

(解説)

# 神鋼神戸発電所における制御システム

## Shinko Kobe Power Plant Control System



山岸克己\*

Katsumi Yamagishi



後藤市男\*\*

Ichio Gotoh



小山武志\*\*

Takeshi Koyama

This particular power plant is a maximum scale IPP facility, and a city-type power plant. Consequently, when designing the plant considerations regarding power supply influence and environmental impact were essential. The key words related to control system design were as follows: readability, automation, and highly centralized control and safety. This paper introduces an overview of the plant's design features.

まえばき = 神鋼神戸発電所は、70 万 kW × 2 基で計 140 万 kW の石炭火力発電所であり、1 号機は 2002 年 4 月に既に営業運転を開始した。また、2 号機は 2004 年 4 月の営業運転開始に向け、各種機器単体試験を行っているところである。

当発電所は IPP 発電所であり、発電する電気の内、発電に必要な消費電力を除く全量を関西電力㈱へ卸供給している。送電量は、関西電力㈱による電力需要の予測を基に決定され、当社へ給電指令として与えられる。当発電所の供給量は神戸市の最大需要量の約 70% をカバーする規模であり、電力系統へ与える影響が大きく、需給バランス調整・電圧調整・周波数調整といった面において重要な役割を担っている。すなわち当発電所は、事業用発電所と同等の信頼性と、与えられた給電指令どおりの確実な運転により、安定的な電力供給責任を担うことが求められる。

また、同時に当発電所は神戸市中心地に隣接する都市型発電所であることから、排煙中の NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、煤塵については最高レベルの排出基準値（1 時間値及び年間総量）を遵守することが求められる。したがって、BTG（ボイラ、タービン、発電機）主設備だけでなく、脱硝装置、脱硫装置、電気集塵機といった環境設備の性能を常に維持した運転が不可欠である。

そのほかにも、燃料である石炭、副生物である灰・石膏などのハンドリング、在庫管理、品質管理も重要であり、発電所を安定的に運転するためには、発電所を構成する多くの設備を常に連動させて稼働させる必要がある。

一方で IPP としてコスト競争力を高めるためには、多様な運転・管理業務を効率化し、少人数によるオペレーションを実現しなければならなかった。

当発電所の制御システムの構築にあたっては、このような背景に対応するため、

- ・ 信頼性あるシステムの構築
- ・ 操作・監視の中央集約化
- ・ 各種自動化の採用

に主眼を置いて計画を行った。

本解説では、当発電所の制御システムの概要について記す。

### 1. 神鋼神戸発電所の制御システム構成

図 1 に神鋼神戸発電所の制御システム構成図を示す。主機である BTG 設備の制御システムは、ユニット計算機（帳票、性能計算）、統括制御装置、プラント自動制御装置：APC（プロセスアナログ制御）、シーケンス制御装置、監視入力制御装置（入出力機能）など機能ごとに分けられた制御装置から構成されている。信頼性を確保するために、これら制御装置及びそれらを結ぶネットワーク、電源系統は二重化し稼働系異常時には無瞬断にて待機系に切替わるようにしている。また、BTG ネットワークは、環境設備や周辺設備のネットワークとも接続し、各設備が適切に連動するために必要な情報を送受信している。

さらに、このネットワークを利用して、環境データ、設備性能・効率、原燃料在庫、発生品品質などの操業情報を管理用計算機で一元管理している。特に SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> などの環境データは、直近の値だけでなく、月平均値処理、年間累積値処理などを自動的に行うことで神戸市との協定値を遵守するために必要な情報を常に把握可能としている。

