論文審査の結果の要旨

氏名　アシシュ　ヴァシシュタ

本論文は、「Bow Shock Instabilities and its Control in front of Concave shaped Blunt Nose at Hypersonic Mach Number 7（マッハ 7 極超音速気流中において凹面形状鈍頭物体前方に生じる離脱衝撃波の不安定性とその制御）」と題し、8 章と補遺からなる。

第 1 章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。宇宙から地上に人や物資を帰還させる大気圏再突入飛行体には、大きな空気抵抗と空力加熱低減を得るため、鈍頭物体が用いられる。パラシュートのような進行方向正面側が凹面である形状は、空気抵抗が大きい点で有利だが、超音速と極超音速領域において物体前方に生じる離脱衝撃波が不安定となり、空力特性が激しく変動することが知られている。しかし、不安定性の機構は明らかになっておらず、変動を抑制する手法も見出されていない。そこで、本研究では、極超音速風洞実験と数値流体力学（CFD）による流れ場解析の結果から、不安定性の特徴を抽出している。さらに、流れ場制御デバイスを考案し、その有効性を風洞実験によって評価している。以上を総合させて、凹面形状物体周りの極超音速流れにおける衝撃波の不安定化機構を解明することが研究の目的である。

第 2 章では、対象とする物体形状と実験方法が説明されている。基準となる凹面物体として内側が半球面となっている形状が定義され、比較用に平らな円板と半球凸面物体が、制御デバイスとして凹面外縁または内部の流れに影響を与えると期待される 6 タイプが設定されている。実験は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を用いて気流マッハ数 7 で行われ、空気力計測と、シュリーレン法による衝撃波の高速ビデオ（最大 5 万コマ/秒）画像取得がなされている。取得画像により、固有直交分解(POD)による空間モード抽出や、エッジ検出による定量的衝撃波位置検出が行われている。

第 3 章は実験結果の詳細である。円板と凸形状との比較で、凹面形状にのみ大きな衝撃波位置の変動と間欠的な非対称空気力の発生が見られることを確認している。衝撃波と物体間距離の変動は Duffing 振動子の式でモデル化できることを見出しており、このことは現象が非線形であることを意味している。非線形性は、衝撃波位置に関する確率密度関数、累積分布関数からも確認されている。POD モードから、衝撃波には前後運動と非対称な横方向運動があることを明らかにしている。迎角を 0 度から 10 度に増すことで気流が安定化されることを示し、凹面内部にある渦流れの重要性を指摘している。

第 4 章は気流制御デバイスの実験結果である。気流の安定化効果は、中心軸上と外縁上の衝撃波位置に関する累積分布関数および変動確率を用いた指標によってわかりやすく評価され、凹面中央に立てたスパイクと凹面外周直径をさし渡したクロスワイヤが最も有効であることが示された。両者とも、凹面内部にできる渦流れへの制御効果が特徴

である。

第５章と６章は現象の理解を助けるために行われた CFD 解析とその結果である。まず、円板と凸半球形状について実験と比較し、手法の妥当性を確認している。凹面形状の流れについて、数値的微小擾乱から、流れ場の線形的周期変動が起こり、やがて非線形な大規模変動へと遷移していくこと、凹面内部にリング状の渦構造が形成されること、その渦が凹面外縁より流れ出し、衝撃波の非対称大変形が起こること、を見出している。

第７章では、以上の結果を総合して、凹面形状にできる衝撃波の不安定性機構に関する考察がなされている。凹面内部にはリング状の渦が存在するが、擾乱によりその強度に空間的不均一性が生じる。その結果、外縁の特定方向に向かって渦が前進し、外側に流れ出す。反対側では外部から凹面内部に流れ込みが生じ、流出と流入で衝撃波が大変形する。不安定性抑制には凹面内部渦の空間的非対称化や外側流出を阻止すればよく、スパイクやクロスワイヤの有効性はこのことと整合すると述べている。なお、擾乱源として、気流中のダスト粒子の存在や、気流の不均一性に起因する渦度の存在を挙げている。

第８章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめている。

以上要するに、本論文は、極超音速流れにおいて凹面形状物体に生じる離脱衝撃波の不安定性の機構を明らかにし、それを抑制するデバイスを考案して、有効性を実験的に示した点で、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７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。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上１９９５字