

〈研究発表〉

水需要予測を用いる浄水場運転支援システムにおける
緊急事態宣言発出の影響評価安藤 菜子¹⁾, 湯川 貴仁²⁾, 森 有 一³⁾
横井 浩人⁴⁾, 小泉 賢司⁵⁾¹⁾ 株式会社日立製作所 水・環境ビジネスユニット 水事業部 ソリューション事業推進部
(〒101-0021 東京都千代田区外神田1-5-1 E-mail: nako.ando.bd@hitachi.com)²⁾ 株式会社日立製作所 水・環境ビジネスユニット 水事業部 ソリューション事業推進部
(〒101-0021 東京都千代田区外神田1-5-1 E-mail: takahito.yukawa.sz@hitachi.com)³⁾ 株式会社日立製作所 水・環境ビジネスユニット 水事業部 ソリューション事業推進部
(〒101-0021 東京都千代田区外神田1-5-1 E-mail: yuichi.mori.vn@hitachi.com)⁴⁾ 株式会社日立製作所 水・環境ビジネスユニット 水事業部 ソリューション事業推進部
(〒101-0021 東京都千代田区外神田1-5-1 E-mail: hiroto.yokoi.vb@hitachi.com)⁵⁾ 株式会社日立製作所 研究開発グループ 社会システムイノベーションセンタ デジタルアーキテクチャ研究部
(〒244-081 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 E-mail: kenji.koizumi.cg@hitachi.com)

概要

運転員の負担軽減を目的として、実績データの機械学習と水需要予測に基づいて運転計画を立案し、機器の操作ガイダンスを提示するシステムを開発中である。新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言による在宅勤務増など、需要者の生活パターンの急激な変化が、取水・配水業務のガイダンス精度にどの程度の影響を及ぼすか評価した。結果、緊急事態宣言発出/解除のタイミングでガイダンス精度は一時的に悪化するが、その後改善し、精度への影響は限定的であった。同程度の水需要変化であれば、十分な精度で配水管理ができる見通しを得た。

キーワード：運転支援システム、水需要予測、機械学習、新型コロナウイルス、技術継承

原稿受付 2021.6.24

EICA: 26(2・3) 39-43

1. はじめに

日本の水道事業は、人口減少や少子高齢化、ベテラン職員の大量退職に伴う技術継承問題などに直面している。日立グループは、ICT (Information & Communication Technology) を活用した維持管理・運転の効率化のためのO&M (Operation & Maintenance) 支援システム等の開発に取り組むことで、水道事業の課題解決をめざしており¹⁾、その一環として、埼玉県戸田市の浄水場を対象に運転支援システムの効果検証を進めていた。そのような中、新型コロナウイルス感染拡大と、それに伴う緊急事態宣言発出により、需要者の生活パターンが短期間で大きく変化し、水需要および運転支援システムへの影響が懸念されていた。本稿では、2020年4月の緊急事態宣言発出が戸田市内の水需要に及ぼす影響と、浄水場の運転支援システムの水需要予測機能およびガイダンス立案機能の精度に及ぼす影響を評価する。

