

上下水道施設の広域・効率化に貢献するシステム技術

System Technology Contributing to Expansion and Improved Operating Efficiency of Water and Sewerage Plants

服部 大 杉野 寿治 横川 勝也

■ HATTORI Dai

■ SUGINO Toshiharu

■ YOKOKAWA Katsuya

近年の上下水道事業は、市町村合併や事業統合を背景に本格的な広域化の時代を迎えており、今後もその流れは続いていくと予測される。それに伴い、事業環境の変化に適応した各施設の広域監視制御や、システム統廃合による効率的な施設運用が必要となってきた。

東芝は、広域化に対応した監視制御システム、施設運用の効率化を目的とした管網解析・配水制御シミュレーション技術、及び複数の施設を効率的に管理する水運用技術を提供している。

There is a growing trend toward the expansion of infrastructure in the field of water supply and sewage services due to the merging of municipalities and businesses in recent years. Major waterworks are required not only to adopt centralized control and monitoring systems for operating numerous water facilities but also to realize more effective and economical operations.

To meet these requirements, Toshiba has been providing an advanced supervisory control and data acquisition system for supplying safe drinking water to widespread areas. This system offers several advantages including water distribution network analysis, distribution control simulation, and water operation scheduling technology.

1 まえがき

上下水道事業における広域化の動向として、上水道では厚生労働省が2004年6月に「水道ビジョン」を策定し、その中の重要な施策として「新たな概念の広域化の推進」⁽¹⁾を示している。下水道では「下水道中期ビジョン」⁽²⁾の中で、「国は都道府県と連携し、地域間の施策の整合を図り、広域的な観点からも最適解となるよう調整する必要がある」としている。

これまでの広域化は、単に複数の施設を統合し、一元的な監視制御が求められていた。しかし、近年は水道ビジョンにおける広域化の概念として、管理の一体化や施設の共同化といった、より多様で広義なとらえ方が必要となってきた。加えて、低負荷・省エネ運転を実現したプラントの最適運用も、社会的使命となっている。ここでは、それらの課題解決に貢献する東芝のソリューション技術について述べる。

2 監視制御システムの広域・効率化対応

昨今の市町村合併や事業統合による水道施設の広域監視及び広域管理の必要性を背景として、当社の上下水道監視制御システム TOSWACS_{TM}Vに、新たに効率的なプラント監視制御を行う機能を実現した。その代表的な機能について述べる。

2.1 遠方からの詳細なリアルタイム監視操作

従来、遠方監視を行う場合、現場にWebサーバを構築し、WebブラウザによるWebクライアント方式^(注1)がよく採用され

た。この方式はWeb監視端末の導入や改良を行う際に手間が掛からなく、通信における高速回線を必要としない利点がある反面、Webブラウザの制約により、監視制御システムに求められる高度な表現力とリアルタイム監視下での操作性という観点で問題があった。

そこで、Webクライアントの利点を考慮しつつ、視認性とリアルタイム性を考慮したリモート監視端末の開発を行った。

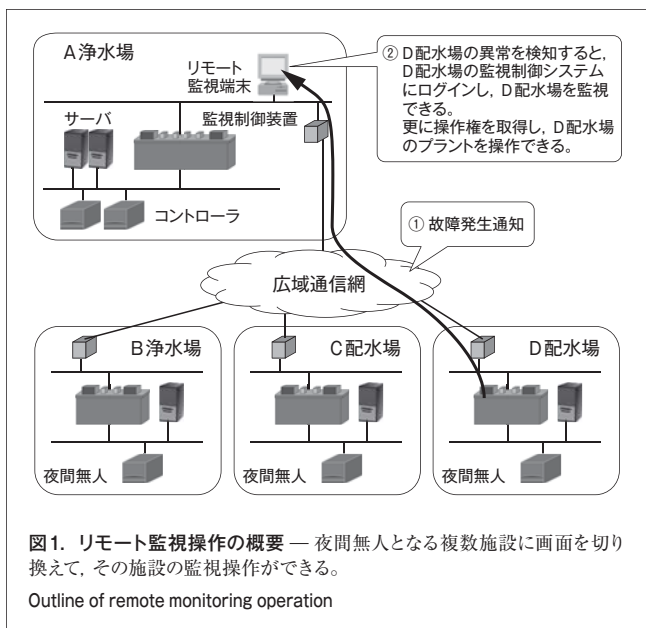
リモート監視端末は、現場の監視制御サーバと自動同期をとり、必要に応じて監視用アプリケーションソフトウェアや信号・画面情報をダウンロードして実行するリッチクライアント方式を採用した。それによりリモート監視端末は、常に現場の監視制御端末と同じ状態に更新されるため、遠方でも現場の表現力と操作性に優れた監視制御端末と同一画面及び機能で操作ができ、リモート監視端末の導入や改良における維持管理費の削減も可能になった。

