



研究論文

バイオ液体燃料の噴霧燃焼特性に関する研究

(燃料種のすす生成特性への影響)

A study on spray flames characteristics of liquid fuel sprays of biomass
(Influence of the Fuel Type on Soot Formation Characteristic)

| | | | |
|---|---|--|---|
| 赤間 和樹 (Kazuki AKAMA) 大阪大学 (Osaka Univ.) | 林 潤 (Jun HAYASHI) 大阪大学 (Osaka Univ.) | 瀬尾 健彦 (Takehiko SEO) 東京工業大学 (Tokyo Institute of Technology) | 安 鐵朱 (Chulju AHN) 大阪大学 (Osaka Univ.) |
| 赤松 史光 (Fumiteru AKAMATSU) 大阪大学 (Osaka Univ.) | 橋本 望 (Nozomu HASHIMOTO) 電力中央研究所 (CRIEPI) | 西田 啓之 (Hiroyuki NISHIDA) 電力中央研究所 (CRIEPI) | |

The combustion characteristics of the biomass liquid fuel (palm methyl ester: PME) sprays are investigated. The laminar counterflow spray burner, where the unburned droplet region, the blue flame region and the luminous flame region are separately stabilized, is utilized to observe the detailed combustion characteristics. The diameter of the spray droplets is measured by PDA with and without combustion. The soot formation regions are measured by Time-Resolved Laser Induced Incandescence (TIRE-LII) technique. Results show that the drop size distribution of spray droplets was changed due to the difference of the evaporation rate, and that there was a difference in transition of the average droplet size. The instantaneous soot generation process in the PME spray flame was the same as that in the n-dodecane spray flame, and the diameter of the soot particle grew in the circumference of the soot formation area.

Keywords: Palm methyl ester, Drop size distribution, Soot formation, n-dodecane, Time-resolved LII

1. 緒言

近年、開発途上国における急激な人口増加と経済発展により、世界的にエネルギー需要は増加し続けている。現在、このエネルギー需要の大半は石油をはじめとする化石燃料の燃焼により賄われている⁽¹⁾。一方で、大量の化石燃料の使用により、地球温暖化等の地球規模の環境問題が顕在化してきている。したがって、今後はエネルギーの供給と利用に関するすべての分野において、環境問題へのさらなる配慮が求められており、高度な燃焼制御にもとづいたクリーンかつ高効率な燃焼技術に関する研究開発が急務となっている。また、化石燃料は有限の資源であり、近い将来、枯渇することは必至であるため、燃焼機器の高効率化・クリーン化に関する研究開発と並行して、化石燃料代替エネルギーに関する研究が盛んに行なわれている。

“バイオマス”は、“動植物に由来する有機物であって、エネルギー源として利用することができるもの（原油、石油ガス、可燃性天然ガス及び石炭並びにこれらから製造される製品を除く）”と定義されており⁽²⁾、特にエネルギーとして利用する際には“バイオマスエネルギー”と称される。バイオマスエネルギーは「再生可能」、「カーボンニュートラル」という特徴を有することから、二酸化炭素排出抑制による地球温暖化防止ならびに循環型社会の構築に寄与することが期待されている。

日本国内におけるバイオマスエネルギーの導入目標は、2010年までに原油換算で34万kL（発電）、308万kL（熱利用）となっており⁽³⁾、バイオマスの利用促進および利用技術に関する研究開発が急務である。特に発電分野においては、化石燃料とのベストミックス利用の促進が図られている。

液体バイオマス燃料の原料の代表的なものに、大豆油、パーム油などが挙げられる。これらのうち、海外から日本への供給を考えた場合、パーム油はマレーシア、インドネシアを始めとする東南アジアの生産地における生産余力があり、生産コストも低く、安定な供給が可能であると考えられている。しかしながら、パーム油は軽油などの一般に使用されている液体燃料と比較して動粘度が高いという問題を持つ。そこで、エステル化を行うことで動粘度を低下させたパームメチルエステル (Palm Methyl Ester:PME)⁽⁴⁾が全部あるいは一部軽油代替のバイオ液体燃料として使用され始めており、実用燃焼器に適応した場合の熱効率や排気特性、あるいはその製造過程において利用される様々な触媒に関する研究⁽⁵⁾、⁽⁶⁾などが、現在国内外で盛んに行われているものの、その詳細な燃焼特性は未だ明らかにされていない。

一方、液体燃料の代表的な燃焼方法は噴霧燃焼であり、高負荷燃焼が可能で制御の際の応答性が良いことから、様々な実用燃焼器において採用されている。しかしながら、噴霧燃焼は、燃料の微粒化条件に起因する燃料噴霧の平均粒径や粒度分布の幅などの噴霧特性と、流れ場の特性が相互に影響を及ぼしあいながら蒸発・燃焼が進行する反応性二相流であるため、その

