Multi-imaging hologram for physics education

物理教育のためのホログラフィック多重記録実験

Takehisa SHIBUYA, Toshinori KIMURA, and Moriaki WAKAKI

Department of Optical Imaging and Science & Technology, Tokai University, 1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa, 259-1292 Japan

TEL: x81-463-58-1211 (EXT:4434) FAX: x81-463-59-2594 e-mail: shibuya@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

Hidetoshi KATSUMA

School of Science, Tama Art Univ., 1723 Yarimizu, Hachioji, Tokyo 192-0394 Japan

TEL: x81-426-79-5628

(Received 4, July 2007 Accepted 25, August 2007)

Fundamental experiments of multiple image recording were carried out for university students to understand the basic concept of the 3D image storage. We performed holographic image recording experiments using simple two beam interference. Multiple images recording of 2D and 3D were successfully performed.

Keywords : Hologram, Physics education, Multi-imaging hologram

I. INTRODUCTION

ガボアによってホログラフィーが発明されてから 50 年経過し¹、今ではホログラムは3次元画像を記録する方法として広く知られている。^{2~4} ホログラムはカラーフィルターや偏光メガネなどを用いることなく3次元イメージを得ることが出来る。ディスクホログラムは被写体の上方から照明した光で照らし出された情報を記録できるので、円盤の上に記録したホログラムを回転させると、ディスク上に見えている被写体も回転して見る事が出来る。一般にホログラムは静止像の場合が多いが、動きのある物を記録した物もある。例えばマルチプレックスホログラムの場合、動きがある被写体をカメラなどで撮り、その像を乾板に細い短冊状にホログラムとして記録する。繋げたホログラムを動かしながら参照光を当てると、カメラで撮影した状態を再現することが出来る。

我々はこれまでホログラムを通した物理教育に関していくつかの提案をしてきた。^{5,6} 本論文では、1枚の乾板に多数のホログラムを縮小記録、再生する事を通じて動画ホログラムの基本的概念を理解させるための、学生向けマルチイメージホログラムの基礎実験を行った。

II. EXPERIMENTAL SETUP

学生にホログラフィック記録の基本原理を理解させるために2光束干渉法を採用した。ディスプレイとしてのホログラムは3次元像を記録するが、ホログラフィック記録実験では、2次元データを記録する。多くのディスプレイホログラムの場合、被写体をホログラム乾板に等倍(1:1)で記録している。情報記録の観点からは記録領域は小さければ小さいほど多くのデータが記録できる。実際のデータ記録の場合にはφ200 μm 程度までビームを絞る必要があるが、この実験では記録領域はφ2mm 程度とした。ホログラフィック記録の場合では、記録位置がずれていれば、再生像も違うところに形成されるため多重記録が可能である。これは円周方向および半径方向の両方において可能である。本実験では円周方向で記録領域を半分重ねた多重露光の実験を行った。

III. OPTICAL SETUP

記録のための光学系を Fig.1(a)~(b)に示す。Fig.1(a)は透過型の等倍記録、(b)は縮小透過型の記録光学系である。光源には He-Ne レーザー (632.8nm, 14mW) を使用した。

Fig. 1. Optical configurations for holographic image recording experiments. (a) a unit magnification, (b) a reduction magnification. In the figures, each notation means as follows; B: Beam expander, H: Hologram plate, HM: Half Mirror, HWP: Half Wave Plate, L: Lens, M: Mirror, O: Object, PBS: Polarization beam splitter, RS: Rotary Stage, and S: Shutter.

光源から出た光は偏光ビームスプリッターにより2光束に分割せられる。一方の光は物体光、もう一方の光は参照光に使用する。記録に使用した2次元データをFig.2に示す。透過型光学系であるため、2次元データは透過物体でなければならないため、視覚的に判るようにアルファベットをOHP用シートに印刷したものをを用いた。被写体の大きさは20×20mmである。複数の情報を記録するには作成した記録データを交換しなければならないが、その代わりに液晶等電子表示装置を用いることで代用することも可能である。

記録材料としては大面積を有する書き換え可能な記録材料が無いため、一般的なホログラム乾板 PFG-01 を使用した。この乾板の最適露光量は $175 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 、現像処理は MA

現像液で4分、EDTA 漂白液で2分、液温は18～19℃とした。

(a)

(b)

Fig. 2. Alphabet characters printed on an OHP film for holographic recording experiments (a) and size of character (b).

