

エマルジョン燃料の液滴燃焼過程における二次微粒化発生

- 二次微粒化に対する蒸気泡成長の影響 -

日大生産工(院) ○池田 隼人

日大生産工 今村 宰 秋濱 一弘 山崎 博司

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(CO₂)、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いえない。本研究は直鎖炭化水素である*n*-hexadecane およびFAMEの一種でありBDFの主成分であるオレイン酸メチルエステル(以後OMEと略記)に水を添加しエマルジョン燃料の燃焼過程について、液滴崩壊過程の膨張速度についての検討を目的としたものである。

2 実験方法および測定方法

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 μ m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 μ m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 $d_0=1.4$ 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 Miro310を使用し、実験時の撮影速度は120000fpsとした。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。点火系には小ブタン炎を使用した。30個以上の液滴について点火

から燃焼終了時までに液滴内で生じる現象を観察した。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CS=0.03と一定として、純水、ベース燃料を混合させエマルジョン燃料の調製を行った。ベース燃料は、FAMEとしてOMEおよび*n*-hexadecaneを使用した。また、純水の含有率はCW=0.20と一定とした。ベース燃料の体積割合はCOME=0.77およびC*n*-hexadecane=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撹拌し、エマルジョン燃料を作成した。

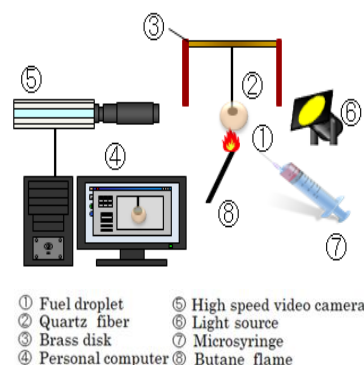


Fig.1 Schematics of experimental apparatus

3 実験結果および検討

Fig.2にOME/水エマルジョン燃料液滴の燃焼過程における発生した蒸気泡の半径の経時変化を示す。縦軸は気泡の平均半径、横軸は蒸気泡の発生を確認した点を起点とした時間である。一重のプロットは気泡が発生してから液滴表面が崩壊するまでの蒸気泡半径を示しており、二重のプロットは液滴表面が崩壊した後の液滴位置から想定される半径であり、母液滴の崩壊すなわち二次微粒化過程における半径を示している。Fig.3よりOME/水エマルジョン燃料液滴においてもマイクロ爆発、パフィンングに関わらず、時間経過に伴い蒸気泡は成長している。マイクロ爆発となった液滴では蒸気泡半径は時間に比例して大きくなっているのに対し、パフィンングとなった液滴では気泡の発生から0.0167ms後から半径の増加が緩やかになっていることがわかる。

Occurrences of Secondary Atomization during Combustion Processes of an Emulsion Fuel Droplet
- Effect of Vapor Bubble Growth on Secondary Atomization -

Hayato IKEDA, Osamu IMAMURA, Kazuhiro AKIHAMA and Hiroshi YAMASAKI

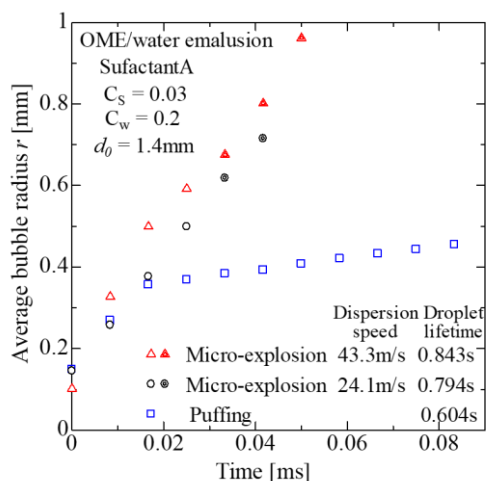


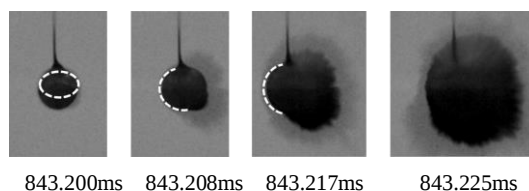
Fig.2 Time histories of radial position of a burning

