

# ディスプレイ・デバイスの現状と動向

## Recent Trend of Display Devices

船 田 文 明 \*<sup>1</sup>  
Fumiaki Funada

栞 川 正 也 \*<sup>2</sup>  
Masaya Hijikigawa

### 要 旨

ディスプレイデバイスの最近の研究開発状況についてフラットパネルディスプレイを中心に全体の動向を鳥瞰する。特に液晶ディスプレイに関しては、単純マトリクスLCD技術並びにアクティブマトリクスLCD技術の両面からその歴史的発展過程を振り返ると共に最近の先端技術の紹介と動向につき解説する。

A trend of recent R & D on display devices, especially flat panel display, are reviewed. In addition, historical growing process of liquid crystal display (LCD) is reviewed from both sides of a simple matrix LCD technology and an active matrix LCD technology, and a trend of recent advanced technology is also discussed.

### まえがき

サブミクロンの超微細加工技術に裏打ちされた高性能 Si-LSI 技術は、現代社会をエレクトロニクス・デバイスを基盤とした高度情報化社会とした。更にそれらデバイスを有効に働かすための数々のコンピューティングや、通信などの領域のソフトウェア技術の目覚ましい進展と合まって、今やデジタル信号に基づく全世界のマルチメディア情報が、通信システムで地球規模で一につに結ばれるネットワーク体としての新・情報化社会が構築されつつある。

人類の文化史的に見ても、この大きな技術の流れは、正に 15 世紀のグーテンベルグの印刷術の発明を受けての近世から現代へと続いた大きな文化的発展に比する極めて大きな変化であろう。ところで、この新・情報化社会は、人間社会の間にデジタル・エレクトロニクスが介在、あるいは融合して作られたかつて無かった新社会であり、そしてその構成要素は、主体としての人間に加えて、対象物（事象、社会）、入

力装置、情報（信号）処理装置、記憶装置、伝送装置、及び出力（表示）装置から成っている。

この中で本論のテーマに関する出力装置としての表示（ディスプレイ）装置は、情報化社会に在って、エレクトロニクス装置としての機械と人間を結ぶ情報の「かけはし」、言い換えれば、電子情報信号の通訳者としてのマン・マシーン・インタフェースである点で他の記憶装置や情報処理装置等と異なった特徴を本質的に有している。すなわち、表示装置は、人間に対する表示故に人間の要素が必ず含まれる装置（機械）である事である。この人間的な装置は、従ってこれまでの開発過程においても単純な機械的進化論では説明できない技術的・経済的進展をとってきており、今後の議論に於いても忘れてはならない重要なポイントである。

その一例に、デバイス寸法としての画面サイズの問題がある。勿論、それは表示容量と人間の目の解像度からくる視認性によって下限サイズが決まるが、それはまたその装置が使われる明視の距離にも依存する。さらに表示装置はエレクトロニクス商品の「顔」としてデザイン上、および商品コンセプト上、重要な戦略的意味を持つことになる。また一方でこのデバイス寸法は、一定生産工場ラインからの生産数量、ひいては価格とも密接な関係を持ち、事業戦略および経営に直結する重要項目となる。このデバイス・サイズ問題は、同じ新・情報化社会を構成する重要要素である記憶・情報処理装置としての LSI デバイスが大容量であっても、高速処理且つ高生産性のためにはできるだけ小型化が原理的に望ましい、と言う状況と基本的に異なる点である。

本論では、このディスプレイにおいて、今後、CRT に代わりその基幹デバイスとなり得る、フラットパネルディスプレイの代表技術である液晶ディスプレイを中心として、最近の技術進展状況、および将来の発展方向につき、他のディスプレイデバイスの開発状況を踏まえ鳥瞰する。

\*<sup>1</sup> 液晶天理開発本部 液晶研究所

\*<sup>2</sup> 液晶天理開発本部

### 1. 各種ディスプレイの現状と位置づけ

今年(1997)は、ディスプレイデバイスの代表であるCRTがブラウンにより発明されて100年目に当たる記念すべき年である。この変革の激しいエレクトロニクスの世界にあって、その分野の代表技術として100年持続した技術は他にも多くは無いであろう。もちろん、この100年の間に表1に示す様な数多くの原理に基づく新ディスプレイ技術がこれまでに提案されてきたが、現時点では、未だ事業規模面でCRTを陵駕するデバイスは現れていない。しかし、ようやくここにきて実用化後、四半世紀の液晶ディスプレイ(LCD)が、デジタル・マルチメディア技術との適合性を武器に21世紀を睨み急激に市場で追い上げを図りつつある。また、大型映像用パネル分野ではプラズマディスプレイパネル(PDP)の進展も著しい。合わせて、新フラットパネルディスプレイとしてのFEDや、有機ELもデバイス構造や材料面のブレイクスルーにより、新たな局面を迎えつつある。これら代表的ディスプレイの最近の動向につき以下で展望を行った後、特にPost-CRTとしてのLCDの位置付けを次章で考察したい。

表1 各種ディスプレイとその動作原理  
Table 1 Display technologies and their operating principles.

表示方式 (略称)	動作原理
ブラウン管 (CRT)	高速電子線により蛍光体を励起させ、その発光を利用
蛍光表示管 (VFD)	低速電子線により蛍光体を励起させ、その発光を利用
FED	電界電子放出を加速し蛍光体を励起させ、その発光を利用
LED	電子とホールキャリア再結合による発光を利用
PDP	ガス放電による紫外線で蛍光体を励起し、その発光を利用
EL	固体内の加速電子の衝突電離・再結合による発光を利用
LCD	電界による液晶分子の配向変形に基づく光学効果を利用
DMD	電界によるマイクロミラーの変形による光路変化を利用
エレクトロクロミックディスプレイ (ECD)	電気化学反応による提色効果を利用
電気泳動表示 (EPD)	着色微粒子の電気泳動効果を利用
磁気回転表示 (MPD)	着色磁気粒子の磁場による回転を利用
磁気光学表示 (MOD)	磁気光学効果による光学変化を利用

#### 1.1 CRT

全体としてレベルが高く、合わせてバランスの取れた表示性能と高生産性からくる高いコスト・パフォーマンスで、TV用並びにPCモニター用のディスプレイ・デバイスとして王者の地位を維持してきたCRTは、ここに来てその画面サイズの上限(約40型)、大きな容積、及び消費電力といった仕様において本技術の根幹に関する点で限界に近づきつつある。

