

## 論文審査の結果の要旨

氏名 平塚 淳一

プラズマ中の電子の速度分布関数は平衡状態では、マックスウェル分布になるが、高温の核融合プラズマにおける速度分布関数は、電場や磁気ミラー効果、中性ビームの入射など様々の原因により分布がひずみ、異方的となりうる。そのような異方性は、プラズマ圧力の非等方性をもたらし、プラズマ不安定性の一種であるバルーニング不安定を生じやすくしプラズマ閉じ込めに影響を与えるため、電子の速度分布を測定し、非等方性の有無を診断することは、トカマクプラズマの安定化のために重要な課題の一つとなっている。しかしこれまで、そのような非等方性を測定し診断する方法は確立されていなかった。本博士論文は、TST-2 球状トカマクプラズマにおいて電子の速度分布関数を計測し、プラズマの非等方性を診断する方法を開発しその実験結果をまとめたもので、全 6 章 167 頁よりなる。

第 1 章はイントロダクションであり、プラズマの基礎的事項や速度分布関数について述べた後、トカマク装置や本論文の研究対象である球状トカマクについてその概要を述べている。また、本論文のテーマとなるプラズマ圧力の非等方性について述べ、一般的な条件でプラズマ圧力が非等方的となる理由を示し、そのことが基本的な MHD 不安定モードの一つであるバルーニング不安定を起りやすくすることを述べている。さらに、先行研究について触れ、RTP プラズマにおいて行われた電子速度分布関数の測定とその問題点、TST-2 プラズマにおけるダブルパストムソン散乱による計測実験などについてその概要を述べている。第 2 章では、本研究で用いたダブルパストムソン散乱の原理について述べるとともに、絶対感度の校正に必要なレーリー散乱や回転ラマン散乱について説明している。

第 3 章は、実際に制作したダブルパストムソン散乱装置について、その光学系やフィルターを用いた分光器、検出回路やそれらの校正とデータ解析方法、窒素気体のラマン散乱を用いた絶対感度の校正などについて述べている。本研究では、測定系の感度校正や誤差評価に大きな努力が払われており、各種の校正や誤差評価に関して詳細な検討結果が述べられている。例えば、本実験で用いた多色分光器の回折格子型分光器による校正、標準光源を用いた相対感度の校正や、感度の室温や逆バイアス電圧に対する依存性、再現性の評価、考えられる各種のゆらぎの検討と推定誤差の見積もり、そしてモンテカルロシミュレーションの結果についても述べている。結論として、各チャンネルの相対的感度の誤差は、10%以下に抑えられていると結論づけている。

第 4 章では、速度分布関数として考えられるマクスウェル分布からのずれを記述するモデルとして考えられる 3 種類のモデルについて説明している。第一に、磁場に垂直な成分

の温度、磁場に平衡で電子加速と同方向の成分の温度、磁場に平行で電子加速と逆方向の成分の温度の3つの温度を仮定する3温度モデル、第二に3つ温度が等しく、磁場に平行な成分の平均速度がゼロからシフトしているシフトモデル、そして第三に、3温度モデルとシフトモデルを組み合わせたハイブリッドモデルである。また、電子の分布関数の発展方程式であるフォッカー・プランク方程式を考え、熱プラズマ専用のプログラムを用いてシミュレーションを行っている。シミュレーションから、速度分布にシフトはなく、3温度モデルに近く、10%の異方性があることを予想している。

第5章は実験結果である。ダブルパストムソン散乱装置を用いた電子速度分布の計測はオーミック加熱されたプラズマの中心部と周辺部で行われた。測定結果を3種類のモデルに当てはめて解析を行ったところ、中心部、周辺部とも3温度モデルがシフトモデルよりも良く適合することを確認した。しかし、カイ二乗検定を行ったところ、どちらのモデルも実験データを十分に表していないと結論づけられた。一方、プラズマの異方性は明らかに検出されていることを確認した。推定された電子分布の温度は、垂直成分と平行成分で異なり、平行成分は電子加速と同じ方向が常に逆方向や垂直方向の温度に比べて高い結果を示した。温度の非等方性は、中心部で約20%、周辺部では約50%にも達することが明らかとなった。これは、磁場で閉じ込められた高温プラズマにおける熱電子温度の非等方性を測定した最初の実験結果であり、高く評価される。測定結果から、3温度モデル仮定することにより、プラズマの電子電流密度の計算が可能となり、その値は全電流から予想される電流密度とほぼ等しいという結果を得た。このことは、フォッカー・プランク方程式によるシミュレーション結果とも整合する結果であった。第6章は、結論である。

以上、本論文はTST-2球状トカマクプラズマにおいて電子の速度分布関数を測定し、プラズマの異方性を初めて検証したものであり、これによりプラズマの圧力非等方性を診断する方法が開かれたとすることができる。本論文の結果は他の研究者との共同研究であるが、論文提出者が主導して研究を進めたものであり、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(理学)の学位を授与できると認める。