feature article

水運用の全体最適化に貢献する水環境シミュレーション

Water Environment Simulations for Total Optimization of Water Management

栗栖 宏充 Hiromitsu Kurisu　福島 学 Manabu Fukushima
今井 美希 Miki Imai　足立 進吾 Shingo Adachi

水運用は，過不足なく日々安定した水供給を実現するための，水道事業者にとって不可欠な中核業務である。近年の環境保全意識の高まりとともに，安定供給に加えて，環境への配慮も強く求められるようになってきた。それは，送配水に要するエネルギーの最小化，凝集剤・塩素剤をはじめとする薬品注入量の最適化，浄水処理から発生する汚泥量の削減など多岐にわたる。日立グループは，それぞれのプロセスで環境負荷低減に向けた取り組みを行うとともに，安定給水とのバランスをとり，水運用の全体最適を実現するシミュレーション技術を提供している。

1. はじめに

水運用とは，過不足なく安定した水供給を行うために，水源から配水までの複数設備が円滑に稼動するように管理することである。昨今，水道事業体にとって喫緊の課題となっているのは，環境負荷の低減を最大化しつつ安定供給を実現することであり，そのために水運用の全体最適化が求められている。

水運用は，水量配分を行う運用計画立案と，水圧制御を行う配水コントロールの二つの機能に大別して考えることができる。また，低減を図る環境負荷としては，送配水に要するエネルギーと水質維持に用いる薬品類，および浄水処理から発生する汚泥が主な対象となる（**図1**参照）。

ここでは，水運用における環境負荷低減に焦点を絞り，電力量削減，薬品注入量・発生汚泥量の低減技術と実績，および水運用の全体最適化に貢献する技術について述べる。

2. 送配水エネルギーを最適化するシミュレーション技術

水道事業での電力量消費は，国内全体の0.8％を占める。そのうち約8割がポンプで消費されており，送配水での省エネルギー化が重要である。運用計画と配水コントロールの側面から，ポンプ運転の省エネルギー化を実現した事例とそれを可能にした技術について以下に述べる。

2.1 QRS法によるポンプ運転効率化

山形市上下水道部は，三つの配水区域をもち，そのうちの一つは取水・配水ともにポンプ圧送方式となっている。そのため，他の二つの配水区域からの融通により，この区域の浄水場からの配水を最小化し，かつポンプの運転効率を上げる運用が要求された。総合水運用管理システムの導入により，同市では需要予測と融通量計算に基づいた取水計画が策定されるようになり，電力量の削減を実現した。ここで適用したQRS（Quasi-optimal Routing System）法は，流量計算をグラフ上の領域内に折れ線を描く問題に変換したもので，配水池貯水を活用して，ポンプ運転を平準化し，かつ最大効率点での吐出し流量となるように計画できる簡便で有効な手法である。これまで，数多くの水運用システムに適用されて実績を上げている（**図2**参照）。

2.2 管網シミュレーションによる配水圧の最小化

柏市水道部は市内を五つの配水ブロックに分け，各ブロックに設置した6か所の配水施設で給水している（1ブロックのみ2か所の配水施設）。配水施設はすべてポンプ圧送によるもので，多くの電力を必要とする。

そのため，これら配水施設の電力負荷低減と各配水区域の圧力分布を適正化する配水コントロールシステムを平成8年度に導入し，今日に至るまで運用実績を積んでいる。このシステムにおいて，地理情報システムの管路データを活用した管網シミュレーションによる配水コントロール手法を適用した（**図3**参照）。

この制御方式では，地理情報システムから実管網を忠実に再現するネットワークモデルを得て，オンラインで入手する流量・圧力の計測値から，リアルタイムで管網シミュレーションを実施する。これを基に，最適な圧力分布を実現するポンプ吐出し圧を算出し，制御設定値として自動制

