

高ガイド磁場下でのリコネクション点における電子エネルギー分布計測 Measurement of EEDF during high guide field magnetic reconnection

松山敬太¹, 牛木知彦¹, 山崎広太郎¹, 井通暁¹

Keita MATSUYAMA¹, Tomohiko USHIKI¹, Kotaro YAMASAKI¹, Michiaki INOMOTO¹

東京大学大学院新領域創成科学研究科¹

Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo¹

磁気リコネクションは太陽や磁気圏から核融合炉心までの広範な磁化プラズマで観測される磁力線の構造変化を伴う突発的なエネルギー変換現象である。リコネクション点 (X 点) 近傍におけるプラズマの電子スケール物理が粒子シミュレーション研究の進展により解明されつつある一方で、リコネクション磁場に直交する磁場成分 (ガイド磁場) が存在する場合においては未だ不明な点が多く、その特有なプラズマの振る舞いから注目され研究が進められている。高ガイド下でのリコネクションではガイド磁場に加えてそれに平行な電場も存在するため、特に X 点近傍においては直接電子が加速されることが考えられる。このような予測は粒子シミュレーションや粒子軌道計算によって非熱的な電子の生成が示されている [1][2] ほか、UTST 装置での実験においても軟 X 線計測を行うことにより高エネルギー電子の存在が明らかにされた [3] が、その加速・加熱機構の詳細ははまだ解明されていない。本研究ではリコネクション点に設置した RGEA (Retarding-field Gridded Energy Analyzer) を用いた EEDF (Electron Energy Distributin Function) 計測を行うことでその定量的な評価を行う。RGEA は、図 1[左] に示すような絶縁物のカップ内に配置された複数枚のプレートによってプラズマ粒子のエネルギー選別を行う装置である。プレートにはそれぞれ適切なバイアス電圧 (図 1[右]) が印加されており、それらを通じた計測粒子 (今回の場合は電子) はコレクタによって電流信号として検出される。コレクタ電流 I_c は、エネルギー選別電圧 $V_{disc} = V_{g2}$ を用いて次式 [左] のように表され、本計測では次式 [右] の関係から $f(v_{||})$ を求めることを目的としている。

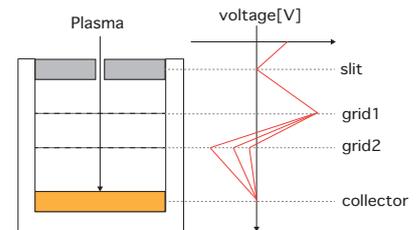


図 1. RGEA 断面および印加電圧

$$I_c = A_{slit} e \int_{\sqrt{2eV_{disc}/m_e}}^{+\infty} \xi_{total} v_{||} f(v_{||}) dv_{||}, \quad \frac{dI_c}{dV_{disc}} = \frac{A_{slit} \xi_{total} e^2}{m_e} f(v_{||})$$

図 2 はリコネクション前後において、 $V_{disc} = -20 \sim -150$ [V], 250 [kHz] で掃引した場合のコレクタ電流信号を示している。リコネクションの初期段階において加速された電子の存在を示唆する大きな正の信号が確認され、リコネクション終了後には I-V 特性から 50eV 程度の電子が支配的であるという結果が得られたが、二次電子の過剰放出や掃引周波数が不十分であるなどの計測上の課題解決が必要であることがわかった。

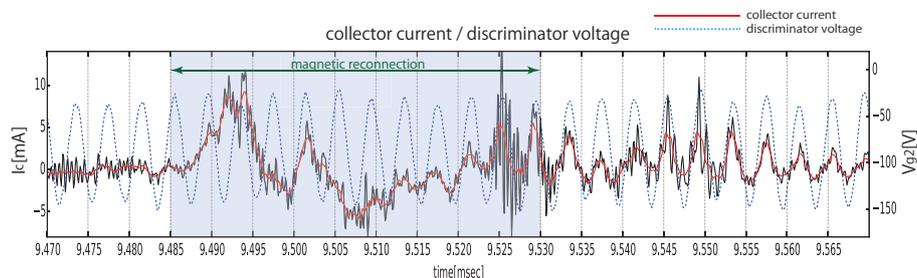


図 2. RGEA 信号例

謝辞

本研究は JSPS 日中韓フォーサイト事業ならびに科研費 15H05750、15K14279、26287143、25820434 の助成を受けたものです。

[1] P. Ricci, et al, Phys. Plasmas, 11, 8 (2004)

[2] Kotaro Yamasaki, S.inoue, S.kamio, et al. Phys. Plasmas 22, 101202 (2015)

[3] 牛木知彦, 井通暁, 小口治久: 電気学会論文誌 A, 134, pp.493(2014)