feature article

安心と環境負荷低減に貢献する水道監視制御・情報処理システム

Advanced Supervisory, Control and Information System for Water Purification Process Contributing to Reassurance and Reduction of Environmental Load

陰山 晃治 Koji Kageyama　隅倉 みさき Misaki Sumikura　金子 和弘 Kazuhiro Kaneko
衛藤 克己 Katsuki Etou　岩井 優作 Yusaku Iwai

日立グループが策定した「環境ビジョン2025」において示した重要な三つの柱を水道分野に当てはめると，「生態系の保全」が安心な水や良好な水質の確保，「地球温暖化の防止」が薬品消費量の低減や省エネルギーによる環境負荷低減，「資源の循環的な利用」が浄水汚泥の資源化に相当する。日立グループは，これらに対応した研究開発を監視制御技術，情報処理技術，水処理技術という面からそれぞれ推進しており，需要家が水道水を安心して使用でき，かつ環境負荷を低減できる製品を提供することにより，水事業の発展に寄与，社会に貢献していく。

1. はじめに

水道は，公衆衛生の確保と同時に，国民生活を支えるための最も基本的なライフラインである。水道の普及率は2006年度末現在で97%を超えた（厚生労働省健康局水道課調べ）が，現状でも依然として課題が残されている。今後の水道に関する主要政策課題として，2008年7月に改訂された厚生労働省の「水道ビジョン」では，「安心」，「安定」，「維持」，「環境」，「国際」の5項目の着実な実施が強調されている。

一方，日立グループは，「環境ビジョン2025」の中で重要な三つの柱を示している。三つの柱のうち，「生態系の保全」は水道ビジョンの「安心」に，「地球温暖化の防止」と「資源の循環的な利用」は「環境」に相当する。現在は，これらの課題に対応した研究開発に注力している（**図1**参照）。

ここでは，日立グループの「環境ビジョン2025」の重要な三つの柱のうち，「生態系の保全」と「地球温暖化の防止」に対応した高度な監視制御システムと情報処理システムの一例について述べる。

2. 安心と環境負荷低減を実現する監視制御システム

監視制御は，従来から重点的に研究開発を進めてきた技術である。このうち制御技術は凝集沈殿プロセスから始まり，オゾン処理，膜ろ過処理へとその対象を広げてきた。日立グループは計算機を用いる高度な制御の実現をめざしており，ブラックボックスモデルを用いる制御から物理モデルに立脚した制御まで，幅広い手法を開発してきた。また，監視技術に関しては，光学的手法や画像処理などの計測手法を開発してきた。

