

## 監視制御システム更新による配水運用の効率化

佐々照洲\*、益子利久雄\*、内山吉治\*  
山崎謙一\*\*、川崎昌好\*\*、来女木健一\*\*\*

\* 川崎市水道局 給水部配水調整課

川崎市宮前区土橋3-1-2

\*\* (株)東芝 応用システム部

東京都府中市片町3-2-2

\*\*\* (株)東芝 公共システム技術第一部

東京都港区芝浦1-1-1

### 概要

上水道分野では、個々の浄水場もしくは配水場の監視制御形態から水資源の有効活用、施設の効率的運用、運転管理の省力化を目的とした広域監視制御を指向した形態に変化している。

本稿では、2大配水拠点の一つである配水所を無人化し、有人配水拠点による一元管理により効率的な配水運用を実現した。配水運用で中核となるのは配水量予測の予測精度向上である。従来用いられていた配水量予測手法(GMDH)の問題点を分析した結果、改善の余地があり、同一手法により予測精度向上を図ることができたのでその内容と実施事例について報告する。

### キーワード

運用計画、監視制御、計算機システム

## 1 はじめに

川崎市の水道は、平成10年現在、給水人口1,231千人(平均日配水量50万 $m^3$ )である。水道施設として3つの浄水場と6つの配水池および7箇所に配水塔を有している。その内、鷺沼配水所と末吉配水所における配水池では全給水量の約65%を分担し、運用している。

これらの施設を効率的に運用するために監視制御システムとしての電算機システムを昭和59年度に導入してきたが、この度、鷺沼配水所の電算機システムを更新し、平成10年4月に運用開始した。この電算機システムでは、既設システムの持つ様々な問題点の改善を含めた機能強化により配水拠点の一つである末吉配水所の無人化を可能にし、鷺沼配水所による一元管理により効率的な配水運用を実現した。ここでは、監視制御を主体にした電算機システムの中核をなす配水池運用計画における配水量予測手法に改良を加えた実施事例と運用状況の評価および課題について報告する。

## 2 監視制御システムと配水池運用計画

既設システムでは、2台の監視制御装置で監視制御、運用計画および帳票作成を行なっていたが、更新後のシステムではクライアント/サーバシステムで機能分散を図り、取水から配水に至るプロセスの監視と末吉配水所並びに2箇所の施設(制御弁室)の操作・監視と配水池運用計画を行なっている。システム構成を

図1に示す。

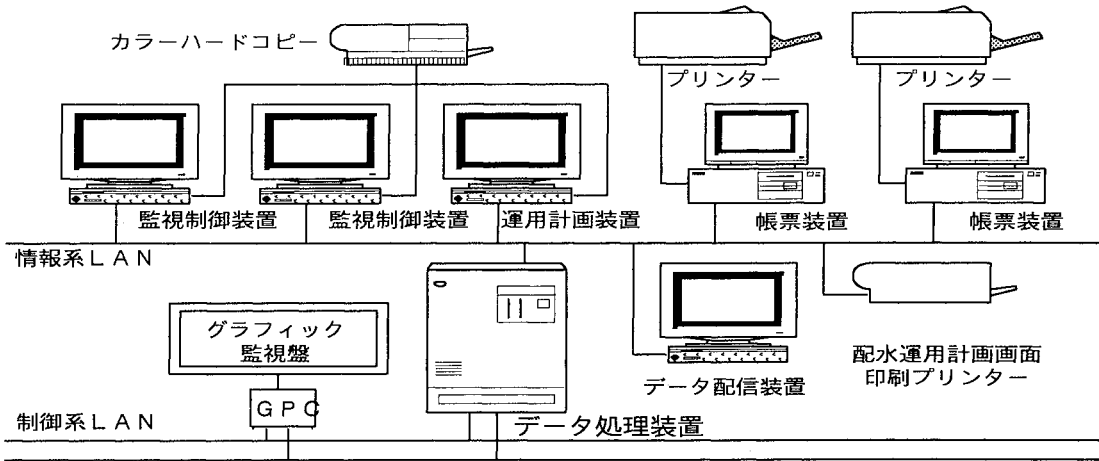


図1 システム構成

運用計画装置の配水池運用計画機能は以下の通りである。図2にプロセスフローと図3に機能ブロックを示す。

2.1 当日配水量予測機能

鷺沼配水所、末吉配水所の当日の日単位と時間単位の配水量予測計算を行う機能である。本機能は、図1のデータ処理装置から前日の天候、気温、実績配水量のデータを取得して当日の配水量予測を行う。

