

# グラスレス3Dディスプレイの応用を広げる 液晶GRINレンズ技術

LC GRIN Lens Technologies Broadening Glasses-Free 3D Display Applications

高木 亜矢子

柏木 正子

上原 伸一

■ TAKAGI Ayako

■ KASHIWAGI Masako

■ UEHARA Shinichi

専用眼鏡をかけずに3D（立体視）映像を視聴可能なグラスレス3Dディスプレイは、手軽に3D映像を楽しむ用途だけでなく、医用や広告などのビジネスへの展開が期待されている。一方で、液晶GRIN（Gradient Index：屈折率分布型）レンズは、電極設計と駆動方法によりレンズ状態を変えられることから、グラスレス3Dディスプレイの新たな応用展開には好適である。

今回、グラスレス3Dディスプレイ用の液晶GRINレンズ技術を開発し、試作ディスプレイにより、部分2D（平面視）/3D切替表示や縦横3D切替表示の機能を実現できることを確認した。様々な分野で新たな用途への応用を進めていく。

Glasses-free three-dimensional liquid crystal displays (3D LCDs), which can display 3D images without the need for dedicated glasses, are expected to be used not only for watching 3D images and movies but also various other applications including the medical and digital signage fields. In addition to the conventional 2D/3D switching mode, demand has been growing for a partially switchable 2D/3D mode, as well as for a rotatable 2D/3D mode for changing between landscape and portrait orientations. Liquid crystal gradient-index (LC GRIN) lenses are suitable for these new applications because their lens characteristics can be easily changed according to the electrode structure and driving method used.

Toshiba has developed LC GRIN lens technologies for glasses-free 3D LCDs that realize the partially switchable 2D/3D mode and screen orientation switchable mode. We have confirmed the effectiveness of LC GRIN lenses incorporating these modes through simulations and experiments using prototype glasses-free 3D LCDs. These technologies will be applied to various applications.

## 1 まえがき

近年、3Dコンテンツの普及に伴い、映画館などでは専用眼鏡をかけることで、インパクトのある3D映像を楽しめるようになってきた。一方、家庭用にも眼鏡式3Dテレビ（TV）が多数商品化されている。くつろいだ家庭環境では専用眼鏡をかけずに手軽に3D映像を楽しみたいが、他の作業をしながらでは専用眼鏡をかけられない場合も多い。そこで、専用眼鏡の不要なグラスレス3D製品の普及が期待されていた。

東芝はこのようなニーズに応えるため、2010年12月に世界で初めてグラスレス3Dディスプレイを用いたTV<sup>(1)</sup>を、また2011年7月に画面上で3Dと2Dのコンテンツを同時にウィンドウ表示できるパソコン（PC）を商品化し、その後も、55型のグラスレス3D TVとして〈レグザ〉55X3を市場に投入してきた。これらの製品では、3D表示をオン/オフできるとともに、従来の高精細な2D映像も楽しめる。

一方で、グラスレス3Dディスプレイで培った技術は、医用などヘルスケア分野にも展開が可能であり、特に、手術中など専用眼鏡をかけられない用途などでの活用が期待されている。これらの用途では、画面上で部分的に3D映像と2D映像や文字情報などを表示できると、CT（コンピュータ断層撮影）診

