

論文審査の結果の要旨

氏名 笠原 寛史

核融合発電を実現するためには、高誘電率プラズマの波動による加熱法の確立が重要である。本論文では、高次高調速波(HHFW)による電子加熱法を開発するため、計算による加熱条件の最適化を行った。電子加熱には、波の位相速度と電子の熱速度の比 ζ_0 の最適値が存在することを示し、吸収を最適化するトロイダルモード数を求めた。大電力を用いた電子加熱実験はLHD および TST-2 の二装置で行った。LHD では電子温度が十分高い $\beta \sim 1\%$ のプラズマで、中心電子温度の 1keV 程度の増加を観測した。高誘電率をもつ TST-2 プラズマの加熱実験では、HHFW 入射時に $R=0.2\text{m} \sim 0.44\text{m}$ の広範囲にわたる軟 X 線放射の増加が観測され、広範囲にわたる吸収が示唆された。またストラップ本数の違いにより軟 X 線放射強度に若干の差があることや、HHFW を切った直後の減衰の速さが位置によって違うことが観測され、吸収分布に関する情報が得られた。

本論文は、“Electron heating experiments using the high-harmonic fast wave in high dielectric constant plasmas” [和文題目：高誘電率プラズマにおける高次高調速波による電子加熱実験] と題し、全 10 章より成る。

第 1 章では、核融合、トカマクおよび球状トカマクを含む磁場閉じ込めプラズマ、HHFW を解説し、本研究の位置づけおよび目的を明確にしている。

第 2 章では、波動を特徴づける分散関係を解説し、速波の励起、伝播、吸収の定式化を行っている。

第 3 章では、有限温度を考慮した一次元波動計算を用い、HHFW の伝播、吸収特性の電子温度、密度、ベータに対する依存性を調べ、TST-2 実験におけるトロイダルモード数の最適化を行っている。

第 4 章では、核融合科学研究所の LHD 装置の紹介、第 5 章では、LHD の高周波システムの解説を行っている。

第 6 章では、LHD における速波を使った電子加熱実験について詳述している。電子温度が十分高い場合にプラズマ中心で電子加熱が起こった。吸収効率は 30%程度であった。この条件下ではシングルパス吸収が 5%以下と小さいため、周辺部での損失との競合が重要となる。密度の高い場合の方が電子温度上昇が高いのは理論計算結果と一致している。

第 7 章では、東京大学の TST-2 装置の紹介、第 8 章では、TST-2 の高周波システムおよびアンテナの解説を行っている。

第9章では、TST-2におけるHHFWを使った電子加熱実験について詳述している。高パワー入射に成功したこと、これに必要なインピーダンス整合のとり方、軟X線放射分布計測に基づく電子加熱の推定を行っている。

第10章では、本論文で得られた結果をまとめ、世界的にも新しい重要な結果が得られたことを指摘し、今後の研究の方向性が示されている。

以上のように、本論文は高誘電率プラズマにおける高次高調速波による電子加熱の実験により、高誘電率プラズマ中の波動の理解に関して大きな成果を上げ、複雑理工学上貢献するところが大きい。なお、本論文第6章は核融合科学研究所ICRFグループとの共同研究、8章、9章はTST-2グループとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を行ったもので、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。