

上水道設備の配水量予測によるポンプ運転経費の削減に関する検討

大北 正昭・松浦 弥三郎・白井 隆

乾 正博*¹・中森 弘晃*²・大木 誠*³・小林 琢磨

*¹松下産機システムエンジニアリング株式会社・*²奈良県桜井市水道局・

*³国際交流センター

Study on Reduction of Pump Operation Expenses by Predicting Water Supply at Waterworks

Ohkita Masaaki, Matsuura Yasaburo, Shirai Takashi,

Inui Masahiro*¹, Nakamori Hiroaki*², Ohki Makoto*³, Kobayashi Takuma

*¹Matsushita Industrial System Engineering Co., Ltd., *²Waterworks Bureau in Sakurai Nara,

*³Tottori University Center for International Affairs

概要：上水道は、都市生活を支える重要な社会基盤であり、住民への水の安定供給は重要な課題である。このような問題を解決する 1 つの方法としてポンプ運転支援システムの構築がある。支援システムの構築により送水ポンプの効率運転や水の安定供給が可能となる。本報告においては、多次元データの分類に効果的な技術として知られている自己組織化マップ(SOM)を用いて、水道局での数ヶ月間の日単位の配水量変動を平面上に可視化することにより配水量の変動パターン毎に分類可能であることを示し、さらに、作成した SOM に蓄えられた過去の配水量データの頻度分布情報から配水量変動の予測が行えることを示す。また、SOM で予測した配水量を用いて効率的な送水ポンプの運転をシミュレーションし、電気料金の軽減を図る。

Keyword : Waterworks, Self-Organizing Map(SOM), Prediction of Water Supply, Reduction of Pump Operation Expenses

1. はじめに

安全な飲み水を供給する上水道施設は、生活を支える重要な社会基盤である。日本の水道普及率は 96.4% に達し、全国どこでも蛇口の水をそのまま飲めるといふ、世界に誇る高いレベルでの安全性を実現してきた。しかし、一方で、化学物質などの新たな水質問題が発生するなど、水質問題が多様化・複雑化している。また、渇水や地震時に備えた施設水準の向上や老朽化施設の更新などの課題もあり、21 世紀の水道として、安全な水の安定的な

供給を基本としつつ、地域の実情に合ったより高い水準を目指す整備が進められている。

上下水道は本格的な維持管理の時代に入り、中小都市における整備や改築・更新が進むと、運転管理とともに、施設及び設備の保全管理も大きな課題となってくる。運転の自動化については導入が進められてきたが、保全管理については、現業職員の技能に依存しているのが実情である。また、地方の市町村においては職員の数も少なく、無人化や小人数管理へのニーズも強い。今後は、これら維持管理に対応した制御・計測技術も重要となってくる。

本論文では、自己組織化マップ(SOM) [1]による配水量予測を行う。その上でシミュレーションし、従来制御よりもさらに効率的でまた十分な予測精度が得られる制御を実現させる見通しを得たので報告する。第2章では従来の上水道設備が実際にどう行われているのか、また従来制御の問題点を述べる。第3章では実際の制御手法、また制御シミュレーションの実施手順などについて述べる。第4章では、実際に種々の配水量のシミュレーションおよび本制御手法の有効性の検討を行う[2][3][4]。

2. 上水道設備

2. 1 水源から家庭まで

ダム等から取り入れられた原水は水の製造工場である浄水場へ送られ、いろいろな設備や薬品で安全な飲み水に浄化される。浄化された水は浄水場から配水池へ送水されいったん蓄えられる。配水池中に網目のように張り巡らされている水道管を通り各家庭へ届けられる。

本研究では上水道設備の送配水系に限定し、浄水場から配水池へと送水するポンプの必要とする使用電力の軽減化を目的とする。

図1に送配水系での水の流れを示す。水は複数台の送水ポンプにより1日中送り続けられる。配水タンクの水位は地震や火事のような急な水の需要に対応できるように適当な水位に保たれている。

