

新監視制御システムHIACS-3000の 大容量石炭燃焼中間負荷火力プラントへの適用

HIACS-3000 System for Middle Load Range Operation/Large Coal-Fired Boilers

火力発電所の中間負荷運用が進む中で、石炭燃焼火力は火炉蓄熱容量による制御応答性やミル応答性などの制約はあるが、一部負荷調整運用にも供されるようになった。

近年の燃料事情により、燃料の多様化や発電原価の低減が必要課題となっており、1,000MWクラスの石炭火力といえども中間負荷運用が求められている。石炭燃焼火力の中間負荷運用を実現するためには、タービンバイパスシステムの設置、ミルの応答性改善、ミルカット機能の付加などのボイラ本体の改善に加えて、動的先行制御、予測適用制御の導入による制御性能の向上、高度な自動化、省力化、更には監視操作性に優れ、コンパクトで信頼性の高い監視制御システムを適用する必要がある。このような制御装置を実現するために、シーケンス制御と調整制御の融合、高機能形コントローラ、高速ネットワークなどの特長をもつ新監視制御システムHIACS-3000を適用し、負荷追従性に優れ、起動時間を短縮するなど信頼性の高い制御システムを構築した。

村松 勝* Masaru Muramatsu

本田隆昭** Takaaki Honda

石田 忠*** Tadashi Ishida

1 緒 言

石炭燃焼火力発電所の建設が推進され、大容量石炭燃焼貫流ボイラプラントも着実に運開し、負荷調整に供されている。これらのプラントは主に定圧形ボイラプラントであり、運用性に制約があり、これまでベース負荷及び負荷調整用として運用されてきた。近年の原子力発電の増大に伴い、大容量石炭燃焼火力プラントでも中間負荷運用の要請が高まってきた。このような要求に対し、石炭定圧貫流プラントで培われた基本技術と、石油、ガス燃焼変圧プラントで築き上げてきた経験をもとに、大容量石炭燃焼中間負荷火力の技術課題とボイラ本体及び制御システムから見た対応技術をまとめた。これらを実現するために、HIACS-3000システムを適用し、大容量石炭燃焼中間負荷火力の監視・制御システムを構築したので以下に紹介する。

2 石炭燃焼火力の特徴と対応

2.1 石炭燃焼火力の特徴と課題

中間負荷大容量石炭燃焼火力プラントの運用性を、従来の石油火力プラント及び石炭燃焼定圧プラントと比較して表1に示す。運用負荷帯での負荷変化率を比較してみると、従来の石炭燃焼定圧プラントでは、1～2%/minで運用されている。また、最低負荷については従来のプラントで、35%以下の運用は安定燃焼上困難であった。次に、起動時間については、ミルのウォーミング操作などにより石油火力に比べ約3倍程度の起動時間を要していた。これらに対応し中間負荷運用を行なうための技術課題(制約要因と現象)を図1に示す。従来の石炭燃焼ボイラでは、ミル応答の遅れ、ミルの起動・停止時の入熱量の過渡的な変動が蒸気温度の変動として顕著に現われ、負荷変化率を制約する要因となっている。同様に起動時間の短縮、最低負荷の低減などについても、同図に示

した技術課題を解決する必要がある。
2.2 中間負荷運用における対応技術

前項の技術課題に対する対応技術を図2に示す。特に、石炭燃焼火力は複数台のミルが設置されることから、補機台数も約600台と石油火力に比べ約1.5倍と大幅に増えている。システムの大規模化とともに、石炭変圧プラントの移行に伴う石炭変圧制御技術、中間負荷運用対応技術などにより、制御システムもますます複雑化する傾向にある。このため、制御システムキャビネット数が大幅に増え、制御機器室の配置の点からも問題がある。同様に補機台数、操作端が非常に多いため、操作スイッチ、セレクトステーションを組み込む中央監視操作盤が大形化し、操作が煩雑化するという問題があった。また、装置間の信号伝送方式については、従来のプラン

表1 大容量石炭火力プラントと石油火力プラントの運用性比較
現状の石炭定圧プラントと石油変圧プラントの運用実績、及び大容量石炭燃焼中間負荷火力の運用目標値を示す。

項 目	現状石油火力	現状石炭火力	中間負荷石炭火力
運 用 方 式	中間負荷	ベース負荷	中間負荷
運 転 方 式	変 圧	定 圧	変 圧
ボ イ ラ 形 式	ベンソンボイラ	定圧ボイラ	ベンソンボイラ
負 荷 変 化 率			
50～100%負荷	5%/min	1～2%/min	5%/min
最低負荷～50%負荷	3%/min	0.5%/min	3%/min
起 動 時 間 (点火～全負荷) (ホットスタート)	100min	300～360min	100～120min
最 低 安 定 負 荷	15%	35%	30%以下
所 内 単 独 運 転	実施	未実施	実施可能*

