

ファジィ応用オートチューニング技法と 火力発電プラントへの適用

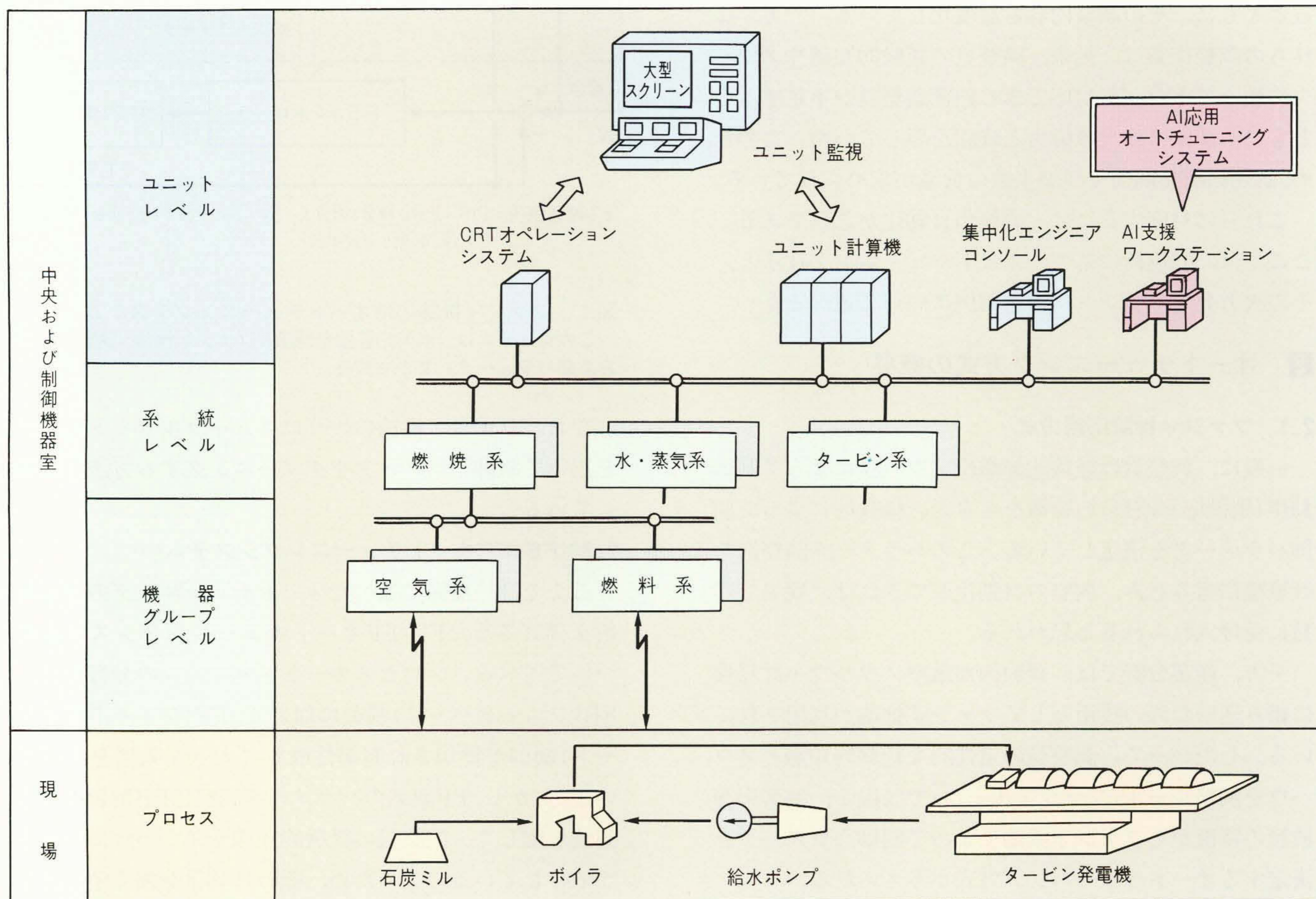
Auto-Tuning Technology and Its Application to Thermal Power Plant Control

遠山栄二* Eiji Tōyama

大内和紀** Katsunori Ōuchi

野村政英** Masahide Nomura

阿部倫夫*** Norio Abe



火力発電プラント制御システム構成とオートチューニングシステム 火力発電プラントは多数の制御系で構成しており、その調整業務自動化のためAI支援ワークステーションにオートチューニングシステムを組み込み、プラント運用性向上と調整工数低減を図っている。

