

火力発電の運転効率向上に寄与する情報制御技術

Information and Control Technology to Improve Efficiency and Operation of Thermal Power Plants

谷 明憲 久保 孝志

■ TANI Akinori

■ KUBO Takashi

最近注目されている再生可能エネルギーによる発電方式には、天候や気象条件によって発電出力が変動するものがあり、電力システムの安定性に影響が出る。そこで火力発電の負荷応答性向上によりこの出力変動を補い、安定な電力供給を維持することが期待されている。

東芝は、火力発電での更なる負荷応答性の向上を目指して、調整の難しい主蒸気圧力や主蒸気温度の最適制御技術の開発に取り組んでいる。また運用面では、運転履歴データに基づくプラント性能監視や異常診断など、運転効率向上のための機能を充実させている。

As renewable energy resources such as wind, solar, and other natural energies are subject to natural conditions, their output power fluctuates in accordance with external factors. Thermal power generation systems are expected to compensate for such fluctuations and stabilize the grid system due to the improvement of their load response.

Toshiba has been developing new technologies to improve the load response of thermal power plants by optimally controlling the main steam pressure and temperature. Furthermore, in order to operate thermal power plants more efficiently, we have developed a new control system utilizing information and control technology that can provide various information and functions to operators, including plant performance surveillance, plant abnormal status prediction, and so on, based on the historical data of the plant.

1 まえがき

世界的に環境に対する関心が高まるなか、発電分野でも、風力や太陽光のような再生可能エネルギーによる発電方式が最近注目され、年々その発電量が増加傾向にある。しかし、こうした再生可能エネルギーによる発電量が増加すると、天候や気象状況による電力システムの安定運用への影響が大きくなるため、変動した発電量を補完するための手段が必要になる。

その解決策の一つとして期待されているのが、火力発電所の負荷応答性である。火力発電は、電力システムに対して優れた応答特性を持っており、短時間での起動停止や、瞬時の周波数変動に対応できるという特長がある。例えば、風がやんで発電量が急激に減少した場合でも、火力発電が十分に早く出力を増加させることができれば、電力システム全体を支えることができる。

東芝は、このように重要度が増す火力発電に対し、情報制御技術を用いて、運転効率の向上に向けて様々な改善に取り組んでいる。制御分野では、負荷応答性を向上させるために、当社の経験を結集した技術基盤をもとに、調整の難しい主蒸気圧力制御や主蒸気温度制御の最適制御技術の開発に取り組んでいる。また監視分野では、運用の観点から、プラント運転履歴データに基づくプラント性能監視や異常診断など、運転効率向上のためオペレーターに提供する情報やサービスを充実させている。

