

核燃焼プラズマにおける鋸歯状振動の解析 Analysis of sawtooth oscillation in burning plasma

夏目裕基¹⁾、藤田隆明¹⁾、有本英樹¹⁾、山崎耕造²⁾

Hiroki NATSUME, Takaaki FUJITA, Hideki ARIMOTO, Kozo YAMAZAKI

1)名大院工 2)名大名誉教授

1)Nagoya Univ. 2)Nagoya Univ. Prof. Emeritus

トカマクプラズマにおいて発生する電流駆動型不安定性の一つである鋸歯状振動は、プラズマ中心部に生じるため、プラズマ性能を低下させ核融合出力を制限してしまう。また周期の長い鋸歯状振動は、プラズマ中心部からより大きなエネルギーを吐き出し、新古典テアリングモードなどのその他のプラズマ不安定性を誘起してしまう。特にITERや原型炉のような核燃焼プラズマにおいては α 粒子によって鋸歯状振動の周期が長くなることが予想されており、鋸歯状振動周期及び分布形状変化の予測は重要である。鋸歯状振動の発生条件は $q = 1$ 面の磁気シアに依存すると考えられており、 $q = 1$ における局所電流駆動による鋸歯状振動の制御が試みられている。従来、1.5次元平衡輸送コード(TOTAL code)[1]においては、 $q(0)$ の値のみを用いて鋸歯状振動の発生を判定していたため、 α 粒子等の高速イオンの効果や磁気シアの効果を検討することができなかった。そこで本研究ではそれらの効果を考慮することができるPorcelli model[2]をTOTAL codeに組み込み、ITERの核燃焼プラズマにおける鋸歯状振動の解析を行う。

Porcelli modelでは、以下の三つの式のうちどれか一つが満たされた場合に鋸歯状振動が発生する。

$$-\delta\hat{W}_{\text{core}} = -(\delta\hat{W}_{\text{MHD}} + \delta\hat{W}_{\text{KO}}) > c_h \omega_{\text{Dh}} \tau_A \quad (1)$$

$$-\delta\hat{W} = -(\delta\hat{W}_{\text{core}} + \delta\hat{W}_{\text{fast}}) > 0.5 \omega_{*i} \tau_A \quad (2)$$

$$0.5 \omega_{*i} \tau_A > -\delta\hat{W} > -c_\rho \hat{\rho} \quad \text{and} \quad c_* \gamma_\rho > \omega_{*i} \quad (3)$$

ここで c_h, c_ρ, c_* は定数、 $\delta\hat{W}_{\text{core}}$ は理想MHD不安定化項 $\delta\hat{W}_{\text{MHD}}$ と熱イオンの安定化項 $\delta\hat{W}_{\text{KO}}$ の和、 $\delta\hat{W}$ は $\delta\hat{W}_{\text{core}}$ と高速イオンの安定化項 $\delta\hat{W}_{\text{fast}}$ の和、 ω_{Dh} は高速イオンの歳差周波数、 ω_{*i} はイオンの反磁性周波数、 τ_A はアルヴェン時間、 $\hat{\rho}$ は $q = 1$ 面の半径で規格化したイオンのラーマー半径、 γ_ρ は抵抗性内部キンクモードの成長率である。式(1)は内部キンクモードの駆動力が高速イオンの安定化に勝る場合に満たされ、式(2)は内部キンクモードの駆動力が反磁性回転の安定化に勝る場合に満たされ、式(3)は半衝突領域において抵抗性内部キンクモードが駆動される場合に満たされる。高速イオンの効果は $\delta\hat{W}_{\text{fast}}$ に、磁気シアの効果は $\delta\hat{W}_{\text{MHD}}, \delta\hat{W}_{\text{KO}}, \delta\hat{W}_{\text{fast}}, \gamma_\rho$ に取り入れられている。

図1,2,3は、Porcelli modelを用いた鋸歯状振動のシミュレーション結果の一例であり、式(1),(2),(3)の各パラメータの時間変化を示した。崩壊直後の内部キンクモードは安定状態であるが、時間が経過すると理想MHDの不安定化とイオンの安定化効果の減少により $-\delta\hat{W}$ が大きくなり、抵抗性内部キンクモードが十分に成長するために式(3)で鋸歯状振動が発生している。 α 粒子の存在や $q = 1$ 面の磁気シア、加熱などの影響に関するより詳細な解析結果は、当日のポスターにて発表する。

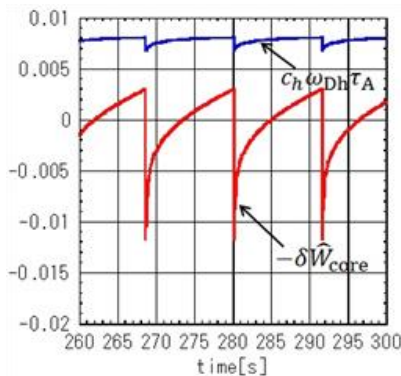


図1 式(1)のパラメータ

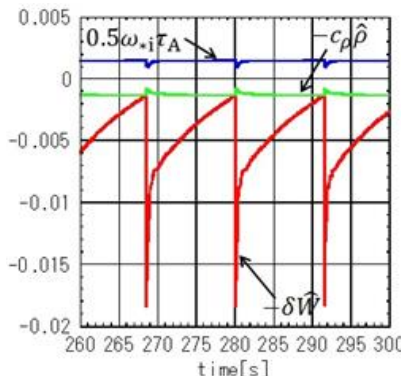


図2 式(2),(3)左側のパラメータ

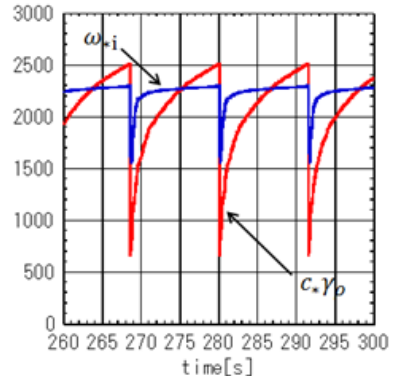


図3 式(3)右側のパラメータ

[1] K. Yamazaki and T. Amano, Nucl. Fusion **32** (1992) 633.

[2] F. Porcelli *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion **38** (1996) 2163-2186.