



Title	アンモニアを燃料として用いた層流予混合火炎の基礎 燃焼特性に関する研究
Author(s)	武石, 裕行
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/55974
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (武石 裕行)

論文題名

アンモニアを燃料として用いた層流予混合火炎の基礎燃焼特性に関する研究

論文内容の要旨

アンモニアを燃料として利用する際には、アンモニアの低燃焼性および高濃度のFuel-NO_xを生成する懸念があることが課題となる。本研究では、これらの課題に対して、酸素富化燃焼および供給ガスの予熱に着目し、酸素富化燃焼および供給ガスの予熱によるアンモニアの燃焼性の改善効果を明らかにしたほか、酸素富化燃焼条件におけるFuel-NO_xの濃度特性および未燃アンモニアの濃度特性を明らかにした。以下に各章の要旨を示す。

第1章では、化石燃料の燃焼が抱える問題と、代替燃料の現状について示した後に、本研究における着眼点である、酸素富化燃焼と酸化剤予熱によるアンモニアの燃焼性の改善効果と、Fuel-NO_xの生成機構について示した。そして、アンモニアの燃焼特性に関連する先行研究を示した後に、本研究の位置づけを明確にした。

第2章では、実験で使用したバーナの詳細を示した後に、構築した計測システムの詳細について示した。そして、実験で使用した計測システムのうち、燃焼ガス分析装置に希釈器を適用したガス分析系において、燃焼ガスを希釈したことによる分析結果への影響について評価した。その結果、希釈器による誤差は、測定値の1%以下であることから、希釈器による燃焼ガスの希釈が分析結果に与える影響は小さいことを示した。

第3章では、火炎帯および火炎帯から下流において、ラジカル自発光計測を用いて火炎構造を詳細に観察した。また、R型熱電対を用いて、火炎帯の温度および火炎帯から下流における燃焼ガスの温度測定を行った。そして、熱電対による温度計測の結果をもとに、二色法による温度計測の妥当性を評価した。その結果、アンモニアの火炎では、NH₂、NH、OHが支配的なラジカル種であることがわかった。また、酸素富化燃焼を適用したアンモニア火炎は、化石燃料と比較しても、十分に高温の燃焼ガス温度を有していることから、実用的にも十分にアンモニアを燃料として利用することが可能であることがわかった。さらに、本論文での実験条件においては、実用的には、二色法を用いてアンモニアの火炎温度を測定することが可能であることがわかった。

第4章では、燃焼性を評価する指標として層流燃焼速度を用いて、酸素富化燃焼および供給ガス予熱によるアンモニアの燃焼性の改善効果を評価した。また、得られた実験結果と素反応解析により得られた層流燃焼速度の解析結果を比較することで、詳細素反応メカニズムの妥当性を評価した。その結果、層流燃焼速度は酸素富化割合によらず、当量比 $\phi=1.05$ から $\phi=1.1$ の条件で最大となることがわかった。酸素富化燃焼を適用したアンモニア火炎の層流燃焼速度は、アンモニア/空気の予混合火炎における層流燃焼速度の3倍から5倍の値であるため、酸素富化燃焼によりアンモニアの燃焼性を強化することが可能であることを示した。また、燃焼条件によっては、詳細素反応解析により得られる層流燃焼速度の解析結果は、実験結果との誤差が大きいことを示した。そして、実用的には、平衡断熱火炎温度を用いて、層流燃焼速度を予測することが有効であることを示した。

第5章では、NO濃度特性および未燃アンモニア濃度特性を評価した。また、NO濃度と未燃アンモニア濃度を用いて得られた実験結果と素反応解析の結果の比較を行い、詳細素反応メカニズムの妥当性について評価したほか、妥当性の評価によって、実験結果と最も良く一致した詳細素反応メカニズムを用いて、アンモニアの燃焼特性を詳細に明らかにした。その結果、NO濃度および未燃アンモニア濃度は当量比に大きく依存することがわかった。また、アンモニアを燃料利用した際のNO_x変換率(C.R.値)は、当量比 $\phi=1.2$ または $\phi=1.3$ で最小となり、アンモニア火炎のC.R.値は化石燃料に少量のアンモニアを添加した際のC.R.値と比較して、5%から10%程度の低い値であることが明らかとなった。

