

トカマクプラズマのアルフェン固有モードにおける運動論効果

Kinetic effects on toroidal Alfvén Eigenmodes in tokamak plasmas

伊藤幹也, 石澤明宏, 今寺賢志, 岸本泰明, 中村祐司

Mikiya. Ito, Akihiro. Ishizawa, Kenji. Imadera, Yasuaki. Kishimoto, Yuji. Nakamura

京都大学エネルギー科学研究科

Graduate School of Energy Science, Kyoto University

高エネルギー粒子によるアルフェン固有モードの励起は、燃焼によって生じた高速粒子の損失を引き起こし核融合炉の安定的な運転に支障を来す恐れがある。そのため、この不安定性による高エネルギー粒子閉じ込めへの影響の理解およびその予測が求められている。MHD不安定性の中でも特にトロイダルアルフェン固有モード (TAE) がトーラスプラズマに共通した典型的な不安定性で、トロイダル効果でポロイダル波数 m と $m+1$ が結合することで生まれるアルフェン周波数ギャップ帯で励起される (図 1)。近年、TAE によるゾーナル流生成[1]が乱流抑制に寄与する可能性が指摘されておりそのバルクプラズマ閉じ込めへの影響が注目されている。一方、TAE と乱流の相互作用のシミュレーションでは、TAE によって生成されるゾーナル流の乱流抑制への影響は小さいことが示された[2]。

本研究では、TAE によるゾーナル流生成が、反磁性効果(ドリフト波効果)に依存する可能性を考え、TAE によるゾーナル流生成が強くなる条件を探ることを目的とする。また、反磁性効果はTAE のようなMHD不安定性に対して安定化効果があると期待されるので、これについても詳細に調べる。数値シミュレーションには、反磁性効果を評価できる大域的ジャイロ運動論シミュレーションコード GKNET を使用し、TAE に対するこの効果を評価する。

計算条件は、TAE 不安定性に関するベンチマークテスト研究[3]と同一とした。このプラズマはトロイダルモード数 $n=6$ に対してポロイダル波数 $m=10$ および $m=11$ の結合によりアルフェン周波数ギャップ帯が生じて、TAE が不安定化する(図1)。

反磁性効果を調べるために、規格化勾配長 R_0/L_{Ts} (添え字 s は i :イオン、 e :電子)、の値を変更することで温度分布の勾配を変更した。

図 2 は $R_0/L_{Ts}=0.001, 1, 2$ として勾配長を大きくした場合の、線形成長率(左)および実周波数(右)を示す。線形成長率は勾配長を大きくするにしたがって少し減少する傾向が見られ、反磁性安定化効果によ

るTAE の弱い安定化効果が見られた。実周波数も減少傾向が見られた。図3 は静電ポテンシャルの動径方向分布を示す。反磁性効果による構造の変化は小さい。

発表ではこれらのTAEの非線形発展を調べ、TAE によるゾーナル流生成への反磁性効果を報告する。

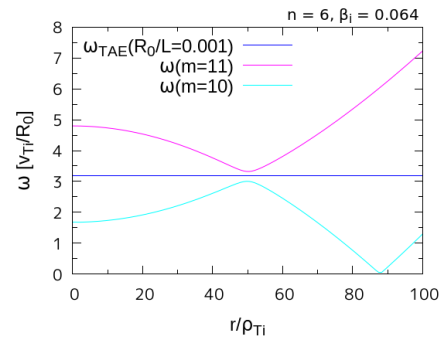


図 1: アルフェン周波数と $R_0/L=0.001$ でのTAE周波数。

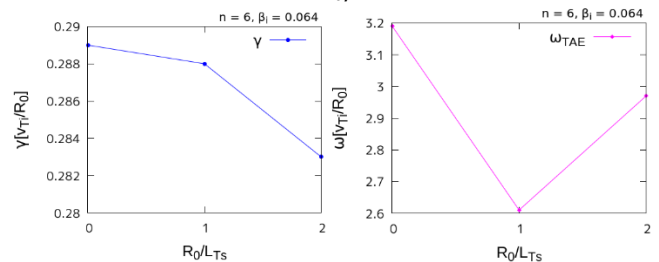


図 2: $R_0/L_{Ts}=0.001, 1, 2$ での線形成長率(左)と実周波数(右)。

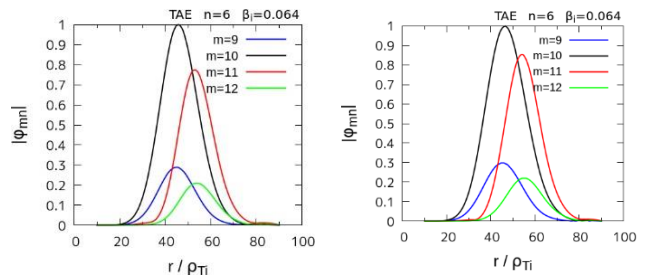


図 3: $R_0/L_{Ts}=0.001, 2$ でのポロイダル波数毎の静電ポテンシャル分布。

[1] L. Chen *et al*, Phys. Rev. Lett, **109** 145002(2012).

[2] A. Ishizawa *et al*, Nucl. Fusion, **61** 114002(2021).

[3] A. Könies *et al*, Nucl. Fusion, **58** 126017(2018).