

# 混合促進型低NO<sub>x</sub>オイルバーナの開発

## *Development of Well-Mixed Type Low NO<sub>x</sub> Burner with Twin Fluid Atomizer*

磯田 徹\* 入江 年優\* 東 忠宏\*\*

Tohru Isoda Toshimasa Irie Tadahiro Azuma

表原 靖男\*\*\*

Yasuo Omotehara

(2000年7月10日 受理)

A new concept of low NO<sub>x</sub> oil combustion technique based upon fuel-air mixing enhancement has been developed for oil-fired boilers to reduce NO<sub>x</sub> emissions, CO emissions, and particulate matter emissions. The burner system consists of the twin-fluid atomizer with a crossed slit nozzle and a combustion cylinder. The dispersed high-speed jet flow from atomizer is impinged against the combustion cylinder fore end for the purpose of generating the vortex flows to stabilize the flame, and to promote fuel gasification by enhanced mixing the atomized fuel and the combustion air. In the experiments by 220kW practical boiler, the NO<sub>x</sub> emissions from the burner used kerosene as the fuel were only 35 ~ 40ppm(O<sub>2</sub>: 0%) in 1.12MW/m<sup>3</sup> ~ 1.55MW/m<sup>3</sup> of combustion intensity.

キーワード：低NO<sub>x</sub>バーナ，二流体噴射ノズル，液体燃料，混合促進，ボイラ

### 1. まえがき

地球環境保全に対する問題意識の高まりとともに、ボイラ等のNO<sub>x</sub>排出規制もさらに強化されることが予想されるが、液体燃料バーナの場合、ガス焚きに比べて一般に低NO<sub>x</sub>化対策が困難で、現在の技術では70~80ppm(O<sub>2</sub>0%換算値)程度が限界とされており、より高性能な低NO<sub>x</sub>バーナの開発が望まれている。NO<sub>x</sub>抑制燃焼のポイントは火炎内部の局所高温域の発生を防止することであるが<sup>1) 2)</sup>、一つの手法として、液体燃料を可能な限り微粒化し、均質な混合気を形成することが考えられる。さらに、噴霧粒子と燃焼用空気との混合を促進すれば、短炎化によって燃焼領域内

での高温滞留時間を短縮することができるため、低NO<sub>x</sub>化と高負荷燃焼の両立も可能となり、その結果、燃焼室も含めた装置自体のコンパクト化に対する要求にも応えられる。

筆者らは以前からNO<sub>x</sub>抑制燃焼に関する一連の研究開発<sup>3) 4)</sup>を実施しているが、今回、二流体噴射ノズルによる壁面衝突噴霧を利用した混合促進型の低NO<sub>x</sub>バーナを開発し、微粒化特性ならびに排ガス特性に関する実験を行ったので報告する。

### 2. 低NO<sub>x</sub>オイルバーナの構造と実験方法

図1に低NO<sub>x</sub>オイルバーナの構造を示す。本バーナではノズル先端部をスリット構造とする二流体噴射ノズルを採用して液体燃料の微粒化を図ると同時に、高速噴霧流を半径方向に分散することによって分割型の均質な混合気を形成する。さらに、分散した高速噴

