

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ガスタービン燃焼器内の熱音響不安定性と旋回乱流火炎構造に関する基礎的研究
Title(English)	
著者(和文)	青木虹造
Author(English)	Kozo Aoki
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10794号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:店橋 護,小酒 英範,野崎 智洋,佐藤 進,志村 祐康
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10794号, Conferred date:2018/3/26, 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

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	青木 虹造	
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		
		野崎 智洋	教授		
佐藤 進		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「ガスタービン燃焼器内の熱音響不安定性と旋回乱流火炎構造に関する基礎的研究」と題し、以下の7章より構成される。

第1章「緒論」では、近年の環境・エネルギー問題に関連して、ガスタービン燃焼器の高効率化と低環境負荷化が必要であることを述べ、ガスタービン燃焼器に対す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、ガスタービン燃焼器における希薄予混合燃焼の採用は NOx 排出量の低減を実現可能な一方で、振動燃焼を生じやすいという問題点があり、燃焼安定化に技術的課題が残されている。この課題を解決するには、保炎機構として用いられる三次元性の強い旋回乱流場と火炎及び圧力場の相互作用により誘起される熱音響不安定現象の解明が必要であるとともに、局所的な火炎構造変化を介して熱発生率と圧力波に影響を及ぼす旋回乱流火炎構造の解明も必要であることを指摘し、ガスタービン燃焼器における熱音響不安定現象と旋回乱流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「水素・空気旋回乱流予混合火炎の直接数値計算」では、矩形燃焼器内に形成される水素・空気旋回乱流予混合火炎の直接数値計算 (DNS) を行い、旋回乱流予混合火炎の流動・燃焼特性に対するスワール数と当量比の影響を明らかにしている。すなわち、当量比 1.0 と 0.6、スワール数 0.6 と 1.2 の条件を対象として、高精度な数値解析手法を用いた矩形燃焼器内の旋回乱流予混合火炎の DNS を行い、保炎機構として重要となる内側再循環領域と外側再循環領域の特性、局所熱発生率、中間生成物等の分布、局所乱流燃焼形態等に対する当量比及びスワール数の影響を明らかにしている。

第3章「旋回乱流予混合火炎の動的特性」では、第2章の DNS 結果に dynamic mode decomposition (DMD) 解析を適用することで、渦運動、圧力変動及び熱発生率変動の観点から旋回乱流予混合火炎の動的特性を明らかにしている。すなわち、燃焼器内の圧力場と熱発生率場は、燃焼器形状に起因する固有モードの存在によって三次元的な空間構造と変動を示すことから、DMD 解析を施すことで支配的な熱音響モードを特定し、火炎と圧力、あるいは渦運動との関係を検討し、燃焼器内の大規模環状渦の生成周期は支配的な熱音響モードの周期と一致するが、らせん渦運動の周期は熱音響モードの周期的な振動に起因しないこと等を明らかにしている。

第4章「旋回乱流予混合火炎における音響エネルギー供給機構」では、DNS 結果を用いて音響エネルギー保存式の Rayleigh 生成項の空間構造等を検討し、音響エネルギー供給機構に対するスワール数の影響を明らかにしている。すなわち、圧力変動と熱発生率変動の DMD 解析から、各振動モード間の位相差、Rayleigh 生成項の体積積分値に対する各振動モードの寄与等を検討することで、第3章で明らかにした支配的な熱音響モードの一部でカップリングが生じて音響エネルギー供給が行われること等を明らかにしている。

第5章「熱音響不安定性に対する変動エネルギー解析」では、DNS 結果を用いて厳密な変動エネルギーの収支を検討することで、変動エネルギーの生成と散逸に寄与する物理的要因を明らかにしている。すなわち、旋回乱流燃焼場における厳密な変動エネルギー収支から、エントロピー変動に起因する項と、熱発生率、熱伝達及び粘性散逸変動に起因する項がそれぞれ変動エネルギーの生成と散逸に最も大きな寄与を示すことを明らかにするとともに、支配的な変動エネルギー生成項の空間構造と動的特性を明らかにしている。さらに、支配的な変動エネルギー生成項を簡略化することにより、Rayleigh の安定性条件に代わる、より適用範囲の広い新たな安定性条件を提案している。

第6章「旋回乱流予混合火炎の火炎構造と発熱特性」では、DNS 結果から得られた旋回乱流予混合火炎の局所火炎構造を詳細に検討することで、高スワール数条件下での全域的な熱発生率低下の要因とその燃焼騒音発生に対する影響を明らかにしている。すなわち、ひずみを受ける層流火炎と旋回乱流予混合火炎の火炎構造を比較することで、接線方向ひずみ速度が支配的な発熱反応を変化させることを明らかにしている。また、旋回乱流燃焼場における水素原子の未燃側への拡散が、層流火炎片の理論では予想されない熱発生率の大きな上昇を引き起こすことを明らかにしている。さらに、熱発生率の時間変化率を解析的に算出することで、ひずみ速度による局所発熱特性の変化が燃焼騒音発生に与える影響を明らかにしている。

第7章「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、矩形燃焼器内に形成される水素・空気旋回乱流予混合火炎の直接数値計算を行い、それらの詳細な解析からガスタービン燃焼器内の熱音響不安定性と旋回乱流火炎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、東工大リサーチリポジトリ (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。