

石炭焚きボイラの自動化

Automation System for Coal-fired Boilers

近年我が国でのエネルギー事情の推移により、液化天然ガス、原子力と並んで石炭火力が再び脚光を浴びるようになってきた。

従来経験してきた石炭火力は、現在計画されているものに比べると、容量と自動化の点で格段の差が見られる。現在計画されている石炭火力は、大容量化に伴い超臨界圧プラントとなり、システムが複雑化、多様化しているため自動化を図る上で問題点を摘出し、その対応策を講ずる必要がある。特に石炭火力の自動化のためには、ミル回りの自動化と燃料制御の制御性の向上を行ない、プラント計算機と協調をとった総合監視制御システムを確立する必要がある。本稿は、この石炭火力自動化システムについて記述する。

村松 勝* *Muramatsu Masaru*
駒田 正* *Komada Tadashi*
古川 和** *Furukawa Kazu*
高橋 寿*** *Takahashi Hisashi*

1 緒言

我が国での火力発電所のボイラの主力は重油焚きボイラであり、その中でも大容量火力発電所については、ユニットの起動・停止操作、通常運転操作、事故処理を含めた広範囲な領域にわたる安全性・信頼性向上、運転操作の省力化・合理化などからすべて自動化が図られている。

一方、石炭焚きボイラの運転操作は手動操作に多くを頼っていたが、重油焚きボイラの自動化の実状から石炭焚きボイラでも、制御用計算機とサブグループ制御装置を組み合わせることにより、運転操作の向上のため自動化を図る必要がある。従来の操作面での問題点を摘出し検討した結果、石炭焚きボイラ運転の全面自動化を図る上で、ミル及び石炭バーナに計算機及び連動シーケンス操作を大幅に採用し、総括制御をユニット計算機が行ない運転操作を自動で行なうとともに、運転監視についてはマンマシンコミュニケーションを重視することから Cathode Ray Tube (CRT) ビュアを積極的に利用し、シーケンスモニタ、プラント運転状態及び警報状態の把握が視覚的に行なえるようにした。これにより、ボイラ起動準備段階から停止に至るまでの操作及び制御を自動化することができた。

2 ボイラ起動・停止の自動化

2.1 起動・停止の操作

ボイラの起動・停止時の操作は、ボイラの形式、燃料の種類、通風方式などにより決定されるが、石炭焚きボイラであっても微粉炭燃焼方式や通風方式などによってその操作も異なる。ここでは、起動時に重軽油を使用し、ボイラランピング完了点から石炭を投入する標準的な石炭焚きボイラの起動・停止操作手順を図1に示す。

石炭焚きボイラの主要操作としては、重油焚きボイラの主要操作にミルウォーミング及びミル起動・停止、石炭バーナの点火・消火の石炭系操作が追加となる。

2.2 自動化の現状と範囲

石炭焚きボイラプラントに比べ、最近の重油焚きボイラプラントは制御用計算機を軸にボイラ制御装置、自動バーナ制御装置、シーケンシャル制御装置、タービン制御装置、自動電圧制御装置などのサブグループ制御装置との組合せにより、

ボイラ水張から定格負荷及び負荷降下から停止過程までの自動化を大幅に実現している。

一方、石炭焚きボイラプラントでは、過去の建設当時は計算機の技術的レベルも低かったことから、ミル及びミル回り補機の起動・停止操作、出力制御、温度制御、バーナへの着火確認(フレイムデテクタでの監視)及びバーナの点火・消火は、運転員の判断及び手動操作によっていた。ここで石炭焚き火力プラントと重油焚き火力プラントの自動化範囲を比較してみる。給水系については、重油焚きボイラ同様水張から一連の自動化が可能であり、通風系でも重油焚きボイラの通風系統、火炉パージ系統のほかに一次通風機(以下、PAFと略す)系統、ミルシーリング通風機(以下、SAFと略す)系統が追加となるが自動化は可能である。

次に石炭焚きにおける燃料系については、重軽油系統の場合は自動化を図ることが可能であり、ミル及びミル回り補機が追設となり、ミル及びミル回り補機の起動・停止操作、重油-石炭バーナの切替え、並びに石炭バーナの点火・消火操作の自動化を図る必要がある。

