

# 液晶ディスプレイにおける広視野角化技術

内 田 龍 男

液晶ディスプレイ (LCD) は当初 CRT と比較して表示性能や表示品位について多くの問題を有していた。しかし近年これらの表示特性は大幅に改善されてきており、特に TFT を用いたアクティブマトリクス LCD の開発によって、表示容量、コントラストおよび明るさが著しく向上し、これらの点では CRT を凌ぐほどの表示品位を示し始めてきた。残された問題は画面サイズと視野角、応答速度であったが、画面サイズが徐々に増大し、それに伴って視野角の改善が強く望まれるようになった。これに応じて、このところ各種の新しい方式が次々と提案され、著しい改善が成し遂げられている。ここでは特にアクティブマトリクスにおける視野角改善の考え方や方式について概説する。

## 1. LCD の視角依存性

液晶には twisted nematic (TN) 方式, supertwisted nematic (STN) 方式, electrically controlled birefringent (ECB) 方式, ferroelectric liquid crystal (FLC) 方式, guest-host (GH) 方式, polymer dispersed liquid crystal (PDLC) 方式など各種の方式があり、それぞれ特徴がある。このうち、アクティブマトリクス LCD には高コントラスト、低電圧駆動、階調表示などの要求から、従来 TN 方式が広く用いられてきた。

TN 方式の最大の問題点は、図 1 に示すように特に中間調表示状態の透過率の視角依存性が激しく、大きい角度 (約  $-20^\circ$  以下) では中間調の反転が生じてしまうことである。この原因は、図 2 に示すように中間調表示状態では分子がセル中央付近で傾斜配向しており、この状態で斜めから観察すると、実効的な分子の起きあがり状態が大きく変

化してみえるために生じるものである。この問題を改善するためにいくつかの方法が提案されているが、その主要な方式を分類すると、guest-host 方式、画素分割方式、位相差補償方式、IPS (in-plane switching) 方式に大別することができる。以下、これらの方式の動作や技術について解説する。

### 1.1 Guest-host 方式<sup>1,2)</sup>

Guest-host 方式は 2 色性色素を添加した液晶を用い、色素の吸収異方性を利用して表示を行う方式である<sup>1)</sup>。配向方向の依存性が強い複屈折効果を用いないため、視角依存性が小さく、したがって広い視野角が得られる<sup>2)</sup>。このためにアクティブマトリクス LCD の開発の当初活発に研究が行われた<sup>3)</sup>。しかし、明るさとコントラストを両立させることができないために、その後 TN 方式が用いられるようになった。

最近になって反射型カラー LCD の研究がさかんになり、明るさの点で再び着目され始めている<sup>4-7)</sup>。

### 1.2 画素分割方式

画素分割方式は、1 画素を 2 つまたはそれ以上に分割してサブピクセルとし、互いに異なる特性をもたせて視角特性を平均化することによって視野角を拡大するものである。その代表的なものに half tone 方式とマルチドメイン方式がある。

#### (1) Half tone 方式<sup>8-10)</sup>

図 3 に示すように各画素電極を 2 つのサブピクセルに分割して、その一方には TFT の電圧を直接印加し、他方にはキャパシタンスを介して一定の割合で減少させた電圧を印加する方法である<sup>8-10)</sup>。TN 方式が用いられるが、この方式は閾電圧以下あるいは飽和電圧以上ではかなり広い視角を有するのでこの特性を巧みに利用している。すなわち、低電圧側では TFT に直結しているサブピクセルが中間調

東北大学大学院工学研究科電子工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻)  
E-mail: uchida@ecei.tohoku.ac.jp

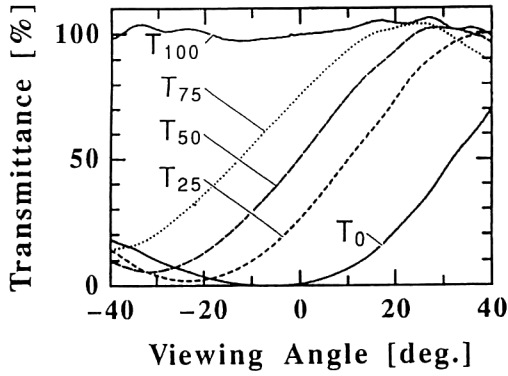


図1 TNセルの透過率の視角依存性.

