

# 既設ボイラの低 NOx 改造技術（台湾での低 NOx 改造工事）

## Retrofitting of Mitsubishi Low NOx System

原動機事業本部 佐藤 進<sup>\*1</sup> 小林由則<sup>\*2</sup>  
 長崎造船所 橋本貴雄<sup>\*3</sup> 外野雅彦<sup>\*4</sup>  
 技術本部 一ノ瀬利光<sup>\*5</sup>

当社は、長年低 NOx 燃焼技術の開発・実用化に携わってきたが、近年さらにコンパクトでかつ性能を大幅に向上した新型低 NOx 石炭だき A-PM (Advanced-Pollution Minimum) バーナを開発し、これに炉内脱硝システムの A-MACT (Mitsubishi Advanced Combustion Technology) 技術と回転式分級器 MRS (Mitsubishi Rotary Separator) ミルを組合せることで、設置スペースの限られた既設ボイラの改造工事等、従来より広範な実機改造への適用が可能となるシステムを完成した。このほど、台湾電力公司の大林発電所既設石炭だきボイラ 300 MW ほかに本技術を適用し、良好な性能を確認すると同時に操作性・メインテナンス性の向上を実現した。

MHI has long been engaged in low NOx combustion R&D and put them into practical use. Recently, MHI has developed the compact advanced-pollution minimum (A-PM) burner for coal firing boilers, which has excellent compactness and improved combustion performance. By combining this burner with our in-furnace NOx reduction Mitsubishi advanced combustion technology (A-MACT) and the Mitsubishi rotary separator (MRS) pulverizer, we have completed an excellent coal combustion system that, for instance, enables the existing boiler to be retrofitted to make up for installation limited space. This technology was applied to the 300MW coal-fired boiler of the Talin power plant, Taiwan Electric Power Company and excellent combustion performance was confirmed. Improved operability and maintenance were simultaneously also confirmed.

### 1. はじめに

我が国では火力発電所に対する環境対策の要求が極めて厳しく、ボイラでの NOx 低減に関しては、新設ボイラはいうに及ばず既設ボイラに関しても、これまでに多くの技術やシステムが適用されてきた。しかしながら、既設ボイラへの適用は配置上の制約や蒸気温度特性の変化等考慮する点が多数あり、特に海外の運転年数が長く、比較的老朽化の進んだ石炭だきボイラを対象とする場合には、これらの問題が改造実施の大きな障害となっていた。

近年、エネルギー源の多様化と地球環境保全への取組みは海外においても重視されつつあり、当社はこの配置上の制約を解決するために、優れた低 NOx 特性や高い燃焼性のみならず、構造を大幅に簡素化したコンパクトな A-PM (advanced-pollution minimum) バーナを開発し、台湾電力公司向け石炭だき既設ボイラ (300 MW) の低 NOx 改造工事に適用した。

さらに、今回実施した低 NOx 改造工事は、石炭だきボイラばかりでなく、油だきボイラ (375 MW) やガスだきボイラ (500 MW) も同じく対象となったことから、通常火力発電所が使用するすべての化石燃料に対し、海外の既設ボイラの改造工事としては初めて当社の低 NOx 燃焼技術を全面的に適用し、国際環境問題の改善に大きく貢献することができた。

そこで本報では、これら改造工事の概要とその運転実績につき説明する（表 1 参照）。

表 1 台湾電力向け既設ボイラの低 NOx 改造実績  
 Low NOx Retrofitting to existing boilers for Taiwan Electric Power Company

ユニット	出力 MW	燃 料	運開年	改造年	改造内容
大林 1 号	300	石 炭	1968	2000/7	A-PM バーナへ換装 ミルの MRS 化 炉内脱硝法 A-MACT 採用 蒸気温度特性改善
大林 2 号	300	石 炭	1968	2001/1	同上
大林 3 号	375	油	1971	2000/3	油だき PM バーナへ換装 OFA システムの採用 GM システム追設
大林 4 号	375	油	1972	2001/3	同上
大林 5 号	500	ガ ス	1973	1999/5	ガスだき PM バーナへ換装 OFA システムの採用 GM システム追設
林口 2 号	300	石 炭	1971	1999/5	A-PM バーナへ換装 炉内脱硝法 A-MACT 採用 蒸気温度特性改善

