

ラージスケール PIV 計測技術の開発

Development of Large-scale PIV Measurement Technique

星 野 元 亮*

Gensuke HOSHINO

福 地 有 一*

Yuichi FUKUCHI

吉 野 崇*

Takashi YOSHINO

寺 村 実*

Minoru TERAMURA

要 旨

流体現象を実験的に明らかにする手法のひとつとして、Particle Image Velocimetry (PIV) がある。PIV は瞬時の流れ場の速度を多点で非接触に計測することができる。四輪実車まわりの流れ場は大きなスケールの流れ構造があるため、広い領域の計測が必要である。このような大規模な流れ場を計測可能とするラージスケール PIV 計測技術を開発した。

計測の良否を定量的に評価し得る指標を導入し、その指標と計測精度の関係を明らかにした。また、流れ場への粒子の混入（シーディング）を時間的及び空間的に均一にすることが可能なシーディング装置と、反射光を低減する手法を開発した。これらの要素技術を適用することで 1.7 m × 1 m のラージスケールにおいて瞬時速度場を評価し得る PIV 計測が実現できた。またスキャニングシステム及び統合計測ソフトウェアを構築することで、短時間で多断面の計測を可能とした。

ABSTRACT

Particle Image Velocimetry (PIV) is one of the techniques used to experimentally clarify fluid flow phenomena. The advantage of PIV is the ability to non-intrusively measure the instantaneous velocity vectors of a flow field at multiple points. The flow field around an actual vehicle has large-scale flow structures, and requires a wide measurement area. A large-scale PIV measurement technique was developed that can measure this type of large-scale flow field.

An index capable of quantitatively evaluating the quality of the measurement was introduced, and the relationship between this index and the measurement accuracy was clarified. In addition, a seeding device that enables temporally and spatially uniform seeding of particles to the flow field, and a method to decrease laser light reflection were developed. Application of these technologies realized PIV measurement capable of evaluating an instantaneous velocity field over the large scale of 1.7 m x 1 m. A scanning system and integrated measurement software were also constructed, enabling multi-section measurement in a short time.

1. まえがき

モビリティを主体とする Honda 製品は流体との関連性が強く、更なる燃費低減、快適性向上の観点から、流体に関する現象を考察し制御していく必要性が、さらに高まっていくものと考えられる。流体現象を実験的に明らかにする流体計測法として、プローブを挿入して計測する熱線流速計やピトー管などが広く利用されている。しかしこれらの手法では、プローブの挿入が流れ場に影響を及ぼし、本来の流れ場が計測できないという問題点がある。プロー

ブを使用しない非接触計測法として LDV (Laser Doppler Velocimetry) があるが、単点での計測であることから、流れ場全体を把握するために多くの計測点が必要となる。

PIV はシーディングされた流れ場にレーザ光を照射し、粒子からの散乱光をカメラで撮影をおこない、その粒子画像を解析することによって流れ場の速度を計測するものである。このような計測手法の PIV は、流れ場の瞬時・多点の速度を非接触に同時計測することが可能であり、容易に流れ場全体を把握することができるため、近年盛んに利用されている。

* 基礎技術研究センター

しかし PIV は多くの計測ノウハウと、計測が可能となるまでの試行錯誤を必要とする場合があり、確立された計測技術であるとは言いがたい。

また、四輪実車まわりの流れ場を計測する場合、大きなスケールの流れ構造があるため、広い領域の計測が望まれている。このような計測事例のひとつに、Pininfarina S.p.A.⁽¹⁾ が約 0.3 m² の領域を計測した事例がある。さらに広いエリアを計測する場合、シーディング手法や明瞭な粒子画像の撮影方法が問題点となる。そこで今回課題を整理し、それらを解決することによって、広いエリアを計測可能とするラージスケール PIV 計測技術を確立したので、その技術内容について報告する。

2. PIV 計測概要

PIV 計測では、流れに十分追従する微細粒子を流れ場中にシーディングし、シート状のレーザー光（シート光）を微小の時間差をもって2度照射する。そのシート光によりシーディング粒子が散乱光を発する。その粒子からの散乱光を CCD カメラ等の撮影機器で撮影する。粒子は流れと共に移動しているため、微小の時間差で撮影された2枚の粒子画像の粒子は移動していることになる。この2枚の粒子画像から粒子の移動量を求め、移動量と撮影された時間差から速度を算出する。代表的な PIV 計測のシステム構成を Fig. 1 に、得られた粒子画像の例を Fig. 2 に示す。

微小な時間差で撮影された1対の粒子画像から、以下の方法により速度を算出する。まず、1対の粒子画像を格子状の解析窓にそれぞれ分割する。1対の粒子画像で同じ位置に対応した解析窓内における輝度値分布から、移動量をパラメータとして相互相関値を求める。この相互相関値の算出は畳込み演算やFFTを用いて行われる。得られた相互相関値分布図の例を Fig. 3 に示す。この相互相関値が最大となる（1番目のピーク値）移動量を解析窓内での粒子群の平均移動量とする。次に、その移動量と時間差から速度

