

# 火力発電プラントの信頼性と経済性を高める技術

Technologies Enhancing Reliability and Profitability of Thermal Power Plants

藤山 一成

■ FUJIYAMA Kazunari

飯野 穰

■ IINO Yutaka

渡邊 俊三

■ WATANABE Shunzo

東芝は、今日の火力発電プラントに要求される高い信頼性と経済性を実現するために、計測工学、振動工学、熱流体工学、材料工学、構造強度・信頼性工学、情報工学、経営工学を統合した多様なシステム技術の開発を進めている。その中で、タービンなどの機器をいっそう安心して使いやすいものにするための技術として、運転中の振動など異常の兆候を遠隔でいち早くとらえるリモート監視・診断技術、メンテナンスにおける信頼性と経済性の判定根拠を与える寿命診断・リスク評価技術、設備管理を競争力の源泉にする運用・経営支援技術を開発しており、それらをニーズに応じて統合したトータルソリューションとして提案している。

Toshiba is devoting efforts to the improvement of thermal power plant reliability and efficiency using system technologies integrating sensing, vibration mechanics, thermal-fluid dynamics, material engineering, structural reliability engineering, information engineering, and management engineering. We have developed several systems to realize safer and more efficient equipment such as turbines; namely, a remote monitoring and diagnosis system, a life assessment system, a risk management system, and an operation and asset management system. A total solution service can be provided by integrating these systems to meet the user's requirements.

## 1 まえがき

今日の火力発電プラントには、変動する電力需要対応と経済性、及び低環境負荷性が求められている。わが国では長期使用された火力発電プラントが大半を占めることから、これらの既設プラントを安全にかつ効率よく運用するために、東芝では信頼性と経済性を向上させるハードウェア及びソフトウェアの技術開発を進めている。

ここではその中から、リモート監視・診断技術、寿命診断・リスク評価技術、及び運用・経営支援技術を取り上げ、プラント設備資産活用のトータルソリューションを提案する。

## 2 プラント設備活用支援技術の概要

プラント設備活用のトータルソリューションを実現するためのステップを図1に示す。プラントから情報を得るためのセンシング技術、得られた情報をもとにプラントの状態を把握し対策立案に役だてる診断技術、設備管理の判断を行うためのリスク評価技術、更に資産管理のための運用支援技術を統合してプラントの有効活用が可能となる。

プラントから得られる情報としては、流体温度、流体圧力、回転数、出力などのプラント運転状態と、運用履歴、検査履歴、補修履歴などのプラント履歴情報などがあり、更にこれに設計情報や製造情報を加味することにより、個々のプラント機器に対応したソリューションを提供することができる。

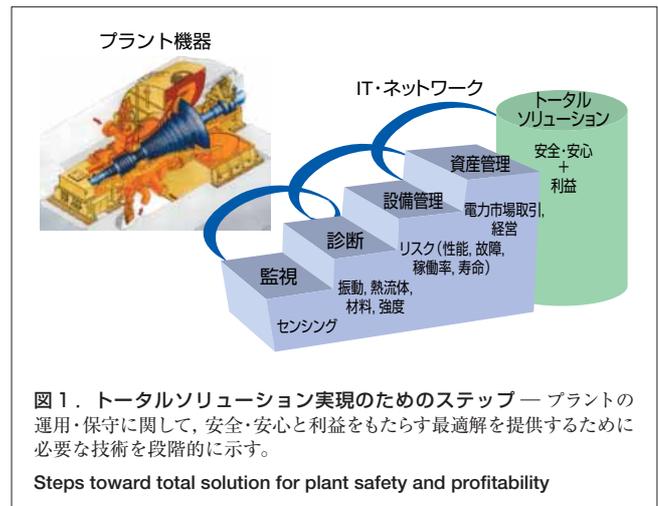


図1. トータルソリューション実現のためのステップープラントの運用・保守に関して、安全・安心と利益をもたらす最適解を提供するために必要な技術を段階的に示す。

Steps toward total solution for plant safety and profitability

経済性の観点からは、リスク評価やライフサイクルコスト評価に、経営工学的手法も反映させて合理的なソリューションを得るようにしている。以下、各技術について説明する。

## 3 リモート監視・診断技術<sup>(1)</sup>

プラントの監視・診断において、今後ますます省力化と定期検査(定検)の間隔延長が進むと思われるため、監視・診断機能の自動化をいっそう進める必要がある。プラント機器の診断は、専門家の知識が不可欠であるため、専門家と監視・診断機器の連携を図ったシステム構築を進めている。

