

# 東北電力(株)原町1号

## 1 000MW 垂直管火炉型ボイラの特徴と運転実績

Features and Operating Results of  
Tohoku Electric Power Co., Inc. Haramachi No.1 1 000 MW Boiler

原動機事業本部 金子祥三\*1 橋本貴雄\*2  
丸田得志\*3  
長崎造船所 若林嘉幸\*4  
技術本部 一ノ瀬利光\*5

東北電力(株)原町1号超臨界圧変圧運転石炭だき1000MWボイラの計画概要と、以下の良好な試運転結果について報告する。  
(1)垂直管火炉方式1000MWボイラの高い信頼性、(2)低NOx燃焼技術の採用によるNOx150ppm以下、灰中未燃分3%以下の実現、(3)高いボイラ性能(性能試験結果91.8%他)と柔軟な運用性(15%負荷石炭専焼他)。

Tohoku Electric Power Co., Inc. Haramachi Thermal Power Station No.1 coal-fired, supercritical, sliding pressure operation boiler with vertical furnace walls has achieved the following successful results. This paper reports the design features and trial operation results of this boiler. (1) Highly reliable vertical furnace waterwall using rifled tubing. (2) The advanced combustion technology features NOx of 150 ppm and 3% of unburnt carbon in fly ash with a low NOx burner, an in-furnace NOx reduction system and a very fine pulverizer. (3) The high boiler efficiency of 91.8% is obtained by improved combustion and less slagging. It achieves high flexible operation capable of exclusive coal firing at 15% load.

### 1. ま え が き

平成9年7月に営業運転を開始し、以来順調に運転が続いている東北電力(株)原町1号ボイラの特徴と運転実績を紹介する。

表1 ボイラ主要仕様  
Boiler major specifications

最大連続負荷時	蒸気流量	主蒸気 再熱蒸気	2 970 000 kg/h 2 522 100 kg/h
	蒸気圧力	過熱器出口	25.4 MPa (259 kgf/cm <sup>2</sup> G)
		再熱器出口	4.59 MPa (46.8 kgf/cm <sup>2</sup> G)
		再熱器入口	4.84 MPa (49.4 kgf/cm <sup>2</sup> G)
蒸気温度	過熱器出口	570℃	
	再熱器出口	595℃	
	再熱器入口	329℃	
給水温度	節炭器入口	282℃	
燃 料	石炭、重油(30%負荷容量)		
燃 焼 方 式	旋回燃焼方式		
微 粉 炭 燃 焼 方 式	単位直接加圧方式		
通 風 方 式	平衡通風		
一 次 空 気 通 風 方 式	コールドプライマリエアファン方式		
起 動 用 熱 回 取 方 式	ボイラ再循環ポンプ方式		
蒸気温度 制御範囲	主蒸気 再熱蒸気	最大蒸発量~30%負荷	
		最大蒸発量~50%負荷	
蒸気温度 制御方式	主蒸気 再熱蒸気	給水/燃料比、スプレー	
		ガス分配ダンパ、バーナ角度、再循環ガス スプレー(危急用)	
ボイラ 主要 補機	微 粉 炭 機	三菱MRSミル	6台(予備1台)
	押 込 通 風 機	動翼可変軸流	2台
	一 次 空 気 通 風 機	遠心	2台
	誘 引 通 風 機	動翼可変2段軸流	2台
	空 気 予 熱 機	再生回転式	2台
脱 硝 装 置	乾式アンモニア選択接触還元法 2基		

