

加圧流動床 (PFBC) 複合発電プラントの開発

Development of PFBC Commercial Plant with High Temperature Ceramic Filters

原動機事業本部 金子 祥三^{*1} 塚越 敬三^{*2}
内田 聡^{*3}
長崎造船所 木下 正昭^{*4}
技術本部 徳田 君代^{*5}

加圧流動床 (PFBC) 複合発電プラントは、将来の電源構成の中で重要な役割が期待される石炭を燃料とした、高効率発電技術として注目されている。当社は北海道電力(株)苫東厚真発電所第3号機(出力85MW)において、高温・高圧下で精密脱じんを行うセラミックフィルタを採用した世界初のPFBC商用プラントを、独自技術にて開発した。同プラントの1997年12月までの試運転実績は、プラント累積発電時間5621h、100%負荷累積運転時間1712h、100%負荷最長連続運転時間562hであり、PFBC複合発電プラントとしての技術的な課題をすべて解決し、商用機として良好な運転特性を確認した。

In recent years, considerable attention has been given to the PFBC (Pressurized Fluidized Bed Combustion) plant from the standpoint of high efficiency and reducing CO₂ emissions. MHI has developed an innovative PFBC plant for the Hokkaido Electric Power Co., Inc. (HEPCO) Tomatoh-Atsuma Unit No.3, which is the first commercial PFBC plant in Japan. This plant is equipped with full capacity ceramic filters which operate at 850°C. Its trial operation is now successfully underway and the commercial operation will start in March 1998. Several problems were experienced during the initial stage of trial operation, including a pressure drop increase in the ceramic filters. All these problems were solved one by one the joint efforts of HEPCO and MHI. Load rejection tests, load swing tests, and automatic power control tests were successfully done in the spring, and tests using various kinds of coal were also successfully done in the summer of 1997.

1. ま え が き

石炭は、他の化石燃料と比較して世界各地に存在し、かつ圧倒的な埋蔵量を有するため、低価格での安定供給が可能で、将来の電源構成の中で重要な役割を担うものと考えられている。しかし、石炭火力発電においては、単位出力当りのCO₂排出量が多いため、環境適合性と経済性の両立が課題となる。こうした背景の下、石炭を燃料としガスタービンと蒸気タービンを組合せて高効率化を図った加圧流動床 (PFBC: Pressurized Fluidized Bed Combustion) 複合発電プラントが近年注目を集めている。

当社は、PFBCシステムの中核を成す精密脱じん装置として、セラミックフィルタを世界で初めて採用した商用機を、北海道電力(株)苫東厚真発電所第3号機(図1参照)として建設し、現在、1998年3月の営業運転開始を目指して順調に試運転を進めている。

る。1997年12月末時点で、プラント累積発電時間5621h、100%負荷最長連続運転時間562hを達成する等商用機として良好な運転特性を確認した。

本報では、PFBCプラントの開発経緯から苫東厚真発電所第3号機の設計、建設及び試運転成果までを報告する。

2. PFBC 複合発電プラント

2.1 原 理

PFBC複合発電プラントは、石炭を燃料とし、ガスタービンと蒸気タービンを組合せた高効率複合発電プラントである。以下主要系統を説明する。

まず、燃料である石炭は、数mm以下に粗粉碎され、脱硫材(石灰石)と共に圧縮機からの高圧空気によりボイラ内へ搬送される。ボイラ内では、石炭灰や脱硫材の混合物を流動材とする流動床が形成され、層内で燃焼すると同時に脱硫反応が行われる。また、燃焼温度が微粉炭だきボイラに比べて低いことから、NO_xの発生を低く抑えることができる。

石炭の燃焼により発生した熱は、層内に配置した伝熱管により効率良く吸収され、蒸気が発生される。発生蒸気は蒸気タービンへ導かれ、発電を行う。

一方、ボイラからの燃焼ガスは、サイクロンで粗脱じん、セラミックフィルタで精密脱じんされた後、ガスタービンへ導かれる。ガスタービンでは、発電を行うとともに空気圧縮機を駆動する。

