

Wick flameの二, 三の性質

IINUMA, Kazuo / OKAJIMA, Satoshi / 岡島, 敏 / 飯沼, 一男

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部
研究集報

(巻 / Volume)

4

(開始ページ / Start Page)

55

(終了ページ / End Page)

64

(発行年 / Year)

1967-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004259>

Wick Flame の二, 三の性質

教授 飯 沼 一 男 (機械工学科)

岡 島 敏 (大学院機械
工学専攻)

Some Properties of a Wick Flame

Kazuo Inuma, *Professor*

Satoshi Okajima

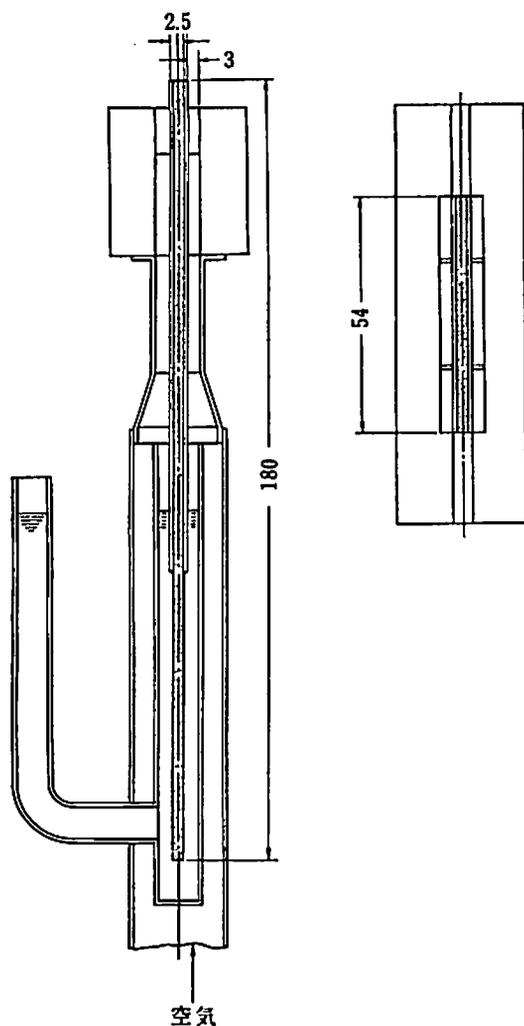
1. ま え が き

芯を利用して液体燃料を燃やすことは、その起源が不明なほど古くから行われており、現在でも石油ストーブなどに広く用いられているが、大規模な工業的利用価値が少いためか、燃焼工学的な研究対象としてはあまり顧みられていないようであり、また燃焼の基礎研究の対象としても、条件があまり単純でないためか、ブンゼン火炎などがかなり定量的に解析されているのに比べて、ほとんど取扱われていないといつてよい。したがって Wick Flame の構造や性質を明らかにすることは、実用的な目的からだけでなく、本質的な興味からも有意義と考えられるので、筆者らは石油ストーブなどに用いられている芯の上に保持された火炎を対象として実験を開始した。まだ十分な解析を行う段階には至っていないが、現在までに知られた二, 三の性質について報告する。

2. 実験装置と方法

石油ストーブに用いられている市販の芯を利用して、第 1 図に示すような装置で 2 次元の Wick Flame をつくった。芯は樹脂加工を行った木綿製のもので、縁の凹凸を完全になくすることが困難なために、その影響が火炎に現われて、完全に平坦な 2 次元火炎は得難く、また当然ながら両端部では 3 次元的な変化を免れ得ないが、すべての実験条件において芯の幅の半分以上にわたってほぼ一様な火炎が得られ、実際の測定値もその範囲では変らないことが確かめられた。

芯の厚みは 2.5 mm, その幅は 54 mm あり、芯の両側面に約 3 mm ずつの空気通路を設けて下方から芯に平行な空気流を送るようにした。芯を正しく保持し、同時に芯の側面からの蒸発の影響を除くために、両側を厚さ 0.3 mm の ニッケル板で挟み、芯の下部は空気通路内に設けた燃料槽内の燃料中に漬けた。芯の長さは約 180 mm で燃料面は芯の先端から約 100 mm の高さにはほぼ一定に保ち、燃料消費量は補給量からもとめた。燃料には市販の灯油 (比重 0.79) を用いた。