(注1) 3次元空間内に単位となるセルを考え、セルごとに定めたスカラー又はベクトルデータのこと。

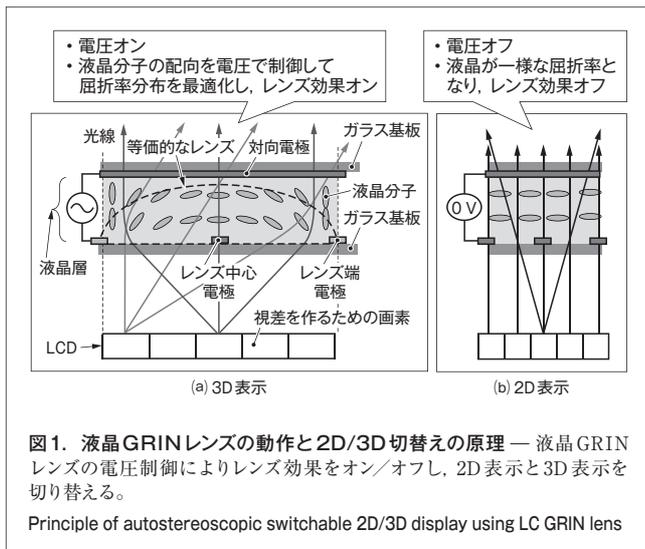
断装置などのポリウムデータ<sup>(注1)</sup>を3D表示したうえでその断面図を2D表示するなど、わかりやすく効果的な使い方ができる。また、デジタルサイネージ<sup>(注2)</sup>でユーザーが自由にレイアウトするためにモニタ画面を回転させて使用したい用途では、画面の縦横方向を自由に切り替えて3D表示できる機能も求められている。

ここでは、3D映像と従来の2D映像を切り替えて表示できるだけでなく、画面上で部分的に3D映像を表示したり、画面の縦横方向を自由に切り替えて3D表示したりするため、当社が開発した液晶GRIN（Gradient Index：屈折率分布型）レンズ技術について述べる。

## 2 グラスレス3Dディスプレイ用 光線制御素子と液晶GRINレンズ

グラスレス3Dディスプレイでは、物体からの光を再現するために、ディスプレイの前にレンズや視差バリアなどの光線制御素子を配置する必要がある。これらの光線制御素子は、ディスプレイからの光線を空間的に振り分けることにより、観察方向ごとに異なる視差画像を表示できる。視差画像を表示する際、視差バリア方式では不要な光線を遮蔽するのに対し、

(注2) 平面ディスプレイやプロジェクタなどに映像や情報を表示する広告媒体。



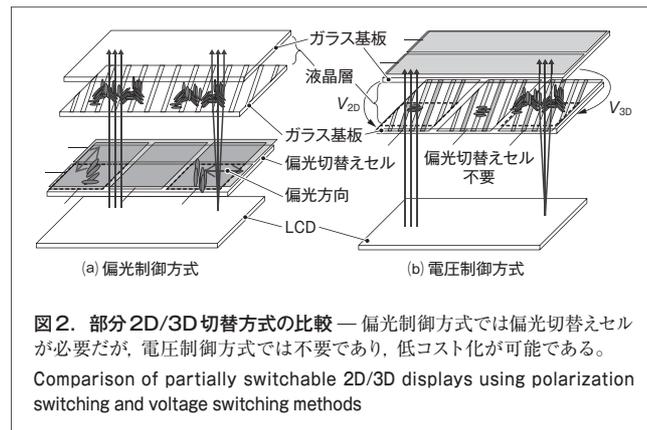
レンズ方式では光線を屈折させる。このため、レンズ方式は光利用効率が高いのが特長である。

当社は、レンズ方式で2D表示と3D表示を切り替えるため、液晶レンズの開発を進めている。液晶レンズは、次に示す二つの方式に分類できる。一つは、レンズ形状の型に液晶を封入する方式であり、もう一つは、平板状のガラス基板間に液晶を封入し、電圧を加えてレンズ状の屈折率分布を生成する液晶GRINレンズ方式である。液晶GRINレンズは、電極設計と駆動方法によりレンズ状態を変えられることから、レンズ設計の自由度が高い。また、電圧をオフするとレンズ効果を完全にオフできるので、劣化のない2D表示を実現できる。

液晶GRINレンズの動作と2D/3D切替えの原理を図1に示す。一方のガラス基板にはストライプ状のレンズ中心電極とレンズ端電極が形成され、もう一方のガラス基板には対向電極が形成されている。これらの電極に電圧を加えると、液晶分子が面内で傾き、全体としてレンズ状の屈折率を示すように分布する。これにより、一つの要素画像を視差方向に振り分けることができ、3D映像を表示できる。レンズ端電極、レンズ中心電極、及び対向電極を同電位にすると、レンズ効果はオフとなり、2D映像を表示できる。画面上で部分的にレンズ効果をオン/オフできれば、部分的に2D/3D表示できる。

