

〈研究発表〉

運用コスト低減を目的とした浄水場の運転方法の改善

有村 良一¹⁾, 横川 勝也²⁾, 杉野 寿治³⁾
稲多 卓⁴⁾, 寺崎 啓二⁴⁾

¹⁾ (株)東芝 電力・社会システム技術開発センター
(〒183-8511 府中市東芝町1 E-mail: ryoichi.arimura@toshiba.co.jp)

²⁾ (株)東芝 電力・社会システム技術開発センター
(〒212-8581 川崎市幸区小向東芝町1 E-mail: katsuya.yokokawa@toshiba.co.jp)

³⁾ (株)東芝 水・環境システム事業部
(〒105-8001 東京都港区芝浦1-1-1 E-mail: toshiharu.sugino@toshiba.co.jp)

⁴⁾ 宇和島市水道局 (〒798-0027 愛媛県宇和島市柿原甲1950)

概要

本稿では、浄水場の運転管理における薬品費と電力費の削減取組みについて、宇和島市水道局柿原浄水場での事例を報告する。薬品費削減では、原水や浄水の水質に応じて過不足のない注入量を決めることが課題となるが、特に浄水フローの前塩素と後塩素の注入比を変更し塩素使用量の削減を図った取組みについて報告する。電力費削減では、水運用を最適化する高度なシステムを導入することなく、運転員が送水ポンプの起動停止を簡易的に判断でき、結果として電力のピークシフトを実現することで契約電力の削減を図った取組みについて報告する。

キーワード：運転管理、運用コスト、薬品注入、水運用、電力ピークシフト

1. はじめに

近年、浄水場の運転管理においては、安全面を重視しつつも、より運用コストを意識した運転管理が求められている。

薬品注入では、原水水質や要求される浄水水質に応じて、過不足のない注入量を決めることが課題となる。浄水の安全性確保、場内における殺菌・殺藻・無機物/有機物酸化のために注入する塩素は、日々変動する原水水質や気象条件等に対応できるように、過去の実績や現場の経験に基づいて調整されているケースが多く、所定の場所の残留塩素濃度（以下残塩濃度）で管理されている。本稿では、宇和島市水道局柿原浄水場において、浄水フローの前段で注入する前塩素、後段で注入する後塩素の注入比を変更することで、合計の塩素使用量の削減効果が確認できた事例について報告する。

水運用においても、運用コスト削減への要求が高まってきており、中でも電力料金に関しては、夜間電力の活用や、電力のピークシフトを意識した運転管理が求められている。この要求に応えるためには、時々刻々と変化する水需要を予測し、配水池バッファを有効活用したポンプやバルブの最適運転計画を算出するシステム（水運用最適化システム）が効果的である。しかしながら、システム導入に必要な予算を確保することが困難な水道事業者では、運転員が簡易的な判断

で日々の運転管理が可能な、より安価な方法で電力料金を低減できることが望ましい。本稿では、同浄水場を事例として、水運用最適化システムを導入することなく、運転員が送水ポンプの起動停止を簡易的に判断でき、結果として電力のピークシフトを実現することで契約電力を削減する方法を立案した。また、契約電力の削減により低減できる電力料金を試算したので、その結果を報告する。

2. 対象プロセス

宇和島市水道局柿原浄水場のフロー及び送・配水プロセスを **Fig. 1** に示す。浄水処理は凝集沈澱急速ろ過方式であり、凝集剤はPACを使用している。沈澱池には傾斜板が設置されている。塩素は次亜塩素酸ナトリウムが使用されており、混和池（前塩素）とろ過池出口（後塩素）の2箇所で注入されている。残塩計はろ過池出口と浄水池出口に設置されている。

送・配水プロセスは、丸山配水池から自然流下で市街地配水区域に1日約16,000 m³ 配水している。4台の同特性の送水ポンプ（固定速）で送水し、吐出能力は420 m³/h/台で容量110 kWである。また、配水池の断面積は1,077 m² で、水位は3.0~5.9 mの範囲で、かつ、朝の高水需要時間帯に備え朝6:00には水位が高め（5.1~5.3 m）になるよう意識して、運転員が手動で送水ポンプの起動停止を行っている。

