

光渦を用いた Gouy 位相の可視化

Visualization of Gouy phase using optical vortex

1190174 横川 恒助 (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

光渦は光軸に位相特異点(強度暗点)をもつ高次のガウシアンビームであり、ビームの断面内で光軸を中心に $0 \sim 2\pi l$ の方位角位相を持つ。ここで l は方位角方向の位相変化量を表す空間モード番号である。また、動径方向への位相変化を表す空間モード番号 p が存在し、中心から n 番目のリングに対して $n\pi$ の位相を付加する。図 1 に各モード番号を変化させたガウシアンビームの強度分布を示す。また、ガウシアンビームには Gouy 位相と呼ばれる伝搬距離で変化する位相量があり、同じ伝搬方向の平面波とは位相のずれが生じる。Gouy 位相の位相変化量はモード毎に異なり、光計測、空間モード変換、モード分離などに応用される。本研究では、基本ガウシアンビーム $(l,p)=(0,0)$ と光渦ビーム $(l,p)=(2,1)$ で生じる Gouy 位相の違いを利用し、2つのビームを重ね合わせた時に生じる強度分布の回転から Gouy 位相の位相量の計測を行ったので報告する。

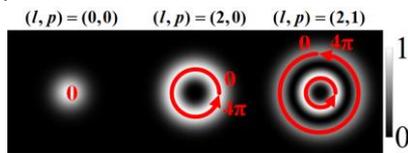


図1 モード番号の変化による光渦の強度分布

2. 位相変化による強度分布の回転

基本ガウシアンビーム $(l,p)=(0,0)$ と光渦ビーム $(l,p)=(2,0)$ を重ね合わせた時の強度分布は図 2 に示すように ∞ 型となる。ここで、光渦ビームに φ (rad) の位相を与えると、干渉で強め合う同位相の位置が変化し、強度分布が θ (rad) 回転する。位相差 φ と強度分布の回転角 θ の関係は $\theta = \varphi/2$ となる。



図2 モード番号 $l=0$ と $l=2$ のビームの強度分布の回転角

3. Gouy 位相と伝搬距離の関係による強度分布の回転

ガウシアンビームのビームウエストの半径を W_0 、波長を λ とするとビーム径が $\sqrt{2}W_0$ となる伝搬距離を表すレーリー長 $z_r[1]$ は、 $z_r = \pi W_0^2 / \lambda$ と表される。ビームのレーリー長とモード番号 l を用いると z 方向に伝搬する光渦ビームの Gouy 位相は、

$$\chi_{lp}(z) = (2p + |l| + 1) \tan^{-1} \frac{z}{z_r} \quad (1)$$

と表される。式 1 より Gouy 位相の位相量は $\pm(2p + |l| + 1)\pi/2$ の間を変化する。基本ガウシアンビーム $(l,p)=(0,0)$ と光渦ビーム $(l,p)=(2,1)$ の強度分布の回転角 $\theta(z)$ は 2つのビームの Gouy 位相の位相差から

$$\theta(z) = \frac{\chi_{21}(z) - \chi_{00}(z)}{2} = \frac{2p + |l|}{l} \tan^{-1} \frac{z}{z_r} \quad (2)$$

と表され、Gouy 位相が強度分布の回転角として計測できる。

4. 実験構成・結果

Gouy 位相の位相量計測の実験系を図 3 に示す。He-Ne レーザから出射された波長 633nm の基本ガウシアンビーム $(l,p)=(0,0)$ からビーム成型に対する自由度の高い空間位相変調器(SLM)を用いて $(l,p)=(0,0)$ と $(l,p)=(2,0)$ の干渉ビームと $(l,p)=(0,0)$ と $(l,p)=(2,1)$ の干渉ビームを生成した。このビームを焦点距離 200mm のレンズで集光すると、入射ビーム径が約 0.70mm であることからレーリー長 $z_r = 16.4\text{mm}$ となる。したがって 33mm 程度の伝搬距離で Gouy 位相は急峻に変化する。

この Gouy 位相の変化を強度分布の回転角として CCD を移動させながら観測する。

焦点位置の強度分布の回転角を 0rad とし、観測した強度分布の回転角を図 4 に示す。 $(l,p)=(0,0)$ と $(l,p)=(2,0)$ の干渉ビームに対して $(l,p)=(0,0)$ と $(l,p)=(2,1)$ の干渉ビームの回転量が 2 倍となった。式 2 の理論式を用いて z_r についてフィッティングした結果を実線で示している。そのフィッティングの結果、 $(l,p)=(0,0)$ と $(l,p)=(2,0)$ の干渉ビームは $z_r = 15.9(\text{mm})$ 、 $(l,p)=(0,0)$ と $(l,p)=(2,1)$ の干渉ビームは $z_r = 15.8(\text{mm})$ となり、入射ビーム径から推定した $z_r = 16.4(\text{mm})$ と近い値となった。また、観測開始位置から 84mm までの正規化強度分布を図 5 に示す。

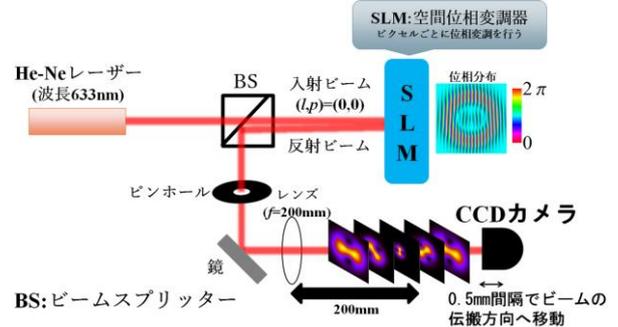


図3 実験系

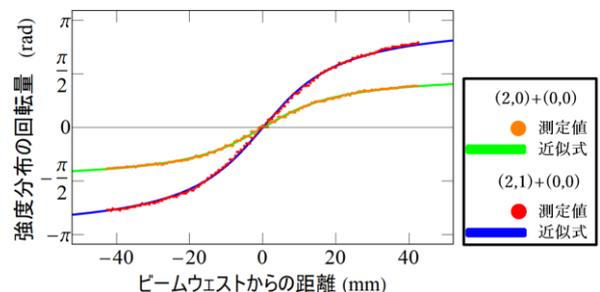


図4 強度分布の回転角

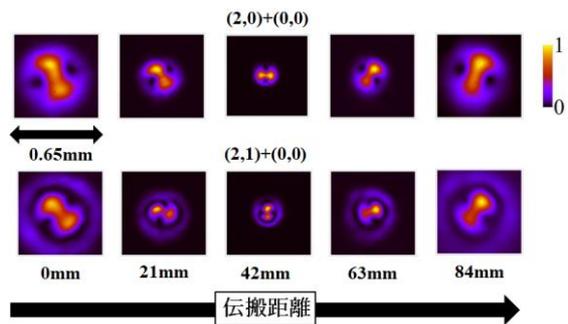


図5 正規化強度分布

5. まとめと今後の予定

光渦と基本ガウシアンビームの Gouy 位相による強度分布の回転を計測することができ、動径方向モード p を変化させると干渉ビームの強度分布回転角が増加することが確認できた。今後は動径方向モード p がより高次である光渦を生成し、強度分布の回転角を増加させることを目標とする。また、強度分布の回転角を増加させた干渉ビームの強度分布の回転角を利用した流速測定を目指す。

参考文献

[1] J.B.E.A. Saleh and M.C. Teich : (2007) "FUNDAMENTALS OF PHOTONICS" New Jersey : WILEY-INTERSCIENCE