\* システム技術部 熱・燃焼グループ

\*\* システム技術部 映像・音響グループ

\*\*\* システム技術部

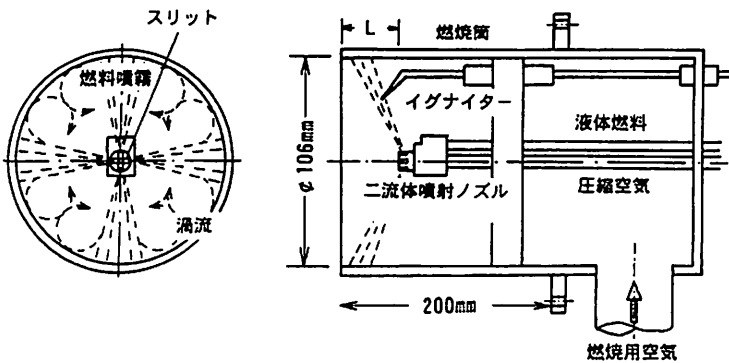


図1 低NO<sub>x</sub>オイルバーナの構造  
Schematic diagram of low NO<sub>x</sub> burner

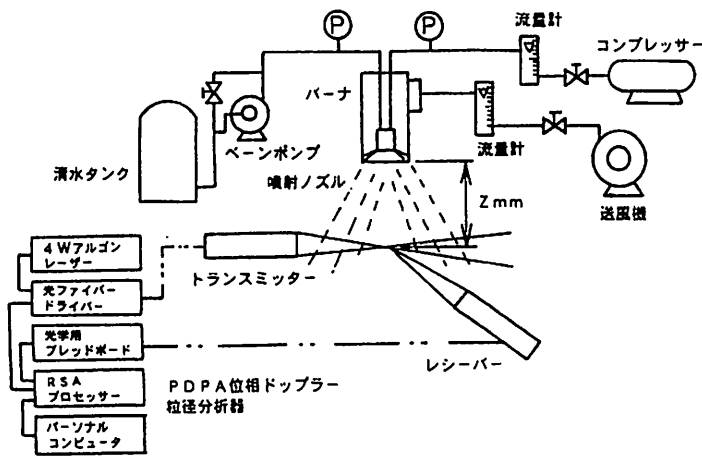


図3 噴霧粒子の計測装置  
Schematic diagram of particulate analyzer

霧流を燃焼筒前端部に衝突させて複数の渦流を発生させ、火炎の安定化を図ると同時に、噴霧と燃焼用空気との混合、燃料の蒸発を促進し、ガスバーナの火炎とほぼ同様の青色火炎を形成する構造とした。

図2に二流体噴射ノズルの構造を示す。本実験では微粒化用の空気噴射圧力 $P_{ai}$ は0.36MPaとして、圧縮空気流量 $W_{aa}$ を5.8g/sに設定した。

図3に噴霧粒子の計測装置の構成を示す。計測は位相ドップラ粒子分析計 (Aerometrics社, PDPA/RSA) を使用して行った。本分析計はレーザー発振器、投光光学系、受光光学系、フォトマル、信号処理機およびデータ処理を行う計算機によって構成される。

図4に排ガス特性に関する実験装置の概要を示す。燃焼実験は換算蒸発量350kg/hの市販の貫流ボイラを使用して行い、定格燃焼量 (燃料流量 $W_f=5.8g/s$ ) でボイラ空気比 $\lambda$ を1.2に設定し、噴射ノズル先端のスリット数、噴射ノズルの位置L等に関して検討を行った後、 $\lambda$ を変化させた場合の排ガス特性を調べた。燃料としては白灯油を使用したが、A重油燃料 (N分: 0.01%) を使用した場合についても、従来のガンタイ

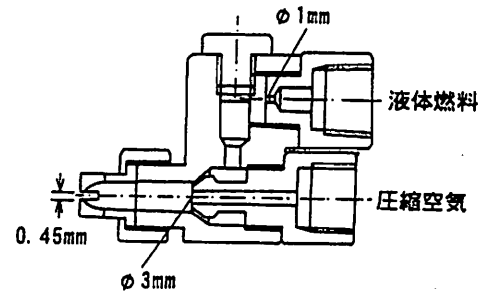


図2 二流体噴射ノズル  
Twin fluid atomizer

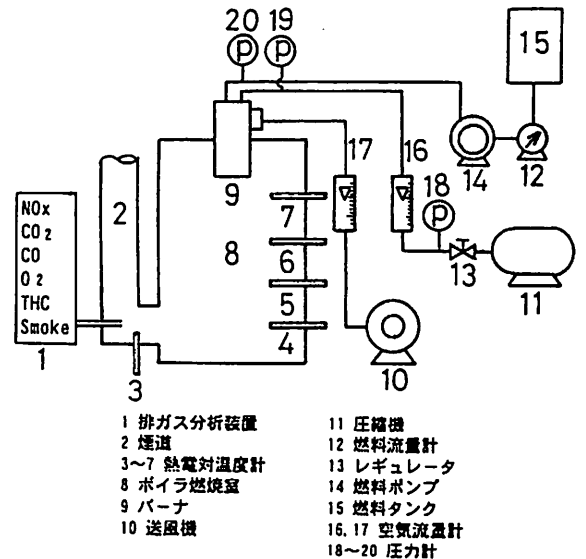


図4 排ガス特性測定システム  
Schematic diagram of the combustion test system

プバーナを取り付けた場合との排ガス特性の比較を行った。なお、排ガス中のNO<sub>x</sub>濃度は化学発光方式NO<sub>x</sub>分析計を使用して計測を行い、O<sub>2</sub>換算値で示した。CO<sub>2</sub>、COの計測は非分散型赤外線吸収方式による分析器を使用し、O<sub>2</sub>濃度は磁気風式酸素濃度計によって測定した。

