

東京大学大学院新領域創成科学研究科
複雑理工学専攻

平成 29 年度

修士論文

球状トカマク TST-2 及び LATE における高周波
立ち上げプラズマの分光計測

キーワード: 核融合、トカマク、球状トカマク、分光計測

2018 年 3 月修了

指導教員 江尻 晶 准教授

47-166122 佐藤 暁斗

要旨

当研究室では、核融合発電の実現に向けた球状トカマクプラズマの立ち上げ、維持シナリオの確立を目的とした研究を行っている。球状トカマク TST-2 では、(1) 中心ソレノイドコイルで加熱されたプラズマ (OH プラズマ) と (2) 低域混成波 (LHW) と電子サイクロトロン波 (ECW) で加熱されたプラズマ (RF プラズマ) の 2 種類のプラズマを生成可能であり、本研究では (2) の RF プラズマを研究対象とする。また、球状トカマク LATE では電子サイクロトロン波単独で加熱された RF プラズマを生成可能であり、これも研究対象とする。

閉じ込め状態の良い H-mode 放電での電場シアの発見から電場・フロー速度シアの閉じ込めへの寄与が調べられてきたが、電場・フロー速度シア → 揺動の抑制 → 乱流輸送の低減 → 圧力勾配の増加 → 電場・フロー速度シアの増加という正のフィードバック効果で閉じ込め改善が起きると考えられている。また、電子加熱プラズマでは、イオンの加熱は電子との衝突により生じると考えられるが、様々な装置で衝突からは考えられないイオン温度の上昇が観測され、イオンの加熱には未確認な機構が存在する可能性がある。このため、RF プラズマの物理解明にフローとイオン温度計測は非常に重要である。先行研究では OH プラズマと外側アンテナから LHW が入射された RF プラズマを対象に、可視分光器を用いたイオンフロー速度及びイオン温度計測が行われた。しかし、計測視線がトロイダル方向、ポロイダル方向にそれぞれ 7 視線で、分布計測に不十分であった。そこで本研究では、新たに計測視線を増設し、線積分発光強度を再構成することで発光強度、イオン温度、フロー速度の分布計測を目的とする。また、TST-2 では外側アンテナから LHW が入射された RF プラズマと、上側アンテナから入射された RF プラズマ、LATE では駆動方法の違う ECW で電流駆動を行い、立ち上げた RF プラズマを対象に分光計測を行い、それぞれの分布に違いがあるかを解析し、プラズマの特徴を調べることを目的とする。そして、フローの大きさや向き、イオンの温度変化が何に依存するか調べ、フローの生成機構、イオンの加熱機構を解明することを目標とする。

TST-2 で新たに視線を増設し発光強度を Tikhonov の正則化法で再構成をした。そして、再構成した発光強度からイオンフローとイオン温度の大半径方向分布を求めることができた。外側アンテナ使用時と上側アンテナ使用時で内壁付近の領域にプラズマ電流と反対方向に 10 km/s を超えるフローが存在することがわかった。一方、高速電子とバルクの電子衝突から予測されるイオンフロー速度はプラズマ電流と反対方向に約 1 m/s であり無視できるほど小さいことがわかった。従って、トロイダルフローは $E \times B$ ドリフトから生成される可能性が考えられ、壁付近フローの時間変化は

径方向電場の時間変化を反映していると考えられる。イオン温度はバルク電子温度と似たホローな分布で、中心付近でイオンと電子の温度緩和時間がエネルギー閉じ込め時間と同程度であることから、この領域のイオンはバルク電子に加熱されている可能性がある。一方、より周辺に近い $R=250$ mm 付近ではバルクの電子温度が大きく上昇するため、イオンと電子の温度緩和時間が長く、イオン温度が小さくなると考えられる。

LATE で、TST-2 同様、発光強度を Tikhonov の正則化法で再構成をし、CIII のイオン温度の大半径方向分布と CIII、CV、OV の発光分布を求めることができた。イオン温度は TST-2 ではホローな分布であるのに対し、磁気軸付近の $R=250$ mm 付近で最も高いわずかにピークした分布を示す。CV、OV の発光強度が大きいことから、この領域で電子温度が高いと考えられる。また、プラズマが内壁に接触することで、不純物が叩き出され密度が大きくなるため内壁付近の CIII、CV、OV の発光が大きくなると考えられる。

本研究では、可視分光器を用いて TST-2, LATE の RF プラズマのフロー、イオン温度、発光強度を計測し、その特徴を明らかにした。特にトロイダルフローが内壁付近で大きい点は興味深い。また、TST-2 と LATE の顕著な相違点はイオン温度分布であり、引き続き様々な種類のプラズマについて研究することで、フローの生成機構、イオンの加熱機構の解明につながると期待される。