

論文審査の結果の要旨

氏名 永島芳彦

本論文は、トカマクプラズマ周辺部における構造形成や乱流的揺動の特徴を、独自のプローブを含めた種々の測定手法により明らかにしたもので、全7章からなる。第1章では、導入として核融合研究におけるトカマクプラズマの意義やそこでの高閉じ込めモードや周辺局在モードについて説明し、乱流揺動と構造形成の関わりについて概要が述べられている。第2章では、トカマクにおけるプラズマの発生方法や加熱方法について述べている。第3章では、プラズマ診断の手法として的高速駆動静電プローブ、高速磁気プローブ、反射計の構成と測定原理などが述べられている。第4章では、オーミック加熱放電を対象に閉じ込め改善が起こる前後での構造と揺動の変化を調べ、浮遊電位揺動に約10KH_zのコヒーレントな成分を見出し、乱流揺動と非線形な相互作用があることを明らかにしている。第5章では、中性ビームによって追加熱を行った場合に見られる高閉じ込めモードにおいて、3種類のプローブを用いて2種類のコヒーレントな揺動の性質を調べた結果について述べている。第6章は測定されたコヒーレントな揺動のメカニズムに関する議論と全体のまとめである。

本研究では、日本原子力研究所の中型トカマク装置 JFT-2M で生成されたプラズマの周辺部を対象に、浮遊電位などの揺動と構造形成の関連について様々の実験的手法によりその特徴を明らかにするとともに、揺動モードの同定をめざしたものである。核融合を志向したプラズマ研究においては良好な閉じ込めを実現するため、閉じ込めの安定化や不安定化を決定付ける機構の解明が急務となっている。特にプラズマの揺動成分は、プラズマの安定性や閉じ込め性能、プラズマの構造形成に重要な役割を担うことが理論的に指摘されている。例えば、乱流のエネルギー移送により動径方向に電場が励起され、ExB の効果により発生する流れのシアが散逸を抑制するというモデルが提案されている。これらのモデルの実験的検証には、高時間空間分解能で揺動の存在する領域を測定する必要があるが、従来はプローブの損傷やプローブがプラズマへ与える影響を無視できないため、限定的な測定方法に限られていた。本研究で用いられた高速駆動静電プローブは、ベローズ構造の先に4つの電極を構成し、ソレノイドバルブと圧縮空気を組み合わせ、高速でトカマク隔壁からプラズマ周辺を往復運動する装置であり、これにより従来に比べ広い範囲での揺動の特性を計測することが可能になった。

第4章では、オーミック加熱放電中の閉じ込めモードを対象とし、静電プローブにより閉じ込め状態の変化前後での周辺構造や揺動の変化を調べた結果に

ついて述べている。浮遊電位に10kHzのコヒーレントな揺動を見出し、これが長い相関長を持つこと、さらにイオン飽和電流揺動レベルよりも2～3倍高いことなど、Geodesic Acoustic Modeと同定できる根拠を示した。また、周波数成分間のバイコヒーレンス解析を行った結果、0及び10kHzと他の周波数の間に優位な非線形相関があることが判明した。このことから10kHz揺動が乱流により自発的に形成されるポロイダル流との非線形相互作用により発生し、同時に乱流のエネルギー輸送を変調している可能性を示している。

第5章では、中性ビーム注入によって追加熱した際に現れる高閉じ込めモードにおいて現れるコヒーレントな磁気揺動と密度揺動について、静電プローブ、反射層の異なる2チャンネルの反射計、高速磁気プローブの3種の測定器を用いて揺動のタイプや空間構造を調べた結果について述べている。高リサイクリングモード中に観測される約300kHzの磁気揺動は、最外殻磁気面の外側の広い領域で浮遊電位揺動としても観測され、その減衰長は2cm程度である。低密度層で反射する28GHzの反射計では電位揺動との相関が検出されるものの、高密度層で反射する38GHzの反射計では相関が検出されないことから300kHzの揺動がプラズマの内側に深く浸透していないことを明らかにし、周辺部への局在からブルーニングモードであるとの推定を行った。他のコヒーレント成分である約80kHzの揺動は、高速磁気プローブでは観測されず、静電プローブでは強い電場のある領域でのみ観測された。また、揺動レベルの比較からドリフト波ではなく、静電波であることを示唆する結果を得た。これらは新しい知見である。

総じてこれらの研究成果は、トカマクプラズマにおいて高速駆動静電プローブなどの新しい測定手法を用いてコヒーレント揺動の特徴を明らかにしたもので、本研究で得られた知見が当該分野に果たした貢献は十分なものがあり、学位論文として高く評価される。したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。

なお、本論文の中核をなす第4章の内容は指導教官らとの共著論文としてすで出版されているが、測定装置の開発、実験の遂行、結果の解析などは論文提出者が主体となって行ったもので提出者の寄与が殆どである。