第 1 図

空気流速としては、火炎のない状態で空気通路出口の上方、芯の先端から 5 mm の高さの点の最大流速を熱線型風速計で測定した値をとった。芯の長手方向の速度分布は、両端部を除けばおよそ 3 % 以内で一様で、ロータメータで測った送风量から得られる平均流速と大きな違いはない。空気温度は室温で約 15°C である。

まわりからのじょう乱を防ぐために、天井に排気口のある $600 \times 400 \times 800 \text{ mm}$ の囲いを設け、その中で測定を行った。最初に点火してから火炎が十分な定常状態に達するまでに 10 分くらいを要するが、その後は空気流速を変えてもごく短時間で定常火炎が得られる。また芯の先端の炭化などによる変化も予想されたが、新しい芯にはじめて点火する場合を除けば認められるほどの影響はなく、現在までの測定では十分な再現性を示すことが知られた。

芯の先端と空気通路出口の先端の高さを揃えると火炎がやや乱れるので、現在までの実験はすべて芯の方を 6.5 mm 突き出した状態で行った。

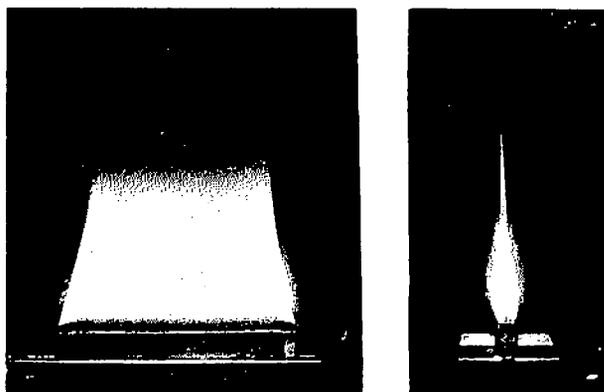
この突き出す高さは 2 mm 以上あれば、同じ空気流速における火炎の形状や性質の違いは認められない。一方空気通路の幅については、3 mm から 0.8 mm 程度まで変えても、同じ空気流速では同じ火炎が得られる。このことは、芯に沿ったごく薄い層を流れる空気以外は火炎に影響を与えないことを意味している。

以上のような条件の Wick Flame について、現在までに芯の高さ（芯の側面が空気流に露出する部分の長さ）をパラメタとして、空気流速を変えた場合の火炎の外観や形状、火炎温度、燃料消費量などの変化を調べた。

3. 実験結果と考察

(1) 空気流速による火炎の変化

静止空気中での自然対流のみによる Wick Flame は、第 2 図に示すように、よく知られた気体燃料の層流拡散火炎に似た細長い輝炎となるが、先端部の火炎の厚みが非常に薄く、煤の発生が著しい。火炎基部では芯から数 mm の範囲には輝炎は存在せず、外側に青い火炎面のみが存



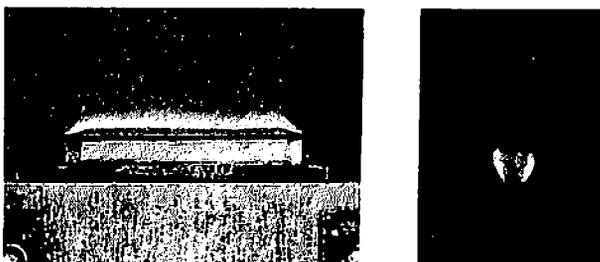
第2図 自然対流のみによる輝炎

在するが，その火炎面は輝炎部分の外側に沿って上方にのびており，火炎高さの半分くらいまでは肉眼でも認められる。

芯の両側から強制空気流を与えると，火炎先端からゆらぎはじめるが， $0.5\sim 1\text{ m/s}$ のある流速で高さ 20 mm 程度の短い火炎に安定するとともに輝度も急激に増大し，煤の発生はごく僅かとなる。空気流速の増大とともに火炎の長さは短くなり，同時に輝度も一そう増大し，煤の発生はみられなくなる。第3図はその状態の火炎である。 2 m/s 程度の流速になると輝炎の大部分は消滅し， 3 m/s 附近のある流速で完全な青炎となる。流速が $4\sim 6\text{ m/s}$ の範囲では最も安定した青炎が得られ，その形は先端の開いたV字形をなしている。第4図にこの状態の火炎を示す。火炎高さもほぼ一定に保たれる。流速をさらに増してゆくと， $7\sim 8\text{ m/s}$ から両端を除いた火炎の先端部に振動が認められるようになり， $9\sim 10\text{ m/s}$ になると両端から吹きとびが起って，全く

