

デジタル印刷と印刷ホログラム

鎌田康昌（凸版印刷株式会社）

この春、33年務めた印刷会社で定年を迎えました。その間、印刷ホログラム（エンボス・ホログラム）を生業として過ごして来ました。振り返れば、印刷ホログラムは、印刷のデジタル化と大きく関わって来たと言えます。

1985年、私が最初に配属された部署は研究所の出先実験現場で、全社の写真現像を担当する写真ラボでした。そこで聞いたのが「あと数十年もしないうちに銀塩感材はなくなる」という話でした。「理由は、銀の資源埋蔵量が尽きてしまうという事で、その換わりは価格が安く埋蔵量も豊富な鉄である」という趣旨でした。現像作業の片手間に聴いていた話なので、話半分に覚えていたのですが、今この予言を顧みれば、理由はともかく、かなり当たっていた事になります。既に「銀塩」という言葉が通じない世代が台頭していますし、銀塩感材の銀が鉄に置き換わるのではなく、写真を記録するメディア自体が磁気媒体に置き換わるという事だったのかな、と解釈することもできます。（1ページにつづく）

目次

1. 巻頭言：デジタル印刷と印刷ホログラム	鎌田康昌 表紙
2. 2017年度 HODIC 鈴木・岡田記念賞選考報告	山内 豪 2
3. ホログラフィの建築空間への応用	石井勢津子 6
4. 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 10
5. カラーホログラムの作製技術 一究極の像再生を目指して一	久保田敏弘 21
6. ホログラフィを題材とした千葉大学における教育への取り組み	白木厚司, 他 29
7. 次回研究会のお知らせ	巻末

当時の印刷ホログラムは、「2D-3D」や「平面多層」と呼ばれる手法がポピュラーで、2D(平面)のレイヤーを、奥行きを付けて重ね合わせたり、2D部分を空間周波数の異なる回折格子によって色分割するものでした。これらの原稿には、リスフィルムやガラス乾版をマスクとして使用し、マスクの分割はオペーク塗料を筆で塗り分けるという作業によって生産されていました。分割版の合成は、アニメーションで使うレジピンとトンボが頼りで、精度は職人技に依存していました。これらは、文書を書くにはパソコンよりワープロの方が高性能だった頃の話です。

しかしその後数年で、パソコンは一気に進展しDTPが一般にも普及して行きました。スキャナーやインクジェット・プリンターが個人の手の届く存在になり、それに伴い、これ等を悪用したセキュリティ文書の偽変造が多く発生しました。この対策の一つとして、コピー機やスキャナーでは容易に複製・再現できない印刷ホログラムが、セキュリティ文書に貼付されるようになりました。つまり、デジタル印刷の進展が印刷ホログラムのマーケットを拡大したとも言えます。同時に印刷ホログラムの原稿の作り方も、コンピュータの画像編集ソフトによってデジタル化して行きました。ホログラムを高輝度な回折格子ドットの集合体として描画するドットマトリクスという手法は、写真画像を操作するソフトウェアと密接に関係しています。手作業で分割していた画像は、画像処理ソフトで加工され、マスクフィルム出力も高精度のレーザプリンターに置き換わりました。

2000年代に入ると、この傾向はさらに加速し、画像はデジタルデータ化し、ホログラムの干渉縞さえデジタルにコントロールできる時代に突入しました。もはやレーザの発振する暗室に入る必要は無く、現像液に手を浸すこと無く、コンピュータのキーを押すだけで、ホログラムが描ける様になりました。市場ではユーロ紙幣や日本銀行券、パスポートの身分事項ページにも印刷ホログラムが使われ、文書セキュリティの最高レベルまで印刷ホログラムの採用される領域が拡大しました。株券や証券あるいはコンピュータから吐き出されていたビジネスフォーム等は、電子データのセキュリティへと移行したからです。

現在は、DTPという言葉をあえて意識して使わないくらい、普通にパソコンから書類を出力し、昔なら製版印刷するような資料を大量にカラー出力してもストレスを覚えなくなりました。雑誌や銀行の取引記録はネット上で閲覧し、仮想通貨も日増しに存在感を増しています。印刷ホログラムの表面構造も3Dナノプリンターで出力すればクローンが作れるのではと、まことしやかに語られています。

印刷のデジタル化は大きな流れとして、私達の生活や仕事に影響を与えてきました。印刷ホログラムがセキュリティ印刷市場に取り込まれたのも、その影響であったし、印刷ホログラムもそれ自体がデジタル化していくなかで、ニーズに対応して行ったと言えます。磁気カードがICカードに替わった時、セキュリティレベルは格段に上がりました。しかし印刷ホログラムは（目視の）信頼のためにカード上に残りました。これから更に時代が変わっても、人が視認するインターフェースとして、その時代に適応したホログラムが登場し、進展して行くものと思えます。

2017 年度 HODIC 鈴木・岡田記念賞選考報告

2017 年度 HODIC 鈴木・岡田記念賞選考委員長 山内 豪（大日本印刷株式会社）

2017 年度 HODIC 鈴木・岡田記念賞選考委員会は、2018 年 4 月 6 日に開催した委員会にて慎重に審議を行い、2017 年度 HODIC 鈴木・岡田記念賞として以下の 2 名の方を選考しました。後日幹事会において承認され、受賞が決定しましたのでここにご報告します。

■技術部門奨励賞（2 件）**（1） 遠藤 優 氏（金沢大学）**

受賞対象論文では、コンプレッシブホログラフィの信号再構成計算において、繰り返し計算を行う部分を GPU に実装することで CPU と比べて約 20 倍の高速化を実現した。またボトルネックがメモリ帯域幅であることを明らかにし、今後のさらなる改善に向けた指針を示した。コンプレッシブホログラフィの信号再構成技術の応用範囲は広く、GPU を用いた高速計算を適切に実装する方法の意義が高く評価できる。

対象論文：

1. 遠藤優，下馬場朋禄，角江崇，伊藤智義，“コンプレッシブホログラフィの GPU 高速化,” 平成 29 年第 4 回 ホログラフィック・ディスプレイ研究会,
2. 遠藤優，松下卓也，金出武雄，角江崇，下馬場朋禄，伊藤智義，“3 次元復元を用いた計算機合成ホログラムにおける波面記録法による隠面処理,” 3 次元画像コンファレンス 2017

（2） 涌波 光喜 氏（情報通信研究機構）

受賞対象論文では、投影型ホログラフィック 3D ディスプレイを紹介している。ホログラムで再生した立体像を投影するホログラフィックプロジェクションと、波面プリンタで製作した Digitally Designed HOE (DDHOE) スクリーンを組合せた技術内容であり、従来の立体ディスプレイと比べて自由度の高いディスプレイ設計を可能にした技術である。シースルー表示も可能でもあり、多くのアプリケーションが期待できる技術であり、高く評価できる。

対象論文：

1. 涌波光喜，“投影型ホログラフィック 3D ディスプレイ”，平成 29 年第 2

回 ホログラフィック・ディスプレイ研究会2. KOKI WAKUNAMI, “Projection-Type Three-Dimensional Displays with Holographic Screen Fabricated by Wavefront Printer”, IDW’ 17, THE 24TH INTERNATIONAL DISPLAY WORKSHOPS

受賞者のプロフィール

技術部門 遠藤 優 氏 (金沢大学)

【抱負・コメント】

名誉ある HODIC 鈴木・岡田記念賞の技術部門賞をいただき、誠にありがとうございます。これもひとえにご支援いただいた方々のお力添えのおかげと深く感謝しております。ホログラフィには学部生のときに出会い、現在まで継続して研究を行っています。私は主にホログラフィにおける情報処理技術の研究に取り組んでおり、高速計算や画像処理技術の活用を行なっています。ホログラフィは歴史のある技術ですが、近年の情報処理技術と融合することで、新たな可能性が拓けるのではないかと考えています。このような情報処理の観点からホログラフィの発展に少しでも貢献できるよう努力していきたいと思っています。今後ともご指導ご鞭撻のほどよろしくお願いいたします。

【略歴】

2014 年 3 月 千葉大学大学院工学研究科人工システム科学専攻 博士前期課程修了

2017 年 3 月 千葉大学大学院工学研究科人工システム科学専攻 博士後期課程修了
博士 (工学) 取得

2017 年 4 月 金沢大学理工研究域機械工学系 助教 (現在に至る)

【研究分野】

デジタルホログラフィ, 計算機合成ホログラム, 圧縮センシング

【主要な研究業績】

- 1) T. Sugie, T. Akamatsu, T. Nishitsuji, R. Hirayama, N. Masuda, H. Nakayama, Y. Ichihashi, A. Shiraki, M. Oikawa, N. Takada, Y. Endo, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, "High-performance parallel computing for next-generation holographic imaging," *Nature Electronics* 1, 254–259 (2018).
- 2) H. Sato, T. Kakue, Y. Ichihashi, Y. Endo, K. Wakunami, R. Oi, K. Yamamoto, H. Nakayama, T. Shimobaba, and T. Ito, "Real-time colour hologram generation based on ray-sampling plane with multi-GPU acceleration," *Scientific Reports* 8, 1500

