



平面型ホログラフィックステレオグラム用原画作製

大沼 一彦*・岩田 藤郎*・小高 将裕**・江森 康文**

* 凸版印刷(株)総合研究所基盤研究センター 〒345 埼玉県北葛飾郡杉戸町高野台南 4-2-3

** 千葉大学工学部電子工学科 〒260 千葉市弥生町 1-33

(1988年3月16日受理)

Making a Series of Pictures for a Holographic Stereogram

Kazuhiko OHNUMA,* Fujio IWATA,* Masahiro ODAKA** and Yasufumi EMORI**

* Fundamental Research Center, Technical Research Institute of Toppan Printing Co., Ltd.,
4-2-3, Takanodaiminami, Sugito-mach, Kitakatsushika-gun, Saitama 345

** Department of Electronic Engineering, Chiba University,
1-33, Yayoi-cho, Chiba 260

A series of pictures with different view points is used for synthesizing a flat type holographic stereogram. It takes two or three minutes to take pictures of a man by a camera on a moving stage. Movement of body results blur in a reconstructed image from a rainbow hologram. And also, soft and elegant expression can not be expected because of long exposure time. A method of three dimensional measurement using rasterstereography and a technique of computer graphic are applied to make a series of pictures from two pictures for a three dimensional portrait. Good images that are enough to enjoy as a holographic image are obtained.

1. はじめに

大量生産のできる安価でかつ印刷物と組み合わせることでできるエンボスホログラムが目につくようになってきた。このホログラムはレインボウホログラムと呼ばれるもので、白色光で見ることのできるものであり、National Geographic の表紙や Master card, Visa card に使われたのが代表的な例である。現在、このエンボスホログラムを作る分野では多くの企業が関わっているために新しい技術の開発、それによる新しいソフトの開発が必要不可欠となってきている。

いままで、レインボウホログラムを作るために使われてきた被写体はレーザーで直接照明できるもので、撮影中に波長レベルでの動きもしない石とか木とかフィルムというものであり、また、被写体とイメージの大きさはほぼ同じ大きさのものである。このような制限をはずす技術があれば、それは新しいソフトの開発ができることになり、大きなセールスポイントとなる。これの一つとなるのが平面型ホログラフィックステレオグラム¹⁻⁴⁾の技術である。

この技術は被写体を異なった方向から見たパララックスをもつ多数枚の写真像を1枚のホログラム乾板に分割記録するものである。レインボウホログラムを作るにはこのホログラフィックステレオグラムからの再生像を用いてもう一度ホログラムを作ればよい。この方法により倍率を自由に変えることができる。たとえば、地球の立体像や顕微鏡で見る世界もホログラムとして見ることが可能となる。

さて、それではこれを人物に応用することを考える。カメラを用いて異なった角度から一連の写真像を撮影するには、昔の写真のように数分間はじっとしていることになる。ところが実際にはどうしてもまばたきが入ってしまったり上下に動いたり、また、動くなということで表情が堅くなるしいものになったりしてしまう。このためできあがったホログラムを見ると左右の像がずれてうまく重ならないためのボケが多かったり、無味乾燥でつまらないものになってしまう。そこでこのようなボケが少なく瞬間の柔らかな表情の立体像再現をコンピューターによる立体計測とコンピューターグラフィックの手法による一連の画像制作により試みてみた。ここで用いた立

体計測の方法はラスターステレオグラフィー⁵⁾であり、人物に格子像を投影し、写真を撮影し、この写真の縞間隔から高さの情報を取り出すものである。また、コンピュータグラフィックの手法はこの立体モデルに濃淡情報をマッピングし、隠面処理をしながら異なった角度からの写真像を作るといものである。

2. 原画作製からレインボウホログラム作製まで

次に、平面型ホログラフィックステレオグラムの技術を使ってレインボウホログラムができるまでを簡単に図を用いて説明する。はじめはカメラを用いて被写体の撮影を行なう。このとき、カメラは被写体から L だけ離れたところの直線 A 上を一定のピッチ d で移動しながら1コマずつ撮影を行なう。Fig. 1 にそのようすを示す。

