

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 28 日現在

機関番号：73905

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420158

研究課題名(和文)多孔体流入壁を有する熱循環型超小型燃焼器の開発

研究課題名(英文)Development of Heat Recirculating Type Ultra-micro Combustor with Porous Medium Injector

研究代表者

山下 博史(YAMASHITA, Hiroshi)

公益財団法人名古屋産業科学研究所・研究部・上席研究員

研究者番号：40111835

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：高効率高性能な超小型燃焼器の実用化において最も大きな課題は、非常に大きな比表面積のために、壁面からの熱損失と表面反応によるラジカル失活を如何に低減するかということである。本研究では、燃料・酸化剤の供給部を多孔体流入壁とすることにより壁面からの放散熱を回収する熱循環型超小型燃焼器を開発することを目指した。

熱循環型超小型燃焼器の燃焼特性に関する数値計算を実行し、各種計算パラメータが燃焼特性に与える影響を解明した。特に、壁面からの放散熱を回収する熱循環特性に与える影響に注目した。また、計算結果を評価し、革新的な超小型燃焼器の開発のための指針をまとめた。

研究成果の概要(英文)：The key issues for practical application of high-performance ultra-micro combustor are the reductions of heat loss to combustor wall and radical deactivation on wall surface due to very high specific surface area. In the present study, I have aimed for the development of heat recirculating type ultra-micro combustor with porous medium injector supplying fuel and oxidizer, which effectively recovers radiating heat to combustor wall.

The numerical calculations have carried out for the combustion characteristics of heat recirculating type ultra-micro combustor, the effects of various calculation parameters on the combustion characteristics have elucidated. In particular, the effects of the parameters on heat recirculating characteristics have been paid attention. Moreover, the calculation results have been evaluated, and the guiding principles for the development of innovative ultra-micro combustor have been summarized.

研究分野：工学

キーワード：熱工学 エネルギー全般 燃焼工学

1. 研究開始当初の背景

(1) 超小型燃焼器について

近年、自立型ロボットや小型携帯機器の小型化・軽量化・高性能化に伴い、それらに用いる超小型かつ高出力のエネルギー源が必要とされている。このような高いエネルギー密度を有するエネルギー源として、超小型燃焼器を用いた超小型パワーシステムの利用が期待されている。しかし、燃焼器を超小型化するには解決しなければならない問題がある。まず、燃焼器が小型になるにつれて、比表面積が大きくなり、表面の影響が顕著に現れると考えられる。そのため、燃焼器壁面におけるラジカルの失活や熱損失の影響が顕著になり、安定した火炎の形成が困難になる。また、予混合気の滞在時間が極めて短くなるため、予混合気が未燃状態のまま排出されてしまうなどの問題も挙げられる。

このため、研究代表者は、本研究に先立って、平成 19~22 年度の国際研究交流(日本 JST - 中国 NSFC)の日本側研究代表者として、「革新的な超小型燃焼器を用いたマイクロパワーシステムに関する基礎研究」を行った。この研究は中国科学院広州エネルギー研究所との国際研究交流であり、中国側が実験を、日本側が数値計算を担当し、マイクロパワーシステムに適用できる革新的な超小型燃焼器の開発に従事した。これにより超小型燃焼器の基本的な特性について検討した。これらの超小型燃焼器の問題点を解決する一つの手段として、燃焼器の壁面の大部分を多孔体壁とすることが考えられている。燃焼によって発生した熱を流入予混合気で回収・熱循環させることで予混合気を予熱し、さらに多孔体によって逆火を防ぐことができるなど、安定した火炎を形成させることが可能となる。また、動水半径の小さな流路が極めて多数存在することにより流入部における予混合気の整流作用もある。また、平成 23 年度には、固体球によって構築された多孔体流路においてメタン燃料を用いた場合に対して壁面における熱循環の効果を検討し、かなり大きな空隙率の多孔体を用いることが効果的であることを示した。また、24 年度には水素燃料を用いた場合についての研究成果を発表した。しかし、これらの研究では、表面反応によるラジカル失活の影響が取り扱われていない。これらの既往の研究結果を踏まえ、種々の予混合気の流入条件および多孔体壁構造に対して、ラジカル失活を伴う場合について熱循環による吹飛び・逆火防止効果等について検討する必要がある。

(2) 多孔体流路にも適用できる反応性流体力学に基づく数値解析について

本研究に先立つ平成 22~24 年度の科学研究費補助金 基盤研究(C)(2)「多孔体内における燃焼現象の解明のための反応性流体力学に基づく数値解析法の開発」において、複雑な微細構造を有する多孔体内における