プロセス制御分野では、近年制御機能の高度化、多様化により、制御装置の調整個所の増大と内容の高度化が進み、調整業務の自動化が要求されてきている。

オートチューニング(調整業務自動化)の技法としては、AI技術(ファジィ推論、ニューラルネットワークなど)を応用し、制御応答波形の特徴量をとらえ、調整員の経験的知識・ノウハウを調整ルールで

表現し、構築する方式が考えられる。

さらに、この技法をプロセス制御分野で広く用いられているFBC・FFC(フィードバック制御・フィードフォワード制御)に適用したオートチューニング方式を開発した。

このオートチューニング方式は、特に高度な制御が要求される火力発電プラントに最適であり、プラント運用性向上と調整期間短縮に効果が期待できる。

* 日立製作所 大みか工場 ** 日立製作所 日立研究所 *** 日立製作所 電力事業部

1 はじめに

電力、鉄鋼、一般産業などでのプロセスオートメーションの分野では、制御装置に要求される性能が年々高度化かつ多様化してきている。

このため、制御装置は大規模化し、調整箇所が増大するとともに、その調整内容も高度化している。一方、これらの調整作業は、従来、調整員の経験的知識やノウハウに頼ってきたが、対応できる熟練調整員が不足するとともに、調整に多大の労力と時間を要していた。このため、試運転調整期間や調整工数の低減が求められている。

これらに対応するには、調整の自動化が急務である。ここでは、AI技術に基づくオートチューニング技法と、その火力発電プラントへの適用例について述べる。

2 オートチューニング方式の概要

2.1 ファジィ推論応用方式¹⁾

一般に、調整員は経験的知識やノウハウによって制御動作(制御応答波形)の特徴をとらえ、経験則によって制御パラメータを決定している。このパラメータ調整則を計算機に組み込み、調整の自動化ができれば、現場で容易に受け入れられると思われる。

一方、産業分野では、経験的知識やノウハウを計算機に組み込むための技術としてファジィ推論が利用されている。したがって、調整員の定性的な経験的知識とノウハウを調整ルール(ファジィルール)で表現し、制御応答波形の特徴からファジィ推論によって制御パラメータを決定するオートチューニング方式が考えられる。

このオートチューニングシステムを図1に示す。このシステムは、(1)特徴量抽出、(2)パラメータ修正係数計算、(3)パラメータ計算の三つの主要部分から成る。次に、これらの機能について簡単に述べる。

(1) 特徴量抽出

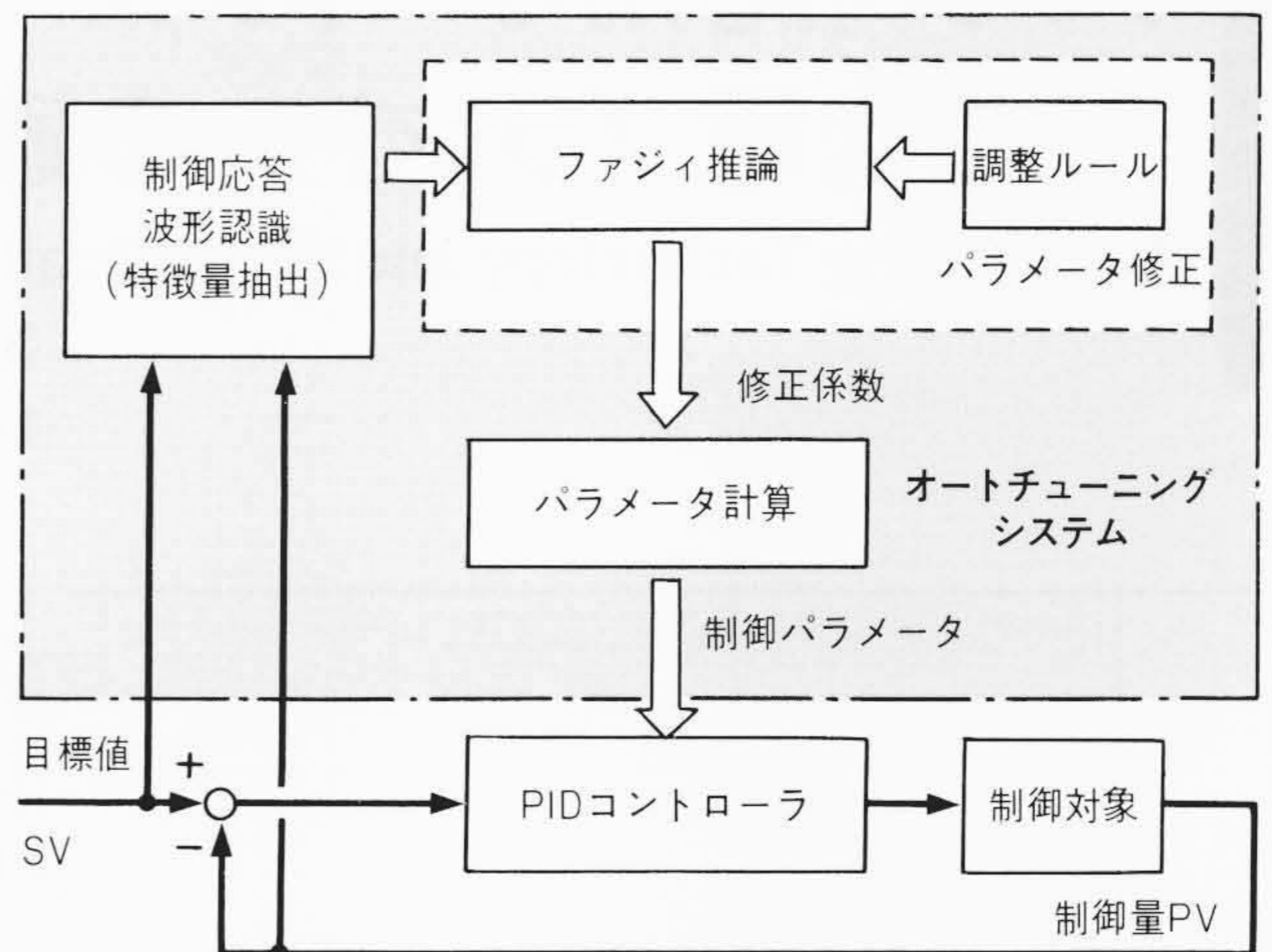
制御系の応答波形からオーバシュート量、振幅減衰比、整定時間などの特徴量を抽出する。

