

負磁気シア配位におけるアルヴェン固有モードの 線形安定性

京大工：福山 淳，阿久津 拓

内 容

- 目 的
- 波動伝播解析コード TASK/WM によるアルフベン固有モードの解析
- Reversed-Shear induced Alfvén Eigenmode (RSAE)
- 高速イオンによる不安定化
- まとめ

目的

- **トカマクにおける多様なアルヴェン固有モード**
 - **CAE** : 圧縮性アルヴェン固有モード (高周波数 , 球状トカマク)
 - **EAE** : Ellipticity-induced Alfvén eigenmode (楕円断面)
 - **TAE** : Toroidicity-induced Alfvén eigenmode (トーラスプラズマ)
 - **GAE** : Global Alfvén eigenmode (円柱プラズマ)
 - **EPM, RSAE, BAE** : Energetic Particle Driven mode (高速イオン)
 - **DAE** : Drift-Alfvén eigenmode (ドリフト波との結合)
- **負磁気シア配位におけるアルヴェン固有モード**
 - TAE 安定化の予測 : アルヴェン共鳴による吸収の増加 (Nova-K)
 - 周波数が大幅に変化する固有モードの存在 (JT-60U, JET)

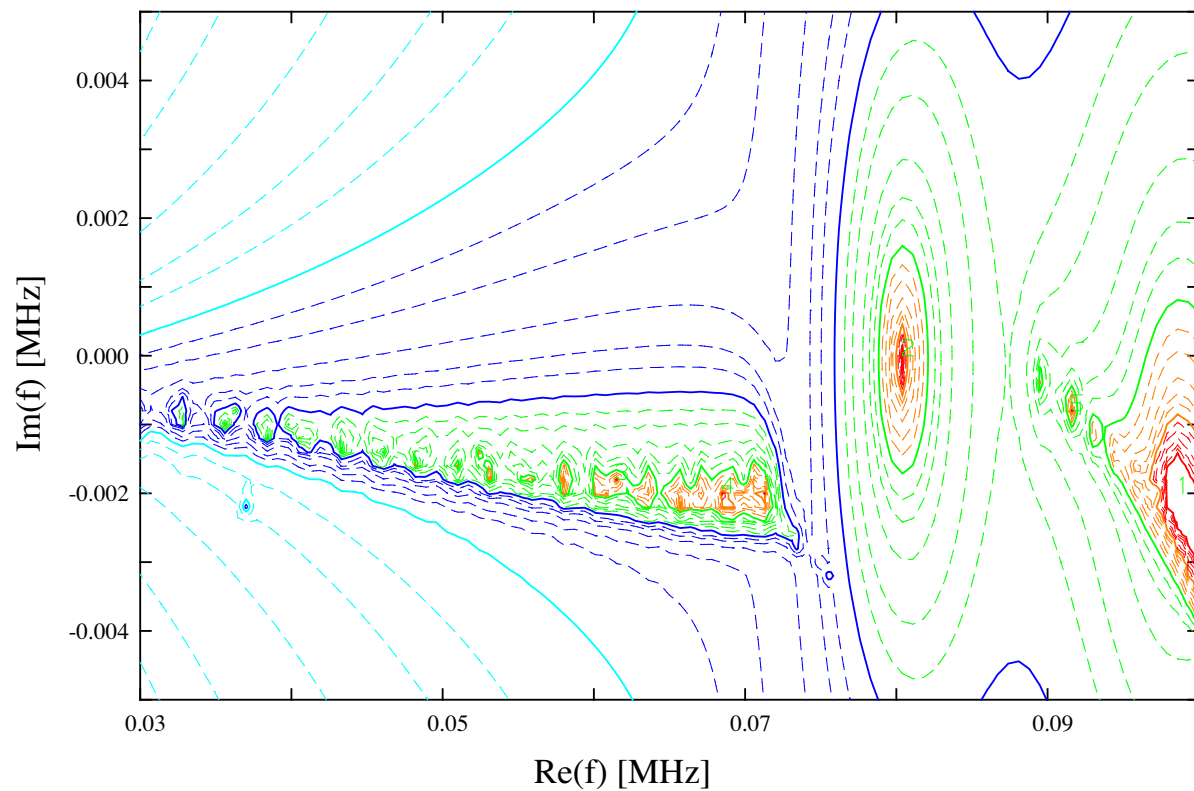
アルヴェン固有モードの線形安定性解析

- **電磁流体的解析** (理想, 抵抗性)
- **運動論的效果を含めた電磁流体的解析** (摂動的)
 - 固有関数は電磁流体方程式から．運動論的效果を含めて成長率を評価．
- **運動論的解析** (電子の質量, イオンの有限半径, ドリフト運動等)
 - PENN code (Jaun, Alfvén Lab)
 - TASK/WM (Fukuyama)
- **バルーニング展開** (高 n モード)
 - HINST (Gorelenkov, Cheng)
 - 2D-WKB (Vlad, Chen, Zonka)
- **3次元波動伝播解析コード TASK/WM**
 - MHD 平衡解析から得られる磁気面座標
 - マクスウェル方程式の境界値問題．プラズマの応答は誘電率テンソル
 - ポロイダル方向とトロイダル方向にはフーリエモード展開, 径方向には差分
 - 一定振幅の励起に対して振幅が最大となる複素固有周波数を求める．

