

# エネルギー供給機器向け 省エネ最適運用システム TOPEMS™

TOPEMS™ Optimal Operation System for Energy Saving in Manufacturing Plants

山田 利広      上都 礼智      塚原 英樹

■ YAMADA Toshihiro      ■ KAMITO Akinori      ■ TSUKAHARA Hideki

ボイラや自家発電設備、冷凍機などのエネルギー供給機器を常に最適な運転状態に自動制御し、運転コストの削減と省エネルギー（以下、省エネと略記）を実現する最適運用システム TOPEMS™を開発した。

このシステムは、工場における電力と熱（蒸気、冷水、温水）の需要予測を行い、エネルギー供給機器ごとの最適な運転スケジュールを求めることを特長としている。これにより1～5%の省エネが実現できる。更に、省エネ運転を自動化することができるため、運転管理の省力化にもおおいに寄与するものである。

Toshiba has developed an innovative operation system for manufacturing plants called TOPEMS™, which determines the optimal mode of operation to achieve cost reductions and energy savings in energy supply equipment such as boilers, refrigerators, and in-house power generators. TOPEMS™ automatically ensures that such equipment is in the optimal running condition at all times.

This system is designed to forecast the energy demand for supplying electricity, steam, chilled water, and hot water in the plant, and to create the optimal running schedule for individual energy-supply equipment. When applied, the system realizes energy savings of about 1% to 5%. Moreover, since the system automatically manages the running control of energy-supply equipment, it also achieves significant savings in labor because fewer operators are required.

## 1 まえがき

半導体工場や薬品工場などクリーンルームが設置された工場では、ボイラやコージェネレーションシステム（CGS）、冷凍機といった多くの熱源機器が稼働しており、大量のエネルギーを消費している。また、製紙工場や化学工場などでも、製品製造に使用する電力と蒸気を供給するために、複数のボイラ、タービン、及び発電機（BTG）から成る大規模な自家発電設備が稼働している。

近年の省エネニーズの高まりに応えるため、これらのエネルギー供給機器を常に最適な運転状態に自動制御して省エネを実現する、最適運用システム TOPEMS™を開発したので、その概要と適用事例について述べる。

このシステムは、既に半導体、薬品、製紙など多くの工場稼働し利用されている。また、化学工場や食品・飲料水工場向けのシステムが、今夏運用を開始する予定である。

## 2 最適運用システム TOPEMS™の概要

### 2.1 TOPEMS™の特長

このシステムのコンセプトを図1に示す。製品製造工場においては、電力、蒸気、冷水、温水など、複数の形態のエネルギーが必要である。これらのエネルギー需要を賄うため、CGSやBTG、各種冷凍機といった多くの発電設備や熱源機

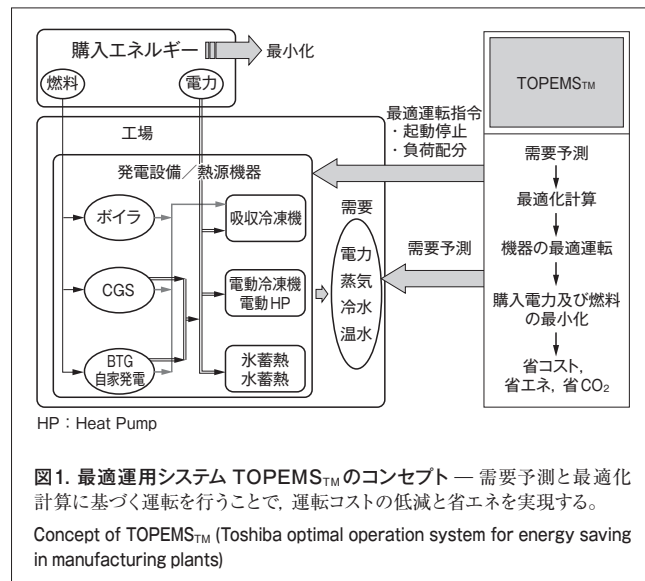


図1. 最適運用システム TOPEMS™のコンセプト — 需要予測と最適化計算に基づく運転を行うことで、運転コストの低減と省エネを実現する。

Concept of TOPEMS™ (Toshiba optimal operation system for energy saving in manufacturing plants)

