

濃度相関法(PIV)におけるトレーサ分布と 流れ場の解析精度に関する研究

吉岡 英樹*・倉元 靖夫*

Effects of Tracer Distributions on Analytical Accuracy of a Flow Field by PIV

Hideki YOSHIOKA and Yasuo KURAMOTO

Abstract

In analysis of a flow field by image processing method, all information of the flow field is obtained from an image. Distribution of tracers in a flow field has large effects on its analytical accuracy of velocity field in the image. Therefore, it is very important for PIV how to distribute tracers in the flow fields. Experiments were carried out for improvement of analytical accuracy of PIV. One was a test using smoke wire method. The others were tests using smoke nozzle methods with two different delivery pressures of smoke. In this report the test results are presented.

Key words: Particle Imaging Velocimetry, Correlation Value Distribution

1. はじめに

画像処理による流れ解析は、流れ内にトレーサを混入させた画像を処理することにより任意点における流速を得るものである。この方法の利点はピトー管や熱線流速計を使用する場合と異なり、同一時刻の多点のデータ計測が可能である。そのため計測点相互間の関連性の把握が容易に出来るので、流れ場の解析には有用な手段である。またこの方法での流速の決定方法は流体粒子の移動距離と移動時間の比という流速の定義そのものであり、移動時間が小さいために流体中に浮遊するトレーサ粒子の流れへの追従性が問題にならない限り理想に近い流速測定法といえる。一方この追従性に着目すると、液体流れや10m/s程度の気体流れのような場合は、流れに対してのトレーサの追従性が得やすいので、スチレン球のような比較的粒径の大きなものを用いることが可能であり⁽¹⁾⁽²⁾、個別粒子の位置関係からの流速算出ができるため解析精度も高い。しかし5 m/s程度以下の空気流れ

の場合は、追従性の観点からトレーサに用いるのはオイルミストのような煙状のものが望ましい。このためにトレーサを群として判断する濃度相関法等の方法が用いられる。画像処理による流れ解析は、文字どおり画像から全ての情報を得るため、トレーサの分布状況が解析精度に大きく影響する⁽³⁾。本研究は濃度相関法による流れ場の流速分布解析精度向上のため、トレーサ分布状況の違いによる濃度相関値分布の相違を検証する。

2. 実験装置および実験方法

流れ場の可視化画像の記録は、吹出式風洞を用いて観測部(500mm×500mm×1000mm)内に物体を設置しない状態で行った。流速は約2 m/sとした。可視化光源は、4 W アルゴンイオンレーザをAOM(音響光学素子)により短時間のパルス照射とした。そのレーザ光は可視化空間を大きくするためにハーフミラーで2系統に分割し、それぞれをシリンドリカルレンズでシート状にした。流速分布は風洞観測部中央にレーザライトシートを照射し

* 交通機械工学科
平成11年9月30日受理

て可視化した画像から得た。シート光の厚さは約10mmである。

画像の記録は CCD カメラで行い、レーザビデオディスクレコーダで記録した。CCD カメラと AOM を外部制御装置で制御して照射タイミングを設定した。また流速分布の算出は画像上の20×20点でおこない、算出の際のマスク領域は31×31、サーチ領域は61×61とした。これは風洞ファン回転数による予想流速からトレーサ移動量を推定して解析に適する数値を選択した。

風洞観測部の機器配置を Fig. 1 に、解析システムのブロック図を Fig. 2 に示す。

2-1 レーザ光入射タイミングと画像処理法

NTSC 方式の 1 フレームの画像は 2 枚のフィールド画像で構成されており、はじめの1/60秒を表示するものをオッドフィールド、後の1/60秒のそれをイーブンフィールドと呼ぶ。

レーザ光の照射タイミングは、流れ場の可視化の際に 2 画像間のトレーサ群の移動量を濃度相関法のアルゴリズムを適用できるように 2 枚のフィールド画像蓄積時に調整している。そのため 1 フレームの画像には 2 時刻の

フィールド画像が記録されている。これは NTSC 方式のカメラで時間分解能を向上させるための手法である。解析は CCD カメラにより上記の方法で記録された 1 フレームの画像を用いて行う。

