

灯油の拡散燃焼における燃料性状の影響*

林田和宏^{*1}, 土師勝彦^{*2}
天谷賢児^{*3}, 新井雅隆^{*4}

Effect of Fuel Properties on Diffusion Combustion of Kerosene

Kazuhiro HAYASHIDA^{*5}, Katsuhiko HAJI,
Kenji AMAGAI and Masataka ARAI^{*5} Department of Mechanical Engineering, Kitami Institute of Technology,
165 Koen-cho, Kitami-shi, Hokkaido, 090-8507 Japan

In this study, effect of fuel properties on diffusion combustion of kerosene was investigated experimentally. Five types of kerosene, which distillation and composition properties were different, were used as the test fuel. Laminar diffusion flames of kerosene were formed by using wick combustion burner. Fuel consumption rate, flame temperature and flame luminosity of each flame were measured. As the results, fuel consumption rate proportionally increased with decreasing volume average boiling point, and both temperature and luminosity decreased as the aromatic content in the fuel increase. To investigate the effect on soot formation of fuel properties, concentration distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and soot were measured by laser-induced fluorescence (LIF) and laser-induced incandescence (LII). Both PAHs-LIF intensity on wick and LII intensity of soot emission increased with the content of aromatic compounds in the fuel became higher.

Key Words: Liquid Fuel, Flame, Diffusion Combustion, Laser, Laser-Induced Fluorescence, Soot, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

1. 緒 言

家庭用暖房機器や給湯器などの民生用燃焼機器は、室内あるいは家屋のすぐ外に燃焼ガスが排気されるため、排気ガスは高いレベルのクリーン度が要求される。特に、小型で可搬性を有するものは後処理装置が設置されておらず、このような場合、排気ガスの性状は燃焼器内における燃料の燃焼特性に直接左右されるため、燃焼器にはクリーン燃焼が達成可能な燃焼技術が要求される。

近年、原油産地の多様化や燃料需要構造の変化に加え、硫黄フリー燃料や合成燃料などの導入が進められており、民生用小型石油燃焼機器の主な燃料である灯油についても、燃料性状の多様化が進行している。燃

焼器における燃料の燃焼特性は燃料性状の影響を受けるが、特に拡散燃焼方式を採用している芯式ストーブやガンタイプバーナ給湯器等ではその影響が強く表れる。しかしながら、拡散燃焼における燃料性状の影響については十分に把握されていると言え難く、そのため、従来とは異なる新規的な燃料については、その実用性能や燃焼特性に関する詳細な知見が不足しているのが現状である。

そこで本研究では、燃料を構成する炭化水素化合物の成分割合や蒸留性状など性状の異なる複数の灯油を試験燃料に用い、灯芯燃焼器による灯芯火炎を対象として拡散燃焼特性の比較を行った。

2. 試験燃料および実験装置

2・1 試験燃料 試験燃料は性状の異なる5種類の灯油である。表1に試験燃料の物理的性質を示す。元素分析の結果より、すべての燃料で窒素分は1mass ppm以下であることから、燃料中には窒素化合物がほとんど含まれておらず、また硫黄分についても最も多いDで32mass ppmと微量であることから、窒素化合物や硫黄化合物が燃焼におよぼす影響は無視できるレベルであると考えられる。発熱量については、最も高

* 原稿受付 2008年6月25日。

*¹ 正員, 北見工業大学工学部(☎090-8507 北見市公園町165)。*² (財)石油産業活性化センター石油基盤技術研究所(☎267-0056 千葉市緑区大野台1-4-10)。*³ 正員, 群馬大学工学部(☎376-8515 桐生市天神町1-5-1)。*⁴ 正員, フェロー, 群馬大学工学部。

