

観賞者参加型の 3次元映像ディス プレイ

立体知覚に関する研究は古く、立体視要因としては紀元前から知られていた両眼視差（左右の眼で異なる映像を見ること）をはじめとして、輻輳（両眼が1点を見るための内向の回転）、調節（水晶体の焦点あわせ）など計10項目ほどが知られている。そして主に両眼視差により「立体映像」を知覚させる立体ディスプレイについてはすでに製品化された例も少なくない。しかしながら、現状は立体ディスプレイの本格的普及には程遠い。その普及を阻む原因の1つは観賞時のストレスであると思われる。東芝では、手を伸ばして触れたいような存在感を伴った、自然な「3次元映像」を表示することを主眼に3次元ディスプレイの開発を進めている。本稿では、これまでに開発した技術と、自然な3次元映像に期待される新たな映像表現について紹介する。

3次元ディスプレイで実現する観賞者参加型映像

モノがあることを実感するために、人は目をこらし、手を伸ばして触ろうとする。このような行動を誘導する映像を、ここでは観賞者「参加型」映像と呼ぶ。それに対し、TVや映画といった従来からある映像メディアに、なぜ人は手を差し伸べないのだろうか？ LCDを始めとする高精細ディスプレイの普及も手伝って、目にする2次元映像の精細度をはじめとする質は確実に向上している。とはいえ、人が映像に触れようとしたという話は聞いたことがない。そこに2次元映像の限界と問題点があると考えられる。

提供される2次元映像の質が向上し、より自然になっ

6

福島 理恵子

rieko.fukushima@toshiba.co.jp

(株) 東芝 研究開発センター ヒューマン セントリック ラボラトリー

平山 雄三

yuzo.hirayama@toshiba.co.jp

(株) 東芝 研究開発センター ヒューマン セントリック ラボラトリー

たととしても、観賞者の傍観する姿勢は変わらない。実は2次元映像を見るということは他者の視点を借りて景色を見ているようなものだ。一般的に2次元映像が他者によって切り取られた映像であることを意識しながら見ることは難しい（例外として、科学論文等で提示された写真に対しては、「いいところだけ使ったな」と他者の視点であることを意識する研究者・技術者は多い）。このような観賞者に主体性を求めない映像を、ここでは「傍観型」映像と呼ぶ。この傍観型映像を日常的に見続けることで、主体的に映像を捉えられない、映像の消費者を育てているということはないだろうか。

3次元映像が2次元映像と異なる点として、奥行き情報を表示できるということがあがるが、これに付随した性質として、視点をある程度観賞者に委ねるという特徴がある（この特徴がなく、視点が1方向に限られているものを本稿では「立体映像」と呼んで「3次元映像」と区別する¹⁾）。すなわち映像を、さらには映像に含まれる個々の物体を見る角度を観賞者自身が決定することが求められる。また我々が開発した3次元ディスプレイを観賞する人には、しばしば映像に触れようとする挙動が認められる。これらの事象により奥行き情報には、それを付与することにより、映像にこれまでにない「存在感」を与えるという新たな側面があることが分かる。そしてこの特性を活かすことにより、観賞者の映像に対する能動性を呼び覚ますような、これまでにない映像表現を実現でき

表示方式		立体知覚要因		輻輳	調節	運動視差
		両眼視差				
		集光点の有無				
3次元画像映像	II方式	○	無	○	○~△ [*]	○
	多眼式	○	有	○	×	△
立体画像表示	2眼式	○	有	○	×	×

※光線密度に依存

表-1 インテグラルイメージング (II) 方式と諸方式 (フラットパネル利用, メガネ不要) の立体知覚要因の比較

る可能性がある。

本稿では以下、観賞者が思わず手を伸ばす観賞者参加型映像の実現を目的に開発を進めている、平置き型3次元ディスプレイを中心に述べる。

インテグラルイメージング (II) 方式²⁾の採用と改良

❖ 技術オリエンテッドだった既存方式

表-1に諸方式の立体知覚要因を中心にまとめた。ここでの比較は、我々が採用しているII方式の位置づけを説明するために行うもので、メガネを用いる諸方式や、奥行き標本化式¹⁾など、大きく構造を違えるものについては触れない。