原稿受付：2008年4月28日

反応過程は複雑で、未だに不明な点が多い⁷⁾。特に噴霧燃焼中において生成される粒子状物質 (PM: Particulate Matter) の一つであるすすは、近年環境や人体への多大な悪影響が懸念されているにもかかわらず、その詳細な生成過程は明らかにされていない。新燃料として期待されるバイオ液体燃料を実用燃焼器に適用し、効率良く環境負荷が少ない形で利用するためには、既存の化石燃料との基礎燃焼特性の相違を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、PME 燃料噴霧の基礎燃焼特性のうち、特にすす生成特性を明らかにすることを目的とした。本報告では、PME 噴霧火炎中のすす生成特性解明として、既存の化石燃料の噴霧燃焼特性およびすす生成特性との比較を行った。噴霧燃焼場には、流れ場中に木燃噴霧領域、青炎領域、輝炎領域を分離して定在化させることの可能な対向流場を採用した。PME 噴霧の燃焼特性との比較に用いる既存の化石燃料として n-dodecane を用いた。未燃噴霧および噴霧火炎中の燃料噴霧液滴の速度と粒径は位相ドップラー流速計 (Phase Doppler Anemometry: PDA) により計測した。また、PME のすすの生成過程を時間分解レーザ誘起赤熱法 (Time-Resolved Laser Induced Incandescence: TIRE-LII) により計測を行い、n-dodecane 噴霧におけるすすの生成過程との比較を行った。

2. 実験装置および方法

2.1 対向流バーナ

図1に本実験に用いた対向流バーナの外観とポート部の構成図を示す。上側ポートは二重管構造 (内側管内径 30 mm) となっており、ポート上側に設置された超音波式噴射弁によって微粒化された液体燃料は内側の管を通り、周囲の空気と混合され、上側バーナポート (内径 43 mm) より供給される。上側主流空気は二重管の外側部より4方向から供給され、多孔板ではさまれたグラスビーズの充填層で十分整流された後、燃料噴霧と混合され、縮流部で縮流されてほぼ均一な断面速度分布をもって、上側バーナポートより予混合噴霧流として対向流場に供給される。下側主流空気は、プースタで加圧され (0.11 MPa)、ストップバルブを経てフローメーターで流量調節された気体燃料 (都市ガス 13A) と十分混合された後、上側ポートと同様に整流、縮流され、予混合気として下側ポートから供給される。上下ポートともに、外周部 (内径 47 mm) の環状流路に主流部と同軸、同速の窒素を供給することより外部空気とのせん断を極力抑え、バーナリムへの火炎付着を抑制した。上下バーナポート出口周辺には外部空気の影響を極力排除し、よどみ面を定在させ、火炎を安定化させるための直径 160 mm の円盤を備え付けた。また、上下バーナポート内部には、火炎付着および熱膨張による変形を防ぐための水冷機構を設けた。実験の際には、ポート間隔を 30 mm、上下ポートからの気相流速 $U=0.8$ m/s 一定とし、伸張率 53.3 s⁻¹ の対向流が形成される。下側ポートからは当量比 $\phi_g = 0.6$ の都市ガスと空気の予混合気が供給され、ガス火炎が安定化した後、任意の時刻に上側ポートより噴霧の供給を開始した。

2.2 供給燃料、噴射弁

図2に本研究で用いた LII 計測の実験装置の概略図を示した。供給する燃料は、バイオディーゼル燃料として PME を用い、PME と比較するための液体燃料として n-dodecane を用いた。表1に本研究で用いた PME (カロチノール社製)、n-dodecane (Wako 製) の物性値を示す。

本研究で用いた超音波式噴射弁は、ノズルに取り付けたピエゾ振動子に電気信号を印加して共振させ (共振周波数: 18.0

kHz)、ノズル先端に取り付けられた金属製ホーンに供給された液滴に振動を与えて液滴を分裂させて、霧化するものである。生成された燃料噴霧は、上側バーナポート内に当量比 $\phi_l = 0.2$ 一定で噴射される。

上記超音波式噴射弁を用いて、燃焼場での PME 噴霧および n-dodecane 噴霧の垂直方向の平均粒径および粒度分布の変化を調べるために上側バーナポートより下方 $h=7$ mm から $h=15$ mm の間で刻み幅 1 mm で PDA 計測を行った。なお、PDA 計測は、リンブル数を 10000 個とし、300 s 以内に 10000 個リンブルでできなかった場合はタイムアウトとした。

次に、PME 噴霧および n-dodecane 噴霧を対向流バーナに供給して形成された噴霧火炎に対して、それぞれ TIRE-LII 計測を 200 回繰り返し行った。

2.3 レーザ誘起赤熱法

レーザ誘起赤熱法 (Laser Induced Incandescence: LII)⁸⁾ は、火炎内に高エネルギーのレーザパルス照射し、火炎中に存在する固体すす粒子の温度が昇華温度 (約 4000 K) まで達した際に起こすふく射を計測する手法である。このふく射を LII と呼び、その強度を LII 強度、または LII 信号強度と呼ぶ。

Eckbreth⁹⁾ は、レーザ照射によるすす粒子からの赤熱光 (LII) を計測することで、ラマン散乱光の計測における火炎中のすす粒子からの干渉を評価した。これがすす粒子の評価として、初めて LII が用いられたものである。その後、McInton¹⁰⁾ は LII により火炎中に存在するすす粒子の体積分率が定量化できることを理論的に示した。LII 信号強度 I_{em} は粒子温度 T とすす一次粒径 D に依存する式(1) のように表される。

$$I_{em} = \frac{2\pi^2 h}{\lambda_{em}^5} [\exp(hc/\lambda_{em} kT(t)) - 1]^{-1} \times \Delta\lambda \varepsilon \pi D^2(t) \quad (1)$$