### 2. 操作監視の中央集約化

#### 2.1 中央操作室

大型発電所では、BTG 主設備と環境設備とは別操作室とすることが多いが、当発電所では当社自家発電での経

\* 鉄鋼部門 IPP 本部 発電部 \*\* 鉄鋼部門 IPP 本部 建設部

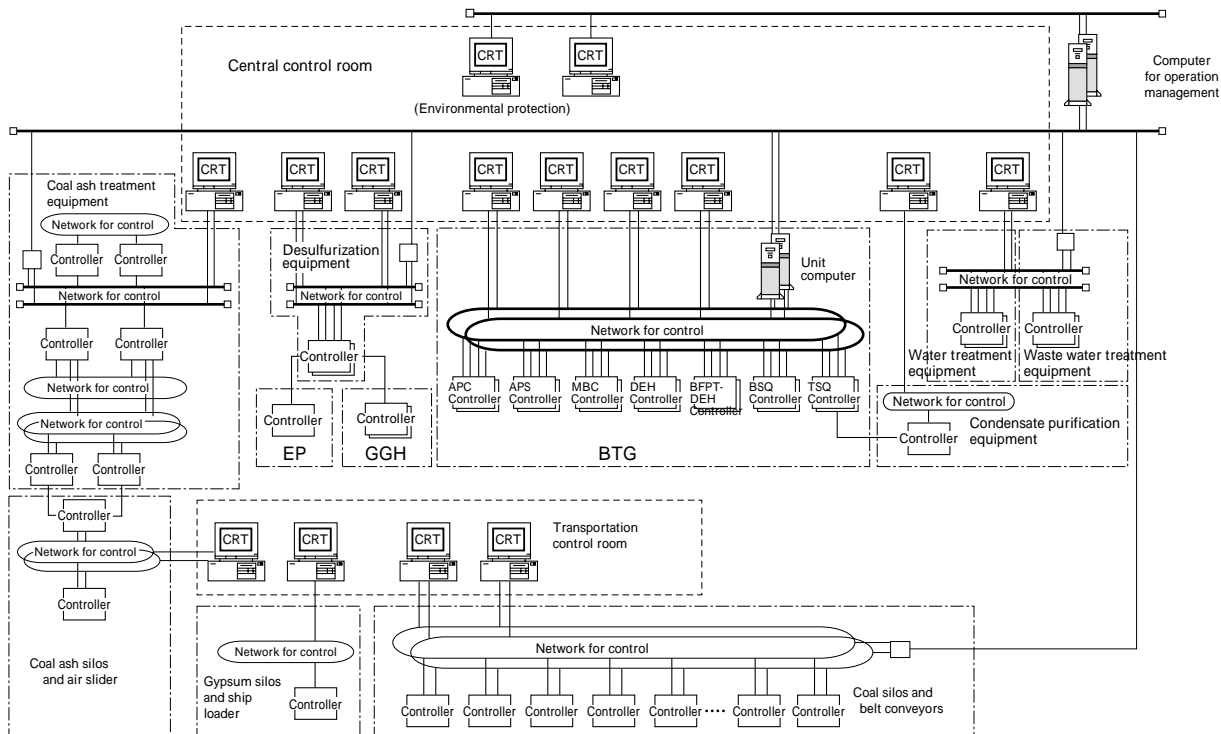


図 1 制御システム構成図

Fig. 1 Control system configuration

験をもとに，中央操作室（写真 1）での集中オペレーションとした（図 2）。

さらに，操作・監視は，従来型の直立操作盤を廃して，完全 CRT オペレーション化とし，大型発電所ではもっと

も CRT 化が進んだ操作室とした。これにより，系統図やトレンド表示，警報といった多くの関連情報を一括監視できるようになり，中央操作室で把握できる情報は大幅に増加，高度化した。



