

# 前後2面のLCDを積層したDFDディスプレイ

NTTサイバースペース研究所では、2つの一般的な画像を前後2面に重ね合わせて表示し、その明るさの割合を変化させることで2面間の任意の位置に奥行き位置を知覚できる新たな立体錯視現象を発見しました。この立体錯視現象を応用して前後2面に透明なLCDを積層したコンパクトな3Dディスプレイについて紹介します。

たかだ ひであき すやま しろう  
高田 英明 / 陶山 史朗

だて むねかず なかざわ けんじ  
伊達 宗和 / 中沢 憲二

NTTサイバースペース研究所

## 3Dディスプレイの課題と 新たな立体錯視現象の発見

3Dディスプレイは、我々が普通に見ている実世界を奥行き方向も含めて表現できるディスプレイであり、高臨場感を得ることができます。これまで、立体メガネなどをかけて立体感を表すメガネ式をはじめ、多くの方式が提案されています<sup>(1)~(5)</sup>。これらの表示方式においては、観察者の疲労の問題や装置構成が複雑になる、一般的な画像が表示できないなどの多くの課題があり、実用化に向けてこれを解決すべく精力的に研究開発が行われています。

NTTサイバースペース研究所では、多くのエッジを持った2つの画像を透明な前後2面に重ね合わせて表示し、その前後2面の画像の輝度比（明るさの割合）を変化させることで2面間の任意の位置に奥行き位置を知覚できる新たな立体錯視現象〔DFD（Depth-Fused 3-D）錯視現象〕を発見しました<sup>(6)~(8)</sup>。これは簡単な装置構成で疲労感が少ない3D表示を実現できる方式であり、携帯電話やカーナビゲーション、PCモニター、アミューズメント、広告などのディスプレイに

応用できると考えています。

## DFD錯視現象と 従来のDFDディスプレイ

DFD錯視現象を用いた表示方式の概要を図1に示します。観察者から見て奥行き方向に重なり合うように前後2面の表示面を配置します（図1(a)）。まず、表示したい3D像をそれぞれの表示面に観察者の位置から見て重なり合うような投影像として表示します。

これにより前後2面の2つの像が1つに融合して知覚することができます。次に、提示したい3D像の奥行き位置に応じて2面間の像の輝度比を変化させます。すなわち、表示したい3D像が前面に近い場合には前面の輝度の割合を高く（例えば図1(b)の前面像の「トナカイのぬいぐるみ」）し、後面の輝度の割合を低くします。後面に近い場合には、前面の輝度の割合を低く（例えば前面像の「家」）し、後面

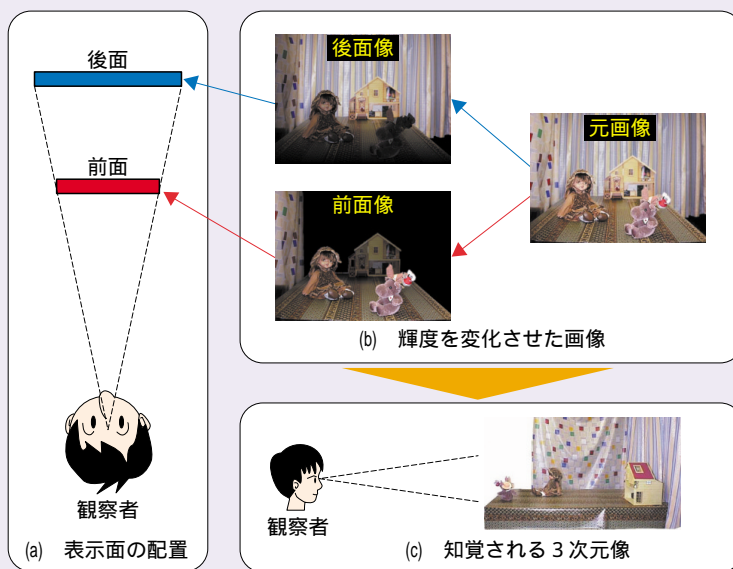


図1 DFD錯視現象に基づくDFD表示方式の概要

の輝度の割合を高くします。前面と後面の中間付近の場合には、前面と後面の輝度の割合を等しく（例えば「人形」）します。また奥行き方向に連続的な像（例えば「床面」や「サイドカーテン」）では連続的な輝度を付加します。その結果、観察者は図1(c)に示すような奥行き方向が連続的な3D像を知覚することができます。