ベクトルを算出する。この手法を分割された解析窓全てに適用することで、二次元面内の二成分速度場を定量的に可視化することができる。また、粒子画像を2台のカメラでステレオ撮影し、適切なカメラ校正を行うことによって三成分速度場の計測（ステレオスコピック PIV）が可能である。

このような計測原理であることから、PIV 計測は明瞭な粒子画像を撮影することが重要となる。そのためには、シーディング手法、レーザ強度、撮影条件など多くの計測ノウハウが必要となる。

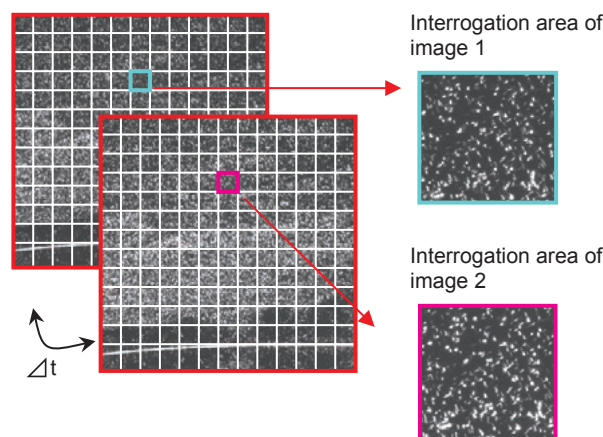


Fig. 2 Example of particle images

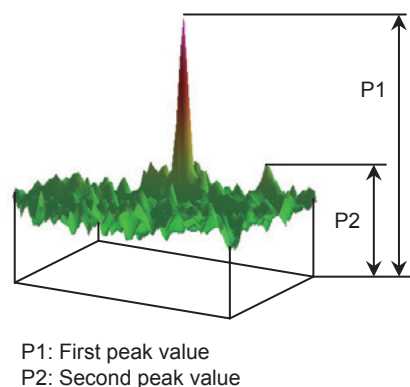


Fig. 3 Correlation map

3. ラージスケール PIV 計測の目標値

本技術においては、当初 F1 フロントタイヤ後流に適用することで技術開発を進めた⁽²⁾。その流れ現象を考察するために、計測領域として 1 m × 1 m が必要である。よってこれを計測領域の目標値とした。

また、着目した計測領域で取得されるべき全ベクトル数に対して、過誤ベクトルを除いたベクトル数の割合をベクトル取得率と定義し、そのベクトル取得率の目標値を 90% 以上とした。ここでの過誤ベクトルとは粒子画像から正しい移動量を算出できなかったベクトルのことである。ベクトル取得率 90% 以上を目標値とした根拠は、ある過誤ベ

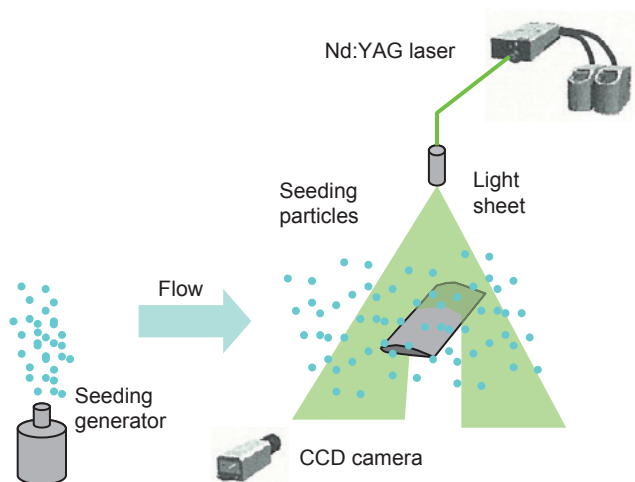


Fig. 1 PIV system

クトル1点が発生した場合でも、その周囲8点のベクトルが取得できていれば、その過誤ベクトルを取り除き、周囲のベクトルで適切に補間することができるからである。

PIV計測の手順は粒子画像の撮影、撮影画像のPCへの転送、PCでの粒子画像の解析、解析された速度場のポスト処理からなる。風洞においてPIV計測を行う場合、その試験現場ではこの一連の計測、解析時間の短縮化も望まれる。

F1フロントタイヤ後流の計測ではベクトル取得率が20%程度と低く、平均流れ場を評価するために多くの粒子画像を撮影、解析する必要がある、多くの時間を要していた。

二成分計測での計測及び解析時間の目標値を、1計測断面あたり20分(セットアップ時間除く)とした。

また三成分計測で詳細に流れ場を計測する場合、多断面での計測が必要である。この多断面での三成分速度計測を行う際には、計測断面を変更するための作業が発生し、その都度風洞の運転を停止する必要がある。このことから三成分計測においては風洞の運転を停止することなく10断面が計測可能なシステムを構築し、その計測時間の目標値を30分とした。