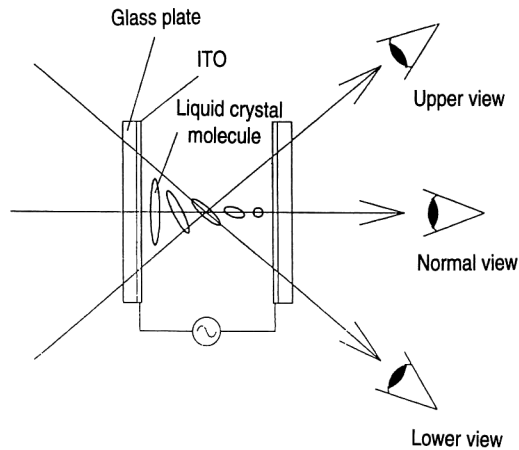


図2 TN方式の中間調表示状態における視角依存性.

を表示するが、他方のサブピクセルは閾電圧以下となるために平均的には広い視野角を有することになる。また高電圧側では直結側のサブピクセルに飽和電圧が印加され、他方のサブピクセルで中間調を表示することになるが、平均的にはやはり広い視野角を有することになる。これによって図4に示すように、視角の大きい部分の白黒反転が解消されるとともに、視角依存性が相当緩和される。

(2) マルチドメイン方式<sup>11-14)</sup>

各画素を2つの領域に分けて各々の部分で分子の傾斜方向(プレティルト)を対称にしたものである。このような配向を実現するために、具体的には2つの方法が提案されている。1つは低プレティルトの配向膜(無機物)の上に高プレティルトの配向膜(有機物)をフォトリソを用いて形成し、それぞれ1回のラビングを施す方法である<sup>12,13)</sup>。他の1つは、図5に示すように各画素ごとにラビングした配向膜の半分をフォトレジストでマスクした上で他の半分を逆方向にラビングし、最後にフォトレジストを除去するものである<sup>14)</sup>。これらの方式では図6に示すように<sup>14)</sup>、視角特性の非対称性が補償される。コントラストに重要な影響を及ぼす黒状態の視角依存性が、図1と比較して相当改

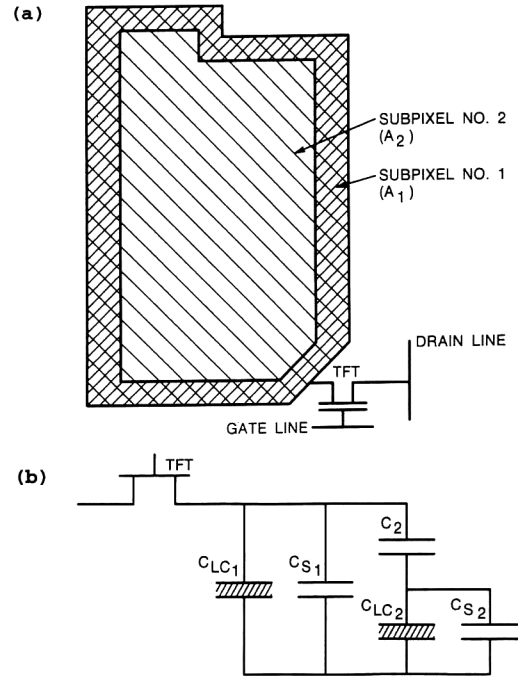


図3 Half tone方式<sup>9)</sup>。(a) 画素の構成、(b) 回路構成.

善されるが、やはり視角が大きくなると漏れが増大するのは免れない。

分割をさらに増やして4つ以上とし、上下左右の対称性も平均化する試みもある。ただしサブピクセルの境界部分をブラックマスクで隠す必要があるので、分割数の増加とともに開口率が減少する。

1.3 位相差補償方式

LCDの視野角を狭くしている主要な原因は、液晶の複屈折効果により斜めから観察した場合、常光と異常光の間に位相差が生じ、これが干渉を起こすためである。したがって、視野角を広くするためには、適当に設計した位相差フィルムを液晶セルに貼って液晶の複屈折効果を補償する方法が考えられる。この代表的な方式について以下に述べる。

