

「3D 映像」 Vol.32 No.3 pp.39-49 (March 2019) (2018 年 5 月 25 日 発表) pp.10~20

ホログラフィを中心とした 3D 映像における表現技法

桑山 哲郎† E-mail: †tkuwa@ga.catv-yokohama.ne.jp

Expression Technique in 3-D image : mainly in Holography

Tetsuro Kuwayama

†なし【千葉大学工学部 情報画像学科 非常勤講師】

† Independent 【Part-time lecturer, Faculty of Engineering, Chiba University】

1. はじめに

レーザー光源が気軽に使用できるようになり、またホログラムの記録・再生を行う際のデジタル情報処理の能力が高くなってきたことから、ディスプレイホログラムも新しい時代を迎えていると感じている。一方、新たにホログラムを手掛けている研究者に、1970 年代からのディスプレイホログラムの取り組みについて、情報と知識が伝わっていないことを痛感している。

本稿では、あまり報告されない「表現技法」を中心に報告を行う。ホログラフィだけではなく、関連する 3D 画像技術も参照し、横断的な解説を試みる。まず、工学技術として画像のシステムがどの様にして成立するかを論じる。続いて各種の技法を列挙し、いくつかの実例を紹介する。

2. 参考となる資料について

ホログラフィを含む 3D 映像に関し、基本的な技術解説書は多数存在しているが、表現技法について言及しているものは大変少ない。また、ホログラフィ展の図録には作品紹介が行われているが、表現技法を直接解説するものではない。手持ち資料の中で、ホログラフィの技術で、手法について参考になる資料を抽出してみた[1-8]。また、作家から届いた案内状[9]、作家自身によるアート作品への取り組み報告[10,11]、ホログラフィ・アート作品と作家の紹介・分析[12-14]、更に街の中現れたディスプレイホログラムの紹介記事[15,23,24]も参考とすることができる。

3. 3D 映像の基礎・分析

ディスプレイホログラムの一部は、商品として量産され、店頭に並んでいる。けれども、個別の商品を対象としてバラバラに扱うのでは、まとまった知識・知恵として活用や伝承が行われ難い。そのためまず、工学技術に基づく、入力から観賞至るまでのシステムとして分析した一例を表 1 に示す[16]。なお、映像の要素として取り上げている項目はルネサンス期の絵画教育を参考としているが、内容については報告者独自の考えである。

表1 映像のシステムを構成する各要素と工学的実現手段 [16]

| 各要素 | 工学的実現方法 | 実物通り再現 |
|-------|-------------------------|-----------------|
| 形・大きさ | 線透視図法を用いた描画 | 実物通りの形と大きさ |
| 明暗 | 表示デバイスの能力に合わせ輝度域を圧縮 | 実際の光量, 輝度を再現 |
| 色 | RGBの3色分解撮像とRGB加法混色による表示 | 分光エネルギー分布を検出・再現 |
| 動き | コマ撮り, 時分割サンプリングと間欠的な表示 | 実物を連続的に動かす |
| 奥行 | 【いろいろな工学手段を使用】 | 実際の奥行に表示 |

この表で、奥行要素以外は比較的常識的な工学的実現手段と思われるが、多様な「奥行きを感じる手がかり」については、表2に列挙する[17]。項目の数では、単眼視による手がかりが大半を占めている点に注意が必要である。

表2 奥行きを感じる手がかり [17]

| | | |
|-------|--|-------|
| 1.単眼視 | A 調節 [*] {水晶体調節, 焦点深度} | <5m |
| | B 空気透視 {コントラスト低下, 青着色} | |
| | C 色 {進出色 - 後退色} | |
| | D 網膜像の大きさ [*] {既知の物体} | <500m |
| | E 線透視(図法) {消点 ← 平行線} | |
| | F 均一模様 of 密度勾配 | |
| | G 不均整構図 {対称性欠除} → 立体反転図形 | |
| | H 重なり合い | |
| | I 光と影の分布 {照明条件の判断} | |
| | J 単眼運動視差 {多方向観察} | <300m |
| | K 視野 {画枠効果除去} → 大画面表示 | >50m |
| ↓ | | |
| 2.両眼視 | L 両眼視差 {前後弁別} → 2眼式立体表示 | <250m |
| 3.同時視 | プルフリッヒ効果【特殊な奥行効果】 | |
| 4.単一視 | M 輻輳(ふくそう)[*] {眼球筋肉緊張} | <20m |

