

日本発の技術と経営…液晶ディスプレイに見る製品開発・事業戦略

正 本 順 三*

Technology from Japan and Its Management…Product Development and Business Strategy in Liquid Crystal Display (LCD)

Junzo MASAMOTO

Abstract: Research using liquid crystal as a display was started in USA in the 1960s, and most of the basic principles were established in USA and Britain. However, commercialization and production technologies were led by Japanese companies. Various innovations were also developed in Japan, and Japanese companies lead the world. In this area, however in the 2000s, companies in Korea and Taiwan have made remarkable progress. Here in this report, the author discusses the past, present and future situation of liquid crystal display, and considers how the future liquid crystal display industries should be for Japanese companies.

1. はじめに

日本発の世界に誇る技術は多くある。液晶ディスプレイの技術も日本発の世界に誇るべき技術である。液晶ディスプレイの主要技術のスタートは、欧米で始まった。しかしながら、その技術を製品として、広めることに日本企業が主要な役割を果たした。1980年代後半から1990年代前半までは、日本発の技術は、製品事業として、世界を制覇する勢いが見られた。しかしながら、2000年代に入ると、日本発の技術を元にした製品事業にかげりが見られることとなった。ここでは、ユビキタスネットワーク社会に必須の電子ディスプレイ、特に液晶ディスプレイに関してその発展の歴史、現状、及び今後のあり方について、議論してみることにする。

2. 液晶ディスプレイの誕生と技術革新¹⁻⁴⁾

液晶という物質の存在自体は、19世紀から知られていた。「液晶」という名称は、概観が液体であるにもかかわらず、結晶がもつ複屈折性などの性質を持つことからきている。このような物質は、1888年にオーストリアの植物学者 Reinitzer によって発見された。翌年の1898年ドイツの物理学者 Lehmann により、液晶と命名された。その後、実用化とはほど遠いところで基礎的な研究が続けられていた。

ディスプレイとしての実用化をめざした応用研究が始まるのは、1963年の米国のRCA社の Williams が電気工学効果を発見してからである⁵⁾。Williams は、液晶に大きな電圧をかけると液晶分子が乱流状態となって光が散乱され白濁することを発見し、この現象を動的散乱(Dynamic Scattering: DS)と名づけた。1968年には、RCA社の Heilmeyer は実際にネマティック型晶を用いたDSモードの液晶ディスプレイを試作した⁶⁾。このニュースは、マスコミによって広く伝えられたため、その後、日本でも液晶ディスプレイの研究が本格的に始まる。1970年代初めからデジタル式腕時計や電卓の表示装置として実用化される。



写真1 George H. Heilmeyer と液晶テレビジョンテスト⁷⁾

(注: Heilmeyer は、2005年度の京都賞を受賞している。液晶ディスプレイの産業のインパクトの大きさを考えれば将来ノーベル賞の可能性は、十分にあると思われる。著者なりの予想をすれば、LCDでの Dr. George H. Heilmeyer (RCA)、PDP(プラズマ・ディスプレイ)での Prof. Donald Bitzer (イリノイ大学)、有機ELでの Dr. C. W. Tang (コダック)のあわせて3名で、受賞件名は“フラット・パネル・ディスプレイ(平面型ディスプレイ)”と考えている。

* 経営情報学科

液晶ディスプレイは、蛍光表示管など従来の表示デバイスと比べて薄型化が可能で消費電力が小さいことから、特に携帯用機器については代表的表示デバイスとなっていく。

しかし、1970年代半ば以降、液晶ディスプレイの動作モードの主流となったのは、DSモードモードではなく、TN (Twisted Nematic)モードであった。TNモードでは、液晶分子の向きが最上層と最下層とでは、90度ねじれるように液晶を配置する。この状態で、液晶をはさむ形で上下に置かれた透明電極間に電圧を加えると、液晶分子の配列は変わり、液晶分子のねじれがなくなる結果、上方から入る光の透過率が変わる。(図1 参照)。TNモードの発見は米国の Fergason とスイスのロシュ社の Schadt と Helfrich による⁷⁾。

1970年代半ばから、応用の方向は数字表示から文字表示に向けられる。文字表示では、数字表示より要求されるドット数が大幅に増加する。ここでの開発課題は、駆動方式にあった。マトリクス状に配列された各ドットを順次選択しながら、所定の電圧を加えるという「単純マトリクス方式」がまず実用化された。

