feature articles

日立グループ水環境ソリューションの新展開

水道の安全·安心に貢献する 監視制御·情報処理技術

Supervisory, Control, and Information Processing Technology for Safe and Comfortable Water Supply

横井 浩人 Yokoi Hiroto 三宮 豊 Sangu Yutaka

岩井 優作

齋藤 功治

Iwai Yusaku

Saito Koji

水道分野を取り巻く事業環境は、拡張から維持管理の時代へと移行しつつある。維持管理では、自然災害や熟練技術者の減少などに起因するリスク全般に対する体制の整備とともに、日常的には、水質と水量の面で需要家の求める安全で安心できる水道水の供給が求められる。また、厚生労働省からは、リスク管理を考慮した「水安全計画策定ガイドライン」が発行され、2011年度中の計画策定が推奨されている。

日立グループは、上水道の運転情報を管理する監視制御システムを提供している。持続可能な水道供給を支えるため、現在、蓄積した水質・運転情報を高度に情報処理してユーザーを維持管理の点から支援する新たな監視制御技術および情報処理技術の研究開発に取り組んでいる。

1. はじめに

社会と需要家の安心を支えていくためには、蛇口から直接飲むことのできる安全でおいしい水を安定して供給できることが必要である¹⁾。この水道は、維持管理中心の時代に入ったと言われている。

維持管理においては、近年、(1) 地震や気候変動に伴う 豪雨など、自然系の危害への対処、(2) 事業運営の合理化 や経済性の追求に伴う設備更新の遅れ、熟練技術者の減少 など、社会的な課題への対応、および、(3) おいしさの向 上に代表される新たな需要家ニーズへの対応が特に重要視 されている。また、東日本大震災を契機として、水道シス テム本来の安全・安定について再度見直すことの必要性も 主張されている²⁾。

これらの課題に対する施策として、例えば、管路の耐震 化や浄水施設の性能向上、アセットマネジメントの導入に よる合理的な設備更新計画の策定、技術研修の充実、研究 施設の立ち上げによる高度化技術の検討など、ハードウェ ア・ソフトウェア両面での提案がなされている。また、関 係省庁や業界団体からガイドラインや手引きが発行されて おり、これらに従えば、一定レベルでの安全・安心な水道 水のための管理が実現される $^{3), 4), 5)$ 。

日立グループは、これまで水道における監視制御システムや情報管理システムを提供してきた。上述した施策だけでなく、これらのシステムを適切に利用した継続的なPDCA (Plan, Do, Check, and Action) サイクルによって、さらに高レベルの維持管理の実現が可能と考える。そこで、今般新たに、リスクに基づく維持管理、および、蓄積した情報を活用した運転支援の2点をコンセプトとするシステムを開発した(図1参照)。

ここでは、HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point: 危害分析・重要管理点) 手法を適用した情報システム (水安全管理システム) と、シミュレーションモデルや新たな水質指標に基づく浄水施設の運転制御技術 (浄水膜ろ過最適制御、高濁度対応薬品注入制御)、および、水質計測技術について述べる。

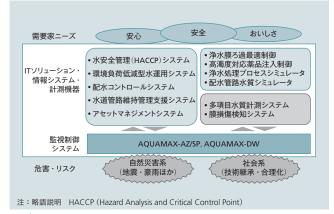


図1 | 安全・安心な水道供給に貢献するシステムとソリューション 水道に関わる危害のリスク低減に向け、監視制御システムとその情報を有効 に活用したソリューションを提供する。

2. 水質安全のための情報システムと計測技術

2.1 水安全管理システム

水源から給水栓までの総合的な水質管理の強化を目的として、厚生労働省は水安全計画策定ガイドライン⁴⁾を発行し、2011年度までの計画立案を推奨している。水安全計画には、国際的な衛生管理手法であり、危害事象のリスクを考慮するHACCPの考え方が導入されている⁶⁾。

水安全管理システムは、計画の策定・運用・管理状況を確認するための情報システムである(図2参照)。厚生労働省のガイドラインに準拠しており、危害分析やドキュメント作成・管理を実施する適用支援機能を備えている。また、中央監視制御システムとオンラインで接続でき、蓄積した大量の水質・運転操作情報のデータを活用した運用支援機能を有している。

2.1.1 適用支援機能

適用支援機能は、水安全計画の策定フローの各ステップ でユーザーを支援する(図3参照)。

危害分析のステップでは、水道の各工程に関連してあらかじめ登録されている危害事象から選択または事象を追加し、リスクを定量的に評価する。リスクが大きい事象に対しては、具体的な管理措置を設定する。リスクが小さな事象は残余リスクとして認識され、漏れなく定期的な見直しの対象とすることができる。