ディスプレイホログラムあるいはいろいろな 3D 映像表示において、注意しておくべき事項があるので解説する。ホログラム、特にレーザー再生ホログラムはよく「本当の」3次元映像であると説明され、一方平面(2D)表示上の像をハーフミラーあるいは結像光学系を用いて空中に表示する装置は「疑似」3D 映像であるとされる。一方、私たちはある距離(たとえば 5m)を超えた位置に置かれている物体を見た際には、両眼視差による奥行き検出よりも、表 2 の単眼性の手がかりの方が優勢となるので、自然な大きさ・形・陰影を持った像を見ると、体積を持った像と感じる[22]。

更に、空中に表示され、画面枠が存在しない像には、特別な性質がある。それは、空中に作り出された像の大きさそのままの物体(が表示されている)と感じる点である。図 1 に、実物視、空中像表示、通常の像表示との比較を示す[18]。レーザーを用いて 3 次元物体を撮影、撮影時の参照光と同じ波長・方向から再生光を現像後の乾板に照射すると、元の物体と同じ位置に、上下左右と奥行方向に同じ寸法の像が生じる。

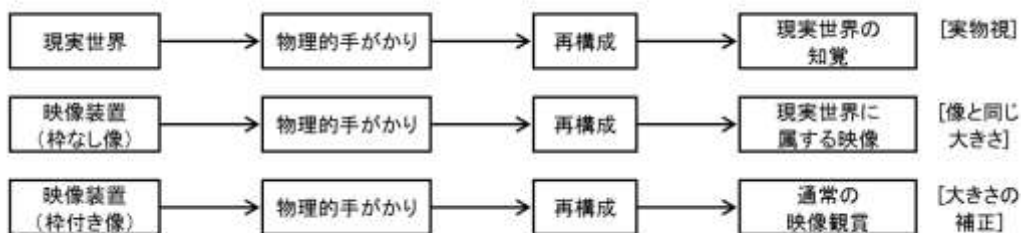


図 1 実物視と映像観賞の対比[18]

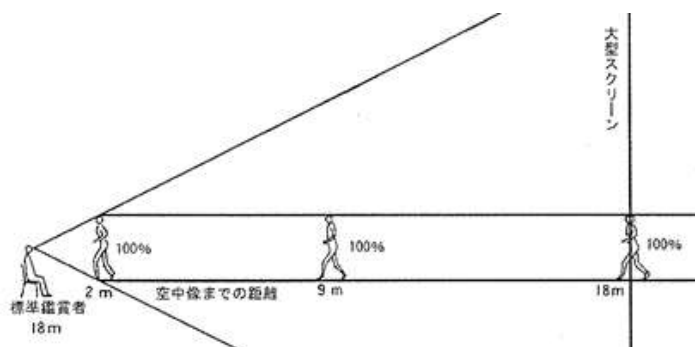


図 2 再現スケール 100%での 3D 映画の上演[18, 19]

また、3D メガネをかけて鑑賞する 3D 映画やテーマパークにおける 3D 映像表示においても、この「表示像の大きさを感じる」ことは十分考慮されている。図 2 は、3D 映画の作画に長けている監督による原理説明図[18, 19]である。スクリーン上に等身大の 3D 映像が表示された際には、人物の大きさが変化しないよう、手前に歩いてくるときにスクリーン上の像を縮小する必要がある。

4. いろいろな 3D 映像表現手法

3D 映像表示装置やディスプレイホログラムでは、いろいろな表現手法が用いられ、魅力的な映像を作り出している。紀元前のギリシア文明に始まり、19 世紀のステレオ写真などの商品化を経て現代に至るまで、いろいろな手法が用いられ、また実際の作品・商品では複数の手法が組み合わせて用いられている。以下、各手法を列挙した後、個別の例を説明する。

(a) 実物と同じ寸法

ホログラフィと 3D 映画については触れたが、単純な立方体の再現においても、混乱が存在している。ステレオスコープ（立体鏡）を通して観賞する際、対象物までの距離の 1/50 の撮影基線長でステレオ画を作図・ステレオ写真を撮影すると、上下左右と奥行の倍率が等しい、正しい立方体が鑑賞されることが知られている[20, 21]。この点だけなら、撮影基線長はいつも対象物までの距離に比例させればよいこととなるのだが、現実にはこれだけではうまくいかない。対象物が複雑な場合には、画面内の個別の物体の要求が様々ですべてを満足させるのが困難という場合が生じる。また日常生活で、ある寸法（たとえば 20m）を超える寸法の正方形、円形、立方体などは、そのままの幾何学形状に認識されていないという要因もある。

