

Professional Report

IPS 技術とその将来技術展望

Recent IPS Alpha Technologies and Future Possibilities

近藤 克己

Katsumi Kondo

各種液晶ディスプレイの中で「IPS パネル」は視野角特性、動画性能、光利用効率の3点で優れた性能を有し、テレビ用途としての発展が期待される。

IPS液晶はディスプレイを見る方向によって画像が変化するという視野角依存性を解消する技術として開発し、1996年に量産を開始した。

それから10年が経過し、その間、大別して3回の進化を経て、テレビ用として開発したIPS パネルに至っている。

ここでは、IPSの誕生から進化発展の過程、IPS パネルの最新技術、そして将来技術の可能性について概説する。

近藤 克己

1983年日立製作所入社

日立研究所 所属

現在、液晶ディスプレイの研究開発に従事

日本液晶学会会員、映像情報メディア学会会員

Society for Information Display (SID)

Fellow

工学博士



1 はじめに

液晶ディスプレイがこの世に登場して30年余りが経過した。当初は、腕時計や卓上計算機用の数字表示部がその主たる用途であった。液晶はわずかな電場（電圧で数ボルト）で分子が大きく変形し、そのため外部からの光の反射、あるいは透過量をわずかな電力で制御可能な物質である。そのため、多くの他のデバイスとは異なり、薄型・軽量、低消費電力といった際立った特性を有し、これを生かした用途展開がなされてきたというのが液晶ディスプレイ製品化黎明（れい）期の姿である。

一方、時期を同じくして1970年代後半から1980年代にかけては抜群の高い画質・性能と低コストを実現していたブラウン管（CRT：Cathode Ray Tube）が普及し、拡大期を迎えていた。テレビ用としての高い画質を有し、かつ年間1億台を超える市場が形成され、加えてパソコンや電子メールの普及発展に伴い、モニター用途も含めその数は急激に増大してきた。このような中、液晶ディスプレイはCRTを含めた他のデバイスではできない仕様を必須とする用途に特化した形で成長してきた。と

りわけノートパソコン用は液晶ディスプレイの主たる用途として普及してきており、現在に至っている。

しかし、その後1990年代にはデスクトップモニタ用途向けが、そして最近では30数インチクラスのCRTの牙城であったテレビ用分野へも液晶への置き換えが始まっている。これは液晶分野で次々に登場した革新技術に負うところが大きい。われわれはCRT代替を目指して表示原理の研究を進めていた。そのためには画質の飛躍的向上が必要であり、特に液晶ディスプレイでは視角により色が淡くなるなどの視野角依存性の解消が必要と考え、電界方向を縦から横に変えて液晶分子を基板面に平行なままスイッチングするIPS（In-Plane Switching）方式を用いたTFT液晶ディスプレイを考案した。1995年に発表し、翌1996年に量産化した。以降、CRTと共存関係にあった市場にも変化が現れ始めた。さらには、動きの早い動画映像をクリアに表示する技術の開発を進めた¹⁻⁸⁾。これらを具現化したIPS技術は今なお進化発展を続けている。IPS技術の4代目である「IPS パネル」では、元来持っていた広視野角特性に加え、大型テレビ用途に必要な高輝度化のための光透過率、液晶のさらなる高速応答化を実現した⁹⁻¹⁰⁾。

ここでは、IPS技術の誕生から発展の過程、IPS パネルの最新技術、そして将来の可能性について述べる。

2 広視野角特性を有する表示モード

IPSモードの動作原理を図1に示す。液晶は2枚のガラス基板により、4~5ミクロンという厚みで挟持された棒状分子の集合体で、そこに数ボルトの低い電圧を印加することで分子の配向方向が変わり、それに伴い光学的性質が制御できる光スイッチングデバイスである。従来の液晶モードでは2枚のガラス基板の内側に形成された透明電極間のそれぞれに異なる電位を与えることで、液晶層に垂直方向の電界（縦電界）を印加する構成になっている。縦方向電界により液晶分子は基板面に垂直な方向に立ち上がるが、この場合、見る方向により特性が変わるため視野角依存性が発生する。それに対して横電界モードでは一方の基板上に形成した電極により、基板面に平行な電界（横電界）を印加することで、棒状の液晶分子を基板面にほぼ平行な状態のままスイッチングできるため、視野角依存性の問題が解消できると考えた。実際に液晶分子は長さが数ナノメートルの有機物質であり、10種を超える複数の分子の混合系であるために分子が見えるわけではないが、光学的な性質は棒状に見えるかど