- (2018).
- 3) T. Shimobaba, Y. Endo, T. Nishitsuji, T. Takahashi, Y. Nagahama, S. Hasegawa, M. Sano, R. Hirayama, T. Kakue, A. Shiraki, and T. Ito, "Computational ghost imaging using deep learning," *Optics Communications* 413(15), 147–151 (2018).
 - 4) T. Kakue, Y. Endo, T. Nishitsuji, T. Shimobaba, N. Masuda, and T. Ito, "Digital holographic high-speed 3D imaging for the vibrometry of fast-occurring phenomena," *Scientific Reports* 7, 10413 (2017).
 - 5) 遠藤 優, 下馬場 朋禄, 角江 崇, 伊藤 智義, "コンプレッシブホログラフィの GPU 高速化," 平成 29 年第 4 回ホログラフィック・ディスプレイ研究会, 金沢大学サテライトプラザ (2017.11).
 - 6) 遠藤 優, 松下 卓也, 金出 武雄, 角江 崇, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, "3 次元復元を用いた計算機合成ホログラムにおける波面記録法による隠面処理," 3 次元画像コンファレンス 2017, 1-4, 千葉大学西千葉キャンパス (2017.07).
 - 7) T. Shimobaba, Y. Endo, R. Hirayama, Y. Nagahama, T. Takahashi, T. Nishitsuji, T. Kakue, A. Shiraki, N. Takada, N. Masuda, and T. Ito, "Autoencoder-based holographic image restoration," *Applied Optics* 56(13), F27–F30 (2017).
 - 8) Y. Endo, T. Shimobaba, T. Kakue, and T. Ito, "GPU-Acceleration of Compressive Fresnel Holography," *Imaging and Applied Optics* 2016, DW5L7, Heidelberg, Germany (Jul. 2016).
 - 9) Y. Endo, T. Shimobaba, T. Kakue, and T. Ito, "GPU-accelerated compressive holography," *Optics Express* 24(8), 8437–8445 (2016).
 - 10) Y. Endo, K. Wakunami, T. Shimobaba, T. Kakue, D. Arai, Y. Ichihashi, K. Yamamoto, and T. Ito, "Computer-generated hologram for real scenes using a portable plenoptic camera," *Optics Communications* 356, 468–471 (2015).

受賞者のプロフィール

技術部門 涌波 光喜 氏 (情報通信研究機構)

【抱負・コメント】

名誉ある HODIC 鈴木・岡田記念賞を受賞させていただけるとのことで、大変感激しております。選考委員会の皆様、お世話になっている先生方、所属する研究室の同僚の皆様に心よりお礼申し上げます。ホログラフィに関する研究を始めてから今年でちょうど 10 年が経ちました。最近ではホログラフィ技術への期待もますます高まってきており、次の 10 年でさらに実用化が進んでくるものと思われます。今後も周りの方々への感謝の気持ちを忘れることなく、ホログラフィ技術の発展に少しでも貢献できるよう、微力ながら一生懸命取り組んで参りたいと思います。今後とも引き続きご指導ご鞭撻を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

【略歴】

2008 年 3 月 私立成蹊大学工学部電気電子工学科卒業

2010 年 3 月 国立東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報システム専攻
修士課程修了

2013 年 3 月 国立東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報システム専攻
博士課程修了 博士（工学）取得

2013 年 4 月 国立研究開発法人(当時は独立行政法人)情報通信研究機構
ユニバーサルコミュニケーション研究所超臨場感映像研究室に所属

2016 年 4 月 同機構電磁波研究所電磁波応用総合研究室に所属(現在に至る)

【研究分野】

電子ホログラフィ, 計算機合成ホログラム, ホログラフィック光学素子など

【主要な研究業績】

- 1) Hirochika Sato, Takashi Kakue, Yasuyuki Ichihashi, Yutaka Endo, Koki Wakunami, Ryutaro Oi, Kenji Yamamoto, Hirotaka Nakayama, Tomoyoshi Shimobaba & Tomoyoshi Ito, " Real-time colour hologram generation based on ray-sampling plane with multi-GPU acceleration", Scientific Reports 8, 1500 (2018)
- 2) Ryutaro Oi, Ping-Yen Chou, Jackin Boaz Jessie, Koki Wakunami, Yasuyuki Ichihashi, Makoto Okui, Yi-Pai Huang, Kenji Yamamoto, "Three-dimensional reflection screens fabricated by holographic wavefront printer", Optical Engineering, Vol.57, No.6 (2018)
- 3) Lode Jorissen, Jackin Boaz Jessie, Koki Wakunami, Kenji Yamamoto, Gauthier Lafruit, Philippe Bekaert, "View synthesis from sparse camera array for pop-out rendering on hologram displays", Proc. of SPIE, Vol.10558, Practical Holography XXXII (2018)
- 4) Koki Wakunami, "Projection-Type Holographic 3D Display", SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.48, Issue 1 (2017)
- 5) Koki Wakunami, "Projection-Type Three-Dimensional Displays with Holographic Screen Fabricated by Wavefront Printer", IDW'17, PRJ01, (2017)
- 6) Koki Wakunami, Po-Yuan Hsieh, Ryutaro Oi, Takanori Senoh, Hisayuki Sasaki, Yasuyuki Ichihashi, Makoto Okui, Yi-Pai Huang & Kenji Yamamoto, "Projection-type see-through holographic three-dimensional display", Nature Comm., 7, 12954 (2016)
- 7) Koki Wakunami and Masahiro Yamaguchi, Optics Express, Vol.21, No.19, pp.21811-21822 (2013)
- 8) Koki Wakunami, Masahiro Yamaguchi, Bahram Javidi, "High resolution 3-D holographic display using dense ray sampling from integral imaging", Optics Letters Vol.37, No.23 (2012).
- 9) Koki Wakunami, Masahiro Yamaguchi, "Calculation for computer generated hologram using ray-sampling plane," Optics Express 19. 9086-9101 (2011).

ホログラフィーの建築空間への応用

石井勢津子

美術家

〒112-0006 文京区小日向 1-2-3-513

E-mail: gp5s-isi@asahi-net.or.jp

Holography as an architectural decoration

Setsuko ISHII

Independent artist

1-2-3-513, Kohinata, Bunkyo-ku, Tokyo 112-0006, Japan

E-mail: gp5s-isi@asahi-net.or.jp

Abstract. This paper presents an application for holography as an architectural decoration. It describes the attempt to bring the attractive decorative applications of holography into a building's everyday living space. There are various different methods for using a hologram as a raw material, for example, sculptural decoration as a three-dimensional object, atrium decoration, a holography chandelier, wall decoration such as a mural painting, and staging the prismatic display of sunlight indoors by using holography grating. In these cases, the reflection type of hologram is mainly utilized because the reflection holograms are much easier to handle than using transmission holograms as a raw material. One of the reasons is that the transmission holograms require a large space behind the holograms for a light to shine through and reproduce the holographic images. Lastly, recent practices are described, weaknesses of recent practices are resolved, and multicolor rainbow transmission holograms are installed as a wall decoration.

1. Holography chandeliers

The holographic work (Fig.1-2) was installed in the first floor to second floor stairwell of a pavilion building at the Tsukuba Science Exposition held in 1985. The light source was indispensable in reconstructing a hologram. Denisyuk-type DCG (Dichromate Gelatin) holograms and very small, low-voltage mini halogen lamps were assembled together, and it became a holography chandelier..

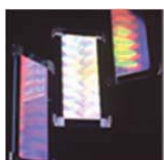


Fig.1-1



Fig.1-2



Fig.2



Fig.3

They were hung from a ceiling. The brightness emitted by many mini halogen lamps served as stair lighting and also functioned as a part of the room's general lighting system. Fig.1-1 shows the change seen in the hologram as one moves along the stairs. In addition, it is designed with a geometrical pattern that makes it more interesting with distortion and the image's flowing effect.

2. Sculptural object

Fig.2, Gift from Future, is made from a combination of holograms of the same type as Fig.1 and creates a three-dimensional object. It is installed in an entrance hall of the Campus Innovation Center Tokyo. A total of 64 glass holograms (each with a dimension of 25cm×25cm) are used and attached to eight stainless steel poles with a height of 230cm. They emerge from the base of black granite like the leaves of a tree or petals of a flower. Around the circumference of this object, light beams that are transmitted through and/or reflected from the holograms cross each other. The way that the space is

designed using the hologram has a large influence on the surrounding environment. This is especially true at night when passing pedestrians can enjoy the object's brilliant effect in the entrance of the office building.

3. Atrium decoration in public space

Fig.3 shows a production in the City of Isahaya's Health and Welfare Center, where Denisyuk-type DCG holograms and dichroic mirrors are combined and installed in the skylight window. This shows the combination of vivid color interference and hologram reconstructed images with the feeling of realistic texture and three dimensional volume. The reconstructed images and colors of reflected and transmitted light change constantly, along with changes in the sunlight coming through the skylight window.

This installation was composed of 24 DCG holograms (each with a dimension of 35cm×40cm) and 10 pieces of dichroic mirrors (110cm×110cm each) laminated with intensified glass that was hung from the ceiling where sunlight entered the atrium. Depending on variations of the ambient lighting conditions, such as fine or cloudy weather and daytime or nighttime, the appearance of the holograms changed. This is the first time that the use of holograms has been used in this form to take in all of the surrounding optical environment. They can offer a new environment in the building that did not exist in the past.

4. Wall decoration

Permutation (Fig.4) is the author's first holographic work and was finished in the shape of a mural painting. It is based on a DCG reflection hologram. Although the image comprised of holograms (each with a dimension of 30cm×30cm) is a relief-like geometrical pattern, when viewed in combination, it is designed to become a pattern that continues like a puzzle.



Fig.4



Fig.5



Fig.6

The DCG reflection hologram has an especially bright picture and a delicate tone color, similar to a pearl or a buprestid beetle. The wonderful and attractive effect created by these holograms cannot be realized with any other materials used in wall decoration. Since the image is formed in front of the glass, it looks like the layer of light fluctuation has covered the whole surface of the physical glass plane. This kind of visual effect is not achievable in the actual object but only through the use of holography. The case (Fig.5) is installed in the entrance of an apartment. The holographic image is a shadowgram of natural grass. As mentioned above, when a hologram is likened to a painting, a tile, or a pottery plate, it can hold great potential as a new material for wall surface ornamentation.

