

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	水素・水蒸気希釈酸素浮き上がり火炎の直接数値計算
Title(English)	Direct Numerical Simulations of Lifted Flames of Hydrogen and Steam Diluted Oxygen
著者(和文)	KIRANDefne
Author(English)	Defne Kiran
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12148号, 授与年月日:2021年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:店橋 護,小酒 英範,末包 哲也,野崎 智洋,志村 祐康
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12148号, Conferred date:2021/12/31, 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	Kiran Defne	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	店橋 護	教授	志村 祐康	准教授
	審査員	小酒 英範	教授		
		末包 哲也	教授		
		野崎 智洋	教授		

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Direct Numerical Simulations of Lifted Flames of Hydrogen and Steam Diluted Oxygen (水素・水蒸気希釈酸素浮き上がり火炎の直接数値計算)」と題し、以下の5章より構成される。

第1章“Introduction”(緒論)では、近年の環境・エネルギー問題に関連して、カーボン・ニュートラルを実現するには水素・酸素燃焼を核とした発電用ガスタービンの開発が必要であることを述べ、燃焼器の高効率化と低環境負荷化を目指した従来の燃焼技術や水素等の新燃料利用による環境負荷低減技術を概観し、本論文の目的を明らかにしている。すなわち、環境・エネルギー問題解決の観点から、発電用ガスタービン燃焼器において水素混焼技術や水素専焼技術が確立されつつあるが、これらの技術では二酸化炭素の排出量は低減可能であるものの、窒素酸化物の排出は低減できないことを指摘している。近年、二酸化炭素、窒素酸化物の両方を排出しないセミ・クローズド水素・酸素燃焼ガスタービンが提案されており、この実現に必要な不可欠な水素・水蒸気希釈酸素燃焼の特性を解明することが、本論文の目的であると述べている。

第2章“Laminar non-premixed lifted flames of  $H_2$  and  $O_2$  diluted with steam”(水素と水蒸気希釈酸素の層流非予混合浮き上がり火炎)では、純水素の燃料流と水蒸気希釈された酸素の酸化剤流から形成される層流非予混合火炎を対象に二次元直接数値計算(DNS)を実施し、水素と水蒸気希釈酸素の非予混合浮き上がり火炎の基本特性を明らかにしている。すなわち、高圧力条件に対応可能な詳細化学反応機構を採用して、実機で想定される水蒸気希釈率、燃料及び酸化剤温度等の燃焼条件に対して、層流条件で最高20気圧までのDNSを行っている。窒素希釈に対するDNSも実施し、それらの比較から水蒸気希釈の場合でも希薄及び過濃予混合火炎と拡散火炎が構成されるトリプル・フレイムが形成され、大域的な火炎構造は窒素希釈の場合と同様であることを明らかにしている。しかし、水蒸気希釈では火炎基部の安定化に寄与する燃焼モードは火炎伝播であり、窒素希釈の場合の自着火とは本質的に異なることを明らかにしている。また、この差異の原因が水蒸気の第三体としての反応特性にあることを0次元自着火解析から明らかにしている。さらに、OHラジカルの化学種保存方程式の収支解析を導入することで、水素と水蒸気希釈酸素の非予混合火炎における火炎基部構造及び火炎安定化機構が圧力に大きく依存しないことを明らかにしている。

第3章“Laminar multi-jet flames of  $H_2$  and  $O_2$  diluted with steam”(水素と水蒸気希釈酸素の層流マルチ噴流火炎)では、実機で想定されるマルチクラスター型バーナの燃焼特性を検討するために、水蒸気で希釈された酸素気流中に等間隔に配置された噴流口から水素が供給される系を対象に層流非予混合火炎の二次元DNSを実施し、火炎基部の維持機構や隣接する火炎との干渉機構等を明らかにしている。すなわち、後流域では、隣接する水素噴流間距離の低下とともに、希薄側の予混合火炎が結合し、さらに化学量論比で表現される拡散火炎も結合することを明らかにしている。しかし、保炎に重要となる火炎基部の構造は噴流間の距離の影響を強く受けず、トリプル・フレイムの構造が維持されることを明らかにしている。また、OHラジカルの化学種保存方程式の収支解析から、火炎基部を形成する低温領域で拡散項と反応項が同程度の寄与を有しており、火炎伝播により火炎基部が安定化されることを明らかにしている。

第4章“Turbulent multi-jet flames of  $H_2$  and  $O_2$  diluted with steam”(水素と水蒸気希釈酸素の乱流マルチ噴流火炎)では、水蒸気で希釈された酸素気流中に千鳥配置された噴流口から水素が供給される系を対象に乱流非予混合火炎の三次元DNSを実施し、火炎構造に対する乱流の効果を明らかにしている。すなわち、乱流火炎の場合、火炎基部は三次元的に接続された形状を示し、その基部構造は流れ方向に大きく変動することを明らかにしている。また、乱流火炎の場合の高熱発生率領域は、層流火炎の場合と異なり、燃料水素噴流の外側に形成されることを明らかにしている。さらに、正規化火炎指標により局所的な燃焼モードを抽出することで、トリプル・フレイムの構造は火炎基部のみに形成され、後流域では予混合火炎が支配的であることを明らかにしている。火炎基部の伝播特性、限界スカラー散逸率及び化学種保存方程式の収支解析等から、乱流状態であっても局所流体速度と火炎基部の伝播速度は釣り合っており、火炎伝播が火炎維持に寄与してい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、水素と水蒸気希釈酸素の非予混合燃焼のDNSを行い、火炎基部構造に対する水蒸気希釈、圧力、隣接火炎干渉及び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。