The Japan Society of Mechanical Engineers

122　エキシマレーザを用いた拡散火炎内の PAHs 計測

PAHs measurement of diffusion flame using excimer laser

○ 内野　寿一（群馬大・院）
○ 正　古畑　朋彦（群馬大・工）　　正　新井　雅隆（群馬大・工）

Toshikazu UCHINO, Yoshihiro KOBAYASHI, Tomohiko FURUHATA, and Masataka ARAI
Gunma University, 1-5-1Tenjin-cho, Kiryu 376-8515, JAPAN

1. 緒言

近年，自動車排ガス中に含まれるナノメーターサイズの浮遊粒子状物質（以降ナノ PM と略記する）の極めて小さなすすが含まれていることが確認され，人体へ悪影響を及ぼすことが報告されている．このナノ PM の前駆物質としては多環芳香族炭化水素（PAHs）が考えられている．そこで，本研究ではレーザ誘起蛍光（LIF）法により，軽油から形成される拡散火炎内の PAHs の分布について詳細に調べた．

2. 実験装置および方法

軽油（JIS No. 2）の拡散火炎を形成するために，図 1 に示すプール燃焼装置を使用した．この装置は燃料タンク，燃料供給システムと燃料プールから構成され，プールに常に一定の燃料を供給することが可能である．

燃料プールは図 2 に示すように直径 16mm，深さ 6mm の円筒容器である．燃料蒸発を効率よく行わせるために焼結金属（幅 8mm，高さ 20mm）をプール内に挿入し，これにより灯心火炎に近いプール火炎を形成するようにした．本実験では火炎の高さを 50mm とした．この装置により形成された火炎の温度は線径 0.5 mm の白金ロジウムの熱電対を用いて計測した．

火炎内の流速測定には LDV(DANTEC DYNAMICS 社)を用いた．シード粒子は特に供給せず火炎内に存在する微粒子をシード粒子とした．

図 3 に LIF 光学系の概略を示す．励起光源には 248nm のレーザ光が得られる KrF エキシマレーザ(Lambda Physik 社，LPX-150T) を用い ICCD カメラ（La-Vision 社，FlameStar II）によって PAHs の蛍光を検出した．また LIF 分光分析では分光器（Chromex 社，250IS）で蛍光をスペクトルに分解した．

従来の研究によればレーザ誘起赤熱発光（LII）の立ち上がりは LIF よりも若干遅く，また，LII の緩和時間は LIF よりもかなり長いと報告されている．したがって，カメラのディレイを短くし，立ち上がりが早期の信号を検出した場合には PAHs による LIF が相対的に強く観察され，ディレイを長くして PAHs の緩和が終了した後の信号を検出した場合にはすす粒子による LII を観察することができる．上述のように，すすおよび PAHs の蛍光特性を考慮してカメラのディレイを制御することにより，検出したい蛍光を選択する方法を時間分解 LIF 法と定義する．

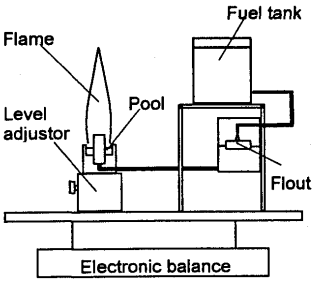

Fig.1 Pool combustion system

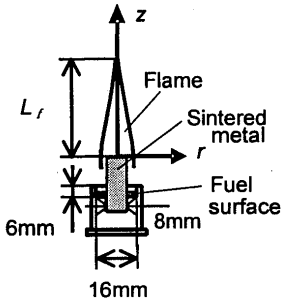

Fig.2 Pool flame

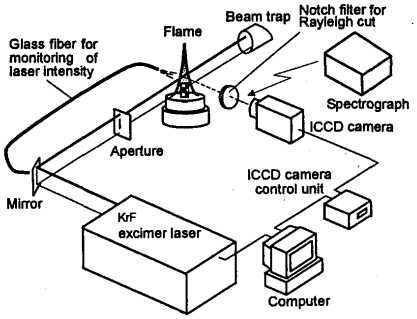

Fig.3 LIF measurement system

3. 実験結果および考察

3.1 火炎内の流速

火炎中心軸上の燃焼ガス流速を図 4 に示す．焼結金属からの距離 z=0mm における流速は燃流蒸発量の計算から得られた値で 0.011m/s である．z=10mm 未満が破線で示してあるのは，z=10mm 未満では粒子が存在せず LDV では測定することができなかったためである．図から，火炎内の粒子の速度は z=10mm で 1.2m/s ほどであるが，火炎先端（z=50mm）では約 3.2m/s ほどであり，z が大きくなるほど速度は大きくなっていく様子が見られた．

