微粉炭燃焼系からの NO_x の生成に及ぼす 1 次空気流速の影響

定 方 正 毅 ・ 黒 沢 靖 志*

新 井 忠 男**・斎 藤 淳 一***

吉 野 淳 ・ 佐 賀 井 武

群馬大学工学部 化学工学科†

実炉に近い燃焼条件が実現できる微粉炭乱流モデル炉を用いて、石炭揮発分の燃焼において重要な空気力学的パラメーターである 1 次空気流速の NO_x の生成に及ぼす影響を調べた。その際、新しく開発された対称型速度測定用プローブを用いて、微粉炭燃焼時の炉内速度分布の測定も行った。得られた主な結果は、(1) 1 次空気流速を 68 m/s の高速から 11 m/s の低速まで変化させることにより、 NO_x は、最大流速時の 1/2 以下まで低下した。炉内安定成分の測定により、これは、流速の低下に伴って、揮発分の燃焼領域で局所的な還元領域が形成され、Volatile NO_x の生成が抑制されたためであると説明された。(2) 1 次空気噴流部の流量変化の結果と、目視観察による火炎着火位置の測定結果から、 NO_x の低減に寄与する局所還元領域の形成機構が明らかにされた。

緒 言

石油代替エネルギーとしての石炭の利用拡大に伴って、微粉炭燃焼方式が実績のある直接燃焼技術として大型ボイラーやセメント焼成炉などに広く用いられつつある。微粉炭燃焼技術の利用にあたって最大の問題は、微粉炭燃焼が、ガスあるいは重油燃焼に比べて多量の NO_x 、CO、すす、重金属などのいわゆる環境汚染物質の排出をもたらす点にあり、とりわけ NO_x は、通常の燃焼方法では重油の 3~5 倍排出すると見積もられる。したがって、現在、燃焼の段階で、この NO_x の生成を防止する技術の開発が望まれている。

微粉炭燃焼系からの NO_x は大部分、燃料中の N から生成するいわゆる Fuel NO_x であるといわれており¹⁾、このうち、揮発分の燃焼に伴って生成する NO_x は Volatile NO_x 、チャーの燃焼に伴って生成する NO_x は Char NO_x と呼ばれ、一般に、前者が後者に対して支配的であるといわれている²⁾。揮発分の燃焼は、ガス燃焼に近く、主としてバーナーノズルからの 1 次空気によって形成される噴流部で行われると考えられ、したがって、1 次空気噴流部の空気力学的特性が、揮発分の燃焼特性および Volatile NO_x の生成に大きな影響を及ぼすと予想される。本研究では、この点に着目し、1 次空気流量を固定したまま、バーナー先端ノズル径を変え、1 次空気流速を積極的に変化させることによる NO_x の生成に及ぼす影響を調べる試みを行った。これにより、

微粉炭燃焼における NO_x の生成特性を明らかにすると共に、空気力学的パラメーターの変更による NO_x の生成抑制のための有効な知見を得ることを目的とした。その際、1 次空気流速の変化に伴う噴流流動特性の変化を、実体的、且つ定量的に把握するため、新たに、水冷対称型速度測定用プローブを開発して、通常は困難とされている微粉炭燃焼下での速度分布の測定も行った。

これまで、微粉炭燃焼系から生成する NO_x の研究は、数多く行われて来ているが、空気力学的因子の影響を調べた研究は少なく、わずかに Heap ら³⁾ によって、2 次空気旋回流の NO_x に及ぼす影響が調べられているに過ぎない。ただし、彼らの研究では、速度分布の実測は行われていない。 NO_x の生成に及ぼす空気力学的効果を調べることは、実機へのスケールアップに際して、スケール効果を知知するためにも極めて重要であることはいうまでもない。

1. 実験装置および方法

Fig. 1 に、本実験で使用した微粉炭乱流モデル炉本体および排気系フローシートの概要を示す。炉本体は、外径 800 mm、内径 300 mm、長さ 3000 mm の外熱堅型炉であり、燃焼室内壁は、軽質レンガで内張りされている。覗き窓を兼ねたガスサンプリング孔は、10 cm 間隔に、炉の縦方向に設置されており、炉内のガス濃度分布、温度分布および速度分布の測定が行われる。炉壁には、放射線状に 12 本のステンレスパイプが設置されており、2 台の天然ガス燃焼用外熱バーナで発生させた高温燃焼ガスを通過させることにより、外部加熱を行うことができる。炉本体から排出された高温排ガスは煙道流路

