

# 最新鋭石炭焚き900 MW発電プラント “関西電力(株)舞鶴発電所1号機”の 営業運転開始

Commencement of the Commercial Operation of World's Top Performing 900MW Unit "Maizuru No.1 Thermal Power Station of The Kansai Electric Power Co., Inc."



入江 健一\*1  
Kenichi Irie

菅沼 博\*2  
Hiroshi Suganuma

桃尾 孝史\*3  
Takashi Momoo

駒田 至秀\*4  
Shigehide Komada

小島 澄夫\*5  
Sumio Kojima

関西電力(株)舞鶴発電所第1号機900 MW石炭焚きプラントは、国内最新鋭の超臨界圧石炭焚きプラントとして平成16年8月に営業運転を開始した。本プラントにおいては、ボイラ、蒸気タービン、制御装置の主要設備を当社が担当し、最新の技術を適用している。本報では、主機であるボイラと蒸気タービンに適用した最新技術を紹介する。

## 1. はじめに

近年、環境問題をめぐる内外の情勢より温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>ガスの排出抑制が求められている。このニーズに対応するため燃料エネルギーを効率良く電気エネルギーに変換することにより、燃料の使用量を抑えCO<sub>2</sub>ガスの排出量を減らすことが必要である。関西電力(株)舞鶴発電所第1号機は、蒸気条件を高温・高圧化すること及びボイラ・タービン設備に高効率化技術を適用することにより発電効率向上を図っている。

また同時に、近年の電力自由化の流れから、信頼性を保ちつつ経済的な発電設備とすることも配慮し、電動給水ポンプ、ボイラ循環ポンプを不設置とし設備の

合理化も図っている。ボイラは、世界各地の幅広い炭種に対応した設計とし、制御の面でも実績のある多炭種対応制御方式を採用し運転が容易なものとしている。タービンは、大容量クロスコンパウンド機で、同形先行機で確立された設計を踏まえ低圧タービン静翼シールフィン構造の改善、低圧最終翼溝付静翼適用といった技術の適用により更なる性能向上を図っている。

## 2. ボイラ

### 2.1 超臨界圧変圧運転貫流ボイラ

ボイラ主要仕様を表1に、ボイラ側面図を図1に示

表1 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(半屋内式)	
	主蒸気流量	2570000 kg/h
最大連続 負荷時	過熱器出口蒸気圧力	25.40 MPa
	過熱器出口蒸気温度	598
	再熱器出口蒸気温度	598
燃 料	石炭、重油(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)

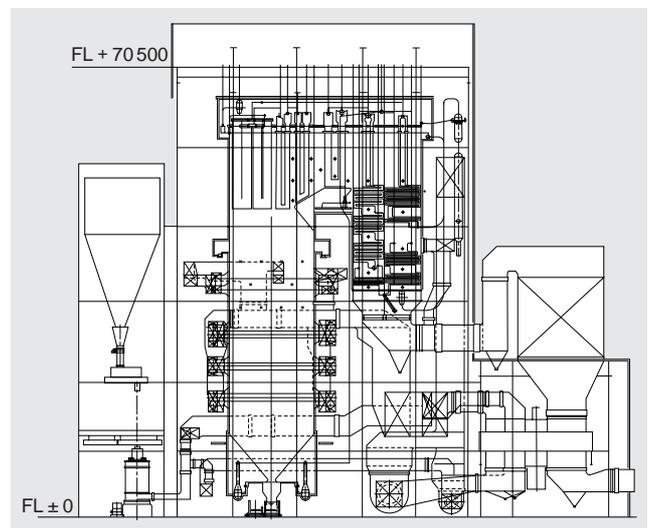


図1 ボイラ側面図

\*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 原動機事業本部ボイラ技術部ボイラ技術一課

\*3 原動機事業本部タービン技術部タービン技術課主席

\*4 長崎造船所火力プラント設計部陸用ボイラ設計課

\*5 高砂製作所サービス部技術グループ

す。

### (1) 垂直管火炉方式の採用

舞鶴1号ボイラは、関西電力(株)で初の石炭焚き超臨界圧変圧貫流ボイラであり、垂直管型超臨界圧変圧運転ボイラの当社実績は10缶目となる。ライフル管を使用した垂直管火炉方式には、その他のスパイラル火炉方式と比べて以下の利点がある。

- 低い圧力損失：低い火炉壁管内の重量速度により、圧損が小さく、給水ポンプ運転動力を節減できると共に給水系統の設計圧力を低減可能である。
- 簡素な構造：火炉支持が容易で付着金物が少なく、信頼性、据付け、保守性に優れている(図2)。
- 温度均一性：蒸発管の全圧力損失に占める加熱部摩擦損失の割合が少ないため、火炉熱吸収変動時の流量変化が少なく、温度の均一性が維持される。
- 少ない灰付着：管配列が鉛直方向であるため石炭焚きボイラでは、スラッグの脱落が容易で火炉壁付着灰量が少ない。