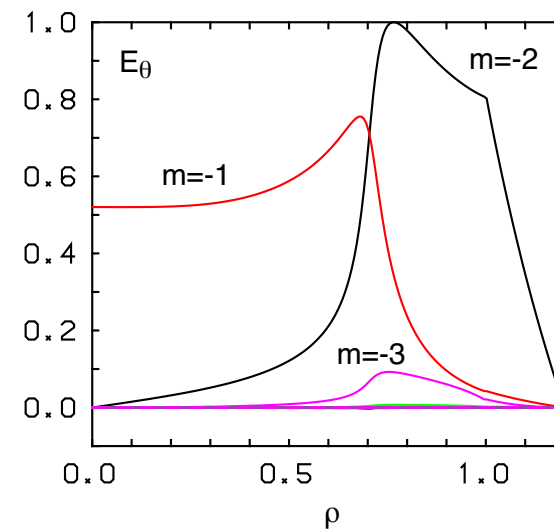
正磁気シア : TAE

- $q(\rho) = q_0 + (q_a - q_0)\rho^2$, $q_0 = 1$, $q_a = 2$
- 平坦密度分布

複素周波数空間における振幅等高線

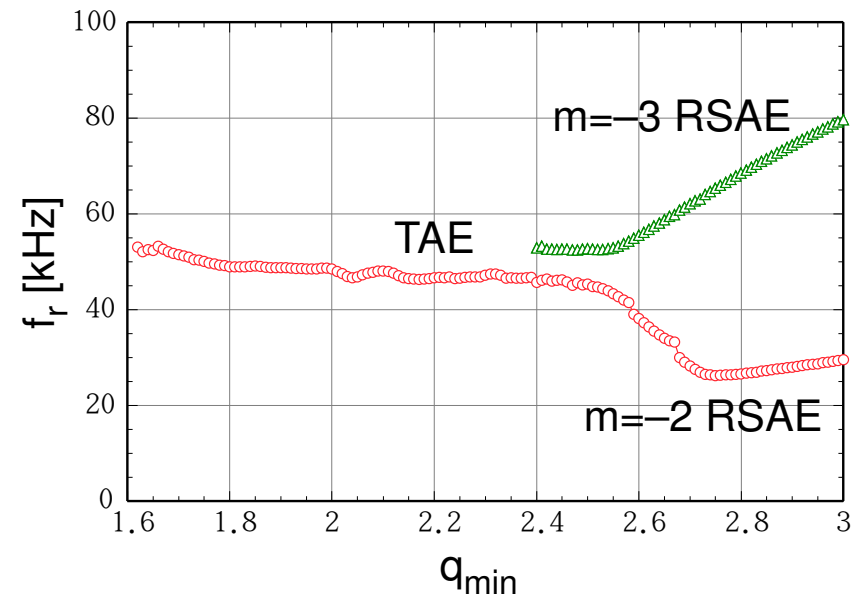


$$f_r = 81.95 \text{ kHz}$$
$$f_i = -20.32 \text{ Hz}$$