これまでに製品化されているメガネなし立体または3次元ディスプレイとして2眼式や多眼式がある。いずれも表示面にレンチキュラーシート（水平方向のみレンズ特性を有するかまぼこレンズのレイ）やパララックスバリアなどを配し、左右眼に視差を持つ2次元映像を分離して見せることで、観賞者に「立体映像」を知覚させる。2眼式では2つの2次元映像により1方向の視点からの立体映像を知覚できるのみだが、多眼式ではたとえば4つの2次元映像により3方向の視点からの立体映像を知覚できる。すなわち、不連続ではあるが運動視差（事物が身体移動の逆方向に移動して見える現象）を観賞者にもたす。

筆者にも経験があるが、これらのディスプレイによって立体映像を知覚できるとある種の感動を覚える。ところが、この感動を掘り下げてみると、立体でないはずのものが立体に見えることに対する驚きであって、存在感や臨場感といったものとは異なっていたように思う。このためであろうか、この感動が持続することは難しく、輻輳-調節の不一致¹⁾や、不完全な運動視差といった観賞時の違和感に由来する、不自然な印象が強かった。

❖ II方式の採用

ユーザオリエンテッドな視点から考えると、3次元映像がその価値を発揮するには、観賞時の違和感を減らすことが最も重要である。すなわち、観賞者にメガネをさせないことはもちろん、任意の位置から観賞できることが望まれる。上記の判断に基づき、我々の3次元ディスプレイにはII方式を適用している。

この方式は、1908年に提案されたインテグラルフォトグラフィ (IP) 方式³⁾という立体写真の撮影・再生技術に由来する。簡単に説明すると、立体写真の画素に相当するレンズアレイを用意し、この焦点距離にフィルムを置いて撮影を行い、撮影したフィルム上に撮影に用いたレンズアレイを置いて再生する（簡単のために凹凸反転処理など途中のプロセスは省いた）。レンズ越しに記録した光線情報を進行方向のみ逆転して再生するというこのプロセスから明らかのように、観賞位置を限定することなく、フィルムの解像度が十分に高ければ、ホログラフィと同様に完全な空中像をも再生可能な、理想的な方式である。

開発したII方式3次元ディスプレイではレンズアレイの代わりにレンチキュラーシートを、フィルムの代わりに代表的なフラットパネルディスプレイである液晶ディスプレイ (LCD) を用いている。画素から出た光は、レンズを経由することで進行方向が限定され、光線として射出する (図-1 (a))。レンズの背面にレイアウトされた画素には視差情報（見る角度によって見え方が変わる映像情報）を表示する。観賞者側から見ると観賞位置すなわちレンズを見る角度に応じて、レンズに拡大されて見える画素すなわち視差情報が連続的に切り替わる。3次元ディスプレイから手前または奥側に離間した位置に3次元映像を表示しようとすると、観賞位置の移動に応じて映像が大きく切り替わる必要がある。このときに視差情報を提示する間隔が粗いと運動視差の連続性が低下する

などして映像が劣化する。視差情報を密に提示することで手前または奥側の表示範囲を広げることができるが、レンズ1つあたりの画素数を増やすと、LCDの解像度が一定の場合はレンズピッチが長くなり3次元映像の解像度が低下する²⁾。我々は、この解像度低下を最小限にとどめるために、立体知覚に有効な水平方向のみ視差情報を提供しており、これを1D-II方式と呼んでいる。

このように、1D-II方式では、多眼式と同様にレンチキュラーシートを利用することから、しばしばその分類を混同される。しかしながら、1D-II方式の特徴は、視差画像の精細度の低下に配慮しながら可能な範囲で視差数を増やし、かつ、光線設計時に観察者の位置を仮定しない(観察時の両眼に集光点を設けない：表-1)ところにある。これは、視差画像の精細度低下を抑制するために視差数を2~4と低く抑え、両眼に相当する位置に集光点を設けて立体知覚を実現するという多眼式の設計とは決定的に異なる。具体的には、水平レンズピッチを水平画素ピッチの整数倍に設計することにより複数のレンズから出る光線が平行の関係になるように射出させ、再生・観賞空間内に光線が集光する特殊な点が発生することを防いでいる。これらの光線は、実際に物があつたときの表面からの光を、離散的ではあるが抽出して再生している。視差数のある程度高くすることで、観賞者は観賞範囲の中で、その位置から見えるべき両眼視差映像(○)を視認できるとともに、連続的な運動視差(○)を得ることができる。多眼式との違いをつきつめればLCDに代表されるフラットパネルの画素数が有限であるために制限される光線のレイアウトの違いに過ぎない。しかしながら視差画像の精細度を重視したために運動視差が不完全(△)な多眼式とは異なり、特殊な集光点を設けないとい

