

上下水道施設の効率的運用に貢献する計測・制御技術

Instrument and Control Products Contributing to Effective Operation of Water and Sewage Plants

的場 雅啓 相馬 孝浩

■ MATOBA Masayoshi

■ SOMA Takahiro

上下水道はわたくしたちの日常生活に欠かすことのできない重要な社会基盤である。上水道には、蛇口をひねるといつでも安心して利用できる安全な水を供給する機能が求められており、下水道には、下水管に流れ込んだ汚水や雨水を浄化し、処理水の排出先となる河川などの水質を常に良好に保つことができる機能が求められている。

また一方で、上下水道施設においては、水環境保全のために処理水を消毒する薬品の過剰注入を防止したり、施設の維持管理費低減のために薬品使用量を削減すること、及び、地球温暖化防止を目的とした温室効果ガス排出抑制のために施設で使用する電力量を削減すること、などが課題である。

東芝は、これらの要求や課題に応じていくため、社会に安心と安全を提供しつつ、上下水道施設の効率的な運用に貢献する新しい計測・制御技術を開発している。

Water and sewage systems are an important part of the social infrastructure and indispensable in people's daily lives. A water system must provide safe water at all times, while a sewage system must purify sewage and rainwater collected by sewerage pipes and transform them into clear water before discharge into a river or ocean. At the same time, reduction of electricity consumption by water and sewage plants is important to reduce greenhouse gas emissions, which lead to global warming. It is also necessary to prevent overdosing of chemicals in treated water from the standpoint of environmental preservation. In addition, the reduction of chemical consumption is important from the viewpoint of reducing the operating and maintenance costs of plants.

To meet these requirements while offering safety and security to society, Toshiba is developing and manufacturing instrument and control products that contribute to the effective operation of water and sewage plants.

1 まえがき

日本の上下水道は、長年にわたり計画的な整備が進められてきた。その結果、上水道の普及率は96.9% (2004年3月31日現在)となった。一方、下水道の処理人口普及率は66.7% (2004年3月31日現在)と、地方市町村の整備が遅れているため上水道に比べ低いが、人口が100万人を超える都市部では、普及率が98%を超える高いものとなっている。普及率が高まってきた都市部では、新たな上下水道施設の建設は減少していく傾向にある。そのため、既にある施設を有効に利用しつつ、水質を維持・向上させ、かつ設備投資コストや維持管理コストを抑制することが課題である。

重要な社会基盤である上下水道には、高い信頼性が求められる。また、省エネ法(エネルギー使用の合理化に関する法律)の改正や京都議定書の発効に伴い、上下水道を運営している事業者には、地球環境に配慮した効率の高い運用や省エネルギーへの取り組み強化が求められている。

上下水道施設での計測・制御技術は、施設を効率的に運用していくうえで重要な役割を担っており、運転最適化のために必要不可欠な存在である。

ここでは、社会に安心と安全を提供しつつ、上下水道施設の効率的運用に貢献する最新の計測・制御技術について述べる。

2 上水道分野における計測・制御技術

2.1 蛍光分析を応用した計測・制御技術

2.1.1 安全な水の供給を支える蛍光分析計 浄水場には、水道水が病原性微生物に汚染されるのを防ぐために、塩素消毒設備が備えられている。塩素は消毒効果が大きく、水に長時間残留するため消毒効果が持続するので、需要家まで安全な水道水を供給できる利点がある。しかし、塩素にはトリハロメタン前駆物質と結合して、発ガン性の疑いがあるトリハロメタンが生成されるという問題があるため、トリハロメタン前駆物質を連続して測定する技術が望まれていた。

トリハロメタン前駆物質など特定の溶存有機物は、固有の波長(345 nm)の励起光を照射すると励起光と異なる波長(425 nm)の蛍光を強く発する特性がある。東芝は、この特性に着目し、他社に先駆けて蛍光分析計を開発した。蛍光分析計の外観と蛍光の発光原理を図1に示す。

