

## 彼女は益々魅力的

シチズン時計（株）研究開発センター

橋本 信幸

そう初めてで出会ったのは二十歳の頃だ。そのときの彼女と今に至るまで付き合うことになるとは思ってもみなかつた。それは青春を謳歌したキャンパスでの出来事だ。私は2回生で講義や実験そしてそのレポートに追われながらも楽しい学園生活を送っていた（と思う）。出会ったのは学生実験のときだ。どきどきわくわくしながら暗室でやっと会えた彼女に胸が高鳴っていた。ここまで書けばホログラフィに関わる皆さんは察しがつくと思うが、彼女とはホログラフィ（その再生像？）のことだ。

（1ページにつづく）

### 目 次

1. 卷頭言：彼女は益々魅力的	橋本信幸 表紙
2. 液晶による空間光制御 その歴史と展望	橋本信幸 2
3. 透過型液晶光学素子のホログラム技術への応用	田辺綾乃, 他 11
4. A plastic holographic waveguide combiner for light-weight and highly-transparent augmented reality glasses	附田大輔, 他 12
5. 次世代ホログラム技術：Ega-rim & Egarim PBS が導く 1 mm の光学世界及び高度ホログラム技術の応用	加瀬澤寿宏, 他 18
6. HOE と画像再構成に基づく透明スクリーンカメラとその応用	中村友哉, 他 26
7. HODIC in Taiwan 5 開催報告	長浜佑樹 31
8. 韓国のホログラフィ情報	宋 玄鎬 35
9. 次回研究会のお知らせ	巻末

当時（1979年）としてはホログラフィの実験は珍しかった。AGFA10E75 の 35mm ローラフィルムを切って、たかだか 2mW の He-Ne レーザーでの露光実験だった。確か被写体は小さな人形だった。ホログラフィは高校物理2の参考書で「夢の技術」と紹介されていたので、そのときはまさか2年後に自分が実際に作成できる機会があるとは思わなかつた。そして恐らく光学特に情報光学に関わる多くの方がそうであったように、私も光学の研究室に進むことになった。そしてそこでもホログラフィをテーマにした卒論、修論を行つた。ただ、ホログラフィに関わる研究やそのアイデアは60~70年代にほぼすべてが出し尽くされていたと言っても過言ではなかつた。案の定、テーマの設定にはたいへん苦労し、サモプラスティックという比較的新しい光記録材料（可逆）の物性評価とメモリへの応用でお茶を濁した。

修士修了後に、現在の会社に入社しそこで液晶ディスプレイの研究室に配属された。当時は時計メーカーが液晶テレビの開発に資源を集中させていた。そこで液晶が位相変調素子として優れた特性を持つことに気付き、これでホログラフィを再生できないかと考えた。今の動画ホログラフィの走りだった。そして91年に多分、世界で初めて液晶素子を用いた3Dの動画ホログラフィ装置を発表した。その後はCPUやGPU、撮像・表示デバイスそして計算工学の飛躍的な進歩とホログラフィが結びつき、かつてはアイデアだけで実現が困難だった魅力的な応用が研究者や技術者の長年の努力で実を結びはじめてきた。デジタルホログラフィは計測や顕微鏡の分野で実用化がはじまっている。ホログラムプリンタや動画ホログラフィもその画質は用途によってはかなり実用化に近いところに来ていると思う。そして、もう間近の5Gのシステムが社会実装されれば、時空間を簡単に共有できることになりAR/VRシステムが本当に活かされることになるはずだ。面白いことに古典的なホログラムであるエッジリットタイプのホログラムは眼鏡型端末の導光に最も適した技術（コスト、軽量、コンパクト）になるはずだ。ホログラフィックレーザー加工も動画ホログラフィから派生した注目すべきアプリケーションだ。何だかホログラフィとその周辺は再びワクワクすることが起きる（起きている）予感がする。もうしばらくこの世界に身を置かせてもらおう。彼女は益々魅力に満ちあふれているのだから。

## 液晶による空間光制御 –その歴史と展望–

シチズン時計（株）研究開発センター 開発部

橋本 信幸

hashimotono@citizen.co.jp

### Abstract

Spatial light modulation especially utilizing liquid crystal devices is now very attractive for optical information processing such as holography, optical memory, OCT, microscopy, laser processing and so on. I have long been in charge of this field over 40 years when I first met holography during my undergraduate. In this paper, I will describe history and future prospects of liquid crystal spatial light modulators and its applications.

### 1：はじめに

私事になるが、早いものでホログラフィに関わって40年、そして液晶にも35年に渡つて関わってきた。巻頭言にも書かせていただいたが、学生時代にホログラフィを学び、現在の会社に入社して液晶と出会い、そして液晶による空間光波面変調とその光学応用の研究開発を、あるときはアングラでそして稀に（？）事業化目標テーマとして継続してきた。その間に社内外の多くの方々に支えられて、そのいくつかは製品として世の中に出すことができた。一連の研究開発と実用化が評価され企業人としては珍しくOSAとSPIE両方からFellow称号をいただいた。これは本当に名誉でそして多数の方々に感謝しなければならない出来事だった。

駆け出しの頃は、偉い先生が科学技術の歴史と思想そして未来を語って下さったときに、まさか僭越ながら自分も同じようなことを語るときが来るとは想像していなかった。せっかくこのようなチャンスをいただいたので、恥ずかしながら自分が関わってきたことを中心に、液晶とその光学応用の歴史そして今後について語ってみたい。多少なりとも皆様、特に次世代の方々に参考になれば幸いである。

### 2：液晶素子の黎明期

ご存知の方も多いと思うが、液晶表示素子は64年に今はなきRCA研究所のHeilmeierにより最初に報告された<sup>1)</sup>。このときは電流注入型の散乱モードで消費電力も大きくあまり注目されなかつたようだが、Schdatが71年に今のネマティック液晶に通ずる電界制御型の液晶デバイスを発表し、液晶は一躍注目されることになった<sup>2)</sup>。特に当時、このデ

バイスに目を付けたのはバッテリーに限りのある時計と電卓メーカーだった。当社もその発表前後から実用化の研究をスタートしていた。当時はすでに CMOS も発明されていて液晶と CMOS を組み合わせることで、電池一個で一年以上動く液晶デジタルウォッチを製品化した。これはもしかすると、その後のデジタルウォッチの流行につながったのでイノベーションといつても過言ではなかったかもしれない。74 年のことである。余談だが開発に当たっては、私の上司であった諸川らが活躍していた。現在の時計は皮肉なことにスイスを中心とした機械時計が市場（個数ではなく売り上げ）の大部分を占めている。

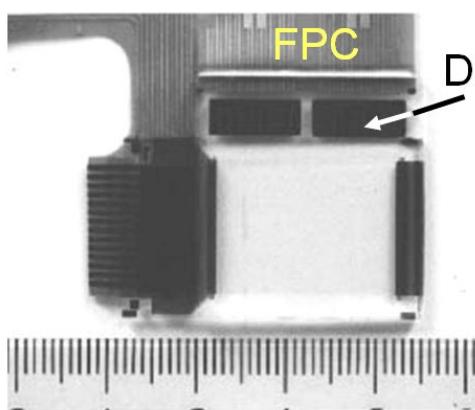
時計や電卓に使われた液晶はセグメント型といわれ、分割独立した画素構造をもち各画素が一対一対応で電源とつながれスタティック駆動される。しかしこの構造では画素数が増えると、引き出し電極が同じだけ増えてしまう。そのため今の液晶ディスプレイに通じるマトリクス時分割駆動が 70 年頃から提案されるようになった。これは各画素間でタイミング電極を共有しているため、基本的には独立駆動が難しい。80 年代に入りエプソン（現、セイコーエプソン）により TFT（薄膜トランジスタ）アレイによるアクティブマトリクス駆動が実用化し、現在の美しい高精彩液晶ディスプレイへと発展した。一方で、空間変調素子として近年注目されている LCOS(Liquid crystal on silicon)だが、77 年にはプロジェクト用の反射型液晶表示素子として発表されている<sup>4)</sup>。また TFT 駆動も 72 年にウエスティングハウスで発表されている。

ここまででは電気アドレス型の話をしたが、70 年代は光アドレス型空間光変調器が複雑な駆動回路も不要で高精細であることから注目を集めていた。代表的なものは光学結晶である。一例をあげると BSO (ビスマスシリコンオキサイド) はインコヒーレント光で画像パターンを照射し、その結果生じる屈折率変化（フォトリフラクティブ効果）を利用したレーザー光変調に応用された。いわゆるインコヒーレント・コヒーレント変換素子である。また液晶も光導電層と組み合せた変調器が提案され、液晶ライトバルブといわれた。潜水艦で作戦用モニタとして使用されたヒューズ社や、光情報処理用に実用化された浜松ホトニクス社そして市販はされなかつたと思うが、強誘電性液晶と組み合せたセイコー電子工業社の物が注目されていた。ただし光書き込み型はその後のデジタル技術との結合が苦手で（レンズや光、電子走査等による書き込みが必要）今はあまり使われていない。

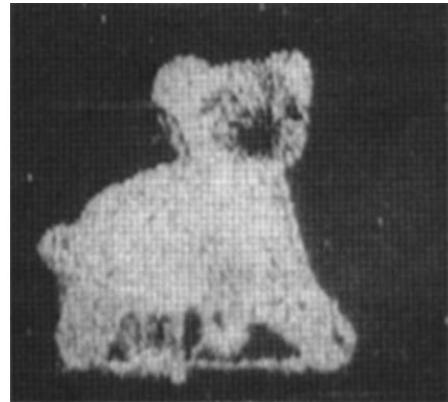
### 3 : 液晶によるアクティブ光波面変調と動画ホログラフィの黎明期

液晶をアクティブ光学素子に応用しようという試みは古く、79 年には東芝の堀らが回折格子の電極パターンを持った液晶回折光学素子を報告している<sup>5)</sup>。また液晶アクティブレンズでは、秋田大学の佐藤らが 85 年に液晶球面レンズを報告している<sup>6)</sup>。更に 86 年にはカリフォルニア工科大学の Mok らが、液晶テレビのパネルを用いて 2 次元ではあるが、円環の CGH を再生した<sup>7)</sup>。このときの液晶パネルは、当社が 85 年に開発し、米国で発売

された白黒の液晶テレビのパネルが使用された。その画素数は  $146 \times 122$ 、画素ピッチは  $370 \times 340 \mu\text{m}$  であった。この発表に刺激を受けた我々は独自に高精細の液晶パネルを開発し、91年に当時サンノゼで開催されていた SPIE Practical Holography V で CCD と液晶を用いた実時間ホログラフィを報告した<sup>8)</sup>。おそらく液晶を用いた世界初の Holographic 3D-TV として話題となった。



LCTV-SLM (Transparent)  
 $640 \times 240 (30 \times 60 \mu\text{m})$



Holographic 3D image  
Hashimoto et. al SPIE 91

Fig. 1 Real-time holography using LCTV-SLM (Holographic TV system)<sup>8)</sup>.

同時期には MIT メディアラボの今は亡き Benton らのグループが、AO 変調素子と回転ミラーを用いた CGH の 3D 動画再生を行って話題となった。本プロジェクトには日大の吉川らも参画していた。ちなみにホログラフィを電子的に記録再生しようとする試みも古く、72年にはベルラボの Doyle らが Lumatron というビジコン（光導電体を用いた電子線描画の撮像素子）を記録再生に用いた実時間ホログラフィシステムを提案し、二次元画像をホログラフィの手法で実時間再生した<sup>9)</sup>。

一方、ホログラムに類似したキノフォームであるが、91年にはセイコーエプソンの尼子、曾根原らが独自に開発したポリシリコン TFT 駆動液晶パネルを用いて複素振幅変調を行い、0次光が抑圧された二次元像の再生を報告し話題となった<sup>10)</sup>。これは Applied Optics の表紙にもなったので（パンダの絵）覚えている方も多いだろう。

液晶パネルを用いた動画ホログラフィは同時期に湘南工科大学の佐藤らによても精力的に研究されていた<sup>11)</sup>。そして 94 年には電子情報通信学会に動画ホログラフィ時限研究専門委員会が発足した。その後、計算工学や空間光変調デバイスの飛躍的進歩、新たな光学アーキテクチャの考案等により、当時とは比べ物にならないくらいの画質向上が見ら

れ、ホログラムプリンタ等の用途によっては実用に近いものになった。

一方で、動画ホログラフィを報告した我々は液晶パネルの高精細化と、光情報処理特に実時間光相関演算への応用を試みた<sup>12)</sup>。これはホログラフィ TV の実用にあたっては要求される空間光変調器の画素数や画素密度が当時の（今も）常識を超えるものが予想されたからである。実際に、光相関演算は当時の空間光変調デバイスでもある程度可能だったので、光コンピュータや光ニューラルネットワークという名前で多くの研究が行われた。結局光コンピュータは実現しなかったが、現在のデジタルホログラフィにつながったといつていいだろう。また光演算はその後、日本女子大の小館らのグループや、電通大渡邊らのグループで研究が続き、特定用途においてかなり実用化に近いレベルまで近づいている<sup>13)</sup>。

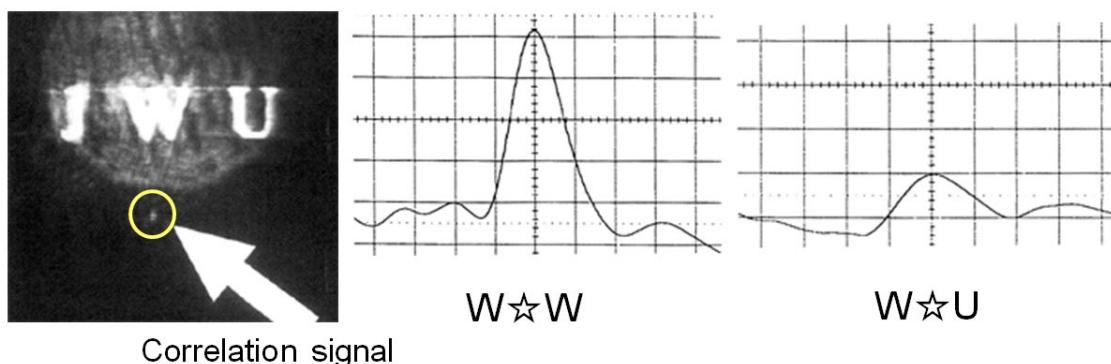


Fig.2 Real-time optical correlation using LCTV-SLM and FZP (IEEE Tokyo 93)<sup>12)</sup>.

