

新監視制御システムHIACS-3000の 大容量蒸気タービンプラントへの適用

HIACS-3000 System for Large Steam Turbine Plants

火力発電プラントの中間負荷運用と、蒸気タービンの大容量化に伴い、タービン制御システムには従来にも増して、制御性、信頼性、保守性の向上が望まれている。この要請に対し、各制御装置ごとに分散形システムをラインアップしてきたが、ハードウェア・ソフトウェアの相違から、システムが複雑・大規模化してきた。このほどデジタル第II世代のシステムともいえる新監視制御システムHIACS-3000をタービンプラントに適用し、システムの最適化と制御性、信頼性及び保守性の向上を図った。

本稿では、大容量蒸気タービンプラントの制御技術の動向と、新監視制御システムHIACS-3000の適用例について述べる。

柳田貞雄* Sadao Yanada
 原嶋敏彦* Toshihiko Harashima
 花岡 浩** Hiroshi Hanaoka
 桑島英純*** Hidesumi Kuwashima

1 緒 言

近年、原子力発電所の増加と電力の昼夜間需要格差の拡大傾向に伴い、火力発電所は中間負荷運用が要請され、頻繁な起動・停止が行なわれるようになり、蒸気タービンの制御でも運転員の負担を軽減し、より安全に速く起動することが必要とされている。一方、単機容量の増大によって、制御システムには従来にも増して高い信頼性が要求されている。これらの要請にこたえるためには、診断能力と記憶能力に優れたデジタルコントローラの導入が不可欠であり、日立製作所では、1977年にデジタル式電子油圧式制御装置¹⁾をはじめ、タービンロータの熱応力を予測し制御するHITASS(タービン自動制御装置)²⁾、補機シーケンス制御装置など、高機能化、高信頼化を指向しながらデジタル制御システムを発展³⁾させてきた。

しかし、従来システムは、各装置機能ごとに対応してコントローラを発展させてきたために、システム構成能力、信頼性、及び保守性の面で改善が望まれていた。そこで、新監視制御システムHIACS-3000をタービンプラントに適用し、制御システムの最適化と信頼性、保守性の大幅向上を図ることが可能となった。

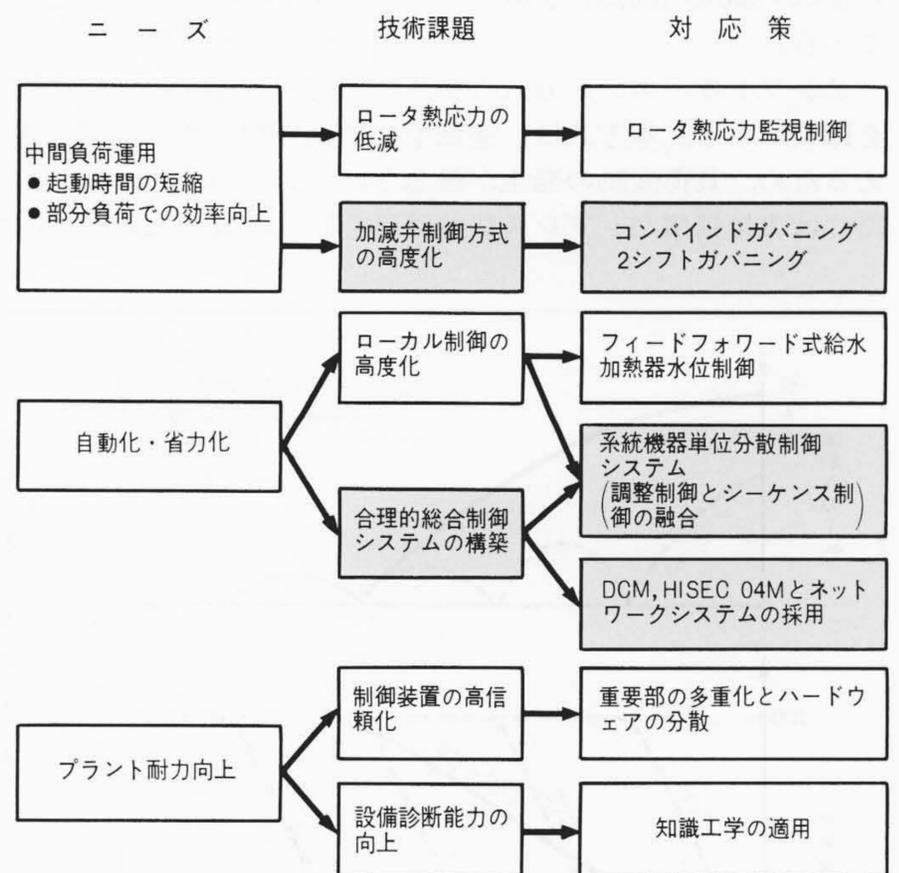
以下、大容量蒸気タービンプラントの制御技術の動向と、HIACS-3000システムの適用例及びその効果について紹介する。