第6章では、結言として第1章から第5章までの内容を総括した。

以上、本研究を遂行したことにより、酸素富化燃焼および供給ガス予熱によるアンモニア火炎の燃焼性の改善効果や、酸素富化燃焼条件における、火炎温度、ラジカル種、NO_x濃度特性および未燃アンモニア濃度特性を明らかにした。本研究により得られた知見は、アンモニアを燃料利用する際に課題となる低燃焼性および高濃度のFuel-NO_xを生成する懸念があることに対して、燃焼条件を適切に設定することで、解決が可能であることを示したものであり、アンモニア燃料を実用的に利用する上で、非常に有益な知見となる。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (武石 裕行)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 赤松 史光
	副 査	教授 芝原 正彦
	副 査	教授 津島 将司

論文審査の結果の要旨

アンモニアはカーボンフリーな代替燃料として期待される反面、アンモニアを燃料として利用する際には、アンモニアの低燃焼性、および高濃度のFuel-NOxが生成される懸念があることが課題となる。本論文では、これらの課題に対して、酸素富化燃焼および供給ガスの予熱によるアンモニアの燃焼性の改善効果を定量的に明らかにしている。また、酸素富化燃焼条件におけるFuel-NOxの濃度特性および未燃アンモニアの濃度特性を実験により定量的に明らかにしているほか、数値解析を用いて、その生成メカニズムを明らかにしている。本論文における具体的な成果は、以下のように要約される。

(1) 燃焼性を評価する指標として層流燃焼速度を用いて、酸素富化燃焼および供給ガス予熱によるアンモニアの燃焼性の改善効果を定量的に評価している。そして、アンモニアの層流燃焼速度は、酸素富化燃焼や供給ガス予熱により、化石燃料と同等にまでに改善が可能なことを明らかにしている。また、アンモニアの酸化反応が考慮された詳細素反応メカニズムをアンモニア火炎に対して適用し、詳細素反応メカニズムの妥当性を定量的に評価している。そして、現在までに提案されている詳細素反応メカニズムでは、定量的に層流燃焼速度を予測することは難しいことを示している。加えて、層流燃焼速度の理論式に基づいて、平衡断熱火炎温度を用いて層流燃焼速度を予測することが可能な経験式を提案している。

(2) アンモニア層流予混合火炎を対象としたNOx濃度および未燃アンモニア濃度の分析では、高濃度のNOxおよび未燃アンモニアが生成することが予想されるほか、アンモニアがサンプリングプローブ内に凝縮した水蒸気に溶解する懸念がある。そのため、既存の燃焼ガス分析装置では、気相中のアンモニア濃度の定量的な測定が困難であった。本研究では、既存の燃焼ガス分析装置の前段に希釈器を設置し、また、サンプリングプローブの冷却剤としてシリコンオイルを用いることで、NOxおよび未燃アンモニアの濃度を同時に定量的に分析できることを示している。そして、アンモニア層流予混合火炎のNOx濃度特性および未燃アンモニア濃度特性を定量的に明らかにしている。また、NOx濃度および未燃アンモニア濃度には、強い当量比依存性があることを定量的に示し、詳細素反応解析を用いて当量比がアンモニアの反応経路に与える影響を明らかにしている。その結果、燃焼条件を適切に設定することで、アンモニアを燃料として利用しても、高濃度のNOxおよび未燃アンモニアの生成が抑制できることを理論的に説明している。さらに、実測値よりNOx変換率(Conversion Rate: C.R.)を算出し、アンモニア層流予混合火炎のC.R.値は、化石燃料に少量のアンモニアを添加した際のC.R.値と比較して、5%から10%程度の低い値であることを明らかにしている。

(3) ラジカル自発光計測を用いて、アンモニア火炎では、NH₂、NH、OHが支配的なラジカル種であることを示している。また、R型熱電対を用いて、火炎帯の温度および火炎帯から下流における燃焼ガスの温度測定を行っている。そして、酸素富化燃焼を適用したアンモニア火炎は、化石燃料系の燃料と比較しても、十分に高い燃焼ガス温度を有していることから、アンモニアを燃料として利用することが可能であることを示している。また、熱電対による温度測定の結果をもとに、二色法による温度計測の妥当性を評価し、本研究での実験条件においては、二色法を用いてアンモニアの火炎温度を測定することが可能であることを明らかにしている。

本研究の遂行により得られた知見は、アンモニアを燃料として利用する際に課題となる低燃焼性および高濃度のFuel-NOxが生成される懸念に対して、燃焼条件を適切に設定することで解決することが可能であることを示したものであり、アンモニアを燃料として利用する上で、非常に有益な知見となる。

よって、本論文は博士論文としての価値があるものと認める。