

## 別紙 4

報告番 -	※ 甲 第 号
----------	---------

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 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  
氏 名 西本 守

## 論 文 内 容 の 要 旨

非線形現象が現れるプラズマでは、磁場を横切る熱輸送を理解し、精度良く予測することが、核融合発電開発研究の重要課題となっている。ITER で実現をめざ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が熱輸送を支配することが予想され、乱流による閉じ込め性能の劣化が問題となってきた。

非線形過程によって帯状流が形成され、乱流輸送が抑えられ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、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、大型ヘリカル装置 (LHD) を用いて行った。LHD には磁場配位を変化の自由度が高いこと、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といった特徴がある。加えて、自動データ収集・解析インフラストラクチャも整備されており、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。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、無次元パラメータを揃えつつ、加熱パワー・密度スキャンを行い、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。

核融合燃焼プラズマ実現に対し最も重要となるイオン熱輸送係数のパラメータ依性を赤池情報量規準 (AIC) と多変量回帰分析を用いて調べた。これは物理的モデルを用いず、純粹に数理的な解析手法である。AIC 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イオン熱輸送に重要な寄与があることが示された。多変量回帰分析の結果は定性的に理論予測と整合する結果となった。次に物理過程を検証するために、帯状流の測地曲率依存性を調べた。LHD では帯状流の直接計測は難しいため、簡約化輸送モデルを用いて、帯状流の評価を行った。ここで用いた簡約化輸送モデルは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、LHD プラズマを用いて定量的なバリデーションが行われたものである。この解析により帯状流は、理論予測と定性的に整合する測地曲率依存性を持つことがわかった。

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て、帯状流を通して、磁場幾何構造である測地曲率が重要な寄与を持つことを実験的に示した。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。