う1D-II方式の光線設計が、両眼視差と運動視差のバランスを考慮した、より自然で疲れにくい3次元映像をもたらす。

❖ 新規視差情報配置方法による観賞範囲の拡大

観賞位置を仮定しないとはいえ、レンズごとに用意された画素数に限りがあることから、1D-II方式にも3次元映像を観賞できる範囲には制限がある。我々は、光線同士を並行に保ちつつ、レンズごとの視差情報を提示する範囲(視域)を仮定した観賞距離でオーバーラップさせる視差情報配置方法を開発し⁴⁾、3次元映像の観賞範囲を広げている。具体的には、観賞距離が短ければ、レンズに対する画素群がディスプレイ中心を基準として外側にレイアウトされ(図-1 (b))、観賞距離が長くなるにつれて、レンズの真後ろにレイアウトされるようになる(図-1 (c))。各画素に表示される視差情報は、このレイアウトにより定められる光線方向を反映したものにす。言葉を変えれば、任意の観賞距離に応じて、ハードウェアの変更なく観賞範囲を常に最大に設定することができる。これによって、3次元映像の観賞範囲の制限を緩和し、より自然な観賞を可能にした。

平置き型にするための技術

表示面を水平にし、見下ろすように観賞する立体視は、約100年前から芸術家たちによって試みられていた⁵⁾。近年、海外ではPHANTOGRAM、国内では遠山式立体表示法として知られているが、赤青メガネを使用する印刷物にとどまっていた。一方、これまで述べたように、1D-II方式3次元ディスプレイには手前または奥

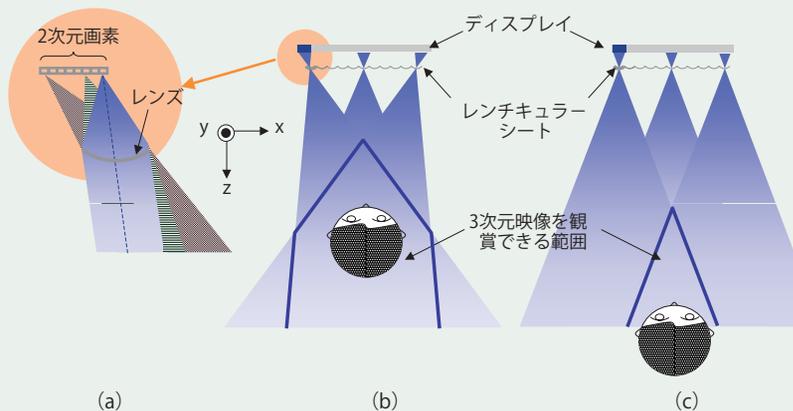


図-1 1D-II方式3次元ディスプレイの水平断面図
(a) 単一レンズの拡大図 (b) 観賞範囲(短観賞距離) (c) 観賞範囲(長観賞距離)



図-2 平置き型3次元ディスプレイと観察者

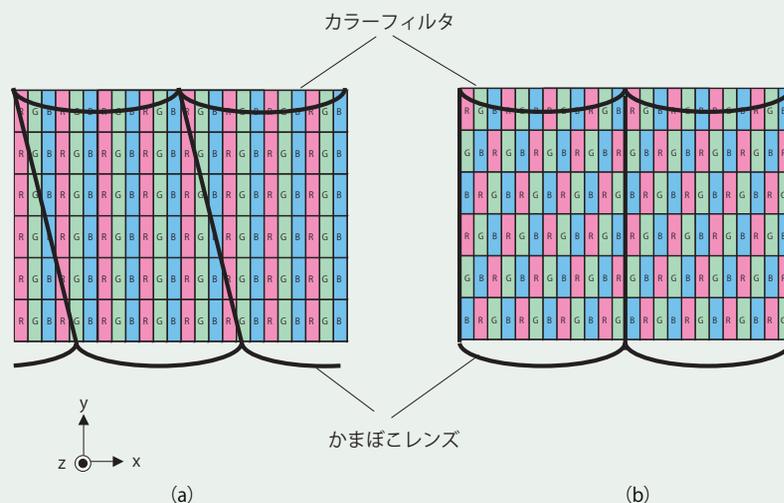


図-3 カラーフィルタ配列とレンズの傾き(正面から見た図) (a) ストライプ配列と斜めレンズ (b) モザイク配列と垂直レンズ

側の表示範囲に限界があり、我々の開発した3次元ディスプレイにおける表示範囲はディスプレイ面から±5~10cmに限られる。この数cmの浮き出しでも、平置き型にすることでより存在感のある3次元映像を表示できると考えた。理由は後述するとして、ここではそのための技術を紹介する。

