

浄水場水質制御システムの高度化

Advanced Water Quality Control System for Filtration Plants

栗原 潮子

■ KURIHARA Shioko

猪俣 吉範

■ INOMATA Yoshinori

毛受 卓

■ MENJU Takashi

水道水の水質に対する要求が高まり、安全で良質な水を送水するため、浄水場の水質制御の管理は以前にも増して厳しくなっている。

東芝は、このような状況を踏まえ、流動電流計を使用した凝集剤注入のフィードバック制御システムと、塩素注入制御の支援システムを開発し、実際の機場に適用した。

Requirements for drinking water quality have recently been expanding and water quality control in filtration plants has become more stringent in order to ensure the supply of safe and good-quality water.

Toshiba has developed an advanced water quality control system to help operators address these challenges, and applied it to a plant. This system features a coagulant dose feedback control system using a streaming current detector and a decision support system for chlorine dose control parameters.

1 まえがき

水道水の水質を向上させるために、様々な技術が開発されてきた。今まで測定がほとんど不可能であった物質の分析も、分析方法の確立と測定精度の向上で可能となってきた。2004年4月から改訂水質基準が施行されたが⁽¹⁾、分析項目や分析方法の追加、規制値の強化についても、こうした技術の進歩に負うところが少なくない。分析技術の進歩と化学物質の健康リスク評価が進むに従い、水道水質に要求される技術レベルもますます厳しくなっている。

浄水場の水処理プロセスでの水質制御について例を挙げれば、クリプトスポリジウム対策としてのろ過池出口濁度の管理強化がある。また、塩素注入では、病原性微生物の消毒と消毒副生成物の抑制という相反する要件を満足させるため、バランスのとれたきめ細かい管理が求められている。

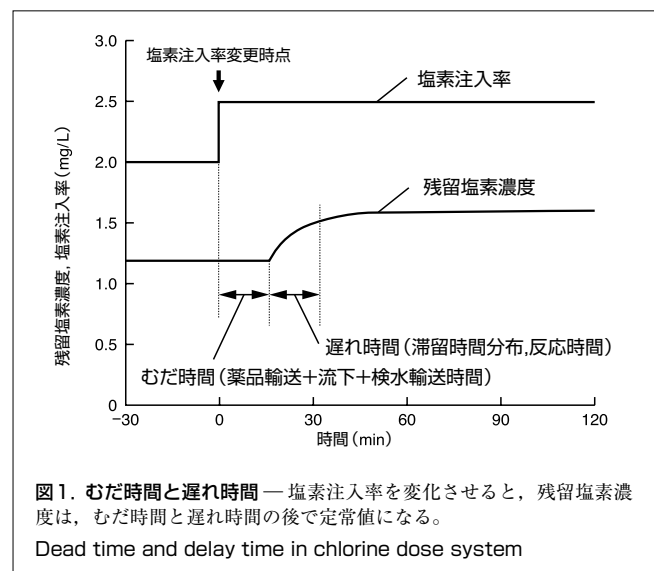
ここでは、水質制御技術を取り巻く課題と、この課題を解決するために開発した水質制御とその支援システムの適用事例について述べる。

2 水質制御を取り巻く課題

浄水場の水質制御や薬品注入制御は、水質計器の開発と計算機ハードウェアの進化とともに20年以上の実績を積み重ねてきたが、課題も残されている。制御を難しくしている一因として、検水点の問題と水質変動への対応を挙げることができる。次節では、まずこれらの要因について考えてみたい。

2.1 検水点と制御応答との関係

例えば、前塩素注入率を変える操作を行うと、塩素注入機の塩素注入率は即座にステップ状に変化するが、制御対象である沈殿池入口残留塩素濃度は、図1に示すように、むだ時間経過後、遅れ時間を伴って徐々に変化する。



制御工学的に見て、むだ時間が遅れ時間に比べて長いプロセスは迅速な応答を得ることが難しく、望ましい制御を行うことは困難であると言われている。pHや残留塩素濃度の制御ではフィードバック制御が用いられるが、これらの水質制御は、むだ時間が長い代表的なプロセスである。

