

伝搬に伴う高次ラゲールガウスビームの強度回転量の測定

1220078 地主 拓未 (光制御・ネットワーク研究室)

(指導教員 小林 弘和 准教授)

1. 研究背景・目的

光波の伝搬を支配する近軸ヘルムホルツ方程式に対して、伝搬方向に対する断面分布を動径 r 、方位角 θ による固有関数として得る高次のガウスビームをラゲールガウスビーム(LGビーム)という。LGビームは二つの空間モード l, p をもつ。一つ目は方位角方向に $0\sim 2\pi$ の位相変化を与える方位角モード l 、二つ目は光軸を中心として光軸から数えた n 番目の円環に対して $n\pi$ の位相変化を付与し多重円環を与える動径モード p である。LGビームを複数重ね合わせをすることによって、伝搬に伴って強度分布が回転をするビームを生成することができる。応用例としては、強度回転量をもつビームは微粒子の回転速度測定などが挙げられる。本研究では、位相変調のみ可能である空間光位相変調器(SLM)を用いてLGビームを干渉させた出射ビームの強度回転量測定を行なったので報告をする。

2. LGビームの重ね合わせと強度分布の回転

LGビームの断面では方位角モード l により位相 $\exp(i l \theta)$ をもつ。 $\pm l$ のモードによる光軸近傍の光強度は $|e^{-i l \theta} + e^{i l \theta}| \propto \cos(2l\theta)$ で干渉により方位角 θ 方向に $2l$ 個の明点を生じさせる。一方、LGビームは伝搬により強度分布が拡大・縮小、位相にはガウスビーム特有の位相であるGouy位相

$$\chi(z) = (2p + |l + 1) \chi_0(z), \quad \chi_0(z) = \text{Arctan}(z/z_R) \quad (2.1)$$

による位相が加わる。ここで、 z_R はレイリー長と呼ばれる定数でビームスポットでの半径が $\sqrt{2}$ 倍となる位置である。したがって、伝搬距離差のある $\pm l$ のモードのLGビームを干渉させると伝搬に伴ってGouy位相により強度分布が回転をする。図2.1では特に二つのビームに伝搬距離差がある場合の重ね合わせを表しており、Gouy位相の差分 $\Delta\chi(z)$ だけ左辺第2項に各断面に対して付与される。

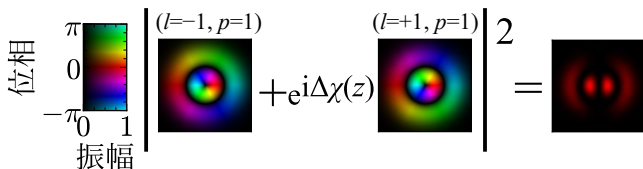


図 2.1 伝搬距離差のある LG ビームの重ね合わせの強度分布。右側の強度分布から光軸付近に二つの明点が存在する。

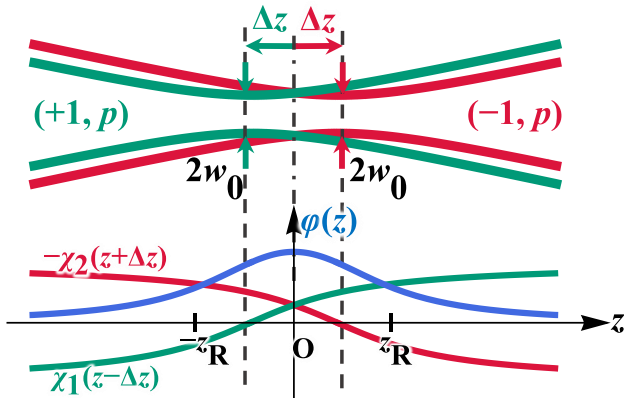


図 2.2 伝搬に伴う強度分布変化(上)と強度回転量(下)

3. 実験構成・結果

伝搬距離差を用いた LG ビームを生成する実験系の概略を図 3.1 に示す。He-Ne レーザから波長633nm、ビーム径3.85mm のガウスビームを SLM に入射し、SLM で伝搬距離差のあるモ

ード $l = \pm 1, p = 15$ の LG ビームを生成した。但し、SLM は位相変調のみが可能なので、場所ごとに回折効率が異なる位相回折格子を SLM に表示し、4f 系の中心に1次回折光として所望の振幅・位相分布のみをピンホールを用いて抽出し、抽出した光ビームを焦点距離 150mm のレンズで集光し強度回転量が急峻に変化するようにした。

伝搬距離差のある LG ビームの伝搬に伴う強度回転量 $\varphi(z, \Delta z)$ は次式で与えられる: [1]

$$\varphi(z, \Delta z) = \frac{(2p + |l + 1) \chi_0(z + \Delta z) - (2p + |l + 1) \chi_0(z - \Delta z)}{2\Delta l} \quad (3.1)$$

式(3.1)と図 2.2 から、伝搬距離差 Δz を大きくすると強度回転量は緩やかとなり、高次モードとなるにつれ回転量の最大値が増加する。

測定結果を図 3.3 に示す。測定結果から強度回転量は一度だけ反転して回転をし、理論値と殆ど一致した。

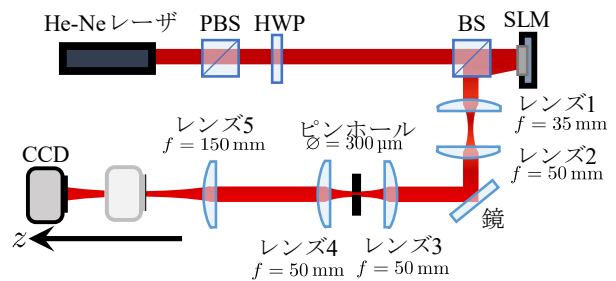


図 3.1 実験構成

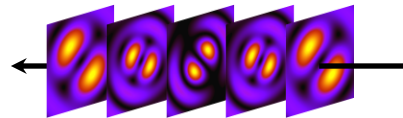


図 3.2 CCD カメラで撮像される所望の干渉ビーム

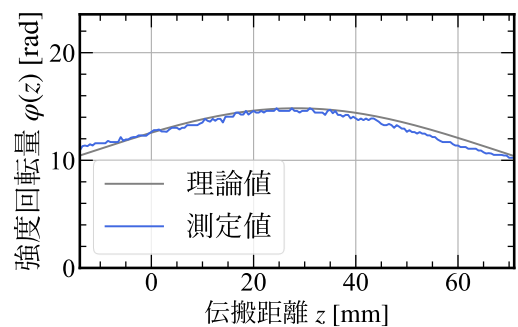


図 3.3 $l = \pm 1, p = 15$, 伝搬距離差 $\Delta z = 28.4\text{mm}$ の干渉ビームの強度回転量の理論値と測定値。

4. まとめと今後の予定

本研究から、伝搬距離差 Δz を用いて強度分布の回転量を反転することに成功した。

今後の予定としては、レイリー長 z_R を操作することで回転分布が対称でない強度回転量を与えることを予定している。

参考文献

[1] 横川恒助, “高次ラゲールガウスビームの Gouy 位相による光強度分布の回転制御” 高知工科大学 2020 年度, 大学院修士課程, 修士論文