

## 〈研究発表〉

### 浄水場における節電要請にむけたピークシフト送水計画

竹田将一<sup>1)</sup>, 平林和也<sup>2)</sup>, 佐藤明雄<sup>3)</sup>

- <sup>1)</sup> 株式会社安川電機システムエンジニアリング事業部システム工場第2技術部 (〒824-8511 福岡県行橋市西宮市二丁目13番1号, E-mail: [takeda-s@yaskawa.co.jp](mailto:takeda-s@yaskawa.co.jp))
- <sup>2)</sup> 株式会社安川電機システムエンジニアリング事業部システム工場第2技術部 (〒824-8511 福岡県行橋市西宮市二丁目13番1号, E-mail: [kazuva@yaskawa.co.jp](mailto:kazuva@yaskawa.co.jp))
- <sup>3)</sup> 株式会社安川電機システムエンジニアリング事業部システム工場第2技術部 (〒824-8511 福岡県行橋市西宮市二丁目13番1号, E-mail: [satoakio@yaskawa.co.jp](mailto:satoakio@yaskawa.co.jp))

#### 概要

Water suppliers consume electricity for 0.9% of one in Japan.

Pumps consume 90% as much as the electricity and saving the energy signifies.

So, after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake nuclear plants in Japan have difficulties running, that the mark of saving energy and power is higher.

This paper focuses conveying pump, to discuss about how to run the pump to adapt request saving power while electricity in the community is tighter by shifting peak of electricity.

The effect is account by electricity expense and made sure by a water purifying plant's data.

キーワード: Peak-shift, Water purifying plant, Distributing reservoir, Conveying plan

## 1. はじめに

### 1.1 背景

水道事業は国内の電力消費量の 0.9% を占めている [1]。Fig. 1 に水道事業における使用電力の割合を示す。

Fig.1 を見ると、約 9 割がポンプで使用されており、省エネ効果が大きい [2]。さらに東日本大震災を契機に一変した国内の電力事情により、省エネ・節電への社会的要請が強くなっている [3]。その中で、電力の最適化を目指しダイナミックプライシングやデマンドレスポンス [4] といった電力の逼迫の程度を電力料金に換算する制度があり、省エネ・節電がますます重要になってくる。

本講では浄水場で使用電力の割合が高いポンプの

中でも特に電力消費が多い送水ポンプに着目し、ピーク時の電力をシフトさせることで電力が逼迫する時間帯の消費を抑えて節電要請に対応するポンプの運転方法を検討した。配水池の水位条件を満たしつつ、ピークシフトが可能か検討し、実浄水場のデータを下に節電要請への効果度を論じる。

従来の送水計画は、切替台数や消費電力に着目してポンプの運転計画を立案していた。その手法については遺伝的アルゴリズム [5] や多目的計画法 [6] を用いて計画を立案する方法がある。またファジィ制御を用いた送水計画 [7] でもピークカット時刻を設定し、送水制御を行う手法もある。本稿では電力ピークとなる時刻をシフトさせることを目的とし、電力料金テーブルをベースに料金が最小となる送水計画を立案する。

### 1.2 目的

送水ポンプに着目したピークシフトによる節電を目的とし、つまり節電要請となる電力が逼迫する 13 時から 16 時のピーク時間に極力電力を消費しない運転を目指す。電力の逼迫具合が電力料金に比例するとし、電力料金を基に解析を行う。

## 2. 電力料金について

### 2.1 電力料金について

電力料金については、北海道電力を除いた電力会社においても季別時間別料金を設けている。配水池がある浄水場では季別時間別料金を採用していると

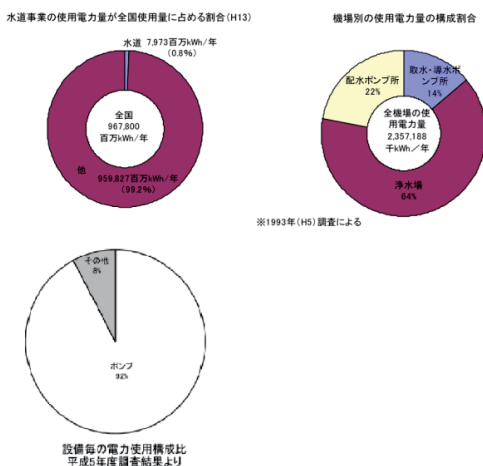


Fig.1: The electricity fraction of water purifying plant [2]

