

強制対流拡散下の液面燃焼の特性について

その他（別言語等） のタイトル	On the Characteristic of Liquid Surface Combustion under the Forced Convective DiffuSion
著者	澤 則弘, 林 重信
雑誌名	室蘭工業大学研究報告. 理工編
巻	6
号	3
ページ	933-949
発行年	1969-07-15
URL	http://hdl.handle.net/10258/3473

強制対流拡散下の液面燃焼の特性について

沢 則 弘*・林 重 信

On the Characteristic of Liquid Surface Combustion under the Forced Convective Diffusion

Norihiro Sawa and Shigenobu Hayashi

Abstract

To investigate the fundamental characteristic and construction of the liquid surface evaporating-combustion, we measured mainly the fuel consumption, the distribution and maximum value of combustion flame temperature, and the flame height and took the photograph of flame-shape and sketched the construction of combustion flame.

These experiments are carried out with the liquid surface combustor of 20 mm diameter changing the velocity of supplied air, the depth of liquid surface in combustion cup, the distance from the cup end to the exit of supplying air tube, and the depth of the combustion cup.

This paper presents the results obtained from the experiments as mentioned above.

I. 緒 言

自由液面における液体燃料の蒸発燃焼は、石油火災や、ポット式石油ストーブの特別な場合に関係しており、その燃焼速度は空気と燃料蒸気との混合拡散に強く支配されるので、物理的条件すなわち火炎から液面への熱伝達量、燃焼用空気の流れ状態に左右されるであろう。従来、液面燃焼の燃焼速度や火炎構造などに関する理論的および実験的研究も数多く見受けられるが、強制対流下における液面燃焼に関しては比較的少ない。

また、室蘭港におけるタンカー（ヘイム・ワイルド号）の火災やポット式石油ストーブ内における火炎の挙動等に見られるように不明の点も多いようである。かかる観点から強制対流下の液面燃焼における火炎特性に注目し、その第1段階として、火炎と平行に強制送風させた場合について、燃焼容器の深さ、油面深さ、送風状態などの火炎構造に及ぼす影響について実験的に調べたので報告する。

II. 実験装置および方法

実験装置の写真を図-1(a), (b)に、配置系統図を図-2に、供試燃焼器の詳細を図-3に示

* 茨城大学工学部教授

す。すなわち、市販の薄肉パイプ (内径 20 mm ϕ) を利用して、深さ $l = 5$ mm, 10 mm および 35 mm の燃焼容器 (3 種類計 7 個; 図-3(a) 参照) と強制送風管 (図-3(b) 参照) を製作し、燃焼容器を強制送風管に挿入して両管先端の距離 (h) を任意に設定し ($h = 40, 20, 0, -20$ および

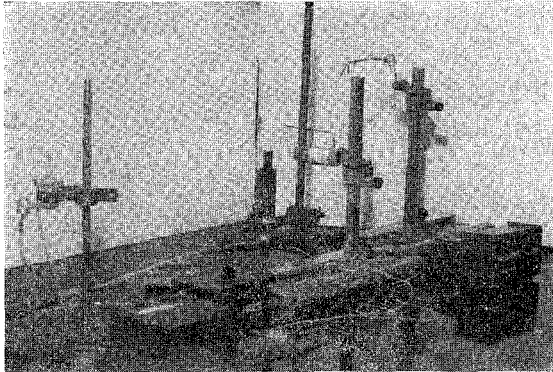


図-1(a)

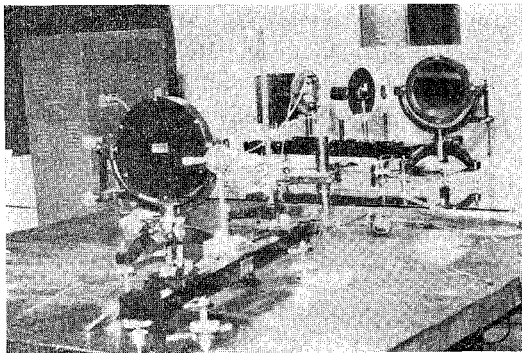


図-1(b)