IV. RESULTS

IV-A. Unit magnification (1:1) recording experiments

2次元記録データと記録領域の大きさが1:1の等倍記録実験を行った。ホログラムの撮影条件をTable 1に示す。記録領域が重ならないように、一度露光した後、ホログラム乾板を横方向にずらしてセットした。ホログラム乾板をセットした後、除振台上にある乾板ホルダーや光学素子を止めているスタンド、ポール等の揺れを取り除くための時間(安定時間)をおいた後、露光した。

記録されたホログラムおよびレーザー光による再生像をFig.3(a), (b)に示す。OHP上に作成した2次元データの黒文字の部分からは物体光が透過しないので、ホログラム乾板上には元の2次元記録データの黒の部分が抜けた像が記録された(Fig.3(a))。参照光を当てると画像データは再生されたが、写真と同じように文字の部分が黒く抜けているのが確認

された。

等倍記録実験で記録領域を半分ずつ重ねた場合の結果を Fig.4 (a), (b)に示す。ホログラムの視域を狭くしなかったのに、再生光によって、両隣の像が同時に再生され多重に見えるのが分かる (Fig.4 (b))。

Table 1 Recording condition at unit magnification.

Object beam intensity	57 μ W
Reference beam intensity	119 μ W
Exposure time	1 sec
Settling time	1 min

Fig. 3. Recording experiment at a unit magnification. (a) hologram, (b) reconstruction image

Fig. 4. Multiple recording experiment at a unit magnification. (a) hologram (b) reconstructed image

IV-B. Reduction magnification (10:1) recording experiments

レンズを使用した縮小透過型光学系を用いて記録実験を行った。光学系を Fig. 1(b)に示す。記録領域は直径 2mm 程度、撮影条件を Table 2 に示す。記録されたホログラムを Fig. 5 (a)に、直径 2mm のホログラム 1 つにレーザー光を入射した場合の再生像を Fig. 5 (b)に示す。記録領域が小さいのでホ

ログラム乾板に記録された被写体のイメージは肉眼で確認することは出来なかったが、再生像を確認することが出来た。記録領域が直径 2mm 程度でもホログラムの記録・再生が可能であることが判った。

Table 2 Recording condition at reduction magnification.

Object beam intensity	70 μ W
Reference beam intensity	140 μ W
Exposure time	0.8sec
Settling time	1 min

Fig. 5. Recording experiment at a reduction magnification. (a)hologram, (b) reconstructed image

IV-C. Fundamental experiments of multi-imaging hologram

ホログラムデータの記録を行うに際して、ホログラムフィルム上に直線的に記録する方法とホログラム乾板上に CD や DVD のように円周方向に記録する方法がある。本研究ではディスクホログラムをイメージしてホログラム乾板をステッピングモータ駆動の回転ステージに取り付けるとともにレンズによる縮小を行い、円周方向にデータを記録する実験を行った。記録領域は直径 2mm、ホログラム乾板の半径 50mm の円周上に、1周で 102 個のホログラム像を記録した。安定時間が短すぎると干渉縞が動くため再生像のコントラストが落ちてしまう。特に安定時間を 10 秒以下にすると除振出来ず像が記録されなかった。記録領域が小さいことから、これまでの実験と同じように安定時間を 1 分間として、ホログラムを撮影した。作製したホログラムを Fig. 6(a)に、直径 2mm のホログラム 1 つにレーザー光を入射した場合の再生像を Fig. 6(b) に示

す。回転ステージにホログラム乾板を取り付けた光学系を使用しても十分明るい再生像が得られている。

マルチイメージホログラム(多重記録)のための光学系を Fig. 7 に示す。被写体にはサイコロを用いた。使用したサイコロは反射物体であるため等倍の反射型光学系を用いた。参照光の直径は 30mm である。ホログラム乾板と被写体はそれぞれステッピングモータ駆動の回転ステージに取り付けられている。一度露光した後、被写体とホログラム乾板ともに同じ角度だけ回転させる。ステージが停止した後、10秒間の安定時間を取り、再び露光する。この操作を被写体が一周するまで繰り返す。回転角度は被写体の一周を 20 コマに分けて作製する時には 18 度、25 コマの場合には 14.4 度である。ホログラムの記録領域はいずれの場合でも重なっている。実験装置を Fig.8 に、撮影条件を Table3 に示す。

Fig. 6. Circumferential recording experiment (a) hologram, (b) reconstructed image

Fig. 7. Holographic animation recording experiment. In the figures, each notation means as follows; B: Beam expander, H: Hologram plate, HWP: Half Wave Plate, M: mirror, O: Object, PBS: Polarization Beam Splitter, RS: Rotary Stage, S: Shutter, and SF: Spatial Filter.