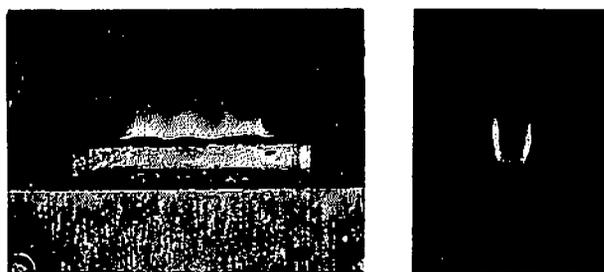


第3図 煤を生じない高輝度の輝炎



(右側の写真は火炎部分を特に拡大したもの)

第4図 安定な青炎



(右側の写真は火炎部分を特に拡大したもの)

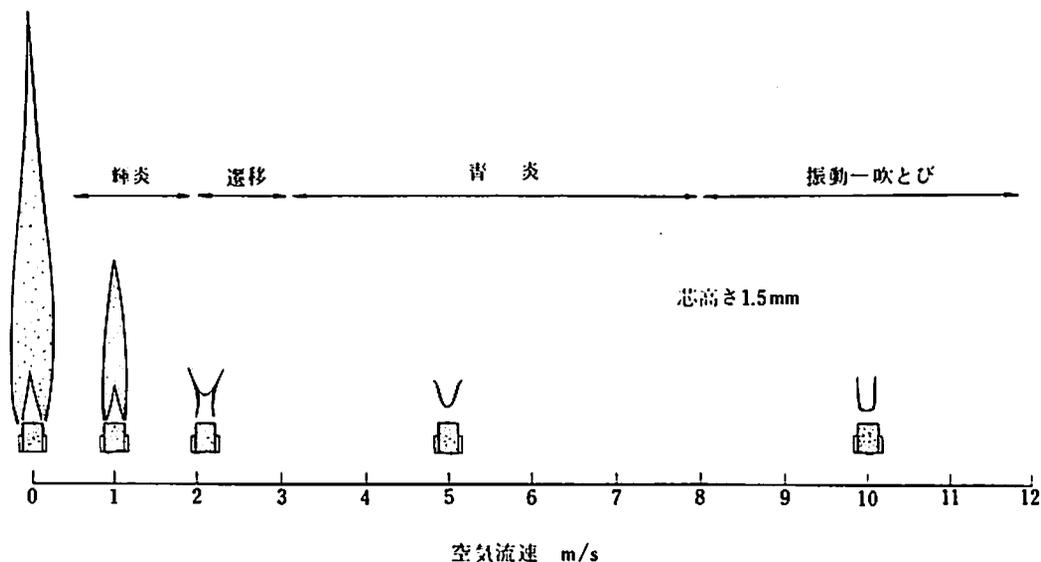
第5図 幅が縮小した振動青炎

対称的に火炎幅が減少しはじめる。火炎の形は V 字形から U 字形に変わり、火炎高さはやや増大するように見えるが、恐らく振動のためと思われる。また青炎の下端から芯までの距離も、安定な青炎領域では約 1.5 mm で一定に保たれるが、U 字形の火炎になると多少芯に近づいて約 1 mm となる。第 5 図はこのような状態の火炎である。青炎の領域では煤の発生は認められないが、振動領域に入ると刺戟臭を生ずるようになり、不完全燃焼を起すためと思われる。流速をさらに上げてゆくと、火炎幅は小さくなってゆくが、30 mm 程度になるとそれ以上は減少せず、11~12 m/s のある流速で突然火炎全体の吹きとびが起る。

