1-14

# 液面燃焼におけるボイルオーバーの発生

日大生産工	(院)	○島根	大輔	日大生産工	山﨑	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 および消化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 温度履歴および火炎温度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

図1に実験装置の概略図を示す.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 1 mmのステンレス製円筒であり、3 点支持され た黄銅製平板またはパイレックスガラス平板 のうえに密着設置されており,側面は断熱材で

覆われている.測定系は温度計測系,AE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 =0mm) としてそれぞれ h =20mm, 0 mm, -5mmである.AE計測系は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. 分解能は 16bit, バ ッファ容量は 4k word である. 計測は wave



Fig.1 Schematics of Experimental Apparatus

Occurrence of Boilover Phenomena in Pool Fire

Daisuke SHIMANE, Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA, Yasushige UJIIE

モードで行い、サンプリング周波数は 200kHz とした.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,定常燃焼時の波長域での分布および 履歴の計測を行った. 光パワーセンサの位置は 火炎中心より 300mm とし、測定波長は 400 ~1100nmの間で100nmごととし、サンプリ ング間隔は 0.1s とした. 可視化系は 2 台のビ デオカメラと光源で構成し、1台は上部より液 面燃焼とボイルオーバー過程を記録した.他の 1台は,底面を硝子板とした場合に容器下部に 光源およびビデオカメラを設置して,エマルジ ョン層の変化および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-ドデカンお よび 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. 供試エマルジョンの初期 含水率は0.5 であり、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 を 用い,体積比率を0.1とした.マグネチックス ターラで十分に攪拌して水中油滴形エマルジ 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ブタン炎で 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,燃料成分をn・ドデカンとした場合 の温度履歴を示す.(a)は燃料層をn・ドデカン のみとした場合であり,(b)は燃料層の下部に1 mmのエマルジョン層が存在した場合の結果 である.(a)においては観察結果より,下部水 分層の沸騰は約400sより発生が開始した.ま たボイルオーバーによる燃料層の飛散は515s, 609s,643sで確認され,653sのボイルオーバ ーにより消炎に至った.火炎内温度は燃焼開始 より上昇し,ほぼ820Kで一定の値を示してい る.沸騰開始時刻より徐々に減少し,消炎に至 っている.これは燃料層の消費による火炎の縮 小とともに,燃料層と水分層の境界温度は沸騰 開示時刻までは上昇を続け,沸点直上までは上



(a) n-Dodecane layer (10mm) on water sublayer



(b) n-Dodecane (9mm) and n-dodecane/water emulsion layers (1mm) on water sublayer

Fig. 2 Time histories of temperature of pool frame, fuel-water boundary and water sublayer.

昇するものの,沸騰開始後は減少する.一方で, 境界より下部 10mm の水分層温度は上昇を続 け,最終的には境界面温度とほぼ一定している. 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2 (b)のエマルジョン層を介在させた場合では, 沸騰開始は約450sで確認され,(a)の場合とほ ぼ同じであった.一方でエマルジョン層は約3 60s より拡散を始め,420s ですべてが拡散し た.本実験で使用した界面活性剤の曇点が約3 40K 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)場合,火 炎温度の上昇過程は同じであるが,下降過程は (a)に比べて顕著であった. その原因として、 沸騰過程の顕著な変化が見られた. 燃焼過程後 半部において,エマルジョン層が消失している ものの突沸発生に伴って爆裂音を伴う微小な 水滴の飛散が観察された. その結果として, 火 炎温度の低下が発生したものと考えられる.水 分層の温度上昇は両者で大きな違いがないの に対し、燃料層と水分層の境界にあるエマルジ ョン層の温度履歴は、燃焼後期において(b)の ほうが若干低い傾向があり,上記の小液滴飛散 による効果による可能性がある.一方で上記の 違いがあるものの、消炎までの経過時間は(a)、 (b)で大きな違いは見られない.

図3に燃料成分をn-ヘキサデカンとした場 合の結果を示す. 図(a)は n-ヘキサデカンの みの場合である.図(a)においては、ボイルオ ーバーは210sから451sの間で11回が確認さ れ, n-ドデカンよりも発生頻度は高く, かつそ の強度も大きい傾向が見られた.火炎温度の低 下は n-ドデカンの場合と同じく沸騰開始後の 約250sより低下がみられ、その後、ボイルオ ーバー発生とともに、大きく火炎温度が低下し て, 消炎に至る. 火炎温度の低下の割合は n-ドデカンに比べて大きく, 消炎もまた早いこと がわかる.一方で境界面の温度上昇は約 250s でほぼ水の沸点付近にまで上昇しており,また 水分層内の温度履歴についても,両者に差異は みられない. 図(b)のエマルジョン層が介在し た場合では,前者における沸騰の発生は確認さ れなかった. 一方エマルジョン層は 300s から 崩壊が始まり、約380sで消失した.330sから 微弱なボイルオーバーが発生しはじめ、約40 0s において強いボイルオーバーにより消炎し た. 図(b)より, 図2および図3(a)に見られる ような火炎温度の低下は見受けられず,火炎温 度は上昇傾向にある.また境界面温度も上昇傾 向にあり,微小なボイルオーバーが発生しない ことに起因したものと考えられる.またエマル



(a) n-Hexdecane layer (10mm) on water sublayer



(b) n-Hexadecane (9mm) and n-hexadecane/water emulsion layers (1mm) on water sublayer

Fig. 3 Time histories of temperature of pool frame, fuel-water boundary and water sublayer.

ジョン層温度も高くなっており, 消炎を生じさ せる強いボイルオーバー発生に至ったものと 推測できる. それらの結果として, 消炎までに 時間は短くなった.

図4に燃料成分をn-ドデカンとした場合の 火炎から放出される光エネルギー量の履歴を 示す.(a)は燃料層をn-ドデカンのみとした場 合であり,(b)は燃料層の下部に1mmのエマル ジョン層が存在した場合の結果である.各波長 において放射エネルギーは火炎発生後に増加 し,その後減少する.これらの経時変化は波長 に関わらず,火炎温度とほぼ同じ傾向を示して



(a) n-Dodecane layer (10mm) on water sublayer



(b) n-Dodecane (9mm) and n-dodecane/water emulsion layers (1mm) on water sublayer



いることが確認できる.エマルジョン層がある 場合についてもほぼ同様であるが,消炎時の放 射エネルギーが小さいことがわかる.

図 5 は燃料成分を n-ヘキサデカンとした場 合である.図(a)の場合に約 300s において急激 なエネルギーの低下が確認できる.エマルジョ ン層がある図(b)は放射エネルギーの低下の度 合いが大きい.

# 4. おわりに

水分層と燃料層の間にエマルジョン層を介 在させた場合の液面燃焼過程におけるボイル オーバー発生と水分層上面温度,および火炎温 度との関係を検討した結果,以下の結論を得た.

(1) n-ドデカンにおいては消炎時間は変化に しないのに対し, n-ヘキサデカンの場合に消炎



(a) n-Hexdecane layer (10mm) on water sublayer



(b) n-Hexadecane (9mm) and n-hexadecane/water emulsion layers (1mm) on water sublayer

Fig.5 Time histories of radiant energy

までの時間は短くなる

(2)油層,水分層の境界温度と境界下部5 mmの温度は燃焼後期で一致する場合がある.

(3) 放射光エネルギーは火炎の温度変化とほぼ同じ経時変化を経るが,消炎時にはエマルジョン層を有する場合のほうがエネルギーは低い.

# 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).

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

— 54 —