(2) パラメータ修正係数計算

特徴量と制御パラメータとの対応関係を、ファジィルール(調整ルール)とメンバシップ関数で表し、(1)で抽出した特徴量と調整ルールから、ファジィ推論によって制御パラメータの修正係数を決定する。

(3) パラメータ計算

制御パラメータの前回値と(2)で求めた修正係数から、今回のパラメータ値を決定する。



注：略語説明 PID (比例・積分・微分), SV (Set Point Variable), PV (Process Variable)

図1 ファジィ推論応用オートチューニングシステム

このシステムは、制御応答波形認識、ファジィ推論、調整ルールおよびパラメータ計算から成る。

なお、ファジィ推論の代わりにニューラルネットワークを用いて制御パラメータをチューニングする方法も開発している²⁾。

2.2 FB/FFオートチューニングシステム³⁾

ここでは、前節で述べたオートチューニングの基本技術を発展させたFB/FFオートチューニングシステムについて述べる。プロセスオートメーションの分野では、FB(フィードバック)制御に加えて、FF(フィードフォワード)制御が併用され制御性改善に大きな効果を上げている。しかし、FF制御のパラメータ調整はFB制御よりも調整が難しく、調整員の経験的知識やノウハウに依存している。このため、その自動化が強く望まれている。

FB/FF制御装置とオートチューニングシステムの基本構成を図2に示す。この制御装置は、制御偏差をPI(比例・積分)演算して得られるFB操作量とFF操作量との和に基づいてプラントを制御する。オートチューニングの対象となるのは、FBやFF制御装置の制御パラメータである。オートチューニングシステムは、(1)各制御(FB/FF)装置のチューナと、(2)チューナ管理機能から成る。

