

## 上下水道の省エネルギー評価手法について

### An Evaluation Method of Energy Saving for Water Supply and Sewerage Systems

○中沢親志, 福山良和

富士電機アドバンステクノロジー株式会社

○Chikashi Nakazawa, Yoshikazu Fukuyama

Fuji Electric Advanced Technology Co., Ltd.

長倉善則, 花田俊一郎

富士電機システムズ株式会社

Yoshinori Nagakura, Shunichirou Hanada

Fuji Electric Systems Co., Ltd.

#### Abstract

This paper presents an evaluation method of energy saving for water supply and sewerage systems. The developed method is able to provide a precise current and future plan for energy saving without difficulty. The fast load flow method (backward forward sweep method) has been applied to calculate the active and reactive power of the systems. The comparison of the developed method with the actual data shows the effectiveness of the proposed method.

Key Words: energy saving, high-efficiency equipment, numerical simulation, load flow, backward forward sweep method

#### 1. はじめに

エネルギー使用の合理化に関する法律(昭和54年法律第49号)が2003年4月に改定され, 大規模な下水処理場は, 汚水ポンプ, 送風機(ファン, ブロワ)等の主要負荷の省エネルギー対策が重要となってきた。改訂のポイントは以下のとおりである。

①第一種エネルギー管理指定工場対象業種限定が撤廃された。

下水処理場もエネルギーの消費量によっては第一種エネルギー管理指定工場に指定される。

②第二種エネルギー管理指定工場に定期報告書提出を義務付けられた。

エネルギーの使用状況をよりの確に把握し, 適切な対策を講じるため, エネルギー使用状況等の定期報告が記録義務に加えて義務付けられた。

このような状況に対応する為, 富士電機システムズでは, 省エネ機器や高効率機器の導入, 最適制御による効率運転等の省エネルギー対策における省エネルギー量をシミュレーションで求めるソフトを開発した。このソフトによれば, 省エネルギー量を簡単に算出でき, 省エネルギー計画, 省エネルギー投資計画など容易に検討する事ができる。

#### 2. 下水処理場の省エネルギー対策<sup>[1]-[3]</sup>

電気設備のエネルギー管理の対象を大別すると, ①変電設備, ②動力設備, ③建築付帯設備が挙げられる。省エネルギー対策は, 「無駄なエネルギーを使わないこと」と「無駄なくエネルギーを使うこと」で, 「無駄なエネルギーを使わないこと」は, 電灯などの消灯, 不要機器の停止等であり, 「無駄なくエネルギーを使うこと」

はインバータ照明やポンプ、ブロワのインバータ化などがある。

電気設備の主な省エネルギー施策として、

- ①変電設備：変圧器の統廃合（無負荷・負荷損の軽減）高効率変圧器の導入
- ②動力設備：インバータ化，台数運転，高効率機器（高効率モータ）の導入
- ③建築付帯設備：インバータ照明（点灯器の改造），換気装置の最適化，誘導灯の高効率化が挙げられる。

処理プロセスの見直しによる省エネルギーも可能でより本質的であるが，処理水質の変動を伴う場合があるので，プロセスの事前検討などを充分に実施した上で，曝気送風機や攪拌機，ポンプの運転方法や制御方法を変更する必要がある。省エネルギーセンターのホームページ上に紹介されている民間企業の排水処理プロセスの例では20%以上の削減例が報告されている。

### 3. 省エネルギー量の定量化

第一種エネルギー管理指定工場で提出が義務づけられている中長期計画には，項目策定と同時に，その処理場で可能な省エネルギー量の定量的な報告が求められている。従って，機器や負荷でのエネルギー消費量の把握と，省エネルギー対策実施後の効果の定量化が必要となる。

ポンプ・ブロワの運転解析と電力消費量計算，処理場内の配電系統の潮流解析と機器及び配電線路の損失計算等，プロセスの状態解析のシミュレーションを基にした省エネルギー提案を実施している。

また，大阪府と実施している庁舎ESCO事業の実績をもとに，設備診断を実施して空調・換気，照明の省エネルギー量を定量化し，建築付帯設備の省エネルギー提案を行なっている。

#### 3.1 汚水ポンプの省エネルギー検討

ファン・ポンプ・ブロワの消費電力は，二乗低減トルク特性を持っており，回転数の3乗に比例して低減する。ファンの電力低減特性を Fig.1，ポンプ・ブロワの電力低減特性を Fig.2 に示す。