写真 1 中央操作室

Photo 1 Central control room

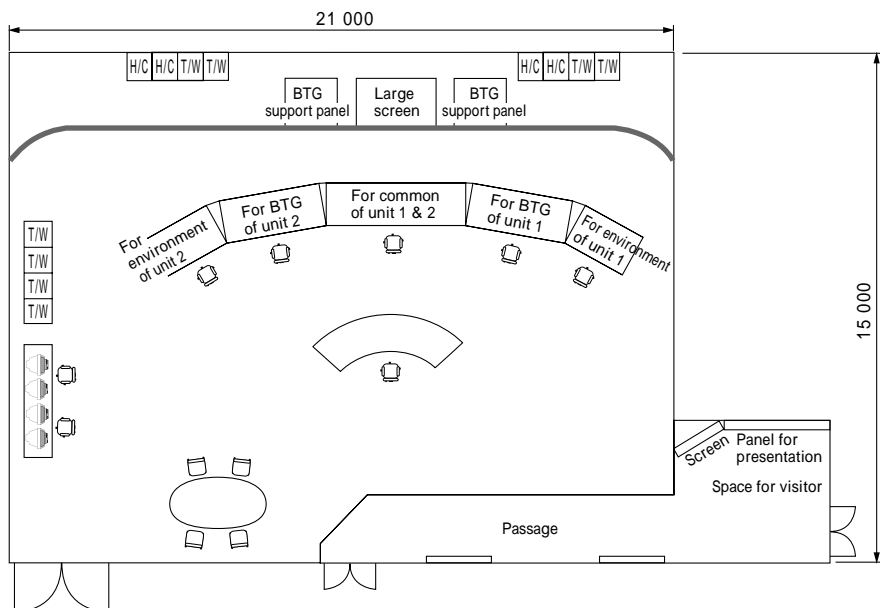


図 2 中央操作室レイアウト

Fig. 2 Layout of central control room

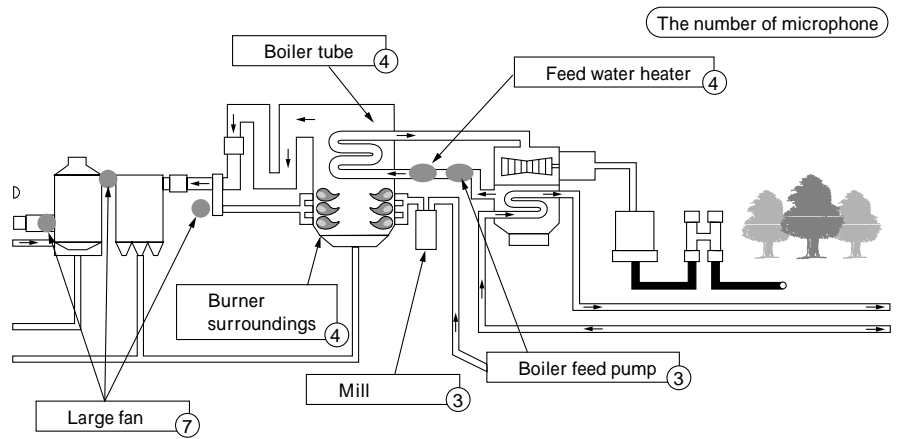


図3 音響測定箇所  
Fig. 3 Sound monitoring point

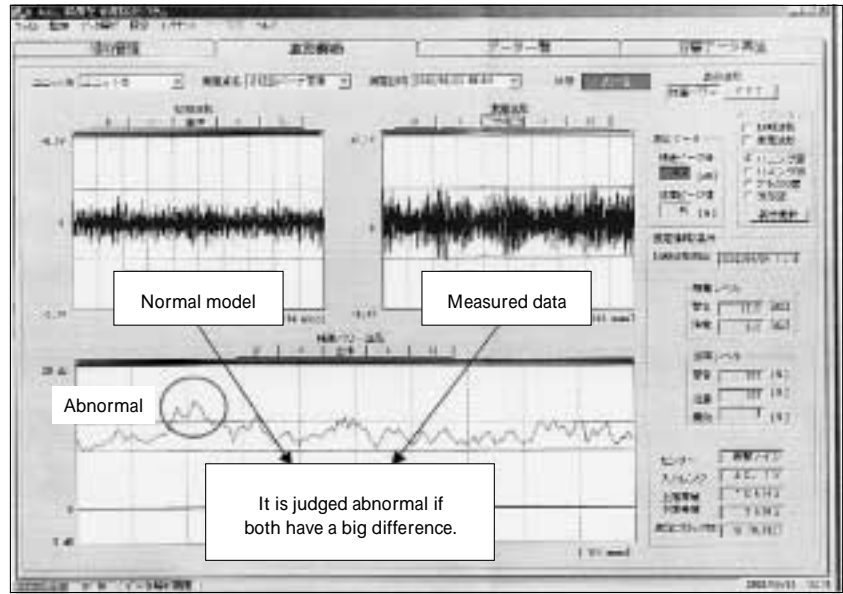


図4 音響診断異常検出原理  
Fig. 4 Detection principle of sound diagnosis

これらにより、発電所全体の状態把握及び運転を効率的に行えるようにした。

## 2.2 監視強化

### 1) 大型スクリーン

中央操作室正面には100インチ大型スクリーン装置を採用し、通常時や異常時の監視、操作状況を映し出すことで、情報の共有化やオペレーションミスの防止を図っている。また、本スクリーンには発電所各所に設置された監視カメラ(計37台)の映像を映し出すことも可能であり、排出ガスなど環境面での監視や、設備の状態など保安、防災面の監視にも役立っている。

### 2) 音響監視システム

石炭火力発電所における典型的なトラブル例として、灰のエロージョンによるボイラの蒸気チューブ破裂(いわゆる噴破)がある。一旦、噴破により蒸気漏れや水漏れが発生し、その部位が拡大すると、長期のプラント停止を招くこととなる。このようなトラブルを初期の段階で発見し適切な処置を行えば、長期停止を回避できるが、従来計器(温度計、圧力計、振動計など)ではその検出が困難な場合が多く、運転員の巡回点検における五感に頼らざるを得なかった。このような背景を踏まえ当発電所では、音響監視システムを導入し、巡回時だけでなく音響による設備の常時監視に取り組んでいる。図3、図4に音響を測定している箇所(全25台)、及び異常検

