

# 論文審査の結果の要旨

氏名 野里 英明

プラズマ中の不純物は放射損失や燃料の希薄化を起こすため、核融合炉を実現するためには不純物の輸送を理解し、さらにそれを制御することが不可欠である。本論文は、不純物ペレット入射直後の制動放射を高時間・空間分解能で計測するという新しい手法でヘリカルプラズマにおける不純物粒子輸送について詳しく調べたものである。その結果、拡散係数は電荷や粒子密度に依存しないのに対し、対流速度は密度勾配のある領域だけで有意な値をもち、電荷および密度にほぼ比例するという新しい知見を得た。

本論文は、“A Study of Charge Dependence of Particle Transport using Impurity Pellet Injection and High-Spatial Resolution Bremsstrahlung Measurement on the Large Helical Device” [和文題目：大型ヘリカル装置(LHD)における不純物ペレット入射と高空間分解能制動放射計測を利用した粒子輸送の電荷依存性に関する研究] と題し、全 7 章より成る。

第 1 章では、核融合、磁場閉じ込めプラズマ、および不純物の役割を解説し、本研究の目的を明確にしている。

第 2 章では、磁場閉じ込めプラズマにおける粒子輸送理論、ならびに粒子輸送研究に今まで使われてきた実験的手法をレビューしてまとめている。

第 3 章では、本研究で不純物粒子供給に使われたペレット入射装置について説明されている。ペレットの形状、駆動ガス圧およびゲートバルブ開閉のタイミングに関する最適化、ペレット速度計測法などが詳述されている。

第 4 章では、不純物入射後に増加した可視光領域の発光強度分布の時間変化を計測するために用いられた 80 チャンネルの高空間分解能制動放射計測器について説明されている。測定波長領域や検出器の選択および校正、新たに開発した、より高い波長分解能をもつ分光器で測定した波長スペクトルを用いて制動放射以外の信号成分を取り除く手法、線積分データから局所的発光強度の空間分布の導出法、誤差の見積りなどが詳述されている。

第 5 章では、高空間分解能制動放射計測器による測定から導出した、重要な物理量である平均電荷の線積分値および詳細な空間分布について記述されている。平均電荷はプラズマ中の不純物量の度合いを表す有用なパラメータであり、その計測はこの研究以外にも多くの実験結果の解析に不可欠であ

る。特に詳細な空間分布を計測できるようになったため、輸送過程については大局的な平均値のみでなく空間的な構造に関する情報が得られるようになったのは大きな貢献である。

第 6 章では、不純物ペレット入射後の制動放射空間分布の時間変化から導かれた輸送係数（拡散係数および対流速度）について詳しく議論されている。この論文で用いられた拡散・対流モデルを紹介し、解析に用いた仮定を説明した後、炭素、アルミニウム、チタンの 3 種類の不純物について解析した結果を詳述している。その結果、粒子拡散係数はプラズマ密度や不純物の電荷によらないが対流速度はプラズマ密度および電荷に線形的な依存性をもつこと、炭素は真空容器壁からの再流入を表すリサイクリング係数が 1 に近いが、アルミニウムやチタンは 0 に近いこと、対流速度はプラズマ中心部付近の密度分布が平坦な領域ではゼロと考えてよいことが明らかとなった。これらの実験結果は新古典理論や、トカマクで得られた実験結果と対比して議論されている。

第 7 章では、本論文で得られた結果をまとめ、世界的にも新しい重要な結果が得られたことを指摘し、今後の研究の方向性が示されている。

以上のように、本論文は不純物ペレット入射と高空間分解能制動放射計測を組み合わせた新しい手法により、ヘリカルプラズマにおける粒子輸送に関して大きな成果を上げ、複雑理工学上貢献するところが大きい。なお、本論文第 3 章、4 章は森田繁、後藤基志との共同研究、5 章、6 章は森田繁、後藤基志、江尻晶、高瀬雄一との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。