

24aA36P

新古典テアリングモードの非線形シミュレーション

Nonlinear Simulation of Neoclassical Tearing Mode

森絵美¹⁾、伊藤早苗²⁾、矢木雅敏²⁾九大総理工¹⁾、九大応力研²⁾E. Mori¹⁾, S.-I. Itoh²⁾, M. Yagi²⁾IGSES Kyushu U.¹⁾, RIAM Kyushu U.²⁾

高 β トカマクプラズマにおいて、閉じ込め劣化の原因となる磁気島の発生が観測されている。この磁気島発生に伴う不安定性は新古典テアリングモードと呼ばれ、核融合プラズマの達成には、その物理的メカニズムについて解明し、制御することが必要である。そこで、本研究では4場簡約化MHDモデル[1]を用いて新古典テアリングモードの非線形シミュレーションを行い、エネルギーの時間発展および磁気島の構造形成について調べた。

数値手法としてスペクトル法を用いた。新古典粘性係数はHirshman-Sigmarモデルを用い[2]、安全係数および、圧力分布は以下で与えられるモデルを用いた。(ただし、平衡は満足していない。)

$$q(r) = q_0 \left(1 + \left(\frac{r}{r_s} \right)^m \right) + q_2, q_0 = (q_s - q_0) / (2b - 1), q_2 = q_0 - q_s, q_s = 2, a = 3, b = 1, r_s = 0.6$$

$$q(r) = \beta / \varepsilon (1 - r^2)^2, \beta = 3 \times 10^{-2}, \varepsilon = 1/3$$

図1に揺動磁場エネルギーの時間発展を示す。磁場エネルギーは線形成長から非線形成長へ移行し飽和していることがわかる。図2に $t=2000$ におけるヘリカルフラックスの等高線を示す。磁気島が形成されているのがわかる。



図1：揺動磁場エネルギー時間発展

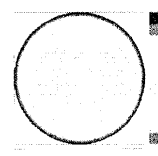


図2：磁気島の形成

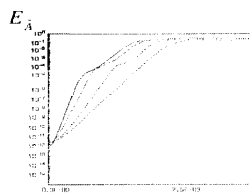


図3：揺動磁場エネルギーの時間発展

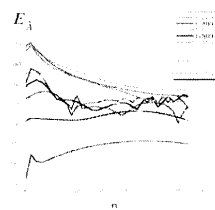


図4：パワースペクトルの時間発展

図3にモード数を変化させた時の揺動磁場エネルギーの時間発展を示す。モード数としてはそれぞれ2モード(0/0, 2/1)、5モード(0/0, 2/1, 4/2, 6/3, 8/4)、9モード(0/0, 2/1, 4/2, ..., 16/8)、17モード(0/0, 2/1, 4/2, ..., 32/16)を用いた。モード数の増加に伴い、線形成長が加速される。線形成長を加速するのは高 n モードに起因すると考えられる。しかし、最終的な飽和レベルはモード数に依らず、ほぼ一定レベルに落ち着いている。

図4にモード数17の場合のパワースペクトルの時間発展を示す。高 n モードがまず成長し、あるレベルで飽和している。同時に2/1モードが励起していることがわかる。飽和領域では2/1モードが支配的になるこの結果により、テアリングモードの発展はバックグラウンドの乱流によって加速されている可能性があると考えられる。飽和は準線形効果によるものと考えられるが、その詳細に関しては現在解析中であり、学会にて報告する予定である。

[1] A. Furuya et al., J. Phys. Soc. Jpn. 72 (2003) 313.

[2] S. P. Hirshman and D. J. Sigmar, Nuclear Fusion 21 (1981) 1079

24aA37P

2次元 Newcomb 方程式を用いたトカマク表面近傍における

理想MHD不安定性の数値解析

Numerical analysis of Ideal MHD stability of tokamak edge plasma with 2-D Newcomb equation

相羽信行、徳田伸二¹⁾、石澤朋子²⁾、岡本正雄³⁾総研大物理、¹⁾原研那珂、²⁾RIST、³⁾核融合研Grad. Univ. Adv. Studies, ¹⁾JAERI Naka, ²⁾RIST, ³⁾NIFS

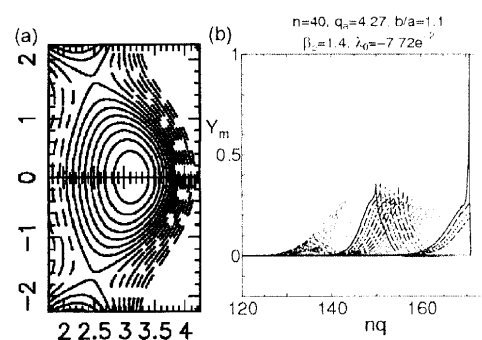
トカマク表面近傍における理想外部MHD不安定性は、周辺部にペデスタル構造を持つ(EI My) H-mode 運転時のプラズマの性質、特にペデスタルの圧力勾配限界や Edge Localize Modes (ELMs)の発生に強く関連している。このELMsに関連しているとされる理想外部モードには peeling mode(電流駆動)と edge ballooning mode(圧力駆動)、およびその2種類がカップルする peeling-ballooning mode があると考えられているが、いずれもトロイダルモード数 n の高い外部モードであり、実形状トカマクにおけるこれらのモードの安定性解析は数値計算精度の問題から困難であった。

本研究は、真空磁場エネルギーをプラズマのポテンシャルエネルギーと同様の形式で表す[1]ことで、2次元 Newcomb 方程式を数値的に解くことのできる数値コード(MARG2D)[2,3]における真空磁場エネルギーの計算方法を拡張した。これにより上記の高 n 外部モードの安定性を実形状トカマクにおいて同定することを可能にした。今回の発表では、この拡張された MARG2D コードのベンチマーク結果を示すと同時に、実験のショット間解析や実時間解析を視野に入れた同コードのパフォーマンスチェック(JAERI Origin3800 system での計算)結果について報告を行う予定である。

[1] R. Gruber, S. Semenzato, F. Troyon, T. Tsunematsu et. al., Comput. Phys. Commun. 24 (1981) 363.

[2] S. Tokuda and T. Watanabe, Phys. Plasmas 6 (1999) 3012.

[3] N. Aiba, S. Tokuda, T. Ishizawa and M. Okamoto, Plasma Phys. Controlled Fusion 46 (2004) 1699.



(a) 安定性解析を行った MHD 平衡の磁気面(アスペクト比 $A=3.3$)と、(b) $n=40$ 理想外部モードの固有関数(横軸は nq 、縦軸は Fourier 成分の振幅)。ELMs は nq を長さに見立てて解析を行うのが一般的である。上の例では表面電流が多く流れている($j_{\parallel}/\langle j \rangle = 0.14$) 平衡であるため、 q_0 と n の積 (~ 170.8) よりも大きい $nq=171$ にピークを持つ Fourier 成分(ピーリングモード)が強く表れ、また比較的高 β ($\beta_p=3.77$) であることから $nq=150$ 近傍を極大点とした包絡線に囲まれたバルーン構造が現れている(j はプラズマ表面における電流密度、 $\langle j \rangle$ は平衡のトロイダル表面積とプラズマ電流から計算される平均電流密度)。