



ホログラムの複製技術

岩田 藤郎

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

(1988年3月8日受理)

Replication of Hologram

Fujio IWATA

Fundamental Research Center, Technical Research Institute, Toppan Printing Co., Ltd.,
4-2-3, Takanodai-minami, Sugito-machi, Kitakatsushika-gun, Saitama 345

1. ま え が き

ホログラムはディスプレイとして最近急速に注目を集めてきているが、ここではこの複製技術について解説する。

ホログラムの複製には過去いろいろの方法が考案されてきているが、ここではまずこれらの方法について考察し、次に現在大量複製の本命として用いられているエンボスホログラムについて解説する。

2. ホログラムの複製技術について

ホログラムの複製についてはいくつかの方法があるが、大別すると感光材料を用いる方法と用いない方法に分類することができる。ここでは、このそれぞれの方法について解説する。

2.1 感光材料を用いる方法

オリジナルのホログラムはまずほとんどが高解像力の感光材料上に作られるが、これはその複製も感光材料に作る方法であり、概略二つの方法がある。通常これらはそれぞれ撮影法および密着法と呼ばれている。

2.1.1 撮影法

これは複製というよりはホログラムを一枚一枚撮影していく方法である。またこのなかでも実際に物体を次々に直接撮影していく方法と、図1のように一度作成したホログラムの実像を再生し、この再生波面に新しい参照光を入れてさらにホログラムを作る方法がある¹⁾。(レインボウホログラムの作成過程でマスターホログラムからレインボウタイプにする場合はこれにあたる。)

さらに図1のような独立の参照光を用いず、オリジナルのホログラムを回折せずに透過した光を参照光として用いる方法もある。この方法によるホログラムは複製ホログラム作成時に信号光と参照光の強度比の調整ができず、また共役な波面によるゴースト像が出やすいが、干渉フィルターを用いてこれを改善する方法も報告されている²⁾。この撮影法はホログラムの方式としてはあらゆる方式に適用される。すなわち、レーザー再生ホログラム、レインボウホログラム、白色光再生ホログラフィックステレオグラム、リップマンホログラムなど、主要なディスプレイ用のホログラムに用いることができる。

複製材料としては感光材料が用いられるので、コストは安価ではなく、また生産性もそれほど上がらない方法である。

2.1.2 密着法

この方法は通常の写真の密着法と同様な方法で、文字どおり図2のようにオリジナルのホログラムと感光材料を密着して焼き付ける方法である^{3,4)}。この方法は前記の撮影法においてオリジナルのホログラムと複製用の感光材料が密着しているものとも考えられるが複製光学系が簡単であるために撮影法よりは能率がよく安定性も高い。しかし、やはり複製材料としては感光材料を用いるので、コストは安価ではない。

この方法では高い空間周波数で良好な複製を得るためには一般に光源としてレーザー光を使用することが必要であるが、密着をよくするために特別な工夫をすれば超高圧水銀灯程度でもかなり良い複製が可能との報告もある⁵⁾。

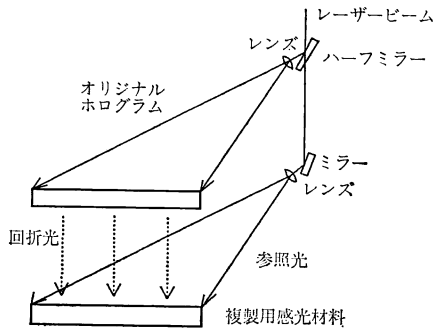


図1 撮影法による複製

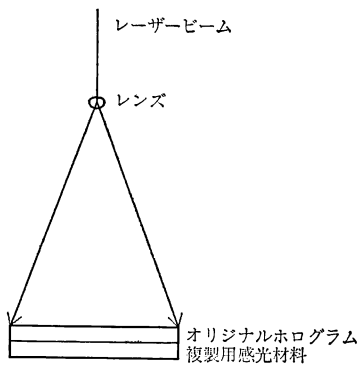


図2 密着法による複製

この方法もまたレーザー再生ホログラム、レインボウホログラム、白色光再生ホログラフィックステレオグラム、リップマンホログラムなど、主要なディスプレイ用のホログラムに用いることができる。

なお、リップマンホログラムの複製には、前記の撮影法およびこの密着法など感光材料を用いる方法しか使用できない。

2.2 感光材料を用いない方法

この方法は比較的高価な感光材料を用いず、ホログラムの安価な大量生産を目指して開発された方法であり、通常エンボスホログラムと呼ばれるものである。この方法は現在のところホログラムの大量複製において最も適切な方法と考えられる。ホログラムは通常物体のもつ情報を干渉縞の形で記録するわけであるが、干渉縞が感光材料に位相の変化の状態に記録される位相ホログラムにおいて、位相の変化が内部の位相変化で与えられ感光材料自身の厚みは一定の場合と、感光材料の厚み変化のみで与えられる場合がある。ここで、この後者の形態で記録されたホログラムを表面レリーフ型ホログラム^{6,7)} というが、エンボスホログラムはこのタイプのホログラム