作成するべきドキュメントのうち、管理措置表は最も重

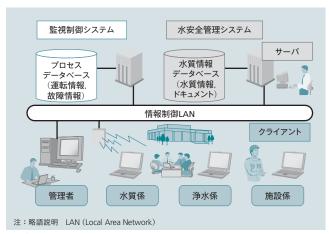


図2 水安全管理システムの構成

事業体全部署で情報を共有することで, 危害発生時の迅速な対応が実現できる。



図3 | 水安全計画策定フローと管理措置表の画面例 厚生労働省のガイドラインに従った適用支援ツールである。

要なものの一つである。システムでの作業性を向上させるため、管理措置の設定のステップでのHMI (Human Machine Interface) には管理措置表の様式を採用した。重要な管理点の選定と管理基準値の設定を効率よく進めるため、データ分析機能を備えた。管理措置表のセルに対応するリンクで、独自の詳細分析のための画面に展開する(図4参照)。管理基準は、DB(Database)上のデータを使った統計的手法や、残留塩素の濃度減衰などのモデル計算手法を使って定量的に求めることができる。さらに、任意の計算モデルを追加できる構成としているため、事業体独自のノウハウに基づく評価式の適用も容易となっている。

2.1.2 運用支援機能

運用支援機能は、システムに格納したデータの「見える化」によって日常の運用を支援する機能である。具体的には、類似検索機能、異常時の対応措置(ドキュメント)提示機能、シミュレータとの連携機能などを備えている。

例えば、類似検索機能は、現在の水質条件と類似した過去の日時を高速で探索・抽出し、そのときの運転条件(凝集剤注入率など)を類似度のスコアとともに支援情報として表示する。経時変化のパターンまたは複数の水質の組み合わせパターンに関しても検索が可能であり、この機能によって、熟練していないユーザーでも運転条件の妥当性判断や、運転条件の適切な調整が可能である。

このシステムにより、以下の6点が期待できる。

- (1) ガイドラインに沿った計画策定とドキュメント管理の効率化
- (2) PDCAサイクルの円滑な運用
- (3) 水質管理の適正化と緊急時対応の高速化
- (4) 科学的な根拠に基づく水質情報公開による説明責任の 担保
- (5) 第三者委託時のトレーサビリティ向上

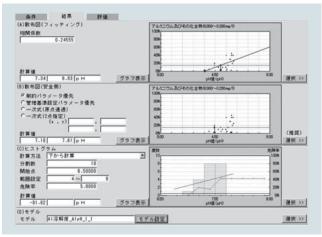


図4|管理基準設定画面

実測データを使った統計計算やモデル計算の機能を有しており、科学的根拠に基づいた管理基準値を設定可能である。

(6) ノウハウ蓄積、人材の育成・強化

2.2 水質安全に貢献する計測技術

水質安全に関しては、取水、浄水処理、ろ過池を経て給水栓末端での管理に至るまで、多くの水質計が用いられる。ここでは、水質安全に貢献する水質計として、「AN700A形無試薬式配水水質モニタ」と「AN455C形粒子計測機能付高感度濁度計」について述べる。

AN700A形と水質監視システムによる広域水質監視システムは、配水池などの公共施設から一般家庭への配備へと展開され、また、AN455C形はろ過池の濁度・維持管理を粒子数計測という新しい指標で提案する。こうした計測技術により、浄水場から管路網の広範囲に及ぶ水質の安全監視が行われている。

2.2.1 AN700A形による広域水質監視システム

日立グループは、厚生労働省の水道法施行規則第15条に示されている毎日検査の自動化に貢献する水質計シリーズとして、AN700A形と、この製品を有効活用するための水質監視システムを提案している。その目的は、給水栓末端の水質安全性監視とその監視システムの容易な構築である。

従来の水質監視装置が幹線系の設置にとどまっていたのに対し、設置が容易なこの製品によって監視ポイントを末端まで拡大し、給水区域全体の水質監視を行うことにより、水道水の安全性が飛躍的に向上する(図5参照)。この中には単に水質計の技術向上のみならず、最新のITを応用した新しい通信方式による水質データ収集と水質監視システムの考え方も盛り込まれている。配水末端にAN700A形を配置し、上位に「DMT700形データモニタ」を配置することで水質監視システムが構築され、状態監

