

液晶ディスプレイ

—その開発の歴史—

会員 野中 克彦



目次

1. はじめに
2. 液晶ディスプレイ小史
 - 2.1 液晶物質の発見と命名
 - 2.2 液晶ディスプレイの研究開発の開始
 - 2.3 液晶ディスプレイの応用製品の開発に乗り出した企業
 - 2.4 液晶ディスプレイ開発に乗り出したシャープの苦悩
3. 主要な液晶製品の開発と技術課題の解決
 - 3.1 液晶表示腕時計の開発競争
 - 3.2 セグメント表示からドット・マトリックス表示へ
 - 3.3 STN-LCD の開発
 - 3.4 アクティブマトリックス駆動方式液晶による携帯テレビ及びノートパソコンへの応用
 - 3.5 高温ポリシリコン薄膜
 - 3.6 低温ポリシリコン薄膜
 - 3.7 広視野角化技術の確立による家庭用液晶テレビの実用化
 - 3.8 大型液晶ディスプレイ大競争時代
 - 3.9 用途別液晶パネルの概要
 - 3.10 携帯電話機向け液晶パネル
 - 3.11 デジタルカメラ向け液晶パネル
 - 3.12 ノートパソコン向け液晶パネル
 - 3.13 モニター向け液晶パネル
 - 3.14 テレビ向け液晶パネル
 - 3.15 テレビ向け液晶ディスプレイの動向
4. むすび

.....

1. はじめに

1968 年以来、先端技術の一つであり続けている液晶ディスプレイ（表示装置）は、特に民生用のディスプレイとして現代の情報通信技術の発展と共に進歩して来た。その内容を分析すると、液晶には常にディスプレイとしての性能と価格の適正性が求められて来たのである。それはとも角、弁理士の諸先生には、液晶技術の発展に直接かかわっている方もあれば、全くかわりのない方もある。

しかし、弁理士であれば、少なくとも世界的な先端技術のいくつかについて、その発展の歴史と現実を知っておかれることは、職業上必要な教養であると思

われる。何となれば、弁理士は先端技術の中の発明を権利化し、若しくはその利用を図ることをその本分とするものであるからである。

液晶ディスプレイは、産業用もそうであるが、殊に民生用に係わりの深い部品であり、他の競合技術と共に今後も数十年以上の先端技術的発展を遂げるものと予想される。

2. 液晶ディスプレイ小史

2.1 液晶物質の発見と命名

液晶⁽¹⁾とは、固体と液体の中間的状態にある物質で、両方の性質を兼備している。それ故液晶は、液体のように分子間の結合が緩やかであるが、その一方結晶のように規則性のある分子配列を持ち、光の屈折率などに異方性⁽²⁾を示す。1888 年オーストリアの植物学者ライニツァは、液晶が相変化と色変化を起こすことをドイツの物理学者レーマンに詳しく書き送った。そして、レーマンはこのような物質を 1898 年に液晶（液状結晶⁽³⁾）と名づけた。

2.2 液晶ディスプレイ研究開発の開始

2.2.1 米 RCA 社のデビット・サーノフ研究所

同社のウィリアムズは、ネマチック液晶に直流電圧を印加し、液晶分子を制御することによって光の透過率を制御した液晶ディスプレイ特許を 1962 年に特許出願した⁽⁴⁾。翌 1963 年、ウィリアムズはネマチック液晶に、直流電圧を印加すると液晶が縞状のパターンを示す俗にいう「ウィリアムズドメイン」の発生を報告した⁽⁵⁾。

同じ RCA 社のハイルマイアーは、ネマチック液晶に多色性色素を混ぜて直流電圧を印加すると、赤色から無色に変化することを 1964 年に発見した。「ゲスト・ホストモード」と呼ばれる現象である⁽⁶⁾。さらにハイルマイアーは、この「ゲスト・ホストモード」の改良

中にネマチック液晶に直流電圧を加えると液晶が白濁する DSM (Dynamic Scattering Mode) も同年に発明した。

しかしこの発明は、当時 RCA 社外には発表されず、同社が液晶クロックを試作したあと、1968 年 6 月によく世界初の液晶ディスプレイとしてプレス発表された。

2.2.2 ブラウンが設立したケント州立大学液晶研究所⁽⁷⁾

1965 年にブラウン (G.H.Brown) は、米オハイオ州のケント州立大学に液晶研究所を設立し、以来 2 年ごとに液晶の国際会議を始めた。この会議は現在 (2005 年) も継続されている。

2.2.3 TN 液晶の発明

1969 年から 1970 年頃にかけて西独 (当時) ヘキスト社 (Hoechst A.G.) 社のケルカー (Hans Kelker) は、シッフベースの MBBA と呼ばれる室温でも比較的安定な液晶状態を示すネマチック液晶を開発した。

1969 年、上述の液晶研究所の副所長のファーガソンは、RCA のハイルマイアーが発明した動的散乱モード DSM とは違う「ねじれネマチック液晶→TN (Twisted Nematic) 液晶」を発明した。この発明の米国特許については後述する。1972 年、英ハル大学 (University of Hull) のグレイ (G.W.Gray) らが、化学的に安定したネマチック液晶としてシアノビフェニル (Cyanobiphenyl) を開発した。

前述のファーガソンの TN 液晶の米国特許出願は、発明と同時 (1969 年) になされたが、手続不備で 1971 年 4 月に受理され、1973 年に特許された⁽⁸⁾。一方、スイスのホフマン・ラ・ロシュのシャット (Martin Schadt) とヘルフリッヒ (Wolfgang Helfrich) は、ファーガソンとは全く独立に TN 液晶を 1970 年に発明して特許を出願し、1971 年 2 月に論文を発表した⁽⁹⁾。

この結果、TN 液晶の発明をめぐる特許紛争が起こった。一方、ファーガソンは、ケント州立大学で過激さを増して来た学生運動を嫌気して、1970 年に同大学を辞め、自分で液晶の製造販売会社 ILIXCO (インターナショナル・リキッドクリスタル) 社を設立した。しかし、会社の経営が苦しくなったので、ファーガソンは TN 液晶の米国特許を売却している。

2.2.4 液晶材料から実用的液晶ディスプレイへの展開

上述の 2.2.1～2.2.3 にかかわる液晶材料から実用的

な液晶ディスプレイへの開発においては、2.2.1 に述べた RCA 社のハイルマイアーによる DSM 液晶の発明 (1967 年) およびディスプレイへの応用を意図した RCA 社のプレス発表 (1968 年 6 月) は、液晶材料から液晶ディスプレイへの転換点として、非常に大きな意味を持っていた。

このような転換については、シャープ社の舟田文明も大きな役割を演じている。1971 年舟田は、DSM 液晶にイオン添加剤を加えて交流駆動を行うことで DSM 液晶の動作寿命が飛躍的に長くなり、実用的なレベルになることを見出した。

こうして、DSM 液晶が実用化の域に達したことから、液晶ディスプレイは、まったく新しい展開を始め、その後次々と新しい応用製品に利用されていくことになる。

2.3 液晶ディスプレイ応用製品の開発に乗出した企業

2.3.1 電卓競争とシャープ社の勝利

世界初の電卓 (電子式卓上計算機) は 1962 年に英サムロック・コンプトメーター (Samlock-Comptmeter) 社が発売したアナタ・マーク 8⁽¹⁰⁾ である。このものは、能動素子として放電管を用い、12 桁の加減乗除が出来るフルキー方式の計算機で、表示装置はオレンジ色に光るニキシー管であった。

1964 年 6 月、早川電気工業 (現シャープ) は、世界で初めての半導体による電卓「CS-10A」を発売した。しかし、液晶ディスプレイの採用には、なお 9 年を待たなければならない。「CS-10A」は全半導体式であったが、表示装置は「アナタ・マーク 8」と同じニキシー管であった。この後、国内外各社によって半導体式電卓の激しい性能と価格の競争が繰り広げられた。