(1) Discotic 補償フィルム方式<sup>15)</sup>

TN方式のセルに電圧を印加した場合、図7のようにセル中央付近のネマティック液晶分子が基板に垂直な方向に起きあがるとともに、90°のねじれはこの部分に集約される。このために上下の基板に比較的近い部分の液晶はほとんどねじれずに表面から徐々に傾斜角だけが増加している。したがって、図7のようにセルの両側にこれと対称な配向分布をもつ discotic 液晶フィルムを貼れば、光学異方性がネマティック液晶と逆であるために(ネマティック液晶は正、discotic 液晶は負で屈折率楕円体はそれぞれ図7に示すようにラグビーボール型およびあんパン型をとる)互いに光学異方性が補償される。これによって特にノーマ

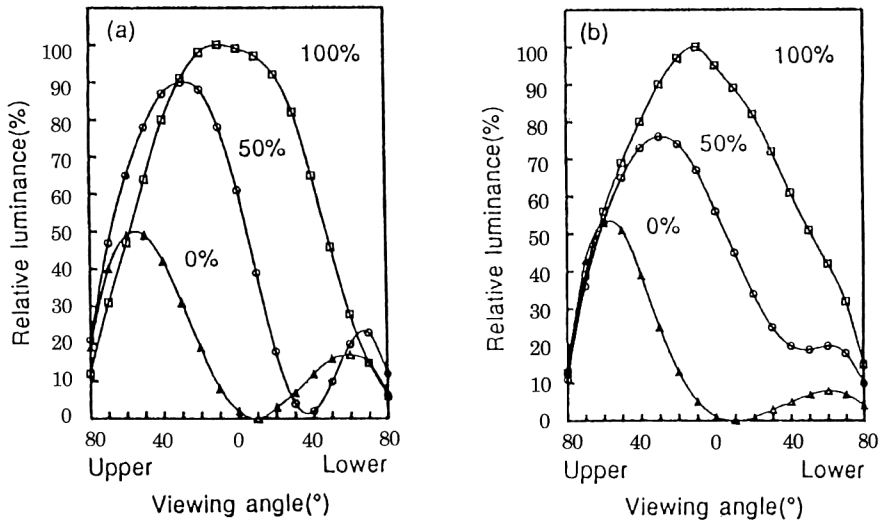


図4 Half tone方式の視角依存性<sup>10)</sup>. (a) 従来のTNセル, (b) half tone方式.

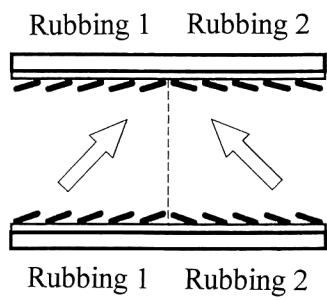


図5 マルチドメイン方式<sup>14)</sup>.

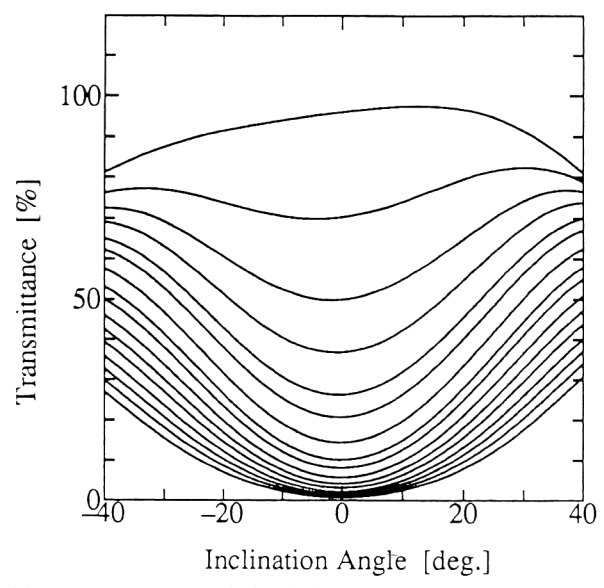


図6 マルチドメイン方式の視角依存性<sup>14)</sup>.