2 時刻の画像が記録された 1 フレームをオッドフィールドとイーブンフィールドに分解して 2 枚の画像を得る。この際に失った画素は周囲の 6 画素の平均で補完している。

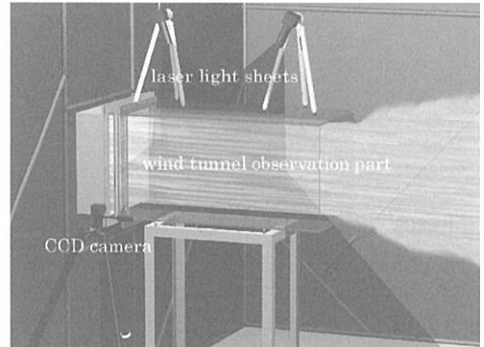


Fig. 1 Position of CCD camera and Laser lights sheets

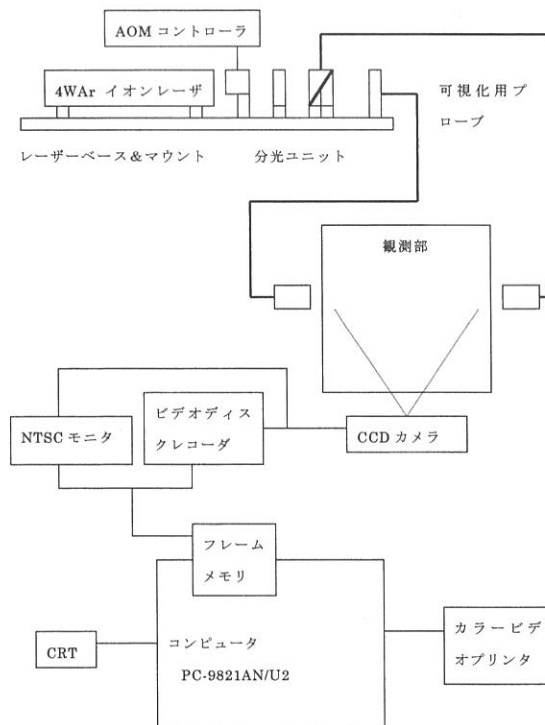


Fig. 2 The block diagram of image processing system of the flow

このようにして得た 2 枚の画像間で濃度相関法を用いて任意点の流速を算出する。

2-2 濃度相関法のアルゴリズム

2-1 で得た微小時間間隔の 2 枚の画像上 (時刻順に t_1 , t_2 とする) でトレーサ群輝度 (濃度) を用いて同一輝度のトレーサ群の移動量から速度ベクトルを算出する。この時のアルゴリズムは次のような手順で実行される。

画像メモリに記録された時刻 t_1 の画像上にマスク領域とマスク領域の中心点を設定する。同様に時刻 t_2 の画像上にサーチ領域を設定する。マスク領域の中心をサーチ領域内で移動させて各位置での相関値 (CR) を下式を用いて計算し、その分布を得る。この操作の概略を Fig. 3 に示す。

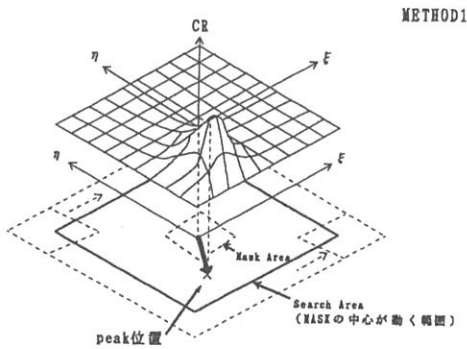


Fig. 3 Algorithm of the correlation method.

$$CR = \frac{\sum xy - \frac{1}{n} \sum x \sum y}{\sqrt{\sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2} \sqrt{\sum y^2 - \frac{1}{n} (\sum y)^2}}$$

