シャドウイメージングを用いたエマルジョン燃料噴霧火炎における二次微粒化現象の可視化

Visualization of secondary atomization in emulsified fuel spray flame by magnified shadow imaging

○正 渡部 弘達 (東工大院) 東海林 豊 (東工大院)
 山垣 拓馬 (大阪大院) 正 林 潤 (大阪大院)
 正 赤松 史光 (大阪大院) 正 岡崎 健 (東工大院)

Hirotatsu Watanabe, Yutaka Shoji, Takuma Yamagaki, Jun Hayashi, Fumiteru Akamatsu and Ken Okazaki
 Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama Meguro-ku, Tokyo 152-8550
 Osaka University, 2-1 Yamadaoka Suita-shi, Osaka 565-0871

Secondary atomization of emulsified fuel in spray flame was visualized by magnified shadow imaging. An emulsified fuel spray was injected into a flame stabilized in a laminar counterflow field. Direct photography of the flame using a color high-speed video camera and magnified shadow imaging of spray droplets using a monochrome high-speed video camera were used. As a result, "bright spots" were observed in spray flame of the emulsified fuel, whereas it was rarely observed in spray flame of *n*-dodecane. Observations indicated that the droplet flame rapidly expanded. This expansion was linked to secondary atomization such as puffing and micro-explosion, which were visualized by magnified shadow imaging.

Key Words: Emulsified fuel, Secondary atomization, Flame, Micro-explosion, Puffing, High-speed photography

1. はじめに

噴霧燃焼における微粒化特性の大幅向上は重要である。水エマルジョン燃料滴を加熱すると、Fig. 1 に示すような、マイクロ爆発が発生し、微粒化特性が大幅に向上することが知られている。仮にすべての噴霧滴が、噴霧後、すみやかにマイクロ爆発を起こしたならば、ガス燃焼並みのクリーンな噴霧燃焼が実現できる可能性がある。既往の研究として、液滴径が 1 mm 程度の単一液滴を使用した実験は数多く行われているが⁽¹⁾、得られた知見が粒径 50 μm 程度の噴霧滴に適用できるかどうか検討の余地があった。近年、噴霧を対象とした二次微粒化の研究が行われているが、火炎内におけるエマルジョン燃料噴霧滴の挙動は未解明な点が多い。本研究では、シャドウイメージングによりエマルジョン燃料噴霧火炎における二次微粒化現象を可視化し、噴霧滴の挙動を明らかにする。

Fig. 1 The series of photographs of an emulsified fuel droplet in an electric furnace (1000 fps)⁽¹⁾

2. 実験

水エマルジョン燃料(250 ml)は、*n*-ドデカンに水を 10 vol%を界面活性剤のソルビタンモノオレート (エマゾール O-10V, HLB 値 = 4.3, 花王)を 0.75 vol%加え、ホモジナイザーで 20 分間かく拌混合して調整した。

Fig. 1 に使用した観察システムの概要と対向流バーナを示す。噴霧滴の挙動を観察する場合は、バックライトにより形成される噴霧の影をモノクロハイスピードカメラで捉えるシャドウイメージングを用いた。この場合、モノクロハイスピードカメラを使用し、フレームレートは 180,064

fps、有効画素数は 128×128、解像度は 12.0 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ とした。噴霧火炎の観察を行う場合は、カラーハイスピードカメラを使用し、フレームレートは 7,000 fps、有効画素数は 256×256、解像度は 20.0 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ とした。対向流バーナの噴霧器には、超音波噴霧ノズルを使用した。実験の際は、上下ポートからの気相流速を 0.91 ms^{-1} と一定とし、伸長率 60.4 s^{-1} の対向流場を形成した。予混合噴霧中の液体燃料の当量比を、エマルジョン燃料の場合は 0.032、*n*-ドデカンの場合は 0.028 と、希薄条件に設定した。下側ポートにより当量比 0.6 の CH_4/air 予混合気を供給し、ガス火炎を安定化させた後、上側ポートから予混合噴霧を供給する。ガス火炎を形成することで、高温場突入する噴霧を模擬しており、また、当量比 0.03 程度の噴霧火炎を保持することが可能になる。本研究では、噴霧滴の挙動を観察するため、対向流バーナの詳細は参考文献⁽²⁾を参考されたい。エマルジョン燃料噴霧後の油中水滴径の平均径は、5.1 μm であった。

Fig. 2 Setup for visualizing droplets in spray flame

Fig. 3 に対向流場に形成される噴霧火炎とガス火炎の位置を示す。噴霧滴の挙動を観察する場合は、中心軸上に 3 mm 間隔で撮影し、マイクロ爆発およびパフリング (蒸気吹き出し) を観察した。

Fig. 3 Schematic diagram of flame and measuring points

3. 結果と考察

Fig. 4 に、*n*-ドデカン噴霧火炎とエマルジョン燃料噴霧火炎の高速度写真を示す。*n*-ドデカンの場合、上流部で、単滴もしくは油滴群の燃焼が起こっており、青炎が観察された。その後、輝炎が形成されている。一方、エマルジョン燃料の噴霧火炎では、これらの火炎に加えて、周囲よりも著しく輝度が大きいスポットが観察された。

Fig. 4 Instantaneous photographs of spray flame (7000 fps)

Fig. 5 に、画像処理により噴霧滴の火炎をより強調した火炎画像を示す。前述の通り、エマルジョン噴霧火炎では、さまざまな箇所で Bright spots が観察されており、高速度写真においては、Bright spot が形成され、消滅する現象が多数観察された。

Fig. 6 に $z = 9$ mm の位置において撮影されたエマルジョン噴霧滴の高速度写真を示す。30 μ m 程度の噴霧滴が、パフリングを繰り返し、液滴が大きく変形している。その

後、液滴が4つに分裂しており、マイクロ爆発が発生している。19/180064 s ($\approx 106 \mu$ s) という短い時間スケールにおいて、複数の二次微粒化が発生し、二次微粒化により、燃料蒸気の拡散が促進され、その結果、エマルジョン噴霧火炎において、Fig. 3(b), 4(b) で見られた Bright spots が形成されたと考えられる。

Fig. 5 Photographs of spray flame after image processing

Fig. 6 The series of photograph of spray droplet ($z = 9$ mm)

4. まとめ

エマルジョン燃料噴霧火炎において、*n*-ドデカン噴霧火炎では見られない Bright spot が多数観察された。シャドウイメージングにより噴霧滴の挙動を観察すると、エマルジョン燃料噴霧では、短い時間スケールにおいて複数の二次微粒化が発生しており、燃料蒸気の拡散が促進されることが示された。

参考文献

- (1) Watanabe, H. *et al.*, Int. J. Heat Mass Transfer, **52** (2009), 3676
- (2) Hayashi, J. *et al.*, Combust. Flame, **158** (2011), 2559