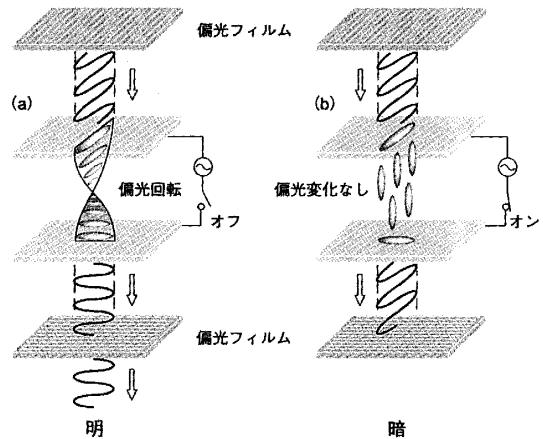


図1 液晶ディスプレイの基本原理²⁾

コンピュータディスプレイとして使えるほどの画面の大きさとコントラストとを、この単純マトリクス方式に基づいて実現するには、解決すべき問題は、多々あった。主なイノベーションは、電圧平均化法と呼ばれる駆動方式面の改良、STN (Super Twisted Nematic)モードと呼ばれる動作モードの改良、およびアクティブ・マトリクス方式と呼ばれる新たな駆動方式の開発である。

TNモードでは、液晶分子は90度ねじって配向されるが、STNモードでは、270度ねじることにより、応答速度を高めるといふ動作モード面の改良である。これは、1984年にスイスのブラウン・ボベリ社の Sheffer が1984年に発表した⁹⁾。これにより、一定時間内の走査本数を増やすことができ、ディスプレイの大画面化が可能となった。しかし、STNモードはそのままでは、表示が白ではなく黄色や青色に着色するという欠陥があった。セイコーエプソンは、液晶セルを2枚重ねることにより、白色化をはかるDSTN (Double Super Twisted Nematic) とよばれる方法を1987年に開発した。

このような改良により、液晶ディスプレイは、コンピュータ用ディスプレイとして実用域に一応到達したものの、単純マトリクス方式がもつ不可避的限界のために、それ以上のコントラストの改善や大画面化や動画表示は、困難であった。

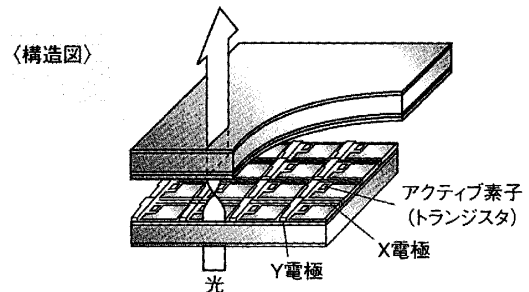


図2 アクティブ・マトリクス方式の仕組み²⁾

そこに誕生したのが、アクティブ・マトリクス方式であった。すなわち、ドットの一つひとつに、トランジスタをつけて、電圧の制御を個別に行う駆動方式(アクティブ・マトリクス方式)が提案された。(図2 参照)。トランジスタのスイッチ動作により、ある走査時間に加えられた電圧は、次ぎの走査時間まで記憶される。つまりフレーム周期を通じて電圧が保持されるため、コントラストが格段に改善される。さらにアクティブ・マトリクス駆動方式では、その原理上、画面の大きさとコントラストとのトレードオフは存在しない。しかし、その製造工程は、単純マトリクス駆動方式と比べて格段に複雑になり、製造コストは上昇する。つまり、ガラス基板の上に、非常に多数の薄膜トランジスタ (Thin Film Transistor: TFT) を形成することが必要となり、その製造工程は半導体製造に類似する。1979年、英国の Dundee 大学の Spear, LeComber らがアモルファスシリコン (a-Si) をTFT液晶ディスプレイの試作に成功している¹⁰⁾。

3. シャープに見る液晶ディスプレイ^{1, 3, 11-15)}

3.1 開発背景

シャープは、1964年に日本で最初に全トランジスタ式卓上計算機を発売した。この日本最初のモデルは、550個

のトランジスターをはじめ、膨大な数の個別部品を使って組たてられた。半導体技術の進歩により、IC、LSIが使用されるようになると部品点数は、急激に減少するとともに、消費電力の低下、電卓の小型化、価格低下が進行していった。

1972年8月カシオが6桁表示で12,800円の低価格電卓「カシオ・ミニ」を発売した。これは、当時としては、劇的な安さであった。激しい価格競争の結果、多くの電卓メーカーが市場から脱落するなかで、シャープは薄型という製品差別化戦略により、生き残りをはかった。