† 〒376 桐生市天神町 1-5-1

* 新潟鉄工(株)

** 大和設備(株)

*** 三ツ葉電気(株)

Fig. 1 Experimental model furnace and flue system

中に設置された4つの熱交換器により約 100°C まで冷却され、その間、サイクロンにより約 $5\mu\text{m}$ までの灰が捕集され、残りはバグフィルターにより捕集される。

Fig. 2 に、本実験炉に設置された旋回型微粉炭バーナーの概要を示す。微粉炭は、1次空気と混合され顶部より供給される。2次空気は約 400°C に予熱され軸流および旋回流に分割されバーナー内に導入される。ここで軸流は、2枚の多孔板を通り炉内に導入されるが、旋回流は 60° の角度を持つスワラにより旋回を与えられ炉内に導入される。すなわち、本バーナーは、旋回流と軸流の流量比を変えることによって2次空気の旋回強度を自由に変わることが出来るように工夫されている。ただし、本研究では、1次空気流速の影響を見るのが目的であったため、2次空気側は、軸流は流さず、旋回流のみを用いて実験を行った。なお、バーナー出口1次空気流速は、1次空気流量一定のまま、バーナーノズル内径を 8.0 mm から 19.3 mm まで4段階変化させることにより、バーナー出口空気温度 200°C 基準で、 11 m/s から 68 m/s までの範囲で変化させた。

Table 1 に、本実験での燃焼条件を示す。実機ボイラーに近い燃焼条件を実現するため、総括空気比、火炉負荷、炉内最高温度、炉出口温度に関しては、実機に近い条件が選ばれている。なお、1次空気流量は、通常、理論空気量の $10\sim 30\%$ とされているが、本実験では、バーナー出口流速の影響を調べるのが目的であったので、流速 11 m/s から 68 m/s までの広い範囲で、安定な燃焼が実現できる理論空気量の 15% 付近を選んだ。

実験に使用した石炭は、わが国で主として用いられているもののうち、低燃料比炭の代表例として太平洋炭を、また、高燃料比炭の代表例として大同炭を選んだ。工業分析結果 および元素分析結果を Table 2 に示す。また、用いた微粉炭の粒度は、太平洋炭は 200 メッシュ 通過 78% 、大同炭は 200 メッシュ 通過 72% であった。

Fig. 2 Details of the swirl-type burner

Table 1 Experimental conditions of combustion

Coal feed rate [kg/h]	5
Theoretical air flow rate [Nm ³ /h]	34.5 (Taiheiyo) 38.9 (Daidoh)
Over-all air ratio [—]	1.2
Furnace heat release intensity [MW/m ³]	0.28
Residence time in the furnace [sec]	2.8
Secondary air preheating [$^{\circ}\text{C}$]	300
Peak temperature in the furnace [$^{\circ}\text{C}$]	1400
Furnace outlet temperature [$^{\circ}\text{C}$]	1150

Fig. 3 Details of the symmetrical-type probe for velocity measurement

微粉炭燃焼場での速度の測定には、本研究室で開発した対称型水冷2孔プローブ (Fig. 3) 用い、微小動圧の測定には、分解能 $2/100\text{ mmAq.}$ の沈鐘式微差圧計 (柴田 ISP-3-50) を用いた。本プローブの特徴は、対称型であるため逆流の測定が可能なこと、孔径を通常より大きく取ってあるため、応答時間が短く、粒子による閉塞が生じる前に差圧の読み取りが可能なことなどである。なお、本プローブで測定が可能な最低流速は 1000°C 以上の高温場で、約 0.5 m/s であった。また、粒子による差圧誤差は、粒子濃度 40 g/Nm^3 で、約 4% であった。

