

液面燃焼時におけるボイルオーバー発生に対する界面活性剤の影響

日大生産工（院） ○島根 大輔 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. はじめに

重質油流出事故の火災やタンク火災などにおいては、燃焼する油成分層の下部に存在する水成分が過熱され、ボイルオーバーと呼ばれる突沸現象の発生が知られている。このボイルオーバーの発生により、上部の燃焼している重質油層が飛散し、火災被害の拡大や二次災害発生の要因になる可能性がある。ボイルオーバー現象については新井ら¹⁾、伊藤ら²⁾によって検討がなされている。しかしながら重質な混合油においては乳化が容易であることや消化剤の投入などによって、燃料下部にはエマルジョン層が形成された場合の影響については検討されたものは見受けられない。エマルジョンの加熱過程においては界面活性剤の曇点の影響や相分離、転相などが考えられるとともに、過熱に伴う沸騰開始条件も十分に把握されているとはいえないのが現状である。

本研究は、液面燃焼時の燃料層直下にエマルジョン層が存在した場合のボイルオーバー現象の発生過程、発生条件を明らかにすることにより、ボイルオーバー発生制御、液面燃焼制御および消火に寄与することを目的としたものである。本報告では、特にエマルジョン層が存在する場合のボイルオーバー発生過程の層内温度履歴、火炎温度および光エネルギーに関する測定結果について報告する。

2. 実験装置および方法

実験装置の概略図を図1に示す。実験装置は実験容器部、計測系、可視化系で構成される。

実験容器は内径 90mm、高さ 100mm、厚さ 1mm のステンレス製円筒である。測定系は温度計測系、光パワー計測系で構成した。温度計測はマルチチャンネルデータロガーとシース熱電対を組み合わせて構成した。シース熱電対は実験液槽側面より挿入し、円筒中心位置において、火炎温度、エマルジョン層温度、水温を測定した。測定位置は、水分層と燃料層の境界面を基準 ($h=0\text{mm}$) としてそれぞれ $h=20\text{mm}$, 0mm , -5mm である。光パワー測定系は、光パワーセンサ、パワーメータおよびパーソナルコンピュータで構成し、定常燃焼時の波長分布および履歴の計測を行った。可視化にはビデオカメラを用い、燃焼過程におけるエマルジョン層の変化、ボイルオーバー発生位置の記録を行った。燃料成分には n -ヘキサデカンを用いるとともに、水分層には純水を用いた。供試エマ

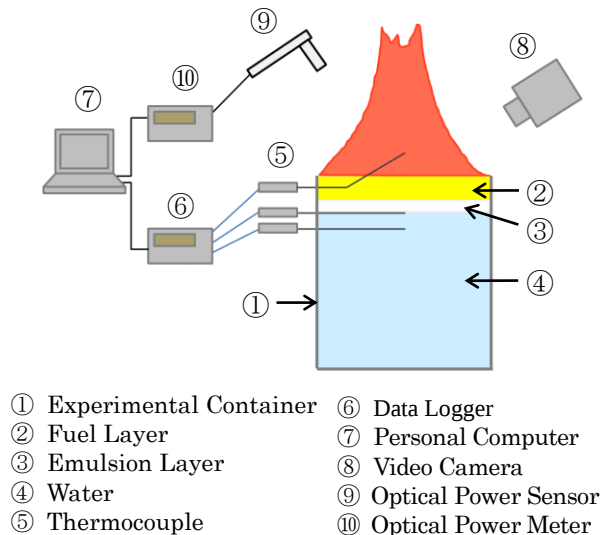


Fig.1 Schematics of Experimental Apparatus

Effect of Surfactant on Occurrences of Boilover Phenomena in Pool Burning

Daisuke SHIMANE, Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

ルジンは純水、燃料及び界面活性剤の体積割合を 45:45:10 ならびに 47.5:47.5:5 とし、界面活性剤にはポリオキシエチレンアルキルエーテル (HLB 値 13.3) およびソルビタンモノオレエート (HLB 値 4.3) を用いた。マグネチックスターラで十分に攪拌して水中油滴形ならびに油中水滴形エマルジョンを作成した。