2.3 自動化の問題点

石炭焚きボイラを従来の重油焚きボイラ又はガス焚きボイラの自動化と同等以上のレベルにするには、次のような自動化への問題点がある。

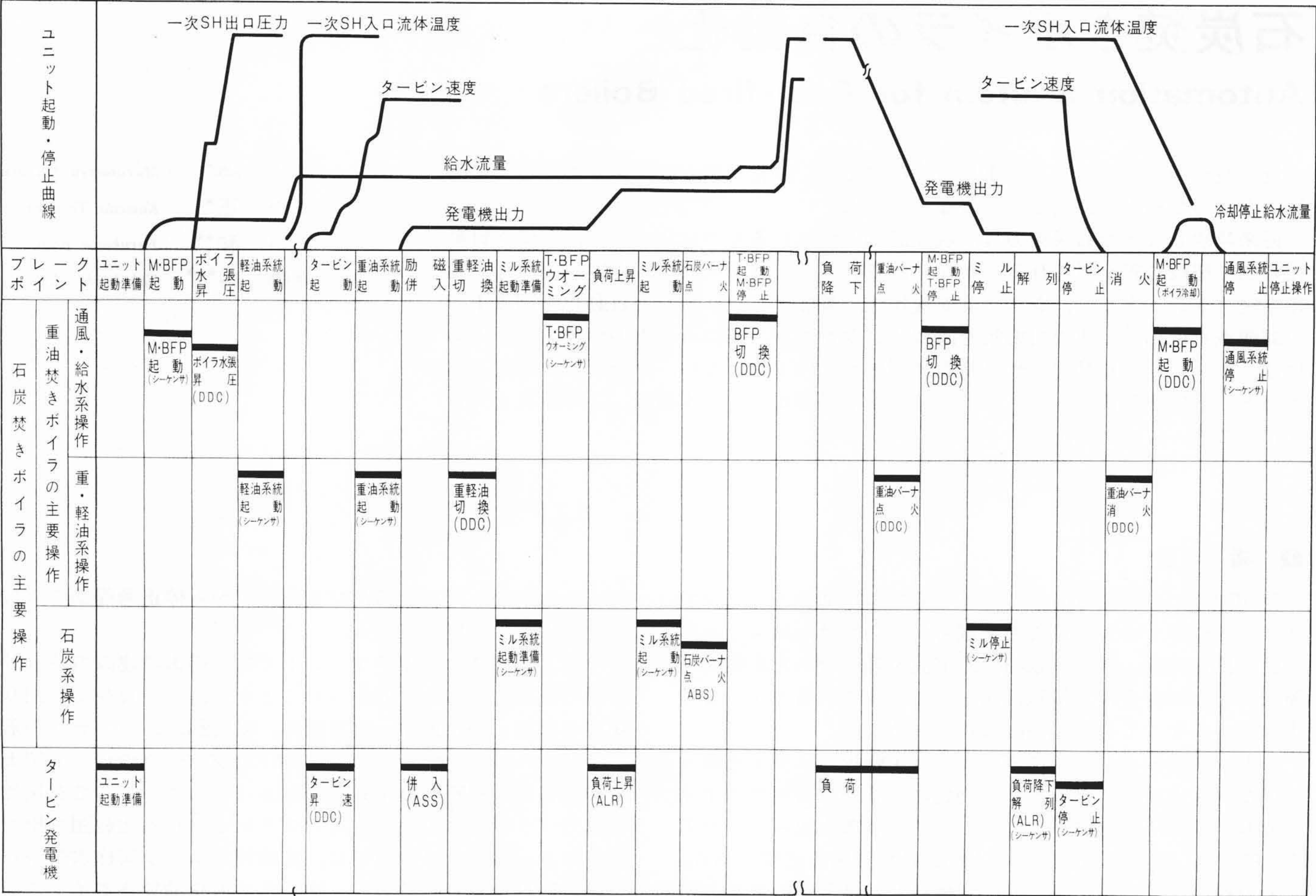
(1) 補機操作の複雑さ

ミルに関連する補機類が多く、起動条件及び状態確認に労力を要していた。特に、点火許可条件の確認、ミル潤滑油装置、SAF、PAF、ミル及び給炭機の操作からバーナ点火・消火までの一連のシーケンシャル操作が必要である。

(2) ミル台数の増減時の蒸気圧力、温度への影響

石炭バーナは一つのミルグループに6~8本あり、これらが同時に点火・消火されるため、重油やガスバーナと比較した場合、石炭バーナ点火・消火時でのボイラへの燃料投入量は非常に大きくなり、この結果、蒸気圧力、蒸気温度の変動が懸念される。このような変動を避けるため、燃料量へのバイアス制御や他の燃料量(重油・軽油又はガスなど)の調整が必要となる。

* 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



注：略語説明 SH＝過熱器 BFP＝ボイラ給水ポンプ M・BFP＝電動駆動ボイラ給水ポンプ T・BFP＝タービン駆動ボイラ給水ポンプ DDC＝計算機直接制御方式
ABS＝自動バーナ制御装置 ASS＝自動同期装置 ALR＝自動負荷制御方式

図1 ユニット起動・停止手順 石炭焚きボイラの主要操作を系統ごとに分け、起動時の手順をブレイクポイントごとに表わしたものである。

(3) 現場機器の監視・保守の複雑さ

ミル運転状態の監視、一次空気検出配管目づまりなど日常の保守・点検は重油又はガス焚きボイラと比べ多大な労力を要しているのが現状である。したがって、これらパトロール対象機器の状態監視又は操作を、遠方監視、操作することにより省力化を図る必要がある。

(4) 火炎検出器の信頼性

石炭焚きボイラ起動・停止の自動化の重要な要素の一つは、ボイラが安全に燃焼状態を維持しているか否かの判別方法である。従来、重油焚きボイラには、火炎の輝度やちらつき(フリッカ)、燃焼ゾーンからの紫外線を検知しバーナ火炎の有無を判別する火炎検知器を使用していた。石炭焚きや低NOx燃焼のボイラ火炎は、燃焼の緩慢化によりバーナ火炎が火炉中心方向に移行し、かつ輝度が重油炎に比べて低いこと、更には大容量化による他バーナ火炎からの干渉が考えられるので、特に火炎の検知方法及び位置の選定が難しくなる。このように、火炎検出器の信頼性向上はもとより、安全な燃焼状態の判別法の確立が要求される。

2.4 自動化を図るべき項目の対応策

2.4.1 補機操作の自動化

(1) 現場機器の自動操作化

微粉炭燃焼装置は、図2に示すように石炭バンカ、ミルへの石炭供給用給炭機、微粉炭機、石炭粉碎用ボールのN2加圧

装置、ミル潤滑油装置、SAF及び微粉炭搬送用PAFから構成され、多くの補機台数をもっている。したがって、各補機起動前準備操作も多く、省力化のため油ストレナベント弁、油ポンプベント弁、油冷却器ベント弁などの自動化を図るものとし、自動化対象機器は補機起動時又は通常運転中の保守のため操作するものだけとし、起動前の状態確認にとどまる機器は原則として現場手動操作とする。

(2) 起動・停止時の自動操作化

前述したように現場機器の自動化を図ることにより、石炭バーナの起動・停止操作は自動バーナオペレーターズコンソールからミル潤滑油ウォーミング、ミルウォーミングを含む石炭バーナ点火・消火操作をワンタッチでシーケンシャル制御することを可能とし、操作上の自動化を図る。一例として、図3に石炭バーナ起動ブロック図を示す。

(3) ミル回り保護機能

ミルグループに異常が検出された場合には、該当ミルグループを、またボイラトリップの場合には全ミルグループをトリップさせるが、トリップによる石炭バーナの停止の場合には、ミル冷却及びパージは行なわず、直ちに停止させる。図4にミルトリップインターロックブロック図を示す。

