

# 効率的な浄水場運用を実現する スマート運用ソリューション

Smart Solutions for Realization of Effective O&M Services for Water Purification Plants

杉野 寿治

横川 勝也

有村 良一

■ SUGINO Toshiharu

■ YOKOKAWA Katsuya

■ ARIMURA Ryoichi

東芝はこれまで、上下水道プラント用に電気計装設備を中心とした中央監視設備や、最適水運用、雨水排水、薬品注入などの各種支援システムを開発し、安全で安心な水づくりに貢献してきた。一方で、近年の上下水道分野を取り巻く環境が大きく変化するなか、官民連携による運営基盤強化が求められており、厚生労働省が策定した「新水道ビジョン」などでもその重要性が提言されている。

当社は、浄水場運転管理の第三者委託といった官民連携の枠組みの中で、委託者である水道事業者と密な連携を図りながら、これまで開発し蓄積してきた運用制御技術を、現場のニーズに即ちそう適合するよう再構築した。スマート運用ソリューションとして、各種ユーティリティ費削減やリスク低減といった効率的な浄水場運営に貢献するもので、既に適用を始めており、更に改善と新たな開発を進めている。

Toshiba has been actively contributing to the provision of safe and secure water supplies by ensuring effective operation of water purification and sewage treatment plants through the development of central monitoring facilities and various support systems, such as optimal water management, rainwater drainage, and chemical dosing systems. As a result of the changes that have taken place in the circumstances surrounding the water supply and sewerage fields in recent years, the need has arisen for public-private partnerships (PPPs) to strengthen these operating foundations, including the delegation of operation and maintenance (O&M) services for water purification plants to third parties.

By encouraging closer cooperation with individual water supply corporations within the framework of such PPPs, we have reconstructed our accumulated control and management technologies for O&M services responding to on-site requirements based on the experience and know-how that we have obtained with a wide variety of systems. These technologies make it possible to provide smart solutions for the optimal operation of water purification plants, including the reduction of utility costs and risks.

## 1 まえがき

水道事業者の中でもとりわけ中小規模の事業者は、人口の減少及び節水に伴う料金収入の減少や、職員の大量退職及び高齢化、施設老朽化及び耐震化に伴う更新費用の増加などにより、独力での持続可能な事業運営が即ちそう困難となってきた。

こうした課題に対する一つの施策として、厚生労働省が2013年に策定した「新水道ビジョン」などで提言されているように<sup>(1)</sup>、民間ノウハウを活用した官民連携による取組みが注目されている。特にプラント施設の運転や維持管理業務では、民間への業務委託契約（O&M：Operation and Maintenance）が増えてきている。受託者は、単に職員に代わって施設を運用するだけでなく、運用コスト削減や、リスク低減、技術継承の仕組み、運転管理マネジメントなど、民間活力をより発揮することが求められている。

