

2205 kW 級マイクロガスタービン用プロパン燃焼器の作動特性 Flame Stability of a Propane Combustor for a kW-class Micro-Gas Turbine

○ 上原 麻美子 (都立科技大院) 皆川 和夫 (都立科技大院) 正 湯浅 三郎 (都立科技大)
正 吉識 晴夫 (東大生研) 正 松尾 栄人 (東大生研 兼 日本技術戦略研究所)

UEHARA Mamiko, MINAKAWA Katsuhiko and YUASA Saburo,
Tokyo Metropolitan Institute of Technology, Asahigaoka 6-6, Hino-city, Tokyo 191-0065, JAPAN

YOSHIKI Haruo and MATSUO Eito*
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Komaba 4-6-1, Meguro-ku, Tokyo 153-8505, JAPAN

*Japan Technical Strategy Laboratory, Higashioomura, 1-Chome 2693-46, Oomura-city, Nagasaki 856-0032, JAPAN

Abstract

We have investigated the flame stability of a can-type propane-fueled combustor with a diameter of 50mm for a kW-class micro-gas turbine. The effects of the diameter and number of the fuel injection holes and the position of the fuel injector on flame stability and the temperature distribution near the injector rim were studied experimentally. When a strong re-circulation zone developed near the injector exit, the flame stability satisfied the design point of the combustor, and increased with a decrease of the hole diameter and hole number. The stability mechanism was discussed, and the role of high temperature gas passing through the intervals of injection holes was clarified.

Keyword : Micro-gas turbine, Micro-combustor, Propane, Flame stability, Temperature distribution, Injector type.

1. はじめに

著者らは、これまでに超小型水素ガスタービンシステム実用化を目標に、キャン型^[1]及びアニュラー型燃焼器^[2]の開発研究を行ってきた。同時に、kW 級マイクロガスタービンの即実現化を目指して、水素燃焼器と並行してプロパン燃料を用いた超小型燃焼器の実現可能性についての研究も行っている。すでに燃焼器内筒直径 44mm のキャン型水素燃焼器を流用した予備実験を行い^[2]、入口空気ノズルでのスロート部空気流速を小さくし、また燃料噴射孔での燃料流速を大きくすると、プロパン火炎の安定性が高められるという結果を得ている。また火炎 1 つ当たりの燃焼容積 (14×21×30mm) が、キャン型の燃焼器容積 (φ44mm×77mm) の約 1/15 倍となるセクタ燃焼器 (3 つの火炎を直線上に形成) を用いた燃焼実験も行っており、空気・燃料流入部構造を小型化すると、プロパン火炎の安定性は燃料噴射速度だけでなく、燃料噴射孔形状にも依存することを明らかにしている^[3]。

本研究では、燃料インジェクタ付近の流れ場や温度場が、プロパン火炎の安定性に及ぼす影響をより詳しく把握するため、燃焼器内筒直径 50mm のキャン型燃焼器を用いて、インジェクタ噴射孔の個数、孔径および噴射面の高さ方向の位置をパラメータとして、火炎安定限界と温度分布の測定および火炎基部の観察を行ったので報告する。

2. 実験装置及び実験方法

Fig. 1 に本実験で用いた燃焼器の概略図を示す。基本構造は、スワラーによって再循環領域の形成を促進し、インジェクタリム部に拡散火炎を付着させ、火炎の安定化および小型化を図るものである。空気は外筒と内筒の隙間を通りスワラー (形状スワール数 3 程度) を通過後、入口空気ノズル (スロート径 φ30mm : 設計点平均流速 = 14 [m/s]) から燃焼室内に噴出される。なお、本燃焼器には 2 次空気孔を設けておらず、すべての空気が入口部より流入する構造となっている。本燃焼器での非燃焼時における圧力損失率は、設計流量時に 1.0% 以下である。外径 12mm の燃料インジェクタの先端面には、6 個または 12 個の噴射孔が斜め 45° に開けられており、それらは円周上に配置されている。これにより、燃料は空気スワラーの旋回方向と同一方向に噴射される。噴射孔径は直径 0.5 mm (6 孔、12 孔)、0.7 mm (6 孔、12 孔)、1.0mm (6 孔) の計 5 種類を使用した。インジェクタ先端面の高さ h は、入口空気ノズルのスロート面から上流側をマイナス、下流側をプラスとして、本実験では $h=0$ mm (Fig. 1 の状態)、-7mm、+10mm の 3 種類に変化させた。

着火は燃焼器外部から挿入する水素のパイロット火炎、あるいはスロート面から下流側 13mm の位置に、燃焼筒内壁から 5mm 突き出した状態で装着したスパーク方式のイグナイタによって行い、着火特性の把握も試みた。火炎基部 (インジェクタ先端面) の観察は、イグナイタ装着部を利用して直径 2.3mm のボアスコープを挿入して行った。なお、実験はすべて燃焼室出口を大気開放の状態で行った。

