A132 微細スケールの強い乱れを伴う予混合火炎のトムグラフィー観察

Tomography Diagnostics of Turbulent Premixed Flame with Fine and Intense Turbulence

○服部 泰典(名工大院) 石野 洋二郎(名工大) 大岩 紀生(名工大)

Yasunori HATTORI, Yojiro ISHINO and Norio OHIWA

Dept. of Mech. Nagoya Inst. of Tech., Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555

It is well-known that turbulent wake flow behind the grating which consists of fine cylindrical rods has many eddies with a uniform scale particular to the rod diameter, and exhibits a dominant peak in the frequency spectrum of the velocity fluctuation. In this investigation the behavior of the turbulent premixed flame propagating in such a intense turbulent wake flow without mean, which is produced by a high speed motion of the grating of about 10m/s in stagnant premixed gas, are optically examined using tomography technique. It is first shown that, in the case without motion of the grating, a smooth and spherically-propagating laminar flame is observed in the stagnant mixture. In the intense turbulent wake flow without combustion, many eddies with a uniform scale are clearly distinguished, and a corrugated flame front propagating radially is clearly observed in the case with combustion.

Keywords: Combustion, Turbulent Premixed Flame, Flame Structure, Tomography Diagnostics, Fine and Intense Turbulence

1 緒言

予混合気の流れが乱流である場合に生じる火炎帯は、一般に乱流予混合火炎と呼ばれる。この乱流予混合火炎について、乱れスケールおよび乱れ強度をパラメータとした火炎帯構造のモデルが提案されている。⁽¹⁻³⁾

本研究では、乱れスケールと乱れ強度の2つに注目して、乱流予混合火炎の伝播構造をトムグラフィー法(断層写真撮影法)により可視化観察することを目的とした。

一方、格子円柱群の後流に生じるカルマン渦のスケールはほぼ単一で、格子直径と等しいと考えられることから、本実験では、火炎帯厚さと同オーダーである直径 0.3[mm]の格子を用いた。

2 実験装置

実験装置の系統図を Fig.1 に示す。また、燃烧器の外観図を Fig.2 に示す。燃烧器の操作手順は以下のとおりである。筒部を上方にセットし押さえておく。モータにより円盤を回転させる。筒部が円盤上の O-リングに接し、その摩擦力によって筒部、格子、および点火プラグが下方に移動し、円柱格子背後に乱流場を形成する。その乱れ領域内に点火プラグによって火花を飛ばすことで、乱流場に予混合火炎を形成する。流体に乱れを生じさせるための格子の形状は、一辺が 6[mm]の正方形断面に直径 0.3[mm]の

針金を 0.6[mm]間隔で 6 本とおしたものとした。

本研究では可視化法として、トムグラフィー法を用いた。また、光源としてキセノンフラッシュを用い、その発光半値幅は 11.4[μs]である。撮影装置としては 35mm 一眼レフカメラ(Nikon 製, FE2)を用い、シート光に対して垂直な軸上に設置した。また、レンズはニコン製 AF MICRO NIKKOR 105mm F2.8 を、フィルムは FUJI NEOPAN 400 PRESTO(8 倍増感)を使用した。

Fig.1 Experimental apparatus for tomography diagnostics

Fig.2 Appearance of combustion system

3 結果および考察

スパークプラグによって予混合気点火し、格子円柱によって生じた乱れによる火炎面形状の変化を観察した。設定条件は空気流量が 1.19[l/min], 燃料流量が 0.05[l/min], 当量比が 1.0, 格子位置での予混合気の一様流速は 0.57[m/s]である。Fig.3 および Fig.4 に瞬間トモグラフィ写真を示す。格子移動速度は、Fig.3 が $U_g=0$ [m/s](格子が静止している状態), Fig.4 が $U_g=10$ [m/s]程度の写真をまとめたもので、各図とも遅延時間は、(1) $t_d=100[\mu s]$, (2) $t_d=200[\mu s]$, (3) $t_d=300[\mu s]$, (4) $t_d=400[\mu s]$, (5) $t_d=500[\mu s]$ 程度の場合である。ただし各図は、同一の燃焼過程をとらえた連続写真ではなく、ランダムに撮影された写真を比較的諸条件の近いものをまとめたものである。