このようにして撮影したものをポジ画像を作製し、次に、このポジ画像を用いて Fig. 2 に示す光学系にて平面型ホログラフィックステレオグラムの合成を行なう。ポジ画像はレーザーの光で照明されてレンズによって透過型拡散スクリーン上に投影される。スクリーンからの拡散光と平行参照光との干渉縞をホログラム乾板に

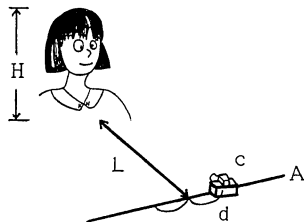


Fig. 1 Optical setup for taking a series of pictures with different view point. H , height; L , distance from a camera to a lady; d , pitch; A , straight line.

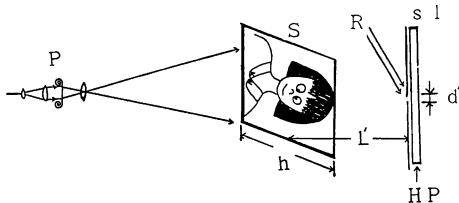


Fig. 2 Synthesis of a flat type holographic stereogram using a series of pictures. P , positive film; S , screen; sl , slit; R , reference beam; h , height of image; L' , distance from screen to holographic plate; HP , holographic plate; d' , dimension of aperture.

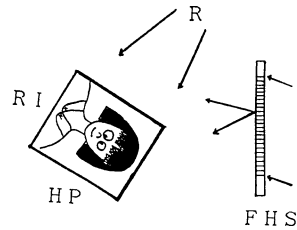


Fig. 3 Optical setup for making a rainbow hologram FHS, flat type holographic stereogram; HP, holographic plate; R, reference; RI, reconstructed image.

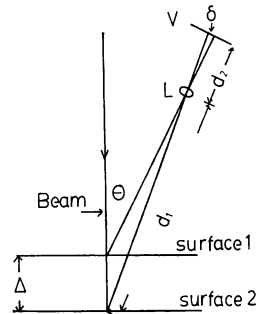


Fig. 4 Basic arrangement of rasterstereography. L , lens; V , view plane.

アパーチャー S をとおして記録する。こののちホログラム乾板またはアパーチャー S を移動することによりホログラム乾板の異なった位置にピッチ d' で次々とコマをかえながら露光していけば平面型のホログラフィックステレオグラムができる。このとき(1)式で示す関係を保つことにより自然な感じの立体感が得られる。

$$H/h = L/L' = d/d' \tag{1}$$

次に平面型ホログラフィックステレオグラムの再生像を用いてレインボウホログラムを作る光学系を Fig. 3 に示す。Fig. 2 で作製した時と逆の方向から平行光を入射させると、もとスクリーンのあった位置に像が再生される。この位置に新たにホログラム乾板を置きもう一度ホログラムを作るとこれがレインボウホログラムとなる。

3. 立体計測と原画作製

人物の立体計測をする手段はいろいろと考えられるがここでは瞬時の表情を取り扱うこと、また、処理のしやすさを考えて、ラスターステレオグラフィーの方法⁶⁾を用いた。まず始めこの方法の基本原理を説明する。ここでは簡単のため Fig. 4 に示すように物体の表面に垂直な方向からビームを照射し、それに対して角度 θ だけ

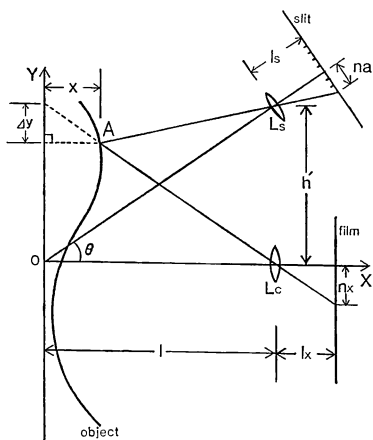


Fig. 5 Optical setup for rasterstereography. L_s , projection lens; L_c , camera lens; a , slit pitch; l , distance from a camera to an object.