4. ラージスケール PIV 計測の技術課題

4.1. 評価手法の定量化及び計測条件の適用限界

PIV計測においては、粒子画像の質が重要である。粒子画像の質を決定する要因は、シーディング、レーザ強度やシート光強度の空間分布、カメラ感度、撮影倍率、供試体からの反射光や背景光といったノイズの大きさなどが考えられる。これまではPIV計測の良否を定量的に評価し得る指標がなく、上記に述べた種々の計測パラメータに対して明確な指針を持ち得なかった。そのため計測対象や計測場所の変更の都度、計測可能となるまでに試行錯誤を必要としていた。このことから計測に先立ち、計測パラメータの適用限界を明らかにする必要があった。

4.2. 反射光低減

PIV計測においてはシーディング粒子からの散乱光だけでなく、シート光が供試体表面で反射した光がノイズとして撮影画像に含まれ、粒子画像の質が低下する場合がある。その反射光の影響を画像処理により低減する方法があるが、反射光強度が大きい場合は粒子からの散乱光を検出できないことがあり問題となる。従来技術では以下に示す手法(Fig. 4)により反射光を低減する。壁面に蛍光塗料を塗布し、そこに光が照射されると入射光と異なる波長で発光する(蛍光)。その蛍光をカメラ前方に設置したバンドパスフィルタで除去するものである(波長シフト手法)。

しかし、この手法を採用しても供試体によっては表面を直接処理することが困難な場合もあるため、より汎用性を高めた反射光低減手法が必要となった。

4.3. シーディング

シーディング技術は、使用する粒子の材質、粒子径、流れ場への混入方法など検討する項目が多く、かつPIV計測の良否を左右する重要な技術である。オリブオイルなどをミスト状にすることができるラスキンノズルやグリコール系の溶媒を気化させ粒子化することができるフォグジェネレータなどの装置が市販化され、広く使用されている。ラスキンノズルは1 μm 程度の均一な粒子が得られる。またフォグジェネレータは大容量の粒子を発生することができる。

ラージスケールPIV計測のためには、広い領域においてシーディング粒子の時間的、空間的一様性の実現が課題である。時間的、空間的に粒子むらがある場合には、粒子の欠損領域で速度ベクトルが得られず、ベクトル取得率が低下する。PIV計測の大きな利点のひとつが瞬時の二次元流れ場の定量的可視化であることから、この粒子むらがある場合にはPIV計測の利点が十分に活用できない。上述の市販化されているシーディング装置では、この課題を解決できなかったため、シーディング装置の開発を試みた。

4.4. 明瞭な粒子画像の撮影

広い領域を撮影するためには、シート光を広い領域で照射する必要がある。同じレーザ装置を使用した場合は単位面積あたりのレーザ強度が低下し、撮影された粒子画像の粒子像が不明瞭になる。その場合は過誤ベクトルが多くなり、十分な速度ベクトルが算出できない。よって単位面積あたりのレーザ強度が低い場合でも、より明瞭な粒子像を撮影することが課題となる。

4.5. 計測時間及び解析時間の短縮

3章で述べたPIV計測の手順に基づいて求められる平均流れ場は、1対の粒子画像から得られる瞬時速度を複数平均することで得られる。この瞬時速度において、過誤ベクトルなどにより欠落したベクトルが多く存在する場合は、平均回数、すなわち撮影する粒子画像を多くする必要があり、計測時間、解析時間が増大する。

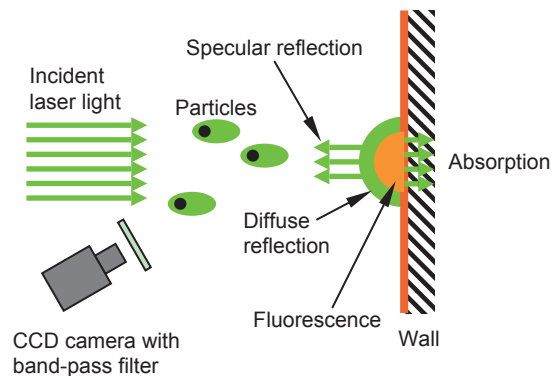


Fig. 4 Schematic view of laser light reflection from fluorescent coated wall

また、質が悪い粒子画像の場合は粒子画像の解析を行う前に画像処理を必要とし、解析時間増大の一因となる。

これらのことから、計測、解析時間の短縮については、事前の画像処理なしに、少ない平均回数でも評価可能とすることが必要である。質の良い粒子画像を取得し、ベクトル取得率を高くすることが計測及び解析時間の短縮につながる。

複雑な流れ場を計測、考察する場合は三次元流れ場の把握が望まれ、ひとつの断面のみでの結果では不十分である。このような場合は3章で述べたように複数の断面を計測しなければならない。計測断面の変更作業は、レーザ光学系やカメラのセットアップ及びカメラの校正であり、それらの作業を効率よく行うことが課題となる。

