

氏名(国籍)	ブルスキン レオニド (ロシア)		
学位の種類	博士(物理学)		
学位記番号	博甲第1,497号		
学位授与年月日	平成8年3月25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	物理学研究科		
学位論文題目	Microwave Reflectometry of Density and Magnetic Field Fluctuations (密度及び磁場揺動のマイクロ波反射計測)		
主査	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	香村俊武
副査	筑波大学助教授	理学博士	長照二
副査	筑波大学助教授	工学博士	間瀬淳

論文の要旨

マイクロ波反射計測は核融合プラズマの計測法として広く用いられている。筑波大学プラズマ研究センターの核融合実験装置でもマイクロ波反射計は重要な計測手段である。この論文では、モード変換したマイクロ波検波に基づく計測、及び、プラズマ揺動の相関計測に関するシミュレーションを行い、実験結果と比較した。

マイクロ波計測は、プローブによる計測に比較してプラズマに擾乱を与えることなく、更にマイクロ波干渉計測と比べると、非対称なプラズマも計測できるのが特徴である。マイクロ波反射計によるプラズマ揺動測定は、カットオフ層近傍にある揺動だけを測定することができるので、入射周波数によってプラズマ中の特定の位置の計測が可能である。筑波大学プラズマ研究センターの核融合実験装置「ガンマ10」タンダムミラーでも、(a)電子密度分布計測、(b)電子密度及び磁場揺動振幅の測定、(c)モード変換したマイクロ波の検波に基づく計測、(d)プラズマ揺動の相関計測などが行われている。特にプラズマ揺動測定はイオンサイクロトロン共鳴(ICRF)加熱や、アルペンイオンサイクロトロン(AIC)不安定性波動の研究にしばしば利用されている。

この論文では、まず、磁場揺動によるマイクロ波モード変換の一次元モデル開発を行った。磁場揺動のため正常波(O波)を入射しても異常波(X波)に変換される。逆の過程も考えられる。このモデルを利用して次の結果を得た。

X波からO波への散乱とO波からX波への散乱の過程が、自己偏向散乱ほど局在化していない。O波からO波への散乱とX波からX波への散乱の場合は、波数がブラッグの共鳴条件で決まる。モード変換の場合はブラッグの共鳴条件の代わりに一般化された条件が得られた。

また、O波のカットオフ周波数は一般的にX波のカットオフ周波数より低い。反射されるX波を入射した結果、反射されないO波が発生する事が実証された。その特徴を利用してX波とO波のホーンを逆の側面に設置する設計を提案した。

更に、カットオフ層近傍における密度及び磁場揺動によるマイクロ波散乱の二次元モデルの開発を行った。ボルン近似を用いて電波伝搬式の解を解析的に得た。前のモデルと違ってこのモデルは2次元なので、屈折、側方散乱、回折、有限ホーン効果の研究、更には2次元のO波とX波のモード変換効果の研究を行うことができる。2次元の散乱場構造を解析して、次の結果が得られた。

アンテナの大きさが入射波の2-3波長より小さければ、入射パワーがプラズマ中で分散され、アンテナの大き

さが大きい場合はマイクロ波ビームの発散が抑えられることが知られているが、比較的大きいホーンでマイクロ波を入射する場合にも干渉のため反射と散乱された波の構造が2次元的に変化する。密度と磁場揺動及び入射波のビートのため散乱された電磁波は空間的に局在化した波源の形になる。ホーンの大きさが大きい場合には、2次元のプラズマ揺動で散乱された波は、プラズマ揺動のY方向の波数に依存する。ホーンの大きさが小さい場合には、横方向の波数の感度は抑えられている。プラズマ揺動がX方向に波の形なら一次元の場合と同じようにある所で共鳴が起きて、散乱が増える。二次元のモード変換においては、一般化された共鳴条件で決まった所で散乱が増える事が証明された。

モデルを用いたシミュレーション結果と「ガンマ10」の実験結果の比較を行ったところ、定性的な一致をみた。次に、二次元の相関モデルの開発を行った。シミュレーションの結果、プラズマ密度揺動が白色雑音である時、二つの電磁波の相関長が参照波の波長より短い事が証明された。一次元モデルの場合、相関長は実験結果と異なり、短くても4-5波長である。一次元モデルが実験結果と合わない理由が多次元の効果にあることが分かった。

審 査 の 要 旨

プラズマ反射計は、核融合プラズマを含めたプラズマ計測として、近年重要性を高めている。しかしながら、実際の有限サイズのプラズマに適用した際の解析は、今まではきちんと行われておらず、実験結果の解釈にかなりの不確実性が存在した。この論文は、モード変換や相関を用いた最先端のマイクロ波反射計に関するシミュレーションを行い、特に二次元モデルを導入して、実験結果の正しい解釈を示しており、極めて重要な成果と評価できる。更に、この解析を通じて、新しいマイクロ波反射計測法を見いだして提案し、実際の実験において、より優れた計測法が産みされつつあることは、特筆される。

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。