

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12304 号
------	---------------

氏 名 林 祐 貴

論 文 題 目

非接触プラズマにおける熱・粒子輸送に関する研究
(Study on heat and particle transport in detached plasma)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	大野 哲靖
委員	名古屋大学	准教授	梶田 信
委員	名古屋大学	教授	藤田 隆明
委員	核融合科学研究所	准教授	秋山 毅志

論文審査の結果の要旨

林祐貴君提出の論文「非接触プラズマにおける熱・粒子輸送に関する研究」は、磁場閉じ込め核融合発電実現のために必要不可欠である非接触プラズマ制御を目的に、非接触プラズマ中の熱・粒子輸送の物理過程を直線型プラズマ装置を用いて実験的に調べた結果について述べている。各章の概要は下記の通りである。

第1章では、炉心プラズマからの要求性能とダイバータ設計からの許容値のギャップ、非接触プラズマにおける電子-イオン再結合過程（EIR）の重要性、EIRが支配的となる低温再結合プラズマの研究に直線型装置が有効であることを述べている。非接触プラズマにおける熱・粒子輸送に関して、EIR過程に関わる研究課題を記述し、本研究の目的における各課題の位置づけを示している。

第2章では実験に用いた直線型プラズマ装置Pilot-PSI, NAGDIS-II, TPD-SheetIVについて装置の概要、プラズマ生成部、計測装置などについてまとめられている。また、本研究で実験データ解析に用いた統計的解析手法やEMC3-EIRENEコードによるシミュレーション手法についても説明されている。

第3章では国際熱核融合実験炉(ITER)のダイバータ領域で想定される高密度・高イオン粒子束環境下における非接触プラズマの特性をPilot-PSI装置を用いて調べ、プラズマ圧力損失やDOD(Degree of Detachment)の拡大を明確に示している。中性粒子圧力の増加に伴ってイオン粒子束は減少し、EIRに伴う発光と密度分布の平坦化が観測され、EIRと径方向への拡散によってイオン粒子束が減少していることが示された。装置上流と下流の2点間におけるトムソン散乱計測によって、 $10^{24} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の高イオン粒子束かつ中性ガス圧10 Paの条件における熱流束の減衰長は0.5 m以下であることが示された。また、Pilot-PSI装置ではシングルプローブ計測による電子温度とトムソン散乱計測による電子温度の結果が一致したことから、探針計測の異常性が現れないことを示した。異常性の原因の一つと考えられる電位揺動について、Pilot-PSI, NAGDIS-II, TPD-SheetIVの3つの装置間で比較し、異常性が観測されない装置では電位揺動が小さいという実験結果が得られており、電位揺動が小さい装置では、シングルプローブを用いた簡易的な計測が非接触プラズマに適用可能であることが示された。

第4章では磁場配位の変化が非接触プラズマ形成に与える影響を調べられた。発散磁場から収縮磁場へ変化させることによって、非接触プラズマにおける全イオン粒子束が大きく減少した。また、イオン粒子束のピーク値も発散磁場の方が高い値を示すことが示された。接触プラズマを対象とした実験は同様の傾向を示さなかったことから、EIR過程が磁場配位に強く依存していることが示された。この結果は発散磁場におけるイオン粒子束を分散させる効果と、EIRを抑制させる効果が競合過程にあることを示し、イオン粒子束の分散効果に対してEIRの抑制効果が無視できないことを明らかにしている。

第5章では再結合フロント近傍のプラズマの流れ分布を実験的に調べ、再結合フロント上流で径方向周辺領域においてプラズマ流が逆流していることを見出している。このプラズマの逆流は再結合フロントにおける平坦化された密度分布によって駆動されており、密度平坦化は再結合フロント近傍における非拡散的径方向輸送によって引き起こされていることを明らかにしている。非接触プラズマにおける径方向輸送に関して、拡散の大きい領域が再結合フロント近傍に局在していることを考慮すべき事を明示している。

第6章では非接触プラズマにおける中性粒子の温度変化がEIR過程に与える影響を明らかにしている。NAGDIS-IIにおいて中性粒子圧力を一定に保ちつつ中性粒子の給排気速度を変化させる実験を行い、給排気速度を大きくした場合にターゲット板への全イオン粒子束が減少し、EIRの促進が観測されている。また、中性粒子温度が低い条件において、電子温度が低下する傾向をEMC3-EIRENEコードを用いたモデリングから示した。この結果により、電子温度の下限値を規定する中性粒子温度が給排気という制御手法によって制御可能であることが示されている。

第7章では総括として、まとめと今後の課題を述べている。

以上のように、本論文は、磁場閉じ込め核融合発電炉における非接触プラズマによる熱・粒子輸送に関する物理機構と非接触プラズマによる制御の有効性を示し、今後の核融合発電炉実現への見通しを立てたものであり、その成果は学術上、工学上寄与するところが大きい。よって、本論文の提出者、林祐貴君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があるものと判断した。