

最新鋭石炭焚き600 MW 発電プラント “東京電力(株)広野火力発電所5号機” の営業運転開始

Commencement of the Commercial Operation of 600 MW Unit "Hirono No.5 Thermal Power Station of The Tokyo Electric Power Co., Inc."

門馬 弘 昌*1
Hiromasa Momma

石 黒 淳 一*2
Junichi Ishiguro

須 藤 隆 之*3
Takayuki Suto

宮 脇 俊 裕*4
Toshihiro Miyawaki

岩 本 隆 史*5
Ryuji Iwamoto

中 原 強*6
Tsuyoshi Nakahara

東京電力(株)広野火力発電所第5号機600 MW石炭焚きプラントは、国内最新鋭の石炭焚き超臨界圧プラントとして平成16年7月に営業運転を開始した。本プラントには、蒸気タービン、ボイラをはじめ制御装置、排煙処理設備、排水処理設備及び煙突等の主要設備を当社が納入している。本報では、主機である蒸気タービンとボイラに適用した最新技術を紹介する。

1. はじめに

東京電力(株)広野火力発電所第5号機は、世界最高水準の高蒸気条件(24.5 MPa × 600/600)下で、2004年7月より営業運転を開始した。

蒸気タービンには、高蒸気条件に対応するための高温材料・冷却構造といった技術をベースに、600 MWクラス初の2車室タービンの採用、スチール48インチISB翼の採用、新型復水器・一胴式脱気器の採用等の最新技術が採用されている。

一方ボイラは、高温化対応材料、ライフル管を使った垂直管型火炉の他に、A-PMバーナ、MRSミルの低NOx、低未燃分燃焼技術の採用等が成されている。

さらに、(1)最大容量クラスのファン採用による風煙道系列化(2)全給水ヒーター系列化(3)循環水ポンプ一体化(4)ボイラ循環ポンプに依らないプラント起動方式採用、といったシンプルな系統・設備であり、非常に合理的なプラントとなっている。

また、油・ガスを燃料とする既設ユニットに隣接した狭い敷地であるため、お客様と共に全体配置を工夫し、コンパクトな配置を実現した。

主機以外の設備においても、アンモニア還元式脱硝装置、低低温電気集塵器と液柱塔式脱硫装置の協調設計による高性能排煙処理設備、総合排水処理設備、自立式集合煙突といった主要設備に当社最新技術が採用されており、当社の総合技術力が遺憾無く発揮されている。

2. 蒸気タービン

図1に広野5号機蒸気タービンの外観を、表1にタービンの主要仕様を示す。

タービンは高圧、中圧タービンを一体フレームとしたコンバインド車室と低圧タービン1車室とから構成される2車室タービンであり、2車室構造の世界最大



図1 広野5号機600 MW蒸気タービン外観

表1 蒸気タービン主要仕様

項 目	仕 様
型 式	一軸形2流排気式再熱復水形
出 力	600 000 kW
蒸 気 条 件	
主 蒸 気 圧 力	24.5 MPa
主 蒸 気 温 度	600
再 熱 蒸 気 温 度	600
回 転 数	3000 rpm
真 空 度	-962.6 hPa
最 終 翼 長	48 インチ
抽 気 段 数	8

*1 原動機事業本部火力プロジェクト部プラント技術一課

*2 原動機事業本部タービン技術部タービン技術開発課

*3 原動機事業本部ボイラ技術部ボイラ技術一課

*4 技術本部高砂研究所ターボ機械研究推進室主席

*5 高砂製作所タービン技術部タービン計画・推進グループ

*6 長崎造船所火力プラント設計部陸用ボイラ設計課

容量機となる。従来、600 MWクラスのタービンは蒸気流量に見合った低压最終段排気面積を確保するために、低压タービンに2車室（4分流）を必要とした。本タービンでは、3000 rpm機用スチール翼として世界最長の48インチ最終翼群を採用することにより、低压タービンの1車室化（2分流）が可能となり、コンパクトな設計を実現している。

また、高压、中圧タービンは、主蒸気、再熱蒸気温度ともに600 の高温蒸気が入る一つの車室に導入される高中圧一体フレームである。当社の1000 MW-600級タービンの開発⁽¹⁾で培われた高温技術と、700 MW級大容量高中圧一体タービンの実績⁽²⁾をもとに、高性能で信頼性の高いフレームを開発した。

2.1 設計上の特徴

高中圧タービンは、600 の蒸気条件に対して実績ある高温材料、冷却構造を適用している。また、超々臨界蒸気条件採用によりタービン内の熱落差が増加し、翼列段数が増加するが、性能及び軸系信頼性の観点から翼列とフレーム体格の最適化を行い、高中圧一体フレームを設計している。