2 技術課題と対応策

中間負荷運用火力発電所では、急速起動・停止が行なわれ起動時間の短縮、部分負荷運転での効率向上、運転操作の自動化・省力化などが要求されている。これらの技術課題に対しては、図1に示すようにデジタル技術を駆使した最新の制御技術と、HIACS-3000システムを適用することによって対応が可能である。

特に、自動化・省力化の高度化ニーズに対しては、従来の監視制御装置で対応しようとする、制御装置の大規模化、ケーブル本数の増大など種々の問題が発生するため、合理的

な総合監視制御システムの構築が課題となった。これに対しては、デジタル制御技術だけでなくシステムのアプローチを行なった。すなわち、高機能形コントローラHISEC 04MとDCM(Drive Control Module: 機器コントロールモジュール)をキーコンポーネントにして、調整制御とシーケンス制御の融合、及びネットワークシステムの採用によるシステム統合化技法により、ローカル制御系も含めた合理的なシステム構築を可能とした。高信頼化についても、EHCのような重要部の多重化とハードウェアの徹底した分散により、本質的に信頼性の高いシステムとした。



注: 略語説明 DCM(機器コントロールモジュール)

図1 技術課題と対応策 中間負荷運用、自動化・省力化などいろいろなニーズに対し、デジタル技術を応用した最新の制御技術と、HIACS-3000システムの技術を適用することによって対応可能である。

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所電力事業本部 *** 日立製作所日立工場

3 制御技術

起動時間の短縮，部分負荷での効率向上を図るための最近の制御技術の主なものとして，次の3項が挙げられる。

(1) タービンロータ熱応力監視制御

タービンの急速な起動，負荷変化を実現するためには，タービンロータに発生する熱応力を監視し，制限値内に抑えることが必要である。ロータ熱応力は，高・中圧タービンロータの表面及び内孔部について高い精度で計算できるようになった。また，熱応力を蒸気条件の予測値から予測して，熱応力を制限値内に抑えながら最大の昇速率，負荷変化率を選定できるため，従来の mismatch チャート方式に代わり，安全かつ起動時間の短縮が可能になった。

(2) コンバインドガバニング方式

コンバインドガバニング方式の蒸気加減弁は，従来用いられていたタービンの調速方式であるノズルガバニング(ノズル絞り調速)方式と主蒸気止め弁によるスロットルガバニング(絞り調速)方式のもつ長所を組み合わせ，性能，運転性の向上を図った調速方式である。蒸気加減弁によって連続的に運転できるため次のような長所がある。

- (a) タービン起動時，操作する弁が蒸気加減弁だけであるため，運転操作が簡単になる。
- (b) 中間負荷運用の場合，高負荷，低負荷の相互移行が容易で，かつ高負荷での高い効率，低負荷でのタービン内部の高い温度が確保でき，タービン運転の弾力性が增大する。

(3) 2シフトガバニング方式

2シフトガバニング方式は，プラント冷機起動後一定時間は，ボイラから飛来するスケールの影響を少なくするため，スロットルガバニング方式の加減弁複数同時開制御を行ない，通常運転時は，低負荷での効率が高いノズルガバニング方式の加減弁順次開制御に加減弁制御を運転中に切り替えるものである。

2シフトガバニング方式の加減弁開度特性とタービン性能を図2に示す。本方式は，運転中に加減弁制御カムを切り替えるため，負荷変動の発生が懸念される。このため，制御回路には流量補償バンプレス切替回路を設け，負荷変動の抑制

