A202 三色シート光を用いた多層同時計測法に関する研究*

加守田 廣和[○] (松下電器産業 (株)), 佐々木 智美(大阪大学大学院),
福井 忠之 (トヨタ自動車), 鈴木 敏夫 (大阪大学), 戸田 保幸 (大阪大学)

A study on three-dimensional velocimetry using three color sheets

KAMODA Hirokazu, SASAKI Tomomi, HUKUI Tadayuki,
SUZUKI Toshio, TODA Yasuyuki

ABSTRACT

In this paper, one camera 3-dimensional PTV technique with three-color multi-layer sheet has been proposed and actual measurements are presented.

An improved method is also proposed.

The accuracy evaluation of the previous method is carried out by the uniform flow measurements. The wake flow of the model-scale ship was measured and compared with the velocity distribution measured by 5-hole pitot probe data. Good agreements are obtained between them.

The improved technique that placed the multi-layer sheet of 3 colors without the clearance is proposed. The simulation data show that error vectors decrease significantly by this technique. The uniform flow velocity fields are measured to calibrate new method. The wake flow with undulating fin model is also measured and compared with the velocity distribution measured by LDV and calculated by CFD. Good agreements were obtained between them.

Keywords: 3-dimensional PIV, One camera measurement, liquid crystal projector,

1. 緒 論

三次元流場を多点同時計測する3次元PIV(粒子画像流速測定法)にはステレオカメラやホログラムを用いる方法が提案されているが、高度な計測技術が必要、非汎用的などの理由から、実用性の高いシステムが確立しているとは言い難い。本報告は、実用性の高いシステムの構築を狙い、1台のカメラと多層シートを用いる三次元計測法^{1), 2), 3)}開発の続報である。ここでは多層シートの枚数増加と色情報の付加により、計測空間を広げる手法の提案とその有効性について述べる。

2. 三色スリット光を用いた粒子追跡法による三次元流場計測

2.1 解析手法

まず第1の手法(以下、離散化法という)の概略を述べる。一方向の視野から1台のカメラによって三次元情報を捕らえるために、図2.1のように多層カラーシート光を作成する。シートは厚さ2mm、間隔4mmの等間隔で

平行に並べられており、配色は図2.1のようにになっている。なお、便宜的にシート間の断面を上流側より、第1、第2断面と呼ぶこととする。観測はシート面と垂直な方向から行い、粒子がシートを貫く様子を記録する。シー

図2.1 単視点 PIV 概念図

トを貫く粒子は $x-y$ 平面(シート面内)を移動しながら点滅し、この点滅間隔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。解析手順は、取得画像を図2.2(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

(a) 3次元輝度分布立体 (b) 擬似粒子対応付け

図 2.2 3次元ベクトル解析概略図

輝度分布データを作成し、擬似粒子の三次元重心位置を決定する。その際に粒子重心位置の色判別も行。従来の色判別は、各画素をHSV表色系により決定していた。しかし、取得画像が鮮明でない場合には、誤った変換をする可能性があるため、ここでは取得画像には処理をせず、R・G・B成分の割合により、重心位置の色判別を行った。

断面間の擬似粒子の対応付けは、図 2.2 (b) に示すように、粒子重心位置が等間隔に存在しかつ一直線上に近いものを粒子ペアとする、簡単なアルゴリズムを用いた。また、対応付けされた粒子のz方向（奥行き方向）位置は、色付けによる量子化情報をもちいた。例えば対応付けの色順が、赤・緑・青であれば、第1・第2断面と決定する。

2.2 実験による検証

離散化法の実用性を検討するため、一様流および船尾流場の計測を行った。実験装置の概観を図 2.3 に示す。カラーシート光は凸レンズを付加したプロジェクターで平行なカラーシート光を作成した。

図 2.4 に各断面におけるそれぞれの計測値を示す。この結果より、断面の違いによるばらつき変動幅に差があまりないことが分かる。図 2.5 には第一断面における、設定流速と離散化法での計測値との比較図を示す。この結果より、流速が大きくなるに従ってばらつきも大きく

図 2.3 実験装置の概観図

図 2.4 各断面における計測値

図 2.5 設定流速と計測値との比較 (第1断面)

なることが分かる。そこでその測定結果の標準偏差を平均流速で割ったものを表 2.1 に示す。本手法とは3次元重心位置を求める際に色識別した離散化法で

あり、前手法とは取得画像をHSV表色系に変換したものである。この結果より離散化法で変動比率が減少していることが示された。

表 2.1 各流速における変動値の標準偏差

	0.1m/sec	0.2m/sec	0.3m/sec	0.4m/sec	0.5m/sec
本手法 (プロジェクター、シート幅・間隔:2mm・4mm)[%]	5.1	2.7	4.2	3.6	5.3
本手法 (プロジェクター、シート幅・間隔:1mm・3mm)[%]	4.8	6.8	6.2	6.9	6.7
本手法 (レーザ、シート幅・間隔:1mm・3mm)[%]	5.7	8.5	7	7.2	9.5
前手法 (プロジェクター、シート幅・間隔:1mm・3mm)[%]	8.8	8.6	6.3	7.4	15.2
昨年の計測 (レーザ、シート幅・間隔:1mm・3mm)[%]	7.9	3.4	4.3	3.8	10.7