### 3. 実験結果と考察

#### (1) 噴射ノズルスリット数の影響

図5に噴射ノズル先端のスリット数を1~3本まで変化させて、ノズルから分散吐出する噴霧の本数 (ここでは噴霧条数Nと定義する) を2, 4, 6に設定した場合のNO<sub>x</sub>排出特性を示す。図1左に示すノズル形状および噴霧状況は、スリット数2本の場合 (十字型スリット噴射ノズル) を例として示したものである。NO<sub>x</sub>排出値はスリット数2本の十字型スリットを採用し、噴霧条数を4とした場合が最も少なく、40ppm程度まで低減できることが明らかとなった。これに対し

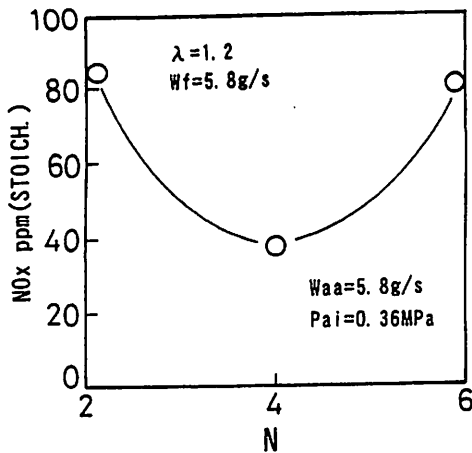


図5 噴霧条数NがNO<sub>x</sub>排出特性に及ぼす影響  
Effect of the number of spraying on NO<sub>x</sub> emission

て、噴霧条数2ならびに6の場合、NO<sub>x</sub>値は80ppm程度まで増大した。噴霧条数2の場合は噴霧濃度が高すぎるため、燃焼筒内壁に液膜が生じる結果、混合、蒸発作用が不完全になるためと考えられる。噴霧条数6の場合はコアンダ効果によって隣接した噴霧が重なり合い、実質上、噴霧条数3となることが観察され、噴霧条数2の場合と同様の理由でNO<sub>x</sub>低減効果が減少したものと推察される。なお、噴射ノズルの取り付け位置Lはすべて燃焼筒前端部より20mm上流側で一定とした。

図6に十字型スリット噴射ノズルを使用し、清水を噴射した場合の燃焼筒下流側200mmの位置におけるザウタ平均粒径 (SMD)の半径方向分布を示す。噴霧の中心部を除けば、半径方向ほぼ全域に渡って20μm以下であり、優れた微粒化特性を示している。図7は同位置での流量流束分布であるが、本結果から、流量流束は中心付近と半径方向100mm付近にピークを持つことが判明し、半径方向各測定点で得られたSMDと流量流束から算出した結果、燃焼筒下流側200mmの断面における噴霧全体のSMDは約17μmであることが明らかとなった。通常の油圧噴射式渦巻噴射ノズルによって形成される噴霧のSMDが60μm程度であることに比較して、二流体噴射ノズルによる壁面衝突噴霧を利用した本バーナの微粒化促進効果は顕著であるといえる。

(2) 噴射ノズル取付け位置の影響

図8に十字型スリット噴射ノズルを使用し、ノズル取付け位置Lを燃焼筒内部で軸方向に移動させた場合のNO<sub>x</sub>、CO排出特性を示す。実験結果からNO<sub>x</sub>ならびにCOの値が最も低減するノズル取付け位置Lは、本試作バーナの場合、燃焼筒前端より20mm上流側