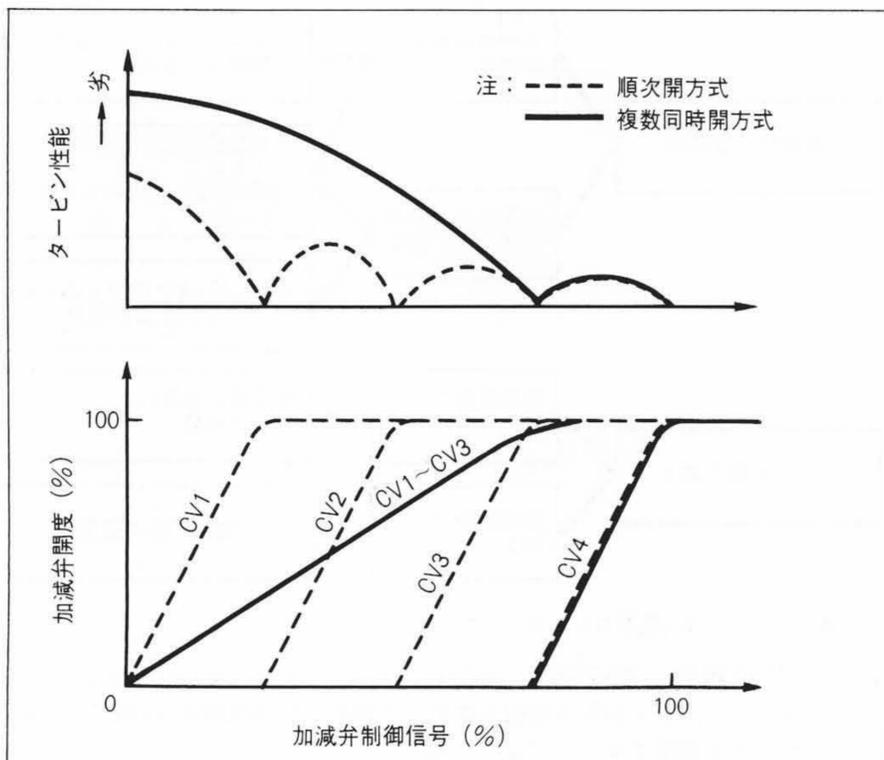


図2 2シフトガバニング加減弁特性とタービン性能 起動時は加減弁複数同時開方式により，通常運転時は順次開方式に切り替え，低負荷での効率向上を図っている。

を図っている。

4 システム構成

HIACS-3000システムを適用した大容量蒸気タービンプラントの制御システム構成を図3に示す。

制御システム構成は，系統機器単位分散制御システム構成⁴⁾の考え方に従い，系統レベルは主タービン系統など4系統に分け，機器レベルは各操作端に対応してDCMを配置してグループ分けをし，システムの信頼性確保とハードウェア規模の最適化を図った。

特にEHCは，高速制御を必要とするため，HIACS-3000システムのソフトウェアはDDC(Direct Digital Control)向けシンボリック言語で高速処理に対応したものとした。

4.1 主タービン制御システム構成

(1) 主タービン制御系統の特徴

主タービン制御系統の特徴を図4に示す。主タービン系統の機器は，複数個から成る蒸気加減弁，インターセプト弁などの制御弁とその駆動源である油圧系統に大別される。EHCはタービン速度を検出し，設定速度・負荷信号との比較演算を行ない，制御弁開度を制御する。この場合，制御弁は弁流量特性に示すように，インターセプト弁全開後，速度・負荷演算信号に対し，蒸気流量特性が線形になるように複数の蒸気加減弁を順次開く必要があり，相互に密接な関係をもっている。また，負荷遮断時のタービン過速防止のため，タービン速度に対し高速応答が要求され，装置異常時の手動対応が困難である。以上の特徴から，EHCは速度・負荷制御及び各制御弁開度制御機能を1台のコントローラにもたせ，信頼性確保のため二重系システム構成とした。