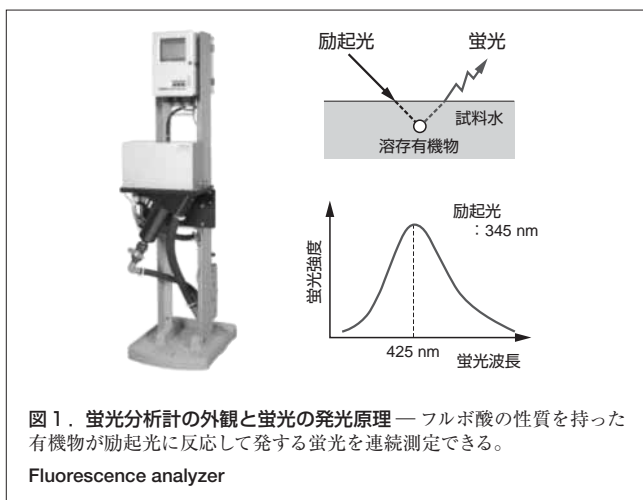


図1. 蛍光分析計の外観と蛍光の発光原理 — フルボ酸の性質を持った有機物が励起光に反応して発する蛍光を連続測定できる。

Fluorescence analyzer

特長としては、次の3点が挙げられる。

- (1) 蛍光の強度は、水中の溶存有機物濃度と強い相関関係があり、連続測定ができる。
- (2) 表面散乱光方式によって水中の溶存有機物を測定するため、試料水に測定部を接触させることなく、かつ無試薬で計測ができ、メンテナンス性に優れている。
- (3) 紫外線吸光度方式に比べて感度が高い。

この蛍光分析計を適用した例として、活性炭注入制御とオゾン注入制御を次に述べる。

2.1.2 過不足のない活性炭注入のための制御支援技術

河川や湖などの水源水質の悪化に伴い、浄水場では、異臭味やトリハロメタン前駆物質を原水から除去するために、着水井に粉末活性炭を注入しているところがある。

従来、過去のデータや手分析などから活性炭の注入率を決定してきたが、この方法では水質の変動に応じて粉末活性炭の注入率を変化させないと、粉末活性炭の注入が過不足することがあった。注入量が不足した場合、水中の溶存有機物が除去できず、脱臭効果が低下する原因となる。また、注入量が過剰な場合、ろ過池に流入した粉末活性炭によりろ過速度の低下とろ過池洗浄回数の増加が起り、運用効率が低下する原因となる。

これらを解決する方法として図2に示す蛍光分析計を応用したフィードフォワード制御の活性炭注入率設定を支援するシステムを開発した。

この支援システムでは、あらかじめ用意した水質指標と蛍光強度の関係式から、処理後の水質目標値に対応する蛍光強度を求め、これをもとに粉末活性炭の適切な注入率を算出する。

ここで算出された注入率を用いて粉末活性炭の注入を制御することにより、粉末活性炭の使用量の削減と同時に、過剰注入で発生する汚泥量の低減が期待できる。

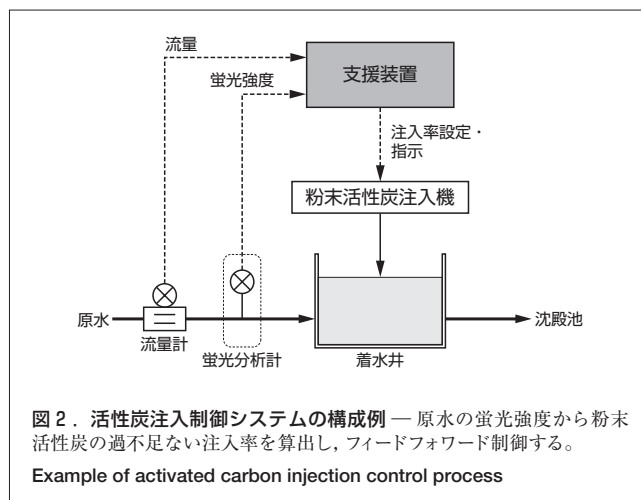


図2. 活性炭注入制御システムの構成例 — 原水の蛍光強度から粉末活性炭の過不足ない注入率を算出し、フィードフォワード制御する。

Example of activated carbon injection control process

2.1.3 臭素酸イオンを抑えるオゾン注入制御技術

異臭味、トリハロメタン前駆物質、一般細菌及び大腸菌を原水から除去するために、オゾンの持つ強い酸化力による脱臭、脱色、消毒作用を活用したオゾン設備が、日本では大都市を中心に浄水場に導入されてきた。

オゾンは、水中の臭化物イオンを酸化し、発ガン性の疑いがある臭素酸イオンを生成することがある。一般的なオゾンの制御方式である溶存オゾン濃度一定制御では、溶存オゾンが発生するのとほぼ同時に臭素酸イオンが生成される。これに対処するために、異臭味やトリハロメタン前駆物質の除去をしながら、臭素酸イオンを抑えるオゾン注入制御技術が求められている。これを解決する制御方法として、蛍光分析計を応用したオゾン注入制御システム(図3)を開発した。

