

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	DNSによる水素混焼メタン空気旋回乱流予混合火炎に関する研究
Title(English)	A DNS study of hydrogen-enriched methane/air turbulent swirling premixed flames
著者(和文)	朴俊輝
Author(English)	Joonhwi Park
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11501号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:店橋 護,末包 哲也,野崎 智洋,長崎 孝夫,志村 祐康
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11501号, Conferred date:2020/3/26, 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

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 エネルギー	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	朴 俊輝		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 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「DNS による水素混焼メタン空気旋回流予混合火炎に関する研究」と題し、以下の 5 章より構成される。

第 1 章 “Introduction” (緒論) では、近年の環境・エネルギー問題に関連して、発電用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、発電用ガスタービン燃焼器に対する新燃料利用等の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環境汚染物質排出量に関する規制が年々強化されており、発電用ガスタービン燃焼器については従来の天然ガス燃料に水素を混焼させる燃焼技術の確立が必要であることを指摘している。天然ガスの主成分であるメタンと水素の基礎燃焼特性が大きく異なることから、水素混焼ガスタービン燃焼器を実現するためにメタン空気旋回流予混合火炎に対する水素の添加率の影響を明らかにすることが、本論文の目的であると述べている。

第 2 章 “Direct numerical simulation of hydrogen-enriched methane/air turbulent swirling premixed flames” (水素混焼メタン空気旋回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混焼メタン空気旋回流予混合火炎の直接数値計算 (DNS) を行い、旋回流予混合火炎の燃焼特性に対する水素添加率の影響を明らかにしている。すなわち、当量比を 1.0、スワール数を 1.2 として、メタンと水素の体積割合が 50:50 と 80:20 となる二つの条件に対して流入熱量一定として、25 化学種と 111 素反応からなる簡略化学反応機構を考慮に入れた矩形燃焼器内の旋回流予混合火炎の DNS を行っている。その結果、流入熱量が同一の場合でも、水素添加率により燃焼器内の総発熱量は異なり、水素添加率が低い方が総発熱量は少なくなることを明らかにしている。また、水素添加率により外側せん断層と外側再循環領域の火炎構造が大きく異なり、水素添加率 20% の場合外側せん断層に火炎が形成されないことを明らかにしている。

第 3 章 “Effects of hydrogen-enrichment on global flame features” (大域的火炎構造に対する水素添加率の影響) では、第 2 章において得られた DNS 結果を解析し、火炎面に作用する接線方向ひずみ速度の影響などの検討から、大域的火炎構造に対する水素添加率の影響を明らかにしている。すなわち、いずれの水素添加率条件についても反応速度は層流火炎に比べて低下するが、火炎形状と反応帯の特性は水素添加率に大きく依存することを明らかにしている。水素添加率が高い場合、内側及び外側せん断層で火炎が保持されるのに対して、水素添加率が低い場合、外側せん断層で消炎が生じる。水素添加率が低い場合、外側せん断層での消炎により水素が消費されないことと水素が中間生成物として振る舞うことにより、流入濃度よりも高い水素濃度を示す領域が局所的に形成されることを明らかにしている。さらに、ひずみを受ける層流火炎の特性との比較から、乱流中の火炎要素の特性は、接線方向に作用するひずみ速度のみでは表現できないことを明らかにしている。また、化学種の輸送に対する移流と拡散の影響を検討し、水素添加率が低い条件では外側再せん断層での消炎により濃度勾配が小さくなるため、移流と拡散の効果が共に低下することを明らかにしている。

第 4 章 “Local flame structures and extinction mechanism” (局所火炎構造と消炎機構) では、前章で明らかにしたせん断層における反応速度の低下と水素添加率が低い場合の外側せん断層における消炎機構を反応動力学解析から明らかにしている。すなわち、燃料化学種に関する主要な素反応の寄与を検討することで、水素添加率が低い条件では外側再循環領域のラジカル濃度が低下し、燃料の消費反応が阻害されることから消炎に至るとしている。また、層流火炎における接線方向ひずみ速度の効果との比較から、乱流火炎中の局所火炎要素の接線方向ひずみ速度に対する応答は層流火炎の場合とは異なることを明らかにしている。すなわち、内側と外側の両せん断層において火炎面には層流条件では消炎に至る程の非常に大きなひずみ速度が作用しているが、内側せん断層では内側再循環領域による保炎機構により火炎が維持されることを明らかにしている。これに対して、外側せん断層では、ひずみ速度に加えて、外側再循環領域の温度低下、さらには素反応バランスの変化などの複合的な作用により消炎に至ることを示唆している。

第 5 章 “Conclusions” (結論) では、各章で得られた結論を総括している。

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 1copy 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

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 エネルギー	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	朴 俊輝		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 development of hydrogen-enriched gas turbine engines, it is important to clarify the effects of mixture conditions on the global and local flame structure and local extinction of hydrogen-enriched methane/air turbulent swirling premixed flames in gas turbine combustors. In this study, direct numerical simulations (DNS) of turbulent swirling premixed flames in a cuboid combustor are performed for two mixture conditions, of which volume ratio of CH₄:H₂ is 1:1 and 4:1, by considering reduced chemistry consists of 25 species and 111 elemental reactions. The results showed qualitatively different flame shapes and reaction zone characteristics between the cases. For both cases, heat release and fuel species reaction rates are decreased compared to the corresponding laminar flame. For the higher H₂-ratio case, the flame is stabilized in both inner and outer shear layers. For the lower H₂-ratio case, however, the flame is stabilized only in the inner shear layer and extinction occurs in the outer shear layer. The reaction zone characteristics compared with unstrained and strained laminar flames in phase space showed that H₂ mass fraction for the lower H₂-ratio case and reaction rate profiles for both cases deviate from the corresponding laminar values. Analysis of fuel species conservation equation suggests that the turbulent transports are substantially influential to determine the local and global flame structures. To clarify the decreased reaction rates and local extinction mechanism, the effects of turbulence motions on the local flame structure are investigated. In large portion of the defined flame surfaces, heat release and fuel species reaction rates are substantially decreased, while locally high values are also observed. Dominant elemental reaction rates related to consumption and production of the fuels are decreased substantially in the outer recirculation zone due to lower levels of radical species and decreased temperature for the lower H₂-ratio case. In addition, conditionally averaged contributions by the elemental reactions deviate from the unstrained and strained laminar flames for both cases. The flame in the inner shear layer is stabilized by high temperature burnt gas recirculated by swirling flows even with extremely high strain rates of the flow field. On the other hand, to clarify the extinction mechanism in the outer shear layer for the lower H₂-ratio case, it is suggested that not only the strain rates of the flow field but also thermochemical conditions of the region near to the flame extinction should be taken into account. It is also revealed that characteristics time scales of the species are substantially affected by turbulence motions of the flow field.

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).