水質計器を用いたフィードバック制御システムを導入する場合、管理用と制御用の水質計器で検水点異なる場合もある。また、被処理水の流量変動に応じて流下時間が変化し、むだ時間が変化してしまうという問題もある。

2.2 水質の変動

原水水質は日々変動しており、制御系にとっては外乱になっている。台風や集中豪雨による高濁水流入のような急激な水質変動がある一方で、季節変動、渇水に伴う水質の悪化、更に、ダム湖の富栄養化や水源上流域の都市開発による人口増加、下水道整備の影響のようにゆっくりとした変動もある。原水水質の変動は、処理プロセスの制御応答を変化させることがあり、適切な薬品注入制御を行うには、制御パラメータの再調整を必要とする場合がある。この点が、水質制御の継続的な運転を困難にしている原因の一つであると考えられる。

通常、制御パラメータの調整では、まず処理プロセスの特性を把握する必要がある。プロセスを把握するには、目標値をステップ状に変化させて応答をとる方法がよく用いられる。しかし、水質基準をはじめとする運用上の制約条件の中で、時定数の長いプロセスに対して応答データを収集しようとすると、場合によっては一度の試験で半日以上を要することもある。このように、水質の変動、特に季節変動のような長期的な変動に対応して制御パラメータを適応させることの困難さも、水質制御の課題として残されている。

このほか、原水水質の変動ではないが、場内の水運用制御との連携も、水質制御を円滑に実施するうえでは重要である。例えば、取水源の切替えとその流量変化、ろ過池洗浄排水返送のタイミングとその流量、及び系統切替え時の一時的で急激な流量変化などがある。

3 水質制御の高度化

ここでは、課題に対する技術として2例を紹介する。

1例目は、問題となるむだ時間を、従来とは異なる検出技術を用いることで短縮し、凝集剤注入制御にフィードバック制御を適用した例である。

2例目は、塩素注入制御の支援システムである。比較的長期の水質変動に応じて制御パラメータの調整が必要となったとき、時間、労力、知識、あるいは経験が求められる作業に対して、パソコン上のツールで支援することを目的としている。

3.1 凝集剤注入制御の高度化

凝集剤注入の結果が沈殿池出口濁度に現れるまでには、横流式沈殿池で2～4時間かかる。このため沈殿池出口濁度の結果を見て凝集剤注入率を変更しても、既に原水の水質は変化してしまっている可能性があり、一般的に凝集剤の注入制御には、過去の注入実績に基づいたフィードフォワード制御が適用されている。

しかし、過去に何らかの事情で本来なら一時的に凝集剤を多めに注入すべきだった場合や、凝集を確実にを行うため凝集剤注入量に若干余裕を持たせる調整が行われた場合は、運転員の介入がなければ過剰注入となる傾向があった。過剰注入の場合には、処理水中のアルミニウムイオン濃度の増加、凝集剤コストや発生活泥量の増加が問題となる。

凝集の最適条件を求めるため、通常はジャーテストを行っているが、凝集状態を知り制御を行うには、帯電している水中の粒子と拡散層との間の電位差であるゼータ電位を連続的に測定できればよい。流動電流値はゼータ電位の間接的な測定値であると言われており、凝集状態を連続的に測定できるセンサとして有効である。流動電流計の検水点は急速攪拌(かくはん)後の処理水なので、むだ時間が短く、迅速に凝集剤の過不足を判断できる点で優れている。しかし、測定値はpH、水温、導電率、水源の影響を受けるという短所がある。

