日立グループ水環境ソリューションの新展開

環境負荷低減に貢献する 送配水系ソリューション

Solutions for Water Distribution System Contributing to Reduction of Environmental Load

高橋 信補 栗栖 宏充 渡辺 忠雄

Takahashi Shinsuke Kurisu Hiromitsu Watanabe Tadao

今井 美希 足立 進吾 Imai Miki Adachi Shingo

給水区域の需要量に応じて適切な配水を行うために,上水道の送 配水系におけるシステムは重要である。また,水道事業における電 力消費の大半は送配水ポンプによるものであるため,環境配慮対策

も含めた省エネルギー化への要望が強まってきている。

水運用計画,水圧制御,管網解析の分野で種々のソリューションを 提供してきた日立グループは,安定供給はもとより,地球環境保全 へ持続的に貢献するため,省エネルギー性能のさらなる強化や新た な環境負荷低減技術の開発に取り組んでいる。

1. はじめに

上水道の送配水系は、需要家に日々安定して過不足なく 水供給を行うための重要なシステムである。また、近年は 環境保全意識の高まりから、安定供給に加え、環境への配 慮が強く求められるようになってきた。水道事業での電力 量消費は、国内全体の約0.9%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。送配水システムの消費エネルギー削減には、 水面の高さの違いによる位置エネルギーを可能な限り利用 した送水や、配水末端圧を下限限界値に保持する水圧制 御、漏水対策による水圧適正化などが有効である。

日立グループはこれらの課題に対し、自然流下を有効活用する水運用システムや、末端圧を一定値に保持する配水コントロールシステムなどを提供してきた。地球環境保全への持続的な貢献のため、省エネルギー性能のさらなる強化や新たな環境負荷低減技術の開発に取り組んでいる。

ここでは、送配水系の環境負荷低減に関する新たな取り組みとして、浄水場の発生汚泥量削減や省エネルギーを実現する環境負荷低減型水運用技術、配水コントロールの省エネルギー性能評価システム、および、管網計算をベースとする漏水位置・量の推定技術について述べる(図1参照)。

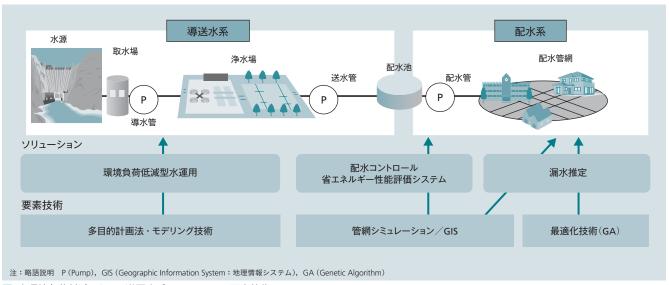


図1 環境負荷低減のための送配水系ソリューションと要素技術

日立グループは,環境負荷を低減するための送配水系のソリューションとして,多目的計画法を活用した環境負荷低減型水運用技術や管網シミュレーションを 活用した配水コントロール省エネルギー性能評価システム,最適化技術を応用した漏水推定技術の開発に取り組んでいる。

2. 環境負荷低減型水運用技術

2.1 ベースとなる水運用技術

水運用とは、複数の水源や浄水場を有する水道システムにおいて、日々の需要変動に対応するため、配水池のバッファ機能や送配水系の融通機能を生かして浄水場や送配水ポンプの運用を効率的に行うことである。

運用計画立案では、配水池貯留量の上下限や水利権、受水契約の順守といった制約条件の下で最良の計画を求める計算を行う。その評価指標は、環境負荷量や経済性、安全性、安定供給など多岐にわたる。また、それらの指標はトレードオフの関係にあり、ユーザーが満足する解を得るための調整が困難という課題があった。これに対し、トレードオフを考慮して総合的に優れた解を導出するため多目的計画法を採用している(図2参照)。

多目的計画法を応用した運用計画立案支援システムでは、トレードオフの関係にある環境負荷量と安定運用という二つの指標を、計画画面上の調整スライダーバーで対話的に調整しながら、満足する解を導出できる(図3参照)。例えば、安定運用重視からスタートし、スライダーバーを徐々に環境負荷低減重視の方向に移動し、環境負荷量と安定運用の二つの指標を確認して、満足できないときは再度調整を行う。この繰り返しにより、最終的に満足のいく計画値を導出する。