従来のDFDディスプレイの構成を図2に示します。前後2面の表示面の重なりは、ハーフミラー（半分の割合で透過/反射する鏡）を用いることで観察者から光学的に重なり合う構成としました。

### 前後2面のLCDを積層した小型DFDディスプレイ

今回、前後2面の透明なLCD（液晶ディスプレイ）パネルを重ね、前後2面の偏光（光の振動方向）の変化を加算することで輝度比を変化させるDFDディスプレイ<sup>(9),(10)</sup>を開発しました。

最初に、通常のLCDディスプレイの構成を図3に示します。観察者側から、検光子、LCDセル、偏光子、バックライトという構成です。表示輝度は図3に示すようにLCDセルの偏光の変化量で決まります。TN（Twisted Nematic）型のLCDディスプレイでは、「黒」の表示状態では液晶分子が垂直に配向しているため、入射光の偏光は変化しません。一方「白」の表示状態では液晶分子が90°ねじれた配向をしているため、直線偏光を入射するとその偏光方向はねじれに沿って90°回転します。そして、この間である「中間調」の表示では一般的におおむね偏光方向の回転が輝度に応じて0~90°の間を変化します。この偏光の回転角度を  $\theta$  としたとき、輝度は  $\sin^2 \theta$  で表現することができます。