出原理を示す。

## 3. 自動化

発電所を構成する数多くの設備を安定的に、かつ少人数で運転を行うために、当発電所では様々な制御の自動化を採用している。本章では、その内のいくつかを紹介する。

### 3.1 負荷制御機能

発電所の起動、出力増減、停止といった時刻は、関西電力(株)より前日に給電指令として与えられ、この時刻通りの運転が求められる。

当発電所では、スケジュール管理を行うユニット計算機と、APCなどの各制御装置を統括し必要なタイミングで指令を与える統括制御装置(APS)とを合わせた負荷制御機能を採用した。本機能により、プラントの起動、出力増減、停止といった送電カーブをあらかじめCRTに入力することで、これに見合ったタイミングで、ファン、ポンプ、石炭ミルなどの運転・停止や各種制御弁の開度設定変更が自動的に行えるようにした。

しかし、完全自動化とはいえ、大型プラントの運転はひとつ間違えば大事故につながる恐れもあり人間の判断は必ず必要である。従って、自動進行過程においてボイラ点火、タービン通気、併入といった特に重要なステップ(ブレイクポイント)では、オペレータによる確認を

経たのち、次の自動進行を許可するブレークポイント制を採用し、より確実な自動運転を図った。

### 3.2 送電電力量制御

関西電力管内の IPP では、各 1 時間ごとの送電電力量を、給電指令に対し定格出力の ± 1% 以内の偏差で管理することが求められる。

従来、発電所では発電出力制御を行っているが、発電した電気の一部をファンやポンプといった発電所内の補機動力として消費するため、送電電力は補機動力の使用量により変動する。したがって、従来の発電出力制御機能のみでは、送電電力を一定に保つことが難しい。

