

K2-40

定在音場がトリプルフレームの火炎面曲率と浮き上がり高さに及ぼす影響
Effects of the Standing Acoustic Fields on the Flame Curvature and Lift-off Height of Triple Flame

○杉生信成¹, 山本裕貴¹, 齊藤允教², 田辺光昭³

*Nobuaki Sugiu¹, Yuki Yamamoto¹, Masanori Saito², Mitsuaki Tanabe³

Abstract: To solve the mechanism of flame holding in standing acoustic fields, we investigate the effects of sound pressure on the flame curvature which has relation to the concentration gradient and the burning velocity of triple flame in the standing acoustic fields. As a result, the increase in sound pressure causes the decrease in the lift-off height and the increase in the curvature of the triple flame in standing acoustic fields. It is thought that the flame curvature increases due to moving upstream where the concentration gradient is larger.

1. 諸言

現在、ガスタービンエンジンなどの燃焼器では、スワラや保炎器を用いて燃焼器内の流れに旋回や逆流を生じさせることによって保炎を行っているが、これらの方法では渦の発生による大きな圧力損失が生じると考えられる。そこで本研究では圧力損失の低減のため非接触型の保炎方法として音に着目した。

これまでの研究では、定在音場での予混合火炎の保炎に成功している^[1]。さらに、予混合火炎と拡散火炎が共存する V 字火炎に音を印加することで、最下流側の端部の火炎が上流側へと移動することが明らかになっている^[2]。よってこれら現象を詳細に解明するため、V 字火炎の端部と構造が似ているトリプルフレームに着目した。

トリプルフレームの火炎面曲率は濃度勾配と強い相関を示し、濃度勾配の増加に伴い増加する^[3]。そこで、本研究では火炎面曲率の変化に着目し、音圧を変化させたときの火炎面曲率と浮き上がり高さの変化を調べた。実験はトリプルフレームを二次元的に定在させるために 4 つの矩形ノズルを持つ二次元マルチスロットバーナを用いた。

2. 実験装置及び方法

Figure. 1 に実験装置の概略図を示す。実験装置は、二次元マルチスロットバーナと音響系で構成されている。二次元マルチスロットバーナは廣田らの文献^[4]を参考に作成した。出口径は 40×60 mm であり、10×60 mm のスロットを 4 つ有する。バーナ内部は仕切り板で分けられており、(1)にプロパンと空気の混合気、(2)に空気を流すことによりバーナ出口で濃度勾配を有する流れを形成した。(3)より中心と同じ流速で窒素を流し火炎形成位置での流速が一樣となるようにした。共鳴管

はステンレス製で長さは 400 mm である。両端にスピーカを正対させ、火炎位置と速度振動の腹の位置を一致させることで定在音場をつくる。共鳴管周波数は、半波長で共鳴するように約 480 Hz とした。音圧はピエゾ抵抗型差圧センサを用いて速度振動の節も位置で測定した。

プロパン、空気、窒素はそれぞれ流量を調節してバ

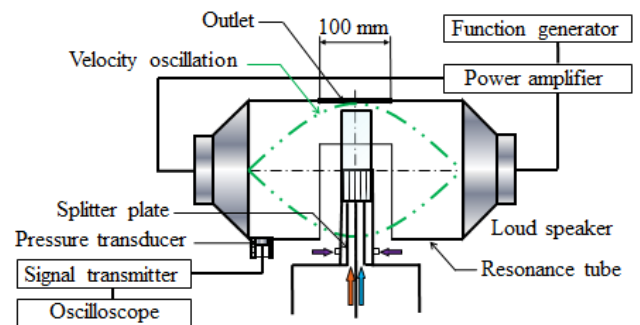


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

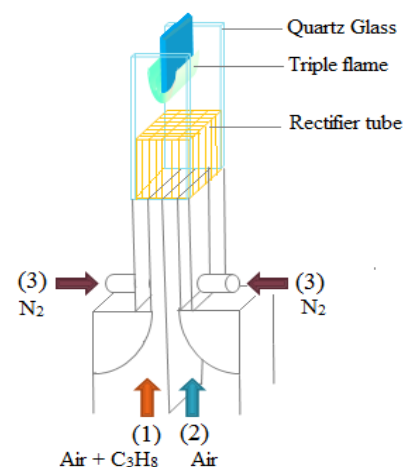


Fig. 2 Burner exit and triple flame

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・院 (後)・航宇 3 : 日大理工・教員・航宇

バーナへ流入させ、常温、大気圧の下でトリプルフレームを形成させる。混合気の当量比は 3、ノズル出口流速は 1.5 m/s とした。火炎が定在している状態で音がなるときと音圧を 0.04 kPa, 0.06 kPa, 0.08 kPa, 0.1 kPa と変化させたときで火炎を撮影した。画像はスチルカメラを用いた直接撮影により取得した。撮影によって得られた画像から輝度データを取得した。設定した輝度の閾値から火炎前縁の位置を定義し、その座標を得た。得られた座標を 2 次曲線で近似することで、火炎曲率及び放物線の頂点の座標を得た。頂点の座標とバーナノズル出口との距離を浮き上がり高さとした。

