

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月11日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760152

研究課題名（和文） 次世代乱流燃焼モデル開発のための直接数値計算を用いたデータベースの構築

研究課題名（英文） Construction of DNS database for development of next-generation turbulent combustion model

研究代表者

坪井 和也（TSUBOI KAZUYA）

岡山大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号：10402398

研究成果の概要（和文）：本研究では、燃焼器内での燃焼をより正確に計算でき、その開発や設計に利用可能な乱流燃焼モデルを開発するため、従来考慮されなかった燃焼器内の気体と壁面の間及び壁面上の化学種の振舞いを考慮した乱流燃焼場の直接数値計算(DNS)をスーパーコンピュータで実行した。その結果、壁面とその近傍の化学種の振舞いを考慮すると、火炎は壁面で消炎してその近傍で熱発生率は増大せず、火炎に大きな影響を及ぼすことが分かり、燃焼器内についてより現実的な条件で行われた DNS による燃焼計算データが得られた。

研究成果の概要（英文）：In this study, to develop the turbulent combustion model which can compute combustion in a combustor more precisely and which is available for the development and design of a combustor, direct numerical simulations (DNS) of turbulent combustion were implemented with considering the behaviours of chemical species on the wall and between the gas and wall in a combustor, which has never been considered. As a result, it is found that when the behaviours of chemical species on and near the wall are considered, the flame quenches on the wall and the heat release rate does not increase nearby, and the DNS data of combustion computation with more realistic conditions for the inside of a combustor was obtained.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、熱工学

キーワード：乱流燃焼、DNS、化学的過程、表面科学、化学吸着

## 1. 研究開始当初の背景

動力源を得るための主要な手段として用いられてきた燃焼に伴う環境問題や資源問題を解決するため、これまでにさまざまな研究・

開発がなされてきた。風力や太陽熱等の自然エネルギーの利用に始まり、近年では燃料電池の研究・開発が進んでおり、カーボンニュートラルであるバイオマスの利用に関する研究

も始まっている。ただ、その中でも有力な次世代の動力源として脚光を浴びていた燃料電池は、コスト面や技術面等の問題から未だ実証段階の域を出ず、具体的な普及・量産化の目途は立っていない。そのような状況も相まって、燃焼は少なくとも今後数十年間、引き続き主要な動力源として利用されるものと考えられ、従来、燃焼研究に要請されてきた高効率化と環境汚染物質低減という課題は、現在、非常に重要な段階にあると考えられる。

自動車や航空機等で用いられる輸送用燃焼器内部では、ほとんど乱流燃焼が起こっている。従って、これらの燃焼器の研究・開発では、実験に加え、乱流燃焼モデルを用いた数値計算が取り入れられている。しかし、現在の乱流燃焼モデルには燃焼器内壁面およびその近傍での燃焼における化学的過程を考慮して作成されたものはないため、実際に輸送用燃焼器の設計に用いることはできない。上述の課題を達成するためには、輸送用燃焼器の設計ツールとして利用可能な、新たな乱流燃焼モデルの開発が必要であり、それには、燃焼器内壁面およびその近傍での燃焼における化学的過程を考慮するなど、実際の燃焼器内の環境にできるだけ近い乱流燃焼場を設定することが重要である。これまで、燃焼器内壁面と火炎との相互作用に関する数値的研究は、国内外を問わず行われてきているが、それらは何れも、壁面での熱損失やそれによる消炎などに関する研究であり、壁面およびその近傍での化学的過程を考慮した研究は、いまだ行われていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、輸送用燃焼器の設計に直接適用可能な新たな乱流燃焼モデルを開発するために、従来の乱流燃焼モデルでは考慮されてこなかった、燃焼器内壁面およびその近傍で

の化学的過程を考慮した乱流燃焼の高精度データベースの構築を行い、構築したデータベースの解析を行って、輸送用燃焼器内壁面およびその近傍での乱流燃焼場の基礎的特性を解明することを目的とする。

