

近畿大学理工学部 正員○竹原幸生

近畿大学理工学部 正員 江藤剛治

1. はじめに

流れ場にトレーサー粒子を投入し、そのトレーサー粒子画像を解析することにより、流れ場を計測する方法を粒子画像速度計測法(Particle Image Velocimetry, PIV)と呼ぶ。PIVには個々のトレーサーを追跡する方法(Particle Tracking Velocimetry, PTV)と粒子画像を連続分布画像として処理することにより流速を測定する方法(Concentration Particle Image Velocimetry, CPIV)に分けられる。

著者らはこれまで上記のPIVのうち、PTVのための以下のような新しい技術を開発してきた。

①4,500pps(pictures per second)の高速ビデオカメラの開発

②トレーサー粒子として中が水、比重1の薄いプラスチック膜で覆われたマイクロカプセルの開発

③カルマンフィルターと χ^2 検定による多数の粒子の自動追跡アルゴリズム

④低屈折率透明体と高屈折率水溶液による屈折率マッチング法

③の自動追跡アルゴリズムのうち、2次元場計測法は熱対流乱流場や走者の足首の運動の計測に適用した。3次元場計測法についても基本的な技術の開発を終えたところである。本報告では画像による流れ場3次元計測技術のうち、ビデオ画像を用いる場合の計測法について報告する。

2. ステレオ法による3次元画像計測

本研究ではステレオ法による水中粒子3次元位置計測を行う。ステレオ法は写真測量の分野で確立されたものであり、測定には光学的に精度よく調整された専用のカメラおよび光学系を用いて測定する。この場合はレンズ中心位置(自由度3)およびカメラ姿勢(自由度3)のカメラ外部定数のみがわかればよい。しかし、PTVでは通常ビデオカメラを用いる場合が多い。ビデオカメラは一般的に測量専用カメラのような光学調整は行われておらず、それに対応した計測法が必要になる。

村井ら¹⁾は市販の非測定用フィルムカメラを用いた場合の3次元位置計測法およびカメラ内部定数を提案している。Tsai²⁾はロボット制御用センサーとしてビデオカメラを対象とし、ビデオ画像による3次元位置計測法を提案している。

何れにしても、上記の方法は大気中(空気に限らず一様媒質中)での測定であり、透明平面壁を通して空気側から水中に散らばった多数の粒子の3次元位置の計測に直接適用できない。吉野ら³⁾は透明平面壁を通した水中粒子の計測法を提案している。著者らの方法も原理的には吉野らの方法と同じであるが、吉野らの位置推定に用いる関係式を完全にフォローすることができず、独自に関係式を導出した⁴⁾。

3. ビデオカメラを用いることによって生じる問題

画面座標の読み取りに関して、村井らや吉野らはフィルムから実際に座標読取装置により座標を読み取っている。本研究では、ビデオ画像による計測を対象にしており、画像座標を読みとる場合問題が生じる。

一般のビデオカメラでは平面に配列された多数のフォトセンサーから成る撮像素子上に像を結像させ、個々のフォトセンサーの受光信号をスキャンし、アナログ信号として画像信号が構成される。市販のビデオカメラではこのアナログ画像信号を規格信号であるNTSC信号(ヨーロッパ等ではPAL信号)に変換した後外部に出力する。画像を電子計算機により処理するにはこのNTSC信号をA/D変換した後、デジタル画像とする必要がある。測定用ビデオカメラではCCD上の各画素の受光信号をそのままデジタル信号として出力し、どの画素がどれだけの光を受けたかわかるようにしているものもある。

デジタル出力の測定用ビデオカメラでは、CCD上の各画素の絶対的な位置がわかっている。よってこの場合、

Kohsei TAKEHARA, Takeharu ETOH

フィルム面から直接座標を読み取るのと同じ操作を電子計算機上で行うことになる。

一方、一旦NTSC信号に変換する場合は、NTSCの走査線間隔と、CCD上のフォトセンサーの鉛直ピッチや、NTSCのサンプリング間隔と、フォトセンサーの水平ピッチが異なる等のため、結像面上での絶対的な位置は不明となる。よって、以下のような工夫が必要となる。

