



Title	混相燃焼場における燃焼挙動と環境負荷物質の生成特性に関する研究
Author(s)	泰中, 一樹
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/77628
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

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 （ 泰 中 一 樹 ）

論文題名 混相燃焼場における燃焼挙動と環境負荷物質の生成特性に関する研究

論文内容の要旨

混相燃焼技術の開発には、実燃焼器と同等の構造を持った混相燃焼場における火炎構造および燃焼生成物の生成特性を明らかにすることが求められる。本研究では、光学計測を適用することが可能な実燃焼器を模した混相燃焼場を実現することで、光学計測等によって得られる時間・空間分解能の高いデータから、混相燃焼場の火炎構造および環境負荷物質の生成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、世界的なエネルギー供給に対する液体・固体の燃焼場である混相燃焼場の重要性とともに、混相燃焼によって生じる窒素酸化物（ NO_x ）やすす等の環境負荷物質の低減が求められている背景を概説した。また、このような社会的背景を受けて行われた混相燃焼場に対する既往研究を示し、実燃焼器における火炎構造および燃焼排出物の生成特性を明らかにするためには、実燃焼器に近い混相燃焼場に対する研究が必要不可欠であることを示した。

第2章では、光学計測が可能な実際の航空用ガスタービン燃焼器のハーフスケールモデル燃焼器を製作した。この実験装置を用いて、空気流量、燃料流量、供給当量比、および雰囲気圧力が噴霧火炎構造および NO_x 生成特性に及ぼす影響を考察することで、燃料流量と比べて空気流量の方が微粒化特性に及ぼす影響が大きく、空気流量の減少によって微粒化特性が悪化し局所的な燃料過濃燃焼領域ですす生成が活発に行われることを明らかにした。供給当量比の増加に伴って、燃焼器出口 NO_x 濃度は供給当量比1.1付近で極大値を取り、一度低下した後に、供給当量比1.7以上で再度上昇することが明らかになった。 CH^* 自発光の時間・空間分布を用いた火炎構造の考察から、この NO_x 排出の傾向は、局所的な燃焼反応の変動の影響を受けることが示された。また、雰囲気圧力を増加させることで、供給空気の密度が上昇し、微粒化特性が向上した結果、噴霧領域の大きさは小さくなることを示した。

第3章では、実機油焚きボイラで採用されている低 NO_x 技術である2段燃焼および排ガス再循環の機能を有する550 kW級の大規模な燃焼試験装置を用いて、C重油（HFO：Heavy Fuel Oil）にバイオマス燃料であるジャトロファ粗油（CJO：Crude Jatropha Oil）を混焼する場合の影響について考察を加えた。含酸素燃料であり、すすの前駆体である多環芳香族炭化水素が少ないCJOを混焼することで、バーナ近傍のすすの体積分率が低下し、火炎からのふく射強度が低下することを明らかにした。加えて、CJOを混焼することで火炎温度は上昇するため、火炉の収熱量は増加した。この結果から、実機油焚きボイラでCJOを混焼した場合、下流への伝熱量が増加することから、蒸気配管の寿命に影響を及ぼす可能性が示された。HFO専焼およびHFO/CJO混焼において、すすは液体燃料が熱分解されたセノスフィアで主に構成されており、すす生成の少ないCJOと混焼させることですすの空隙率が上昇し、その崩壊によって小さい粒子径のすすが生成されていることが明らかとなり、実機油焚きボイラでCJOを混焼した場合、火炉から排出されるすすがより細くなることから、バグフィルタ等に影響を及ぼす可能性が示された。

第4章では、微粉炭ボイラを模した固気比で燃焼可能な微粉炭噴流バーナを製作し、微粉炭噴流火炎におけるすす生成特性を明らかにした。微粉炭噴流火炎を対象に、時間分解レーザー誘起赤熱法を用いて、すす1次粒子径分布の空間分布を把握した。その結果、すす1次粒子はバーナ先端から下流に移動するにつれて成長し、粒子径が大きくなるが、乱流によって混合されるため、すす1次粒子径分布はバーナ先端から同じ高さにおいて水平方向位置による変化はなかった。また、実験によって得られた詳細な微粉炭噴流火炎構造を、Large Eddy Simulationを用いた数値解析の結果と比較することで微粉炭粒子挙動等の微粉炭燃焼現象の詳細を明らかにした。以上の結果から、粒子と流体の相互作用によって、バーナ近傍では小さい粒子径の微粉炭粒子の方が、鉛直方向速度が大きく、バーナ先端からの距離の増加に伴って、大きい粒子径の微粉炭粒子の方が、鉛直方向速度が大きくなることを明らかにした。

