

# 空間光変調器を用いた疑似振幅変調ホログラムの研究

発表者:1424084 宮城 勇雅 指導教員:宮本 洋子

## 1 序論

本研究は、論文「Pixelated phase computer holograms for the accurate encoding of scalar complex fields」[1]の中で提案されたタイプ3の計算機ホログラム (computer-generated hologram; CGH) をソフトウェア MATLAB で作成し、浜松ホトニクス社の空間光変調器 (spatial light modulator; SLM)(X10468-01) に入力する。レーザー光の位相を SLM によって変調し、位相変調されたレーザー光の光強度分布および位相分布の観察を行う。

## 2 原理

### 2.1 ホログラム

ホログラムとは、物体から散乱した光と参照光を干渉させて得られる干渉縞の強度分布を記録したものである。ホログラムには物体光の位相と振幅の情報が記録されており、参照光をホログラムに入射することによって物体光が再生される。本研究では前述のホログラムを計算によって求める CGH によって位相変調パターンの作成を行った。作成したい位相変調のパターンのデータをコンピューターに入力することによって、SLM に位相変調のデータを出力し、位相変調されたレーザー光の強度および位相分布の観察を行う。

### 2.2 空間光変調器

SLM は、SLM ヘッドに入射した光の位相と振幅を変調する空間光変調素子である。入射した光に対して位相が所望の空間パターンで変調された出力光を得る。本研究では浜松ホトニクス社の LCOS-SLM(Liquid Crystal on Silicon-Spatial Light Modulator)(X10468-01) を用いる。SLM は、アドレス部に CMOS 技術を応用して液晶を直接電圧制御することにより、高精度と高速応答を実現した反射型電気アドレス空間光変調器である。最適な光学設計により高い回折効率と光利用効率を実現している。パソコンに SLM をディスプレイ装置として接続すると、DVI 信号で画素ごとに液晶の状態を制御し、位相変調量が制御される。本研究で使用する LCOS-SLM の仕様を表 1 に示す。

表 1: X10468-01

画素数	800[H]×600[V]pixels
1 画素の大きさ	$20 \times \mu m^2$
アドレス	8bit
リフレッシュレート	60Hz

本研究で使用するパソコンの設定条件を表 2 に示す。

表 2: X10468-01

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

SLM コントローラの入力端子は DVI なので、パソコンの HDMI 端子に HDMI-DVI 変換アダプタを接続し出力側の DVI 端子に SLM コントローラの DVI 端子を接続した。本研究ではパソコンから出力された画像を SLM コントローラに送ることによって位相変調を行う。パソコンを第一画面とし、SLM を第二画面として接続した。パソコンの第一画面と第二画面の設定を表 3, 表 4 に示す。

表 3: 第一画面の設定

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

表 4: 第二画面の設定

ディスプレイ (S)	ディスプレイデバイスの場所:HDMI
解像度 (R)	800×600
向き (O)	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	60Hz
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

## 2.3 符号化条件

目的とする複素振幅分布を  $s(x, y) = a(x, y) \exp[i\psi(x, y)]$  とし、これを実現する CGH による位相変調を  $\psi(\phi, a)$  とする。CGH の振幅透過率は

$$h(x, y) = \exp[i\psi(\phi, a)] \quad (1)$$

である。 $h(x, y)$  を  $\phi$  についてフーリエ級数展開すると

$$h(x, y) = \sum_{q=-\infty}^{\infty} h_q(x, y) \quad (2)$$

$$h_q(x, y) = c_q^a \exp(iq\phi) \quad (3)$$

$$c_q^a = (2\pi)^{-1} \int_{-\pi}^{\pi} \exp[i\psi(\phi, a)] \exp(-iq\phi) d\phi \quad (4)$$

である。ここで  $q = 1$  のとき

$$c_1^a = Aa \quad (5)$$

とすると、 $q = 1$  の成分が目的の複素振幅分布となる。これを符号化条件と呼ぶ。式 (5) を満たすための必要十分条件は式 (4) から

$$\int_{-\pi}^{\pi} \sin(\psi(\phi, a) - \phi) d\phi = 0 \quad (6)$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} \cos(\psi(\phi, a) - \phi) d\phi = 2\pi Aa \quad (7)$$

