

# 超音速定常流れにおけるラバールノズルを用いた観測システムの開発

Development of photography measurement system for steady flow field from the Laval nozzles

ME27 白井碧都

指導教員 稲毛達朗

## 1. 緒言

現在、流体现象を定量的に計測する手法としてPSP(Pressure-Sensitive Paint)法、PIV(Particle Image Velocimetry)法、BOS(Background Oriented Schlieren)法などが用いられている。PSP法は流体計測の際に用いられる手法として主流であるが、計測範囲が物体近傍の流れに限定されてしまう。また、PIV法も流体計測に用いられるが、計測手法として粒子を流れ場に流すことで流速を計測するため、粒子の慣性が働く超音速流れ場では、粒子が流れを追従できない。従って超音速流れ場の計測は可能である。そこで、本研究では、高度な画像処理が必要になるため一般には普及していないが、流れ場全体の定量密度計測が可能でBOS法を用いる<sup>[1]</sup>。BOS法は超音速流れ場の密度変化による屈折率の変化を利用して光を屈折させ、その光を撮影し計測を行う手法である。そのため、密度変化が生じていない場合においては測定することできない<sup>[2]</sup>。そこで音速を超える定常的な流れ場を実現可能なラバールノズルを製作することでBOS法を定常現象に適用し、観測対象の拡大を試みる。本報告では、ラバールノズルの設計及び製作に関する取り組みについて報告する。

## 2. 研究のアプローチ

図1に本研究の実験装置概要を示す。図1に示すコンプレッサーによって乾燥空気を充填し、レギュレーターによって圧力を0.8[MPa]に調整する。バルブを解放し、圧縮空気がラバールノズルを通過するチョーク流れによって流速が亜音速から音速に加速し、出口付近では超音速まで達し観測部へと放出される。放出された衝撃波が背景の縞模様を通過する様子をカメラにより撮影し、参照画像と比較することで密度勾配を算出する。今回製作したラバールノズルの材料は加工しやすいワックス材を用いた。ノズルの設計はMathematicaを使用しており、設計マッハ数を決定するだけでノズルの曲面作成可能な点の特徴である。製作したラバールノズルは2つの曲線式から成り、前半の曲線はノズル半径と変化率を与えると一意に決定する3次関数より求まる。後半の曲線においては、場所によりマッハ数が異なるため各点ごとに座標をプロットし

ながら曲面を作成する。また、NASAから無償提供されているMOC Nozzle Simulationというアプリケーションを用いてラバールノズルの制作を行った。

$$y = y_0 + \frac{\tan \theta_1}{x_1} x^2 \left(1 - \frac{x}{3x_1}\right) \quad (1)$$

$$x = r \cos \theta + l \cos(\theta + \alpha) + (x_1 - r_1) \quad (2)$$

$$y = l \sin(\theta + \alpha) + r \sin \theta \quad (3)$$

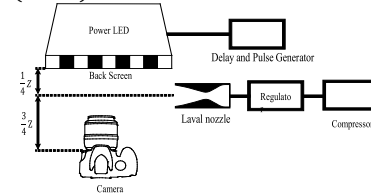


図1 実験装置概要

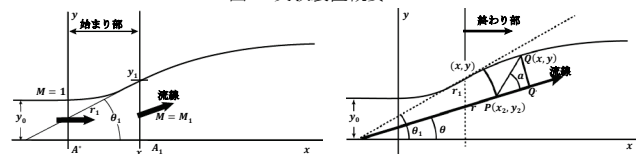


図2 ノズル制作における始まり部と終わり部

## 3. 結果

図3に示す様にBOS法によってノズルによる密度変化を確認することができた。また、ノズル出口付近において物体を近づけると張り付く現象が確認されたためノズル出口付近では圧力が大気圧以下である。

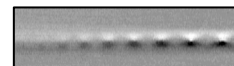


図3 BOS法によるノズルの密度変化

## 4. 結論

設計したノズル出口付近において大気圧より圧力が低いことから過膨張であり、ノズルの長さが長すぎる可能性がある。また、噴流が離散していることから圧縮波と膨張波を相殺できていない。

## 5. 今後の発展

ノズル壁面で発生する圧縮波を打ち消すように設計する「終わり部」の設計過程を見直し超音速定常流れ場の発生が可能なラバールノズルの開発を今後の展望とする。

## 文献

- [1] Measurement Science and Technology: "QUANTITATIVE 3D DENSITY MEASUREMENT OF SUPERSONIC FLOW BY COLORED GRID BACKGROUND ORIENTED SCHLIEREN TECHNIQUE", Masanori OTA, Kenta HAMADA, Kazuo MAENO, Vol22, No10, pp1-6, 9 September 2011
- [2] 太田匡則, 濱田健太, 前野一夫: "Colored-Grid Background Oriented Schlieren(CGBOS)法による軸対称まわりの超音速流れ場に対するCT密度計測", 可視化情報学会論文集, Vol.31, No.9, pp.51-56, 2011年9月