

乱雑磁場を考慮したディスラプション時の

逃走電子の発生・増倍と閉じ込めのシミュレーション

## Simulation of runaway electron generation, multiplication and confinement during tokamak disruptions with fluctuating magnetic field

松山顕之、矢木雅敏、影井康弘

Akinobu MATSUYAMA, Masatoshi YAGI, and Yasuhiro KAGEI

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

ITERでは近接衝突による雪崩的増幅現象が起こることで、ディスラプション前のプラズマ電流の2/3に達する逃走電子電流が発生する可能性があり、逃走電子発生回避および緩和手法の開発が重要な課題となっている。

これまで、ディスラプション時の逃走電子発生量の理論予測には1次元拡散モデル[1]、もしくは、バウンス平均化フォッカープランクモデル[2]が用いられてきた。しかしながら、これらのモデルは逃走電子の軌道の取り扱いを大幅に簡略化しており、とりわけディスラプションを特徴づける磁場のストキャスティック化の影響や壁やダイバータへの逃走電子束の空間分布を予測する見通しが得られない。この点を解決するため、本研究では相対論的電子軌道追跡コードETC-Rel[3]に逃走電子の発生モデルおよび相対論的電子衝突モデルを実装し、逃走電子の3次元軌道と発生過程をつじつもの合った形で取り扱うことのできるシミュレーションコードをはじめて開発した。

図1は、JT-60U規模の装置サイズを想定したディスラプション時の逃走電子発生過程のシミュレーション結果の一例で、逃走電子エネルギー分布（縦軸：エネルギー、横軸：規格化小半径）の時間発展を表す。図中矢印で強調しているように、初期に発生した1次電子は強いループ電圧によって10MeVを超える高エネルギー

一領域まで加速される。一方、1次電流の発生に遅れて、低エネルギー側から2次逃走電子が発生する。JT-60U程度の装置サイズでは1次電子、2次電子の寄与が同程度となり、低エネルギーおよび高エネルギーの両方にピークを持つ分布が形成される。

一方、ITERに対応した10MAのプラズマ電流のディスラプション条件では、逃走電子電流の大半を2次電子が占める低エネルギー逃走電子(1-2MeV)が支配的な分布を形成する。講演では、上記の議論と合わせ、既存装置とITERのエネルギー分布の違いが逃走電子の閉じ込めに与える影響を調べるため、低次モードによる磁気面崩壊、特に逃走電子による電流分布のピーキングに伴って不安定になると予測される $m=1, n=1$ モードが存在する場合の、逃走電子軌道のエネルギー依存性の解析結果を示し、既存装置とITERの逃走電子閉じ込め特性の違いを明らかにする。

[1] H. Smith, *et al.*, Phys. Plasmas **13**, 102502 (2006).

[2] L.-G. Eriksson and P. Helander, Comput. Phys. Commun. **154**, 175 (2003).

[3] S. Tokuda and R. Yoshino, Nucl. Fusion **39**, 1123 (1999)

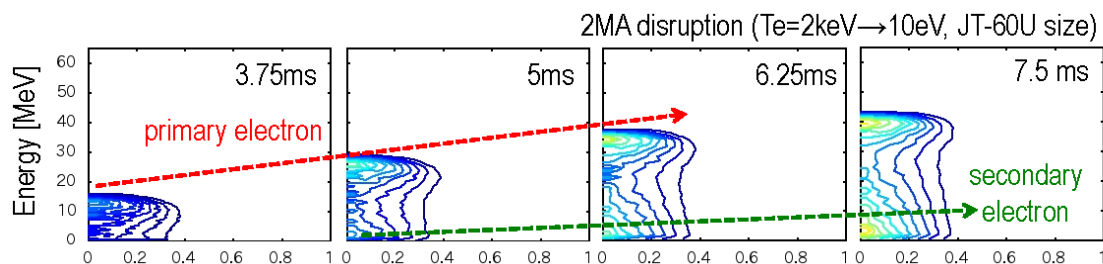


図1. JT-60Uの装置サイズ( $R = 3.4$  m,  $a = 1$  m,  $B = 3$  T,  $I_p = 2$  MA)に対する逃走電子エネルギー分布の時間発展。横軸は規格化ポロイダルフラックスを表す。時間は熱クエンチ発生後の経過時間。