

# 液晶ディスプレイ発展の系統化調査

Systematized Survey on the Historical Development of Liquid Crystal Display

1

武 宏 Hiroshi Take

## ■ 要旨

高度に発達した情報インフラに支えられた現在のユービキタス社会において、液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Display : LCD) は、薄型、軽量、低電圧、低消費電力、フルカラー、低外光反射性という特長を活かし、生活のあらゆるシーンにおいて、コンピューターで処理された情報を人々に直接伝え、人々を結びつける役割を担っている。

本調査では、欧州で発見された液晶物質が、米国で開発されて電子ディスプレイに応用され、日本で液晶ディスプレイ産業として確立された過程を系統的に調査してまとめた。

液晶は 1888 年のプラハの植物学者の論文からその歴史が始まった。その後、ドイツ、フランス、イギリス、ポーランド、スウェーデン、ロシア (ソ連)、オランダ等の欧州の科学者により、2つの世界大戦を挟んでその物性の理論化が行われた。当時はその応用について関心を持たれることはなく、科学的好奇心による研究がなされたが、この間に液晶材料に関する膨大な知見の蓄積がなされた。発見から 80 年を経て米国 RCA (Radio Corporation of America) によるブレイクスルーがあり、LCD の研究開発について記者発表があった。冷戦の真っ直中、日本が西ドイツを抜き GNP で世界第 2 位になった 1968 年のことであった。革命的な反射型電子ディスプレイを実現し、究極的にはポケットテレビの実現も可能であるとして、1桁数字表示、クロックなどのプロトタイプデモを大々的に行った。記者発表直後に、RCA の会長は壁掛けテレビの実現を最大の目標として液晶研究を進めて来たデイビッド・サーノフから、コンピューター事業へ参入することを目差した長男のロバート・サーノフに交代した。テレビ実現に向けての技術的道筋が描けないことが明確になった 1969 年末には、液晶テレビの研究を完全に中止した。

この状況に加え、液晶の事業化を目指した事業部側が C-MOS の耐圧が不足していることを理由に液晶腕時計の量産を直ちには行わないことを知った RCA の研究者達は次々と RCA を退社した。彼らは液晶腕時計事業の立ち上げを目差したベンチャー企業に移ったものの、液晶腕時計の初期市場不具合や、その後の LED 腕時計との価格競争から抜け出せず、液晶事業が米国では大きく育つことはなかった。

1970 年頃日本では、LSI の登場によりアセンブリー体質の改革を迫られた電卓メーカーや、腕時計の電子化の中で生き残るために技術変革の必要性を感じていた時計メーカーが、自ら C-MOS の設計、生産能力を付け、液晶活用に挑戦し、第 1 次オイルショック起こった 1973 年に電卓、腕時計用に液晶の本格的量産を開始した。その後も多数のメーカーが液晶事業に参入し、日欧の液晶材料メーカーと協力し、液晶特性の改善を図り、液晶搭載商品の開発を続け、日本で小型電子ディスプレイ用に液晶産業が確立された。

1981 年、英国のダンディー大学のグループが a-Si-TFT LCD (Amorphous Silicon Thin Film Transistor LCD) の論文を発表した。試作した 5×7 ドットのデモ機を持って同年に同グループのスピア教授が日本を訪問したのを契機に、日本で一斉に a-Si-TFT LCD の研究が開始された。

1984 年には、パソコン (PC)、TFT 液晶、デュエティ液晶の 3 つの分野で同時に画期的な発表が行われた。すなわち、IBM による PC/AT 機 5170 の発表、セイコーの世界初の TFT 液晶カラーテレビ (2 型) 発売、BBC (Brown, Boveri & Cie) による、大表示容量可能な SBE (Super twisted Birefringence Effect) 論文の発表である。

1985 年 9 月のプラザ合意後の急激な円高不況の中、日本の LCD メーカーは既に検討を終えていた、振角が 270° よりも小さい STN LCD の生産を一斉に開始し、日本のワープロ、世界のノート PC の双方の市場を立ち上げていった。

1986 年には松下が世界で初めて 3 型 a-Si-TFT LCD カラーテレビを販売した。翌 1987 年にはシャープが小型カラーテレビ用のディスプレイ生産に向けて、世界初の大型マザーガラスを用いた a-Si-TFT LCD 工場を稼働した。1988 年には AV 用に開発した技術と設備とを用いて、シャープは大型マザーガラスから 1 枚取りの 14 型 a-Si-TFT LCD フルカラーディスプレイを突然試作した。これにより、a-Si-TFT LCD 技術がサイズ面、表示品位面の双方において CRT (Cathode Ray Tube) に対抗できる FPD (Flat Panel Display: 平面ディスプレイ) であることを実証した。この実証は当初から大型基板でノート PC 市場を狙っていた他社の TFT 液晶工場建設を加速させた。

バブル経済の崩壊が始まった 1991 年を挟んだ 1990~1994 年、各社は次々と a-Si-TFT LCD 工場建設を行っていった。生産金額的には、1988 年に初めて 1,000 億円を越え 1,019 億円、1994 年には 5,576 億円となり、パソコン向けを含む大型電子ディスプレイ用としても液晶が大きな産業として確立した。

こうして供給体制が整った1995年、PC OSのWindows 95が8月に導入された。これを機に、米国PCメーカーが価格競争力に勝ったCRT一体型デスクトップPCを優先的に開発しようとしたことから、ノートPC開発機種が少なくなり、TFT液晶の物余り現象が生じて価格が大幅に下落した。1995年はTFT液晶が初めて液晶パネル市場における景気循環である「クリスタルサイクル」を味わった年となった。

この状況に対応して、TFT液晶メーカーは従来の10.4型VGA(640×RGB×480ドット)から、11.3型SVGA(800×RGB×600ドット)、12.1型SVGA,XGA(1024×RGB×768ドット)へと大型高精細パネルを指向してシフトし、1996年には成長力を取り戻した。その後、2000年頃を前後して、IMFの管理を脱した韓国、日本の技術移転を受けた台湾のTFT液晶産業が立ち上がり、日本のLCDメーカーは新たな局面を迎え、現在に至っている。

参考文献：

1. 日本学術振興会第142委員会編：「液晶デバイスハンドブック」、日刊工業新聞社、1989年9月29日
2. 沼上幹：「液晶ディスプレイの技術革新史」、白桃書房、1996年9月26日
3. Timothy J. Sluckin / David A. Dunmur / Horst Stegemeyer: "CRYSTALS THAT FLOW", Taylor&Francis, 2004
4. DAVID DUNMUR & TIM SLUCKIN: "SOAP, SCIENCE, & FLAT-SCREEN TVs", Oxford University Press, 2011
5. デイビッド・ダンマー／ティム・スラッキン著 鳥山和久訳：「液晶の歴史」、朝日新聞出版、2011年8月25日
6. Bob Johnstone: "WE WERE BURNING", A CORNELLIA AND MICHAEL BESSIE BOOK, 1999
7. Thomas P. Murtha / Stefanie Ann Lenway / Jeffrey A. Hart: "Managing New Industry Creation", Stanford University Press, 2001
8. KAWAMOTO HIROSHI: "The History of Liquid-Crystal Display", Proceedings of the IEEE, Vol.90, No.4, pp.460-500, April 2002
9. Joseph A. Castellano: "LIQUID GOLD", World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005
10. Bernard J. Lechner: "History Crystallized: A First-Person Account of the Development of Matrix-Addressed LCDs for Television at RCA in the 1960s", Information Display, Vol.24, No.1, pp.26-30, January 2008
11. Benjamin H. Gross: "CRYSTALLIZING INNOVATION: THE EMERGENCE OF THE LCD AT RCA, 1951-1976", A Dissertation presented to the Faculty of Princeton University, November 2011
12. [http://ethw.org/Milestones:Sharp\\_14-inch\\_Thin-Film-Transistor\\_Liquid-Crystal\\_Display\\_\(TFT-LCD\)\\_for\\_TV,\\_1988](http://ethw.org/Milestones:Sharp_14-inch_Thin-Film-Transistor_Liquid-Crystal_Display_(TFT-LCD)_for_TV,_1988)
13. 赤羽淳：「東アジア液晶パネル産業の発展」、勁草書房、2014年4月25日

## ■ Abstract

In today's ubiquitous society with its highly-developed information infrastructure, the liquid crystal display (LCD) has leveraged its unique set of properties – its flatness, lightness, low voltage, low power consumption, full-color rendition and low reflection of ambient light – throughout all aspects of daily life, conveying computer-processed information to people directly and playing a role in connecting people together.

This paper provides a systematic examination of the course of events wherein liquid crystal material discovered in Europe was developed in the United States and applied to electronic displays, and then established in Japan in the form of the LCD industry.

The history of liquid crystals began with a paper presented by a botanist in Prague in 1888. This was followed by theories on this substance by scientists from all over Europe, including Germany, France, the United Kingdom, Poland, Sweden, the USSR and the Netherlands, with brief interruptions from the two World Wars. While this research was purely out of scientific curiosity with no interest in any practical applications, a vast wealth of knowledge on liquid crystal material was being built up during this time. The Radio Corporation of America (RCA) made a breakthrough 80 years after the substance was discovered, with a press release on LCD research and development. This was in 1968, right in the middle of the Cold War, when Japan's GNP surpassed that of West Germany to become the second highest in the world. The company had achieved a revolutionary reflective electronic display with the potential to be ultimately used to produce a pocket television. Prototype demonstrations of a single-digit display and a clock were highly publicized. Right after the press release, David Sarnoff, chairman of RCA, who had promoted liquid crystal research with the main aim of implementing a wall-mounted television, was replaced by his eldest son, Robert, who had set his sights on the computer industry. By the end of 1969 it was clear that research people were not able to draw a technology roadmap leading to manufacturing an LCD television and so the television research was discontinued altogether.

RCA researchers started leaving RCA in succession on hearing that the business division, which aimed to commercialize LCD products, was not proceeding any time soon with mass production of LCD wristwatches due to the insufficient C-MOS driving voltage. These researchers moved on to join start-up companies with the aim of launching LCD wristwatch enterprises, but initial quality failure in the LCD wristwatch market and subsequent price competition with LED wristwatches thwarted LCD businesses to grow big in the United States.

Around 1970, a Japanese calculator manufacturer, eager to restructure its assembly business mode to cope with the emergence of large-scale integrated circuits (LSI), and a Japanese watch manufacturer, sensing the need for technical reform to survive the digitization of the wristwatch, rose to the challenge of designing their own C-MOS and acquiring their in-house production capacity to make full use of LCD technology. These companies started full-scale mass production of LCDs for calculators and wristwatches in 1973, the year of the oil crisis. After that, many other manufacturers also entered the LCD industry, cooperating with liquid crystal manufacturers in Japan and Europe to improve the properties of the liquid crystals and continuing to develop LCD products, thus establishing the LCD industry in Japan.

In 1981, a group of scientists at the University of Dundee in the United Kingdom published a report describing an amorphous silicon thin film transistor LCD (a-Si-TFT LCD). In the same year, Prof. Spear of the group visited Japan with a prototype demonstration model LCD with a  $5 \times 7$  dot display, triggering a flood of research and development work on the a-Si-TFT LCD in Japan.

In 1984, there were ground-breaking announcements in three fields: computers (PC), TFT LCDs and duty LCDs. These came in the form of the announcement of the PC/AT 5170 by IBM, the launch of the world's first TFT-LCD color television (2") by SEIKO and the publication of a report on the super-twisted birefringence effect (SBE) by Brown, Boveri & Cie.

Given the recession caused by the rapid appreciation of Yen following the Plaza Accord in September 1985, many Japanese LCD manufacturers started producing STN LCDs, with a twist angle of less than  $270^\circ$ , launching both the word processor market in Japan and world notebook PC market.

In 1986, Matsushita marketed the world's first 3" a-Si-TFT LCD color television. The following year, in 1987, Sharp started operations at its a-Si-TFT LCD factory using the largest mother glass in the world, with the aim of producing displays for small color televisions. In 1988, Sharp unexpectedly announced the development of a 14" a-Si-TFT full-color LCD prototype from one large sheet of mother glass, using technology and equipment developed for AV. This proved that a-Si-TFT LCD technology was capable of producing a flat panel display (FPD) rivalling the cathode ray tube (CRT) both in size and display quality. This demonstration spurred other companies that had adopted large substrates and aimed at the notebook PC market from the very beginning to set up TFT LCD factories.

The period from 1990 to 1994, including the bursting of the Japanese economic bubble in 1991, saw a succession of companies establish a-Si-TFT LCD factories. A large LCD industry was established, with production value crossing the 100 billion Yen mark in 1988 at 101.9 billion Yen and rising to 557.6 billion Yen

in 1994.

With this supply network in place, Windows 95 for the PC OS was introduced in August 1995. Since PC manufacturers in the United States had predominantly developed competitively-priced CRT-integrated desktop PCs, there were fewer notebook PC models being developed, resulting in a surplus of TFT LCDs and a significant drop in price. The year 1995 is remembered as the first year of the “crystal cycle”, with the TFT LCD having its first boom-bust cycle on the LCD panel market.

Amidst these circumstances, TFT LCD manufacturers shifted to increasingly larger high-resolution panels, from the conventional 10.4” VGA (640xRGBx480 dots) to 11.3” SVGA (800 × RGB × 600 dots), then to 12.1” SVGA and XGA (1024 × RGB × 768 dots), and had regained their growing momentum in 1996. Later, around the year 2000, Korea established a TFT LCD industry, having escaped IMF control, and Taiwan followed suit, having received technology transfers from Japan, while Japanese LCD manufacturers entered a new phase, which continues to the present.

## ■ Profile

**武 宏** *Hiroshi Take*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任研究員

1971年 3月 京都大学工学部電子工学科卒  
1971年 4月 シャープ株式会社に入社、  
技術本部中央研究所にて液晶ディスプレイの研究に従事  
1987年 4月 電子部品事業本部液晶事業部へ移動  
TFT-LCD事業に従事(技術部)  
1996年 5月 液晶天理開発本部TFT液晶開発センター  
1997年 8月 デバイス事業戦略室  
2000年 4月 AVシステム事業本部液晶テレビ事業部  
2003年 2月 三重亀山生産本部/AVC液晶事業本部  
2008年 9月 シャープ株式会社定年退社  
2008年10月 テックエヌティ研究所  
2014年 4月 国立科学博物館 主任調査員

## ■ Contents

1. はじめに .....	5
2. 液晶とは? .....	6
3. 単純マトリクス液晶 .....	40
4. TFT (Thin Film Transistor 薄膜トランジスタ) 液晶 ..	54
5. 小型 TFT 液晶と応用商品 .....	61
6. 大型 TFT 液晶商品 .....	81
7. a-Si-TFT 液晶産業立ち上げ .....	85
8. あとがきと謝辞 .....	96
9. 液晶ディスプレイ技術の系統図 .....	99
10. 付録 .....	100

# 1 | はじめに

液晶は19世紀後半に欧州で発見されたが、当初の関心はその科学的な見地からの探求にあり、応用についての具体的な期待はなかった。発見されてから約80年を経た1968年に、米国のRCAによってディスプレイへの応用のイメージが提示され、一気に関心を持たれるようになった。その後日本で、電卓や腕時計を中心にメーカーによる応用の開発が精力的になされ、徐々に市場が拡大し、ワープロやノートPC用のディスプレイへ応用され、一気にその地位を築いた。

このように、液晶はヨーロッパで生まれ、米国で育ち、日本で結実した技術である。本調査報告書は日本の液晶ディスプレイ産業確立の歴史を、液晶ディスプレイが搭載された商品側からの視点も取り込みながら、時代の大きな流れを骨格の中心として構成した。

第2章では、液晶の歴史として、液晶物質とその特性を発見した3人の欧州の科学者の貢献について述べ、RCAによる液晶ディスプレイ開発記者発表について述べる。更に、液晶ディスプレイについて、開発に繋がった2つの動作モードについて述べ、次に液晶材料を概念的に述べ、液晶の駆動回路に必須であったC-MOSについて述べる。最後に、日本に於いて電卓

用液晶、ウォッチ用液晶が生産開始された状況を、その経営的背景を含めて述べる。

第3章では単純マトリクス液晶について、TN (Twisted Nematic: 捩れネマティック) 液晶とその応用商品、STN液晶とその応用商品について、その駆動方法、必要な液晶材料特性を含め、述べる。

第4章ではTFT (Thin Film Transistor: 薄膜トランジスタ) 液晶を、TFTとa-Si-TFT LCD (Amorphous Silicon TFT Liquid Crystal Display: アモルファスシリコンTFT液晶ディスプレイ) とに分けて述べる。

第5章では小型TFT LCDについて、世界初の挑戦が次々に行われた状況について述べる。

第6章では大型LCDについて、新規開発された大型LCDを搭載したパソコンの開発状況と、大型a-Si-TFT LCDが挑戦的に開発された状況について述べる。

第7章ではa-Si-TFT液晶産業が競争の中で立ち上がった状況を、a-Si-TFT LCD搭載商品開発、a-Si-TFT LCD工場建設、産業の3つの側面から述べる。

## 2 | 液晶とは

液晶という言葉を知って、人々は何を思い浮かべるだろうか。

例えば、小学生なら携帯ゲームだろうか、若者ならば携帯電話、スマートフォン、ビジネスマンならばノートPC、タブレット端末、ゆったりとした休日であれば、大画面テレビ、と置かれた状況によって異なるかも知れないが、共通していることは、これらの商品は全て情報端末であり、情報処理した結果を人間に伝える液晶ディスプレイを商品の顔として備えていることである。液晶と聞いて、これらの商品を思い浮かべる人々は、様々な機器に組み込まれた液晶ディスプレイを思い浮かべているのである。

図 2.1 には液晶ディスプレイを使った商品を示している。通常、ディスプレイの大きさと表示容量を簡単に表現するために、表示領域の対角線の長さ、表示画素数<sup>註1)</sup>との二つの数字で表すことが一般的であり、この図では、横軸に対角線の長さをインチ単位で測った数字、縦軸に画素数を取っている。例えば、37型<sup>註2)</sup>TVであれば、画面サイズは37インチであり、画素数は1,920×1,080の位置で表される。又、携帯電話であれば、2インチ、640×480の位置で表される。

この図で表されているように、液晶ディスプレイは、表示面積、表示容量共に、小さいものから大きいものまで、多様な領域、製品にわたって使われているが、他のディスプレイ、例えばプラズマディスプレイ(PDP)であれば使われているのはテレビだけである。

表 2.1 に液晶ディスプレイ (LCD)、プラズマディスプレイ (PDP)、CRT 等の表示デバイスの特性比較を示す。この表で、明るい場所での見やすさ、消費電力、高精細化、小画面化でLCDが他より抜きんでいるが、このことは液晶が今日のユビキタス (ubiquitous) 時代に必要とされる様々な商品開発に対応し、進化してきたことを如実に示している。

また、2001年と2004年を比較するとLCDは、応答時間、視野角、大画面化といった、長年LCDの欠点とされてきた項目においても着実な進歩を見せている。

表 2.1 表示デバイスの特性比較 (2001年・2004年)

	LCD		PDP		CRT	
	2001年	2004年	2001年	2004年	2001年	2004年
1.明るい場所での見やすさ	◎	◎	△	△	△	△
2.消費電力	◎	◎	△	△	×	×
3.応答時間	△	○	◎	◎	◎	◎
4.薄型化	◎	◎	○	○	×	×
5.高精細化	◎	◎	○	○	○	○
6.視野角	△	○	◎	◎	◎	◎
7.大画面化(>40型)	×	◎	◎	◎	×	×
8.小画面化(<5型)	◎	◎	×	×	×	×

さて、液晶ディスプレイはその内部に液晶相<sup>註3)</sup>を示す液晶物質が使用されているので液晶ディスプレイと呼ばれているのであるが、以下に液晶がどのように

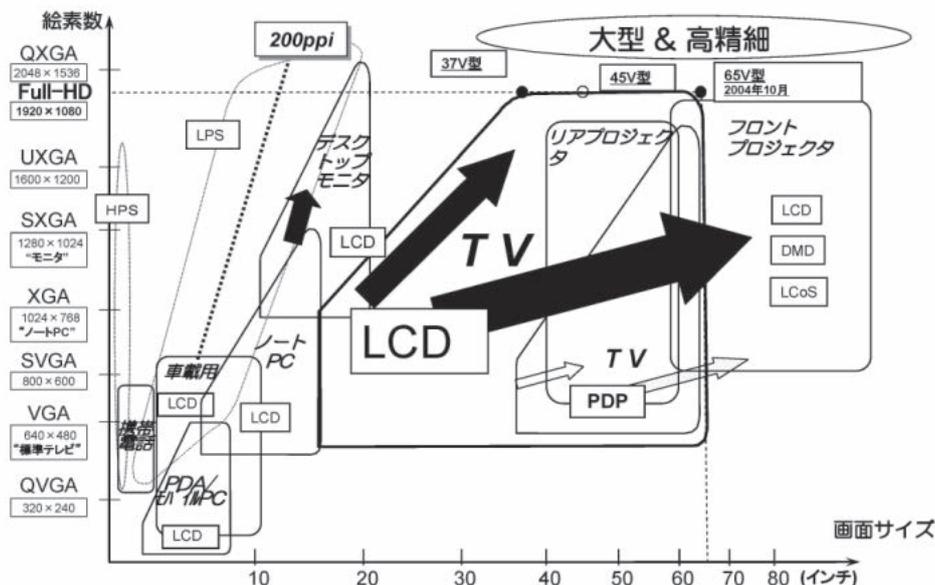


図 2.1 液晶ディスプレイの用途

して発見され、研究され、実用化されて来たのか、その歴史を遡ってみる。

註1) 絵素数：表示画面は縦列・横行に規則正しく並んだ表示単位から出来上がっており、それを絵素（ピクセル Pixel=Picture Element）と呼ぶ。カラー表示の場合は、3原色赤・青・緑の各々をドット（dot）と呼び、3原色の各々1個ずつのドットからなる3つのドットの組を絵素と呼んでいる。

註2) 型：表示ディスプレイの大きさを表すのに、国際的には対角線の長さをインチ単位で表すのが一般的であるが、日本の場合はメートル法であるため、インチと言う言葉を使わず、便宜上「型」と言う言葉を使っている。

註3) 液晶相：通常物質は固相、液相、固相の3態を取る、と言われて来たが、液相特有の「流動性がありながら、結晶特有と思われていた複屈折性を持つ」物質が発見されたため、液相と固相との中間相として液晶相という相が導入された。

## 2.1 液晶の歴史<sup>1, 2, 3, 4)</sup>

18世紀後半に英国で始まった産業革命は19世紀後半には欧州全域に拡がり、同時期に自然科学も大きく進展した。

そのような中、液晶は、欧州の世紀末の科学万能主義・合理主義の時代の息吹の中で発見され、理論化された。発見後80年経ち、大西洋を越えた米国で、冷戦の真っ直中、電子技術の進展を背景とし、電子ディスプレイ素子への液晶の応用が提案された。以下に、液晶の発見に始まる黎明期の研究で主導的な役割を果たした研究者の業績について略述する。

### 2.1.1 ライニツァー<sup>5, 6)</sup>

従来、液晶科学の基礎は、フリードリッヒ・ライニツァー (Friedrich Reinitzer, 1857-1927) の1888年の業績により築かれた、とされている。彼は植物学者と言われているが、現代風の言葉で言えば生化学者とされるべきで、当時30歳、オーストリア・ハンガリー帝国ボヘミア管区的首都プラハにあったドイツ大学の植物生理学研究所の助手をしていた。

彼は人參からコレステロールを抽出し、簡単な化学構造式の物質と反応させ、その化学構造式を決定しようとしていた。ある日、合成したコレステリル・ベンゾエイトの融解凝固実験をしていて、温度を下げて行くとき凝固点直前で鮮やかな発色を確認した。これはそれまでも確認されていることであったが、驚いたことには、逆に温度を上げて行くとき2つの融点を持っている兆候を示したことである。即ち、145.5℃

で白濁する液体になり、更に温度を上げていくと、178.5℃で透明な液体になった。そして、この透明液体を冷やしていくと2つの転移点近くで劇的に発色した。これら一連の現象は可逆現象だった。

物理的な同位体 (physical isomerism) が生じていると思い、彼はこの分野の専門家の協力を求めることにした。そこで、結晶学に長けた、後にアーヘン工科大学の助手となる33歳の員外教授 (Extraordinary Professor) のオットー・レーマン (Otto Lehman, 1855-1922) に1888年3月14日に正確な観察結果を描写する16枚にも及ぶ手紙を書いた。彼の几帳面な性格が厳密な実験を行わせ、2重融点の発見に繋がった、と評価される。

その後1ヶ月間の手紙のやり取りがあったが、その中でレーマンは、中間の乳白色の液体を精査した結果、その中に小さい結晶が見られた、と報告している。

そして、4月24日を最後に手紙の交換を終えた。乳白色相の本姓については決定的な解明は出来なかったものの、ライニツァーは、1988年5月3日にウィーン化学学会で、コレステロールの分子式が $C_{27}H_{46}O$ であること、コレステリル・ベンゾエイトが2重融点を持っていることなど、コレステロールの理解についてレーマンを含む協力者への謝辞とともに報告した。

### 2.1.2 レーマン<sup>7)</sup>

レーマンの父は高校の数学教師で、顕微鏡に興味があり、自宅に自分の実験室まで作って、カタツムリの貝殻の渦巻きを調べ、常に数式化を試みていた。父の職業柄、転勤が多かったため、一人息子のレーマンは友達が出来にくく、そのため父の実験室で一人時間を過ごすことが多くなり、17歳までには父の顕微鏡を使って雪の結晶成長を研究出来るまでになっていた。

普仏戦争の結果、1871年にフランスから新生ドイツ帝国に割譲された、独仏国境にあるアルザス地方のシュトラースブルク (Strasbourg) 大学に1872年17歳で入った。1876年までには結晶学の教授の指導の下、物理化学の論文で博士号を得た。彼の研究は様々な異性体化合物の結晶の研究を含んでおり、その研究に使う主要な設備は、自分で設計・製作した偏光子を備えている所謂結晶化解析顕微鏡 (Crystallization Microscope) であり、後の液晶研究に理想的だった。

博士号を得た後、各地で教鞭を執り、アーヘン工科大学で員外教授として教鞭を執って居た時、ライニツァーからの手紙を受け取った。そして、翌年の1889年4月1日、ハインリッヒ・ヘルツ (Heinrich Hertz, 1857-1894) の後任として、カールスルーエの技術高等学校から物理担当教授への招請を受け、そこ

で約1年前に出会った二重融点物質のシステマティックな研究を開始した。

彼の使う顕微鏡は、偏光を当てながら観察できるだけでなく、サンプルの温度を高温・低温、いずれにおいても一定温度に保つことが出来た。

この白濁した中間物質は流動性を保持している一方、明らかに結晶性を持つと確信できた。1889年8月末には物理化学ジャーナルに「流れ結晶について」(Über fließende Krystalle)と題する論文を仕上げた。

この論文の中で、レーマンは、流れるという言葉と結晶と言う言葉との組み合わせが如何に矛盾に満ちたことであるかを詳細に論じた。その一方で、ライニツァーにより流動性を持ちながらも結晶性を示す物質が有ると言うことが確認されたようだと言われ、今まで不可能とされてきたことが実際に観察された、と報告することに躊躇しない、と言いつつ。その上で結晶性があり、強い複屈折性と流動性を有する物質が示すユニークな現象の観察結果が初めて報告された、と結んでいる。

その後、レーマンは顕微鏡を駆使して流れ結晶について精力的に研究を重ねると共に、2重融点、3重融点を持つ他の液晶物質も発見した。また、流れ結晶(Fliesssende Krystalle)相とか、粘性結晶(Schleimig flüssige Krystalle)相とかと呼んだ相も発見した。更に、特性が異なった結晶流体(Krystalline Flüssigkeit)相も発見した。

そして、彼の発見した新しい現象は、より一般的な名称である液晶(Flüssige Kristalle=liquid crystals)と言う分類で纏められた。彼の集めた膨大な資料や10編に及ぶ発表論文は、顕微鏡観察により得られた483枚以上の図とともに260頁の「液晶(Flüssige Kristalle)」とする大著としてまとめられ、1904年にライプツィヒで出版された<sup>8)</sup>。それ以降、徐々に液晶と言う名称が広がって行った。

### 2.1.3 モーガン<sup>9)</sup>

1909年春、レーマンは、フランス高等師範学校(École Normale Supérieure)の校長を務め、また、フランス科学アカデミーの会員でもあった結晶学者フレデリック・ウォルラン(Frederic Wallerant, 1858-1936)の招待によりパリを訪れ、液晶に関してセミナーを行い、また、実験をして見せた。

彼の講演に感銘を受けた中に、シャルル・モーガン(Charles Mauguin, 1878-1958)、ジョルジュ・フリーデル(Georges Friedel, 1865-1933)、フランソワ・グランジャン(Francois Grandjean, 1882-1975)等があり、液晶科学会で今日まで影響力のあるフランス学派が成

