

〈研究発表〉

配水コントロールシステム導入評価ツールの開発

小熊 基朗¹⁾、宮田 真²⁾、中村 信幸³⁾、井口 弘将⁴⁾、田所 秀之⁵⁾

¹⁾(株)日立製作所 インフラシステム社 (〒319-1293 日立市大みか町 5-2-1, E-mail: motoaki.oguma.ec@hitachi.com)

²⁾(株)日立製作所 横浜研究所 (〒244-0817 横浜市戸塚区吉田町 292, E-mail: makoto.miyata.xr@hitachi.com)

³⁾(株)日立製作所 インフラシステム社 (〒319-1293 日立市大みか町 5-2-1, E-mail: nobuyuki.nakamura.wt@hitachi.com)

⁴⁾(株)日立製作所 インフラシステム社 (〒319-1293 日立市大みか町 5-2-1, E-mail: hiromasa.iguchi.yc@hitachi.com)

⁵⁾(株)日立製作所 インフラシステム社 (〒319-1293 日立市大みか町 5-2-1, E-mail: hideyuki.tadokoro.dw@hitachi.com)

概要

水資源の有効活用や省エネの解決方法の一つとして配水コントロールシステムがある。本システムは上水道の配水管網モデルを備え、各末端の配水圧力を演算し需要量に応じて適正な配水制御を実現する。リアルタイムに配水圧力をシミュレーションすることでポンプやバルブの操作量を最適化しポンプ動力や漏水を低減する。

これらの低減効果は管網の構成、配水設備、および地形により大きく変化し、適用に際して事前評価が必要である。本報では構築した事前評価ツールにより導入評価結果をキャッシュフロー換算し定量化した。

キーワード: 配水コントロール、管網シミュレーション、制御、配水システム

1. はじめに

近年、新興国を中心とした水需要とエネルギー需要の急拡大により、水資源の有効活用と省エネが重要課題となっている。水道事業においても送配水プロセスにおける過剰なポンプ圧力負荷によるエネルギー消費とそれに起因した漏水量の増加による水資源の浪費は大きな問題である。送配水に必要なエネルギーは水道事業全体で消費するエネルギーの約6割をしめ²⁾、送配水プロセスの改善が省エネに繋がる。

こうした背景のもと、制御技術・シミュレーション技術などを応用した技術として配水コントロールシステムがある。配水コントロールシステムは上水道管網の配水量と圧力分布をリアルタイムでシミュレーションし、ポンプやバルブの最適制御を行うことで、給水圧力の適正化と漏水の低減を実現するシステムである。システム導入により省エネや節水の効果を得ることができる。

配水コントロールシステムの導入においては、費用対効果の見通しを示すことが求められるが、地理的要因や配水管網の違いが導入効果に影響することから、事前に導入効果を出すことが困難であった。

そこで、今回、導入評価ツールを開発した。これにより配水コントロールの導入効果をキャッシュフローに換算し、定量的に示すことが可能となった。更に、この評価結果を基に、管網の整備や拡張、配水設備や運用の計画立案にも役立てることができる。

2. 評価内容

2.1 配水コントロールシステム

配水コントロールシステムの概略図を Fig.1 に示す。配水コントロールシステムとは上水道管網の圧力分布を均一な適正圧力に保つようにポンプやバルブの制御を行うことで、給水圧力の適正化を実現する。これにより省エネ、漏水の低減効果や管網の長寿命化が期待できる。

従来は管網内の代表点の圧力計測値を参考にしながら、ポンプの吐出圧力やバルブ開度の設定値を運転員の蓄積されたノウハウにより経験的に与えていた。配水コントロールシステムでは、管網内に複数設置した流量計・圧力計から情報を取込み、オンラインで管網全体の流量と圧力の分布を管網解析する。リアルタイムに最適なポンプ吐出圧力やバルブ開度を計算することで、配水管網モデルの経年変化に追従して常に最適な圧力制御を行うことができる。

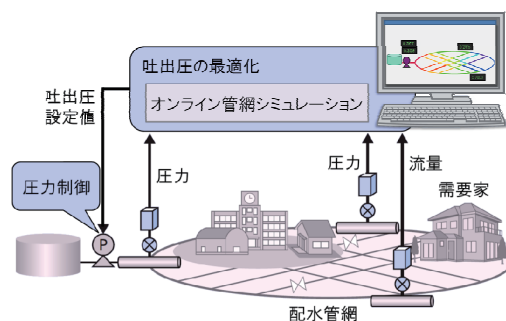


Fig.1: 配水コントロールシステムの概略図

2.2 導入効果の評価方法

配水コントロールシステムの導入評価ツール開発にあたり、評価結果を定量的に示す必要がある。評価結果はシステム導入の効果と費用をキャッシュフロー換算し、具体的な金額とした NPV (Net Present Value) を指標として計算する。効果として算出する評価項目を Table.1 に示す。