また、低压タービンには、スチール48インチ最終翼や、高性能排気室、軸受基礎支持構造等の高性能・高信頼性技術を採用している。

2.1.1 高温用材料

600 級タービンで実績のある高温材料を採用し、高中圧一体ロータには改良12Cr鍛鋼、内部車室には12Cr鋳鋼、タービン入口弁及び弁と車室の接続管には9Cr鋼を使用している。

2.1.2 高温化構造

ロータ中央部及び中圧入口翼溝部は、調速段出口よりロータに沿って中圧タービン側へリークする蒸気によって冷却している。

また、中圧タービン外部車室内面が600 の再熱蒸気に直接触れないようサーマルシールドを設置し、外部車室との空間に高压タービン排気からの冷却蒸気を導入している。

2.1.3 48インチ ISB 低压最終翼群

3000 rpm機のスチール製低压最終翼の翼長は1990年代後半まで40インチクラスが限界であった。当社では、1998年に世界に先駆け、スチール翼として最長の3000 rpm 48インチ ISB翼と、同翼の相似設計翼である3600 rpm 40インチ ISB翼を完成させた⁽³⁾。翼は信頼性の高いインテグラルシュラウド翼構造（ISB）を採用し、最新の数値流体力学（CFD）による三次元多段流動解析技術、構造振動解析技術を駆使して開発された。さらに、実物大供試翼による回転振動試験、当社内の実負荷試験設備における性能、強度の検証試

験を実施した上で実機へ適用している。

48インチ翼は本ユニットが初適用となるが、相似設計翼である3600 rpm 40インチ翼は既に2000年より国内外多数のユニットにおいて運転中で、性能、信頼性の点で良好な運転実績が得られている。図2に48インチ ISB翼及び低压ロータの外観を示す。

2.2 運転実績と実機検証結果

運転開始後の軸振動を始めとする各種運転監視値は許容値より十分低く、安定した運転が達成されており、タービンの信頼性が確認された。

2.2.1 高中圧一体タービン

600 級高中圧一体型車室の信頼性の検証を目的とし、外部車室の外表面に約50点の熱電対を取り付け、メタル温度分布を計測した。その結果、温度分布は予測どおりであり、また、軸方向温度差は十分に小さく、車室冷却構造の効果が確認された。

2.2.2 48インチ ISB翼

48インチ ISB 低压最終翼群は、工場内で実負荷試験を実施して信頼性を検証しているが、同翼適用の初号機となる本ユニットでは、実機にて最終的な確認を行った。計測方法は最終段動翼にひずみゲージを貼り付け、テレメータを用いて回転部の信号を静止側に伝達し、翼に発生する振動応力を計測した。