ここでは、火力発電の制御と監視の両面から、運転効率向上に寄与する情報制御技術について述べる。

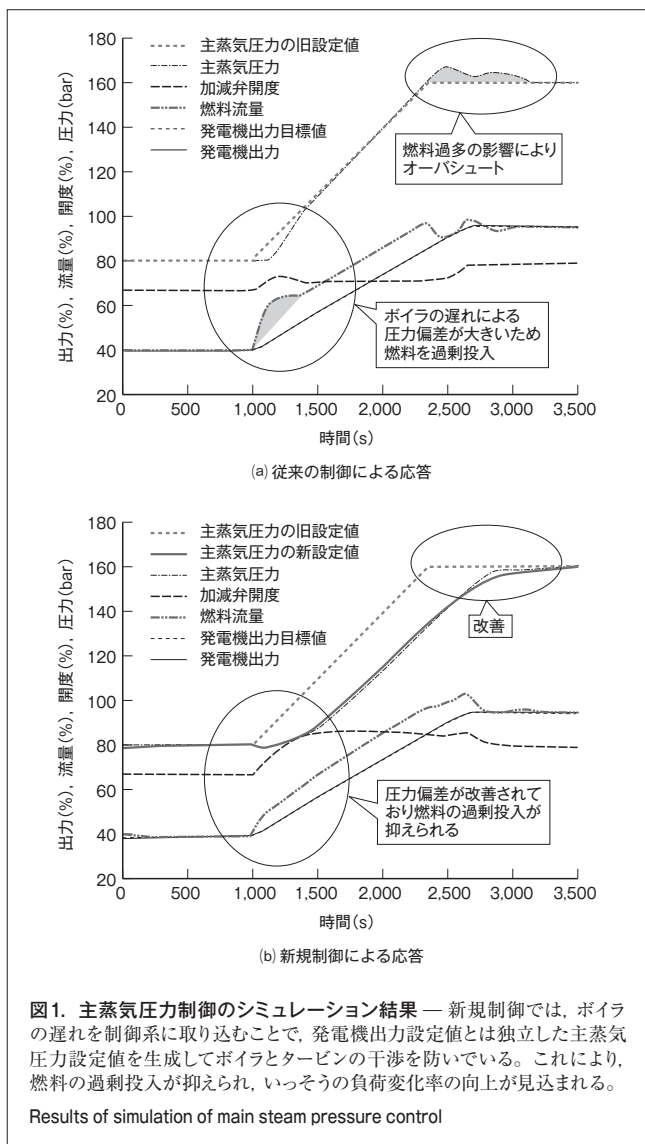
2 負荷応答性向上を実現する制御技術

負荷応答性向上を実現するために、当社では、その調整が極めて難しい主蒸気圧力制御と主蒸気温度制御の最適制御技術を開発している。

2.1 主蒸気圧力制御

主蒸気圧力制御は、ボイラとタービンが干渉するもっとも複雑な制御システムの一つであり、ボイラとタービンの応答性の違いから、その圧力を最適に制御することは難しい。特に石炭火力発電では、給炭機速度などミルの運転制限により、燃料である石炭の供給を瞬時に変化させることは難しく、負荷変化応答の制約となっている。

従来の制御における変圧運転ボイラの負荷上昇時のトレンド記録を図1(a)に示す。負荷上昇時は、ボイラ側は圧力設定値を増加させて燃料の投入量を増やし、タービン側は発電機出力を確保しようとして加減弁を開く方向に動作させる。しかし、加減弁の開度変化による圧力変動への影響が圧倒的に速いため、主蒸気圧力が一時的に低下する現象が見られる。したがって、圧力設定値と実圧力の偏差が大きくなることによって、ボイラは燃料を過剰に投入する傾向があり、目標の負荷に



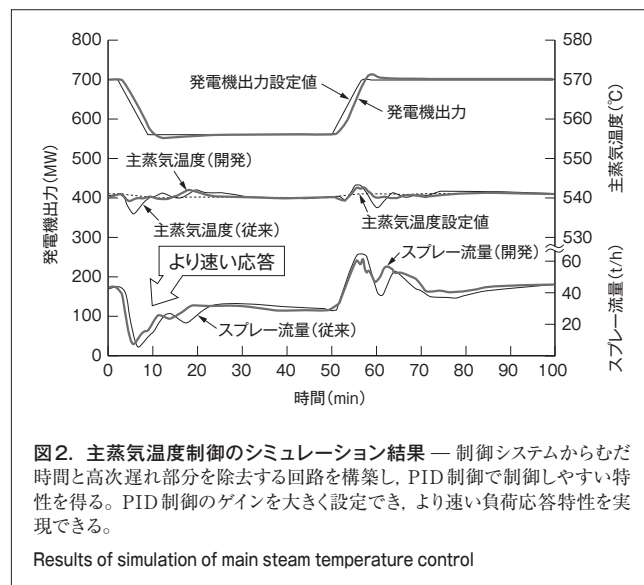
到達したとき、オーバシュートなど圧力の不安定な挙動を招く。

今回開発した制御は、ボイラの遅れを制御系に取り込むことで、発電機出力設定値とは独立した主蒸気圧力設定値を設けてボイラとタービンの干渉を防いでいる。新規制御を用いた負荷上昇時のトレンド記録を図1(b)に示す。円で囲った範囲を比較すると、従来の挙動に比べて圧力偏差が抑えられており、かつ燃料の過剰な投入が発生していない。

燃料の過剰投入が抑えられているということは、ミルの運転制限に対して、余裕が確保されたことを意味しており、この余裕分でいっそうの負荷応答性の向上を見込むことができる。

2.2 主蒸気温度制御

主蒸気温度制御は、過熱器の入口に設置された減温器へのスプレー水の注入量を調節することで、過熱器の出口蒸気温度を目標値に制御することを目的としている。通常PID制御^(注1)を2段直列に並べたカスケード構成による制御方式を適用し、1段目のPIDで過熱器出口温度を制御し、2段目の



PIDで過熱器入口温度を制御する。この制御系は、過熱器での熱伝達による遅れ、温度検出器の検出遅れ、過熱器配管内を流れる蒸気のむだ時間が存在するため、調整が難しい制御対象である。一般にむだ時間が大きいとPID制御のゲインを大きくできず、高い負荷変化率で運転した場合、主蒸気温度と設定値の偏差を許容値に抑えることは難しい。

