

研 究**マルチプレックス・ホログラム再生像の拡大**

志村 啓*・本田 捷夫・山口 雅浩・大山 永昭

東京工業大学工学部像情報工学研究施設 〒227 横浜市緑区長津田町 4259

(1990年10月11日受付, 1990年12月21日受理)

Synthesis of Large Multiplex Holograms

Kei SHIMURA, Toshio HONDA, Masahiro YAMAGUCHI and Nagaaki OHYAMA

Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology
4259, Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 227

(Received October 11, 1990; Accepted December 21, 1990)

Large images reconstructed from multiplex holograms have been realized by the optical system with extreme anamorphic lens configurations. One of the important lenses is the long and narrow cylindrical lens with small F-number. A pair lens is designed for the lens. Reference light is illuminated through this pair lens and the special configuration with three cylindrical lenses is considered. By realizing the above mentioned optical system, a large and bright 3-D image has been reconstructed with 30 cm high and 30 cm wide.

1. はじめに

最近, 医用画像分野ではX線 CT (computed tomography), MRI (magnetic resonance imaging), また種々の3次元の設計の分野では3次元 CAD (computer aided design) 等, 3次元のデータを計算機で扱うことが多くなっている。

そこで, 処理された3次元データを表示することが必要になる。そのための重要な表示法として, 立体像表示法がある。立体像表示法の一つとして, ホログラフィック・ステレオグラム的一种であるマルチプレックス・ホログラムがある。

マルチプレックス・ホログラムは, 合成が自動化できるため, 合成装置を計算機に直接接続して出力装置として用いることが可能である。また, 円筒形で水平方向に360度の方向からの立体像観察ができるので, とくに複雑な構造をもった物体の観察, 理解に有効である。すで

に, 医用画像の表示に応用されており, 頭蓋骨等の表示に有効であることが確認されている^{1,2)}。

ところが, 従来の合成法では表示できる像の大きさが制限されており, 垂直方向の大きさが20 cmを越える像の表示は不可能であった。

表示像の大きさは, 立体画像の表示では重要な要素である。実物大で表示することが可能であれば, 表示像をそのまま実物として観察することができ, 形状や構造の認識が非常に容易になる。医用画像等, 複雑な構造を持った3次元物体を正確に理解することが要求される場合には, 実物大で表示することが必要である。また, CADのデータの表示では, 大きな物体の実物大の表示に加え, 小さな物体を扱う場合, 構成要素の形状や相対的な位置関係を確認するためには, 大きく表示することも必要である。

本研究では, マルチプレックス・ホログラムを用いて大きい立体画像を表示するために, アナモルフィック光学系を用いた合成光学系を提案し, 実際にその提案した光学系により, 「垂直・水平方向ともに30 cmの像を表示できるホログラム」の撮影を行った³⁾。

* 現在: (株)東芝総合研究所 〒210 川崎市幸区小向東芝町1
Present address: R & D Center, Toshiba Corp.,
Komukai-Toshiba-cho 1, Saiwai-ku, Kawasaki 210

2. マルチプレックス・ホログラムの原理と従来の合成系⁴⁾の限界

2.1 マルチプレックス・ホログラムの原理

マルチプレックス・ホログラムは、原画列撮影、ホログラムの合成という二つのステップを経て完成される。

原画列とは、被写体をいろいろな視点から撮影した2次元画像列のことをいう。実際に存在する物体を撮る場合は、ターンテーブルの上にその物体を置き、回転させながら映画のカメラで撮影を行い (Fig. 1(a)), CT, MRI や CAD のデータを用いる場合は、計算機でこの原画列を作成し CRT に表示して同様に映画用カメラで撮影を行う。

ホログラムの合成は、従来より、Fig. 1(b)の光学系を用いて行っている。この系では、原画Fを投影レンズL₁によって、球面レンズL₂、およびシリンドリカル・レンズCLの付近に拡大投影し、その照明光束をCLによってフィルム上へスリット状に収束させ、参照光を重ねてホログラムとして記録する。1枚目の記録が終わると原画フィルムを次のコマに換え、ホログラム記録フィルムを少し送り次のコマの記録を行う。このようにして露光を繰り返し、1周分のホログラムを合成する。

