

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) | 論文要旨 |
| Type(English) | Summary |

(博士課程)

Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 機械宇宙システム 専攻
Department of
学生氏名： 青木 虹造
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)： 店橋 護
Academic Supervisor(main)
指導教員 (副)： 志村 祐康
Academic Supervisor (sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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スワール数及び当量比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。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

| | | | | | |
|--------------------------|----------|----|--|-----------------|--------|
| 専攻 : Department of | 機械宇宙システム | 専攻 | 申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested | 博士 Doctor of | (工学) |
| 学生氏名 : Student's Name | 青木 虹造 | | 指導教員 (主) : Academic Supervisor(main) | 店橋 護 | |
| | | | 指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub) | 志村 祐康 | |

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In practical gas turbine combustors, lean premixed combustion is employed to reduce NO_x emission and swirling flow is utilized for flame stabilization. Although the lean premixed combustion can significantly suppress NO_x production, it has a propensity to cause combustion oscillation, which leads to a high level of noise and structural damages of a combustor. Establishment of prediction methods and control techniques of combustion oscillation requires understanding of thermoacoustic oscillation characteristics of swirling premixed flames. Understanding of heat release rate (HRR) characteristics of swirling flames is also important since fluctuating HRR caused by turbulence-flame interaction can dominate an acoustic field in a combustion chamber. The main objective of this study is clarifying the thermoacoustic oscillation characteristics and flame structures of turbulent swirling premixed flames. For this purpose, direct numerical simulations (DNS) of turbulent swirling premixed flames are performed for two swirl numbers and two equivalence ratios. Local turbulent combustion conditions of the simulated swirling flames are classified into thin reaction zones in the Peters regime diagram. Three-dimensional oscillation characteristics of acoustic and HRR fields are analyzed by applying dynamic mode decomposition (DMD) to the DNS results. The DMD analysis reveals that several acoustic modes with three-dimensional structures are excited at frequencies where large-scale vortices are generated. Thermoacoustic stability analysis based on the Rayleigh criterion shows that the mean values of the Rayleigh term are negative for all the conditions while several dominant DMD modes of pressure and HRR indicate the onset of thermoacoustic coupling. Disturbance energy analysis reveals that the source terms caused by entropy and heat transfer fluctuations are respectively the dominant production and dissipation terms of disturbance energy. A new stability criterion constructed using the reduced forms of the dominant source terms characterizes well the temporal evolution of the exact disturbance energy. Comparison between the swirling and strained laminar flame structures shows that HRR variation in the swirling flames comes from effects of strain rate. It is also clarified that strain rate affects the source of combustion noise through the response of an exothermic reaction, which consumes molecular hydrogen and produces atomic hydrogen.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).