E-mail: hayashka@mail.kitami-it.ac.jp

Table 1 Physical properties of test fuels

Test item		Test method	A	B	C	D	E
Density (15°C) [g/cm ³]		JIS K2249	0.7547	0.7945	0.7912	0.8000	0.8011
Distillation characteristics	Initial boiling point [°C]	JIS K2254	157.0	154.5	149.0	149.5	148.5
	5 vol% [°C]		165.5	168.5	163.5	165.5	160.5
	10 vol% [°C]		166.0	172.5	166.0	169.5	161.0
	20 vol% [°C]		169.5	179.5	173.0	178.0	165.5
	30 vol% [°C]		173.0	184.5	180.0	185.5	168.5
	40 vol% [°C]		177.5	191.0	187.0	194.0	172.0
	50 vol% [°C]		183.0	198.0	195.5	203.0	175.0
	60 vol% [°C]		190.5	204.5	204.5	213.0	179.0
	70 vol% [°C]		200.5	212.5	215.0	225.0	183.5
	80 vol% [°C]		214.5	222.5	227.5	237.0	189.5
	90 vol% [°C]		231.0	236.0	243.0	252.0	198.0
	95 vol% [°C]		240.0	247.0	253.0	262.0	205.5
	97 vol% [°C]		244.0	253.0	259.0	268.0	209.5
End point [°C]	246.5	260.0	267.0	273.5	221.5		
Percent recovery [vol%]	98.5	98.5	98.5	98.5	98.5		
Percent residue [vol%]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
Percent loss [vol%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
Kinematic viscosity (30°C) [mm ² /s]		JIS K2283	1.322	1.455	1.361	1.501	1.096
Elemental analysis	Sulfur [mass ppm]	JIS K2541	<1	3	6	32	21
	Nitrogen [mass ppm]	JIS K2609	<1	<1	<1	<1	<1
	Carbon [mass%]	JPI Method	84.5	85.7	86.0	86.0	86.3
	Hydrogen [mass%]	JPI Method	15.2	14.2	14.0	13.9	13.4
Net calorific value [J/g]		JIS K2279	44100	43440	43380	43310	43000
Smoke point [mm]		JIS K2537	>50	28.0	23.0	22.0	21.5
Freezing point [°C]		JIS K2276	< -70.0	-49.5	-45.0	-42.5	-70.5
Flash point [°C]		JIS K2265	46.0	46.5	43.5	45.5	40.5

いA (44,100J/g) と最も低いE (43,000J/g) の差は2.5%程度で、いずれの燃料も発熱量は同程度である。

表1に示した各留出体積における留出温度を図1に示す。Eの留出温度は際立って低く、留出体積が大きくなるほど他の燃料との温度差が開き、試験燃料の中では最も軽質な燃料である。Aも全体的に留出温度が低く、比較的軽質といえる。BとCはいずれの留出体積においても留出温度差は7°C以内と同程度の蒸留性状である。Dは全体的に留出温度が高く、試験燃料で

は最も重質な燃料である。

試験燃料の組成分析結果を表2に示す。n-パラフィン分は、ガスクロマトグラフによるn-パラフィン分析、ナフテン分は、シリカゲルクロマト分別後の飽和分を電子衝撃イオン化質量分析装置によるタイプ分析、芳香族分は、高速液体クロマトグラフィーにより割合を求めた。i-パラフィン分の割合は、上記3成分の割合を100から差し引くことで求めている。また、表の最下部には計算より求めたi-パラフィンの平均分岐度を示した。i-パラフィンの分岐度や分枝構造は、燃料の熱分解やすす生成特性に影響をおよぼすことが確認されているが¹⁾、試験燃料のi-パラフィンの分岐度はいずれも1~1.5程度と見積もられており、燃焼性に大きな差異はないものと推測される。

図2は、試験燃料を構成する炭化水素のタイプ別のグラフである。n-パラフィン分は各燃料とも30vol%前後と同程度であるものの、i-パラフィン分についてはAが57.7vol%と多く、EとDはそれぞれ12.1vol%、15.5vol%と少ない。ナフテン分はAとCが比較的少なく、他は同程度である。芳香族分については、Eが23.3vol%と比較的多く、Bは10vol%と少なめである。Aについては0.1vol%と極めて低く、芳香族分はほとんど含まれていないものと推測される。

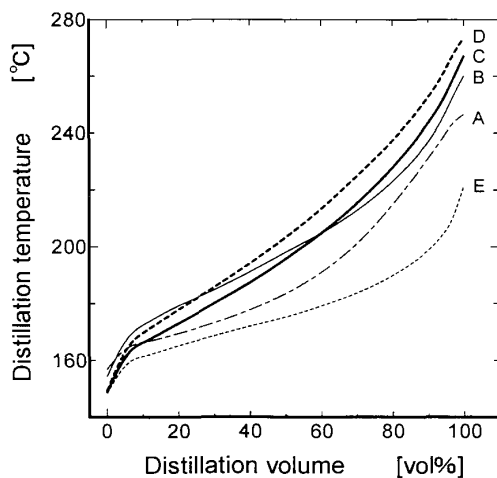


Fig. 1 Distillation characteristics of test fuels

Table 2 Composition of test fuels

Component	Composition [vol%]				
	A	B	C	D	E
n-paraffins	29.8	29.5	34.4	30.4	28.6
i-paraffins	57.7	29.0	22.8	15.5	12.1
Mono-naphthenes	10.1	24.7	18.7	27.4	30.7
Di-naphthenes	2.3	5.4	3.9	6.6	4.1
Poly-naphthenes	0.0	1.4	0.9	1.2	1.2
Mono-aromatics	0.1	9.8	19.0	18.3	22.3
Di-aromatics	0.0	0.1	0.0	0.5	0.9
Poly-aromatics	0.0	0.1	0.3	0.1	0.1
Total	100	100	100	100	100
Average branching degree of i-paraffins	1~1.5	1~1.5	1.5	1	1

