

審査の結果の要旨

氏名 サマラ ムハマド サイード

本論文は、「Flow Field and Performance Analysis of Common Channel Added to Coaxial Nozzles for Future Hypersonic Vehicles (将来の極超音速機用の同軸ノズルに付加された共通ダクトの流れ場と性能解析)」と題し、7章と補遺から成っている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。将来の高速輸送や宇宙輸送にむけ研究が進められている極超音速機では、広範囲の速度域を飛行するため、ロケットエンジンと空気吸い込みエンジンなど、異なる複数の推進エンジンを搭載することになる。本研究では、その簡単かつ空間効率が良いものとして同軸配置に注目している。過去に同軸ジェット流れの実験や数値解析による研究はあるものの、極超音速飛行を想定した超音速の同軸ジェットに関するものはほとんどなかった。本研究は、極超音速流中での同軸ノズル推進の流れ場と性能を、(1)中心側ジェットのみ噴射、(2)外側ジェットのみ噴射、(3)両方のジェットを噴射、の場合について極超音速風洞実験を援用しつつ、数値流体力学(CFD)によって解明するものである。同軸ノズルの外径を一定のまま延長した共通ダクトを設置し、中心、外側いずれのジェット流れに対しても膨張領域を与えることを提案し、その有効性を明らかにした。

第2章は数値解析手法の詳細な説明である。後端に同軸ノズルを有する円錐円柱型飛行体のモデルを設定し、軸対称、層流の圧縮性ナビエ・ストークス方程式を解いている。飛行体外部の極超音速流れと貯気槽からノズル出口に至る中心と外側ジェットの内部流れを同時に扱う必要があるため、計算領域を多数のゾーンに分割し、境界を介したデータのやり取りで計算が進められる。

第3章では数値解析結果を検証するために東京大学柏キャンパスに設置されている極超音速高エンタルピー風洞で行われた実験の詳細が述べられている。実験モデルは内部に同軸ノズルを有し、風洞運転中に外部から高压空気の供給により上記(1)~(3)の状況を実現した。

第4章では、計算結果を実験結果と比較することで、本研究で用いている数値解析の検証が行われている。計算で得られた流れ場はシュリーレン写真のパターンを再現し、また共通ダクトに設けられた圧力計測点の測定値とも妥当な一致を示したことが述べられている。実験モデルは設備上の制約により、ジェットの出口マッハ数などのパラメータ変化に制限が生じてしまうため、数値解析によるパラメトリックスタディ用に新たな飛行体モデルを設定している。同軸ジェット出口の直径は固定されているため、中心ジェットのマッハ数、すなわち、出口面積を増やせば、外側ジェットのマッハ数は下がることになる。

第5章では、ダクト内部流れと外部の極超音速流れの干渉の様子が、上記(1)~(3)の場合に分けて説明されている。ジェット流れの境界となる剪断層、ダクト内部にできる衝撃波、圧縮波、膨張波、ジェットが中心線上でぶつかって発生する後端衝撃波に加え、飛行体まわりの極超音速流と干渉して生じる衝撃波などで構成される複雑な流れ場の構造が解明されている。さらに共通ダクトの長さを変えることによって、ダクト内の膨張流れが制御され、外部流と排気流と

の干渉の様子が変化することを指摘している。

第6章では同軸ノズルの推進性能の特徴が、これまでに明らかにした流れ場パターンと関連づけて説明されている。(1)と(3)では有意な推力変化がないものの、(2)外側ジェットのみ噴射の場合では共通ダクトにより推力増加が起こることを見出している。これは、ダクト内でジェットの膨張加速が促進され運動量推力が増すためである。外側ジェットの膨張流れは中心軸付近で衝突し、斜め衝撃波を形成する。その衝撃波が共通ダクト壁面にぶつからない上限が、ダクト内の膨張加速を大きくし、かつ、反射衝撃波による運動量損失を起こさないという意味において最適ダクト長さを決めるとしている。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめ、本テーマにおいて今後進めるべき研究課題を示している。

以上要するに、本論文は、極超音速機のエンジンを想定した同軸ジェット流れについて、中心側のみ、外側のみ、同時噴射の場合での流れ場の特徴と推進性能を数値流体力学により明らかにし、下流側に共通ダクトを追加することで性能改善が可能であることを示した点で、先端エネルギー工学、特に高速空気力学に貢献するところが大きい。

なお、本論文の第2章から第6章は鈴木宏二郎氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験および解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上1999字