

資源の効率利用に寄与する 送配水系ソリューション

Resource-efficient Solutions for Water Distribution

高橋 信補
Takahashi Shinsuke

栗栖 宏充
Kurusu Hiromitsu

足立 進吾
Adachi Shingo

田所 秀之
Tadokoro Hideyuki

温暖化をはじめとする地球規模での環境問題に対応するため、水道分野においては、エネルギーの有効活用や省資源・リサイクルなど環境に配慮したさまざまな取り組みが実施されている。水道事業の電力使用量は国内全体の約1%を占め、そのうち約8~9割がポンプで消費されているため、送配水での省エネルギー化が重要である。また、省資源に関しては、取水した水を可能な限り有効活用するため、効率的な漏水防止策が求められている。

日立グループは、水運用計画、配水コントロールなど省エネルギーを実現するさまざまなソリューションを提供してきた。現在、これらの性能強化や水資源の有効利用を促進する新たな技術など、資源の効率利用に寄与するさまざまなソリューションの開発に取り組んでいる。

1. はじめに

近年、温暖化をはじめとする地球規模での環境問題を背景に、地球環境の保全が人類共通の課題になっている。この課題に対応するため、水道分野においても、エネルギーの有効活用や省資源・リサイクルなど環境に配慮したさまざまな取り組みが実施されている。エネルギーに関しては、水道事業の電力使用量は、国内全体の約1%を占める¹⁾。そのうち約8~9割がポンプで消費されており²⁾、送配水での省エネルギー化が重要である。また、省資源に関しては、取水した水を可能な限り有効活用することが必要であり、このために効率的な漏水防止策が求められている。

日立グループは、これらの課題に対し、リアルタイム管

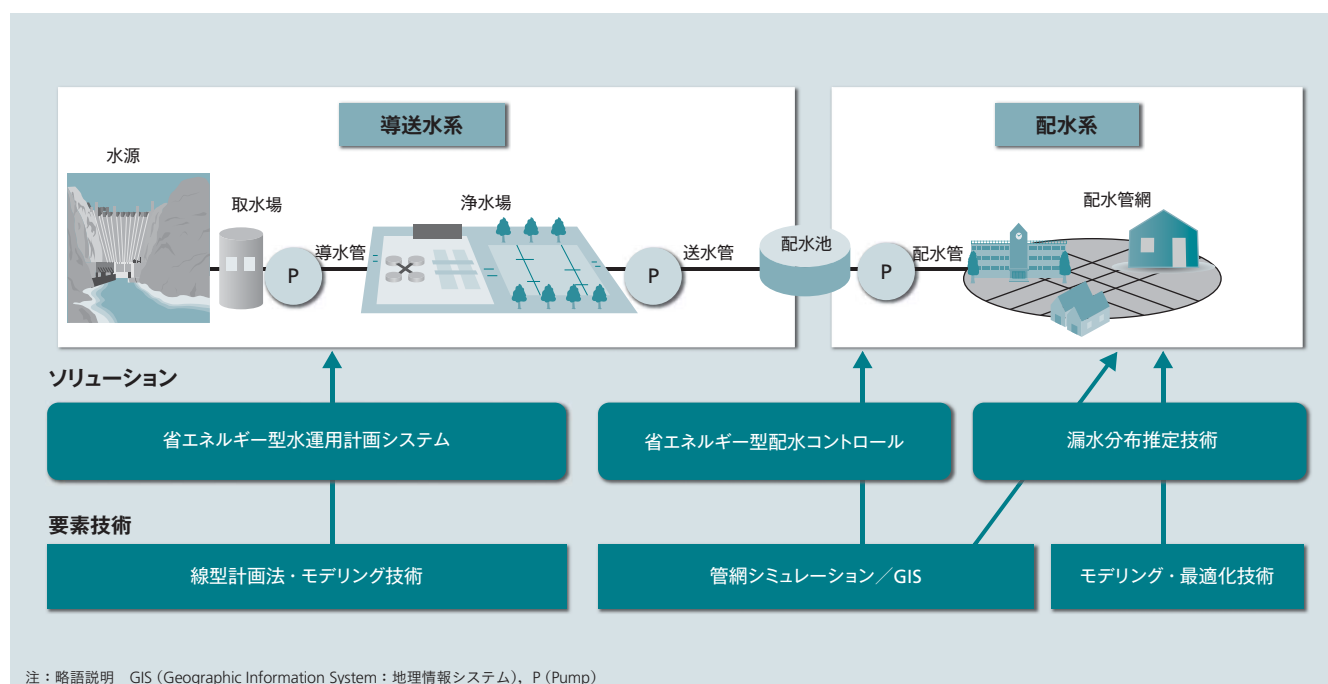


図1 | 資源の効率利用に寄与する送配水系ソリューションと要素技術

資源の効率利用に寄与する送配水系のソリューションとして、省エネルギー型の水運用計画技術と配水コントロール技術、漏水対策業務を効率化する漏水推定技術の開発に取り組んでいる。