1972年、社内の各部署から20名が集められ、電卓の開発をめざす緊急プロジェクトチームが結成された。シャープの開発プロジェクトは成功し、1973年に日本で最初の液晶電卓を発売する。その後、シャープのシェアは回復し、電卓市場でカシオとシャープが過半のシェアを分け合う寡占的市場となっていく。

この結果、薄型電卓という新たなコンセプトの最終商品の開発が、液晶ディスプレイという新たなデバイスの開発の起点となっている。

同時にシャープでは、緊急プロジェクトという柔軟な開発組織形態を採用したことも、その事業化を成功させる基となっている。最終製品の開発とデバイスの開発は、シャープのスパイラル成長経営をもたらした。

3.2 DSモード液晶ディスプレイの開発

シャープが初期に開発しようとしたのはDS(動的散乱: Dynamic Scattering)モードの液晶ディスプレイであった。RC Aが試作したDSモード液晶ディスプレイ⁶⁾が、1969年のNHKの番組で紹介された。これを見たシャープの研究者和田富夫が液晶の研究を開始した¹¹⁾。1973年シャープは、日本初の液晶電卓EL-805を発売した。

3.3 TNモード液晶ディスプレイの開発

1971年、Roche 社の Shadt, Helflich らによりTNモードの原理が発表された⁸⁾。TNモードは、DSモードに比べ、コントラスト、寿命、駆動電圧、表示電力等において優れた性質を有していた。TNモードは、のちに述べるTFTアクティブ・マトリックス・ディスプレイでも利用され、現在の主流の動作モードである。

3.4 TFTアクティブ・マトリックス液晶ディスプレイの開発

1979年、Deed 大学(英)の Spear, LeComber らはアモルファスシリコンを使ったTFT-LCDを発表した¹⁰⁾。また、1981年日立は、多結晶シリコン(p-Si)を使ったTFT液晶ディスプレイを発表した。

1983年のセイコーエプソンによる液晶カラーテレビの開発の成功は、シャープ経営陣に衝撃を与えた。液晶テレビは、同社の将来にとって非常に重要な戦略商品と位置づけられていたからである。1984年、カラーテレビへも応用可能なa-Si TFT-LCDを開発するための緊急プロジェクトが同社に設置された。1988年、シャープによる3インチ液晶カラーテレビ(ノーマリーホワイト方式を採用した)が発売された。

4. 最終製品のイノベーションとデバイスのイノベーション^{3, 12-15)}

最終商品のイノベーションは、デバイスのイノベーションを促進する効果を持つ。シャープにおいては、1970年代の激しい電卓競争に勝ち残ったことが、同社の半導体事業や液晶などのデバイス事業の存続を可能にした。

また、最終商品開発でのコンセプトの明確化によって、デバイス開発の方向や目標が絞られることであった。開発方向や目標が絞られると、物的、人的資源の集中的投入が可能となり、成果が生まれやすくなる。(図3 参照)。

液晶ディスプレイを応用した新たな最終商品を創出し、その最終商品市場でトップシェアを維持することに研究開発の重点がおかれた。しかも、その最終商品は大量生産のものが選ばれた。このような最終商品開発は、液晶事業への大規模な投資を可能とし、液晶ディスプレイの生産量でもトップの座を維持することにつながった。

また、シャープには、ブラウン管を製造していないことが、経営資源を液晶ディスプレイに集中できる一因となっている。

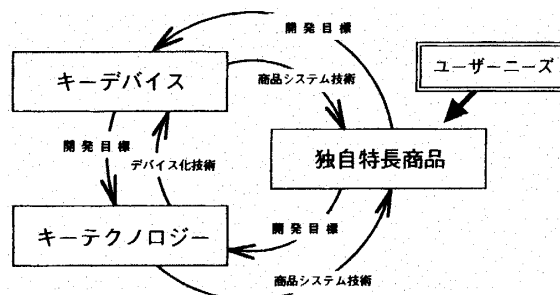
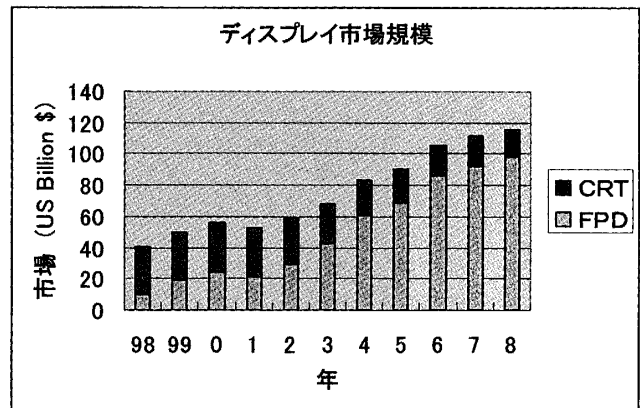