一方，油圧系統は，例えば油ポンプの起動・停止制御は装置異常時の手動対応が可能であるため，各補機単位にDCMを分散配置し装置のコンパクト化と信頼性の確保を図った。

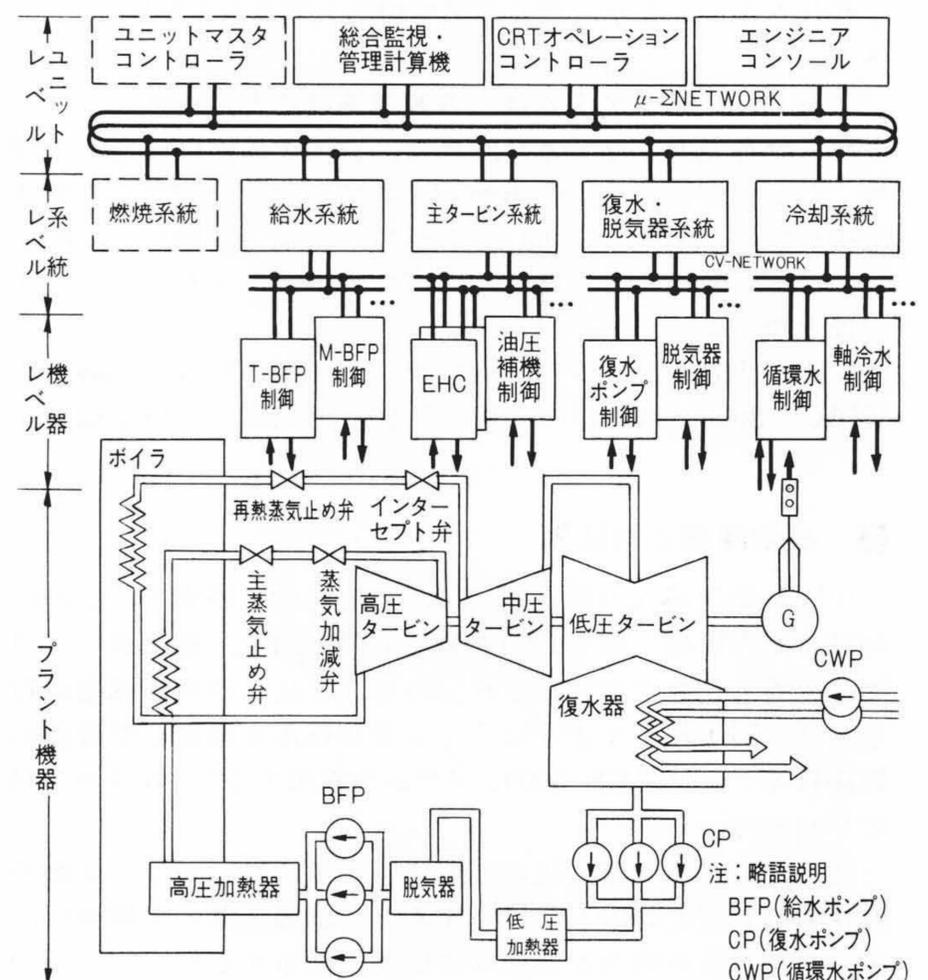


図3 監視制御システム構成図 監視制御システムは，ユニットレベルに総合監視管理計算機を据え，サブグループは系統機器単位にデジタルコントローラを配置した機能階層自律分散システム構成としている。

