

外部共鳴磁場摂動による磁気島振動の能動制御とその磁気島成長に対する安定化効果

Active control of magnetic island oscillation via external resonant magnetic perturbations and its stabilization effects against magnetic island growth

井上静雄, 白石淳也, 武智学, 松永剛, 諫山明彦, 林伸彦, 井手俊介

S. INOUE, J. SHIRAISHI, M. TAKECHI, G. MATSUNAGA, A. ISAYAMA, N. HAYASHI, S. IDE

量研機構

QST

トカマクプラズマ中には様々な不安定が生じるが、その中でテアリングモードは軸対称のトカマクプラズマ中にヘリカル構造の磁気島を形成する。磁気島が、装置の製作・据付の過程で生じる静的な誤差磁場に捕捉されロックモードが生じると、最悪の場合ディスラプションに至る。捕捉された磁気島を解放するには外部共鳴磁場摂動 (RMP) により磁気島・誤差磁場間に働く静的なトルク (電磁力) を上回る動的なトルクを与えれば良い。ここで、ポロイダル方向に m 、トロイダル方向に n のヘリカル構造を持つ磁気島に同一ヘリシティの RMP を与えた時の磁気島幅の時間発展はラザフォード方程式によって、

$$I_1 \tau_R \frac{d}{dt} \left(\frac{W}{r_s} \right) = \Delta'(W) + 2m \left(\frac{W_v}{W} \right)^2 \cos(\varphi_s - \varphi_v) \quad (1)$$

と記述される。ここで、係数を I_1 とし、抵抗散逸時間 τ_R 、安全係数 $=m/n$ となる有理面少半径 r_s 、磁気島のテアリング安定性パラメーター $\Delta'(W)$ 、磁気島幅 W 、RMP によって生じる真空磁気島幅 W_v とした。つまり RMP は、元の磁気島との位相差 $\delta\varphi = \varphi_s - \varphi_v$ が反転していれば元のテアリングモードを安定化する方向に働く。しかしながら、RMP 下の磁気島の運動は重力場中の振子と同様に記述され [1]、 $\delta\varphi = 0$ となる、磁気島成長に対しては最も不安定な状態が力学的な安定状態である。一方、近年 Kapitza 振子からのアナロジーで、磁気島に対して微小振動を加えると、 $\delta\varphi > 0$ の力学的安定状態を形成できることが理論的に示された [2]。

本研究では簡単の為 $m/n = 2/1$ の磁気島と、同一ヘリシティの誤差磁場・RMP のみを考える。周波数 ω で回転する RMP と静的な誤差磁場との振幅比 $\alpha = B_{ERR}/B_{RMP}$ により、RMP と誤差磁場を合わせた正味の外部磁場の最大回転周波数 $\propto \omega/(1-\alpha)$ となる事を用い微小振動を励起する。結果を下图に示す。図 1(a) 上図は $\alpha = 0.9$ の場合で、磁気島の振動が周期的に励起されることを確認した。図 1(a) 下図のように、元の磁気島の振動と共鳴するような ω を用いた場合、図 1(b) に示すように、磁気島幅が連続的に減少する事が明らかになった。また、この時 $\delta\varphi$ が有限であることも確認した為、安定化効果は式 1 右辺第二項で説明できる。

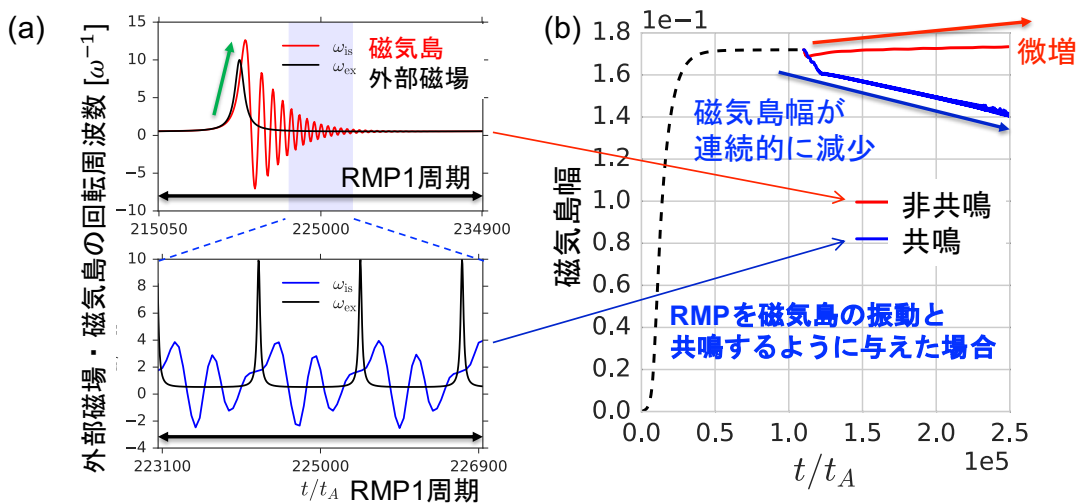


図 1: (a) 外部磁場と磁気島の回転周波数、及び (b) 磁気島幅の時間発展。

[1] S. Nishimura, M. Yagi, K. Itoh, S.-I. Itoh, S. Benkadda, Nucl. Fusion **50**, 054007 (2010).

[2] R. Fitzpatrick, Phys. Plasmas **24**, 122506 (2017).