

エマルジョン燃料の液滴燃焼過程におけるアルコール混入 および過酸化水素水の影響

日大生産工(院) ○平野 佑林 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に相を成す。また、それらを均一に混合した場合は乳化状態となり、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¹⁾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⁾。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。本研究では、特にエマルジョン燃料にアルコールを添加した場合、純水の代わりに過酸化水素水を使用した場合において、液滴温度、マイクロ爆発発生待ち時間、マイクロ爆発発生確率を実験的に検討した。

2. 実験装置

図1に実験装置全体の概略を示す。本研究では燃焼実験装置、点火系、可視化系から構成される実験装置を用いる。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、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で撮影を行った。また、液滴温度を測定するため、直径0.05 mmのR型熱電対を使用し、懸垂線下端に設置して測定を行った。ベース燃料にはn-ヘキサデカンを使用し、純水およびブタノール（試薬特級）もしくはプロパノール（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、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

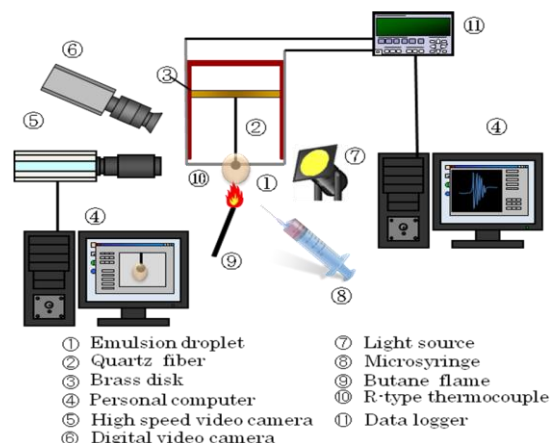


Fig.1 Schematics of experimental apparatus.

の体積割合は $c_s=0.03$ とした。また、純水の代わりに3wt%の過酸化水素水を使用した供試燃料を調製した。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攪拌し、アルコ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、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した。

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2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。エマルジョン燃料は、燃焼過程早期の相分離において添加水分が液滴内部に凝集し、炭化水素成分のみが蒸発することが確認されている。本研究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、燃焼速度定数はプロパノール混入および過酸化水素水に関わらず一定になったと考えられる。

Effect of Alcohol Addition and Hydrogen Peroxide Water on Droplet Combustion Process of Emulsions

Yuki HIRANO, Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

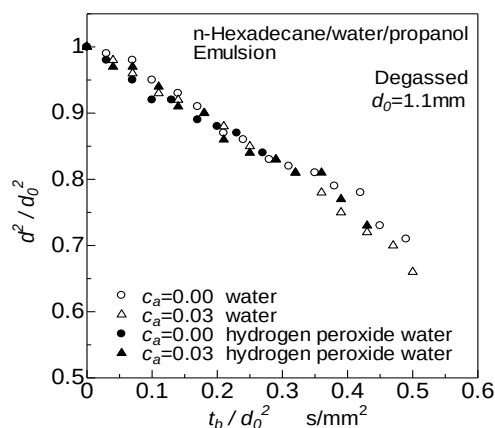


Fig.2 Time histories of squared droplet diameter of a burning emulsion droplet

図3に各燃料における平均液滴寿命の長さを示す。アルコールを混入すると、初期液滴直径の大きさに関わらず、液滴寿命が長くなる傾向が見られた。これは点火と同時にアルコールが蒸発することにより、液滴温度が十分に上がらず、その結果マイクロ爆発が発生するまでの待ち時間が長くなったと考えられる。また、過酸化水素水を使用すると、初期液滴直径の大きさに関わらず、液滴寿命が短くなった。これは過酸化水素水が酸素を発生することにより、燃焼が促進されたため、マイクロ爆発が発生するまでの待ち時間が短くなったと考えられる。