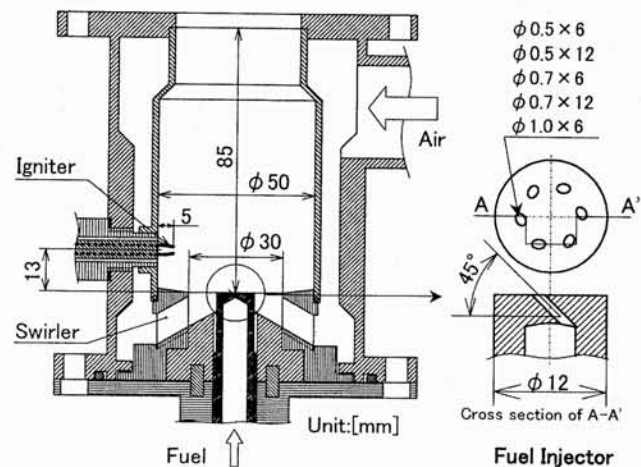


Fig. 1 φ50mm can-type propane micro-combustor.

3. 実験結果と考察

3-1 火炎安定限界と着火限界

Fig. 2 にインジェクタ先端面高さ $h=+10$ mm でのプロパン火炎の安定限界と、 $h=0$ mm でのスパークによる着火限界を示す。安定限界より高当量比側で火炎は安定に形成され、安定限界は空気流量に対して単調増加となっている。これは、燃焼室内での再循環領域の発達により、燃焼反応によって生じた高温ガスや活性化学種がインジェクタ付近に逆流してくるために、高当量比ほど火炎基部が安定化されやすくなるためである。本燃焼器では、いずれのインジェクタ条件においても、設計点 (空気流量 $m_a=10$ [g/s]、当量比 $\phi=0.3$) で充分安定な火炎を形成させることができた。またインジェクタ先端面高さ h にかかわらず、噴射孔径が小さく孔数が少ないほど火炎安定性に優れており、この傾向は $h=+10$ mm で特に顕著であった。

スパークによる着火限界は、空気流量に対し上昇しており、火

炎安定限界よりも遙かに高い当量比領域にあることから、イグナイタ付近に可燃性混合気が形成されるのは、燃焼器内がかなり高濃度の可燃性混合気で満たされた後であることがわかる。また、噴射孔径が小さく孔数が少ないほど、低い当量比で着火していることから、旋回空気流に対する燃料噴流の運動量が大きく貫通しやすい方が、着火性能に優れていることがわかる。以上より、着火前の燃焼器内燃料濃度の空間的分布が大きいことが予想されるため、燃料噴射速度を大きくし、スパーク位置をより燃料噴射面に近づけることで、着火性能を高められると考えられる。

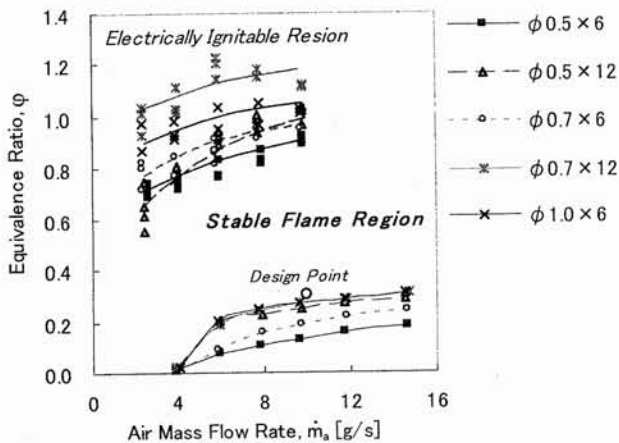


Fig. 2 Flame stability limits at $h=+10\text{mm}$ and electrically ignitable limits at $h=0\text{mm}$.

3-2 火炎基部の様子と温度分布

Fig. 3 に、インジェクタ先端面高さ $h=+10\text{mm}$ のときの設計点における火炎基部の様子を示す。また Fig. 4 にこのときのインジェクタ先端面における半径方向の温度分布を示す。Fig. 3 より、噴射孔総断面積が最も小さい $\phi 0.5 \times 6$ 孔インジェクタのとき、火炎付着はインジェクタ先端面より上流側 $3 \sim 4\text{mm}$ まで達しており、先端面は火炎に包まれている。6 孔の場合と比較すると、噴射孔径が $\phi 0.7$ 、 $\phi 1.0$ と大きくなるにつれてインジェクタ側面での火炎付着位置は下流に移っている。この結果より、6 孔の場合には火炎安定性が良いものほど、インジェクタ側面に沿った火炎付着が上流に達していることがわかった。また、噴射孔総断面積がほぼ等しい $\phi 0.5 \times 12$ 孔と $\phi 0.7 \times 6$ 孔の場合を比較すると、孔間隔が近接している前者では、インジェクタ先端面の噴射孔が配置されている円周の内側にのみ火炎が付着しており、インジェクタ側面での火炎付着は確認できない。両者の火炎安定性を比較すると、火炎付着がインジェクタ側面に達していない $\phi 0.5 \times 12$ 孔の方が火炎安定性は悪く、この関係は 6 孔の場合と同じである。さらに、孔間隔が近接している $\phi 0.5 \times 12$ 孔と、孔径が最大の $\phi 1.0 \times 6$ 孔を比較すると、両者のインジェクタ付近での火炎付着状態は類似しており、火炎安定性も同程度である。以上より、火炎付着がインジェクタ側面より上流に達しているものほど火炎安定性に優れており、この火炎付着状態の決定には噴射孔間隔が大きく影響を及ぼしていることがわかった。