図3 技術・デバイス・商品のスパイラル成長¹²⁾

4. ディスプレイの市場

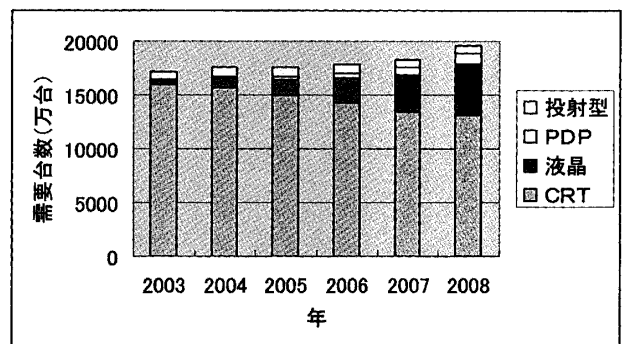
2004年時点の世界のディスプレイ市場は、8兆円強であり、これが2008年には、12兆円にまで増大すると予想されている(ディスプレイサーチ社資料)¹⁶⁾。全ディスプレイに対するフラットパネルディスプレイの比率は、2002年に金額ベースで50%を超え、ブラウン管(CRT)を上回った。そして、2006年には、80%を超える予測されている。

図4 タイプ別ディスプレイの市場規模(金額ベース)¹⁶⁾ (ディスプレイサーチ資料より)



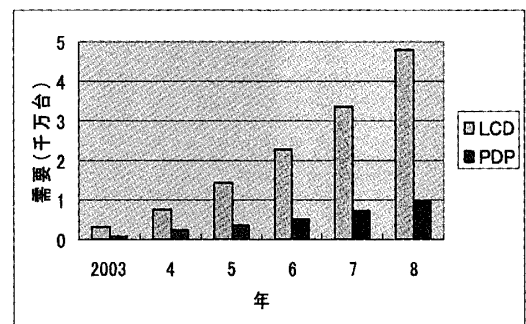
タイプ別テレビの世界需要台数の推移を図5に示す。2008年には、世界でのテレビの需要台数は2億台弱と見積もられている。CRTテレビは年とともに少しずつ減少し、代わって液晶テレビとプラズマテレビが増加して行く傾向ある。

図5 テレビの世界需要台数(米ディスプレイサーチ社調べ) 2004年7月25日 日経産業新聞記事



一方、薄型テレビでは、液晶テレビとプラズマテレビの両者が大きく伸びることが予想されている。世界での需要推移予測を図6に示した。北京オリンピックが開かれる2008年には、液晶テレビは、5千万台弱、プラズマテレビは1千万台弱の需要が予想されている。

図6 薄型テレビ世界での需要推移予測 (電子技術情報協会調べ 2005年2月8日 日経産業新聞記事)



各種ディスプレイの表示性能と特徴を表1に示した。また、電子ディスプレイの競合と協調の関係を図7に示した。

表1 各種フラットパネルディスプレイ(FPD)の表示性能と特徴¹⁷⁾

	薄型化	大型化	消費電力	応答速度	TV製品化
LCD	○	○	○	△	商品
PDP	△	◎	△	◎	商品
有機EL	◎	△	○	◎	試作
FED	○	○	◎	◎	試作
EPD (電子ペーパー)	◎	△	◎	△	?

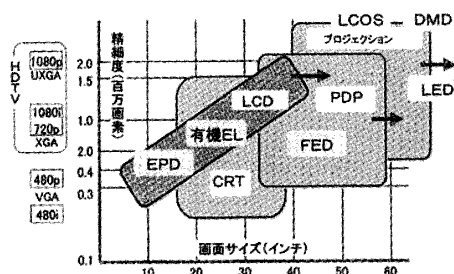


図7 電子ディスプレイの競合と協調¹⁷⁾

プラズマ方式では、画素を構成する放電管の発光効率から、画素サイズつまり画面サイズが大きい程、製造し易い。一方、液晶方式では、各種光学フィルムの均一性確保や液晶注入の製造工程等の制約から、大画面化はコスト的に難

