

コンバインドサイクル発電プラント総合デジタル監視制御システム

Integrated Digital Control and Monitoring System for Combined Cycle Power Plant

燃料の多様化、プラントの高効率化を目指して、コンバインドサイクル発電プラントの建設が進められている。このプラントを高効率、高信頼度運転するため、運転監視の中央集約化とガスタービン、蒸気タービン、HRSG(排熱回収ボイラ)の運転自動化を実現する最新の高度マンマシン技術、高信頼化デジタル制御技術、光情報伝送ネットワーク技術を駆使した総合デジタル監視制御システムを完成した。

このシステムは、中国電力株式会社柳井発電所、九州電力株式会社新大分発電所に導入され、順調に試運転中であり、運用開始後は、電力の安定供給に大きく貢献できると期待している。

四郎丸 功* *Isao Shiroumaru*
 浅井明久** *Akihisa Asai*
 岩見谷建志*** *Takeshi Iwamiya*
 古舘和男*** *Kazuo Furudate*
 高橋正衛*** *Shōei Takahashi*
 足立茂樹*** *Shigeki Adachi*
 日下 智**** *Satoshi Kusaka*

1 緒 言

燃料の多様化対応、電力の安定供給の観点から、高効率、高運用性の利点を生かして高性能な大容量コンバインドサイクル発電プラントの建設が進められ、今後も多数建設が計画されている。

一方、火力発電所の監視制御システムに要求される機能、課題は、運転性、信頼性、経済性そして保守性をいかに向上させるかである。特に大容量コンバインドサイクル発電プラントでは、複数の主機から構成され、かつ小人数による高度な運転を行うため、制御システムへのニーズが多い。これらのニーズに制御用計算機、および信号伝送のネットワークを含めた最新のデジタル制御技術を適用した大容量コンバインドサイクル発電プラントの監視制御システムを完成した。これらは中国電力株式会社柳井発電所(以下、柳井発電所と言う。)1号系列、九州電力株式会社新大分発電所(以下、新大分発電所と言う。)1号系列に適用され、現在、試運転中である。両発電所とも、電力会社と日立製作所との共同で開発を進めており、最新鋭の発電所として全体システムでは、それぞれ種々特徴を持っている。ここでは、ハードを主体に、両発電所に採用されたシステム技術の特徴的な内容について述べる。

2 プラント構成と運用上の特徴

コンバインドサイクル発電プラントの構成を図1に示す。

プラントの主要構成機器であるガスタービン、発電機、蒸気タービンの組み合わせ方により、1軸形と多軸形に大別される。1軸形は蒸気タービンがガスタービンと同一軸上にあり、発電機を共有する方式であるのに対し、多軸形は蒸気タービンとガスタービンの軸が別々で、それぞれが発電機を持ち、一般には複数のガスタービンに対して1台の蒸気タービンを配している。1軸形は構成がシンプルで基本的に独立しているため、運用上のフレキシビリティに富んでいる。一方、多軸形は構成がやや複雑で全体の協調を図る必要があることから、運用が1軸形に比べ複雑になるが、蒸気タービンを大容量化できるためプラント定格出力時の熱効率が高い。概して高負荷帯でのベース運用に用いる場合には多軸形が、中間負荷運用で運用性を重視する場合には1軸形が適している。柳井発電所および新大分発電所では1軸形が採用されている。

プラントの主要構成機器としては、ガスタービン、HRSG(排熱回収ボイラ)、蒸気タービンがあげられる。以下、その概要と運用上の考慮点について述べる。

ガスタービンは、コンバインドサイクル発電プラント出力の約 $\frac{2}{3}$ を分担し、プラントの運用を決定する最も基本となる構成機器である。ガスタービン単体の起動・停止は蒸気タービンに比べ非常にシンプル、かつ短時間であり、コンバインドサイクル発電プラントでもこの特徴を生かし短時間起動、短時間停止が可能である。しかし、熱効率の面では、大容量

* 中国電力株式会社 柳井発電所 建設所 ** 九州電力株式会社 火力部 *** 日立製作所 大みか工場 **** 日立製作所 日立工場

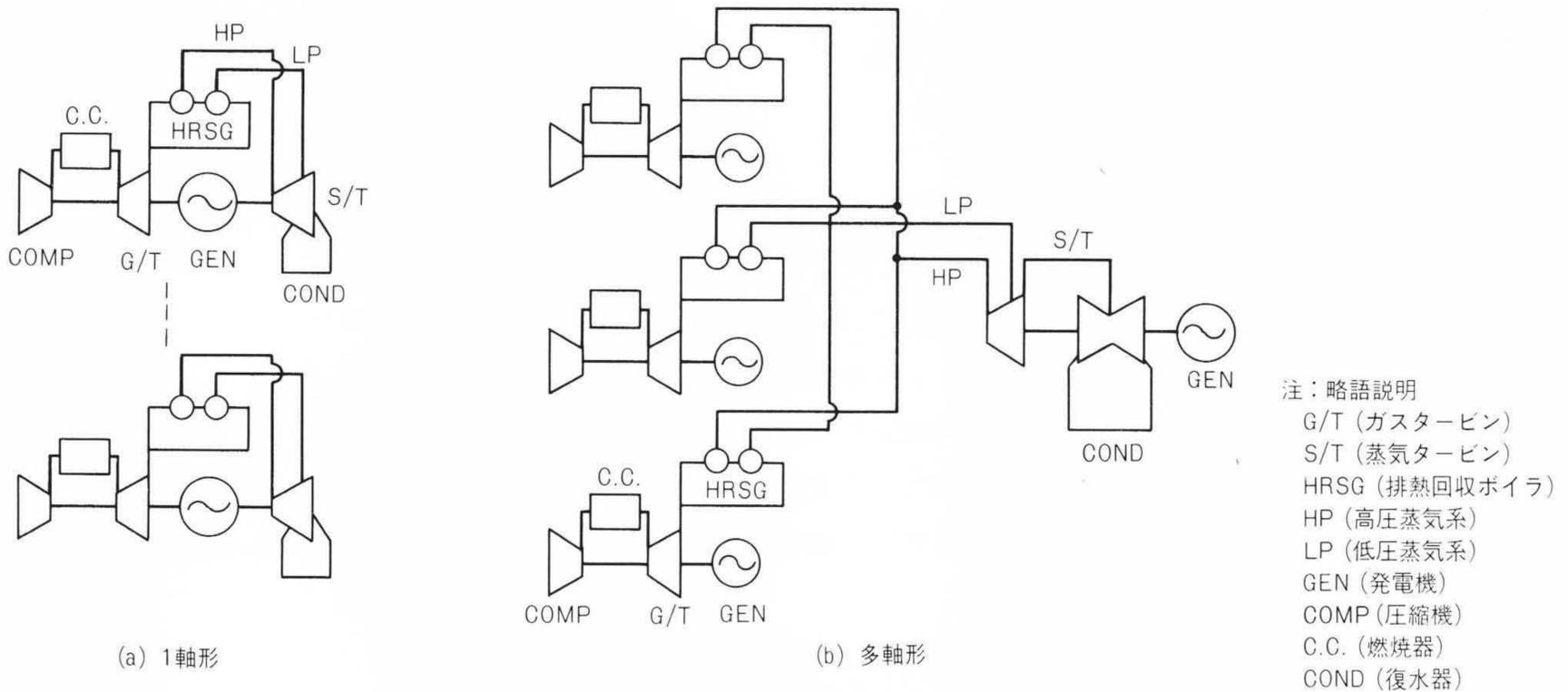


図1 コンバインドサイクル発電プラント構成例 コンバインドサイクル発電プラントは、ガスタービン、HRSG、蒸気タービンおよび発電機の組み合わせ方により、大きく1軸形と多軸形に分けられる。