2. 運転支援システムの機能説明

2.1 システム概要

運転支援システムは、浄水場の機器設備の操作支援を行うことで、運転員による運転・維持管理業務の効率化を図るシステムである。本システムをクラウド上

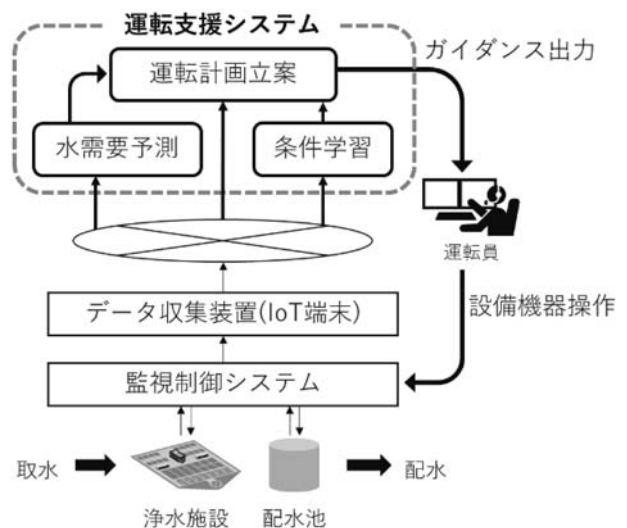


Fig. 1 Configuration of the operation support system

へ構築し、浄水場設備から監視制御システム経由でデータを取得する (Fig. 1)。監視制御システムから15分周期で運転実績を自動収集して水需要予測の演算を行った上で、機器の運転計画を立案して操作ガイダンスを提示する。ガイダンスに従い操作することにより、非熟練者でも適切な運転を行うことが可能となる²⁾。本システムは、「条件学習機能」「水需要予測機能」「運転計画立案機能」の3つの機能を有することを特長としている。

2.2 条件学習機能

一般的に浄水場では、配水池等の設備能力、ポンプの操作順序や省エネ運転など、運用上の制約条件が複数存在し、日々変化する水需要量を満たすために、複数施設を緊密に連携した運転管理が求められる³⁾。「条件学習機能」は、数理最適化技術により、熟練運転員の知見である設備の詳細な運用条件を、運転記録から抽出する機能である。条件学習の流れとしては、ポンプ流量や配水池水位の上下限值など、どの施設でも必要となる制約を定式化し、さらに現場の運転員へのインタビュー等をもとに施設特有の制約を定式化する。その後、運転計画立案を行い、運転員が実際に行った運転と計画の差を抽出する作業を繰り返し、計画立案の精度を向上させていく。

2.3 水需要予測機能

「水需要予測機能」は、機械学習により、1時間後から26時間後まで1時間刻みの配水量を予測する機能である。学習データとして、過去一定期間の日付時刻、配水量、天気、および現在の時刻と天気を使用する。本機能により得られた予測配水量の値を使い、水需要を満足する取水・配水ポンプの運転計画を立案する。新型コロナウイルス感染拡大とそれに伴う緊急事態宣言発出の影響で、本機能の学習データに用いている配水量のデータが従来とは異なる波形を示すことが予測される。今回、学習データの陳腐化が水需要予測の予測精度に及ぼす影響を評価した。

2.4 運転計画立案機能

「運転計画立案機能」は、水需要予測により得られた予測配水量に従い、機器の運転計画を立案し、監視制御画面に操作ガイダンスを提示する機能である。Fig. 2にガイダンス表示例を示す。ガイダンス画面では、今後のポンプ起動・停止予定と、設備ごとの運転計画の詳細が表とグラフ形式で確認できる。ガイダンスに従い機器を操作する運用とすることで、運転員の熟練技術が不要となり、現場の業務効率化が図れる。情報が一画面にまとまっており運転操作が見える化されるため、運転員が運転操作を理解しやすく、新人教



Fig. 2 Example of guidance display

育期間の短縮も期待できる³⁾。

3. 運転支援システムの検証方法

3.1 戸田市の浄水場における運転管理

戸田市は埼玉県南部に位置する人口約14万人の都市である。日立製作所は2016年より、戸田市において、第一環境(株)、(株)日立プラントサービスらと共に上下水道業務の包括委託に取り組んでいる。戸田市は、西部浄水場、中部浄水場、東部浄水場の3か所から約45,000 m³/日の水を市内全域に供給している (Fig. 3)。