できあがったフィルムを円筒に張り付け、この円筒中心線上の下方に置いた白色小光源で照明すれば、円筒の内部に3次元画像を観察することができる。

2.2 従来の合成系の限界

従来の合成光学系を用いて大きな像を表示するためには、CLとしてFナンバーが小さく口径が大きいレンズが必要である。表示像の大きさに関して、水平方向は

CLのFナンバーで決まり、垂直方向は投影像の大きさで決まる。水平方向の再生像の大きさ(幅)を確保するためにはFナンバーの小さいCLが必要であり、垂直方向に大きい像を表示するためには投影像よりも大きい口径をもったCLとL₂が必要である⁴⁾。

このようなレンズは製作が困難であり、L₂およびCLの大きさが像の大きさを垂直・水平方向ともに20cmに制限する要因となっている。

3. 大型マルチプレックス・ホログラムの合成光学系

本論文では、大型化に適したマルチプレックス・ホログラムの合成系として、新しい物体光光学系と参照光光学系を提案する³⁾。

3.1 物体光光学系

3.1.1 物体光光学系と原画の投影

物体光光学系では、原画をアナモルフィック系を用いて拡大投影し⁵⁻⁷⁾、垂直方向と水平方向とで独立に結像させる。この概略をFig. 2に示す。

垂直方向では、原画をCL₁とCL₃によりホログラム記録フィルムの位置に結像させるイメージ型ホログラムの記録方法をとることにより、再生像の色ボケを抑えることができる。

水平方向では、原画をCL₂によりCL₄の位置に結像させる。CL₄は結像に関与しないため、CL₄の設計が容易になるとともに、投影像に歪が生じることを避けることができる。

このように投影像を縦長にしホログラム記録フィルム

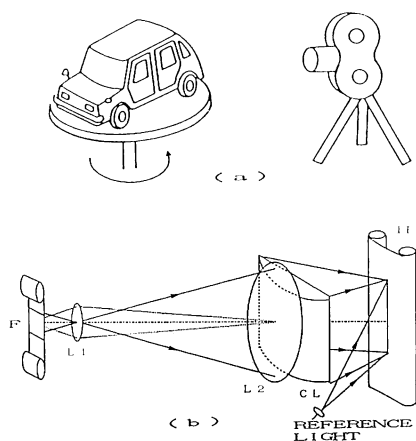


Fig. 1 Principle of synthesizing multiplex holograms. (a) Taking original pictures, (b) Synthesis of hologram.

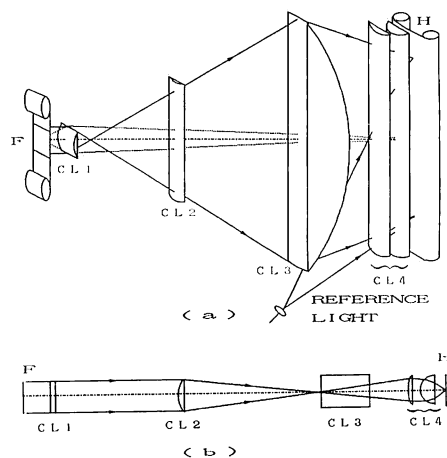


Fig. 2 Anamorphic optical system for synthesizing large multiplex hologram. (a) Perspective view, (b) Top view.

に近づけることによって、大口径のシンドリカル・レンズの代りに、幅の狭いシンドリカル・レンズを用いることが可能となる。幅の狭い長尺のシンドリカル・レンズは入手可能であるため、この系は垂直方向に大きな像の表示に適している。

3.1.2 CL₃の製作

シンドリカル・レンズ CL は、原面の垂直方向の結像に関係している。しかし、実際には CL₁ による結像の焦点深度が深いので、CL₃ が投影像に与える影響は小さいと考えられる。

そこで、アクリル板 (曲面側) とガラス板 (平面側) で作った型にシリコン・オイルを満たしたレンズを製作した。レンズの開口の大きさは、40 cm×3 cm, 焦点距離は 60 cm とした。シリコン・オイルは、常温で約 1.4 の屈折率をもつ KF-96 (粘度 20 cs: 信越化学(株)製) を用いた。また、集光特性をよくするために、曲面の断面形状には放物線を用いた。

3.1.3 集光レンズ (CL₄) の設計

物体光光学系のシンドリカル・レンズ CL₄ は、F ナンバーが 1.0 程度であることが必要である。CL₄ は、水平方向に関して物体光をホログラム記録フィルムの近傍に収束させる働きをもっている (Fig. 2(b)). 再生像の幅は、この物体光の収束角の大きさによって決定されるので、表示円筒の半径に近い幅を表示するためには、この条件が必要となる。