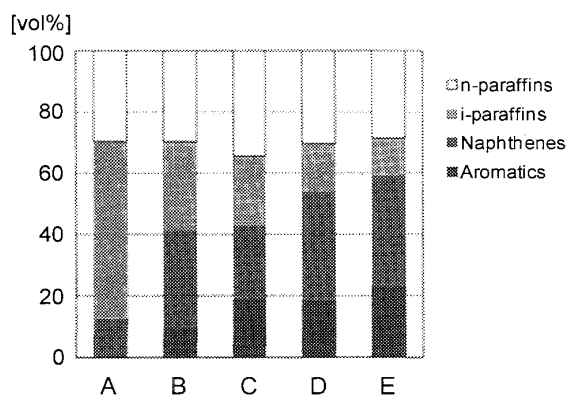


Fig. 2 Comparison of hydrocarbon components

2・2 灯芯燃焼器 灯油の定常な拡散火炎を形成するために、小さな容器（プール）に燃料を満ちし、プール内に灯芯を設置した灯芯燃焼器を使用した。図3に燃焼器の概略を示す。タンク内の燃料は、タンク下のフロート部を介してプールに供給される。フロートの働きにより、燃焼によって消費される燃料を補うように一定量の燃料がプールに供給されるため、定常火炎を形成することができる。燃焼器全体が電子天秤に載っており、燃焼による燃料の減少量を電子天秤で測定することより燃料消費量を求めることができる。プールの材質はアルミニウムで、燃料はプールの底面

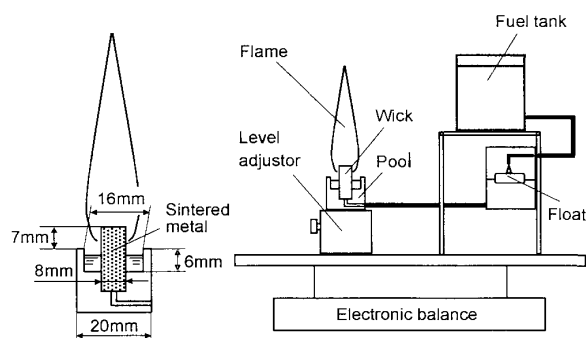


Fig. 3 Schematic of wick combustion burner

より供給されるようになっている。プールは外径20mm、内径16mm、深さ6mmの円筒形で、プール中央に銅の焼結金属（空隙率39%）からなる灯芯を設置した。灯芯の形状は直径8mm、長さ18mm、肉厚2mmの円筒の片側に、直径8mm、肉厚2mmの底が付いた円筒底付形である。この灯芯を、底面を上にしてプールより7mm突き出るように設置した。この時のプール液面から灯芯先端までの距離は10mmである。

2・3 レーザ解析装置 すず生成特性を評価するために、レーザー誘起蛍光法²⁾ (LIF: Laser-induced Fluorescence) により火炎内のすす前駆物質である多環芳香族炭化水素 (PAHs: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) を、レーザー誘起赤熱発光法³⁾ (LII: Laser-induced Incandescence) によりすす濃度分布の測定を行った。使用したレーザー解析装置の概略を図4に示す。装置は、Nd:YAG レーザ (Spectron Laser Systems, SL856G)、Dye レーザ (Lumonics, HD-300B) およびダブリングユニット (Lumonics, HT-1000) からなり、レーザー光は10Hzでパルス発振させた。レーザー光はプリズムで光軸を変化させ、シリンダリカルレンズによりレーザー光を厚さ0.5mmのシート状にして火炎に照射した。そして、レーザー光の照射に伴う火炎からの発光をICCDカメラ (Andor Technology, DH-534-18F-03) で撮影し、コンピュータに取り込み解析を行った。PAHsのLIF計測に使用したレーザー光は、Rodamine590による色素レーザー光(563nm)の第二高調波(281.5nm)で、LII計測ではNd:YAGレーザーの第二高調波(532nm)を使用した。いずれの測定も20パルス分の積算像を求めた後に、レーザー光の照射なしに得られた火炎自発光像を差引くことでLIFとLIIのみの画像を求めた。

