

モバイルASV技術

Mobile-ASV Technology

永田 尚志*1
Hisashi Nagata

鈴木 久貴*1
Hisataka Suzuki

松田 典子*1
Noriko Matsuda

河合 敬彰*1
Takaaki Kawai

川口 登史*2
Takafumi Kawaguchi

要 旨

モバイル機器への搭載に最も適した液晶ディスプレイとして、モバイルASV技術が開発され、実用化が進んでいる。この技術は従来のモバイル液晶で弱点とされていた視野角特性を劇的に改善しただけではなく、屋外の強光下での視認性をはじめとしてモバイル機器用途のディスプレイに求められる様々な要求を同時に満足することを可能としている。本稿では、モバイルASVのパネル構造、動作原理、表示性能を、他の液晶モードとの比較を交えて説明する。また、モバイル機器用のディスプレイへの要求項目とモバイルASVの特徴とを対比して概説する。

Mobile-ASV Technology has been developed and used practically to realize the most suitable LCD (Liquid Crystal Display) for mobile-use appliances. This technology improves the characteristics of viewing angle drastically, which has been pointed out as a relatively weak point of LCDs. Besides, it can meet various requirements for mobile-use simultaneously, including the fine visibility under strong sunlight. This paper describes this mobile-ASV panel structure, display principle and performances compared with other LCD modes. Also we explain the specific features of the mobile-ASV panel referring to the requirements for a mobile-use display.

まえがき

近年、携帯電話に代表されるモバイル端末が爆発的な勢いで広まっており、また新たなカテゴリのモバイル機器が続々と登場してその数を延ばし続けるなかで、従来の液晶ディスプレイに求められた性能に加え、モバイル機器特有の要求事項も増えてきており、さまざまな厳しい条件の下でも常に良好な表示品位、視認性を発揮することが求められている。図1にモバイル機器用の液晶ディスプレイに求められる性能をまとめた。図中において、暗所とは例えば夜間の屋外や寝室で一人でテレビなどを楽しむような状況、室内とはレストランなどで複数の人が画像を見せ合うような状況、屋外とは直射日光下でナビゲーションなどを用いて情報収集している状況を想像している。

現状のモバイル液晶の性能に対して、特に強い要望がある表示性能は、大きく次の4点にまとめることができる。

(1) 広い視角範囲において階調反転がなく、コントラストが維持されること。

(2) 高輝度、高コントラスト、高色純度であること。
(3) 低消費電力であること。

(4) 屋外でも良好な視認性が確保されていること。
これらの要望のうち、(1)と(2)は、モバイル機器において高画質な映像を視聴する機会が増える中で、大型液晶テレビ並みの表示品位を求めるユーザーの声が増大していることを示すものであり、(3)と(4)はモバイル機器ならではの要求事項と捉えることができる。

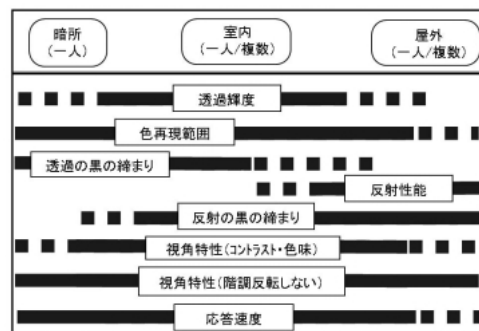


図1 モバイル液晶に求められる表示性能
Fig. 1 Demanded performance for mobile-LCD.