しかし、なお一層の改善努力も積極的に行われてきており、その最近の技術動向としても、大型化、高精細化、フラットフェイス化、高色純度化、省電力化が目立った動きも出てきている。例えば、大型化ではワイド36型が市販TV用として本格量産されてきており、また高精細化の動きでは、CADモニター用としても24型の16:10のワイド高精細管や、アパーチャグリル方式によるスーパーフラットタイプの高精細28型が、開発・生産されてきている。また、PC用のみならずTV用途にもフラットフェイス化の動きが出てきており、画面を見る限り一見FPDの様にも見え、従来のCRTのイメージを変えつつある。低消費電力化もネック径の縮小化と電子銃の改良で、従来比30%以上の改善効果が得られて来ている。さらに、高コントラスト化あるいは高色純度化のために、蛍光体にカラーフィルターを付加したり、フェイスプレートの反射光を減少・防止する対策がとられ、表示性能も向上してきている。

今後のCRTの動向としては、超大型化等この技術の限界打破を狙うよりは、むしろこの技術の得意とするコストパフォーマンスをさらに生かす方向での改良が進み、ディスプレイのコモディティとして継続して使用されていくであろう。

#### 1.2 PDP

MgOをカソード材料兼電極保護膜としたAC型の面放電方式と背面に蛍光体を設置した構造の提案がブレイクスルーとなり、ここ数年でPDPは特に40型~50型程度の大型サイズ分野で、目覚ましい進展を遂げつつある。解像度もNTSCレベル(852×480画素)はもとより、デジタルATVレベル(1280×720画素、1920×1080画素)を目標に開発が進められており、表示輝度、発光効率や寿命も目処をつけつつあり、42型NTSC-TV用の少量生産も開始し出している。この状況を受け、各社より次世代TVを狙った本格量産対応のための巨額の設備投資が始まっている。しかし、未だ残された基本課題としての画質(色再現性、擬似輪郭問題)改善と民生機器に対応し得る大幅な低価格化に対する回答は見えていない状況には有る。しかしながらこれらの課題を量産立上げまでに解決を図

る計画でそのブレイクスルーのための研究開発が、上記の設備投資の動きと平行して非常に活発に行われている。

### 1・3 FED (Field Emission Display)

フラットCRTの一種であるFEDは、各画素に対応して電界放出型の電子銃が形成されている事が特徴点である。20年以上前に提案されたFEDだが、高輝度で安定した表示を実現する電子エミッターと、蛍光体の実現に対するバリアーは高く、未だ本格的な市場参入は行われていない。最近の成果としては、安定性の実現にエミッターに抵抗層の挿入やシリコン基板上に形成したバッファートランジスタとの結合などが提案されているが、表示輝度やディスプレイ・サイズ等に対しトレードオフもあり決定解とはなっていない。また、最近、PDPと同じ40型以上の超大型化を目標とした表面伝導型エミッター方式の提案が、3.1型(240×3×80ドット)のプロトタイプとともに行われ、寿命・均一性で課題を残すが、量産性の高い方式として注目されている。FEDに適した新蛍光体の開発は、数年前から米国政府も関与した専門のコンソーシアムが、結成され積極的に行われているが、未だ良好な結果は得られていない状況にあり、エミッターと共に更なるブレイクスルーが必要な状況にある。

### 1・4 EL

ELは、表示原理的には更に無機ELと有機ELに分類される。共に、フルカラーのFPDの実現を目標としているが、狙いは高精細の中小型分野で、長寿命や広い動作温度領域を特徴に、他のFPDとの棲み分けを図ろうとしている。

無機ELでは、CaGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Ceの高効率青色新材料の開発と、赤・緑のZnS系材料の積層構造により多色化が実現した。また、信頼性の高い白色EL(SrS:Ce/ZnS:Mn)層とカラーフィルターを組み合わせた方式が開発され、構造の簡略さや良好なコントラスト特性から産業機器の用途で実用化されようとしている。また、米国を中心に、薄膜ELの特徴を生かし、シリコンMOS技術と融合させた軍用の1型程度の超高精細HMD(Head Mounted Display)等への応用開発が行われてきている。

一方の有機ELは、10年程前の発光層・正孔輸送層から成る2層型構造の開発を契機に、実用化デバイスを目指した動きが活発化しだしている。フルカラーを目指した動きも活発であり、白色発光層とカラーフィルターを組み合わす方式と、青色発光層と赤・緑の蛍光層を組み合わせる方式が有力である。しかしながら、色純度の高い高効率の赤色材料の開発や、素子寿

命等の信頼性にまだまだ大きな改善課題があり、フルカラー表示を実現するためには更なる材料・構造面のブレイクスルーが必要である。

### 1・5 その他の表示技術

上記以外の注目すべき表示技術として、DMD(Digital Micromirror Device)がある。DMDは、TI社が約20年前から継続して開発してきたSi-LSI技術とマイクロマシーン技術を融合させた投影型表示用の空間光変調素子である。

動作原理は、静電界により微小なAI反射鏡を機械的に動かし光線の反射方向を変化させ、その結果として輝度変調を行うものである。以前よりマイクロミラーの軸受け部の金属疲労が寿命に対する課題とされていたが、最近ではその解決にも目処を得てプロジェクターへ応用され、実用化が開始されている。

本方式は、特に数マイクロ秒というその高速応答性が特長であり、タイムシーケンシャル駆動といった方式で、単板式のプロジェクターも開発・商品化されて来ており、後述の液晶プロジェクターの競合技術ともなっている。

## 2. 液晶ディスプレイの開発状況と動向

液晶ディスプレイは、1973年にポータブル電卓用の小型数字表示として、本格的な量産・実用化が当社により成されて以来、ほぼ四半世紀を経た今日、FPDの代表技術としてのみならず、CRTを置き換え得る次世代の主流ディスプレイ技術として認識されるに至っている。本章では、LCD技術の歴史的過程と、最近の数々の技術課題に対するブレイクスルーにつき展望する。

### 2・1 LCDの歴史的発展過程

表2は、LCDの発展史の年表である。この表に従い各時代の画期的な「事件」を振り返ってみたい。

#### 2・1・1 LCD誕生前期

オーストリアの植物学者であるReinitzerが、ステロイド化合物の植物への生化学的影響を研究するに当り、高純度のコレステロール誘導体を合成し、一般的な手法に従ってその材料の転移点を測定していた時、通常の結晶の溶解とは異なる白濁状態や鮮やかな青色等の提色現象を発見した時点が、そもそも「液晶」の誕生とされている。1888年の事であった。もちろん、それが通常の結晶相でも液体相でもない状態としての中間相であることが解ったのは、1920年代に入ってからのもので、フランスのFriedelによる研究成果に依

表2 液晶ディスプレイの研究開発年表  
Table 2 Historical chart of the LCDs.