の圧縮機を持っているため、低負荷での効率低下が著しい。

蒸気タービンはコンバインドサイクル発電プラント出力の約 $\frac{1}{3}$ を分担し、次に述べるHRSGの発生蒸気を有効に使うよう、通常運転中は主蒸気加減弁を全開とした完全変圧変温運用が一般的に採用されている。なお、1軸形の場合、軸の昇速はガスタービンによって行われることから、蒸気タービン低圧段の風損による過熱を防ぐため、昇速過程の適切な時期で、クーリング用の蒸気を注入する必要がある。

HRSGは、ガスタービンの高温排ガスを熱源として蒸気を発生させる装置である。特徴としては発生蒸気特性が図2に

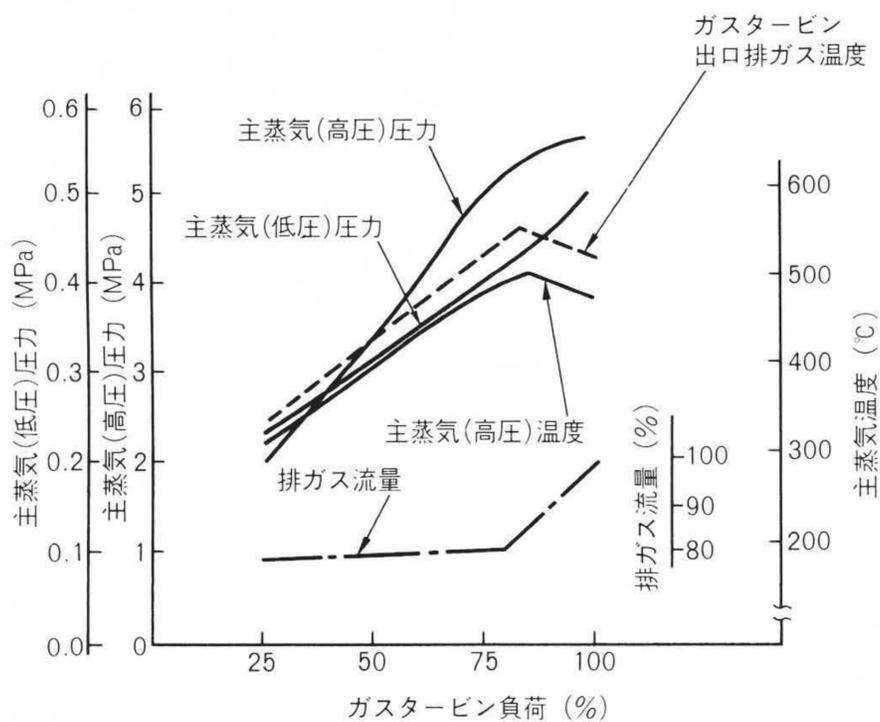


図2 コンバインドサイクル主蒸気温度・圧力特性 ガスタービン出口排ガス温度は、ガスタービン負荷によって変化する。それに伴って後流のHRSGで発生する主蒸気圧力、温度も同様に大きな変化幅を持つ。

示すように、ガスタービン負荷により大きく変化すること、および環境規制を守るために内部に脱硝装置を組み込んだ構造となっていることがあげられる。

以上を組み合わせたプラントで、負荷要求が与えられた場合、軸の出力特性としては図3に示すようになる。すなわち、ガスタービンおよび蒸気タービンの出力合計がプラントのトータル出力となる。ガスタービン出力は、燃料量の調節によって、出力目標に対し遅れることなく追従することが可能で

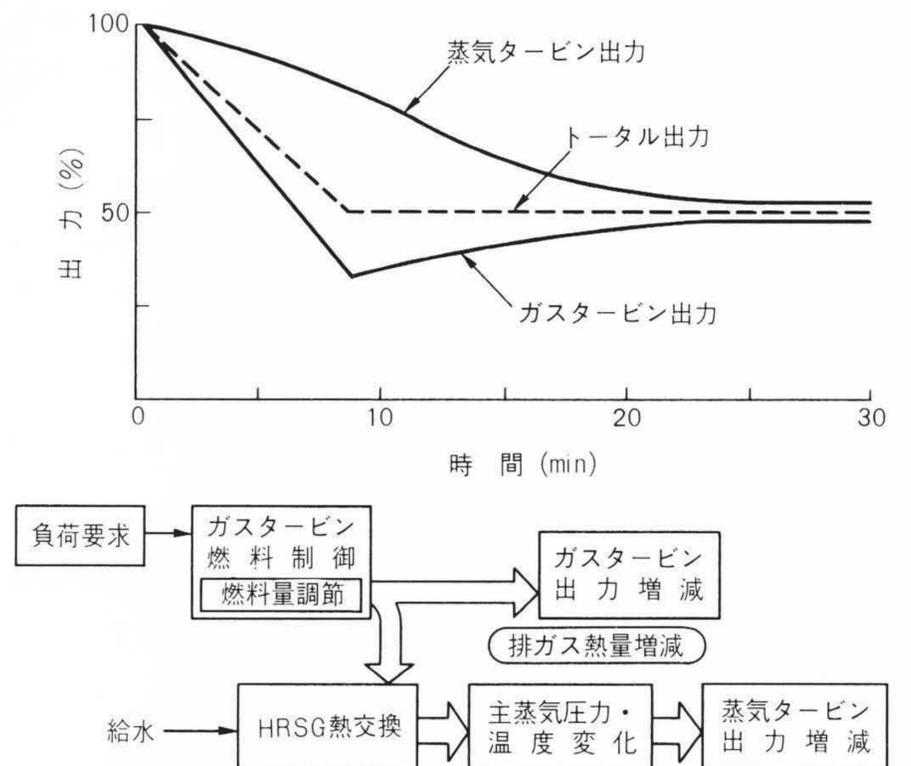


図3 コンバインドサイクル軸出力ランプ変化特性(100%出力→50%出力) コンバインドサイクル発電プラントの出力制御は、ガスタービンの燃料流量を加減して行い、ガスタービン出力と蒸気タービン出力の合計がトータル出力となる。蒸気タービン出力はHRSGの蒸気発生時間を要するため、遅れて追従する。

