

## 〈研究発表〉

## ネガワット取引対応送水ポンプ運転支援技術の開発

鯉 潤 裕 史<sup>1)</sup>, 高 橋 信 補<sup>2)</sup>, 小 熊 基 朗<sup>3)</sup><sup>1)</sup>(株)日立製作所 大みか事業所  
(〒319-1293 日立市大みか町5-2-1 E-mail: hiroshi.koibuchi.qa@hitachi.com)<sup>2)</sup>(株)日立製作所 横浜研究所  
(〒244-0817 横浜市戸塚区吉田町292番地 E-mail: shinsuke.takahashi.hg@hitachi.com)<sup>3)</sup>(株)日立製作所 大みか事業所  
(〒319-1293 日立市大みか町5-2-1 E-mail: motoaki.oguma.ec@hitachi.com)

## 概 要

水道分野では、電力使用量の多くを占める取水や送配水ポンプの運用効率化が重要な電力コスト削減対策となる。また、電力分野では2017年4月にネガワット取引が制度化され、電力会社やアグリゲータから要請を受けた需要家が電力ピークシフトによる需要削減を行うと、削減量に応じた報酬を受け取ることができるようになった。

そこで今回、ポンプを活用したピークシフトにより、水道事業体のネガワット取引対応を支援する技術を開発した。ポンプの運転スケジュールを作成・実行することで水道事業体の電力コスト削減と水道の安定供給の維持に貢献する。

キーワード：エネルギーマネジメント、ネガワット取引、水運用、電力ピークシフト

原稿受付 2017.7.7

EICA: 22(2・3) 45-48

## 1. はじめに

水道事業は全国の電力使用量の0.85%を消費している<sup>1)</sup>。電力使用の多くはポンプ運転によるものであり、ポンプの運用効率化が水道事業体の消費エネルギー削減のための課題となっている。これまでは、省エネ対策としてポンプのインバータ制御や自然流下方式での配水への切替、効率的な水運用<sup>2)</sup>等が実施されてきた。その中で、効率的な水運用においては日々の送水系のトータル消費エネルギーを最小化するポンプ運転スケジュールリングの研究が実施されている<sup>3-5)</sup>。

一方、東日本大震災を契機に、消費エネルギーを削減する省エネの強化だけでなく、電力供給状況に応じてスマートに電力消費パターンを変化させる、デマンドレスポンス(DR)の重要性が強く認識されるようになってきている<sup>6)</sup>。消費パターンの変化により削減された電力を取引する仕組みはネガワット取引と呼ばれ、水道事業体等の電力の需要家は電力会社やアグリゲータの要請に応じて需要削減を行うことで、その対価として報酬を得ることができる(Fig. 1)。このことから、従来の省エネ対策に加え、ネガワット取引への対応を行っていくことで水道事業体の電力コスト削減に繋がると考えられる。

ネガワット取引では、複数の電力の需要家を束ねて相応の需要削減量を確保する必要があるため、取送水系統に多数のポンプを持つ水道事業体では浄水池・配

水池の貯留バッファを活用し、ポンプの運転調整を行うことでネガワット取引への対応が可能と考えられる。一方で、ネガワット取引へ参加した需要家は様々な反応時間(電力会社やアグリゲータが電力需要削減の要請を通告した時から、電力需要削減を開始するまでの時間)や持続時間(電力需要削減を実施する時間帯)に対応する必要がある<sup>6)</sup>。そのため、水道事業体では電力会社やアグリゲータからの要請に対する柔軟な対応と水需要に合わせて適正な配水池貯留を確保し、安定した送配水を維持することが課題となる。

そこで今回、ネガワット取引対応送水ポンプ運転支

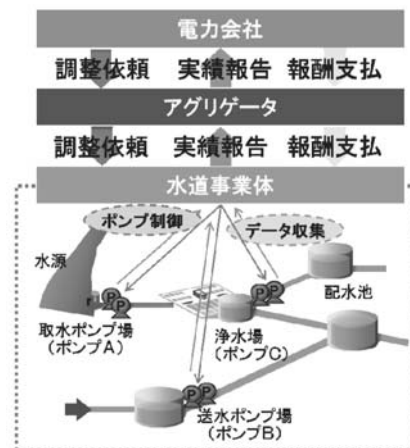


Fig. 1 Flow diagram of negative watt dealing between power company, aggregator and water utility.

