

# カラー反射型液晶ディスプレイの開発

金子 節夫・池野 英徳

携帯電話や PHS に代表される無線による通信インフラの拡充により、いつでも、どこでも、誰とでも、必要な情報を必要なだけ交換することが可能となりつつある。このような通信を使った屋外におけるデータ交換の必要性が増すとともに、ネットワーク端末としての常時携帯するコンピューター（携帯型情報機器）の需要が増大してきている。

しかも、近年のネットワーク端末として携帯型情報機器の需要が増大するにつれ、グラフィカルなカラー画像を交えたコンテンツ表示の必要性が高まっている。この用途に対応するため、従来の白黒表示反射型液晶ディスプレイ（LCD）に代わり、カラー LCD を装備した携帯型情報機器も数種類発表されている。しかし、このカラー LCD は液晶デバイスの背後に強力な光源（バックライト）を配置した透過型であるため、消費電力が 1 W 程度と大きく、携帯型情報機器の駆動時間が数時間程度しかないという問題点がある。そのため、透過型カラー LCD を搭載した携帯型情報機器は、いつでも、どこでも使うことができるという携帯型情報機器の基本コンセプトとは異なる性格づけがなされていることが多い。このため、現在白黒表示型しか存在しない反射型 LCD をカラー化し、低消費電力でカラー表示動作を行わせることが必要である<sup>1,2)</sup>。

ところで、現在新聞、雑誌等さまざまな印刷メディアが日常的に使用されているが、周囲からの照明光を利用して読み取るという点で反射型 LCD の使用条件と全く同じである。したがって、カラー反射型 LCD を開発するときにはそれらの画質が目標性能となる。図 1 には、各種印刷物の画質を示す。画質には明るさ（反射率）、コントラスト、表

示色数、解像度、応答速度などがあるが、カラー反射型 LCD においてトレードオフの関係にある明るさ（反射率）とコントラストを主要な画質として示す。代表的な印刷メディアである新聞や雑誌では反射率は 50~60%、コントラスト 5~9 程度であり、これが開発の第 1 ターゲットとなる。一方、最も画質の良いグラビア印刷では反射率 80%、コントラスト 15~20 であり、これが最終ターゲットとなる。

本稿では、カラー反射型 LCD に用いられる液晶表示方式、カラー表示方式について解説し、さらに最近筆者らが開発した対角 24 cm、4096 色表示カラー反射型 LCD について述べる<sup>3)</sup>。

## 1. カラー反射型 LCD 表示方式

### 1.1 反射型液晶表示方式

反射型 LCD にはいくつかの方式が提案されている。図 2 は、代表的な反射型液晶表示方式の構造と原理について示す。液晶表示方式には、透過型 LCD と同様に偏光板を用い、偏光光を液晶のもつせん光性を利用して偏光度を電気的に制御する TN 液晶素子や STN 液晶素子を用いた (a) 2 枚偏光板方式が白黒反射型 LCD で実用化されている。しかし、本方式は入射した光が入射側の偏光板、TN 液晶素子を通じた後に反射板側の偏光板、さらに反射板で反射した後、逆の進路で 2 枚の偏光板と合計 4 枚の偏光板を通過し出射する。このため偏光を精密に制御できることからコントラストは高い (20 以上) 反面、偏光板の吸収による光利用効率が非常に低い欠点がある。特に、カラー表示する場合にはカラーフィルターによる吸収により光利用効率が低下するため、表示が暗くなるおそれが強い。また、偏光板と反射板を同時に液晶素子内部に導入することが難しく、図に示されるように外部に設置することから 2

日本電気(株)機能エレクトロニクス研究所 (〒216-8555 川崎市宮前区宮崎 4-1-1)  
E-mail: kanekos@mech.cl.nec.co.jp