2.4.2 ミル台数増減時の制御系への影響

ミル投入時の蒸気圧力、蒸気温度への影響については、次の3章で述べる。

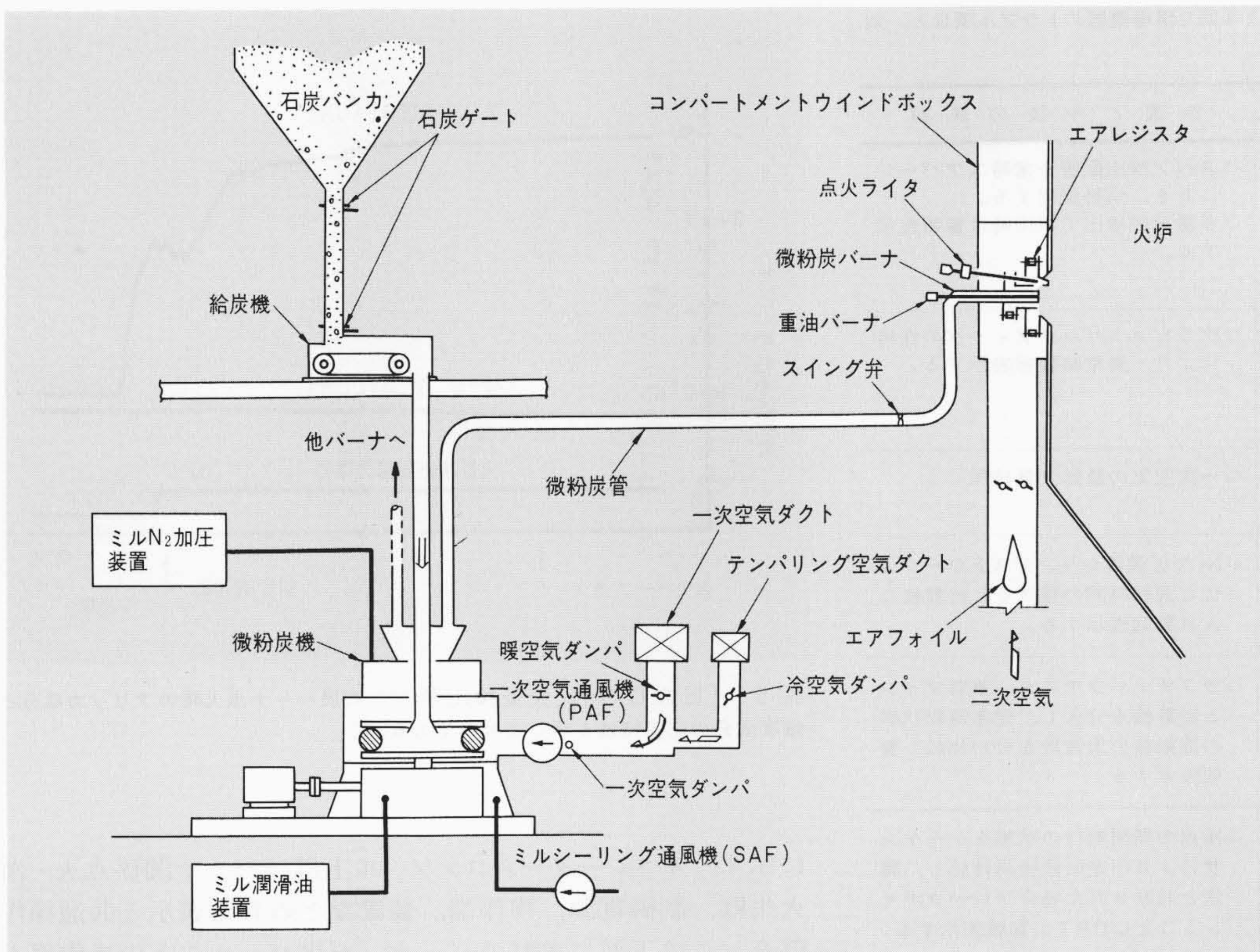


図2 微粉炭燃焼装置
ミル回り補機の種類と石炭空気系統の
流れを表わしたものである。

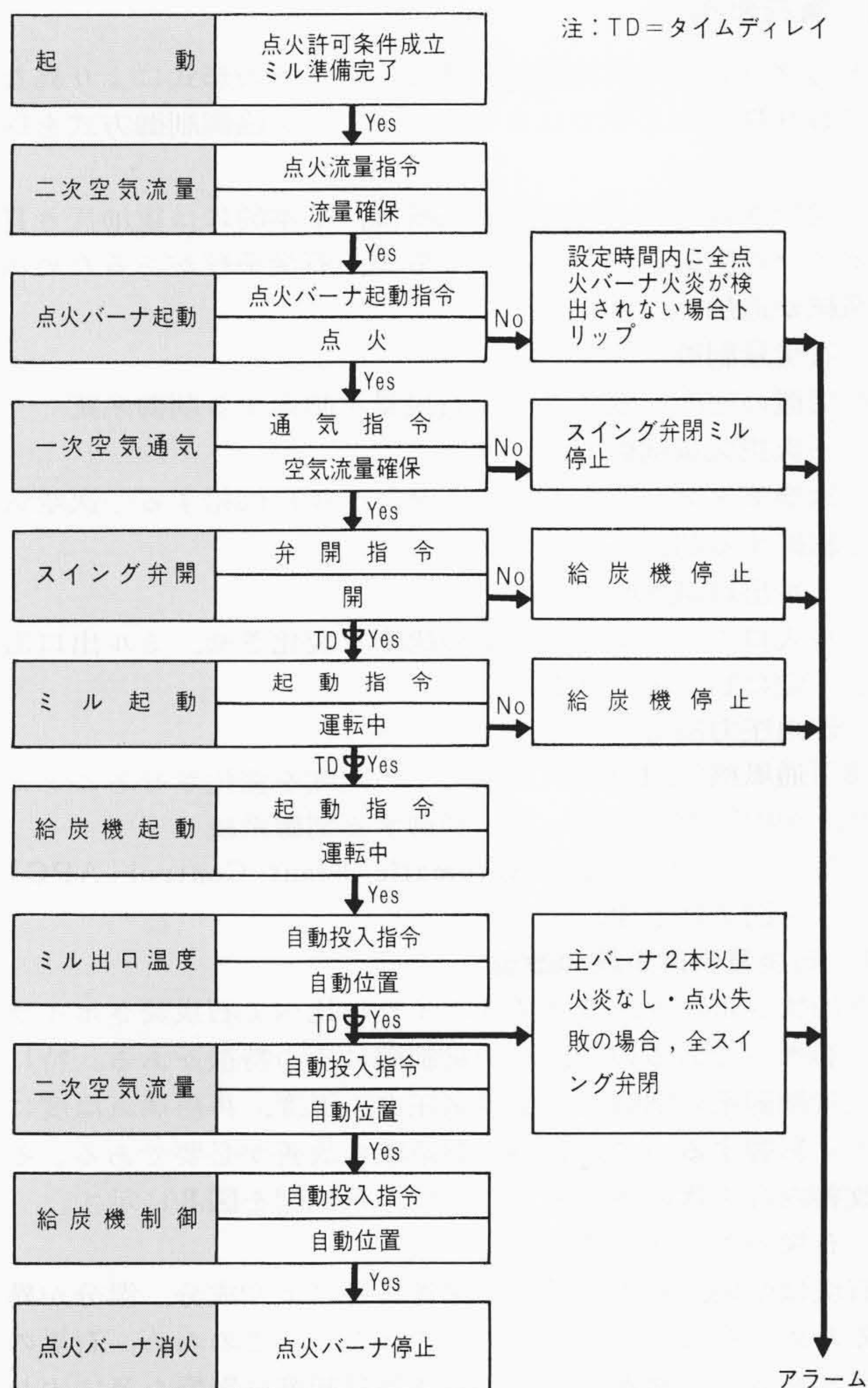


図3 石炭バーナ起動手順 コールドエアシステム時の石炭バーナシー
ケンシャル制御時のブロックを、フローチャートに表わしたものである。

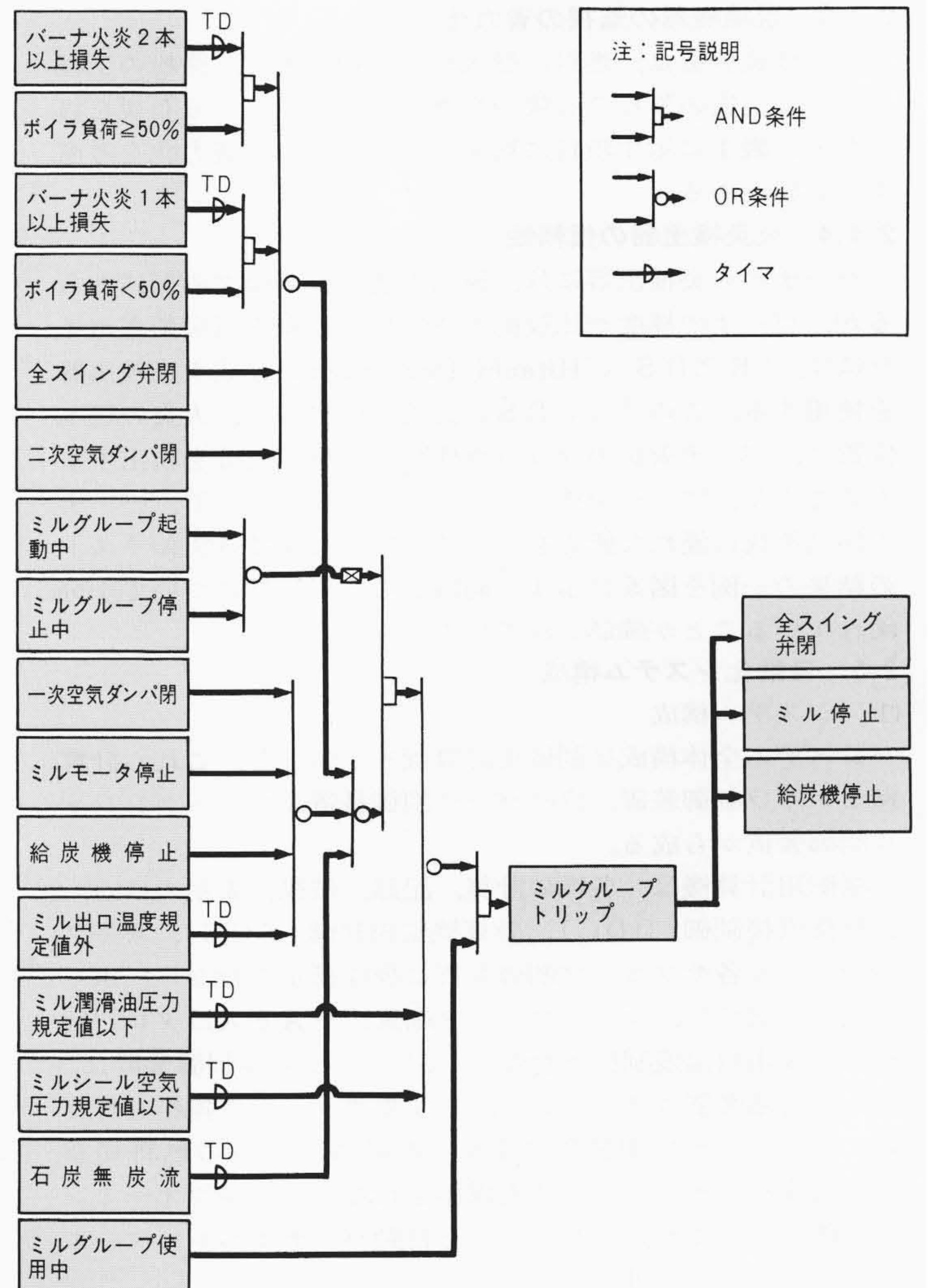


図4 ミル回り保護機能 ミルグループのトリップインターロック条件
についてまとめたものである。

