

垂直磁場中での多種イオンプラズマ流の挙動解析 Study on behavior of multi-ion-species plasma flow in perpendicular magnetic field

竹崎 太智¹, 大澤 恭平¹, 加藤 青吾¹, 小口 拓哉¹,
高橋 一匡², 佐々木 徹², 菊池 崇志², 伊藤 弘昭¹

Taichi TAKEZAKI¹, Kyohei OSAWA¹, Seigo KATO¹, Takuya OGUCHI¹,
Kazumasa TAKAHASHI², Toru SASAKI², Takashi KIKUCHI², and Hiroaki ITO¹

富山大学¹, 長岡技術科学大学²
Univ. of Toyama¹, Nagaoka Univ. of Tech.²

宇宙空間の高エネルギー粒子である宇宙線は、無衝突衝撃波による非熱的な粒子加速過程を経て生成される。相対論的領域での粒子加速過程は Diffusive Shock Acceleration (DSA) として知られるように、荷電粒子が衝撃波面を往復運動することで、そのエネルギーが増加する^[1]。一方、DSAを駆動するための、非相対論的領域での粒子加速過程については、詳細な物理機構が明らかではない。無衝突衝撃波での粒子加速機構を理解するため、無衝突衝撃波と相似な高速プラズマ流を実験室系で生成し、電磁場中でのプラズマ挙動を詳細に評価する必要がある。

パルスパワー放電により無衝突衝撃波を生成するため、我々はテーパー・コーン型プラズマフォーカス装置 (TCPFD) を開発した^[2]。TCPFD は初期チャンバー圧力 ~ 0.5 Pa のヘリウムガス放電で、流速 ~ 30 km/s の準1次元プラズマ流を生成する。TCPFDで駆動されたプラズマ流に垂直磁場を印加し、垂直磁場中でのプラズマ挙動を実験的に評価した結果、プラズマ流が垂直磁場を通過後、プラズマ流に先行するイオンを観測した^[3]。TCPFD で駆動されたプラズマ流の挙動を数値シミュレーションにより解析した結果、プラズマ流の進展にともない印加磁場が圧縮され、形成された磁気圧の勾配により、プラズマ流中の一部のイオンが加速されることが明らかとなった^[4]。この粒子加速現象はプラズマ流の動圧と外部磁場の磁気圧のバランスにより加速イオンの速度が決定される。本講演では複数のイオン種で構成された多種イオンプラズマ流の垂直磁場中での挙動について議論する。

垂直磁場中での多種イオンプラズマ流の挙動を調査するため、空間1次元 (x)、速度空間3次元 (v_x, v_y, v_z) の電磁 Hybrid Particle-In-Cell (PIC) 法による解析を行った。 x 方向のドリフト速度 $U_x = 30$ km/s, 温度 $T_p = 3$ eV, イオン数密度 $n_p = 10^{20}$ m⁻³ の熱平衡プラズマを模擬した超粒子を計算領域に配置し、 z 方向へ外部磁場 (B_z) を印加した。図はヘリウムとアルゴンで構成された多種イオンプラズマ流の挙動の解析結果を示す。ヘリウム単種のプラズマ流と比較し、多種イオンプラズマ流は動圧が増加するため、圧縮磁場の最大値および誘起される電場が増加した。これにより、加速イオンの速度が向上することが示された。

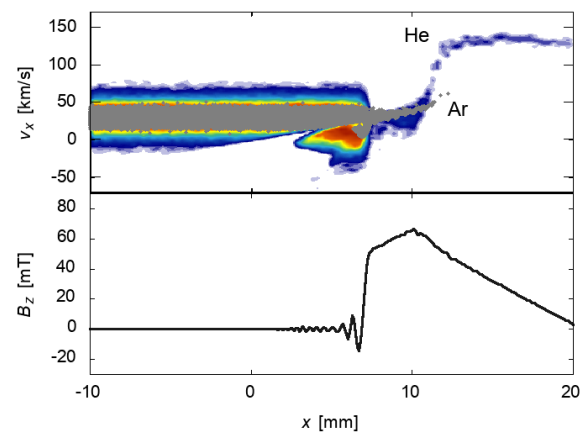


図 Hybrid PIC 法を用いた垂直磁場中での多種イオンプラズマ流挙動の解析結果

- [1] A.R. Bell, MNRAS **182**, 147 (1978).
- [2] T. Sasaki, *et al.*, JPS Conf. Proc. **1**, 015096 (2014).
- [3] T. Takezaki, *et al.*, Phys. Plasmas **23**, 062904 (2016).
- [4] T. Takezaki, *et al.*, High Energy Density Phys. **33**, 100698 (2019).