1971 年、立石電機 (株) が 8 桁電卓「オムロン 800」を 49,800 円で発売し、これはシャープの MOSLST 電卓「QT-8D」の半値であったので、この発売は業界では「オムロン・ショック」と呼ばれた。

1972 年 8 月、カシオ計算機 (株) は、6 桁表示電卓「カシオミニ」を従来の最廉価機種種の 1/3 以下の 12,800 円で発売し、爆発的な売上を記録した。これにより、同社は電卓のトップシェアになった。なおシャープの電卓シェア 1 位の奪回は、次節に述べる二つの技術の採用によってであった。

2.3.2 シャープによる CMOSLSI と液晶ディスプレイの採用

集積回路すなわち、IC (Integrated Circuits) と呼ばれるものは、1959年に米 TI 社のキルビー (J.S.Kilby) とフェアチャイルド・コンダクタ社のノイス (R.N.Noyce) によって各別に発明された。この時の IC は、一つの半導体基板の上にバイポーラ・トランジスタと抵抗を組み合わせた非常に簡単な構成のバイポーラ IC であった。

バイポーラ IC は電子と正孔の働きを利用しており、動作速度は速いものの実装密度と消費電力に難がある。

これに対し、電子か正孔かどちらか一方だけの働きを使用する MOSFET⁽¹¹⁾ がベル研究所のカーン (Dawwon Kahng) らによって 1960 年に発明された。MOSFET は、バイポーラ・トランジスタに比べて実装密度を高められるが、半導体の表面領域を利用するため、半導体表面の不安定さによって当初はなかなか実用化できなかった。しかしながら、その後多くの研究開発者の努力によって、MOSFET を一つのシリコン基板上に集積化した MOSIC も可能となった。しかし、集積密度の高い LSI となると実用に耐えるものは実現しなかった。

1963 年、米フェアチャイルド社のワンラス (Frank M.Wanlass) が正孔の動きを利用した pMOS トランジスタと電子の動きを利用した nMOS トランジスタとを組合わせて構成する COMS (Complementary Metal Oxide-Semiconductor) トランジスタを発明した⁽¹²⁾。

しかし、当時の電卓用表示管が蛍光表示管だったことから、LSI だけを CMOSLSI にしてもその低消費電力という特徴が生かせないこともあって、電卓用 CMOSLSI は実現しなかった。

その頃、東芝の鈴木八十二が、従来の「CMOS」回路より少ない面積で同じ機能を実現できる「クロック CMOS」と称する回路を発明した。そしてこの回路を使った電卓用 3 個構成の CMOSLSI を 1971 年に開発し、1973 年の国際会議で発表した⁽¹³⁾。

そして鈴木はこのもので電卓を試作し、シャープに提示したところシャープは興味を示し、シャープと東芝との共同開発がスタートした。シャープは、東芝製 CMOSLSI を自社の液晶ディスプレイ電卓「EL-805」に採用し、1973 年 6 月に 26,800 円で発売した。

この「EL-805」は、前述の「カシオミニ」(12,800 円) よりも 14,000 円も高かったが、爆発的な売れ行きを示し、シャープは電卓シェア 1 位の座をカシオ計算機 (株) から奪回することとなった。

2.4 液晶ディスプレイ開発に乗出したシャープの苦悩

2.4.1 シャープの液晶プロジェクトチームの発足

米 RCA 社は、それまで極秘で進めていた液晶ディスプレイの研究を 1968 年 6 月にプレス発表した。この発表は、世界中に衝撃を与えた。RCA 社は、白黒テレビのみならずカラーテレビを発明した会社であったので、すぐにも壁掛けテレビが実現しかねない雰囲気であった。

シャープの和田もこのニュースを聞き、これは将来すばらしいディスプレイになると感じた。そこで和田は、上司の産業機器事業部長の佐々木正⁽¹⁴⁾ に「是非 RCA 社に行って、液晶ディスプレイの研究状況を調査して欲しい」と申し出た。佐々木は、その秋 (1968) RCA 社を訪問し、液晶ディスプレイ (表示装置) を自分の眼で確かめ、液晶の特徴は (低電圧駆動、低消費電力、薄型平板) であると見抜き、これはシャープのやっている電卓の (表示装置) として最適であると確信した。そこで佐々木は、旧知で RCA 社の半導体事業部の責任者ボンダシュミット (B.V.Vonderschmitt) に会い、シャープの電卓用に液晶表示装置を OEM 供給して欲しいと依頼した。

ところが意外にもボンダシュミットの返事は、次のようなものだった。「…時計用と異なり、電卓の場合は数十ミリ秒という応答速度が必要となり、液晶では対応出来ない」と。

佐々木の帰国後、和田は RCA 社の状況を詳しく聞いたが、液晶表示装置を諦めきれなかった。そして佐々木に次のように申し出た。「どうしても液晶表示装置を実用化したいので、自分に研究させて欲しい」と。佐々木はこれを了承し、和田に研究許可を与えると共に、RCA 社のボンダシュミットには、シャープが独自で液晶ディスプレイの開発をすることを伝えて了解を取っている。

その後和田は、1969 年 1 月 16 日の NHK テレビの特別番組「世界の企業現代錬金術⁽¹⁵⁾」を目にするようになる。和田はこの放送を見ることにより、自らの

液晶ディスプレイ開発への夢を掻き立てられた。こうして和田をリーダーとするシャープの液晶プロジェクトチームが1970年9月に8名で正式にスタートした。

和田は先ず液晶材料を入手しようとしたが、国内では手に入らなかった。調べてみると、米国の会社で販売されていると判り早速注文した。その会社は、前述のケンタッキー州大学を辞めたファーガソンが1970年に設立したILIXCO（インターナショナル・リキッド・クリスタル）社であり、液晶材料は1gなんと12,000円であった。

早速和田らは、NHKテレビの特別番組で見た要領で、透明電極の付いた2枚のガラス板の間に液晶材料を挟み込んで両方の電極に直流電圧を印加した。数秒後に液晶はぼんやりと白く変化したが、2分ほど経過すると液晶材料の中に小さな泡が立ち始め、電気化学反応がおこり、次第に虫食い状態になった。

液晶材料は、自然界に数万種類も存在し、化学的にも多くの液晶材料を合成することが出来る。液晶材料は有機化合物であり、混ぜ合わせることによってその性質は変化する。

そこで和田グループでは色々な液晶を混ぜ合わせて、必要な常温動作、長寿命、低電圧動作、表示品質等の問題を解決し、実用化に耐える液晶材料の組合せを探すという、膨大な出口の見えない作業を続けることになった。画期的な発見はなく、ただ時間だけが経過していった。

そんな折、1971年に幸運の女神が微笑んだ。それまではシャープでもRCA社のやり方に従って液晶材料に直流電圧を印加して実験をしていた。しかし、どの液晶材料でも電気化学反応によって短時間の動作のあと、すぐダメになってしまっていた。液晶ディスプレイの動作寿命を延ばすために、液晶材料の純度を高めては直流電圧を印加するという実験の繰り返しであった。

1971年11月のある日、グループ内の研究員である船田は、前日に実験していた液晶材料の入ったビンの蓋を閉め忘れて帰るという失敗をしてしまった。液晶ディスプレイの動作寿命を延ばすためには、液晶の純度を上げることが至上命令であった状況において、不純物の入った可能性のある液晶材料はもう使えない。高価な液晶材料を無駄にしたことになる。

ここで船田は、以前から考えていた液晶パネルに交

流電圧を印加するという実験を行う好機と考え、この不純物の混じった可能性のある液晶材料に交流電圧をかけてみた。その結果、これまではどんなに純度の高い液晶材料でも最大2ヵ月しか保たなかった液晶パネルの動作寿命が突然延びたのである。