第5章では、本論文の結論をまとめた。

以上より、本研究では、光学計測を適用可能な実燃焼器内の燃焼現象の詳細情報を抽出することができる実験装置を製作することで、今まで得ることのできなかった実燃焼器に近い混相燃焼場における詳細な実験結果を得ることに成功した。本研究の実験結果は数値解析コードの検証に有益であるとともに、本研究での考察によって得られた混相燃焼場での燃焼挙動や環境負荷物質の生成特性に関する知見は、今後の混相燃焼技術を用いた燃焼器の開発に大きく貢献すると考えられる。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (泰 中 一 樹)			
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
	副 査	教 授	塚本雅裕
	副 査	准教授	林 潤 (京都大学大学院エネルギー科学研究科)
論文審査の結果の要旨			
液体燃料や固体燃料を用いる混相燃焼は、航空用ガスタービンや火力発電用ボイラ等の多くの燃焼機器で利用されている重要な技術である。その一方で、混相燃焼技術を用いた燃焼機器は窒素酸化物 (NO_x) やすすといった環境負荷物質の発生源の一つであり、その排出量低減が求められている。本論文では、これまで困難であった光学計測が適用可能で、実機と同等の構造を持つ燃焼器を新たに設計・構築し、混相燃焼場における燃焼挙動が環境負荷物質の生成特性に与える影響について考察を加えている。その主な成果は、下記のとおりである。 (1) 第 2 章では、燃焼場の光学計測が可能な旋回流を伴う航空用ガスタービン燃焼器のハーフスケール燃焼器を設計・構築している。その実験装置を用いて、燃料油滴群と燃焼反応領域に対する高時間・空間分解能を有する計測によって、燃料流量・空気流量によって変化する微粒化特性と燃焼反応領域の挙動が NO_x 生成特性に与える影響について考察を加えている。その結果、一般的に NO_x 生成量が低下する火炎温度が低い燃料過濃条件においても、微粒化特性の悪化に伴う局所的に不均質な燃焼によって出口 NO_x 濃度が増加することを明らかにしている。また、雰囲気圧力の上昇によって、微粒化特性が向上し噴霧領域が小さくなることを明らかにしている。 (2) 第 3 章では、CO_2 排出量削減の観点から導入が急務であるバイオマス燃料の燃焼特性を明らかにすることを目的として、光学計測が可能な 550 kW 級の大規模燃焼試験装置を構築し、C 重油専焼条件および C 重油とジャトロファ粗油 (CJO : Crude Jatropha Oil) の混焼条件における燃焼挙動とすす生成特性に対して検討を加えている。含酸素かつ多環芳香族炭化水素を含まない CJO の燃料性状によって、混焼条件では火炎からのふく射強度は低下するにも関わらず、火炎温度が上昇することで火炉の収熱量が増加することを明らかにしている。また、燃焼条件に関わらず、すす粒子は液体燃料が熱分解されたセノスフィアで主に構成され、混焼条件では、油滴から CJO が揮発することでセノスフィアの空隙率が上昇し、すす粒子の崩壊が促進されることで、小粒子径のすすが排出されることを示している。 (3) 第 4 章では、微粉炭火炎中の燃料粒子の挙動とすす生成特性を明らかにすることを目的として、微粉炭ボイラを模した固気比で燃焼可能な微粉炭噴流バーナを構築している。微粉炭粒子とすす粒子を区別して微粉炭火炎中のすす粒子径の空間分布を計測可能な時間分解レーザ誘起赤熱法を構築し、微粉炭火炎中におけるすす粒子の生成・成長過程を評価している。その結果、すすの粒子径はバーナ先端から下流に移動するにつれて大きくなるが、火炎の水平方向位置による粒子径分布の変化は小さいことを明らかにしている。また、Large Eddy Simulation による数値解析結果から、火炎下流では微粉炭粒子が鉛直方向へ移動する際に気相から抵抗を受けるようになるため、微粉炭粒子の分散が進行することを明らかにしている。 以上のように、本論文では、光学計測を適用可能な実燃焼器内の燃焼現象の詳細情報を抽出することができる実験装置を設計・構築することで、これまで燃焼器出口における情報のみから推察されていた環境負荷物質の生成特性を、光学計測結果に基づく燃焼器内部の燃焼挙動によって説明することに成功している。また、本論文で得られたデータは、今後の数値解析コードの検証として有益である。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。			