いいとされて来た。よって、以前は、おおよそ30インチを境にこれより小さいサイズは液晶、大きなサイズはプラズマと棲み分けがなされるものと考えられていた。

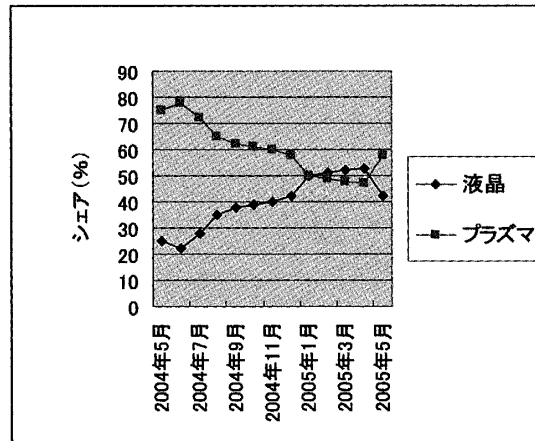
しかし、近年第6世代、第7世代と呼ばれる液晶パネルの生産ラインが稼働し、65インチを超えるサイズの液晶方式のディスプレイも発売され始めている。さらに80インチのものも試作されている。ディスプレイのサイズのみで各種の方式を論じるのは、成り立たなくなっているのが現状である。

図8は、37インチ以上の薄型テレビでの液晶(LCD)とPDPのシェア(国内)の推移⁷⁾を示した。

デジタル家電の中で最も高額な薄型テレビだけは、液晶のシャープとプラズマの松下へのシェア集中が進み、勢力図が固まったように見え、2強の激突が生じている。技術革新が進んだ結果、液晶とプラズマのすみ分けは崩れ、2強が激しいシーソーゲームを繰り返している。

図8 液晶テレビとプラズマテレビの販売台数の国内シェアの推移(37インチ以上の薄型テレビ)

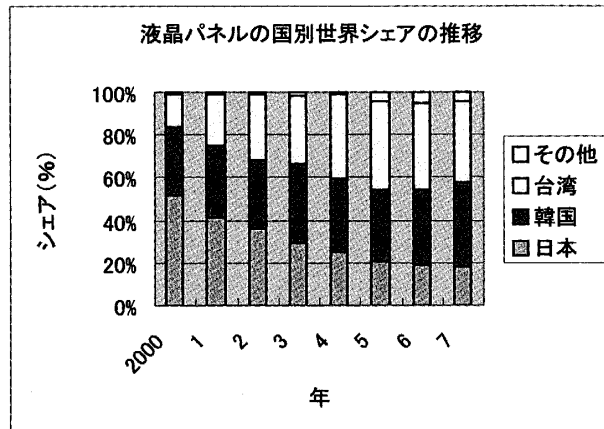
(2005年6月20日、日経産業新聞)



5. 液晶産業のグローバル化^{4, 16, 17)}

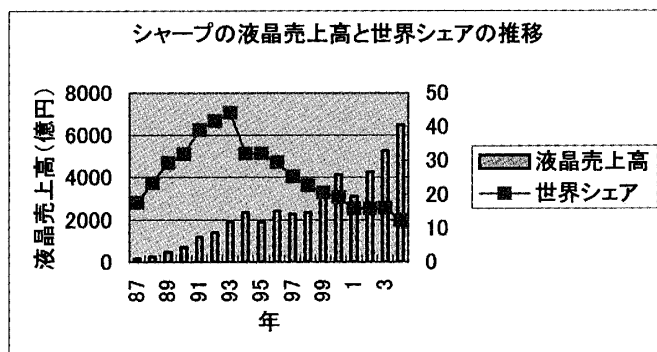
1970年代に日本で実用化され、一大産業として育った液晶産業は、1990年代に入ってPC向け用途で市場もグローバル化していった。市場のグローバル化と並行して、製造業でも1990年代半ばから韓国が参入し、1990年代の後半から台湾も参入してきて日本のお家芸であった液晶産業も、今では、製造の主役を韓国・台湾に奪われる状況になってきている。(図9 参照)。

図9 液晶パネルのシェアの推移¹⁸⁾



さらに、今後は中国での生産も始まり、生産拠点がアジアの国々に分散する形になってきた。このように、次から次へと後発組が参入してくる背景には、液晶市場が積極的に投資するに値する成長産業であるということを各国が見込んでいるからである。その一方で、液晶パネル製造に重要な役割を果たしている製造装置にその製造ノウハウが組み込まれているという状況がある。この状況は、半導体産業と同様である。すなわち、その装置を買ってくれば誰にでも液晶パネルを作ることができてしまう。業界の先頭を切って走るメーカーの後に付いていけば開発のための体力を消耗せずとも、最新鋭のラインが構築できてしまうという構図によるところが大きい。シャープは、液晶市場で売上高を伸ばして行ったが、同社の市場でのシェアが減少していることはその事実を裏付けている。(図10 参照)。