(b) 何もない空間への映像表示

凹面鏡を用いて空間に 3D 映像を表示する見世物は古くからあるが、ディスプレイホログラムにおいても最初期から行われている手法である。

(c) 実物と半透明の像の重なり

透過型のホログラムの像と、実物を空間中で近い（場合によっては重なる）位置に配置すると、日常の実世界では存在しない状況が生じる。舞台一杯にハーフミラーを配した「ペッパーズ・ゴースト」興行（1870 年頃）が有名[22]であるが、ディスプレイホログラムでもたびたび用いられる手法である。

(d) 向こうを見通せる空中に像を表示

自分達が行動している空間・部屋の中で、向こうを見通せる空中に像を表示すると、不思議さが増し 3D 映像表示の魅力が増す

(e) 見る位置を変えると変化する像

(f) 空中に作り出される「のぞき穴」

(g) 「だまし絵」の手法を加えて奥行を増す……「スカラ・レジア」など

(h) 歪んだ物体、あるいはボケが加わった物体を用いる「筆致」の利用

(g) その他、いろいろな目を騙すテクニック

これらの手法を実行する際は、ディスプレイホログラムの作製で2段階の記録を行うやり方が役立つ。図3はレーザー再生ホログラムを2段階で作製する模式図[8]で、図4はディスプレイホログラムと像の奥行方向の位置関係の選択肢である。

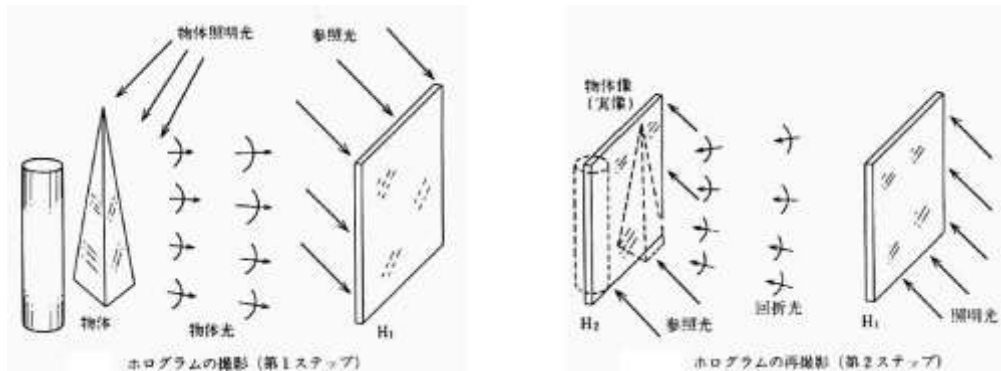


図3 ディスプレイホログラムの2段階撮影[8]



図4 ディスプレイホログラムと像の位置関係[8]

5. 実例

以下、ディスプレイホログラムを中心に、用いられている手法を解説する。順不同で、また個々の記述内容のレベル差があることをご容赦いただきたい。

5-1 空中に浮かぶ像 / 実物との対比

ホログラムが空中に作り出す像は、実物を配置するとその不思議さが増す。現在は無くなっている六本木 WAVE 入口に配置された「ホログラム地蔵」(山口勝弘 発案)[23, 24]が知られているが、歴史的には「腕と宝石」(1972年、ニューヨーク5番街 カルティエの店頭 図5[8])が最初とされている。レーザー再生ホログラムによる、宝石を持った腕が歩道上に浮かび、人々を集めたと報道されている。

アート表現では、初期からいろいろな試みがされている。石井勢津子氏の作品「不完全な記憶 そのはじめに」(1978)では、ドーナツ形の物体の上半分はレインボーホログラムの像、下半分は実物で構成されているインスタレーション作品である。図6は、作品を側面から見た状態である。写真作品などと組み合わせたインスタレーションの作品は数多く作られているが、最近の作品を、

