

コントラスト比100万対1を実現する液晶ディスプレイ技術

Liquid Crystal Display Technology for Realizing Contrast Ratio of 1 million to 1

菊池 克浩
Katsuhiko Kikuchi

要 旨

医療や放送に代表される産業用途向けのディスプレイではLCD (Liquid Crystal Display) の高コントラスト化が望まれている。筆者らは、これまでに開発した広視野角を特長とするIPS (In-Plane Switching) -LCD技術をベースに、新たに、2層構造、材料、駆動技術をそれぞれ開発することにより、100万:1のコントラストを実現する新型IPS-LCDを開発した。この新型IPS-LCDは、正面のコントラストだけでなく、極角50°でコントラスト20万:1とする超広視野角であり、さらには低階調での色再現性にも優れる特長をもつことから、忠実な画像再現が要求される医療、放送用途に最適なディスプレイと考える。

Abstract

Realization of Liquid Crystal Display (LCD) with a high contrast ratio is desired for industrial applications such as medicine and broadcasting. We have successfully developed a new In-Plane Switching (IPS)-LCD which achieved an extremely high contrast ratio of 1 000 000:1 by developing a new dual structure, material and driving method based on the conventional IPS-LCD technology. The developed IPS-LCD has a high contrast ratio not only at the normal direction but also at 50° polar angle with a contrast ratio of 200 000:1 since it inherits the superior characteristics of wide viewing angle from conventional IPS-LCDs. Moreover, it has excellent color reproducibility at gray level. Thus, the new IPS-LCD is suitable for medical and broadcasting applications where faithful image display is required.

1. はじめに

LCD (Liquid Crystal Display) は、低電力、高品位、長寿命、低コストの特長から、近年、テレビやスマートフォンに代表されるコンシューマ用途から医療、放送に代表される産業用途にまで幅広く使用されている。特に、医療や放送用途においては、忠実な画像再現が重要視されることから、広視野角の特長を有するIPS (In-Plane Switching) モードのLCDが多く使用されている。

ディスプレイに要求される性能は、用途において異なり、近年、用途ごとに性能指針が示されるようになってきている。具体的には、放送・映画業界では、HDR (High Dynamic Range) 技術がITU-R (International Telecommunication Union Radio-communications Sector) BT.2100にて国際標準化され[1]、医療業界では、医療画像機器のためのネットワーク規格としてDICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) [2]が制定されている。これらの規格は共通して、現状のLCDでは達成が難しいとされている高いCR (Contrast Ratio) が要求されている。具体的には、BT.2100では、ピーク輝度1000 cd/m²以上、最小輝度0.005 cd/m²以下が要求されていることから、ディスプレイのCRは20万:1が必要であり、DICOM規格においては、診断画像の見え方がディスプレイに依存しないようにグレースケール標準関数が最大輝度4000 cd/m²、

最小輝度0.05 cd/m²の間と定められていることから、ディスプレイのCRは8万:1が必要となる。

このような非常に高いCRを実現するディスプレイとしては、自発光型であるOLED (Organic Light Emitting Diode) が候補として挙げられるが、OLEDは焼き付きや信頼性の課題を抱えている。したがって、あらゆるシーンで長期的に安定した画像表示が要求される産業用途においては、高信頼性、広視野角の特長をもつIPS-LCDでの高CR化が望まれている。

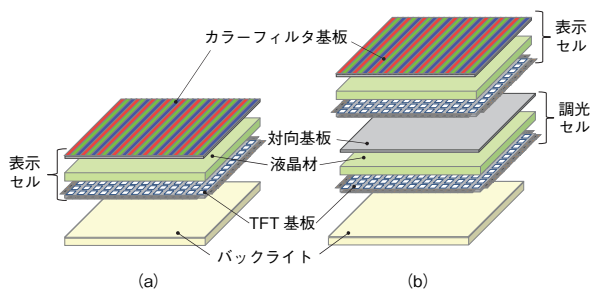
筆者らは、これまで業界に先駆けてIPS-LCDの開発を推進しており、CRにおいてもIPS-LCDとしては業界トップクラスの1800:1を実現している[3]-[6]。しかしながら、前述した規格を満足するためには、現状から2桁以上のCR向上が必要であり、これまでの延長線上にはない新たな技術の進化が必要となる。

本稿では、上述した背景のもとに新規で開発した100万:1以上のCRを実現する新型IPS-LCDについて、その構造およびこれを実現した要素技術について説明するとともに、本技術を用いた試作機の仕様、特長を紹介する。