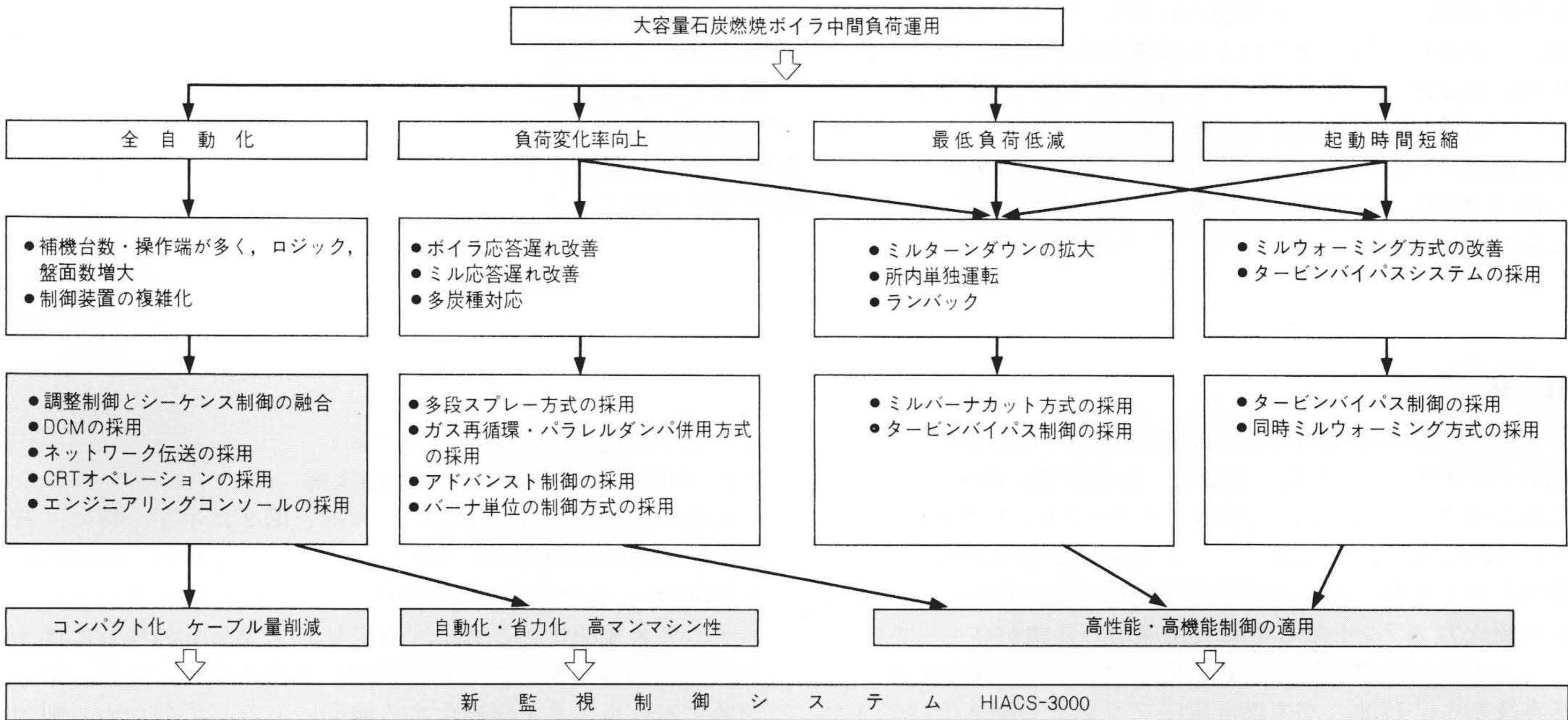
注：＊ タービンバイパス設置

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所電力事業本部 *** バブコック日立株式会社

プラントの運転性能	運 転 性 能 向 上 の 技 術 課 題						
	制約要因	現 象	蒸気温度変動	起動・停止 時間が長い	燃焼不安定	炉内圧変動	システム 規模増大
負荷変化率向上	ミル系統の応答遅れ		○	○	—	—	—
	ミル起動(ウォーミング)操作		—	○	—	—	○
起動時間短縮	ミル停止(パージ)操作		—	○	—	—	○
	ミルターンダウン		○	—	○	—	○
最低負荷低減	補機台数増大		—	—	—	—	○
	多炭種燃焼		○	—	○	—	○
所内単独運転	大形ボイラによる応答遅れ		○	○	—	—	○
	平衡通風方式燃料量急変によるアンバランス		—	—	—	○	—

注：NOx(窒素酸化物)