2.2 当日配水池運用計算機能

計画着水量（企業団受水量と浄水場送水量）と予測配水量をもとに、配水池水位の予測、着水量の修正計算を行う機能である。

2.3 当日実績・予測比較機能

配水池水位、着水量、配水量の当日の予測値と実績値を画面に表示する機能である。

2.4 実績配水量表示機能

過去の実績配水量履歴を表示する機能である。

2.5 指定日配水池水位予測機能

計画着水量と配水量予測値により、配水池水位の変動が許容値に収まっているか否かをシミュレーションする機能である。

2.6 指定日配水ブロック配水量予測機能

各配水ブロックの指定日の日単位と時間単位の配水量を予測する機能である。

2.7 類似日検索機能

曜日別などの日種や天候、気温などのデータをもとに過去の実績データを検索する機能である。検索には、過去の実績データの日付と検索対象範囲を指定し、その範囲内において検索する。

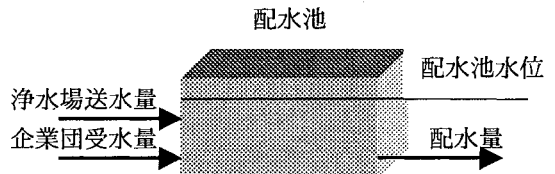


図2 プロセスフロー

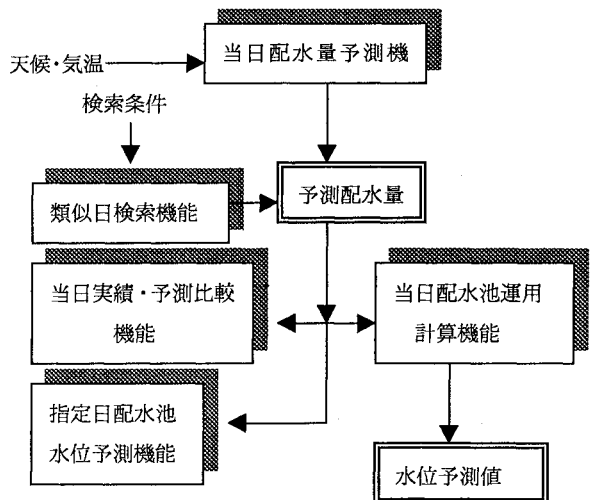


図3 機能ブロック

### 3 運用計画の問題点

#### 3.1 配水量予測精度の低下

生活形態の変化により既設システムの予測モデルでは予測配水量が逸脱してきたため、配水量の実績値とオペレータの経験をもとに人間系で配水量予測していた。

#### 3.2 類似日の実績配水量データの入力

過去の実績配水量を当日の予測配水量として利用する場合、現状ではオペレータが過去の帳票を見て24時間の時間配水量を手入力しており煩雑である。

### 4 配水量予測の検討

一般に水需要の変動は、水の利用者である人間の社会経済活動や日常の生活リズムなどの活発度に応じて発生すると考えられる。このことから、人間の諸活動と相関が高い季節、曜日、天候、気温などを要因とした統計的手法による予測手法が数多く提案されている<sup>1)</sup>。

配水量予測手法として、非線形で多変数の複雑な系のモデリングに有効なGMDH (Group Method of Data Handling)<sup>1)</sup>、カルマンフィルタを用いた予測手法<sup>2)</sup>、多元ARIMAモデルによる手法<sup>3)</sup> およびニューラルネットワーク技術による手法などがあり、概ね3%前後の予測精度である。ニューラルネットワークによる手法<sup>4)</sup> で予測精度2.5%前後の精度が期待できたが、現段階ではまだ一長一短がある。