但し x : 時刻 1 での各画素での濃度値

y : 時刻 2 での各画素での濃度値である。

mask 領域の中心をベクトルの始点に、相関値のピーク部分の座標をベクトルの終点として速度ベクトルが決定される。しかし上記の行程で終了すると、相関値のピークは画像を構成するピクセル単位でしか決めることが出来ないために正確な相関ピークが得られない。このままでは速度ベクトルの大きさは整数値でしか表せない。そこで正確な相関値のピーク位置を得るために相関値の最大ピーク位置を中心にスモールマスク領域を設定し相関値の再計算を行う。これにより速度ベクトルの大きさは小数値となり精度が向上する。

2-3 トレーサ分布状況

トレーサはスモークワイヤ法と風洞縮流部に設置した

ノズルよりスモークジェネレータで発生したオイルミストを注入するノズル法の 2 種類を用いた。この時のスモークジェネレータの煙吐出圧力は 29.4kPa, 煙発生時の油温は 300°C に設定した。トレーサの分布状況は次のような 3 状況とした。

Condition 1 : ノズルからの吐出圧力を大きくして注入し、

Fig. 4 のようなトレーサ群に不規則で大きな輝度分布が存在する状態。



Fig. 4 Tracer distribution in condition 1

Condition 2 : 通常の流れの可視化に用いられるように、

ノズルからの吐出圧力を小さくして注入し、Fig. 5 のように線状に輝度分布が存在する状態。

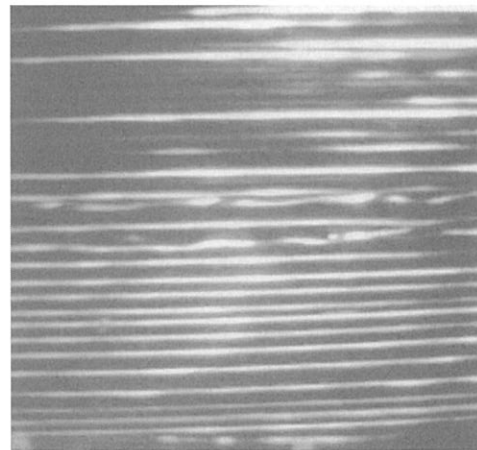


Fig. 5 Tracer distribution in condition 2

Condition 3 : 風洞観測部上流からスモークワイヤで注入し, Fig. 6 のように細い線状の多数のトレーサ群が面を形成する状態。



Fig. 6 Tracer distribution in condition 3

3. 解析結果および考察

Fig. 4~Fig. 6 の解析結果は Fig. 7~Fig. 9 である。Fig. 7 の流速分布は約 2 m/s で一様である。風洞のファン回転数より求めた流速データと一致している。トレーサ画像をみるとトレーサ群の広がるためレーザーライトシートによる流れ場の断面を得やすく、輝度やコントラストも大きい。またここで用いた 2 枚の画像を見比べるとトレーサ群の動きがはっきりと目視できるが、後のノズル圧力小の場合とスモークワイヤの場合は目視でトレーサ群の動きを求めることが容易ではない。この速度ベクトル 400 個の濃度相関値の算術平均は 0.973 であった。Fig. 8 の流速分布は実際の流れを示している部分と示していない部分が存在する。また実際の流れには有り得ない逆流も表示されている。トレーサ画像をみると輝度やコントラストが小さいことがわかる。この速度ベクトル 400 個の濃度相関値の算術平均は 0.906 であった。興味深いのは Fig. 7 の画像中央の上下で流速分布の傾向が大きく異なる点である。これは画像の上下でトレーサ群の傾向が大きく違うことが原因と考えられる。画像上部のトレーサ群は大きな輝度分布を持った線状であるが大きく抜けている部分が多く、整ったものとは言い難い。流速分布の速度ベクトルは実際の流れに近いと思われるものも存在し零ベクトルになっているもの数は少ない。一

