

### 送配水システムの電力削減を目的とした水運用に関する一考察

首都大学東京大学院 学生会員 ○西江 光司  
正会員 荒井 康裕, フェロー 小泉 明  
東京都水道局 増子 敦, 田村 聡志, 山本 孝

#### 1. はじめに

我が国の電力使用量の約 1%は水道事業が占めている。その水道事業における電力使用量の 6 割から 7 割程度は送配水システムに関連するものであり、水運用の最適化による省エネルギー効果に高い期待が寄せられている。また、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災及び福島第一原子力発電所事故の影響により、同年夏季には電力使用制限が実施され、東京都水道局内の対象施設では 5%の電力削減が義務付けられた。今後も電力供給の状況は不安定であることが予想されるため、電力使用量の削減は非常に重要な課題である。そこで本研究では、東京都の送配水システムを対象に、送配水ポンプの電力使用量の最小化を目的とした水運用について検討し、日単位及び時間単位のデータを用いた 2 つの最適化計算から合理的な送配水方法の提案を試みる。

#### 2. 計算方法

筆者らはこれまでに、送配水ポンプの電力使用量  $P$  と電力原単位  $e$  の関係性を取り上げ、水  $1\text{m}^3$  を送る際に必要となる電力使用量が送配水量  $Q$  の増減によって変化する特性を明らかにし、これを「電力原単位の送配水量に対する依存性<sup>1)</sup>」と定義した。また、送配水量に対する正ないし負の依存性が認められた場合、電力原単位の平均  $c$  を下回る時の水量範囲(効率範囲)と、 $c$  を上回る時の水量範囲(非効率範囲)が存在するため、送配水システムにおける電力使用量の削減には非効率範囲での運用を避

け、可能な限り効率範囲での送水運転を確保することが必要となることを論じた<sup>2)</sup>。そこで、送配水量範囲  $j$  の選択に関するダミー変数  $\delta_{ij}$  (整数変数) を導入し、施設  $i$  における電力使用量  $P_i$  を推定するためのモデル化を行うと共に、混合整数線形計画 (MILP: Mixed Integer Linear Programming) 法に基づく定式化を試み、需要水量  $D$  を満足しながら、システム全体の電力使用量  $TE$  を最小化する送配水量  $Q$  に関する最適化モデルを提案した。

本研究では、この MILP モデルを東京都の水道施設の一部に適用し、図-1 に示す送配水システム全体のポンプ電力使用量の最小化を試みる。以下では、2010 年及び 2011 年に実測された日単位及び時間単位のデータ ( $Q_i, P_i$ ) を基に、図-2 に示すフローに従って分析を進める。

#### 3. ケーススタディの結果と考察

本分析では、対象期間の内、最も需要水量が大きい 2010 年 7 月 24 日を対象に、①当該日 1 日の需要水量に対する日単位の最適化計算と、②当該日の 0 時から 23 時までの時々刻々と変化する需要水量に対して行った時間単位の最適化計算をそれぞれ試みた。まず、MILP モデルによって計算された  $Q$  に基づいて電力使用量  $P$  を試算した結果、日単位と時間単位の最適化水運用では、いずれも 1 日当たり 10%前後の削減が期待できることが明らかになった。A 浄水場・B 浄水場・C 配水池の送配水比率について、日単位での最適化、並びに時間単位の最適化(1 日当たりに集計した結果)を実績値と共に比較したものが図-3 で

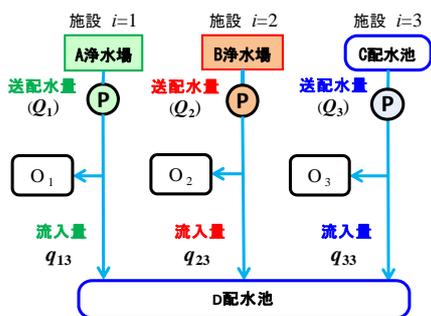


図-1 対象の送配水システム

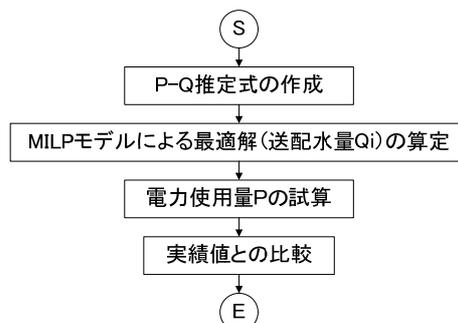


図-2 計算フロー

【キーワード】送配水システム 省エネルギー 最適水運用 混合整数線形計画

【連絡先】〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 TEL.& FAX.042-677-2947

ある。日単位及び時間単位の最適化では、現状より B 浄水場の送水量を減らし、A 浄水場の送水量を増やすという傾向が共通して確認できる、しかし、その増減量や C 配水池の送配水量に関しては傾向が若干異なっている。

