

26aB32P

レーザー誘起蛍光法プローブによる磁化プラズマ中フロー速度シアアの計測

Measurement of Ion Flow Velocity Shear in Magnetized Plasmas by Laser-Induced Fluorescence Probe

金子俊郎, 角山北斗, 畠山力三, Eric Reynolds¹⁾, Mark Koepke¹⁾東北大院工, ウェストバージニア大¹⁾KANEKO Toshiro, TSUNOYAMA Hokuto, HATAKEYAMA Rikizo, REYNOLDS Eric¹⁾, KOEPKE Mark¹⁾Department of Electronic Engineering, Tohoku University, Physics Department, West Virginia University¹⁾

筆者らはこれまで、分割型プラズマ生成電極を用いることによって、磁力線平行方向及び垂直方向のイオンフロー速度シアアを形成し、それらによって励起及び抑制される不安定性の研究を行ってきた^{1,2)}。今回は、プラズマに非接触のレーザー誘起蛍光法プローブを用いて、従来の静電型プローブでは正確な計測が困難であったイオンフロー速度及びそのシアアを高精度で計測するとともに、不安定性の励起・抑制で変化すると考えられるイオン速度分布関数について考察を行った。

実験は、筆者らが考案・製作したイオンフロー速度シアアを制御できる装置を、レーザー誘起蛍光法プローブを有するウェストバージニア大学ケプケ研究室へ持ち込み、共同研究として行った。本実験では、まず同心円上に三分割されたレニウム被膜タングステン熱板電極（外径はそれぞれ2 cm, 5.2 cm, 10 cm）にバリウム蒸気を吹き付けることでQマシンプラズマ（密度 $n_p \simeq 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, 電子温度 $T_e \simeq 0.25 \text{ eV}$ ）を発生させ、それぞれの電極に独立に電位を印加して径方向空間電位 ϕ 分布を制御することで、磁力線垂直方向のフロー速度シアアを生成した（図 (a)）。ここで、波長585nmを中心として0.001nm以下の精度で波長を掃引できる色素レーザーにより準安定状態にあるバリウムイオンを励起し、それが基底状態に遷移する際に放出する波長455nmの誘起蛍光を検出することで、バリウムイオンの存在量を測定することができる。この時、バリウムイオンの速度に起因するドップラーシフトにより、励起される波長が変化するため、その変化量からバリウムイオンのフロー速度 v_{di} 及び速度分布関数（イオン温度 T_i ）を求めることができ、さらにレーザーを径方向から入射することでこれらの磁力線垂直方向成分を各半径位置で測定できる（図 (b),(c)）。図中の黒丸及び白丸は、それぞれ図 (a) の実線、点線の空間電位分布に対応している。これらの結果から、 v_{di} は径方向電場による $E \times B$ ドリフトの方向と一致し、その絶対値が数10 m/sの精度で計測できることが明らかになった。さらに、 T_i も0.1 eV以下の高精度で計測でき、 v_{di} の径方向分布から求められるフロー速度シアアの符号によって T_i が変化していることが分かった。講演では、磁力線平行方向フロー速度シアアの計測結果とともに詳細な結果を報告する。

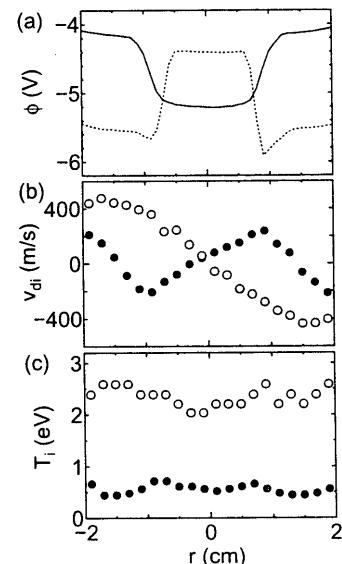
1) T. Kaneko, H. Tsunoyama, and R. Hatakeyama: Phys. Rev. Lett. **90**, 125001 (2003).2) R. Hatakeyama and T. Kaneko: Trans. Fusion Sci. Tech. **43**, 208 (2003).

図: (a) 空間電位, (b) イオンフロー速度, (c) イオン温度の径方向分布。

26aB33P

沿磁力線プラズマフローシアア駆動低周波不安定性の3次元静電粒子シミュレーション

Three-Dimensional Electrostatic Particle Simulation of Parallel-Flow-Shear Driven Low-Frequency Plasma Instabilities

松本範明, 金子俊郎, 石黒静児¹⁾, 畠山力三東北大院工, 核融合研¹⁾MATSUMOTO Noriaki, KANEKO Toshiro, ISHIGURO Seiji¹⁾, HATAKEYAMA RikizoDepartment of Electronic Engineering, Tohoku University, National Institute for Fusion Science¹⁾

東北大学ではこれまで、磁力線に平行方向のプラズマフロー速度シアアを生成・制御し、シアア強度に依存して低周波不安定性が励起、抑制されることを基礎実験的に明らかにしてきた¹⁾。しかし、実験においては、シアア領域の幅や温度比などのプラズマパラメータを変えることや、揺動の伝搬を磁力線平行方向、垂直方向の各成分別に求めることなどが困難であるため、今回これらを自在に設定可能である3次元静電粒子シミュレーションを行った。

シミュレーションは、一様な外部磁場(z 方向)を取り入れた周期的境界条件の3次元静電粒子シミュレーション(PIC, Particle-In-Cell)コードを用いて行った。磁力線に沿ったイオンフローの速度が空間的に一様な場合(図 1(a))と、空間的(x 方向)に非一様、すなわちイオンフロー速度シアアの存在する場合(図 1(b))について、イオン密度揺動($\tilde{n}_i/\bar{n}_i$)の特徴的な空間フーリエモード $k_x, \rho_i = 0.137$, $k_z, \rho_i = 0.034$ の時間発展を調べた。なお、パラメータは、イオンフローが一様な場合において、不安定性の成長率が非常に小さい領域の値を選んでいる。その結果、フロー速度が一様な場合には成長しない不安定性が、フロー速度シアアの存在する場合には急激に成長することが観測された。フローシアアの存在する場合の平均フロー速度は、フロー速度が一様な場合のそれと同程度の値であるため、不安定性は磁力線平行方向フロー速度シアアによって励起されており、イオンフローに基づくドップラーシフトを考慮した不安定性の周波数から、観測された不安定性はイオン音波不安定性であることが分かった。講演では、この他のモードの時間発展、波動の伝搬パターン、速度分布の変化についても合わせて報告する。

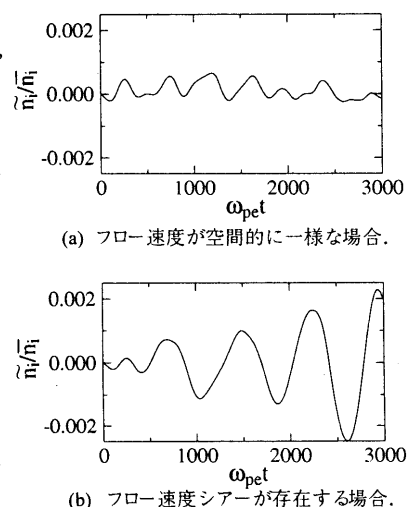
1) T. Kaneko, H. Tsunoyama, and R. Hatakeyama: Phys. Rev. Lett. **90**, 125001 (2003).

図1 空間フーリエモードの時間発展。