2. 2層構造技術

2.1 基本構造

従来のLCDは、第1図 (a) に示すように、バックライ



第1図 従来IPS-LCD (a) と新型IPS-LCD (b) の構造

Fig. 1 Structures of (a) a conventional IPS-LCD and (b) new IPS-LCD

ト上に、画像を表示させるためのLCD（以下、表示セル）が配置された構造をとる。表示セルは、配線やTFT（Thin Film Transistor）が形成された基板と色を表示するためのカラーフィルタが形成された基板の間に液晶材料が充填された構造からなる。

一方で、開発した新型IPS-LCDは、第1図 (b) に示すとおり、従来構造の表示セルとバックライトの間に、モノクロのLCD（以下、調光セル）が組み込まれた構造をとる。通常、ディスプレイに画像を表示するためには、絵素ごとに表示する色と光の強度を決める必要があり、従来LCDではこの2つを1つのLCDで行っているが、開発した新型IPS-LCDでは、光の強度については、表示セルと調光セルの2つのLCDで決定する構造とした。これにより、調光セルはカラーフィルタを取り除くことが可能となり、不要な透過率低下を抑制できる。また、2つのLCDを使用することにより、最終的に観察者に視認されるLCDとしてのCRは、おおよそ表示セルと調光セルのそれぞれのCRを掛け合わせた値となるため、従来LCDと比較して飛躍的に高いCRを得ることができる。

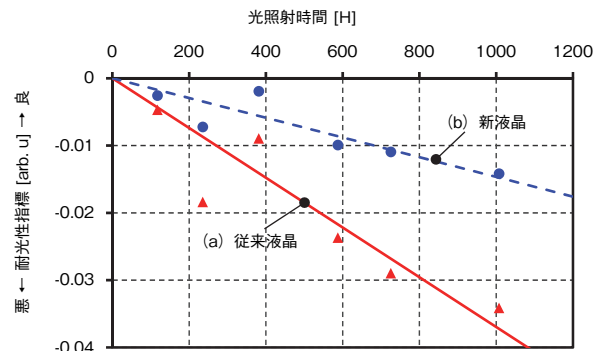
このような2層方式による高CR化のアイデアは過去にも報告されているが[7][8]、事業化における技術的な課題が存在したために、これまでに実用化はされていない。次節では、本構造を実用化するうえでの課題とそれを解決するために新たに開発した要素技術の内容について説明する。

2.2 長期信頼性（耐光性）

本構造は、前述したように、調光セルは、調光機能に特化しカラーフィルタを用いない構造としたことや、これまでに培った光配向技術を採用することで、透過率が最大となるような設計としている。しかしながら、それでも調光セルを構成する他の光学部材が追加されることにより、原理的に調光セルの透過率を100%とすることは不可能であり、従来LCDに比べると、バックライト光の利用効率は必ず低下する。このことから、従来LCD

と同じ表面輝度を得るためには、本構造では従来よりも高い光強度をもつバックライトが必要となる。このとき、調光セルには、従来に比べて強い光が入射することになるので、既存の液晶材料では耐光性が不十分なことから、长期使用により液晶の物性値が変化し、液晶パネルを通る光の透過率が低下してしまう。

この課題に対して、筆者らは、本構造向けに新たに耐光性を向上するべく、既存の液晶材料を構成する各種成分を見直した新機液晶材料を開発した。第2図は従来の液晶材料と新液晶材料の耐光性を示したグラフであり、バックライトの光が照射され続けたときの液晶材料の耐光性を示す指標の初期からの変化量を示している。グラフから、(a) 従来の液晶材料では照射時間の経過とともに指標が大きく低下しているが、一方で、開発した液晶材料は (b) に示すとおり、照射時間の経過による指標の低下、変化が小さく、従来液晶材料に対して2倍以上の耐光性が実現されている。この新液晶の採用により、本構造の実用化に耐えうる信頼性を確保した。



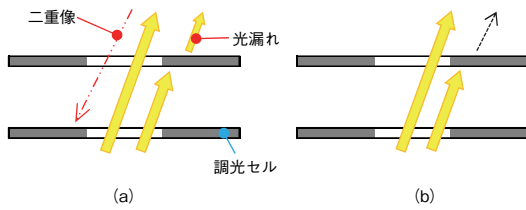
第2図 バックライト照射時の液晶の耐光性指標値

Fig. 2 Light resistivity of liquid crystal material at back-light ray irradiation