立する切掛けとなった。さて、当時、モーガンはウォルランの助手をしており、レーマンのセミナーを受けたことから液晶研究を始め、1911年、2編の論文を発表した。

最初の論文「レーマンの液晶について」では、PAA(パラアゾキシアニソール)とPAP(パラアゾキシフェネトール)とは各々116℃と138℃とで融解し、方解石の2倍の複屈折性を示す、としている。完全な流動性の物質がこのように大きな複屈折性を示すことを未だに信じたくない物理学者や結晶学者がレーマンの発表後20年を過ぎた今でもいる、と述べ、本稿で更に新しい現象を紹介する、として論文を書き始めている。

モーガンの実験のやり方は、2枚のスライドガラスの間に液晶を挟み、偏光顕微鏡でその状態を観察することを基本としていた。その際、均一な液晶相を得るために、スライドガラスを十分に洗浄し、図2.2に示すように過熱前に固形のサンプルをカバーガラスの端とサンプルガラスとの間に置いてゆっくりと加熱する方法をとった<sup>4)</sup>(図2.2)。サンプルは溶け、毛管現象でサンプルガラスとカバーガラスとの間に広がり均一な液晶層を得ることが出来た。このようにして作成されたサンプルのカバーガラスを顕微鏡の対物レンズに固定して回転させると、上下のカバーガラス表面の液晶層の配向は変化せず、中間相が連続して変化してヘリカル層液を成し、液晶層に垂直に入射した偏向光の偏光面がヘリカル層に沿って回転することが報告された。

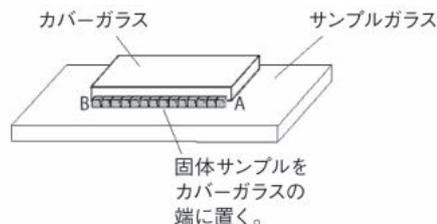


図2.2 モーガンの配向法<sup>10)</sup>

また、次の論文「液晶の磁界による配向」では、液晶層に2500 Gaussオーダーの磁界を掛けると液晶層が磁界方向に綺麗に並び、磁界を切ると元の配向に戻ることを示した。この2つの論文は、物理的な興味からなされたものであるが、約60年後に今日の液晶ディスプレイ産業発展の原理を示したものとして重要な意味を持つことになる。

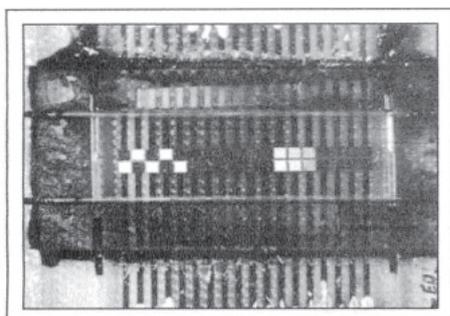
このように、2重融点があり、その温度範囲で複屈折性を示す流動性物質としての液晶物質は、欧州で発見され欧州で理論が構築されてきた。一方、その液晶物質を液晶ディスプレイとして応用しようとする動きは米国で開始された。

## 2.1.4 RCAによる液晶ディスプレイ開発記者発表<sup>11, 12, 13, 14)</sup>

ライニッツァーが、コレステリル・ベンゾエイトが2重融点を持つことを学会発表した1888年から80年を経た1968年5月28日、米国のRCAの研究所であるDSRC (David Sarnoff Research Center) は3年間の極秘プロジェクトを終了させ、RCAのニューヨーク本社で液晶ディスプレイの開発について記者発表を行った。プロジェクトリーダーのジョージ・ハイルマイヤーをはじめDSRCの幹部が出席していた。この記者発表は液晶のディスプレイへの応用が現実のものとなったことを技術的裏付けとともに一般に認識させたこと、これを契機として有力な企業が液晶ディスプレイのビジネスに参入し始めたことの2点において歴史的なものであった。

発表ではまず、液晶分野でブレイクスルーを達成したことを告げた。そうしてこれが、印刷物、画像、動画用の薄型画面表示装置に応用でき、腕時計、ダッシュボード計器表示、ついにはポケットテレビも液晶で実現できる、としている。デモ品として1桁表示とクロックとを示した。腕時計も将来は液晶表示になると意気込みを示した。

テレビへの応用に関しては特に念入りなプレゼンテーションを行い、平面、低消費電力、更に、明るい環境下でも使用できる、といった長所を挙げている。液晶テレビの実現性については、必要な技術課題は全て明確化されたと述べ、また、表示ドット数は小さいものの、18×2の表示ドットを実際のテレビレートで駆動して見せた(図2.3)。しかしながら、技術的課題の解決には途方もないチャレンジが必要になると、その道が険しいものであることを覚悟している様子であった。要は、この段階では未だ可能性に触れたに過ぎないものであったが、将来へ向かって延びる一筋の道を示した点で非常に意義深い記者発表であった。



・1ドット=1.5mm×1.5mm

図 2.3 RCA 記者発表時のデモ品<sup>15)</sup>  
(テレビレート駆動 2×18ドット)

当時のアメリカにおける液晶関連の出来事を以下に時系列的に纏める。

- 1957年 ブラウン (G. H. Brown、米国\_シンシナティ大学、1915-1995) が、学生の研究テーマ探しのために纏めた資料に基づき、“Liquid Crystals”<sup>16)</sup> を投稿、以後、この文献が液晶への入門書となる。
- 1957年 ジェームズ・ファーガソン (James Lee Ferguson、1934-2008) がウェリススティングハウス研究所でコレステリック液晶の研究を開始。
- 1958年 ハイルマイヤー、DSRCに入社、パラメトロン増幅器の研究他に従事
- 1960年 ジェームズ・ファーガソンがコレステリック液晶の熱光学効果を利用した温度像表示素子 (Thermal Imaging Device) 特許を出願：世界初の液晶実用特許 (成立：1963年12月17日)
- 1961年 ハイルマイヤー、液晶研究を開始
- 1962年 ジョージ・グレイ (イギリス\_ハル大学、George William Gray、1926-2013) 「液晶の分子構造と性質 (Molecular Structure and Properties of Liquid Crystals)」を出版：英語で書かれた最初の液晶総合本として液晶研究者の増加に寄与した。
- 1962年 DSRCのリチャード・ウィリアムズ (Richard Williams、1927-) がネマティック液晶の電気光学効果を利用した液晶表示素子の特許出願 (成立：1967年5月30日)：RCA初の液晶特許
- 1964年 ハイルマイヤー、液晶のゲストホストモード (Guest-Host Mode = GHM) を発見、更に動的散乱モード (Dynamic Scattering Mode=DSM) も発見。DSRC、液晶表示素子開発に向け、極秘プロジェクトを発足させる。
- 1965年 ハイルマイヤー他、液晶を含んだ物質の光学特性の制御特許出願 (GHM) (成立：1970年12月29日)
- 1967年 ハイルマイヤー他、電気光学素子特許出願 (DSM) (成立：1970年3月3日) ゴールドマツハ他、電気光学成分特許出願 (成立：1970年11月17日)

1967年には、後にDSMに取って代わった表示モードとなったTN (Twisted Nematic=ねじれネマティック) モードの発明者の一人となるヘルフリッヒ (Wolfgang Helfrich、1932~) がDSRCに入り、ハ

イルマイヤーの下で液晶研究を開始し、1969年3月には、DSMが生じる閾値電圧の理論解析を行った論文<sup>17)</sup>を投稿している。

一方、図2.4に示す、アメリカにおける液晶研究業績推移<sup>8)</sup>を見ると、1960 - 1961年頃に明らかな業績数の増加が始まった事が見て取れる。

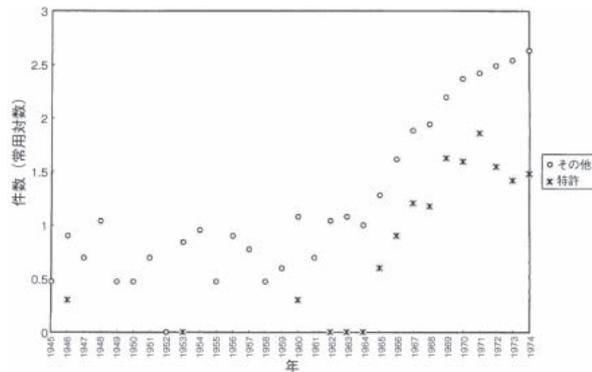


図 2.4 アメリカにおける液晶研究の業績数推移<sup>18)</sup>

このことは、アメリカがソ連との冷戦状態にある中、ソ連による人工衛星スプートニクの打ち上げ成功（1957年10月）、人工衛星での有人飛行成功（1961年4月）があり、宇宙開発面における米国の遅れを挽回すべく技術開発に力を傾注し出したことに関連している。すなわち、1961年1月に就任したケネディ大統領がアポロ計画開始（1961年5月）を中心とする科学予算増加の政策を打ち出しており、このような機運の中、液晶も具体的な実用目的をもった新規研究領域として研究努力がなされ、業績数も増加した。DSRCの活動もこの大きな動きの一環と理解できる。また、この増加には、1957年のブラウンによる文献とともに、1962年にグレイが初めて英語で書き、英国で出版された「液晶の分子構造と性質（“Molecular Structure and Properties of Liquid Crystals”, Academic Press Inc. Dec. 1962）」が貢献している。

## 2.2 液晶ディスプレイ

「私は、液晶物質が技術的に何か活用できるだろうか、と問われ続けて来た。しかし、私にはそんな可能性は一切見えていない」。これは、1890年から1935年にわたるハレ（Halle）大学（正式名：The Martin Luther University of Halle）在職中に、1,000種以上の新規液晶物質を合成した有機化学者チームを率いた液晶物質合成開拓者のダニエル・フォーレンダー（Daniel Vorländer, 1867-1941）の1924年の言葉である<sup>19)</sup>。

しかしながら、液晶が発見されて80年近く経つと、電子機器により処理されたデータを人間に伝えるためのマン-マシン-インターフェースが必要とされる時代になっていた。液晶の方でも、電子表示素子として活用されることになる。2つの重要な液晶表示モードが相次いで提案された。一つは電流を必要とする動的散乱モード（Dynamic Scattering Mode = DSM）、もう一つは、DSMの改良動作モードとして提案され、電界効果のみで動作する捩れネマティック液晶モード（Twisted Nematic Liquid Crystal Mode = TN-LCD）である。そして、DSMが欧州に於ける長年の研究成果を、電子ディスプレイに活用する道を開拓し、TN-LCDが液晶を産業に育てた。

### 2.2.1 DSM (Dynamic Scattering Mode : 動的散乱モード) 液晶<sup>20) 21) 22)</sup>

ハイルマイヤーは、1968年5月の記者発表に先立つこと約4ヶ月の1968年1月にこの液晶に関する論文をIEEEプロシーディング（Proceedings）に投稿しており、記者発表の約2ヶ月後に公表された<sup>23)</sup>。

液晶ディスプレイの基礎となる論文であるので、些か詳細にわたるが以下に要点を述べる。

①液晶には図2.5に示すように、分子の方向が垂直方向に揃って層状になっているスメクティック液晶、層状にはなっていないが分子の方向だけが揃っているネマティック液晶、分子が水平面内では一方向に揃っているが、異なる面で分子方向が回転しているコレステリック液晶、の3種類がある。新規光学効果は、1963年に既に特許が成立しているファーガソンの使用したコレステリック液晶の熱光学効果とは異なり、ネマティック液晶で起きる電気光学効果である。

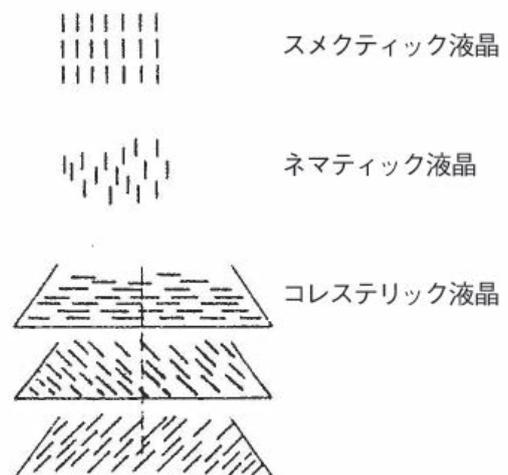


図 2.5 各種液晶の分子配向<sup>24)</sup>

- ②印加された電圧によって移動するイオンによる破壊的な (disruptive) 効果により、電気光学的異方性媒体の中に散乱中心が生じることから、この効果をダイナミックスキヤタリング (Dynamic Scattering: DS 動的散乱) と名付けた。
- ③ 10~100V の直流電圧印加で、散乱の立ち上がり時間は 1~5 ミリ秒、立ち下がり時間は 30 ミリ秒より短い。
- ④用途として、アルファニューメリック (alphanumeric: アルファベットと数字) 表示が考えられるが、線順次走査を用いたリアルタイムマトリックス表示も不可能ではない。
- ⑤反射型で 15:1 以上のコントラスト比が確認された。
- ⑥図 2.6 に液晶セル構造を示しているが、電圧を加えるための導電膜 (一つは透明導電膜、他の一つは反射導電膜) を付着した 2 枚のガラスにより液晶層がサンドイッチされ、その 2 枚のガラスの間は、テフロンスペーサーにより約 6~25 ミクロンになるように保たれている。この 2 枚のガラスの距離 d がセル厚となる。

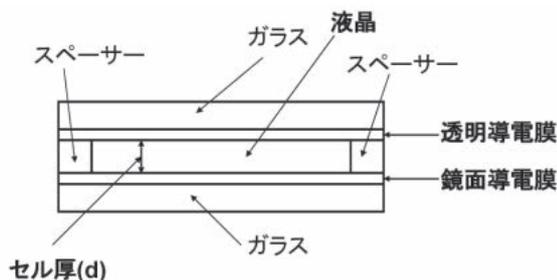


図 2.6 液晶セルの構造

- ⑦図 2.7 は、シッフベース (-CH=N) を持つ APAPA (Anisylidene PArA-amino-PhenylAcetate) の構造を示す。この液晶は負の誘電率異方性を持ち、液晶温度範囲は 83°C~100°C、90°C での抵抗率は  $5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 、誘電率は 3.5 である。図 2.8 はこの液晶を、厚さ 12 ミクロンのセルにしたときの、反射コントラストの印加電圧特性を示す。約 6V ぐらいから動的散乱が起き始め白く散乱し、約 60V で飽和に達する。鏡面電極が黒に見えるとき、コントラスト比は 20 を越える。

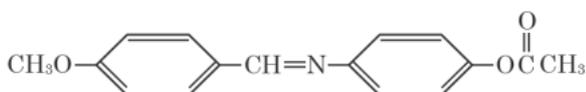


図 2.7 APAPA 分子式<sup>25)</sup>  
(負の誘電率異方性を持つ)

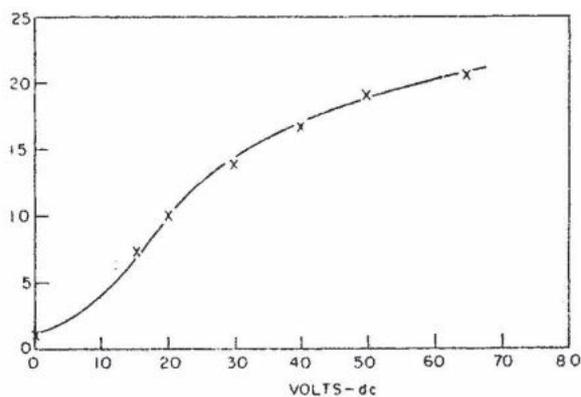


図 2.8 反射コントラスト比の電圧依存性<sup>26)</sup>

- ⑧シッフベースを持ち、APAPA とよく似た構造を持つ PEBAB (P-n-EthoxyBenzylidene-p'-AminoBenzonitrile) は、シアノ基 (-C≡N) に起因する正の誘電率を持つが、APAPA と同じ程度の抵抗率を持っていても動的散乱は起こらない。図 2.9 に PEBAB の分子式を示す。

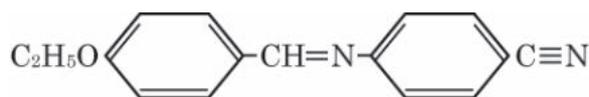


図 2.9 PEBAB 分子式<sup>27)</sup>  
(正の誘電率異方性を持つ)

- ⑨以上のことから、ハイルマイヤーは図 2.10 を示し、電場から双極子モーメントにかかる力による液晶分子長軸を、電界方向から逸らせようとする動きをする分子集団 (swarm) と、イオンの移動に起因して移動方法に長軸を揃えようとする動きをする分子集団との境界で、各々背反する動きをする集団が屈折率の異方性をもっていることから、光が白く散乱される、との説を遠慮がちに提案している。

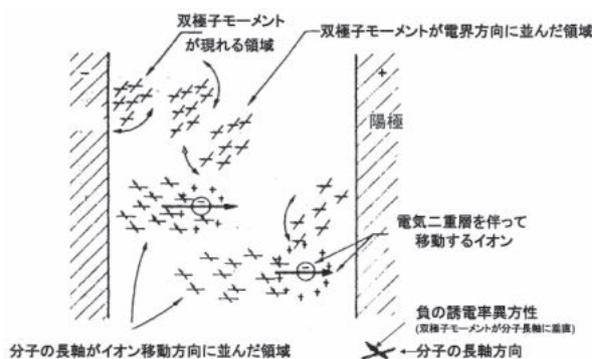


図 2.10 動的散乱モード (DSM) の分子モデル<sup>28)</sup>

一方、論文提出の10ヶ月前にDSRCより提出された2つの特許(USPAT3,499,112,3,540,796)によれば、液晶ディスプレイについて以下の記述もある。

- ①駆動電圧は直流、交流、直流パルスのいずれでも良い。
- ②しっかりと精製した液晶には十分な電流は流れずDSMは起きないので、抵抗率を適切な値に落とすためイオンドープを添加する。
- ③何種類かの液晶材料を混合し、室温で動作する液晶を作り出している(液晶範囲:22℃~105℃)。

1968年8月、壁掛けテレビの発案者と言われるデービッド・サーノフ(David Sarnoff, 1891-1971)からRCA会長職を引き継いだ長男のロバート・サーノフ(Robert W. Sarnoff, 1918-1997)は、RCAを、通信に留まらず、幅広い事業を営む複合企業(conglomerate)に作り替え、その基盤の上でメインフレームコンピュータをIBMに次ぐ2位にしよう、としていた。

業容を大きく変化させようとする全社方針のもと、液晶技術でブレイクスルーを起こした、と発表したDSRCの経営陣の最大の目標は壁掛けテレビではあった。しかし、記者発表で『実用技術的問題解決には途方もないチャレンジが必要になる。』と述べたように、直ちにテレビが実現出来ない事は明らかだった。

記者発表後も液晶テレビシステムの開発は続いた。例えば、シリコンウェファ上に作られたトランジスタを利用する駆動回路方式や薄膜ICの研究が行われた。後者はワイマー(Paul K. Weimer, 1914-2005)が手掛けていたもので、現在の液晶ディスプレイ駆動の主流となっている薄膜トランジスタ(TFT:Thin Film Transistor)につながるものであった。

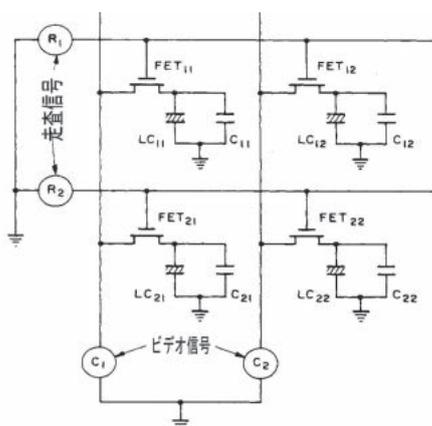


図 2.11 FETC 駆動回路<sup>29)</sup>(各絵素 LC に FET を付加。C:補助容量)

図 2.11 の FETC 駆動回路はその時の研究成果のひとつとして、記者発表の約1年後に発表された液晶駆動回路である。図の中の LC はそれぞれの液晶表示

ドットを示すが、その1つ1つに、並列に印加電圧保持用の補助容量 C を接続し、また、直列には記者発表時に用いたダイオードに換えて印加電圧を正確に瞬時に印加するための FET (Field Effect=電界効果トランジスタ) を接続している。ダイオードを FET に換えたのは液晶を交流駆動し、動作寿命の改善を図るためであった。発表者の Lechner は、同じ DSRC に居た Weimer が、当時主流であった単結晶ウェーハプロセスに対抗して、安価な IC 作成用に研究していた TFT (薄膜トランジスタ) を液晶駆動用に活用しようとしたのであった。しかしながら、Lechner のグループには TFT 作成に必要な薄膜処理装置はなく、実際にこの FETC 駆動回路が試作されることはなかった。

図 2.11 の FETC 駆動回路は、テレビ用を含め現在広く使用されている TFT 液晶の駆動回路と同一の回路要素構成であり、DSM 液晶でテレビ表示を実現するためには、各表示ドット LC に直列接続した FET、並列接続した補助容量 C の双方が必要であることを示している。

RCA の記者発表時、液晶テレビ実現上の課題はすべて明確になったとされたが、その一方で技術的課題対応には途方もないチャレンジが必要である、ということも付言された。この FETC 駆動回路はその課題の一つへの解を与えるものであった。TFT 液晶 TV の商品化にはその後約 20 年近くを要した。

さて、DSM 以外の液晶の動作モードの研究をしながら、一方では早急に商品化できる、DSM を使った商品開発の可能性も追求された。その一環として DSM 液晶を 8 桁電卓に使用する可能性を検討したデモ機も作成した。

液晶ディスプレイの生産技術面に関しては、研究レベルから商品レベルへ高めるに当たって、ハイルマイヤーのリーダーシップが大きく寄与した。彼のリーダーシップの下、すでに 1967 年から電子部品事業部デバイス物理グループとの協力始められていた。記者発表時に使われたプロトタイプは、その基本的サンドイッチセル構造以外は殆ど全てがデバイス物理グループにより見直された(例:ガラス素材、液晶注入法、液晶封止法)。時間とともに課題が解決されていった。しかしながら、液晶テレビシステムの開発面では、記者発表に使われた 2x18 ドットモデルの次の試作目標であった 30x40 ドットモデルが、技術的な問題や設備不足問題などで、1968 年末には開発中止に追い込まれた。同じ時期に、社外からの初めての問い合わせとして、日本のシャープ株式会社から、研究開発と電卓事業の各々の責任者が一緒に DSRC を訪れ、液晶

研究の現状把握と電卓用液晶の開発委託の可能性の打診を行った。しかし、電卓用には応答時間が足りない、と開発委託を断った。

更に、当時のCRTテレビの最小サイズであった13インチテレビを、1969年中に液晶で実現するというスケジュールを出す予定があったが、技術的な課題解決の見通しが立たず<sup>30)</sup>、1969年末には液晶テレビの研究そのものが完全に中止された。

一方、電子部品事業部の液晶試作プロジェクトは、1969年までにはスタッフも増え、試作作業をベンチ生産方式から、工程ごとの生産ライン方式へ拡張する必要が生じ、半導体主力工場のあるラリタンの広い倉庫へ移るまでに成長した。しかし、最重要商品であった液晶テレビ開発が中止になっては、電子部品事業部、DSRC、本社の経営陣はプロジェクトの予算を増やすことには消極的になっており、電子部品事業部は管理指向が強い人物に責任者を交代させた。この状況にも拘わらずラリタンの試作ラインでは、液晶事業を実現しようとした意欲に満ちたマーケティング部門の活動により、外部顧客からPOP、車用リヤビューミラーなど、様々な製品の開発委託を受け、その委託費で試作活動を拡張していき、その開発力は顧客から高く評価された。

1969年9月、マーケティング部門が外部コンサルタントを使いながら、DSMを使用した新規商品について6ヶ月に及ぶマーケティングリサーチを行った。その結果を持ち、本社を含む関連部門の新商品検討会議を行ったものの、既に開発を行っている英数表示、POPサイン、電子カーテン (flat glass glazing products) 以外には、新規商品案として残ったのは、近未来に新規商品案として残ったのは比較的小さなマーケットしか見込まれないものばかりであった。腕時計は、C-MOSと駆動電圧が合わない、として、長期見込み商品に分類された<sup>31)</sup>。

これに対し、DSRC側は、技術的な問題は早晚解決される筈であるから、腕時計市場が有望であると考えていた。確かに、電子部品事業部が絞り込んだ商品は、技術的には比較的容易に対応出来るだろうが、従来からRCAが得意としてきた大量生産・大量収益事業にはなりえないだろう。少し技術的ハードルが高い腕時計となると、大型商品に育つ見込みがあるにも拘わらず慎重になるとは、事業部側は余りにも近視眼的であると、DSRC側には事業部が誤った路線を進みだしているように思えた。

一方、事業部側はDSRC側の人員削減を見て、DSRC側はもはや液晶事業推進に対する熱意を失っている、と思い出した。事実、DSRCで液晶研究に携

わっていたのは、1968年の記者発表当時の16人から、1970年には8人に半減していた。中でも、1969年にハイルマイヤーとDSM特許を協同出願したザノニと、DSM用液晶材料特許の筆頭出願人であったゴールドマッハの2人は、DSM液晶腕時計を開発するとしてDSRCを辞めた。そして、同年にDRSCを退社したキス (Zoltan J. Kiss) が液晶腕時計事業の一つの柱とすべく設立したクォンテル (Quantel、後に、オプテル: Optelと社名変更) へ移った。

DSRCで液晶の実用化に最も情熱を燃やして来たハイルマイヤー自身も、研究開始当初からの2人の友人を失い、また、液晶の生産部門への移管に関し、中心になって意見調整に奔走してきたことに疲れていたこともあって、意欲を失いつつあった。折しも、ホワイトハウスのフェローシッププログラムが立ち上げられたこともあって、これに応募し、1,200人以上の応募者から選ばれた20人の内の一人となり、1970年にDSRCを退社した<sup>32)</sup>。また、ハイルマイヤーの辞職と同じ頃、ヘルフリッヒもDSRCを退社し、ロッシュ (Hoffmann-La Roche、スイス、Basel) で液晶研究を継続することとした。

1971年9月、ロバート・サーノフの3年に亘るRCA変革計画が失敗したことが明らかになった。社長になって5年、会長になってから3年、ロバート・サーノフは、父親のデービッド・サーノフがカラーテレビ事業における成功で名声を得たように、汎用コンピューター事業において、IBMに次ぐ2位を確保して自分の功績としようとした。しかし、1976年までに必要とされる10億ドルの資金の半分はコンピューター事業に直接注ぎ込む必要があることが判明した。9月16日、汎用コンピューター市場から撤退することを取締役会で承認を得、コンピューター事業をユニパックへ127百万ドルで売却し、売却損に備えて490百万ドルの税引き前留保を積んだ。また、直ちに新規企業買収を凍結し、RCA史上にない厳しいコスト削減計画を実施した。

既に縮小されていたDSRCの液晶研究グループは6人となり、ラリタンの液晶試作工場は31人から8人になった。翌年、事態は更に悪化し、DSRCでの液晶研究も一時は中止すると決定されたが、液晶技術のライセンス交渉に研究者が必要であるというライセンス部門の要請で決定は見直され、液晶の研究は細々と継続されることになった。しかし、ハイルマイヤーの後を継いで液晶研究の責任者となっていたカステラーノ (Joseph A. Castellano) も、1973年3月には、主に腕時計を作ろうとしていたプリンストンマテリアルズサイエンス (Princeton Materials Science、Optelと同様、

DSRCに居た人物（Optelの場合と異なりスタッフ部門出身）により1969年に設立）へ移り<sup>33)</sup>、ラリタンの液晶試作工場は1976年にタイムックスへ売却された。

## 2.2.2 TN (Twisted Nematic : ねじれネマティック) 液晶

スイス生まれのシャット (Martin Schadt, 1938~) は1966年から1969年まで、ポストドクターフェローとして、カナダ国立研究協議会 (the National Research Council of Canada = NRCC, Ottawa) で過ごした。一方、ドイツ生まれのヘルフリッヒ (Wolfgang Helfrich (1932~) は、シャットよりも少し早く、1964年から1966年まで、同じNRCCで過ごし、1967年にDSRCへ移り、ハイルマイヤーの下で液晶研究を開始した。この2人が偶然、同じ年の1970年にスイス・パーゼルのホフマンラロッシュ (Hoffmann-La Roche) 研究所に入所した。そして2人は、1971年2月15日発行のApplied Physics Letters (Vol. 18, No. 4, 15 February 1971) に、「捻れネマティック液晶の電圧依存性光学活性 (Voltage-Dependent Optical Activity of a Twisted Nematic Liquid Crystal)」と題する論文を連名で発表した。アブストラクトでいきなり“必要電圧は、液晶の他の効果よりも低い”と述べる特徴的な論文であった。直接的名指しは避けたものの、DSM液晶の駆動電圧が高い故に、RCAの部品事業部で液晶腕時計が短期プロジェクトに採用されなかったことを念頭に、DSMの弱点を突いたものと思われる。

シャットとヘルフリッヒのTN液晶の位置づけを明確化するために、論文の要点を抜粋する。まずTN液晶の構成であるが、液晶分子を電極表面に平行配向させるため、内側に透明導電膜を施した2枚のガラス基板の透明電極の表面を綿棒で一定方向に擦る (rubbing=ラビング)。ガラス基板を貼り合わせる時は、ラビング方向を90度に直角させておく。そうすると液晶分子配向は上下の電極表面で90度振られ、ツイストするよう連続的に配向が変化する (図2.12-a)。

