

# 産業・業務分野におけるエネルギーソリューション

Energy Solution in the Industrial and Commercial Fields

坂内 正明 Masaaki Bannai  
吉田 卓弥 Takuya Yoshida

木村 泰崇 Yasutaka Kimura  
藤居 達郎 Tatsuo Fujii

関口 恭一 Kyoichi Sekiguchi  
澤 敏之 Toshiyuki Sawa

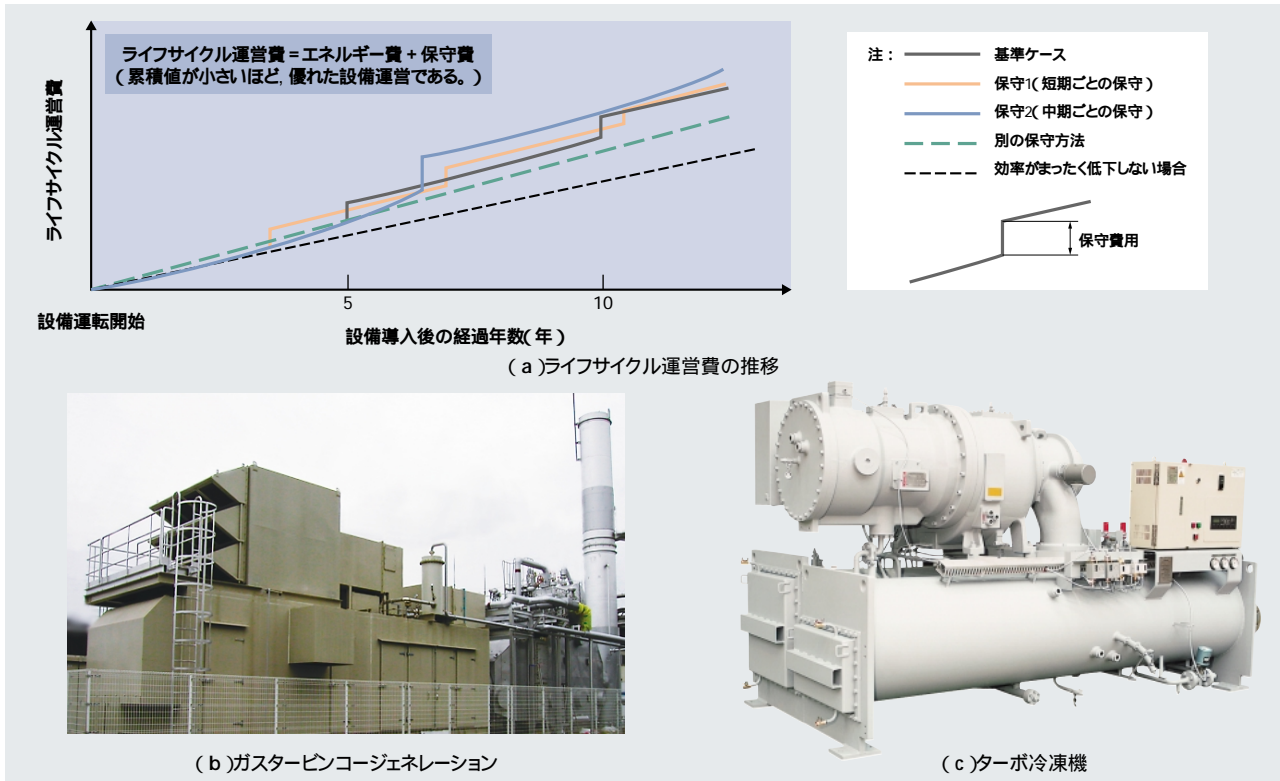


図1 長期間で累積ライフサイクル運営費を最小とする運転・保守方法の探索

省エネルギー機器は、運転期間とともに性能が劣化する。機器の運転状況に応じて保守方法、頻度を最適に実施することにより、ライフサイクル(CO<sub>2</sub>排出量、エネルギー使用量、運用費の累積)の各値を最小にすることができる。

京都議定書の約束期間内でのCO<sub>2</sub>を主体とする温室効果ガス排出量の具体的な削減施策として、産業・業務部門の顧客を対象としたESCO(エネルギーサービスカンパニー)事業が注目されている。

日立グループは、モノづくりを基盤とするサービス事業者としてESCO事業に取り組んでおり、1999年以降、8年余りの間、多くの実績を重ねてきた。現在稼働中のESCO設備において顕在化している設備の運営に関する課題を解決するために、構成機器の性能評価や複数機器の運用最適化手法をはじめとする新たな施策を通じて、機器のライフサイクルにおける運営費の最小化を図っている(図1参照)。

