

外部磁場による Locked Mode 能動制御の MHD シミュレーション

MHD simulation of locked mode and its active stabilization scheme by external field effects

井上静雄, 白石淳也, 井手俊介, 松永剛, 諫山明彦, 武智学

Shizuo INOUE, Junya SHIRAISHI, Shunsuke IDE, Go MATSUNAGA, Akihiko ISAYAMA,
Manabu TAKECHI

日本原子力研究開発機構
Japan Atomic Energy Agency

誤差磁場により生ずる磁気島の Mode Locking は、核融合プラズマの閉じ込め性能の悪化やディスラプションの引き金となる為、その性質の理解は重要である。特に現在建設中の ITER や JT-60SA では装置が大型化し磁気レイノルズ数 (R_m) が極めて高くなる為、高磁気レイノルズ数下における Locked Mode の研究が重要となる。そこで、本研究では速度場にトロイダル性を考慮した非圧縮条件 $\nabla \cdot (v/R^2) = 0$ を課したトロイダル非圧縮性プラズマモデルに基づく MHD シミュレーションコード AEOLUS-IT を改良し、 $R_m = 10^4$ から $R_m = 2 \times 10^7$ までの幅広い磁気レイノルズ数における磁気島の振る舞いを調べた。ここで v は速度、 R は大半径方向の座標である。数値解法としては、ポロイダル方向 θ ・トロイダル方向 φ にはスペクトル法、小半径 r 方向には差分法を用い、時間積分は二次精度の Modified Crank-Nicolson + Adams-Bashforth 法 [1] の陰陽混合手法を用いている。考えるモードは $m/n = 2$ のみのシングルヘリシティのシミュレーションで、境界条件として、Locked Mode を生ずる誤差磁場と安定化に寄与する制御磁場の二種類を考えている。

図 (a) に磁気レイノルズ数 $R_m = 2 \times 10^7$ 、誤差磁場 $B_{err}/B_0 = 10^{-4}$ 下におけるヘリカルポロイダルフラックスを示す。ここで、 B_0 は $t = 0$ でのプラズマ境界におけるポロイダル磁場であり、図のように、 $q = 2$ 有理面が存在する $r = 0.7$ に磁気島が形成される。図 (b) に磁気島幅 w の時間発展を示す。図 (b) 緑線に示すように磁気島は $50000 [T_A]$ まで線形に成長し、その後飽和する。図 (b) 赤線は線形成長時の近似直線で、古典的なティアリングモードの成長率 $dw/dt = \Delta' \eta / 2\mu_0 \simeq 56$ と良く一致する事を確かめた。これは高磁気レイノルズ数下において微細な電流構造が数値的に拡散せず、抵抗 η による拡散が正しく表現できている事を意味する。また、誤差磁場 $B_{err}/B_0 = 10^{-4}$ に加えて制御磁場 $B_{con} = 2B_{err}$ を与えた場合、磁気島は制御磁場に追従し、図 (b) 青線に示すように、制御磁場がない場合に比べて飽和する磁気島の幅が抑えられている事が分かる。このように高磁気レイノルズ数下においても、制御磁場による磁気島の能動的な回転制御は有効である事を確かめた。本発表では、上記の高磁気レイノルズ数下の Locked Mode の能動制御シミュレーションに加え、Locked Mode が生じる誤差磁場の、磁気レイノルズ数に対する依存性についても報告する。

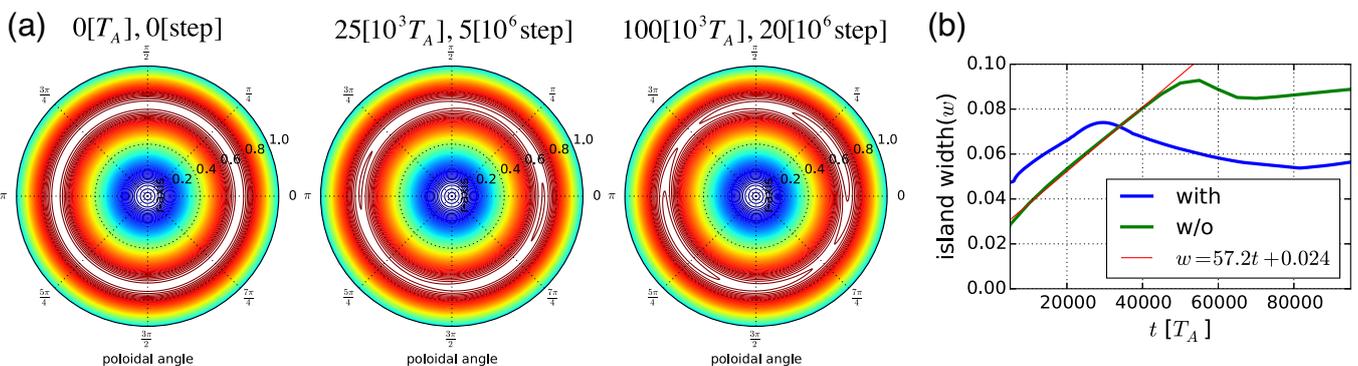


図 (a) 誤差磁場下のヘリカルポロイダルフラックスの時間発展, (b) 制御磁場有 (青) 無 (緑) における磁気島幅の時間発展.

[1] U.M. Ascher, S.J. Ruuth, and B.T.R. Wetton, SIAM J. Numer. Anal. **32**, 797 (1995).