*1 モバイル液晶事業本部 第2設計センター 東京デザインセンター ビジネス開発グループ

*2 モバイル液晶事業本部 第2設計センター

1. モバイルASV技術

1・1 従来の各種液晶モード

TN (Twisted Nematic) モードは液晶の旋光性とよばれる性質を利用したもので、従来から現在にいたるまで最も一般的に使用されている表示モードの一つである。直交配置した偏光板の間に液晶を挟持したガラスパネルを配置し、液晶分子は両ガラスの間において90度ねじれた状態で保持されている。液晶への印加電圧に応じて、裏偏光板を通過した光が表偏光板の透過軸に対して平行または直交して入射することにより、画素単位で透過不透過を切り替える。このTNモードは、高輝度、高コントラストが得やすい、製造方法および部材が比較的安価で低コストで製造が可能である、といった長所を持つ反面、透過型としてしか利用できず、屋外の強い外光下での視認性が悪いという短所がある。

ECB (Electrically Controlled Birefringence) モードは、液晶の複屈折性を利用したもので、液晶分子への印加電圧によってリタデーションを変化させ、位相差フィルムとの組合せにより透過不透過をコントロールするものである。このモードを用いると、液晶層の厚みやフィルムのバラツキの影響によって輝度や色度が変動しやすく、またコントラストが低くなるという弱点があるものの、反射透過の両表示が可能であるため、屋外で優れた視認性を有するデバイスとして、携帯電話をはじめとするモバイル機器において広く普及している。

いずれのモードにおいても、ディスプレイを見る角度によって、コントラストの低下や色度のシフト、本来表示されるべき明暗の反転(階調反転)が起こるといった視角依存性が課題であった。そこで、光学補償フィルムによる改善が古くから実用化されており、液晶の光学異方性による悪影響をフィルムで補償して、良好な視野角特性を得ることができる。この方式のメリットは、従来の液晶パネルの特性をほとんど損なうことなく、またプロセスを複雑化させることなく視角改善が実現できるという点であるが、全ての階調にわたって視角補償をすることができず、また角度によって幾分か階調反転が残るといった課題がある。

モバイル液晶の分野においても近年、画面を複数の人が視聴するシチュエーションが増え、広視野角化に対する要求がますます高まってきた。そこで、大型液晶テレビの技術として培われてきた広視野角技術をモバイル液晶用に改良して適用するという動きが広がりつつある。例えばVA (Vertical Alignment) モードは、プロセス上のメリットや高コントラストが得られやす

いという特徴がよく知られているが、さらに視角依存性を低減するために、画素を複数の領域に分割して液晶が倒れる向きを複数もたせたMVA (Multi-domain VA) や、分割のための画素内構造物による開口率低下を回避するために電極のパターニングによる電界制御で液晶の倒れ方をコントロールするPVA (Patterned VA) などの方法がテレビ用のディスプレイでは広く実用化されており、これらの技術をモバイル用に適用して試作した例も数々発表されている。

一方、基板に対して垂直な方向の液晶分子の動きをなくし、基板面上に平行に配列された電極によって横方向に液晶を動かして表示を行なうIPS (In-Plane Switching) や、さらに液晶分子が一斉に一方向を向くことによる光学的異方性を抑えるため、平行電極をジグザグに形成して、画素内に複数の液晶配向領域を設けたS-IPS (Super IPS) も考案され、大型TV用液晶では一般的に使用されている。IPS技術をモバイル用途に適用したディスプレイも実用化されているが、元来IPS技術は屋内に設置するテレビ用途をにらんで透過型ディスプレイとして開発されてきた技術であるため現状では透過表示しか行えず、屋外で使用するモバイル液晶としては問題点が多い。試作レベルでは透過反射両用型の開発がすすめられており、展示会などでも参考出展されているが、構造やプロセス上の大きな工夫・変更が必要であると思われる、実用化には至っていない。

1・2 モバイルASV技術の原理

モバイルASV (Advanced Super-View) は従来の垂直配向液晶を用いて広視野角化をはかったMVA技術をさらに発展させたものであり、CPA (Continuous Pinwheel Alignment) と呼ぶモードを用いている。動作原理を示す概念図を図2に示す。1つの画素内は透過表示領域と反射表示領域に分かれており、それぞれの領域はさらに細かいサブピクセルに分かれている。各サブピクセルにおいて電圧無印加時には液晶は基板に対して垂直に配向されていて光を透過しない、いわゆるノーマリブラックの状態となっているが、電圧を印加することによってサブピクセルの中心からエッジ部に向かって放射状に液晶分子が傾斜してゆく。この動きにより液晶層内にリタデーションが得られ、いわゆる電界制御複屈折方式として画像表示が行なわれる。透過表示・反射表示ともにノーマリブラックの状態にするために、偏光板には $\lambda/4$ のリタデーションをもつ位相差板も合わせて用いられ、円偏光の状態で液晶層に光が入射するようになっている。