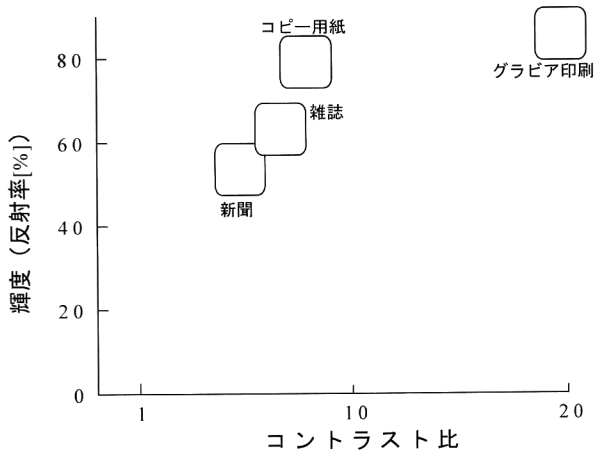


図1 各種印刷物の画質。

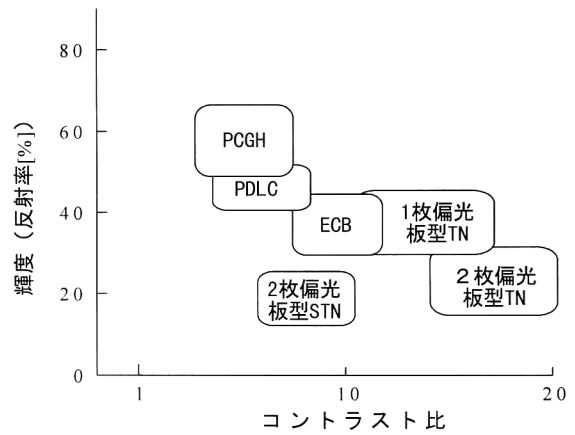


図3 反射型液晶表示方式の性能比較。

液晶モード	偏光板方式		無偏光板方式		
	二枚偏光板型TN	一枚偏光板型TN	PCGH	PDLC	選択反射
基本構造					
明るさ	×~△	△~○	○~◎	○~◎	◎
コントラスト	◎	○	△	△	○
中間調	◎	◎	○	○	○

図2 代表的な反射型液晶表示方式の構造と原理。NP：自然光，LP：直線偏光，EP：楕円偏光，SL：散乱光，IL：選択反射光，PO：偏光板，GL：ガラス基板，RF：位相差フィルム，SR：拡散反射板，MR：鏡面反射板，AB：光吸収層，CF：カラーフィルター，TN-LC：TN液晶，PCGH-LC：相転移型ゲストホスト液晶，PDLC：高分子分散型液晶，H-PDLC：ホログラフィック高分子分散液晶。

重写り等の問題も生ずる。そこで、コントラストはある程度犠牲にしても光利用効率が高く、反射板を液晶素子内部に取り込むことができる (b) 1枚偏光板型が提案されている。

一方、入射光の少なくとも50%を吸収する偏光板を1枚も用いず、光利用効率を高くすることができる無偏光板方式が提案されている。これには液晶(ホスト)中に微量の色素(ゲスト)を添加した液晶材料を用い、光の吸収/透過を電氣的に制御する (c) 相転移型ゲストホスト(PCGH)液晶方式<sup>4)</sup>、光の散乱/透過を制御する (d) ポリマー分散型液晶(PDLC)方式、光の波長範囲を選択的に反射/透過制御する (e) ホログラフィックPDLC方式<sup>5)</sup>等があるが、まだ十分なコントラストが得られていない

ど材料的な課題も多い。

図3にはこれら方式の現状における性能を比較して示す。この中で、コントラストが高いことから1枚偏光板方式<sup>6,7)</sup>と、コントラストは若干低いものの光利用効率が高いPCGH方式<sup>2,3)</sup>が携帯情報機器用に開発されている。

### 1.2 カラー反射表示方式

カラー反射表示を実現するには、減法混色法、加法混色法、選択カラー反射法があり<sup>8)</sup>、さらに、構造的には積層型と平面配置型がある。

減法混色法は白色光から吸収効果等により不要な可視光スペクトルを取り除いて所望の光スペクトルを得る方法である。例えば、赤色を吸収するシアン(C)、緑色を吸収するマゼンダ(M)、青色を吸収するイエロー(Y)層を

	減法混色法/積層型	加法混色法/平面配置型	選択カラー型
構造			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光利用効率が高い</li> <li>・構造が複雑(=高コスト)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光の利用効率が悪い</li> <li>・構造が簡単</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光の利用効率が高い</li> <li>・多色化が課題</li> </ul>

図4 カラー反射表示の方式と構造.

