

24pE02P

逃走電子分布のモンテカルロ計算に基づく
運動論的MHD平衡コードの開発

Development of kinetic MHD equilibrium code using Monte-Carlo calculation of runaway electron distribution function

松山 顕之、相羽 信行、矢木 雅敏
MATSUYAMA Akinobu, AIBA Nobuyuki, YAGI Masatoshi

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

トカマク装置では立ち上げ、ディスラプションにおいて閾値電場 E_c を超える強いトロイダル電場が誘起されると逃走電子ビームが発生することがある。特に、ディスラプションが発生し、10 msオーダーの急激な電流遮断が起こった場合には逃走電子プラトー (Runaway plateau)と呼ばれる、ディスラプション前のプラズマ電流と比較して最大2/3程度の電流値を持つようなビームが長時間維持される可能性がある。逃走電子ビームはMeVオーダーまで加速されるため、ITERのような大電流装置において、ビームが壁に接触するとプラズマ対向壁に対し深刻な損傷をもたらすことが懸念される。

本講演では逃走電子プラトーの閉じ込めをMHD平衡の観点から議論する。逃走電子プラトーの形成過程では軸対称トカマクの閉じ込め磁場の担い手がバルク電子から高エネルギーの逃走電子に入れ替わるが、電子が相対論領域まで加速されると電子慣性が増大し、MHD平衡の力の釣り合いに影響を与える[2]。一方、逃走電子のエネルギースペクトルは電流遮断時の誘導電場の履歴、シンクロトロン放射損失、不純物によるピッチ角散乱、熱電子との近接衝突による雪崩の増倍など様々な運動論過程に影響される。実験を再現できるようなシミュレーションコードは開発途上であるが、硬X線計測から1-10MeVオーダーの逃走電子が観測されており[2]、逃走電子プラトーのMHD平衡を議論するためにはビームのエネルギースペクトルを考慮した平衡モデルが必要であることが示唆される。このような背景から、本研究では逃走電子の複雑な運動論的過程をMHD平衡解析に反映するため、5次元案内中心モンテカルロコード ETC-Rel [3]によって逃走電子の分布関数を評価し、そこから評価されるトロイダル電流およびポロイダル電流を軸対称MHD平衡のfree functionとして組み込むことで逃走電子プラトーの平衡状態を計算する運動論的MHD平衡コードを開発した。図1は計算の一例である。講演では開発した手法を用いて、逃走電子ビームのパラメータを変化させたときのMHD平衡特性を議論する。

[1] Z. Yoshida, Nucl. Fusion **30**, 317 (1990).

[2] E. M. Hollmann, *et al.*, Phys. Plasmas **22**, 056108 (2015).

[3] A. Matsuyama, *et al.*, Nucl. Fusion **54**, 123007 (2014).

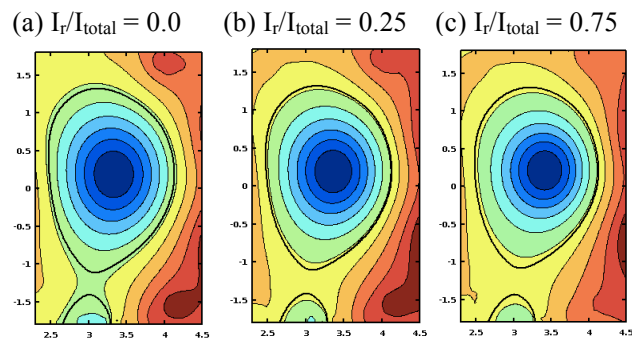


図1 逃走電子ビームの電子慣性を考慮したMHD平衡計算の例。
 $I_{\text{total}} = 1 \text{ MA}$, $R = 3.3 \text{ m}$, $R_0 B_0 = 12.4 \text{ Tm}$, ビームの平均エネルギー
 $E_{\text{av}} = 19 \text{ MeV}$, $\langle p_{\parallel}/p \rangle \sim 0.9$ (co-current).