方、画像下方のトレーサ群については、輝度分布は低いが比較的綺麗な流脈としてみられるが、流速分布の速度ベクトルの多くが零に近くっており実際の流れを表わしているとは言い難い。Fig. 9 の場合は Fig. 8 の傾向をさらに強調したものになっている。画像中央部分に信頼に足る流速分布が存在するが他の部分の速度ベクトルは実際の流れを表わしてはいない。この部分の速度ベクトルは Fig. 8 のそれよりも整っていることがいえる。Fig. 6 の中央部に注目するとトレーサに渦構造を見ることができている。この渦構造がトレートレーサ群に不規則な輝度分布をつけることによりこの部分の解析精度を向上させていると考えられる。他の部分では水平方向の細いトレーサ群がみられる。この輝度分布は流れの主流方向では、ほとんど変化がないために、画像中央部の渦構造による精度向上のような結果をもたらさないと考えられる。この渦構造は風洞縮流部に設置したノズルが気流を乱したことにより発生したものである。またトレーサ画像そのものは輝度が大きいコントラストは小さくなっている事がわかる。なおこの流速ベクトル 400 個の濃度相関値の算術平均は 0.871 であった。

濃度相関法において濃度相関値は速度ベクトルを求めるのに最も重要な数値である。一般に、その値が 1 に近いほどその流速ベクトルは信頼に値すると考えられている。3 つの流速分布における濃度相関値の平均は 0.973~0.871 であり、一般的な評価ではこの値で算出された速度ベクトルは信頼される。しかし Fig. 8 や Fig. 9 が示すようにトレーサ群の状況によっては信頼性を疑問視しなければならないといえる。

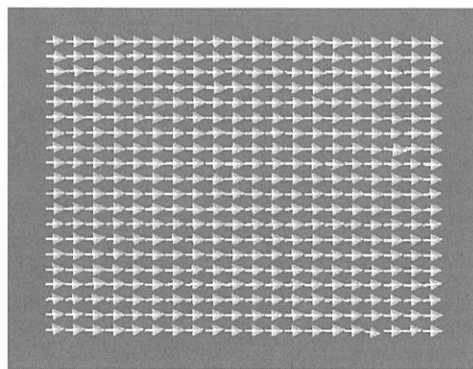


Fig. 7 Velocity vectors in condition 1

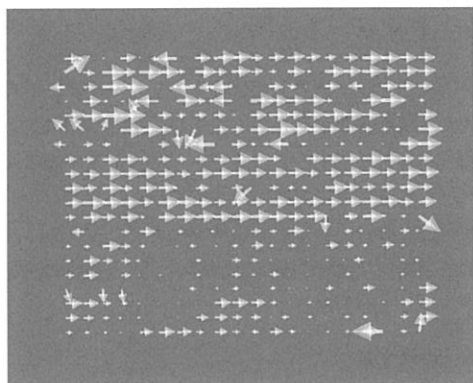


Fig. 8 Velocity vectors in condition 2

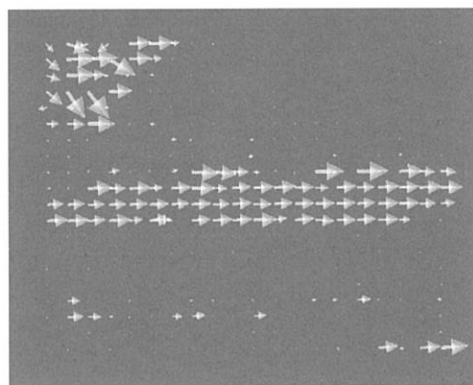


Fig. 9 Velocity vectors in condition 3

次にそれぞれのトレーサ分布状況における任意点の濃度相関値の分布を Fig.10～ Fig.13に示す。濃度相関法では速度ベクトルの始点を図の正方形の中心に、濃度相関値が最も大きい座標を速度ベクトルの終点としている。Fig.10は Fig. 4 における濃度相関値の分布を表わしたものである。1つの大きなピークを見ることができる。このような場合は速度ベクトルの終点が精度良く決定する。Fig.11は Fig. 5 のものであり、トレーサの分布状況と同様な線状の濃度相関値分布がみられる。そのため多数のピークが存在するために、誤認ベクトルが現れる可能性が大きい。Fig.12は Fig. 6 の中央部分の比較的信頼できる速度ベクトルが得られた部分の濃度相関値分布である。Fig.11と異なり、いくつかの孤立したピークが存在しており Fig.10に近いものになっている。Fig.13は Fig. 6 の画像周辺部のトレーサ群が細い線状に存在する部分の濃度相関値分布である。この場合ピーク位置が中央部となっているので速度ベクトルの始点と終点が一致してしま