5. Wall decoration: Holograms reconstructed from sunlight

If a hologram reconstructed with sunlight is installed in a basement, it will introduce a great change in atmosphere. Adding sunlight is the optimal way to improve this living space, by eliminating the feeling of being blockaded in a basement and improving the room's environment. For basements, which continue to increase in number, a solar light is an important design option. The combination of a hologram and a solar light can be considered a means of creating new livable space.

The work titled *Beyond the Window* (Fig.6) is installed in a seminar room, located in the basement of an educational institution. The work shows the reflection hologram of silver halide to which the silhouette of a branch of arborvitae is recorded and embedded in the wall. This wall has a double structure and the distance between the two wall panels is about 30cm. A circular window with a diameter of 120cm is opened in the surface panel, and in the back panel, a circular hologram with a

large diameter of 160cm is installed. The hologram increases the perceived depth of the room, making the space seem much wider than it actually is through the circular window installed.

The reconstruction of the holographic image is enabled by guiding sunlight from the roof of the building to the basement through optical fibers. If the weather is cloudy outside, the hologram will be illuminated by an artificial spotlight. The diameter of the optical fiber used to guide the light is about 10mm. At the end of fiber, the exit beam is shaped by a small lens to illuminate the hologram. The fiber produces a very sharply reconstructed image of the branch of arborvitae, remodeled to a depth of 40cm.

This round hologram is comprised of four original squares (80cm×80cm) of silver halide reflection holograms because it was difficult to prepare such a large format circular hologram with a diameter of 160cm. These four pieces of film were aligned and sandwiched between two layers of glass and laminated, thereby forming a single piece of glass. The lamination process was extremely difficult because four individual pieces of film were combined into a single piece for display. The film base had varying thermal expansion coefficients along its width and length, making it extremely difficult to maintain an optimum alignment between the attached pieces. Lamination would have been rather convenient if the piece were constructed from a single large hologram.

6. Rainbow production

The production of rainbows is an interesting application of sunlight. Fig.7, Fig.8, and Fig.9 are rainbows created by holographic grating. Fig.7 is a rainbow production on the ceiling of an art museum's entrance hall. Fig.8 shows the effect in another art museum's cafeteria. Fig.9 shows rainbow production in the dining room of a care home for the elderly



Fig.7



Fig.8



Fig.9

When sunlight hits the grating installed in the crosspiece of a window, the diffracted light produces a rainbow color on a ceiling or wall. The area of rainbow color moves along with the movement of the sun. In this case, it is necessary to install holographic grating where the direct sunlight beam enters. The position of a rainbow will change along with the time, so rainbows will be discovered in unexpected places. Sunlight gives life to all living creatures. Its presence is unconditionally comfortable to us. The sunlight's production of the rainbow carries brightness and peacefulness into an everyday living space. Holography is the easiest way to bring the sunlight inside to us.

7. Application for large format multicolor transmission holograms

In the cases mentioned above, the reflection type of hologram is mainly utilized. One inconvenience in using the transmission holograms in buildings is that they require a large space behind the holograms. This looks like useless space, but is essential for the lights, which reproduce the holographic images. At this point, it is not easy to utilize this type of hologram in daily living space.

Lastly, recent practices are described, weakness of recent practice is resolved, and multicolor transmission holograms are installed as a wall decoration.

Murmur of Aqueus (Fig.10) is an example of a three-dimensional work composed of three large format multicolor rainbow holograms. It was installed in a large-scale construction space at Tokyo Institute of Technology's Centennial Hall in 1995. A hologram is recorded on a film sheet (108cm×178cm) and laminated between two glass plates (each with a dimension of 108cm×210cm×8mm). About 35cm of the lower part of this glass-laminated hologram is installed in the stainless steel base, which is fixed to the floor. Behind the holograms, a flat water vessel with three mirrors at the bottom is set on the floor. The device is then prepared to produce ripples on the water

surface in such a manner that water drops fall from the top. The lights used for hologram reconstruction reflect from the mirrors of the water vessel and add dynamic movement and impart a sense of vividness to the three-dimensional virtual image. The images with ripples can be seen in Fig.10. In this case, the large space behind the hologram is occupied.



Fig.10



Fig.11



Fig.12



Fig.13

The next installation (Fig.11) is composed of six multicolor rainbow holograms (100cm×10cm each) with mirrors which behave like reflection holograms. This work was installed in an entrance hall of an art museum and requires the reconstruction of light from the front because there was not enough lighting space behind holograms. Rainbow holograms then need to be transferred to reflection holograms using mirrors. Each film hologram with a film mirror background is sandwiched in between two acrylic plates (10mm thickness each). The three-dimensional information changes with the horizontal shift of the observer, and multiple color changes take place with a vertical shift. The reconstructed image makes kaleidoscopic changes with each different viewing position. The kind of image that is visible, and how much space it occupies, is deeply dependent on where the observer is standing. This point is a salient feature of multicolor transmission holograms.

One recent example (Fig.12) shows a wall decoration with a multicolor hologram in the entrance hall of a National Taiwan Normal University facility. This work is composed of a large format film hologram (with dimensions of 74cm×143cm) laminated with glass and a mirror made of polished stainless steel setup behind the hologram. They are installed on a granite wall and covered with tempered glass for safety. The image is a shadowgram created with natural grass and brush strokes. It looks like a landscape painting. According to one's moving viewpoint, the holographic image changes like the landscape in different seasons. The latest example is a wall decoration (Fig. 13) with a large format multicolor hologram laminated with glass (with dimensions of 184cm×110cm) and a stainless steel mirror. It was installed in the entrance hall of a facility in Chao Tung University, Taiwan.

The design of spaces using holograms has a big effect on the surrounding environment. The author continues to attempt to bring holograms into everyday living space to produce brilliant, delightful, and comfortable spaces.

References

- [1] S.Ishii, J.Tsuiuchi, Where are We Going in Art Holography? New Directions in HOLOGRAPHY and SPECKLE, Chapter 6, pp.95-113, American Scientific Publishers, 2008 A reference
- [2] S.Ishii, Artistic Representation with Holography, paper in the Journal of the Society for Science on Form, Forma, 21, pp.81-92. 2006
- [3] S.Ishii, Art, Interior and Decoration, Holography Material & Application Handbook, Part II, Sec.1.1, pp.205-213, NTS, 2007
- [4] S. Ishii, Holography Art, 3D (three dimensional) Image Handbook, Part II, 4.1, pp.257-265, Asakura Publishing Co. Ltd, 2006 Another reference
- [5] S. Ishii, A Novel Architectural Application for Art Holography, Holographic Imaging and Material, SPIE Vol.2043, pp.101~103(Quebec, Canada), 1993

(2018 年 5 月 25 日 発表)

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[†]

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】E-mail: [†]tkuwa@ga.catv-yokohama.ne.jp

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ような形に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、上下左右と奥行き方向に同じ寸法の像が生じる。

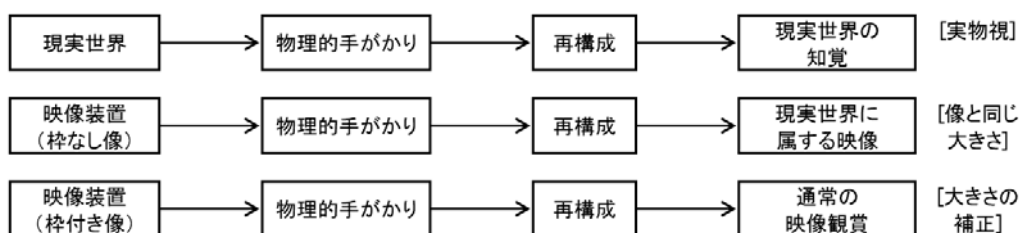


図 1 実物視と映像観賞の対比[18]

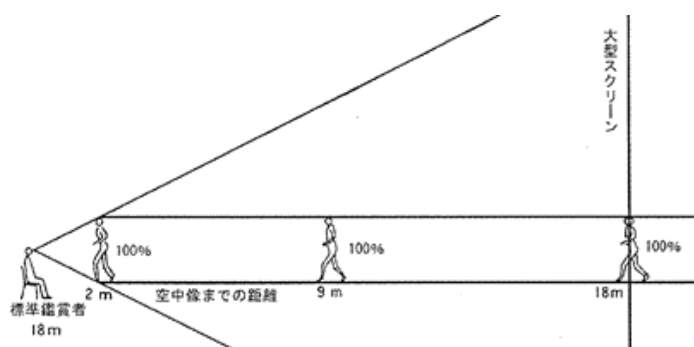


図 2 再現スケール 100%での 3D 映画の上演[18, 19]

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「表示像の大きさに感じる」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) 何も無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。

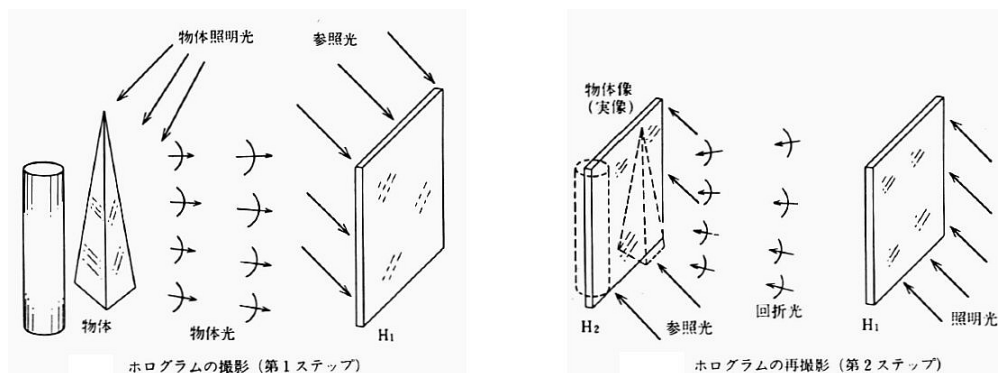


図3 ディスプレイホログラムの2段階撮影[8]