3.1.1 流動電流計の特性とフィードバック制御システム

凝集状態の判断指標として流動電流計を適用するための実験を行った。

原水に硫酸バンドを添加していった場合の流動電流値と、沈殿後の上澄み濁度の測定結果例を図2に示す。

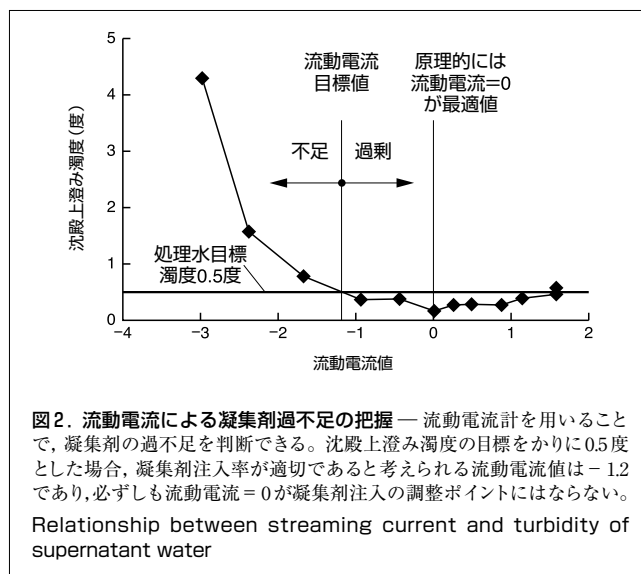
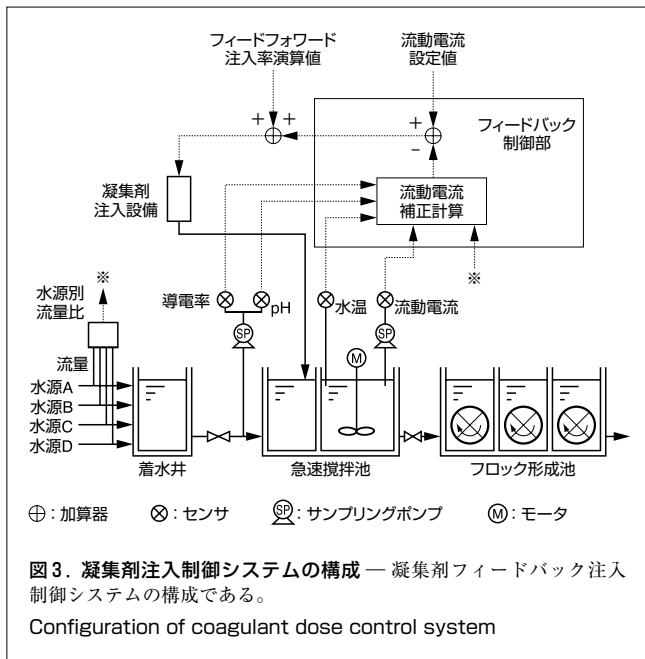


図2. 流動電流による凝集剤過不足の把握 — 流動電流計を用いることで、凝集剤の過不足を判断できる。沈殿上澄み濁度の目標をかりに0.5度とした場合、凝集剤注入率が適切であると考えられる流動電流値は-1.2であり、必ずしも流動電流=0が凝集剤注入の調整ポイントにはならない。
Relationship between streaming current and turbidity of supernatant water

凝集剤注入率の増加に伴って、流動電流値はマイナスからプラスへと変化した。沈殿上澄み濁度の目標をかりに0.5度とした場合、凝集剤注入率が適切であると考えられる流動電流値は-1.2であり、必ずしも流動電流=0が凝集剤注入の調整ポイントにはならないことを示している。濁質成分をはじめとする水質値が同じであれば、適切な凝集剤注入率での流動電流値は一定であると考えられるため、流動電流の測定値と適切な注入率として求めた流動電流値を比較することで、凝集剤注入の過不足が判断できると考えられる。