こうして判ったことは、液晶材料に少し不純物を混ぜて電気を流れやすくし、それに交流電圧を印加することで直流電圧印加時に動作寿命を決めていた電気化学反応が打ち消され、液晶ディスプレイの動作寿命が格段に延びるということであった。

船田はこのことを自ら「創造的失敗（Creative Failure）」と呼んでいる。この話は、ショックレイ（Schockley）が接触型トランジスタを偶然発明したときに使った言葉である。

少量の不純物（イオン添加剤）を高純度の液晶材料に少し入れる方が良いと分かった船田らは、大日本インキ化学工業（株）の協力を得て、液晶への溶解性、安定性、表示特性等に優れたDSM（Dynamic Scattering Mode⁽¹⁶⁾）液晶用のイオン添加剤として四塩基アンモニウム塩を特定し、交流駆動することによって、実用化のための最大の障害であった電気化学反応を防止できることを見出した⁽¹⁷⁾。

この成果を受けて、1972年3月に新型液晶プロジェクトを開発するための極秘プロジェクトが1972年3月に結成された。そのプロジェクト名はその完成予定目標年月日から「S734」と名付けられた。このSはシャープの欧文字イニシャルとシークレットのSを意味している。

目標より2ヵ月遅れたものの1973年6月に「EL-805」すなわち世界最初の液晶表示電卓が完成し発売された。

3. 主要な液晶製品の開発と技術課題の解決

3.1 液晶表示腕時計の開発競争

デジタル表示の腕時計としては、液晶表示腕時計の前に先ずLED（Light Emitting Diode）表示の腕時計が開発された。

米ハミルトン社は、全電子式腕時計「パルサー（Pulsar）」のプロトタイプを1970年に世界で始めて発表し、1971年に限定販売を行った。しかし、返品トラブルなどがあり、正式に商品化されたのは1972年であった。その商品「パルサー」は、映画ジェームス・ボンドの007シリーズで使われたこともあり、一躍有

名になった。しかし、高価で日光の下では表示が見えにくく、時間を見るとき表示ボタンを押す必要があるなどの問題点を抱えていた。

ハミルトン社に続き、フェアチャイルド社、ヒューズ・エアクラフト社、TI社などが次々とLED表示の腕時計事業に参入し、全米におけるLED表示腕時計の売上は1977年頃まで上昇を続けていた。しかし、液晶表示腕時計の出現によってデジタル表示腕時計は、LED表示から液晶表示へと移っていった。

RCA社で液晶を開発していた研究者らが、1969年に独立し、液晶表示腕時計モジュールを開発し、いくつかの時計会社へ販売した。

しかし、このとき製造したオプチル社の時計用液晶モジュールは、すぐダメになったという話が伝わっている。それでもオプチル社製の液晶腕時計ムーブメントを使用した液晶表示腕時計のいくつかが発売され、それぞれ世界初の液晶表示腕時計と称している。

それらの中には、ゾディアック (Zodiac) 社が1972年に発売した液晶表示腕時計、インテル社が1972年に液晶表示腕時計の会社 (Microma) を買収して発売した液晶表示腕時計のほか、インテル社もこの事業に参入したが、同社は1977年に時計事業から撤退した。また、米タイムクス社も1972年にRCA社のDSM液晶パネルを使った液晶表示腕時計を発売したが、発売は1973年になった。同社向け液晶パネルを製造していたRCA社は、液晶パネル専用工場をニュージャージー州に建設したが、1976年にはタイムクス社に売却している。

米グルエン (Gruen) 社は、世界で最初にTN液晶を使った液晶表示腕時計を1972年に発売した。諏訪精工舎 (現セイコーエプソン) の山崎淑夫は、1968年6月にRCA社が行った液晶ディスプレイに関するプレス発表を国内の新聞で知った。すぐに文献調査から始めて液晶材料を購入して開発を始めた。

山崎らは、RCA社と同じDSM液晶を使って液晶クロックを試作し、1971年には液晶表示腕時計を試作した。これらの試作品を作る過程で、DSM液晶は腕時計用の表示装置には適していないと判断し、DSM液晶から電圧駆動素子で消費電力の少ないTN液晶に方向転換した。

諏訪精工舎製の液晶表示腕時計「06LC」：上述のようにして諏訪精工舎は、TN液晶を使った時・分・秒

6桁表示の「06LC」を1973年10月に完成させて発売した。価格は136,000円。使用したアゾキシ系液晶の劣化を防ぐため、紫外線防止用として表示面に黄色いフィルムが貼られていた。またその外装は、世界で初めて純チタンが用いられ、その後純チタンがメガネフレームやカメラボディに使用される10年も前であった点でユニークであった。その2ヵ月後、同社は4桁液晶表示の腕時計「05LC」を発売した。

国内各社の液晶表示腕時計：1974年には、国内各社から液晶表示の腕時計が次々と発売され始めた。シチズン時計は、自社生産の液晶表示部を使った腕時計を発売し、オリエント時計は、シャープから液晶表示時計モジュールの供給を受けて液晶表示腕時計を発売している。カシオ計算機 (株) も液晶表示部をスイスのBBC社からTN液晶パネルを購入して液晶表示腕時計事業に参入し、後に液晶パネルの購入を日立製作所に切り替えている。同社は1978年頃から自社生産を始め、1980年代の前半には全面的にTN液晶パネルを内製化した。以上のようにして、液晶表示の腕時計が急速に普及していくことになった。

3.2 セグメント表示からドット・マトリクス表示へ

3.2.1 単純マトリクス表示液晶による電卓およびワープロへの実用

液晶を用いて表示を行う製品は、1973年のシャープによる電卓への応用に端を発し、デジタル表示ウォッチの製品化などセグメント表示として利用されて来た。このセグメント表示において当初はセグメントごとに電極配線を施し、個々に電圧を加えるスタチック駆動が用いられた。

その後表示技術の増加と共に、すべてのセグメントに配線が必要となり、回路の負担も大きいものとなってしまい、現実的でなくなってきた。そのため電極配列を工夫し、時間を分割して液晶を駆動するダイナミック駆動である時分割駆動法が用いられるようになった。

液晶による文字列やテレビなど多くの情報表示を行う場合には、従来のセグメント表示でなく、ドット・マトリクス表示であることが必要であり、電圧を印加するために横方向、縦方向にそれぞれの数に対応した配線を必要とする。そして各行を上から下に書き込

んでいくダイナミック駆動線順次走査である時分割駆動法が用いられることになった。

この線順次駆動法が1973年に発表され一部の液晶表示に用いられている⁽¹⁸⁾。一方、日立製作所の川上らはドット・マトリックス表示に実用化可能な「任意バイアスの電圧平均化法」を開発し、1973年特許を出願した⁽¹⁹⁾。この方法は、単純マトリックス液晶におけるドット・マトリックス表示の基本的な駆動法になり、TN液晶およびSTN液晶に広く用いられている。

この時分割駆動法は、配線を簡略にし、駆動回路を簡単にしたことによる大きな利点を有していたわけであるが、新たな問題も有していた。

すなわち当面のドット・マトリックスの開発対象であった英数字、カタカナ、記号の表示のためには、時分割駆動法において、 $1/8$ から $1/16$ の時分割が必要であった。1973年当時、試作レベルでは $1/50$ の時分割が可能であることが示されていたのであるが、実用レベルでは $1/2$ の時分割においても周辺の素子からのクロストークと呼ばれる光の漏れを生じていた。

この対応として、各種液晶材料の開発、使用方法の工夫、液晶ギャップ間隔の最適制御、配向材料の選択と制御方法の確立、そして駆動回路の改良など多様な要素技術の改善により、コントラストの低下をもたらすことなく、時分割駆動のデューティ比を向上させていった。