## 1.はじめに

近年、エネルギーを取り巻く状況は劇的に変わりつつある。特にBRIC(ブラジル、ロシア、インド、中国)諸国の急激な経済成長や、原油埋蔵量のピークアウト論の台頭による石油需給の逼迫(ひっばく)により、原油価格は異常なまでに高騰した。それに加えて、2008年度からスタートした京都議定書の約束期間内でのCO<sub>2</sub>を主体とする温室効果ガス排出量の具体的な削減施策の計画と実行は、産業界や業務部門にとって待ったなしの状況となっている。

特に、1970年代初頭から積極的に省エネルギーを推進してきた産業界に対しては、さらなるCO<sub>2</sub>削減が期待されており、従来のエネルギー使用でのニーズである「省エネルギー」、「省エネルギー設備の短期投資回収」に、新たに「CO<sub>2</sub>削減」が加わり、今まで以上に技術・経済の両面で高次元の課題解

決を迫られている。

CO<sub>2</sub>削減は人間の生活環境を保持し、地球の温暖化を抑制するために、今後も持続しなければならない重要なテーマである。CO<sub>2</sub>削減については、企業ごとに温室効果ガス排出量の上限(キャップ)を課し、過不足分を排出権として取引(トレード)して調整する「キャップ・アンド・トレード」が新しい制度として、2002年の英国での排出量取引制度の導入を手始めに実施されており、すでに欧州域内では3兆円以上の市場規模に達している。米国も欧州型の排出権取引を導入する方向であり、日本も2008年7月開催の北海道洞爺湖サミットを前に、制度整備<sup>1)</sup>を急ピッチで進めている。

日立グループは、1999年に産業・業務部門の顧客を対象にESCO(Energy Service Company)以下、ESCO事業と言う。)を推進してきた。

ここでは、CO<sub>2</sub>削減を実現し、地球環境保全に貢献する日立グループのエネルギーソリューションの中から、国内各所で運転している省エネルギー機器のライフサイクル運営費を削減する事例を中心に述べる。

## 2. 日立グループによるESCO事業

日立グループのESCO事業は1999年にスタートした。初期にESCO契約を締結し、稼働を開始したエネルギー設備の運用は、2008年春現在、すでに8年余り経過している。契約期間中に各設備の性能をできるだけ高く維持することは、顧客に対するESCO事業者の最も重要な責務である。

エネルギー設備は主にガスタービンやガスエンジンなどの原動機を主体としたコージェネレーション設備、冷熱源設備や空気源(圧縮機など)である。これらの設備は特に産業部門において、四季を通して連続運転するという、機械にとって最も過酷な条件下で稼働している場合が多い。このため、ESCO事業の契約期間中に性能(出力)や効率が低下したり、あるいは機械が故障・停止に至ったりするケースもあった。

日立グループが契約しているESCO事業の設備については、各設備のエネルギー需給状況を常時監視している。ESCO設備は、外的・需要側の条件が常に変動しながら運転されるため、ESCO開始時からの性能の劣化度を評価することはきわめて難しかった。これに対し、実際の機器の運転データと各機器の機械特性(性能特性をモデル化)から、機器ごとに真の性能の劣化度を評価し、事業所ごとの最適な運用・保守方法を求める、ライフサイクル運営費再評価を推進してきた(図2参照)。両者の合計費用の最小化を図ることがライフサイクル運営費の最小化につながり、CO<sub>2</sub>削減を確実に実行でき、顧客とESCO事業者双方にとって望ましい結果になる。

