

別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 背景磁場を伴う磁気リコネクションと微視的不安定性の
ジャイロ運動論的解析

氏 名 下村 和也

論 文 内 容 の 要 旨

磁気リコネクションは反平行磁場同士がプラズマと共に接近することで、電流の発生と共に磁力線が再結合する現象である。この現象は蓄えられた磁気エネルギーを抵抗散逸よりも素早く解放する素過程でもあることが観測結果等から知られており、この現象への理解のため数多くのシミュレーション研究が行われてきた。抵抗性磁気流体モデルを用いた数値シミュレーションではリコネクションの時間スケールは観測結果に比べて桁違いに遅く、リコネクションを高速化する機構が必要とされた。その候補として、微視的不安定性に起因する異常抵抗が無衝突プラズマ中での磁気リコネクションの高速化に重要な役割を果たし得ることが指摘されている。しかし、リコネクションにともなって微視的不安定性がどのようにして励起されるかまだ結論は得られていない。

本研究では、特に強い背景磁場がある場合に関して、磁気リコネクションの発展とそれに関わる微視的不安定性の自発的励起について数値シミュレーションを中心に解析を行った。

まず、ジャイロ運動論モデルを用いて強い背景磁場下での無衝突磁気リコネクションの数値シミュレーションを実施した。従来のモデルを全分布関数を扱えるように拡張し、より高速なビーム速度を扱うことを可能にした。これを用いて磁気リコネクション中の電磁場及び分布関数構造の解析を行った。リコネクション点上に生成される沿磁力線電場が shifted-Maxwell 分布を保ちつつ電子を加速し、電子ビームが発達する過程を明らかにした。さらに方程式系の持つパリティ対称性に着目し、ビームの加速量がリコネクションした磁束量によって決定されることを解析的に導出した。

次に、この電子ビームによって駆動される微視的不安定性に着目し、リコネクション点近傍を一様場と局所近似することで分散関係式を用いた不安定性解析を行った。その結果、電子ビームが Alfvén 速度を超えるとイオンのジャイロ半径程度の波長をもつ運動論的 Alfvén 波(KAW) が励起されうることを示した。

さらに、背景磁場方向の電子ビームの局在性を考慮した非一様ビーム場における不安定性解析を初期値解析により実施し、一様場と同様にイオンジャイロ程度の波長で KAW が

成長することを示した。KAW は電子ビームに垂直な平面上を伝播する波数成分によりふるまいを変化させる。ビーム構造を横切る波数のみを持つ場合、KAW は波束の形でシートを横切るように伝播し、その位置のビーム速度によって成長率が振動的に変化する。この場合時間平均成長率は平均ビーム速度によって決定される。一方ビーム構造に平行な波数が小さくとも有限な場合は安定化に働く。ビーム構造に平行な波数が小さい場合、磁気シア効果によって安定化に働くことがわかった。さらに、ビーム幅がイオンジャイロ半径程度まで局在すると、テアリング型の不安定性が励起されることを見出した。

以上の一連の成果により、強い背景磁場下での無衝突磁気リコネクションにおける基礎過程、すなわち分布関数構造形成と対称性の関連、ならびに磁気リコネクション電場により加速される電子ビーム生成過程を明らかにし、運動論的 Alfvén 波の自発的励起の可能性を検討した。

