

氏名	す がま ひで お 洲 鎌 英 雄
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 1055 号
学位授与の日付	平成元年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科・専攻	工学研究科電気工学第二専攻
学位論文題目	Study of Interchange Instabilities and Anomalous Transport Based on Reduced Two-Fluid Model (簡約化二流体モデルによるインターチェンジ不安定性と異常輸送 の研究)
論文調査委員	(主 査) 教授 飯吉厚夫 教授 大引得弘 教授 若谷誠宏

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ヘリオトロン磁場における重要な不安定性であるインターチェンジモードに着目し、それを解析するための流体モデルに基づく基礎方程式系の導出から始めて、線形不安定性、非線形発展および乱流状態におけるスペクトルと乱流による異常輸送に関する研究をまとめたものであり、序論と結論を含めて 8 章からなる。

第 1 章では、プラズマの力学を記述するための流体モデルの特徴と限界について述べた後に、流体モデルに反磁性ドリフト効果あるいは有限ラーモア半径効果を取り込む可能性、およびプラズマ閉じ込めにおける異常輸送の研究の重要性と理論的手法に言及している。ヘリオトロン磁場ではインターチェンジモード乱流が異常輸送をもたらしている可能性を指摘した後に、本論文の構成をまとめている。

第 2 章では、簡約化二流体モデルの導出を詳しく示している。そして、この方程式が持つ基本的な性質といくつかの極限形式において、既知の簡約化モデル方程式系が導かれることを示している。

第 3 章では、イオンの反磁性ドリフト効果が理想 MHD モデルによるインターチェンジ不安定性を安定化することを解析的に示した後、ヘリオトロン E の円柱プラズマモデルにおけるインターチェンジ不安定性と、それによるベータ限界値を数量的に調べた結果を示している。特に、局在化したインターチェンジモードの安定性を決めるサイダム (Suydam) 条件が低モード数の不安定に対しても成立することを具体的に示している。また、反磁性ドリフト効果による安定化の物理的解釈としてイオンがボルツマン分布に接近するという見方を提示している。

第 4 章では、抵抗性プラズマモデルにおけるインターチェンジモードに着目し、電子の反磁性ドリフト効果によるインターチェンジモードとドリフト波の結合を調べ、線形不安定性の解析解と円柱プラズマモデルにおける数値計算の結果を示している。

第 5 章では、第 3 章と第 4 章で調べた線形的に不安定な理想 MHD インターチェンジモードと抵抗性

インターチェンジモードの非線形発展の数値計算を行った結果を示している。前者では、イオンの有限ラーモア半径効果により高モード数の不安定性が抑制され、飽和レベルがMHDモデルに比べて減少すること、後者では、ゆらぎのエネルギーが逆カスケード的に長波長モードへ移行し、方位角方向の流れが形成されることを示している。

第6章では、非線形発展により乱流が形成される場合の乱流スペクトルおよび乱流による異常輸送を系統的に計算する手法である再規格化（renormalized）の方程式の導出と近似的解法を示している。これまではフーリエ空間におけるモード間結合を基礎にした導出法が主流であったが、ここでは実空間における積分方程式を用いた導出法を示している。

第7章では、第6章で説明している再規格化理論を第4章および第5章で調べている抵抗性インターチェンジモードへ適用し、乱流スペクトルとそれによる異常輸送係数を示している。特に、ドリフト波との結合効果により、異常輸送が増大する可能性を指摘している。

第8章は、本論文のまとめであり、得られた結果と今後の発展の方向およびヘリオトロンE実験との関連を示している。

論文審査の結果の要旨

ヘリカル系、特にヘリオトロン磁場でプラズマを閉じ込める際に発生し易い不安定性にインターチェンジ不安定性がある。その発生条件、不安定性の成長率さらに非線形発展と乱流状態の形成過程、乱流がもたらす異常輸送の研究は、ヘリカル系における高温、高密度プラズマ閉じ込めを解明するために重要な課題である。

本論文は、インターチェンジ不安定性を含む低周波数不安定性を調べるための簡約化された二流体モデルを導出し、それらを用いて上述の問題を理論的に解析した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. ヘリカル系における低周波数不安定性の線形および非線形現象を調べるために有用な簡約化二流体モデルを導出し、それがこれまでのモデル方程式を一般化したものであり、トカマクモデルを含むものであることを示した。

2. 理想的インターチェンジモードにより決まるベータ限界値（プラズマ圧力と磁気圧の比の最大値）に関して、低モード数不安定性と高モード数不安定性の関係を調べ、モードが空間的に局在化することに基づいて導かれるサイダム（Suydam）条件がインターチェンジモード特有のベータ限界値近傍で空間的に局在化し易い性質のために、低モード数不安定性に対しても適用できることを示した。

3. イオンの有限ラーモア半径効果により理想的インターチェンジモードが安定化され、ヘリオトロン配位のベータ限界値を2倍程度高くできる可能性を示した。

4. 理想的インターチェンジモードの安定であっても、不安定になる可能性を持つ抵抗性インターチェンジモードが、電子の反磁性ドリフト効果のための抵抗性ドリフト波と結合し、従来の磁気流体的モデルによる抵抗性インターチェンジモードとは異なる特性を持ち、非線形発展の結果表れる巨視的效果として方位角方向の流れが形成されることを示した。

5. プラズマの流体モデルに対して、乱流の性質と乱流による異常輸送を調べるために、再規格化 (renormalized) 方程式系を導く一般的な手法を示した。これを電子の反磁性効果を含むインターチェンジモード乱流に適用し、異常輸送係数を評価し、従来の磁気流体的モデルによる輸送係数より大きくなる可能性を示した。この結果は、密度のゆらぎと電場のゆらぎの位相関係を含めて、ゆらぎの実験データによく対応している。

以上要するに、本論文はヘリオトロン磁場配位における重要な不安定性であるインターチェンジモードに着目し、基礎方程式の導出から、線形安定性、非線形発展および乱流による異常輸送の評価まで一貫した検討を行ったものであり、その知見は学術上、實際上、寄与するところが少なくない。よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、昭和63年12月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。