表1 現場機器監視の省力化 ミル回り現場機器のトラブル項目と、対策処置方法について考慮したものである。

監視項目	原因又は問題点	処置と今後の課題
ミル差圧、一次空気差圧検出配管の目づまり	○日常の検出配管点検、バージを要す。 ○ミルの異常運転の併発	○スベア検出配管を常時エアパージにおき、切替使用する。 ○多重比較検出で異常時は警報表示する。
ミルレシオ異常（ミル差圧／一次空気差圧）	○微粉濃度の変化 ○パンカのためり ○異物混入 ○給炭機故障	○グラビメトリックフィーダの採用により、異常時警報表示する。
微粉炭系のバックファイア	○微粉炭搬送空気速度の不足	○一次空気の最低流量確保
ミルボール摩耗	○粉碎能力の低下	○N ₂ 加圧装置シリンダストローク偏位と運転時間の積算を、計算機に入れ警報表示する。
ミル振動、異音	○ミル内部損傷	○ラブチェックモニタ、集音マイクと計算機を介し、定常運転状態の振動音の周波数を分析比較し警報表示する。
リミットスイッチ	○粉塵などによる誤動作	○接点の開閉動作の状態をシーケンサにより一定時限後再確認し、異常と判断された場合ブレイクポイントごとにCRTに警報表示する。

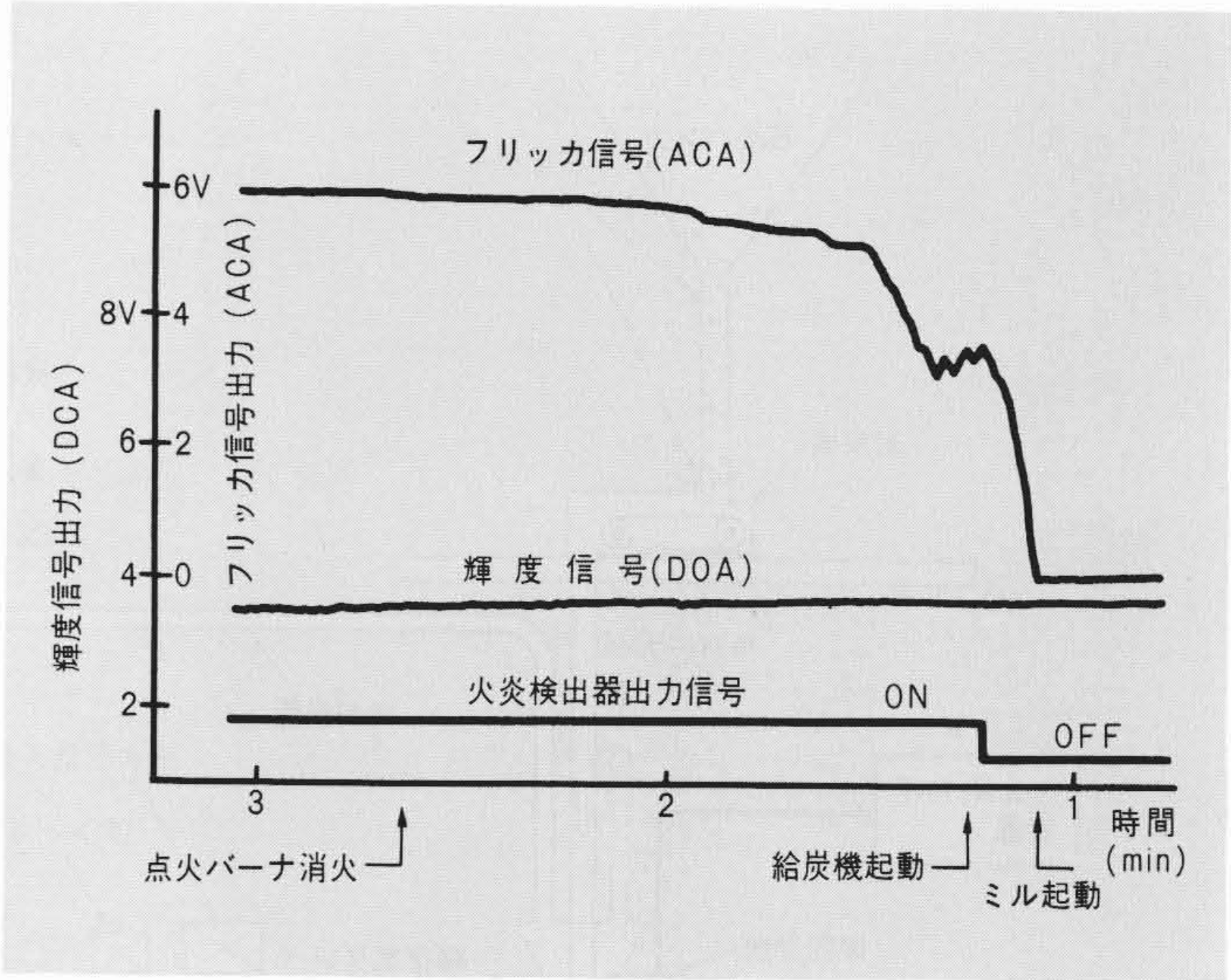


図5 「日立DS」式火炎検出器 石炭バーナ点火時のフリッカ成分と輝度成分の応答特性を示したものである。

に示す。オペレーターズコンソール上部にバーナ関係点火・消火失敗、制御電源、操作端、装置などの異常表示と共通操作部を、この下部に重軽油バーナ、石炭バーナごとの操作部を設け、石炭火力プラントでの操作と監視制御を容易にした。

