

審査の結果の要旨

氏名 桑波田 晃弘

本論文は、「**Experimental Studies of Electromagnetic and Electrostatic Fluctuations in Guide Field Magnetic Reconnection** (ガイド磁場磁気リコネクション実験における磁場揺動と静電揺動)」と題し、磁化プラズマ中の重要な素過程である磁気リコネクションについて、ガイド磁場が存在する場合の揺動の発生機構およびそれがリコネクションに及ぼす影響についての実験的検証を行ったものである。ガイド磁場のある磁気リコネクションにおいて、イオンサイクロトロン周波数帯の単色性の強い大振幅電磁揺動が自発的に発生することを室内実験で初めて検証し、波動としての性質を明らかにすると同時に、その存在が高速リコネクションのトリガとして働くことを実証した。さらに、局所的なイオン温度・流速計測、電子温度・密度計測等を組み合わせることにより、ガイド磁場リコネクションにおけるエネルギー変換について波動を含んだ形での定量評価を行い、核融合プラズマなどにおける突発的エネルギー解放現象に関連する重要な結果を得た。

第1章は「**Introduction** (序論)」であり、自然界および核融合プラズマにおける磁気リコネクション現象を概観した後に、代表的な理論モデルについての説明がなされている。その上で、本論文の目的として、ガイド磁場が存在する場合の高速磁気リコネクションの発生とエネルギー変換機構の解明が設定されている。第2章は「**Major Questions of Magnetic Reconnection** (磁気リコネクションの大きな課題)」と題し、高速リコネクション機構、エネルギー変換、ガイド磁場の効果等に関する先行研究がレビューされ、その内容を踏まえて本研究の位置づけと重要性が記述されている。第3章は「**Experimental Setup and Plasma Conditions** (実験装置およびプラズマパラメータ)」と題し、研究に使用したプラズマ合体実験装置 TS-3 の概要、計測装置ならびにプラズマパラメータの詳細が記述されている。第4章は「**Fast Reconnection due to Fluctuations** (揺動による高速リコネクション)」と題し、ガイド磁場のある磁気リコネクションにおける揺動に関する実験結果について論じられている。リコネクション

中に単色性の高い磁場揺動が急激に成長し、その直後にリコネクション電場が急増すること、磁場揺動が運動論的アルヴェン波の分散関係に一致していることなどが示され、ガイド磁場によって加速された電子による不安定性が揺動を駆動していることが示された。また、ガイド磁場と磁場揺動強度、リコネクション速度の間に正の相関関係が存在することが実証された。これは、定常的モデルの予測とは逆の依存性であり、揺動によって過渡的な高速リコネクションが駆動されるという新しいメカニズムの存在を示唆している。第5章は「**Energy Conversion Mechanism during Guide Field Reconnection** (ガイド磁場リコネクション中のエネルギー変換機構)」と題し、磁気エネルギー、イオン運動エネルギー、イオン/電子の熱エネルギー、波動エネルギーのそれぞれについてリコネクションの上下流でのフラックスを計測し、ガイド磁場のあるリコネクションにおけるエネルギー変換機構に関する天領的な評価が行われた。これにより、揺動がエネルギーフローを担う割合は小さくなく、その役割は主に高速リコネクションのトリガであることが示された。第6章は「**Conclusions and Future Work** (結論および今後の課題)」であり、本論文で得られた結論がまとめられている。

以上を要するに、磁化プラズマにおける本質的な素過程である「ガイド磁場のある磁気リコネクション」の高速化とエネルギー変換における揺動の役割を検証するための実験を実施し、分散関係を定量的に評価することによる揺動モードの同定、発生機構の検証、揺動を含むエネルギーフローの評価を行うことによって、強いガイド磁場の存在下でのみ単色性の強い揺動が発生して過渡的な高速リコネクションへと遷移するという新たなメカニズムを発見し、従来の定常リコネクションモデルを非定常へと拡張するとともに、プラズマ加熱法としての新たな応用の可能性を示唆するものであり、プラズマ理工学、核融合工学、電気電子工学、天文学への貢献が少なくない。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。