年	事 件 ( 内 容 )
1888	Reinitzerによる液晶の発見
1920頃	Friedellによる中間相としての液晶の認識
1930頃	(英) Marconiの研究者による最初の液晶素子特許出願
1960頃	(米) WH, RCAにおけるLCDの研究開始
1963	RCAのWilliamsによる電気光学効果の論文発表
1968	RCAによるLCD (DSM) 試作品開発発表並びに論文発表
1969	(独) Hoechstによる室温液晶 (MBBA) 合成の論文発表
1971	(スイス) RocheからのTNモード開発論文発表
1973	シャープによる世界初の液晶電卓 (EL805) の量産・実用化
1979	(英) Dundee大学のSpearらによるa-Si TFT試作開発の論文発表
1982	諏訪セイコーによる高温p-Si TFTカラー液晶TVの開発
1985	(スイス) BBCのShefferらによるSTN-LCD試作開発の論文発表
1986	松下によるa-Si TFT-LCD (NB方式) を用いた液晶カラーTV商品化
1987	シャープによるa-Si TFT-LCD (NW方式) を用いた液晶カラーTV商品化
1987	シャープによる位相差補償型白黒DSTN-LCDの商品化
1988	シャープによる14型a-Si TFT-LCDの開発発表
1990代	a-Si TFT/STN液晶技術による本格的な大型LCD時代となる

るものである<sup>1)</sup>。

さて、この液晶を工業的に応用しようとする試みは、すでに1930年代にイギリスのMarconi社の研究者により電気光学素子として特許出願が行われたが、透明電極も未だ無いこの時代では、この発明を活かす周辺技術が未成熟であった事もあり、結局この発明を育成することはできず、液晶は物理・化学的な科学の分野に於いてのみ興味を持たれ、この状態は既にエレクトロニクスの時代に入っていた1960年代まで続いた。

2・1・2 LCD開発第1期

上記のような状態に、くさびを入れたのがアメリカのFerguson (WH社) とWilliams (RCA社) であった。Fergusonは、1960年にコレステリック液晶の選択反射現象を利用したサーモセンサーや赤外線像の可視光変換装置の発明を行い特許出願を行った。また、Williamsはネマティック液晶の電界効果を見出し、表示装置の特許出願を1962年に行うと共にNature誌への論文発表を1963年に行った。特に、Williamsの研究は同じRCA社のHeilmeyer達に引き継がれ1968年

のネマティック液晶のDSM (Dynamic Scattering Mode) と呼ばれる電気光学効果を用いた初めての液晶ディスプレイの試作品(デジタル置き時計)の開発と共に、IEEE誌へ論文発表を行った事で、液晶の工業的応用に向けた本格的開発の口火を開く事になった。

ところで、このDSMの動作原理は、電場による負の誘電異方性を持ったネマティック液晶分子の配向変形効果と、その液晶中の可動イオンによる空間電荷効果との複合効果で生じた液晶分子の乱流運動効果に依る光散乱効果を表示に利用したもので、その理論解析にはノーベル賞を受賞したDeGenne教授の研究グループの貢献が大きい。一方、丁度その頃は、世の中は低消費電力型のCMOS構造のICがアメリカで発明(1963)され、その開発が本格的に開始された時期でもあった。

そのころ、当社では、1964年に世界初の電卓CS10Aが開発・生産され、引き続いて1966年にはバイポーラICを用いた電卓CS32Aが、そして1967年にはMOS-ICを応用した電卓CS16Aが夫々商品化されていた。そして次に企画されていたのが、MOS-LSIと低消費電力ディスプレイによる小型でどこでも使えるポータブル電卓であった。具体的には、極めて低消費電力のCMOS-LSIと、液晶ディスプレイによる単3乾電池で動作可能な小型ポータブル電卓が1971年の末に開発企画され、特別プロジェクトとしてのS734PTが結成された。そして、1年半弱の1973年4月にこのプロジェクトは完了し、5月にポータブル電卓EL805(写真1)として新聞発表、6月販売開始となり、初めての液晶ディスプレイの本格的実用化への幕が切って降ろされた。この電卓は、初めての量産液晶応用製品としてのみならず、LSIを液晶パネルのガラス基板上に集積したシステムオンガラスのコンセプトを実現した事でも画期的であり、各方面から注目を受けた製品であった。



写真1 ポータブル電卓EL805  
Photo 1 The first portable LC calculator EL805.

しかしながら、このDSMを用いたLCDは、その動作原理上、10V以上の駆動電圧を必要とし、また光散乱型の電気光学効果のため表示にフードを必要とする事から、CMOS駆動が容易な低電圧タイプの光吸収型電気光学効果への転換が要望されていた。

液晶の新電気光学効果については、既に1968年から1971年にかけて、二色性染料を液晶分子で配向制御を行うゲストホスト方式を始め、液晶層の複屈折干渉現象を利用した電界制御複屈折方式、90度のねじれた液晶分子配列による旋光現象を利用したツイステッドネマティック(TN)方式等々、幾つかの偏光を利用した光吸収型方式の提案発表が、学会誌等で行われ始めていた。

当社では、1971年の末から特にTN型のLCDの調査研究をDSMの実用化研究と平行して推進を開始した。ところでこの頃は、ともかく液晶材料の入手が容易でなく、化学メーカーの研究所に化合物の合成を特別に依頼し、ようやく入手した貴重な少量のサンプルを用いて、新効果に期待し胸を踊らしながら実験を行うという状況であった。そして、1975年10月に従来 Schifff 塩基系液晶材料から化学的により安定な Azoxy系液晶材料を用いた TN-LCD を採用した当社最初の製品である小型デジタル置き時計が発売され、翌1976年には TN-LCD を用いた厚さ7mmで、消費電力が0.01 Wのポケットブル電卓 EL8020 (写真2) が商品化された。また、この時期から液晶材料としては、イギリスの Gray 教授らが合成したさらに信頼性の高い Biphenyl 系の液晶材料を当社が最初に製品に応用し、LCDの寿命・信頼性確立に対するマイルストーンとなった。そして更に液晶電卓は1976年には太陽電池駆動、1977年には5mm厚のカード型となり、1979年には究極の1.6mmカード電卓へと進化していった<sup>2)</sup>。



写真2 ポータブル電卓 EL8020  
Photo 2 A portable calculator with a TN-LCD EL8020.

