

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 佐藤英司

修士(工学)佐藤英司提出の論文は「弱電離プラズマと伝播衝撃波の干渉に関する研究」と題し、5章及び付録2項から成っている。

弱電離プラズマを用いた衝撃波の制御は、航空宇宙分野において広い応用範囲があり、近年盛んに研究が行われている。中でも、弱電離プラズマと伝播衝撃波の干渉現象については、プラズマ中を伝播する衝撃波の特性変化に関する現象が報告されたが、そのメカニズムについての完全なコンセンサスは得られていない。このような背景から、本論文では、そのメカニズムについて実験的、数値的研究を行い、多角的な視野のもとにメカニズムの解明を行っている。

第1章は序論であり、弱電離プラズマを用いた流れの制御について概観されている。さらに、弱電離プラズマと伝播衝撃波の干渉に関わる研究の現状を概観し、プラズマ中を伝播する衝撃波の特性変化(衝撃波の加速・減衰・変形)が報告されているものの、未だそのメカニズムについて完全なコンセンサスが得られていないことが指摘されている。そのような現状を踏まえ、従来の研究で不十分となっている、プラズマ中を伝播する衝撃波の可視化、プラズマ領域の温度分布計測とそれに基づく数値解析、衝撃波伝播中におけるプラズマの状態計測の必要性が述べられている。

第2章では、実験の概要を示している。実験では衝撃波管が用いられるが、そのセットアップについて従来の研究との違いが詳述される。即ち、弱電離プラズマは連続 DC グロー放電で局所的に生成され、弱電離プラズマと伝播衝撃波の干渉の様子を可視化するためにシュリーレン法が用いられる。さらに、放電プラズマの状態を時系列的かつ定量的に把握するために、プラズマ発光強度の時間依存性計測が行われる。また、分光法による温度計測手法として、試験気体が空気の場合には発光分光法、アルゴンの場合にはレーザー吸収分光法が適用される。

第3章では、本研究で行う数値解析の概要が述べられる。まず、本計算では放電プラズマは流れ場に非一様な温度分布を与える効果(thermal effect)のみがモデル化されることが説明され、この設定において実験結果を再現することができれば、thermal effectが現象のメカニズムとして有力な証拠となるとしている。基礎方程式は層流圧縮性Navier-Stokes方程式であり、具体的な計算領域等が記述されている。

第4章では、実験及び数値解析の結果が示され、干渉のメカニズムが議論されている。まず、衝撃波到達以前の状態について、分光法による温度計測結果が示され、試験気体が空気の場合の温度分布とアルゴンの場合の温度分布を比較し、空気の方がピーク温度が高く、また非一様な温度領域が電極から離れた測定部遠方にも及んでいることが示されている。そして、これらの違いは、放電電流・電圧と熱伝導率の違いによると説明されている。

このような温度非一様性のある場を衝撃波が伝播する際の干渉の状態をシュリーレン法による可視化で観察し、試験気体が空気の場合にはプラズマの影響は発光している電極近傍の局所領域に限らず、さらに離れた遠方にまで及んでいることが示され、一方、試験気体がアルゴンの場合には、その影響は電極近傍領域にしか及んでいないことが示されている。さらに、プラズマ中を伝播する衝撃波は、プラズマが存在しない場合の平面形状から変化し、鉛直、水平の両方向に湾曲して3次元の構造変化を起こすことを実験的に示している。また、衝撃波の加速・減衰を確認している。

次に、衝撃波伝播中のプラズマ状態計測の結果が示され、衝撃波の通過に伴い放電プラズマの発光強度や放電電流が減少すること、また、それらの減少は衝撃波マッハ数が大きいほど速やかでことが示されている。また、弱い衝撃波が電流値の大きいプラズマ中を伝播する場合には、プラズマは消失しない。

さらに、数値計算による干渉の解析について議論され、実験で観察された衝撃波の特性変化である、衝撃波の変形・加速・減衰現象を、空間に非一様な温度分布のみを与えた数値計算によって再現することができることが示されている。即ち、実験で見られる衝撃波の干渉のメカニズムとして、thermal effectが支配的であることを示唆している。

第5章は、結論であり、弱電離プラズマと伝播衝撃波の干渉のメカニズムとして thermal effectが支配的であることを強く示唆するとしている。

以上要するに、本論文は弱電離プラズマと伝播衝撃波の干渉について実験的、数値的手法により多角的に調べ、これまで完全なコンセンサスが得られていなかった、弱電離プラズマ中を伝播する衝撃波の加速、減衰、変形のメカニズムを明らかにしており、航空宇宙工学に貢献するところが大きい。

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。