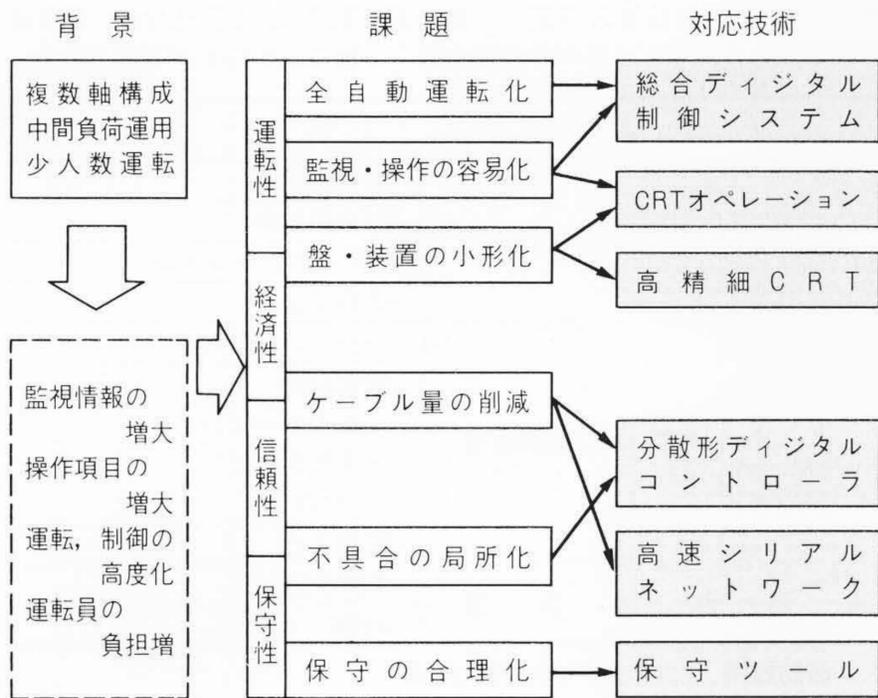


図4 制御システムの課題と対応技術 複数軸を小人数で運転するための課題と、実際に採用した対応技術を示す。

あるが、蒸気タービン出力は、燃料量の変化が排ガス温度・流量の変化、さらに排ガスダクト、HRSGのダクト・配管での熱吸収を経てHRSG主蒸気圧力・温度の変化という経路をたどるため、追従遅れが生ずることになり、コンバインドサイ

クル発電プラントの運用の特徴となっている。

3 制御システム構成

3.1 制御システムの課題と対応技術

複数の軸系統(ガスタービン、発電機、蒸気タービンおよびHRSGによる主機構成単位を軸と呼ぶ。)から成るコンバインドサイクル発電プラントは、軸単位の制御とプラント全体の制御を、さらにはガスタービン、HRSG、蒸気タービン、発電機の制御をバランスよく行う必要がある。また、軸数に比例してプラントの監視情報量や操作端数も増加する。小人数で安全に運転するために制御システムが果たすべき課題と制御システム構築にあたって採用した対応技術を図4に、制御システム構成を図5に示す。

制御システムとして、プラントレベル(発電所)、ユニットレベル(系列)、ローカルレベル(軸)の完全機能階層構成を採用し、発電所業務支援システム、系列制御用計算機・系列制御装置、マスタ制御装置・サブグループ制御装置がそれぞれのレベルの主な制御機能を担当している。特に、マスタ制御装置・サブグループ制御装置については軸ごとに自律分散している主機構成に対応し、監視、操作および制御の各機能を軸ごとに独立して行えるよう設計している。監視および操作機能