### 2・1・3 LCD開発第2期

1970年代の後半からLSI技術の進展を背景とし、LCDの用途も電卓や時計用の数字表示だけでなく、文字や画像を表示したいと言う要求が市場から強まってきた。そのため、液晶パネルもいわゆる8字型のセグメント電極方式から、XYマトリックス電極方式への変更が必須となった。しかしながら、TN型の液晶表示モードでは、走査ライン数(デューティ比)は高々15程度であり、1から2行の英文字表示がやっとであった。写真3に当時のXYマトリックスLCDの応用例として、1行の英文字、カタカナ表示のLCDを搭載した電訳機を示す。



写真3 1行の英文字、カタカナ表示の電訳機  
Photo 3 An electronic translator with an alphanumeric LCD.

より大容量の表示を実現すべく当社は、1976年から単純マトリックスLCDと、アクティブマトリックスLCDの両面からの研究開発を開始した。そして単純マトリックスLCDでは、1978年に5.5型の160×120ドットのB/W液晶テレビ(写真4)の開発に成功した。ここでは、2重マトリックス電極構造、画面上下分割のデュアルスキャン駆動、及び2層液晶パネル構造の各要素技術を組み合わせ、1/15デューティで120本の走査線を駆動し、15階調の画像表示を行った。



写真4 5.5型160×120ドットB/W液晶テレビ  
Photo 4 A 5.5" B/W LC-TV with a XY matrix LCD (160×120 dots).

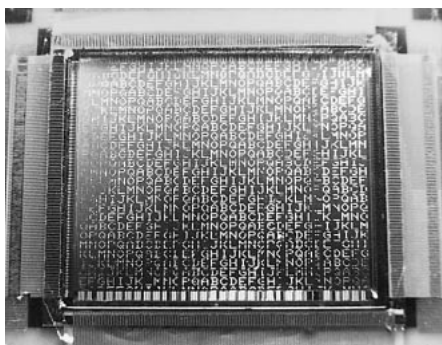


写真5 3.8型 248×204ドット文字放送対応  
Te-TFT アクティブマトリクスLCD  
Photo 5 A 3.8" Te-TFT LCD (248×204 dots).

一方、当社のアクティブマトリクスLCDの研究は、アメリカのWH社が研究に注力していた化合物半導体のCdSeを用いたTFTではなく、再現性に優れた元素半導体のTeを用いて行った。1979年からの3年間は、日本電子工業振興協会（JEIDA）から、さらに1981年からの2年間は通産省からの助成を受け、Te-TFT LCDの研究開発を行い、最終成果として3.8型248×204ドットの文字放送対応の、Te-TFTを用いたアクティブマトリクスLCD（写真5）を開発完了した。

#### 2・1・4 LCD開発第3期

1980年代に入りLCDの大容量化の研究開発は、単純マトリクスLCD、及びアクティブマトリクスLCDの両技術とも一層拍車がかかって来たが、それらの研究成果は価格面を含め未だ実用になるレベルには至っていなかった。市場では、LCDに対する限界論も囁かれだしていた。市場規模も年間約200億円台で伸び悩んでいた。このような状況の下、単純マトリクスLCD及びアクティブマトリクスLCD夫々に、ブレイクスルー技術の提案が成された。それらは、単純マトリクスLCDでは、液晶層のツイスト角を大きくし（例えば270度）、透過率 - 電圧特性を急峻に変化させ高デューティ駆動に適合させた、いわゆるSTN（Super Twisted Nematic）技術のShefferらによる提案であり、アクティブマトリクスLCDではSpear教授らによるa-Si TFT技術の提案と、諏訪セイコーによるSi MOS技術を用いた1.6型モノクロTVパネルの試作品発表、及び高温ポリシリ技術を用いた2.1型カラーTVパネルの開発・発表であった。

ところで、Shefferらの提案のSTN-LCDは、走査線数を従来より桁違いに多い240本以上に大幅に拡大改善できるものの、一方で光の複屈折による干渉効果を

用いているために、必然的に表示画面が黄緑あるいはその補色の青色に着色し、表示が見づらいとの消費者の声が有り、また併せて当然ながら任意のカラー表示が行えないと言う基本的な問題点を包含していた。

当社は、この問題が光の複屈折による干渉効果に起因している事から、位相補償の考えを導入した2層型STN-LCD（写真6）により解決を図り、非常に困難と言われたその生産を独自の高精度な液晶生産技術により達成し、その結果として1987年に液晶業界のリーダーの位置を再び勝ち得る事となった。ところで、この当社が適用した位相補償の考えは、1970年代後半の上述した2層液晶パネル構造の単純マトリクスLCDの研究を背景として成されたものである。その後、2層型LCD方式は軽量化とコストダウンのために、延伸ポリマーフィルムによる補償方式となり、また高い平坦性を有したカラーフィルター作成技術の開発によりカラー化も図られ、さらには視角特性などの光学的改良の継続と共に、当社におけるSA（Sharp Addressing）やHCA（High Contrast Addressing）と言った、表示均一性向上駆動波形補正技術や、同時複数走査線駆動方法と組み合わせ、表示特性を向上させ、ワープロ、ノートPC、PCモニター等に広く応用され今日に至っている。



写真6 位相補償の考え方を導入した2層型STN-LCD  
Photo 6 The first B/W LCD word processor using a double layered STN-LCD.

一方のアクティブマトリクスLCDに関しては、1979年のSpear教授らによるa-Si TFTの論文発表以来、その良好な性能や大画面への発展性、生産適合性などに支えられ、また当時のa-Si太陽電池開発ブームと連動し、核心となるP-CVD装置の改良もあり、各社とも開発に熱が入り出し、a-Si TFT-LCDの本格開発競争に突入していた。三洋、東芝、キヤノンの各社が1982年にa-Si TFT-LCDの試作品を発表した。

当社でも、通産省補助金テーマのTe-TFT-LCDと平行してa-Si TFT-LCDの研究を推進し、1983年には3

型フルカラーパネルのプロトタイプを実現させる事ができた。この試作以降、事業化に向けた動きが本格化し、天理工場内に専用ラインを設置し、1987年から液晶TV用の鮮やかなフルカラー表示のノーマリーホワイトモードを適用した3型 a-Si TFT-LCD(写真7)の生産・販売が開始された。そして翌年の1988年には、当社はCRTに匹敵する14型 TFT-LCD(写真8)を開発し、a-Si TFT-LCDが次世代の主流となり得るFPD技術である事を実証した。以後、このa-Si TFT-LCD技術がノートPC、PCモニター、ビューカム、車載用ナビゲーションを始めとして液晶ディスプレイを活用した新たな商品群の創出に、大きな寄与を行ってきているのは周知の通りである<sup>3)</sup>。なお、最近のLCDの研究開発状況に付いては次節で詳細を紹介する。



写真7 TV用フルカラー表示ノーマリーホワイト適用3型 a-Si TFT-LCD

Photo 7 The first LC-TV product using a-Si TFT-LCD from SHARP.