また、CL₄ は、「物体光の水平方向の収束に対する収差」が小さいことが必要である。収差があると集光線付近では火面が生じ、その面では非常に大きい強度変化を生じる。この強度比の大きい物体光をホログラムとして忠実に記録しようとする、回折効率が非常に低くなる。収差を小さくするとホログラム記録面では火面が生じるのを避けることができ、その結果、ホログラム記録面で物体光の強度分布がほぼ一様となり、回折効率の高いホログラムを記録することが可能となる。

以上の条件を考慮し、光線追跡により CL₄ の設計を行った。光線追跡の計算は、光軸を含む水平面内で行った。

設計に当たって、収差に関する条件の定量的な評価には、縦収差量を用いた。縦収差をある値以下に抑えれば、火面は最小集光線の位置の近傍領域内にしか生じない。それゆえ、ホログラムの記録を、CL₄ による最小集光線 (垂直方向にのびる線) の位置より少しずらせて行うことにより、火面の生じる範囲からホログラム記録面をはずすことも可能である。縦収差の評価基準を満たし

たレンズに対しては、ホログラム記録面での物体光強度分布を計算し、それも設計評価の目安とした。

設計したレンズの一例を Fig. 3 に示す。半円筒レンズと平凸シンドリカル・レンズの組合せである。このレンズの構成と光線追跡の概略を同図 (a) に示す。ホログラム記録面における物体光強度比 (最大値/最小値) は、Fig. 3 (b) に示すように 2.2 倍に抑えられており、この組レンズを CL₄ として用いれば、回折効率の高いホログラムが記録できることが期待される。

3.2 参照光光学系

参照光は、CL₄ を通してホログラム記録フィルムへ入射させることを考える。その概略光学系を Fig. 4 に示す。

参照光に対する CL₄ の影響は、水平方向に関して現れる。水平方向では、平行な参照光がホログラム記録面に入射することが必要であるから、CL₄ の前側焦点位

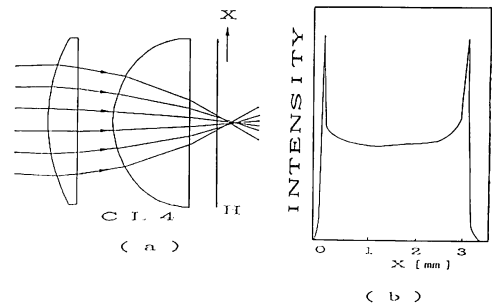


Fig. 3 Configuration and characteristics of one of designed CL₄ (cylindrical pair lens). (a) Configuration and ray trace, (b) Intensity distributions of object light on the hologram recording plane H.

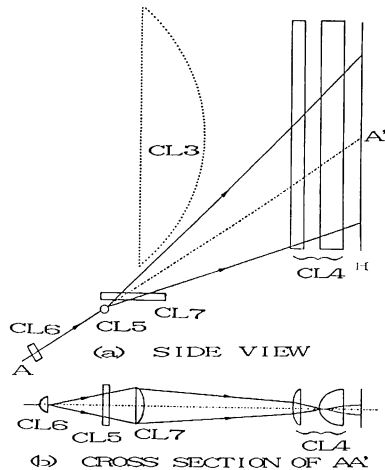


Fig. 4 Optical configuration for reference light.

置に収束させることが必要になる。Fig. 4 に示すシリンドリカル・レンズ CL_6 (このシリンドリカル・レンズは水平方向にレーザー光束を広げてホログラム記録面で参照光を数 mm に広げる役目をもたせる) からこの焦線までの距離はホログラム記録フィルム (H) の下端では短く、上端では長い、すなわち、方向によって焦線距離が変化するレンズを CL_6 と CL_4 の間に挿入することが必要である。

そこで、シリンドリカル・レンズ (CL_7) をこの間に付け加える。焦線距離の短い凸のシリンドリカル・レンズは垂直入射よりも斜めに入射する光線に対して、より大きなパワーをもつ。すなわち、 CL_7 を Fig. 4 に示すように中心軸 (A-A') と大きく傾けて入れることによって、前記条件を満足させることができる。

参照光の収束線の位置と CL_4 の位置関係を考慮し、光線追跡を行って光学系を決定する。水平方向について、参照光を完全に平行にすることはできないが、ホログラム記録フィルム面で垂直方向の広い範囲にわたって広がり角を小さくかつほぼ一定にすることが可能である。

