

審査の結果の要旨

氏名 郭 学瀚

本論文は「Elucidation of Energy Conversion Mechanism for Electrons in Magnetic Reconnection with a Guide-Field (ガイド磁場リコネクションにおける電子へのエネルギー変換機構の解明)」と題し、全ての磁化プラズマに共通する磁力線のつながり、即ち磁気リコネクション現象でも特にガイド磁場とよばれるリコネクション点に垂直な磁場が存在する場合における磁場から電子温度・速度へのエネルギー変換機構を日米2つの実験と2次元粒子シミュレーションによって検証した論文である。

第1章は、「Introduction」であり、磁気リコネクション現象の理論モデルから運動論モデルさらに自然界で発生する磁気リコネクションとそれに伴うエネルギー変換作用、特に電子やイオンの加熱・加速現象を紹介している。

第2章は、「Laboratory Experiment in UTST」として、東京大学 UTST プラズマ合体実験装置のトカマクプラズマ合体を用いて高ガイド磁場の磁気リコネクション実験を行い、その電子加熱を検証した結果について述べている。YAG レーザビームをスライドする手法で、2次元電子温度計測を行えるように計測システム開発を行ったのち、リコネクション点付近の電子温度分布を2次元的に計測することに成功した。その結果、高ガイド磁場のリコネクションでは、リコネクション点付近にピークした電子加熱が発生することが明らかにした。

第3章は、「Laboratory Experiment in MRX」である。過去2回、延べ5ヶ月に渡り、プリンストン大学プラズマ物理研究所の MRX 磁気リコネクション実験に交換留学して、プル型と呼ばれる合体の逆過程を用いたリコネクション実験を用いて、ガイド磁場リコネクションの電子加熱機構を検証した、2次元の磁気計測、静電ポテンシャル計測、プラズマフロー分布、電子温度分を計測し、電子加熱がリコネクション点に局在化して見られ、それがガイド磁場比に従って上昇すること、さらにX点周辺のセパトリクスに沿って細長い電子加熱領域が作られることを見出し、そのメカニズムを解析している。

第4章は、「Simulation Setup」であり、2次元粒子シミュレーションを行うにあたって、Particle-In-Cell 法について説明し、初期条件、境界条件、質量比をどのように仮定したかについて述べ、スラブモデルを利用しながら実験との比較を可能にするため、アウトフローが境界から自由に排出できるよう配慮したことを述べている。

第5章は、「Simulation Results」であり、スラブモデルを用いた2次元粒子シミュレーションを行なって、磁気リコネクションの電子加速・加熱現象の検証を行っている。ガイド磁場比1～3のすべてについて、リコネクション電界による磁力線方向に強い電子加速が見られ、一方、高密度のセパトリクス付近では磁気モーメント保存が破れることを見出し、その付近で磁力線に垂直な方向の加熱を引き起こすメカニズムについて詳細な検証を行っている。これらの結果が

主として、MRX 実験の結果を説明することを述べている。

第 6 章は、「Discussion and Conclusion」である。

以上要するに、本論文は、日米 2 つの実験装置を用いて、高ガイド磁場下の磁気リコネクション現象の電子加熱現象を 2 次元計測し、リコネクション点付近、下流のセパトリクス付近にピークした電子加熱分布を明らかにし、さらに 2 次元粒子シミュレーションを用いて、電子加熱メカニズムを誘導電場と静電場の両面から詳細に検証した結果、リコネクションの磁力線方向の加熱はリコネクション電界による電子加速に起因し、ガイド磁場比に従って上昇すること、磁力線と垂直方向の加熱は高密度のセパトリクス付近における磁気モーメントの保存の破れに起因することを明らかにした。磁気リコネクションの電子加熱・加速研究にとって、室内実験と粒子シミュレーションを組み合わせた先駆的成果といえ、先端エネルギー工学、特にプラズマ理工学に貢献するところは少なくない。よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1755 字