ここで、 c : 光速(m/s)、 h : プランク定数(J・s)、 k : ボルツマン定数(J/mol・K)、 ε : 放射率、 λ_{em} : 検出波長 (μm)、 $\Delta\lambda$: 波長域 (nm) である。LII 信号強度は時間の関数であり、これはレーザ照射直後にピーク値をとり、その後時間経過とともに減衰する。その減衰率はすす粒子径によって異なる。LII 信号強度の減衰は、粒子表面積による温度低下に影響を受けるため、すす粒子の粒径に依存し、粒径が小さいほど減衰時間が短くなる。これは、粒径が小さくなると比表面積が大きくなるために周囲火炎温度からの冷却作用の影響を受けやすく、粒子温度が低下するのが早いためである。

LII 信号強度の時間減衰が粒径に依存することを利用して、すす粒子の粒径 D を推定する方法が TIRE-LII である。レーザ照射によって得られる LII 信号を時間差を設けて測定し、式(2)より、信号強度比を求める。

$$S = I_{(t_2)} / I_{(t_1)} \sim f(D) \quad (2)$$

レーザ照射直後 ($t=t_1$) の LII 信号強度と、レーザ照射直後から t_2 後 ($t_1 < t_2$) の LII 信号強度の比 S ($=I(t_2)/I(t_1)$) を算出する。前述のように、粒径が小さい場合は比表面積が大きく LII 信号の減衰が早いので、 S の値は小さくなり、逆に、粒径が大きい場合は S の値は大きくなる。つまり、式(2)の S の値は粒径 D に依存し、 S の値から火炎中のすす一次粒子の粒径 D を求めることができる。ただし、すす一次粒子径を定量的に評価するには、LII 信号強度比 S とすす一次粒子径の較正が必要である。そこで本実験では、Oh¹¹⁾ がプロパンの定常拡散火炎を形成し、ある計測位置に存在する火炎中のすす一次粒径 D を TEM により測定し、同じ計測位置における LII

信号強度の減衰率 S と一次粒子径 D の関係を校正した式(3)を用いた。

$$D = 7.4 + 84.03S \quad (3)$$

すす一次粒子径の計測は、LII と弾性散乱光法 (Laser Induced Scattering: LIS) の同時計測より、LII 強度と LIS 強度の比からも決定することができる⁽¹²⁾が、この手法では壁面等からの散乱光の影響を無視できないこと、粒径の大きな粒子の影響が強く、平均粒径が大粒径側に偏った値になることなど問題点も多い。TIRE-LII は、壁面や燃料油滴の散乱光などによる干渉が大きい実験条件においても適用することができる利点がある。

本研究における、TIRE-LII 計測用の光源には、エネルギー0.2 J/cm²、周波数 10 Hz、パルス幅 8 ns の Nd: YAG レーザの第2高調波(532 nm)を使用し、3枚のシリンドリカルレンズにより、高さ 17 mm、厚さ 0.5 mm のシート状に成形した後、バーナ中心軸を含む垂直断面に照射する。ここで、レーザー照射エネルギーは、LII 強度がレーザー強度に依存しない領域かつ照射されたレーザーによりすすの蒸発および構造変化が生じないように、Witze⁽¹³⁾らにより推奨されている値を採用した。シート光入射方向に対し90°の位置に正対して設置された2台のCMOSカメラにより、レーザー照射直後とレーザー照射から Δt (=450 ns)後に撮影を行い、それぞれのカメラから得られる赤熱光画像の輝度値(LII 信号強度)より、すす一次粒子の体積濃度、および空間分布を可視化した⁽¹⁴⁾。2台の CMOS カメラ先端には、それぞれ高速ゲート付のイメージンテンシファイアおよび中心波長 400 nm、半値幅 60 nm のバンドパス光干渉フィルタを設置した。イメージンテンシファイアのゲート幅は火炎からの自発光を除去するために 100 ns に設定した。CMOS カメラおよびイメージンテンシファイアは、パルスジェネレータにより、Nd:YAG レーザのレーザーパルスとの同期をとった。赤熱光画像撮影領域は、下側ポートの出口中心部を原点として、上方向に h 軸、半径方向に r 軸を取り、 $5 \text{ mm} < h < 30 \text{ mm}$ 、 $-12.5 \text{ mm} < r < 12.5 \text{ mm}$ であり、撮影解像度は $512 \times 512 \text{ pixels}$ である。

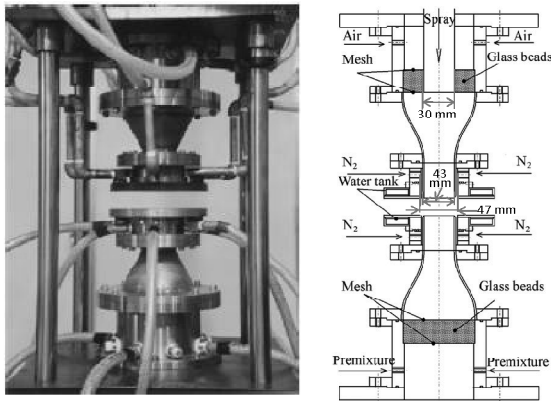


Fig.1 Configurations of Counter Flow Burner

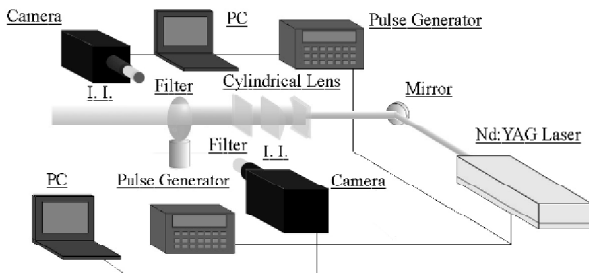


Fig.2 Experimental Apparatus

Table 1 Properties of PME and n-dodecane

| | | PME | n-dodecane |
|--------------------------|--------------------|------------|------------|
| Density (30°C) | g/cm ³ | 0.86 | 0.75 |
| Kinetic viscosity (30°C) | mm ² /s | 5.63 | 1.69 |
| Flash point | °C | 174 | 73~74 |
| Ignition point | °C | 245 | 203~250 |
| Boiling point | °C | 319~347(※) | 216 |

