

中国電力(株)三隅 1 号 1 000 MW ボイラの計画と運転実績

Design Features and Operation Result of Misumi No.1 1 000MW Boiler

原動機事業本部 金子 祥 三*1 山本 健 次 郎*2
 長崎造船所 木下 正 昭*3 若林 嘉 幸*4
 飯 田 豊*5

中国電力(株)三隅 1 号 1 000 MW 超臨界圧変圧運転石炭だきボイラは、600/600°C の最高レベルの蒸気条件に対応することはもちろん、燃焼面においても、新型 A-PM バーナ、新型 MRS II ミル等の先進技術を結集して、今まで以上に高効率・低 NOx を実現した最新鋭ボイラである。本報では、計画概要と、良好な試運転結果について以下の項目等に関し報告する。(1) 垂直管火炉方式の高い信頼性、(2) A-PM バーナ、MRS II ミルによる低 NOx ・低未燃分の実現、(3) 燃焼性の向上による高いボイラ効率と計画値の 30% より低い石炭専焼最低負荷の達成 (15% 負荷まで試運転にて確認済み)。

Steam temperature has been raised to 600/600°C at the Chugoku Electric Power Co., Inc., Misumi Thermal Power Station No.1 coal-fired, supercritical sliding pressure operation boiler supplied by MHI with a vertical furnace water wall. The boiler achieved high efficiency and low NOx emission with A-PM burner and MRSII pulverizer. This paper reports the boiler's design features and operation results, e. g., (1) the highly reliable vertical furnace waterwall, which uses rifled tubing, (2) low NOx and low unburned Carbon in fly ash owing to the A-PM burner and MRSII pulverizer, and (3) the higher boiler efficiency of 91.8% and flexible boiler operation in coal exclusive firing at enough lower load than guaranteed minimum load of 30% (15% load was confirmed in trial operation).

1. ま え が き

平成 10 年 6 月 25 日に営業運転を開始し、以来順調に運転を続けている中国電力(株)三隅 1 号ボイラの特徴と運転実績を紹介する。

本ボイラの主要仕様を表 1 に示すが、ボイラ出口 25.4 MPa (259 kg/cm²) × 604/602°C の高蒸気条件を採用した 1 000 MW ボイラである。側面図を図 1 に示す。本ボイラの高性能化に当っては、

表 1 ボイラ主要仕様
Boiler major specifications

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	蒸気流量	主蒸気	2 900 000 kg/h
		再熱蒸気	2 379 800 kg/h
	蒸気圧力	過熱器出口	25.40 MPa
		再熱器出口	4.50 MPa
再熱器入口		4.70 MPa	
蒸気温度	過熱器出口	604°C	
	再熱器出口	602°C	
	再熱器入口	350.2°C	
給水温度	節炭器入口	289.2°C	
燃 料		石炭、軽油 (30% 容量)	
燃焼方式		A-PM バーナ、新アドバンスト MACT 法による旋回燃焼方式	
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アファン方式	
起動用熱回収方式		ボイラ再循環ポンプ方式	
蒸気温度制御範囲	主蒸気	最大蒸発量～30% 負荷	
	再熱蒸気	最大蒸発量～50% 負荷	
蒸気温度制御方式	主蒸気	給水/燃料比、スプレーガス分配ダンパ、再循環ガス、スプレー (危急用)	
	再熱蒸気		
ボイラ主要補機	微粉炭機	三菱 MRS II 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	動翼可変 2 段軸流 2 台	
	誘引通風機	動翼可変 2 段軸流 2 台	
	空気予熱器	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	