このオゾン注入制御システムでは、オゾン反応槽の入口と出口に設置した蛍光分析計で計測した蛍光強度を用いる。この出口蛍光強度を入口蛍光強度で割って求められる蛍光強度残存率によって、オゾン処理効果が把握できる。

この蛍光強度残存率を一定に制御することで、溶存オゾン

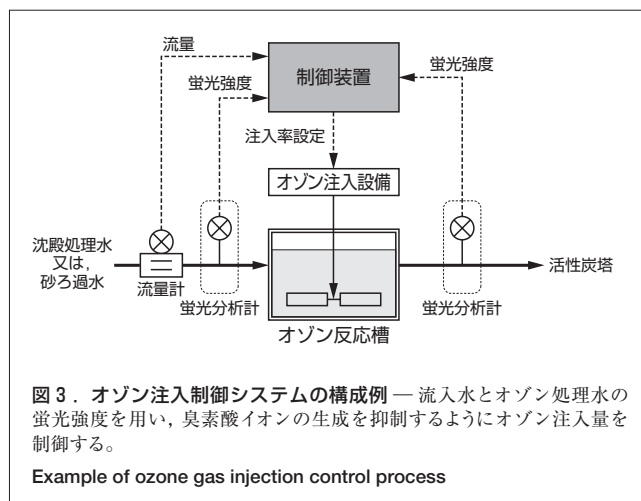


図3. オゾン注入制御システムの構成例 — 流入水とオゾン処理水の蛍光強度を用い、臭素酸イオンの生成を抑制するようにオゾン注入量を制御する。

Example of ozone gas injection control process

3 下水道分野における計測・制御技術

3.1 雨天時越流水を適切に消毒処理する計測・制御技術

早くから下水道の整備が進められてきた地域では、雨水と汚水を同一の下水管で排除する合流式下水道が多く採用されている。合流式下水道は、雨水と汚水を別々の下水管で排除する分流式下水道に比べ、下水道の整備を早期かつ安価に実現できるうえ、生活環境の改善と浸水防除の二つの機能を同時に実現できる合理的な方式である。

しかし、合流式下水道では、雨天時に多量の雨が降り下水処理場の処理能力を超えると、汚水の一部が河川などの公共用水域に未処理のまま越流してしまうことが問題となっている。これは、合流式下水道の雨天時越流水問題と言われており、河川などの水質汚濁の一因となっている。そのため合流式下水道では、雨天時越流水による水質汚濁の影響を軽減するための現実的な対策が求められている。

当社は、合流式下水道の雨天時越流水を適切に消毒処理し放流するための、塩素注入制御システムを開発した。塩素注入制御システムの構成例を図5に示す。

このシステムは、塩素注入率の指標をモデル化することによって適切な注入率を算出し、過注入を防止して薬品使用量を低減するとともに、放流水を適切に消毒することができる。

また、濁度などの水質を連続計測することによってCOD (Chemical Oxygen Demand: 化学的酸素要求量)を演算し、演算モデルにより放流水の水質基準となる大腸菌群数の増減傾向をリアルタイムに把握することができる。そのため、次亜塩素酸ナトリウムなどの塩素注入量を、短期間で変動する雨天時流入水質に追従させることができる。

当社の塩素注入制御システムを適用することにより、雨天

ン濃度が検出できない領域でのオゾン注入制御ができ、オゾンの処理効果を確保しつつ、臭素酸イオンを抑えることができる。また、適量なオゾン注入となるため、電力費削減効果も期待できる。