Fig. 8. Object (a die) and hologram plate on the rotary stage.

Table 3 Recording condition for multi-imaging recording.

Object beam intensity	56 μ W
Reference beam intensity	108 μ W
Exposure time per point	2.5 s
Settling time	10 sec
Radii of the circles	35 mm
Recorded times within a circle	20, 25 times
Recorded area per point	ϕ 25 mm

現像、漂白処理を行ったホログラム乾板を撮影の時と同じ回転ステージに取り付け、再生光をホログラム乾板に照射することで再生像を得ることが出来た。一周を 20 コマ、25 コマに分割して撮影したホログラムの再生像を Fig. 9(a), (b)にそれぞれ示す。ホログラムは回転させず固定した状態である。一周 20 コマに分割して撮影した場合、ほぼ 1 コマずつの像が再生できたが、一周 25 コマの場合には、前後のサイコロ像が重なって見えている。これはホログラムの視域に関係しており、一コマのホログラム再生像が重ならないようにするには、記録領域を狭くする、被写体とホログラム乾板との距離を離すなどする必要がある。

次に再生光を照射した状態でホログラムを回転させた場合、25 コマに分割したホログラムの方が被写体の回転が滑らかに観測された。1 周の分割数を多くするとより滑らかに見えるが、記録領域の重なる範囲が広くなり、前後の再生像が重なって観察されてしまう。ホログラムを回転させて滑らかに再

生像を観測するためには、参照光の大きさを小さくすること、レンズ等を入れて記録領域を狭くするなどの工夫が必要である。

Fig. 9. Reconstructed image of hologram. (a) 20 images recording, (b) 25 images recording.

V. CONCLUSIONS

2光束光学系によるホログラフィック多重記録の実験を行った。簡単な装置でホログラフィック記録実験を行うことが確認できた。透過物体を等倍記録した場合、作製したホログラム自身に透過像が見えたが、縮小記録した場合には確認することが出来なかった。再生光としてレーザー光を入射させると、どちらの場合でも再生像を確認することが出来た。

回転ステージにホログラム乾板を取り付けた、透過物体の縮小記録・再生実験ならびに反射物体の等倍記録・再生実験を行った。その結果、十分な明るさの再生像を得ることができた。物体の回転(全周方向)を記録するなどホログラム乾板への記録の多重度を上げた場合、視域の関係で再生像が重なるという問題点が明らかになった。ホログラム乾

板への撮影の多重度を上げれば記憶量を増やすことが出来るが、安定時間のためホログラム作製に要する時間が長くなってしまう。そのため光源に高出力短パルスレーザーを使用すれことによって安定時間をとる必要がなくなり、作製時間の撮影時間が短縮される。

この実験システムを用いることでホログラフィック多重記録の基本的概念を学ぶとともに、比較的容易にディスクホログラムを作成する事が出来るようになった。

REFERENCES

- ¹ D. Gabor, Nature, 161, p.777, 1948.
- ² Charles M. Vest, Holography interferometry, John Wiley & Son, New York, 1979.
- ³ F. Unterseher, J. Hansen, and B.Schlesinger, Holography Handbook, Ross Books, Berkley, 1987.
- ⁴ T.H. Jeong, "Large-scale holographic display system," Proc. of SPIE, 4296, pp.38-46, 2001.
- ⁵ H. Katsuma, T. Kimura, T. Shibuya, and M. Wakaki, "Holography for physics education in universities and colleges," Proc. of SPIE 5243, pp.89-95, 2003.
- ⁶ T. Shibuya, H. Katsuma, M. Wakaki, and H. Yokota, "Educational application and development of easy holography system using a laser pointer," Jpn. J. Appl. Phys. Education. (in Japanese), 24, pp.85-88, 2000.