### 2. 石炭だきボイラの低 NOx 改造工事

#### 2. 1 大林 2 号ボイラ (300 MW) 改造工事概要

低 NOx 改造工事を実施した台湾電力公司大林発電所 2 号ボイラの主要仕様を表 2 に示す。

NOx 低減工事の主な改造内容は以下の 3 点である。

- A-PM バーナ改造（従来バーナと交換）

\*1 ボイラ技術部長

\*2 ボイラ技術部ボイラ開発・サービス技術課長

\*3 火力プラント設計部次長

\*4 火力プラント設計部陸用ボイラ設計課

\*5 長崎研究所火力プラント研究推進室長

表2 大林2号ボイラ主要仕様  
Major specification of Talin No. 2 boiler

ボイラ形式	三菱強制循環ボイラ放射再熱
量大蒸発量	1 000 t/h
蒸気条件	169 kgf/cm <sup>2</sup> G × 542/542°C (過熱器出口/再熱器出口)
蒸気温度制御方法	主蒸気: 過熱器スプレー 再熱蒸気: バーナ角度調整
その他	燃料: 石炭 燃焼方式: 旋回燃焼 通風方式: 平衡通風 バーナ本数: 20本

表3 大林2号ボイラ改造工事スケジュール  
Modification schedule of Talin No. 2 boiler

項目	2000					2001
	9月	10月	11月	12月	1月	
大日程	▽ 停止準備					水圧試験 点火
1. 仮設工事	○ 撤去		○ 搬入, 位置合せ, 溶接			
2. バーナ風箱		○ 撤去	○ 設置, 溶接			
3. 鉄骨			○ 撤去, 搬入, 位置合せ, 溶接			
4. 耐圧部	○ 撤去					
5. ダクト		○ 撤去				
6. MRS	○ 撤去	○ 設置, 復旧				
7. 配管	○ 撤去		○ 搬入, 設置			

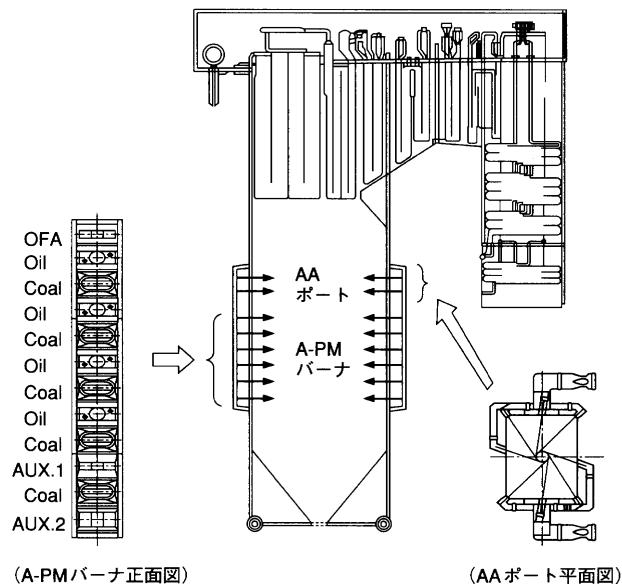


図1 大林2号ボイラ改造図 大林2号ボイラの改造概要である、A-PMバーナ、AAポート(A-MACT)を示す。  
Cross-sectional view of boiler modification

- A-MACT (Mitsubishi advanced combustion technology) システム改造 [アディショナルエアポート (AA) の設置]
- 微粉炭機のMRS (Mitsubishi Rotary Separator) 改造 (回転式分級器の設置)

図1に改造後のボイラ側面を示す。A-PMバーナ改造とて各コーナの主バーナノズルとダンバを含めた風箱を換装した。それに伴い耐圧部の一部、微粉炭管、バックスラー、空気ダクト、計装設備等の部分的改造を実施した。