更に、今回開発したリモート監視端末は、回線速度に合わせてデータ更新を可変とする、ベストエフォート方式による通信手法も取り入れているため、複数の監視制御システムを64kビット/s程度の低速回線で接続する場合でも、ストレスのない遠方からのリアルタイム監視操作を実現できた。

2.2 複数機場の一元監視

夜間無人となる複数施設を1か所で統合管理するために、前述のリモート監視端末の仕組みを応用し、1台のリモート監

(注1) Webブラウザ搭載端末が、サーバから取得したデータを表示する方式。



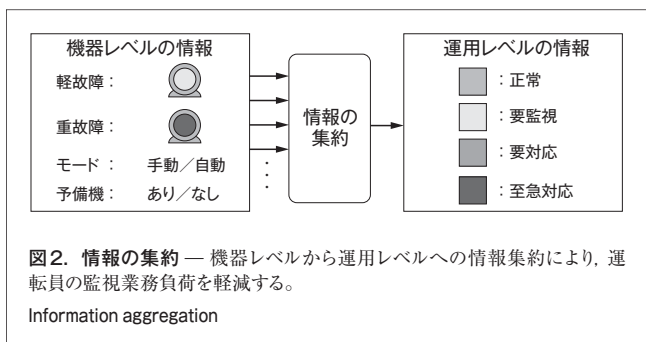
視端末で複数施設の監視操作を実現した。図1に示すように、夜間無人となるB、C、Dの各施設をA浄水場で監視する場合、例えばD配水場で故障が発生すると、その情報をA浄水場に通知し、それを検知したリモート監視端末からD配水場の監視制御システムにログインして、D配水場のリモート監視端末として監視ができる。更に、D配水場の操作権を画面上で操作し切り換えることで、A浄水場からD配水場の機器操作ができる。

2.3 情報集約による監視業務の負荷軽減

広域施設を管理する場合、監視対象が増えるとともに管理情報も多くなり、特に運転員が少人数であったり経験が浅いと、その負担が重かった。

通常、監視制御システムが提供する情報は、主に機器の運転・故障情報や運転モードなど“機器”に関連する情報群である。一方、プラントの“運用”の健全性を判断するには、初動対応の緊急性や複数故障発生時の優先順位を判断できる情報が必要とされる。

機器やそのほか関連する情報を、図2に示すように熟練運転員が判断している運用レベルの情報に変換することで、一



般運転員の監視業務の負荷軽減が期待できる。夜間や休日に、少人数で監視したり、本庁やセンターで複数施設を一元監視する場合、緊急度の高い異常の監視に集中できる。

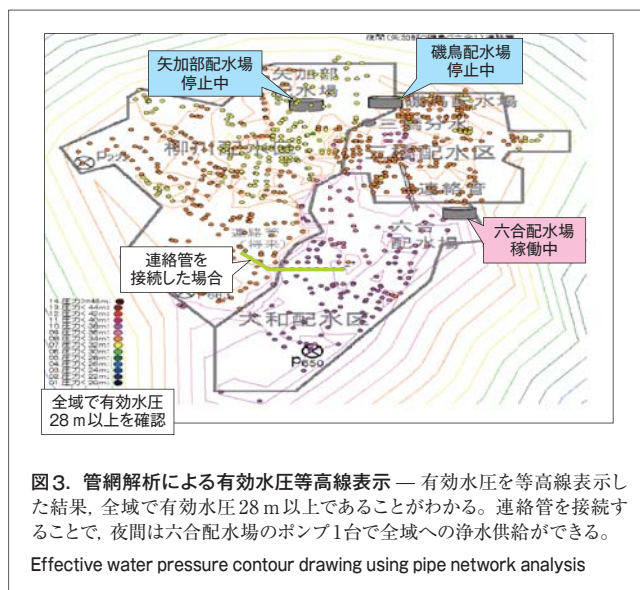
3 配水区域の統合化を支えるシミュレーション技術

水道広域化に伴う配水区域の統合は、安定給水やポンプ運用の効率化などが期待できる。これらの効果を得るには、流れ方向や圧力などの流況変化を事前検証し、適切にポンプ制御を行えるようにする必要がある。ここでは、福岡県柳川市での3配水区域の統合事例で実施したシミュレーション技術について述べる⁽³⁾。

