資 料

(色材, 64 [3] 172-177, 1991)

ホログラムの印刷

谷 口 幸 夫*

1. はじめに

3次元物体を印刷により表現する技術は古くから研究されており、青赤フィルターの眼鏡を用いるアナグリフや、レンチキュラーレンズを用いる方法が行われていた。これらは両眼視差のみを利用する方法であり不完全な立体視しか出来なかった。これに対し1980年代に登場したホログラムの印刷は、もとの波面を忠実に再生するためにより自然な立体視が可能であった。このため種々の印刷媒体に様々な用途でホログラムが用いられて来ている。

本稿ではホログラムの印刷を可能としたホログラム撮影技術、複製技術、転写箔技術について解説し、今後の展望について述べる。

2. 印刷可能なホログラム

2.1 ホログラムの種類

ホログラフィーは光波の振幅と位相の両方を同時に記録し再生する技術であり、記録されたものをホログラムと呼ぶ。通常の写真が光波の振幅しか記録しないのに対し、ホログラムでは干渉縞の形態で光の位相をも記録する。

ホログラムには様々な種類があるが、以下の利用分野に分類できる。

- ① 3次元ディスプレイ
- ② 工業計測
- ③ 光学素子(機能素子)
- ④ メモリ、情報処理

この中で「印刷」と呼べるまでに大量複製されているものは現在は④のみである。

印刷分野で用いるディスプレイ用ホログラムは白色光で再生できることが必要で、以下の種類のホログラムが

代表的である。

- ① レインボーホログラム
- ② マルチプレックスホログラム
- ③ リップマンホログラム

表-1にそれぞれのホログラムの特徴を示す¹⁾。

レインボーホログラムとマルチプレックスホログラムは干渉縞を感光材料の表面のレリーフの形態で記録できるため(レリーフホログラムと呼ばれる)、後に述べるエンボス複製等が可能である。特にレインボーホログラムは撮影が比較的容易であるため、短納期である印刷分野に適しており、現在ホログラム印刷の主流になっている。これに対し、リップマンホログラムは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するため、エンボス複製はできない。

2.2 ホログラムの大量生産

ホログラムの大量生産は、低コストで高速に同一品質のホログラムを作製することが要求される。ホログラムの大量生産には主に次の4つの方法が考えられる²⁾。

- ① 再撮影の繰り返し
- ② 密着焼付け法
- ③ エンボス複製法(熱プレス法)
- ④ 2P法

①は通常のホログラムの撮影を繰り返す方法であり、②は1枚のホログラム原版を作り、この原版と感光材料を密着させた状態で光を照射して光学的にコピーする方法である。①、②とも銀塩乳剤やフォトポリマー等の感光材料に記録し現像する方法であり、現像処理を必要とし、一般に高価な感光材料を要する等の問題がある。

【氏名】 たにぐち ゆきお
 【現職】 大日本印刷(株)中央研究所
 【趣味】 旅行
 【経歴】 昭和56年東北大学理学部物理学科卒業、同年大日本印刷(株)入社ホログラムの開発に従事、現在に至る。

平成 2.1.12 受理
 Printing of Hologram
 Yukio TANIGUCHI

* 大日本印刷(株) 中央研究所

表-1 ディスプレイ用ホログラムの種類と特徴¹⁾

	記録法の特徴	再生像の特徴	記録の難易度	エンボス法による複製の可/不可
リップマン ホログラム	・感光材料の両側から入射させて干渉させる	・反射で観察する ・デニシュークタイプは広い視域を持つ	中	不可
レインボー ホログラム	・物体光中にスリットを設ける	・虹色に見える ・縦方向の視差を持たない	中	可
マルチプレックス ホログラム	・通常のカメラで視点を変えながら被写体を駒撮りし、その後ホログラムを合成する	・被写体に制限がない ・動きを入れられる	難	可

図-1 一般転写箔⁴⁾

リップマンホログラムでは③以下の方法が原理的に不可能であるため、①または②の方法に限定される。②の方法は①と比較し光学系や撮影環境の振動・変位等の影響による歩留まりの低下を減少できるが、①の方法においてもパルスレーザを用いて瞬間的に記録することにより品質を安定化することが可能である。

③④はレリーフホログラムのみ可能な複製法で、表面のレリーフ形状を忠実に複製する方法である。原版の作製は高価であるが、複製の高速化が可能で材料費も安価であり、特に複製枚数が多い場合には最終製品1枚当たりのコストが下がるのでホログラムの印刷に最適である。また複製後レリーフ面に金属の真空蒸着などで反射層を設けると、本来透過光で観察する種類のホログラムが通常の印刷同様反射光で見られるという利点もある。

③はレコード盤の複製と同様に、金属原版を熱可塑性樹脂に繰返し熱プレス成型する方法で、米国 RCA 社のホログラフィックビデオテープの複製に用いられたのが最初である。