リーホワイト (NW) 型の TN セルにおける黒レベルの視角依存性が大幅に改善される。

実際には discotic 液晶を高分子化したフィルムが用いられる。したがって、セルの両面にこれを貼るだけでよく、

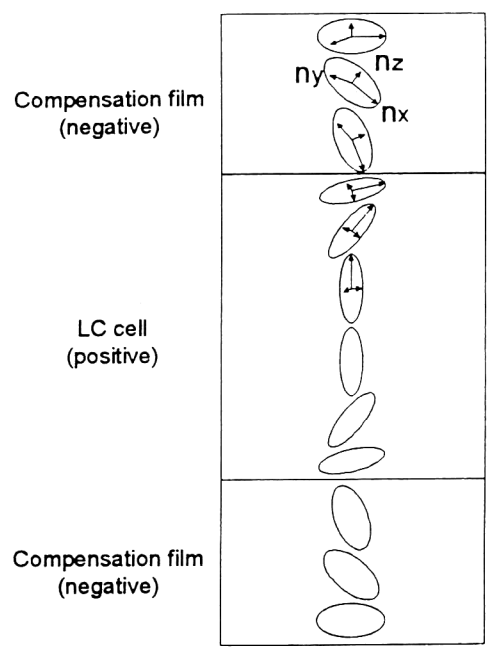


図7 Discotic 補償フィルム方式<sup>15)</sup>.

パネルの製造が容易である。しかし、中間調表示状態ではセル中央付近の分子の配向は傾斜しながらねじれた配向となる。このような複雑な配向の光学異方性を補償するのは困難であるために、中間調から明状態の光学補償が崩れ、視角特性の非対称性が残る問題は免れない。

(2) Optically compensated bend (OCB 方式)<sup>16-20)</sup>

基本的概念としては、図8(a), (b)に示すように、一軸性の位相差フィルムの光軸を互いに直交させて3枚重ねれば3次元の光学補償ができるという考え方から出発している。このうちの下2枚のフィルムを図8(c)のように光学的にはほぼ等価のベンド配向の液晶セルに置き換えることに