Table 2 Characteristics of the coals examined

Coal	Proximate analysis wt %				Fuel ratio	Ultimate analysis wt. % (water-free)					Gross calorific value [KJ/Kg]
	Moist	Ash*	V.M.*	F.C.*		C	H	O	N	S	
Taiheiyō	5.1	14.5	45.3	40.1	0.89	64.9	5.56	14.1	0.93	0.32	27300
Daidoh	4.6	10.1	28.6	61.3	2.14	73.5	3.78	11.0	0.72	0.77	26700

* Water free

Fig. 4 Effect of primary air velocity on the emission of NO_x

炉内温度の測定には、外径 6 mm の保護管付きの 0.3 mm ϕ Pt-13% Rh/Pt 熱電対を用いた。また、輻射誤差を見積もるため、吸引式温度計も併用した。

ガスサンプリングには、内径 8.5 mm ϕ 、外径 27.2 mm ϕ の水冷ステンレス製サンプリングプローブを用いた。サンプリング速度を 2 m/s から 18 m/s まで変化させても、安定成分および NO_x に差が生じなかったところから、ステンレス表面での触媒作用あるいは、プローブ内での混合に起因するサンプリング誤差は、無視できると判定した。なお、ガスサンプリングは、炉内に関しては、10 cm 間隔に設置されたサンプリング孔にて行い、炉出口に関しては、Fig. 1 の③で行った。

2. 実験結果および考察

2・1 炉出口 NO_x に及ぼす 1 次空気流速の影響

1 次空気流量を理論空気量の 14% に保ったまま、ノズル径を $d=8.0$ mm から $d=19.3$ mm まで 4 段階変化させることにより、バーナ出口速度 u_b を 68 m/s から 11 m/s まで低下させた時の炉出口 NO_x 濃度の変化を

Fig. 4 に示す。図で Y_{ap} は 1 次空気流量の理論空気流量に対する割合である。本実験結果から明らかなように、太平洋炭、大同炭のいずれも、流速が $u_b=68$ m/s から $u_b=11$ m/s まで低下する間に、 NO_x は 1/2 以下まで低下することがわかる。また、Fue N から NO_x への転化率も同様に低下するが、転化率は両炭種間で差があり、全般的に大同炭の転化率の方が、太平洋炭より高い。このようにバーナ出口速度 u_b の低下によって、炉出口の NO_x が減少する原因を明らかにするため、各流速条件下での NO_x 炉内分布および安定成分の分布を調べた。

2・2 NO_x および安定ガス成分の炉内分布

u_b をパラメーターとした炉内中心軸上の NO_x 炉内分布および温度分布を、太平洋炭に関し、Fig. 5 に、大同炭に関し、Fig. 6 に示す。また、一酸化炭素（以下 CO）炭化水素（以下 HC）の炉内分布を、太平洋炭に関し Fig. 7 に、大同炭に関し Fig. 8 に示す。 NO_x および CO, HC のいずれも炉内中心軸の値により炉断面の挙動を代表させている。Fig. 5 および Fig. 6 の結果から明らかなように、いずれの流速条件下でも、 NO_x は、バーナ先端から 0.1 m までの短い領域で急速に生成していることがわかる。また、 $u_b=68$ m/s の場合を除いて、 NO_x はピークに達した後、急速に減衰することがわかる。急速な減衰後、大同炭の場合は、ほぼ一定の NO_x レベルが保たれたまま、炉出口に至るのに対して、太平洋炭燃焼時の NO_x は、やや複雑な挙動を示し、急速な減衰に続いて再び急速な生成が続き、その後は、ゆるやかな生成を保ちつつ炉出口に至る。パラメーター u_b の影響としては、両炭種とも、 u_b が低下するにしたがい、 NO_x 炉内分布のピーク値も低下すること、これとは対照的に、CO, HC の分布のピーク値は上昇し、還元領域も拡がることわかる。

次に、上記の実験結果に基づいて、炉内 NO_x の生成、挙動についてやや詳細な検討を行う。

まず、全ての u_b の条件下に於いて共通に観察されるバーナ先端から 0.1 m 近傍までの急速な NO_x の立ち上がりについて、これが、Zeldovich 機構に基づく Thermal NO かどうかを検討する。Thermal NO の計算のための反応速度モデルは、Zeldovich 反応機構