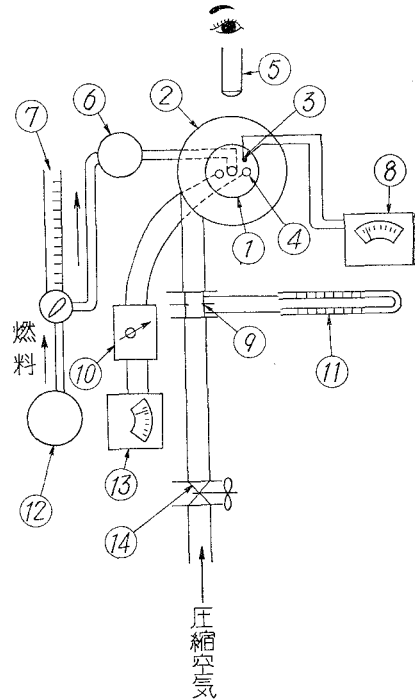


図-2 実験装置

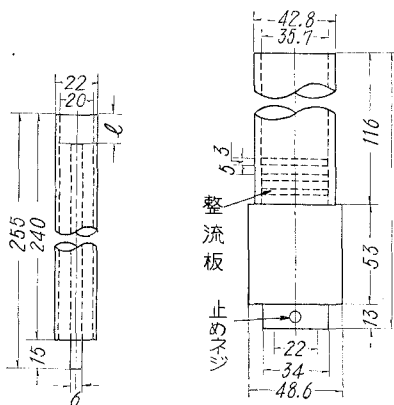


図-3(a) 燃焼カップ

図-3(b) 強制送風管

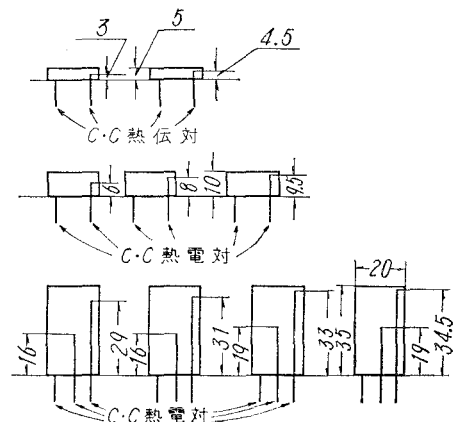


図-4 熱電対取り付け位置

−40 mm), 強制送風式液面燃焼器とした。この際, 燃料には灯油 1 号を用い, 燃料タンクから容積型流量計 (図-2, ⑦), 液面調正用浮子室 ⑥ を経て燃焼容器に供給する。これに対し, 強制送風用空気は空気圧縮機から流量調整用コック ⑭, 流量測定用の管内丸型オリフィス ⑨, 強制送風管内の整流装置を経て, 燃焼容器外周から火炎に平行に送風する。なお, 空気流速の測定には丸型オリフィスの他にサーミスタ風速計をも使用した。燃焼時の液温は予め燃焼容器に取付けた C・C 熱電対 ④ で (図-4 参照), 燃焼火炎の温度分布や最高温度の測定は二次元微動装置に固定した A・C 熱電対 ③ で, その最高温度の生ずる箇所や火炎長さ (L) はカセットメーター ⑤ を用いて測定した。また, 火炎形状の記録はカラー写真撮影, シュリーレン撮影 (図-1 (b) 参照) およびスケッチによった。なお強制送風流速 $v_a = 0$ のときは強制送風管 ② の底部を開放して自然通風が行なわれるようにした

III. 実験結果および方法

III-1 火炎形状および燃焼速度

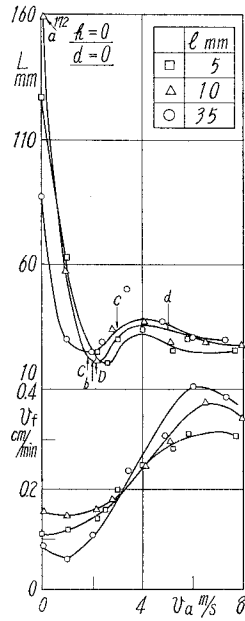
3 種類の燃焼容器 ($l=5, 10$ および 35 mm) を用い, 任意の容器高さ (h), 液面深さ (d) に設定し強制送風の流速 (v_a) を無風状態 ($v_a = 0$) から徐々に増加させた場合の実験結果 (火炎長さ (L), 燃焼速度 (v_f)) の代表例を図-5, 6, 7, 8 に示す。また, 図中, a, b, c, …, A, B, … などに対応する燃焼火炎のカラー写真, シュリーレン写真およびスケッチ図を図-9, 10 に示す。まず, 図-5, 図-9 および 図-10 において, 無風状態 ($v_a = 0$) における液面燃焼の火炎は表面が滑らかな円錐状の橙色火炎で, その底部は燃焼容器の縁に覆いかぶさって, Blue flame となっている。

これはよく知られている代表的層流火炎である (図-9 (a) 参照, ここでは A 型火炎という)。この場合, 激しい煤の発生が認められ, 燃焼速度も低い。この燃焼速度 (v_f) および火炎長さ (L) は $v_f = 0.1 \sim 0.15$, $L/D = 4.5 \sim 8.5$ (D : 容器直径) で, Blinov の実験値¹⁾, $v_f = 0.2$ cm/min, $L/D = 7 \sim 8$ とかなりよく近似している。しかし, いずれも燃焼容器の深さ (l) によって大幅に変わっている。従来, 液面燃焼の燃焼速度は燃焼容器の直径に左右されることが指摘されており, たとえば H. C. Hottel²⁾ は

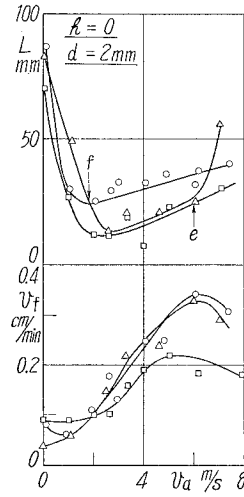
$$v_f = \frac{1}{\rho H} \cdot \frac{4q}{\pi D^2}$$

ρ : 液体の密度, H : 蒸発熱, q : 熱面の熱吸収速度, D : 容器直径

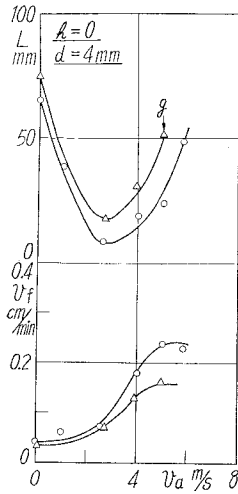
の関係を与えて, 燃焼速度 (v_f) を支配する熱面の熱吸収速度 (q) は火炎と燃料液面との間の熱伝導, 熱対流および熱輻射の和で求められ, それら各因子の寄与の大きさが容器径 (D) により変化するという考えのもとに実験結果を説明している。同様に, 供試燃焼容器では直径が比較的小さいので, 容器の縁を介しての熱伝導の寄与が大きくなり, その値が容器深さ (l) によって異なる



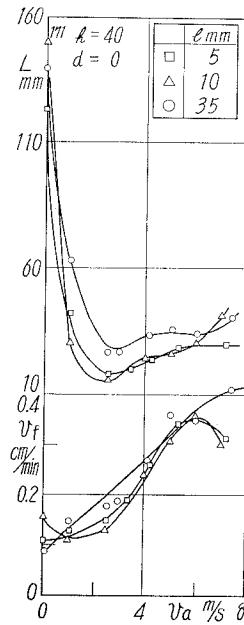
図—5 火炎長さ，燃焼速度と空気流速
($h=0, d=0$)



図—6 火炎長さ，燃焼速度と空気流速
($h=0, d=2$)



図—7 火炎長さ，燃焼速度と空気流速
($h=0, d=4$)



図—8 火炎長さ，燃焼速度と空気流速
($h=40, d=0$)

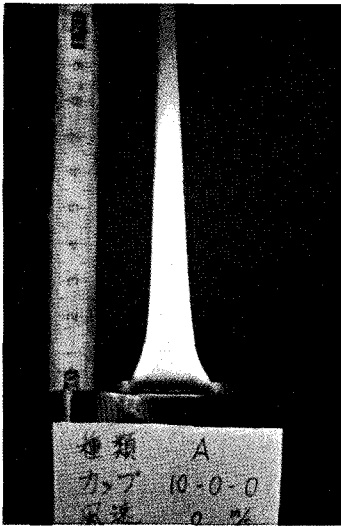


図-9(a)