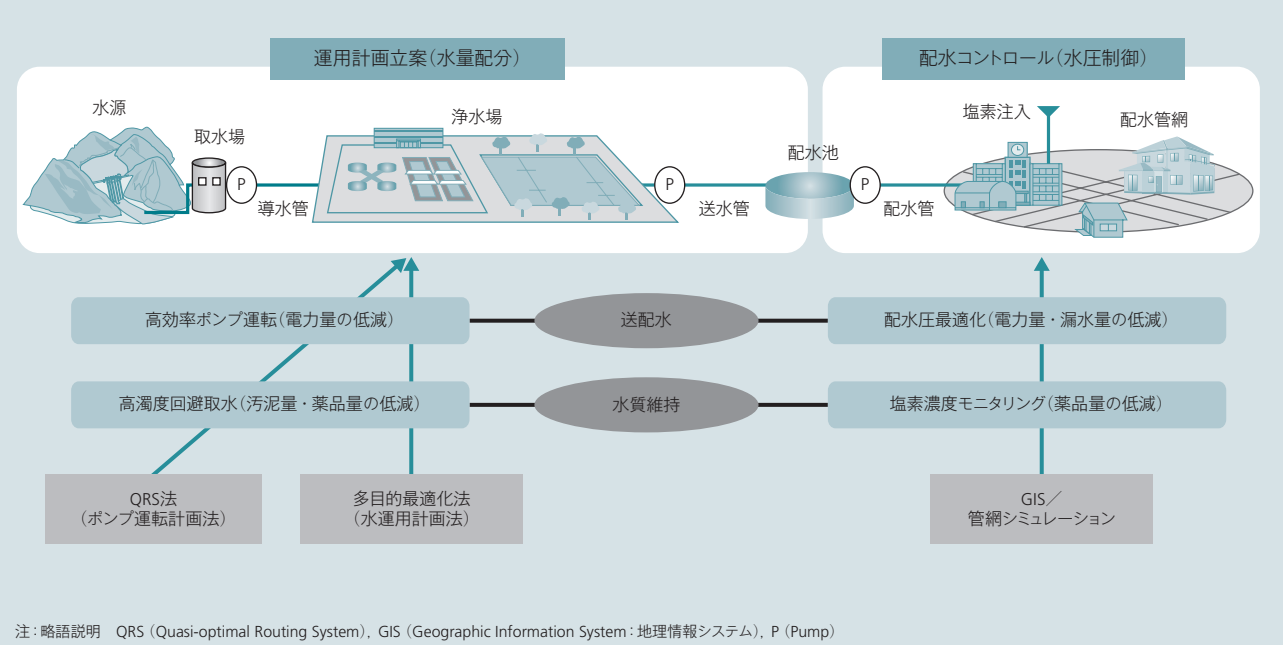

図1　水運用の全体像と環境負荷低減策，そのための要素技術
水運用は，水量配分のための運用計画立案と水圧制御のための配水コントロールに大別できる。これらについて，環境負荷低減を考慮する観点から，送配水エネルギーの最小化，および水質維持のための薬品量の低減が考えられる。

御システムへ送信する。

管路の増設や配水ブロックの変更といった管網構成の変化に対しても追従して，最適な設定値を算出することが可能であり，水圧制御を常に適正に保つ。

このシステムの老朽化に伴い，平成19年度から3か年継続事業でシステム更新を行い，現在，試運転調整を進めているところである。さらなる精度向上によって，過剰圧力に起因する余分な電力消費や漏水量の低減に，より大きく貢献できると考える。