そこで独自の制御技術により、この制御システムからむだ時間と高次遅れ部分を除去する回路を構築し、PID制御で制御しやすい特性を得る。これにより、PID制御のゲインを大きく設定でき、より速い負荷応答特性を実現できる(図2)。

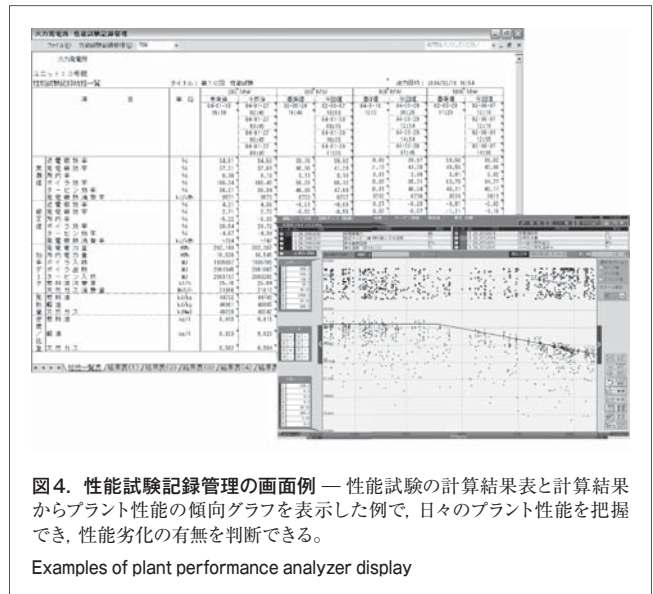
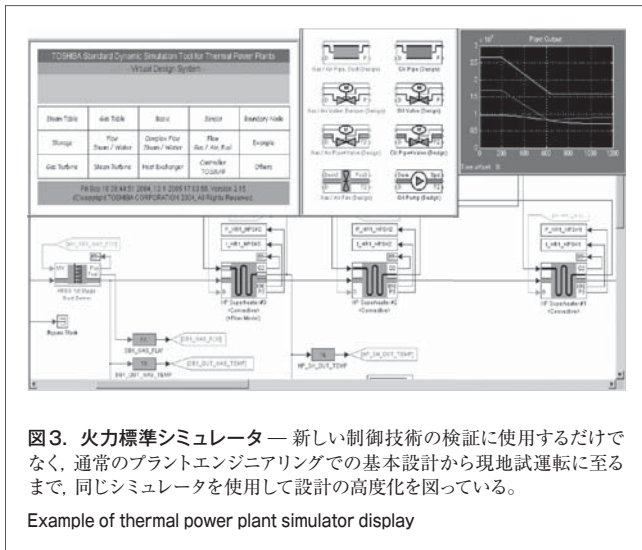
3 制御高度化を支える技術

3.1 火力標準シミュレータ

火力発電プラントの制御エンジニアリングの精度向上を目的として、制御検証専用の火力標準シミュレータ Virtual Design System_{TM}を開発して使用している(図3)。前述したような新規制御技術の検証に使用するだけでなく、基本設計から現地試運転に至るまでの通常のプラントエンジニアリングで、同じシミュレータを使用して制御設計の高度化を図っている。基本設計の早い段階から運用方法や機器容量の適切さが確認できることから、エンジニアリングの後戻りの削減にも大きく貢献している。

このシミュレータは、既に様々なボイラプラントで使用実績があり、今後も先進超々臨界圧(A-USC: Advanced Ultra Super Critical)蒸気タービンや排ガスからの二酸化炭素(CO₂)回収・貯留(CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage)を含めたプラント全体の最適運転設計に活用していく予定である。

(注1) 産業界でもっとも一般的に使用されている制御概念で、P(比例)、I(積分)、D(微分)の3要素を組み合わせたフィードバック制御手法。



3.2 現地での効率的なパラメータ調整

負荷応答性を向上させるためには、現地調整 (Fine Tuning) 段階の限られた時間の中で、ボイラやタービンの各制御系におけるPID制御のより最適なパラメータを見つける必要がある。従来、PID制御のパラメータ調整は試行錯誤的で時間の掛かる作業であったが、現代制御理論を応用して独自に開発したPIDオートチューニングツールを活用し、短時間で応答特性の良いパラメータ調整を実現している。このツールは、フィードバック制御を行いながらその入出力信号を用いてパラメータ算出を行う方式であり、プラント運転に影響を与えずに最適な制御パラメータを得ることができる。更に、設計したPID制御パラメータを用いて事前にシミュレーションを行い、制御特性を確認できる。

