

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 松田 淳

修士(工学)松田淳提出の論文は「Experimental Investigation of Nonequilibrium Phenomena in the Shock Layer of Reentry Capsule with Super-orbital Velocity (超軌道速度再突入カプセル衝撃層内非平衡現象に関する実験的研究)」と題し、本文7章及び付録3項から成っている。

大気中を高速飛行する飛翔体周りに生じる極超音速流れは高温であり、そのために生じる飛翔体の空力加熱を防ぐことが機体設計における重要な課題となっている。空力加熱は、突入速度に依存し、速度の増大とともに急増するため、特に、惑星間空間からの直接地球大気突入では、空力加熱量の把握が重要である。空力加熱は、機体の正面に生じる強い衝撃波で加熱された大気により生じるため、そのような大気の状態を把握することが、空力加熱量の把握のための基礎となっている。

地球周回軌道からの再突入に見られるような比較的突入速度の遅い再突入で衝撃波加熱された大気の状態は、実験的、理論的にも比較的よく理解されているのが現状であるが、惑星間宇宙空間からの直接地球大気突入のような高速突入(約12 km/sec)では、実験データすら不足している状況にある。かろうじて、窒素気体における衝撃波加熱についてのデータがあるのみである。そのため、本研究は地球大気への高速再突入を想定して、空気における衝撃波加熱について実験的な知見を得ることを目的としている。

第1章は、序論であり、惑星間空間からの直接地球大気再突入にあたり、衝撃波加熱された高温空気の熱的状态を実験的に把握する必要性、及び、過去の研究の経緯が述べられる。特に、衝撃波加熱された気体の並進温度に関する実験的知見は欠如しており、その必要性が述べられている。

第2章では、本実験において用いられたデータ解析手法の理論的背景について述べている。本実験では、衝撃波加熱された気体からの放射光や外部光の吸収を利用した分光学的手法により、各種の励起温度、電子密度などが見積もられる。特に、外部光の吸収分光計測による並進温度計測の可能性が述べられている。

第3章では、本実験で用いられた装置および計測手法について述べている。装置は自由ピストン型の二段膜衝撃波管であり、その最終段に生じる強い衝撃波を利用して、衝撃波加熱された気体の熱的状态を計測する。衝撃波速度として、8、10、12 km/secの強さの衝撃波を研究の対象としている。計測は、発光分光計測、吸収分光計測であり、それらの計測装置の概要が述べられる。また、吸収分光法を衝撃波管のような瞬時現象へ適用した例はなく、そのための工夫が述べられている。

第4章では、発光分光による結果が述べられる。得られたスペクトルは、 N_2 , N_2^+ 分子のバンドスペクトルや、N原子、H原子の線スペクトルからなる。分子のバンドスペクトルから

は、理論から予測されるスペクトルとの比較により、それぞれの分子の回転、振動温度が見積もられる。また、N原子の線スペクトルからは、N原子の電子温度が見積もられる。さらに、H原子のバルマー線はシュタルク広がりによって支配されるため、計測されたスペクトル形状から電子密度が見積もられる。これらを利用して、衝撃波背後での回転・振動温度、電子励起温度、電子密度の空間分布が得られている。窒素気体について従来得られていた結果と比較し、酸素分子の存在にも関わらず、両者には大きな差異がないことが結論される。ただし、パークモデルによる理論的な予測に対し、衝撃波直後において著しい不一致を見せており、空気における衝撃波加熱に関する理論モデルの再構成の必要性を示唆している。

第5章では、吸収分光計測による結果が述べられる。吸収は原子酸素の吸収線により生じ、その吸収スペクトル線プロファイルは、原子酸素の並進温度のみならず、電子密度にも支配される。そのため、理論プロファイルとの比較により、並進温度のみならず、電子密度をも得ることが可能となっている。得られた電子密度分布は第4章で得られたものとよく一致し、本手法の妥当性を示している。得られた並進温度は、衝撃波直後においては回転、振動温度より高くなり、ほぼ、パークモデルによる予測結果とも一致するものである。

第6章では、本実験において得られた結果を総合的に評価するとともに、その限界についても議論している。

第7章は結論である。地球大気への高速再突入時に生じる衝撃波加熱により生成される高温空気の熱的状态は、純粋窒素気体に生じる同様の高温気体と比較して、酸素分子の存在にもかかわらず、大きな差異がないことが結論されている。また、従来よく用いられている理論モデルに限界があることが結論されている。

以上要するに、本論文は高速再突入時に生じる高温空気の状態を実験的に明らかにすると同時に、従来の理論モデルの限界を示した点で、宇宙工学に貢献するところが大きいと認められる。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。