

アルコール/メチルエステル混合燃料液滴燃焼時の二次微粒化現象

日大生産工(院) 日大生産工 日大生産工 日大生産工
林 洋志 野村 浩司 山崎 博司 氏家 康成

1 まえがき

近年、二酸化炭素排出の問題から再生可能エネルギーとしてバイオマスの燃料利用が試みられている。そのなかでもパーム油をエステル化させた脂肪酸エステルは発熱量が高く、また東南アジアで高収率栽培が行われており、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。これらのBDFの利用については、セタン価測定¹⁾、実機利用²⁾など様々な面から研究が行われている。本研究は、バイオ由来の脂肪酸エステルに対する混入成分の燃焼過程、特に二次微粒化発生について検討し、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。ここではベース燃料成分に脂肪酸エステルを使用することにより、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の脂肪酸エステルをベース燃料とした場合のアルコール混入の影響を、ミ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 実験装置および実験方法

図1に実験装置の概略を示す。実験装置は燃焼実験装置、可視化系、A/E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およびその支持部、および点火系から構成される。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で撮影を行った。A/Eセンサは、懸垂線取付側反対面に、懸垂線延長線を中心軸として取り付けられている。本研究で使用したA/E測定系はAEセンサ、増幅器、DSP、パーソナルコンピュータで構成されており、収集したデータは専用ソフトウェアによって処理される。サンプリング周波数は200kHzである。

ベース燃料にはパーム油由来の高純度な脂肪酸エステル(ラウリン酸メチル、ライオン(株))、以後M-12と略記)を使用し、メタノール(試薬特級)を混入させた。メタノールの混合率 c_a は0.1~0.9まで0.1おきである。これらの試料は所定の体積比率で混合し、アルコール混合燃料を調製した。初期液滴直径

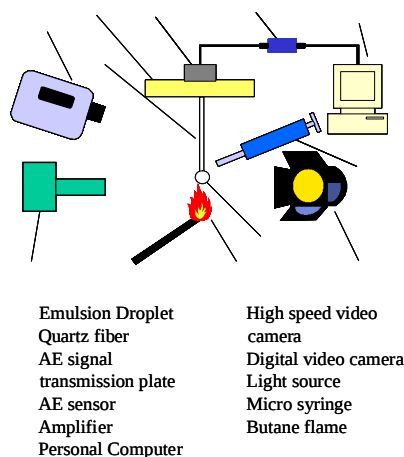


Fig.1 Schematics of experimental apparatus.

$d_0=1.75\text{mm}$ とし、供試液滴をマイクロシリンジにより懸垂した後、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時までに燃料液滴内で生じる現象を観察するとともに、可視化結果と燃焼過程で得られるA/E信号を対応させた。

3 実験結果および考察

図2に供試燃料液滴の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。破線はM-12における測定結果である。混合燃料の燃焼速度定数は純粋なM-12を燃焼させたものより大きくなる。これはパフィンングなどの二次微粒化による影響に加え、M-12の沸点が260℃に比べメタノールの沸点は1/4の65℃であるために点火初期の液滴温度が十分に上が

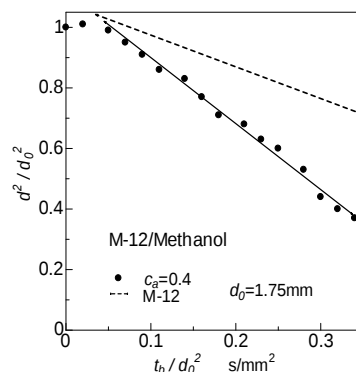


Fig.2 Time histories of squared droplet diameter of burning droplet

Secondary Atomization of a Burning Alcohol/Methyl Ester Blended Fuel Droplet

Hiroshi HAYASHI, Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

っていない状態からメタノールが蒸発したことによるものであると考えられる。

図3に $c_a=0.5$ の混合燃料を燃焼させたときの液滴寿命の分布を示す。横軸は点火を起点とした液滴寿命 τ_l 、縦軸は累積度数分布 F である。分布関数は発生初期から累積度数がおよそ0.4まで急激に立ち上がり、右方向に0.1秒ほどシフトしてから緩やかに増加している。分布関数は、累積度数0.0～0.4と0.4～0.9および0.9～1.0の3つに分類できることがわかる。0.4までの範囲ではマイクロ爆発が多く発生しており、液滴寿命が非常に短い。0.4～0.9までの範囲では激しいパフィンングおよび分裂が多く観察されたために燃焼が促進され燃焼が早期で終わっていると考えられる。0.9以上の範囲では極度のパフィンングなどの現象は観察されず、比較的穏やかな定常燃焼の様子が見られた。燃焼終期にマイクロ爆発が発生したのもこの範囲である。二次微粒化によりベース燃料成分だけで燃焼させた際の寿命のおよそ4割程度になったため、二次微粒化による燃焼促進が期待できる。

