

# コンバインドサイクルプラントの監視制御システム

Control Systems for Combined-Cycle Power Plants

佐藤 豪芳  
SATOH Takeyoshi

日野 史郎  
HINO Shiro

高橋 信之  
TAKAHASHI Nobuyuki

コンバインドサイクルプラントの監視制御システムは、総合的な自動化と統括監視・操作機能により、複数軸から構成される系列設備の少人数運転を実現している。さらに、最近では、分散構成の計算機システムやロジックのデジタル化などの新技术を適用して、監視制御システムの高機能化とコンパクト化を図っている。また、当社は、アドバンス制御の適用による制御性の向上を図るとともに、シミュレーションツール、プラントデータ収集システムなどのツールを使用して、制御システムの設計、試験、試運転および調整における高度化、効率化に取り組んでいる。

A combined-cycle power plant composed of several stages can be operated by a small number of operators with the application of digital control systems, which provide plant automation, control, supervisory, and operation functions. Recently, control systems have been improved and are more compact than previous systems due to the adoption of the latest technologies, such as distributed computer systems and digital protective interlock circuits.

Toshiba has developed advanced control algorithms that have been applied to plant control systems in order to improve controllability. We also utilize tools, such as simulation tools and plant data acquisition and storage systems, to perform efficient testing and commissioning of plant components and control systems.

## 1 まえがき

コンバインドサイクルプラントは、高効率、短時間で起動および停止などのすぐれた運転特性をもっている。このため、監視制御システムはこれらのプラントの特長を最大限に発揮させるとともに、少人数での信頼性の高い運転を実現する必要がある。また、近年では、電力市場の自由化の流れを受けて、監視制御システムの合理化に対するニーズが高まっている。一方、情報制御を支えるコンピュータや通信分野における技術革新はハードウェア、ソフトウェアともに目覚ましいものがある。

このような背景の下で、当社は最新鋭の火力発電所向け情報制御システムGSXP™シリーズを開発し<sup>1)</sup>、適用実績を積み重ねている。また、プラント制御技術においては、制御システムの設計、試験、試運転および調整にアドバンス制御技術やシミュレーション技術を適用し、制御性能の向上と、設計、試験などの効率化に取り組んでいる。

ここでは、最新のコンバインドサイクルプラントの監視制御システムの特長とともに、アドバンス制御技術、シミュレーション技術などの適用事例を述べる。

## 2 監視制御システムの特長

### 2.1 監視制御システムの特長

図1は、1系列が4軸から構成される1,300℃級の一軸

型コンバインドサイクルプラントの監視制御システム構成例である。複数軸の統括監視制御および、軸単位の保守を考慮し、軸レベルと系列レベルの階層分散構成としている。中央制御室における運転監視の中心に画像表示装置(CRT)と100インチの高精細ディスプレイを活用し、バックアップのハードスイッチ類は保安上必要な最小限のものを設置した監視・操作盤レスのシステムを採用している。このシステムでは、系列全体の総合的な自動化機能により、少人数運転が可能である。また、当社は、監視制御システムの構築において、運転環境が重要なファクタと考えており、機能性、安全性、居住性を考慮した中央制御室のトータルデザインをユーザーに提案している。

### 2.2 新技术の適用による機能向上とコンパクト化

2.2.1 分散型計算機システム 計算機システムは、オペレータステーションとサーバによる分散構成としている。オペレータステーションは、警報監視、系統図監視、CRTオペレーション機能をもっている。サーバは、自動化・性能計算などの機能をもっている。オペレータステーションとサーバにはコンパクトで高性能のRISC(Reduced Instruction Set Computer)マシンを採用し、計算機システムの筐(きょう)体面数、電源容量を従来に比べて大幅に削減している。また、計算機システムを停止することなく、分散化または冗長化したオペレータステーションやサーバごとに保守することが可能である。

