

ガイド磁場磁気リコネクションにおける磁場揺動の役割 Experimental investigation of electromagnetic fluctuations during fast reconnection in the presence of a guide field

桑波田晃弘, 井通暁, 矢内亮馬, 小野靖
Akihiro Kuwahata, Michiaki Inomoto, Ryoma Yanai, Yasushi Ono

東京大学
The University of Tokyo

磁気リコネクション[1]とは磁力線がつなぎ変わる現象のことであり, 全ての磁化プラズマで発生する現象である (例えば, トカマクにおける Sawtooth crash, 太陽における太陽フレアやコロナ質量放出, 地球磁気圏におけるサブストームなど). また, 自然界でのリコネクション現象は本質的にガイド磁場 (リコネクション磁場に垂直な磁場成分) を含んでいる. ガイド磁場磁気リコネクションに関して, 理論・数値シミュレーション・衛星観測によって磁場揺動の存在が報告されているが, 磁場揺動がリコネクション現象に与える影響については未解明な点が多い.

本講演は, プラズマ合体実験装置 TS-3[2-5]を用いたガイド磁場磁気リコネクション実験 (ガイド磁場強度 B_g とリコネクション磁場 B_r の比が 1-2.5 程度) において明らかとなった磁場揺動の役割, 「高速リコネクション中に発生する磁場揺動によるリコネクション電場の増加」と「リコネクション加熱への磁場揺動の寄与」について発表する. 磁気リコネクションの高速化機構・エネルギー変換機構を実験的に検証することで, 自然界で観測されている高速な磁気リコネクション現象ならびに爆発的な磁場エネルギーの解放現象の物理機構を解明できると期待される.

磁気プローブを用いた磁場揺動計測によって, 高速リコネクション中に電流シート内で大振幅の磁場揺動が発生していることを明らかとした. 磁場揺動の振幅はリコネクション磁場の 10% まで達しており, 周波数は 1.5-2 MHz 程度 (イオンサイクロトロン周波数の約 2 倍) にピークがあるコヒーレントな波である. また, ガイド磁場が大きいほど, 磁場揺動の振幅も大きく, リコネクション電場の増加も大きい. 磁場揺動の非線形効果を考慮した MHD モデルを用いた数値解析によって, リコネクション電場 $E_{rec} \sim 1000$ V/m (規格化リコネクション速度 $M_A \sim 0.12$) の約 50% を磁場揺動によって生じる非線形項が支えていることを明らかとした.

エネルギー変換機構に関して, 静電プローブによる電子密度・温度計測, ドップラープローブによるイオンフロー・温度計測を用いて, リコネクション領域へと流入するエネルギーと流出するエネルギーを定量的に検証した. 磁場エネルギーの約 60% がイオンの熱エネルギーへと変換され, 約 15% が電子の熱エネルギーへと変換されていることを明らかとした. しかしながら, 磁場揺動のエネルギー (磁場エネルギーの数%程度) はイオンおよび電子の熱エネルギーの増加分に匹敵しないため, 磁場揺動による加熱ではないと考えられる. また, 運動エネルギーについても, 熱エネルギーの増加分を説明することができないため, 磁場から熱へとエネルギーが変換される別の機構が存在することが示唆される.

ガイド磁場磁気リコネクションに関して本研究が明らかとした現象は, 「磁場揺動の非線形効果によってリコネクション電場が発生すること」および「磁場揺動はエネルギー変換機構に直接関与はしていないこと」である. 従って, 本研究で計測された磁場揺動はリコネクション高速化機構の一つであると結論付ける.

[1] M. Yamada, R. Kulsrud, and H. Ji, Rev. Mod. Phys. **82**, 603 (2010).

[2] A. Kuwahata *et al.*, Plasma and Fusion Res. **6**, 1201127 (2011).

[3] A. Kuwahata *et al.*, IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials **132**, 233-238 (2012).

[4] A. Kuwahata *et al.*, Phys. Plasmas **21** 102116 (2014).

[5] M. Inomoto *et al.*, Phys. Plasmas **20**, 061209 (2013).