3.1 管網解析シミュレーション

管網解析の対象となるプロセスを図3に示す。このプロセスは、これまで3配水場(矢加部、磯鳥、六合)で配水していた各給水区域が統合され、同一配水区域に複数ポンプで浄水を供給するものである。図に示すように、シミュレーションによる管網解析の結果、連絡管を接続することで、六合配水場のポンプ1台での稼働でも夜間の有効水圧^(注2)が28 m以上であることを確認できた。これにより、統合前の夜間は矢加部配水場のポンプと併せて2台稼働であったが、統合後は六合配水場のポンプ1台だけで省エネ運転できることが明らかになった。

一方、夜間停止した矢加部配水ポンプを朝方の需要ピークに対応するため再始動する際、従来のポンプ制御方式のままでは、ほかの配水場のポンプ圧力に押され、浄水を配水できない無送水状態^(注3)に陥るケースがあることも同時に明らかに



(注2) ポンプで水を目的の高さ(m)まで上げるための圧力のこと。

(注3) ポンプ始動指令後、配水流量が最低流量(20 m³/h)以下である時間が無送水規定時間(120 s)を超える状態。

なった。そこで、無送水状態を回避するためのポンプ制御の性能をシミュレーションにより事前検証した。

3.2 配水制御シミュレーション

配水ポンプ制御の概略を図4に示す。配水制御の提案方式として、従来方式に網掛部(■)の制御機能を追加した。無送水を回避するために、吐出弁全開直後は強制的にポンプの回転数制御を行い、十分な回転数を確保してから吐出圧力制御へ自動切替する。また、規定回転数(60%)に達しても配水流量が20 m³/h以下の場合、圧力自動調整機能によりほかの配水場のポンプ吐出圧力を下げる。この制御性能を検証するために、配水制御シミュレーションでは、管路網内の挙動を模擬する式(1)の連立方程式を解く必要がある。

$$h_i - h_p = r_i Q_i^2 \quad (i = 1, 2, 3)$$

$$\sum_{i=1}^3 Q_i = Q_d \quad (1)$$

ここで、 h_i はポンプ吐出圧力(m)、 Q_d は需要量(m³/h)、 h_p は管路網内代表圧力(m)、 Q_i は配水流量(m³/h)、 r_i は配水場*i*から h_p までの管路抵抗で、添え字*i*は配水場番号である。

なお、 r_i は監視制御システムから得られる h_i 、 h_p 、 Q_i 、 Q_d の実データから最小二乗法で同定し、式(1)の連立方程式は0.01 mの固定幅による直接解法で近似解を求めた。

夜間需要量が200 m³/hのときに、六合配水ポンプ1台運転の状態(磯鳥配水場停止)で、時刻0に矢加部配水ポンプを始動し、20 sにポンプ回転数を上昇させ、50 sに吐出弁を全開にするシミュレーションを行った(図5)。従来方式では、ポンプ再始動指令後、120 s経過しても矢加部配水流量が20 m³/h未満であるため無送水状態を検知し、矢加部配水ポンプが停止する。一方、提案方式では、ポンプ回転数を速やかに上昇