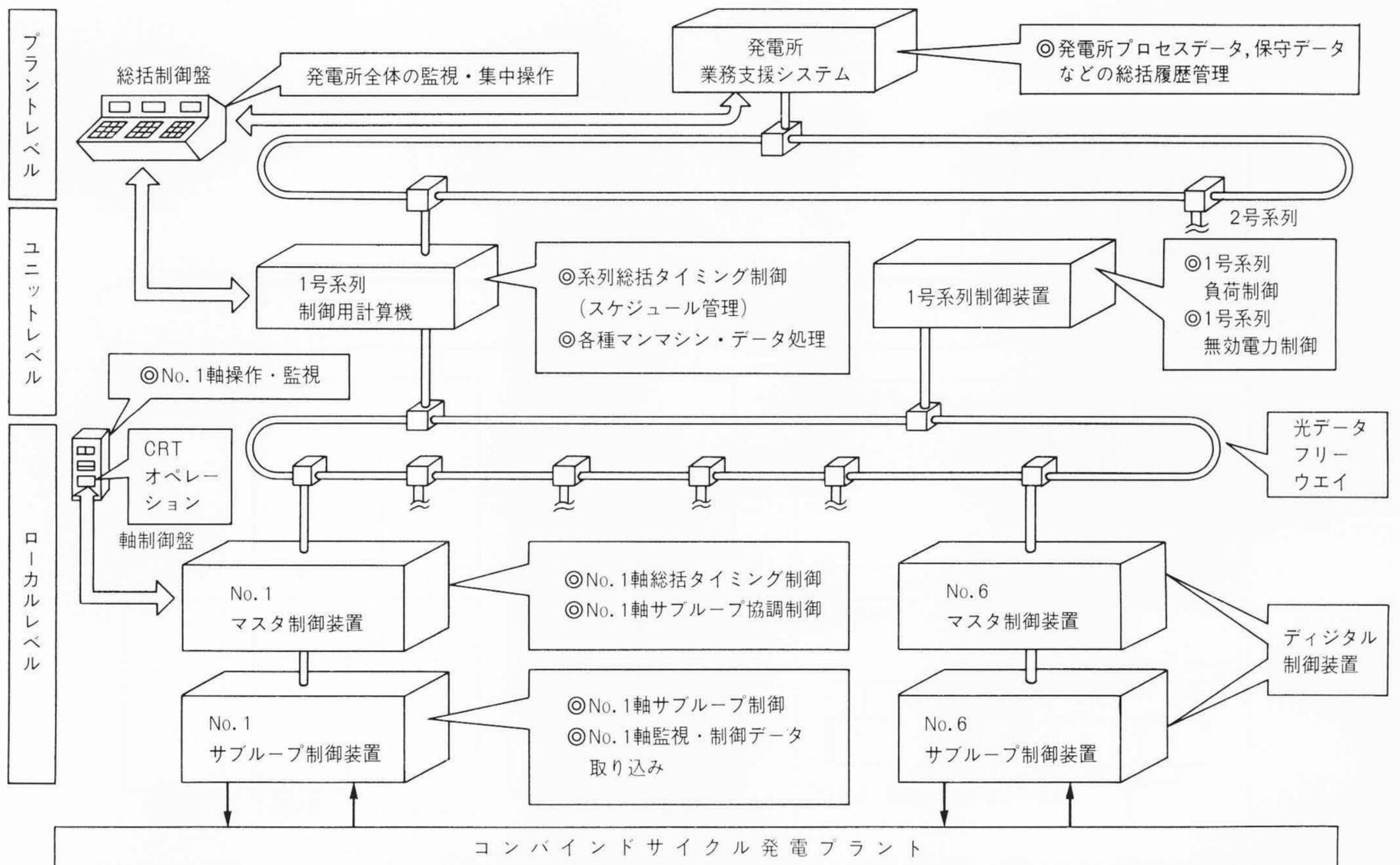


図5 コンバインドサイクル発電プラント制御システム構成(6軸構成) このシステムはプラントレベル、ユニットレベル、ローカルレベルに階層化され、かつローカルレベルは各軸ごとに機能分散されており、全体として完全機能階層分散システムを形成している。なお、柳井発電所の場合は発電所レベルのデータフリーウェイも設置している。

について、ユニットレベルとローカルレベルは相互にバックアップし運転信頼性を強化している。

3.2 制御システムの特徴

この制御システムの主な特徴を以下に述べる。

- (1) 小人数運転に対応して、総括制御盤から通常運転時のすべての監視、操作が可能である。プラントレベル、ユニットレベルの装置故障時や自動化渋滞時には、各軸制御盤から、軸ごとの自動化進行操作、補機および調節弁単位の手動操作を可能とした。
- (2) 軸制御盤には全面的にCRTオペレーションを適用し、盤の小形化と中央操作化を実現した。
- (3) 高精細CRT、カラーハードコピーなど最新のマンマシンインタフェース機器を導入し、プラント監視を容易にした。
- (4) 日立発電プラント総合監視制御システムHIACS-3000¹⁾(分散形デジタルコントローラ)の採用およびガスタービンデジタル制御装置²⁾の実績を踏まえ信頼性、制御性、保守性を向上させた。
- (5) サブルーブ制御装置を現場配置とし、高速データネットワークによって中央と結合しケーブルを削減した。

4 制御装置

コンバインドサイクル発電プラント制御装置のハードウェア構成を図6に示す。制御用コントローラはデジタル式と

表1 主要制御装置の機能 軸制御装置には、自動化機能、軸負荷制御機能を含んでおり軸制御装置単独で1軸の自動起動が可能である。

制 御 装 置	機 能	
軸制御装置	マスタ制御装置	1. 軸自動化 2. 軸負荷制御 3. CRTオペレーション 4. 系列伝送
	サブグループ制御装置	1. シーケンスマスタ 2. 調整制御 —ガスタービン —蒸気タービン —HRSG 3. 監視入力
系 列 制 御 装 置	1. 系列負荷制御 2. AVQR	

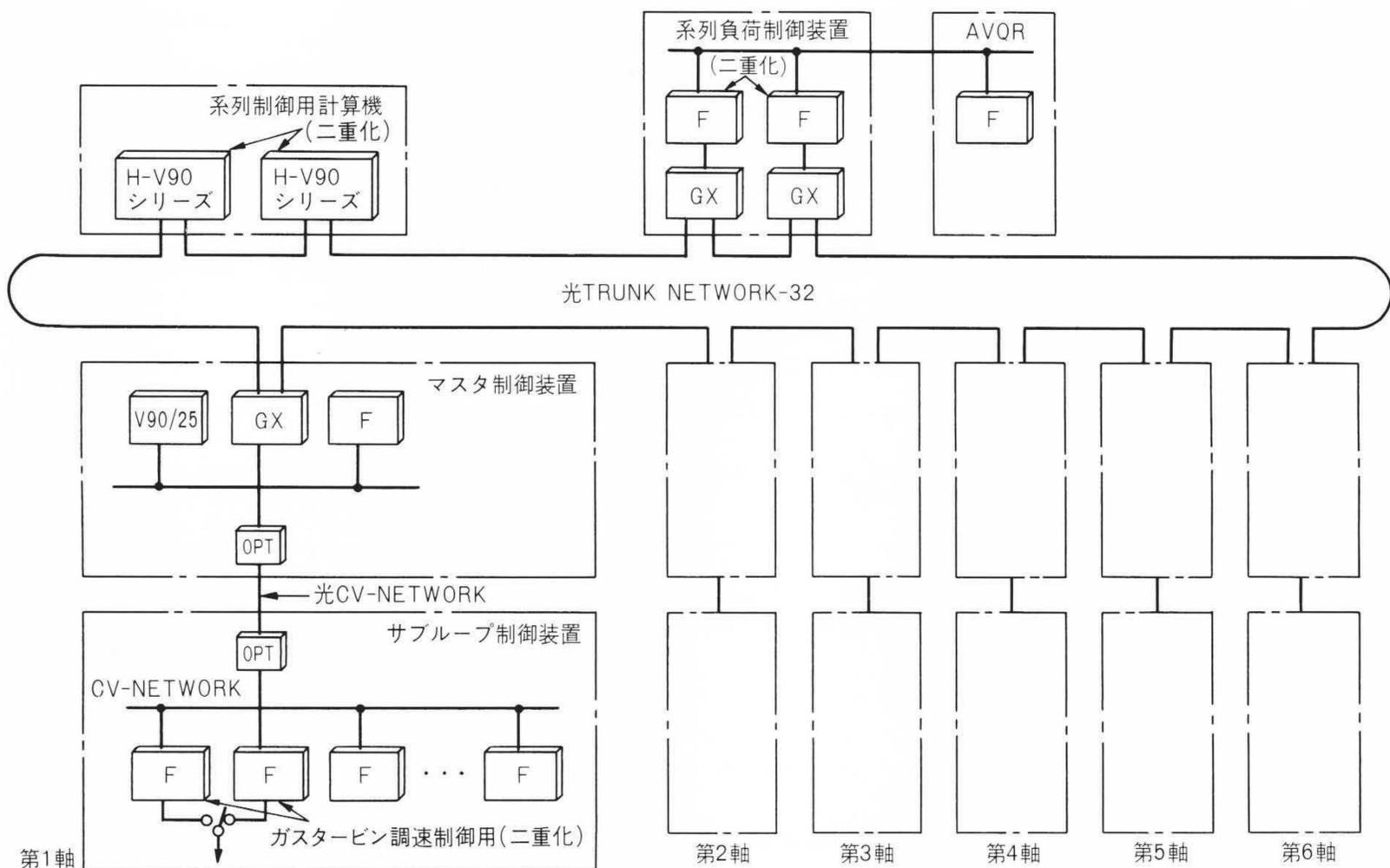
注：略語説明 AVQR(系列無効電力制御)

