

II-193

PIV(Particle-Image Velocimetry)による乱流計測法

京都大学大学院 学生員 ○阿部 崇
京都大学工学部 正 員 橋津家久
ハザマ 正 員 佐伯賢一

1.はじめに

最近、連続撮影された写真画像やビデオ画像からトレーサ粒子位置や物質の濃度分布を読みとり流速を算出するPIV (Particle-Image Velocimetry)と呼ばれる"画像解析的流速計測法"が注目され開発されている¹⁾。同時刻に撮影された撮影空間内の多点の情報を得ることができる可視化法的利点をもつこの方法は、バースト現象をはじめとする組織渦を解析できる有力な計測法である。本研究ではこのPIVによる流速計測法を考察した。

2.実験装置

トレーサの撮影、画像解析のための装置は図-1のように配置される。循環式水路に直径10~100 μ m程度のナイロン12粒子をトレーサとして混入する。この際トレーサ粒子の濃度は大きい方が得られる情報量が多くなるが濃度が大きすぎると正確な粒子追跡ができなくなる。撮影はCCDカメラを用いてレーザーライトシート(LLS)で撮影平面上のトレーサ粒子のみを照らして行われた。シャッタータイミングは1/60secに1回、シャッタースピードは1/125secに設定された(図-2)。画像は光ディスクに1/30secに1画像の割合で記録、すなわち1画像に2時刻のトレーサ像が記録される。

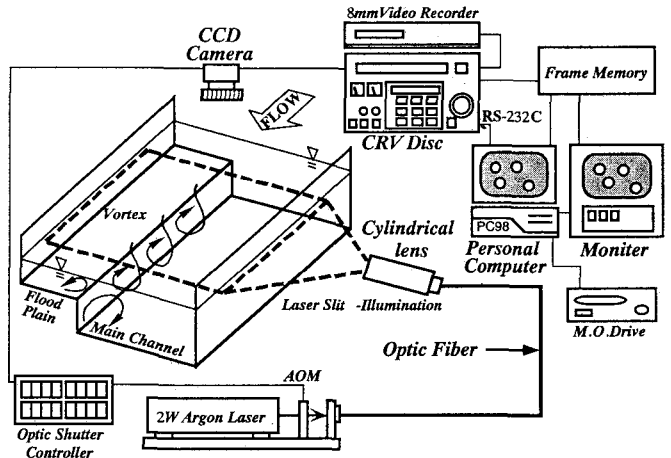


図-1 撮影および画像解析装置

3.画像上の粒子座標の読み込み

光ディスクの画像はフレームメモリボード(フレーム画像情報を読み込み記憶する装置)を介してコンピュータに読み込まれる。画像は格子の縦横約 500 × 500 のピクセルからなっていて各格子点は256段階の明暗の情報をもっておりこれを輝度という。横方向に並んだ一行のピクセルのグループは走査線と呼ばれるが、奇数番目の走査線(Oddという)と偶数番目の走査線(Evenという)上の情報には1/60secの時間的ずれがある。本解析では1枚のフレーム画像から2枚のフィールド画像に分離して2時刻の画像として解析した(図-3)。各々のフィールド画像はフレーム画像の半分の走査線の情報しかも

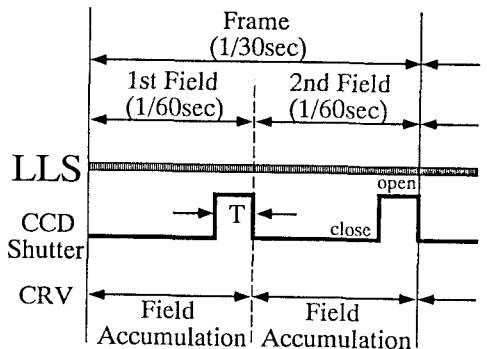


図-2 電子シャッターの同期

たないので、上下の走査線の輝度で補間してフレーム画像と同質の情報の画像とした。こうして、各フィールド画像上のトレーサ粒子像の1/60secにつき1時刻の座標を得た。また、各格子点の256段階の明暗の値(輝度)においてある値以上の輝度を最大値(256)、それ以下の輝度を最小値(0)に置き換えるという2値化処理をおこなった。画像解析では、重要な処理として認識されている。