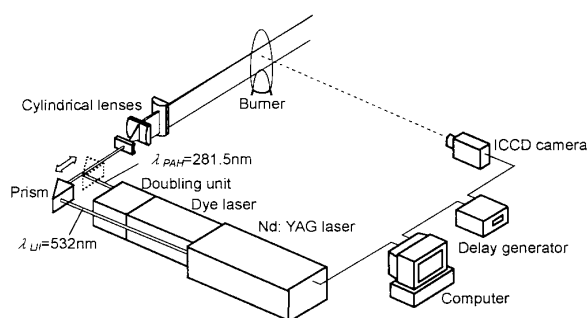


Fig. 4 Laser diagnostic system

3. 実験結果および考察

3・1 火炎写真および燃料消費率 測定対象火炎の直接写真を図5に示す。撮影は屋内照明下で、露光時間0.01s、絞りF2.8の条件で行った。写真より、留出温度が低く軽質なAとEは火炎長さが長く、重質な

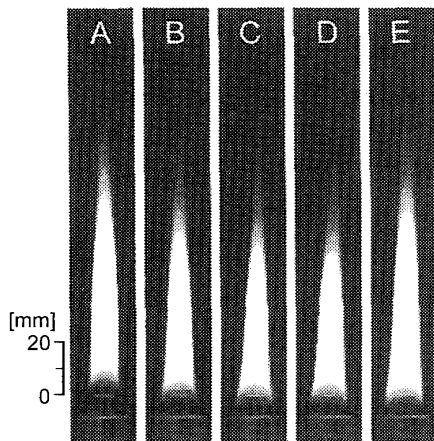


Fig. 5 Photographs of test flames

D は火炎長さが短いことが分かる。また、芳香族分がほとんど含まれていない A の火炎は、他に比べて輝炎が灯芯から離れた高い位置から現れていることが確認できる。いずれの火炎も火炎下流へのすすの放出が確認されたが、A のすす放出量は他に比べると非常に少ないものであった。

図 6 は試験燃料の容積平均沸点⁴⁾と燃料消費率の関係を示した図である。燃料消費率は、着火後 40 分程度経過し燃料消費が安定してから計測を行った。燃料消費率は、概ね容積平均沸点の低下に比例して高くなっている。A の燃料消費率がラインからやや外れて低い値を示しているが、A の輝炎は他に比べて灯芯から離れた位置に存在することから、輝炎の輻射熱による灯芯の加熱量が比較的少なかったことが理由と考えられる。図 5 の火炎写真を見ると、火炎長さの長い A と E は燃料消費率が高く、一方、火炎長さの短い D は燃

