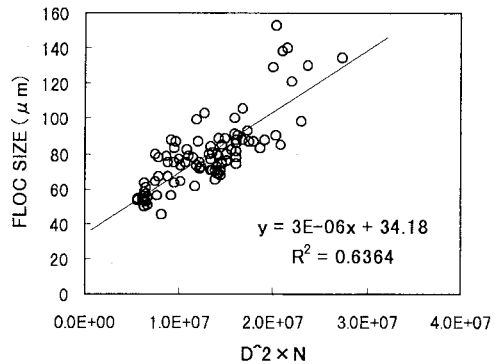


図2. d^2N と設定粒径の関係

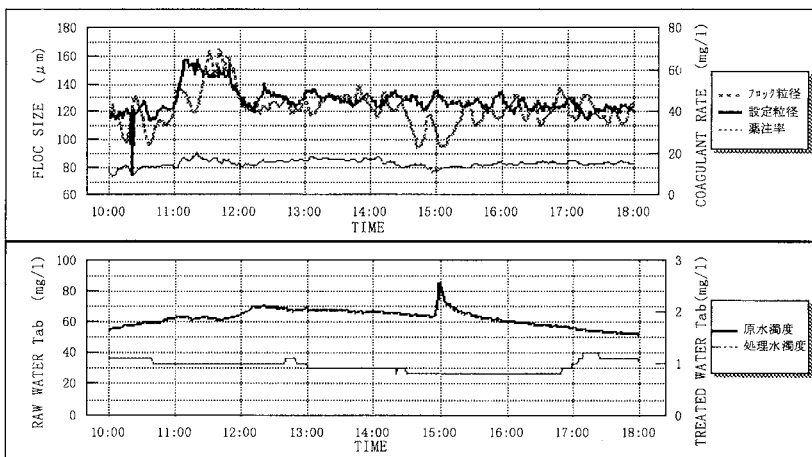


図3. 原水高濁度時における制御実験結果

6. 結論

自動制御に本制御方式により、人手を介さずに自動制御で、原水濁度が高濁にも係わらず、処理水濁度を1mg/l程度に保つことができた。

7. おわりに

現在でも秋田県企業局工業用水道にて本システムが稼働し、凝集剤注入率を自動制御している。今回は本制御方式で原水濁度が70mg/l程度の中・高濁度に対して処理水濁度を良好に保つことが確認できた。

今後は台風等により原水濁度が百度以上にまで上がる事が予想され、このような高濁度時に対しても、本制御方式で処理水濁度を良好に保てるかを確認する予定である。

(引用文献)

- 1) 窪田真和ほか：モデル予測制御による凝集混和池のフロック粒径制御 第45回全国水道研究発表会 p176～177
- 2) 井上公平ほか：凝集センサを用いた薬注率の簡易決定方法 第46回全国水道研究発表会 p204～205
- 3) 窪田真和ほか：凝集センサ・コントローラによる浄水場フィールドテスト 第48回全国水道研究発表会 p66～67