し、かつ1機種(HISEC 04M/F)に統一して保守の容易化を図っている。

マスタ制御装置と系列制御用計算機のインタフェースは、32 Mビット/sの光TRUNK NETWORK-32を採用している。これは主機が複数台あるため、プラントの情報量が多く、その情報を高速に伝送する必要があるためである。

4.1 軸制御装置

軸制御装置は、マスタ制御装置とサブグループ制御装置によって構成される。



注：略語説明 H-V90 (HIDIC V90), V90/25 (HIDIC V90/25), GX (伝送コントローラ), F (HISEC 04M/F)
光TRUNK NETWORK-32 (光高速ネットワーク), CV-NETWORK (二重化伝送路), OPT (光リピータ)

図6 制御装置ハードウェア構成 各軸制御装置をネットワークで結び、全軸の情報の集中監視を可能としている。また、重要な機能を持つコントローラは二重化している。

マスタ制御装置およびサブグループ制御装置内の各コントローラ間は二重化伝送路で接続されており、各コントローラの情報共有できる構成としている。

(1) マスタ制御装置

各制御装置の機能を表1に示す。

従来的一般火力発電設備では、自動化機能は制御用計算機で実現していたが、1軸形コンバインドサイクル発電プラントでは、各軸に自動化機能が必要なため、マスタ制御装置の一部として組み込まれている。

CRTオペレーションおよび軸の監視を行うために、スーパーマイクロコンピュータHIDIC V90/25を設置した。このマイクロコンピュータは制御装置の二重化伝送路と直接接続として、データ取り込みの高速化を図っている。

(2) サブルーブ制御装置

サブグループ制御装置は主機を直接制御する部分であり、現場制御室に設置される。マスタ制御装置とサブグループ制御装置間の二重化伝送路については、光信号伝送を採用して耐ノイズ性を向上させている。

制御用コントローラは主機ごとに分割するのではなく、機

能ごとに分割する構成としている。例えば、蒸気タービンの加減弁制御は、軸としての调速機能を持つガスタービン用のコントローラと共用している。

4.2 系列制御装置

系列制御装置は、系列としての負荷および無効電力を制御する系列負荷制御機能とAVQR(系列無効電力制御)機能とで構成される。これらの制御装置によって、複数軸を一つの発電ユニットのように制御することが可能となる。

系列負荷制御機能は、中給(中央給電指令所)からの負荷指令を各軸に分配するため、系列全体にかかわっており、コントローラは二重化構成としている。負荷指令は各軸に負荷指令を均等に配分する均等負荷配分方式としている。

AVQRは中給からの指令によって系列の無効電力、母線電圧を制御する機能を持っている。

5 系列制御用計算機および発電所業務支援システム

系列制御用計算機および発電所業務支援システムのシステム構成を図7に示す。

系列制御用計算機は、コンバインドサイクル発電プラント

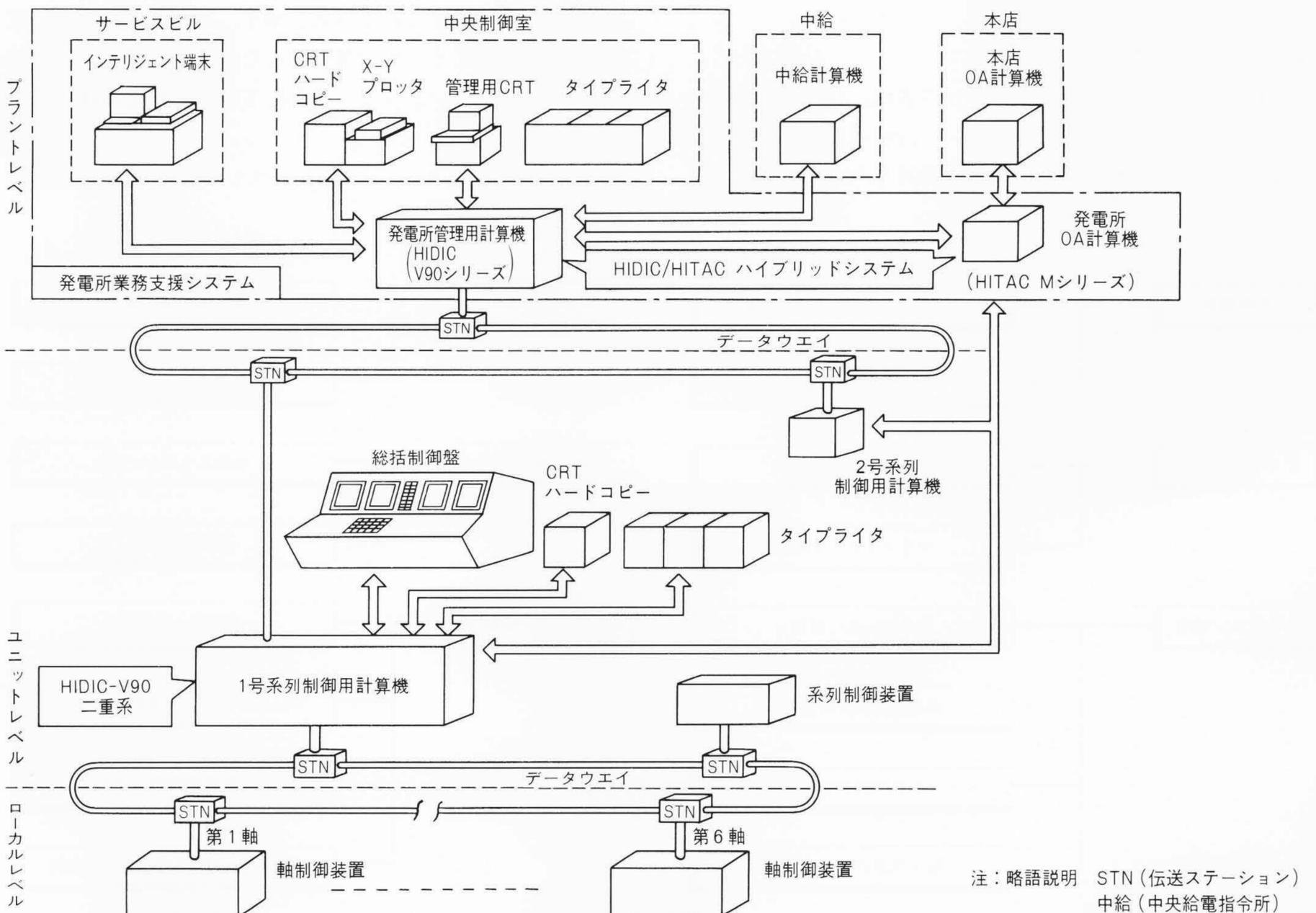


図7 計算機システム構成図 制御用スーパーミニコンピュータを高速光データウェイで接続し、階層構成としている。発電所業務支援システムは発電所共通設備の監視機能がないときは、HITAC Mシリーズ計算機だけで構成する場合もある。