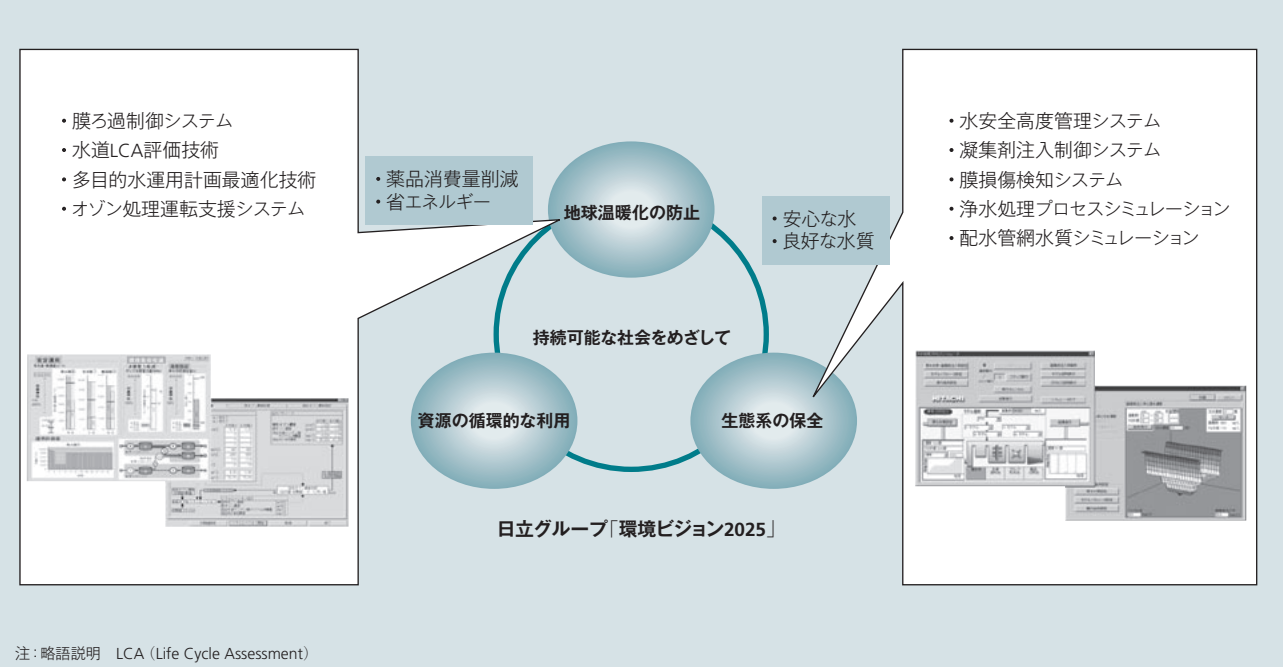
ここでは，急速ろ過処理および膜ろ過処理に対応した高度な制御システムおよび監視システムに関して述べる。

2.1 高濁度原水に対応できる凝集剤注入制御システム

熟練職員が減少する「2012年問題」を前に，浄水場ではより合理的な維持管理の実現が求められている。教育・訓練体制の強化や第三者委託がその施策として挙げられる。一方，降雨に起因する原水濁度が急増する事象もときおり発生しており，これに対応するためには，上記施策に加えてこれまで以上に高度な制御システムが必要と考えられる。

そこで，日立グループは新しい凝集剤注入制御システムの開発に取り組んでいる。このシステムでは，まず混和池出口でサンプリングした水から沈殿性が悪いと予想される微小なフロックおよび未凝集成分（濁度，アルミニウムなど）を選択的に分離する。次に，分離した未凝集成分の濃度を測定し，この測定値に基づいて凝集剤注入率を制御する。この制御を実現するため，高濁時でも連続して未凝集成分を分離する技術と，未凝集成分の濃度から沈殿水濃度を予測できる技術を開発した（**図2**参照）。

新しい凝集剤注入制御システムは低濁時から100度以上の高濁度にも対応でき，フィードバックの時間も短いため，非定常状態への対応が可能である。したがって，この制御システムでは原水濁度の急激な上昇時でも良好な処理水質を確保でき，需要家が「安心」して水道水を使用することができる。水道事業体にとっても，運転員の手動介入回数



注：略語説明　LCA（Life Cycle Assessment）

図1　日立グループ「環境ビジョン2025」に対応した水道の高度監視制御技術
環境ビジョンのうち，「生態系の保全」と「地球温暖化の防止」に対応した研究開発を進め，水道事業の発展に寄与している。

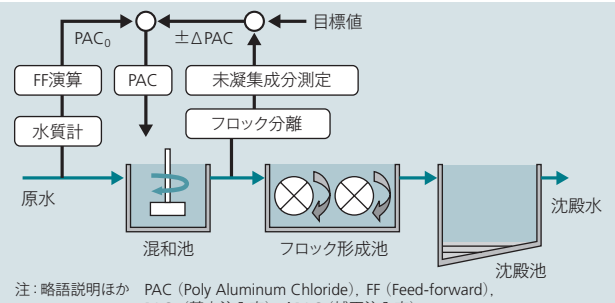
の低減と負担軽減が可能となるため，「安心」して凝集沈殿プロセスを運転管理することが可能となる。

