

無衝突衝撃波での粒子加速機構解明に向けたプラズマ流と
垂直磁場の相互作用の検討

Study on Interaction between Plasma Flow and Perpendicular Magnetic Field
toward Particle Acceleration Mechanisms of Collisionless Shock

竹崎 太智, 高橋 一匡, 佐々木 徹, 菊池 崇志, 原田 信弘
Taichi TAKEZAKI, Kazumasa TAKAHASHI, Toru SASAKI,
Takashi KIKUCHI, and Nob. HARADA

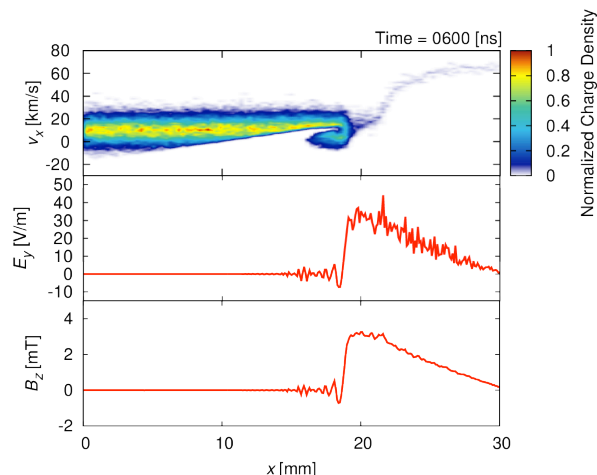
長岡技術科学大学
Nagaoka University of Technology

宇宙空間で観測される高エネルギー粒子は、無衝突衝撃波による非熱的な粒子加速機構を経て生成されると考えられている。これらの粒子は無衝突衝撃波中で発生する電磁場擾乱により加速されるが、その加速機構はプラズマ流と磁場の相互作用による3次元的な非線形現象であるため、詳細なメカニズムが明らかとなっていない。無衝突衝撃波での粒子加速機構を解明するためには、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、磁場中でのプラズマ挙動を実験的に評価する必要がある。本研究は実験室系にて1次元的に振る舞う高速プラズマ流を生成し、プラズマ流伝搬方向に対して垂直磁場を印加することで、高速プラズマ流と垂直磁場の1次元的な相互作用を実験および数値解析により評価することを目的とする。

実験室系で無衝突衝撃波を形成するため、テーパー・コーン型プラズマフォーカス装置により準1次元高速プラズマ流を生成している[1]。生成されたプラズマ流に外部磁場を印加し、準1次元プラズマ流に対する垂直磁場の影響を検討してきた[2]。実験結果から、外部磁場の空間分布にともないプラズマ流速が変化することが明らかとなった。また負勾配を持つ磁場を印加した場合、プラズマ流が加速するという結果が得られている。これは1次元高速プラズマ流に対して、磁場勾配 ∇B が影響することを示す。

垂直磁場中でのプラズマ挙動を解析するため、空間1次元(x)、速度空間3次元(v_x, v_y, v_z)のHybrid PIC法による解析を行っている[3]。計算初期では熱平衡を仮定し、0mmから10mmの位置に温度 $T=9000\text{K}$ 、 x 方向へのドリフト速度 $v_{dr}=10\text{km/s}$ 、完全1価電離のヘリウムイオンを配置した。イオン粒子数は初期ガス圧 $P_0=0.01\text{Pa}$ として決定した。また計算初期に、20mmの位置で最大2mTとなるガウシアン様の磁場 B_z を印加している。

図は解析された600nsでのイオンの x - v_x 位相空間分布、電場 E_y 、および磁場 B_z である。 x - v_x 位相空間分布から、20mm近傍でプラズマ流先頭の粒子が減速し、密度の遷移領域が形成されている。また、減速した粒子に先行して加速粒子の存在が確認された。電磁場の解析から、遷移領域において磁束密度が急峻に増加していることがわかる。これはプラズマ流の先頭に磁力線が凍結し、プラズマ流の伝搬に伴い磁場が圧縮されるためである。磁場の圧縮により遷移領域後方、前方でそれぞれ正負の磁場勾配が形成され、その磁場と同様な空間分布の電場 E_y が誘起されている。加速粒子は圧縮された磁場 B_z と、誘起された電場 E_y による $E \times B$ ドリフトにより選択的に加速されたと考えられる。



Hybrid PIC法により解析された600nsでのイオンの x - v_x 位相空間分布、電場 E_y 、および磁場 B_z

- [1] T. Sasaki, *et al.*, JPS Conf. Proc. **1**, 015096 (2014)
[2] H. Kinase, *et al.*, IEEJ Trans. FM **135**, No. 3, pp. 149-154 (2015)
[3] T. Takezaki, *et al.*, Inertial Fusion Sci. Appl. (IFSA2015), Seattle, Tu.Po.76 (2015)