この技術では、迅速な計画立案のために以下の手法を用いている。運用計画では、送配水系のトータル消費エネルギー、発生汚泥量など、複数の評価指標を最小にする流量を決定する問題を扱う。流量は、固定速ポンプに対して離散値、可変速ポンプに対して連続値を採るため、上述の計画問題は組み合わせ最適化を含む混合整数計画問題とな

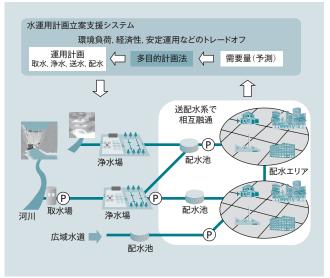


図2 環境負荷低減型水運用システム

多目的計画法を活用して,環境負荷量低減と安定運用を両立する運用計画を 策定する。

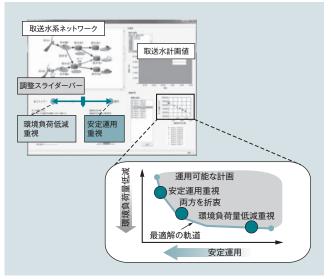


図3 水運用計画立案支援システム

画面上のスライダーバーを活用して、トレードオフの関係にある環境負荷量 低減と安定運用の指標を対話的に調整し、最終的に満足する解を導出する。

る。配水池の接続情報を利用し、組み合わせ最適化問題を 高速解法が可能な複数の小規模問題に分割することで解法 の高速化を図り、大規模系に対して実時間(1分以内)の 計画立案を可能にした。

この技術をベースに、環境負荷量である浄水発生汚泥量 や送配水ポンプ消費エネルギーを削減する水運用計画技術 を開発した。

2.2 浄水発生汚泥量を削減する水運用計画技術

河川などの表流水を原水とする水源は、降雨の影響を受けて大きく濁度が上昇するため、浄水処理で凝集剤注入量を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に貢献する。一方、濁度変化に関係なく需要があるため、それを満足させたうえで、高濁時間の取水を必要最小限にしなければならない。また、浄水能力上限や浄水量(取水量)の変化抑制を考慮した取水計画にする必要がある。この対処法として、高濁時間帯の前後に多めに取水する時間差取水、および、時間差取水によって生じる水量過不足分を複数系統で補完する水源間融通などが有効である(図4参照)。

浄水発生汚泥量と取水量最大変化率を目的関数として前述の多目的計画法を活用すれば、結果として時間差取水や水源間融通が実現され、浄水発生汚泥量削減と取水安定性を両立する運用計画が策定できると考えられる。これら二つの指標を目的関数として水運用計画立案支援システムを構築し、さまざまな条件下で解を導出した(図5参照)。取水量変化を許容すれば、浄水発生汚泥量を削減できることがわかる。計画立案者は、図3に示した計画策定画面で、

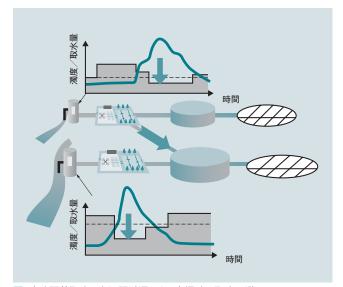


図4 時間差取水と水源間融通による高濁時の取水回避

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補う。

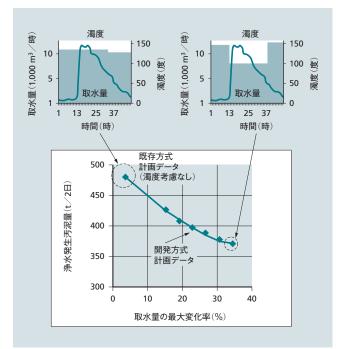


図5 | 浄水発生汚泥量と取水量変化率を目的関数とした場合の最適化の例 浄水発生汚泥量と取水量変化率を目的関数として、多目的計画問題を解き最 適解を求めた。取水量変化を許容することで浄水発生汚泥量が抑制できる。