5. 課題解決手法

5.1. ピークレシオを用いた評価手法の定量化

4章で述べたそれぞれの課題に対し、その課題を解決すべく検討を行った。まず PIV 計測の良否を定量的に評価可能な指標の導入を試みた。基礎試験を行うことによって、この指標にピークレシオを用いることで計測の良否を定量的に評価可能であることがわかった。速度ベクトルは2章で述べたように、一対の解析窓での輝度値分布の相互相関ピーク値となる移動量から算出される。ピークレシオはこの相互相関値の一番目のピーク値と二番目のピーク値の比で表される (Fig. 3 参照)。

このピークレシオと計測誤差の関係を求めるために、既知の速度の流れに対してレーザ強度や撮影倍率などの計測条件を変化させた PIV 計測を実施した。そこで得られた移動量と実際の速度から求めた移動量との差を誤差とした。Fig. 5 にピークレシオと計測誤差の関係を示す。図はそれをピクセル数で示したものである。

この図からピークレシオが 1.2 未満では計測誤差が大きくなっていることがわかる。よって、ピークレシオを計測の評価指標とし、その値が 1.2 以下の速度ベクトルを過誤ベクトルと判定する。

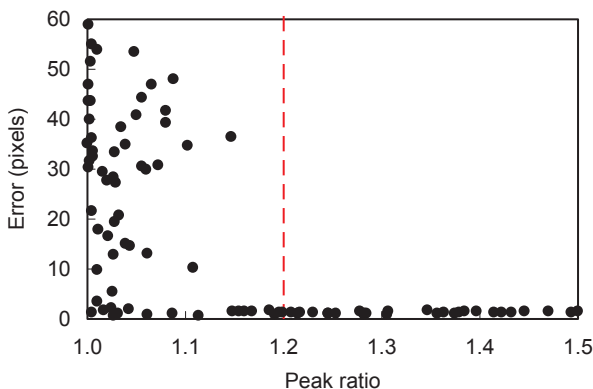


Fig. 5 Relationship between peak ratio and measurement error

このピークレシオを評価指標に用いることによって、レーザ強度、撮影倍率、カメラレンズ絞り、粒子数密度などの計測条件を明確化することができた。

5.2. 蛍光ステッカ適用による反射光低減

4.2 節で述べた反射光低減の課題に対し、本技術では粘着材付きの蛍光フィルム (蛍光ステッカ) を用いることで、より汎用性が高く、効果が大きい反射光低減を実現できた。この手法を実現するために行った基礎試験について説明する。

試験装置の概要を Fig. 6 に示す。

試験装置は、シリンドリカルレンズでシート光にした Nd:YAG レーザをテストピースに照射し、その反射光を CCD カメラで撮影することによって、その輝度値を評価するものである。テストピース表面には、4.2 節で述べた波長シフト手法をふまえて、蛍光スプレー [アサヒペン (株)], 蛍光ステッカ [住友 3M (株)], 及びつや消し材を塗布した蛍光ステッカの 3 種をそれぞれ取付けた。なお、蛍光材には Nd:YAG レーザの 2 倍高調波の波長である 532 nm で蛍光を発するものを選定した。蛍光フィルムの表面はつやがあるが、表面状態が反射特性に及ぼす影響を評価するためにつや消し状態も評価した。

実際の PIV 計測では、供試体形状やカメラ配置などの計測レイアウトにより、反射光を撮影する角度が異なる。その撮影角度を変化させた場合についても反射光の輝度値を評価した。その結果を Fig. 7 に示す。図は撮影されたテストピースからの反射光の輝度値と撮影角度 $\Delta\theta$ の関係である。 $\Delta\theta$ は Fig. 6 の θ_s と θ_L の差から算出される角度と定義した。蛍光ステッカの反射光輝度値は撮影角度が 0° のとき最大 (鏡面反射) であり、角度の増加に従って減少 (拡散反射) する。 0° より大きい角度において、蛍光ステッカは蛍光スプレーよりも反射光輝度値が小さくなることがわかる。

またつや消し材の蛍光ステッカの反射光輝度値は蛍光スプレーと同等となっており、表面のつや状態が反射特性に影響を与えている。PIV 計測では、粒子画像に影響を及

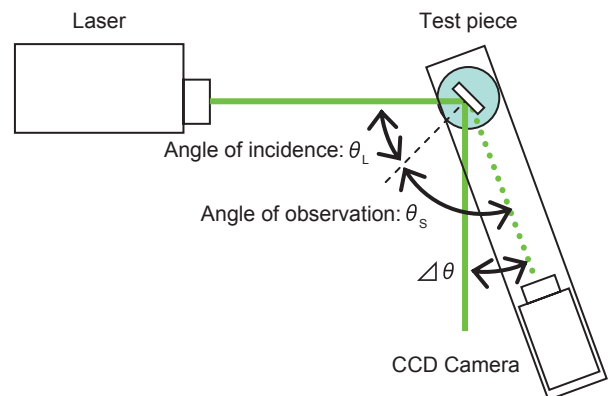


Fig. 6 Schematic diagram of experimental setup for reflection intensity

ぼす反射光は拡散反射の場合が多いため、表面につやがある蛍光ステッカーが最も反射光低減効果が高い。この蛍光ステッカーを用いることで、従来使用していた蛍光スプレーに比較して壁面からの反射光を 1/10 にすることができた。