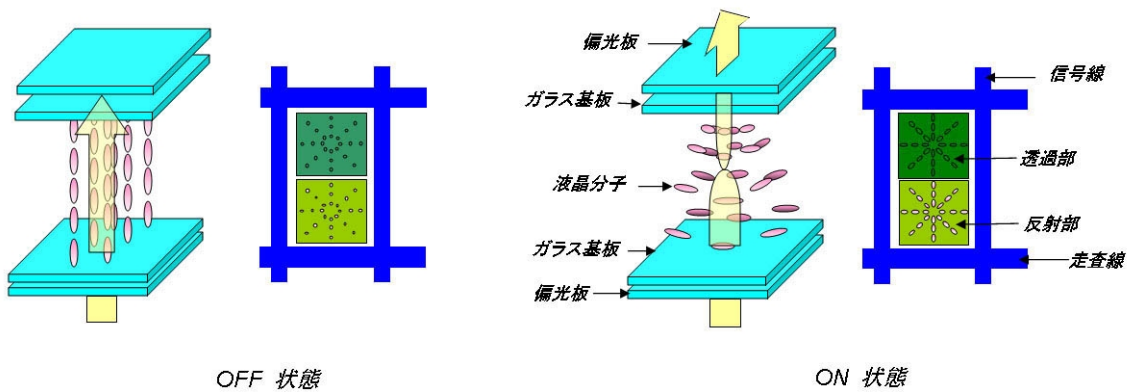


図2 モバイルASVの動作原理
Fig. 2 Principle of mobile-ASV.

2. モバイルASVの視野角特性

2.1 コントラスト-視角特性

従来の液晶モードでは、ディスプレイを斜めから見たときに、正面からみたときとの表示の違いが顕著であるという問題があった。これは、液晶分子に対する見かけ上の角度が、法線方向から見たときとは異なることが主な原因である。

これに対し、モバイルASVでは、一つのサブピクセルの中で液晶分子がさまざまな方向に傾斜するため、角度をもってディスプレイを観察した場合でも、白くシフトする微小領域と黒くシフトする微小領域が目の中でキャンセルしあい、正面からの観察に近い表示性能が得られる。また、液晶分子が完全に立った状態（黒状態）において、ディスプレイを斜めから観察した場合には、すべての液晶分子を斜めからみることになるため黒のしまり具合が悪化することが懸念されるが、光学補償フィルムの働きによって、比較的容易に効率的に補償することができる。

図3にモバイルASVと従来のECBモードにおける、コントラストと視角の関係を示す。モバイルASVでは、高コントラストの視角範囲が格段に広がっているのみならず、正面のコントラストが従来品よりも極めて高いことがわかる。このコントラストの高さが見た目の美しさに与える影響については、後で詳しく述べる。

2.2 階調反転

視野角特性として、コントラストの角度依存性が小さいことと並んで強く求められるのが、いわゆる階調反転がいかなる視角からも起こらないということである。モバイルASVの場合、電圧印加したときに液晶があらゆる方向に傾斜するため、特定の観察方向においてある液晶分子の方向が画像を反転させる方向に傾斜していたとしても、逆の方向に傾斜した液晶分子との間で光学的に相殺し合うため、画素全体として階調反転のない非常に良好な表示が得られる。図4に黒近辺の隣接階調の輝度の視角依存性を示す。モバイル

