

4118 Dual-camera を用いた高速度 PIV の開発研究

Development of the Dynamic PIV using Dual high speed camera

○学 榊原和也 (静大院), 宮本悠樹 (静大院), 正 齋藤隆之 (静大院)

Kazuya SAKAKIBARA, Yuki MIYAMOTO, Takayuki SAITO

Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Hamamatsu, Shizuoka 432-8561

In this study, a new particle image velocimetry (PIV) technique was developed. In this method, two high speed cameras were used. A viewing field of these cameras corresponded by using both a calibration target and micro motion positioning stages. In traditional dynamic PIV, a time interval of two images depends on the camera frame rate. A time interval of two images affects the measurement accuracy significantly. Therefore, it is important to control a time interval of two images. This developed technique provides an arbitrary interval of two images by delaying capture timing of one camera. Capture timing was controlled by function generator. Eventually, we measured surrounding liquid motion in the vicinity of the bubble to examine availability of this method.

Keywords: PIV, Dual camera, recursive cross correlation

1. 緒言

粒子画像流速計 (PIV) は非接触であり, 瞬時の速度情報を多点同時計測できる特徴を持つ. 現在, 高速度カメラおよび高出力レーザの発達により, 高時間分解能な計測 (Dynamic PIV^[1]) が可能になり, 流体力学分野で幅広く利用され, 気液二相流への展開が成されている. しかし, 高速度 PIV において連続レーザを用いた場合には 2 画像時間間隔はカメラのフレームレートに依存し, 従来のパルスレーザを用いた PIV と比較すると時間間隔は長くなる. その結果, 2 画像時間間隔を任意に指定できないために計測精度 (2 画像間相関係数) は低下するという問題が生じる.

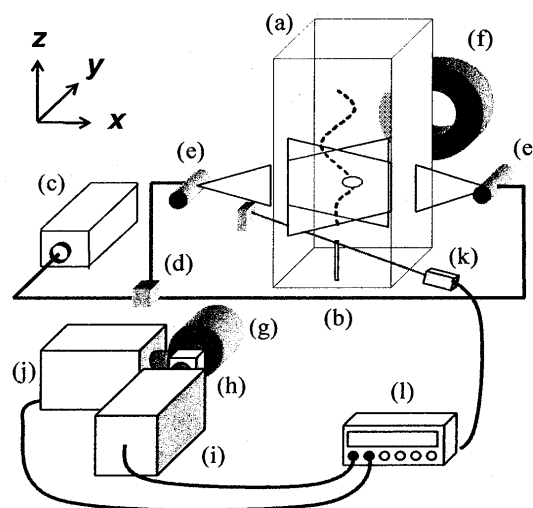
本手法は, この問題を解決するために 2 台の高速度カメラ (Dual camera) を使用し, 片方のカメラの撮影タイミングを微小時間遅らせることにより 2 画像時間間隔を短くし, 高精度高時間分解能な計測を行うことを目的とする. また, 本研究では静止流体中を自由上昇する単一気泡周りの流れ場を計測対象とした.

2. 実験装置

Fig. 1 に実験装置の概略図を示す. 本研究では, 単一気泡周りの流れ場を計測対象とするため, アクリル製矩形水槽 (a) の中央底に設置された注射針 (b) から気泡 (2.9mm) が射出される. 液相には煮沸脱気・イオン交換を施した精製水を, 気相には純空気を使用した. 気泡はジグザグ軌道 (x - z 平面) で上昇し, その際の気泡周りの流れ場の計測を試みる. 空気流量と圧力を適切に調整することで気泡は再現性の高いジグザグ運動を呈する. 水槽内には PIV 用トレーサとして蛍光粒子 (粒子径 $50\mu\text{m}$, 比重 1.03, 励起波長 532nm , 発光波長 570nm) を混入し, PIV の光源として CW-YVO₄ レーザ (2W, 532nm) (c) を使用した. 出力されたレーザをハーフミラー (d) によって分岐し, 水槽左右両側からロッドレンズ (e) によってシート状に計測領域を照射することで光量が均一な気泡近傍の粒子画像が得られる. さらに赤色 LED (f) を併用することで気泡形状の同時計測を可能とした.

撮像系はマイクロレンズ (Micro Nikkor 105mm F2.8S) (g), ハーフミラー (h), 2 台の高速度カメラ (Phantom V9.0)

(i) (j) から構成される. 両カメラの撮影条件は画像サイズを 960×960 pixels, 露光時間を $400\mu\text{s}$, フレームレートを 1900Hz , 空間分解能を $14.31\mu\text{m}/\text{pixel}$ とした. カメラ B で



(a) Water vessel, (b) Needle, (c) CW laser, (d) Half mirror, (e) Rod lens, (f) Red LED, (g) Camera lens, (h) Half mirror, (i) High speed camera A, (j) High speed camera B, (k) Optical sensor, (l) Function generator

Fig. 1: Schematic of experimental setup.

はハーフミラーによって鏡映して結像するために撮影後に左右反転処理を施す. また, 両カメラには気泡が射出された際の通過センサ (k) からの信号がトリガーとして入力され, 撮影タイミングはそれぞれファンクションジェネレータ (l) によって制御される. 本実験では, カメラ B の撮影タイミングをファンクションジェネレータによって, カメラ A より $\Delta t = 263\mu\text{s}$ 遅らせた. これにより, カメラのフレームレートに依存していた 2 画像時間間隔 ($526\mu\text{s}$) より短くすることが可能になる.