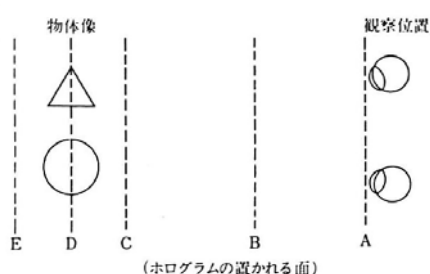


図4 ディスプレイホログラムと像の位置関係[8]

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。現在はな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ュ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

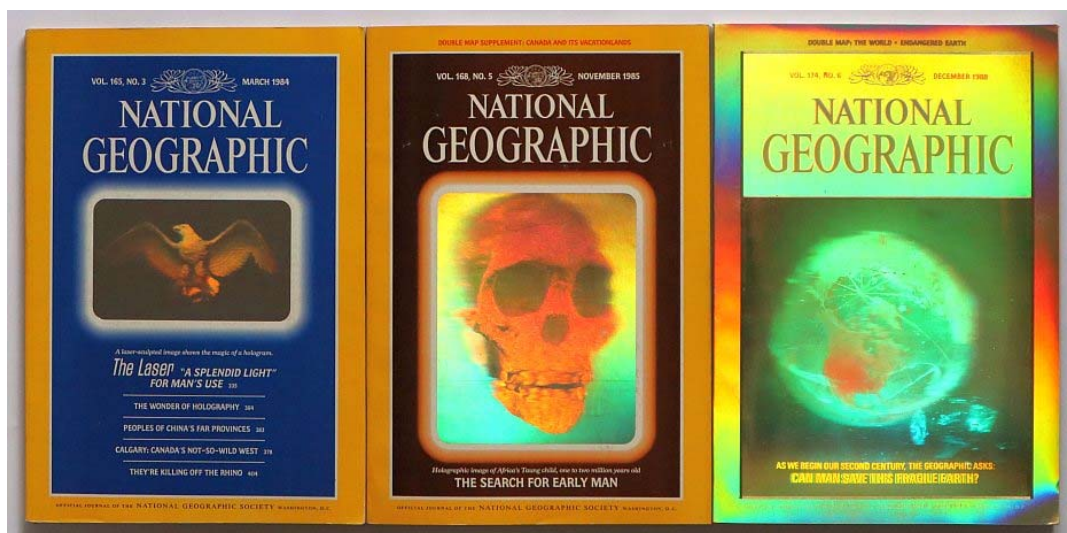


図9 3冊の“National Geographic”誌

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す。

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。

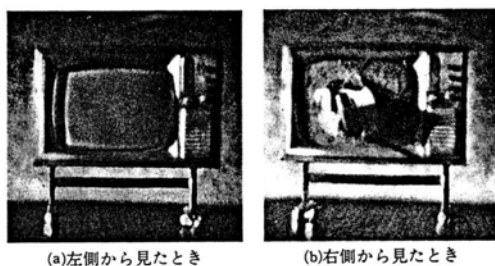


図 10 ホログラムの像[8]

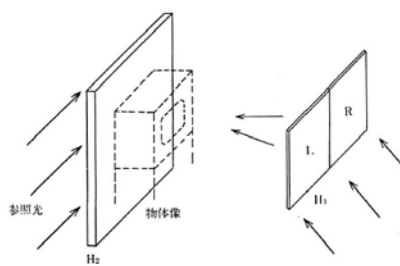


図 11 作製方法[8]



図 12 ホログラム商品の外観と 2 つの像

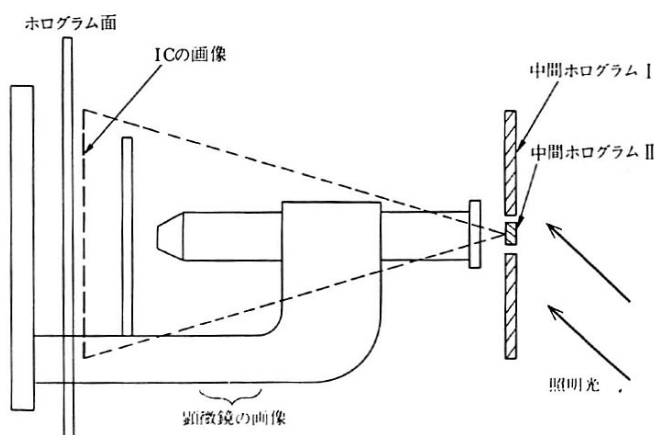
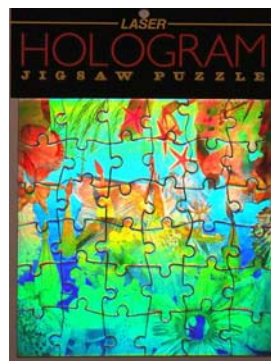


図 13 ホログラム作成方法の推定図[8]

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ィア”, 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стал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 「ホログラフィ展の案内状のコレクション」より[9]

カラーホログラムの作製技術 —究極の像再生を目指して—

久保田敏弘

株式会社 久保田ホログラム工房

〒611-0042 京都府宇治市小倉町西畑 34-1-609

E-mail:tkubota33@nifty.com

Techniques for making a color hologram
—For ultimate image reconstruction—

Toshihiro Kubota

Kubota Holography Laboratory Co., Ltd.

Nishihata 34-1-609, Ogura-cho, Uji, Kyoto 611-0042, Japan

Abstract Obtaining a reconstructed image of natural color is one of the ultimate objectives of holography. Here we focus on the Lippmann color hologram by the analog record method and discuss points to be considered about laser, recording material, optical arrangement and illumination light source etc. in order to realize the ultimate three-dimensional image.

Keywords: Holography, Color hologram, Laser, Recording material, Optical arrangement, Color reproduction

1. はじめに

自然な色の再生像を得ることはホログラフィにおける究極の目的の一つである。ホログラムから再生される3次元像に初めて接する人にとっては、その像がモノクロであってもそのリアルさに見入ってしまう。とは言え、その像がカラーであれば受ける印象は格段に異なる。実際に作製していてその事を感じる。まさに本物がそこに有るかのようである。

カラーホログラムは一般に赤、緑、青の三原色に相当する3つの波長のレーザー光で作製され、それを同じ原色を含む光で再生することにより加法混色の原理によってカラー像が得られる¹⁾。カラーホログラムの可能性については、白黒のホログラム記録からカラーの3次元像が得られることを Leith と Upatnieks が 1964 年の論文で既に言及している²⁾。その原理はよく知られているが、実際にこれを実現するためには様々な技術的な課題がある。

ここでは、クロストーク像の問題がなく白色光で再生できるアナログ的な記録のリップマンカラーホログラムを中心に、作製のためのレーザーと記録材料の選択、光学系の調整、ホログラムの処理と保存、照明用光源などについて筆者の経験もふまえ議論する。またぼけを含めた像の画質と色再現の検討などを行い、究極の3次元カラー像の実現を目指して高品質なホログラムを得るために留意すべき点について述べる。

2. カラーホログラムの作製および再生における留意点

表1はカラーホログラムの作製に必要なレーザー、感光材料、使用する光学部品と光学系の組み立てなど、また再生に使用する光源などについて、それぞれ留意すべき項目を列挙したものである。

表1 カラーホログラムの作製および再生における留意点

	留意点	使用機材、部品
レーザー	赤、緑、青の波長の選択 干渉性、出力、安定性、寿命 高出力対策（人体への影響、防燃）	固体レーザー 気体レーザー(He-Ne, Kr) 半導体レーザー
記録材料	解像力、感光域、感度、厚み 現像処理、収縮、保存性	銀塩乳剤 フォトポリマー
作製光学系の組み立てと露光	赤、緑、青ビームの同軸調整 偏光方向 安定度およびもれ光のチェック 高出力対策（光学部品の損傷）	光学定盤、ミラー、偏光ビームスプリッター、対物レンズ、ピンホール、コリメーターレンズ、乾板ホルダーなど
再生照明光源	光源サイズ 分光エネルギー分布 出力、消費電力	ハロゲンランプ LED レーザー

以下にそれぞれについて詳しく述べる。

2.1 レーザー

ホログラフィの研究初期には開発間もない He-Ne レーザーが使われており、カラー用としては赤の成分を担った。緑、青成分のための光源としては Ar イオンレーザーが使われた。

最近の固体レーザーや半導体レーザーの進歩は目覚ましいものがあり、従来のガスレーザーに代わってその波長も赤から紫まで多くの製品が出ている。カラーホログラムの作製のためには原則として、赤、緑、青それぞれのレーザーが必要である。使用するレーザーを決めるために考慮すべき要因としては波長、干渉性、出力、安定性、寿命などである。

3つの波長をどう選ぶかは3.で述べる色再現に関係している。他の要因は通常の単色のホログラムの作製の場合と同じである。干渉性については、縦シングルモードのレーザーが必要であり、発振周波数幅 Δf が 5MHz 程度のものが通常入手できる。コヒーレンス長は c を光速として大略 $c/\Delta f$ で与えられ、5MHz では数 10m 以上となる。He-Ne レーザーを長年使ってきて参照光と物体光の光路差を cm 単位で調整してきた者にとっては考えられない長さである。実際このようなレーザーで試しに光路に 3 m 程度の差をつけてもびったり調整した場合と変わらないホログラムができることを確認してはいるが、習慣は抜けられないものである。