ころが多い。時間帯別の料金の変化を Fig.2 に示す。全電力会社の時間帯別料金は大きく 3 つの価格帯に分かれており、最大と最小の差は平均して 5~6[円/kWh] となっている。

2.2 電力料金の分析

前節に示した時間別料金体系のとき、どのように運用すれば基本料金と電力料金が安くなるか解析する。年間最大日使用電力量の日にデマンドが決定されるため、年間最大日使用電力量の日について解析する。

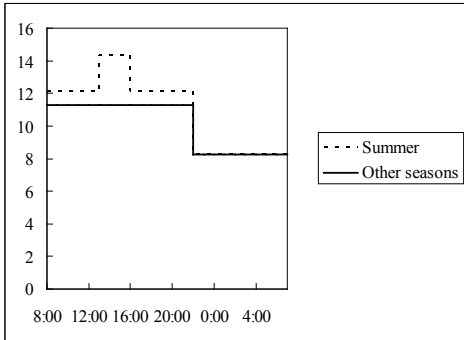


Fig.2: The electrical power charge of the summer and the other seasons

1 日の消費電力量が同じの場合、デマンドを低くするためには電力の波形が平坦にするようにピークカットをする必要がある。また、電力料金が低い時間帯に電力を使用することは電力逼迫時に使用することとなり、節電要請と相反する。以上の 2 点を踏まえると、電力料金単価が安いときに平均的に電力を使用すれば最も安価に電力を使用できる。

そこで以下の仮定で年間最大日使用電力量の日電気代が最安になる条件を算出した。1 日の使用電力量は一定で、電力料金単価が等しい時間帯では電力は一定とすることでピークカットを行う。また、基本料金を 1 日当たりに換算し、評価する。

1 ヶ月あたりの基本料金単価を  $\alpha$ 、電力料金単価を  $\beta_i$ 、料金単価  $\beta_i$  である時間を  $h_i$ 、消費電力を  $p_i$  とする。基本料金を電力料金単価へ変化し直すことで、二つの料金体系を評価する。基本料金を返還したものは

$$\frac{\alpha}{30h_i} + \beta_i \dots (1)$$

となる。 $\beta_i$  が最小である  $i$  料金帯とある任意の料金帯  $j$  を比較した際、

$$\frac{\alpha}{30h_i} + \beta_i > \beta_j \dots (2)$$

となる 2 つの時間帯のみで考える。仮に不等号が逆の場合は、電力料金が最小の時間帯ですべての電力を消費すればよいとなる。電気代を考えると

$$\begin{cases} C' = \left( \frac{\alpha}{30h_i} + \beta_i \right) h_i p'_i + \beta_j h_j p'_j \text{ (when } p'_i > p'_j \text{)} \dots (3) \\ C'' = \beta_i h_i p''_i + \left( \frac{\alpha}{30h_j} + \beta_j \right) h_j p''_j \text{ (when } p''_j > p''_i \text{)} \\ C''' = \frac{\alpha}{30} p + (\beta_i h_i + \beta_j h_j) p \text{ (when } p_i = p_j = p \text{)} \end{cases}$$

の 3 通りが考えられる。 $\sum p_i h_i$  が一定とする。

よって、 $C'-C'''$  を計算すると

$$\begin{aligned} C'-C''' &= \frac{\alpha}{30} (p'_i - p) + \beta_i h_i (p'_i - p) + \beta_j h_j (p'_j - p) \dots (4) \\ &= \frac{\alpha}{30} (p'_i - p) + \beta_i h_i (p'_i - p) + \beta_j h_j (p - p'_i) \\ &= \frac{\alpha}{30} (p'_i - p) + h_i (\beta_i - \beta_j) (p'_i - p) \\ &= h_i (p'_i - p) \left( \frac{\alpha}{30h_i} + \beta_i - \beta_j \right) \geq 0 \end{aligned}$$