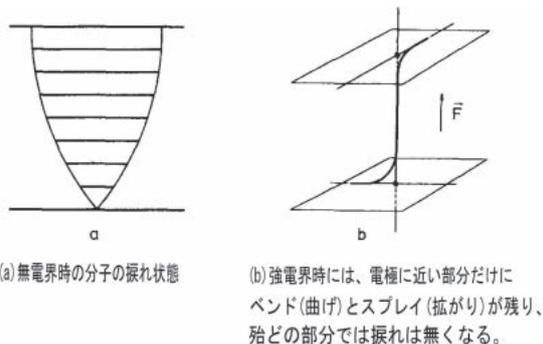


図 2.12 TN 液晶に於ける電圧印加に依る分子配向変化<sup>34)</sup>

ガラス基板間距離 (= 液晶層厚) は典型的には  $10 \mu\text{m}$  としている。この距離は光波長よりも十分に長いので、電圧を印加していない時は、入射した直線偏光の偏光面は液晶層を進むに従って回転し、出射光の偏光面は90度回転する。このことは、1911年にモーガンが既に報告していることでもある。

十分な電圧を印加した時に液晶分子が電界方向に並ぶように、誘電率異方性が正である液晶材料を用いて電圧を印加する。そうすると、電極近傍の液晶分子の配向には変化はないが、電極を離れたところにある液晶分子は電界方向に並んでツイストが解消される (図2.12-b)。このため、入射光の偏光面は回転しない。

実験に使った液晶材料は  $n(4\text{-ethoxybenzoylidene})4\text{-amino-benzonitrile}$  (PEBAB) でネマティック液晶範囲が  $106^\circ\text{C} - 128^\circ\text{C}$  であった。 $\epsilon_{\parallel} = \text{約} 21$   $\epsilon_{\perp} = \text{約} 7$  と非常に大きな正の誘電率異方性をもっており、DSMを起こさないことがハイルマイヤーによって確かめられた液晶である。

1911年のモーガンの報告では、磁界により液晶分子の配向を変化させて捻れを解消させた<sup>35)</sup>が、60年を経たTN液晶では、正の誘電率異方性を持つ液晶材料に電圧を印加して液晶分子の配向を変化させることにより捻れを解消し、電子ディスプレイを実現した。

上述の基本説明は液晶温度範囲が  $106^\circ\text{C} - 128^\circ\text{C}$  と言う、実用的ではないPEBABと言う単体液晶材料を使用した場合についてのものであった。60年経って、実用的温度での特性を調べるため、混合室温液晶を用いて実験した。複数のネマティック液晶を混合して、液晶範囲が  $20^\circ\text{C} - 94^\circ\text{C}$  の室温液晶を作り出した。この液晶を使用した  $10 \mu\text{m}$  厚のセルの外側に2枚の偏光板を平行に配置し、偏光面の回転角 (図2.13-a) と透過率 (図2.13-b) の、1kHzの印加電圧への依存性を見た。

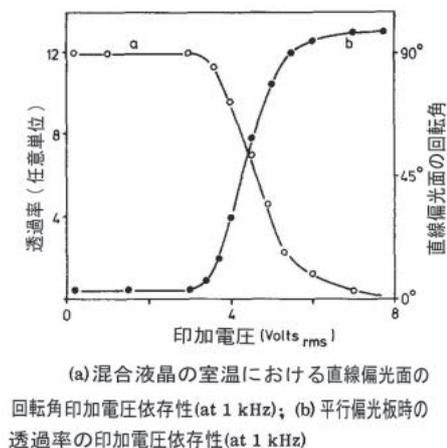


図 2.13 TN 液晶に於ける電圧印加による“透過率・偏光面”変化<sup>36)</sup>

印加電圧を上げていくと、3 Vrms で偏光面の回転の解消と透過率の増加が始まる。更に電圧を上げていくと約 6 Vrms で回転角解消と透過率の増加の飽和が始まる。これらの電圧は DSM 液晶のものと比較すると約 1/2~1/3 となっている。

当該論文が提出されたのは 1970 年 12 月 8 日であるが、その 4 日前の 12 月 4 日にスイスで光学素子 (Lichtsteurzelle) と題して出願者をホフマンラロッシュ、発明者をヘルフリッヒとシャットの連名とする特許が出願されている。1971 年 4 月 13 日には、発明者の名前なしで、ホフマンラロッシュを出願人として英国出願され、日本には、出願人にビービーシーが付加されて 1971 年 12 月 3 日に 出願 (昭 51-13666、図 2.31) されているが、2 つとも 1970 年 12 月 4 日のスイスでの出願日の優先権主張を行っている。出願特許に追記されている長所として、DSM では散乱を起こすために電流を流す必要があるが、TN 液晶の場合は電界効果のため電流を流す必要がなく、寿命が長くなるということが付け加えられ、更に、TN 液晶では、DSM 液晶と異なり、散乱により入射偏光のコヒーレンス (coherence) や偏光を乱さないの、レーザー光の変調にも使用できる、ということが付加されている。

特許では、TN 液晶がその分子の配向方向に示す螺旋構造を模式図に表し、連続的に透過率を変えられる電気光学素子としての TN 液晶の構成要素図 (図 2.14) がより具体的に示されている。

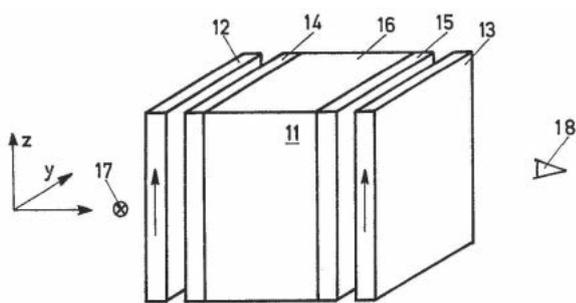


図 2.14 連続的に透過率を変えられる電気光学素子<sup>37)</sup>

図 2.14 に於いて、11 は液晶セル、12、13 は光軸を同じ方向に揃えられた偏光板、14、15 は電極、17 は光源、18 は観察者である。ヘルフリッヒは DSRC を退社後、約 2 ヶ月でシャットと協同して TN 液晶のサンプルを作り、実験をし、特許を書いたことになるが、実際には 1969 年、1970 年の 2 回、DSRC 在職中にハイルマイヤーに TN 液晶を提案した。しかし、偏光板を使わないことで明るい表示ができることを DSM 液晶の特長としていたハイルマイヤーは、偏光板を使う

TN 液晶では表示が暗くなる、との理由からヘルフリッヒの提案を受け入れなかったようである。ヘルフリッヒが去った後の DSRC には、ヘルフリッヒの発明が DSRC でなされたとの記録は一切発見されなかった。

米国では、ケント大学を辞してイリキスコ (ILIXCO=the International Liquid Xtal Company) を起こしていたファーガソンにより、TN 液晶の特許が“液晶の光変調を利用した表示素子”として、1971 年 4 月 22 日に 出願され、1973 年 5 月 8 日に 成立した。当然、ホフマンラロッシュ側からの反論があったが、ファーガソンが 1969 年 12 月 30 日に TN 液晶のコンセプトを 2 人に説明しており、そのことを 2 人を証人としてノートに記していたことが、先発明主義を採用している米国での特許成立に繋がった。一方、ホフマンラロッシュの特許はスイスで成立していることから、2 社間で権利確定の係争になった。しかし、ホフマンラロッシュは米国での特許成立の見込みがない、と 出願取りやめを決定した。ところが、米国側ではケント州立大学も権利要求に加わり、また、スイス側ではホフマンラロッシュと協同研究をしていたブラウンボベリー (Brown Boveri) も権利主張に加わり、複雑な経過を辿った。結局、資金繰りに困ったイリキスコがホフマンラロッシュへ特許を売り渡すことを決定したが、同時に、ホフマンラロッシュが特許ライセンスで得たロイヤリティ収入について、ホフマンラロッシュ、ブラウンボベリー、イリキスコの 3 社が各々 30%、残りの 10% をケント州立大学が受け取ることで 1976 年に 4 者間の決着をみた<sup>38)</sup>。

一部の科学界からの興味は示されたものの、TN 液晶の開発への反応は芳しくなく、ホフマンラロッシュの研究責任者は製品化について確信が持てず液晶研究を中止し、更には液晶研究グループを解散してしまった。その結果、ヘルフリッヒは 1973 年にホフマンラロッシュ研究所を去り、ベルリン自由大学の物理学担当教授となった。

### 2.2.3 液晶材料

液晶の表示モードに TN 液晶と言う第 2 世代が現れたのと同じ時期の 1969 年に、ケルカーとショイレ (H. Kelker, B. Scheurle、ヘキスト社 = Farbwerke Hoechst AG) により、初めて室温で液晶相を示す MBBA (p-methoxybenzylidene-p'-butylaniline, 20°C - 41°C) が合成された。MBBA の登場により、単体液晶を使った種々の基礎実験のときのように実験装置を加熱する必要がなくなり、効率的な実験が可能となった。また、混合液晶を使って凝固点を下げること

により液晶の動作範囲の拡大が可能となり、DSM 液晶の実用化に繋がった。

一方、結合子としてシッフベースに換え、アゾキシ基 (azoxy:  $\overset{\ominus}{\text{N}}=\overset{\ominus}{\text{N}}-\text{O}$ ) を導入したアゾキシ系液晶の特許がラルフ・スタインレーサー (Ralf Steinsträsser, Merck、ドイツ) により 1970 年 3 月 28 日にドイツで出願された。同じ特許が米国に 1970 年 11 月 20 日に  
出願され、1973 年 11 月 20 日に成立した。広い室温液晶範囲を持ち、化学的に安定で水分、酸、アルカリ、空気中の酸素と反応せず、このため、今までのシッフベース系よりもディスプレイに使うのに適していた。

アゾキシ系液晶そのものは負の誘電率異方性を持ち DSM に使われることを想定して特許申請されている。これを TN 液晶として使うべく、正の誘電率異方性を得るための成分を混合した。得られた液晶は約 450nm より短波長の光を吸収して黄色に色づく欠点はあるものの、TN 液晶の低消費電力性は得られたので、これを活かして腕時計に使用され始めた。アゾキシ系液晶に他の成分を混合することにより、アゾキシ系の特長を生かしたままで TN 液晶を実現できたことで、その後の TN 液晶が幅広く活用される基礎を築くのに大きな貢献をした (表 2.2)。

表 2.2 アゾキシ系混合液晶 (X-16)<sup>39)</sup>

項	目	値
組成	$\text{CH}_3\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{N}=\overset{\ominus}{\text{N}}-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}_2\text{H}_5$	58 wt%
	$\text{CH}_3\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{N}=\overset{\ominus}{\text{N}}-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}_2\text{H}_5$	31 wt%
	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CN}$	11 wt%
$T_{N1}$		66 °C
$T_{CN}$		-17.5 °C

また、1973 年にはグレイ (イギリス\_ハル大学、George William Gray、1926-2013) 等により、シッフベース系、アゾキシ系双方の液晶の特性そのものに根ざした欠点を克服する液晶材料として、シアノビフェニール (cyanobiphenyl) 系液晶が発表された (図 2.15)。

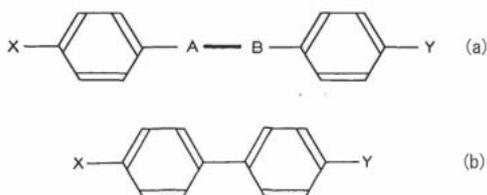


図 2.15 (a)一般系・(b)ビフェニール系<sup>40)</sup>

図 2.15 に於いて、(a) は液晶分子を一般的に表したものであり、重要な特長は二つのフェニル基を繋ぐ中央基 A - B にある。通常は、分子に剛性を与えるために、2 重結合、または 3 重結合とする。典型的な例は、MBBA に使われている 2 重結合のシッフベース  $\text{CH}=\text{N}$  であり、多くの液晶材料が RCA の発表を基に開発されてきた。しかしながら、化学的・光化学的な不安定性はシッフベースそのものの特性に根ざしており、少しの水分があれば加水分解が起き、また、紫外線照射で分解する。また、この構造の最も安定とされて来た中央基が  $\overset{\ominus}{\text{N}}=\overset{\ominus}{\text{N}}-\text{O}$  であるアゾキシ系液晶では、色が黄色であることが短所となる。

より安定性を増し、色づきをなくすために中央基を取り除いたビフェニール (biphenyl) 系 (b) は従来から液晶層を示すことは知られていたが、液晶温度範囲が高温域だったためディスプレイ用途には使われなかった。しかし、従来よりも単純な末端基を X と Y とに使用することにより室温液晶を実現することができた。Y にはシアノ基 (CN) を使用し、X には  $\text{CNH}_2\text{N} + 1$  ( $\text{N}=2-4$ ) を使用している。シアノビフェニール系液晶は正の誘電異方性を持ち、TN 液晶のその後の普及に重要な役割を果たした。

今までに液晶ディスプレイ用に、シッフベース系、アゾキシ系、ビフェニール系、とそれぞれに大きな役割を果たした液晶材料が登場してきたが、その背後には、発見されてから 100 年近くに亘って欧州で積み上げられ、確立された液晶の物理がある。液晶相を示す液晶分子の構造の一般形 (図 2.16) としては以下の特徴がある。

- ①細長い分子形状をしている。
- ②ベンゼン環やシクロヘキサン環などの剛直な 2 つの環構造が連結基 Y で結合され、その末端には柔らかい置換基 ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ 、 $\text{RO}-$ ) が結合している。
- ③分子に双極子モーメントを与えるために極性基 (例:  $-\text{C}\equiv\text{N}$ 、 $-\text{F}$ ) を付与する。

RCA は 1968 年時点で、連結基 Y としては種々の液晶物質を検討した結果、シッフベース ( $-\text{C}=\text{N}-$ ) の特性が一番良かった、としていた。しかし、シッフベースが水分により加水分解をするため、1970 年代初期に DSM 液晶を使用した米国の腕時計で不具合を出したことがあった。その後、加水分解をしないアゾキシ ( $\overset{\ominus}{\text{N}}=\overset{\ominus}{\text{N}}-\text{O}$ ) 系やエステル ( $-\text{COO}-$ ) 系液晶が TN 液晶の商品化初期に使用され始めた。

更には、結合子を使用せず、2 つのベンゼン環を直接結合させたビフェニール系 (図 2.17) が開発された。

図 2.17 に示す液晶は、極性基としてシアノ基 (-C≡N) が使用され、分子長軸方向の誘電率が大きい正の誘電率異方性を持っている。また、ビシクロヘキサン系 (図 2.18) では、シアノ基の位置から短軸方向の誘電率が大きな負の誘電率異方性を持っている。

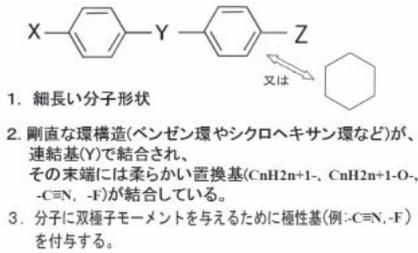


図 2.16 液晶分子の一般形

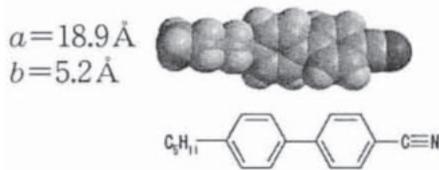


図 2.17 液晶分子例<sup>41)</sup>

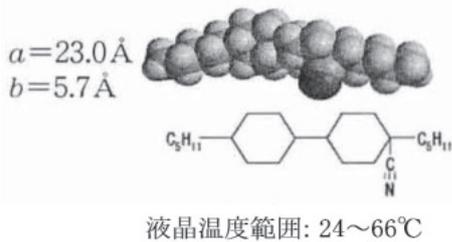


図 2.18 液晶分子例<sup>42)</sup>

さて、液晶の物性は欧州で研究され、理論化された。そして連続体理論 (Continuum Theory) が、液晶の弾性特性を研究したオセーン (C. W. Oseen, 1879-1944, Sweden) によって提唱され、フランク (Frederick Charles Frank, 1911-1998, U. K.) により完成された (1958)。連続体理論では、ネマティック液晶は光学的には一軸性を示す異方性流体であり、その光学軸方向はダイレクター (director) と呼ばれる単位ベクトルで表される (図 2.19)。物性定数として、永久双極子モーメント、誘電率、導電率、屈折率、弾性率、粘性、回転弾性などがあるが、それらの定数は分子の長軸方向と短軸方向とで異なる値を持つ異方性を有している (図 2.20)。

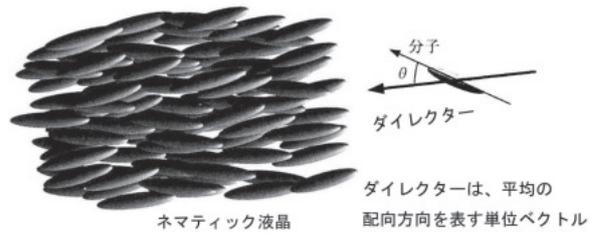


図 2.19 ネマティック液晶とダイレクター<sup>43)</sup>

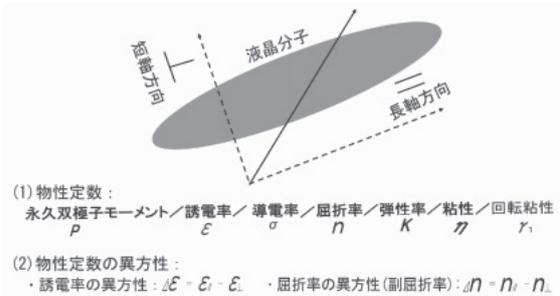


図 2.20 液晶物質の物性定数とその異方性

また、弾性率は、分子の配向変形に対応して広がり弾性定数:  $K_{11}$ 、捩れ弾性定数:  $K_{22}$ 、曲がり弾性定数:  $K_{33}$  があり (図 2.21)、更に、回転運動に対応する回転粘性率:  $\gamma_1$  も定義されている (図 2.22)。



図 2.21 ネマティック液晶物質がしめす3つの分子配向変形と対応する3つの弾性定数<sup>44)</sup>

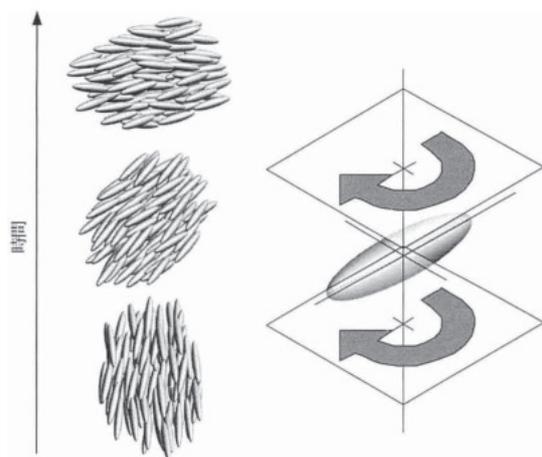


図 2.22 ネマティック液晶物質における回転運動と回転粘性率 $\gamma_1$ <sup>45)</sup>

液晶をディスプレイとして使用する場合、液晶分子がその表示モードに応じた配向状態を取るよう処理を施す。配向状態としては、基板表面に対して垂直配向、水平配向、斜め配向の3種類がある(図2.23)。斜め配向した液晶分子と基板面とが成す角度をチルト角と言ひ、このチルト角の制御は良好な表示特性を得る上で重要な技術の1つである。

誘電率には異方性があるが、長軸方向の誘電率が短軸方向の誘電率より大きい場合、正の誘電率を持つという。逆に、短軸方向の誘電率が大きい場合は負の誘電率を持つと言う(図2.24)。液晶に電圧を印加すると、液晶分子が持つ永久双極子モーメントが電界方向に揃う様に液晶分子が配列する。すると、結果的に、正の誘電率を持つ液晶分子は長軸方向が電極面に垂直になるよう配向し、負の誘電率を持つ液晶分子は長軸方向が電極面に平行になるように配向する(図2.25)。

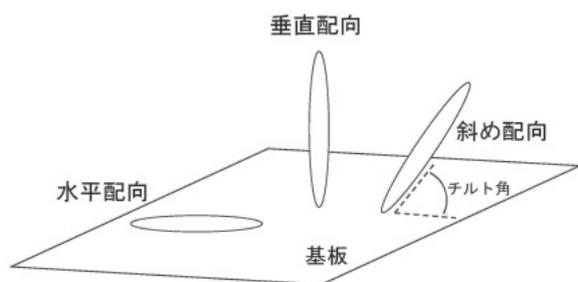


図 2.23 液晶分子の基板面に対する配向法

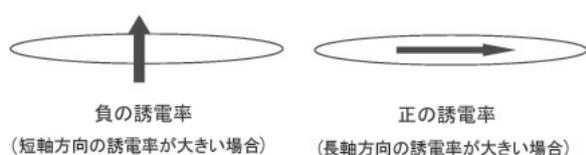


図 2.24 誘電率の異方性

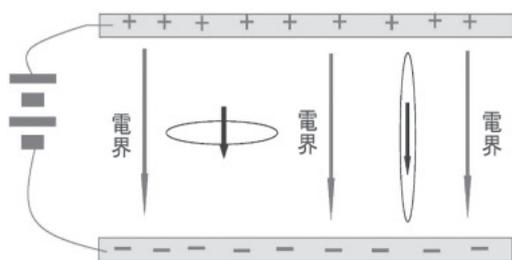


図 2.25 液晶分子は、電圧を掛けると双極子モーメントが電界の方向に向きを揃える

液晶分子の持つ誘電率異方性の種類と基板面への液晶分子の配向法とを組み合わせ、応用商品に適した液晶表示モードが開発されている。例えば、DSM 液晶では、負の誘電率を持つ液晶材料を両基板面に垂直配向させ、電圧を印加すると液晶分子は水平配向しようとするが、導電率の異方性により空間電荷が発生し、乱流が起って DSM 状態となる。一方、TN 液晶では、正の誘電率を持つ液晶材料を両基板面に水平配向をさせるが、両基板面での配向方向を  $90^\circ$  振っておくと、液晶層は入射光の偏光面を  $90^\circ$  回転させる。電圧を印加すると液晶分子は垂直配向をするため、入射光の偏光面を回転させる能力を失い、この入射光の偏光面回転能力の有無状態を検出してディスプレイに利用している。

## 2.2.4 C-MOS (Complementary= 相補型 MOS)

1963年6月18日、フェアチャイルド (Fairchild Camera and Instrument Corporation、米国) 社のワンラス (Frank M. Wanlass) は低消費電力化を目的とした C-MOS の特許を出願し、1967年12月5日に成立した。p-チャンネル MOS トランジスタと n-チャンネル MOS トランジスタの、各々のドレイン電極、ゲート電極同士を接続する。すると互いのトランジスタが他のトランジスタの負荷となりインバータを構成し、ゲート電圧が High から Low へ、または Low から High へ遷移する瞬間だけ p チャンネル MOS トランジスタから n チャンネル MOS トランジスタを貫通する電流が流れる。ゲート電圧が High、または Low に安定した時はどちらかのトランジスタがオフになるので電流は流れず、平均値としての消費電流が非常に小さくなる。また、その電流は入力電圧の周波数に比例するため、周波数が低い応用商品では更に低い消費電流が見込まれる。

C-MOS はフェアチャイルドで特許化されたが、当時フェアチャイルドはメモリー開発に注力しており、同時に C-MOS を開発する余力は無かった。一方、RCA の DSRC でも 1960 年頃からハーツォック (Gerald Herzog) がコンピューターメモリー用に C-MOS の研究を開始していたが<sup>46)</sup>、周りの殆どの人には共通のサブストレートの上にコンプリメンタリーデバイスを作ることが出来るとは思えなかった。C-MOS の工程は非常に複雑であり、半導体基板の導電特性を制御するためにその基板に不純物を正確にドーピングしなければならないが、当時はドーピングに拡散法を使用していたため、ドーピング濃度の正確な制御が非常に難しかったからである。イオン打ち込みで正確なドー

ピングが可能になりだしたのは1970年初頭であった。ハーツォグは空軍やNASAとの開発契約で研究開発を粘り強く継続し、1967年末、RCAはC-MOSのサンプル販売を開始した。しかしながら、バイポーラやMOS等と比較し、消費電力の少なさはさておき、そのスピードの遅さからC-MOSが将来に互って生き残る技術とは見なされていなかった。

1967年、フェアチャイルドでプレーナープロセスを開発したヘーニ（Jean Hoerni）は、デジタル時計用を含むMOSデバイスを生産するためにインターシル（Intersil）を設立した<sup>47)</sup>。ヘーニはジュネーヴ（スイス）生まれであり、インターシルの株主には腕時計関連企業も含まれていた。

### 2.3 日本に於ける液晶ディスプレイの商品化

1968年5月のRCAによる液晶ディスプレイ開発の記者発表、また、それに続く1968年7月のRCAの論文発表は日本での液晶研究開発を始動させた。特に、RCAがテレビに適用出来る可能性について言及したことは、大きなインパクトを与えることになった。

表2.3は日本に於ける液晶ディスプレイの初期事業化の状況を見るために、1968年から1983年までに、日本メーカーが出した新製品数を年ごとに纏めたものである。この表から、初期の事業化にウォッチ・電卓メーカーが15社中9社を占めていることが見て取れる。日本の液晶ディスプレイの事業化はウォッチ・電卓から始まった、ということが分かる。そして、1971年に1社が液晶クロックを組み込んだラジオを発売したが、それ以降の新製品の発売は1973年から本格的に立ち上がっている。

米国でC-MOSを使ったデジタル腕時計が開発されたのが1970年であり、それらの販売が開始されたのが1972年であることから、日本の液晶技術レベルが1973年には米国に追いついていた事がわかる。GNPで日本が西ドイツを抜いて世界第2位の経済大国となった1968年のRCAの記者発表が切っ掛けになり、遅ればせながら日本の液晶ディスプレイの研究が始まった。しかし、液晶ディスプレイの可能性を信じた日本メーカーの意気込みは大きかった。DSM液晶、TN液晶の双方について、液晶ディスプレイの供給、或いは、ライセンス供与を求めて、RCAへは電卓メーカーが、ホフマンラロッシュとイリキスコへは時計メーカーがライセンス供与を求めて訪問した。彼らは開発メーカーにとっては初めての顧客であり歓迎されたが、このことは液晶ディスプレイの存在を知った後の日本メーカーの液晶の事業化に対する行動の素早さを物語っている。特に、TN液晶を発表したホフマンラロッシュは、その技術の有用性を自らは認識出来ず、それ以上の液晶研究に見切りをつけて研究グループを解散していたが、日本からの技術ライセンス依頼の訪問者を得てその有用性を認識し、研究部門を再結集したほどである。

一方社会的には、1973年は10月に起こった第4次中東戦争を起因として第1次オイルショックに見舞われ、それに続く狂乱物価対策として11月には石油緊急対策要綱を閣議決定、直ちに総需要抑制策が取られた。その結果、翌年の1974年には消費者物価指数+23%、経済成長率-1.2%と戦後初めてマイナス成長となり、1954年以来続いてきた高度経済成長期が終焉を迎えた。

表 2.3 日本の事業化推進企業リスト（新規製品販売件数の推移）<sup>48)</sup>

ID	会社名	カテゴリー	総計	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
1	シャープ（オリエント含む）	ウォッチ・電卓	19						3	1		3	2		3	1	2	2	2
2	カシオ	ウォッチ・電卓	13						1		1	1	1	2		2	1	1	3
3	セイコーエプソン	ウォッチ・電卓	5							1		1			1				2
4	松下電器（松下電子部品を含む）	エレクトロニクス	2				1												1
5	シチズン	ウォッチ・電卓	4								1		1						1
6	東芝	エレクトロニクス	4									1							1
7	日立	エレクトロニクス	5					1						2		1			1
8	セイコー・グループ	ウォッチ・電卓	5					1					2				2		
9	三洋	エレクトロニクス	5								1	1		2		1			
10	日本電気	エレクトロニクス	0																
11	キヤノン	ウォッチ・電卓	5									1	1	1				1	1
12	リコー	ウォッチ・電卓	2						1		1								
13	第2精工舎（セイコー電子）	ウォッチ・電卓	1																1
14	立石電機	ウォッチ・電卓	3							2				1					
15	富士通	エレクトロニクス	0																

### 2.3.1 電卓用液晶

液晶を事業として立ち上げた応用分野の一つが電卓であったが、1970年前後の電卓事業を取り巻く環境を表している一つの資料が表2.4である。激しい技術開発が進む1970年前後、電卓にLSIが使われ始めた。そして、低消費電力を特長とするC-MOSが1972年に初めて使われた。この時の表示素子はLEDであった(EL-810)。

新規技術開発と糾いながら進む販売数量の増大と販売価格低下が急加速した。1971年をピークとして新製品を出荷するメーカー数が低下し始めており、文字

通り生き残りをかけた電卓戦争が進んでいた<sup>49)</sup>。

RCAの液晶表示素子開発の記者発表があった1968年の末に、電卓が当時の事業の大きな柱の一つであったシャープ株式会社から、研究開発と電卓事業の各々の責任者が、液晶表示を電卓へ採用することを検討するためにRCAを訪問した。しかし、電卓用には応答時間が大きすぎる、として液晶ディスプレイの供給は断られた。図2.26は、その訪問で得た技術情報を担当研究部で纏めたものである。