2.2　膜差圧予測モデルに基づく膜ろ過制御システム

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，これまで主に小規模の浄水施設へ導入されてきた。近年は，表流水を原水とする中･大規模の浄水場への導入も進みつつある。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により，ろ過ポンプ動力が増大し，電力消費量として環境負荷が増大する。この対策として，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，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監視制御システム「AQUAMAX-ft」を開発した（**図3**参照）。AQUAMAX-ftは，膜差圧予測モデルに基づいて原水水質の変動に応じた運転条件の最適解を算出し，自動運転に反映させる。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計算するものである。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する。

なお，このシステムは評価式の変更によって，運転コストを低減する運転条件を求め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[1)]。



注：略語説明ほか　PAC（Poly Aluminum Chloride），FF（Feed-forward），PAC_0（基本注入率），ΔPAC（補正注入率）

図2　未凝集成分に基づく凝集剤注入制御
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。

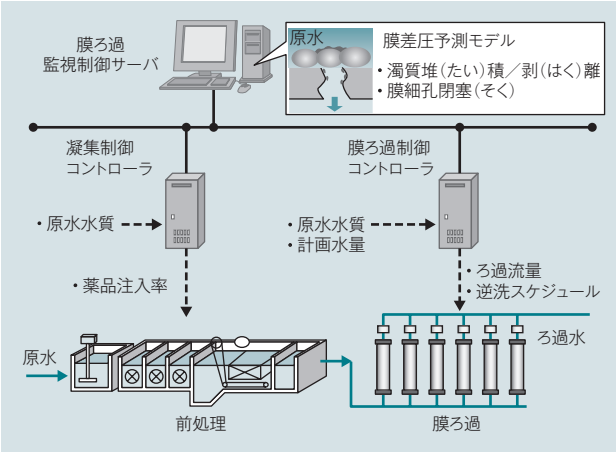


図3　浄水膜ろ過監視制御システム「AQUAMAX-ft」
膜差圧予測モデルに基づく制御で，原水水質に応じた適切な運転を実現する。

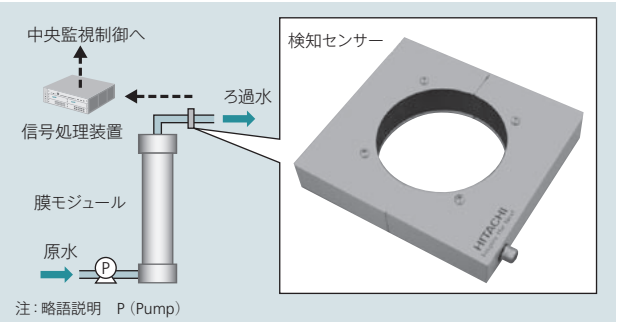


図4　高感度膜損傷検知システム
膜モジュールの損傷を高感度に，連続的にモジュールまで特定して検知する。

2.3　光学素子を用いた高感度膜損傷検知システム

一般に，膜ろ過処理の後段には塩素処理しか設けられないことから，供給水質の安全確保のため，万一の膜損傷を高感度で検知する技術が求められている。これについては，損傷に起因して漏洩（えい）した濁質を高感度濁度計によって検出する方法がある。しかし，ろ過水の集合配管での検知となるため，正常なモジュールのろ過水による希釈の影響を受けると同時に，損傷した膜モジュールを短時間で特定できない課題があった。

そこで，膜モジュールごとに設置できる小型で高感度な検知センサーと信号処理装置を開発した（**図4**参照）。検知センサーには一対の発光素子と受光素子が備えられ，漏洩濁質が素子間の光路を遮る回数をカウントし，カウント数の大小で膜損傷の有無が判定できる。技術的な特徴は，マイクロメートルレベルの濁質による遮光を明確に検出可能な極細の光路の生成技術と，瞬間的な光量変動を検出する高速サンプリング・信号処理技術である。実河川水を用いた実証実験の結果，濁度換算で0.0005度の検知精度を有することを確認した[1)]。