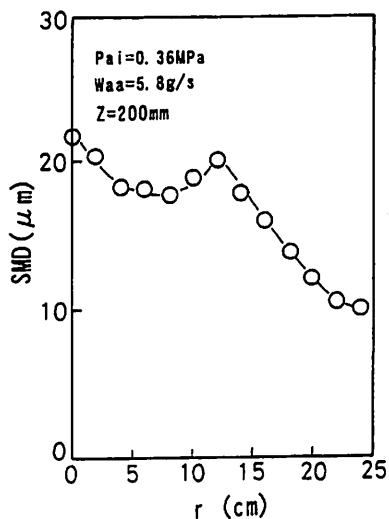


図6 ザウタ平均粒径の半径方向分布  
Radial distribution of sauter mean diameter

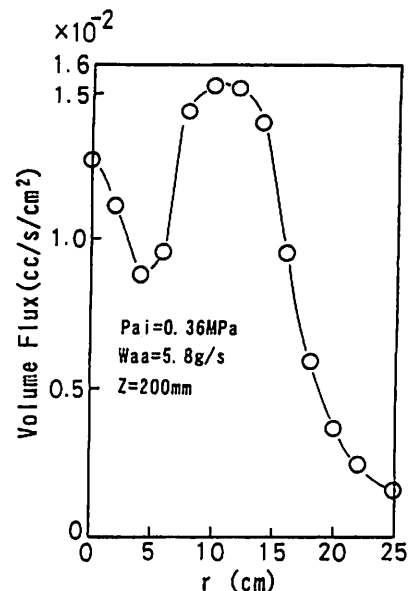


図7 流量流束分布  
Radial distribution of volume flux

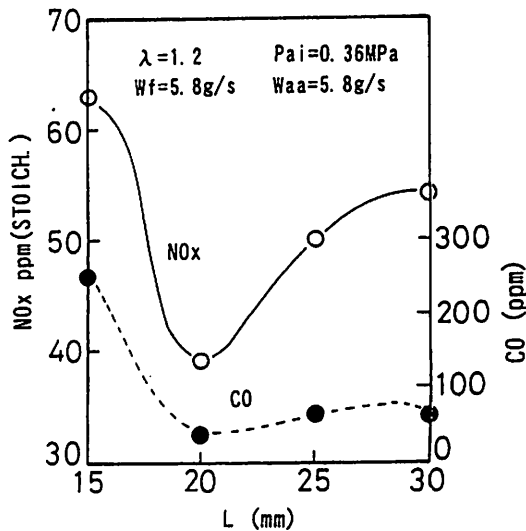


図8 ノズル取り付け位置がNO<sub>x</sub>、CO排出特性に及ぼす影響  
Influence of the nozzle position on NO<sub>x</sub>, CO emissions

である。本バーナのノズル噴霧角 $\theta=146^\circ$ と、燃焼筒内径 $D=106\text{mm}$ から検討すると、噴霧流を燃焼筒前端部に衝突させる場合に最もNO<sub>x</sub>抑制効果が大きくなることが判明した。Lが20mmより大きくなって小さくなくてもNO<sub>x</sub>、COが増大するのは、噴霧流の衝突位置が燃焼筒上流側に移行するほど、燃焼筒内壁で液膜となる割合が増えること、逆に噴霧が燃焼筒の前方へ直接飛散する場合も渦流の発生が抑制されること等によって、混合蒸発作用が低下するためと考えられる。

(3) ボイラ空気比の影響

図9に十字型スリット噴射ノズルを燃焼筒前端より

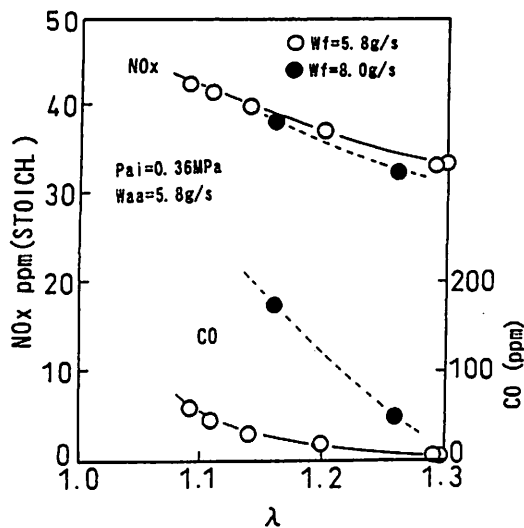


図9 ボイラ空気比を変化させた場合の NOx、CO 排出特性  
Effect of the excess air ratio on NOx, CO emissions