また、A-MACTシステムを採用し、それに伴い2段AAポートをコーナ部及び各壁中央部に追設した。

微粉炭機には灰中未燃分の低減を目的として、既設固定式分級器を撤去し、新たにMRSを追設した。

改造工事スケジュールを表3に示す。改造期間は既設部位の撤去・復旧作業や運転調整期間も含め約140日であった。

## 2.2 大林2号ボイラ燃焼試験結果

改造前後のボイラ性能を確認するため、豪州炭(燃料比

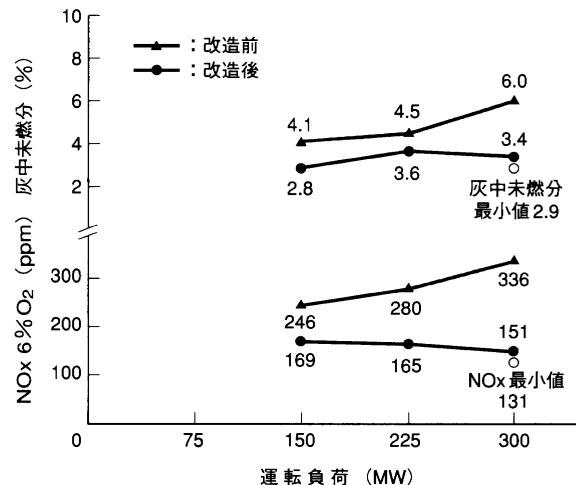


図2 燃焼試験結果 (ECO出口NOx, 灰中未燃分)  
大林2号ボイラ燃焼試験結果(節炭器出口NOx, 灰中未燃分)を示す。  
Combustion test result (economizer outlet NOx, unburned carbon in ash)

1.6, 灰分16.3%)を使用した燃焼試験を実施した。図2に改造前後のNOx値、灰中未燃分をそれぞれ示す。NOx値は通常運転状態では150 ppmが達成可能であり、55%の低減効果となっており、同時に実施したNOxミニマム試験では131 ppmという性能を記録した。

また、MRS改造前後の微粉度は図3に示すとおり大幅な改造効果が得られており、この結果灰中未燃分を4~5割低減することができた。さらに本改造では過熱器(SH)、再燃器(RH)についても伝熱面積調整を実施した結果、蒸気温度特性を改造前に比べ大幅に改善でき、その結果プラント全体の効率は約3.0%改善した。

## 2.3 石炭だきボイラの低NOxシステムの技術的特長

### 2.3.1 石炭だきA-PMバーナ

図4は微粉炭だきPMバーナのNOx発生量特性カーブを示す。低NOx化は火炎を濃炎(空気比が低く燃料の濃い炎)と淡炎(空気比が高い炎)に分け、この2つの炎を組合せることでNOxを低く押えることができる。

従来のPMバーナは、上下2分割された濃炎・淡炎の別々

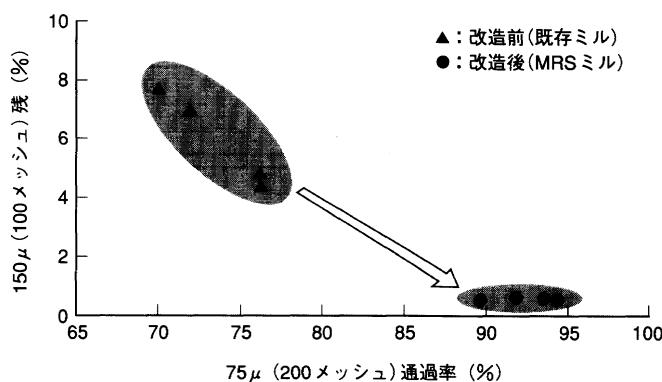


図3 燃焼試験結果（微粉度） 大林2号ボイラ燃焼試験結果（微粉度）を示す。  
Combustion test result (fineness of pulverized coal)

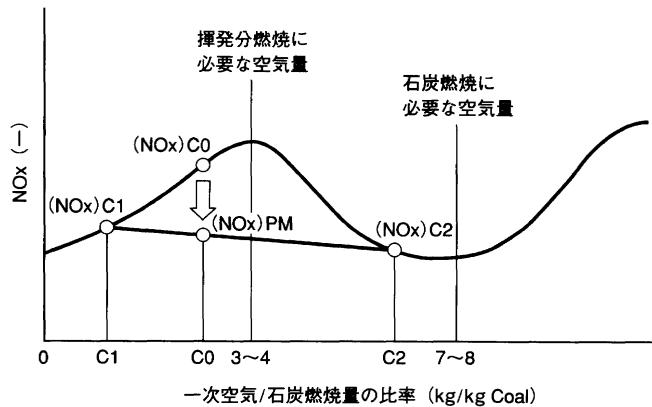


図4 NOx 発生特性 一次空気/石炭燃焼量の比率と発生 NOx の関係を示す。濃淡燃焼により NOx が低減できる。  
Concept of A-PM burner

のバーナノズルが必要であったのに対し、A-PMバーナでは、内蔵型の濃淡分離器の採用により、一つのバーナノズルで濃淡燃焼の分離が可能となり、バーナをコンパクト化することができる。

また、図5に示すように濃炎がドーナツ状に淡炎を包み込むように設計されていることから、濃炎が炉内からのふく射熱を受けやすく、着火性が向上するとともに、淡炎への二次空気の拡散を遅らせることで、緩慢燃焼による発生NOxの低減に寄与している。