網解析シミュレーションによって配水ポンプ吐出圧を適正値に保つ省エネルギー型配水コントロール、消費電力や浄水発生土など環境指標を最適化する環境負荷低減型水運用計画技術など、省エネルギーに寄与するさまざまな技術の研究開発に取り組んできた。

ここでは、エネルギーや水資源の効率利用に寄与する新たな取り組みとして、配水系の圧力低下点を動的に検出して配水ポンプ吐出圧を適正値に保つ省エネルギー型配水コントロール、ポンプの運転効率点を積極的に活用する省エネルギー型水運用計画技術、および漏水探查業務を効率化する給水エリアの漏水分布推定技術について述べる（図1参照）。

2. 省エネルギー型配水コントロール

2.1 圧力低下地点の移動に対応した配水コントロール

従来の配水コントロールは、あらかじめ定められた地点の圧力を目標圧（所定値）に保つ末端圧一定の制御を用いることが多い。この方式は、配水系の他の地点の圧力が必要レベル以下になるのを防止するため、目標圧をやや高めに設定し、ポンプ吐出圧の制御を行う。このため、ポンプの運転に必要な以上のエネルギーが消費されるという問題があった。

この課題を解決するため、圧力低下点をオンライン管網シミュレーションによって動的に検出し、それを目標圧以上に保つ新たな制御方式を開発した（図2参照）。評価関数として、管網解析によるノード圧力推定値とその目標値

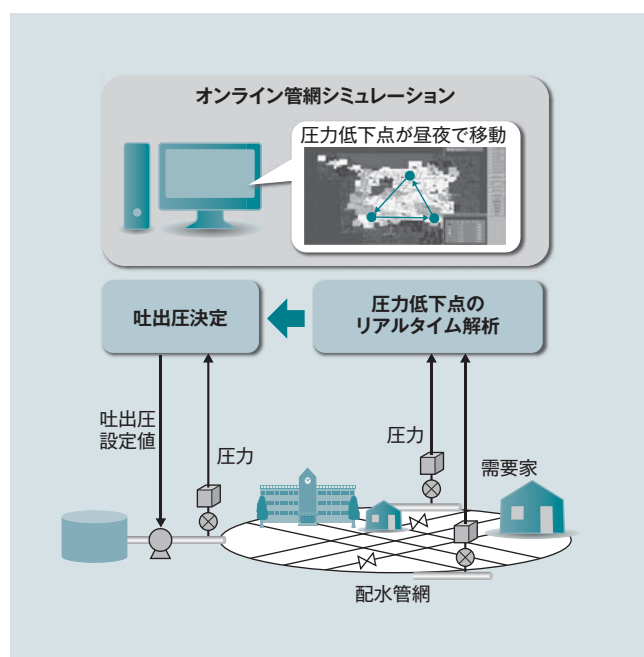


図2 | 省エネルギー型配水コントロール

圧力低下点をリアルタイム管網解析によって動的に抽出し、ポンプ吐出圧を決定する。これにより、配水管網の水圧を適正値に維持して省エネルギーを実現する。

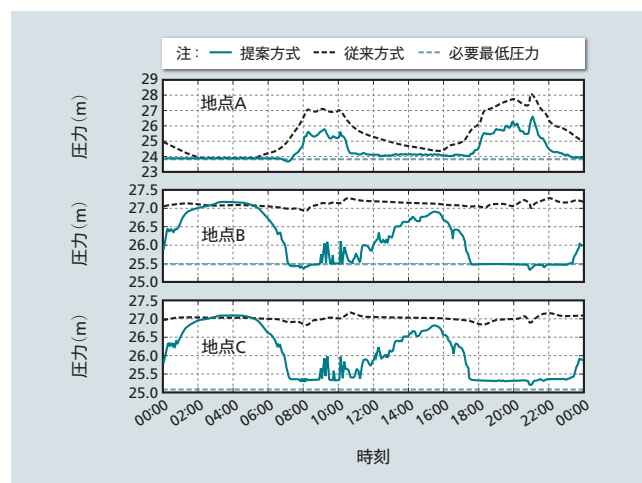


図3 | 配水圧の制御結果

提案方式では、各地点の水圧が必要最適圧を維持するようにポンプの制御を行っている。従来方式では、各地点の必要最低圧力は維持できているが、提案方式よりも圧力は高くなっており、より多くのエネルギーが消費される。