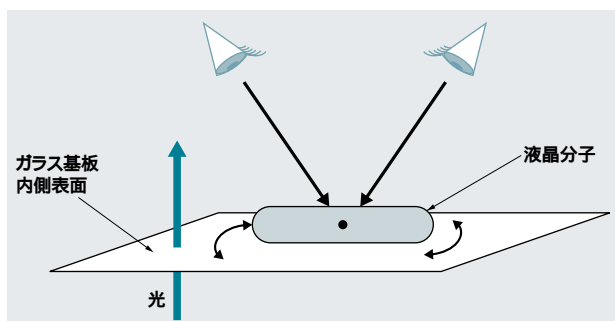


図1 IPSモードの原理

IPS (In-Plane Switching) モードは、液晶分子長軸が基板面に平行である状態を維持しつつ、面内の方位を変化させることにより、液晶セルの透過光量（あるいは反射光量）を変化させる表示モードである。

電極形状	電極形態	液晶材料	分子配列	分子スイッチング挙動
面電極	縦電界	ネマチック液晶 Np(正)	ツイスト配向 TN	垂直 平行 スイッチング
		ネマチック液晶 Nn(負)	垂直配向 MVA	
		強誘電性液晶 FLC	垂直配向 PVA	
楕(くし)歯電極	横電界	ネマチック液晶 Np(正)	ホモジニアス 配向	IPS-Pro 面内スイッチング IPS
FOP	フリンジ電界 FFS			

注：略語説明 TN(Twisted Nematic)、M(P)VA(Multi-Domain(Patterned)Vertical Alignment)
FLC(Ferroelectric LC)、FOP(Finger on Plane)、FFS(Fringe Field Switching)

図2 広視野角の分類

広視野角表示モードの代表的なものを示す。

うかということと光学的性質が一致する。そのため、IPSモードではどの方向から見ても棒状に見えるため、見る方向によらず同じ画像が表示できるのである。

図2は代表的な広視野角表示モードをまとめたものである。表示モードの名前は、特徴を実現する要素を示す表現が各提案者により、名付けられている。IPSモードの電極は楕(くし)歯電極で製品化し進化発展し、最新のIPS-ProモードではFOP(Finger on Plane)という面電極と楕歯状電極を組み合わせた構造を適用しているが、上述のように、分子配向のスイッチング挙動は変わっていない。