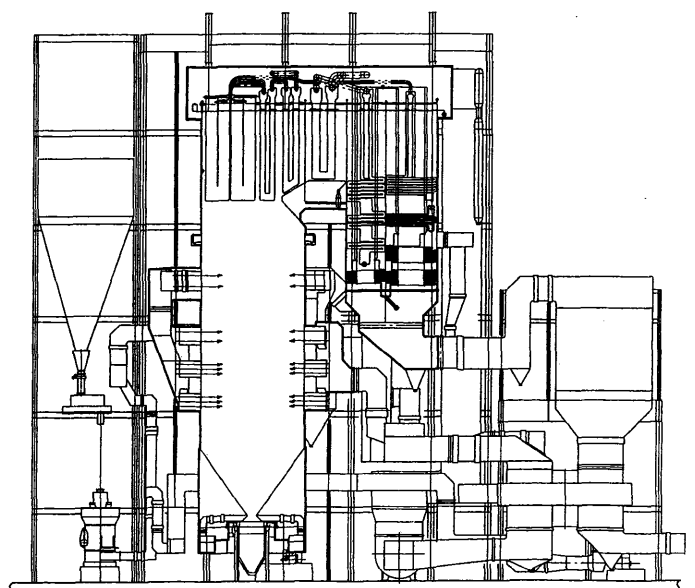


図 1 三隅 1 号ボイラ側面図 伝熱面、主要補機、バーナ風煙道ダクト等の配置を示す。

Boiler general arrangement side view

表 2 建設・試運転工程

Construction and trial operation schedule

内 容	年 月	内 容	年 月
着 工 (本館くい打ち開始)	H 7.1	ボイラ点火	H 9.10
立 柱	H 7.9	通 気	H 9.11
水 圧	H 9.2	併 入	H 9.12
受 電	H 9.6	運 開	H 10.6

*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. 36 No. 1 (1999-1)

*2 原動機技術センターボイラ技術部ボイラ技術一課主務

*5 火力プラント設計部燃焼技術課長

*3 火力プラント設計部次長

表3 使用石炭性状例
Examples of used coal properties

			M炭	H炭	B炭	E炭	Eb炭	D炭	W炭
全水分	受入	wt%	7.0	9.3	17.6	6.5	7.7	7.8	11.3
高位発熱量	恒湿	Kcal/kg	6920	6700	6740	7150	6510	7400	6992
工業分析	固有水分	恒湿 wt%	2.7	3.5	6.6	4.8	6.3	3.4	3.4
	灰分	恒湿 wt%	13.6	14.5	8.0	7.4	13.1	6.9	10.4
	揮発分	恒湿 wt%	33.1	30.8	28.4	27.7	39.9	36.4	33.4
	固定炭素	恒湿 wt%	50.6	51.2	57.0	60.1	40.7	53.3	52.8
灰軟化性	軟化点	°C	>1500	1400	>1500	1450	>1500	1300	—
	融点	ASTM °C	>1500	>1500	>1500	1450	>1500	1490	—
	流動点	°C	>1500	>1500	>1500	1500	>1500	>1500	—
粉碎性	—	55	52	66	61	40	45	48	

相馬共同火力発電(株)新地2号1000 MW ボイラ⁽¹⁾ (25.0 MPa×542/567°C)、東北電力(株)原町1号1000 MW ボイラ⁽²⁾ (25.4 MPa×570/595°C)、での設計思想を踏襲し、更に高温化、高効率、低NOx 燃焼を実現した。

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7種類の石炭が用いられた。

2. 垂直管火炉方式の高信頼性

当社では、表4のとおり、1989年の初号機運開⁽³⁾以来、これまでライフル管を使用した垂直管型超臨界圧変圧運転ボイラ⁽⁴⁾は6缶の運転実績があり、三隅1号ボイラは7缶目となる。

昨今、この垂直管火炉方式の変圧運転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績を持つメーカーとして、三隅1号を加えたこれまでの運転実績を基に、今後も信頼性の高い垂直管火炉ボイラを納入していく予定である。

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るが、従来は火炉水冷壁管の冷却に必要な流体重量速度を確保するため、図2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し管内流体速度を高く保つことで対応していたが、構造が複雑で、系統圧損が高く運転動力も高いという欠点があった。