の偏差の和を用い、もし圧力推定値が目標値よりも低下した場合はペナルティ値を評価関数に加えるようにした。評価関数を最小にする吐出圧を決定することで、各地点の圧力が常に必要最小限の値以上に保たれ、ポンプの消費エネルギーは最小化されることになる。

提案方式と従来方式における、ある配水系の3つの地点A, B, Cの圧力応答を図3に示す。地点Aは、ポンプ場から近いが標高が高く、また、地点B, Cはポンプ場から遠く離れている。このため、地点Aは需要の少ない深夜で圧力が低下しやすく、地点B, Cは需要の多い日中や夜の時間帯で圧力が低下しやすい。提案方式では、地点A, B, Cの圧力目標値をそれぞれ24 m, 25.5 m, 25 mとした。提案方式では、上述の配水系の特性に対して圧力低下点をオンラインで検出して対応する。そのため、提案方式は、需要が少ない時間帯で地点Aの圧力を目標値に保ち、需要が比較的多い時間帯で地点Bの圧力を目標値に保つことができる。一方、従来方式は、地点Cの圧力を目標値（27 m）に保つ制御を行った。従来方式の目標値設定は、地点Aの圧力を必要最低レベル（24 m）以上に保つために必要なものであるが、多くの時間帯で圧力は過剰になる。提案方式は、従来方式に比べ、すべての地点で圧力を小さく抑えられる。

提案方式と従来方式における、配水総量とポンプ吐出圧の関係を図4に示す。大部分の配水量領域で、提案方式のほうがポンプ吐出圧を小さくでき、省エネルギーが図れることが分かる。標準的な需要データを利用したシミュレーション評価において、提案方式は従来方式に比べ、1日のポンプ消費エネルギーを約4%削減できる見込みを得た。

