

異極性スフェロマック合体による磁場反転配位形成過程におけるHall効果 Hall effect on Counter-helicity Spheromak Merging

神納康宏, 井通暁, 小野靖, 堀内利得

Yasuhiro Kaminou, Michiaki Inomoto, Yasushi Ono, and Ritoku Horiuchi

東京大学, 核融合科学研究所

Univ. Tokyo, NIFS

$\beta = 100\%$ の高 β 配位である磁場反転配位 (FRC) の生成法の一つである異極性スフェロマック合体法 (counter-helicity spheromak merging) はスフェロマックを介して FRC を生成することから, 逆磁場 θ ピンチ法に比べ簡易な電源系で生成可能であること, および大磁束の FRC を生成しやすいという利点を有する。異極性スフェロマック合体は互いに異なる極性のトロイダル磁束を有する 2 つのスフェロマックを合体させ, 合体に伴う磁気リコネクションによりトロイダル磁場を消滅させて FRC を生成する手法である。本研究では異極性スフェロマック合体において Hall 効果がフローや熱圧力分布の形成に与える影響について検証を行った。

本研究では 2 次元および 3 次元円筒座標系 Hall-MHD コードを用いた。プラズマ合体はトラスプラズマという広範囲と磁気リコネクションという微細構造を同時に解かなければならないため, 磁気リコネクション領域の空間解像度を高めるため $Z=0$ 付近に細かいグリッドを配置する非一様メッシュを導入している。

Hall 効果の導入により合体するスフェロマックの極性 (Case-O: $+Z$ 側が正, $-Z$ 側が負のトロイダル磁束. Case-I: $+Z$ 側が負, $-Z$ 側が正のトロイダル磁束. 両ケースともポロイダル磁束は正) により異なったリコネクション電流, フロー分布および圧力分布が形成されることが明らかになった。MHD の場合, case-O と case-I はトロイダル磁場 (ポロイダル電流) の極性およびトロイダル磁場のリコネクションによって生成されるトロイダルフローの極性が逆であることその他は全物理量が同一という対称性を有するが, Hall 効果の導入はこの対称性を破る。Hall 効果により, (1) X 点が移動 (Case-O は outboard 側, Case-I は inboard 側), (2) 電流シートが薄く長い構造 (MHD) から X 点に局在化した構造に変化, (3) ポロイダルアウトフローの加速領域が電流シート内 (MHD) からセパトリクス上に変化, (4) ポロイダル (R 方向) アウトフローは X 点から双方向に出る構造 (MHD) からほぼ一方向にのみ

出る構造に変化 (Case-O は inboard 側, Case-I は outboard 側にのみ出る), (5) 電流シート端でそれぞれ正負に生成されるトロイダルフロー構造 (MHD) から X 点で負方向/イオンアウトフロー下流域で正方向のトロイダルフロー構造に変化, が生じることが明らかになった。また, これらの効果によりリコネクション下流域の圧力分布に変化が見られ, 結果として合体速度が MHD と Hall-MHD で異なるだけでなく, Case-O と Case-I でリコネクション高速化に相違が生じることが分かった。以上, 本発表では 2 次元 Hall-MHD スフェロマック合体シミュレーションを用いて Hall 効果が異極性スフェロマック合体プロセスに与える影響について議論する。加えて, 3 次元 Hall-MHD 合体シミュレーションにより異極性合体中の低次トロイダルモードの発展が Hall 効果の有無によって異なることも報告する。

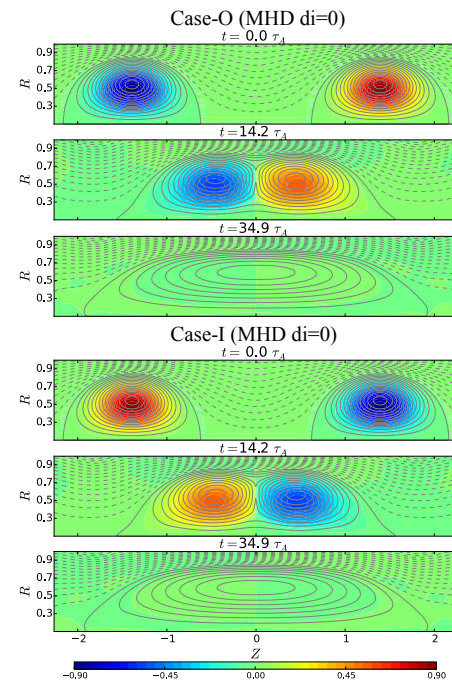


FIG. 1 異極性スフェロマック合体におけるトロイダル磁場 (色) とポロイダル磁束 (等高線)