出力に関しては、ホログラムのサイズと記録が1光束型か2光束型であるかにもよるが8インチ×10インチを目指すなら数10mW程度以上は欲しい。出力が大きくなればホログラムの作製は色々な面で楽になるが、それに伴って注意すべき点がある。100mW程度を超えると人体への被爆を特に注意しなければならない。出力が500mWを超えるクラス4のレーザーの場合の光学素子への影響としては、対物レンズやスペイシャルフルタリング用のピンホールが損傷する可能性が出てくる。そのため高出力用の素子が必要となる。このクラスのレーザーになると本体を冷却する装置が付いている。空冷ファンにしても、冷却水を循環させるチラーにしても空気のゆらぎや水の流れによるチューブの振動の影響がないか簡単な干渉計を組んで光学系付近の安定性を予めチェックして置くことが大切である。ある程度のホログラムが得られたとしても、それが最適な条件で露光されたとは限らないからである。

2.2 記録材料

記録材料として考慮すべき要因はまず解像力であり、他に感光域、感度、現像処理、収縮、保存性などである。上述した Leith と Upatnieks の論文でカラーホログラムの作製に使用された記録材料は649F乾板であった。この乾板は分光分析用としてKodakで製造されたパンクロマチックな銀塩乳剤であり、ホログラフィの研究に広く使われることになった。その後赤感用と緑・青感用と別々であるがホログラフィ用に開発された解像力の高い銀塩乳剤がAgfa-GevaertやIlfordなどから提供された。また、富士フイルムからパンクロマチックなフィルムが発売されたが、いずれも製造中止になって久しい。現在入手できるパンクロマチックな銀塩材料としてはSlavichのPFG-03CおよびUltimateのU-08C、U-04Cなどがあり、いずれも解像力は極めて高くリップマンカラーホログラム用として十分な性能を持っている。

DCG(重クロム酸ゼラチン)は固有感光域が緑より短い波長であり560nmより長い波長の光には感度がないが、極めて高い解像力と同時に低ノイズのホログラムが得られることから緑、青感用の優れた記録材料として注目された。感光域に関してはメチレンブルーなどの適当な色素で増感することにより赤の領域まで伸ばすことができる。

フォトポリマーも極めて高い解像力とノイズの少ない記録材料として注目され、DCGに代わる材料として開発が進み現在広く使われている。その最初の報告は1969年であり、カラーホログラム作製の報告は透過型であるが1971年に行われた³⁾。そこでは厚み600 μ mで、緑に対する感度は30mJ/cm²であった。改良されたカラーホログラム記録用フォトポリマーの開発については、1990年にDuPontによって、日本では1992年に日本ペイントによって報告されている。また、Covestroもカラーホログラム用の材料を開発しており、露光後はUV照射だけで加熱の必要がなく使い勝手がよい。

パンクロマチックな材料は一枚に赤、緑、青の光で3重露光することが可能でありそのために開発された材料でもある。ただ、再生像の明るさに関しては必ずしも有利ではない。それは、有効に記録できる露光量範囲は限られており、その範囲内でお互いにシェアしなければならない

いためである。各成分のホログラムを別々の材料に記録して貼り合わせる方法はその点メリットがある。この場合モノクロの材料でよく、またそれぞれの特長を生かすことができる。その典型的な一例として、パנקロマチックで高解像力の銀塩乳剤やフォトポリマーがまだ開発されない時期に、赤成分は感度の高い銀塩材料に、緑と青成分は解像力が高くノイズの少ない DCG に記録して高品質のリップマンカラーホログラムを作製する方法が報告されている⁴⁾。この方法で作製されたホログラムからの再生像の一例を図 1 に示す。



図 1 リップマンカラーホログラムの再生像の例 (1992 年頃)

銀塩乳剤と DCG の組み合わせ

記録材料の厚みは材料によってほぼ決まり、銀塩乳剤では数 μm ~10 μm 、フォトポリマーでは通常 15 μm ~20 μm である。厚みはリップマンホログラムの場合は波長選択性に関係し、厚くなるほど再生される波長幅は狭くなり像のぼけが少なくなる。一方で、波長幅が狭くなる分眼に入る像の明るさは少なくなる。

気を付けたいことは、いずれの記録材料も露光後の処理を経た段階で厚みが作製時のそれから若干変わることである。銀塩乳剤にしてもフォトポリマーにしても一般に 1%~1.5% 程度の収縮がある。その結果、再生像が最も明るくなるような照明の角度は参照光の角度とは異なる。白色光で再生する場合は実際には眼で見る限り気にすることはないが、色が多少変化し厳密に言えば収差も生じ像が歪んで画質が低下することになる。銀塩乳剤については、厚みの変化をより少なくするための手法として露光前に水に浸す処理が有効である。

露光後の処理としてはホログラム（乳剤層）の保護と経時変化を少なくするためにその面をガラス板でカバーしその間を接着剤などで固めるのが望ましい。ただし、接着剤の種類によっては次第に乳剤が茶褐色に着色してくる場合があるので注意を要する。外側のガラス面を黒塗装し反射をなくせば再生像のコントラストを上げることができる。簡単にはホログラム面を直接塗装することもできるが失敗すれば取り返しがつかない。

2.3 ビームの軸を一致させるための光学系の調整と露光

カラーホログラムの作製のためのレーザーとして赤、緑、青それぞれのレーザーを使うとすれば、それらから出る光のビームの軸が同一になるように調整し、それぞれの強度を出来るだけ犠牲にすることなくコントロールできる必要がある。そのための典型的な光学系の例を図 2 に示す。この例では各レーザーに対して誘電体多層ミラー M2 個とその波長に対応した 1/2 波長板 WP を配置している。ダイクロイックミラー DM1 は緑を透過、赤と青は反射する素子で

あり緑と赤のビームの軸を合わせる。
DM2は青を反射、赤と緑を透過させて赤、緑、青の3本のビームの軸を合わせる。
各素子の調整の順序はまず M1 と M2 により緑のビームの高さを定め M2 で反射されるビームが光学定盤面に平行になるように調整する。次に M3 と M4 により DM1 の反射面で緑のビームの位置に赤のビームの位置が一致するように調整し、DM1 から出る2つのビームの軸が同一になるように DM1 を調整する。次に青のビームに対しても

同様の調整をする。この時点では WP の軸方向の調整は必要なく、また3つのビームの軸をある程度の精度で合わせておけば、後のホログラム作製のための光学系の組み立ての際調整が楽になる。そのためにはビームの径に合った孔を開けた衝立を2個用意し DM2 の直後と2、3 m 離れた位置に置く。2つに位置で3つのビームが揃って抜けるようになればよい。

ミラーでの反射ロスを考慮すればミラーを各ビームに対して2個配置しなくても1枚でも調整は可能である。しかし、1日経てばわずかにビームのずれが生じる事があり、その時はダイクロイックミラーには触らずに2つのミラーだけで調整できる。また、場合によっては、レーザーから出たビームの直後に光アイソレーターを挿入し戻り光をカットする必要もある。

こうして調整されビームを波長に依存しない広帯域偏光ビームスプリッターWPBS に入れ、参照光側と物体光側のビームに分割する。一方のビームは広帯域 1/2 波長板 WWP により偏光方向を 90 度回転させ両者の偏光方向を一致させる。このビームを拡大して参照光、物体照明

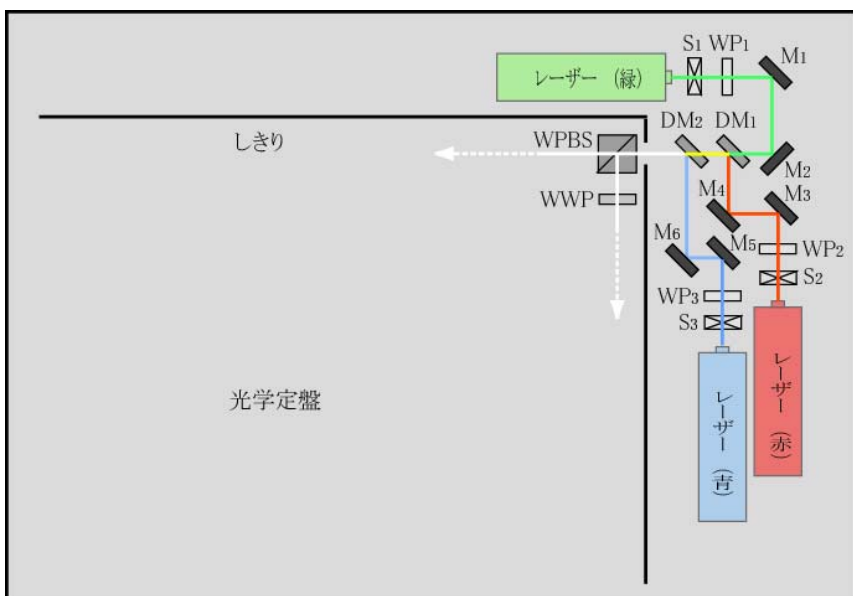


図2 赤、緑、青のレーザービームの軸を一致させるためのダイクロイックミラーを使った光学系の例

M1～M6：広帯域誘電体多層ミラー

DM1：赤反射、緑・青透過ダイクロイックミラー、DM2：青反射、赤・緑透過ダイクロイックミラー

WP1:緑用 1/2 波長板、WP2:赤用 1/2 波長板、WP3:青用 1/2 波長板
WWP:広帯域 1/2 波長板

WPBS：広帯域偏光ビームスプリッター

S1～S3：シャッター

光を得るためには対物レンズを使う。ノイズのないきれいな球面波にするにはピンホールを組み合わせてスペイシャルフィルタリングを行うが、上述した調整だけでは赤、緑、青の光が全てピンホールを通過し偏らずに均一に広がることはまずない。そのための再微調整は必ず必要になる。また、レーザー毎に出射されるビームの径や広がり角が異なる場合は対物レンズで広げたとき同じ様な広がりとはならず白色光にしようとしても広がった領域のどこかで色むらが生じてしまう。そのためには対物レンズに入射するまでの光路の長さをレーザー毎に調整することによりある程度は調整できる。