そこで、実プラントへの適用実績が多く、既設システムと同じ手法であるGMDHで予測精度向上が可能か、改善の余地がないかを検討するため配水分析を行った。

#### 4.1 配水分析

平成9年度の配水量データにより日配水量と時間配水パターンについて分析した。

##### 1) 曜日別日配水量

図4に示すように配水量の変動は曜日別に顕著な相違が表われている。縦軸の係数は次式より求める。但し、祝祭日の配水量は含まれていない。

$$\text{曜日系数} = \frac{\text{曜日別平均配水量}}{\text{月平均日配水量}}$$

日曜日：月平均以上の水需要がある。1週間のうち最大需要である。

月曜日：季節別にばらつきが激しいが、傾向として日曜日について水需要が多い。

火曜日：火曜日から木曜日までは大きな変動がない。

金曜日：週単位では、水需要が一番少ない。

土曜日：金曜日に比べて水需要が多くなる。

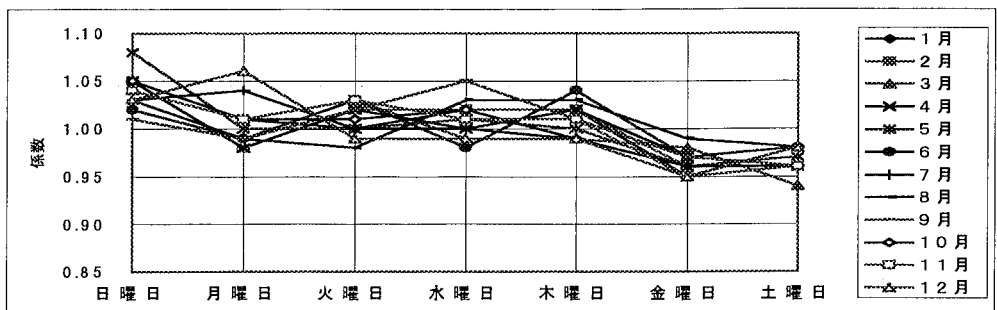


図4 曜日別日配水量の傾向

## 2) 曜日別時間別配水パターンの傾向

時間配水量と日配水量の比率による24時間の配水パターンには次の傾向がある。

- ・月曜日～金曜日：午前の需要のピークは8時である。全体に天候による影響は見られない
- ・土曜日、日曜日：午前の需要のピークは10時である。ピークの配水量は天候による影響がでる。
- ・振替休日、祝日：午前の需要のピークは10時から11時である。
- ・年末：午前の需要のピークは9時(25日から27日)と11時(28日以後)に2極化している。

## 4. 2 配水量予測手法

GMDHは、発見的自己組織化の原則に基づく手法である。この手法は、多くの入力変数の組み合わせからなる中間変数がある規則に従って生成演算する手順の群を一つの層として、これを繰返すことにより非線形の完全表現を得る手法である。また、不必要な高次化や同定モデルのオーバーフィッティング現象を解決するために、部分表現式となる高次多項式を(1)式に示すような2次多項式に限定し、その選択基準に情報量規準AIC(Akaike's Information Criterion、赤池の情報量規準)を導入している。

$$Y_k = a_0 + a_1x_i + a_2x_j + a_3x_i^2 + a_4x_j^2 + a_5x_ix_j \quad \dots (1)$$

日配水量予測は、短期的な需要変動の要因である気象情報を基に、前日との日配水量差を求めるモデルをGMDHにより作成し、この出力を前日の日配水量に加算して当日の日配水量を決定している。この考え方を図5に示す。

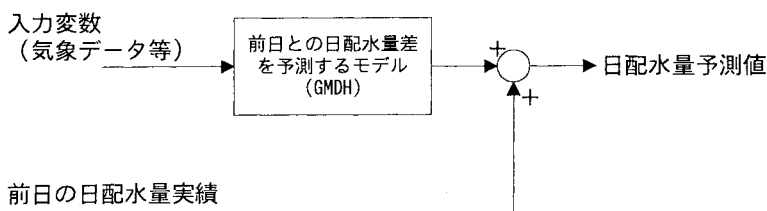


図5 GMDHによる日配水量予測モデル

このようにGMDHでは、水需要に関連があると思われる入力変数の中から有用な変数を自ら取捨選択し、最良の入力変数の組み合わせによる予測モデルを構築する。

### 1) 入力変数

既設システムでは、表1に示すX1からX6の入力変数を使用していた。

今回のシステムでは、この入力変数について検討を行った結果、「予測翌日午前の天候」が水需要に大きく関連していると推測した。これは、鷺沼配水所の配水池運用計画によるもので午前8時から翌日の午前8時までの24時間を1日として運用している。ここで大きな問題となるのが、翌日8時の水需要である。平日の場合、午前8時が需要のピークとなるが、天候に大きく左右されている。既設システムでは、翌日午前の天候が加味されていないために予測精度が向上しないと考察した。

表1 入力変数

X1	: 予測当日午前の天候 (晴、曇、雨、雪)
X2	: 予測当日午後の天候 (晴、曇、雨、雪)
X3	: 予測前日午前の天候 (晴、曇、雨、雪)
X4	: 予測当日の最高気温 °C
X5	: 予測当日の最低気温 °C
X6	: 予測前日午前10時の気温 °C

2) 配水量予測モデルの日種

配水分析の結果、需要変動は曜日別に相違があった。既設システムでは、「平日、土曜、祝祭日および年末・年始」の4モードに日種を分類して日種別に数式モデルを構築している。配水分析により得られた結果から、次の日種を新たに追加すると予測精度の向上が期待できる。

- ・月曜日モードを追加
- ・金曜日モードを追加

5 配水量予測の予測精度

川崎市では、毎朝8時と17時に当日の配水量予測を行ない、基幹浄水場に当日必要とする配水量を連絡している。また、翌日8時の配水池水位を高水位に維持できるよう目標水位を設定して配水の運用・管理をしている。

システム更新にあたり、運用計画の問題点で述べた「配水量予測精度の向上」が必須の課題であった。そのため、過去1年間の実績データにより配水分析し、以下の対策を日配水量予測手法の一つであるGMDHに反映することにより日配水量予測の精度(目標値:2%)向上を図った。

