

氏名(本籍)	熊谷晃(岩手県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博甲第2,058号
学位授与年月日	平成11年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Transport Studies in Boundary and Divertor Plasmas of JT-60U (JT-60Uにおける境界及びダイバータプラズマの輸送に関する研究)
主査	筑波大学客員教授 工学博士 嶋田道也 (日本原子力研究所)
副査	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	筑波大学客員助教授 工学博士 三浦幸俊 (日本原子力研究所)

### 論文の内容の要旨

日本原子力研究所那珂研究所における核融合プラズマ実験装置JT-60Uの境界及びダイバータ・プラズマに関して実験及び解析を行った。JT-60U装置は、トカマク方式のプラズマ閉じ込め装置であり、軸対称のトーラス形状を呈しており、プラズマ中にトーラス方向に電流を流すことによって閉じこめ磁場を形成する。多くのトカマク装置においては、ダイバータを採用することにより、高温プラズマが直接真空容器に接するのを防いでいる。これは、プラズマ電流と同方向の電流をコイルに流すことにより、プラズマ境界に流出した熱及び粒子を、磁力線に沿って高温プラズマから離れた場所(ダイバータ)に導いて除去するものである。ダイバータ板に主プラズマから流出してきた熱及び粒子が直接衝撃すると、ダイバータ板が損耗し大量の不純物が発生する。この対策としては、ダイバータ・プラズマを放射冷却や荷電交換などの原子過程で冷却し、再結合によってガス化するデタッチ・ダイバータ方式が有望である。このようなダイバータ・プラズマの物性には、プラズマ及び中性粒子の輸送過程及び原子分子過程が密接に関連しており、核融合プラズマの研究において非常に重要な位置を占めている。

これまでの研究においては、境界プラズマを磁力線に沿って流れる電流は、低密度条件においては調べられていたが、デタッチ・ダイバータ条件においては手つかずであった。また、これまでにダイバータにおける電子温度は測定されてきたが、不純物の発生や輸送に重要であるイオン温度の測定は本研究が最初である。さらにダイバータにおける中性粒子の発生・輸送過程の情報を持っている、バルマー線スペクトルは、固定した空間一点における測定は行われてきたが、スペクトルの空間分布の測定は今回が最初である。

以下に本研究の結果をまとめる。

(1) 境界プラズマを流れる電流を、ダイバータ板に設置した静電プローブを用いて測定した。静電プローブには、ダイバータ板の電位に対し鋸状の電圧を付加し、電圧-電流特性によってプラズマ流束と電子温度を測定するが、境界プラズマを流れる電流は、電圧がゼロになる時に静電プローブに流れる電流で測定した。低密度条件では、一般化されたオーム則に基づくモデル計算と定量的に一致する。起電力は、プラズマがダイバータ板と接する面において発生するプラズマ・シースのポテンシャルである。このポテンシャルは、電子の熱速度がイオンの熱速度より速いため、電子流束を抑制してイオンの流束とほぼ同じにするように発生し、電子温度の約3倍である。内側と外側のダイバータにおける電子温度が異なるため、高温のダイバータから、低温のダイバータへと

電流が流れる。高密度でダイバータ・プラズマが壁から浮遊（デタッチ）する条件においては、モデル計算と一致しない。これは、デタッチしているダイバータの物理に、未知の要素が存在することを示唆しており、この機構解明は今後の研究に期待される。

(2) ダイバータにおける炭素不純物イオンのドップラー広がりによってイオン温度を初めて測定した。ダイバータにおいてもっとも発光強度が高い $C^{3+}$ イオンを、直入射領域の分光器を用いて測定した。 $C^{3+}$ イオンは広い領域において存在するため、線積分の効果を考慮する必要がある。そのため、電子温度とイオン温度及び密度の分布をダイバータ板における測定結果から輸送計算を用いて推定し、炭素イオンの電離平衡及び輸送の計算を行って線積分の効果を考慮した。その結果、デタッチしていないダイバータ条件においては、測定したイオン温度は、輸送モデル計算の結果と一致することを明らかにした。

(3) ダイバータ・プラズマにおける重水素粒子のバルマー線スペクトル空間変化を、初めて測定し、原子・分子過程を考慮した中性粒子の輸送計算と比較した。デタッチしていないダイバータ条件においては、壁近傍からのバルマー線スペクトルは、主に分子・分子イオンの解離の際に直接励起された原子からの発光によるものであり、壁から離れた領域からのバルマー線スペクトルは、主に解離後の原子及び荷電交換反応後の原子と電子との衝突による発光によるものであることを明らかにした。

### 審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究は、境界プラズマ電流、イオン温度、中性粒子の輸送特性という、ダイバータ・プラズマの基本的な特性の解明を通して核融合プラズマの研究に重要な貢献をなすものである。提出された論文の内容の一部はすでに学術雑誌に掲載されており、関連する論文に引用されている。

よって、著者は博士（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。