

# ガスタービンデジタル制御装置

## Gas Turbine Digital Control System

火力発電所の制御装置としてデジタルコントローラの応用が広く行なわれるようになってきている。これは制御対象の多様化を背景に、制御システムが高度化、複雑化する傾向にあり、デジタルコントローラがこれらの技術課題に対応でき、かつ自己診断機能の完備などによる信頼性の向上に適しているからである。

一方、最近のガスタービンでも、その用途は多様化し、これに対応するためガスタービンのデジタル制御装置を開発した。制御装置のコントローラ部は二重系を可能とし、各分野での適用に応じた信頼性の強化を図るとともに、コンパクトな実装とした。

この論文では、ガスタービンデジタル制御装置の構成と3,000kWクラス2軸ガスタービンとを組み合わせた工場内試験の結果について述べる。

岩見谷建志\* Takeshi Iwamiya  
 浴 百合雄\* Yurio Eki  
 西嶋庸正\*\* Tsunemasa Nishijima

### 1 緒言

最近のガスタービンは大形化、高温化するとともに、その用途として、コンバインド発電プラント<sup>1)</sup>、パイプラインの駆動源への応用など、多様な分野に使用されるようになってきている。特に、ガスタービンを中核とした大規模なシステムでは計測、監視、制御のシステムは総合化、高度多機能化が必要となっている。また、システム全体で制御装置を統一した思想で構成することが要請されている。すなわち、上位計算機とのリンク及びシステムを構成する制御装置群の統一である。日立製作所では、火力発電所のデジタルコントローラ応用製品の開発、製品化<sup>2)</sup>を完了しており、ガスタービン制御装置のデジタル化によって、コンバインド発電プラントもデジタル化の体系化が可能となる。

また、最近のガスタービン制御には、排気ガス中の窒素酸化物を低減するために、水又は蒸気を燃焼器に注入する水・蒸気噴射制御、部分負荷時の効率改善を目的とした入口案内翼制御など、制御方式が複雑となり、アナログ制御装置ではハードウェアの規模が大きくならざるを得なかった。