そこで、当社では管内面の溝により高蒸気含有率(高乾き度)まで核沸騰が維持され伝熱劣化がなく、メタル温度の抑制が可能なライフル管(内面溝付きの伝熱促進管)の優れた伝熱特性に着目した⁽⁵⁾。ライフル管の採用により、メタル温度を十分低く抑制できる設計が可能である。

表4 超臨界圧変圧貫流垂直管火炉ボイラ実績
Supply record of vertical WWSC variable pressure operation boiler

納入先	出力	燃料	運開年
九州電力(株)松浦1号ボイラ	700 MW	石炭	1989
中部電力(株)川越1号ボイラ	700 MW	ガス	1989
中部電力(株)川越2号ボイラ	700 MW	ガス	1990
中部電力(株)碧南1号ボイラ	700 MW	石炭	1991
相馬共同火力発電(株)新地2号ボイラ	1000 MW	石炭	1995
東北電力(株)原町1号ボイラ	1000 MW	石炭	1997
中国電力(株)三隅1号ボイラ	1000 MW	石炭	1998
関西電力(株)舞鶴1号ボイラ(予定)	900 MW	石炭	2003

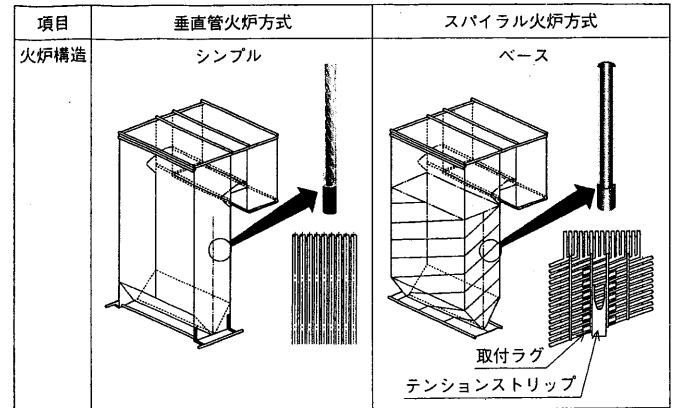


図2 火炉構造比較 ライフル管を使用した垂直管火炉方式を採用した。
Comparison of furnace structure

このライフル管を使用した垂直管火炉方式を旋回燃焼法式と組合せて実用化することによって、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、圧損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が少ない。さらに現地溶接が少ないため、信頼性、据付、保守性に優れている。
- (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付着灰量が少ない。
- (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のとおり各負荷において安定した均一な火炉出口流体温度分布が得られた。

3. 多炭種対応と高温化

火炉体格は、れき青炭専焼(24炭種)での多炭種対応を原則としてコンパクト化されているが、燃料調達の融通性確保のため亜れき青炭も混炭できるように配慮されており、最大50%まで混炭可能である。また、600/600°Cの高蒸気条件に対応するため、高温強度材を使用して信頼性を確保している。

主蒸気管、高温再熱蒸気管には9 Cr 鋼(火STPA 28)を採用し、過熱器管の高温部には事業用ボイラとしては初めて25 Cr 鋼(火SUS 310 J 1 TB)を採用した。

4. 低NOxと低灰中未燃分の実現

NOx及び灰中未燃分低減対策として、A-PMバーナ(Advanced-Pollution Minimum)⁽⁶⁾、炉内脱硝及び高微粉度MRS II (Mitsubishi Rotary Separator II)ミルを組合せた低NOx・低未燃分燃焼システムを採用している。

(1) A-PMバーナ

石炭バーナには従来のPMバーナに比べ、更に低NOx化を実現した最新型のA-PMバーナを採用した。PMバーナは火炎を石炭・空気混合比の高い濃混合気炎と、混合比の低い淡混合気炎に分離することで低NOx化を図るバーナであるが、A-PMバーナでは単一火炎内にて同軸上に濃混合気炎・淡混合気炎に分離することで低NOx化を図ると同時に、外周の濃混合気炎により着火安定性を維持し、さらに従来の連続風箱型PMバーナから分割型A-PMバーナとしたことで風箱ダンパ数の削減、バー

