

K2-12

定在音場中の予混合火炎の火炎形状に関する研究 Study on Standing Acoustic Fields on Flame Shape of Premixed Flame

○坂下慎¹*Shin Sakashita¹

Abstract: Wrinkles are known to be formed on the flame front of premixed flame at the antinodes of velocity oscillation. In past studies various models were invented to determine the shape of the flame. However, these models are simple and are considered to be different from actual results. In order to obtain a precise flame shape, I devised a model in which numerous vortices exist on the flame surface. As a result of comparing the theory and the experiment, the proposed model did not become the actual flame shape, but by adding the correction term it is considered to be a model approaching the shape of the actual flame.

1. 緒言

過去の研究において、Kusakawa ら^[1]は定在音場の速度振動の腹で高い音圧のとき、予混合気を点火すると火炎表面に皺が形成され、皺は周期的に形成と消滅を繰り返すことを確認している。また、その皺の形成にはバロクリニックトルクが支配的であると考えられている。圧力勾配が存在する場では皺によって火炎の表面積が増加するため、燃焼体積が球状火炎より増加し、燃焼効率の改善が見込まれるため、火炎形状を予測することは重要である。

皺の形成に関しては、広澤^[2]により速度モデルと呼ばれる火炎変形モデルが提唱された。広澤はこのモデルの妥当性を、皺の山から谷の距離で表される皺深さというパラメータを用いて評価し、乱流燃焼で用いられている静的なモデルよりも正確に記述できると報告している。しかし、広澤が提唱したモデルは皺の谷から山の頂点までの間に発生する渦を一つの剛体渦として解いている。実際の火炎では火炎表面に無数の渦が存在していると考えられるためこのモデルでは火炎形状を解析するには不十分であると考えられる。本報告では広澤の提唱したモデルを改良し、火炎表面に無数の渦が存在すると仮定した集合渦モデルを考案し、シャープフォーカシングシュリーレン法で撮影した火炎を解析し、モデルとの比較を行った。

2. 火炎変形モデル

Figure 1 に考案した火炎変形モデルの概念図を示す。x 軸は皺の深さを表しており、y 軸は皺の高さを表している。本モデルでは火炎表面にある 1 つの皺に着目している。このモデルは広澤が考案したモデルに対して、火炎表面に無数のバロクリニックトルクによる渦が存在し、その渦が火炎を変形させると仮定したモデルで

ある。火炎表面には十分小さい皺の波面が存在する渦が隣接し、互いの渦が互いの周速を打ち消し、火炎表面に垂直にかかる周速の xy 成分が火炎を変形させる。火炎形状の算出に必要な渦に関して、圧力勾配は広澤が算出した理論式を用いた。また、密度勾配は未燃ガス密度と既燃ガス密度の差を火炎帯厚さで割った値を用いている。火炎帯厚さは理論式より 0.13 mm とした^[3]。火炎伝播速度、周波数、音圧については実験値を用いている。渦の種類はランキン渦と仮定した。火炎変形量は火炎伝播速度と、打ち消された渦の周速の xy 成分が微小時間に移動する量を積分して算出した。本モデルでは火炎面にある流体粒子が渦と火炎伝播速度のみで移動したと考えているため、火炎伸張は無視している。また、モデルの初期状態の火炎面として、皺深さが十分に小さい sin カーブを用いた。

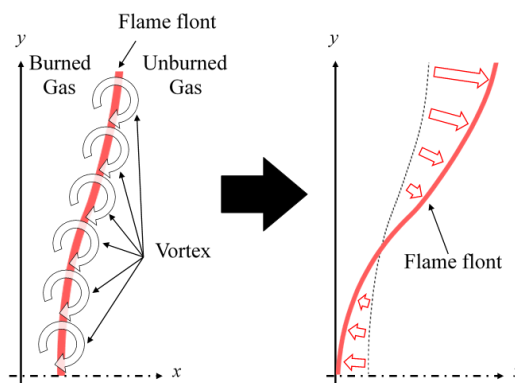


Fig. 1 Conceptual diagram of the theoretical model

3. 実験装置及び実験方法

Figure 2 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 台のスピーカを約 220 mm 離して設置している。音圧は 1.2 kPa とし、周波数は 0.77 kHz とした。予混合気の点火は火花放電を

1 : 日大理工・大学院・航空

用いて行い、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。当量比は 0.7 とし、メタン-空気の混合気を 1 atm 充填し、実験を行なった。ただし、空気は窒素と酸素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フォーカシングシュリーレン法^[4]を用いた。フォーカシングシュリーレン法の鮮明焦点深度は 3 mm である。シュリーレン像は高速カメラを用いてフレームレート 19890 fps で撮影した。得られた画像は処理を行い、火炎の輪郭を任意の位置で座標として取り出し、理論モデルで算出した火炎面と比較した。