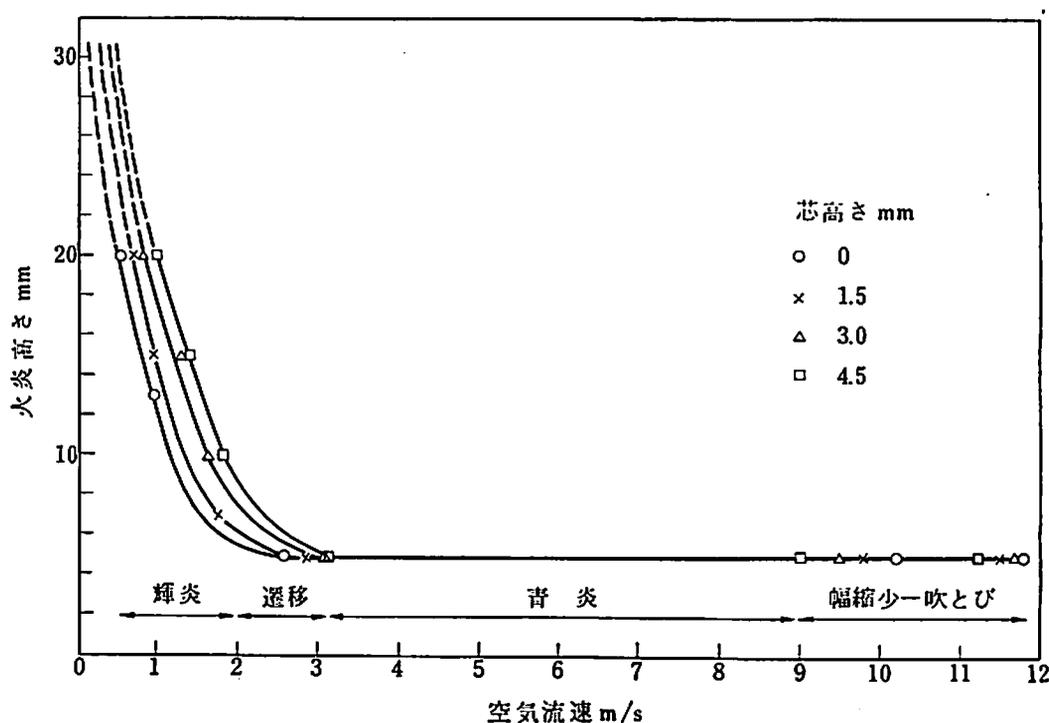
火炎の上に述べた変化の多くは、流速のかなり狭い範囲内で起り、流速を増してゆく場合と減らしてゆく場合とで履歴の違いはほとんど認められない。

第 6 図は以上に述べた火炎の変化の概略を流速に対して図示したもので、第 7 図は火炎高さと空気流速との関係を示す。ただし第 7 図には後に述べる芯の高さの影響も併示されている。

Wick Flame を支配するおもな物理過程としては、芯の表面からの燃料の蒸発と燃料蒸気と空気の拡散混合とが考えられるが、芯の表面からの蒸発は主としてその表面温度と表面に沿う空



第 6 図



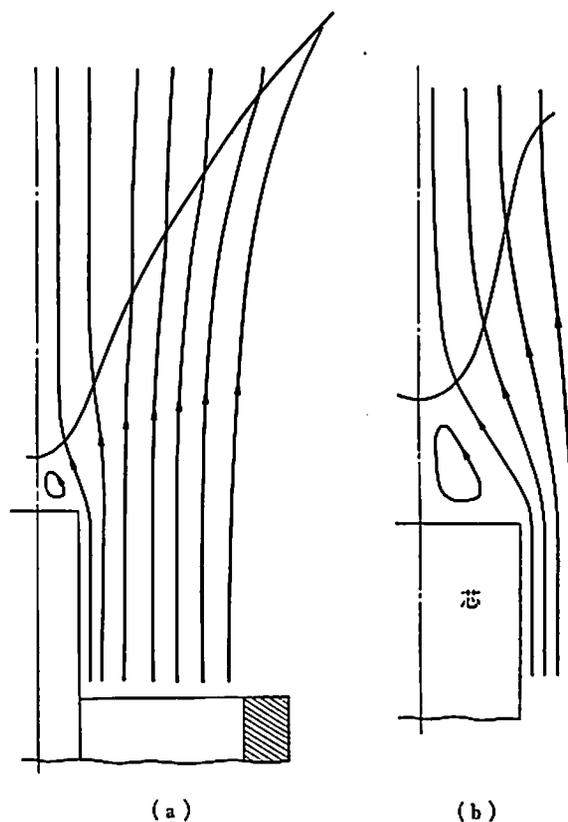
第7図

気流速に依存し、流速の小さい範囲では表面温度が支配的であることが知られている¹⁾。いま問題としているような Wick Flame では、芯先端の表面温度は燃料の沸点に近いと考えられるので、空気流速の変化による火炎の変化は、主として拡散混合過程の変化によるものと思われる。比較のために、蒸発の影響を含まない都市ガスのスリット状バーナをつくり、その両側から空気を送って観察を行ってみたが、空気流速の変化に伴う輝炎から青炎への遷移などに関して、ほとんど類似の現象が認められた。

