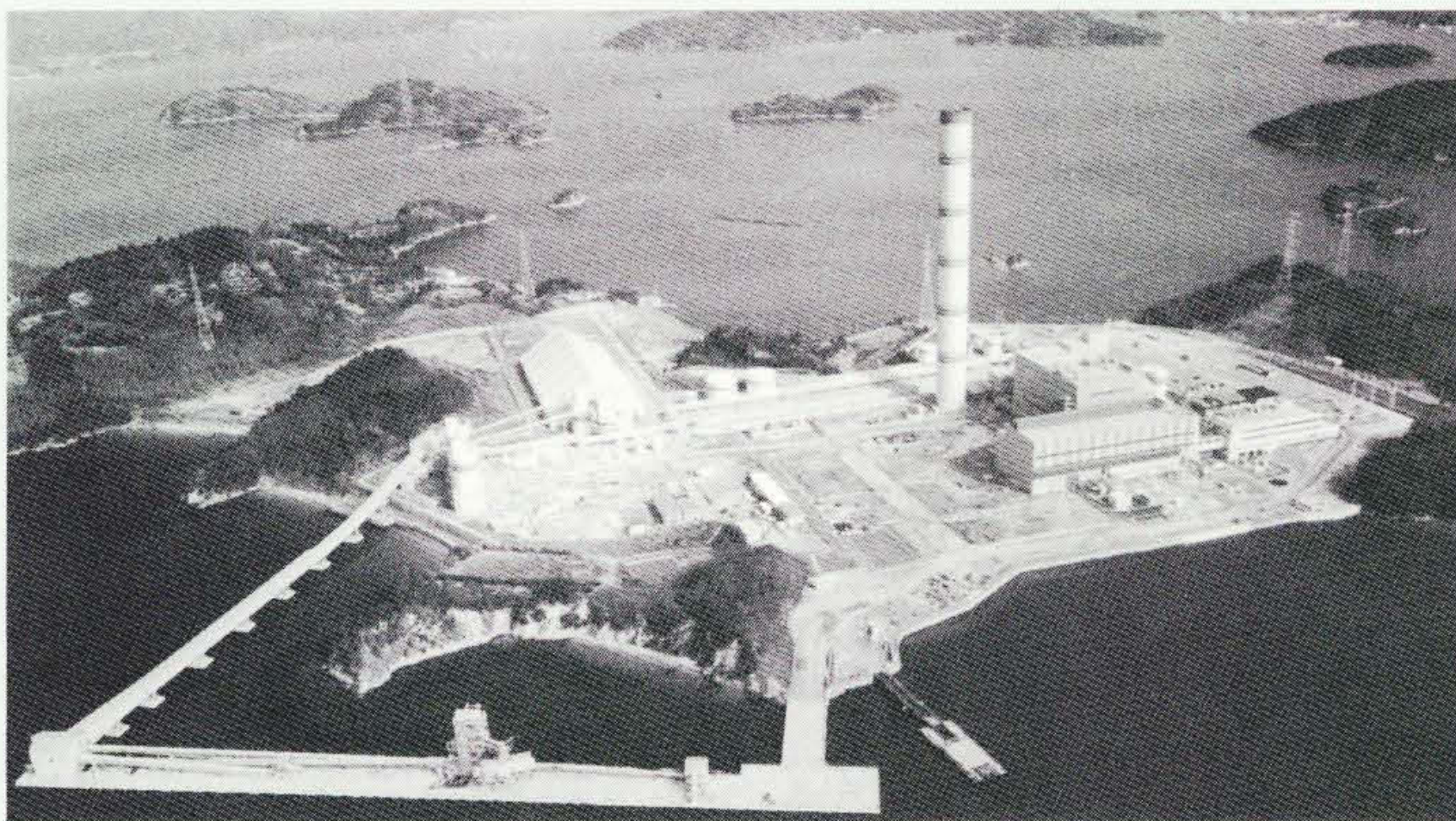


大容量加圧流動床ボイラ複合発電プラントの完成

Completion of a Large-Capacity Pressurized Fluidized Bed Combustion Boiler
Combined Cycle Power Plant

