講座 誰にでもわかる3D 第4回

応用2：偏光方式3Dディスプレイ

(正会員) 大田原 一成[†]

1. ま え が き

3D映像を表示する方法は、長年にわたりさまざまな仕組みが考えられ進化を遂げてきた¹⁾²⁾。昨今の3Dブームの再来は、3D映画の普及が原動力になっている。3D映画は両眼視差により立体視しており、視差に対応した左右の映像を左目右目に各々分離して導くのに幾つかの異なる表示方式が用いられている。偏光を用いるIMAX方式³⁾、RealD方式⁴⁾、波長フィルタを用いるDolby方式⁵⁾、時分割表示するXpanD方式⁶⁾などがある。

薄型ディスプレイにおいても3D表示技術の開発が進み、液晶ディスプレイでは、後述するパターンリタダを用いる偏光方式⁷⁾や、左右の映像を順次切替えて表示し(フレームシーケンシャル表示)、波長フィルタで分離するIN-FITEC方式⁸⁾が開発された。一方、プラズマディスプレイ⁹⁾や液晶ディスプレイで¹⁰⁾¹¹⁾、フレームシーケンシャル表示し、シャッター眼鏡で3D視するアクティブシャッター方式が開発され、3Dテレビとして販売されている。

本稿では、両眼視差に対応した左右の映像を、偏光を利用して左右の目にそれぞれ導く“偏光方式3Dディスプレイ”について解説する。最初に、偏光方式を理解するため、映像表示技術から少し離れるが、偏光に関する光学的知識の整理を行う。次に、偏光方式3D液晶ディスプレイで、実用的に使われているパターンリタダ方式を中心に説明する。

2. 偏 光

光は電磁波であり、電場が振動した波として進行する。その際、光の電場ベクトルが一定方向に揃っている状態を偏光という。電場の振動が直線的で一つの面に特定される状態を直線偏光、振動方向が回転しながら進み楕円になる

状態を楕円偏光、楕円偏光のうち振動の軌跡がちょうど円になる状態を円偏光という。

2.1 偏光と身近な現象の関わり

偏光の性質を理解するために、偏光を得る方法と身近な現象の関わりについて調べてみよう。偏光を得る方法には、

① 吸収、② 反射、③ 散乱がある。吸収で偏光を得るには、物質の方向により光の吸収状態が異なる二色性を利用する。ポリビニルアルコールをヨウ素で染色して延伸すると、それらは延伸方向に並び、二色性によって延伸方向の光を選択的に吸収する。1932年にE.H. Landが発表した実用的なこの製法で、大面積で作れるようになったシート状の偏光板は、後に社名となるPolaroidという名で普及した。基本構成の同じ偏光板が、現在も液晶ディスプレイに使われている。

2枚の偏光板を重ねると、その方向にしたがって光の強度を制御できる(図1)。偏光子と検光子が平行にある平行ニコルで光強度は大きく明状態となり、検光子を90°回転させた直交ニコルで暗状態となる。2枚の偏光板を透過する光強度は、マリユースの法則にしたがって検光子の回転

図1 2枚の偏光板による光強度の制御

[†] 日本ビクター株式会社 ビジネスソリューション事業部 プレゼンテーションシステム部

"3D That Everyone Understands (4): Polarized 3D Display" by Kazushige Ohtawara (Presentation System Business Unit, Business Solution Division, Victor Company of Japan Ltd., Yokohama)

図2 反射による偏光

とともに変化する。偏光を用いた映像表示方式で、画像の白黒に対応した明暗を出すのにこの原理が用いられる。

次に反射で偏光を得る方法を見てみよう。ある面に光が入射する時、入射光と反射光が作る面に対し電場の振動方向が平行な時、P (Parallel) 偏光といい、垂直な時、S (Senkrecht) 偏光という。異なる屈折率の媒体の中における光の進行方向は、スネルの法則で導かれ、偏光が屈折率の異なる界面で透過、反射する割合は、入射角との関係からフレネルの法則で与えられる(図2)。入射角を変化させた時、P偏光の反射率がゼロになる角度をブリュースタ角という。空気中からの光が水で反射する場合、ブリュースタ角は 53° となる。車の運転や魚釣りに使われている偏光サングラスは、ブリュースタ角でP偏光が反射しないことを利用している(図3)。P、S両成分を含む非偏光な自然