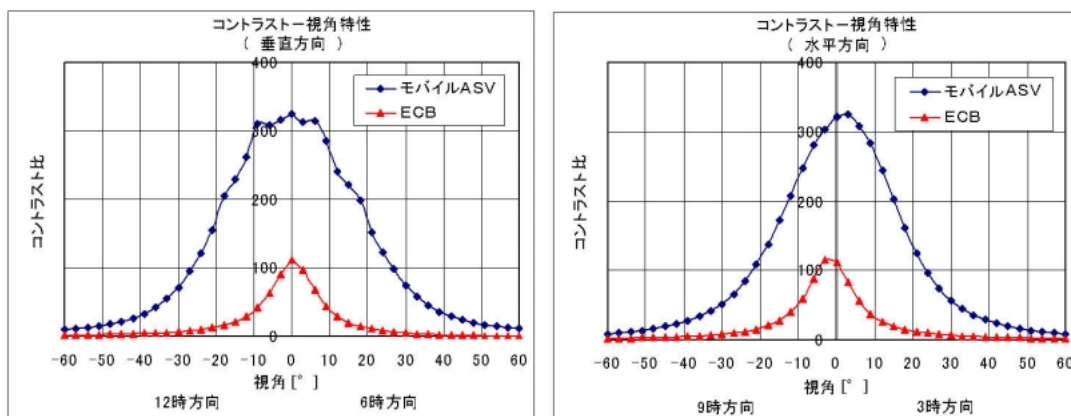


図3 コントラスト-視角特性
Fig. 3 Characteristic of Contrast ratio - Viewing angle.

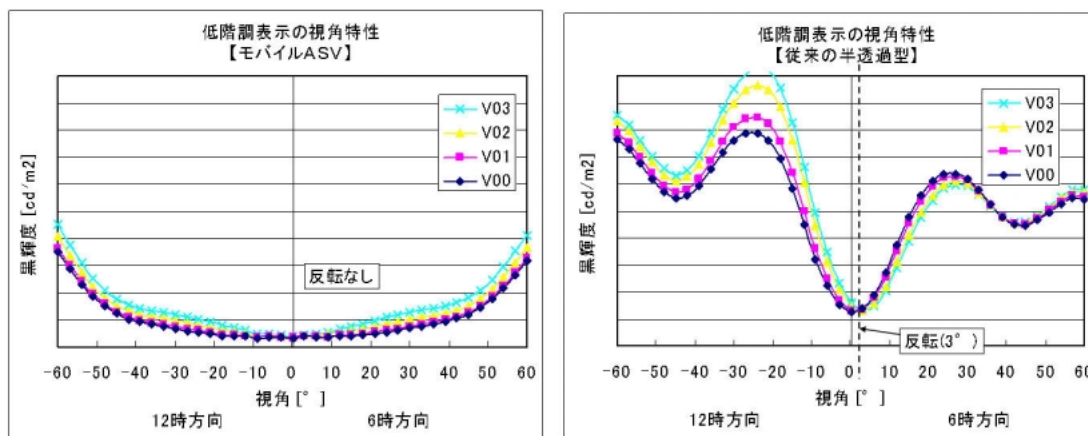


図4 黒近辺における階調反転の有無（左：モバイルASV，右：ECB）

Fig. 4 Gray-scale inversion at darker tone.

ASVは黒輝度においても視角依存性が小さくフラットな特性を示している上、各階調の輝度がいかなる視角においても本来あるべき順序に並んでいるのに対し、ECBモードでは黒輝度の視角依存性が極めて大きい上に、法線方向からわずかにずれただけで本来最も暗い階調であるべきV00階調が他のV01からV03階調と逆転する、いわゆる階調反転が生じているのがわかる。ちなみに、ASVと並んで広視野角技術のひとつであるIPS技術を用いたモバイル液晶においても、液晶を基板に垂直な方向に起こす動作がないため、原理的に反転は起こりにくい。しかし、実際には液晶分子の初期配向から電圧印加によって向く方向にかけて苦手な視角をもっており、1時半から3時ぐらいの方位と、7時半から9時ぐらいの方位で階調反転が生じることがわかっている。斜めから見たときに偏光子と検光子の角度が見かけ上直角より大きくなり、電圧印加によって光の軸が検光子と直交する方向に戻されるためと考えられ、これを解決するためにS-IPSやフィルムによる補償が有効であるが、開口率その他の問題によりモバイル用途の液晶では採用されていない。

