

磁気圏型プラズマ装置RT-1におけるトロイダルシア流の観測 Observation of toroidal shear flow in magnetospheric plasma device RT-1

西浦正樹¹⁾²⁾, 上田研二²⁾, 斎藤晴彦²⁾, 釧持尚輝¹⁾, 仲川涼介²⁾, 矢内亮馬¹⁾, 森敬洋²⁾
M. Nishiura¹⁾²⁾, K. Ueda²⁾, H. Saitoh²⁾, N. Kenmochi¹⁾, R. Nakagawa²⁾, R. Yanai¹⁾, T. Mori²⁾

¹⁾核融合研, ²⁾東大新領域
¹⁾NIFS, ²⁾Univ. Tokyo

磁気圏ではダイポール磁場中に閉じ込められたプラズマが高ベータ状態で安定に存在している。ダイポールプラズマは極付近に向かって磁場が強くなるため、電場、密度、温度などの空間上で非一様性をもち、閉じ込められたプラズマも特有の振る舞いをすると考えられる。また、トカマクやヘリカル装置とは異なりポロイダル磁場のみが存在するが、共通の物理を抽出し普遍性を議論することも可能になる。

実験室で宇宙探査では分からない詳細な実験を実施するために、超電導浮上コイルを用いて惑星のダイポール磁場を模擬した磁気圏型プラズマ閉じ込め装置RT-1が開発された。ここでは、自己組織化現象[1, 2]やホイッスラー波の自発的な励起現象[3]が観測されており、そのメカニズムについて理論[4]と実験研究を進めてきた。最近では、内部構造を詳しく調べることで、惑星磁気圏の放射線帯に似た高エネルギー電子 (3-15 keV) コアの生成を実験室系で初めて観測した。また、高い電子圧力でも安定に存在することも分かった[1]。

次に、イオンを加熱するために、slow wave 波によるイオンサイクロトロン共鳴周波数 (ICRF)加熱実験を行った。ヘリウムプラズマを 2.45GHz・10kWの電子サイクロトロン加熱 (ECH)で生成し、2MHz・9.4kWのイオンサイクロトロン波を重畳した。ヘリウム発光分光によりイオン温度とトロイダル流速を評価した。ICRF加熱時にはイオン温度上昇に伴い高速トロイダル流の加速現象が観測された。これはダイポール磁場のポロイダル方向成分による $E \times B$ や曲率ドリフト運動により駆動されていると考えられる。詳細なトロイダルイオン流の分布を調べるために、コヒーレンスイメージング法を導入し、プラズマ全体の加熱と流速の測定を行った。ICRF加熱時は共鳴層に沿ってイオン温度上昇とトロイダル流の加速が生じ、半径方向にシアを持つことが分かった。

ECHプラズマにおいて、トロイダル流のガス

圧依存性を調べた。動作ヘリウムガス圧4.5 mPaでは自発的なトロイダル流は閉じ込め領域の外側に存在するが、2 mPaまで下げると浮上コイル近傍の流速が大きくなることが分かった。また、EC共鳴層を境に強い正から負に変化するシア流となっていることも分かった。トロイダル流から半径方向電場 E_r を求めると、EC共鳴位置付近 $r = 0.43$ mで $E_r \sim 0$ となっており、プラズマ閉じ込め領域 $r = 0.47$ mでは $E_r > 0$, $r > 0.6$ mで $E_r \sim 0$ となっている。一方、 $r > 0.6$ mでは $E_r \times B$ 以外のドリフト力によりトロイダル流は駆動されていることが分かった。

今後は自己組織化するプラズマに対してトロイダル流と熱・粒子輸送の関係を調べる予定である。これらの結果はダイポール装置のみならずトラスプラズマなどの閉じ込めシステムにおける熱・粒子輸送と自己組織化の普遍的な物理の理解を深めることに繋がる。

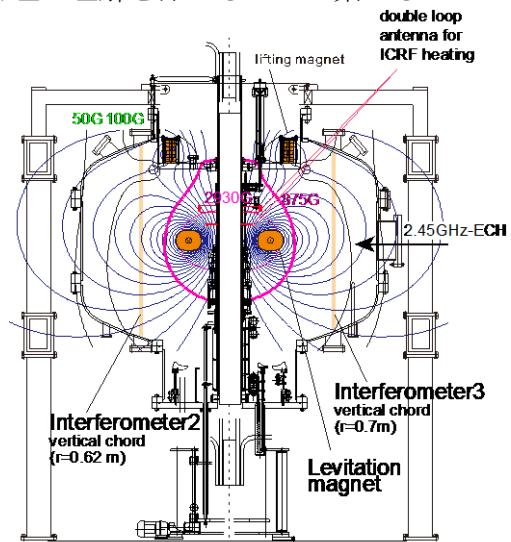


図1.磁気圏型プラズマ装置RT-1のポロイダル断面。

参考文献

- [1] M. Nishiura *et al.* Nucl. Fusion **59**, 096005(2019).
- [2] N. Kenmochi *et al.* Nucl. Fusion **62**, 026041(2022).
- [3] 斎藤晴彦, 19aS08-6, 日本物理学会年会(2022年3月).
- [4] Z. Yoshida, Adv. Phys. X **1**, 2.