傾けた view plane を考える。さらに物体上に surface 1 とそれを平行に Δ だけ移動した surface 2 を考える。 Δ は view plane 上の視差 δ 、ビームと view plane のなす角 θ 、レンズから物体までの距離 d_1 、レンズから view plane までの距離 d_2 より (2) 式で与えられる。

$$\Delta = \delta d_1 / (d_2 \sin \theta - \delta \cos \theta) \quad (2)$$

Δ は測定される深さであり、その精度は δ の読取り精度に依存している。いま、 δ が小さい量とすると (2) 式において $d_2 \sin \theta \gg \delta \cos \theta$ より読取り誤差 $d\delta$ と高さの誤差 $d\Delta$ は、

$$d\Delta = d_1 d\delta / d_2 \sin \theta \quad (3)$$

となる。ここで実際の系に近い値を代入してみると $d_1 = 1000 \text{ mm}$ 、 $d_2 = 50 \text{ mm}$ 、 $\theta = 15^\circ$ とすれば $d\Delta = 77 d\delta$ となる。 $d\delta$ を 0.02 mm で読めば $d\Delta = 1.54 \text{ mm}$ の精度となる。これはちょうど投影系と撮影系がおなじ光学系を用いたとして 0.1 mm 間隔で並んだ格子を物体に投影してここで受けた変化を撮影系で格子 1 本分のずれの $1/5$ の精度で読むことに対応している。人物の顔のように滑らかな面ではこのくらいの精度で十分であると考えられる。

つぎに実際の系について Fig. 5 にそって簡単に説明する。スリットはレンズ L_s を用いて物体に投影され、物体によって変形したスリット像はレンズ L_c を用いてフィルムに撮影される。この変形スリットの横ずれの量から物体の高さの情報を読み出すものである。A 点の高さ X は

$$X = 1 - h' / (\alpha + n_x / l_x) \quad (4)$$

ここで、 h' は投影レンズと撮影レンズとの距離、 n_x は像の光軸からの距離、 l_x は撮影レンズからフィルムまでの距離、 l は撮影レンズから物体までの距離。

また、 α は次の式で与えられる。

$$\alpha = (l_s \sin \theta - na \cos \theta) / (l_s \cos \theta + na \sin \theta)$$

ここで、 l_s はレンズとスリットの間隔、 a はスリットの間隔、 n はスリットの番号。

なお、ここで撮影画像の中心付近のことを考えて y 方向のずれについてはその量が小さいためここでは無視しているが画像の周辺においては無視できず y 方向のずれも考慮にいれなければならないことになる。

ここで得られた画像はスキャナーを用いてコンピュータに入力され、(4) 式によって各点の高さ情報が計算により求まる。次に各点の間の情報はスプライン補間によって求まる。このようにして人物の顔の立体情報が得られる。

次に、この立体情報のうゑに濃度情報をマッピングする。これはスリットを投影しない画像を同時に撮影してにおいてスキャナーより入力し重ね合わせるのであるがスキャナーから読み込みの際に回転等により位置のずれが入り込むため人間が対応する点の位置を指定することにより行なった。ここでは両目と鼻の頭を二つの画像においてマーキングしておいて合わせるように行なった。このようにして濃度情報をもった立体モデルが完成したので、次にこのモデルから視方向の異なる画像を作製する。これは Fig. 1 に示すようにカメラを直線上で移動させながら異なった視方向からの画像をつくることである。これをコンピュータのなかで行なえば Fig. 6 に示すように物体をスクリーン上に投影することによりもとめられる。ここで視点の座標を $(V_x, V_y, 0)$ としスクリーン上の点 P を $(0, Y_1, Z_1)$ とするとこの 2 点を結ぶ直線は次の式で与えられる。