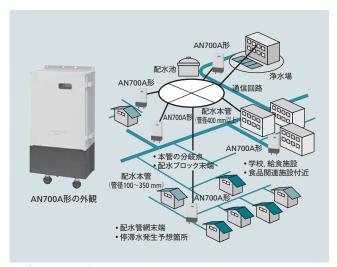


図5 | AN700A形無試薬式配水水質モニタの外観と水質監視システム 配水管路網に多項目水質計を配備することにより、水質のさまざまな情報を 収集できる。

視,トレンド表示,帳票出力などが可能となる(図6参照)。

2.2.2 AN455C形によるろ過池の管理

1996年に「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」が示されて以降、浄水場のろ過池出口の濁度管理を0.1度以下とすることは、周知されるところである。また、ろ過池の運転管理についても、2007年に改正された「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」の中で詳細に規定されている。そうした背景の中、ろ過池の運転管理の一つの指標として、濁度と並んで粒子径および粒子数を直接管理し、ろ過池の状況を具体的に把握する管理が提案されている。AN455C形は、こうしたろ過池の管理に最適な水質計である(図7参照)。AN455C形を実際のろ過池出口に設置し、濁度と粒子数を測定した結果を示す(図8参照)。粒子の主体は粒子径1~3 μm が多く、濁度の変化に相関している。

このように、濁度計ではマクロな変化を把握できるが、 粒子計を組み合わせることにより、どの粒子径の濁質が変

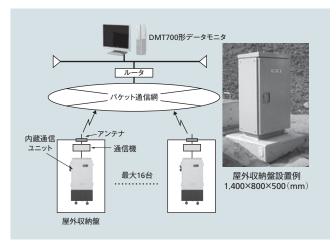


図6 水質監視システムの概要と屋外収納盤設置例

DMT700形データモニタと組み合わせることにより、水質監視システムが容易に構築できる。PC上に、トレンド、帳票、状態監視の各項目が展開される。



図7 | AN455C形粒子計測機能付高感度濁度計 試料水と電源の供給で即座に測定が可能なオールインワンの分析計である。

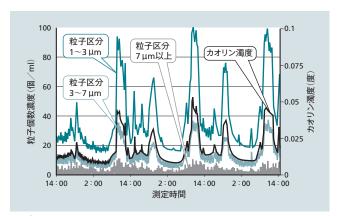


図8 | AN455C形のろ過池出口での測定例 濁度変動がどの粒子径の粒子数変動に起因するかが確認可能である。

動しているのかをダイナミックに把握できる。こうした変化をデータとして蓄積することにより、ろ過池の状況を的確に把握でき、ろ過池の洗浄周期、捨水時間の最適化が可能となる。また、膜ろ過装置においては、膜損傷の状況が濁度変動とともに粒子数変動として的確に把握でき、安全性確保のための重要なセンサーとして位置づけることができる。

水質安全は、決してその監視を緩めることのできない水 道事業における重要なポイントである。そうした状況の中 で、水質センサーの技術は重要であり、いかに安全で良質 な水道水を供給していくかが、水道に関わる事業者側の命 題である。今後とも、さまざまな角度から水道を見つめ、 新しい技術・製品を提供し、貢献していく所存である。

3. 監視制御システムにおける制御技術

3.1 浄水膜ろ過最適制御

膜ろ過処理は、ろ過水質が良好、維持管理が容易、病原性原虫をほぼ100%除去可能などの特長を有している。小規模の浄水施設を中心に施設数は増加しており、2009年度末時点で709件(計画含む)に達した⁷⁾。近年の傾向として、5万m³/日以上の中・大規模の施設も建設されてきている。今後も、水道施設に甚大な被害を受けた地域などでの導入が進む可能性がある。また、十分な水量確保の観点だけでなく、汚染地下水の使用を回避するため、規模によらず表流水を原水とするケースが増えることも予想される。

表流水は地下水や伏流水に比べて水質の変動が大きく、膜の目詰まりが進行しやすい。膜が目詰まりすることで、ろ過ポンプ動力が増大し、電力消費量として環境負荷が大きくなる。この目詰まりの対策として、膜ろ過処理の前段に凝集剤注入などの前処理を備える方式がある。一般に、凝集剤を多く注入すれば膜の目詰まり進行を抑制できるが、薬品消費量および汚泥発生量としての環境負荷が増大する。

日立グループは、この環境負荷を最小とする最適な前処理条件およびろ過処理条件で運転できる浄水膜ろ過監視制御システム「AQUAMAX-ft」を開発した(図9参照)。原水水質の変動に応じた最適な運転条件は、膜差圧予測モデルあるいはANN(Artificial Neural Network)を用いて算出され、自動運転が実行される。

このシステムの特徴である膜差圧予測モデルは、原水水質と凝集剤注入率、ろ過時間を入力し、膜差圧の将来の変化を予測するものである。一方、ANNは±10%の精度で膜差圧の変化速度を予測することができる⁸⁾。特に、予測モデルで考慮していない水質項目の変化に対し、過去の事例を教師データとした補正に活用できる見込みである。