#### 4 液晶光学素子と光学機器への応用<sup>14)</sup>

動画ホログラフィとその光コンピュータへの応用も視野にアングラでの研究開発を続けていたが、本来の目的はアクティブな光波面変調素子を実現することだった。レンズやミラー、望遠鏡や顕微鏡そして眼鏡は 14 世紀頃には実用化されていた。そしてそれらのコンセプトは材料や加工、設計技術等の飛躍的進歩はあるが、基本的には現在の光学機器と同じである。非機械的に制御できる光学デバイス（電子的な光波面変調素子）があれば画期的と思ったのが始まりである。そして可能性のあるあらゆるデバイスを調査し結局は液晶に目をつけた。これは当社が持っていた既存技術と生産技術が利用できるということもあった。実際に、液晶素子で光波面制御やその応用開発を目指し、88 年には液晶による補償光学と光ピックアップの焦点補正の特許も出願しその後に成立した<sup>15)</sup>。ただ意識していたのは航空宇宙や計測用途で、アクティブ光学素子が民生品に使用されることなど想像していなかった。しかしその時期は以外に早く来ることになった。

#### 4. 1 液晶収差補正素子と光ピックアップ、レーザープリンタへの応用

82年にCDがそして96年にはDVDが実用化された。当時としてはNA0.65の対物レンズを用いるDVDは波面収差的に非常にシビアであり、特に同じ頃使われはじめたカーナビ用のDVD開発は困難を極めていた。なかでも熱等によるディスクの反りで発生するコマ収差は致命的で、機械的にレンズを傾けること(3Dアクチュエータ)で対応していた。そこでパイオニアの大滝や岩崎らが中心となり、液晶コマ収差補正素子を光ピックアップに応用することが提案され<sup>16)</sup>、当社の持つ液晶波面制御技術が注目された。これは透明電極にコマ収差を近似するパターンを用いた液晶コマ収差補正素子を対物レンズの入射瞳面近傍に設置し、RF信号(光ピックアップが最初に読み取るディスクからの反射アナログ信号)が最大となるように液晶素子にフィードバックをかけるもので、いわゆる補償光学である。これは実際にうまくいき、その後は液晶の薄さ(小スペース)からノートPC内蔵のスリムDVD用光ピックアップにも使用された。

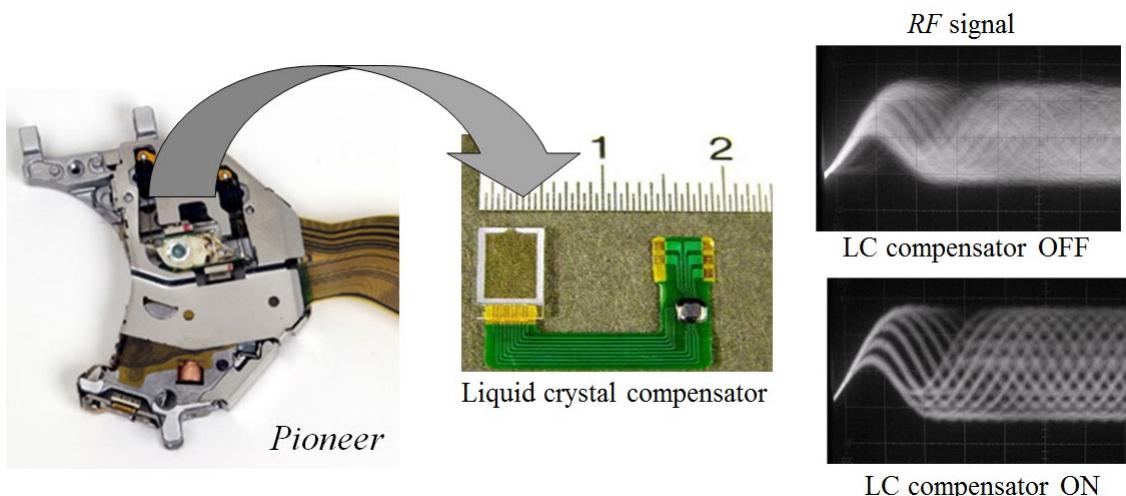


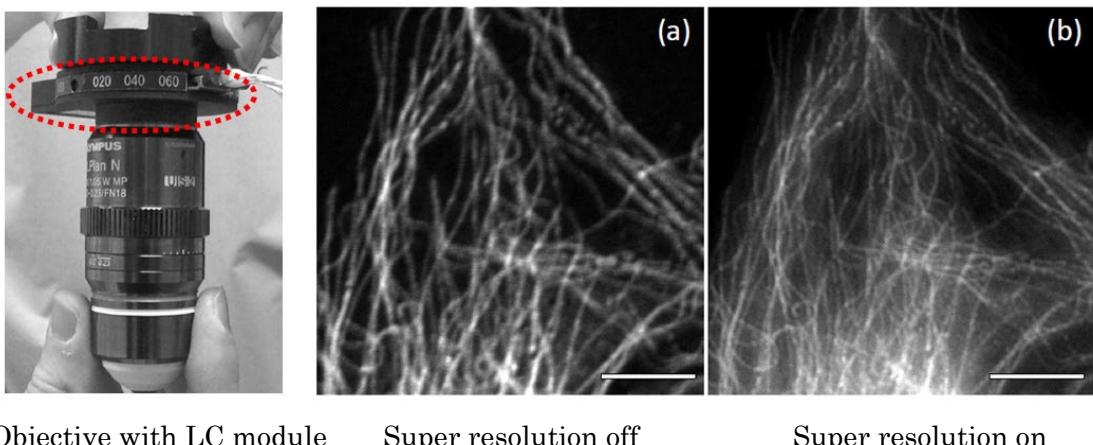
Fig.3 Slim DVD pick up using LC COMA and spherical aberration compensator

その後は更に収差的に厳しいブルーレイのピックアップにも使用され、累計で一億個以上生産した。我々の独占技術であった。今にいたるまで補償光学技術が民生品にそれも億の単位で使われた例はないだろう。量産の立ち上げはわずか一年で、素子の根本性能に関するクレームは皆無だった。これは物理現象の熟知(長年の研究と本学会をはじめ多数の先生方のご指導)と優秀な技術者、製造現場、間接部門の方々そしてパイオニアをはじめとするエレクトロニクスマーカーの情熱に支えられて初めてなし得たことであった。ちなみに本技術はリコーのレーザー複合機(マルチレーザービーム調整用液晶偏向素子)<sup>17)</sup>や今は消えてしまったが、光磁気ディスク(MD)の位相補正素子としても製品化された。

#### 4. 2 液晶光学素子のバイオイメージング応用

2006 年頃が光ピックアップ用液晶光学素子の最盛期であったが、その頃から我々は新たな応用を探索していた。光ピックアップに近いものといえばレーザー顕微鏡、レーザー加工そしてレーザープリンタである。ただレーザー加工は一般に大パワーが必要で、液晶にとっては敷居の高い応用であった。そのなかで研究開発や製品化において我々の技術が注目された顕微鏡とプリンタにフォーカスして開発をはじめた。これは波面制御のみならず我々が 97 年に報告した液晶による偏光制御とそれを応用した超解像技術<sup>18)</sup>、いわゆる空間的な偏光分布を持たせることで、その後に注目されるベクトルビーム<sup>19)</sup>に通じるものであった。

最初のアプリケーションは大阪大学（現所属は北海道大学）の橋本らが研究していたアンチストラクスラマン顕微鏡への応用であった<sup>20)</sup>。これはその後、ノーベル賞となった STED 顕微鏡にも通じる研究であった。また 2008 年の下村によるノーベル賞となった GFP の発見で、レーザー顕微鏡が生物・医学研究において必須の技術となり、東北大の佐藤、北大の根本らの指導のもと、ベクトルビームを用いた超解像や収差補正による生体深部観察などの研究を行った<sup>21)22)</sup>。これらは超解像モジュールや収差補償モジュールとして実用化に近いところまで開発が続いたが、一部の特殊品を除き製品化にはいたっていない。



Objective with LC module      Super resolution off      Super resolution on

Fig.4 Liquid crystal super-resolution module and its laser scanning images<sup>21)</sup>  
NA1.2,  $\lambda$  : 800nm, COS7. Courtesy: S.Sato (Tohoku univ) and T. Nemoto (Hokkaido univ.)

また、ジョンズホプキンス大学の Brooker らとは液晶 GRIN レンズの偏光特性を応用した FINCH(Fresnel Incoherent Correlation Holography)顕微鏡の開発を行った<sup>23)</sup>。これはインコヒーレント系とコヒーレント系の OTF 双方の利点を合わせ持つ技術で、パーシャ

ルコヒーレント光が利用できるということで、超解像蛍光顕微鏡として注目された。

バイオイメージング応用以外では、詳細は省くが液晶 GRIN レンズ<sup>24)</sup>を応用したスマホや携帯カメラ用のオートフォーカスモジュール、老眼用のアクティブ眼鏡等の開発を行ってきた。

## 5. 今後と展望 (研究開発とイノベーションそして魔法の板)<sup>25)26)</sup>

液晶による空間光制御とその応用に関して、我々の研究開発を中心に長年の取り組みを紹介させていただいた。その間に液晶表示デバイスは飛躍的な進歩をとげ、今やフラットディスプレイとして巨大な市場を築いている。しかし残念なことに初期にはほぼ 100% の市場を握っていた日本に、いまやその面影はなくなった。一方で液晶による光波面制御応用では、一時は多数の光ピックアップに使用された。当時、すでに液晶技術とホログラフィ等の光波面制御技術は当たり前の技術だったので、それを組み合わせ光ピックアップにある種の技術革新を起こしたことはシューペンターの言うイノベーションに近かったかもしれない。面白いことに光ピックアップに実装され、売り上げが毎年伸びていった 2000 年以降は、本技術に関連する論文数も増えていった。中国を見てもわかるように、GDP の成長と論文数の成長は同位相でリンクしている(ともに 2000 年頃から急成長している)。すなわち研究成果の結果として経済が発展したのではなく、経済の発展と共に研究も発展している。

本技術と比較するのは恐れ多いが、誰もが疑わない今世紀最大のイノベーションの一つは、日本人の貢献が大きかったと言われるマクロプロセッサだろう(71 年の Intel 4004)。当時すでに集積回路もプログラミングも存在した。汎用集積回路とプログラミングを組み合わせたことが歴史を変えた。ただここで注意してほしいことは研究開発を決して否定しているわけではない。4004 に使われた集積回路やプログラミング技術は量子・物性物理学や数理工学等の多くの科学者、技術者の執念ともいべき長年の研究があってこそ実現したものである。

液晶もホログラフィもすでに実用化された技術であるが、それらを組み合わせるさいに未だ課題となることは多い。たとえば液晶では位相変調能力や応答性、有機物としての耐光性、温度特性等枚挙に暇がない。ホログラフィにおいても基本的に膨大な情報を必要とし、それゆえ多大なリソースを必要としている。しかしこれらの課題が解決されれば、古典的な光学技術のみならず情報光学においても革新が期待される。

身近な具体例を考えれば、レーザー加工や 3D 造形(実及び虚)、空間モード多重であり、そして時空間変換や究極のホログラフィ TV へとつながるだろう。また古典的であるが、導光に関わるエッジリットホログラム光学素子と高密度表示デバイスによるいわゆる AR/VR は、社会実装間じかの 5G のネットワークと共に時空間を共有する必須アイテムに

なるだろう。

またここでは詳細は省くが、長年我々は強誘電性液晶の開発と実用化を続け、近年ではバイナリ駆動であるが画素数が  $2K \times 2K$  で 5000fps 駆動できる F-LCOS も発表し<sup>27)</sup>、可能性を秘めたデバイスといえるだろう。また強誘電性液晶技術はレンズレス 3D カメラの位相シフト型フレネルゾーン素子としても注目されている<sup>28)</sup>。

幸いに HODIC 及びその関係者をはじめ多くの方が切磋琢磨し、またお互いにポジティブなコミュニティを築いている。液晶（あるいはその類似）+ ホログラフィは THz 光を含め原理的に光をいかようにも制御できる可能性がある。その魔法の板（光のマイクロプロセッサ？）の実現を楽しみにこの世界の片隅にもう少し身を置かせていただこう。

## 参考文献

- 1) G.H. Heilmeier, L.A. Zanoni and L.A. Barton: Prpc. IEEE. **56**(1968)1162
- 2) M. Schdat and W. Helfrich: Appl. Phys. Lett. **18**(1971)127
- 3) Dargent, B et.al., "Twisted Nematic Flat Panel Display": SID Digest.(1977)60-61
- 4) M. H. Schuck, D. J. McKnight and K. M. Johnson: "A planarized LCOS display for projection applications": OSA Tech. Digest. Spatial Light Modulators. (1977)72-73
- 5) 堀, 浅井, 深井 : 学振第 142 委員会液晶部会研究報告書, 190(1979)
- 6) S. Sato, A. Sugiyama and R. Sato: Jpn. J. Appl. Phys. **24** (1985) L626-628
- 7) F. Mok, J. Diep, H. K. Liu, and D. Psaltis: "Real-Time Computer-Generated Hologram by Means of Liquid-Crystal Television Spatial Light Modulator," Opt. Lett. **11** (1986) 748–750
- 8) N. Hashimoto, S. Morokawa and K. Kitamura : "Real-time holography using high-resolution LCTV-SLM", Proc. SPIE 1461 in Practical Holography V (1991) 291-302
- 9) R. J. Doyle and W. E. Glenn: "Remote Real-Time Reconstruction of Holograms Using the Lumatron", Appl. Opt. **11**(5)(1972)1261-1264
- 10) J. Amako and T. Sonehara: "Kinoform using an electrically controlled birefringent liquid-crystal spatial light modulator", Appl. Opt. **30**(32)(1991) 4622-4628
- 11) 佐藤、樋口、勝間：“液晶表示デバイスを用いたホログラフィティレビジョンの基礎実験”，テレビ誌（映像情報メディア学会誌）**45**(1991)873-875
- 12) N. Hashimoto, K Ogawa, S. Morokawa and K. Kodate: IEEE Denshi Tokyo (1993)
- 13) K. Ikeda, H. Suzuki, and E. Watanabe: "Optical correlation-based cross-domain image retrieval system": Opt Lett. **42**,(13) (2017) 2603-2606
- 14) N. Hashimoto (Ed. L. Vicari): "Optical Applications of Liquid Crystals" in