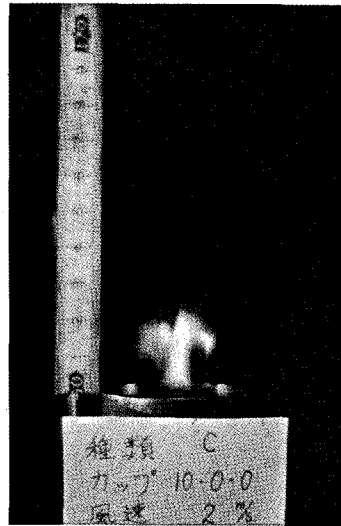
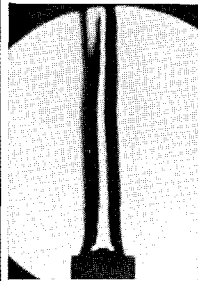


図-9(b)

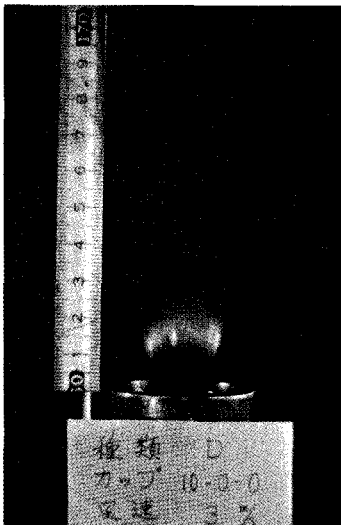


図-9(c)

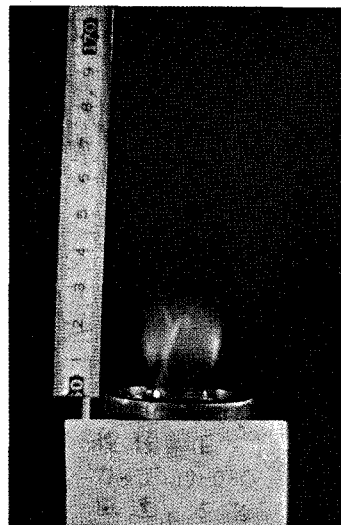
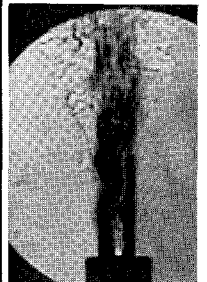


図-9(d)





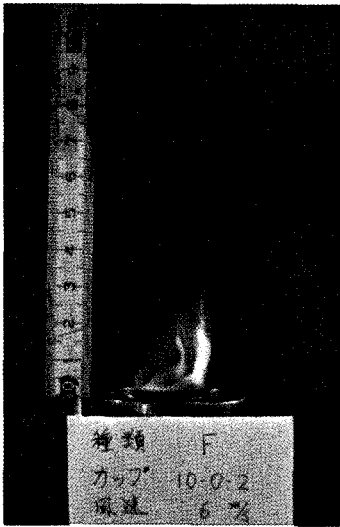


図-9(e)

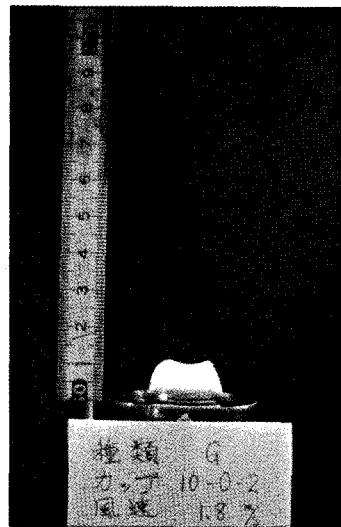


図-9(f)

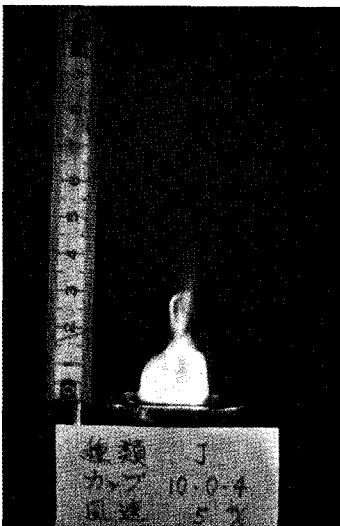


図-9(g)

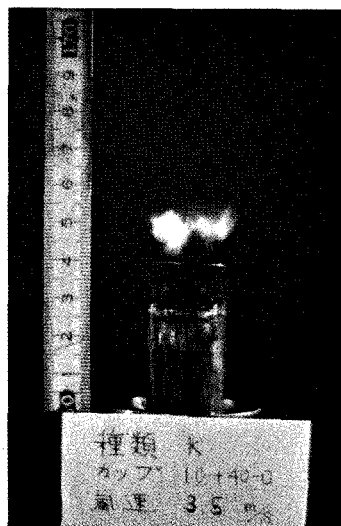


図-9(h)



るために生じた現象と思われる。なお、この場合の火炎長さ (L) は燃焼容器 $l=5, 10$ および 35 mm に対し、それぞれ $L=126, 172$ および 87 mm 、そのときの燃焼速度 (v_f) は $1.1, 1.55$ および 0.85 cm/min となり、火炎長さ (L) と燃焼速度 (v_f) との間には直線的比

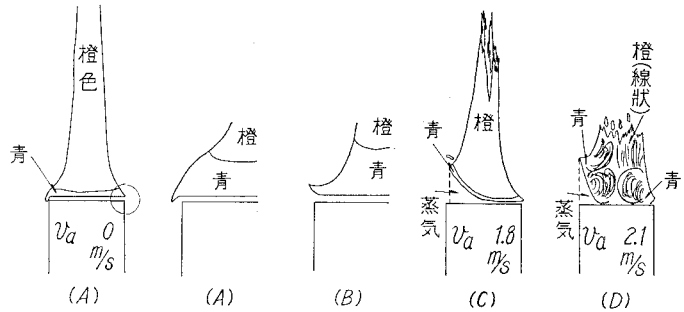


図-10 火炎の形状 ($h=0, d=0$)