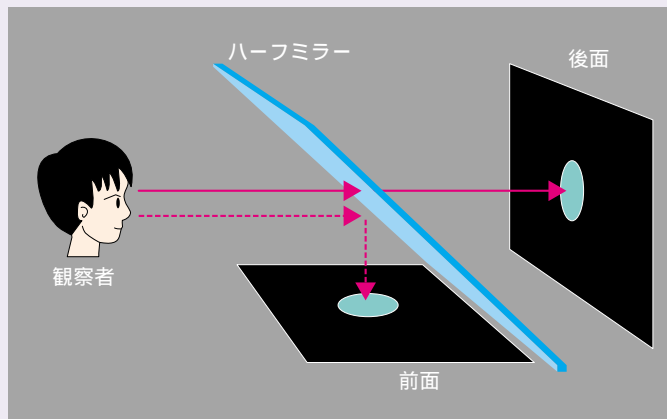


図2 従来のDFDディスプレイの構成

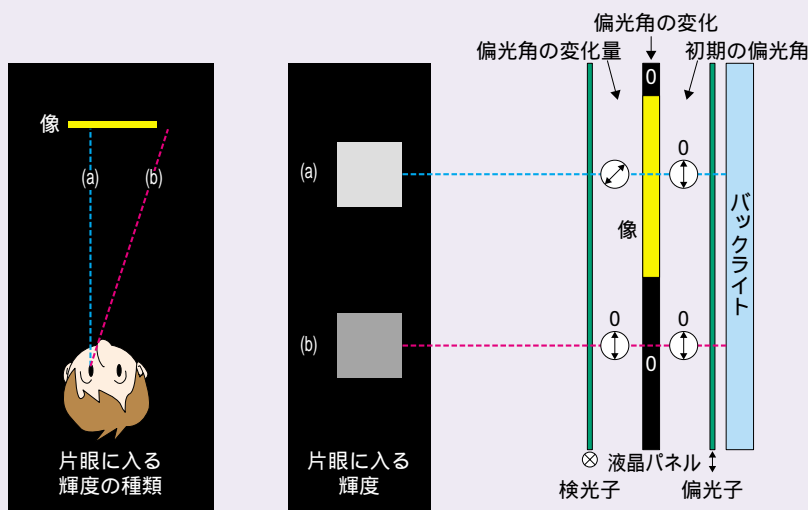


図3 通常のLCDディスプレイの偏光角の変化

次に、薄型DFDディスプレイの表示方式の概要を図4に示します。前面LCDセルと後面LCDセルを検光子と偏光子の間に間隔を空けて配置する構成としました。通常のLCDディスプレイのLCDセルを前後2面に積層することで、前面だけ偏光角を変化させた場合には前面だけに輝度が付加され、後面だけ偏光角を変化させた場合には後面だけに輝度が付加されることは容易に想像が付きまます。ここでは、厳密な意味では単純な加算とはなりませんが、前面と後面の両方の偏光角を変化させると、その各々の偏光角が加

算され、輝度も加算されると仮定しました。

この偏光角の変化量の加算の仮定について、後面LCDと前面LCDにおける偏光角の変化の状態と輝度を、次の3つの場合に分けて検討しました。

偏光角の変化量が、後面LCDセルでは だけ変化し、前面LCDセルでは変化しない0のとき、図4(a)に示すように加算された全体の偏光角の変化量は  $\theta$  になると仮定する。このとき、全体の輝度は後面LCDセル単体と同様な値  $L_{1R} (= \sin^2 \theta)$  となる。

偏光角の変化量が、後面LCDセルでは変化しない0であり、前面LCDセルでは だけ変化するとき、図4(c)に示すように加算された全体の偏光角の変化量は になると仮定する。このとき、全体の輝度は前面LCDセル単体と同様な値  $L_{1F} (= \sin^2 )$  となる。

偏光角の変化量が、後面LCDセルでは だけ変化し、前面LCDセルでは だけ変化するとき、図4(b)に示すように加算された全体の偏光角の変化量は + になると仮定する。このとき、全体の輝度は  $L_2 (= \sin^2 ( + ))$  となると考えられる。

カラー表示では、前後2面のLCDセルが各々RGBのカラーフィルタを持っていることから、前後2面のRGBの各々の色のフィルタ間で独立した偏光角の変化量となります。これより、前後2面のLCDセルの同じ色の画像どうして偏光角の変化量を制御すると、図1に示したような従来と同様な輝度比の変化を実現できると考えました。

### 前面と後面の輝度の加算性の実験と評価

#### (1) 輝度の加算性の実験

前面LCDセルと後面LCDセルにおける偏光角の変化量による輝度の加算関係について検証しました。図4に示した構成を用いて前後2面の全体の輝度測定を行いました。測定は、後面LCDセルの輝度を一定にし、前面LCDセルの輝度を最小～最大まで変化させて行いました。

前面LCDセルと後面LCDセルの各々の輝度と全体の輝度の関係を測定した結果を図5に示します。この結果より、前面LCDセルと後面LCDセルの偏光角の変化量の加算によって

