

## 論文審査の結果の要旨

氏名 白岩 俊一

本論文は7章から構成されている。第一章は序論として球状トカマク(ST)プラズマ研究の背景と目的が述べられている。STは従来型のトカマク、ヘリカルと異なりプラズマのほとんどがoverdense ( $w_{pe} > w_{ce}$ 、 $w_{pe}$ : 電子プラズマ周波数、 $w_{ce}$ : 電子サイクロトロン周波数) であるという特徴があり、これまで用いられてきたプラズマ波動は利用することができない。例えば、電子サイクロトロン(EC)波や低域混成波はプラズマ中心まで伝播することができず、イオンサイクロトロン周波数帯の速波も比較的低いイオン $\beta$ で短波長モードにモード変換すると考えられている。STにおいて有用と期待されているプラズマ波動の一つが本研究のテーマである電子バーンシュタイン波(EBW)である。

第2章では、研究の前提であるSTについて解説を行うとともに世界のST研究の現状が述べられている。特にSTは将来の低コストな核融合炉として期待されているが、プラズマ波動をもちいた計測と加熱には未開拓の分野がのこっている。第3章ではEBWの理論的説明が施されている。EBWの理論的説明では、1) プラズマ波動の理論からEBWの分散関係の導出、2) プラズマ中にEBWを励起するために必要なモード変換の方法、3) 励起されたEBWがプラズマ中をどのように伝わるか、4) どのような条件の元プラズマ中で吸収されるかが網羅されており、最後に関連するEBWの研究が紹介されている。

第4章は、実験をおこなったTST-2球状トカマク的设计に割かれている。TST-2は、ちょうど世界的に研究がたちあがろうとしていたSTにおけるプラズマ波動の実験を、従来のTST-M装置とほぼ同じ寸法の小型の実験装置で行うべく設計された。実現されたパラメータはプラズマ電流  $I_p \sim 100$  kA、電子温度  $T_e = 200-400$  eV、イオン温度  $T_i \sim 100$  eV、線積分電子密度  $n_e \sim 10^{19}$  m<sup>-3</sup>であり、アスペクト比がやや犠牲になったもののプラズマ性能は大きく向上することができた。実験に必要なプラズマパラメーターを推定した上でそれを実現するための装置性能を求めたこと、実際に期待通りのパラメータが得られている。

第5章は、実験にもちいた測定器と加熱装置について述べられている。EBWは電子による吸収が非常に強いため、その輻射は黒体輻射になっている。プラズマ中には磁場分布があるため、輻射強度の周波数スペクトルから温度分布が測定

できる。モード変換効率がわからないと輻射強度から温度を求めることができないので、輻射強度と同時にトリプレットでの密度勾配も計測する測定器 (Radio-reflectometer) を開発した。Radio-reflectometerによりもとめた電子温度分布は中心温度が200-300 eVで中心がピークした温度分布をしており、中心温度はX線波高分析器によるエネルギースペクトラムから求めた温度と一致していた。また、基本波、2次高調波、3次高調波から得られた3つの温度分布はコンシステントであった。

第6章は、実験結果と解析に当てられている。計測実験では3つの周波数領域で電子温度分布を求めそれらがお互いによく一致していること、他の計測器の結果と矛盾ないことが説明されている。加熱実験では局所リミターを挿入することで、アンテナ前面の密度勾配を急峻にし、最適な密度勾配が得られるようにし、RF入射直後からプラズマ蓄積エネルギーが増加していることが報告されている。加熱実験では、50%以上の効率での加熱に成功したこと、この放電ではプラズマ蓄積エネルギーの変化から求めた加熱効率は50%以上であった。蓄積エネルギーの増加以外にも、加熱による高エネルギーの電子の生成を示唆する1 keV以上のsoft X線輻射の増加が観測され、また、soft X線の分布計測から増加はプラズマ中心部で起きていることも確認された。加熱効率の変化はモード変換効率の変化で説明できること示されている。

第7章は、実験によって得られた結果が簡潔にまとめられ、さらに、今後の展望が描かれている。本研究では観測されたプラズマ加熱はトリプレットによるモード変換で生じたEBWがプラズマ中心部まで伝播してサイクロトロン吸収された結果であると結論づけられる。この結果は、STにおける初めてのEBWの加熱実験となった。

なお、本研究の一部は佐藤浩之助、佐々木啓介、岡子秀樹、花田和明、出射 浩、御手洗 修、高瀬雄一、西野信博、山田琢磨、坂本瑞樹、中村一男、野里英明、笠原寛史、長谷川 真との共同研究であるが、論文提出者が主体的に実験装置の開発、実験、解析を行っており、その寄与は十分であると判断される。

よって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。