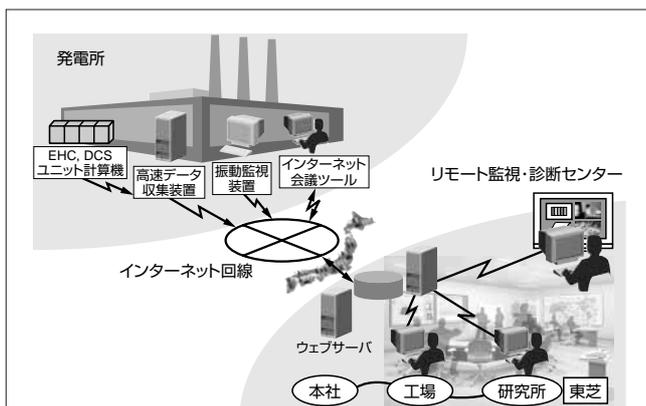


図2. リモート監視・診断システムの全体概要 — リモート監視・診断システムでは、発電プラントに設置した高速データ収集装置と振動監視装置からインターネット回線を用いてデータを東芝に送信し、これを使用してエキスパートが監視・診断サービスを提供する。

Outline of plant remote monitoring and diagnosis system

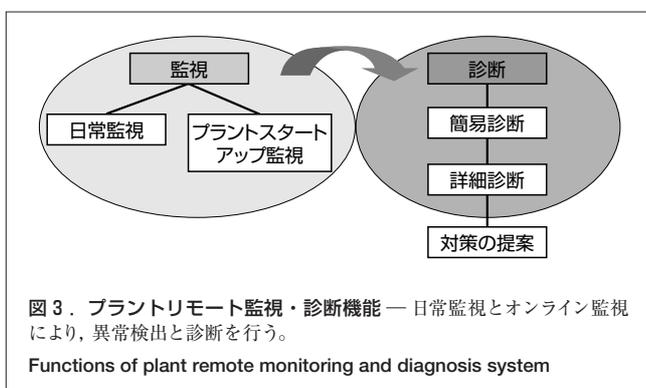


図3. プラントリモート監視・診断機能 — 日常監視とオンライン監視により、異常検出と診断を行う。

Functions of plant remote monitoring and diagnosis system

リモート監視・診断システムの概要を図2に示す。発電所に備え付けられたEHC (Electro-Hydraulic Control : 電気油圧サーボ制御) やDCS (Digital Control System : デジタル制御システム) などの制御システム及びユニット計算機に取り込まれているプラント運転状態信号を高速データ収集装置に取り込み、また、振動監視装置によりインターネットを介して、当社のリモート診断・監視センターに信号と情報を伝送する。得られた信号は、振動解析技術などに基づき整理・目視化され、種々のレベルでの診断が行われる。

リモート監視・診断システムの機能を図3に示す。監視機能には、日常監視機能と、起動停止時など変動時のオンライン監視を行うプラントスタートアップ監視がある。これらの信号と情報に基づき振動診断が行われるが、診断には簡易診断と詳細診断がある。特に、当社のエキスパートによる“プロセス値のリモート異常監視及び詳細診断”は、タービン-発電機系の軸振動において、振動増加や振動変化などの項目に関する簡易診断をまず行って振動発生要因を絞り込み、振動監視データの特徴と各種プラント状態量との関連から詳細要因分析を実施して振動原因を診断し、対策や改良の