訪問当時、DSRCでは液晶テレビ用の研究を中断することを決定しており、また、翌年には、DSRCを退

表 2.4 電子式卓上計算機の各世代<sup>50)</sup>

世 代	第 1 世 代		第 2 世 代		第 3 世 代		第 4 世 代
	1964～1966年		1967～1968年		1969～1972年		1973年～
技 術 革 新	ゲルマニウム トランジスタ	シリコン トランジスタ	I C		L S I		C O S
代表的機種名	CS-10A	CS-20A	CS-31A	CS-16A	QT-8D	EL-801	EL-805
発 売 年	1964年	1965年	1967年	1967年	1969年	1972年	1973年
標準価格 (円)	535,000	379,000	350,000	230,000	99,800	39,000	26,800
表 示 素 子	ニキシー	ニキシー	ニキシー	蛍光表示管	蛍光表示管	LED	液 晶
電 源	A C	A C	A C	A C	A C	DC (単3-4本)	DC (単3-1本)
消費電力 (W)	90	35	25	10	4	0.5	0.03
重 量 (kg)	25	16	13	4	1.4	0.23	0.2
容 積 (ℓ)	33	29	29	7.5	1.7	0.22	0.19

(注意) 浅田篤:「電子式卓上計算機の技術開発」(1975.1)を元に、MOS/C-MOSを筆者が加筆。

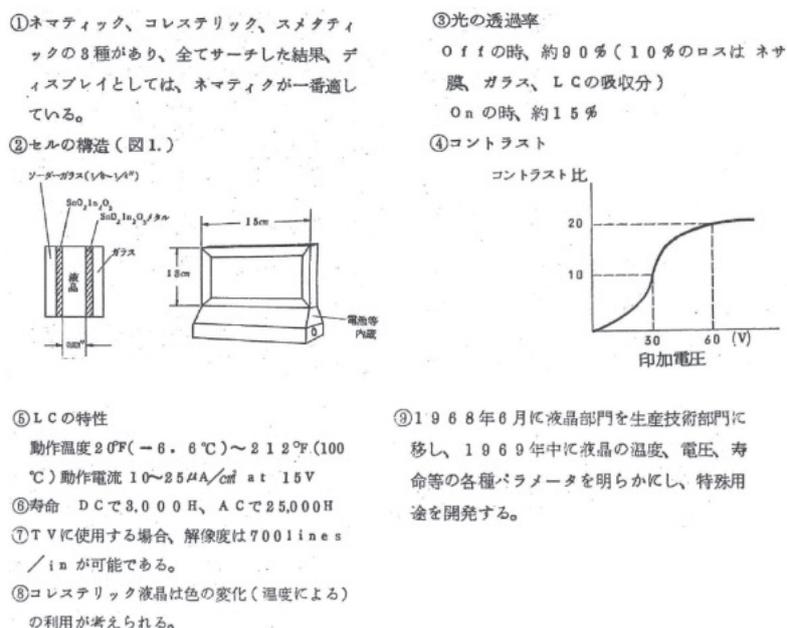


図 2.26 技術担当専務三戸左内 (シャープ) のRCA訪問 (1968年末) 技術報告<sup>51)</sup>

所した人員により、2つのウォッチ液晶事業化のための会社 (Optel, Princeton Materials Science) が設立された<sup>52)</sup>。

年が明けた1969年1月、NHKがDSRCを取材して液晶の特集を放映したが、この番組も日本に於ける液晶の研究開発の起爆剤の一つとなった。

シャープでは、1968年末のRCA訪問で得た情報を手がかりに、行き詰まっていた平面ブラウン管の研究人員を数人割いて、1969年4月から電卓用液晶ディスプレイに関する独自の予備研究を開始した。ファergusonが設立したイリキスコ (Ilixco = International Liquid Crystal Company) 社から液晶材料を購入し、プリント基板製作に必要なエッチング技術を社内の関連部門より教えて貰い、酸化スズ透明導電膜をエッチングして電卓用のセグメント電極 (図2.27) を作り、約半年を掛けて試作品を作成した。その上で研究所と電卓事業部とで合同の試作確認会を開催した。



図 2.27 電卓のセグメント表示 (例) 電卓のセグメント表示 (例)<sup>53)</sup>

確認会の結論として、①応答時間が大きい (> 1秒)、②表示ムラが大きい、③コントラストが悪い、④セット側での商品電力が大きい (約4W)、といったことのため、現状ではメリットとはならないが急速なLSIの進展により低消費電力化が進むことを考慮し、次年度から研究所にて専任の研究グループを発足させる、ということを確認した<sup>54)</sup>。こうして1970年4月から液晶研究の専任グループを発足させ、本格的な研究を開始した。

液晶研究専任グループは当初3人で1970年4月に発足したが、6月までに4人増員し、合計7人となった。さらに翌1971年4月に新入社員2人を加え、合計9人の体制となった。タイミングよく、1970年9月には小林駿介により「液晶ディスプレイその性質と応用」(日刊工業新聞社)が編著され、液晶に関する知見の全容が日本語で提供されることになり、日本での液晶の研究開発の立ち上げに貢献した。

予備研究の段階で液晶材料をイリキスコ社から室温液晶として購入したが、その液晶は25℃以下になると結晶化してしまうものであったため、液晶材料の開発から進める必要があり、化学メーカーである大日本インキと協同開発した。

研究を進めるに当たり、液晶が全く新しい原理に基づく電気光学素子であることから、液晶材料の液晶相を示す温度範囲に加え、電卓に利用するために必要な液晶の基礎特性項目を以下のように整理した。

- ① 電圧依存性
  - Ts(光透過率) vs. V(印加電圧)
  - J(電流密度) vs. V
  - $\tau r$ (立上り時間) vs. V
  - $\tau d$ (立下り時間) vs. V
- ② セル厚依存性
  - Ts vs. d(セル厚) J vs. d
  - $\tau r, \tau d$  vs. d Vth(しきい値) vs. d
- ③ 周波数依存性
  - Ts vs. f J vs. f Vth vs. f
  - $\tau r, \tau d$  vs. f  $\epsilon$ (誘導率) vs. f
- ④ 温度依存性
  - Ts vs. T J vs. T  $\epsilon$  vs. T
  - Vth vs. T  $\tau r, \tau d$  vs. T
  - $\eta$ (粘性) vs. T

また、その特性を測定するための必要仕様を満たす測定装置は一般に販売されていなかったため、自分たちで組み上げた (図2.28)。

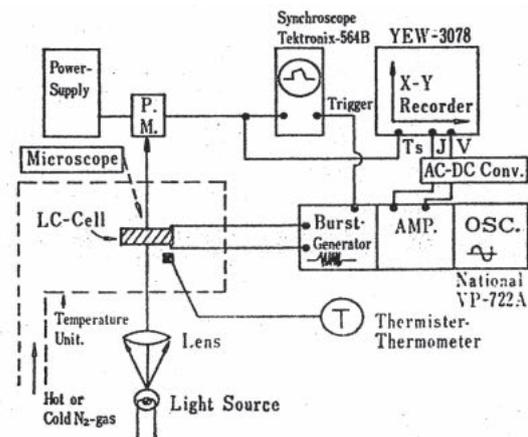


図 2.28 自作測定系のブロックダイアグラム<sup>55)</sup>

電卓の場合は、液晶ディスプレイを反射型として使用することになるが測定データの再現性を重視し、透過型で基礎特性を測ることとした。また、測定計で、AMPとあるのは信号発生器OSCの出力電圧を、RCAが液晶に対して用いていた印加電圧である70Vrms(周波数:5Hz-100KHz)まで増幅できるものを自作したものである。また、Burst-Generator

は、電圧印加時間を 50ms/sec まで可変制御できるようにした。同じ測定計を協同研究の両社で使用した。

液晶材料を評価する場合は、ガラス基板として 1mm 厚の研磨耐熱ガラスを標準セルに適用し、対向面積が 5cm<sup>2</sup> となる長方形 (3mm × 1.67mm) の電極を使用した。このようにして DSM で必要となるイオン発生用添加剤の吸着度が容易に観察できるようにした。また、液晶層厚 (=セル厚) はポリエステルフィルムをスペーサーとして使用し、セルのキャパシタンス測定や、ダブルビームモノクロメーターを用いた干渉法で、実際のセル厚をモニターした。

様々な液晶材料を検討した結果、液晶温度範囲が -25℃ - 65℃ の液晶材料系 (表 2.5) を開発した。

表 2.5 DSM 液晶組成<sup>56)</sup>

組	成	混合比 (wt%)
化学名	構造	
N-(p-methoxybenzylidene)-p-n-butylaniline (MBBA)	<chem>Cc1ccc(cc1)C=Cc2ccc(O)cc2</chem>	3 6
N-(p-ethoxybenzylidene)-p-n-butylaniline (EBBA)	<chem>Cc1ccc(cc1)C=Cc2ccc(OCC)cc2</chem>	4 0
N-(p-butoxybenzylidene)-p-n-butylaniline (BBBA)	<chem>Cc1ccc(cc1)C=Cc2ccc(OCCC)cc2</chem>	2 4

また、当該液晶材料系を用いた場合の透過率の電圧依存性 (図 2.29) では、電圧を印加しない時の透過率を 100% として正規化しているが、印加電圧を上げていくと、約 6Vrms から急速に透過率が落ち、閾値現象を示している。そして 40Vrms 付近から透過率が飽和している。電卓に使用する場合の反射型で十分なコントラストを示すのは透過率が 20% 付近以上の印加電圧範囲である。

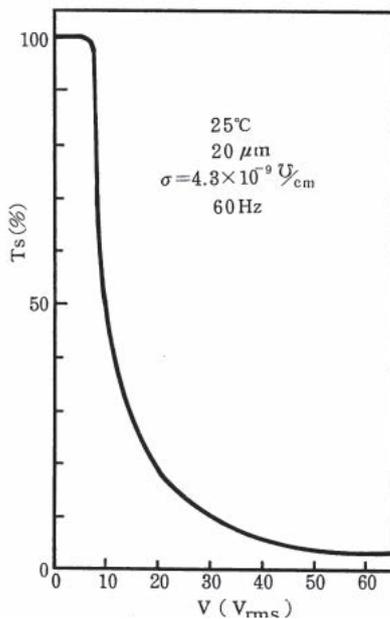


図 2.29 透過率の電圧依存性<sup>57)</sup>

電流値の周波数依存性 (図 2.30) を見ると、低周波領域では、温度により大きく変化するが、周波数には依存せず電流値は一定であり、電流が抵抗性 (伝導電流) であることを示し、高周波領域では電流値は周波数に比例して増加し、電流値が容量性 (変位電流) であることを示している。これは液晶セルの等価回路が抵抗とキャパシターとの並列回路であることを示している (図 2.31)。透過率の周波数特性 (図 2.32) と電流の周波数依存性を重ねて見ると、電流が抵抗性から容量性に移行する付近で透過率が急速に大きくなっており、DSM が起こらなくなって居る。

この現象はオルセー液晶グループに依る報告 (Orsay Liquid Crystal Group: 「AC and DC Regimes of the Electrohydrodynamic Instabilities in Nematic Liquid Crystals」, Molecular Crystals and Liquid Crystals. 1971. Vol.12, ) と一致している。この現象の確認から、低温領域でも十分に DSM を起こすためには、低温で十分なイオン電流を供給する添加剤 (dopant) を添加使用する必要性が明確となり、新規の添加剤の開発に繋がった。

また、駆動回路コストの低減に向け、ダイナミック駆動を行うために LED と同じように液晶も DC 駆動ができないかという、DC 駆動液晶開発検討が初期にはなされたが、この検討は中止されることとなった。

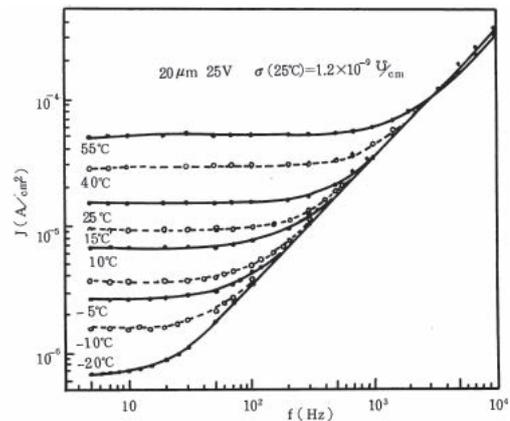


図 2.30 電流値の周波数依存性<sup>58)</sup>

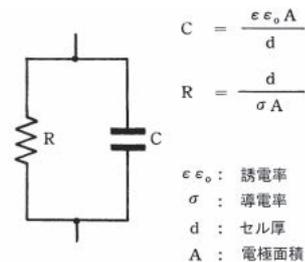


図 2.31 液晶セル等価回路

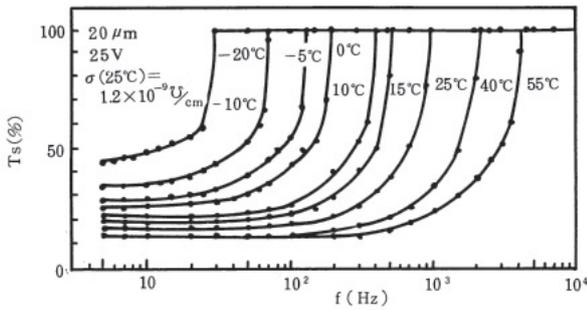


図 2.32 透過率の周波数依存性<sup>59)</sup>

既述の内容も含め、基本特性の相互依存性を纏めると以下ようになる。特に重要な特性である立ち上がり・立ち下がり応答時間がセル厚 (d) の 2 乗に比例していることであり、応答時間を小さくするためにセル厚を小さくすることに意を払った。この努力は今も続いている。

$$\tau r \propto \eta d^2 / V^2 = \eta / E^2, \tau d \propto \eta d^2, \tau d(V) = \text{一定}$$

$$J(f) = \text{一定}, J_c(\text{伝導電流}) > J_d(\text{変位電流})$$

$$\tau r(f) = \text{一定}, \tau d(f) = \text{一定},$$

特に重要な特性である立ち上がり・立ち下がり応答時間がセル厚 (d) の 2 乗に比例していることであり、応答時間を小さくするためにセル厚を小さくすることに意を払った。この努力は今も続いている。

研究所に液晶の専任開発グループが設置されて約 2 年後の 1972 年 3 月末、LED/C-MOS 電卓の商品化企画を終えた電卓事業部から S-734 と称する緊急プロジェクトの提案がなされた (図 2.33、図 2.34)。その緊急プロジェクトの提案の前書きに当該プロジェクトと位置づけが次の通り書かれて居る。

『最近の電卓技術動向は、備品のブロック化が著しく進む情勢にあり我々アッセンブリーメーカーの姿勢として、従来同様、部品完成品を購入し製品を作るという姿勢で進むならば、アッセンブリーノーハウは益々部品メーカーに吸収され、アッセンブリーメーカーの主体性は薄れるばかりであり、苦しい競争、それも泥仕合の渦中におちいる事は必至であります。かといって、素材、原材料を購入し、加工の全てを計画する事は企業競争に関する現実性がない事も明白であり、この両姿勢の中間に於いて、どの点を選択するかが、今後の課題として真剣に考えねばならない問題であります。

我々は今日まで蓄積してきたアッセンブリー技術を活かし得る要素と、工場稼働の付加価値の復活を目指し、アッセンブリー業務の職質の転換を考えることが

ベストと判断し、マイクロアッセンブルを活用する電卓開発を計画致したく、S-734 と称するプロジェクトを考えております。

これは、論理設計、LSI プロセス、LSI アッセンブル、マイクロ配線、液晶技術等、巾の広い高度な技術力と判断力とが必要であり、単に計算機工場のみアプローチではなく、総合開発本部、天理 ELSI 工場の協力を仰ぎ専任プロジェクトチームを結成、各専門分野各々の技術力を有機的に生かせる事が最も有意義と判断し、関係部門と事前打ち合わせを持つとともに、佐々木専務にも基本的了解を得、具体性のある計画立案を進めてまいりました。

本紙は S-734 プロジェクトの具体的計画をまとめた報告書であります。』

このようにして、8 桁液晶・C-MOS 電卓ポケットサイズ計算機をターゲット商品として決定した。即ち、液晶研究開発担当側からみれば、IC 化・LSI 化と共に進展する電卓戦争での生き残りをかけてスタートする、電卓の設計から生産までの全業務の転換を図るプロジェクト S-734 (計画期間：1972 年 4 月 - 1973 年 4 月) へ参画する形で、液晶の研究・開発・量産への道筋を敷いた、といえるのである。

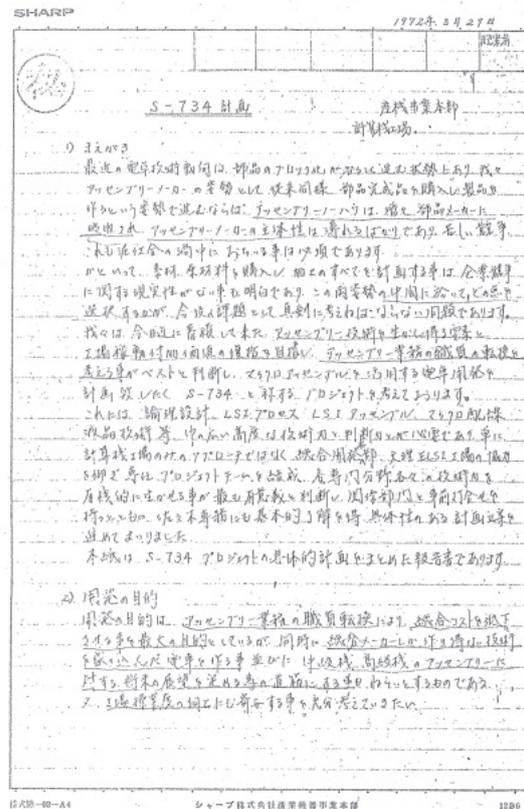


図 2.33 “液晶ディスプレイと C-MOS LSI” 電卓開発プロジェクト：S-734 計画の提案報告書<sup>60)</sup> (鷲塚謙起案)

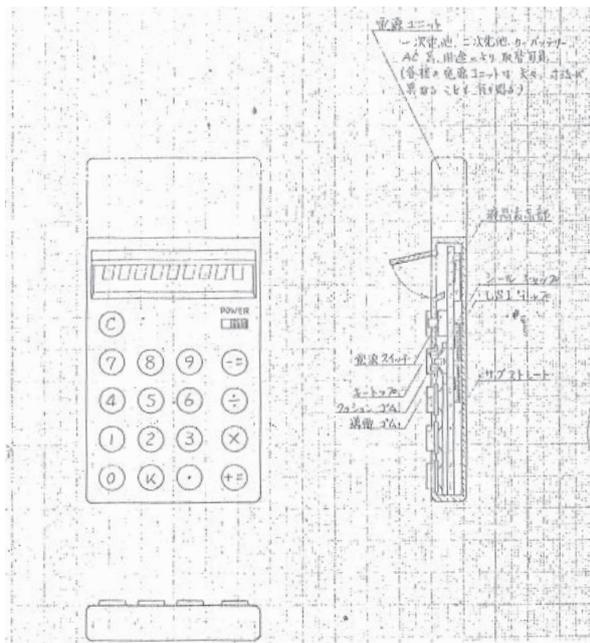


図 2.34 “液晶ディスプレイとC-MOS LSI” 電卓概念図<sup>61)</sup>

S-734 計画の立案検討がされた 1972 年初頭の、電卓に関する新規技術の導入状況についてみると、電卓そのものと、採用された表示素子 (図 2.35) に著しい変遷がある。当時は 7 月の市場投入を目指して LED を採用した EL-801 の開発が進行していた。この EL-801 には東芝が開発した C-MOS LSI が演算素子として採用されていた。この LSI は、元々シャープで設計した電卓ロジックに基づいて、従来の p-MOS LSI と同じ面積で C-MOS 化を可能とした新規回路を東芝が開発し、それを C-MOS LSI としたものであった。

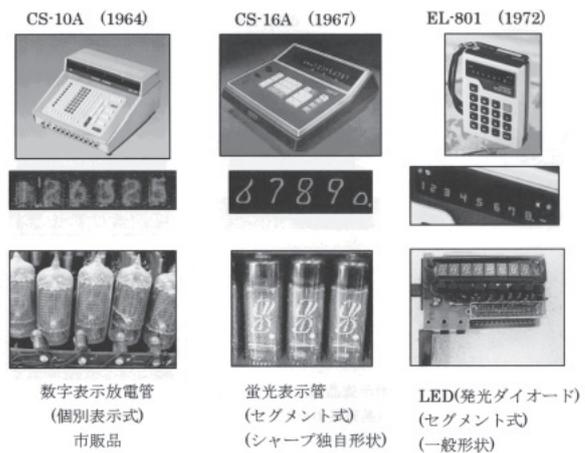


図 2.35 電卓の変遷と採用された表示素子<sup>62)</sup>

前世代の p-MOS LSI を用いた QT-8D に比較して、消費電力 1/8 という大幅な低消費電力化を実現しようとしていた。

この東芝で開発された新規回路は clocked CMOS (C<sup>2</sup>MOS) と呼ばれ、米国では主として軍事用途に使われ始めていた C-MOS が、電卓と言う大規模な民生用途にも使えることを実証した<sup>63)</sup>。また、演算素子からの信号を受けて LED を駆動する回路は MSI であったが、これはシャープで独自に開発した C-MOS プロセスにより生産された。シャープの最初の CMOS 製品であった。この独自 C-MOS プロセスは、ロックウェルから技術導入した p-MOS LSI 技術を元に、若手技術者達が電子技術総合研究所で研修し、海外文献をグループで読み込みながら大いなる情熱を以て開発したものである。

しかしながら、消費電力の観点からは、電卓用各種

表 2.6 電卓用各種表示素子<sup>64)</sup>

和田富夫：「電卓用液晶表示素子の設計とその製作に関する研究」東北大学工学部 (1979)

表示素子 項目	放電表示管	蛍光表示管	発光ダイオード	液晶表示素子	
				動的散乱型	ツイステッド・ネマティック電界効果型
表示形態	発光型	発光型	発光型	受光型	受光型
駆動電圧	170~200V	15~50V	2~5V	10~15V	2~6V
消費電力	30~100 $\frac{mW}{\text{文字}}$	10~50 $\frac{mW}{\text{文字}}$	10~50 $\frac{mW}{\text{文字}}$	40~100 $\frac{\mu W}{\text{文字}}$	0.5~2.0 $\frac{\mu W}{\text{文字}}$
応答時間	~ 20 $\mu\text{sec}$	~ 10 $\mu\text{sec}$	~ 10 nsec	100~200 msec	100~200 msec
動作温度範囲	-10~70°C	-20~70°C	-30~80°C	-10~60°C	-10~70°C

表示素子（表 2.6）から分かるように、LED は従来の蛍光表示管と比較しても同等であり、未だ低消費電力化を達成したとはいえる状況ではなかった。LED に比較して液晶の消費電力は 1/100 から 1/1000 である。LED を液晶に替えて且つ C-MOS LSI と組み合わせれば劇的な低消費電力の電卓を生み出すことになると見込まれた。実際に、C-MOS ロジック LSI + LED の EL-801 の消費電力が 0.5W であったのに対して、表示素子として液晶を採用した EL-805 では 0.03W と更に約 1/20 の低消費電力化が実現された。

8 桁電卓ポケットサイズ計算機 EL-805 をターゲット商品として、プロジェクトで取り組んだアッセンブリー業務内容の転換、すなわち電卓部品の内製化に付随して生じる課題は次の通りだった。

- ①液晶材料を外部から購入し、液晶ディスプレイを内製化する。
- ②液晶ディスプレイの片ガラスを電卓配線基盤として活用し、厚膜で配線する。実装部材は全てガラス基板上に搭載する。
- ③電卓演算用 LSI は C-MOS とする。ロジック設計は自社で行い、社外で C-MOS 化した上で LSI チップを購入し、社内実装する。
- ④電卓演算用 LSI 出力を液晶駆動用信号に変換する、液晶ドライバー用 MSI は C-MOS で作ることにし、社設計・生産は社内で行う。
- ⑤単 3 電池 5 本で 1000 時間動作を目指す。

プロジェクトの発足により、研究所側からプロジェクトに参画した S-734 液晶天理チームは、液晶の開発から量産までを 1 年で完了させることになった。8 桁電卓用 DSM 液晶ディスプレイの試作品（図 2.36）を使用し、試作・評価を推進した。

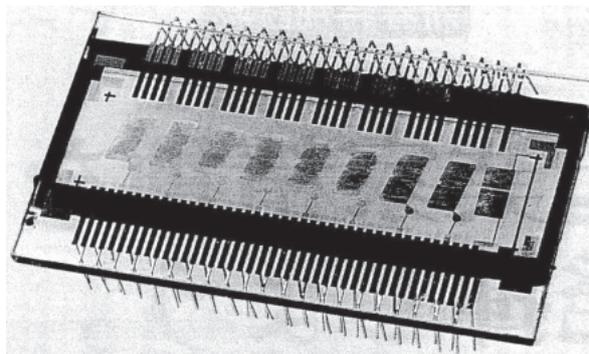


図 2.36 電卓用 DSM 液晶ディスプレイ試作品 (1972 年)

S-734 液晶天理チームの体制と業務分担を図 2.37 に示す。入社 1 年未満が 3 人、入社 2 年未満が 2 人、入社 3 年未満が 1 人、と入社 3 年未満の人員が半数を占める若いチームであった。チームリーダーは、無機 EL 研究経験のある課長（専攻は化学）、副リーダーは平面 CRT 研究経験のある係長（専攻は電子）であった。

デバイスプロセスグループリーダーは主任（専攻は化学）で、自らも担当業務を持ち、ガラス貼り合わせ、液晶注入、液晶配向を行った。これを部下の中の電子専攻の新入社員が補佐して推進力を強化し、生産装置の仕様作成も担当した。他のデバイスプロセスメンバーは、エッチング担当（専攻は物理）、薄膜蒸着担当（専攻は電子）、ガラス・液晶ディスプレイパタン設計（専攻は化学）となっており、エッチング担当には化学専攻の新入社員、薄膜蒸着担当には電子専攻の新入社員が割り当てられた。これらそれぞれの担当は、研究のみでなく生産技術開発や装置の設計も手掛けた。

デバイス設計・評価グループリーダーはチーム副リーダーが兼任し、その指導の下、回路・検査回路担当（専攻は電子）、液晶材料・表示モード担当（専攻は物理）、デバイス評価担当（専攻は電子）、のように

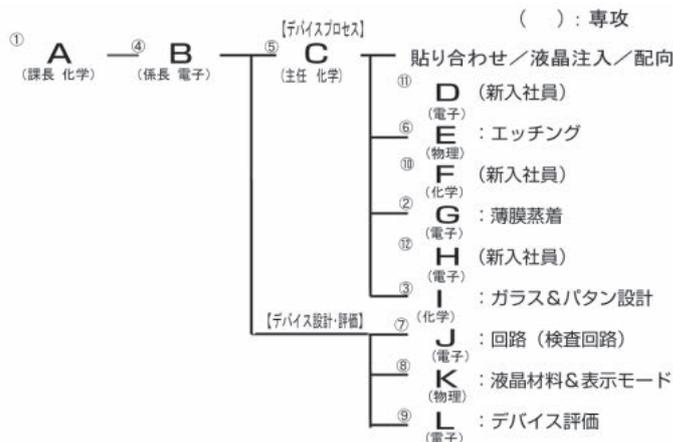


図 2.37 S-734 液晶天理 12 人衆 体制と担当業務 (1972 年 8 月)

業務が分担されていた。一番長く液晶研究に携わっていたチームリーダーでも2年の経験であり、文字通り、液晶に関しては素人集団であった。

さて、液晶表示を行う場合、2枚の平行電極間に液晶を挟んで電圧を印加する。数字の表示をする場合は0-9までのそれぞれの数字に応じて表示電極片(ディスプレイセグメント)を組み合わせて選択し電圧を印加する。表示電極片としては一般に7セグメント(図2.38)が使用され、小数点表示が必要な場合には小数点セグメントを加え、8セグメントとなる。また、1桁の数字表示7セグメント電極に対し、共通に使用される一つの反射電極が液晶を挟んでセグメント電極に対向した位置に設けられる。この共通の電極は反射率の良いアルミニウム(AI)薄膜から形成され、対向電極と呼ばれる。対抗電極が設けられるガラス基板はコモン電極基板、または対向電極基板と呼ばれる。一方、表示セグメント電極が設けられるガラスは表示電極基板、またはセグメント電極基板と呼ばれる。

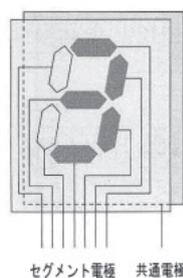


図 2.38 7セグメント数字表示電極<sup>65)</sup>

上述したようにセグメント電極、共通電極共に薄膜から形成されるが、薄膜(500Å - 1000Å)を当初から所望の形状にガラス表面に形成する方法が無いので、まず、ガラス表面全体に各々の薄膜を生成し、その後不必要な部分を取り除くことによって、所望の形状の電極を得る、というフォトエッチングを行う。