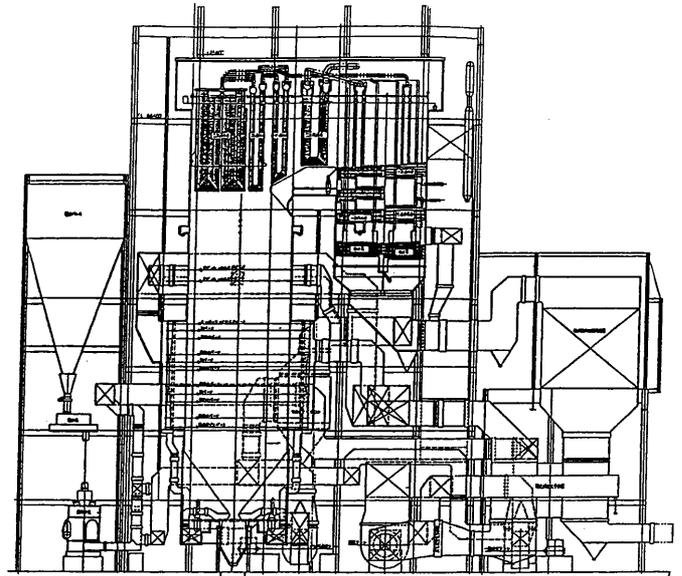


図1 原町1号ボイラ側面図 伝熱面、主要補機、バーナ風煙道ダクト等の配置を示す。  
Boiler general arrangement side view

本ボイラの主要仕様を表1に示すが、ボイラ出口25.4MPa(259kgf/cm<sup>2</sup>G)×570/595℃の蒸気条件を採用した垂直管火炉方式の1000MWボイラである。側面図を図1に示す。本ボイラには、多炭種だきや厳しい環境規制値に対応するための最新技術が数多く盛り込まれている。表2に建設及び試運転工程の概要を示す。試運転には表3に示す4種類の石炭が用いられた。

### 2. 垂直管火炉方式の高い信頼性

本ボイラは、ガスだきボイラの中東電力(株)川越1, 2号700

\*1 原動機技術センターボイラ技術部長

\*4 火力プラント設計部陸用ボイラ設計一課長

三菱重工技報 Vol. 35 No. 1 (1998-1)

\*2 原動機技術センターボイラ技術部ボイラ技術一課長

\*5 長崎研究所火力プラント研究推進室

\*3 原動機技術センターボイラ技術部ボイラ技術一課

表2 建設・試運転工程  
Construction and trial operation schedule

内容	年月	内容	年月
着工	平成5年2月	受電	平成8年4月
立柱	平成6年2月	ボイラ点火	平成8年9月
ヘッダ揚げ	平成7年1月	併入	平成8年10月
水圧	平成7年10月	運開	平成9年7月

表3 使用炭性状例  
Examples of used coal properties

			O炭	S炭	N炭	B炭	
全水分	受入	wt %	14.5	10.5	9.0	11.6	
高位発熱量	恒湿	kcal/kg	5800	6830	6770	6830	
工業分析	固有水	恒湿 wt %	9.7	5.7	2.5	2.7	
	灰分	恒湿 wt %	13.1	8.5	15.8	14.5	
	揮発分	恒湿 wt %	35.5	44.3	25.1	34.5	
	固定炭素	恒湿 wt %	41.7	41.5	56.6	48.3	
灰軟化性	軟化点	ASTM	℃	1200	1360	>1500	>1500
	融点		℃	1325	1500	>1500	>1500
	流動点		℃	1380	1500	>1500	>1500
粉碎性		-	47	44	67	53	

MW ボイラや、石炭だきボイラの九州電力(株)松浦1号700 MW ボイラ、中部電力(株)碧南1号700 MW ボイラ、相馬共同発電(株)新地2号1000 MW ボイラ<sup>(1)</sup>の経験に基づき、以下に述べる特徴を持つ垂直管火炉を採用し、蓄積してきた数多くの知見を反映