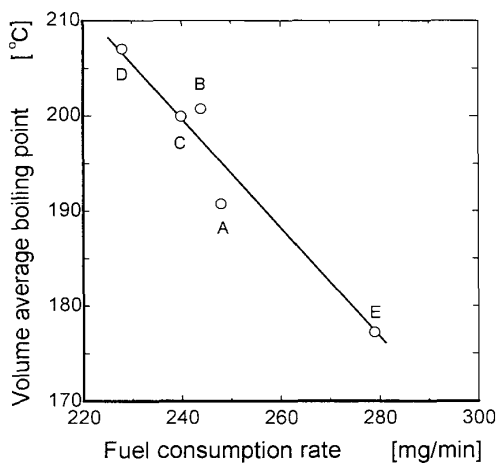


Fig. 6 Relation between fuel consumption rate and volume average boiling point

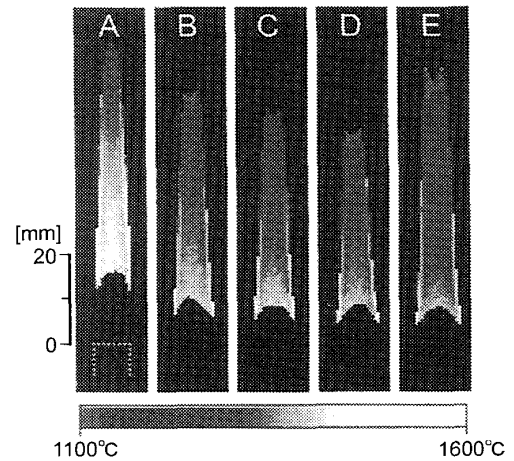


Fig. 7 Temperature distributions

焼消費率が低い。これは、軽質な燃料ほど灯芯からの燃料蒸発量が多く、火炎が大きくなることに対応するものと考えられる。

3・2 火炎温度および火炎輝度 図 7 に二色温度計 (三井オプトロニクス, Therrera-seen) で測定した温度分布を示す。二色温度計はすすの熱放射を利用した二色法⁵⁾を計測原理とするものである。図中、温度が表示されていない領域にはすすが存在しないか、あるいは検出限界以下の温度や放射光強度であったと考えられる。図 5 の火炎写真と比較すると、火炎長さの長いほどより下流まで温度が計測できている。すすが火炎下流に放出されるような火炎の場合、見た目の火炎長さは、赤熱発光をしているすす粒子数の他に、個々の粒子の発光強度の影響も受ける。すなわち、すす粒子数が少なくとも、火炎温度が高いほど強度の高い赤熱発光がより下流まで継続し、火炎長さが長く見えることがある。図 6 において、A の燃料消費率が E より

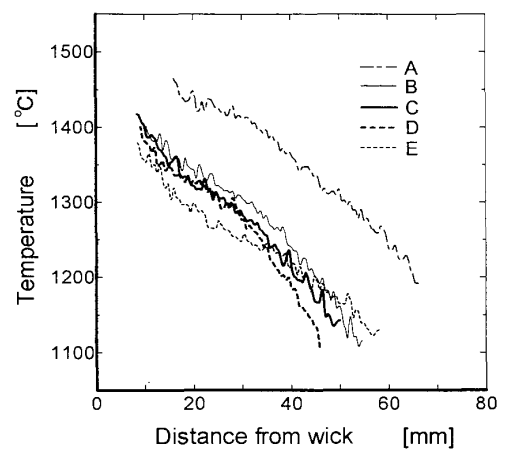


Fig. 8 Axial temperature profiles

低いにもかかわらず、AとEの火炎長さが同程度に見えるのは、Aの方が火炎温度が高いことに起因している。また、温度が表示され始める位置が灯芯に近いほど、温度が低くなる傾向が見られる。温度表示位置が灯芯に近いのは、すすが早期に生成されていることを示唆しており、温度が低いということはすす生成量が多いことに対応するものと考えられる。

図7に示した温度分布の、火炎中心の高さ方向のプロファイルを図8に示す。なお、熱電対で輝炎外縁の温度を測定したところ、二色温度計で測定された温度とほぼ一致する結果が得られたことから、図7に示すプロファイルは火炎内部の温度ではなく、輝炎外縁部のすすの温度と考えるのが適切といえる。輝炎外縁部は周囲空気による冷却を受けやすいため、温度分布は下流に行くに従い低下するようなプロファイルになったと考えられる。

図より、芳香族分がほとんど含まれていないAの温度が顕著に高く、他の燃料よりも全体的に100~200°C程度高いことが確認できる。B~Eを比較すると、灯芯からあまり離れていない位置（灯芯からの距離<30mm程度）については、概ね燃料中の芳香族分濃度が低い順に温度が高くなっている。これは、芳香族分が多い燃料ほど火炎内のすす生成量が多くなり、その分温度が低下したためと解釈できる。プロファイルの温度低下の平均勾配を見ると、各火炎で火炎長さが異なるため、火炎長さの短いDは温度が急速に低下し、火炎長さの長いEは温度低下の勾配が緩やかになっている。

灯油燃焼機器の一つであるガンタイプバーナを搭載した石油給湯器では、可視光域の輝炎発光を利用して火炎検知を行っている。火炎輝度は燃料性状により変化するため、燃料によっては火炎検知に不具合が生じることが報告されている。そこで、燃料性状が可視光域の火炎輝度におよぼす影響について調べた。火炎中

心高さ方向の各位置における自発光を、レンズとピンホール（φ0.3）を介してCdSセル（感度波長範囲400~800nm、最大感度波長580nm）に入射させて火炎輝度の測定を行った。その結果を図9に示す。なお、CdSセルは入射光の輝度が上昇すると電気抵抗値が低下する性質を有するため、得られた抵抗値の逆数を取り火炎輝度とした。ここでの火炎輝度は、CdSセルの感度波長範囲にあるCHやC₂ラジカルなどの自発光やすすの輝炎発光の積分強度を指している。しかし、今回の火炎のように輝炎発光が非常に強い場合、火炎輝度は輝炎発光が支配的になると考えられる。

