

30aA09P

ディスラプション時のプラズマ電流消滅のモデル化

Modeling of Plasma Current Quench during Disruptions

大脇浩和¹, 杉原正芳², 河野康則³, V. Lukash⁴, 畑山明聖¹, 小関隆久³
¹慶大理工, ²ITER 国際チーム, ³日本原子力研究開発機構, ⁴Kurchatov Institute
 Hirokazu Ohwaki¹, Masayoshi Sugihara², Yasunori Kawano³, Victor Lukash⁴, Akiyoshi Hatayama¹, Takahisa Ozeki³
¹Keio University, ²ITER International Team, ³JAEA, ⁴Kurchatov Institute

トカマクにおいてディスラプションが発生すると、①内壁への熱負荷、②渦・ハロー電流による電磁力負荷、③逃走電子の発生、が起こる。これらは真空容器・炉内構造物・装置内壁を損傷させる恐れがあり、特に ITER などの大型トカマクにおいて、機器の健全性を保つために①～③の負荷を同時に軽減することが求められている。最近の JT-60U, DIII-D などの実験では、不純物の多量入射によって熱負荷、ハロー電流による電磁力負荷、逃走電子の抑制が確認されている。しかし、不純物の増加に伴って電流減衰率が大きくなり、渦電流による電磁力負荷が大きくなる傾向にある。したがって、熱負荷などを抑制しつつ、渦電流による電磁力負荷を最小にする最適な不純物入射を行う必要があり、不純物の多量入射時のプラズマ電流消滅時間を定量的に評価するシミュレーションモデルを開発してきた[1]。

コアプラズマへの不純物の入射は、熱消滅時のダイバータ板などのスパッタ・蒸発、または、積極的な外部からの不純物入射によって起こる。電流消滅時は不純物量が多いため、輸送によるエネルギー損失や外部からのエネルギー入射は、不純物放射によるエネルギー損失に比べて十分小さい。よって、この放射パワー P_{rad} はジュール加熱パワー P_{joule} とある電子温度 T_e で釣り合う。

$$P_{joule}(T_e) = P_{rad}(T_e) \quad (1)$$

特に、放射パワー $P_{rad} = n_e \sum n_z^k L_z^k$ (n_e : 電子密度, n_z^k : k 値の不純物密度, L_z^k : k 値の放射冷却係数) は不純物密度に大きく依存するため、密度の評価に次の微分方程式を用いる。

$$\frac{dn_z^k}{dt} = \langle \sigma \rangle_{ion}^{k-1} n_e n_z^{k-1} - \left(\langle \sigma \rangle_{rec}^k + \langle \sigma \rangle_{ion}^k \right) n_z^k + \langle \sigma \rangle_{rec}^{k+1} n_z^{k+1} - \frac{n_z^k}{\tau_z^k} \quad (2)$$

ここで、 $\langle \sigma \rangle_{ion}^k$, $\langle \sigma \rangle_{rec}^k$ はそれぞれ、 k 値のイオン化・再結合の速度係数、 τ_z^k はリサイクルを考慮した実効的な閉じ込め時間である。また、ジュール加熱パワー $P_{joule} = \eta^2$ ではプラズマの抵抗率と電流密度の時間発展が重要になる。そのため、式(1), (2)に加えて、MHD 平衡を解くディスラプションのシ

ミュレーションコード DINA[2]を同時に解くことで、電子温度、密度、プラズマ電流などの時間発展を求める。

このモデルでは、水素密度 n_H と不純物密度 n_z 、水素と不純物の実効的な閉じ込め時間 τ_H^* , τ_z^* が支配的なパラメータである。よって、この4つのパラメータを変化させることによって、JT-60U において観測されたディスラプションの電流波形の再現を試み、モデルの妥当性を検討するとともにプラズマ電流のパラメータ依存性を調べる。結果の一例を以下に示す。