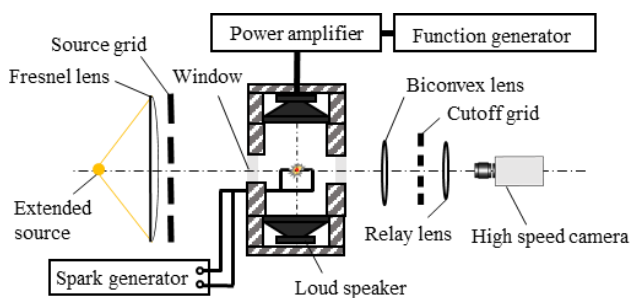


Fig. 2 Schematic of experimental apparatus

4. 実験結果及び考察

Figure 3 にフォーカシングシュリーレン法で撮影した火炎に形成される皺を示す。実験画像は 0.22 ms 毎に撮影した皺の一周期の画像である。火炎の表面にある皺が時間の経過と共に形成され、消滅していることが確認できる。Figure 4 に皺の測定方法を示す。1つの皺を谷で二分し、片側の凸部の形状を用いて測定をする。皺の形状は火炎表面から皺の谷の最も深い位置までの高さを皺高さとし、皺高さを等間隔に分割し、分割位置における既燃ガスと未燃ガスの境界までの距離を皺深さとしてプロットし、理論モデルの火炎形状との比較を行った。プロットをする皺は、皺の谷の深さが最も深くなるタイミングとした。

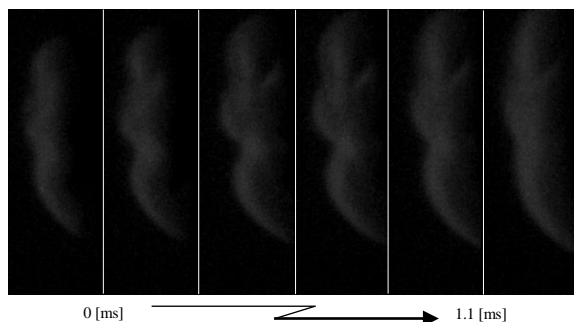


Fig. 3 Consecutive schlieren image of the pre-mixed flame with sound

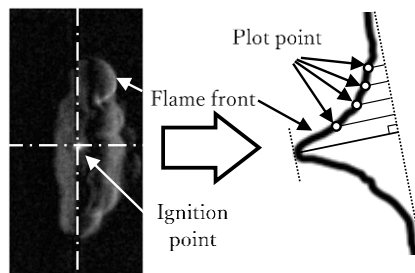


Fig. 4 Definition of flame front plot

Figure 6 に理論モデルの火炎形状のプロットと実験で得られた火炎形状のプロットの比較を示す。理論モデルと実際の火炎を比較すると、各プロット点における皺深さは理論とは大きく離れている事がわかる。このことより、今回考案したモデルでは実際の火炎形状にはならないことが分かった。今回考案したモデルでは実際の火炎形状にはならず、修正項をモデルに加えることで実際の火炎形状に近づいていくと考えられる。

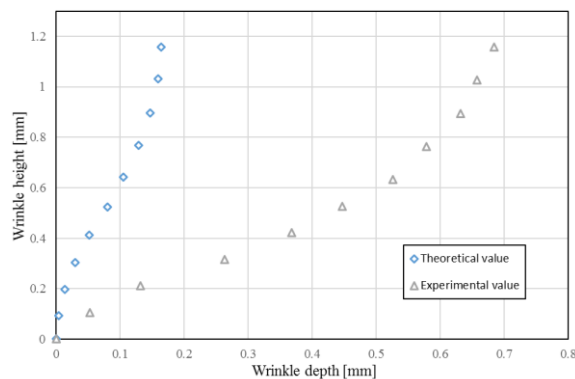


Fig. 5 Comparison between theoretical value and experimental value

5. 結言

- ・今回提案した理論モデルでは、実際の火炎形状にはならない事が解った。
- ・今回提案したモデルに、補正項を追加することで実際の火炎に近づいたモデルになると考えられる。

参考文献

[1] 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
 [2] 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)
 [3] C. M. Vagelopoulos and F. N. Egolfopoulos, *Twenty-Fifth Symposium (International) on Combustion*, The Combustion Institute, pp. 1346, 1994
 [4] A. Kantrowitz and R. Trimpi, *Journal of Aeronautical Sciences* Vol.17, No.5, pp. 311-314, 1950