

ダイバータプラズマにおける大角度散乱による粒子輸送
 ～磁力線のピッチ角と中性粒子流速の影響～
 Effect of pitch angle of magnetic field lines and neutral particle flow on
 large-angle scattering transport

○梅崎大介¹、松浦秀明¹、星野一生²
 UMEZAKI Daisuke¹, MATSUURA Hideaki², HOSHINO Kazuo³

¹九大院工、²慶大理工
¹Kyushu Univ., ²Keio Univ.

【緒言】

核融合炉の実現のために、ダイバータ板にかかる熱負荷の低減が喫緊の課題である。ダイバータプラズマの振る舞いにおいて、原子過程は重要な役割を担う。特にイオン-中性粒子間で生じる弾性散乱は大角度散乱も生じ[1]、小角度散乱が支配的なクーロン散乱と比べて、一度の散乱で大きなエネルギーが輸送され、粒子の運動方向も大幅に変化する。我々の以前の研究で、大角度弾性散乱により、磁場に垂直な方向の粒子輸送（大角度散乱輸送）が生じることを指摘している[2]。

ダイバータ板近傍において、プラズマが体積再結合、ガスパフによる供給、ダイバータ板に到達したイオンが中性化・反射されることで中性粒子が生じる。空間1次元の流体モデルで、ダイバータ板で反射された中性粒子が流速を持つことが示されている[3]。中性粒子が特定の方向に流速を持つ場合、大角度散乱輸送に影響をおよぼすことが予想される。

磁場は強いトロイダル磁場 B_T と弱いポロイダル磁場 B_P から構成され、磁力線はダイバータ板に対してピッチ角 θ_{pitch} を持つ(簡単のために $\theta_{pitch} = \arctan(B_P/B_T)$ とする)。一度の大角度散乱における案内中心の移動距離はラーマー半径 r_L 程度であるが、実際にイオンが経験するダイバータ板までの距離は $r_L / \tan \theta_{pitch}$ 程度変化しうる。したがって、中性粒子流速とピッチ角が大角度散乱輸送に影響を及ぼし、イオンの密度分布等が変化する可能性がある。

本研究では軌道計算を用いて、大角度散乱輸送が、イオンの密度分布等に及ぼす影響について検討した。中性粒子流速とピッチ角が大角度散乱輸送に与える影響についても検討した。

【解析方法と結果】

JT-60SAのダイバータプラズマを対象に、Braginskiiの流体方程式を解き[4]、得られた定常解を軌道計算の背景プラズマとした。中性粒子の流速として、ダイバータ板に並行な流速 V_{ny} を仮定し $V_{ny} = -3 - +3 \times 10^4$ m/sの間で変化させた。また、

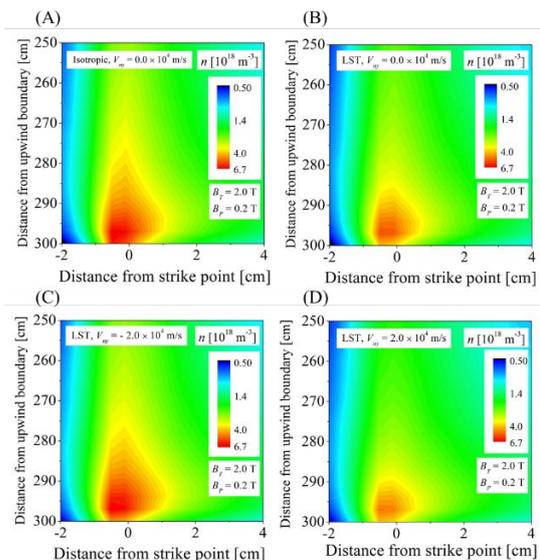


Fig.1 2D density profiles calculated via the (A) isotropic model at $V_{ny} = 0.0$ m/s, (B), (C) and (D) LST model at $V_{ny} = 0.0, -2.0, \text{ and } +2.0 \times 10^4$ m/s.

ピッチ角の影響について検討するために、 $B_T = 2.0$ Tと固定し、 $B_P = 0.1 - 0.4$ Tと変化させた。大角度散乱の影響を適切に評価するために、弾性散乱後の速度を、微分断面積を考慮して決定した(Large-Angle scattering Transport model: LST model)。比較のために、弾性散乱を等方散乱と仮定するモデル(Isotropic model)も計算した。

図1にダイバータ板近傍の2次元密度分布を示す。(A),(B)より、大角度散乱を考慮することで、密度分布が広がったことがわかる。(C),(D)より、中性粒子が流速を有する場合、大角度散乱を介して、イオンの輸送が停滞(促進)し、密度分布が増大(減少)することがわかった。大角度散乱により、イオンがダイバータ板までに経験する距離が、増大(減少)したためである。発表では、中性粒子の流速とピッチ角が、イオンの見かけの速度や熱流束等に及ぼす影響についても議論する。

- [1] P.S. Kristić and D.R. Schultz, At. Plasma-Mat. Interact. Data Fusion 8, (1992) 1.
 [2] D. Umezaki and H. Matsuura, Plasma Fusion Res. 16, (2021) 2403021.
 [3] N. Horsten et al., Contrib. Plasma Phys. 56, (2016) 610.
 [4] S.I. Braginskii, Trans. Processes Plasma Rev. Plasma Phys. 1, (1965) 205.