2.2.2 警報表示の高度化 コンバインドサイクルプ

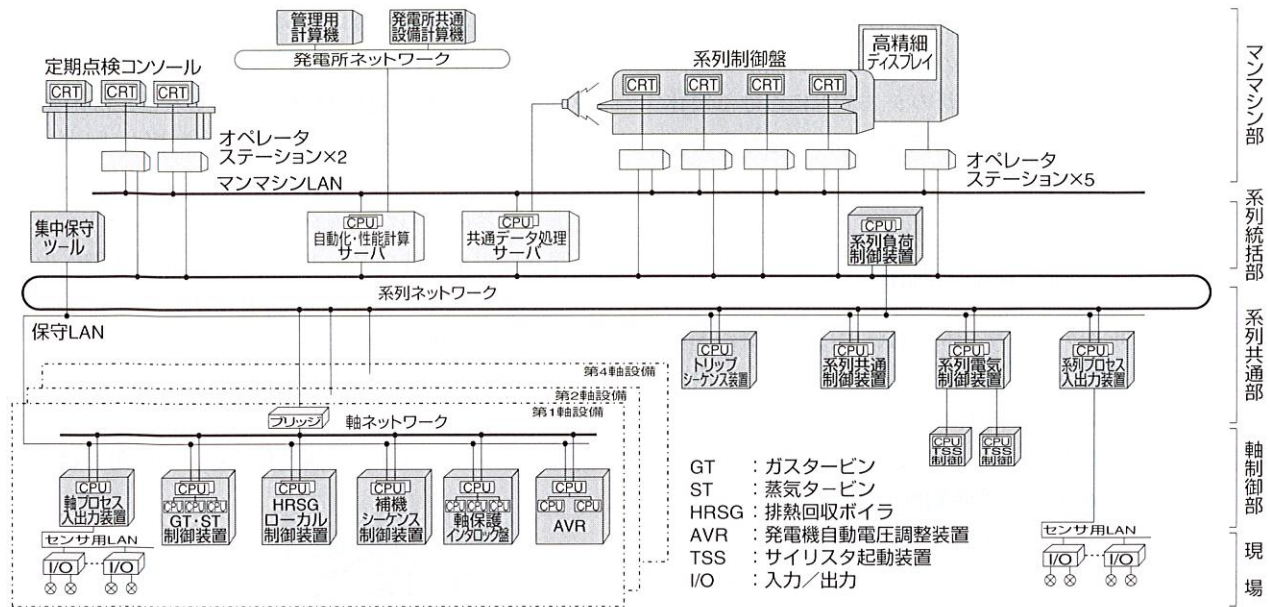


図1. コンバインドサイクルプラントの監視制御システム構成例  
 プラントの構成に合わせた機能分散階層構成を採用している。計算機システムは分散構成とし、系列統括部に設置している。

Configuration of control system for combined-cycle power plant

プラントは、複数の軸設備と系列共通設備から構成され、監視対象の設備が多いことから、異常が発生した場合に、発生箇所、重要度を的確に把握できることが要求される。

このため、高精細ディスプレイに警報メッセージをウィンドウで割込み表示を行う機能を設けて警報の発生を迅速に把握できるようにしている。CRTの警報表示では、設備別の警報分類窓を設け、異常が発生した設備を容易に認識できるようにしている。また、発生した警報について、トリップ、重故障、軽故障などの重要度に応じて、個別警報メッセージの色替え表示を行なっている。さらに、設備別警報分類窓をキーとした、警報メッセージの抽出機能を設けている。図2に警報表示画面の例を示す。CRTおよ

び高精細ディスプレイを有効に活用することにより、警報システムの機能向上とコンパクトな中央制御室を実現することができる。

2.2.3 軸保護インタロックのデジタル化 従来、軸保護インタロック回路は、リレー回路やソリッドステート回路などで構成することが一般的であったが、最近では、三重化構成の高速デジタルコントローラで実現し、保護ロジックに要求される信頼性と応答性を確保している。保護用検出器の2 out of 3 不一致検出<sup>(注1)</sup>結果などの監視情報信号はネットワーク経由で計算機システムに伝送される。また、トリップ弁テストなどの操作はCRTオペレーションでできる。デジタル化により、軸保護インタ