(※) Initial boiling point:319°C, End boiling point:347°C

3. 結果および考察

3.1 火炎中の粒径変化

図3に本研究における n-dodecane 噴霧火炎の直接撮影画像を示す。図中に示した①~③は、領域①: $7 \text{ mm} < h < 9 \text{ mm}$ 、領域②: $9 \text{ mm} < h < 15 \text{ mm}$ 、領域③: $h > 15 \text{ mm}$ の範囲を表しており、それぞれ未燃噴霧領域、噴霧火炎領域、ガス火炎近傍と定義した。上側バーナポートから供給される燃料噴霧は未燃噴霧領域において噴霧火炎からの熱により蒸発しながら落下し、噴霧燃焼領域においてガス火炎による高温場で燃焼する。図4に PME 噴霧における平均粒径の変化を示す。ここで、粒径として算術平均粒径 D_{10} 、ザウタ平均粒径 D_{32} を用いた。また、PME において未燃噴霧領域に位置する $h = 7 \text{ mm}$ の位置から、噴霧燃焼領域最下部に位置する $h = 14 \text{ mm}$ までの 2 mm 刻みでの各位置における燃料液滴の粒度分布を図5に示す。また、対向流場における噴霧燃焼の研究においては、燃料液滴の流れ場に対する追従性はストークス数 (St) を用いて評価される^{(15), (16)}。本研究では、 $St = 1$ を基準として、 $St > 1$ を満たす液滴直径を大粒径、 $St < 1$ を満たす液滴直径を小粒径とした。 $St = 1$ を満たす液滴粒径は PME の場合 $54.7 \mu\text{m}$ 、n-dodecane の場合 $58.6 \mu\text{m}$ である。図6に PME 噴霧と n-dodecane 噴霧における小粒径の燃料液滴の体積割合の変化を示す。

図4の PME 噴霧においては、 $h = 7 \text{ mm} \sim 13 \text{ mm}$ の範囲において D_{10} 、 D_{32} とともに緩やかに増加を続けている。図6より、この傾向は、蒸発と燃焼による小粒径液滴の体積割合の減少によって、平均粒径が増加することに起因していることが分かる。また、 $h = 13 \text{ mm}$ 以降の範囲においては、大きな変化が見られないことが分かる。また図5より、PME の未燃噴霧領域および噴霧火炎領域である $h = 7 \text{ mm} \sim 14 \text{ mm}$ において、大粒径の液滴の割合が増加している。これは、噴霧火炎およびガス火炎からの伝熱により、小粒径の液滴が選択的に蒸発・燃焼しているためである。このことは、図6において、小粒径液滴の体積割合が減少していることから分かる。その後、大粒径の液滴を含んだ噴霧火炎がガス火炎へと近づくことによって大粒径の液滴が蒸発を開始するため、平均粒径増加が止まり、わずかに減少する傾向を示す。

次に、PME 噴霧と同様に、n-dodecane 噴霧における平均粒径の変化を図7に、燃料液滴の粒度分布の変化を図8に示した。図7より、n-dodecane 噴霧においては、 $h = 7 \text{ mm} \sim 14 \text{ mm}$ の未燃噴霧領域および噴霧燃焼領域の全範囲において D_{32} は緩やかに増加している一方で、 D_{10} はほぼ一定であることが分かる。また、図8より、 $h = 11 \text{ mm} \sim 14 \text{ mm}$ における粒度分布に大きな変化がないことが分かる。つまり、これは蒸発、燃焼により小粒径の燃料液滴の割合が減少し、大粒径の燃料液滴の割合が増大して

いるが、変化量が非常に小さく、粒度分布に大きな影響を及ぼさないためである。このことは、図6において、 $h=11\text{ mm} \sim 14\text{ mm}$ の範囲で小粒径の燃料液滴の体積割合に大きな変化がないことから分かる。その後、小粒径の液滴から選択的に蒸発・燃焼することで D_{32} と D_{10} はともに増加している。また、今回の計測では噴霧液滴のサンプル数が非常に少ないため、計測を行わなかったが、 $h=15\text{ mm}$ より下方の位置では、ガス火炎からの伝熱によって大粒径の液滴が急激に蒸発および燃焼するために、平均粒径が減少していると考えられる。以上の結果より、沸点、引火点および着火点温度の低い n-dodecane 噴霧においては噴霧燃焼領域において、比較的大粒径の液滴においても、噴霧火炎およびガス火炎からの熱を受けて蒸発するのにに対し、PME 噴霧においては微小粒径の液滴において蒸発が起きていることは確認できるが、大粒径の液滴の蒸発が、n-dodecane と比較して活発に起こらないことで、両者の平均粒径の変化および粒度分布の変化に相違が生じたと考えられる。