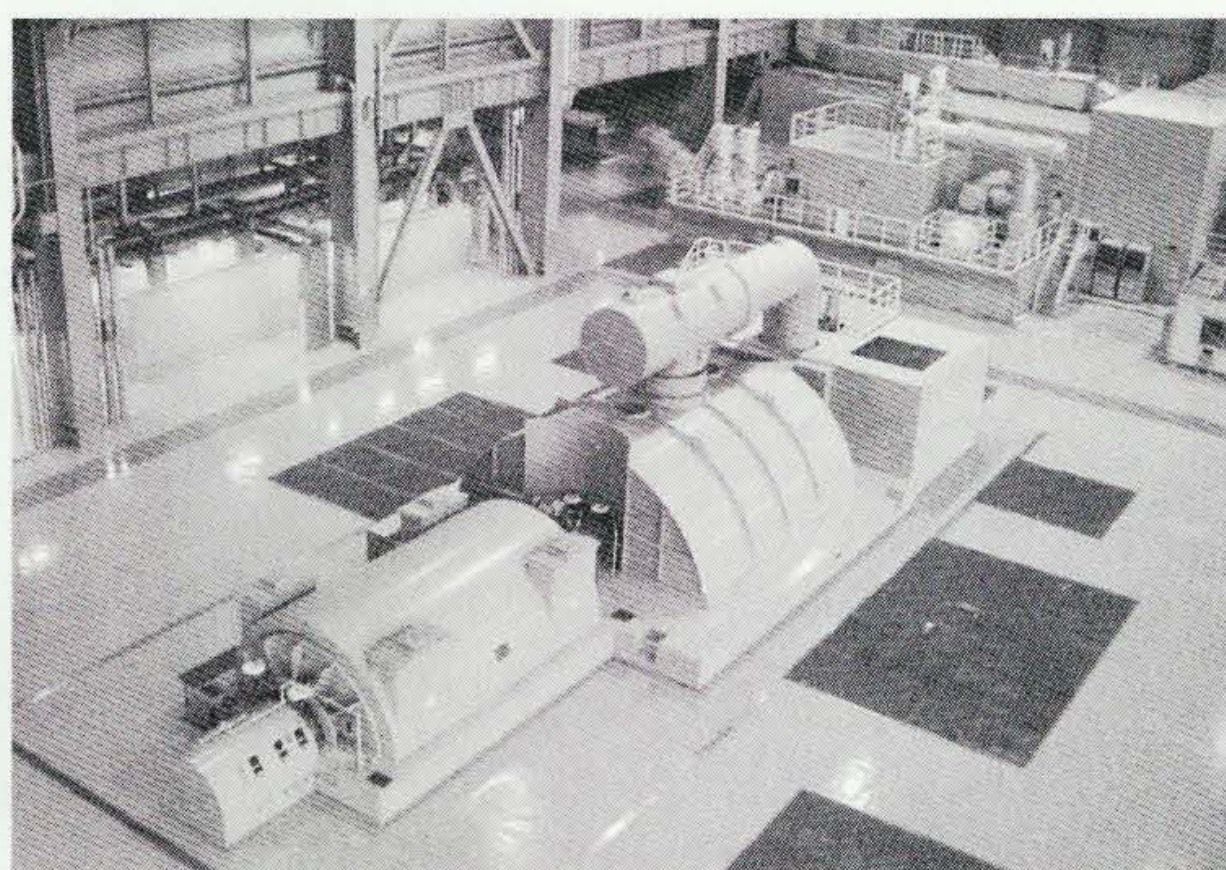
小松秀明 Hideaki Komatsu 村松 勝 Masaru Muramatsu
前田政勝 Masakatsu Maeda 大澤 陽 You Ôsawa



(a) 中国電力株式会社大崎発電所納め第1号系列1-1号250 MW加圧流動床ボイラ複合発電プラントの外観



(b) 同発電所の双炉ボイラ(通称“W.B.”)の海上水切り状況



(c) 同発電所の蒸気タービン(左下)とガスタービン(右上)

大容量加圧流動床ボイラ複合発電プラント

日立グループが製作した主機が納められている中国電力株式会社大崎発電所の全景と、同所内主機外観を示す。ボイラは双炉型であり、蒸気タービンとガスタービンをT字型に配置した。