図7 (a, b) に示す。写真作品の手前に配置されたデニシユクホログラム組み合わせられている。美しい花の姿が写真の手前に現れる。



図5 「腕と宝石」の像(1972)



図6 ホログラムを横から撮影
1978 (写真撮影：筆者)



(a)



(b)

図7 写真とホログラムを組み合わせた作品 塩崎由美子：作
「from series "diva"」 (2015) 写真は作家より提供いただいた

液晶ディスプレイ(以前は CRT)の表示像を、結像光学系で手前の空間に表示することも古くからおこなわれているが、鑑賞者の注視点をうまく誘導しないと、空中に像が生じていることに気が付かれないという課題がある。図8の「空間映像楽器」(石川光学造形研究所)では、像が生じる空間にガイドを配置し、インタラクティブな操作の助けとするとともに空中像が良く見える様にしている。

5-2 実際よりも大きな奥行きを感じさせる演出

3D 映像を表示する際に、用いる工学技術には制限がある。白色光で再生するレインボーホログラムでは、白色光源の大きさ(角度広がり)、レインボーホログラムを作製する途中のスリットホログラムの幅、鑑賞者の瞳で制限される再生像の波長広がりなど、どれも再生像にボケを生じさせる要因である。



図8 空間映像楽器【空間に浮いたアイコン(葉っぱ)に触れると音が出ます】
写真提供: 石川光学造形研究所

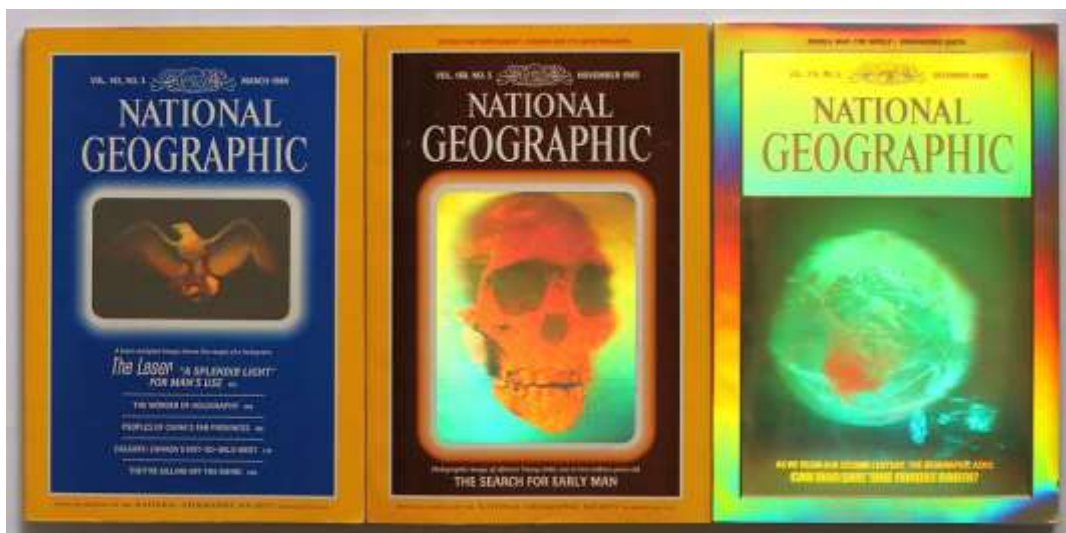


図9 3冊の“National Geographic”誌

図9は、1984年3月以降計3回刊行された“National Geographic”誌の表紙である。1984年の表紙では、「印刷ホログラム」の認知度を高めた点で、歴史的な意味があると思われる。また、次々に新手法が導入され、印刷ホログラムの普及を促進した。

ホログラムのワシの像の秘密は、この雑誌の号に見事に明かされている。白色光再生ホログラムに生じるボケを最小とするため、物体の像は印刷面からプラスマイナス 5 mm に収まる様、設計されている。そのためワシの首は不自然に折り曲げられているが、羽毛を緻密に作り込み、また上方から照明を行うことで強い影を作り出し、奥行きを強めている。

この号本文には、深い奥行きを表示するレインボーホログラムを持つ、ベントン氏の姿が収められている。これを見て、古典的な技法に通じている者は「スカラ・レジア」の技法が取り込まれてい

