

アルコール添加エマルジョン燃料の液滴燃焼における マイクロ爆発発生の統計的性質

日大生産工(院) ○平野 佑林 日大生産工 今村 幸
日大生産工 山崎 博司 日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

近年、石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に相を成す。それらを均一に混合すると乳化状態となり、また燃焼過程では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¹⁾が行われてきたが、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²⁾。低沸点成分を含有する2成分混合燃料のマイクロ爆発発生については発生モデルが提案³⁾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、マイ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アルコールを添加した場合、純水に過酸化水素を混入させ、過酸化水素水とした場合について、液滴寿命、液滴温度、マイクロ爆発発生確率を実験的に検討した。

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。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、下部支持台より鉛直に立てられた先端角30°の位置決めピンにより3点支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。懸垂線下端に直径0.05 mmのR型熱電対を設置して、液滴温度の測定を行った。

燃料成分はn-ヘキサデカンとし、純水を混入させて、界面活性剤で安定化し、ベースエマルジョンとした。これにブタノールもしくはプロパノール（いずれも試薬特級）を混入させて3成分エマルジョンを構成した。界面活性剤はポリオキシエチレンアルキルエーテルである。燃料成分の体積割合は0.7で一定として、水、アルコール混合割合を変化させて供試燃料を調製した。アルコール含有率（体積割合）は $c_a=0.0, 0.03$ であり、界面活性剤の体積割合は $c_s=0.03$ とした。また、純水に代えて3wt%の過酸化水素水を使用した供試燃

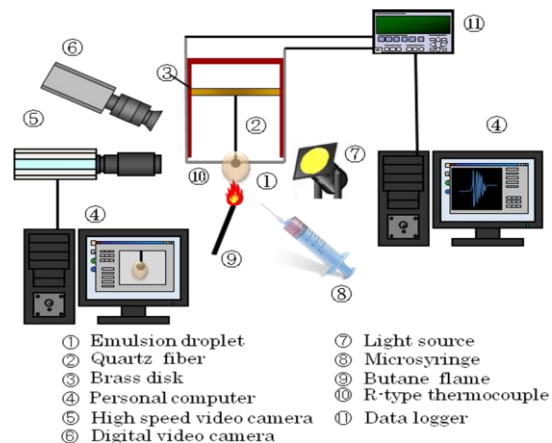


Fig.1 Schematics of experimental apparatus.

料を調製した。実験試料は所定の体積比率で混合し、マグネチックスターラで攪拌し、アルコール含有エマルジョン燃料として実験に供した。実験に際しては溶存ガスによる影響をなくすために、6kPaで2分間脱気処理を行った。実験は、室温、大気圧下、静止空气中、通常重力下において行った。初期液滴直径 $d_0=1.1\text{mm}$ および 1.3mm とし、マイクロシリッジにより懸垂線先端に液滴を形成し、小ボ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燃料液滴内で生じる現象を観察した。また、エタノール（試薬特級）含有率を $c_a=0.03, 0.05, 0.08$ としたエマルジョン燃料についても同様の実験を行った。

3. 実験結果

図2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_0 、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。図には $d_0=1.1\text{mm}$ の燃料についての測定結果が示してあり、プロパノールを添加した場合、過酸化水素水を使用した場合、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。本研究で用いられた、燃料、界面活性剤の供試試料では、燃焼過程において液滴内で油相、水分相の相分離が発生し、添加水分が液滴内部に凝集し、炭化水素成分のみ蒸発することが確認されている。ここでも同様の現象が観察されており、その結果として、プロパノールおよび過酸化水素水の混入に関わらず、それらは液滴内部に分離凝集し、燃焼速度定数はほぼ同じ値を示したものと考えられる。

Statistical Properties on Occurrence of Micro-explosion During Addition of Alcohol Emulsion Drop Combustion