❖ 観賞距離の変動への対応

平置き型ディスプレイを観賞する場合、縦置き型と比較して、一般に観賞距離(z方向: 図-2)、特に最短観賞距離が短い。このため、縦置き型と平置き型の両方に利用できるようにするには、観賞距離の変動に対応できることが望ましい。また、特に平置き型の利用だけに限定したとしても、頭の高さや姿勢によって観賞距離が変化しやすい。すなわち、観賞距離の自由度も確保されていることが求められる。これらの平置き特有の要請に対して、任意の観賞距離において観賞範囲を最大化できることに加え、z方向にも観賞範囲が広い1D-II方式3次元ディスプレイの適合性は高い。

❖ 垂直レンズとモザイクカラーフィルタLCDの採用

LCDのカラーフィルタの並び方向(RGBのサブピクセルから1ピクセルが形成されているときに、RならRが並んでいる方向)とかまぼこレンズの稜線が平行になると、単一のレンズで拡大される画素が単色になり、画質が低下する。一般的なフラットパネルではy方向に同色が並ぶストライプ配列カラーフィルタが採用されていることから、これに組み合わせるレンチキュラーシート

は、かまぼこレンズの稜線をy方向から傾ける場合が多い(図-3(a))。

平置き型ディスプレイにおいては、観賞者の見る姿勢によって観賞位置がy方向に変化する可能性がある(図-2)。このときレンズの稜線がy方向から傾いていると、観賞位置がy方向に変化したときにレンズに対する画素の水平(x)位置が相対的に変化する。図-1(a)で示したように、レンズに対する画素の水平位置は光線の射出方向を決めていることから、これが変化すると3次元映像が歪んだり、3次元映像の観賞範囲がずれたりといった映像の劣化につながる。

我々は、観賞者がy方向に移動してもレンズと画素の水平位置の相対関係が変化しないように、かまぼこレンズの稜線をy方向に平行にするとともに、モザイク配列のカラーフィルタを採用して画質の低下を防いだ(図-3(b))。

❖ 平置き型3次元ディスプレイのための映像作成方法

3次元映像を作成するためには、視差情報として、水平方向に異なる位置から投影面を一致させるように撮影した複数の映像(多視点映像)が必要になる。平置き型では図-4中の撮影位置の水平座標に依存した θ に加えて垂直方向の俯角(ϕ)も発生する。このときに注視点を撮影対象に単に一致させると、映像を取得する面と映像を再生する面にずれが生じる(図-4(a))。我々は、実写では広角撮影と切り出しを、CGでは広角撮影に部分レンダリングを組み合わせることにより(図-4(b),(c))、撮影面と再生面のずれが原因で発生する映像の歪みを補正す