5.3. オリジナルシーディング装置の開発

4.3 節、4.4 節で述べた課題を解決するためにシーディング装置を開発した。開発にあたり時間的・空間的に均一な粒子分布を実現するために、風路全域に粒子を充満させるグローバルシーディングを指向した。そのためには計測時間中に粒子の消滅が起こらないような、長寿命の粒子が要求される。この粒子寿命について基礎試験を実施した結果、粒子の材質として、DOS (Dioctyl sebacate: セバシン酸ジオクチル) が適していることがわかった。

またラージスケール計測において、明瞭な粒子画像を撮影するために粒子径の増大化を狙った。これは粒子からの散乱強度が粒子径の二乗に比例すると考えられるからである。そこで、DOS を用いてラスキンノズルに比較して、粒子径を増大することができる、衝突噴流式二流体ノズルである AKI D [(株) 霧のいけうち] を装置の構成要素として検討した。風洞での粒子状態を模擬するために、小型回流式風洞中にラスキンノズルと AKI D を用いて、それぞれ DOS をシーディングした。その回流中粒子の粒子径を位相ドップラ式粒子径計測装置で計測した。Fig. 8 に、サン

プル数 50000 個での粒子径分布を示す。図の横軸は粒子径を、縦軸は計測された粒子数を示す。縦軸は 150 個以上を表示していない。

このように AKI D はラスキンノズルに比較して、粒子径が大きい粒子が含まれていることがわかる。この結果から回流中の粒子の最大径は $4 \mu\text{m}$ 程度であることがわかる。また AKI D の粒子とラスキンノズルの粒子を用いて PIV 計測を行った場合のピークレシオの比較を Fig. 9 に示す。

これより AKI D の粒子はピークレシオが高くなっていることがわかる。これらのことから粒子径の大きな粒子の割合が増えることにより、ピークレシオが向上していると考えられる。

また PIV 計測は流れに混入されたシーディング粒子の移動量を計測しているため、粒子が流れに十分追従していることが流れの計測精度の観点から重要となる。一般的に粒子径が大きくなると流れへの追従性が悪化する。上述したように AKI D で噴霧された粒子の最大径は $4 \mu\text{m}$ である。この径の粒子の流れへの追従性⁽³⁾を確認した。Fig. 10 は粒子径をパラメータとしたときの流れの変動周波数と粒子の追従性を示したものである。図の縦軸は粒子速度と流れの速度との比である。この図において、例えば流速 100 km/h でドアミラー (代表長さ 0.2 m) まわりを計測した場合、流れの代表的な変動周波数は 140 Hz 程度と考えられる。この周波数では粒子径が $5 \mu\text{m}$ のときに粒子の追従誤

