

論文の要旨

題目 自己再循環型低 NO_x 管状火炎バーナに関する研究 (A Study on Self-Recirculation Type Low NO_x Tubular Flame Burner)

氏名 彭 宏偉

燃焼ガスをバーナ内部で循環させる自己再循環法は、低コストとコンパクト性から窒素酸化物 (NO_x) 低減法として注目されている。しかし、二酸化炭素削減上需要の高いメタンの場合、循環量の増加は火炎の不安定性とCO濃度の増大を招き、適用に問題があった。しかるに、近年、基礎燃焼学の分野で見いだされた管状火炎は、断熱性に優れ、空気力学的にも安定で、実用バーナに供する火炎素として期待されている。そこで、本論文では、自己再循環法を管状火炎に適用し、コンパクトな低NO_xバーナの実現を目指すことにした。

第1章では、NO_x 規制値の動向を調査するとともに、従来行われている様々なNO_x 低減法、特に近年注目されている自己再循環 NO_x 低減法を精査し、管状火炎燃焼法の優れた特徴を明確にし、自己再循環低 NO_x 管状火炎バーナを燃焼工学的に研究することの意義・重要性について述べた。

第2章では、本研究を遂行するにあたり試作した4つの自己再循環型低 NO_x 管状火炎バーナについて詳細に説明した。

第3章では、本研究で火炎外観、安定燃焼範囲、温度場、濃度場、流速場などの測定に用いた供給装置および計測装置について詳述した。

第4章では、メタンを対象に、バーナ径 1.25 インチ、循環路 8 個、熱出力 10 ~ 16kW のプロトタイプのバーナを試作し、NO_x 低減の成否を調べた。この自己再循環型管状火炎バーナでは、予混合燃焼と急速混合燃焼のいずれの場合も、燃焼ガスの循環路数を増やすことで火炎の長さは長くなり、管状火炎直径は小さくなり、また、安定燃焼範囲は狭くなった。また、燃焼ガスの再循環路を広く取ることでNO_x 値を大幅に低減できること、逆火の危険性のない急速混合燃焼の方が、予混合燃焼よりNO_x 値をより低く抑えることができ、特に、当量比 0.8 で一桁台のNO_x 値 (9 ppm) が実現できることとともに、管軸上の温度分布については、予混合燃焼、急速混合燃焼、いずれも局所的な高温部が縮小し、温度分布の平滑化になった。

第5章では、低NO_x 性が確認されたバーナを燃焼学的に詳しく調べるため、循環路数を12個に増やし、且つ、燃焼ガスの循環量を粒子画像流速法で計測可能な可視化型バーナを製作し実験を行った。その結果、循環路数 n を 0, 6, 12 と変えていくと、NO_x 値を大幅に低減したことと伴い、燃焼ガスがエジェクター効果により循環路から引き込まれ、燃焼用空気を希釈したことが明確化した。循環路数 $n = 12$ の循環量を計算した結果により、燃焼時の循環量を標準状態に換算すると約 1.4 m³N/h となり非燃焼時の循環量の約 1.3 m³ N/h とほぼ等しくなることがわかる。また、循環路数 $n = 6$ の循環量は、全開時のほぼ半分であることもわかる。

第6章では、実際の小型ボイラに供するべく、熱出力の増大と灯油への拡張を図り、熱出力65kW、バーナ径12インチ、循環路数8個のバーナを試作して燃焼特性を調べた。その結果、メタンでは、当量比08で20ppm以下の完全燃焼が可能なのに対し、灯油では、管状火炎バーナの特徴である強旋回流が災いして多量の煤が発生することが判明した。この煤の発生は、バーナ下流部に整流板を設置し旋回を弱めて燃料と空気の混合を促進することで回避できたが、NOx値は40 ppm程度に留まり、一層の改善が求められた。

第7章では、第4～6章の結果を精査し、熱出力65kW、メタン・灯油兼用でコンパクト性を追求したバーナ径8インチ、循環路数6個のバーナを試作して実験した。その結果、メタンの予混合燃焼と急速混合燃焼では、いずれも、循環路全開の場合、全閉時と比べNOx値は、理論当量比（総括理論当量比）付近約3割減少したことがわかった。また、当量比 $\Phi = 0.7 \sim 0.9$ （空気比 $\lambda = 1.11 \sim 1.42$ ）で20 ppm以下の完全燃焼を得た。一方、長さ300 mmの6インチの延長を装着した場合の灯油燃焼では、自己再循環時の低NOxの火炎の特徴としては、メタンに限らず灯油燃焼でも青炎が安定に形成され、空気比 $\lambda = 1.4 \sim 1.6$ で約7割減少し20 ppm以下の完全燃焼を得ることができた。一つのバーナで気体燃料、液体燃料双方に有効な低NOxバーナが得られた。

第8章では、燃焼場の酸素濃度と総括当量比の循環量による変化に関する定量的な吟味、並びに、NOx生成量に関する反応動学的考察を行い、酸素濃度の低下と高温領域の消滅によるThermal NOの減少により低NOx燃焼が実現されたプロセスを燃焼学的に明らかにした。

第9章では、以上の結果を要約し総括している。

本研究を行うことにより、「自己再循環型低NOx管状火炎バーナ」は従来の自己再循環低NOxバーナと比べ、安定性に優れ、事実、一つのバーナで灯油のみならず、メタンでも低NOx燃焼が実現できる。従って、本方法は、大気汚染や温室効果の改善に実用的に応用できるものと期待される。