

# 701 ステレオPIVを用いた速度のフィールド計測に関する研究 Measurements of velocity field by stereoscopic PIV

○学 松浦 史法 正 藤沢 延行 准 船谷 俊平 正 富松 重行

Fuminori MATSUURA, Niigata University, 8050 Ikarashi2, Niigata

Nobuyuki FUJISAWA, Niigata University, Dept. Mechanical and Production Engineering

Shumpei FUNATANI, Niigata University, 8050 Ikarashi2, Niigata

Shigeyuki Tomimatsu, Niigata University, 8050 Ikarashi2, Niigata

**Key Words:** Flow Visualization, PIV, 3-D Measurement, Stereoscopic Observation

## 1 緒 言

翼から発生する空力騒音の現象を解明することは工学上重要である。著者らは先に翼まわりの2次元速度分布をPIVによって計測し翼まわりの流れと騒音について調べた<sup>①</sup>。しかし、翼まわりの流れは強い3次元速度場をもち、面外速度成分の計測も必要である。

本研究では、翼後流の3次元構造を明らかにすることを目的として、ステレオPIV装置の構成ならびに計測誤差について調べ、さらに翼後流への応用について検討した結果を報告する。

## 2 実験装置および方法

### 2.1 ステレオPIV装置の構成

検定装置の概略図をFig. 1に示す。気流でのPIV計測では、流れへの追従性が良好な微小粒子を用いる必要がある。微小粒子を撮影するためには、撮影面の全面にわたり良好なフォーカスを得る必要がある。このため本実験では、Sheimpflug条件を与えたステレオカメラ計測法<sup>②</sup>を用いた。

可視化画像の撮影には2台のCCDカメラを対象物体の左右に固定して行った。使用したCCDカメラは画像解像度1008×1018ピクセルの高解像度8-bitで、焦点距離60mm F2.8の対物レンズを用いた。ただし、CCDカメラはSheimpflug条件を満たすために角度調整用の回転ステージに取り付けられ、それを固定したマウントを左右にスライドするレールの上に乗せることで観測角度を設定した。

可視化画像は同解像度でフレームグラバによりデジタル化され、パーソナルコンピュータ内のフレームバッファに格納される。

### 2.2 カメラ校正

カメラ校正に用いた検定画像(Fig. 2)は、黒地に5mm間隔で白線を格子状に描いた。この検定画像を撮影面に置き、2台のカメラにより撮影した。得られた左右それぞれの画像は細線化した上で白線の交点を求め、これを基準点として、直交格子上の座標に変換するための二次式<sup>③</sup>の係数を定めた。この式を用い、撮影された画像の全画素の座標を直交格子上の座標に変換した。また、外部標定<sup>④</sup>により2台のカメラの観測角度を割り出した。

### 2.3 速度3成分の算出

カメラ校正を行い得られた画像について、左右別々に輝度差累積法ならびにサブピクセル法を用いたPIV解析を行い2次元速度成分を計算

した。左右の速度2成分からカメラ校正で求めた観測角度を用いてステレオ写真法により速度3成分を再構成した。

### 2.4 誤差評価の実験

ステレオPIVの精度を評価するため、Fig. 2に示す検定画像にさらにPIV実験における粒子を模擬する目的で白色微小点を高密度で付加した。アクリル板上にこの検定板を接着し、それを回転装置に取り付けて、Z軸まわりに撮影面を回転させた。撮影領域は50×50mmとした。このとき、1ピクセルは49.6×49.1μmに相当する。撮影面に対しレンズの法線ベクトルの為す角は、 $\theta_1 = \theta_2 = 30^\circ$ とし、撮影面とCCDカメラとの距離 $\eta_1 = \eta_2 = 450\text{mm}$ となるように左右のレンズならびにカメラを配置した。また、比較のためカメラ1台を撮影面の正面に置いた実験から2次元PIVの誤差評価を行った。実験は、独立してそれぞれ3回行った。