加圧流動床ボイラ複合発電は、環境性能に優れ、燃料の多様化に対応できる発電技術として注目されている高効率新発電方式である。日立グループは早くからこの方式のプラントの開発を推進しており、このたび、中国電力株式会社大崎発電所第1号系列1-1号機として250 MWの発電プラント一式を日立グループの初号機として納入した。世界的には80 MWクラスの加圧流動床ボイラ複合発電プラントがすでに運転に入っているが、250 MWの容量は世界で最大級のものである。このプラントの建設にあたっては、中国電力株式会社の指導の下で、大規模かつ数多くの研究開発や技術検討を行った。

このプラントの建設は順調に進み、当初予定どおり2000年11月に営業運転を開始した。試運転期間中に、プラント熱性能、環境性能、プラント起動停止、負荷変化特性などが当初計画値を満足していることを確認した。さらに、約1,000時間の連続運転も達成した。

1 はじめに

地球環境問題が世界的な重要課題として高まっている中で、石炭燃焼火力発電プラントでは、発電効率の向上によってCO₂を削減し、ボイラ排ガス中のSO_x、NO_x、およびばいじんの排出量を少なくする新発電方式の開発が望まれている。

日立グループは、環境特性に優れ、コンパクトに配置できる高効率な石炭燃焼火力発電プラントとして、250 MW加圧流動床ボイラ複合(PFBC: Pressurized Fluidized Bed Combustion Boiler Combined Cycle)発電プラントの初号機(1-1号機)を中国電力株式会社大崎発電所に納入した。このPFBCプラントの開発に当たっては、中国電力株式会社の火力発電技術センター4 MWth

テストプラントで共同研究を行うなど、設計段階から製造・据付け・試運転に至るまで種々検討を重ね、1995年11月の着工以来約40か月にわたる据付け工事を終え、1999年3月から総合試運転を続け、2000年11月に営業運転を開始した。

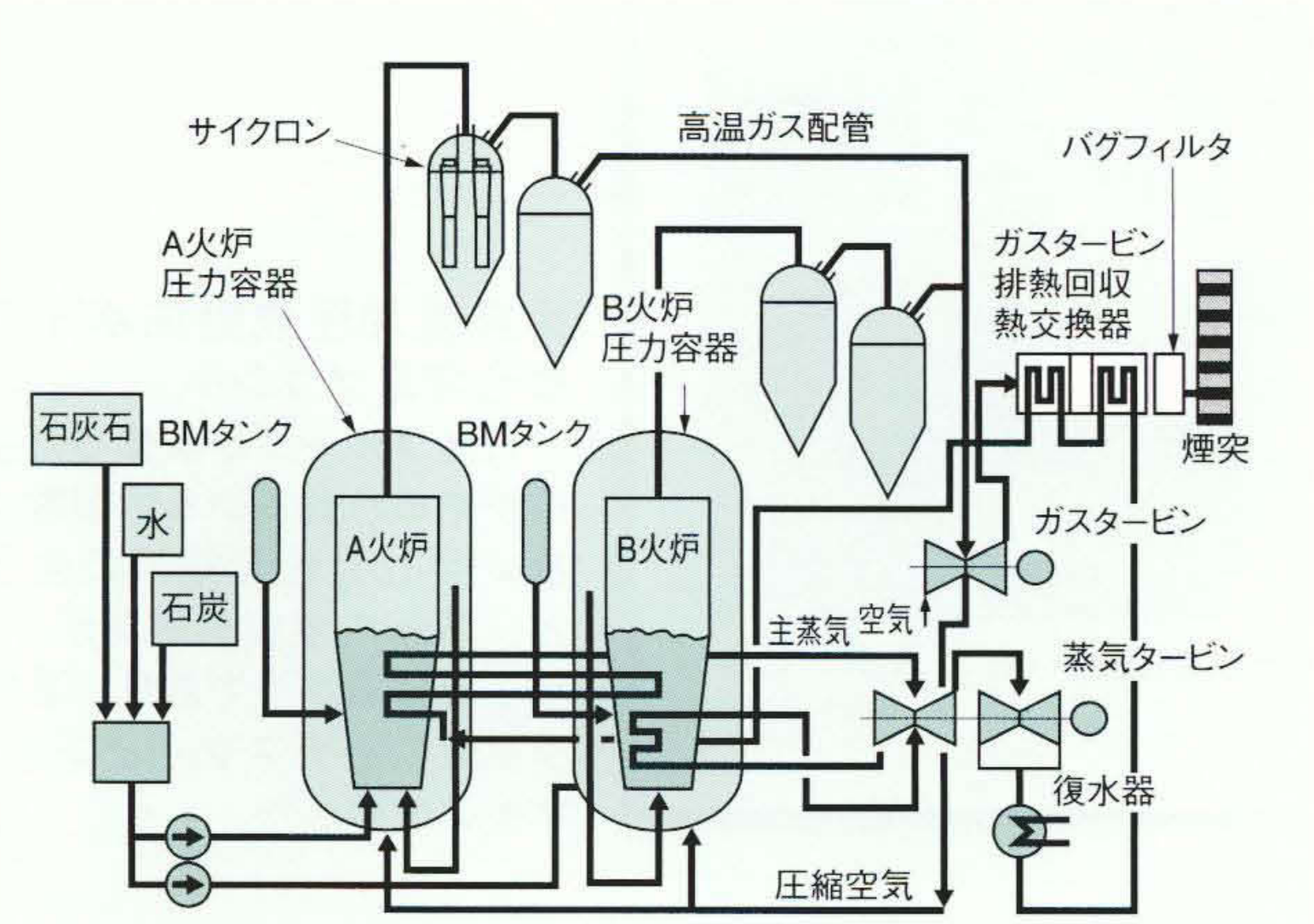
ここでは、この250 MW PFBCプラントの計画概要と試運転実績について述べる。

