

(タイトル) 3D-BOS法による超音速衝突ジェットの可視化

(関係者氏名) 赤嶺政仁, 長谷川尚也, 橋野渚, 寺本進 (東大工学系), 岡本光司 (東大新領域)

実験期間: 2023年10月30日から11月2日, 11月6日から11月10日, 2024年2月13日から2月16日

(報告・成果の内容)

ロケット打上げ時には、ロケットエンジンのノズルから噴出する超音速ジェットが、射点の火炎偏向板へ衝突する。このとき発生するきわめて強い騒音は、搭載された人工衛星等を激しく振動させ、電子機器の破損等を引き起こす可能性がある。このような騒音を効率的に精度よく予測するためには、超音速衝突ジェットにおける騒音の発生メカニズムを解明し、モデル化する必要がある。筆者らはこれまで、火炎偏向板を模擬した斜め平板へ超音速ジェットを衝突させる実験を柏風洞で行い、マイクロホンやシュリーレン法を用いた計測で音波の特徴を調べてきた。しかしながら、音波を生み出す流れ場については、強い三次元性のため理解が限られてきた。そこで現在、広範囲の瞬時密度場の光学的な3次元計測を可能にする3D-BOS法 (Three-dimensional Background-Oriented Schlieren法) の衝突ジェット計測への適用に取り組んでいる。従来の3D-BOS法では、光を遮り多方向光学計測を妨げる壁面近くの計測は困難であったが、筆者らは鏡面反射型3D-BOS法[1]を構築することで、壁面との距離によらない計測を可能にした。本年度は、実際に衝突ジェットの計測を行うことで、鏡面反射型3D-BOS法を実証することを主な目的として実験を行った。

実験セットアップを図1に示す。画像中心部のノズルから右方向へ出たマッハ1.8適正膨張ジェットが、火炎偏向板を模した45度斜め平板へ衝突する。斜め平板上には鏡面が貼られており、そこに反射した背景パターンの鏡像を16台のカメラで同時撮影する。このときジェットの密度場によって光が屈折し、カメラ上では背景パターンの像が揺らぐ。この揺らぎの大きさは、光路上のすべての密度分布による屈折の積算値に対応しており、全カメラの揺らぎのデータに医療用CTと同様の解析を行うことで、積算される前の3次元密度場を再構成できる。昨年度までの予備試験の結果にもとづいて、本年度は鏡の大きさや背景パターン・カメラ位置等について改良を加えた。その結果、衝突部に形成される衝撃波構造を捉えることに成功し、その概形が従来のシャドウグラフ法での2次元可視化結果や壁圧計測結果と整合性を持つことを確認した[2]。さらに、マイクロホンとの同時計測を行ったところ、得られた3次元密度場が音圧信号と相関を持つことも示唆された[3]。今後は、カメラ配置等の最適化で結果の更なる改良を試みるとともに、マイクロホン位置を変えることなどで、3次元密度場の変動と音との関係をより詳しく調べる予定である。

この他関連する現象として、衝突前のジェット剪断層の変動についての理解を深めるため、自由噴流を対象とした3D-BOS法とマイクロホンアレイとの同時計測実験[4]も昨年度に引き続き行い、装置改良等も進めている。

成果の発表先、関連文献等

[1] Masahito Akamine, Susumu Teramoto, and Koji Okamoto, "Formulation and demonstrations of three-dimensional background-oriented Schlieren using a mirror for near-wall density measurements," *Experiments in Fluids*, Vol. 64, No. 7, p. 134, 2023. doi: 10.1007/s00348-023-03672-1

[2] 赤嶺政仁, 寺本進, 岡本光司, "鏡を用いた背景型シュリーレン法による壁面近傍の三次元密度場計測実験," 日本流体力学会 年会2023.

[3] 赤嶺政仁, 長谷川尚也, 橋野渚, 寺本進, 岡本光司, "鏡面反射型 3D-BOS 法による超音速衝突ジェットの3次元密度場計測と音響相関解析," 第43回流力騒音シンポジウム, 2023.

[4] Masahito Akamine, Susumu Teramoto, and Koji Okamoto, "Microphones and Three-dimensional Background-Oriented Schlieren Measurements of an Ideally Expanded Supersonic Jet," *AIAA SciTech 2024*, AIAA-2024-2101, Orlando, Florida, 2024.

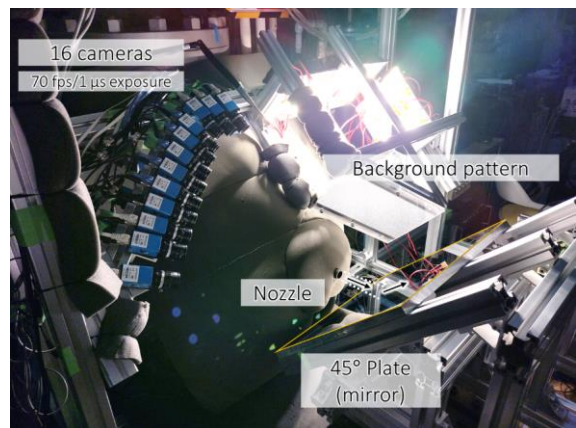


図1 鏡面反射型 3D-BOS 法による衝突ジェット計測のセットアップ