図 1 大容量石炭燃焼中間負荷火力の特徴と技術課題 プラントの運転性能向上を阻害する制約要因と、プラントに与える影響について示す。



注：略語説明 DCM(Drive Control Module), CRT(Cathode Ray Tube)

図 2 大容量石炭燃焼中間負荷火力プラントの対応技術 大容量石炭火力を中間負荷運用するためのニーズと対応方法について、具体的な流れを示す。

トは多心ケーブルを使用しており、ケーブル施工に多大な労力を費やしていた。以上の事柄に対応し、制御装置の小形化のためには調整制御とシーケンス制御の融合制御の採用、監視操作性を向上させるため、CRT(Cathode Ray Tube)オペレーション及びエンジニアコンソールの採用、更にケーブルを大幅に削減するには信頼性の高いネットワーク伝送技術の採用が不可欠である。また、負荷変化率向上、最低負荷低減、起動時間短縮の課題に対しては、ミルバーナカット、タービンバイパス装置などボイラ本体での改善項目のほか、最適な制御システムの適用、更には文献 1) で報告の予測適応制御を適用するためには、高性能、高機能の制御装置の適用が不可欠である。

前項の命題に対し、HIACS-3000システムを導入し解決を図ったので以下に適用例を示す。

3 システム構成

石炭燃焼火力プラントは、押込通風機からの燃焼用空気系、給炭機・ミル・搬送用空気系から成るミル系、誘引通風機などから成る排ガス系、及び給水ポンプ・節炭器・過熱器などから成る給水・蒸気系によって構成されている。これらの系統に対応して、HIACS-3000システムを適用した制御システム

構成図を図 3 に示す。

系統レベルでは石炭燃焼ボイラの全系統を、燃料系統、通風系統、水・蒸気系統の主要な三組みの系統コントローラと、主蒸気・再熱蒸気温度制御などの予測適応制御用コントローラの合計四組みから構成されている。系統間の協調制御及び下位の総括監視・制御を行なうため、コントローラの二重化を行ない信頼性の向上を図った。

次に、機器グループレベルの燃料制御の構成については、補機シーケンスと調整制御を行なう 1 台の重軽油制御コントローラと、ミル周りの数台のミルコントローラをミル単位に設け、更に、各給炭機の起動・停止、ミルの起動・停止、ダンパ制御などに対し、DCM(機器コントロールモジュール)を操作端ごとに 1 対 1 に対応し分散配置する構成とした。このように階層構成で、かつ系統単位に分散配置することにより、従来、各制御装置で分担していた制御を各系統に自律性をもたせ、コントローラ及びDCM故障時の影響を局所化しプラント運転継続を可能な構成とした。