### 3 単層液晶セルによる部分2D/3D切替表示

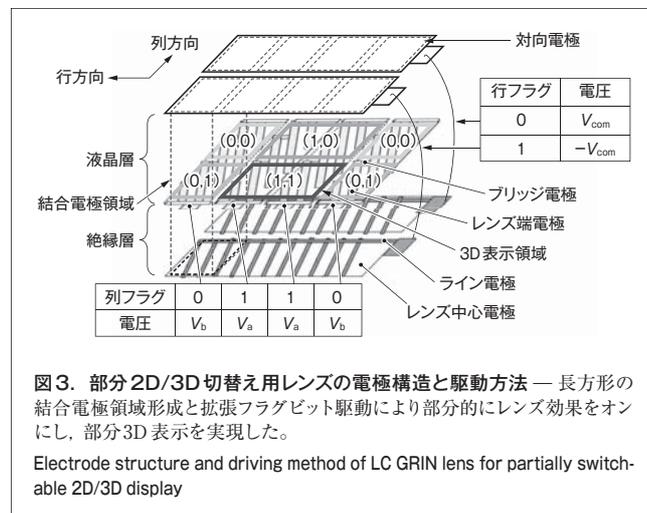
画面上で部分的に3D映像を表示するには、その領域のレンズだけをオンにする必要がある。レンズ効果をオン/オフする手法としては、偏光制御方式と電圧制御方式がある。偏光制御方式では、液晶レンズとは別に、液晶レンズに入射する偏光の方向を制御するための偏光切替えセルを用いる。部分的に3D表示するため、図2に示すように、偏光切替えセルには、マトリックス状の透明電極が形成されており、部分的に偏光方



向を切り替えて、レンズ効果をオン/オフする。ただし、偏光制御方式では、偏光切替えセルの分だけ厚さやコストが増大してしまう。

そこで、偏光切替えセルを用いずに部分3D表示を実現するため、電圧制御方式をベースとし、部分的にレンズ効果をオン/オフする方式を新たに開発した<sup>(2)</sup>。レンズ端電極を列方向に分割し、レンズ中心電極と対向電極を行方向にストライプ状に分割する。3D映像を表示する領域では、レンズを形成するための電圧 $V_{3D}$ がかかるようにしてこれらの電極を駆動し、その他の領域はレンズとならないような電圧 $V_{2D}$ で駆動することで、1枚の液晶セルで2D/3D部分表示を実現する。

今回開発した電極構造と駆動法の概念を図3に示す。前述のように、レンズ端電極は列方向に長いストライプ状に分割され、レンズ中心電極と対向電極は行方向に長いストライプ状に分割されている。分割されたレンズ端電極はブリッジ電極により列方向に接続され、分割されたレンズ中心電極はライン電極により行方向に接続される。レンズ端電極とレンズ中心電極は、電気的ショート为了避免のため、絶縁層を挟んだ別の層に形成されている。それぞれの電極を行方向と列方向に分割し結合した結果、レンズ中心電極と対向電極とに挟まれた長



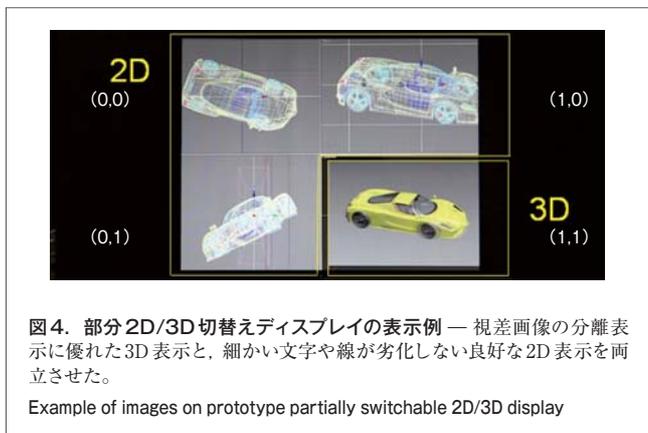
方形の結合電極領域が形成される。対応する位置に配置されたレンズ中心電極と対向電極は、電気的に結合されている。

