

水道の広域連携・全体最適に 貢献する送配水系ソリューション

水需要減による料金収入の減少、施設老朽化、熟練技術者の退職など水道を取り巻く環境は厳しさを増している。これを受けて水道事業体の経営基盤強化を図るべく、2017年3月に水道法改正の閣議決定がなされ、今後ますます広域連携や官民連携が推進されると予想される。本稿では特に広域連携に焦点を当て、水道事業体の事業運営コストや施設投資を削減する技術を紹介する。事業運営コスト削減の点ではポンプの電力コスト削減を目的とした広域連携対応水運用技術を、施設投資削減の点では水道施設の規模適正化を目的とした統廃合支援技術およびダウンサイジング技術を紹介する。

小泉 賢司 | Koizumi Kenji

高橋 信補 | Takahashi Shinsuke

鯉淵 裕史 | Koibuchi Hiroshi

福本 千尋 | Fukumoto Chihiro

1. はじめに

水需要減による料金収入の減少、施設老朽化、熟練技術者の退職など水道を取り巻く環境は厳しさを増している。このような環境の中、水道事業の経営基盤や技術の強化が不可欠となっており、課題に対応するための施策が検討されている¹⁾。

基本施策としては、(1) 経営面でのスケールメリット創出につながり、かつ、災害対応能力確保にも有効な広域連携の推進、(2) PPP (Public Private Partnership)、PFI (Private Finance Initiative)、コンセッションなどの導入により民間技術・ノウハウ・人材活用を促進する官民連携の推進などが挙げられる。特に、(1) は単独で事業基盤強化を図るのが困難な中小規模の水道事業体にとって、職員確保や経営面での課題解決手段になりう

る。なお、ここでの広域連携の形態は、これまで実施されていた事業統合のほかに、経営の一体化、管理の一体化や施設の共同化などさまざまな連携形態を含む。

これらの施策を推進すべく、2017年3月に水道法改正の閣議決定がなされた。これには次のような内容が含まれている²⁾。

- (1) 都道府県は広域連携の推進役を担い、国は基本的かつ総合的な施策を策定し技術的、財政的に支援する。
- (2) 施設の所有権を地方公共団体が所有したまま、運営権を民間事業者を設定する、公共施設等運営権を民間事業者を設定できる仕組みを導入し、官民連携を促進する。

本稿では、特に広域連携に焦点を当て、全体最適によって水道事業体の事業運営コストや施設投資を削減する技術を解説する。まず事業運営コスト削減の点では、管理一体化の事例として、水平統合（複数の末端給水事業の連携）や垂直統合（用水供給事業と末端給水事業の連携）における電力コスト削減を目的とした広域連携対応の水

運用技術を解説する。さらに施設投資削減の点では、効果的な施設共同化を行う統廃合支援技術、将来の需要減を見据えたダウンサイジング技術について解説する。

2. 広域連携対応水運用技術

広域連携の一つに、先に述べた管理の一体化がある。これを実施することで、スケールメリットのほか、運用効率化によるコスト削減が期待できる。

ここでは、電力デマンドレスポンス（DR：Demand Response）の問題に対して、広域連携の水運用を行い、電力コストを効果的に削減した事例を紹介する。DRとは、電力安定供給のための仕組みの一つである。水道事業体は、電力会社（あるいは電力アグリゲータ）から電力削減依頼と削減期間の指定を受ける。これに対して、水道事業体は電力需要を削減して電力の安定供給に貢献することで、インセンティブ（対価）を受け取るものである。

図1は、複数の事業体間の水融通、あるいは、用水供給業者から末端供給業者への水供給がある場合の広域連携の事例を示すものである。比較的大きな水融通が行われている場合には、複数事業体の運用に関係するこの融通量をDR時にうまく調整することで、より大きなDR効果（ピーク電力削減効果）が得られる。

融通量を境界条件として、各事業体の最適解を探索し、トータルとしてのDR時間帯のピーク電力削減量を計算する。さらに、より良い解が得られる方向に融通量を修正していくことで、効果的に全体最適、すなわち最も大きな電力削減を実現する解を得ることができる。

図1の計算例は、連絡管で相互接続された4都市の送水系を仮定した場合のシミュレーション結果である。このケースでは、4都市の事業体が連携したときのDR時間帯のトータルピーク電力の削減量は、個別運用の場合に比べて2倍程度増加することが確認できた。これにより、より大きな対価を受け取ることができ、電力コスト削減が可能になる。

