

空間光変調器を用いた非点収差を持つラゲールガウスビーム生成

宮本研究室 林 道明

1. 序論

本研究では、空間光変調器(spatial light modulator ; SLM)を用いて、非点収差を持つラゲールガウス(LG)ビームを生成することを目的とする。LG ビームはドーナツ状の強度分布と中心に特異点のある位相分布を持つ光ビームである。ビームの生成に用いる計算機ホログラム(Computer Generated Hologram ; CGH)には、目的の光ビームの位相分布と振幅分布の情報が含まれており、その情報を基に SLM の液晶素子が動作し、位相変調が行われる。ソフトウェア MATLAB を用いて作成した CGH を SLM に入力することでレーザー光の位相を変調し、位相変調されたレーザー光の強度分布を、CCD カメラを用いて観察する。CGH の設計を変更することで、純粋な LG ビームとは異なるビームを発生させることができる。

2. 実験機器

SLM は、入射した光の位相や振幅を変調する素子である。SLM に位相や振幅の変調値を入力することで、入射光に対して変調された出射光が得られる。

本研究では浜松ホトニクス社の LCOS-SLM(Liquid Crystals on Silicon-Spatial Light Modulator)(X10468-01)を用いる。PC に SLM をディスプレイ装置として接続し、ディスプレイが表示する輝度値を 256 階調で指定すると、画素ごとに輝度値に対応した電圧が加えられ、入射光の位相が変調される。本 SLM では入射する直線偏光の偏光方向と SLM ヘッダ部の液晶分子の配向方向が一致したときに位相変調を行い、振幅は変調しない。本研究で使用する LCOS-SLM の仕様を表 2.1 に示す。

表 2.1 本研究で使用する SLM の仕様

画素数	800[H] × 600[V]pixels
1 画素の大きさ	20 × 20 μm^2
開口率	98%
アドレス	8bit
リフレッシュレート	60Hz

表 2.2 本研究で使用する PC の仕様

型番	Panasonic Let's note SZ5 CF-SZ5WDKRR
OS	Windows7
アドレス	64bit
解像度	1280 × 800

本研究で使用する PC の仕様を表 2.2 に示す。本研究では PC から出力された画像を浜松ホトニクス社より提供されている LCOS-SLM 制御ソフトウェア(LcosControl)に入力して SLM を制御する。PC のディスプレイを第一画面、SLM を第二画面として接続した。第一画面と第二画面の設定を表 2.3,表 2.4 に示す。

表 2.3 第一画面の設定

ディスプレイ	Internal LCD
解像度	1280 × 800
向き	横
複数のディスプレイ	表示画面を拡張する

表 2.4 第二画面の設定

ディスプレイ	ディスプレイデバイスの 場所:HDMI
解像度	800 × 600
向き	横
複数のディスプレイ	表示画面を拡張する
ディスプレイ	デジタルディスプレイ
リフレッシュレート	85 Hz
回転	標準表示にする
スケーリング	ディスプレイ・スケーリ ングを保持する

3. SLM の動作確認

本実験で使用する SLM の動作確認実験の手順を述べる。光学系を図 3.1 に示す。

本実験ではレーザーから出射した光を SLM ヘッダの液晶部に入射し、反射した光をレンズでフーリエ変換して CCD カメラで観察する。液晶部の広範囲にビームが当たるようにするため、対物レンズと平凸レンズを使用してレーザー光のビーム径を直径5 mmに拡大した。本実験で使用しているレーザーの偏光状態はs偏光である。設置方向を考慮すると、SLM への入射光はp偏光である必要があるため、進相軸が実験台の垂直方向から45°傾いた1/2波長板を通すことにより、偏光状態をp偏光に変えた。SLM からの反射光は平凸レンズを通過し、通過したレンズの焦点の位置で CCD カメラを用いて光強度分布を撮影する。平凸レンズを組み込むことにより、SLM からの反射光の複素振幅分布をフーリエ変換した分布を通過したレンズの焦点の位置で得ることができる。図 3.2 に示す、浜松ホトニクス社より提供されている元画像(強度分布の設計値)を制御ソフトウェアに登録し、Create CGH コマンドで作成した CGH(図 3.3)を SLM に表示した。この CGH を表示したときに元画像と同様の強度分布が CCD カメラの位置に形成されるか確認した。

