A210 噴霧燃焼器内流れ場のPIV計測と計測精度の評価

富松 重行^{*○}(新潟大・院), 藤澤 延行(新潟大・工), 木内 雅也(新潟大・院)

PIV Measurement of Flow Field inside a Spray Combustion Chamber and Evaluation of Measurement Uncertainty
Shigeyuki TOMIMATSU, Nobuyuki FUJISAWA and Masaya KIUCHI

ABSTRACT

This paper reports the uncertainty analysis of a PIV measurement for application to the combusting flow with a luminous flame. The artificial images have been constructed based on the numerical simulation data of velocity field in a combustion chamber model. The images reflect the experimental gray level influenced by the luminous flame. Based on the artificial images, the uncertainty analysis of PIV measurement has been carried out and the optimum selection of the interrogation window size and the shutter speed of a rotary shutter are studied.

Keywords: PIV, Combustion, Spray, Uncertainty Analysis

1. 緒言

燃焼場における速度計測技術として、PIVは有効な手段を提供することから、その計測法に関する検討は重要である。このような流れ場計測においては、輝炎の発生は画像ノイズとして働くことが知られており、何らかの方法でその影響を取り除くことが計測上要求される⁽¹⁾。

この課題に対し、著者らは、ロータリーシャッターとバンドパスフィルタを組み合わせ、燃焼場から発生する輝炎の影響を除去し、速度場をPIV計測する方法を示した⁽²⁾。しかしながら、その計測精度については十分検討されていない。

本報では、数値計算結果に基づく流れ場に実験から得られる輝炎の影響を考慮することで輝炎擬似画像を作成し、速度場計測結果に及ぼすロータリーシャッターおよびバンドパスフィルタの影響を定量的に考察する。さらに、最適シャッタースピード及びPIV解析を行う際の最適パラメータの探索を目的としている。

2. 擬似画像の作成

擬似画像を作成するにあたって、既報⁽²⁾の実験条件で撮影される画像の作成を試みた。実験では、気流に対して追従性が良好な平均粒径 $2\mu\text{m}$ 、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、燃焼器上流に設置したブローヤより供給している。また、ライトシート厚さ $1\text{mm}\times$ 高さ $200\text{mm}\times$ 幅 200mm の領域を画像サイズ $1008\times 1018\text{ pixels}$ で撮影している。このため、得られる画像の較正値は 0.2 mm/pixel となり、画素幅よりも小さい直径を持つトレーサ粒子が撮影されていることになる。さらに、撮影された画像にはトレーサのみでなく未燃液滴も映っているため、実験画像に忠実に基づいた擬

Fig.1 Sample images and histogram

似画像を作成することは困難である。そこで、本研究では、実験画像のヒストグラムと類似した擬似画像を作成し、その画像を用いて精度検討を行った。Fig.1に実験画像と擬似画像、及びそれぞれの画像のヒストグラムの一例を示す。なお、撮影にはバンドパスフィルタ(中心波長: 532 nm , 半値幅: 10 nm)を用いた。

擬似画像の速度場は層流二次元流を仮定して数値計算した結果である。Fig.2に正解速度となる燃焼器内流れ場の数値計算結果を示す。なお、画像構築アルゴリズムは藤澤ら⁽³⁾のものと同一である。

^{*}現、(株)電業社機械製作所

Fig.2 Velocity vectors by numerical simulation

3. 擬似画像による速度計測精度評価

Fig.3 に PIV によって解析した計測結果を示す。なお、使用した PIV のアルゴリズムは相互相関法である。相関領域サイズは 41×41 pixels, 探索領域サイズは 19×19 pixels である。なお、図下の時間は、ロータリーシャッターのシャッタースピードを示す。この図からシャッタースピードを 20 ms と 37 ms (シャッター未使用) に設定した場合は、ほぼ全てのベクトルがエラーとなってしまうことがわかる。これは前述したように、第二フレームに輝炎が映りこんで PIV 計測を行う際のノイズとなってしまうことが原因である。

次に、シャッタースピードが 2 ms, 4 ms, 8 ms の場合について、相関領域のサイズを変化させてさらに詳細な計測精度の評価を行った。計測精度の評価には次式を用いた(4),(5)。

$$Ave - Err = \frac{\sum_{i=1}^M \sqrt{(U_i - U_i^*)^2 + (V_i - V_i^*)^2}}{\sqrt{U_{max}^{*2} + V_{max}^{*2}}} \cdot M$$

ここで、 U_i^* , V_i^* は正解速度ベクトル, U_{max}^* , V_{max}^* は正解速度ベクトルの最大値, U_i , V_i は正解速度ベクトルに対応する位置で得られた速度ベクトル, M は PIV によって計測された総ベクトル数である。

Fig.4 は Ave-Err の値を示す。なお、図中の CWS は相関領域の大きさを、SS はロータリーシャッターのシャッタースピードを表す。なお、探索領域サイズは 19 pixels の一定である。この結果から、相関領域の大きさに関わらず、シャッタースピードが 2 ms の時に誤差が最小となっていることがわかる。また、相関領域の大きさは、大きすぎても小さすぎても誤差が大きくなることがわかる。今回の場合では、相関領域が 21×21 pixels の時に誤差が 4.6% となり、最小値を示した。

4. 結 言

燃焼器内の流れ場の擬似画像を数値計算結果と実験で得られた輝度情報を基に作成した。また、この擬似画像

Fig.3 Velocity vectors by PIV

Fig.4 Effect of correlation window size and shutter speed

を用いて噴霧燃焼場の速度計測結果に対する精度評価を行った。相関領域の大きさが 21×21 pixels の時に誤差がもっとも小さくなり、その値は 4.6% であった。

謝 辞

本研究の遂行に本学大学院生の中野朋則氏の協力があったことを記し感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Shioji, M. et al., Proc. 1st Asia-Pacific Conference on Combustion (Osaka), (1997), pp. 306-309
- 2) Tomimatsu, S. et al., Journal of Visualization, 6-3, (2003), in press.
- 3) Fujisawa, N. and Hashizume, Y., Meas. Sci. Technol. 12, (2001), pp. 1235-1242.
- 4) Okamoto, K. et al., Meas. Sci. Technol. 11, (2000), pp. 685-691.
- 5) Hu, H. et al., Journal of Visualization, 1-1, (1998), pp. 87-94.