ガスタービンの排ガスは、脱硝装置によりNO_xを除去された後、排熱回収給水加熱器により熱回収されて、煙突から排出される。

2.2 システムの特徴

(1) 高い熱効率

ボイラは、加圧下における高い酸素分圧の下で石炭を燃焼し、

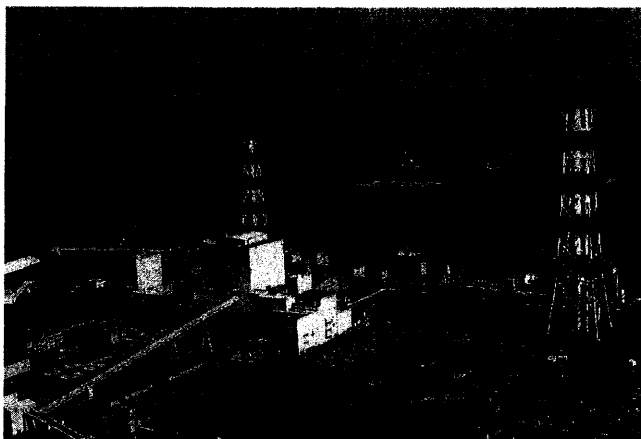


図1 北海道電力(株)苫東厚真発電所
Aerial view of Tomatoh-Atsuma Power Station

*1 原動機技術センターボイラ技術部長

*2 原動機技術センター主管兼タービン技術部長

*3 火力プロジェクト部プラント技術二課長

*4 火力プラント設計部次長

*5 長崎研究所次長

十分な滞留時間を確保して熱吸収できることから、99%以上の高い燃焼率を得ることができる。また、発電効率は、ガスタービンと蒸気タービンを組合せた複合発電システムにより、従来の微粉炭火力と比較し、相対値で約5~10%向上する。

(2) 高い環境適合性

石灰石を脱硫材として炉内に投入することにより、燃焼と同時に脱硫を行うことができる。しかも、加圧流動床ボイラでは、層高を4~5mと高く取ることが可能なため、十分な滞留時間を確保して熱吸収ができ、低いCa/Sモル比で高い脱硫率が得られる。

NOxについては燃焼温度が850~870℃と低いため、サーマルNOxがほとんど発生しないこと、更に高い層高のため層内還元物質による還元作用を十分期待できることから、NOxを低く抑えることができる。

ばいじんについては、ボイラ出口のサイクロン及びセラミックフィルタにより、ガスタービンの許容濃度以下とするとともに、環境規制値を十分満足するレベルまで脱じんを行う。

(3) 設備設置スペースの低減

加圧によるボイラのコンパクト化や脱硫装置が不要となることから、省スペース化が可能となる。350MW級の商用プラントの場合、同規模の微粉炭火力と比較し、20~30%程度の省スペースが可能となる。

3. PFBCの技術開発経緯

IEA (International Energy Agency) のプロジェクトとして、英、米、独の3箇国の出資により、1980年に世界初のパイロットプラント（出力60MW）が運転を開始し、その後1984年まで続けられた。さらに、その後スポンサが英国電力庁となり、EPRI (Electric Power Research Institute), DOE (Department of Energy) 等の参加を得て、1987年まで試験が継続された。その他、スウェーデン、独及び米国などで15MW規模程度までのパイロットプラントで試験が行われている。そして、1990年代に入って、スウェーデン、スペイン、米国において70MW級の実証プラ

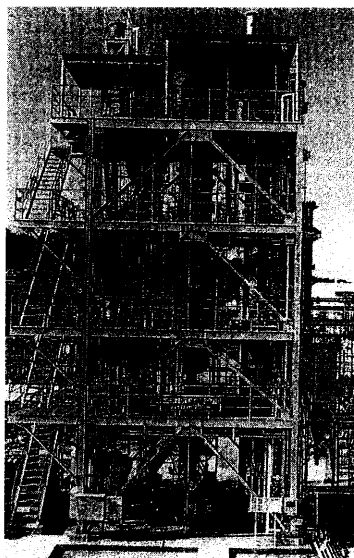


図2 2 MWthパイロットプラント
加圧流動床ボイラを開発するに当り、諸特性を把握するために長崎研究所に設置したパイロットプラントの外観を示す。
2 MWth pilot plant

ントが相次いで運転を開始した。

当社では、常圧流動床ボイラにおける豊富な経験や加圧下での基礎研究の成果を基に、1985年ごろからPFBCの開発に着手した。まず、加圧流動床燃焼における特性を確認するため、小型加圧試験装置を用いて燃焼特性、NOx特性及び脱硫特性等の基本特性を把握することができた。さらに、1989年には2 MWthのパイロットプラント（図2参照）を建設し、本格的に実用化に向けて取組んだ。

4. 北海道電力(株)苫東厚真発電所第3号機

4.1 設備仕様

北海道電力(株)苫東厚真発電所第3号機は、出力85MWでPFBC複合発電プラントとして我が国初の商用機である。

表1に設備概要を、図3に設備鳥瞰図を、図4に概略系統図を示す。

表1 北海道電力(株)苫東厚真発電所第3号機設備概要
Major design particulars of Tomatoh-Atsuma No. 3 of 85 MW PFBC plant

