

<研究発表>

上水道最適化シミュレータによる取水・送水工程の最適化検討

An examination of the optimization of the water intake and transmission process
using the waterworks optimization simulator

○鮫島 正一、島崎 弘志、今井 久美子、横井 学

株式会社 明電舎

Shoichi Sameshima, Hiroshi Shimazaki, Kumiko Imai, Manabu Yokoi

Meidensha Corporation

Key Words : Waterworks, Pump operation scheduling, Water supply control, Optimization

1. はじめに

水道ビジョン¹⁾では単位水量当たり電力使用量を10%削減する施策目標を掲げており、大量の更新時期を迎えた既存設備の省エネルギー化、これに伴う水運用システム全体の運用方法の見直しが必要になる。また、水需要の伸びみや更新費用の増大により、経営的にもコストの低減化がより一層求められる。更に、外部委託化の進行やベテラン操作員の斉退職により、水運用のノウハウ継承が難しくなり、水運用システム自体の自動化も求められる。これらの課題を解決するために、我々は複雑な水運用システムを容易にモデル化し、エネルギーやコスト最小化を検討できるシステムを製作した。最適化手法には数学的に最適値が保証できる数値計画法を採用し、モデルケースにより本手法の有効性を示す。

2. シミュレータの構成

水運用システムのコストやエネルギーを最適化（最小化）するには、設備全体のモデル化が必要である。最適化アルゴリズムに混合整数計画法を用いる場合、インバータポンプでは、流量と消費電力の関係を区分線形近似することや、並列ポンプの運転状態を同じにする制約が発生する。また、配水池の運用範囲がLWL以上HWL以下になる制約条件や、取水量の制約条件、契約電力による最大電力購入量の制約条件など、考えられる条件や、対象となる設備である池やポンプの数も非常に多数になりうる。そのため、水運用システム全体を容易にモデル化して最適化計算を行うことができるシステムを開発した。配水池やポンプ、電力購入などをオブジェクトとして定義している。Drag & Dropにより画面上に必要なオブジェクトを配列し、管路や仮想的な電線をリンクとしてオブジェクトとして接続するだけで、各オブジェクトの接続関係を定義することができる。オブジェクトのクリックにより必要な条件を設定すれば、そのまま最適化計算が実行でき、運用方法となるポンプの運転・停止や配水池の水位などが出力される。

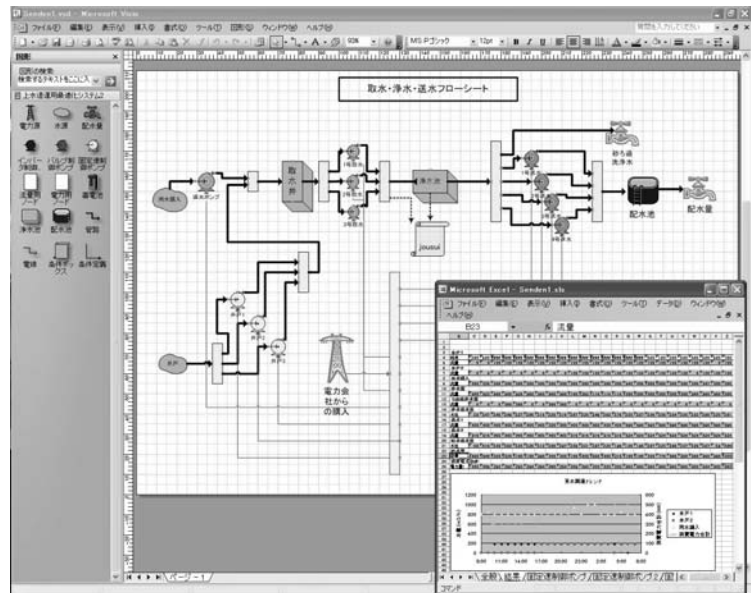


図1 上水道最適化シミュレータの画面例

図1は、上水道最適化シミュレータの画面例を示している。画面には、取水・浄水・送水フローシートというタイトルのフローチャートが表示されている。このフローチャートは、ポンプ、配水池、管路などの設備をオブジェクトとして定義し、それらを接続してシステム全体をモデル化したものである。また、右下には、最適化計算の結果を示すデータテーブルとグラフが表示されている。このデータは、時間経過に伴ってポンプの運転状態や配水池の水位などが出力されることを示している。