全体にかかわる情報処理と指令を行うとともに、中央制御室のマンマシンインタフェース処理をつかさどるため、スーパーミニコンピュータHIDIC V90による二重化構成としている。

発電所業務支援システムは、発電所共通設備の運転監視と発電所全体にかかわる総合運転管理や発電所各設備の長期運転データ管理をつかさどるが、コンバインドサイクル発電プラントの運転維持への影響度が少ないことから、HIDIC/HITACハイブリッドシステムとしている。

5.1 系列制御用計算機

系列制御用計算機の機能を図8に示す。

(1) 系列総括タイミング制御

中給から前日のうちに(または数時間前までに)翌日予定負荷(または予定軸数)指令を受け、これをもとに系列内各軸の起動・停止スケジュールを決定し、軸起動・停止のタイミング制御を行う。また、中給からの遠隔起動指令により、直接軸の起動・停止制御を行う。

(2) プラントデータ収録

コンバインドサイクル発電プラントの運転データを高速で収集し、オペレータのリクエストあるいはプラントの主要イベントをとらえて収録し、トレンドグラフとして再生・表示する。これにより、各種テストデータの整理や事故時の挙動解析に効果を発揮する。

(3) マンマシン機能

自動化進行操作、系統グラフィック表示、シーケンスマスタロジック表示などの機能選択キー、設備の系統区分を選択する系統キーと1軸～6軸の軸番号選択キーを組み合わせ、

ワンタッチで所定の画面を選択表示できるよう、階層マトリックス方式画面選択機能を採用した。

5.2 発電所業務支援システム

発電所業務支援システムの機能を図9に示す。

(1) 発電所運用計画

中給および所内OAシステムとオンラインでリンケージし、週レベルから日レベルまでの発電所運用計画を立案するとともに、中給からの決定スケジュールに基づき、系列運用スケジュールを決定し、系列制御用計算機に指令する。

(2) 運転履歴データ処理

コンバインドサイクル発電設備、LNG設備、発電所共通設備の運転情報を、データウェイあるいはプロセス入出力装置を介して収集し、大容量記憶装置あるいは光ディスク記憶装置のデータファイルに収録・保存する。これらの保存した運転履歴情報は、CRTやインテリジェント端末からの指令により検索され、各種統計処理およびデータ編集を行い、CRT表示器(T-Yグラフ表示、X-Yグラフ表示など)、プリンタ(トレンド印字、作表印字など)などに出力して、発電、保守、技術などの各種管理業務を支援する情報を提供する。

6 マンマシンインタフェース

頻繁に起動・停止される複数の軸を、あたかも一つの発電ユニットと同様に小人数で運転するために、高機能かつ合理的なマンマシンインタフェースとしている。主な特徴を以下に述べる。

