

高コントラスト・広視野角IPS液晶ディスプレイの開発

High-Contrast, Wide-Viewing-Angle Liquid Crystal Display with In-Plane Switching Mode

宮崎 香織*

Kaori Miyazaki

業務用モニタにおいて、広視野角と高コントラスト比の両立が望まれている。IPS (In-Plane Switching) 液晶の特徴である広視野角を確保しつつ、材料・プロセス・構造の変更により、高コントラスト比を実現した液晶ディスプレイを開発したので、本稿にて解説する。

Both high-contrast and a wide-viewing-angle are desired for business monitors. We have succeeded in improving the contrast ratio in In-Plane Switching (IPS) mode, which has a wide-viewing-angle, by changing materials, processes, and structures.

1. ディスプレイへの要求事項

液晶ディスプレイで表示する黒を黒らしく見せるには、黒輝度と照明によるディスプレイ表面の反射輝度の和を、周囲にある黒い物質の反射輝度と比較して、違和感を覚えない程度に沈ませる必要がある。

1つの指標として、JIS Z 9110:2010照明基準総則で規定される推奨照度、液晶ディスプレイの表面反射率、テレビ (以下TVと記す) やVDT (Visual Display Terminal) 用の汎用モニタの白輝度を用いて概算すると、液晶ディスプレイの白黒コントラスト (以下CRと記す) 比は1600:1以上あることが望ましいという結論を得る。

その一方で、放送・映像制作業界はリアリティ追求の観点から、医療業界は診断精度向上の観点から、高輝度かつ超高CRのモニタの方が、職務上望ましい。このため、放送・映像に関わる規格ではCR20万:1以上[1]を、医療機器に関わる規格ではCR約8万:1[2]を要求している。

IPS (In-Plane Switching) 液晶は、液晶分子を基板面に対し水平に配列させる液晶モードである。この結果、IPS液晶は、複数人での映像確認に適した、広い視野角を誇る一方で、正面視のCRが低いという問題をもつ。従ってIPS液晶ディスプレイが、表示性能で顧客満足を得るには、CRの向上が必要となる。そこでIPS液晶ディスプレイの材料やプロセスの変更でCR1600:1以上の達成を、構造の変更でCR20万:1以上の達成を目指した。

2. IPS液晶のCR向上

IPS液晶のCRを向上すべく、液晶ディスプレイの黒透過率の低減と白透過率の向上に取り組んだ。

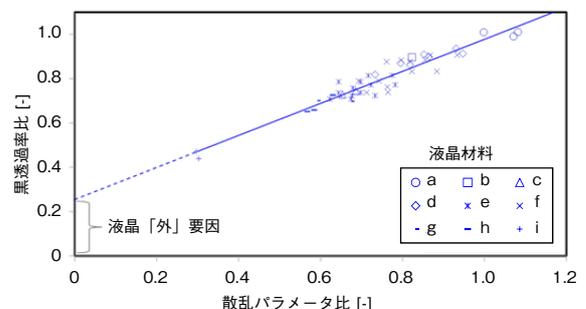
2.1 液晶ディスプレイの黒透過率の増減要因

液晶ディスプレイの黒透過率は、偏光板の偏光度、色レジストのレイリー散乱、液晶分子の熱擾乱 (じょうらん)、偏光板や配向膜の軸ずれ、画素の開口率によって増減する。これらの項目のうち、偏光板の偏光度と色レジストのレイリー散乱は、偏光板と液晶配向の軸が理想配置となった場合における、光漏れに寄与する。そのため液晶モード不問の検討項目として、各部材メーカーが改善に取り組んでいる。

一方、液晶分子の熱擾乱と各種軸ずれは、理想的な軸配置からのずれであり、黒より明るい階調域に対応した偏光成分を、局所的な時間や空間に発生させる。IPS液晶は、液晶分子が基板に水平に配置しているため、黒透過率に対する本成分の寄与率が非常に高い。そのため、液晶分子の熱擾乱と配向軸ずれによる光漏れの抑制は、IPS液晶の黒透過率低減における、最重要課題となる。

2.2 液晶分子の熱擾乱による光漏れの低減

液晶起因の光漏れ低減用の設計指標を得るため、液晶層を透過する光散乱の理論式[1]を、液晶材料と液晶層厚を変更したTV用IPS液晶ディスプレイで検証した。



第1図 黒透過率の散乱パラメータ依存

Fig. 1 Relationship between luminance in the black level and scattering parameters

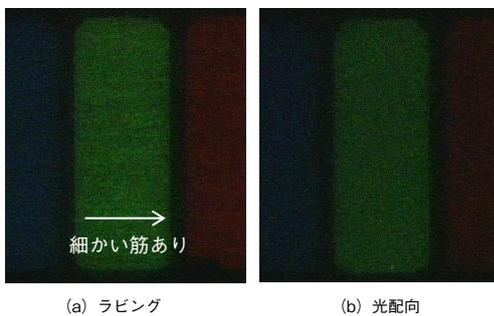
* パナソニック液晶ディスプレイ (株)
Panasonic Liquid Crystal Display Co., Ltd.