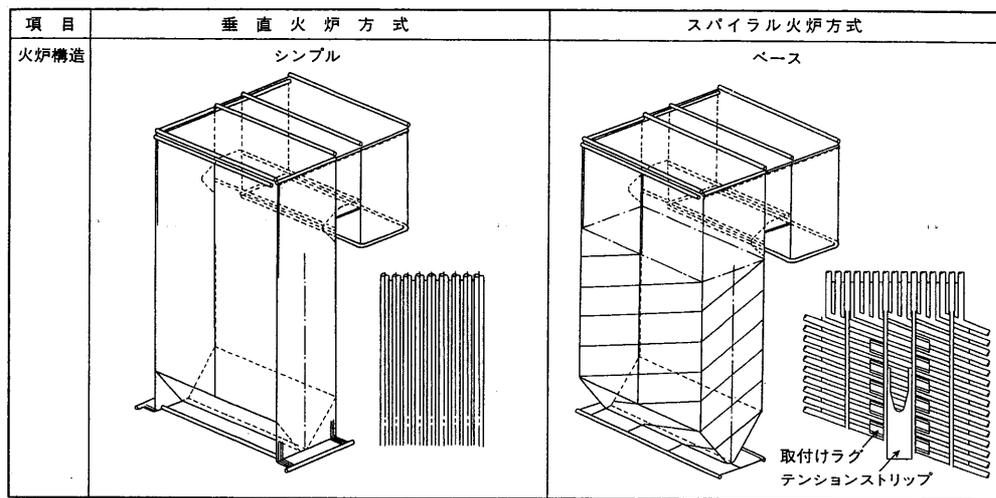
して万全の信頼性を考慮した設計とした。

超臨界圧変圧運転貫流ボイラでは、火炉流体が亜臨界圧となる中間負荷帯における水及び蒸気側の熱伝達率低下への対策が必要であり、従来は図2(a)に示すように火炉壁管を傾斜させたスパイラル構造とし、火炉壁管本数を減らすことで管内流体速度を2~3倍に高めて火炉壁管の冷却を可能としている。この方式には、炉壁構成や支持構造が複雑で、据付や保守性に難点があった。さらに、系統圧損が高く運転動力も高いという根本的な欠点があった。

当社は、ライフル管(内面溝付きの伝熱促進管)には内面の溝によって蒸気膜の形成が抑制され、水と蒸気の混合が促進されること、これにより高蒸気含有率(高乾き度)まで膜沸騰状態となり難く核沸騰を維持可能であり、メタル温度の抑制が可能となる優れた流動伝熱特性が有ることに着目した<sup>(2)</sup>。この特性によって、図2(b)に示すとおり、ライフル管の場合はメタル温度を十分低く抑制でき、火炉流体の設計重量速度を1500~2000 kg/(m<sup>2</sup>·s)程度まで下げても従来の設計以上の信頼性確保が可能となる。

このライフル管を使用した垂直管火炉方式を旋回燃焼方式と組合せて実用化する<sup>(3)</sup>ことによって、安全性の向上に加え以下の利点を得ることができた。

- (1) 重量速度が低いので、圧力損失が少なく運転動力を節減できる。
- (2) 単純な構造のため、火炉支持が容易で付着金物類が少ない。さらに、現地溶接数が少ないため、信頼性、据付、保守性に優れている(亜臨界圧ボイラと同じ構造で、長期間の実績があ



