

F104 多孔質触媒層を利用した微小燃焼器の燃焼特性に及ぼす燃料の影響 Effect of Fuel on Combustion Characteristics of Micro-Combustor with Porous Catalyst Layer

○ 杉江 和紀 (岐大院)
正 井原 禎貴 (岐大工)

正 高橋 周平 (岐大工)
正 若井 和憲 (岐大工)

Kazuki SUGIE, Shuhei TAKAHASHI, Tadayoshi IHARA, Kazunori WAKAI
Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu, 501-1193, Japan

We have developed a microcombustor which has a porous catalyst layer and investigated the flammability map and combustion characteristics for methane, butane and DME. For methane fuel, the flammable area in the lean condition is narrow. On the other hand, for butane and DME, the flammable area in the lean condition is wide. This difference is caused by the difference in activation temperature of oxidation. Activation temperature of butane and DME is relatively low compared with that of methane, which leads to the fact that the combustion efficiency for butane and DME is lower than that of methane. In addition, higher air-fuel ratio at the stoichiometric condition for butane and presence of intramolecular oxygen for DME enhance the reaction in the lean condition. These different characteristics of the fuel affect the lower LHV limits, ignition temperatures and combustion efficiencies.

Key Words: microcombustor, catalytic combustion, sintered porous catalyst, fuel

1. 緒言

近年、炭化水素を燃料とする燃焼技術を用いた微小電源の開発が注目されている。このような微小電源は炭化水素を燃料として用いるため、従来の電源に比べ高いエネルギー密度を有している。一方で小型化によって、火炎の発熱量に対して周囲への熱損失が大きくなり、燃焼の維持が困難となる。

そこで、燃焼器本体にセラミックス管を用い周囲への熱損失を低減し、さらに管内に多孔質状に触媒を焼結させ、触媒の表面反応で燃焼を維持することができる超小型燃焼器 (Microcombustor) の開発を行ってきた^[1]。また、本燃焼器と熱電素子と組み合わせることで発電を行い、燃料の有する低位発熱量から電力への変換効率として最大で 3.52% を記録している。しかし、燃料としてメタンを用いた場合には、希薄側における可燃範囲が狭いことが分かっている。そこで本研究では、実用上有利である希薄側の可燃範囲を拡大させるため、燃料としてメタン、ブタン、DME の 3 種類の燃料を用いた場合に対して、それぞれの可燃範囲、着火温度、燃焼効率の測定を行った。

2. 実験装置

Fig.1 に示すように、燃料と空気をマスフローコントローラーで制御し、流量、当量比を調整し、燃焼器に流入する前に予混合させる。その先に内径 0.8mm、外径 1.2mm のセラミックス管の先端に触媒を焼結させて作成した燃焼器 (Fig.2) を取り付け、予混合気を流し着火させる。着火は、燃焼器の触媒を焼結させた部分の外側に巻きつけたニクロム線で行った。可燃範囲の測定は、燃焼器による個体差の影響があるため、3 本の燃焼器に対してそれぞれの条件で 1 分以上連続して燃焼を維持できるかを調べた。また、着火温度は、燃焼器の内部の触媒を焼結させた部分に線径 100 μ m の K 型熱電対を設置し、温度の測定を行った。加熱後、測定した温度から 150K/s 以上の温度上昇率を測定した時に着火したとした。燃焼効率率は排気ガスの組成をガスクロマトグラフィーで分析した結果から算出した。燃料は、メタン、ブタン、DME の 3 種類を用い、これらの燃料に対して燃焼特性の違いを調べた。なお、本研究で示される体積流量は置換温度 293K、圧力 1atm のもとでの値である。

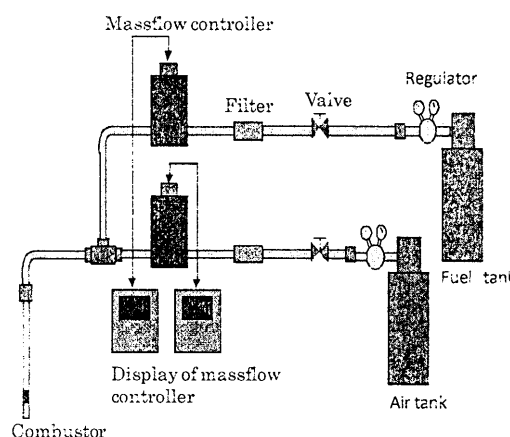


Fig.1 Schematic of the experimental setup.

