BTG 管理システム —FEMS—による運用効率化と業務改善

The Optimal Operation and Business Improvement by BTG Management System—FEMS—

三菱電機株式会社^{*1} 電力システム製作所

○海野友宏^{*2}，青木啓志

Tomohiro Umino^{*2} and Keiji Aoki

Energy Systems Center, Mitsubishi Electric Corporation^{*1}

海野友宏

Abstract

Interest in FEMS (Factory Energy Management System) which performs energy optimization of the whole factory is increasing because of issue of global environment and electric power shortage. FEMS makes it possible to reduce energy and satisfy the demand of a factory. The past results show about 0.5~1 % of fuel cost and greenhouse gas can be reduced by FEMS. The effect by FEMS is not only an economic aspect. It can be said that greenhouse gas was reduced, because the fuel to burn is reduced.

We developed FEMS in 2003. After that, we have suggested and supplied FEMS to many customers. We have continued development based on a customer's demand and improvement. As a result, FEMS became high-precision control and a system which has an attractive support function. This paper introduces the concept and System configuration of FEMS, the function of On-line FEMS and Off-line FEMS. After that, it explains some features of our specific technologies which are calculation method of cost merit and multi-objective particle swarm optimization method. Multi-objective particle swarm optimization method makes it possible to become cost optimization and Greenhouse gas minimization simultaneously.

分類：U₂ 省エネルギー一般，U₇ 電気

1. はじめに

近年，地球環境問題への関心の高まりから，製造業でもこれまで以上の省エネ，温室効果ガス排出量の削減が求められている。さらに，昨今の電力不足問題に対応するため，製造業者の持つ製造ライン，自家発設備の更なる効率的な運用が求められている。しかし，高効率機器やインバータ等の導入による設備単体での改善はすでに実施されており，設備単体としての大幅な改善は難しい。上記のような背景

から，自家発分野で，工場の動力設備全体として最適な運転を行う FEMS (Factory Energy Management System) への関心が高まっている。

FEMS は工場のエネルギー需要を満たした上で自家発設備の最適運転を行い，燃料などの一次エネルギー消費量を削減することを目的としたシステムである。最適運転を行うことで，工場の生産性を維持した上で，温室効果ガス排出量，エネルギーのロス削減することが可能である。

弊社 FEMS を適用した工場では年間の購入燃料費に対して 0.5~1 % 程度のコスト削減，温室効果ガス排出量の削減があることを確認している。

本稿では，2 章で FEMS による最適運転の基本原理とシステム構成，3 章で弊社独自技術である多目的最適化手

^{*1}〒652-8555 兵庫県神戸市兵庫区和田崎町 1-1-2/1-1-2, Wadasaki-cho, Hyogo-ku, Kobe 652-8555, Japan

^{*2}E-mail: Umino.Tomohiro@ab.MitsubishiElectric.co.jp

変動する電熱負荷を満たすことを保証しつつ、自家発電設備のエネルギーコスト、CO₂排出量が最小となる

運転計画／運転支援／運転制御システムの提供

図 1 FEMS の概要

法、FEMS 導入によるメリット評価手法の紹介、4 章で具体的導入効果、5 章でまとめと今後の展望について述べる。

2. FEMS の概要

2.1 FEMS の基本原理

FEMS は、最適運用方法を算出するために、自家発電設備の設備特性を数理モデルによってモデル化し、燃料原単位、工場デマンドと共に最適化問題を解決するものである。このため、FEMS は工場全体として最も効率の良い負荷配分を算出することが可能である。図 1 に概要を示す。

弊社 FEMS は設備特性をモデル化する際に、ボイラの主蒸気流量が増加することにより給水ポンプや給水ヒータ、脱気器などへのエネルギー供給が増加すること、及び抽気・復水タービンの場合は各タービンの抽気バランスや抽気・復水バランスまで考慮してモデル化を行う。これらを考慮することで、精度の高い最適化を行うことが可能である。

