

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 飯田 洋平

磁場閉じ込め型核融合装置では、プラズマ対向壁への熱負荷の低減、核融合反応後のヘリウム灰の効率的な排気、不純物の制御などを目的として、閉じた磁気面の周辺部に端が開いた磁力線構造を有するダイバータ配位が採用されている。高熱流にさらされるダイバータ板の寿命を長じるために、放射冷却やプラズマ再結合過程を効率的に熱流低減シナリオに還元するには、パラメータ分布を詳細に計測し、支配的な素過程や輸送プロセスを解明することが欠かせない。その一例として核融合反応の生成物であるために核融合炉の中に元来存在するヘリウム原子からの輝線の強度比を励起準位の占有密度を記述する衝突輻射モデルと比較することによって電子温度および電子密度を求める「線強度比法」と言われる発光分光法の一つが提案されている。本論文は、電離度が低く中性粒子密度の高いダイバータ領域において衝突輻射モデルに大幅な修正を強いる輻射捕獲過程の空間分布を計算する式を導出し、それを従来の衝突輻射モデルに組み込み、線強度比法を空間分布計測へ拡張する考察をおこなったものである。

本論文は 5 章から構成される。

第 1 章は序論であり、研究背景として、ダイバータ配位、電子温度・電子密度計測法としての発光分光法の位置づけと、ダイバータプラズマへの適用における輻射捕獲の空間分布構造の考慮の重要性について述べている。

第 2 章では、発光分光法の計測原理として輻射捕獲を考慮した衝突輻射モデルとその適用法について述べている。2.1 節では、従来の衝突輻射モデルと輻射捕獲の取り扱い方法がまとめられている。衝突輻射モデルでは、輻射捕獲の定量的取り扱いにオプティカルエスケープファクタ (OEF) というパラメータを用いることに言及し、OEF の計算の既存研究についてもまとめられている。2.2 節では、本研究の主たる結果の一つであり、OEF の空間分布計算法について述べている。発光分光法を空間分布計測として適用するには、各空間点において輻射捕獲の大きさを評価する必要があるが、従来の研究ではそれがなされていない。本研究では、OEF の空間分布計算式 (積分式) を光子場としての特徴を表すプラズマパラメータの関数として導いている。導いた式は、テスト計算を行い、既存研究と比較することで結果の妥当性を証明し、輻射捕獲が実際に空間構造を持つことを示している。また、計算結果の利便性を高めるために、実際のダイバータ模擬装置における典型的なプラズマパラメータにおける OEF の空間分布を表す分数型のフィッティング式を提示してい

る。2.3 節では、発光分光法の具体的な適用法について述べている。

第 3 章では、実験研究に用いたダイバータ模擬装置 MAP-II (Material And Plasma) と分光計測系、プローブ計測系について述べている。

第 4 章は発光分光法の実験結果であり、OEF の計算にプラズマ中心部のみ利用可能な既存の式(大塚の式)を用いた衝突輻射モデルを輻射捕獲中心モデル、本研究で導出した OEF の空間分布計算式を用いたモデルを輻射捕獲空間分布モデルと名付け、それぞれ MAP-II 装置に適用している。まず、輻射捕獲中心モデルをプローブ計測によりパラメータが既知のプラズマに適用した結果から、中心部では輻射捕獲中心モデルが適用可能であることを実験的に確認している。次に、輻射捕獲空間分布モデルを適用し、パラメータの空間分布を求め静電プローブ計測と比較している。輻射捕獲中心モデルではプラズマ周辺部では静電プローブ法による電子温度・電子密度計測結果と矛盾する空間分布が得られたのに対し、輻射捕獲空間分布モデルを適用した結果ある程度一致する結果を得た。これにより、輻射捕獲空間分布モデルを用いることで発光分光法が空間分布計測法として適用できる可能性が示唆された。

第 5 章は総括であり、結論と今後の展望が述べられている。

以上要するに、本論文では、核融合境界層およびダイバータプラズマの熱・粒子制御に重要な、電子密度、電子温度計測の信頼度を著しく改善する手法が構築され、直線型ダイバータ模擬装置にて実証されたものである。これらはシステム量子工学、特に核融合境界層プラズマにおける原子分子過程の解明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)の学位請求論文として合格と認められる。