(1) 各制御(FB/FF)装置のチューナ

制御応答波形を観測し、その特徴量から制御パラメータの修正量をファジィ推論によって算出する。特徴量としては、位相遅れ量とオーバシュート量を使用する。

(2) チューナ管理機能

制御偏差を観測し、その観測結果から各チューナに対して波形観測、パラメータ修正など調整動作を指示する。

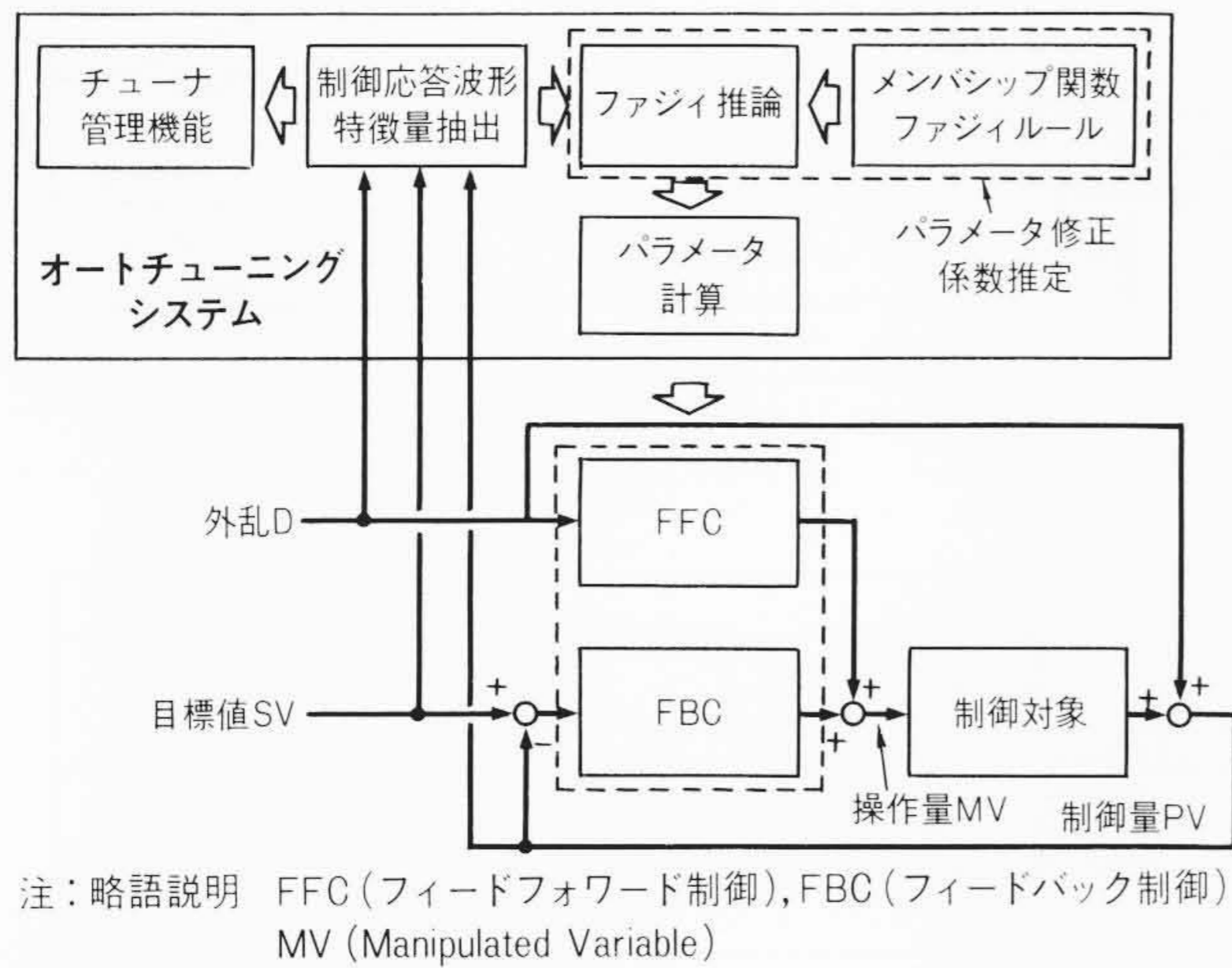


図2 FB/FFオートチューニングシステム FBC, FFCの両方にファジィ推論によるオートチューニングを適用している。

3 火力発電プラント制御への適用例

3.1 火力発電プラントとオートチューニングの対象

火力発電プラントは電力需要の増加，エネルギー事情の変遷に伴い，大容量化とともに起動時間短縮，負荷変化速度向上などの運用性向上を実現するため，大幅な自動化と制御性の向上が要求されてきた。このため，例えば負荷制御の中核をつかさどるAPC (Automatic Plant Control System：プラント自動制御装置) に関し，図3に示すように，試運転調整によって設定値が決定される調整パラメータ数は，この10年間で約10倍程度に増大しており，試運転期間，定期点検期間の短縮のため調整工数の短縮が強く要請されている。

火力発電プラントでは蒸気量，給水，燃料，空気など多数の操作端を発電量指令に従ってプロセス量の変動を最小にするよう制御するため，図4に示すようにAPCは多数のFF/FB制御ループで構成される。すなわち，発電量指令に従ってタービン加減弁が操作されるが，ボイラとタービンの応答差によってボイラ出口の蒸気圧力(主蒸気圧力)が変動しないように給水流量，燃料流量などのボイラ入力指令信号が作成される。ボイラ出口の蒸気温度(主蒸気温度)は，主に給水流量と燃料流量の比率(水燃比)によって制御されるため，ボイラ指令信号に主蒸気温度補正を加え，燃料指令信号が作成される。

火力プラントの制御上の問題点は，時定数が数分～数十分と制御ループによって幅があり，長くかつ多数の制御ループが干渉系を構成しているため，主蒸気温度をはじめ蒸気温度の制御が難しい点にある。このため，火力