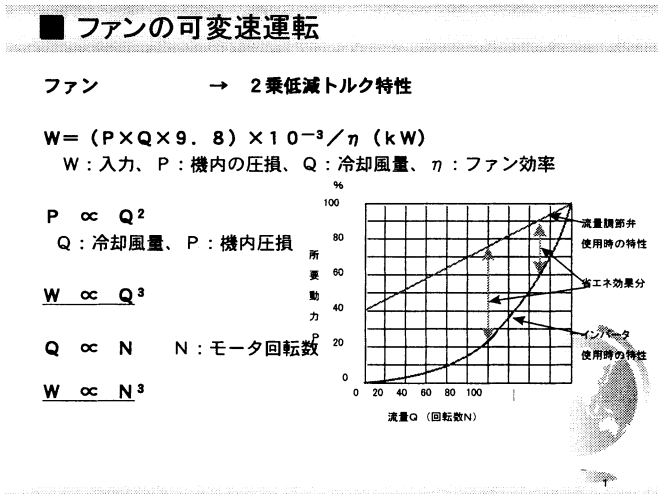


Fig.1 ファン電力低減特性

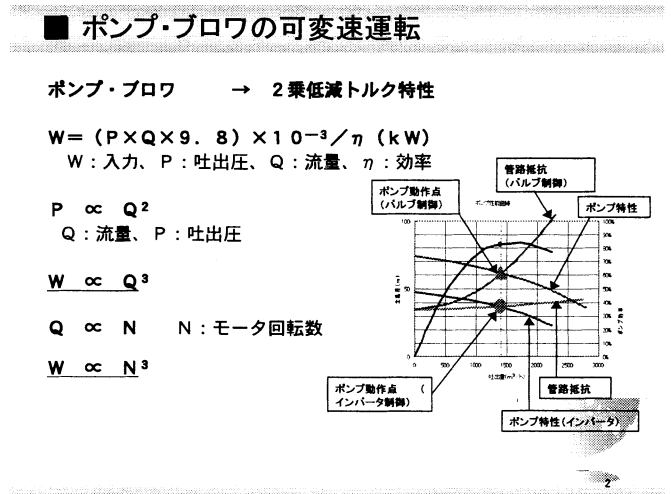


Fig.2 ポンプ・ブロワ電力低減特性

汚水ポンプの流量制御を行なう場合、流量制御範囲により、回転数制御範囲が決定する。例えば、50%～100%の流量制御を行なう場合、回転数を50%～100%に制御することになり、このときの電力は回転数の3乗で削減できるため大きな省エネ効果が期待できる。ポンプの運転点はポンプ特性、実揚程、管路抵抗特性のデータによって決まる。Q-Hカーブを作成し、ポンプ特性曲線と管路抵抗曲線の交点が運転点となるが算出する事は非常に困難であった。近似したQ-Hカーブをデータとして登録しておき、流量、圧力のプロセスデータから運転点を導き出し、求められた回転数よりポンプ動力に必要な電力量を簡便に算出する方式とした。

次に、汚水ポンプインバータ化による省エネルギー効果、バルブによる吐出量制御運転と、インバータ化による吐出量制御運転でのエネルギー使用量を試算した例を示す。ポンプ仕様を Tab.1 に示す。

Tab.1 ポンプ定格仕様

全揚程(定格)	26.0	m
吐出量(定格)	24.0	m <sup>3</sup> /min
軸出力(定格)	160	kW
実揚程(最大値)	20.00	m

ポンプ運転点は、吐出量を2280m<sup>3</sup>/hとし、ポンプQ-Hカーブより2700m<sup>3</sup>/hにおけるバルブ・管路損失を12m、インバータ時の管路損失を3mとする。

効果試算結果は下記の通り。(年間稼働率を75%とする。)

- ・バルブ制御時 304kW 1,997,280kWh
- ・インバータ制御時 219kW 1,438,830kWh

インバータによる省エネルギー効果は 558,450kWhとなる。

第一種エネルギー管理指定工場下限の1200万kWhの使用量とすると約5%改善する事になる。

### 3.2 電気回路シミュレーション<sup>[4]-[6]</sup>

処理場全体の消費電力をシミュレーションする手段として高速潮流計算手法である後退・前進計算(Backward Forward Sweep:以下、BFS)法を採用している。BFS法を用いることで処理場の各種の損失、使用電力量の算出が簡便に行なえるものである。例えば力率改善用コンデンサを設置することにより力率が向上し、系統の電流が減少する。それに伴い、電線での発生電力ロスが減少し、系統に接続されている変圧器の銅損も減少する。

また、機器の更新を計画する場合、標準効率変圧器の場合と高効率変圧器の場合とを比較することも容易に行なえる。高効率変圧器に入れ替えることにより変圧器単体の電力ロスが減少することはもちろん、変圧器一次電流が減少することで系統の線路損失も減少する。