この技術で開発した小型検知センサーは膜モジュールごとに設置可能であるため，正常な膜モジュールのろ過水の影響を受けず，高感度な検知が可能となる。その結果，損傷の発生を早い段階で膜モジュールまで特定して検知でき，ろ過水への漏洩物の影響を最小化できる。

3.　安心と環境負荷低減を実現する情報処理システム

プロセスの運転操作のほかに，上水道では維持管理業務や計画業務が存在する。これらの業務の効率化や信頼性向上のため，これまで図面管理システム，携帯端末による巡回点検作業の入力支援システム，河川の流下シミュレーション，流域評価シミュレーションなどを開発してきた。

このうち，「安心」の面から水安全高度管理システム，「環境」の面から水道LCA評価システムの開発内容について以下に述べる。

3.1　HACCPの概念に基づく水安全高度管理システム

2008年5月に厚生労働省から「水安全計画策定ガイドライン」が発行され，水道事業体でも徐々に水安全計画が策定されつつある。ガイドラインの水安全計画はHACCP（Hazard Analysis and Critical Control Point）の概念を基本としており，HACCP手法を適用した水安全計画の策定・実行およびその改善のための業務支援が望まれている。

そこで，HACCP手法を用いた水安全高度管理システムを開発した（**図5**参照）。水安全高度管理システムは，水質管理をはじめとする維持管理業務におけるPDCA（Plan，Do，Check, and Action）サイクルの遂行支援を目的とする。

Planの段階において，このシステムは危害分析，管理点設定，管理基準設定の作業を支援する。このシステムの特徴であるリスク分析技術により，過去の水質・プロセスデータに基づいた合理的な設定値を得られる。その結果，計画策定業務の負荷低減や需要家への説明責任能力の向上を図ることができる。

Doの段階において，このシステムは水処理の各プロセスにおける水質計測値が管理基準値を満足しているかを監視する機能，管網シミュレーション技術によって送水・配水状況を計算できる機能，過去の類似データを探索する機能を備えた。

Checkの段階では，新たに取得したモニタリングデータを加えたリスク評価および管理基準の更新を支援する機能を設けた。これらの結果は，Actionおよび次のPlanの段階における意思決定に利用できる。

上記の機能により，このシステムを用いることで水安全計画の策定および見直しのPDCAサイクルを少ない労力で実施できる。その結果，継続的な改善が可能となり，リスクを低減した効率的な運転管理を維持することができる。

