

アルコール添加エマルジョン液滴の燃焼特性

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

1. 緒言

近年、油系燃料にアルコールを添加した燃料が普及しつつあり、今後もより使用範囲の拡大が見込まれている。アルコールは極性を有し、炭化水素と混合した場合、条件によっては溶解せず、相を成す。またそれらを均一に混合した場合、乳化状態となり、燃焼過程で二次微粒化が発生することも知られている。アルコール/炭化水素燃料の燃焼過程については、懸垂液滴、自由液滴などを対象として研究が行われてきたが¹⁾、界面活性剤の問題から多くは行われていない。水/炭化水素エマルジョン燃料の液滴燃焼過程については、基礎的研究から噴霧における応用研究まで幅広く行われているものの、未だ不明な点が多い。また低沸点成分を含有する2成分混合燃料のミクロ爆発発生についても発生モデルが提案されているものの、第3成分の影響についての検討は見当たらない。本研究は、水/炭化水素エマルジョンに第3成分を添加させた場合の燃焼特性、ミクロ爆発特性等を検討し、燃料設計に寄与しようとするものである。本報では、特にエマルジョン燃料にエタノールを添加した場合において、液滴温度、ミクロ爆発発生待ち時間分布、ミクロ爆発発生規模などの観点から検討を行った。

2. 実験装置

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、AE測定系および温度測定系から構成される。燃焼実験装置は、懸垂線が取付けられている測定部およびその支持部、点火系から構成される。懸垂線には直径150 μm の石英線を用い、液滴を保持するために先端を球形に加工した。可視化系は、高速ビデオカメラ、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1000または500fps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30fpsで撮影を行った。AEセンサは、黄銅円板の懸垂線取付側反対面に懸垂線延長線を中心軸として取付けられている。本研究で使用したAE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とした。温度測定系は熱電対、データロガー、パーソナルコンピュータで構成した。熱電対は直径100 μm のR型を用い、サンプリングレートは1msとした。

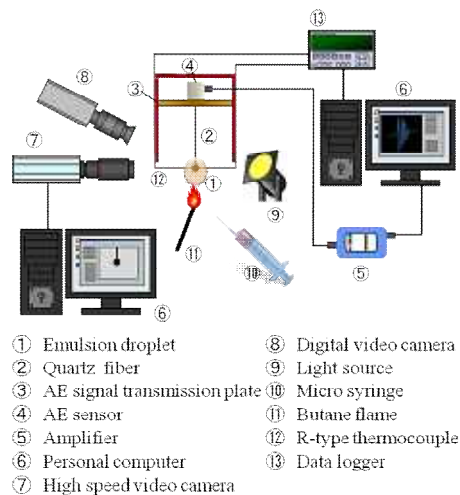


Fig.1 Schematics of experimental apparatus

ベース燃料にはn-ヘキサデカンを使用し、純水およびエタノール（試薬特級）を混入させて3成分エマルジョンとした。界面活性剤はポリオキシエチレンアルキルエーテルを使用した。ベース燃料の体積割合を0.7と一定として、水、エタノール混合割合を変化させて供試燃料を調製した。エタノール（試薬特級）含有率（体積割合）は $c_a=0.0, 0.03, 0.05, 0.08$ であり、界面活性剤の体積割合は $c_s=0.03$ とした。これらの試料は所定の体積比率で混合し、マグネチックスターでかくはんし、エタノール含有エマルジョン燃料を調製した。実験前に溶存ガスによる影響をなくすために、およそ6 kPaで2分間脱気処理を行った。実験は、室温、大気圧下、静止空気中において行った。初期液滴直径 $d_0=1.1\text{mm}$ 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の燃焼過程を観察するとともに、ミクロ爆発および液滴内沸騰が発生するまでの待ち時間を計測し、可視化結果とAE信号を対応させた。

3. 実験結果

図2に供試燃料液滴の燃焼過程における液滴直径の変化を示す。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。エタノールを添加した場合、いずれの体積割合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。本研究で使用したエマルジョン

Combustion Characteristic of an Emulsion Droplet with Alcohol Addition

Hiroshi HAYASHI, Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

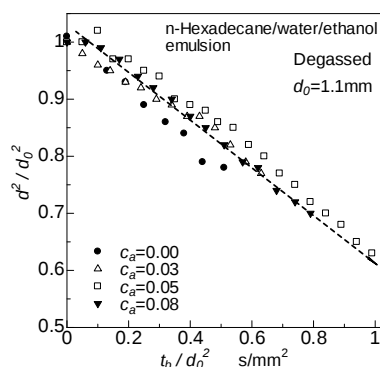


Fig.2 Time histories of squared droplet diameter of burning emulsion droplet

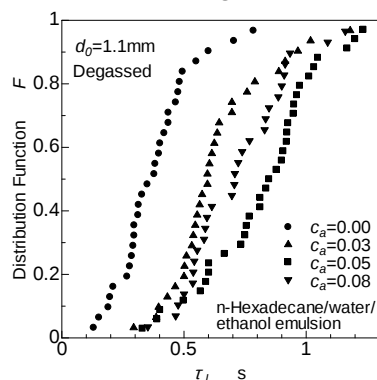


Fig.3 Distribution function of droplet lifetime (effect of ethanol contents)