写真8 14型 TFT-LCD

Photo 8 The first large (14") TFT-LCD.

## 2・2 最近のLCD技術開発

単純マトリックスLCDにおけるSTN技術、及びアクティブマトリックスLCDにおけるa-Si TFT技術が、LCD開発の第3期を特徴付ける重要要素技術であり、併せて周辺材料技術、光学技術、並びに大型高精細パネルのための生産技術が相俟って、今日のLCD産業を築いてきた。そしてまたCRTと肩を並べ、あるいは凌駕する表示品位をも実現するレベルにLCDは成

長してきた。この節では、これら技術革新をもたらした最近の重要な技術進展について事例を紹介する。

### 2・2・1 STN-LCD技術

単純マトリックス駆動方式を用いたSTN-LCD技術においては、その表示原理から明らかな様に、液晶の電気光学効果にその表示性能の大半が依存しているため、その構成要素の液晶材料、液晶分子配向、液晶層厚、透明電極、位相差補償フィルム材料、及び駆動方式を含めた駆動回路等のいわば機能要素の性能、精度、均一性などにより、表示性能が決定される。

STN-LCDでは、電圧平均化法による駆動を行う為に、表示コントラストを出すための選択ドットと、非選択ドットの駆動実効値電圧比(駆動マージン)が、走査ライン数(駆動デューティ比)が増加すると減少し、例えばデータラインを上下に分割し、走査ライン数を実質的に半減化する、いわゆるデュアルスキャン駆動法を用いても、VGA(640×480画素)の場合で駆動マージンは、1.0667(N=240)と少なく、さらにXGA(1024×768画素)の場合では、1.0524(N=384)となり、さらにシャドーイングや表示輝度ムラなしで均一な階調表示を行う為には、例えばその64分の1(6ビット階調)の駆動実効電圧値に相当する0.08%以下の、極めて精度の高い電圧制御を必要とする。

したがって、STN-LCDパネルの技術は、電圧変化に対して急峻な光変調効果を発現させる液晶材料、液晶分子配向膜、及び光学位相差補償フィルム技術に加え、それらの性能を面内で均一に表示するための極めて平面性の高い基板低抵抗透明電極、高精度セル厚制御構造、等のプロセス技術、及び各材料の高度均質化制御技術、さらには電極抵抗や浮遊容量などによる駆動波形歪みを補償する駆動回路技術を核心技術としている。例えば、STN-LCD用液晶材料として、安定なSTN配向に適した弾性係数値を持ち、合せて応答特性の向上に有効な薄いセル厚が使用できる比較的高い複屈折値を有した化合物として、アルケニール系、スチルベン系、トラン系等といったTFT用とは全く物性仕様の異なるSTNモード専用の液晶化合物が合成され、性能を大幅に向上してきている。また、0.01マイクロメートル単位の超高精度の液晶層厚制御を可能とするスペーシング技術や、パネルガラス張り合わせ技術等が開発され、表示品位の向上に寄与している。ところで、電圧平均化駆動法を用いた単純マトリックスLCDの本質的課題として、液晶材料の低粘度化やセル厚の狭小化により液晶の応答特性を向上させると、トレードオフとしてコントラストが低下するという、いわゆるフレームレスポンス現象が有る。この課題に

たいしては、この数年に渡りフレーム周波数の増大化や、直行関数演算処理を用いたマルチライン同時走査法が、解決策として各社において重点検討され、最近、その実用化が開始されている。尚、当社では、これらの新駆動技術をそれぞれ、HCSA (High Contrast Sharp Addressing), HCA (High Contrast Addressing) と呼んでいる。写真9に当社から最近商品化されたコントラスト40対1、応答速度150msecの12.1型SVGA仕様のノートPC用HCAパネルを示す。

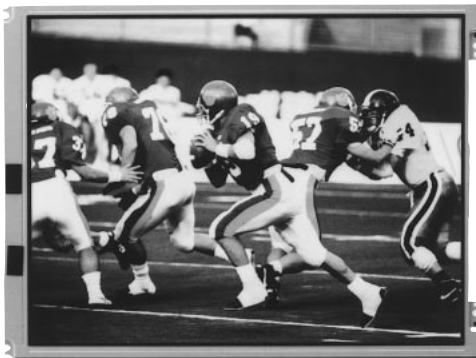


写真9 12.1型SVGA仕様ノートPC用HCAパネル  
Photo 9 A fast response and high contrast HCA-LCD.

これらの技術により、今日STN-LCDは、中小型の携帯型情報機器は勿論のこと、PCデスクトップモニターや、ノートPC用のディスプレイパネルとして、TFT-LCD技術と双壁となり、液晶市場の1/4の約2600億円/年(1997予測)の規模で広く活用されてきている。

2・2・2 TFT-LCD技術

TFT-LCD技術は、その動作原理上から相対的にTFTアレー基板技術にウエイトが高いが、ディスプレイ機能が光学的事から、STN-LCDと同様に電気光学変換材料としての液晶材料技術や、位相差補償フィルムやレンズ・プリズム等の光学部材技術も重要である。

当初より、TFT-LCDの狙いはCRTに優る表示特性を持った理想形態のFPDの実現であり、その実現を夢見て、RCAのLechnerらの1971年の提案以来、この四半世紀を超えて世界中の技術者が開発に注力してきたのである。

今日、その努力が実り、TFT-LCD技術は約7500億円/年(1997予測)の市場規模を作る産業となり、今後、数年の内にこれまで100年続いたCRTに置き換り、ディスプレイの中心技術に成ろうとしている。

以下にその開発事例を紹介する<sup>4)</sup>。

(1) 大型・高精細化(大表示容量化)