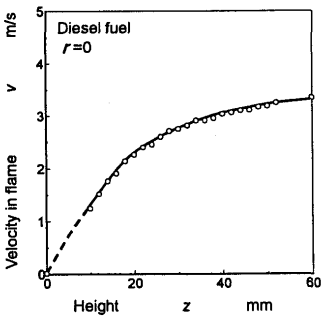

Fig.4 Velocity on center axis

3.2 火炎内の PAHs 分布

軽油により形成された火炎の写真および時間分解 LIF 法により得られた PAHs 蛍光像とすすの発光像を図 5 に示す．

この図を見ると，PAHs は火炎の上流側に，すすは PAHs を取り囲むように火炎の下流側に現れたため，PAHs はすすの前駆物質であると考えられる．また，左から右にレーザ光を照射しているため左側の発光強度が強いが，ここでは特に照射方向による非対称性の補正は行わずそのまま像を用いることにした．

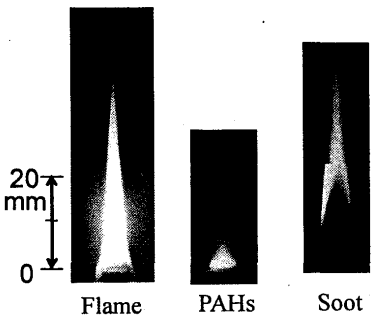

Fig.5 Direct photographs of flame , PAHs and soot images

NII-Electronic Library Service

図 6 に中心軸上の PAHs およびすすの発光強度と z の関係を示す．この図を見ると，PAHs は火炎下流に進むにつれて発光強度が弱くなっていく．これは，軽油内にもともと含まれる芳香族成分が焼結金属直上で強い蛍光を発し，下流に進むにつれて大きな分子量の PAHs へと変化していくためであると考えられる．PAHs 蛍光強度とすすの発光強度の重なる位置が PAHs からすすへの遷移位置である．

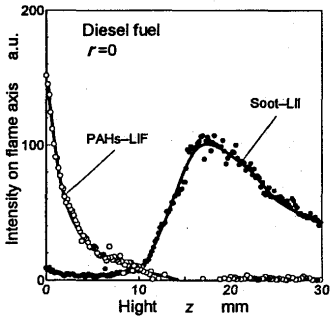

Fig.6 PAHs-LIF and Soot-LII on center axis

3.2 火炎温度と PAHs 分布

PAHs とすすの発光強度および火炎温度の半径方向分布を図 7 に示す．この図を見ると，すすの発光分布の最高位置は温度の最高位置の内側に存在していることがわかる．PAHs の蛍光分布とすすの発光分布の重なる位置が PAHs からすすへの遷移位置であるが，その位置の温度は約 900℃であった．

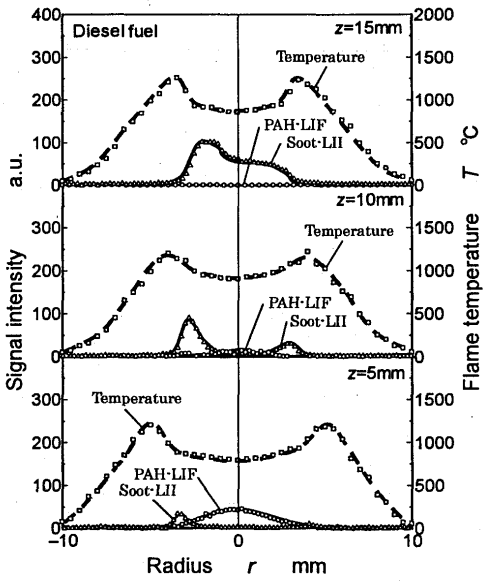

Fig.7 Relation between temperature and radius

3.3 火炎内の PAHs の炭素数の推定

火炎中心軸上の PAHs の蛍光スペクトルの分布を図 8 に示す．この図を見ると，各々の z において蛍光スペクトルは広い波長域にわたって連続スペクトルとして観測されたが，z が高くなる（火炎下流になる）ほど，ピーク波長が長波長側に移行していく傾向であった．

