

エマルジョン燃料液滴の二次微粒化における液滴崩壊過程

日大生産工(院) ○張 昊陽

日大生産工 山崎 博司 今村 幸 高橋 栄一 秋濱 一弘

1. まえがき

エネルギーの大量消費により化石燃料の枯渇や、燃焼過程で生じる二酸化炭素(CO_2)、未燃炭化水素、窒素酸化物(NO_x)などが一因となる地球温暖化や大気汚染といった環境問題が深刻化している。それらの対策として再生可能エネルギーの一つであるバイオディーゼル燃料(BDF)が注目されているが、中には含水性のものもある。水を混入させたエマルジョン燃料の噴霧燃焼においては二次微粒化現象が観察されることから、BDF燃料の燃焼過程においても二次微粒化の発生が想定される。二次微粒化は、噴霧燃焼において燃焼効率の向上や未燃炭化水素および窒素酸化物の排出抑制に効果があるため、燃焼状態の改善および環境適合性の向上が同時に期待できることから二次微粒化についての検討¹⁾がなされている。また、混合燃料に関する二次微粒化発生に関しては理論的な検討²⁾もなされているものの、エマルジョン燃料の二次微粒化における液滴の崩壊過程については十分な検討がなされているとは言い難い。本研究はBDFエマルジョンの検討に先立ち、二次微粒化過程の詳細な検討を目的としたものである。ここではベース燃料としてn-ヘキサデカンとし水を添加した水中油滴型エマルジョン燃料の燃焼過程について、蒸気泡発生位置および成長速度の液滴崩壊過程への影響について検討した。

2. 実験装置および方法

燃焼実験装置の概略図をFig.1に示す。実験装置は測定部および支持部から構成され、支持部には黄銅製円盤の中心位置に直径150 μm の石英懸垂線を垂直に取り付けた。

実験装置は測定部および支持部から構成され、支持部には黄銅製円盤の中心位置に直径150 μm の石英懸垂線を垂直に取り付けた。この石英線の先端部に、マイクロシリンジを用いて初期液滴直径 $d_0=1.4\text{mm}$ の燃料液滴を付着させた。なお、液滴を付着させやすくするため懸垂

線の先端を球形に加工した。測定には、高速度ビデオカメラと光源を用いた。高速度ビデオカメラは、Vision Research社製Phantom v2512(⑤-1)とVision Research社製Phantom Miro310(⑤-2)を使用し、2台のカメラが90°になるように配置し、2方向撮影を行った。また実験時の撮影速度は120000fpsとし、Phantom v2512から撮影されたものをxz軸、Phantom Miro310から撮影されたものをyz軸とする。光源は高速度ビデオカメラの対面に設置し、液滴内の沸騰挙動および液滴の分裂、崩壊過程を観察、記録した。点火系には小ボタン炎を使用した。30個以上の液滴について点火から燃焼終了時まで液滴内で生じる現象を観察した。併せてパフイングについても同時撮影を行った。燃焼実験は通常重力下、室温、大気圧、静止空気中で行った。

乳化剤である界面活性剤には、ポリオキシエチレンアルキルエーテル(エマルゲンLS-110、花王(株)、HLB=13.4、以後Surfactant A)を使用した。界面活性剤の含有率(体積割合)は $C_s=0.03$ と一定として、純水、ベース燃料を混合させ水中油滴型エマルジョン燃料の調製を行った。ベース燃料は、n-ヘキサデカン(試薬)として、純水の含有率は $C_w=0.20$ と一定とした。ベース燃料の体積割合は $C_f=0.77$ と一定とした。これらの体積割合で混合し、マグネチックスターラで攪拌し、エマルジョン燃料を作成した。実験に際しては、減圧脱気して実験に供した。

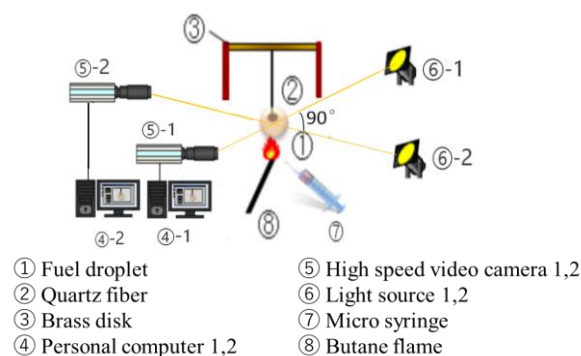


Fig.1 Schematics of experimental apparatus

Disintegration Process in Secondary Atomization of a Burning Emulsion Droplet

HAOYANG ZHANG, Hiroshi YAMASAKI, Osamu IMAMURA,
Eiichi TAKAHASHI, Kazuhiro AKIHAMA