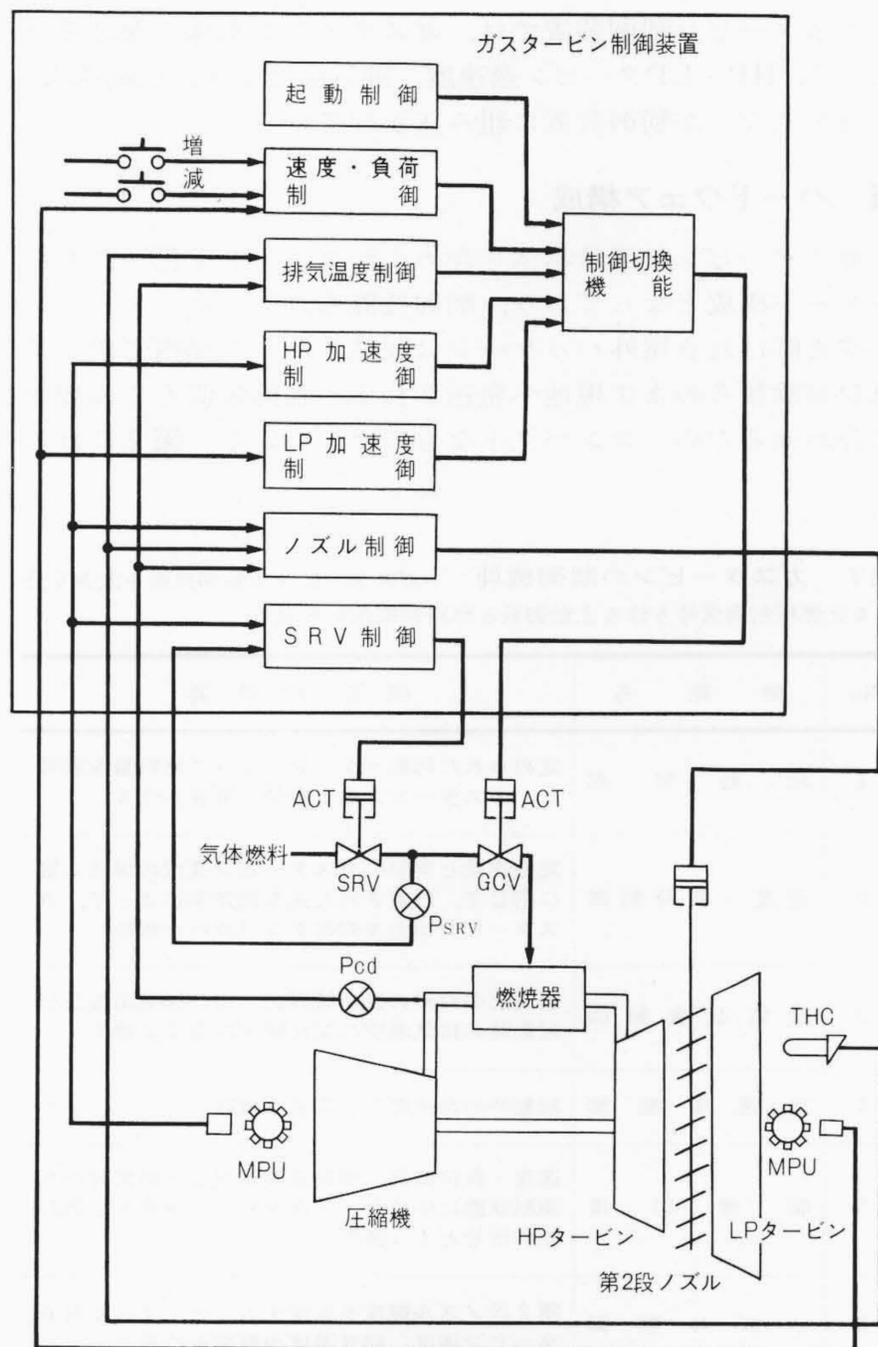
これらの課題を解決するため、デジタルコントローラを適用したガスタービン制御装置を開発したので、その概要及び3,000kWクラス2軸ガスタービンと組み合わせた工場内試験の結果について紹介する。

### 2 ガスタービン制御装置の構成

#### 2.1 ガスタービンの機器構成

ガスタービン制御装置の特徴として、コンパクトな構成とし、かつプラントの全自動運転を実現することが要求される。一方、燃焼及び回転体の制御を行なうため、扱う制御パラメータの数は多く、単一制御対象であるにもかかわらず複雑である。すなわち、制御装置に対する入力には圧力、温度(熱電対及び測温抵抗体)、回転数、燃料制御弁の開度信号などであり、これらの信号に基づき演算を行ない、燃料流量を制御している。

ガスを燃料とした2軸ガスタービンの機器構成例を図1に示す。



注：略語説明 ACT(アクチュエータ)      P<sub>SRV</sub>(SRV後圧)  
 GCV(ガス燃料制御弁)      THC(熱電対)  
 MPU(電磁ピックアップ)      HP(高圧)  
 P<sub>cd</sub>(圧縮機吐出し圧)      LP(低圧)  
 SRV(速度比弁)

図1 ガスタービンの機器構成 制御弁のアクチュエータは、高圧油で駆動されるサーボ弁によって制御される。

\* 日立製作所大みか工場      \*\* 日立製作所日立工場

## 2.2 ガスタービンの制御機能

ガス燃料を使用した2軸ガスタービンの制御機能を表1に示す。この中で排気温度制御、加速度制御は保護的な意味あいをもっている。起動時にはガスタービンの状態に応じて起動制御、温度制御、加速度制御が切り換わる。加速度制御は2軸機であるのでHP(High Pressure: 高圧)タービン及びLP(Low Pressure: 低圧)タービンについて行なう。圧縮機入口温度制御は寒冷地での圧縮機入口部の凍結を防止するため、圧縮機入口に圧縮機の抽気を注入するものである。