工場内の自家発電設備では、副生ガスや黒液等の生産時の副生物、廃タイヤや RPF (Refuse Paper & Plastic Fuel) 等の廃棄物、重油や石炭等の化石燃料を使用して、工場が必要とする蒸気や電気などのエネルギーを発生させる。自家発電設備で蒸気や電気を発生させる場合、一般的に効率の良いボイラで多くの蒸気を発生させ、効率の良いタービン発電機で多く発電することが省エネ・省コストに繋がると考えられている。しかし、複数のボイラやタービン発電機で構成される自家発電設備の場合、効率の良い機器単体に最大負荷をかけるよりも、工場全体として最も効率の良い負荷配分を行ったほうが省エネ・省コストの効果が高いこと

が複数の工場の最適化を検討する中でわかった。

FEMS による最適化の例を図 2 に示す。基本的にボイラ、タービンが複数ある自家発電設備を対象としており、タービンの抽気配分を最適化することで運用メリットを創出する。図 2 に記載している数値は、各抽気、復水を 1 (t/h) 取り出した際の発電原単位 (kWh/t) を示している。図 2 の例では 2 T 復水の利用を多くすると効率が良いように見えるが、2 T の復水を減らす蒸気配分を行ったほうが、この場合は効率が良いという FEMS 演算結果が得られた。

2.2 FEMS のシステム構成

図 3 に既設制御装置を含めた FEMS のシステム構成を示す。FEMS はオンライン FEMS とオフライン FEMS でシステムを構築する。

オンライン FEMS と既設制御装置の接続方法としては、通信もしくはハードワイヤード取り合いに大別されるが、取り合いを行う情報量が多いため、基本的には通信による接続を採用している。

2.3 オンライン FEMS の機能概要

オンライン FEMS はプロセスデータを収集し、あらかじめ設定した設備特性を基に、最適なエネルギーバランスを算出する。オンライン FEMS で算出した指令値を既設の制御装置に直接入力することで、オペレータの操作を介さず最適エネルギーバランスでの運転を常に維持することが可能である。また、タービンの抽気効率など時間依存で変化する設備特性を自動学習・補正することで、常に高精度な最適化を実現可能である。

2.4 オフライン FEMS の機能概要

オフライン FEMS ではオンライン FEMS の最適化技術

例：下図のような2系統タービンを仮定。

<通常の運用方針>

発電効率の良い2Tを発電量・入力蒸気量最大で運転、1Tを負荷調整用とした運用。2Tの復水量を最大に。

一方、低圧蒸気デマンドに対して各抽気発電原単位から、2T第2抽気を増やし、1T第2抽気を減らすことで発電増加メリットが生ずることが分かる。

ところが、2T発電量・入力蒸気量最大で運転ゆえ、2T復水と第2抽気を同時に増やすことは不可能。

この場合、左図のように2T第2抽気を増やし、逆に2T復水を減らす運用にすることで、1Tを含めた設備全体としての発電増加メリットが得られる。

メリット最大となる発電所最適運用は、複数のタービン抽気量、復水の膨大な組み合わせから最適な配分計算をする必要がある → FEMS: 時々刻々と変化する工場デマンドなどを考慮し「人間では困難な」最適計算を高速に実行

図 2 FEMS による最適化の例

図 3 FEMS のシステム構成

を応用した様々な機能を搭載している。一例として、最適化シミュレーションがある。最適化シミュレーション機能は、工場のエネルギー需要、動力設備の状態(運転・停止)を入力することで、入力条件での最適エネルギーバランスをシミュレーションできる。この機能により設備の定期点検中、もしくはリプレース後のエネルギーバランスを事前に算出できるため、運用計画の立案や設備導入事前評価に役立つ。また、老朽化設備の停止可否の判断補助にも使用できる。

3. 三菱電機の独自技術

弊社独自技術として、特許技術である FEMS 導入後の精度の高いメリット評価手法と多目的最適化手法を紹介する。

3.1 FEMS 導入によるメリット評価手法

弊社は、FEMS を導入しなかったときの工場の運用をシミュレーションにより正確に求め、FEMS 導入後と比較することで、FEMS 導入によるメリットを精度高く評価する手法を開発している¹⁾。図4にメリット評価手法の概要を示す。