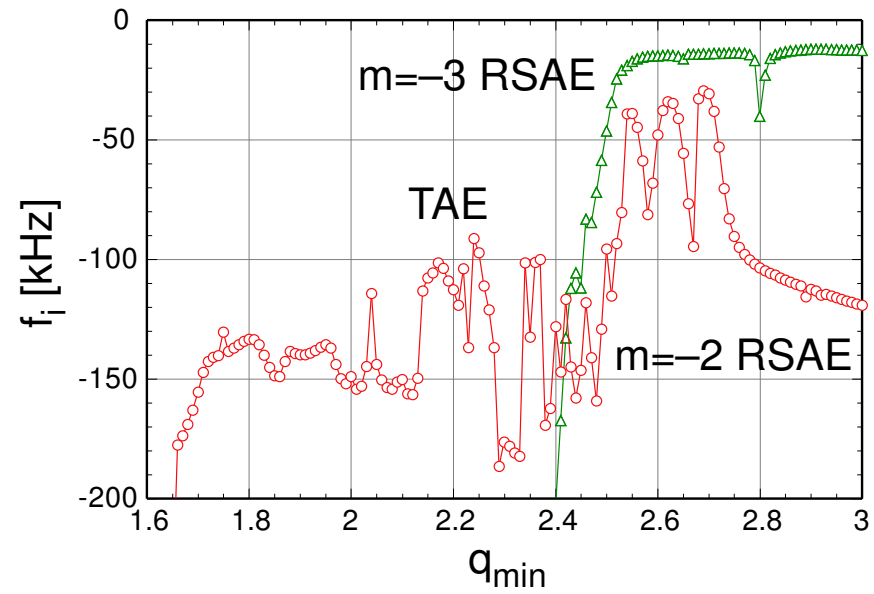


固有周波数の q_{\min} 依存性

実周波数



減衰率

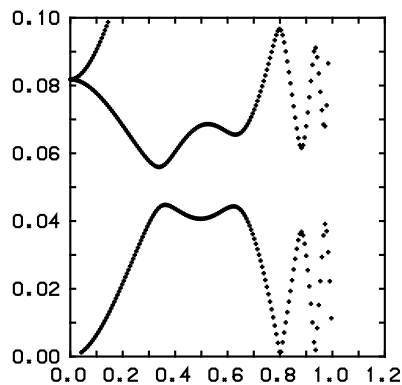
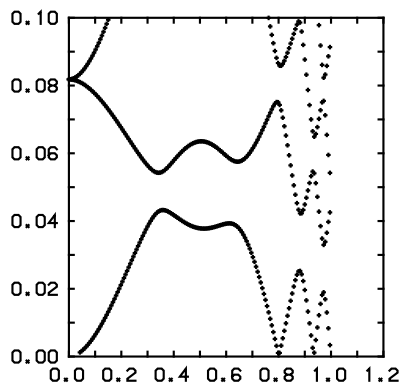


アルヴェン周波数構造の密度分布依存性

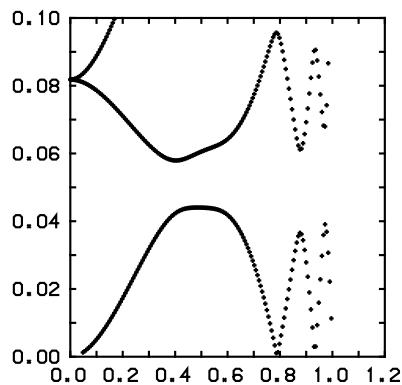
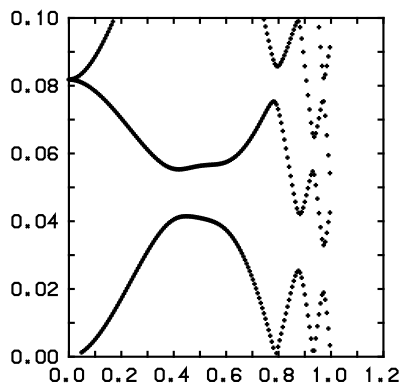
平坦分布