シャープおよびセイコーエプソンは、この時期、液晶電卓あるいはデジタルウォッチの製品コスト低減のために時分割駆動方を検討し、それぞれの製品にその技術を組み込んでいった。

ドット・マトリックス表示が製品化されたものには次のようなものがある。1978年日立製作所は、 16×2 行(32文字, 35ドット/文字)および 40×2 行(80文字, 35ドット/文字)のTN-LCDを発売した。シャープは1979年、24文字(デューティ比16)の関数電卓および16文字表示のいずれもTN-LCD表示を搭載した電子翻訳機を発売した。また、セイコーエプソンも 32 文字 \times 2行のTN-LCD表示パネルを発売した。

次に、大容量の画像表示について述べる。まず1978年シャープが、5.5型で 160×120 ドットの白/黒液晶テレビの開発に成功した。

このテレビは、TN-単純マトリックスLCD方式でデューティ比 $1/15$ で120本の走査線を駆動し、15

階調の画像表示を行った。この開発が、液晶によるこれまでの文字表示からテレビを含む画像表示開発への第一歩であった⁽²⁰⁾。

続いては携帯型パソコンである。1984年日本・データゼネラル社は、 640×256 ドット(80字 \times 25行)表示で大きさが 26×16 cmの液晶ディスプレイ搭載の携帯型パソコンを開発し、海外で発売した。1985年東芝は、 640×240 ドット(80字 \times 25行)の高コントラスト液晶ディスプレイ搭載のラップトップパソコンを欧米市場向けとして発売し、翌1986年には日本電気が、 640×400 ドット(40文字 \times 25行)液晶搭載のラップトップパソコンを発表した。

問題点としては、TN液晶はオンとオフの電圧比が小さく、走査本数に限界があり、50~100本が限界であった。

3.3 STN-LCDの開発

表示要領の増大という市場のニーズに応えるため、時分割駆動のデューティ比の大きいものが求められていたが、TN-LCDは時分割駆動のデューティ比を $1/30$ 以上にすることは、クロストークを生じ実用に用いることは難しかった。

1984年スイスのボベリ・リサーチセンターのシェーファー(Scheffer)らは、液晶分子のねじれ角をTNの90度に対し、270度上げて電圧-透過率曲線の立ち上がりを急峻にした複屈折モードであるSBE(Supertwisted Birefringent Effect)を発表し⁽²¹⁾、1985年のSID(Supertwisted Birefringent Effect)において、 540×270 ドットでデューティ比 $1/600$ の時分割駆動のパネルを発表し、大きな関心呼んだ。

LCD製作は、特に困難な問題はなかったため、日本の各社はこの方法を検討し試作した。そしてねじれ角240度付近でポリイミド配向膜を使うSTN(Super Twisted Nematic)液晶が有効であることが判明した⁽²²⁾。この新しい液晶は、これまでのTN-LCDと比較して時分割駆動のデューティ比を大きくしつつ、コントラスト比の高い表示が可能となった。

このSTN-LCDは、当初黄色や緑色を帯びていた。この着色をなくし白黒の表示を実現するために、位相差フィルムを利用する方法がセイコーエプソンと住友化学、および日立製作所と日東電工などの共同研究により、1980年代後半に見出された。これにより視認

性の良いモノクロ表示とカラーフィルター採用によるカラー化が可能となった。

STN-LCD では、液晶セルの変動を $0.2 \mu\text{m}$ 程度に制御しなければ表示に“むら”が生じてしまうという問題があり、ガラス基板の表面平坦性、ギャップ材料の粒径、散布の方法、液晶セル製作時の加熱処理条件など多くのノウハウに属する様々な工夫が必要であったようである⁽²³⁾。

これらの改善により、1986年にSTN-LCDを使用したワープロがシャープで発売され、1988年にはワープロでのトップシェアを獲得する。同年セイコーエプソンは、ラップトップパソコンにSTN-LCDを搭載した。

1989年東芝は、STN-LCDを搭載したパソコンを発売した。STN-LCDのカラー化は、シャープおよびセイコーエプソンがSID'88において発表し、その後製品化された。STN-LCDは低価格で製作が可能であり、以降のワープロおよびOA機器の表示として大きな需要分野を切り開いていくことになる。

3.4 アクティブマトリックス駆動方式液晶による携帯テレビおよびノートパソコンへの実用

液晶ディスプレイの表示容量の増大と液晶テレビへの応用を考えたとき、単純マトリックス駆動方式には限界があり、別の駆動方式が必要であった。そこで、それぞれの液晶表示セルにスイッチング素子を付加する考えが出て来た。1971年RCAのレヒナー (Lechner) らはアクティブマトリックスの概念を発表した⁽²⁴⁾。この方法は、各液晶セルにスイッチング素子としてFET (Field Effect Transister) を形成するもので、TFT液晶 (TFT-LCD) としてその後の主流となっている。TFT-LCDの最初の試作は、1973年ウエスティングハウス社のブロディ (Brody) らによるものである。薄膜トランジスタを用い、6インチ角に 120×120 の画素のTN-LCDを試作し、液晶表示に有効であることを示した⁽²⁵⁾。

TFTの開発は、1962年RCAのワイマー (Weimer) による硫化カドミウム (CdS) 薄膜トランジスタの報告がなされている⁽²⁶⁾。しかしながらPdSやセレン化カドミウム (CdSe) はいずれも特性の再現性あるいは信頼性などに問題があり、実用に供されるには至らなかった。

1975年、薄膜トランジスタとして画期的な材料が開発された。それは英国ダンディー大学のスペア (Spear) らによるアモルファスシリコン (a-Si) 薄膜であった⁽²⁷⁾。このa-Si薄膜は、減圧雰囲気中でプラズマを発生させ、そこにシラン (SiH_4) ガス原材料を導入することにより、a-Siが得られるものでグロー放電分解法と呼ばれる方法であった。このa-Si薄膜の製作において、基板加熱温度は 300°C 程度で十分であるため、透明基板としてガラスを用いることが出来た。これが工業的に普及させるためにきわめて重要なことであった。この方法によって得られたa-Siはバンドギャップ中に存在する欠陥状態密度が従来のものに比べて3桁以上少なく、 10^{18} 個/ cm^3 程度であり、価電子制御としてのボロン (B) およびリン (P) のドーピングが出来た。

これによりp型およびn型のa-Si薄膜の製作ができ、pn接合薄膜が可能となった。その結果としてTFTの製作が実現され、大きな成果となった。ル・カンバー (Le Comber) およびスペアらは、1979年a-Si TFTを試作し⁽²⁸⁾、続いて1981年 5×7 ドットのTFT-LCDを世界で初めて試作している⁽²⁹⁾。

a-Si TFTの成功は世界中の注目するところとなり、直ちに日本、フランス、オランダなどで数々のa-Si TFT-LCDの研究成果が報告された。

またa-Si薄膜は、半導体薄膜のほかでの利用として太陽電池への応用が検討され、現在電卓などの電源として、あるいは電力供給用の太陽電池パネルとして商品化されている。

液晶への実用化開発として、1986年松下電器産業は3型のカラー液晶テレビの商品化を行った。またシャープは、翌1987年に3型a-Si TFT-LCDを商品化し、1988年には14型TFT-LCDを試作発表している。その後シャープは、1994年21型TFT-LCDを試作し、大サイズ化を克服した。パソコン用、モニター用そして液晶テレビ用の表示にa-Si TFT-LCDは不可欠の技術として広く採用されている。

a-Si TFTの電子の移動度は $1\text{cm}^2/\text{Vs}$ で液晶セルのスイッチングには有効であるが、水平および垂直方向に多数並んでいる液晶セルに順次駆動する回路を用いるには不十分であった。そのため電子の移動度が数十～数百 cm^2/Vs の高移動度シリコン薄膜の開発が求められた。