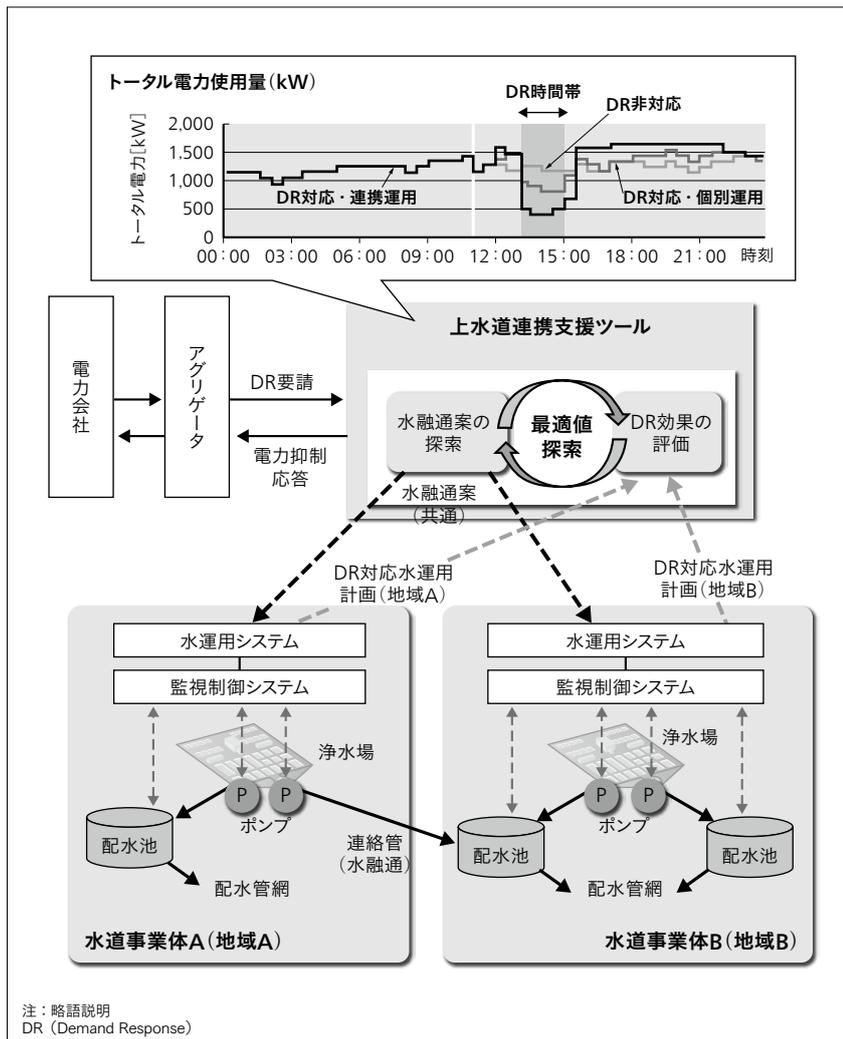


図1 | 広域連携対応水運用技術とピーク電力削減効果

電力デマンドレスポンス要請時に複数事業体が水運用を連携することで、より大きなピーク電力削減を実現した。

3. 統廃合支援技術

水道事業体の基盤強化における施策の一つに、広域連携の一形態である施設の共同化がある。施設共同化では、複数事業体の共同出資により新規施設が建設されるほか、既存の余剰施設を廃止しながらの施設統廃合が実施される。本章では、水道施設（特に浄水場、配水池、ポンプ場などの基幹施設や基幹管路）を効果的に統廃合し、投資や運用コストを削減する統廃合支援技術を解説する。

統廃合の基本的なねらいは、水道施設の集約による更新費や維持管理費の削減、および運用面の効率化である。統廃合の技術的な課題として、主に次の二つが考えられる。一つ目の課題は、長期的な水需要の減少を考慮しながら、浄水能力・貯留能力を確保し、かつ水圧の偏り・過不足が発生しないよう浄水場・配水池・ポンプ場の位置・能力を決定することである。二つ目の課題は、統廃合後の施設を接続する管路の布設を最小化することである。統廃合により施設位置や施設の負荷が変わるため、必要に応じて管路の新規布設や二重化による増強を行うが、これを最小限にとどめて新規建設による出費を最小化する。