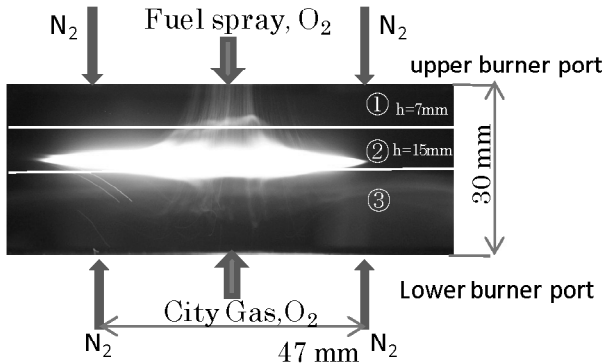


Fig.3 Photograph of n-dodecane spray flame ($U=0.8\text{ m/s}$, $\phi_1=0.2$)

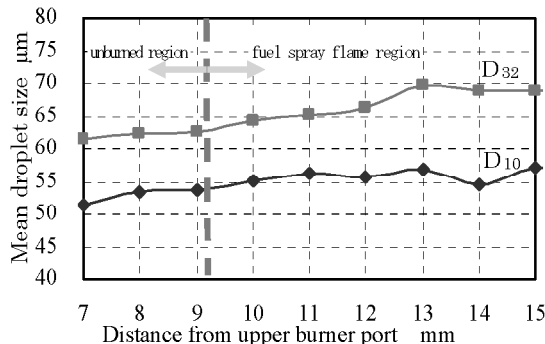


Fig.4 Variation of mean droplet diameter of PME spray on the burner center axis

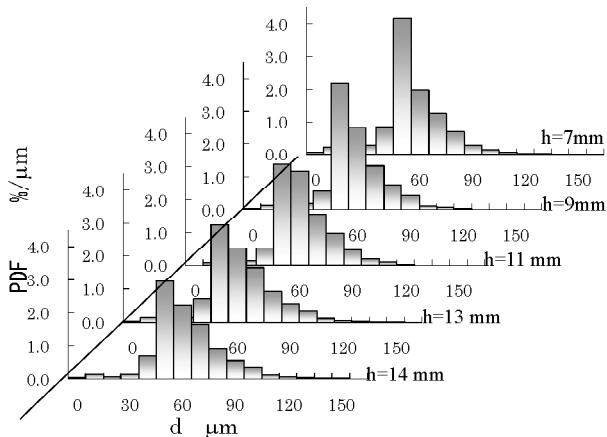


Fig.5 Variation of droplet size distribution of PME spray on the burner center axis

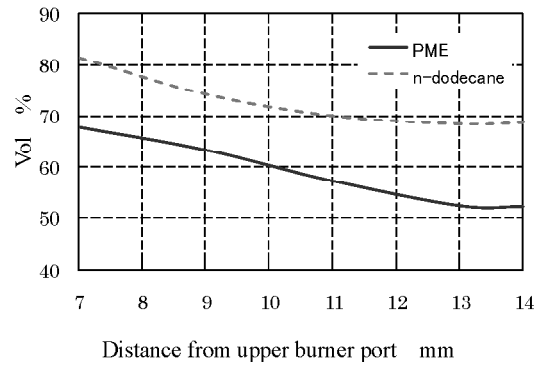


Fig.6 Variation of small droplet diameter fraction of PME and n-dodecane spray

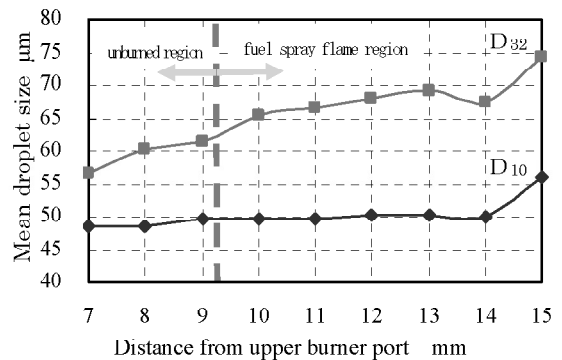


Fig.7 Variation of mean droplet diameter of n-dodecane spray on the burner center axis

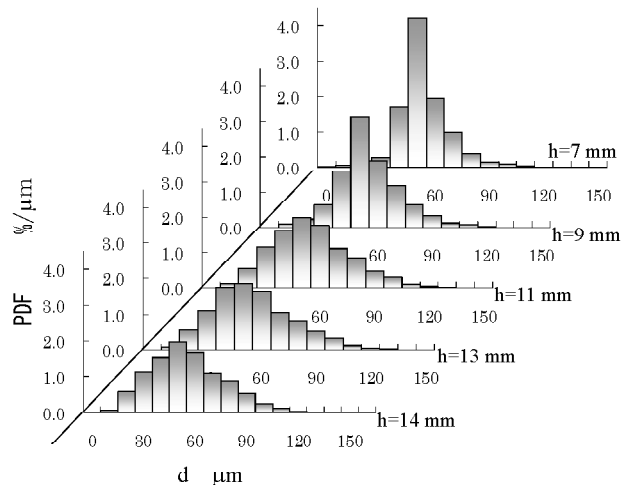


Fig.8 Variation of droplet size distribution of n-dodecane spray on the burner center axis

3.2 すず生成過程の観察

本研究で得られた TIRE-LII の計測結果では、燃料噴霧の持つ時間的・空間的な不均一性の影響を受け、瞬間的にすず生成領域の形状が変化した。図9(a), (b)に、PME 噴霧火炎中における瞬間的なすず体積濃度(LII 信号強度)の空間分布、およびすず粒子径の