Fig. 5 Distributions of NO_x concentrations along the axis of furnace under various velocity conditions (Taiheiyō-coal)

Fig. 6 Distributions of NO_x concentration along the axis of furnace under various velocity conditions (Daidōh-coal)

において、生成 NO 濃度は、[NO] 平衡値よりはるかに小さく、[O] は [O₂] と平衡関係にあると仮定して得られる次式を用いた。

$$\frac{d[\text{NO}]}{dt} = k[\text{N}_2][\text{O}_2]^{1/2} \quad (\text{mol/l} \cdot \text{s})$$

Fig. 7 Distributions of CO and HC concentration along the axis of furnace under various velocity conditions (Taiheiyō-coal)

Fig. 8 Distributions of CO and HC concentration along the axis of furnace under various velocity conditions (Daidōh-coal)

Table 3 Calculated NO level on the basis of Zeldovich kinetic model

Method of calculation	NO at the volatile combustion zone	NO at the furnace outlet
Calculation based on measured temperature distribution	0.01 ppm	0.04 ppm
Calculation based on assumed particle temperature	2.8 ppm	94.7 ppm

ここで、Baulch らの反応速度データ⁴⁾より、

$$k=4.35 \times 10^{13} \exp(-134.4 \times 10^3/RT) \text{ (l}^2/\text{mol}^{1/2}\text{s)}$$

Table 3 に、実測された温度分布および O_2 濃度分布データを用いて、上に示した Zeldovich 反応モデルにより計算したバーナ出口から実測値ピーク位置までと、炉尻までの NO 生成量を示す。なお、本計算で用いた反応時間は、中心軸上の流速測定値から計算したものであり、また、温度は、熱電対による実測温度であるが、吸引温度計によって見積もられた輻射誤差 40°C を加算してある。

なお、Seeker⁵⁾ らの、2色高温計法による測定によれば、石炭表面温度は、周囲ガス温度に較べて、約 260°C 高いという結果を得ており、この知見に基づいて、全温度分布を 260°C かさ上げた場合の計算結果についても示した。Table 3 の計算結果から明らかなように Zeldovich 機構に基づく NO_x は、実測のピーク値に較べて僅かであり、バーナ近傍での NO_x の急速な生成に寄与する割合は小さいと考えられる。したがって、ここの NO_x は、Fenimore⁹⁾ が見出した Prompt NO か、あるいは Fuel NO であると推測される。Prompt NO の大略の生成経路は、 HC ラジカルと N_2 とから中間生成物の HCN あるいは CN を経て NO に至る以下のようなものと考えられている⁹⁾。

したがって、Prompt NO は、 HC の分解領域で、 HC 濃度が高いほど、多量に生成するはずである。ところが、Fig. 5 および Fig. 6 の NO_x 炉内分布と、Fig. 7 および Fig. 8 の HC 炉内分布を比較して見ると、 NO_x のピーク位置は、 HC の分解減衰領域より先行していることがわかる。また、流速が低下して HC のピーク値が高くなると、逆に、 NO_x レベルは低下しており、上記の Prompt NO の特性とは相反する結果になっている。したがって、バーナ近傍での NO_x の急速な生成に対する Prompt NO の寄与率は小さいと考えられる。Fig. 7 および Fig. 8 で観測されている HC は、石炭から排出された揮発分あるいは、その分解物を示すと考えられるから、結局、バーナ近傍において急速に生成した NO_x は、石炭からの揮発分の放出に伴って放出されたいわゆる Volatile N が、周囲酸素によって急速に NO_x に転化したために生じたと考えられる。

次に、Fig. 5 および Fig. 6 に見られるような、 NO_x がピークに達した後、減衰する原因を検討する。 NO_x が、この領域で低下する原因としては、i) バーナ先端からの噴流に、周囲空気あるいは排ガスが同伴されることによる濃度希釈効果、ii) 一度、生成した NO_x が、共存物質により還元分解される、などが考えられる。そこ