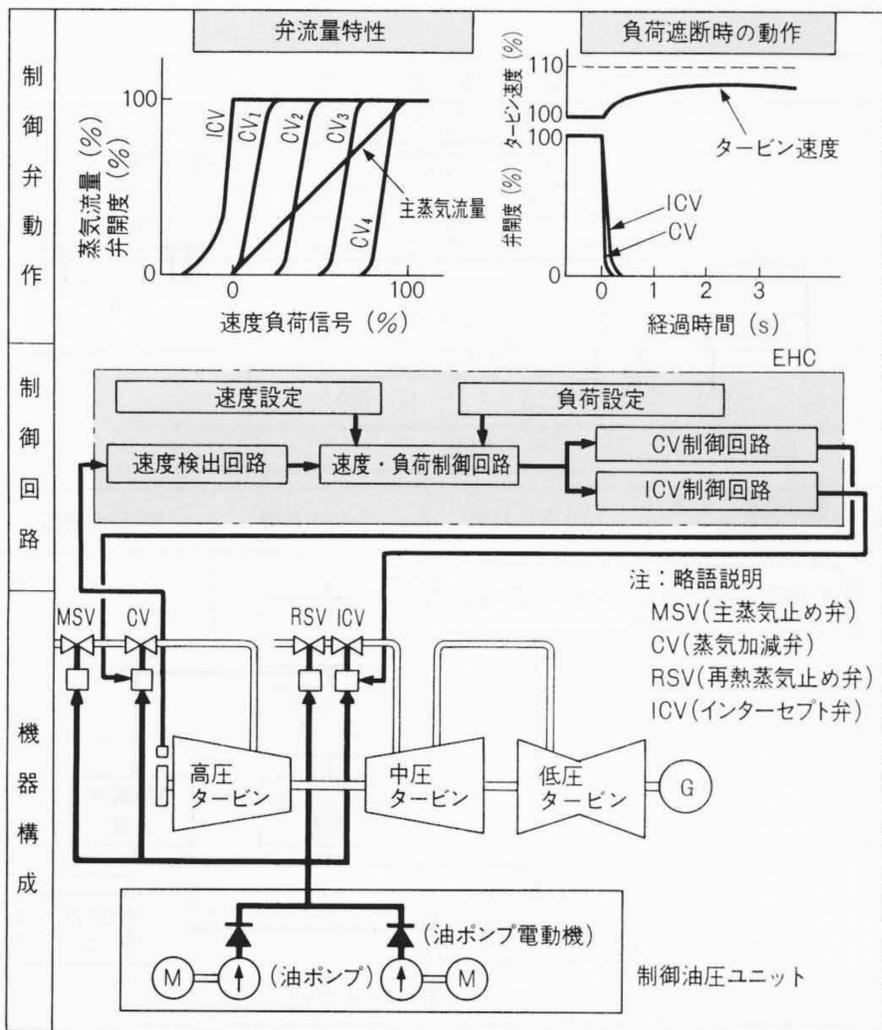


図4 主タービン制御系統の特徴 主タービン制御系統は、制御弁と駆動源である油圧系統から構成される。制御弁は相互関係が強く、負荷遮断時の過速防止のため、高速応答性が要求される。

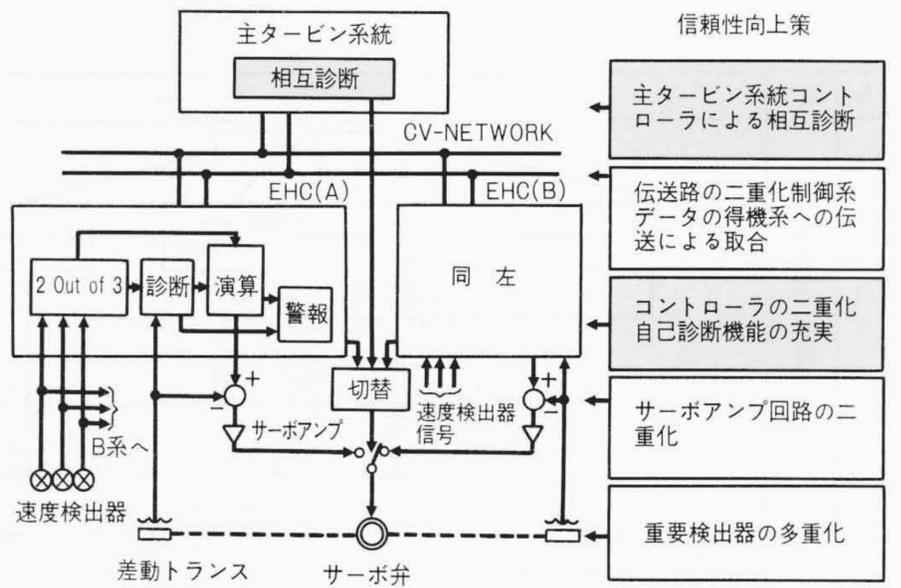
(2) EHC二重系システム構成

高信頼性システムとするには、使用する部品を高信頼化するのはもちろんであるが、電子部品の故障は避けられない要素をもっているため、部品の単一故障に対しその影響を最小限とするように、システムの分散及びコントローラ、検出器などを多重化し、耐力あるシステムとする必要がある。この多重化レベルは、制御対象の重要度と経済性によるが、火力発電所の制御システムは、従来からEHC、APC(プラント自動制御装置)のマスタ部など重要な制御装置に二重系を適用してきた。したがってEHCは、従来の実績のある二重系システム構成を基本とし、新監視制御システムの伝送技術などを用いて信頼性の向上を図ることとした。EHC二重系システム構成を図5に示す。