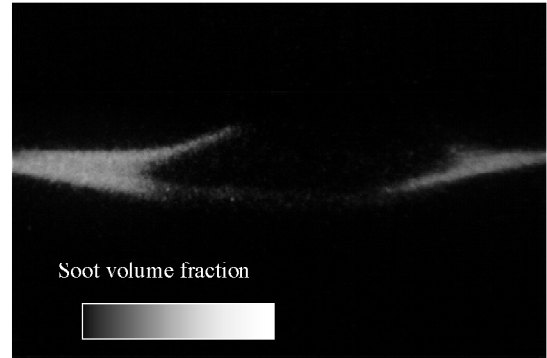
空間分布(TIRE-LII 計測結果)の一例を示す. 図 9(a)において輝度が高い部分ほど,すす体積濃度が高いことを示している. 図 9(b)においては濃い部分ほどすす粒子径が大きいことを示しており,式(3)を用いて定量化している. 図 9(b)の縦軸は下側バーナポートから高さ方向の距離 h , 横軸はバーナの半径方向距離 r である. 図 9(a)より,すす生成領域が環状の領域を形成していることが分かる. この環状のすす生成領域は,燃料油滴群が拡散的に燃焼することで形成される. 著者らの以前の研究結果により,中央の欠損部分には未燃燃料油滴が存在しており,この未燃燃料油滴の温度上昇および蒸発により熱が奪われて燃焼反応強度が低下し,すすの生成が抑制されていることが明らかになっている⁽¹⁷⁾. また,図 9(b)より,すす一次粒子径はすす生成領域の外周部において増加していることが分かる. このすす生成領域外周部におけるすす一次粒子径の増加は,噴霧火炎中心部に存在する未燃の液滴および高温の燃料蒸気によって局所当量比が上昇することで生じた高数密度のすす微粒子核が,対向流場の流れに沿って移動し,すす一次粒子の凝集および表面成長が盛んに行われることに起因すると考えられる. また,図 9(c)は図 9(b)の破線部分の拡大図である. この図内の破線内において,すす生成領域最外縁部より僅かに内側ですす一次粒子径が大きくなっていることが分かる. すす生成領域の外縁部には拡散燃焼による火炎面が存在することによって高温場が形成されるため,すす一次粒子の酸化反応が進行し,すす粒子径がわずかに減少することが考えられる.あるいは,すす生成に起因する輝炎領域外周部において,新たに生成されるすす一次粒子が計測されていることが推察される.

図 9(a), (b)の結果と,図 10(a), (b)における n-dodecane の噴霧燃焼実験において得られたすす生成領域およびすす粒子径の空間分布を比較すると,すす生成領域が環状の構造を持ち,その外周部においてすす粒子径の粒径が増加している傾向は同様であり,瞬間的には同様のすす生成過程を持つことが考えられる. 一方,式(4)より,すす生成が確認された位置の高さ方向の位置を計測し,すす生成領域の下側バーナポートからの高さ方向(h)の重心位置 H を算出した.

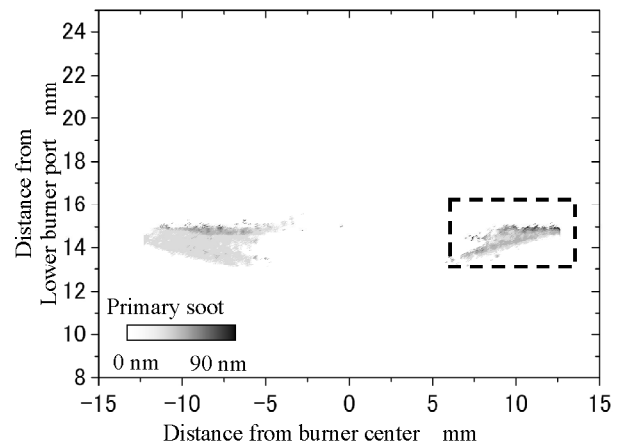
$$H = \sum_i I_i h_i \quad (4)$$

ここで, I_i : 高さ方向下から 10 mm~26 mm まで 2 mm 刻みの領域内における輝度値の和を全領域の輝度値の総和により除したもので, h_i : 各領域での高さ方向の位置である. 本研究で得られたすす生成領域およびすす一次粒子径分布は瞬間ごとにその形状が変化した. また,レーザ光源の周波数が 10 Hz であるので,時間的に離散的な結果である. そのため,200 回の計測で得られたすす生成領域の画像データから,それぞれ重心位置 H を算出し,すす生成領域の高さ方向(h)の平均重心位置 \bar{H} を求めた. その結果, PME が $\bar{H}_p = 14.9\text{mm}$, n-dodecane が, $\bar{H}_d = 16.0\text{mm}$ となった. これは 3.1 節の PDA の計測結果と併せると,蒸発特性の相違に起因して, PME 燃料噴霧の火炎位置が n-dodecane 噴霧の火炎位置よりガス火炎近傍へと移動したためである. さらに,それぞれの燃料液滴において生成されたすす粒度分布の TIRE-LII 試験 200 回の平均値を図 11 に示す. PME 噴霧から得られるすす一次粒子の粒度分布は, n-dodecane 噴霧塗布比較して,すす一次粒子径 15 nm を境に非常に僅かに増加しているが,全体的な傾向としてはほぼ一致していることがわかる. 以上の結果から, PME に含まれる酸素分子の影響を観察することは出来なかった. しかしながら,ディーゼル機関など,今回の条件より高圧・高当量比の雰囲気内において含酸素燃料を燃焼させた場合,噴霧火炎内の微小粒子の割合が高くなるという報告がなされている⁽¹⁸⁾. これは,本研