4 プラント運転履歴データに基づく運転効率向上

当社の監視制御システムは、プラント運転履歴データに基づいて様々な情報や機能をオペレーターに提供することで、プラントの運転効率向上に役立たせることができる。その内容について以下に述べる。

4.1 運転履歴データ管理システム PDMS

PDMS (Plant Data Management System) は、火力発電プラントの運転状況の把握を目的として、プラント監視制御システムからリアルタイムで送信される運転データを、履歴データベースとして長期保存する。PDMSでは最短1秒ごとに、5年間以上のデータを保存できるようにしている。PDMSの機能のうち、プラント運転履歴データを活用して、運転効率向上に寄与する機能は次のとおりである。

4.1.1 性能試験記録管理

画面例を図4に示す。プラント運転状態を自動判定し、負荷安定時の熱効率やヒートバランス (熱平衡線図) の計算を行い、計算結果を蓄積する。長

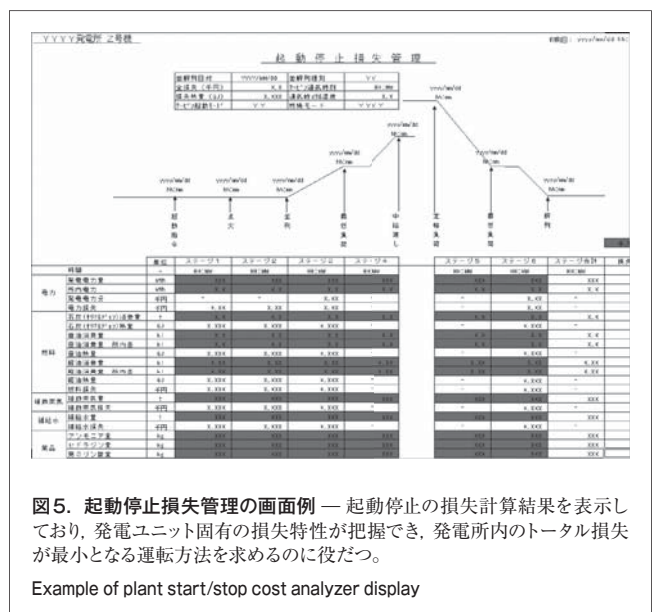
期間蓄積された熱効率データにより、プラント性能解析及び統計処理によるプラント特性解析を行う。日々のプラント性能を把握でき、性能劣化の有無を判断できる。

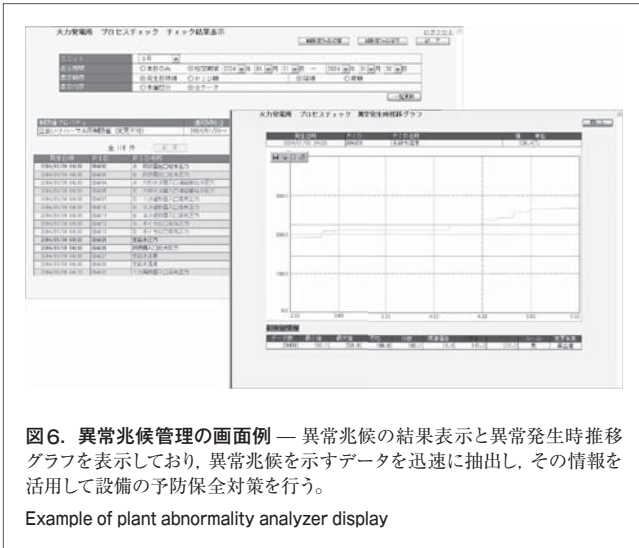
4.1.2 起動停止損失管理

画面例を図5に示す。発電ユニットの起動停止時に消費された燃料、所内電力量、ブロー量、補給水量などを損失データとして求める。停止期間が同様な発電ユニットの起動停止時の損失データを平均化することで、発電ユニット固有の損失特性が把握できる。損失データは、複数の発電ユニットの運転で、トータル損失が最小となる運転方法を求めるのに役だてられる。

4.1.3 異常兆候管理

画面例を図6に示す。長期間収録された運転データから統計処理により管理値を算出するとともに、異常兆候を示すデータなどを迅速に抽出し、その情





報を活用して設備の予防保全対策を行うことができる。

4.2 環境負荷低減を考慮した最適発電・補修計画支援システム

最適発電・補修計画策定支援システムは、火力発電プラントの長期安定かつ環境負荷低減を考慮した運転を継続するために、原子力や、水力、火力、融通など各発電設備の電力供給量や需要量、熱効率、燃料費といった運転特性を加味して、