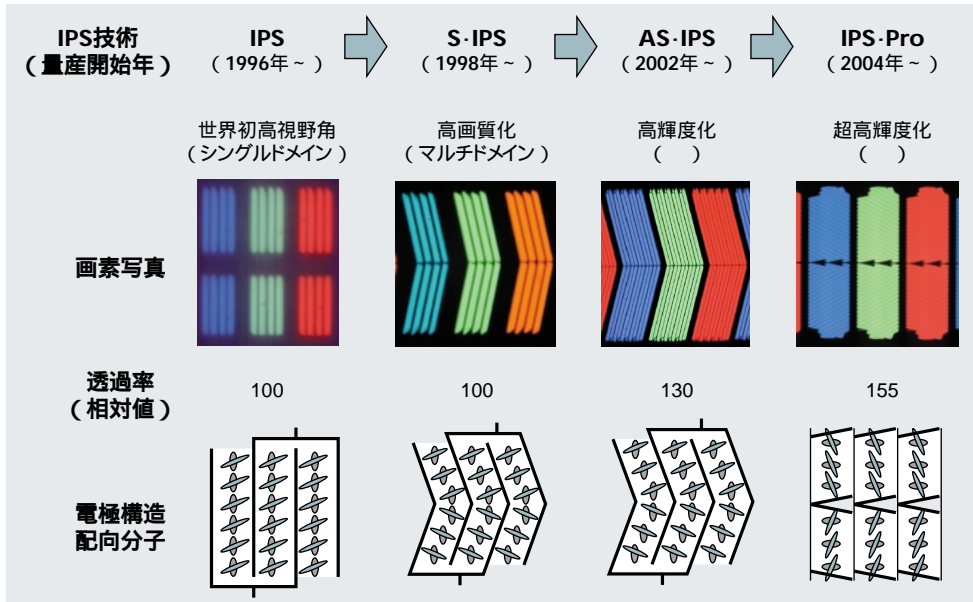
3 IPSからIPS パネルまでの進化発展の経過

3.1 IPS黎明期

まず、2インチ程度の横電界TFT液晶パネルを試作したが、これにより視野角特性が劇的に向上することを検証した。次に、縦の電界を横にし、分子を基板面に平行にスイッチした液晶ディスプレイを製品化するために、デバイス、材料の系全体を大幅に見直した。すでに確立されたトランジスタや電極・配線材料、誘電体材料といったTFT側の材料、プロセスの多くは従来方式で開発した技術を転用し、横電界駆動上必要な電極構造と液晶、カラーフィルタ、配向膜、スペーサといった液晶素子を構成する有機系の材料を変更した。

電極については、シールド効果、開口率向上、安定駆動のための基本設計ルールを確立した。液晶材料は電圧保持率といったTFT駆動の基本である特性が特異的に異なることや、単に従来の液晶を転用しただけでは汎用の低電圧ドライバが使えないことなどの問題があり、根本的に見直した。また、製品化にはコスト力も重要であるが、横電界方式は部材点数を削減できる方式である。例えば、カラーフィルタを構成する対向基板側には、従来あった透明電極が除去できる。これを実現するために3原色の境界を遮光するブラックマトリクス材料そのものの低抵抗化を進めた。また、当時は液晶層の厚みを制御するスペーサ材料としては球状ポリマービーズが使われていたが、その表面物性を制御することでビーズ周辺の配向乱れ、並びにそれに伴う光漏れを抑制できることを究明した。その後、この知見に基づき、より高いコントラストを引き出すポリマーを開発し、製品に適用した。

これらの材料の多くは有機材料でありそれ自体が複雑な化学構造(1次構造)を有し、またプロセスによって著しく性質を異にする配向構造(2次構造)の二つとが、複雑に絡み合っている。われわれは材料系を緻密に制御



注：略語説明 S-IPS (Super IPS), AS-IPS (Advanced Super IPS), IPS-Pro (IPS-Provectus: Provectusはラテン語でイノベーションの意味)

図3 IPS液晶技術の進化

IPSモードの進化の推移を示す。

して画質レベルを高めてきた。材料とプロセスを最適化するには機構解明と膨大な分析データベースに負うところが大きく、事業部の設計部門、材料部門、製造部門と研究所の材料部門が地道にデータベースを積み上げつつIPS方式を使いこなし、1996年5月に量産化にこぎ着けた。多くはノウハウであるこのような地味な努力が特にIPS方式の設計・製造に重要であることを特記しておく。

3.2 テレビ用途に向けた性能向上

IPSモードの進化の推移を図3に示す。初期のIPSは「スーパー-TFT」(S-TFT)、その後順次、「スーパー-IPS」(S-IPS)、「アドバンススーパー-IPS」(AS-IPS)、そして「IPS-Pro」と名付けてきた。IPS パネルはこのIPS-Pro技術を踏襲して、さらに性能を上げたものである。その経緯を以下に述べる。

最初のIPS液晶ディスプレイの製品化後は、従来の液晶デバイスの延長ではなく、デスクトップCRTモニタ代替を軸に事業を拡大してきた。そのため、モニタ表示としての忠実な色再現性を目指した。当時、IPSモードは他の表示モードに比べて格段に広い視野角特性を有していたが、斜め方向では若干青味がかかる、あるいは黄色味がかかるという課題が残っていた。例えば、右上から左下方向では光学異方性(複屈折位相差)が増大し、そのため白色が黄色に変化し、逆の斜め方向(左上から右下方向)では位相差が減少して青に変化するという液晶固有の性質に起因する現象である。この