- Chap2. CRC Press (2003) ISBN: 0-7503-0857-5
- 15) 橋本信幸：特開昭 63-249125 号。
- 16) S. Ohtaki, N. Murao, M. Ogasawara and M. Iwasaki : "The Applications of a Liquid Crystal Panel for the 15 Gbyte Optical Disk Systems", Jpn. J. Appl. Phys. **38** (1999) 1744-1749
- 17)[https://jp.ricoh.com/-/Media/Ricoh/Sites/jp\\_ricoh/technology/techreport/36/pdf/A3603.pdf](https://jp.ricoh.com/-/Media/Ricoh/Sites/jp_ricoh/technology/techreport/36/pdf/A3603.pdf)
- 18) N. Hashimoto: OSA TOPS14, Spatial Light Modulators. (1997)227
- 19) 小澤祐市, 佐藤俊一：“ベクトルビーム 覚醒する光波の潜在能力”, 応物, **82** (2013) 27-32.
- 20) 吉木啓介、阿井川智正、橋本守、栗原誠、橋本信幸、荒木勉：“小型偏光モード変換器を用いた細胞器官の高分解観察”, 生体医工, **46**(6)(2008) 698-702
- 21) S. Ipponjima, T. Hibi, Y. Kozawa, H. Horanai, H. Yokoyama, S. Sato and T. Nemoto: "Improvement of lateral resolution and extension of depth of field in two-photon microscopy by a higher-order radially polarized beam", Microscopy (Oxford, England) **63**(1)(2014/02) 23 – 32
- 22) A. Tanabe, T Hibi, S. Ipponjima, K. Matsumoto, M. Yokoyama, M. Kurihara, N. Hashimoto and T. Nemoto: "Correcting spherical aberrations in a biospecimen using a transmissive liquid crystal device in two-photon excitation laser scanning microscopy", J. of Biomedical Optics, **20**(10)(2015) 101204
- 23) G. Brooker, N. Siegel, J. Rosen, N. Hashimoto, M. Kurihara and A. Tanabe: "In-line FINCH super resolution digital holographic fluorescence microscopy using a high efficiency transmission liquid crystal GRIN lens", Opt. Lett. **38**(24)(2013) 5264-5267
- 24) 橋本信幸, 栗原 誠：“液晶分布屈折率型量子化レンズの特性と可変焦点光学素子への応用”, 第 31 回光学シンポジウム講演予稿集, (2006) 53-54
- 25) 小川紘一：“オープン&クローズ戦略” 翔泳社(2015) ISBN : 9784798144252
- 26) 西村吉雄：“電子立国は、なぜ凋落したか” 日経 BP 社(2014) ISBN : 9784822276980
- 27) 橋本信幸：“液晶高速空間光変調器”, レーザー研究, **44**(7)(2016) 439-443
- 28) M. Sao, Y. Nakamura, K. Tajima and T. Shimano: "Close-up Technology for Lensless Light-field Imaging", Tech. Digest. ISOM2017

# 透過型液晶光学素子のホログラム技術への応用

シチズン時計株式会社 田辺綾乃、松本健志、橋本信幸

当社では空間光変調器としての透過型液晶光学素子の開発に長年取り組んでおり、様々なアプリケーションへの液晶素子応用を探索してきた。その中でもホログラム及びその類似技術への液晶素子の活用として、3つのアプリケーションを紹介したい。いずれの例でも透過型液晶素子を用いることで光学系の小型化が実現されており、また本デバイスは比較的低コストでの作成が可能であり、産業的な観点からも有用であると言える。

## ◆ FINCH (Fresnel Incoherent Correlation Hologram) 顕微鏡<sup>1</sup>

FINCH 顕微鏡とはインコヒーレント光による自己相関型ホログラフィー顕微鏡である。試料から出射したインコヒーレント光を我々の液晶素子を用いて異なる曲率を持つ2つの収束光に分離し、各収束光が撮像素子上で干渉することで自己相関ホログラムを形成する。さらに自己相関ホログラムをコヒーレントな平面波を用いて再生することで、最適条件ではコヒーレントホログラムと比較して2倍のNAで像が再生される。また、液晶素子は2つの収束光の可干渉性向上のための光路長調整にも使用されている。

## ◆ フレネルゾーン開口によるレンズレスライトフィールドカメラ<sup>2</sup>

明暗の同心円状の輪帯を繰り返したフレネルゾーン開口 (FZA; Fresnel Zone Aperture) を撮像素子直前に配置することで、レンズを必要としない薄型・小型なライトフィールドカメラが実現できる。撮像素子は物点から出射した光が作る FZA の影を記録し、記録された影に FZA パターンを掛け算することで得られるモアレをフーリエ変換することで像が再生される。ノイズ低減や視野拡大のために FZA パターンには高速変調が望まれており、我々は強誘電性液晶を用いた独自の液晶素子により高速パターン変調可能な FZA を実現している。

## ◆ 顕微鏡におけるセンサレス波面検出技術<sup>3</sup>

従来の顕微鏡観察における波面検出手法では観察光学系とは別に波面測定光学系を必要とする。一方、本手法では微小領域の位相変調が可能な透過型液晶素子を励起光学系に挿入し、顕微鏡の焦点面に光の干渉パターンを発生させる。試料観察用の撮像素子で発生した干渉パターンを読み取ることで波面情報を検出することが可能となる。

## 【参考文献】

1. G. Brooker, et al., *Opt. Lett.* **38**(24), 5264-5267 (2013).
2. M. Sao, et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **57** 09SB05
3. 磯部圭佑 他, 特開 2016-125895

# ホログラム樹脂導光板を用いたシースルーフルカラーメガネ型ディスプレイ開発

## A Plastic Holographic Waveguide Combiner for Light-weight and Highly-transparent Augmented Reality Glasses

附田 大輔 高井 雄一 吉田 卓司 徳山 一龍 金子 強 鈴木 伸洋

安齋 隆史<sup>1</sup> 吉海江 憲 阿久津 克之 町田 晓夫

Daisuke Tsukuda, Yuichi Takai, Takuji Yoshida, Kazutatsu Tokuyama,  
Tsuyoshi Kaneko, Nobuhiro Suzuki, Takafumi Anzai\*, Akira Yoshikaie,

Katsuyuki Akutsu, and Akio Machida

ソニー株式会社

<sup>1</sup> ソニーグローバルマニュファクチャリング&オペレーションズ株式会社

Sony Corporation, \*Sony Global Manufacturing & Operations

**Abstract:** We have developed a unique production process of a full-color plastic holographic waveguide combiner with a light-weight and see-through capability. The novel plastic waveguide technology enables us to increase design flexibility in the eyewear and to expand the market for augmented reality (AR). This paper presents the approach to production.

**Keyword:** Augmented Reality Glasses; Plastic waveguide; Near-eye display; Volume hologram; See-through

### 1. Introduction

Recently, the application and device developments for augmented reality (AR) are very active with the infrastructure seen in communication speed improvement and the communication cost reduction. Among several proposed Near-eye displays [1][2], those with see-through capability [3] are especially important for mobile uses and AR applications.

We developed a full color Near-Eye display with two in- and out-coupling reflection volume holograms on an optical glass waveguide in 2008 [4]. This technology had many advantages such as high see-through capability and a small thickness with minimum size. It enabled us to get information by a hands-free approach without looking away from the object and to display information such as images and letters overlapped with the landscape. We also achieved a high-luminance (1000cd/cm<sup>2</sup>) using the design of two in-coupling and one out-coupling HOEs in 2015 [5].

In general, the consumers expect a Near-Eye display, in addition to display performance, to be light-weight and unbreakable like plastic lenses of eyeglasses and to deal with the several design shapes according to user preferences and use cases. However, to expose the hologram, an optical

grade glass substrate was required and conventionally a plastic substrate was not able to be used. We have studied a plastic waveguide technology and developed a plastic full-color holographic waveguide combiner using our novel roll-to-roll (R2R) hologram exposure and laminating process and demonstrated the same optical characteristics as a glass substrate. In this paper, we describe the production process and the optical characteristics.

## 2. Production technology

Figure 1 illustrates a structure of a full color hologram waveguide combiner with an in-coupling and an out-coupling reflection volume hologram. The in-coupling and out-coupling holographic optical elements (HOEs) had exactly the same fringe pattern and were mirror symmetrically positioned. We used two plastic holographic waveguides, one for green, the other for red and blue. The red and blue HOEs were laminated on opposing surfaces of the substrate. We used a cyclo-olefin polymer as a plastic waveguide and the thickness was 1mm. The HOEs used a photopolymer that did not require a heat processing. We employed Bayfol® HX films [6].

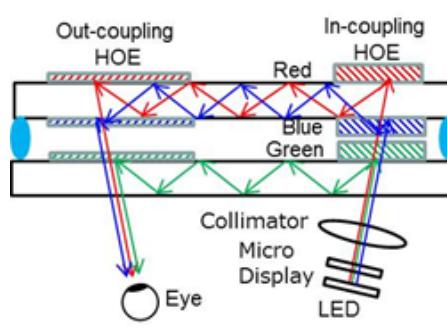


Figure 1. An optical structure of the holographic waveguide combiner

The R2R process of the plastic holographic waveguide is shown in Fig. 2.

Firstly, the HOE was formed on a photopolymer film using two-beam interference exposure method. Secondly, the plastic waveguide was formed by an injection molding, which had a severe specification such as a warp and a thickness variation. As a result of the light ray tracing calculation, the warp of the plastic waveguide needed to be less than 5 $\mu\text{m}$  and thickness variation needed to be within 1 $\mu\text{m}$  in the optical effective area. The result of the thickness variation is shown in Fig. 3. Uniformity of the thickness was achieved less than 1 $\mu\text{m}$  in the optical effective area. After that, HOE laminating process was to stick the HOE film on the plastic waveguide with alignment. Next, in the punching process, we cut the plastic holographic waveguide in a necessary design. Finally, in

the color registration process, the inclination of the red and blue plastic waveguide was adjusted to the green plastic waveguide and fixed by UV resin. The challenges of both the punching and the color registration processes were that the plastic substrate could be kept flat before and after each process. Figure 4 shows photographs of the color HOE roll-films, with green, red, and blue HOE, and photographs of the full-color plastic holographic waveguide. The weight of the full-color plastic holographic waveguide was only about 3.6 g, less than half that of the glass. Figure 5 shows photographs of the shape variations of the plastic holographic waveguide through the punching process. This R2R production technology enabled a light-weight and fashionable design near-eye display.

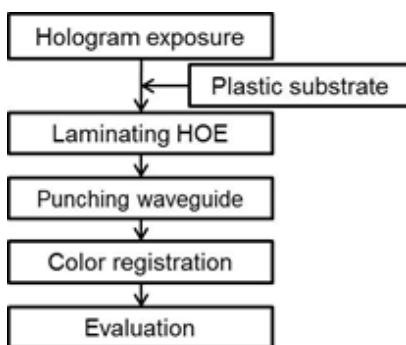


Figure 2. Process flow diagram of the plastic holographic waveguide

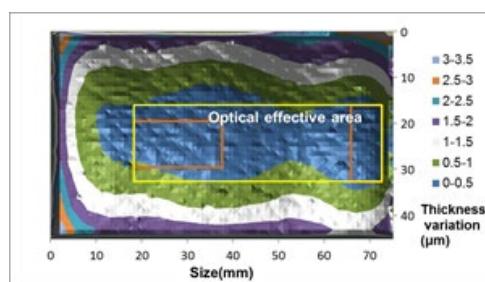


Figure 3. Thickness variation result of the plastic substrate (The color coding denotes 0.5μm contours)

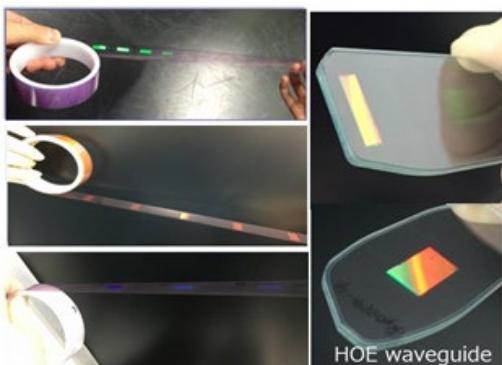


Figure 4. Green, red and blue HOE in the roll-film, and Full-color plastic holographic waveguide

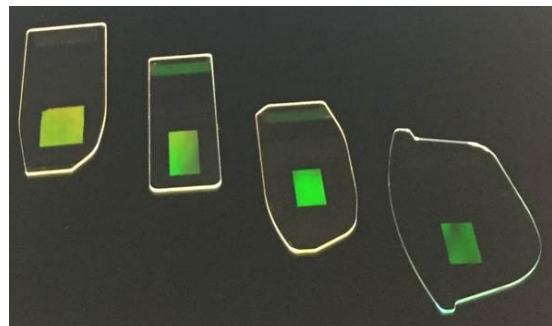


Figure 5. Shape variations of the plastic holographic waveguide in a punching process

### 3. Image-quality improvement

We introduced the laminating process into forming the hologram on the plastic waveguide at this process. We calculated the degree of accuracy in alignment in the laminating process and showed the results in the trial production.

The laminating process should maintain two conditions; one was the mirror symmetry of the in-coupling and out-coupling HOE, the other was the positional relation in the two-layer lamination. As shown in Fig. 6, "laminating deviation" includes two types of elements, which were shifted in parallel and shifted in rotation. In the former case, the mirror symmetry of the in-coupling and out-coupling HOE did not break. On the other hand, in the latter case, the deviation due to rotational misalignment of the in-coupling HOE was mainly recognized as the view angle shift.

For these two points, the allowable HOE laminating tolerance was calculated from a viewpoint of the view angle shift and the resolution (modulation transfer function, MTF) due to the ray angle deviation. Calculations were made assuming that the view angle shift was 1.3 arc minutes or less and the allowable deterioration amount of the MTF is 5% at 5 line-pair per degree (lp / deg) through our subjective evaluation.

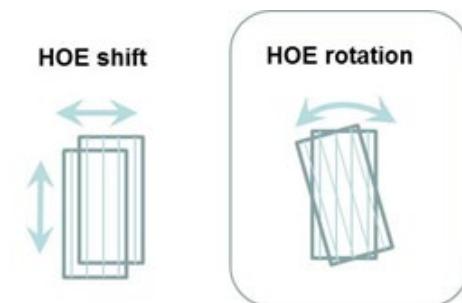


Figure 6. Variations of the HOE shift in a laminating process

At first, the simulation of the light ray tracing by vector analysis was performed to examine the influence on an image quality. The light rays were entered into the in-coupling HOE, and when the rotational misalignment of the in-coupling HOE occurred, the deviation of the light ray emitted from the out-coupling HOE was calculated. The view angle shift due to the rotation misalignment of the in-coupling HOE was recognized as a vertical image shift in subjective evaluation, and a horizontal image shift and a distortion occurred as the rotation deviation increased.

The allowable value of the view angle shift depended on the resolution of the display device and the field of view of the optical system.

Secondly, the simplified calculation of the laminating tolerance of the in-coupling HOE from a

viewpoint of the MTF was carried out. As calculation conditions, the MTF function used a sine function, the image pattern was 5 lp / deg (which corresponded to a 12 arc minutes in the light ray angle), and the MTF degradation tolerance was 5%.

Consequently the tolerance was calculated to be about 50 arc seconds in both aspects. The tolerance was evenly distributed in the hologram exposure process of the in-coupling and out-coupling HOE and laminating process of the in-coupling HOE. The process design was carried out with the alignment tolerance of  $\pm 17$  arc seconds.

In the laminating process, the in-coupling and out-coupling HOE were accurately laminated to the plastic waveguide with alignment. We attempted to change the rotational deviation of the in-coupling HOE and measured the view angle shift at a center field of view. The result of the view angle shift in laminating process is shown in Fig. 7. Red dots show the measurement value and a black line shows the calculated value. The view angle shift increased in proportion to the amount of rotational misalignment of the in-coupling HOE. Most of the measurement values fell within the tolerance of the calculated value. In a full color system, the red and blue color alignment was needed in addition to the in-coupling and out-coupling HOE.