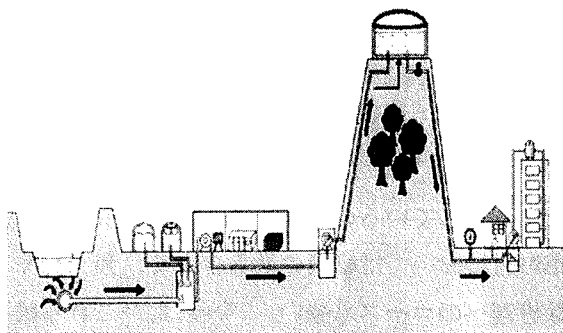


図1 上水道設備の一連の流れの例

2. 2 制御技術

上水道分野の制御は、機械単位の制御から、プロセス全体の制御、プラント全体の制御、さらにプラント間の協調や連携を図る広域運用へと広がっている。ここでは、その一例として、自己組織化マップ(SOM)による上水道での最適水運用支援の一手法について述べる。

上水道設備は、取水→浄水→送配水の各プロセスから成っている。この各プロセスにおいて水の安定供給と安全な水質の維持という観点から安全な管理、運営が要求される。また、ポンプの動力費などの運用コストをできる限り電気料金の安い夜間電力を使用し低減させることも重要である。

このような運用を実現するためには、取水池容量の大きさに制限がある場合を考えると自己組織化マップ(SOM)で得られた配水量予測値に基づいて配水池の容量を有効活用して、送水量変動を抑制し、運用コストを削減する最適計画が有効となる。この最適計画の策定は、広域にわたる規模の大きな問題になると演算時間が大きくなるという課題があったが、自己組織化マップ(SOM)という生物の脳の情報処理の仕方の模擬手法を適用することで、高速演算ができるようになる[5]。

3. 配水量の予測

3. 1 配水量データの収集

天候と季節では上水道設備の配水量予測にとって主要なファクターとなる。今回の場合は住宅地のデータを使用しているために生活パターンに大きく影響される。

本研究では奈良県桜井市水道局の上水道の配水量予測を行う。SOMに学習させるデータとして配水量の実測データ24時間分を1時間毎で入力した。予測するさいの学習用データとして1999年と2000

年, 2002年のそれぞれ7月から9月の実測データを用い, 学習用データも評価日を除き, 式(1)により正規化した.

$$X_{km} = \frac{X_k - X_l}{X_h - X_l} \quad (1)$$

ただし, X_{km} : 正規化値, X_k : 実測値, X_l : 全学習データの最低値, X_h : 全学習データの最高値とする. $K=1,2,\dots,N$ N は入力データ次元数を示す.

SOMを作成する際に, 様々な学習パラメータを指定する. この学習パラメータはSOMの特性に与える影響が大きいため, 取り扱う問題によって変更し, 学習の繰り返しによって最適なものを選ばなければならない. 本研究で指定した学習パラメータは, 経験的に学習率係数 $\alpha(t)$ の初期値 $\alpha(0): 0.02$, 近傍領域 $N_c(t)$ の初期値 $N_c(0): 5$, 学習回数10万回, マップサイズ: 30×20 を選択した [6].

3.2 配水量予測

あらかじめ配水量データから評価用データを除いてSOMを作成しておき, これに予測したい日時の評価用データの一部を入力することにより未入力部分が予測結果として得ることができる. 配水量パターンが予測できればポンプ運転経費の軽減が可能となる. 今回用いる評価用データは, 2002年8月19日から25日とした. 評価日は月曜日から日曜日の1週間分である.

予測の際は当日のデータの1時~6時までの前半部を入力し7時~24時までの後半部を予測している. また, 2回目の配水量ピークの予測制度を上げるために1時~17時までを入力しそれ以降18時~24時を予測した. 図2は本研究の予測方法のデータ入力を示している.