問題は、細長い櫛歯状で縦方向にストレートに伸びた電極構造を、「く」の字に屈曲させることで副画素を導入し、一つの画素内で黄色に変化する領域と青色に変化する領域を混在させることで平均化して全方位に対して色変化をほぼ完全に抑えることで解決した(図3参照)¹⁾。このようなダブルドメイン構造を導入したのが2代目のS-IPSである。その後、このダブルドメイン構造は色の再現性を重視するほとんどの製品で使われている。

しかし、この時点では櫛歯電極として金属電極を用いていたため、電極部分の光が透過せず透明な面電極を用いる他の縦電界方式よりも光の利用効率の点で不利とされていた。この問題に対しては、透明電極を微細にパターン加工する技術を開発し、それを櫛歯電極に適用して光の透過率を大幅に引き上げることで解決した。また、誘電率の低い有機の絶縁層膜を導入することで、3原色のカラーフィルタ間の混色を防ぐための縦方向に伸びたブラックマトリクスの幅を大幅に狭くすることにも成功し、光透過率は3割向上した。この二つの技術を組み合わせた方式をAS-IPSと名付け、20インチワイドの液晶テレビモニタとして2002年秋から量産適用した。

その後、透過率向上を追究する過程で、電極の一方を面上にし、かつ櫛歯の幅を詰めることでさらに光のロスが減ることを明らかにし、その開発に取り組んだ。駆動方式、電極構造、液晶材料、配向膜材料といった多くの構成部材を見直した。その結果、透過率はさら

に改善され、第一、第二世代のS-TFT、S-IPSと比較して5割以上も改善された¹⁰⁾。30インチ以上のテレビ用途に使われている表示モードではトップレベルである。また、液晶材料は分子構造のバリエーションの多いポジ型（誘電率異方性が正）であるため、電極構造の大幅変化と相まって、応答速度も著しく改善され、この点でもトップクラスの性能を実現している。

4 最新のIPS パネルの特徴

4.1 視野角特性の定義とIPSパネルの進化

IPS パネルの最大の特徴は、斜めから見ても鮮やかな色が表示される広視野角特性である。視野角は一般に角度の数値で表現されるが、その定義はさまざまであり、色の安定性が重要なテレビ用に必要な定義を選択する必要がある。そこで、視野角について従来使われてきた定義とわれわれが提唱する新しい定義について述べる。

液晶ディスプレイの視野角特性を示す際に176度、あるいは178度といった数値をしばしば見かけるが、実際はそれより浅い角度でも色の变化が認識される。テレビのように自然な色を表示する場面が多く、どこから見ても色が変化しないことが重要な用途では、定義の見直しが必要である。

1990年代初期には液晶ディスプレイの視野角依存性を改善する取り組みが活発化したが、その時期に定義されて、その後普及したものにコントラスト比が10:1以上の角度というのがある。これは当時のパネルの特性が今より低く、パネルの改善の過程を示すには適当な定義であったため、ノートパソコン用などの情報表示用パネルの評価には一定の役割を果たしてきた。

では、自然画像表示の多いテレビ用にはどのような定義がよいのか。人間の目の黒と白の輝度差の認識力については古くから研究がなされている。1960年代に報告されたGrosskopfらの報告によれば、人間の網膜細胞の光に対する応答性である明るさ感覚は、背景輝度一定の条件ではほぼ10の2乗程度まで認識され、それ以上になると認識されなくなり¹¹⁾、100:1程度の輝度比が表現できれば、ほぼ十分な明暗感が得られる（図4参照）。一方で、100:1くらいは欲しい数値とも言える。テレビのように高画質を要求される用途には、コントラスト比を基準にした定義として、100:1を維持する角度範囲という定義が実用的な指標であると考えられる。

AS-IPS、初期のIPS-Pro（2004年）、そして最新のIPS パネル（新IPS-Pro）の100:1以上を表示する視野角範囲の測定結果を図5にそれぞれ示す。正面のコントラ

