

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560235

研究課題名(和文)次世代乱流燃焼モデル開発のための燃焼室形状と熱化学条件を考慮した乱流火炎のDNS

研究課題名(英文)DNS on turbulent flames with different thermochemical conditions and configuration of combustion chamber for development of turbulent combustion model in next generation

研究代表者

坪井 和也 (Tsuboi, Kazuya)

岡山大学・自然科学研究科・助教

研究者番号：10402398

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：輸送・発電用燃焼器内で主として発生している乱流燃焼をより正確に計算出来、モデル定数の修正や調整、付加項が必要であった従来の乱流燃焼モデルに代わり、燃焼器の開発や設計ツールとして利用可能な新たな乱流燃焼モデルを開発する為に、従来考慮されなかった壁面近傍に於ける様々な熱的条件並びに化学的条件を可能な限り考慮した乱流燃焼場の直接数値計算(DNS)を実行した。壁面近傍に於ける様々な熱的条件並びに化学的条件を可能な限り考慮した乱流燃焼場に於ける、壁面近傍での乱流火炎の経時的な振舞いや、壁面に於ける熱的条件が乱流火炎に及ぼす影響、更に、壁面上での吸着種の詳細について、一定程度明らかにする事が出来た。

研究成果の概要(英文)：To develop the new turbulent combustion model which can compute turbulent combustion in the combustors for transportation and power generation more precisely and which is available for the development and design of the combustors instead of the traditional turbulent combustion model, direct numerical simulations (DNS) of turbulent combustion were implemented with considering the chemical and thermal conditions near the wall of combustors as possible, which has never been considered. As a result, when the chemical and thermal conditions near the wall are considered, we reveal the temporal behaviours of turbulent flames near the wall, the effects of the thermal conditions on the wall on turbulent flames, and the details of adsorbate on the wall.

研究分野：熱工学

キーワード：表面科学 壁面境界条件 熱化学 熱損失 乱流燃焼 DNS

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CO₂等を排出しない燃料電池の研究・開発が進められ、有力な次世代の動力源として脚光を浴びてきたが、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・量産化の目は立っていない。最近では、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が盛んに行われており、中でもバイオマスから生成されるCH₄を主成分とするバイオガスは、発電用燃料として期待されている。発電用燃料としては他にも、頁岩に大量に埋蔵されているシェールガスと呼ばれる天然ガスを採掘する技術が開発され、天然ガスの可採年数が飛躍的に伸びると考えられており、東日本大震災による原発依存の見直し機運も相まって、燃焼は今後も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、発電機等で用いられる輸送・発電用燃焼器内部では、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室内の異なる形状の壁面近傍での燃焼における様々な熱的条件や化学的条件を考慮して作成されたものはないため、実際にそのまま、輸送・発電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・発電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、燃焼室内の異なる形状の壁面近傍

での燃焼における熱的条件や化学的条件を考慮するなど、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。

燃焼器内壁面およびその近傍での化学スキームを考慮した乱流燃焼のDNSが申請者によって初めて行われた(第49回燃焼シンポジウム(横浜)(2011)、TFEC8(Incheon)(2012)にて講演発表)。本研究では更に大きく発展させ、壁面での化学的条件に加えて、燃焼室内の異なる壁面形状の影響や、そこで熱損失とそれによる消炎などの熱的条件も考慮される。

2. 研究の目的

本研究では、輸送・発電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、燃焼器内の異なる形状の壁面近傍での熱的条件および化学的条件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、その解析を行って、輸送・発電用燃焼器内の様々な形状の壁面近傍での乱流燃焼場の基礎的特性を解明する。

燃焼器内部では複雑な乱流燃焼に加え、燃焼室内の壁面は平面や円筒面だけではなく、吸・排気弁、燃料噴射弁などがあるために複雑形状となっている部分もあり、ピストン頂面も平面ではなく3次元形状のものもある。通常、燃焼は圧縮上死点付近で行われるため、燃焼室内容積に対する壁面面積の比が大きく、壁面形状が燃焼に少なからぬ影響を及ぼしていると考えられる。