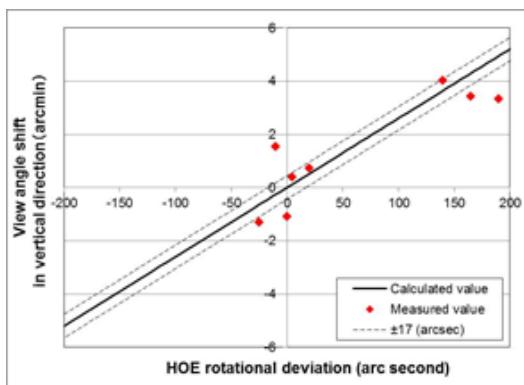


Figure 7. View angle shift in a laminating process

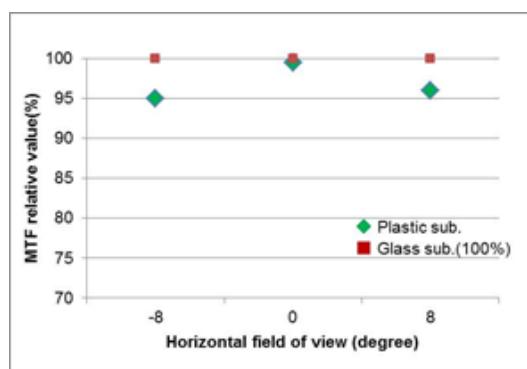


Figure 8. MTF result comparison of the plastic substrate to the glass substrate

Figure 8 shows the MTF result of the green plastic holographic waveguide compared with that of a glass waveguide. The MTF value of the glass waveguide at each field of view is set to 100%. The horizontal MTF value of the green plastic waveguide was almost the same as that of the glass waveguide at a center field of view. The MTF values of the plastic waveguide at peripheral field of view showed a decrease of 5% or less as a relative value.

#### 4. Conclusions

We have developed a full color light-weight and highly-transparent see-through near-eye display using the plastic holographic waveguides combiner with novel R2R production process. We achieved optical characteristics including high MTF specification on our target. The advantages of our development are the R2R process technology in regard to the holographic exposure to the roll-film, accurate laminating of the HOEs to the plastic waveguide with the mirror symmetric HOE structure, and the fabrication of the plastic substrate with minimized warp and thickness variations. By using a plastic waveguide, the degree of freedom in design of eyewear has become very high. Furthermore, by improving mass productivity, we believe that device cost will decrease and contribute to the market expansion.

#### References

- [1] T. Starner, "Project Glass: An Extension of the Self", IEEE Pervasive Computing, 12, issue 2, 14-16, 2013.
- [2] Bernard C. Kress and William J. Cummings, "Towards the Ultimate Mixed Reality Experience: HoloLens Display Architecture Choices", SID Symposium Digest of Technical Papers, pp. 127-130, 2017.
- [3] Y. Amitai, "A two-dimensional aperture expander for ultra-compact, high-performance head-worn displays," SID Symposium Digest 36, 360–363, 2005.
- [4] T. Oku, K. Akutsu, M. Kuwahara, T. Yoshida, E. Kato, K. Aiki, et al., "High - Luminance See - Through Eyewear Display with Novel Volume Hologram Waveguide Technology," SID Symposium Digest of Technical Paper, pp. 192-195, 2015.
- [5] H. Mukawa, K. Akutsu, I. Matsumura, S. Nakano, T. Yoshida, et al., "A full-color eyewear display using planar waveguides with reflection volume holograms," Journal of the Society for Information Display, vol. 17, pp. 185-193, Mar 2009.
- [6] Bruder, F.-K.; Fäcke, T.; Rölle, T., "The Chemistry and Physics of Bayfol® HX Film Holographic Photopolymer", Polymers, 9, 472, 2017.

## 次世代ホログラム技術：Ega-rim & Egarim PBS が、導く 1 mm の光学世界及び高度ホログラム技術の応用

### Brand-new High Technologies Applied by Holography ～Ega-rim & Egarim PBS guides to the world of 1mm～

加瀬澤寿宏<sup>1)</sup> 堀米 秀嘉<sup>2)</sup> 志村努<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> T. Kasezawa, <sup>2)</sup> H. Horimai, <sup>3)</sup> T. Shimura

<sup>1-2)</sup> 株式会社エガリム <sup>3)</sup> 国立大学法人東京大学

<sup>1-2)</sup> Egarim Co. Ltd., <sup>3)</sup> The University of Tokyo

E-mail: <sup>1)</sup> t-kasezawa@egarim.co.jp, <sup>2)</sup> h-horimai@egarim.co.jp,

<sup>3)</sup> shimura@iis.u-tokyo.ac.jp

**Abstract:** We proposed the brand-new technologies applied by holography. The first one is the holographic illumination unit called Ega-rim. The second one is the polarization device called Egarim PBS. This device has a strong PBS function even in only 1mm thick. These units are not only the 1 mm thick transparent devices, but also these can be configured as the devices incorporating several optical component functions. Combination of Ega-rim & Egarim PBS can replace the illumination optics part including the conventional cube type PBS, and the projection optical system, too. It means the Ega-rim and Egarim PBS enable to miniaturize the size of projector unit with maximize the figure of merit. We will explain more detail of this projector prototype unit, so called Holo-Jector in this conference. With only one hologram and 1 mm glass, the whole optical system guides to the world of 1mm. In the near future, everybody will be enjoying a holographic image and producing Hologram elements easily by using Ega-rim, Egarim PBS and Holo-Jector.

#### 1. はじめに

一昨年度、我々は本会において、昨今のホログラフィあるいはホログラム応用商品開発への期待の高まりにもかかわらず、その発展と市場成長を大きな二つの壁が妨げていることを示し、その打開策を提議した [1]。

その一つ目の打開策は、体積的なホログラム記録材料であるフォトポリマーなどの入手の困難性をどのように解決するかという点にある。そのため筆者らは、一昨年からフォトポリマー記録材料の開発、改良に取り組み、海外のフォトポリマー研究開発会社 Zilux と協議を重ねフォトポリマーフ

イルムの量産試作開発の検討を進めている。このフォトポリマーフィルムは、ポルトガル語で「像」や「イメージ」そして「愉快な人」を意味する『FIGURA』と命名された。

更に、ホログラムを応用した新たな市場の創造に寄与することを目指し、図1に示すような、ホログラムの大面積露光による量産システムの構築にも取り組んでいる。

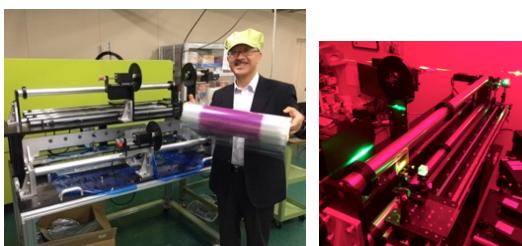


図1 大面積ホログラム露光装置外観と試験露光の様子

そして、二つ目の打開策は、ホログラムコンテンツやホログラフィック映像の表現方法を、ホログラム自身が持つ特性によって一新してしまおうという点にある。その基本コンセプトを図2に模式的に示す。ガラス端面に光源を配置し、ガラスの表面から所望の角度で照明光を回折反射させる、いわゆるエッジリット型の照明専用装置として実現しようというものである。

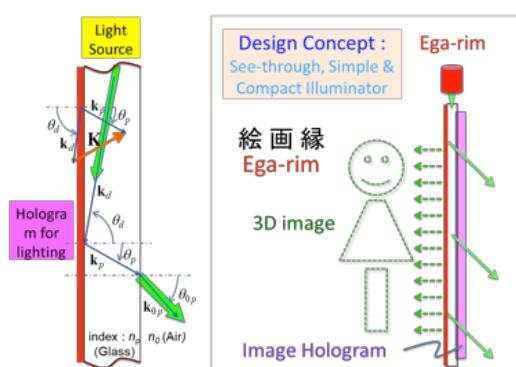


図2 Ega-rim の動作原理と新しい3D 映像観察方法

この提案方式が実現すれば、上質なホログラフィック3D画像を観察するために必須となっていた外部配置光源を不要にすることが可能となる。この方式は、フォトフレームに一体化して組込む事も可能であるため、日本語の「絵」や「画」を照明出来る「額縁」と言う意味で、絵画縁=Ega-rimと名付けた。

本研究会では、上記のEga-rimコンセプトを更に推し進めた、我々の取り組みを幾つか紹介する。

## 2. ホログラフィック照明ユニット : Ega-rim & 3D 映像のコラボ : Egarmic Holography

図3にホログラフィック照明ユニットEga-rimのラボプロトタイプによる映像観察結果の一例を示す。この実験では厚さ1mmのガラスを使用した。照明光として、緑色レーザー光(532nm)をガラスの端面から入射すると、その光はガラス内部の臨界角反射によって照明用ホログラムに導かれ、ガラスの表面から画像が記録されたホログラムの観察に最適な照明角度(45度)の照射光が射出された(同図左)。これを用いて記録されたImage Hologramに照射したところ、鮮明な3D画像が再生された(同図右下)[2]。さらに、Ega-rimは、図5に示すようにRGBにも対応している。

### Experimental : 1mm-thick Ega-rim

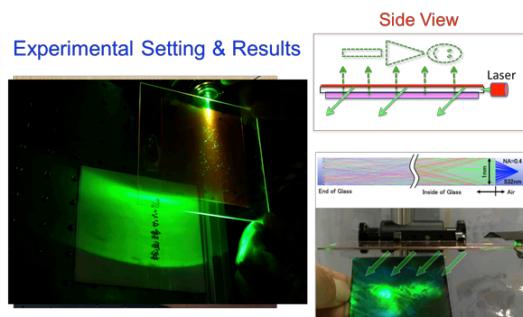


図3 Ega-rim ラボプロトタイプによる基礎原理実証実験

### RGB Illumination from t=1mm Ega-rim



図 4 Ega-rim による RGB カラー照明光の生成

Ega-rim のラボプロトタイプでは、緑色レーザー光を  $NA=0.55$  の対物レンズによりガラス端面に入射したが、実際に照明ユニットとして応用することを考えると対物レンズの利用は現実的ではない。そこで、レーザー光を細いビームのまま端面から入射するだけで、Ega-rim を実現する方法を検討した。露光時に、ガラス端面に特殊な微小光学拡散素子を近接させて配置することで、疑似的な点光源から均質に発散する参照光を導波させて、Ega-rim を露光形成することに成功した。さらに、再生用の照明光の代わりに 3 次元物体からの情報光を用いたところ、このエッジリッド参照光で 3D 映像も露光することができ、映像記録済の Ega-rim も実現可能であることが分かった。この Ega-rim と 3D 立体映像をコラボレーションしたタイプは、Egarimic Holography と呼ぶことにした。

図 5 は、Egarimic Holography の試作モデルによるデモンストレーションの様子である。露光したフォトポリマーフィルムを、ガラスではなく透明なアクリル板に貼り替え、光源としては安価な緑色のレーザーポインターを用い、これをアクリル端面に設けた光学拡散素子に照射するだけで、3D 立体映像を再生することができた。ホログラム映像に顔を近づけて観察しても、従来のような外部照明光を遮る心配がないため、映像表現の自由度を飛躍的に広げられる可能性を秘めている。

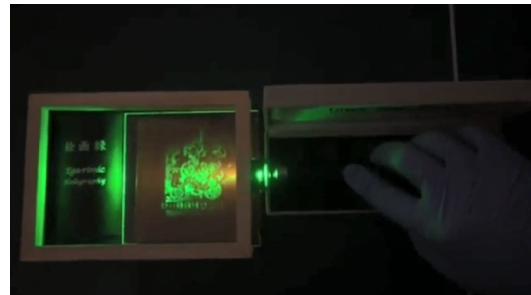


図 5 3D 立体映像コラボレーション:Egarimic Holography

### 3. 導波型ホログラフィック偏光子 : Egarim PBS

Ega-rim の回折特性の評価を行っている過程で、Ega-rim が PBS (Polarized Beam Splitter) として機能することを発見した。照明装置の Ega-rim と区別するため、Egarim PBS (光学デバイス) と呼ぶことにした[3]。

以下で、実験結果からその機能を説明する。

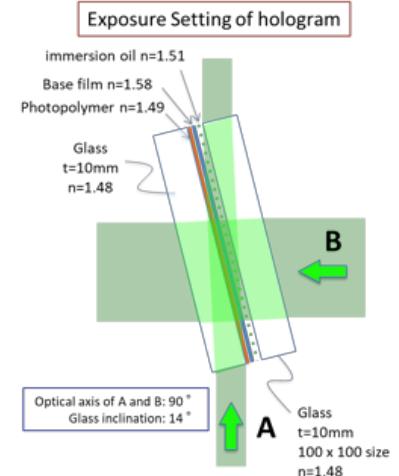


図 6 Ega-rim の露光作成光学系 模式図

図 6 は Ega-rim を作成するための露光光学系の模式図である。2 枚のガラス板のうち片方に未露光のフォトポリマーを貼り付け、もう一方のガラスと Immersion Oil (屈折率マッチング用のオイル) を介して密着させたガラス・ペアを用意する。

そして、一方のガラス端面から参照光として平面波 A を入射し、もう一方のガラス表面から物体光として平面波 B を入射して、反射型のホログラムを露光させる。

この時、平面波 A と平面波 B の光軸は 90 度となっており、片方のガラスの端面から入射された光がもう一方のガラスの反対側の端面から出射するように、ガラス・ペアを傾けて光学系がアライメントされている。このような光学系配置において、平面波 A と平面波 B の偏光面をそれぞれ、P 偏光、S 偏光、円偏光として組み合わせて露光し、9 種類の Ega-rim の露光形成を試みた。

露光されたそれぞれの Ega-rim に対して、平面波 A の偏光を、P 偏光、S 偏光、円偏光（C 偏光と仮称）と変化させて入射させた場合、どのような偏光成分がどの程度の強度で回折されるかを測定した。回折光の偏光状態の測定方法を、図 7 に模式的に示す。ガラス面から出射される回折光（再生された平面波 B）の偏光状態を、消光比の高いグラムトムソンプリズムを回転させて測定した。

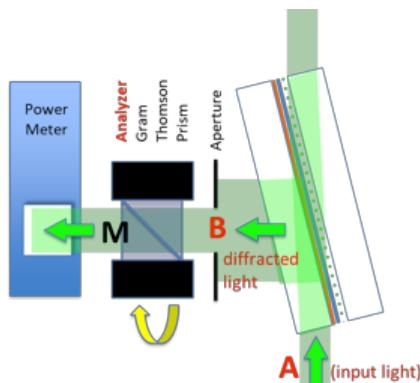


図 7 Ega-rim による回折光の偏光成分測定方法 模式図

測定結果を図 8 に示す。ここで、P 偏光は “P”、S 偏光は “S”、円偏光は “C” と表記した。平面波 A および B の偏光面の組み合わせで露光された

9 種類の Era-rim を element 1 ~ 9 として、それに対して再生用参照光である平面波 A の偏光を、P 偏光、S 偏光と変化させて入射し、再生光の回折強度（任意単位）と消光比を求めた。

