The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	アンモニア/都市ガスおよび水素/都市ガスの低NOx燃焼法に関する研究
Author(s)	菊池, 賢太
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/91929
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　　菊　池　賢　太　　）	
論文題名	アンモニア/都市ガスおよび水素/都市ガスの低 NOx 燃焼法に関する研究

論文内容の要旨

世界的な脱炭素化の潮流の中で、燃焼炉から排出される二酸化炭素を削減するために、次世代の脱炭素燃料としてアンモニアおよび水素の直接燃焼利用が期待されている。アンモニア燃焼は燃料中の窒素分に由来する Fuel-NOx の排出、水素燃焼は逆火や高い断熱火炎温度に起因した Thermal-NOx の生成が問題とされている。アンモニアに対しては二段燃焼方式、水素に対しては多孔噴流燃焼方式、緩慢燃焼方式などによる NOx 低減が検討されている。その一方で、これらの手法を既設の燃焼炉に適用するためには、複雑なバーナの導入や燃焼炉の改修が必要となり、アンモニアや水素の直接燃焼利用が進まない要因となっている。脱炭素燃料の燃焼炉への普及においては、導入のための初期コストを低減し、従来燃料との混焼からアンモニア専焼、水素専焼までに対応した燃焼技術が求められている。この実現のため、本研究では、燃料と酸化剤を同一壁面の離間した位置から並列独立噴流として供給する燃焼法（以下「並列独立噴流燃焼法」と呼称する）に着目した。並列独立噴流燃焼法は二次空気供給ノズル形状が簡易で、大幅な改修なく既設設備に導入できる。さらに、一次空気と二次空気の投入比率を調整することで燃焼特性を変更できる。これまで、炭化水素燃料を用いた並列独立噴流燃焼法を利用したフレームレス燃焼についての研究はされてきたが、アンモニアや水素への適用例はない。

本研究では、並列独立噴流燃焼法をアンモニアや水素へ拡張するため、実操業に近い条件の実験炉を対象に、都市ガスとの混焼率、二次空気流速、二次空気ノズル配置、酸化剤の供給割合がアンモニアや水素を燃料とした並列独立噴流燃焼の燃焼特性に及ぼす影響を体系的に調べた。以下に本研究で得られた知見をまとめる。

第1章　炭化水素燃料に替わる脱炭素燃料としてアンモニア、水素それぞれの燃料としての特徴と課題および本研究で用いた並列独立噴流燃焼法の概要と先行研究について示し、本研究の目的について示した。

第2章　10 kW級燃焼炉を対象とし、炭化水素燃料用バーナに対して並列独立噴流燃焼法を適用し、アンモニア/都市ガスの混焼、アンモニア専焼時に二次空気ノズルのパラメータがNOx排出特性に及ぼす影響を調べた。さらに、一次空気と二次空気を1:1の割合で供給する二段燃焼により、アンモニア専焼において生成するNOxを一段燃焼時と比較して85 %低減させ、環境規制値の上限値を下回ることに成功した。

第3章　実用規模を想定した300 kW級燃焼炉を用いて、自己排ガス再循環燃焼を適用した従来燃焼における水素/都市ガス混焼および水素専焼の燃焼特性を評価した。水素混焼率の増加とともにNOxが上昇するが、炭化水素燃焼と同様に、自己排ガス再循環燃焼法により水素燃焼においても低NOx化できることを示した。さらに、高い自己排ガス再循環率となるように、燃焼空気の噴孔直径、噴孔数を設定すると、NOxを低減できること示した。

第4章　300 kW級燃焼炉を用いて、フレームレス燃焼を適用した並列独立噴流燃焼法により都市ガス専焼と水素専焼時のNOx排出特性を調べ、低NOx効果が得られる条件を整理した。さらに、一次空気流量をゼロとし、燃焼用空気の全量を二次空気とすることで、水素専焼における逆火の問題を回避するとともに、従来燃焼に比べて70 %以上のNOxを低減できた。

第5章　本研究の総括を行い、都市ガス/アンモニア/水素のハイブリッドバーナの実現可能性を示した。

本研究により、実操業を想定した条件での実験によって、アンモニア/都市ガス混焼およびアンモニア専焼では一次空気と二次空気の比率を 1:1 とした並列独立噴流による二段燃焼、水素/都市ガス混焼は自己排ガス再循環燃焼、水素専焼では並列独立噴流によるフレームレス燃焼を適用することで、NOx を低減できることが明らかとなった。また、本論文は既存の燃焼炉におけるアンモニアや水素の直接燃焼利用時に NOx を低減可能な燃焼法やその条件を具体的に示した。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　菊池　賢太　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	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