図10 世界市場でのシャープのシェアと売上高¹⁹⁾



同様のことは、液晶テレビの場合にも言える。

シャープの液晶テレビは、2002年には世界で

60%の世界シェアを有していた。しかしながら、液晶産業の発達とともに、シャープの液晶テレビの世界シェアは低下し、2005年には、20%台にまで下がっている。(図11参照)

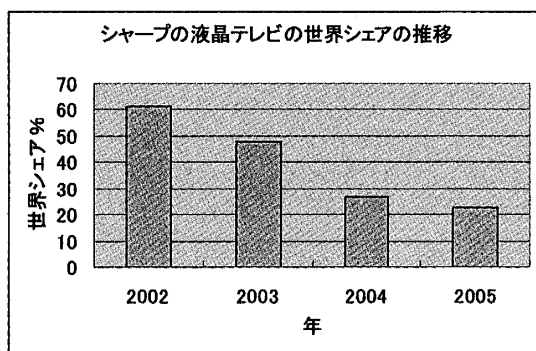


図11 シャープの液晶テレビの世界シェアの推移

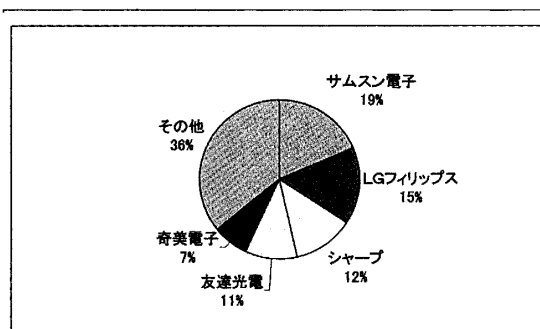
2005年8月14日 日経産業新聞記事、2004年7月26日 日経産業新聞記事より作成

現在の世界の液晶パネルの販売額シェアを図12に示す。かつては、シャープは40%の世界シェアをとり、断突であったが、現在は12%の世界シェアで世界第3位の位置づけにある。

第1位は、サムスン電子の19%、第2位は、LGフィリップスであり、1位、2位が韓国勢となっている。

4位に友達光電、5位に奇美電子の台湾勢が入っている。

図12 2004年世界のLCDパネルの販売額シェア（販売総額 498億ドル 約5兆4千億円）2005年7月21日 日経産業新聞記事



1兆786億円

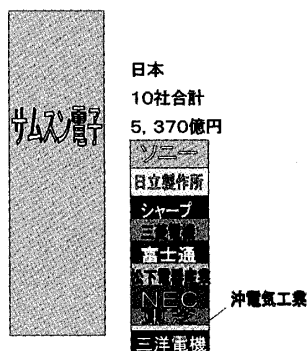


図13 サムスン電子と日本企業の利益(2004年)
日経産業新聞 2005年1月15日記事

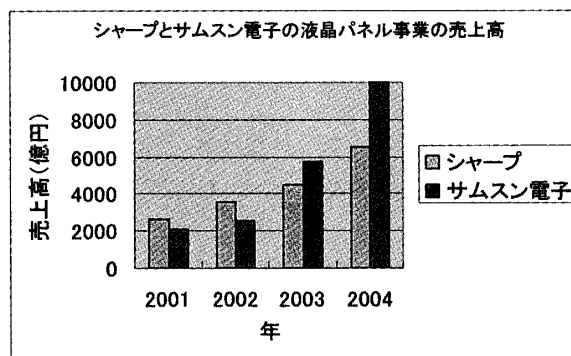


図14 シャープとサムスン電子の液晶事業の売上高推移
日経産業新聞記事 2004年記事、2005年7月21日記事

図13に示すように2004年のサムスン電子の純利益は、1兆785億円であり、この値は、日本の電気メーカー10社の合計金額5,370億円よりも大きい。強力な企業(ライバル企業)である。

また、図14に示すが、サムスン電子の液晶事業の売上高は、2001年には、シャープより少なかったが、2003年に追い越し、2004年には、1兆円の売上高となっている。年率70%近い成長を遂げている。また、2004年の液晶事業での営業利益は、約1,800億円であり、売上高利益率は20%近い。シャープ全体の利益が750億円であることを考慮すると、サムスン電子の液晶事業の利益は、非常に高く、競争力を有している。

サムスン電子における液晶ディスプレイ事業の取り組みは、以下のようである²²⁾。サムスングループでは、元来ディスプレイ事業に特化したサムスンSDIが液晶ディスプレイ事業に参入していた。しかし、TFT-LCDは、半導体生産技術の支援が不可欠であり、パネルの大型化に伴って半導体並みの設備投資が必要となることが予想されたため、1991年にグループ経営陣(会長)の判断で、サムスン電子へ事業移管がなされた。