2.3 画像表示品質

本構造では、2つのLCDそれぞれがガラスや偏光板といった部材で構成されることから、2つのLCDの表示面には物理的な距離が存在し、それに起因した画像の品質不具合が大きく2つ生じる。

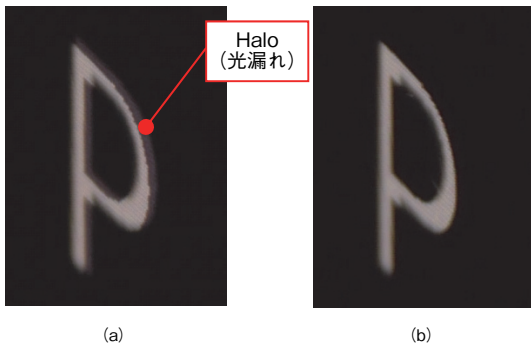
その1つが、本来の表示パターンの上に薄く白いパターンが視認されるHaloと呼ばれる現象であり、調光セルの表示パターン漏れに起因する不具合である。Haloの原理は、第3図 (a) に示すとおり、本構造を斜めから視認する場合、調光セルの明画素を通った光が表示画素の黒表示部を通ることになる。このとき、表示セルに黒表示時の視野角特性(CR視野角特性)が悪いLCDを用いると、調光セルから入射した光が漏れてしまうため、Haloと呼ばれる現象として視認される。したがって、表示セルに



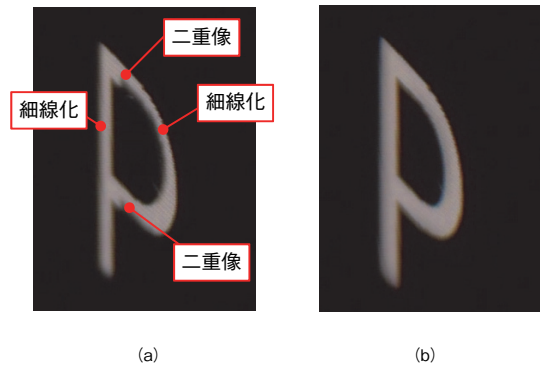
第3図 表示セルに (a) 狭視野角, (b) 広視野角のLCDを用いた2層構造におけるHalo現象と二重像の原理図
 Fig. 3 Halo mechanism and double image of dual-cell structure using the display cell with (a) narrow and (b) wide viewing angle cell

はCR視野角特性の優れたLCDを用いる必要があり, これにより第3図 (b) に示すように, Haloの抑制が可能になると考えられる. 第4図 (a) は, 表示セルに狭い視野角特性のLCDを用いた構造において, アルファベットの”P”を表示させ, 斜めから観察したときの写真である. 具体的な表示セルのCRは, おおよそ写真撮影方向である極角45°, 方位角45°で40の値である. このCR値では, 写真に示されるように, 本来表示している”P”の外枠に調光セルのパターンが漏れ, Haloとして視認されてしまう. 一方, 第4図 (b) は, 表示セルに筆者らがこれまで培った広視野角特性の特長を有する光配向IPS-LCDを採用した構造での写真である. ここで使用した光配向IPS-LCDのCRは極角45°, 方位角45°で366の値であり, 第4図 (a) で使用した表示セルの約9倍の特性をもつ. したがって, 黒表示部から漏れてくる光は約1/9未満に低減されており, この結果, Haloが視認できないレベルにまで抑制されていることが確認できる. このことから表示セルには広視野角の特長を有するIPS-LCDが最適といえる.

2つ目の不具合は, 二重像である. 第5図 (a) は第4図 (b) と同じ写真であるが, 二重像や明線が細くなる画

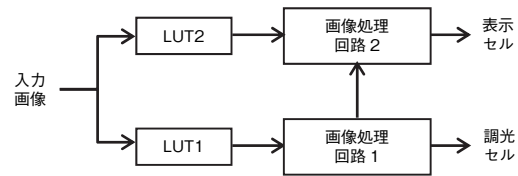


第4図 表示セルに(a)狭視野角LCD, (b)広視野角IPS-LCDを用いた2層構造セルにPを表示した様子
 Fig. 4 Typical images of letter “P” displayed on dual-cell structure using the display cell with (a) narrow and (b) wide viewing angle IPS-LCD



第5図 表示セルに広視野角IPS-LCDを用いた2層構造セルにPを表示し, (a) 画像処理適応前, (b) 画像処理適応後の様子
 Fig. 5 Typical images of letter “P” displayed on dual-cell structure using the display cell with wide viewing angle IPS-LCD (a) before and (b) after applying the image processing algorithm

像破綻が依然として残っていることがわかる. これは, 第3図 (a) に示したとおり, 表示セルの明画素を通して調光セルの暗画素が見えているためにおこる不具合であり, この課題を対策するために, 第6図に示す画像処理アルゴリズムを開発した.



