

ダブルパルス3D-BOSによる超音速フリージェットの可視化

赤嶺政仁, 林悠游, 市川豪士, 上出紘瑛, 大森拓真, 大山琢登, 沖竜空, 小原丈, 高巢凌吾, 遠藤快晟, 岡本光司, 寺本進(東京大学)

実験期間: 2024年9月24日から10月4日まで

(報告・成果の内容)

背景と目的

高速ジェットからは強い音波が生じ、航空機やロケットなどで主要な騒音源となるため、予測や低減に向けた音源のモデル化が求められる。超音速ジェットでは、乱流剪断層中に比較的寿命の長く大規模な構造(コヒーレント構造)が生じ、これが超音速で流されることでソニックブームと同様の音波が形成されると考えられている(Mach wave radiation)。このとき生じる音波(Mach waves)の周波数や強さといった特徴は、コヒーレント構造の挙動、たとえば、どこで生じるか、どのような形状をしているか、どの程度の寿命にわたって持続するかなどによって決まる。コヒーレント構造はノズル内壁の細かな乱流変動から発達すると考えられ、軸対称性や周期性を持つとは限らない。したがって、コヒーレント構造のモデル化に向けた挙動解明には、流れ場の時間変化の3次元計測が必要である。

筆者らはこれまで、3D-BOS(Three-dimensional background-oriented schlieren)法と呼ばれる手法を用いて、ジェットの3次元場計測に取り組んできた[1]。密度勾配での光の屈折による、流れ場背景の揺らぎをカメラで多方向から撮影し、computed tomography解析により3次元場を再構成する。低フレームレートのカメラを用いた瞬時場計測により、ジェット境界のコヒーレント構造を含んだ変動を捉えることに成功している。これを踏まえて今年度は、ダブルパルス3D-BOS計測(連写)により、ジェット境界の変動の時間変化を捉えることができるか調べることを目的とした。

実験手法

東京大学柏キャンパス極超音速・高エンタルピー風洞の燃焼風洞ラインに、出口直径20 mmの軸対称ノズルを取り付け、非加熱のマッハ1.8適正膨張ジェットを生成した。図1のようにジェットの周囲に3D-BOS光学系を設置した。上半分に背景パターンとLED光源、下半分にカメラ(The Imaging Sources, DMK33GX-273)が設置されている。カメラは2台ずつ8組の計16台であり、各組でハーフミラーにより光路を分岐して画角を揃え、ディレイを設定して連写する。露光時間1 μ s, フレームレート70 Hzで計1000 - 2000枚の画像を撮影した。また、ジェット下流側にマイクロホン24本の周方向リングアレイも設置して、音の波形も同時計測した。

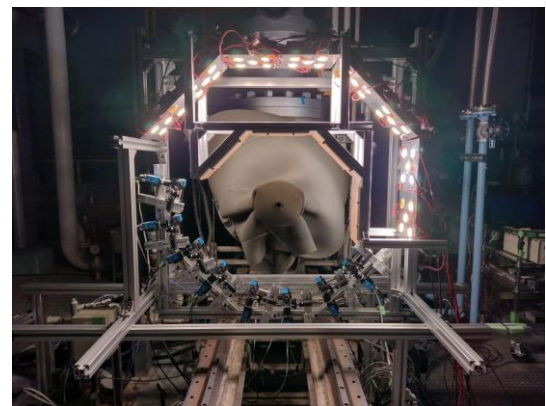


図1 ダブルパルス 3D-BOS 計測に用いた光学系

結果と展望

連写間隔を変えて計測を行った。まず連写間隔0 μ s(同時撮影)の場合に同じ計測結果が得られるかを調べたところ、画角の違いによる多少の差異はあるものの、ジェット境界の変動やマイクロホンとの相関等は同様なことが確認された。連写間隔が短い場合(10 μ s程度)とした場合は、ジェット境界の変動はほぼ形を保ったまま一定距離流されることを確認した。連写間隔が長い場合(50 μ s程度)にも、一部の変動は形を保ったまま流される様子が観察され、これがコヒーレント構造だと考えられる。今後これらの特徴や頻度、出現条件等をより詳細に調べることで、コヒーレント構造のモデル化につながる。より詳細な特徴づけのため、動的モード分解等の解析手法の適用可能性検討も合わせて取り組んでいる。

関連文献等

[1] 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.