ることに驚いた。スカラ・レジアは 1666 年に建築されたとされるバロック建築である。その通路の幅と高さが奥に向けて寸法を縮小することで、実際の奥行よりもはるかに長く感じさせている。実際にホログラムを前にして解説すると正確な理解が得られるのだが、本稿では言葉だけで済ませる。

5-3 左右方向から見たときに像が変化する手法

3D 映像を観賞する人に驚きと興味を持たせる手法の一つとして、見る位置で異なる像を表示する手法がある。作製法としては、第 1 段階で得られる中間ホログラムを左右分割し、右半分と左半分を別々に撮影し、その間被写体を別なものに取り換える手法である。図だけでそのしかけはすぐに理解いただけると思う(図 10, 図 11, 図 12)。また同種の手法として、第 1 段階のホログラムのごく一部分に「のぞき窓」を作り込む手法がある。図 13 は、作製方法の推定図である。ホログラムから手前には古典的な顕微鏡の像が飛び出していて、アイピース部に目を置くと、IC パターンが見える。仮想的な顕微鏡アイピースが存在している様な体験ができる。

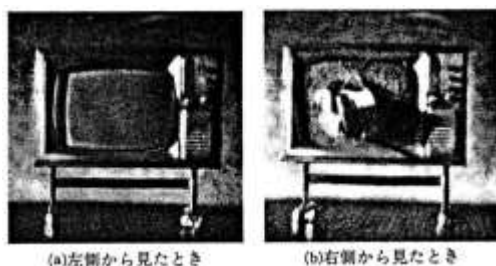


図 10 ホログラムの像 [8]

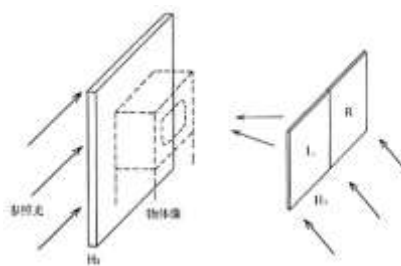


図 11 作製方法 [8]



図 12 ホログラム商品の外観と 2 つの像

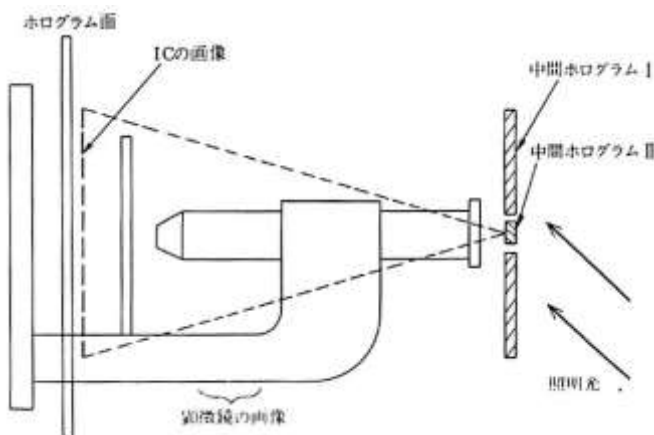


図 13 ホログラム作成方法の推定図[8]

5-4 色が多様に変化するホログラムとジグソーパズル化

ホログラフィ・アート作品で、大量生産される商品となったものは数少ない。図 14 は、中間に複数のスリットホログラムを用い、多様な色表示を実現したホログラムである。アート作品にも、ホログラムをジグソーパズルの細片に切り刻み、独自の表現を行ったものがあるが、図 15 は同じ図柄のホログラムをジグソーパズルとしている。

図 14 ホログラステッカー
(拡散光で照明)図 15 ホログラムジグソーパズル
(小さな光源で照明)

これまで取り上げた手法以外に、まだ、取り上げるべき事柄は多数あるが、紹介は次の機会にしたい。

6. まとめとして

以上、ホログラフィを中心とし、3D 映像において用いられる手法を紹介した。これらは、実物にある程度の知識を持った人が真正面から向かえば、あまり難しい内容ではない。実物に向かう人を増やし、的確なレポートの情報を共有することが必要と考えている。多くの方がレポートを行い、今後のディスプレイホログラムのレベル向上に役立てることができれば幸いである。