PCGH 液晶素子で構成し、図4(a)のように積層することにより、1画素で積層された3色の組み合わせによるフルカラー表示が可能である<sup>9)</sup>。この方式は光利用効率の高い反面、構造が複雑であり、厚いガラス基板を重ねると隣の画素間での色の混色等が起きることから、プロセスが簡単で中間のガラスを薄くする技術の開発が求められている。

加法混色法は赤色、緑色、青色を透過するカラーフィルターを図4(b)のように平面的に配置し、それぞれの色を通過する光を電氣的に on/off することにより網膜上で色彩の混合を行う方式である。光の制御には TN 液晶素子や PCGH 液晶素子などが使用される。本方式の平面配置構造は現状実用化されている透過型 LCD と同じで、構造は簡単であり、最も実用化しやすく多くの開発例がある<sup>2-5)</sup>。反面、カラーフィルターを平面に配置することによる光の空間分割ロスに基づく低光利用効率 (33%以下) であるため表示が大幅に暗くなり、反射板の工夫などにより明るさを確保する必要がある。

選択カラー反射方式は図4(c)に示されるように可視スペクトルのうち3原色スペクトルを選択的に反射/透過させる方式で、基本的な選択反射はホログラフィック PDLC<sup>5,10)</sup>等を用いて効率よく実現することはできるものの、1画素で多色表示を実現させる方法の確立が大きな課題である。

## 2. カラー反射型 LCD の開発例

### 2.1 要求性能

液晶ディスプレイを設計する場合に、目標とする発色数と解像度の設定は、ディスプレイを適用するアプリケーションを決定する上で重要である。今回筆者らが試作を行った反射型カラー LCD のターゲットとしては、PDA や可搬型のパソコンを考えているので、ディスプレイとしては、

現在主流である Windows の表示を行えることが最低限必要となる。この要求に応えるためには、LCD の表示色数としては 64,000 色表示と VGA の解像度で対角 17~24 cm パネルサイズが必要である。また、表示速度もマウスなどのポインティングデバイスの動作速度に追従させる必要性や動画表示への対応のため高速な応答速度が必要である。これらの項目のうち発色数に関しては、現在の LCD ディスプレイ制御 LSI を用いた場合、ディザリングなどのイメージ制御を行うことで、RGB 各色 16 階調 (4,096 色) の LCD を用いた場合においても 64,000 色の表示を擬似的に行うことが可能である<sup>11,12)</sup>。これらの検討から、4,096 色表示が可能な対角 24 cm (9.4 型) のカラー反射型 LCD を目標として開発を行った。この目標を達成するためには、カラー反射型 LCD として実用的なカラーフィルターによる平面配列加法混色方式を採用し、① 明るい表示を行うための反射板構造の最適化、② 中間調表示を可能とする相転移型ゲストホスト (PCGH) 液晶素子の検討を中心に開発を行った。

### 2.2 基本構造

TFT 駆動 PCGH カラー反射型 LCD の 1 画素における断面構造を図5に示す。この構造においてアルミニウム反射電極は、PCGH 液晶層の直下に配置され、カラーフィルターは対向基板側に平面配列されている。白黒反射型 LCD においては、反射板を液晶素子の外部に配置することが一般的であるが、今回採用した構造においては、反射板は液晶層直下に配置する構造となっている。この構造では、外部から入射した光は、ガラス基板、カラーフィルター、ゲストホスト液晶を透過し反射板によって反射され、入射時とは逆のルートをたどることにより外部へ出射する。このように光反射層を液晶層直下すなわち TFT および配線電極の上部に作り込む構造とすることにより、① 開口率を

