

流れを持つプラズマにおけるテアリングモード安定性の 漸近接続法による解析

学生証番号 76213 氏名 中津 智世
(指導教員 古川 勝 准教授)

Key Words : magnetically confined plasma, plasma flow, boundary layer theory, tearing instability

流れを持つプラズマには、未だ解明されていない問題が数多く残っている。また、一般的に非一様な流れを持つプラズマの支配方程式は数学的にも難しい問題を呈する。プラズマが流れを持つのは、何ら特別な場合ではなく、自然界にあるプラズマの多くは流れを持っているし、核融合に向けた磁場閉じ込め装置中でも、静かに閉じ込めていたはずのプラズマが、自発的に流れを生起し、閉じ込めによくも悪くも影響を与えることが分かっている[1]。特にシアのある流れは、プラズマの不安定モードのいくつかに対し安定化効果があるという研究結果もある[2]。しかし、プラズマの電気抵抗に依存するMHD不安定モードである「テアリングモード」に対しては、シア流が不安定に働くという研究結果がある[3]。このような問題では、現実的なプラズマパラメタを考えると、プラズマ全域に占める内部層の領域は非常に薄く典型的な境界層問題(特異摂動)となっており、漸近接続法は避けて通れない方法論となっている。漸近接続法とは、プラズマの慣性や電気抵抗を無視できない薄い領域(内部層)と、そこから離れた大部分の外部領域(理想MHD領域)に分け、各領域での支配方程式の解を漸近的に接続して解を得る方法論である。漸近接続法にて数値計算を行うことのメリットは、薄い内部層での物理を捉えられるような領域・周波数スケールの引き伸ばしを行っているため、より詳細なテアリングモードの描写ができることや、外部領域の状況は固定し、内部層内のみのシア流によるモード変化を調べることが可能であることなどが挙げられる。

テアリングモードは1960年代頃から研究がおこなわれている古いテーマであるが[4]、近年新古典テアリングモードにおける種磁気島の問題などから、再び、シア流存在下における古典的なテアリングモードの挙動が注目されるようになってきている。[3]もシア流の効果を残した内部層の支配方程式(内部層方程式)を漸近接続法を用いて解析的に解いた文献であるが、それらにおいては、加えたシア流の大きさによる方程式の場合分けが必要であった。本研究では、シア流が存在するときに外部領域の支配方程式(Newcomb方程式)の解の内部層へ向かう漸近形と、内部層方程式の外部領域へ向かう漸近形を導き、シア流の大きさによらない漸近接続条件を導き、それを用いて場合分けを行わずとも固有値問題として数値的に解くことを可能にした。

また本研究は、シア流のある円柱プラズマにおけるテアリングモードの線形安定性を、漸近接続法を用いて数値的に解析する。シア流の効果を残した内部層方程式を平衡のまわりで線形化し、摂動量にFourierモードの時間依存性 $e^{\gamma t}$ (γ :モード成長率)を仮定し、その成長率がシア流によりどのように変化するのか、またその変化のメカニズムを検証することを目的とした。本来、シア流のあるプラズマ中の波動現象を解析するにあたり、このような時間依存性を仮定することは、ある限定された解を求めているに過ぎないことを念頭に置いた上で議論する。

結果としては、テアリングモードは内部層内のシア流に影響を受け、その不安定化メカニズムはシア流の大きさにより異なるということが分かった。シア流の大きさが、プラズマの特徴的速度(アルフベン速度)よりも小さい場合、シア流はモードを不安定化させ、大きい場合は逆にモードは急激に安定化する。

[1]吉田善章, 平成14年度~18年度科学研究費補助金 研究成果報告書.

[2]W.A.Cooper, *Phys. Plasmas Control Fusion* **30**, 1805 (1988); M.Furukawa, Y.Nakamura, S.Hamaguchi, M.Wakatani, *Phys. Plasmas* **8**, 4889 (2001).

[3]X.L.Chen, P.J.Morrison, *Phys. Fluids* **B2**, 495 (1990); R.B.Paris, W.N-C.Sy, *Phys. Fluids* **26**, 2966 (1983).

[4]H.P.Furth, J.Killeen, M.N.Rosenbluth, *Phys. Fluids* **6**, 459 (1963).