図 9 に PAHs 蛍光のピーク波長 λ_{max} を，PAHs の炭素数に対してプロットした結果を示す．この図を見ると，炭素数が大きくなるにつれてピーク波長が大きくなる．

図 8 と図 9 を用いて z における PAHs の炭素数の推定を行った結果を図 10（a）に示す．また，図 10（b）には，図 4 の火炎内ガス流速分布から火炎中の移動時間を算出し，左図の横軸を時間に換算したものを示す．図中の矢印は火炎内の各 z において存在し得る PAHs の炭素数の範囲を示している．また，図中のハッチング部分は PAHs からすすへの遷移領域を表している．(a) を見ると，焼結金属直上から z=4mm 付近まで炭素数が著しく大きくなるが，その後は徐々に大きくなっていく傾向である．（b）を見ると，焼結金属直上から約 0.03 秒までは炭素数は徐々に大きくなっていくが，PAHs からすすへ遷移する領域に達すると炭素数は急速に大きくなる．また，約 0.035 秒後には PAHs の LIF はなくなり，すすの発光のみとなる．図 9 より，PAHs からすすへの遷移領域での炭素数はおよそ 15～25 程度と予想され，例えばコロネン（$C_{24}H_{12}$）などの分子が考えられる．

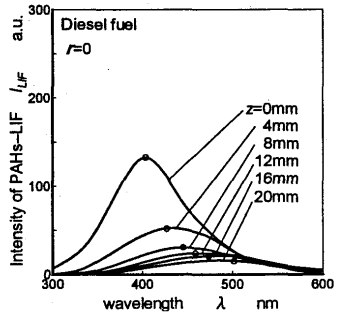

Fig.8 Spectra of PAHs

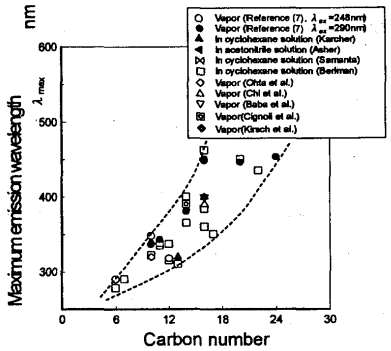

Fig.9 Relation between carbon number and maximum emission wavelength of PAHs

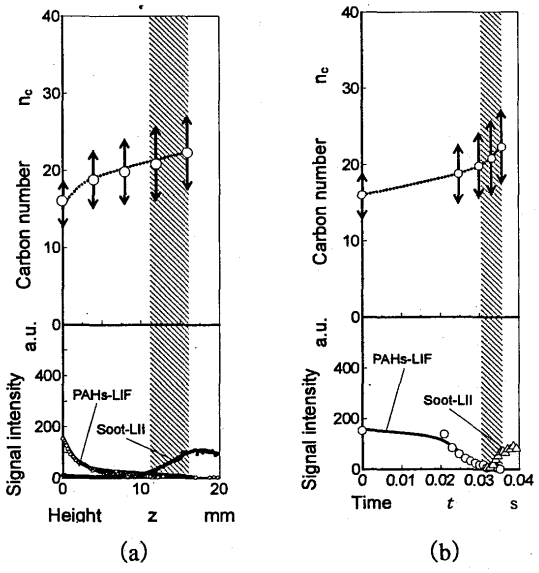

Fig.10 Relation between carbon number and flame height

4. 結言

1）PAHs からすすへの遷移する領域の温度は約 900℃であった．

2）PAHs 分子は焼結金属直上から約 0.03 秒後に PAHs からすすへの遷移領域に達した．

3）PAHs からすすへの遷移領域での炭素数は 15～25 程度であり，この炭素数の分子としてはコロネンなどが考えられる．

NII-Electronic Library Service