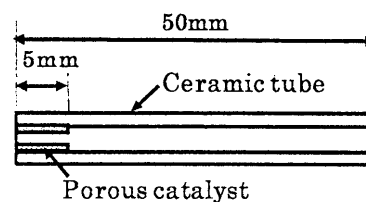


Fig.2 Schematic of the Micro-Combustor

3. 実験結果・考察

燃焼器の運転可能な範囲を調べるため、当量比、予混合気流量をパラメータとして可燃範囲を測定した。その結果を Fig.3 に示す。図中の丸印の黒は燃焼器の 3 本中 3 本、灰色は 3 本中 2 本、白は 3 本中 1 本が 1 分以上の燃焼が可能であったことを示し、×印はどの燃焼器に対しても燃焼を維持することができなかったことを示している。その結果、メタンを燃料として用いた場合は、希薄側の燃焼限界が当量比 0.8 付近であるのに対し、ブタンを用いた場合は当量比 0.4、DME の場合は当量比 0.2 付近と希薄側の可燃範囲が拡大していることが分かる。この原因として、触媒表面での活性温度の違いがあげられる。メタンはブタンや DME に比べて活性温度が高く、温度の低下する希薄側で燃焼を維持することができないのに対して、ブタンや

DME は活性温度が低いために希薄側においても広く燃焼を維持することができたと考えられる。さらに、ブタンは量論係数が大きく、希薄側における余剰酸素の影響が少ないこと、DME は分子内酸素による酸化や、触媒吸着時の発熱量が大きいということが希薄側の可燃限界の拡大に寄与していると考えられる。一方、過濃側の可燃範囲については当量比約 8.0 付近が可燃限界であり、気相燃焼に比べ広い範囲で燃焼可能であった。また、投入熱量の面から見ると、燃焼の維持に必要な最低投入熱量はメタンの場合が 1.5W であるのに対し、ブタンは 1.0W、DME は 0.3W と、こちらも可燃範囲が拡大していることが分かる。さらに、それぞれの燃料に対して、着火時の燃焼器内の温度を測定した結果を Fig.4 に示す。実験は予混合気流量を 70cc/min とし、パラメータとして当量比を変化させて測定を行った。その結果、いずれの当量比についても、着火温度はメタン、ブタン、DME の順に低くなるという結果が得られた。この様な違いの原因としても、前述した活性温度の違いや、余剰酸素による酸素被毒の影響、分子内酸素の有無が寄与しているものと考えられる。

次に、燃料としてメタンおよびブタンを用いた場合の燃焼効率を Fig.5 に示す。実験は、予混合気流量を 70cc/min に固定し、パラメータとして当量比を変化させて行った。燃焼効率は、排ガスを分析し、得られた組成から以下の式を用いて定義した。

$$\eta = \frac{Q_{col}}{\Delta h_{r, fuel} / \phi} \begin{cases} \phi = 1 & \text{for lean} \\ \phi = ER & \text{for rich} \end{cases}$$

その結果、燃料としてメタンを用いた場合は、当量比を変化させた場合も 90% 程度の燃焼効率を維持している。一方、ブタンを用いた場合は当量比 1.2 で約 92% の燃焼効率を示したが、この条件から外れると、大きく効率が低下する結果となった。これは、触媒活性温度の違いによって生じたものと考えられる。メタンは活性温度が高いため、壁温がより高温に保たれ、気相での反応が十分に進み、広い範囲において高い燃焼効率を維持している。一方、ブタンの活性温度はメタンに比べて低いため、比較的温度的の高い条件においては高い効率を示すものの、燃焼温度の低下する条件においては触媒表面の温度が低下し、気相での燃焼が十分に進まないために燃焼効率低下の原因となったものと考えられる。