ガス燃料流量制御では速度比弁で、この弁の後圧、すなわち、ガス燃料制御弁の前圧を一定に制御しているため、燃料流量の調整はガス燃料制御弁の開度だけで制御する。速度比弁によって、ガス燃料圧力をHPタービン速度に比例して制御することによって、起動時でもガス燃料制御弁の開度が低开度とならず、安定に制御できる利点がある。

本表で示したほかに液体燃料制御、ガス・液体混燃制御などがある。また起動、停止時に補機、電磁弁などを操作するシーケンシャル制御も含んでおり、起動から停止まで全自動で運転可能である。

ガスタービン制御装置では、ガスタービン本体の保護機能として、HP・LPタービン過速度、排気温度過大、振動過大、火災喪失などが制御装置に組み込まれている。

## 3 ハードウェア構成

ガスタービンは通常本体を含め小形コンパクト化されたパッケージ構成となっており、制御装置もコントロールパッケージと呼ばれる屋外パッケージに収納され、工場内で組立て及び試験後そのまま現地へ発送される。制御装置もこの要求に合わせるため、コンパクトなものとしている。図2にガス

表1 ガスタービンの制御機能 ガスタービンの制御機能を大きく分けると燃料制御信号を作る主制御系と燃料制御系から成る。

No.	機能名	機能の概要
1	起動制御	定められた起動パターンに従って燃料量を制御し、ガスタービンを自動的に昇速させる。
2	速度・負荷制御	定格速度と実際のガスタービン速度の偏差の量に応じて、設定された速度調定率によって、ガスタービン出力を制御する(ガバナ機能)。
3	排気温度制御	高温部の材料の寿命管理のため、排気温度及び起動時の排気温度の変化率を制限する機能。
4	加速度制御	起動時の加速度を制御する機能。
5	制御切換	速度・負荷制御、排気温度制御などの信号から運転状態に応じた、最適な信号を選択して燃料制御信号とする機能。
6	ノズル制御	第2段ノズル開度を制御することによってHPタービン速度、排気温度の制御を行なう。
7	S R V 制御	ガスタービンの速度信号に従って速度比弁の後圧を制御する機能。
8	G C V 制御	燃料制御信号に対応して、ガス燃料制御弁の開度を制御する機能。ガス燃料制御弁の開度によってガスタービン出力が制御される。
9	圧縮機入口温度制御	圧縮機入口部の凍結防止のため、圧縮機の入口温度を制御する。



図2 ガスタービン制御装置の外観 上部にアナライザ、中央部にオペレータコンソールを配置している。

タービン制御装置の外観を示す。

ハードウェア設計の基本方針は下記のようにしている。

- (1) 全体制御系は二重系を可能とし、信頼性向上を図る。
- (2) 保護系と制御系はハードウェア的に分離し、デジタルコントローラの故障が保護に影響を与えないようにする。
- (3) 基本的にフェイルセーフの構成とする。
- (4) 本体とのインタフェースは小形産業用ガスタービンから事業用大形ガスタービンまで可能とする。

図3に制御装置のハードウェア構成を示す。

### 3.1 信頼性の強化

デジタルコントローラは部品点数が少なく、それ自体信頼性の確保がなされているが、各種の適用分野に応ずるため、システムによっては二重系(待機冗長系)構成を可能としている。プラントからの入力常時2台のコントローラに入力されており、出力は片側のコントローラ(制御側)から出力されている。2台のコントローラは同じ演算を行なっており、故障時には待機側のコントローラへ切り換わる。

故障検出ロジック、切換スイッチは半導体化して実装密度と信頼性の向上を図っている。

なお、二重化部分はプロセス入出力装置全体も含んでいる。

### 3.2 保護装置の構成

ボイラ、蒸気タービン制御装置とガスタービン制御装置との大きな違いは、制御装置をコンパクトにするため保護装置が制御装置と一体化していることである。保護装置のハードウェアは振動、速度などのプロセス信号が設定値を超えたことを判定する信号変換用プリント板と、論理演算用プリント板で構成される。論理演算は汎用ICロジックプリント板で構成しているが、トリップインタロックは監視項目が多いため、専用プリント板としている。また、トリップインタロック用プリント板は、信頼性を増すため二重化している。過速度検出、火災検出などの重要な回路の検出についても二重化している。