昨今、この垂直管型超臨界変圧貫流ボイラが欧米において大きな注目を集めている。

### (2) 高い運転性能

蒸気温度特性は、SHスプレーやガス分配ダンパ等の制御パラメータが適正範囲の下で蒸気温度保証負荷帯において全ての使用炭にて、計画どおりの主蒸気・再熱蒸気温度が維持できた。

また、本ボイラでは設備の合理化のため、ガス再循環通風機及び、起動時熱回収用のボイラ循環ポンプを不設置とした。試運転の結果、計画どおりの良好な負荷変化特性・起動時間を確認した。また、微粉炭機についても、一部の計画炭をミル予備機無し運用とすることで、ミル容量低減を実現した。

### 2.2 低NO<sub>x</sub>の実現

本ボイラに求められている起動併入時から全負荷までの非常に厳しいNO<sub>x</sub>保証値の対策として、当社の最新低NO<sub>x</sub>燃焼システムを採用した。このシステム

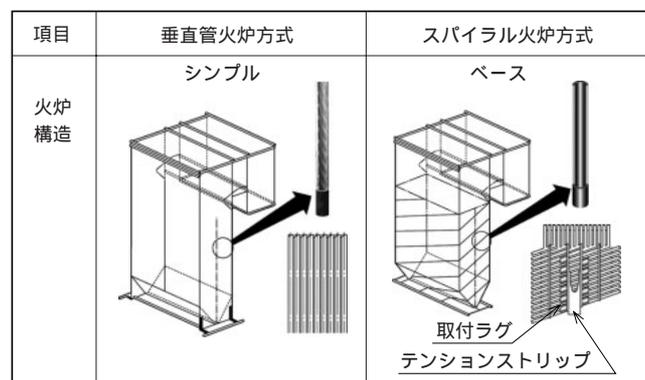


図2 火炉構造比較

は、三菱旋回燃焼にA-PMバーナ、炉内脱硝(A-MACT)、高微粉度MRSミル及び排煙脱硝装置で構成されている。

### (1) A-PMバーナ (Advanced-Pollution Minimum)

従来の連続風箱型PMバーナに対し濃淡燃焼をより一層推し進め、低NO<sub>x</sub>化を実現した分割風箱型A-PMバーナを採用した。この結果、風箱ダンパ数の削減、バーナ部アクセスの改善が図られ、メンテナンス性、信頼性、耐久性が大幅に向上した(図3)。

### (2) 炉内脱硝法 (A-MACT)

主バーナ上部に十分なNO<sub>x</sub>還元域を確保した後、未燃分の燃焼完結用に燃焼用空気を投入するA-MACTにより低NO<sub>x</sub>・低未燃分を同時に実現した。

### (3) 高微粉度MRSミル (Mitsubishi Rotary Separator)

回転式セパレータ(MRS)により、良好な微粉度特性が得られ、低NO<sub>x</sub>・低未燃分燃焼を実現した。

### (4) 排煙脱硝装置

排煙脱硝装置を採用し、更なるNO<sub>x</sub>低減を実現した。図4にボイラ出口NO<sub>x</sub>実績値を示す。全負

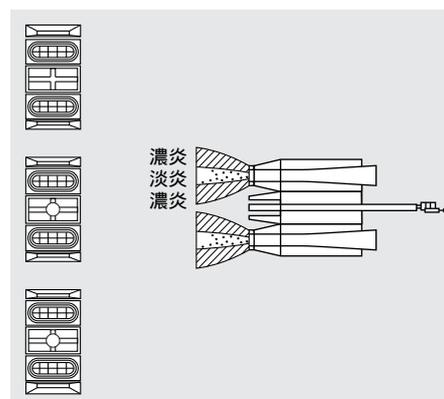


図3 A-PMバーナ

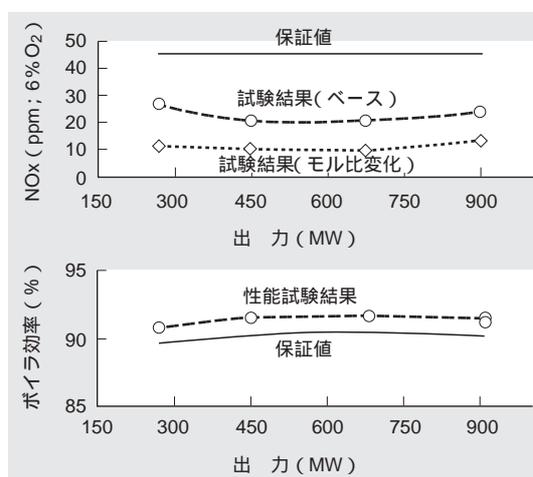


図4 NO<sub>x</sub> 及びボイラ効率実績

荷帯に渡り良好な性能を確認している。

### 2.3 多炭種対応

本ボイラは、世界各地から供給される幅広い瀝青炭（専焼設計瀝青炭全81炭種）に対応した設計としている。表2に試運転時に使用した石炭性状を示す。多炭種対応制御によりこれらの炭種で最適な蒸気温度特性・燃焼特性が得られることを確認している。