膜差圧の予測値が得られれば、電力消費量を最小とする解、あるいはLCA (Life Cycle Assessment) としての環境負荷を最小とする解を探索することができる。

この解に基づいた制御を実施することで、環境に配慮した膜ろ過処理を実現できる。なお、このシステムは評価式の変更によって、運転コストを最小化する運転条件を求め

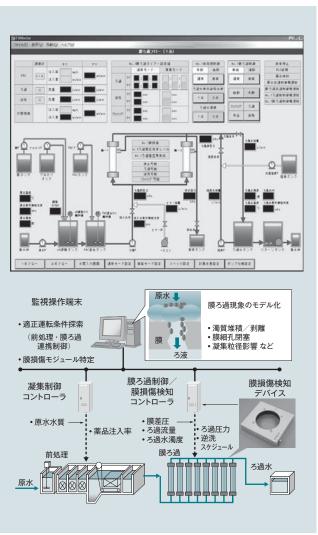


図9 | 浄水膜ろ過監視制御システム「AQUAMAX-ft」 膜差圧予測モデルに基づく制御で、原水水質に応じた適切な運転を実現する。

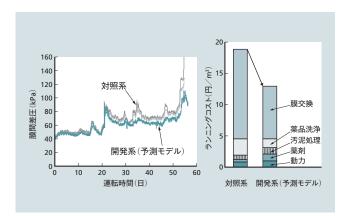


図10 | AQUAMAX-ftによる実証実験結果 予測モデルに基づく制御で、膜交換、薬品洗浄費を低減する。

ることも可能である。実河川水を対象とした実証試験の結果, 運転コスト削減効果は1.8~47.9% (平均25%) であった (図10参照) 90。

3.2 高濁度対応薬品注入制御技術

上水道・水道用水供給事業では、急速ろ過法を用いる割合が浄水量基準で77.4%を占めている(2008年度)¹⁰⁾。この急速ろ過法では、原水水質に対応した薬品注入量の調整が重要とされている。しかし、近年、熟練職員の減少、水質基準の強化、外部委託の増加を背景に、薬品注入にかかわる技術ノウハウの継承が課題となってきている。この対応策の一つとして、日立グループでは監視制御システムによる薬品注入の自動制御機能を提供している。

現行の監視制御システムには,原水や浄水工程における 濁度などの水質を指標とした凝集剤注入制御機能がすでに 実装されている。今回,豪雨など原水水質が急変する条件 下での性能を強化するため,残留したAl (アルミニウム) の濃度に基づいた制御技術を開発した¹¹⁾。

この制御では、原水水質に基づくフィードフォワード制御、および、AI濃度と沈殿処理水濁度に基づくフィードバック制御によって凝集剤注入を実行する(**図11**参照)。

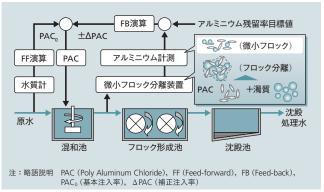


図11 アルミニウム濃度に基づく凝集剤注入制御

凝集剤に含まれるアルミニウムを制御指標に用いることで,原水濁度が急増 した場合でも短時間で適切な凝集剤注入率を決定する。 沈殿処理水濁度増加の原因と考えられる微小フロックに着目した点が特徴であり、混和水からの微小フロック分離装置およびフロック中のAI計測装置を備えた。混和池直後で混和水を計測することで、沈殿処理水の水質を指標とする現行の制御に比べて短時間のフィードバックを図ることができる。その結果として、原水水質の急変に対応できると考えられる。

Al濃度計測には、エリオクロムシアニン試薬(ECR: Eriochrome Cyanine Red)と酢酸緩衝液を使った吸光光度法を適用した(図12参照)。

計測したAI濃度を基に、AI残留率という指標を求め、 この値を用いることで凝集剤の注入率を補正した。この AI残留率は、注入された凝集剤に含まれるAI濃度に対す る未凝集AI濃度の比として定義した。

模擬水道原水を用いたパイロットプラント(処理流量:3 m³/日)によって、開発方式の制御性能検証試験を実施した(図13参照)。濁度が100度まで急激に上昇する原水条件において、開発方式では速やかな凝集剤の補正がかか