3. モバイルASVの輝度、コントラスト、色純度

3・1 輝度

液晶ディスプレイの輝度は主に、パネルの透過率とバックライトの輝度に依存しているが、前者はさらに画素面積のうちの光を通す部分の割合である開口率、カラーフィルタの色の濃さ、液晶モードによる損失を要因として挙げることができる。全透過を専門にしているTN液晶が開口率と低損失に若干秀でていることを除いては、モバイルASVが輝度の面で他のモードに劣る理由はない。さらに、バックライトについて

は、高効率の導光板やレンズフィルム、選択反射型偏光フィルムなどの機能部材が進歩を遂げているが、最も大きな進歩を遂げているのは光源であるLEDの光度である。

ディスプレイの正面輝度としては、昨今では100cd/m²以上であることはモバイル機器では半ば必須になってきているが、それ以上の輝度は、透過反射両用型ディスプレイにおいてはさほど必要でないと筆者は考えている。実際、室内などの照度環境において、100cd/m²程度以上のディスプレイに対して暗くて品位が悪いと感じることは少なく、むしろ夜間の屋外や薄暗い部屋において画面が眩しく感じられることすらある。高輝度を求められるのは直射日光下のような強い外光下においてであるが、モバイルASVにおいては反射特性によって強光下での良好な表示品位を満たしている。このことについては後述する。

3・2 コントラスト

モバイルASV技術の大きな特徴として、真上から見たときの極めて高いコントラストも挙げることができる。従来より液晶はCRTとの比較がよくなされてきたが、周囲光がまったくない状態で全画面黒表示をしたときの黒の沈み込みは、自発光素子であるCRTと比べた時の決定的な違いといわれてきた。モバイル液晶では、例えば車の後部座席でのテレビ視聴のように、昼間は強い外光下での良好な視認性が求められるにもかかわらず、夜間は外光がほぼ全くない状態での極めて高い表示品位を求められる場合がある。モバイルASVでは液晶の配向に垂直配向を使うため、黒輝度の締まりがよく、セル厚などの生産上のバラツキの影響をうけにくいいため、安定してコントラストが高い、引き締まった表示品位が得られる。

3・3 中間調の色再現性

表示装置のコントラストが高いことは、中間調での色再現性という形でも顕著に現れる。RGBそれぞれで最大階調を表現したときの色座標をNTSCの色面積と比較した、いわゆるNTSC比という指標によると、コントラストが50程度以上確保されていれば、このNTSC比のコントラスト依存性はさほど見られない。しかし、実際の自然画を見た目で評価した場合、モバイルASVと従来の液晶を比較すると、自然画の彩度がとてもよく感じられる。このことは次のように説明できる。

例えば、夕暮れ時の空の画像では、R単色のダークトーンを表示するため、GとBの画素は完全な黒(V0)で、Rの画素は例えばV16といった黒に近い階調となる。自発光素子の場合、GとBは完全に輝度がゼロの状態であるため、画面の色度(x,y)は明るい赤の時と同じまま保たれ、輝度(Y)だけが低くトーンダウンされる。しかし、液晶ディスプレイの場合はコントラストが無敵大でないため、厳密にはV0がわずかに輝度をもった値となり、Rの画素とGBの画素との間の輝度差が縮小される。すなわち、赤の表示にも関わらずGBの色がまざった状態となり、色純度が低くなってしまふ。

階調を変化させたときの色再現範囲の変化を測定した結果を図5に示す。モバイルASVと比べて従来のECBは暗階調におけるNTSC比が小さく、例えばV24階調などでは半分程度の色再現範囲しかないことがわかる。すなわち、従来のコントラストがあまり高くない表示装置では、階調を暗くしてゆくにつれて色純度の低下が顕著に現れるが、モバイルASVのようにコントラストが高いディスプレイでは、暗い階調まで色再現範囲が高く、鮮やかな自然画表示が可能であることがわかる。