2.2 凝集剤注入量を低減するフィードバック制御技術

凝集剤注入の目的は、原水中に含まれる濁質などを凝集させ、沈降しやすいフロックとして取り除くことである。

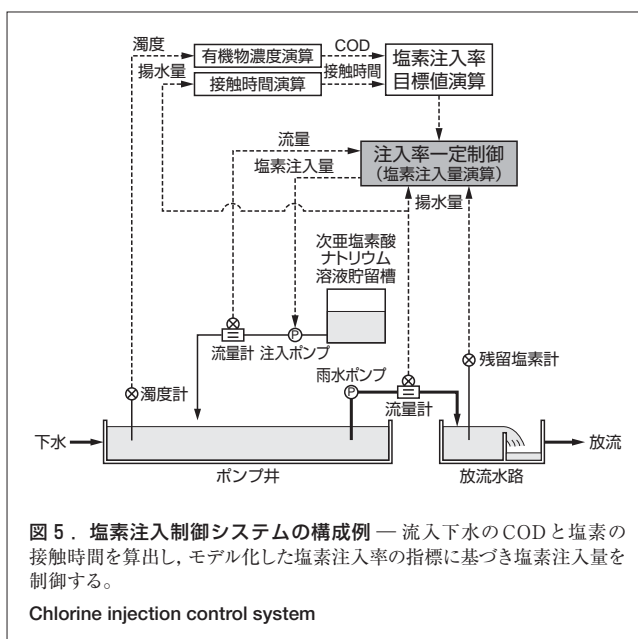
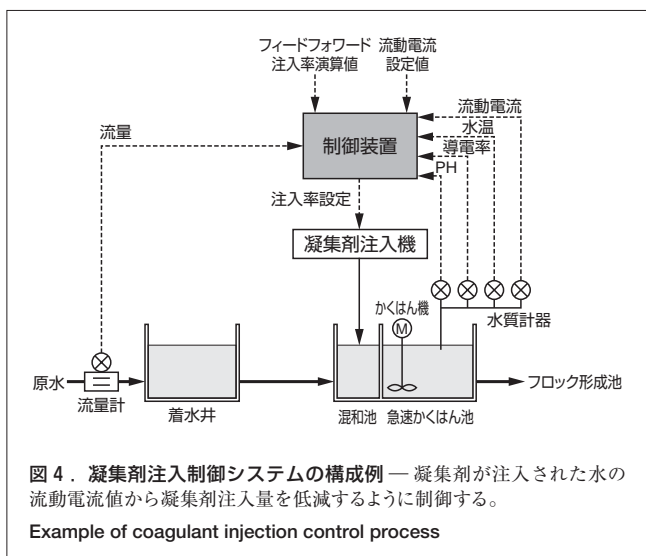
浄水場では、原水水質が変動すると凝集剤が過不足することがある。注入量が不足した場合、十分な凝集が行えず、後段のろ過池への負荷の上昇及び沈殿池出口やろ過池出口の濁度上昇の原因となる。また、注入量が過剰の場合、処理水中のアルミニウムイオン濃度の増加及び凝集剤使用量や発生汚泥量の増加によるコスト増大の原因となる。

一般的に、凝集剤注入制御には、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きた。しかし、原水水質が変化すると、適切な注入制御ができなくなることがあり、原水水質が変化しても対応できる制御が望まれている。

当社は、混和池で凝集剤が注入された水の流動電流を測定し、流動電流値を凝集剤注入率にフィードバックするシステムを開発した。凝集剤注入制御の構成を図4に示す。

凝集剤注入制御には、フロック形成のしやすさと相関がある流動電流値を用いる。流動電流値は、凝集剤の過不足及びpHや水温など原水水質の変化によっても値が変化する。凝集剤の適切な注入率は、これらを加味して演算した流動電流値とオンラインの測定値を比較することで求められる。

過去の注入実績に基づいたフィードフォワード制御に、前述の流動電流値を用いたフィードバック制御を加えることで、水質の変化にも対応できる凝集剤注入制御システムを確立した。この制御方式を実際のプラントに適用した例では、凝集剤注入量を適用前に比べて約18%削減する効果が得られた。



時の未処理下水を適切に消毒して、放流水の水質基準を維持するとともに、過度の塩素注入による放流先の公共用水域の生態系に与える影響も低減させることができる。

3.2 電力量削減に貢献する曝気風量制御技術

下水処理場は、生活排水など下水管へ流れ込んでくる汚水を浄化し、河川や海へ放流する役割を担っている。

近年、下水処理場の放流水質を向上させるために、窒素とリンの同時除去ができる高度処理プロセスを導入する下水処理場が増えている。しかし、高度処理プロセスの一つである嫌気-無酸素-好気活性汚泥法(A2O法)では、従来の有機物に加えて窒素成分も除去するために、汚濁物質除去に必要な酸素量が増加し、曝気(ばっき)風量はA2O法の導入前と比べ増加する。そのため、処理水質が向上する一方で、消費する電力量は増えてしまう傾向にある。

下水処理場で消費されるエネルギーの大半は電力であり、そのうち、曝気風量を発生させるための送風機で消費する電力が約4割を占めている。このため、風量を必要最小限に抑えることにより、電力量を低減することが可能となる。

当社は、高度処理プロセスにおける送風機の電力量を従来制御に比べ低減させることができる、DO(Dissolved Oxygen: 溶存酸素)計とアンモニア計を用いたマルチモード方式曝気風量制御を実用化した。マルチモード方式曝気風量制御システムの構成例を図6に示す。