例関係があることがわかる。この結果は、K. Wohl³⁾ や Hottel⁴⁾ がバーナー層流拡散炎から求めた関係

$$L = V \cdot D^2 \cdot \theta_f / 4Q$$

V : ガス出口から x における流速, θ_f : 無次元量, D : 管径, Q : 拡散係数

と全く同一の傾向である。このように、本実験と K. Wohl らの研究とでは燃料の供給形式が違いますが同一の法則に支配されているものと考えられる。次に、強制送風の空気流速を徐々に増加させていくと、まず火炎底部の Blue flame が燃焼容器から離れはじめ (図-10 (A) および (B) 参照), つづいて浮き上り、全体としての火炎長さは急激に短縮し (燃焼速度も僅かながら低下するか、ほとんど変らない), 空気流速 $v_a = 1.8\text{ m/s}$ 附近までは円錐状火炎である。この場合 Blue flame の厚さは不安定であるが、全体としては層流火炎に近い (図-10 (C) 参照 B 型火炎とする)。このように燃焼火炎の乱れは液面深さが $d=0$ の場合には火炎の底部から始まるがさらに、 $v_a = 2\text{ m/s}$ となると火炎長さ (L) は最小 ($L/D = 1.0 \sim 1.2$, 図-5 参照) になるとともに層流火炎でみられた滑らかな橙色部分は消え、火炎先端部は青紫色に変わり、シュリーレン写真や肉眼でも明確に観察できるが火炎が渦状に巻き込まれるいわゆる乱流火炎に移行する (図-9 (b) および 図-5 b 印, 図-10 (D) 参照, C 型火炎とする)。この際、燃焼速度 (v_f) も増加している。

さらに流速が増すと ($v_a = 3\text{ m/s}$), 火炎全体が Blue flame となり、その浮上り高さも増加する。このため、火炎長さ (L) も僅かに高くなる傾向を示す ($L/D = 1.5 \sim 2.0$, 図-9 (c) および 図-5 C 印参照, D 型火炎とする)。さらに空気流速 (v_a) が増加すると 図-9 (e) および (g) のように火炎の一部が吹き消えを開始し (F 型火炎および J 型火炎), このため燃焼速度 (v_f) が低下する傾向さえ示す (図-5 参照)。かかる燃焼火炎形状発生と空気流速 (v_a) との関係は概略 図-11 のとおりであり、その場合の設定条件 (燃焼容器の種類 (l), 容器の位置 (h) および液面深さ (d) は表-1 のとおりである。このように燃焼火炎の形状は気流の状態に強く支配されるので、火炎底部の燃焼容器への覆いかぶさりや、高流速時の巻き込みを防ぐ意味で燃焼容器の液面を下げると無風状態 ($v_a = 0$) における火炎長さ (L) も短かく、空気流速 (v_a) の増加による層流火炎

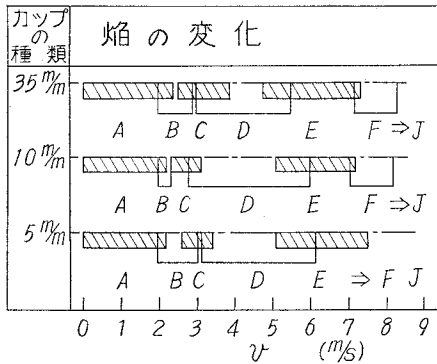


図-11 焰形状と風速の関係

は顕著に短くなる (図-6 および 図-7 参照)。さらに、高流速領域の火炎長さ (L) は急激に増加する傾向を示し $d=0$ の場合とかなり様相が異なる。

この場合燃料蒸気の拡散混合が悪化するので燃焼速度 (v_f) も低く、吹消えを生ずる空気流速 (v_a) も順次低くなる (図-12, 13, 14 および 図-15 参照)。また、これに応じて火炎形状も変わってくる。たとえば液面深さ $d=4$ mm の状態で強制送風燃焼をさせた場合に例をとると、図-16 に示すように空気流速 (v_a) に応じて変化する。すなわち、 $v_a=0$ の場合 (図-16(a) 参照) には火炎長さ (L) は短い $d=0$ のときと同様に円錐状の層流火炎である。しかし、火炎底部の覆いかぶさりや煤の発生などはほとんど認められない。この状態で、徐々に送風空気量を増加させると火炎の先端は急激に短くなり

表-1 燃焼容器の種類

設 定 条 件								
l	h	d	l	h	d	l	h	d
5	-40	-2	10	-40	-2	35	-40	-4
5	20	-2	10	-20	-2	35	-20	-4
5	0	-2	10	0	-2	35	0	-4
5	+20	-2	10	+20	-2	35	+20	-4
						35	+40	-4

長さの減少もいちじるしく、しかも空気流速 $v_a=2$ m/s 付近における火炎長さ (L) の最少値

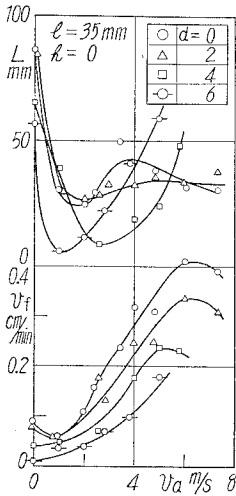


図-12 火炎長さ、燃料速度と空気流速 ($l=35, h=0$)

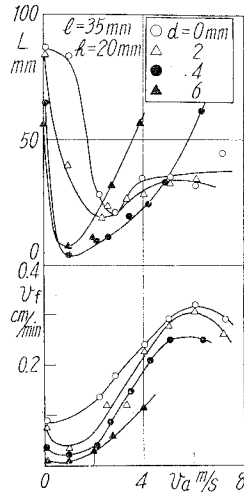


図-13 火炎長さ、燃料速度と空気流速 ($l=35, h=20$)

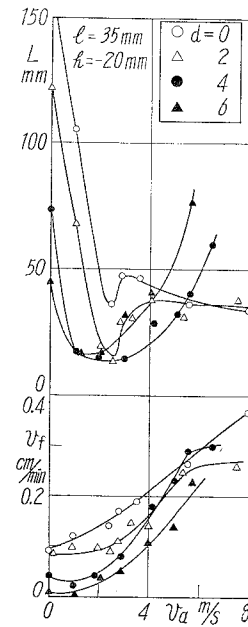


図-14 火炎長さ、燃料速度と空気流速 ($l=35, h=-20$)