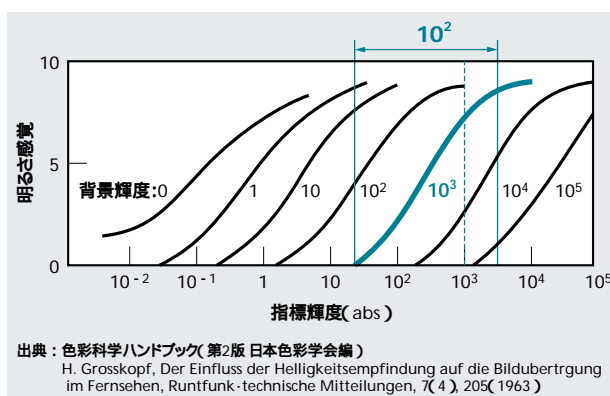


図4 コントラスト比の要求値

明るさ感覚（人間の網膜細胞の光に対する応答性）は、ほぼ 10^2 程度である（背景輝度一定の条件）。100:1程度の輝度比がほぼ十分な明暗感を得るための目安となる。

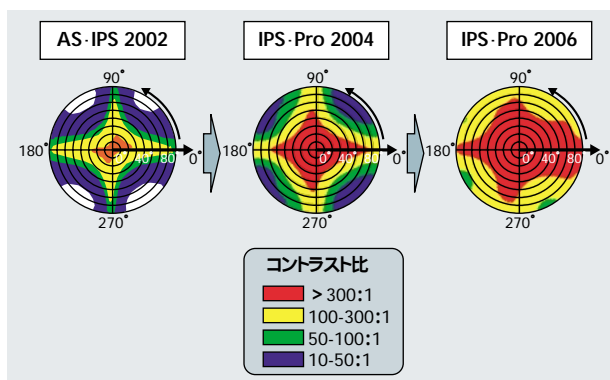


図5 IPSにおける視野角特性改善の経過

AS-IPS、初期のIPS-Pro（2004年）、そして最新のIPS パネル（新IPS-Pro）の100:1以上を表示する視野角範囲の測定結果を示す。

ト比については複数の技術開発により、第一、第二世代に比べて3倍以上に改善し、1000:1を達成したが、最近ではこのように広い視野角で実用上重要な100:1以上の達成に向けて取り組んできた。

次に色の再現性の観点から見た視野角特性について述べる。色の視野角依存性を抑制することの重要性は、1990年代前半の広視野角化の研究開発初期段階においても認識していた。IPSの第一世代が完成した際にも、色の視野角依存性を測定し、従来のTN（Twisted Nematic）方式に比べて格段に改善できたことを確認した。RGBの3原色表示した際の色の变化量を測定したものであり、この問題はほぼ解決したかに見えた¹²⁾。液晶業界全体でもその後あまり色の变化量についての議論はなされていない。しかし、その後、2000年以降、広視野角表示モードを採用した液晶テレビが世の中に登場したが、さほど深くない斜め視野で色の变化が検知された。鮮やかな原色に近い色でも変化が認識され、中間色ではさらに顕著になった。この原因を追究した。