3 負荷制御

火力プラントの負荷制御方式は、ボイラの形式により異なっており貫流ボイラではボイラ・タービン協調制御方式を採用している。

石炭焼き貫流ボイラの制御系統は、基本的には重油焼き貫流ボイラの制御系統と同一であるが、石炭系統があるため次の系統が追加となる。

- (1) 石炭量制御
給炭機の変速を制御し、石炭量を制御する制御系統
- (2) 一次空気量制御
一次空気ダンパ開度を変化させ、ミルに供給する一次空気量を制御する制御系統
- (3) ミル出口温度制御
ミル入口の冷空気と熱空気の比率を変化させ、ミル出口温度を一定に制御する制御系統
- (4) 炉内圧力制御
誘引通風機(IDF)入口ベーンの開度を変化させることにより、炉内圧力を負圧一定に制御する制御系統

石炭焼き貫流ボイラの主要 Automatic Plant Control (APC) 系統図を図7に示す。

3.1 石炭量制御系統の改善

重油焼きボイラ、ガス焼きボイラに比べて石炭焼きボイラは固形燃料であるので、石炭量制御にその特徴がある。特に石炭量制御系の制御性が主蒸気圧力、温度、再熱蒸気温度に大きく影響するので、石炭制御系統の改善が必要である。その改善内容を次に述べるとともに、系統図を図8に示す。

- (1) 石炭のカロリー補正
石炭は産地、産出年月及び保管状態により成分、湿分が異なるため、石炭カロリーは一定ではない。このため、石炭のカロリー変動は燃水比制御及び空気量制御に影響を及ぼすため補正する必要がある。カロリー補正の方法として次の2案がある。

2.4.3 現場機器の監視の省力化

石炭燃焼装置は、燃料の受入れから給炭まで、微粉の工程の中では炭質の異なる石炭や異物が混入されている石炭を扱うため、表1に示す項目に対するパトロールの省力化を考慮する必要がある。

2.4.4 火炎検出器の信頼性

バーナの火炎検出器には、検出方法により種々の形式があるが、バーナの輝度が比較的小さく長炎となる石炭焼きボイラには、「日立DS」(“Hitachi Dual Signal”)式火炎検出器を使用する。この「日立DS」式火炎検出器は、火炎の根本位置で、バーナ火炎のフリッカ成分及び輝度成分を検出する方式であり、他バーナ火炎からの干渉を受けにくく、バーナの個別監視に優れた能力をもっている。石炭焼き実缶テストの結果の一例を図5に示す。同図からも信頼性について十分優れていることが確認されている。

2.5 自動化システム構成

(1) システム構成

システム全体構成は制御用計算機を主体とし、これら計算機とボイラ制御装置、自動バーナ制御装置及びシーケンシャル制御装置から成る。

制御用計算機は、各種の計算、記録、監視、表示のほか、計算機直接制御(DDC)、計算機監視制御(SCC)、キック指令により各サブグループ制御装置に操作指示を行なう。ボイラ制御装置では、コールフィーダ制御、PAF入口ダンパ制御、ミル出口温度制御を行なう。シーケンシャル制御装置は、ミル潤滑油装置ウォーミング、ミルウォーミング操作を行ない、自動バーナ制御装置により、重軽油、石炭の燃料切替え、石炭バーナの点火・消火操作を行なう。ミルウォーミング操作を含むこれら一連の操作を自動バーナオペレーターズコンソール上より可能とした。