### 2.4 ボイラ性能

性能試験結果のボイラ効率を図4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，ボイラ効率実測値は100%負荷から30%最低負荷に至るまで保証値及び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。

### 2.5 ゾーンモジュール工法

現地工事期間の短縮を図るため，当社フィリピンモジュール工場にてボイラ各部を7モジュール（最大1500t）に分けて製作し，発電所現地にて組み立てるゾーンモジュール工法を採用した（図5）。

## 3. 蒸気タービン

主タービンはクロスコンパウンド型CC4F-46で，図6，図7に外観及び断面図を，表3に主要仕様を示す。

表2 石炭性状

		豪州B炭	インドネシアB炭 豪州B混炭	中国D炭 豪州B混炭
高位発熱量 (kJ/kg)		28180	28640	27650
全水分 (wt%)		8.3	8.9	12.1
工業分析	固有水分 (wt%)	2.9	4.0	5.2
	固定炭素 (wt%)	51.3	44.6	53.5
	揮発分 (wt%)	30.8	40.3	28.7
	灰分 (wt%)	15.1	11.1	12.6
燃料比 (-)		1.67	1.11	1.86
元素分析	炭素 (wt%)	69.0	70.6	70.8
	酸素 (wt%)	9.0	10.6	9.9
	水素 (wt%)	4.4	5.3	4.2
	窒素 (wt%)	1.62	1.29	0.99
	全硫黄 (wt%)	0.45	0.80	0.85
粉碎性 (HGI)		54	47	57



図5 ボイラモジュール輸送

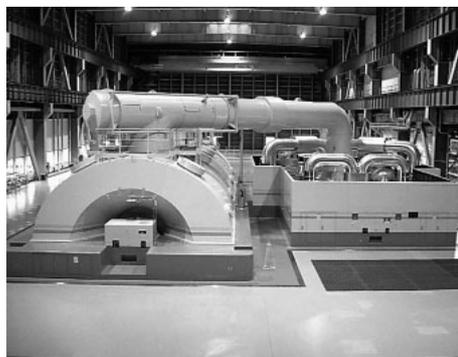


図6 主タービン外観

す。

高压タービンは，主蒸気入口4箇所の複流設計で，各流は调速段1段及び反动段10段からなる。中圧タービンは，再熱蒸気入口4箇所の複流設計で，各流は反动段7段からなる。低压タービンも複流設計で，各流は46インチISB（Integral Shroud Blade）最終翼群を含む反动段9段から構成されている。600級の蒸気温度に対する高压，中圧タービンの高温化，反动段全段への三次元設計翼の適用による高性能化に対しては，先行機である電源開発（株）松浦2号機<sup>(1)</sup>，中国電力（株）三隅1号機<sup>(2)</sup>，電源開発（株）橘湾2号機<sup>(3)</sup>で確立された信頼性の高い設計を踏襲している。

また，図8に給水ポンプ駆動タービン（BFPT）の断面図を，表4に主要仕様を示す。BFPTには従来1000MW級火力タービンに使用されている12インチ複流タービンに代わり，信頼性向上と性能向上を図った最新設計の500mm ISB単流タービンを採用し，単機容量増加により主タービン600MWまでのBFPT1台運転を可能としている。

### 3.1 主タービンの特徴

舞鶴1号機の主タービンには，同形先行機の実績を踏まえた主蒸気，再熱蒸気高温化に対処した設計的配慮が施されている。高压，中圧タービン用高温用

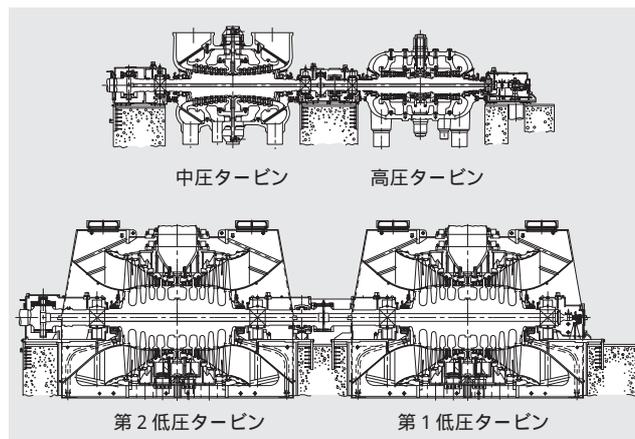


図7 主タービン組立断面図

表3 主タービン主要仕様

項目	仕様
型式	二軸形四流排気式 再熱再生復水形
出力(定格)	900 MW
蒸気条件	
主蒸気圧力	24.5 MPa
主蒸気温度	595
再熱蒸気温度	595
回転数	プライマリ軸 3600 rpm セカンダリ軸 1800 rpm
真空度	-96.3 kPa
最終翼長	1170 mm (46インチ)
給水加熱器	8段

