

137 旋回流型燃焼器における fuel NO と内部 EGR の関係

Relation between Fuel NO and Internal EGR in a Swirl Type Combustor

○ 鬼丸 好一 (群馬大・院) 正 齊藤 正浩 (群馬大・工)
 正 天谷 賢児 (群馬大・工) 正 新井 雅隆 (群馬大・工)

Koichi ONIMARU, Masahiro SAITO, Kenji AMAGAI and Masataka ARAI
 Gunma University, 1-5-1 Tenjin-cho, Kiryu, Gunma

Key Words: Internal EGR, Fuel NO, Swirl Combustion

1. 緒言

ガスタービンや工業炉などからの排気有害物質に対して、その排出量規制は年々厳しさを増してきている。特に大気汚染物質の一つである窒素酸化物 (NO_x) に対して早急な対策が求められている。EGR(Exhaust Gas Recirculation)は燃焼器からの NO_x 排出量を低減するために有効な方法であり、様々な燃焼器について行われてきた。筆者らは、旋回流型燃焼器に内部 EGR を導入することにより NO の排出特性を調べてきた¹⁾²⁾。本研究では、燃料にピリジン(ピリジン)を混合することで、窒素分を含む燃料を作製し、内部 EGR が fuel NO 生成に対してどのような影響を及ぼすのかを実験的に検討を行った。

2. 実験装置および方法

本研究では、Fig.1 に示すような旋回流型燃焼器を用いて実験を行った。一次空気に旋回流を与えた。スワローは、いくつかの予備実験を行って、比較的燃焼状態の良かったスワロー数 $S_n=0.78$ のものを用いた。燃焼筒は、内径 165 mm、長さ 650mmである。供試燃料には、市販の白灯油 (kerosene) および灯油にピリジン(pyridine)を混合したものを用いた。ピリジンの混合量は、灯油 200 に対して 0.1220 添加したもの(mixed fuel, fuel N: 0.13%)とした。これは、当量比 $\phi=1.0$ の燃焼を行ったとき燃料中の N 分がすべて NO に転換されたとして、その NO 濃度が 200ppm になるピリジン量に相当する。

一般に連続燃焼器では、燃焼器内に自発的な再循環流れが発生するので、これを積極的に利用して火炎の安定化や排ガスの浄化を行っている。しかしながら、燃焼器内の燃焼ガスの自発的な流動を制御することは容易ではない。実験では Fig.2 に示すように保炎板に三角屋根形フィンを取り付け、燃焼ガスが燃料噴霧の基部にまで循環できるような構造とし、EGR 効果の促進を図った。これと保炎板なしの場合を比較した。

保炎板あり (Internal EGR condition)、なし (Standard condition) の場合について、燃焼ガス温度と燃焼ガス濃度を測定した。燃焼ガスの吸引には水冷式サンプリングプローブを用い、東芝ベックマン製自動車排気ガス分析装置 (CAREX-16EO) で NO 、三鷹工業社製ポータブル酸素分析計 (6032 形) で O_2 、理研計器株式会社製ポータブル赤外線ガス分析計 (RI-550A) で CO_2 をそれぞれ測定した。温度測定には熱電対 (Pt-Pt / Rh13%) を用いた。なお、測定位置はノズルからの軸方向距離 $z=50\sim350$ mm まで 50 mm 間隔で、燃焼筒半径方向に $r=-80\sim+80$ mm まで 10 mm 刻みで行った。また燃焼実験の当量比は $\phi=0.7$ とした。このときの空気流量は $G_a=35\text{g/s}$ 、燃料流量は $G_f=1.66\text{g/s}$ 、噴射圧は $P_f=22.5\text{kg/cm}^2$ である。温度や濃度に関する測定値から、それぞれ保炎板の有無による燃焼特性の変化を調べた。また、実際には fuel N の

