

氏 名	飛 田 健 次
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 4 年 12 月 9 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 59 年 3 月 東北大学大学院工学研究科原子核工学 専攻前期課程修了
学 位 論 文 題 目	超高温プラズマの能動的な中性粒子診断法に 関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 渡辺 博茂 東北大学教授 佐藤 徳芳 東北大学教授 戸田 三朗 東北大学教授 北島 純男

論 文 内 容 要 旨

プラズマ磁気閉じ込め装置において広く利用されている中性粒子診断法は、中性粒子ビームを利用した方法（これを能動的な中性粒子診断法という）が導入されると、新たな診断手法がいくつも考案され、それと共に測定量の種類もバラエティーに富むようになってきた。この論文は、トカマク型核融合実験装置 JT-60 を利用して行なわれた能動的な中性粒子診断法に関する研究について述べる。得られた成果は、以下のとおりである。

近年プラズマ診断に広く利用されるようになったマイクロチャンネルプレート（MCP）検出器のイオン及び中性粒子に対する検出効率を調べ、入射粒子のエネルギーが 1 keV 以上のとき、その効率は MCP の開口比とほぼ等しいことを明らかにした。

プラズマに高速中性粒子ビームを入射して、そのビームのシャインスルーを測定し、ビームの減衰過程に多段階電離過程がどの程度影響するかを調べた。水素ビームのシャインスルーの測定から、多段階電離過程によりビームのストップング断面積が増大していることを確認した。測定の誤差を越えるストップング断面積の増大を確認したのは、この実験が最初である。また、ヘリウムビームで同様の実験を行なった結果、同程度のパラメータを持つプラズマ中におけるヘリウムビームの多段階電離の割合は、水素よりずっと小さいことが明らかになった。

初歩的な研究段階にあった中性粒子小角散乱法を大型トカマクのイオン温度測定に適用するため、測定装置及びデータ処理法の開発を行ない、1-10keV のイオン温度を測定できるようにした。この測定法において、中性粒子分析器固有の装置関数及びプラズマ中に存在する高エネルギーイオン

成分が測定誤差を引き起こすことを明らかにし、これらの効果に対する補正係数を求めた。

ヘリウム原子ビームとヘリウムイオン (He^{2+}) の2電子性荷電交換反応を利用して、熱エネルギー領域から熱外エネルギー領域にあるヘリウムイオンのエネルギー分布関数の測定と密度測定を行なった。この実験により、核燃焼プラズマで生ずるアルファ灰の測定法としての2電子性荷電交換反応の有効性を初めて実証した。

能動的な中性粒子測定において、寄生的に生ずるノイズ（診断ビームの入射にともなって寄生的に生ずる中性粒子束）を取り上げ、その現象を引き起こす描像を提示した。この描像に基づいて、寄生的な中性粒子束を通減するための中性粒子測定系の配置を提案した。

これらの成果は、超高温プラズマの能動的な中性粒子診断において、トカマク以外の磁気閉じ込め装置に対しても利用できる。

審査結果の要旨

超高温プラズマのイオン温度及び密度、エネルギー分布関数等を正しく評価することは、これらの物理量が直接、核反応と密に関わりあいを持っているので、核融合炉の開発研究にとって必要不可欠である。これまでのところ、超高温プラズマ中のイオン成分に関する計測に対しては確立した方法がなかったと言っても過言ではない。このような状況のもとで、本論文は、初歩的な研究段階にあった中性粒子診断法に、プラズマの外部から中性粒子ビームを入射する方式を導入し、能動的な中性粒子診断法として、基礎研究の段階から実用化までの経緯をまとめたもので、全編7章からなる。

第1章は序論である。

第2章では測定の対象とした日本原子力研究所のトカマク型核融合実験装置 JT-60 に装備した中性粒子計測系を概説するとともに、マイクロチャンネルプレート (MCP) の検出効率やストッピングセルの実効散乱断面積などの計測系の基礎データとして測定した結果について述べている。

第3章では、プラズマ中に高速中性粒子ビームを入射し、そのビームのシャインスルーから、ビームの減衰過程に多段階電離がどのような影響を及ぼすかを調べている。その結果ヘリウムビームでは、この効果はあまり顕著ではないが、水素ビームの場合は、ストッピング断面積が増大することが確認された。これは新しい知見である。

第4章は本研究の主要部であり、中性粒子微小角散乱法を使って、イオン温度を測定する具体的な手法が述べられている。この手法によって、1-10keV のイオン温度を測定することが可能となった。

第5章では、ヘリウム原子ビームとヘリウムイオン (He^{2+}) の2電子性荷電交換反応を利用して、ヘリウムイオンのエネルギー分布関数と密度の測定結果が述べられている。この実験により、核燃焼プラズマで生ずるアルファ灰の測定法として2電子性荷電交換反応が極めて有効であることが、初めて実証された。

第6章は、能動的な中性粒子測定において、寄生的に生ずるノイズを取り扱ったもので、その要因となる現象を明かにし、その対策を提案している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、超高温プラズマ中のイオン成分に関する計測法として能動的な中性粒子診断法を提案し、実用化したもので、原子核工学、特に核融合工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。