2 250 MW PFBCプラントの設備概要

2.1 全体のシステム構成

このプラントの全体構成を図1に、プラント仕様を表1にそれぞれ示す。

中国電力株式会社大崎発電所納めの1-1号機は、圧力容器内に設置した加圧流動床ボイラから発生する蒸気で



注：略語説明 BM(Bed Material；流動媒体)

図1 250 MW PFBCプラントの全体構成

2火炉・2塔式ボイラに、燃料と圧縮空気と給水を送る。ボイラ内で石炭を燃焼させ、ボイラから蒸気と高圧ガスを取り出す。

表1 250 MW PFBCプラントの主な仕様

このプラントの脱じん方式は、セラミックフィルタ方式ではなく、「2段サイクロン+バグフィルタ方式」である。

項目	仕様
型式	加圧流動床ボイラ複合発電
プラント出力	250 MW
蒸気タービン出力	215 MW
ガスタービン出力	44 MW
蒸気条件	16.6 MPa 566/593 °C
脱じん方式	2段サイクロン+バグフィルタ
脱硫方式	炉内脱硫
脱硝方式	無触媒+有触媒脱硝
燃料供給方式	湿式(石炭+水+石灰石)
ガスタービン起動方式	起動用電動機+起動用燃焼器
プラント発電端熱効率	41.5%

蒸気タービンを駆動し、2段12基×2系列サイクロン(専用圧力容器内に配置したマルチサイクロン)で除じんしたガスによってガスタービンを駆動する「複合発電システム」である。ボイラの流動媒体に石灰石を採用することによって炉内脱硫ができ、SOx発生量を低く抑えることができる。ボイラ型式は2火炉・2塔式とし、ガスタービン型式としては1軸ガスタービンを採用した。なお、燃料である石炭は、脱硫剤かつ流動媒体である石灰石と水を混合したCWP(Coal-Water Paste)方式で供給する。

2.2 主機の設備概要

(1) ボイラ

約1 MPaのボイラ炉内加圧下で燃料を燃焼させることによって炉床負荷を高め、所要炉断面積を節減(コンパクト化)している。流動層内での流動均一・安定性・温度均一性などを確保するため、前後壁への傾斜壁の採用や、層内伝熱管の均等配置、炉底空気分散ノズルの多数・均等配置などに配慮した。燃料供給系統に関しては、燃料の石炭・石灰石・水を圧力容器の外で混合したCWP方式で圧力容器内の流動層火炉へ供給することにより、圧力容器の貫通配管員数を低減するとともに、安全性の向上を図っている。ボイラ構成については、運転制御性の向上に加え、建設場所が瀬戸内海の島であることから、輸送や据付けの合理化も考慮した2火炉・2塔式(通称：W.B.)とし、バブコック日立株式会社呉事業所内で完全モジュール製品として出荷した。

