

東京大学 大学院新領域創成科学研究科
基盤科学研究系 先端エネルギー工学専攻
2018年3月修了 修士論文要旨

鈍頭物体周りの極超音速流れ場に対する 空気および水の逆噴射ジェットの影響に関する実験的研究

学生証番号 47-166076 氏名 富田 黎
(指導教員 鈴木 宏二郎 教授)

Key Words : Opposing Jet, Shock Wave, Flow Visualization, Hypersonic Flow

超音速または極超音速流中において淀み点から主流方向へジェットを噴射する(逆噴射ジェット)と、ジェット先端に斜め衝撃波が形成され、機体にかかる空気抗力や淀み点近傍での空力加熱は軽減されることが知られており、これをジェットのスパイク効果と呼ぶ[1]。スパイクの長さが十分でない場合、斜め衝撃波が機体に衝突し、そこでは圧力と温度が急激に上昇する。気体の逆噴射ジェットの場合、十分なスパイク長を得るためには高いジェット圧を必要とする。一方、液体は密度が気体よりもはるかに大きいため、慣性によってスパイク長を伸ばすことが期待できる。気体の逆噴射ジェットについてはこれまでに多くの実験的および数値的研究がなされてきたが、液体の逆噴射ジェットに関する研究事例は少なく、特に流れ場の詳細は十分に解明されていない。

本研究では、液体を用いた逆噴射ジェットが極超音速流れ場に及ぼす影響を理解するために以下の実験項目を定めた。1) 高速カメラを用いたシュリーレン法による可視化によって、気体および液体の逆噴射ジェットが作る流れ場のちがいを理解する。2) レーザーシート法による可視化によって、液体の逆噴射ジェット内部の液滴あるいは粒子の挙動を明らかにする。

風試模型は単段式宇宙往還機で見られるようなベースエントリー型の鈍頭物体を製作した。ノズルは鈍頭底面部の機軸上に1つ配置され、出口設計マッハ数1.0のオリフィス型である。ジェット噴射用の流体は常温常圧の実験室内空気と温水(配管内での氷結を防ぐため事前に加熱)であり、風洞測定部の外からチューブを介しバルブの手動開放によって模型へと供給される。実験は、東京大学柏キャンパスにある極超音速風洞にて行った。本実験の試験条件は、主流マッハ数7.0、模型代表長さ(底面直径)に対するレイノルズ数 1.2×10^5 、風洞よどみ点圧力約540-670K、風洞よどみ点温度約950kPaである[2]。レーザーシート法では、もし細かな水(液体)や氷(固体)の粒子が存在していれば、反射光が観測される。比較実験として行った空気(気体)のジェットではレーザーによる反射光は確認されなかった。従って、反射光が見られれば、それは液体または固体の水の存在を示していることになる。

高速撮影(撮影速度60000Hz)によってジェットが形成する斜め衝撃波を明瞭に捉えられた。さらに、シュリーレン映像から離脱衝撃波の振動を解析したところ、ウォータージェットの周波数(67.52Hz)は同条件のエアージェット(2229Hz)と比べて約1/33倍と遅い。また、振幅は約2.5倍大きく、平均衝撃波離脱距離は約1.4倍長い。この結果から、ウォータージェットの方がより安定した仮想スパイクを形成しやすいと言える。迎角を-3度~3度で1度おきに変化させると、最大ペネトレーション長も明らかに変化した。最大ペネトレーション長は迎角1度でピークをとり、それは迎角0度のときよりも長い。

機軸に沿ったウォータージェット断面の可視化では、きれいな三角形の再循環領域が確認された。水粒子は衝撃波に沿う形で散布しており、再循環領域内は空気の流れ、水(液体)ジェットの流れ、微小液滴または氷微粒子で構成される多相流であることがわかった。また、機軸に直交した底面付近の断面は非軸対象形状をしており、時間変化によって形を変え、大きく揺らぐほど不安定である。

本稿では逆噴射ジェットが作る流れ場の基礎特性を理解するために、シュリーレン法とレーザーシートを用いて可視化を行った。その結果以下のことが明らかになった。1)液体の逆噴射ジェットは気体の逆噴射ジェットに比べて安定した仮想スパイクを形成しやすい。2)液体の逆噴射ジェットがつくる離脱衝撃波の内側(再循環領域)は多相流であり、不安定な非軸対象形状をしている。

[1].秋田大輔, 鈴木宏二郎, "逆噴射ジェットによる垂直離着陸ロケット再突入時の超音速空力特性改善に関する研究", 修士論文, 東京大学大学院新領域創成科学研究科基盤科学研究系先端エネルギー工学専攻, 2003

[2].東京大学柏キャンパス極超音速エンタルピー風洞、<http://daedalus.k.u-tokyo.ac.jp/wt/kashiwa_wt.html>, 2018-2-4アクセス