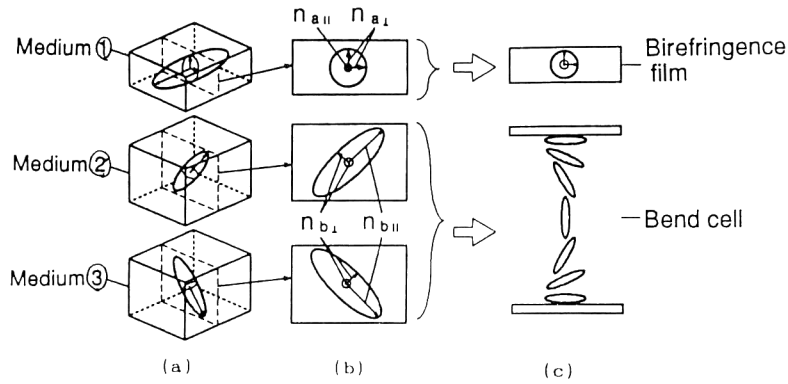


図8 OCB方式の補償原理。(a)3枚の1軸性フィルムの屈折率の楕円体，(b)1軸性フィルムの断面，(c)下2枚のフィルムをバンド配向液晶セルに置き換えたもの。

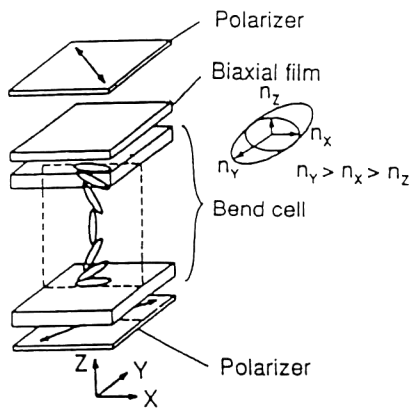


図9 OCB方式の構成。

よって広視野角の液晶ディスプレイが実現できる。このバンドセルは Bos らが最初に  $\pi$ セルの名前で提案したものと同一である<sup>21)</sup>。当初の用途は on, off の2状態におけるリターデーションの変化を利用して2色の切り替えが可能なカラーフィルターを構成し、白黒のオシロスコープをマルチカラー化するものであった。すなわち、オシロスコープの CRT (cathode ray tube) の前に偏光子で挟んだ  $\pi$ セルを置き、 $\pi$ セルで2色を高速に切り替えると同時に、それと同期させて CRT で白黒画像を表示し、時分割でマルチカラー画像を得るものであった。配向の対称性がよいためにこの  $\pi$ セルだけでもかなり視角特性がよいことが知られている。しかし、off 状態が長く続くとバンド配向からスプレッド配向に戻ってしまうので、常に on, off を繰り返さなければならないものと考えられていた。筆者らはこの  $\pi$ セルを単なる on, off の切り替えによるカラーフィルターではなく、それ自体で中間調画像を表示する LCD として使えないかと考え、このセルの分子配向のエネルギーと安定性、光学特性を理論的に解析した。その結果、ある臨界電圧以上で用いれば配向の安定性が保証され、中間調が安

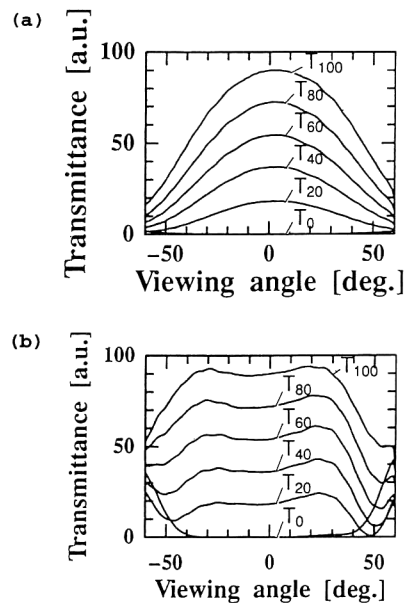


図10 OCB方式の視角特性。(a) XZ面方位，(b) YZ面方位。

定に表示できることを明らかにした。また、臨界電圧以上では図8(c)の3次元補償条件が若干崩れるため、一番上の1軸性フィルムは2軸性フィルムに置き換えて最適設計しなければならないことを明らかにした。

この補償条件でセルを設計し、図9のように直交偏光子で挟むと黒レベルの視野角を著しく広げることができる。視角特性の結果を図10に示す。水平方位(XZ面方位)では $\pm 80^\circ$ 以上、垂直方位(YZ面方位)では $\pm 40^\circ$ 以上で黒レベルの光漏れがないことがわかる(垂直方位の視角依存性が狭い理由は2章で述べる)。また、透過率の最大値は偏光子の吸収を除けば、TNセルと同様にほぼ100%を得ることができる。さらに、光学補償条件の選択によって、黒レベルを低電圧側、高電圧側のいずれに設定することもできる。

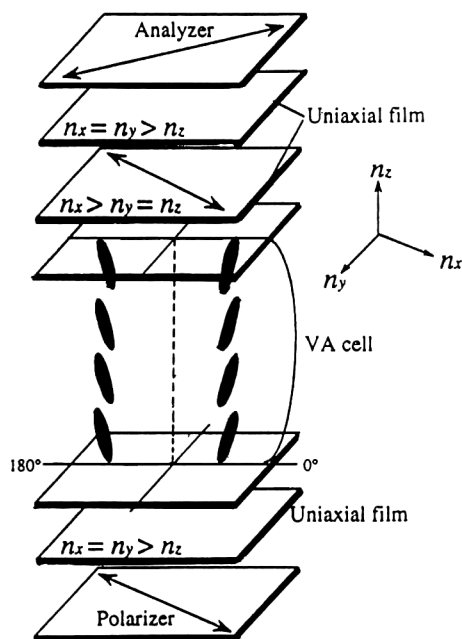


図11 VA方式.

### (3) Vertically aligned (VA)方式<sup>22)</sup>

負の誘電異方性をもつネマティック液晶 (Nn型液晶) を垂直配向させることによって、電界印加状態でリターデーションをゼロとし、完全な黒状態を得られる方式である。黒状態の視野角を広げるために複屈折の光学補償を行っている。また電界を印加して分子を傾斜させ、中間調を表示したときの視角に対する非対称性をなくすために、前項で述べたような画素分割方式を採用している (図11参照)。これによって、全方位にわたって非常に広い視角特性を達成した。