その結果、無負荷から定格負荷までの全ての運転域で発生応力は非常に小さく、実負荷試験にて計測された応力と同等であり、十分な信頼性を有していることが確認された。

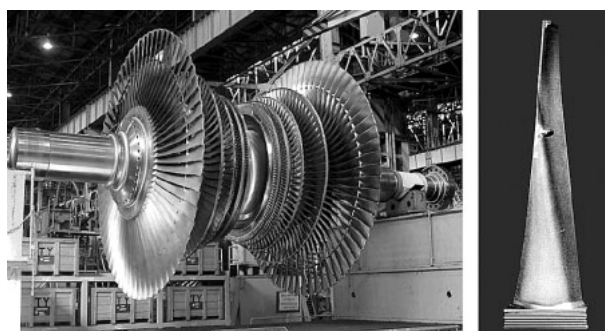


図2 48インチ ISB翼及び広野5号機低压ロータ

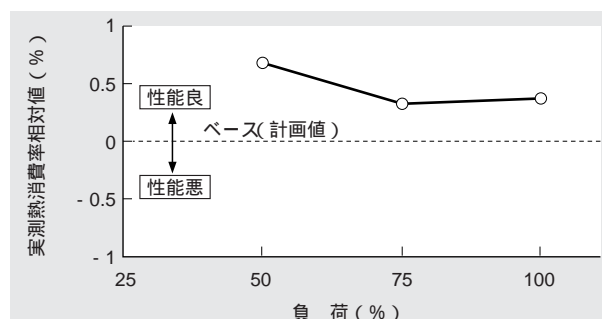


図3 タービン性能試験結果

2.2.3 性能

本ユニットは完全三次元設計反動翼，高効率48インチISB最終翼群，排気部形状最適化等の高効率技術を適用している。

その結果，性能試験においてタービン室効率は図3に示すように全負荷において計画値を上回っており，高効率ユニットであることを確認した。

3. ボイラ

3.1 主な特徴

ボイラ主要仕様を表2，ボイラ側面図を図4に示す。

ライフル管を使用した垂直管火炉方式には，旧来のスパイラル火炉方式と比べて利点が多い。以下に主なポイントを列記する。

- (1) 火炉壁管内の重量速度が低いので，火炉系統の圧損が少なく運転動力を節減できる。

表2 ボイラ主要仕様

ボイラ形式	放射再熱式変圧貫流型垂直管火炉ボイラ（屋内式）	
最大連続負荷時	主蒸気流量	1770000 kg/h
	過熱器出口蒸気圧力	25.40 MPa
	過熱器出口蒸気温度	604
	再熱器出口蒸気温度	602
燃料	石炭，軽油（30%容量）	
燃焼方式	A-PMバーナ，A-MACT法による旋回燃焼	
微粉炭燃焼方式	単位直接加圧方式	
通風方式	平衡通風	
蒸気温度制御方式	主蒸気	給水/燃料比，スプレー
	再熱蒸気	ガス分配ダンパ スプレー（危急用）

- (2) 火炉壁管が垂直方向に配置される単純な構造のため，火炉支持が容易で支持用の付着金物が少なく，信頼性，据付け，保守性に優れている（図5）。

- (3) 火炉壁管への経時的な灰付着が避けられない石炭焚きユニットにおいて，スラグの自然脱落が容易で火炉壁付着灰量が少ない。

- (4) 蒸発管の加熱部摩擦損失は全圧力損失に対し少なく，火炉熱吸収変動時の流量変化が少ない。

当社は，こうした多くの利点を持つ垂直管火炉方式を採用した変圧運転貫流ボイラの，世界で唯一豊富な実績実績を持つメーカーである。

本ボイラでは，押込通風機，一次空気通風機，空気予熱器，誘引通風機の一列化採用，さらに，ガス再循環通風機及び起動時熱回収用ボイラ循環ポンプの不設置採用により，合理的な設計とした。再生式空気予熱器，押込通風機，誘引通風機及び一次通風機などのボイラ主要補機も独自技術に基づいた当社製機器を採用した。