4. 粒子像の追跡

n 枚の連続したフィールド画像より算出される粒子座標データを用いて粒子の速度ベクトルを算出する方法は一般に、 n 時刻法と呼ばれているが、本解析では4枚の連続したフィールド画像(4時刻法)を用いて粒子追跡を行った。追跡アルゴリズムは図-4および表-1に示される。追跡された粒子の1時刻目の座標 P_1 を起点、4時刻目の座標 P_4 を終点とするベクトルを粒子の $3/60\text{sec}$ の速度ベクトルとした。なお、本解析で発生した誤追跡の発生確率は $1/10^4$ 程度であった。粒子の速度ベクトルは任意の点に位置し、このままでは解析に不便である。そこで実験水路の撮影平面内に固定されたメッシュを定め、定点の流速ベクトルに補間した。その際、速度既知の2点と任意の点の粒子ベクトルを用いて平面近似して速度を求めた(図-5)。平均流速を計測する場合、他に連続式の1次のテーラー展開式を計算する方法があるが、乱流計測の場合、組織渦による刻々の瞬間的な流速を個々の点で知る必要があったので、流速補間点からのサンプリング半径内にある複数の速度ベクトルから補間する方法が望ましく、よりスケールの小さな乱れによる流速変動をとらえることができる。

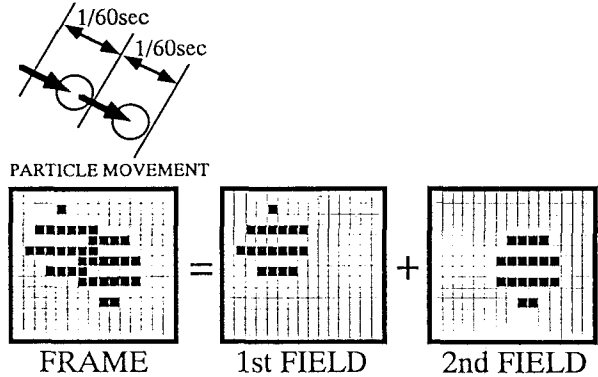


図-3 フィールド画像への分離

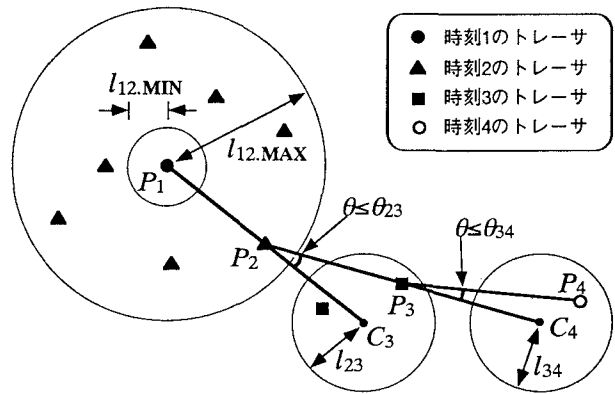


図-4 粒子追跡アルゴリズム

表-1 粒子追跡アルゴリズム

i)	時刻1の全てのトレーサ(P_1)をリストアップする
ii)	P_1 からの距離が $l_{12\text{-MIN}} \sim l_{12\text{-MAX}}$ の範囲にある時刻2のトレーサ(P_2)を候補としてリストアップする
iii)	線分 P_1P_2 を2:-1に分ける点 C_3 からの距離が l_{23} 以下で、かつ2直線 P_2C_3 , P_2P_3 のなす角度が θ_{23} 以下の時刻3のトレーサ(P_3)を候補としてリストアップする
iv)	線分 P_2P_3 を2:-1に分ける点 C_4 からの距離が l_{34} 以下で、かつ2直線 P_3C_4 , P_3P_4 のなす角度が θ_{34} 以下の時刻4のトレーサ(P_4)を候補としてリストアップする
v)	i)~iv)の操作でリストアップされた4点 $P_1 \sim P_4$ の座標の組を4時刻における同一粒子の座標と認識する

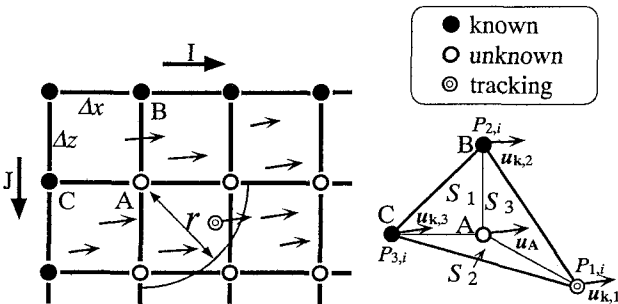


図-5 流速ベクトルの補間アルゴリズム

5. おわりに

本研究より得られたPIVの計測精度を向上させる方法を挙げると、まずより焦点距離の短いレンズを使用して画像を拡大して撮影する必要がある。また、画像の撮影時間間隔を短くすることでより多くのトレーサ粒子を混入できる。さらにパルス光を用いる方法もある。

参考文献

- 1)津田宜久・小林敏雄・佐賀徹雄：汎用PIVシステム(Current)の開発、流れの計測大阪シンポジウム論文集, No.6, pp.47-52, 1991.