$$X = A_x t + V_x$$

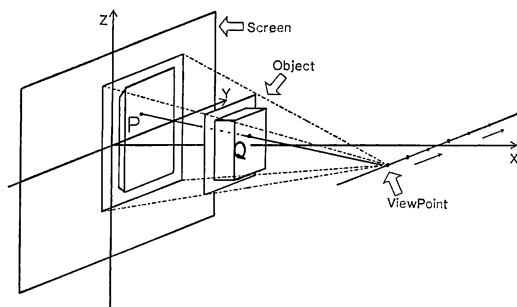


Fig. 6 Projection of a three dimensional object to a flat screen.

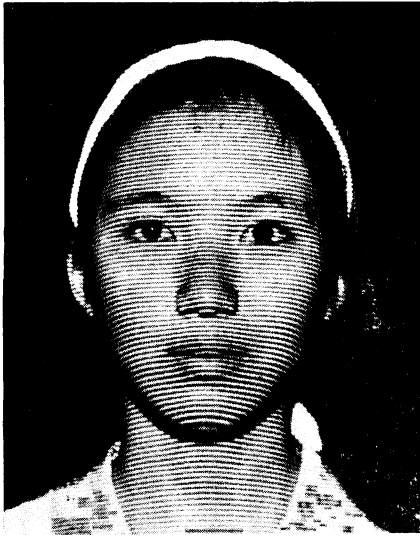


Fig. 7 Original raster image for measuring height of each point.

$$Y = A_y t + V_y$$

$$Z = A_z t$$

$$A_x = -V_x/L, A_y = (Y_1 - V_y)/L, A_z = (Z_1 - V_z)/L$$

$$L^2 = V_x^2 + (Y_1 - V_y)^2 + Z_1^2 \quad (5)$$

この式を用いて視点とスクリーン上の点Pの間について、これを結ぶ直線上をサーチしていき物体との交点Qを求め、交点Qの濃度を点Pの濃度とする。このとき、2点で交わる場合が考えられるがこのときは視点に近いほうの点を採用することにする。これが隠面処理である。これをスクリーン上の各点について行なうことにより1枚の画像が作成される。この処理を視点を移動して繰り返すことにより一連の画像が作製される。



Fig. 8 Original image with ordinary half tone.

4. 実験と結果

人物の撮影にはゼンザブロニカ、50 mm, $f3.5$ を用い、スリットは 200 本/inch, 投影レンズはキヤノンの 75 mm, $f2.5$ を用いた。被写体からカメラまでの距離は 2 m, 投影レンズと撮影レンズの距離は 55 cm で行なった。このような系で撮影したフィルムは阿部設計のドラムスキャナーで $50 \mu\text{m}$ ピッチ, 8ビットで入力した。また、普通の撮影による画像も同様なやり方で入力した。この二つの画像を Fig. 7 と Fig. 8 に示す。コンピュータは ECLIPUS-4000 を使用した。(4)式によって Fig. 7 より立体情報を取り出し、その上に Fig. 8 の画像をマッピングして立体モデルを作製した。これを用いて 60 枚の視方向の異なる画像を作製した。このときの条件は人物から 160 cm 離れたところか