3.5 高温ポリシリコン薄膜

多結晶 Si 薄膜を TFT に用いようとする開発も行われた。900°C以上の高温で四塩化シリコン (SiCl₄) などのシリコン化合物を加水熱分解することにより、半導体特性をもつ Si 薄膜が得られることは知られており、この方法により TFT-LCD への検討が行われ、1984年セイコーグループから2型カラー TFT-LCD として発売された⁽³⁰⁾。この高温ポリシリコン薄膜は、900°C以上の高温で製膜する必要があるため、基板に石英を用いる必要があり、パソコン用あるいはテレビ用など大サイズの対応についてはコストが合わないため利用されていない。現在高温シリコン法による TFT 液晶パネルとしては、家庭市場向けプロジェクターとして実用化が進んでおり、セイコーエプソンが 0.9 型ポリシリコン TFT モジュールを開発している⁽³¹⁾。この場合、液晶モジュールの面積が 1cm 角程度と小さいため、石英基板であってもコスト的に問題にならないこと、高温ポリシリコンが微細加工に耐える良質の薄膜である特徴を生かしたものである。

3.6 低温ポリシリコン薄膜

a-Si 薄膜を再結晶化してシリコン薄膜を得ようとする開発は、基板に石英ではなくガラス基板が使用できること、a-Si で得られる電子移動度 $1\text{cm}^2/\text{Vs}$ より大きい移動度が得られる期待から、1980年頃から開発が進められた。最大の問題点は、再結晶化の方法であり、種々の方法が試みられたが、エキシマレーザー照射によるアニーリング法が用いられている⁽³²⁾。このレーザーアニーリング法によって電子移動度は数十 cm^2/Vs 程度に向上している。

1995年三洋電機は、2.4型そしてシャープは3.7型の低温ポリシリコン TFT-LCD を試作している。そして1997年、三洋は2型の低温ポリシリコン TFT-LCD を商品化した。この低温ポリシリコンを用いることにより、液晶を駆動するドライバー回路を液晶基板に内蔵することができるため、今後広く採用されると考えられている。しかし問題もあり、通常のシリコン LSI では 3.3~5V 程度で動作させられるのに対して、現在の低温ポリシリコンでは 8~10V が必要となり、その結果消費電力が大きくなってしまふことである⁽³³⁾。

近年エキシマレーザーの照射方法と照射移動速度を工夫して、基板に水平方向に、すなわち電流方向に水

平に形成することが可能となった。移動度 $500\text{cm}^2/\text{Vs}$ を達成する可能性が出てきており、駆動電圧の低減も可能性があるものと考えられている⁽³⁴⁾。

以上のように、アクティブマトリックスの駆動方法における液晶表示は、アモルファスシリコン薄膜とその後の種々の改良により 1986年以降の小型携帯テレビへの実用、1988年以降におけるノートパソコン表示の主流となり、広く用いられることになった。そして現在においても a-Si 薄膜を使用したアクティブマトリックス TFT 方式は大サイズ液晶パネルに広く用いられる。

3.7 広視野角化技術の確立による家庭用液晶テレビの実用化

1980年代に入ると、STN 液晶あるいはアモルファスシリコン TFT 技術の実用化により、パーソナル使用のワープロおよびノートパソコンで液晶表示が広く利用されるようになって来た。そしてこの液晶表示を家庭用テレビへ搭載できれば、従来のブラウン管に比べて薄型になることに加えて低消費電力の可能性があり、その実現が期待された。

しかしながら、その実現にはいくつかの問題点があった。1つは 14型以上の大サイズの液晶製作において、品質、歩留まりが十分ではなかった。2つ目はテレビ映像に対応する高画質の再現が難しいという問題があった。しかし最大の問題は、視野角が狭いということであった。これまで利用されてきた TN 液晶は、視野角が 80度程度であり、ノートパソコンのように 1人で見るパーソナルコースの場合は問題ないが、家庭用テレビのように複数の人が見る場合、視野角が狭いことは決定的な問題であった。

1992年10月、ドイツ、フラウンホーファ研究所のキーフア (R.Kiefer)、バウアー (G.Baur) らは、これまでの液晶基板に対して垂直に電圧を印加する方法ではなく、基板に水平に電圧を印加する新規な方法である IPS (In-Plane-Switching) 液晶を提案し、これが視野角の拡大に寄与することを発表した⁽³⁵⁾。また、対応する特許を 1990年の1月に出願している⁽³⁶⁾。

日立製作所においても、広視野角化の開発が前記とは全く独自に同じ方向で行われていた。近藤克己は、強誘電液晶の研究を行っていた経験があったが、この液晶分子の動きと同じように、通常の液晶分子を基板

に水平な面で回転させると広視野角が得られるのではないかと考え初期の機能確認を行い、その後他の技術者と共に IPS 開発に成功した⁽³⁷⁾。日立製作所は、IPS に適した液晶素材の開発のためメルクと共同開発を締結し、その性能向上に努めた⁽³⁸⁾。

TFT 駆動によるアクティブマトリックス方式において、液晶基板に水平に電圧を印加することにより、これまでの 80 度の視野角を 140 度にする広視野角を実現し、1992 年に特許出願を行うと共に 1995 年 10 月「Asia Display '95」で発表を行った⁽³⁹⁾。そこで展示された液晶パネルは、液晶関係者が度肝を抜かれるほど高画質であったという。「もはや視野角という概念は、液晶になくなった。CRT と同じになった」と評された⁽⁴⁰⁾。この飛躍的な技術革新は、これまで携帯用あるいはパーソナルユースとして実用化されてきた液晶表示が、この IPS 広視野角技術により、据え置き型の大型家庭用テレビとして CRT に代わって実用化される見通しをつけた。

視野角を広げる研究は、IPS 技術の開発前にも検討されていた。フランスの原子力エネルギー庁のクレール (J. F. Clere) らは、電圧を印加しない場合に液晶分子が基板に対して垂直に揃っており、電圧印加により基板に平行となる垂直方向 VA (Vertical Alignment) 方式を発明し、1984 年に出願した⁽⁴¹⁾。富士通はこの VA 方式を用い広視野角液晶を開発した⁽⁴²⁾。その後液晶セル内部を四等分し、それぞれの部分に傾斜をつけ、傾ける構造を持つ MVA (Multi-domain Vertical Alignment) を実用化し、家庭用テレビに採用している。

シャープでは、IPS および VA 両方式を検討し、IPS 方式に比較して VA 方式の方がコントラストが良いこと、開口を大きくとれることで液晶の透過率を大きくできること、さらに動作速度が速いこと、また IPS 方式よりも作りやすく、製造のバラツキや依存性が少ないということから VA 方式を採用したとのことである⁽⁴³⁾。

現在では VA 方式で液晶分子を「花火」のように全方向に配向させた ASV (Advanced Super View) 技術で広視野角液晶パネルを商品化している。

従来使用されてきた TN 液晶は、電圧オフのとき液晶分子は基板に対して水平に並んでおり、また下基板から上基板にかけて液晶分子は液晶のねじれ配列性いわゆる旋光性により 90 度回転している。下基板に隣

接した偏光板により偏光された光は、液晶分子に沿って液晶セル内を 90 度偏光面が回転し、直角に配置された上基板の偏光板を通過し、電圧オフで白表示 (オン状態) になる。一方電圧を印加した場合は、液晶セル内で基板に平行で、かつねじれていた液晶分子は、電界の作用でねじれ状態が消失し、一軸性の複屈折媒体となり垂直方向に立ち上がるため、直線偏光されて液晶セルに入った光はセル内を回転することなく通過し、上部偏光板で遮断され、電圧オンで黒表示 (オフ状態) になる。

