



## 空間周波数帯域幅による単一露光一般化位相シフト デジタルホログラフィに適した参照光の検討

### Study of Spatial Frequency Bandwidth of Reference Wave in Single-Exposure Generalized Phase-Shifting Digital Holography

和歌山大院システム工<sup>1</sup>, 和歌山大システム工<sup>2</sup> ○(DC) 井邊 真俊<sup>1</sup>, 野村 孝徳<sup>2</sup>

Wakayama Univ.<sup>1,2</sup> ○(DC) Masatoshi Imbe<sup>1</sup> and Takanori Nomura<sup>2</sup>

E-mail: s112004@sys.wakayama-u.ac.jp

我々は、特殊な光学素子を用いずに 1 枚のホログラムから物体光の複素振幅分布を算出することを目的として、単一露光一般化位相シフトデジタルホログラフィ<sup>1-4)</sup>を提案してきた。本手法では各画素における参照光の複素振幅の値を一般化しているため、特定の値である必要がない。この特徴を活かし、拡散板により作製可能なランダム複素振幅光を参照光に用いている。

これまでに再生像の画質向上を目的として本手法に適した参照光の複素振幅分布の検討<sup>3,4)</sup>をおこなってきた。参照光のスペックルの平均直径を適切な大きさに調節することにより再生像の画質向上を達成した。しかし、その大きさは 1 画素から 2 画素の範囲であり、自己相関関数の半値全幅から求めるため、計算誤差の影響が大きいと考えられる。そこで、スペックルに代わる新たな規範を設けたので発表する。

適切な参照光を決定するための新たな規範は空間周波数帯域幅である。参照光は、拡散板をレンズにより撮像素子面に結像することにより作製する。この系の光学的伝達関数はレンズの瞳関数と相似であり、遮断周波数はレンズの直径に依存する<sup>5)</sup>。拡散板からの光波が十分に広がりレンズまで伝搬している場合、レンズの直径を変えることにより撮像素子面における複素振幅分布の空間周波数帯域幅を調節できる。従来のスペックルの平均直径の検討と関連させると、遮断周波数を適切な高さに調節する必要がある。遮断周波数が低すぎる場合はスペックルの平均直径が大きすぎる場合に対応すると考えられる。加えて、ナイキスト定理から遮断周波数は撮像素子のサンプリング周波数の 1/2、すなわちナイキスト周波数を超えてはならない。以上から適切な参照光は遮断周波数がナイキスト周波数と一致した光波と考えられる。

空間周波数帯域幅を用いた参照光の検討をシミュレーションによりおこなった。より現実的な物体光を表現するために、事前に時間分割位相シフト法を適用した光学実験により記録・取得したサイコロの複素振幅分布を用いた。参照光は物体光とは異なり、すべてを計算機内で作製した。はじめに空間周波数領域における複素振幅分布を作製し、これに低周波数帯域フィルタをかけた後、逆フーリエ変換することにより作製した。すなわち、まず空間周波数領域

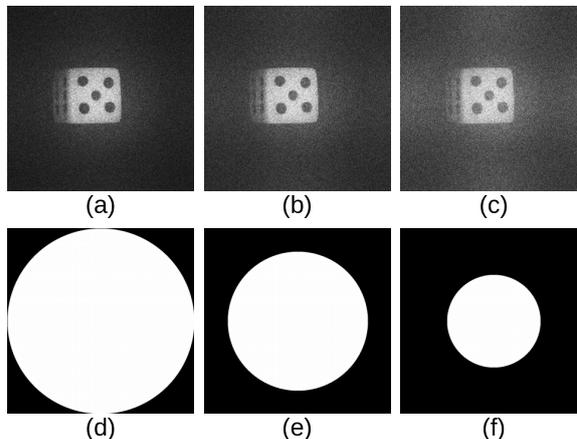


Fig. 1 Simulation results: (a), (b), and (c) reconstructed images obtained by using reference waves whose spatial frequency bandwidths are shown in (d), (e), and (f), respectively.

における複素振幅分布を作製し、これを用いて実空間領域における複素振幅分布を作製した。はじめの周波数領域における位相分布は  $[-\pi, \pi]$  の一様なランダム分布とし、振幅分布は一定値とした。すなわち、低周波数帯域フィルタが周波数領域における振幅分布に相当する。なお、空間周波数帯域幅は上述のレンズを用いた結像系と対応させるために円形とした。異なる空間周波数帯域幅の参照光を用いてホログラムをそれぞれ作製し、単一露光一般化位相シフト法を用いて物体光の複素振幅分布をそれぞれ算出した。これらにフレネル回折積分を適用し、再生像をそれぞれ取得した。

取得した再生像と使用した参照光の周波数領域における振幅分布、すなわち空間周波数帯域幅を Fig. 1 に示す。参照光の空間周波数帯域幅が広いほど高画質の再生像が得られ、空間周波数帯域幅が撮像素子の記録可能な帯域幅と一致した場合が最も高画質であることがわかる。これよりも広い帯域幅をもつ参照光はエイリアシングを引き起こし、再生像の画質は悪化に転じると考えられる。

#### 文献

- 1) T. Nomura and M. Imbe, *Opt. Lett.* **35**, 2281 (2010).
- 2) M. Imbe and T. Nomura, *Appl. Opt.* **52**, A161 (2013).
- 3) M. Imbe and T. Nomura, *Appl. Opt.* **52**, 4097 (2013).
- 4) M. Imbe and T. Nomura, *Opt. Eng.* **53**, 044102 (2014).
- 5) J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics* (McGraw-Hill, 1996), p. 134.