4. マルチプレックス・ホログラムの合成

これまでに示した光学系を用いて、実際にマルチプレックス・ホログラムの合成を行った。

再生像の大きさは、高さ 30 cm・直径 30 cm の円筒の内部とする。これは、入手が容易な長巻のホログラム・フィルムの幅が約 30 cm であるからである。また再生時に巻き付ける円筒の直径は 60 cm とする。

ホログラム記録のために He-Ne レーザーを用い、合成光学系に用いるレンズの仕様を、Table 1 に示す。 CL_4 には、長さ 40 cm の 2 枚組シリンドリカル・レン

Table 1 Specifications of the lenses used for synthesizing large multiplex hologram.

	Focal length F [mm]	Width W [mm]	Length L [mm]
CL_1	50	30	40
CL_2	300	30	150
CL_3	600	400	30
CL_4	66	35	400
	35	36	400
CL_5	(Rod $\phi 2$)	2	50
CL_6	10	10	10
CL_7	250	50	50

ズを用いた。 CL_7 と参照光中心軸とのなす角度は 45 度とする。

原画としては、X 線 CT のデータより再構成した頭蓋骨の画像列²⁾を用いた。

再生像の写真を Fig. 5 に示す。大きさの比較のため、同じ原画列を用いて従来の光学系で合成したマルチプレックス・ホログラムを並べて撮影している。この写真はホログラムから約 1.5 m の位置で撮影した再生像である。

垂直・水平方向ともに 26 cm 程度の頭蓋骨の像を表示することができた。像の大きさは、従来の光学系による再生像と比べると、長さで 2 倍、体積では 8 倍となっている。

5. 結 論

原画の投影系にアナモルフィック光学系を用いたマルチプレックス・ホログラムの合成系を構成し、垂直方向に大きな像の表示を実現した。この合成光学系を用いることにより、成人の頭部を実物大で表示することが可能

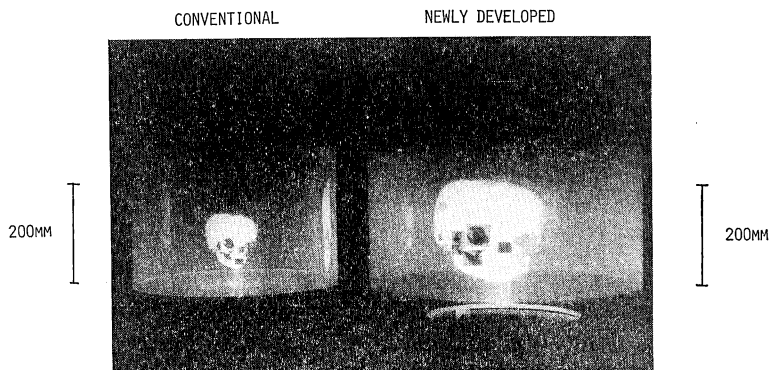


Fig. 5 Reconstructed images from the large multiplex hologram and the conventional one.

になった。

この光学系は、さらに大きい像を表示できる光学系へ発展させることも可能である。医用はもちろん CAD 像等の大型立体像の自動合成への展開が期待される。

文 献

- 1) J. Tsujiuchi: "Multiplex holograms and their application in medicine," Proc. SPIE, **673** (1986) 312-316.
- 2) N. Ohyama, Y. Minami, A. Watanabe, J. Tsujiuchi and T. Honda: "Multiplex holograms of a skull-made of CT images," Opt. Commun., **61** (1987) 96-99.
- 3) 志村 啓, 山口雅浩, 本田捷夫, 大山永昭: "マルチプレックス・ホログラムの大型化," 第20回画像工学コンファレンス論文集 (1989) pp. 315-318.
- 4) J. Tsujiuchi, T. Honda, K. Okada, M. Suzuki, T. Saito and F. Iwata: "Conditions for making and reconstructing multiplex holograms," AIP Conf. Proc., **65** (1981) p. 594.
- 5) 南 芳高, 国生幸子, 本田捷夫, 辻内順平, 大山永昭: "マルチプレックスホログラムの拡大", 第16回画像工学コンファレンス論文集 (1985) pp. 297-300.
- 6) S. P. McGrew: U. S. Patent No. 4206965 (1980).
- 7) K. A. Haines: U. S. Patent No. 4364627 (1982).