そこで、この送配水比率の差異を考察するため、時間単位の最適化と実績値の送配水比率に着目し、これを時系列に示したものが図-4 である。需要水量に対する送配水比率は時々刻々と変化し、一定の比率では送配水していないことが示されている。ただし、実績値の時系列図(図-4 上段)より、需要水量に対して1時から6時(低流量時)ではB 浄水場を60~70%の範囲で、それ以外の時間帯(中高流量時)では40~50%の範囲で送水していることがわかり、1 日の中で低流量時と中高流量時の2パターンが存在している。同様の特性は時間単位の最適化結果(同下段)にも見受けられるが、B 浄水場は低流量時で40~50%程度、中高流量時では30~40%程度の2パターンで送水する水運用となっている。つまり、B 浄水場の送配水比率に注目して時間単位の最適化と実績値を比較すると、低流量時で20%程度減少、中高流量時では10%程度減少させることによって、実際の運用(実績値)よりも電力使用量を約10%削減できると試算された。

以上のことより、省エネルギーの観点から最適な送配水を提案する際には、日単位の最適化だけでは1日における時々刻々の運転が不明であり、時間単位の最適化による詳細な検討が必要であることが明らかになった。

4. おわりに

対象となる送配水システムにおいて、電力使用量を削減するためには、B 浄水場の送水量を減らし、A 浄水場からの送水量を増やす必要があることが「日単位」と「時間単位」の双方の最適化計算によって示された。しかし、1 日の中でも低流量時と中高流量時の2つのモード(運用形態)が存在することから、日単位ではなく時間単位での精緻な分析の必要性が明らかになった。今後は、東京都全体の送配水システムの最適化に展開すべく、ポンプ施設の電力使用量に関する情報蓄積、並びにその推定式の作成に取り組んでいきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 堀江俊樹, 小泉明, 荒井康裕, 稲員とよの, 増子敦, 村山孝之, 橋本貴, 櫻井義洋: 送配水過程におけるポンプ電力の特性比較, 第 62 回全国水道研究発表会講演集, pp.458-459, 2011
- 2) 増子敦, 橋本貴, 芦田裕志, 田村聡志, 荒井康裕, 小泉明: 電力原単位回帰式を用いた送配水エネルギーの最小化に関する研究, 水道協会雑誌, 第 930 号, pp.2-10, 2012

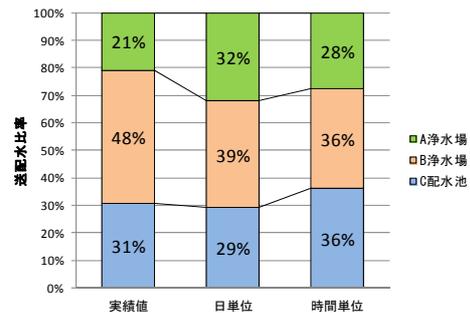


図-3 最適化計算の結果比較

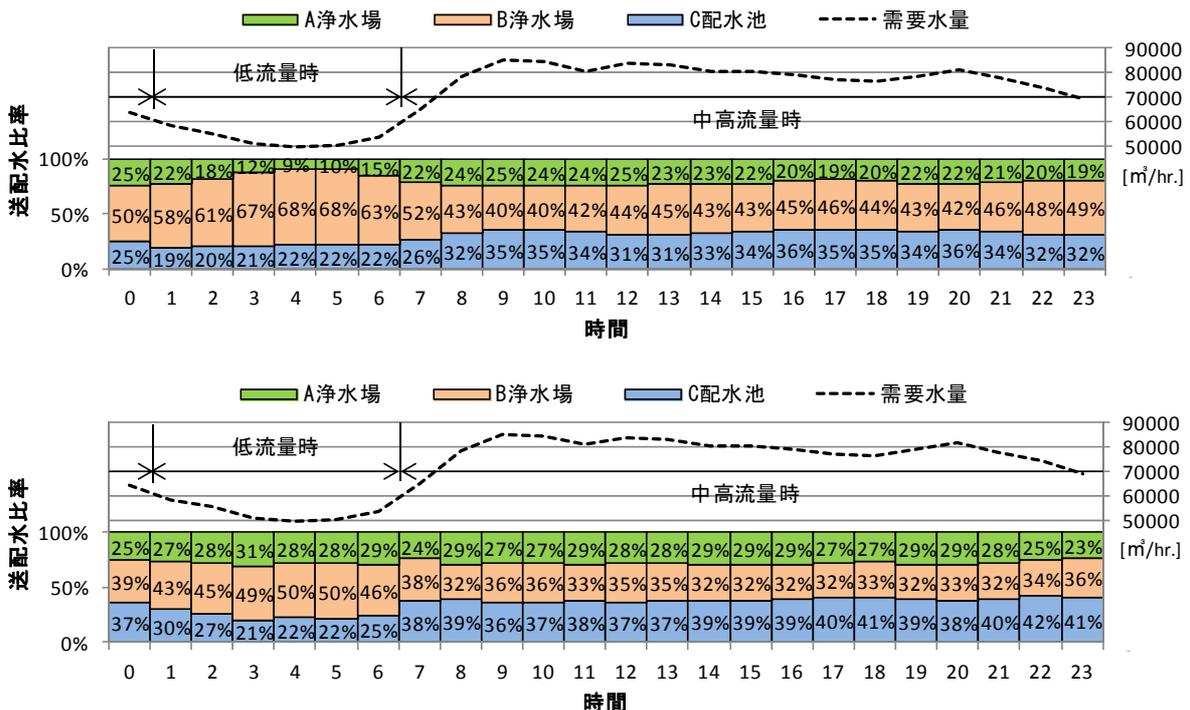


図-4 送配水比率の時系列グラフ(上:実績値 下:時間単位の最適解)