器が設置され、日々運用されている。

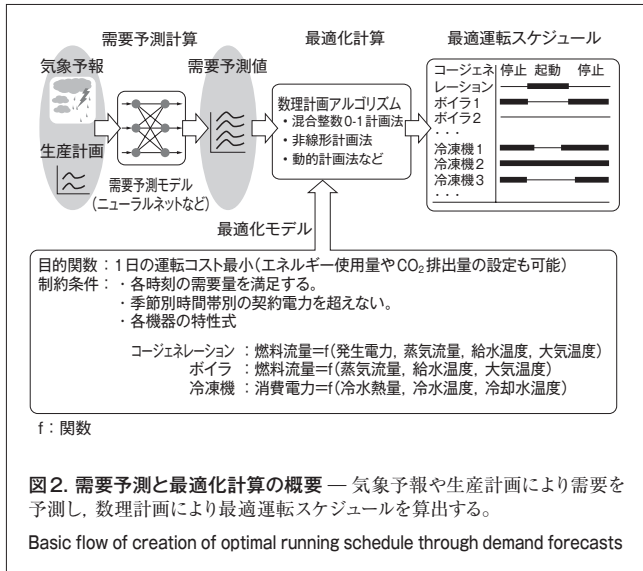
TOPEMS™の特長は、エネルギー需要の予測に基づき、各機器を自動的に最適運転することである。

このシステムでは、まず、各エネルギーの需要予測を行う。次に、予測された需要値に対する各機器の最適な運転状態（起動・停止や負荷配分）を計算する。この結果に従って、各機器を自動最適運転することで、購入エネルギーを最小化し、省コスト、省エネ、及び省CO<sub>2</sub>（二酸化炭素）を実現すること

ができる。なお、需要予測が難しい工場に対しては、現在のエネルギー需要に対して逐一最適化制御を行うことで、同じ効果が得られる。

## 2.2 需要予測と最適化計算の方法

このシステムの特長である需要予測と最適化計算の概要を図2に示す。



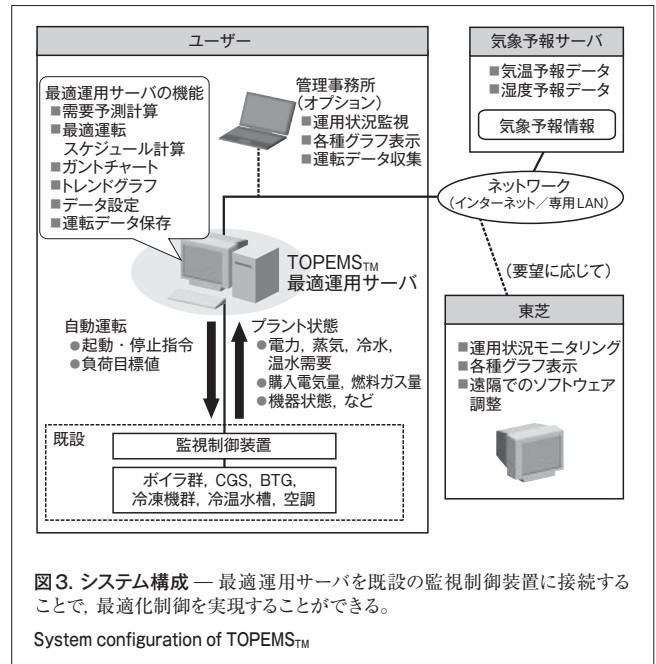
需要予測モデルは、外気の温度や湿度とエネルギー需要との関係を過去の運転データから学習させたもので、ニューラルネット（脳の活動を模倣した数学モデル）などで構築している。これに気象予報値や生産計画を入力することにより、将来の需要の変化を予測する。予測には必ず誤差が生じるため、実需要により誤差補正を自動的に行い、精度を高めている。