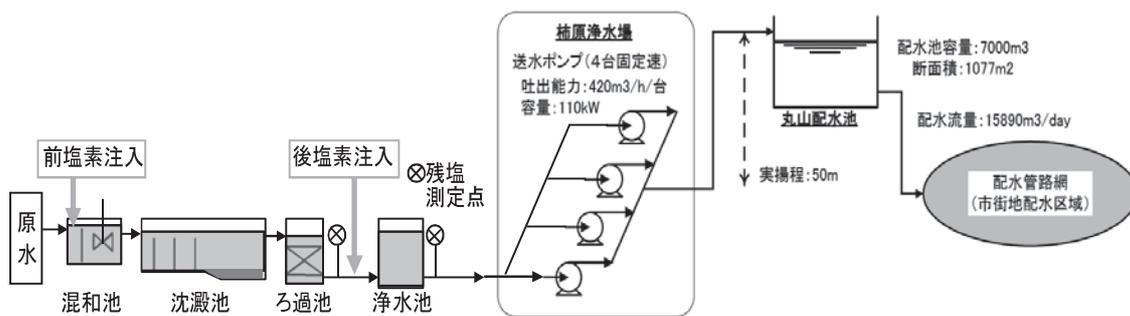


Fig. 1 Flow Diagram of Kakihara Purification Plant

3. 塩素使用量低減の取組み

3.1 残留塩素濃度管理の取組み

柿原浄水場における従来の前・後塩素注入による残塩濃度を Fig. 2 に示す。Fig. 2 は塩素注入率が比較的高くなる夏場のデータを元に作成している。また混和池の残塩濃度は前塩素注入率の設定値をプロットしている。本浄水場では過去に、臭気の混入、取水源であるダム湖由来の鉄・マンガン濃度上昇、アンモニア態窒素濃度の上昇、等が不定期に観測されたことがあった経緯から、前塩素注入率が比較的高い設定値となっており、これに応じて沈澱池出口残塩、ろ過池出口残塩も高い濃度で推移していた。しかしながら近年は、高い前塩素注入率を必要とするような原水水質の発生頻度は低く、一定の塩素要求量はあるものの安定した原水水質となっていた。また、2011年8月の水質検査において、浄水の総トリハロメタン濃度は0.031 mg/Lと水質基準値以下であったが、配水・給水における時間経過で増加することや、より安全な水道水の観点から、前塩素注入率を下げることで検討されていた。そこで2012年度から、浄水残塩の管理値を変えることなく、前塩素と後塩素の注入比の見直しを行った (Fig. 2)。

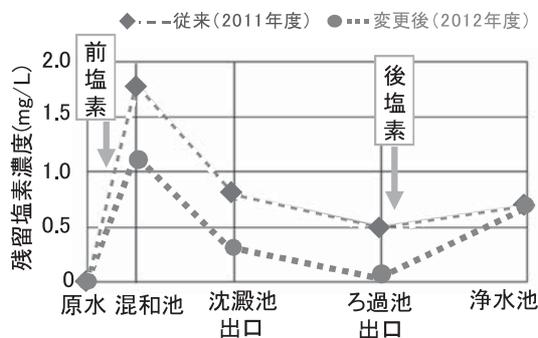


Fig. 2 Residual Chlorine Concentration in Kakihara Purification Plant (2011, 2012)

本浄水場において最も残塩濃度が低下するろ過池出口で、細菌の繁殖防止のため残塩濃度がゼロとならないように沈澱池出口残塩濃度の目標値を設定し、この設定濃度を維持できるように前塩素注入率を調整することとした。ろ過池におけるろ過砂との接触等による残塩減少量の蓄積データから、沈澱池出口残塩濃度は0.3 mg/Lと設定した。

3.2 塩素使用量の削減効果

2011年度と2012年度の前塩素注入率 (Fig. 3)、後塩素注入率 (Fig. 4)、浄水残塩 (Fig. 5) の年間のトレンドを示す。2012年度は、年間を通して前塩素注入率が低く、後塩素注入率が高くなっている。ただし2013年1月から3月の期間は、前年度の同時期と同じ沈澱池出口残塩濃度で管理を行ったため、前・後塩素注入率に違いが出ていない。