### 2.3.2 炉内脱硝法 A-MACTシステム

A-MACTシステムでは図6に示すとおり火炉を3つの部分に分けることで火炉全体のNOx低減を達成するが、それぞれの部分での低NOx原理は次のとおりである。

#### (1) 主バーナ域

まず主バーナ部ではバーナから噴出した微粉炭流は周囲からのふく射を受け、放出した揮発分が着火して火炎を形成する。この領域の発生NOxは、主にこの揮発分に起因するが、これは空気比が1未満の還元雰囲気で、かつ高温燃焼させることにより還元物質として活性の高いチャーチーを生成し、NOxを低減することが可能である。

#### (2) 主バーナ～AA域

次に主バーナ～AA域では、主バーナ部で発生したNOx

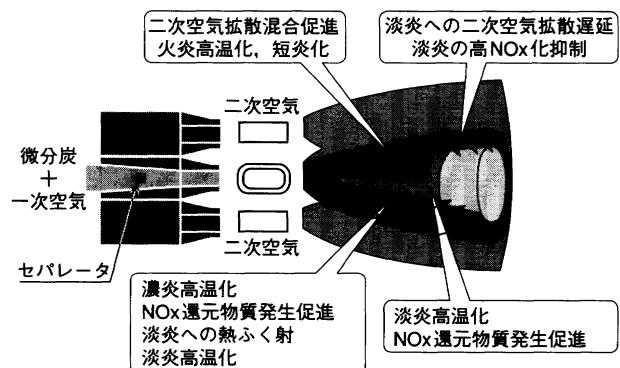


図5 A-PM バーナの火炎モデル A-PM バーナの原理を模式的に示す。  
Illustration of A-PM burner combustion

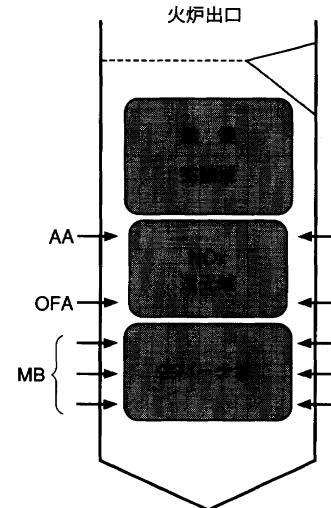


図6 A-MACT システム概念  
火炉を3つのゾーンに分け、A-MACT システムの概念を模式的に示す。  
Three zones in furnace with MACT system

と還元物質チャーチーとを、混合性良く十分な滞留時間を確保してNOxの還元を行う。

この場合NOx還元域での滞留時間を長く取ることが重要であるが、A-PMバーナによる短炎化の効果により火炉寸法が比較的小さい場合でもNOx還元域での実質的な滞留時間を長く取ることができる。

#### (3) AA 以降

AA以降では、残りの燃焼用空気を投入することでチャーチーの完全燃焼を行う。この場合、炉内の酸素分布にはらつきがあると局所的に酸素濃度が高い部分ができるNOxが発生し、逆に極端に低い部分が存在すると灰中未燃分の増加につながるため、火炉内を均一な空気比とする必要がある。

従来のAA投入はコーナ部からのみ一段で構成されていたが、新方式ではこれを二段として、より均一な空気投入を行うべく下段AAをコーナ部から投入し、上段AAを壁面中央から投入している。この方法（マルチAAシステム）によりNOx、CO、灰中未燃分共に低減が可能となった。

### 2.3.3 MRS ミル

高微粉度ミルは図7に示すように粉碎テーブルと乾燥チャンバの上部に回転式分級器を設置したものである。粉碎テーブルで粉碎された石炭は、熱空気により乾燥及び搬送される。搬送された石炭は、分級器では微細な微粉炭のみが回転式分級器を通過し、粗い微粉炭は図7に示すような遠心力と回転翼による衝突力により分級器外部へ分離される。分離された粗粉は、重力によりテーブルに落下し再粉碎され、要求されるサイズに粉碎された石炭微細粒子のみが微粉炭流として出口ポートより微粉炭管へ搬送される。