最適化モデルは、各機器のエネルギーの入出力特性や各種制約条件、及び目的関数（運転コスト最小、原油換算エネルギー使用量最小、炭酸ガス排出量最小）を定義している。この最適化モデルに需要予測値を入力し、数理計画法<sup>(注1)</sup>により高精度な最適化計算を行い、各機器の最適な運転計画を求めている。

## 2.3 システム構成

図3に示すように、発電設備や熱源機器の既設の監視制御装置に最適運用サーバを接続し、最適化制御を行う構成となっている。需要予測に必要な外気の温度や湿度の予報値は、外部の気象予報サーバより取得する。最長48時間先までの予報データを1時間刻みで入手することができる。また、最適運用サーバのマンマシンインタフェースはWebアプリケーション

(注1) 与えられた制約条件の下で、適当な目的関数と最小化（最大化）する問題、及びそのような決定変数を見つける問題を数理計画問題と言い、また、数理計画問題の解を求める方法（及び方法論）を称して数理計画法と呼ぶ。混合整数0-1計画法、非線形計画法、動的計画法などがある。



シオンとなっており、設備管理部門の事務所などでも運用状況の監視やデータの収集が可能である。

## 2.4 機能概要

最適運用サーバの主な機能は、次のとおりである。

- (1) 需要予測機能 気象予報情報（気温、湿度）や生産計画から、1日の電力、蒸気、冷水、温水などの需要予測を行う。
- (2) 最適運転スケジュール計算機能 需要予測結果に基づき、1日の運転コストが最小となるような各機器の最適運転スケジュールを求め、制御指令を出力する。  
なお、制御指令を出力せずに結果表示だけを行い、運転ガイドランスとして利用することも可能である。
- (3) 運転制約の設定・修正機能 定期点検中の機器の指定や、運転モード及び運転優先度の設定などを行うことができる。  
例えば、定期点検中の機器や、起動・停止状態及び負荷を固定して運転したい機器については最適化対象から除外することができ、それ以外の機器を最適運用することができる。
- (4) シミュレーション機能 需要値や燃料単価、契約電力などの様々なパラメータを変更して、最適化計算を実行することができる。これにより、将来の運用を検討することができる。
- (5) 結果表示機能 需要予測結果のトレンド（傾向表示）グラフ、最適運転スケジュールのガントチャート（起動・停止スケジュール表）、プラント状態量のトレンドグラフ、全体システム監視画面、コスト積算グラフ、及び機器特性グラフなどが表示できる。画面表示の一例を図4に示す。

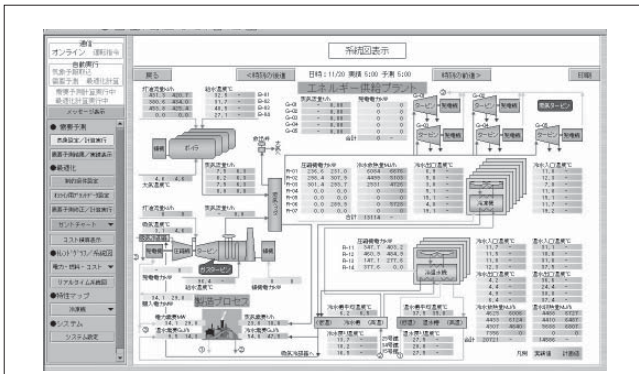
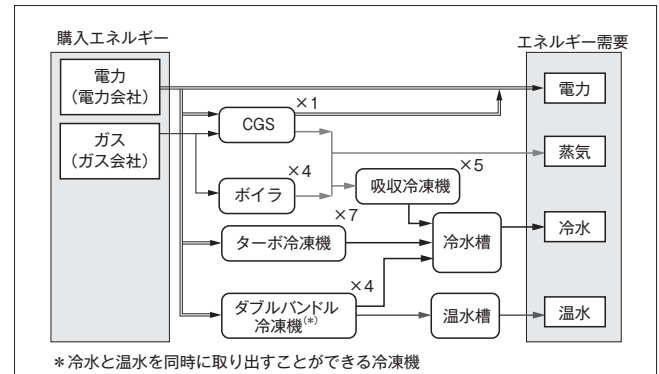