3. 解析方法と結果

3.1 取水工程

固定速ポンプ n 台で井戸から取水し池に導水する工程を想定し、1時間刻みで0~24時の1日分の取水計画を立てるとした。最適化する変数はそれぞれのポンプの運転/停止を示す整数変数 $d(t, i)$ (i : 各ポンプのナンバリングで1~ n の整数、 t : 計画範囲1時間周期で0~24の整数) である。目的関数 C は、消費電力に起因するコスト(電力従量分)に加え、ポンプが頻繁に起動/停止することを避けるため、ポンプの状態が起動→停止または停止→起動するとペナルティとなるコストを発生させ(15円/回、状態の変化あり $u(t, i)=1$ 、なし0)、より平滑な運転となるようにしている。つまり、目的関数 C は以下の式となり、混合整数計画法による C の最小化をすることになる。

$$C = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^n (d(t, i)P(i)rC(t, i) + 15u(t, i)) \quad P(i) : \text{各ポンプの消費電力、} rC(t, i) : \text{各ポンプの電力従量}$$

制約条件がないと単位流量当りの消費電力が小さいポンプから順に選択されるが、最低取水量の制約や池の有効容量との兼ね合いにより効率の悪いポンプも選択される。また、ポンプのメンテナンス時を想定した場合、 $d(t, i)=0$ 、 $t=0\sim 8$ 、 $i=1$ など制約条件を設定することで、非常時に対応した運用の最適化が可能である。

3.2 送水工程

可変速ポンプ2台で1箇所の配水池に送水する系を想定し、1時間刻みで0~24時の1日分の送水計画を立てるとした。ポンプは図2のような折れ線の特徴を持ち、購入電力とNaS電池から電気が供給される。NaS電池には任意の時刻に購入した電力を蓄電(容量300kW)または放電する機能がある。蓄電量は0~6時まで50kWhずつ購入するが、蓄電池には想定したインバータの効率分(75%)だけが蓄電されるとした。放電量は最大出力100kW以下の値で最適化計算により任意に決定される。配水池容量を(1)8.6h分(底面積600 m^2)と(2)14.3h分(1,000 m^2)に設定し、契約料金を10kW刻みで最も安価に送水できる方法を検討した。電力従量は均一が10.47円/kWh、時間帯別が6.05円/kWh(22~8時)、14.6円/kWh(13~16時)、13.5円/kWh(それ以外)とし、基本料金は、 $1,175 \times \text{契約電力} \times (185 - \text{力率} 90) / 100$ とした。NaS電池利用(時間帯別)と、NaS電池なしで均一料金の場合、時間帯別料金の場合とで1ヶ月のコスト(基本料金+30日分の電力量料金)比較した。

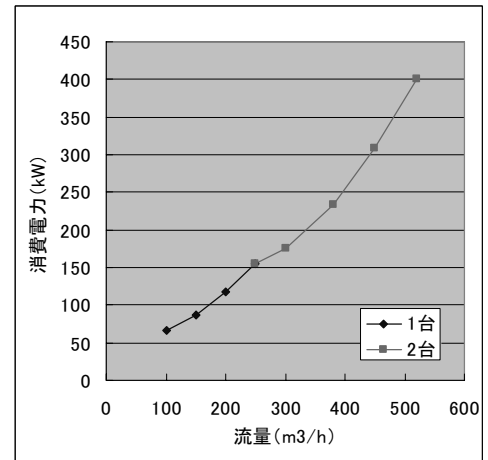


図2 ポンプ特性

(1)の場合、月ごとで最も安価なのはNaS電池利用の場合であった。一般的にNaS電池導入ではピークカットし契約電力を下げることを目的とするが、今回の結果では、基本料金は高くなっても蓄電機能を付加することにより、より多くの流量を流すことができるようになるため、高価な時間帯に電力を購入する必要がなくなり、コスト低減になる運用が可能になった。一方、(2)の場合、配水池容量が大きいので、安価な時間帯に送水すれば、NaS電池を利用しなくても安価になった。

表1 各種運用方法でのコスト比較

	(1) 配水池容量 8.6h 分			(2) 配水池容量 14.3h 分		
	NaS 電池	均一	時間帯別	NaS 電池	均一	時間帯別
契約 (kW)	250	180	200	270	180	220
基本料金 (万円/月)	27.9	20.1	22.3	30.1	20.1	24.6
電力量料金 (万円/日)	3.6	4.1	3.9	3.5	4.0	3.7
コスト (万円/月)	137.1	142.3	138.1	136.9	141.6	136.6

[参考文献] 1) 厚生労働省健康局、『水道ビジョン』、2004年6月 2) 鮫島正一ら、『数理計画法を利用した取水・送水ポンプの最適運転方法の検討』、第55回全国水道研究発表会講演要旨集(2004年)