液晶層を透過する光の散乱要因の理論式[3]を元に定義した散乱パラメータ^(注1)と、液晶ディスプレイの黒透過率の実測値の相関を第1図に示す。液晶ディスプレイの黒透過率と散乱パラメータの間に、線形の定量式を得られたので、本相関を用いて液晶材料を選定し、液晶起因の光漏れを低減した。

2.3 配向軸ずれによる光漏れの低減

液晶分子の配向は、液晶と基板の境界に形成された膜（配向膜）の表面状態の影響を強く受ける。このため、配向膜の表面状態を形成する処理（配向処理）が、液晶分子の配向軸ずれ、ひいては、IPS液晶の黒透過率に直結する。配向膜の配向処理方法は、ラビングと光配向に大別される。ラビングは配向膜を布で直接こすするため、布自体の毛先の乱れや、基板の段差部での毛先の乱れによる、配向軸の局所的なずれが避けられない。その一方で、光照射は、光源偏光分布の制御により面内均一性を改善できる。さらに光源のコリメート光化で、基板の段差の影響を回避できる。

黒表示画素の光漏れ分布を、第2図で示す。



第2図 黒表示画素の光学顕微鏡写真

Fig. 2 Light leakage of panels fabricated by rubbing and photo-alignment process in the black level

(注1) 散乱パラメータは下式で定義した。

$$(\text{散乱パラメータ}) = \frac{\{\Delta n \cdot (n_e + n_o)\}^2}{K_{ave}} d \cdot \frac{T}{\left(\frac{2\pi\Delta n}{\lambda}\right)^2 + \frac{2}{bd}}$$

n_e : 液晶の異常屈折率

n_o : 液晶の正常屈折率

$\Delta n = n_e - n_o$

K_{ave} : 液晶の弾性定数の平均値

d : 液晶層の層厚

T : パネルの絶対温度

λ : 入射光の波長 (546 nm)

b : 定数

ラビング処理品と同等以上の初期特性と信頼性を有する材料とプロセスを立ち上げたうえで、配向処理方法をラビングから光配向にすることで、配向ずれによる細かい筋状の光漏れをなくした。本技術の確立により、光配向TVの量産化を、世界に先駆けて実現した[4]。

2.4 液晶ディスプレイの白透過率の増減要因

液晶の白透過率は、偏光板や各構成膜の透過率、液晶層による位相差変化量、画素の開口率によって増減する。

これらの項目のうち、偏光板や各構成膜の透過率は、白にも黒にも寄与するため、CR改善への寄与率は低い。

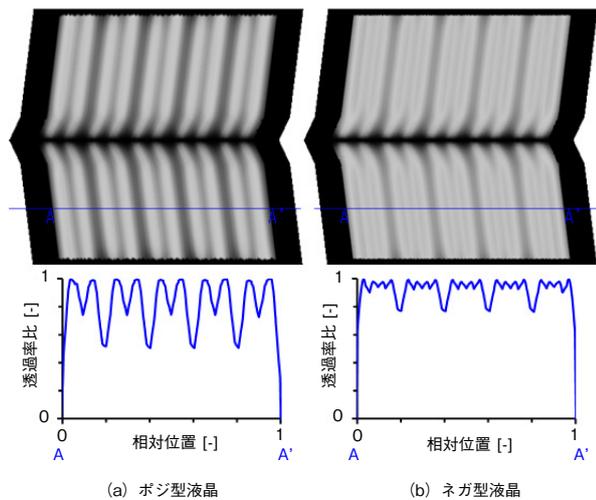
一方、液晶分子は電界分布に応じて配向方向を変える。このため、電圧無印加時の液晶配向分布は画素電極上で一様だが、電圧印加時は電極パターンに応じて変わる。従って、画素電極を透明電極で形成した場合、画素内に黒透過率には寄与するが、白透過率への寄与が少ない領域（以下、低透過領域と記す）が発生し、CRを低減させる。

低透過領域を低減するには、画素電極の形状や配置を含めた画素設計と、液晶分子の物性値調整が必要となる。特にIPS液晶は、基板と水平な方向内の液晶分子の回転により、上偏光板を透過する楕円（だえん）偏光を生成するため、基板と垂直な方向に液晶分子が変形した箇所が、低透過領域となる。

2.5 ネガ液晶適用による低透過領域低減

電界方向に沿って液晶分子が回転するポジ型液晶を用いている限り、画素設計や物性調整による変形抑制の効果は低い。その一方で、電界方向と垂直方向に液晶分子が回転するネガ型液晶は、ポジ型液晶と比較して、液晶応答が遅いという問題と、一般的なラビング配向膜との組み合わせで、表示画像の焼き付けを起こしやすいという問題をもつ。当社では、信頼性の高い光配向膜を量産化していたことから、ネガ型液晶の導入を検討した。

