

704 噴霧燃料の粒径分布の画像計測

Measurements of Particle Size Distribution in Fuel Spray by Image Analysis

○学 木内 雅也(新潟大) 正 藤澤 延行(新潟大)

学 細川 晃(新潟大院) 正 富松 重行(新潟大院)

Masaya KIUCHI, Niigata University

Nobuyuki FUJISAWA, Niigata University

Akira HOSOKAWA, Graduate School of Niigata University

Shigeyuki TOMIMATSU, Graduate School of Niigata University

Niigata University, 8050 Ikarashi2, Niigata, 950-2181

Key Words: Measurement, Interferometric Imaging Method, Droplet Size, Free-falling Method, Fuel Spray

1. 緒言 ガンバーナを用いた燃焼器内部の流動や燃料の噴霧特性は、燃焼器を設計する上で非常に重要である。このことから、著者ら⁽¹⁾は水模型を用いて燃焼器内部の3次元流れ場の計測を行い、速度場と圧力場について報告した。

本研究では、燃焼器内部の噴霧粒子の粒径分布と粒径ごとの粒子速度分布を測定することを目的としている。なお、粒径分布の測定には干渉画像法を適用した。

2. 実験装置および方法

2.1. 実験装置 Fig. 1に実験装置の全体図を示す。燃焼器モデルは高さ160mm幅105mm奥行き105mmの亚克力製で内部が可視化できる構造になっている。噴霧ノズルより噴霧された燃料は燃焼器上流で空気と混合されたのち、燃焼室内に供給される。燃料には灯油を用いた。光源はNd-YAGレーザ(出力50mJ、波長532nm)を使用し、高解像度カメラ(解像度1008×1018)で撮影した。撮影面におけるライトシートの幅は約2mmである。

2.2. 干渉画像法による粒径分布の測定 干渉画像法は液滴に対してレーザ光を照射したときに、表面からの反射光と内部を通る屈折光の干渉によりその周囲に空間的に生じる干渉縞の間隔から液滴径を求めるもので、カメラのフォーカスを結像面よりずらした状態(defocus)で撮影を行う。Fig. 2に本実験で得られたサンプル画像を示す。このときの粒径と干渉縞との関係を次式⁽²⁾に示す。

$$d = \frac{2\lambda N}{\alpha} \frac{1}{\cos \frac{\theta}{2} + \frac{m \sin \frac{\theta}{2}}{\sqrt{m^2 + 1 - 2m \cos \frac{\theta}{2}}}} \quad \dots(1)$$

λ : レーザ波長 N : 干渉縞数 α : レンズ集光角

θ : 受光にらみ角 m : 液滴の屈折率

本実験におけるレンズ集光角は 7.2° で、受光にらみ角は 90° であった。

2.3. 自由落下速度計測法による検証 今回の実験において噴霧粒子径の測定に干渉画像法を適用させたが、その精度を検証するために、噴霧液滴を自由落下させ自由落下速度計測法から求めた粒径と干渉画像法から求めた粒径を比較した。但し、本実験の自由落下速度計測法による噴霧粒

子の粒径測定は以下に示したストークスの抵抗法則にカニンガムの補正を加えた次式を用いた。この式⁽³⁾は $2 \sim 100 \mu\text{m}$ の微小粒子に対し適用可能である。

$$d = -al + \sqrt{(al)^2 + \frac{18u_s \rho_f \nu_f}{(\rho_p - \rho_f)g}} \quad \dots(2)$$

a : カニンガム定数 l : 流体分子の平均自由行路 g : 重力加速度
 ρ_p : 粒子の密度 ρ_f : 流体の密度 ν_f : 流体の動粘性係数
 u_s : 液滴の終端速度

3. 結果および考察

3.1. 自由落下速度計測法による検証結果 Fig. 3に自由落下速度計測法と干渉画像法から求めた粒径の対応関係を示す。測定はそれぞれ同一の灯油液滴に対して行った。グラフより測定結果はほぼ直線的であることがわかり、誤差の平均は約6%程度であった。この誤差の原因は本実験の干渉画像法において、縞の間隔が約 $5 \mu\text{m}$ であることから、求めた粒径がステップ状に変化するためであると考えられる。また、自由落下速度計測法において、液滴重心のPTVによる計測誤差が3%程度であることを考慮すると、両測定法による計測結果は一致すると言える。従って、干渉画像法による粒径計測の健全性が示された。

