

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760187

研究課題名（和文）細管内におけるボルテックス・パースティング現象に関する基礎研究

研究課題名（英文）Fundamental study on the vortex bursting phenomena in small diameter tubes

研究代表者

下栗 大右（SHIMOKURI DAISUKE）

広島大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：40432687

研究成果の概要（和文）：

本研究では、細管内に形成された渦流中を伝播する火炎を対象に、伝播限界に対する細管内径、および混合気の熱・輸送物性の影響を定量的に調べ、伝播発生・伝播限界のメカニズムについて詳細な検討を行った。結果、渦流中では通常の火炎伝播の限界値である消炎直径、および可燃限界を超えて火炎が伝播可能であることを明らかにし、さらには、その伝播限界拡張／縮小のメカニズム、すなわち燃焼速度が低く、ルイス数が 1 より小さい場合、細い火炎が形成される上、火炎先端の燃焼強度が強められ、渦流によって火炎伝播が促進されることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

In this study, effects of the tube diameter as well as thermal and transport properties of mixture on the vortex bursting have been experimentally investigated. At first, it was found that the flame can be propagate through 2.4mm tube for propane/air mixture, which is enough less than the so called, quenching diameter. To investigate effects of the thermal / transport properties of unburned gas, further experiments have been made with various inert mixtures (N_2 , Ar, He, CO_2). Results showed that the fuel rich side “vortex bursting limits” for CH_4 /Air and CH_4/O_2 /Ar mixtures are enough higher than the conventional “upper flammability limit”. Consequently, it was found that the vortex bursting can be occur even for the conditions beyond the quenching diameter and flammability limits, in the cases of the thin flame can be established and the tip of the flame can be intensified, which correspond to the cases of the burning velocity is low enough and $Le < 1$.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,600,000	780,000	3,380,000

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：燃焼

1. 研究開始当初の背景

近年、MEMS を筆頭とする小型電子機器に対するエネルギー源として、高エネルギー密度の小型燃焼器が研究対象とされている。

この小型燃焼器の中でも、「小型渦流燃焼器」は、火炎の安定性が高いことや、構造がシンプルであることなどから近年注目されている。この小型渦流燃焼器では、火炎形成過程において、渦流中特有の火炎伝播現象「ボルテックスバースティング」が発生することが確認されており、小型渦流燃焼器の高効率化やさらなる小型化するためには、この現象の特性を詳細に把握する必要がある。ところが、細管内でのボルテックスバースティング現象に関する研究はなされたことがない。

2. 研究の目的

本研究では、小型渦流燃焼器の火炎形成過程で発生する「ボルテックスバースティング現象」について、その発生限界に対する細管内径の影響を詳細に調べる。さらに、様々な種類の不活性ガスを用いて未燃混合気を形成して、未燃ガスの熱・輸送物性の変化によるボルテックスバースティング発生限界の変化を調べる。最終的に、以上の実験結果をもとに、細管内でのボルテックスバースティング現象における支配的な要因を明らかにする。

3. 研究の方法

下図のような小型旋回流発生装置を用いて実験を行った。

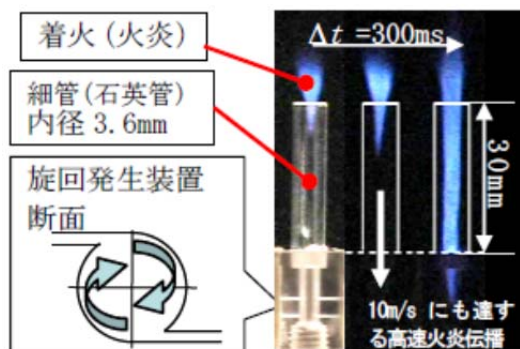


図1. 実験装置

旋回流発生装置には任意の長さの石英管が取り付けられている。可燃性混合気で渦流を形成した後、石英管出口において着火すると、火炎はボルテックスバースティングメカニズムによって高速に伝播する。その伝播火炎の挙動を、高速度ビデオカメラ等を用いて観察する。

また、実験では、未燃混合気の熱・輸送物性の影響を明らかにするべく、燃料にメタン・プロパンを用いたほか、酸化剤中の希釈

剤を窒素、アルゴン、ヘリウム、二酸化炭素として実験を行った。

4. 研究成果

始めに、一般的な燃焼特性が明らかにされているメタン空気、およびプロパン空気で行った。結果、通常（一様流）では3.2mmで火炎伝播が不能とされているのに対して（この最小の管内径を消炎直径と呼ぶ）、渦流を用いれば内径2.4mmの管まで火炎伝播が可能となることを明らかにした。