4 石炭燃焼ボイラの制御技術

中間負荷石炭燃焼ボイラでの制御上の技術課題は、

- (1) 全自動化運転、監視・操作性向上

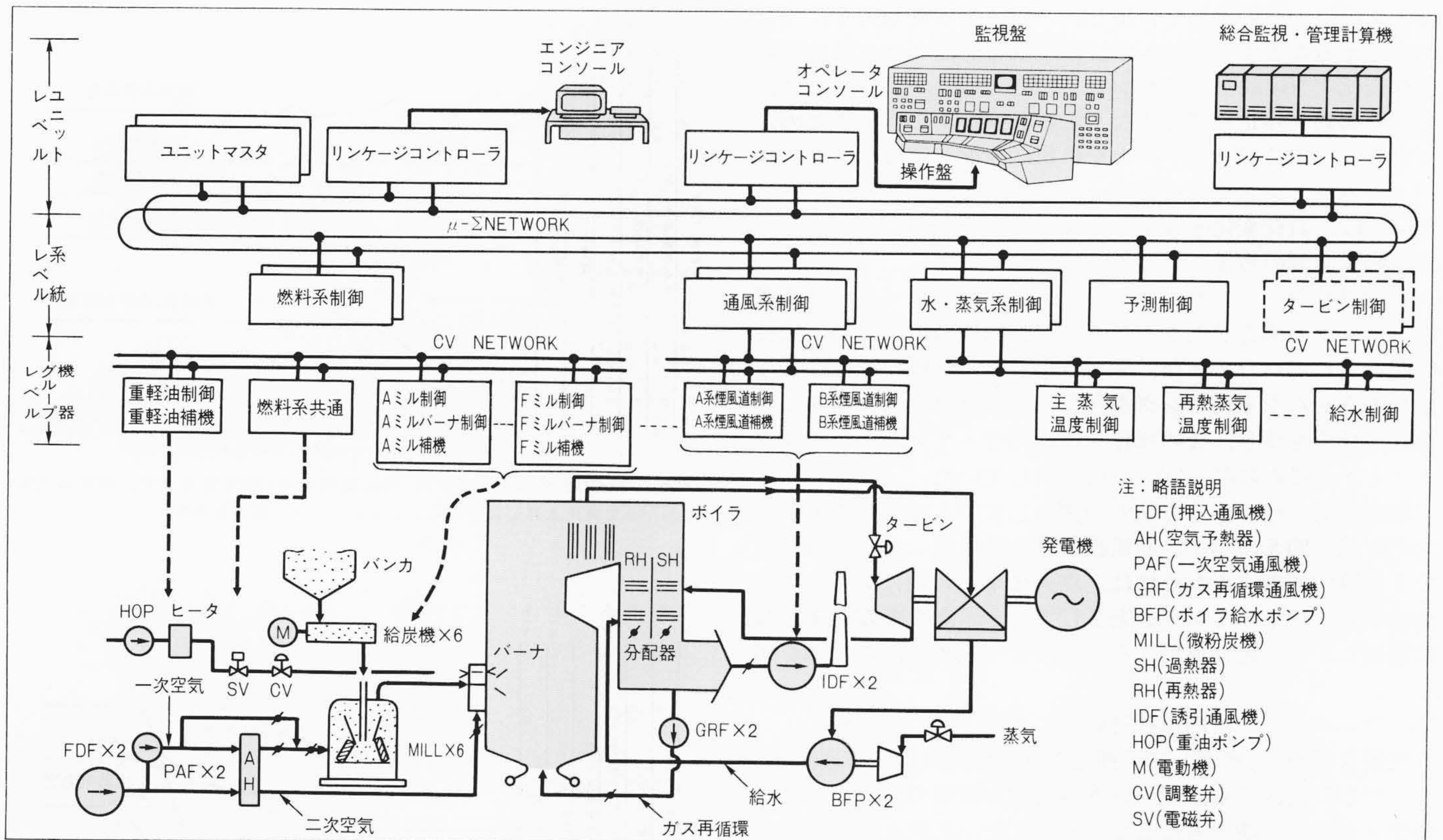


図3 石炭燃焼プラントの制御システム構成図 中間負荷石炭火力に、HIACS-3000システムを適用したときのシステム構成図を示す。

(2) 負荷追従性の向上

(3) 起動時間の短縮

(4) ランバック・所内単独運転

が挙げられるが、制御性向上にはデジタル制御技術を生かした新監視制御システムが不可欠となってくる。

(1) 全自動化運転、監視・操作性向上

大容量石炭燃焼火力プラントでは、補機台数、操作端が多く、また制御ロジックが複雑化することから、その対応として系統単位分散構成、ミル周りのCRTオペレーションの適用、調整制御とシーケンス制御の融合制御、DCMの採用によりインタフェースの少ない、コンパクトな制御装置が可能となる。ここでは融合制御の一例として図4にミル周り燃料系のシステム構成図を示す。燃料系統マスタコントローラでは、ミルウォーミングシーケンシャル制御とボイラ要求値指令から燃料指令作成までの燃料総括制御を行ない、下位のミル制御用コントローラではミル一組み分の補機、給炭機及びミルの起動・停止、給炭量制御、ミル出口温度制御などのシーケンス制御と調整制御を、1台のコントローラで行なう。この構成により他のコントローラに依存せず、ミル用コントローラ内で処理できることから、自律性をもったシステムの構築ができる。また、信頼性向上の点からコントローラの演算部を二重化するとともに、コントローラが故障してもプラント運転継続可能なシステムとした。

(2) ボイラ負荷追従性の向上

石炭燃焼ボイラでは、負荷変化中のミル起動・停止に伴う燃料量のステップ変化、燃料要求指令に対するボイラへの燃料投入遅れが蒸気温度制御系への外乱要因となる。このため、カルマンフィルタの原理に基づいた予測適応制御²⁾を主蒸気温度制御、再熱蒸気温度制御に適用した。また、ミル応答遅れに対しては、制御装置にミルモデルを内蔵し、プロセス量か