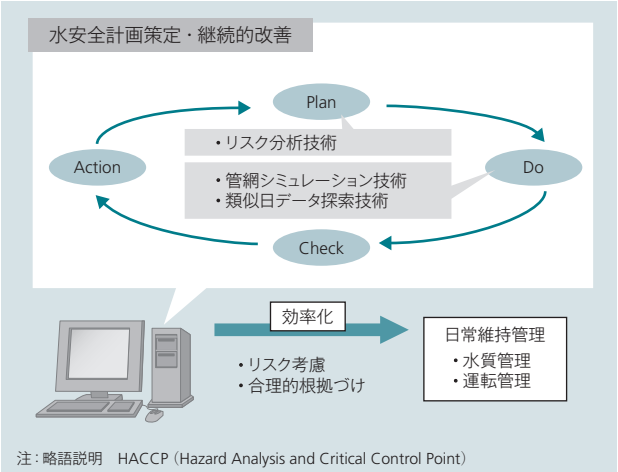


図5　水安全高度管理システム
HACCP手法を取り入れ，リスクを考慮して合理的根拠に基づいた効率的な維持管理業務の実現を支援する。

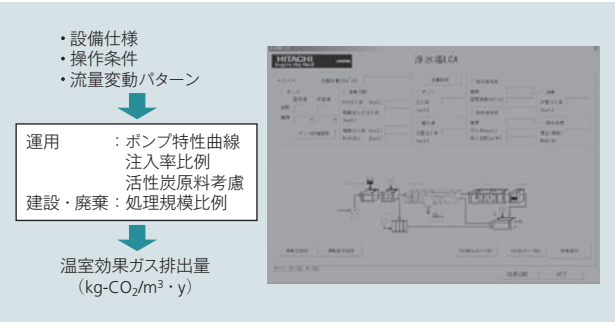


図6　水道LCA評価システム
運用段階のインベントリ分析を詳細に実施し，運用改善方策の決定を支援する。

3.2　運用段階を重視した水道LCA評価システム

2006年の改正省エネ法（エネルギーの使用の合理化に関する法律）施行や2008年からの京都議定書発効を受け，水道事業体でも温室効果ガス排出量の削減に向けた取り組みが進んでいる。温室効果ガス排出量の評価方法の一つとして，多くの産業分野でLCAが実施されている。LCAでは，製品やサービスのライフサイクル（原料調達から廃棄まで）を通じた温室効果ガス排出量を計算して評価する。温室効果ガス排出量の算出法の一つであるインベントリ分析法で浄水場を評価すると，運用段階での排出量が建設や廃棄段階に比べて大きい。しかし，運用段階のLCA評価において，動特性や処理水質など詳細な点に関してはこれまで考慮されてきていない。

そこで，運用段階を重点的に評価できる水道LCA評価システムを開発した（**図6**参照）。このシステムは，流量変動に対応した温室効果ガス排出量を詳細に計算できる機能を備えている。計算のため，ポンプの特性曲線をデータとして備え，配管の状態や弁の開閉に関係する抵抗曲線との解を演算する技術を構築した。ポンプの特性曲線には，可変速制御導入時，および複数台のポンプを備えた場合の特性変化も考慮した。さらに，凝集剤注入率やオゾン注入率から温室効果ガス排出量を演算する機能，活性炭材質と使用量から温室効果ガス排出量を演算する機能も備えた。水質シミュレーション技術とLCA評価システムを組み合わせて用いることで，処理水質を満足し，かつ温室効果ガス排出量を低減するための運用改善方策の効果を定量的に把握することが可能となる。その結果，より適切な運用改善や施設更新を実施でき，「環境」に配慮した水道事業の実現に寄与できる。

4.　おわりに

ここでは，日立グループの「環境ビジョン2025」の重要な三つの柱のうち，「生態系の保全」と「地球温暖化防止」に対応した高度な監視制御システムと情報処理システムの一例について述べた。

今回取り上げなかった項目の「資源の循環的な利用」に関する技術開発も重要であり，日立グループはこれらに対応した監視制御技術，情報処理技術，水処理技術の開発を並行して進めている。今後も，さらなる技術開発に注力し，水道事業のいっそうの発展を通じて社会貢献を進めていきたい。

参考文献

1）　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-WaterII*）最終報告書（3/3）（2008.7）
2）　陰山，外：通年データでキャリブレーションしたオゾン反応モデルに基づくオゾン注入制御方式の評価と新たな低コスト制御方式の提案，環境システム計測制御学会誌 Vol.10，No.3（2005.10）

執筆者紹介

陰山 晃治
1993年日立製作所入社，電力グループ エネルギー・環境システム研究所 公共・産業プロジェクト 所属
現在，上下水道システムの研究開発に従事
環境システム計測制御学会（EICA）会員

隅倉 みさき
2002年日立製作所入社，電力グループ エネルギー・環境システム研究所 公共・産業プロジェクト 所属
現在，上下水道システムの研究開発に従事
環境システム計測制御学会（EICA）会員

金子 和弘
1993年株式会社日立アイシーシー入社，日立製作所 電機グループ 社会・産業システム事業部 電機システム統括部 所属
現在，上下水道システムの拡販活動に従事

衛藤 克己
1989年日立製作所入社，情報制御システム事業部 社会制御システム設計部 所属
現在，上下水道監視制御システムの標準化，開発に従事

岩井 優作
1999年日立製作所入社，情報制御システム事業部 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