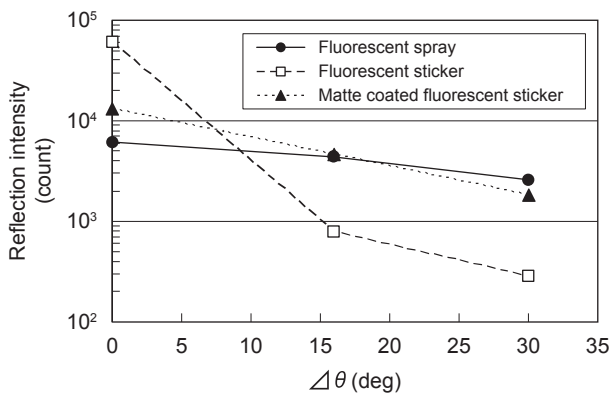


Fig. 7 Comparison of reflection intensity

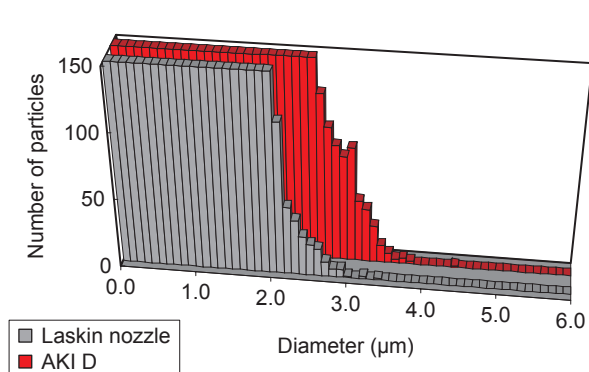


Fig. 8 Histogram of particle diameter

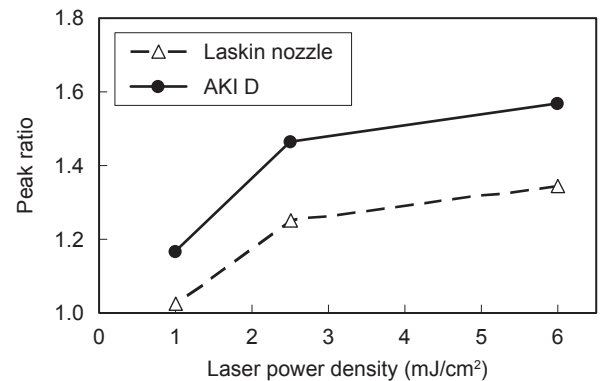


Fig. 9 Comparison of peak ratio

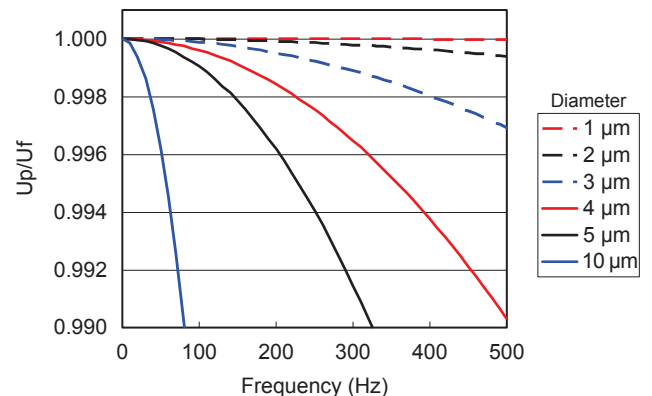


Fig. 10 Velocity lag in periodic air flow

差は 0.2% 程度である。このことから構築した装置でシーディングされた粒子は十分流れに追従することがわかる。

以上より AKI D を用いたオリジナルシーディング装置を構築した。これによって、時間的・空間的に均一なシーディングと、単位面積あたりのレーザ出力が低い場合での明瞭な粒子画像の取得が可能になった。装置を Fig. 11 に示す。計測に必要な粒子濃度に達するまでの時間短縮を狙い、装置は AKI D ノズルを 4 個用いた。それぞれのノズルに加圧した空気及び DOS が供給される。DOS は加圧されたタンクからノズルに供給される。

5.4. オリジナルスキャニングシステムと計測統合ソフトウェアの開発

2 章で述べたステレオスコピック PIV 計測では、二台のカメラの視差を利用して三成分速度を算出するために、カメラの校正が必須となる。このカメラの校正は格子状に校正点を有する撮影対象物（キャリブレーションターゲット）を用いて行う。校正方法としては計測位置にシート光と平行にキャリブレーションターゲットを設置し、それぞれのカメラでそのキャリブレーションターゲットを撮影し解析する。多断面の計測を行う場合、計測断面ごとにこの校正を行う必要があり、作業工数及び計測時間が増大する。そのため本技術では、この作業工数、計測時間低減のためにスキャニングシステムを構築した。Fig. 12 にそのシステムを示す。

このシステムは二台のカメラ及びシート光学系を同軸のトラバースシステムに設置することにより、シート光と二



Fig. 11 Seeding system

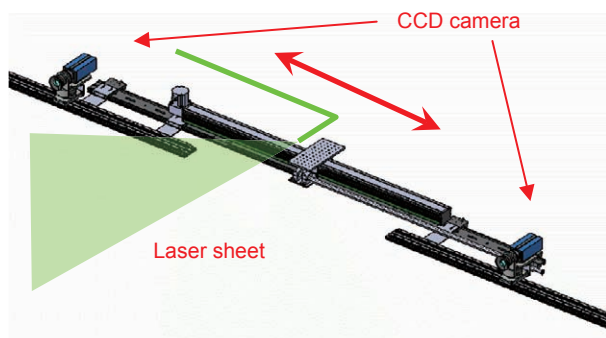


Fig. 12 Scanning system

台のカメラの相対距離を保ったまま任意の位置に移動することができる。このスキャニングシステムを用いることで一回のカメラ校正で多断面の計測が可能となった。またスキャニングシステムでは、トラバース装置、カメラ、レーザ装置及びタイミングコントローラなどの装置を制御する必要がある。そこで、これらの装置を制御する統合計測ソフトウェアを構築し、多断面の自動計測を可能とした。

6. 技術実証試験

6.1. 実車風洞試験

これまで述べてきた技術を実際の風洞試験で実証することを目的に、実車風洞において実車まわりの PIV 計測を実施した。対象とする流れはドアミラー後流とした。ドアミラー後流の計測は横方向から水平断面にシート光を照射し、上部からカメラで撮影する二次元断面における二成分速度計測をおこなった。

