

レーザ干渉画像法による噴霧流中の液滴位置検出の精度向上

Improvement of Droplet Location Detection in Spray by Interferometric Laser Imaging Technique

80717612 堀江修一 (Shuichi Horie) Supervisor: 菱田公一 (Koichi Hishida)

1. 緒言

レーザ干渉画像法は、空間的な粒径速度同時計測法として、過去に内燃機関の噴霧燃焼に代表される様々な噴霧現象を解明する上で大きな役割を果たしてきた。レーザ干渉画像法の大きな特徴として、非焦点撮像が挙げられる。従来、非焦点撮像画像の中心位置を液滴位置とし、液滴径、速度算出を行ってきたが、この事に関して過去に十分な議論がなされていない。干渉画像法のステレオ化やフリンジ長さを利用した3方向成分への拡張が近年行われているが、2次元位置座標の正確な評価手法がまだ確立されていない。今後、本手法を拡張し、計測法として確立していく上で、2次元位置座標の正確な算出は欠かせない。

そこで本研究では、焦点、非焦点撮像の同時計測を単分散発生装置を用いて行い、非焦点撮像画像の中心位置補正マッピング関数を算出した。作成したマッピング関数を基に、噴霧流の2次元計測を行い、位置補正マッピングを導入した結果、実流動場での速度ベクトルにどのような影響を与えるかを評価した。

2. 計測システム

2.1 レーザ干渉画像法

本研究で用いたレーザ干渉画像法 (ILIDS Interferometric laser imaging for droplet sizing) は可干渉光を照射した際に個々の粒子の周囲に生ずる干渉縞を焦点はずれ面にて記録し、干渉縞の数により液滴径を求める手法である。Fig.1 に実験装置の概略図を示す。ビームスプリッターを用い、反射光と1次屈折光が支配的となる受光にらみ角73度の位置で焦点、非焦点で同時撮像した。光源には波長532nmのダブル発振のNd:YAGレーザを、円偏光、厚さ2mmのシート状にし測定領域に照射した。ビームスプリッターは、透過光、反射光が1:1配分となり、入射した円偏光が維持される無偏光タイプを使用し、画像の取得には画素数1008×1018pixels、各画素の輝度値が10bitのCCDカメラを用いた。本システムの位置精度検証は単分散発生装置を用いた。液滴の生成には蒸留水を用い、噴射圧力0.15Mpa、発生周波数33kHzの条件下で行った。

2.2 Central Discrepancy

フリンジの中心位置を求める際に、Fig.2のような幾何光学的な中心誤差を考慮する。中心誤差は、液滴径の大きさによらず、非焦点距離 k 、液滴のカメラ中心位置からの距離 x による。

3. 位置補正マッピング関数アルゴリズム

非焦点度合いが計測精度に大きく影響を与える本手法では、斜めからの撮像による焦点ズレの問題を解決するため、対象領域、光学系、撮像面のそれぞれが面内で直線上になるシャインフラグ配置を採用した。Figure 3 に位置補正マッピング関数アルゴリズムを示す。

3.1 キャリブレーション: カメラ内座標と実座標の対応付け

対象領域に対して、撮像面が斜めに配置されているので、撮

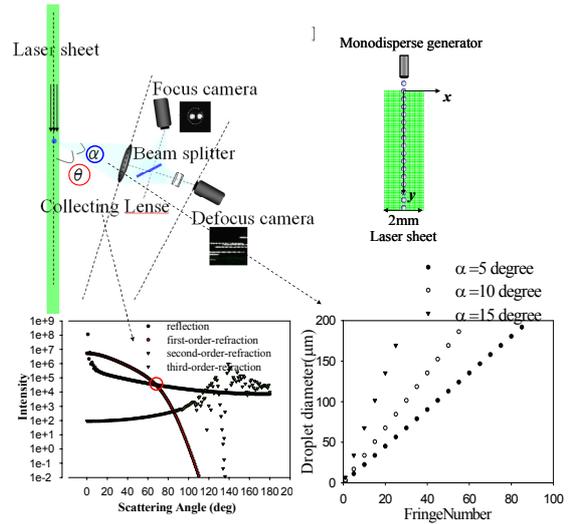


Figure 1: Schematic of the measurement system

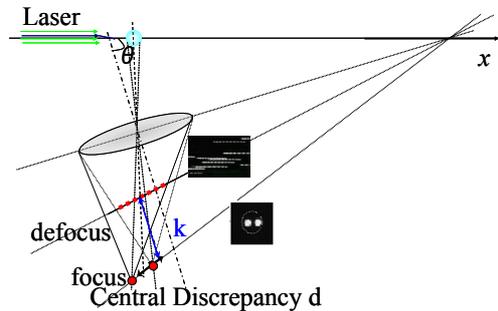


Figure 2 Schematic of the optical system for theoretical prediction of discrepancy in droplet centre between the focal and defocus plane

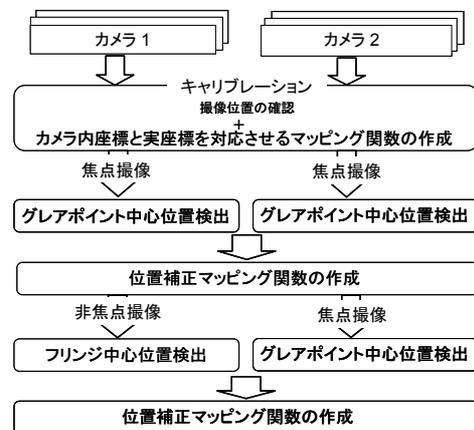


Figure 3: Flow chart of calculation of the central discrepancy

像素子の位置座標によって、素子の大きさが異なる。このため、カメラ内座標と実座標の対応付けをキャリブレーションを用いて行わなければならない。本実験では、集光レンズと撮像素子の距離が十分に大きいので、補正関数を使用せず、撮像素子の大きさを一定とした。