3. 較正

本手法では 2 台のカメラの視野が同一であることが重要となる. そのため, 1mm 間隔で黒点が配置された較正板 (Fig. 2) を使用し, 両カメラおよびハーフミラーに備え付けられた 6 軸ステージを微動させることで調整を行った. 本実験では, 撮影された較正板の黒点 200 個の重心位置のずれは

x 方向, y 方向ともに平均 0.5pixel 以内ではあるが, 両カメラの視野の完全一致は非常に困難である. そのため, 両カメラの視野の違いから画像内の各測定点で偏り誤差が生じる. この補正方法として, 予め両カメラにおいて同タイミングで撮影された 100 組の粒子画像を PIV 処理する. この 100 組の速度分布の平均を補正ベクトルとして, 最終的に処理結果から差し引くことによって補正を行う.

4. 処理手順

本実験装置の撮像系にはハーフミラーを使用しているために各カメラに入る光量は半減する. そのため, それぞれの画像にコントラスト処理を施すことによって鮮明にした.

また本手法では, 気泡形状とトレーサ粒子の同時撮影を行っているために Fig. 3 (a) に示されるような原画像が得られる. このような原画像からトレーサ粒子のみの PIV 処理用画像 (Fig. 3 (b)) と気泡形状のみの画像 (Fig. 3 (c)) を作成する. 気泡画像からは気泡径, 長軸, 短軸, 輪郭, 輪郭の曲率が画像処理によって算出される^[2].

PIV 処理に関しては, アルゴリズムに再帰的相互相関法^[3,4]を採用し, 粒子数密度から初期検査領域を 64×64 pixels, 最終検査領域を 32×32 pixels とした.

5. 結果と考察

Fig. 4 に上記の手順で得られた速度分布の 50 枚の平均を示す. 矢印で示されるように, 気泡が上昇する際に周囲の液相が誘起されている様子が確認できる. この結果は筆者らの過去の実験結果^[5]とよく一致し, 液相運動をしっかりと捉えられていると言える. しかしながら, 気泡近傍以外にも速度ベクトルが存在しており, 原因として補正の不十分さが挙げられる. 今回の場合, 速度ベクトルから判断すると補正ベクトルを得た後に, どちらかのカメラが 1 ピクセル ($14\mu\text{m}$) 程度移動したと思われる. また, 光量が十分でないことからコントラスト処理を行ったが, そのために画像のノイズが強調され, FFT 相互相関係数の低下という問題点も生じた. これらの改善策として, 補正の問題に関しては撮像系の固定の強化の必要性が挙げられる. また光量の問題に関しては, イメージインテンシファイアにより補うことが有効であると考えられる.

6. 結言

本手法は, 2 台の高速度カメラ (Dual camera) を使用し, 片方のカメラの撮影タイミングを微小時間遅らせることにより 2 画像時間間隔を短くし, 高精度高時間分解能な計測を目的とした. 静止流体中を自由上昇する単一気泡周りの流れ場を計測した結果, 従来得られていた速度ベクトルを取得することができ, 本手法の有用性を確認した. しかしながら, 両カメラの同一視野の不完全さから生じる誤差とハーフミラーによる光量の半減という問題点を含んでいるため, 今後改善していく必要がある.

参考文献

- [1] 速水洋, 可視化情報, Vol. 25, 209-210(2005).
- [2] 宮本悠樹, 齋藤隆之, 機論 B 編, 71, 705, 1307-1313(2005).
- [3] Wen cheng, Yuichi Murai, Toshio Sasaki, Fujio Yamamoto, *Flow Measurement and Instrumentation*, 16, 35-46(2005).
- [4] Hart, D. P., *j. visualization*, vol. 2, 187-194(1999).
- [5] 榊原和也, 宮本悠樹, 齋藤隆之, 日本機械学会流体工学部門講演会, 85-86(2005).

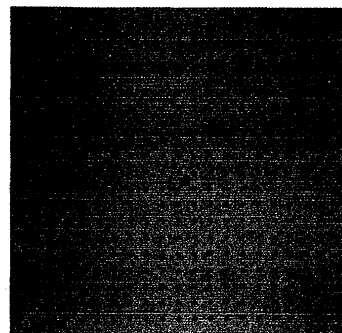


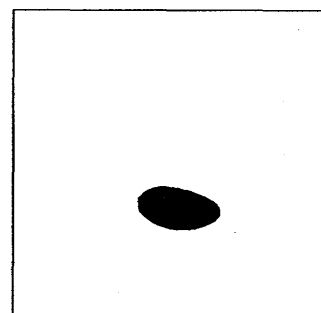
Fig. 2: Calibration target



(a) Original image



(b) Particle image



(c) Bubble image

Fig. 3: Original image and processed image

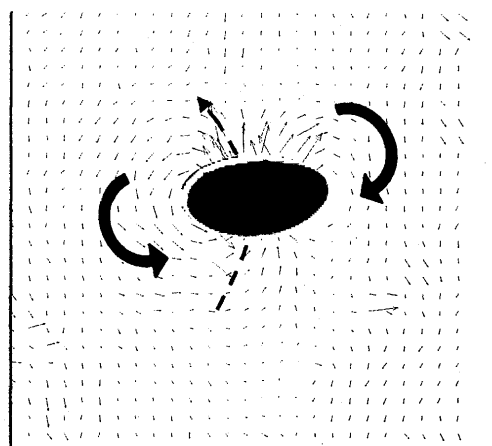


Fig. 4: velocity profile