実験条件は室温であり、上部燃料層の初期厚さはエマルジョン層を含め 10mm で一定とするとともに、エマルジョン層厚さは 1mm とした。実験では水分層 90mm とし、その上に燃料層を構成し、静置したのち、点火のため *n*-ヘキサンを表面に数滴滴下して小ボタン炎で点火して液面燃焼過程の観察を行った

3. 実験結果および考察

図 2 に、燃料層を *n*-ヘキサデカンのみとした場合の温度履歴を示す。観察結果よりボイルオーバーは 11 回確認され、ボイルオーバーにより消炎に至った。火炎温度は、燃焼開始より上昇し、約 1300K でほぼ一定の値を示している。その後、沸騰が開始した約 250s より低下を始め、ボイルオーバーの発生とともに消炎に至った。この温度低下の一部は燃料層の消費による火炎の縮小によるものと考えられる。境界面温度は上昇を続けるが、燃焼後期において一定値を示した。一方で、境界より下部 5mm の水分層温度は上昇を続け、最終的に境界面温度と一致する傾向にある。これらの結果は、最終段階においては沸騰などの気泡発生により水分層上部においては攪拌効果が与えられ、形成された温度成層が消滅していることを示唆するものと考えられる。

図 3 に、燃料成分を *n*-ヘキサデカン、燃料層の下に界面活性剤をポリオキシエチレンアルキルエーテルとした水中油滴形エマルジョン層が 1mm 存在した場合の温度履歴を示す。(a)は界面活性剤の体積比率を 0.05 とした場合であり、(b)は体積比率を 0.1 とした場合の結果である。(a)において火炎温度の傾きはヘキ

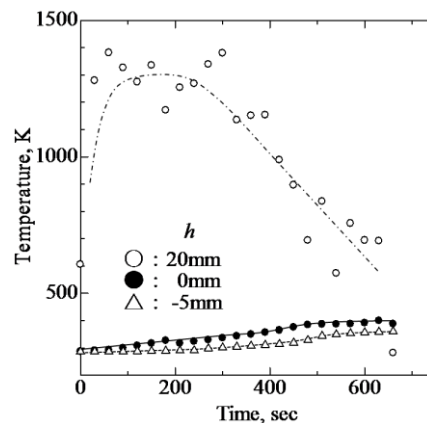
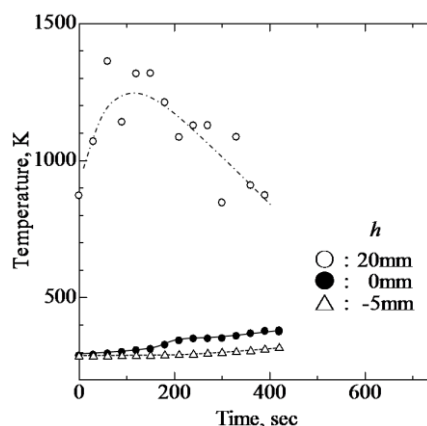
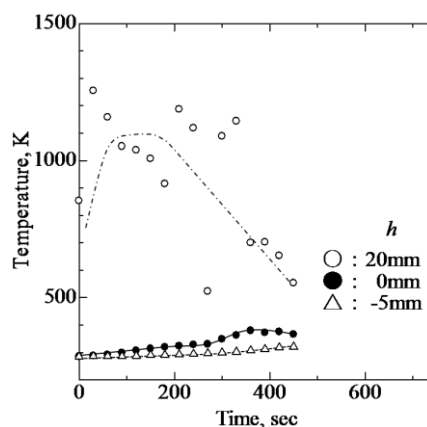


Fig.2 Time histories of temperature of pool frame, fuel-water boundary and water sublayer without emulsion sublayer.



(a) O/W emulsion with surfactant of 0.05



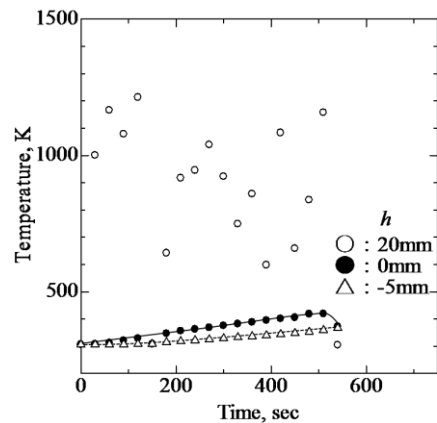
(b) O/W emulsion with surfactant of 0.1

Fig.3 Time histories of temperature of pool frame, fuel-water boundary and water with O/W emulsion sublayer.

