

新型ガスタービン制御装置の開発

Development of Next-Generation Gas Turbine Control Systems

山 上 淳 二	技術開発本部総合開発センター制御システム開発部
岡 島 一 道	技術開発本部総合開発センター制御システム開発部
小 山 修	原動機セクター原動機プラント事業部カスタマーサポート部
山 本 修 三	原動機セクター原動機プラント事業部カスタマーサポート部 主幹
大 貫 宏 和	株式会社 IHI エスキューブ 制御システム事業部

ガスタービンコンバインドサイクル発電プラントにおいて、これまでガスタービン本体のみを制御対象としていた制御装置を拡張し、廃熱回収ボイラやポンプなどの補機類を含むプラント全体を制御するガスタービン発電プラント制御装置を開発した。一方、中小型ガスタービンを対象とし、小型化、低価格化をねらった超小型ガスタービン制御装置を開発した。これらによって、制御対象規模に応じて最適な制御装置の適用が可能になった。本稿では、これらのシステムの概要と主な特長について紹介する。

For combined cycle gas turbine power plants, the gas turbine power plant control system has developed, as a result of extending the existing system which can control only the gas turbine. The developed system can control entire plants which incorporate waste heat recovery boilers, steam turbines, and auxiliary machines such as pumps. On the other hand, for medium and small gas turbines, a compact control system has also been developed to provide miniaturization and low price. Optimal control systems have become applicable according to the scope of target. The outlines of these systems are described.

1. 緒 言

当社では、航空エンジン転用型ガスタービンを用いた発電設備を供給している。これまで、ガスタービン (GT) の制御は、航空エンジンの制御ノウハウを盛り込んだ、当社独自の GT 制御装置 (CSI-III) が担当し、GT 以外の部分の制御は外部の分散制御装置 (DCS) に任せていた。ところが、最近 GT は廃熱回収ボイラ (HRSG) と組合せて、電気と蒸気を提供するコジェネレーション設備としても利用されるようになり、さらに、蒸気タービン (ST) を組合せたコンバインドサイクル発電設備へと展開されるなど、発電プラントのなかで GT 以外の部分の占める割合が高くなっている。このため、顧客ニーズへの柔軟な対応、保守の迅速化、納期短縮など顧客満足度向上のためには、当社システムでプラント全体を統括して制御することが必要となってきた。

そこで今回、従来の CSI-III を拡張し、HRSG, ST, ポンプなどの補機類を含むプラント全体を制御するガスタービン発電プラント制御装置 (CSI-III+) を開発した。

一方、中小型 GT の制御装置のニーズも高いため、CSI-III を踏襲しつつ、小型化、低価格化を図った超小型

ガスタービン制御装置 (microCSI) を開発した。本稿では、これらの制御装置の概要と主な特長について紹介する。

2. ガスタービン発電プラント制御装置 (CSI-III+)

2.1 システム構成

ガスタービンコンバインドサイクル発電設備を例に、CSI-III+ のシステム構成を第 1 図に示す。大きく、プラント系、制御系、マンマシン・インタフェース系および遠隔監視システム (あいモニタ) に分かれている。

CSI-III+ を構成する主要機器を以下に示す。

(1) プラント制御ステーション (PCS)

制御対象である各ガスタービンプラント、スチームタービン・共通補機プラントなどプラントごとに設置し、担当するプラントの制御を行うとともに、PCS 間の通信によってプラント全体の制御も行う。

(2) オペレータ&エンジニアーズステーション (OES)

PCS への制御指令、プラントの状態監視およびシステムの保守管理を行う。また、PCS で動作する制御ロジックプログラムの作成やパラメタ変更などの設定を行うエンジニアリングツールを一部搭載している。

(3) リモート I/O (RIO) パネル

制御対象と PCS とを光ファイバーで接続し、高速かつ高信頼度で遠方の制御対象を制御する。

(4) ゲートウェイ (GW)

PCS が、GT 発電機制御盤や ST 制御盤などの外部制御装置と通信を行うために用いる。

(5) サイト通信装置

OES からデータを収集し、あいモニタへ転送する。

2.2 機能

CSI-III + の主な機能を以下に示す。

2.2.1 プラント制御機能

PCS でアナログ、接点、RIO、ほかの PCS との通信によってデータを入力し、制御ロジックに従って制御演算を行った結果を外部出力することによって、プラントの制御を行う。また、プラント全体の総発電量が目標値と一致するように、各プラントに発電量の指令値を与える。