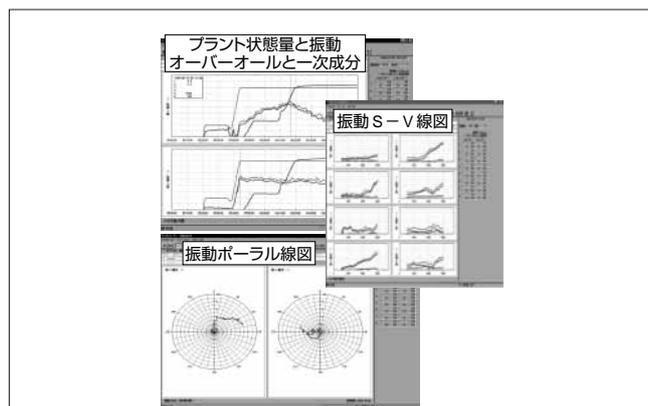


図4. 振動データ分析表示例 — 振動監視では、振動データが分析された状態をリアルタイムで監視する。

Example of vibration data analysis for monitoring

ための推奨案を提示する。解析による定量的評価を付加することにより、現象の推定精度を向上させることができる。この解析では、振動監視データと軸受温度、蒸気圧力、復水器真空度、熱伸び差などのプラント状態との関連を分析することにより原因を抽出する。プラントのスタートアップ監視では、タービンの起動・停止時に振動を連続的に監視するサービスで、振動監視診断装置では、図4に画面例を示すような、S-V線図(回転数対振動振幅)、ポータル線図(振動振幅対位相)、T-V線図(時間対振動振幅)などを利用する。診断対象プラントに合わせてあらかじめ軸系振動解析モデルを構築し、迅速に解析できるようにしている。

監視データの解析結果をもとに、専門技術者がリモート診断できるため、信頼度の高い判定ができる。

#### 4 寿命診断・リスク評価技術<sup>(2)</sup>

火力発電プラントの寿命診断は、定検延長やリプレース計画策定に活用されている。最近では、寿命や故障の確率とその影響度を合わせたリスクの概念をもとに保全の意思決定を行う、リスクベース保全について検討が行われている。

##### 4.1 寿命診断技術

クリープや疲労などが問題となる火力発電機器の寿命評価法の概要を図5に示す。構造物の詳細な温度や解析結果を材料寿命評価カーブに適用して評価する解析的方法、金属組織の変化をとらえる非破壊的方法、及びサンプルを採取して破壊試験を行う破壊試験法がある。材料データのばらつきに起因する寿命評価の不確かさについては、統計的に十分なデータを蓄積して信頼区間を設定し、安全な評価を行っている。寿命評価精度の向上のためには、ばらつきを減らすことが必要である。そのためには、未知の因子をできるだけ減らす必要があることから、当社では、硬さなどの影響



図5. 蒸気タービンプラントの寿命診断技術 — 蒸気タービンの寿命診断技術には、有限要素法解析をベースとした解析的方法、硬さ計測や金属組織レプリカ観察などの非破壊的方法、及びサンプルを採取し破壊試験を行う破壊的方法があり、事象と部位に応じて選択される。

Life assessment technology for steam turbine plant

因子パラメータを用いて材料特性パラメータを規格化し、統計的ばらつきを低減を図っている。

#### 4.2 リスク評価技術

リスクは、故障の起こりやすさと影響度 (損害額) の積で定義される。故障の起こりやすさは、実機で生じた事象の統計処理とともに、寿命評価で用いられる故障物理 (メカニズムに立脚し、故障確率を導出する) アプローチを組み合わせることにより、基準となる確率値を導き出している。

この確率は、運転時間又は起動回数関数として表され、したがってリスクも時間又は回数の関数として表わされる。図6に示すように、このリスクは故障確率と影響度の組合せ (リスクマトリックスとして知られる) 及び時間又は回数への依存性から成る三次元空間を形成している。