参考文献

- [1] 岸本 康, “ホログラム撮影法のアイデア”, HODIC Circular ホログラフィック・ディスプレイ研究会会報, Vol.3, No.2 (1983年4月) .
- [2] 岡田 勝行, “ホログラフィの製作方法”, 「ホログラフィックディスプレイ」, 産業図書 (1990) , p. 130-139.
- [3] 桑山 哲郎, “立体画像システムで何を表現するか?”, HODIC Circular ホログラフィック・ディスプレイ研究会会報, Vol.7, No.4 (1987年10月) .
- [4] 桑山 哲郎, “立体映像とホログラフィーその歴史的作品と表現手法ー”, テレビジョン学会技術報告, ITEJ Technical Report Vol.12, No.29, p. 1-6, OPT '88-8 (July, 1988).
- [5] 桑山 哲郎, “ホログラフィーと立体画像技術”, 「ホログラフィックディスプレイ」, 産業図書 (1990) , p. 9-30.
- [6] 桑山 哲郎, “レインボーホログラムの基礎 (連載: 私はホログラフィが好きです)”, 写真工業, (1990年12月) p. 101-104.
- [7] 桑山 哲郎, “ディスプレイ用ホログラムの制作方法(7)ー立体的に見えるしくみとホログラム作品 (連載: 私はホログラフィが好きです)”, 写真工業, (1990年2月) p. 98-101.
- [8] 桑山 哲郎, “ディスプレイ用ホログラムの制作方法(8)ー立体画像の作品に使われる手法 (連載: 私はホログラフィが好きです)”, 写真工業, (1990年3月) p. 99-103.
- [9] 桑山 哲郎, “ホログラフィ展の案内状のコレクション (連載: 私はホログラフィが好きです)”, 写真工業, (1991年9月) p.8-9(カラー図版) p 97-99(本文).
- [10] 石井 勢津子, “ホログラフィー芸術”, 「ホログラフィックディスプレイ」, 産業図書(1990), p. 71-81.
- [11] 石井 勢津子, “アートの表現メディアとしてのホログラフィ (特集 2 ホログラフィック・アート)”, DIVA : Digital, interactive and visual art / 芸術科学会 責任編集 (5), (2003) p.53-59.
- [12] 小寺 光男, “世界のホログラファーたち(1)”, O plus E, No.126, (1990年5月) p.154.
- [13] 小寺 光男, “世界のホログラファーたち(2)”, O plus E, No.127, (1990年6月) p.128.
- [14] 児玉 幸子, “ホログラフィーを用いた初期の芸術作品について”, 論文集「視覚文化におけるデザイン資源の総合的分析」, (平成 25 年度~28 年度 科学研究費・基盤研究(B) 代表: 井口 壽乃 課題番号 25282002), (2016年10月31日) p. 39-46.
- [15] 鏡 惟史, “街の中のホログラム(1) - 銀座周辺”, O plus E, No.86(1987年1月) p. 130-132.
- [16] 桑山 哲郎, “映像技術の成り立ち : 映像入出力方式の不変性に関する技術史的視点からの研究”, 博士(芸術工学)論文, 神戸芸術工科大学 (2003年3月).
- [17] 畑田豊彦 ほか, 「視覚の科学」, 写真工業出版社(1975) p. 151.
- [18] 桑山 哲郎, “ホログラフィ・インスタレーションに関する小論 (特集 2 ホログラフィック・アート)”, DIVA : Digital, interactive and visual art / 芸術科学会 責任編集 (5), (2003) p.60-64.
- [19] 梁井 潤, “3D映像空間の再現スケール~被写体の大きさを変えてしまう3D映画”, 映画テレビ技術, No. 486, 日本映画テレビ協会(1993年2月) p. 53-57.
- [20] 木村 龍, 「ステレオ写真のすべて」, ドラゴン光器製作所(1975年4月26日初版).
- [21] 鏡 惟史, “撮影基線長 1/50の意味”, O plus E No.150(1992年5月) p. 161 - 164.
- [22] 桑山 哲郎, “ベッパーズ・ゴーストによる 3D 映像:最新動向と歴史”, 3D 映像, Vol.30, No.1, (2016年3月) p. 4 - 10.
- [23] 鏡 惟史, “街の中のホログラムを探して(1)”, 写真工業, 通巻 481 号 Vol.47 No.5(1989年5月) p. 50-51.
- [24] 鏡 惟史, “街の中のホログラムを探して(2)”, 写真工業, 通巻 482 号 Vol.47 No.6(1989年6月) p. 66-67.



参考図 「ホログラフィー展の案内状のコレクション」より[9]