T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高時間分解能レーザ計測による乱流燃焼における火炎及び流動の動的特性に関する研究
Title(English)	Investigation on Flame and Flow Dynamics in Turbulent Combustion by High-Speed Laser Diagnostics
著者(和文)	城地文音
Author(English)	Ayane Johchi
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9775号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:店橋　護,小酒　英範,齊藤　卓志,村上　陽一,志村　祐康
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9775号, Conferred date:2015/3/26, 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

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（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	城地　文音	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	店橋　護
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は「Investigation on Flame and Flow Dynamics in Turbulent Combustion by High-Speed Laser Diagnostics（高時間分解能レーザ計測による乱流燃焼における火炎及び流動の動的特性に関する研究）」と題し，以下の 5 章よりなる．

第 1 章“Introduction”（緒論）では，近年深刻化しているエネルギー・地球環境問題の解決には，高効率・低環境負荷燃焼器の開発が重要であることを述べ，そのような燃焼器開発に必要不可欠な乱流燃焼モデルの開発と燃焼器内の不安定現象の解明に関する過去の研究を概観し，それらの問題点を明らかにしている．すなわち，高精度乱流燃焼モデルの構築と燃焼器内で生じる不安定現象を解明するには，高時間分解能で長時間計測可能なレーザ計測法の開発が必要であることを指摘し，火炎構造と流体速度に関する十分な計測時間を有する高繰り返し周波数計測法を開発し，乱流燃焼場における火炎と流動の動的特性及び液体燃料スワール型乱流燃焼器の不安定現象を解明することが，本論文の目的であると述べている．

第 2 章“Development of High-speed Laser Diagnostics in Turbulent Combustion”（乱流燃焼場における高時間分解能レーザ計測法の開発）では，10kHz の高繰り返し周波数で火炎構造を計測可能な CH ラジカルと OH ラジカルの同時平面レーザ誘起蛍光法(PLIF)を開発し，流体速度三成分の面計測が可能な時系列ステレオ投影粒子画像流速計(PIV)と融合することで高繰り返し周波数複合レーザ計測法を開発している．開発した高繰り返し周波数複合レーザ計測法を用いて，メタン・空気乱流噴流予混合火炎を対象とした火炎構造と流体速度の同時計測を行い，噴流出口速度の上昇と共に火炎面の形状は複雑さを増し，高レイノルズ数乱流中では，噴流が形成する主混合気が分断され，大規模な予混合気塊が形成されることを明らかにしている．さらに，下流へと放出された予混合気塊は火炎先端部において多数の微細未燃予混合気塊へと分裂し，急速に消費されることを明らかにしている．また，高レイノルズ数乱流中では，CH ラジカルの PLIF のみから検出され得る微細な火炎が存在することを明らかにし，CH ラジカルと OH ラジカルの PLIF 同時計測の必要性を明らかにしている．これらの結果から，開発した高繰り返し周波数 CH-OH 同時 PLIF と時系列ステレオ PIV の同時計測が，乱流燃焼場における火炎と流動の動的特性を検討するための計測法として有効であることを明らかにしている．

第 3 章“Dominant Flame Structure and Dynamics in the Tip of the Turbulent Jet Premixed Flame”（乱流噴流予混合火炎の先端部における支配的火炎構造と動的特性）では，第 2 章で得られた計測結果に固有直交分解(Proper Orthogonal Decomposition: POD)解析を施すことにより，乱流噴流予混合火炎先端部における支配的火炎構造が微細な未燃予混合気塊であることを明らかにし，微細未燃予混合気塊の諸特性を明らかにしている．すなわち，微細未燃予混合気塊の等価半径の最頻値は約 1 mm であり，乱流場のテイラーマイクロスケール程度であることを明らかにしている．また，本論文で開発した高繰り返し周波数複合レーザ計測を用いて，微細未燃予混合気塊の局所消費速度を算出し，火炎先端部に形成される微細未燃予混合気の消費速度が，未燃予混合気塊の等価半径の減少と共に最大で層流燃焼速度の約 3 倍にまで達することを明らかにしている．さらに，理論的な考察から周囲の既燃ガスからの加熱効果と乱流運動による歪み効果が微細未燃予混合気塊の消費速度を支配することを明らかにしている．これらの結果から，噴流火炎先端部における微細未燃予混合気塊の形成とその高速消費が乱流燃焼速度の増大機構である可能性を指摘している．

第 4 章“Instability of Liquid-Fueled Swirl-Stabilized Turbulent Combustor“（液体燃料を用いたスワール型乱流燃焼器の不安定性）では，航空機用ガスタービン燃焼器を模擬した液体燃料を用いたスワール型乱流燃焼器を対象として，燃料噴霧をトレーサー粒子とした時系列 PIV と圧力及びラジカル自発光の同時計測を行い，燃焼器の音響学的不安定性と流体力学的不安定性の関係を明らかにしている．すなわち，同時計測結果に多変数動的モード分解(Dynamic Mode Decomposition: DMD)解析を適用することで，燃焼器の固有音響モードによる圧力振動とらせん状の大規模渦構造の発生に関係する流体力学的な不安定モードが燃焼器内に混在することを明らかにしている．また，流量及び出力を系統的に変化させた計測結果の解析から，低当量比条件では流体力学的不安定性によるらせん状の大規模渦構造が支配的であるが，当量比の増加とともに大規模渦構造はその一貫性を失い，高当量比条件では音響モードへと支配モードが移行す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．

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

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	城地　文音	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	店橋　護
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

Combustion supplies more than 80% of the primary energy in the world, and highly efficient and low-emission combustors are required to solve global environmental issues. Since a flow is in a turbulent state in many practical combustors, understanding, modeling and controls of turbulent combustion are necessary. The description of flame and flow dynamics is a key factor in particular for the development of turbulent combustion model. In many engineering applications, combustion instability is a critical problem, which also requires the understanding of the dynamical behavior of flame and flow in turbulent combustion. The main objective of the present study is clarifying the flame and flow dynamics in turbulent combustion by high-speed laser diagnostics. A high-speed laser diagnostics that can measure flame structure and flow field simultaneously at 10 kHz is developed. The developed measurement technique is applied to a methane-air turbulent jet premixed flame, and the rapid consumption of the fine-scale unburned mixtures, which are observed around the flame tip, is investigated. It is clarified that the radius of the fine-scale unburned mixtures is approximately 1 mm, of the order of Taylor micro scale, and consumption rate of the unburned mixture reaches to three times faster than the laminar burning velocity at its maximum with decreasing the size of the unburned mixtures. With theoretical considerations, it is clarified that there are two dominant effects on the consumption rate, which are heating up of the mixtures by surrounding burned gas and strain rate due to turbulence. It is suggested that the formation and the rapid consumption of the fine-scale unburned mixtures is a mechanism of the enhancement of the turbulent burning velocity. In a swirl-stabilized combustor, two dominant instabilities that are acoustic mode and aerodynamic instability are investigated by a high-speed simultaneous measurement of flow field, pressure and radical chemiluminescence. It is clarified that there is a temporally well-defined and spatially coherent helical mode in low equivalence ratio cases, and aerodynamic instability is dominant, while in higher equivalence ratio cases, the helical mode loses the temporal and spatial coherence, and dominant mode switches to the acoustic oscillation.

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).