半導体が微細化と大容量化、高速化を強めることで多額の投資資金を必要とするように、TFT-LCDの場合は、パネルサイズの大型化、高精細化が大規模な設備投資を要請した。

液晶ディスプレイの開発ターゲットも、当初はパソコン用途(ノートパソコンとモニター)が主体で、決められた仕様をいかにより大型のパネルでより安く実現できるか、主として生産技術の高度化が鍵を握っていた。このため、サムスン電子はクリスタルサイクル(液晶の景気サイクル)を利用して、半導体事業と同様にむしろ不況期に液晶パネル用のマザーガラス(大枚)の大型化を実現する設備投資を敢行し、先行者利益を最大化する戦略をとっている。

液晶ディスプレイのなかでも大型TFTパネル事業はかつての日本企業中心から、現在は主力が韓国や台湾企業に移っており、パソコン用途を中心に韓国、台湾勢が80%前後のシェアを持つ。このなかでサムスン電子は、TFT-LCDの世界市場で19%のシェアを持ち、世界トップシェアを確保している。

近年は、パソコン用途に加えてテレビ用の市場が拡大しており、ますますマザーガラスの大型化が必要とされている。テレビ用になると画質特性への要求水準も大幅に強まるが、豊富な資金力を背景に研究開発体制を充実させ、液晶ディスプレイ事業に社運を賭けるシャープとの競合関係は厳しさを増している。

テレビ用液晶ディスプレイ・パネルをより効率的に生産するため、現段階はマザーガラスのサイズが1870 mm x 2200 mmという第7世代ラインの導入が進みつつある。サムスン電子は、ソニーとの合弁で総計2200億円を第7世代ライン構築に投資し、2005年後半の生産開始を行う。2007年以降に予定される第8世代(2160 mm x 2400 mm)ラインでも、ソニーとの共同事業化を検討し、2010年までに1兆円を液晶ディスプレイ投資に充てることを発表している。

図15は、薄型ディスプレイ・パネルを巡る業界再編成の状況を示したものである。薄型テレビのパネルを巡る業界勢力図が激変している。日立製作所と松下電器産業は、プラズマ・ディスプレイ・パネル(PDP)事業での提携を正式に発表し、富士通も液晶パネル子会社を、シャープに譲渡することを正式発表した。これまで、世界のPDPの技術開発を担ってきた、富士通、NECなどが薄型パネル事業から撤退することになった。生き残りをかけた合従連衡は、戦国時代の様相を帯びてきた。

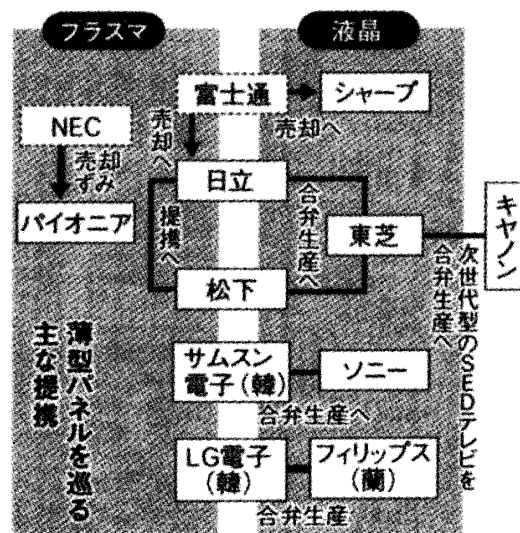
松下と日立は、部品の共同調達などでコスト削減を一段と図る。日立が富士通から譲渡されたPDPIに関する特許権を共同管理する会社を設立し、松下電器がこれに出資することも決めた。

一方、富士通は、PDPに加え、中小型液晶パネルの製造子会社もシャープへ売却し、事実上パネル事業から撤退する。

もともと、大型化が低コストで可能なPDPは30インチ台以上の大型テレビに、それ以下のサイズは高精細像が得意な液晶にというすみ分けがあったが、技術の進歩でそういう区分も消えつつある。PDPにも再編の波が及んできたのはこのためであると考えられる。

韓国企業(サムスン電子、LG電子など)の攻勢に対応するためにも、日本企業の一段とした提携が進むこととなる。これには、企業連携を含めた大胆な経営トップの判断が求められることとなる。

