

東京大学 大学院新領域創成科学研究科
基盤科学研究系 先端エネルギー工学専攻

2023年3月修了 修士論文要旨

トカマク合体実験を用いた磁気リコネクションの 磁場構造変化の検証

学生証番号 47216081 氏名 土井 久瑠美
(指導教員 小野 靖 教授)

Key Words : magnetic reconnection, tokamak, magnetic probe, plasmoid

本研究では非定常な磁気リコネクションの磁場構造変化の計測とそれによる高速化機構の解明に取り組んだ。

磁気リコネクションは反平行の磁力線がつなぎ変わる現象で、リコネクションが進行する拡散領域には薄い電流シートが形成される。定常かつ2次元状態のMHDを仮定したSweet-Parkerモデルより実際に観測された時間スケールの方が小さく、高速化機構の解明が課題となっている。そこで磁気レイノルズ数の高いトカマクプラズマ合体の電流シートの磁場構造変化を、新規開発した磁気プローブシステムで計測した。

まず、磁気プローブには従来、手巻きで作成したピックアップコイルを用いていたが、本研究ではPCB型基板に縦3 cm、横5 cmの小さなコイルパターンが印刷されたものを使用した。これにより位置、感度のばらつきが抑えられた精度の高い計測を行えるようになった。本研究ではこのPCB型プローブを新たにBz方向に100ch、Bt方向に100chずつ作成し、広範囲で精度の高い計測が行えるように改良し、磁気リコネクションのインフロー・アウトフロー全体の磁場構造を捉えられるようになった。

次に、作成した磁気プローブを用いて実験を行い、電流シートが薄いシート状ではなく、複数の電流プロブに分裂している現象を捉えた。電流シートが分裂しプロブが生成されるタイミングで合体率が急増しており、このとき異常抵抗など他の高速化機構がみられなかったことから、プロブ生成によって磁場拡散領域が増加しリコネクション高速化に寄与していたと判明した。

さらにリコネクションの高速化機構に関する実験やシミュレーションでは見逃されていたインフロー駆動位置を変えた条件で実験を行なったところ、リコネクション速度やプラズモイド・プロブ構造に大きな変化が認められた。インフロー駆動位置が遠い場合は異常抵抗は生じず、インフローによって生じたパイルアップでプラズモイドが生成され、プラズモイド両端でX点ができることで磁場拡散領域が増加してリコネクションが高速化した。インフロー駆動位置が遠い場合では電流シートが強く圧縮されて異常抵抗による高速化が起きるとともに、リコネクション後半では電流シートが分裂・放出される質量放出効果でさらに高速化した。インフロー駆動位置がその中間の場合は、前半はプロブ生成による拡散領域増加、後半は電流シート圧縮による異常抵抗のように2種類の高速化機構が見られた。このようにインフロー駆動位置を調整することで、プラズモイド生成時の複数X点による拡散領域増大、異常抵抗、プラズモイド放出という3つの高速化機構を分離することができ、それぞれの効果を明らかにした。