2.2.2 プラント監視・警報機能

プラントの状態を監視するため、各種トレンドグラフ表示、系統図によるグラフィカルな表示などの監視機能をも

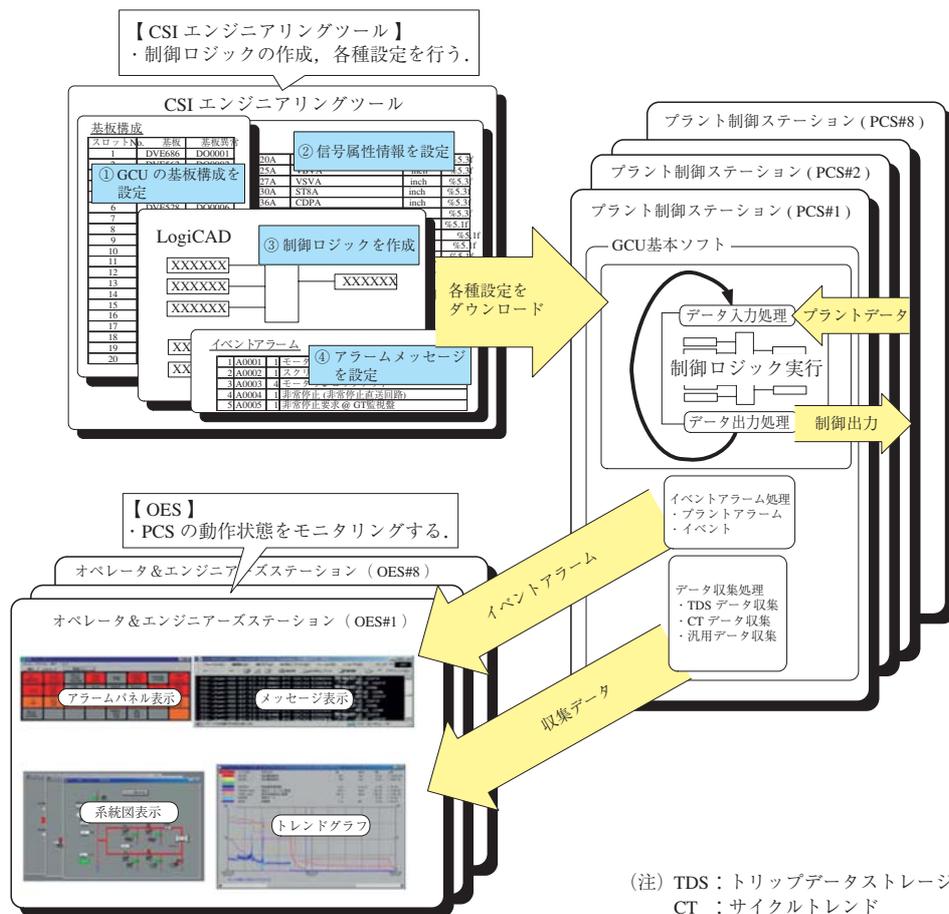
つ、監視するデータは、用途に応じて幾つかのグループに分けて、それぞれ別に設定できる。

また、オペレータの操作支援のため、系統図上から関連する電子マニュアルを表示できるようにしている。プラントアラームやイベントを表示する警報表示機能、PCS の異常を検知する自己診断機能も備えている。

2.2.3 エンジニアリング機能

CSI-III + を稼働させるために必要な、① 制御ロジックプログラムの作成 ② データ収集条件などの各種設定 ③ 各 PCS への登録、は専用のエンジニアリングツールを利用して行う。第 2 図にエンジニアリングツールを示す。人的な設定ミスを低減させ、システムの信頼性を向上させるため、エンジニアリングツールは、各種設定内容の整合性の確認機能をもっている。

また、作成した制御ロジックの動作状態をオンラインでブロック図上に表示することで、プログラム動作のモニタリングを容易に行えるようにしている。また、モニタリング中に入出力データを任意の値に固定/解除することで、調整作業を効率的に行えるようにしている。



第 2 図 エンジニアリングツール
Fig. 2 Engineering tools

2.2.4 オンライン切替機能

各種設定条件や制御ロジックの変更も、プラントを停止させることなく行うことが求められる。CSI-III では、制御ロジックプログラムで使用している論理ブロックのパラメタを、PCS の制御演算処理中に変更するパラメタ変更機能を備えていたが、CSI-III + では、制御ロジックプログラムやプラントデータ収集条件などの各種設定条件を、PCS の制御演算処理中に切替える機能を付加している。このオンライン切替機能もエンジニアリングツールを用いて実現しており、一部の PCS で切替ができない状態である場合でも、プラント全体に対して、制御ロジックや設定条件に不整合が生じないように、切替タイミングの同期、整合性の確認を行うようにしている。

2.2.5 遠隔監視機能

公衆回線を通じて送られてきたデータを社内 LAN に公開し、技術者端末でプラント状態などの各種データを OES と同等の画面で確認することができるようになっており、保守の迅速化に貢献している。また、客先などの外部のサーバへのデータ転送も可能である。