TFT-LCDは、1980年代後半の開発当初は、ポータブルTVを目指して3型(384×240ドット)パネルの開発が進められていた。この分野は、CRTが苦手としていた言わばニッチ市場であり、新ディスプレイとしての、TFT-LCDの参入が唯一可能と当時は思われた領域であったからである。

しかし、1988年に開発された14型のPC対応VGAレベルの試作品の発表を契機に、この流れは大きく変わった。TFT-LCDが、その高いコントラスト特性などの表示品位と、本質的に持つマトリックス表示によるにじみの無い高解像度特性から、PCの表示装置として望ましい形態であるとの認識を得たからである。

以後、CRTと単色のPDPが独占していたPC表示市場にLCDが本格的に参入し、それに伴い表示画素容量もPC基準のVGA(640×480)を皮切りに、SVGA(800×600)、XGA(1024×768)、SXGA(1280×1024)、UXGA(1600×1280)が具現化し、更には高精細CAD用途の2000×2000画素を超える領域まで、視界に入れた開発が具体化しつつある。これらの状況を図1に示す。これらTFT-LCDの高精細化の動きに連動し、人間の目の解像度による視認性の観点から、画面サイズも最近ではノート型PC用では13型へ、デスクトップのモニター用では、20型サイズまで拡大化してきている。しかしながら、今後においてもこれらの用途では、25型以上の大型化への必然性は、その使用形態からして少ないであろう。従って、大型化はむしろAV用途や公共表示に向けた用途を対象に進展すると考えられる。

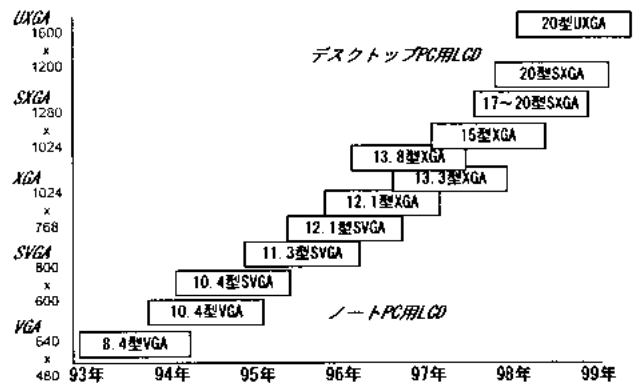


図1 大型・高精細化の推移

Fig. 1 Trends for display contents of the LCDs for PC.

ところで、これらデバイスが開発されてきた背景には、大型・高精細化における最重要課題でもあるシェイディング対策としての走査(ゲート)バスラインの低抵抗化問題の解決がある。ゲートバスラインのメタロジイとしては、従来は対象パネルが中小型で、精細度も高くなかったことから、プロセス上の耐熱性や化学的耐薬品性を優先させた、Ta, Mo, Cr系と言った高融点材料が用いられてきた。しかし、大型高精細仕様となると、高い駆動周波数成分が当然増すことから、TFTの負荷容量の影響の大きいゲート・バスラインの時定数増加が先ず問題となり、その為に駆動波形歪みを発生させない低抵抗バスラインが検討される。例えば Ta / TaN による Ta のアルファ化結晶による数分の1への低抵抗化や、さらに低抵抗材料である Al 系との多層複合材料として、Ta / Al, Mo / Al, Ti / Al, Cr / Al 等などが実用化されてきている。また将来のより大型化に向け、プロセス面の改善により Al や Cu を使いこなす動きも活発である。

大型・高精細化パネルの実用化に対して重要な要素の一つに生産プロセス工程のダスト管理や均一性管理といった生産技術分野がある。地道な技術領域であるが、この方面の進展も大型・高精細 LCD 実現の要となっている事を特記しておきたい。

(2) 広視野角化

上記3・1節で述べた様に、TN モードを用いたマトリックス LCD は、TFT によるアクティブマトリックス駆動により、表示のコントラストを始めとする表示品位を大幅に改善してきたが、その中で狭い視野角の問題が、特に据え置き式の大型表示の分野でクローズアップされてきた。この問題解決は、LCD が CRT に匹敵する本格的ディスプレイとなる為の生産性向上問題と並ぶ残された最大の課題であった。それゆえ、この数年、この課題解決に向け業界を揚げてのあらゆる方面からの技術検討が為されてきた。表3にその事例を示す。

これらの方式の中で、現在では、当社が提案したスーパーVと呼ばれる特殊光学フィルムとデュアル

ドメインとの組合せ効果を用いた光学的位相差補償技術と、インプレインスイッチング(IPS)モード技術が主流となり、夫々従来比2倍近い高視野角を実現し実用化に至っている。尚、IPS方式は光利用効率が櫛の刃状の電極構成のため、此れ迄のサンドイッチ型電極構造方式と比べ半減するため、携帯用には適用困難であり、デスクトップモニター用に限って使用されている。

(3) 低消費電力化(一定電力における高輝度化)

低消費電力化は、大きく分けてパネル開口率の向上、駆動回路の消費電力削減、及びバックライトの光利用効率向上の各面から取組みが為され、大きな改善効果を上げてきている。

開口率向上策としては、低抵抗材料の使用やホトリソグラフィ精度の向上によるバスラインの細線化、TFT浮遊容量の低減による保持容量部の面積低減、層間絶縁膜構造による絵素電極面積の拡大(SHA: Super High Aperture-Ratio構造)、対向電極とのアライメント精度向上などにより、12型 XGA レベルの高精細パネルで80%の高開口率を達成して来ている。駆動回路面では、誘電率の異方性が大きく弾性率の低い低電圧液晶材料の採用や、極性反転駆動方式による駆動電圧の低減化行われている。また、バックライトでは、3mm以下の細い高効率蛍光管の採用、集光・導光板の改良、偏光利用率の向上などが行われている。これらの成果として、12型 XGA 仕様で3W(70cd/m<sup>2</sup>)が得られてきている。尚、究極の低消費電力LCDとしての反射型カラーLCDに付いては、別項で詳細をのべる事とする。

(4) 超大型表示への取組み

TFT-LCDの大型化は、PC用途では20型を超える領域まで開発が進み、ほぼ理想形態に近づきつつある。しかし、臨場感を求めるAV用途や、離れて多人数が見る公共表示分野では、さらに大型の表示が必要となる。

超大型表示実現へのアプローチとしては、直視型パネルそのものの大型化と、小型パネルを光学的に投影

表3 TFT-LCD用の代表的広視野角技術一覧表  
Table 3 Wide viewing angle technologies of the LCD.