においては燃焼過程早期の相分離過程において添加水分が液滴内で凝集し、炭化水素成分のみが蒸発することが確認され、本報においても同様の現象が観察されており、その結果としてエタノール含有率によらず燃焼速度定数は一定となったと考えられる。

図3に液滴寿命分布に対するエタノール含有率の影響を示す。横軸は点火を起点とし液滴が崩壊または消滅するまでの液滴寿命 τ_l 、縦軸は累積度数分布 F である。エタノールの添加率の増加にともない分布関数が右にシフトし、 $c_a=0.05$ を境に再び左にシフトしていることがわかる。すなわちエタノール含有率の増加とともに液滴寿命は長くなり、 $c_a=0.05$ 以上では液滴寿命が再び短くなっている。

図4に液滴寿命の算術平均 τ_{ave} に対するエタノール含有率 c_a の影響を示す。エタノール含有率の増加とともに平均液滴寿命は長くなり、 $c_a=0.05$ で極大値をとったのち減少する。液滴寿命が長くなる要因として液滴が燃焼する際のエタノール蒸発での潜熱および沸点の影響が考えられる。また $c_a=0.05$ 以降において液滴寿命が短くなった要因としては、熱容量と過熱限界温度の低下による二次微粒化発生の促進が考えられる。

図5にエタノール含有率 c_a と液滴の到達温度 T_d の関係を表した。この図よりエタノールの増加にともない液滴温度が下がっていくことがわかる。これはエタノール量が多くなるにつれ、その蒸発により液滴温度が低下したと考えられる。

図6はマイクロ爆発発生時のAEエネルギー V_{ME} の平均値に対するエタノール含有率の影響を示したものである。エタノール成分の増加とともに爆発エネルギーは大きくなるが、 $c_a=0.03$ で極大値を示したのち減少

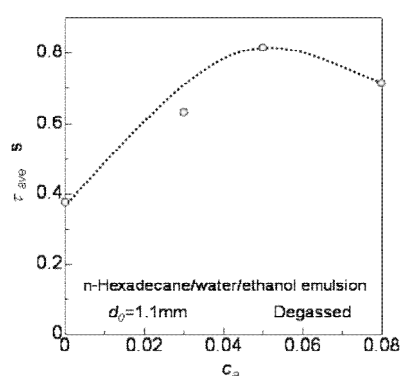


Fig.4 Effect of ethanol contents on mean droplet lifetime

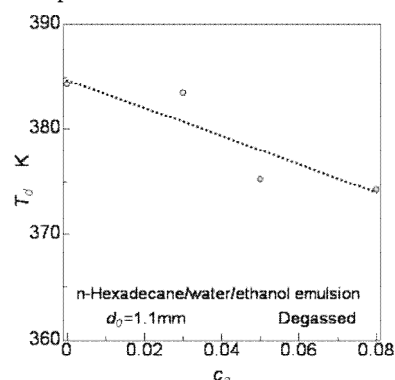


Fig.5 Mean temperature of emulsion droplet

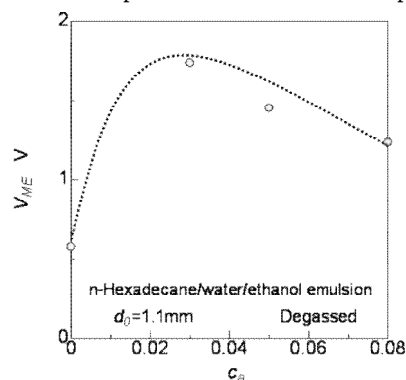


Fig.6 Effect of ethanol contents on mean micro-explosion energy

に転じている。すなわち $c_a=0.03$ までは液滴温度の低下は大きくなく、エタノールを加えたことにより過熱限界が低くなることによりマイクロ爆発発生が促進される。一方 $c_a=0.03$ 以上では液滴温度の低下により爆発エネルギーも小さくなったと考えられる。

4. 結言

エタノール添加エマルジョン液滴の燃焼過程におけるマイクロ爆発の発生について実験的に検討を行った結果、次の結論を得た。

- (1) 液滴寿命はエタノールの含有率の増加に伴い長くなるが、5%を超えた領域で減少する。
- (2) 液滴の到達温度はエタノールの含有率の増加に伴い低下する。

参考文献

- 1) Wang, C.H.ら, Proc. Combust. Inst. 30: 1965-1972 (2005)