第6図 画像処理アルゴリズムのブロック図
 Fig. 6 Block diagram of the image processing algorithm

入力画像は, 調光セル, 表示セルのそれぞれLUT (Look Up Table) 1, 2を通して, それぞれ階調が変換される. このとき, LUT1にて変換された調光セルの γ 値を γ_a とすると, LUT2にて変換される γ 値は $2.2 - \gamma_a$ の関係にある. 本構成における調光セルと表示セルの合成 γ 値は, それぞれの γ 値の足し算により決まることから, 合成された γ 値は元の2.2となる. 階調変換後, まずは調光セルについて, 二重像を抑制する画像が画像処理回路1にて決定される. この決定された画像と入力画像の差分から表示セルに表示される画像が画像処理回路2で決定される. これにより, 元絵の再現と二重像の抑制の両立が可能になる. 第5図 (b) は, この開発したアルゴリズムを適応した画像であり, 二重像や明線が細くなる課題が対策されていることがわかる.

3. プロトタイプ機仕様

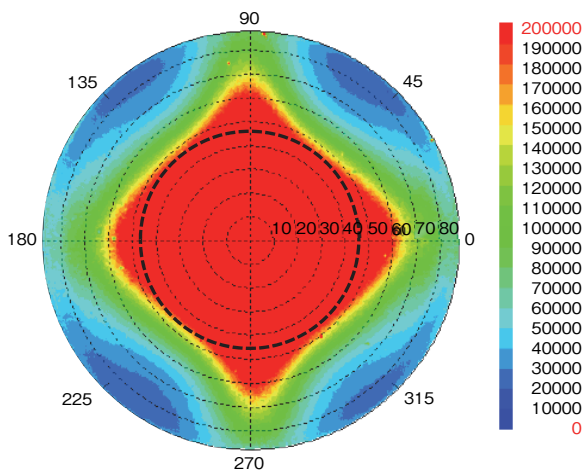
これまでに示した技術を用いて作製したプロトタイプ機（以下、プロト機）の仕様を第1表に示す。正面の特性として、輝度は1000 cd/m²、CRは100万:1を達成しており、冒頭に記したBT.2100を完全に満足する仕様であることを確認した。さらには、本技術は正面のCRを向上させるだけでなく、他にもさまざまな特長を有している。

第1表 プロトタイプの仕様

Table 1 Prototype specification

項目	仕様
サイズ	31.1 インチ
画素数	4096×2160×RGB
正面輝度	1000 cd/m ²
正面コントラスト	> 1 000 000:1
色再現性 (DCIカバー率)	98 %

具体的には、第7図はプロトタイプのCR視野角を示しているが、破線で囲む極角50°まで全方位でBT.2100規格の20万:1で表示可能となっている。この値は、広視野角を特長とする従来IPS-LCDをもはるかに凌（しの）ぐ特性であり、視野角変化の非常に小さいディスプレイを実現している。さらには、第8図は低階調で各色を表示したときの (a) 従来LCD、(b) 本プロトタイプ機の様子である。従来LCDでは、その低いCR特性により、黒表示部から光漏れがあり、画面全体が白っぽくなり、表示色が薄くなっているが、本プロトタイプ機では、黒表示部からの光漏れが抑制されていることから、各色が濃く表示されていることがわかる。通常、LCDの色域は最大階調表示での値のみ仕様化されるため、このような低階調での色域は議論さ

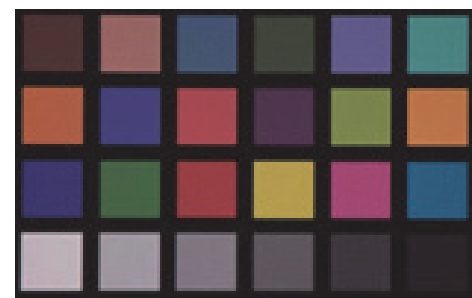


第7図 プロトタイプのコントラスト視野角特性

Fig. 7 Prototype contrast ratio map



(a)



(b)

第8図 低階調のマクベスチャートを表示した (a) 従来LCDと (b) プロトタイプ機の様子

Fig. 8 Typical images of Macbeth chart at gray level on (a) a conventional LCD and (b) the prototype.