4. 結言

多孔質触媒層を有する微小燃焼器を作成し、燃料としてメタン、ブタン、DME を用いて燃焼特性を調べた結果、以下のことが明らかになった。

1. 希薄側の可燃限界および投入低位発熱量の下限はともに、メタン、ブタン、DME の順に拡大する。着火温度も同様の順番で低下した。これらの原因として、触媒表面での活性温度、余剰酸素による酸素被毒の影響の違いがあげられる。
2. 触媒表面温度の高くなるメタンの場合は、広い範囲で高い燃焼効率を測定した。一方、ブタンを用いた場合、メタンに比べて可燃範囲は広がるものの、条件によっては気相反応が進みにくいため、燃焼効率が大きく低下するという結果が得られた。

参考文献

[1] S.Takahashi, K.Wakai, AIAA 2009-5246.(2009)

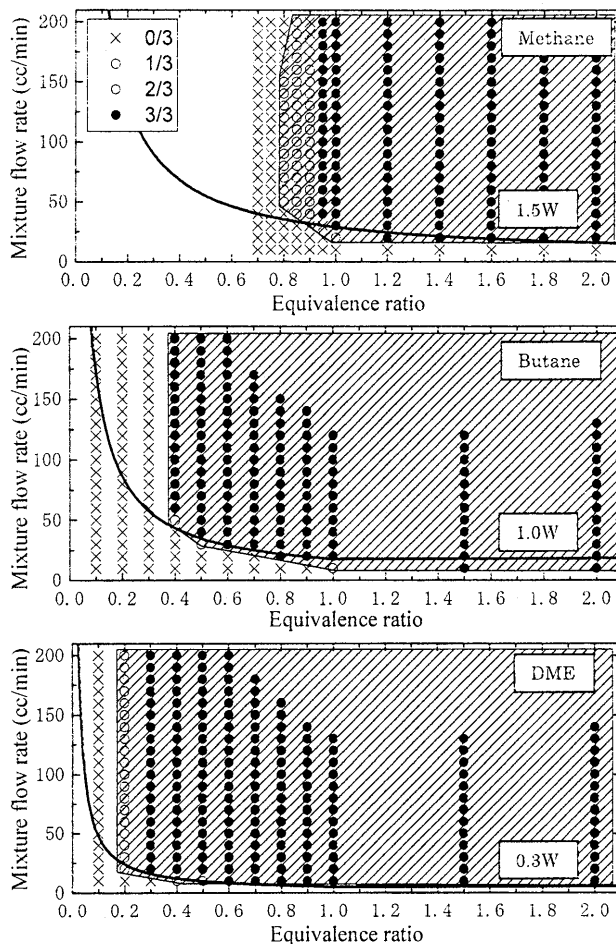


Fig.3 Flammability maps for methane, butane and DME.

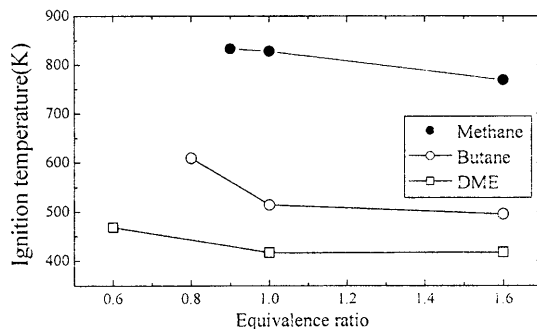


Fig.4 Ignition temperature for methane, butane and DME.

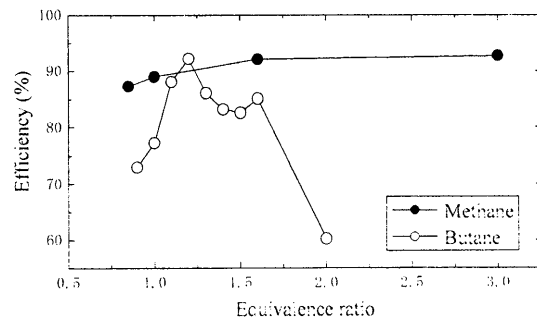


Fig.5 Combustion efficiencies for methane and butane.