次に、本手法を用いて不均一な3次元流場をどの程度把握できるかを確認するために船長0.5mの模型船舶尾流場計測実験を行った。計測断面はAP(舵軸)面より船体後方へ4mmおきに計8断面の同時計測である。

図2.6に離散化法の計測結果を示す。断面内流速 u, v はベクトルで、主流方向流速 w はコンターで表している。この結果より、船尾で流速 w の遅い伴流部分が急激に広がり、その内部に船尾船底より廻り込んだ時計回りの縦渦の発生していることが示されている。この結果を評価するために、第一断面を5孔管により計測した結果を図2.7に示す。面内流速 u, v についてはよく一致しているように見えるが、面外流速 w については差があるように見受けられる。両者の相関図を図2.8に示す。各流速とも比較的よく一致している。これらの結果より、比較的良好な精度で3次元流場を計測していることが示された。

3. 三色連続光を用いた3次元流場の多層同時計測法

3.1 解析手法

本手法(以下、連続法という)でのカラーシート配列を図3.1に示す。上流側より、青・緑・緑・緑・青・青・青・緑・青・緑と配置されたカラーシートの隙間を全て赤にしたものである。第2章と同様に、解析したベクトルの計測断面が決定できるように、赤を除いた任意の連続した3シートの色順列が重複しないように配置した。

解析は第2章と同様に、取得画像を時間軸方向に積み重ねることによって、図3.2のような3次元輝度分布立体

体を作成する。この擬似粒子より、粒子の対応付けを行うが、今回は赤に補助的な役割を持たせたため連続的に粒子追跡を行い得る。

3.2 シミュレーション画像によるアルゴリズム検証

連続法のアルゴリズムを確認するために、シミュレーション画像を用いて解析を行った。解析結果を図 3.3 (a) (b)に示す。比較のために第 2 章の離散化法で解析した結果を図 3.3 (c) (d)に示す。横軸は理論値(CFD データ)である。これらの結果から本手法では第 2 章の手法に比べ過誤ベクトルが減少していることが分かる。

図 3.3 PIV データと理論値 (CFD データ) との比較

3.3 実験による検証

連続法の実験への適用性を検討するため、一様流計測および側ヒレ推進模型の後流計測を行った。実験装置の概要は図 2.3 と同様である。

一様流実験において、2.2 節と同様に測定結果の標準偏差を平均流速で割ったものを表 3.1 に示す。この結果より連続法が第二章の離散化法と同等、またはそれ以上の精度で計測可能なことが分かる。

そこで、連続法を用いて 3 次元流場をどの程度計測できるかを確認するために側ヒレ推進模型の後流計測を行った。計測流場は非定常であるが周期的な流場である。そこで、ヒレ運動の 1 周期を 8 分割したものを 1 位相と

Table 3.1 各流速における標準偏差

	0.1m/sec	0.2m/sec	0.3m/sec	0.4m/sec	0.5m/sec
連続法 (プロジェクター、シート幅・間隔:2mm・4mm)[%]	5.5	4.2	3.5	3.8	4.0

し、コンディショニングサンプリングをすることにより解析を行った。図 3.4 に連続法による解析結果を示す。u,v をベクトル、w をコンターで示している。この断面の図は計 72 枚(9 断面×8

図 3.4 本手法による結果

位相)出力できるが、その一枚を示す。また図 3.5 に同断面・位相における CFD による計算結果を示す。また図 3.6 は x=15,y=15 での w の時系列データを LDV 計測と比較した図である。これらの図より、離散化法が周期的な 3 次元流場を定量的にも計測可能であることが示された。

図 3.5 CFD 結果

図 3.6 LDV 計測結果

4 結言

離散化された三色シート光を用いた多断面同時計測

法が、実験計測に利用可能であり、3 次元流場にも適応可能であることを示した。また、三色連続光を用いた多断面同時計測法を提案し、一様流実験、側ヒレ推進模型実験により精度の向上と 3 次元非定常流場への適応性を示した。

4 参考文献

- 1) 平工良三:単視点粒子画像を用いた 3 次元流速測定法の開発, 可視化情報学会誌, Vol. 20No. 79 (2000) pp. 48-55
- 2) 加守田廣和、他: PIV による断面内速度 3 成分計測法に関する研究、可視化情報、Vol21, Suppl. No. 2 (2001. 9) pp. 43-46
- 3) 東将広 : 擬似粒子追跡法を用いた三次元流場の計測に関する研究 可視化情報誌 vol. 21 Suppl. No. 2