

流れ場の 3 次元的可視化手法の開発 (第 2 報)

A device for three-dimensional imaging of flow fields (2nd Report)

○川邊 健太¹, 原田 大哉¹, 村松 且典², 大竹 智久²

Kenta Kawabe, Hiroya Harada, Akinori Muramatsu, Tomohisa Ohtake

We need a method for three-dimensional flow-visualization, since a flow is generally developing in three-dimensional field. We designed a system for three-dimensional imaging of flow field using a planar laser Mie-scattering, a Galvano-scanner mirror and a high-speed video camera. A three-dimensional image is constructed by the recorded two-dimensional images using a PC by image processing.

1. 緒言

流れの空間的な発達過程は 3 次元的に変化することから、流れ場の空間構造を把握するためには 3 次元的に可視化することが望まれている^[1]. 特に、サイドジェット^[2]のように時間・空間的に複雑に変化する流れ場を理解するためには、流れ場の瞬間的な 3 次元構造の時間的な変化を視たいと考えている。

可視化したい流れ場に流れに追従する煙などの微小な粒子を混入し、レーザーシート光によるミー散乱光により、流れ場の断面構造を可視化することができる。ほぼ同時に多数のレーザーシート光により可視化された断面画像を積層することにより流れ場の 3 次元的な可視化画像が取得することができる。可視化したい対象は、直径 8 mm 程度のノズルから噴出した噴流のノズル近傍の領域である。可視化する範囲は少なくとも 50 mm×50 mm×50 mm の立方体の領域となる。可視化する流れ場の断面の幅は 1 mm とした^[3]. 高速で断面画像を取得できる光学系の構成を検討した結果、費用対効果を考慮して振動ミラー方式^[1]を採用した^[3]. 図 1 のようにレーザー光源から出たレーザー光を、レーザ

ーラインジェネレーターレンズを用いてシート光に変え、ガルバノスキャナーに取り付けた鏡を振動させることによってレーザーシートを高速走査する。可視化した多数の断面画像を高速カメラによりほぼ同時に記録する。

レーザー光にはそれぞれ固有の拡がり角が存在し光源からの距離が離れるほどレーザーの径および厚みは増してしまう^[4]. レーザー光の拡がり角を考慮した光学系を設計しなかったために流れ場内に作成されたシート光の厚みが 4 mm 厚くなった^[5]. 上記の光学的な問題を解決するために図 2 に示されるように、レーザーラインジェネレーターレンズのあとに凹型シリンドリカルレンズでレーザー光を拡げてレーザーの拡がり角を減少させ 2 枚目の凸型シリンドリカルレンズでノズル近傍に焦点を結ばせ、レーザー光の拡がりを抑えることにした。この結果、シート光の厚みは約 1 mm となり^[5], 本研究での要求を満足するものとなった。

本研究室で所有しているレーザー光源は、光ファイバーに接続するために図 3 のようなアクロマートレンズを内蔵している。すなわち、レーザー光源の光を収束させ、光ファイバーに入射させるようになっている。これまでは、このアクロマートレンズを取り外して実験を行っていた。しかし、他の実験では光ファイバーを使用することと、レーザー光源のアクロマートレンズの取り付け・調整が容易ではないという理由からアクロマートレンズを取り外さないで済ませたいと考えている。また、光学系を構成するレンズ等の素子が増えたため、レーザーシート作成のための調整が困難となってしまった。今年度は以上の問題点を解決することで、光学系の調整時間の短縮をはかり、より明瞭な 3 次元化した画像を取得できるようにしたい。

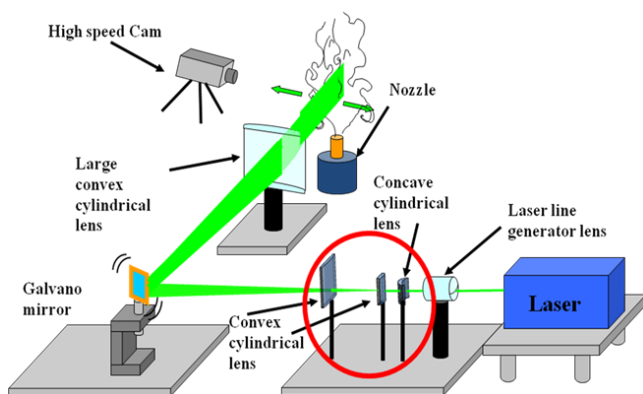


Figure 1. Experimental apparatus

2. 実験装置の改良

本年度は図 4 のように実験装置に改良を加えたレーザー光源本体のレンズにより拡がる光を収束させ平行光にするために図 3 に示すレンズ光学系を加えた。アルミフレームでガルバノミラーまで 1 ユニットの土台を作成することで、レーザー装置から光路を一直線にし、複数に分かれていた光学ユニットを 1 つにした。これにより、実験準備のための調整にかかる時間の短縮することができる。