周辺密度 0 の分布

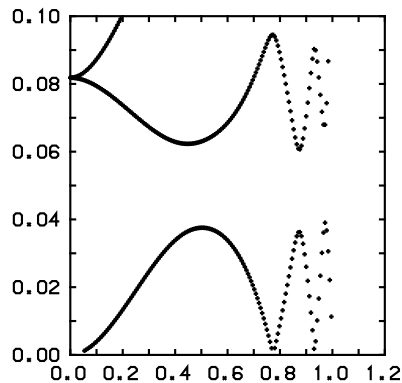
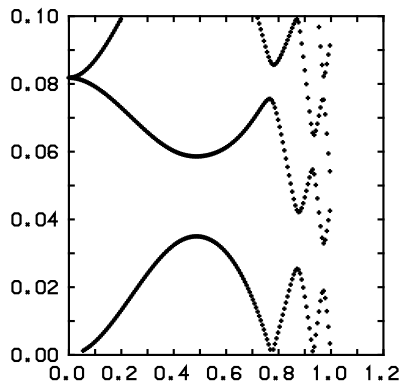
$q_{\min}=2.4$



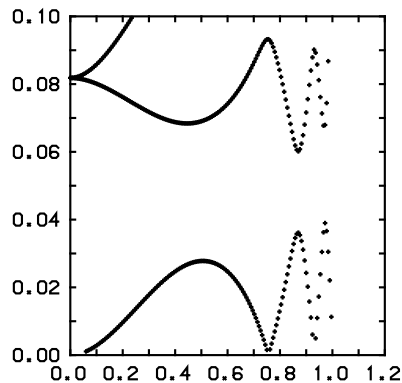
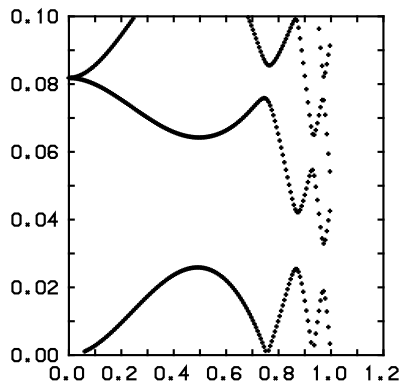
$q_{\min}=2.5$