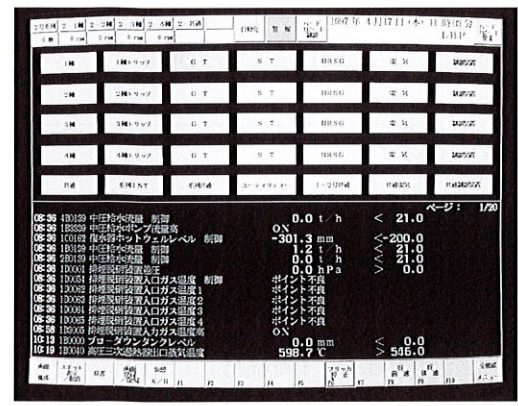


図2. CRTの高機能警報表示画面 異常が発生した設備の設備別警報分類窓と、警報の重要度に応じた個別警報メッセージの色替え表示などを行い、警報システムの認識・機能向上を図っている。  
 Alarm annunciator display

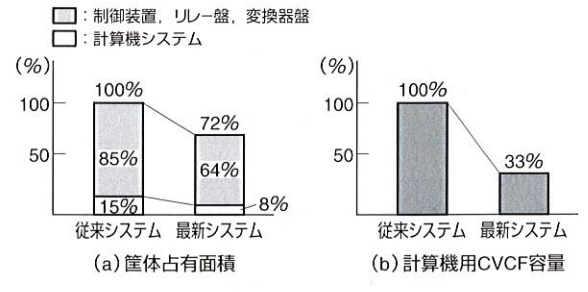


図3. 新技術の適用によるコンパクト化 従来システムに比べ、筐体専有面積、計算機用CVCFの容量が大幅に削減されている(当社比)。この図は4軸構成のコンバインドサイクルプラントの例を示す。

Reduction in number of cabinets and required power supply capacity by application of latest technologies

(注1) 保護に用いる検出器(スイッチ)を信頼性向上のため三重化した場合、一つの検出器が他の二つと動作が異なるときに、検出器の異常と判定し警報を出力すること。

ロック盤のコンパクト化(当社従来比 1/2)、ケーブル量の削減ができるとともに、保守性の向上などの利点がある。

これらの新技術を適用した最新のシステムにおける筐体占有面積と計算機用無停電電源装置(CVCF)の電源容量の削減効果を図3に示す。

### 3 アドバンスト制御技術の適用

コンバインドサイクルプラントにおいては、頻繁な起動・停止や負荷変化時の速い追従性が求められる。このため、当社では、制御性能の向上のために、各種のアドバンスト制御の適用を進めている。以下にその事例を述べる。

#### 3.1 脱硝制御へのモデル予測制御の適用

ガスタービンで発生する窒素酸化物(NOx)は触媒上でアンモニアと反応し窒素と水分に分解される。この脱硝制御システムにはNOx濃度の計測を含め数分のむだ時間が存在するため、従来はフィードフォワード(FF)制御主体の制御を行っていた。最適なFF制御を行うためには、制御対象の詳細な動特性把握が必要となるが、実際のプラントでは困難な場合が多い。このため、プラントの概略動特性で設計可能であり、むだ時間系にも対応可能なモデル予測制御を適用した<sup>2)</sup>。

実プラントへの適用結果を図4に示す。モデル予測制御により、NOx流量の変動を従来に比べて1/2以下にすることができた。

#### 3.2 多変数制御の流量制御への適用

配管系統上に二次側圧力制御のための圧力制御弁とその

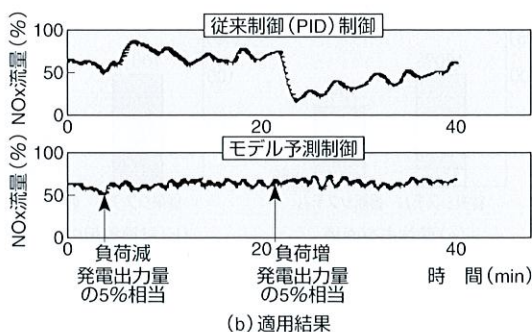
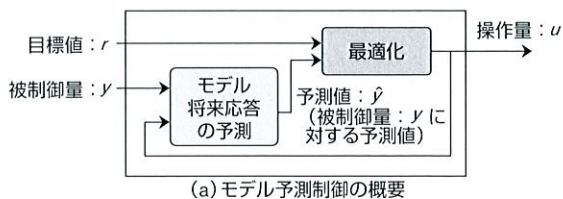


