

K3-47

流れ場の 3 次元的可視化手法の検討

A design for three-dimensional imaging of flow fields

○平間 健吾¹, 池田 裕貴¹, 村松 且典²
Kengo HIRAMA, Hiroki IKEDA, Akinori MURAMATU

Since a flow is generally developing in three-dimensional field, we need a three-dimensional flow-visualization. We conceptually designed a system for three-dimensional imaging of flow field using a planar laser Mie-scattering. Various methods for scanning a laser sheet are compared by required conditions. A three-dimensional image is made of two-dimensional images using a PC.

1. 緒言 流れの空間的な発達過程は一般的に 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流れ場を 3 次元的可視化すること⁽¹⁾が望まれている. 本研究では, 可視化の対象とする流れ場の領域についてレーザシートを走査することで, 散乱粒子を混入した流れ場をミー散乱により可視化した多数の断面画像をほぼ同時に記録し, 画像処理によって 3 次元化することを考えている. 噴流を対象とした可視化システムについて, ハードウェアおよびソフトウェアの両面から検討を行った.

2. 実験装置の検討 可視化装置の要求条件を示すと, 直径 10 mm 程度のノズルから噴出した噴流のノズル近傍の領域を可視化対象として考え, 可視化する範囲は 50mm 立方とする. レーザシートの厚みは 1 mm 程度ととなるので可視化する流れ場の断面の間隔は 2 mm とする. また, 所有するレーザ光源の出力を考慮して, 撮影速度は 1000 fps とする. 実験装置はレーザシート光を走査させる方法により以下に示す 5 種類を検討した.

(1) ドラムスキヤナ方式 図 1 に示すように, ドラムの側面にらせん状に鏡(またはプリズム)が配置され, 回転によりシート光が走査される. カメラの露光時間中はドラムの回転を止めなければならない. 連続回転でスキャンするには鏡(プリズム)に曲率をもたせる必要がある.

(2) マルチレーザシート方式 ひとつのレーザ光を走査するのではなく, 多数のレーザ光源から多数の平行なシート光を作り, レーザ光源の動作の切り替えにより走査する方式である.

(3) リニアアクチュエータ方式 図 2 に示すように, リニアアクチュエータに撮影用カメラとレーザシート光を作るための鏡やレンズをのせて流れ場を走査する方

式である. カメラとレーザシート光の間隔が常に一定に保たれるため, 他の方式に比べると鮮明な画像の取得が行える.

(4) ベルトコンベア方式 図 3 のように, ベルトに鏡(プリズム)を取り付けて移動することにより連続して走査をすることができるが, ベルトを高速回転させると振動が発生し, シート光の位置が安定しない恐れがある.

(5) 振動ミラー方式 図 4 のように, ガルバノメータあるいはモータに取り付けた鏡を振動させてレーザシート光を高速で走査する. その一方で走査光を平行にするためにシリンダリカルレンズが必要になり, (1)~(4)の方法に比べ, レーザシートの光の強度が減少する.

それぞれの方式の比較を表 1 に示す. 表 1 に示した

Table 1 Specifications of various scanning methods.

| System No. | Mode | Scanning speed | Retrace Time | Cost |
|--------------|----------|----------------|--------------|--------|
| (1)Drum | Discrete | <3(m/s) | - | 150 万円 |
| (2)Multi | Discrete | - | - | 1.0 億円 |
| (3)Linear | Moving | <5(m/s) | 0.1(s)~ | 90 万円 |
| (4)Belt | Moving | <10(m/s) | 7.1(ms)~ | 40 万円 |
| (5)Oscillate | Moving | <40(m/s) | - | 65 万円 |

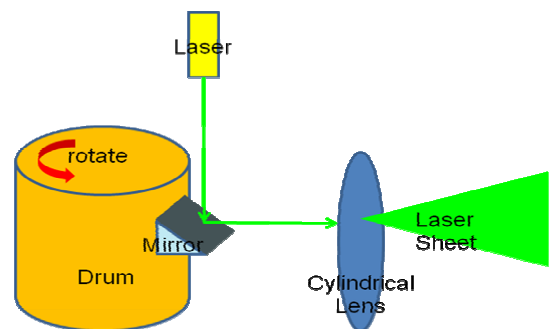


Figure 1 Drum scanner system.

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・教員・航宇

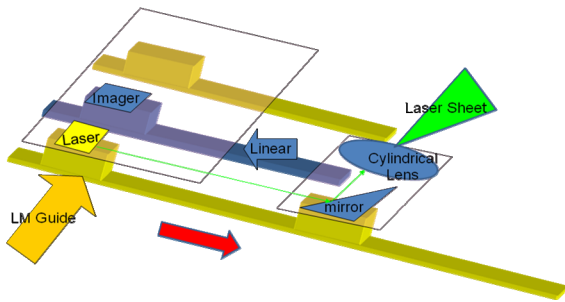


Figure 2 Linear actuator system.

