

Title	混合気特性が乱流火災の構造と燃焼形態に及ぼす影響に関する研究
Author(s)	安, 鐵朱
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46893
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。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。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	安 鐵 朱
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 19929 号
学位授与年月日	平成 18 年 2 月 28 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科機械物理工学専攻
学位論文名	混合気特性が乱流火炎の構造と燃焼形態に及ぼす影響に関する研究
論文審査委員	(主査) 助教授 赤松 史光 (副査) 教授 辻 裕 教授 片岡 勲 教授 武石賢一郎

論文内容の要旨

本研究では、炉内の複雑な混合過程を単純化し、温度と組成が既知の高温混合気を用いて乱流予混合火炎の燃焼形態や火炎構造を詳細に調べた上で、それらの結果から実際の複雑な高温予熱空気燃焼の燃焼形態を明らかにすることを目的とした。すなわち、これまでデータが欠けていた燃料の自着火温度程度の高温にまで予熱された予混合気の燃焼形態や火炎構造が燃料濃度、酸素濃度の違いによってどのように変化するかを解明することで、高温予熱空気燃焼に関する燃焼科学の進展に寄与することを目指したものである。本論文の構成は以下の通りである。

第 1 章は、本研究の緒論であり、関連の従来研究の概要を述べるとともに、未解明の重要課題をまとめ、本研究の位置づけを明らかにした。

第 2 章では、高温予熱空気中に燃料を吹き込んだ際に、燃料の着火遅れ時間 (数 ms) 内で急速に混合させるために、特殊な形状の急速混合ノズルを新たに考案し、高温予混合気形成の可能性の検討を行った。その際、常温条件 (300 K) において、急速混合ノズルを対向流バーナとブンゼンバーナに適用し、急速混合ノズルによって作られた混合時間が短い準予混合気によって形成される準予混合火炎の諸特性を調べ、同じ当量比の完全予混合気 (混合時間が長い) によって形成される予混合火炎との比較を行った。その結果、本急速混合ノズルにより、従来の方法では不可能であった高温予混合気形成が可能であることを示した。

第 3 章では、第 2 章で考案した特殊な形状の急速混合ノズルを有する対向流バーナとブンゼンバーナを用いて、常温条件 (300 K) において化学反応の特性時間を変えずに (当量比一定)、乱流特性時間を変化させる (乱れ強さを変える) ことによる乱流予混合火炎の燃焼形態および火炎構造の変化について調べた。また、過去に提案されている乱流予混合火炎構造位相図に関する問題点を指摘し、燃焼反応に係わる重要な化学種 (OH および CH などの) に関する新たなカルロピッツ数、ダムケラー数を導入した修正火炎構造位相図を提案した。

第 4 章では、第 2 章で考案した特殊な形状の急速混合ノズルを用いて、高温予混合気を既燃ガスで囲んで直接大気が予混合気に誘引されない工夫を施して、特殊な火炎が形成可能なリバースフローバーナを製作し、様々な燃料の自着火特性、可燃限界を調べた。また、高温メタン予混合気 (1173 K) の酸素濃度および燃料濃度を変化させることによって、燃焼形態および火炎構造がどのように変化するかについて調べた。その結果、高温空気燃焼における燃焼の特徴である緩慢燃焼 (mild combustion)、目に見えない無炎燃焼 (flameless oxidation) といった性質が、希薄かつ希釈された高温予混合気による乱流予混合火炎の特徴と一致することを確認した。また、混合気の予熱温度の変化

によって、乱流火炎の火炎構造が遷移するカルロピッツ数、ダムケラー数などの条件が変化することが実験的に明らかとなった。このような結果は従来の乱流火炎に関する知見からは考えられないことであり、従来乱流火炎の構造に係わるパラメータ (u' , SL , l_f , δ_{th}) やそれによって定義される無次元数によって乱流火炎の構造を分類している従来の火炎構造位相図からは説明できないことであった。しかし、第3章で提案した修正火炎構造位相図は化学種に対するカルロピッツ数、ダムケラー数を温度に対するカルロピッツ数、ダムケラー数と関連付けており、混合気の子熱温度および組成の変化によって火炎構造が遷移する無次元数がどのように変化するかを明確に説明でき、本章の実験結果と一致することが明らかになった。

