

メタノール添加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

日大生産工 (院) ○加藤 祐太 日大生産工 山崎 博司
 日大生産工 今村 宰 日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

近年, アジアにおけるエネルギー消費の大幅な増加に伴い, 化石燃料が大量に消費されており, 燃焼過程で生成されるすす, 窒素酸化物, 硫黄酸化物などの微量な有害物質による環境汚染や大量の温室効果ガス排出による地球温暖化などの環境問題が, 懸念視されている. また, 化石燃料, 特に石油燃料のような可搬性, 簡便性を備えた代替エネルギー源が見出されていない状況は, 内燃機関の将来を考える場合, 深刻なものといえる.

化石燃料の代替燃料として, バイオマスの燃料利用が試みられている. バイオマス燃料は再生可能エネルギーとして注目されており, そのなかでも, パーム油をエステル化させた脂肪酸メチルエステルは発熱量が高く, また供給量も比較的安定であることから, バイオディーゼル燃料 (BDF) としての利用が見込まれている. BDF の利用に関してはセタン価測定⁽¹⁾, 実機使用⁽²⁾などが調べられているものの液滴燃焼において混入成分がある場合の二次微粒化現象については検討されていない.

本研究は, バイオマス由来の脂肪酸メチルエステルの燃焼過程における二次微粒化発生に対する混合成分の影響について検討し, 燃料設計による燃焼制御, 燃焼促進について基礎的知見を得ようとするものである. ここでは, 特にベース燃料成分に脂肪酸メチルエステルを使用した場合の混入成分の影響を明らかにすることを試みた. 本報告はその第一段階であり, 炭素数 12 の高純度脂肪酸エステルをベース燃料としメタノールを混入した場合の液滴燃焼についてマイクロ爆発およびパフィンング発生という二次微粒化の観点から検討を行った.

2. 実験装置および方法

図 1 に実験装置の概略を示す. 実験装置は, 燃焼実験装置, 点火系, 可視化系, AE 測定系から構成される. 燃焼実験装置は, 懸垂線が取り付けられている測定部, その支持部, および点火系から構成される. 懸垂線は先端を球形に加工した直径 0.15mm の石英線であり, 直径 100mm, 厚さ 10mm の黄銅製円盤の中心位置に, 垂直に取り付けられている. 円盤は, 下部支持台より垂直に立てられた先端角 30° の位置決めピンにより 3 点支

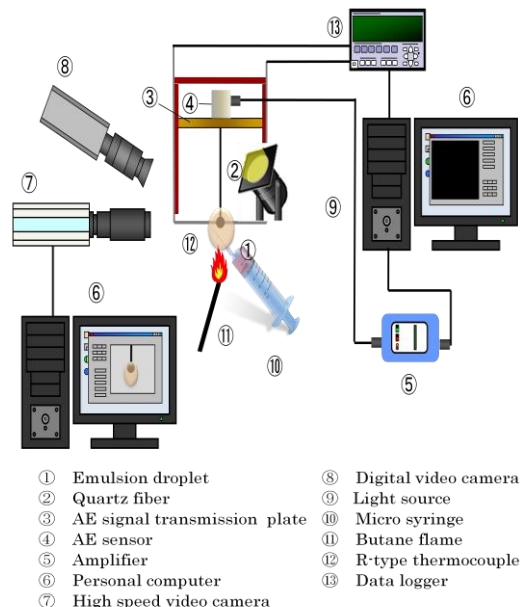


Fig.1 Schematics of experimental apparatus.

持で水平位置に保持されている. 可視化系は, 高速度ビデオカメラ, デジタルビデオカメラおよび光源で構成した. 高速度ビデオカメラは光源に対面して設置し, 液滴内の沸騰挙動および液滴の分裂, 崩壊過程を 500 コマ/s にて記録させた. デジタルビデオカメラは光源から 90° 方向に設置し, 火炎挙動および液滴挙動を 30 コマ/s で撮影した.

ベース燃料にはパーム油由来の脂肪酸エステル (ラウリン酸メチル, 95% 以上, 以後 M-12 と略記) また植物油より合成した脂肪酸メチルエステル (以後 FAMEp) を使用し, メタノール (試薬特級) を混入させた. メタノール含有率 $c_m=0.1\sim0.9$ (体積割合) とした. 実験は, 室温, 大気圧下, 静止空气中, 通常通常重力下において行った. 初期液滴直径 $d_0=1.0\text{mm}$ および 1.3mm とし, マイクロシリンジにより懸垂線先端に液滴を形成し, 小ブタン炎によって点火を行った. 30 個以上の液滴について点火から燃焼終了までに燃料液滴内で生じる現象を観察した. FAMEp は以下により作成した.

