

プラズマに影響を与える中性粒子の挙動とその計測システム開発

荻原公平¹, 江藤修三¹, 荒巻光利², 杉原拓実³, 吉村信次⁴, 田中雅慶¹

¹九大総理工, ²名大工, ³九大工, ⁴核融合研

プラズマの挙動を考えると、中性粒子の寄与は無視されることが多かったが、近年中性粒子の存在の重要性が議論されるようになった。中性粒子密度の非一様性がプラズマ密度分布や圧力平衡に影響を与えるが、これらはプロセスプラズマにとっては重要なファクターである。また、流れを持つ中性粒子がイオンとの衝突を通して運動量を交換し、双方の流れ構造に影響を与えうることが分かってきた。

アルゴン磁化プラズマ中で $E \times B$ ドリフトと逆向きに回転する渦が観測された(図1)。この構造は電場や圧力勾配を駆動源として説明することができず、イオンと中性粒子の荷電交換衝突を通じた運動量輸送により形成されると考えられている。我々はこの渦形成メカニズムを解明するために、レーザー誘起蛍光(LIF)法を用いて中性粒子の流れ場を計測する高精度ドップラー分光システムを開発した。このLIFドップラー分光システムは、飽和吸収分光のラムディップを波長基準に導入し、狭帯域の半導体レーザーでLIF分光を行うもので、2m/secの高い流速測定精度を達成している。

レーザー波長 696.735nm, 出力 17mW の波長可変半導体レーザーで準安定状態のアルゴン原子 (${}^2P_{3/2}4s[3/2]_2$) を上準位に励起し、脱励起する際の 826.679nm の蛍光をレンズで集光し、ロックイン検出を行って LIF スペクトルを計測した。さらに、プラズマを通過したレーザーを減衰させた後、行きの光路と同じ光軸上で逆側からプラズマに再入射し、飽和吸収スペクトルを得た。また、同時にファブリ・ペロー共振器の自由スペクトル域も測定し、レーザー発振波長の較正を行った。

実験は核融合研の HYPER-I 装置で行った。直径 30cm, 軸長 200cm の真空容器中に 10mTorr のアルゴンガスを導入し、2.45GHz, 5kW のマイクロ波による ECR 加熱でプラズマを生成した。開発した LIF ドップラー分光システムを用いて、渦が存在するときのアルゴン準安定原子の径方向・周方向速度分布関数を計測した。径方向速度分布関数はマクスウェル分布から僅かにずれた非対称性を有し、その温度は渦中心で 0.9eV であった(図2)。径方向流れは内向きで、流速は最大で約 40m/sec であった。この流速が最大になる $r = 4\text{cm}$ は、LIF 強度から概算した中性粒子密度勾配の急峻な領域に当たる。周方向流速については、渦構造中では反 $E \times B$ 方向に、周辺領域では $E \times B$ 方向に回転している。これはイオンの周方向回転と同じで、周方向に駆動源を持たない中性粒子がイオンとの衝突で牽引されていると考えられる。

今回、反 $E \times B$ 渦中の中性粒子の 2 次元流れを計測した(図3)。中性粒子は径方向内向きに流れ、イオンと同じように周方向に回転していることが分かった。今後は 3 次元の流れ場を計測し、イオンについても LIF 計測を適用する。

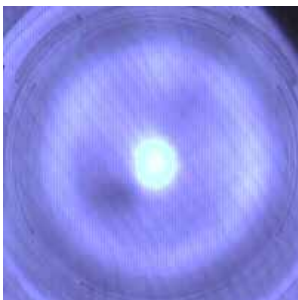


図1. 反 $E \times B$ 渦(単極渦)

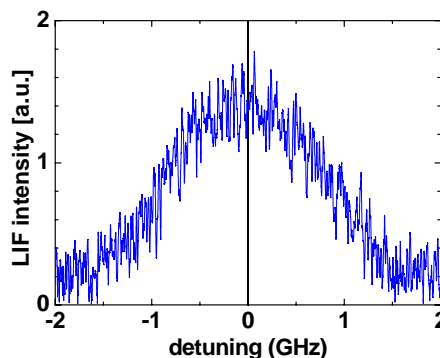


図2. LIF スペクトル

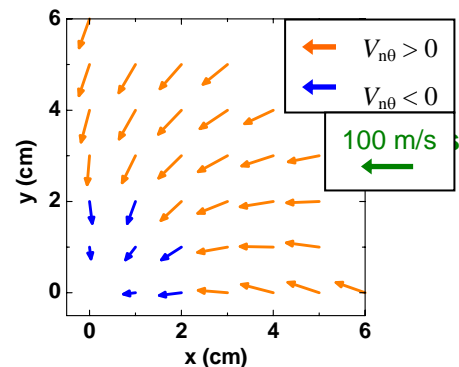


図3. 中性粒子の 2 次元流れ場