$q_{\min}=2.6$

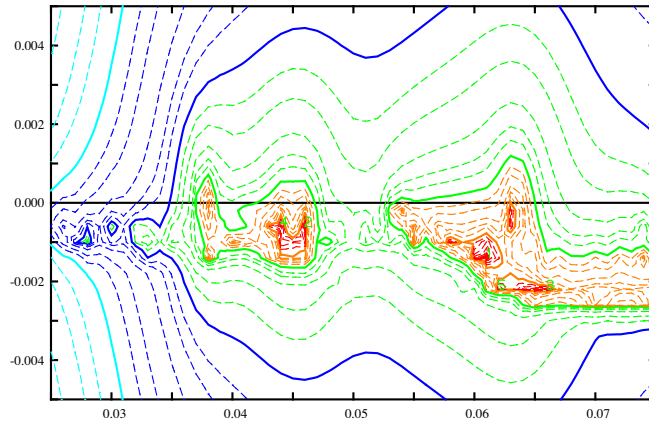


$q_{\min}=2.7$

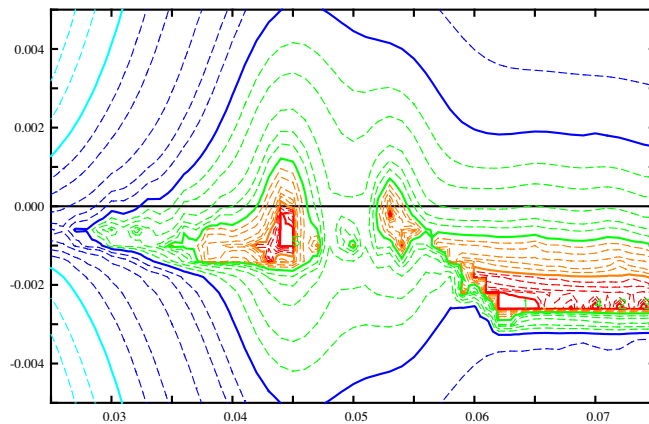


平坦な密度分布の場合

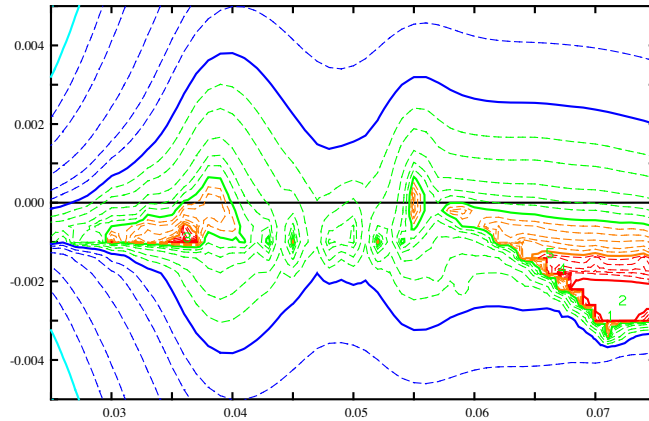
$q_{\min}=2.4$



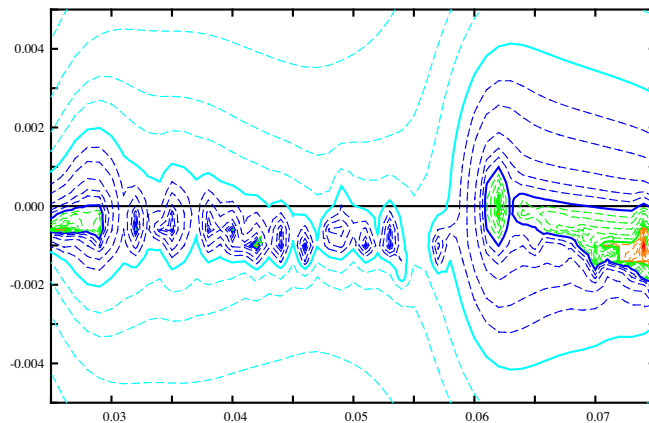
$q_{\min}=2.5$



$q_{\min}=2.6$