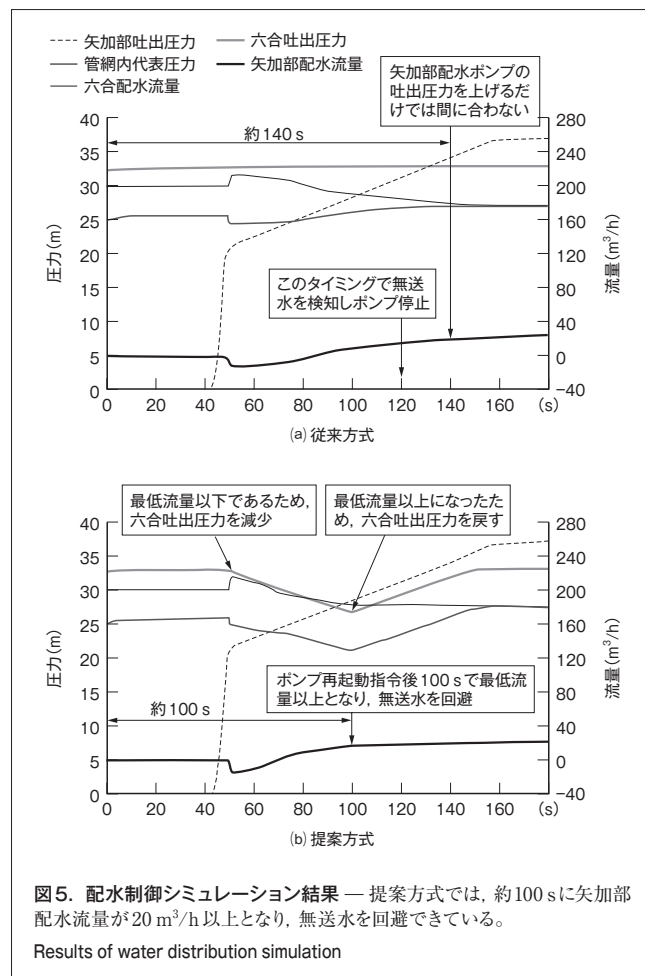


図5. 配水制御シミュレーション結果 — 提案方式では、約100 sに矢加部配水流量が20 m³/h以上となり、無送水を回避できている。
Results of water distribution simulation

させ、六合吐出圧力を減圧することで、約100 sに矢加部配水流量が20 m³/h以上になり、無送水を回避できることがわかった。提案方式を実機に導入し、現在順調に稼働中である。

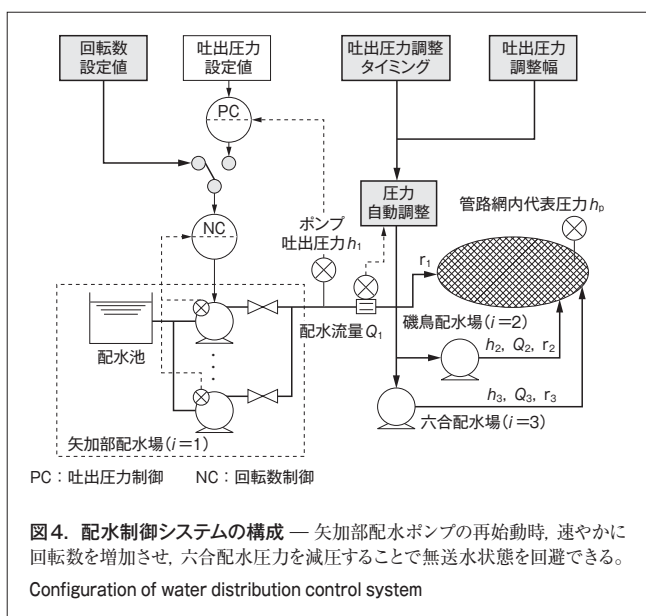


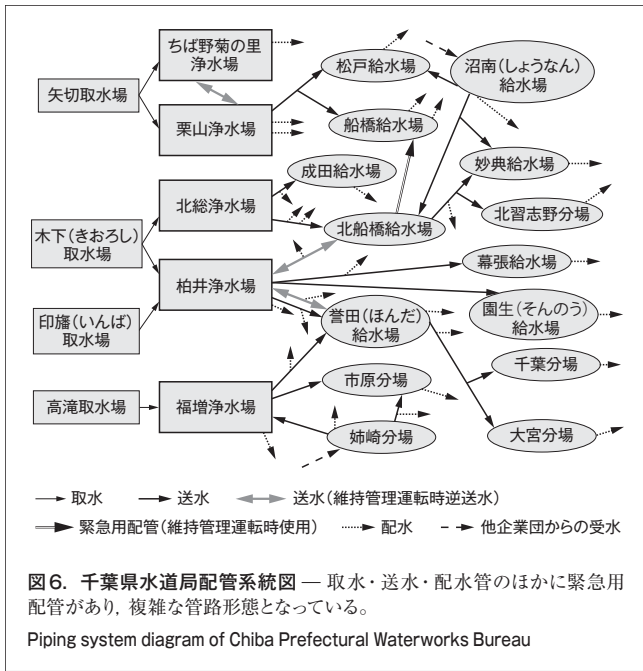
図4. 配水制御システムの構成 — 矢加部配水ポンプの再始動時、速やかに回転数を増加させ、六合配水圧力を減圧することで無送水状態を回避できる。
Configuration of water distribution control system

4 複数施設を効率的に管理する水運用システム

水運用システムとは、実績水量、気象、曜日などの情報から予測需要量を求め、水道施設全体で効率的な水運用を計画するシステムである。ここでは、千葉県水道局に導入した定常時の水運用計画のほか、非定常時の緊急運転や関連工事による設備停止を考慮した水運用システムについて述べる⁽⁴⁾。

千葉県水道局の配管系統図を図6に示す。千葉県水道局は、五つの浄水場と二つの企業団からの受水により日量1,220,000 m³の給水能力を備え、取水場、浄水場、及び給水場合わせて23の施設から11市2村に給水している。また、施設間で水が融通できるように、緊急用配管や逆送水可能な送水管が敷設されており、いずれも緊急時を想定して、維持管理運転時に使用あるいは逆送水している。