図4. モデル予測制御の概要と適用結果 従来制御と比べ、NOx変動が約1/2となった。

Model predictive control and results of NOx flow control in combined-cycle power plant

下流に流量制御弁を設ける例が多い。この系は流量制御と圧力制御が互いに干渉するいわゆる干渉系であり、従来の設計法では応答の速い制御を実現することは困難であった。しかし最適レギュレータ、 $H\infty$ (無限大)制御・非干渉制御などのアドバンスト制御を適用することにより、干渉を排し応答の大幅な改善を図ることができた<sup>3)</sup>。

図5は脱硝系統のアンモニア圧力・流量制御への適用結果を示す。従来に比べて制御偏差が1/5以下となっており、大幅に制御性が向上している。

#### 3.3 オートチューニングの適用

オートチューニングツールは、従来の試行錯誤による制御ループのパラメータ調整作業を、短時間で容易に行え

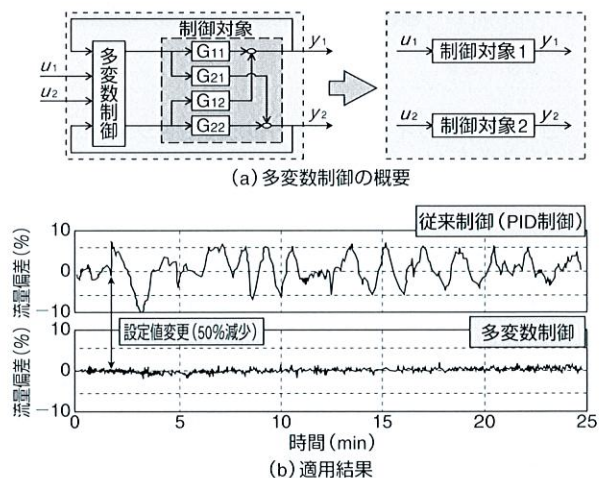


図5. 多変数制御の概要と適用結果 従来制御と比べ干渉が低減し、制御偏差が約1/5となった。

Multivariable control and results of NH<sub>3</sub> pressure/flow control in combined-cycle power plant

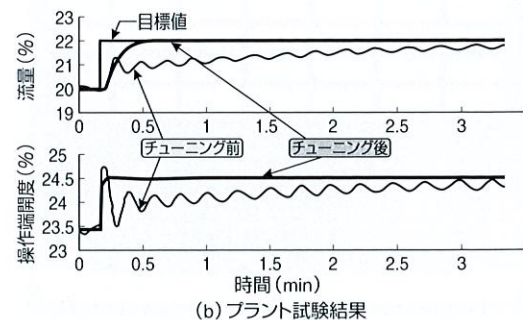
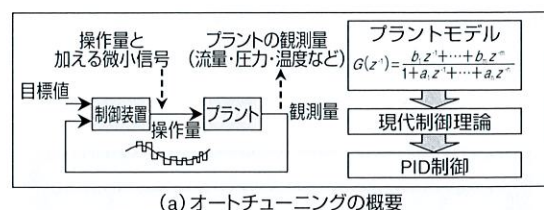


図6. オートチューニングの概要と試験結果 目標値への追従性向上と安定な応答をもつ制御調整が短時間で実現できた。

Automatic tuning system for PID controller and test results

るようにすることを目的に開発された。このツールは、制御中に操作量に対して微小信号を加えてプラントモデルを同定し、現代制御理論を応用して設計したパラメータをPID(比例、積分、微分)制御器の構造に合わせ低次元化することで、PID制御パラメータを算出する。さらに、このツールでは、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、制御特性を確認することができる。

図6にオートチューニングの概要と脱硝系統のアンモニア流量制御系での試験結果を示す。チューニング前に比べて目標値への追従性が向上し、安定な応答となっている。このツールは、検証試験を行って有効性を確認しており、今後は実プラントの調整に活用していく予定である。