運営費低減施策の特徴を以下に示す。

### (1) 機器の点検・保守の最適化

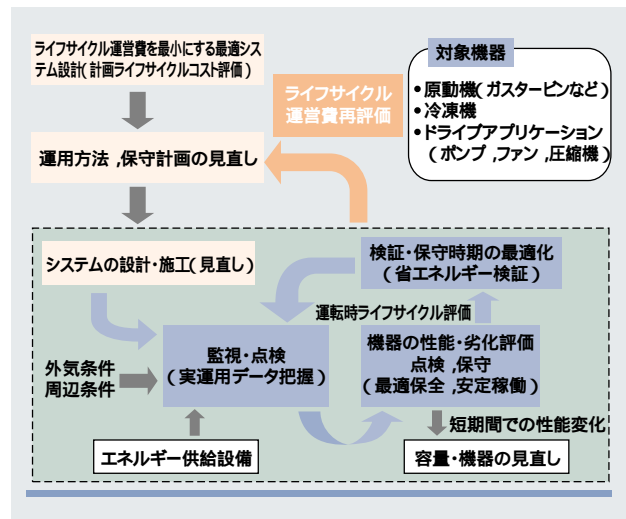


図2 ESCO設備のライフサイクル運営費の削減実行施策

エネルギーサービス事業のライフサイクルは機器の設置場所、運転状況によりそれぞれ異なる。機器ごとに最適な運用条件を見だし、実際の運用に反映させることが重要である。

機器は、適切な保守を実施しなければ性能や効率を経時的に低下していく。機器の性能低下の割合は、外気や設置場所の周辺条件などによる外的要因や機器ごとに異なるため、機器ごとの入出力エネルギー、外気条件などの監視データを用いて性能と劣化度合いを評価し、保守の項目と時期を再設定しながら運用者に指示する。

### (2) 短期間での機器性能の変化

短期間での性能の変化は、負荷側(例えば生産量の増減)や機器側の外気や冷却水の急速な汚れなどが要因として考えられる。監視データから、過去のデータとの大きな相違が検知された場合は、負荷側や機器の迅速な点検を運用者に助言する。

以上に述べた二つの施策を実行することにより、顧客とESCO事業者双方に以下の三つのメリットをもたらすことができる。

#### (1) ライフサイクル運営費の低減

エネルギー供給設備の性能の劣化度は、設置される場所や運転状態によってすべて異なる。機器ごとの実際の運転状況を把握することにより、適切な保守項目と時期を見極めることができれば、むだ、または過剰な保守を実施しなくても済み、ライフサイクル運営費を最小化することができる。

#### (2) 機械故障の予防保全による生産損失の抑制

機械故障の発生を予測して予防保全(Preventive Maintenance)を実施すると、安定した生産を継続することができ、顧客側の生産損失の抑制を図ることが可能となる。

#### (3) 機器の運転の最適化

機器ごとの性能劣化の度合いにより、ライフサイクル運営費を最小とする運用方法も変わってくる。機械の運転状況に応じて随時、運営費を最小化する運転方法を指示することにより、適宜、コストの最小化を実現する。

これらの具体例を以下に述べる。

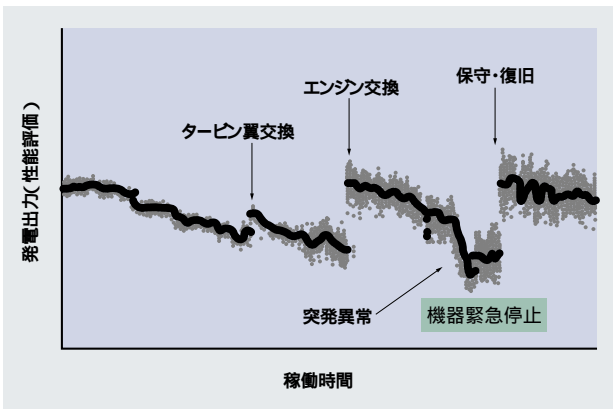


図3 ガスタービンの性能劣化評価例  
 実際の計測データを用いて発電出力の経年劣化と、エンジン交換、保守による性能回復や性能の異常低下の状況を定量化することが可能になったため、適切な保守を実行できる。エンジンの急激な性能劣化によるトラブルも予知可能となった。

### 3. 主要構成機器の性能評価

#### 3.1 ガスタービンの性能評価

ガスタービンは電力と熱を同時に供給する省エネルギーのための重要な構成機器である。

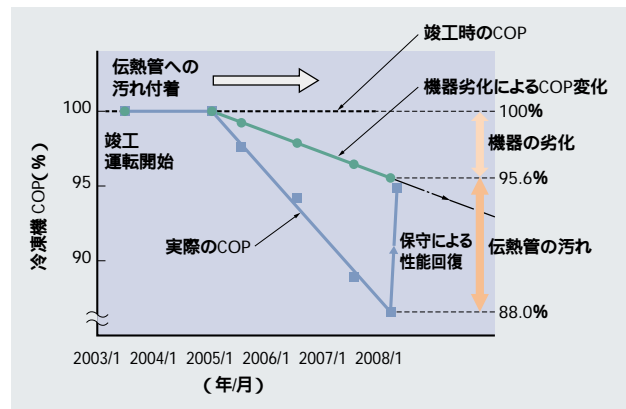
ガスタービンの性能は大気条件によって大きく変わり、日中で約5～10%、年間で最大20%も変動する。このため、従来は詳細な設計情報に基づいてガスタービンの内部現象を再現する計算モデルを構築し、このモデルに実機の運転条件を入力して性能を予測させ、これと実機で計測した性能とを比較して性能診断するのが一般的であった。