しかし、流動電流値は、pH、水温、導電率、水源の影響を

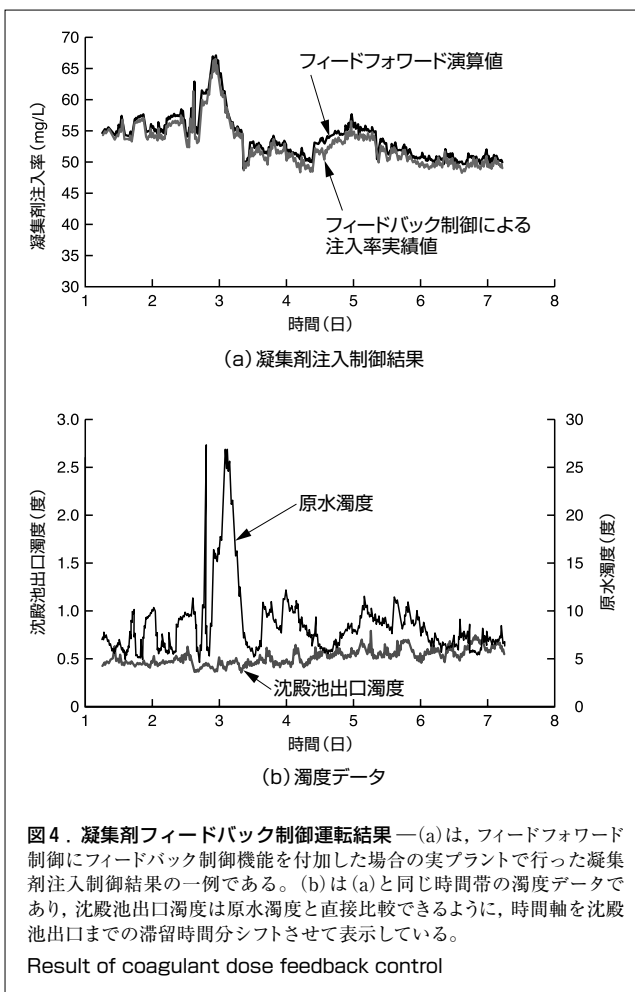
受けるため、流動電流値の測定値をそのままフィードバック制御に使用することは難しい。そこで、pH、水温、導電率、水源に対する特性を実験的に把握し、そのデータをもとにして流動電流測定値の補正方法を検討した。この結果を反映させた、流動電流計による凝集剤フィードバック注入制御システムの構成を図3に示す。



3.1.2 フィードバック制御システムの適用結果 このシステムを1日の浄水能力が93,000 m³の浄水場に適用した。取水源は3河川あり、A川からは一次凝集沈殿処理水(水源A)、B川からは貯水池を経て取水(水源B)、他の1河川Cからは直接及び貯水池Dを経て取水(水源C、D)していることが特徴である。この4水源からの取水量は一定ではなく、水源Aから定量取水し、他水源は需要量、水質、貯水池水位から決定しているため、取水比が常に変化する。取水比とともに水質が変わり、凝集剤注入を難しくしている。また、汚泥中のアルミニウムの削減も課題となっていた。

フィードバック制御による凝集剤注入制御の運転試験結果の一例を図4に示す。フィードフォワード制御に、フィードバック制御を付加して比較する試験を行い、凝集剤注入率の演算値の変化や、沈殿池出口濁度への影響を評価した結果である。

図4(b)の沈殿池出口濁度は、図4(a)と同一時間帯のデータで、原水濁度と比較するため、時間軸を沈殿池出口までの滞留時間分シフトさせたデータを表示してある。フィードバック制御を行った結果、フィードフォワード制御だけの場合と比較して凝集剤注入率が約2.0%低減したが、沈殿池濁度は0.7度以下に維持されていることがわかる。

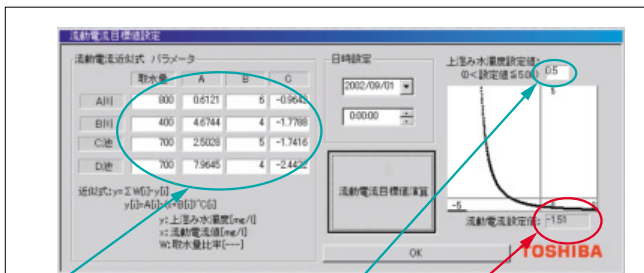


なお、流動電流による凝集剤注入フィードバック制御では、流動電流値の設定値が必要である。設定値を決めるためには、良好な凝集が行われている状態での、注入率や原水水質と流動電流値との関係を把握している必要がある。そこで、基礎試験データの解析をもとに、処理目標とする沈殿池の上澄み水濁度を設定すると流動電流の推奨値を算出する、オフラインの支援システムも同時に開発した。システムの画面を図5に示す。

3.2 塩素注入制御とシミュレータ

水質変動に対して、塩素注入管理をより適切に行うため、制御パラメータ値を適切に調整する検討手段として、シミュレータによる支援システムを開発した。ここでは、沈殿池入口で残留塩素濃度を一定に制御する前次亜塩素酸ナトリウム(以下、前次亜と略記)注入制御のシミュレーションについて述べる。