Table.1: 配水コントロールシステムの評価項目

効果	給水圧力の適正化	ポンプの消費電力削減分×電力料金単価
	漏水の低減	ポンプ消費電力×漏水低減率×電力料金単価
	省人化	人件費時間単価×労働時間
費用	システム導入費	システム構築費
	工事費	導入工事費
	維持管理費	保守費

システム導入の正のキャッシュフローとしては、「給水圧力の適正化」「漏水の低減」「省人化」が挙げられる。

「給水圧力の適正化」は、ポンプから水を吐出する圧力を適正な水準まで下げることでポンプ運転が消費するエネルギーのコスト削減になる。「漏水の低減」は給水圧力の適正化により管網の漏水量が減少することで、ポンプの吐出量を減らすことが可能となり、ポンプの消費エネルギーが削減される。また、配水用の水を作るための造水コストの削減にもなる。「省人化」は、配水管理に要する人件費の削減である。

これらのシステム導入の効果を 1kWh あたりの電気料金などの固定値とキャッシュフローの計算式から算出する。また、計算式は成長率を加味した。

負のキャッシュフローとしては「システム導入費」「工事費」「維持管理費」が挙げられる。これらも効果と同様、固定値や計算式を設定することで算出した。

3. 導入評価ツール

3.1 導入評価ツールの概要

本ツールはシミュレーション機能と導入評価機能からなる構成とした。

シミュレーション機能は指定したポンプ制御を実現した場合の制御結果をパソコン上で再現する機能であり、ポンプの消費エネルギー削減率を KPI (Key Performance Indicator) として計算した。

導入評価機能はシステム導入の効果と費用をキャッシュフロー換算し指標となる NPV を算出した。導入評価機能は経営面で導入メリットを定量化することを狙いとしており、最終的なリターンや利回りを計算した。

導入評価ツールのメイン画面を Fig.2 に示す。導入評価を算出するための固定値や計算式を設定する入力部と、管網解析結果を表示する管網表示部と、算出結果を時系列で表示するグラフ表示部で構成した。

3.2 シミュレーション機能

本開発ではシミュレーション機能を実装する上での管網計算シミュレーション方法として EPANET⁴⁾を採用した。EPANET は米国環境保護庁が開発したパブリックドメインのソフトウェアで、管網計算シミュレーションの機能を備えている。

管網計算シミュレーションを実行するための入力情報はシミュレーション対象である管網情報（管路長、口径、標高等）と配水エリアでの需要量、また制御対象であるポンプの吐出圧力等である。これらからシミュレーションした結果、管網の圧力分布が算出される。

このシミュレーション結果を用いて管網の圧力分布が適正値以上である条件を満たす最適なポンプ吐出圧力を算出する。ここで算出された吐出圧力から制御対象であるポンプ回転数などの制御値を計算した。