火炎輝度のピーク値は、A>B>D>C>Eの順で高く、燃料中の芳香族分の割合が低い順と対応している。また、黒体放射の理論より放射光の強度は放射体であるすすの温度が高いほど強くなるため、火炎輝度は火炎温度にも対応するような結果となっている。芳香族分がほとんど含まれていないAは特に輝度が高いが、火炎内ですすが生成されにくい分、火炎温度が高く、輝度が高い値を示したと解釈できる。輝度はすす濃度にも関係すると考えられるが、黒体放射の理論より、黒体の放射エネルギーは絶対温度の四乗に比例するため、温度が輝度に与える影響の方が強かったものと考えられる。他の火炎が、灯芯からの距離が8mm前後より発光が検出され始めるのに対し、Aは16mmの位置より検出され始めていることも、火炎内におけるすす生成速度の低さを反映するものと考えられる。

3・3 すずおよびPAHs濃度分布 燃料性状がすす濃度やすす生成特性におよぼす影響を調べるため、レーザ計測により火炎内のすすとPAHsの濃度分布を測定した。図10にLIIで求めたすす濃度分布を示す。Aの火炎は特に濃度が低く、他の火炎と同じカラースケールでは濃度分布が明瞭でないため、図の左端に適度なカラースケールのもも示している。図より、A以外の火炎はいずれも火炎外縁で濃度が高く、すすが円筒状に分布していることが分かる。Aについても火炎中腹までは外縁部の濃度が高いが、火炎下流ではそのような分布にはなっていない。また火炎基部に注目すると、2環以上の芳香族分が多く含まれるEとDはすすが低い位置で現れ始めており、芳香族分の環数が多いほどすすの生成が速やかになることを示唆するものと考えられる。

次に、LIFによるPAHs蛍光強度分布を図11に示す。試験燃料の中でもAのPAHs-LIF強度は顕著に低く、また分布特性も他の燃料と異なっている。いずれの火炎も灯芯直上で強いLIF強度が検出されており、下流に行くに従い強度が減少している。ただし、Aについ

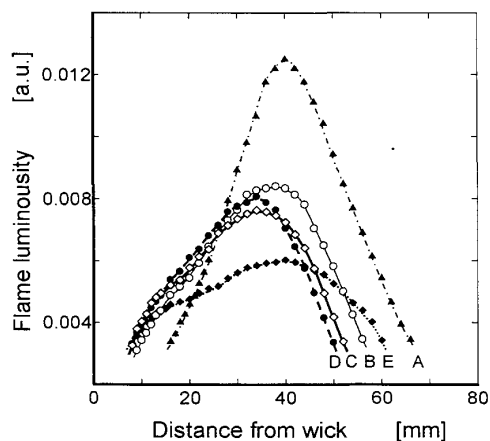


Fig. 9 Axial profiles of flame luminosities

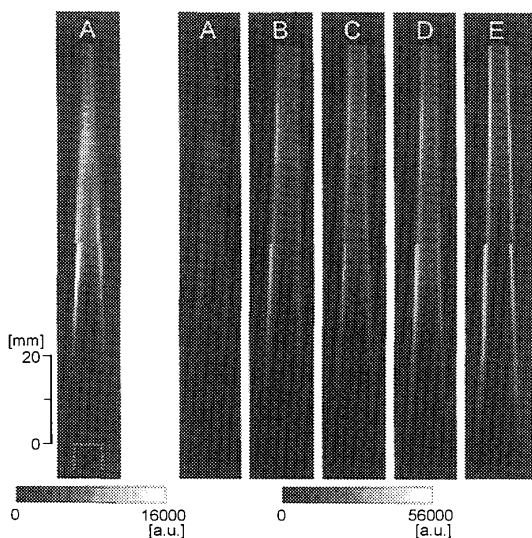


Fig. 10 Planar images of LII

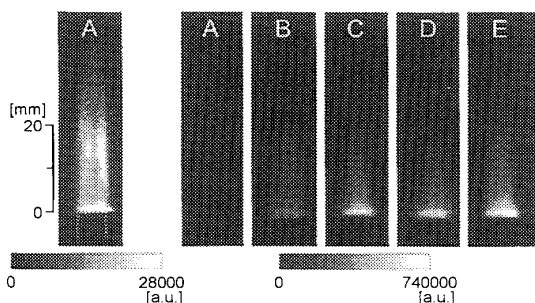


Fig. 11 Planar images of PAHs-LIF

では火炎内部にも比較的強い蛍光が表れている。強度を比較すると、芳香族分がほとんど含まれていない A は極めて弱く、B~E については芳香族分が多い燃料ほど強くなる傾向が確認できる。また、PAHs の存在領域は火炎長さに対応しており、燃料消費量の多い火炎ほど高い位置まで存在している。