前塩素と後塩素の注入比を変更したことによる塩素使用量の削減効果を評価するため、2011年度と2012年度のデータを比較し、浄水残塩、原水濁度、水温、日照時間、降水量がほぼ同レベルとなっている期間を抽出した。評価期間として6/25~7/15の期間①、11/24~12/20の期間②を抽出した。この期間においては臭気等の原水水質悪化は見られなかった。浄水残塩は期間①で0.73~0.74 mg/L、期間②で0.62~0.63 mg/Lであった。期間①では、前塩素注入率は2011年度の1.7 mg/Lから2012年度は1.0 mg/Lに減少し、後塩素注入率は0.2 mg/Lから0.6 mg/Lへと増加していた。期間②では、前塩素注入率は1.2 mg/Lとなり、後塩素注入率は0.1 mg/Lから0.4 mg/Lとなった。

Fig. 6 に2011年度、2012年度の期間①・②の前・後塩素の取水量1000 m³当たりの塩素使用量を示す。期間①では前塩素：後塩素の注入比が7.1対1.0から1.7対1.0となり、塩素使用量は18%の削減効果が見られた。期間②における注入比は9.5対1.0から2.3対1.0と変化していたが、塩素使用量の削減幅は2%であった。

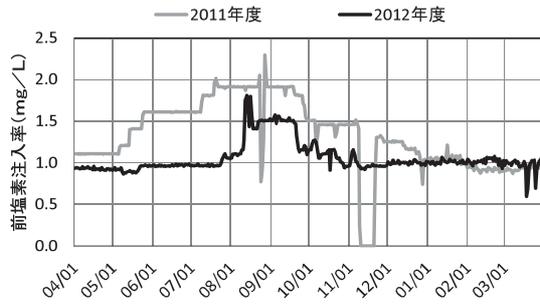


Fig. 3 Comparison of Pre-chlorine Injection Rate (2011, 2012)

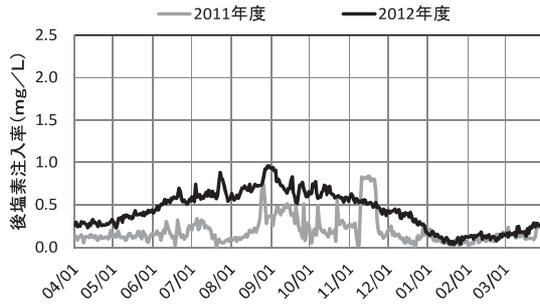


Fig. 4 Comparison of Post-chlorine Injection Rate (2011, 2012)

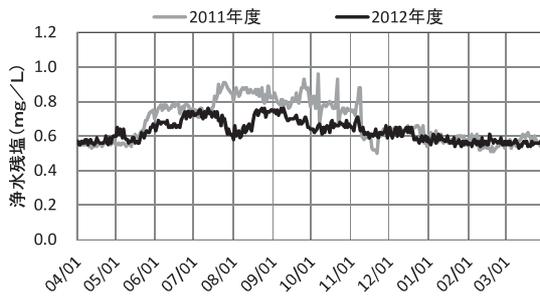


Fig. 5 Comparison of Residual Chlorine Concentration in Purified Water (2011, 2012)

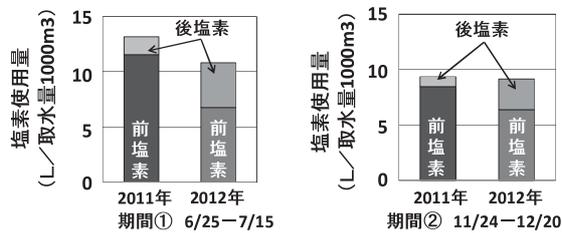


Fig. 6 Comparison of Chlorine Usage (2011, 2012)