以上が TN 液晶の動作原理であるが、印加する電圧を中間程度とすると液晶分子の傾く角度が斜めになり、この場合旋光性と複屈折性が混在した状態になり、液晶セルを通過してくる光の量をコントロールでき、いわゆる中間調を実現できる。

他方、この状態では液晶セルに対して垂直に見る場合には問題はないが、斜めから見た場合に液晶分子の見え方が変わり、それにより液晶セルを通過してくる光の量に差が出るため、大きな視野角依存性があり、いわゆる視野角が狭いという状況となり、大きな画面で複数の人が見るには問題があり、改善の必要があった。2000 年頃から広視野角フィルターという部材が実用化され始めている。

このフィルターをパネル前面に挿入するだけで、従来の TN 方式パネルを光が拡散するため輝度は多少低下するが、容易に広視野角化できるようになった。価格面も含めたトータルの競争では TN 方式は比較的小さい画面に対して有望である。また、VA 方式にもこの広視野角フィルターは採用され、広視野角化に広く用いられている⁽⁴⁴⁾。この広視野角フィルターの光学補償原理は、TN 液晶は光学的に正の一軸性屈折率楕円体で表わすことができるが、これに対して光学的に負の一軸性屈折率楕円体を重ねることにより、全体として複屈折が近似的になくなる。つまり、近似的にはあるが、光学的に補償されどの方向から見ても光漏れがなくなり、視野角拡大に寄与することになる。

IPS 方式では、液晶分子は基板に対し水平に存在し、基板平面にくし型状に電極を配列させ、基盤水平方向に電圧を印加することにより、液晶分子を基板に水平な面で液晶の向きを回転させる方法である。電圧オフのとき、液晶分子の並びに対して、偏向板をクロスに配列することにより、オフ状態 (黒表示) ができ、電

圧オンにより液晶分子は水平に回転し、白表示ができる。この方法はどの角度から見ても液晶分子が水平になっているため、視野角が広いという特徴を持っており、本方式は大画面液晶表示に広く使われている。問題点としては、液晶セルの開口率が低いことが挙げられるが、その後いろいろな工夫がなされている。

日立製作所で開示された技術情報⁽⁴⁵⁾によると、当初の方式の IPS 方式表示と新開発の高開口率・高輝度版である AS-IPS (Advanced Super IPS) 表示の実例であり、開口率を従来に比べ 30% 向上させ、450cd/m² の高輝度を実現し、その後大型テレビ用途への最適化もなされた。

視野角拡大のもう一つの方法は VA 方式であり、TN 方式と同様基板に対して垂直に電圧を印加する方法であるが、電圧オフのときに液晶は基板面に対して垂直に配置するよう設計されており、黒表示となる。この場合光は液晶分子に影響されることがないため、オフ時の黒の濃度が大きく、良い画質が得られる。電圧印加により液晶分子は水平になり白表示となる。問題は中間調の表示の場合に、通常の TN 液晶と類似の液晶分子が斜めに立つことになり、視野角依存性が完全に良くなることではなかった。

この問題に対して、液晶セルを複数に分割し、各基板底面に傾斜をつけ、液晶分子の並ぶ方向をそれぞれ別にすることにより、視野角性は大幅に改善され、実用に供されるものとなった。また、この MVA 方式は、液晶を一定方向にそろえるためのラビング処理をする必要がなくなり、実用上大きな改善であった。

広視野角化の開発は、1995 年の日立製作所による IPS 方式の発表と前後して、TN 方式の改良、MVA 方式など各社により精力的に行われた。これまで視野角の狭かった TN 型に関しては、光学補償フィルムを用いることにより、ノートパソコンあるいは小型のテレビあるいはモニターに用いられるようになっていく。

広視野角化については、IPS 方式と VA 方式が発展してきており、IPS 方式については日立製作所の前述の高開口率高輝度版である AS-IPS 方式と、現代電子産業（韓国）の IPS 方式の改良型の FFS (Frings Field Switching) 方式が実用化されている⁽⁴⁶⁾。また VA 方式は、MVA, ASV, PVA など改良がなされ、実用化されている。

広視野角化の開発は、IPS 方式で日立製作所が先鞭

をつけたわけであるが、開発の初期はこのテーマの重要性を理解してもらえず、開発テーマとして認知されていない。いわゆる「隠し研究」としてスタートした。広視野角の 13.3 インチの試作品が完成した時点で、営業を通じユーザーに見せたが、消費電力が大きく、駆動電圧が高いと反応は良くなかった。これはその当時液晶パネルは 13 インチ程度の大きさでパーソナルユースが主流であり、広視野角の重要性は商品そのものとして要請されていないことがあった。しかし一部のユーザーからは、将来の大サイズ液晶パネルに不可欠の技術であるとの評価も受けたという⁽⁴⁷⁾。

日立製作所が開発した IPS 方式は、広視野角に不可欠の技術として確立されたが、他社がその技術を採用するにあたっては特許のライセンスが必要であった。他方、富士通が初めて製品化したもう一つの広視野角化技術である VA 方式は、シャープ、サムスン電子（韓国）他多くのメーカーが採用しており、特許のライセンス問題はこれまで起きてないようであったが、最近になって（2003 年）VA 特許発明の出願人であるフランス原子力庁は、サムスン電子はじめ LCD メーカー各社に対し、特許の侵害訴訟を起こしている⁽⁴⁸⁾。

STN 液晶表示技術の完成により、ワープロや携帯端末用など比較的低価格な製品に液晶表示が用いられた。そして TFT アクティブマトリックス技術の確立により、1990 年代よりノートパソコンを中心に液晶表示が広く用いられるようになった⁽⁴⁹⁾。

1997 年以降、広視野角化技術の確立により、13 型 XGA、1998 年に SXGA 家庭用テレビの商品化がなされ、同年には 17 型テレビが商品化されている。13 型以上のサイズの家庭用テレビとパソコン表示の多くが液晶ディスプレイになりつつあり、1990 年代後半から普及し始めている。2002 年以降は 20 型を超える大型テレビの普及が始まっている。

3.8 大型液晶ディスプレイの大競争時代

3.8.1 液晶ディスプレイの市場動向

現在、液晶ディスプレイを搭載した商品は、携帯電話、デジタルカメラ、モバイル携帯端末、ノートパソコン、液晶モニター、液晶テレビと我々の周辺に溢れている。液晶ディスプレイが 1973 年に電卓の表示用として本格的に実用され始めてからまだわずか 30 年である。当時を知る者から考えると信じられないほど

の発展スピードである。

昨今は、特に液晶テレビの市場が急速な立ち上がりを見せており、日本から世界に向けて大きなインパクトを与え続けている。

大型液晶パネルの生産量は、年平均で約30%程度の成長が続いている。その内訳を見ると、ノートパソコン向けが堅調に伸び、それにモニター用途が加わり、2002年にはモニター向けがノートパソコン向けを追い抜いている。今後はテレビ向け用途が急速に伸びると予想される。

液晶パネルの生産金額で見ると、パネル面積当たり単価は年とともに徐々に低価しているものの液晶パネルが大型化の方向に進んでいるため、液晶パネル全体としての生産金額は、年平均約20%程度の成長率を超えた。

3.9 用途別液晶パネルの概要

液晶パネルは用途により次の6種類に分類できる。

- ① 携帯電話機
- ② デジタルカメラ
- ③ モバイル携帯端末
- ④ ノートパソコン
- ⑤ モニター
- ⑥ テレビ

それぞれの用途別に見た液晶パネルの画面サイズと画素数の関係は次のとおり。

- | | | |
|------------|-----------|--------------|
| ① 携帯電話機 | (1～2.5型) | 1万～12万画素 |
| ② デジタルカメラ | (1～2.5型) | 5万～15万画素 |
| ③ モバイル携帯端末 | (2.5～10型) | 2万～100万画素 |
| ④ ノートパソコン | (10～12型) | 20万～1,000万画素 |
| ⑤ モニター | (12～14型) | 50万～1,000万画素 |
| ⑥ テレビ | (10～90型) | 30万～100万画素 |