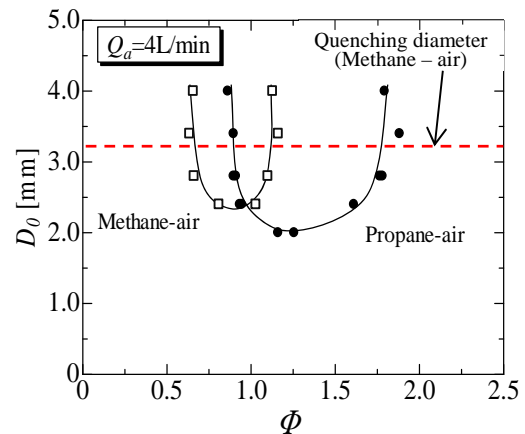


図2. 火炎伝播限界に及ぼす管直径の影響

さらに、空気力学的条件（吹き出し流速、渦構造）を固定した上で、空気中の窒素をアルゴン、ヘリウム、炭酸ガスで置き換えて、混合気の熱・輸送物性を変化させて火炎の伝播限界を測定した。結果、プロパンを燃料に用いた場合の窒素、アルゴン希釈の過濃側、およびメタンを燃料に用いた場合の炭酸ガス希釈の希薄・過濃側において、通常の火炎伝播限界である「可燃限界」を大幅に超えて火炎が伝播可能であることを明らかにした。

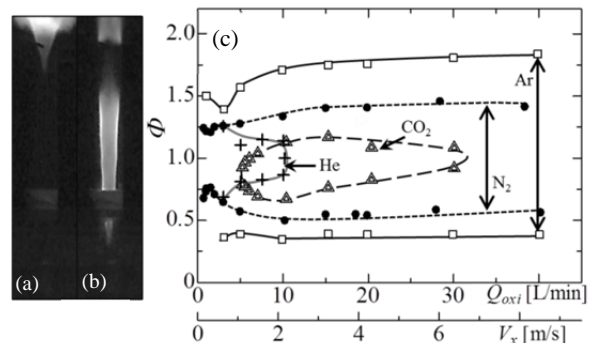


図3. プロパン空気混合気での火炎外観(a),(b)、および各不活性ガス混合気の火炎伝播限界(c)

また、実験において、不活性ガス混合気では、空気力学的条件が同じでも、火炎外観が著しく変化することが観察された（図4）。

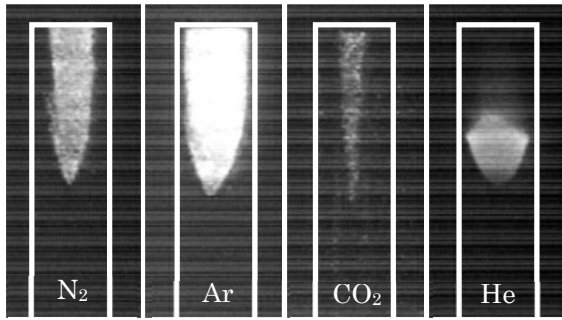


図4. 各不活性ガス混合気での火炎外観

そこで、この結果に対し、1. 火炎の幾何形状、および2. 空間的な燃焼強度の分布に注目して解析を行った。結果、1. 細い火炎ほど伝播限界が拡大していること、さらに、火炎太さは可燃性混合気の燃焼速度とほぼ比例関係にあることを明らかにした(図5)。

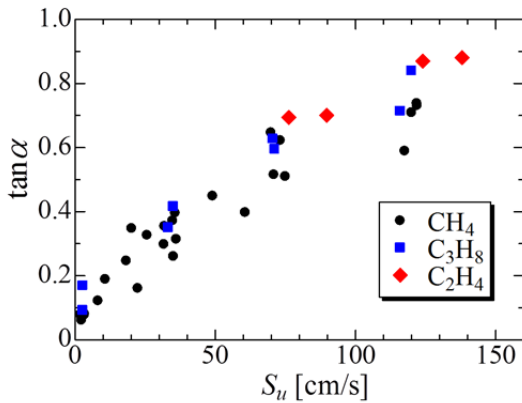


図5. 燃焼速度と火炎太さの関係. 縦軸は火炎先端から単位長さ下流側での火炎太さに相当。

さらに、2. 可燃性混合気の熱拡散係数と物質拡散係数の比であるLewis数が1より小さい場合、火炎先端の燃焼強度が強められること、一方でLewis数が1より大きい場合、火炎先端の燃焼強度が弱められることを確認し、その結果、 $Le < 1$ の場合には火炎伝播限界が拡大され、 $Le > 1$ の場合には火炎伝播限界が縮小することを明らかにした(図6、図中、縦軸は可燃限界に対するボルテックススパーシングの発生限界、正值は伝播限界の拡大、負値は縮小を表す)。