さらに本年度より、高速で感度の高い高速度カメラを新たに導入したので、今後の研究に更なる飛躍が見込まれる。

3. コンピュータによる画像処理

これまで、画像処理に MATLAB を使用していた^[3]^[5]が、断面画像の閾値調整などの各種調整の不便さ、3 次元画像を表示させたときに PC がフリーズする問題、処理出来る PC が限られる問題があり、新たにフリーソフトウェアである画像処理専用ソフト Image J を用いることにした。

この処理では、2 次元断面の画像データを積層させ、3 次元の画像データを取得する^[5]。その処理過程の流れは、3 次元化した際に更に微細構造を把握できるよう、取得した 2 次元断面画像に輪郭抽出画像処理を行う。処理した画像を積層させ、奥行方向に双三次補間法を用いて補間する。ここで双三次補間法とは前後断面画像の輝度値情報から、補間画像の輝度値情報を計算するものである。

以上の手順で 5 枚の画像を 100 枚に補間し、3 次元化したものを図 5 に示す。

4. 参考文献

- [1] Smith, A. J. and Lim, T. T., Flow Visualization, Chap. 2, Imperial College Press, (2000).
- [2] 熊野・小林 他 2 名, サイドジェットが発生条件, 第 57 回日本大学理工学部学術講演会予稿集, (2013)
- [3] 平間・池田・村松, 流れ場の 3 次元的可視化手法の検討, 第 54 回日本大学理工学部学術講演会予稿集, (2010)
- [4] 安藤, Anfo world : レーザーライトシートの作り方 <http://www.anfoworld.com/LLS.html>
- [5] 古市・平間・村松, 流れ場の 3 次元的可視化手法の開発, 第 55 回日本大学理工学部学術講演会予稿集, (2011)

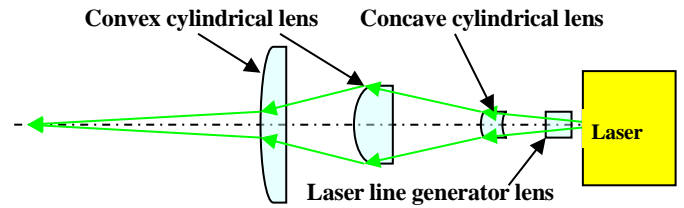


Figure 2. Laser beam expanding system

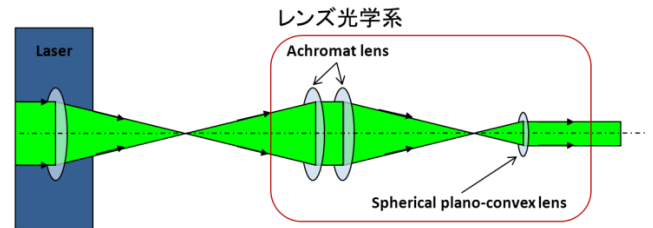


Figure 3. Achromat lens system

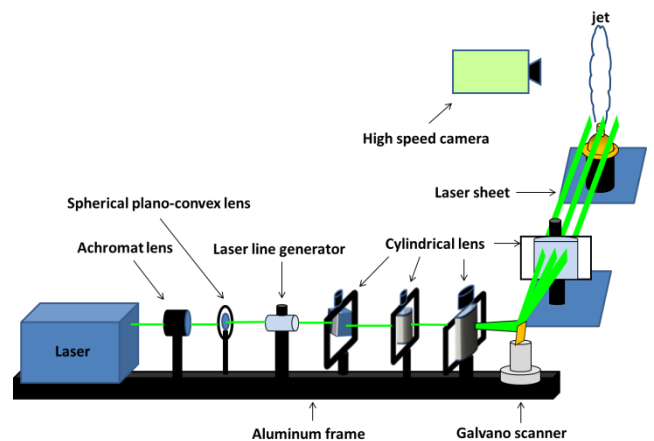


Figure 4. Improvement experimental apparatus

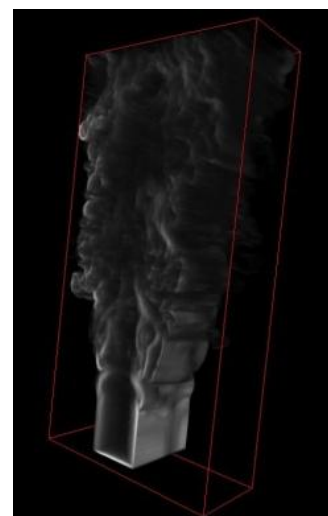


Figure 5. Three-dimensional imaging of jet