

異極性スフェロマック合体における非MHD効果の検証

著者	神納 康宏
学位授与年月日	2017-05-18
URL	http://doi.org/10.15083/00077460

審査の結果の要旨

氏名 神納 康宏

本論文は「異極性スフェロマック合体における非 MHD 効果の検証」と題し、プラズマのホール MHD シミュレーション計算機コードで、互いに逆向きのトロイダル磁場を持つ異極性スフェロマック合体による磁場反転配位(FRC)生成過程をシミュレートした。逆向きトロイダル磁場の極性による磁気リコネクション構造の変化やリコネクション速度の差を解析し、スフェロマック合体による磁場反転配位生成の極性効果の物理を明らかにしている。

第1章は、「序論」であり、研究の背景となった核融合エネルギー開発や磁気リコネクション研究の歴史を解説している。磁気リコネクションの非 MHD 効果について述べた後、東京大学で開発された逆向きのトロイダル磁場を持つスフェロマック合体による磁場反転配位(FRC)生成の過程について述べている。

第2章は、「異極性合体における非 MHD 効果の実験的検証」と題し、東京大学 TS-4 プラズマ合体実験装置を用いて、互いに逆極性のトロイダル磁場を持つ2個のスフェロマックを合体させる際、トロイダル磁場の極性の組み合わせを変えると、リコネクション点がトーラスの内側、あるいは外側にシフトし、トロイダル効果のために合体・リコネクションの進展に変化が生まれることを述べている。

第3章は、「電磁流体シミュレーションによる異極性合体における Hall 効果の検証」と題し、核融合科学研究所堀内教授の電磁流体力学(MHD)計算コードにホール項を加えて、ホール MHD コードを開発し、計算スキームを改良した経緯を記述し、まず2次元 MHD シミュレーションによって異極性合体スフェロマックで生成されるフローと粘性・電気抵抗の効果を検証し、次に、2次元 Hall-MHD シミュレーションによって異極性合体中のフロー形成を解析・比較している。2個のスフェロマックの有する互いに逆向きのトロイダル磁場の極性を変えると、電流シートの成分がトロイダル方向だけでなく、半径方向成分を持つため、リコネクション点の内側に動いたり、外側に動いたりするホール効果を明らかにした。同時にフローの変化について検証を行ない、互いに逆向きトロイダル磁場の極性の組み合わせを変えると粒子排出の難しい内側への排出が多い組み合わせではリコネクション速度が低下することがわかった。

第4章は、「粒子シミュレーションによる異極性磁束管合体中のエネルギー

変換と加熱の検証」と題し、スフェロマックの異極性合体を直線形状の磁束管の合体で模擬した粒子シミュレーションを行い、ホールMHDシミュレーションとの比較を行っている。計算資源の制約のためトロイダル効果が除かれているものの、リコネクション点の移動やフロー生成の差異、フロー排出のリコネクション速度への影響、さらにリコネクション加熱への影響などキーとなる物理を粒子シミュレーションの立場から明らかにした。

第5章は、「結論」で成果を整理し、まとめている。

以上要するに、本研究は、粒子シミュレーションにサポートされたホールMHDシミュレーションにより、互いに逆極性を持つトロイダル磁場を有する2個のスフェロマックの合体・リコネクションから磁場反転配位(FRC)を生成するプロセスを解析し、極性の組み合わせの違いによってリコネクション点の内側、外側に移動する現象やトーラス内側と外側の閉じ込め特性の差異から磁気リコネクション速度自体も変化する現象を見出した。結果はスフェロマック合体実験と比較し、定性的に一致することを明らかにした。最新の大型磁場反転配位の合体生成実験や太陽プラズマや磁気圏プラズマのリコネクションにも応用可能な成果といえ、プラズマ工学、核融合工学、太陽物理学、電気電子工学への貢献は少なくない。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。