

空間位相変調器を用いた光渦生成の性能評価と光渦モード分離

岩下・小林研究室 1170083 高嶋 悟

1. 研究背景・目的

光渦とは等位相面が螺旋状にねじれており、強度分布がドーナツ型で中心に強度暗点をもつ光ビームである。螺旋状の位相勾配をもつこの光渦は、多数のモードを持つため、多重化通信、光情報処理、量子情報処理などに応用できる。これらの応用先で光渦を利用するには、効率的かつ高精度に生成、分離することが必要である。本研究ではビーム成型に対する自由度が極めて高い空間位相変調器 (LCOS-SLM) を用いて光渦の生成と分離を行ない、その評価を行ったので報告する。本稿では特に光渦分離について説明する。

2. 空間位相変調器 (LCOS-SLM) による光渦分離

空間位相変調器は、反射面に液晶で構成された多数のピクセルを有しており、電圧によって各ピクセルの屈折率を変化させて入射ビームの位相分布を変調して任意の空間モードを生成できる。空間位相変調器には位相情報を入力し、強度分布の座標変換によって光渦のモード l ごとに違う位置に集光させる。光渦ビーム断面内の極座標 (r, ϕ) で振幅の分布を表すと、

$$f_l(r, \phi) \propto r^{|l|} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} e^{il\phi} \quad (1)$$

と書ける。ここで σ はビームの幅を表す。また、 l は光渦のモードを表し、位相 $l\phi$ がらせん状の等位相面を形成する。 $l = 0$ のとき通常の光ビームを表す。図 1 で明暗は強度を表し、色は位相を表す。

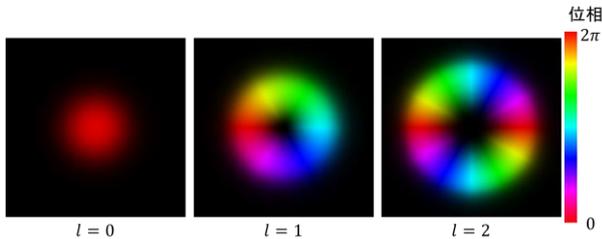


図 1 光渦の強度と位相の分布

本研究では、レンズのフーリエ変換作用を利用して光の座標変換を行い、光渦のモードごとに分離する。

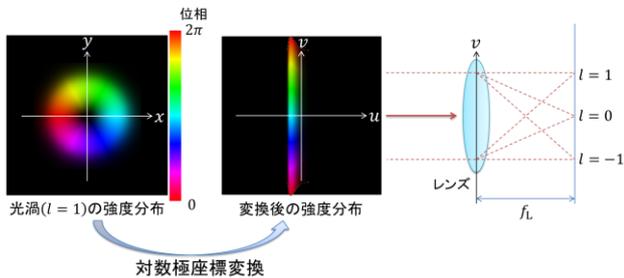


図 2 対数極座標変換

図 2 のように、円形から線上の強度分布に座標変換できれば、モード l ごとに別々の場所に集光させることができる。光ビームの座標変換を行うために (x, y) 平面から (u, v) 平面への対数極座標変換を考えると

$$(u, v) = \left(\ln \sqrt{x^2 + y^2}, \tan^{-1} \frac{y}{x} \right) \quad (2)$$

である。この変換を光学系で実装するためにレンズのフーリエ変換作用を用い、位相停留法で積分計算を解くと仮定すると、与えるべき位相 $\varphi(x, y)$ は

$$\varphi(x, y) = \frac{k}{f_L} \left(y \tan^{-1} \frac{y}{x} - x \ln \sqrt{x^2 + y^2} + x \right) \quad (3)$$

である。この位相を与え、レンズの焦点距離 f_L で観測すると、円状の強度分布から線上の強度分布へと座標変換される。

3. 実験構成・結果

図 3 に示す実験系で $l = 1, -1$ の光渦分離の実験を行った。SLM に位相 $\varphi(x, y)$ を表示し、q-plate で生成した光渦ビームに位相 $\varphi(x, y)$ を与え、凹面鏡の焦点面で円状の強度分布から線上の強度分布に変換される。CCD カメラを用いて観測した結果を図 4 に示す。これは位相 $\varphi(x, y)$ を与えて、凹面鏡の焦点面で観測した強度分布であり、座標変換が行われていることがわかる。

4. まとめと今後の予定

凹面鏡と SLM を用いて、光渦ビームから線上の強度分布に座標変換することができたが、このままでは座標変換のために与えた位相分布が uv 平面の関数に変換された項と、フーリエ変換のために加わる項が余分な項として残ってしまうため、その余分な項を消去しなければモード l ごとに異なる位置に集光させることはできない。今後の予定として、その余分な位相項を求め、SLM で位相補正をすることで元の光渦の位相勾配を保持したまま座標変換を行い、モード l ごとに分離する。

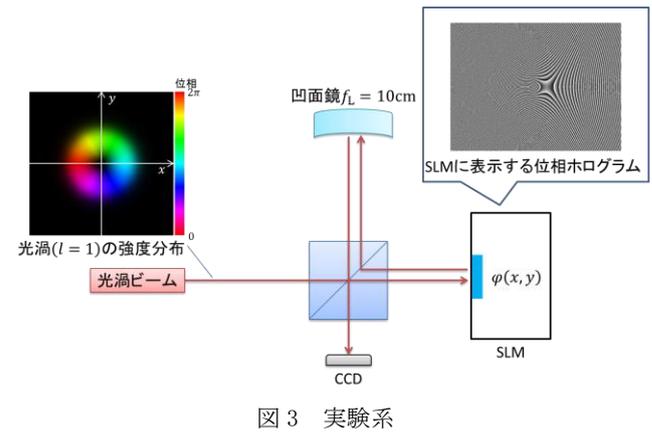


図 3 実験系



図 4 観測結果