4. 契約電力削減に向けた取組み

4.1 電力量と電力ピークについて

当該浄水場全体の消費電力量の割合を Fig. 7 の左図に示す。図に示すように、送水ポンプ電力量が全体の73%を占める。このことから、送水ポンプの運転方法を改善することが電力料金の低減に繋がる事が分かる。なお、その他電力量は、照明や空調、薬品注入ポンプ動力、OA 機器といった送水ポンプ以外すべての電力量を表す。

また、契約電力種別は高圧 A 季節別時間帯別電力 II 型で、契約電力は 360 kW である。ここでの契約電力とは昨年度記録した時間積算の最大電力(量)である。最大電力(量)を記録した H20.8.23 の時系列変化を Fig. 7 の右図に示す。図の□は送水ポンプを 30 分間 3 台同時起動した時間帯である。朝方に配水池水位が高くなるよう、送水ポンプを追加起動したために電力ピークが高くなっていた。そこで本稿では、この電力ピークを抑制して契約電力を削減できるように送水ポンプの運転方法を改善した。なお、時間帯別の電力単価は、昼間 9 円 01 銭/kWh、夜間 8 円 49 銭/kWh と差が小さく、夜間電力利用による電力料金の低減は効果が期待できないため、本稿では考慮しない。

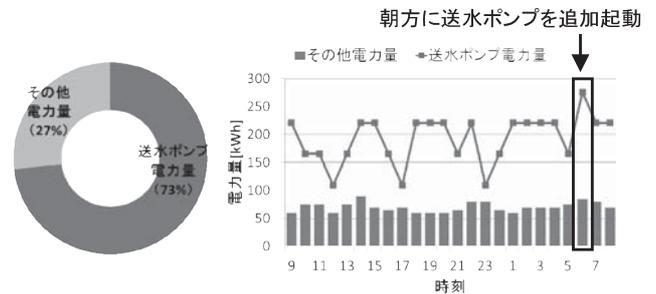


Fig. 7 Percentage and Day Time-series Fluctuation of the Power Consumption (23 August, 2008)

4.2 電力ピーク削減ポテンシャル

電力ピークを削減する余地があるかを調べるため、年間で最も水需要が多い 8 月 1 日~31 日の実データに基づいて、従来運転(実績)と、下記最適化問題を解いた運転である電力ピークシフト運転とを比較した。ここで、添え字 k は時刻を表し、 y_k は送水ポンプ運転台数 [台]、 l_k は配水池水位 [m]、 P_k は施設全体の消費電力量 [kWh]、 q_k は水需要 [m^3/h]、 a_k はその他電力量 [kWh] を表す。

$$\begin{aligned} & \min. && \max (P_k(y_k)), \\ & \text{s.t.} && 3.0 \leq l_k(y_k) \leq 5.9 \quad (k=1, \dots, 24), \\ & && |y_{k-1} - y_k| \leq 1 \quad (k=1, \dots, 24), \\ & && |l_0 - l_{24}| \leq 0.3, \\ & \text{where} && P_k = 110y_k + a_k, \\ & && l_k = l_{k-1} + (420y_k - q_k) / 1077. \end{aligned}$$

この最適化問題を31日分解いた結果を Fig. 8 に示す。現状の契約電力 360 kW に対して、電力ピークシフト運転では、ピーク電力量を 45 kW 削減し、315 kW まで抑制できることが分かった。これは送水ポンプ2台起動の電力量 220 kW とその他電力量 95 kW から成る値で、3台同時起動しない運転が可能である。

4.3 配水池の規定水位を意識した運転方法

当該浄水場では、上述した通り、高水需要に備えて朝方に送水ポンプを3台同時起動するケースがあった。このことから、Fig. 9 に示すように、夜間水需要が少ない3時~5時の時間帯であっても規定水位を下回る場合には、送水ポンプを2台起動する運転方法を立案した。この規定水位は、Table 1 に示すように、最大の水需要が発生しても6:00の水位を5.1 m 以上にするために最低限必要な水位を表す。点検など非常時には別の規定水位を予め定めておく必要がある。