図3 ブリュースタ角の利用

光は、路面、水面やショーウィンドウのガラスなどで反射するが、ブリュースタ角ではS偏光のみが反射される。観察者は、P偏光のみを通す縦に偏光透過軸を持つ偏光フィルタでできたサングラスをかけることで、界面からの反射光を見ることなく眩しさを防ぎ、水中を見たり、ガラス越しに中の様子を見ることができる。光は、電場により物質を分極して電気双極子の振動を誘起し、双極子の振動によって電磁波を放出するのを繰り返すことで伝搬している。そのため、電場の振動と平行な方向に電磁波が放出されない(図3)。P偏光が反射しないのは、ブリュースタ角で透過光と反射光のなす角が 90° となり、透過光の双極子の振動方向は反射光の進行方向と平行になって、反射光の進む方向に光を放出しないためである。

図4 散乱による偏光

次に、散乱で偏光を得る方法を見てみよう。太陽からの光は地球上で細かな塵などの粒子により散乱する。この時、光の波長に対して小さい粒子による散乱は、レイリー散乱理論に従う。レイリー散乱の度合は波長の4乗に反比例するので、短い波長ほど散乱が強く、可視光では青色の散乱が大きい。ここで、太陽光が進む方向の断面における挙動を考える。光の電場は断面の面内で振動し、そこから誘起されて放出される電磁波は、面の端面と平行な振動だけが放出される結果、断面方向から見ると偏光した光が見える。この様子を図4に示す。太陽を横にして立つと、正面から届く光には偏光が多いことになる。これは、風景写真の撮影に利用される。太陽を横にして、青空のある風景を撮影すると、レイリー散乱された青色の空は偏光成分が多いので、カメラレンズに付けた偏光フィルタで吸収されて、暗く深い青として写り、対照的に白い雲が引き立って、コントラストが高く、見栄えの良い写真が撮影できる(図4)。

蜜蜂は、眼に偏光を感知する構造を持ち、偏光でわかる太陽の位置から方角を知るとされている。他にも目的が明らかになっていないものの、黄金虫のように表皮が円偏光を反射したり、偏光を感知する生物が知られている。人間も、網膜中心部にある黄斑付近の色素が二色性を持つことから、僅かに偏光を感知できる。

2.2 偏光の記述

波としての光は、図5に示した基本式で表される。光は進行方向に横波であるから、z方向を進行方向として光の電場ベクトルをx, y成分に分けて考える。偏光状態の違いは、各成分の振幅と位相差によって生じ、振幅や位相差が異なる波の合成からなる電場ベクトルの軌跡が、直線、円、楕円となる時、それぞれが直線偏光、円偏光、楕円偏光に

図6 位相差の違いによる楕円偏光の変化

なる。電場ベクトルのx, y成分に位相差を与えて式を纏めると、各偏光状態は図5に示すように記述される。x成分とy成分の位相差が π の整数倍である時は、直線偏光となる。この時、振幅が異なっても直線偏光になる。また、x, yの振幅が同じで、位相差が $(2m+1)\pi/2$ の時(m は整数)、円偏光になる。二つの光波の位相を合わせられるなら、振幅が同じで位相が $\pi/2$ ずれ、互いに直交した直線偏光を重ねると円偏光になる。また、振幅が同じ右円偏光と左円偏光を位相を合わせて重ねると直線偏光になる。振幅と位相差が上記の特定値でない時は、楕円偏光になる。楕円偏光の特殊な場合が、円偏光であり、直線偏光である。位相差にしたがって偏光状態が変わる様子を図6に示す。ここで、光学と電磁気学では、円偏光と楕円偏光の回転方向に対する決め方の慣習に違いがあることに注意しなければならない¹²⁾。多くの光学の教科書は、光の進行方向から-z方向を眺めて(受光側から光源側を見て)時計回りを右回りとしている。

2.3 位相差板の機能

光は物質と相互作用し、電子分極を引きづりながら進むため、光の速度は遅くなる。物質中の光速に対する真空中の光速の比をその物質の屈折率という。物質の構造により誘電異方性があると電子分極が異なり、物質の向きによって屈折率の異なる複屈折が生じる。

