

任意の速度分布関数を持つトカマクプラズマにおける
アルヴェン固有モードの運動論的線形安定性解析

**Kinetic linear stability analyses of Alfvén eigenmodes
in tokamak plasmas with arbitrary velocity distribution functions**

二口 泰成¹, 福山 淳¹, 奴賀 秀男²

Taisei FUTAKUCHI¹, Atsushi FUKUYAMA¹, Hideo NUGA²

¹ 京大院工, ² 核融合研

¹Graduate School of Engineering, Kyoto University, ²NIFS

トカマクプラズマ内では高速イオンにより様々なアルヴェン固有モードが励起され、不安定なモードは大振幅の電磁揺動により高速イオンの損失を増加させる可能性がある。そのためアルヴェン固有モードの安定性解析は高速イオンの閉じ込めにおいて重要な問題となっており、理論的、数値的に研究が進められてきた。これまで、Maxwell 方程式、

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = \frac{\omega^2}{c^2} \mathbf{E} + i\omega\mu_0 (\mathbf{j}_p + \mathbf{j}_{\text{ext}}) \quad (1)$$

を解くことにより三次元波動伝播解析をするコードである TASK/WM を使用しアルヴェン固有モードの線形安定性解析を行ってきた。線形の範囲内においては、

$$\delta \mathbf{j}_p = \vec{\sigma}_i \delta \mathbf{E} = \int d\mathbf{v} e_i \mathbf{v}_d f_{i1} \quad (2)$$

という関係式が成り立ち (e_i は粒子種 i の電荷, $\mathbf{v}_d$ はドリフト速度, f_{i1} は粒子種 i の摂動分布関数)、摂動分布関数から誘電率を求めることができれば、適切な外部電流のもとでの複素周波数 ω を持つ摂動電場が (1) 式より求められる。

高速イオンの応答に関しては、ドリフト運動論方程式、

$$\left[\frac{\partial}{\partial t} + v_{\parallel} \nabla_{\parallel} + (\mathbf{v}_d + \mathbf{v}_E) \cdot \nabla + e_i (v_{\parallel} E_{\parallel} + \mathbf{v}_d \cdot \mathbf{E}) \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \right] f_i = 0 \quad (3)$$

から近似的な摂動分布関数を求め、誘電率を導出し [1]、等方的で解析的な分布関数を用いて安定性解析を行ってきた。しかし、NBI や ICRF による加熱では、高速イオンの分布関数は非等方的で局所的なものとなる可能性がある。そのため今回は、任意の速度分布関数を持つ高速イオンの誘電率を計算できるよう TASK/WM を拡張し、様々な分布関数に対するアルヴェン固有モードの成長率を計算した。最終的に、TASK/WM と 1 次元運動論的輸送を解析する TASK/FP を組み合わせ、時間発展に伴う分布関数の変形を含めたアルヴェン固有モードの成長を自己無撞着に解析することを目指す。

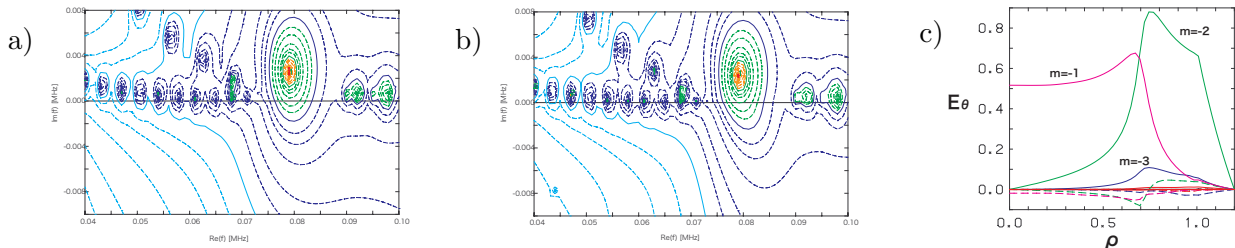


図. 同条件での固有モード周波数の計算 (a) プラズマ分散関数 (解析式), (b) 数値計算
(c) 数値計算の場合の TAE 固有モード関数 ($f_r = 79.4\text{kHz}$, $f_i = 2.52\text{kHz}$)