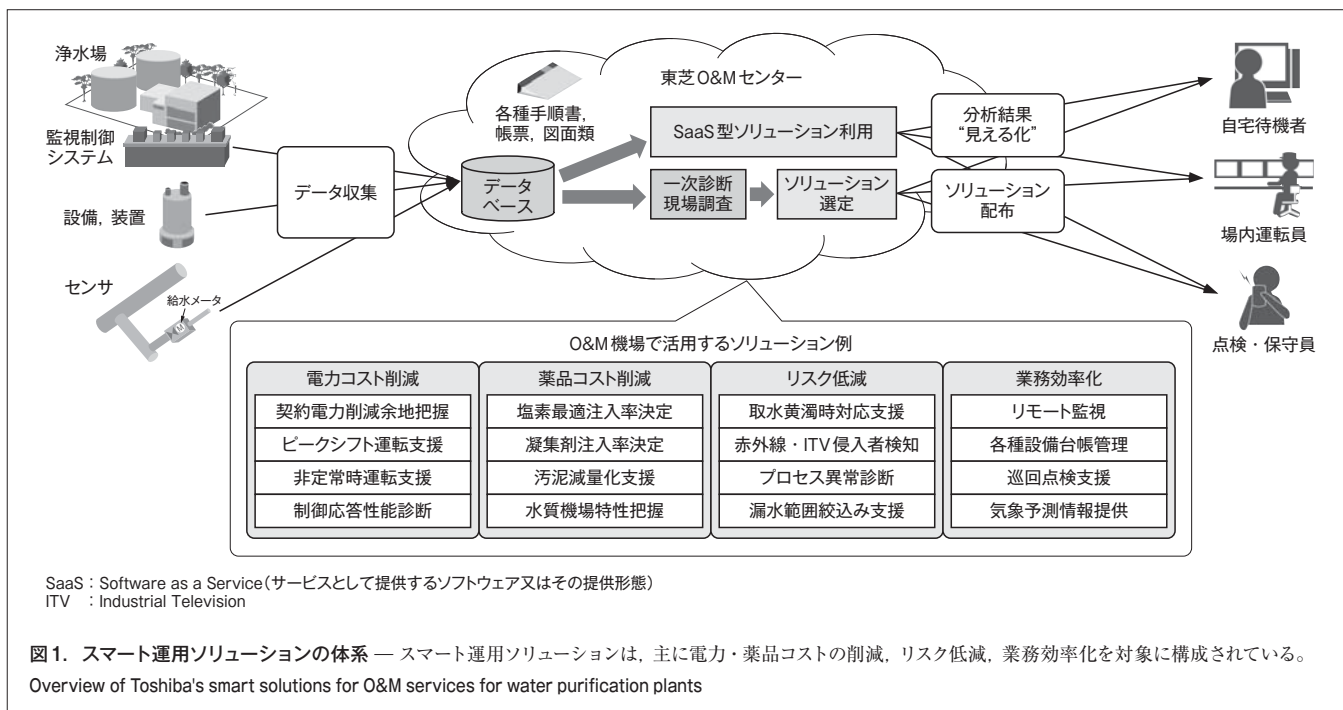
そこで東芝は、現場のニーズを収集して分析し、これまで電気計装・監視制御設備の構築で蓄積してきた技術やシステムを再構築した。そして簡易的なツールを整備し、一定の品質を保ちながらより効率的な運用を実現するスマート運用ソ

リューションとして、O&M受託機場に適用を開始した。ここでは、具体的な適用事例を挙げてスマート運用ソリューションについて述べる。

## 2 スマート運用ソリューション

当社がO&Mを受託した浄水場の運用コストを分析した結果、運転管理人件費が約50%で、電力コストと薬品コストが約40%を占めている<sup>(2)</sup>。そこでスマート運用ソリューションとして、運転コストを削減する電力コスト削減ソリューションと薬品コスト削減ソリューション、及び維持管理コストを削減するリスク低減ソリューションと業務効率化ソリューションを提供する（図1）。

電力コスト削減ソリューションでは、配水池の容量を有効に活用し、送水ポンプの運転を夜間にシフトすることによる電力コストの削減や、ポンプ運転台数を適正化することによる契約電力の削減に結び付く運転方法を提供する。また、薬品コスト削減ソリューションでは、水質や、気象条件、機場特性を把握したうえで、適切な薬品注入量を提供する。これらのソリューションは、結果として運転コストの削減をもたらす。



一方浄水場では、24時間365日、突発的な非定常業務などにも耐えられるように一定人数の運転員の常駐が必要である。点検の効率化やリモート監視など業務効率の向上を狙った業務効率化ソリューションや、異常診断などプラントを適切に運転するためのリスク低減ソリューションにより、作業工数や夜間常駐人数の低減などができる。これらのソリューションは、結果として維持管理コストの削減をもたらす。