### 1.4 In-plane switching (IPS)方式<sup>23,24)</sup>

IPS方式は図12に示すように、一対の電極を片側の基板上に設けて基板に平行な方向に電界を印加するものである。これによって、液晶分子は基板に平行な面内で方位を変化させることになる。従来のネマティック液晶による表示方式ではいずれも基板に垂直方向の電界を印加して分子を起きあがらせていたのに対して、IPS方式では分子配向が大きく異なっている。Off状態では分子の配向方向を直交偏光子のいずれかの偏光方向と一致させておき、電界を印加した状態では約 $45^\circ$ ずれるようにしてある。したがって、off状態では常光あるいは異常光のいずれかが存在しないために、入射偏光の回転が起きず良好な黒レベルが得られる。また、on状態でも分子の起きあがりがないために、一般には視角依存性がきわめて小さい。

なお、電界を基板に平行にしたことによって表面配向力の及ぶ方向 (面に垂直方向) と電界の配向力が互いに補

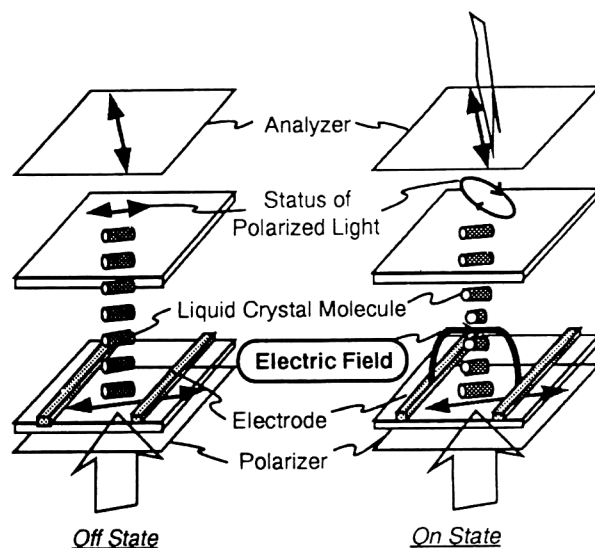


図12 IPS方式<sup>23)</sup>.

償しなくなったため、セルギャップ等の均一性に高い精度が要求されることとなった。また印加電圧を通常のLCDなみに低く抑えるためには電極間隔を狭くしなければならないが、そのために電極の占める比率が高くなり、有効表示面積 (開口率) が低くなった。前者の問題は製造上の問題であり、いずれ解決されるものと思われる。また、後者の問題は強力なバックライトを用いれば解消するので、ノートパソコンなど携帯情報機器への用途には難しいが、モニター用ディスプレイなどには適している。

## 2. 各種の表示方式の比較

### 2.1 視野角

一般に、まず黒レベルの視野角を広くすることがコントラスト低下を抑えるのに有効である。この黒レベルの光漏れは1.3節で述べたように一般に複屈折効果による。したがってこれを抑えるには3次元の光学補償を行う必要があるが、このためにはなるべく単純な分子配向であることが望ましい。

たとえば、VA方式はoff状態が単純な垂直配向であるため正面方向は光学異方性が生じず、光漏れがなくなる。また、斜め方向については光学異方性が負で光軸が表面に垂直な位相差フィルムで補償している。しかし電圧を印加してセル中央付近の分子を傾斜させると光学補償が崩れるとともに、視角に対する非対称性が生じることになる。そこでこの対策として、画素分割法で非対称性を平均化している。このために視野角の点では最も良好な特性を示すといわれている。

IPS方式は平行配向であるが、off状態で分子の配向方向を偏光軸と一致させてあるため、そのまま3次元的に

位相差が生じない。したがって、この場合も黒レベルの視野角が著しく広がる。しかし電圧を印加して分子を偏光子に対して  $45^\circ$  回転させたとき、リターデーションが発生しそれが視角によって若干変化する。このために特定の方向で透過率の視角依存性がかなり顕著に現れる。この対策として電極をジグザグ形にするなどの方法によって改善が試みられている。

Discotic 液晶で補償したノーマリーホワイト (NW) の TN 方式の場合、on 状態で黒を実現している。この状態では表面からバルクに向かって平行配向から徐々に起きあがり、2 枚の基板表面ではその方向が直交しているという複雑な配向構造をとっている。そこで 1.3 (1) 項で述べたように、これとほぼ同じ配向をもつ discotic 液晶フィルムをセルの両側に重ねることによって光学異方性が対称構造となり、これによってほぼ完全な補償が行われる。しかし、中間調から白レベルでは補償条件が崩れ、このために非対称性が現れるとともに視野角に影響を及ぼすことになることは前述のとおりである。