位相差板は、複屈折性を利用して偏光状態を制御するために用いられ、高分子フィルムを延伸させることや液晶ポリマを配向させることで得られる。配向方向に屈折率が大きい分子の場合は、延伸した方向に分子が並んで屈折率が大きくなり、光の進行が遅くなる。その方向を遅相軸といい、直交方向を進相軸という。工業的に一軸だけでなく二軸延伸も行われ、多様な複屈折を持つ位相差板が作られる。位相差板の機能を見るために、1/4波長板に直線偏光を入射する場合を考えよう(図7)。光は遅相軸であるy方向で進行が遅れ、位相差板の出口でx方向に対しちょうど $\pi/2$ 位相がずれる。そのため、射出した光の振動は円の軌跡を

光の基本式(平面波, 単色光)

$$E(z, t) = A \cos \left[\frac{2\pi(z - vt)}{\lambda} + \phi \right]$$

$$= A \cos(kz - \omega t + \phi)$$

$$E = A \cos(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)$$

直線偏光

$$E_x = A_x \cos(kz - \omega t + \delta_x)$$

$$E_y = A_y \cos(kz - \omega t + \delta_y)$$

$$\delta = \delta_y - \delta_x \text{ (位相差)}$$

$$\delta = m\pi \quad (m: \text{整数})$$

$$\frac{E_y}{E_x} = \frac{A_y}{A_x}$$

円偏光

$$\delta = \frac{2m+1}{2}\pi \quad (m: \text{整数})$$

$$E_x^2 + E_y^2 = A^2$$

楕円偏光

振幅, 位相差(δ)が特定の値でない場合

$$\left(\frac{E_x}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{A_y}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{A_x}\right)\left(\frac{E_y}{A_y}\right)\cos\delta = \sin^2\delta$$

図5 光の基本式と偏光の記述

図7 位相差板の機能

描き, 円偏光となる。これは前節で説明した直線偏光と円偏光の記述からも確認できる。

このように位相差板は, 偏光状態を制御することができ, 1/4波長板は位相差が $\pi/2$ なので, 直線偏光を円偏光に変換し, 反対に円偏光を直線偏光に変換する。また, 1/2波長板は位相差が π なので, 円偏光や楕円偏光に対して偏光の回転方向を反転させ, 直線偏光に対して偏光軸を90°回転させる。なお, 市販されているセロファンテープは, 1/2波長板になることが知られており, 位相差板の機能を簡単に試すのに都合が良い。

3. 偏光方式3Dディスプレイ

偏光を利用する3Dディスプレイは, 直視型では, 液晶ディスプレイ¹³⁾, 有機ELディスプレイ¹⁴⁾, LEDディスプレイ¹⁵⁾が開発されており, 投射型では, 表示デバイスにDMD(Digital Micromirror Device)を用いたリアプロジェクションディスプレイや¹⁶⁾ ¹⁷⁾, LCOS(Liquid Crystal

図8 Xpol®方式3D液晶ディスプレイの構造

on Silicon)¹⁸⁾を用いた4K2Kの高解像度な3D映像を表示するプロジェクタ¹⁹⁾が開発されている。ここで、液晶ディスプレイに絞り、業務用3DモニターやノートPCなどに最も使われているパターンリターダ方式について説明する。

3.1 パターンリターダ方式

3D表示する左右の映像に対応した液晶パネルの画素に対して、パターンを形成した位相差板（パターンリターダ）を設けて光の偏光状態を変え、偏光フィルタでできた眼鏡で左右の映像光を各々の目に分離して導く方式をパターンリターダ方式という。現在、製品化されている偏光方式3D液晶ディスプレイの多くで採用されているパターンリターダは、有沢製作所により開発実用化された位相差値の制御性と量産性の高いXpol®方式²⁰⁾²¹⁾である。図8にXpol®の構造と3D液晶ディスプレイの構成を示す。Xpol®は次のように光配向法で作製される²²⁾。ガラス基板上に形成した光配向膜に、液晶パネルの画素に対応したストライプパターンを、偏光した光で各々露光し、互いに配向方向を直交させた配向膜を形成する。この膜上に、複屈折性を持ち紫外線で硬化する液晶ポリマーを形成してストライプ毎に配向させた後、紫外線硬化する。このように、設計した位相差値を持つパターンリターダを形成する。最後に、液晶パネルの画素とパターンリターダを高精度にアライメントして貼り合わせて3D液晶ディスプレイを構成する。

