

定在音場が予混合火炎の火炎構造に与える影響
Influence of Standing Acoustic Fields on the Structure of Premixed Flame

○滝澤渉¹, 真野悠佑磨¹, 山田宏典², 広澤拓也², 田辺光昭¹
*W. Takiwaza¹, Y. mano¹, H. yamada², T. Hiroswa², M. Tanabe¹

Abstract: It is confirmed by the experiment of the pre-mixture combustion of standing acoustic that a flame changes into a wrinkle-shaped flame from a laminar flow flame under the influence of sound vibration. This wrinkle shape is caused by Baroclinic Torque and can classify the flame structure by the sound field on a speed scale and the length scale that paid its attention to motion of Baroclinic Torque. In this report, whether the flame structure of the turbulence pre-mixture flame by the sound can be classified by the definition that is different on the speed scale that Kusagawa and others used for turbulence combustion diagram.

1. 緒言

ジェットエンジンやロケットエンジン内部の燃焼器では、音響振動と燃焼の相互干渉により燃焼振動が発生し、振動が発散する。そのため燃焼器にかかる熱的・機械的負荷が増大し、エンジンの破壊に繋がる^[1]。安全な燃焼器の開発には音響振動が燃焼に与える影響の予測法の構築が必要である。

定在音場中の速度振動の腹における予混合燃焼には音圧の増加に伴い層流から皺状の火炎に変形することがある。また、この火炎面の皺状の変形にはバロクリニックトルクが支配的であると報告されている^[3]。過去の研究において、草川らは音場での予混合火炎における火炎構造の分類に関して、Peters^[4]が提案している乱流燃焼ダイアグラムに当てはめることで定在音場中の火炎構造を支配するパラメータを特定した^[5]。

本報告では、乱流燃焼ダイアグラムのスケールに草川らが当てはめた火炎のスケールに加え、新たに流体のスケールを当てはめることで、両スケールの妥当性を検証した。

2. 理論

定在音場中の予混合火炎に皺を形成する原因はバロクリニックトルクと考えられ、次式の渦度方程式の右辺に現れる項である^[3]。

$$\frac{D\omega}{Dt} = \frac{1}{\rho^2} \nabla\rho \times \nabla P \quad (1)$$

ここでの ω は渦度ベクトル、 ρ は密度、 P は圧力である。音場中での燃焼では、音による圧力勾配 ∇P と燃焼による密度勾配 $\nabla\rho$ によってバロクリニックトルクが生じる。

Figure 1 に示す定在音場中における燃焼時のバロクリニックトルクによる渦同様の回転運動に誘起される速度スケール u_b 及び長さスケール X_b は以下のように

おいた。^[5] ここで $S_{b \cdot v}$ は音の伝播方向に対して垂直方向への火炎伝播速度、 f は共鳴周波数である。

$$u_b = \omega \frac{S_{b \cdot v}}{4f} \quad (2) \quad X_b = \frac{S_{b \cdot v}}{2f} \quad (3)$$

Table 1 に音場中での燃焼により生じる密度勾配の取り方を示す。

Table 1 Interpretation of density gradient scale

Case	Density gradient	Case	Density gradient
1	$\nabla\rho = \frac{\rho_u - \rho_s}{\delta}$	2	$\nabla\rho = \frac{\rho_u - \rho_s}{X_b}$

ここでの ρ_u は未燃密度、 ρ_b は既燃密度である。Case 1 は草川らが仮定した密度勾配 $\nabla\rho$ であり、密度勾配の生じる範囲を火炎帯厚さ δ としている。それに対し、Figure 2 に示すようにバロクリニックトルクにより発生する渦の領域で密度勾配は生じていると考えられるので、Case 2 として、圧力勾配の存在する範囲をトルク半径の最大の距離 X_b と仮定する。

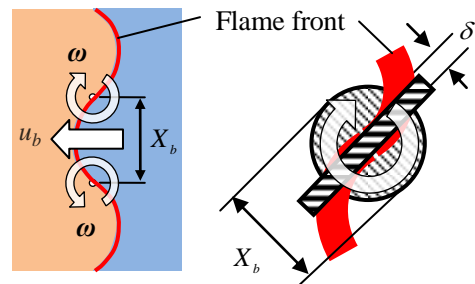


Figure 1 Interpretation of the Velocity Scale and Length Scale

Figure 2 Scaling of δ and X_b

3. 実験装置および方法

Figure 3 に実験装置の概略図を示す。定在音場は燃焼容器内に正対させた 2 台のスピーカを正弦波で左右同位相に振動させることにより発生させた。音圧と共鳴

周波数，速度振動の節に設置した圧力センサーにより測定した．火炎を可視化するためにシュリーレン法を用いた．シュリーレン像は高速度カメラで撮影した．混合気はメタン-空気，当量比 ϕ は 0.7 とした．音圧 P_{max} は 0.4~1.7 kPa，共鳴周波数 f は 0.78, 0.96, 2.14, 3.07 kHz，点火は速度振動の腹で容量放電を用いて行った．