(a) 火炉方式の比較

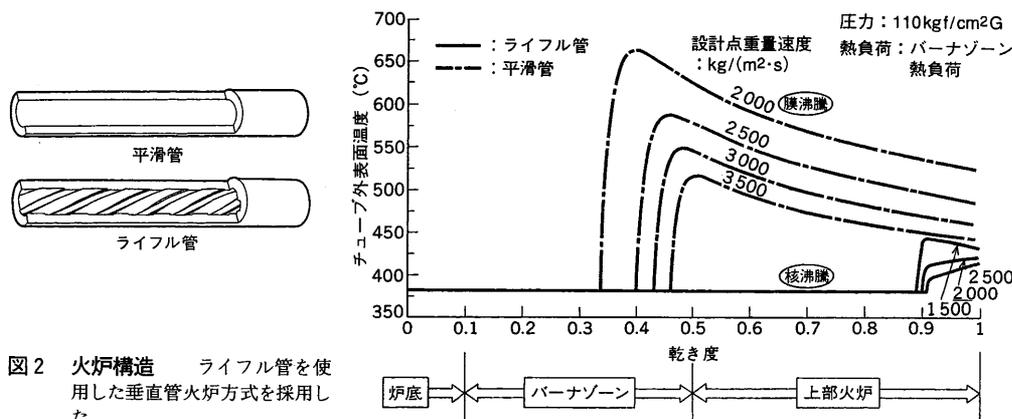


図2 火炉構造 ライフル管を使用した垂直管火炉方式を採用した。  
Feature of spiral furnace wall

(b) ライフル管による温度低減効果

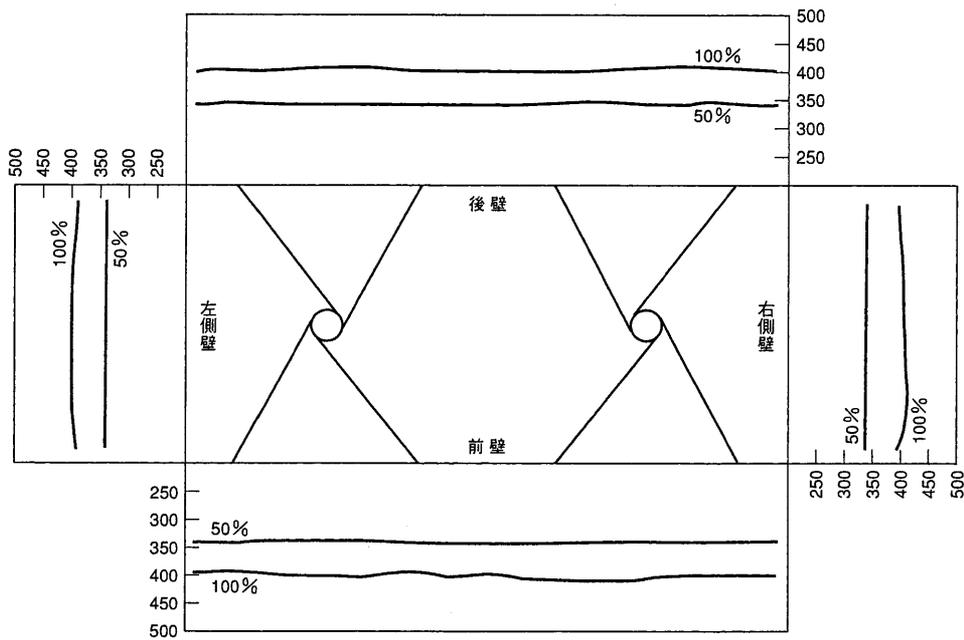


図3 火炉出口流体温度分布 各負荷で安定かつ均一な出口温度分布が得られた。  
Furnace outlet fluid temperature profile

- る)。
- (3) 石炭だきユニットでは、スラッグの脱落が容易で火炉壁附着灰量が少なく、スツブプロウ使用頻度の減少や定検時の排出灰処理量の低減が可能となる。
  - (4) 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、火炉熱吸収量変動時の流量変化が少ない。

試運転期間中の各種試験において本火炉方式の信頼性が予想どおりであることが実証され、図3に100%負荷の超臨界圧域、及び50%負荷の亜臨界圧域における火炉燃焼室出口の流体温度分布を示すとおり、安定した均一な出口温度分布が得られた。

垂直管火炉方式の変圧貫流運転ボイラは、当社が世界に先駆けて独自に開発した技術であり、川越1, 2号, 松浦1号以来数多くの改善を実施してきたものであるが、本ボイラにおいて玉成したといえる。

昨今、この垂直管火炉方式の変圧貫流ボイラが欧米において注目を集めている中、当社は世界で唯一実運転実績を持つメーカーとして、これまでの成果を基に、今後も、信頼性の高い垂直管火炉ボイラを計画していくこととしている。

### 3. 低 NOx と低灰中未燃分の達成

NOx 及び灰中未燃分低減対策として、低 NOx バーナ、炉内脱硝及び高微粉度ミルを組合せた、総合低 NOx 燃焼システムを採用している (図4参照)。

- (1) 低 NOx バーナは、濃混合気火災に特有の低負荷における優れた着火安定性を有し、未燃分の発生が少ない PM バーナを採用している。
- (2) 炉内脱硝は、主バーナと一体化したオーバファイアエア (OFA) ポートの上部に、NOx 還元のための十分な空間を確保してアディショナルエア (AA) ポートを設け、一層の NOx 低減を図る新アドバンスト MACT (炉内脱硝法) を採用している。
- (3) 高微粉度ミルは、高微粉度の達成と分級性能の向上が可能で、特に未燃分発生に支配的な 100 メッシュ (149×10<sup>-3</sup>mm) 以上の粗粉量を大幅に削減する回転式セパレータ (MRS) を上部に