(1) ユニットレベル、ローカルレベルのいずれでも、軸起

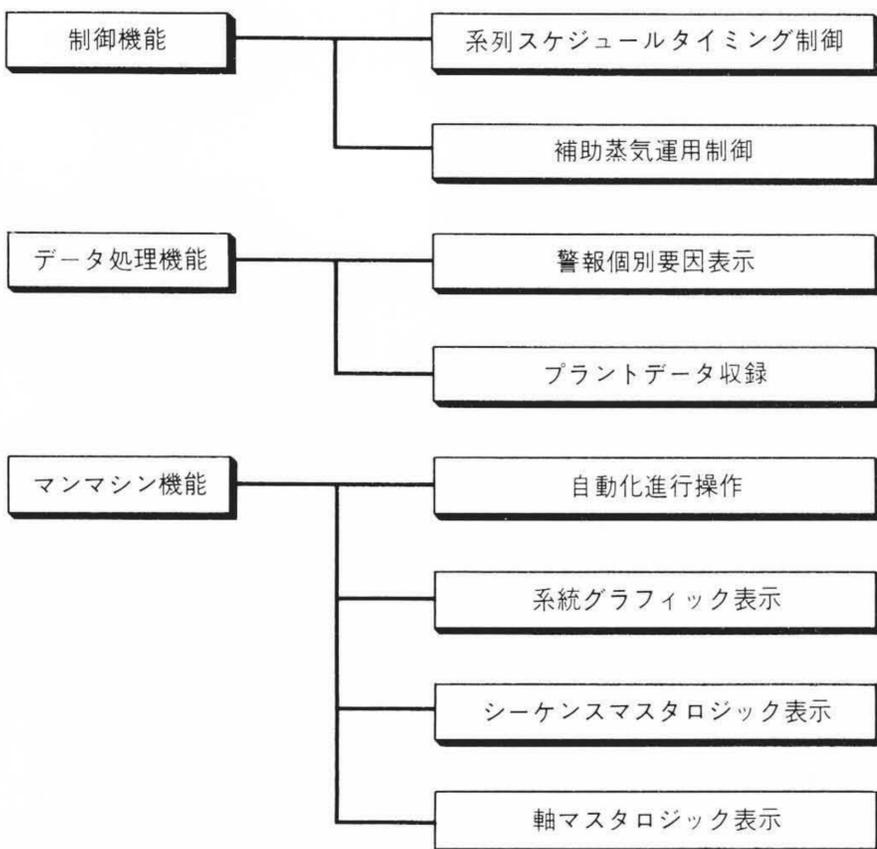


図8 系列制御用計算機の機能 高精細フルグラフィックCRTとタッチスクリーンを採用し、操作性と応答性に優れた高機能マンマシンとしている。

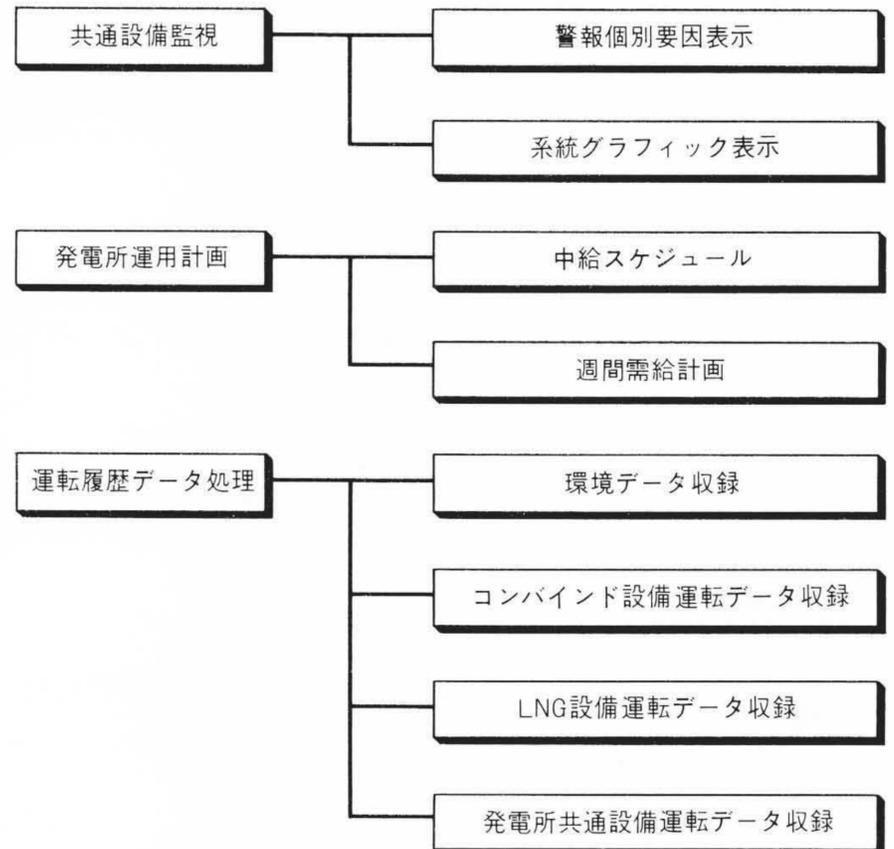


図9 発電所業務支援システムの機能 監視制御システムの最上位に位置し、発電所全体の運転監視、運用管理および運転データ管理を行っている。

動・停止の全自動運転が行える。

(2) プラントレベル，ユニットレベルは総括制御盤，ローカルレベルは軸制御盤でそれぞれ一括集中監視操作が行える。

(3) プラント情報の集中化，操作性に優れたコンパクトな制御盤の実現手段としてCRTオペレーションを全面的に採用した。

6.1 総括制御盤

通常運転時，マンマシンインタフェースの中心となるこの盤は，系列当たり，一人の運転員で対応できるようにCRTを核に，キーボード，自動化コンソールおよびオペレータコンソールなどで構成される。

機能と総括制御盤の具体例を図10に示す。

6.2 軸制御盤

定期検査後の立上げや自動化補完操作など，ユニットレベルから切り離れた運転操作をこの盤から行う。CRT，CRTオペレーション用キーボード，軸制御コンソールなどで構成し，軸当たりの盤幅寸法は1m以下となっている。

機能および軸制御盤の具体例を図11に示す。

6.3 CRTオペレーション

複数の軸系統から成るコンバインドサイクル発電プラントで，各補機や操作端の中央操作化をCRTオペレーションによって実現した。

CRTオペレーションの特徴を図12に，またCRTオペレーション手順を図13に示す。

CRTオペレーション用画面は，ガスタービン，HRSG，蒸気タービン各系統ごとの操作端リストであるオーバービュー画面，および表示機器数最大8個の操作画面で構成する。キーボードの画面選択機能を使用し，該当する系統のオーバービュー画面を出力し，キーボードからの番号指定によって操



図10 総括制御盤の機能と構成 写真は柳井発電所の総括制御盤を示すもので，2系列1,400 MW発電設備およびLNG設備とユーティリティ設備などを，二人の運転員で運転監視できるように，人間工学の立場から模擬盤の検討を踏まえ製作した。

作画面を出力する。キーボードには操作画面に対応した8組みのスイッチが準備されており，自動・手動切換，起動・停止，開・閉，設定値増・減および操作端ロック・解除の操作ができる。

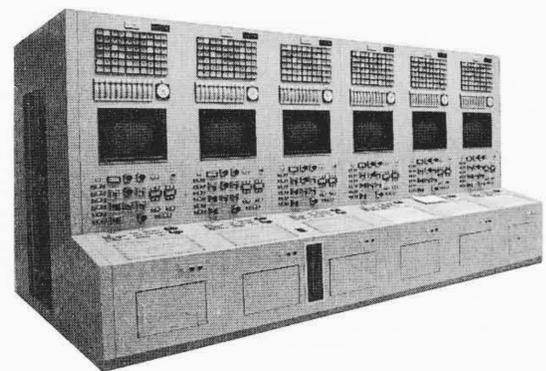
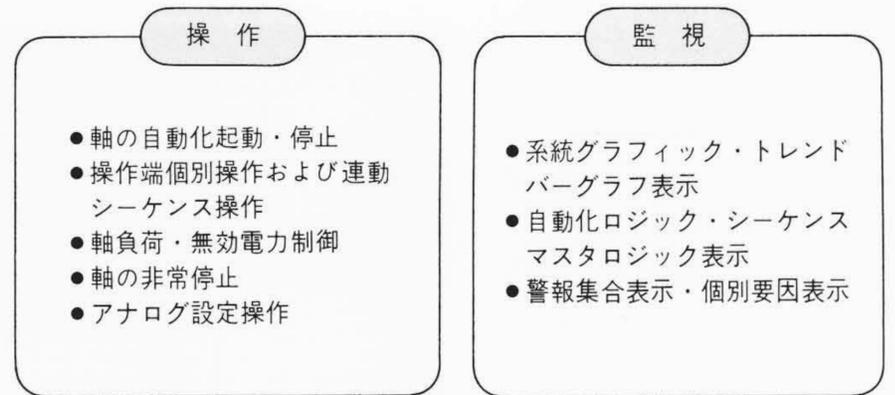


図11 軸制御盤の機能と構成 写真は新大分発電所の軸制御盤を示す。1軸当たり1台のCRTを設置するとともに，CRTオペレーションの採用により，軸の監視，起動，停止がすべて，幅1m以下のコンパクトな盤で可能となった。また，軸起動・停止については，総括制御盤および軸制御盤からの起動・停止に加え，中給からの遠隔指令によって直接軸起動・停止を可能としている。

