

脂肪酸メチルエステル燃料液滴の燃焼過程に関する研究

－液滴内部現象がマイクロ爆発に及ぼす影響－

日大生産工(院) ○加藤 千晶

日大生産工 今村 幸 秋濱 一弘 山崎 博司

1 まえがき

近年、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などの環境問題が深刻化している。このような背景より、環境負荷が小さく、再生可能なエネルギー源の開発が求められている。バイオディーゼル燃料(以後BDF)は、再生可能であり、かつカーボンニュートラルな燃料として注目されているが燃料設計の基礎研究は十分に行われておらず、特に二次微粒化について検討された例は多くない。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的であるため、内燃機関での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。現在実用化が進んでいるBDFの主成分は脂肪酸メチルエステル(FAME)であり、植物油由来のFAMEに多く含まれる成分がオレイン酸メチルエステル(以後OME)であることから、本研究ではOMEにメタノールまたはエタノールを混入させた混合燃料を供試燃料として液滴燃焼実験を行い、アルコールを添加した際の燃焼過程、特に燃焼過程における液滴内部の様相変化が二次微粒化過程に及ぼす影響を実験的に検討した。

2 実験方法および測定方法

燃焼実験は通常重力下、室温、相対湿度 50%以上、大気圧、静止空気中で行った。Fig.1 は燃焼実験装置の概略図である。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 $150\mu\text{m}$ 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 $d_0=1.4\text{mm}$ の燃料液滴を付着させた。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、フォトロン社製 FA-STCAM-521PCI を使用し、実験時の撮影速度は 500fps 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。

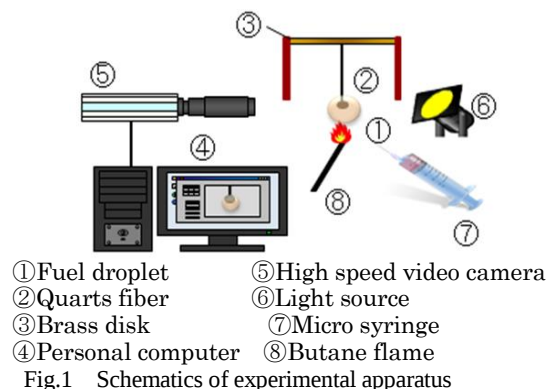


Fig.1 Schematics of experimental apparatus

液滴燃焼実験では供試燃料液滴を懸垂線に付着させてから一定時間曝露した後液滴燃焼実験を行った。ここで燃料液滴を雰囲気空気中に曝露させていた時間を t_E とし、 $t_E = 5 \sim 25[\text{s}]$ まで $5[\text{s}]$ ずつ変化させ、それぞれについて30個以上の液滴について点火から燃焼終了時まで生じる現象を観察、検討した。

3 実験試料

Fig.2(a) に OME/methanol 混合燃料の写真を示す。混合割合はベース燃料、メタノールそれぞれ $C_{\text{OME}}=0.80$, $C_{\text{m}}=0.20$ である。ベース燃料として OME (試薬)、添加成分にメタノール (試薬特級, JIS K8891) を使用し、これらの混合割合を変化させ供試試料の調製を行った。混合するメタノールの含有率 C_{m} を 0.15 , 0.20 , 0.25 , 0.30 と変化させ、それに伴いベース燃料の含有率 C_{OME} を 0.85 , 0.80 , 0.75 , 0.70 と変化させた。

OME/methanol混合燃料を用いて懸垂線上に燃料液滴を作成し大気中に曝露させたところ、混合したメタノールが大気中の水分を吸収し、時間の増加とともに燃料液滴の含水率が増加していることがわかった。そこで、燃料にあらかじめ純水を添加して調製し、OME/methanol燃料との比較を行った。ベース燃料であるOMEに添加するアルコールとして、エタノール (試薬特級, JIS K8891) を使用した。ベース燃料、エタノール、純水の含有率をそれぞれ $C_{\text{OME}}=0.60$, $C_{\text{e}}=0.35$, $C_{\text{w}}=0.05$ とし、供試試料の調製を行った。Fig.2(b)