流動層内温度は865 °Cであり、層高を2.5~4.0 m間で変化させて層内に設置した伝熱管の有効面積を変えることにより、ボイラの蒸気発生量を調整している。ボイラ出口排ガスは、2段式サイクロン集じん器でばいじん濃度を1,000 mmg/m³N以下まで脱じん後、ガスタービンに送気される。

なおSOxは、炉内の石灰石と、石炭とともに供給する石灰石によって炉内脱硫される。低温燃焼による発生抑制と排煙脱硝(無触媒+有触媒)装置によってNOxを低減することから、環境を配慮したボイラと言える。

(2) ガスタービンと蒸気タービン

ガスタービンは、中国電力株式会社柳井発電所と同型式のF7EA型をベースとして、PFBC用に改造を加えたものである。ボイラから来る石炭灰を含んだ高温ガス(約840 °C)に耐えられるように、動・静翼を厚肉化し、翼コーティング仕様を改善した。また、ガスタービンの起動では、起動用電動機とガスタービン起動用燃焼器を併用する方式とした。ボイラへの送風量調整では、ガス

タービン圧縮機入口ダクトに設けた圧縮機入口減圧弁と、圧縮機入口案内翼で行う方式とした。

蒸気タービンでは、ガスタービンの排熱を蒸気タービンの復水と給水系統で回収する「ヒートサイクル」を採用した。さらに、プラント熱効率の向上を図るため、蒸気タービン型式については、高負荷運転を考慮して「TCDF-33.5インチ」を採用した。

2.3 制御設備

PFBCプラントでは、制御対象補機や操作端数が多く、制御システム規模が大きくなる。また、ボイラの燃料・空気系の時定数が長いことから、層高・層温度制御による蒸気温度を含めた制御性向上に加え、自動化範囲の拡大と少人数運転が求められる。このため、このプラントでは、大容量・高速化コントローラで、高速伝送ネットワークシステムとして信頼性向上を目指して開発した総合監視制御システム“HIACS-7000”を、火力発電所として初めて適用した。

この監視制御システムの特徴は以下のとおりである。

(1) 制御システムは、中央監視盤と計算機・制御装置で構成した。中央監視盤は、5台のCRTを実装した自動化盤、大型スクリーン盤、および個別操作補助盤で構成した。中央操作には電気を含む全面CRTオペレーションを採用し、膨大な監視情報を操作できるように、高機能・高性能化CRTプロセッサを適用した(図2参照)。

(2) 自動化にあたっては、制御用計算機と制御装置の最適な機能分担を行い、海水系統起動から全負荷、さらにプラント停止までを系統ごとにシーケンシャル化するとともに、制御計算機による全自動化プラントを計画した。また、定例操作などについても遠隔化とシーケンシャル化により、運転面での省力化を図った。

(3) ボイラ制御装置、タービン制御装置、シーケンス制

御装置などの主要な制御装置にはHIACS-7000システムを適用し、系統単位水平分散システム構成とした。大容量で高性能なコントローラによるコントローラの統合と100 Mビット/s高速ネットワークの適用により、全面CRTオペレーションを可能とするとともに、良好なヒューマンインタフェース性を実現した。

(4) 従来ワイヤード方式で構成していた補機インタロックにPCM(Programmable Control Module)とリモートPI/O(Process Input and Output)を採用することにより、補助リレー盤・変換機盤の大幅な削減と、現地改造などの柔軟な対応を図ることができた。リモートPI/Oを現場装置することにより、ケーブル工事の大幅な削減も図った。

3 試運転実績

3.1 プラント性能実績

現地の大気温度がプラント性能計画の大気温度である15℃とほぼ一致する季節と時間帯にプラント性能を確認するために、プラント定格出力である250 MWで2000年5月に試験を実施した。その結果、各設備ともすべて計画の出力と効率を満足した。PFBCボイラの特徴であるボイラ火炉内脱硫性能や、火炉出口の高温ガス管にアンモニアガスを注入する無触媒脱硝、さらに2段2系列のマルチサイクロンなどの性能が良好に機能した結果、NO_x・SO_x・ばいじんともに計画値を満足した(表2参照)。