3. 実験結果及び考察

Figure. 3 に音圧を変化させたときのトリプルフレームの直接撮影による画像を示す。また、Fig. 4 に音圧と曲率及び浮き上がり高さの関係を示す。

トリプルフレームの左側が過濃予混合火炎、右側が希薄予混合火炎であり、中心に拡散火炎が下流側に向かって生じている。

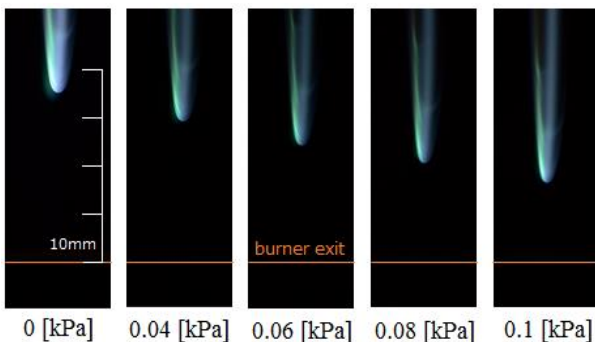


Fig. 3 Photos of triple flame

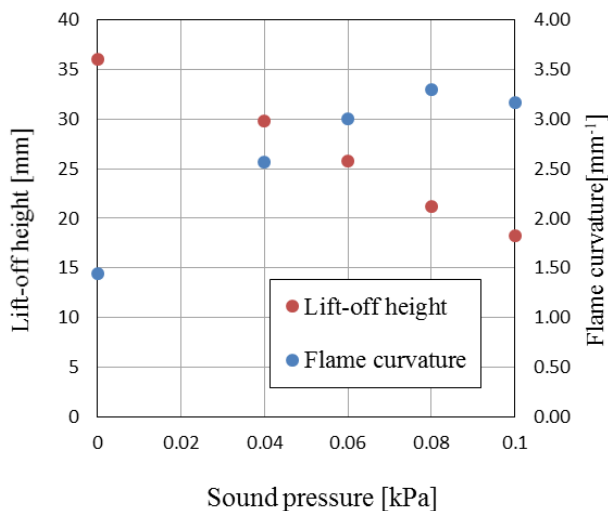


Fig. 4 Relationship between sound pressure, flame curvature and lift-off height

Figure. 3 及び Fig. 4 から音圧の上昇とともに浮き上がり高さが減少していることがわかる。音がなるときは浮き上がり高さは 36 mm だが、0.1 kPa のときは 18 mm まで減少した。また、火炎面の曲率は音なしでは 1.45 mm⁻¹、0.08 kPa のときは 3.30 mm⁻¹ となり、音なしから 0.08 kPa までは音圧の上昇とともに増加した。0.1 kPa のときは火炎面曲率は 3.17 mm⁻¹ となり減少に転じた。

今回の実験の曲率の範囲では、火炎面曲率の増加に伴って局所燃焼速度は減少すると考えられる^[3]。局所燃焼速度が減少するとトリプルフレームはバーナ下流に流され定在できないと考えられる。したがって本実験において、曲率の変化は浮き上がり高さの減少の原因として説明できない。火炎面直前の局所の濃度勾配が増加すると、火炎面曲率も増加すると考えられる^[3]。定在音場中ではトリプルフレームは浮き上がり高さが減少し、バーナ上流に移動した。本実験では燃料の濃度勾配はバーナの上流ほど大きくなると考えられるため、音圧の上昇とともにトリプルフレームの火炎先端位置の濃度勾配は増加したと考えられる。したがって、曲率の増加は火炎が上流へ移動したことによるものが一因として挙げられる。0.1 kPa のときの火炎面曲率が 0.08 kPa よりも小さくなったことはこの考察からは説明できないので、今後さらに詳しい検証が必要である。

4. 結言

- ・音圧の上昇とともに浮き上がり高さは減少した。
- ・0.08 kPa までは音圧の上昇とともに火炎面曲率は増加したが、0.1 kPa では減少した。
- ・燃料の濃度勾配はバーナの上流ほど大きくなると考えられるため、火炎面曲率の増加は火炎が上流へ移動したことによるものが一因と考えられる。

5. 参考文献

[1] 齊藤允教・他, 第 48 回燃焼シンポジウム講演論文集, pp. 536-537, (2010)

[2] 齊藤允教・他, 第 49 回燃焼シンポジウム講演論文集, pp. 496-497, (2011)

[3] 永井良卓・他, 「Triple Flameの燃焼速度に及ぼす火炎面曲率の影響」, 日本機械学会論文集 (B編), 70 巻691号, pp780-788, (2004)

[4] M. Hirota. et. al : “Burning velocity of triple flames with gentle concentration gradient”, Proceedings of the Combustion Institute, vol. 31, pp893-899, (2007)