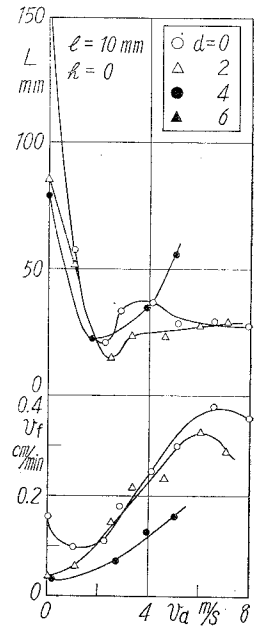


図-15 火炎長さ、燃料速度と空気流速 ($l=10, h=0$)

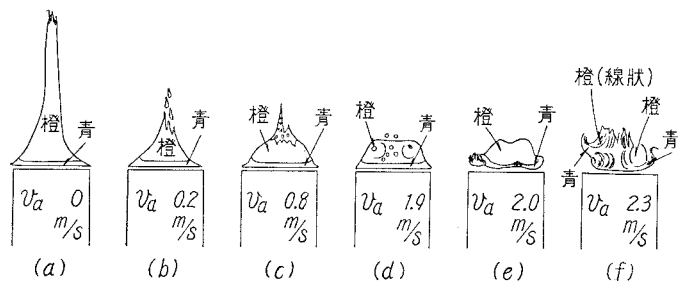


図-16 火炎形状

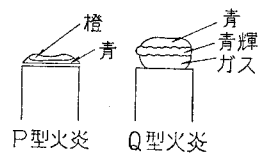


図-17 火炎の形状

(図-16 (b), (c) 参照), $v_a = 1.0 \sim 1.2$ m/s 附近で図-17 に示すような梯形型の非常に短い火炎 (P 型火炎) となる。この火炎がきれいな梯形型となり (図-16 (d), $v_a = 1.9$ m/s および 図-9 (f) 参照; G 型火炎とする), さらにこれが段々と乱れ始め (図-16 (e) および (f)), $v_a = 2.6 \sim 4.8$ の範囲では丸味をおびたいわゆる Q 型火炎 (図-17 参照) となる。さらに空気流速 (v_a) が増加すると先に 図-9 で示した E, F, J 型火炎へと移行する。かかる燃焼火炎の発生と空気流速 (v_a) との関係は 図-18 のとおりである。

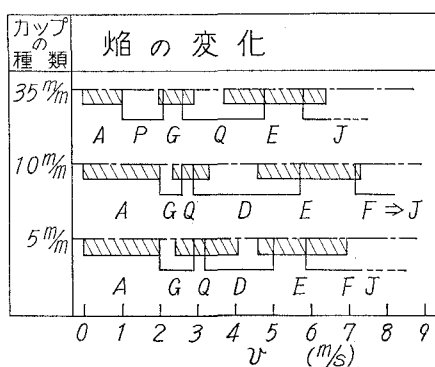


図-18 焰形状と風速の関係

なお、全体として空気流速 $v_a = 0 \sim 1.5$ m/s の範囲では層流火炎のままで、火炎長さ (L) が減少する。これは、無風状態 ($v_a = 0$) では、バーナー火炎で燃料ガスに流速を与えた場合と密接な関係があったにも拘わらず、バーナー火炎の場合と全く逆の傾向である。しかし、この場合火炎自体は対流による上昇流をもっており、最初のうちは燃焼火炎と空気流速との相対速度が空気流速の増加につれて順次減少するためと考え、相対速度がほとんど零になったところで燃焼も不安定となり、その速度も最小で液面上に炭素粒の堆積さえ生ずる。層流火炎から乱流火炎への遷移域を経て、再び相対速度が増加するため火炎長さ (L) および燃焼速度 (v_f) が增大すると考えるならば、バーナー火炎の考察が液面燃焼にも拡張できることになる。次に乱流火炎の長さ (L) は燃焼容器の種類 (l) によってあまり変わらない (図-5 参照), しかし燃焼速度 (v_f) は $v_a = 3$ m/s を境にして逆の関係にあり、その交叉点は液面深さ (d) が増加すると低空気流速側に移行し (図-6 参照) 興味ある現象を呈している。また燃

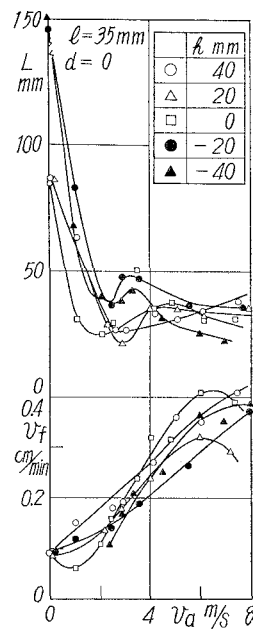


図-19 火炎長さ, 燃焼速度と空気流速 ($l=35, h=0$)