項目	仕様
形式	PFBC 複合発電方式
プラント出力	85.0 MW
ガスタービン出力	11.1 MW
蒸気タービン出力	73.9 MW
ボイラ	
型式	PFBC 再熱式強制循環型
蒸発量	195 t/h
燃焼温度	870℃
蒸気タービン	
型式	単車室単流排気再熱再生復水式
蒸気条件	16.6 MPa×566/538℃
ガスタービン	
型式	開放単純サイクルー軸式
圧力	0.95 MPa
温度	831℃
環境値	
ばいじん濃度	28 mg/m ³ N (6% O ₂ 換算)
硫黄酸化物	119 ppm (実 O ₂ ベース)
窒素酸化物	98 ppm (6% O ₂ 換算)
集じん装置	サイクロン遠心方式 セラミックフィルタ通過式
脱硫方式	石灰石による炉内脱硫方式
脱硝装置	乾式アンモニア接触還元式
最低負荷	30%
負荷変化率	3%/min
発電端効率	40.1%

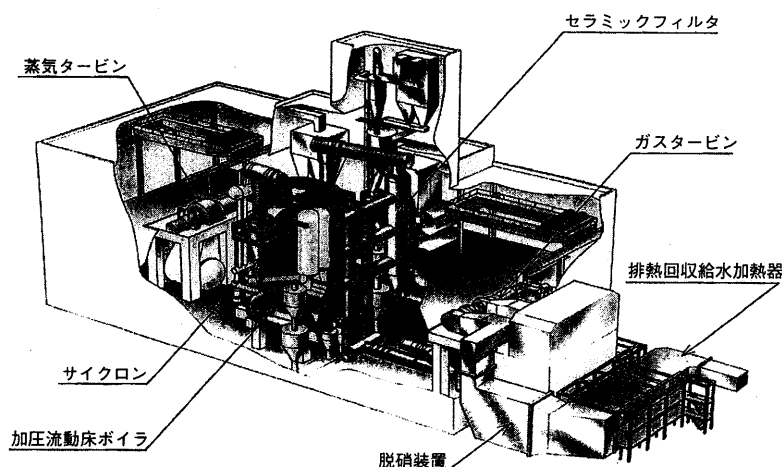


図3 北海道電力(株)苫東厚真発電所第3号機設備鳥瞰図
Bird's-eye view of Tomatoh-Atsuma PFBC plant

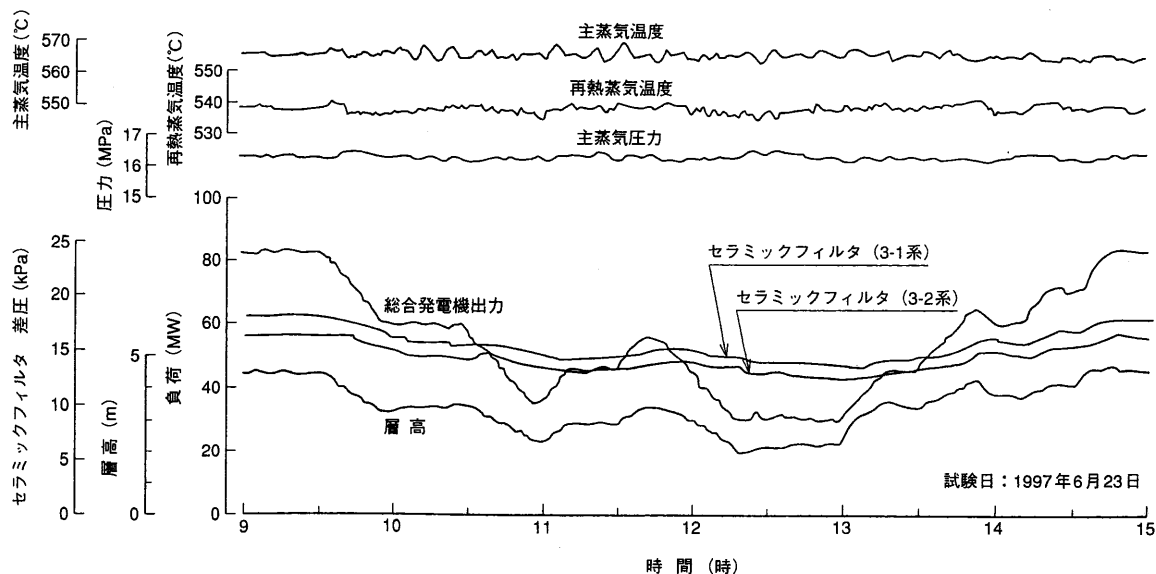


図6 負荷変化特性確認試験 1997年6月23日に行った中給運用を模擬した負荷変化特性確認試験結果を示す。
Operation results of load swing test

