

学位申請論文公開講演会

日時：2024年02月20日(火) 13:30~

申請者：西本 守(ΣE研)

場所：物理会議室 (C207) およびオンライン

題目：磁力線の測地曲率に着目したトーラスプラズマの乱流輸送に関する研究

主論文の要旨

磁場閉じ込め型核融合発電開発研究において、非線形現象が現れるプラズマによる磁場を横切る熱輸送の理解と高い精度の予測が重要課題となっている。ITER で実現を目指している核融合自己燃焼プラズマでは、プラズマの温度/密度勾配によって駆動される乱流による熱輸送の支配が予想され、閉じ込め性能の劣化が問題となっている。

乱流の非線形過程が帯状流を形成し、乱流輸送を抑えることが明らかになり、乱流と帯状流の共存状態を理解し制御することが重要課題となっている。近年シミュレーション研究によって帯状流強度が磁力線の測地曲率に依存することが指摘され、乱流輸送に対する閉じ込め磁場配位最適化の観点から注目されている。本研究の目的は帯状流強度の測地曲率依存性を実験的に明らかにすることである。

本研究では磁力線の測地曲率を変化する実験を、磁場配位の変化の自由度が高い大型ヘリカル装置 (LHD) を用いて行った。また、LHD には様々な計測装置による高精度のプラズマ温度や密度の分布計測ができること、イオンスケール揺動計測が整備されている、自動データ収集・解析インフラストラクチャによって自動的に大規模なデータの輸送解析を行うことができるなどの特徴がある。これらの特徴を生かし、本研究では磁気軸を変えることで測地曲率を変化させ、加熱パワー・密度スキャンによって広いパラメータ領域に広がるデータベースを構築し、輸送解析を行った。

解析は2つの独立した手法を用いて行った。イオン熱輸送係数のパラメータ依存性を、物理モデルを用いない純粋に数理的な解析手法である赤池情報量規準 (AIC) と多変量回帰分析を用いて調べた。AIC によってイオン熱輸送への寄与は測地曲率、温度比、規格化イオン圧力勾配、規格化電子温度勾配の順に重要であることを示し、多変量回帰分析によって熱輸送の測地曲率依存性は定性的に理論予測と整合する結果を示した。帯状流効果を、LHD 配位での非線形ジャイロ運動論シミュレーションの結果をもとに開発された簡約化輸送モデルで評価し、帯状流効果の測地曲率依存性を調べた。その依存性はシミュレーション予測と定性的に整合することを示した。

核融合燃焼プラズマ実現にとって重要なイオン熱輸送に対し、測地曲率が重要な寄与を持つことを実験的に示した。これは乱流輸送抑制に対するプラズマ閉じ込め磁場の最適化研究につながる成果である。さらに非線形性が卓越する系を理解する研究から制御する研究への道筋を開いた。