Experiment	Polarization during recording		Polarization during reproduction [A]					
			S		P		C	
	Light flux A	Light flux S	Diffracted light amount	Extinction ratio	Diffracted light amount	Extinction ratio	Diffracted light amount	Extinction ratio
1	S	S	13.8	445:1	-	-	6.1	58:1
2	S	P	-	-	-	-	-	-
3	S	C	6.5	310:1	-	-	3.3	63:1
4	P	S	-	-	-	-	-	-
5	P	P	-	-	-	-	-	-
6	P	C	-	-	-	-	-	-
7	C	S	6.7	319:1	-	-	4.0	70:1
8	C	P	-	-	-	-	-	-
9	C	C	12.7	373:1	-	-	5.2	115:1

図 8 Ega-rim における偏光特性の測定結果

この中で、一番回折効率が良かったのが、S 偏光と S 偏光の組み合わせで露光した Ega-rim に S 偏光を照射した element 1 であった。C 偏光を照射した場合には、S 偏光を入射した場合の約半分の回折効率が得られた。いずれの場合も、S 偏光だけが回折していることが観察された。興味深いのは、C 偏光同士で露光した Ega-rim に C 偏光の照射をした場合でも、S 偏光だけが回折しており、消光比も 115:1 が得られた。

一方、露光に P 偏光が含まれる element では回折光は観測されなかった。また、再生用参照光が P 偏光の場合には、element 1, 3, 7 および 9 のいずれも、回折光の強度は測定限界値以下であった。

以上の実験結果から、P 偏光は回折されないということが分かり、Ega-rim に PBS 機能があることが、実験により明確に示された。

この現象について、理論的な解析により考察を行った。以下に概要を述べる。

まず、平面回折格子による平面波の回折を考える。ある媒質中に屈折率変調型の回折格子が書き込まれているとし、その屈折率分布を、

$$n = n_0 + n_1 \cos(\mathbf{K} \cdot \mathbf{r} + \phi) \quad (1)$$

とする。この回折格子は  $x, y$  方向には無限に広がっており、 $z$  方向に有限の厚さを持っているとする。この回折格子に対して、参照光  $\mathbf{E}_1$  を照射する。この時発生する回折光を  $\mathbf{E}_2$  とし、これらを、

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_1 &= A_1(z) \mathbf{e}_1 \exp(i\mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r}) \\ \mathbf{E}_2 &= A_2(z) \mathbf{e}_2 \exp(i\mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r}) \end{aligned} \quad (2)$$

と書く。ここで、 $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2$  は偏光方向を表す単位ベクトル、 $\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2$  は波数ベクトル、 $\mathbf{r} = (x, y, z)$  は位置を表す変数である。今、参照光は回折格子に対して Bragg 条件を満たしているとすると、

$$\mathbf{K} = \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_1 \quad (3)$$

となる。回折光は、couple wave equation、

$$\begin{aligned} \frac{\partial A_1(z)}{\partial z} &= i\kappa_{12}^* A_2(z) \\ \frac{\partial A_2(z)}{\partial z} &= i\kappa_{21} A_1(z) \end{aligned} \quad (4)$$

を解くことにより求められるが、couple wave theory によれば、

$$\kappa_{12} = \frac{k_0^2 n_0 n_1}{2k_{1z}} (\mathbf{e}_1 \cdot \mathbf{e}_2) \quad (5)$$

$$\kappa_{21} = \frac{k_0^2 n_0 n_1}{2k_{2z}} (\mathbf{e}_1 \cdot \mathbf{e}_2)$$

となり、光波の結合定数は  $(\mathbf{e}_1 \cdot \mathbf{e}_2)$  に比例する。

つまり、ホログラムの記録の際には参照光と物体光の偏光に、再生の際には参照光と回折光の偏光に、同じ成分がある場合に光波の結合は起こるが、偏光方向が直交している場合には、光波の結

合は起こらないことが分かる。

ここで、Bragg 条件を満たす  $\mathbf{k}_1$  と  $\mathbf{k}_2$  が直交している場合、すなわち参照光と回折光の光軸が直行（90 度）している場合を考える。この時、入射光が p 偏光だとすると、回折光の偏光が s 偏光であっても、p 偏光であっても  $(\mathbf{e}_1 \cdot \mathbf{e}_2) = 0$  となる。

そのため、結合定数は 0 になり、光波の結合は起こらず、回折光は発生しないことが分かる。

以上のように、Egarim PBS の偏光分離機能は測定結果および理論的解析により、原理的に証明された[4]。

今後は、露光角度に対する消光比の依存性などについても詳細な特性評価を進める予定である。

#### 4. Egarim PBS の商品開発への応用 (1)

近年、様々な眼鏡型 HMD (Head Mounted Display) の開発が進められている。しかし、それらのどれもがかさばり、HMD は巨大な厚さで人々の蝶谷を圧迫してきた。その原因の一つとして、内部に搭載されている映像投影用光学ユニットが嵩張ることが挙げられる（図 9）。

例えば、PBS 素子やレンズのサイズは、用いる光ビームを有効に用いる必要があり、また光路を変更するために、必然的に 3 次元空間を大きく専有してしまうという問題がある。

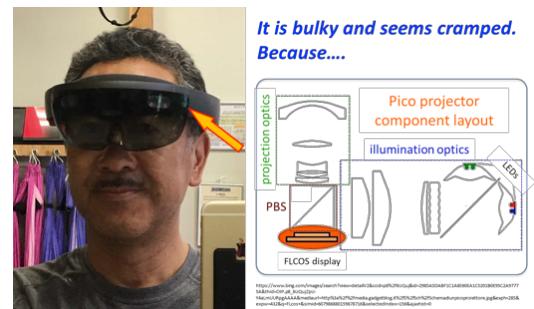


図 9 既存の HMD と映像投影用光学ユニット・イメージ図

これに対し、ホログラフィック光学素子（HOE）は、レンズなどの機能や光の進行方向を空間的に分離する機能などを薄型形状で実現できるため、光学ユニットの小型化に貢献できる可能性がある。

しかし、これに偏光の分離機能をさらに追加するには、特殊な材料と特別なプロセスによる素子の製作が必要となるため、実現は容易ではない。

そこで筆者らは、フォトポリマー上にレンズ機能や多数の光束を生成する機能に加え、Egarim PBS の偏光分離機能も集積して同時露光形成した、LCOS などの映像表示素子を照明する HOE ユニット（ホログラフィック・フロント・イルミネーター）を試作開発した。図 10 に試作した LCOS 照明用集積型 Egarim PBS ユニットの外観を示す。厚さ 1mm のガラス基板上にフォトポリマーが貼り付けられているだけのシンプルな構造で、2 種類のホログラムが集積露光されている。

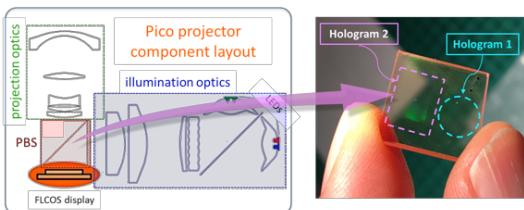


図 10 厚さ 1mm LCOS 照明用集積型 Egarim PBS ユニット

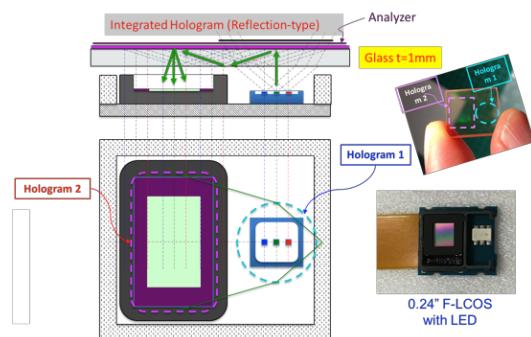


図 11 集積型 Egarim PBS ユニット構造と組込機能説明図

図 11 に模式的に示すように、この集積型 Egarim PBS ユニットは、LCOS と LED 光源が一体化された映像表示デバイスの上に乗せるだけで、低ハイドのビューファインダーを実現する機能が盛り込まれている。Hologram 1 は、RGB カラー LED の点光源をコリメーションして導光しつつ、デバイスのアスペクト比に合わせたフロント照明を作る機能を受け持ち、Hologram 2 は、多数の照明光を生成するとともに方向を変えながら映像表示素子を照らすケラ一照明のような機能と、視野角拡大の機能を受け持つとともに、PBS の偏光分離による映像のコントラスト向上の機能を受け持っている。

この集積型 Egarim PBS ユニットを、実際に強誘電性液晶ディスプレイデバイス（F-LCOS）と組み合わせ、画像表示の原理実証実験およびデモンストレーションを行った。図 12 にその概要を示す。

### FLCOS + Ega-rim PBS Front Illuminator

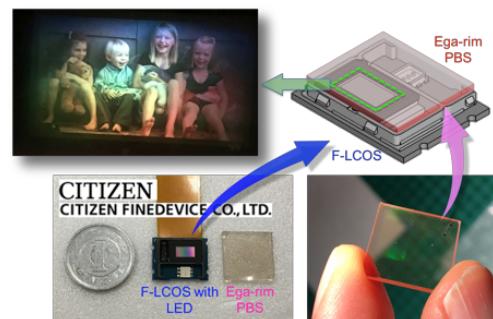


図 12 F-LCOS + Egarim PBS ユニットによる原理実証

F-LCOS デバイスは、シチズンおよびシチズンファインデバイス株式会社のご協力のもと、ご提供いただいた。このデバイスには、もともとリフレクターおよび PBS 部品が一体化されている製品であるが、リフレクターおよび PBS 部品はあらかじめ取り外していただいた。

F-LCOS の画面サイズは 0.27 インチと小型ながら、超高解像度のディスプレイデバイスである。上に乗せた集積型 Egarim PBS ユニットのガラス基板サイズは 15×15mm、厚さ 1mm であった。

この図の左上のカラー画像が、実際に Egarim PBS ユニットを介して、直接観察された映像である。この結果から、Egarim PBS のフロントイルミネーターとしてのコンセプトが、実験的に実証された[4]。プロトタイプであるため、RGB のカラーバランスの問題や輝度ムラなどの解決すべき課題は多々あるものの、これらは最適化検討により十分に改善可能であるという感触を得ている。

## 5. Egarim PBS の商品開発への応用（2）

Egarim PBS はシースルーであり、レンズ機能も同時に露光形成できるため、フロント照明装置としてだけでなく、投影光学系の機能も集積できるはずである。これが実現すれば、1 mm 厚の世界にピコプロジェクターのすべての機能を凝縮することも不可能ではなくなる。

そこで、Egarim PBS を映像表示素子照明用と映像投影用に用いることで、全てを一体化させた導波型のプロジェクション用 HOE ユニットを検討した。図 13 は、その基本設計コンセプトの模式図である。

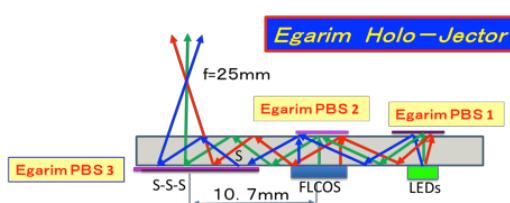


図 13 Egarim Holo-Jector の基本設計コンセプト

この全く新しい、1 mm のガラスとホログラムで構成された軽量薄型のプロジェクター機能を、

Egarimic Holo-Jector と呼ぶことにした。

原理実証を行うために、図 13 の中の Egarim PBS 2 と Egarim PBS 3 を試作し、映像投影実験を行った。この原理実証実験では、F-LCOS の代わりに解像度チャートを用いた。F-LCOS の位置に解像度チャートを配置して、背面から RGB レーザー光を照射し、透過した光を擬似的な表示映像とした。実験結果を図 14 に示す。図の上に示す解像度チャートを透過した映像が、Egarim PBS 2 と Egarim PBS 3 を介して拡大しながらプロジェクションされ、スクリーンに映し出された画像をカメラで撮影した（同図下）。右から B・G・R そして RGB を混ぜて白色に表示した画像の、スクリーン投影結果である。



図 14 Egarimic Holo-Jector による疑似映像投影確認実験

実験結果より、Egarim により露光したレンズ機能による投影でも、充分な解像力と RGB カラーバランスが得られることが確認された。

以上の結果から、Egarim のこれまでの研究成果を総合することにより、Egarimic Holo-Jector の実現可能性を確認することが出来た。

F-LCOS を用いた映像投影実験結果に関しては、本会の発表時に詳細を報告する。

## 5. まとめ

ホログラムの発展と市場成長を妨げている大きな障壁を打破するため、ホログラフィック・テクノロジーを駆使した新しい技術を提案し、幾つかの研究開発を行なった。

その一つとして、Ega-rim と呼ばれるシースルーブーの薄いホログラフィック照明ユニットを開発した。厚さ 1mm のガラスに特殊露光したホログラムを貼付けただけのシンプルなユニットでありながら、フロントライト照明のような機能を持たせられる事を示した。さらに、この Ega-rim と 3 次元画像が記録されたホログラムを融合することにより、Egarmic Holography の試作も行った。現在、商用化に向けた量産化検討プロジェクトが進行中である。

もう一つは、Egarim PBS 及び Egarmic Holo-Jector の研究開発である。Egarim PBS は、従来のキューブ型 PBS に代わる、導波路構造偏光素子として有用である。また、新たに紹介した Egarmic Holo-Jector は、たった 1 mm のガラスとホログラムにより実現できる次世代軽量薄型の映像投影ユニットとして、眼鏡型 HMD や車載用 HUD への応用など、様々な分野での利用が期待される。

一方で、ホログラムを大量に消費する産業分野が育たなければ、肝心要のフォトポリマーの普及が促されない。この点においては、筆者らが別のプロジェクトとして行っている採光型太陽光発電ユニット : Holo-Window が後押しをしている。例えば、都会のビルをメガソーラーへと変身させるために、ビル一棟だけでも数万平米ものフォトポリマーフィルムの大量需要が見込まれる[5]。その際には、超高速大面積連続露光によるホログラム量産化技術の確立が必須であり、その技術開発も進行中である。

近い将来、高機能、高付加価値のホログラム技術により、消費者ばかりでなくホログラム開発に携わる開発者、製造者等全ての人々にその恩恵を享受出来るようになることが、筆者らの使命であると考えている。

## Reference

- [1] T. Kasezawa, H. Horimai, H. Tabuchi and T. Shimura, “次世代ホログラム技術：Ega-rim & Holo-Window フォトポリマーFIGURA FILMが開く高度ホログラム技術の応用”， HODIC Circular Vol.39 No.1 2017.
- [2] T. Kasezawa, H. Horimai, H. Tabuchi, Toshitaka Nara and T. Shimura, “1mm-thick See through Holographic Lighting Unit ~Ega-rim (絵画縁)~” IWH 2016 Yilan, Taiwan Nov. 11 to 13, 2016.
- [3] T. Kasezawa, H. Horimai, and T. Shimura, “Holographic Polarized Beam Splitter ~Ega-rim PBS~ Guides the entire optical system to the world of 1 mm” IWH 2018: SaO1 Dec. 01, 2018.
- [4] T. Kasezawa, H. Horimai, H. Tabuchi and T. Shimura, “1mm-thick Holographic Polarized Beam Splitter ~Egarim PBS~” IWH 2017 24a3 Nov. 24, 2017.
- [5] T. Kasezawa, H. Horimai, H. Tabuchi and T. Shimura, “Holographic window for solar power generation ” Optical Review Vol.23 No.4 2016.