OME/water emulsion droplet

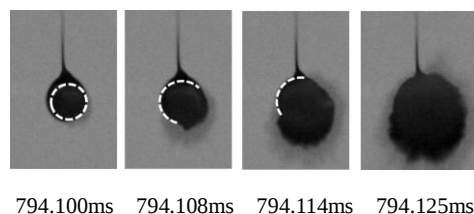
Fig.3にOME/水エマルジョン燃料液滴の燃焼過程における液滴内部での気泡成長過程の可視化画像を示す。(a)にはマイクロ爆発となり飛散速度が大きい液滴、(b)にはマイクロ爆発となり飛散速度が小さい液滴の可視化画像である。画像下に示した時間は点火からの経過時間を示している。また、マイクロ爆発発生時の画像について液滴の崩壊発生が開始した時点から0.025ms後の画像を示している。ここで図中に示した破線は(a) (b)の条件において計測された気泡半径の円周部である。

Fig.4にn-hexadecane /水エマルジョン燃料液滴の燃焼過程における液滴内部での気泡半径の経時変化を示す。縦軸は気泡の平均半径、横軸は液滴内部での気泡の発生を確認した点を起点とした時間である。一重プロット、二重のプロットはFig.2と同様である。図で観測対象としたエマルジョン液滴は、OMEエマルジョンに比べて液滴寿命が長い液滴を用いている。その液滴のマイクロ爆発での液滴崩壊過程で、OMEエマルジョンの場合と同様に飛散速度が大きいものと小さいものがあることがわかる。マイクロ爆発となった液滴もパフリングとなった液滴も時間経過に伴い気泡半径が大きくなっていることが分かる。しかしながら、マイクロ爆発となった液滴では気泡半径は時間に比例して大きくなっているのに対し、パフリングとなった液滴では気泡の発生から0.0250ms後から気泡の成長が緩やかになっていることが分かる。

以上の結果から、マイクロ爆発およびパフリングに関わらず蒸気泡の液滴内部での成長速度は大きく変わらないこと、および液滴崩壊後の飛散速度は、液滴内部での成長速度が維持される場合、遅くなる場合があることが明らかとなった。そのうえで、飛散速度が低下したものはパフリングになる場合とマイクロ爆発に至る場合がある。これらの違いについては、気泡発生位置が関係していることが予想される。既報において、初期蒸気泡発生が内部のものはマイクロ爆発に至ることが示されていることから、液滴中心でない位置の蒸気泡発生で初期成長速度が小さい場合においてもマイクロ爆発、パフリングに至る場合が観測されている。マイクロ爆発、パフリングが発生する要因について発生位置、成長速度が重要な要因と考えられるものの、今後より詳細な検討が必要であるといえる。



(a) OME/water emulsion droplet of high dispersion speed



(b) OME/water emulsion droplet of low dispersion

Fig.3 Disintegration process of a burning

OME/water emulsion droplet

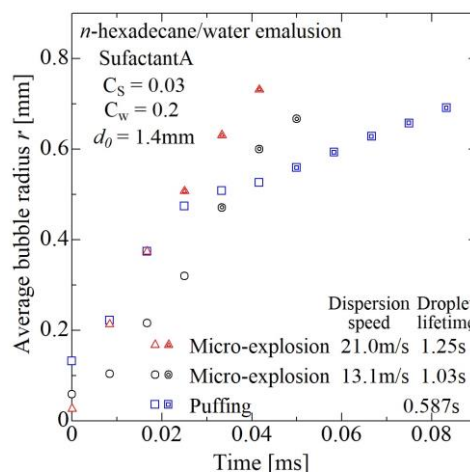


Fig.4 Time histories of radial position of a burning

n-hexadecane/water emulsion droplet

5 まとめ

エマルジョン燃料の液滴燃焼過程における二次微粒化発生について、マイクロ爆発とパフリングでは蒸気泡成長による液滴膨張速度に違いがあるという知見を得た。

「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)