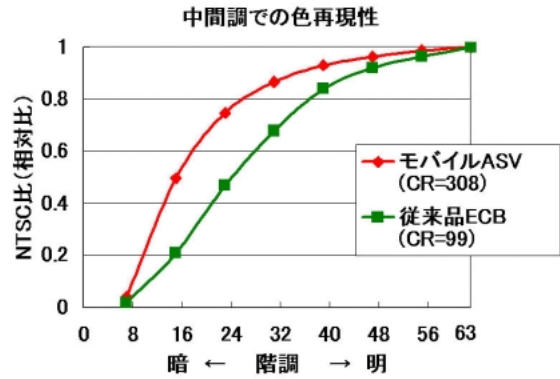


図5 コントラストの中間調色再現性への影響 (実測値)
Fig. 5 Contrast ratio dependence of color gamut at half-tone.

3・4 色再現性の視角依存性

モバイルASVでは真上からみたときにコントラストが極めて高いのに加え、図3に示したようにコントラストの視角依存性も非常に小さい。前節に述べたように、高コントラストは色再現性に強く影響するため、コントラスト面で視角依存性が小さいということは、色再現性という面でも広視野角であるということの意味する。すなわち、図6に示すとおり、従来の液晶ディスプレイが視角の傾斜に応じて色再現範囲が減少するのに対し、モバイルASVでは視角を傾けても良好な色再現範囲が保たれ、鮮明な画像表示が可能である。

4. モバイルASVの消費電力

モバイル機器用の液晶ディスプレイに低消費電力が求められることは言うまでもないが、液晶モジュールの消費電力はパネル駆動回路よりもバックライトの方が格段に電力を消費している。具体的には、携帯電話などで使われる、240×320の解像度をもつ液晶パネ

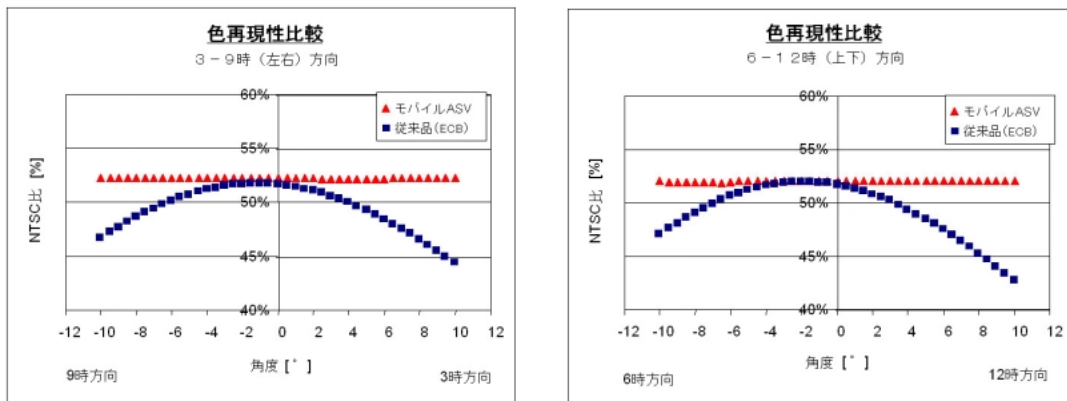


図6 色再現範囲の視角依存性
Fig. 6 Viewing angle dependence of color gamut.