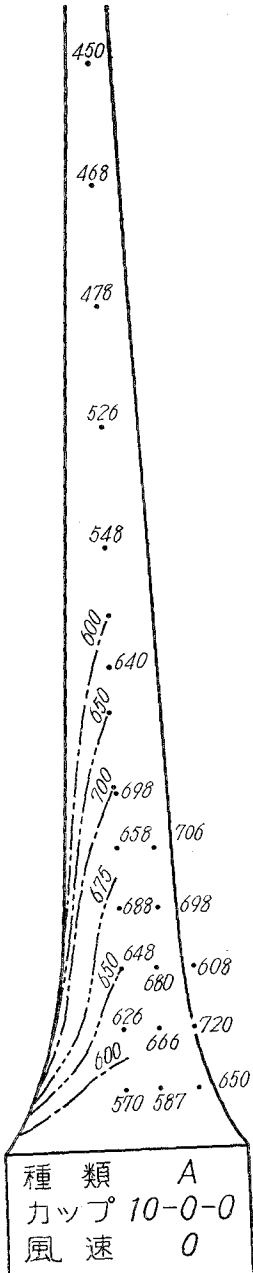


図-20 温度分布

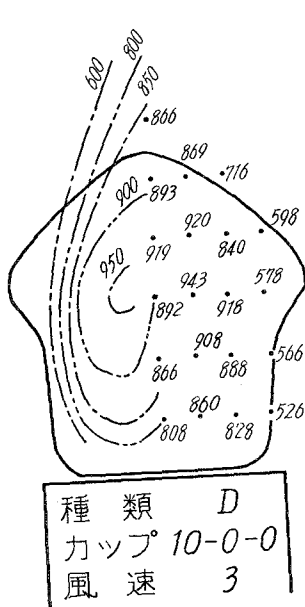


図-21 温度分布

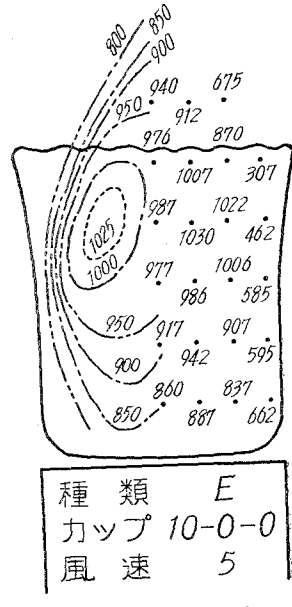


図-22 温度分布

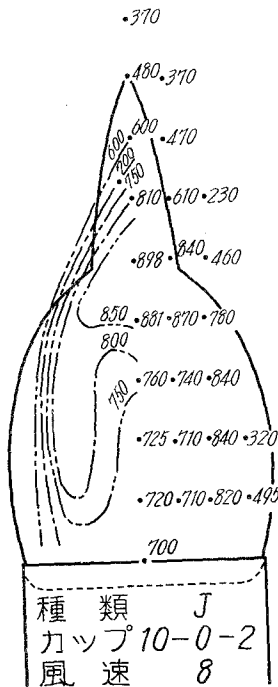


図-23 温度分布

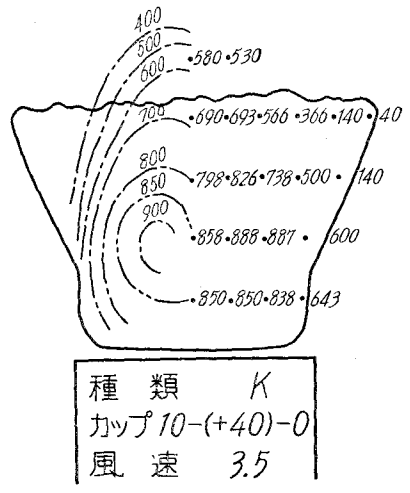


図-24 温度分布

焼容器が高くなると ($h = -40 \rightarrow 0 \rightarrow 40$), とくに層流火炎の長さ (L) は短かく ($v_a = 0$), 乱流火炎においても同様の傾向が認められる (図-19 参照)。これは空気流の外側への拡散に影響され, 燃焼火炎も 図-9 (h) に示したように逆梯形型 (K 型火炎) に変形するものと思われる。とくに $h = 40 \text{ mm}$ ともなると, 強制送風管出口近傍では空気の乱れも小さいが, 燃焼容器附近ではかなり激しく乱れており, 気流の拡がりが大きくなるのがわかる。

III・2 火炎温度および液温

燃焼容器 ($l = 10$) による代表的な燃熟火炎について, 各点の温度を測定しその温度勾配をもとに等温線を描くと 図-20 ($h = 0, d = 0, v_a = 0$, A 型火炎), 図-21 ($h = 0, d = 0, v_a = 3$, D 型火炎), 図-22 ($h = 0, d = 0, v_a = 5$, E 型火炎), 図-23 ($h = 0, d = 2, v_a = 8$, E 型火炎) および 図-24 ($h = 4.0, d = 0, v_a = 3.5$, K 型火炎) のようになる。図において, 空気流速 $v_a = 0$ の層流火炎 (A 型火炎) では中心部に最高値をもつなだらかな層状の温度分布であり, 燃料蒸気は燃焼に基づく自然対流のため, 周囲の空気と混合しながら燃熟し上昇していくことがわかる。これらの測定結果によると, 比較的径の大きい C・A 熱電対を使用したことや, 燃焼容器自体が小さいなどの理由のために火炎の最高温度が予想以上に低く 720°C 程度である (図-20 参照)。これが, 空気流速 (v_a) が増すと, その温度分布は乱れて渦状となり, 燃料蒸気と空気との拡散混合も活発化し火炎温度は全般的に高く 1020°C 程度までにあがる (図-21, 22 参照)。このように温度分布からも乱流火炎であり, 燃焼ガスの流動模様がよくわかる。また, 火炎温度は液面深さ (d) が大きく (図-23 参照), 燃焼容器の位置 (h) が高いほど (図-24 参照) 火炎温度は低くなる。これらは, いずれも先に示した燃焼速度との間に相関関係があることを示すものである。

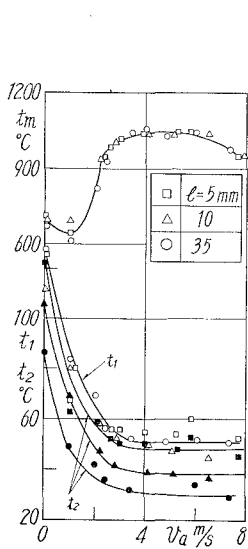


図-25 火炎温度, 液温 ($h = 0, d = 0$)

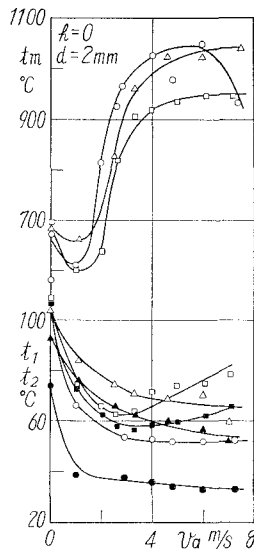


図-26 火炎温度, 液温 ($h = 0, d = 2$)

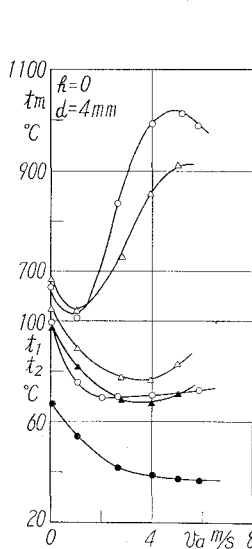


図-27 火炎温度, 液温 ($h = 0, d = 4$)