燃焼器内部では複雑な乱流燃焼が起こっていることに加え、燃焼器内壁面およびその近傍における化学的過程は、壁面を考慮しない場合に比して極めて複雑であるため、新たな乱流燃焼モデルの開発は、高精度のデータベースを用いた解析により行われる必要がある。この際、非常に微小な空間スケールを含めた幅広い空間スケールをきちんと解像できていることに加え、燃焼器内壁面およびその近傍における化学的過程を律則する化学プロセスに対する微小な時間スケールが要求される。そのような高精度のデータベースは、乱流場の支配方程式をモデルを用いずに直接厳密に解く直接数値計算 (DNS) によってのみ構築可能である。

本研究では、壁面を考慮しないデータベースと、本研究で構築する壁面とその近傍での化学的過程を考慮したデータベースとを比較する解析も行い、新たな乱流燃焼モデルの開発のための礎とする。なお、本研究におけるDNSには、大規模な記憶領域と極めて高速な計算速度が要求されるため、ベクトル型スーパーコンピュータを用いる。

## 3. 研究の方法

計算対象は水素-空気予混合火炎とする。計算領域は平均伝播方向に長い直方体領域とする。計算領域上流側から予混合気を、予備計算により生成された十分発達した一様等方性乱流として流入させ、計算領域内で予混合火炎を進展させる。また、化学反応機構として、水素-空気詳細反応機構を用いる。さらに、表面反応、吸着、脱離など、壁面およびその近傍での燃焼に重要な化学的過程を考慮

する。

ここで、壁面およびその近傍における高精度のデータベースを構築するためには、予混合火炎が十分に進展し、壁面およびその近傍における化学的過程による影響が十分及ぶまで計算する必要がある。そのため、計算結果を随時可視化して燃焼状態を確認しながら高精度のデータベースの構築を進めていく。本研究では、DNSによるデータベースの構築にベクトル型スーパーコンピュータを用いる。用いるスーパーコンピュータでは、複数のケースを同時に計算することが可能である。なお、構築されたデータベースはファイルサーバに保存される。

#### 4. 研究成果

壁面およびその近傍における化学的過程を可能な限り考慮した水素-空気予混合火炎のDNSをベクトル型スーパーコンピュータを用いて実行した。その際、壁面およびその近傍における化学的過程について、

- ・気相中の化学種の固体壁面への吸着
- ・固体壁面に吸着した化学種の脱離
- ・吸着種に関する化学反応
- ・気相から固体壁面上への物質拡散
- ・固体壁面に吸着した化学種の拡散速度

等に関する検討を行った。

固体壁面を断熱条件としてDNSを実行した結果、これらの壁面およびその近傍における化学的過程を考慮しない場合は、火炎は壁面に付着し、その近傍では熱発生率が壁面に沿うように増大していった。一方、壁面およびその近傍における化学的過程を考慮した場合は、火炎は壁面で消炎して付着することはなく、その近傍で熱発生率が増大することはなかった。この結果から、本研究課題において考慮された壁面およびその近傍における化学的過程は、火炎に対して無視できない影響を及ぼすことが明らかとなった。また、輸送用

燃焼器内壁面およびその近傍について、より現実に近い条件で行われたDNSによる燃焼計算データを取得することができた。

本研究で得られた以上の結果については、国内外における学会で発表されたが、当該関連分野に及ぼすインパクトは大きいものと考えられ、本研究で得られた成果を基に、今後はより定量的な観点から発展させていく必要があると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

① Kazuya Tsuboi and Tatsuya Hasegawa, DNS including the Chemical Process on a Solid Surface in Turbulent Premixed Flames, Eighth KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference, 19 March, 2012, Incheon.

② 坪井 和也, 長谷川 達也, 乱流予混合火炎における固体壁面での化学的過程に関するDNSによる検討, 第49回燃焼シンポジウム, 2011年12月6日, 横浜.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:  
○取得状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坪井 和也 (TSUBOI KAZUYA)

岡山大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号：10402398

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：