

Ⅱ-191 レーザビームスキャニングを利用した画像処理による流速計測法

（財）電力中央研究所 牛島 省・田中伸和

1. はじめに

画像処理を利用した流速計測法は、水理模型内部の多次元領域内の瞬時流速分布を把握することができる有効な計測手法である。本研究では、レーザビームをスキャニングさせることにより3次元空間内の複数の断面を短時間のうちに可視化し、パーティクルトラッキング法に基づいて流速ベクトルを求める手法を提案する。この手法を用いて、回転円盤が取り付けられた円筒容器内に生ずる過渡流動現象の流速計測を行った。

2. 可視化方法とパーティクル画像の撮影

本研究では、図1に示すレーザビームスキャニングシステムを用いて、図2のような回転円盤が取り付けられた円筒形の実験水槽内の流れを可視化する。可視化される断面は、5枚の水平断面であり、それらの画像は実験水槽の下方に置かれた平面反射鏡を介して、高速ビデオシステムによりビデオテープ上に撮影される。レーザビームのスキャニングは、高速ビデオシステムから送られる信号によって制御されているので、スキャニング動作と録画は同期がとられた状態になっている。トレーサとしては、平均粒径 $400\mu\text{m}$ 、比重1.03のエスレン粒子を用いた。実験では食塩水を用いて、粒子と流体の密度差を無視し得るものとした。

3. 画像処理手法

画像データ処理は、前処理と流速ベクトルを求める画像処理という2つの処理から構成されている。前処理では、画像強調やノイズ除去といったフィルタリングを施した後、判別分析2値化法に基づいて1フレームを1,024の小領域に区分して2値化がなされる。この結果から、一旦重心点を算出して膨張処理を行い、原画像との論理積をとることによって、最終的に2値化画像ではなく、輝度分布を有するかたちで粒子画像が背景から分離される。

次に、流速ベクトルを求めるための画像処理では、まず各粒子の輝度分布を最小2乗法に基づいて2次曲面近似して、サブピクセル精度でパーティクルの重心点の位置を算出する。次に、探索領域を設定して、所定のトラッキングフレーム数にわたり、同一粒子の重心点を特定していく。このようにして得られた重心点群に対して、2次の回帰曲線を求め、その勾配から流速ベクトルの方向が定められる。

得られた流速ベクトルは、ランダムに分布するパーティクルの位置に依存しているので、これらを内挿して規則的な格子点上の流速ベクトルとする。ここでは、可視化された領域が円形であるため、格子点になるべく均等に

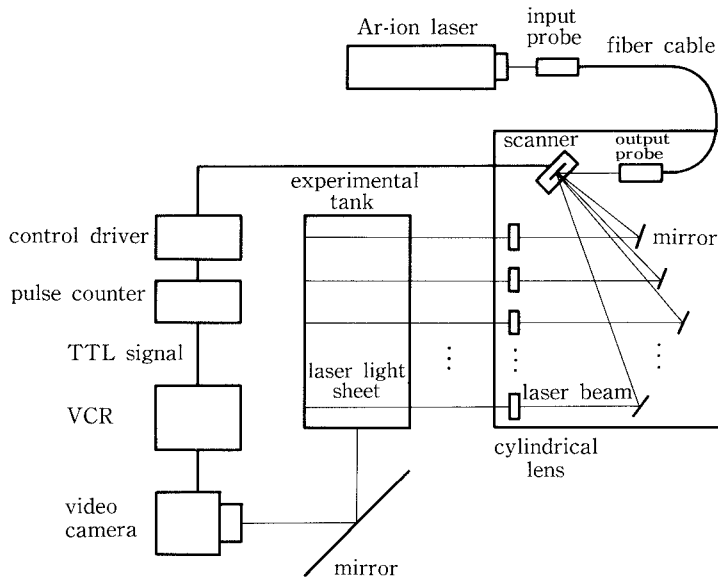


図1 ビームスキャニングを利用した可視化システム

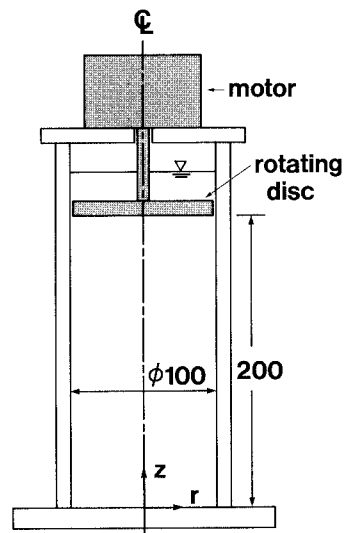


図2 実験水槽（単位はmm）

分布するように、境界適合座標系を利用した。これらの格子点の間隔は、内挿する前の流速ベクトルどうしの平均間隔の2倍より大きく、Nyquistサンプリング条件は満足されている。これらの格子点上における流速ベクトルを求める際には、Agui&Jimenez[1]により提案されているガウシアン分布を利用する方法をとった。このようにして求められた流速ベクトルに対して、ブートストラップ手法を用いてスムージングを行い、最終的な結果を得る。