OCB 方式では、良好な黒レベルが得られるように、ベンド配向状態に特定の電圧を印加したときの分子配向に対して 2 軸性位相差フィルムを用いて、3 次元的に光学補償されるように設計されている。これによって分子のベンド配向面に平行な方位ではきわめて広い視角範囲で光漏れがない。しかしベンド配向面と直交する方位では  $\pm 40^\circ$  程度から黒レベルの光漏れが発生する。これは、両側の基板付近に存在する傾斜配向状態の液晶分子を斜めから観察すると実効的にねじれが存在するように見えるため、2 軸性位相差フィルムでは補償しきれないことによるものである。一方、電圧を印加して中間調や白レベルに変化させた場合、光学補償は崩れるが、ベンド配向の対称性は崩れないため正面から  $\pm 40^\circ$  程度の視角まで透過率の変化の少ない良好な特性が得られる。このような特性を利用して、プリズムシートで入射光の角度を  $\pm 40^\circ$  程度に絞り、セル透過後に再び拡散させると、視野角を大幅に改善することができる<sup>20)</sup>。たとえば、視野角が  $\pm 40^\circ$  に制約されていた上述のパネルを  $50\sim 60^\circ$  まで拡大することができる。この方法が有効に機能するのは、ベンド配向の対称性がよく、ある角度まで (たとえば上述のパネルでは  $\pm 40^\circ$  程度まで) ほとんど視角依存性がないためである。

また別の方法として、discotic 液晶フィルムで TN 方式の場合と同様な補償を行えば、ベンド配向面に垂直な方位でも広視野角が得られることが最近明らかにされている<sup>15)</sup>。

## 2.2 応答速度

応答速度は一般に黒レベルと白レベルの間でスイッチングした場合の値で示される場合が多いが、中間調を表示する LCD では中間調の応答速度も重要である。中間調によっては極端に遅くなる場合があるためである。一般にスイッチング前後の電圧  $V_s$ 、 $V_f$  のうち、主として  $V_f$  に依存し、これが高電圧ほど速くなる傾向がある。しかし、 $V_f$  がかなり低くなると  $V_s$  にも依存するようになり、 $V_s$  が低いと応答はさらに遅くなる。したがって off 状態で黒を表示する方式は応答速度の点では不利である。この点で黒レベルから白レベルの電圧を位相差フィルムの選択によって自由に設定できる OCB 方式は有利である。この選択を適当に行うことによって、TN 方式、IPS 方式、VA 方式などと比べて 10 倍以上の高速動作が可能となり、動画表示用としてはきわめて有力である<sup>19)</sup>。

最近筆者らはこの OCB 方式の応答速度をさらに改善して約  $1\sim 3.5$  ms (スイッチング前後の中間調に依存する) を達成し、フィールドシーケンシャル型のフルカラー LCD を実現した<sup>25)</sup>。これは赤、青、緑の光源を高速に切り替え、これと同期させて液晶で白黒の画像を表示するものである。これによってカラーフィルターが不要となること、そのために透過率が約 5 倍向上すること、同じ表示容量で画素数と駆動用 IC の数が  $1/3$  に減少することなど多くのメリットが得られる。

LCD の広視野角化のための基本的な考え方といくつかの方式を概説した。原理の異なる種々の方式が提案されており、実用的にはほとんど問題がない程度まで改善されている。広く普及されるためには、表示品位はもちろん、製造の容易さ、コスト、安定性、新しい材料の開発などの多くのファクターが影響してくる。したがって、どの方式が有力な方式となるかはもう少し時間をかけてみていく必要がある。しかし、いずれにせよ LCD の最大の問題のひとつであった視角の問題が解決されつつあることは確かである。あわせて応答速度の問題も解決されつつあり、情報表示ディスプレイとしては性能に関する限りほぼ完全に要求を満足しているように思われる。残された問題はコストと大型化であるが、これについては製造プロセスを根本的に見直し、飛躍的な簡素化を図るような新しい概念の創出が必要であろう。

## 文 献

- 1) G. H. Heilmeyer and L.A. Zanoni: Appl. Phys. Lett., **13** (1968) 91.