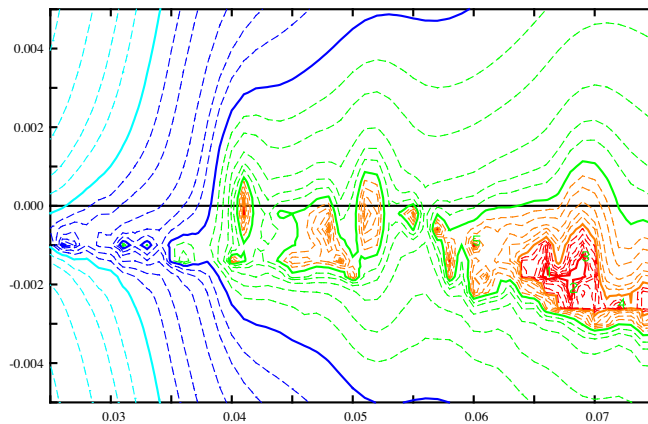


$q_{\min}=2.7$

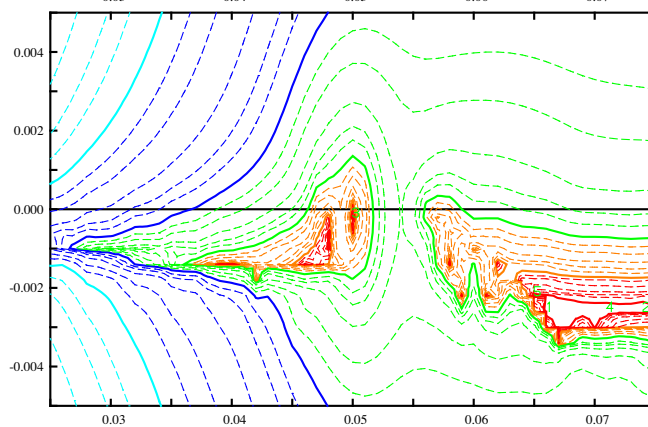


周辺密度 0 の密度分布の場合

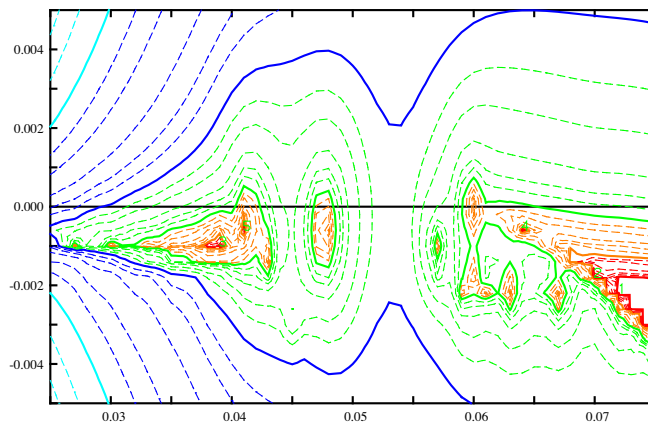
$q_{\min}=2.4$



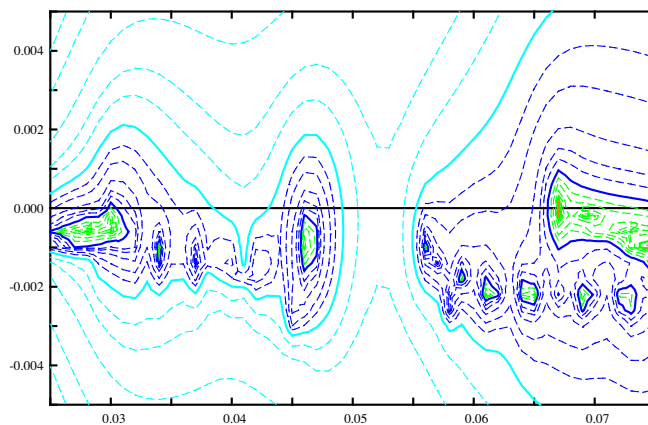
$q_{\min}=2.5$



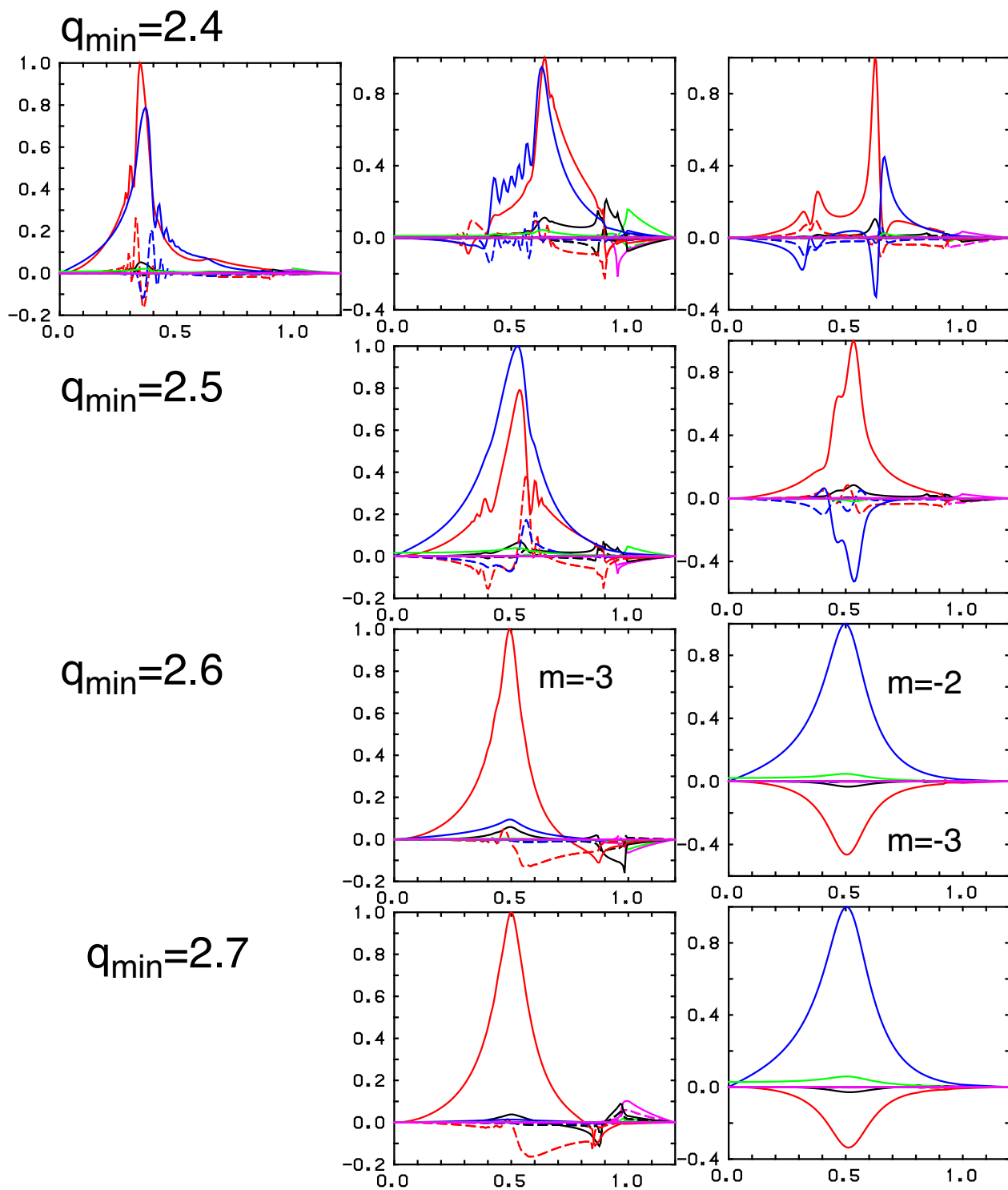
$q_{\min}=2.6$