図4に各供試燃料における液滴寿命の分布を示す。横軸は点火を起点とし液滴が消失するまでの液滴寿命 τ_l 、縦軸は累積度数分布 F である。メタノールの混合率の増加にともない分布関数が左にシフトしていき、 $c_a=0.6$ を境に再び右にシフトしていく。つまり、メタノール混合率の増加とともに液滴寿命は短くなっていき、 $c_a=0.6$ 以上では液滴寿命が長くなっていることを表している。

図5にメタノール混合率と平均液滴寿命の関係を示す。横軸はメタノール混合率 c_a 、縦軸は平均液滴寿命 τ_a である。メタノール混合率が増加するにつれ液滴寿命が短くなり、 $c_a=0.6$ の時に極小値をとり、ふたたび増加する傾向がみられた。 $c_a=0.7$ 以上ではパフィンングは発生するが発生までの時間が長くなる傾向がみられた。これは点火と同時に大量のメタノールが蒸発することにより、蒸発潜熱で液滴の温度が十分にあがらずにパフィンングなどの二次微粒化が抑制されたためであると考えられる。

図6にパフィンングおよびマイクロ爆発の発生確率を示す。横軸はメタノール混合率 c_a 、縦軸は確率を示している。 $c_a=0.1$ および0.2では大きなパフィンングや分裂はみられなかったが、 $c_a=0.3$ 以上はメタノール混合率の増加にともないパフィンングの発生確率が多くなっていき、0.5を境に減少に転じる。これらから、メタノールの混合率は最も液滴寿命が短く、二次微粒化が起こりやすい $c_a=0.5$ 程度にするのが妥当であると考えられる。

4 結言

アルコール/メチルエステル混合燃料の二次微粒化の発生について検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) メタノールの混合率の増加とともに液滴の平均寿命は短くなり、極小値を示したのち、再び増加する。より液滴寿命は大きく異なり、混合率が0.6のときにもっとも液滴寿命が短くなった。
- (2) 二次微粒化の発生確率はメタノールの混合率により異なり、混合率が0.5のときに最も多く発生した。

参考文献

1) 例えば, Knothe, G., Fuel Processing Technol., 86, 2005, 1059-1070.

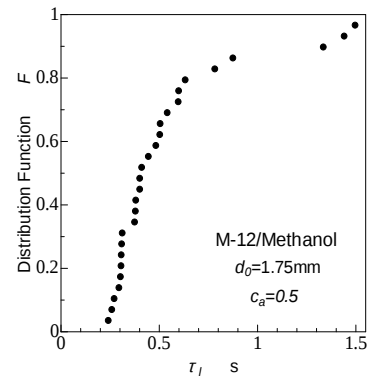


Fig.3 Distribution function of droplet lifetime

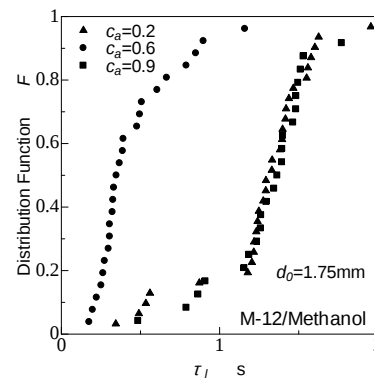


Fig.4 Distribution function of droplet lifetime (effect of methanol contents)

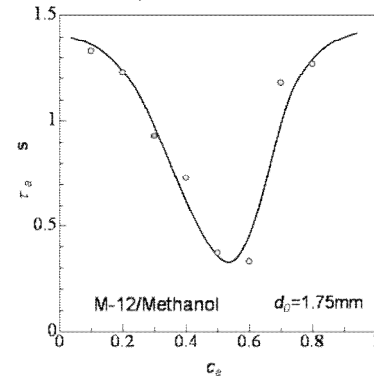


Fig.5 Effect of methanol contents on mean droplet lifetime

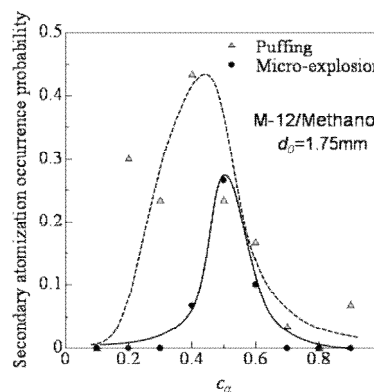


Fig.6 Secondary atomization occurrence probability

2) 河田・ほか3名, 日本機械学会論文集. B編 vol.73, 2007, 2587-2592.