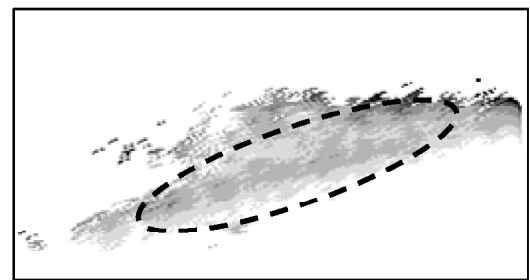
究における燃料噴霧が非常に希薄であることに起因していると考えられる. 以上より,本研究で行った実験範囲において PME のような含酸素燃料において,すす生成位置や,粒度分布および一次粒子径分布に若干の変化は見られるものの,瞬間的なすすの生成機構に関しては大きな相違がないことが判明した.



(a) Spatial distribution of soot volume fraction

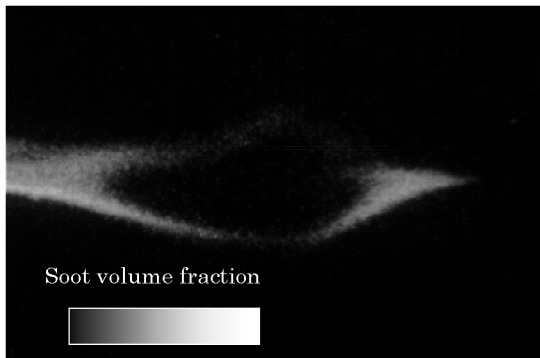


(b) Spatial distribution of soot diameter

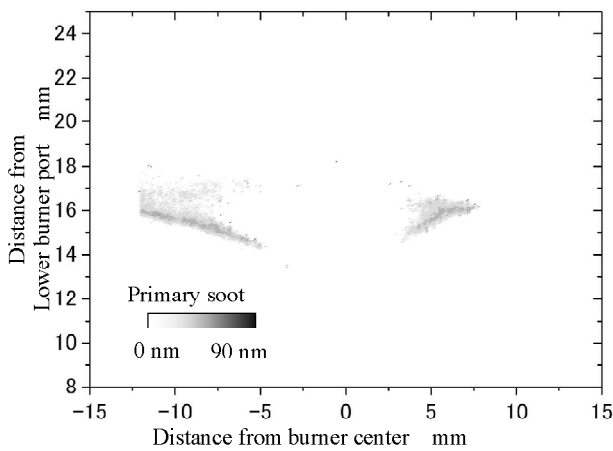


(c) The enlarged figure of the rectangular part in (b)

Fig.9 Typical instantaneous result of TIRE-LII of PME Spray



(a) Spatial distribution of soot volume fraction



(b) Spatial distribution of soot diameter

Fig.10 Typical instantaneous result of TIRE-LII of n-dodecane spray

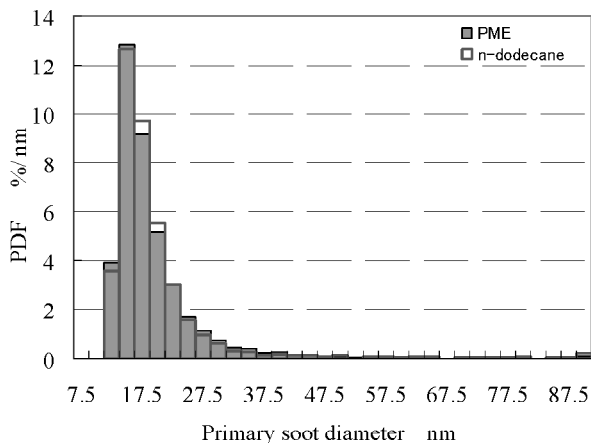


Fig.11 Primary soot diameter distribution of PME and n-dodecane

4. まとめ

対向流噴霧燃焼場での PME および n-dodecane の燃料噴霧の粒度分布の変化および生成されるすすの体積濃度の空間分布、粒度分布を調べた結果、以下のことが分かった。

1. n-dodecane 噴霧では、噴霧火炎領域において、全ての粒径の液滴が緩やかに蒸発、燃焼するのに対し、PME 噴霧では、小粒径の液滴を中心に緩やかに蒸発・燃焼する。
2. TIRE-LII で得られた結果によると、PME 噴霧火炎のすすの空間分布に関して、蒸発特性の相違により、n-dodecane に比べて若干下流側ですすが生成され、すす粒度分布が非常にわずかに小粒径側に推移したが、PME のような含酸素燃料においても、瞬間的なすすの断面的な空間分布には大きな相違は見られない。

