

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	次世代酸素水素マルチクラスターバーナに関する数値的研究
Title(English)	Numerical study on next-generation hydrogen-oxygen multi-cluster burners
著者(和文)	ShanJIANG
Author(English)	Shan Jiang
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12845号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:店橋 護,小酒 英範,伏信 一慶,野崎 智洋,鈴木 佐夜香
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12845号, Conferred date:2024/9/20, 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	Shan JIANG	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	店橋 護	教授	鈴木佐夜香	准教授
	審査員	小酒 英範	教授		
		伏信 一慶	教授		
	野崎 智洋	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Numerical study on next-generation hydrogen-oxygen multi-cluster burners (次世代酸素水素マルチクラスターバーナに関する数値的研究)」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(CN)の実現に向けて発電用ガスタービン燃焼器等の脱炭素化が求められていることを述べ、CN実現には水素を燃料とした新たな燃焼器の開発が急務であることを指摘し、本論文の目的を明らかにしている。すなわち、CN実現には、水素を燃料とした高効率燃焼器の開発が不可欠であるが、水素の燃焼特性から小型ユニットバーナの集合体として形成するマルチクラスター型の水素燃焼用燃焼器の開発が必要であり、発電用ガスタービン燃焼器、工業炉用及び直接加熱ボイラ用燃焼器を対象に、水素燃料導入時の燃焼器特性とマルチクラスター型水素バーナの局所火炎特性を明らかにするとともに、マルチクラスター型燃焼器の数値予測手法を確立することが、本論文の目的であると述べている。

第2章“Characteristics of steam diluted O_2-H_2 combustion under gas turbine conditions”(ガスタービン条件での水蒸気希釈酸素・水素燃焼特性)では、開発中のセミクローズド酸素水素燃焼ガスタービンを対象に、Perfectly stirred reactor (PSR)解析による燃焼器出口特性の予測、直接数値計算(DNS)による単位ユニットバーナの燃焼特性の解明を行うとともに、Large Eddy Simulation (LES)によるマルチクラスター型燃焼器の簡易数値予測法を開発している。セミクローズドガスタービンシステムでは、燃焼ガスが直接タービンに導かれるため、温度及び化学種組成の制御が重要であることに注目し、PSR解析から酸素と水素の残存率が十分低下し、温度も2000K以下となる水蒸気希釈率80%以上とする必要があること等を明らかにしている。当該ガスタービンシステムで採用予定の単位ユニットバーナでは酸化剤噴流孔、水素噴流孔、酸化剤噴流孔が直線上に配置され、酸化剤噴流孔に傾斜角を設けることで後流域に酸化剤噴流の衝突領域を形成し、その領域に水素噴流を導入することで、非予混合型の火炎を形成する。なお、酸化剤は水蒸気希釈された酸素である。ここでは、ガスタービン条件に対してこの単位ユニットバーナのDNSを実施している。その結果、ユニットバーナ自体が再循環領域を形成することで火炎を安定化していること、ノズル表面での熱流束及び上流域での水素滞留量は酸化剤噴流の傾斜角に依存すること等を明らかにしている。LES解析では、3対×3対の合計9ユニットバーナを配置したマルチクラスターバーナを対象にLES解析を実施し、ユニットバーナが集合体として燃焼器内に大きな再循環領域を形成し、マルチクラスター化が火炎の安定化に寄与することを明らかにしている。

第3章“Characteristics of H_2-O_2 combustion under industrial furnace burner conditions”(工業炉条件での水素・酸素燃焼特性)では、200kWの工業炉用酸素水素マルチクラスター型バーナを対象に、PSR解析による燃焼器出口特性の予測、DNSによる単位ユニットバーナの燃焼特性の解明を行うとともに、LESによりマルチクラスター型バーナの大局的特性を明らかにしている。工業炉では金属等の加熱が重要となるため、高温の燃焼ガスを生成する必要があることに注目し、PSR解析では純酸素を酸化剤として用いることで燃焼器出口において3000K以上の温度を達成できることを明らかにしている。また、前章と同様な形態の単位ユニットバーナを対象にDNSを実施し、酸化剤噴流と水素噴流の運動量差がガスタービン条件とは大きく異なる工業炉条件であってもユニットバーナは安定な燃焼を実現すること、酸化剤噴流の傾斜角を大きくすることで安定燃焼を実現しつつ高温領域の到達距離を拡張できること等を明らかにしている。また、実機スケールのLES解析を実現し、その流動及び火炎構造を明らかにしている。

第4章“Characteristics of H_2-O_2 combustion under boiler conditions”(ボイラ条件での水素・酸素燃焼特性)では、60kWの直接加熱ボイラを対象に、PSR解析により燃焼器出口特性を予測するとともに、DNSにより単位ユニットバーナの燃焼特性を明らかにしている。直接加熱ボイラでは、酸素水素燃焼により発生する水蒸気を直接利用するため、燃焼ガスの組成と温度が重要となることに注目し、火炎後方での水噴射によりガス組成と温度を制御する場合を予測可能なPSRモデルを新たに構築し、水噴射量を適切に制御することで、水素の残存量を2%以下まで低減できることを明らかにしている。また、DNSの結果から、ガスタービン条件、工業炉条件と比較すると、ボイラ条件では酸化剤噴流の衝突域で生成される乱流強度は弱く、酸化剤と水素の乱流混合も顕著ではないが、十分安定な火炎が単位ユニットバーナで形成され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、カーボンニュートラル実現に向けて、発電用ガスタービン、工業炉及び直接加熱ボイラに対してマルチクラスター型水素燃焼器の適用可能性を明らかにするとともに、マルチクラスター型燃焼器の数値予測法を確立したものであり、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、東工大リサーチポジトリ(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。