

下流領域に非対称性を持つ磁気リコネクションの実験研究
Experimental Investigation of Asymmetric Magnetic Reconnection in Outflow

門脇和丈, 井通暁, 小野靖
 Kazutake Kadowaki, Michiaki Inomoto, Yasushi Ono

東京大学大学院工学系研究科
 Graduate School of Engineering, University of Tokyo

東京大学TS-4装置を用いたプラズマ合体実験(Fig.1)では、円筒装置内に2つのトーラスプラズマを生成し、軸方向に衝突させる際に、衝突断面に発生する磁気リコネクションを調べることができる。この磁気リコネクションは、インフローが装置軸方向、アウトフローが装置径方向になり、アウトフロー方向には密度、温度、磁場強度などのパラメータに非対称性が存在する(Fig.2)。下流領域のパラメータがリコネクション速度に与える影響については、例えばMurphyによる理論的な研究[1]があるが、磁気圏Day-sideのリコネクションという具体的な研究対象のあるインフロー方向の非対称性に比べると、実験・観測の研究の数が少ない。

プラズマ合体実験は、X点から下流域に向かってイオンスキン長の数倍程度の距離で磁力線がパイルアップするという特有の境界条件により、下流域で密度が上昇し、粘性および衝突によりイオンと電子がMaxwell分布に熱緩和し、1流体としてみなせるMHD近似が成立する。このようなスラブ型無衝突リコネクションモデルにはない特徴を有するため、下流でのMHD領域に非対称性が存在するMurphyモデルが適用できる。本発表ではMurphyモデルに基づき、密度・フロー速度の非対称性を考慮しつつ、実験と同じ円筒座標系の効果を組み込むことで、プラズマ合体におけるリコネクションインフロー速度をモデル化した。モデル式は以下のとおりである。

$$v_{in} = \sqrt{\frac{\eta v_d v_u \{2r_u v_u n_u - 2r_d v_d n_d + (r_u^2 - r_d^2)(dn_{sheet}/dt)\}}{(r_u + r_d)n_m(2\mu_0 L v_u v_d - \eta v_u + \eta v_d)}}$$

ただし、 r はシート境界位置、 v は流速、 n は密度、 η は電気抵抗率、 μ_0 は真空の透磁率、 L はシート長さの半分をそれぞれ表し、添字の u は径方向外側、 d は径方向内側へのアウトフロー、 in はインフローの値であることを示す。

このモデル式を用いて実験結果との比較を行った。その結果、実験的に得られたリコネクションインフロー速度の時間発展を以前より

高い精度で再現することが可能になった。また、この際、Murphyモデルでは定常リコネクションを表す古典的なSweet-Parkerモデルと同様、長シート近似を用いているが、実験的に観測される電流シートは有限の長さを持つため、長シート近似は用いずに定式化を行っている。

この結果より、プラズマ合体において、下流域のMHD領域の圧力(粒子密度)がリコネクション速度に対してモデル式に従って影響を与えることが実験的に検証できた。

本研究は科研費特別研究員奨励費(課題番号25・2687)の助成を受けたものです。

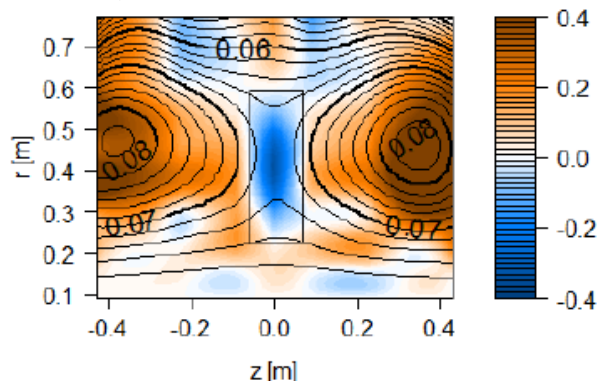


Fig.1 プラズマ合体におけるポロイダル断面(等高線:ポロイダル磁束[Wb],色:トロイダル電流密度[MA/m²])

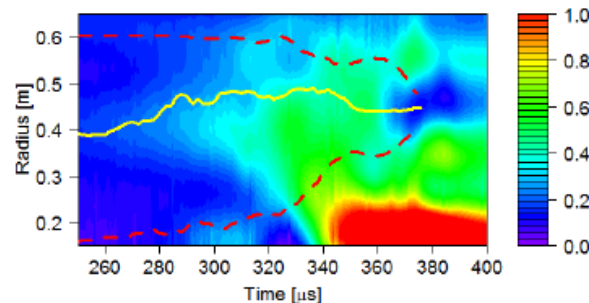


Fig.2 CO₂レーザ干渉計による、Z=0mでの径方向(アウトフロー方向)電子密度分布. [10²⁰個/m³]

[1] Murphy *et al.*, J. Geophys. Res., 115, A09206 (2010).