

論文の内容の要旨

題目

高 プラズマ加熱検証のための 二次元電子温度計測システムの開発

氏名 伊藤 慎悟

核融合磁気閉じ込め方式で現在主流のトカマク配位は、経済的性能を表す指標 β 値 (=熱圧力/磁気圧) の限界が $\beta = 0.1$ 程度と経済性に課題がある。対して、球状トカマク (以下 ST) は平均 β 値が 20% 近くに達する例があり、高い β 値を維持できる可能性がある。

本研究では球状トカマクの加熱法としてプラズマ合体を検証するため、二次元トムソン計測による電子温度計測を実現した。また、球状トカマクを間欠的にぶつけて加熱を行う連続合体法を開発し、上記の電子温度計測結果を基に検証を行った。

この電子温度計測手法として、飛行時間差と往復反射を用いた二次元トムソン散乱電子温度計測システムを開発した。一般的なトムソン散乱計測は多点計測にむいておらず、一次元での計測を対象としたものとなっている。このため、2 次元的測定を行うには、プラズマ中に多数のレーザ経路を設置し、且つ多数の分光装置を用意する必要があり、大がかりな実験施設と費用が必要である。本研究室では、上に述べた困難を軽減する二次元測定法を考案した。その要点は 1) 折り返し光学系を用いて複数の YAG レーザビーム経路をプラズマ容器内に設定する、2) レーザ光の飛行時間差を用いてひとつの分光装置で異なるビーム上の散乱点を時間的に分離して測定する。本研究では軸方向 3 点、計方向 3 点の計 9 計測点に集光レンズシステム系を設置し、トムソン散乱光の観測に成功した。本システム多分岐ファイバを用いているため、背景光が一般的なシステムと比較して増加してしまう。このため、これを減少させるための手法として、スリットを用いた背景光カットを行い、背景光によるノイズ原因をショットノイズ由来のランダムノイズと特定した。このため、ランダムノイズを減少させる手法として、また重なりが生じてしまうトムソン散乱信号の波形の分割という二つの側面から、散乱光信号をパスごとに積分計算する計算手法を開発した。これにより、SN 比の観点から以前より優位に電子温度計測を行うことに成功した。また、これらの手法を用いることで二次元電子温度計測を実現し、フラックスコアでのプラズマ合体の電子加熱の影響を検証した。これにより、失われる磁場エネルギーと比較すると、電子加熱に費やされるエネルギーは少なく、現在のサイズでは電子加熱法としては低効率であることがわかった。

プラズマ合体加熱法の検証のため、ST に再度 ST を合体させる連続合体法を開発した。連続合体の主要原理であるプラズマ生成法として、平衡磁場コイル等による整流効果を利用することで、コイル電流を振動させるだけで正方向のみのプラズマ電流を持つ ST の生成及びそれを用いた連続合体に成功した。間欠的な ST 合体により、磁気ヘリシティ及びプラズマ電流、トロイダル磁束の注入に成功し、小さな ST によるプラズマ合体でも磁束の閉じ込めは改善し主プラズマへの影響は大きなものとなることが明らかとなった。上記を通じて、今後の球状トカマクへのプラズマ合体法の運用にむけ、間欠的なコネクションを用いた加熱法や閉じ込めの改善方法への応用といった新たなアプローチを実証したといえる。