これらの課題に対応し効果的な統廃合を支援するため、GIS（Geographic Information System）、水理解析機能、最適化機能を組み込んだ統廃合案作成支援ツールの研究・開発を推進している（図2参照）。このツールでは、まずGISを利用して統廃合の計画案を作成する。マニュアル作業での柔軟な作図により、都市の特性、設計者のノウハウを反映しながらの作成が可能である。次に、水理解析機能を用いて、水圧、残留塩素濃度や、配

水池の水量確保などの水理・水質面の評価を行う。必要に応じて配水池・ポンプ場の能力、管路布設位置などを修正し、統廃合案を詰めていく。また、統廃合案のコスト（新規建設費用、更新費、動力費）についても評価する。最後に施設位置が決まった統廃合案に対して施設最適化機能を適用し、新規投資費用や動力費が最小になる管路口径、ポンプの吐出圧を計算する。これらの処理を繰り返して最終案を導出する。

ある事業体の模擬データで、本技術による統廃合効果を検証した。単一事業体のデータではあるが、広範囲に施設が点在し、集約可能な施設が多く存在することや需要減に伴う再構築により効率化が見込まれることから、複数の事業体での統廃合と同等の問題と見なすことができる。給水人口が10万人程度でありながら、対象地域には小規模な配水池・ポンプ場が多数存在するため、将来的な更新費の増加が見込まれる。また、単一の給水エリアへ複数の浄水場・配水池から給水しており、運用が複雑であるという課題もある。このような送配水系に対して、施設更新費を削減しつつ、さらに浄水場ごとの分担が明確になるよう給水エリアを再構築した統廃合案を導出した。

図3に統廃合前後の施設配置、および統合後のコスト比較結果を示す。水理・水質面で問題ないことを確認しながら小規模な配水池・ポンプ場を廃止し、配水池容量を増強しつつ集約した。これにより、長期間で見たときの更新費は削減された。一方、新規投資分と動力費での若干のコスト増加はあった。ただしトータルとしては、約6%のライフサイクルコスト削減につながった。

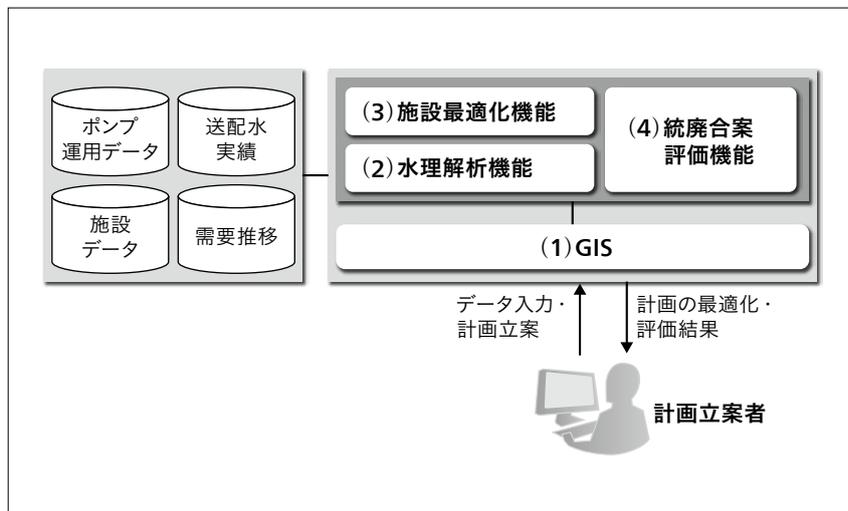
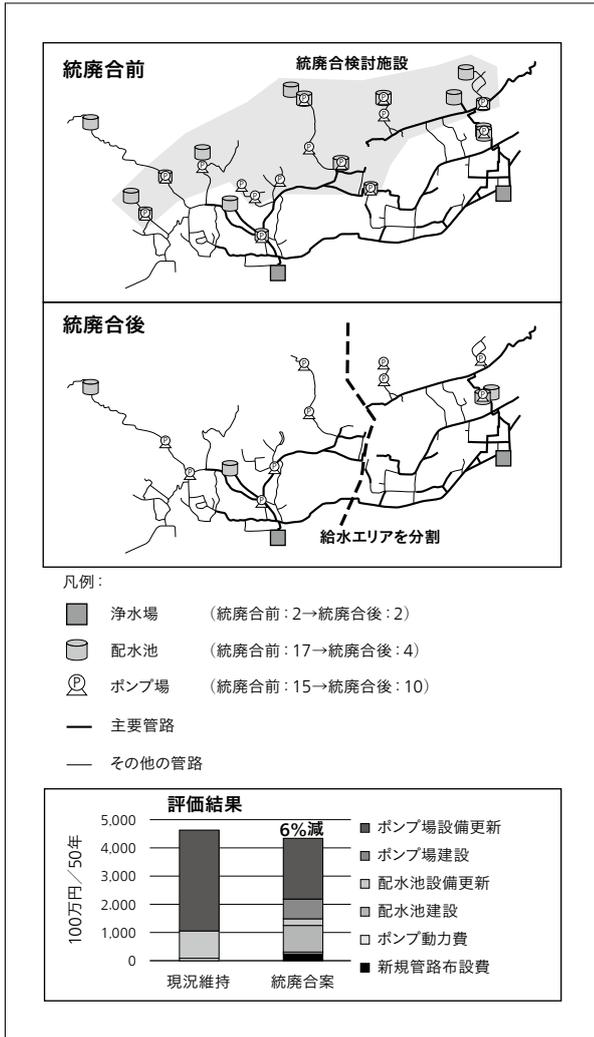


