

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	乱流予混合火炎のLarge Eddy Simulationのための格子幅自己認識型SGS燃焼モデル
Title(English)	
著者(和文)	平岡克大
Author(English)	Katsuhiro Hiraoka
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10465号, 授与年月日:2017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10465号, Conferred date:2017/3/26, 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： 平岡 克大  
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 教授  
Academic Advisor(main)  
指導教員 (副)：  
Academic Advisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

地球・都市環境問題を解決するためには、高効率かつ低環境負荷の燃焼器開発が必要不可欠である。このような燃焼器の設計・開発において、開発時間短縮と開発コスト削減の観点から数値解析が頻繁に用いられている。一般に、実用燃焼器内は乱流燃焼状態にあるため、燃焼器特性の予測には非定常現象を再現可能な Large Eddy Simulation (LES)が有効な解析手法と考えられており、近年の計算機関連技術の進展に伴い LES が導入されつつある。しかし、LES の予測精度は解析に採用された Sub-grid Scale (SGS)モデルに大きく依存するため、各種乱流燃焼場に適用可能で高精度な SGS 燃焼モデルの開発が求められている。本論文では、自由せん断流中に形成される乱流予混合火炎等を対象として直接数値計算(DNS)結果を用いた SGS モデルの静的テストと動的テストを行い、それらの結果から乱流予混合火炎の LES のための高精度 SGS 燃焼モデルを開発することを目的としている。

第1章「緒論」では、乱流燃焼の数値解析及び SGS 燃焼モデル等に関する研究の現状を概観し、本論文の背景と目的を明らかにしている。

第2章「乱流噴流予混合火炎及び V 型乱流予混合火炎のフラクタル特性」では、水素・空気乱流噴流及び V 型予混合火炎の DNS 結果に対してフラクタル解析を行うことで、SGS 燃焼モデルにおいて重要となる火炎面のフラクタル特性を明らかにしている。すなわち、火炎面のフラクタル次元は、両燃焼場において下流方向に増大し、噴流火炎では大規模渦構造が巻き上がる位置において、V 型火炎ではカルマン渦が形成される位置においてピークを示すことを明らかにしている。また、十分発達した領域における火炎面のフラクタル次元は 2.52~2.57 に達することを明らかにしている。さらに、以前の研究で提案されている乱流の普遍的微細構造に基づいた inner cutoff に関する相関式が、十分発達した下流域であれば、自由せん断流中であっても火炎面の inner cutoff を精度良く予測可能であることを明らかにしている。

第3章「フラクタル・ダイナミック SGS 燃焼モデルの評価」では、乱流噴流予混合火炎の DNS 結果を用いた静的テストと動的テストを行うことで、以前の研究で提案されたフラクタル・ダイナミック SGS(FDSGS)燃焼モデルを評価するとともに、SGS スカラー流束モデルと SGS 応力モデルについても評価している。噴流火炎の DNS 結果を用いた静的テストから、FDSGS 燃焼モデルにおいて採用されているフラクタル次元の動的決定法と、コルモゴロフ・スケール及び火炎面面積の予測法が、自由せん断乱流中の十分発達した領域においてそれぞれの物理量を高い精度で予測できることを明らかにしている。また、DNS と同条件で実際に LES を実行する動的テストから、既存のモデルと比較して FDSGS 燃焼モデルを用いることで平均温度分布や反応進行変数変動の二乗平均値分布等を高精度に予測できることを明らかにしている。SGS スカラー流束モデルについては、勾配拡散と逆勾配拡散を表現できるモデルの採用が重要であることを DNS 結果の詳細な解析から明らかにし、そのようなモデルを用いることで反応進行変数変動の予測精度を向上できることを明らかにしている。また、格子幅自己認識混合型(SSRM)SGS 応力モデルを導入することで、従来のモデルより高精度に速度場を予測可能であることも明らかにしている。最終的に、これらの SGS 応力モデル、SGS スカラー流束モデル及び FDSGS 燃焼モデルを組み合わせることで LES の予測精度を総合的に向上できることを明らかにしている。

