

K2-91

定在音場内での V 字火炎の形状遷移過程の研究
Study on the transition process of V-shaped flame shapes in acoustic fields

岩田修幸¹, 〇嶺井航¹, 齊藤允教², 田辺光昭³
Nobuyuki Iwata¹, *Wataru Minei¹, Masanori Saito², Mitsuaki Tanabe³

Abstract: As the flame stabilization method for preventing pressure loss, we focused in using acoustic fields. In the past studies, It was confirmed that burner flame moves to upstream in the presence of acoustic fields. In this study, we pay attention to the transition process of V-shaped flame for clarification of V-shaped flame shapes in acoustic fields. As experimental result, it is confirmed that process of V-shaped flame transit M-shaped flame in rich mixture. It is thought that the diffusion flame which burning velocity is high exist at the edge of V-shaped flame and is easy to be caused the effect of moving to upstream.

1. 諸言

ガスタービンエンジンなどの定在火炎を用いる燃焼容器では、旋回流などを加え逆流領域を形成する事で火炎の保炎を行っている。この時、未燃ガスがスワローを通過するために、圧力損失が生じるという問題を抱えている。そこで流れに非接触で圧力損失を抑える方法として、音を用いた保炎に着目した。定在音場の速度振動の腹では、圧力波の進行方向に対して垂直方向に二次流れが発生する^[1]。この二次流れを用い、逆流領域を形成することで火炎を保炎させることができると考えられる。また、強い音圧下では音響振動により火炎にしわが形成されることが分かっており^[2]、これは乱流同様の燃焼速度の増加が期待できる。現在までの研究では、定在音場内で保炎範囲の拡大が確認されており、その際に火炎が上流側に移動することがわかっている^[3]。本研究ではこの火炎の遷移過程に着目し、定在音場内で V 字火炎を形成した際、音圧の強弱による V 字火炎変形の遷移過程の解明を試みた。

2. 原理

Figure 1 に予混合火炎のみ及び予混合火炎と拡散火炎を伴った場合で V 字火炎の形状、及び流れ場を示す。

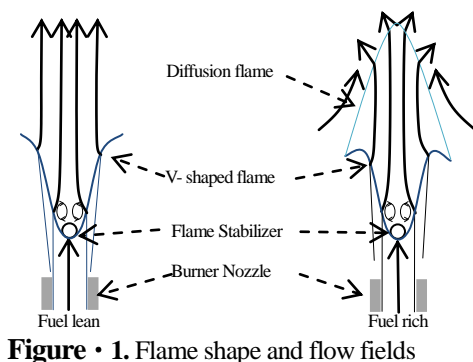


Figure 1. Flame shape and flow fields

3. 実験装置及び方法

Figure 2 に実験装置を示す。

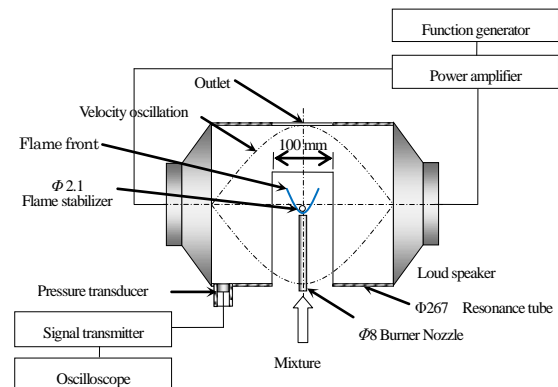


Figure 2. Schematic of experimental apparatus

空気とプロパンガス（純度 99.5 vol. %）の流量を層流流量計および浮子式流量計でそれぞれ測定し十分に混合したのち、内径 8 mm の円管バーナに供給し、常温、大気圧の下で図の位置にて $\phi 2.1$ mm の保炎器を用いて V 字火炎を形成させる。一方、二つの正対させたスピーカから、互いに逆位相となる正弦波を生じさせ、ステンレス製の円管内（長さ 400 mm）で共鳴させることで定在音場をつくる。周波数 f は、 $1/2$ 波長で共鳴するように約 495 Hz とした。燃焼中は、円管内温度が変化し音速の変化による共鳴周波数の変化が生じるので、その都度周波数を微調整した。火炎位置に対して、速度振動の腹の位置が一致するように定在音場をつくる。火炎が定在されている状態で音圧をそれぞれ変化させて、等量比 $\phi=0.7$ 及び 1.1 の火炎形状の遷移過程を観察、及び撮影した。この際ノズル出口流速 U_0 は常に 3.0 m/s とした。音圧はピエゾ抵抗型差圧センサ(KELLER 社製 PR-10)によって速度振動の節の位置で測定した。

当量比 ϕ , 平均断面流速 U_0 は, 流量より算出した. 映像は, スチルカメラ及び高速度カメラを用いて, 直接撮影により取得した.

4. 実験結果及び考察

Figure 3 に等量比 $\phi=0.7$ 及び $\phi=1.1$ においてノズル出口平均流速 $U_0=3.0$ m/s, 及び周波数 $f=495$ Hz が一定の条件下で音圧 P_s を変化させた場合の火炎形状の遷移過程を示す. 図中の白線はバーナノズル出口位置, 赤い円は保炎器の位置を示している.

