

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)	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	平岡 克大	
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「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」と題し、以下の6章よりなる。

第1章「緒論」では、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とを述べ、そのような燃焼器開発に必要な不可欠な乱流燃焼モデルに関する過去の研究を概観し、本論文の目的を明らかにしている。すなわち、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解析が可能な Large Eddy Simulation (LES) が有効な解析手法と考えられているが、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必要であることを指摘し、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が本論文の目的であると述べている。

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、乱流噴流予混合火炎及びV型乱流予混合火炎の直接数値計算 (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な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し、十分発達した自由せん断乱流において 2.52~2.57 に達することを明らかにしている。さらに、自由せん断流の十分発達した領域であれば、以前の研究で提案された乱流の普遍的微細構造に基づく相関式により、火炎面の inner cutoff を精度良く予測でき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。すなわち、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、コルモゴロフ・スケールの予測法及び火炎面面積の予測法が、自由せん断流の十分発達した領域において高い精度を有していることを明らかにし、動的テストから既存のモデルと比較して FDSGS 燃焼モデルは、平均温度分布や反応進行変数変動等を高精度に予測できることを明らかにしている。さらに、勾配拡散と逆勾配拡散を表現できる SGS スカラー流束モデルの採用が重要であり、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、SGS 応力モデルとして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、従来のモデルよりも速度場の予測精度を向上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 SGS 応力モデルにおいて採用されている Grid-scale 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と乱流噴流予混合火炎を対象とした静的テストから、提案した 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、乱流噴流予混合火炎を対象とした動的テストから、SSR SGS 燃焼モデルは、平均温度分布や反応進行変数変動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精度を検証している。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、平均温度分布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精度を検討し、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。

以上を要するに本論文は、乱流予混合火炎の LES のための格子幅自己認識型 SGS 燃焼モデルを提案し、その有効性を各種乱流燃焼場における静的・動的テストから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。