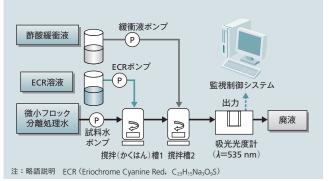


図12 アルミニウム計測フロー

微小フロック中のアルミニウムを溶解し、吸光光度法によって定量する。

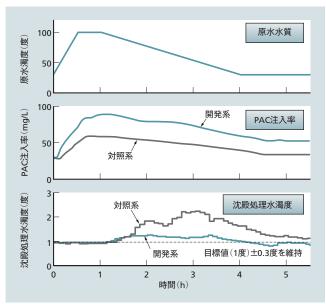


図13 開発方式による凝集剤注入制御実験結果

パイロットプラントでの実験で、原水濁度100度に急増した場合でも開発制御によって良好な沈殿処理水水質を維持することが実証された。

ることで、沈殿処理水濁度を目標値1度に対して±0.3度 の範囲に管理できることを確認した。また、年間を通じた この方式の適用に向けて、低濁度原水にも注入率の適正化 に寄与できる見通しを得ている。

この技術は、熟練職員の減少や運転管理におけるノウハウの継承に関する課題を解決し、高レベルな水質の水道水の安定供給に寄与することが期待できる。今後、フィールド試験を経て監視制御システムへの実装を図る。

4. おわりに

ここでは、HACCP手法を適用した情報システム(水安全管理システム)と、シミュレーションモデルや新たな水質指標に基づく浄水施設の運転制御技術(浄水膜ろ過最適制御,高濁度対応薬品注入制御)、および、水質計測技術について述べた。

地震・豪雨など自然由来の危害が頻発する中,リスクの 概念を適用した維持管理の導入は、この先起こりうる事象 を想定し、具体的な対応方法を継続して確立していくうえ で有用である。

また、水質や施設の情報を管理し、その情報を運転制御 などへ活用する技術は、今後ますます増えることが見込ま れ、維持管理業務の支援だけでなく、より効果的なサービ スソリューションの提案へと発展させることができる。

日立グループは、これからも積極的な研究開発と製品化およびサービスへの展開を通して、これまで以上に安全・安心でサステイナブルな水道事業の構築に寄与していく考えである。

参考文献など

- 1) 厚生労働省健康局:水道ビジョン(平成20年7月改定)
- 2) 小泉:水道の未来に向けて、水道協会雑誌、第80巻、第5号、p.1 (2011.5)
- 3) 厚生労働省:「水道事業におけるアセットマネジメント(資産管理)に関する手引き」について、
- http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/houkoku/suidou/090729-1.html
- 4) 厚生労働省:「水安全計画策定ガイドライン」について、 http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/anzen/index.html
- 5) 社団法人日本水道協会:地震等緊急時対応の手引き, http://www.jwwa.or.jp/houkokusyo/pdf/kinkyutaiou_tebiki/tebiki_all.pdf
- 6) World Health Organization: Guidelines for Drinking-Water Quality Third Edition (2004.11)
- 7) 財団法人水道技術研究センター:水道用膜ろ過施設導入状況について(平成21年度 末実績),
 - http://www.jwrc-net.or.jp/maku-shisetsu/maku-donyu21.pdf
- 8) 陰山,外: Modeling of Microfiltration Process by Artificial Neural Network for Coagulant Dosage Control,第62回全国水道研究発表会講演集,p.720 (2011.5)
- 9) 財団法人水道技術研究センター: 安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術 の確立に関する研究 (e-Water II プロジェクト) 最終報告書 (3/3) (2008.7)
- 10) 日本水道協会水道統計編纂専門委員会:水道統計の経年分析 (平成20年度),水道協会雑誌,第79巻,第8号,p.63 (2010.8)
- 11) 横井, 外: アルミニウムを指標としたPAC注入制御手法の開発, 環境システム計測 制御学会誌 第15巻, 2・3号, p.41 (2010.10)

執筆者紹介



横井 浩人

1995年日立製作所入社,日立研究所エネルギー・環境研究センタ公共・産業研究部所属現在,水道向け監視制御・情報システムの研究開発に従事技術士(上下水道部門)

三宮 豊



2008年日立製作所入社,日立研究所 エネルギー・環境研究センタ 公共・産業研究部 所属 現在,水道向け監視制御技術の研究開発に従事

現在、水道向け監視制御技術の研究開発に従事 化学工学会会員

環境システム計測制御学会会員

岩井 優作

1999年日立製作所入社,情報制御システム社 社会制御システム設 計部 所属

現在、上水道監視情報システムの開発・設計に従事 環境システム計測制御学会会員



齋藤 功治

1979年日立製作所入社,株式会社日立ハイテクコントロールシステムズ 計測制御本部 計測制御設計部 所属

現在、工業計器全般の設計および事業推進業務に従事