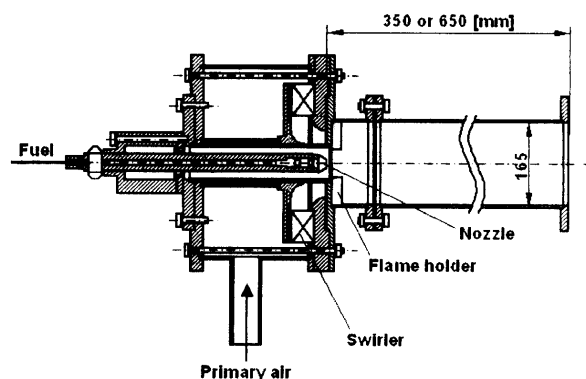


Fig.1 Detail of the swirl type combustor

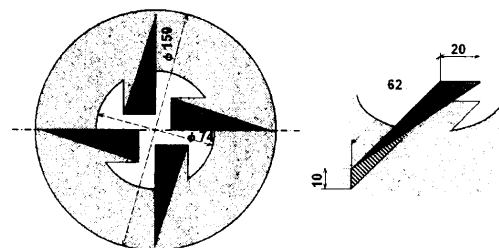


Fig.2 Shape and size of the flame holder

すべてが燃焼過程で fuel NO に変換されるのではないので、転換率(fuel N がすべて NO に変換された場合の NO 濃度に対する実際の fuel NO 濃度)を計算し、燃焼温度や酸素濃度などとの関係を調べた。

3. 実験結果および考察

3.1 保炎板なし (Standard condition) の燃焼実験

保炎板なしの条件の燃焼筒断面平均値におけるノズルからの距離による燃焼ガス温度 T_g 、各種ガス濃度および変換率の変化を Fig.3 に示す。 T_g は、ノズルに近い $z=50\text{mm}$ 付近において低い値を示しているが、これは燃料の未着火領域が着火して青炎を形成している領域と考えられる。また、どちらの燃料も燃焼筒出口まで火炎が続いているため、 T_g は出口まで少しずつ上がっている。

ガス濃度に関しては、 O_2 濃度はどちらの燃料もほぼ同じ値を示している。 NO 濃度のグラフからは、火炎が出口まで続いていることから thermal NO が生成され、またピリジンの添加により fuel NO が生成され出口まで上がっているのがわかる。また、これらよりこの条件でのピリジン添加による火炎への影響は NO 濃度以外には無いものと考えられる。

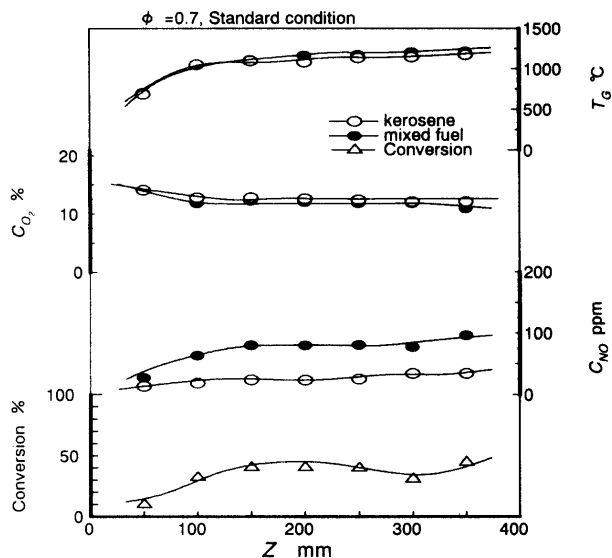


Fig.3 Variations of gas temperature and gas concentration averaged by cross sections (Standard condition)

3.2 保炎板あり (Internal EGR condition) の燃焼実験

保炎板ありの場合の燃焼筒断面平均値における結果を Fig.4 に示す。T_g は、保炎板なしの場合と同様、z=50mm 付近において T_g の値は低く、z=200~300mm 付近で最高温度に達した後、燃焼筒出口までほとんど変化は無い、これは内部 EGR 効果によって z=300mm 付近までに燃焼が完了（火炎長さ約 300mm）しているためである。また z=50mm 付近は循環流のため平均温度は高いが、それ以降は保炎板なしとくらべ低い値を示している。

次に O₂ 濃度については、保炎板なしとくらべ z=50~100mm において O₂ 濃度が低下していることから、内部 EGR 効果による低酸素燃焼領域であると考えられる。

NO 濃度は保炎板ありの場合、保炎板なしと比べて燃焼筒出口の NO 濃度が下がっていることから、内部 EGR による燃焼温度の低下と燃焼時間の短縮による thermal NO の低減と低酸素燃焼の効果と思われる fuel NO の低減ができたと考えられる。

3.3 灯油とピリジン添加灯油の比較

燃焼筒出口 (z=350mm) における NO 濃度の断面平均値と転換率を Standard condition と Internal EGR condition で比較したものを Fig.5 に示す。ピリジン添加による計算上のガス中の NO 濃度上昇はおおよそ 140ppm であるが、今回の実験では mixed fuel の NO 濃度は kerosene のみに比べて、Standard condition で 62ppm、Internal EGR condition で 55ppm の増加であった。このことから、fuel N の NO への転換率は Standard condition で約 45%、Internal EGR condition で約 40%であると推測される。