しかし、エネルギーサービスに用いられるガスタービンは、数年ごとのオーバーホールと経年劣化によって性能特性が大きく変化し、また、対象機器は自社製品だけでなく他社から購入するケースも多い。この場合、設計値を入手することができず、高精度な性能評価が容易ではなかった。

そこで、設計情報に依存せず、運転中の実データのみからガスタービンの性能計算モデルを自動構築する技術を新たに開発した。この技術は、独自開発した多次元指標による負荷状態同定アルゴリズムによって、大気条件などの変動要因の影響を分離し、設備性能の正確な経時変化を評価する。モデルの性能予測精度は、誤差1%以内である。

評価事例を図3に示す。この技術によって、従来は識別できなかった性能の経年的な低下や、異常事象による突発的な変化、部品交換など保守による回復状況を定量的に評価できるようになった。また、実際の運転データから劣化を評価することができるため、部品交換や作業人員を効率的に手配し、低いコストで設備の性能・効率を維持することが可能である。

さらに、性能変化の短期間劣化の早期検出も可能な予兆診断アルゴリズムも開発しており、今後は性能評価を実施するサイトを順次拡大していく予定である。



注:略語説明 COP(Coefficient of Performance)

図4 ターボ冷凍機の運転性能の経年劣化(実機での事例)  
 伝熱管の汚れを計測することにより、冷凍機の性能劣化の度合いを評価し、伝熱管の保守計画に反映させる。この例では、伝熱管の化学洗浄により、汚れによる性能劣化分を完全に回復することができた。

#### 3.2 冷凍設備の性能評価

半導体、電子部品や食品などの産業部門では、年間を通して冷熱を必要としている。事業所全体のエネルギー消費量に対し、冷熱製造のためのエネルギーが占める割合は $\frac{1}{4}$ ～ $\frac{1}{3}$ とわけて大きい。

したがって、冷凍設備の性能劣化の程度を評価し、機器の劣化の状況に応じて適切な保守を適切な時期に行うことは、冷熱源のライフサイクルの運営費を最小化することに直結する。運転費を削減し、CO<sub>2</sub>排出量を削減しようとする顧客とESCO事業者の双方にメリットがある。

日立グループは、前述のガスタービン同様、冷凍機の実運転稼働状況を用いて、性能劣化を評価するシミュレータを開発した。このシミュレータは、性能劣化を機器の経年(運転時間に連動)劣化と冷却水の汚れによる蒸発性能の経時劣化の合成と考えて評価することができる。

冷凍機の運転時間と各劣化要因の劣化の寄与分を図4に示す。

#### 3.3 複合設備の運用の最適化(CO<sub>2</sub>費の最適化の切り替え)

事業者は生産活動に対して、適切に設備の計画立案、および運転を行っている。しかし、時間の経過とともに、工場の電気や蒸気などの需要量が変化するため、設備導入当初に比べて運用効率は低下するケースがある。また、エネルギー源に電気や化石燃料を用いる場合には、エネルギー運営費の増減およびCO<sub>2</sub>排出量の増減など、地球温暖化への影響が変動するという課題も発生する。

この解決策の一つとして、多種多様なエネルギー源を活用して、電力および蒸気の融通を図る方法がある。これは、電力および蒸気の需要の変化に合わせて、この多種多様なエネルギー源を効率よく利用するために、発電およびボイラなどの複数設備の最適な運転計画を立案し、運転するものであ

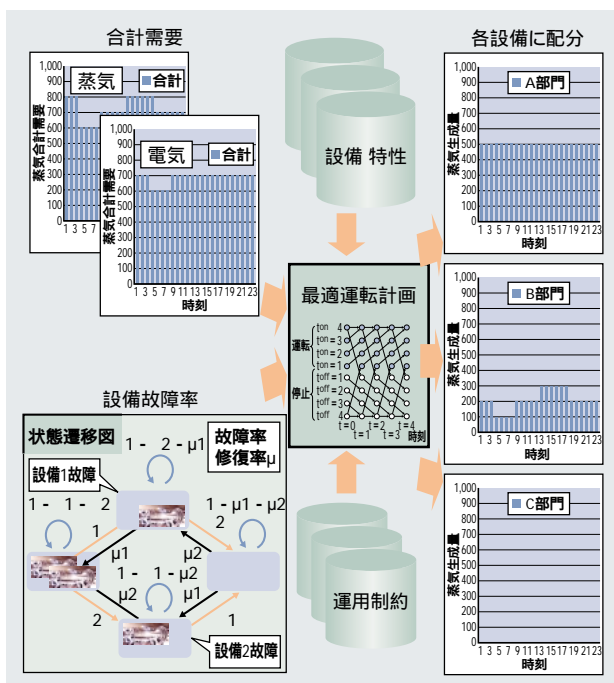


図5 最適計画立案システム

エネルギー需要を予想し、機器の特性、運用制約を考慮して、最適な運転計画を立案し、需要に応じて配分する。左下図は、機器が二つの例での設備故障の状態遷移の例を示す。累積運転時間の長短の差により、故障率や修復率が異なるため、最適運転の計画は変化する。