第3図に、要素有限法で計算した、ポジ型液晶とネガ型液晶の画素内の透過率面内分布を示す。ポジ型液晶からネガ型液晶への変更により、液晶分子の垂直方向への変形が抑制され、櫛（くし）歯電極の中央や、櫛歯電極間の中央の透過率が上昇する。この結果、画素全体の白透過率ひいてはCRが1割程度上昇した。実機でも同様の効果を得たうえで、当社の光配向膜との組み合わせによる、ネガ型液晶焼き付けの抑制も確認した。これらの結果から、応答速度の優先順位が低い製品に対して、ネガ型液晶を適用し、白透過率とCRを上げた。

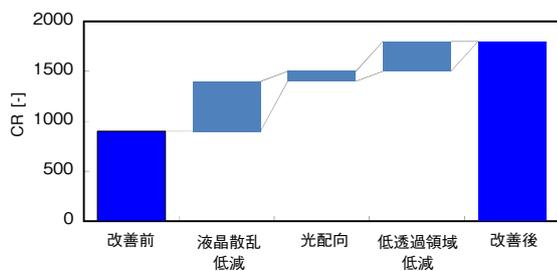


第3図 透過率面内分布およびA-A'断面透過率分布
Fig. 3 Transmittance distribution in pixels

2.6 CR改善効果

IPS液晶ディスプレイのCR改善効果を第4図にまとめる。第4図の項目のうち、低透過領域の低減は、画素設計を始めとする、ネガ型液晶導入以外の対策も含む。

黒透過率の低減と、白透過率の向上により、IPS液晶ディスプレイのCRを、当初目標の1600:1を上回る、1800:1まで改善した。この値は、当初値の約2倍に相当する。



第4図 CR改善効果
Fig. 4 Improvement effect of CR

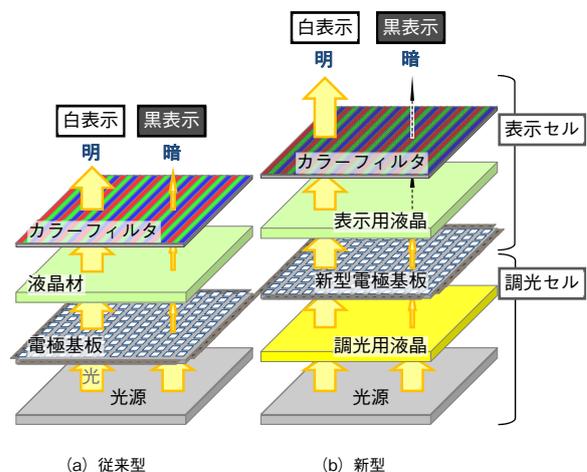
3. 超高CRディスプレイの展望

放送・映画業界で、2015年頃から普及が進んでいるHDR（High Dynamic Range）技術が、2016年7月にITU-R（International Telecommunication Union Radiocommunications Sector）勧告BT.（Broadcasting service (television)）2100にて国際標準化された[1]。この勧告の輝度規格を満足する映像を制作する場合は、最低でも20万:1のCRをもつモニターが必要となる。

一方、医療業界では、内視鏡や超音波診断、さらに電

子ファイル化された放射線写真の確認において、モニターが必須ツールとなっている。モニター性能が、モニターでの診断精度の上限となるため、レントゲンフィルムと同等以上の高精細・高CRをもつことが望ましい。

第5図に、従来型および新型の液晶セル構造を示す。新型セルの基本構造は、光源の調光機能に特化した調光セルと、表示画像を生成する表示セルを組み合わせたハイブリッドセルであり、理想的には、調光セルのCRと表示セルのCRを掛け合わせた値が、ハイブリッドセルのCRとなる。



第5図 セル構造概略
Fig. 5 Display structure images

本構造の新型セルを立ち上げることにより、人間の目の視認限界に漸近する100万:1のCRを達成した。この高CR・広視野角IPS液晶ディスプレイが、放送・映像制作・医療業界の一助となれば幸いである。

参考文献

- [1] Recommendation ITU-R BT.2100-0, 2016.
- [2] The DICOM Standard, DICOM Part14 (DICOM PS3.14 2017b), 2017.
- [3] M. Yoneya et al., "Depolarized light scattering from liquid crystals as a factor for black level leakage in liquid-crystal displays," J. Appl. Phys., vol. 98, no. 1, p. 016106, 2005.
- [4] H. Matsukawa et al., "The world's first photo-aligned IPS-LCDs for a TV use," Pro. IDW/AD'12, pp. 1581-1584, 2012.