3.2 プラント起動・停止実績

ガスタービン起動からプラント定格負荷到達までのコールドモードでの起動実績例を図3に示す。

PFBCプラント起動での特徴の一つは、電力系統に同期並列した後、系統から電力を取り入れてガスタービン発電機を同期電動機として運転し、これによってガスター

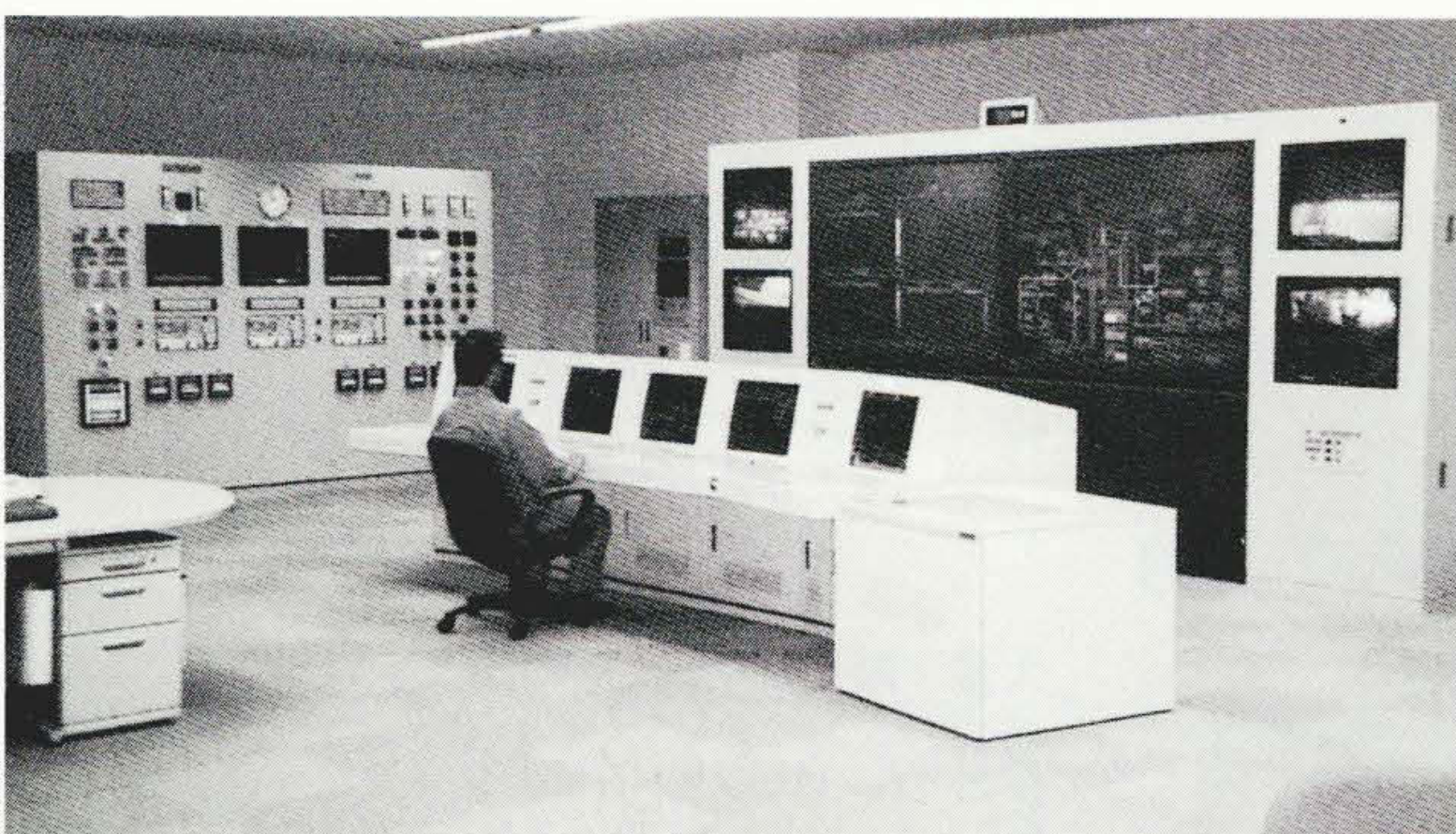


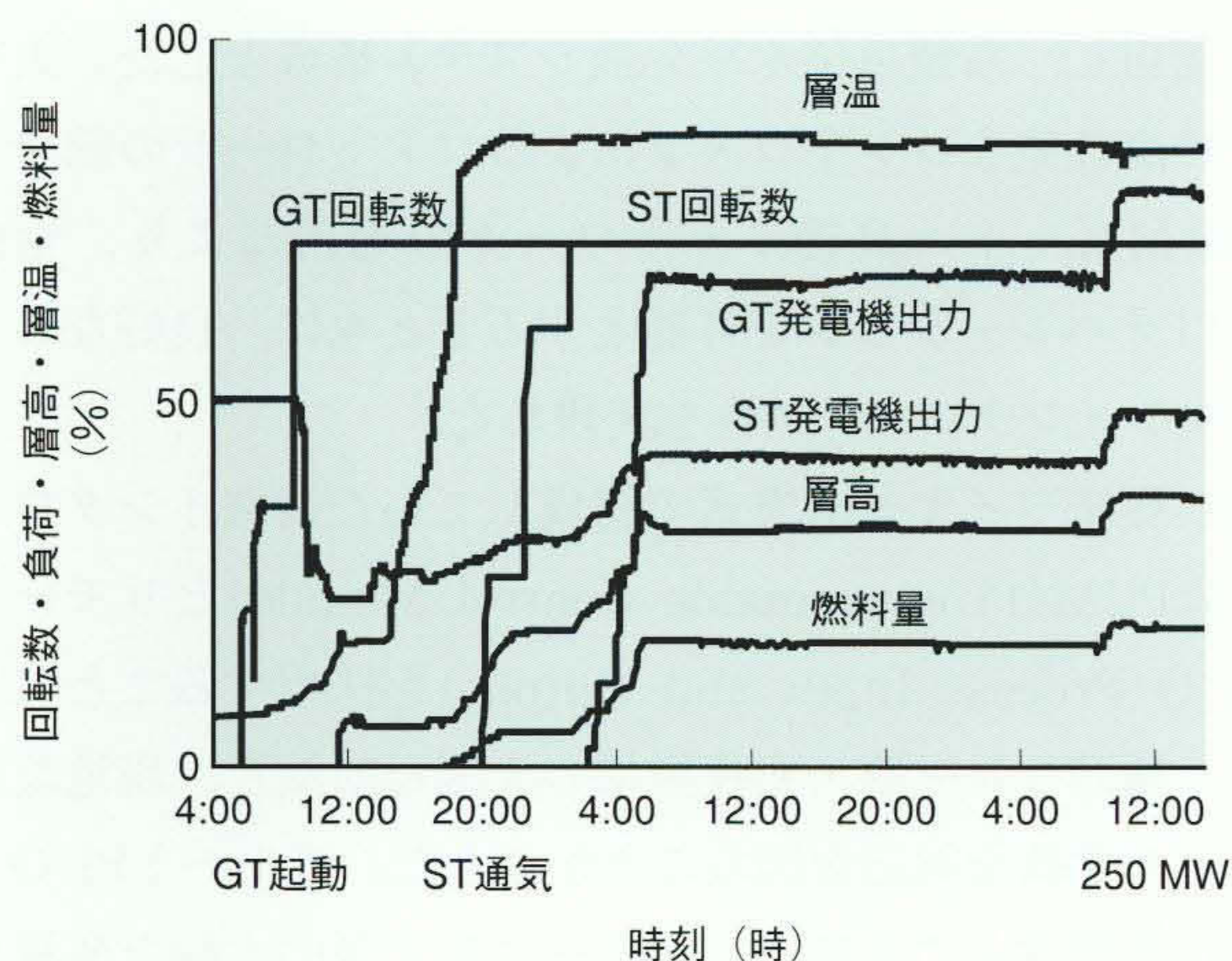
図2 中央制御室

中央制御室は、自動化盤、大型スクリーン盤、および個別操作補助盤で構成している。

表2 性能試験でのプラント性能実績

環境性能および熱性能ともに計画値を十分満足した。

項 目		計画値	実績値
プラント発電端熱効率		41.5%	42%以上
脱硫	煙突入口SO _x	76 ppm	7.1 ppm
	脱硫効率	90%以上	97.7%
脱硝	無触媒脱硝脱硝効率	37%	38.0%
	有触媒脱硝脱硝効率	85%	88.3%
脱じん	煙突入口NO _x	19 ppm以下	14.4 ppm
	サイクロン効率	97.1%	97.2%
	ガスタービン入口濃度	≤1,000 mg/m ³	≤533 mg/m ³ N
バグフィルタ出口濃度		≤9 mg/m ³ N	≤3.5 mg/m ³ N



注：略語説明 GT (Gas Turbine), ST (Steam Turbine)

図3 コールドスタートでの実績例の特性(2000年8月27日～8月29日)

ガスタービン起動後、ボイラに燃料を投入し、ボイラ発生蒸気で蒸気タービンを駆動する。