図15 薄型パネルをめぐる主な提携
日経産業新聞 2005年2月8日記事



6. まとめ

液晶をディスプレイとして利用するための研究は、1960年代に米国で始まり、液晶ディスプレイの基本原理のほとんどは米国、英国などで発明された。しかしその商品化や製造技術については、日本のメーカーが主導し、多くのイノベーションを生み出し、世界をリードした。しかしながら、2000年以降の液晶産業においては韓国、台湾の成長が著しい。韓国のサムスン電子とソニーの提携が行われるなど、液晶産業の国際競争がますます激化する。液晶事業において、サムスン電子の経営戦略に見習う点も多くある。この中で、日本発の技術として、世界に名をなした液晶製品メーカーの今後の発展を期待したい。これには、経営トップの強力なリーダーシップと大胆な決断力が求められる。

表2 液晶ディスプレイ技術の主なブレイクスルー^{3,7)}

基本的原理		応用製品	
1963年	Williams (RCA 社) DSモードの発見		
1968	Heilmair (RCA 社) DS-LCD試作		
1969	Fergason (米) TNモードの発見		
		1970年	セイコーエプソン DS液晶置時計試作
1971	Shadt, Helfrich (Roche 社) TNモードの発見	1971	米 Optel 社 DS液晶腕時計発売
		1972	米 Rockwell 社 DS液晶電卓発売
1973	日立 電圧平均化法の開発	1973	シャープ DS液晶電卓発売
		1973	セイコーエプソン TN液晶腕時計発売
1979	Spear (英) a-Si TFTの試作開発		
1981	LeComber (英) a-Si TFT-LCD試作		
1984	Scheffer (スイス) STNモードの発見	1984	セイコーエプソン p-Si TFTカラーテレビ発売
		1986	松下 a-Si TFTカラーテレビ発売
1987	セイコーエプソン DSTNの開発		
		1988	シャープ 14インチTFT-LCD試作
		1995	シャープ 28インチのプロトタイプ試作
		1996	シャープ 29インチカラーTFT-LCD発表
		1997	サムスン 30インチ カラーTFT-LCD
		2003	LGフィリップス 55インチ カラーTFT-LCD
			サムスン電子 57インチ カラーTFT-LCD
		2004	シャープ 65インチ カラーTFT-LCD
		2005	サムスン電子 82インチ カラーTFT-LCD

参考文献

1. 船田文明、栢川正也、シャープ技法、69, 5-16 (1997).
2. 苗村省平、“はじめての液晶ディスプレイ技術”、工業調査会、2004.
3. 宇仁宏幸、“シャープにおける液晶ディスプレイ開発”、“戦後日本の技術形成、模倣か創造か”、pp. 95-123, 日本経済評論社、2002.
4. 北原洋明、“新液晶産業論”、工業調査会、2004.
5. R. Williams, *J. Chem. Phys.*, **38**, 384 (1963).
6. G. H. Heilmair, L. A. Zanon and L. A. Barton, *Appl. Phys. Lett.*, **13**, 46 (1968); *Proc. IEEE*, **56**, 1162 (1968).
7. Joseph A. Castellano, *Liquid Gold*, World Scientific Publishing 2005.
8. M. Schadt and W. H. Helfrich, *Appl. Phys. Lett.*, **18**, 127 (1971).
9. T. J. Scheffer and J. Nehring, *Appl. Phys. Lett.*, **45**, 102 (1984).
10. P. J. LeComber, W. E. Spear and A. Ghaith, *Electron. Lett.* **15**, 179 (1979).
11. NHKプロジェクトX“液晶 執念の対決”、NHKソフトウェア.
12. 浅田篤、“特徴ある商品とデバイスのスパイラル・アップ”、“テクノマーケティング戦略”、pp. 102-132, 産能大学出版部、1996.
13. 下田博次“シャープのスパイラル成長経営”、日刊工業新聞社、1994.
14. 平林千春“シャープ液晶革命”、ダイヤモンド社、1994.
15. 宮本惇夫、“躍進シャープ”、JMAM、1996.
16. 小松裕司、科学技術動向 (Science & Technology Trends), 2004年 8月号、13-24.
17. 森田廣編、“よくわかるやさしいフラットパネルディスプレイ基礎講座”、テクノタイムズ社 2005年.
18. 北原洋明、電子材料、43(4), 18 (2004).
19. 越石健司、電子材料、43(4), 24 (2004).
20. ディスプレイリサーチ社フォーラム資料、2003年12月.
21. 東洋経済、2004年3月27日号、pp. 30-48.
22. 御手洗久巳、知的資産創造、2005年7月号、34-49.

(平成17年11月24日受理)