3. 実験結果および検討

本研究では、直交二方向から実験を行うことで、エマルジョン燃料液滴燃焼時の二次微粒化における液滴飛散形状を観測することができた。

Fig. 2(a)に Phantom v2512 (xz 軸), (b)に Phantom Miro310 (yz 軸)で撮影されたマイクロ爆発時の飛散経過を表している。それぞれの画像は液滴の崩壊開始直後、液滴崩壊の中途段階、および液滴飛散完了時を示している。マイクロ爆発発生初期 (0.01ms)では Phantom v2512 (xz 軸)から撮影された液滴は左方向に飛散していることが分かる。Phantom Miro310 (yz 軸)から撮影された液滴は右方向に飛散していることが分かる。つまり、液滴の飛散が発生した時点は xz 軸方向から見たとき左手前方向に飛散している。また飛散距離は xz 軸方向に比べて yz 軸方向では小さいことから前方方向に角度が推測できる。

二方向同時撮影の結果より、二次微粒化での液滴崩壊・飛散過程の多くが非対称性を有することが明らかとなった。それらの支配因子として蒸気泡の初期発生位置があることから、その特定を試みた。

Fig. 3 に液滴内部の初期気泡発生位置について示す。縦軸を縦方向における気泡発生位置を縦方向における初期気泡発生時の母液滴半径で除した値、横軸を横方向における気泡

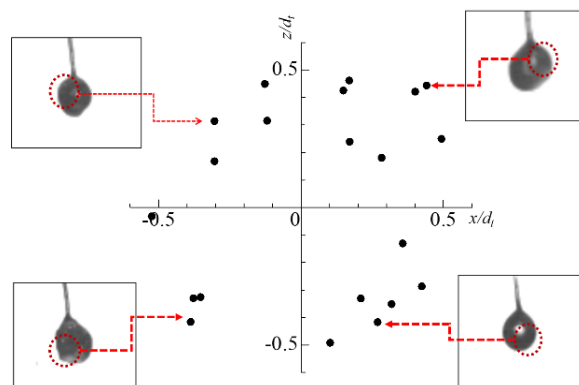


Fig.3 Initial bubble position inside a droplet

発生位置を横方向における初期気泡発生時の母液滴半径で除した値で規格化し、実験で得られた画像データの中で初期気泡が確認できたものの発生位置をまとめたものである。今回の実験では、初期気泡発生位置にはばらつきがあることが確認できた。これらより、マイクロ爆発では母液滴内部での初期気泡発生位置は母液滴中心ではなく、中心から離れた位置で発生する確率が高いと考えられる。既往の研究結果より、エマルジョン液滴内部での水分凝集過程が二次微粒化発生に影響を及ぼすことが指摘されている。ここでの結果から初期泡発生位置が非対称的な液滴飛散に影響を及ぼすことから、点火方法もまた初期泡発生位置に影響を及ぼす可能性があるかと推察される。

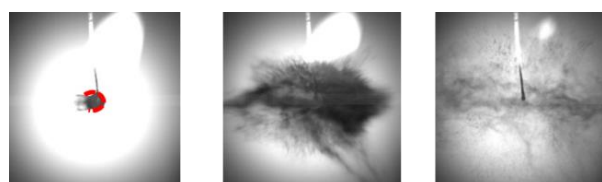
4. まとめ

水中油滴型エマルジョン燃料液滴の二次微粒化過程を二方向同時高速度撮影によって検討を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) エマルジョン燃料液滴の二次微粒化過程での液滴崩壊現象は非対称的であることが確認された。一方で、マイクロ爆発に分類される崩壊過程はより球対称に近く、液膜が存在する崩壊では非対称性が強い。
- (2) 初期気泡発生位置にはばらつきがあることが確認できた。しかし、初期気泡発生位置がどのように決定するかについて明らかにならなかった。

参考文献

- 1) Watanabe H, Harada T, Hoshino K, Matsushita Y, Aoki H and Miura T, JCEJ 41:1110-1118 (2008)
- 2) Mikami M. et. al, Proc. Comb. Inst. 27:1993-1941 (1998)



(a) Micro-explosion of a n-Hexadecane/water emulsion droplet by Phantom v2512



(b) Micro-explosion of a n-Hexadecane/water emulsion droplet by Phantom Miro310

Fig.2 Examples of secondary atomization process of a burning emulsion droplet using simultaneous shooting