援技術を開発した。本技術により、ネガワット取引前後の運用を考慮した上で、取送水系統全体での電力需要削減を実現する。また、運転シミュレータを開発し、仮想的な取送水系統において本技術の評価を実施した結果を報告する。

## 2. 開発技術

### 2.1 ネガワット取引対応送水ポンプ運転支援技術

本技術は、取送水系統全体に対して持続時間におけるピーク電力を最小化するようにポンプ運転をスケジューリングする。すなわち浄水場やポンプ場の受電契約はそれぞれに結ばれているものの、ネガワット取引での需要削減量は取送水系統全体で創出されるものとしている。これにより、複数施設のポンプ運転組合せによる削減量創出を考慮でき、獲得する報酬を最大化できるメリットがある。

また、水道事業者にとってはピーク電力の最小化以外に水運用上の制約を遵守し、安定供給を維持する必要がある。そのため、水源、管路、配水池、配水区に対して運用上の制約を以下のように設定し、それに見合った運転スケジュールが出力されるようにする。

水源：取水権等で制限される取水量の上限を設定する。

管路：管口径やバルブによる流量制約やポンプの運転台数変化に対応するよう流量の上下限と流量変化の許容量を設定する。また、ポンプ設備がある場合には運転台数毎の吐出流量と流量あたりの消費電力を設定する。

配水池：配水池に必要な貯水量が確保されるよう貯水容量と上下限水位を設定する。

配水区：水道の需要家への配水が確実に行われるよう時間単位の水需要を設定する。

持続時間においてはピーク電力最小化と水運用上の制約を混合整数計画問題として設定し、運転スケジュールを求める。ここで、ネガワット取引により電力需要を削減する持続時間においてはポンプ運転が制限される一方で、水需要は変わらないため、配水池水位の低下が予想される。そのため、持続時間終了後の水位回復までを考慮することで、持続時間以降の水運用の安定性を確保した上でスケジューリングを行う。持続時間以外については高速化を目的に既開発の運転スケジュールリング手法<sup>7)</sup>を用いる。

### 2.2 配水池の供給可能時間算出

上述の通り、ネガワット取引においては配水池水位の低下が予想される。そこで、運用上の下限水位に到

達するまでの時間と水位0となるまでの時間を供給可能時間と定義して、それぞれ算出することとした。

供給可能時間は、各時刻の配水池の貯水量とその時刻以降の流出量から求める。ある時刻に配水池への流入量が0になると仮定すると、一定時間経過後に配水池の貯水量は下限水位を下回り、さらに一定時間経過後に配水池は空となる。そこまでに経過する時間を供給可能時間とすることで各時刻の配水池水位の余裕度を定量的に評価できるようにした。

### 2.3 運転シミュレータの開発

上記を組み込んだ運転シミュレータを開発した。本シミュレータでは Microsoft Visio<sup>®</sup> を使用して、対象となる取送水系統を描画する (Fig. 2)。作成した図は水源、管路、配水池、配水区を表すノード等によって構成されており、各図形に対して、2.1 で述べた制約条件等を入力する。

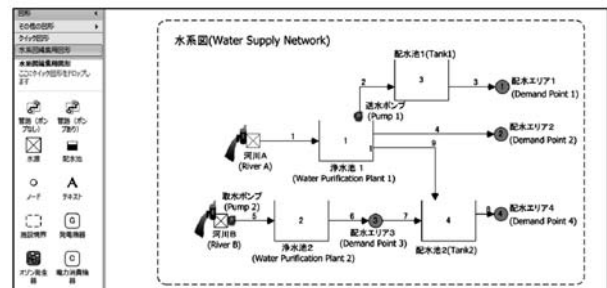


Fig. 2 Water supply network drawn by Microsoft Visio<sup>®</sup>.

また、ネガワット取引の有無、ネガワット取引の開始・終了時刻を設定した上でシミュレーションを実行することで、15分、30分、60分の中から選択した時間単位のポンプ運転スケジュール、配水池水位スケジュール、電力消費スケジュールを24時間または48時間分出力する。配水池供給可能時間は水位スケジュールと共に出力される。

## 3. 運転シミュレーション

### 3.1 シミュレーション条件

仮想的な取送水系統に対して運転シミュレーションを実施した。対象の取送水系統を Fig. 2 に示す。水源が2つ、浄水池を含む配水池が4つ、配水エリアが4つあり、それらが管路9本で接続されている。ポンプ設備は浄水池1から配水池2への送水ポンプ、河川Bから浄水池2への取水ポンプがあり、ポンプは各3台ずつ、それぞれ固定速ポンプであるものとした。なお、本来は河川Bから浄水池1の間に浄水プロセスがあるが、本シミュレーションでは省略した。ネガワット取引対応時には上記2つのポンプ運転変更によ

り、電力需要の削減量創出を行う。

本シミュレーションでは6:00を起点に30分毎24時間分のポンプ運転スケジュール、配水池水位スケジュール、電力消費スケジュールを作成する。ネガワット取引の持続時間は8:00~11:00の3時間とし、需要削減量はネガワット取引がない通常の運転スケジュールに対するピーク電力の削減量を評価することとした。なお、8:00~11:00は一般的に、朝方からの水需要のピークを含むとともに、オフィスや工場等での電力需要が急激に増え、電力供給の不安定化が懸念される時間帯であるため持続時間に設定した。