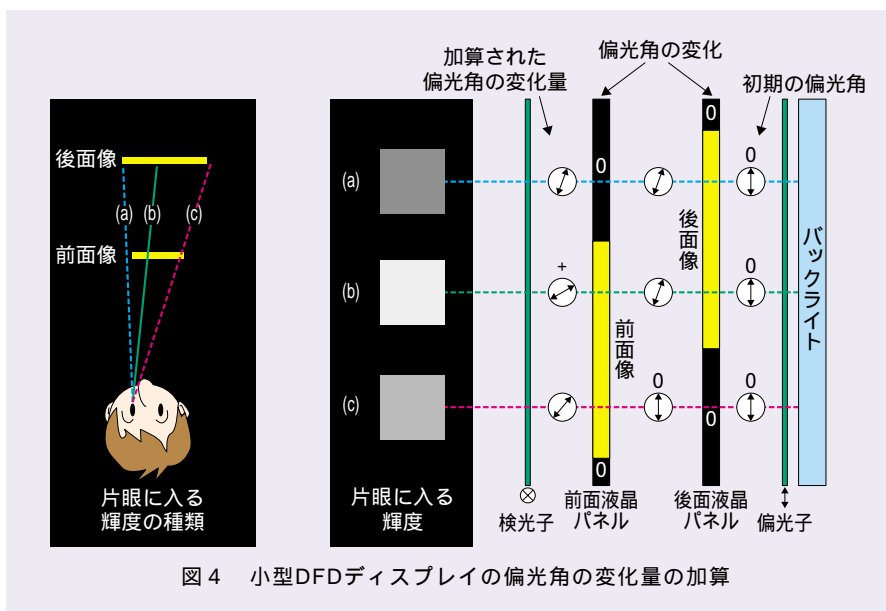


図4 小型DFDディスプレイの偏光角の変化量の加算

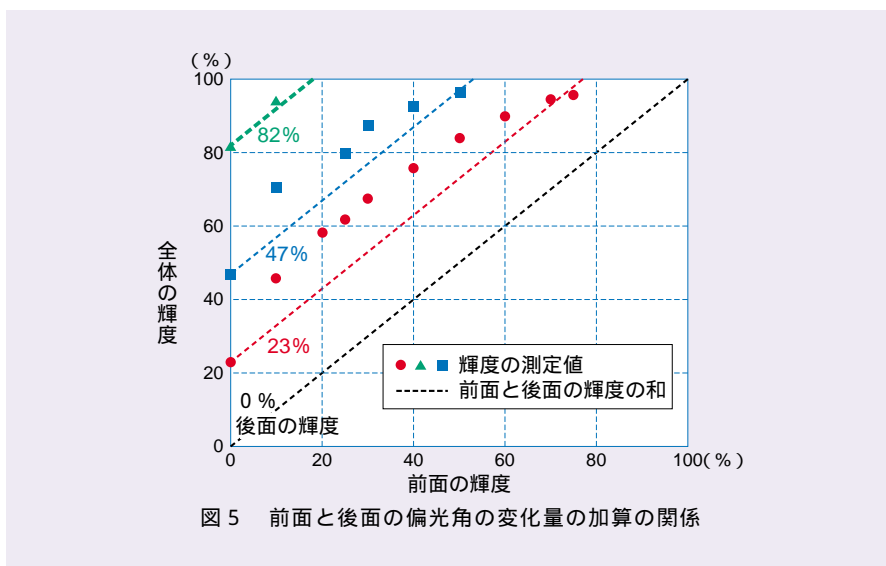


図5 前面と後面の偏光角の変化量の加算の関係

近似的にはあるが輝度が加算されていることが分かります。しかし、前面と後面の輝度を単純に加算した和と比べて、中心付近が輝度の高い方向へ最大で15%程度ずれる結果となっています。具体的には、前面あるいは後面LCDセルの輝度が最小 ( = 0 あるいは = 0 ) のときと、輝度の和が最大 ( + = 90° ) のときにずれはほぼ0となり、それ以外のときにはずれる結果となっています。前述した仮定も、上記の3条件では  $L_2 = L_{1F} + L_{1R}$  となり、それ以外では  $L_2 > L_{1F} + L_{1R}$  と

なるため、この仮定は今回の実験結果に現れた線形加算からのずれをよく説明できていると考えています。

次にこの偏光角の変化量の加算による輝度のずれがDFD表示の阻害要因にならないか主観評価によって確認を行いました。

#### (2) 主観評価

10人の被験者にて図1と同様な画像を提示し、各オブジェクト(トナカイのぬいぐるみ、家、人形、床面、サイドカーテン)が前面と後面の位置で相対的にどのような配置関係にあ

るかについて評価しました。観察者と画像の位置関係は、観察者の両眼の中心点から前後画像が重なり合う配置としました。また観察者と前面までの距離は500 mmとし、前面と後面の距離を5 mmとしました。この面間距離は、観察者の片眼から知覚される前後画像のエッジのずれ<sup>(6)~(8)</sup>が、観察者から目立ちにくくなる間隔に設定しました。

