

電子サイクロトロン波駆動電流による 新古典テアリングモード安定化の数値解析

Numerical Analysis of Neoclassical Tearing Mode Stabilization by
Electron Cyclotron Wave Current Drive

林 伸彦、諫山明彦、長崎百伸¹⁾、小関隆久
原研那珂研、京大エネ理工研¹⁾

HAYASHI Nobuhiko, ISAYAMA Akihiko, NAGASAKI Yoshinobu¹⁾, OZEKI Takahisa
Naka JAERI, Institute for Advanced Energy, Kyoto Univ.¹⁾

定常炉心トカマクプラズマにおいて、ベータ値の上昇を制限する新古典テアリングモード(NTM)の安定化が課題となっている。この NTM を安定化する有効な手段として、電子サイクロトロン波局所電流駆動(ECCD)による安定化が考えられ、JT-60U 等のトカマクでその有効性が実証されている。従来の解析では、磁気島幅の時間発展だけを修正 Rutherford 式から計算して、MHD 平衡は変わらないと仮定し、簡約化したブーツトラップ電流モデルを用いて、NTM 安定性を調べている。しかしながら、EC 電流により電流分布が変化し磁気島が移動することから、ECCD による NTM 安定化を調べるためには、電流拡散と磁気島幅の時間発展を同時に解析する必要がある。

本研究では、光線追跡法と相対論的フォッカープランク方程式による EC 駆動電流計算を含めた 1.5 次元輸送コード TOPICS と修正 Rutherford 式を用いて、EC 電流による有理面の移動など MHD 平衡の変化を考慮したシミュレーションモデルを開発した。これを用いて、ECCD による NTM 安定化における以下の重要な特性を明らかにし、安定化のための指針を示した。

(1) NTM の安定化には、EC 電流位置と EC 電流幅に敏感であり、完全な安定化に必要な EC 電流位置の許容範囲及び幅の影響を明らかにすることが重要である。EC 電流量が小さい場合には、EC 電流をピークさせることが安定化に効果的であり、安定化のための EC 電流位置の許容範囲を広くすることができる。しかし、EC 電流量が大きい場合には、EC 電流が電流分布を変化させ磁気島が移動し安定化効率が下がり、EC 電流分布を広くする必要がある。このため、磁気島位置の検出が困難な場合には、高電流量で広い EC 電流分布が安定化に適している。一方、精度のよい磁気島位置検出とピーク EC 電流により高効率の安定化が期待できる。

(2) また、ECCD による安定化に必要な EC 電流量と磁気島幅に対する入射時期を明らかにすることが重要である。NTM の完全な安定化には、EC 電流量と磁気島幅にしきい値(各々、 I_t と W_t)が存在し、 I_t を小さくし W_t を大きくすることが、安定化をより容易にする。 I_t 及び W_t の特性について、以下の事を明らかにした。(a) I_t 及び W_t は、ブーツトラップ電流による不安定化項に強く依存し、磁場に垂直と平行方向輸送の比による磁気島内不完全平坦化による影響が大きく、不完全平坦化が大きいと I_t は小さくなり W_t は大きくなる。また、この不安定化項の未定係数にも依存するが、未定係数は JT-60 実験との比較によりほぼ 1 のオーダーである。(b) JT-60U 実験で行われた EC の早期入射による安定化の様に、磁気島幅が EC 電流幅よりも小さく、有理面近傍に EC 電流が入射できた場合には、EC 電流が電流分布を変化させ、テアリング安定性指標の減少により、 I_t を下げる。(c) 磁気島幅に対して EC 電流幅を十分小さくすると、 I_t は小さくなり安定化効率が上がる。その場合には、磁気島の回転に同期して EC 電流を変調しても I_t は大きく下らず、制御困難な変調は不要である。