実際のテレビの映像はほとんどすべてといってよいくらい中間調色で構成されており、鮮やかと言われる色でも単色ではなくRGBの3色の混色になっている。印刷物

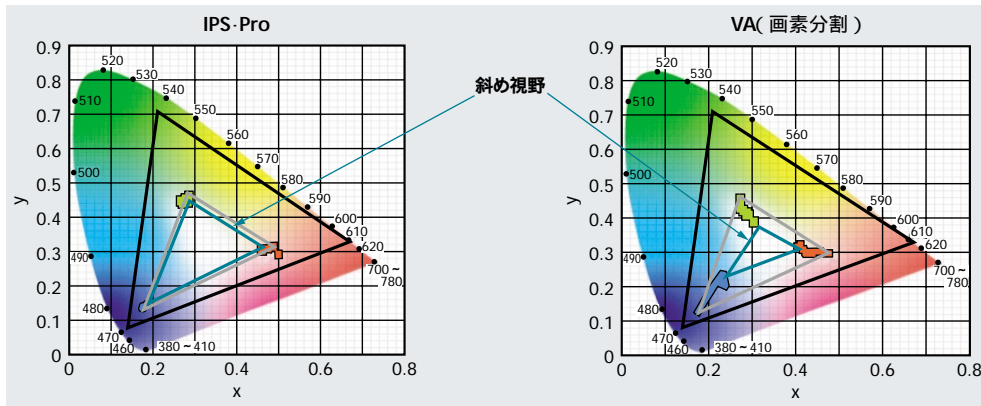


図6 色純度の視野角依存性

マクベスチャートの3色の13(青), 14(緑), 15(赤)を表示し、視野角を変えた場合の色シフト量の評価結果を示す。入射角を0~60°, 方位角が0~360°の範囲で測定した。

の業界では自然界にある色を代表して24色にまとめたマクベスチャートが使われている。このチャートの中で青、緑、赤の三色の色が定義されているが、いずれもかなりの割合で他の2色が混入している。実際、鮮やかな真紅のばらの花びらや、萌(も)えるような緑の葉、抜けるような青い空などの映像の場合でも、RGBの単色とは程遠い。このような実情に合わせて、マクベスチャートで定義されている青、緑、赤の色の視野角依存性を測定して、その安定性を追究した。その結果、IPS パネルでは斜め視野方向での高いコントラスト比が功を奏し、この3色でも色変化が少ない。視野角を斜め60度まで傾斜し、360度方位で色変化を測定した結果を図6に示す。60度という実用視野内の変化量として数値化することで定量的表現ができる。実測の結果、IPS パネルではこの角度範囲での色変化量はおおむね、10%程度であり、正面の鮮やかさの85%が維持されている。コントラスト10:1の定義では、カタログスペックではいずれも170度(±75度)以上になるが、このように実際の映像の鮮やかさに関しては±60度といった角度でも優位差が現れる。IPS パネルを実際に見て、方位によらず鮮やかに見えるという最大の特徴はこのような色の変化量が少ないことに起因している。

4.2 動画性能

1998年にNHK放送技術研究所の栗田氏により、液晶ディスプレイの動画性能に関して新しい概念が報告された¹³⁾。液晶材料の改良を進めて仮に応答時間が0秒になっても動画ぼやけはなくなる、という内容である。日立では山本らが解決策に向け研究を進め、栗田氏の理論をベースに実測システムを構築し、定量的な目標値を導出した⁵⁾。結果、検知限界以下の動画像を得るための理想値として、4倍の周波数で駆動する方法

(4倍速)と5ミリ秒以下の応答時間を有する液晶材料の両方が目安になるという結論を出した。当時の技術とこの仕様とのギャップは非常に大きかったが、日立ではこの原理に基づき、目標に向かって開発を進めてきた。

一方で、このような人間工学的な原理に基づいた指標であるMPRT (Moving Picture Response Time) を改良の道しるべとしてきた¹⁴⁾。その後、1フレーム期間内に黒表示を入れると周波数を引き上げた場合と同じ効果が得られ、またオーバードライブという少し高いパルス電圧を印加することで液晶の応答時間を短縮する技術も開発し、製品に適用した。スーパーインパルス駆動と命名した。IPS パネルではこれらの技術を集約し、量産品でMPRTが10ミリ秒以下という世界トップの動画性能を実現している¹⁰⁾。

4.3 光利用効率

IPS パネルは当初、不透明な金属の櫛歯状の配線電極を用いていたが、その後3代目のAS-IPSから透明電極を採用し、IPS-Proパネルでは面状の電極と櫛歯状電極の両方を透明電極にして光の透過率をさらに引き上げた。液晶材料や画素構造の最適化なども進め、最初のS-TFTと比較して、1.5倍以上の光透過率を実現している。IPS液晶は前述のように液晶固有の性質として広い視野角特性を有しているため、他の広視野角表示のように視野角による非対称な特性を補償するための多くの副画素(4または8ドメイン)を形成する必要がなく、副画素の境界の遮光領域がほとんどない。