次に fuel N の NO への転換率と酸素濃度の燃焼筒断面平均値の結果を、Standard condition と Internal EGR condition で比較したものを Fig.6 に示す。燃焼筒内の平均値でも Internal EGR condition の方が酸素濃度を低く抑えることができています。fuel N の NO への転換は O₂ 残存量の多い領域で行われるため、Standard condition と比べ燃焼筒内に全体的に低酸素領域を作れるこの条件の方が最終的に出口でも fuel NO への転換率を抑えることができています。

4. 結言

1) 保炎板を用いることで火炎幅が広がり、燃焼筒内部に均一な火炎を形成し、火炎長さが短縮された。

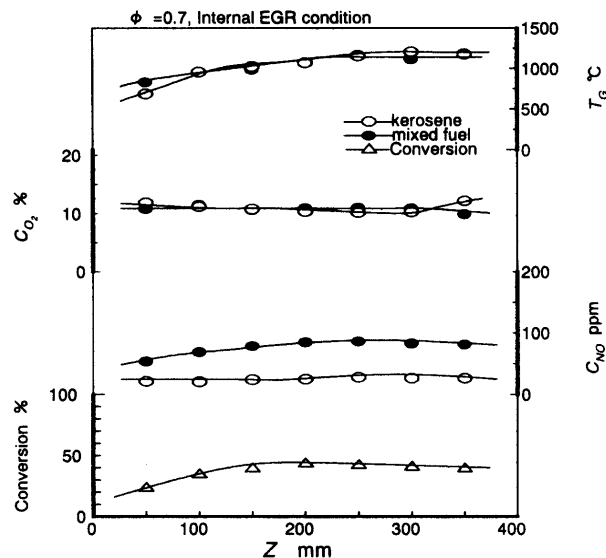


Fig.4 Variations of gas temperature and gas concentration averaged by cross sections (Internal EGR condition)

□ Standard condition ■ Internal EGR condition

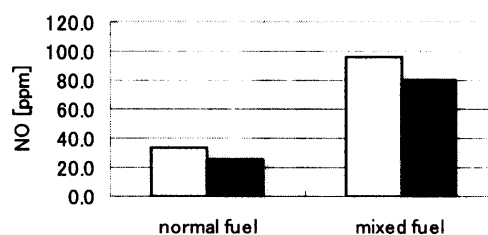


Fig.5 Mean NO concentration and Conversion averaged by cross sections (z=350mm)

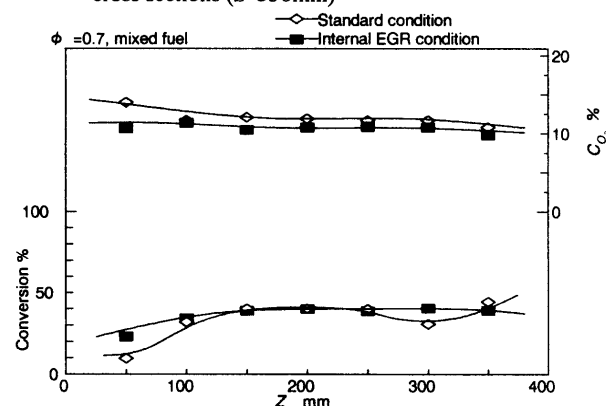


Fig.6 Conversion and O₂ concentration

- 2) ピリジン添加による fuel N の NO への転換率は保炎板なし (Standard condition) で約 45%、保炎板あり (Internal EGR condition) で約 40% であった。
- 3) ピリジンを添加することによって、fuel NO が增大するが、保炎板による EGR の効果は、thermal NO だけでなく、fuel NO の低減に対しても効果があった。
- 4) 燃焼温度と酸素濃度の制御を行うことは fuel NO の生成抑制法としても有効である。

参考文献

1. Shinkawa, Saito and Arai, Proc. of Int. Joint Power Generation Conference, IJPGC2001/FACT-19105, New Orleans, USA (2001)
2. 齊藤・小川・新井, 化学工学論文集, 26, 2: 215-220 (2000)
3. 日本燃焼学会, 燃焼工学ハンドブック: 89-92 (1995)