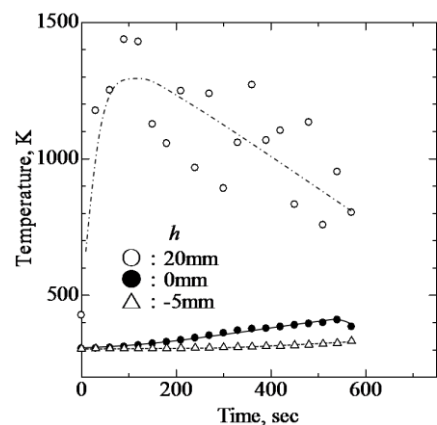
サデカンのみの場合と同じであるが、330s から微弱なボイルオーバーが発生しはじめ、約 400s において強いボイルオーバーにより消炎しており、消炎までの時間はエマルジョン層が

ない場合に比べ 200s ほど短くなった。またエマルジョン層は約 300s より分離を始め、380s で完全に透明となった。本実験で使用したポリオキシエチレンアルキルエーテルの曇点が約 340K であり、かつその温度領域において燃料層、水分層の分離、凝集を伴っている³⁾ことから、そのエマルジョン層がその温度領域に達したことによる変化と考えられる。(b)の場合においても、(a)の場合と同様の経時変化を示しているが、消炎までの時間は長くなった。またボイロオーバー発生回数も減少する傾向が見られた。

図 4 に燃料成分を *n*-ヘキサデカン、燃料層の下に界面活性剤をソルビタンモノオレートとした油中水滴形エマルジョン層が 1mm 存在した場合の温度履歴を示す。(a)は界面活性剤の体積比率を 0.05 とした場合、(b)は体積比率を 0.1 とした場合である。(a)において、火炎温度は燃焼後期においても大きく低下しなかった。ボイロオーバーは消炎 30s 前まで全く発生せず、またその後発生したボイロオーバーは非常に大きく、消炎を引き起こしたものでは燃料が約 1m 飛散した場合も見受けられた。これはエマルジョンが油中水滴型であることによるものだと考えられる。水中油滴型では油滴が水に分散しているためエマルジョン内の水分層が上部の燃料層と接している面積が広いと考えられる。よってボイロオーバーが発生しやすく、消炎までの時間が短くなる傾向が見られた。油中水滴型では水分層は油層に分散した状態であるため、周囲の 100℃を超えた油層により過熱現象が起きやすく、結果ボイロオーバー発生の遅延と大規模化を促したと考えられる。境界面温度は消炎直前まで上昇を続けており、エマルジョン内の水滴が過熱状態であることが予想できる。消炎までの時間はエマルジョン層が無い場合よりも 120s ほど短くなった。(b)においてボイロオーバーはポリオキシエチレンアルキルエーテルを用いた場合と同程度



(a) W/O emulsion with surfactant of 0.05



(b) W/O emulsion with surfactant of 0.1

Fig. 4 Time histories of temperature of pool frame, fuel-water boundary and water with W/O emulsion sublayer.

の回数発生し、火炎温度も時間とともに低下している。油中水滴型においても必ずボイロオーバーの抑制が起きるわけではなく、界面活性剤の割合により抑制の発生が起きるものと考えられる。消炎までの時間はエマルジョン層が無い場合と比べ 90s ほど短くなった。燃料がヘキサデカンの場合においては、いずれの型においてもエマルジョン層が存在することで消炎までの時間は短くなる。これはエマルジョン層が水分を含んでいるため、無い場合と比べ早期に水分層に熱が加わり、ボイロオーバーが発生しやすいためであると考えられる。