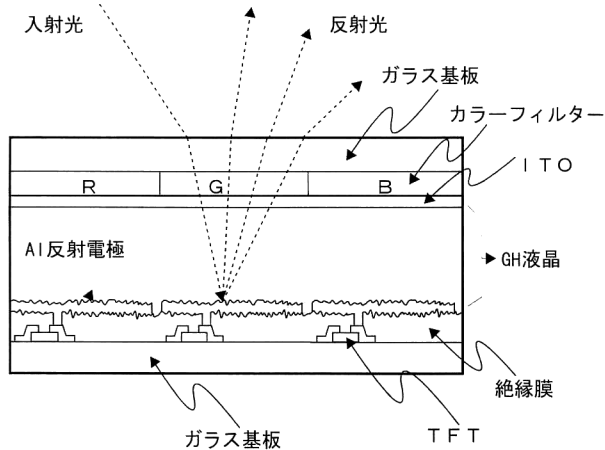


図5 TFT駆動PCGHカラー反射型LCDの断面構造。

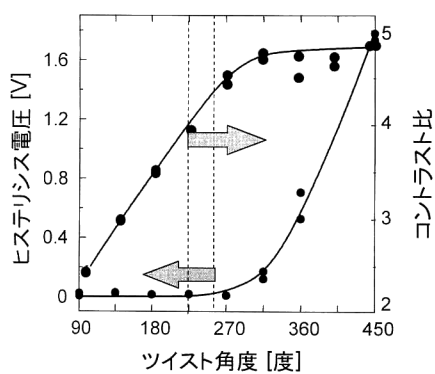


図6 PCGH液晶素子のツイスト角とヒステリシス、コントラストとの関係。



図7 反射型カラーLCDの表示例。

100%近く設定することが可能で明るさを確保することができる、②文字浮きや2重像現象をなくすことが可能、という利点がある。

明るい反射型カラーLCDを実現するためには、周囲からLCDパネルへ入射する光を効率よく反射する必要がある。一般のオフィス環境において反射型LCDへ入射する

表1 カラー反射型液晶ディスプレイの性能。

表示サイズ	対角 24 cm
画素数	640×480×3
画素ピッチ (μm)	100×3(H)×300(V)
開口率	94%
表示色数	4,096
表示方式	PCGH液晶モード
明るさ (L*)	51
コントラスト	4

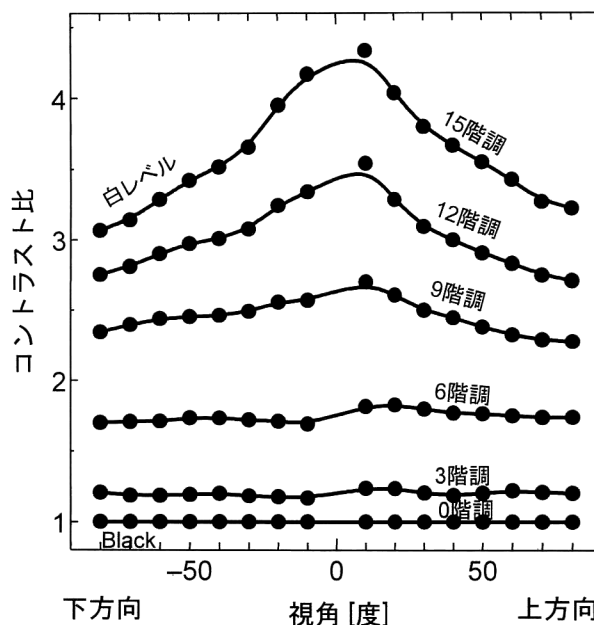


図8 LCDの階調表示と視野角依存性。

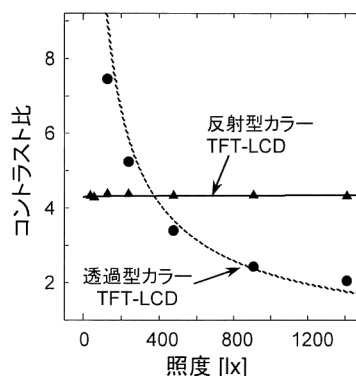


図9 LCD周囲の明るさとコントラストとの関係。

光は、天井灯・ライトスタンドなどの直接光と壁や天井により拡散された光がほぼ1:1の割合で入射する。また、これらの光のうち直接光が反射型LCDへ入射する際の光の入射角は、反射板の鉛直方向からおよそ30°の角度で入射する光が多いという実験結果がある<sup>13)</sup>。したがって、開発した反射電極の表面は、入射した光を散乱反射させるために微小な凹凸が設けられた構造になっており、正反射方向の反射ピークはあるものの、正反射方向から30°傾けた範囲

における反射光強度は標準白色板に比べ1.5倍から2倍程度あり、視角範囲における明るさの確保ができています。

また、PCGH液晶素子においては、自然状態においてホスト液晶分子が螺旋状に配列し、電圧を加えることによりこの螺旋がほどけ基板に垂直に配列する現象を利用して表示を行う。この方式では、コントラストの高い表示を行うためには、上下基板間における液晶分子のねじれ角を大きくする必要があり、一般的には、ホスト液晶分子の固有ピッチ( $p$ )と上下基板間のギャップ( $d$ )の比( $d/p$ )を1以上に設定するショートピッチモードが使われる。しかしながら、液晶の $d/p$ を0.75以上(270°以上)に設定すると液晶分子に電圧を印加した場合、電圧を上げる際の光学応答特性と電圧を下降させる際の光学特性に差が生じるヒステリシス現象を示すことが知られており、①ロングピッチモードのPCGH液晶の採用、②アモルファスTN構造を用いる<sup>14)</sup>の2方式が考えられる。今回、量産を行う際のプロセス適合性を考慮し、ヒステリシスが生じないロングピッチモードのゲストホスト液晶素子の採用を検討し、コントラストが最大となるツイスト角を設定した。図6にはツイスト角とヒステリシス電圧およびコントラストとの関係をプロットした図を示す。この図から、ツイスト角度としては、220°以上240°以下であれば、ヒステリシスがなくなり、コントラスト比が許容範囲内で、コントラストの再現性が可能なPCGH液晶パネルを作成することが可能である。