Xpol®方式による3D視の原理を図9に示す。液晶パネルの奇数ラインに右の映像、偶数ラインに左の映像を表示し（ラインバイライン表示）、パターンリターダによって左右映像光の偏光状態を変え、偏光眼鏡で左右の映像を分離して3D視する。パターンリターダの位相差は1/4波長とし、液晶パネルの奇数ラインと偶数ラインに対してリターダの遅相軸を直交させている。液晶パネルの奇数ラインからの直線偏光は、対応するパターンリターダで右円偏光と

図9 Xpol®方式による3D視の原理

なって射出する。同様に偶数ラインからは、左円偏光が射出する。観察するための眼鏡は、左右で遅相軸が互いに直交した1/4波長の位相差板と偏光板を重ねた円偏光フィルタで作られている。

眼鏡の位相差板の遅相軸をXpol®のリターダと同じ向きに配置すると、Xpol®から射出した円偏光は、位相差板でさらに1/4波長分の位相が遅れ、液晶パネルから考えると1/2波長分遅れたことになる。一方、Xpol®のリターダと直交する向きに配置すると、位相が1/4波長分だけ戻り、液晶パネルの射出時と同じになる。直線偏光は、1/2波長の位相差板を通ると振動方向が90°回転し、偏光軸は垂直方向から水平方向になることから、続いて眼鏡に重ねた偏光板（水平方向を透過軸とする）では、Xpol®のリターダと眼鏡の位相差板で、合わせて1/2波長遅れた光だけが透過し、位相が戻った光は透過しない（液晶パネルの偏光透過軸が垂直方向である場合）。このように構成することで、右の眼鏡では、右の映像を表示した奇数ラインからの右円偏光が水平の直線偏光になって光が透過し、左の映像からの左円偏光は垂直の直線偏光になって透過しない。反対に左の眼鏡では、左の映像を表示した偶数ラインからの左円偏光だけが水平の直線偏光になって光を透過する。このようにして、左右の映像を光学的に分離し、各々の目に導いて3D視する。

パターンリターダの位相差を1/2波長とし、3D液晶ディスプレイからの射出光を直線偏光とする場合は、偏光眼鏡は直線偏光フィルタとするが、顔を左右に傾けると眼鏡が回転し、左目に右（右目に左）の映像光が漏れて入るクロストークが大きくなり3D視が困難になる。パターンリターダの位相差が1/4波長で、円偏光として射出する3D液晶ディスプレイでは、顔を傾き3D液晶ディスプレイと偏光眼鏡のなす角度が変化しても、その影響を最小限にでき

図10 リターダの波長分散

る利点がある。

3.2 パターンリターダの設計と3D特性

パターンリターダとして、最も実用的に使われているXpol®の設計と、Xpol®を用いた3D液晶ディスプレイの特性について述べる。液晶ポリマの屈折率と膜厚で決まるXpol®の位相差値は、通常、波長500nmの光に対し、1/4波長である125nmに精密に制御されて形成されている。液晶ポリマの屈折率には波長分散があり、波長により位相差が1/4波長からずれる。そのため、眼鏡に用いる1/4波長の位相差板は、液晶ポリマの屈折率の波長分散に近いポリカーボネート樹脂から作られる。図10にXpol®で使われるパターンリターダとポリカーボネートで作られた位相差板の波長分散を示す*。

ここで、他のパターンリターダ方式の例を図11に示す²³⁾。ガラス基板全面に1/4波長のリターダを形成した後、液晶パネルの奇数ラインのみに対し1/2波長のパターンリターダを設けて、左右の円偏光を得る構成としている。この場合、Xpol®と同様にディスプレイから左右の円偏光を射出するが、偶数ライン側の光は1/4波長のリターダを通るのに対し、奇数ライン側は3/4波長となるので、波長分散の影響がさらに加算される。そのため、眼鏡に用いる位相差板は左右同じ1/4波長板にできず、パターンリターダと同様に波長分散を補償するよう左右で異なるものが必要になる。

* 本データは、有沢製作所の提供による。

液晶ディスプレイの偏光透過軸の角度や、パターンリターダの位相差設計値、リターダ材料の屈折率の波長分散、パターンリターダの構造などにより、偏光眼鏡はリターダに対応した光学設計がなされる。このため、偏光方式の3D液晶ディスプレイと観察するための偏光眼鏡は、設計が互いに適合したものでなければならず、光学設計が異なるシステムでは、左右の映像がクロストークしたり色が変わって見えることが起きる。眼鏡は持ち運びでき、個人で偏光眼鏡を持つ場合が増えていることから、混在して使用されることが起こり得るので注意が必要である。なお、3D映画館のシステムと光学設計が同じ3D液晶ディスプレイの眼鏡には、互換性のあるものがあり、明示されている。