燃焼現象を解明するための反応性流体力学に基づく数値解析手法を開発し、様々な燃焼現象に適用した数値計算結果を実験結果と比較検討することにより、その妥当性を検証している。

(3) 壁面における表面反応によるラジカル失活について

表面反応によるラジカル失活の影響に関する研究はほとんどなかったが、近年活性壁面上での表面反応に関する Rainmondeau, S.らの研究により、表面反応機構が提案され、数値計算による研究が行われるようになった。研究代表者らも平成 23 年度にその基本的な研究成果を公開した。また、表面反応そのものについては、既に触媒反応や固体燃焼に関する研究において、多くの原著論文として公開している。

2. 研究の目的

高効率高性能な超小型燃焼器の実用化において最も大きな課題は、非常に大きな比表面積(燃焼器表面積/燃焼器体積)のために、壁面からの熱損失と表面反応によるラジカル失活を如何に低減するかということである。本研究では、燃料・酸化剤の供給部を多孔体流入壁とすることにより壁面からの放散熱を回収する熱循環型超小型燃焼器を開発する。このために、これまでに開発した多孔体流路にも適用できる反応性流体力学に基づく数値解析を適用することにより、熱循環特性を検討する。また、多孔体流路における表面反応を考慮し、ラジカル失活についても検討する。

3. 研究の方法

(1) 研究調査

多孔体流入壁を有する熱循環型超小型燃焼器の燃焼特性に関する研究調査を行う。

(2) 数値計算装置の整備

これまでに開発した「多孔体内における燃焼現象の解明のための反応性流体力学に基づく数値解析法」を適用するために、解析モデル・計算格子の設定用および初期条件・境界条件の設定用サブルーチンを作成し、予備的な計算を実施する。

(3) 多孔体流入壁を有する熱循環型超小型燃焼器の燃焼特性の数値計算による解明

適切な計算条件について数値計算を実行し、各種計算パラメータが燃焼特性に与える影響を解明する。特に、壁面からの放散熱を回収する熱循環特性、表面反応によるラジカル失活特性に与える影響に注目する。

計算結果を評価し、革新的な超小型燃焼器の開発のための指針をまとめる。

(4) 研究の総括と成果の発表

得られた研究成果について総括し，成果を内外の学会において発表する．

4. 研究成果

(1) 研究調査

数値解析のための解析モデルを確立し，適切な計算パラメータを設定するために，内外の研究動向を調査した．また，壁面におけるラジカル失活に関する研究についても調査した．

(2) 数値計算装置の整備

これまでに開発されていた「多孔体内における燃焼現象の解明のための反応性流体力学に基づく数値解析法」を適用するために，解析モデル・計算格子の設定用および初期条件・境界条件の設定用サブルーチンを作成し，検証した．

本研究で用いた繊維状多孔体を有する燃焼器の解析モデルを図1に示す．

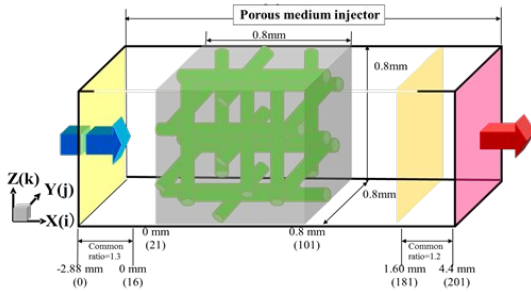


図1 繊維状多孔体を有する燃焼器の解析モデル

(3) 多孔体流入壁を有する熱循環型超小型燃焼器の燃焼特性の数値計算による解明

適切な計算条件について数値計算を実行し，各種計算パラメータが燃焼特性に与える影響を解明した．その結果は以下のようにまとめられる．

空隙率 $\epsilon = 0.9943$ では，多孔体の Regular 配置の場合，火炎が多孔体壁背後に保持され燃焼する範囲は，流入速度 $U_b = 0.2 \sim 1.2$ m/s であるが，多孔体の Random 配置の場合には U_b の範囲がやや狭くなる．また， $\epsilon = 0.9954 \sim 0.9982$ では，火炎は多孔体壁内部に入り込む．多孔体壁部による逆火防止効果により流入速度が燃焼速度より小さいときにも逆火しない．また， $\epsilon = 0.982$ では， $U_b = 0.1$ m/s のとき火炎は消失し， $\epsilon = 0.99955$ では U_b が小さいとき逆火する．さらに， $U_b = 1.3$ m/s では，吹き飛びが起こる．