図4. 画面表示例 — 全体システム図の表示例を示す。各機器の温度や流量などが最適値とともに表示され、運転状態を確認することができる。

Example of screen display showing whole system



\* 冷水と温水を同時に取り出すことができる冷凍機

図5. 半導体工場の最適化対象プラント — 多くの機器で構成され、需要に応じて様々な運転ができる。

Energy flow in semiconductor factory targeted for optimization

## 2.5 導入のメリット

最適運用システム TOPEMS<sup>TM</sup>を導入することによるメリットを以下に述べる。

- (1) 常にコスト最小運転と省エネ運転が可能
  - (a) 需要予測に基づく最適な運転パターンで運転できる。
  - (b) 電力単価や契約電力、燃料単価の変更にも柔軟に対応できる。
- (2) 最少人数での運転が可能
  - (a) 自動制御機能により機器操作の手間が省け、最少人数で運用できる。
  - (b) ガイダンス表示機能により、熟練者でなくても最適運転ができる。
- (3) 段階的なシステム構築と省エネが可能
  - (a) ガイダンス運用から自動運転まで、段階的なシステム構築と省エネができる。
- (4) 将来の設備改善計画の検討が可能
  - (a) 蓄積された運転データから機器の経年劣化を検出でき、メンテナンス対象と時期、及び更新対象機器を判断することができる。
  - (b) シミュレーション機能により、需要変動や燃料単価、電力単価などが変化した場合の運用を検討することができる。

## 3 半導体工場への適用例

ここでは、最適運用システム TOPEMS<sup>TM</sup>を半導体工場へ適用した例について述べる。

### 3.1 概要

対象の熱源設備の構成を図5に示す。対象となる熱源設備は数種類の機器で構成されており、需要に応じて様々な運転が可能となっている。クリーンルームが設置された工場の電力、冷水、温水、蒸気といったエネルギー需要は、温度や湿

度など外気状態の影響を受け、季節や昼夜によって大きく変動する。このような熱源設備は、需要の変動要因を理解している運転員の経験により運用されていることが多い。しかしながら、人による運転にはおのずと限界がある。

これに対しTOPEMS<sup>TM</sup>では、気象予報に基づき需要を予測し、将来の最適な運転スケジュールを算出することができるため、ベテランの運転員でなくても安全に省エネ運転を行うことができる。

### 3.2 適用結果

需要予測結果の一例を図6に示す。予測誤差は平均3%程度であり、最適化に十分使用できる。

図7は最適運転の検証試験を行ったときの結果である。冷水槽や温水槽をうまく活用して、夜間蓄熱を積極的に行っている。また、需要予測によりむだな蒸気吸収式冷凍機を稼働させる必要がなく、ガス使用量を削減している。

最適化効果の1日の積算値は、省コストで4.5%、省エネと省CO<sub>2</sub>で3%であった。効果は季節により変動するが、通年では3~5%の効果が実際に得られている。

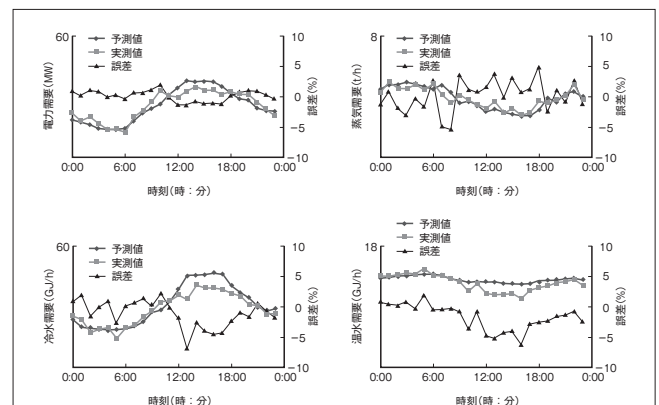
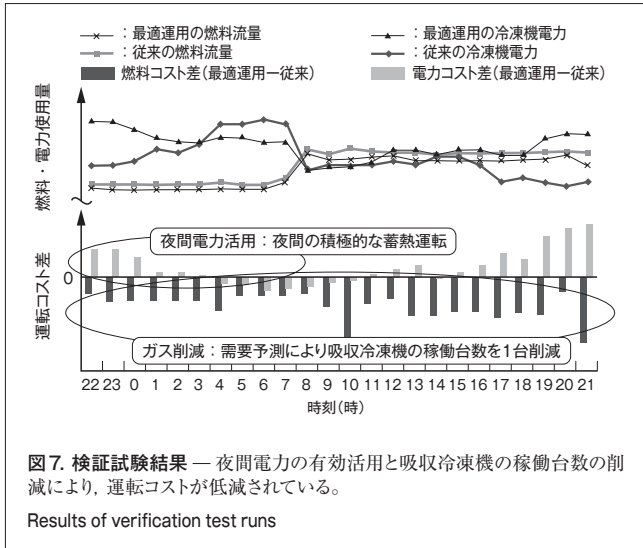