で、i) の可能性を検討するため、反応によって生成消滅することのないヘリウムトレーサーを、1次空気流側に導入して、中心軸上のヘリウム濃度変化を調べることにし、周囲流同伴による希釈効果を調べた。Fig. 5 の点線は、 NO_x のピーク点のヘリウム濃度を基準としたヘリウム濃度減衰カーブを示す。この結果から明らかなように、 $u_b=35 \text{ m/s}$ および $u_b=24 \text{ m/s}$ の場合には、明らかに NO_x の減衰は、ヘリウムの減衰より早くなっており、周囲ガスによる希釈だけでなく、 NO_x の還元分解も同時に進行していることが示唆される。なお、一度生成した NO_x の還元機構としては、共存する炭化水素ラジカル、チャー、あるいは NH_3 などによるものが考えられるが、現在のところ、定量的な検討を行うまでには至っていない。

次に、太平洋炭の燃焼において、 NO_x の減衰の後、再び NO_x の急激な生成が見られるが、これは、噴流部への周囲空気の同伴が進行するに伴い、噴流部が還元性から酸化性に転じ、上流部の局所的還元領域で生成した NH_3 、 HCN が NO_x に転化したためと考えられる。なお、大同炭の場合には、このような現象は観測されていないが、これは、後で述べるモデル図から説明されるように、揮発分の少ない大同炭の場合には、Fuel N から NO への転化率が高く、還元領域での NH_3 および HCN の残存量が少なかったためと推定される。

続いて、炉の後流部における NO_x の挙動について考察する。太平洋炭燃焼時において、点線で示した He 濃度曲線との比較から明らかなように、いずれの流速条件でも、炉下流部で、 NO_x が緩やかに生成する傾向が見られる。炉下流部は主としてチャー燃焼領域であるから、この緩やかに生成する NO_x は、主として、チャー燃焼に伴って生成するいわゆる Char NO_x と考えられる。ただし、 $u_b=11 \text{ m/s}$ の場合は、他の場合に比べて、 NO_x の上昇が急であるが、これは、1次空気流速が低速であるため、炉上流部での揮発分と空気との混合が充分に行われず、揮発分の燃焼および NH_3 、 HCN から NO_x への転化反応が炉下流部でもチャー燃焼と並行して行われているためと考えられる。なお、大同炭燃焼の場合にも、太平洋燃焼の場合とほぼ同様な傾向が観測された。

次に、パラメーター u_b の影響を考察する。 u_b が低下するにしたがい CO および HC 分布のピーク値が上昇し、これに対応して NO_x 分布のピーク値および最終値が低下したのは、 u_b が低下することによって、バーナ近傍に強い還元領域が形成され、その結果として、 NO_x の生成が抑制され、且つ、一度生成した NO_x が、一部還元されたためと解釈される。このことをより明らかにするために、 CO および HC のピーク値と炉出口 NO_x

Fig. 9 NO_x at the furnace outlet vs. peak levels of CO and HC in the furnace

の関係を Fig. 9 に示す。CO, HC のピーク値が高いほど、出口 NO_x レベルは低下することがわかる。

以上をまとめると、本実験系で得られる NO_x は、揮発分の燃焼に伴って生成するいわゆる Volatile NO_x が支配的であり、 u_b が低下するにしたがって、炉出口 NO_x が低下したのは、揮発分燃焼領域で形成される局所的な還元領域が、流速低下と共に、次第に拡がり、還元性も強まって行ったため、 NO_x の生成が抑制され、且つ、生成した NO_x の還元が進行したためと解釈された。そこで、バーナ流速が低下するにしたがい、しだいに還元領域が形成されるに至る機構を検討した。

2・3 速度分布測定と局所還元領域の形成機構

バーナ出口流速の影響をより定量的、且つ、実的に明らかにして行くためには、まず1次空気噴流部のフローパターンを明らかにする必要がある。Fig. 10 に、軸方向速度成分の半径方向分布、Fig. 11 に、速度分布測定結果に基づいて計算した噴流部空気流量 Q_j の流れ方向の変化を示す。ここで、噴流部空気流量とは、速度がゼロとなる再循環流部と噴流部境界に囲まれた中心部流量である。下流方向にはほぼ直線的に、流量が増大していることがわかる。これを式にまとめると以下のようになる。

$$\frac{Q_j}{Q_d} = 0.22 \times \frac{x}{d}$$

上式を用いて求めた各バーナ径についてのバーナ先端から、炉下流方向への噴流部空気流量変化を Fig. 12 に示す。なお、上式で $Q_j/Q_d \leq 1.0$ となる領域については、ポテンシャルコア部と見なし $Q_j = Q_d$ と仮定した。