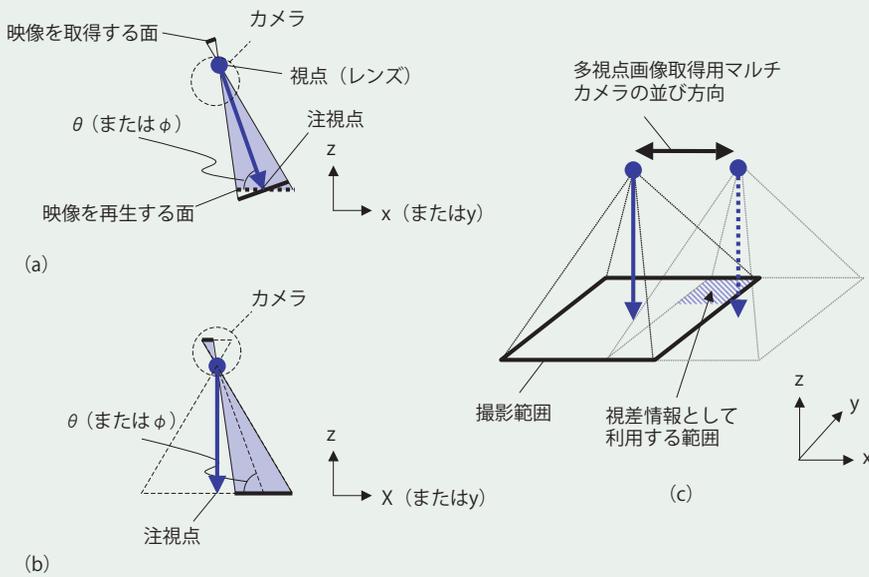


図-4 多視点画像の撮影方法の説明 (a) 撮影対象を中心に撮影すると、映像取得面と映像再生面が乖離 (b), (c) 広角撮影を行い、その一部を切り出して利用することにより、映像取得面と映像再生面が一致

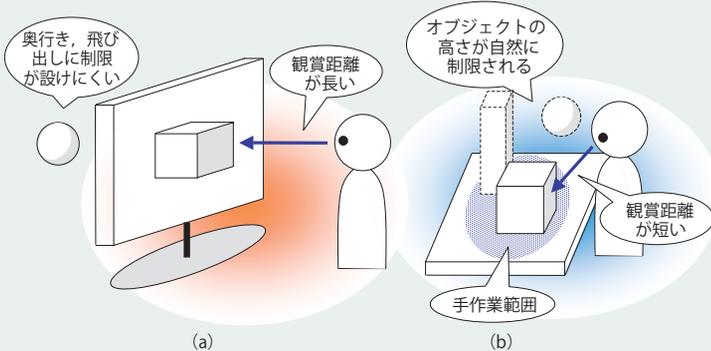


図-5 観賞方法の比較 (a) 縦置き型 (b) 横置き型

るプロセスを省き、俯角に応じたコンテンツを効率的に作成できるようにした。

平置き型ディスプレイに表示された3次元映像に対する考察

ここでは、平置き型にすることによって、奥行き方向の表示範囲が狭いにもかかわらず存在感のある3次元映像が表示できる理由を考察する。

❖ 観賞距離の減少

縦置き型に比べて平置き型では、観賞者に意識させることなくディスプレイから観賞者までの距離を縮めるこ

とができる(図-5)。遠くの10cmより近くの10cmのほうが、より大きな立体感が得られることはいままでの。

❖ 手作業範囲

見下ろす位置に置かれた平置き型3次元ディスプレイの表示領域は、「手作業範囲」に相当している(図-5)。人間は物を扱うときに、無意識ではあるが手のひらなど自分の体のサイズを基準にしているといわれている。人間の手のひらの幅は成人男性で9cm前後であることから、「手作業範囲」内の3次元映像に10cm程度の高さがあれば十分な存在感が提示できる。実際に机の上を見ると、手のサイズに対して妥当な大きさのものが大半を占めることに気づくだろう。このために、平置き型では奥行き方向の表示範囲の制限を観賞者に感じさせにくい。これに対して縦置き型3次元ディスプレイでは、窓から見える外の風景に代表される広い奥行き表示性能が必要な映像が期待されてしまうため、表示範囲の制限が認識されやすい。

❖ 下方の凹凸情報の重要性

人が正面より下方の凹凸のほうを重視する性質を持つ可能性もある。なぜなら、生物は自身にとって重要な情報を、より高感度に得るように進化してきたと考えられているからである。人にとって、手作業を行う場合の手元の凹凸や、転倒や踏み外しといった直接的な事故に繋がりがやすい足元の凹凸といった垂直方向の凹凸が、水平方向の凹凸より大きな意味を持っていたとしてもおかしくはない。結果として水平方向より垂直方向の凹凸への感度が高く、そのために、より立体情報の価値が高まる平置き型で3次元映像のインパクトが高くなるのではないだろうか。

3次元映像とMR

平置き型3次元ディスプレイを利用して、3次元映像と現実の融合(Mixed Reality: MR)を検討した。両眼視差のみで立体映像を知覚させるメガネなし立体ディス

プレイでは、立体知覚はできても調節がディスプレイ面に固定される、もしくは、運動視差がないために、見る方向が変化しても3次元映像がこれに対応しない。このため、実物体との同時観賞は難しい。1D-II方式は実物体の表面からの光を離散的にはあるが正しく再生していることから、像は空間中に固有の座標を有する。このため、3次元映像を指差したり、現実の物体と同時に存在させたり、といった実物体との同時観賞が可能である。