(2) 自動バーナオペレーターズコンソール

自動バーナオペレーターズコンソール正面図の一例を図6



注：略字説明

W=白色ランプ

R=赤色ランプ

G=緑色ランプ

PBS=押しボタンスイッチ

SAF=ミルシーリング通風機

PAF=一次通風機

図6 自動バーナオペレーターズコンソール 重軽油・石炭バーナの点火・消火操作及び異常表示などの押しボタン表示灯を取り付けている。

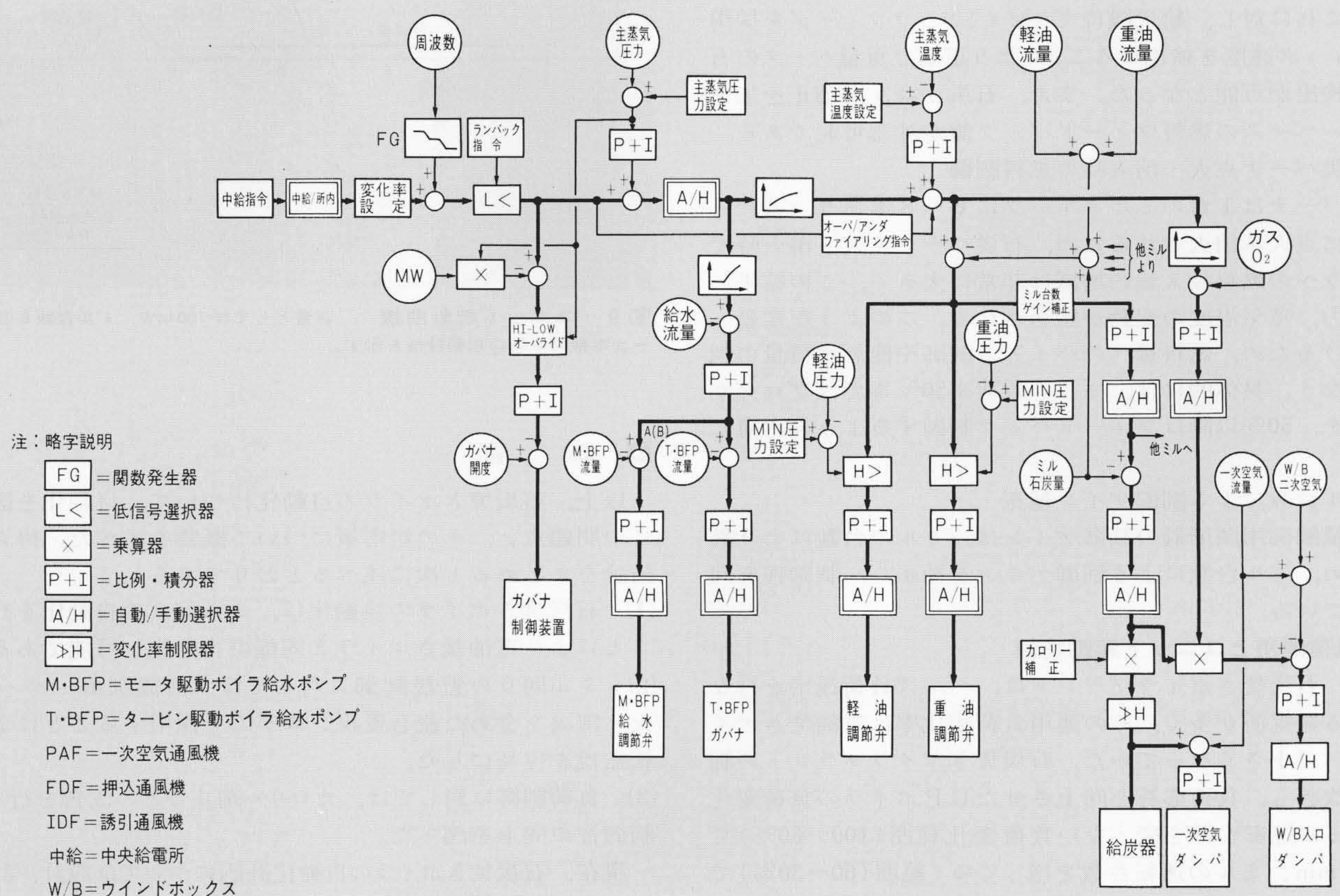


図7 APC系統図 石炭焼きボイラでの主要な系統について、基本フローを示したものである。

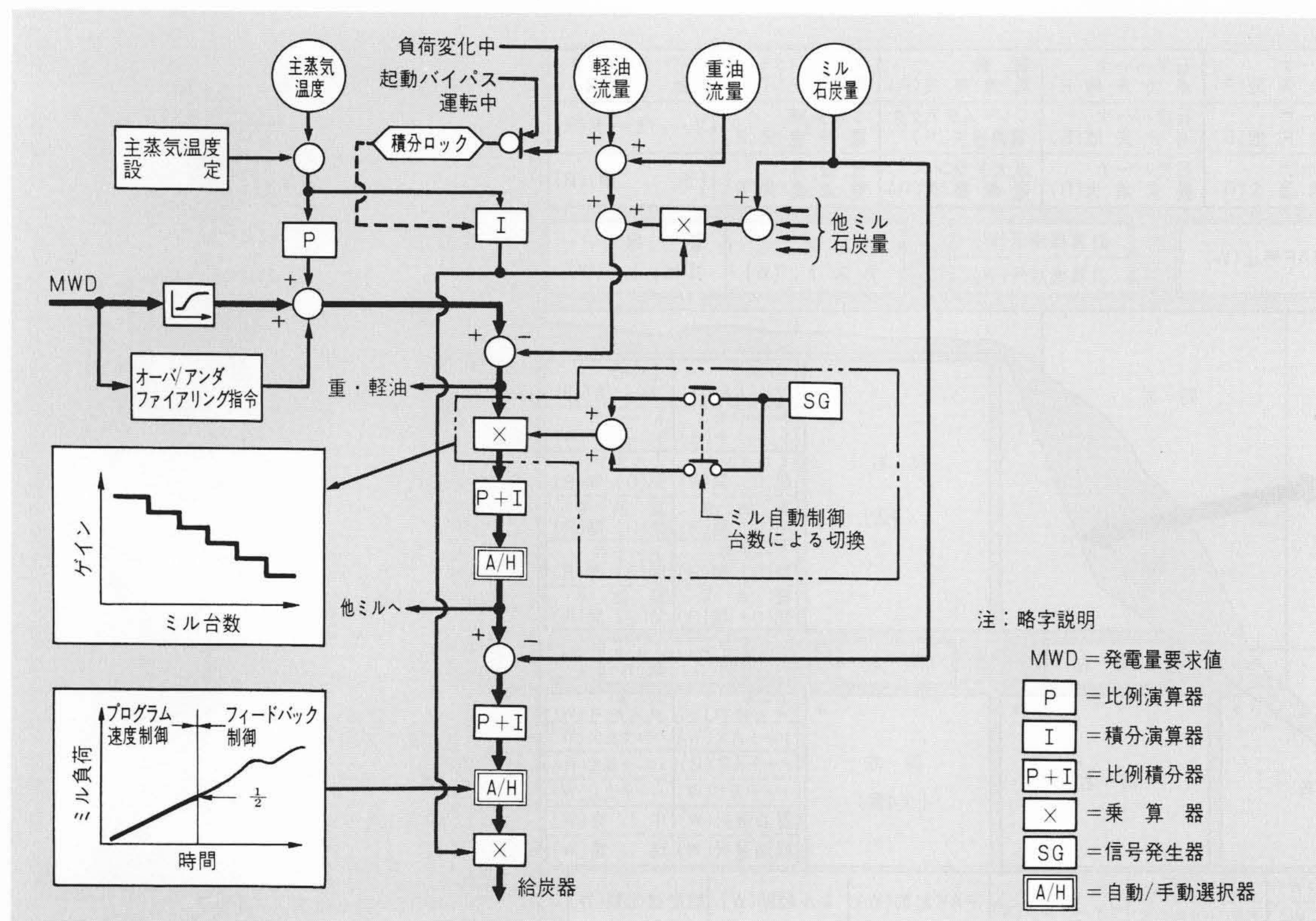


図8 燃料制御系統図
石炭焚きボイラでの改善すべき4点につき詳細に説明したものである。

- (a) 石炭消費量を測定しカロリーを逆算し補正する。
 (b) 主蒸気温度制御による補正信号が零となるよう、石炭量フィードバックを補正する。
 (2) 石炭量検出について

従来、ミル差圧、PAF入口ダンパ開度で石炭量を検出していたが、ミル比率の変化により安定した検出は不可能であった。これに対し、給炭機にグラビメトリックフィーダを採用し、フィーダ速度を検出することにより正確な重量ベースの石炭量の検出が可能となった。また、石炭カロリー補正を加えカロリーベースの燃料フィードバック値が計測可能である。