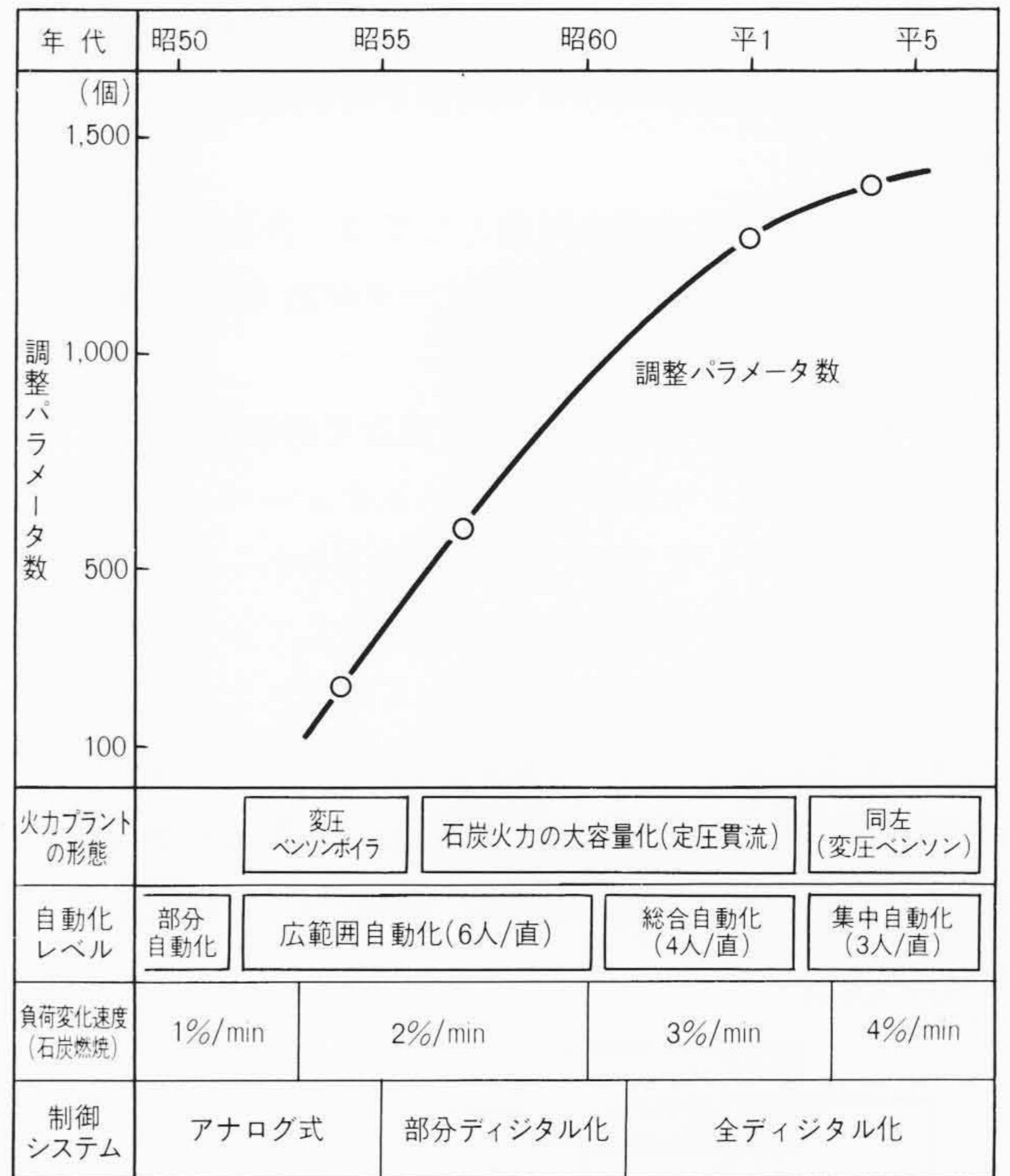


図3 火力プラントの変遷と調整パラメータ数の推移 制御機能の高度化に伴って調整パラメータ数が大幅に増加している。

プラントにとって外乱，すなわち負荷指令が変化すると，これらの蒸気温度が大きく変動する。特に，石炭燃焼火力プラントは，石油やガス燃焼と比べて蒸気温度系の応答遅れがさらに大きい。

