

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
2019年3月修了 修士論文要旨

プリント回路基板を用いた2次元高精細 磁気プローブシステムの開発

学生証番号 47176088 氏名 秋光 萌
(指導教員 小野 靖 教授)

Key Words : Magnetic reconnection, ST merging, Magnetic probe, Current sheet, Plasmoid

本研究ではプラズマ合体実験において磁気リコネクションの高速化機構について解明するために、プリント回路 (PCB) 基板を用いて従来の二次元磁気プローブ計測に比べ、より高精細な磁場計測システムを構築し、2次元の高精細な計測を実現した。開発した磁場計測システムを用い、電流シート内のプラズモイド/Blobの形成・放出現象に焦点を当て、合体するトカマク中のリコネクション磁場の二次元高精細計測を行い、電流シートの挙動を実験的に検証した。

磁気リコネクションとは、プラズマ中の磁力線の凍結がやぶれてつなぎ変わる、磁化プラズマに共通して観測される現象であり、局所の磁場構造の変化が巨大な磁気エネルギーが急速にプラズマ粒子の熱・運動エネルギーに変換される。そのため、その機構解明は宇宙や太陽物理の解明から核融合への応用まで大きな影響を持つ。短時間に大きな加熱を得られることから、核融合磁気閉じ込めプラズマの合体加熱実験が行われてきているが、特に球状トカマク(ST)合体は近年海外の核融合ベンチャー Tokamak Energyにより早期に経済的な核融合炉を実現する可能性を持つ手軽な加熱法として採用されており今後の発展が見込まれる。磁気リコネクションによるプラズマ加熱は高速のリコネクションアウトフローが下流で熱化することによるものだと考えられているため、高速リコネクションの機構を検証することが重要である。高速化の機構としてプラズモイドや電流シートの放出が考えられているがこれまで空間分解能の不足から合体トカマクの電流シート内の構造を直接計測することはできていない。そこで、数センチメートルオーダーの電流シートを直接測るためにより高分解能かつ高精度な磁場計測システムが必要である。本研究では最大5mmの高空間分解能を持ち0.005mmの加工精度によって位置精度と感度の一定性が保証されたPCBコイルパターンを利用した高精細二次元磁気プローブシステムを開発し、プラズマ合体実験における電流シート付近の磁場分布計測を行った。

第一章では研究背景として磁気リコネクションの基礎事項やプラズモイドについての先行研究の紹介、研究目的を述べる。第二章では実験に使用したプラズマ合体実験装置TS-3U、TS-6の装置の校正について説明し、プラズマ合体法の方法や、基本的な計測系の計測原理について述べる。第三章では、新たに開発したPCB型の磁気プローブアレイについて説明する。ヘルムホルツコイルによる校正の結果感度のばらつきが従来型に比べ1/3程度に低減できたことを確認し、従来よりも6倍程度コイルを密に配置した高精細な磁場計測システムを実現し、これによって電流シート中の1cm程度の閉じた磁気面 (プラズモイド) の検出が可能となった。第四章では、改良したPCB型磁気プローブをTS-6におけるST合体実験に適用し、電流シート付近の二次元磁場分布計測を行った結果を示す。計測した B_z の二次元分布よりポロイダル磁束 ϕ を算出した。そして ϕ よりトロイダル電流密度 J_t を算出してHall効果によって傾いた電流シートの構造を検出したほか、電流シート中にBlob状構造を検出した。また電流シートのBlob状構造はガイド磁場や外部平衡磁場のプロファイルによって異なる発展を示すことが分かった。さらにリコネクション電界 E_t を算出し、プラズモイドの形成・放出に伴うリコネクションの高速化について検証を行った。その結果プラズモイド放出時に E_t が急上昇し、ガイド磁場比の高い場合に、より変化が顕著であった。第五章では、結果をもとにプラズモイド/Blobの生成条件について静的なティアリングモードによるphase diagramに適用して考察を行なった。プラズモイドの形成条件はインフローなしでのティアリングのモデルは当てはまらず、インフローによる動的な原因、もしくは外部磁場の不均一によるものと考えられる。第六章では、本研究で得られた成果をまとめて結論とした。