### 2.3 試作パネルの表示性能

反射型カラーLCDの表示例を図7に示し、性能表を表1に示す。開発したLCDは、4,096色(RGB16階調)の表示を視差による文字浮きなしで表示を行うことができる。また、反射板を液晶層の直下、すなわちTFTや配線の上に配置する構造のために開口率を94%と非常に高く設定することができ、反射板の反射角度の最適化などを含めて $L^*$ 値(人間の視感度特性を考慮した明るさの指数)で51という明るい表示ができた。また、LCDの視野角特性を測定した結果を図8に示す。この図から本反射型LCDにおいては表示の反転はいっさい生じておらず、コントラストの低下も少なく、上下方向で160°という広い視野角を有していることが明らかになった。

また、携帯型パソコンやPDA等は、あらゆる照明環境下において使用されることが考えられる。図9は本カラー反射型LCDと最新の透過型LCDに光を照射した際のコントラスト比の変化を示した図である。透過型TFT-LCDは、照明が弱い環境下においては、高いコントラスト比を

示すが、照明が強くなるとコントラスト比が急激に低下することがわかる。それに対して、本カラー反射型LCDにおいては、周囲光の強度によらずコントラストは一定である。特に昼間の室外のように1,000lxを超える状態においては、透過型LCDのコントラストは2以下となり、視認性が著しく低下し使用が難しくなる。反射型LCDはこのように明るい屋外でも使用できる良好なコントラストを維持していることがわかる。

いつでも、どこでも、誰とでも必要な情報を必要なだけ交換することをめざすマルチメディア社会において、低消費電力で軽量性のある高画質のカラー反射型LCDは重要なヒューマンインターフェイスデバイスである。本稿ではカラー反射型LCDを実現するための反射型液晶表示方式、カラー反射表示方式について解説した後、開発された動画対応の4,096色表示カラー反射型LCDについて述べ、屋外等明るい環境でも使用することができる実用レベルの表示性能を確認した。

しかしながら、開発されたカラー反射型LCDはコントラスト、明るさ等改善の余地を大きく残しており、今後は軽量、低消費電力という特長をさらに追求するとともに、最終ターゲットであるグラフィック印刷並の画質をめざし、高画質のカラー反射型LCDの可能性を追求していく必要がある。

### 文 献

- 1) T. Koizumi and T. Uchida: *Proc. of SID (Society for Information Display)*, **29**, No. 2 (1988) 157.
- 2) S. Mitsui, et al.: *Proc. of SID*, **29**, No. 2 (1988) 151.
- 3) H. Ikeno, et al.: *SID '97 Digest* (1997) p. 1015.
- 4) D.L. White and G.N. Taylor: *J. Appl. Phys.*, **45** (1974) 4718.
- 5) 伊達宗和, ほか: テレビジョン学会技術報告, **20**, No. 9 (1996) 131.
- 6) 坂井栄治, ほか: 映像メディア学会誌, **51**, No. 7, (1997) 1061.
- 7) S. Fujiwara, et al.: *IDW (International Display Workshops) '97* (1997) p. 879.
- 8) 関 秀廣, 内田龍男: 液晶若手研究会予稿集 (1997) p. 39.
- 9) Y. Nakai, et al.: *SID '97 Digest* (1997) p. 83.
- 10) 三村広二, 住吉 研: 秋季応用物理学会予稿集, 3p-H14 (1997) p. 948.
- 11) 86CM65 Product Overview: S3 Inc.
- 12) CL-GD7556 Advance Product Bulletin: Cirrus Logic Inc.
- 13) E. Mizobata, et al.: *SID '96 Digest* (1996) p. 149.
- 14) H. Suzuki, et al.: *Proc. of IDRC (International Display Research Conference)* (1995) p. 611.

(1998年1月7日受理)