なお、この運転方法による契約電力の削減は下記(1)~(3)の条件を満たす場合にのみ適用可能であり、当該浄水場はこの条件を満たしている。

- (1) 固定速ポンプの起動停止運転である
- (2) ポンプが占める電力量の割合が高い
- (3) その他電力量の時系列変化が少ない

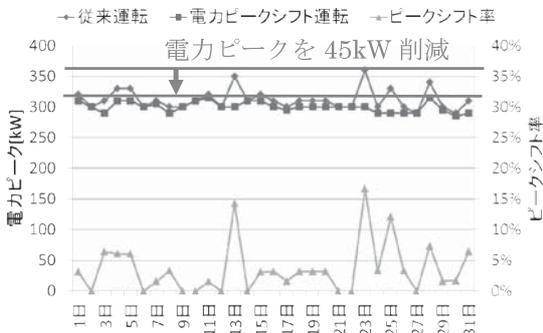


Fig. 8 Potential of the Power Peak Reduction

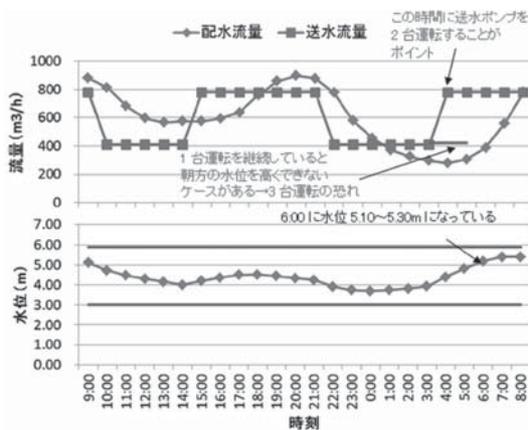


Fig. 9 Improvement Instance of the Water Supply Pump Operation

Table 1 Prescribed Water Level of Reservoir

時刻	水需要の最大値	送水ポンプ2台起動時の水位変化	規定水位
3:00	530 m ³ /h	+0.23 m	4.60m以上
4:00	530 m ³ /h	+0.23 m	4.83m以上
5:00	630 m ³ /h	+0.14 m	4.97m以上
6:00	640 m ³ /h	+0.13 m	5.10m以上

Table 2 Test Calculation of the Power Rates showed the Effect of Peak-Cut Operation

	従来運転		電力ピークシフト運転
契約電力	360 kW	>	315 kW
年間電力量	2,186,200 kWh	=	2,186,200 kWh
基本料金	¥9,443,520 円	>	¥8,263,080 円
電力量料金	¥19,675,800 円	=	¥19,675,800 円
年間電力費(合計)	¥29,119,320 円	>	¥27,938,880 円

5. おわりに

本稿では、稼働中の浄水場における運用コスト削減の取組みとして、塩素を対象とした薬品注入改善と、電力ピークシフトによる契約電力削減を検証した。

薬品費削減の取組みにおいては、原水が前塩素注入の処理目的をそれほど必要としない水質に変化した際、浄水処理フローにおいて残塩濃度がゼロとまらない条件で、前塩素と後塩素の注入比を変更する運用改善を検証し、前塩素注入率を下げ、後塩素注入率を高くすることで合計の塩素使用量に削減効果が現れること、特に夏場においては20%弱の削減幅となることを確認した。今後は原水水質の悪化が見られた場合の、残塩濃度の適正管理手段の構築と、現在運転員が残塩の手分析により調整している前塩素注入率に、日射量や水温の影響を取り入れながら運転員の負荷低減を図ることで、より安定した残塩濃度管理を図っていく。

電力費削減の取組みにおいては、水運用最適化システムを導入することなく、朝方の高水需要時でも送水ポンプ2台起動で需給バランスがとれる配水池の規定水位を明確にし、夜間でも規定水位を下回っている場合には早めに送水ポンプを起動する運転方法を立案した。この運転方法により契約電力を45 kW 削減でき、結果として Table 2 に示すように、従来運転と比べて約1,200 千円(約4%)の電力料金低減が期待できる。本運転は当該浄水場で実運用中であり、1年間運転を継続して効果を検証していく。