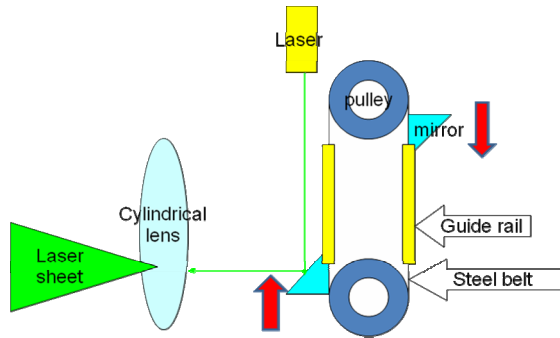


Figure 3 Belt conveyor system.

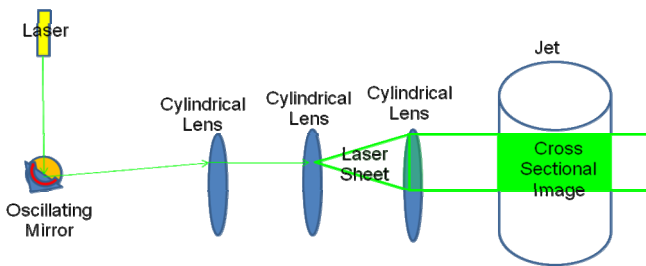


Figure 4 Oscillating miller system.

諸元はそれぞれ企業との相談により得られた概略の見積りである。走査方式はカメラの露光時間中にレーザーシート断面が移動しているものを Moving, 停止しているものを Discrete と表した。ここでは気体噴流を対称としているので、走査速度は大きく、リトレース時間は短いものが適しているといえる。また、コスト面にも大きな差が見られ、与えられた予算内では、振動ミラー方式が優れているとみなせる。以上の比較検討から、ここでは振動ミラー方式を採用することにした。

3. コンピュータによる画像処理 この処理では、2次元断面画像データを積層させ、3次元画像データを取得する⁽²⁾。その処理工程の流れ図を図5.に示す。すなわち、

- (1) デジタル高速度カメラで取得した2次元断面画像データの画素がもつ色彩情報を輝度値として表現する。
- (2) 連続している2つの2次元断面画像データの内、一方向に対して位置的に同位置であり対応する2つの

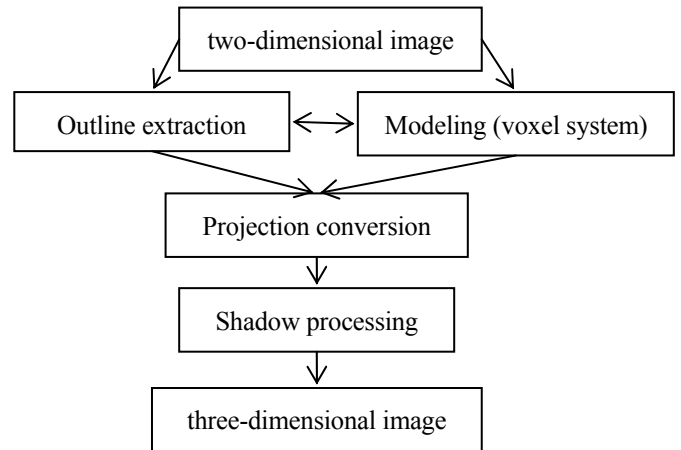


Figure 5 A flow chart for image processing.

画素を用いてボクセル法⁽²⁾を実行する。ボクセル法とは横断画像を多数積み重ね、立体的な画素としてのボクセル空間を作成し、3次元画像の各画素の輝度値をこのボクセル値の計算により行うものである。つまり、対応する2つの2次元断面画像データの画素が持つ輝度値を元に、画素のサイズと等しい面を持つ立方体のボクセル空間の輝度値を決定するのである。その際、輝度値の決定に用いる計算は直線補間とする。

(3) 3次元画像における噴流の輪郭抽出を行う。これは先のボクセル法において輝度値に閾値を設定し、それ以下またはそれ以上の値のボクセルを選別することにより実現する。

(4) ボクセル化されたデータを観察する視点方向に投影して、視点から見た形状や前後関係を計算する処理として投影変換を行う。この投影変換の手法としては、投影面の画素位置それぞれからレイを延ばし、輝度計算をするレイキャスティング法⁽²⁾を用いる。その結果、陰面消去を自動的に成すことができる。

(5) 陰影処理を行う。視点から物体表面を観察したときの表面の輝度を計算する処理である。

以上の処理により3次元画像データを取得できる。この処理を簡易的に行うために市販のソフトウェア MATLAB とその画像処理用のツールである Image Processing Toolbox を使うことにした。このソフトウェアは画像処理、解析、可視化、アルゴリズム開発に特化でき、上述の処理を行う際に優れているからである。

参考文献

- (1) Smith, A. J. and Lim, T. T., Flow Visualization (Techniques and Examples), Chap. 2, Imperial College Press., (2000).
- (2) 市川勝弘, CT における三次元画像処理の基礎技術, 日本放射線技術学会雑誌 第56巻 第6号, (2000).