- 2) T. Uchida and M. Wada: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **63** (1981) 19.
- 3) Y. Ugai, Y. Murakami, J. Tamamura and S. Aoki: *Soc. Inf. Disp. (SID) Symp. Dig.* (1984) p. 308.
- 4) T. Uchida, T. Katagishi, M. Onodera and Y. Shibata: *Trans. IEEE, Electron Devices*, **ED-33** (1986) 1207.
- 5) K. Tadokoro, T. Koizumi and T. Uchida: *Proc. SID*, **29** (1988) p. 151.
- 6) T. Koizumi and T. Uchida: *Proc. SID*, **29** (1988) p. 157.
- 7) S. Mitsui, Y. Shimada, K. Yamamoto, T. Takamatsu, N. Kimura, S. Kozaki, S. Ogawa, H. Morimoto, M. Matsuura, M. Ishii, K. Awane and T. Uchida: *SID Symp. Dig.* (1992) p. 437.
- 8) K. R. Sarma, H. Franklin, M. Johnson, K. Frost and A. Bernot: *SID Symp. Dig.* (1989) p. 148.
- 9) K. R. Samura, R.I. McCarthney, B. Heinze, S. Aoki, Y. Ugai, T. Sunata and T. Inada: *SID Symp. Dig.* (1991) p. 555.
- 10) T. Sunata, T. Inada, T. Nakagawa, Y. Matsushita, Y. Ugai and S. Aoki: *Conf. Rec. of Int. Disp. Res. Conf.* (1991) p. 255; T. Nakagawa, T. Inada, T. Sunata, Y. Matsushita, Y. Ugai and S. Aoki: *Proc. Japan Display* (1992) p. 887.
- 11) K. H. Yang: *Conf. Rec. of Int. Disp. Res. Conf.* (1991) p. 68.
- 12) Y. Koike, T. Kamada, K. Okamoto, M. Ohashi, I. Tomita and M. Okabe: *SID Symp. Dig.* (1992) p. 798.
- 13) T. Kamada, Y. Koike, S. Tsuyuki, A. Takeda and K. Okamoto: *Proc. Japan Display* (1992) p. 886.
- 14) K. Takatori, K. Sumiyoshi, Y. Hirai and S. Kaneko: *Proc. Japan Display* (1992) p. 591.
- 15) H. Mori, Y. Itoh, Y. Nishiura, T. Nakamura and Y. Shinagawa: *SID Symp. Dig.* (1997) p. 941.
- 16) Y. Yamaguchi, T. Miyashita and T. Uchida: *SID Symp. Dig.* (1993) p. 277.
- 17) T. Miyashita, P. Vetter, M. Suzuki, Y. Yamaguchi and T. Uchida: *Eurodisplay Conf. Proc.* (1993) p. 149; *J. SID*, **3** (1995) 29.
- 18) C-L. Kuo, T. Miyashita, M. Suzuki and T. Uchida: *SID Symp. Dig.* (1994) p. 927; *Jpn. J. Appl. Phys.*, **34** (1995) L1362; *Appl. Phys. Lett.*, **68** (1996) 1461.
- 19) T. Miyashita and T. Uchida: *The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE) Trans. Electron.*, E79E-C (1996) p. 1076.
- 20) T. Miyashita and T. Uchida: *Dig. of Tech. Paper, AM-LCD* (active matrix-liquid crystal display) (1996) p. 181.
- 21) P. J. Bos, P. A. Johnson, Jr. and K. R. Koehler/Beran: *SID Symp. Dig.* (1983) p. 30.
- 22) K. Ohmuro, S. Kataoka, T. Sasaki and Y. Koike: *SID Symp. Dig.* (1997) p. 845.
- 23) M. Oh-e, M. Ohta, S. Aratani and K. Kondo: *Proc. Asia Display* (1995) p. 577.
- 24) M. Ohta, M. Oh-e and K. Kondo: *Asia Display* (1995) p. 707.
- 25) T. Uchida, K. Saitoh, T. Miyashita and M. Suzuki: *Rec. of Int. Disp. Res. Conf.* (1997) p. 37.

(1997年11月11日受理)