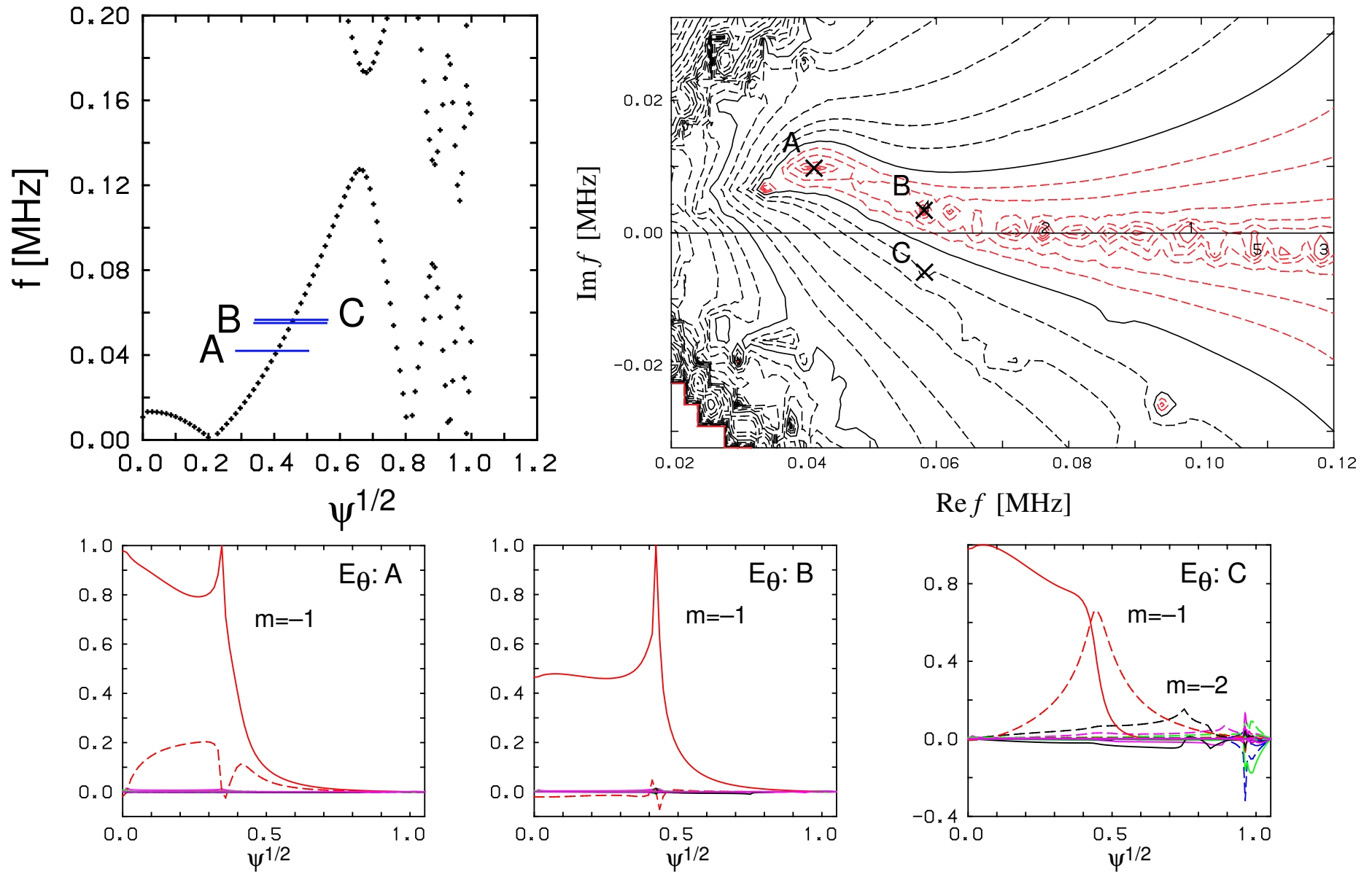
$q_{\min}=2.7$



RSAE の固有関数



高速イオン励起モード



$$(f_r, f_i) = (41.8, 8.1) \text{ kHz} \quad (f_r, f_i) = (57.7, 3.6) \text{ kHz} \quad (f_r, f_i) = (58.0, -6.0) \text{ kHz}$$

まとめ

- 負磁気シア配位においては，TAE はより安定となるが，周波数ギャップの上下端近傍に固有周波数をもつ固有モード RSAE が存在できる．
- RSAE は安全係数の最小値付近に局在したGAEとみなすこともできる．
- RSAE の存在範囲は おおよそ $\ell + 0.5 \lesssim q_{\min} \lesssim \ell + 0.7$ である．
- 高速イオンによるアルヴェン固有モードの不安定化を取り入れ，周波数ギャップよりも低い周波数領域の固有モードが不安定化される条件を調べた．
- 今後の課題
 - 高速イオンによる RSAE の不安定化
 - 低周波領域におけるドリフト波との結合
 - 有限ラーモア半径効果の導入