

氏名(本籍)	しょうじ 庄司	まもる 主 (神奈川県)
学位の種類	博士(物理学)	
学位記番号	博甲第1,358号	
学位授与年月日	平成7年3月23日	
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当	
審査研究科	物理学研究科	
学位論文題目	Ion Energy Containment of ICRF-Heated Plasmas in the GAMMA 11 Central Cell (ガンマ10セントラル部におけるICRF加熱プラズマのイオンのエネルギー閉じ込め)	
主査	筑波大学教授	理学博士 谷津 潔
副査	筑波大学教授	理学博士 玉野輝男
副査	筑波大学教授	理学博士 福谷博仁
副査	筑波大学助教授	理学博士 際本泰士

論 文 の 要 旨

本論文は、電場と磁場でプラズマを閉じ込めるタンデムミラー型装置ガンマ10において、荷電交換中性粒子分析器によるイオンエネルギー測定と、モンテカルロシミュレーションコードによる計算で求めたプラズマ中の中性粒子分析を用いてイオン温度を測定し、イオンエネルギーの損失機構と閉じ込め時間を明らかにしたものである。

荷電交換中性粒子分析器はプラズマ中のイオン温度を測定する有力な測定器であるが、イオン温度を決定するために必要なプラズマ中の中性粒子密度が、ガンマ10では求められていなかった。本研究ではプラズマ中の中性粒子密度を求めるために、同分野で既に用いられているモンテカルロ法に基づく中性粒子輸送コードDEGASを適用した。しかし、本研究で扱うプラズマの密度が 10^{12}cm^{-3} 台であるため、DEGASコードで求めた中性水素原子密度は、 $H\alpha$ 線強度測定によって求めた値と一致しないという問題があった。この問題については、従来のDEGASコードに中性水素分子解離・励起過程を考慮し、従来の $H\alpha$ 線強度を用いた中性粒子密度測定法にも同過程を考慮する改良を施すことにより解決し、プラズマ中の中性粒子密度の径方向分布を定量的に求める方法を確立した。

荷電交換中性粒子分析器による測定において、プラズマの半径方向に関して非軸対称なエネルギースペクトル、及び中性粒子束強度分布が観測された。この測定に対して、イオンの速度分布の非等方性、プラズマ中の水素分子との荷電交換反応、イオンの有限ラーマー半径を考慮することにより、測定結果が定量的に説明できることを明らかにし、イオン温度の半径方向分布を解析する方法を確立した。

イオンサイクロトロン周波数領域 (ICRF) の高周波を用いたプラズマ加熱によって得られた高温プラズマの測定結果を上記方法を用いて解析し、イオン温度の半径方向分布を求め、同時に測定されたプラズマ諸量と合わせて、セントラル部のイオンの古典的過程 (電子のクーロン衝突, 中性水素原子・分子との荷電交換反応) によるエネルギー損失量を求めた。その結果、セントラル部のプラズマ全体では電子とのクーロン衝突によるエネルギー損失量と、荷電交換反応によるエネルギー損失量は同程度であること、プラズマ中心部では電子とのクーロン衝突によるエネルギー損失が支配的であることを明らかにした。

上記のイオンのエネルギー損失量の解析法を非定常プラズマの解析に応用するために、イオンのエネルギーバランスの時間的変化を追跡する数値計算コードを作成した。これを、イオン加熱用 ICRF 発振器出力を微小量変調した実験結果の解析に適用し、エネルギー閉じ込め時間を求めた。エネルギー閉じ込め時間の加熱電力依存性を測定し、加熱電力が低い場合はエネルギー閉じ込め時間は古典的過程で説明できるが、加熱電力が160 kW 程度に高くなると、非古典的なエネルギー損失過程が生じ、同時にイオン温度の半径方向分布が広がることを明らかにした。この機構については熱伝導損失の増加、あるいは ICRF 加熱電力吸収過程の変化が考えられる。熱伝導損失過程を考慮した時間追跡コードの結果からは、前者の過程が示唆されるが、今後詳しい研究を要する。

審 査 の 要 旨

プラズマの閉じ込めの研究において、エネルギー閉じ込め時間を求めることは重要な課題である。本論文はプラズマからのエネルギー損失機構の大きな要因である荷電交換反応によるエネルギー損失機構を明らかにするために、従来用いられていた中性粒子輸送コードと、荷電交換中性粒子分析器によるイオン温度の半径方向分布を解析する方法を改善した。これ等のコードと解析方法を用いてガンマ10セントラル部の高温イオンのエネルギー損失機構を明らかにした。さらにイオンのエネルギーバランスの時間変化を追跡する数値計算コードを作成し、エネルギー閉じ込め時間を測定して、イオン加熱電力が低い場合は、エネルギー閉じ込め時間は古典的過程で説明できるが、加熱電力が高くなると非古典的過程が生じることを明らかにした。これ等の結果はガンマ10におけるプラズマのエネルギー閉じ込めの物理的機構を明らかにした重要な成果であると共に、今後プラズマ閉じ込め改善を図るための示唆を与える重要な成果として評価できる。

よって、著者は博士 (物理学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。