予測手法として, まず手法1は1日のうち1時間毎の配水量データのみを用いて予測を行う.

手法2は配水量のピークが図3に示すように天候と密接に関係があることから, 天候をカルマンフィルタ予測で用いられている天候係数として入力データに追加し, と天候係数を用いて予測した. 天候係数は晴を1.00, 曇を0.93, 雨を0.90とする.

手法3は手法1のデータの類似データを増やすために生活リズムの異なる平日(月~金)と休日(土日祝日)に分けてマップを作り予測する.

手法4は手法2の天候係数を晴1.00, 曇0.58, 雨0.40とし重みを増やして予測を行う.

いずれの手法も25次元の入力次元数である.

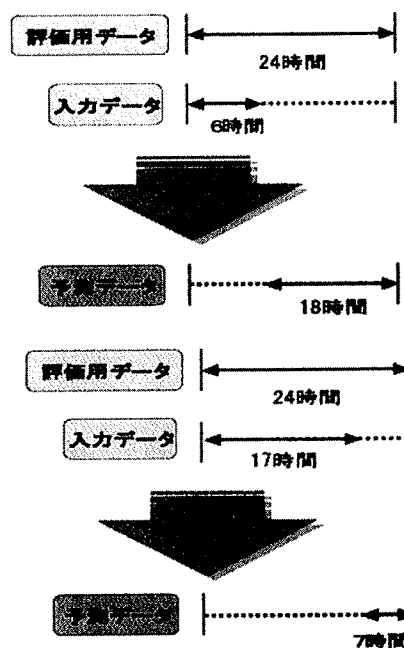


図2 入力方法

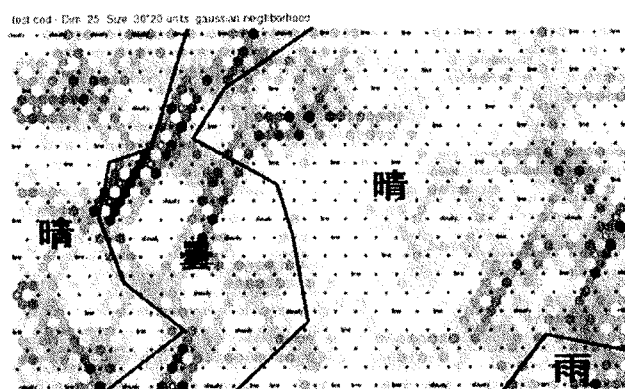


図3 SOMマップの一例

3. 3 電力量料金の軽減を考慮した配水タンク水位の制御

図4は配水タンクを表している。配水タンクは円筒形で底面積は 1200m^2 であり、底面積に水位を掛けると配水タンクの容量が算出できる。図4の ΔV は1時間の水の変動量を表し、 V_{t-1} は1時間前のタンク総水量を表している。それぞれを加え合わせることで現時刻での総水量がわかる。送水量を X_{in} 、配水量を X_{out} とし、これらを式で表すと下記のようになる。

$$X_{in} - X_{out} = \Delta V \quad (2)$$

$$\text{現時刻での総水量} : V_t = V_{t-1} + \Delta V \quad (3)$$

送水ポンプの能力は1台では $400[\text{m}^3/\text{h}]$ 送水でき、 $60[\text{kWh}]$ の電力を消費する。また、2台運転では $790[\text{m}^3/\text{h}]$ 送水でき、 $120[\text{kWh}]$ の電力を消費する。

これらの情報を用いて SOM により予測した配水量を式(2)に入力し、現時刻での総水量を最高容量の 9360m^3 から最低容量の 4800m^3 までの範囲で送水ポンプの台数を効率よく動かすことで電気料金の軽減が可能となる。また、取水→浄水→送水の工程を安全にかつ円滑に行うことが可能となる。