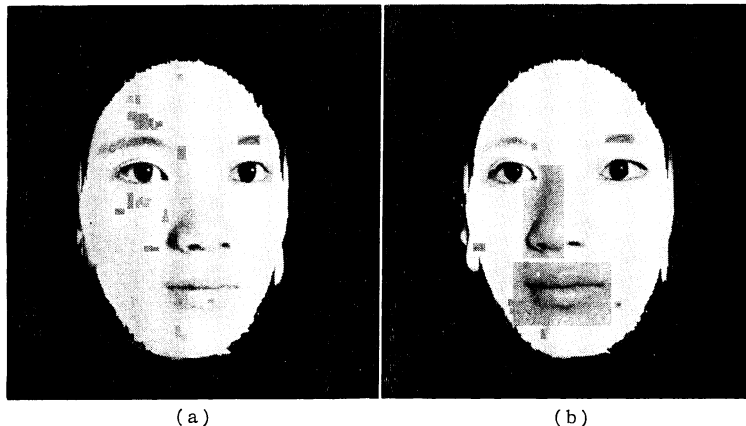


Fig. 9 Synthesized images by computer processing. (a) image looked from left side, (b) image looked from right side.

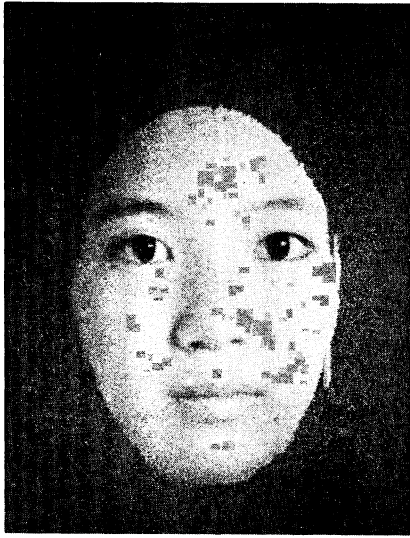


Fig. 10 Reconstructed image from rainbow hologram.

ら 12 mm ピッチで横に視点をずらしたものである。出力は阿部設計のホットプリンターで 200 μ m ピッチで行なった。Fig. 9 の(a)と(b)に中心より 40 cm 離れた左右の画像を示す。このように作製した画像を用いて平面型ホログラフィックステレオグラムを合成した。このときの条件は画像を作ったときの 1/4 の合成でスクリーンと物体までの距離は 40 cm ピッチ、およびスリット幅は 3 mm である。また、このとき使用したレーザーはアルゴンレーザーで波長は 488 nm であり、感光材料はアグファゲバルト社の 8 E 56 HD を用いた。最終的にはこのホログラムからの再生像を用いてフォトレジストにレインボウホログラムを作製した。その結果を Fig. 10 に示す。Fig. 9, 10 より十分にホログラムのイメージとして使用できることがわかった。

5. 考 察

今回は、立体ポートレイトを作る目的で人物の立体計測にラスターステレオグラフィーを用い、コンピューターグラフィックの手法によりホログラム用の画像作製を行ない、実際にホログラムを合成して、この一連の方法の有効性を確かめた。

問題点として、目の部分に不自然さが見られるが、これはこの部分のスリット像の検出がうまくできなかったことと、補間が 1 方向のみで行なったことによるものと思われる。

また、髪や耳については今回はうまくいかなかったが、一時的に染めるやり方や、2 方向からスリット像を撮影するなどの方法で解決されるものと思われる。

文 献

- 1) J.D. Redman: "The three dimensional reconstruction of people and outdoor scenes using holographic multiplexing," *Proceeding of the SPIE Seminar-In-Depth Holography* (1968) pp. 117-122.
- 2) 矢野明雄: "ホログラフィーによる立体像の合成", 光学ニュース, No. 112 (1970) 3-8.
- 3) S.A. Benton: "Achromatic holographic stereograms," *J. Opt. Soc. Am.*, **71** (1981) 1568 A.
- 4) 国生幸子, 本田捷夫, 辻内順平: "白色光再生平面型 Holographic Stereogram の作成と再生画像の評価", *Hodic Circular*, No. 4 (1983) 9-16.
- 5) W. Frobin and E. Hierholzer: "Automatic measurement of body surfaces using rasterstereography," *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, **49** (1983) 378-384.
- 6) W. Frobin and E. Hierholzer: "A photogrammetric method for measurement of body surface," *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, **47** (1981) 1717-1724.