A113 PIV による断面内速度 3 成分計測法に関する研究

—多層シート光源を移動させた場合—

加守田 廣和[○](大阪大学大学院) 鈴木 敏夫 戸田 保幸(大阪大学)

東 将広(日産自動車(株)) 福井忠之(大阪大学大学院)

A study on measurement system of 3-D velocity component by PIV method

—A case of moving Multi-layer laser sheet—

Hirokazu KAMODA, Toshio SUZUKI, Yasuyuki TODA

Masahiro AZUMA and Tadayuki, Fukui

ABSTRACT

One camera and multi-layer laser sheet PIV technique has been studied in our lab. But its method couldn't measure the 3-dimensional reverse flow against the camera.

In this paper, a new technique is proposed to measure the 3-dimensional flow which contain the reverse flow by moving multi-layer laser sheet method.

Uniform flow fields are measured to calibrate this method. The wake flow of the model-scale ship is measured. It is compared the velocity distribution with previous 5-hole pitot probe data and previous method in our lab. Better agreement is obtained than previous method. Cavity Flow field is also measured to confirm and compared with LDV measurement in 3-dimensional flow. Good agreement is obtained between them.

Key words: moving Multi-layer laser sheet, one camera, three dimensional flow velocity

1. 緒 論

二次元二成分 PIV については、既に基本的な開発は終わっており完成度の高いシステムが幾つも登場している。また三次元流場の計測システム¹⁾もある程度確立はしているが、これらの計測装置は、高度な計測技術を必要とするので、汎用であるとは言い難い。

本研究室においては、実用性の高いシステムの構築を狙い、1 台のカメラと多層レーザーシートを用いる断面内速度 3 成分計測法²⁾³⁾について研究を行ってきた。しかし、従来の手法では逆流を含む流場では計測が不可能であり、また、低速域の流速計測には精度上問題があった。

そこで本研究では、多層レーザーシートを連続的に移動させることにより、逆流を含む流場での計測、および、低速流場での計測精度の向上を目的としている。

2. 測定手法

2.1 3 次元情報の取り込み

一方向の視野から 1 台のカメラにより三次元情報を得るために、Fig.1 のように多層レーザーシート光源を作成する。多層シートは厚さ 1mm のレーザーシートを 2mm の等間隔に平行に並べたもので、連続的にシートが移動する。観測はレーザーシート面と垂直な方向から行い、シートが粒子を貫いていく様子を記録する。した

がって多層レーザーシートが空間フィルターの役割を果たし、シートを貫く粒子は Fig.2 のように x-y 平面を移動しながら点滅する。この点滅の周期がシートを貫く方向 (z 方向) の流速を、x-y 平面内の移動が面内速度成分を表す。

Fig. 1 単視点 PIV 概念図および座標系

Fig. 2 取得画像の時系列データ

従来の手法では、粒子が停止していると、粒子画像が点滅せず計測が不可能であった。また、粒子がシートをどちらの方向から通過して点滅するかが判別不可能な

め、逆流を含む流場の計測も不可能であった。しかし、本手法では粒子が $-z$ 方向に移動していても、それより速くシートが連続的に $-z$ 方向に移動することにより確実に左側のシートから点滅するようにできる。従って、実速度はシートの移動速度を修正して求めることができる。

2.2 三次元ベクトルの解析手法

平工²⁾の方法に倣い、Fig. 2の点滅する二次元画像データをFig. 3(a)のように時間軸方向に積み重ね、空間二次元(x 軸, y 軸)時間一次元(t 軸)の三次元輝度分布データを作成する。これを $x-t$ 平面、 $y-t$ 平面に投影するとFig. 3(b)(c)のような二次元投影画像を得ることができる。粒子の x 方向、 y 方向の移動および、点滅周期はこの2枚の画像より読み取ることが可能である。

Fig. 3 三次元輝度分布(a) 投影画像(b)(c)

取得した時系列画像に二次元フーリエ変換を行い絶対値表示すると、Fig. 4(b)のような干渉縞を得ることができる。さらに、フーリエ逆変換をすると、Fig. 4(c)のような、原点に対称なパルス対が再構築される。

Fig. 4 二次元 FFT 解析

Fig. 4(c)は周期と断面内移動距離を示すパルス対であるが、 $x-t$ 平面投影画像から求めたパルス対の概略図をFig. 5に示す。このパルス対位置を測定すると、 x 方向の流速 u は式(1)から求まる。 z 方向の流速 $w1$ は、シートが移動している分だけ相対速度をもっていることより式(2)から求まる。

同様に、 $y-t$ 平面投影画像から求められたパルス対の位置から、 y 方向の流速 v と、 z 方向の流速 $w2$

を求めることができる。流速 w は $w1$ と $w2$ の平均値を用いる。ただし、 $w1$ と $w2$ の誤差が5%以上あるものは、過誤ベクトルとして削除する。

