

氏名(本籍)	はつ どり くに ひこ 服 部 邦 彦 (茨城県)		
学位の種類	工 学 博 士		
学位記番号	博 甲 第 884 号		
学位授与年月日	平成 3 年 3 月 25 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	工 学 研 究 科		
学位論文題目	ミリ波位相イメージ法のガンマ10プラズマへの適用と径方向輸送現象 の研究(Application of Millimeter-Wave Phase-Imaging Interferometry and Study of Radial Transport in the GAMMA 10 Tandem Mirror)		
主 査	筑波大学教授	理学博士	石 原 武
副 査	筑波大学教授	理学博士	新 井 敏 弘
副 査	筑波大学助教授	工学博士	間 瀬 淳
副 査	筑波大学助教授	工学博士	犬 竹 正 明
副 査	筑波大学助教授	理学博士	際 本 泰 士

論 文 の 要 旨

核融合研究の進展に伴い、プラズマパラメータの精度の高い2次元分布測定は、プラズマ輸送現象の物理的解明、閉じ込め性能の評価に不可欠なものとなっている。本論文は、プラズマの最も重要なパラメータの一つである密度分布を得るためにミリ波帯で初めて開発した位相イメージ法の詳細について、また、ガンマ10プラズマの半径方向密度分布および密度揺動測定への適用、さらに測定結果に基づいた半径方向のプラズマ輸送の研究、について記述したものであり、6章と付録から成る。

第1章は序論であり、タンデムミラー装置におけるプラズマ閉じ込めと密度分布測定的重要性に基づいた本研究の目的、さらには従来の研究との関係について述べている。

第2章は、本研究で提案した測定法の原理および理論的背景について、また第3章では、著者が測定の対象としたガンマ10装置について、装置本体、プラズマ加熱装置、さらに、主要なプラズマ計測装置について、記述している。

第4章は、本研究で開発した計測装置の詳細を述べたもので、第一に70GHz帯における位相イメージ法干渉計の設計・製作について記述している。位相イメージ法は、マイクロ波ビームをレンズ系でシート状ビームにし、プラズマ断面全体をカバーするように照射、その透過波を再びレンズ系で集光し多チャンネル検出器上に導き、干渉法によりプラズマの密度分布を1ショットで測定するものである。光学系の設計は、最適のビーム伝搬が得られるように、またレンズの収差が最も小さくなるように、ガウスビームの伝搬公式と光線追跡法を用い計算されている。検出器は25×25mmの石英基板上に蒸着

したアンテナアレイにビームリード形 GaAs ショットキーバリアダイオードを接着したモノリシックな検出器が使用されている。アンテナとしてはボウタイアンテナ、八木字田アンテナの両者を比較検討した。第二に、位相イメージ法の応用の一つであるフラウンホーファー回析測定装置について述べている。入射電磁波は密度揺動成分により位相変調を受けるが、フラウンホーファー領域での回析像を求めることにより、揺動の (k, ω) スペクトルを得ることができる。実験では40GHz帯のフラウンホーファー回析法に上記検出器アレイを適用し、従来10数ショットを必要とした回析像測定を2-3ショットで可能とし、波動の分散関係が得られることを提案した。

第5章は、開発製作された装置の性能評価、実機への適用、さらに測定された結果の物理的解釈を記述したものである。すなわち、ミリ波位相イメージ法は初めて製作された装置であるため、ガンマ10設置前に詳細な特性評価を行なった。まず、ビームの伝搬特性および倍率が設計通りになっていることを実験的に確かめた。検出器アレイについては、エアリーパターンの測定より八木字田アンテナが分解能に優れ、アンテナ間のクロストークも少ないことが見出され、干渉計に使用された。一方、ボウタイアンテナは周波数特性に優れているため、密度変化の高周波成分を測定するフラウンホーファー回析法に使用された。さらに、プラズマ測定のスミュレーションとして誘電体板を用いた干渉測定が行なわれ、理論計算と良く一致することが確かめられた。ガンマ10設置後はセントラル部およびプラグ部プラズマの密度測定を実施し、従来形が多チャンネル干渉計では達成できない空間分解で半径方向密度分布を得ることに成功した。一方、フラウンホーファー回析法による密度揺動測定では、波動の分散関係の導出とともに、ガンマ10の閉じ込めに重要な役割を果たす径方向電場と揺動レベルの関係を調べた。その結果、ドリフト波モードは電場が小さいときに成長するが、正負にかかわらず電場を強くしていくと安定化されること、またフルートモードでは逆に電場を強くしていくと不安定となることが初めて分かった。さらに、径方向閉じ込め時間が密度揺動に反比例することを実験的に確かめた。これは準線形理論による計算と良く一致していることを示している。

第6章は本論文のまとめで、本研究によって得られた知見を総括して述べている。

審 査 の 要 旨

本研究では、ミリ波帯において初めて位相イメージ法を設計・製作し、ガンマ10の半径方向密度分布を測定することに成功した。特にプラグ部プラズマの密度分布は従来得られていないものであり、ガンマ10の電位閉じ込め機構解明に大きく貢献するものである。また、本研究で製作した検出器アレイはビームリード形ショットキーバリアダイオードを利用した世界でも初めてのもので、プラズマ測定のみならず、大気測定、レーダー、電波天文学などミリ波電波の特色を生かした新しいシステムの研究・開発への有効利用が考えられる。したがって、空間分解能、クロストーク等の特性測定は今後の利用に大いに役立つ。一方、フラウンホーファー回析法に検出器アレイを適用し、従来から非常に困難とされてきたプラズマ中の乱流波動の分散関係の測定に成功した。特に密度揺動レベルの径方向電場に対する依存性、プラズマの径方向閉じ込め時間の揺動レベルに対する依存性評価を行ない、閉

じ込めの良い電場配位を決定できたことは、高く評価できる。この揺動レベルの径方向電場制御については、今後のトカマク装置設計の鍵を握るL-H遷移の機構解明に重要な示唆を与えることから注目されている。

よって、著者は工学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。