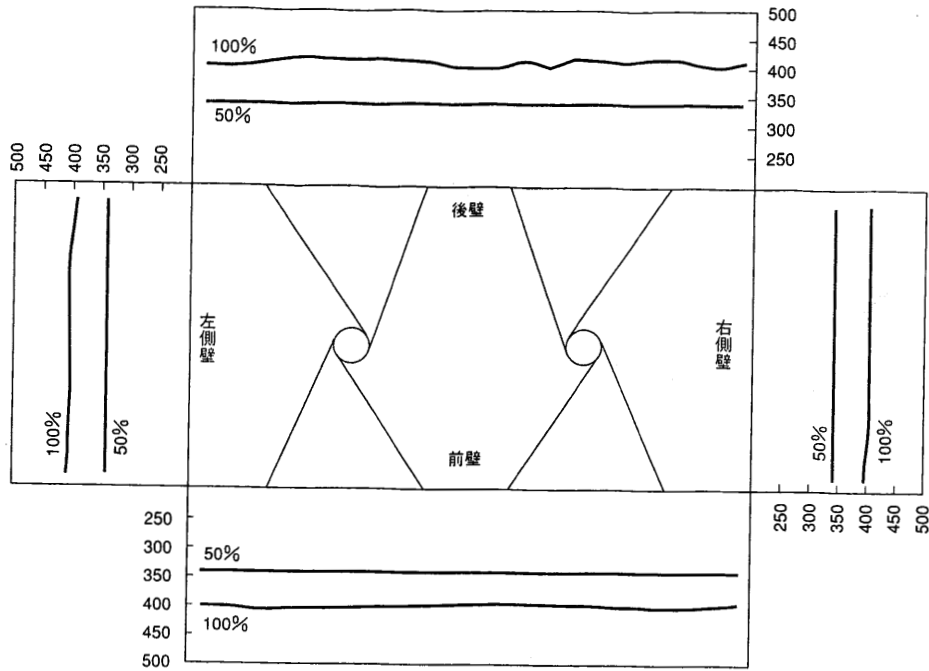


図3 火炉出口流体温度分布 各負荷にて均一な出口温度分布が得られた。
Furnace outlet fluid temperature profile

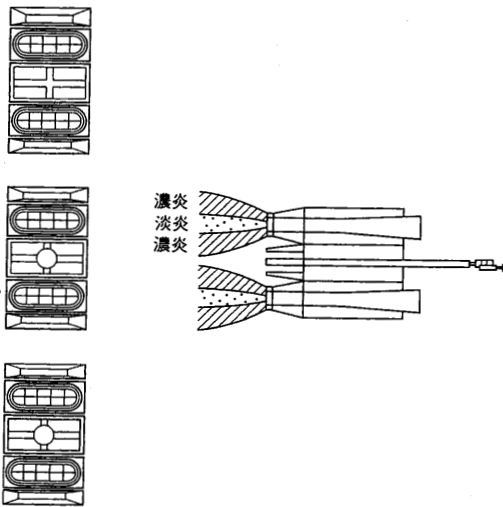


図4 A-PMバーナ 低NOxで、かつ高信頼性であるバーナを開発した。
Outline drawing of A-PM burner

ナ部アクセスの改善が図られ、シンプルでメンテナンス性、信頼性、耐久性に富むバーナが実現可能となった(図4参照)。

(2) 新アドバンスト MACT

炉内脱硝は、主バーナ部の上部に、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)を採用した。

(3) MRS II ミル

ミルには、回転式分級機により高微粉度を実現した従来のMRSミル⁽⁷⁾に、さらに従来の固定式分級機を組合せた2段分級により更なる高微粉度運転を安定して実現するMRS IIミルを採用した(図5参照)。