上水道設備の最適送水計画の満たす条件は以下に示す。

1. 浄水池から配水池への送水量はできるだけ一定とする。これは1日を通じてポンプ運転台数の変更回数を最小化する。
2. 各時刻でのポンプ消費電力量をできるだけ少なくする。これは1日を通じてポンプ運転台数を最小化する。但し、昼夜で重み付けを行う。
3. 指定した時刻に配水池の目標水位に近づける。但し、次のような制約を満足することを前提とする。

- a. 配水池水位の運用範囲を逸脱しない。
- b. 浄水需要に過不足なく浄水を供給する。
- c. 急激な送水量変更を避けるため、1度に変更できるポンプ台数は設定台数以下となる。

桜井市水道局で使われている送水ポンプはデマンド式であり、最低水位が保たれていれば必要な時だけ送水する。昼間の時間帯では電気料金がいため、送水量を減らし、かわりに電気料金が低い時間帯(夜)に送水量を増やす [7] [8][9]。

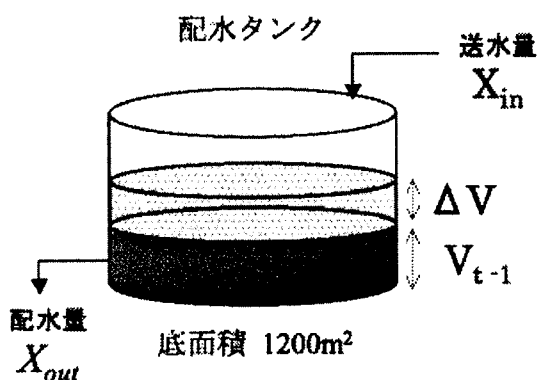


図4 配水タンクの水位変動

4. シミュレーション結果と結果

4. 1 配水量予測

図5に8月19日の予測結果を示す。手法1は配水量のみ、手法2は天候係数を含めた結果、手法3は更に平日(月～金)と休日(土日祝日)を分けて SOM を作成した結果、手法4は天候係数に重みを付けた結果である。また、表1に8月19日から25日までの予測値と実測値との平均誤差を示す。それぞれの手法の予測精度の目安として式(4)を用いて平均配水量誤差 E を算出した。

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|W_{im} - W_{ip}|}{W_{im}} \cdot 100 \right) (\%) \quad (4)$$

ただし、 N : データ数, W_{im} : 実測配水量,
 W_{ip} : 予測配水量とする.