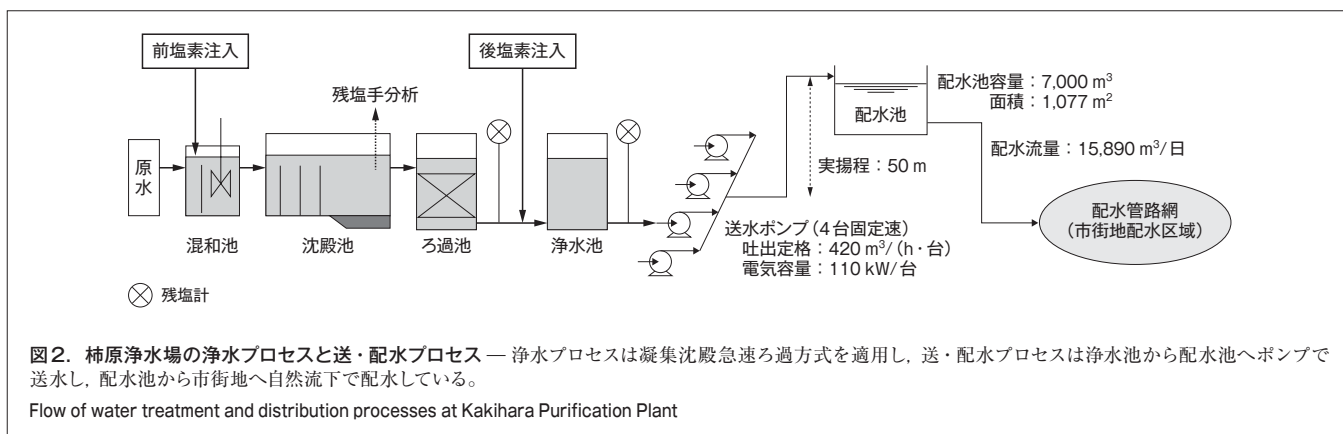
### 3 ソリューションの適用事例

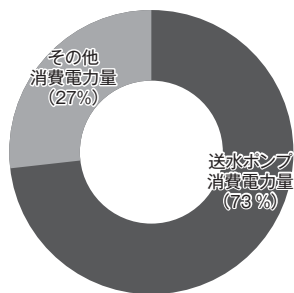
スマート運用ソリューションの適用事例として、当社が第三者委託の契約で運転管理業務を受託している宇和島市柿原浄水場で行った取組みを述べる。この浄水場の運用コストは人件費が46%、電力コストが33%、薬品コストが8%を占めている。そこで、運用コストのうち、電力コスト及び薬品コスト

に着目し、新たな装置やシステムを導入することなく運転方法の改善でこれらを削減した。

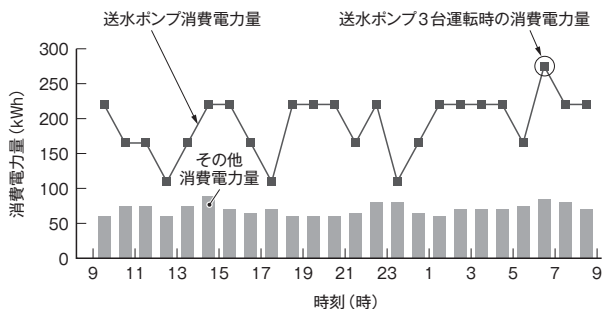
柿原浄水場の浄水プロセス及び送・配水プロセスを図2に示す。浄水プロセスは、国内の多くの浄水場で採用されている凝集沈殿急速ろ過方式であり、塩素は混和池とろ過池出口の2か所で注入し（それぞれ、前塩素注入、後塩素注入と呼ぶ）、残留塩素（以下、残塩と略記）計はろ過池出口と浄水池出口に設置されている。また、送・配水プロセスは、4台の同じ特性の送水ポンプ（固定速）で一つの配水池に送水し、配水池から自然流下で市街地配水区域に1日約16,000 m<sup>3</sup>を配水している。配水池水位を常時3.0～5.9 mに保ち、朝がたの高い水需要に対応するため、朝6時には水位が高め（5.1～5.3 m）になるよう、運転員が送水ポンプの運転停止を手動で行っている。