となり、 $C' > C'''$  である。

よって、同様に  $C'-C'''$  について計算を行うと  $C'' > C'''$  となり、2 つの時間帯で同じ電力で運転が可能であれば、同一の電力で運転するのがよい。

では 2 つの時間帯で同じ電力にしたときの平均電力料金単価を考えると式 (1) の  $\beta_i$  が平均したものと変わる。つまり同様のことを実施し、式 (2) が成り立たない料金帯が出てきたとき、初めてその料金帯では電力を消費しないという結論が出される。

2.3 現在の電力会社の電力料金体系における解析

前節の解析を踏まえて、現在の電力会社の料金体系について解析する。電力会社の高圧受電、特高受電の料金体系の平均を Tab.1 に示す。Tab.1 に基づいて、解析するとピーク時刻を除いた時間帯で平均的に電力を消費するのがよい。

	基本料金	ピーク	夏季昼間	他季昼間	夜間
	円/kWh・月	円/kWh	円/kWh	円/kWh	円/kWh
高圧受電	1762.0	14.4	12.1	11.3	8.2
特高30kV	1697.6	12.9	11.0	10.2	7.8
特高60kV	1661.3	12.6	10.8	10.0	7.7

Tab.1 The electrical power charge and basic charge

3. ピークシフト送水計画について

3.1 ピークシフト送水計画の概要

前章の電力料金の解析結果を踏まえてピークシフトを行う配水池に送水する流量の計画を立案する。ここで電力逼迫の程度は電力料金によって決まっており、節電要請に対するピークシフト、ピークシフトさせる時間帯が電力料金によって決定されている

とする。

水の需要は住宅が多い地域では朝の時間帯 8時から 10時や夕方の 17時から 20時に最も多く使われる[7]。このことを考慮すると、ピークシフトすべき時間帯 13時から 16時には水の需要は多くない。朝の水需要が高い時間帯になるまでに配水池を満水にし、ピーク時は送水しない程度に他の時間帯で送水することで、最も単価が安くなり始める時間 20時に配水池が水位下限になればよい。本稿では住宅が多い地域かつ配水池が存在し、送水ポンプはインバータ方式であるとし、送水量は自由に設定できることとする。