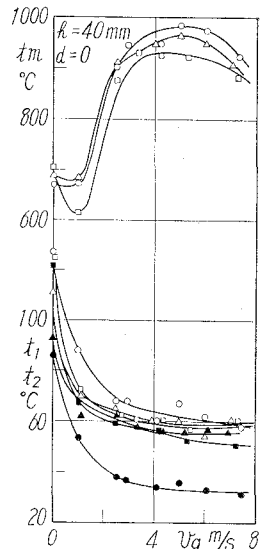


図-28 火炎温度, 液温 ($h = 40, d = 0$)

かかる関係をより明確にするため、火炎の最高温度に注目し、図-5~12に示した火炎長さ (L) や燃焼速度 (v_f) の実験結果と同一実験において測定した火炎最高温度 (t_m) を示したのが図-25~33である。同図には燃料液面の温度 (t_1) および燃料液中温度 (t_2) をも併記している。まず、燃焼容器の種類 (l) の火炎温度や液面温度に及ぼす影響をまとめた図-25, 26, 27 および 28によると、 $h=0, d=0$ の場合 (図-25) には燃焼容器の如何に拘わらず火炎最高温度 (t_m) は一つの曲線上によく揃っており、その影響が認められない。しかし、 $d=2, 4$ mm のように液面が低い場合 (図-26, 27) や燃焼容器位置が高く $h=40$ mm の場合 (図-28) には、それらによる差位が明らかに認められ、図-6~8に示した燃焼速度 (v_f) と比例関係にあることがわかる。なお、火炎最高温度曲線は空気流速 (v_a) が増加すると一度低下し、 $v_a \approx 1$ m/s 付近でもっとも低く、次に順次増大し、 $v_a = 4 \sim 5$ m/s で最高となり、その値を $v_a > 6$ m/s まで持続するか再び低下する。かかる火炎最高温度 (t_m) と空気流速 (v_a) との関係も燃焼速度 (v_f) の場合と相似しており、燃焼速度に関する考察の裏付けとなる。したがって、火炎最高温度 (t_m) の測定から燃焼速度 (v_f)、ひいては燃焼状態の推定が可能と云えよう。これに対して、液面温度 (t_1) は層流火炎 ($v_a = 0$) でもっとも高く、 $100 \sim 130^\circ\text{C}$ となっている (点火後約 10 分を要する)。しかし、空気流速の増加に伴って、その温度 (t_1) は急激に増加し、 $v_a > 3$ m/s の範囲では灯油の引火温度 ($30 \sim 40^\circ\text{C}$) より僅かに高い一定値 (約 50°C) になる。もちろん、液面温度を規定するのは、火炎温度、火炎からの熱伝達および燃料の気化潜熱、空気流速による冷却、火炎の浮上りなどであり、

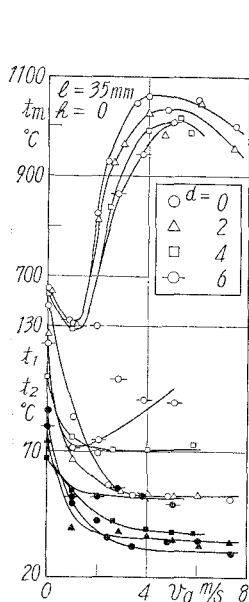


図-29 火炎温度、液温 ($l=35, h=0$)

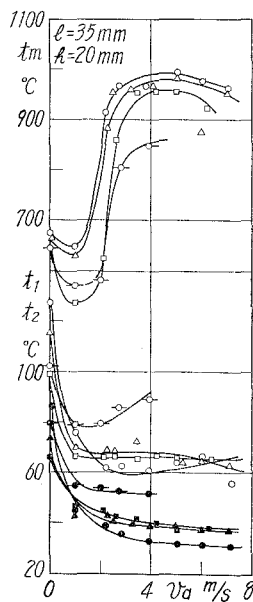


図-30 火炎温度、液温 ($l=35, h=20$)

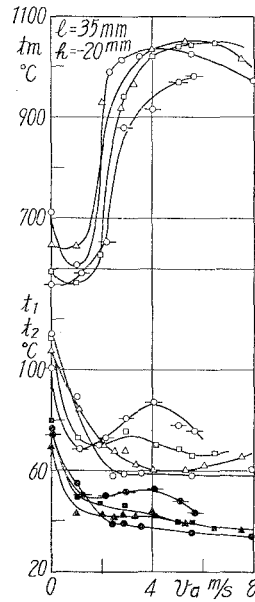


図-31 火炎温度、液温 ($l=10, h=0$)

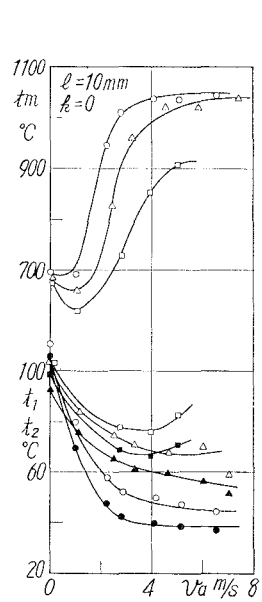


図-32 火炎温度、液温 ($l=10, h=0$)

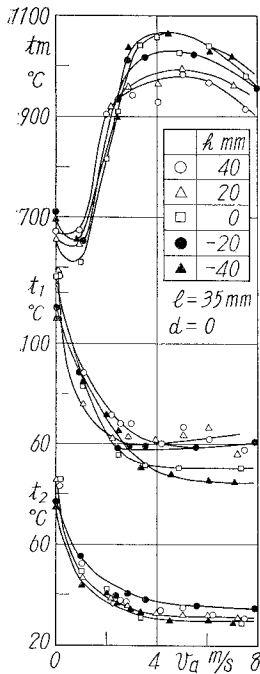


図-33 火炎温度、液温 ($l=35, d=0$)