3.　水質維持にかかわる環境負荷を低減するシミュレーション技術

浄水処理に使用する薬品や，処理後に発生する汚泥の環境負荷低減に向けた取り組みを以下に述べる。

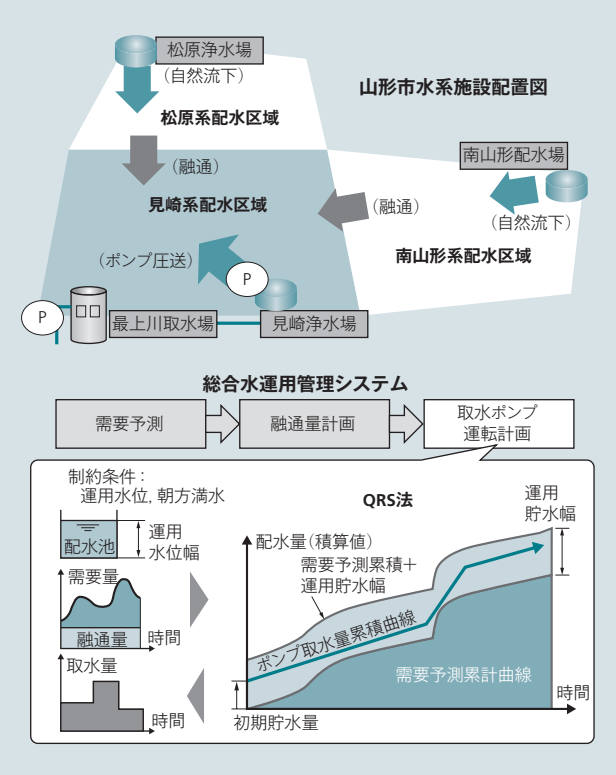

図2　QRS法を適用した，山形市上下水道部の総合水運用管理システム
融通量および取水ポンプ運転の適切な管理により，電力料金で約45万円/月の削減（2005年8月と2006年8月の比較）を実現した。

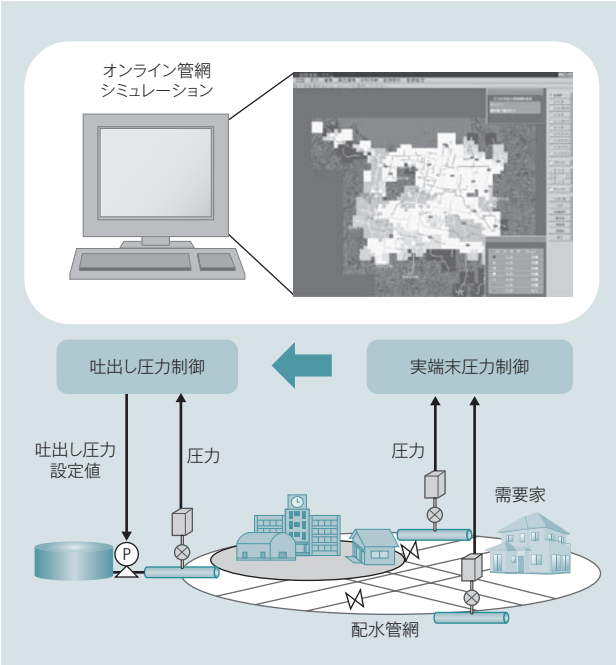

図3　GISと管網シミュレーションによる配水コントロール
GISの管路データとオンライン流量・圧力計測値から，管網解析によって配水圧力分布をリアルタイムでシミュレートできる。算出した最適な吐出し圧力と流量を設定値として自動制御する。

3.1 高濁度での取水を回避する水運用計画

河川などの表流水を原水とする水源は，降雨の影響を受けると大きく濁度が上昇するため，浄水処理での凝集剤注入量も増加させなければならない。高濁時に取水量を抑制できれば，薬品注入量や浄水汚泥の削減が見込まれ，環境負荷低減やコスト削減が期待できる。

しかし一方で，濁度変動に関係なく需要はあるため，それを満足させたうえで，高濁時の取水を必要最小限にしなければならない。基本的な対処は，次の二つを組み合わせた運用と考えられる。一つは，高濁時間帯の前後に多めの取水を実施する時間差取水，もう一つは，複数系統で補完する水源間融通である（**図4**参照）。

時間差取水の流量策定には，前述したQRS法を応用することで，配水池貯水を活用し，かつ浄水処理への影響を与えないよう変動量を抑えた計画を立案することができる。

水源間融通も含めた運用には，局所的な調整ではなく全体最適の考え方が必要となる。融通に要する電力量との兼ね合いや，供給の安定性が崩れていないかといった複数の観点を同時に考慮しなければならない。こうした複雑な要求を満足させる運用立案を可能にする手法については後述する。

3.2 塩素注入を最小化する残留塩素シミュレーション

塩素消毒は浄水処理の必須プロセスであるが，これに用いられる塩素剤は，水道における大きな環境負荷項目の一つである。塩素注入は浄水場内で一括して行われることが多い。これに対して，配水管網の途中地点でも追加注入する多点注入方式によって，塩素濃度の平準化と塩素注入量の低減を図ろうとする考え方がある。