表2 環境特性
Environmental characteristics

項目	単位	環境規制値	通常運転時	備考
ばいじん濃度	mg/m ³ N ^{*1}	28	5以下	
SOx濃度	ppm ^{*2}	119	10	S分: 0.9%, Ca/S: 3
NOx濃度	ppm ^{*1}	98	40	N分: 1.6%, 脱硫入口 200 ppm

注) *1 6% O₂ 換算 *2 実 O₂ ベース

実施し、良好な結果を得た。

(2) 環境特性

ばいじん、SOx 及び NOx 共に、表2に示すとおり良好な特性を確認した。

① ばいじん特性：セラミックフィルタについては当初高負荷帯での差圧上昇が課題であったが、1997年1月にハニカム型フィルタ部をチューブ型フィルタへ換装した結果、セラミックフィルタは計画どおりの差圧で安定した運転が可能となった。

また、ばいじん濃度は 5 mg/m³N 以下と極めて低い値で維持されている。

② 硫黄酸化物：S分 0.9% の高 S 分炭で試験を行い、Ca/S モル比 3 にて SOx 濃度 10 ppm 以下での運転が可能なることを確認した。

③ 窒素酸化物：基準炭 (N 分 1.6%) で試験を行い、空気比 1.2 にて脱硝入口 200 ppm、出口 40 ppm (6% O₂ 換算) での運転が可能なることを確認した。

(3) 負荷変化率

1997年5月から6月にかけて協調制御モードでの APC 調整を実施し、高負荷域では 3%/min、低負荷域では 2%/min での良好な負荷追従性を確認した。中央給電指令 (中給) による運用を模擬した負荷変化特性結果を図6に示す。

(4) 最低負荷

最低負荷は計画 30% に対し、燃焼性、NOx 特性等も問題なく、安定した運転が可能なることを確認した。

(5) 起動特性

APS 制御装置を用いた全自動起動の調整を 1997年5月から実施し、良好な結果を得て調整を終了した。図7に制御装置と中

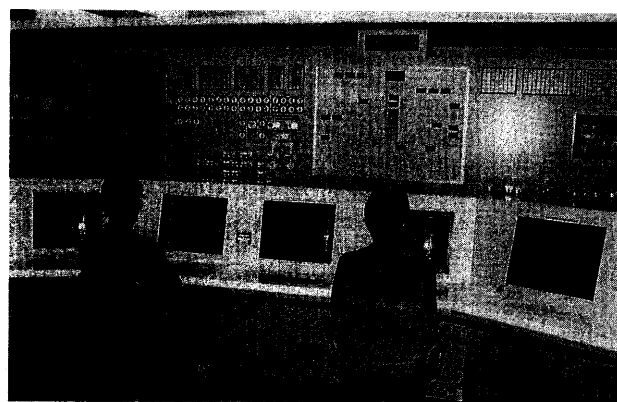


図7 中央制御室 (三菱 DIASYS-DDC 制御装置) 北海道電力(株) 苫東厚真発電所第3号機の中央制御室を示す。
Control room of Tomatoh-Atsuma Power Station No.3
(Mitsubishi DIASYS Control System)

央制御装置を示す。

(6) 燃料供給設備

燃料供給設備としては、ドライフィード方式を採用し、ロックホッパにて加圧した後、分配器から一次空気にて炉底の燃料ノズルに気流搬送するシステムを採用している。試運転当初、燃料詰り等の問題が発生したが、対策実施後は順調に運転が続いている。燃焼試験時の灰中未燃分は 1.5% 程度と低い値を維持している。

5. ま と め

PFBC として国内初の商用プラントとなる北海道電力(株) 苫東厚真発電所第3号機は、本報に記載したとおり順調に運転が進捗し、基準炭についての各種特性確認試験をすべて終了して、1997年7月から多炭種確認試験に移行し、良好な結果を得て終了した。今後は、長期安定連続運転を確認した後、1998年3月の営業運転開始を予定している。

当社としては、この良好な結果を基に大容量 PFBC の設計を行うとともに、更に画期的な高効率プラントとしての A-PFBC “POSEIDON” の開発を行っている。