

球状トカマク合体を用いた高ガイド磁場リコネクションの グローバルなイオン加熱機構の解明

学生証番号 47186094 氏名 田中 遥暁
(指導教員 小野 靖 教授)

Key Words: 高ガイド磁場リコネクション、球状トカマク、イオン加熱、ドップラートモグラフィ

本研究では球状トカマク合体を通して高ベータ ST を生成段階にあたって鍵となる高ガイド磁場リコネクションによるグローバルなイオン加熱機構を総合的に明らかにすることを目的とする。磁気リコネクションは磁力線のつなぎ替えによって磁場のトポロジー変化を伴い、磁場のエネルギーを粒子の運動・熱エネルギーに変換する物理的現象であるが、トカマク合体で見られる高ガイド磁場を印加した環境下ではそのエネルギー変換機構について未解明なままである。とりわけイオン加熱については高ガイド磁場リコネクションにおいてそのエネルギー変換は従来のスラブモデルに限定された領域にとどまらず、合体領域全体においてグローバルに加熱されていると考えられるため下流領域広域でのイオン加熱機構の解明が求められる。

グローバルなイオン加熱について明らかにするため従来までのような X 点近傍に限られたイオン温度計測を改良する必要があり、本研究ではそのハードウェアの側面を解決するため、マルチスリット分光法を応用して発光スペクトルの光量を確保しつつ、従来の 35CH から 288CH まで大幅に多チャンネル化を施すことに成功した。新しく開発した分光システムを用いたイオン温度計測により、イオン加熱はアウトフロー領域広範囲において発生していることが確認できたとともに高ガイド磁場効果によって高温イオンの伝搬・閉じ込めに効果があることがわかった。加えて、トラスプラズマの合体ではそのトロイダル特性から磁気軸の内側と外側で非対称な加熱が起こることも分かった。

また空間分解能がイオンのラーマー半径のオーダーまで向上した高精細計測によって、静電ポテンシャルによる静電場の計測と連携した詳細な加熱分析が行えるようになった。ガイド磁場・リコネクション磁場双方をパラメータ比較することで、イオン加熱・加速にはどちらの磁場が影響しているか考察することが可能となった。リコネクション電場はリコネクション磁場に依存して大きくなることでイオン加熱も大きくなる一方で、静電ポテンシャルの深さに有意な変化がないことからガイド磁場一定の条件下ではリコネクション磁場が拡散領域内でイオン加速に影響があることが示唆された。

高精細な 2 次元磁気プローブアレイによる磁場計測と組み合わせることで合体の初期段階で pull 型のプラズマモードの出現が確認され、その発生に伴い複数の X 点の生成・リコネクションが起こっていることが確認できた。各々のリコネクションに付随して両側にイオンアウトフローが形成されてイオン加熱が起きていることから、要のリコネクションに先立って磁気エネルギーの変換が生じていることが判明した。

重いガス種 (Ar) を用いたリコネクション実験ではその 2 流体的効果が顕著に表れ、大幅なイオン加熱が発生していることが確認できた。これは、イオンのラーマー半径が大きいことに由来し、電流シート幅がイオンのラーマー半径を下回ることによって高効率なリコネクション加熱が誘起されていることと結論づけた。