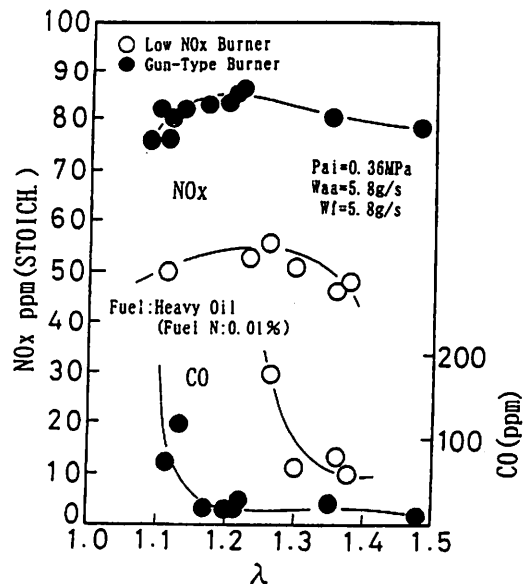


図10 ボイラ空気比を変化させた場合の NOx、CO 排出特性  
Effect of the excess air ratio on NOx, CO emissions (heavy oil burning)

20mm上流側に取付け、ボイラ空気比 $\lambda$ を変化させた場合のNOx、CO排出特性を示す。燃料流量Wfは本ボイラの定格値である5.8g/s（燃焼室熱負荷率 $q_c=1.12\text{ MW/m}^3$ ）と、より高負荷側の8.0g/s（ $q_c=1.55\text{ MW/m}^3$ ）の二種類に設定した。定格燃焼の場合、NOx、COの両排出値は実験空気比範囲全域で優れた値を示し、特に、 $\lambda=1.3$ の場合NOx値は35ppmまで低減した。これは燃料噴霧の微粒化と混合促進、ならびに、燃焼筒内の渦流による燃焼ガス再循環効果等の複合作用によって、燃焼領域内での高温滞留時間が短縮されることと、局所高温域の発生が防止されることによるものと考えられる。一方、高負荷側では、低空気比側でややCO値が上昇するが、実用空気比領域である $\lambda=1.3$ 付近では低NOx燃焼との両立が可能であることが判明した。

図10に同一ノズル条件で、A重油燃料を使用し、定格燃焼を行った場合の、本低NOxバーナと従来のガンタイプバーナとの排ガス特性の比較を示す。 $\lambda=1.3\sim 1.4$ でNOx排出値は45~50ppmを示し、ガンタイプバーナ取り付け時が80ppm程度であるのに対して、約40%のNOx低減率を示している。ただし、灯油を燃焼させた場合に比べて全体的にNOx排出レベルが上がるのは、A重油に含まれる窒素分がNOxに変換されるためで、しかもその変換率が空気比に依存するため排出傾向も異なるものと推定される。CO排出値は火炎温度が低下するためか、ガンタイプバーナに比べてやや上昇気味になるが、 $\lambda=1.3\sim 1.4$ で60~80ppmであり、実用上問題ない範囲であるといえる。

#### 4. 結論

二流体噴射ノズルを採用する混合促進型の低NOxバーナを開発し、換算蒸発量350kg/hの貫流ボイラを使用して燃焼試験を行った結果、灯油燃料の場合、NOx排出値は35~40ppm（0.2%換算値）程度まで低減できることが明らかとなり、しかも、燃焼室熱負荷率を定格値の40%程度増大させた場合でも、同等のNOx低減効果が得られることが判明した。一方、A重油（N分：0.01%）を使用する場合は、NOx排出値は45~50ppm程度で、従来のガンタイプバーナに比較して約40%のNOx低減率を示した。

#### 参考文献

- 1) I.Holzapfel, F.J.Meyer, ASME Gas Turbine Conference Technical Paper, No.78-GT-155(1978)
- 2) G.Roffe, A.Ferri, NASA Contractor Report, Report No.NASA CR-2657(1976)
- 3) T.Isoda, T.Azuma, Proc.2nd International Conf. on Combustion Tech. for a Clean Environment, 14-3(1993)
- 4) T.Isoda, T.Azuma, Y.Omotehara, Proc. 3rd International Conf. on Combustion Tech. for a Clean Environment, 12-1(1995)