3.10 携帯電話機向け液晶パネル

携帯電話機用の液晶パネルは、面積が徐々に小さくなってきた経緯があり、現在の画面サイズは2.1～2.4型が中心である。2.6型もあるが、携帯電話機としての使い勝手から、今後は大画面化の方向には向かわず、むしろ精細度を高める動きが中心となる。例えば、QVGA (240×320画素)で2,000ppi (pixel per inch) 以上の高精細度に向かうと思われる。

精細度に加えて、薄型、軽量、低消費電力といった

要素も重要で、液晶パネルのガラス基板の薄型化が進み、さらに高移動シリコン薄膜を使い、液晶ガラス基板上に液晶パネル TFT (薄膜トランジスタ) と同時に液晶駆動用 IC も同時に作り付ける技術が一般的になる。

日本や韓国では、携帯電話機の表示パネルのほとんどはカラー液晶パネルであるが、世界全体でのカラー化率は2003年でまだ30%程度である。

ここにきてヨーロッパでのカラー化の動きが始まり、急速に世界全体でのカラー化率が上昇している。2004年には、世界全体でのカラー化率が40～50%程度になると予測されている。

3.11 デジタルカメラ向け液晶パネル

デジタルカメラ用の液晶モニターは、携帯電話機用の液晶パネルよりも種類が多彩で、画面サイズで見れば1.5～2.5型、画素数では5～15万画素が中心である。

カメラのサイズやデザインに応じていろいろな液晶パネルが使用されるので、特に動向というものは見られないが、高精細、薄型、軽量、低消費電力、さらには高移動シリコン薄膜を使った周辺回路を液晶基板上に一体化する流れは今後も加速される。

3.12 ノートパソコン向け液晶パネル

10型以上の大型パネルの開発に関していえば、TFTカラー液晶パネルは3型程度のものしか出来なかった1988年、シャープ社が14型のTFTのフルカラー液晶ディスプレイ (642×480画素) の技術開発に成功した。この試作品の成功によって、その後の大型液晶パネル開発に大きな弾みがついた⁽⁵⁰⁾。

ノートパソコン向け液晶パネルは10型から16型が中心で、ノートパソコン向けという用途から見てもそれ以上の大型化はあまり考えられず、やはり今後は高精細、薄型、軽量、低消費電力の方向に向かうことになる。

3.13 モニター向け液晶パネル

モニター向け液晶パネルの画面サイズの範囲はかなり広く、15～20型が中心で、画素数としてはXGA (1,024×768画素)、SXGA (1,280×1,024画素)、UXGA (1,600×1,200画素) となっている。

今後は、高精細、低消費電力に加えて広視野角の方向に向かう。

3.14 テレビ向け液晶パネル

テレビ向け液晶パネルは、大画面化競争とシェア競争の真最中であり、まったく予断を許さない状況にある。その性能は大きく2つに分けられ、

- ① 液晶パネルメーカー間の大画面化と高性能化競争および生産量の競争と
- ② 液晶パネルを購入して液晶テレビを製造・販売している電機メーカー間の競争

である。

液晶パネルを使った液晶テレビは、プラズマ・テレビと共に薄型テレビと呼ばれ、大画面テレビの双壁として両者間の技術競争は激しさを増している。さらに、大画面薄型テレビの分野にリアプロジェクションテレビも加わって、液晶テレビを取巻く競争は複雑な構図になって来ているが、液晶テレビは依然として薄型テレビの先頭を走っている。

世界市場での出荷台数では、2005年に液晶テレビは1,500万台に達すると予測され、プラズマ・テレビは250～300万台と予測されている。

もともとプラズマ・テレビは、小型化が難しいことから大型画面に適しており、液晶テレビはプラズマ・テレビより小型の画面に適している。これまでは、30型を境として、30型以上はプラズマ・テレビ、30型以下は液晶テレビと棲み分けが起これるといわれていたが、液晶テレビの大型化が進み、現在では40型から45型を境に棲み分けるとみる見方も出て来ている。

最近の大型液晶テレビとしては、韓国サムスン電子が46型を、シャープ社が45型（デジタルチューナー搭載）をそれぞれ商品化している。

3.15 テレビ向け液晶ディスプレイの動向

シャープ社の町田社長は、1998年の社長就任時に「シャープは、2005年までに国内出荷するブラウン管テレビを止め、すべて液晶テレビに置き換える」と宣言し物議をかもしたが、シャープ社でのCRTテレビから液晶テレビへの置き換えのスピードは速く、宣言よりも早く実現しそうである。液晶テレビでは、シャープが先行しているが、他社もCRTテレビから液晶テ

レビやプラズマ・テレビを含めた薄型テレビへのシフトを急速に進めている。

このCRTテレビから薄型テレビへシフトする各家電メーカーの対応スピードの違いが、各社の2003年度実績に大きく反映する形となって現れた。

液晶テレビの世界市場規模を下表に示す。2004年以降は予測値であるが、2005年には1,500万台に達すると考えられ、液晶テレビは完全に次世代テレビの地位を確保し、CRTテレビから薄型テレビへの移行は確かな潮流となった。

表1 液晶テレビの世界市場規模（台数：万台）

2001年	60
2002年	150
2003年	360
2004年	800（予想）
2005年	1,500（予想）
2006年	2,800（予想）
2007年	4,000（予想）
2008年	5,000（予想）

液晶テレビの世界市場における上位各社の占有率を下記に示す。

表2

	シャープ	ソニー	松下電産	サムスン電子	LG電子	その他	全体
2001年	40	—	—	—	—	10	50
2002年	100	10	20	—	—	—	130
2003年	150	40	—	—	—	—	350
2004年（予測）	210	130	120	100	70	120	750

液晶テレビ開発の先頭を走ってきたシャープは、2001年1月に「アクオス」シリーズを発売し、2001年の市場占有率は70%以上であった。その後シャープ生産数量も大幅に増えているものの、ソニー、松下電器産業、韓国のサムスン電子やLG電子がシェアを伸ばした結果、シャープの市場占有率は徐々に下がってきている。さらに台湾メーカーも液晶テレビに参入を始めており、プレーヤーも多様化の一途をたどっている。

次にテレビ用液晶パネルの製造に関していえば、画面サイズそのものの大型化とマザーガラス基板サイズの大型化が現在の最大の関心事である。テレビ向け液晶パネルに関する目下の大きな競争要因は、大画面化とコストダウンである。

この両方を解決する重要な解決策として、液晶パネルを作るマザーガラス基板の大型化がある。マザーガラス基板の面積を大きくすることで、液晶パネルの取れ数が多くなるため、液晶パネルメーカー各社は競ってマザーガラス基板の大型化に取り組んでおり、液晶パネル用のマザーガラス基板面積は10年で10倍以上にもなっている。

液晶パネル用のマザーガラス基板サイズは、各液晶パネルメーカーによってそれぞれ微妙な違いはあるものの、業界内ではマザーガラス基板サイズを世代別に分けて呼ぶのが一般的になっている。マザーガラス基板サイズと各世代との対応関係を次に示す。

表3 パネル用のマザーガラス基板サイズ

世代	基板サイズ (mm ²)	稼働時期
第1世代	300×350～320×400	1991年
第3世代	550×650～650×830	1996年
第5世代	1,000×1,200～1,100×1,300	2002年
第6世代	1,500×1,800～1,500×1,850	2004年
第7世代	1,870×2,200	2005年

現在の最先端に位置する世代は第6世代で、その代表例がシャープの亀山工場（三重県亀山市）である。シャープ亀山工場の建設は順調にいき、予定を4カ月前倒して、2004年1月に稼働を始めた。亀山工場でのマザーガラス基板サイズは、1,500×1,800mm²である。このマザーガラス基板を使うことによって、37型液晶パネルでは6面、32型液晶パネルでは8面、26型液晶パネルでは12面を取ることができる。