スライダーバーによって取水変化率の許容量(安定運用の 度合いに相当)を調整しながら満足する解を導出できる。

2.3 送配水ポンプの消費エネルギーを削減する水運用計画 技術

水運用において送配水ポンプによる消費エネルギーを削減するためには、消費エネルギー特性のモデル化と計画立案での活用が不可欠である。消費エネルギーは、主に送配水流量に依存する。モデル化のため、まず、固定ポンプ(送水用)、変速ポンプ(配水用)の送配水量と消費エネルギーに関する実運転データを二次元平面上にプロットした。同

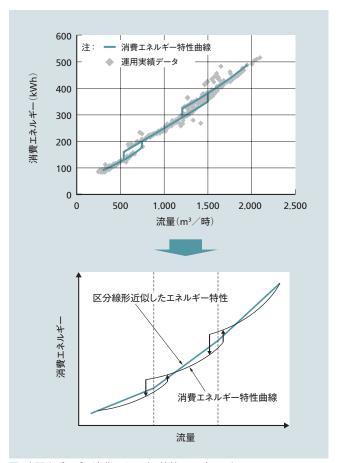


図6 | 配水ポンプの消費エネルギー特性のモデリング 運転実績データや配水ポンプの消費エネルギー特性曲線を活用し、配水ポン ブ消費エネルギー特性を区分線形モデルとして定式化した。

時に、ポンプの性能曲線、配水制御の制御則などから消費 エネルギー特性曲線を導出し、実データとのフィッティン グを行った(図6参照)。特性曲線のヒステリシスは、配 水ポンプの運転台数変化に起因するものである。最終的に は、同図の下のグラフに示すように、運用計画問題の高速 解法を可能とするため、区分線形近似したエネルギー関数 を導出し、消費エネルギーの計算に用いた。

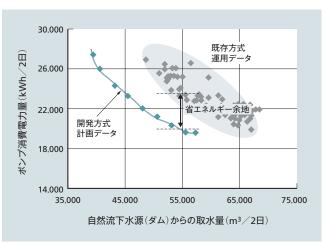


図7 開発方式と既存方式の性能評価

自然流下水源からの取水量に対して、開発方式と既存方式のポンプ消費電力を比較した。

送配水ポンプのトータル消費エネルギーと安定運用の指標(ここでは自然流下水源からの取水量)を目的関数とする水運用計画立案支援システムを構築し、最適な運用計画を策定した。この技術と既存技術の指標の比較結果を図7に示す。この結果から、システムの消費エネルギーを精緻に評価することで、システム全体としてエネルギー削減余地が生まれ、省エネルギー性能を強化できることがわかる。

3. 配水コントロール省エネルギー性能評価システム

配水コントロールとは、需要家に安定した水供給を行うため、ポンプの運転調整やバルブ操作により配水管網の水圧分布を適正値に制御するものである。現行コントロールシステムの環境負荷の改善余地の把握、新規に導入するコントロールシステムの省エネルギー性能などの導入効果の評価は、システムの環境負荷やコストの削減に重要である。

配水コントロール省エネルギー性能評価システムは、既存・新規制御アルゴリズムを、ルールベースの言語やスクリプト言語で記述し、管網水理解析エンジンとの間で制御情報をやり取りしながら時系列シミュレーションを実行するものである(図8参照)。既存制御と新規制御の管網各

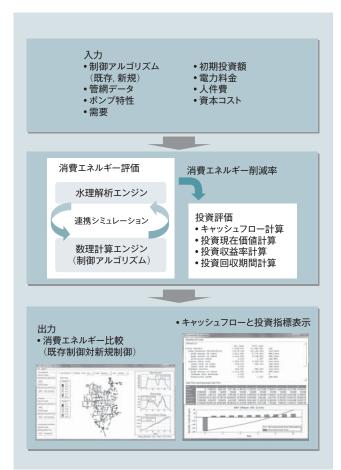


図8 | 配水コントロール省エネルギー性能評価システム

制御アルゴリズムを内包する数理計算エンジンと水理解析エンジンとの間で 情報をやり取りしながら,時系列シミュレーションを実行する。新規導入制御, 既存制御の消費エネルギーを比較できる。 部位の流量・圧力はもちろん、ポンプの消費電力を比較・評価することができる。システム搭載の最適化機能を用いれば、管網内における複数の末端圧の下限限界値以上に保持するポンプの制御アルゴリズムを比較的容易に記述でき、これにより、省エネルギーを追求するアルゴリズム構築を支援する。また、並列ポンプの効率運転アルゴリズムの評価・導出などにも利用できる。