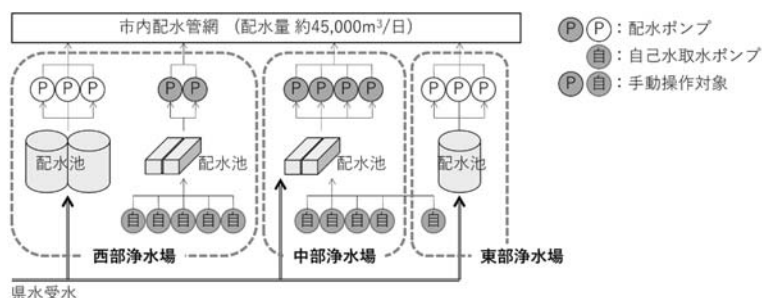


Fig. 3 Outline drawing of water treatment plants in Toda city

西部浄水場と中部浄水場の水源は自己水および県水、東部浄水場の水源は県水のみである。運転にあたっては、定量受水している配水池の所定の水位を逸脱しないよう、適量を常に配水する必要がある。一方で配水が県水受水系統に偏ると、水位が目標管理値を下回る可能性がある。そのため、手動操作の自己水系統にて、各取水・配水ポンプを適宜起動・停止しながらバランスをとる必要がある。戸田市の浄水場では、特定時刻において、配水池水位を一定の範囲に収めることを重要指標としており、この操作には、需要変動や設備構造をよく理解した熟練技術が必要となる。

3.2 評価方法と評価指標

本稿では、初めに、新型コロナウイルス感染拡大とそれに伴う緊急事態宣言発出が戸田市内における水需要に及ぼす影響を評価する。評価対象は2019年10月と2020年10月における総配水量と、2020年1月、3月、4月における平日5日間の時間別配水量である。次に、4.1節で明らかにした水需要の変化が、運転支援システムへ及ぼす影響を評価する。評価対象は2つ設けた。1つ目は、2020年4月から2020年12月までの水需要予測機能の精度である。水需要予測機能の精度は「1日平均誤差率」で評価する。1日平均誤差率 (M [%])は、予測時刻から1日先までの予測総配水量 (F_t [m³/日])と、実際の総配水量 (A_t [m³/日])との平均絶対パーセント誤差である。

$$M = \frac{100}{24} \sum_{t=1}^{24} \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|$$

1日平均誤差率の明確な精度目標は定められていないが、新型コロナウイルス感染拡大前に実施した本システムの先行研究²⁾では、ガイダンスに従って実機操作することで配水池水位を概ね目標管理値の範囲内に収められることが確認できており、このときの水需要予測の1日平均誤差率は1.99%であった。今回、先行研究を参考に、誤差率を2%以下に収められれば実運用可能であると定義した。評価対象の2つ目は、2020年5月から7月のガイダンス立案機能の精度である。ガイダンス立案機能の精度は、「ガイダンス精度」で評価する。ガイダンス精度は、運転支援システムのガイダンスに従ってポンプを操作した場合に、配水池水位の目標管理値を満足できる割合を示す値である。ガイダンス精度と、浄水場の熟練運転員による手動操作の実績値を比較することで、本システムの有効性を評価することができる。最後に、考察のため、水需要予測の学習期間を30、60、90、120日に変化させ、1日平均誤差率を比較する。

4. 緊急事態宣言発出の影響評価

4.1 水需要の変化

Fig. 4に、新型コロナウイルス感染拡大前の2019年10月と、感染拡大後の同月(2020年10月)における総配水量を示す。グラフのデータは各曜日の平均値である。感染拡大後は、すべての曜日で配水量の増加が認められる。また、2020年の10月1日から28日までの4週間の総配水量は、2019年の同期間の総配水量に比べて約5%増加していた。これは、戸田市(埼玉県)から東京都などの都市部に通勤していた需要者の多くが在宅勤務にシフトしたことと、休日の観光地へのレジャー移動を控えたことにより、自宅での水使用が増加したためであると推測できる。

