

# 論文審査の結果の要旨

氏名 高間 良樹

本論文は、「Characteristics of Rarefied Plasma Jet with Applied Magnetic Field and an Orifice (印加磁場とオリフィスを有する希薄プラズマジェットの特性)」と題し、本文5章および付録5項から成っている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。希薄なプラズマジェットは、惑星大気圏に突入する飛行体まわりの高エンタルピー流体现象解明だけでなく、プラズマプロセッシングなどの工業的応用においても重要な対象である。特に、木星などの外惑星探査やプラズマプロセッシングでの利用価値を考慮すると、水素の希薄プラズマジェットが重要であり、本研究においても水素プラズマを主な実験対象としている。希薄プラズマジェットでは、十分な分子間衝突が起これないため内部エネルギーモードの励起が遅れ、熱非平衡状態となっている。筆者は、大気圏突入気流の研究とプラズマプロセッシングに要求される気流条件を整理し、両者に望まれる気流生成装置の条件として、定常運転、熱非平衡流、大きなジェット長、高い解離度、気流中で非平衡緩和現象が起これ、しかもそれが発光分光法によって観測可能であること、を挙げている。それらを実現するものとして、印加磁場による電磁気的作用とオリフィスによる空力的作用を組み合わせた新しいプラズマジェット生成装置を提案している。

第2章は、本研究で開発した希薄プラズマジェット生成装置の詳細である。誘導結合型プラズマ源、印加磁場用 DC コイル、オリフィス等の各構成要素や光学観測装置について説明されている。

本研究で提案するプラズマジェット生成装置は、主に水素への適用を目的としているが、その前段階としてヘリウムプラズマでの実験が行われ、その結果が第3章で説明されている。ヘリウムは分子量が水素に近く、かつ単原子分子であるため反応過程が簡単であり、印加磁場とオリフィスによるプラズマジェットのダイナミクスを調べるのに適している。分子間衝突と輻射を考慮したマスター方程式に基づく発光分光法による電離度等の計測法を新たに開発して適用した結果、印加磁場とオリフィスの組み合わせは、ジェットの発光部分が長くなるだけでなく、電離度を上昇させるのに有効であることを実験的に示している。

第4章では、本装置によって生成された希薄水素プラズマジェットに関する特性の詳細が述べられている。はじめに、気流診断のため新たに開発された発光分光法の説明とその妥当性および精度の検討がなされている。ここで、並進温度は水素原子バルマー線に対するスペクトルフィッティングにより、回転、振動、電子の各温度は Fulcher- $\alpha$  帯線強度フィッティングにより、解離度はアクチノメトリ法によって求められている。本研究で提案する印加磁場とオリフィスの組み合わせは、印加磁場のみ、オリフィスのみ、

両方なしのいずれと比較しても気流の解離度において顕著な上昇をもたらすことを明らかにしている。また、並進温度と回転温度は、プラズマ生成部で平衡になっているが、オリフィス下流での自由膨張により、強い非平衡性を示した後、それが徐々に緩和していく過程の観察にも成功している。得られるジェットのパラメータ（プラズマ温度、解離度、ジェット長）は、印加磁場を強く、オリフィス径を小さく、流量を小さく、投入パワーを上げるほど大きくなっている。これらはいずれも、高エンタルピー流研究やプラズマプロセッシング用のプラズマジェット生成装置の性能を向上させるのに有用な知見である。

第5章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめている。

付録は5項から成り、分光法におけるアーベル変換による処理法、水素バルマー線の発光強度の理論計算法、超音速希薄水素プラズマ流における衝撃層の観測、アクチノメトリ法におけるアルゴン混合が水素気流に与える影響の評価、希薄流解析における可変剛体球モデル、について述べられている。

以上要するに、本論文は印加磁場とオリフィスを組み合わせた新しいプラズマジェット生成装置を開発し、新たに考案した発光分光による気流診断を行うことで、生成された水素プラズマジェットにおいて、解離度やジェット長さが顕著に増大することを実験的に実証し、高エンタルピー気流における非平衡緩和過程の研究やプラズマプロセッシングへの応用に有効であることを示した点で、先端エネルギー工学、特に高エンタルピー気体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4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。