図6. 需要予測の一例 — 予測誤差は約3%であり、最適化に十分活用できる。  
Results of demand forecasts

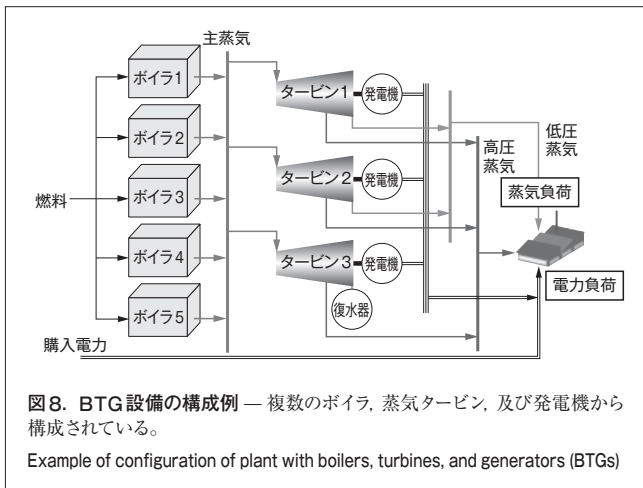


## 4 BTG設備への適用例

### 4.1 概要

BTG設備は、図8に示すように複数のボイラ、蒸気タービン、及び発電機から構成されている。工場のエネルギー需要は電力と、圧力の異なる蒸気である。

BTG設備を備えている工場では需要予測を行うことが難しい場合が多く、現在の需要値に対するボイラ及び蒸気タービンの最適負荷配分を逐一算出して、自動制御を行う方法が有効である。



### 4.2 評価例

表1は、あるBTG設備に対して最適運用の評価を行った例である。要求電力量と要求プロセス蒸気量に対するボイラ及びタービンの負荷配分(蒸気発生量、発電量、抽気量)を最適化し、季節ごとに運転コストの改善率を評価した。

季節や時間帯によりばらつきがあるが、平均すると1%以上の改善が見込める結果となっている。

表1. BTG設備に対する最適化の評価例

Example of evaluation of seasonal improvements in BTGs after optimization

季節	平均改善率 (%)	最小改善率 (%)	最大改善率 (%)
中間期	1.77	0.01	2.95
冬季	0.70	0.47	1.02
夏季	1.14	0.86	1.39
年間	1.35	0.01	2.95

## 5 あとがき

工場の発電設備や熱源設備の運転コスト削減と省エネを実現する最適運用システム TOPEMS™について、概要及び二つの適用事例を述べた。半導体工場の例では3~5%の効果が実績として得られ、BTG設備の例では1%以上の効果が見込まれる結果であった。

今後も、このシステムのような製品の提供を通じて、工場の省エネ施策に貢献していきたい。



山田 利広 YAMADA Toshihiro

電力システム社 新技術応用事業推進統括部 新技術応用システム技術部主務。最適運用システムの開発に従事。計測自動制御学会会員。New Technology Application Business Div.



上都 礼智 KAMITO Akinori

電力システム社 府中事業所 情報制御システム部主務。最適運用システムの開発に従事。計測自動制御学会会員。Fuchu Complex



塚原 英樹 TSUKAHARA Hideki

電力システム社 府中事業所 情報制御システム部。最適運用システムの開発に従事。Fuchu Complex