次に、時間別水需要分布の変化を確認するために、

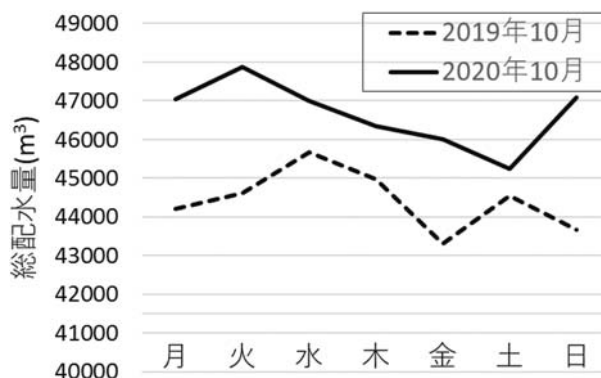


Fig. 4 Change in total water distribution volume

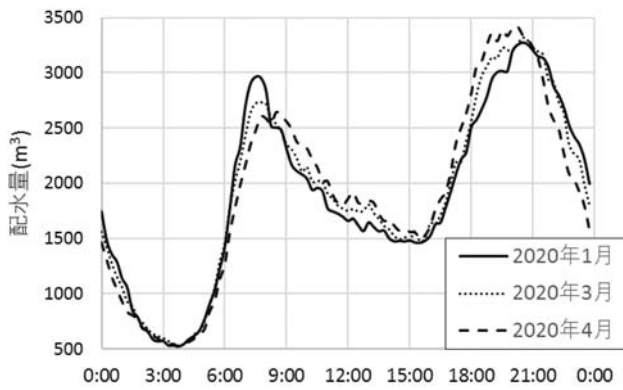


Fig. 5 Change in water demand distribution

2020年1月、3月、4月における平日5日間の配水量の平均値を比較分析した (Fig. 5)。2020年1月は新型コロナウイルス感染拡大前、3月は緊急事態宣言発出の1週間前、4月は宣言発出中のデータである。Fig. 5より、感染拡大前の1月に比べ、3月および4月のデータでは、朝8時頃から21時頃までの配水量が増加していることが読み取れる。8時から21時の配水量の合計値を比較すると、1月から3月は約4%増加、1月から4月は約9%増加しており、緊急事態宣言発出中の4月では特に増加が顕著であった。また、朝の水使用のピーク時間が、感染拡大前の1月は7:30、感染拡大後の3月は7:45、緊急事態宣言発出中の4月は8:30であり、約1時間後倒しとなっていた。夜の水使用のピーク時間は1月と3月は20:30であったが、宣言発出中の4月は20:15と15分前倒しになっていることも Fig. 5より読み取ることができた。これは、需要者の在宅勤務が進み、戸田市の自宅での日中の水使用量が増加したことと、通勤が不要になったため朝の支度時間が後倒しに、夜の食事の支度・後片付けと入浴時間が前倒しになったことが理由であると推測できる。

以上より、需要者の生活パターンの変化が水需要分布に影響を及ぼしていることが明らかになった。

4.2 ガイダンス精度への影響

Fig. 6に水需要予測の1日平均誤差率の推移を示す。宣言発出後の5月から7月の期間の誤差率は2%を超

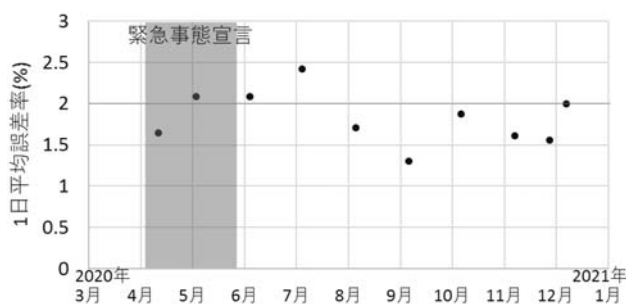


Fig. 6 Shift in 1-day average error rate

Table 1 guidance accuracy for the duration of the emergency declaration

目標管理値±1%に収められた割合 (%)	5月	6月	7月
ガイダンスに従った操作	89.2	90.8	78.8
運転員による手動操作	89.8	92.7	96.7

