

8P29

原型炉ダイバータプラズマにおける 荷電交換反応によるエネルギー輸送の影響評価

Effect of energy transport by charge-exchange process in DEMO divertor plasma

岡本敦¹、藤田隆明¹、星野一生²、高橋宏幸³

OKAMOTO Atsushi¹, FUJITA Takaaki¹, HOSHINO Kazuo², TAKAHASHI Hiroyuki³

¹名大、²慶応大、³東北大

¹Nagoya Univ., ²Keio Univ., ³Tohoku Univ.

炉心プラズマにおいて不純物イオンやビーム中性粒子との荷電交換反応により発生した高エネルギーの水素同位体原子（中性粒子）がダイバータ領域において再電離することで、ダイバータプラズマのイオンエネルギー分布が変化して非接触運転の維持に影響を与えることが懸念されている（図1）。本研究では、炉心における高エネルギー中性粒子発生率、ダイバータプラズマに流入する高エネルギー中性粒子の粒子束・熱流束、再電離の反応率などを、原型炉パラメータをもとに単純化した体系で検討し、ダイバータプラズマのイオンエネルギー分布と再結合過程への影響を議論する。

主たる不純物イオンとして放射冷却に用いるアルゴンを想定した。価数ごとの径方向分布について、原型炉条件の温度分布・密度分布のもとで統合輸送コードTOTALにより得た。Ar¹⁶⁺およびAr¹⁷⁺が規格化小半径0.96より外側に存在する。密度は最大 10^{16} m^{-3} 程度であった。イオン温度をもとに価数 q ごとの荷電交換速度係数 $\langle\sigma v\rangle_{CX}^q$ を求め、イオン密度および不純物密度を乗ずることで高エネルギー中性粒子発生率 $S = n_i \sum n_{Ar}^q \langle\sigma v\rangle_{CX}^q$ が得られる。ただし、完全電離イオンと水素様およびヘリウム様高Zイオンの衝突に伴う荷電交換断面積について精査が必要である。

ビーム中性粒子について炉心プラズマにおける密度分布を求め、荷電交換速度係数から発生率を得た。ビーム中性粒子の密度分布はトロイダル方向に局在し、ビームライン近傍でダイバータプラズマへの影響が大きい。1MeV、50MWのビームを仮定すると、密度は 10^{14} m^{-3} 程度であり、不純物イオン密度より2桁程度小さい。断面積は信頼できる値が入手可能である。荷電交換による高エネルギー中性粒子発生率として最大で $S = n_i n_{beam} \sigma_{CX} v_{beam} = 1.9 \times 10^{13} \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ を得た。

楕円形に近似したポロイダル断面を用いて、ス

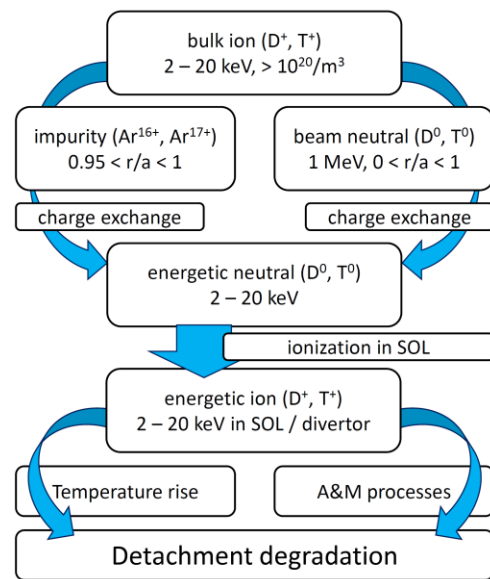


図 1 荷電交換反応による SOL/ダイバータ領域
への高エネルギーイオン重量の機構と影響

クレイプオフ層へ流入する中性粒子束の数値解析を行った。炉心プラズマ領域の微小体積 dV からスクレイプオフ層の微小体積（観測地点）へ流入する中性粒子束 $d\Gamma = S\Omega dV$ を、中性粒子発生率 S と立体角 Ω から評価した。炉心プラズマ領域について積分することでスクレイプオフ層に流入する中性粒子束 Γ を得た。このうち不純物イオンとの荷電交換に起因する成分について、今後、荷電交換断面積の精査により定量評価を行う。一方、ビーム中性粒子との荷電交換に起因する成分は、最大で $\Gamma = 7 \times 10^{11} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ となった。ダイバータプラズマへの影響は、得られた中性粒子束にスクレイプオフ層における再電離率を乗ずることで論じられる。

本研究は科研費補助金19H01869, 22H01202の支援のもと行われた。