動的計画法などの最適化手法を適用して、電力・蒸気や冷熱など複数のエネルギー源の設備運用を最適化することができる。

ただし、この多種多様なエネルギー源の利用を実現するためには、全体のエネルギー消費コストを削減するとともに、個別設備の故障による生産活動への影響のリスクを従来と同等以下に維持することが必須である。このために、各機器の故障率および修復率を考慮して、運用状態の遷移確率を予測することが求められる(図5参照)。この確率と機器の運転計画

#### 執筆者紹介



**坂内 正明**  
1975年日立製作所入社、都市開発システムグループ エネルギーソリューション本部 所属  
現在、産業・業務ユーザー向けの温暖化防止、省エネルギーシステムのエンジニアリングや新製品開発業務に従事  
工学博士、技術士(機械、総合技術監理部門)  
日本機械学会会員、空気調和・衛生工学会会員、電気学会会員



**吉田 卓弥**  
1993年日立製作所入社、電力グループ 電力・電機開発研究所 ターボ機械研究開発センタ 流体科学プロジェクト 所属  
現在、エネルギーシステムおよび環境システムのシミュレータ・診断技術・評価モデルの研究開発に従事  
日本エネルギー学会会員、廃棄物学会会員



**木村 泰崇**  
2003年日立製作所入社、日立研究所 情報制御研究センタ 情報制御第二研究部 電力情報制御ユニット 所属  
現在、産業用冷凍機の解析技術の研究開発に従事  
電気学会会員

を基に、機器が故障した場合のエネルギー供給不足量を用いて、生産活動の低下リスクを比較評価し、予備機を選定する。

以上の方法により、需要の変化に対応してエネルギーを効率的に運用し、各事業者のエネルギーコストの削減を図ることができる。同時に、CO<sub>2</sub>排出量を最小化し、地球環境保全に寄与することにつながる。

#### 4. おわりに

ここでは、CO<sub>2</sub>削減を実現し、地球環境保全に貢献する日立グループのエネルギーソリューションの中から、国内各所で運転している省エネルギー機器のライフサイクルの運営費を削減する事例を中心に述べた。

現在、日立グループが推進しているESCO事業は以下の大きな課題に取り組んでいる。

##### (1) エネルギー価格の変動への対応

ここ数年、エネルギー単価、特に化石燃料は大幅に高騰(2~3倍)した。電気に比べて単価上昇の比率が大きく、導入エネルギー源の選択には緊急を要する。

##### (2) 省エネルギーからCO<sub>2</sub>削減へ

京都議定書がめざすのは温暖化の抑制であり、CO<sub>2</sub>排出量の削減である。

以上の課題解決の施策は、エネルギー変換、機器の高効率化と、ここで述べた実稼働中の機器のライフサイクル運営費の最小化である。日立グループはモノづくりを基盤とするサービス事業者として、今後も地球環境保全に寄与するエネルギーソリューションを推進していく考えである。

#### 参考文献など

- 1) 環境省、国内排出取引制度検討会の開催結果について、  
[http://www.env.go.jp/earth/ondanka/det/seido\\_conf/](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/det/seido_conf/)
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁、長期エネルギー需要見通し(案)について、  
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/080321.htm>



**藤居 達郎**  
1991年日立製作所入社、機械研究所 生活家電研究部 空調機器ユニット 所属  
現在、大型冷凍機、ヒートポンプの研究開発に従事  
日本機械学会会員、空気調和・衛生工学会会員、日本冷凍空調学会会員



**関口 恭一**  
1978年日立ビル施設エンジニアリング株式会社(現 株式会社日立ビルシステム)入社、冷熱システム事業部 所属  
現在、大型冷凍機の保全技術開発・冷熱応用システム開発に従事  
技術士(機械部門)、エネルギー管理士  
日本機械学会会員、日本技術士会会員



**澤 敏之**  
1984年日立製作所入社、日立研究所 情報制御研究センタ 情報制御第二研究部 電力情報制御ユニット 所属  
現在、電力システムの計画運用技術の開発に従事  
茨城大学非常勤講師  
電気学会上級会員、IEEE会員