図6のとおり、MRSミルでは未燃分発生に支配的な100メッシュ(149×10⁻³mm)以上の粗粉量を大幅に低減しているが、

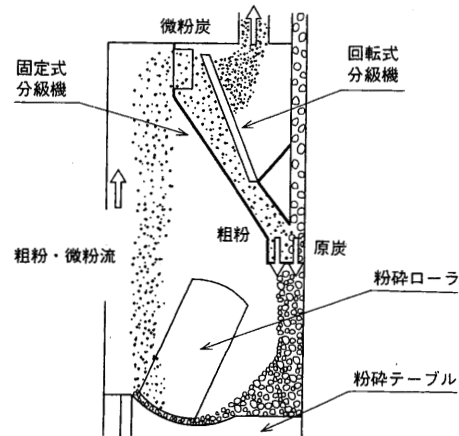


図5 MRS IIミル 回転式分級機・固定式分級機の組合せにより高微粉度を実現した。
MRS II pulverizer

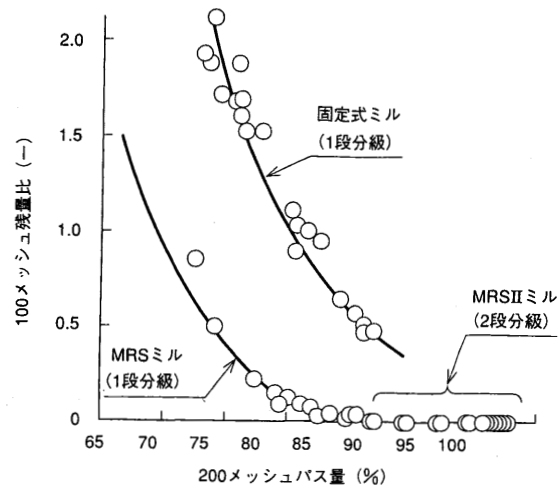


図6 微粉度特性 MRS IIミルにより、高微粉度にて安定運転が可能となった。
Fineness of pulverized coal

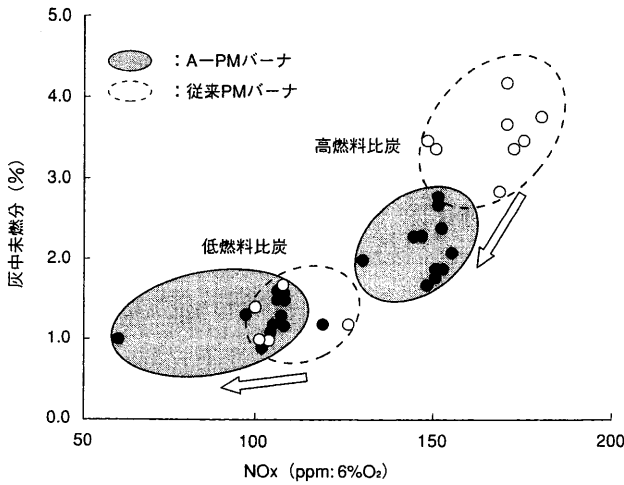


図7 NOx・灰中未燃分実績 A-PMバーナ，MRS IIミルの組合せにより，低NOx・低未燃分を実現した。
Results of NOx emission and unburned carbon ratio in fly ash

MRS IIミルでは，更に200メッシュパス90%以上の高微粉度域においてもより安定な運転を実現している。

(4) 低NOx・低灰中未燃分の実現

以上の技術を採用することで，図7のとおりNOx・灰中未燃分共従来PMバーナとMRSミルの組合せに比べ大幅に低減された良好な結果を得るとともに，空気過剰率の低減による燃焼面での高効率化を図ることが可能となった。

5. ボイラ性能

試運転期間中の性能試験結果を図8に示す。A-PMバーナ，MRS IIミルによる未燃損失の低減及び低空気過剰率運転の実現等により，保証値89.21%に対し，空気過剰率を10%まで低減した最高効率試験では91.83%と非常に高いボイラ効率を得られた。