以上、本研究では、渦流中では通常の火炎伝播の限界値である消炎直径、および可燃限界を超えて火炎が伝播可能であることを明らかにし、さらには、そのメカニズム、すなわち燃焼速度が低く、Lewis数が1より小さいような場合、細い火炎が形成される上、火炎先端の燃焼強度が強められ、渦流によって火炎伝播が促進されることを明らかにした。

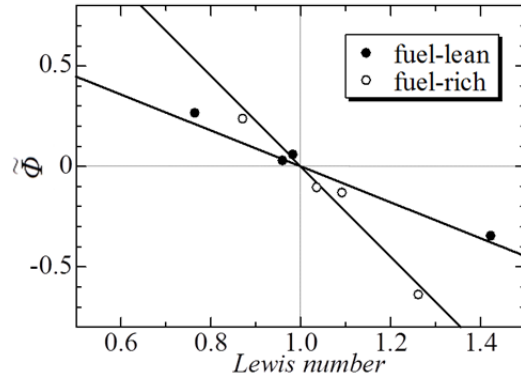


図6. 各Lewis数における、ボルテックススパーシングによる火炎伝播限界拡張/縮小の度合い。

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)

“Effects of inert gases on the vortex bursting in small diameter tubes “
 Proceedings of the Combustion Institute,
 Volume 34, Issue 2, 2013, Pages 3403-3410
Daisuke Shimokuri, Yuuji Karatsu, Satoru
 Ishizuka
<http://dx.doi.org/10.1016/j.proci.2012.05.038>

[学会発表] (計8件)

1. 消炎直径近傍の細管内におけるボルテックススパーシング(第2報)
 唐津 裕治, 栗本崇志, 下栗 大右, 石塚 悟
 第50回燃焼シンポジウム(2012/12/5-7)
 講演論文集 pp. 212-212, 愛知県名古屋市
2. 渦流中での火炎伝播限界に及ぼす不活性ガスの影響
 栗本崇志, 唐津 裕治, 下栗 大右, 石塚 悟
 第50回燃焼シンポジウム(2012/12/5-7)
 講演論文集 pp. 218-219, 愛知県名古屋市
3. 渦流中での火炎伝播限界に関する実験的研究
 唐津 裕治, 栗本崇志, 下栗 大右, 石塚 悟
 日本機械学会熱工学コンファレンス
 2012(2012/11/17-18)
 講演論文集 pp. 91-92, 熊本大学
4. メソスケールの流路内におけるボルテックススパーシングに及ぼす不活性ガスの影響
 栗本崇志, 唐津 裕治, 下栗 大右, 石塚 悟

第 49 回 日本 伝 熱 シンポジウム
(2012/5/30-6/1)
講演論文集 pp. 273-274 , 富山県富山市

5. 細管内でのボルテックスバーステイング
に及ぼす不活性ガスの影響
下栗 大右, 唐津 裕治, 本田 雄哉, 石塚 悟
第 49 回 燃 焼 シンポジウム (2011/12/5-7)
講演論文集 pp. 204-205 , 神奈川県横浜市

6. 消炎直径近傍の細管内におけるボルテッ
クスバーステイング
唐津 裕治, 下栗 大右, 石塚 悟
第 49 回 燃 焼 シンポジウム (2011/12/5-7)
講演論文集 pp. 206-207 , 神奈川県横浜市

7. 細管内におけるボルテックスバーステイ
ングに及ぼす不活性ガスの影響 (第 3 報)
下栗 大右, 唐津 裕治, 石塚 悟
日本機械学会熱工学コンファレンス
2011 (2011/10/29-30)
講演論文集 pp. 317-318 , 静岡県浜松市

8. 細管内におけるボルテックスバーステイ
ングに及ぼす不活性ガスの影響 (第 2 報)
唐津 裕治, 下栗 大右, 石塚 悟
日本機械学会熱工学コンファレンス
2011 (2011/10/29-30)
講演論文集 pp. 315-316 , 静岡県浜松市

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下栗 大右 (SHIMOKURI DAISUKE)
広島大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号： 40432687

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：