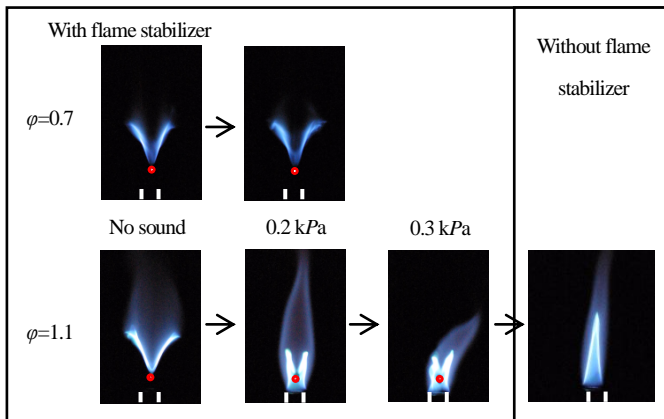


Figure 3. Transition process of V-shaped flame

Figure 3 から等量比 $\phi=0.7$ では音圧上昇に伴った大きな形状変化は見られず, 0.3 kPa 以上の音圧下では失火した. 等量比 $\phi=1.1$ では音圧の上昇と共に, V 字火炎の形状が M 字へと遷移し, 保炎器を取り外した際は, バーナで典型的な円錐型の火炎へと遷移したことが確認できた. $\phi=1.1$ では V 字火炎の下流側から拡散火炎が生じていることが確認できた. Figure 4 に等量比 $\phi=1.1$ での V 字から M 字火炎への遷移過程を示す. 図中の破線は遷移途中の火炎端を結んだ線である.

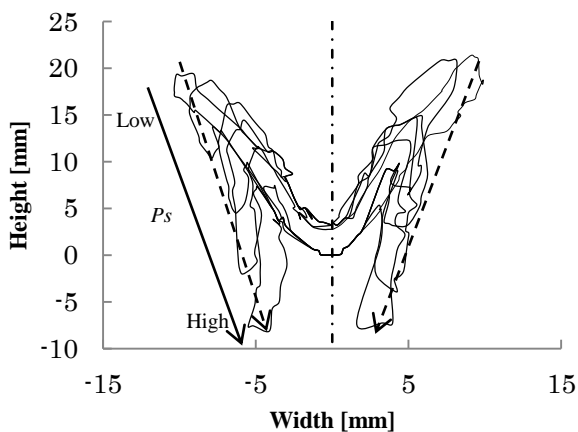


Figure 4. Transition process of V-shaped flame to M-shaped flame

Figure 3, および Figure 4 から, 混合気が希薄側では, 音圧の強弱に伴い大きな変化は見られず, 一定以上の音圧下では失火してしまう. また, 混合気が過濃側では, Figure 1 とほぼ同様に V 字火炎の下流側の両端部に拡散火炎が存在し, 音圧の強弱に伴って火炎の端部を結んだ軌跡が, 勾配を持って V 字から M 字火炎へと遷移することが確認できた.

以上の実験結果より, 混合気が過濃側では, 燃焼速度の速い拡散火炎が存在することで, V 字火炎の両端部が上流方向へと移動し火炎が曲がった. その後, 音圧の上昇に伴い, 湾曲した火炎両端部が勾配に沿ってノズルリムに付着することによって, 保炎点がノズルリムに移動したと考えられる. Figure 4 から, 勾配を持って火炎が上流方向へと遷移したのは, 燃焼速度の速い拡散火炎が, 混合層に沿って上流方向へと引き伸ばされるように遷移したためであると考えられる. また, 音圧の強弱によって火炎が上流方向へと遷移するのは, 定在音場内で, 火炎を上流側へと引き込む作用が働いている可能性があるかと推測できる.

5. 結言

- 混合気が過濃側では, 燃焼速度が速い拡散火炎が存在するため, V 字火炎の両端部が上流側に向かって移動し, M 字火炎へと形状の遷移をした.
- 定在音場によって保炎点が混合層に沿って上流に移動したと考えられる.
- 混合気が過濃側では, 定在音場を用いることによってノズルリムでの保炎が可能となり, 保炎器がない状態で高流速での保炎が達成できた.

6. 謝辞

本研究は日本大学理工学部シンボリックプロジェクトにより実施されたものである.

7. 参考文献

- [1] T. Yano. et. al : "Influence of Acoustic Perturbation and Acoustically Induced Thermal Convection on Premixed Flame Propagation", MICROGRAVITY SCIENCE AND TECHNOLOGY, Vol.22, No.2, pp155-161, 2010
- [2] 草川 裕. 他 5 名, 「定在音場の影響を受ける予混合火炎の挙動」, 第 47 回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.508-509, 2009.
- [3] 齊藤 允教・他 5 名, 第 48 回燃焼シンポジウム講演論文集, pp. 536-567(2010)