

衝撃波を含む非定常流れ場における BOS 法を用いた 撮影計測システムの開発

Development of a photographing measurement system using the BOS method in
an unsteady flow field including shock waves

ME03 伊藤拓海
指導教員 稲毛達朗

1. 緒言

コンコルドをはじめとする超音速旅客機では騒音問題や空力加熱、燃費の悪さなどが懸念されており、問題となっている超音速著各期では数値解析による流れ場のシミュレーションと小型モデルを用いた模擬試験を行うことによって設計されている^[1]。模擬試験は風洞装置を用いた定常状態での解析が主であるが、超音速旅客機の加速時に発生する衝撃波は非定常状態である為、定常状態での実験結果だけでは設計において不十分であるといえる。また、衝撃波現象をとらえることが可能なハイスピードカメラは高価であり、一般的なデジタルカメラで撮影する技術は、現状において不十分であるといえる。そこで本研究では、BOS (Background oriented schlieren)法を用いて衝撃波を含む非定常流れ場を簡素な光学装置により安価に定量計測することを目的とする。

2. 研究のアプローチ

図1に本研究の実験装置概要図を示す。衝撃波管の高圧部に空気を4気圧まで充填し、電磁弁によってピストンを高速で動作させることで空気が高圧部から観測部である大気中へ高速で放出される。図1のように観測部付近に設置されている2つの圧力センサから衝撃波の通過により発生する圧力信号によって観測部の光源を発光させると同時に衝撃波の速度を計測する。DPG(Delay and Pulse Generator)は圧力センサによる圧力信号に対する遅延パルスを生成する装置である。この信号を増幅し、暗室で光源を発光させることで撮影を行う。

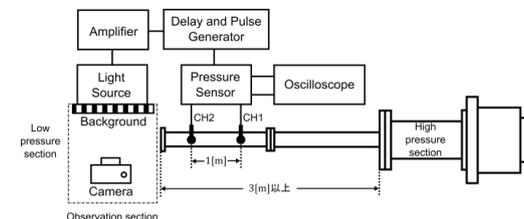


図1 実験装置概要

BOS 法によって撮影された画像における密度勾配の積分値 I_ρ は式(1)によって表される^[2]。背景画像から密度勾配までの距離を l_b 、密度勾配からカメラまでの距離を l_c 、カメラの焦点距離を f 、 G を Gladstone-Dale 定数、 ρ を密度、撮影画像に垂直な座標軸を r とする。

$$I_\rho \cong \int_{l_b - \Delta l_b}^{l_b + \Delta l_b} \frac{\partial \rho}{\partial r(x,y)} dl = \frac{G \rho_0 + 1}{G} \frac{l_b + l_c - f}{l_b f} \quad (1)$$

撮影した画像に対してヒストグラム調整、ガンマ調整を行った後、任意で RGB のそれぞれのチャンネルに対してマスキングを行う。次にグレースケール化と2値化を行い、細線化を行う。細線化された後の線の幅を読み取り、密度変化が起きている状態の画像と起きていない状態の画像を比較することで密度勾配の積分値を求めていく。

3. 結果

フラッシュランプの点灯速度を撮影可能な光量を維持して300[ns]まで短くすることができた。また、圧力センサをトリガーとして任意の遅延時間で発光させ、非定常超音速流れ場を撮影して密度変化による縞の移動を計測することができた。さらに、撮影した画像に対して画像処理を行うことで密度変化による縞の移動量を取得することができた。図2に、画像処理によって取得した縞の移動量より可視化した開口端部付近の衝撃波を示す。

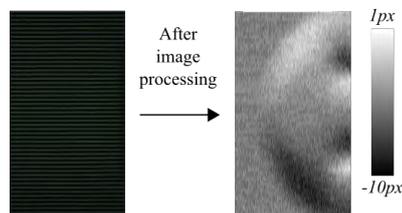


図2 画像処理により得られた結果

4. 結論

製作したフラッシュランプを用いて非定常超音速流れ場を撮影し、画像処理を行うことで密度変化による縞の移動量を計測することができた。これらの実験装置を用いることにより、衝撃波を含む非定常流れ場の撮影計測が可能である。

5. 今後の発展

撮影された画像に光量のばらつきが見られる為、フラッシュランプの光量が一定となるようにする必要がある。また、現状の結果よりも解像度の高い結果を得るために背景画像の縞間隔の適正值を求めていくこと、取得した縞の移動量から密度勾配の積分値を求めていくことを今後の展望とする。

文献

- [1] 航空機国際共同開発促進基金：“極超音速旅客機の実現に向けた研究開発”，解説概要24-4，pp.1-9，平成24年度
- [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