#### 4 プラントデータ収集およびシミュレーション技術の適用

##### 4.1 シミュレーションツールの活用

当社では、コンバインドサイクルプラントのシミュレーションモデルを効率的に作成するため、シミュレーションツールを活用している。このツールでは、系統図に従って機器のブロックをマウス操作で結線し、熱貫流率などの機器のパラメータなどを設定することにより容易にシミュレーションモデルを構築できる。

図7にシミュレーションツールの応用例を示す。当社は、このツールで作成したシミュレーションモデルを用いて、制御システムの基本計画時に起動・停止、負荷変化、負荷遮断時などにおける運転・制御方法の検討を行なっている。また、制御装置の工場試験の際には、このモデルをベースに作成したリアルタイムシミュレータを用いたシミュレーション試験による機能確認を行なっている。さら

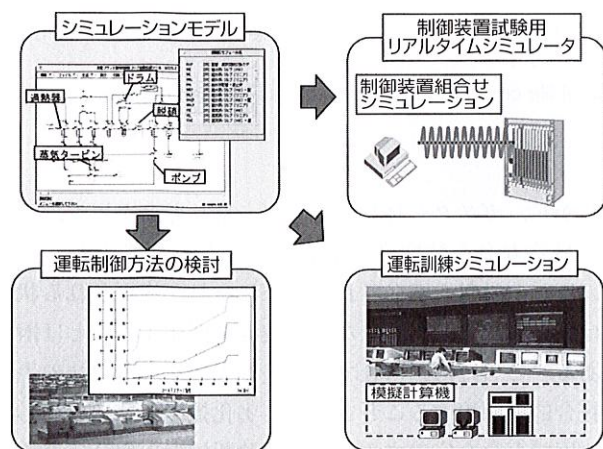


図7. シミュレーションツールの活用例 運転制御方法の検討, 制御装置の機能確認, 運転訓練など広範囲に活用できる。

Application of simulation tool

に、制御装置および計算機と組み合わせることにより、運転訓練シミュレーションにも応用できる。

##### 4.2 プラントデータ収集システム

プラントデータ収集システムは、制御装置からプラントや制御ロジック内部のデータを最速200ms周期で収集することができる。また、あらかじめ設定されたイベントが発生した場合は、その前後のデータを自動的に収録する機能を備えている。これらのデータは、各種のグラフ形式で表示できるほか、収集したデータを用い、試運転の日報帳票などの報告書の作成や、表計算ソフトによるデータの編集・加工もできる。また、ネットワークやISDNなどの通信インフラを利用することにより、収集したデータの確認が当社の工場などの遠隔地から可能である。

このシステムは制御システムのシミュレーション試験時のデータ記録、現地での試験調整業務のサポートに広く活用されている。

#### 5 あとがき

コンバインドサイクルプラントの最新の監視制御システムと、アドバンスト制御技術、シミュレーション技術の適用例について述べた。当社はプラントメーカーとして蓄積した技術と経験、アドバンスト制御技術、高性能監視制御システム構築技術を結集することにより、ユーザーニーズに合致した監視制御システムの提供に努めていく所存である。

#### 文献

- (1) 檜佐彰一, 他. 特集 I 火力発電所情報制御システム. 東芝レビュー. 52, 7, 1997, p.3-30.
- (2) Nakamoto, M. et al. "Generalized Predictive Control for a NOx Decomposition Process of a Combined Cycle Power Plant". IFAC SIPOWER'95. 1995-12, IFAC. 1995, p.251-256.
- (3) 中本政志, 他. 干渉のある流量制御系への最適レギュレータの応用. 計測自動制御学会論文集. 33, 6, 1997, p.494-501.



佐藤 豪芳 SATOH Takeyoshi

電力システム社 火力事業部 火力プラント技術部主務。  
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 Systems Div.



日野 史郎 HINO Shiro

電力システム社 火力事業部 配管計装部主務。  
火力プラントの制御の開発・設計に従事。計測自動制御学会会員。  
Thermal Power Systems Div.



高橋 信之 TAKAHASHI Nobuyuki

電力システム社 府中電力システム工場 発電制御システム部主査。  
火力プラントの制御システムの設計に従事。  
Fuchu Operations-Power Systems