

審査の結果の要旨

論文提出者名 辻下 正秀

工学修士 辻下正秀提出の論文は、「天然ガスバーナー火炎中の prompt NO 生成に関する研究」と題し、6章から成っている。

天然ガスは単位熱量当たりの二酸化炭素排出が少なく、硫黄分を含まないため燃焼時に硫酸化物を排出しないものの、窒素酸化物（NO_x）の排出は避けられないことから、種々の低 NO_x 燃焼法が提案されてきた。天然ガスを燃焼させた場合に生成する NO_x は、その生成機構に基づいて thermal NO と prompt NO に区別される。prompt NO は燃料過濃な火炎において炭化水素ラジカルが基点となって生成するとされており、その低減には高空気比燃焼すなわち希薄燃焼が効果的とされている。希薄燃焼は、prompt NO に加えて thermal NO の低減にも効果的であることから、ガスタービン、ガスエンジン、ガスボイラー、ガス給湯器用バーナーなどに広く適用されている。

しかしながら、希薄燃焼が適用できず、1次空気比を1もしくはそれ以下で燃焼させる必要のある燃焼器も存在する。一例として家庭用ガス機器にて用いられる自然空気吸引式のブンゼンバーナーや工業用の加熱炉用バーナーなどが挙げられる。ブンゼンバーナーにおいてはガスの噴出に伴うエネルギーのみでは希薄燃焼に必要な空気を吸引できない。また、熱効率の低下が問題になることから、加熱炉用バーナーへの希薄燃焼の適用は困難とされている。今後、高水準な NO_x 低減を行うには、thermal NO に加えて、prompt NO を対象とした NO_x 低減に取り組む必要がある。希薄燃焼以外の prompt NO 生成量低減の方向性を見出すためには、その生成機構の解明が重要と考えられるが、現状では十分とは言えない。また、実用燃焼器から生成する prompt NO について、生成領域や生成量、火炎全体で生成される NO_x に占める割合なども、未だ解明されていない。

このような背景から、本研究はこれらの課題を解決すべく、天然ガスの主成分であるメタンを燃料とするメタン空気火炎より排出する prompt NO 生成機構の基礎的な解明を行い、さらには小規模なブンゼンバーナー火炎から大規模な工業用バーナー火炎において prompt NO の生成量、生成領域を明らかにすることにより、実用バーナーにおける NO_x 生成挙動を調べている。さらにこれらの知見を元に、NO_x 低減に向けた工業用バーナーの改良の方向性を明らかにしている。

第1章は序論であり、本研究の背景を述べ、天然ガスバーナー火炎における従来の prompt NO

生成機構の問題点を検討し、本研究の意義とその目的を明確にしている。

第2章では、本研究に不可欠な計測手法の精度を向上させるための検討を行っている。レーザー誘起蛍光法を利用して prompt NO 生成に関与するとされる CH, NH, CN 濃度計測の高感度化を実現し、メタン空気火炎中のこれらの化学種濃度計測を可能としている。反応速度を決定する火炎温度計測については、レーザー誘起蛍光法に基づく温度計測法の改良を行い、測定精度の向上を実現している。

第3章では、メタン空気火炎中の prompt NO 生成機構を明らかにするために、低圧モデル火炎を対象として反応動力学を用いた計算結果の信頼性を調べている。メタン空気火炎中の prompt NO 生成機構について、CH と N₂ の反応が基点となり、NH, CN 等のラジカルを經由して NO が生成されること、prompt NO 生成量は CH 濃度と高い相関を持つこと、prompt NO 生成量の低減には CH 濃度の低減が不可欠なことなどが反応動力学計算により予測されていたが、実験結果との比較により、これら prompt NO の生成機構が妥当であることを明らかにしている。

第4章では、常圧下のメタン空気ブンゼン火炎を対象として、火炎中の NO_x 生成挙動を明らかにしている。火炎中の NO, OH, CH, NH, CN の濃度分布および火炎温度分布を求めることにより、火炎面に CH, NH, CN が一様な濃度で存在し、火炎全体の NO_x 生成量である 60 ppm のうち 58 % 程度をしめる prompt NO が、火炎面でほぼ一様に生成されることを明らかにしている。さらに希薄燃焼法以外の prompt NO 生成量低減の方向性を明らかにするために、予混合気温度、酸化剤中酸素濃度を変化させて、prompt NO 生成量を測定している。

第5章では、大型の実用バーナー火炎中の NO_x 生成解析手法を構築することを目的とし、天然ガスを燃料とする拡散燃焼方式の 230kW 工業用バーナーを対象として、火炎中の NO_x 生成挙動を調べている。温度、流速、NO_x 濃度の計測結果に基づいて NO_x の生成領域、生成量を求める従来のフラックス解析に加え、CH, OH ラジカル濃度計測に基づいて thermal NO と prompt NO を分離してそれらの生成量を求める新しい計測法を提案している。これより火炎全体の NO_x 生成量である 80 ppm のうち約 45 % の prompt NO が 1 次火炎領域で生成することを明らかにしている。さらに NO_x 生成解析により得られた知見を元に、NO_x 低減に向けた実用バーナー改良の方向性を示している。

第6章は、結論であり、本研究において得られた結果を要約している。

以上要するに、本論文は、低圧モデル火炎、ブンゼンバーナー火炎および大規模な工業用バーナー火炎について、NO_x 生成に関する計測結果および反応動力学を用いた計算結果を基に、prompt NO 生成解析手法を提案し、天然ガスバーナーの NO_x 低減に資する技術として、その有効性を実機において明らかにしたものであり、燃焼工学および化学工学上貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。