この浄水場で実施した電力コスト削減ソリューションと薬品





(a) 2008年8月23日9時~24日9時の消費電力量の割合



(b) 2008年8月23日9時~24日9時の消費電力量の変化

図3. 消費電力量の割合と1日の変化 — 水需要が多い朝がたに送水ポンプの消費電力量が上がる傾向がある。

Breakdown of power consumption rates and changes in daily power consumption at Kakihara Purification Plant

コスト削減ソリューションについて、以下に述べる。

### 3.1 電力コスト削減ソリューション

送水ポンプの運用を改善して、1年間の最大電力を削減し翌年以降の契約電力を下げることで、電力コストの削減を行った。

**3.1.1 電力コスト削減に向けた現状把握** 浄水場全体の1日の消費電力量のうち73%を占める送水ポンプの運転改善に着目した(図3(a))。

一般に、夜間電力を活用した電力コスト削減が考えられるが、この浄水場は、時間帯別の電力単価が昼間9円01銭/kWh、夜間8円49銭/kWhと単価差が小さく効果が期待できない。そこで、電力ピークシフトによる契約電力削減を検討した。

柿原浄水場の契約電力種別は、高圧A季節別時間帯別電力II型で、契約電力は360kWであった。この契約電力は、当月を含む過去1年間に記録した最大電力である。最大電力を記録した例として、2008年8月23日9時~24日9時の消費電力量の変化を図3(b)に示す。図中で消費電力量が250kWhを超えた時間帯は、送水ポンプ3台を30分以上同時に運転した結果である。朝がたに送水ポンプ3台目を追加運転して配水池へ送水したために電力ピークが高くなっていた。そこで、この電力ピークを抑制できる可能性とその効果を試算した。

**3.1.2 電力ピーク削減ポテンシャルと効果の試算ツール** 電力ピークを削減する余地があるかを調べるため、試算

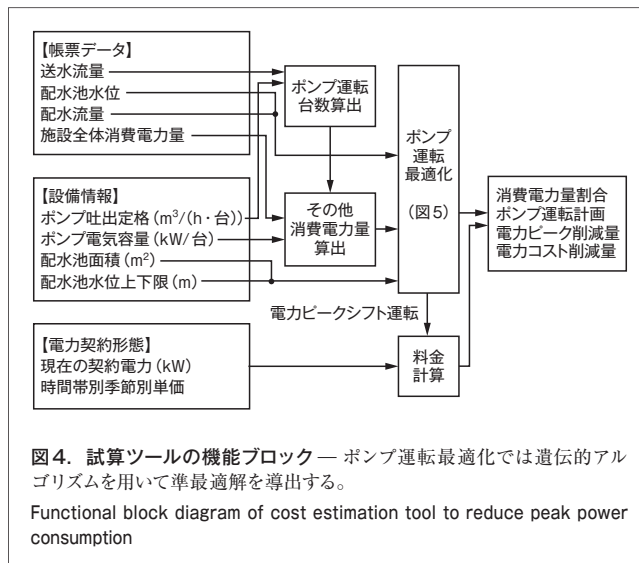


図4. 試算ツールの機能ブロック — ポンプ運転最適化では遺伝的アルゴリズムを用いて準最適解を導出する。

Functional block diagram of cost estimation tool to reduce peak power consumption