この電極構造を用いて表示画面内で部分的に2D/3D表示を実現するため、拡張フラグビット駆動法<sup>(注3)</sup>を開発した。この駆動法では、電気的に結合されたレンズ中心電極と対向電極の組に対して、“0”の行フラグが与えられた場合、基準電圧  $V_{com}$  が印加され、“1”の行フラグが与えられると、 $-V_{com}$  が印加される。同様に、レンズ端電極に“0”の列フラグが与えられると低電圧  $V_b$  が印加され、“1”の列フラグが与えられると高電圧  $V_a$  が印加される。

3D映像を表示するためにレンズ効果をオンする領域では、行フラグ、列フラグともに“1”のフラグを立て(列フラグ、行フラグ) = (1, 1)とする。すると、対向電極とレンズ端電極の間には、それぞれの電圧の差分に相当する  $V_a + V_{com}$  が印加されることになる。また、その他の領域では、フラグ状態は (0, 1), (1, 0), 及び (0, 0) となり、それぞれ電圧  $V_a - V_{com}$ ,  $V_b + V_{com}$ , 及び  $V_b - V_{com}$  が対向電極とレンズ端電極の間に印加されることになる。

ある一定以上の電圧を対向電極とレンズ端電極に印加すると、レンズ効果が発現する。この電圧をレンズしきい値電圧と呼ぶ。領域 (1, 1) にレンズ効果を発現させ、それ以外の領域でレンズ効果をオフするため、電圧  $V_a + V_{com}$  がレンズしきい値電圧より大きくなり、また、電圧  $V_a - V_{com}$ ,  $V_b + V_{com}$ , 及び  $V_b - V_{com}$  がレンズしきい値電圧より小さくなるように、 $V_a$ ,  $V_b$ , 及び  $V_{com}$  を決定した。

開発した液晶 GRIN レンズを用いた部分2D/3D切替えディスプレイの表示例を図4に示す。対角サイズは17型、3D表示の視差数は9であり、行方向及び列方向の領域分割数は20×20である。2D表示の背景の中に長方形の3Dウィンドウを表示しており、その位置及びサイズは、ダイナミックにコントロールできた。3D映像を表示した領域では、視差画像を分離して表示する性能も良好であり、2D映像を表示した領域では細かい文字や線に劣化は見られなかった。



(注3) 行や列に対して、3D表示が含まれると“1”、含まれないと“0”のビットをたて、行や列を2種類の電圧で駆動する方式。

## 4 縦横3D切替表示

従来のガラスレス3Dディスプレイでは、シリンジカルレンズを1次元状にアレイ配置したレンチキュラレンズを用いているため、レンズ効果のない方向が存在し、画面を自由に回転させることができない。画面の回転を実現するには、画面の縦横方向にそれぞれ対応した2種類の液晶 GRIN レンズを配置し、画面の方向に応じて、レンズを切り替えて使用する必要がある。ただし、コストや厚さの観点から、液晶 GRIN レンズは1枚だけにとどめ、これで2方向に対応することが望ましい。

縦横3D切替えに対応した液晶 GRIN レンズの構造を図5に示す。LCD (液晶ディスプレイ) 側のガラス基板上に、画面を横方向に配置した際にレンズを形成するためのストライプ状の電極が配置され、もう一方のガラス基板上に、画面を縦方向に配置した場合に用いる電極が形成されている。両電極の延伸方向は異なって配置されており、この結果、配列方向の異なる2種類のレンズを切り替えることができる。ここで、各ストライプ状の電極のアレイ方向 EAD (Electrode Array Direction) と、液晶分子の初期配向方向 LCAD (Liquid Crystal Alignment Direction) との関係が、縦横3D切替え用のレンズ効果を向上させるための重要な要因となる。そこで、LCAD と EAD の成す角度  $\theta_R$  を変化させ、観察方向によりレンズ効果に変化するように液晶ダイレクタシミュレータで検証した<sup>(3)</sup>。