4. 画像処理手法の適用性

実験では、まず十分長い時間をかけて回転ディスクを一定の角速度（毎分40回転）で回し続け、定常状態を円筒容器内につくりだした。この定常流況を30秒間撮影した後、ディスクの回転方向を逆転させて、定常状態に続く約6分間の過渡流動をビデオテープ上に記録した。図3に、底面から20mm上方の水平断面内の流速ベクトルの時間的な変化を示した。時刻 $t_* = 0$ は、回転ディスクが逆転した瞬間の時刻に相当し、時刻は代表時間（9.01秒）で無次元化されている。この結果と同様の過渡流動現象が、他の水平断面内でも得られている。

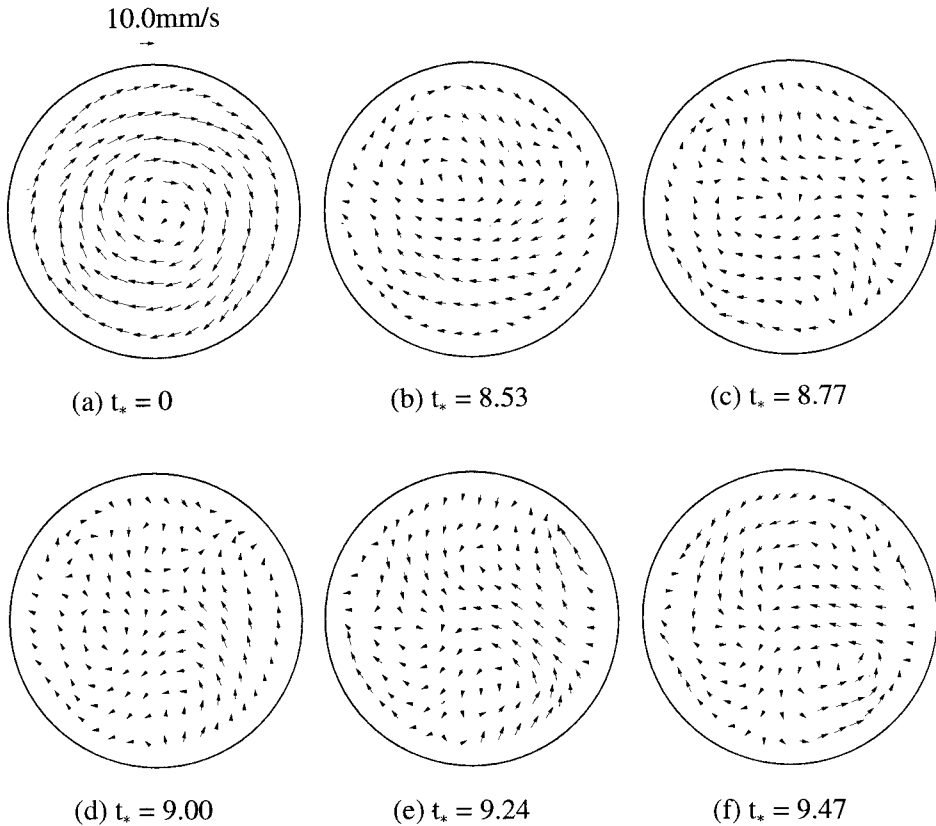


図3 計測された流速ベクトル（底面から20mmの断面）

5. おわりに

本研究では、レーザビームをスキャニングさせることにより複数の断面を短時間のうちに可視化し、得られた画像を解析することにより流速計測を行う手法を提案した。これを円筒容器内の過渡流動現象に適用した結果、過渡流動時の流速分布の時間的・空間的な変化が連続してとらえられた。

《参考文献》

- [1] Agui, J. and Jimenez, J.: On the Performance of Particle Tracking, J.Fluid Mech., Vol.185, 447-468, 1987.