参考文献

- (1)経済産業省：エネルギー白書，(2006)。
- (2)電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法第2条，(2002)。
- (3)農林水産省：バイオマス・ニッポン総合戦略，(2007)。
- (4)小沢靖，橋本望，森則之，百合功，久松暢：パームメチルエステルの基礎燃焼特性，電力中央研究所研究報告，(2006)。
- (5)木下英二，澤岡穰二，浜崎和則，場渡大輔：パーム油エチルエステルのディーゼル燃焼特性，日本機械学会論文集，048-1(2004)，169～170。
- (6)Hiroshi Yamamoto, Yoshiki Sorimachi, Tomohiko Tagawa: Operation Optimization of Lipase-Catalyzed Biodiesel Production, Chemical Engineering of Japan, 40 (2007), 571-574.
- (7)赤松史光，水谷幸夫，香月正司，津島将司，趙庸大：予混合噴霧流の油滴群燃焼挙動と群燃焼数，日本機械学会論文集，62-596 (B 編) (1996)，1622～1628。
- (8)Will. S., Scharaml. S., Leipertz. A.: Two-Dimensional soot-particle sizing by time-resolved LII, optic letter, 20(1995),22.
- (9)Eckbreth. A. C.: Effects of Laser-Modulated Particulate Incandescence on Raman-Scattering Diagnostics, Applied Physics, 48 (1977), 4473-4479.
- (10)Melton. L.A.: Soot diagnostic based on laser heating, 23-13(1984),2201-2208.
- (11)Oh.K.C. , Shin.H.D.: The Effect of oxygen and carbon dioxide concentration on soot formation in non-premixed flames, Fuel, 85 (2006),615-624.
- (12)Han. Y., Lee.K., Lee.W., Chung.J., Lee.C.: Quantitative measurements of soot particles in laminar Diffusion Using a LII/LIS technique, The Japan society of Mechanical Engineers,B8-3(2004),377-385.
- (13)Witze. P.O., Hochgreb.S., Kayes.D., Michelsen. H.A., Shaddix. C.R.: Applied Optics, 40 (2001),2443-2452.
- (14)林潤，赤松史光，安鐵朱，瀬尾健彦，渡邊裕章，黒瀬良一：噴霧火炎中におけるすす生成過程に関する研究(燃料噴霧の粒度分布がすす生成過程に与える影響)，日本機械学会論文集 (B 編) ， 74-738(2008)， 429～437。
- (15)Chen. G., Gomez.A. : Counterflow Diffusion Flames of Quasi-Monodisperse electrostatic Sprays, Symposium (International) on combustion , (1992), 1531-1539.
- (16)Masato Mikami,Shingo Miyamoto,Naoya Kojima: Counterflow Diffusion Flame with Polydisperse sprays,Combustion: Proceedings of the combustion Institute,29(2002),593-599.
- (17)Mariko Nakamura, Fumiteru Akamatsu, Ryoichi Kurose, Masashi Katsuki: Combustion mechanism of liquid fuel spray in a gaseous flame, Physics of Fluids, 17 (2005), 123301.
- (18)米虫祐介，久下喬弘，千田二郎，藤本元：含酸素燃料の燃料性状がディーゼル噴霧火炎内における微粒子生成特性に与える影響，日本機械学会論文集(B 編)，72-722(2006)，2578～2584。



赤間 和樹
大阪大学 大学院
工学研究科 機械工学専攻
大阪府吹田市山田丘 2-1
Tel : 06-6879-4489
Fax :06-6879-7254

略歴：2008年大阪大学工学部卒業，2008年より大阪大学大学院工学研究科博士前期課程に在籍。



赤松 史光
大阪大学大学院工学研究科
機械工学専攻 教授
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1
電話：06-879-7252
Fax：06-879-7247
Mail：akamatsu@mech.eng.osaka-u.ac.jp

略歴：1991年 大阪大学大学院工学研究科機械工専攻博士前期課程修了，1996年 博士（工学），主として燃焼流の光学計測，数値解析に関する研究に従事。



林 潤
大阪大学 大学院
工学研究科 機械工学専攻
大阪府吹田市山田丘 2-1
Tel : 06-6879-4489
Fax :06-6879-7254

略歴：2004年慶応義塾大学大学院工学研究科修士課程修了，2006年より大阪大学大学院工学研究科後期博士課程に在籍。



橋本 望
(財)電力中央研究所 エネルギー技術
研究所 主任研究員
住所：神奈川県横須賀市長坂 2-6-1
Tel：046-856-2121
Fax：046-856-3346

略歴：2004年北海道大学大学院工学研究科博士課程修了，同年(財)電力中央研究所に入所。これまでに、微粉炭を用いたボイラの燃焼に関する研究および液体燃料を用いたガスタービンの燃焼に関する研究に従事。



瀬尾 健彦
東京工業大学大学院理工学研究科機
械宇宙システム専攻，東京都目黒区大
岡山 2-12-1-11-209，
Tel/FAX:03-5734-2505

略歴：2006年大阪大学大学院工学研究科博士課程修了，同大学院での研究員を経て，2008年東京工業大学大学院理工学研究科機械宇宙システム専攻特任助教に着任・現在，光学計測を用いた火炎の構造に解明に関する研究に従事。



西田 啓之
(財)電力中央研究所 エネルギー技術
研究所
住所：神奈川県横須賀市長坂 2-6-1
Tel：046-865-2121
Fax：046-856-3346

略歴：2004年九州工業大学大学院工学研究科博士後期課程単位取得退学，博士(工学)，1991-2000年 三菱重工業(株)，2004-2006年 (独)産業技術総合研究所，2006年 (財)電力中央研究所入所，主としてガスタービンなどの燃焼に関する研究に従事。



安 鐵朱
大阪大学 工学研究科
機械工学専攻
特任研究員
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1
Tel. 06-6879-7253
Fax. 06-6879-7254

略歴：2006年2月大阪大学大学院工学研究科機械物理専攻博士課程修了，2006年より現職，主として乱流予混合火炎の火炎構造に関する研究，バイオマスのガス化に関する研究に従事。