気体燃料や液体燃料で得られる輝炎は、一般に燃料が酸素不足の状態では熱分解や重合を行なうことによって生ずる炭素粒子によると考えられるが、輝炎基部の中心に円錐形の透明な部分がみられることなども含めて、その考えで説明できる。自然対流のみの場合に多量の煤を生ずるのは、空気の拡散が悪く熱分解や重合を起す割合が多い上に炭素粒子の燃焼に必要な空気も不足するためであろう。空気流速の増大によつて高輝度の火炎になるのは、拡散過程の促進により火炎温度が高くなるためと思われるが、ある流速でかなり急激に変化することの定量的な解析や、反応機構にも対応する変化が起るのかどうかなどについてはなお検討の余地がある。

青炎への遷移についても、渦拡散によつて燃料蒸気と空気との混合がさらに促進されて、熱分解や重合を起す環境がなくなるためと考えられるが、芯の後流にはかなり大きな渦もできると思われるので、その拡散過程は単純なものではない。一方、火炎の形状などからみると、第8図(a)

1) 金宮, 飯沼: 液体燃料の蒸発燃焼の一方法 (未発表)



第 8 図

に示す予混逆円錐火炎とかなり類似しており、芯の後流の渦領域ではかなり一様な混合気が生成される可能性もある。したがって少くとも火炎の下端付近では予混火炎が形成されているともみられるが、火炎全体がそうであるかということや、火炎の上縁にとくに輝度の高い部分がみられることなど、まだ不明な点も多い。第 8 図(b) は予混逆円錐火炎との類似性を考えた場合の流線の推定図であるが、実際に流線や速度分布などの詳細な測定を行なってみなければ、結論的なことはいえない。

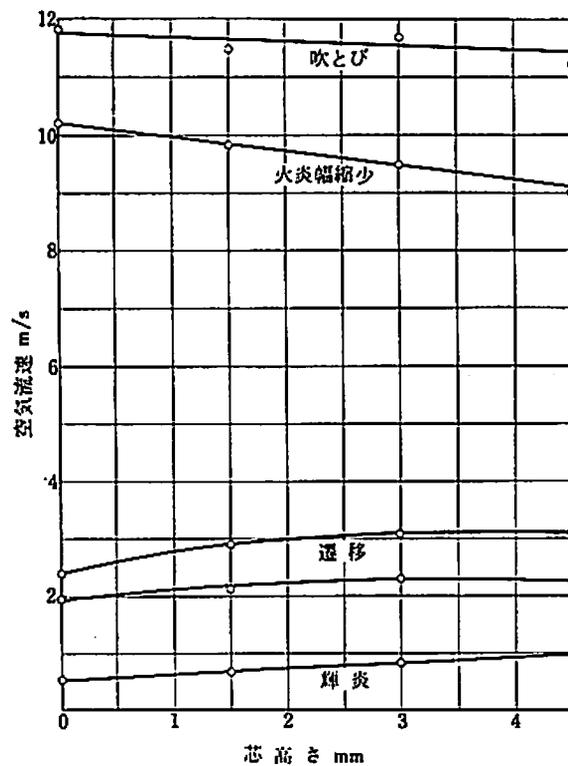
火炎の振動や吹きとびについてはまだ検討を行っていないが、例えば吹きとびの機構が予混逆円錐火炎の場合と同様に説明できるかどうか、火炎の構造を明らかにする一つの鍵となろう。