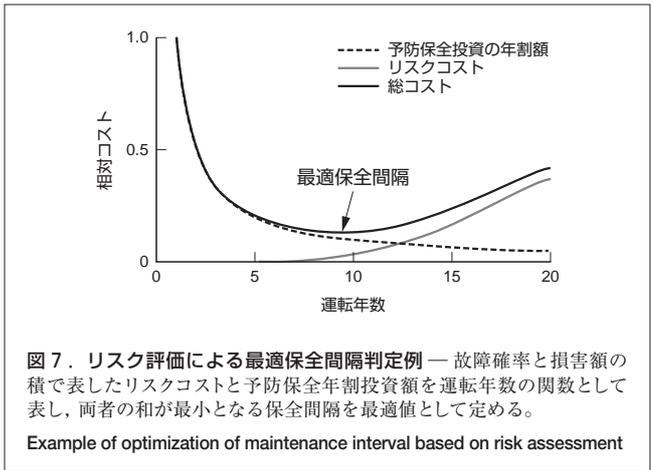
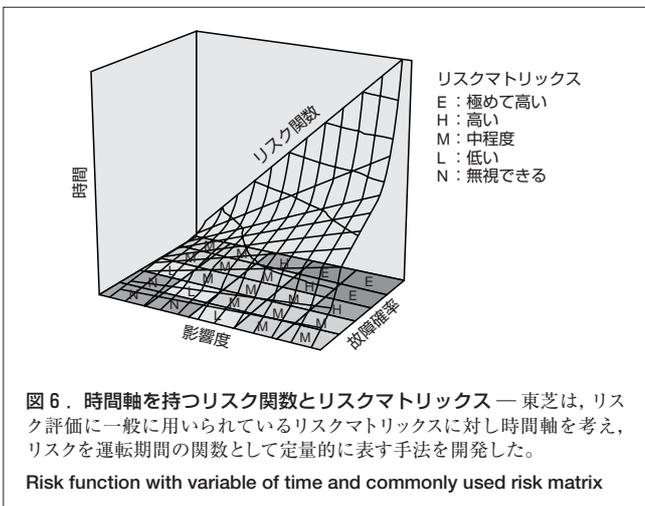
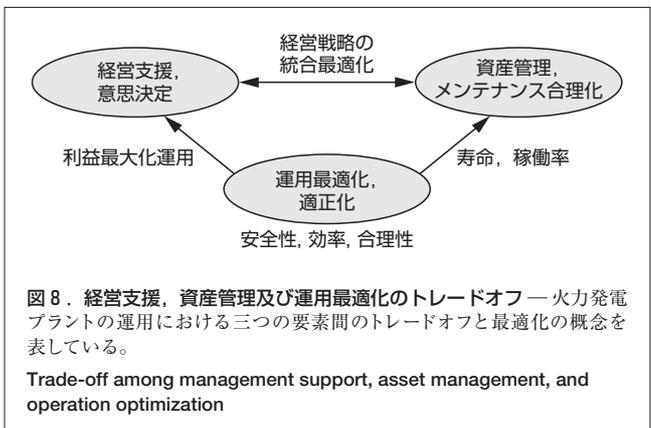


図7の例に見られるように、横軸に保全間隔を年数でとると、間隔を長くするほど予防保全投資の年割額は低下するが (ここでは簡単のため利息は考えない)、間隔が長くなるとリスクも上昇するため、両者の和が最小となる保全間隔を最適値として判定することができる。

### 5 プラント運用・経営支援技術

火力発電プラントの運用は、発電事業そのものの経営支援、意思決定や、プラントの資産管理、メンテナンス戦略と密接にかかわりあっている。その関係を図8に示す。まず、プラント運用そのものの視点で、安全性、法規上の規制、及びプラント特性を考慮した各種制約条件を満たしながら、運転効率の最大化と合理化 (ムダの排除) を実現する必要がある。経営支援の観点からは、電力取引市場戦略や相対契約上の供給優先度を考慮し、電力販売収益を最大化する戦略が要求される。プラントの資産管理、メンテナンス合理化の観点からは、プラント寿命への配慮や稼働率維持のための配慮が必要となる。このように、火力発電プラントの運用最適化は、各種の評価指標を考慮した多目的最適化問題となる。

従来、わが国における火力発電プラントの運用は、中央給



電指令所における経済負荷配分(ELD)指令に基づき、個々の発電プラントやユニットを最適運用するものであった。しかし、欧米などのように電力取引市場を前提とすると、個々の発電プラントやユニット単位での運用最適化戦略が必要となる。わが国でも電力取引市場の開設で、市場プレーヤーとなる発電事業者は、個別プラントの運用最適化戦略を持つておく必要がある。当社では、海外ユーザーの多くの運用事例分析結果に基づき、前記視点での統合型プラント運用支援システムを開発した。次にその概要を述べる。

### 5.1 システム構成

システムの構成を図9に示す。DCS(Distributed Control System：分散型制御システム)にOPC(OLE(Object Linking and Embedding) for Process Control)インタフェースで接続し、各種の運用支援情報を提供するとともに、DCSに最適運転指令信号を発信する機能を備えている。

### 5.2 運転支援機能

次の項目がサポートされている。

- (1) 効率最適化を目指した運転支援機能 機器効率を考慮した運転支援機能で、台数運転機能、起動ユニット選択機能、各ユニットへの負荷配分機能、起動・停止スケジュール最適化機能などがある<sup>(3)</sup>。
- (2) 寿命とメンテナンスに配慮した運転支援機能 プラント延命のリハビリコスト、メンテナンスコスト、及びプラントのライフサイクルコストに基づき“プラント寿命コスト”を定義し、効率、収益性と寿命コストとのトレードオフを狙った運転支援を行う機能である。
- (3) 経営支援を目指した運転支援機能 売電収益最適化と経営リスク最小化を狙った運転支援機能である。具体的には、売電価格及び売電量を加味し、売電収益とそのばらつきを確率モデルで予測し、収益リスクを考慮したうえでの収益期待値の最大化を実現する。ここで