④は UV 硬化樹脂等のフォトリソグラフィを原版に密着した状態で硬化させる方法で、光ディスクの複製に用いられている。

本稿ではホログラムの印刷で一般的に行われている③のエンボス複製法について説明する。

2.3 ホログラムの転写箔

上記エンボス複製において被エンボス材料は塩化ビニル等のシート形状で十分であるが、ホログラムを印刷物として紙などの表面に形成する場合、その厚みが外観、重量、取扱容易性を損ねる。このため、ホログラムの印刷ではエンボス複製に加え、従来の印刷技術の一つである転写箔技術を取り入れている。

転写とは、インキの代わりに箔を材料表面上に転写させることにより絵付けする方法である。箔の厚さは数 μm 程度と非常に薄く、普通の印刷同様紙の表面平滑性を損なわない。

転写の方式は大きく感圧式、湿式、感熱式の3方式に分けられるが⁵⁾、ホログラムには感熱式が用いられホットスタンピングともいわれる。

図-2 ホログラム転写箔

図-3 転写原理

図-1 に一般の転写箔の⁴⁾、図-2 にホログラム転写箔の構成を示す。ホログラム転写箔は一般転写箔の一種であるメタリックホイルと非常に似ており、メタリックホイルの着色層と金属反射層の界面にエンボス加工が施してあると考えることができる。ホログラムのレリーフの深さは通常 $1\mu\text{m}$ 以下であるからホログラム転写箔中のホログラム層の厚みは $1\sim 2\mu\text{m}$ と薄くできる。

転写の工程を図-3 に示す。転写箔と被転写材とを重ね、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融け被転写材に接着する。その後、転写箔を持ち上げるとベースフィルムと離型層の界面で剝離し、離型層とホログラム層、金属反射層、接着層は被転写材側に残り、絵付される。

3. ホログラムの印刷工程^{1), 2), 5), 6), 7)}

図-4 はホログラムの撮影から印刷(転写)までの工程を示したものである。それらの工程の内容を説明する。

3.1 ホログラムの撮影

最初に作製されるオリジナルホログラムは、干渉縞がレリーフ形状で記録されることが必要であり、感光材料は一般にフォトレジストが用いられる。フォトレジスト

図-4 ホログラムの印刷工程

には露光された部分が現像液に対して可溶となるネガ型フォトレジストと、露光部分が不溶となるポジ型レジストがある。

ガラス基板上にフォトレジストをコーティングした乾板に対して通常のレインボーホログラムの撮影を行う。光源には Ar レーザの波長 458nm や 488nm の光が用いられているが、市販のフォトレジストは一般に可視光に対する分光感度が低いので、数分程度の、ホログラムとしては極めて長時間の露光を要する。写真-1 はフォトレジストに記録された干渉縞のレリーフ形状の電子顕微鏡写真である。

3.2 スタンパーの作製

フォトレジストは強度がないため、繰り返して複製は行えない。そのため、一度これから金属製のスタンパーを作製し、これを複製の原版として使用する。

スタンパーはオリジナルホログラムのレリーフ面(レジスト層)に Ni を十分厚くメッキした後、これを剝離して得る。レジストはこの時破壊されてしまうが、得られたスタンパーから同様のメッキを繰り返して複数枚のスタンパーを複製できる。

3.3 複製原反の作製

ベースフィルムに離型層、ホログラム層をこの順にコーティングし複製原反とする。

ベースフィルムは、耐熱性、強度、寸法安定性などの点から $9\sim 25\mu\text{m}$ のポリエステルフィルムを用いている。

離型層は転写時にベースフィルムの界面で容易に剝離するようにベースフィルムに対する接着力の弱い樹脂が使用され、またこの層は転写後には表面となるため耐摩性、後加工に伴う印刷適性が要求される。

ホログラム層はエンボス時にレリーフ形状が付型されるため良好な成形性が要求されると同時に、転写時には耐熱性も必要である。

3.4 エンボス複製

ホログラムのエンボスの工程は、加熱プレス→冷却→剝離を1サイクルとする。加熱プレス工程で複製原反のホログラム層はスタンパーに加圧密着され、ガラス転移

写真-1 AZ-1350 フォトレジストに記録されたホログラムの干渉縞
電子顕微鏡写真（上，1万倍，下，2千倍）

図-5 間欠平プレス方式のホログラム複製装置⁷⁾ 図-6 ロールプレス方式のホログラム複製装置⁷⁾

点以上に昇温され軟化し、スタンパーのレリーフの凹部に流れ込む。冷却工程でホログラム層は固化し、レリーフ形状が付型される。

エンボス複製の方式には平プレスとロールプレスがあり、図-5、図-6 のような装置が考えられる⁷⁾。ロールプレスは1サイクルが連続的に短時間に行われるため生産性に優れる。