方式	スーパーV	IPS	MVA	ASM	4ドメイン
要素技術特性	位相差補償+画素分割TN	面内電極構造	垂直配向+画素分割	高分子複合液晶+軸対称配向	画素分割TN
視野角(RL)	140	140	> 140	> 140	120
視野角(UD)	110	140	> 140	> 140	120
応答(ms)	30	70	30	40	100
相対輝度	100	60	70	90	90
コントラスト比	300	100	300	300	200
課題	下方向視野角	明るさ+低生産性改善	信頼性、生産技術確立	信頼性、生産技術確立	信頼性、応答、生産技術確立

拡大する投影型表示技術の活用の2方式である。

直視型パネルの大型化に関しては、半導体材料をp-Siとしたり、バスラインをAlやCu等の低抵抗金属材料等に換える事により、原理的には40型以上の大型TFT-LCDも製作し得る可能性は残されているが、現在のプロセス、材料及び生産設備の使用では、生産性が極端に低くなり、結果として商品としての現実性は乏しい。

勿論、この問題に対し印刷技術を活用した生産性の高い大型基板対応のパターン化技術を始めとする、要素技術の検討も国家プロジェクトとしてのGTCで成されて来たが、未だ実用化には至っていない。

これらの状況を踏まえて、超大型化パネル実現への現実的な解として、当社はシームレスマルチパネルの提案を行った。この技術は、例えば2枚のTFTパネルを、画素ピッチと等間隔に成るように中央部で光学的に均質に張り合わせる技術で、シームレスマルチパネル技術と呼んでいるものである。この技術により、現在量産が行われている最大ガラス基板サイズである550×650cm<sup>2</sup>の基板で作られた2枚の29型パネルにより、写真10に示す40型の超大型TFTパネル(SVGA仕様)が開発されている。



写真10 40型超大型TFTパネル(SVGA仕様)  
シームレスパネル

Photo 10 A 40" TFT-LCD using a seamless multi-panel technology.

しかしながら、一般家庭で用いるTVやVTRなどの民生用の映像機器用途に対しては、これら超大型のTFT-LCD方式では、とくに設備償却負担などから来る生産コストアップの問題解決が重要課題として残されている。大画面表示用パネルのコスト低減化の課題に対する抜本的解決策として、PDPと類似の超大型ディスプレイに適した生産技術を用いて製作する高品位表示のアクティブマトリクスLCDとして、プラズマアドレス液晶ディスプレイ(PALC)が提案され、当社、ソニー、フィリップスの三社連携体制で、

民生用に適用可能な大型パネル実現を目標に開発が行われ、本年度のエレクトロニクスショーに於いては、42型の高輝度・広視野角タイプのASM-PALCが各社のブースに於いて出展され、注目を得た。

一方、投影型表示は、当社からの商品化をきっかけとして、開発・実用化が進展してきており、写真11に示すビジネス用のプレゼンテーションツールや、写真12に示す家庭内やホテルなどのAVディスプレイとして利用が広がっている。この分野では、これまでのa-SiTFT技術に代わって、ポリシリコンTFT技術を用いた小型高精細パネルが、投影セット全体の小型化をねらって利用されてきている。また、マイクロレンズやPS分離合成技術と言った光学技術や、高効率ショートアークランプの開発と合わせ、その表示輝度も年々増加し、今日ではSVGA仕様で1000Lmの光束のプロジェクターも市販されてきている。



写真11 投影型表示ビジネス用プレゼンテーションツール  
Photo 11 A LC front projector.



写真12 リア投影型液晶TV“ガイア”  
Photo 12 A LC rear projector.

## (5) 反射型カラー LCD

携帯型の電子情報機器の使い勝手をよくする上で、ディスプレイを薄く、軽く、そして低消費電力化とする事が最重要課題である。LCD は、各種ディスプレイの中でも最も低消費電力タイプであるが、とりわけ反射型は、外部の光源を利用して表示を行う為、バックライト部を必要とせず、そのため薄く、軽く、そして極めて省電力で駆動できる特長を本質的に有している。そのため以前より、ポータブル電卓や腕時計用を始めとして、低消費電力機器には反射型が広く応用されてきた。

しかしながら、色再現範囲の広いカラー表示を行うには、カラーフィルターの使用が必要となり、そのため光利用効率が数分の1となり、従来の透過型モジュールのバックライト部を反射板に置き換えただけでは画面が非常に暗く、実用性は全く無い状態となってしまう。

その解決には、光吸収の少ない液晶表示モードの開発と合せて、表示を見る人の方向に限って有効に(ゲインをつけて)周囲光を反射させる事が必要となる。この目的の為に大学や企業から、高分子分散型液晶に依る光散乱方式やホログラム干渉色方式、コレステリック液晶の選択反射現象を用いた方式、電界制御複屈折方式、3層積層方式など数多くの検討が成されたが、十分な成果は得られなかった。

当社は、この研究開発テーマに関し、東北大学の内田研究室と共同研究を行い、マイクロ反射電極構造(Micro Reflector Structure)を開発採用し、業界で始めて明るい4色表示の反射型カラー LCD を1992年に開発し、SIDにて発表を行い大きな反響を得た。その後、さらに改良を加え、1997年には、多色化を図る為に、表示モードとして HCR(Hight Contrast Reflective)方式の新しい液晶表示モードを開発し、高いコントラストと明るい多色表示を両立させ、合せて上述のマイクロ反射電極構造との組合せで、26万色の多色表示に成功し、グラフィックのみならず画像表示に対しても実用化への道を開いた。この新しい高性能の反射型カラー LCD を HR(High Reflection) TFT方式のスーパーモバイル液晶と呼んでいる。写真13に、最近開発した6.5型 HVGA仕様の HR TFT-LCDを示す。

尚、昨年から将来のグラフィック印刷並みの明るいフルカラーの反射型 LCD の実現を目指して、国家プロジェクトとして超先端電子デバイス開発機構(ASET)において要素技術の研究開発が、当社を含む LCD メーカー及び関連材料メーカーの参画の下で開始されており、その成果が期待されている。

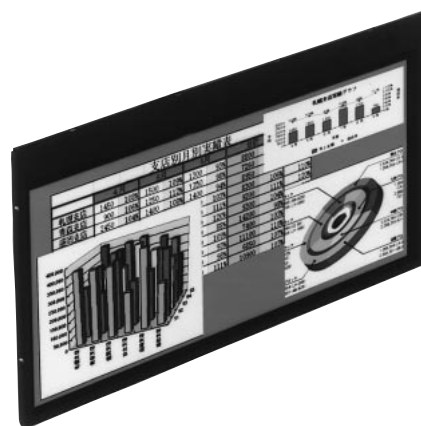


写真13 6.5型 HVGA仕様の HR TFT 液晶ディスプレイ  
Photo 13 A 6.5" HR-TFT.