フォトエッチング工程(図2.39)では、まずガラス基板を洗浄した後、所望の薄膜を基板前面に生成する。次に、生成した薄膜全面にフォトレジストを均一に塗布する。更に、フォトマスクを通して適切な波長の光を選択的にフォトレジストに露光し、光を照射された部分のフォトレジストに光化学反応を起こさせる。次に、現像処理にて光化学反応を起こした部分と起こさなかった部分との反応差を利用し、不要なフォトレジスト部分を取り除き、所望の形にフォトレジストを残す。次のエッチング処理工程では、フォトレジストが除去された部分の薄膜はエッチング除去され、フォトレジストが残された部分の薄膜はエッチングか

ら保護され除去されることはない。最後にレジストを剥離すると、残されたレジストの下で保護されていた薄膜が所望の形となってパターン形成が完成する。

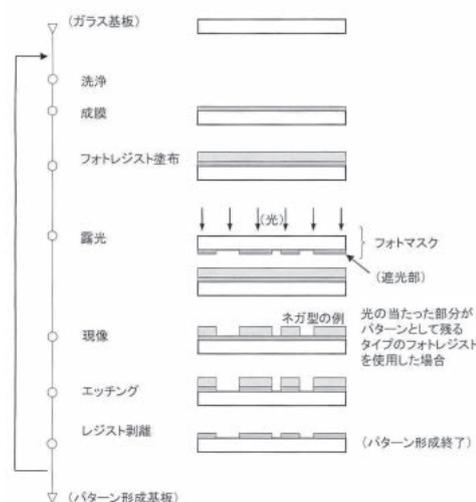


図 2.39 フォトエッチング工程<sup>66)</sup>

DSM 液晶表示素子の構造(図2.40)について説明する。

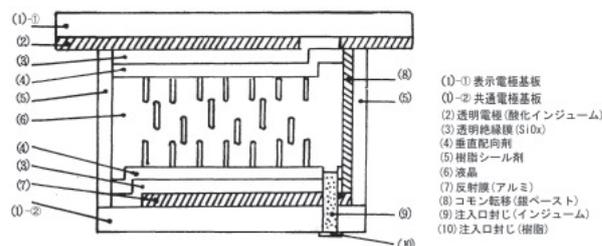


図 2.40 DSM 液晶表示素子の構造<sup>67)</sup>

セグメント電極基板(1)-①、共通電極基板(1)-②の内側にはフォトエッチングされた透明導電膜(2)、反射電極(7)が設けられる。透明電極材料としては酸化錫(SnO<sub>2</sub>)と酸化インジウム(In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)とが選択肢として候補に挙げられたが、前者は薄膜生成時に大量の塩素ガスが発生すること、後者の方が所望の電極の形への量産性が良いことから後者を採用した。また、反射電極としては反射率が高く量産性の良いアルミニウムを採用した。

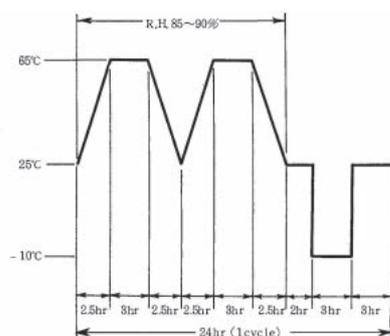
各々の電極の上に透明絶縁薄膜(SiO<sub>x</sub>)(3)を生成するが、これは以下のような役割を果たす。すなわち、ガラス基板からの汚染物質の溶出による液晶材料の液晶温度範囲の劣化の防止、反応性の高いアルミ表面の保護、駆動回路に含まれる可能性のあるDC成分の除去、電極表面状態の差やバラツキにより引き起こされる液晶分子配向乱れに起因する白濁ムラの防止な

どである。このために10数種類の、誘電率の大きい透明絶縁膜を検討し、SiO<sub>x</sub>を採用した。

更に透明絶縁膜の表面には垂直配向剤(4)塗布処理を行なう。これには、微妙な電極表面状態の差やバラツキにより引き起こされる液晶分子配向乱れに起因する白濁ムラを防止すると共に、ダイナミックスキヤタリングを起こさせるためのイオン発生用に添加されたドーパントが液晶注入口近くに偏吸着されるのを防止する効果もある。

2枚のガラス基板は樹脂シール剤(5)により接着される。当時、ガラスの貼り合わせとしてはガラスフリット法があったが、ガラス成分を融着させるために400℃程度の処理温度が必要となり、防湿を含む接着信頼性は良好なもの、量産性に劣るとして採用しなかった。代替法の開発は困難を極めたものの、樹脂シール法を得ることに成功した。

電卓に採用される部品としては、高温・低温の動作試験、高湿・温度サイクル・熱ショック等の保存試験等、各種試験に合格する必要がある。中でも高湿・熱サイクル保存試験(図2.41)は過酷であった。相対湿度85%~90%の高湿条件下で、16時間掛けて温度を25℃から65℃まで2サイクル変化させ、次に25℃で2時間保存、急激に-10℃まで冷却し3時間保存、最後に25℃まで急激に温度を上げ3時間放置と、この24時間周期を10回繰り返す試験である。当初は1回のサイクル後の確認で、ガラスの接着が外れ、液晶が漏れ出し、表示領域には気泡が発生していた。また、外観上接着は保たれていても液晶の温度範囲が狭くなっていたこともあった。しかしながら、最終的には、プリント基板の表面保護に使用していた熱硬化型エポキシ樹脂材料を出発点とし、まず着色顔料を抜き、これに変性を加え、得られた材料と組み合わせた前処理剤に辿り着き試験を通過した。また、製品保証項目ではないが、結露通電対策として貼り合わせ部分に防湿剤やシリコン樹脂を塗布した。



試験は240hr(24×10)行う。  
試験は、JIS C 5024-1967に準じる。

図2.41 高湿・熱サイクル保存試験

図2.40で、コモン転移(8)は、表示電極基板から共通電極基板への電圧印加を可能とし、電卓生産の自動化を容易にするための方策であり、エポキシ系の銀ペーストを使用した。注入口封じ(9)は、当初樹脂封じを採用していたが、未硬化樹脂が直接液晶に触れて液晶が劣化するのを避けるために、注入口外側に金クロムを蒸着し、半田付け封止を行う方法で量産をスタートさせた。その後展性の大きなインジウムでまず注入口の封止を行い、更にその上から樹脂封じを行った。

S-734液晶天理チームはDSM液晶生産フローチャート(図2.42)を作成した。左側がセグメント電極基板、右側が共通電極基板であり、双方とも1.7mm厚の窓ガラス用ソーダガラスである。共通電極基板には0.8mmφの液晶注入口加工が施されている。

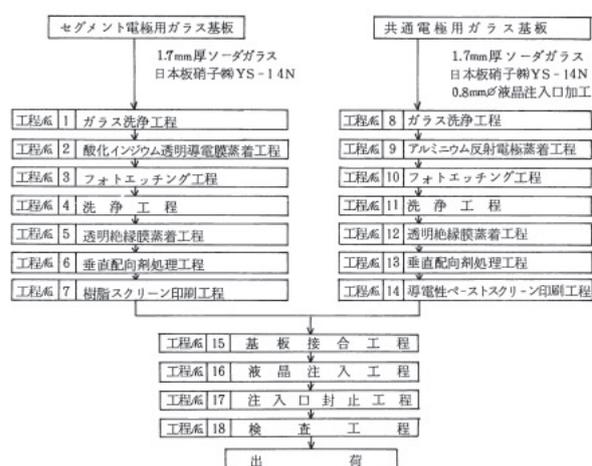


図2.42 DSM液晶表示素子生産フローチャート<sup>68)</sup>

セグメント電極基板への酸化インジウム透明電極蒸着には電子ビーム蒸着が、共通電極基板へのアルミ反射電極蒸着には熱蒸着装置が使用された。その際、セグメント、共通の両電極間で短絡を起こさないよう、双方ともについて均一な突起異物の少ない成膜を果たさなければならない。ただし、生産性を上げるために最短の時間で行うことが要点である。

セグメント電極基板工程No.7に於いて、2枚の基板を接着する樹脂がスクリーン印刷で塗られ、共通電極基板工程No.14に於いてコモン転移を行うために導電性銀ペーストがやはりスクリーン印刷で塗られる。工程No.15に於いてこれら2枚の基板が張り合わされる。液晶注入工程No.16では、真空注入法にて液晶が注入される。

このような構造、生産工程を持つDSM液晶ディスプレイについて、研究開発から液晶工場立ち上げ、生

産技術部門への移管までを達成した。

一方、電卓事業部で行われた DSM 液晶駆動回路については以下のとおりである。一般に液晶駆動回路には、表示セグメント数が少ない場合に使用されるスタティック駆動 (Static Drive) と、多い場合に使用されるダイナミック駆動 (Dynamic Drive) とがある。一般的には、表示桁数が少ない場合には液晶駆動回路原理図 (図 2.43) の、(1) 1 桁スタティック駆動回路に示されているように、表示セグメント a-g には各々に接続された駆動回路から印加される電圧と、共通電極駆動回路から加えられる電圧との差の電圧が、各々に加えられる。(1) 1 桁スタティック駆動回路に於いては、セグメント駆動回路としてエクスクルーシブオア (Exclusive OR) 回路が使用されている。Exclusive OR では、二つの入力が高レベルであれば低 (L) 出力、異なる入力であれば高 (H) 出力となる。(2) 各部の波形とセグメント a 印加電圧 a-Com に示されるように、Com には一定周期 (1/f) の信号を加えておき、a' には、セグメント a を点灯させたいタイミングでは H 信号、消灯させたいタイミングでは L 信号を加える。H-L を電圧 +V、L-H を電圧 -V、同レベルの場合は電圧 0 (ゼロ) に相当させると、セグメント a には、信号 a' が H の時には振幅 V の交流電圧が印加されて点灯し、L の時には印加される電圧は 0 (ゼロ) となり非点灯となる。

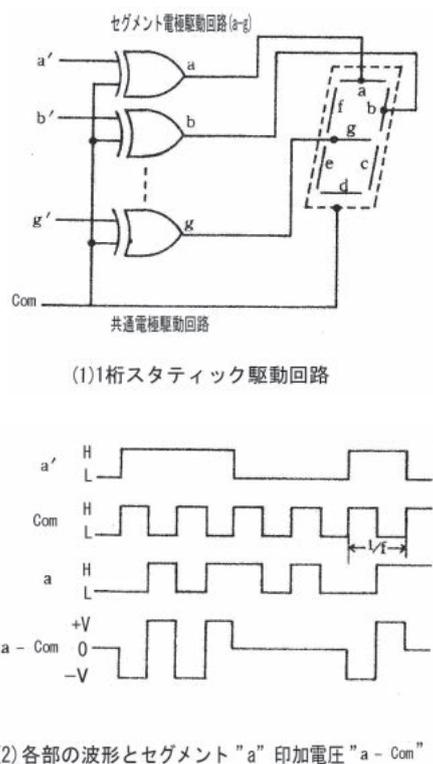


図 2.43 液晶駆動回路原理図

このように、各々の表示セグメントに独立なセグメント電極駆動回路を接続し、連続的に点灯電圧と消灯電圧を印加する駆動方法がスタティック駆動 (Static Drive) と呼ばれる。点灯電圧と消灯電圧とを他のセグメントの状態に影響されることなく印加できることから、液晶の表示性能を最大限活用できる反面、各セグメントに個々のセグメント駆動回路が必要となるため、駆動回路コストが大きくなったり、配線数がセグメント数だけ必要となるため小型化が困難になったりする。例えば、小数点を持った 8 桁の電卓をスタティック駆動で行うと、各桁の表示セグメント数は 8 となり、共通電極には最低 1 本が必要となるため、合計 65 本の駆動回路出力が必要となる (図 2.44)。

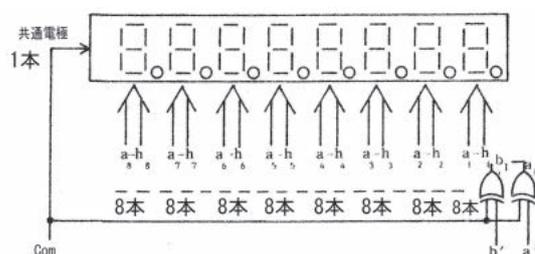


図 2.44 多桁スタティック駆動 (出力端子数が多い: 65 本)

小型化とコストダウンをキーワードに電卓戦争を戦ってきた電卓事業部では、その方向性に反するスタティック駆動の採用はあり得なかった。実際、蛍光表示管など液晶以前の表示素子では、表示桁を時分割駆動するダイナミック駆動法を開発することにより、小型化とコストダウンを図って来ていたため、DSM 液晶の採用に際してもダイナミック駆動が大前提であった。しかしながら、従来の表示素子とは動作原理が全く異なるため、液晶のダイナミックな動作特性の把握から始めなければならなかった。従来の表示素子が DC 駆動となっていたため、当初は DC 駆動液晶の開発を目指したものの、液晶自体について言えば、電気化学的劣化を避け動作寿命を長くするため、原理的に AC 駆動が必須であることが判明した。全く経験のない AC 駆動回路を開発する必要があったことに加え、ダイナミック駆動時に原理的に生じるクロストークを低減するための印加電圧に対する急峻な閾値特性がない、ことがダイナミック駆動の実現を困難にしていた。

ここで、ダイナミック駆動について略述する。例えば 8 桁表示の場合、セグメント電極と共通電極の双方を、同一セグメント同志を接続してグループ分けし、また、対応するセグメント電極と共通電極とが同一グループに属さないように、共通電極も相互に接続してグループ

分けすることにより、駆動回路に接続する線数を削減する。このように駆動回路数と配線面積を削減することにより、コスト削減と製品の小型化を図るものである。

具体的例として、4桁の同等セグメントを接続する4桁（1/4 デューティ）ダイナミック駆動結線:20本（図2.45）の8桁液晶表示について示す。

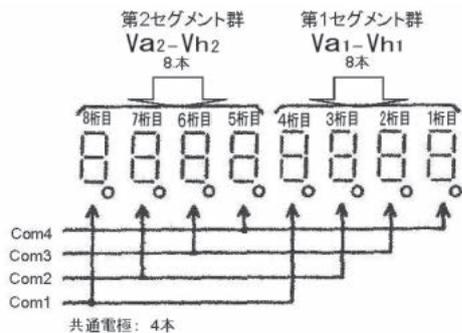


図 2.45 4桁(1/4デューティ)ダイナミック駆動結線: 20本

共通電極を、1桁目と5桁目、2桁目と6桁目、と言うように、4個飛ばしに2桁同志を接続し、Com1-Com4の4つのグループに分け、共通電極配線数を8本から4本に削減する。また、セグメント電極も、対応するセグメント a-h 同志を1桁目から4桁目、5桁目から8桁目というように、表示桁を構成するセグメント電極と共通電極とが同一グループに属さないようにする。隣同志の同等セグメントを相互接続し2つのグループに分け、セグメント電極配線を64本から16本に削減、合計配線数は、スタティック駆動の65本から16本に削減される。

このように構成された電極に対し印加する駆動電圧は、4桁の同一セグメント電極を接続する4桁（1/4 デューティ）ダイナミック駆動タイミング（図2.46-a）の様に、共通電極 Com1-Com4 には、まず、1つの周

期を成すタイミング t1-t4 に各表示桁に対応する選択電圧 +Vs を次々に印加し、他のタイミングでは0（ゼロ）電圧を印加する。この時、互いに接続された2桁の共通電極には同一電圧が印加される。一方、セグメント電極には、選択された桁の表示数字に対応するセグメント電圧を8本のセグメント電極に供給する。

より具体的には、4桁目と8桁目とが選択されているタイミング t1 で Com1 に選択電圧 +Vs が供給されたタイミングに合わせ、4桁目と8桁目とのセグメント電極が各々接続されている第1セグメント群端子 Va1-Vh1 と第2セグメント群端子 Va2 - Vh2 とに、4桁目と8桁目で点灯すべきセグメントに対応する端子にセグメントの点灯電圧 -Vd（極性が負であることに注意。）を供給し、消灯すべきセグメントに対応する端子には極性が反対の同一電圧である消灯電圧 +Vd を供給する。この時、4桁目と8桁目の点灯セグメントには点灯電圧 Vs+Vd、消灯セグメントに Vs-Vd が印加される。

4桁目と8桁目とが選択されているタイミング t1 では、他の非選択桁の共通電極への印加電圧は全て0（ゼロ）であり、また、選択桁のセグメントと互いに接続されている非選択桁の6桁のセグメント電極には、非選択タイミングにも拘わらず、選択桁の表示数字に対応して点灯電圧 -Vd、または、消灯電圧 +Vd が印加されるが、液晶が印加電圧の実効値に反応することから、極性が異なっても駆動電圧としての効果的には同一電圧が印加されている事となる。

タイミング t1-t4 で1周期が終わるが、次の周期が始まるタイミング t5 では全ての電圧極性を反転し、交流電圧を印加する。

以上の駆動方式で各セグメントに印加できる点灯電圧  $V_{on}$  と非点灯電圧  $V_{off}$  との電圧の差により動作点が異なり（図2.46-b）、セグメントの ON 状態・OFF

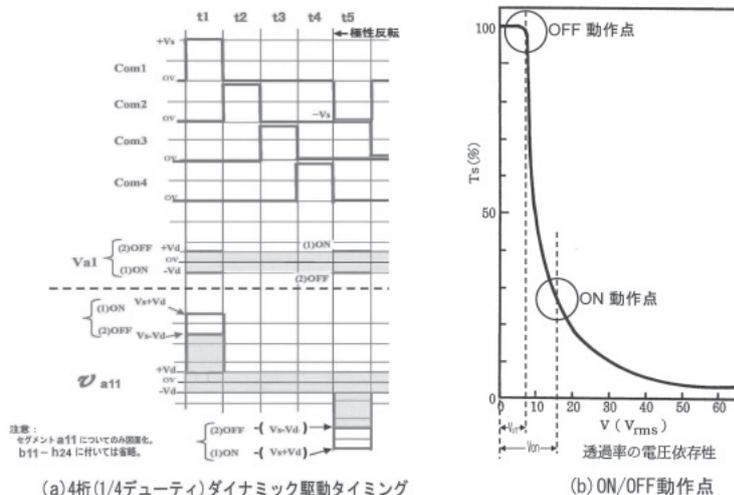


図 2.46 4桁（1/4 デューティ）ダイナミック駆動タイミングと ON/OFF 動作点

状態が制御される。実効値電圧に対して応答する液晶のダイナミック駆動では、ON電圧とOFF電圧との比を最大とする条件が定式化され（Alto-Pleshko technique）ており、

$$(V_{on}/V_{off})_{Max} = (1+2/(N-1)^{1/2})^{1/2}$$

$$V_s/V_d = (N)^{1/2} \quad N = \text{ダイナミック桁数}$$

となる。ダイナミック駆動の桁数を上げていくと、点灯電圧  $V_{on}$  と非点灯電圧  $V_{off}$  との電圧の差が小さくなるので、コントラスト比が小さくなり、また、応答時間が大きくなり、表示品位が低下する事になる。表示品位の低下を招く事なくダイナミック桁数を大きくするには、印加電圧-透過率曲線の立ち上がりスロープを急峻にする必要がある。

S734に於いては、応答時間が大きくなる低温試験、高温試験、特性バラツキ把握等、種々検討した結果、安全策として  $N=2$  の2桁ダイナミック駆動で量産スタートをし、生産液晶特性が安定し、また、小型化・コストダウンを推進するために、後の機種に  $N=4$  の4桁ダイナミック駆動を導入した。

因みに、 $(V_{on}/V_{off})_{Max}$  値は、 $N=2$  の場合1.73、 $N=4$  の場合1.47となり、ダイナミック桁数を2桁から4桁に上げるためには約2割 ( $1.17=1.73/1.47$ )、より急峻な閾値特性がもつ液晶が必要になることになる。

4桁ダイナミック駆動液晶電卓実用化回路ブロック図（図2.47）に記してある、出力端子数16本のセグメント駆動回路についてはC-MOS MSIを、出力端子数4本の共通電極駆動回路についてはバイポーラーICをそれぞれ新規開発した。この開発の中で、低消費電力

化とDSM液晶ダイナミック駆動に必要な十分な駆動電圧の確保とをバランス良く実現することに注力した。

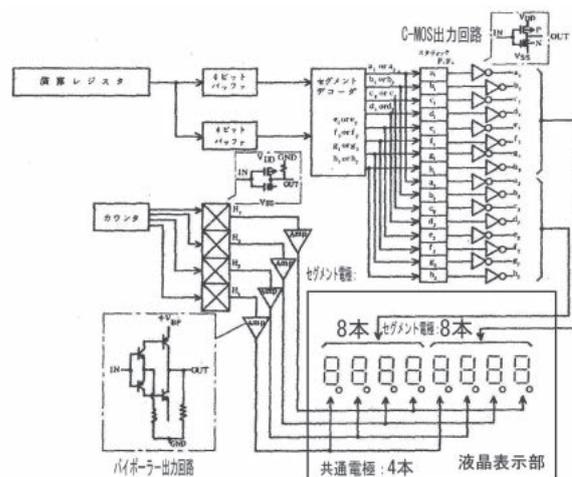


図 2.47 4桁ダイナミック駆動液晶電卓実用化回路ブロック図<sup>69)</sup>

このように、液晶特性の改良と駆動回路システムとの擦り合わせ開発の目処を立てたのは1972年8月初めであった。試作した約30台の液晶電卓プロトタイプについて、1000時間の室温動作テストを行い、基本的問題がないことを確認した。しかる後主要生産フローを確定し、液晶の研究から量産に向けての、生産設備を含む開発に軸足を移した。

DSM液晶工場立ち上げスケジュール（図2.48）に示しているように、量産装置の設計、工場建設等、量産工場対応は10月から本格化し、12月から1月に掛

1972年	特定工場設置（変更）許可申請書、特定施設の構造等変更届出書提出	
10月	エッチングコンベア、蒸着機設計	
11月	超音波洗浄装置、現象装置、露光計、ガラス接合治具設計 各種バスケット、台車、液晶注入装置、透明電極、最終検査装置設計	S-784工場 レイアウト決定
12月	オープン設計、その他各種設備の設計、選択 電子ビーム、抵抗加熱蒸着機露光計、超音波装置、ロールコーター エッチングコンベア、注入装置、クリーンベンチ、マイクロドライヤー ドラフトチャンバー、現象装置、各種バスケット、治具、他	旧第8工場設備 撤去 第8工場間仕切 工事開始 発注 空調工事開始
1973年		
1月	工場建設工事打合せ	電気工事開始 プロセス配管工事開始
2月	発注設備搬入	
3月		S-784工場完成
4月	量産装置条件出し、液晶生産トレーニング 電卓生産開始 (技術部)にて製造	
5月	上下電極間のショート多発、歩留低下	
6月	上下電極間のショートの原因究明とその対策、解決 作業手順書の作成完了、製造部へ移管	
7月	液晶封止、配向の問題点の検討	
8月	技術部へ移管	

図 2.48 DSM液晶工場立ち上げスケジュール<sup>70)</sup>

けては生産装置の設計と工場レイアウトとが重なり、ハードスケジュールの連続となった。3月には液晶工場が完成した。生産設備の搬入が開始された3月初めには、次期テーマのTN液晶開発担当者のみを研究所に残し、全員工場へ移動して装置の条件出し、生産トレーニングを行いながらの試作生産、と工場立ち上げを推進した。

工場から出て来た試作品も信頼性試験に掛けられた。高湿・熱サイクル保存試験もクリアした。

6月15日発売、としてEL805の記者発表が5月15日に行われ、要点として以下の諸事項が挙げられた。

- ①計算機のシステム全体を一つの機材で形成、世界で初めてCOS (Calculator On Substrate) 化に成功
- ②単3乾電池 (マンガン長寿命 35円) 1本で100時間、消費電力が187分の1に
- ③超薄型 (20mm)、超軽量 (195g) のポケットサイズ
- ④従来に比べ2.5~31倍明るい新開発のハイコントラスト液晶表示 (日本初の本格実用化)
- ⑤労働集約的アセンブリから装置産業化へ

しかしながら、生産量を上げようとしていた中で、生産歩留まりが急激に落ちた。原因は共通電極とセグメント電極間の短絡である。光学顕微鏡と電子顕微鏡を駆使し、リーク箇所の特定制とリーク原因物質の分析、薄膜成膜工程を含む生産工程の粘り強い総点検を行った。その結果、生産量を増強する過程で、共通電極用アルミ薄膜と表示電極用酸化インジウム薄膜の生成時に突起異物が生じていたことが分かった。さらに主原因はガラス基板上の厚膜配線に使用していた厚膜材料中の金粉であることが判明した。その後は薄膜生成条件管理、受け入れ検査、基板洗浄管理の徹底を図り、量産立ち上げ時の危機を切り抜けた。

EL-805の分解写真を図2.49に示す。液晶ディスプレイで使用する2枚のガラスの内の1枚を延長し、そこに使用部品を集中搭載 (マイクロアセンブリー) するようにしている。ここに部品を次々と積み重ねることにより電卓が組み上がり、生産の自動化が容易になっている。液晶基板右下のC-MOSLSIは、オリジナル設計した電卓ロジックを用いて外部でC-MOS化したチップを購入したものであり、フリックチップパッケージ化してガラス基板上に搭載した。ガラス基板上部の左右に搭載されているのは液晶駆動用MSIで、自社で初めて設計生産したC-MOSであり、次世代電卓であるポケットブル電卓、カード電卓への道を切り開く要素技術を獲得することになった。



図 2.49 EL-805 の分解写真<sup>71)</sup>

以上のように、シャープに於ける液晶の研究、開発、事業化は、自社の主要事業であった電卓事業の危機対応としての改革プロジェクトに参画する機会を利用して推進された。また、その時搭載されたDSM液晶は、その後約3年間にわたって合計8機種の電卓に採用された (図2.50)。しかし、鏡面反射電極の採用は、良好な視角を確保するためのフードを必須とし、そのフードが電卓の薄型化の障害となったことから、DSM液晶の電卓への採用は1976年に中止された。



EL-8009  
(発売: 1975年4月)



EL-8110  
(発売: 1976年2月)

図 2.50 DSM液晶電卓  
(提供: シャープ株式会社)

一方、RCA社は既述のように、最重要テーマとしてTV用に液晶の極秘開発を進めたものの、TV用への開発見通しがつけれないと見極めると、TV以外の用途への可能性を1年間探った後、液晶研究への経営資源の投入を削減した。また、液晶の事業化を受け取った電子部品事業部（後の、半導体事業部）が腕時計を事業化テーマから除外したとき、液晶はもはや液晶を電子ディスプレイに利用することを世界で初めて提案したRCA内に於いて主要な事業領域に利用される可能性はなくなったとして、DSRCの主要研究者は腕時計開発事業化会社の設立に参画するため、次々とDSRCを去って行った。シャープの液晶への取り組みと好対照をなしている。

### 2.3.2 ウォッチ用液晶

1970年4月、ハミルトン（Hamilton Watch Company 米国）が世界初のデジタル腕時計の開発発表を行った。<sup>72)</sup> 低消費電力のC-MOSで回路を開発し、4桁の赤色LEDを表示素子に採用した。電池寿命を長引かせるために、普段は時計表示を消灯しておき、時計表示を見たいときには押しボタンを押してLEDを点灯させる、という方式を取り入れた。LEDを常時点灯すれば電池寿命は4時間であるが、このような方式を採用することにより、通常使用で1年間の電池寿命が想定できた。1972年に2,100\$で宝石店で販売を開始した。

一方、RCAからのスピノフとして設立されたオプテルは、1970年にDSM液晶を表示素子とした腕時計を開

発し、1972年末からLCD腕時計モジュールのOEM供給を開始した。市場に出たのはLED腕時計よりも数ヶ月後だった。

そして液晶腕時計の市場が立ち上がり始めた矢先の1973年に、米国でスパイ映画シリーズの主人公が映画の始まりでLED腕時計をチェックするシーンが上映された。これを切っ掛けに、翌年にはLED腕時計のブームが起これ一時液晶は隅に押しやられた。しかしながら、宝石のような表示、と言われたLEDのブームも過ぎるときが来た。時計表示をさせるための押しボタンを押す頻度が想定よりも頻繁で、2-3週間毎に電池交換をすることが必要なことが大きな問題となった。液晶腕時計メーカーは海外生産により、LED腕時計から液晶腕時計に市場を転換させようとしたが、LED腕時計の在庫処理の価格低下の影響を受け、液晶腕時計メーカーも軒並み赤字となり、海外にあった工場を香港資本に売却し、腕時計市場から撤退した。これにより、米国から腕時計の生産がなくなった（図2.51）。

一方、日本の時計業界の動きはどうであったであろうか。ここで日本の時計技術開発について、時代を遡ってみてみる<sup>73)</sup>。1960年、東京オリンピックの開催が決定されると、セイコーグループでは、今までスイスに独占されていたオリンピック公式時計に、自社の時計を選定させるということを目標に掲げてプロジェクトを立ち上げた。そのプロジェクトに於いて諏訪精工舎は、音叉式時計に対向して検討を進めていた水晶振動子（Quartz: クォーツ）を用いたクォーツ時