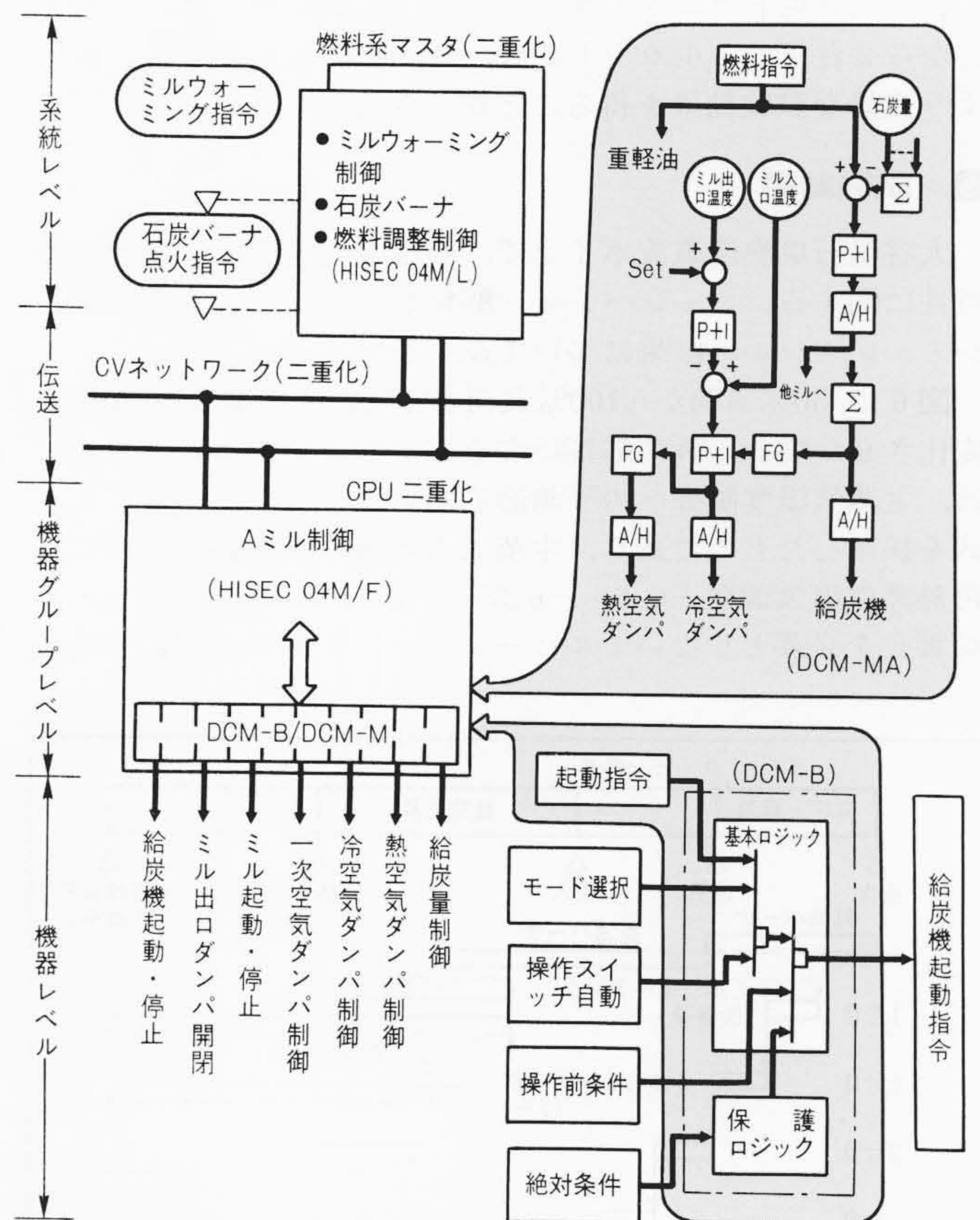


図4 ミル周り燃料系システム構成図 燃料系及びミル系統に、系統レベルコントローラ、機器グループコントローラを適正配置して構成し、系統レベル機器グループレベルの区分を表示したものである。

らミル出口の微粉炭量を算出し、この値を燃料制御系に先行的に加えることによりミル応答性の改善を図った。更に高い負荷変化率を達成するためには、ミルのターンダウンを広げ、ミルの起動・停止を極力少なくする必要がある。このため、1台のミル内で任意のバーナを単独に点火・消火可能なミルバーナカットシステムを採用することにより、シミュレーションでは、負荷変化率5%/minが実現できた。

(3) 起動時間の短縮

石炭燃焼ボイラ特有のスラッキング、ファウリングの問題からボイラの構造が大きくなり、起動初期のボイラ昇温に長時間を要していた。また、ミルウォーミング操作では、ミル起動指令からウォーミングを行ないミル自動投入に至るまで約10～15分を要し、この操作を逐次行なっていたためミルウォーミング操作に60～90分程度を要していた。

起動時間を短くする方法の一例として、ミル同時ウォーミング方式を図5に示す。石炭投入開始後できるだけ短い間隔でミル追加運用するためには、点火後早い時期にあらかじめ全数のミルウォーミングを完了しておき、高負荷変化率指令に追従しミルを追加運用することにより起動時間の短縮を図った。

(4) ランバック・所内単独運転

主要な補機(給水ポンプ、押込み通風機ほか及びミル)がトリップした場合でも、プラントの運転が継続できるように自動ランバック機能をもたせている。また、石炭火力で所内単独運転(以下、FCBと略す。)を行なう場合には、安定燃焼性、炉内圧変動などの制約から急速に燃料を絞り込むことは困難であるため、タービンバイパスシステムの設置が不可欠である。石炭燃焼ドラムボイラプラントのFCB試験では、ミル4台から2台までミルカットさせ、軽油の助燃を行なうことにより良好な試験結果を得ることができた。