## (6) 高機能化(低温ポリシリコンTFT技術に依るシステム・オン・パネル)

LCDの付加価値を高める上でLCDの高機能化が求められている。一方、その背景には、TFT-LCDの発展形とも言うべき駆動回路を一体化(モノリシック)形成し得る p-Si TFT 技術の最近の大幅な進展がある。この p-Si TFT は、従来の a-Si TFT と比べ、半導体層の電子/ホール移動度が数百倍高く、高速周波数での信号処理能力を有する為、LCD 駆動は勿論のこと、現在は Si-LSI が行っている周辺の電子回路機能を、LCD パネル上に一体化形成できる可能性を有している。すなわち電子回路システムを LCD パネルのガラス基板上に、一体形成したシステムオンパネル構想である。

現在、その実用化を目指し、ガラス基板上に高性能 p-Si TFT を形成する低温 p-Si TFT に関するデバイス・プロセス技術、生産技術、応用システム技術など多方面に渡った開発が、次世代の重要な要素技術として各社で積極的に推進されている。

## 2・2・3 その他の液晶技術の動向

## (1) 強誘電体液晶ディスプレイ

強誘電体液晶ディスプレイ(FLCD)は、1980年に提案されたカイラルスメクティックC相と呼ばれる液晶状態を用いる表示方式で、強誘電性に起因する高速応答性に加え双安定(メモリー)性と、面内液晶分子配向性により、単純マトリックス方式においても、大表示容量をクロストークの無い広視野角表示が、原理的に可能である事から、大型・高精細表示を低価格で実現し得る技術として、大きな期待を持って研究開発

が行われてきた。そして、1994年にはキャノンからPCモニター用として、15型 SXGA (16色)仕様のFLCDが商品化されたが、色数や見易さ、環境条件など扱いやすさの点で改善課題を残しており、本格的な市場参入は果たせていない。

FLCDは、固有特性の双安定性故に階調表示が容易ではなく、面積や時間分割による、いわゆるディザ階調駆動等を必要とし、それがまた表示の見栄えや消費電力、耐衝撃性等にトレードオフを引起すなどの課題を残している。また同時に、双安定液晶分子配向のために非常に薄い(1.5 $\mu\text{m}$ )液晶セル厚を大面積にわたって形成する技術や、FLCD特有の3次元的配向制御など、格段に難しい液晶工程に対する量産化技術の確立が今後の課題として残されているが、新しい-Vmim駆動法や新デバイス耐圧構造により、これらの課題についても解決が図られつつある。

## (2) 反強誘電体液晶ディスプレイ

反強誘電体液晶(AFLC)は、東京工業大学の研究グループにより1988年に発見された材料で、無電界と正負の電圧印加により、反強誘電体状態と強誘電体の双安定状態の3状態を示し、FLCDと同様な高速応答性とメモリー特性により、単純マトリクス駆動で大容量表示が行え、また耐衝撃性が強誘電体液晶より優れていることから、注目をされて来ている。

また、最近閾値を持たない反強誘電体液晶材料が発見され、TFTを用いたアクティブマトリクス駆動LCDの高速・広視野角化技術として検討が行われて来ている。しかしながら、両方式とも、反強誘電性を示す化合物の絶対数が非常に少ない事も有り、動作温度領域を始めコントラストや高速応答性など、基本特性面で未だ期待通りの表示特性が得られていない状況にあり、実用化は今後の材料開発に依存する所が大きい。

その他の液晶表示技術として、コレステリック液晶を用いたメモリー型表示があるが、応答速度が遅く動画表示には適さないものの、その電気光学特性にヒステリシス特性を有する事から、この特性を生かして単純マトリクス構造で大容量の表示を行い、いわゆる電子ペーパーの実現を図ろうとする動きもある。

また、バ이스テブルネマティック液晶モードが、FLCDと類似の高速応答と双安定メモリー性を示し、合わせてこれまでのネマティック液晶パネルの既存リソースを活用できることから、電子ペーパー用途で注目をされて来ている。

## むすび

液晶ディスプレイは、その表示性能上の課題であった視野角問題についてもほぼ目処がつき、post-CRTとしての残されたLCDの重要課題は、より広範囲の応用を可能とする為の低価格化を実現する生産性の大幅向上、地球温暖化防止に必要な超低消費電力性を有し、しかもグラフィック印刷なみの明るく鮮明な表示が可能な反射型フルカラーLCDの開発、新たなシステム商品を創出する高付加価値タイプの高機能LCDとしてのシステムオンパネルの開発、及びCRTを含むこれまでのディスプレイでは実現できなかった印刷・写真レベルの超高精細LCDの開発、と言う4つのテーマに絞られてきたと言っても良いだろう。

しかしながら、これら全ての課題は、現在の延長上では解が無い事も分かって来ている。例えば、生産性向上の問題に関しても、この解決はこれまでも日夜各企業が全力を挙げて地道な努力で推進し、ようやく今日の状況を作り得たものであり、決して容易に解決が図られるものではない。

しかし、一方、現在の状況を打破しなくてはならない。このジレンマから脱却する為にはこれらの障壁に対するブレイクスルーしかない。この為には、不連続なアプローチによる発想を転換した思考の姿勢が前提となる。これまでも我々は、壁を突きぬけ道を切り開いてきたのである。これからも出来ないはずはない。我々の周囲にも、様々な技術挑戦が行われている。それらの核心を学び、それらを複合化し、それらを転換する事により新しい次元、新しい視界が開けてくるに違いない。その為に、これまでの経験にのみに捕われないで広い心で異なった分野の人とコミュニケーションを図っていく事が重要である。

地球環境保全と人類の文化発展が矛盾なく推進できるこの液晶技術の世界において、努力・貢献できる事を我々液晶産業に係る者の喜びとし、また使命とした。

## 参考文献

- 1) H. Kelker : Mol. Cryst. Liq. Cryst. 165 1(1988)
- 2) T. Sasaki : Mol. Cryst. Liq. Cryst. 63 281(1981)
- 3) F. Funada : AM-LCD 94 Digest 36(1994)
- 4) H. Take : AM-LCD 96 Digest 36(1996)

(1997年10月16日受理)