

線形化MHD応答・安定性解析コードRESTOKを用いた トカマクプラズマのテアリングモードに対する有限ベータ効果の解析

Analysis of finite-beta effects on tearing modes in tokamak plasmas using linear MHD response and stability analysis code RESTOK

古川勝¹, 相羽信行²
M. Furukawa¹, N. Aiba²

鳥取大学¹, 量研那珂²
Tottori University¹, QST Naka²

原型炉は磁気流体力学的 (MHD) 安定性に裕度をもったプラズマで運転する必要がある。理想 MHD モードに対して安定であることは必須で, 抵抗性 MHD モードの安定性などの比較的ゆっくり成長するモードについても安定であることが望ましい。

本研究では, 著者らが開発してきた, プラズマ回転や電気抵抗の効果を含めてトカマクプラズマの MHD 安定性解析を行えるコード RESTOK (RESponse and STability of TOKamak) のベンチマークとして, トカマク平衡のテアリングモード安定性に対する有限ベータ効果を計算した。なお, RESTOK は名前の通り, 外部から与えられた摂動磁場に対する抵抗性 MHD 応答も計算できる。著者らがこれまで安定性解析コードとして開発してきた ERMHDT (Eigenvalue code for Resistive MagnetoHydroDynamics stability in Toroidal geometry) [1, 2] の拡張版となっている。

本講演では, 文献 [3] や [4] で示されたような, テアリングモードに対する有限ベータ効果について報告する。例えば文献 [3] の Fig. 2, 文献 [4] の Fig. 4 には, Lundquist 数 S を大きくするにしたがってテアリングモードが純粋な指数関数的な成長から実周波数をもったモードに転換し, さらに S を大きくすると減衰モードに転じ, 最終的には周波数ゼロの状態に近づくことが示されている。

MHD 平衡は MEUDAS コード [5] を用いて計算した。圧力と安全係数の小半径分布を図 1 に示す。円形断面でアスペクト比 $A = 4$, ポロイダルベータ値は $\beta_J = 0.26$ である。

図 2 に, 得られた固有値の実周波数 $\omega_r \tau_A$ を横軸, 成長率 $\gamma \tau_A$ を縦軸にして Lundquist 数 S を変化させたときの様子を示す。まず, $1/S = 10^{-6}$ のとき, 最も成長率大きいモードと 2 番目のモードの固有値が $\omega_r = 0$ の軸上にある。 S を大きくするとそれらの成長率が近づいてきて, $1/S = 2.4 \times 10^{-7}$ から 2.3×10^{-7} の間で縮退して正負の ω_r をもつペアになる。さらに S を大きくすると減衰モードのペアに転じる ($1/S = 4 \times 10^{-8}$ あたり)。その後は減衰モードのまま ω がゼロに近づいていく。先行研究と完全に同じ平衡ではないため定量的な一致ではないが, 定性的に同じ結果が得られた。

本研究は QST 原型炉研究開発共同研究の助成を受けたものである。

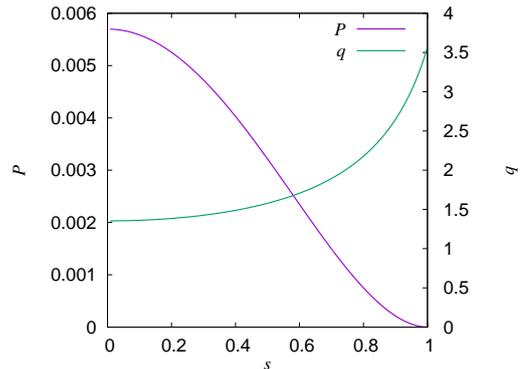


図 1: MHD 平衡の圧力 (磁気軸での磁気圧の 2 倍で規格化) P と安全係数 q を規格化小半径 s (磁束関数の平方根) に対してプロット。

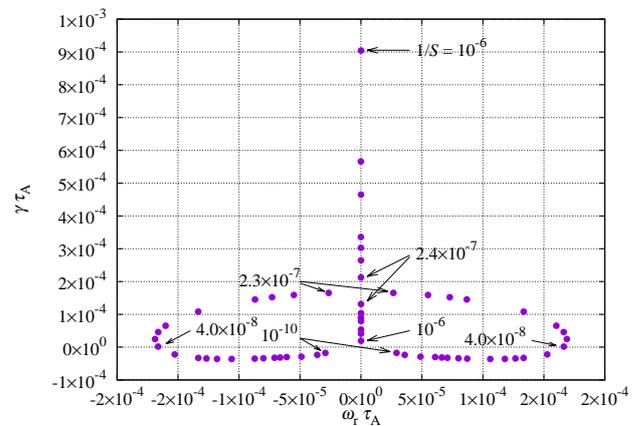


図 2: 有限ベータのトカマク平衡におけるテアリングモード成長率 γ と実周波数 ω_r の Landquist 数依存性。 τ_A は Alfvén 時間。

参考文献

- [1] M. Furukawa, N. Aiba, Plasma Conference 2017, 2017, 24P-04.
- [2] M. Furukawa and N. Aiba, 3rd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics, MF-P10 (Hefei, China, 2019).
- [3] T. Hender, R. Hastie, and D. Robinson, Nuclear Fusion **27**, 1389 (1987).
- [4] G. T. A. Huysmans, J. P. Goedbloed, and W. Kerner, Physics of Fluids B: Plasma Physics **5**, 1545 (1993).
- [5] M. Azumi et al., in Proc. 4th Int. Symp. on Comput. Methods Applied Sci. Engineering, Paris (North-Holland, Amsterdam, 1980), p. 335.