図8に示す構造でわかるように、Xpol®は液晶パネルに貼り合わせるため、液晶パネルのガラス基板の厚さにより、液晶の画素とパターンリターダに距離が生じる。そのため、観察者の適正な視点から見た時に、画素とパターンリターダの位置を一致させるよう、視点から求めたリターダのパターンピッチを設計する。液晶の画素とリターダのパターンピッチは、画面中心で同じとし、画面上下に向かうに従いピッチを狭める。

隣接画素からのクロストーク光の様子を図8に点線で示す。このクロストーク光を遮るために、パターンリターダ間にブラックストライプを設けると、3Dクロストークが低い状態のまま垂直視野角を広げることができる。ブラックストライプ幅を画素ピッチの50%として形成した時の46インチ3D液晶ディスプレイのクロストークを図12に示す。ここで、クロストークは、全画面を白画像表示した時の輝度に対し、左右の白黒画像を各々表示し、偏光眼鏡越しに測定した輝度比として測定しているが²⁴⁾、現在、3Dクロストーク測定および算出法の標準化が進行中であり²⁵⁾、次式で求める。

$$C_R = \frac{Y_{RBLW}^R - Y_{RBLB}^R}{Y_{RWLB}^R - Y_{RBLB}^R}, C_L = \frac{Y_{RWLB}^L - Y_{RBLB}^L}{Y_{RBLW}^L - Y_{RBLB}^L}.$$

ここで、 C_R は右目における左画像のクロストーク、 C_L は左目における右画像のクロストーク、 Y^R 、 Y^L は右目側、左

図11 1/2波長板と1/4波長板を用いるパターンリターダ方式

図12 3D液晶ディスプレイのクロストーク

目側の偏光眼鏡を通した輝度測定値、添字**RBLW**, **RWLB**, **RBLB**は左目用と右目用の映像信号の状態を表し、各々右黒左白、右白左黒、右黒左黒(全黒)を示す。正面近傍の角度では1%以下であったクロストークは、垂直視野角が15°を超えると急増し、3D視できる限界とされる7%を超える。しかしながら、表示画面高さの3倍の距離に置く適正な視点では、15°の垂直視野角があれば、画面の上下端まで視点を動かしても3D視できる範囲に入り、実使用上ほぼ問題がなくなる²¹⁾。

ブラックストライプの幅は、クロストークと垂直視野角から決められるが、実用的に十分な3D画像を得るために画素ピッチの50%程度とすると、トレードオフとして輝度の低下が起こる。3D視をする際は、偏光方式はアクティブシャッタ方式に比べ、開口率50%のブラックストライプを設けても、システム全体の光線透過率が高く明るい。2D表示時には、シャッタ方式に比べ3D表示にのみ必要な遮光部により、輝度が低下することになる。

3.3 進化するパターンリタード方式

パターンリタード方式は、左右の映像を分離するのに映像ライン毎に形成したパターンで空間分割する構造のため、垂直解像度が半分になる。これを回避し垂直解像度を向上する方法が開発されている。

図13にHR-Xpol®の概要を示す²⁶⁾。この液晶ディスプレイの光学構造は通常のXpol®方式と同じであるが、120Hz(倍速)駆動の液晶パネルを用いて60Hz毎に映像ラインの表示を左右で反転させ、それに同期して、1/2波長の位相差を動的に切替えるアクティブ偏光眼鏡で映像を見る。最初のフレームで(1/60秒)、右の映像を表示する奇数ラインから射出される右円偏光は、右の眼鏡で見ることができる。次のフレームで、右の映像を偶数ラインに切替えて表示し、射出される左円偏光が、右の眼鏡で見られるようアクティブ偏光眼鏡で位相差を切替え、円偏光の回転方向を反転させる。