## HOEと画像再構成に基づく透明スクリーンカメラとその応用

中村 友哉<sup>†‡</sup> 今野 光基<sup>†</sup> 五十嵐 俊亮<sup>†</sup> 山口 雅浩<sup>†</sup>

†東京工業大学工学院 〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259-G2-28

‡JSTさきがけ 〒332-0012 埼玉県川口市本町4-1-8

E-mail: nakamura.t.bj@m.titech.ac.jp

**あらまし** 我々はあたかもカメラであるかのように機能する透明スクリーンを、ホログラム光学素子と画像再構成技術を融合的に用いることによって実現する手法を研究している。当該技術は単に指向性を有する視線外撮像装置として機能するだけでなく、ディスプレイとの統合により「観察者を正面から撮影できるディスプレイ」を実現することができ、新しい映像コミュニケーション技術への応用が可能である。本稿では、提案手法のコンセプト、原理、数値実験による検証結果、及び光学実験による原理確認の基礎実験結果を紹介する。

**キーワード** ホログラム光学素子、画像再構成、ホログラフィック導波路

## Transparent-screen camera by HOE and image reconstruction

Tomoya NAKAMURA<sup>†‡</sup> Hiroki KONNO<sup>†</sup> Shunsuke IGARASHI<sup>†</sup> and Masahiro YAMAGUCHI<sup>†</sup>

†School of Engineering, Tokyo Institute of Technology 4259 Nagatsuta, Midori, Yokohama, Kanagawa, 226-8502 Japan

‡JST PRESTO, 4-1-8 Honcho, Kawaguchi, Saitama, 332-0012 Japan

E-mail: †nakamura.t.bj@m.titech.ac.jp

**Abstract** We have been studying a transparent screen that works as if it were a camera by using a holographic optical element and image reconstruction processing. This technology realizes a directional non-line-of-sight imaging system. In addition, it also realizes a display that can capture an observer from the front, which can be applied to a novel visual communication system. In this report, we show the concept, principle, numerical analysis, and preliminary experimental confirmation of the proposed technology.

**Keyword** Holographic optical element, Image reconstruction, holographic waveguide

### 1. はじめに：透明スクリーンカメラ

ホログラム光学素子（HOE: Holographic Optical Element）は体積ホログラムにより実装される光学素子である。近年では特に、拡張現実（AR: Augmented Reality）技術の進展を背景に、シースルー性を有しつつ多様なインパルス応答を実装し得るスクリーン型素子としての応用が注目されている[1]。ARグラス[2]やヘッドアップディスプレイ[3]等の表示系への応用だけでなく、視線検出[4]や視線外撮影[5]を目的とした撮影系への応用も研究されている。

HOEは臨界角を超える角度に光を射出する反射素子の機能を記録することもできる。このようなHOEを光の入出力に用いる導波路を本稿ではホログラフィック導波路と呼ぶ。ホログラフィック導波路は、近年ではコンパクトかつシースルーアルのARグラス等の表示系や太陽光発電装置[6]等に

応用されている。

本研究では、ホログラフィック導波路とカメラと画像再構成処理を組み合わせた「透明スクリーンカメラ」を提案する[7,8]。概念図を図1に示す。提案システムでは透明スクリーンに反射型HOEを貼り合わせてスクリーン入射光をホログラフィック導波路に入力し、出力面にカメラを配置することで入力光を撮影する。生の撮像データは導波路内の反射回数の異なる複数像の重畳により乱れているため、撮像後の信号処理により元の物体像を再構成する。撮影対象をスクリーン鉛直前方に存在する観察者と想定した場合、カメラデバイスは観察者の視線の外に配置されている。そのため、観察者からはあたかもスクリーン面自体がカメラとして機能しているように知覚される。また、反射HOEの角度・波長選択性によりHOE及びスクリーンはシースルーであるため、観察者はスクリー

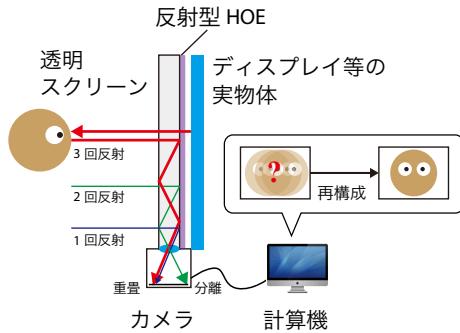


図 1. 透明スクリーンカメラ概念図。

ンの奥の実物体を観察することとなる。このことを利用して、スクリーンとディスプレイを統合することで、視線の合う映像コミュニケーションシステムを、表示系の薄さを保ったまま実現可能である。この機能は、自撮りやテレビ電話、インタラクティブディスプレイ等に応用可能である。

## 2. 光学実験による原理確認

HOE 露光を伴う光学実験により、提案撮像法の実現性に関する原理確認を行った。HOE の露光は、図 2 のようにダブプリズムを用いてガラスの臨界角を超える角度の信号光を生成し、これを感光材料上で参照光と干渉させることで実装した。光源には波長 532nm の DPSS レーザー(Samba 100mW, Cobolt)を使用し、感光材料にはフォトポリマー(Bayfol HX200, Covestro)を使用した。HOE に鉛直入射する参照光に対して、信号光の出射角を約 70°とした。HOE の露光面積は 20mm × 30mm とした。

HOE 露光後、図 3 左の実験系を構築して簡単な原理確認を行った。HOE の波長分散の効果と提案原理の効果を切り分けて観察するため、透過型拡散板にビーム走査型レーザープロジェクタを用いて像を表示することで被写体を作成した。被写

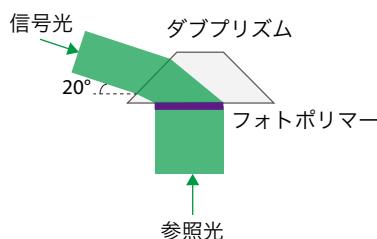
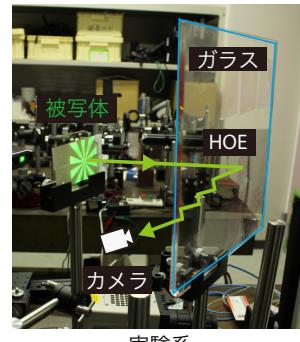


図 2. HOE 露光方法



ガラス端面からの撮影結果

図 3. 原理確認実験系、及び撮影結果。

体はガラス水平面の鉛直前方に配置した。カメラはガラスの端面に配置し、HOE を用いたホログラフィック導波路により物体像をカメラに導光した。撮影結果を図 3 右に示す。ホログラフィック導波路の効果により、被写体-ガラスが成す軸の外に配置されたカメラで被写体像を撮影できることが確認された。一方で、導波路内における反射回数の異なる像が重畳することが事前に予想されたが、被写体の像がそのまま直接的に観察された。これは HOE の面積が小さかったため、単一の反射回数の光のみがカメラに導光されたためと考えられる。HOE サイズは露光に用いるビーム及びダブプリズムの拡大や、タイリング露光法[9]を用いることで大型化できる。本研究では先に、数値シミュレーションにより像の重畳効果やその再構成手法について検証した。

## 3. 数値シミュレーションによる検証

HOE を理想的な大面積オフアクシス反射素子と仮定した場合どのような像が形成されるのか、ホログラフィック導波路を想定した幾何光線追跡シミュレーションにより検証した。一次元光線追跡の結果例を図 4 に示す。図 4 のように、最後に反射したガラス面が前側か後側かによって撮像素子面上の受光位置が大きく異なる。すなわち、一次元で考えれば、導波路内での反射回数が奇数か偶数かによって撮像素子の右側で受光するか左側で受光するかが決まる。その上で、それぞれの受光領域において、複数の奇数回反射光成分及び偶数回反射光成分が重畳した状態で像が検出される。二次元光線追跡に基づく撮像シミュレーション結果例を図 5 に示す。一次元光線追跡から予想されたように、像面内の二領域でそれぞれ複数回反射成分像が重畳していることが確認された。像の台

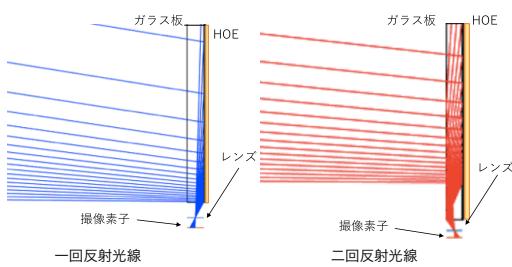


図 4. 一次元光線追跡結果例。

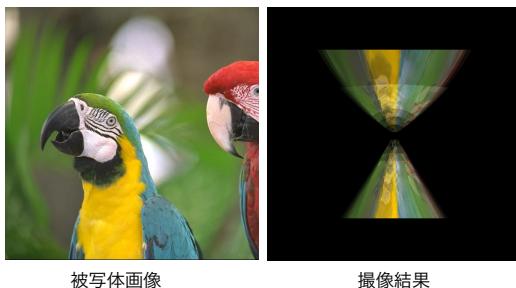


図 5. 光線追跡に基づく撮像シミュレーション結果。

形歪みは物体面と像面の傾きによるものであり、画像処理により補正が可能である。重畳像の分離のためには、撮像後に撮像過程の逆問題を解く必要がある。

今回、インコヒーレント光照明下での撮影を想定しているため、撮像過程は強度に関して線形である。そのため、光学系の作用を表現するシステム行列を計測やモデル化などにより既知とすれば、線形逆問題を解くことで撮像データから元物体の像強度を数値的に再構成できる。最も簡単には、システム行列の逆行列を計算して撮像データに作用させれば良いが、この方法では膨大なメモリ量を要する。そのため、本研究では逆問題を実際の計測データと推定解から生成した計測データの二乗誤差最小化問題に置き換え、これを共役勾配法を用いて反復的に解くことで近似解を求めることとした。

画像再構成を含めた撮像シミュレーション結果を図 6 に示す。元物体として、標準画像の Cameraman (256x256 画素, 8bit, グレースケール) を用いた。計測データは光線追跡により生成した。再構成画像は共役勾配法により生成した。図 6 のように、概ね元物体を視認できる画像の再構成を確認した。再構成画像 PSNR は 14.2dB であった。一方で、再構成画像に線状のノイズが確認された。

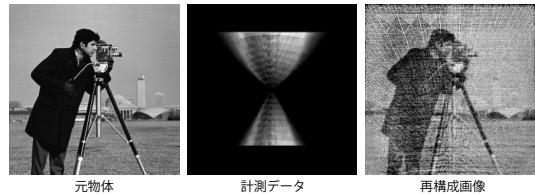


図 6. 撮像シミュレーション及び画像再構成結果。

ノイズの原因是、光線追跡でサブピクセルをサンプリングする際に周辺画素を考慮した補間を行っていないことであると考えられる。そのため、このノイズはサブピクセル画素情報の補間処理の実装や、逆解析における正則化の導入することにより抑制されると考えられる。

#### 4. 像重疊の影響の実験的確認

シミュレーション結果により示唆された、HOE の大面積化に伴う像重疊の影響を実験的に確認した。実験系を図 7 に示す。被写体として文字を印字した印刷紙をスクリーン前方に配置した。2.0cm x 5.5cm の HOE を二枚作成し、ガラス面に並べて貼り合わせることで大面積 HOE を模擬した。HOE の光出射方向側のガラス端面近傍にカラーカメラを配置した。奇数回反射光と偶数回反射光を分離して取得するため、カメラの場所を変えながら二回撮影した。

撮影結果を図 8 に示す。撮像データから、物体位置の異なる物体の像の重疊 ('A' と 'B' 及び 'C')、観察位置の違いによる同一物体の鏡像の形成が確認された。これにより、幾何的考察に基づく像重疊を含む撮像モデルが実際の物理現象と一致することが確認できた。

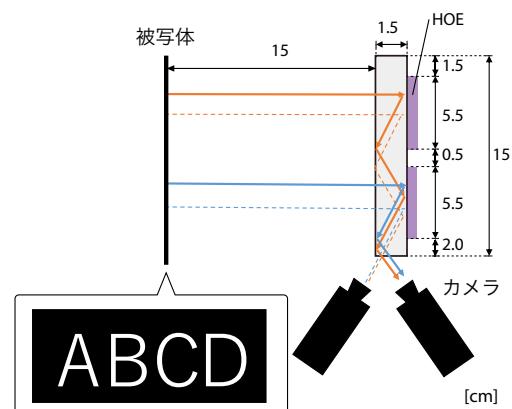


図 7. 像重疊確認実験系。

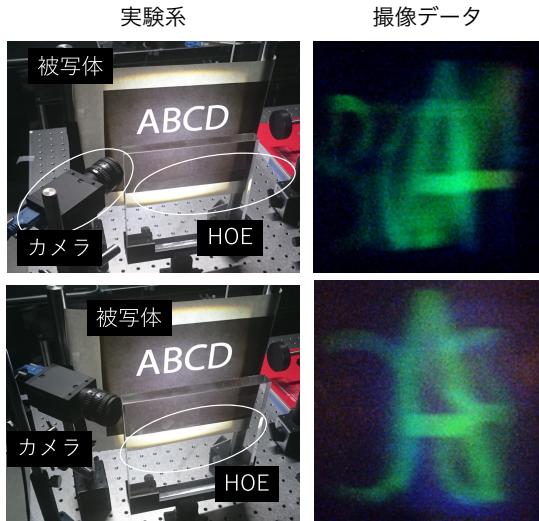


図 8. 像重畠確認実験結果。

## 5. ディスプレイとの統合の実験的確認

HOE は角度選択性を有するため、原理的には図 1 のようにスクリーン前方から入射した光のみカメラに導波し、後方からの光はそのまま透過する。この撮像方向の選択性は HOE を用いた視線外撮像にユニークな特色であり、ガラスのみを用いた手法では実現不可能な機能である[10]。このことを利用し、HOE 後方にディスプレイを配置すれば、ディスプレイ観察者の正面撮像を表示系の薄さを保ったまま実現できる。視線の一致する映像コミュニケーション等に応用可能であると考えられる。

図 9 の実験系を利用して、このコンセプトの実現性を検証した。HOE の後方にスマートフォン画面を配置し、前に被写体を配置した。ホログラフィック導波路の射出方向にカメラを配置し、被写体の正面撮像を実装した。撮影結果を図 10 に示す。