3.1 格子が静止している場合

Fig.3 は、格子が静止した場合の火炎伝播の様子である。白い部分が未燃予混合気を、その中の黒い部分は既燃ガスを表している。この場合、予混合気には乱れがほとんど与えられず、既燃ガスの領域は滑らかな最外周を保ったまま、スパークによる点火位置を中心に広がっていく様子が観察される。ここで遅延時間 $t_d=102[\mu s]$ から $t_d=498[\mu s]$ までの最外周境界の半径を、最小二乗法により時間に対して線形近似すると、その拡大速度は 1.73[m/s]となり、体積膨張率を 5 と考慮すると燃焼速度が 0.35[m/s]と算出される。この値は、プロパン-空気(当量比 1.0)の層流燃焼速度(0.34[m/s]⁽⁴⁾)とほぼ同じであることから、この火炎は層流火炎であると考えられる。

3.2 格子が移動している場合

Fig.4 は、格子移動速度が 10[m/s]程度の可視化写真をまとめたものである。円柱格子背後にいくつかの千鳥状に配置された小さな黒い領域がいくつか存在する。これらは、高速で移動する円柱群によって形成されたカルマン渦の中心付近が可視化されたものと思われる。この領域を渦と考え、渦の直径は、0.2-0.3[mm]と計測でき、円柱格子直径とはほぼ等しくまた均一なスケールであると言える。この場合も Fig.3 と同様に、既燃ガス領域の面積は

遅延時間の延長に伴って大きくなっている。また、その最外周はカルマン渦によって生成された渦とほぼ同じスケールで乱されている。さらに Fig.4(5)の矢印近傍では、未燃予混合気が渦によって既燃ガス領域に巻き込まれている様子が観察された。

3.3 可視化画像に対する検討

ここで、本研究で用いた可視化法は、燃焼によって生じる密度差を、予混合気中に混入した煙によって可視化する方法であり、この高温ガス領域の境界に火炎帯が存在するかどうかという議論が必要となる。つまり火炎形成領域に外部の空気が混入した場合や、いったん着火した火炎が消炎を起こし反応を伴わない高温ガスの塊となった場合も、これらの写真と同様な像が得られることになる。外部空気の混入については、得られた画像の既燃部分が閉じていることから、その影響は少ないと考えることができる。火炎帯の存在の有無については、各図ともそれぞれ遅延時間の延長に伴って、暗い領域が大きくなっていることから、この境界に反応帯が存在し、火炎が伝播しているものと示唆される。よって、ここではこの境界において燃焼反応が起こっているものとして議論を進めた。

4 結言

得られた結果をまとめると、次のようになる。(1)本研究で実験対象とした、単一スケールの渦のみを持つ強い乱れ場を形成することができた。(2)(1)のような乱れ場で火炎帯が乱された様子を、瞬間断層写真としてとらえることができた。

参考文献

- (1) Ballal, D.R. and Lefebvre, A.H., Proc.R.Soc.Lond., A.344, (1975), pp.217-234.
- (2) Ballal, D.R. and Lefebvre, A.H., Acta Astronautica, vol.1, (1974), pp.471-483.
- (3) Lefebvre, A.H. and Reid, R., Combustion and Flame, 10(4), (1966), pp.355-366.
- (4) 正田・秋田：燃焼概論，コロナ社，p.98.

Fig.3 Tomography photographs of laminar premixed flame ($U_g=0$ [m/s])

Fig.4 Tomography photographs of turbulent premixed flame ($U_g \approx 10$ [m/s])