図13 HR-Xpol®方式

これにより、パターンリタードで空間分割された映像を順次表示し、空間分割前にあたる元の垂直解像度を実現している。アクティブシャッタ方式やアクティブリタード方式²⁷⁾の場合は、左右の映像を時分割で表示するため、左右を同時視できないが、HR-Xpol®方式は、時分割で半分の解像度の映像を補完しながら表示し、左右の映像を同時視するため、高速に動く映像の動画飛びが少なく感じられるとともに、両目で同時にディスプレイの明るさを感じるため、視刺激による人体への影響が少なくなることも期待される。倍速駆動の液晶パネルは、応答速度改善のため市場に普及しており、大規模な液晶パネル開発を行わずに構成できるのも利点である。

前節で述べたブラックストライプについては、液晶パネル画素のサブピクセル駆動により、3D表示時に画素の一部をブラックストライプとして表示する方法が開発され²⁸⁾、2D表示時の輝度低下の課題を克服している。さらに、3D液晶ディスプレイ向けに液晶パネルのセル構造を設計し、パターンリタードをインセル化した液晶パネルが開発されている²⁹⁾。3D表示用に液晶パネル設計と製造が行われることは、性能面から見て理想的である。

これまで述べてきたように、パターンリタードと液晶パネルの構造は関わりが深く、適切な液晶パネルの設計や選択とそれに対応したパターンリタードの設計を行うことで、より高品位な偏光方式3D液晶ディスプレイを得ることができる。

4. お す び

現在、3D表示方式が技術競争をしている過渡期と考えられるが、相次ぐ3D製品のリリースで民生映像機器として使われる機会が増し、従来にない活用方法が発掘されることで、各方式の特長が活かされ3D応用の裾野が広がっていくものと考えている。

今後、表示に纏わる技術開発のみならず、撮像技術や

2D-3D変換³⁰⁾³¹⁾, AR (Augmented Reality)³²⁾と
いった情報処理技術との融合や、信号、伝送、記録の技術
開発と規格標準化、人体に対する影響の研究が並行して進
むことで、3Dアプリケーションの更なる拡大と産業創生
の可能性が期待できる³³⁾。ディスプレイの原点であるその
場で見るかのような“超臨場感”を達成するために、3D技
術がさらに進化してその一翼を担わなければならない。

(2011年1月20日受付)