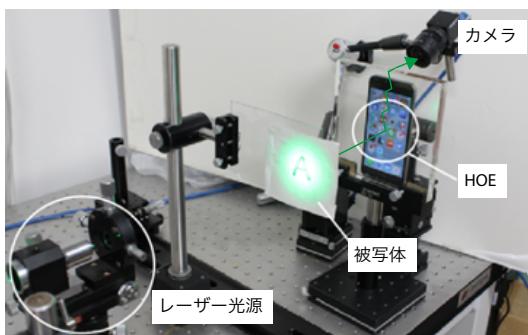


図 9. ディスプレイ統合実験系。

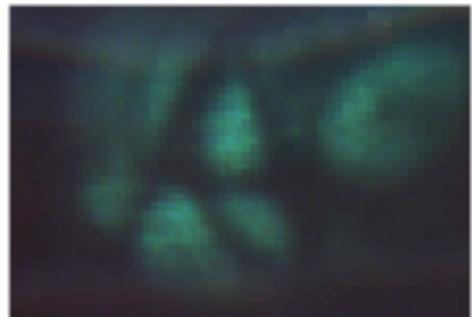


図 10. ディスプレイ統合実験撮影結果。

す。期待通り、スマートフォン画面の映り込みの無い被写体のみの像が取得できることが実験的に確認された。本実験ではスクリーン外部にカメラを配置したが、スマートフォンの内蔵カメラを撮像デバイスとして用いることも可能である。

## 6. 今後の課題

今回、光学実験に関しては、画像再構成の適用がまだ試されていない。今後、画像再構成まで含めた撮像実験を行い、HOE が大面積化した際でもイメージングが実現可能であることを実験的に実証する。また、広帯域光源下で現れる波長分散の影響の対処、系のカラー化に関しても今後取り組む。さらに、提案手法の効果の定量的な検証を行う予定である。

## 謝辞

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金（18H03256）の助成の下に行われた。また、ホログラムの記録材料は Covestro Deutschland AG から提供されたものを使用した。

## 文 献

1. G. Jang, C.-K. Lee, J. Jeong, G. Li, S. Lee, J. Yeom, K. Hong, and B. Lee, "Recent progress in see-through three-dimensional displays using holographic optical elements," *Appl. Opt.* **55**, A71–A85 (2016).
2. 笠井, 森本, 野田, 谷尻, "HOEを用いた眼鏡型ウェアラブルディスプレイの開発," *KONICA MINOLTA Tech. Rep.* **1**, 39–44 (2004).
3. N. F. Hartman, "Heads-up display with

- holographic dispersion correcting," US Patent, 4613200 A (1986).
4. M. Zhou, O. Matoba, Y. Kitagawa, Y. Takizawa, T. Matsumoto, H. Ueda, A. Mizuno, and N. Kosaka, "Fabrication of an integrated holographic imaging element for a three-dimensional eye-gaze detection system," *Appl. Opt.* **49**, 3780–3785 (2010).
  5. T. Nakamura, S. Kimura, K. Takahashi, Y. Aburakawa, S. Takahashi, S. Igarashi, S. Torashima, and M. Yamaguchi, "Off-axis virtual-image display and camera by holographic mirror and blur compensation," *Opt. Express* **26**, 24864–24880 (2018).
  6. T. Kasezawa, H. Horimai, H. Tabuchi, and T. Shimura, "Holographic window for solar power generation," *Opt. Rev.* **23**, 997–1003 (2016).
  7. 今野, 五十嵐, 中村, 山口, "ホログラフィック導波路と画像再構成処理を利用した正面撮像ディスプレイ," *Optics & Photonics Japan*, 10p-W331-5 (2018).
  8. H. Konno, S. Igarashi, T. Nakamura, and M. Yamaguchi, "Waveguide-HOE-based Camera that Captures a Frontal Image for Flat-panel Display," in *IDW'18*, PRJ1/FMC2-2 (2018).
  9. M. Yamaguchi, N. Ohyama, and T. Honda, "Holographic three-dimensional printer: new method," *Appl. Opt.* **31**, 217–22 (1992).
  10. G. Kim and R. Menon, "Computational imaging enables a "see-through" lens-less camera," *Opt. Express* **26**, 22826–22836 (2018).

## HODIC in Taiwan 5 開催報告

東京農工大学大学院 長浜佑樹

2018年12月13日（木）～12月15日（土）に、台湾台南市にある National Chiao Tung University (国立交通大学) の Ken Y. Hsu 先生にご協力いただき、National Chiao Tung University, Tainan Campus (国立交通大学台南キャンパス)において、HODIC in Taiwan 5: The 8<sup>th</sup> International Symposium on Holography が開催され、HODIC 会員が参加する形の例会が行われました。

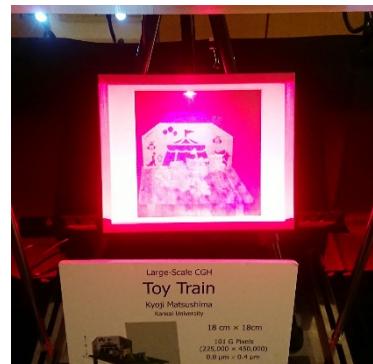
この会は HODIC が主にアジアにおけるホログラフィの研究者や芸術家との交流を深めるために実施されているものです。前回は 2015 年 12 月に台湾にて開催され、台湾での開催は今回で 5 回目となります。シンポジウムにおける講演は 16 件（基調講演：30 分、一般公演 25 分）で、展示物は 24 作品でした。

1 日目にはシンポジウムのオープニングと基調講演、展示会が行われました。シンポジウムのオープニングは、Yi-Shun Gou 先生の開会の挨拶で始まりました。続いて HODIC 名誉会長・東京工業大学名誉教授である辻内順平先生より「Introduction of Holographic Display Artists & Engineers Club (HODIC)」にて、HODIC の成り立ちや歴史についてご紹介いただきました。その後、Institute of Optical Materials and Technologies, Bulgarian Academy of Sciences (IOMT, BAS) の Daniela Karashanova 先生より

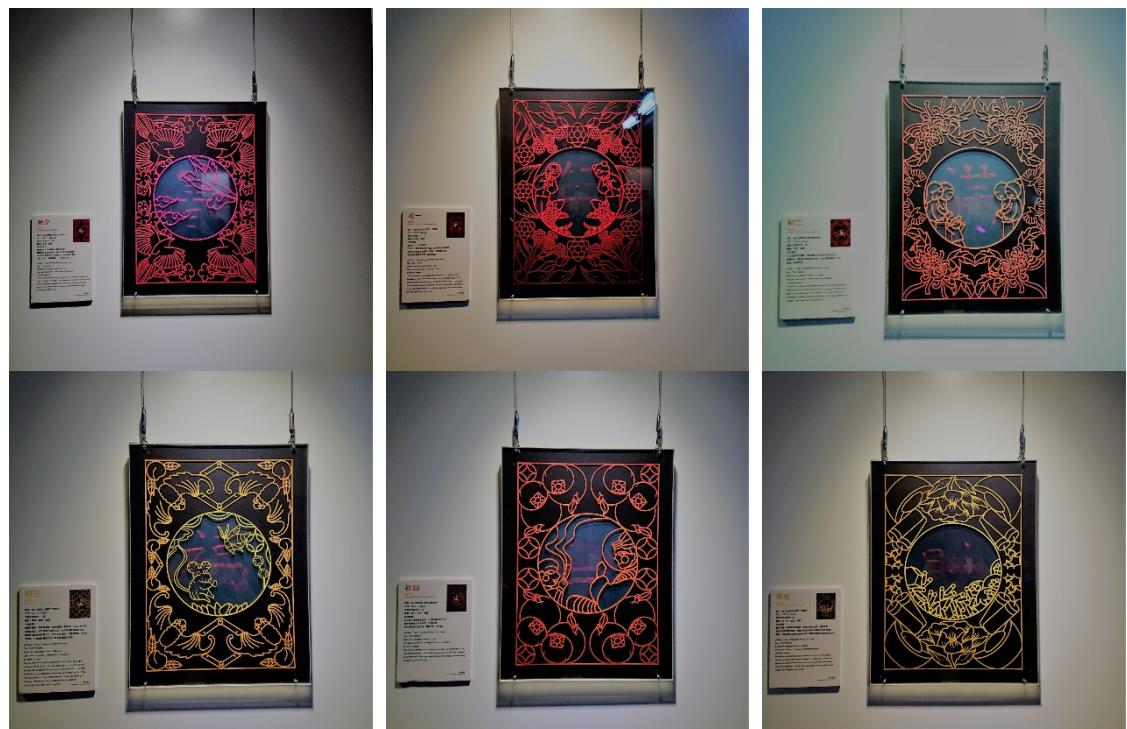
「Introduction of Institute of Optical Materials and Technologies, Bulgarian Academy of Science (IOMT, BAS)」にて、IOMT, BAS における光学材料研究への取り組みについてご紹介いただきました。さらに、Ken Y. Hsu 先生より、「Introduction of College of Photonics, National Chiao Tung University (COP, NCTU)」というタイトルで、NCTU や HODIC in Taiwan の成り立ちについてご紹介いただきました。

オープニングの後、基調講演として辻内順平先生より、「Holography in Mechanical Engineering」というタイトルにてホログラフィ・光干渉計測の非破壊検査技術などの機械工学への応用についてご講演をいただきました。

展示会では、展示会場にて作品を鑑賞することができました。どの作品もとても素晴らしい、写真だけでは伝えきれないような魅力があり、ぜひ実際に見ていただきたいものばかりでしたが、以下にて、展示作品や会場の様子を少しばかりご紹介させていただきます。



左：石井勢津子氏の作品、右：関西大学 松島恭治先生の作品



Szu-Chieh Wang 氏, Ting-Hao Syu 氏, Yun-Chuan Chen 氏, Cheng-Wei Weng 氏,

Chen-Sin Jhuang 氏による中国の伝統的な年末年始をテーマにした連作



展示会の様子

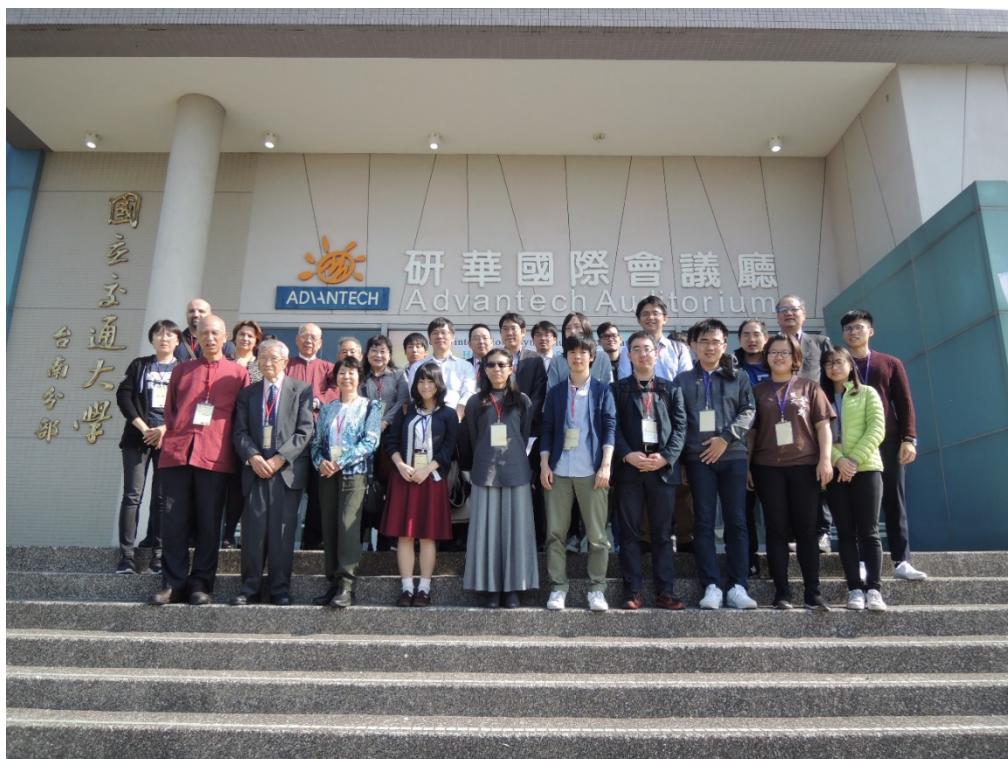
2日目の午前のセッションでは、始めに千葉大学の角江崇先生より「High-speed three-dimensional vibrometry based on single-shot phase-shifting digital holography」にて、デジタルホログラフィを用いた高速3次元振動計測技術についてご講演いただきました。続いて首都大学東京の西辻崇先生より「Recent progress of dedicated computer for electro-holography」にて、計算機合成ホログラム専用の計算機についてご講演いただきました。次に、National Taiwan Normal University（国立台湾師範大学）のYu-Chih Lin先生より「3-D imaging for a free-floating living cell by digital holographic microtomography」にて、培養液中の生きた細胞をデジタルホログラフィック顕微鏡で撮影する技術についてご講演いただきました。その次に、関西大学の國枝織絵氏より「Stacked-volume CGH: A novel technique to create full-color CGHs」にて、計算機合成ホログラムをフルカラー化する際のホログラムの生成方法についてご講演いただきました。続いて同じく関西大学の永江洋輔氏より「Creation of a large-scale urban landscape CGH using the switch-back and polygon-based method」にて、大規模な計算機合成ホログラムの計算手法についてご講演いただきました。次にInstitute of Optical Materials and Technologies, Bulgarian Academy of Sciences (IOMT, BAS)のVera Marinova先生より「Holographic recording in organic-inorganic hybrid structures」にて、無機物と有機物を組み合わせたホログラムの記録材料についてご講演いただきました。そして午前のセッションの最後は関西大学の中本健太氏より「Exact mask-based occlusion processing in large-scale computer holography」というタイトルで大規模な計算機合成ホログラムの生成手法についてご講演いただきました。

午後のセッションでは、始めに石井勢津子氏による「Artistic Representation with Pulsed Holography」というご講演にて、パルスレーザーhoログラフィと呼ばれる手法を用いたご自身のアート作品についてご紹介いただきました。続いてFeng-Chia University（逢甲大学）のJung-Ping Liu先生より、「Three-Dimensional Display by High-Definition Computer Generated Hologram」にて、ホログラムプリンタを用いた高解像度のホログラムの生成手法についてご講演いただきました。その次に情報通信研究機構（NICT）の市橋保之氏より「Research on Wavefront Printing Technology Aiming at Several Holographic Displays」にて、波面プリンタとホログラフィックディスプレイへの応用についてご講演いただきました。次に、「Investigation of ringing artifact removal method based on its cause in random phase-free hologram」につきまして、筆者が発表いたしました。筆者の後には、逢甲大学のYeh-Wei Yu先生より「Volume holographic storage technique and relative applications」にて、体積ホログラムによる情報記録技術についてご講演いただきました。続いて東京理科大学の平山竜

士氏より「3D volumetric structure projecting Multiple 2D images in different directions」にて、複数の2次元情報を内包した3次元構造体についてご講演いただきました。その後、前湘南工科大学の佐藤甲癸先生より、「Large viewing angle electro-holography by space projection」にて、電子ホログラフィの高視域化についてご講演いただきました。続いてYuan Ze University（元智大学）のCheng-Chin Hsu先生より「Sensing Applications of Holographic grating」にて、ホログラフィック回折格子のセンシングへの応用についてご講演いただきました。そして午後のセッションの最後はKrastyo Milchev Buchkov先生より「Vortex dynamics studies of iron based superconductors」というタイトルで鉄系の超伝導体についてご講演いただきました。最後にHODIC国際担当幹事である西辻崇先生より閉会の挨拶をいただきました。