よって、当発電所では実績のある発電出力制御に加え、常に送電電力量を監視し、必要に応じ発電出力指令を補正することで自動的に送電電力量を一定に保つ制御を採用した。

図 5 に本制御の概念図を示す。送電電力量の監視はユニット計算機が行い、送電電力量の過不足に応じて APC に対し必要な発電出力指令の補正を与える。ただし、所内動力の変動に伴い随時変化する送電電力量に対応させて常に補正を与えることは、プラント制御上の外乱となり、安定性を損なうことが危惧されたため、発電端電力指令の補正は連続的に行うのではなく、10 分に 1 回の間欠補正とした。

表 1 に自動制御結果を示す。各負荷とも、送電端電力

図 5 送電電力量制御の概念図  
Fig. 5 Transmission power (MWh) control concept chart

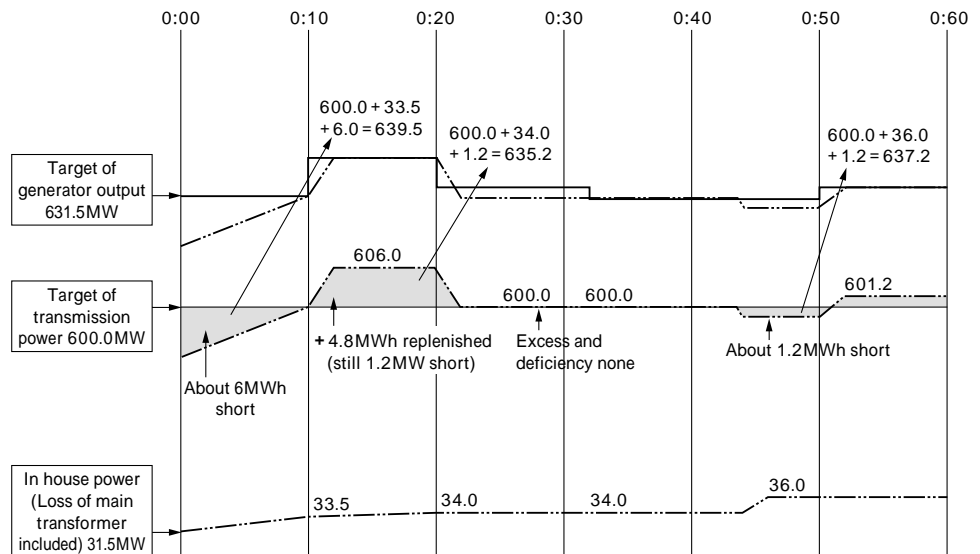


表 1 送電電力量制御結果  
Table 1 Transmission power (MWh) control result

No.	Time zone	Requested power (MWh)	Transmitted power (MWh)	Transmitted power - Requested power (MWh)	MWh correction frequency
(100% load)					
1	23 ~ 24	659	659.20	0.20	5
2	0 ~ 1	659	659.15	0.15	5
3	1 ~ 2	659	659.15	0.15	5
(50% load)					
1	23 ~ 24	330	329.95	- 0.05	2
2	0 ~ 1	330	330.25	0.25	2
3	1 ~ 2	330	329.85	- 0.15	1
(30% load)					
1	23 ~ 24	193	192.90	- 0.10	1
2	0 ~ 1	193	193.50	0.50	2
3	1 ~ 2	193	193.10	0.10	2

量が、目標値(給電指令)に対し 1 時間値で偏差 0.5MWh (0.07%) 以内に制御され、良好な結果が得られている。

### 3.3 送電電圧制御

図 6 に主要電源系統図を示す。発電機で発生した電力は主変圧器で昇圧したあと、関西電力側の 275kV 系統へ送電している。

電力系統の電圧安定化には、変電所における調相設備の運用とともに各発電所での送電電圧の管理が重要である。送電電圧の目標値は、各発電所の出力や、主要変電所との距離などで異なるが、当発電所の場合 271 ~ 275kV を目標としている。

