

脂肪酸メチルエステル乳化燃料液滴の二次微粒化発生特性に関する研究

日大生産工(院) ○池谷 洋平

日大生産工 今村 幸 秋濱 一弘 山崎 博司

1 緒言

近年の発展途上国の経済成長により、エネルギー需要、消費が急増し、それに伴い、一次エネルギー源の大部分を占める化石燃料も大量に消費されている。化石燃料の燃焼により、すすの排出や、二酸化炭素(CO_2)、窒素酸化物(NO_x)などの温室効果ガスが排出され、大気汚染や地球温暖化などの環境問題の原因の一つである。これら環境問題を低減または改善するために、化石燃料の代替エネルギーを実用化させることが急務である。

本研究では再生可能エネルギーであるバイオディーゼル燃料(BDF)に着目した¹⁾。その中でも、植物油をエステル化させた脂肪酸メチルエステル(以後 FAME と略記)は発熱量が高く、供給量も比較的安定であることから、BDFとしての利用が見込まれている²⁾。また、FAMEに水を混入させ、エマルジョン化(乳化)させることにより、 NO_x の排出低減効果も期待できる³⁾。本報告は、植物油由来の BDF である FAME_p、または BDF の主成分の FAME である、オレイン酸メチルエステル(以後 OME)を主成分とする試薬を用い、脂肪酸メチルエステル乳化燃料液滴の二次微粒化特性について検討した。

2 実験装置および方法

燃焼実験を行う際に使用する装置の概略図を Fig.1 に示す。燃焼実験装置は測定部および支持部から構成される。測定部には直径 100 mm、厚さ 10 mm の黄銅製円盤の中心位置に垂直に直径 150 μm の石英懸垂線が取り付けられている。石英線の先端部に初期液滴直径 $d_0 = 1.3 \text{ mm}$ 、または 1.5 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。可視化系は、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、フロン社製 FASTCAM-512 PCI を使用し、実験時の撮影速度は 500 fps、シャッター速度は 1/10000 s とした。光源は高速度ビデオカメラの対面に設置し、液滴内の沸騰挙動及び液滴の分裂、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、液滴を瞬時に点火後退避させた。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。

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、ベース燃料の混合割合を変化させエマルジョン燃料の調製を行った。純水の含有率は $C_w = 0.1, 0.2, 0.3$ と変化させ、それに伴い、ベース燃料の割合を $C_f = 0.87, 0.77, 0.67$ と変化させた。これらを所定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。燃焼実験は室温、大気圧下、静止空気中で行った。

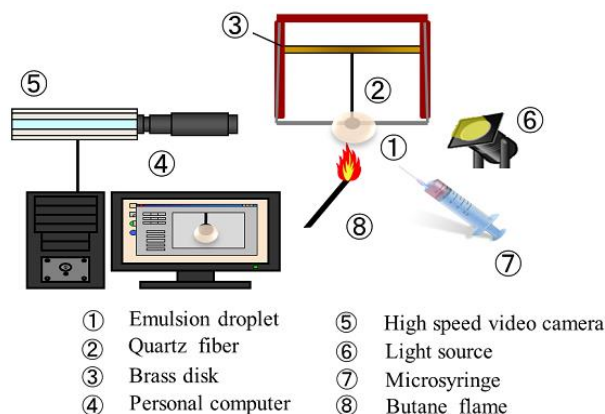


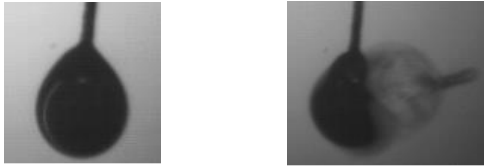
Fig.1 Schematics of experimental

Study on secondary atomization characteristics of a fatty acid methyl ester emulsion droplet