また横方向から垂直断面にシート光を照射し、そのシート光をはさみ込む形で二台のカメラを用いたステレオスコピック PIV 計測を実施した。また、このステレオスコピック PIV 計測の計測断面を流れ方向にトラバースしたスキャニングステレオスコピック PIV 計測をおこない、流線追跡や渦構造の抽出などの解析をおこなった。

この実車風洞での PIV 計測では出力 200 mJ/pulse のダブルパルス Nd:YAG レーザ [New wave research] の第二高調波である 532 nm を光源として使用した。粒子画像の撮影には、4008 × 2672 pixel の画素数をもつ CCD カメラ PCO4000 [PCO AG] を使用した。レーザ照射、CCD カメラの露光タイミングはタイミングコントローラ LC880 [Labsmith] で制御した。反射光対策として、Fig. 13 に示すように 5.2 節で述べた蛍光ステッカを車体に貼り付けた。5.3 節で述べたシーディング装置は実車の十分下流の床面に設置した。このシーディング装置を用いてシーディングを行った場合、30 秒程度の時間で計測に必要な粒子濃度に達した。撮影した粒子画像は PIV 解析ソフト Koncerto [西華産業 (株)] を用い、解析時間の短縮を図るために PC クラスタを用いて解析の平行化を行った。



Fig. 13 Car with fluorescent sticker

6.2. 計測結果

Fig. 14 にドアミラー位置における瞬時の二成分速度計測結果を示す。

計測した領域は約 $0.7 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ である。過誤ベクトルは除去し、除去されたベクトルについてはその周囲のベクトルで補間している。

ここでのベクトル取得率は 95% であり、当初の目標を達成した。この図からドアミラー後流が定量的に可視化されており、ドアミラーと同程度のスケールの後流構造が見られる。

Fig. 15 は瞬時速度ベクトルを平均したものである。平均化は Fig. 14 で得られた瞬時速度ベクトルを周波数 0.5 Hz で 100 回計測した結果から算出される。図よりミラー直後の領域で逆流が生じていることがわかる。瞬時速度場で見られた後流構造は平均した流れ場では見られず、この構造は非定常な流れ現象であることがわかる。

このように PIV 計測は定常的な流れ場だけではなく、非定常的な流れ現象も評価することができる。

Fig. 16 にスキャニングステレオピック PIV で得られた、平均三成分速度計測結果を示す。

計測した領域は $1.7 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 程度であり、スキャニングは流れ方向に 60 mm ピッチで 10 断面行った。計測周波数や得られたベクトルの後処理については上記と同様である。各計測断面の計測時間は 200 秒である。流速 100 km/h、ドアミラー寸法 0.2 m を代表長さとした場合、流れ場の特性時間は $1/140$ 秒程度である。各断面の計測時間は流れ場の特性時間に対して十分長い時間であるため、得られた計測結果は定常流の三次元三成分速度場と考えることができ、三次元的な流線追跡が可能となる。

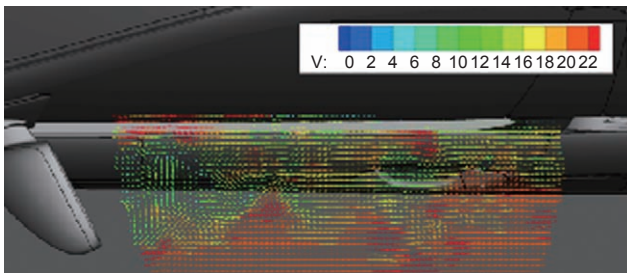


Fig. 14 Measurement result (instantaneous velocity field)

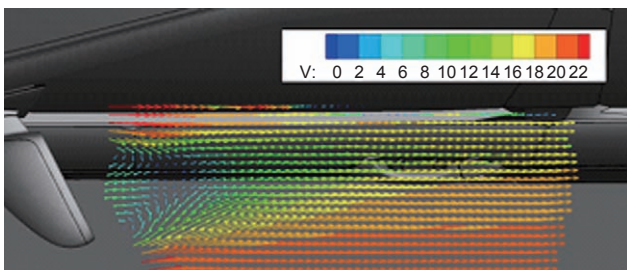


Fig. 15 Measurement result (time averaged velocity field)

代表的な点で流線追跡を行った結果を Fig. 17 に示す。この図からドアミラー後方において、三次元的に渦を巻きながら速度欠損領域が回復していることがわかる。このように複雑な流れ場に対してスキャニングシステムを適用することにより、実現象を実験的に明らかにすることができ、流れ現象の理解を深めることができる。

6.3. 計測及び解析時間の短縮化

3 章で述べたように当初実施していた F1 フロントタイヤ後流の PIV 計測ではベクトル取得率が 20% 程度と低かった。このことから平均流れ場を評価するために瞬時速度場を 400 回平均する必要があったため、解析時間が 1 計測断面あたり 175 分を要していた。