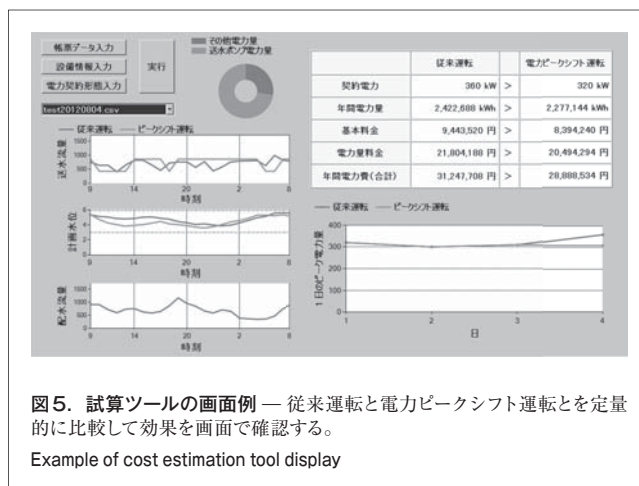


図5. 試算ツールの画面例 — 従来運転と電力ピークシフト運転とを定量的に比較して効果を画面で確認する。

Example of cost estimation tool display

ツールを構築した(図4, 図5)。このツールは、過去の帳票と、設備情報及び電力契約形態情報を入力データとし、配水池水位などを制約条件に、最大電力の最小化を目的関数にした最適化問題を解くことで、電力ピーク削減ポテンシャルや電力コスト削減効果を試算する<sup>(3)</sup>。水需要が年間でもっとも多い8月の1か月間の帳票データに基づいて、従来の運転実績と比較した結果を図6に示す。

その結果、2013年4月現在の契約電力360kWに対して、電力ピークをシフトした運転では、電力ピークを45kW削減し、315kWまで抑制でき、電力コストを4%削減できることがわかった。この電力ピークは、送水ポンプ2台の消費電力220kW(110kW/台)とその他消費電力95kWを合計したもので、送水ポンプを3台同時に運転しないことが重要であることを示している。図3(b)に示したように、この電力ピークシフト運転を実現するためには、朝がたの水需要が高い時間帯であっても2台の送水ポンプで運転を継続できるような夜間の配水池水位管理が重要であることがわかった。



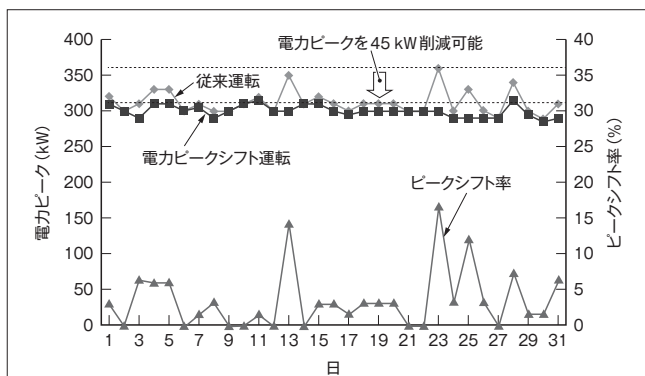


図6. 電力ピーク削減ポテンシャル — 水需要がもっとも多い8月のデータで試算した結果、45 kWの電力ピーク削減が見込まれる。

Results of trial calculation of potential for peak power reduction

### 3.1.3 電力ピークシフトを実現する夜間の配水池水位管理

この浄水場では、朝がたの高い水需要に備えて6時の時点で配水池水位を5.1 m以上に保つよう心がけている。過去の帳票データから夜間の水需要最大値を考慮し、送水ポンプ2台運転でも需給バランスがとれるよう、配水池の規定水位を表1のように算出した。具体的には、夜間でも規定水位を下回っている場合には早めに2台目の送水ポンプを運転することで、3台運転を防止する運転方法を立案した。

この浄水場では、送水ポンプを3台同時に運転させない運用を継続しており、2014年1月現在で、契約電力が304 kWまで減少し、昨年同時期に比べ電力コストが4.5%削減できた(基本料金は15%削減、電力値上げ含まず)。

表1. 送水ポンプ運転判断のための夜間配水池規定水位  
Water levels of reservoir in determining pump start-up at night

時刻	水需要の最大値 (m³/h)	送水ポンプ2台運転時の水位変化 (m)	規定水位 (m)
3:00	530	+0.23	4.60以上
4:00	530	+0.23	4.83以上
5:00	630	+0.14	4.97以上
6:00	640	+0.13	5.10以上