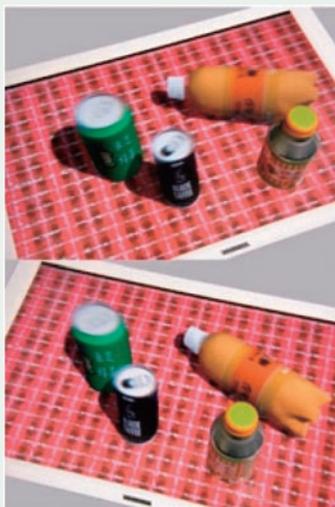
図-6に実物体との融合を考慮したコンテンツの例を示す。図-6(a)では、3次元映像の飲料の缶の中に、本物の缶(右下)を置いている。

本物の缶には影がない。図-6(b)では、透明なアクリルで作成した筒を水槽にみため、この筒内に溜めた水を3次元映像で作成した。この水中にはこれも3次元映像の金魚が泳いでいるが、映像であることを利用して、金魚が水槽の壁を突き抜けて外に泳ぎ出るといった現実にはあり得ない表現も盛り込んだ。このほかにも、円筒の壁面を利用して3次元映像のボールがバウンドするといったコンテンツも作成した。

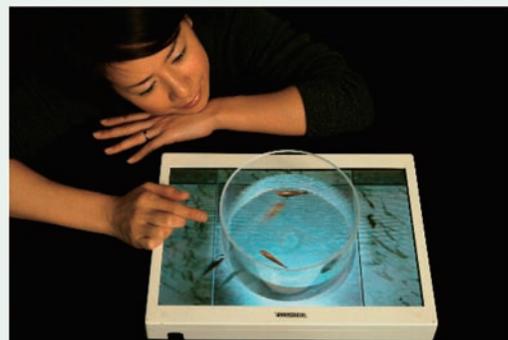
メガネなし3次元ディスプレイに表示された3次元映像と実物体の仮想的な相互作用は、MRの新しい一形態である。そして、この相互作用が3次元映像と実空間の融合を促し、3次元映像という概念を超えた「いまそこにあるような存在感を伴った映像」という新しい映像表現を実現した。

3次元ディスプレイが切り拓く映像と人とのコミュニケーション

今回開発した平置き型3次元ディスプレイにより、これまでの映像になかった存在感を映像に与えることができた。思わず手を伸ばして触れたいくなるようなこの存在感の提示こそ、2次元映像では成し得なかった観賞者の能動性を引き出す、観賞者参加型の映像表現といえる。この存在感の具備と現実と融合した表示が可能というII方式3次元映像の特性を利用して、映像を直接手で操作するような応用への展開が見込まれる。



(a)



(b)

図-6 1D-II方式3次元ディスプレイ(視差数:16, 解像度:480×300, 視域:30°)
(a) 24.0インチ, 右下の影がない缶が実物 (b) 15.4インチ, 透明の円筒が実物

最後に3次元情報に対するより直接的なニーズにも触れておきたい。2次元映像では表現しきれないものとして、医療用映像や建物や機械の設計図といったものがしばしば取り上げられる。専門家は平面図を見ただけで3次元形状を脳内で再構築できるが、素人には難しい。これは元々の、そして脳内の映像情報が3次元であるにもかかわらず、ディスプレイに代表される情報伝達手段の扱える情報が2次元情報に限られていたために、人と人とのコミュニケーションで情報が欠落してしまっていたことを意味する。情報伝達手段として3次元ディスプレイを用いることができれば、より理想的な人と人とのコミュニケーションが可能になる。

今後も、3次元ディスプレイの基本性能向上に加え、人が映像に求めるもの、期待するもの、そして、どのように3次元映像が認識され、どこに価値を見出すべきかを考察しつつ、人と映像の自然で直接的なインタラクションを追求してゆきたい。

参考文献

- 1) 泉 武博: 3次元映像の基礎, オーム社(1995).
- 2) Hoshino, H., Okano, F., Isono, H. and Yuyama, I.: J. Opt. Soc. Am. A, Vol.15, pp.2059-2065 (1998).
- 3) Lippmann, M. G.: Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Vol.146, pp.446-451 (1908).
- 4) Fukushima, R., Taira, K., Saishu, T. and Hirayama, Y.: Proc. SPIE, Vol.5291, pp.81-92 (2004).
- 5) Wilson, T.: Stereo Views, Vol.11, No.9, pp.1-8 (2004).

(平成18年2月15日受付)