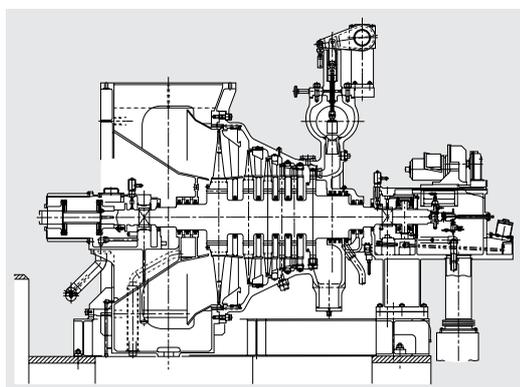


図8 BFPタービン組立断面図

表4 BFPタービン主要仕様

項目	仕様
型式	衝動式単気筒単流型復水タービン
出力(定格)	16100 kW
蒸気条件	
主蒸気圧力	0.89 MPa
主蒸気温度	374.4
回転数(定格)	5850 rpm
真空度	-96.3 kPa
最終翼長	500 mm

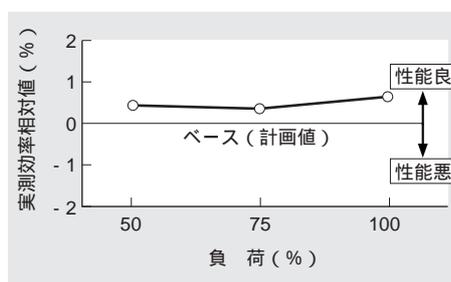


図9 舞鶴1号機タービン性能試験結果

材料では、改良12Cr鍛鋼、12Cr鋳鋼、9Cr鍛鋼といったフェライト系の耐熱鋼が広範囲に使用されている。高圧タービン入口付近の動翼には、630級開発材であるCo入り先進12Cr鍛鋼(MTB10A)を適用した。高圧、中圧ロータ材としては600級の運転に対し十分なクリープ強度を持ち、実績のある改良12Cr鍛鋼(TMK-1)を採用した。静止部材料には、優れたクリープ強度を持つ12Cr鋳鋼(MJC-12)をノズル室、内部車室、翼環及び中圧タービン入口フローガイドに採用した。

また、先行機に対して、低圧タービン静翼シールフィン構造の改善、低圧最終翼溝付静翼適用による湿分除去効率の改善などにより性能向上を図っている。

### 3.2 BFPタービンの特徴

可変速運転となるBFPTでは運転中の翼の共振回避設計が不可能であるため、共振しても強度上十分な安全率を持たせる必要があり、従来グループ翼構造の10倍以上のダンピングを有するISB構造は振動応力低減に非常に有効である。500 mm ISBは良好な運転実績を有する3600 rpm 33インチISBの0.6スケール設計をベースとして、大幅な信頼性向上を図ると共に、完全三次元フローパターン設計採用によるタービン性能の向上も図られており、プラント性能向上に寄与している。

### 3.3 性能

本プラントは、1000 MW、600級タービンとして確立された技術を踏襲すると共に、最新技術により更なる性能向上を図った結果、実測タービン効率は図9に示す通りとなり、大容量高効率蒸気タービンであることを確認した。

## 4.まとめ

舞鶴発電所1号機の完成により、最新技術適用による高効率と、経済性と高信頼性の共存を図った技術が確立され、今後のプラントの設計に大いに貢献するものと確信している。

当社としては、今後とも社会に求められる技術の開発、改善に一層の努力を続けることで、これからの未来を切り拓いていく所存である。

最後に本機の設計及び運転に当たりご指導いただいた関西電力(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

- (0) 松隈雅治ほか、電源開発(株) 松浦2号機1000 MW超高温タービンの設計と運転実績、三菱重工技報 Vol.35 No.1 (1998) p.10
- (2) 和仁正文ほか、中国電力(株) 三隅1号1000 MW蒸気タービンの計画と運転実績、三菱重工技報 Vol.36 No.1 (1999) p.6
- (3) 田中良典ほか、世界最高効率1000 MW級蒸気タービンの特徴と運転実績、三菱重工技報 Vol.39 No.3 (2002) p.132



入江健一



菅沼博



桃尾孝史



駒田至秀



小島澄夫