〔文 献〕

- 1) 尾上, 池内, 羽倉編集: “3次元映像ハンドブック”, 朝倉書店 (2006)
- 2) 増田: “3次元ディスプレイ”, 産業図書 (1990)
- 3) <http://www.imax.com/>
- 4) <http://www.reald.com/>
- 5) <http://www.dolby.com/consumer/understand/cinema/dolby-3d.html>
- 6) <http://www.xpandcinema.com/>
- 7) C.H. Tsai, W.L. Chen and W.L. Hsu: "The Pursuit of High-Definition 3D Display Technology", SID 08 Digest, pp.456-459 (2008)
- 8) A. Simon, M.G. Prager, S. Schwarz, M. Fritz and H. Jorke: "Recent Progress in Interference-filter-based Stereoscopic 3D LCD", SID 10 Digest, pp.867-869 (2010)
- 9) M. Ishizuka, H. Tachibana, T. Kawase, M. Kimura, Y. Shiozaki, T. Origuchi, H. Shoji, S. Kigo and Y. Muto: "Development of High-Performance Panel and High-Speed 3D Driving Technology for World's First Full HD 3D Plasma Displays", SID 10 Digest, pp.599-602 (2010)
- 10) S.S. Kim, B.H. You, H. Choi, B.H. Berkeley, D.G. Kim and N.D. Kim: "World's First 240Hz TFT-LCD Technology for Full-HD LCD-TV and Its Application to 3D Display", SID 09 Digest, pp.424-427 (2009)
- 11) D. Suzuki, T. Fukami, E. Higano, N. Kubota, T. Higano, S. Kawaguchi, Y. Nishimoto, K. Nishiyama, K. Nakao, T. Tsukamoto and H. Kato: "Crosstalk-Free 3D Display with Time-Sequential OCB LCD", SID 09 Digest, pp.428-431 (2009)
- 12) 小林: “液晶ディスプレイの光学 基礎編 (その10)”, 月刊ディスプレイ, 11, 12, pp.98-101 (2005)
- 13) 日本ビクター: “3D LCD Monitor”, <http://www.jvc-victor.co.jp/pro/monitor/3d/>
- 14) B.W. Lee, I.H. Ji, S.M. Han, S.D. Sung, K.S. Shin, J.D. Lee, B.H. Kim, B.H. Berkeley and S.S. Kim: "Novel Simultaneous Emission Driving Scheme for Crosstalk-free 3D AMOLED TV", SID 10 Digest, pp.758-761 (2010)
- 15) Sony: “高さ10.8m, 幅19.2mの偏光式LED 3Dパブリックディスプレイの展示”, CEATEC (2010)
- 16) 三菱電機: “Laser TV”, <http://www.mitsubishielectric.co.jp/laservue/>
- 17) C.H. Tsai, H.Y. Lin and C.H. Tsai: "A Minimum Dispersion Stereoscopic Rear Projection Display", SID 06 Digest, pp.85-88 (2006)
- 18) S. Shimizu, Y. Ochi, A. Nakano and M. Bone: "Fully digital LCoS device for consumer applications", Journal of the SID, 13/1, pp.3-8 (2005)
- 19) JVC-Kenwood HD: "SIGGRAPH Asia 2009における展示", http://www.jvc-victor.co.jp/pro/video/4k2k_videocamera.html
- 20) 有沢製作所: “Xpol®”, <http://www.arisawa.co.jp/en/product/3d.html>
- 21) 松廣: “Xpol®とその3D-TVへの応用”, 日本液晶学会誌, 14, 4, pp.219-232 (2010)
- 22) 浦: “光配向技術の実用化とアプリケーション”, 光配向テクノロジーの開発動向, 第7章, pp.274-287, シーエムシー出版 (2010)
- 23) Y.J. Wu, Y.S. Jeng, P.C. Yeh, C.J. Hu and W.M. Huang: "Stereoscopic 3D Display Using Patterned Retarder", SID 08 Digest, pp.260-263 (2008)
- 24) Y. Yoshihara, H. Ujike and T. Tanabe: "Crosstalk of Stereoscopic Display Using Patterned Retarder and Corresponding Glasses", Proc. 15th Int. Display Workshops (IDW' 08), pp.1135-1138 (2008)
- 25) 川島: “メガネ式3Dディスプレイの技術動向と今後の展開”, NEアカデミー発表資料 (Jan. 2010)
- 26) Y. Tamura, M. Oyamada, A. Yoshida, H. Aiba and K. Ohtawara: "Full HD 3D Display Using Stripe-patterned Quarter-wave Retarder Array and Retardation-switching Glasses", SID10 Digest, pp.874-877 (2010)
- 27) S.M. Jung, J.U. Park, S.C. Lee, W.S. Kim, M.S. Yang, I.B. Kang and I.J. Chung: "A Novel Polarizer Glasses-type 3D Displays with an Active Retarder", SID 09 Digest, pp.348-351 (2009)
- 28) H. Kang, S.D. Roh, I.S. Baik, H.J. Jung, W.N. Jeong, J.K. Shin and I.J. Chung: "A Novel Polarizer Glasses-type 3D Displays with a Patterned Retarder", SID 10 Digest, pp.1-4 (2010)
- 29) C.T. Lee, H.Y. Lin and C.H. Tsai: "Design and Fabrication of Wide-view In-cell Microretarder & Polarizer for Stereoscopic LCD", SID 10 Digest, pp.448-451 (2010)
- 30) K. Yamada, K. Suehiro and H. Nakamura: "Pseudo 3D image generation with simple depth models", 2005 Digest of Tech. Papers Int. Conf. Consumer Electronics (ICCE 2005), pp.277-278 (2005)
- 31) K. Yamada and Y. Suzuki: "Real-Time 2D-to-3D Conversion: Basic Concepts and Practical Use", Proc. 17th Int. Display Workshops (IDW' 10), pp.1273-1276 (2010)
- 32) 椎尾, 安村, 福本, 伊賀, 増井: “モバイル&ユビキタスインタフェース”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 15, 3, pp.1-10 (2003)
- 33) 日本機械工業連合会: “平成16年度立体映像表示に関する調査研究報告書”, pp.177-178 (2004)

おおたわらかずひで

大田原一成

1985年, 千葉大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, 日本ビクター(株)入社。LCOSデバイス開発に従事。1992~1995年, ATR光電波通信研究所。1999~2004年, ATR環境適応通信研究所, ATR適応コミュニケーション研究所。有機非線形光学材料, 計算化学による物質設計, 機能デザイン論, 高次元アルゴリズム応用の研究に従事。2004年, 日本ビクター(株)。液晶ディスプレイの光学要素開発に従事。