5 試験結果

大容量石炭燃焼貫流ボイラで、前述の高負荷追従性と起動特性に関するシミュレーション解析を実施した。その概要とシミュレーション結果について述べる。

図6に、50%負荷から100%負荷まで負荷変化率5%/minで変化させた場合の負荷応答特性を示す。本シミュレーションは、主蒸気温度制御への予測適応制御と石炭バーナカット方式を採用したものであり、主蒸気温度偏差+2.4～-1.7℃、再熱蒸気温度偏差+6.6～-6.3℃となり、負荷変化時のミル切替を必要としないミルバーナカット及び予測制御の効果

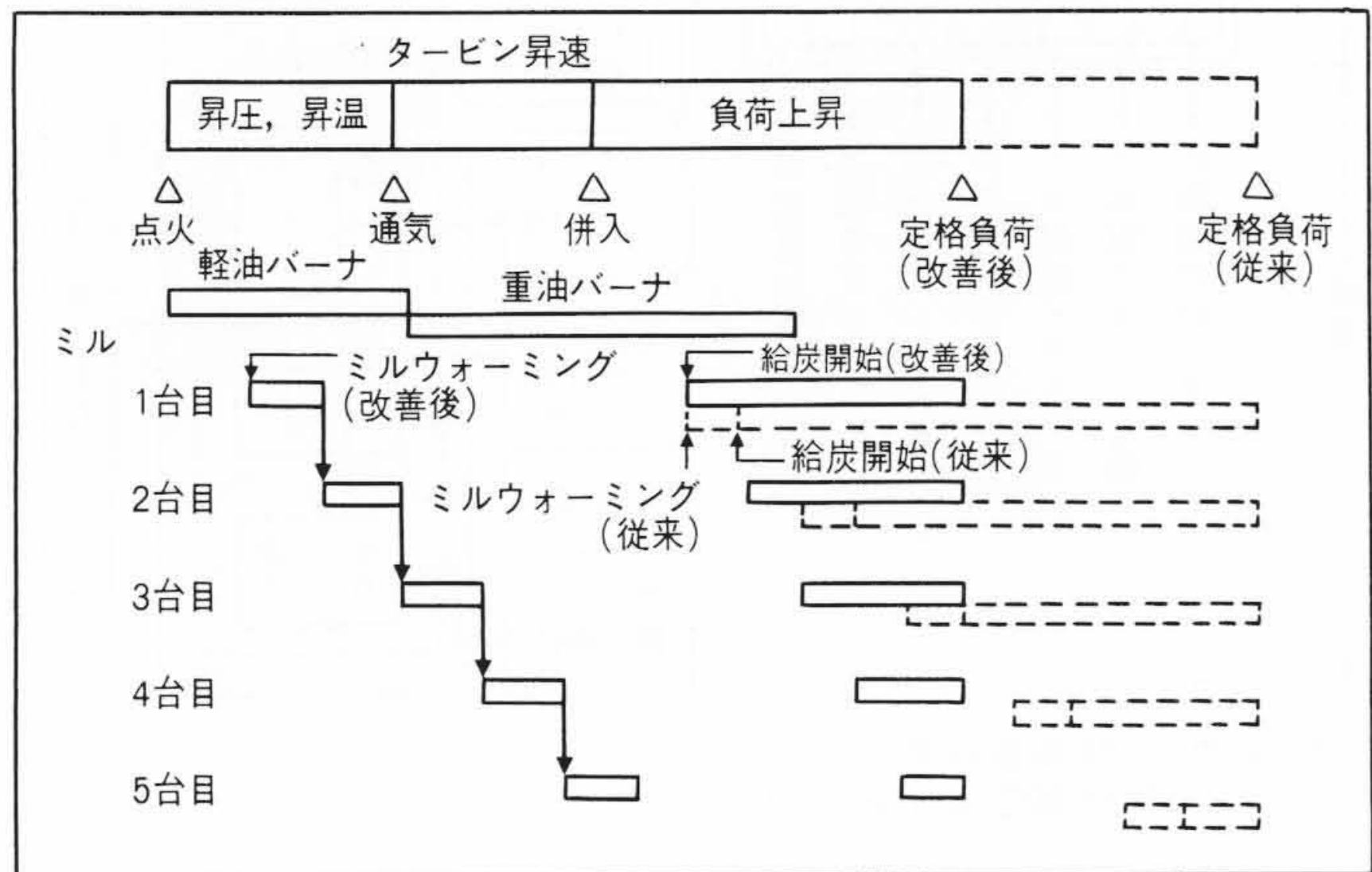


図5 ミルウォーミング方式 現状の石炭火力と中間負荷石炭火力のウォーミング方式の比較を示す。