さらに上述した送風機、汚水ポンプの可変速化(VVVF化)とすることで動力用電力を削減する事ができ、これにより系統の線路損失、変圧器損失も低減する。

これらの検討がBFS法を用いることで系統全体での消費電力量および接続ポイントごとの電力ロス、消費電力などを算出することが可能となる。例えば、力率改善のみ行なった場合の省エネルギー評価や可変速機器から高効率機器まで全てを導入した場合の省エネルギー評価など組み合わせ自由に設定できかつ容易に省エネ

ルギー効果の算出が可能である。これにより、設備投資計画の立案に役立てる事ができる。一例として Fig. 3 に、実システムデータと今回開発した電気回路シミュレーション結果の比較を示す。Fig. 3 より両者は良く一致しており、本手法が有効であることを示している。

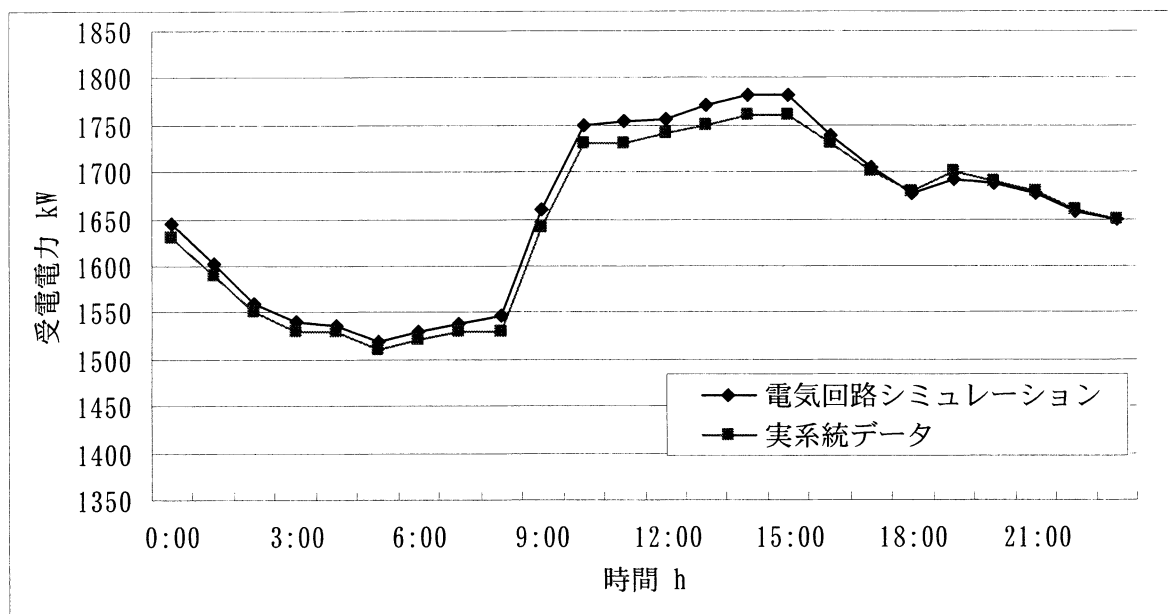


Fig. 3 例題システムにおける実システムデータと電気回路シミュレーションの結果の比較

#### 4. おわりに

高速潮流計算手法である後退・前進計算法 (Backward Forward Sweep 法, BFS法) を用いた省エネルギー評価手法について述べた。今後は、流入量予測によるポンプ場の最適制御, モデルによる最適水処理制御などの手法により求めた各種プロセスデータを本稿の省エネ評価ツールでエネルギーの評価をすることで、処理場全体の最適運用とはどのようにすればよいかをシミュレーションすることができる評価ソフトの開発を実施する予定である。

#### 参考文献

- [1] (社) 日本下水道協会 下水道施設計画・設計指針と解説 (前編) (後編) (2001 年)
- [2] (社) 日本下水道協会 下水道維持管理指針 (前編) (後編) (2003 年)
- [3] (社) 日本下水道協会 下水道用語集 (2000 年)
- [4] 田村:「電力システムの計画と運用」 オーム社 平成 3 年 2 月
- [5] 福山・他:「並列処理を用いた放射状システム高速潮流計算」 電気学会論文誌 B 116 巻 1 号 平成 8 年 1 月
- [6] 福山・他:「配電システム向け高速三相不平衡潮流計算用機器モデルの開発」 電気学会論文誌 B 122 巻 2 号 平成 14 年 2 月