

氏 名	佐 藤 邦 弘
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論工博第2669号
学位授与の日付	平成5年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	Kinetic Analyses of Potential Formation in Plasma Flow along Open Magnetic Fields to a Wall (開放磁場に沿って壁に流出するプラズマ中における電位形成の運動的解析)
論文調査委員	(主 査) 教授 板谷良平 教授 秋宗秀夫 教授 大引得弘

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、開放磁場に沿って対向壁に流出するプラズマの電位形成と粒子・熱輸送について論じている。磁場閉じ込め核融合における周辺プラズマの振る舞いを理解する上で把握しておくべきシース及びプレシースの構造安定性や熱絶縁性等の基本的特性に関し、磁場強度の空間変化、中性粒子の電離、高速電子の存在、壁からの二次電子放出を考慮して理論的に解明した結果がまとめられており、7章より構成されている。

第1章は序論であり、固体壁と接するプラズマ中の電位形成に関する理論的研究の歴史的概観をまとめ、磁場閉じ込め核融合の分野で新たに解明すべき課題について述べている。

第2章では、多様な装置に共通に存在する非一様磁場の効果に注目し、末広がり磁場中の電離によって生じたプラズマのシース及びプレシースについて、運動論に基づいて解析した結果を述べている。電位の空間分布やプラズマの粒子束及び熱流を計算して磁場の広がりやプレシース電位を増大させることを明らかにし、対向壁の熱負荷軽減の他に対向壁からの不純物流入制御の観点からも、末広がり磁場が有効であることを示した。

第3章では、末広がり磁場がプレシース電位の分布やその大きさに及ぼす影響について、プラズマ方程式を用いた数値計算により系統的に調べた結果を述べている。プレシース電位の分布と大きさがプラズマ粒子源より壁側の磁場の変化に強く依存することを見出し、粒子源の分布に応じて外部より適当な分布の磁場を印加すれば、プレシース電位の分布と大きさを効果的に制御できることを示した。また、シース形成に及ぼす非一様磁場の影響についても論じ、末広がり磁場がシースの安定化効果を持つことを明らかにしている。

第4章では、閉じ込め領域から磁場のスロートを通して対向壁に流出する無衝突プラズマ中の電位形成について述べている。中性粒子の電離を無視できる場合でも、磁場の非一様性によってプラズマ中にプレシース電位が形成されることを示し、空間的に単調変化する定常的かつ安定な電位は、プラズマ流が磁場のスロートで一般化ボーム基準を等式で満たす場合のみ形成される事実を見出した。また、スロートと対

向壁の間に捕捉される電子の粒子密度が増加するにつれてプレシース電位が顕著に増大することを示し、プレシース電位を制御するのに壁近傍での電子加熱と末広がり磁場とを併用することが効果的であると論じている。

第5章では、高温化に伴って発生する高速電子の混在するプラズマ中の電位構造に注目し、低温と高温の二成分の電子で構成されるプラズマ中のシース及びプレシースについて解析した結果を述べている。高温電子の温度が低温電子の10倍を越える場合には、プレシース電位は低温か高温のどちらかの電子によって決定され、高温電子の成分比が0.2付近のしきい値を越えると電位の大きさは不連続的に増大することを明らかにした。また、しきい値付近の成分比のとき、低温電子と高温電子の分離によってプラズマ中に定常的な無電流ダブルレイヤの形成され得ることを見出した。

第6章では、高温プラズマと対向壁との相互作用について知見を得る目的で、二次電子放出下での二電子温度プラズマのシースと熱流に関して解析した結果を述べている。高温電子は、その温度が低温電子の10倍を越えシース端におけるその粒子密度が低温電子と同程度になると、シース内に負の電荷層を形成し、これによって壁からの二次電荷放出が抑制され、空間電荷制限下におけるプラズマ-壁間の熱絶縁性が改善されることを見出した。

第7章は総括である。

論文審査の結果の要旨

本論文は、プラズマ閉じ込め装置における周辺プラズマの輸送、不純物の発生及び輸送と密接に関係するプラズマ中の電位形成を取り上げ、磁場の非一様性、中性粒子の電離、非熱化高速粒子の存在、壁からの二次電子放出を考慮してシース及びプレシースの形成機構、構造安定性、熱絶縁効果等の基本的特性について理論的に解明した結果をまとめたものである。得られた成果は次の通りである。

1. 従来の理論研究で無視されてきた対向壁近くでの磁場の広がり、プラズマ中の電位を増大させる効果を持ち、不純物流入の抑制にとって有効であることを見出した。また、不均一磁場を外部から印加することによってプレシース電位の大きさを効果的に制御できることを示すと共に、末広がり磁場がシースの安定化効果を持つことを明らかにした。
2. 閉じ込め領域から対向壁に流出するプラズマ流の空間的広がり、磁場から受けるローレンツ力がプレシース形成の機構を与えることを理論的に確かめると共に、磁場のスロート部で定常的かつ安定な電位が形成されるための必要条件を導出した。また、磁場のミラー効果によって対向壁の手前に捕捉される電子がプレシース電位を増大させることを見出し、プレシース電位の制御にとって電子加熱と末広がり磁場との併用が効果的であることを示した。
3. プラズマの高温化に伴って発生する非熱化高速電子がプラズマ-壁境界領域における電位の構造に重大な影響を及ぼすことを明らかにした。温度比が十分に大きい低温と高温の二成分の電子から成るプラズマでは、高温電子の成分比があるしきい値を越えるとプレシース電位は不連続的に増大し、また、しきい値付近の領域で、低温電子と高温電子の分離によりプラズマ中に定常的なダブルレイヤが形成され得ることを見出した。

4. 高温電子は、その温度が低温電子の10倍を越えシース端における粒子密度が低温電子と同程度になると、シース内で負の空間電荷層を形成し、対向壁からの二次電子放出を制限することが見出された。また、このことにより空間電荷制限下におけるプラズマ-壁間の熱絶縁性の改善されることが明らかにされた。

以上要するに、本論文は対抗壁を有するプラズマの電位形成について、その基本的特性を新たに明らかにしたものであり学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は京都大学博士（工学）の学位論文として価値あるものと認めた。

なお、平成5年1月19日、論文内容とそれに関連した事項につき試問を行った結果、合格と認めた。