コントローラの二重系は、自己診断機能を充実し、故障系を制御から切離し可能とするため、待機冗長二重系を採用した。各コントローラ間はCV-NETWORKで接続し、積分値データなどの制御系データを待機系に伝送し、バンプレス切替を可能とした。ところで、待機冗長二重系の全体の信頼度は、故障検出能力に大きく依存するため、第三者による診断として、主タービン系統制御コントローラに相互診断機能を付加した。相互診断は、自己診断で検出できない故障を検出するもので、両系の演算信号に不一致が発生した場合に、いずれが異常かを診断し、正常系に切り替わる方式である。本機能の付加により、従来の二重系と比較してMTBF(平均故障間隔)比を約20%向上させることができた。

4.2 給水システムシステム構成

給水系統は、通常、タービン駆動の給水ポンプ2台と、電動機駆動の給水ポンプ1台から構成される。更に、例えばタービン駆動給水ポンプには、タービン、出口止め弁、再循環弁などの周辺機器が付属する。この給水系統の従来のシステ



注：略語説明 EHC(Electro Hydraulic Control System)

図5 EHC二重系システム構成 EHCは、コントローラ、サーボアンプ回路を二重化した待機冗長二重系システム構成としている。更に、主タービン系統制御コントローラに相互診断機能を付加し、故障検出能力を強化して高信頼性システムとしている。

ムと新監視制御システムの比較を図6に示す。

従来のシステムは、給水制御を行なうAPCと、APCからの給水流量指令信号に応じてタービン回転数制御を行なうEHC、再循環流量制御を行なうローカル制御装置、出口止め弁の開・閉シーケンス制御を行なう補機シーケンス制御装置、及びこれらを統括制御する計算機から成る機能単位のシステム構成である。このため、自動化機能分担は図5に示すようになり、各装置間の信号取合が多く改善が望まれていた。

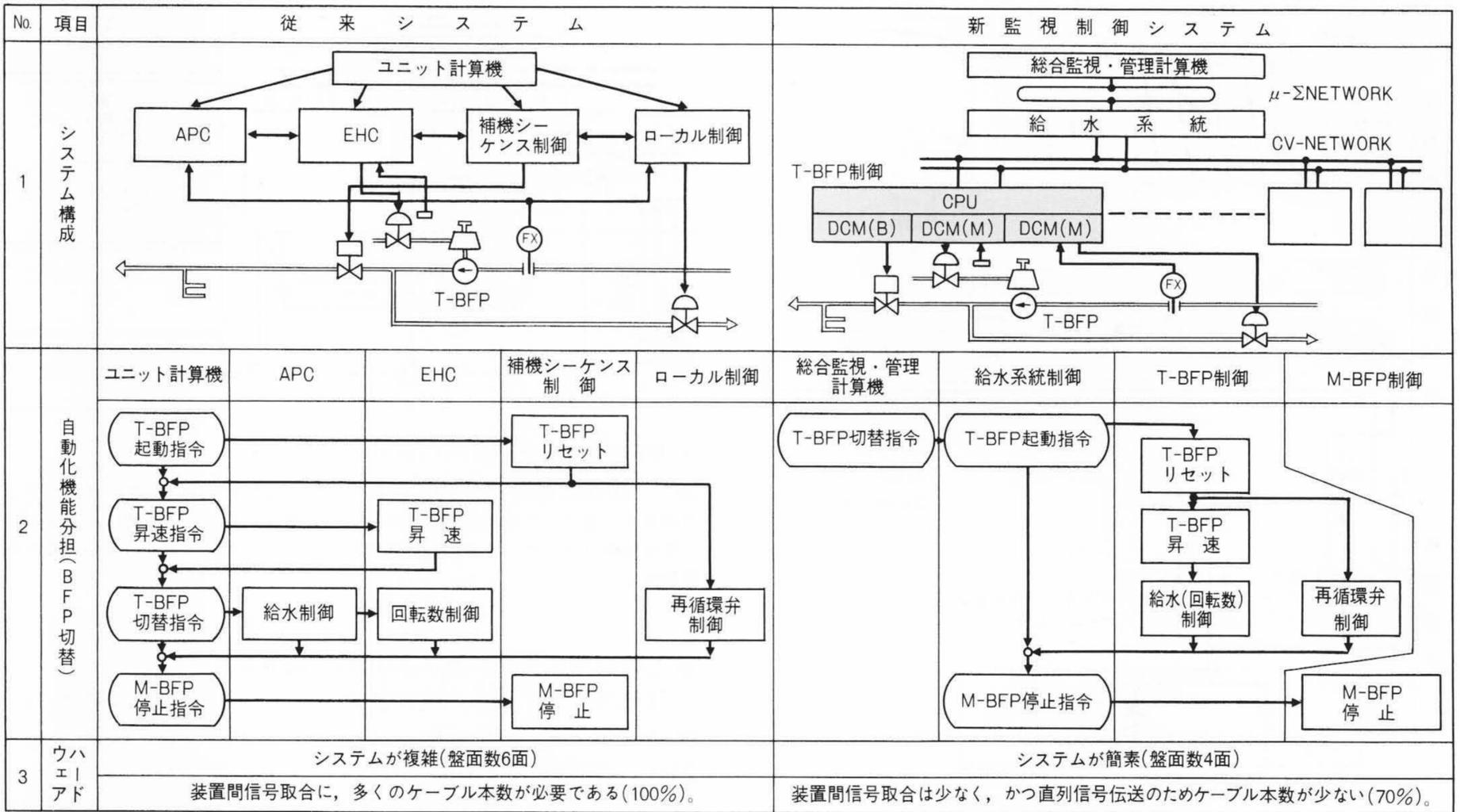
HIACS-3000システムは、再循環弁や出口止め弁などの各機器に対応して設けたDCMを、サブシステムである各給水ポンプごとにまとめてコントローラを配置し、調整制御とシーケンス制御の融合を図った。各コントローラ間はCV-NETWORKで、ユニット計算機とはμ-Σ NETWORKで接続した。この結果、新監視制御システムは、例えば自動化機能分担も図5に示すようにコントローラ相互の信号取合が減少し、かつ直列信号伝送の採用により信号取合用PI/O(入出力装置)が不要となるため、盤面数及びケーブル本数を約2/3に削減でき、簡素なシステムとすることができた。