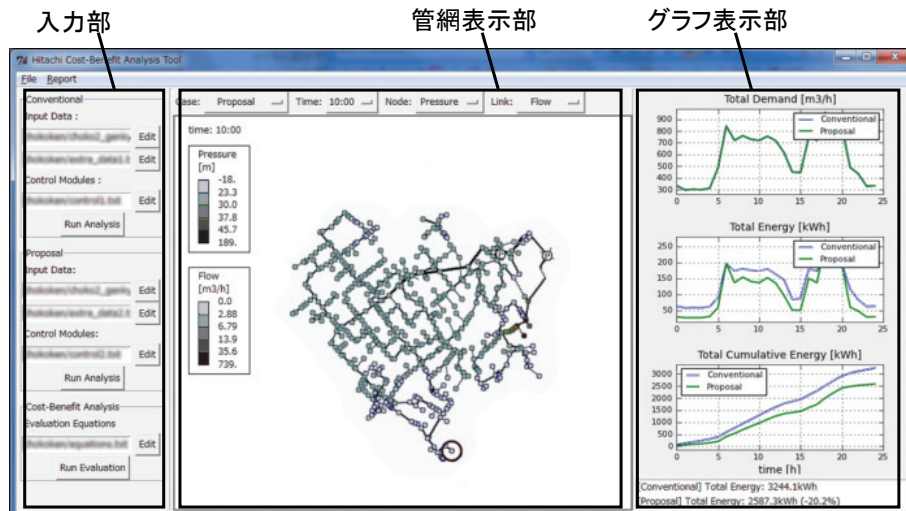


Fig.2: 導入評価ツールのメイン画面

入力情報である配水エリアの需要量を時系列データとすることでシミュレーションを行い、ポンプ回転数等の制御値を時系列で求めた。

本導入評価ツールでは時系列で得られたシミュレーション結果から指定時刻での管網の圧力分布の表示、指定箇所の圧力値を時系列で表示することを可能にした。

3.3 導入評価機能

導入評価機能はシミュレーション機能の算出結果をもとに、2.2 項で示したシステム導入による効果と費用を投資期間において算出する。

給水圧力の適正化による効果はポンプ運転で消費するエネルギーの削減量として評価する。この省エネ分を電気料金に変換し算出する。

漏水率低減による効果は漏水低減率を計算し、漏水低減分のポンプ吐出量の削減分のエネルギー削減として算出する。水道管の漏水量はその地点の圧力のn乗 (nは0.5を用いる³⁾) に比例する。実際の漏水箇所はわからないため、ここでは近似的な計算方法として、漏水が管網全体で一様に起きており、ポンプの吐出圧が管網全体にかかっていると仮定した。システム導入前と導入後の漏水量を各々計算し、漏水低減率を求める。計算された漏水量は実際とは異なるが、漏水低減率は実際に近いと判断し、現状の漏水率を元に導入後の漏水率を推定する。

他の効果「省人化」と費用「システム導入費」「工事費」「維持管理費」は設定値として入力する。

ここで、配水コントロールシステムの導入ターゲットのひとつである新興国は経済成長率が高い地域が多く、水需要・人件費・電力料金の成長率を設定することで複数年ベースの導入評価を可能とした。

以上のシステム導入による効果と費用の時系列データからNPVを計算した。最終的にNPVが正の場合、システム導入が効果的であることがわかる。

4. 評価結果

4.1 評価対象

配水管網モデルを仮定し、配水コントロールシステムの導入評価を行った。本評価では成長率を加味し投資期間10年での評価とした。

給配水情報を Table.2 の内容で定義し、管網内にある5台のポンプで配水制御することとした。

Table.2: 対象都市の給配水情報

給水面積	300 (km ²)
管総延長	300 (km)
日平均水量	8,400 (m ³)
無収水量	15 (%)
水需要増加率	15 (%/年)

ポンプの消費電力の削減分は配水コントロールシステム導入前とシステム導入後のポンプの消費電力を計算し、その差分として計算する。

比較対象とする導入前の制御方法は5台のポンプを、日中の時間ごとの水需要に応じて動かす台数を変える台数制御とした。

4.2 評価結果

評価結果としてまずポンプ運転状況を Fig.3 に示す。表示される6つのグラフのうち、左の3つはシステム導入前、右の3つはシステム導入後のポンプ運転状況である。上から順に、ポンプ回転数、ポンプの吐出圧、ポンプの消費エネルギー(累積値)を示す。それぞれ、24時間の値の遷移を表し、1001~1005は5台のポンプを表す。

システム導入の前後を比較すると、グラフが全体的に下がっており、システム導入により消費エネルギーが低下していることがわかる。全ポンプの消費エネルギーの削減率は約20%となった。

導入前の台数制御方式はポンプ運転は固定速であり、エネルギー削減の余地がある。配水コントロールでは管網の配水量と圧力分布のシミュレーション結果に基づき末端圧一定制御でポンプの回転数を変更する。これにより、ポンプの回転数は最適制御され消費エネルギーが削減される。