Yohei IKEGAYA, Osamu IMAMURA, Kazuhiro AKIHAMA, Hiroshi YAMASAKI

3 実験結果および考察

Fig.2 に含水率 $C_w = 0.30$ における OME エマルジョン単一液滴の二次微粒化過程の写真を示す。(a)は点火後の燃焼初期の写真であり、油相内に添加水分が凝集していることがわかる。(b)はパフイングが発生直後であり、パフイング発生に伴い、蒸気が激しく噴出していることがわかる。(c)はマイクロ爆発発生瞬間である。マイクロ爆発の発生に伴い、液滴が微細化されていることがわかる。



(a) Water coagulation in a burning emulsion droplet (b) Instant of puffing
(c) Instant of micro-explosion

Fig.2 Hi-speed video images of prior to and instant of secondary atomization of a burning OME emulsion droplet

Fig.3 にベース燃料純粋液滴の燃焼過程における液滴直径の変化に関する影響を示す。縦軸は液滴直径 d の 2 乗値、横軸は点火を起点とした時間 t_b であり、両者とも初期液滴直径 d_0 の 2 乗値で規格化されている。各ベース燃料および、液滴直径によらず傾きはほぼ同じであり、 d^2 則が成り立っていることがわかる。

Fig.4 に OME エマルジョン燃料液滴の燃焼過程における液滴直径の変化に関する含水率の影響を示す。各含水率における傾きはほぼ同じであり、 d^2 則が成り立っていることがわかる。

Fig.5 にエマルジョン化させていない OME を含む OME エマルジョン燃料の液滴燃焼過程における液滴直径の変化に関する含水率の影響を示す。マイクロ爆発発生時までの傾きはほぼ同じであり、 d^2 則が成り立っていることがわかる。Fig.3, 4 および 5 より、OME エマルジョンのとき、エマルジョン化の有無や含水率変化は、燃焼過程への影響が小さいと考えられる。

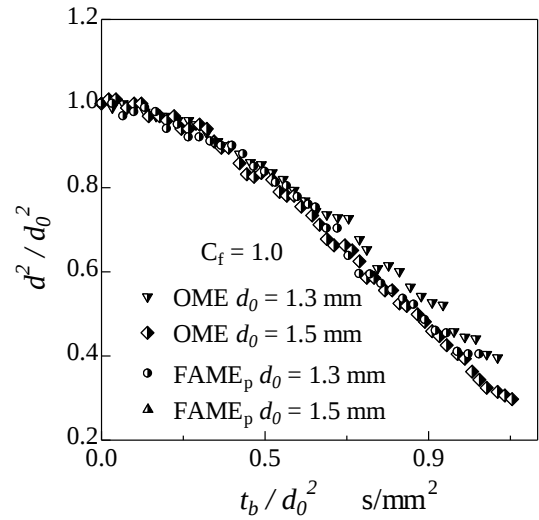


Fig.3 Time histories of squared droplet diameter of a burning base fuel droplet

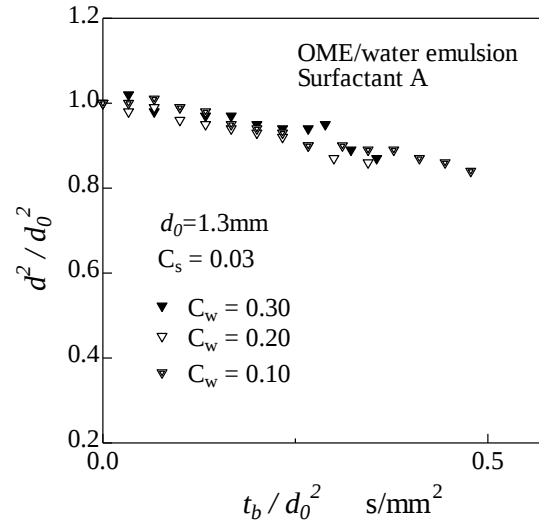


Fig.4 Time histories of squared droplet diameter of a burning OME emulsion droplet of $d_0 = 1.3\text{mm}$