4.3 ローカル制御系統

プラント運用が厳しくなるに伴い、ローカル制御も高度化してきた。例えば、給水加熱器の水位制御は、急速起動・負荷変化時、ドレンのフラッシュ現象とドレン量の過渡的な急変による外乱に対し、流入ドレン量を先行信号とするフィードフォワード制御を適用している。また、脱気器水位制御も復水ブースタポンプの運転台数により、脱気器水位制御弁の最小開度制限値の設定値を変更するように、シーケンス制御との信号取合が必要となっている。これらに対し、HIACS-3000システムは高機能形コントローラHISEC 04M及びネットワークを介して信号伝送できるため容易に高機能化を図り、制御性を改善することが実現可能である。

4.4 制御装置ハードウェア構成

制御装置のハードウェア構成を図7に示す。制御装置の主要な機器制御コントローラHISEC 04M/Fは、制御装置のコンパクト化を図るために、AVR(電源装置)とCPU(中央処理装置)及び各機器制御用コントローラDCMを1ラック内に実装可能としている。特に、補機シーケンス制御用DCMの適用に当たっては、従来、リレー回路で構成していた、補機操作端回路、すなわち補機保護回路、手動操作回路及び状態表示回



注：略語説明 APC(Automatic Plant Control System), T-BFP(Turbine-driven-Boiler Feed Water Pump), FX(流量発信器), M-BFP(Motor-driven-Boiler Feed Water Pump), CPU(Central Processing Unit)

図6 給水制御系システム構成比較 新監視制御システムは、BFP制御機能を統合整理し、相互の信号取合が減少するためシステムが簡素となり、盤面数、ケーブル本数が削減される。

路を、コントロールセンタ内回路も含めて数種類のパターンに標準化し、DCM内のスイッチ選択で対処可能とした。この結果、盤のコンパクト化、インタフェースケーブルの削減及びコントロールセンタ回路の簡素化を図ることができた。