シミュレーション結果により、配水量データのみ
 で考えるよりも、天候係数や平日と休日を分ける手

法の方が有効であることがわかる。天候係数につい
 てはさらに、係数の値の検討が必要である。

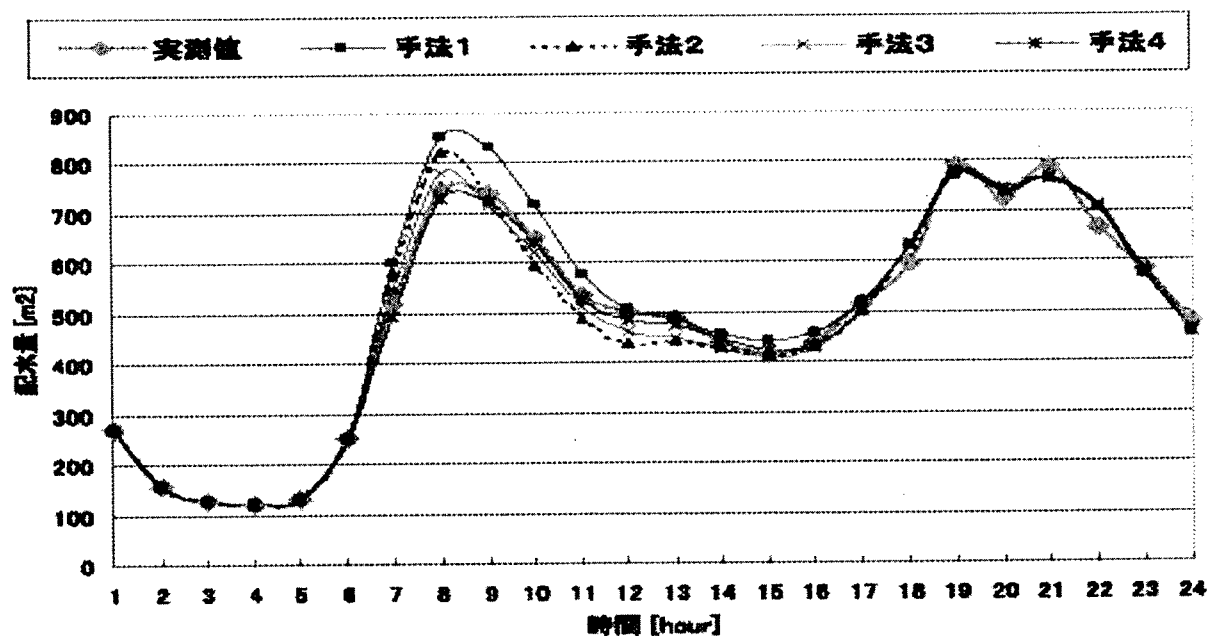


図4 8月19日の予測結果の例

表1 予測結果

評価日	天候	誤差 (%)			
		手法1	手法2	手法3	手法4
8/19(月)	雨/曇	5.74	5.25	3.93	3.00
8/20(火)	曇	7.00	6.17	5.46	6.17
8/21(水)	晴	4.98	3.29	2.82	3.28
8/22(木)	晴/曇	4.92	6.55	6.88	4.24
8/23(金)	曇	6.57	7.09	3.80	7.09
8/24(土)	曇	6.76	5.22	1.61	4.61
8/25(日)	晴	3.90	3.47	3.15	3.67
平均	—	5.74	5.29	3.95	4.58

4. 2 配水タンク水位

今回配水量予測データを用いてポンプ運転経費の軽減を行うのは桜井市水道局である。式(2)と(3)より送水ポンプを効率よく運転し現在のタンクの水量をシミュレーションにより制御してみた。1時間毎のタンク総水量の変化を図5に示す。1時から8時及び22時から24時の夜間料金で配水タンクの総水量を上げている。また、8時から22時の間の電気料金が高い時間帯では配水タンクの総水量を下げている。この方法より実際運転しているよりも効率よく制御できていることがわかる。次に、この結果を用いて送水ポンプの電気料金の軽減を行った。

1日の電力料金の算出は表2の季節別時間帯電力Aを参考にし、1時間毎の電気料金を算出しその総和としている。以上より8月19日の実際に運転して

いる電気料金を算出したところ28,800円となった。また、配水量予測での電気料金を算出したところ18,500円となった。配水量を予測し効率の良いポンプ運転をしたほうが10,000円の電気代の軽減ができた。

表2 季節別時間帯電力A

		単位	料金単価
基本料金		1kW	1,260円00銭
電力料金	重負荷時間 10～17時	1kWh	17円56銭
	昼間時間 8～10,17～22時	1kWh	12円11銭
	夜間時間 0～8,22～24時	1kWh	6円29銭