径の大きな平行光を得るためにはコリメーターレンズあるいは軸外しの放物面ミラーを使うが、レンズの場合は単レンズではなく色消しレンズが望ましい。単レンズは波長によって焦点距離が異なるため3波長の光全てに対して厳密には同時に平行光にはできない。

図2に示したような光学系を使ってビームの軸を一致させておけば、フォトポリマーのような同時露光を必要とする材料に対しては有効である。銀塩材料に対しても同じことが言えるが、この材料は必ずしも同時露光する必要はない。この場合、ダイクロイックミラーを使わず簡単にミラーだけの配置で逐次露光することは可能である。

ホログラムを作製するための光学系を組む際には、ミラーなどの部品は必要以上に使わず出来るだけコンパクトになるように心掛ける。ノイズのないきれいなホログラムを得るために露光する前にしておきたい事は、散乱光などのノイズがホログラム面にかぶさっていないかのチェックである。参照光と物体光を交互に覆いそれぞれの強度や光の広がり具合を確かめるが、それらの光の中に余分な光が紛れ込んでいる場合がある。これらはレーザーの出射窓からの散乱、ミラー面に当たる光ビームの散乱、レンズホルダーの縁からの反射、また定盤面からの反射など様々な原因で生じる。これらをカットするために衝立を用意する。まず対物レンズによって広がったビームの適当な位置に丸い孔を開けた衝立を置き必要な部分だけを通すようにする。また、ビームの脇や乾板ホルダーの近くにもいくつか衝立を置く。

余分な光がカット出来ているかどうかは、対物レンズで広がった光だけをカットするような小さな円板状のマスクをピンホールの近くに置き参照光と物体光のみを遮ったとき、ホログラム面に何か光が紛れ込んでいないかどうかでチェックできる。また、参照光と物体光を直接見ないような工夫は必要であるが、ホログラムの枠内から広い範囲に亘って覗いてみて、ミラーなどの部分にビームが当たって光っているスポットが眼に入らないかチェックもしたい。

2.4 再生照明光源

再生のために使う照明光源として考慮すべき点は像のぼけと色みである。像のぼけの大きさはホログラムの厚みの他に光源の大きさにも依存するため、出来るだけぼけの少ない鮮明な像を得るためには光源の大きさ、正確には見かけの大きさ、をできるだけ小さくするようにするのが望ましい。一方で、そのために明るさが犠牲にならないような工夫も必要である。光源の種類によっては色再現とは別に像の色みが変わり見たときの印象が変わる。この演色性は光源

の分光エネルギー分布が異なるためであり、異なる種類の光源で同時に像を再生し比較して見ると良くわかる。幾つかの光源の分光エネルギー分布を図3に示す。良く使われる光源としてハロゲンランプがある。この光源の色温度 T は3000K前後で再生像の色は温かみのある印象を与える。最近では高出力の白色LEDが簡単に入手できるようになり、光源も軽くて小さく消費電力も少ないためよく使われるようになっている。同じ白色でも暖色やクールなど色温度が異なるものがあるが、図からわかるようにそのエネルギー分布は独特の形状をしており色温度だけでは色みが判断できない場合が多い。

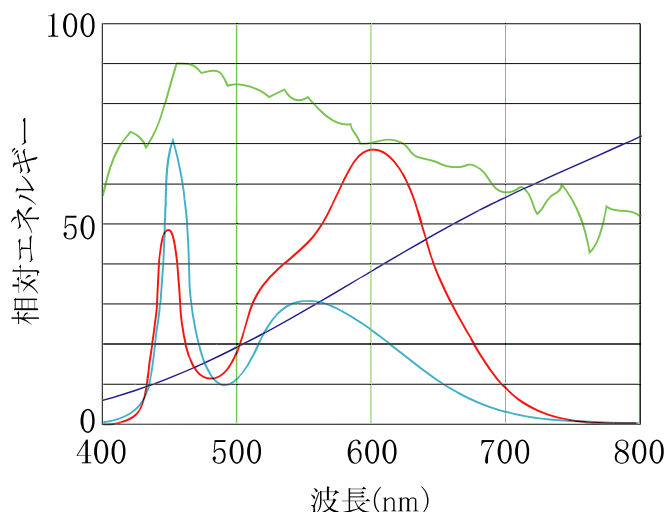


図3 再生用光源の分光エネルギー分布の例

- 太陽光 $T=6500K$
- ハロゲンランプ $T=3000K$
- 白色LED $T=6500K$
- 暖色LED $T=3000K$

3. 色再現

一般の被写体の分光反射率分布は連続である。この被写体を三原色のレーザー光を用いてリップマンカラーホログラムに記録すれば、その再生光は波長選択性のため3つの記録波長付近においてのみ値をもつような分光反射分布となる。したがって、再生像の色は被写体と色とは一般に一致しない。どのような色が再現されるかは、CIE表色系を用いれば解析できる。被写体および再生像の色は3刺激値から求められ、それらを比較することにより色再現の評価が行われている⁵⁾。

色再現に関する解析によれば、三原色のレーザー光を適当に選べば、再生像の色と被写体の色とその差が眼で見て分らない程度に一致させることができる、すなわち忠実な色再現ができるという結果が得られる。最適な三原色の波長は被写体の色をどのように選ぶかや使用する照明光源などによって多少異なるが、赤が610nm付近、緑が530nm～540nm、青が460nm～470nmである。3波長ではなく580nm付近の波長を加えて4波長で記録すれば、元の被写体と再生像の色の差はほとんどなくなり、忠実な色再現ができることが知られている。

上記のような色再現を最適にする解析では再生照明光の角度が参照光のそれと同じとした。これとは別に、再生照明光の角度が記録時のそれから変化した場合再生像の色は被写体の色から変化してしまう。この変化が最少になる波長の組み合わせがあることが報告されており、実験でもそれが確かめられている⁶⁾。

4. ホログラムプリンターによるカラーホログラム

実際の被写体にレーザー光を照射しホログラムを作製するアナログ的な手法は、対象とする被写体に制限があり動き易いものや大きなものには不向きである。これに対し、ホログラムプリンター⁷⁾のように小さなドット状の要素ホログラムを敷き詰めてデジタル的に記録する手法は被写体に制限がないのが最も大きな特長で、架空のものでもよく、また像も任意の位置に再生できる。特に、大きな被写体に対して有利であり、部分的に記録されたホログラムを敷き詰めるタイリングによってホログラムのサイズを実質的に大きなものにすることができる。また、比較的小出力のレーザーを使うことができる。カラーホログラムの記録には赤、緑、青の3成分を同じドット内に3重露光しても、またそれぞれの成分を別のドットとして露光してもよい。ドット形状が眼に着くかどうかはその大きさと観察距離による。大きさが眼の分解能以下になればアナログ的な記録と同じような感覚で再生像を見る事ができるはずである。

5. おわりに

アナログ的な記録のリップマンカラーホログラムを中心に、レーザーと記録材料、光学部品および光学系の調整、ホログラムの処理と保存、再生照明光源などについて議論し、高品質なホログラムを得るために留意すべき点について述べた。注意深く作製されたこの方式のホログラムは他の技術では表現し得ない魅力的なものを持っている。

一方、ホログラムプリンターのようなデジタル的に記録されたホログラムはアナログ方式にはない特長を持っており、画質の向上とともに今後の更なる発展が期待される。

参考文献

- 1) P.Hariharan: *Optical Holography, Principles, techniques, and applications* (Cambridge Univ. Press 1996) 145-161.
- 2) E.N. Leith and J. Upatnieks: Wavefront reconstruction with diffused illumination and three-dimensional objects, *J. Opt. Soc. Am.* **54**(1964) 1295-1301.
- 3) E.T. Kurtzner and K.A. Haines: Multicolor images with volume photopolymer holograms, *Appl. Opt.* **10** (1971) 2194-2195.
- 4) T. Kubota: Recording of high quality color holograms, *Appl. Opt.* **25**(1986) 4141-4145.
- 5) 久保田敏弘 ; リップマンカラーホログラムの色再現と記録・保存への応用、*光学* **18** (1989) 97102
- 6) 西原隆、久保田敏弘 ; リップマンカラーホログラム再生像の色変化に関する研究、*光学* **25** (1996) 329-336.
- 7) 山口雅浩、重田博昭、村上百合、大山永昭 ; ホロプリンターにおける色再現手法の研究、*ホログラフィック・ディスプレイ研究会会報* **24**,No.2(May 2004) 12-15.

ホログラフィを題材とした千葉大学における

教育への取り組み

白木厚司[†], 酒井朋子[‡], 米谷貴信[‡], 伊藤智義[†]

[†] 千葉大学, [‡] 千葉市立千葉高等学校

E-mail: ashiraki@chiba-u.jp

あらまし: ホログラフィアート作品が持つ立体感や見る方向によって異なる物が見える驚きは見る人を魅了するものである。ホログラフィの原理である光の干渉や回折という現象は高校の物理で習うが、実際に活用されている場面を見る機会はそれほど多くない。そこで、千葉大学ではホログラムの作製実習や作品展示、研究紹介を通じて、教育への取り組みを行っている。本稿ではその取り組みについて紹介する。

Approach to education at Chiba University

with holography

Atsushi Shiraki[†], Tomoko Sakai[†], Takanobu Yoneya[‡] and Tomoyoshi Ito[†]

[†] Chiba University, [‡] Chiba Municipal Chiba high school

E-mail : ashiraki@chiba-u.jp

Abstract: The stereoscopic effect of holographic art attracts viewers. The phenomena of light interference and diffraction, which is the principle of holography, are learned by the physics of high school, but there are not many opportunities to actually see the scenes in which they are used. So we are working on education through the production of holograms, exhibitions of works and research introductions. In this paper, we introduce our efforts.