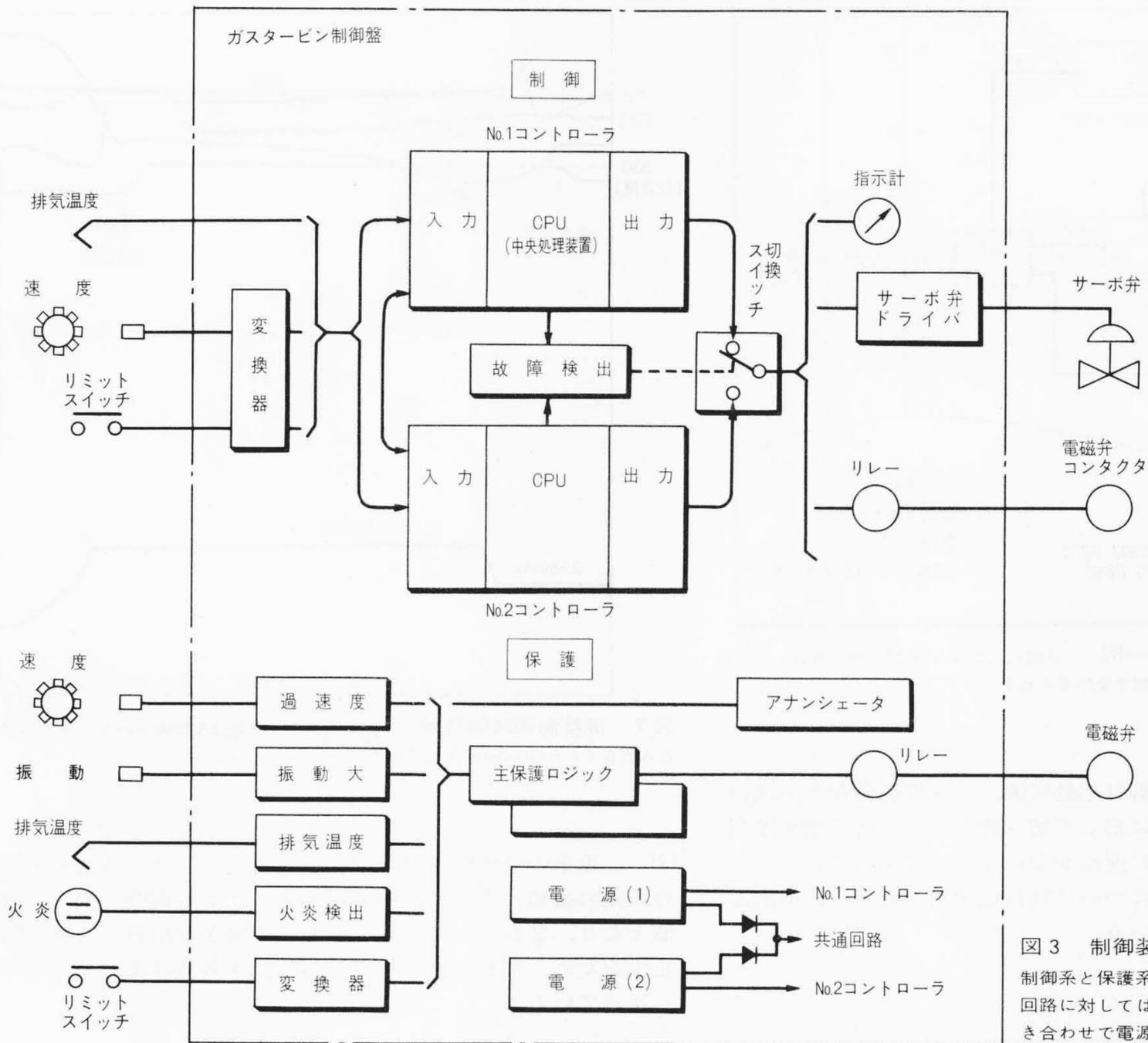


図3 制御装置のハードウェア構成  
制御系と保護系を完全に分離しており、共通回路に対しては2台の電源からダイオード突き合わせで電源を供給している。

電源はデジタルコントローラ各々がもっており、共通回路すなわちデジタルコントローラの故障検出ロジック、切換スイッチ及び保護回路については、2台の電源から供給している。