送電電圧は、主変圧器の負荷時タップ切替器 (OLTC) を動作させ、発電機発生無効電力を増減させることで調整するが、一般的に行われている手動での調整では、常時送電電圧の監視と OLTC の操作が必要となり、オペレータ負荷が高くなる。よって、当発電所では送電電圧を目標電圧とするよう自動的に主変圧器 OLTC を動作させる送電電圧制御を採用した。

本制御を採用するにあたっての課題は、OLTC による送電電圧制御と、発電機端子 AVR 制御との相互干渉であったが、送電電圧制御の動作時間を 60 秒以上とするなど、比較的緩慢な制御とすることで、両制御間の干渉を解消した。

図 7 に本制御を用いた運転状況を示す。本発電所での

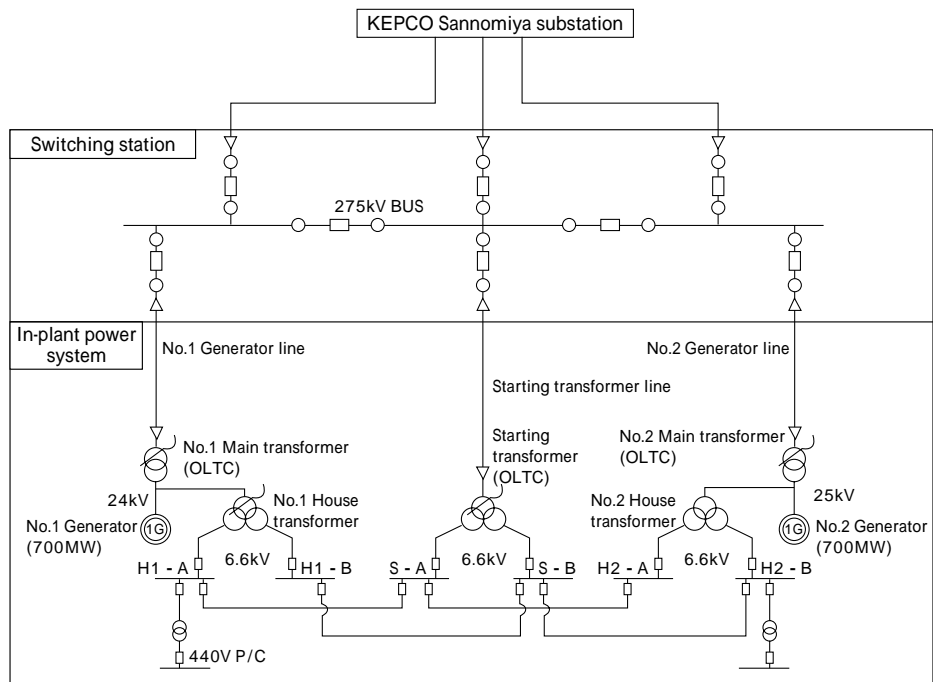


図 6 主要電源系統図  
Fig. 6 Single line diagram

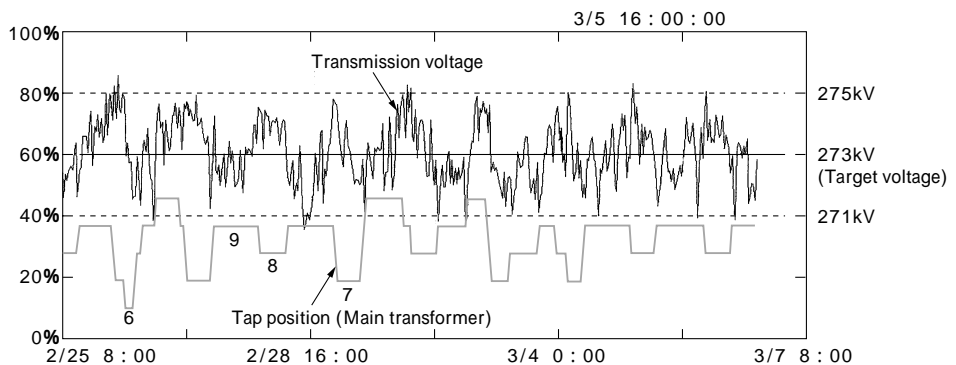


図 7 送電電圧制御結果  
Fig. 7 Result of transmission voltage control system

送電電圧目標 271 ~ 275kV で制御されていることがわかる。

### 3.4 多炭種対応制御

当発電所では複数の銘柄の石炭を使用するが、石炭個々にカロリーや燃焼性といった特性が異なるため、ボイラの運用性能を最適に維持するには使用石炭が変更された場合に、バーナ角度や燃焼用空気量など、相応の制御パラメータの変更が必要となる。