Fig. 5 フーリエ変換により再現された粒子像

3. 実験

3.1 実験装置

本手法を用いて計測を行うための実験装置概略図をFig. 6に示す。作動流体は水であり、その中にトレーサー(粒径 $300\mu\text{m}$ のアクリル粒子(比重 1.1)に蛍光塗料を塗布したもの)を混入する。シートの移動方法は、側面にスリットを設けた円筒を作成し、その円筒の中に光源を設置し、円筒の回転でシートを移動させた。使用した高速度ビデオカメラは最大 1000 フレーム/秒であるが、今回はフルフレーム測定が可能な 500 フレーム/秒で行った。また、計測距離は空中距離: 53 cm 水中距離: 42cm である。

Fig. 6 実験装置概略図

3.2 一様流計測

本手法で、 z 方向流速がどの範囲まで計測可能であるかを確認する為に、数種類の速度の一様流を2種類のシート移動速度により計測した。1つのベクトルの解析に使用したデータは、32ピクセル×32ピクセル×1024フレームである。なお、画像上の57ピクセルが実寸の10mmに対応している。

Fig. 7(a) (b)に、それぞれのシート移動速度における、設定した一様流の平均流速と本手法で計測した w との比較を示す。この結果より一部を除き過誤ベクトルも少なく、レーザーシートと垂直な速度成分 w (負を含む) の計測が可能なが分かる。なお、シート移動速度-0.3m/sec、流速-0.1m/secでの過誤ベクトルの原因としては、計測範囲内で粒子がシートで確実に2回点滅しなかったことが考えられる。

(a) シート移動速度：-0.2m/sec

(b) シート移動速度：-0.3m/sec

Fig. 7 一様流の設定値と計測値との比較

3.3 船尾流場計測

三次元流場での計測精度の確認のため、過去に行われた船尾流場計測と同じ条件で実験を行った。

計測は主流平均流速を 0.3m/sec で行い、レーザーシート移動速度は-0.2m/secとした。また、1つのベクトルの解析に使用したデータは、32ピクセル×32ピクセル×1024フレームである。なお、画像上の57ピクセルが実寸の10mmに対応している。

Fig. 8 に本手法と従来の手法および5孔管での計測結果を示す。シート面内の流速 u, v はベクトルで、垂直な流速 w はコンターで表している。シート面内速度

ベクトルは5孔管計測データによく一致しているが、面外流速 w についてみると差が明らかである。Fig. 9 に示すように、渦中心の流速の遅い部分で本手法と5孔管計測がよく一致しているのに対し、従来の手法では速く計測されていることがわかる。このように、本手法が、低速な流場で精度が向上することが示された。

(a) 本手法

(b) 5孔管

(c) 従来の手法

Fig. 8 各計測手法による流速分布比較

Fig. 9 面外流速 w の5孔管計測とPIV計測の比較

3.4 Cavity Flow計測

本手法を用いて、逆流を含む三次元流場をどの程度把握できるかを確認する為に Cavity Flow の計測をおこ

なった。

Fig. 10 に実験装置概略図を示す。本実験もレーザーシートは x - y 平面に平行に照射し、ボックスの右側 $2/3$ の範囲を計 11 断面に分割して計測を行った。また、今回の実験は、逆流を含む三次元流場の把握を目的としているので、過誤ベクトルを減少させるため、1つのベクトルを求める際のサンプリング範囲は 16 ピクセル×16 ピクセル×128 フレームで行い、この解析値を一点につき 16 個求め、メディアンを抽出し、それを計測値として採用した。

Fig. 10 cavity flow 実験装置概略図

y - z 断面において、本手法での計測結果と LDV (レーザードップラ流速計) 計測結果のベクトル図を Fig. 11 に示す。多少渦中心と速度が異なっているように見える。

Fig. 11 本手法と LDV 計測の比較

Fig. 12 に本手法と LDV 計測を比較した図を示す。これより v , w について相関係数を求めると w は 0.92 v は 0.78 となり、本手法が逆流を含む流場を比較的良く把握できることを確認した。

(a) y 方向成分 v (b) z 方向成分 w

Fig. 12 本手法と LDV 計測の比較

4. 結 言

- レーザーシートを移動させることにより逆流を含む流場での計測を可能とする手法を提案した。
- 本手法のアルゴリズムを、一様流の実験により確認した。
- 従来の手法に比べ本手法が低速な流場において精度が向上していることを 5 孔管による船尾流場の実験との比較により確認した。
- 本手法により、逆流を含む三次元流場での計測が可能なることを Cavity Flow の実験と LDV 計測との比較により確認した。

参 考 文 献

- 1) 西野耕一 他：画像処理に基づく流れの三次元計測に関する研究、日本機械学会論文集 (B 編) 55 巻 510 号、1989 年 2 月
- 2) 平工良三：単子点粒子画像を用いた三次元流速測定法の開発、可視化情報学会誌、Vol.20 No.79(2000), PP.48-55
- 3) 福井忠之：単子点粒子画像を用いた三次元流速測定法の船尾流場測定への適用性の検討、大阪大学卒業論文、平成 13 年 3 月