### 3.2 ピークシフト送水計画のシステムフロー

ピークシフト送水計画のシステムフローを Fig.4 に示す。まずデマンドの決定を行うために日最大水需要

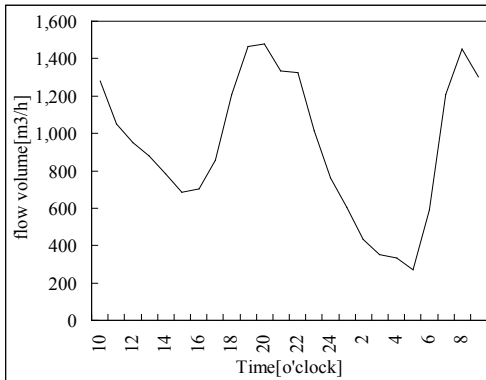


Fig.3: The temporal transition of the standard housing area

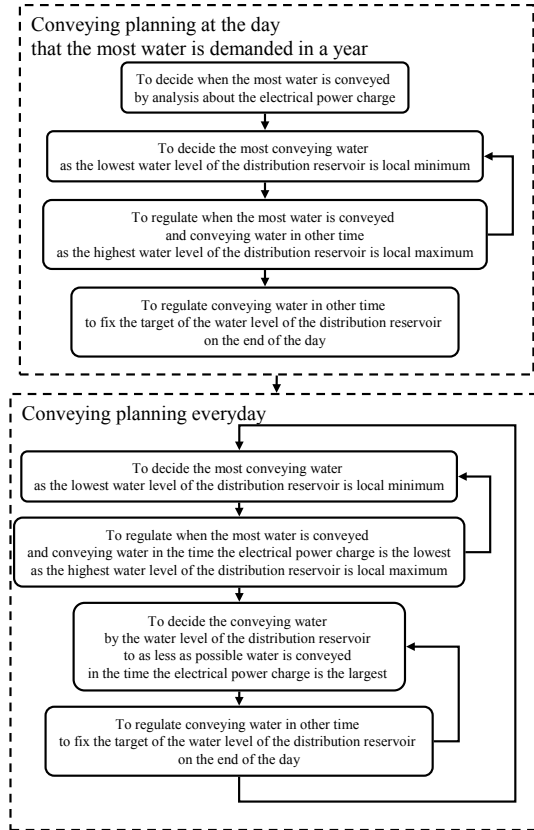


Fig.4: The system flow of Water conveyance plan for Peak-shift

の日の送水量を計画する。その後、各 1 日の送水量を計画する。各 1 日の時間単位計画は、電力料金が最も安い時間帯である夜間時にピークが来るように計画する。このとき最安単価開始時刻と水需要のピークがほぼ等しくなるため、最低水位を下回らずデマンドを越えないようにピークシフトの送水量を決定する。その後水位を基準に最安単価終了時刻やその他の送水量を決定する。ただし、最大単価時間帯は送水しなければ水位を維持できない場合は送水を行う。

## 4. 実データによる効果の検証

### 4.1 対象処理場の処理フロー

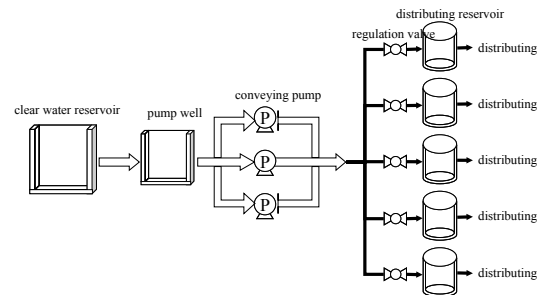


Fig.5: The conveying flow of an intended water purifying plant

送水ポンプの使用電力の割合が多く、配水池のある浄水場を対象として、検証を行う。浄水池以降の対象浄水場の処理フローは Fig.5 に示す。3つの送水ポンプを用いて主幹線へ送水し、その後 5つの配水池へ送水される。

### 4.2 検証範囲と検証方法

本稿は主幹線までの送水を考え、その後の配水池への分配は考慮しない。

電力料金を指標として効果の度合いを検証する。その際に送水量と電力量が比例すると仮定して、計算を行う。つまり対象浄水場の原単位を基に消費電力量を計算し、電力料金を算出する。

### 4.3 効果の確認

年間最大日使用電力量の日の水需要について、従来の送水量推移と本稿で提案する送水計画による送水量推移を Fig.6 に示す。また夏季のある 1 週間分の従来の送水量推移と本稿で提案する送水計画による送水量水位を Fig.7 に示す。ここで従来とは対象浄水場で行っている運転のことを示す。

Fig.6 を見ると、夜間時間帯に入る時刻の従来のピークが平坦になると共に提案手法はポンプの切替回数も少なくなっている。デマンドは従来と変化しないが、対象処理場の送水ポンプに対する原単位が  $0.526[m^3/kWh]$  であるのに対し、この日の電力量料金は提案手法では 115,468[円]となり、従来手法では 118,276[円]と 2%低下した。

Fig.7 を見ると、従来手法もピークはシフトされていたが、提案手法はより平滑化されたのと同時にピーク時に送水をとめているため、節電要請が起こりえる時間帯の電力消費を抑えることができている。電力量料金で見ると、1 週間の合計で提案手法では 732,070[円]、従来は、766,782[円]となり、1 週間の