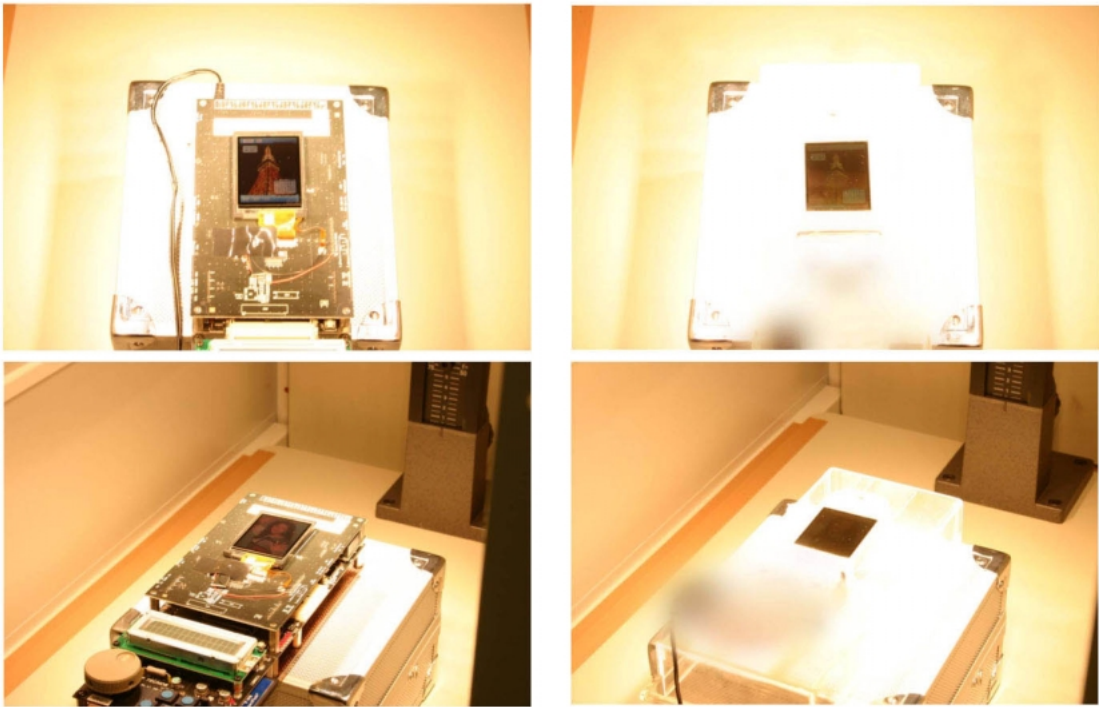


写真1 強光下(100,000lx)における視認性(左:モバイルASV, 右:IPS)
Photo 1 Visibility under strong light (100,000lx) L:mobile-ASV, R:IPS.

ルでは、パネルの駆動が数十mW程度の消費であるのに対し、設定輝度にもよるが一般的にバックライト部分ではその10倍以上の電力を消費している。このため、殆どの場合、機器側にはある程度の時間が経った段階でバックライトが消灯または減光する機構が盛り込まれている。残念ながら高輝度を保ったままでの低消費電力化に限界がある以上、液晶モジュールの低消費電力化のカギは、バックライトを消したり減光した状態でもいかに良好な表示が得られるかにかかっていると言える。

モバイルASVは透過反射いずれの特性も良好であるため、セット側でのバックライト減光や消灯の自由度が高い。実際、直射日光下に相当する数万lxの環境下では、パネル輝度を300 cd/m²程度(バックライト電力400mWなど)に高めた透過型の表示よりも、バックライトを消した状態でのモバイルASVの方が、良好に視認されることも確認している。

5. モバイルASVの屋外における視認性

携帯用途においては、外光が非常に強い環境での視認性確保は重要な問題である。写真1は、強い直射日光下に相当する10万lxのもとでの、モバイルASVと全透過型ディスプレイとの視認性を撮影したものである。室内で簡易的に太陽光照度を再現して観察や測定

ができるようにするため、複数のハロゲンランプを用いた手作りの装置を作成し、撮影を行なった。また、視野角特性の差の影響を除去するため、全透過型パネルには広視野角タイプであるIPS方式ディスプレイを用意した。5000lx程度までの外光下では両方とも遜色ない表示が確認できるが、さらに光を強めて晴天の日の日陰に相当する10000lxや真夏の正午の直射日光下に相当する100000lxなどとすると、モバイルASVでなければ画像の視認がかなり困難であることが明らかになった。