の特性を複製に巧みに利用したものである。なお、この方法は前記のように表面のレリーフを利用したもので、原理上、レインボウホログラム、マルチプレックスホログラムなどの透過型ホログラムに用いることが可能である

3. エンボスホログラムの詳細

エンボスホログラムの作成について、図3に各工程ごとに説明する

① フォトレジストへのホログラム撮影

まずフォトレジスト上にオリジナルのホログラムを作成する。ここでは表面の凹凸の形で干渉縞が記録される。フォトレジストは一般に光が当たったところが現像により溶解する高解像力のポジタイプが用いられるが、このなかで代表的なものとしてはシュップレイ社のマイクロポジットがある。このフォトレジストは本来ホログラフィー用に作られた物ではなく、半導体用であるため、これをホログラムの記録に用いると干渉縞の記録過程において非線形性が非常に強く、通常のプロセスではノイズが大きく回折効率も上がらないので、その露光および現像方法には多くの工夫が必要である^{7,8)}。

露光後現像して得られたフォトレジストホログラムは先に述べたように表面の凹凸の形で干渉縞が記録されているが、通常このタイプのホログラムは表面の反射率を

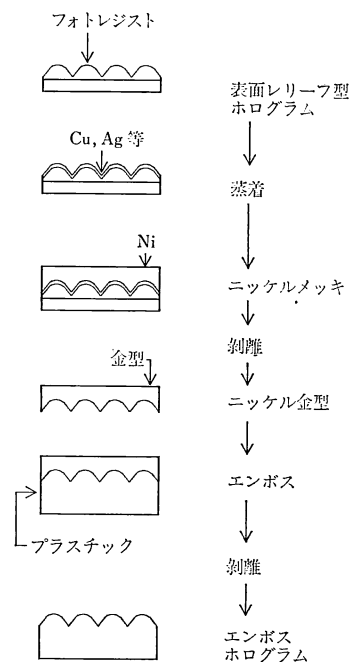


図3 エンボスホログラムの作成

あげ、回折効率を高くするためにアルミ等の薄膜を蒸着して反射の形態で用いられる。このために、必要な溝の深さは $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 程度である。

② フォトレジスト表面への導電性付加

次に次工程のメッキのためにこの表面に導電性を付加する。これには銀鏡反応による方法と蒸着（金あるいは銀、銅など）による方法があるが、一般には導電層の厚みは $0.05 \mu\text{m}$ 程度が必要である。

③ メッキ

表面に導電性を与えられたフォトレジストホログラムをニッケルメッキ浴に入れ、ニッケルメッキを行なう。一般的にはスルファミン酸浴が用いられる。100~200 μm ほどの厚みにメッキの後フォトレジストホログラムを剝離すると、得られたニッケル盤にはフォトレジストホログラムの表面の凹凸が正確に写し取られている。

一般にこのようにして得られたニッケル盤を金型というが、これをオリジナルマスターという。さらにこの金型の表面に剝離処理をし、ニッケルメッキを再度行なうことによりこれを複版することができる。複版された金型からメッキを何回か繰り返すことにより、オリジナルマスターを保存しつつ実際のプレスに使用するスタンパーを大量に作成することができる。

④ 熱プレス（エンボス）

次にこの複版されたスタンパーを熱可塑性のプラスチックフィルム（板）に熱プレス（これをエンボスという）すると、このプラスチック上に最初のフォトレジストホログラム上の凹凸を再現することができる。凹凸で表現されている干涉縞が忠実に再現できれば、オリジナルのフォトレジストホログラムとほとんど同等のものを作成できる⁷⁾。

このようにして複製されたホログラムをエンボスホログラムというが、前記の方法が高価な感光材料を使用するのに対し、この方法は非常に安価なプラスチックを材料として使用するので安価なホログラムを作ることができる。ただし、工程が複雑で金型を作るための費用がかさむので、一般にはある程度の数量がまとまらないと前記の方法より安くはなく、生産のための時間もかかる欠点がある。なお、当初このエンボスは間欠送りの装置が使用されていたが、近年は図4のようにロールで連続的に行なえるようになったために大量生産に適している。

なお、ここに述べたように熱プレスは一般に用いられている方法であるが、その他化学的な処理により、材料の表面を溶解しつつ金型にエンボスをする方法なども考えられているといわれる。