図4に各燃料における液滴温度を示す。通常燃焼温度は温度上昇過程を経たのち一定となる。ここでは燃焼終了時の液滴温度の平均値を代表値として用いた。アルコールを混入すると、液滴温度は下がり、過酸化水素水を使用した燃料においては、さらに低くなった。これは、アルコール蒸発時の潜熱により、液滴温度が低くなったと考えられる。また、過酸化水素水により燃焼が促進されたため、液滴温度が上がる前にマイクロ爆発が発生したため、液滴温度は低下したと考えられる。

図5に各燃料におけるマイクロ爆発の発生確率を示す。プロパノールを混入すると、初期液滴直径の大きさに関わらず、発生確率が高くなった。これは純水より沸点が低いプロパノールが大きく過熱されることにより、マイクロ爆発の発生が促進されたと考えられる。純水より沸点が高いブタノールでは、大きな変化は見られなかった。また、過酸化水素水を使用すると、発生確率が低くなった。これは、液滴温度が低下したことによって、マイクロ爆発が抑制されたと考えられる。

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混入および過酸化水素水の影響について検討を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) ミクロ爆発発生確率はブタノール混入では変化しないが、プロパノール混入により高くなる。また、過酸化水素水の影響により低くなる。
- (2) 液滴寿命はアルコール混入により長くなり、過酸化水素水により短くなる。
- (3) 燃焼終了時の液滴温度はアルコール混入、過酸化水素水の影響を受け低下する。
- (4) 燃焼速度定数はアルコール混入、過酸化水素水に関わらず一定である。

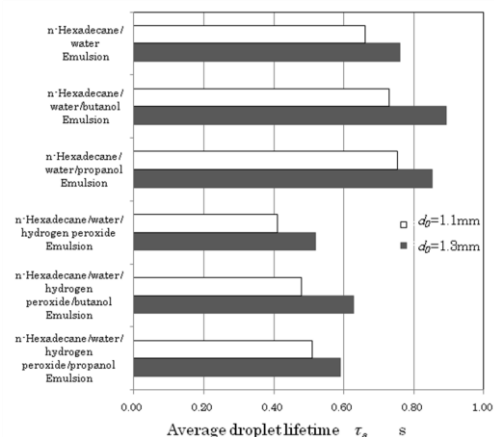


Fig.3 Mean lifetime of emulsion droplet combustion

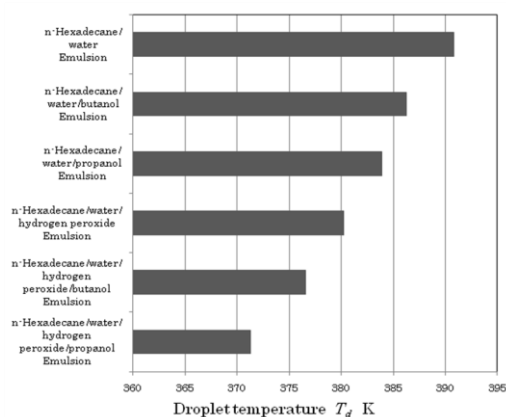


Fig.4 Mean droplet temperature of a burning emulsion droplet

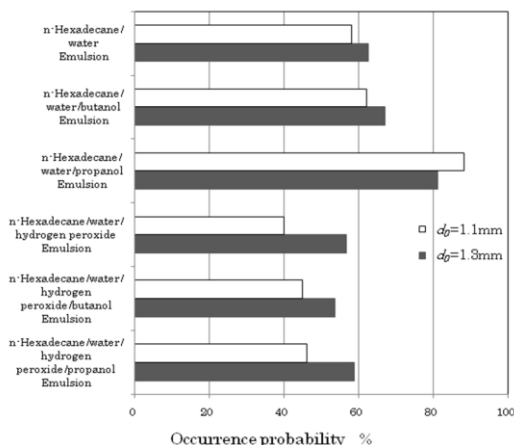


Fig.5 Occurrence probability of micro-explosion

参考文献

- 1) Wang, C.H.ら, Proc. Combust. Inst, 30, 1965-1972 (2005)
- 2) Kadota, T. and Yamasaki, H., Prog. Energy Combust. Sci, 28, 385-404 (2002)