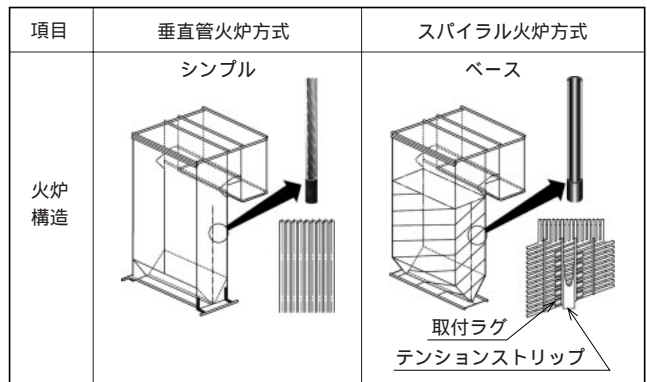


図5 火炉構造比較

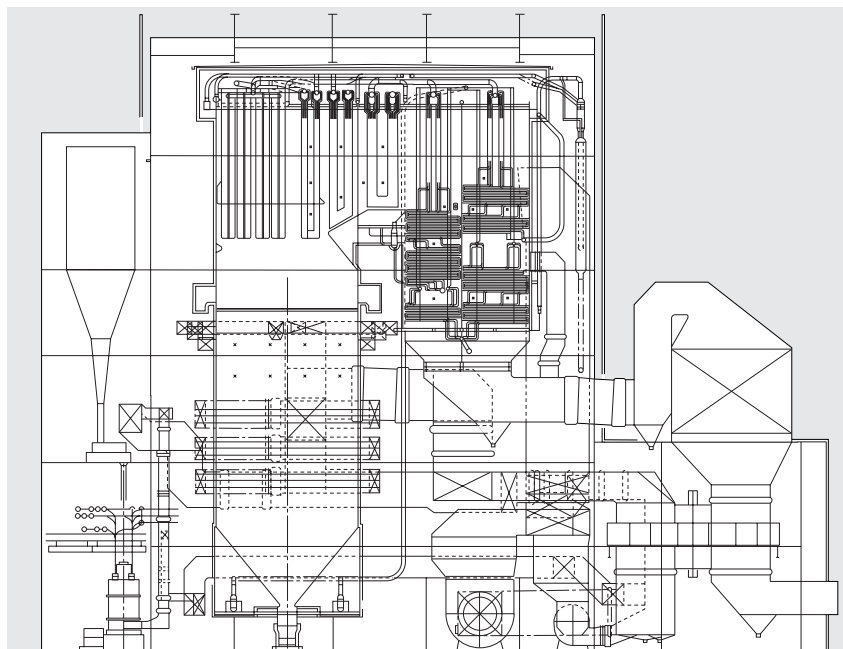


図4 ボイラ側面図

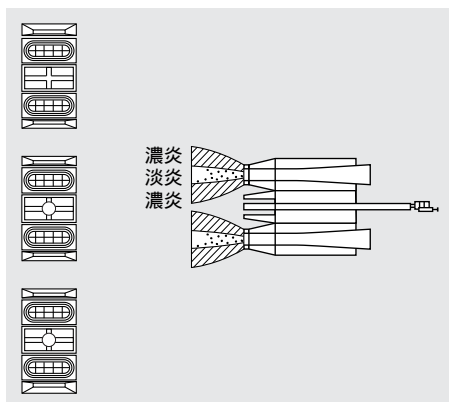


図6 A-PMバーナ

試運転では、計画を満足する良好な蒸気温度特性・負荷変化特性・起動時間を確認した。

3.2 低NO_xの取り組み

本ボイラは厳しい環境数値を求められており、三菱旋回燃焼にA-PMバーナ（Advanced-Pollution Minimum）、炉内脱硝A-MACT法、高微粉度MRS（Mitsubishi Rotary Separator）ミル及び排煙脱硝装置を組み合わせた低NO_x燃焼システムを採用した。

(1) A-PMバーナ

バーナは、これまでのPMバーナから採用されてきた当社の基本技術である濃淡燃焼を踏襲しつつ、一層の低NO_x化を実現した。更に、風箱ダンパ数の削減、バーナ部アクセスの改善を図り、シンプルでメンテナンス性、信頼性、耐久性に優れた最新鋭のA-PMバーナを採用した（図6）。

(2) 炉内脱硝A-MACT法

炉内脱硝A-MACT法を採用し、主バーナ上部に炉内脱硝のためのNO_x還元域を十分に確保しつつ、NO_x還元後に残留する未燃分の燃焼完結用にアディショナルエア（AA）を投入する。

(3) MRSミル

低NO_x・低未燃分燃焼に効果が大きい良好な微粉度特性と高微粉度運転を安定して実現するMRS（回転式セパレータ）ミルを採用した。

(4) 排煙脱硝装置

以上に加え、火炉から排出される燃焼ガス中に残留するNO_xを更に低減するため、豊富な実績を有する排煙脱硝装置を採用し、全負荷帯に亘り良好な性能を確認できた。

3.3 ボイラ性能

性能試験結果のボイラ室効率を図7に示す。

高い燃焼性能を有するA-PMバーナ+A-MACT及びMRSミルの採用により、ボイラ室効率実測値は計画値を十分に上回る良好な結果が得られ、プラントの高効率運転に大きく貢献していることを確認した。

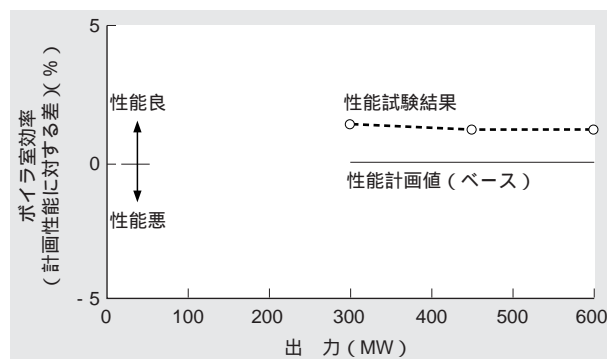


図7 ボイラ性能試験結果

3.4 現地工期の短縮

現地工事期間の短縮を図るべく、平面ブロック化した鉄骨と大物部品（主配管、ダクト等）の取り込みを並行して行い、耐圧部は天井大梁と一体で吊り上げる工法（SBS工法：Steel Structure Boiler Simultaneous Construction）を採用した。

4. ま と め

広野5号機の完成により、高蒸気条件下最新技術適用による高効率と、経済性・高信頼性の共存を図った技術が確立され、今後のプラントに大いに貢献すると確信している。

当社としては、今後とも社会に求められる技術の開発と実用化に一層の努力を続けることで、夢溢れる未来を切り拓いていく所存である。

最後に本機的设计、運転に際しご指導いただいた東京電力(株)の皆様をはじめ関係者各位に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 村山均ほか、電源開発(株)橘湾2号機1050MW蒸気タービンの設計と運転実績、火力原子力発電 Vol.54 No.566(2003)p.40
- (2) 中村真二ほか、神鋼神戸発電所1号機の設計、三菱重工技報 Vol.40 No.4(2003)p.208
- (3) 山本哲也ほか、3000rpm 48インチ低圧タービン翼の開発、三菱重工技報 Vol.35 No.1(1998)p.6



門馬弘昌



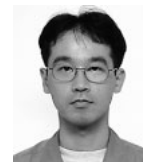
石黒淳一



須藤隆之



宮脇俊裕



岩本隆史



中原強