この対応として，制御偏差が生じる前に，あらかじめ負荷変化指令の変化分に応じた補正信号を加えている。この動的先行信号は負荷変化時の制御性改善の手段とし

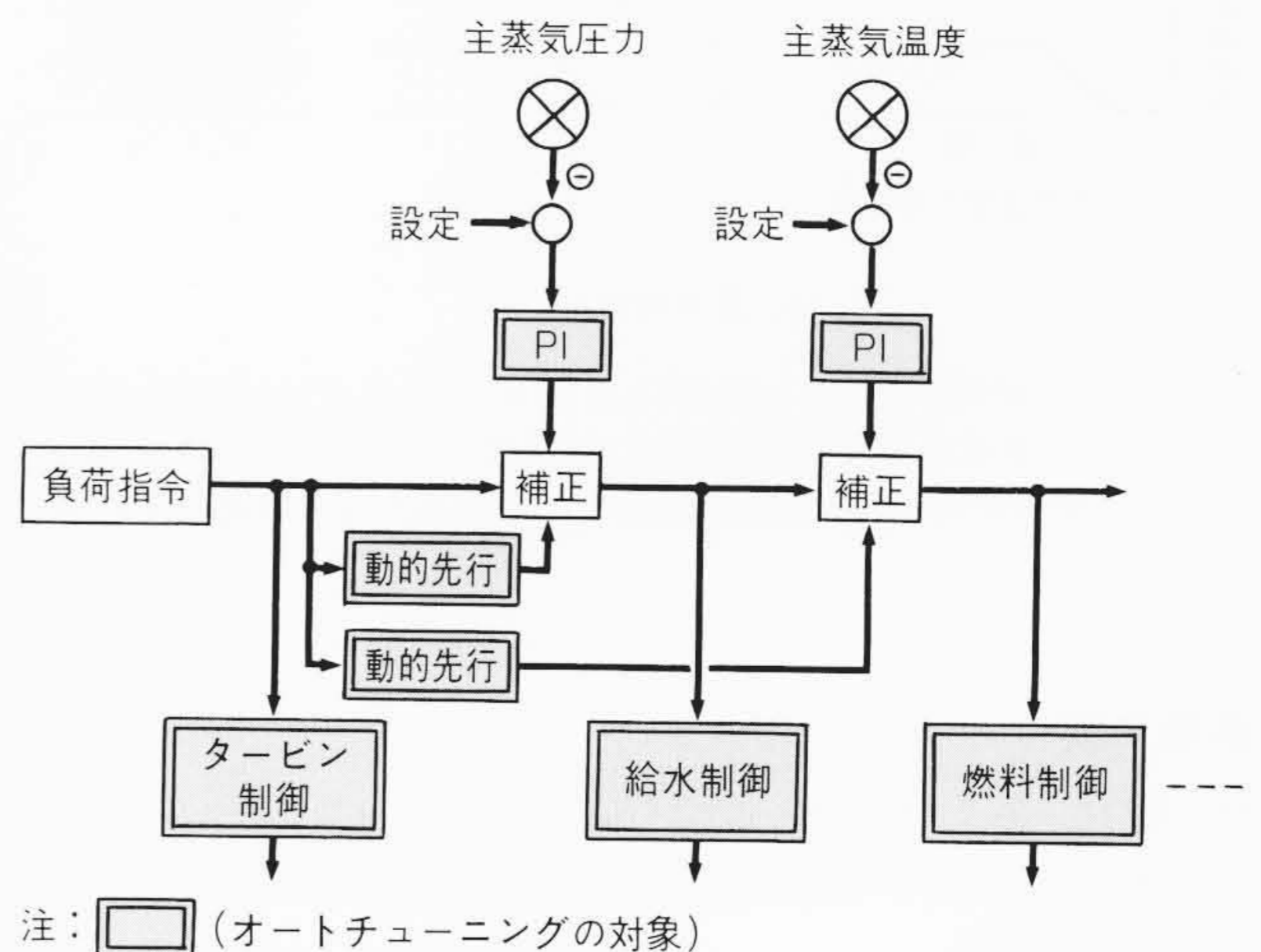


図4 APCの基本制御系とオートチューニングの対象 多数の比例積分制御と先行制御がオートチューニングの対象となる。

て多数のループで用いられているが、最終調整手段として、特に調整員のノウハウや技量を要する難しい調整である。

オートチューニングの対象としては、各制御ループでのFB制御、およびFF制御パラメータがあり、特に動的先行信号の自動調整が重要である。

3.2 オートチューニングシステムとその効果

火力発電プラント制御でのオートチューニングシステムを図5に示す。2.2節に示したFF/FBオートチューニングシステムを、各制御ループに適用している。調整ルールは各制御応答波形の特徴量から作成しているが、例えば、主蒸気温度に対する動的FFCの調整ルールは同図(b)のように負荷変化時の主蒸気温度の応答波形から、動的FFCの投入時期 t_a 、高さ K 、継続時間 t_b を決定して

