

プラズマ中を吸収されながら伝播する光渦の  
ビームプロファイルの変化と吸収スペクトルへの影響

Variation of beam profile of optical vortex propagating  
while being absorbed in plasma and its influence on absorption spectrum

皆川裕貴<sup>1</sup>, 小林弘和<sup>2</sup>, 吉村信次<sup>3</sup>, 寺坂健一郎<sup>4</sup>, 森崎友宏<sup>3</sup>, 荒巻光利<sup>1</sup>

Hiroki MINAGAWA<sup>1</sup>, Hirokazu KOBAYASHI<sup>2</sup>, Shinji YOSHIMURA<sup>3</sup>, Kenichiro TERASAKA<sup>4</sup>,  
Tomohiro MORISAKI<sup>3</sup>, Mitsutoshi ARAMAKI<sup>1</sup>

日大生産工<sup>1</sup>, 高知工科大<sup>2</sup>, 核融合研<sup>3</sup>, 九大総理工<sup>4</sup>  
Nihon Univ.<sup>1</sup>, Kochi Univ. Tech.<sup>2</sup> NIFS<sup>3</sup>, Kyushu Univ.<sup>4</sup>

ラゲール・ガウシアンモード(LGモード)の中心に存在する螺旋状の等位相面を持つ光波である光渦をビームに用いることで、プローブビームと垂直な方向の速度成分に感度を持つ光渦レーザー吸収分光法(OVLAS)を開発している。LGモードはトポロジカルチャージ $\ell$ と呼ばれる数を持ち、方位角方向の位相勾配が1周で $2\pi\ell$ 変化する。OVLASにおいて、方位角方向の速度 $V_\phi$ を持って運動する粒子が光渦ビームを横切るとき、この粒子は光渦の螺旋状の位相勾配による、光渦の中心からの距離 $r$ に依存した $-(\ell/r)V_\phi$ のドップラーシフトを感じる。よって、ビームプロファイル上では共鳴吸収条件が局所的に異なり、光渦ビームのビームプロファイル上には周波数に依存した吸収率分布が生じる。このような吸収率の分布はビームの基本モードとは異なった構造の強度分布を生じさせ、回折伝播の影響でこのような構造は変形してしまう。OVLASでは、ビームプロファイル上の位置ごとの吸収スペクトルを観測しているが、前述したように回折伝播の効果で観測面の形状が変化してしまい、吸収スペクトルに影響が及ぼされる。そこで、像転送光学系を用いてプラズマの出射面をカメラのデバイス面に結像することで、回折伝播の影響を抑制している。しかし、光渦ビームはプラズマ中を吸収されながら伝播していくため、像転送光学系では回折の影響を完全に抑制することはできず、これを考慮した解析を行う必要がある。よって、本研究ではプラズマ中の回折伝播の影響が吸収スペクトルにどのような影響を及ぼすかについて検討する。また、回折の影響を受けて誤差が生じたドップラーシフト分布を補正する手段についても検討する。

Fig.1にOVLASの実験系を示す。外部共振器型半導体レーザー(波長:697nm)の出力をq-plateによって光渦に変換してプローブビームとする。ガス流量の制御によって、中性粒子流の速度制御が可能なアルゴンの誘導結合プラズマをテストプラズマとして用いる。また、プラズマ中を吸収されながら伝播していく光渦の数値計算では放電管の内径20mmをプラズマの吸収長とした。

プラズマ中を吸収されながら伝播していく光渦については、サンプリング範囲を2倍に拡張した角スペクトル法を用いて $2\mu\text{m}$ ステップで伝播させ、その都度、吸収の効果を乗算していくことで計算する。このとき、レーザーの波長は697nm、ビーム径は $290\mu\text{m}$ 、計算範囲は $\pm 1500\lambda$ 、分解能は $2\lambda$ としている。角スペクトル法は回折伝播計算手法の中でも近距

離の伝播に適した手法である。

Fig.2(a)にプラズマ中の伝播によって回折の影響を受けたドップラーシフト分布、Fig.2(b)に回折の影響がないドップラーシフト分布を示す。ガス流速約110m/s、トポロジカルチャージ $\ell = +1$ としている。Fig.2(a)とFig.2(b)を比較すると、Fig.2(a)はドップラーシフトの絶対値が減少していることが分かる。これはプラズマ中を伝播していくことによる回折の影響であると考えられる。本講演では、このようなプラズマ中の回折伝播の影響について詳細に解析し、ドップラーシフト分布への影響を定量的に見積もり、実験結果と比較した結果を報告する。

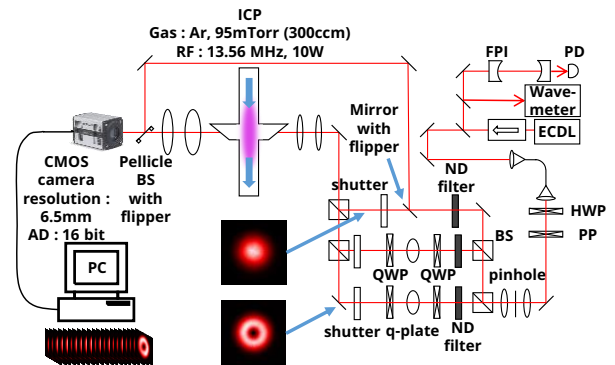


Fig.1. Experimental setup of optical vortex laser absorption spectroscopy

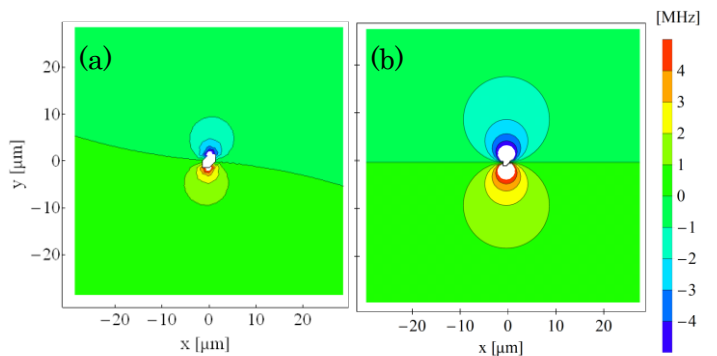


Fig.2. Doppler shift distribution. (a) The distribution is calculated with taking diffraction into account. (b) The distribution is calculated without taking diffraction into account.