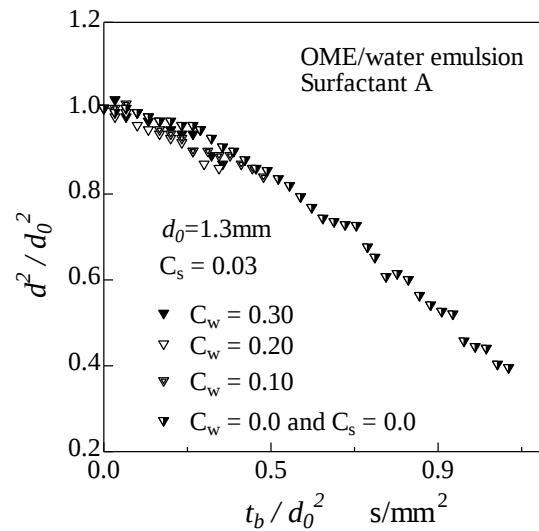


Fig.5 Time histories of squared droplet diameter of a burning OME or OME emulsion droplet of $d_0 = 1.3\text{mm}$

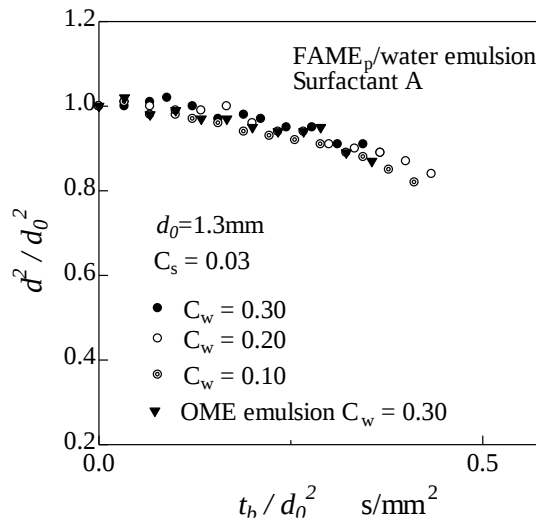


Fig.6 Time histories of squared droplet diameter of a burning FAME_p emulsion with OME emulsion of $C_w = 0.30$ droplet of $d_0 = 1.3\text{mm}$

Fig.6 に $C_w = 0.30$ の OME エマルジョンを含む、FAME_p エマルジョン燃料の液滴燃焼過程における液滴直径の変化に対する含水率の影響を示す。こちらも傾きはほぼ同じであり、 d^2 則が成り立っていることがわかる。Fig.4 および 6 より、ベース燃料変化や、FAME_p エマルジョンの含水率変化は、燃焼過程には影響が小さいことがわかる。また、この結果より、燃焼初期に、添加水分が液滴内に凝集し、その後の燃焼過程には大きく影響していないものと考えられる。

Fig.7 に含水率 $C_w = 0.30$ における液滴寿命分布に関するベース燃料の影響を示す。液滴寿命は、両者は類似した分布を示している。Fig.8 に初期液滴直径 $d_0 = 1.3\text{mm}$ 時の OME エマルジョン燃料における液滴寿命分布に関する含水率の影響を示す。Fig. 7 および 8 より、含水率 $C_w = 0.30$ および 0.20 における液滴寿命分布はほぼ同じであると考えられる。OME エマルジョンに対する含水率 $C_w = 0.10$ が他の含水率に比べ液滴寿命が長い理由として、乳化層の分離など液滴内の移動現象が影響していると考えられる。

Fig.9 に初期液滴直径 $d_0 = 1.3\text{mm}$ における FAME_p および OME エマルジョンに対するマイクロ爆発割合と含水率の関係を示す。ここでマイクロ爆発発生割合は、測定液滴数に対するマイクロ爆発発生数として定義した。縦軸にマイクロ爆発発生割合、横軸は含水率を示す。各