本技術はミル上部のみの部分改造が可能なことから広範な実機改造工事に適用可能である。

## 3. 油だきボイラの低 NOx 改造工事

### 3.1 大林3号ボイラ（375 MW）改造工事概要

油だきボイラではサーマル NOx が重要な要素となるため、基本的に火炎温度（燃焼温度）の低減と緩慢燃焼が NOx 低減手法となる。

具体的には PM 原理に基づく濃炎・淡炎の分離燃焼と燃焼用空気へのガス再循環（GM）により空気中の酸素濃度を低減し、火炎温度を下げることができる。さらに OFA システムにより主バーナ域での空気比を下げることからも NOx の低減が達成できる。

今回の NOx 低減工事の主な内容は次の 3 点である。

- 油だき PM バーナ改造（従来バーナと交換）
- OFA 追設（オーバファイアエアポート追設）
- SGR バーナ、GM システム追設（GM ファン・ダクト、SGR バーナ追設）

改造工事内容は、主バーナノズルとダンパを含めた風箱の換装。それに伴い、耐圧部、燃料配管、バックスラー、空気ダクト、計装関連等の部分的改造を実施し、GM ファン、SGR ダクト、GM ダクトも追設した。GM ファンの設置位置、及び SGR・GM ダクトの引回しについては、狭あいな場所への追設が必要であったことから、十分に事前検討を実施して工事を施工した結果、改造工事期間を約 90 日とすることことができた。

### 3.2 大林3号ボイラ燃焼試験結果

改造後の燃焼試験の結果は良好であり、通常運転で NOx は 179 ppm から 102 ppm まで低減可能で、43 % の低減効果となっており、同時に実施した NOx ミニマム試験では 86 ppm という性能を記録した。

## 4. ガスだきボイラの低 NOx 改造工事

### 4.1 大林5号ボイラ（500 MW）改造工事概要

ガスだきボイラでの NOx 低減の考え方も基本的には油だきボイラと同様であり、サーマル NOx の低減が重要な要素とな

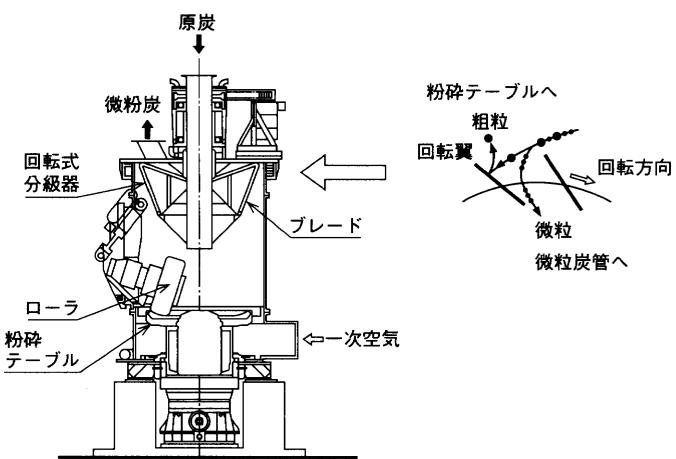


図7 MRS ミル構造 MRS ミルの概略の構造及び分級の概念を示す。  
Structure of MRS pulverizer, and model of MRS classification

る。

今回の NOx 低減工事の主な内容は次の 3 点である。

- PM バーナ改造（従来バーナと交換）
- OFA 追設（オーバファイアエアポート追設）
- GM システム追設（GM ファン・ダクト追設）

改造内容は、主バーナノズルとダンパ含めた風箱を換装した。それに伴う耐圧部、燃料配管、バックスラー、空気ダクト、計装関連等の部分的改造を実施した。GM ファン、GM ダクトも追設した。

改造工事期間は同じく約 90 日で完了している。

### 4.2 大林5号ボイラ燃焼試験結果

改造後の燃焼確認試験の結果は良好であり、通常運転で NOx は 167 ppm から 58 ppm まで低減可能で、65 % の低減効果となっており、同時に実施した NOx ミニマム試験では 45 ppm という性能を記録した。

蒸気温度特性も大幅に改善され、その結果プラント全体の効率も 0.5 % 程度向上した。

## 5. 結論

今回台湾電力大林2号ボイラで実証されたコンパクト A-PM バーナと A-MACT、ミルの MRS 化による総合的な NOx 低減システムは、既設石炭だきボイラの低 NOx 改造において新しい方向性を示すものである。

また大林3号、大林5号ではそれぞれ油、ガスだきボイラでの海外既設ボイラの低 NOx 改造について、これまでの当社 NOx 低減システムの有効性を再確認させるものである。

今後はできるだけ多くの海外のユニットへ本技術を適用し、世界的視野での環境保護、省エネルギーへの貢献を推進していく予定である。