アナウンシェータは第一故障表示方式(第1番目の故障はフリッカさせ、第2番目以降の故障は連続点灯とする。)であり、このロジックも大形プリント板2枚に実装している。

### 3.3 キャリブレータ

キャリブレータは、回転数、排気温度などのガスタービンの模擬信号を発生させ、制御装置の試験を行なうためのものである。キャリブレータはまたデジタルコントローラのプロセス入出力装置をT/M(Test and Maintenance Program)を用いて保守を行なうときの入力の模擬及び出力のモニタを簡単に行なえるように考慮している。図4にキャリブレータの外観を示す。

## 4 ソフトウェア

### 4.1 プログラム言語

プログラム言語はタービン制御用に開発したBDP(Block Diagram Programming)というDDC(Direct Digital Control)向き専用言語を使用している。

BDPは制御ブロック図で書かれた機能をそのままコーディングすることによってオブジェクトプログラムが作成でき、制御機能の変更、追加などは実機で制御ブロック図レベルで簡単に行なえるため、コンピュータの専門知識を必要としな

い。また、制御ブロック図とプログラムが対応しているため、可視性が良いことに特長がある。図5に制御ブロック図の一例と、それに対応するプログラムリストを示す。

### 4.2 ガスタービン制御用ソフトウェアの特長

ガスタービン制御の特長として次の点が挙げられる。



図4 キャリブレータの外観 制御装置との間はコネクタで結合する。

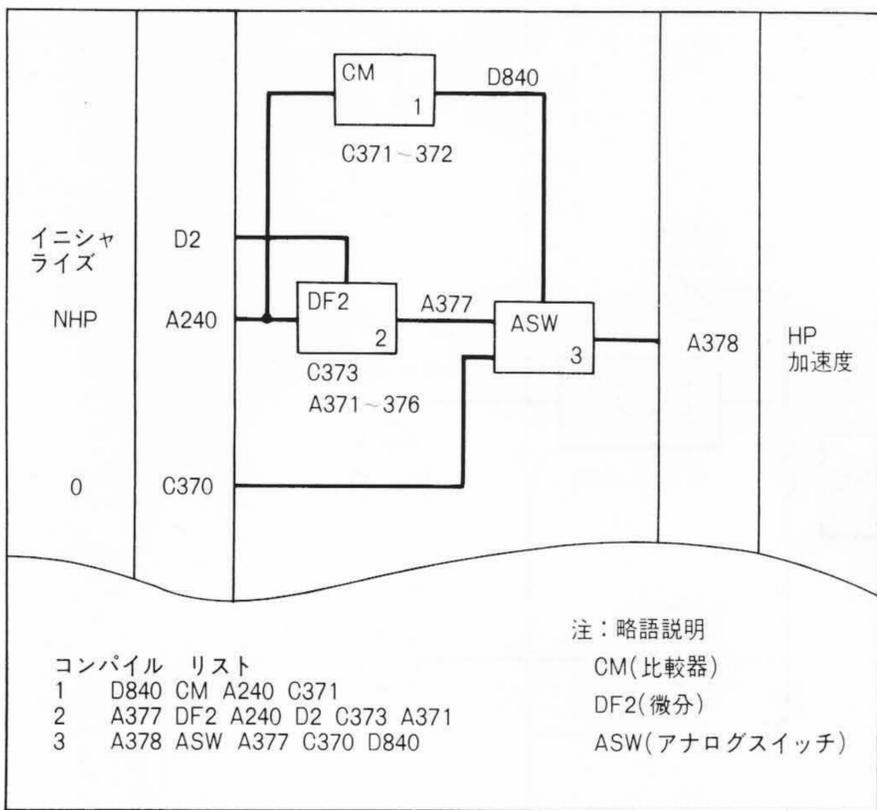


図5 制御ブロック図の一例 各機能エレメント間のデータは、A377のように点番号と呼ばれる変数で受け渡される。

- (1) ガスタービンの制御は起動制御，加速度制御などの制御モードがタービン状態に応じて切り換わるが，特に加速度制御については，切換えに遅れがないように考慮している。
- (2) プロセス入力信号については自己診断を行ない，検出器のチェックを行なっている。