(2) 芯の高さの影響

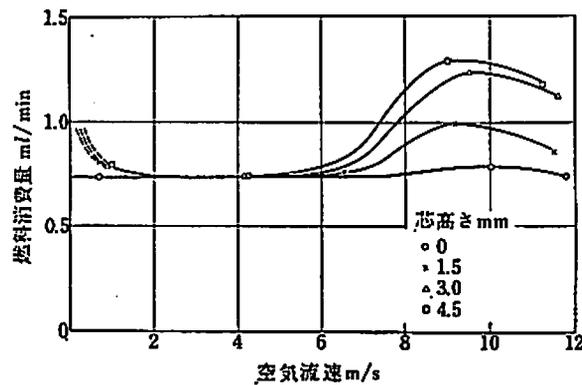
芯の先端の高さを一定に保ったまま、芯の露出部の高さを 0 から 4.5 mm まで変えた場合について実験を行った。第 7 図に示したように、輝炎領域では火炎の高さは芯の高さとともに増大し、とくに流速のごく小さい間は、芯の高さ 0 の場合以外は火炎が芯の側面を包むような形になるため、後に示すように燃料の蒸発量が増し、火炎の高さが著しく増大するとともに、煤の発生も多量となる。しかし高輝度の安定した火炎に変わるとき火炎の高さは、芯の高さに無関係に一定で約 20 mm であり、また青炎領域では芯の高さの影響はほとんど認められない。空気流

速がある程度以上になつて火炎基部が芯から浮上った状態になると, 芯の側面からの蒸発は流速がとくに大きくないかぎり問題にならないほど少いと思われるので, 火炎高さが芯の高さに無関係となることも当然であろう。ただし火炎その他の影響で芯の側面からの蒸発が著しいような条件のもとでは, 芯の高さによって火炎高さなども変化することになる。

一方第7図からわかるように, 高輝度の輝炎および青炎への遷移は, 芯の高さを増すほど流速の多少大きいところで起るが, 振動をはじめる流速や火炎幅が減少しはじめる流速, 吹きとび限界流速などは逆の傾向を示す。第9図は芯の高さを横軸にとつてそれらの変化を示したものである。



第 9 図

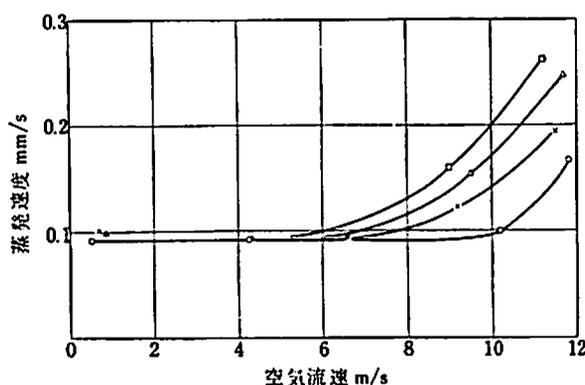


第 10 図

(3) 燃料の蒸発量の変化

第 10 図は空気流速に対する燃料消費量の変化を、芯の高さをパラメタとして示したもので、輝炎および振動青炎では芯の高さとともに消費量も増大するが、安定な青炎の領域では芯の高さに無関係に一定値を示している。そのことは前に述べた火炎の高さに対する芯の高さの影響の説明を裏づけており、振動青炎領域で大きな消費量を示すのは、火炎面が芯に近づくことがおもな原因であると考えられる。吹きとび限界近くでは火炎幅が減少するので、火炎が存在する部分の芯の断面積あたりの蒸発量を蒸発速度と定義して図示すると、第 11 図のようになる。この蒸発速度は芯が燃料を吸上げる速度に等しい。空気流速が 5 m/s 程度以上になると蒸発速度は流速の増大とともにやや加速度的に増大するのは芯の側面からの蒸発が大きくなることも関係するからであろう。

蒸発速度が著しく大きくなれば、当然芯の吸上げ能力によって制限をうけることになるが¹⁾、現在までの実験条件ではまだ問題にはならない。また前述のように空気流速の小さな輝炎領域では煤の発生がみられ、振動青炎領域では不完全燃焼を起すので、現在の条件の Wick Flame では実用的な蒸発速度は高輝度の輝炎、安定な青炎ともに 0.1 mm/s 程度に制限される。