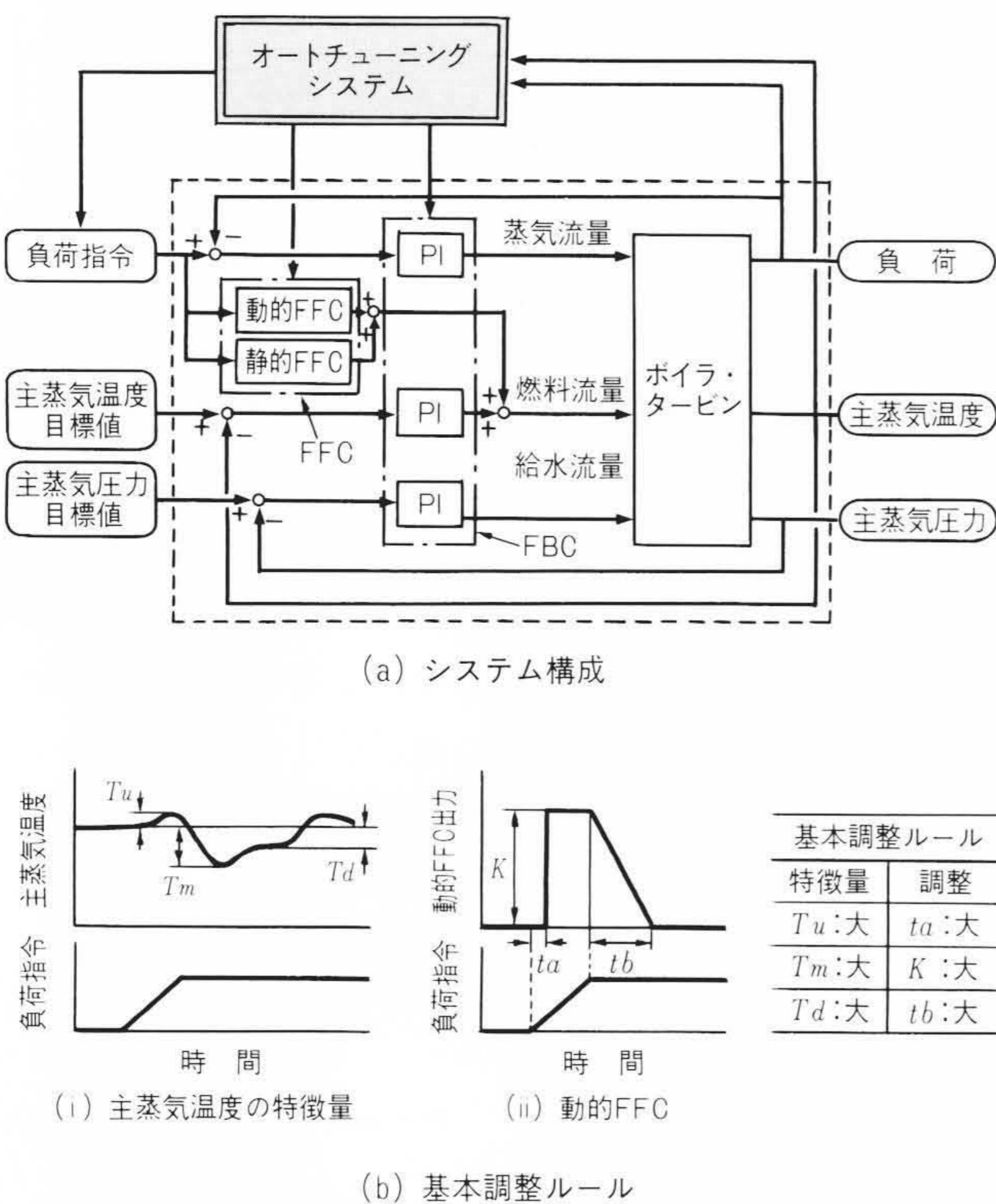


図5 火力発電プラント制御におけるオートチューニングシステム 温度低下量 T_m が大きければ動的FFCの高さ K を大きくするなど負荷変化時の制御応答波形から調整ルールを決定している。