5 結 言

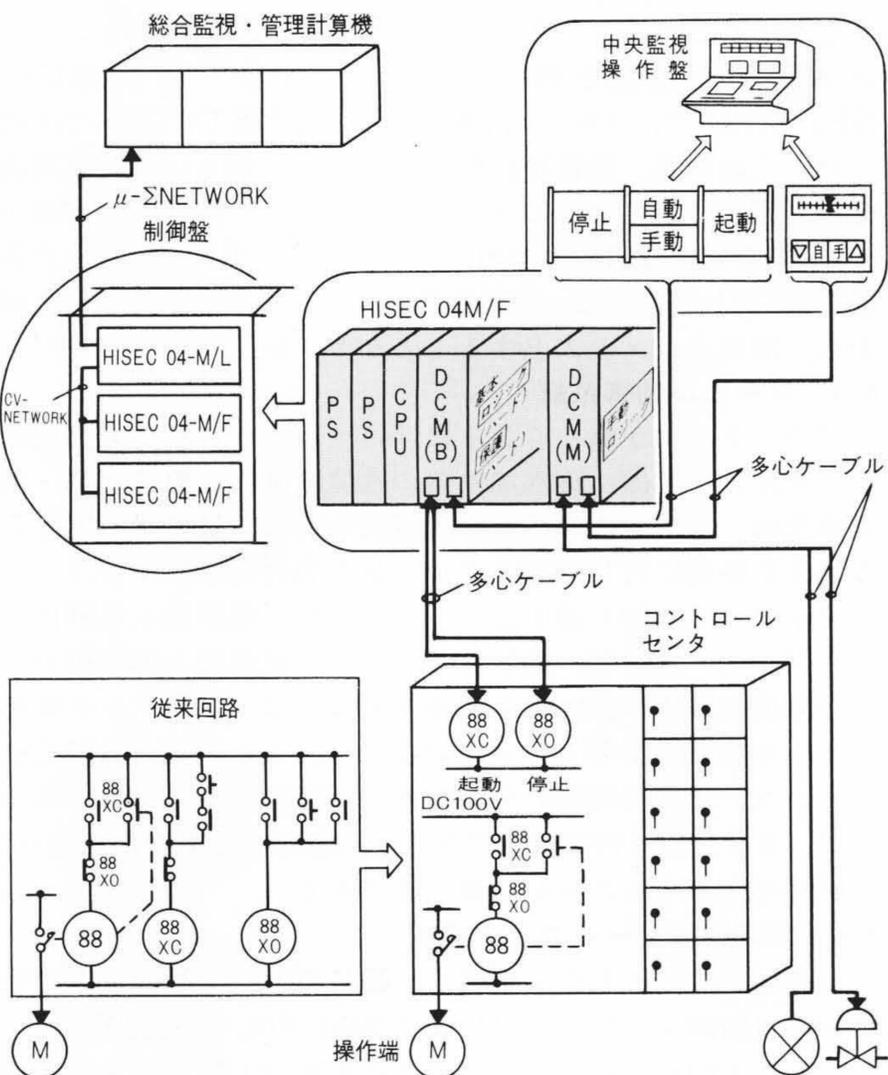
以上、大容量蒸気タービンプラントの最近の制御技術と新監視制御システムHIACS-3000の適用例及びその効果について述べた。火力プラントの中間負荷運用と大容量化に伴う制御性、信頼性及び運転監視操作性の向上にこたえ、系統機器単位分散制御システム構成の導入と、コンパクトな高機能形コントローラの採用により、制御システムの簡素化(盤床面積比約35%低減)及び信頼性、保守性の向上を図ることができた。

本システムは、既に基本設計を終え、試作機によって実機に適用可能なことを検証済みである。

今後、電力会社をはじめ関係者の指導を得ながら、新設火力プラントだけでなく既設火力プラントへの適用拡大も図りたいと考えている。

参考文献

- 1) 東, 外: 蒸気タービン用デジタル式電子油圧式ガバナ, 日立評論, 59, 5, 403~408(昭52-5)
- 2) 本田, 外: 蒸気タービン自動制御装置, 日立評論, 61, 3, 199~202(昭54-3)
- 3) 本田, 外: 大容量タービンデジタル制御システム, 日立評論, 65, 9, 625~628(昭58-9)
- 4) 菅野, 外: 機能階層自律形系統機器単位分散制御システム, 日立評論, 68, 6, 445~450(昭61-6)
- 5) 宮垣, 外: ユーザーオリエンテッドのDDC向けプログラミング言語と保守ツール, 日立評論, 68, 6, 457~462(昭61-6)



注：略語説明 PS(Power Supply) DCM(Drive Control Module)

図7 制御装置ハードウェア構成 従来リレー回路で構成していた補機操作端回路を標準化してDCMを適用することにより、制御盤のコンパクト化とインタフェースケーブルの削減を図っている。