### 3.2 通常運転シミュレーション結果

ネガワット取引のない通常運転について運転シミュレータを実行した結果を Fig. 3(a) から Fig. 3(e) に示す。

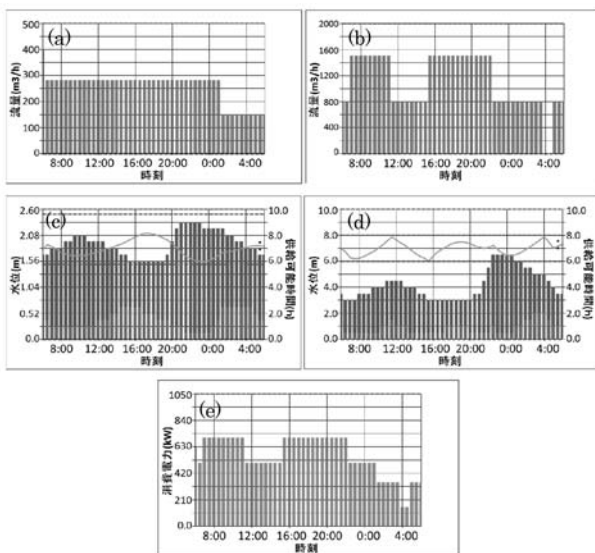


Fig. 3 (a) Flow schedule of Pipe 2 (upper left). (b) Flow schedule of Pipe 5 (upper right). (c) Water level schedule and retention time of Tank 1 (middle left). (d) Water level schedule and retention time of Purification pond 2 (middle right). (e) Power demand schedule of water supply network (bottom).

#### (1) ポンプ運転スケジュール

送水ポンプである管路2と取水ポンプである管路5のポンプ運転スケジュールを Fig. 3(a) と Fig. 3(b) に示す。横軸は時間、縦軸は流量を表す。階段状に流量が変化するのは固定速ポンプであるためであり、運転台数を表している。管路2は最初30分のみ3台で運転しており、その後は2台運転、1台運転と運転台数が減少していった。管路5は1台運転と2台運転を繰り返しており、1時間のみ運転台数0台の時間帯があった。8:00~11:00においては管路2、管路5ともに2台運転であった。

#### (2) 配水池水位スケジュール

管路2と管路5の送水先である配水池1と浄水池2

の水位スケジュールと供給可能時間を Fig. 3(c) と Fig. 3(d) に示す。折れ線グラフが水位を表し、棒グラフが下限水位までの供給可能時間と水位0までの供給可能時間を表す。24時間にわたる水位変動は配水池1が1.55 m~2.12 m、浄水池2が6.02 m~7.88 mで推移していた。いずれも設定した上下限水位(配水池1:1.50 m~2.50 m、浄水池2:6.00 m~8.00 m)の範囲内であり、安定した水運用が実現できることを示していた。また、水位0となるまでの供給可能時間は、配水池1で最小6時間、浄水池2で最小3時間となった。

#### (3) 電力消費スケジュール

水系全体の電力消費スケジュールを Fig. 3(e) に示す。横軸は時間、縦軸は消費電力を表す。ポンプは管路2と管路5のみであるため、電力消費はこれらのポンプにより消費される電力を合算した値である。電力ピークは管路2と管路5がいずれもポンプ2台運転である7:00~11:30、15:30~22:30にかけて発生しており、700 kWであった。

### 3.3 ネガワット取引対応運転シミュレーション結果

ネガワット取引を8:00~11:00に行うことを想定し、運転シミュレータを実行した結果を Fig. 4(a) から Fig. 4(e) に示す。

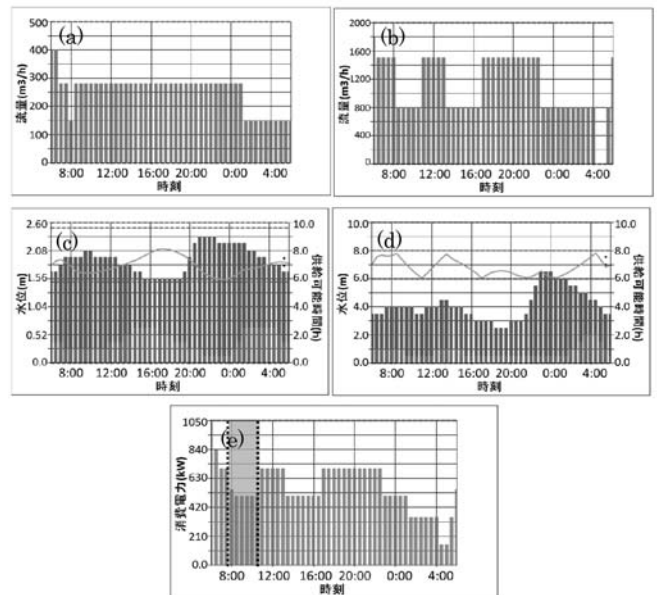


Fig. 4 (a) Flow schedule of Pipe 2 (upper left). (b) Flow schedule of Pipe 5 (upper right). (c) Water level schedule and retention time of Tank 1 (middle left). (d) Water level schedule and retention time of Purification pond 2 (middle right). (e) Power demand schedule of water supply network (bottom).