## 3.2 薬品コスト削減ソリューション

浄水場で使用されている主な薬品の一つである塩素について、日常の運転管理における改善を通して塩素使用量の削減を行った。

**3.2.1 塩素使用状況の把握と見直し** 浄水場では、浄水の安全性確保や、浄水場内の殺菌や殺藻、無機物及び有機物の酸化などのために塩素を注入している。その注入量は、日々変動する原水水質や気象条件などに応じて、過去の実績や現場の経験に基づいて調整されており、浄水プロセスの各ステップの残塩濃度で管理されている。

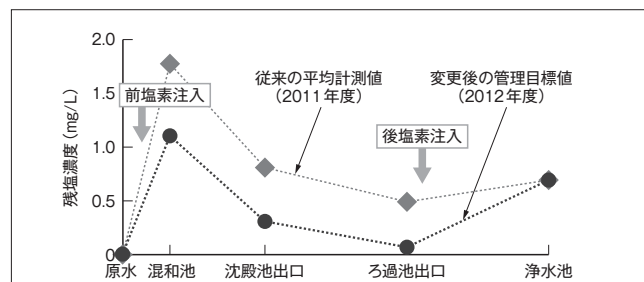


図7. 浄水場内の残塩濃度の管理目標値 — 浄水プロセスの各ステップにおける、従来の残塩濃度の平均計測値を把握して残塩濃度の管理目標値を設定し、塩素の注入率を変更した。

Residual chlorine concentration target values in purification plant

この浄水場の場内残塩濃度の調整状態を確認したところ、らん藻類、取水由来の臭気物質や、鉄、マンガン、アンモニア態窒素の濃度上昇が不定期に観測された経緯から、前塩素注入率が比較的高い設定値となっていた。これに伴い沈殿池出口残塩と、ろ過池出口残塩も比較的高い濃度で推移していることがわかった(図7)。

そこで今回、現在の原水水質の分析から塩素消費量を把握し、各フローでの残塩濃度の低減余地を検討した。酸化に比較的時間を要する鉄、マンガン、及びアンモニア態窒素の濃度を中心に分析した結果、現在の原水水質は高い残塩濃度を必要としないことが確認できた。また、過去に発生した原水水質の悪化は、渇水による取水ダム湖の水位低下(取水口低下)の影響が大きいことも把握できた。

これらの知見から、浄水場内の残塩濃度管理を図7に示すように見直した。見直し後は、細菌繁殖防止を考慮し、浄水場内でもっとも残塩が低下するろ過池出口での残塩濃度をゼロ以上と設定した。また、ろ過池での残塩減少分を定量化して評価した結果、沈殿池出口残塩濃度の管理目標値を0.3 mg/Lと設定した。

**3.2.2 運転員による残塩濃度の管理** 残塩濃度の変更後の管理目標値に準じて、2012年5月から前塩素及び後塩素の注入率を変更した。具体的には、沈殿池出口残塩濃度を0.3 mg/Lで維持するために、運転員が沈殿水残塩濃度を1日1回手分析で確認し、その濃度に応じて前塩素注入率の調整を行った。後塩素注入では、浄水残塩が管理目標値となるように注入した。この結果、前塩素と後塩素注入のバランスが変化し、最終的な浄水の残塩濃度の管理目標値は変更してないにもかかわらず、合計の塩素使用量は、2012年の6月から7月にかけて前年度比で約18%削減できた<sup>(4)</sup>。

**3.2.3 前塩素注入率設定支援ツール** 沈殿池出口残塩濃度の管理では、沈殿池で日射などの影響を受けると残塩の分解が進むため、沈殿池出口の残塩濃度は昼間と夜間で大きく変動する。この対策として残塩濃度を頻繁に測定し、一日の中で前塩素注入率を何回も調整している浄水場もある。