また、石炭焚きボイラでは、油焚きやガス焚きに比べ、石炭灰による伝熱面の汚れが発生し易く、汚れの進行も使用石炭によって異なるため、付着灰除去を行うストロアの最適な運用が求められる。

当発電所では、多くの炭種に対応し、かつ常に最適なボイラの運転を実現するため、炭種変更時の各伝熱面吸収熱量の割合や汚れ度合いを推定し、各種制御パラメータの補正やストロアの作動タイミングの決定を自動的に行う多炭種対応制御を採用した。図 8 に多炭種演算ロジックの概念を示す（各伝熱面吸収熱量推定から生成した吸収熱量指標信号による制御パラメータの補正）。

## 4. 負荷周波数制御機能 (LFC)

電力系統の周波数を一定に維持するためには、各発電所による電力の供給量を常に需要量にバランスさせな

ければならない。

したがって、電力会社の中央給電指令所では、常時需給のアンバランスを抑制することを目的として各発電所への出力の増減指令を送信している。

これが負荷周波数制御 (LFC) と呼ばれるものであり、LFC 指令を受信した発電所は系統周波数の安定化に寄与するため、急速な出力変化が求められる。

当発電所も LFC 機能を備えており、通常の計画的な出力変化では 1% (7MW) / 分であるのに対して LFC 時には 4% (28MW) / 分に対応している。石炭焚きボイラは、一般的にガスや油焚きボイラと比べメタル重量が大きいこと、また燃料である石炭粉砕から燃焼に至るまでの時間遅れなどの理由で高変化率には不利と言われている。しかしながら、LFC 時の給水や燃料の先行投入、タービンガバナやミル油圧、バーナ角度といった操作端の調整を行うことで、4% / 分の高変化率を実現した。図 9 に LFC 動作状況を示す。