機器単体の効率化の場合は、導入メリットの評価は容易である。しかし、工場の動力設備全体を対象とする FEMS を導入した場合は、購入燃料や購入電力のコストが下がっても FEMS によるメリットか、環境変化(操業条件等)の変動による差異なのか分からず、導入メリットの評価が難しかった。そこで、FEMS を導入しなかった場合のコストをシミュレーションにより算出し、FEMS 導入後のコストと比較することでメリットを算出する方法を考案した。具体的には、一定期間の工場のエネルギー需要とそのとき

① 【環境変化がない場合】

② 【環境変化がある場合】

図 4 FEMS 導入後のメリット評価手法

図 5 多目的最適運用制御方式

のオペレータの操作を取得し、FEMSを導入しなかった場合のシミュレーションモデルを作成することで比較を行う。

3.2 多目的最適化手法

従来のFEMSでは、燃料コストと同時に温室効果ガス排出量を最小化するという多目的最適化が困難であった。そこで、図5に示すように、複数の目的関数を同時に改良させる解が他に存在しない解（パレート最適解）を多数算出して、様々な運転計画に応じた最適解を採用できる手法を開発した²⁾。これにより、燃料コスト最小化とするか、温室効果ガス排出量を最小化するかといった工場の運営方針に応じた最適化運転を実施可能である。

4. FEMSの導入効果

これまでの実績から、オンラインFEMSで最適制御を行った場合、一年間のエネルギーコストに対して、約0.5～1%のコストメリットが得られることがわかっている。本システムは導入前に粗いデータでの簡易診断を行い、システム導入後に期待される効果を事前評価する。過去実施した簡易診断結果の多くでは一年間のエネルギーコストに対して、約1～3%のコストメリットが期待できるという結果が出ているが、この数値は理想値である。オンライン

FEMSの実運用実績では、算出された目標値に対するプロセス応答の遅れや安定運転のための指令値に対する上下制限約により、コストメリットは簡易診断によって算出された結果の5割～7割である。仮に年間50億円のエネルギーコストがかかる工場であれば、約2千5百万円～1億円程度のエネルギーコスト削減となる。

5. おわりに

本稿では、地球環境問題への関心の高まり、夏、冬の電力不足問題から、製造業でもこれまで以上の省エネ、温室効果ガス排出量の削減が求められていることを述べ、自家発分野において工場の動力設備全体として効率化を行うFEMSでこれらの課題を達成できることを述べた。

弊社は2003年に開発してから、多数のお客様に提案、納入をしてきた。その中で得られた要望をFEMSに盛り込み、開発を続けてきた結果、弊社FEMSは省エネ、温室効果ガス排出量の削減機能だけでなく、正確なコストメリットの計算・多目的最適化・最適運用計画機能など、お客様から大変喜ばれるシステムとなった。下記に近年の開発について本稿で紹介したものと別の機能の概要を記述する。オンラインFEMSでは、実導入時のメリット増加を目的として、プロセス応答の高速化技術を開発した。実

運用実績はまだ無いが、従来の FEMS に対し、より簡易診断に近いメリットが期待できる。オフライン FEMS では、メリット創出箇所の見える化を行うことで、どの運転ポイントの改善でメリットが出ているかが容易に判定できる機能を開発した。

今後、原子力発電所の停止による夏、冬の電力供給不足から、火力発電所だけでなく、自家発の効率的運用に対する期待が増大することが見込まれる。このような情勢下で、自家発分野における FEMS の重要性はますます高まって

いくだろう。

References

- 1) 北村聖一，ほか：最適化手法を用いた省エネ効果推定法の提案と工場エネルギー供給システムへの適用 電学論 C Vol.128 No. 1 ppl 39-44 (2008)
- 2) 北村聖一，ほか：改良 MOPSO による工場エネルギー供給計画の多目的最適化 電学論 C vol.125 No.1 pp 21-28 (2005)