更に、ガスエンジンの場合、クレビスと呼ばれるピストンとシリンダライナーの隙間が燃焼に及ぼす影響は無視できない。クレビスは一般に、0.5mm前後の狭隘空間であるが、天然ガスやバイオガスの主成分であるCH₄の場合、消炎距離は大気圧下で2mm程度であるものの、高圧下では1mm以下になる。

H₂の場合は大気圧下においても0.6mm程度であり、クレビス内部で火災が進行する可能性がある。このような、微小な空間スケールを含めた幅広い空間スケールに加え、燃焼室内の異なる形状の壁面近傍における熱的条件ならびに化学的条件に対して要求される微小な時間スケールをきちんと解像できる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化せ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、異なる形状の壁面近傍での熱的条件および化学的条件を考慮したDNSデータベースを構築し、新たな乱流燃焼モデル開発のための礎とする。なお、本研究におけるDNSには、極めて高速な計算速度が要求されるため、スーパーコンピュータを用いる。

3. 研究の方法

これまでに行ってきた、熱拡散と物質拡散の比であるLewis数を変化させた乱流燃焼の3次元DNSや、壁面およびその近傍での化学スキームを考慮した乱流燃焼のDNSで得られたノウハウを、本研究において十分に活用することで、効率的な研究の推進を図った。

まず、計算対象は水素-空気乱流予混合火災とし、乱流予混合火災とそれに平行な壁面間に未燃予混合気を満たし、計算領域中には、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を満たし、計算領域内で乱流予混合火災を進展させる。

また、化学反応機構として、表面反応、吸着、脱着など、壁面およびその近傍での燃焼に重要な化学プロセスを考慮した水素-空気詳細反応機構を用いる。

次に、DNSデータベースのパラメータは熱的壁面境界条件およびLewis数とする。熱的壁面境界条件については、1)熱損失を考慮しない断熱境界条件、2)熱損失を考慮した等温境界条件の2種類とした。また、Lewis

数については、1)Lewis数が1の場合、2)Lewis数が1より大きい場合、3)Lewis数が1より小さい場合、の3種類とした。

4. 研究成果

壁面近傍に於ける様々な熱的条件並びに化学的条件を可能な限り考慮した乱流燃焼場に於ける、壁面近傍での乱流火災の経時的な振舞いや、壁面に於ける熱的条件が乱流火災に及ぼす影響、更に、壁面上での吸着種の詳細について、一定程度明らかにする事が出来た。

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7件)

Kazuya Tsuboi, Eiji Tomita, Tatsuya Hasegawa, DNS analysis of thermochemical effects on turbulent premixed flames nearby a wall surface, 35th International Symposium on Combustion, 3-8 August, 2014, San Francisco.

坪井 和也, 富田 栄二, 長谷川 達也, Pt表面とその近傍での熱化学的条件が水素-空気乱流予混合火災に及ぼす影響, 第51回燃焼シンポジウム, 2013年12月4-6日, 東京.

坪井 和也, 富田 栄二, 長谷川 達也, 固体壁面とその近傍での熱化学的条件が水素-空気乱流予混合火災に及ぼす影響, 日本機械学会 第26回計算力学講演会, 2013年11月2日-4日, 佐賀.

Kazuya Tsuboi, Eiji Tomita, Tatsuya Hasegawa, Chemical Effects on Turbulent Premixed Flames nearby a Wall Surface, 24th International Colloquium on the

Dynamics of Explosions and Reactive Systems, 28 July-2 August, 2013, Taipei.

坪井 和也, 富田 栄二, 長谷川 達也, 固体壁面並びにその近傍での化学的過程を考慮した水素 - 空気乱流予混合火炎の DNS, 第 50 回燃焼シンポジウム, 2012 年 12 月 5-7 日, 名古屋.

坪井 和也, 富田 栄二, 長谷川 達也, 固体壁面並びにその近傍での熱化学的条件を考慮した水素 - 空気予混合火炎の DNS, 日本機械学会 熱工学コンファレンス 2012, 2012 年 11 月 17-18 日, 熊本.

坪井 和也, 富田 栄二, 長谷川 達也, 固体壁面での化学的過程が水素 - 空気予混合火炎の振舞いに及ぼす影響, 日本機械学会 2012 年度年次大会, 2012 年 9 月 9-12 日, 金沢.

〔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 :

出願年月日 :

取得年月日 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

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 :