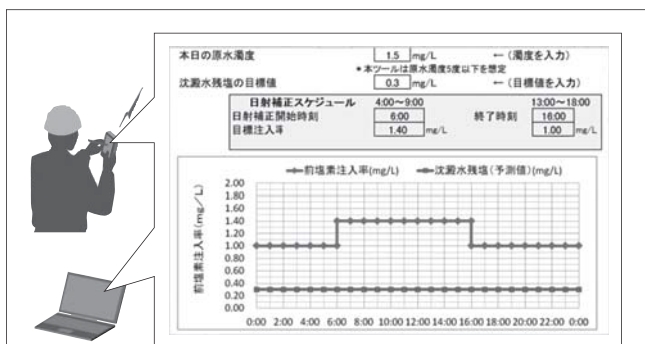


図8. 前塩素注入率設定支援ツールの画面例 — 運転員は数点のデータを入力するだけで前塩素注入率の設定値を知ることができる。

Example of use of support tool to set appropriate pre-chlorine injection rate

しかし、原水水質変動や、気象変化、季節変化などを考慮して適切な前塩素注入率を日々設定することは容易ではなく、現場でこれを実施することは運転員の労力と負担の増加になっていた。この浄水場では、昼間の沈殿池出口残塩濃度で前塩素注入率を調整していたため、日射などによる残塩の分解が進まない夜間は前塩素の過剰注入が生じていた。

この課題を解決するため、塩素消費メカニズムにおける各影響因子をプラントデータに基づいて分析し、浄水場内での残塩濃度変化の定量化を行うことで、沈殿池出口やろ過池出口など所定の場所で残塩濃度を一定に保つ、前塩素注入率の設定支援ツールを構築した(図8)。

このツールは、前塩素注入率を夜間と昼間の2段階で設定でき、運転員が当日のプラントデータや気象条件を数点入力することで、注入率の推奨値が提示される。浄水場の実データを用いて、このツールを適用することによる前塩素使用量の削減効果を試算したところ、年間平均で約17%削減できる見込みが得られた。この浄水場では、運転員によるこのツールの利用が既に始まっている。

#### 4 あとがき

O&Mにおいて、運用改善を図り効率的なプラント運用に寄与するソリューションの適用事例として、送水ポンプ運用の改善による電力コスト削減と、塩素の注入改善による薬品使用量削減について述べた。

汎用化を目指したツールは、取水水質や、浄水プロセス、設備形状など現場特性の違いにより、その効果にばらつきが生じるものの、若手運転員の技術力を一定水準まで向上させ、一定の運用品質を維持するといった効果があると考えられる。

各種のソリューションを現場で適用して評価を繰り返しながら改善するとともに、新たな効率化を目指したソリューションを開発して多くの浄水場に適用していく。

#### 文献

- (1) 厚生労働省 健康局. “新水道ビジョン”. 2013-03. <<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/newvision/dl/newvision-all.pdf>>. (参照2014-04-18).
- (2) 杉野寿治 他. 上下水道事業に貢献するICTソリューション. 東芝レビュー. 67, 5, 2012, p.7-11.
- (3) 横川勝也 他. 契約電力削減に向けた送水ポンプ運転の改善. 平成25年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 郡山, 2013-10, 日本水道協会. 2013, p.512-513.
- (4) 有村良一 他. 浄水場内の残留塩素濃度管理による塩素使用量削減. 平成25年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 郡山, 2013-10, 日本水道協会. 2013, p.572-573.



杉野 寿治 SUGINO Toshiharu

コミュニティ・ソリューション社 水・環境システム事業部 水ソリューション事業開発部参事。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 Systems Div.



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 情報・機器制御システム開発部主務。上下水道制御システムの研究・開発に従事。電気学会, 計測自動制御学会会員。  
Power and Industrial Systems Research and Development Center



有村 良一 ARIMURA Ryoichi

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 環境・水システム開発部主務。上下水道水処理システム技術の研究・開発に従事。環境システム計測制御学会会員。  
Power and Industrial Systems Research and Development Center