3.2. 燃焼器内の粒径分布の測定結果 燃焼器モデル内の噴霧状態の概略を知るために、レーザシート光を微粒化した灯油に射出してその散乱光を撮影した。撮影領域は燃焼器モデル全域とし、測定によって得られた200枚の画像の輝度値を重ね合わせた。その結果をFig. 4に示す。空気と噴霧粒子の混合気体は図の右側より流入し、上部より排出される。散乱光の強さはMie散乱の影響によりその直径の2乗に比例するので、明るい部分は噴霧粒子の粒径が大きく、かつ密度が高いことを表している。図より噴霧流軸上で噴霧粒子の粒径および密度が高く、燃焼器上部では低いことがわかる。

噴霧粒子計測はFig. 4に示すように、燃焼器モデルの入口部分(A)と中央部分(B)および出口部分(C)の3箇所で行い、撮影領域は約 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ であった。Fig. 5に干渉画像法による噴霧粒子の粒径分布の結果を示す。縦軸は測定粒子総数に対する比率を、横軸は粒径範囲を表している。グラフより入口部分(A)と中央部分(B)の粒径分布はほぼ類似した

傾向を表しており、 $30 \sim 40 \mu\text{m}$ の範囲でピーク値を取っている。一方、出口部分(C)の粒径分布は $10 \sim 20 \mu\text{m}$ の範囲でピーク値を取り、 $50 \mu\text{m}$ 以上の粒子はほとんど存在しないことがわかる。これは混合気体の流れの慣性により質量の重い噴霧粒子は反対側の壁面に衝突するためであると考えられる。また、この干渉画像法は光の干渉を利用した手法であるので、アクリル壁面に付着した灯油等の汚れによって、光が歪んでしまう影響を非常に受けやすい。従って、この影響を補正し、燃焼器モデル内部の広範囲な領域について、粒径分布の測定を可能にすることが今後の課題である。

4. 結言 燃焼器モデル内部に噴霧された噴霧粒子に対して、干渉画像法を適用することでその粒径分布を測定できることを示した。

参考文献

- (1) N. FUJISAWA, A. SATOH: Proc. 4th. Int. Symp. PIV, Gottingen, 2001, to be published
- (2) O. PAJOT, C. M-ROUSSELLE: Proc. 9th. Int. Symp. Applications Laser Techniques, Lisbon-Portugal, 1998, 18. 2
- (3) M. MAEDA, ほか3名: Meas. Sci. Technol. 11, 2000, L13-L18
- (4) 流れの可視化学会編, 新版流れの可視化ハンドブック, 1991, p. 160