ビン圧縮機を駆動し、火炉へ燃焼用空気を送る点である。火炉に燃料を投入後、火炉の層温と層高の上昇に伴い、ボイラから蒸気と石炭燃焼高温ガスを発生させる。この負荷上昇過程で、ガスタービン発電機は同期電動機から同期発電機に切り替わる。

3.3 プラント負荷変化

PFBCボイラでは、燃料の操作に対して層温と主蒸気温度の双方が変動する。このため、機器保護の観点からも、両者をそれぞれ一定の制限範囲内で安定に制御する必要がある。

そのため、このボイラでは、燃料のほかに層高を調節することにより、両者の安定制御を図った。層高を調整すると、火炉内にある熱交換器と流動層との接触面積が変わり、火炉から蒸気への伝熱量が変わることから、層温と蒸気温度の双方が変動する。したがって、PFBCプラントでは、燃料流量と層高を同時に操作し、層温と主蒸気温度を制限範囲内に保持できる制御方式が求められる。そのため、操作性が比較的によい燃料流量で蒸気温度を制御し、層高で比較的許容範囲の広い層温を制御する方式とした。

4 おわりに

ここでは、中国電力株式会社大崎発電所納め第1号系列250 MW1-1号の設備の概要と試運転実績について述べた。

このPFBC1号機では、試運転工程を順調に消化し、計画性能を良好に満足していることを確認した。今後、運転実績を積み上げることにより、PFBC特有機器のいっそうの信頼性を確認していく考えである。

終わりに、大崎発電所の計画から建設・試運転に際しては、中国電力株式会社の関係各位から長期間、多方面にわたるご指導とご協力をいただいた。ここに深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 堀内，外：大崎加圧流動床複合発電システムの試運転状況，日本機学会7回動力・エネルギー技術シンポジウム(2000.10)
