

磁化プラズマの速度場計測と渦構造

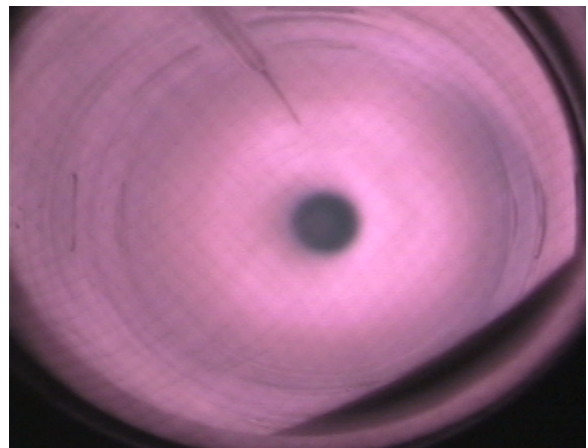
永岡賢一、原一久、岡本敦、吉村信次*、河野光雄**、田中雅慶*
名古屋大学大学院理学研究科、*核融合科学研究所、**中央大学総合政策学部

プラズマの構造形成は磁場閉じ込めプラズマや宇宙プラズマにおいて広く知られており、それらの多くはプラズマの回転運動を伴った渦構造として出現する。これまでに、プラズマの構造形成は主に理論やシミュレーションによって研究されてきた。近年実験室において磁化プラズマ中に巨視的な渦構造の形成が観測されている。本研究の目的は、これら実験室プラズマの速度場の構造を明らかにすることによって、プラズマの構造形成を理解することである。本研究では、プローブを用いた磁化プラズマ中の流速測定法と、磁化プラズマ中におけるバーガス渦(散逸性渦)の形成について報告する。

プローブを用いたプラズマ流速測定法は、主に磁場に平行な流速に対して開発されてきた。プラズマの速度場の構造を明らかにするためには、磁場に平行方向と垂直方向の両方を決定する必要がある。本研究では、方向性プローブ(DLP)に与える磁場の影響をその対称性を利用して相殺することにより、プラズマ流速を与える一般的な関係式を導出した。その理論式の妥当性、適用限界を実験的に明らかにした。これによって、磁場中のプラズマ流速を3次元ベクトルとして決定することが可能になった。

この方法を用いて、磁化プラズマ中に観測されたプラズマホール(密度キャビティ)の3次元速度場の構造を調べた。その結果、プラズマホール構造は、イオン音波速度を超える周方向回転、径方向内向きの中心集中流、および逆流を伴った軸方向速度場をもつことがわかった。すなわち、3次元流れパターンは発達した台風とよく似た構造を持つことが明らかになった。また、渦度の軸方向成分は中心軸付近にガウス分布する局在構造を持つことがわかった。この渦構造は、イオンに対する渦度方程式を用いた解析から、中心集中流による渦度の集中と粘性による渦度の拡散がつり合ったバーガス渦であると同定された。さらに、渦のサイズと中心集中流の大きさからプラズマの実効的な粘性を見積もることができ、古典粘性係数より4桁大きな異常粘性を持つことが明らかになった。通常、バーガス渦はエネルギー散逸を伴うが、プラズマホールも渦度が集中する領域を取り囲むリング状に散逸領域が存在し、プラズマの周方向回転のシアーによる粘性散逸が支配的な散逸構造を持つことが明らかになった。

乱流状態にある水の中で観測される渦糸が、Navier-Stokes 流体のシミュレーションによってバーガス渦の性質をもつことが明らかにされており、バーガス渦は乱流の基本的散逸構造と考えられている。本研究において、プラズマ中でバーガス渦が観測されたことは、プラズマ中の乱流においてもバーガス渦が基本的構造となりえることを示唆するものとして重要な意味を持っている。



HYPER-I 装置で観測されたプラズマホールの CCD イメージ。中心部の暗い領域が低密度領域。