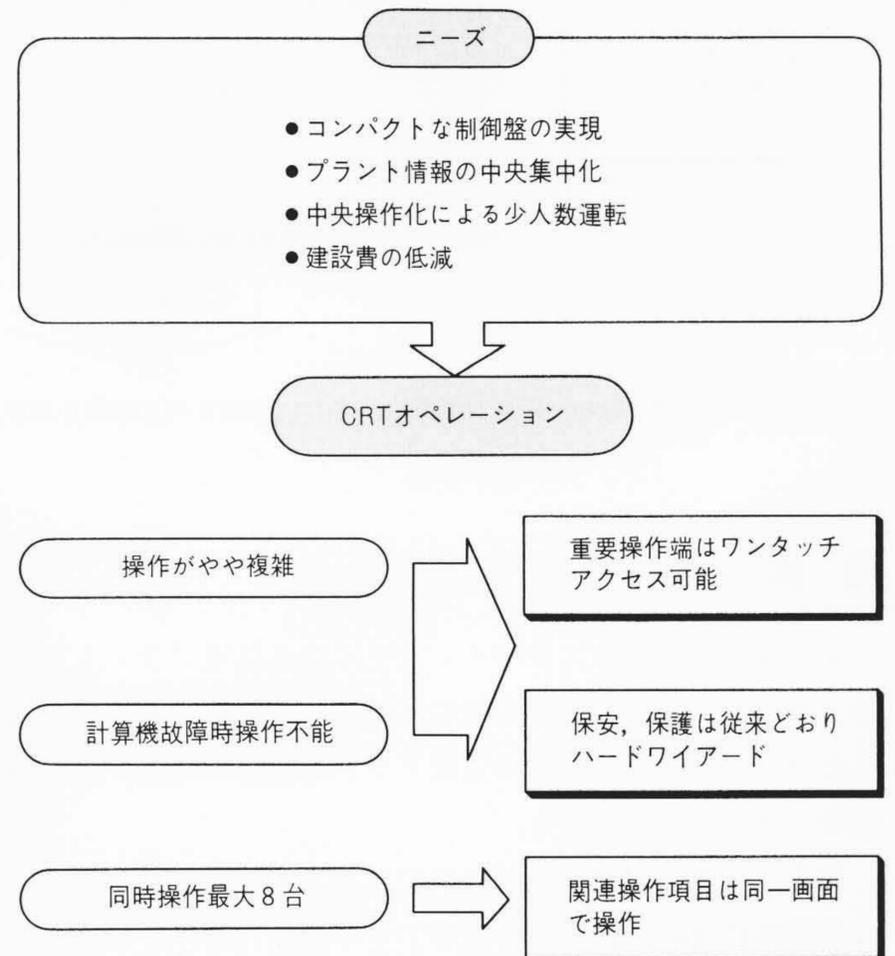


図12 CRTオペレーションの特徴 CRTオペレーションの制限についても十分な配慮を行った制御システムとしている。

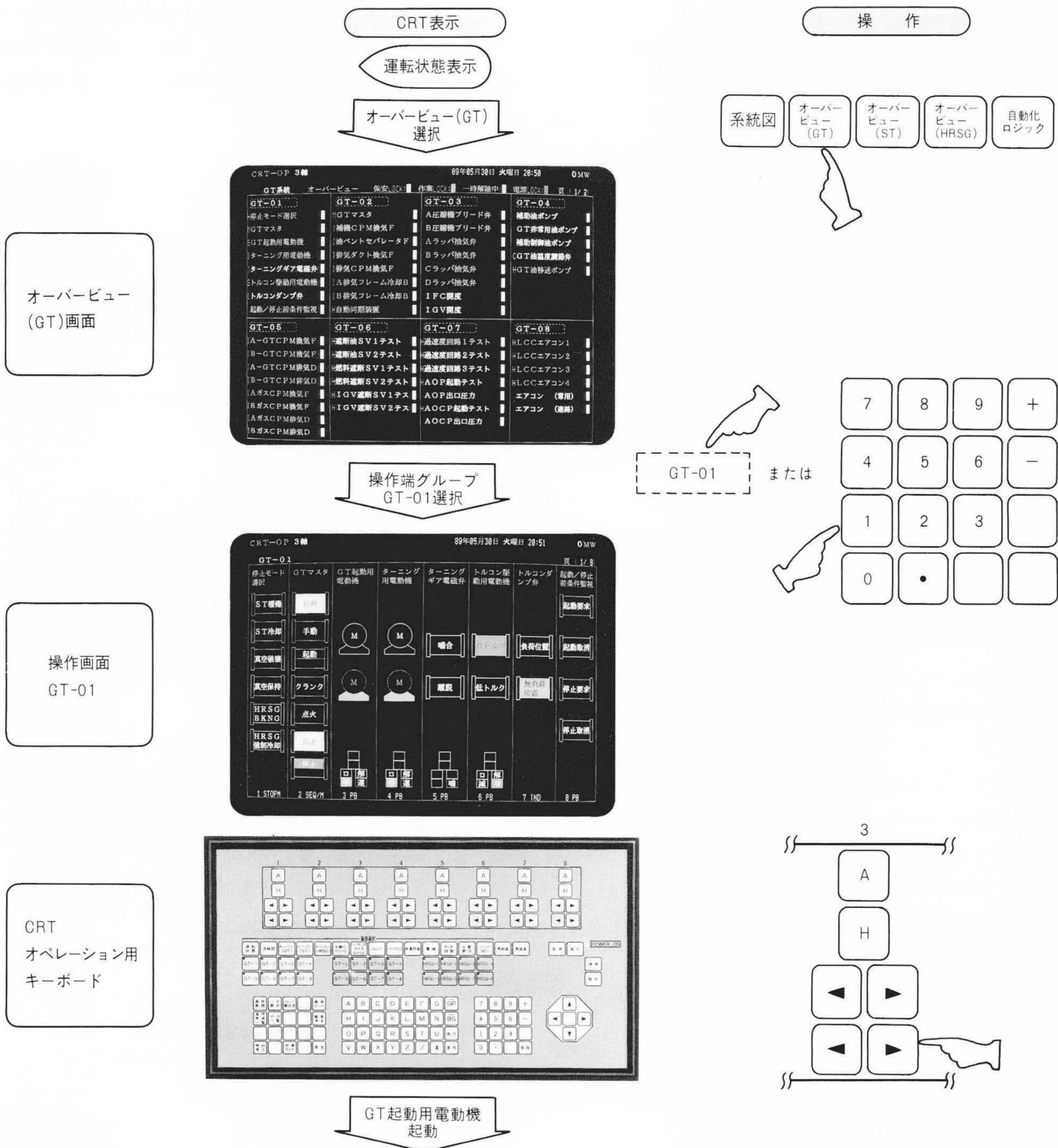


図13 CRTオペレーション手順 CRTに操作すべき補機を表示し、キーボードによって補機の起動、停止を行う。

7 結 言

ますます増加するコンバインドサイクル発電プラントを効率よく、小人数で安全に運転するために、最新技術を取り入れたコンバインドサイクル発電プラント総合デジタル監視制御システムを完成した。

現在、現地で順調に試運転中であり、柳井発電所1号系列は1990年11月に、新大分発電所1号系列は1991年7月に、それぞれ世界最新鋭のコンバインドサイクル発電プラントとして運開の予定である。

今後、試運転結果の反映は当然として、いっそうのネットワークの拡大、より高度なマンマシンシステム、AI適用による制御性の向上などを目指して努力を続ける考えである。

参考文献

- 1) 飯岡, 外: 火力発電プラント最新形監視制御システム, "HIACS-3000", 日立評論, 68, 6, 437~440(昭61-6)
- 2) 岩見谷, 外: ガスタービンデジタル制御装置, 日立評論, 65, 9, 609~612(昭58-9)