

ダイバータ模擬装置 DT-ALPHA における中性粒子密度分布に対する 高エネルギーイオンの影響

Effect of High Energy Ions on Spatial Distribution of Neutral Density in Divertor Simulator DT-ALPHA

岡本敦, 大坊昂, 高橋宏幸, 熊谷孝宏, 高橋拓也, 坪田慎平, 北島純男

Atsushi OKAMOTO, Akira DAIBO, Hiroyuki TAKAHASHI, Takahiro KUMAGAI,
Takuya TAKAHASHI, Shimpei TSUBOTA, and Sumio KITAJIMA

東北大院工

Tohoku Univ.

磁場閉じ込めプラズマでは体積再結合過程を用いた非接触ダイバータにおいて、周辺局在モード (ELM) に代表される高エネルギー粒子を伴うプラズマ流により、プラズマの再結合効率が低下することが懸念されている。高エネルギーイオンが再結合過程に与える影響について、我々は直線型 RF プラズマ装置 DT-ALPHA を用いた実験を行っている [1,2]。再結合プラズマへ高エネルギーイオンが流入した時の電子密度の沿磁力線方向の空間分布について再結合プラズマの一次元モデルを用いて検討を行った。ここでは、DT-ALPHA 模擬実験との整合性およびモデルの簡単化のため、高エネルギーイオンとして同種の単一エネルギーイオン束 (イオンビーム) を想定した。連続の式から、電子密度の沿磁力線方向の空間分布を得た。

体積再結合が支配的となる十分温度が低いプラズマを考える。再結合を定常に維持できるだけの様な定常流れ u が上流からダイバータ板へ向けて存在するとすると、式 (1) より磁力線方向の電子密度 n_e を得ることができる。

$$\frac{\partial}{\partial t} n_e + \frac{\partial}{\partial z} n_e u = -\langle \sigma v \rangle_{\text{rec}} n_e^\alpha + \sigma v_b n_b n_n. \quad (1)$$

ここで $\alpha = 2, 3$ はそれぞれ放射再結合、三体再結合が支配的な場合の電子密度依存性を表す。右辺第二項は高エネルギーイオンと中性粒子の反応を表し、イオン衝突電離と荷電交換反応が主要な過程となる。想定されるイオンエネルギーおよび DT-ALPHA 模擬実験におけるビームエネルギーは 1-10 keV 程度である。エネルギーイオンと中性粒子が同種粒子の場合には、このエネルギー領域では、荷電交換反応が支配的である。電離進行プラズマに対するイオンビーム入射実験により、ビームイオンとの荷電交換による中性粒子密度の変化が示唆された [3]。

高エネルギーイオンが存在しない場合には、定常状態における電子密度の空間分布は解析的に得られる。 $\alpha = 2$ のとき $n_e(z) = n_{e0}/g(z)$ となる。ここで $g(z) = [1 + (z - z_0)/\lambda]$ であり、電子密度が磁力線に沿って再結合の平均自由行程 λ 程度で減少することを示している。再結合プラズマへイオンビームが流入した時の影響を摂動として扱い、電子密度の空間分布を以下のように得た [4]。

$$n_e(z) = \frac{n_{e0}}{g(z)} + \frac{\sigma v_b n_n n_b}{3\langle \sigma v \rangle_{\text{rec}} n_{e0}} g(z) \left(1 - \frac{1}{g(z)^3}\right). \quad (2)$$

またパルス的な高エネルギーイオン入射に対する応答について、ビーム密度の時間変化がステップ関数で表される時の電子密度の時間応答を検討し、再結合の時定数程度で系が応答することを見出した。電子密度の空間分布に対する支配的な再結合過程の効果、高エネルギーイオンとの荷電交換に関する高次の影響についても報告する。

本研究は科研費補助金 (22740357, 24246152) により支援されている。

- [1] A. Okamoto, H. Takahashi, Y. Kawamura, *et al.*, Plasma Fus. Res. **7**, 2401018 (2012).
- [2] H. Takahashi, A. Okamoto, Y. Kawamura, *et al.*, Trans. Fus. Sci. Technol. **63** 404 (2013).
- [3] A. Okamoto, H. Takahashi, S. Kitajima, *et al.*, Plasma Fus. Res. **6**, 1201153 (2011).
- [4] A. Okamoto, A. Daibo, S. Kitajima, *et al.*, Proc. of the 12th Asia Pacific Physics Conference (2013).