(3) 石炭バーナ点火・消火時の燃料制御

石炭バーナは1台のミルグループに6～8本あり、これらが同時に点火・消火されるため、石炭バーナ点火・消火時でのボイラへの燃料投入量の増減は非常に大きく、この結果、蒸気圧力、蒸気温度の変動が懸念される。このような変動を極力避けるため、燃料量へのバイアス制御や他の燃料量の調整を行なう。具体的には、ミルの負荷率50%まではプログラム制御を、50%以降はフィードバック制御するように考慮している。

(4) ミル台数による制御ゲイン補正

石炭量制御用調節器の制御ゲインは、ミルの台数により異なるため、ミル台数による制御ゲインを補正し、制御性を向上させている。

3.2 負荷運用とユニット起動特性

従来、石炭焚きボイラプラントは、ベース負荷運用を行なっている発電所が多く、その運用負荷変化率は重油焚きボイラに比べて小さくなっていた。石炭焚きボイラプラントの制御性を改善し、負荷応答を向上させたUPボイラの負荷変化率は、ミル運転台数を変えない負荷変化範囲(100～60%)では3%/min、ミルの運転台数を増してゆく範囲(60～30%)では1%/minは達成可能である。次に、コールドスタートでの点火から全負荷までのユニット起動特性を図9に示す。

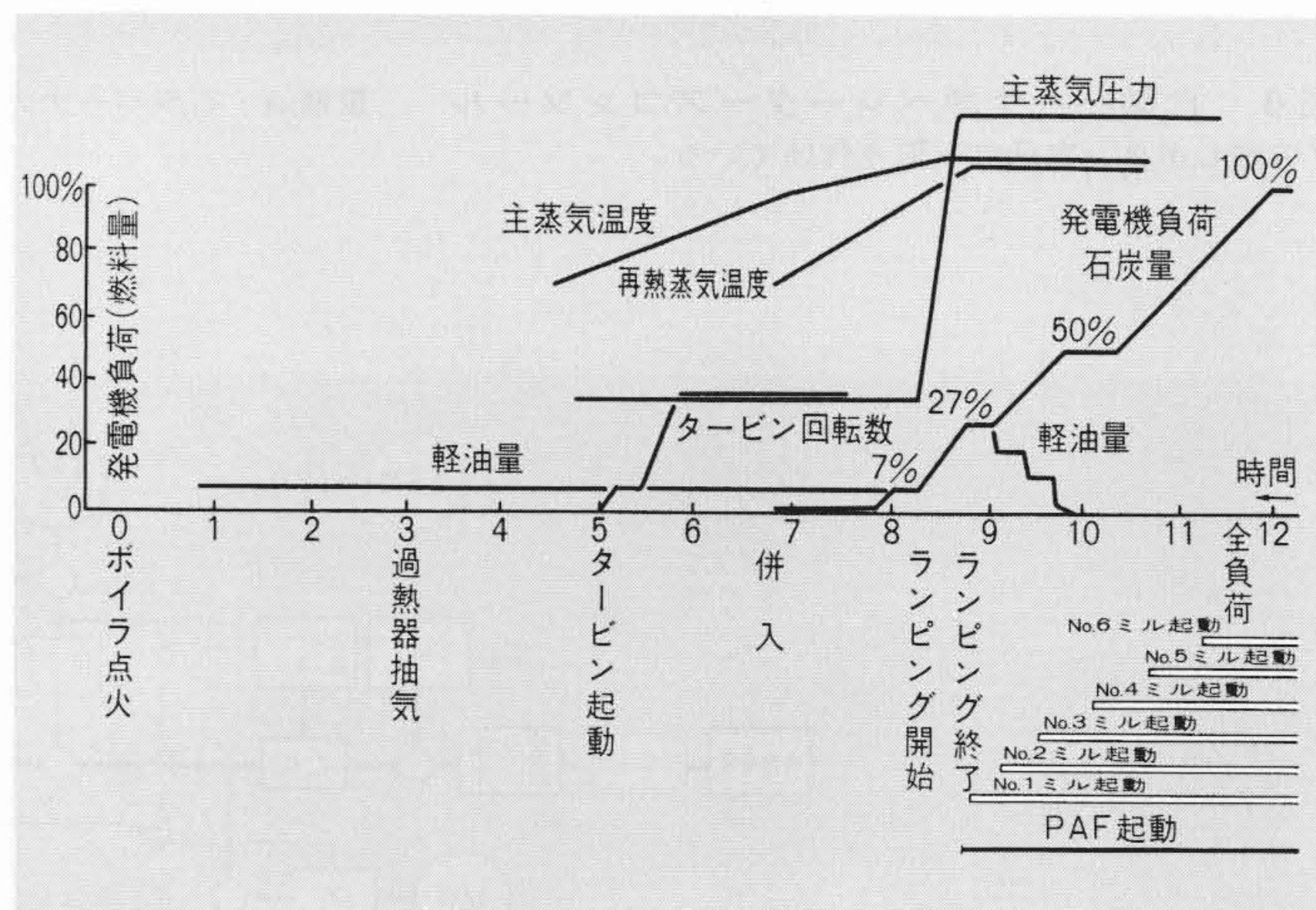


図9 ユニット起動曲線 容量としては700MW、ミル台数6台及びバーナ本数48本時の起動特性を示す。

4 結 言

以上、石炭焚きボイラの自動化について、自動化を図る上での問題点と、その対応策について概要を述べた。得られた結論をまとめると次に述べるとおりである。

- (1) 石炭焚きボイラの自動化は、ミル回りの自動化を行なうことにより重油焚きボイラと同様の自動化が可能である。
- (2) ミル回りの監視制御に対しては、補機制御、バーナ点火・消火を含めた総合監視システムを採用することにより運転監視を容易にした。
- (3) 負荷制御に対しては、カロリー補正などの改善を行ない、制御性の向上を図った。

現在、石炭焚きボイラの自動化計画については設計、計画中であり、今回の結果を踏まえ、今後電力会社各位の協力を得て更に石炭焚きボイラの自動化技術を確認する考えである。