3.5 転写箔化

エンボス加工された原反は、反射層の形成、接着層のコーティングを経て、図-2 に示した転写箔の構成に仕上げられる。

反射層は通常は A1 を数百 Å 厚に真空蒸着することにより形成される。接着層は感熱接着剤(ホットメルト接着剤、ヒートシール剤)が用いられる。これは被転写材料(紙、プラスチック等)との接着性が適したものが選択される。

3.6 転写

ホログラムの転写も一般の転写と同様であり、従来の

図-8 位置出しを自動化した転写機

レーザー光が回折マーカに当たると、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作動タイミングを制御する

転写機が使用できる。転写機には図-7 に示す3方式があり、目的に応じて適宜選択する。ホログラムを被転写材料の一部の領域にのみ転写したい場合にはアップダウン式が、全面に転写したい場合にはロール押しが適している。アップダウン式の場合通常 100~200℃ で1秒程度加圧される。

一般の転写箔が均一なパターン(多くは無地)を有し転写箔と金型の位置合わせが不用なのに対し、ホログラムの場合は転写箔上に配列している絵柄と同調させて転写する必要がある。このため、図-8 に示すようにあらかじめ配列したホログラムの横に位置検出用の回折格子のマークを設けておき、これを用いて自動的に位置出しする方法が採られている。このような装置も開発されており、特にクレジットカード用途等の大量複製に用いられている。

4. 最近の動向と将来展望

4.1 フォトレジスト材料の高感度化

オリジナルホログラムの撮影には、従来市販のフォトリソグラフィ用フォトレジストをそのまま使用することが一般的であった。これらのフォトレジストは UV 波長に分光感度を有するため、可視レーザー光では低感度であり、長時間露光を要した。このため、振動や空気の対流、レーザーの不安定性に起因する干渉縞のゆらぎによ

図-7 転写の方式⁴⁾

り安定した記録が行えず、特に大型のホログラムの作製は困難であった。

最近相次いで可視域が増感されたホログラム用のフォトレジストが発表されており^{8),9)}、従来品の10~1,000倍程度の向上がなされている。近い将来、これらの材料を用いた大型ディスプレイの印刷が普及するであろう。

4.2 リップマンホログラムの印刷

現在実施されているホログラム印刷は大半がレインボーホログラムであるが、最近リップマンホログラムの量産に関する動きが目だっている。米国のポラロイド社とデュボン社によりリップマン用のフォトポリマーが開発されている^{8),10)}。また、国内でも多くの研究機関から新規材料の試作が報告されている。これらの材料は従来の銀塩乳剤と比べ回折効率が高く、並行して複製技術を確立することによりリップマンホログラムの複製が実現されると考えられている。

4.3 光学素子(機能素子)の印刷

ホログラフィック光学素子とは、ホログラムの波面変換機能を利用して、レンズ・プリズム・波長フィルタ・検光子等の機能を付与したホログラムであり、HOE(Holographic Optical Element)とも呼ばれる。

回転することによりレーザービームを空間走査させるホログラムスキャナーの2P法による複製が開発されている¹¹⁾。また車や航空機においてスピードメーター等

の計器類の表示をドライバーの視野内に投影するHUD(Head Up Display)や¹²⁾、太陽光を効率よく室内や温室内に導く建材用ホログラムも研究されている¹³⁾。これらのホログラムの印刷化も期待されている。

参考文献

- 1) 小寺時男, 谷口幸夫: オプトロニクス, 72(1984)
- 2) 西田信夫, 中野正和: 光学, 8, 211 (1979)
- 3) 日本印刷学会: 印刷工学便覧, 740 (1983)
- 4) 足立卓雄: *Plastic Age*, 10, 64 (1980)
- 5) 石原 聡, 小寺時男: 計測と制御, 20, 888(1981)
- 6) 小寺時男, 山崎哲司: *PIXEL*, 14, 124 (1983)
- 7) 小寺時男: 光学技術コンタクト, 21, 21 (1983)
- 8) 小関健一, 他: フォトポリマー懇話会編: フォトポリマーハンドブック, 工業調査会, p.442~458 (1989)
- 9) 石川俊治, 小関健一, 他: 第37回応用物理学関係連合会講演会予稿集Ⅲ, 764 (1990 春)
- 10) W.K. Sneath, et al.: Proc. 2nd International Conference on Holographic System, Components and Applications, Univ. of Bath, U.K. 184~189 (1989)
- 11) 馬場信行, 井口敏之: 微小光学研究グループ機関誌, 1989, 5/26, 7 (2), 70~75
- 12) モーターファン, 12月臨時増刊号, No.13, 138 (1985)
- 13) J.W. White: *SPIE*, 615, 104 (1986)