

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	直接数値計算による乱流予混合燃焼の大域及び局所火炎構造に関する研究
Title(English)	Investigation on global and local flame structures of turbulent premixed combustion by direct numerical simulation
著者(和文)	BASMILYENERDAG
Author(English)	Basmil Yenerdag
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9774号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:店橋 護,花村 克悟,小酒 英範,齊藤 卓志,志村 祐康
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9774号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		Yenerdag Basmi I	
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	店橋 護	教授	審査員	志村 祐康	准教授
	審査員	花村 克悟	教授			
		小酒 英範	教授			
齊藤 卓志		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Investigation on Global and Local Flame Structures of Turbulent Premixed Combustion by Direct Numerical Simulation (直接数値計算による乱流予混合燃焼の大域及び局所火炎構造に関する研究)」と題し、以下の5章よりなる。

第1章「Introduction」(緒論)では、化石燃料の枯渇問題や地球温暖化に伴う環境問題を解決するには、高効率・低環境負荷燃焼システムの開発が重要であることを述べ、そのような燃焼器開発に必要な不可欠な乱流燃焼機構の解明と乱流燃焼モデルに関する過去の研究を概観し、それらの問題点を明らかにしている。すなわち、内燃機関に代表される実用的な燃焼器では燃焼過程で圧力が大きく変化するため、乱流予混合火炎のフラクタル特性等の大域的な火炎構造や局所火炎構造に対する圧力変化の影響を明らかにする必要があること、高効率燃焼システムにおいては層流燃焼速度に比して強乱流強度での燃焼が望まれることから高乱流強度火炎の火炎構造を解明する必要があることを指摘し、詳細化学反応機構と輸送係数・熱物性値の温度依存性を考慮に入れた直接数値計算(DNS)により、これら乱流予混合燃焼の大域及び局所的な火炎構造を解明することが、本論文の目的であると述べている。

第2章「Direct Numerical Simulation of Hydrogen-Air Premixed Flames in a Constant Volume Vessel」(定容容器内の水素・空気予混合火炎の直接数値計算)では、水素燃焼に関する詳細化学反応機構(12化学種27素反応)を考慮に入れて、定容容器内に満たされた水素・空気乱流予混合気の着火と火炎伝播に関するDNSを行い、それらの結果から乱流場、局所火炎構造、熱損失等に対する圧力上昇の影響を明らかにしている。すなわち、平均流が存在しない場合でも、既燃ガスの膨張による圧縮効果により未燃領域のテイラー・マイクロスケールに基づくレイノルズ数は上昇することを明らかにしている。また、火炎面が壁面に達した後の壁面での最大熱流束は燃焼室内圧力とほぼ線形の関係にあり、最大熱流束を圧力の関数として表現できる可能性を見出している。さらに、燃焼室内の圧力変化は局所的な火炎構造に速やかに反映され、局所熱発生率、火炎面の曲率、火炎面に作用している接線方向歪み速度は、それぞれ対応する圧力条件での層流火炎の最大熱発生率、未燃側乱流場のコルモゴロフ・スケール及びテイラーの時間スケールによりスケールアップされることを明らかにしている。

第3章「Direct Numerical Simulation of Methane-Air Premixed Flames in Thin Reaction Zones」(Thin Reaction Zonesに分類されるメタン・空気予混合火炎の直接数値計算)では、メタン燃焼に関する詳細化学反応機構(GRI-Mech 3.0: 53化学種325素反応)を考慮に入れた等方性乱流中を伝播するメタン・空気乱流予混合火炎の三次元DNSを世界で初めて実現し、それらの結果からThin Reaction Zonesに分類される乱流予混合火炎の構造を明らかにしている。すなわち、Thin Reaction Zonesでは、局所熱発生率は全体的に低下するが、燃焼は面の形態を維持して進行することを明らかにしている。また、メタン燃料では、Wrinkled FlameletsやCorrugated Flamelets等の火炎片領域に分類される乱流予混合火炎とは異なり、火炎面の最小曲率半径は未燃側乱流場のコルモゴロフ・スケールの2倍程度、火炎面に作用する接線方向歪み速度はテイラー時間スケールの逆数の半分程度であることを明らかにしている。さらに、比較的高温で低熱発生率を示す領域ではOHラジカル濃度が低下しており、一般的なOHラジカルの平面レーザ誘起蛍光法(PLIF)では、Thin Reaction Zonesに分類される乱流予混合火炎の構造を計測することは困難であることを示し、この領域に分類される火炎構造の計測方法として、CHラジカルあるいはCH₂OラジカルとOHラジカルの同時計測を提案している。

第4章「Fractal Characteristics of Turbulent Premixed Flames」(乱流予混合火炎のフラクタル特性)では、第2章と第3章で行ったDNS結果を用いて、高精度乱流燃焼モデルの構築に必要な不可欠な乱流予混合火炎のフラクタル特性を明らかにしている。すなわち、定容容器内を伝播する水素・空気乱流予混合火炎の火炎面のフラクタル次元は燃焼器内の圧力上昇の影響を受けず、2.24程度であることを明らかにしている。また、Thin Reaction Zonesに分類されるメタン・空気乱流予混合火炎の場合、火炎面のフラクタル次元は2.5程度まで達することを明らかにしている。さらに、圧力上昇過程にある乱流予混合火炎、Thin Reaction Zonesに分類される乱流予混合火炎とともに、inner cutoffは未燃側乱流場のコヒーレント微細渦の最頻直径と層流火炎厚さに基づく相関式を用いて予測できることを明らかにしている。

第5章「Conclusions」(結論)では、各章で得られた結論を総括している。

以上を要するに本論文は、詳細化学反応機構と輸送係数・熱物性値の温度依存性を考慮に入れたDNSを行い、圧力上昇過程にある乱流予混合火炎とThin Reaction Zonesに分類される乱流予混合火炎の構造を明らかにしたものであり、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポッドJ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。