また、韓国サムスン電子とソニーが合弁で液晶パネル製造会社S-LCD社を2004年4月に韓国に設立し、第7世代（マザーガラス基板サイズ：1,870×2,200mm²）の液晶パネル工場を韓国のタンジョンに建設中である（2004年12月現在）。2005年の夏をメドに月産6万枚の規模で量産稼働する予定という。

韓国のLGフィリップスLCDは、2004年8月に第6世代（1,500×1,850mm²）の液晶工場を稼働させたと発表し、台湾の液晶メーカー各社も第6世代の工場建設を進めており、2005年には続々と稼働する計画になっている。

一方国内では、日立製作所、松下電器産業、東芝の三社が液晶テレビ用大型液晶パネルを生産する新会社

を、2005年1月に共同で設立すると発表した。新会社は、日立ディスプレイズの茂原工場（千葉県）内に1,100億円を投資して第6世代の液晶パネル工場を建設し、2006年第2四半期に稼働を目指すという。

例えば、32型テレビを作る場合、表4に示すようにマザーガラス基板のサイズによって、1枚のマザーガラス基板から取れる液晶パネルの数は大きく変動する。

表4 各世代のマザーガラス基板1枚から取れる32型液晶パネルの枚数

世代	32型液晶パネルの取れ数
第4世代	1面または2面
第5世代	2面または3面
第6世代	8面
第7世代	12面

液晶パネルの画面サイズの拡大が続く限り、マザーガラス基板のサイズの拡大競争は今後も続くと思われる。しかし一方で、マザーガラス基板の拡大をこれ以上続けても、単位面積当たりの投資生産性は良くなるという指摘もあり、マザーガラス基板の拡大競争も1つの分岐点に近づきつつあるのかもしれない。

大型液晶パネルだけでなく、中型液晶パネルに向けた第5世代（1,000×1,200～1,100×1,300mm²）の液晶パネル工場も台湾と韓国で次々と稼働を始めており、液晶パネルをめぐる競争は、ますます激しさを増している。

2004年10月、幕張メッセで開催された展示会「CEATEC JAPAN 2004」において、シャープが世界最大寸法の65型テレビの試作品を展示した。65型のテレビといえば、これまでに商品化されているプラズマ・テレビの最大寸法と同じである。

これからは、液晶事業に投資する金額もさらに高額になっていき、しかも当該投資は、各企業の戦略に大きく関係する。従って、各企業トップの意志決定と決定スピードがその企業自身の将来性と、世界的な液晶ビジネスの動向を左右することになり、今後の展開が大いに注目される。

4. むすび

本稿は、第2章で液晶ディスプレイ小史を、第3章

で液晶ディスプレイが発明され、広汎な用途に適用され、その適用の過程において必要な技術課題が世界中の関係技術社会で次々と解決されてきた過程につき述べた。最後に、最も華やかなテレビ用ディスプレイに到達したが、テレビ用にはプラズマ・テレビをはじめ有力な競合商品が次々と登場しつつある。これら凡ての技術進歩および市場開発が関係技術者等の地道で真摯な努力により推進されて来たことを我々は改めて銘記しなければならない。

注

- (1) 岩波理化学辞典（第3版）第3頁127頁
- (2) 同書（同版）第90頁
- (3) 同書（同版）第1005頁
- (4) R. Williams, U.S.P. No.3,332,485 (Filed; Nov.9, 1962)
- (5) R. Williams, J. Chem. Phys., Vol.39, p.384, 1963
- (6) G. Heilmeyer et al. Appl. Phys., Lett., Vol.13, p.91-92, 1968
- (7) 工業調査会刊：注目先端技術 成功の理由；第28頁
- (8) J. L. Fergason, U.S.P. No.3,731,986 (Filed; Apr.22, 1971)
- (9) M. Schadt and W. Helfrich, Appl. Phys. Vol.18, p.127, 1971
- (10) 上記(7)の注目先端技術 成功の理由；第31頁
- (11) 同上書；第34頁
- (12) F. M. Wanlass, U.S.P. No.3,356,858 (Filed; June 18, 1963)
- (13) Y. Suzuki, et al., Digest of Tech Paper, ISSCC, Feb.1973
- (14) 佐々木正, 上掲書第37頁脚注
- (15) 和田富男, 上掲書第25頁脚注
- (16) 船田文明, シャープ技報, 69, 16 (1997)
- (17) 特公昭 52-16468 (出願日：09.05.1972), 液晶組成物
- (18) P. M. Alt et al., IEEE Tr. Electron Devices ED-21,146 (1974)
- (19) 川上英明 他, 日特第 1,210,988 (特開昭 50-68419)
- (20) (16) と同じ
- (21) T. Scheffer et al., Applied Physics Letters 45, 1021 (1984)
- (22) 日本特許第 1,604,189 (発明者：船田文明 他 2, 出願日：1980.12.09)
- (23) 沼上幹, 白桃書房刊：液晶ディスプレイの技術革新史 p.351 (1991)
- (24) B. J. Lechner et al., Proc. of the IEEE 59,1566 (1971)
- (25) T. P. Brody et al., 1973 SID Int. Symposium Digest of Tech Papers 179 (1973)
- (26) P. K. Weimer, Proc. of the IRE 1462 (1962)
- (27) W. E. Spear et al., Solid State Communications 17,1193 (1975)
- (28) P. G. Le Comber et al., A. Ghaith Electromechanics Letters 15,179 (1979)
- (29) S. Morozumi et al., SID '83 Digest 156 (1983)
- (30) <http://www.watch.impress.co.jp/AV/does/20020607/epson.htm>
- (31) M. Matsui et al., Applied Physics Letters 37,936 (1980)
- (32) http://www.zdnet.co.jp/mobile/0210/22n_cgs.html
- (33) <http://www.hitachi.co.jp/new/cnews/2002/0516/>
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2002/05/20.html>
- (34) R. Kiefer, B. Weber, F. Windscheid and G. Baur Proc. Japan Display '92 547 (1992)
- (35) 特公表 5-505,247 (原出願日 1990.01.09, 原出願人：フ라운ホーファ研)
- (36) 大和田淳一 ((株) 日立ディスプレイズ経営戦略部部長) 私信
- (37) HITACHI TECHNOLOGY, 2003-2004, p.44
- (38) 日特 2,940,354 (出願日 1992,09,18, 発明者：近藤克己 他 4)
一部対応 USP 5,598,285
- (39) 日経マイクロデバイス 1995年12月号
- (40) 日特 2,029,146 (フランス先行出願日 1984年5月18日, 対応 USP4, 701,028)
- (41) K. Ohmuro et al., SID 1997 Digest 845 (1997)
- (42) 岡元謙次 他 2, FUJITSU 49,175 (1998)
- (43) 森裕行 他 3, 富士フィルム研究報告, 46, 51 (2001)
- (44) <http://device.eng.toyama-u.ac.jp/lc/ips/ips/html>
- (45) A. Lien, R. Nunes, R. A. John, E. Galligan et al., SID 1998, pp 1,123-1,126 (1988)
- (46) 太田隆司 (元日立製作所, 現サムスン電子) 私信
- (47) 日本特許 2,029,146 (対応 USP 4,701,028) フランス先行出願日 1984.07.16 日本特許登録日 1996.03.19 なお (40) 参照
- (48) 大井進, NEC Device Technology, No.71, 2000年9月
- (49) T. Nagasaku et al., "A 14 In-Diagonal Full-Color a-Si TFT LCD" Proceedings of 1988 International Display Research Conference, pp.56-58, 1988
- (50) (49) と同じ

(原稿受領 2006.4.5)