#### (1) ポンプ運転スケジュール

管路2と管路5のポンプ運転スケジュールを Fig. 4(a) と Fig. 4(b) に示す。管路2においては8:00~

8:30にかけてポンプ1台運転となっており、ネガワット取引に対応してポンプ運転台数が減少した。一方で8:30~11:00はポンプ2台運転であり、通常時と同じ運転台数であった。また、ネガワット取引前にはポンプ3台運転の時間が長くなっており、先行して配水池水位の上昇を図っていたことが分かる。

管路5では8:30~11:00にかけてポンプ1台運転となっていたが、8:00~8:30にかけては通常運転と同じ運転台数であった。また、持続時間前後の時間帯ではポンプ運転台数が増加しており、ポンプ運転をシフトすることで持続時間における電力需要削減を図っていた。

#### (2) 配水池水位スケジュール

配水池1と浄水池2の水位スケジュールを **Fig. 4(c)** と **Fig. 4(d)** に示す。水位変動は配水池1が1.55 m~2.12 m、浄水池2が6.03 m~7.82 mでいずれも上下限水位内であり、通常運転と同様、安定した水運用が実現できることを示していた。水位0となるまでの供給可能時間は、配水池1で最小6時間、浄水池2で最小2時間半となった。

#### (3) 電力消費スケジュール

水系全体の電力消費スケジュールを **Fig. 4(e)** に示す。点線で示した時間帯がネガワット取引の持続時間を表す。**Fig. 3(e)** の通常時と比較して、持続時間におけるピーク電力が減少していることが分かる。これは管路2と管路5でポンプ運転台数が減少したことによる。一方で、管路2と管路5を個別に見た場合には、持続時間の最大ポンプ運転台数は2台であり、個別でのピーク電力は通常時と変わらなかった。そのため、ネガワット取引の報酬計算が持続時間における電力量を基準に行われる場合には報酬を獲得できるが、ピーク電力を基準に行われる場合には、個別の電力需要削減では報酬を獲得できない可能性がある。

これらのことから、個別でのピーク電力は変わらずとも、ネガワット取引対応ポンプ運転支援技術により取送水系統全体で需要削減量を創出することができた。そのため、個別では報酬を獲得できない場合であっても、ポンプ運転組合せにより創出した需要削減量に

よって、報酬を獲得できると考えられる。

## 4. おわりに

水道事業者におけるネガワット取引への柔軟な対応と安定した水運用の両立を実現するために、ネガワット取引対応ポンプ運転支援技術を開発した。また、仮想的な水系でのシミュレーションにより、技術の有用性を確認した。

ネガワット取引は電力不足時に備えた仕組みであるが、最近では太陽光発電等の普及による電力余剰の問題も起きており、電力需要を増加させる取引も検討されている。なお、本技術は電力余剰時の需要増加にも対応している。

ネガワット取引は制度化されたばかりであり、電力会社やアグリゲータと需要家との契約形態や報酬の計算方法は今後確立されていくものと考えられる。電力分野の動向を把握しながら、水道事業者にとってメリットあるポンプ運転支援技術を構築していく。

## 参考文献

- 1) 水道技術研究センター：水道における電力使用量について——水道統計に基づく試算結果（その1）——，水道ホットニュース，第496号，2016。
- 2) 厚生労働省：「水道事業における環境対策の手引書（改訂版）」，2009。
- 3) 荒井康裕ほか：「混合整数線形計画モデルによる送配水システムの電力使用量の最小化」，土木学会論文誌G，Vol. 68，No. 6，pp. 273-281（2012）
- 4) 足立進吾ほか：「ポンプ省エネ化のための送水・配水運用計画の連携立案」，平成26年度全国会議（水道研究発表会）講演集 pp. 380-381（2014）
- 5) 有村良一ほか：「運用コスト低減を目的とした浄水場の運転方法の改善」，環境システム計測制御学会誌，Vol. 18，No. 2/3，pp. 70-73（2013）
- 6) 資源エネルギー庁：「ネガワット取引に関するガイドライン」，2016。
- 7) 高橋信補ほか：「環境負荷低減に貢献する送配水系ソリューション」，日立評論，Vol. 93，No. 9，pp. 30-34（2011）