図 10 と 11 の火炎中心軸上の強度のプロファイルを図 12 に示す。A の PAHs-LIF 強度については、実際の強度の 8 倍の値で示している。PAHs-LIF 強度については、いずれの燃料も灯芯直上で最大値を取っている。燃料中に芳香族分がほとんど含まれていない A も同様の結果であることから、火炎からの熱で灯芯が加熱されてパラフィン分やナフテン分の熱分解反応が生じ、それに続く諸反応を経て灯芯内部で芳香族環が形成されていることは明らかといえる。しかしながら、A の灯芯直上における LIF 強度は他の燃料に比べると微弱であるため、B~E の灯芯直上の LIF 強度はもともと燃料中に含まれていた芳香族分 (PAHs)、あるいはそれが縮重合したものが主であると考えられる。

プロファイルについて見ると、いずれの火炎も灯芯

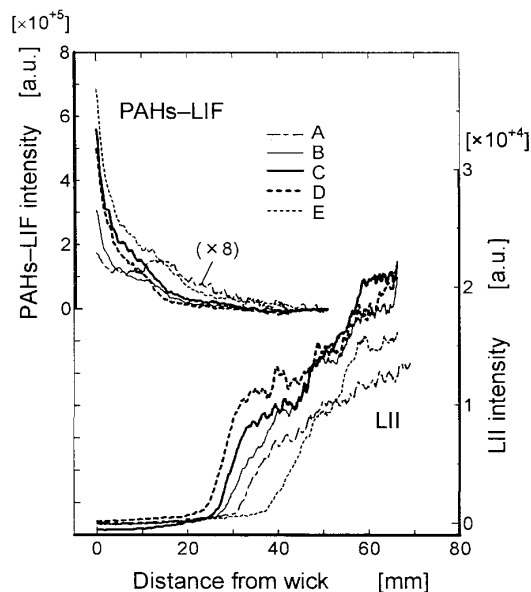


Fig. 12 Axial intensity profiles of PAHs-LIF and LII

から下流に行くに従い強度が大きく減少している。これは縮重合によって大きな PAH へと成長し分子数が減少するためと考えられる。A については灯芯からの距離が 10mm 付近より LIF 強度の上昇が見られるが、これは火炎内部で生成した PAHs によるものと考えられる。他の火炎についても同様に、灯芯からの距離 5mm 付近において LIF 強度減少の曲率が若干緩やかに変化しているが、灯芯直上の PAHs に比べると火炎内部で生成される PAHs は少なく、プロファイルに与える変化が小さかったものと考えられる。

いずれの火炎も、LII は PAHs-LIF 強度が 0 に近くなる位置より現れ始めていることから、下流に行くに従い縮重合により PAHs の成長が進んですが形成されるものと推測される。LII 強度が立ち上がり始める位置は火炎の大きさに対応しており、燃料消費率が大きい火炎ほど灯芯から離れた位置において強度が上昇し始める。灯芯からの距離 50mm 以降の火炎下流での LII 強度を比較すると、燃料中の芳香族分が最も多く、PAHs-LIF 強度も最も強い E は A に次いで低く、B~D については同程度であった。また、A の強度は LIF 強度のように顕著に低いわけではない。このように、火炎軸上のすす濃度は、芳香族分や PAHs-LIF 強度に対応する結果とはならなかった。

PAHs-LIF 強度、火炎外に放出されるすすの量と燃料中の芳香族分濃度との関係について調べた結果を図 13 に示す。PAHs-LIF 強度は灯芯直上における値を、すす排出量については燃焼反応が終了していると思われる、灯芯からの距離 65mm の位置における火炎半径

方向のLII強度の積算値を相対的なすす放出量とした。これより、LIF強度は芳香族分濃度にほぼ比例して上昇していることが分かる。一方、すす放出量についても芳香族分濃度が高くなるに従い増加している。原油から製造される一般的な灯油の場合、燃料に含まれる芳香族分のほとんどが1環芳香族であるが、このような燃料についてはPAHs-LIF強度やすす放出量は芳香族分濃度に比例するような結果となることが明らかとなった。