2.3 特長

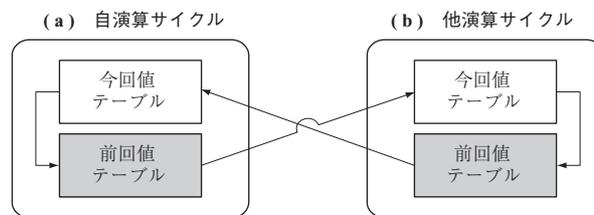
CSI-III + の主な特長を以下に示す。

2.3.1 高速な制御演算性能

短い制御周期が要求される GT の制御に対応するため、CSI-III と同様、最高 10 ms の高速制御演算サイクルを実現している。また、10 ms のほかに、20, 40, 80 ms および 160 ms の計 5 種類の制御演算サイクルを並列に実行できるようにしている。これによって、制御対象や内容に応じて適切な制御周期を選択することができ、負荷を平準化することが可能である。

各演算サイクルで使用されるデータのなかには、複数の演算サイクルで共有されるものがある。そこで、各演算サイクルで、演算処理開始前に、ほかの演算サイクルのデータから自身で必要とするすべてのデータを取得・保持するデータ同一化処理を行い、演算処理が終了するまで、データの一貫性を保つことができるようにした。

また、各演算サイクルは、現在の演算処理で使用するデータ（今回値テーブル）とは別に、前回の演算処理結果のデータ（前回値テーブル）を用意している。ほかの演算サイクルのデータが必要な場合は、その演算サイクルの前回値テーブルを参照する。また、自身の演算処理が終了したときには、今回値テーブルの内容を前回値テーブルにコピーしている。第 3 図にデータ同一化処理を示す。



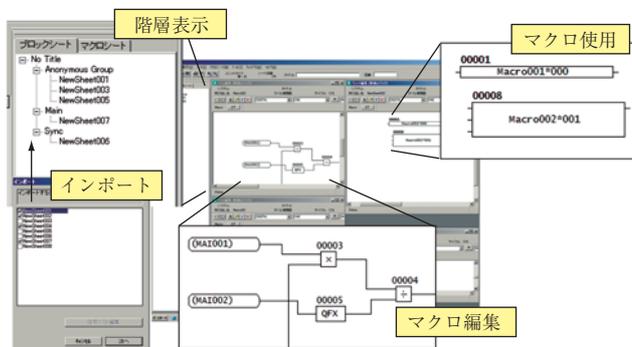
第 3 図 データ同一化処理
Fig. 3 Data identification

2.3.2 簡易な図形言語による制御ロジック作成

制御ロジックプログラムは、特にソフトウェア開発の知識がなくても容易に作成できるように、エンジニアリングツールの一つである制御ロジック編集ツール (LogiCAD) を使用して構築される。これによって、あらかじめ用意されているライブラリーのなかから選択した論理ブロックをシートに張り付け、信号線で結線していきながら、ブロック図として視覚的にロジックを作成できるようになっている。

また、プラント全体の膨大な制御ロジックを効率良く構築できるように、あるまとまった単位の制御ロジックをマクロとして定義し、ほかの箇所でも再利用できるようになっている。さらに、ほかのプラントの制御ロジックのシートをインポートして利用することも可能である。膨大な制御ロジックの確認や編集作業を容易にするため、制御ロジックの各シートは階層的に表示される。第 4 図に制御ロジック編集ツール (LogiCAD) を示す。

作成された制御ロジックは、人的ミスによる制御ロジックの不整合を避けるため、LogiCAD であらかじめ整合性の確認を行ってから対象の PCS に転送するようになっている。



第 4 図 制御ロジック編集ツール (LogiCAD)
Fig. 4 Control logic editor (LogiCAD)

2.3.3 二重化冗長系による高信頼性の実現

(1) 制御ユニットの二重化

プラントの制御を行う PCS は、特に高い信頼性が求められる。そこで、PCS は、同一構成の 2 台の制御演算ユニット (GCU) を使用して二重化することによって、信頼性の向上を図っている。

二重化されたシステムでは、一方の GCU が主系となって制御演算処理を行い、その演算結果を用いて、プラントの制御を行う。また同時に他方の GCU は従系となり、制御には使用しないが、つねに制御演算処理を行う。

主系 GCU に異常が発生した場合には、外部に設置される主従判定器によって異常を検知し、即座に従系を主系に切り替えて制御処理を継続できるようにしている。

各 GCU はそれぞれ非同期で制御演算を行っているため、算出した制御指令値に差異が発生する可能性がある。そこで、デュアルポートメモリ (DPM) と呼ばれる通信ボードを介して、主系 GCU は自身のデータを従系 GCU へ転送し、従系 GCU は転送されたデータを自身のデータに上書きすることで、両 GCU 間のデータの同期をとっている。第 5 図にデータの同期化を示す。

