

令和 5 年 10 月 27 日現在

機関番号：52605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2022

課題番号：16K06136

研究課題名(和文)乱流燃焼場におけるレイノルズ応力の計測とそのデータベース化

研究課題名(英文) Database and Measurement of the Reynolds Stress in Turbulent Premixed Flames

研究代表者

古川 純一 (Furukawa, Junichi)

東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・名誉教授

研究者番号：70173523

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、乱流燃焼モデルを構築し、乱流燃焼の数値計算の予測精度の向上に資するために、レーザ流速計を使用して乱流火炎帯における流れのようすを調べた。その結果、以下のような結論を得た。ガス流速のバーナ半径方向成分は、未燃焼混合気の流速と燃焼ガスの流速からなるbi-modalな分布となるために、ガス流速を未燃焼混合気と燃焼ガス流速に分離してconditionedな計測をすることは必須である。燃焼ガス流のレイノルズ応力のせん断成分は、非燃焼時のレイノルズ応力のせん断成分に比べて小さくなる。これは、ガス流速のバーナ軸方向の速度分布が平坦になり、バーナ半径方向の速度勾配が減少するためである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

乱流著混合火炎において流れのようすを計測により明らかにするためには、レーザ流速計により記録されたガス流速を未燃焼混合気と燃焼ガス流速に分離してconditionedな計測をすることは必須であることが明らかになった。これを怠ると、RMS値などの乱流特性は非現実的な値となり、重大な誤差をまねくことになる。

このことは、今後この種の研究を行ううえで、研究者が肝に銘じなければならない重大なことである。

研究成果の概要(英文)：An attempt has been made to measure the shear component of the Reynolds stress in a turbulent premixed flame. The major conclusion obtained in the present study are as follows:

- 1) Since the radial component of the gas velocity is bi-modal feature, the conditioned measurement of the gas velocity is indispensable.
- 2) It has been shown that the shear component of the Reynolds stress of non-reacting flow is much larger than those of the conditioned unburnt mixture and burnt gas. Due to the thermal expansion of gas across the flamelet, the gradient of the axial component of the gas velocity with respect to the radial direction decreases, the shear component of the Reynolds stress of the conditioned on the unburnt mixture and burnt gas decrease. Moreover, the correlation between the fluctuation of the radial and the axial components of the gas velocity of the unburnt mixture and burnt gas decrease.

研究分野：燃焼学

キーワード：燃焼学 乱流燃焼 レイノルズ応力 レーザ流速計

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化防止のため、CO₂ の排出をより一層削減するためには、燃焼装置の極限までの設計が求められる。そのためには、燃焼シミュレーションの予測精度を向上することが不可欠である。ところが、乱流と化学反応の干渉に関しては、未だ厳密とは言えないモデルに依存したシミュレーションしかできておらず、燃焼シミュレーションの予測精度は十分高いとは言いがたい。これは乱流燃焼場の計測において、未燃焼混合気と燃焼ガスの流速を分離する手法（Conditioned Sampling）が確立されていないため、乱流燃焼モデルを構築するために必要な流れ場の情報が得られないためである。

このような背景で、研究代表者は、乱流予混合火炎における流れのようすを詳しく調べ、乱流火炎帯では、ガス流速のバーナ半径方向成分には、低速な未燃焼混合気の流速変動と高速な燃焼ガスの流速変動の二つのモード（Bimodal）分布があるという新しい事実を明らかにした。

さらに、ケンブリッジ大学の Swaminathan 教授と共に、LES（Large Eddy Simulation）により、ガス流速のバーナ半径方向成分の Bimodal な分布を予測することを試みたが、非常に単純の形状のバーナであるにもかかわらず、Bimodal な分布を予測することはできなかった。これは、レーザ流速計により記録される速度信号を未燃焼混合気の流速と燃焼ガスの流速に分離する手法が確立されていないため、適切な SGS（Sub Grid Scale）速度モデルを構築するために必要な流れ場の情報が得られないためである。このような LES の予測精度を高めるためには、実験的研究と数値計算による研究の高いレベルでの融合が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、乱流燃焼場における未燃焼混合気の流速と燃焼ガスの流速を分離する手法を確立し、適切な乱流燃焼モデルを構築するための高い精度の流れ場の情報を提供することを目的とする。適切な乱流燃焼モデルを構築することができれば、燃焼シミュレーションの予測精度は飛躍的に向上し、実用燃焼器のより一層の CO₂ 削減に資することができ、社会的波及効果は極めて大きい。

3. 研究の方法

レーザ流速計により記録された速度信号が、未燃焼混合気の流速なのか、あるいは、燃焼ガスの流速なのかを正確に判別する手法を構築し、乱流予混合火炎におけるレイノルズ応力の高精度な実験データを得ることを目的とする。

4. 研究成果

本研究では、乱流燃焼モデルを構築し、乱流燃焼の数値計算の予測精度の向上に資するために、乱流火炎帯における流れのようすを調べた。その結果、以下のような結論を得た。

ガス流速のバーナ半径方向成分は、未燃焼混合気の流速と燃焼ガスの流速からなる bi-modal な分布となるために、ガス流速を未燃焼混合気と燃焼ガス流速に分離して conditioned な計測をすることは必須であることが明らかになった。これを怠ると、速

度変動の RMS (Root Mean Square) などの乱流特性は非現実的な値となり , 重大な誤差をまねくことになる .

燃焼ガス流のレイノルズ応力のせん断成分の計測には , 少なくとも 10^5 個程度のサンプル数が必要である .

燃焼ガス流のレイノルズ応力のせん断成分は , 非燃焼時のレイノルズ応力のせん断成分に比べて小さくなる . これは , 乱流火炎帯における発熱により , ガス流速のバーナ軸方向の速度分布が平坦になり , バーナ半径方向の速度勾配が減少するためである .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 MAKITA Nobuhiro, SAITO Hiroshi, HASHIMOTO Hideki, FURUKAWA Junichi	4. 巻 87
2. 論文標題 Measurements of the Reynolds stress in the turbulent premixed flame	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.20-00140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 MAKITA Nobuhiro, SAITO Hiroshi, HASHIMOTO Hideki, FURUKAWA Junichi	4. 巻 87
2. 論文標題 Measurements of the Reynolds stress in the turbulent premixed flame	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.20-00140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 大野裕貴
2. 発表標題 乱流予混合火炎の火炎帯におけるレイノルズ応力の計測
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 牧田庸寛, 斉藤博史, 橋本英樹, 古川純一
2. 発表標題 乱流予混合火炎の火炎帯における流れ場の計測
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧田庸寛, 斉藤博史, 古川純一, 橋本英樹
2. 発表標題 乱流予混合火炎における流れ場の計測
3. 学会等名 第56回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牧田庸寛, 斉藤博史, 橋本英樹, 古川純一
2. 発表標題 乱流予混合火炎の乱流構造
3. 学会等名 第55回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Makita N., Saito H., Hashimoto H., and Furukawa J.
2. 発表標題 Turbulence Structures in Turbulent Premixed Bunsen Flames
3. 学会等名 11th Asia-Pacific Conference on Combustion (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 斉藤博史
2. 発表標題 乱流予混合火炎におけるレイノルズ応力の計測
3. 学会等名 第54回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	齋藤 博史 (Saito Hiroshi) (40401450)	東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・准教授 (52605)	
研究 分担者	橋本 英樹 (Hashimoto Hideki) (80383488)	神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・准教授 (54502)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------