含水率に対して FAME_p エマルジョンの方が、OME エマルジョンより高い割合を示していることがわかる。

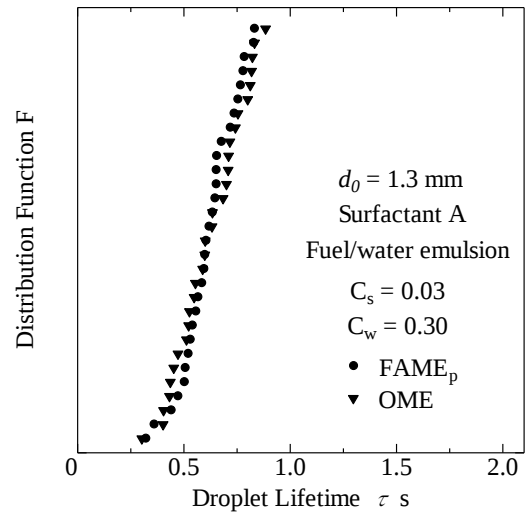


Fig.7 Distribution function of micro-explosion events in a burning FAME_p or OME emulsion droplet of $C_w = 0.30$

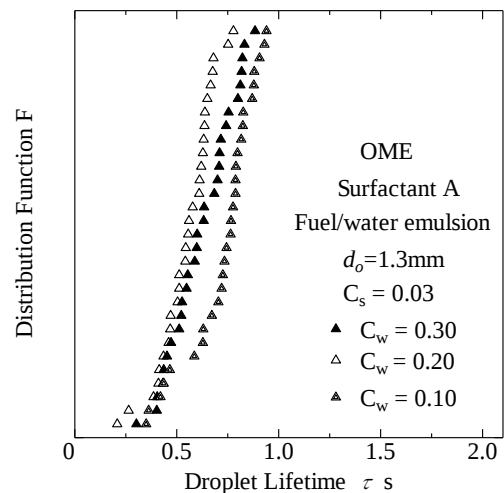


Fig.8 Distribution function of micro-explosion events in a burning OME emulsion droplet of $d_0 = 1.3\text{mm}$

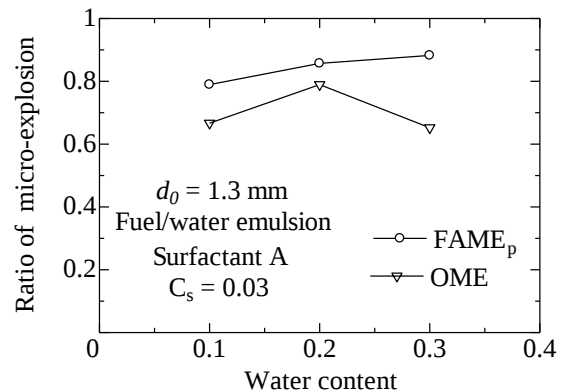


Fig.9 Relationship between ratio of micro-explosion events and water content in a burning FAME_p or OME emulsion droplet of $d_0 = 1.3\text{mm}$

Fig.10 に OME エマルジョンにおける初期液滴直径変化に対するマイクロ爆発割合と含水率の関係を示す。初期液滴直径 $d_0 = 1.5 \text{ mm}$ は含水率の増加に伴い、マイクロ爆発発生割合が下がることがわかる。

Fig.11 に OME エマルジョンの初期液滴直径変化におけるパフing発生割合と含水率の関係を示す。ここでパフing発生割合は、マイクロ爆発発生液滴数に対する、パフing発生を伴う液滴数の割合をパフing発生割合と定義した。

Fig.10 および 11 より、初期液滴直径 $d_0 = 1.3 \text{ mm}$ において、含水率 $C_w = 0.10$ から 0.20 へ変化したとき、マイクロ爆発発生割合は高くなり、マイクロ爆発発生に対するパフing発生割合は低くなっている。その後含水率 $C_w = 0.20$ から 0.30 へ変化したとき、マイクロ爆発発生割合は低くなり、マイクロ爆発発生に対するパフing発生割合は高くなっている。一方、初期液滴直径 $d_0 = 1.5 \text{ mm}$ において、含水率 $C_w = 0.10$ から 0.20 、および 0.20 から 0.30 へ変化したときマイクロ爆発発生割合は徐々に低くなり、マイクロ爆発発生に対するパフing発生割合はその含水率変化に伴い、徐々に高くなっている。このことより、OME エマルジョンにおいて、マイクロ爆発発生に対するパフing発生割合は、マイクロ爆発発生割合に影響があるものと考えられる。