3.2 グレアポイント同時撮像によるマッピング関数の作成

2つのシャインフラグ配置の設計誤差を取り除くため、焦点、非焦点画像の同時計測を行う前に、焦点画像の同時計測を行い、シャインフラグによる位置座標のズレを補正するマッピング関数を算出した。

3.3 焦点、非焦点画像同時計測によるマッピング関数の作成

得られた干渉縞とグレアポイントの中心座標の差分を取り、3.2で算出したマッピング関数を減算し、 x, y 座標による中心位置補正マッピング関数を算出した。

4. 実験結果

4.1 シャインフラグ精度検証

Figure 4にカメラ配置をシャインフラグ配置にした場合と撮像光学系をカメラの撮像面と平行に設置した場合に、非焦点で液滴を撮像した時に得られたフリンジ長さを算出した結果である。シャインフラグ配置において、 x 方向位置によるフリンジ幅が1/5程度に収まっており、本光学システムの妥当性が示された。

4.2 位置補正マッピング関数

焦点面で同時撮像した結果をfig.5に示す。位置補正マッピング関数を、横軸 x 、傾き θ 、ズレ d の3つのパラメーターを下記(1)式から算出した。焦点、非焦点同時撮像で得られた中心誤差から、位置補正マッピングを減算した結果をfig.6に示す。マッピング関数処理後では中心誤差の y 方向成分の影響が1/7程度に収まり、マッピング関数の妥当性が示された。

$$\begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_R \\ y_R \end{pmatrix} + d \dots (1)$$

4.3 位置補正マッピング関数を用いた精度検証

単分散装置をある基準角度に傾けた状態とその基準角度から更に20度傾けた状態の2条件下で液滴を発生させ、フリンジ中心位置を算出した。フリンジから得られた液滴位置を、fig.6で得られた中心位置補正マッピング関数を加えて、再度評価を行った。検証結果をFig. 7に示す。速度ベクトルの位置の補正に加え、ベクトルの傾きが10%ほど向上した。

5. 結言

斜めからの撮像による焦点ズレの問題を解決するため、受光系をシャインフラグ配置とした光学系において、焦点画像と非焦点画像の同時計測により、中心位置補正マッピング関数を算出した結果、以下の知見を得た。

- (1) シャインフラグ配置により、 x 方向位置によるフリンジ幅が1/5程度に収まっており、本計測システムの妥当性が示された。
- (2) マッピング関数処理後では中心誤差の y 方向成分の影響が1/7程度に収まり、マッピング関数の妥当性が示された。
- (3) 非焦点画像から得た速度ベクトルに位置補正マッピングを施した結果、ベクトルの位置補正に加え、速度ベクトルの傾きが10%ほど向上した。

参考文献

- [1] M. Sommerfeld et al., *Int. J. Heat Fluid Flow*, 19, (1998), 173-186
- [2] Maeda M. et al., *Exp. Fluids*, 33, (2002), 125

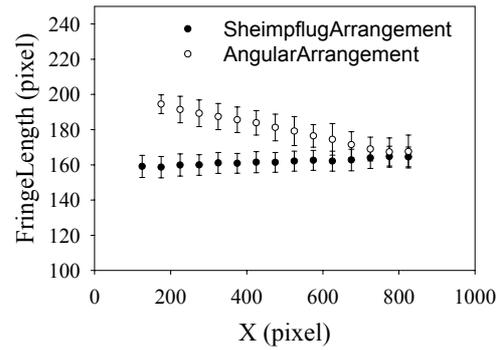


Figure 4: FringeLength in horizontal direction

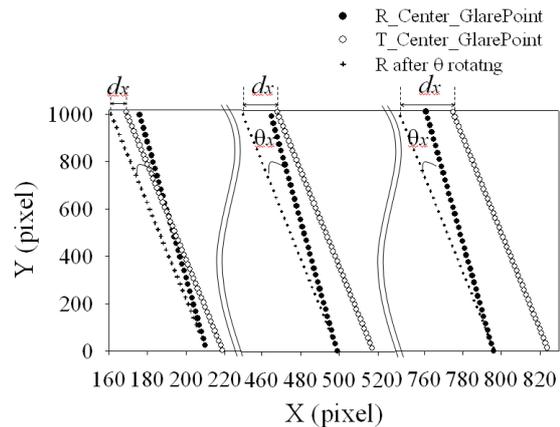


Figure 5: GlarePoint Mapping Function in horizontal direction

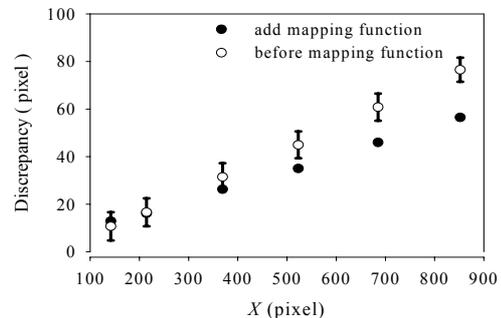


Figure 6: Droplet central discrepancy in horizontal direction

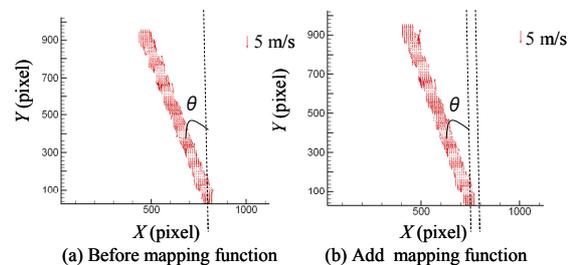


Figure 7: Velocity vectors for the monodisperse case