制御には，ファジイ手法を用いた火炉・伝熱面状態推定による新しい多炭種対応の制御方式⁽⁸⁾を導入し，試運転調整中の5炭種を始め多炭種での良好な制御性を確認した。また，石炭専焼最低負荷も15%負荷まで確認することができ，柔軟な運用への対応能力の高さを検証することができた。

6. ゾーンモジュール工法

本ボイラでは，据付期間短縮のため，相馬共同火力発電(株)新地2号，東北電力(株)原町1号に引続きゾーンモジュール工法を採用した⁽⁹⁾。本工法は，現地での基礎工事と並行して工場にて鉄骨と機器を各ゾーンごとに分割して組立て海上輸送し，現地に一括して据付ける工法である。すなわち，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に仕上げ，最大重量が約1700tとなる12基のモジュールを組立て，排水量14000tの大型バージ船で海上輸送し，約3500t積載可能なトランスポータを用いてモジュールが自立した状態で構内を輸送し，ジャストインで据付ける方法である。このゾーンモジュール工法により，発電所での据付け用地面積の低減，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輻輳(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を従来工法と比べて約6箇月短縮することができた。

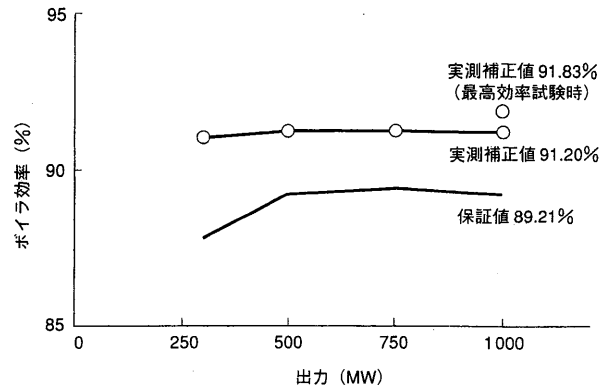


図8 ボイラ効率 高いボイラ効率を得られた。
Boiler efficiency at performance test

7. むすび

三隅1号ボイラの完成により，高蒸気条件の運転実績を600/600℃まで拡張するとともに，最新のA-PMバーナ，MRS IIミルの組合せにより，最高レベルの低NOx，低未燃分運転を実現し，高い環境適合性，高効率運用を実証することができた。また，世界的に注目を集めており，唯一三菱重工のみが運転実績を有する高信頼性垂直管火炉方式超臨界圧変圧運転ボイラの実績も7缶目となった。さらに，制御面においても高い多炭種対応能力を実証することができた。

当社は，三隅1号ボイラの完成により得られた貴重な経験を今後の設計に反映するとともに，社会に求められる技術の開発，改善に一層の努力を続けていく所存である。

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，御協力頂いた中国電力(株)の関係者各位に深く感謝の意を表す。

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)
- (2) 金子祥三ほか，東北電力(株)原町1号1000MW垂直管火炉型ボイラの特徴と運転実績，三菱重工技報 Vol.35 No.1 (1998)
- (3) T. Kunimoto et al., Operation Characteristics of 700 MW Coal Fired Boiler for Middle Load Use, Presented at ASME international Power Generation Conference, October 1991
- (4) 河村友穂ほか，垂直蒸発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
- (5) T. Matsuo et al., Heat Transfer Correlation of Rifled Tubing for Boilers Under Sliding Pressure Operating Condition, ASME HEAT TRANSFER Japanese Research Vol.16 (1987) No.5
- (6) 金子祥三ほか，最新鋭低NOxA-PMバーナ，三菱重工技報 Vol.32 No.1 (1995)
- (7) T. Kawamura et al., New Approach to NOx Control Optimization of NOx and Unburnt Carbon Losses, the 1989 Joint Symposium on Stationary Combustion NOx Control EPRI
- (8) 森山 功ほか，多炭種対応新制御技術の開発，三菱重工技報 Vol.35 No.1 (1998)
- (9) 高橋 伯ほか，大型石炭だきボイラのゾーンモジュール工法，三菱重工技報 Vol.32 No.1 (1995)