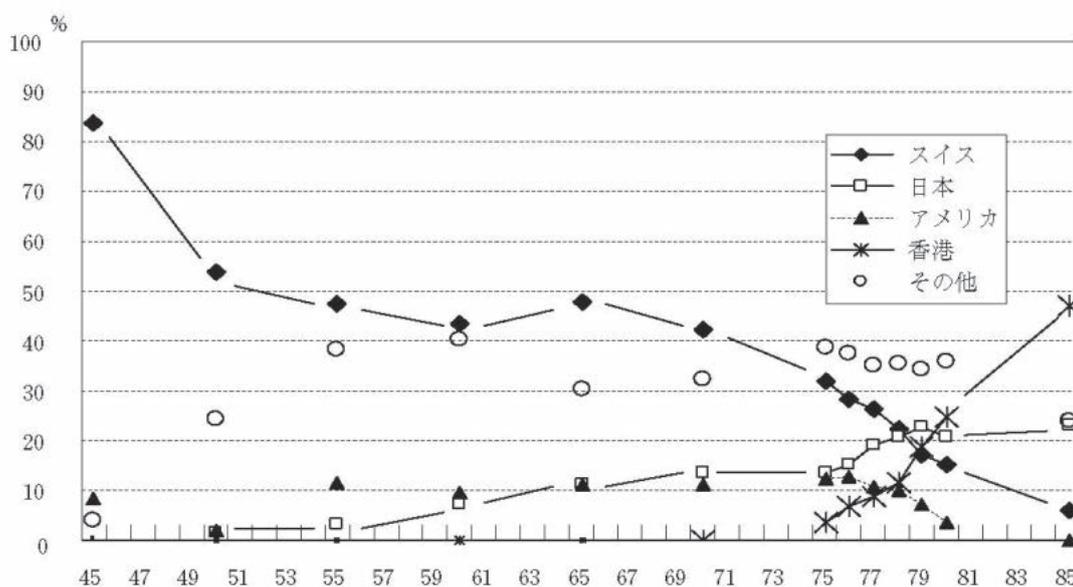


図 2.51 ウォッチ（ムーブメント含む）生産各国シェアの推移<sup>74)</sup>

計の開発を手掛け、クリスタル・クロノメーター951を完成させて1964年の東京オリンピックの公式時計に採用された。

この採用により世界のトップメーカーの1つに位置づけられたセイコーでは、今度は腕時計をターゲットとしてクォーツ時計技術開発を開始した。一般の生活者が日常的に使う腕時計では、クロノメーターと異なり、軽いことを第一に、環境変化や衝撃に対しても安定で、修理もしやすいことが不可欠であった。さらに小さな水晶振動子、小さな電子回路、針を動かすための小さなモーター、小型電池、など、多くの技術課題があった。中でもクォーツ腕時計開発の最大の課題は小さな電子回路の実現であった。そのため、腕時計用のC-MOS ICの開発依頼に、国内の総合電機メーカーをくまなく回ったものの、当時のICの主流はnチャンネルのトランジスタが主役で、腕時計用にC-MOS ICを開発するところではなかったのが実態であった。このため、当初はセラミック基板を使用したハイブリッドICを開発することにした。機械式腕時計を生産しているときは、当然のこととして主要な部品全てを内製していた会社としては、C-MOS ICの外部購入の可能性が閉ざされた今、腕時計の主要部品は全て内製化する、との従来方針に戻るのに時間は掛からず、C-MOS ICを内製化するとの方針を決定した。

しかしながら、C-MOS ICを内製化するための具体的知識も実験装置もない白紙状態からのスタートであった。このため、知識を得るために外部講師を招聘して講義を受け、また、若手技術者を電子技術総合研究所へ研修に派遣するなどして、内作化に向けた研究開発を開始した。

1967年末、開発委託商談が取れず資金繰りに困ったインターシルのヘーニが、人を介して時計用C-MOS ICの開発の売り込みに訪れた<sup>75)</sup>。C-MOS ICの独自開発を進めてはいたものの、インターシルの説明を聞き、十分な技術打ち合せを行った結果、1969年1月、諏訪精工舎と第二精工舎との2社で腕時計用C-MOS IC分周回路の開発委託を行った。発信周波数は16.384KHz、動作電圧は1.3V、消費電力は7.5mW以下、開発期間は15ヶ月であった。

その一方で、10年に及ぶ研究開発の結果、水晶振動子、ハイブリッドIC、小型モーター等の重要部品を完成し、1969年12月25日、諏訪精工舎は世界初のクォーツ式腕時計セイコークォーツ・アストロン35SQの発売を発表し、同時に販売した。その誤差は1ヶ月5秒以内だった。

35SQは発売開始までに50台生産され45万円で

販売されたがすぐ完売した。セイコークォーツ・アストロン35SQの開発は2004年10月25日、25年以上を振り返り、歴史的に意義があったものとして、IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 米国) のマイルストーンの認定を受けた。

1970年5月、予定通りインターシルからC-MOS ICが納入された。入荷したC-MOS ICは非常に静電気に弱かったものの、何とか対策を施し、調整返品された35SQのハイブリッドICの交換に使用された。次には、1971年1月に発売したカレンダー付きの35SQCに使用され、スイスに先駆けて大量にクォーツ式腕時計を市場に出した。そして1971年4月、待望の内作C-MOS ICが完成した。インターシルのICと同様に静電気に弱いものの、その消費電力は2mWとハイブリッドICに比較して1/3 - 1/4となった。

このようにして、トランジスタさえ生産したことのないメーカーが、いきなり最先端技術のC-MOS ICの内製力を付け始めるのと同じ時期の1971年2月、TN液晶の論文が発表された。諏訪精工舎は1968年のRCAの記者発表が切っ掛けとなって、腕時計用にDSM液晶を適用するための開発検討を行って来ていた。折しもDSM液晶の消費電力が大きいということと、鏡面反射電極を使うことから見る角度によって見えにくくなるという大きな問題に直面していた。このような状況だったので、速報論文としてTN液晶が発表されると、DSM液晶を用いた腕時計のプロトタイプを完成させた後(図2.52)、DSM液晶の腕時計用の表示素子としての見極めを行い、急遽開発をTN液晶に切り替えた。



図 2.52 DSM液晶表示式デジタル腕時計プロトタイプ (諏訪精工舎 1971年12月)<sup>76)</sup>

そうして1973年9月29日、日本のTN液晶の最初の応用商品として、TN-FEM6桁表示液晶を採用した

腕時計 SEIKO QUARTZ LC V. F. A 06LC が完成し、135,000 円で発売された (図 2.53)。



図 2.53 日本初 TN-FEM 液晶腕時計 SEIKO QUARTZ LC V.F.A 06LC<sup>77)</sup>

1973年(昭和46年)、日本製。デジタルウォッチ。世界で初めて、時・分・秒のLCD6桁表示デジタルウォッチの商品化に成功した。これ以降、6桁表示デジタルが世界基準になった。

この機種以降、デジタル腕時計では秒表示を含む6桁表示、水晶振動子周波数 32,768Hz が世界標準となっている。

開発者の山崎淑夫(諏訪精工舎)は腕時計表示には次の条件が必須であると述べている<sup>78)</sup>。

- ①低消費電力：小型牡丹電池(165mAH)で最低1年間連続動作させるには、全体消費電力で最大  $28 \mu W$ 、表示部への消費電力は全体の数分の一にすべきである
- ②許容体積：小型化・薄型が必須で、セット全体で  $4 - 5 \text{cm}^3$
- ③動作温度： $-10^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$  腕時計を外した時の温度条件は他の計器と大差はない
- ④耐久性：5年以上

表 2.7 は時計用表示デバイスの諸元をまとめたものであるが、上述の条件と併せ考えた場合、消費電力の観点から、TN-FEM (Twisted Nematic Field Effect Mode) 液晶のみが適合することが分かる。また、駆動電圧も DSM 液晶に比較して  $1/2$  以下の約  $2 \sim 6\text{V}$  と低く、この点からも有利である。

液晶腕時計の構成(図 2.54)を見ても液晶パネルが商品の顔である。また、電卓と同様、組立て積み上げ方式が取られており、組み立ての最終工程でのチェックは水晶振動子の微調整だけ、という生産の合理化が図られている。

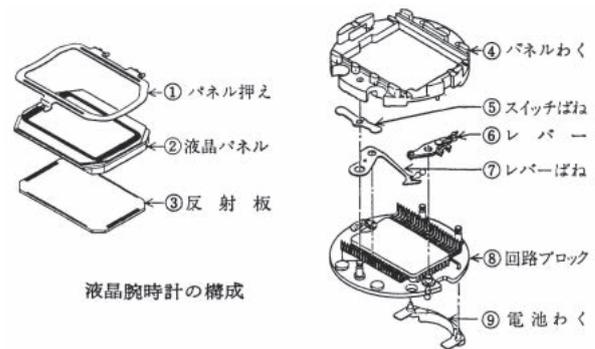


図 2.54 液晶腕時計の構成<sup>79)</sup>

なお、TN 液晶を開発発表したホフマンラロッシュは、その技術の有用性を自らは認識出来ず、それ以降の液晶研究中断し、液晶研究グループを解散していた。出願特許が日本で公開(1972年6月10日)された数日後、諏訪精工舎から技術ライセンス依頼の訪問を受けたものの、論文発表(1971年2月15日)後1年以上を過ぎて初めてのライセンス申込であり<sup>80)</sup>、その真意が理解できなかった。ホフマンラロッシュがライセンス供与の検討にプライオリティを置き出したのは、日本でも生産が始まってからである。

表 2.7 時計用表示デバイス<sup>81)</sup>

		動作電圧	消費電力	寿命	応答速度	動作温度 範囲	駆動回路
液晶表示	DSM	10~15V	$10 \sim 100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	$10^4\text{H}$ 以上	10~200ms	$0 \sim 70^\circ\text{C}$	C-MOS IC
	TN-FE	2~6V	$1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以下	$5 \times 10^4\text{H}$ 以上	10~200ms	$-5 \sim 70^\circ\text{C}$	C-MOS IC
エレクトロクロミック表示		0.5~1.5V	$70 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (メモリ1分)	$10^6\text{cycle}$	100~500ms	$0 \sim 70^\circ\text{C}$	バイポーラトランジスタ
電気泳動表示		75~100V	$\sim 100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	$10^6 \sim 10^7\text{cycle}$	100~500ms	$-15 \sim 50^\circ\text{C}$	デスクリートトランジスタ
PLZT表示		30~90V	低(メモリ)	$10^{11}\text{cycle}$	10~50 $\mu\text{s}$	広い	デスクリートトランジスタ
LED表示		1.5~2V	$\sim 10\text{mW}/\text{cm}^2$	$5 \times 10^6\text{H}$ 以上	100ns以下	$-30 \sim 80^\circ\text{C}$	バイポーラトランジスタ

佐々木昭夫編：「液晶エレクトロニクスの基礎と応用」, オーム社(1979.4.25)

図 2.55 は TN 液晶のコントラスト比と電流密度の電圧依存性を示すものである。コントラスト比についてみると閾値電圧  $V_{th}$  は約 2.5V であり、5V で十分飽和状態に達している。すなわち DSM に比して約 1/4 の動作電圧であり、DSM 電卓の場合のように、共通電極用にバイポーラ IC を使用する必要はない。なお、電流密度曲線が閾値電圧  $V_{th}$  付近で上に屈曲しているのは、液晶分子が水平配向（ホモニアス配向）から垂直配向に変化し、電流に寄与する誘電率が短軸方向の誘電率から長軸方向の誘電率に変わり、誘電率が大きくなった事を示している。

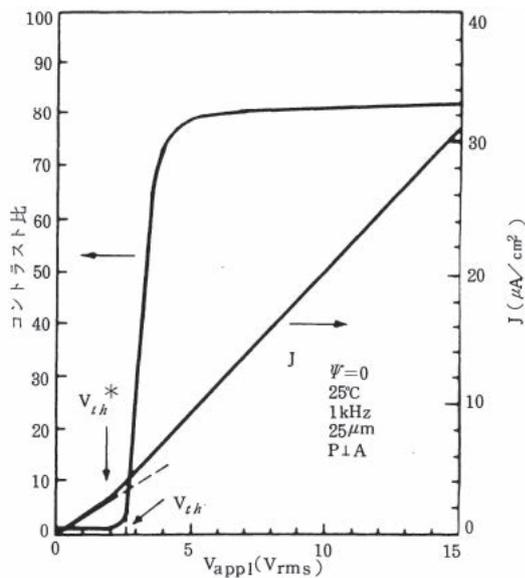


図 2.55 TN 液晶のコントラスト比、電流密度の電圧依存性

TN 液晶組成（シッフベース系）（表 2.8）に於いて使用している液晶は、MBBA、EBBA の 2 つの負の誘電率異方性を持つ単体液晶に対し、正の誘電率異方性を持つ HBCA を混合し、総合的に正の誘電率異方性を持つ混合液晶を得ており（図 2.56）、HBCA の添加量の増大と共に、正の誘電率異方性が大きくなることを利用している。

表 2.8 TN 液晶組成（シッフベース系）

組	成	配合比
化学名	構造	(wt%)
N-(p-methoxybenzylidene)-p-n-butylaniline (MBBA)	<chem>COc1ccc(cc1)C=Cc2ccc(cc2)C4H9</chem>	40
N-(p-ethoxybenzylidene)-p-n-butylaniline (EBBA)	<chem>CCOC1=CC=C(C=C1)C=Cc2ccc(cc2)C4H9</chem>	50
N-(p-n-hexyloxybenzylidene)-p-cyanoaniline (HBCA)	<chem>CCCCCC1=CC=C(C=C1)C=Cc2ccc(cc2)C#N</chem>	10

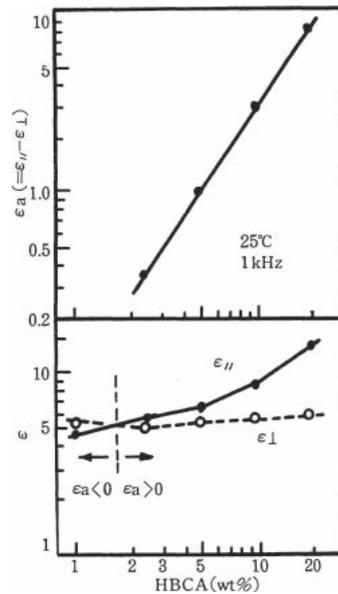


図 2.56  $\epsilon_1, \epsilon_a$  の MBBA/EBBA に対する HBCA 添加量依存性

また、閾値電圧  $V_{th}$  の誘電率異方性  $\epsilon_a$  依存性（図 2.57）から、 $V_{th}$  は  $\epsilon_a$  の平方根に反比例しているため、駆動電圧を低くするためには、 $\epsilon_a$  の大きな液晶材料を使用する。

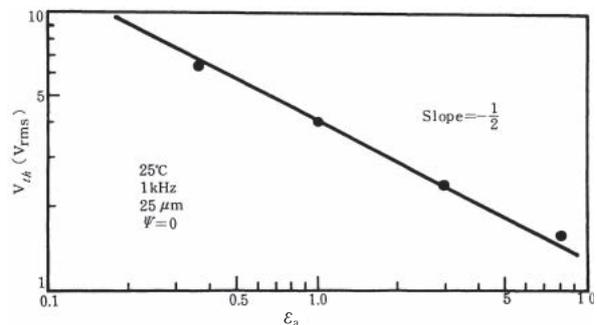


図 2.57  $V_{th}$  の  $\epsilon_a$  依存性

DSM 液晶表示素子と TN-FEM 液晶表示素子との構造上の差異は、1 対の偏光板の有無と、反射板の位置、さらには反射板の表面処理の違いにある。このことは利用する電気光学効果の原理の違いに由来する。DSM は分子のダイナミックな動きによる外光の散乱効果を利用するため、偏光板を使用することなく、その散乱を肉眼で直接知覚することが出来る。これに対して、TN - FEM の場合は液晶分子の配向変化は光の偏光面の回転を制御するだけであるため、偏光面の変化を肉眼で知覚出来るようにする必要があり、そのために 1 対の偏光板を用いる。

また、DSM の反射板は、それ自体による外光の散乱を起こさせないようにするために鏡面にする必要があり、且つ共通電極の役割をも兼ねさせるため、その



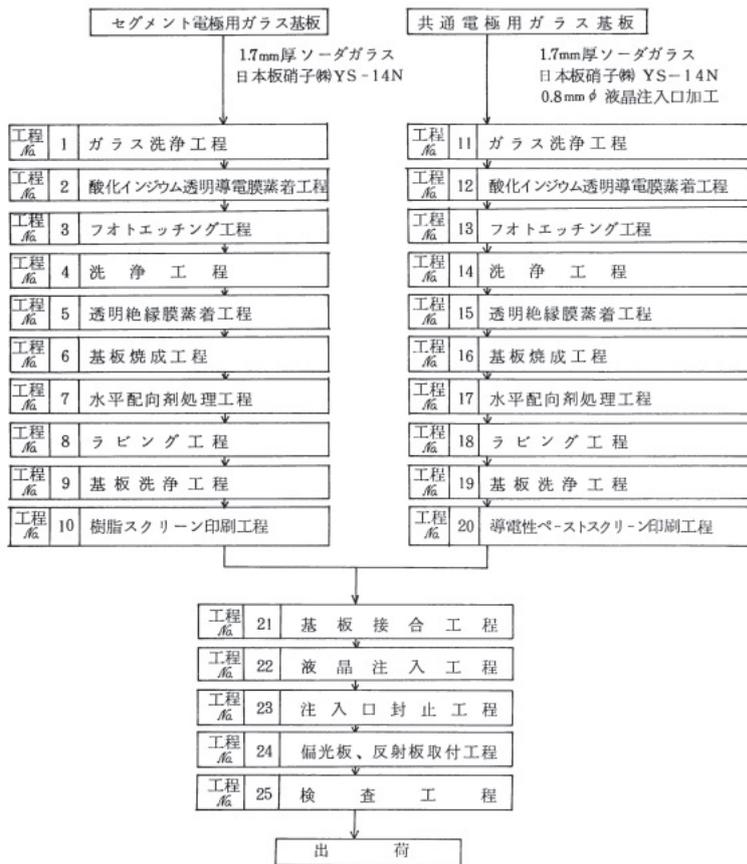


図 2.61 TN-FEM 液晶表示素子生産フローチャート<sup>82)</sup>

工程に入り、全面に透明導電膜が生成される。次に、フォトエッチング工程へ入り、不必要な部分の透明導電膜が除去される。その後、(4) (14) の洗浄工程を通り、(5) (15) の透明絶縁膜蒸着工程にはいる。透明絶縁膜の成膜については、生産性の大きな一酸化ケイ素 (SiO) を抵抗過熱蒸着する方法と、生産性は落ちるが膜質の良い二酸化ケイ素 (SiO<sub>2</sub>) を電子ビーム蒸着する方法とが検討されたが、液晶の配向性、信頼性、生産性などを総合的に検討した結果、二酸化ケイ素を電子ビーム蒸着して SiO<sub>x</sub> を得、その後に基板焼成工程を導入する

ということになった。焼成された基板はアルコキシラン (Alkoxy Silane) 系の水平配向剤を処理され、水平配向材剤表面を擦る (8)・(18) ラビング工程に入る。

図 2.62 にラビングシステムの説明図とラビング装置の写真を示す。ガラス基板は支持台の凹みに入れられ、ラビングローラーの方に運ばれていき、ラビングローラーに巻き付けられて回転するラビング布によりガラス基板表面がラビングされる。表 2.9 に各種ラビング材料とその評価に示すように、安定なラビングを施すためには、配向性と耐摩耗性との観点からラビ

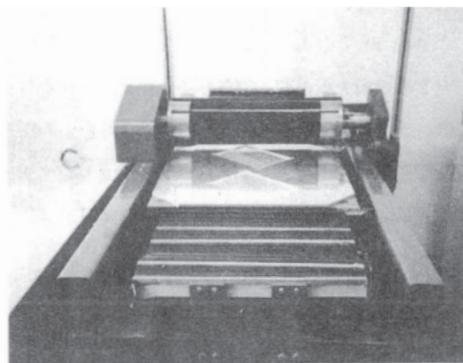
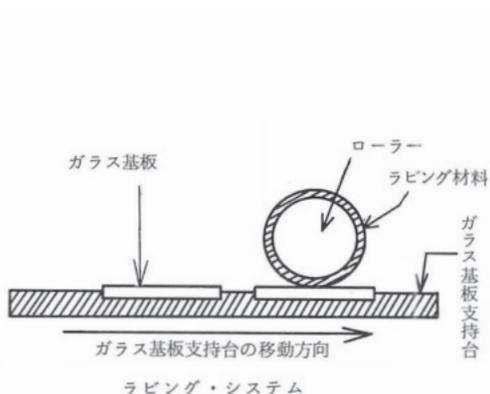


図 2.62 ラビングシステム説明図と装置写真

表 2.9 各種ラビング材料とその評価

ラビング材料	ツイスト配向性	耐摩耗性	備考
ガゼ (木綿)	○	×	繊維が切れやすい。
不織布 (羊毛)	△	×	繊維が基板に糊状に付着する。
ネル (木綿, 平織)	○	×	繊維の消耗が激しい。
琢磨布 No.101 (羊毛, 織物)	△	△	繊維が基板に糊状に付着する。
琢磨布 No.502 (合成繊維織物)	△	△	ツイスト配向に安定性がない。
琢磨布 No.704 (合成繊維電着)	○	○	安定した配向と耐久性をもっている。

配向性, 耐摩耗性の相対評価基準 : ○良好, △やゝ良, ×悪い

和田富夫:「電卓用液晶表示素子の設計とその製作に関する研究」, 東北大学(1979, 11, 7)

ラビング材料の種類の選定をすることに加え、ローラー押しつけ圧力、周囲湿度、ラビング布の交換時期などの管理が重要である。因みに、ラビングにより液晶分子が水平配向することは20世紀の初頭にモーガンにより報告されたが、それから100年を経てTFT (Thin Film Transistor) 液晶が本格的に生産されだした2000年になっても生産性の良い配向方法として使用されていた。ラビング工程以降は、(24) 偏光板・反射板取り付け工程以外はDSM工程と同じである。

- 1) T.J.Sluckin, D.A. Dunmur and H.Stegemeyer: "CRYSTALS THAT FLOW", Taylor&Francis (2004)
- 2) D.Dunmur & T.Sluckin: "Soap, Science, & Flat-screen TVs", Oxford University Press (2011)
- 3) デイヴィッド・ダンマー／ティム・スラッキン著、鳥山和久訳:「液晶の歴史」、朝日出版 (2011年8月25日)
- 4) Hirohisa Kawamoto: "The History of Liquid-Crystal Displays", PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 90, NO. 4, p.460, APRIL 2002
- 5) D.Dunmur, T.Sluckin: Soap, science, and flat-screen TVs", pp17-20, Oxford University Press, 2011
- 6) T.J.Sluckin, D.A. Dunmur and H.Stegemeyer: "CRYSTALS THAT FLOW", pp3-6, Taylor&Francis (2004)
- 7) D.Dunmur, T.Sluckin: "Soap, science, and flat-screen TVs", pp20-27, Oxford University Press, 2011
- 8) D.Dunmur, T.Sluckin: "Soap, science, and flat-screen TVs", p.25, Oxford University Press, 2011
- 9) T.J.Sluckin, D.A. Dunmur and H.Stegemeyer: "CRYSTALS THAT FLOW", pp100-127, Taylor&Francis (2004)
- 10) T.J.Sluckin, D.A. Dunmur and H.Stegemeyer: "CRYSTALS THAT FLOW", p.103, Taylor&Francis (2004)
- 11) B.J.Lechner: "History Crystallized: A First-Person Account of the Development of Matrix-addressed LCDs for television at RCA in the 1960s", Information Display 1/08, p.26, January 2008
- 12) J.A.Castellano: "Liquid Gold", World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005
- 13) Benjamin Gross: "RCA LOST THE LCD", IEEE SPECTRUM 2012, p.48
- 14) Benjamin H. Gross: "CRYSTALIZING INNOVATION: THE EMERGENCE OF THE LCD AT RCA, 1951-1976", A DISSERTATION PRESENTED TO THE FACULTY OF PRINCETON UNIVERSITY FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY, November 2011
- 15) B.J.Lechner, et al, "Liquid Crystal Matrix Displays", Proc. Of the IEEE Vol.59, No.11, p572 Nov.1971

- 16) G.H.Brown, W.G.Shaw: "The Mesomorphic State: Liquid Crystals", Chemical Reviews 1957 57,6, pp1049-1157, 1957
- 17) W. Helfrich "Conduction - Induced Alignment of Nematic Liquid Crystals: Basic Model and Stability Considerations", The Journal of Chemical Physics Vol.51, No.9, 1 (November 1969)
- 18) 沼上幹「液晶ディスプレイの技術革新史」p76, 白桃書房, 1999
- 19) Chemische Kristallographie der Flüssigkeiten, Leipzig 1924, p89
- 20) J.A.Castellano: "Liquid Gold", World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005
- 21) Benjamin Gross: "RCA LOST THE LCD", IEEE SPECTRUM 2012, p.48
- 22) Benjamin H. Gross: "CRYSTALIZING INNOVATION: THE EMERGENCE OF THE LCD AT RCA, 1951-1976", A DISSERTATION PRESENTED TO THE FACULTY OF PRINCETON UNIVERSITY FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY, November 2011
- 23) G. H. Heilmeyer et al. "Dynamic Scattering: A New Electrooptic Effect in Certain Classes of Nematic Liquid Crystals, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 56, NO. 7, JULY 1968
- 24) G. H. Heilmeyer et al. "Dynamic Scattering: A New Electrooptic Effect in Certain Classes of Nematic Liquid Crystals, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 56, NO. 7, p.1163, JULY 1968
- 25) G. H. Heilmeyer et al. "Dynamic Scattering: A New Electrooptic Effect in Certain Classes of Nematic Liquid Crystals, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 56, NO. 7, p.1163, JULY 1968
- 26) G. H. Heilmeyer et al. "Dynamic Scattering: A New Electrooptic Effect in Certain Classes of Nematic Liquid Crystals, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 56, NO. 7, p.1163, JULY 1968
- 27) G. H. Heilmeyer et al. "Dynamic Scattering: A New Electrooptic Effect in Certain Classes of Nematic Liquid Crystals, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 56, NO. 7, p.1168, JULY 1968
- 28) G. H. Heilmeyer et al. "Dynamic Scattering: A New Electrooptic Effect in Certain Classes of Nematic Liquid Crystals, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 56, NO. 7, p.1168, JULY 1968
- 29) B.J.Lechner et al.: "Liquid Crystal Matrix Displays", Proceedings of the IEEE, Vol.59, No.11, p.1572, November 1971
- 30) B.J.Lechner: "History Crystallized: A First-Person Account of the Development of Matrix-addressed LCDs for television at RCA in the 1960s", Information Display 1/08, Vol. 24, No. 1, p.30, January 2008
- 31) Benjamin H. Gross: "CRYSTALIZING INNOVATION: THE EMERGENCE OF THE LCD AT RCA, 1951-1976", A DISSERTATION PRESENTED TO THE FACULTY OF PRINCETON UNIVERSITY FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY, p.223, November 2011
- 32) J.A.Castellano: "Liquid Gold", pp.66-67, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005
- 33) J.A.Castellano: "Liquid Gold", p.97, World Scientific Publishing Co.