塩素は，管路やポンプといった送配水施設との接触や水中の有機物との反応によって消費されるため，時間とともに濃度が低下していく。したがって，浄水場から最も塩素が届きにくい地点を目標に，塩素注入量を管理する方式が一般的であり，そのため，浄水場に近い地域では残留塩素濃度が高めになる。多点注入方式は，浄水場内での初期注入量を減らして，近い地域の残留塩素濃度を抑え，配水管網の途中地点で追加塩素を注入して遠い地域の濃度を保持するものである。ただし，適正な塩素注入量の設定が難しいという問題があった。

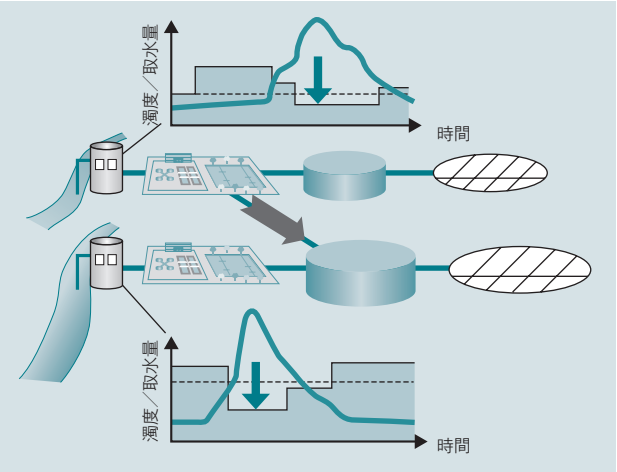

図4 時間差取水と水源間融通による高濁時の取水回避
配水池を活用して，水源濁度が高い時間帯の取水を抑制しつつ需要に応えるとともに，別水源からの融通によって不足量を補う。

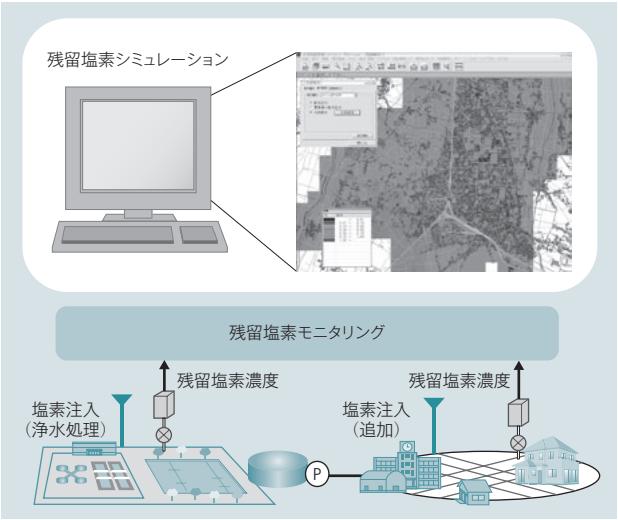

図5 管網解析を応用した残留塩素シミュレーション
管網解析から得た流量分布と塩素濃度減少モデルから管網全体の濃度分布を推定する。

残留塩素シミュレーションは，配水管網全体の塩素濃度分布を推定して可視化するものである（**図5**参照）。管網解析から得た流量分布に基づいて算出した到達時間と，塩素濃度減少モデル式から，各地点の残留塩素濃度を推定する。安全側に見積もられがちである注入量も，塩素濃度の正確なモニタリングにより，改善できる可能性は大きい。

4. 全体最適を実現する多目的最適化技術

これまでに述べた，ポンプ運転の効率化による省エネルギー，高濁時の取水抑制による薬品注入量・発生汚泥量の低減の手法は，それ単独で考えればまちがいなく環境負荷低減に貢献するものである。

しかし，水運用全体で考えた場合，これらを個別に追求すればよいということでは必ずしもない。例えば，高濁時を回避する水融通が電力消費の増加になったり，環境負荷低減量を最大化すると水源依存率や設備稼動率に大きな偏りができて給水安定性が低下したりする可能性が出てくる。水運用の大方針を策定する際など，高次の意思決定においては必ずこうしたトレードオフを解消する必要性が生じる。

