光渦ビームを用いたプラズマ流速測定の理論解析

Theoretical Analysis on Plasma Flow Velocity Measurement Using Optical Vortex Beams

京工繊大 [1]　○(D) 北澤 美紀 [1]、北村 恭子 [1]、比村 治彦 [1]

Kyoto Inst. Tech.[1], ○Miki Kitazawa[1], Kyoko Kitamura[1], Haruhiko Himura[1]

E-mail: d8822002@edu.kit.ac.jp, kyoko@kit.ac.jp

【序】ビーム断面内で位相分布を有する光渦ビームは、その軌道角運動量を用いた光ピンセットや光加工など、様々な分野で注目を集めている。我々は、このような光渦ビームを、フォトニック結晶レーザーの表面加工により、単一素子での生成を可能にしてきた [1]。外部光学素子を必要としない光渦ビーム光源は、光の分野のみならず異分野への応用も期待できる。そこで、そのような一例として、今回、光渦ビームを用いたプラズマ流速測定を検討したので報告する。

【測定系】レーザービームを用いたプラズマ流速測定では、光速とプラズマ流速のドップラー効果による、光の周波数シフトを測定する。このとき、通常のビームでは、光軸に沿った流速成分のみが測定される。また測定系の物理的な配置を考えると、光源は、プラズマ流速に対して斜入射を必要とする。一方、光渦ビームは、ビーム面内の位相分布により、ビーム光軸に対して垂直な方向の速度成分も測定可能と考えられる。そのため、光源がプラズマ流速に対して垂直入射となる Fig.1 に示すような系での測定が可能と期待できる。

【理論解析】Fig.1 の測定系を想定し、トポロジカルチャージ l を有する光渦ビームと速度 V のプラズマ流とのドップラーシフト δ を求めると、次式 (1) となる。

$$\delta = \left[k - \frac{kr^2}{2(z^2+z_R^2)} \left(\frac{2z^2}{z^2+z_R^2} - 1 \right) - \frac{(1+2p+|l|)z_R}{z^2+z_R^2} \right] V_z + \frac{kr}{R(z)} V_r + \frac{l}{r} V_\phi \tag{1}$$

ここで、k は波数であり、z_R はレイリー長、p は動径方向の次数、$R(z)$ はビームの曲率半径である。このうち、光軸に垂直な速度成分によるシフト量は、$\frac{kr}{R(z)}V_r + \frac{l}{r}V_\phi$ である。平行光として入射した場合、$R(z)$ は無限に大きくなるため、第 1 項は無視でき、光軸に垂直な速度成分によって得られるドップラーシフトは、トポロジカルチャージ l に比例し、光軸からの距離 r に反比例することがわかる。光渦ビームはトポロジカルチャージ l が大きくなると、ビーム断面中心の暗部が大きくなることが分かっている。そのため、測定に最適な l が存在すると考えられる。詳細は当日報告する。

【謝辞】ここに、日頃からフォトニック結晶レーザーについて議論頂く、京都大学野田教授に感謝の意を表明する。

【文献】[1] K. Kitamura, M. Kitazawa, S. Noda, Opt. Express **27**, pp.1045-1050 (2019).

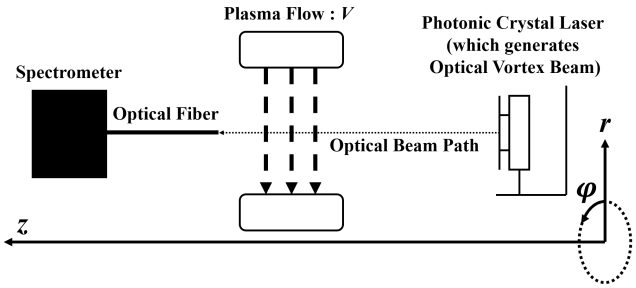

Fig 1: Schematic image of plasma flow measurement using optical vortex beam