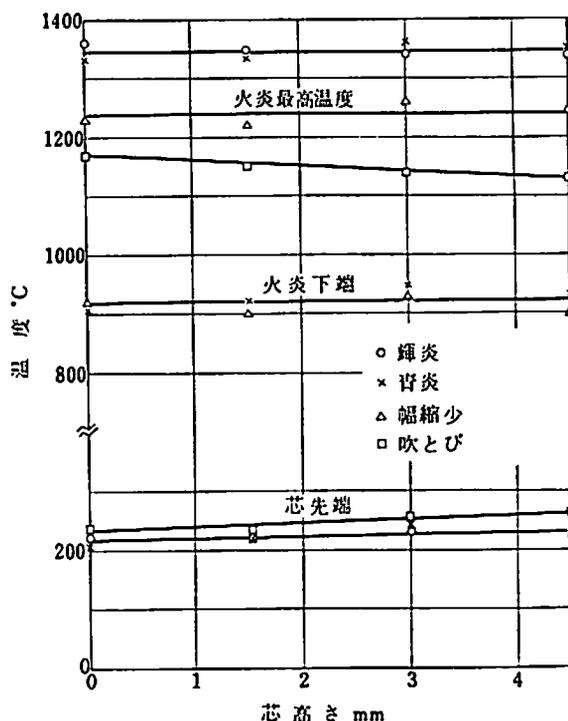
第 11 図

(4) 火炎温度

直径 0.1 mm の白金・白金ロジウム熱電対を用いて、火炎温度および芯先端の温度を測定した結果を第 12 図に示す。火炎がかなり小さいので、この方法では正確な温度測定は期待できず、したがって輻射その他の補正は行っていない。

火炎最高温度は予期されるように、輝炎、青炎ともに火炎上端附近で得られる。その位置は安定した青炎の場合、空気流速や芯の高さに無関係に、対称軸上芯先端から約 4.5 mm の点にあるが、吹きとび限界に近づくと芯の先端から 2 mm くらいの点まで下がり、同時に温度の指示も多少低くなる。このことは振動の影響とも思われるが、まだ確かめていない。高輝度の輝炎と安定な青炎の最高火炎温度は、ほぼ同じ値を示し、芯の高さによる変化もほとんどないといってよい。

芯先端の温度も正確な測定とはいえないが、予想したようにだいたい燃料の平均沸点に近い値



第 12 図

を示しており、吹きとび限界近くでやや上昇するのは、むしろ火炎が芯に接近することに伴う測定誤差かと思われる。

また青炎下端部の温度は連続的に変化していて、その位置の判定は視察によったので明確なものではないが、最高温度よりもかなり低い値を示すことは確かである、

4. む す び

石油ストーブに用いられている芯を用い、芯に沿って空気流を与えた場合に得られる Wick Flame について実験を行い、その二、三の性質を明らかにした。空気流速が 0.5~1 m/s になると高輝度の安定した輝炎となるが、2~3 m/s 程度の流速になると青炎に移り、4~6 m/s では安定した V 字形の青炎が得られる。7 m/s 附近から火炎上端に振動が現われ 11~12 m/s で吹きとびが起る。空気流速の小さい場合の輝炎では煤の発生がみられ、また振動青炎でも不完全燃焼を起すので、満足な Wick Flame に必要な空気流速は輝炎、青炎とも比較的狭い範囲内に限られ、蒸発速度は行った実験条件のもとではどちらも 0.1 mm/s 程度である。

安定な輝炎および青炎の領域で芯の高さの変化が火炎の性質にほとんど影響しないことは、その領域で燃料の蒸発量に変化がみられないことと対応している。白金・白金ロジウム熱電対で測定した火炎最高温度は 1350°C で、安定な領域では輝炎の場合も青炎の場合もほとんど変わらない。また芯先端の温度はだいたい燃料の沸点に近い値を示している。

輝炎から青炎への遷移には、渦拡散による燃料蒸気と空気との混合の促進が大きな役割を演ず

るものと考えられるが、その詳細については、まだ不明な点も多く、定量的な解析を行うためには、もっと多くの詳細な測定が必要である。また現在までの実験は、実験条件も限られており、とくに実際の石油ストーヴの場合とはかなり違う点も多いので、以上の結果からあまり一般的な結論を導くことは必ずしも妥当ではない。それらの点に関しては、今後研究が進み次第報告したい。終りにこの研究に終始協力された金宮錫探君に謝意を表す。

(昭和41年12月19日 受理)