

00/09/11

◆2000年度 応物支部

## C-13

## デジタルホログラフィの再生像

## Reconstructed Images in Digital Holography

○三船 雄都, 高井 信勝 (北海学園大 大学院)

Yuhto Mifune and Nobukatsu TAKAI, Hokkai-Gakuen Univ.

拡散物体のホログラムのように、デジタル画像をランダム位相因子で変調し、そのフーリエ変換ホログラムを作成すると、均一なランダムパターンになる。このホログラムからの再生像は、デジタル画像の暗号化や電子透かしに利用できる<sup>1)</sup>。ここでは、このようなデジタル画像処理によるホログラム再生像に関して報告する。

いま、一例として、図1(上)に示すKodakのロゴマーク画像を $g_0(x,y)$ とし、ランダム位相因子によって変調した画像を $g_{\text{mark}}(x,y)$ とする。つまり、 $\phi$ をランダム位相として

$$g_{\text{mark}}(x,y) = g_0(x,y) \exp[i\phi(x,y)] \quad (1)$$

と表す。このフーリエ変換を $G_{\text{mark}}(\xi,\eta)$ とすると、

$$G_{\text{mark}}(\xi,\eta) = \iint g_{\text{mark}}(x,y) \exp[-2\pi i(\xi x + \eta y)] dx dy \quad (2)$$

と表される。これに参照信号(画像) $R(\xi,\eta)$ を加えて絶対値の自乗をとった

$H_1(\xi,\eta) = |G_{\text{mark}}(\xi,\eta) + R(\xi,\eta)|^2$  は、いわゆる通常のホログラムの表式である。この

右辺において(位相を含む)像の再生に関係する項を取り出すと、

$$H(\xi,\eta) = G_{\text{mark}}^*(\xi,\eta)R(\xi,\eta) + G_{\text{mark}}(\xi,\eta)R^*(\xi,\eta) \quad (3)$$

が得られる。ここで、 $*$ は複素共役を表す。これが計算機上で扱うデジタルホログラムの表式である。ここで、参照信号を

$$R(\xi,\eta) = \exp[-2\pi i(a\xi + b\eta)] \quad (4)$$

とすると( $a, b$ は波面の傾斜を与えるパラメータ)、式(3)は、

$$H(\xi,\eta) = G_{\text{mark}}^*(\xi,\eta) \exp[-2\pi i(a\xi + b\eta)] + G_{\text{mark}}(\xi,\eta) \exp[2\pi i(a\xi + b\eta)] \quad (5)$$

と表される。画像の再生のためには、一般には、 $S(\xi,\eta) = \exp[i\phi_s(\xi,\eta)]$ のような再生信号(再生波)を式(5)に乗じるが、ここでは、簡単のために、 $S(\xi,\eta) = 1$ (つまり $\phi_s(\xi,\eta) = 0$ )とする。結局、式(5)を逆フーリエ変換して得られる再生像 $g_R(x,y)$ は、

$$g_R(x,y) = g_{\text{mark}}^*(x-a, y-b) + g_{\text{mark}}[-(x+a) - (y+b)] \quad (6)$$

として得られる。この結果は、互いに複素共役の関係にある再生像が、パラメータ $a, b$ で決まる位置に原点(中心)対称の関係を持って現れることを示している。

式(6)の2つの項が空間的に分離している、その強度が観測されるときには、式(1)における $g_{\text{mark}}(x,y)$ の位相因子は、結果の画像パターンに影響しない。したがって、実信号であるロゴマーク画像 $g_0(x,y)$ の再生像が、強度検出によって得られる。この結果が図1(下)の再生画像に見ることができる。このとき、再生像の位置は、パラメータ $a, b$ を制御することで任意に与えることができる。

なお、 $g_{\text{mark}}(x,y)$ はランダム位相の因子で変調されているので、式(5)で与えられるホログラムは、ほぼ均一なスペクトル分布として得られる(図1(中))。

1) 高井, 三船, 成田: デジタルホログラフィを用いる電子透かし法, Optics Japan 2000 予稿集(印刷中), (2000.10 北見工大)。

Original (256x256)



Mark hologram



Reconstructed image



図1 (上)原画像、  
(中)ホログラム  
(下)再生像