図2 統廃合案作成支援ツール

GIS（Geographic Information System）、水理解析機能、統廃合案評価機能、施設最適化機能を順次利用することで、水理・水質条件を満足しつつ施設投資と運用コストの総和が最小となる最適な統廃合案の策定を支援する。

図3|ある都市を模擬した水道施設の統廃合結果とコスト削減効果

拠点となる施設を明確化しつつ統廃合することで、長期での更新費を抑えた統廃合計画を導出した。



4. 管路ダウンサイジング技術

本章では、需要減少時を想定し、前述の統廃合支援技術と共に利用可能な管路のダウンサイジング技術について

て紹介する。

管路のダウンサイジングにおいては、需要減少時に水理・水質条件を満足しつつライフサイクルコストが最小となる口径や更新時期（あるいは更新順序）を導出することが課題となる。更新時期については、事業者の独自の手法や更新指針を活用して決定していると考えられる。そこで、更新時期についてはその手法に従うものとし、本稿では、数理最適化を利用した最適口径導出に絞って解説する。

最適口径を求める数理最適化問題とは、予測された将来需要および導出された管路の更新時期の下で、水理・水質条件を満足し、施設投資と運用コストの総和であるライフサイクルコストを最小にする管路口径やポンプ能力を決定する問題であると定義できる。

このようなアプローチの課題として、将来水需要の不確実性や導出される最適口径の面的なムラ（供給源から末端に向かって口径が単調減少にならない問題）が挙げられる。前者に関しては、複数シナリオの評価により、ロバストな解を得ることで対応した。後者に関しては、最適化計算で口径のムラができた場合、その後にヒューリスティックな処理を適用することで対応した。具体的には、最適化後の口径を基に供給源から末端に向かって路線を形成し、口径が単調減少するよう補正する。

図4は、数理最適化を活用したダウンサイジング技術の処理の概要である。各管路の口径を設定して水理解析を実施し、水圧・水質を計算する。これが制約条件を満足するかどうかを判定するとともに、管路布設、ポンプ運転にかかるライフサイクルコストを計算する。本処理では、最適化計算により制約条件を満足しつつ、ライフサイクルコストを最小にするような各管路の口径を探索する。さらに将来水需要を変動させた場合でも水理・水質条件を満たすかどうかを感度分析する。最終的には、制約を満足し、コストを最小化する最適口径が得られる。