- Pte. Ltd., 2005
- 34) M.Schadt and W.Helfrich: "VOLTAGE-DEPENDENT OPTICAL ACTIVITY OF A TWISTED NEMATIC LIQUID CRYSTAL", APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol.18, Number 4, p127, 15 FEBRUARY 1971
  - 35) T.J.Sluckin, D.A. Dunmur and H.Stegemeyer: "CRYSTALS THAT FLOW", pp123-125, Taylor&Francis (2004)
  - 36) M.Schadt and W.Helfrich: "VOLTAGE-DEPENDENT OPTICAL ACTIVITY OF A TWISTED NEMATIC LIQUID CRYSTAL", APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol.18, Number 4, p128, 15 FEBRUARY 1971
  - 37) Wolfgang Helfrich, Martin Schadt: "Lichtstenerzelle", PATENT SCHRIFT Nr.532261, SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT Anmeldungsdatum: 4. December 1970, 24 Uhr
  - 38) J.A.Castellano: "Liquid Gold", p.77, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005
  - 39) 和田富夫:「電卓用液晶ディスプレイ表示素子の設計とその製作に関する研究」、4.3.2 液晶の剪定、p.89, 東北大学工学部、1979
  - 40) G.W.Gray et al.: "NEW FAMILY OF NEMATIC LIQUID CRYSTALS FOR DISPLAYS", ELECTRONICS LETTERS, Vol.9, No.6, p.130, 22nd March 1973
  - 41) 苗村省平:「はじめての液晶ディスプレイ技術」、2.1.2 液晶分子、p.40、工業調査会、2004年4月20日
  - 42) 苗村省平:「はじめての液晶ディスプレイ技術」、2.1.2 液晶分子、p.40、工業調査会、2004年4月20日
  - 43) 苗村省平:「はじめての液晶ディスプレイ技術」、2.1.3 液晶物性、p.54、工業調査会、2004年4月
  - 44) 苗村省平:「はじめての液晶ディスプレイ技術」、2.1.3 液晶物性、p.57、工業調査会、2004年4月20日
  - 45) 苗村省平:「はじめての液晶ディスプレイ技術」、2.1.3 液晶物性、p.61、工業調査会、2004年4月20日
  - 46) Bob Johnstone: "WE WERE BURING", pp67-75, A CORNELIA AND MICHAEL BESSIE BOOK, 1999
  - 47) Bob Johnstone: "WE WERE BURING", pp79-80, A CORNELIA AND MICHAEL BESSIE BOOK, 1999
  - 48) 沼上幹:「液晶ディスプレイの技術革新史」、第3部日本における液晶ディスプレイの初期事業化、p.204、白桃書房、1999年9月25日
  - 49) 電卓戦争:朝日新聞、2011年2月19日
  - 50) 浅田篤:「電子式卓上計算機の技術開発」、1.1 序言 p.5, 大阪大学工学部、1975
  - 51) 上出久他:「液晶表示・S-734における液晶の役割」、シャープ第2回研究公開研究発表会、はじめに、p.21-22, 1973年11月3日
  - 52) J.A.Castellano: "Liquid Gold", p.91, p.96, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005
  - 53) 浅田篤:「電子式卓上計算機の技術開発」、1.1 序言 p.104, 大阪大学工学部、1975
  - 54) 生駒篤一、河合良一、武智貞利、桑垣博、山本洋一との面談メモ、2011年5月
  - 55) 上出久他:「液晶表示・S-734における液晶の役割」、シャープ第2回研究公開研究発表会、はじめに、p.23, 1973年11月3日
  - 56) 和田富夫:「電卓用液晶ディスプレイ表示素子の設計とその製作に関する研究」、3.2 動的散乱型液晶素子の電気工学的特性、p.9, 東北大学工学部、1979
  - 57) 和田富夫:「電卓用液晶ディスプレイ表示素子の設計とその製作に関する研究」、3.2 動的散乱型液晶素子の電気工学的特性、p.10、東北大学工学部、1979
  - 58) 和田富夫:「電卓用液晶ディスプレイ表示素子の設計とその製作に関する研究」、3.2 動的散乱型液晶素子の電気工学的特性、p.11、東北大学工学部、1979
  - 59) 和田富夫:「電卓用液晶ディスプレイ表示素子の設計とその製作に関する研究」、3.2 動的散乱型液晶素子の電気工学的特性、p.11、東北大学工学部、1979
  - 60) 石井三男提供、2007年7月
  - 61) 石井三男提供、2007年7月
  - 63) YASOJI SUZUKI et al: "Clocked CMOS Calculator Circuitry", IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. SC-8, NO.6, p.462-469, December 1973
  - 62) 谷本昭良:「電卓主要部品の推移」、表示装置推移 (1)、シャープ社友会、2009年1月
  - 64) 和田富夫:「電卓用液晶ディスプレイ表示素子の設計とその製作に関する研究」、3.2 動的散乱型液晶素子の電気工学的特性、p.3、東北大学工学部、1979
  - 65) FPD ガイドブック編集委員会:「FPD ガイドブック」、2.1.4 駆動方式、p.26、JEITA、2009年3月
  - 66) FPD ガイドブック編集委員会:「FPD ガイドブック」、2.1.5 製造プロセス、p.33、JEITA、2009年3月
  - 67) 和田富夫:「電卓用液晶ディスプレイ表示素子の設計とその製作に関する研究」、第4章液晶表示素子の構成、4.1 緒言、p.40、東北大学工学部、1979
  - 68) 和田富夫:「電卓用液晶ディスプレイ表示素子の設計とその製作に関する研究」、第4章液晶表示素子の構成、4.1 緒言、p.40、東北大学工学部、1979
  - 69) 浅田篤:「電子卓上計算機の技術開発」、第4章 電子式卓上計算機用表示装置、p.120、大阪大学工学部、1975年
  - 70) 上出久:「液晶表示・S-734における液晶の役割」、シャープ第2回研究公開発表会予稿集、p.28, 1973年11月3日
  - 71) 谷本昭良:「電卓主要部品の推移」、機種別製品構成、シャープ社友会、2009年1月
  - 72) Bob Johnstone: "WE WERE BURING", pp p.105-107, A CORNELIA AND MICHAEL BESSIE BOOK, 1999
  - 73) 草間三郎:「クォーツ腕時計開発からC-MOS ICの内作まで」、半導体シニヤ協会ニュースレターNo.61, pp13-16, 2009年4月
  - 74) 原陽一郎:「国際競争と高度化のイノベーション・・・我が国製造業の競争基板 第3報・イノベーションのケース・スタディ(クォーツ革命)」、2.4 クォーツ革命の展開、p.14、長岡大学紀要第2号、2002.12.03 投稿、2003.01.16 受理
  - 75) Bob Johnstone: "WE WERE BURING", pp p.80, A CORNELIA AND MICHAEL BESSIE BOOK, 1999
  - 76) セイコーエプソン株式会社:「年表で読むセイコーエプソン [1881~2000]」、p.71、2001年2月
  - 77) セイコーミュージアム: <http://museum.seiko.co.jp/collections/collect3.html>
  - 78) 佐々木昭夫編:「液晶エレクトロニクスの基礎と応用」、4.2 デジタル腕時計の概要、p.106、オーム社、1979年4月25日
  - 79) 佐々木昭夫編:「液晶エレクトロニクスの基礎と応用」、4.3 時計用液晶表示、p.113、オーム社、1979年4月25日
  - 80) Gerhard H. Buntz: "Twisted Nematic Liquid Crystal Displays (TN-LCDs), an invention from Basel with global effects", Information No. 118, p.3, October 2005, issued by Internationale Treuhand AG, Basel, Genf, Zurich. Published in German, Translated by Michael E. Becker with approval of the author, [http://www.remaco.com/fileadmin/remaco/Information/Nr\\_118\\_TNLCDS.pdf](http://www.remaco.com/fileadmin/remaco/Information/Nr_118_TNLCDS.pdf)
  - 81) 佐々木昭夫編:「液晶エレクトロニクスの基礎と応用」、4.2 デジタル腕時計の概要、p.107、オーム社、1979年4月25日
  - 82) 和田富夫:「電卓用液晶ディスプレイ表示素子の設計とその製作に関する研究」、5.2 ツイステッド・ネマティック電界効果型液晶表示素子の製造フローチャート、p.108、東北大学工学部、1979

## 3 | 単純マトリクス液晶

日本の液晶ディスプレイの本格的な実用化は、1973年に電卓と腕時計から始まった。また、この本格的な実用化は、電卓と腕時計とを各々の事業の柱とした企業に於いて、電子化、情報化と言う大きな時代の変化に対応するための経営体質改革の一環として行われた。そして、知識も経験も全くない半導体の開発と生産の領域に、それも当時の最先端領域である C-MOS IC 領域に、未来を恐れない団塊の世代の若手技術者を投入した。そうして、外部の援助も得ながら遂に C-MOS LSI 設計生産能力をも獲得しながら当初の目的であった液晶表示の電卓や腕時計を実現したのであった。それまでの企業の事業経営から大きく踏み出して飛躍した手法に特徴がある。

一方米国では 1972 年に、結果としてその後の人類の生活に大きな影響を与えることになる大きな提案がなされた。日本では翌年の電卓、腕時計の本格的量産準備の真っ直中であり、また、米国では RCA からのスピノフ会社が DSM 腕時計の販売を開始したものの、その市場不具合に悩み出した頃であった。アラン・ケイ (All Kay, 1940- , Xerox Palo Alto Research Center) が、コンピュータ機械学会 (Association of Computer Machinery) で、“全ての年齢の子供達のためのパーソナルコンピュータ”と題して、“ダイナブック”と称する今では広く使われているノート・パッドの提案を行ったのである。ダイナブックの詳細については多くの成書や論文等があるので、ここでの言及は省略するが、ここで述べたいことはアラン・ケイがほぼ A4 の大きさのこのコンピュータの表示部に液晶を使うことを念頭に置いていたことである。彼はその表示素子として CRT、プラズマ、液晶の 3 種類を検討したが、主に消費電力の点からみて液晶しか残らない、と結論づけた。そうしてその表示は 512 × 512 のドットマトリクスを想定していた。その講演の冒頭で、SF の様に思えるかも知れないが、近い将来必ず実現される、と述べた。結果的には、彼の言った近い将来とは約 40 年後だったことになるものの、1968 年の RCA の記者発表時にブラウンの述べた大きな時代の変化を予感させる出来事であった。

また、1975 年に IBM から初めてのポータブル PC として PC 5100 が発売された。PC 5100 は 5 インチの白黒表示の CRT を内蔵しており、64 × 16 の文字を表示することができた。ドットマトリクス液晶の市場が準備され始めたことを感じさせる製品であった。更

に、1981 年 8 月には後の IBM PC 互換機の元になった IBM Personal Computer 5150 が発売された。この PC5150 用にカラーグラフィックカード (CGA) が開発された。この CGA は 80 桁 × 25 行、又は、40 桁 × 25 行のテキストを 16 色で、640 × 200 ドットを 2 色で、320 × 200 ドットを 4 色で表示するモードを持っており、640 × 200 というドット数が液晶ディスプレイの表示容量を拡大する際の大きな目標となった。

### 3.1 TN 液晶とドットマトリクス駆動

1973 年 8 月、S734 プロジェクトに参画していたシャープの液晶研究所のメンバーは、液晶生産を受け持った電卓事業部側の DSM 液晶の生産立ち上げを見届け、全員研究所に戻った。DSM 液晶では腕時計の電池寿命を 1 年以上にするのは不可能であることを見届けた半導体事業部から依頼されている、TN -FEM 液晶を至急開発するためである。

DSM 液晶は、液晶分子そのものに起因する容量性電流に加え、DSM を起こすために必須な抵抗性の電流を容量性電流よりも大きく保っておくことが必要である (図 2.32)。抵抗性の電流を得るために、液晶の中で充分電離し、イオン電流を流すことの出来るドーパントを添加する。液晶分子そのものに起因する容量性電流は温度変化による変化は小さいが、抵抗性の電流は低温になれば電離度が低下しイオン電流値が小さくなる。このため、まず動作最低温度で十分な電流を流すために必要な濃度のドーパントを添加することになるが、一方ではこの処置により、温度が上がり電離度が大きくなる常温、高温では、DSM を起こすのに必要な最小イオン電流よりもかなり大きな電流が流れることになる。概略 10℃ 毎にイオン電流が 2 倍になるとすると、電卓の製品としての動作温度領域が 0℃ - 40℃ とすると、部品としての液晶ディスプレイには、低温側高温側各々に 10℃ の余裕を見込み、-10℃ ~ 50℃ の動作温度が必要とされる。すると、その温度領域で電流は約 60 倍程度変化し、室温でも容量性電流の約 10 倍の抵抗性電流が必要となる。これが、容量性電流のみで動作する TN-FEM よりも DSM 液晶の消費電力が大きくなる最大の原因である。

腕時計という極小容量電池しか使えない商品に対応できる唯一の電子ディスプレイが TN-FEM 液晶である、との認識の下、開発に着手した。最大の課題

は TN-FEM 液晶作成プロセスの中で、配向プロセスと基板シール材料の選択であった。他社から1年以上遅れての開発着手であり、文献のみならず様々なルートからの情報収集に努めた。配向プロセスは斜方蒸着（基板を蒸着源に対して傾けて配向真空熱蒸着を行う）、基板シール剤はフリット（ガラス系融剤を 400℃～500℃に過熱し基板同士を融着）が一般的であった。信頼性の確保できるシール法はフリットであり、フリットの高温に耐える配向法は斜方蒸着である、ということであった。

しかしながら、電卓の価格競争の真っ直中に居たシャープでは、このプロセスは生産性が悪く、仮令開発出来たとしても、電卓事業部が受け取った液晶事業に採用されるとは思えない、として当初から除外され、配向プロセス、基板シール共、高い生産性が見込める方法を選択することとした。即ち、前者に対してはラビング、後者に対しては樹脂シールを用いるということの開発をスタートさせた。

樹脂シールは電卓用 DSM 液晶の開発で自信をつけていたものの、時計用の小さい液晶パネルではシール巾は 1mm 以下と狭くなり、シッフベース系の液晶を注入し、温湿度サイクルテストに掛けると高温側の液晶温度範囲が低下するということが起り、信頼性がかなり低下していた。しかしながら、この時期は水分侵入に強いアゾキシ系液晶の供給が始まっており、樹脂シール、水平配向剤、ラビングを用いたプロセスを完

成させて、従来の DSM 液晶工程に最小の工程追加で乗り切ることができた。IC 事業部で開発した液晶駆動回路を組み込んだ、世界で初めて 1 チップ腕時計用 C-MOS IC と C 結合 4 倍昇圧（シュンケル型昇圧回路）を採用した、TN-FEM 腕時計モジュールを 1974 年 12 月から出荷を開始した。

DSM 液晶の生産を開始して 2 年後の 1975 年、電卓事業部を抱える産業機器事業本部の浅田篤本部長は、電卓表示の 75% 以上を TN 液晶に切り替えることを宣言した。電卓の薄型競争の開始を仕掛けるために、主力表示を TN 液晶に切り替え、以後、消費電力が大きく<sup>3)</sup>、フードの必要な DSM 液晶生産は縮小されていく。

一方、C-MOS IC の高速化と低コスト化が進み、商品として複雑な処理をすることを可能とし、数字のみならず、アルファベット・カタカナ表示機能を組み込めるようになった。表 3.1 はシャープにおけるドットマトリクス型 LCD の開発をまとめたものである。シャープにおいては液晶表示素子の開発・製作とその素子を搭載した商品の発売を同時に行ってきた。1/7 デューティ駆動の 5×7（図 3.1）ドット表示を文字表示単位とする 24 文字表示が可能な関数電卓（図 3.2）や、16 文字を表示する電子辞書（図 3.3）が 1979 年に発売され、1980 年にはポケットコンピューター（図 3.4）が発売された。ドット表示の時代が始まったのである。

表 3.1 シャープにおけるドットマトリクス型 LCD の開発<sup>5)</sup>

年	研究発表・試作	デューティ比等	発 売	デューティ比等
1970				
1971				
1972				
1973		DSM-LCD電卓		1/2
		DSM-LCD電卓		1/4
1974		TN-LCDウオッチ・モジュール		1/1
1975				
1976		TN-LCD・7ミリ薄型電卓		1/3
1977		TN-LCD・5ミリ薄型電卓		
1978				
1979		5×7ドット×24字・関数電卓		1/7
		5×7ドット×16字・電子翻訳機		1/7
1980	100×64ドットTN-LCD	1/15	5×7ドット×24桁・ポケットコンピュータ	
1981	240×64ドットTN-LCD	1/32	5×7ドット×9桁・和英電子辞書	
1982	480×128ドットTN-LCD	1/64	240×64ドットTN-LCD	1/32
1983			480×128ドットTN-LCD	1/64
1984				
1985				

【出所】日本学術振興会第 142 委員会（1989）、pp.672-714 ページの年表および武他（1986）をベースに著者が作成。

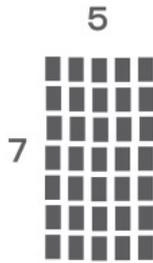


図 3.1 5 × 7 ドット表示 (数英カナ)



図 3.2 世界初ドットマトリクス関数電卓：  
EL-5100 1979年5月発売  
5 × 7 ドット 24 桁 (144 × 8 ドット)



図 3.3 電子辞書：IQ-3000 1979年11月発売  
5 × 7 ドット 16 桁 (96 × 8 ドット)



図 3.4 ポケットコンピュータ：PC1210  
1980年3月発売  
5 × 7 ドット 24 桁 (144 × 8 ドット)

1982年1月には、パーソナルワードプロセッサとして卓上型ワープロ WD-1000 の販売を開始した (図 3.5)。WD-1000 には当然のことながら液晶ディスプレイが搭載されており、16 × 16 ドットを1文字とする 41 文字 × 1 行 (液晶ディスプレイのドット数：656 × 16 ドット) で、漢字表示が可能であった。また、同年の11月にはドット数を倍化した製品 (TOSWORD JW-1) が販売され (図 3.6)、大表示容量液晶ディスプレイの市場が技術に先立って創造され始めた。



図 3.5 ワープロ シャープ書院 WD-1000  
1982年1月発売  
41 桁 × 1 行 (656 × 20 ドット)



図 3.6 ワープロ 東芝 TOSWORD JW-1<sup>6)</sup>  
1982年11月発売  
16 × 16 ドット 40 文字 × 2 行 (640 × 32 ドット)

一方、諏訪精工は1973年にアゾキシ系液晶を使用して日本で初めての液晶クォーツ腕時計を9月に発売した。腕時計以外の用途拡大をも目指し (図 3.7)、1975年には1/3 デューティ比で電卓用パネルの外販を開始し、更に1976年には、電池電圧の昇圧を必要としない1.5V 駆動液晶を開発した。同年、当初2チップでスタートしたC-MOS ICの1チップ化を実現して腕時計の機能を拡張するなどして、腕時計の製品ラインアップを充実して行った。

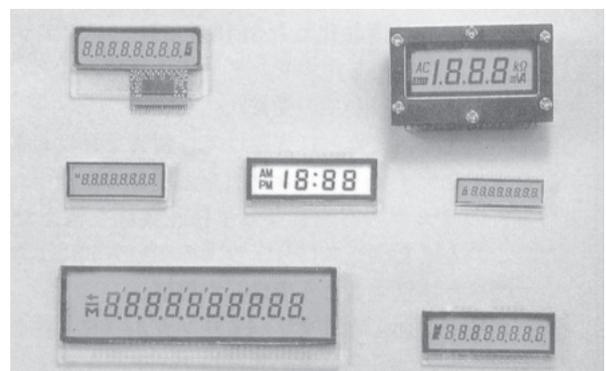


図 3.7 時計用以外の応用分野の用途拡大 電卓用を始め幅広分野に拡大<sup>7)</sup>

そして1981年11月、世界初のA4ノートブックサイズPCであるEPSON CX-20をCOMDEXショー(米国)で発表した(図3.8)。CX-20には120×32ドットの液晶ディスプレイが搭載されており、1982年にはHC-20として国内販売を、1983年にはCX-20として海外販売を開始した。液晶ディスプレイについても1/32デューティ比のドットマトリクス液晶の生産を開始し、腕時計以外の事業領域への本格的な拡大が開始された。表3.2はセイコーエプソンにおけるドットマトリクス型LCDの開発をまとめたものである。



図 3.8 世界初のノートブックサイズPC EPSON HC-20 (海外向けはHX-20)  
29.0x21.6x4.4cm 5x7ドット 20x4文字 (120x32ドット) 1981年11月COMDEXで発表、1982年国内発売、1983年海外発売<sup>8)</sup>

また、1982年にはシリコンウェーハMOSFETを用いた1.2型の白黒液晶テレビを発売し、世界の液晶テレビ開発をリードしていくことになる。

尚、諏訪精工舎は1961年に子会社として信州精密器株式会社を設立し、1985年にエプソン株式会社となっていた同社と合併して、現在のセイコーエプソン株式会社に社名を変更した。

日立製作所では、1964年に中央研究所(東京都国分寺市)に入所した鳥山和久が、ライセンス契約のあったRCAから送られてきていたレポートに目を通す中で、液晶とハイルマイヤーとに出会い、液晶の物性に関する非公式な基礎研究を数人で開始した。しかしながら、その液晶が電子ディスプレイへ使われる可能性があるを知ったのは、1968年5月のRCAの記者発表のときであった。<sup>10)</sup>

このような情勢の中、同社は液晶研究チームを増強することとし、日立中央研究所グループを日立研究所へ移し、日立研究所でオプトエレクトロニクス研究をしていた金子英二グループを加えて、1971年に大規模な液晶研究開発プロジェクトを正式に発足させた。その先には液晶テレビを実現させるという夢があった。この頃、日立研究所(茨城県日立市)では有機化学の研究部長が通産省のプロジェクトに参加すべく動き掛けていた。そこで日立製作所からこの社内プロジェクトが、他に旭硝子と大日本塗料が加わり、通産省のプロジェクトに参加した。中核プロジェクトの目

表 3.2 セイコーエプソンにおけるドット・マトリクス型LCDの開発<sup>9)</sup>

年	研究発表・試作	デューティ比等	発 売	デューティ比等
1970	DSMクロック			
1971	DSMウォッチ			
1972				
1973		TN-LCDウォッチ		
1974				
1975		電卓用TN-LCD		1/3
1976		1.5V駆動TN-LCDウォッチ		
1977		世界時計機能付ウォッチ		
		計算機能付ウォッチ		
1978				
1979	2周波駆動・5×7ドット×64字×8行	1/56	32文字×2行TN-LCD	
1980	40×40ドットTN-LCDウォッチ			
	TFT・GH-LCDウォッチ・テレビ			
	240×48ドットTN-LCD	1/12		
1981				
1982	2周波駆動プリンタ・ヘッド	16文字TN-LCD		1/32
		1.2型GH-LCD白黒テレビ		TFT
1983	2.14型TN-LCDカラーテレビ	TFT		
	250×240ドットMIM	MIM		
1984			LCDカラーテレビ	
1985				

〔出所〕日本学術振興会第142委員会(1989), pp.672-714の年表をベースに著者が作成。

標は1972年から3年間で大容量液晶ドットマトリクス表示を開発することであった。

一方、電子管事業部（茂原工場 千葉県茂原市）では1970年頃から次代のディスプレイをどうするか、という検討を開始していたが、1972年10月に日立研究所と合同で特研72A13を発足させ、DSM液晶を用いた数字表示装置の開発を始めた<sup>11)</sup>。リーダーの石橋正は、基礎研究から事業化へ移すマネジメントが重要であるとして、このタイミングに合わせて液晶研究関係者を茂原工場へ移す事にした。金子英二のグループにいた川上英昭はこの時期に電圧平均化法と名付けた液晶駆動回路の基本特許（日本出願1973年10月19日 米国特許 USPAT3976362、日本特許 特公昭57-57718）を取得している。

1974年4月に限定生産を開始したものの、DSM液晶は周囲光の条件により見にくくなる、という批判があり、生産を中止して急遽特研7406を設置し、時計用電界効果型液晶表示装置（TN液晶）の開発を開始した。当初TVを目指した研究者達も、当時の液晶の技術レベルでは早期のTV実現は不可能であることを認識し、長期的観点からはTVに向けた研究を継続するものの、当面は早期の液晶事業立ち上げを目指すこととし、TV向けの研究成果は適宜これに生かしていくという方針を重視することとした。

表3.3は日立におけるドットマトリクス型LCDの開発をまとめたものである。

日立の生産出荷は、1975年、カシオへのウォッチ用TN液晶の供給から始まった。カシオは当初BBCからTN液晶の供給を受け<sup>12)</sup>、1973年に、セイコーより少し遅れて液晶腕時計の販売を開始していた。信頼性を最優先し、シール法にはCRT生産で培ったフリット技術を活かしてフリットシールを適用した。液晶材料にはシッフベース系を、配向方法としては斜め蒸着配向法を採用した。翌1976年からは1/3デューティ比の電卓用TN液晶を、同じカシオへ出荷開始した<sup>13)</sup>。

1978年からは高度情報化社会、車、産業用をキーワードに、腕時計、電卓以外の用途開発を開始し、モジュール事業を進め、16×2キャラクター表示モジュールを完成した。1980年には40×20文字表示モジュール、1982年には240×64ドットモジュールをOA化中型グラフィック液晶モジュールとして開発した。しかし、1/16デューティ比から1/32デューティ比に技術を高めるのに1978年から1982年まで4年を要しており、日立においても技術進歩の停滞感が感じられる。

このように、1982年時点においては技術レベルが1/32デューティ比であったため、複雑かつ大量の情報を表示出来なかった。このことが1982年においても、液晶の応用分野が電卓、ウォッチに限られていた（図3.9）主要因であった。しかしながらそのような中でも異質な商品が開発された。それはゲーム機（図3.10）である<sup>15)</sup>。

表 3.3 日立におけるドット・マトリクス型LCDの開発<sup>14)</sup>

年	研究発表・試作	デューティ比等	発 売	デューティ比等
1970				
1971				
1972				
1973	DSM	1/50		
1974	DSM	1/100		
1975	DSM	1/144	ウォッチ用TN-LCD	
1976	ドット・マトリクス型TN-LCD	1/32	電卓用TN-LCD	1/3
1977	TN-LCD白黒テレビ			
1978	TN-LCD白黒テレビ	1/65	5×7ドット・16桁×2桁TN-LCD 5×7ドット・40字×2桁TN-LCD	1/4 1/16
1979				
1980	TN-LCD白黒テレビ	1/32.8		
1981				
1982			240×64ドットTN-LCD	1/32
1983				
1984			48桁×8桁TN-LCD端末	
1985			640×200STN-LCD	1/100
1986				
1987				

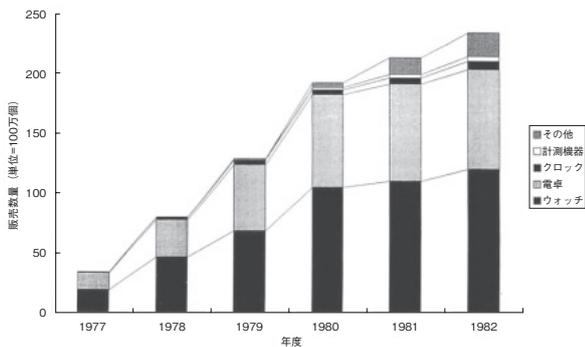


図 3.9 LCD の応用分野別売上数量推移<sup>16)</sup>

(注) 1977年については「日経産業新聞」(1978年11月24日)、p. 2およびImakita (1981)、p. 332、1978年と79年については電波新聞社 (1981)、p. 603に、1980年～82年については松本・角田 (1983)、p. 172に、それぞれ基づいて著者が作成した。なお、これらの数字はすべて係引きであり、元データはロッシュ社の調査と予測である。



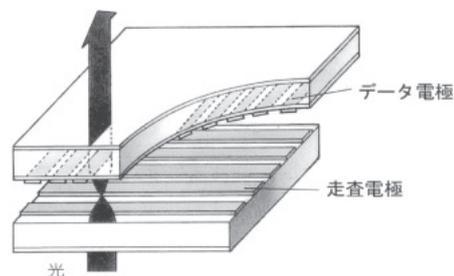
図 3.10 ゲーム&ウォッチ (1980 - 1988)  
(提供：シャープ株式会社)

TN 液晶の量産後3年が経過し、生産がこなれて来た1977年、エッチングで任意のパターンを作成することにより、このパターンに対応した様々な表示図柄作り出せるという、液晶ディスプレイの持つ特徴に、或るゲーム機メーカーが着目し、液晶ディスプレイメーカーに企画を持ちかけた。このゲーム機メーカーは、TN 液晶とマイコンを組み合わせることにより、それまでに無いゲーム機を開発することを狙っていた。しかしながら、液晶への要求は厳しいものがあり、特に応答時間への拘りは量産開始直前まで続いた。商品企画について何回も議論し、3年後の1980年、ゲーム&ウォッチ1号機を発売したが、その後8年間に5千万台近くを全世界に向けて出荷した。このゲーム&ウォッチが液晶という言葉で、子供を含め、世界に普及させることに果たした役割は小さくない<sup>17)</sup>。

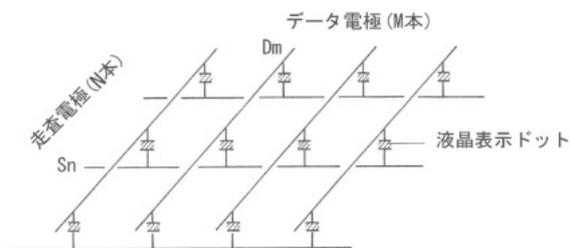
DSM 液晶と C-MOS IC を搭載した1973年の電卓開発時は、表示が数字に限定されたセグメント表示の2桁、又は4桁であり、ダイナミック駆動であった

ことを述べた。しかしながら、電子化、情報化をキーワードに開発が進む電子機器は高度な処理が可能となり、その出力として、数字のみならず、アルファベット、カタカナ、平仮名、漢字、任意グラフィックス、と表示容量を大きくする商品の開発への要求が高まってきた。そのためには、表示素子の最小表示単位を出るだけ小さい“点(ドット)”として、そのドット数の単位長さ当たりの数をできるだけ大きくして高精細表示を行い、また、その表示面積をできるだけ大きくして大面積表示を行う、このことが液晶表示素子の技術開発の方向となった。

ドットマトリクス液晶の構造と等価回路を図 3.11 に示す。



(a)単純マトリクス液晶パネル構造



(b)単純マトリクス液晶パネル等価回路

図 3.11 単純マトリクス液晶パネルの構造と等価回路<sup>18)</sup>

ドットを用いて液晶表示素子を構成する場合、そのドットの全てに所望の電圧を均一に印加する、また、特定の表示パターンを表示する時には、必要なドットのみを選択的に電圧を印加することが出来るようにすることが必要である。この目的のために例えば横方向ドット数がM個、縦方向ドット数がN個のドットマトリクス液晶素子を作成する場合、液晶表示素子の片方のガラス基板内面にN本の横電極を形成し、他のガラス基板内面にM本の縦電極を形成する(図 3.12)。