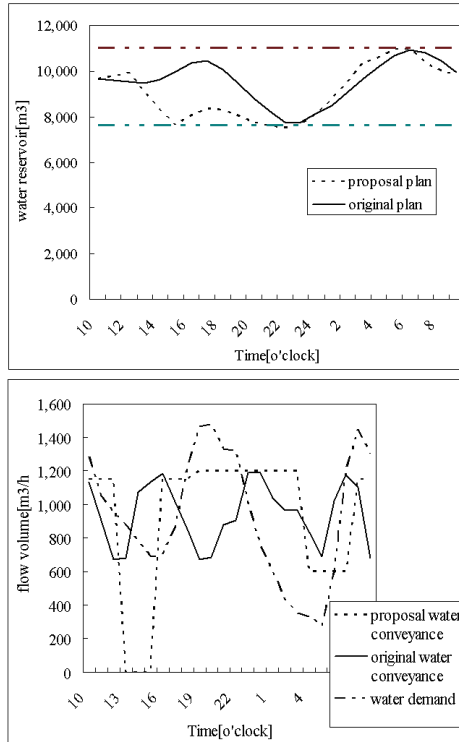


Fig.6: The temporal transition of water demand, original water conveyance, and proposal water conveyance at the day that the most water is demanded in a day.

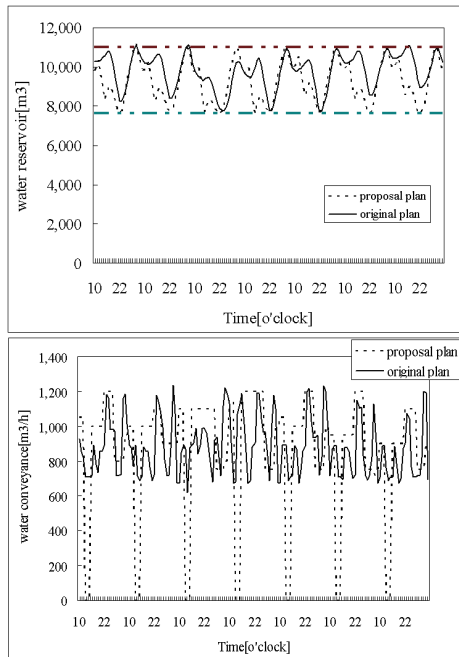


Fig.7: The temporal transition of water demand, original water conveyance, and proposal water conveyance in the week in September

電力量料金は約 5%低下することができた。

また他機器もあるため一概には言えないが、提案手法ではピーク時間に消費電力を抑えており節電要請へ対応できた。

## 5. まとめ

### 5.1 結果と課題

本稿では簡易的に節電要請にあわせた送水計画を導き出した。電力料金を解析し、その解析結果を用いて送水計画を立案した。本稿で対象とした処理上では結果的にピーク時間帯に送水せずとも 1 日の送水が可能であり、その結果電力量料金が 5%を達成できた。ただし、送水ポンプを停止することによる起動・終了の電力や手間が除かれている。

### 5.2 今後について

本稿ではインバータ方式での送水に留まっている。また、ポンプのモデルも導入していないため浄水場の原単位を基に電力量を算出している。この 2 点を今後追加していく。また取水ポンプの電力消費量も多いため、取水まで含めた節電対策を今後考慮していく必要がある。

## 参考文献

- 1) 水道のあらまし、日本水道協会、p175、2008
- 2) 第 4 回水道ビジョン検討会資料 6、厚生労働省、p3、2007
- 3) 日本経済新聞 2012 年 6 月 28 日、「10%節電で「悪影響」57% 省エネ投資が負担に九州・沖縄 100 社に聞く」
- 4) 経済産業省、『「次世代エネルギー・社会システム実証」のマスタープランを公表』、2010 年 8 月
- 5) 横川勝也他：水道広域化に対応する水運用最適化システム、環境システム計測制御学会、Vol.8, No.2, pp.37-41 (2003)
- 6) 堂上 悠介：環境負荷を考慮する水運用計画支援システムの提案、環境システム計測制御学会、Vol.11, No.2, pp.111-114 (2006)
- 7) 黒川 太：プラント運転計画参照型ファジィ制御を適用した浄水場送水制御システム、環境システム計測制御学会、Vol.2, No.4, pp.33-40 (1998)