図 5 に燃料成分を *n*-ヘキサデカンのみとした場合の火炎から放出される光エネルギー量

の履歴を示す。各波長において放射エネルギーは火災発生後に増加し、ほぼ一定の値を示したのち減少している。これらの経時変化は波長に関わらず、火災温度とほぼ同じ傾向を示していることが確認できる。

図 6 に燃料成分を *n*-ヘキサデカン、燃料層の下に界面活性剤の体積比率を 0.1 としたエマルジョン層が 1mm 存在した場合の火災から放出される光エネルギー量の履歴を示す。(a)は界面活性剤をポリオキシエチレンアルキルエーテルとした場合、(b)はソルビタンモノオレートとした場合である。(a)、(b)ともに、光エネルギーの経時変化は *n*-ヘキサデカンのみの場合とほぼ同じである。しかし(a)において、消炎時の光エネルギーは *n*-ヘキサデカンのみの場合と比べ、小さいことが分かる。

4. おわりに

液面燃焼時の燃料層直下にエマルジョン層が存在した場合の火災温度、境界面温度、水層温度およびボイルオーバー発生頻度について以下の知見を得た。

- (1) 水中油滴型エマルジョンを介在させることでボイルオーバー発生頻度は上昇し、消炎までの時間は短くなる
- (2) 油中水滴型エマルジョンではボイルオーバー発生を抑制し、大規模化させる場合がある。
- (3) 液面燃焼において火災温度は時間の経過とともに低下し、境界面温度と水層温度は一致する傾向にある
- (4) 放射光エネルギーは火災の温度変化とほぼ同じ経時変化を経るが、水中油滴型エマルジョン層を有する場合消炎時のエネルギーは低くなる。

参考文献

- (1) 新井雅隆ほか 2 名, 日本機械学会論文集 B 編, 57(537), 1893-1898 (1991).
- (2) 伊藤昭彦ほか 2 名, 日本火災学会論文集, 54(1), 9-16 (2004).

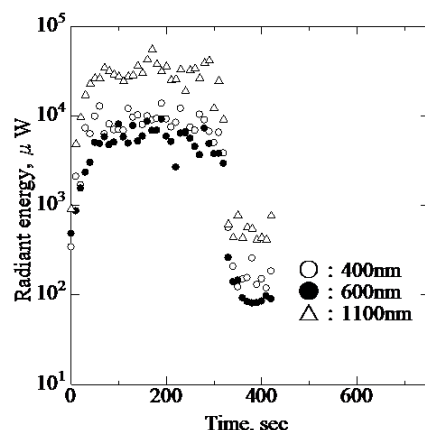
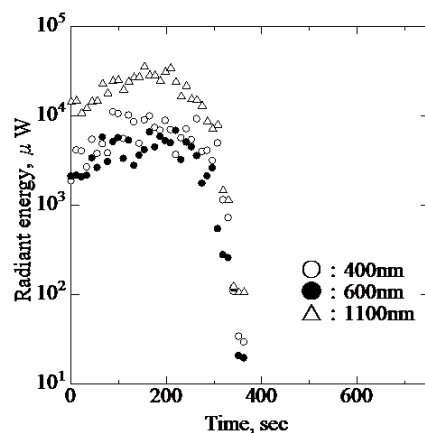
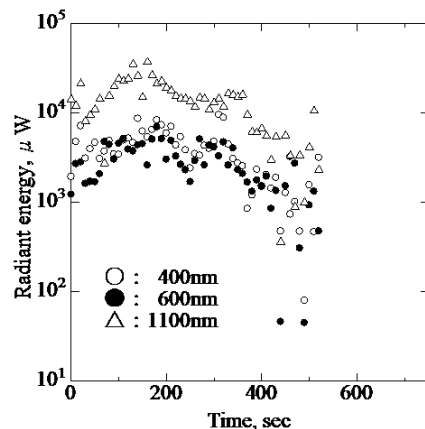


Fig.5 Time histories of radiant energy of pool frame without emulsion sublayer.



(a) O/W emulsion with surfactant of 0.1



(b) W/O emulsion with surfactant of 0.1

Fig.6 Time histories of radiant energy of pool frame, with emulsion sublayer.

- (3) 山崎博司ほか 3 名, Proc. 1st ASPAC, 603-606(1997).