下側に30°傾けた方向から画面を観察することを想定し、 $\theta_R$  を0°から90°まで変化させた場合のリタデーション<sup>(注4)</sup>分布を図6に示す。 $\theta_R$  が小さい場合には、リタデーション分布は理想的なレンズ形状であるが、 $\theta_R$  が大きくなるに従って、だいに分布の中央部がへこみ、形状が崩れてくる。

この理由を図7を用いて説明する。(a)の $\theta_R$ が0°の場合、液晶分子の長軸方向はX方向に初期配向し、電圧を印加するとX-Z面内で液晶分子の方向が変化する。この液晶分子の配向分布を前述のように下側に30°傾けた方向から見ると、液

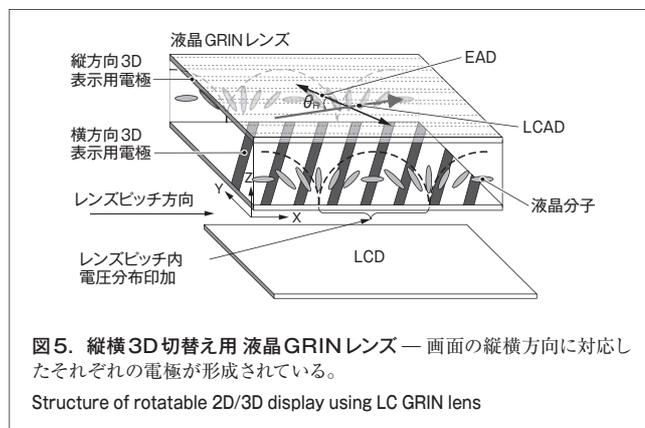


図5. 縦横3D切替え用液晶 GRIN レンズ — 画面の縦横方向に対応したそれぞれの電極が形成されている。

Structure of rotatable 2D/3D display using LC GRIN lens

(注4) 液晶分子のように屈折率に異方性のある媒体を光が透過した際に発生する位相差量。

晶分子の長軸方向に対する角度は大きく変化せず、リタレーション分布は崩れない。一方、(b)の $\theta_R$ が $90^\circ$ の場合、液晶分子の長軸方向はY方向に初期配向し、電圧を印加するとY-Z面内で液晶分子の方向が変化する。液晶分子の配向方向を前述の方向から観察すると、中央部付近のリタレーションは小

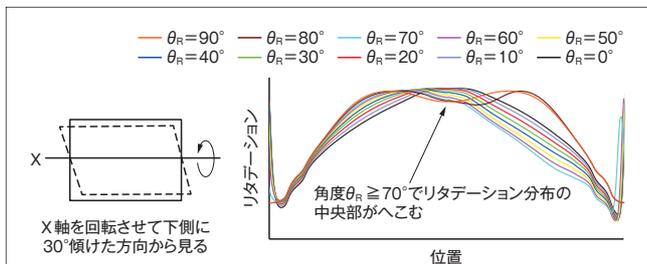
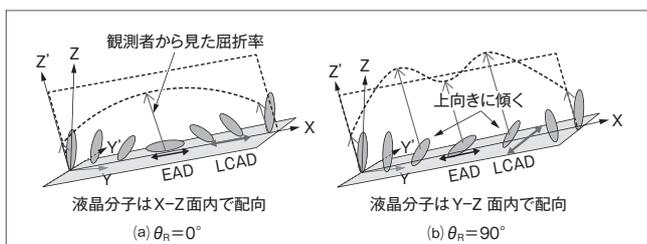


図6.  $\theta_R$ の変化による液晶GRINレンズのリタレーション分布 — レンズの視野角特性は $\theta_R \geq 70^\circ$ の範囲で劣化する。

Results of simulation of retardation profiles according to  $\theta_R$  (angle between electrode alley and LC alignment directions) when display panned at  $-30^\circ$



\*Y', Z'は下側に $30^\circ$ 傾けた方向から見たときの座標

図7.  $\theta_R$ の変化による液晶分子の傾き分布 —  $\theta_R = 90^\circ$ では、液晶の長軸方向の見込み角がレンズの中心で最大にならない。

LC molecule tilting behavior according to  $\theta_R$  when display panned at  $-30^\circ$