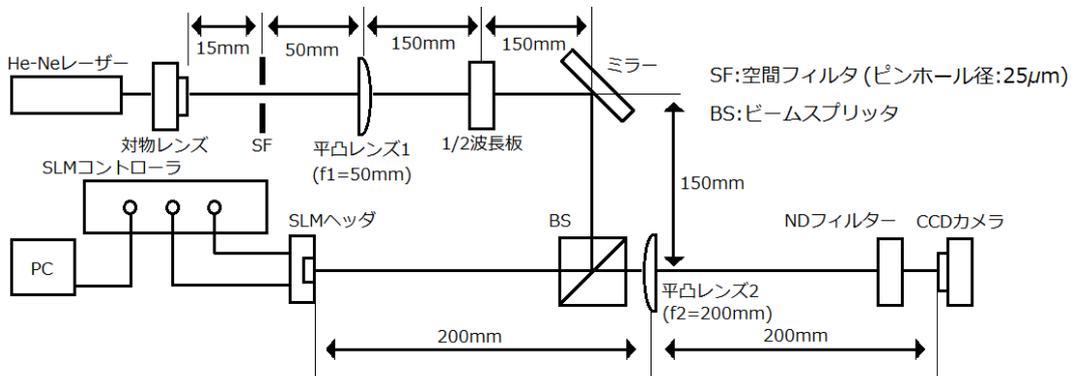


図 3.1 SLM の動作確認のための光学系

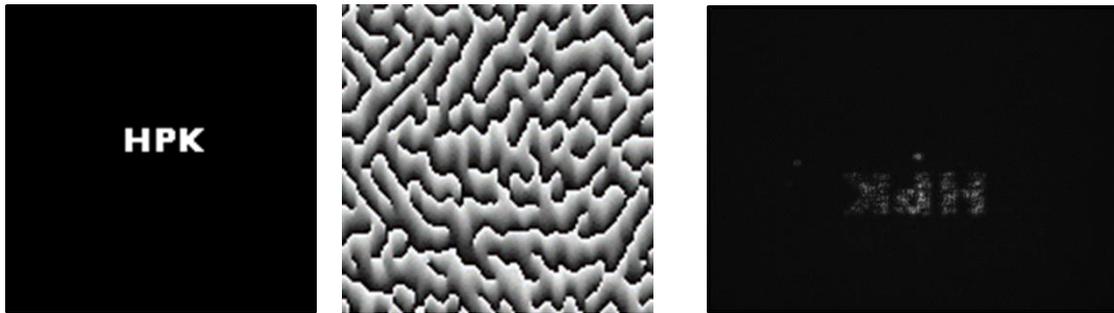
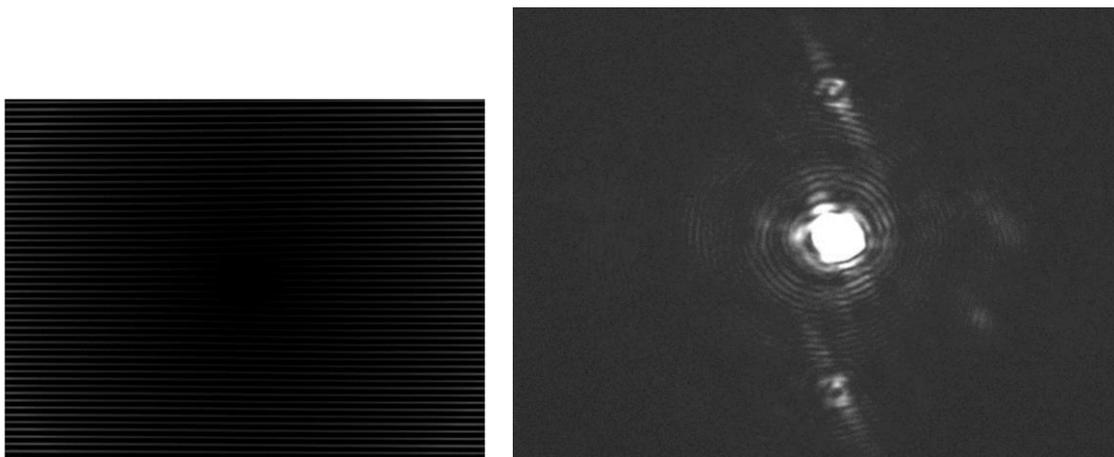


図 3.2 元画像 図 3.3 CGH 変換後 図 3.4 CGH を表示したときの強度分布

CGH を SLM に表示したときの CCD カメラ上の強度分布を図 3.4 に示す。図 3.2 の強度分布の設計値と図 3.4 を比較すると、概ね似た分布を得ることが出来たため、入射光が SLM によって位相変調されていると判断した。