- 2) 中川，外：石炭利用の次世代火力発電システム，日立評論，79，3，261～266(平9-3)
- 3) 三島，外：石炭利用の次世代火力発電，日立評論，76，10，681～686(平6-10)
- 4) O. Ito, et al.: Direct Measurement of Particle Motion on a Large-Scale FBC Boiler Model, Proceedings of the 15th International Conference on Fluidized Bed Combustion, FBC99-0023 (May1999)

執筆者紹介



小松秀明

1974年日立製作所入社，電力・電機グループ 火力・水力事業部 技術本部 火力システム部 所属
現在，火力システム計画に従事
日本機械学会会員
E-mail: hideaki_komatsu @ pis. hitachi. co. jp



前田政勝

1965年パプコック日立株式会社入社，呉事業所 火力技術本部 火力設計部 所属
現在，火力ボイラ取りまとめ業務に従事
E-mail: maeda @ kure. bhk. co. jp



村松 勝

1965年日立製作所入社，電力・電機グループ 情報制御システム事業部 発電制御システム設計部 所属
現在，火力制御システム設計取りまとめに従事
E-mail: masaru_muramatsu @ pis. hitachi. co. jp



大澤 陽

1992年日立製作所入社，電力・電機グループ 電力・電機開発研究所 環境システム部 所属
現在，火力プラント制御システムの研究開発に従事
日本機械学会会員
E-mail: you_oosawa @ pis. hitachi. co. jp