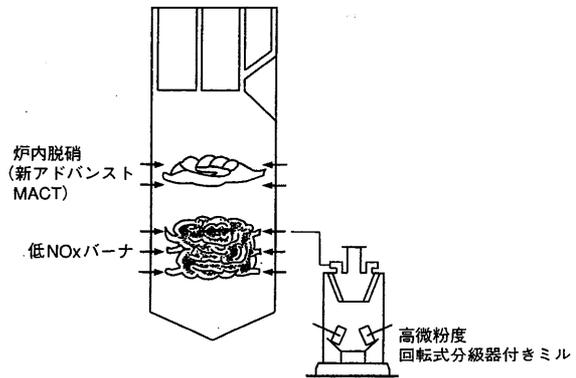


図4 総合低 NOx システム バーナ、炉内脱硝、ミルを最適に組合せたシステム。  
Total low NOx combustion system

組込んだ 130 t/h ミルを採用している。

このミルは、ミルの振動が起り難いように、ローラと粉砕ターブルラインが直接接触しない配慮が払われている。また、ミル火災が起り難いように、ミル内に石炭がたまり積し難い安全な構造としてある。

この総合低 NOx 燃焼システムの調整を行った結果として、NOx 150 ppm、灰中未燃分 3%以下と計画値を十分余裕を持って下回るレベルが確認され、計画を大幅に上回る燃焼性能が確認された。これらの成功は、次のステップである A-PM バーナでの更なる低 NOx、低未燃分を期待させるものである。

### 4. ボイラ性能

試運転期間中の性能試験結果を図5に示す。MRS ミルの粗粒低減効果による低空気過剰率運転 (定格負荷時 10~15%) の実現や未燃損失の低減、さらに火炉内灰付着が計画よりも大幅に少なかったことによる排ガス損失の低減により、計画値 89.05% に対し豪州 B 炭で 91.8% と十分に高い効率が得られた。

また、中間負荷対応石炭だき火力に求められる負荷変化応答性

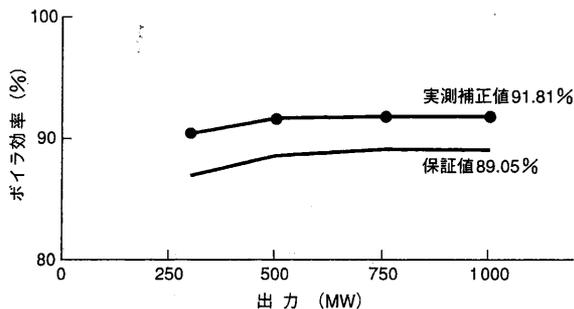


図5 ボイラ効率 高いボイラ効率を得られた。  
Boiler and plant efficiency at performance test

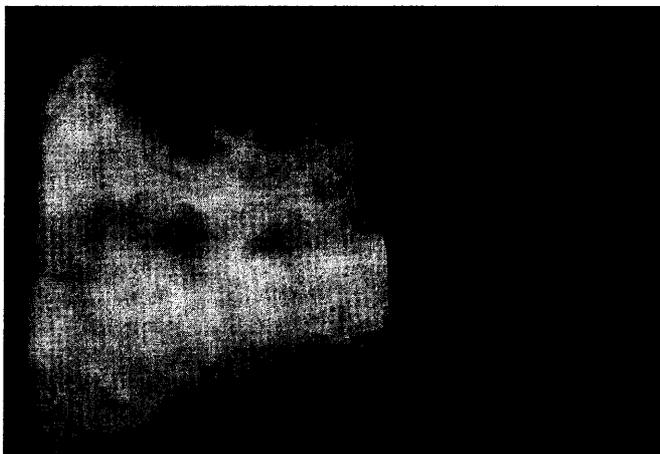


図6 15%負荷石炭専焼運転状況 15%負荷でも安定した燃焼状態が保持されている。  
Coal exclusive firing condition at 15% load