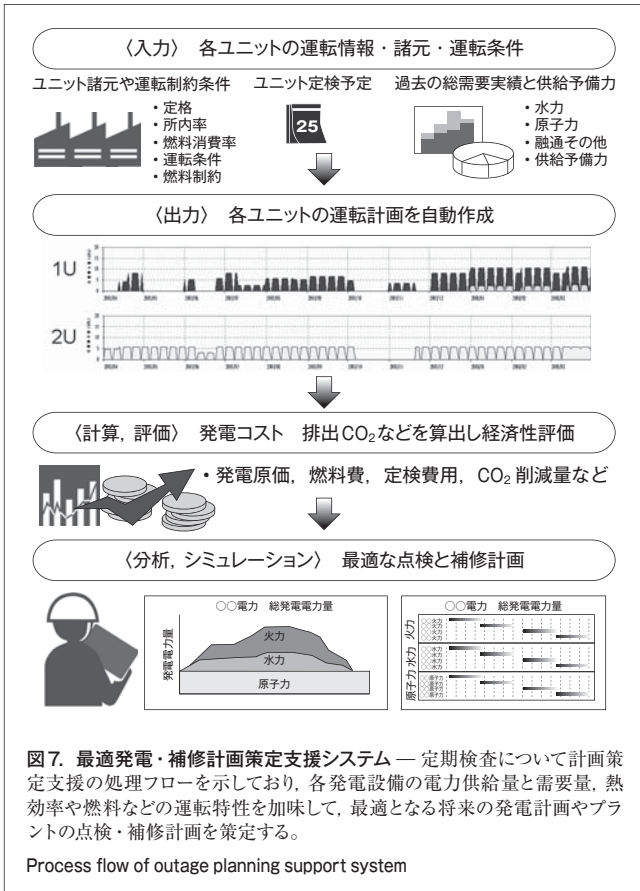


図7. 最適発電・補修計画策定支援システム — 定期検査について計画策定支援の処理フローを示しており、各発電設備の電力供給量と需要量、熱効率や燃料などの運転特性を加味して、最適となる将来の発電計画やプラントの点検・補修計画を策定する。

Process flow of outage planning support system

最適となる将来の発電計画やプラントの点検・補修計画の策定を支援する(図7)。このシステムの主要な機能は次のとおりである。

- (1) 負荷配分計画策定機能 定格出力、所内率、燃料消費率、燃料単価といった策定対象となるユニットの諸元や、運転制約条件、燃料使用条件、需要増加率、補修計画情報などを入力情報として1時間単位の精度で計算を行う。計算結果は次の内容で出力される。
 - (a) 各ユニットの月単位の負荷配分計画
 - (b) 火力補修計画
 - (c) 各ユニット別の需要配分
- (2) 発電原価計算機能 負荷配分計画策定機能で登録される燃料消費率や燃料単価から、ユニット別や燃料種別ごとに発電原価計算を行う。
- (3) シミュレーション機能 発電ユニットの補修点検日時の変更や各種運転条件の変更による再計算を行い、発電損費のシミュレーションや最適な補修時期の策定を行う。

5 あとがき

ここでは、電力システムの安定性を維持するために重要度が増している火力発電の最適制御技術と、運転効率を向上させる情報制御技術について述べた。

プラントメーカーとして国内だけでなく海外プラントの建設を通して蓄積した技術と経験、アドバンスド制御や監視制御の技術を結集することで、今後火力発電に要求されるA-USCやCCSに対しても最適制御設計に取り組んでいく。

文献

- (1) 渡邊経夫, ほか. 火力発電所向け情報制御システムソリューション TOS³™. 東芝レビュー. 62, 9, 2007, p.67-71.
- (2) 白川昌和. Development of a thermal power plant simulation tool based on object orientation. Proc. IMechE, Part A: J. Power and Energy. 220, 2006, p.569-579.
- (3) 中本政志. 実験データに基づくPIDパラメータの直接計算. システム制御情報学会誌. 50, 12, 2006, p.447-452.



谷 明憲 TANI Akinori

電力システム社 火力プラント統括部 火力情報制御技術部 主務。火力プラントの監視制御システムのエンジニアリング業務に従事。

Thermal Power Plant Engineering Div.



久保 孝志 KUBO Takashi

電力システム社 府中事業所 発電情報制御システム部主務。火力プラント情報制御システムの設計・開発に従事。

Fuchu Complex