

# 論文審査の結果の要旨

氏名 富樫 央

核融合研究における現在の主流は、外部磁場とプラズマ自身の電流によって形成されるトカマクプラズマの研究である。その中でも、外形を球状に近づけた球状トカマク (ST) は閉じ込め効率と安定性に優れている。ST 炉の実現には、中心ソレノイドに頼らず、プラズマ電流を非誘導的に立ち上げるシナリオの構築が非常に重要であるが、そのシナリオは未だ確立されていない。

審査対象者は、ST 装置である TST-2 および QUEST において、低域混成波 (LHW) 及び電子サイクロトロン波 (ECW) を用いたプラズマ電流立ち上げ実験を行った。基礎パラメータである電子温度・密度及び高速電子由来の硬 X 線の分布を得ることは立ち上げシナリオの最適化にとって非常に重要であるが、これまでに計測された例は少ない。本学位論文では、こうした分布情報を得るための計測システムを開発し、種々の実験を行うことで、プラズマを評価し性能向上に繋がる知見を得た。

本論文は7章で構成され、各章の内容は以下のようにまとめることができる。

第1章では、核融合、トカマク、非誘導電流立ち上げの先行研究について概観し、電子温度・密度および硬X線の分布を計測する事の重要性を説明するとともに、本論文の目的を列挙している。

第2章では、TST-2における電子温度・密度分布計測を目的としたトムソン散乱 (TS) 計測システムの開発について記述している。中でも、開発した同軸マルチパス光学キャビティは、トカマク計測を目的としたその中で現在最も高い性能を持つものであり、技術面での貢献度は高い。

第3章では、TST-2において開発した硬X線計測システムについて記述している。シンチレータと光電子増倍管の組み合わせ及び、シンチレーション光の伝送に曲率を持ったアクリルライトガイドを採用し、既存の光ファイバを用いたシステムと比べて優れた信号伝送効率を実現している。

第4章では、TST-2におけるプラズマ実験について記述している。TS計測を行い、LHW維持STプラズマにおいて電子温度・密度分布計測に世界で初めて成功している。その結果、中心ピークの電子密度分布、ホローな電子温度分布を得ている。バルク電子とプラズマ全体の圧力の比較により、LHWによって生成された高速電子がプラズマ平衡において支配的であることが示唆される。また、硬X線計測の結果、高速電子の実効的な温度が10 keVオーダーであると見積もられ、バルク電子に対する高速電子の存在比が0.1・1%程度であることがわかった。エネルギー流束分布については、装置中心側の視線でより大きい値をとることが示されている。その他に、プラズマ中心部の電子温度に大きな非等方性が見られないこと、また、分布計測の結果をもとに設計された新たな波動励起アンテナを用いたプラズマ実験において、これまでと同様中心ピークの電子密度分布、ホローな電子温度分布が得られたことが報告されている。

第5章では、QUESTにおけるプラズマ実験について記述している。ECW駆動のQUESTプラズマに対してTS計測を行ったところ、バルク電子の圧力は1 Pa程度であり、計算されるプラズマ圧力と比べて2桁小さいことから、TST-2同様、平衡を担っているのは高速電子であることが示唆される。また、先進的な燃料補給法であるコンパクトトーラス（CT）入射を行った実験において、CT入射前後の密度分布変化の測定に初めて成功し、CT入射後に中心部の電子密度の増加が観測されている。

第6章では、高速電子の加熱効果及び中性粒子によるエネルギー損失について評価している。また、シミュレーションコード（GENRAY/CQL3D）を用いた駆動電流の電子温度分布依存性の調査や、硬X線シミュレーションの実測値との比較を行っている。更に、電子バーンシュタイン波による中心加熱シナリオを提案している。

最後に第7章で論文を総括し、今後の課題に言及している。

以上のように、本論文は高周波波動で立ち上げられた球状トカマクにおいて、基礎パラメータである電子温度、電子密度、硬X線の分布計測に成功しており、プラズマの評価、波動励起アンテナの設計、プラズマ平衡の理論構築を行う上で非常に重要な貢献を果たした。以上の点を踏まえ本審査委員会は、本論文を博士号に十分値するものと判断した。

なお、本論文は、江尻晶、本間寛人、新屋貴浩、高瀬雄一、戸井田和弥、辻井直人、山口隆、吉田裕亮、古井宏和、曾根原正晃、中村建大、高橋航、竹内敏洋、矢嶋悟、山崎響、長谷川真、永島芳彦、東條寛との共同研究であるが、論文提出者が主体となってシステムの開発やプラズマ実験を行ったもので、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。

以上1, 963字