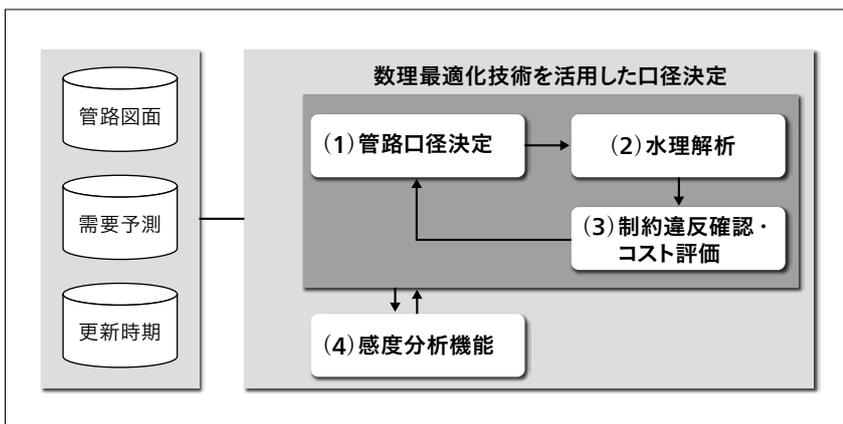


図4|ダウンサイジング技術の流れ

管網図面および将来需要を基に、水理解析機能と最適化機能を適用し、感度分析しながら最適口径を探索する。

図5 仮想管網を対象とした
ダウンサイジング

ダウンサイジングにより主に100 mm管、150 mm管で管網を構成するようになり、ライフサイクルコストの削減に寄与する。

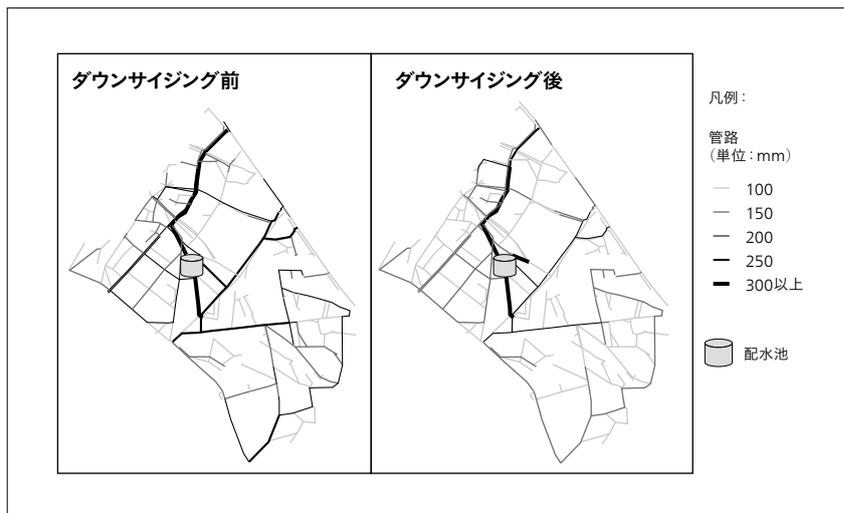


図5の左に示す仮想的な配水管網に対して、ダウンサイジング技術を適用した。需要量は約6,000 m³/日、管路延長は約50 kmである。需要量は所定の年数後に現状の60%になると仮定した。図5の右に再構築後のレイアウトを示す。大幅なダウンサイジングがなされ、主に200 mm、150 mm管で管網全体の主要管を構成し、100 mm管で網を構成している。また、水理面・水質面での条件を満足することも確認した。これにより現状の口径を維持する場合と比べて、予測される需要水量から±10%程度の予測需要量の変動下で、ライフサイクルコストを約6%程度削減可能であることを確認した。

5. おわりに

本稿では、水道の広域連携・全体最適により水道の基盤強化に貢献する技術として、広域水運用技術、統廃合支援技術、ダウンサイジング技術について述べた。

ここで述べた技術は、水道分野向けデジタルソリューションとして、ソリューション開発と容易なカスタマイズを可能とするIoTプラットフォームLumadaと共に提供し、顧客の価値向上に貢献していく所存である。

参考文献など

- 1) 厚生労働省, 水道事業基盤強化方策検討会,
<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/other-kenkou.html?tid=291236>
- 2) 厚生労働省, 改正水道法の施行について,
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kaisei/>

執筆者紹介



小泉 賢司

日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンター
システムアーキテクチャ研究部 所属
現在、上下水道の設備計画技術、管網管理技術の研究開発に従事
博士(工学)
日本オペレーションズ・リサーチ学会会員



高橋 信補

日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンター
システムアーキテクチャ研究部 所属
現在、水道の水運用計画技術、設備計画技術、漏水管理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



鯉淵 裕史

日立製作所 サービス&プラットフォームビジネスユニット
制御プラットフォーム統括本部 大みか事業所
情報制御第一本部 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に従事
電気学会会員



福本 千尋

日立製作所 水ビジネスユニット 水事業部 サービス事業推進部
所属
現在、上下水道の官民連携、広域化新規事業立ち上げに従事