1. はじめに

ホログラフィは物体の 3 次元情報を記録・表示可能な技術として広く知られている。3 次元情報を記録したホログラムは 3 次元写真としてアート分野で活用されており、近年では、製造の困難さから紙幣やクレジットカードの偽造防止などにも利用されている。このようなホログラムは見る人を魅了するものであるが、ホログラムを記録する際に必要となる高性能な除振台やレーザーなどの設備、記録したホログラムを現像する際に必要となる薬剤などの維持・管理が難しく、ホログラムを作製できる機関はそれほど多くない。また、

乾板に記録したホログラムは静止画に限られるという問題もある。

一方で、物体の 3 次元情報を記録するホログラムをコンピュータで作成し(CGH: Computer-Generated Hologram), LCD(Liquid Crystal Display)などの電子デバイスに表示することで元の 3 次元像を再生する電子ホログラフィ[1]という技術がある。電子ホログラフィではホログラムをコンピュータで作成するため、記録するための実物体を必要とせず、また、電子デバイスに表示するホログラムをコンピュータにより更新可能であるため、動画を容易に表示できるという利点がある。しかし、電子ホログラフィでは光の波長に近いほどの高精細な電子デバイスが必要となることや、CGH の作成には膨大な計算量処理できるコンピュータが必要となるといった問題があり、実用化には至っておらず、現在も盛んに研究が行われている。

また、高校の物理の中で光の干渉や回折という現象を知識として習得するが、現実社会においてどのような場面で物理現象が利用されているのかを知る機会は少なく、その現象を利用したものに触れる機会はさらに少ない。このような現象に実際に触れることで光学や学問全体に対してもっと興味を持ってほしいという狙いから、これまで千葉大学では酒井朋子技術専門職員を中心としたホログラム作製実習やホログラム作品展示、伊藤智義教授を中心とした電子ホログラフィの研究紹介など、ホログラム講座を行ってきた。本稿では、主に高校生を対象とした講座を採り上げ、ホログラフィを題材とした千葉大学における教育への取組みについて紹介する。

2. ホログラム講座の実習内容

高校生を対象としたホログラム講座では、大きく「アナログのホログラム」と「デジタルのホログラム」に分けて行う。本章では、それぞれの実習内容について述べる。

2. 1 アナログのホログラム講座の実習内容

アナログのホログラム講座[2]では、光の干渉や回折といった物理現象に関する知識の習得にとどまらず、ホログラムの記録の際に利用するレーザーや光学系を用いた物理実験、ホログラムの現像処理で生じる化学実験を通じて、体験者が実際に手を動かしてオリジナルのホログラムを作製することで得られる感動や達成感を狙いとしている。また、ホログラフィアーティストによる様々なタイプの美しいホログラム作品を鑑賞することでホログラフィへの関心を高め、ひいては「科学」への興味を持たせることも狙いの一つとしている。

まず、ホログラフィの原理やホログラムの種類等について座学での説明をし、続いてホログラム作品の紹介を行い、その後にホログラムの作製実習を行う。ここで、ホログラムの作品紹介を作製実習の前に行うことが重要なポイントとなる。完成されたホログラフィ

アート作品は、その立体感や見る角度によって異なる物が見える驚きなど、見るものを魅了する。その結果、ホログラム作製実習へのモチベーションを高めることができ、また、光の作用などの物理法則への関心も高めることができる。

2. 1. 1 ホログラフィの説明

ホログラフィについてあまり詳しくない受講者に説明するため、ホログラフィの説明に先立ち、まず人間が物を見るときはどういうことなのかを図1のような図を用いて説明している。「図のようにリンゴが置いてあるときに、明るい場所ではそのリンゴを認識することができるが、真っ暗な場所ではその場にリンゴがあるにもかかわらず認識することができない。これはなぜか？」このような質問をすることで、人間は物体の表面からの反射光（物体光）により物体を認識しているということが理解でき、ホログラフィはこの物体光を作り出すことで立体像を再生できるということの理解につながる。このような説明の後、ホログラムの種類やホログラフィの記録・再生の原理について説明し、ホログラフィアート作品を鑑賞する時間を設けている。なお、ホログラフィアート作品のホログラムの種類や特徴などの解説についてはTA(Teaching Assistant)の学生に補助をしてもらう。

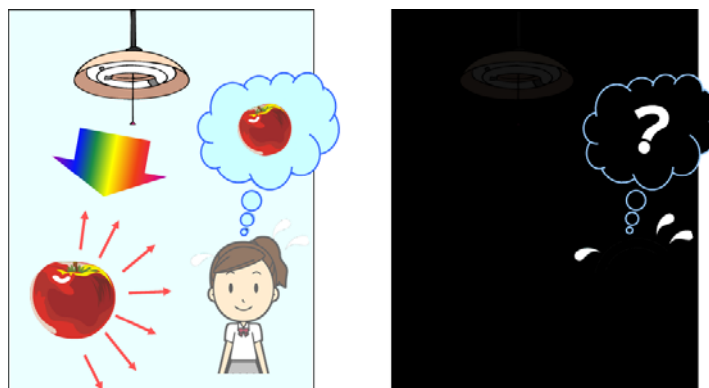


図1 物の見え方の説明のための図

2. 1. 2 ホログラムの作製

ホログラム作製の工程に従い、それぞれの工程における注意点などを説明した後に作製に取り掛かる。いくつかの注意点を以下に記す。なお、ホログラム作製はTAの学生に補助をしてもらう。

・記録する物体の作製時における注意点

記録する物体を選ぶ際に、使用するレーザー光（633nm）を効率よく反射する色（金、銀、白、赤、黄、オレンジなど）を選ぶと良い。また、素材として振動に影響されない硬質な材料（硬質プラスチック、金属、陶磁器など）を選ぶと良い。

・ホログラムの記録時における注意点

干渉縞がずれてしまいホログラムが記録できなくなるため、実験台によりかかったり手

をついたりしないこと。また、空気の動きにより干渉縞がゆらぎホログラムが記録できなくなるため、露光の前に 120 秒ほど静かに待つこと。

このような注意点は光の特性や干渉縞の精細さなどについて、体験者の理解をより深めることにつながり、また、失敗の可能性を示唆することで、緊張感を持って実習に臨めるようになる。

2. 2 デジタルのホログラム講座の実習内容

デジタルのホログラム講座では、電子ホログラフィやデジタルホログラフィのデモンストレーションの体験や、近年よく耳にするがあまり触れる機会のない VR(Virtual Reality)の体験などにより、最先端の研究や技術を知ってもらうことに加え、学生と交流の時間を設けることで大学の研究室の雰囲気を知ってもらい、今後の進路決定に役立ててもらうことを狙いとしている。

まず、人間が物を見るときに立体と認識する要因について説明し、ホログラフィおよびホログラフィ以外の立体表示技術について簡単に紹介する。ここで、先に説明した「立体と認識する要因」をホログラフィがすべて満たすことを伝え、奥行き知覚の観点におけるホログラフィの優位性を説明している。これにより、ホログラフィを用いた立体テレビなどの応用技術の実現には様々な問題があるが、ホログラフィ分野の研究の意義を伝えることができる。その後、TA を主体としてデモンストレーションおよびフリーディスカッションを行う。デモンストレーションの例を図 2 に示す[3]。図 2 (左) は電子ホログラフィによるリアルタイム動画のワンシーンであり、図 2 (右) はモーションセンサの一つである Leap Motion による手の形状認識を利用し、リアルタイムで再生像を拡大したものである。

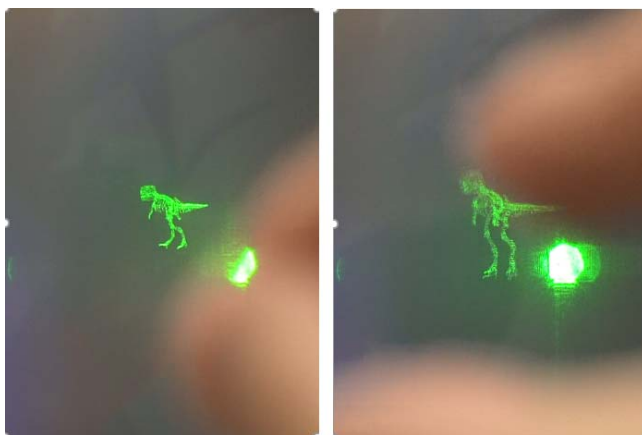


図 2 電子ホログラフィのデモンストレーションの例

3. 実習実績

これまで千葉大学では、酒井朋子技術専門職員、伊藤智義教授を中心とし、高等学校等と連携してホログラム講座を実施してきた。一般の方を対象としたホログラム講座（例えば千葉大学の大学祭など）も多数行われているが、本稿ではこれまでに連携してきた高校等を表 1 に示す。なお、千葉市立千葉高等学校とのホログラム講座については、熱心に取り組まれている米谷貴信教諭との連携により 2018 年度以降も継続して実施予定である。

表 1 ホログラム講座を実施した高等学校等

実施年度	高校名（所在地）
2003	県立柏高等学校，県立成東高等学校（千葉）
2004	県立船橋高等学校，県立成東高等学校（千葉）
2005, 2011	芝浦工業大学柏高等学校（千葉）
2011	銚子市立銚子高等学校（千葉）
2013	明照学園樹徳高等学校（群馬）
2014	面白物理教材研究班（高校教諭）（千葉）
2014 – 2017	千葉市立千葉高等学校（千葉）
2015	県立松山女子高等学校（埼玉）