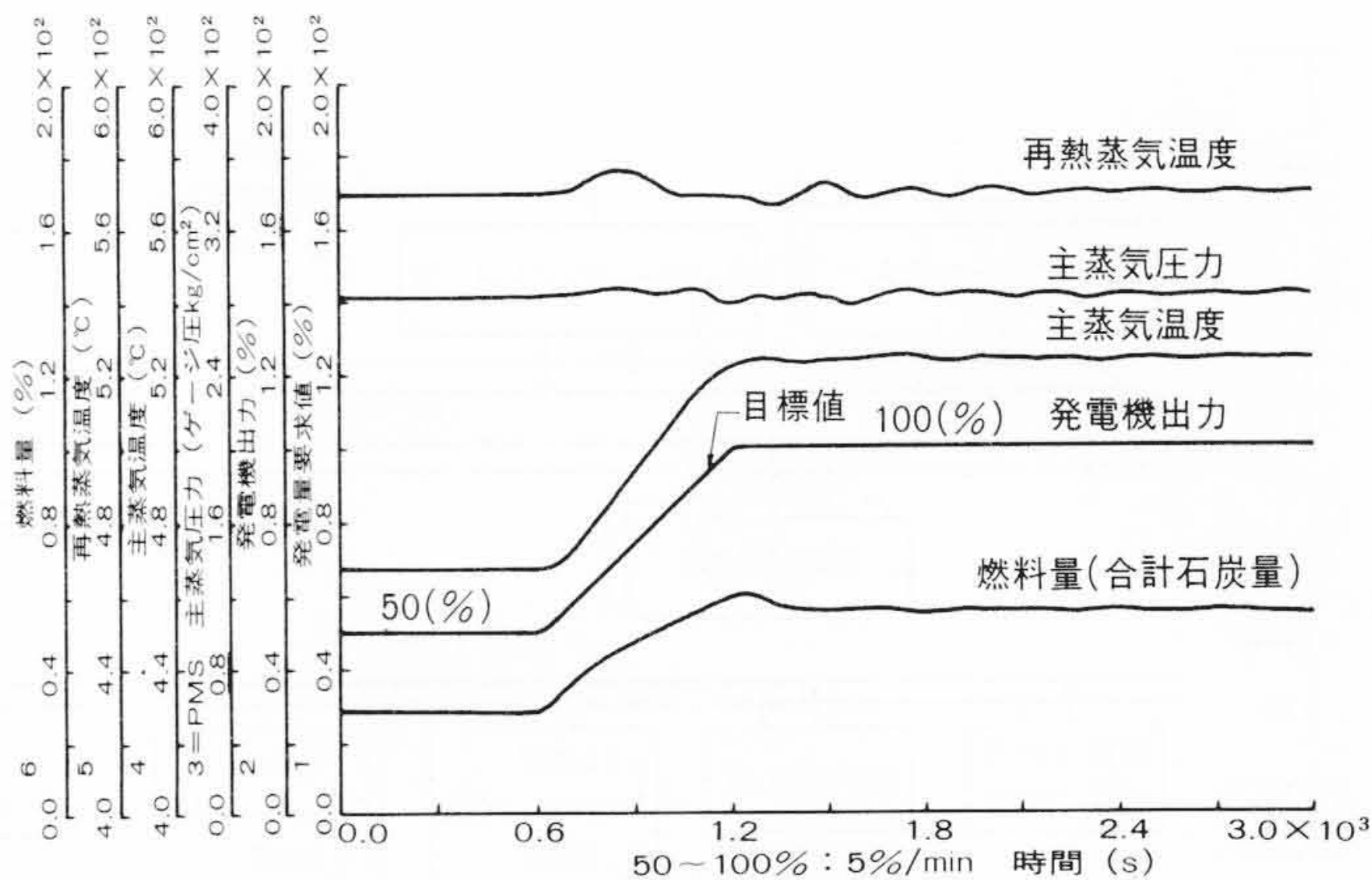


図6 負荷応答試験結果 50%負荷から100%負荷まで、負荷変化率5%/minで負荷上昇したときのシミュレーション結果を示す。

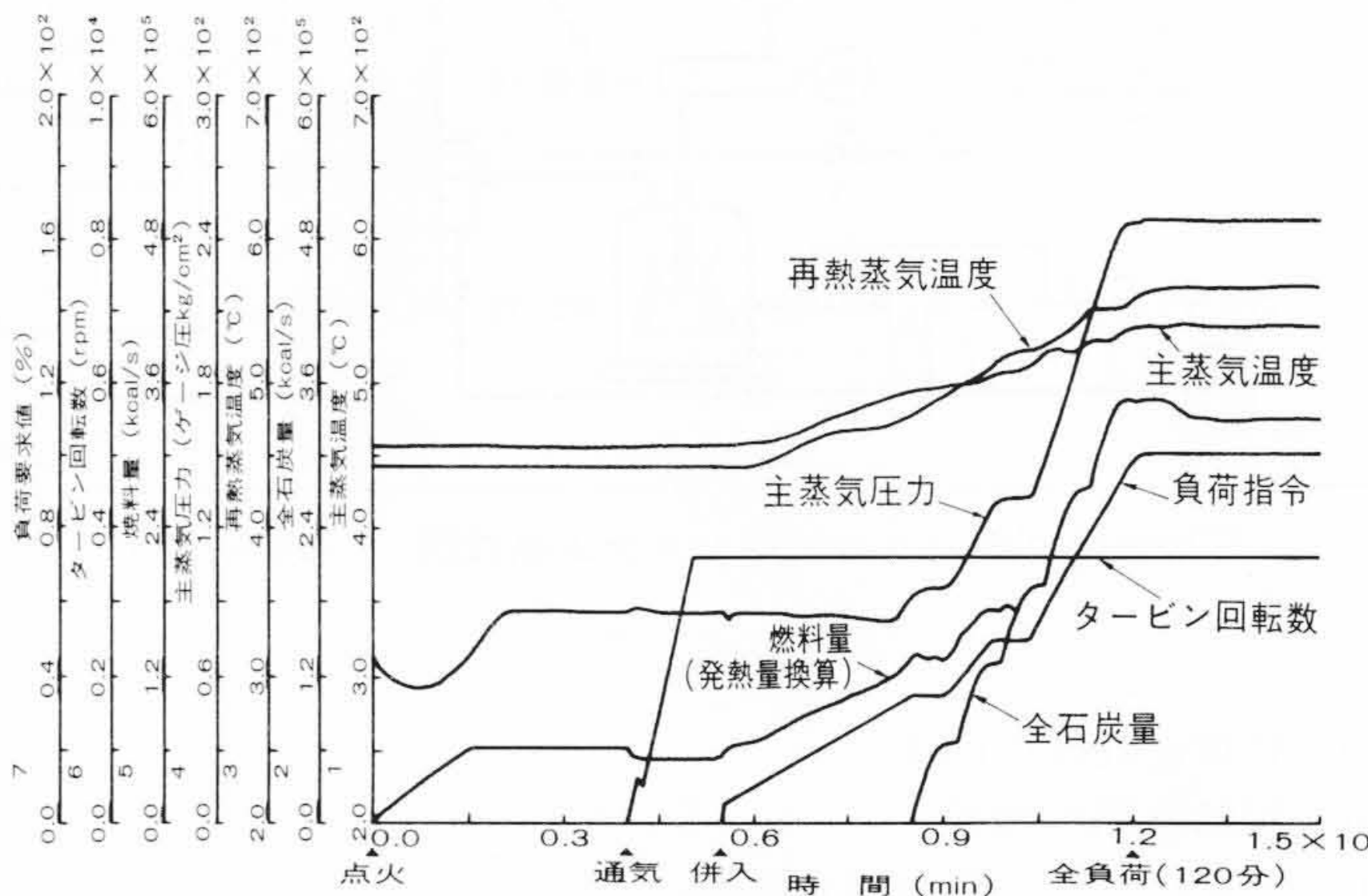


図7 起動特性試験結果 ミルを順次起動させたときの、点火から全負荷までの起動シミュレーション結果を示す。

が確認でき、負荷変化率5%/minが達成することができた。次に、起動特性については、プラントの起動時間短縮を図るために前述のミル同時ウォーミングを行ない、ミルを短時間で順次起動した場合のシミュレーション結果を図7に示す。本結果では、ホットスタート時の点火から全負荷まで約120分で起動できることが確認できた。

6 結 言

大容量石炭燃焼中間負荷ボイラへ新監視制御システムHIACS-3000を適用し、石油火力並みの高負荷追従性と起動特性をもった大容量石炭燃焼中間負荷火力プラントの制御システムを構築した。本システムを適用することにより、制御盤及び制御ケーブルが大幅に削減できるほか、自動化盤の縮小化、信頼性、保守面でも大幅に向上が図れる。

今後、各電力会社をはじめ関係者の指導を得ながら、更に良い制御システムを構築してゆく考えである。

参考文献

- 1) 新海, 外: 大容量石炭火力総合デジタル制御システム, 日立評論, 65, 9, 603～608(昭58-9)
- 2) 幾田, 外: 大容量石炭燃焼ボイラの中間負荷運用技術, 日立評論, 67, 2, 97～102(昭60-2)