世界的な脱炭素化の潮流の中で、燃焼炉から排出される二酸化炭素を削減するために、次世代の脱炭素燃料としてアンモニアおよび水素の直接燃焼利用が期待されている。アンモニア燃焼は燃料中の窒素分に由来する Fuel-NOx の排出、水素燃焼は逆火や高い断熱火炎温度に起因した Thermal-NOx の生成が問題とされている。アンモニアに対しては二段燃焼方式、水素に対しては緩慢燃焼方式などによる NOx 低減が検討されている。その一方で、これらの手法を既設の燃焼炉に適用するためには、複雑なバーナの導入や燃焼炉の改修が必要となり、アンモニアや水素の直接燃焼利用が進まない要因となっている。脱炭素燃料の燃焼炉への普及においては、導入のための初期コストを低減し、従来燃料との混焼からアンモニア専焼、水素専焼までに対応した燃焼技術が求められている。この実現のため、本研究では、燃料と酸化剤を同一壁面の離間した位置から並列独立噴流として供給する燃焼法（以下「並列独立噴流燃焼法」と呼称する）に着目した。並列独立噴流燃焼法は二次空気供給ノズル形状が簡易で、大幅な改修なく既設設備に導入できる。さらに、一次空気と二次空気の投入比率を調整することで燃焼特性を変更できる。これまで、炭化水素燃料を用いた並列独立噴流燃焼法を利用したフレームレス燃焼についての研究はされてきたが、アンモニアや水素への適用例はない。

本研究では、並列独立噴流燃焼法をアンモニアや水素へ拡張するため、実操業に近い条件の実験炉を対象に、都市ガスとの混焼率、二次空気流速、二次空気ノズル配置、酸化剤の供給割合がアンモニアや水素を燃料とした並列独立噴流燃焼法の燃焼特性に及ぼす影響を体系的に調べている。以下に本研究で得られた知見をまとめる。

第1章　炭化水素燃料に替わる脱炭素燃料としてアンモニア、水素それぞれの燃料としての特徴と課題および本研究で用いた並列独立噴流燃焼法の概要と先行研究について示し、本研究の目的について示している。

第2章　10 kW級燃焼炉を対象とし、炭化水素燃料用バーナに対して並列独立噴流燃焼法を適用し、アンモニア/都市ガスの混焼、アンモニア専焼時に二次空気ノズルのパラメータがNOx排出特性に及ぼす影響を調べている。さらに、一次空気と二次空気を1:1の割合で供給する二段燃焼により、アンモニア専焼において生成するNOxを一段燃焼時と比較して85 %低減させ、環境規制値の上限値を下回ることに成功している。

第3章　実用規模を想定した300 kW級燃焼炉を用いて、自己排ガス再循環燃焼を適用した従来燃焼における水素/都市ガス混焼および水素専焼の燃焼特性を評価している。水素混焼率の増加とともにNOxが上昇するが、炭化水素燃焼と同様に、自己排ガス再循環燃焼法により水素燃焼においても低NOx化できることを示している。さらに、高い自己排ガス再循環率となるように、燃焼空気の噴孔直径、噴孔数を設定すると、NOxを低減できることを示している。

第4章　300 kW級燃焼炉を用いて、フレームレス燃焼を適用した並列独立噴流燃焼法により都市ガス専焼と水素専焼時のNOx排出特性を調べ、低NOx効果が得られる条件を整理している。さらに、一次空気流量をゼロとし、燃焼用空気の全量を二次空気とすることで、水素専焼における逆火の問題を回避するとともに、従来燃焼に比べて70 %以上のNOxを低減できることを示している。

第5章　本研究の総括を行い、都市ガス/アンモニア/水素のハイブリッドバーナの実現可能性を示している。

以上のように、本論文では、実操業を想定した条件での実験によって、アンモニア/都市ガス混焼およびアンモニア専焼では一次空気と二次空気の比率を 1:1 とした並列独立噴流による二段燃焼、水素/都市ガス混焼は自己排ガス再循環燃焼、水素専焼では並列独立噴流によるフレームレス燃焼を適用することで、NOx を低減できることを明らかにしている。また、本論文は既存の燃焼炉におけるアンモニアや水素の直接燃焼利用時に NOx を低減可能な燃焼法やその条件を具体的に示している。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。