4. 作品紹介

2017 年度に実施した千葉市立千葉高等学校とのホログラム講座において、受講した生徒が作製したホログラム作品の一部を図 3 に示す。本講座ではデニッシュウクホログラムを作製しており、記録した本物の物体がそこにあるかのように見えている。様々な要因により全ての受講生が鮮明に見える作品を作製できるわけではないが、自身の作製した作品を大事に扱っていることが見て取れた。

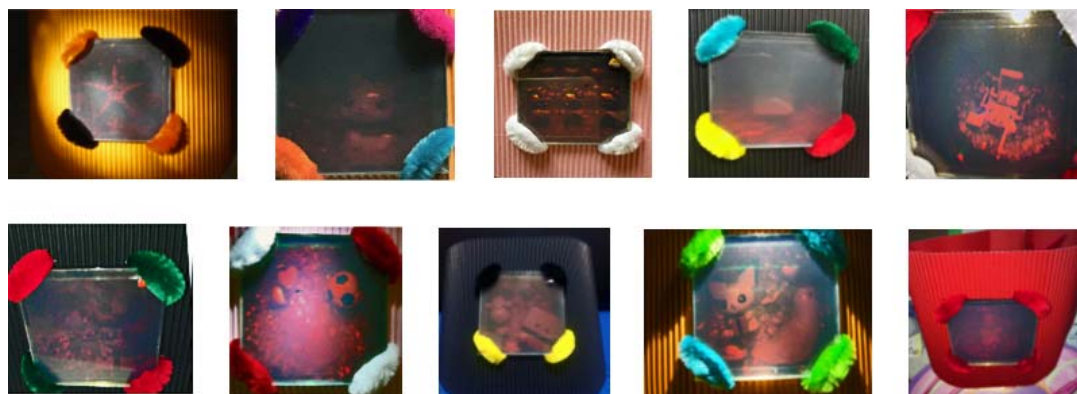


図 3 千葉市立千葉高等学校の生徒たちのホログラム作品

5. まとめ

これまで千葉大学ではホログラフィを題材とし、高校生などを対象にホログラム講座を実施してきた。この取組みは、現実社会においてあまり触れることのない物理現象を利用した技術に実際に触れることで、光学や学問全体に対してもっと興味を持ってもらうことを目的の一つとしている。千葉市立千葉高校とのホログラム講座では、元々科学に興味のある生徒が受講することが多いため、本講座により関心が高まったか否かについての判断は難しいが、後に提出されたレポートでは皆一様に「楽しかった」、「感動した」といった感想を述べていた。また、「本講座で学んだ光の性質などを今後の物理の授業に活かしたい」や「物理の研究に興味を持った」、「ホログラムの特性を活かして 3D 酔いしにくい VR の研究をしたい」など、これからの学業や研究活動に活かしたいという感想もあり、学生との交流なども含め、本講座が少なからず受講者の進路決定に役立てられていると考えている。さらに、TA の学生においても普段からこういった物理現象や応用技術について説明する機会はそれほど多くなく、本講座に参加することは非常に良い経験となっている。今後も受講する生徒や補助学生の教育、地域貢献の取組みとして継続していく予定である。

参考文献

- [1] P. S. Hilaire, S. A. Benton, M. Lucente, M. L. Jepsen, J. Kollin, H. Yoshikawa and J. Underkoffler, "Electronic display system for computational holography," Proc. SPIE, Vol. 1212, pp. 174-182 (1990).
- [2] 酒井朋子, “ホログラフィー作製実習,” 千葉市立千葉高校ホログラム講座説明資料 (2017).
- [3] S. Yamada, T. Kakue, T. Shimobaba and T. Ito, "Interactive holographic display based on finger gestures," Scientific Reports 8, Article Number 2010 (2018).

平成 30 年第 2 回 ホログラフィック・ディスプレイ研究会のお知らせ

■日時： 2018 年 5 月 25 日 13:00～17:30

■場所： 日本大学理工学部・駿河台キャンパス (5 号館 2 階 524 室)
<https://www.cst.nihon-u.ac.jp/campus/surugadai/>

■テーマ ホログラフィにおけるアートと教育

■プログラム

1. HODIC 鈴木岡田記念賞授賞式及び記念講演

- HODIC 鈴木岡田記念賞について

ホログラフィック・ディスプレイ研究会会長 伊藤 智義

- 選考経緯と選考結果の報告

2017 年度 HODIC 鈴木岡田記念賞選考委員長 山内 豪

・表彰状の授与

・記念講演 1 遠藤 優 (金沢大学)

・記念講演 2 涌波 光喜 (情報通信機構)

—休憩—

2. 講演会

タイトル未定

石井 勢津子 (美術家)

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

カラーホログラムの作製技術 —究極の像再生を目指して—

久保田 敏弘 (久保田ホログラム工房)

ホログラフィを題材とした千葉大学における教育への取組み

白木 厚司, 酒井 朋子 (千葉大学), 米谷貴信 (千葉高校), 伊藤 智義 (千葉大学)

IDW におけるホログラフィ展示についての報告

土田 勝 (NTT)

■研究会参加申込 当日受付 (事前の申込は不要です)

■参加費 会員 無料, 非会員 2,000 円, 学生で会報不要の場合は無料

■問合せ先 HODIC 事務局

日本大学 理工学部 応用情報工学科 吉川・山口研究室 気付

E-mail: office@hodic.org

平成 30 年第 3 回 ホログラフィック・ディスプレイ 研究会のお知らせ／講演募集

ホログラフィック・ディスプレイ研究会では、2018 年 9 月 7 日（金）に公募形式の研究会を開催します。今回は「立体映像およびホログラフィー」というテーマで、技術・アート・デザイン等の観点での発表を公募します。下記の申込み方法をご参照の上、ぜひご応募下さい。

■ 開催日： 2018 年 9 月 7 日（金） 午後（予定）

■ 場 所： 電気通信大学

京王線 調布駅下車

■ テーマ： 立体映像およびホログラフィー

■ 共 催： 映像情報メディア学会

映像表現&コンピュータグラフィックス研究会

立体映像技術研究会

■ 発表申込方法：

申し込みについては、共催の映像情報メディア学会の研究会発表申込システムを使用します。

申し込み方法等が不明な場合は、下記までご連絡ください。

・映像情報メディア学会の WEB ページより（研究会発表申し込みシステム）

<http://www.ite.or.jp/> → 「投稿する/参加する」 → 「研究会」 → 「研究発表のお申し込み方法」 映像表現&コンピュータグラフィックス研究会 または 立体映像技術研究会 を選択

または以下の URL へアクセス。

<http://www.ite.or.jp/ken/program/index.php?tgid=OSJ-HODIC>

・講演申込み締め切り：2018 年 7 月 7 日（土）

■ 問合せ先

・HODIC 事務局 日本大学 理工学部 応用情報工学科 吉川・山口研究室 気付

E-mail: office@hodic.org

ホログラフィック・ディスプレイ研究会役員（敬称略）

名誉会長	辻内 順平	会長	伊藤 智義（千葉大学）
副会長	山本 健詞（情報通信研究機構）	前会長	橋本 信幸（シチズン時計）
国際担当	西辻 崇（首都大学東京）	企画委員長	山口 健（日本大学）
会計幹事	山内 豪（大日本印刷）	事務局長	岸本 康（凸版印刷）
編集長	吉川 浩（日本大学）		

幹 事（５０音順）

石井勢津子（美術家）	石川 洵（石川光学造形研究所）	岩田 藤郎
植田 健治（大日本印刷）	太田 和哉（トリマティス）	鎌田 康昌（凸版印刷）
久保田敏弘（久保田ホログラム工房）	酒井 朋子（千葉大学）	坂本 雄児（北海道大学）
佐藤 甲癸	佐藤 俊一（シャープ）	下馬場朋禄（千葉大学）
白倉 明（アーティエンス・ラボ）	高木 康博（農工大）	高橋 進（凸版印刷）
田中 賢一（長崎総合科学大）	谷口 幸夫（大日本印刷）	福田 隆史（産総研）
本田 捷夫（本田ひかり技研）	松島 恭治（関西大学）	三科 智之（日本放送協会）
森田 正紀（アルファバグ）	山口 雅浩（東京工業大学）	渡邊恵理子（電気通信大学）

相 談 役（５０音順）

上田 裕昭（エコミナルタプラネタリウム）	小野 雄三（立命館大学）	勝間ひでとし（湘南 LRT 研究 G）
桑山 哲郎	永田 忠昭（arts-unis）	三田村峻右
堀内 道夫（光と風の研究所）		

編集部よりのお知らせ

編集部では皆様からの情報を募集いたしております。ホログラフィ関連のお知らせや報告などがございましたら、下記編集部連絡先までお送り下さいますようお願い申し上げます。

なお、次号会報に掲載するためには研究会開催日の１ヶ月前が締切となります。

HODIC Circular, Vol. 38, No. 2 (May 2018)

2018 年 5 月 25 日発行

編 集 日本光学会 ホログラフィック・ディスプレイ研究グループ

編 集 長 吉川 浩(日本大学)

HODIC 事務局 (入会・連絡先変更・各種問合せ等)

日本大学 理工学部 応用情報工学科 吉川・山口研究室 気付 (担当: 吉川 浩)

〒274-8501 船橋市習志野台 7-24-1

TEL/FAX 047-469-5391 E-mail: office@hodic.org

WEB: <http://www.hodic.org/>

ご連絡はなるべく電子メールまたは FAX にてお願いいたします。

For foreign members, any corresponding to

Hiroshi Yoshikawa, Dept. Computer Engineering, Nihon University

7-24-1 Narashino-dai, Funabashi, Chiba 2748501 JAPAN

E-mail: yoshikawa.hiroshi@nihon-u.ac.jp

HODIC