また Fig. 4 によると、インジェクタ先端面中心付近は高温であるが、噴射孔が配置されている円周上 (図中の横軸 3.2mm 付近) を境に温度がいったん低下している。中心付近温度は各インジェクタとも同程度であるが、噴射孔外側での温度の低下は、火炎安定性の悪いものほど顕著である。

ここで、噴射孔間隔の大きさが火炎安定性に寄与していることを定性的に考察すると以下ようになる。再循環流によって高温の燃焼ガスは、燃焼筒中央部をインジェクタ先端面に向かって逆流してくる。もし、円周上に配置された燃料噴射孔の間隔が充分広ければ、逆流してきた高温ガスはこの隙間を通りインジェクタ側面に沿っ

て燃焼器上流に向かう。この流れが強いほど、インジェクタ側面での火炎付着はより上流に達しやすくなる。通常の噴流拡散火炎の場合では、燃料噴射速度が大きくなると吹飛びやすくなることを考えると、燃料噴射孔総断面積を小さくすることは火炎安定化にとって不利であるが、孔間隔が広がるために各噴射孔周り、特に孔外側に高温ガスが流れ込み、保炎されやすくなると考えられる。Fig. 4 から、噴射孔間隔が広いものほど、噴射孔外側が高温になっている様子が確認できる。

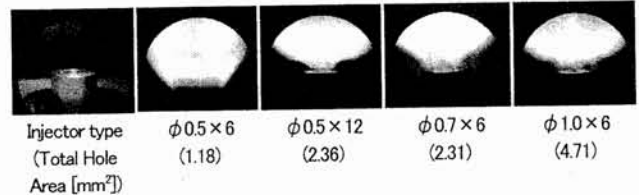


Fig. 3 Flame base appearance at the design point. ($\dot{m}_a=10$ [g/s], $\phi=0.3$)

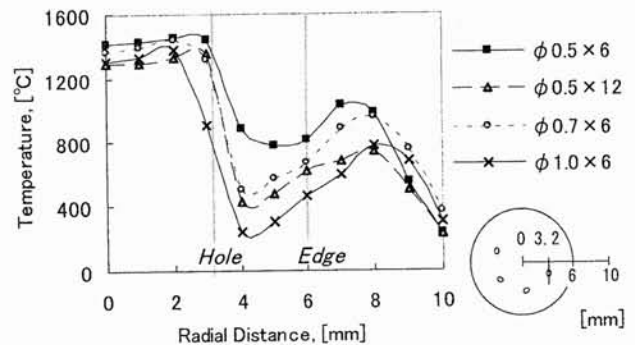


Fig. 4 Temperature distributions on fuel injection plane ($h=+10\text{mm}$) at the design point. ($\dot{m}_a=10$ [g/s], $\phi=0.3$)

4. まとめ

- * 本燃焼器では燃焼器内に充分な逆流が発達しており、設計条件で安定な火炎が形成された。その安定性に及ぼすインジェクタ先端面高さの影響は明確ではなかったが、燃料噴射孔の間隔が広いほど安定燃焼範囲は広がった。
- * 本燃焼器の場合、燃料噴射孔間隔が広いほど、その隙間を通して燃焼ガスがインジェクタ側面に達しやすくなり、噴射孔周りの火炎付着領域が高温になるため保炎性能が向上することがわかった。
- * スパークによる着火限界は火炎安定限界よりも遙かに高い当量比領域にあることから、本燃焼器のイグナイタ位置には可燃性混合気が形成されにくい。

謝辞

本研究は一部、平成 14 年度 NEDO 国際共同研究提案公募事業 (発電技術) 「超小型ガスタービン実用化先導研究」の補助を受けて行った。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 湯浅三郎, 他 5 名, 日本ガスタービン学会誌, 15 巻 59 号, 122-128, 1987.
- (2) 上原麻子, 湯浅三郎, 第 8 回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集, 531-536, 2002.
- (3) 上原麻子, 湯浅三郎, 第 31 回ガスタービン定期講演会講演論文集, 2003.