4. タイプ 3 の CGH を用いた位相変調

参考文献[1]のタイプ 3 の方式により LG ビームの振幅分布と位相分布を実現するホログラムを SLM に表示して実験を行った。使用したタイプ 3 のホログラムを図 4.1 に示す。



左：図 4.1 タイプ 3 のホログラム($m = 1$)

右：図 4.2 図 4.1 のホログラムを表示したときの強度分布(画像中心から下側が 1 次回折光)

このホログラムは入射光に対して上下に回折光が出射し、1 次回折光が LG ビームの特徴を示すように設計されている。解像度を第二画面(SLM ヘッダ部)の設定に合わせ、 792×600 pixel とした。SLM の仕様に合わせて 1 画素の大きさを $20 \mu\text{m}$ とした。図 3.1 の光学系を用いて、ソフトウェア LcosControl に登録したホログラム画像を SLM に表示し、CCD カメラ上での強度分布を観察した。図 4.1 のホログラムを表示したときの強度分布を図 4.2 に示す。図 4.2 から、入射光に対して上下に回折光が出射し、1 次回折光がドーナツ状の強度分布を持つことを確認した。

5. 非点収差を持つガウスビームの特徴

ガウスビームではある位置 z で水平方向(x)と垂直方向(y)のビーム径 w および波面の曲率半径 R が一致しているとき、共通の位置 z_0 で x, y 方向のビーム径が最小値 w_0 をとる。一方、位置 z で x, y 方向の波面の曲率半径が異なるとすると、 x, y 方向のビーム径が最小となる位置が互いにずれる。ガウスビームの式から出発し、 x 方向での波面の曲率半径 R_x と y 方向での波面の曲率半径 R_y が異なる値となる場合を表現できるように式変形を行った。

$$\begin{aligned}
 \text{FG}(x, y, z) = & \frac{1}{\sqrt{w_{0x} \sqrt{1 + \left(\frac{2(z-z_{0x})}{kw_{0x}^2}\right)^2}}} \frac{1}{\sqrt{w_{0y} \sqrt{1 + \left(\frac{2(z-z_{0y})}{kw_{0y}^2}\right)^2}}} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \\
 & \times \exp \left[-x^2 \left\{ \frac{1}{w_{0x}^2 \left(1 + \left(\frac{2(z-z_{0x})}{kw_{0x}^2}\right)^2\right)} - \frac{ik}{2\sqrt{(z-z_{0x}) \left(1 + \left(\frac{kw_{0x}^2}{2(z-z_{0x})}\right)^2\right)}} \right\} \right] \\
 & \times \exp \left[-y^2 \left\{ \frac{1}{w_{0y}^2 \left(1 + \left(\frac{2(z-z_{0y})}{kw_{0y}^2}\right)^2\right)} - \frac{ik}{2\sqrt{(z-z_{0y}) \left(1 + \left(\frac{kw_{0y}^2}{2(z-z_{0y})}\right)^2\right)}} \right\} \right] \\
 & \times \exp \left[-\frac{1}{2}i \left\{ \arctan \left(\frac{2(z-z_{0x})}{kw_{0x}^2} \right) \arctan \left(\frac{2(z-z_{0y})}{kw_{0y}^2} \right) \right\} \right]
 \end{aligned}$$

6. 結論

SLMの動作確認実験において、入射光がSLMによって位相変調されていることを確認した。タイプ3のホログラムをSLMに表示した実験において、入射光に対して上下に回折光が出射し、1次回折光がドーナツ状の強度分布を持つことを確認した。非点収差を持つガウスビームの特徴がどのようなものか分かった。今後はタイプ3のホログラムによって得られた強度分布の定量的な評価を行う。また、非点収差を持つラゲールガウスビームを発生させるホログラムを作成し、回折光の強度分布を観察して目的のビームが生成できたことを確認する。

参考文献

- [1] A. Arrizón, et al., "Pixelated phase computer holograms for the accurate encoding of scalar complex fields" J. Opt. Soc. Am. A **24**, 3500 (2007).
- [2] Matsumoto, et al., "Generation of high-quality higher-order Laguerre-Gaussian beams using liquid-crystal-on-silicon spatial light modulators", J. Opt. Soc. Am. A **25**, 1642 (2008).
- [3] 北谷拓磨, 「空間光変調器を用いた疑似振幅変調ホログラムによる光の空間モード変換」電気通信大学修士論文, (2017)
- [4] 宮城勇雅, 「空間光変調器を用いた疑似振幅変調ホログラムの研究」電気通信大学卒業論文, (2018)