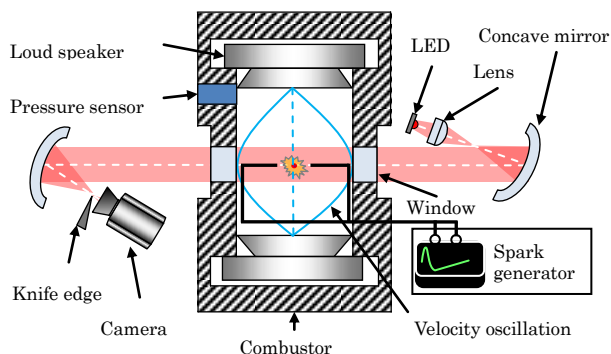


Figure 3 Schematic of experimental apparatus

4. 結果及び考察

Figure 4 に Peters の乱流燃焼ダイアグラム上における Case 1 の方法で算出したスケールを用いて示した実験点，Figure 5 に Case 2 の方法で算出した実験点を示す．本実験では周波数 0.96 kHz のとき 0.5~0.6 kPa と 3.07 kHz のとき 1.3~1.4 kPa の間で火炎に皺の有無が生じ，Case 1, Case 2 の双方を比べると Peters の乱流燃焼ダイアグラムの Laminar flames と Wrinkled flamelets の境界と同様の右下がりの境界が見られる．また，Case 1 と Case 2 では圧力勾配の仮定の違いにより速度スケ

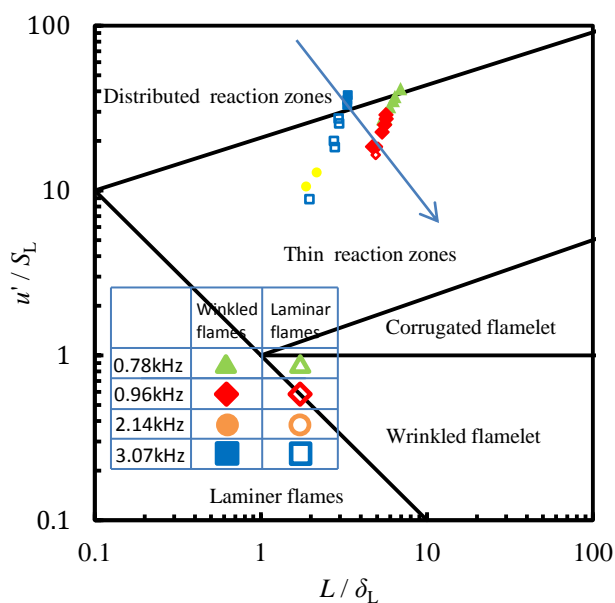


Figure 4 Premixed Turbulent Combustion diagram(Case1)

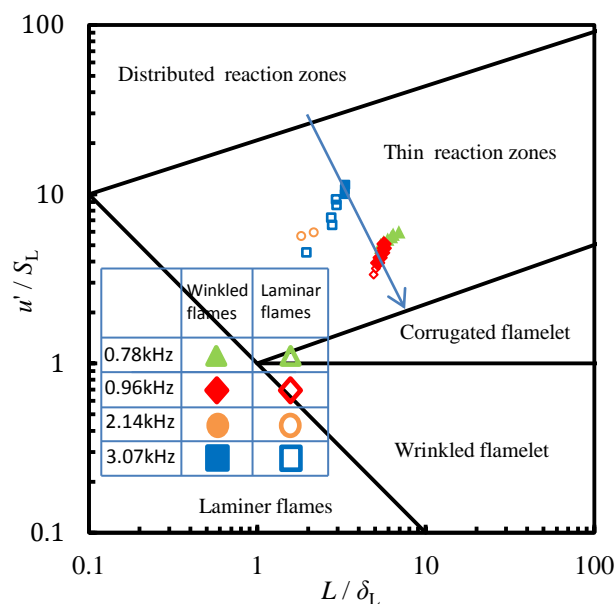


Figure 5 Premixed Turbulent Combustion diagram(Case2)

ールに違いが生じ，Case 1 の方が Case 2 より速度スケールが大きくなり上にくる．このことから実験結果より火炎構造は Laminar flames と Wrinkled flamelets であることが映像より確認されているので，Case 1 と Case 2 を比較すると，その領域に近い Case 2 の仮定の方が乱流燃焼ダイアグラムの密度勾配の仮定の取り方としてよりふさわしいと考えられる．

5. 結論

- ・音場による皺の生成の有無の境界は乱流燃焼ダイアグラム上で右下がりの傾向が見られた，
- ・密度勾配の算出にはその長さスケールにバロクリニックトルクによる流体回転の直径を用いることがよりふさわしいと考えられる．

6. 参考文献

- [1] A. Duvvur, C. H. Chiang, and W. A. Sirigano, Journal of Propulsion and Power Vol. 12, No. 2, March-April, pp. 358-365, (1996)
- [2] 草川・他5名，第47回燃焼シンポジウム講演論文集 pp. 508-509, (2009)
- [3] 広澤・他8名，第48回燃焼シンポジウム講演論文集 pp. 14-15, (2010)
- [4] Peters, N., "The turbulent burning velocity for large-scale and small-scale turbulence," J. Fluid Mech.,384, pp.107-132(1999)
- [5] H. Kusakawa, et al., eighth Asia-Pacific Conference on Combustion, pp. 194-198, (2010)