## 3 結果および考察

### 3.1 計測誤差の評価

回転板の実験で得られた速度分布を、横軸にX、Y座標を、縦軸に速度の水平、垂直ならびに奥行き方向成分およびその標準偏差を示したものがFig. 4で、それらの平均値を示したものがTable. 1である。標準偏差は最も悪いもので0.2259ピクセルであり、速度計測結果が、その真の値に対してよく適合していることが確認された。標準偏差の値は佐賀<sup>⑤</sup>の結果よりも大きい。本実験では回転運動を対象としていることもその一因であると考えられる。

### 3.2 翼後流に対する応用

撮影のため翼を透明なアクリル板に取り付け、Fig. 5に示す実験装置を用いて撮影を行った。本実験のステレオPIV装置を用いて、NACA 0018翼(翼弦長80mm)周りの3次元速度場の中央断面を計測した。実験条件は流速30m/sで、翼の迎角は6°である。気流には速度計測を行うため、オイルミストをトレーサ粒子として混入した。ダブルパルスNd-YAGレーザを翼上方から後流部分にミラーを介して当てた。撮影間隔 $\Delta t = 9.3\mu\text{s}$ とした。翼が影となり撮影を妨げることを避けるため、レーザシート面に対しレンズの法線ベクトルの為す角 $\theta_1 = 17.3^\circ$ 、 $\theta_2 = 37.1^\circ$ となるように左右のレンズならびにカメラを配置した。撮影面とCCDカメラとの距離 $\eta_1 = 650\text{mm}$ 、 $\eta_2 = 835\text{mm}$ とした。これにより計測された、瞬間速度3成分の分布をFig. 6に示す。図からわかるように、翼後流に渦放出現象が認められ、W方向成分は4 m/sであると確認された。

#### 4. 結 言

Scheimpflug条件下におけるステレオ計測法を用いた速度

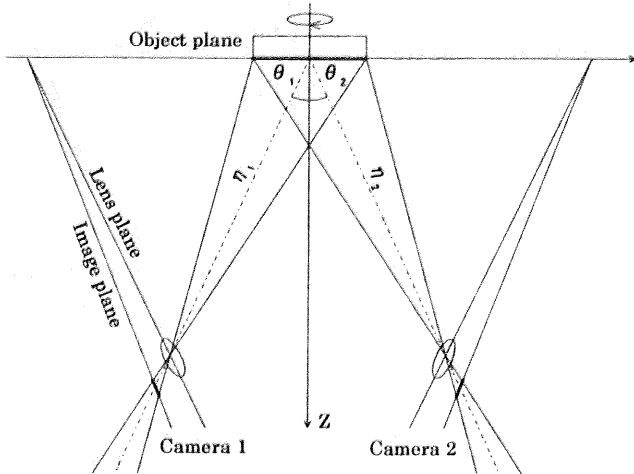


Fig.1 Experimental setup for stereoscopic PIV.

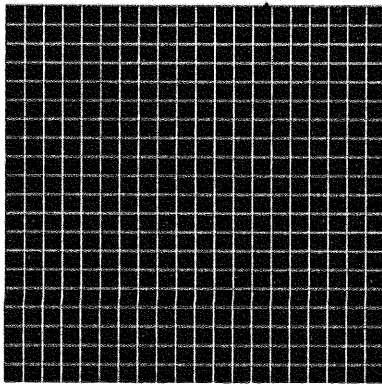


Fig.2 Calibration target.

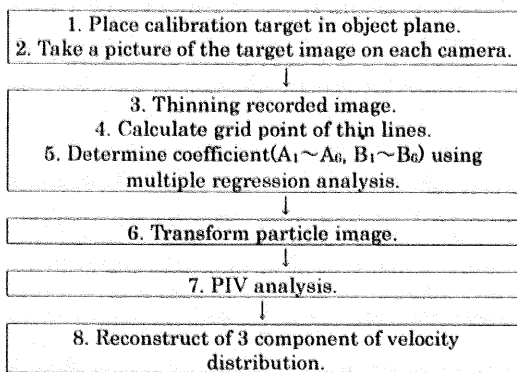


Fig.3 Steps to reconstruct 3 component of velocity distribution.