システムは拡張機能として,新規制御システム導入の投資評価機能を有する。エネルギー評価シミュレーションで得られた省エネルギー効果のほか,初期設備投資額,電力料金,人件費,減価償却費などの情報を活用し,投資ライフサイクルにおけるキャッシュフロー,投資の現在価値,期待収益率,回収期間などを計算表示する。これにより,新規投資の意思決定を支援する。

4. 管網計算ベースの漏水推定技術

漏水の削減は、水資源の有効利用を促進するだけでなく、浄水にかかるコストや送配水に要するポンプ消費エネルギーを削減でき、環境負荷低減に大きく貢献するものである。漏水防止には、経年管の取り替えや管網整備などの予防的対策、通報による地上漏水修理や計画的漏水調査による地下漏水の早期発見・修理といった対症療法的対策が有効である。この中で計画的漏水調査は、給水エリアを複数ブロックに分割して夜間最小流用の測定を行う面の調査に始まり、音聴調査などによる線、点の調査を経て漏水地点を絞り込んでいくもので、労力や時間を要する。

管網計算ベースの漏水推定技術は、計画的漏水調査を補助的に支援するものである(図9参照)。給水エリアへの

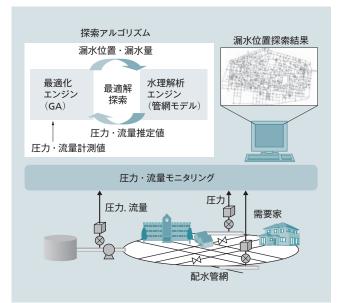


図9|管網計算ベースの漏水推定技術

圧力,流量推定値の時系列が計測時系列に一致するように,GAなどの最適化計算を用いて漏水候補地点を推定・探索していく。

流入出量、および、エリア内の複数地点の圧力を計測してデータロガーに蓄えておく。給水エリアに対応する管網モデルに基づく圧力、流量推定値の時系列が計測時系列に一致するよう、GA(Genetic Algorithm)などの最適化計算を用いて漏水候補地点を推定・探索していく。管網計算に用いる需要の推定誤差やセンサーの計測誤算など推定を阻害する要因はあるが、漏水率が比較的高い配水系の漏水地点推定に有効な技術であると考えられる。この推定技術の併用により、漏水調査に要する労力を削減できると考えている。

5. おわりに

ここでは、送配水系の環境負荷低減に関する新たな取り 組みとして、浄水場の発生汚泥量削減や省エネルギーを実 現する環境負荷低減型水運用技術、配水コントロールの省 エネルギー性能評価システム、および、管網計算をベース とする漏水位置・量の推定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、送配水システムの運用・計画技 術に対する貢献度を上げていく考えである。さらに、再生 水運用を含む広域での水循環最適化などについて、長期的 課題として取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- 栗栖,外: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、日立評論、 91,8,634~637 (2009.8)
- 2) 足立,外:環境負荷低減を考慮した水運用システム,電気学会研究会資料,公共施設研究会(2010/5/31),p.17~20(2010)
- 3) 足立,外:環境負荷と安定性に配慮した水運用計画システムの開発,電気学会研究 会資料、環境システム計測制御学会研究発表会,15(2,3)、p.33~36(2010)
- 4) 河原林,外:ポンプエネルギー特性を考慮した環境負荷低減型水運用計画の立案, 第62回全国水道研究発表会 (2011.5)

執筆者紹介



高橋 信補

1985年日立製作所入社, 横浜研究所 情報サービス研究センタ 社会 インフラシステム研究部 所属

現在, 上水道の制御・計画技術の研究開発に従事 博士 (工学)

電気学会会員,計測自動制御学会会員



要柄 宏充

1988年日立製作所入社,社会・産業システム社 社会システム事業 部 戦略企画本部 海外事業推進部 所属

現在、上下水道システムの事業推進に従事

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 会員



渡辺 忠雄

1994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

現在,上下水道監視制御システムの開発に従事



今井 美希

2004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,横浜研究所 情報サービス研究センタ 社会インフラシステム研究部 所属

現在、上水道の制御・計画技術の研究開発に従事