となることが分かる。式 (6),(7) は位相 CGH を決定するための条件となっている。

## 2.4 タイプ 3 の CGH

参考文献で提案している位相 CGH は式 (8) の位相変調を行うものである。

$$\psi(\phi, a) = f(a) \sin(\phi) \quad (8)$$

このとき  $h(x, y)$  のフーリエ級数の係数は第一種ベッセル関数  $J_q$  を用いて

$$c_q^a = J_q[f(a)] \quad (9)$$

となり、符号化条件は

$$J_1[f(a)] = Aa \quad (10)$$

となる。

従って  $J_1$  の逆関数を  $J_1^{-1}$  とするとき  $f(a) \equiv J_1^{-1}(Aa)$  と定義すればよい。この時  $0 \leq a \leq 1$  に対して  $f(a)$  を定義するためには  $A \leq 0.5819$  とする必要がある。

## 3 方法

本研究では MATLAB を用いて位相変調パターンを作成する。ホログラム面内の原点からの距離の 2 乗に比例するように回折効率  $a^2(x, y)$  を設定する。複素振幅変調  $a(x, y) \exp[i\psi(x, y)]$  を実現する位相変調を求め、位相変調を輝度値変調に換算する。SLM の仕様に合わせて画素サイズを  $20 \mu\text{m}$  とし、輝度値変調幅 186 の位相変調パターンを作成した。

SLM に広範囲にビームが当たるようにするために対物レンズと平凸レンズを使用してレーザーから出た光のビーム径を拡大した。レーザー光は s 偏光だが、SLM で変調するためには p 偏光である必要がある。波長板を用いて p 偏光にし、ビームスプリッターを用いてレーザー光を SLM に垂直入射させた。

SLM の動作確認のために用いた光学系を図 1 に示す

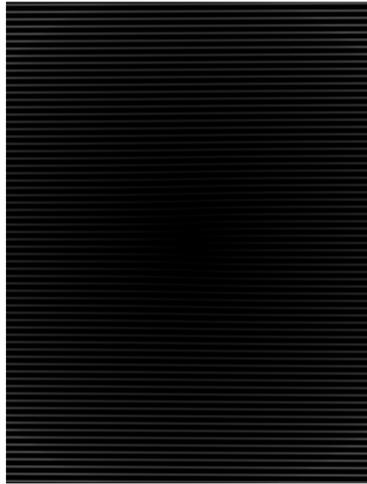


図 2: MATLAB で作成したタイプ 3 の CGH

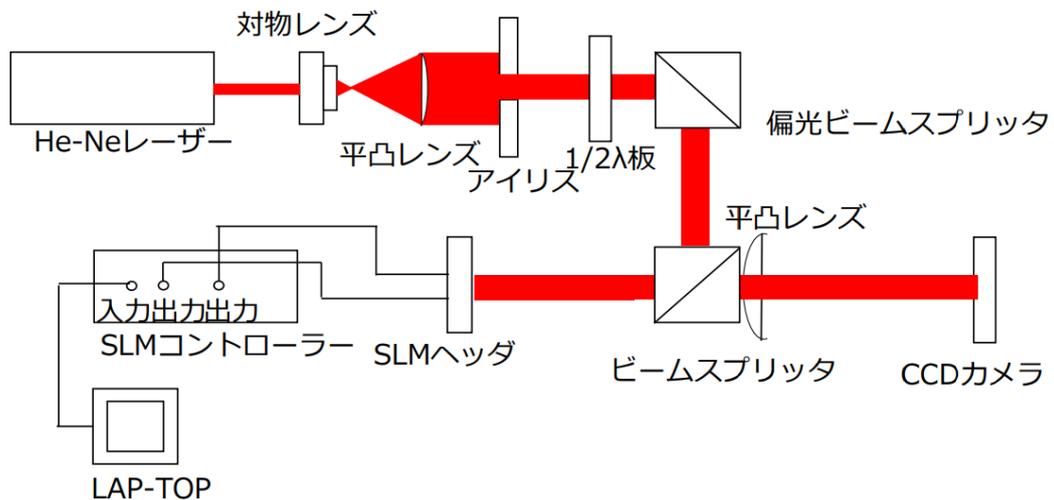


図 1: SLM の動作確認をするための光学系

## 4 結果

図 2 に作成した位相変調パターンを示す。中心に近づく程、回折効率が小さくなるタイプ 3 のホログラムデータを作成することができた。空間光変調器とパソコンの接続に問題があり、位相変調されたレーザー光の光強度分布を撮影することはできなかった。

## 参考文献

- [1] A. Arrizón, et al. J. Opt. Soc. Am. A **24**, 3500 (2007).
- [2] 北谷 拓磨, 「空間光変調器を用いた擬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)