(2) ネットワークの二重化

ネットワークについても、信頼性や通信性能を向上させるために、マンマシン・インタフェース系内の通信に使用する情報系ネットワークと、制御系とマンマシン・インタフェース系との間の通信を行う制御系ネットワークとに分けている。特に、制御系ネットワー

クは二重系で構成しており、一系統の障害によってデータが喪失した場合も、他系統で再送処理ができるようにしている。

3. 超小型ガスタービン制御装置 (microCSI)

3.1 概要

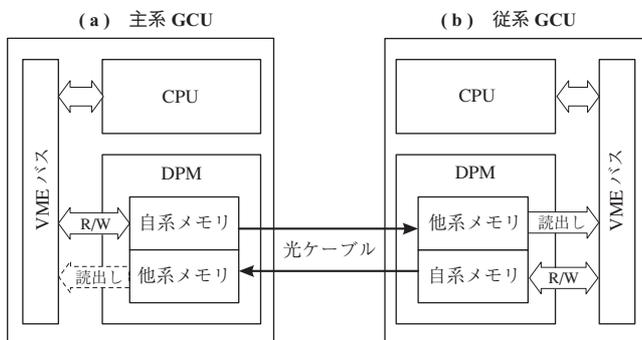
CSI-III + が GT 発電プラント全体の制御装置であり、高性能や高信頼性が求められるのに対し、中小型の GT の制御装置としては、機能、性能もさることながら、小型化、低価格化が強く求められる。そこで、microCSI では、OES やエンジニアリングツールは従来のものを流用できるように共通化し、制御演算ユニットである GCU は 1 台のみの単一系とした。また、GCU のハードウェアは、3U サイズの compactPCI ボードをベースにして小型化した。第 6 図に超小型ガスタービン制御装置 (microCSI) を示す。

制御演算機能、プラント監視機能は、従来の CSI-III の機能を基本的に踏襲している。なお、microCSI では、OES を使用しないスタンドアロンでの運用も想定されるため、収集したデータは、いったんフラッシュメモリに保持し、後からデータを収集できるようにしている。

GCU の OS についても見直しを図った。CSI-III では、リアルタイム OS として定評のあるアメリカの RTOS を採用していた。しかし、microCSI では、顧客へのサポート体制を強化するため、国産 OS でソースライセンスの入手が可能であり、実績も豊富な iTRON 系の OS を採用した。

3.2 OS 機能の比較

ハードウェア構成や OS を変更した場合、制御性能に



第 5 図 データの同期化
Fig. 5 Synchronized data



第 6 図 超小型ガスタービン制御装置 (microCSI)
Fig. 6 Appearance of microCSI

第 1 表 OS 基本機能の比較結果
Table 1 Comparison results of OS performance

評価項目	単位	CSI-III 環境	microCSI 環境
割込応答時間	μs	17.70	1.37
タスク切替時間 (セマフォ使用)	μs	2.00	2.01
タスク切替時間 (タスク優先度使用)	μs	3.95	2.00

問題が生じないか確認することが重要である。そこで、CSI-III と microCSI の環境を想定し、制御演算性能に影響がある OS の基本機能の性能を比較した。(ただし、ハードウェア環境が違うため、純粹には OS だけの性能比較ではない。)

タスク管理、セマフォ、メッセージキューといった基本的なシステムコールの応答時間を計測した結果、microCSI 環境は、CSI-III 環境と比べ、応答性能が同等以上であった。また、割込み、セマフォを用いたタスク切替およびタスク優先度変更によるタスク切替の各応答時間について計測した結果も、応答性能は同等以上であった。第 1 表に OS 基本機能の比較結果を示す。なお、microCSI のシステムとしての性能評価を後に実施し、特に問題ないことを確認している。

4. 結 言

今回、プラント全体を制御するガスタービン発電プラント制御装置 (CSI-III +) および中小型ガスタービンを対象とし、小型化、低価格化を図った超小型ガスタービン制御装置 (microCSI) を開発した。これらによって、制御対象規模に応じて最適な制御装置の適用が可能になった。

microCSI の制御演算ユニット (GCU) のフレームワークは、ガスタービン以外の用途にも適用可能であり、今後、ほかの用途へも適用範囲を拡大していく所存である。

— 謝 辞 —

本システムの開発に当たり、原動機プラント事業部の関係各位に多くのご助言とご協力をいただきました。ここに記し、深く感謝の意を表します。