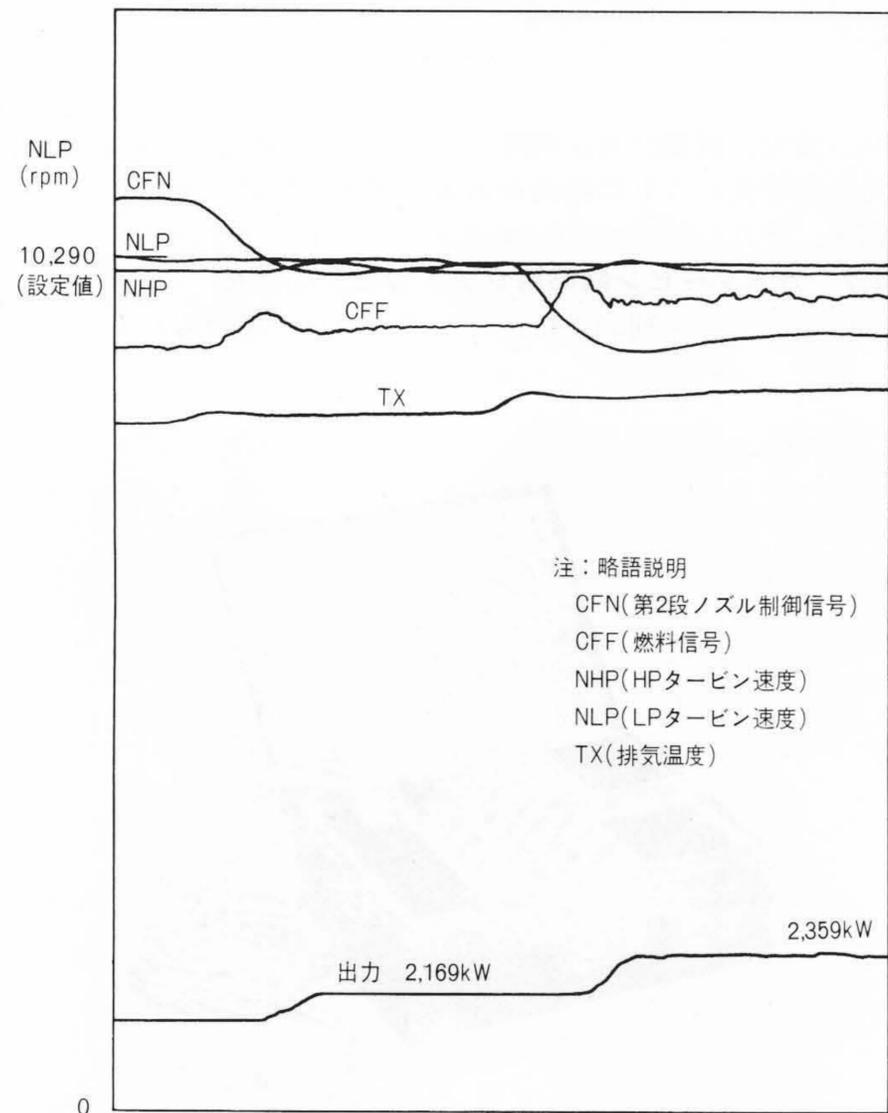


図6 負荷急変試験結果 負荷を急変しても，LPタービン速度は安定している。調定率運転のため，ガスタービン出力の増加に伴い燃料信号が増加し，LPタービン速度が低下している。