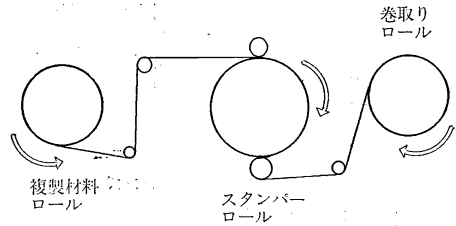


図4 ロールエンボス方式

⑤ 蒸着

エンボスして得られた複製ホログラムは反射で用いられる場合が多いので、表面の反射率を上げて回折効率のよいホログラムを得るために、先に述べたように一般にアルミなどの高反射率の金属膜を薄く蒸着する。これにより蒸着しない場合の約20倍の回折効率を得られる。

なお、この過程でアルミのような反射率が100%に近いものでなく、特殊な効果を狙ってある種の金属酸化物のように屈折率の高い透明な材料を蒸着すると、向こうがある程度透けて見えてしかもホログラムの再生像も観察できるものも作ることができる⁹⁾。

⑥ 後加工

エンボスホログラムには大別するとステッカータイプと転写箔タイプがあるが、これから後の工程はこの二つのタイプでは異なっている。

ステッカータイプはエンボス、蒸着後構成上必要ならば表面保護を行ない、裏に糊を塗布してから離型紙を貼った後、打抜きをしてタックシールの形にして完成する。現在おまけなどに用いられているのはほとんどがこの方式である。転写箔タイプは剝離層を有する箔用の材料を使用し、エンボスおよび蒸着の後、蒸着面にホットスタンプ用として熱で熔融接着する糊を塗布し、図5のようなホログラム転写箔として完成する。

これを実際に使用する場合は図6のようにホットスタンプ装置を用いいろいろな材料に転写して使用する。（巻頭口絵ページ参照）

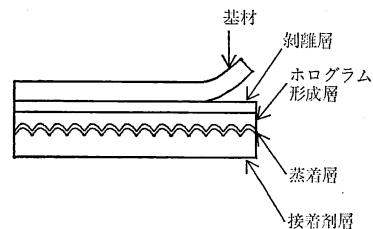


図5 ホログラム転写箔

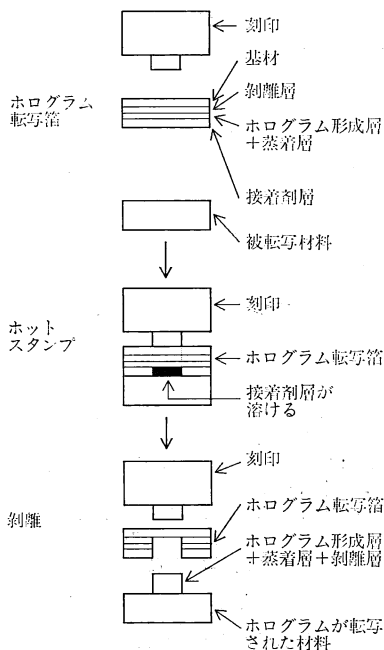


図 6 ホログラムのホットスタンプ

転写箔タイプはステッカータイプが 50~200 μm の厚みがあるのに対し、厚みが数 μm 以下であるため、書籍とくに本の表紙、パッケージ、カード等に使用する場合にたいへん有利である。

なお、転写のできる材料にはいろいろあり、一般に紙、プラスチックなどが使用されるが、現在のところあらゆる材料に対して問題なく使用できるほどではなく、今後の開発を待つことも多い。

以上がエンボスホログラムの詳細であるが、この方法は前記の撮影法、密着法のように露光、現像などのプロセスをもついわば写真的な方法と比較すると、メッキ、熱プレスなど、その製作過程に印刷に関連した技術が用いられるので、どちらかというとい印刷的なイメージがあり、ホログラムの印刷といわれることもある。

4. ホログラム複製の実用化

ここではホログラム複製の実用化について解説する。

ホログラムの複製が実際に用いられるようになってきた経過は明らかではないが、まず最初は感光材料を用いる方法が使用された。ここで複製する枚数が少ないものは先に触れた撮影法が用いられたが、これはごく少量のものには適用できたが、少なくとも数千部以上用いられるものは撮影法では時間がかかり、収率も悪いので密着法が用いられることが多かった。

わが国ではこれらの例としては書籍に挿入されたサンプルおよびカレンダーに入れられた物などがあったが、さらにこの方式は先に述べたようにいろいろの方式に適用できるのでレインボウホログラムだけではなく、レーザー再生ホログラム、リップマンホログラムなどにも応用された。しかし感光材料を使用するためにどうしても高価になり、生産性も低いので普及の範囲はあまり広がらなかった。

このためホログラムの本格的な複製はエンボスホログラムの登場を待つこととなる。エンボスホログラムについては前に述べたとおりであるが、ここではエンボスホログラムが実用化されてきた過程について詳しく述べる。

この方法はバルドリーニによって 1970 年に発表されたのが最初であると思われるが⁹⁾、これは当時のぎをけずったテレビ画像情報の記録方法の一つとして考えられたセレクトビジョンへの応用であった。またこのような表面の凹凸で位相情報を記録し、表面レリーフホログラムを作ることのできる感光材料はフォトレジストが代表的であるが、この感光材料を用いたホログラムを最初に報告したのはシェリドンと思われる¹⁰⁾。

なおフォトレジストを用いたホログラムおよびこれから作成したレプリカ (複製ホログラム) の特性を詳細に報告したものには筆者らの報告^{7,8)}がある。

前記のセレクトビジョンは結局他の方式に敗れ実用化されることはなかったが、この後、おそらく 1974 年ごろ米国のマイク・フォスターがいくつかのエンボスホログラムを作成しているが明確な記録がない。また凸版印刷(株)が、英国で発行された 1975 年版のペンローズ年鑑にホログラフィックグレーティングを用いたパターンを挿入している¹¹⁾。これは数千部発行され、画像がグレーティングのパターンで立体でないのでめだたなかったが、ホログラフィックな方法で作製され、その後の生産工程もエンボスホログラムそのものであり、日本においては明確にエンボスホログラムによる最初の大量生産と言えらる。

その後本に挿入された例はいくつかあるが^{12,13)}、いずれもタイプはステッカータイプあるいはそれに類したものであり、厚みがある程度あるので、本として全体にかなりの違和感があるのは避けられなかった。しかしながら、この後のホログラム転写箔の実用化によりこれがほとんど違和感なく使用できるようになってきた。

そのなかで最もエポックメイキングなものは、1984 年に米国のナショナルジオグラフィックの表紙に用いられ

たものであろう¹⁴⁾。これはアメリカン・バンクノートが生産したものであるが、発行部数公称 1000 万部と言われ、非常に注目を集め、その後のホログラムのディスプレイ分野への応用に大きな影響を与えた。またアメリカン・バンクノートは、1983年にはまずマスターカード用のクレジットカードのセキュリティ用ホログラムも開発し、ホログラムの実用化に大きな道を開いた。

また米国のベンチャービジネスであるライトインプレッションは、疑似多色システムである 2D-3D プロセス(平面多層多色の撮影技術)を用いて、ハーシーフーズ用の ET のステッカー(1982年、350万部と言われる)を初めとして、ステッカー用のホログラムの本格的な実用化を行なった。この 2D-3D システムは比較的悪い光源でも像のぼけが少なく、またはなやかな色を出すことが可能である。

5. ホログラムの複製の将来

エンボスホログラムとしてホログラムが多量に市場に供給されるようになってきたが、こうなると今後はより高度な品質が要求されてくる。

このために前記のように表面レリーフ型ゆえにエンボスホログラムとしての複製が可能な現在のレインボウホログラムおよびマルチプレックスホログラムだけでなく、基本的により高い品質をもつリップマンホログラム

の量産が要求される。リップマンホログラムは通常干渉縞の間隔が狭いために振動などの影響を受けやすく、一般に不安定になりやすいが、これを避けるために、最近性能向上が著しいパルスレーザーを用いる方式が台頭してきている。これは感光材料のコストが泣き所であるが、最近比較的安価で高性能の感光材料が登場したのと同時に、露光後のフィルムを自動的に現像処理する自動現像機との組合せにより、生産能力が向上したので実用的なレベルに達しつつあると思われる。

文 献

- 1) F. S. Harris, G. C. Sherman and B. H. Billings: *Appl. Opt.*, **5** (1965) 665.
- 2) 松本和也: 第20回応用物理学関係連合講演会(春季)講演予稿集, **1** (1973) 7.
- 3) D. B. Brum: *Appl. Opt.*, **5** (1966) 1946.
- 4) D. B. Brum: *Appl. Opt.*, **6** (1967) 588.
- 5) 西田信夫, 中野正和: *光学*, **8** (1979) 211.
- 6) R. A. Bartolini, W. Hannan, D. Karlsons and M. Lurie: *Appl. Opt.*, **9** (1970) 2283.
- 7) F. Iwata and J. Tsujiuchi: *Appl. Opt.*, **13** (1974) 1327.
- 8) 岩田藤郎, 辻内順平: *日本写真学会誌*, **37** (1974) 320.
- 9) 壇上耕太郎, 武内 敏: *日本印刷学会誌*, **25** (1988) 75.
- 10) N. K. Sheridan: *Appl. Phys. Lett.*, **12** (1968) 316.
- 11) S. Imoto: *Penrose Annu.*, **68** (1975) 221.
- 12) 計測と制御, **20** (1981).
- 13) ホログラフィック・ディスプレイのいろいろ (1982) p. 19.
- 14) *Natl. Geogr.*, **165**, No. 3 (1984).