え、8月以降は再び2%以下に落ち着いた。Table 1に、5月から7月におけるガイダンス精度を示す。運転支援システムのガイダンスに従った操作では、配水池水位の目標管理値±1%に収められる割合の試算値は80~90%程度である。5、6月に比べ7月のガイダンス精度はやや低くなっており、水需要予測の精度の影響を受けていると言える (Fig. 6および Table 1)。ガイダンス精度を運転員による手動操作の実績値と比較したところ、ほぼ同等の精度で水位をコントロールできる見込みが示された (Table 1)。

5. 考察

5.1 影響評価の解釈

Fig. 6で緊急事態宣言発出後の5月から7月の期間に水需要予測の精度が悪化した理由は、需要者の生活パターンの変化に伴い総配水量や時間別の水需要分布が急変し、水需要予測の機械学習において、データの新波形を学習するのに時間を要したためだと考えられる。宣言解除の約60日後の8月には予測誤差率は宣言前の水準の2%以下に戻ったことから (Fig. 6)、学習データの蓄積に伴い、人の手を加えることなく自動的に水需要予測の精度改善が期待できることが分かった。

5.2 システムの学習期間の検討

本システムは、新型コロナウイルス感染拡大前に完了した検証結果に基づき学習期間を90日に設定していたため、この設定が緊急事態宣言下においても妥当であるかを検討した。Fig. 7に、機械学習の学習期間を30日、60日、90日、120日に設定した場合の1日平均誤差率のばらつきと平均値を示す。2020年1月

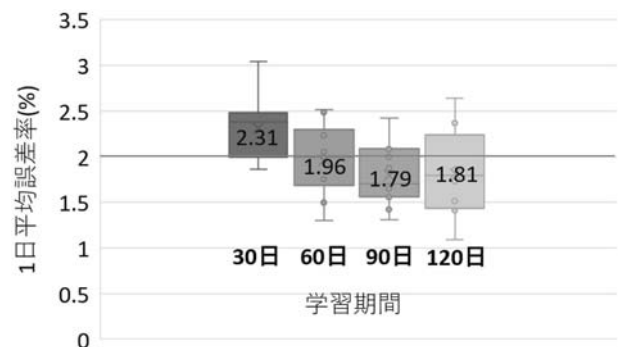


Fig. 7 Comparison of error rate by training period

からの1年間、約1か月に1回の頻度で1週間分のデータを分析した（緊急事態宣言発出期間を含む）。

Fig.7より、誤差率の平均値は90日の場合が1.79%と最も小さくなっていることが読み取れる。また、誤差率のばらつきも比較的小さく、誤差率が2%以下に収まっている割合も他の学習期間に比べて大きい。以上より、本システムを戸田市の浄水場に適用する場合は、緊急事態宣言下においても学習期間を90日に設定することが妥当であると判断した。

6. 結 論

本稿では新型コロナウイルス感染拡大と、それに伴う緊急事態宣言発出による需要者の生活パターンの急激な変化が、運転支援システムに及ぼす影響評価を行った。新型コロナウイルス感染拡大および緊急事態宣言発出により、戸田市では総配水量や時間別の水需要分布に変化があったことが明らかになった。また、緊急事態宣言発出のガイダンス立案機能への影響は限定的であり、同程度の水需要変化であれば、十分な精

度で配水管理ができる見通しを得た。今後は、本システムの実フィールドでの検証を進めるとともに、水道事業の課題解決と持続的な水道事業の実現への貢献に努める所存である。

謝 辞

運転支援システムの効果検証で多々ご協力をいただきました戸田市の方々に、深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 横井浩人, 梅木実, 福本千尋, 柚木忠介, 遠藤潤, 小泉賢司: 官民連携による維持管理業務の効率化 — デジタルソリューション技術の導入 —, 平成31年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集 (2019)
- 2) 小泉賢司, 森有一, 黒津健之, 足立進吾: 浄水場運転管理における運転支援システムの構築, 令和2年度全国会議 (水道研究発表会) (2020)
- 3) 足立進吾, 高橋信補, 齊藤晴茂, 栗栖宏充: 運転記録の分析に基づく取配水ポンプの運転支援技術の実証, 平成30年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集 (2018)