外光下での視認性の良さは2つの要素から説明することができる。まず、モバイルASVはパネルの画素内に設けられた内部反射板により白表示時の反射率がよいことである。100000lxの環境下において、モバイルASVは1500 cd/m²以上でしており、全透過パネルの300 cd/m²以下と比較するとかなり明るい。ちなみにこの測定系における100000lx照射下での新聞紙の測定値は17000 cd/m²であるが、直射日光下での新聞の閲読が目には大きな負担を与えることは経験が証明するところである。外光下での最適な反射性能がどのようなものであるか、人間工学的な見地から検討をすすめてゆきたいと考えている。次に、モバイルASVは黒の締まりが良好であるということであり、100000lx照射下においてもコントラスト30程度が得られている。一方、全透過型では3以下しかなく、表示がほとんど

見えないといってよい。コントラスト低下の原因としては、ガラス表面での反射の影響が考えられる。液晶に限らず表面反射は表示装置の視認性を悪化させる原因としてしばしば問題になるが、最も効果的な対策の一つに、偏光板と位相差板を積層したものを貼り付けるという方法がよく知られている。この構造によると、表偏光板を通過して直線偏光となった光はガラス表面で反射する前後に $\lambda/4$ 位相差板を2回通るため、再び偏光板に戻ってくるときには入射時とは直交した偏光に変換され、偏光板によって吸収される。したがって、ガラスの表面反射は遮断される。モバイルASVでは光学原理上、偏光板には $\lambda/4$ の位相差を持つ位相差板が積層されているため、このガラス表面での反射遮断効果が得られる。一方、TN液晶やIPS方式では、原理的に $\lambda/4$ 板との組合せで表示を行なうことはできないため、ガラス表面の反射はそのまま観察者に戻ってくることになる。そのため、外光下でのコントラストは極めて低いものとなる。

図7に外光照度とコントラストとの関係の測定結果

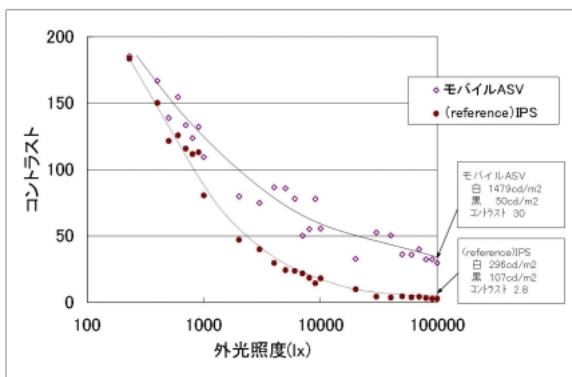


図7 外光強度とコントラストの関係

Fig. 7 Relation between ambient light and contrast ratio.

を示す。測定値からも強い外光下(数千lx以上)におけるモバイルASVの視認性の透過型に対する優位性が見て取れる。ちなみにIPSでも最近、試作レベルで透過反射両用型が開発されており、展示会などでも参考出展されているが、構造やプロセス上の大きな工夫・変更が必要であると思われる、すでに量産品として安定供給し続けているモバイルASVが大きく抜きん出ていると考えている。

6. これからのモバイルLCD像

我々は、屋内外を問わず、あらゆる環境下で心地よく楽しむ事ができるディスプレイを目指し、反射型、透過反射両用型を開発し、また大型で培った広視野角技術をモディファイして中小型に取り入れることにより、モバイルASVという真のマルチシーンディスプレイを開発・量産するに至った。さらにTFT基板技術側からのアプローチとしては、CGシリコン^(注)技術を用いたアナログフルモノリシック技術により、LCDパネル上からのドライバICの削除、インタフェースの劇的削減(203本→36本など)を実現し、パネルFPC接続余裕度の向上、FPCの低価格化、インタフェース信号起因のEMIの低減などの効果が得られ、かつ、製品開発期間の短縮という効果が得られている。

我々は、モバイルASV技術とアナログフルモノリシック技術の融合により、Quality, Cost, Delivery, Performanceの全てに優れた理想のモバイル用液晶モジュールを提供できると考え、このスタンダード化に取り組んでいる。

注：CGシリコンは、シャープと半導体エネルギー研究所が共同開発した技術です

(2005年6月10日受理)