

氏名	さか い おさむ 酒 井 道
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 1497 号
学位授与の日付	平 成 8 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 電 気 工 学 第 二 専 攻
学位論文題目	Experimental Study of Tandem Mirror Plasmas Controlled by ICRF Waves and DC Fields (イオンサイクロトロン周波数帯の高周波ならびに直流電場により 制御されたタンデムミラープラズマに関する実験的研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 木 村 磐 根 教 授 大 引 得 弘 教 授 橘 邦 英

### 論 文 内 容 の 要 旨

核融合炉実現を目指した磁場閉じこめの研究において、径方向閉じ込め特性における電位分布の重要性、ならびに磁力線に沿った粒子輸送の問題がミラー型およびそれ以外の装置でも指摘されてきている。本論文は、タンデムミラー装置において、イオンサイクロトロン周波数帯(ICRF)の波と直流電場による軸方向および径方向閉じこめの改善について研究したもので6章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の背景を述べ、続いて論文の構成を紹介している。

第2章では、本論文の実験に関する理論的背景について述べている。まず、ICRF波の分散関係より、ICRF波の果たしうる役割として、プラズマ生成・加熱・電位形成・安定化があることを述べている。プラズマの閉じこめに関しては、軸方向電位形成はプラグセルの電子加熱・電子の速度空間拡散によりもたらされ、径方向閉じこめに関しては、周辺部揺動の存在が閉じこめ劣化を招くので、改善の方法として径方向電場・プラズマ回転のシアの生成があることを述べている。

第3章では、軸方向の不均一性に伴うICRF波(速波)のモード変換過程を明らかにしている。波動の分散関係を新しい方法により初めて測定し、イオン-イオン混成共鳴層への入射方向と磁場変化の向きとの関係により、全く異なる波動へのモード変換が起こることを明らかにしている。すなわち、弱磁場側入射の時遅波へ、強磁場側入射の時静電波へとモード変換する。このような実験事実は、これまで行なわれていた理論的予測を初めて検証したもので、予測の妥当性の判断と予測を覆す事実の提出を行い、ミラー磁場におけるICRF波のモード変換過程の物理的理解の確立に貢献している。

第4章では、Hモード(径方向閉じ込め改善モード)を直線装置で初めて達成し、現象の普遍性を示している。プラズマの磁場閉じ込め方式一般に共通な課題として、径方向の異常輸送(異常な閉じ込め劣化)の解明及び抑制が挙げられる。これを克服する有力な方法として、トカマクで偶然発見されたHモードを、タンデムミラー装置(あるいは直線型装置)において制御可能な方法で初めて実現している。また中央セルのプラズマ外縁部に位置するリミタに静電的なバイアス電圧を印加することにより、プラズマの

径方向外縁部で直流電場を励起し、それにより、シアを伴ったプラズマ回転の誘起を通して周辺部揺動を抑制して、揺動による異常輸送を抑えてHモードと同様の径方向閉じ込めの改善がもたらされることを述べている。このHモード閉じ込め改善過程は、強い非線形性に支配されていることが推測されていたが、初めて周辺部プラズマパラメータに明確な履歴現象を観測することでその物理的解明に貢献している。またこれら実験事実を説明するために、運動量平衡式から導かれた簡単なモデルを独自に提案している。

第5章では、ICRF波による軸方向閉じ込め電位形成およびそれに伴う軸方向閉じ込め改善と、軸方向閉じ込め改善と径方向閉じ込め改善を同時に達成することによる高ベータプラズマの生成、維持に関して述べている。ICRF波（速波）を中央セルで励起することにより、第3章で示したプラグセルでの電子加熱・電子の速度空間拡散により軸方向閉じ込め電位が形成され、軸方向閉じ込めが改善された。中央セルでの速波励起により、第3章で述べた中央セルでのイオン加熱と同時に閉じ込め電位形成を行った点、およびプラグセルでの電位形成を中央セルからの速波入射という遠隔的かつ有効な手法により行った点は、これまでに例の無い全く独創的なものである。続けて、タンデムミラー装置において初めて、軸方向の閉じ込めおよび径方向の閉じ込めを同時にかつ能動的に制御することに成功している。一方の閉じ込めの変化による他方の閉じ込めへの影響は観測されず、両者をほぼ独立に制御できることが明らかにされ、プラズマ全体の閉じ込め改善がなされたことで、高ベータ（～14%）プラズマの生成・維持が確認されている。これは、大型タンデムミラー装置や他のトカマク装置等でのベータ値を凌ぐ値である。

第6章では、本論文の成果がまとめて記述されている。すなわち、本論文ではタンデムミラーの特質を生かしたプラズマ制御法を提案し、電位分布・電場のプラズマ閉じ込めに対する物理的役割を明らかにしている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、プラズマの磁場閉じこめ方式の一種であるタンデムミラー装置において、イオンサイクロトロン周波数帯の高周波（ICRF波）ならびに直流電場によるプラズマ制御を目指したもので、得られた主な成果は以下の通りである。

1. 軸方向の不均一性に伴うICRF波（速波）のモード変換過程を明らかにした。波動伝搬を表現する分散関係を新しい方法により初めて測定し、イオン-イオン混成共鳴層に、入射方向と磁場変化の向きとの関係で異なる2つのモード変換が起こることを明らかにした。

2. 1つの速波入射により、イオン加熱と軸方向閉じ込め電位形成を同時に達成した。前記1.の2つのモード変換により、中央セルでは遅波へのモード変換によりイオン加熱が、プラグセルでは静電波へのモード変換により電子加熱と速度空間拡散が生じ、閉じ込め電位が形成されることを明らかにした。

3. 径方向の異常な閉じ込め劣化を克服する有力な方法として、トカマク装置で偶然発見されたHモードと呼ばれる径方向閉じ込め改善現象を、タンデムミラー装置においても直流電場生成により初めて実現し、現象の普遍性を示した。

4. 軸方向閉じ込め改善と径方向閉じ込め改善を同時に達成した。前記2.および前記3.の方法により両方向の閉じ込めを改善し、ベータ値にして14%に達する高ベータプラズマを生成した。

以上要するに本論文は、タンデムミラーの特質を生かしたプラズマ制御法を提案し、電位分布・電場のプラズマ閉じ込めに対する物理的役割を明らかにしたもので学術上実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成8年1月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。