

# 位相シフトを用いたレンズレスフーリエ変換デジタルホログラフィ Lensless-Fourier Transform Digital Holography by Using Phase-Shifting

中辻達也 長岡努 松島恭治  
Tatsuya Nakatsuji Tsutomu Nagaoka Kyoji Matsushima

関西大学工学部先端情報電気工学科  
Department of Electrical Engineering and Computer Science, Kansai University

## 1. まえがき

デジタルホログラフィとは、イメージセンサを使用して波面情報をデジタルデータとして計算機に保存し、数値計算で像の再生を行う手法である。しかし、イメージセンサの解像度がホログラム乾板等に比べて低いため、フレネル方式ではセンサから遠く離れた小さな物体しか撮影できない事が大きな問題となる。そこで、我々はフレネル方式よりもセンサ上での空間周波数を減少できる、レンズレスフーリエ変換方式を提案している[1]。本報告ではさらに位相シフト法[2]を用いることで、共役像を消去して広視野化が可能であることを示す。

## 2. 位相シフトレンズレスフーリエ変換デジタルホログラフィの記録

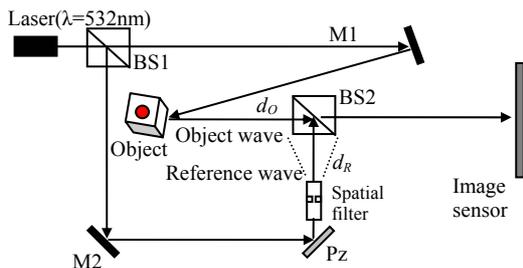


図1 記録光学系

(M1, M2; mirror, Pz; piezo phase shifter, BS1, BS2; beam splitter)

表1 記録パラメータ

波長 [nm]	532
参照光と物体光の強度比	1:1
物体とイメージセンサとの距離 [cm]	62
シャッタースピード[s]	1/640

記録光学系を図1に示す。ここで、 $d_0$ は物体とセンサの距離、また  $d_R$ は参照光点光源とセンサとの距離である。記録に用いたパラメータを表1に示す。参照光の位相量を  $\varphi = 0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$  と変化して、イメージセンサで干渉縞を記録した。センサとしては、市販の一眼レフデジタルカメラである Canon EOS Kiss Digital (3072×2048 [pixel], 公称センサピッチ 7.25×7.25 [μm], CMOS sensor)を使用した。予備実験により、このカメラの実際の有効センサピッチは 14.3×14.3[μm]であると推定されることから図2で定義する視野  $\theta = \tan^{-1}(w/d)$  の数値例は表2の値となる。ここでは、物体の大きさを  $2w=2$ [cm]としたときの、撮影可能距離  $d$ を示している。フレネル方式と比較してレンズレスフーリエ方式は短距離で大きな物体が撮影できるため視野角が約2倍に広がるのがわかる。さらに位相シフト法を用いることにより、共役像が消えるので位相シフトを用いない場合に比べてさらに約2倍の視野が見込める。



図2 視野のモデル図

表2 デジタルホログラフィの視野の数値例

	$2w$ [cm]	$d$ [cm]	$2\theta$ [deg]
レンズレスフーリエ(本研究)	2	>54	2.1
インラインフレネル	2	>115	1.0

## 3. 位相シフト法による計算機での再生

センサで記録した位相シフト量の干渉縞の強度を  $I(x, y, \varphi)$  とすると、4つの干渉縞強度  $I(x, y, 0), I(x, y, \pi/2), I(x, y, \pi), I(x, y, 3\pi/2)$  からセンサ面での物体光の複素振幅分布  $g(x, y)$  が求まる[2]。本実験では、物体センサ間距離  $d_0$  と参照光源物体間距離  $d_R$  が等しくない場合、位相の補正が必要であるが[1]、本実験では  $d_0 = d_R$  であるため  $g(x, y)$  を逆フーリエ変換するだけで、真の像のみを得ることができる。

## 4. 再生像とまとめ



図3 位相シフトなし

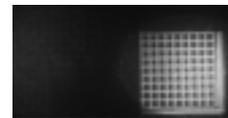


図4 位相シフト

図3に位相シフトを用いない従来法の再生像、図4に位相シフトを用いた再生像を示す。撮影物体はいずれも 1.12 [cm]角の2次元テストパターンである。図4では、不要なDC成分と共役像が消失し、真の像だけが再生されていることが確認できる。



図5 位相シフト(2次元画像)

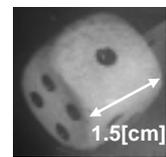


図6 位相シフト(サイコロ)

次に、比較的大きな物体として 2.27[cm]角の2次元パターンと 1.5[cm]角のサイコロを同一パラメータで記録した場合の再生像を図5と図6にそれぞれ示す。

これらの結果により、位相シフト法を本手法に併用することにより再生像のコントラストの向上と視野の拡大が可能であることが確認できた。また、レンズレスフーリエ方式が、3次元画像の記録を目的としたデジタルホログラフィにおいて有効な手法である事が確認できた。

[1] 長岡, 富士川, 松島: 2005年信学会総合大会. D-11-83, (2005).

[2] I.Yamaguchi, T.Zhang: Opt.Lett. 22, 1268-1270 (1997).