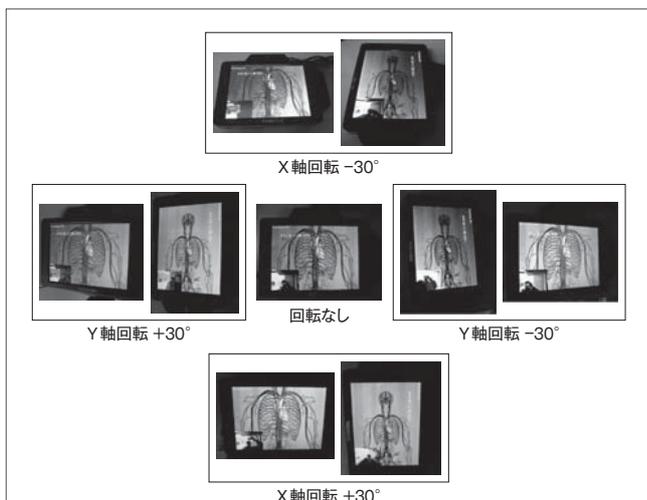


図8. 縦横3D切替えディスプレイの表示例 —  $\pm 30^\circ$ の範囲内で良好な3D映像表示が実現できている。

Examples of images on rotatable 2D/3D display when tilted and panned at  $\pm 30^\circ$  in both landscape and portrait orientations

さくなり、隣接する部分のリタレーションのほうが大きくなる。この現象は、 $\theta_R$ が $70^\circ$ 以上の場合に特に顕著になり、レンズの集光位置が2か所に分かれ、3D表示が劣化してしまう。

また、Y軸を中心として $\pm 30^\circ$ 傾けた方向から観察することを想定し、シミュレーションを実施した。その結果、この方向に対しては、リタレーション分布の大きな崩れは発生せず、 $\theta_R$ に依存したレンズ効果の劣化は小さく、良好であった。

以上のことから、 $\theta_R$ を $70^\circ$ 以下とすることで、液晶GRINレンズの視野角特性の劣化を防ぐことが可能になる。この条件を、配列方向の異なる2種類のレンズにそれぞれ適用し、対角サイズ8型の縦横3D切替えディスプレイを開発した。3D映像の表示例を図8に示す。 $\pm 30^\circ$ の範囲内で、画面を縦方向に配置した場合でも、横方向に配置した場合でも、良好な3D表示が実現できている。

## 5 あとがき

ガラスレス3Dディスプレイの新たな応用分野を開拓するため、部分2D/3D切替表示及び縦横3D切替表示を実現する液晶GRINレンズ技術を開発した。TVやPCなどのコンシューマー機器だけでなく、医用など特殊用途分野への展開が可能であり、新たな応用が期待できる。

今後も、ユーザーの満足する機能や性能を実現するための基盤技術を確認していく。

## 文献

- 藤田 功一 他. 世界初の専用眼鏡なし3Dテレビ グラスレス3Dレグザ (REGZA). 東芝レビュー. 66, 5, 2011, p.6-9.
- Takagi, A. et al. "Function Integrated LC GRIN Lens for Partially Switchable 2D/3D Display". SID Symposium. Digest of Technical Papers. 44, 1, 2013, p.162-165.
- Kashiwagi, M. et al. "LC GRIN Lens Mode with Wide Viewing Angle for Rotatable 2D/3D Tablet". SID Symposium Digest of Technical Papers. 44, 1, 2013, p.154-157.



高木 亜矢子 TAKAGI Ayako

研究開発センター マルチメディアラボラトリー主任研究員。  
3Dディスプレイの研究・開発に従事。電子情報通信学会, SID 会員。  
Multimedia Lab.



柏木 正子 KASHIWAGI Masako

研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務。  
3Dディスプレイの研究・開発に従事。電子情報通信学会, SID 会員。  
Multimedia Lab.



上原 伸一 UEHARA Shinichi

研究開発センター マルチメディアラボラトリー主任研究員。  
3Dなどディスプレイ関連の研究・開発に従事。SID, 日本液晶学会会員。IEC/TC 110国際副幹事。  
Multimedia Lab.