また、すす放出量と図8に示した火炎温度の相関性について調べた結果を図14に示す。なお火炎温度については、すすの前駆物質であるPAHsの主な存在領域である、「灯芯からの距離<30mm」の平均温度を用いている。火炎長さや燃料消費率は燃料ごとに異なるため、定量的な対応関係を表すものではないが、すす放出量が多いほど温度が低下する傾向が確認できる。すすの主構成元素は炭素であるので、すす放出量が増え

るほど温度が低下するのは自然であり、図14はこれを反映した結果と考えられる。

4. 結 言

灯芯燃焼器を用いて、燃料性状が灯油の拡散燃焼におよぼす影響について調べた。以下に得られた主な結果を示す。

1. 燃料消費率は燃料の容積平均沸点の低下に比例して高くなった。
2. 二色温度計で求めた火炎温度は、燃料に含まれる芳香族分濃度が低い燃料ほど高い温度を示した。
3. すすの輝炎発光のピーク値は、芳香族分濃度が低い燃料ほど高い値を示した。
4. PAHs-LIF強度は、いずれの火炎も灯芯直上で強いLIF強度が検出され、下流に行くに従い強度が減少した。
5. 灯芯直上におけるPAHs-LIF強度とすす放出量は、燃料中の芳香族分濃度が高くなるに従い増加した。

謝辞 本研究は、財団法人石油産業活性化センターとの共同研究により実施されたものである。火炎輝度計測では、(株)コロナよりCdSセルをご提供頂いた。また本研究の遂行に際して、「公益信託エスベック地球環境研究・技術基金」の平成18年度助成金の一部を利用させて頂いた。ここに謝意を表す。

文 献

- (1) McEnally, C.S., Ciuparu, D.M. and Pfefferle, L.D., Experimental Study of Fuel Decomposition and Hydrocarbon Growth Processes for Practical Fuel Components: Heptanes, *Combustion and Flame*, Vol.134, No.4 (2003), pp.339-353.
- (2) Satoh, K., Hayashida, K., Amagai, K. and Arai, M., Laser Measurement of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Flame (1st Report, Separation of Laser-Induced Fluorescence and Incandescence by Time-Resolved Measurement), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol.70, No.692 (2004), pp.1051-1057.
- (3) Will, S., Schraml, S. and Leipertz, A., Comprehensive Two-Dimensional Soot Diagnostics Based on Laser-Induced Incandescence (LII), *Proceeding of the Combustion Institute 26*, (1996), pp.2277-2284.
- (4) The Japan Petroleum Institute ed., *Petroleum Dictionary (2nd ed.)*, (2005), p.480, Maruzen Co., Ltd.
- (5) Matsui, Y., Kamimoto, T., Matsuoka, S., A Study on the Application of the Two-Color Method to the Measurements of Flame Temperature and Soot Concentration in Diesel Engines, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol.45, No.398 (1979), pp.1576-1586.

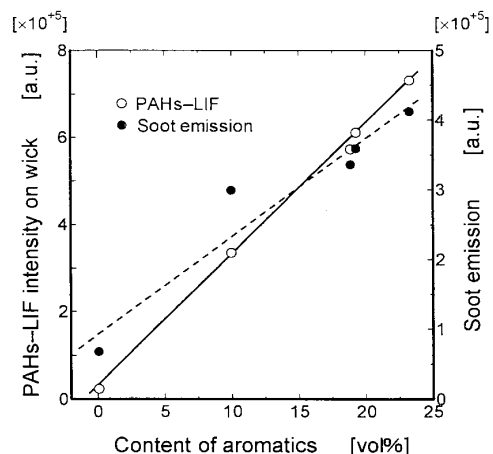


Fig. 13 Relation between PAHs-LIF intensity, soot emission and content of aromatics

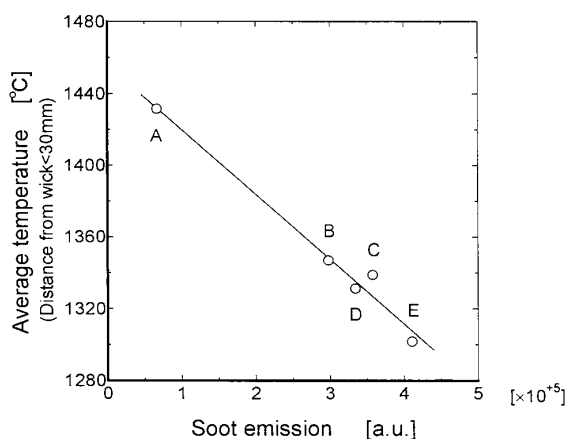


Fig. 14 Relation between average temperature and soot emission