TsaiはNTSC信号に変換される前のアナログ画像信号をA/D変換し、サンプリング間隔と撮像素子のフォトセンサー配置間隔の関係から実際の画面座標を算出している。

本研究では、NTSC信号をA/D変換したデジタル画像のピクセル座標系をそのまま画面座標とした。信号変換過程はブラックボックスとした。このとき画面に歪が生じるとすれば、縦横の縮尺比に影響が出る可能性が最も高いと考えた。よって内部定数として画面の縦横比 a を加えた。

また、その際計算される画面距離 f は実際の値ではなく、NTSC信号を再度A/D変換した最終的なデジタル画像をレンズ光軸上に置いたと考えた場合の見かけ上の長さとなる。

以下に本研究でのカメラ定数を示す。

カメラ内部定数：画面中心 (X_c, Y_c) 、画面距離 f 、レンズ歪に関する係数 κ_1 、画面縦横比 a

カメラ外部定数：カメラレンズ中心 (x_c, y_c, z_c) 、カメラ姿勢 $(\alpha_c, \theta_c, \phi_c)$

以上の仮定により、カメラ定数は11個となる。

4. ビデオ画像による水中3次元位置計測の精度検定

水槽は長さ10cm、幅10cm、深さ15cmの透明アクリル製矩形水槽である。2台のビデオカメラ(東芝製1/2インチCCDビデオカメラ)で計測した(図-1参照)。カメラ1、2の内部定数のキャリブレーションの結果、画面座標上での誤差の標準偏差はそれぞれ1.4、1.3ピクセルであった。また、外部定数のキャリブレーションの結果画像上の誤差の標準偏差は2.6、2.2ピクセルであった。

カメラ1および2は同じ既知点を用いてキャリブレーションを行ったので、その既知点の3次元位置を画像計測することができる。画像計測により既知点を計測した結果、 xy 平面上の誤差は x 方向で $77\mu\text{m}$ 、 y 方向で $85\mu\text{m}$ であり、 z 方向(奥行き方向)では $573\mu\text{m}$ であった。

表-1 カメラ定数のキャリブレーション結果

カメラ定数		カメラ1	カメラ2
内部定数	画像中心 X (pixel) Y	256.55 204.72	346.52 210.42
	画面距離 f (cm/pixel)	5.972	6.004
	歪係数 κ_1	-1.034	-0.0708
	縦横比 a	0.987	0.988
外部定数	レンズ中心 x (cm) y z	0.295 5.246 -46.390	11.790 5.295 -49.565
	カメラ姿勢 α_c (rad) θ_c ϕ_c	0.0961 0.0114 -0.0063	-0.1192 -0.0153 0.0008
	画面上の誤差の標準偏差 (pixel)	2.554	2.245

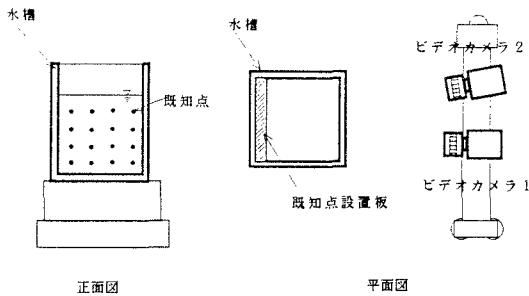


図-1 実験装置

〔参考文献〕1) 村井俊治他、東京大学生産技術研究所報告、29、6、pp.165-209、1981。2) Tsai, R. Y., IEEE Journal of Robotics and Automation, RA-3, 4, pp.323-344, 1987。3) 吉野章男他、写真測量とリモートセンシング、27、6、pp.11-22、1988。4) 竹原幸生他、水工学論文集、第38巻、pp.689-696、1994。