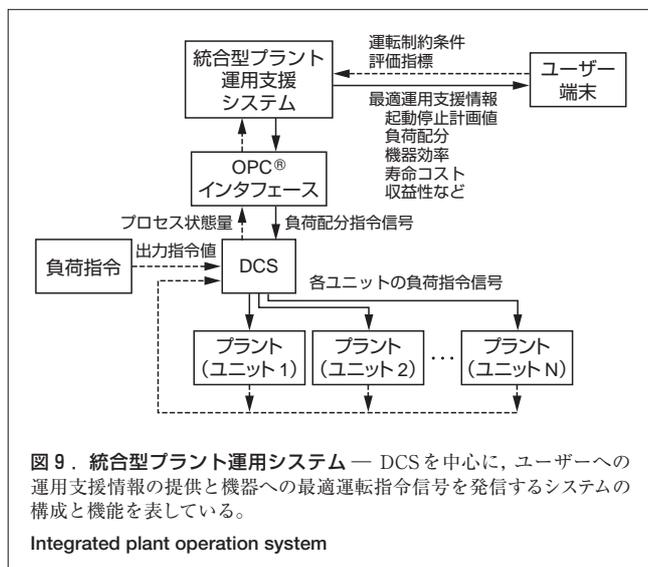


図9. 統合型プラント運用システム — DCSを中心に、ユーザーへの運用支援情報の提供と機器への最適運転指令信号を発信するシステムの構成と機能を表している。

Integrated plant operation system

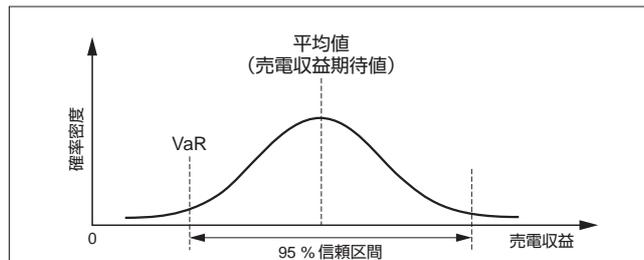


図10. 売電収益の確率分布とVaR — VaRを制約条件として、売電収益の確率分布から期待収益の最大値を求める。

Probability distribution of profit from power supply and value at risk (VaR)

は、図10のような売電収益の確率分布を求め、最悪ケース想定値に相当する95%信頼区間の下限値(VaR: Value at Risk)を制約条件に、期待収益を最大化するリスクベース運用最適化機能を備えている<sup>(4)</sup>。

## 6 あとがき

現在では、火力発電プラントの設備運用能力が競争力の源泉であると言われている。ここで述べた技術は、プラントの設備競争力を高めるために有用であるが、更に安全・安心でかつ経済性の高い設備とするため、ユーザーニーズを反映させた開発を進めていく。

## 文献

- (1) 渡邊俊三, ほか. ITを用いた火力プラント運用支援サービス. 火力原子力発電. **54**, 7, 2003, p.24-33.
- (2) 藤山一成, ほか. 火力発電設備におけるリスクベース保全の手順. 検査技術. **10**, 1, 2005, p.13-21.
- (3) 田中俊彦, ほか. 火力発電所の経済運用システム. 東芝レビュー. **55**, 6, 2000, p.33-36.
- (4) 飯野 穰, ほか. “リスク型評価関数に基づく予測制御方式”. 電気学会電子情報システム部門大会予稿集, 秋田, 2003-08, 電気学会. p.294-297.



藤山 一成 FUJIYAMA Kazunari, D.Eng.

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター 金属・セラミックス材料開発部主幹, 工博。タービン構造強度技術及び保守管理技術の開発に従事。日本機械学会, 日本材料学会会員。(現 名城大学理工学部教授)

Power and Industrial Systems Research and Development Center



飯野 穰 IINO Yutaka

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター 需要家システムソリューション担当グループ長。火力発電プラント及び分散電源運用評価技術の開発に従事。電気学会, IEEE会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



渡邊 俊三 WATANABE Shunzo

電力・社会システム社 火力・水力事業部 火力エンジニアリングセンター参事。火力発電プラントのリモート監視・診断サービス開発業務に従事。日本機械学会会員。

Thermal Power & Hydroelectric Power Systems & Services Div.