この制御システムはDO計、アンモニア計それぞれのセンサの特徴を生かしたシステムである。DO計は、測定周期は短い処理対象の水質成分を直接測定していない。このため、これまで一般的に行われてきたDO計だけを用いた制御(DO制御)では、放流水質を維持するために安全側の運転をする必要があり、窒素とリンの除去に必要な本来の風量に対して、曝気風量が過剰となる傾向にある。アンモニア計は、処理対象の水質成分を直接測定しているが、測定周期が

長い。そのため、アンモニア計だけを用いた制御(アンモニア制御)では、窒素とリンの除去に必要な曝気風量を過不足なく供給できるが、流入水質・水量の急変時に対応できない可能性がある。アンモニア計とDO計両方の計測値を利用した切替制御とすることにより、アンモニア計での直接計測による効率的風量供給及びDO計での短周期計測による急変時の放流水質維持、というそれぞれの特長を最大限に活用することが可能となる。

開発した切替制御をA2O法の処理場に適用したところ、雨天時などの急激な流入水質・水量の変動時でも処理水質を維持しつつ、従来制御であるDO制御と比較して、曝気風量を約10%削減する効果を得ることができた。

4 あとがき

社会に安心と安全を提供しつつ、上下水道施設の効率的運用に貢献する計測・制御技術として、上水道分野では、蛍光発現物質の特性を利用した蛍光分析計について述べ、それを活用した活性炭やオゾンの注入制御技術、更に凝集剤を過不足なく注入できる制御技術について述べた。

下水道の分野では、合流式下水道の雨天時越流水の塩素消毒を適切に制御するシステムと、下水処理場の高度処理における電力量削減に貢献する制御システムについて述べた。

これらの計測・制御技術を適用することで、運用・維持管理の効率化やコストの削減が実現できると考えており、今後も、それらの実現に貢献する技術の開発を継続していく。

文 献

- (1) 阿部光法, ほか. “蛍光分析計による粉末活性炭注入制御の検討”. 第53回全国水道研究発表会講演集. 前橋, 2002-05, (社)日本水道協会. p.196-197.
- (2) 栗原潮子, ほか. 浄水場水質制御システムの高度化. 東芝レビュー. 59, 5, 2004, p.20-23.
- (3) 前田 勉, ほか. “凝集剤注入制御の高度化に伴う効果(II)”. 第56回全国水道研究発表会講演集. 米子, 2005-05, (社)日本水道協会. p.152-153.
- (4) 山本勝也, ほか. 下水道新世紀におけるシステム制御技術. 東芝レビュー. 59, 5, 2004, p.24-27.
- (5) 篠原哲哉, ほか. 社会インフラの安心・安全を支えるシステム技術. 東芝レビュー. 60, 7, 2005, p.63-65.

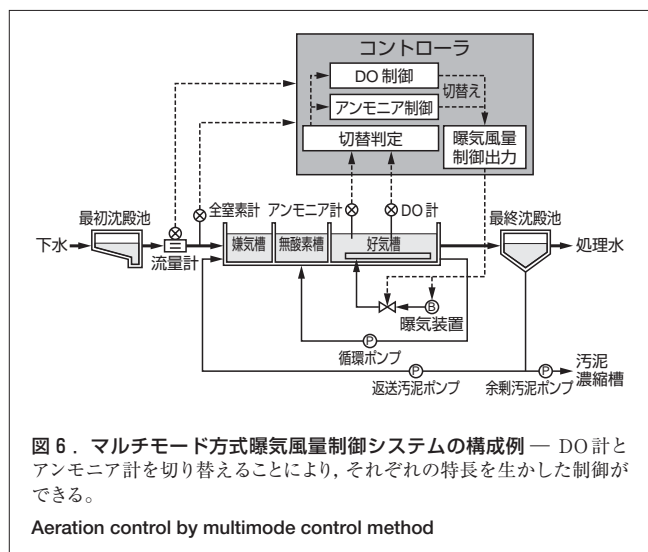


図6. マルチモード方式曝気風量制御システムの構成例 — DO計とアンモニア計を切り替えることにより、それぞれの特長を生かした制御ができる。

Aeration control by multimode control method



的場 雅啓 MATOBA Masayoshi

電力・社会システム社 社会システム事業部 公共システム技術第二部グループ長。公共システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。

Infrastructure Systems Div.



相馬 孝浩 SOMA Takahiro

電力・社会システム社 社会システム事業部 公共システム技術第一部主務。公共システムのエンジニアリング業務に従事。

Infrastructure Systems Div.