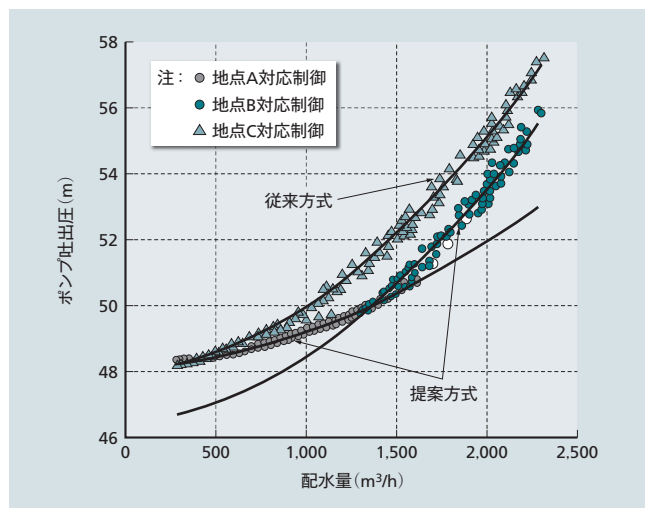


図4 | ポンプ吐出圧の比較

提案方式では、ほぼすべての配水量領域で、従来方式よりもポンプ吐出圧が小さくなっている。その差が省エネルギー効果に相当する。

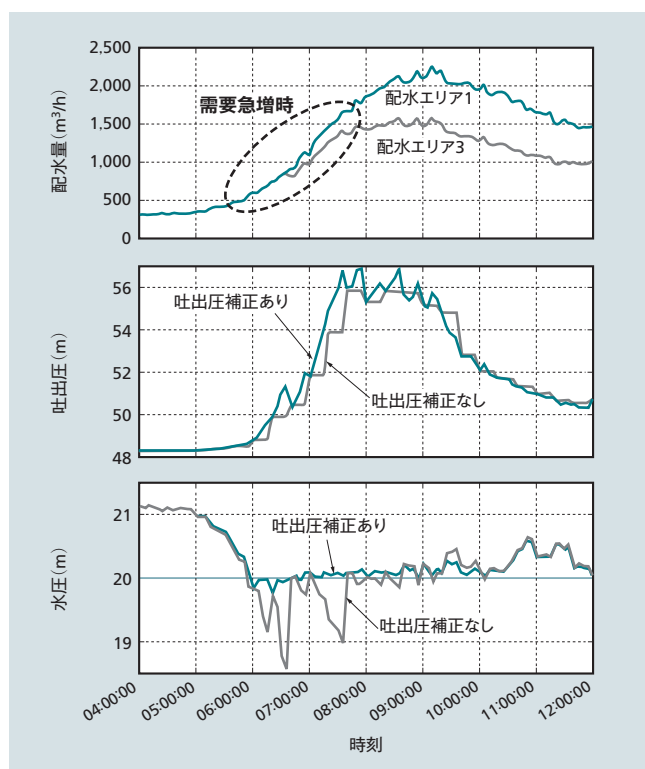


図5 | 需要急増時の配水圧制御結果

ポンプ吐出圧をきめ細かく補正することで、配水圧を目標値に精度よく保持している。

2.2 需要の急増に対応した配水コントロール

提案方式は、需要の急増に対応して圧力（末端水压）を一定値に保つ機能も有する。通常的需求変動の範囲では、オンライン管網解析に基づく吐出圧計算を5分周期で行う。一方、需要急増を検知した場合は、1分周期で算出吐出圧の補正演算が実行される。提案方式は、吐出圧と末端圧の間のシンプルな非線形方程式を用いて算出吐出圧を補正するため、1分以内での補正計算の実行が可能である。この機能により、精緻に適正吐出圧を決定できるため、末端圧を目標値に高精度に維持することができる（図5参照）。

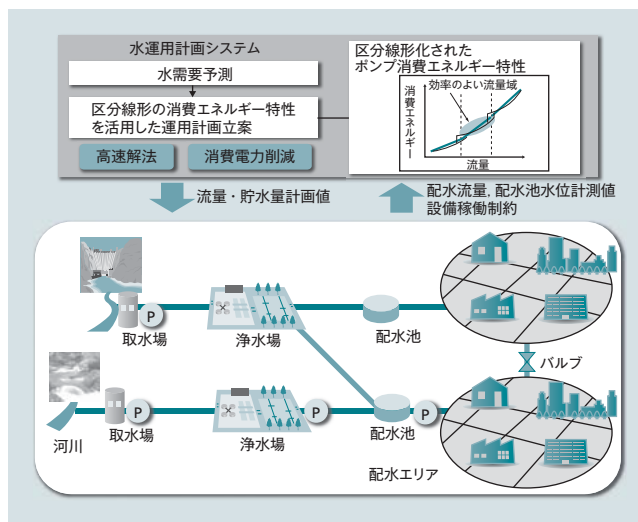


図6 | 省エネルギー型水運用計画システム

区分線形化されたポンプ消費エネルギー特性を活用して運用計画立案を行うことで、ポンプを高効率点で運転して省エネルギーを実現するとともに、線形計画法利用による計画問題の高速解法を確立した。

3. 省エネルギー型水運用計画技術

融通可能な2つの配水系を含む送配水システムを適用対象とする省エネルギー型水運用計画システムを開発した（図6参照）。これは、配水ポンプを高効率点で運転する運用計画を策定することで省エネルギーを実現するものである。一般に、可変ポンプの流量に対する消費エネルギー特性は、緩やかに上昇する下に凸の曲線になる。この曲線を折れ線近似（区分線形近似）し、運用計画の策定に利用した。線形近似するのは、線形計画法の適用によって計画問題を高速で解くためである。また、折れ線を利用することで、ポンプを高効率点で運転する運用計画の立案が可能になる。

中規模の送配水系に適用した場合、消費エネルギー特性をラフに近似する方法に比べ、約1%から3%の省エネルギーが図れることを確認した。運用計画は、短時間（1秒以内）で立案可能であった。また、厳密な非線形のモデルを活用する場合と、消費エネルギー削減効果は同等であった。

4. 管網計算とアセット情報を併用した漏水分布推定技術

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電力を削減でき、資源の効率利用に大きく寄与するものである。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と、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発見・修理といった対症療法的対策がある。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量の測定を行う面の調査に始まり、音聴調査による線や点の調査を経て、漏水地点を絞り込む

でいくものであり、労力や時間を要する。

提案する漏水分布推定技術は、管網計算とアセット（管路資産）情報を併用し、給水エリアを仮想的に分割して得た仮想エリアごとの漏水量、および局所的な大規模漏水（バースト）を同時に推定するものである（図7参照）。推定結果から漏水探査エリアの順位づけを行い、探査の工数を削減できる。管路埋設年数などのアセット情報から、仮想エリアごとの漏水構造をモデル化し、最適化計算によってモデル内の未知パラメータを推定することで、仮想エリアごとの漏水量を同定する。比較的大きな給水エリアを4分割し、各エリアの漏水量を推定したものを図8に示す。2つ並んだ棒グラフのうち、左が真値、右がさまざまな条件でシミュレーションを実施して求めた漏水率である。仮想エリアごとの漏水率が明らかに異なれば、それらの差を判別可能なことが分かる。