また大同炭の揮発分理論空気量 Q_0 を、同一グラフ上に点線で示した。ここで、揮発分理論空気量とは、工業

Fig. 10 Radial distributions of axial velocity at various distances from burner (Daidoh-coal)

Fig. 11 Flowwise variations of jet air flow rate under various velocity conditions

分析値で示される揮発分が、完全燃焼するのに必要な空気量である。また、目視観察による火炎着火位置を同一グラフ上にゾーンで示した。 u_b が大きいほど、着火位置は、下流に移行しているが、これは、 u_b が大きくなるにしたがい、火炎伝搬速度と釣り合う噴流速度位置が下流に移るためであると考えられる。

Fig. 12 から明かなように、 $u_b = 68 \text{ m/s}$ の場合は、 Q_j が Q_0 を越えた位置、すなわち、空気過剰状態で着火することになり、空気過剰下での燃焼が行われる結果、CO, HC などの未燃分の生成は抑制される反面、Fuel N から NO_x への転化率は高くなり、高濃度の

Fig. 12 Effect of primary air velocity on jet air flow rate and ignition point

NO_x が生成する。また、還元性ガスが生成しないため、一度生成した NO_x の還元は生じない。一方、 $u_b = 35 \text{ m/s}$ の場合は、 Q_v に近いか、僅かに下廻る空気量のところで着火することになり、還元雰囲気での燃焼が先行するため、 NO_x の生成が抑制される反面、 CO 、 HC などの未燃分が、一時的に生成する。しかしながら、周囲空気の同伴が進むにつれて、やがて Q_j が Q_v を上廻り、一度生成した未燃分は、燃焼消滅する。さらに、 $u_b = 11 \text{ m/s}$ の場合は、理論空気量点よりはるかに上流で着火が行われるため、 NO_x の生成は、 $u_b = 35 \text{ m/s}$ の場合よりもさらに抑制され、一度生成した NO_x も、その後続く還元領域で、一部、還元されることになる。また、より低空気比の段階で燃焼が開始するため、一時的な未燃分の生成は、 $u_b = 35 \text{ m/s}$ の場合よりも多くなる。すなわち、バーナ径が大きくなり、流速が低下するほど、いわゆる低 NO_x 2 段燃焼のモードに近づいて行くことがわかる。

上記の説明は、すべて、大同炭燃焼の場合であるが、同様な議論は、太平洋炭にもあてはまると考えられる。ただし、太平洋炭は、大同炭に較べて揮発分が多いため、火炎伝搬速度が大きく、着火位置は、大同炭より上流にずれると考えられる。一方、同じく揮発分が多いため、揮発分の必要理論空気量も増大し、噴流空気量の理論空気量点、大同炭より下流にずれることになる。その結果、着火点以後の還元領域が拡がり、Fuel N から NO_x への転化率が、大同炭に較べて抑えられることになる。Fig. 4 において、太平洋炭が大同炭に較べて、転化率が低くなっているのは、以上に示したような揮発分の差に基づく火炎着火位置および理論空気量点の差異に起因すると考えられる。

以上、バーナ出口流速の違いによる NO_x および CO

など未燃分の生成特性の違いは、火炎着火位置と、着火に至るまでの揮発分と空気との予混合度によって、ほぼ、定性的に説明され得ることがわかった。ただし、Fig. 12 のモデル図では、同伴された空気は瞬時に半径方向に混合すると仮定しており、同伴後のミクロ混合による混合時間の遅れは考慮されていない。また、噴流が同伴する周囲流は、すべて空気であると仮定しており、排ガス再循環流の同伴による酸素希釈効果は考慮されていない。今後、本モデルを定量的なモデルに発展させて行くためには、以上の点を検討して行く必要がある。