う。これは2枚の画像間でトレーサ群の移動がないと判断したことを示している。Fig.12と Fig.13は同じ Fig. 6 における結果であるが濃度相関値分布は大きく異なる。これは前述の風洞縮流部内に設置したノズルによりトレーサに渦構造が存在するのが理由と思われる。

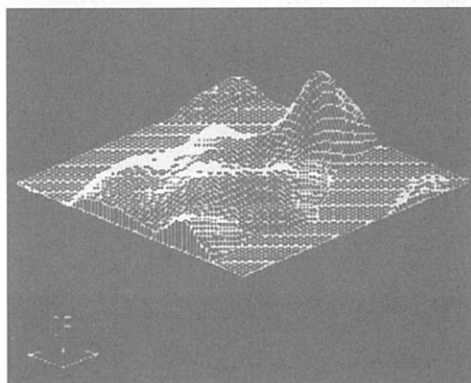


Fig. 10 Distribution of correlation values in condition 1

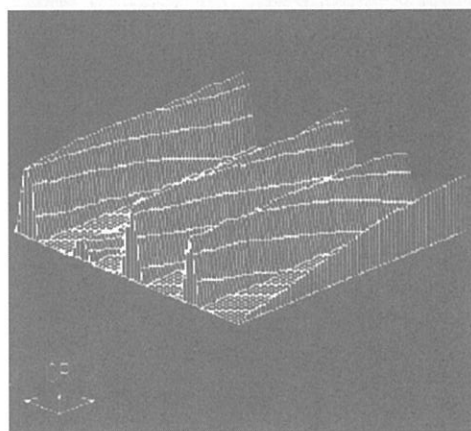


Fig. 11 Distribution of correlation values in condition 2

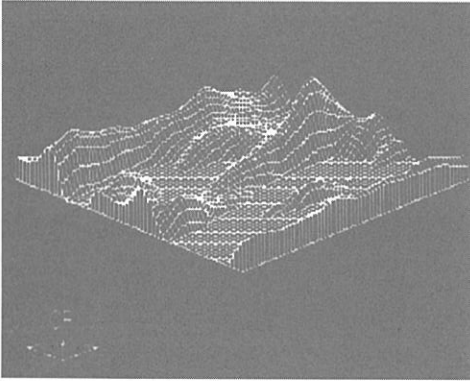


Fig. 12 Distribution of correlation values in condition 3 (near the center)

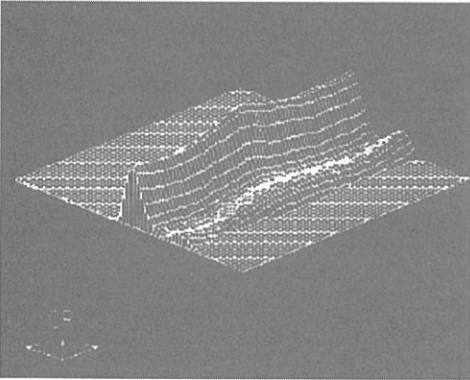


Fig. 13 Distribution of correlation values in condition 3 (except the center)

4. まとめ

ノズル法で吐出圧力を大きくしてトレーサ群に不規則で大きな輝度分布が存在する状態が、濃度相関法による流速分布解析に適することが分かった。ノズル法やスモークワイヤ法において細い線状で流れに注入されたトレーサ群は2画像間の輝度分布状況が近くなるため、濃度相関法を用いた流速解析では誤認ベクトル等の問題が生じやすいことが分かった。

5. 参考文献

- (1) 小林・他5名, 可視化情報, 15-Suppl. 2, 1995. 10
- (2) 小林・他5名, 可視化情報, 16-Suppl. 1, 1996. 7
- (3) 速水, 新巻, 高曾, 小林, 可視化情報, 15-Suppl. 2, 1995. 10