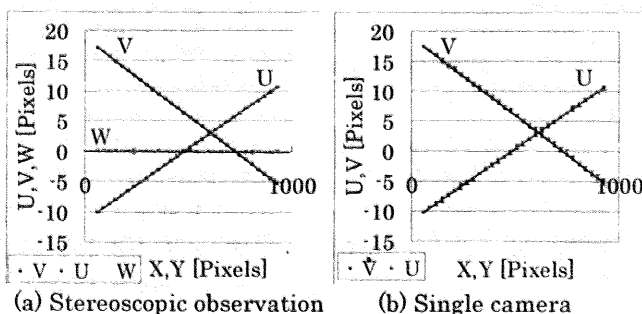


Fig.4 Relationship between position and velocity.

3成分計測法の誤差評価を回転板を用いて行った。それにより、過去の結果と同程度の誤差が得られた。また、翼の後流に対してこの計測法を適用した。この計測法を用いた結果から、翼後方に、渦放出に伴ってW方向成分が現れることがわかった。

#### 文 献

- (1) S.Tomimatsu et. al. The 6th Asian Symposium On Visualization (2001), 184-186.
- (2) A.K.Prasad Exp.Fluids, 29 (2000), 103-116.
- (3) S.Murai, T.Okuda, H.Nakamura 東京大学生産技術研究所報告 29-6 (1981), 1-15.
- (4) T.Saga 最新情報:3次元PIV 可視化情報学会ワークショップ (1999), 41-61.

Table.1 Standard deviation of velocity (pixel).

	Standard Deviation			
		U	V	W
Stereoscopic observation with Scheimpflug condition	1	0.2259	0.2217	0.1600
	2	0.1964	0.1893	0.2013
	3	0.2091	0.2016	0.1695
Single camera observation from center	1	0.3238	0.3022	
	2	0.3296	0.2919	
	3	0.3180	0.3095	

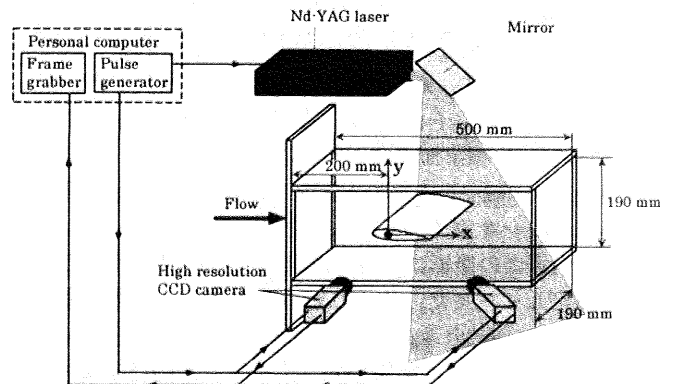


Fig.5 Experimental test section for flow visualization.

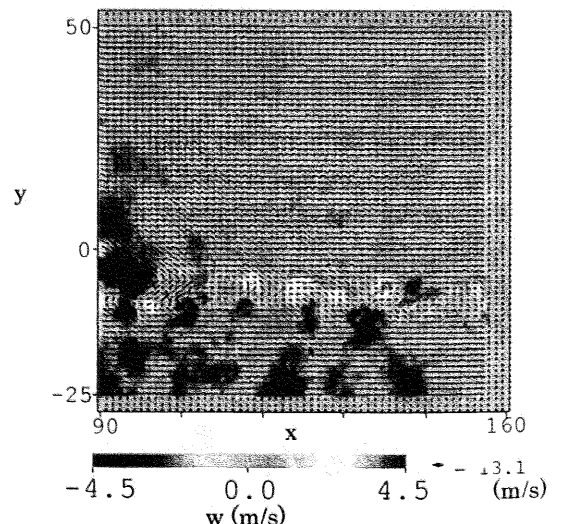


Fig.6 Instantaneous 3-component velocity distribution in airfoil wake (mm).