論文審査の結果の要旨

氏名　曽根原　正晃

球状トカマクは磁場閉じ込め型核融合炉トカマクの派生形であり、通常のトカマクに比べて球形に近いトーラス型の形状を持ち、弱い磁場で効率的にプラズマを閉じ込められるのが特徴である。先行研究の計測によると、トカマクでは一般にプラズマ領域の内部から外側へプラズマ粒子が輸送される傾向があり、プラズマを長時間閉じ込めるにはその粒子輸送を抑制する必要がある。またプラズマ周辺部における乱流が、古典拡散よりはるかに大きい異常輸送を引き起こすことが示されている。二種類のトカマクのうち通常のトカマクでは磁場の揺動は少なく静電的な乱流によって輸送が駆動されるが、球状トカマクでは大きな磁場揺動が観測されており乱流の性質が異なる。しかしこれまでの球状トカマクの研究においては密度や電場、磁場揺動などの径方向分布はほとんど計測されておらず、それらの同時計測は全く行われていない。そのため磁場揺動による乱流によってどのように密度フラックスが生成され粒子が輸送されるかが解明されていない。

そこで本研究ではTST-2球状トカマク装置において詳細な乱流計測を行い、乱流の性質を調べ粒子輸送への寄与を明らかにした。すなわち、静電プローブと磁場のピックアップコイルの複合プローブを用いて、乱流の時空間構造を同時計測し、密度や磁場揺動の径方向の分布を用いて粒子輸送の拡散係数を求めた。さらにプラズマ内部の磁力線に沿って乱流がどのような構造を持つかを調べ、磁力線の揺らぎが粒子輸送へ与える影響を考察した。

まず第1章で研究の背景と目的を述べ、第2章で静電プローブによる測定とスペクトル解析の原理を記述した。第3章で本研究で用いたTST-2球状トカマク装置の測定システムを説明した。

そして第4章で詳細な計測結果を記述し、考察を行った。最初に電子温度、電子密度、電位、磁場揺動などの動径方向の分布と周波数スペクトルを計測し、10kHz付近に大きな揺動があることを示した。特に磁場揺動は通常のトカマク装置より100倍以上大きい値を観測した。さらに波数と周波数の2次元スペクトルを調べ、20kHz以下の低周波と20kHz以上の高周波は異なる分散関係を持ち、低周波が電磁流体的揺動、高周波がドリフト波的揺動の性質を持つことを示し、それぞれの波数の磁力線平行成分と垂直成分を求めた。また粒子輸送への寄与を調べて、低周波の電磁流体的揺動の寄与が大きいこと、算出した粒子輸送のフラックスが既存の拡散理論による値と一致することを示した。

次にプラズマ内部の磁力線に沿って離れた位置に二つのプローブを置いて、二点の電位の長距離相関を計測した。一方のプローブの位置を磁力線に垂直な断面内で移動させて電位の2次元分布を計測すると、磁力線の端点に相当する位置に局所的に高い相関が得られた。

さらに磁力線の時間変化に対応して電位の相関も時間変化することがわかり、乱流構造が磁力線に結びついて振動していること、磁力線の揺動による粒子輸送が重要であることが示唆された。磁力線の位置を元に電位の2次元分布を再構成して相関長を求め、その値がスペクトル解析で求めた波数と矛盾しないことを確認した。

そして、これらの測定結果について通常のトカマクや他の球状トカマクの研究と比較しながら考察を行った。高周波のドラフト波的揺動は通常のトカマクと共通すること、低周波の電磁流体的揺動が球状トカマクに特徴的であることや、後者の揺動を駆動すると考えられるプラズマの不安定性について議論した。第5章では結論が示された。

以上本論文では複合プローブを用いて球状トカマクの周辺部の電位や磁場揺動を計測し、乱流の時空間構造と粒子輸送への寄与を明らかにした。特に磁力線に沿って長距離の相関があり、その乱流構造が磁力線に結びついて時間変化し粒子輸送に寄与していることが示された。球状トカマク装置において、プラズマ内部で電位や磁場などの種々の物理量の同時計測を行い、また磁力線に沿った長距離相関を計測したのは本研究が初めてであり、プラズマ周辺部の乱流構造と粒子輸送の解明に大きな貢献を果たした。これらの成果は球状トカマク装置の開発に役立ちプラズマ物理学の進展に貢献するものである。

なお、本論文の主要部分は永島芳彦、江尻晶、高瀬雄一、他8名との共同研究であるが、論文提出者が主体となって計測と解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。