

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 永田靖典

修士(工学)永田靖典提出の論文は「極超音速弱電離プラズマ流の電磁流体干渉効果に関する研究」と題し、本文7章から成っている。

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。空力加熱に対する防御として、機体周りの流れが高温のため弱電離していることを利用して磁力により流れを制御することで空力加熱自身を低減する方法がある。この制御は流れ場にローレンツ力という体積力を加えることによるものである。これまでの研究では、比較的単純な流れの制御の可能性が指摘されてきたが、実機で想定される複雑な流れへの適用については十分な研究が行われていない。本研究では、この制御が流れ場に体積力を直接作用させることを基礎としていることから、これまでに見出されていない流れ制御の可能性を示しうることに着目して、数値解析の手法により考察することを目的としている。

第1章は序論であり、大気圏再突入にあたり、空力加熱防御が大きな課題であることを述べ、その防御法として機体まわりに磁場を印加して周囲の弱電離プラズマ流れを制御する手法を述べている。さらに、従来の研究についての経緯も述べ、特に、これまでの研究が比較的単純な流れの制御の可能性を指摘しているのに留まっており、実機で予想される複雑な流れ場の制御の可能性を検討する必要があることを述べている。その際、数値解析に基づいて検討を行うとしている。

第2章では数値解析に用いられる基礎方程式を述べている。基礎方程式は、低磁気レイノルズ数近似に基づいたMHD方程式であり、磁気力との相互作用は電気伝導度を通して生じることになる。流れについてのモデル化として、次章で述べるような2つの近似モデルを使い分けている。

第3章では流れの単純なモデル化について述べている。このモデルでは、流れを理想気体とみなすと共に、電気伝導度に関する簡易モデルについて述べている。また、電流を保持することで誘起される電場についての方程式も含めて、数値解析法について述べている。

第4章では高エンタルピー流れとしての流れのモデル化について述べている。即ち、流れは化学反応、分子内部自由度を考慮した非平衡流れとして扱われるとし、電気伝導度は流れの状態から求めるとしている。また、数値解析法についても述べている。

第5章では鈍頭体周りの流れについて考察する。鈍頭体については、従来より磁極がよどみ点に一致する磁場配位について研究が行われているが、この研究では、特に、印加磁場の傾き方の影響とともに、磁力の大きさについてもその効果を検討している。解析の結果として、印加磁場を傾げるに伴い誘起電流の強さや分布が変わるとともに、空力加熱の強度や分布も大きく変化することを示している。さらに、印加磁場を傾げるに伴い、それ

まで鈍頭体に加わる軸方向の力のみが磁気効果により増加していたのに対して、さらに横力も発生することを示している。これらの変化では、印加磁場の傾きがない場合は発生しない電場分布が生じることが決定的な役割を果たしていることを示している。さらにこの研究では、磁場の強度がある閾値を超えると、それまでの滑らかな流れから局所的に剥離-再付着を生じる複雑な流れ場に遷移することを見出し、さらにその閾値が圧力と磁気力とのバランスで定まることも見出している。

第6章では2重円錐体周りの流れについて考察している。2重円錐体周りの流れは、衝撃波-衝撃波干渉による局所加熱や剥離流れが生じるなど、実機周りの流れで生じると予想される複雑な流れの典型である。解析の結果として、磁気効果により局所加熱が低減されることや、剥離領域の拡大を促すなどの特徴的な干渉を示すことを明らかにするとともに、それらの干渉への磁気力の強さの効果などを明らかにした。

第7章は結論である。大気への高速再突入時に機体まわりに生じる弱電離プラズマ流れについて飛行体まわりに印加される磁気との干渉の有様を明らかにし、この干渉効果の再突入宇宙機への適用に必要な知見を明らかにしたと結論づけている。

以上要するに、本論文は、飛翔体の大気高速再突入時に生じる弱電離プラズマ流れの磁気力による制御の有様を明らかにしており、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。