今回の配管系統は、ある系統が使用不可となっても、健全系統による運転増強や、他施設からのバックアップ運転で対

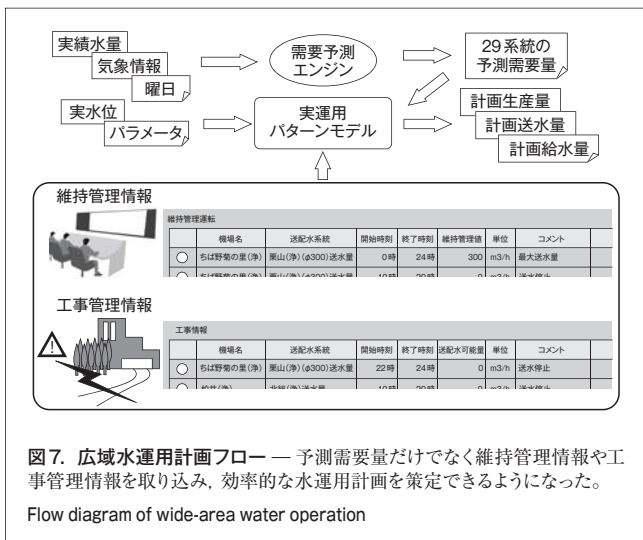


応できる特長がある。また従来の問題点として、日々の需要の変化に対して、運転員の経験により調整が行われていた。そこで、新システムの導入にあたり、全体最適な水運用計画を行えるよう以下の視点でシステム構築を行った。

- (1) 運転員が持つ水運用計画のノウハウを取り込み、施設能力を効率的に使用し低コストで水の生産ができるシステム
- (2) 維持管理運転や、工事による設備停止、施設事故など、日々の条件変化に対応できるシステム

今回の広域水運用計画フローを図7に示す。

定常時の水運用計画としては、浄水場や給水場からどの配管を使用して送配水するか定義した定義情報と、各配管への水の配分方法を算出するための演算式、施設の制約条件（最大浄水量、最大送水可能量など）から需要を予測し、水運用計



画を策定する。施設の制約条件は季節によっても変化するため、定期的に変更することを前提に数パターン登録できるようにした。

非定常時の水運用計画としては、定常時の演算に加え、維持管理情報と工事管理情報を制約条件として与え、運用の変化に対応できるようにした。維持管理情報とは維持管理運転に関連する情報で、工事管理情報とは送配水停止に関連する工事情報である。

このシステムの導入により、維持管理情報や工事管理情報を取り込み、水運用計画モデルを動的に変化させ、効率的な水運用計画を策定できるようになった。

5 あとがき

上下水道事業の広域化という時代背景から、当社が開発した広域監視制御機能、施設の省エネ運用を実現したシミュレーション技術、及び全体最適な水運用システムの導入事例を述べた。今後も事業環境の変化に適応した、各種監視制御機能やソリューション技術を開発し、提供していく。

文 献

- (1) 厚生労働省 健康局 水道課. “水道広域化検討の手引き”. 厚生労働省ホームページ. <<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kouikika/index.html>>. (参照 2010-01-05).
- (2) 国土交通省 都市・地域整備局 下水道部. ほか. “下水道中期ビジョン～「循環のみち」の実現に向けた10年間の取り組み～”. 2007, p.7-8. 国土交通省ホームページ. <http://www.mlit.go.jp/crd/sewage/shingikai-iinkai/keikaku/keikaku_matome/01.pdf>. (参照 2010-01-05).
- (3) 横川勝也. ほか. “配水区域の統合に伴う配水ポンプ制御更新に向けたシミュレーション検証”. 全国水道研究発表会講演集. 大宮, 2009-05, 日本水道協会. 2009, p.292-293.
- (4) 寺西博宣. ほか. “複数施設を効率的に管理する水運用システムの構築”. 全国水道研究発表会講演集. 大宮, 2009-05, 日本水道協会. 2009, p.54-55.



服部 大 HATTORI Dai

社会システム社 水・環境エンジニアリングセンター 水・環境システム技術部主務。公共システムのエンジニアリング業務に従事。

Water & Environmental Engineering Center



杉野 寿治 SUGINO Toshiharu

社会システム社 水・環境エンジニアリングセンター 水・環境システム技術部主務。公共システムのエンジニアリング業務に従事。環境システム計測制御学会会員。

Water & Environmental Engineering Center



横川 勝也 YOKOKAWA Katsuya

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部主務。上下水道システムの研究・開発に従事。日本機械学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center