それに対してこれまで述べてきた技術を実車ドアミラーまわりの計測に適用することによって、ベクトル取得率を 95% に向上させることができ、瞬時速度場が評価可能となるとともに、平均流れ場の評価においても粒子画像の取得枚数を減らすことができた。6.2 節で述べたとおり瞬時速度場を 100 回平均することで平均流れ場が評価でき、この場合の 1 計測断面あたりの計測及び解析時間は 15 分であり、当初の目標である 20 分を下回ることができた。時間的・空間的に均一なシーディングの実現及び明瞭な粒子画像の取得によって、粒子画像取得枚数が低減され、かつ反射光低減によって事前の画像処理が不要になったことからこの時間短縮が可能となった。

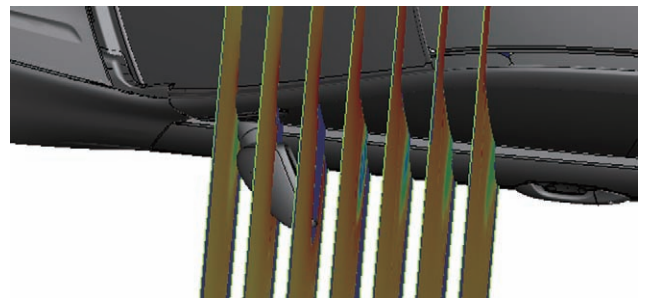


Fig. 16 Measurement result (scanned planes)

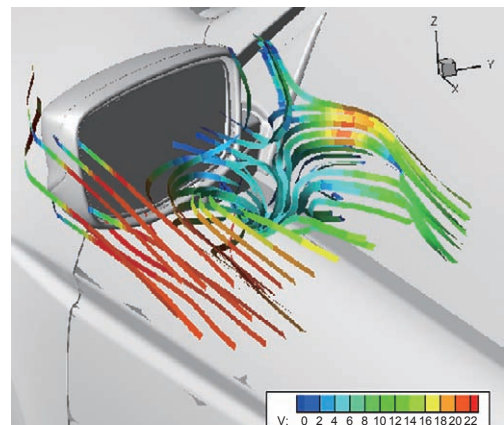


Fig. 17 Streamline around mirror

また三成分計測ではスキニングシステム及び統合制御ソフトウェアを構築することによって、1 回の風洞運転で多断面の計測が可能となった。具体的には 10 断面での計測時間が 24 分となり、目標の 30 分を下回ることができた。これはベクトル取得率向上による粒子画像取得枚数の低減と統合制御ソフトウェアによる操作性向上及び自動計測によるものである。

7. まとめ

四輪実車まわりのような大規模な流れ場を計測可能とするラージスケール PIV 計測技術を確立することができた。この技術実証として実車ドアミラー後流を対象とし、ベクトル取得率 95% で $1.7 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ の領域が計測可能となり、四輪実車まわりの流れ場を実験的に明らかにする手法を確立することができた。

- (1) 計測良否を定量的に判定することが可能な指標であるピークレシオを導入することで、過誤ベクトルが判定できるとともに、さまざまな計測パラメータが計測に及ぼす影響を定量的に評価することができ、計測限界を見極めることができた。
- (2) 蛍光ステッカを使用することで汎用性が高く、従来用いていた手法と比較し、供試体からの反射光を 1/10 に低減する手法を確立できた。
- (3) ラージスケール PIV 計測に適した新たなシーディング装置を開発した。それにより、時間的・空間的に均一なシーディングと、単位面積あたりのレーザ出力が低い場合での明瞭な粒子画像の取得が可能となり、ベクトル取得率を向上することができた。
- (4) ベクトル取得率の向上により、粒子画像取得枚数を低減することができ、二成分計測における 1 計測断面あたりの計測及び解析時間を 15 分にすることができた。
- (5) スキニングシステム及び統合制御ソフトウェアを構築することで、1 回の風洞運転で多断面の計測が可能となり、10 断面の計測時間を 24 分にすることができた。

8. あとがき

PIV 計測はミクロスケールの流れから、今回報告したようなラージスケールの流れまで、種々の流れ場で適用可能である。この PIV 計測を有効に活用することにより CFD の検証はもとよりさまざまな流体现象について実験的に現象解明が可能となり、流体機械の性能向上及び流体力学の発展につながるものと期待している。

参考文献

- (1) Cogotti, A.: Upgrade of the Pininfarina Wind Tunnel-the New "13-Fan" Drive System, SAE Paper, 2006-01-0569(2006)
- (2) 小川厚, 矢野修二郎, 真塩亨, 滝口貴, 中村信介, 新谷満:F1 空力開発手法の紹介, Honda R&D Technical Review F1 Special (The Third Era Activities), p.134-143
- (3) Prestridge, K., Vorobieff, P., Rightley, P., Benjamin, R.: Flow visualizations and measurements of the mixing evolution of a shock-accelerated gas curtain, International Symposium on Shock Waves (ISSW22), (1999)

■著 者■



星野 元 亮



吉 野 崇



福地 有 一



寺 村 実