

内部輸送障壁を持つトカマクプラズマの MHD 安定性に関する 正負三角度の比較

Comparison of MHD stability between positive- and negative-triangularity tokamak plasmas with internal transport barriers

昌元悠宰¹, 相羽信行², 古川勝¹,

Yusai MASAMOTO¹, Nobuyuki AIBA², Masaru FURUKAWA¹,

鳥取大学¹, 量研那珂²

Tottori Univ.¹, National institutes for Quantum and Radiological Science and Technology²

トカマクプラズマ断面形状の三角度を負にした核融合炉設計が提案されている [1]. 負三角度トカマクプラズマの MHD 安定性限界は Yu [2] らによって計算された例があるが, 圧力分布や電流駆動に自己無撞着な電流密度分布を使った計算はされていない. また, 負の三角度のプラズマが内部輸送障壁 (ITB) を持つ場合にどのような安定性特性となるかは研究されていない. 本研究では, ITB を持つ圧力分布と電流駆動入力を与え, 自己無撞着に決定された電流密度分布を持つ平衡の MHD 線形安定性解析を行った. 三角度の正負による MHD 安定性の比較を行った. さらに, 追加電流を加え安全係数を操作し, 不安定な理想 MHD モードを安定化できるかどうかを調べた. 平衡計算は, 与えられた密度・温度分布から自己無撞着に電流密度分布を求め, Grad-Shafranov 方程式を解く ACCOME [3] コードを用いた. MHD 線形安定性解析には MARG2D [4] コードを用いた. この時, 安定性解析のために高精度の平衡を求めため MEUDAS[5] コードで再計算している.

平衡は, 大半径 $R_0 = 8.5$ m, 小半径 $a = 2.5$ m, 楕円度 $\kappa \simeq 1.8$ で, プラズマ電流量 I_p を 10 MA で固定した. 但し, 楕円度や断面積は三角度の正負でおよそ 5 ~ 10% の変動がある. 最初は, bootstrap 電流の他は Ohmic 電流のみを考慮した. また, 完全導体壁が a の 1.3 倍の場所にあることを仮定した. Fig. 1 (a) は ITB の位置 ρ_{ITB} に対して理想 MHD 安定性の指標 λ ($\lambda > 0$ で安定) を示している. 本概要では三角度 $\delta \simeq -0.33$ の場合の結果のみを示す. なお, ρ は規格化小半径であり, ρ_{ITB} は $dP/d\rho$ が最大となった位置とした. $\rho_{ITB} > 0.45$ では内部キンクモードが不安定であった.

次に, 追加電流を与えて不安定性を抑えることを試みた. 内部キンクモードは安全係数 q が 1 を下回らな

いように, またバルーニングモードは Fig. 1(b・下) のような追加電流を与えることにより ITB の領域で負磁気シアとなり, 安定化することができた. バルーニングモードを安定化できた圧力・安全係数分布の 1 例を Fig.1(b・上) に示す. 破線は $I_p = 10$ MA で $T_0 = 20$ keV の不安定な分布で, 実線は追加電流を与え安定化できた分布である. このとき追加電流を加えるために I_p を 14MA に増やしたので, 規格化ベータ値 β_N を揃えるために中心温度をあげている. 講演では正三角度の MHD 安定性の結果と, 安定化できたときの追加電流の与え方, 三角度の正負による炉心プラズマの最適化方針の違いについても発表する.

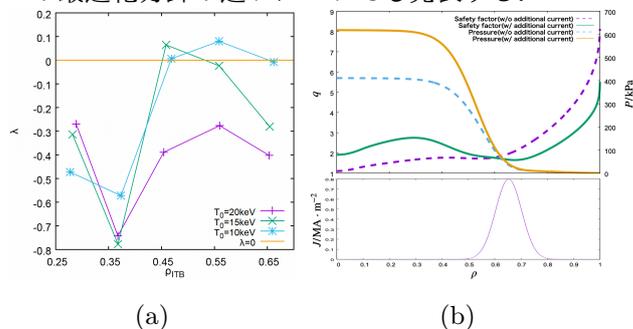


Fig. 1: (a) ρ_{ITB} に対する λ ($\lambda > 0$ が安定).

(b・上) β_N が同程度の圧力・安全係数分布.

(b・下) 追加電流の電流密度分布.

References

- [1] M. Kikuchi, 3rd WCI Symposium (Nov. 2012, KIST, Korea).
- [2] S.Yu. Medvedev, M. Kikuchi et al., Nucl. Fusion **55**, 063013 (2015).
- [3] K. Tani, M. Azumi and R. S. Devoto, J. Comput. Phys. **98**, 332 (1992).
- [4] Shinji Tokuda, Tomoko Watanabe, Phys. Plasmas **6**, 3012 (1999).
- [5] M. Azumi, G. Kurita, T. Matsumura, T. Takeda, Y. Tanaka and T. Tsunematu, Proc. 4th Int. Symp. on Comput. Methods Applied Sci. Engineering, Paris (North-Holland, Amsterdam, 1980), p. 335.

Acknowledgement

著者 (M.F.) は QST 原型炉共同研究から支援を受けた.