

# 偏光サニャック干渉計における光波の位相分布の回転による 光渦モード分離と分布測定

## Mode Separation and Distribution Measurement of Optical Vortex Beams by Rotation of Phase Distribution in Polarization Sagnac Interferometer

1205070 中嶋 慶 (光制御・ネットワーク研究室)  
(指導教員 小林 弘和 准教授)

### 1. まえがき

近年、光渦と呼ばれるらせん状の波面を持つ光波を用いて、同一波長で通信多重化を実現する空間モード分割多重が光通信の分野で研究されている[1]。光渦は図1(a)のように光波の伝搬方向に垂直な断面内において、強度分布がドーナツ型である。また図1(b)のように断面内に位相差を持ち、特に位相差が $2\pi\ell$ となると、この光波をモード $\ell$ の光渦と呼ぶ。本研究では円筒レンズ(CL)と偏光サニャック干渉計(PSI)を用いて光渦のモード分離と分布測定を行ったので報告する。

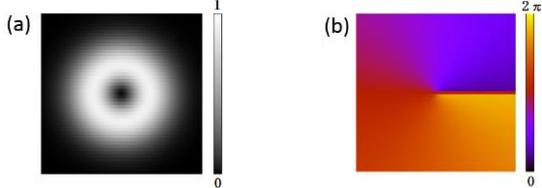


図1  $\ell=1$  の光渦断面における、(a)強度分布、(b)位相分布

### 2. 分離と分布測定方法

図2に実験構成とDPの角度 $\alpha$ の定義を示す。PSI内において、同強度の水平偏光(H)と垂直偏光(V)を角度 $\alpha$ (CLの側面とx軸のなす角を $\alpha^\circ$ と定義)だけ回転させたCLに対向するように入射すると、図3のようにビーム断面内で相対的に角度 $4\alpha$ の回転が生じる。光渦は断面内で位相分布を持つため、モード $\ell$ の光渦は回転によってHとVのあいだに位相差 $4\ell\alpha$ を生じ、PSIから出射される。出射されるビームの干渉強度(信号)は1/2波長板を用いることで45度偏光( $I_c^\pm(\alpha)$ )と135度偏光( $I_{\bar{c}}^\pm(\alpha)$ )に、1/4波長板を用いることで左回り円偏光( $I_s^+(\alpha)$ )と右回り円偏光( $I_s^-(\alpha)$ )に分離することができる。干渉強度はそれぞれ

$$I_c^\pm(\alpha) \propto 1 \pm \cos 4\ell\alpha, \quad I_s^\pm(\alpha) \propto 1 \pm \sin 4\ell\alpha \quad (1)$$

となる。これらの光強度を測定し、以下の計算を行うことでモード $\ell$ の分布測定が可能となる。まず式(1)から

$$\frac{I_c^+(\alpha) - I_{\bar{c}}^+(\alpha)}{I_c^+(\alpha) + I_{\bar{c}}^+(\alpha)} = \cos 4\ell\alpha, \quad \frac{I_s^+(\alpha) - I_s^-(\alpha)}{I_s^+(\alpha) + I_s^-(\alpha)} = \sin 4\ell\alpha \quad (2)$$

となる。さらに式(2)より

$$\cos 4\ell\alpha + i \sin 4\ell\alpha = e^{i4\ell\alpha} \quad (3)$$

とすることができ、式(3)において $\alpha$ についてフーリエ変換を行うことにより、 $\ell$ の値の正負を区別して光渦のモード分布を求めることができる。また式(1)において $\alpha=45^\circ$ とすれば $\ell=0$ のとき $I_c^+(\alpha)$ が最大で、 $I_{\bar{c}}^+(\alpha)=0$ となるのに対して、 $\ell=1$ のとき $I_c^+(\alpha)=0$ となり、 $\ell=0$ と1の分離が可能となる。

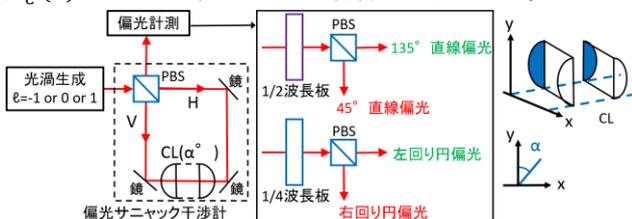


図2 全体の実験構成とCLの角度 $\alpha$ の定義

### 3. 実験内容

図2のように通信波長1550nmのレーザー光と光渦リターダという素子を用いて $\ell=-1, 0, 1$ の光渦を生成し45°直線偏光でPSIに入射した。光学素子の角度 $\alpha$ を0~180度まで5度刻みで変化させた時の偏光分離(45°と135°偏光もしくは右回り円偏光と左回り円偏光の分離)の光強度を測定してフーリエ変換を行い、各光渦モード分布を計算した。

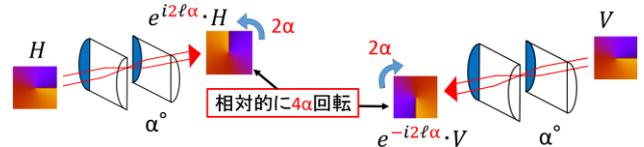


図3 CLによる位相分布の回転

### 4. 実験結果

ここでは $\ell=1$ のときの結果を示す。偏光分離から出射したビームの $I_c^\pm(\alpha)$ と $I_s^\pm(\alpha)$ を式(2)を用いた正規化光強度を図3に示す。図3の実線は測定データに対して式(2)をフィッティングした理論曲線でありよく一致している。得られたデータに対して式(3)を用いてフーリエ変換を行い光強度を最大値で規格化したグラフを図4に示す。図4では $\ell=1$ が最も大きい値となったが、次に $\ell=0$ で最大値の半分程度の強度が表れた。PSI内の鏡やCLの調整、偏光分離の精度向上が必要である。

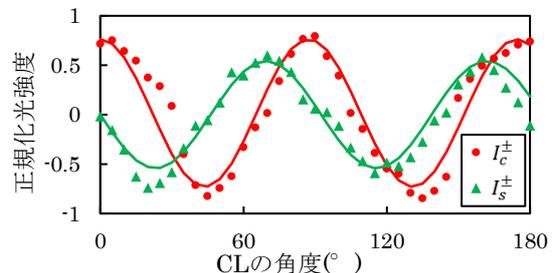


図3 CLの角度に対する干渉強度

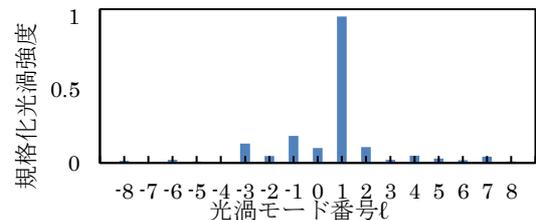


図4 光渦モード分布

### 5. まとめ

DPの角度 $\alpha$ を変えながら測定した光強度を $\alpha$ についてフーリエ変換することで正負を区別した光渦強度を測定することが実験的に確認できた。原理的には異なる光渦モードが合波されている場合にもそのモード分布の測定が可能である。

### 参考文献

[1] Y. Awaji, N. Wada, Y. Toda, "Demonstration of spatial mode division multiplexing using Laguerre-Gaussian mode beam in telecom-wavelength," 23rd Annual Meeting of the IEEE Photon Soc, p. 551 (2010)  
[2] J. Wang, et al. "Demonstration of 12.8-bit/s/Hz spectral efficiency using 16-QAM signals over multiple orbital-angular-momentum modes." J. Opt. Soc. Am., **10**, P1.