多目的最適化手法は，こうした課題に応えるために，計画策定者が対話的にシミュレーションを繰り返しながら，

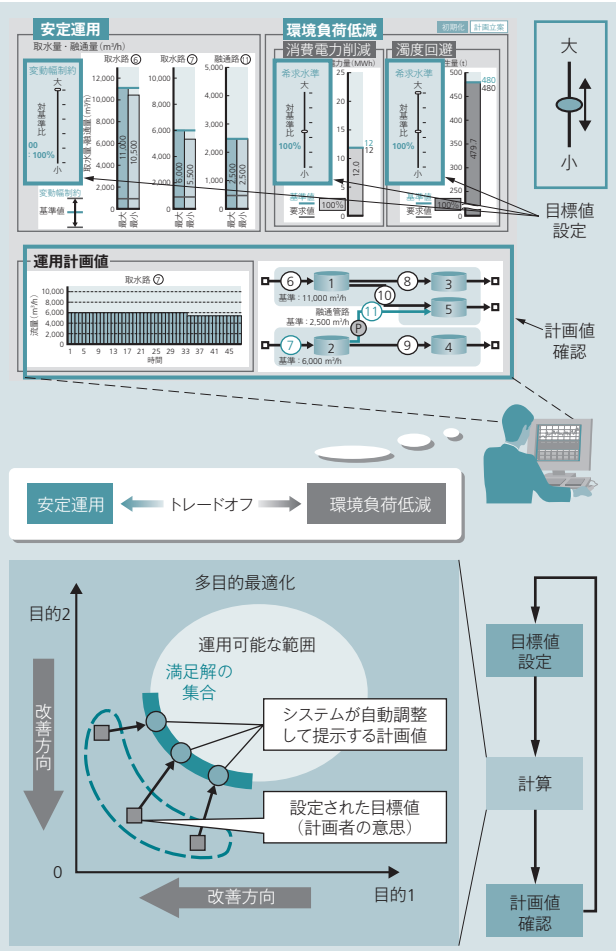

図6　多目的最適化手法を適用した水運用計画立案システム
画面で個々の目的に対する目標値を設定する。目標値に対してシステムが自動調整して提示した計画値を確認し，満足できるまで繰り返す。

トレードオフを調整した全体最適を実現する水運用計画立案を可能にするものである（**図6**参照）。

複数の目的をよりよくしたいと考えるとき，調整しようとしても，えてして不可能な目標を設定してしまうものである。開発したシステムは，入力された目標値からそれぞれの目的の重視度合いを勘案し，現実的に可能なレベルに調整して計画策定者に提示することができる。

5.　おわりに

ここでは，水運用における環境負荷低減に焦点を絞り，電力量削減，薬品注入量・発生汚泥量の低減技術と実績，および水運用の全体最適化に貢献する技術について述べた。

日立グループは，これらの技術のブラッシュアップと適用実績の積み重ねにより，水運用への貢献度を上げていく考えである。さらに，水道と下水道，近隣事業体間の調整が必要となる流域単位での最適化，環境負荷低減についても，長期的課題として取り組んでいきたいと考える。

参考文献

1）　厚生労働省健康局水道課：水道ビジョン，
http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/vision2/index.html
2）　厚生労働省健康局水道課：水道事業における環境対策の手引書，
http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/jouhou/kankyou/index.html
3）　堂上，外：省電力化のための多目的調整型水運用計画立案システム，第58回全国水道研究発表会講演集（2007）
4）　足立，外：環境負荷低減型水運用システム―高濁時のピークカット対策，第60回全国水道研究発表会講演集（2009）

執筆者紹介

栗栖 宏充
1988年日立製作所入社，システム開発研究所 第一部 所属
現在，上下水道監視制御システムの研究開発に従事
博士（情報科学）
電気学会会員，計測自動制御学会会員，環境システム計測制御学会（EICA）会員

福島 学
1988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設計・開発に従事
環境システム計測制御学会（EICA）会員

今井 美希
2004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設計・開発に従事

足立 進吾
2008年日立製作所入社，システム開発研究所 第一部 所属
現在，上下水道監視制御システムの研究開発に従事