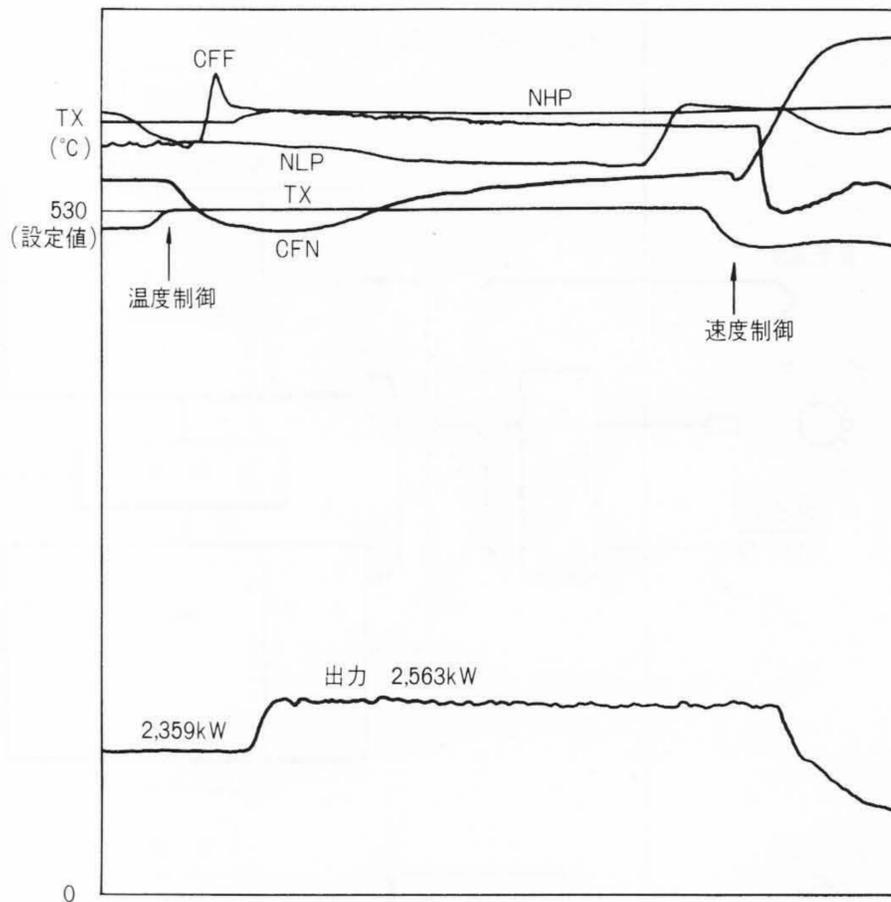


図7 温度制御試験結果 温度制御時，排気温度はオーバシュートはほとんどなく，一定に制御されている。

- (3) 二重系の待機側のコントローラでは，プロセス入力装置の誤差の蓄積によって，積分器出力などが制御側と異なった値となり，2台のコントローラの間で偏差が出る。これを防止するため，制御側のデータを信号伝送装置によって待機系へ送っている。

5 工場試験結果

3,000kWクラス2軸ガスタービンとガスタービン制御装置とを組み合わせ，工場内で試験を実施した。負荷は水動力計を用いた。

シーケンシャル制御，速度・負荷制御，温度制御に関する一連の性能試験を実施した結果，所定の性能を確認することができた。試験結果の例を次に示す。図6は負荷急変試験結果であり，負荷を急変させてもLP(低圧)タービン速度は良好に制御されている。図7に温度制御試験結果を示す。排気温度のオーバシュートはほとんどなく，一定に制御されている。

6 結 言

ガスタービンのデジタル制御装置の概要について述べた。本装置はガスタービンの制御及び保護を1面にまとめており，起動から停止まで全自動で制御することが可能である。また，デジタルコントローラの特長を生かして信頼性の向上を実現している。本装置には今後のガスタービンの発電用，機械駆動用ともに多様な分野への適用に対し，制御装置の面からシステム構成のフレキシビリティを大きくするものとする。

参考文献

- 1) 寺崎，外：日本国有鉄道向けコンバインドサイクル発電プラントの制御システム，日立評論，63，10，691～696(昭56-10)
- 2) 上田，外：マイクロコンピュータの電力事業への応用，日立評論，61，4，237～240(昭54-4)