Yuki HIRANO, Osamu IMAMURA, Hiroshi YAMASAKI and Yasushige UJIIE

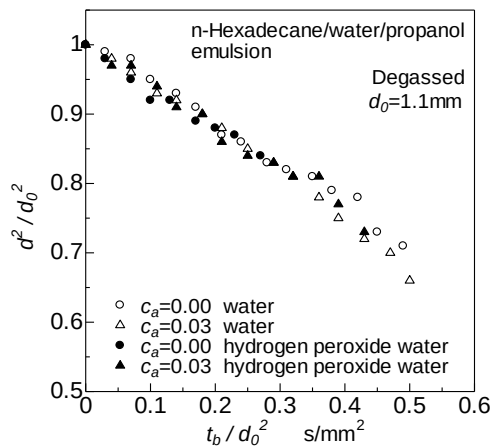


Fig.2 Time histories of squared droplet diameter of burning emulsion droplet

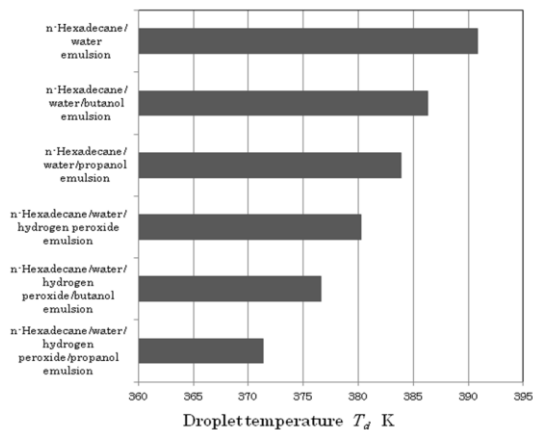


Fig.3 Droplet temperature of a burning emulsion droplet

本研究で使用した燃料では、一部は温度上昇過程でも発生するが、温度上昇過程を経たのちに温度一定期間において、マイクロ爆発などの二次微粒化に至る場合が多く見受けられる。マイクロ爆発発生には、燃焼終了時の液滴温度が大きく影響しているものと考えられる。よって、ここでは液滴温度として、燃焼終了時の液滴温度を用いることとし、5~10回の測定の平均値を用いた。図3に供試燃料における液滴温度の測定結果を示す。結果より、アルコールを混入すると液滴温度は下がり、また過酸化水素水を使用した燃料ではさらに低くなる傾向があることがわかる。アルコール混入時および過酸化水素水に混入がマイクロ爆発発生への影響については、過熱、蒸気泡発生など多面的な検討が必要であることから、さらなる検討が必要と思われる。

図4に液滴寿命分布に対するエタノール含有率および過酸化水素水の影響を示す。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 、縦軸は分布関数 F である。エタノールの含有率の増加に伴い分布関数が右に移動し、 $c_a=0.05$ を境に再び左に移動していき、過酸化水素水の添加によって分布関数は左にシフトしている。分布関数はいくつかのグループで構成されていることがわかる。これらの分布関数による構成の分類、検討が第三成分の影響解明に有効な手段となり得るものであることを示唆しているものと思われる。

図5にマイクロ爆発発生割合と平均液滴寿命の関係を示す。図から平均液滴寿命が長くなるに伴い、マイクロ爆

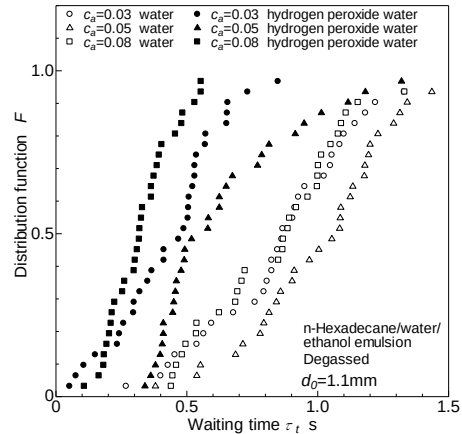


Fig.4 Distribution function of droplet lifetime

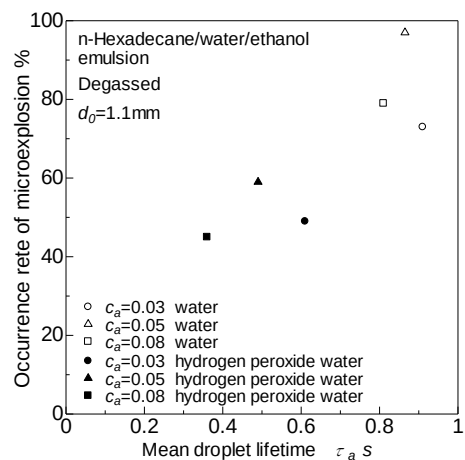


Fig.5 Relationship between mean droplet lifetime and occurrence ratio of micro-explosion

発の発生確率が高くなっていることがわかる。またエタノール含有率の増加につれて発生割合が高くなり、 $c_a=0.05$ で極大値をとったのち減少する。これらの結果は、第3成分を混入させたエマルジョンにおいても液滴温度によりマイクロ爆発発生が大きく影響していることを示すものといえる。

4. 結言

エマルジョン燃料の液滴燃焼過程におけるアルコールおよび過酸化水素水添加の影響について検討を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) ミクロ爆発発生割合は液滴寿命の増加に伴い高くなる。また、過酸化水素水の添加により低くなる。
- (2) 液滴寿命はエタノール含有率の増加とともに長くなり、5%を超えると減少する。また、過酸化水素水混入により短くなる。
- (3) 燃焼終了時の液滴温度はアルコール、過酸化水素水混入により低くなる。
- (4) 燃焼速度定数はアルコール、過酸化水素水混入に大きく影響されない。

「参考文献」

- 1) Wang, C.H. et.al, Proc. Combust. Inst., 30, 1965-1972 (2005)
- 2) Kadota, T. and Yamasaki, H., Prog. Energy Combust. Sci, 28, (2002), 385-404.
- 3) 三上, 八木, 小島, 機論 B編, 64-624, (1998), 324-329.