## K7-84

# シャープフォーカシングシュリーレン光学系を用いた予混合火炎の火炎面の可視化 Visualization of The Flame Front of Premixed Flame by Sharp Focusing Schlieren Optical System

○坂下慎<sup>1</sup>, 大島一輝<sup>1</sup>, 田辺光昭<sup>2</sup> \*Shin Sakashita<sup>1</sup>, Kazuki Oshima<sup>1</sup>, Mitsuaki Tanabe<sup>2</sup>

Abstract: Wrinkles are known to be formed on the flame front of premixed flame at the velocity antinode of standing acoustic fields. Wrinkles occurred in the flame front; the flame area has changed and increased the burning rate. A conventional schlieren optical system is employed for the observation of the wrinkles in the previous experimental reports. To observe the wrinkles in detail, it is necessary to observe the flame front at arbitrary cross-section. This study applies a so-called "sharp focusing schlieren" optical system to observe premixed flame in slice.

1. 緒言

ロケットエンジンやガスタービンエンジンなどの定 在火炎を用いる高圧燃焼器では,音響振動と燃焼の相 互干渉により燃焼振動が発生することがある.燃焼振 動が発生すると,熱的・機械的な負荷が増大すること によりエンジンが破壊に至ることがあるため問題視さ れている<sup>[1]</sup>.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を構築することが重要である.

過去の研究において, Kusakawa らは定在音場の速度 振動の腹で予混合気を点火すると高い音圧のとき,周 期的に形成と消滅を繰り返す皺が,火炎面に生じるこ とを確認している<sup>[2]</sup>.この研究では,観測手法としてシ ュリーレン法が用いられた.シュリーレン法は,密度 勾配を光路上で積分したものを可視化する観測手法で ある.このため,シュリーレン法は二次元流れ場の可 視化に利用されてきた<sup>[3]</sup>.しかし,定在音場中の火炎面 にできる皺形状は複雑であり,通常のシュリーレン法 の観測結果をもとに二次元と仮定して議論を行なうこ とは難しい.また,シュリーレン法で観測した火炎は, 数値解析の結果との比較が困難である.任意の断面に おける火炎形状を観測できる手法を構築する必要があ る.

本報告では定在音場中の火炎に生じる皺を,任意の 断面で取得する方法としてシャープフォーカシングシ ュリーレン法<sup>[3]</sup>(以下フォーカシングシュリーレン法) を用いて,静止した混合気中の球状火炎伝播の観測を 試みた.

#### 2. 実験装置及び実験方法

Figure 1 に実験装置の概略を示す. 燃焼容器は内径 120 mm で,内部には正対させた 2 台のスピーカを設置 している.予混合気の点火は火花放電を用いて行い.

1:日大理工・学部・航宇 2:日大理工・教員・航宇

この時の点火エネルギーは 0.3 J である.スパークギャ ップは 0.5 mm でスパークプラグ先端が針状のものを 用いた.当量比 0.7 のメタン-空気の混合気を 1 atm 充 填し,実験を行った.ただし,空気は窒素 74%と酸素 20%を混合することで模擬している.

本実験は、予混合火炎の火炎面の可視化において、 フォーカシングシュリーレン法の有効性についての知 見を得ることを目的とし、振動しない火炎の火炎面を フォーカシングシュリーレン法で観測した.シュリー レン像は高速度カメラを用いてフレームレート 50000 fps で撮影した.得られた画像は処理を行い、輝度によ り判別した火炎帯厚さと理論より得られた火炎帯厚さ とを比較した.



Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

2-1. フォーカシングシュリーレン法

フォーカシングシュリーレン装置の概略図を Fig. 2 に示す.フォーカシングシュリーレン法は任意の断面 における密度変化を可視化する手法である.その光学 系は,拡散光源とそれを集光するフレネルレンズ,集 光された光束を多光源化するソースグリッド,焦点面 からの拡散光を結像面に投影するための結像用レンズ, 通常のシュリーレン法のナイフエッジに相当し光束の 一部を遮断するカットオフグリッド、および任意の断 面を写す結像面から構成されている. フォーカシング シュリーレン法は多方向からのシュリーレン像を足 し合わせたものであるので, 焦点深度が浅く任意の断 面のみの観測が可能となる[3].



Fig. 2 Sharp focusing schlieren system.

#### 4. 実験結果及び考察

Figure 3 に火炎面の観測結果を示す. Figure 4 の左図 に画像処理前の球状火炎の輪郭を示す、右図は点火前 と点火後の画像の輝度の差を求めたものである.画像 に引かれた直線の位置において、輝度値が高い所の幅 を火炎帯厚さ $\delta_r$ として求めた.また、層流一次元火炎 の理論より、理論火炎帯厚さ $\delta_t$ を求めた.



2.4 ms





Fig. 4 The contour of the flame front that the image processing

層流燃焼速度をSu, 予混合気の, 定圧比熱をCp, 密度  $\epsilon \rho_{\mu}$ , 熱伝導率を $\lambda$ とすると, 火炎帯厚さ $\delta_t$ は

$$\delta_t = \frac{C_p \rho_u}{\lambda} \cdot \frac{1}{S_u} \tag{1}$$

と表せる. 定圧比熱 $C_n$ ,密度 $\rho_u$ ,熱伝導率 $\lambda$ は常温常圧 下による値, 層流燃焼速度Suは Vagelopoulos による数 値計算による値<sup>[4]</sup>を用い,これによって算出される火 炎帯厚さ $\delta_t$ を理論値とした.

画像において輝度値より求めた火炎帯厚さδrは 0.28 mmとなり,理論より求めた火炎帯厚さ $\delta_t$ の 0.13 mm よ りおおきくなった.

### 5. 結言

本報告では、風洞実験などの流れ場の可視化に利用 されているフォーカシングシュリーレン法を用いて, 火炎の可視化を行った.実験結果より火炎の可視化に は成功したが、光源の像の大きさが小さいため、可視 化範囲が狭くなった.火炎面を詳細に見るには,火炎 面の通過する位置に光軸を移動させることや、光源の 像の大きさを大きくして火炎面全体を写す等の改良が 必要になると考えられる.

#### 参考文献

[1] A. Duvvur, C. H. Chiang, and W. A. Sirigano, Oscillatory fuel droplet vaporization: Driving mechanism for combustion instability 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] A. Kantrowitz and R. Trimpi, Journal of Aeronautical Sciences Vol.17, No.5, pp. 311-314, 1950

[4] C. M. Vagelopoulos and F. N. Egolfopoulos, Twenty-Fifth Symposium (Internation-al) on Combustion, The Combustion Institute, pp. 1346, 1994