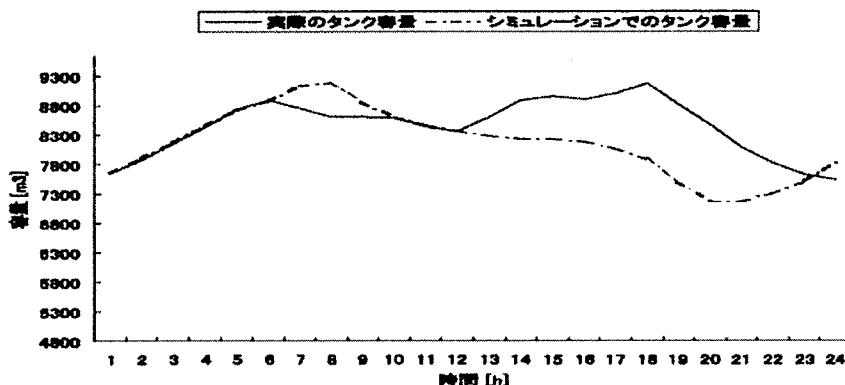


図5 1時間毎のタンク総水量の変化の例

5. おわりに

本論文では、多次元データの分類に効果的な技術として知られているSOMを用いて上水道設備の配水量の予測を行った。また、配水量予測値を用いて送水ポンプの使用電力の軽減を行う方法を提案しシミュレーションを行った。

その結果、送水ポンプの使用電力が軽減でき配水量予測値を用いて効率的な運転計画の立案が可

能であることが確かめられた。

予測の際、精度の向上を図るため、午前午後の2度のピークに分けて予測をし、入力データに配水量のほかに天候係数を付加したり、平日・休日のような類似性の高いデータのみを集めてSOMを作成した。結果として、精度の向上を図れた。また、天候係数の重みによって精度が大きく変わることから、最適な値を検討する必要がある。

今後、現在使用されている予測手法の一つであ

るカルマンフィルタを用いた予測法と比較し、両方の特徴について検討を行う予定である。

参考文献

- [1] T. Kohonen : 「Self-Organizing Maps」 (2nd ed) Springer-Verlag, (1997).
- [2] 小林 琢磨, 乾 正博, R. B. Ismail, 中森 弘晃, 大木 誠, 大北 正昭 “自己組織化マップ (SOM)による上水道の配水量予測” 19th Fuzzy System Symposium, 堺,大阪府立大学, Sept. 8-19 (2003-08)
- [3] 峯村 賢太, 小林 琢磨, 乾 正博, 中森 弘晃, 大木 誠, 大北 正昭 “自己組織化マップ (SOM)を用いた水道局の配水運転計画への精度向上” 第5回自己組織化マップ (SOM)研究会 (2004)
- [4] 松浦 弥三郎, 小林 琢磨, 乾 正博, 中森 弘晃, 大木 誠, 大北 正昭 “自己組織化マップ (SOM)を用いた上水道設備の配水量予測によるポンプ運転経費の軽減”, 信学技報 Vol.104 No.139 NC2004-26, 沖縄,琉球大学 (2004-06)
- [5] 金子 政雄, 居安 巨太郎, 加藤 孝夫: 「上下水道分野における制御・計測技術: Control and Measurement Technologies for Water Supply and Sewage Treatment」 東芝レビュー Vol.56 No.10 pp.18-22 (2001)
- [6] 乾 正博, 杜 紅, 矢田貝 明弘, 卜部 多加志, 大木 誠, 大北 正昭, “自己組織化マップ (SOM)を用いた配電用変電所の電力需要予測”, 電気・情報関連学会中国支部連合大会, pp.376~377 (2001)
- [7] 坂本 義行(東芝), 黒川 太(東芝), 佐野 方俊(東芝), 山田 毅(東芝), 山崎 謙一(東芝), 芦木 達雄(東芝) : 「遺伝的アルゴリズムによる運用コスト低減を考慮した送水計画システ

ム」 第52回全国水道研究発表会 平成 13.5

- [8] 岡澤 和好 : 「21世紀に向けての制度的な取り組み」 第5回水道技術国際シンポジウム, p.1-8 (2000-11)
- [9] 坂本 義行, 他 : 「遺伝的アルゴリズムによる最適水運用支援」 第5回水道技術国際シンポジウム, p.215-223 31 (2000)

連絡先

〒680 - 8552 鳥取市湖山町南 4 - 101

鳥取大学 工学部 電気電子工学科 大北正昭

電話 : 0857-31-5699, FAX : 0857-31-0880

e-mail : mohkita@ele.tottori-u.ac.jp

(受理 平成 16年 9月 30日)

