The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	高温磁化プラズマ計測用粒子束計測器の開発と磁場反転配位プラズマへの応用に関する研究
Author(s)	大久保, 衛
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44723
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

氏　　名	大久保（おおくぼ）　衛（まもる）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　18264　号
学位授与年月日	平成16年1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　名	**高温磁化プラズマ計測用粒子束計測器の開発と磁場反転配位プラズマへの応用に関する研究**
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　福田　武司 （副査） 教　授　後藤　誠一　　教　授　黄地　尚義

論　文　内　容　の　要　旨

本論文は、磁場反転配位プラズマにおける輸送過程の解明を目的とした２次元速度分布関数計測装置の開発研究についてまとめたものであり、７章から構成されている。

第１章では、序論として本研究の背景を示し、目的と意義を明らかにしている。

第２章では、磁場反転配位プラズマの特徴を述べるとともに、速度分布関数測定の基礎となる単一荷電粒子の運動に関する理論について概説し、電界障壁型ファラデーカップを用いることによって磁場に平行な速度成分が計測可能であることを示し、そのエネルギー感度領域が計測装置の幾何構造に依存することを指摘している。

第３章では、荷電粒子のラーマー運動を利用した磁場に垂直な速度成分の測定原理を理論的に導き、粒子軌道の計算結果に基づいた測定装置の構造設計を行っている。また、装置関数を単純なガウス型と仮定して計測装置の測定精度を評価するとともに、不要信号成分となる反射粒子の寄与低減を目的とする斬新な機構を明らかにしている。

第４章では、速度分布関数の磁場に垂直な成分と平行な成分の同時計測を実現する２次元速度分布関数計測装置の構造と動作原理について述べている。また、実際に開発を行った測定装置を磁場反転配位プラズマに適用した結果、マクスウェル分布を持った速度分布関数の磁場に垂直な成分と平行な成分の同時計測に成功している。

第５章では、２次元速度分布関数計測装置を用いて磁場反転配位プラズマの軸方向磁場に平行な粒子束の分布を評価した結果、粒子速度は磁場と直交するプラズマの径方向にほぼ一様であるが、粒子束がガウス型の空間分布を持つことを初めて実験的に明らかにしている。また、得られた粒子速度の磁場に平行な成分がマッハプローブ測定の結果とほぼ一致しており、イオンの音速とほぼ同等であることを確認するとともに、粒子束評価の結果が分光測定と概ね一致することから、開発した測定装置の有効性を主張している。さらに、磁場に垂直な速度成分から評価した温度が反磁性信号を用いて求めた平均温度と評価精度の範囲内でほぼ同じであることを明らかにしている。

第６章では、以上の結果に基づき、磁場反転配位プラズマでは中心部から径方向外側に向けて拡散する粒子のほぼ全てがプラズマ外側の開放端をもつ磁力線に沿って輸送される結果、外部に掃き出されることを明らかにしている。一方、熱輸送に関しては、粒子とともに開放端をもつ磁力線に沿って輸送される対流成分が径方向に拡散する熱伝導成分とほぼ同じであり、全体の約半分であることを初めて明らかにしている。

第７章では、まとめとして本研究で得られた結果を総括している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、磁場反転配位プラズマにおける輸送過程の解明を目的とした２次元速度分布関数計測装置の開発研究についてまとめたものであり、主な成果は以下のように要約できる。

(1)速度分布関数測定の基礎となる単一荷電粒子の運動を理論的に解析して、電界障壁型ファラデーカップを用いることにより、磁場に平行な速度成分が計測可能であることを示し、そのエネルギー感度領域が計測装置の構造に依存することを指摘している。また、荷電粒子のラーマー運動を利用した磁場に垂直な速度成分の測定原理を理論的に導き、予測されるプラズマの温度領域を鑑みて粒子軌道の計算結果に基づいた測定装置の構造設計を行っている。さらに、装置関数を単純なガウス型と仮定して計測装置の測定精度を評価するとともに、不要な信号成分となる反射粒子の寄与低減を目的とする斬新な機構を明らかにしている。

(2)速度分布関数の磁場に垂直な成分と平行な成分の同時計測を実現する２次元速度分布関数計測装置を開発し、測定装置を磁場反転配位プラズマに適用して、マクスウェル分布を持った速度分布関数の磁場に垂直な成分と平行な成分の同時計測に成功している。荷電粒子の非等方的な運動を詳細に調べることは、電流駆動のみならず、粒子衝突に係わる素過程の解析等、プラズマ物理学の基盤研究を進める上で極めて重要な意味を持つことから、従来の計測手法では不可能であった２次元同時測定のもたらす意義は大きい。

(3)２次元速度分布関数計測装置を用いて磁場反転配位プラズマの軸方向磁場に平行な粒子束の分布を評価した結果、粒子速度は軸と直交するプラズマの径方向にほぼ一様であるが、粒子束がガウス型の空間分布を持つことを実験的に明らかにしている。これは、本論文に係わる実験研究によって初めて明らかになった知見である。また、得られた粒子速度の磁場に平行な成分が分光計測の結果とほぼ一致しており、イオンの音速とほぼ同等であることを確認するとともに、粒子束を評価した結果がマッハプローブ測定と整合することを明らかにしており、従来の計測手法を用いて開発した測定手法の有効性を検証している。さらに、磁場に垂直な速度成分からマクスウェル分布を仮定して評価した温度が反磁性信号を用いて求めた平均温度と評価精度の範囲内でほぼ同じであることを発見し、２次元速度分布関数計測の特徴を利用して、磁場方向粒子束の評価だけではなく、エネルギー輸送に係わる議論を試みている。

(4)磁場反転配位プラズマでは中心部から径方向に向けて拡散する粒子のほぼ全てがプラズマ外側の開放端をもつ磁力線に沿って輸送される結果、外部に掃き出されることを明らかにしている。この結果は、ステンレス製の真空容器を用いた磁場反転配位プラズマでは、真空壁のリサイクリング係数を１とした議論が可能であることを示唆している。一方、熱輸送に関しては、開放端をもつ磁力線に沿って粒子とともに輸送される対流成分が径方向に拡散する熱伝導成分とほぼ同じであり、全体の約半分であることを初めて実験的に明らかにしている。その物理機構を明らかにするためには、プラズマ温度、密度等の分布計測情報にフォッカー・プランク方程式を組み合わせた解析が必要になるが、磁場に垂直な速度成分が概ね保存されることから、磁場に平行な速度成分の径方向輸送が顕著であることをこの結果は示している。

以上のように、本論文は、プラズマ物理学の基盤研究を進める上で極めて重要な意義を持つ速度分布関数の２次元同時計測を実現する手法を荷電粒子の運動論的な考察に基づいて提案している。また、必要な性能を実現する装置構造を数値計算で評価し、磁場反転配位プラズマの輸送研究に適用することによって、開発した測定装置の有効性を実証しており、プラズマ理工学研究の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。