

抵抗性簡約化 MHD 方程式の数値計算における シア流に起因するスペクトル汚染のモデル解析

学生証番号 47-126078 氏名 佐々木 悠大
(指導教員 吉田 善章 教授)

Key Words: spectral pollution; shear flow; model analysis; numerical linear stability analysis

本研究は、流れをもつ円柱プラズマの線形安定性の数値計算に関するものである。空間的に非一様なプラズマの流れを仮定すると、支配方程式は、特異性や非エルミート性など数学的な難しさをもつようになる。プラズマの流れ、特にシア流がある場合のテアリングモード安定性について、数値的な手法を用いて研究 [1] が行われており、シア流に起因する連続スペクトルによって「スペクトル汚染」と呼ばれる非物理的な不安定性が生じることが見出されている。非物理的な不安定性が生じる可能性を排除しないまま安定性解析を行うと、プラズマが不安定であるという数値計算結果が出たとしても、それが正しい不安定性なのか、あるいは非物理的な不安定性なのかを確認するために細心の注意が必要となる。スペクトル汚染に関する研究は [2,3] などで行われており、これらは、非圧縮条件などの物理的制約が数値的に満たされないために非物理的な不安定性が生じてしまうことを明らかにし、これに対する解決法が提案されている。しかし、連続スペクトルに起因する非物理的な不安定性に関する研究は充分に行われていない。

以上を背景として、次の二点を研究目的とする。一点目は、非物理的な不安定性の性質を数値計算によって明らかにすること。二点目は、非物理的な不安定性の性質を再現する簡易モデルを開発することで、非物理的な不安定性について定性的な理解を得ることである。これらにより、連続スペクトル起源の非物理的な不安定性に対する理解を深めることができ、スペクトル汚染が生じない数値計算法開発への着想を得ることができると考えられる。

一点目については、グリッド数を変化させた場合およびプラズマ電気抵抗率を変化させた場合の数値計算を行い、空間刻み幅依存性およびプラズマ電気抵抗率依存性を調べた。その結果、非物理的な不安定性の成長率は空間刻み幅に比例し、プラズマ電気抵抗率の負のべき乗に比例することを明らかにした。また、非物理的な不安定性が、流れがない場合に物理的なテアリングモードが不安定であることが必要なのか、そうでないのかを確認するために、テアリングモードパラメータを変化させた場合の数値計算を行った。その結果、非物理的な不安定性はテアリングモードパラメータが主要な役割を果たしている現象ではないことを明らかにした。

二点目に関して、1点モデルを開発した。このモデルから得られる固有値は、数値計算により得られる非物理的な不安定性の定性的傾向およびある程度の定量的な値を捉えることに成功した。また、外部解を用いて1点モデルから得られる固有値を評価した。外部解とは、慣性や電気抵抗を無視した場合の共鳴面近傍における解析解であるが、その場合、1点モデルから得られる不安定固有値の成長率は空間刻み幅に比例することを確認した。これは1点モデルおよび数値解から評価した場合の非物理的な不安定性の空間刻み幅依存性と整合していると言える。

参考文献

- [1] 古川 勝, “流れのあるプラズマにおける MHD 不安定性の理論モデルに関する研究- 固有モードおよび初期値問題による理論解析 -”, 日本原子力機構受託研究報告書 (2008).
- [2] R. Gruber, *Computer Physics Reports* **6** (1987) 299.
- [3] E. Ahusborde, R. Gruber, M. Azaiez and M. L. Sawley, *PHYSICAL REVIEW E* **75**, 056704 (2007).