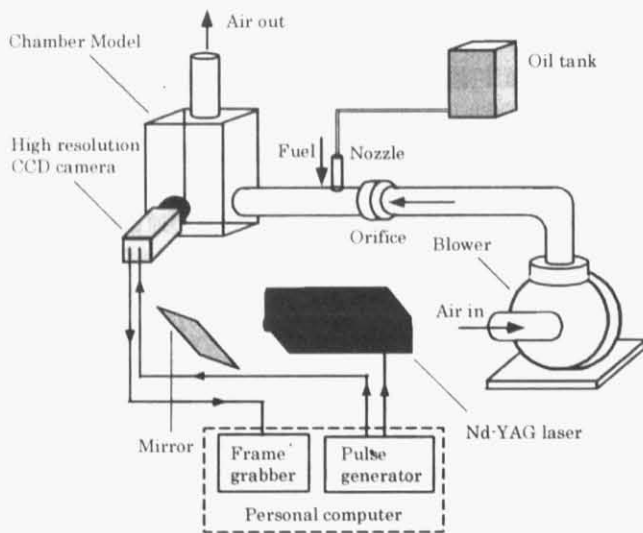


Fig.1 Experimental set up

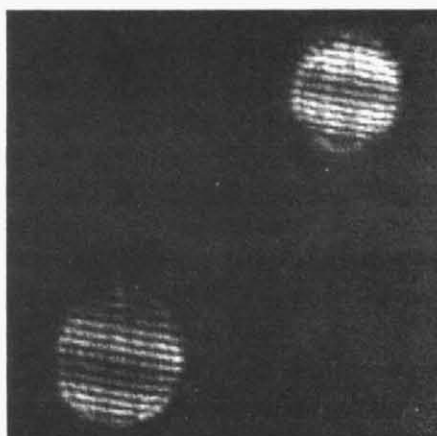


Fig.2 Fringe image of droplets

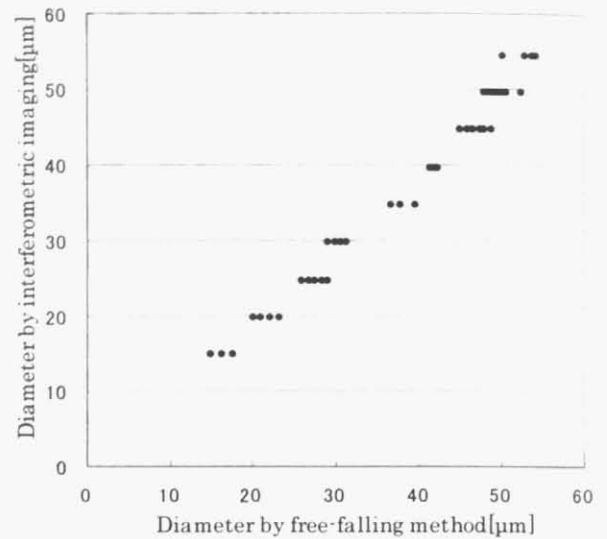


Fig.3 Correlation between droplet diameter measured by interferometric imaging and by free-falling method

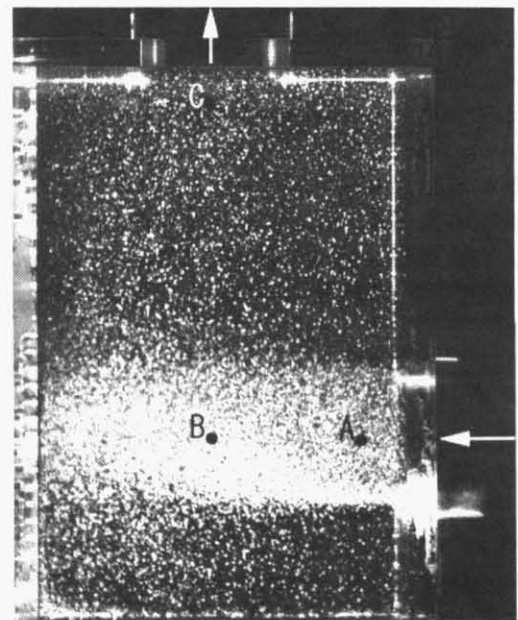


Fig.4 Visualization of droplet distribution in combustion chamber

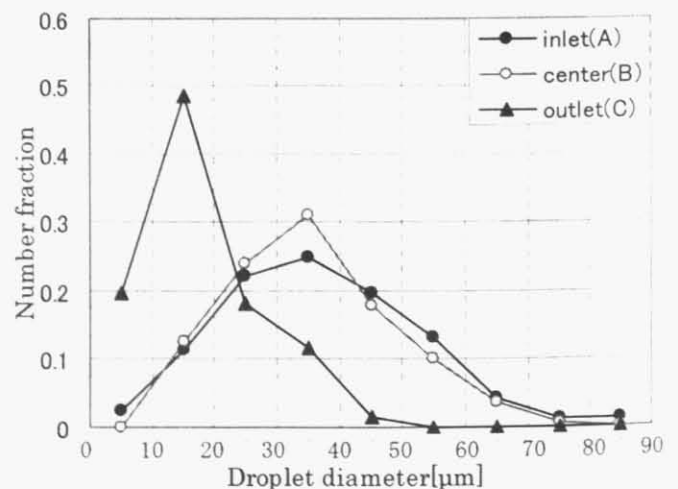


Fig.5 Size distribution of droplets in combustion chamber