速度場・温度場の光学計測に関する研究

Measurement of Velocity and Temperature Field Using PIV and Two-color Laser Induced Fluorescence

○松浦 史法・新潟大学

Fuminori Matsuura, Niigata University

藤澤 延行・新潟大学可視化情報研究センター

山本 浩樹・新潟大学大学院

Nobuyuki Fujisawa, Niigata University,
Visualization Research Center

Hiroki Yamamoto, Niigata University

Key Words: Velocity, Temperature, Measurement, PIV, Two-color LIF

1. 緒言

非侵襲な速度場・温度場の計測法は、熱流体工学の分野で広く関心が持たれてきた。速度計測では粒子像流速測定法(PIV法)、温度計測ではレーザ誘起蛍光法(LIF法)などがしばしば用いられるが、速度場・温度場の同時計測については、計測装置や技術上の制限からまだ十分に行われていない。本研究では、速度場・温度場をそれぞれPIV法および2色LIF法^{1),2),3)}を用いて、これらを同時に計測する技術を開発することを目的とした。また、一例として、オリフィス後流域の速度場・温度場の計測結果を示す。

2. 実験装置と手法

Fig.1に、用いた実験装置の概略を示す。透明なアクリル板で作成した流路(内径 $d=52 \times 52$ mmの正方形断面)にオリフィスを取り付けた。作動流体には水(20℃)を用い、 $Re=5,000$ となるよう流した。下面には熱源を設置し、加熱できるようにした。本実験では壁面温度は50℃とした。

速度場計測にはPIV法を用いた。トレーサは粒径40 μm のナイロン粒子を用いた。流路の上方からミラーを介し、シート状にしたNd-Yagレーザ(532 nm)を照射した。撮影には、1008 x 1018ピクセル、8ビットのモノクロームCCDカメラを用いた。

一方、温度場計測には2色LIF法を用いた。染料にはRhodamine Bおよび同110を用いた。光源にはAr-ionレーザ(488 nm)をシート状にして用いた。このとき、速度場計測と温度場計測で、照明する領域が合致するよう配置した。撮影には、680 x 512ピクセル、16-bitモノクロームカメラを二台同期して用いた。ただし、各ピクセルは2 x 2ピクセルの大きさにBinningしている。各温度計測用カメラでRhodamine Bおよび110のみをそれぞれ撮影するために、光路上にハーフミラーを置いて分光した。ただし、Rhodamine B撮影用のカメラ(Camera T)への光路上には波長 $\lambda > 580$ nmの光を通すロングパスフィルタを、Rhodamine 110撮影用のカメラ(Camera R)への光路上には $\lambda > 520$ nmの光を通すロングパスフィルタと、 $\lambda < 550$ nmの光を通すショートパスフィルタの二つを、それぞれ設置した。一方、速度計測用のカメラの光路上には中心波長 $\lambda = 532$ nmの狭帯域バンドパスフィルタを設置し、Nd-Yagレーザによって照明された粒子のみが撮影されるようにした。

Fig.2は、本研究におけるタイミングチャートである。温度計測には連続光源を、速度場光源にはパルス光源を用いている。速度場計測の撮影間隔は $\Delta t = 3$ ms、温度場計測の露光時間は100 msとした。速度場計測に用いたNd-Yagレーザが、温

度場の撮影に影響を与えないよう、温度場計測用の撮影(C)の直前(A)または直後(B)に速度場計測用の撮影を行う。このため、正確には速度場と温度場の撮影タイミングはあっていない。しかし、平均値を用いることでその影響を極力抑えた。

温度場計測では、実験に先立って一様温度場により検定画像を得た。一般的な2色LIF法では、式(1)における入射光束 I_0 の影響をなくすため、式(2)に示すように、2色の蛍光染料の輝度比率を用いて行う。本研究では、これに加え、一様温度場を撮影した画像から求めた輝度比率も用いた。すなわち、式(2)により求めた瞬時の輝度比率を、さらに同様に求めて一様温度場の輝度比率で除した。

$$I = I_0 C \phi(t) \epsilon \quad (1)$$

$$I = \frac{I_{RhB}}{I_{Rh110}} = \frac{C_{RhB} \phi_{RhB}(t) \epsilon_{RhB}}{C_{Rh110} \phi_{Rh110}(t) \epsilon_{Rh110}} \quad (2)$$

ただし、 I は蛍光輝度、 I_0 は入射光束、 C は染料濃度、 ϕ は量子収率、 ϵ は吸光係数、 t は温度である。また、添え字のRhBはRhodamine Bを、Rh110はRhodamine 110を表す。温度検定結果の一例をFig.3に示す。

3. 実験結果と考察

Fig.4は、瞬時速度場ならびに温度場である。 $x/d = 1.0$ および1.4近傍の下面付近に逆流領域が形成されている。渦の周辺の温度は周囲にくらべて低くなっており、低温部が巻き込まれていることが分かる。

Fig.5は、時間平均速度場ならびに温度場である。上面では $x/d = 1.0$ -1.5付近、下面では $x/d = 1.3$ -1.7付近を境に、それぞれ再循環領域が形成されており、上下面において再付着点位置に偏りが見られた。一方温度場からは、オリフィス直後に高温領域が形成されることが分かった。

4. 結言

速度場・温度場をPIV法および2色LIF法を用いて同時計測する手法を開発した。また、一例としてオリフィス後流の計測結果を示した。実験結果は、本システムの妥当性を示している。

参考文献

1. J. Sakakibara and R. J. Adrian, Experiments in Fluids, 37 (2004), 331-340.
2. S. Funatani, N. Fujisawa and H. Ikeda, Measurement Science and Technology, 15 (2004), 983.
3. H. Yamamoto, F. Matsuura and N. Fujisawa, International Symposium on Fusion Tech (2009), 55.

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Timing chart

Fig.3 Temperature calibration curve

Fig.4 Instantaneous velocity and temperature field

Fig.5 Mean velocity and temperature field