5.1 予測精度の向上対策

1) 日種による日配水量モデルを5種類に分類

分類:日曜・祝祭日、月曜、火曜~木曜、金曜、土曜

2) 特異日の日配水量モデルを3種類に分類

・特異日1:正月(三が日) ・特異日2:5月5連休 ・特異日3:旧盆

3) 異常時の配水量データの除外

GMDHによる日配水量予測では、過去1年間の配水データにより構築した予測モデルを同定(雑音で乱された観測データからシステムの数式モデルを決定)する必要がある。配水量予測は過去の配水データを統計処理した結果を利用するものであり、実績配水量に大きく左右される。このため、実績配水量に工事日などのデータが含まれていれば、当然、正しい予測モデルが構築されず、結果として予測精度が向上しない。従って、工事日などの配水量データは、モデル構築データから除外する。

4) その特異日を含む特殊日の対策

類似日検索機能によって過去4年の実績データから検索し、当日の日配水量として使用する。

5.2 日配水量の予測誤差の結果

平成11年10月から平成12年3月までのデータによる予測結果を表1に示す。尚、特異日については類似日検索により予測している。

1) 平均相対誤差

祝祭日を含めた曜日別の平均相対誤差は、目標とした2%以内である。

- ・月曜日の予測が季節的な配水量のばらつきに見られるように予測誤差が平均値より高い。
- ・日曜日のモードには祝祭日を含めている影響で予測誤差が月曜日に次いで大きい。

表1 予測誤差一覧表

	日 曜	月 曜	火~木曜	金 曜	土 曜	全 体
予測 平均相対誤差 (%)	1.83	1.94	1.22	1.32	1.34	1.48

2) 相対誤差の推移

平成11年10月から半年間の予測誤差の推移を図4に示す。祝祭日および祝祭日前日の予測誤差が大き

く、以下の傾向が見られる。

- ・ 祝祭日の前日が平日の場合：その週の最小配水量になる場合が多く、金曜日モードに相当する。
- ・ 祝祭日の前日が休日の場合：その週の土曜日に次いで配水量が少ないか、最小配水量である。土曜日モードに分類できる。
- ・ 祝祭日の翌日が平日の場合：祝祭日の前日（金曜、土曜日モード）の配水量より多く、曜日別の分類では月曜日モードに類似している。

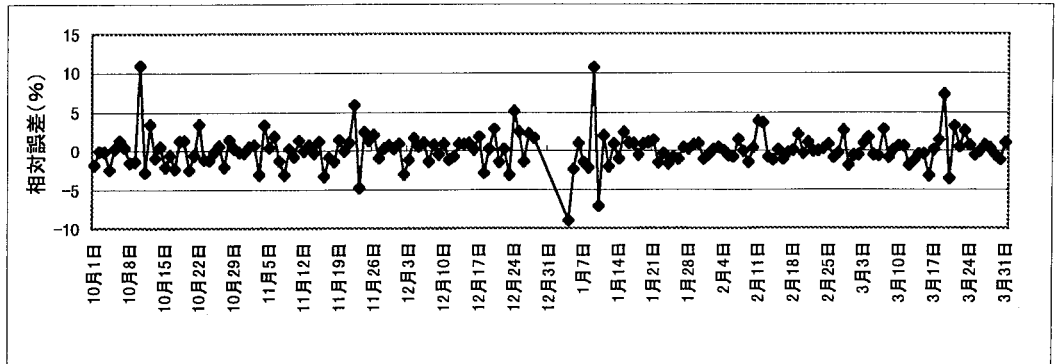


図4 日配水量予測誤差

## 6 おわりに

電算機システムの更新後2年を経過し、既存の配水量予測手法をベースに配水量予測精度の向上対策結果の検証を行い、目標とした成果（平均予測誤差2%以内）を達成することができた。但し、祝祭日当日および前日の予測誤差が5%前後になる場合もあり、課題が残されていた。課題については今後、過去数年のデータによる配水分析を行い、配水量予測精度の向上を実現したいと考えている。

また、電算機システムとして機能強化を図り配水管理の一元化による配水施設の効率的運用を実現できたが、維持管理、配水運用などにより、水資源の有効活用と配水施設の効率的運用を目指したい。

## 参考文献

- 1) 斎藤、小林：「需要予測と水量配分計画」、電気学会雑誌、101巻3号（1981）
- 2) 鈴木：「動的計画法を用いた全市水運用の自動化」、第43回全国水道研究発表会（1992）
- 3) 新垣、山田：「沖縄県における多元ARIMAモデルを用いた短期的水需要予測、第44回全国水道研究発表会（1993）
- 4) 黒川、小林：「ニューラルネット応用需要予測」、平成4年電気学会全国大会