

氏名(本籍)	やまぐち ゆうすけ (北海道) 山口裕資		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第4247号		
学位授与年月日	平成19年3月23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	Eigenmode Formation of Radio-Frequency Waves in the Ion-Cyclotron Frequency Range on the GAMMA 10 Tandem Mirror (GAMMA10におけるイオンサイクロトロン周波数帯の固有モード形成)		
主査	筑波大学教授	理学博士	青木 貞雄
副査	筑波大学助教授	工学博士	市村 真
副査	筑波大学助教授	理学博士	北條 仁士
副査	筑波大学助教授	理学博士	片沼 伊佐夫

論文の内容の要旨

本研究は、開放端磁場配位 GAMMA 10 の主プラズマ閉じ込め領域であるセントラル部において、イオンサイクロトロン周波数帯 (Ion-Cyclotron Range of Frequency : ICRF) の電磁波を用いた高密度プラズマ生成に関するものである。セントラル部では、軸方向端部で閉じ込め磁場が大きく変化していること、プラズマの径方向を制限する金属板リミターが存在すること等により、励起波動に対する境界が存在する。境界を持つプラズマ中では、装置固有の境界条件、プラズマの不均一性等により決まる固有モードが形成される。現状では、励起波動の波長とプラズマの大きさが同程度であり、境界条件が満足されないとき、波動電磁界はプラズマ中心部まで強く浸透しない。その結果、高周波電力はアンテナ周辺部のプラズマに吸収されること、または、アンテナ-プラズマ間の結合度の低下により、アンテナ放射効率が低下する。周辺プラズマは、リミターに衝突し消失することから、周辺における電力吸収は望ましくない。プラズマ中心部に電磁界を強く浸透させるには、固有モード形成を把握し、入射パラメータを最適化することが必要である。本論文では、ICRF 波動の固有モード形成に関して、理論的、また、実験的な考察を行っている。

これまでの実験において、プラズマ生成用高周波 (RF1) の入射電力増大時に、プラズマの密度飽和が観測されている。ここでは、密度飽和に対して、励起波動強度の観点からその原因を考察した。励起波動の空間構造は、分散関係とプラズマの不均一性、境界条件等によって決まる。境界条件を満たし、固有モードが強く形成されると、高周波電力は効率よく中心部まで伝達される。GAMMA 10 における ICRF 波動の固有モード形成、及び、プラズマ生成への影響を調べるために、計算コードを用いた波動伝播解析、高周波プローブの開発を行った。解析には GAMMA 10 の磁場、プラズマ密度の空間分布、そしてアンテナ形状を取り入れ、実際の実験配位に即して計算を行った。その結果、RF1 を用いた現状の密度範囲では、励起される径方向固有モードが1つだけであることが明らかとなった。この固有モードが軸方向にも境界条件を持つことにより、軸方向固有モードが形成される時に波動が強く励起される。しかし、軸方向に固有モード形成が起こる条件は、密度上昇に対して離散的に存在するため、密度飽和が実験的に観測されている密度の近傍の固有モード形成と、その後に波動励起が弱くなることが計算より確認された。実験において用いられた、より高い周

波数の高周波 (RF3) を導入すると、この密度領域でも複数の径方向固有モードが励起され、密度の上昇と共に、径方向に高次のモードが、より強く、次々と現れることが明らかとなった。軸方向にも境界条件を満たして強く励起される密度が、それぞれの固有モードで異なるため、広い密度範囲で波動が強く励起される。したがって、固有モード形成による密度飽和が緩和され、実験的に観測された高次高調波による高密度プラズマ生成を良く説明できることを示した。

固有モード形成を実験的に調べるために、高周波プローブ法を開発した。外部より能動的に高周波を入射し、境界条件で決まる固有モードの形成をアンカー部プラズマを用いて初めて確認した。軸対称セントラル部にも高周波プローブ法を導入し、印加周波数の変化に伴う固有モードの離散的励起を観測した。計算による固有モード形成と定性的に一致し、その妥当性を確認した。さらに、現状における速波励起の最適化として、複数アンテナ間の印加高周波の位相調整を行い、固有モード形成の制御を試みた。固有モードを強く励起するために、アンテナ間の位相差には、プラズマ密度に対して最適値が存在することを計算で示し、実験においては、セントラル部西側に設置されている2つのアンテナを用いた位相制御により、最適なアンテナ間位相差が存在することを示した。以上により、固有モード形成がプラズマの高密度化に強く影響することを明らかとし、その制御により、更なる高密度化が可能であることを示した。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、タンデムミラー装置研究において最も重要な課題の一つであるプラズマの高密度化に関して、理論的検討と実験結果を比較し、その問題点を明らかとするとともに、その解決法の一つを示したものである。実験に即した配位における理論的考察を詳細に行い、また、実験結果との良い一致を示したことは、今後の更なる高密度化を十分に示唆しており、核融合研究におけるタンデムミラー装置の発展に大きく貢献したものと評価できる。また、これまでにほとんど例のない、ICRF 波動を能動的に入射し、プラズマ中の固有モード形成を計測する高周波プローブ法は、新しい計測法であり、その発展の可能性を含めて注目に値する。

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