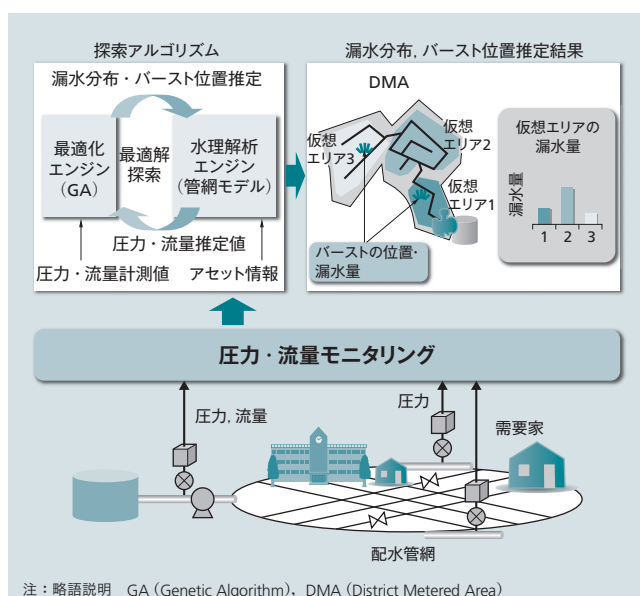


図7 漏水推定技術

管網計算とアセット情報を併用し、仮想エリア内のトータル漏水量と局所的なバースト漏水量を同時に推定する。

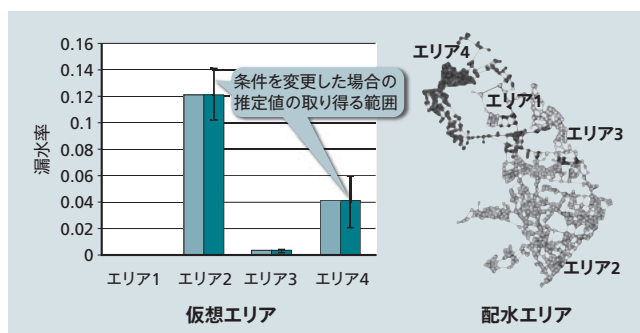


図8 漏水分布推定結果

仮想エリアごとの漏水量の推定結果を示す。仮想エリアごとの漏水率が明らかに異なれば、それらの差を判別可能である。

5. おわりに

ここでは、エネルギーや水資源の効率利用に寄与する新たな取り組みとして、配水系の圧力低下点を動的に検出して配水ポンプ吐出圧を適正值に保つ省エネルギー型配水コントロール、ポンプの運転効率点を積極的に活用する省エネルギー型水運用計画技術、および漏水探査業務を効率化する給水エリアの漏水分布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により、送配水システムの制御や運用計画技術の向上に貢献していく。また、下水や再生水までを含む水循環における資源利用の効率化などについても取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- 1) 厚生労働省健康局水道課：新水道ビジョン（2013.3）
- 2) 一般社団法人日本水道工業団体連合会首都圏水循環検討委員会：「首都圏における低炭素化を目標とした水循環システム実証モデル事業」報告書（2010.3）
- 3) 高橋，外：環境負荷低減に貢献する送配水系ソリューション，日立評論，93，9，602～606（2011.9）
- 4) S. Adachi, et al.: Energy-saving Distribution Control Algorithm Based on Online Hydraulic Simulation, The 9th International Symposium on Water Supply Technology（2012）
- 5) 足立，外：配水ポンプ施設のエネルギー特性のモデル化と水運用計画立案での活用，水道協会雑誌，第945号，p. 3～12（2013.6）

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



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
電気学会会員



栗栖 宏充

1988年日立製作所入社，インフラシステム社 水環境ソリューション事業統括本部 所属
現在，上下水道システムの事業推進に従事
博士（情報工学）
電気学会会員，環境システム計測制御学会会員



田所 秀之

1982年日立製作所入社，インフラシステム社 社会システム本部 社会制御システム設計部 所属
現在，上下水道向け監視制御システムの開発設計に従事
技術士（情報工学），総合技術監理，上下水道）
電気学会会員，計測自動制御学会会員