Stereoscopic PIV measurement of flow field
inside a spray combustion chamber

○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, Faculty of Engineering, Niigata University, 8050 Ikarashi2, Niigata, 950-2181

Akira HOSOKAWA, Graduate School of Niigata University

Nobuyuki FUJISAWA, Niigata University

Shigeyuki TOMIMATSU, Graduate School of Niigata University

Key Words: Measurement, Flow Field, Velocity, Spray Combustion, PIV

1. 緒言

燃焼装置内部の流動状況の把握は、燃焼効率の向上に関わりを持つ重要な課題であり、非接触での流れ場計測法の開発ならびにそれによる流れ計測がしばしば研究課題として取り上げられてきた。特に、噴霧燃焼においては、輝炎の発生ならびに未燃噴霧液滴の影響が流れ場の計測に対しノイズとして働くため、燃焼時の流れ計測はごく最近まで困難な計測対象であった⁽¹⁾。この課題に対し、著者らは、ロータリーシャッタを用いたPIV計測法を提案し、それを用いた噴霧燃焼装置の流れ場計測例を示した⁽²⁾。

本研究では、この計測法の応用例として、噴霧燃焼装置全体の内部流動状況の計測結果を示すとともに、ステレオPIV法による速度計測も行い、燃焼器内の流れの詳細を明らかにすることを目的とする。

2. 実験装置および方法

2.1 燃焼器モデル

Fig.1に本研究で使用した燃焼器モデルを示す。燃焼器モデルは実機の給湯用燃焼器を1/5スケールに縮小化した燃焼器モデル(105mm×105mm×161mm)で、レーザーシート入射面および撮影面には耐熱ガラスを用いて可視化可能な構造としている。燃料は灯油を用い、ノズルは圧縮噴霧式のガンタイプバーナを使用している。燃焼器入口にはスワラーを取り付けており、スワラーのバーナースロット内径は51mmで、外径40mm、内径20mmのパッフルプレートが設けられている。また、出口内径は61mmである。ノズルから噴霧された灯油と燃焼器内に流入する空気が、パッフルプレートによって生まれた旋回流によって混合された後に燃焼器内に供給される。なお、実験条件は、空気供給量は4.3g/s、燃料供給量は0.056g/sである。

2.2 二次元PIV計測

本研究で使用する二次元PIV計測装置概要をFig.2に示す。燃焼器内部のPIV計測を行うための光源としてダブルパルスNd-YAGレーザー(532nm, 50mJ/pulse)、撮影機器として高解像度カメラ(8bit, 1018×1008pixel)を用いた。レーザーシート幅は1mmで、気流に対して追従性の良好な平均粒径 $2\mu\text{m}$ 、密度 0.2g/cm^3 の多孔質シリカ粒子をトレーサとして用いた。燃焼時の計測には、輝炎の影響を考慮してカメラと燃焼器の間にロータリーシャッターを設置した。この装置は、回転する円板に開いた穴が撮影用のカメラの視野を過ぎる際にカメラのシャッターとして働くことを利用したシャッター装置である。なお、穴がカメラの撮影域と重なった瞬間はフォトセンサによって感知する。このとき、CCDカメラの第一フレームはカメ

ラの電子シャッターにより $200\mu\text{s}$ 、第二フレームはロータリーシャッターにより1ms程度のシャッター時間となる。なお、受光の際にはバンドパスフィルタ(中心波長532nm, 半値幅3nm)を取り付け、輝炎によるノイズを極力小さくするようにした。

可視化画像の解析は、直接相互相関法に基づくPIV解析アルゴリズムを用い、また計測精度を向上させるため、サブピクセル解析を行った。その際の相関領域の大きさは $41\times$

Fig.1 Combustion chamber model

Fig.2 Experimental set up

41pixelである。なお、二画像の時間間隔は $80 \sim 170 \mu s$ とした。なお、可視化画像に含まれる未燃噴霧液滴は、画像の輝度分布を利用して解析画像から除去した。

2.3 ステレオPIV計測

可視化断面に対し垂直方向の面外速度成分を計測するため、二台のカメラを撮影面に対しそれぞれ 0° 、 20° の角度を持たせてステレオPIV計測を適用した。ただし、カメラ配置には、シャインプルーク法⁽³⁾を、ステレオ画像のマッピングには3次多項式を用いた方法を用いた。なお、校正板を各断面ごとに3断面ずつ移動させて、面外方向速度の校正を行った。また、燃焼装置全体の流れ場計測を行うため、装置内流れ場を二分割して可視化撮影を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 二次元PIV計測

Fig3(a), (b)は、それぞれ燃焼時(a)、非燃焼時(b)の二次元速度場の測定結果である。ただし、装置中央 $z=0$ ならびに $z=18, 36 \text{ mm}$ の位置の結果を示す。ここでは、速度ベクトルを矢印で、速度の大きさをグレースケールで表示して示した。また、図の枠線は燃焼器の壁面を示しており、途切れた箇所は各断面における入口、出口径を示してある。

中央断面($z=0$)における流れ場では、入口から対向面に向かって直線状に進む主流があり、よどみ点がはっきりと観測される。また、壁面に向かった流れは上下に分かれ、装置壁面に沿って流れ上下部いずれにも渦の形成が見られる。ただし、上部に向かう流れは壁面に沿って上昇し、出口へ向う。一方、測定断面が側壁方向に向かうと、同様に維持されるが、バーナー流の大きさが小さくなる。このような流れパターンは、非燃焼時の結果にも同様に見られる。しかしながら、非燃焼時の結果では、速度の大きさは全体的に小さく、バーナー流の広がり小さい。これは、燃焼に伴う温度上昇の影響を示唆する。

3.2 ステレオPIV計測

非燃焼時の流れ場をステレオPIVによって計測した結果をFig4に示す。ただし、装置中央断面における結果である。断面内の速度場は、二次元計測結果と同様、バーナー流とそれに伴う2つの渦流れ構造が再現されていることが速度ベクトル表示から分かる。一方、この測定では、面外方向速度成分が計測されるが、その結果をグレースケールで表示した。実験結果によると、バーナー流出口付近ならびに対向壁の上部において面外方向成分が見られ、わずかに3次元流が発生する様子が見られる。一方、この計測断面は装置の対称面でもあり、あまり大きな面外方向成分は発生しないことが予想される。したがって、このような3次元流の発生原因としては、バッフルプレートによるスワールの影響が考えられ、この点を明らかにするにはさらに詳細な燃焼装置内の流れ計測が必要であると思われる。

4. 結言

噴霧燃焼器内部の燃焼を伴う流れ場を二次元PIV、ステレオPIV計測を用いて測定する方法を示し、また計測結果を示した。実験結果によると、燃焼時、非燃焼時においても同様な装置内の流れパターンが得られたが、流れ場に関する定量的な相違が明らかとなった。

参考文献

- (1)Palero, V. and Ikeda, Y., Journal of Visualization, 5(2002), 285-292
- (2)Tomimatu, S., et al: Proc. 10th Int. Symp. Flow Visualization, paper No.F0273
- (3)S. M. Soloff, R. J. Adrian and Z-C Liu, Meas. Sci Technol., 8(1997), 1441.

Fig.3 Flow structure in a combustion chamber

Fig.4 3C velocity distributions for stereoscopic PIV