東京大学 大学院新領域創成科学研究科
基盤科学研究系 先端エネルギー工学専攻
2011年3月修了　修士論文要旨

磁気圏型プラズマの圧力駆動不安定性に関する平衡流効果のシミュレーションおよびモデル解析

学生証番号　47-096072　氏名　杉浦　友昭
（指導教員　古川　勝　准教授）
Key Words : dipole plasma, pressure driven instability, toroidal flow, MHD

磁気圏型プラズマ閉じ込めのMHD 安定性に関して、これまでに、平衡プラズマ流が無いとして、固有値解析による理論シミュレーション研究が行われてきた[1]。プラズマ流を考慮する場合、非エルミート演算子により記述される問題となり、一般的には初期値問題による解析が必要である。本研究では、アイコナールに平衡流シアのストレッチ効果を導入した高nバルーニング方程式[3](nはトロイダルモード数)を初期値問題として解いている。

平衡流シアが十分小さい場合、流れシアによる波数ベクトルの時間変化が安定性に対する主要効果であり、各瞬間の成長率は、流れなしのバルーニング方程式を各瞬間に対応する波数ベクトルを用いて固有値解析した結果とほぼ一致する事を明らかにした[2]。平衡流シアが大きい場合、波数ベクトルの時間変化に加えて平衡流および流れシアの効果が現れることを示し、その効果の分析を行った。Fig.1は流れがあるときの各時刻tにおける瞬間的成長率と、流れ無しの固有値解析から得られた成長率の比較である。横軸はポロイダル径方向波数$\tilde{k}_r = k_r + \Omega' t$、流れがある場合は$k_r = 0$とした。安定性計算を行う磁気面で平衡流と平衡流シアを含むマッハ数分布Profile1、および平衡流シアのみのProfile2で計算を行い、平衡流と平衡流シアの効果分離を行った。Profile2では、平衡流シアによって瞬間的成長率が小さくなるが、平衡流シアに加えて平衡流効果を含んだProfile1では、平衡流シアによる安定化効果が打ち消される。つまりシアを含んだ平衡流が大きい場合、平衡流は不安定効果を、平衡流シアは安定化効果を持つ。これらの効果について検証するため、Profile2に対応する状況でバルーニング方程式をモデル化し、振り子方程式のような常微分方程式を導いた。ただし、平衡流シア由来の、波数ベクトルの時間変化による固有振動数変化と摩擦項が入っている。Fig.2は、固有振動数変化と摩擦項に含まれる平衡流シア対応項が大きい場合の、各時刻tでの瞬間成長率であり、摩擦項を落とした場合には成長率が大きくなる。ただし平衡流シア対応項が小さいときは、摩擦項ありの結果と一致する。つまり、平衡流シアが大きくなることで、摩擦のような安定化効果が得られることを明らかにした。

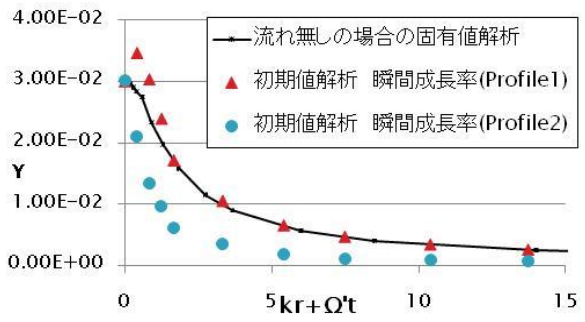

Fig.1 平衡流効果と平衡流シア効果の分離

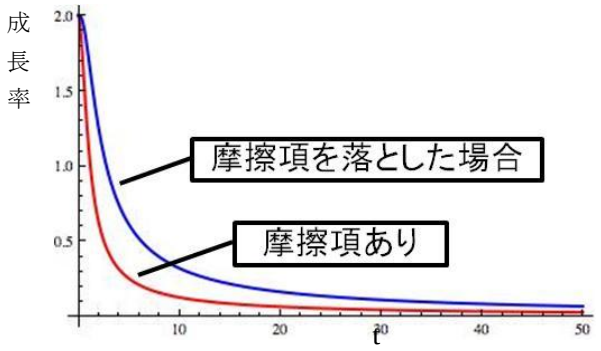

Fig.2 平衡流シア効果のモデル化

1. M. Furukawa, H. Hayashi, Z. Yoshida, Phys. Plasmas 17, 022503 (2010).
2. 杉浦友昭、古川勝，日本物理学会講演概要集(2010年秋季大会)，26aQJ-11.
3. W.A. Cooper, Plasma Phys. Control. Fusion 30, 1805(1988).