

論文審査の結果の要旨

氏名 山田琢磨

球状トカマク装置は通常のトカマクに比べて弱い磁場で高い圧力のプラズマを閉じこめることができ、核融合炉として有望な方式の一つである。プラズマの大半径と小半径の比が1.5程度と小さいのが特徴であり、今後さらにこの比を1に近づけて改良するには中心のソレノイドコイルを取り除く必要がある。そのためソレノイドコイルを用いるジュール加熱に替わる加熱方法を開発しなくてはならない。加熱方法の候補の一つがHigh Harmonic Fast Wave(HHFW)を用いた高周波加熱である。HHFWはイオンサイクロトロン高調波帯の速波であり、球状トカマクの誘電率の高いプラズマ中でも深く伝播することができ、電子によって吸収されプラズマを効率的に加熱することができる。

HHFWによる加熱効果を確認するには、加熱によって励起されたポロイダル電場が引き起こす電子密度の揺動を検出することが重要である。そこで本研究ではTST-2球状トカマク装置においてHHFWによる高周波加熱実験を行い、密度振動を測定した。すなわち振動の検出に必要なマイクロ波反射計の設計を行い、性能を数値計算によって確かめた後、製作した反射計をTST-2装置に取り付けてプラズマ実験を行い、高周波加熱による密度揺動の径方向の分布を測定した。

まず第1章では研究の背景と目的を述べ、第2章ではプラズマの分散関係とマイクロ波反射計・干渉計の原理について説明した。入射したマイクロ波は、その周波数に依存する密度に相当するプラズマの面、すなわちカットオフ層によって反射される。反射計ではこの性質を用い、反射波の位相の変化からカットオフ層の径方向の振動を検出できる。さらにマイクロ波の周波数を掃引することにより、プラズマ中の測定位置を時間的に変化させることができ、密度揺動の径方向の分布を求めることができる。

第3章では数値計算による反射計の設計と性能評価を行った。Kirchhoff積分は3次元配位におけるマイクロ波の伝播を計算するのに有効な方法である。まずKirchhoff積分の原理と電場の計算方法を説明した。そしてマイクロ波を発射するホーンアンテナや反射する凹面鏡の配置と曲率・方向などのパラメータについてKirchhoff積分を用いて最適化を行った。実験に用いるマイクロ波の周波数帯域とカットオフ層の予想される位置の範囲で、十分な反射波の強度が得られるような最適条件を導いた。また、反射計はあまりに大きな振幅や小さな波長の揺動については測定が不可能となる。カットオフ層に揺動を与えて位相の応答を計算し、位相が正確に検出できるための揺動のポロイダル方向の波長と径方向の振幅の条件を求め、実際の実験がその範囲内であることを確かめた。

第4章ではTST-2球状トカマク装置について説明し、HHFWの物理的性質とHHFWによる高周波加熱の方法について記述した。またプラズマ内部で磁力線がつながりかわりプラズマの粒子やエネルギーが失われる電磁流体现象について述べた。

第5章では計測装置の概略を記しHHFWによる加熱実験の測定結果について考察した。密度振動の分布を求めるにはまず密度の分布を知る必要がある。本研究ではマイクロ波干渉計による線積分密度と平衡計算で得られた磁気面を用い、さらに放物型の分布を仮定して密度分布を求めた。そしてマイクロ波の周波数とカットオフ密度の関係式から密度振動の径方向の分布を求め、約3cm間隔の節をもつ構造があることを示した。この節の間隔は、シミュレーションによって予測されたポロイダル電場分布の構造、およびプラズマの分散関係から得られるHHFWの波数ベクトルの垂直成分の波長とほぼ一致し、この密度振動が実際にHHFWによって励起されたものであることを示している。

以上本論文はマイクロ波反射計を用いてHHFW加熱による密度振動を測定し考察を行った。球状トカマクにおいて密度振動の径方向分布を求めたのは本研究が初めてであり、HHFWによる加熱方法の検証として非常に重要である。これらの成果は球状トカマク装置の改良に役立ちプラズマ物理学の発展に貢献するものである。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。