4. 結言

脂肪酸メチルエステル/水エマルジョン燃料液滴の二次微粒化特性について以下の知見を得た。

- (1) 含水率 $C_w = 0.3$ 、初期液滴直径が $d_0 = 1.3 \text{ mm}$ において、FAME_p エマルジョンは OME エマルジョンと比較し、液滴寿命はほぼ同じ分布を示すが、マイクロ爆発発生割合は高い。
- (2) FAME_p エマルジョンは OME エマルジョンと比較し、マイクロ爆発発生割合は含水率および初期液滴直径によらず高くなる傾向が見られた。
- (3) OME エマルジョンにおけるマイクロ爆発の発生割合は、マイクロ爆発発生割合に対するパフingの発生割合に影響される。

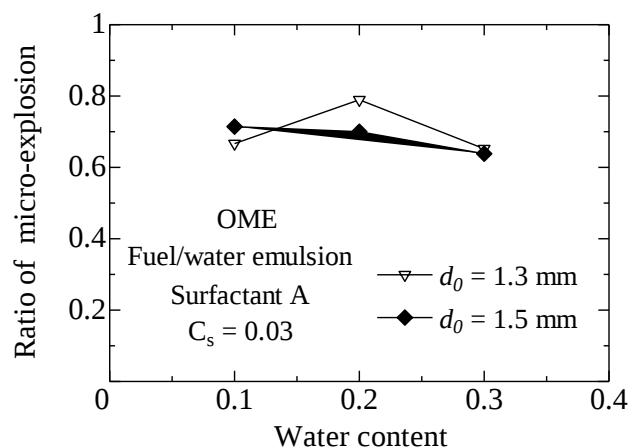


Fig.10 Relationship between ratio of micro-explosion events and water content in a burning OME emulsion droplet

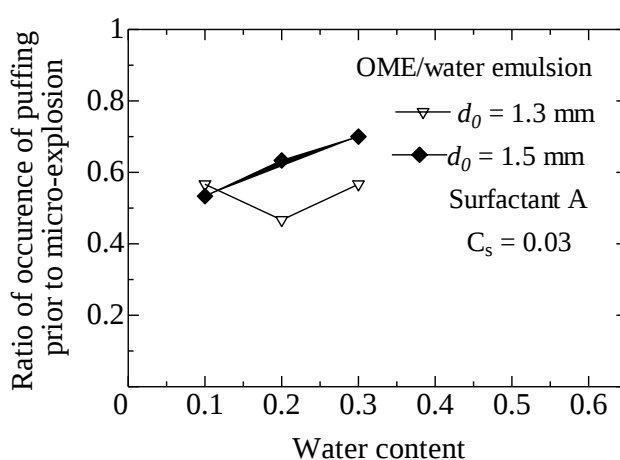


Fig.11 Relationship between ratio of puffing on micro-explosion events and water content in a burning FAME_p or OME emulsion droplet

5. 参考文献

- 1) 吉本康文, 金子和喜, 小野寺正幸, バイオディーゼル燃料の燃焼特性に及ぼす脂肪酸メチルエステル組成の影響, 日本機械学会論文集 B 編, pp.847-854(2009)
- 2) 首藤登志夫, 平賀光太郎, 石田幸大, バイオディーゼル燃料へのエタノール混合による燃焼の予混合化と未規制有害物質排出特性, 日本機械学会論文集 B 編, pp.2362-2367(2007)
- 3) Kadota, T. and Yamasaki, H., Prog. Recent advances in the combustion of water fuel emulsion. Prog Energy Combustion Science 2002;28;385-404