本機能により、電力系統の周波数安定化に大きく寄与している。

むすび = 制御システムの構築にあたっては、「発電所としての使命である電気の安定供給」、「都市型発電所としての環境基準値の遵守」を最重要課題とし、設備の信頼性

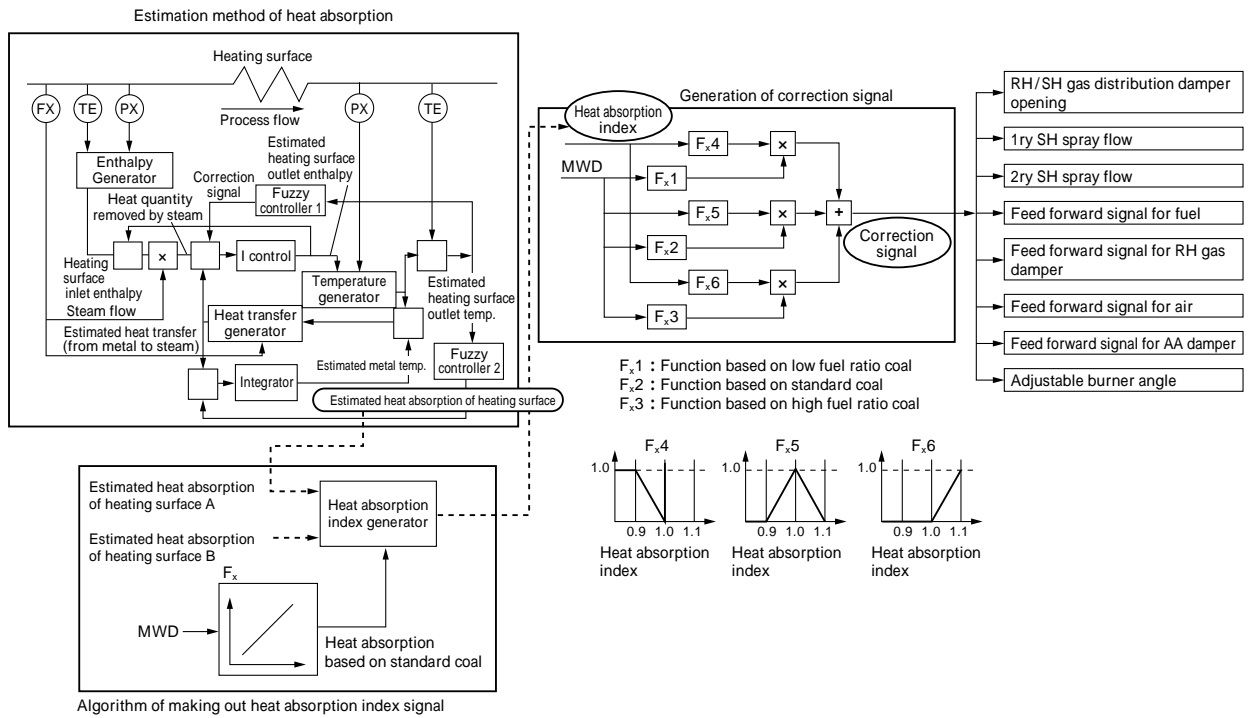


図 8 多炭種演算ロジックの概念図  
Fig. 8 Concept chart of multi charcoal kind correspondence operation logic

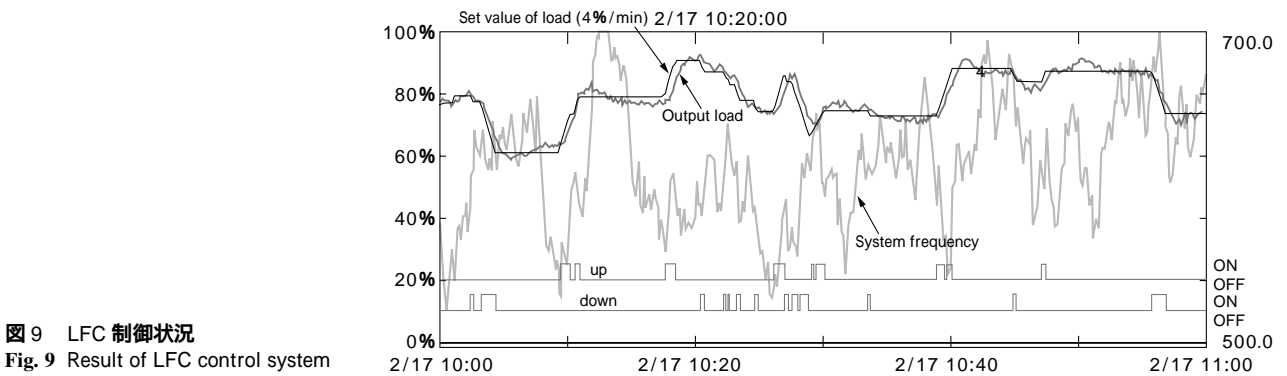


図 9 LFC 制御状況  
Fig. 9 Result of LFC control system

向上はもとより，各種自動化の採用，集中監視，また発電所データの一元管理により設備の正確な状態把握を行えるようにすることで，発電所の安定かつ安全な運転を実現した。

またこうした取組みは，オペレータ負荷の軽減にも寄与し，BTG 及び環境設備のオペレータ数は，ほかの同規

模発電所で一般的な直 7~10 名 / 1 ユニットに対し，直 5 名での運転を可能とした。