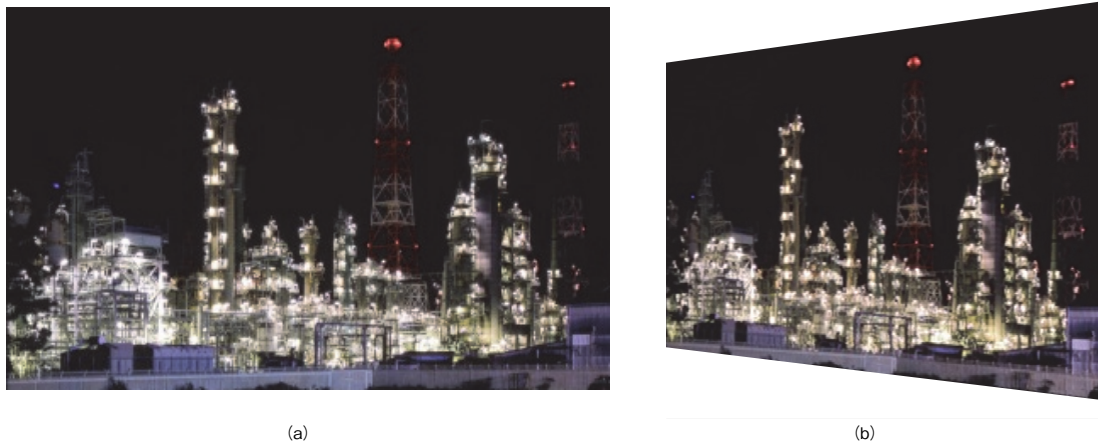
れないが、本プロトタイプ機では、上述した効果により、例えば低階調表示の多い自然画においては、仕様上は同等の色域をもつ従来LCDと比較しても、格段に色表現能力が向上したディスプレイとなっている。

第9図は本プロトタイプ機にて自然画を表示し、(a) 正面視、(b) 斜め視における写真であるが、斜め視におけるHaloや二重像といった課題も抑制され、広い視野角範囲で忠実な画像表示が実現されている。

4. まとめ

筆者らは、これまでに培ってきた広視野角、高信頼性の光配向IPS技術をベースに、新たに2層構造、材料、画像処理アルゴリズム技術を開発することで、当社従来比600倍となる正面CR100万対1以上を実現し、全方位に渡り忠実な画像表示を可能とする新型IPS-LCDの開発に成功した。

この新型IPS-LCDは、放送業界における新規規格ITU-R BT.2100や医療業界におけるDICOM規格で要求されているコントラストを完全に満足する。これにより、これら業界の発展に寄与するディスプレイと考えている。



第9図 工場夜景を表示したプロト機を (a) 正面視, (b) 斜め視から観察した様子
Fig. 9 Typical images of a factory at night on the prototype at (a) front and (b) side views

参考文献

- [1] Recommendation ITU-R BT.2100-0, 2016.
- [2] The DICOM Standard, DICOM Part14 (DICOM PS3.14 2017b), 2017.
- [3] K. Ono et al., "The Latest IPS Pixel Structure Suitable for High Resolution LCDs," Proc., IDW/AD'12, Kyoto, pp. 933-936, Dec. 2012.
- [4] H. Matsukawa et al., "The world's first photo-aligned IPS-LCDs for a TV use," Proc., IDW/AD'12, Kyoto, pp. 1581-1584, Dec. 2012.
- [5] R. Oke et al., "World's First 55-in 120Hz-Driven 8K4K IPS-LCDs with Wide Color Gamut," SID Symposium Digest of Technical Papers, vol. 46, issue 1, pp. 1055-1058, 2015.
- [6] I. Hiyama et al., "The latest IPS-LCD Technology realizing Super High Resolution and Wide Color Gamut," Proc., IDW'15 Otsu, pp. 1055-1058, Dec. 2015.
- [7] H. M. Visser et al., "Tuning LCD displays to medical applications," Proc., EuroDisplay'05, Edinburgh, pp. 74-77, Sept. 2005.
- [8] G. Guarnieri et al., "Image splitting techniques for a dual layer high dynamic range LCD display," Journal of Electronic Imaging, vol. 17, no. 4, pp. 043009/1-9, 2008.

執筆者紹介



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