10人の被験者すべてにおいて、奥行き感は奥行き方向に圧縮されているが、図1(c)に示したものと同様に、トナカイのぬいぐるみが前面の近く、家が後面の近く、人形が前面と後面の中間付近、床面とサイドカーテンが前面から後面に連続的であるという結果となりました。これより、奥行き感については前後面の間隔である5 mmという狭い奥行きに圧縮されているが、奥行き方向の位置関係については本来の対象物の位置関係と同様になり、従来の方式と同様であるという結果が得られました。また以前の報告<sup>(6)~(8)</sup>ではハーフミラーを用いて前後2面のディスプレイを重ね合わせ、輝度と奥行き位置の関係がほぼ比例することが分かっています。この報告と図5の前面と後面の輝度の加算性の実験結果より、本方式での奥行き位置は最大で15%程度のずれが生じていると考えられます。このため、より正確な3D像を表示するには、補正方法などの検討が必要であると考えています。今回の評価では、偏光角の変化量を利用したDFDディスプレイでの奥行き表現の実現性は確認できたと考えています。

### 薄型DFDディスプレイのプロトタイプ

薄型DFDディスプレイのプロトタイプを図6に示します。このプロトタイプ



3D表示エリア：対角8インチ，奥行き5mm

図6 薄型DFDディスプレイのプロトタイプ

は2面のLCDパネルを用いた構成で、使用したLCDパネルのサイズは対角8インチ、前後2面の間隔は5 mmとしました。3D像の奥行き表示エリアは、2面間の距離である5 mmの奥行き範囲で表現可能です。今回のプロトタイプの開発により、従来のハーフミラーを用いた方式に比べて、大幅に薄型化できる見通しが得られました。またカラー3D動画像について、小さい奥行き表示エリアでも自然な3D動画像を表示できることが確認できました。

#### 参考文献

- (1) E.Dowing: "Development and commercialization of a solid state volumetric display," OSA Annual Meeting, ILS-XIII, WSS1, p.140, 1997.
- (2) D.Gabor: "A new microscopic principle," Nature, Vol.161, pp.777-779, 1948.
- (3) 梶木・吉川・本田: "収束化光源列(FLA)による超多眼立体ディスプレイ," 3次元画像コンファレンス 96, 4-4, 1996.
- (4) T.Ohkoshi: "Three-dimensional displays," Proceedings of the IEEE, Vol.68, p.548, 1980.
- (5) 安藤: "微分両眼立体視法による多層立体知覚の基礎," 計測自動制御学会論文誌, Vol.24, No.9, pp.973-979, 1988.
- (6) 陶山・高田: "新現象に基づく3Dディスプレイを開発," NTT技術ジャーナル, Vol.14, No.8, pp.74-77, 2002.
- (7) S.Suyama, H.Takada, and S.Ohtsuka: "A Direct-Vision 3-D Display using a New Depth-fusing Perceptual Phenomenon in 2-D Displays with Different Depths," Special issue of IEICE transaction on Electronics, Vol.E85-C, No.11, pp.1911-1915, 2002.
- (8) S. Suyama, S.Ohtsuka, H.Takada, K.Uehira,

and S.Sakai: "Apparent 3-D image perceived from luminance-modulated two 2-D image displayed at different depths," Vision Research, Vol.44, pp.785-793, 2004.

- (9) H.Takada, S.Suyama, M.Date, and K.Nakazawa: "A Compact Depth-fused 3-D Display Using a Stack of Two LCDs," NTT Technical Review, Vol.2, No.8, pp.35-40, 2004.
- (10) 高田・陶山・伊達・昼間・中沢: "前後2面のLCDを積層した小型DFDディスプレイ," 映像情報メディア学会誌, Vol.58, No.6, pp.807-810, 2004.



(上段左から) 高田 英明/ 陶山 史朗  
(下段左から) 伊達 宗和/ 中沢 憲二

将来の高臨場感通信に向けたリアルで疲れない3Dディスプレイの実現を目指します。

#### 問い合わせ先

NTTサイバースペース研究所

第一推進プロジェクト

TEL 0422-59-3825

FAX 0422-59-5531

E-mail takada.hideaki@lab.ntt.co.jp