第5章は本論文の総括であり、得られた主要結果をまとめると同時に、高温空気燃焼において、はっきりした火炎面 (surface combustion) がなく、広い反応領域を有する空間燃焼 (volume combustion) の形態になる理由について述べた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、炉内の複雑な混合過程を単純化し、温度と組成が既知の高温混合気を用いて乱流予混合火炎の燃焼形態や火炎構造を詳細に調べた上で、それらの結果から実際の複雑な高温予熱空気燃焼の燃焼形態を明らかにすることを目的としている。すなわち、これまでデータが欠けていた燃料の自着火温度程度の高温にまで予熱された予混合気の子燃焼形態や火炎構造が燃料濃度、酸素濃度の違いによってどのように変化するかを解明することで、高温予熱空気燃焼に関する燃焼科学の進展に寄与することを目的としている。本論文の構成は以下の通りである。

第1章は、本研究の緒論であり、関連の従来研究の概要を述べるとともに、未解明の重要課題をまとめ、本研究の位置づけを明らかにしている。

第2章では、高温予熱空気中に燃料を吹き込んだ際に、燃料の着火遅れ時間 (数 ms) 内で急速に混合させるために、特殊な形状の急速混合ノズルを新たに考案し、高温予混合気形成の可能性の検討を行っている。その際、常温条件 (300 K) において、急速混合ノズルを対向流バーナとブンゼンバーナに適用し、急速混合ノズルによって作られた混合時間が短い準予混合気によって形成される準予混合火炎の諸特性を調べ、同じ当量比の完全予混合気 (混合時間が長い) によって形成される予混合火炎との比較を行っている。その結果、急速混合ノズルにより、従来の方法では不可能であった高温予混合気の子形成が可能であることを示している。

第3章では、第2章で考案した特殊な形状の急速混合ノズルを有する対向流バーナとブンゼンバーナを用いて、常温条件 (300 K) において化学反応の特性時間を変えずに (当量比一定)、乱流特性時間を変化させる (乱れ強さを変える) ことによる乱流予混合火炎の子燃焼形態および火炎構造の変化について調べている。また、過去に提案されている乱流予混合火炎構造位相図に関する問題点を指摘し、燃焼反応に係わる重要な化学種 (OH および CH などの) に関する新たなカルロピッツ数、ダムケラー数を導入した修正火炎構造位相図を提案している。

第4章では、第2章で考案した特殊な形状の急速混合ノズルを用いて、高温予混合気子を既燃ガスで囲んで直接大気が予混合気子に誘引されない工夫を施して、特殊な火炎子が形成可能なりバースフローバーナを製作し、様々な燃料の自着火特性、可燃限界を調べている。また、高温メタン予混合気 (1173 K) の酸素濃度および燃料濃度を変化させることによって、燃焼形態および火炎構造がどのように変化するかについて調べている。その結果、高温空気燃焼における燃焼の特徴である緩慢燃焼 (mild combustion)、目に見えない無炎燃焼 (flameless oxidation) といった性質が、希薄かつ希釈された高温予混合気子による乱流予混合火炎の特徴と一致することを確認している。また、混合気の子熱温度の変化によって、乱流火炎の火炎構造が遷移するカルロピッツ数、ダムケラー数などの条件が変化することを実験的に明らかにしている。このような結果は従来の乱流火炎に関する知見からは考えられないことであり、乱流火炎の構造に係わるパラメータ (u' , SL , l_f , δ_{th}) や、それによって定義される無次元数によって乱流火炎の構造を分類している従来の火炎構造位相図からは説明できないことであった。しかし、第3章で提案した修正火炎構造位相図は化学種に対するカルロピッツ数、ダムケラー数を温度に対するカルロピッツ数、ダムケラー数と関連付けており、混合気の子熱温度および組成の変化によって火炎構造が遷移する無次元数がどのように変化するかを明確に説明で

き、本章の実験結果と一致することを明らかにしている。

第5章は本論文の総括であり、得られた主要結果をまとめると同時に、高温空気燃焼において、はっきりした火炎面 (surface combustion) がなく、広い反応領域を有する空間燃焼 (volume combustion) の形態になる理由について述べている。

以上のように、本論文はこれまでデータが欠けていた燃料の自着火温度程度の高温にまで予熱された予混合気の燃焼形態や火炎構造が燃料濃度、酸素濃度の違いによってどのように変化するかを明らかにしており、高温予熱空気燃焼に関する燃焼科学の進展に大きく寄与している。

よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。