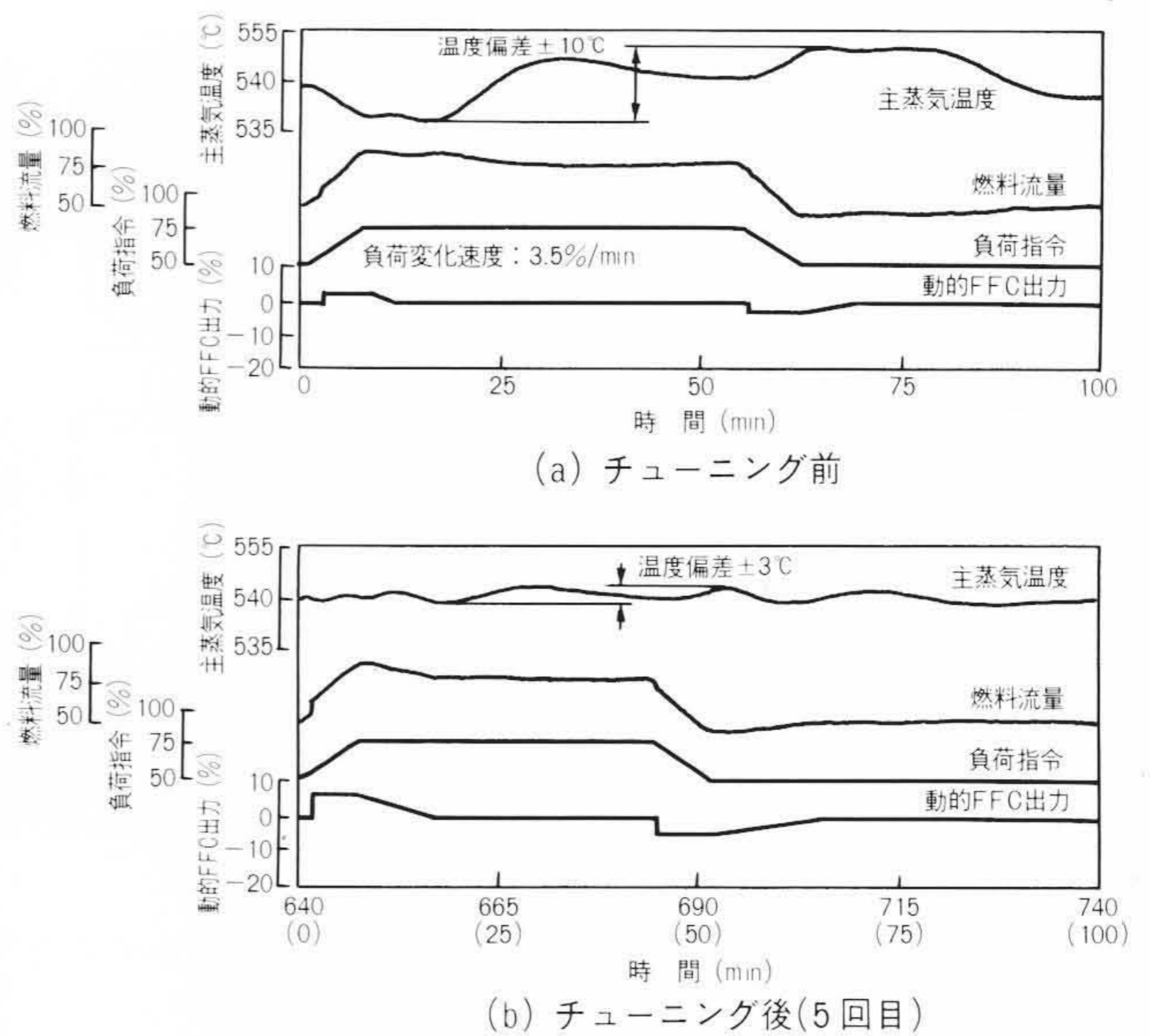


図6 オートチューニングシミュレーション結果 調整回数5回で主蒸気温度偏差が $\frac{1}{3}$ 以下に減少している。

いる。

大容量定圧貫流ボイラプラントの実規模モデルに対し、このオートチューニングシステムを適用したシミュレーション結果を図6に示す。

オートチューニングシステムの適用により、調整工数が従来に比べ約 $\frac{1}{2}$ に低減され、試運転期間、定期検査期間の短縮とともに、プラントの経年変化に対しても、従来よりも最適な調整が可能となり、負荷追従性が向上し、より柔軟なプラント運用ができる。プラントの寿命延長や定期検査の間隔延長にもつながる。

4 おわりに

制御装置のオートチューニング技術に対する要望が強く、ここではファジィ・ニューロを応用したオートチューニング技術について述べた。

今後、これらの技術を実機に適用するために、使い勝手を中心に技術を向上させていく考えである。

参考文献

- 野村, 外: ファジィ推論を応用したPIDコントローラ用オートチューニングシステム, 日立評論, 71, 8, 815~822(平1-8)
- 松田, 外: ニューラルネットワークによる制御ゲインのオートチューニング, 電気学会産業応用部門全国大会,

S137~S140(平成4年)

- 大内, 外: フィードフォワード/フィードバックコントローラのファジィ推論応用自動チューニング方式の基礎検討, 第35回自動制御連合講演会予講集, 3035(平成4年)