結 言

実炉に近い燃焼条件を実現できる乱流モデル炉を用いて、微粉炭燃焼系からの NO_x 生成量に及ぼす空気力学的効果を調べた。その結果、

(1) 1 次空気流速を 68 m/s の高速から 11 m/s の低速まで変化させることにより、 NO_x は、最大流速時の $1/2$ 以下まで低下した。これは、流速の低下に伴って、揮発分の燃焼領域において局所的な還元領域が形成されたため、Volatile NO_x の生成が抑制され、且つ、生成した NO_x の還元が進行したためと説明された。

(2) 新しく微粉炭燃焼場の速度測定用に開発されたプローブを用いて得た、1 次空気噴流部の流量変化の結果と、目視観察による火炎着火位置の測定結果から、 NO_x の低減に寄与する局所還元領域の形成機構が明らかにされた。

【謝辞】 本研究を行うに際し、谷川熱技術振興基金より研究助成を得たことを記し感謝致します。

Nomenclature

d	= burner nozzle diameter	[mm]
k	= reaction constant	$[\text{l}^{1/2}/\text{mol}^{1/2} \cdot \text{s}]$
Q_d	= air flow rate at burner nozzle	$[\text{Nm}^3/\text{h}]$
Q_j	= air flow rate at jet region	$[\text{Nm}^3/\text{h}]$
Q_v	= theoretical air flow rate of volatile matter	$[\text{Nm}^3/\text{h}]$
t	= time	[s]
U_a	= axial air velocity	[m/s]
u_b	= air velocity at burner nozzle	[m/s]
x	= axial distance from burner tip	[m]
Y_{ap}	= ratio of primary air flow rate to theoretical air flow rate	[%]
λ	= air ratio	[—]

Literature cited

- 1) Pershing, D. W. and J. O. L. Wendt: 16th Symposium on Combustion, 389 (1976)
- 2) Pohl, J. H. and A. F. Sarofim: 16th Symposium on Combustion, 491 (1976)

- 3) Heap, M. P., T. M. Lowes and R. Walmsley: *14th Symposium on Combustion*, 883 (1972)
 - 4) Baulch, D. L., D. D. Drysdale, D. G. Horne and A. C. Lloid: *High Temperature Reaction Rate Data No. 4.*, Dept. of Physical Chemistry, The Univ. of Leeds, England (1969)
 - 5) Seeker, W. R., G. S. Samuelsen, M. P. Heap and J. D. Trolinger: *18th Symposium on Combustion*, 1213 (1980)
 - 6) Fenimore, C. P.: *13th Symposium on Combustion*, 373 (1970)
- (1983 年 4 月 4 日受理)

Effect of Primary Air Velocity on Emission of Nitric Oxide from Pulverized Coal Combustion System

Masayoshi Sadakata, Yasushi Kurosawa*, Tadao Arai**, Junichi Saito***, Atsushi Yoshino and Takeshi Sakai

Dept. of Chem. Eng., Gunma Univ, Kiryu 376

Key Words: Combustion, Environment, Energy, Pulverized Coal Combustion, Nitric Oxide, Pollution Control

The effect of primary air velocity on the emission of NO_x from pulverised coal combustion was investigated by using a model furnace which was designed to realize practical combustion conditions. The primary air velocity is an important aerodynamic parameter in the combustion of volatile matter. Measurements of velocity profile in the furnace were carried out by using a symmetrical type probe. This probe was newly developed for the measurement of velocity under the combustion conditions of pulverized coal. The following results were obtained.

The emission of NO_x was decreased to less than half of that at maximum velocity as the primary air velocity was decreased from 68 m/s to 11 m/s. The measurement of NO_x distribution in the furnace revealed that this decrease of NO_x at the furnace exit was associated with the decrease in emission of volatile NO_x in the volatile combustion region. From the measurement of stable species concentration distribution, it was indicated that the emission of volatile NO_x was suppressed by the appearance of a local reduced region which was formed in the volatile combustion region under the condition of low primary air velocity. The formation mechanism of this local reduced region, which significantly contributed to the reduction of NO_x was revealed from the measured result of the axial change of the primary air jet flow quantity and the observed result of the ignition point.

* Niigata Engineering

** Yamato Setusbi

*** Mitsubishi Electric