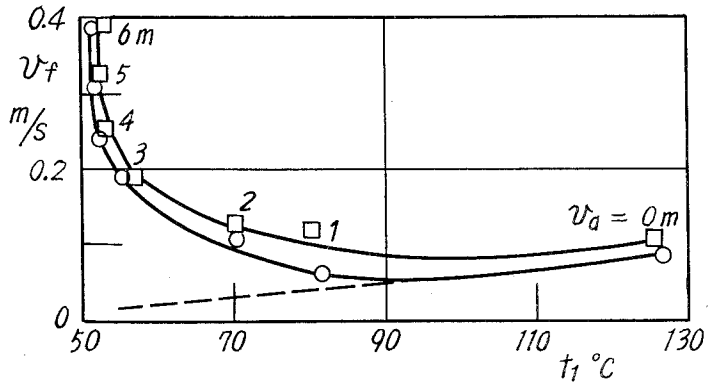


図-34 液面温度と燃焼速度

空気流速の増加にもとづく熱伝達形式の変化や後三者の増加のため、液面温度 (t_1) は低下するが乱流火炎となると、熱伝達の増加がもたらされ液面温度が一定値を示すものと思われる。次に液中温度 (t_2 , 図中黒印) は燃料の熱伝導性⁵⁾ に支配されるので、液面温度 (t_1) と同様の経過をたどることがわかる。かかる火炎最高温度 (t_m) は無風状態 ($v_a = 0$) では燃料蒸気と空気の拡散混合が自然対流により行なわれるため、設定条件によらずほぼ一定値をとる。しかし乱流火炎領域では、液面深さ (d) が大きいほど (図-29, 30, 31 および 32 参照), 燃焼容器の位置 (h) が高いほど火炎温度は低い (図-33 参照)。しかし火炎最高温度曲線そのものの空気流速 (v_a) に対する傾向は、図-25 の場合と同じであるがその値は火炎最高温度の場合とは逆に、燃焼容器寸度 (l) が小さく、液面深さ (d) が大きく、燃焼容器位置 (h) が高いほどたかくなる。しかも、液面深さ $d = 4 \sim 6$ mm の場合には、空気流速 (v_a) の増加とともに、低下していた火炎最高温度 (t_m) が再び上昇する傾向を示すようになる。いま、先に示した燃焼速度 (v_f) の実験値 (図-5, 燃焼容器 $l=10, h=0, d=0$) を、そのときの温面温度 (図-25) でプロットしてみると図-34 のような関係が求まる。同図には強制送風しない場合の液面温度 (t_1) と燃焼速度 (v_f) との関係を想定し、点線で示したが、もし液面温度の低下が無視できるような場合には、空気流速 (v_a) の燃焼速度 (v_f) に及ぼす効果はより大きくなることがわかる。

IV. 結 言

以上、液面燃焼に関する基本的実験を行ない、得られた現象につき定性的考察を試みたが要約すると次のとおりである。

1) 無風状態 ($v_a = 0$) の液面燃焼では、温度分布がなめらかな層状であり、火炎温度は設定条件 (h, d) が変わってもほぼ一定である。燃料蒸気と空気との拡散は自然対流によるため速や

かに進行せず燃焼速度が遅く、反応帯(炎)を通過する時間も長いいため火炎も長くなる。この火炎長さは燃焼容器の種類(l)、高さ(h)、液面深さ(d)の影響を受けるが、燃焼速度との間には直線的な比例関係がある。また、火炎の底部が容器の縁に附着し、そこからの熱伝導が多いので液面温度は高い($t_1=100\sim 130^\circ\text{C}$)。

2) 空気流速 $v_a=1\sim 2\text{ m/s}$ 附近で層流火炎から乱流火炎への遷移域が生じ、この範囲では火炎の最高温度の低下、火炎長さの短縮、燃焼速度の減少をきたし、燃焼容器内に固体炭素の沈澱をみる。これは、火炎による燃料蒸気の上昇速度と空気流速の相対速度が小さくなり、拡散速度も減少し燃焼状態の悪化をもたらしたためと考えられる。

また、この遷移域においては火、炎の底部が燃焼容器から浮き上がり始め、液面の加熱は熱伝導から対流および輻射伝熱に移行するので液面温度も低下する。

3) 空気流速 $v_a=3\sim 6\text{ m/s}$ の間では乱流火炎となり、空気流が火炎底部に巻き込み、拡散が均一となり最適な混合比が得られるので燃焼速度も増加し、火炎最高温度が最大となる。乱流火炎のため対流熱伝達の増加をもたらし、燃料の蒸発の潜熱および火炎の浮上り高さの増大にも拘わらず液面温度は一定となる。

4) 空気流速 $v_a=6\text{ m/s}$ になると、火炎の一部が吹消えを生じ、燃焼速度、最高温度は低下する傾向を示す。

5) 液面を下げるほど、燃焼速度の低下、火炎長さの短縮、火炎最高温度の低下がみられる。これは燃焼容器の外壁が燃料蒸気と空気との拡散を防げ、燃焼を低下させるためと考えられる。しかし、燃焼容器からの熱伝導率が増加するため液面温度は高く、とくに空気流速 $v_a=2\sim 4\text{ m/s}$ で顕著である。

6) 従来、燃焼容器の直径によって燃焼速度や火炎長さが増加することが知られているが、容器の長さによっても同様の増加が認められる。

7) 燃焼容器と強制送風管出口との相対的距離(h)も燃焼状態に或る程度影響し $h=40\text{ mm}$ においては空気流の拡散作用の影響を受けて火炎が横に広がる。

8) 強制送風空気流速により燃焼状態(燃焼速度、温度分布)は大幅に変化し、それに応じて燃焼火炎の形状(火炎長さ、形態)も変わる。また、液面深さ、燃焼容器の位置(h)によっても火炎形状の変化が認められる。

終りにのぞみ、日頃御指導頂いている東京大学宇宙航空研究所浅沼強教授、北海道大学深沢正一教授、斎藤武教授、村山正助教授ならびに実験装置の製作を担当した本学福島和俊教官、早川友吉技官、および卒業研究として実験を担当された浅野雄一、大道寺健司、柳沢弘幸の諸君に感謝の意を表す。

(昭和44年4月30日受理)

文 献

- 1) V. I. Blinov: Acad Nauk. SSSR Doklady **113**, 1094 (1957).
- 2) H. C. Hottel: Fire Res. Abst. Rev. **1**, 41 (1959).
- 3) K. Wohl: 3rd Symp. on Combustion, p. 288 (1949).
- 4) H. C. Hottel: 3rd Symp. on combustion, p. 254 (1949).
- 5) W. P. Reid: J. phys chem, **59**, 242 (1953).