Study on Combustion Characteristics of a Fatty Acid Methyl Ester Droplet

－ Effect of Internal Phenomena on Occurrences of Micro-explosion －

Chiaki KATO, Osamu IMAMURA, Kazuhiro AKIHAMA and Hiroshi YAMASAKI

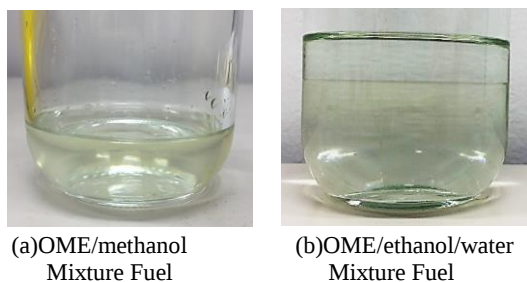


Fig.2 Photograph of Test Fuels of OME/alcohol Mixture Fuel

にOME/ethanol/water混合燃料の写真を示す。写真から、燃料は界面を有する2相に分離した。ここでは分離した油相を使用し燃焼実験を行った。

4 実験結果

Fig.3 に液滴燃焼時の内部現象の可視化例を示す。(a)(b)は OME/methanol 混合燃料液滴であり、(c)は OME/ethanol/water 混合燃料液滴である。本研究で用いた OME/methanol 混合燃料および OME/ethanol/water 混合燃料は保管時、点火前には透明であるが、点火後の液滴燃焼過程においては内部で相の分離が観察される場合があった。(a)は液滴内に雲状の物質が見られ (b)では液滴内に二次液滴が確認される。また、(c)の OME/ethanol/water 燃料では、実験を行った 30 個以上の液滴のほぼ全てにおいて、点火後の液滴燃焼過程で内部の相分離が観察された。これらの一部についてはメタノールまたはエタノールの蒸発、大気中の水分の吸収または性状の変化の影響が考えられる。

Fig.4 に曝露時間 $t_E=25[s]$ における液滴寿命分布に対するメタノール含有率の影響を示す。縦軸は分布関数 F 、横軸に点火からマイクロ爆発発生までの液滴寿命を示す。図より、メタノール含有率の増加に伴い液滴寿命は短くなる傾向がある。この理由として、メタノール含有率が高くなるほど低沸点成分が多く存在するため、沸騰が促進されたと考えられる。これらは $C_m=0.15, 0.20, 0.25$ では曝露時間 $t_E=5\sim 20[s]$ においても同様な傾向を示す。一方、 $C_m=0.30$ の液滴寿命は $C_m=0.25$ の液滴寿命と概ね一致していることがわかる。

Fig.3 の観察結果の通り、実験を行った一部の液滴では液滴内部で相分離が観察される場合があった。Fig.5 は、OME/methanol 混合燃料および OME/ethanol/water 混合燃料の液滴内部での相分離が観察された液滴のみを抽出し、液滴寿命分布を求めたものである。図には OME/methanol 混合燃料のメタノール含有率 $C_m=0.15, 0.20, 0.25$ の場合、および OME/ethanol/water 混合燃料のエタノール含有率 $C_e=0.35$ 、水含有率 $C_w=0.05$ の場合が示されている。図より、メタノール含有率およびアルコールの種類にかかわらず、液滴寿命が概ね一致することがわかった。このことから、本実験で用いた供試燃料のマイクロ爆発においては、混合燃料でありながら、一部の液滴では液滴内部の現象が液滴寿命を支配している可能性があることがわかる。今後さらに検討が必要である。



(a)Internal cloud (b)Secondary droplet (c)Secondary droplet (OME/methanol (OME/methanol (OME/ethanol/water droplet) droplet) droplet)

Fig.3 Internal phenomena in a burning OME/alcohol droplet

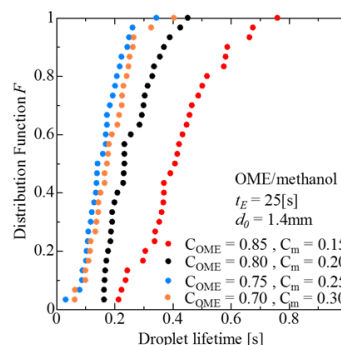


Fig. 4 Distribution function of micro-explosion with secondary droplet appeared in a burning OME/methanol and OME/ethanol/water droplet

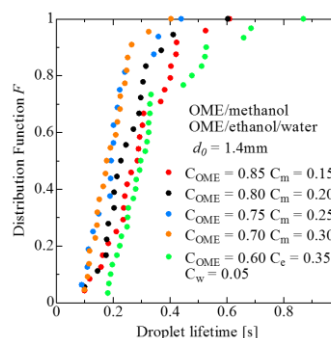


Fig. 5 Distribution function of micro-explosion with secondary droplet appeared in a burning OME/methanol and OME/ethanol/water droplet

5 まとめ

FAME/アルコール混合燃料液滴の燃焼過程において液滴内部現象がマイクロ爆発に及ぼす影響について以下の知見を得た。

- (1) OME/methanol 混合燃料液滴の燃焼過程において、一部の液滴では点火後の液滴燃焼過程で内部の相分離が観察された。また、OME/ethanol/water 混合燃料液滴の燃焼過程では、ほぼ全てにおいて、点火後の液滴燃焼過程で内部の相分離が観察された。
- (2) OME/methanol 混合燃料の曝露時間 $t_E=25[s]$ における液滴寿命はメタノール含有率が高いほど短い、 $C_m=0.30$ の液滴寿命は $C_m=0.25$ の液滴寿命と概ね一致する。
- (3) 相分離が観察された液滴ではメタノール含有率およびアルコールの種類にかかわらず、液滴寿命はおおむね一致したものとなる。

「参考文献」

- 1) Watanabe H, Harada T, Hoshino K, Matsushita Y, Aoki H and Miura T, JCEJ 41:1110-1118 (2008)