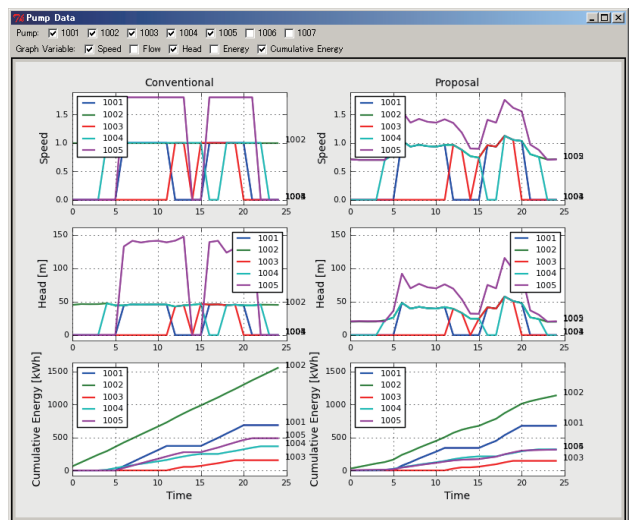


Fig.3: ポンプ運転比較画面

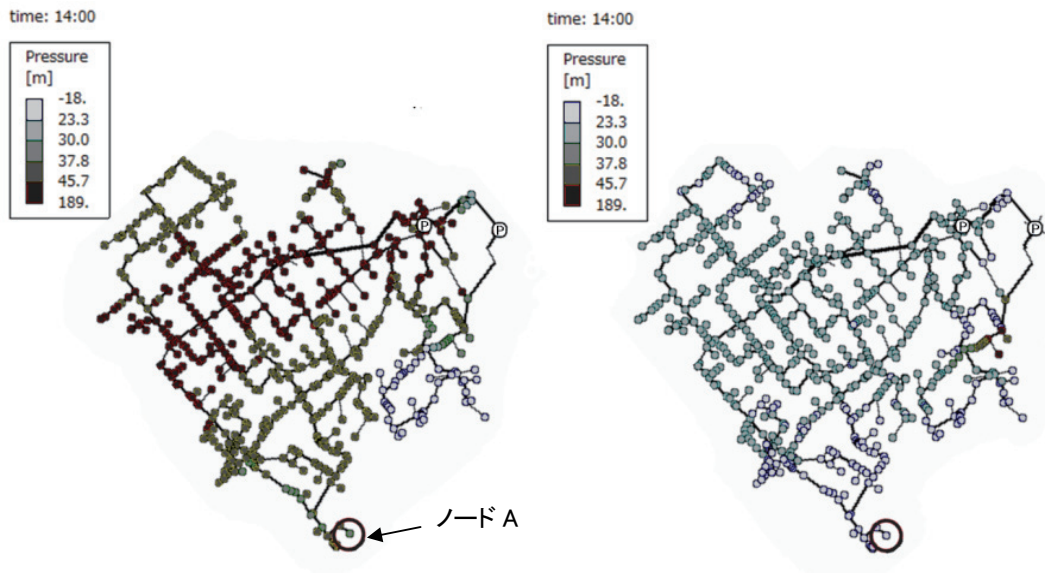


Fig.4: 圧力分布比較(左:システム導入前、右:システム導入後)

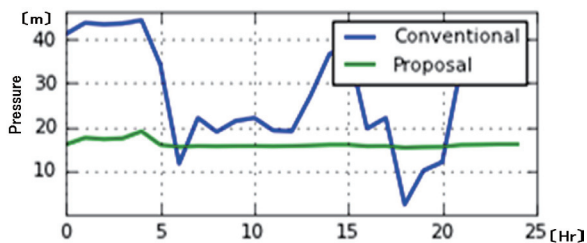


Fig.5: 末端ノードの圧力変移比較

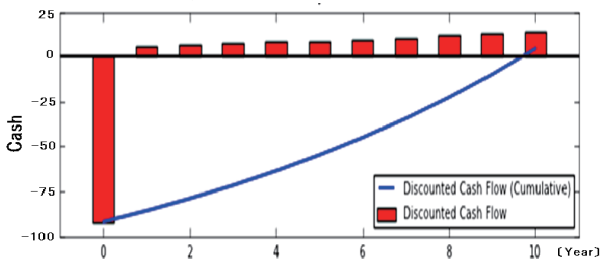


Fig.6 導入評価

Fig.4 は、ある時点の管網のノードの圧力分布を示したものである。左がシステム導入前、右がシステム導入後を示す。システム導入後の圧力が全体的に低いことがわかる。また Fig.5 は、Fig.4 のノード A に関して、日中の圧力変移を示したものである。導入前に比べて、導入後の圧力変移はフラットであり、平均的に低下していることがわかる。

なお、ノード A はこの時点の管網で最も圧力が低いと推定される末端ノードの一つであり、このノードの圧力が一定値になるように、ポンプの回転数を決める。末端ノードが必要最低限以上であれば、それ以外のノードも必要最低限以上となる。

次に、漏水低減効果について説明する。項番 3.3 で説明した近似計算の結果、漏水低減率は約 10% とな

った。現状の漏水率が約 15% であることから、漏水率は約 1.5% 低下する計算となる。

以上から導入評価の結果を Fig.6 に示す。10 年の投資期間で NPV が正になり、配水コントロールシステム導入のメリットが示された。

5. おわりに

今回、配水コントロールシステムの導入効果を定量的に示すために、導入評価ツールを開発した。ツールには KPI 値としてポンプの消費エネルギー削減率を計算するシミュレーション機能と NPV などの投資判断の指標を計算する導入評価機能を持たせ、また、成長率を加味した複数年ベースでの導入評価を行うことを可能とした。

この導入評価ツールの適用例では、投資期間で NPV が正になる結果を得た。これにより、事前評価ツールにより導入評価結果をキャッシュフロー換算し NPV として定量化することが有効であると示された。

参考文献

- 1) 筒井和雄, 外: マッピング技術を適用した配水コントロールシステム, 環境システム計測制御学会誌, Vol.1, No.1, pp.78-81 (1998)
- 2) 東京都水道局 環境報告書 2011, P32
- 3) 王扶桑, 漏水防止ハンドブック, ライフライン情報社, p37
- 4) アメリカ合衆国環境保護庁, ホームページ:
<http://www.epa.gov/nrmrl/wsrd/dw/epanet.html>