流入速度が大きいくほど供給される燃料が多く，発熱速度が大きくなり，熱損失の影響が相対的に小さくなるため到達する温度が高くなる．

空隙率が小さく，動水半径が小さいほど，

火炎の予熱帯が多孔体部に侵入し難くなるため，多孔体壁背後で火炎が形成される位置が後退する．

繊維状多孔体を有する燃焼器における断面平均発熱速度の流れ方向分布を図2に示す．

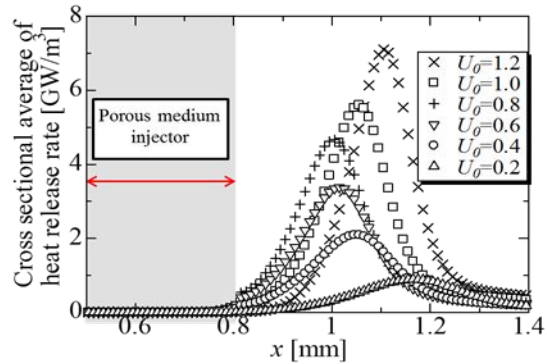


図2 繊維状多孔体を有する燃焼器における断面平均発熱速度の流れ方向分布

計算結果を評価し，革新的な超小型燃焼器の開発のための指針をまとめた．

特に，図3に示すような繊維状多孔体を有する燃焼器において繊維を規則的に配置した場合には，表1のように，「振動火炎」，「多孔体背後火炎」および「吹き飛び」という火炎形態となることを示した．この内，多孔体背後火炎の場合に熱損失が少なく安定な燃焼様式であり，多孔体構造に対応して適切な流入速度の範囲を明らかにした．

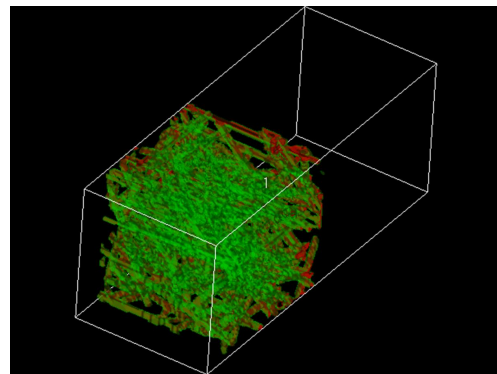


図3 繊維状多孔体を有する燃焼器 (空隙率 $\epsilon = 0.752$ ，繊維直径 $d = 0.04$ mm)

(4) 研究の総括と成果の発表

得られた研究成果について総括し，成果を国内の学会において発表した．また，最終的な成果を国内の専門的な研究会において招待講演にて発表した．

(5) 今後の研究の展開

本研究で達成できなかった各種計算パラメータが表面反応によるラジカル失活特性に与える影響の解明，さらに得られた計算結果と対応する実験結果との比較検討が挙げ

られる。

表1 規則的な繊維状多孔体における
火炎形態と流入速度の関係

	Case A	Case B	Case C	Case D
ε [-]	0.808	0.808	0.7953	0.8965
arrangement	regular			
d [mm]	0.022	0.046	0.094	0.06
l [mm]	0.1	0.2	0.4	0.4
α [mm ³]	31.66	16.86	9.648	6.953
R_b [mm]	0.0259	0.0486	0.0834	0.1314
u_0 [m/s]				
0.1	back	vibration	vibration	
0.2				
0.4				
0.6				
0.8				
1.0				
1.1		back	back	back
1.2				
1.3				
1.4	blow off			blow off
1.5		blow off	blow off	

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1件)

木野雄介, 山下博史, 林直樹, メタン燃料を用いた超小型燃焼器の多孔体流入壁における燃焼特性に関する数値解析(繊維状多孔体の場合), 第51回燃焼シンポジウム講演論文集, 査読無, 51巻, 2013, 100-101.

〔学会発表〕(計2件)

木野雄介, 山下博史, 林直樹, メタン燃料を用いた超小型燃焼器の多孔体流入壁における燃焼特性に関する数値解析(繊維状多孔体の場合), 第51回燃焼シンポジウム, 2013.12.4, 大田区産業プラザPi0(東京).

山下博史, 多孔体流入壁を有する超小型燃焼器の燃焼特性に関する数値解析, 科学技術交流財団「超燃焼」技術基盤に関する研究会(第4回研究会), 招待講演, 2015.12.28, 産業労働センター ウィンクあいち(愛知県).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ

<http://www.nisri.jp/dor/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

山下 博史(YAMASHITA HIROSHI)

公益財団法人名古屋産業科学研究所・研究

部・上席研究員

研究者番号: 40111835

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし