レーザ解説

大量複製ホログラムの開発

小寺時男*・和田 隆*

(1987年2月24日 受理)

Development of Mass-productive Embossed Hologram

Tokio KODERA* and Takashi WADA*

(Received February 24, 1987)

The mass-productive duplication technology for holographic grating using the embossing method was developed. The rainbow hologram duplication technology using this embossing method was established. And the hologram transfer foil was developed in response to demands for making holograms to printed matters. These holograms are used for various printing products and premium products as well as for security purpose. In this paper, these technology are explained. Furthermore, the applications and the future trend are discussed.

1. はじめに

1948年にD. ガボール(英)によって発明されたホログラフィは、1960年代に入りレーザー光の出現により新しい光学技術として注目されるようになった。特にホログラフィで得られる3次元像を、ディスプレイに応用しようとの検討がなされていたが、撮影と像再生の両方にレーザー光を用いなければならず、実用上の不便さがあった。近年になって、撮影にはレーザーを用いるが、像再生は自然光でもよいホログラム(白色光再生ホログラム)が開発され、立体像ディスプレイとしての実用性が生まれた。

商用化のきっかけは、ホログラフィによって記録材料面にレリーフ状に記録する技術が確立された事と、このレリーフ像をプレス複製する技術が確立された事である。これにより、ホロ

グラム的大量複製と商用化が実現されたのである。

著者等は、白色光再生のレインボーホログラム大量複製技術を確立し、印刷分野の各種製品に利用している。(Fig. 1)

Fig.1 Photograph of hologram goods.

*大日本印刷株式会社中央研究所 (〒162 東京都新宿区市ヶ谷加賀町1-1-1)

* Central Research Institute, Dainippon Printing, Co., Ltd. (1-1-1, Ichigaya-kagacho, Shinjuku-ku, Tokyo 162)

本稿では、ホログラムの複製技術を中心に、印刷分野での今後予想される課題について概説する。

2. ホログラムの分類

ホログラムは物体光と呼ばれる被写体からの光波と、参照光と呼ばれる別方向からくる光波を干渉させ、この干渉縞を記録することにより作られる。したがって干渉縞の記録方式及び、干渉縞の次元によりいくつかの種類に分けることができる¹⁾。

2.1 干渉縞の記録方式による分類

2.1.1 振幅ホログラム

振幅ホログラムは、感光材料の振幅透過率あるいは振幅反射率の分布により、干渉縞を記録したものである。ハロゲン化銀の一般的な現象

法を用いた記録は、振幅ホログラムとなる。

2.1.2 位相ホログラム

位相ホログラムは、感光材料を透過する、もしくは感光材料から反射する光に対する位相の分布により、干渉縞を記録したものである。位相の分布は、屈折率、あるいは凹凸形状により生成できる。例えば、ハロゲン化銀で得られた干渉縞の振幅分布は、銀を漂白することにより屈折率分布に変えることができる。また重クロム酸ゼラチンのホログラムの主要な効果は、屈折率の分布による。凹凸形状は、フォトレジストまたはサーモプラスチック等の感光材料を用いることにより形成される。また変調度は少ないが、ハロゲン化銀や重クロム酸ゼラチンにおいても凹凸形状は作られている。

2.2 干渉縞の次元による分類

Table I Types of hologram and the recording materials.

Types of dimension \ Types of recording	Absorption hologram	Phase hologram	
		Refractive index type	Emboss type
2-dimension	* Silver halide	* Silver halide (bleach) * Dichromated gelatin	* Photoresist * Thermo-plastics
3-dimension	* Silver halide	* Silver halide (bleach) * Dichromated gelatin	

Table II Types of holographic display and the characteristics.

Characteristics \ Types	Recording method	Reconstructed image	Duplication by embossing method
Lippman hologram	* Exposing on the both side of recording material and interfering.	* Reflective hologram * Wide viewing angle in Denisyuk method.	* Impossible
Rainbow hologram	* Setting the slit in object light.	* Rainbow color. * No parallax in vertical direction.	* Possible
Holographic stereogram	* Made by synthesis from the ordinary photographs taken by the ordinary light.	* No restriction for object.	* Possible

2.2.1 2次元ホログラム

2次元ホログラムは、感光材料が厚みを持たないと見なせるホログラムである。感光材料の厚みが波長に比べ薄い場合、あるいは干渉縞が感光材料膜面に対してほぼ垂直方向に形成される場合は2次元ホログラムといえる。

2.2.2 3次元ホログラム (体積ホログラム)

3次元ホログラムは、感光材料中に干渉縞が立体的に記録されたホログラムである。干渉縞が記録面にほぼ平行に数層以上形成される場合3次元ホログラムと見なせる。

Table Iは、記録方式、次元による分類を基に、ホログラムの種類とそれを形成できる代表的な記録材料をまとめたものである。3章で述べる熱プレス法で複製できるのは、凹凸形状のホログラムだけである。凹凸形状のホログラムは、必然的に2次元ホログラムであるので、3次元ホログラムは熱プレス法では複製できない。

2.3 ディスプレイ用ホログラムの種類

ディスプレイ用ホログラムとして、現在、いくつかの種類の白色光再生ホログラムが開発されている。その代表的なものとしては、

- (1) リップマンホログラム
 - (2) レインボーホログラム
 - (3) ホログラフィックステレオグラム
- があげられる。

Table II²⁾は、各ホログラムの特徴を複製という観点も含めまとめたものである。

リップマンホログラムは、体積ホログラムであり、記録される干渉縞が感光材料の内部に層状に形成されることを特徴としている。したがって本稿で述べる熱プレスによる複製はできない。

これに対し、レインボーホログラム及びホログラフィックステレオグラムは、2次元的な干渉縞の記録であり、干渉縞の濃淡を表面の凹凸に置き換えた表面レリーフ型ホログラムとして記録することができる。したがって、熱プレスによる複製(エンボス複製)が可能である。

特にレインボーホログラムは、撮影が比較的

容易なため、短納期である印刷分野で利用するホログラムとして適しており、雑誌の表紙、パッケージ、クレジットカード等に利用されている。

3. ホログラムの大量複製

3.1 ホログラムの複製方法

ホログラムを大量生産する場合、同一撮影に必要な枚数だけ繰り返す方法がまず考えられる。しかしこの方法は、次の欠点により最適な方法とは言えない。

- (i) 光学系の振動、時間的なズレにより均一品質を維持するのは困難である。
- (ii) 感光材料の現像処理を必要とする。
- (iii) 高価な感光材料を使う必要がある。

この為、ホログラムの大量生産は、まず一枚のホログラムを作製した後、これを原版とし同一のホログラムを複製する方法が用いられる。

ホログラムの複製方法には主として次の3種類の方法がある³⁾。

- (1) ホログラム再生像の再撮影方法
- (2) 密着焼付方法
- (3) エンボス複製方法(熱プレス法)

(1), (2)は複製材料として感光材料を用いる。一般的には、ハロゲン化銀のフィルムが用いられるが、それには現像などの処理を必要とし、あまり量産に向いているとは言えない。また複製材料自体も高価なものであるため、複製品も高価格なものとなる問題もある。

(3)は表面レリーフ(凹凸)形状で記録されたホログラムの複製方法で、この方法は米国R・C・A社のホログラフィックビデオテープ(ホロテープ)の複製方法として用いられたのが、最初である⁴⁾。レコード盤の複製と同じように、金属原盤をプラスチック材料に熱プレス成型し、ホログラムの大量複製を行う方法である。

加熱加圧によって金属原盤の凹凸形状を樹脂シート面上に複製する方法は、プラスチック加工の代表的技術で、各分野で利用されている。

基本的工程の1サイクルは、樹脂シートの加

熱、加圧、冷却、剝離からなる。プレス方式は、平圧プレス法とロール圧プレス法に大別される。前者は全面を一度にプレスする方法であるが、面積が大きいとプレス圧力が非常に高くなり、全面積に均一な圧力をかけることがたいへん難しくなるので、気泡が入る場合が多い。一方、ロール圧法は、線圧でプレスするため、比較的小さな圧力で大きな単位面積当りの圧力を得ることができる。しかしロールがプレス後直ちに樹脂シートから離れるため、凹凸形状が崩れやすく、 μm オーダーの浅い凹凸の転写が必要なホログラムの複製方法としては、たいへん高度な技術が必要である。原盤は高価であるが、同一のホログラムを大量に生産する場合には、最終製品1枚当りのコストも下がるので、最適な複製方法と言える。次に複製工程の実際について述べる。

3.2 複製工程の実際

現在、複製ホログラムの主流は前述のような理由から熱プレス法によるものである。著者等も本方式で大量複製ホログラムを製造している。熱プレス法の工程は、ホログラム撮影（レジストマスターの作製）、スタンパーの作製、熱プレス、後加工（反射層形成など）から成る。

各工程について著者等の事例を基に説明する。Fig.2は、工程全体を示したものである。

3.2.1 ホログラムの撮影

Fig.2 Summary of production process.

オリジナルホログラムは、干渉縞が凹凸形状に記録されていることが必要である。このようなエンボスホログラム用記録材料については、現状、充分満足のできる材料は得られていないが、著者等はフォトレジストを塗布した乾板を用いている。これにレインボーホログラムを直接露光し原盤を得ており、撮影には、 Ar^+ レーザー（488 nm）を使用している。フォトレジストは、一般にこの波長に対する分光感度が低いので極めて長時間の露光を要する。このため撮影時の振動及び空気の流れ等の影響で、撮影歩留が低下することも有り注意を要する。また、エンボスホログラムを忠実に記録するという点からも、線形性、ダイナミックレンジが充分でなく、フォトレジスト以外の新しいエンボスホログラム用記録材料の開発が望まれる。Fig.3はフォトレジストに記録された干渉縞の凹凸形状の電子顕微鏡写真である。

3.2.2 スタンパーの作製

フォトレジスト原盤は、強度が無いため、これから大量に複製を取ることはできない。そのために金属性スタンパーを作製する。まずフォトレジスト原盤の表面に蒸着法により金薄膜を

Fig.3 Photograph of relief on photoresist.

形成して導電性を与え、つぎにこの金薄膜を電極として通常の電気ニッケルメッキにより、フォトレジスト原盤の凹凸面に充分厚くニッケルメッキ層を形成する。スタンパーは、これを剥して得られる。フォトレジスト原盤は、この時破壊されてしまうが、さらにこのスタンパーを基に同様のメッキを繰り返し行い、複数枚のスタンパーを得ることができる。

3.2.3 熱プレス (エンボス複製)

ホログラムの熱プレス (エンボス複製) 工程は、加熱プレス→冷却→剥離を1サイクルとする。被プレス材料としては、塩化ビニル、ポリスチレン、ポリプロピレンなどの熱可塑性樹脂が用いられる。これらのホログラム形成層は、加熱プレス工程でガラス転移点以上に昇温され軟化し、スタンパーに押しつけられる。冷却工程で樹脂は固化し、ホログラムの凹凸形状が付型され、剥離された後もこの形状を保ちホログラムが複製される。熱プレス方式は、前に述べたように平圧プレス方式とロール圧プレス方式に大別され、概略、Fig. 4, Fig. 5のような装置で行うことができる⁵⁾。ロール圧プレス方式は、極めて短時間のうちに1サイクルが行われ、生

Fig. 4 Duplication equipment by flat press method.

Fig. 5 Duplication equipment by roll press method.

産性に優れた方式である。スタンパーに形成された凹凸が忠実に複製されない場合は、複製されたホログラムの回折効率が低下し、暗いホログラムとなり見づらくなってしまふ。故に、忠実に複製するため、ホログラム層を形成する樹脂の選択、及び熱プレス条件を厳密に決定することが重要である。

3.2.4 後加工

エンボス複製された基材は、反射層が形成され、さらに接着層等が設けられる。反射層は、通常アルミニウムを数 100 Å の厚みに真空蒸着することで形成されている。このような場合は反射型ホログラムとなる。反射型ホログラムが雑誌の表紙、クレジットカード、パッケージ等に使用されるに従い、全反射であるが故にホログラムが形成されている部分が下地を隠蔽し、用途に制限が生じている。このため用途拡大を目的として、ホログラム像が観察されない視点からは下地 (印刷物、物体等) が透視できるようにした透明型ホログラムが開発された⁶⁾。

この透明型ホログラムでは、反射層として無機化合物 (酸化物や硫化物) が真空蒸着される。接着層は、感熱接着剤 (ホットメルト接着剤)、またはヒートシール剤と呼ばれる材料があり、

Fig. 6 Label type.

Fig. 7 Heat transfer type.

被接着物材料との接着性を考え、適したものが選ばれる。

複製ホログラムの製品としては、現在大きく分けて、Fig. 6 に示す貼合型（ラベルタイプ）と Fig. 7 に示す転写型の 2 種類がある。特に転写型のホログラムにおいては、ホログラム形成層に対し、複製時には成型性、転写時には耐熱性が要求され、特殊な樹脂が用いられる。また離型層は、転写後にベースフィルムとの接着力の弱い樹脂が使用される。さらにこの層は、転写後には一番表面層となるため、耐摩性や、その上に印刷することも考え印刷適性まで考慮されることがある。

次に複製ホログラムの転写技術について説明する。

4. ホログラムの転写技術

4.1 一般転写箔との比較

現在、大量複製されているホログラムの主流は、前述の Fig. 7 に示した転写型のホログラムである。一般に転写とは物体に間接的な手法、すなわち転写箔というものの助けを借りて転写箔に印刷された文字、図柄を被転写物の表面に絵付する方法である。転写された絵柄は、非常に薄く、普通の印刷同様に材料表面を加工した形になる。転写の方式は、大きく感圧式、湿式、感熱式の 3 方式に分けられる⁷⁾。ホログラムの転写に用いられてる方式は、感熱式であり、ホットスタンピングとも言われる。Fig. 8 は、一般の転写箔⁸⁾で、Fig. 7 に示したホログラム転写箔の構成と比較すると、ホログラム転写箔は、一般転写箔のメタリックホイルと非常によく似ており、メタリックホイルの保護層にホログラム

のエンボス加工を行ったものと考えることができる。ホログラム層の厚みは $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 程度であるが、エンボスホログラムの干渉縞の深さは通常それより 1 桁以上小さい値であるから、このような薄い層にも充分ホログラムが記録できる。

4.2 ホログラムの転写工程

転写は、Fig. 9 に示す工程で行われる。転写箔と被転写物とを重ね、上下より熱圧をかけると転写箔の最下層である接着層が溶け、被転写物に接着する。その後、転写箔を持ち上げるとベースフィルムと離型層との界面で剥離が起こ

Fig. 9 Heat transfer process.

Fig. 8 Ordinary transfer foil.

Fig. 10 Transfer methods

Fig. 11 Detecting process for the position of transfer foil.

り、ベースフィルム上に設けられた各層は、被転写物側に残り絵付される。このようにホログラム転写箔の転写は、基本的には一般の転写箔と同様であり、従来の転写機を用いて転写可能である。転写機の種類としてFig. 10に示す3方式があり⁸⁾、目的に応じて使い分ける。転写の条件は、アップダウン式の場合、通常100～200℃、1秒程度で行われている。ただしホログラムの転写が一般の転写と異なる点に、転写箔上に配列しているホログラムの位置を考慮した転写が必要になることがある。この方法としてFig. 11に示すような、配列したホログラムの横に位置検出用の回折マークを入れ、これを用いて位置出しを自動化した転写機も開発されている。この装置では、レーザー光が回折マークに当たると回折光がフォトディテクターに入り、ホログラムの位置を検出する。この信号で転写箔の移動量と、加熱金型の動作タイミングを制御する。このような装置は、同じものを大量に生産する場合、たとえばクレジットカードへのホログラ

ムの転写に用いられている。

ホログラム転写における今後の課題としてはまず第一に、ホログラム転写箔は一般の転写箔と比較し転写時の箔切れが重く、よりホログラム転写箔に適した構成材料の吟味が必要である。次の課題としては、被転写物の制限をできるだけなくすることである。現在の転写可能な被転写物は、比較的平たんな紙、プラスチック基材に限られており、被転写面に曲面を有するプラスチック成型品などへのホログラム絵付は、困難な状況にある。これは転写箔が平面状に作られているため、曲面へ転写すると仕上りの外観が悪く、また反射層の光沢がなくなり白化する問題もある。しかし曲面を想定した絵柄設計、反射層を中心とした転写箔の改良、曲面への転写を考慮した効率の良い転写機の開発等により実現可能と思われる。

5. 複製ホログラムの用途

5.1 実用化の歴史

この方式はRCAが1970年に、テレビ画像情報の記録方法の一つであるセレクトビジョンへ利用したのが最初である⁴⁾。しかし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。著者等は、1981年に日本で初めて学会誌「計測と制御」⁵⁾にホログラムを添付し、印刷分野への利用の道を開いた。3年後の1984年に、発行部数公称1000万部と言われる米国雑誌の「ナショナルジオグラフィック」の表紙に用いられ、実用化が本格的にスタートした。現在日本、米国及びヨーロッパで数社程度がこの分野に参入している。

5.2 出版分野

雑誌や書籍等の表紙に貼付けて利用されているのが主流である。特に科学雑誌や百科事典に多く用いられ出した。主な目的は、ホログラムの美しさによる装飾の効果である。しかし転写箔複製ホログラムが普及しはじめ、本文ページにホログラムを利用する事ができるようになった。これは、ホログラム層が数 μm 程度で印刷インキとそれ程厚みに差がなく、本文中にホログラムページが入っても本の厚みに問題が発生しない。昨年には、イギリスの絵本「Mirrorstone」が本文中にホログラムを採用し、話の内容表現として初めて利用された。今後は単に本のさし絵的な使い方ではなく、立体情報の記録・保存が必要な分野、例えば美術工芸、建築、医学、物理などにおける立体情報を表現する図や写真に大変有効な表現手段となるであろう。

5.3 カード類

最近、IDカードをはじめクレジットカードや銀行カードなどにも使われだしている。特にクレジットカードは、偽造防止効果を目的にしたもので、ホログラムの機能を利用した製品として大変注目される。又、ヨーロッパのテレフォンカードには、日本の磁気記録層のかわりにホログラム層（回折格子）が、カード内部に配置されている。これもホログラムの機能面を利用した例である。

5.4 ディスプレイ類

複製ホログラムは、他のホログラムに比べ、サイズの問題などから店頭広告用ディスプレイとして、使用された例が少ない。著者等は、ガラスメーカーと共同し、複製ホログラムを合せガラスの中に配置した「商品名・ホログラス」を開発し、大型ディスプレイとしての使用を可能にした。これは、30cm角単位の「ホログラス」をタイルのように組合せ大型化するものである。

5.5 透明型ホログラム

前述した透明型ホログラムは、その透明性や反射の機能により、他の画像などと複合的に利用しやすく、新しい応用分野が期待できる。特に立体像のすかし効果による偽造防止効果が大きく、証券、トラベラーチェック、ギフト券等の金券類に利用できる。又、包装材料の一部に用いれば、ホログラムの装飾効果と、内容物が直接見える新規なパッケージとして利用できる。