植物油に, 水酸化ナトリウムを所定量溶解させたメタノール溶液を混合し, 攪拌しながら湯煎した. ここで湯煎温度は 333K, 湯煎時間は

30 分とした。その後、氷冷、ろ過の上、静置分離させ、中和処理を行ったうえで分相し、その油層の回収を行った。回収した油層について無水硫酸ナトリウムを用いて脱水し、再びろ過したものを、試料 **FAMEp** として用いた。なお、本試料を **Karl Fischer** 法を用い分析した結果、水分量は約 390ppm であった。**FAMEp** 合成過程の概略を図 2 に示す。

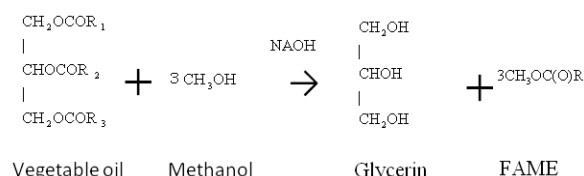


Fig.2 Process for FAMEp production

3. 実験結果および考察

図 3 に供試燃料の液滴燃焼過程における液滴直径の経時変化を示す。横軸は点火を起点とした時間 t_b 、縦軸は液滴直径 d の 2 乗値であり、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。図 3 には $d_0=1.0\text{mm}$ の燃料についての測定結果を示し、M-12 および FAMEp いずれにおいても時間経過とともに、ほぼ直線状に減少している。またその傾きにも大きな差異は見られない。

図 4 に $d_0=1.0\text{mm}$ の場合のメタノール含有率と二次微粒化の発生割合の関係を示す。図からマイクロ爆発およびパフイングの発生割合はメタノール含有率の増加とともに高まり、マイクロ爆発では $c_m=0.4$ 、パフイングでは $c_m=0.5$ で最大値を取り、その後減少する。これは $c_m=0.2$ 以下の領域では低沸点成分であるメタノールが少ないため、二次微粒化が発生せず、一方 $c_m=0.6$ 以上の領域ではメタノールの蒸発により液滴温度が低下したことにより二次微粒化が抑制されたと推測できる。

図 5 にメタノール含有率と平均液滴寿命の関係を示す。横軸はメタノール含有率 c_m 、縦軸は点火を起点とし液滴が消失するまでの時間の算術平均値 τ_a である。メタノール含有率の増加とともに τ_a は短くなり、 $c_m=0.5$ から 0.6 で最小値を示し、その後増加する。 $c_m=0.6$ 以降の領域では液滴温度が大きく下がっていることからマイクロ爆発などの二次微粒化が抑制された結果、液滴寿命が長くなったと推測できる。

4. 結言

メタノール含有脂肪酸メチルエステル 液滴の燃焼過程におけるマイクロ爆発発生を実験的に検討をした結果、次の知見を得た。

- (1) 燃焼速度定数は、M-12 および FAMEp とともに一定である。
- (2) 二次微粒化の発生割合はメタノール含有率の増加とともに高まり、マイクロ爆発では $c_m=0.4$ 、パフイングでは $c_m=0.5$ で最大値を示し、その後減少する。
- (3) メタノール含有率の増加とともに液滴寿命は短くなり、 $c_m=0.5\sim 0.6$ で最小値を示し、その後増加する。

5. 参考文献

- (1) Knothe.G., Fuel Processing Technol., 86: 1059-1070(2005)
- (2) 河田・ほか 3 名, 日本機械学会論文誌. B 編 vol.73, pp.2587-2592(2007)

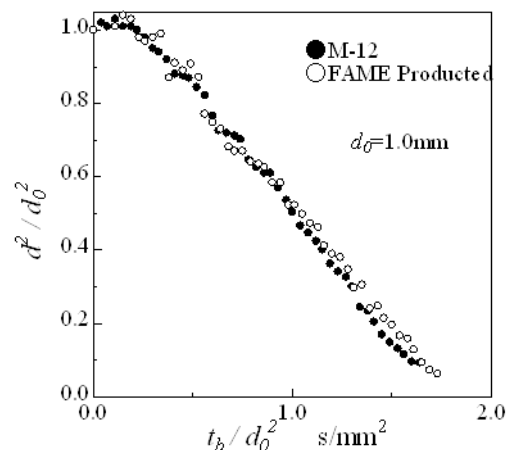


Fig.3 Time histories of squared droplet diameter of burning FAMEp droplet

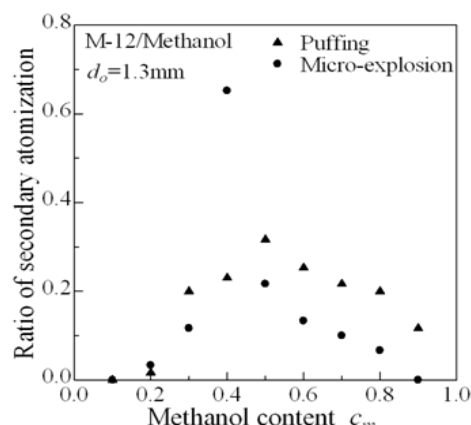


Fig.4 Relationship between occurrence ratio of secondary atomization and methanol content

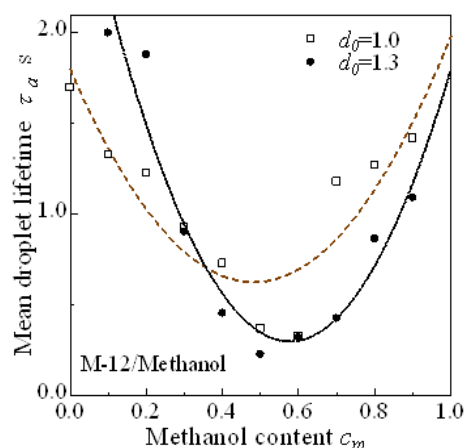


Fig.5 Effect of methanol content on mean droplet lifetime