第4章「格子幅自己認識型 SGS 燃焼モデルの開発」では、SSRM 応力モデルにおいて採用されている Grid-scale (GS)成分からコルモゴロフ・スケールを予測する手法を FDSGS 燃焼モデルに導入することで、格子幅自己認識型(SSR)SGS 燃焼モデルを提案している。一様等方性乱流中の自由伝播予混合火炎及び乱流噴流予混合火炎を対象として、提案したモデルの静的テストを行い、SSR SGS 燃焼モデルにより乱流が十分に発達した領域でコルモゴロフ・スケールと火炎面面積を高精度に予測可能であることを明らかにしている。さらに、噴流火炎を対象とした動的テストから、提案した SSR SGS 燃焼モデルは、平均温度分布や反応進行変数の変動量分布等の予測においても十分な精度を有していることを明らかにしている。

第5章「矩形燃焼器における旋回乱流予混合火炎の LES」では、ガスタービン燃焼器を模擬した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 LES を実施し、FDSGS 燃焼モデル及び SSR SGS 燃焼モデルの動的テストを行うとともに、LES による燃焼器内圧力変動の予測能力を検証している。まず、旋回乱流や壁面と火炎の干渉等を伴う複雑な燃焼器内であっても、FDSGS 燃焼モデルあるいは SSR SGS 燃焼モデルを用いることで、平均温度や平均速度分布等を定性的に予測可能であることを明らかにしている。さらに、LES 結果に Dynamic Mode Decomposition (DMD)解析を適用することで圧力変動の動的特性の予測特性を検討し、FDSGS 燃焼モデルあるいは SSR SGS 燃焼モデルを用いた LES により、低スワール数条件では燃焼器形状に起因するほぼすべての主要な圧力変動モードを、高スワール数条件でも最も支配的な DMD モードに対応する固有モードを比較的振幅が大きい DMD モードとして予測できることを明らかにしている。

第6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 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 (工学)	Doctor of
学生氏名 : Student's Name	平岡 克大		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	店橋 護	教授
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In designing of practical combustors with low environmental load and high efficiency, numerical simulations are used to reduce the development cost. Large eddy simulation (LES) is a promising tool because it can reproduce unsteady phenomena of turbulent combustion. However, since accuracy of the LES depends on the adopted sub-grid scale (SGS) models, an SGS combustion model which is applicable to various turbulent flames is required. The main objective in this study is to develop a highly accurate SGS combustion model for LES of turbulent premixed combustion based on evaluations of SGS models using direct numerical simulation (DNS) data of turbulent premixed flames in free shear flow. Fractal characteristics which are important quantities for the combustion modeling are revealed using the DNS data of hydrogen-air turbulent jet and V-shaped premixed flames. Static tests in the jet flame clarify that a fractal dynamic SGS (FDSGS) combustion model which was previously proposed accurately predicts the fractal dimension and the inner cutoff of flame surfaces, the Kolmogorov length scale and flame surface area. Dynamic tests which perform the LES of the jet flame show the superiority of the FDSGS combustion model to conventional models for the LES prediction of the mean temperature and reaction progress variable fluctuations. The tests and DNS analysis also reveal that the LES predictability is improved by using a scale self-recognition mixed (SSRM) SGS stress model and an SGS scalar flux model which adequately estimates both gradient and counter gradient transports. By introducing a correlating equation for the Kolmogorov length scale in the SSRM model into the FDSGS combustion model, a scale self-recognition (SSR) SGS combustion model is proposed, and the static and dynamic tests clarify the validity of the model. It is also shown that the LES with the SSR SGS combustion model can qualitatively predicts distributions of mean temperature and velocity and pressure fluctuation mode in a turbulent swirling premixed flame which has a complicated flow configuration.

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).