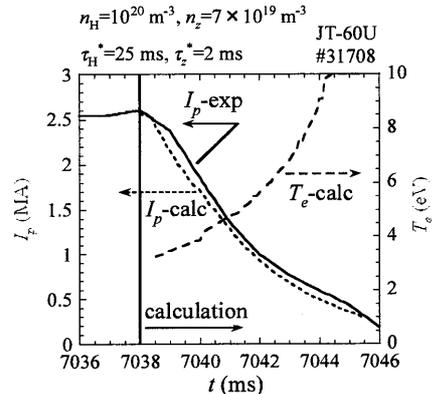


図1. JT-60Uにおけるプラズマ電流波形の再現例

- [1] H. Ohwaki, et al., Proc. 32nd EPS Conf. on Plasma Physics, 2005 (in press).
 [2] R.R. Khayrutdinov, V.E. Lukash, J. Comput. Phys. 109, 193 (1993).

30aA10P

トカマク実配位を考慮した多次元不純物輸送モデリング

Modeling of Multi-Dimensional Impurity Transport in a Realistic Tokamak Geometry

則竹政俊, 星野一生, 岩沙卓也, 山崎龍, 畑山明聖

慶大理工

M. Noritake, K. Hoshino, T. Iwasa, R. Yamazaki, A. Hatayama

Keio Univ.

非接触ダイバータプラズマなど、低温ダイバータプラズマの実現により、ダイバータ板の物理スパッタリングの低減が可能となる。しかし、ダイバータ板の素材として従来から多く用いられてきたカーボン材では、化学スパッタリングの問題が依然として残っている。そこで、近年、化学スパッタリングが生じないタングステンがダイバータ材として注目されるようになってきた。しかしながら、一方でタングステンは原子番号、電荷数が大きく、少量でも主プラズマに混入すると、主プラズマの放射冷却が懸念される。従って、タングステン不純物の SOL/ダイバータ領域での輸送過程の理解と主プラズマへの混入量の評価は、非常に重要な課題となる。

以上を踏まえ、我々は、タングステンなど、原子番号の大きい不純物の輸送解析に適する3次元モンテカルロ輸送コードを開発してきた[1]。コードでは、背景プラズマ分布を与え、板で発生した中性不純物の背景プラズマ中でのイオン化点を求め、さらに、イオン化後の不純物イオンの軌道を運動方程式によって追跡する。板近傍でのプロンプトリポジションの効果を考慮できるようにするために、旋回中心近似を用いず直接、不純物の3次元軌道を解く。衝突過程として、クーロン衝突過程、多価電離・再結合過程をモンテカルロ法を用い、考慮している。前者については、二体衝突モデル[2]を、また、後者については、計算時間短縮のため陰解的モンテカルロ法を用いている[3]。

今回は、トカマク実幾何形状にも計算コードを適用できるように、計算セル中での粒子滞在時間計算アルゴリズムの改良を進めた。今後の実験との定量的比較、モデル妥当性評価にとって重要と考えられる。計算アルゴリズムのチェックのために、JT-60U の実幾何形状を例にとり、計算メッシュ作成を行い、テスト計算を行った。結果の一例を図1に示す。背景プラズマについては、流体プラズマコード(B2-EIRENE)の計算例から各計算メッシュについて、その分布を与えた。また、板での不純物発生分布は同様としてテスト計算を行い、不純物イオン(全価数)の和の相対密度として結果を示した。今回の改良、及び計算アルゴリズムのチェックから、トカマク実幾何形状を考慮した計算が可能と考えられる。今後、さらに、板での発生モデルの詳細化を行う。

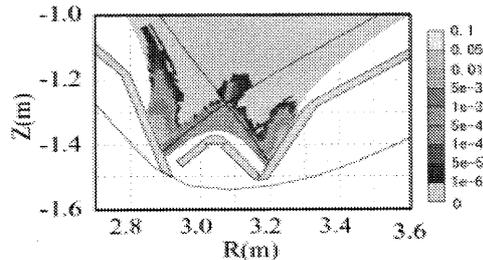


図1. 全価数の不純物相対密度(デタッチメント時)

- [1] I. Hyodo, et al., J. Nucl. Mater. 313-316(2003)1183-1187.
 [2] T. Takizuka, et al., J. Comp. Phys. 25 (1977)205.
 [3] A. Suzuki, et al., J. Comp. Phys. 131(1997)193.