筆者は今回、HODICの例会に初めて参加させていただきました。強く印象に残ったことは、講演された方々や作品を展示された方々のホログラフィに対する情熱の強さ、そしてホログラフィの分野としての懐の深さです。3次元映像技術や計測技術、センシング技術などの技術としての広がりだけでなく、芸術としての側面を持っているのはホログラフィという分野の大きな特徴と言えるのではないかと思います。筆者もより良い成果を挙げ、この分野に貢献できるよう精進していきたいと思います。

最後になりましたが、本シンポジウムの準備、運営にご尽力いただいた国立交通大学のKen Y. Hsu先生や、筆者に対して本シンポジウムでの講演機会を与えていただくとともに、先方との交渉や取りまとめなど、本シンポジウム開催前から多岐にわたってご尽力いただいた西辻崇先生、また、Shiuan Huei Lin先生、Yu-Pin Lan先生をはじめとした台湾側の関係者の皆様およびHODIC関係者の皆様、参加者の皆様に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

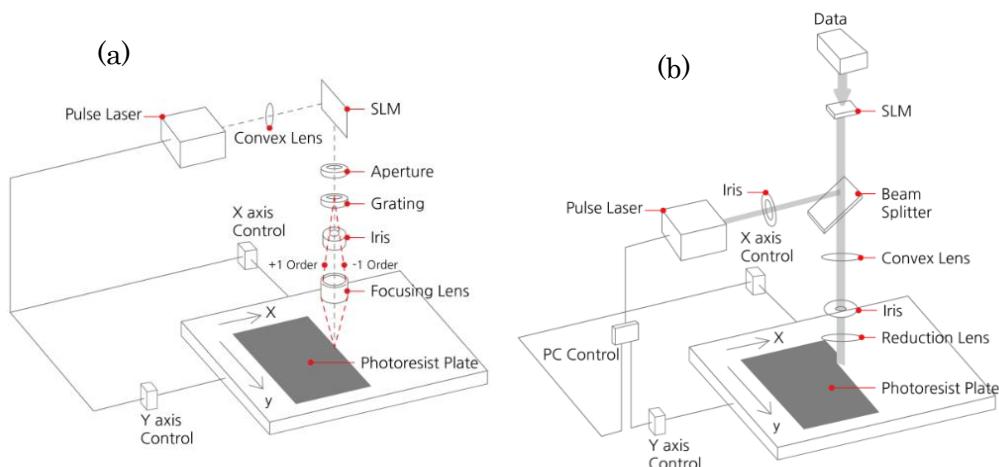


シンポジウム参加者による集合写真

## 韓国のホログラフィー情報

仁川大学校 芸術体育大学 デザイン学部 宋 玄鎬

世の中にあふれているものに対して情報を正確に伝えることや保護するのは大事です。物に情報を保護する方法として偽造防止を行っています。偽造防止ができるホログラフィー技術は違う要素をデザインして一つの記録材料に露光することができます。ホログラフィー技術を利用し偽造防止を施すとき光学的な方法を生かしバターン認識、暗号読み取り、隠し絵、微細文字をエンボスホログラムに制作して保安性を強化しています。現在韓国でエンボスホログラムに使われるマスターを独自に開発している会社が未来技術研究所という会社です。この会社は2015年にベンチャー企業として立ち上げホログラフィーを応用して立体表示、セキュリティ、ホログラフィー光学素子に対して研究を行っている会社です。今回紹介する表面レリーフ型エンボスホログラムはホログラフィフィルムとホットスタンピングホイルとデコラティブフィルムを使い偽造防止として開発を行っています。光学的に可変装置(Optical Variable Device)を元にレターレンズ、トルーカラー3D、バルリーフ、トルーカラーイメージ交換効果のデザインをCGH(Computer Generated Hologram)方法で生じて図1(a), (b)に示したレーザーリソグラフィー装置を併用し独自のホログラムマスターを制作しています。



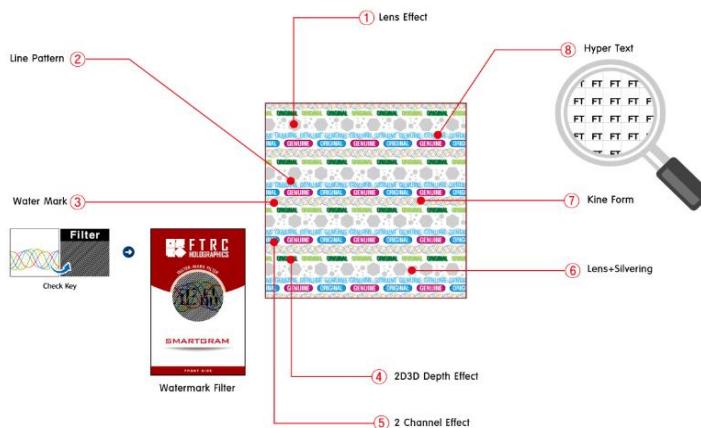
(a) Maskless Laser Two Beam Writing Lithography (Pixel Size : 3.5  $\mu\text{m}$ )  
 (b) Maskless Laser Direct Writing Lithography (Pixel Size: 250 nm)

Fig1. Laser Lithography Device

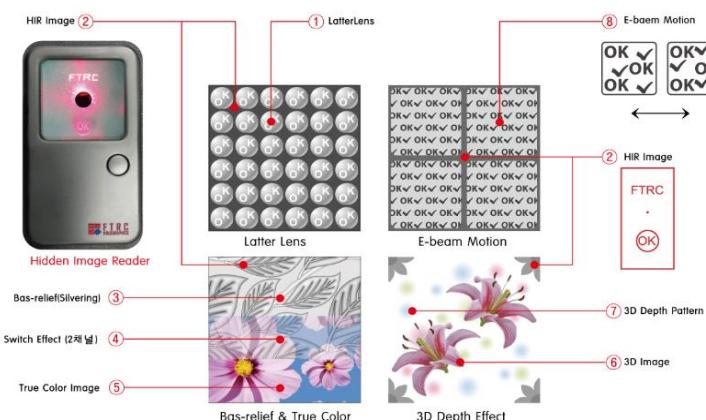
各要素を読み出すには高倍率の顕微鏡用特殊なレンズとウォーターマークフィルタ、HIR(Hidden Image Reader)でそれぞれの情報を取り出すことができてセキュリティーが必要な製品に適用します。

今回図3に紹介するホログラム製品(容器と封印用ラベル)はホットスタンピングホール、コスメティックケース、パッケージとデコラティブフィルムです。適用している方法はラミネートフィルム、デカルフォイル、ステッカーラベルに3Dパターン、レンズ効果、モーション効果と共に保安機能を加えています。偽造防止と対象に合わせるデザイン力、および機能効果を含めたホログラムの品質は優れています。

今後、保安性が高いホログラムとして注目が集まつてくると思います。



(a) Hologram include Hyper Text and holographic water maker



(b) Hologram include letter lens, E-beam motion, bas relief and true color image switch effect

Fig2. Security element of Emboss Hologram and Hidden image reader

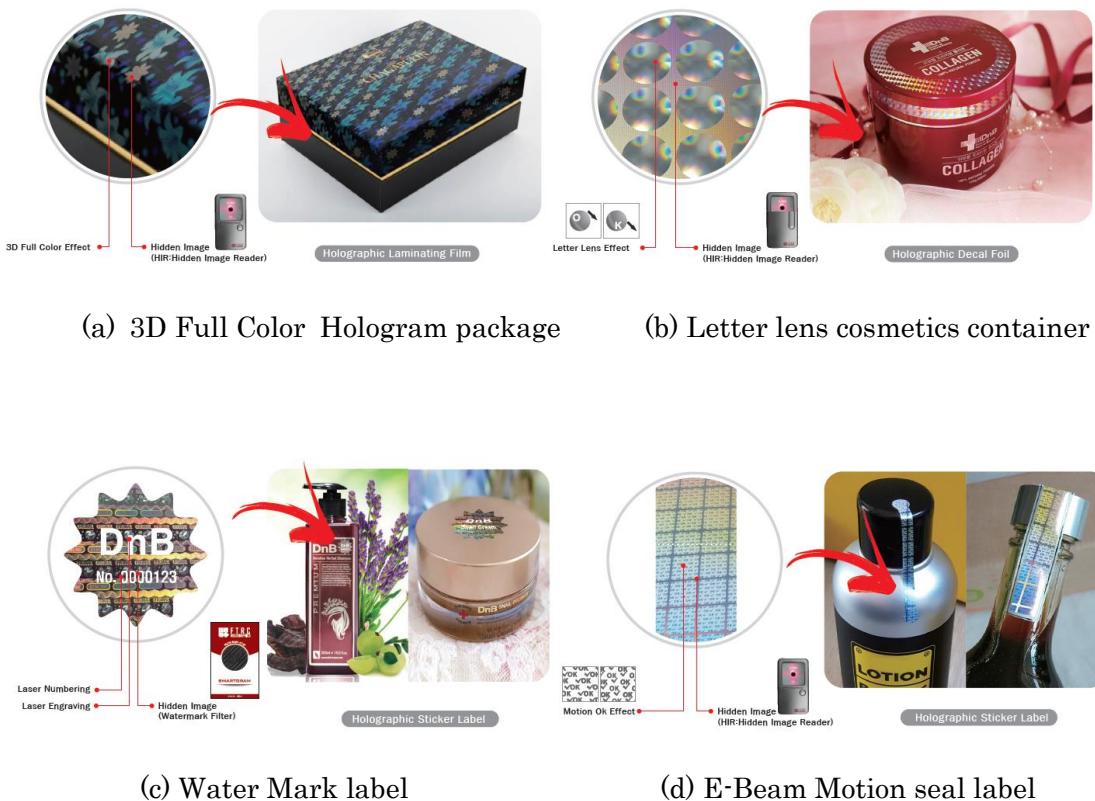


Fig3. Embossed hologram applied product

未来技術研究所(株) ([www.ftrc.co.kr](http://www.ftrc.co.kr))

韓国 京畿道 龍仁市 器興區 古梅路 43

WONDANG Industrial Factory 2-dong, 17084

Tel : 031-693-6985 Fax : 031-693-6986 Mail : [sale@ftrc.co.kr](mailto:sale@ftrc.co.kr)

**ふるさと探検隊  
2019長和子ども自然科学教室第6回開催**

イベントの趣旨、目的：子ども達に自然、科学、エネルギー、環境問題

公共交通に興味を持って貰う事

イベント参加者：長和町の小学生、保護者

イベントの内容：ホログラムの展示、ソーラーLRT の乗車体験

空飛ぶクラゲの製作

開催日：2019年5月11日（土曜日）

開催場所：長野県小県郡長和町長久保455 長和長門町民体育館で開催

開催時間：AM10:00～12:00

視察、見学者の方は下記のメールアドレスまでご連絡ください。

教室開催責任者 竜野英則 E-mail:nagawa.holo@gmail.com

---

**ホログラフィ関連の学会のお知らせ**

Digital Holography & 3D Imaging, 5月19日～23日

Institut d'Optique Graduate School, Bordeaux, France

[https://www.osa.org/en-us/meetings/topical\\_meetings/digital\\_holography\\_and\\_3-d\\_imaging/](https://www.osa.org/en-us/meetings/topical_meetings/digital_holography_and_3-d_imaging/)

三次元画像コンファレンス

7月4日（木）、5日（金）湘南工科大学

<http://www.3d-conf.org/>

International Conference on 3D Systems and Applications, 11月27日～29日

<https://www.3dsa.org/>

The 26th International Display Workshops, 11月27日～29日

<https://www.idw.or.jp/>

札幌コンベンションセンター

## 平成 31 年第 1 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： 2019 年 3 月 29 日 13:00～17:00

■場所： 日本大学理工学部（駿河台キャンパス）  
1 号館 2 階 122 会議室

（〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14）

アクセス：<https://www.cst.nihon-u.ac.jp/campus/surugadai/>

■テーマ ホログラフィック光学素子

■プログラム

13:00-13:05 HODIC 会長挨拶

基調講演

13:05-13:55 液晶による空間光制御 その歴史と展望

橋本 信幸 氏 （シチズン時計）

13:55-14:10 休憩

研究会

14:10-14:50 透過型液晶光学素子のホログラム技術への応用

田辺 綾乃 （シチズン時計）

14:50-15:40 A plastic holographic waveguide combiner for light-weight and highly-transparent augmented reality glasses  
附田大輔, 高井雄一, 吉田卓司, 徳山一龍,  
金子強, 鈴木伸洋, 安齋隆史, 吉海江憲, 阿久津克之, 町田暁夫 (ソニー)

15:40-15:55 休憩

15:55-16:35 次世代ホログラム技術：Ega-rim & Egarim PBS が導く 1 mm の光学世界及び高度ホログラム技術の応用

加瀬澤 寿宏, 堀米 秀嘉 (エガリム), 志村 努 (東京大学)

16:35-17:15 HOE と画像再構成に基づく透明スクリーンカメラとその応用

中村 友哉, 今野 光基, 五十嵐 俊亮, 山口 雅浩 (東京工業大学)

■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

■懇親会費：会員・非会員 3,000 円, 学生 500 円

当日は研究会終了後、会場近くの会議室で懇親会を行います。

お願い：懇親会に参加をご希望の方は [party@hodic.org](mailto:party@hodic.org) 宛に

ご氏名(必須)とご所属(任意)をお知らせください。

学生の方は「学生」とご記入ください。

■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 氣付

E-mail: [office@hodic.org](mailto:office@hodic.org)

## 平成 31 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： 2019年5月下旬から6月上旬ころ 13:00～17:00(予定)

■場所： 千葉大学西千葉キャンパス

アクセス：<http://www.chiba-u.ac.jp/access/index.html>

■テーマ ホログラフィの標準化とデータの圧縮

■プログラム 最新情報は HODIC の WEB ページで公開いたします。

1. HODIC 鈴木岡田記念賞授賞式及び記念講演 (13:00-14:15)

- 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

2018 年度 HODIC 鈴木岡田記念賞選考委員長 角江 崇

- 記念講演

14:15-14:30 休憩

2. 講演会

14:30-15:10 「ホログラムの工業標準の使い方」 (仮)

高橋 進 (凸版印刷株式会社)

15:10-15:50 ホログラムの画質評価と国際標準化の動向

吉川 浩 (日本大学)

15:50-16:00 休憩

16:00-16:40 タイトル未定

坂本雄児 (北海道大学)

16:40-17:20 タイトル未定

西辻 崇 (首都大学東京)

■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](mailto: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 淳（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（久保田和歌工房）	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）	下馬場朋祿（千葉大学）
白倉 明（アーティエヌ・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（コニカミルタプロネリウム）	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）	三田村駿右
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. 39, No. 1 (Mar. 2019)

2019年3月29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にてお願ひいたします。

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](mailto:yoshikawa.hiroshi@nihon-u.ac.jp)

**HODIC**