は、計画4%/minを十分に満足し、さらに5%/minへの対応能力も持つことを確認した。制御には、ファジィ手法を用いた伝熱面状態推定による新しい多炭種対応の制御方式を導入している。また、石炭専焼最低負荷も15%までを確認でき(図6参照)、柔軟な運用に対する対応能力の高さを検証できた。

## 5. ゾーンモジュール工法

当社では据付期間短縮のために、鉄骨と機器を各ゾーンごとに分割して組立て、一括して吊り据付けるゾーンモジュール工法を相馬共同火力発電(株)新地2号で初めて採用した。今回は、更に適用範囲を広げ、本格的なゾーンモジュール工法とした。当社長崎造船所のモジュールセンターにおいて鉄骨、機器、ダクト、配管、計装品を完成品の状態で仕上げ、最大重量が1100tとなる14個のモジュールを組立てた。大型輸送船(バージ)を用いて、モジュールが自立した状態で輸送し(図7参照)、ジャストインで据付ける方法を採用した。このゾーンモジュール工法により、発電所での据付用地面積の低減、現地の人員削減による宿舍・通勤等の混雑解消、配船隻数の削減による荷揚げ作業のふくそう緩和、現地工事量の平準化が可能となり、着工から点火までの建設工期

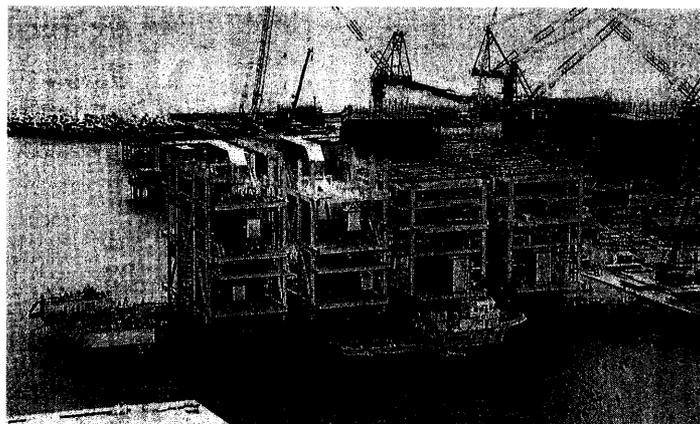


図7 モジュール輸送 バージでのモジュール輸送状況を示す。  
Module transportation by barge

を3.5箇月短縮することが可能となった。

本ユニットでの実績を基に、モジュール化の範囲を拡大することにより、今後のユニットでは更に6箇月程度の短縮を検討中である。

## 6. む す び

昨今の規制緩和に関連した諸般の情勢から、石炭だき火力発電プラントに求められる内容も一層の拡大と急激な変ぼうを見せ始めている。このような状況下において、多炭種対応、中間負荷運用機能、プラント効率の向上や万全の公害対策といった、多様な要求を満たすべく本プラントは建設されており、その役割を十分に満足していることが分かった。

同時に、最新の要求事項を満足するための当社アプローチ自身についても、世界的に注目を集める垂直管火炉方式の超臨界圧変圧運転貫流ボイラ、本格的なゾーンモジュール工法、より広範囲な炭種対応能力、ボイラ再循環ポンプ無起動他を確認することによって方向性の正しさを検証できた。

当社は、この貴重な経験を今後の設計に反映するとともに、電力事業関係各位の期待にこたえて技術の研さんに努め、火力発電プラントの新たなニーズに対応していく所存である。

最後に、本ボイラの建設に当り基本計画から試運転に至るまで、終始御指導、御協力頂いた東北電力(株)の関係者各位に深く感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 金子祥三ほか、垂直管火炉方式1000MW石炭だきボイラの完成、三菱重工技報 Vol.33 No.1 (1996) p.6
- (2) Iwabushi, M. et al., Heat Transfer Characteristics of Rifled Tube in Near Critical Pressure Region, Presented at the Seventh International Heat Transfer Conference, September, 1982
- (3) 河村友植ほか、垂直蒸気管形大容量超臨界圧変圧運転貫流ボイラ、三菱重工技報 Vol.17 No.2 (1980) p.109~119