5.6 光学素子

ホログラムは、光学的特性としてレンズとプリズムの両機能があり、立体像再現以外にも光学素子としての利用がある。特にスーパーなど小売業の情報化に欠かせないPOS（販売時点情報管理）システムでもバーコード読み取り機への応用が進んでいる。これはホログラム（回折格子）をディスク状に配置し、レーザー光を入射させてレーザー光を振る働きに用いられ、従来の回転多面鏡方式に比べて周辺装置が安く済み、現在POS用読み取り機の半分以上を占めている。

6. 今後の動向

大量複製ホログラムは、現在一つの新しいメディアとして成功を収めつつあるように見える。しかし、これを更に確実なものにして行くにはホログラムの表現領域を拡大して行く事が重要である。更に用途を拡大するには、材料面の改良も極めて重要である。以下に、現在著者等が検討している項目について記す。

6.1 ホログラムの大型化

熱プレス複製法で大型ホログラムを作製するポイントは、レジストマスター、すなわちプレス原盤を作るためのレリーフ型ホログラムを作製する工程である。現状使用している感光材料は、ジアゾ系のフォトレジストであり、感光波長域が紫外線領域である。又使用レーザーはAr⁺レーザー(波長488 nm)を用いており、感光材料の感光波長とマッチングがとれず、大型のホログラムを記録するには、長時間の露光が必要で、おのずからホログラムの大きさに限界が生ずる。著者等は、40×50cm程度の複製ホログラムの作製に成功しているが、1時間以上の露光時間が必要で成功率が極めて低い。レーザー光源に適したフォトレジストの開発、又はホログラム用の紫外線レーザーの開発が望まれる。

6.2 ホログラムソフトの充実

普通の写真に比べて多くの特長を持っているホログラムも、被写体(ホログラム撮影可能な被写体)に関しては、制限が多くソフトウェアの点で展開がはかりにくかった。この問題を解決する一つの方法として、ホログラフィックステレオグラム技術⁶⁾を用いた、複製ホログラムの検討を進めている。このホログラムは、被写体を一旦映画と同じようにフィルムに撮影し、この一コマ一コマを合成して作るホログラムである。このため原理的には、映画フィルムとして撮影できる被写体であればホログラム化が可能であり、特にコンピュータで作成した立体画像をホログラム化する研究が盛んである。

6.3 カラーホログラム

立体映像のフルカラー化は、ホログラムについても大きな課題である。複製ホログラムのカラー化については、原理的には可能で、将来実用化の可能性もある。又、他のタイプのホログラムについては、実験室段階ではかなり良好なカラーホログラムが得られた報告がある¹⁰⁾。

7. おわりに

ホログラムの大量複製と商品化が実現できた背景には、レーザー技術、材料技術、樹脂加工技術等の一連の技術の複合化によるものである。今後も、ホログラム品質の向上には、これらの技術発展が必要である。又、ホログラムを真の立体表現のメディアとして定着させていくためには、ホログラムソフトの充実が重要な点である。今後共、より手軽にホログラムが利用できる様、複製技術の検討を進める所存である。

終りに、本拙文をまとめるにあたり、引用させていただいた著者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 大越：ホログラフィ(電子通信学会編, 1977)。
- 2) 小寺, 谷口：オプトロニクスNo.11 (1984) 72。
- 3) 西田, 中野：光学 8 (1979) 211。
- 4) R. Bartolini, W. Hannan, D. Karlsons and M. Lurie: Appl. Opt. 9 (1970) 2283。
- 5) 小寺：光学技術コンタクト 21 (1983) 21。
- 6) 武内：画像技術情報No.4 (1986) 62。
- 7) 印刷工学便覧(日本印刷学会, 1983) 740。
- 8) 足立：プラスチックエイジ 10 (1980) 64。
- 9) 石原, 小寺：計測と制御 20 (1981) 66。
- 10) T. Kubota: Appl. Opt. 25 (1986) 4141。