

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	乱流予混合火炎の壁面近傍挙動の直接数値計算
Title(English)	Direct Numerical simulation of Near-wall Behavior of Turbulent Premixed Flames
著者(和文)	WANGYe
Author(English)	Ye Wang
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12532号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:店橋 護,小酒 英範,末包 哲也,大西 領,鈴木 佐夜香
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12532号, Conferred date:2023/9/22, 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

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	Wang Ye	
		氏名	職名	氏名	職名
論文審査 審査員	主査	店橋 護	教授	鈴木佐夜香	准教授
	審査員	小酒英範	教授		
		末包哲也	教授		
		大西 領	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Direct Numerical Simulation of Near-wall Behavior of Turbulent Premixed Flames (乱流予混合火炎の壁面近傍挙動の直接数値計算)」と題し、以下の5章より構成される。

第1章“Introduction”(緒論)では、カーボン・ニュートラルを実現するには自動車用エンジンや発電用ガスタービンシステム等の更なる高効率化が必要であり、これには燃焼室壁面からの熱損失を低減する技術の確立が必要であることを述べ、壁面熱損失を支配する火炎・壁面干渉(FWI)機構に関する従来の研究を概観し、本論文の目的を明らかにしている。すなわち、近年の直接数値計算(DNS)による研究から、層流状態の火炎が壁面に接近し、消炎に至るFWI過程において極めて高い壁面熱流束が発生することが明らかにされているが、実用燃焼器内で観察される乱流火炎と壁面の干渉機構については十分解明されていないことを指摘している。近年、次世代自動車用ハイパー・リーンバーン・エンジンや発電用酸素水素燃焼ガスタービン等が提案されており、これらの実現に必要な不可欠な乱流火炎と壁面の干渉機構を解明することが、本論文の目的であると述べている。

第2章“Near-wall behaviors of turbulent flame in two-dimensional constant volume vessel”(二次元定容容器内における乱流火炎の壁面近傍挙動)では、定容容器内において二次元乱流中を伝播するメタン・空気乱流予混合火炎のDNSを実施し、乱流状態におけるFWIの基本特性を明らかにしている。DNSは、19化学種と15組のランプ反応(184素反応から抽出)からなる化学反応機構を採用して、異なる当量比とカルロピッツ数の条件について実施されている。乱流火炎の壁面消炎特性を定量評価可能な局所燃料消費速度、局所流体速度及び局所火炎面移動速度を用いた消炎火炎要素同定法を新たに提案し、これをDNS結果に適用することで、壁面近傍での乱流火炎の消炎特性を明らかにしている。すなわち、乱流火炎の消炎距離とFWIに伴う最大壁面熱流束は、フレームパワーとペクレ数を導入することで整理可能であり、その平均的な関係はカルロピッツ数に依存せず、分散の増大としてカルロピッツ数の影響が現れることを明らかにしている。また、火炎要素と壁面の干渉モードに関する解析から、平均流が存在しない定容容器内の場合、火炎要素の90%以上がHead-on quenching(HOQ)型のFWIを示すこと、カルロピッツ数の増加とともに、Side-wall quenching(SWQ)型のFWIとなる火炎要素が増加し、カルロピッツ数5以上でBack-on quenching(BOQ)型のFWIとなる火炎要素が出現すること、壁面熱流束はHOQ型、SWQ型、BOQ型の順に低下すること等を明らかにしている。

第3章“Near-wall behaviors of turbulent flame in three-dimensional constant volume vessel”(三次元定容容器内における乱流火炎の壁面近傍挙動)では、定容容器内において三次元乱流中を伝播するメタン・空気乱流予混合火炎と壁面の干渉に関するDNSを実施し、乱流火炎のFWIに対する三次元効果を明らかにしている。DNS結果の解析から、壁面近傍に存在する乱流の普遍的微細渦構造と火炎の相互作用の形態が壁面熱流束の増大に大きく寄与することを明らかにしている。また、第2章で提案した消炎火炎要素同定法を用いて、壁面熱流束と消炎距離の間には、三次元乱流中でも第2章で明らかにした関係が成り立つことを明らかにしている。また、壁面に接近する火炎要素の幾何学特性と壁面熱流束の関係を検討し、壁面近傍では円筒状火炎要素が卓越することを明らかにし、三次元乱流中であっても第2章で示した二次元的なFWIが壁面熱流束の挙動を支配していることを明らかにしている。

第4章“Near-wall flame behaviors in turbulent channel flow”(平行平板間乱流における壁面近傍の火炎挙動)では、平行平板間乱流中に形成されるV型水素・空気予混合火炎と壁面との干渉に関するDNSを実施し、FWIに対する平均流及び壁乱流の影響を明らかにしている。DNSは9化学種13素反応から構成される水素燃焼に対する詳細化学反応機構が採用されている。壁乱流特有の壁面近傍での普遍的微細渦構造、すなわち流れ方向に回転軸を有する縦渦構造がFWI機構に大きな影響を与えており、平均流の存在によりFWIが平均的に特定の壁面位置で生じる燃焼場では、火炎と壁面の干渉モードがHOQ型、SWQ型、BOQ型等と時間的に遷移していくことを明らかにしている。また、平均流及び壁乱流が存在する場合、第2章及び第3章で示した平均流のない定容容器内での結果と異なり、SWQ型及びBOQ型で壁面と干渉する火炎要素の比率が大幅に増大することを明らかにしている。さらに、SWQ型で壁面と干渉する火炎要素が平均的に最も短い消炎距離を示すこと、HOQ型とBOQ型で壁面と干渉する火炎要素が同程度の壁面熱流束を生じさせること等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、乱流予混合火炎と壁面の相互作用に関するDNSを行い、FWIに伴う壁面熱流束に対するカルロピッツ数、当量比、平均流及び壁乱流の効果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。