この支援システムには、プロセスを同定(数式モデル化)する機能と、制御応答を確認する機能がある。制御パラメータを調整する手順は、次のようになる。まずプロセスを同定する機能で、実プロセスの運転実績データを基にプラントのプロセスモデルパラメータを決定し(これをプロセス同定と



河川ごとに、流動電流と濁度の近似式及び取水流量を設定
 沈殿池出口濁度を設定
 流動電流設定値を算出

図5. 凝集剤注入フィードバック制御の流動電流設定値支援システム — 処理目標とする沈殿池の上澄み水濁度を設定すると、流動電流の推奨値をオフラインで算出する支援システムの画面例である。

Streaming current set point decision support system in coagulant dose feedback system

いう)、次に制御パラメータの推定と設定を行った後、制御応答を確認してその良否を判断する。結果が良くなければ、制御パラメータ推定以下の手順をくり返す。

3.2.1 プロセスを同定する機能 プロセスを同定するためのシミュレータは、前次垂を注入してから残留塩素濃度が計測されるまでを模擬しており、プロセスを“むだ時間+遅れ時間”で近似している。同定に必要なデータは、支援サーバに蓄積した実プラントのデータの中から、日時指定で自動的に取り込まれる。

図6はシミュレーションの実施例で、注入率の実績値をプロセス同定のシミュレータに入力し、応答結果を残留塩素実績値と比較しているところである。プロセスのモデルが

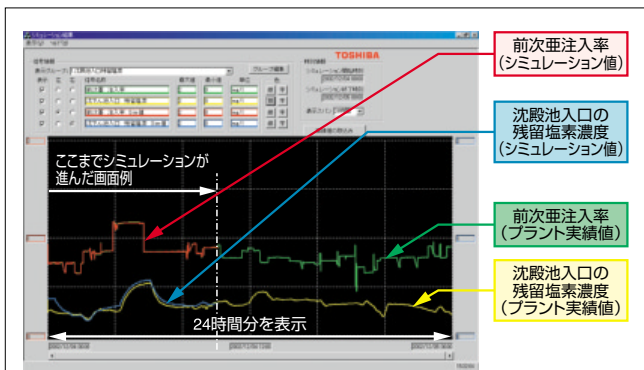


図6. プロセスを同定するシミュレーションの実施例 — プラントの運転データを入力値として、プロセス同定のシミュレーションを実行している画面の一例である。

Example of simulation for process identification

同定できたら制御パラメータを決め、次の制御応答を確認する機能で検証を行う。

3.2.2 制御応答を確認する機能 制御応答確認シミュレータには、前項で同定したプロセスモデルと前次垂注入制御の模擬コントローラが組み込まれており、制御応答の確認ができる。制御パラメータの設定は、ここには図示していないが、実プラント用の設定画面と見かけ上ほぼ同一のインタフェースを備えている。目標値を変化させた場合の応答時間やオーバーシュートの有無を確認した後、実プラントの制御パラメータ値を変更する作業に入る。

4 あとがき

浄水場における水質制御、特に凝集剤注入制御と塩素注入制御支援システムの高度化について述べた。運用・維持管理やコスト削減の面で貢献できることを願っている。

今後は、これらの技術の改良と確立に努力するとともに、ますます多様化、高度化していく課題に応えるため、より良いシステム技術の開発に努めていきたい。

文献

- (1) 松田和久・水道水質基準の見直し等を踏まえた今後の水道事業体の水質管理について. 水環境学会誌. 27, 1, 2004, p.24-30.



栗原 潮子 KURIHARA Shioko

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター 社会システム開発部主務。上水水質制御システムの研究・開発に従事。環境システム計測制御学会会員。 Power and Industrial Systems Research and Development Center



猪俣 吉範 INOMATA Yoshinori

電力・社会システム社 社会システム事業部 関西社会システム技術部主務。公共システムのエンジニアリング業務に従事。 Infrastructure Systems Div.



毛受 卓 MENJU Takashi

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター 社会システム開発部主務。上水水質制御システムの研究・開発に従事。化学工学会、日本畜産環境研究会会員。 Power and Industrial Systems Research and Development Center