5 今後の展望

以上に述べてきたように、最新のIPS パネルの特徴

は、第1に、斜めから見ても鮮やかな色が忠実に再現される広い視野角特性、第2にぼやけの少ない動画性能、そして第3に高い光の利用効率である。しかし理想的なテレビ用途に向けた性能の改善の余地はある。

まず考えられるのは、光利用効率が高いという特性をテレビセットの低消費電力化に生かすという道である。いろいろな部材を多用することで、32型モジュールで世界トップレベルの65 Wを実証した。今後、部材の簡素化、高効率化などを進めて、省エネテレビに結び付けたい。

次は、再度、画質である。薄型テレビの用途としてやや暗い部屋で映画を楽しむという機会が増えてきているため、暗い部屋での画質をさらに引き上げてきた。IPS

パネルでコントラスト比が初期の3倍に上がったため、映画のような映像でも多くは実用上問題ないレベルになった。暗室での評価ではコントラスト比を現在の10倍である10,000:1以上にすることで究極の画質が得られることもわかった¹⁵⁾。一方で、現在バックライトとして使われている蛍光管をLED (Light Emitting Diode) に切り替えると色再現性が格段に上がり、かつ映像信号に合わせてパネルとともにバックライトの輝度も連動して変調させることで、コントラスト比も飛躍的に上げられる技術も開発した¹⁶⁾。このとき、さらにこの効果を引き出すためには、再度、斜め方向から見ても色が変化しないというIPSの基本特性が威力を発揮する。LEDを一般に普及させるためには、まだ効率などの課題はあるが、理想系に向けて取り組んでいきたい。

6 おわりに

IPS液晶ディスプレイの量産開始から10年が経過し、IPS パネルに進化し薄型テレビ用パネルとしてさらに進化発展するものと期待されている。しかし、IPSパネルの性能を引き出し切ったわけではなく、まだ改善、進化の余地が多数残存すると感じている。関係者一同、今後も改善を進めていく所存である。

謝辞

ここで述べた内容は、株式会社日立ディスプレイズ、日立製作所の各研究所の研究成果を基にまとめたものである。かかわった関係各位に深く感謝の意を表したい。とりわけ、開発全般に対しては株式会社IPSアルファテクノロジーの大和田氏、株式会社日立ディスプレイズTV用TFT開発部の小野氏に、駆動システム関連では日立製

作所中央研究所の工藤氏、画質関連では日立研究所の檜山氏、内海氏、紺野氏、梶田氏に、そして液晶技術に関しては富岡氏に有益な議論をいただいた。改めて御礼申し上げます。

参考文献など

- 1) M. Oh-e and K.Kondo : Appl. Phys. Lett. , 67, 3895 (1995)
- 2) 近藤, 外 : ブラウン管に匹敵する広視野角を実現した大画面高精細TFT, 日立評論, 78, 1, 12 (1996.1)
- 3) M. Ohta, et al. : IEICE Trans. Electron. E79-C, 8, 1069 (1996)
- 4) 小西, 外 : モニタ用34 cm (13.3型) スーパーTFT-LCD, 日立評論, 78, 849 ~ 854 (1996.12)
- 5) T. Yamamoto, et al. : SID 00 Digest, 456 (2000)
- 6) K. Kawabe et al. ; SID 01 998 (2001)
- 7) J. Hirakata et al. ; SID 01 990 (2001)
- 8) K. Kawabe et al. ; SID 02 1284 (2002)
- 9) D. Kajita et al. ; SID 06 Digest. 21.2 (2006)
- 10) K. Ono et al. ; SID 06 Digest. 69.5 (2006)
- 11) 色彩科学ハンドブック (第2版 日本色彩学会編) 図25.45.
H.Grosskopf ; Runtfunk-technische Mitteilungen, 7(4) 205 (1963)
- 12) S. Aratani et al. Jpn. J. Appl. Phys. Vol.36, No. 1AB L27 (1997)
- 13) 栗田 ; 日本液晶学会第1回ディスプレイフォーラム (1998)
- 14) Y. Igarashi et al. ; SID 04 Digest 43.3 (2004)
- 15) T. Yamamoto et al. ; SID 05 Digest P-48 (2005)
- 16) A. Konno et al. ; SID 05 Digest 40.2 (2005)