

論文審査の結果の要旨

氏名 東條 寛

球状トカマクプラズマ中の不安定性の回避は核融合炉の安定運転のため不可欠である。本論文は、東京大学の TST-2、イギリスカラム研究所の MAST 両装置において頻繁に観測される内部磁気リコネクション事象 (IRE) に関するデータを磁気計測および軟 X 線計測により取得し、解析した。また、不安定モードをモデル化し、3 次元的なプラズマ変形、磁気島構造を反映した磁気計測の解析手法を開発し、不安定性のモード数、成長率、回転速度の正確な同定を可能とした。その結果、IRE には複数のモードが存在する場合と、圧力勾配駆動モードが存在する場合があることがわかり、それらの回避策を提案した。

本論文は “A Study of Magnetohydrodynamic Events Accompanying Magnetic Reconnection in Spherical Tokamak Plasmas” [和文題目：球状トカマクプラズマにおける磁気リコネクションを伴う MHD 事象に関する研究] と題し、全 8 章より成る。第 1 章では、核融合、トカマク装置、磁気リコネクション、制動放射、およびトカマク実験における不安定性について解説している。第 2 章では、IRE に関する先行研究として、複数の球状トカマク装置における実験結果やシミュレーション結果を用いて紹介している。それらを踏まえた上で、この論文の目的を設定している。

第 3 章では、TST-2 装置本体、軟 X 線計測、硬 X 線計測、磁気揺動計測、不純物イオン温度計測を目的とした分光測定の方法および構成が説明されている。また揺動解析手法の一つである特異値分解法の方法が説明されている。第 4 章では、TST-2 装置における IRE の解析結果が詳述されている。IRE の基本的な特徴を軟 X 強度計測及び磁気揺動計測を用いて紹介し、複数の不安定モードのカップリングが示され、IRE の原因が明らかにされた。第 5 章では、MAST 装置の本体、トムソン散乱法 (電子温度、密度計測)、磁気計測、軟 X 線装置の構成や平衡計算についての説明がされている。

第 6 章では、MAST 装置における磁気揺動分布および平衡計算結果を用いて、3 次元的にフィラメントを配置し、プラズマ中の不安定モードを模擬し、球状トカマクプラズマに適用できる新たなモード数同定法を示した。磁場に平行なヘリカル状のフィラメントモデルと軸対称なフィラメントモデルを実験で計測された磁場分布と比較し、ヘリカルモデルの優位性が示された。このモデルは IRE だけでなく、球状トカマクプラズマにおける様々な不安定性の解析に大きく貢献できる結果である。第 7 章には、MAST 装置において閉じ込め性能がよいプラズマの維持を制限している IRE の解析結果が記載されている。前兆振動として時定数の長いモードと、時定数が短く IRE 直前に成長するモードが存在することがわかった。第 6 章で扱ったフィラメントモデルにより、それらのモード数を同定し、TST-2 における結果と同様にそれらがプラズマの局所的変形を起こしたことを明らかにした。また、磁気シアと圧力勾配には正の相関があり、磁気シアの IRE に対する安定化効果を示唆するデータを得た。プラズマ崩壊を伴う IRE では、圧力勾配駆動のバルーニングモードが同定され、急峻な圧力勾配の回避が不可欠であることを示した。

第 8 章では、球状トカマクで観測される IRE 以外の不安定性との相違点をモード、崩壊時の振る舞いから分類している。そして、本論文で得られた結果をまとめ、IRE のメカニズムの実験的説明と回

避策の提案が得られ、今後は IRE の回避を目的とした実験を行う段階に移行できることを指摘している。

以上のように、本研究の成果は軟 X 線計測、磁気揺動計測、不安定モードのモデリングにより、永年の課題であった球状トカマクプラズマ固有の不安定性である IRE の理解を大きく前進させ、複雑理工学上貢献するところが大きい。なお、本論文第 3 章、第 4 章は江尻晶、高瀬雄一との共同研究、第 5 章、第 6 章、第 7 章は江尻晶、高瀬雄一、Mikhail P. Gryaznevich との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を行ったもので、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（科学）の学位を授与できると認める。