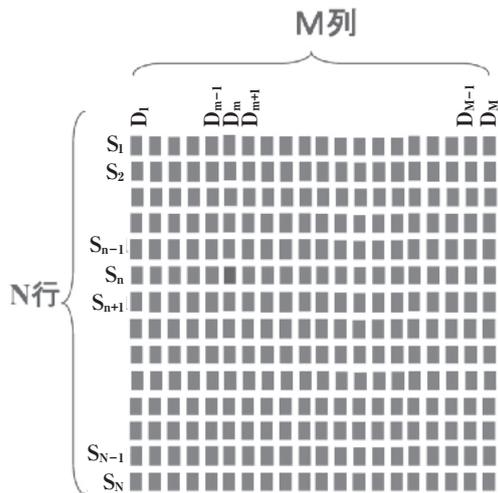


図 3.12 M × N ドットマトリクスパネル  
 S= 走査電極 D= データ電極  
 注意：走査電極とデータ電極とは別々の  
 ガラス基板上に形成されている。

このようにして両基板を貼り合わせて液晶を注入すると、N本の横電極とM本の縦電極との(M × N)個の交点の各々において、縦電極と横電極に挟まれた領域が液晶表示ドットとなる。駆動は次のように行う(図 3.13)。一定の周期 T で走査電極 S<sub>1</sub> ~ S<sub>N</sub> を次々に選んでいく走査信号を繰り返し印加しておく。或るタイミング t<sub>n</sub> で選ばれた走査電極 S<sub>n</sub> に対応する表示ドットの表示すべき状態に応じてデータ電極 D<sub>1</sub> ~ D<sub>M</sub> にデータを一齐に印加する。それによって走査電極 S<sub>n</sub> とデータ電極 D<sub>1</sub> ~ D<sub>M</sub> との交点の表示ドットに、そのドットに対応する入力信号(そのドットで表示すべき情報で、テレビの場合であれば被写体の情報)に応じた電圧が印加される。T の値は消費電力低減の

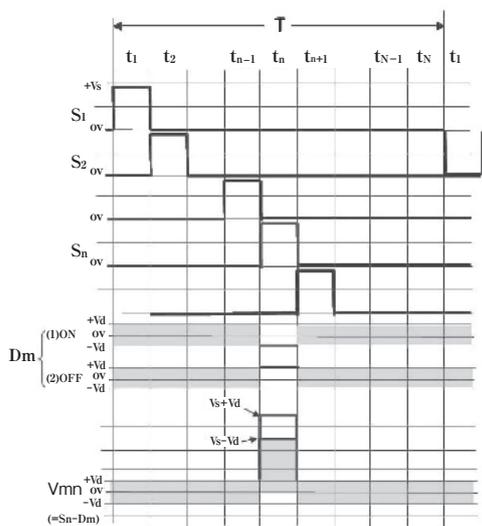


図 3.13 M × N ドットマトリクスタイミングチャート  
 Vs= 選択電圧、Vd = 点灯電圧

ため一般に、フリッカーを避けながら出来るだけ低い周波数に抑えるように設定し、約 1/60Hz=16.6msec に固定されている。このため、N が大きくなると1つの走査線に割り当てられる選択時間 1/N が小さくなるため、選択ドットと他の非選択ドットに印加される電圧との差が小さくなり、結果として表示コントラストが小さくなっていく。例えば、n 行目の横電極 S<sub>n</sub> と m 列目の縦電極 D<sub>m</sub> との交点に所望の電圧(簡単のために、点灯電圧か、消灯電圧かのどちらか、とする)を印加する場合、あるタイミング t<sub>n</sub> で横電極 S<sub>n</sub> を選択する選択電圧 +Vs を印加し、他の横電極全てに非選択電圧 0 (ゼロ) を印加する。そのタイミングに合わせて、縦電極 D<sub>m</sub> に点灯電圧 - Vd、又は消灯電圧 + Vd を印加するが、横電極 S<sub>n</sub> は他の縦電極全てに共通なので、このタイミング t<sub>n</sub> にあわせ、D<sub>m</sub> 以外の縦電極にその交点の表示状態に応じて点灯電圧 - Vd、又は消灯電圧 + Vd を印加する。すると、横電極 S<sub>n</sub> の交点ドットには、点灯電圧を印加された場合には、Vs+Vd、消灯電圧を印加された場合には Vs - Vd が印加される。一方、非選択電圧 0 を印加されている横電極 S<sub>n</sub> 以外の他の横方向電極と縦電極との交点ドットには、タイミング t<sub>n</sub> の横電極 S<sub>n</sub> 交点ドットの表示状態に応じて、- Vd、又は +Vd 電圧が印加される。液晶が実効値応答することから、極性の違いが表示特性に影響しない液晶特有の原理を利用し、選択電極の表示内容が他の非選択電極の表示状態に影響を及ぼさない駆動方式となっているのである。次のタイミング t<sub>n+1</sub> に於いては次の横電極 S<sub>n+1</sub> に選択電圧 Vs が印加され、S<sub>n+1</sub> の交点ドットの点灯状態に応じた電圧が全縦電極に印加され、これが次々と繰り返される。点灯電圧を Von、消灯電圧を Voff とすると、

$$V_{on} = (1 + \{b(b+2)\} / N)^{1/2} \quad b = V_s / V_d$$

$$V_{off} = (1 + \{b(b-2)\} / N)^{1/2}$$

V<sub>on</sub>/V<sub>off</sub> が最大となる値を (V<sub>on</sub>/V<sub>off</sub>)<sub>max</sub> すると、

$$(V_{on}/V_{off})_{max} = (1 + 2/(N^{1/2} - 1))^{1/2} \quad V_s / V_d = N^{1/2}$$

$$V_{onmax} = V_d (N + 3)^{1/2}$$

$$V_{offmax} = V_d (N - 1)^{1/2}$$

となる。

走査線数 N が決まると V<sub>onmax</sub> と V<sub>offmax</sub> との比が一義的に決まり<sup>19, 20, 21)</sup>、N が大きくなると Vs がおおきくなり、高コストの高耐圧 C-MOS IC 駆動回路 (driver= ドライバ) が必要となり、表示特性的には V<sub>on</sub> と V<sub>off</sub> との比が小さくなり、コントラスト比も小さくなることを示している。

このため、ダイナミック駆動においてコントラスト

比を充分に取りながらダイナミック数  $N$  を大きくしようとすると、少しの印加電圧の変化で透過率が大きく変わる特性を持ち、閾値電圧自体が小さく、延いては  $V_{off_{max}}$  が小さい液晶材料を開発するとともに、コストの小さい低電圧 C-MOS ドライバーの使用を可能とする必要がある。

この透過率曲線の急峻さを測る特性値として、透過率が 10% になる印加電圧を  $V_{10}$ 、透過率が 50% になる印加電圧を  $V_{50}$  とし、コントラスト 5 を得る傾き係数  $p$  (slope parameter) で液晶ディスプレイを評価することがある (図 3.14)。

$$p = V_{50}/V_{10}$$

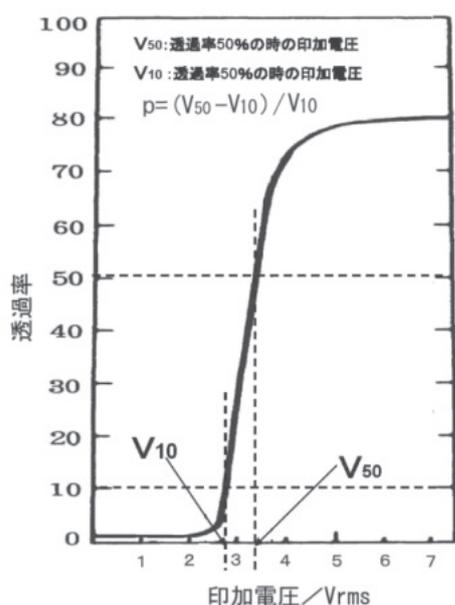


図 3.14 印加電圧—透過率 特性と傾き係数 :  $p$

尚、マトリクス駆動に於いては上述のように、あるタイミング  $t_n$  に任意の横電極が選択されてこれに電圧が印加され、同時に全縦電極からその交点の表示状態に応じた点灯電圧、もしくは消灯電圧が一斉に印加されるため、この駆動方法自体は線順次駆動法 (a one-line-at-a-time driving) と呼ばれ、また、横電極は、同一の選択電圧  $V_s$  を印加しながら次々横電極を選択していくことから走査電極 (scanning electrode)、縦電極は、対応するドットの表示状態により印加電圧が変わることからデータ電極 (data electrode) と呼ばれることが多い。また、走査電極に印加する走査電圧は、走査電極に電圧を加え終わる周期を  $T$  として、 $T/N$  の時間だけ印加電圧が与えられるため、パルス回路で使われる用語を借用し、 $1/N$  デューティ駆動と呼ばれることがある。

1970 年に TV 表示を狙って液晶ディスプレイの研究を開始した日立では、液晶ディスプレイの最適駆動方式として電圧平均化法を確立し、1973 年 10 月に日本に於いて特許出願し、米国で 1976 年 8 月に成立 (USPAT3976362 川上英昭)、日本で 1982 年 12 月に公告 (特公昭 57-057718) させている。外見的には技術が停滞しているように見えながらも、量産以降の約 10 年間に、市場拡大へのニーズに応えようとする材料メーカー (主として欧州) と日本のディスプレイメーカーは、液晶駆動特有の条件を踏まえながら、材料の物性定数とディスプレイの性能との関係を次第に明らかにしてきた<sup>22)</sup>。1989 年、TN 液晶の発明者の一人であり、その後も液晶の研究開発の最前線で世界をリードして来たシャット (Martin Schadt) は、液晶材料の物性定数と液晶ディスプレイ特性との 6 つの関係を示した (図 3.15)。関係式の右側に挙げている

- |  |  |
|--|--|
| <p>(1) 高コントラストを得るには <math>\Delta n d / 2\lambda = 0.5, 1, 1.5, \dots</math></p> <p>(2) <math>N_{max} = \frac{[(1+p)^2 + 1]^2}{[(1+p)^2 - 1]^2}</math>, <math>p = \frac{(V_{50} - V_{10})}{V_{10}}</math></p> <p>(3) <math>V_{10}(\text{TN-LCD}) \propto \pi \left( \frac{k_1 + (k_3 - 2k_2)/4}{\epsilon_0 \Delta \epsilon} \right)^{1/2}</math></p> <p>(4) <math>t_{off}(\text{TN-LCD}) \propto \gamma_1 / \kappa</math></p> <p>(5) <math>p(\text{TN-LCD}) \propto (k_{33}/k_{11} - 1) + \left( \ln \frac{\Delta n d}{2\lambda} \right)^2</math></p> <p>(6) <math>p(\text{STN-LCD, OMI-LCD}) \propto k_{11}/k_{33}; \Delta \epsilon / \epsilon_{\perp}; k_{22}/k_{11}</math></p> | <p>(1) GOOCH, C. H., and TARRY, H. A., 1975, <i>J. Phys. D</i>, <b>8</b>, 1575.</p> <p>(2) ALT, P. M., and PLESHKO, P., 1974, <i>I.E.E.E. Trans. electron. Devices</i>, <b>21</b>, 146.</p> <p>(3) SCHADT, M., and HELFRICH, W., 1971, <i>Appl. Phys. Lett.</i>, <b>18</b>, 127. 1970, Swiss Patent 532261 (4 December).<br/>SCHADT, M., and GERBER, P. R., 1982, <i>Z. Naturf. (a)</i>, <b>37</b>, 165. 1982, <i>Proc. SID</i>, Vol. 23 (Society for Information Display), p. 29.</p> <p>(4) SCHADT, M., PETRZILKA, M., GERBER, P. R., and VILLIGER, A., 1985, <i>Molec. Crystals liq. Crystals</i>, <b>122</b>, 241.<br/>JAKEMAN, E., and RAYNES, E. P., 1972, <i>Phys. Lett. A</i>, <b>39</b>, 69.</p> <p>(5) SCHADT, M., and GERBER, P. R., 1982, <i>Z. Naturf. (a)</i>, <b>37</b>, 165. 1982, <i>Proc. SID</i>, Vol. 23 (Society for Information Display), p. 29.</p> <p>(6) LEENHOUTS, F., and SCHADT, M., 1986, <i>Digest SID, Japan Display '86</i> (Society for Information Display), p. 388.<br/>SCHADT, M., and LEENHOUTS, F., 1987, <i>Appl. Phys. Lett.</i>, <b>50</b>, 236. 1988, <i>Proc. SID</i>, Vol. 28 (Society for Information Display), p. 375.</p> |
|--|--|

図 3.15 液晶材料の特性定数と液晶ディスプレイ特性との関係<sup>23)</sup>

注意: (1), (2) は理論式、(3), (4), (5) は近似解。

論文が発表された年代は全て1970年以降であり、液晶ディスプレイの生産を立ち上げながら、一方で物理学者、有機化学者、電子ディスプレイ技術者たちが学際的協力を進めた結果、液晶がここまで発展してきた、と述べている。

(1)に基づき、明るくよりコントラストが大きい液晶ディスプレイを開発するのであるが、実現出来る液晶材料の $\Delta n$ と液晶層厚 $d$ の生産性を考慮し、当初は $\Delta n \cdot d / (2 \cdot \lambda)$ を1 (2<sub>nd</sub> minimum) か1.5 (3<sub>rd</sub> minimum) に選んでいたが、カラーTFT液晶の登場と共に、より視野角が広がる0.5 (1<sub>st</sub> minimum)

に設定されるようになった。また、(2)に基づき、液晶パネルの限界能力まで引き出す駆動回路を開発し、(3)に基づき、より低電圧で動作する液晶材料を開発し、(4)に基づき、より高速な応答をする液晶材料を開発し(5)、(6)に基づき、 $p$ が小さく表示容量の大きな液晶ディスプレイを開発するが、常に用途による特性要求の優先順位が異なる可能性があることに留意する必要がある。

そして、1980年代の前半には液晶ディスプレイの大きな市場としてワープロとノートPCとが姿を見せ始めた(図3.16)。



折畳式 PC シャープ : PC-5000  
1983年発売 640 × 80 ドット  
(漢字 40 桁 × 4 行)



世界初のラップトップ PC 東芝 T-1100  
1985年4月 欧州で発売  
640 × 200 ドット



ワープロ シャープ WD-500  
1984年3月発売 384 × 16 ドット



ワープロ シャープ WD-80  
1986年8月発売 368 × 48 ドット



ワープロ 富士通 OASYS Lite  
1984年5月発表 8 字 × 1 行  
24 × 24 ドット (192 × 24 ドット)



ワープロ シャープ WD-200  
1985年8月販売 288 × 24 ドット

図 3.16 ワープロ、PC におけるドットマトリクス液晶の進展

## 3.2 STN 液晶

1984年11月、新規高多重化液晶ディスプレイ“A new highly multiplexable liquid crystal display”と題して、シェファード (T.J. Scheffer) とネーリング (J. Nehring) との連名で速報論文が APL (Appl. Phys. Lett., Vol.45, No.10, 15, November 1984) に発表された。13年前に TN 液晶を発表したホフマンラロッシュと協同研究をしていた BBC の研究所 (Brown Boberi Research Center, Baden, Switzerland) からの発表であった。SBE (Super Birefringence Effect= 超複屈折効果) と称する新規効果を利用し、1/120 のデューティ比で、垂直方向のコントラスト 10、45° 視野角でコントラスト 44 以上が可能であった。通常の TN 液晶との違いは、SBE では捻れ角を 270° 近くにし (図 3.17)、電極面プリチルトを 5° 以上に高く配向させる。そして 2 枚の偏光板を通常 90° で使用する角度とは異なる角度で貼り付ける。印加電圧を増加させて行くと分子の傾き曲線は、振り角が 270° 付近で殆ど垂直に立ち上がり、300° を越えるとヒステリシスを持つ (図 3.18)。反射板を使用し、電圧無印加時に明るい黄色、電圧印加時は黒が出るようにできる。片方の偏光板を 90° 回転させると、電圧無印加時に深い青、電圧印加時に明るい無色、となる。

翌 1985 年 5 月に開かれた SID1985 (Florida, 米国) で、斜め蒸着で高チルト角を実現でき、1/300 デューティ比まで可能である、との報告が行われ、640 × 400 ドットのデモが行われた。デューティ比を 1/100 以上に上げるのに行き詰まっていた時期の発表だったので大きな注目を集めた。

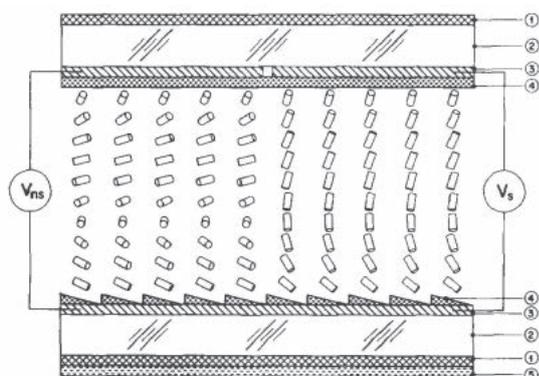


図 3.17 左回り 270° 捻れ SBE 液晶の分子配向模式図<sup>24)</sup>

$V_s$  = 選択電圧  $V_{ns}$  = 非選択電圧 1 = 偏光板 2 = ガラス基板  
3 = 透明電極 4 = 高プリチルト配向剤 5 = 反射板

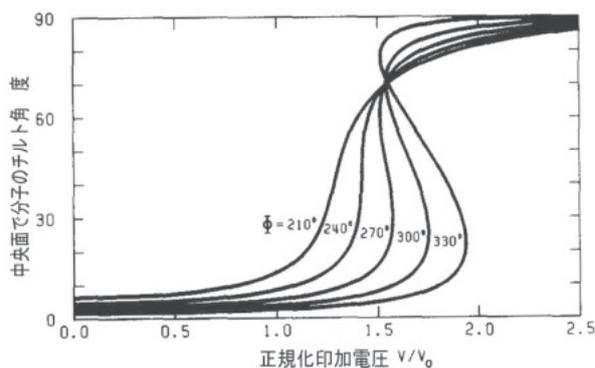


図 3.18 電圧印加による分子の理論チルト角変化 ( $V_0$  = 閾値電圧)

しかしながらツイスト角を 90° よりも大きくすることについては、既に殆どの日本の液晶ディスプレイメーカーは技術検討を終えていた。

日立では振角を 90° よりも大きくする検討を 1983 年 9 月には開始しており、1984 年 8 月には 640 × 256 ドット、1/128 デューティの最初の PC 表示用 STN (Super Twisted Nematic) 液晶モジュールを完成させた。

シャープでは、1982 年頃から量産性の高い配向方法であるラビングで振角が 360° までの表示特性を研究しており、振角を 90° より大きくしていくと印加電圧 - 透過率特性は急峻になり、270° 付近を過ぎるとヒステリシスを持つことを知見として得ていた。しかし着色が起こるため実用にならない、として知見のままに留めてそれ以上の追求がされなかった。そのような状況の中で SID 報告を得て、それまでの知見を活かし、直ちに振角を 220° ~ 240° に設定した STN 液晶の開発をスタートさせ、2ヶ月で試作品を完成させた<sup>25)</sup>。

1985 年の 10 月に行われたエレクトロニクスショーには殆どのメーカーが振り角を 270° よりも小さくして量産性を上げたサンプル品を展示した。そして、ノート PC やワープロへの応用の期待が一気に広がった。実際、1年以上前からデザインインしていた先行メーカーの日立/エプソン/松下は 1984 年のエレクトロニクスショーと相前後してラップトップ PC 向けに CGA (640 × 200) クラスの STN 液晶モジュールの出荷を開始していた<sup>26) 27)</sup>。また、振角が 270° よりも小さかったことから、シェファード達が提案した SBE という用語は使用されず、振角が通常の TN 液晶で使われる 90° よりも非常に大きい、という意味を込めて STN (Super Twisted Nematic) 液晶という用語が一般化した。

しかしながら量産化に際しては多くの課題に見舞われ、各社とも当初は低歩留まりが続いた。当初の低歩留まりの原因としては以下のようなことが挙げられ

る。すなわち、液晶材料の見直しによって生じる製造条件の不安定さ、電極間距離  $6 \mu\text{m}$  の制御の困難さ、特に TN 液晶では  $\pm 1 \mu\text{m}$  の誤差が許された液晶セル厚バラツキに関し 1 桁以上精度を上げる必要があったこと、 $\pm 0.1 \mu\text{m}$  のバラツキで表示ムラが発生するので、ごみや異物対策も  $0.1 \mu\text{m}$  以下に抑えることが要求され、重要生産工程のクリーン度を上げるために装置のレイアウト変更や新設備導入など工程改造も必要であったことなどである。また、使用していたガラス基板厚にうねりがあり、当初は表面研磨が必要となったことも挙げられる。さらには、セットから発生する熱によるパネル内での温度上昇の不均一さが STN 液晶パネルの表示ムラをもたらすといったこともあり、この対策も必要であった。

このような解決を図りながら STN 液晶でデュティ比 1/100 を達成した。駆動法についてはデータを液晶パネルの上下から供給する上下分割駆動法を採用し、 $720 \times 192$  ドットの STN 液晶は市場が伸び盛りのワープロに使われた (図 3.19)。



図 3.19 ワープロ シャープ WD-260F  
1987 年 6 月発売  
 $720 \times 192$  ドット STN 液晶表示

続いて、1987 年 7 月にはワープロの表示ドット数もパソコンと同じレベルの  $640 \times 400$  ドットとなった (図 3.20)。



図 3.20 ワープロ シャープ WV-500  
1988 年 7 月発売  
 $640 \times 400$  ドット STN

その間にも TN 液晶の改良は続けられて応用を拡大し、“漢字が使える ( $16 \times 16$  ドット)”をキャッチフレーズに電子手帳分野市場の開拓も行われていた (図 3.21)。



図 3.21 漢字が使える電子手帳 PA-7000  
1987 年 1 月発売  $96 \times 32$  ドット

SBE の黄色 (または青) の色つきを見たシャープでは、TN 液晶の微妙な色つきの対策として 1980 年に特許申請をしていて眠っていた、振角を反対にした光学補償用パネルを重ね合わせる干渉色補償 2 層パネル TN ディスプレイ特許 (図 3.22) を復活させ、直ちに色つきを無くした  $90^\circ$  よりも大きな振り角を有するスーパー TN (STN) 白黒液晶ディスプレイ (Double STN=DSTN) の開発を開始した。

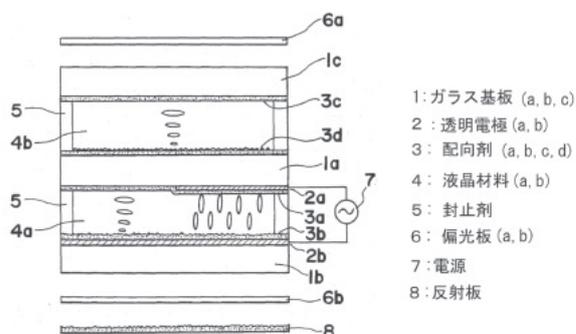


図 3.22 光学補償 2 層セル米国特許<sup>28)</sup>

DSTN は 2 枚のパネルを用いるので重くなった。また、2 枚の同一特性パネルを得ることも非常に困難であり、そのような 2 枚のパネルを貼り合わせるため、表示ムラは倍化される有様であった。これは、DSTN の液晶セル厚の生産基準が  $\pm 0.05$  ミクロンにレベルアップできるまで続いた。この値は、通常の TN 液晶の場合の  $\pm 1 \mu\text{m}$  の 20 倍、STN の場合の  $\pm 0.1 \mu\text{m}$  の 2 倍の精度である。後に、この補償用パネルは同等の効果をもたらす光学補償フィルムに置き換えられた (図 3.23-d)。

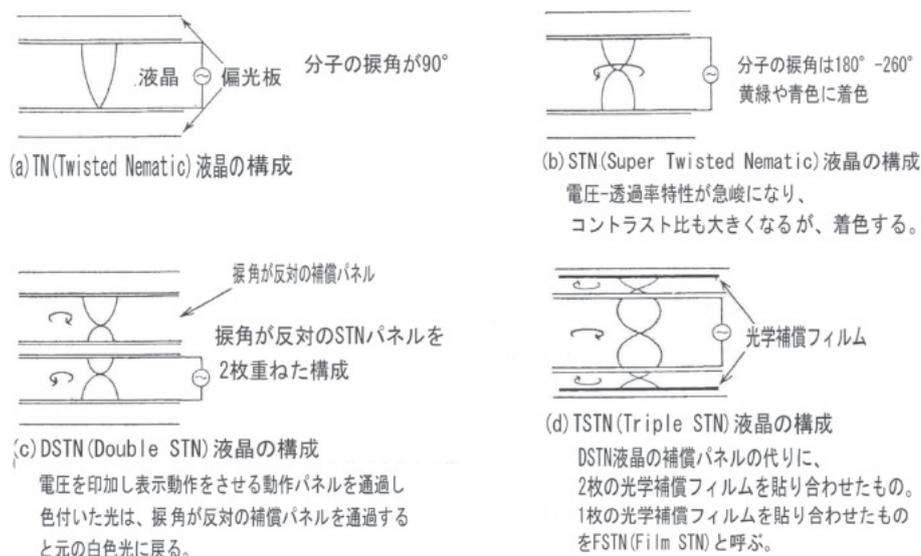


図 3.23 STN 液晶の着色を消す (光学補償) (DSTN・TSTN・FSTN) <sup>29)</sup>

シャープでは激しい競争を繰り広げていたワープロに光学補償用パネルを用いて  $720 \times 400$  ドットの DSTN 液晶を搭載した (図 3.24)。諏訪精工舎では、1987 年 9 月に PSTN/FSTN 双方の特許出願を行い <sup>30) 31)</sup>、光学補償用パネルを用いた方式の液晶を NTN (Neutralized STN) 液晶と名付け、 $640 \times 400$  ドット仕様で NEC PC9801 互換機である PC-286L (図 3.25) に搭載し、1987 年 11 月に EPSON より販売を開始した。また、光学補償フィルムで干渉色を補償した TSTN 液晶は“ハイコントラスト白黒液晶”というキャッチフレーズを付け、ワープロに使用された (図 3.26)。そのドット数はパソコン規格と同じドット数である  $640 \times 400$  ドットであった。



図 3.25 ラップトップ PC EPSON PC-286L  
 $640 \times 400$ NTN 液晶 (光学補償セル方式) <sup>32)</sup>  
1987 年 11 月発売



図 3.24 ワープロ シャープ WD-820  
1987 年 9 月発売  $720 \times 400$  ドット  
DSTN 液晶 (光学補償セル方式)



図 3.26 ワープロ シャープ WD-A330  
1989 年 7 月発売  $640 \times 400$  ドット  
TSTN ハイコントラスト白黒液晶 (バックライト付き)

そして、この光学補償された白黒液晶がワープロ市場を再活性化した（図 3.27）。

白黒化されたSTNは、ワープロ、ノートPCに代表される大型大容量表示のみならず、色づきがない表示品位の高さを活かし、小型の電子システム手帳にも使われ出した（図 3.28）。

1973年、電卓の2桁から始まったダイナミック駆動は、単純ドットマトリクス駆動の進展により、関数電卓、電訳機、ワープロ、電子手帳などで、英数表示、漢字、グラフィックスと、表示容量の拡大を図り、

1984年のIBMによるPC/AT機の発売とほぼ同期して始まった1985年からのSTN液晶の販売開始により、大容量/大型液晶の時代に一気に突入した。このことは、液晶ディスプレイの需要分野で、1981年にわずか数%でしかなかった電算機、ワープロ、事務機のシェアが1985年には約30%に拡大し、1988年には50%を越えていることから確認できる（図 3.29）。

このように、STN液晶が1985年から大型電算機/ワープロ/事務機の市場を急速に拡大してきたが、丁度この時期に重なって、薄膜トランジスタ（Thin-

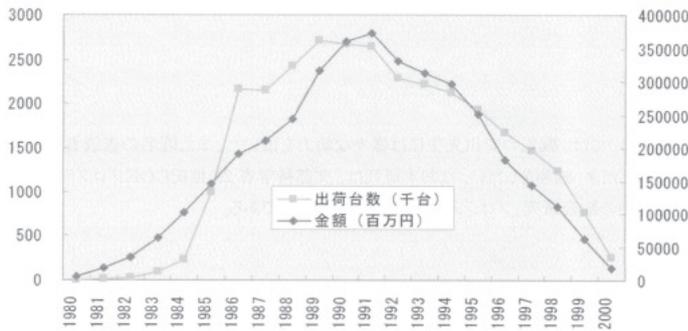


図 3.27 ワープロ専用機の出荷台数と金額<sup>33)</sup>

蔵琢也: "日本語ワードプロセッサの興亡", ITEC Research Paper 04-08 (Dec. 2004)



図 3.28 電子システム手帳 シャープ PA-8600  
1989年12月販売 96×64ドット  
FSTN

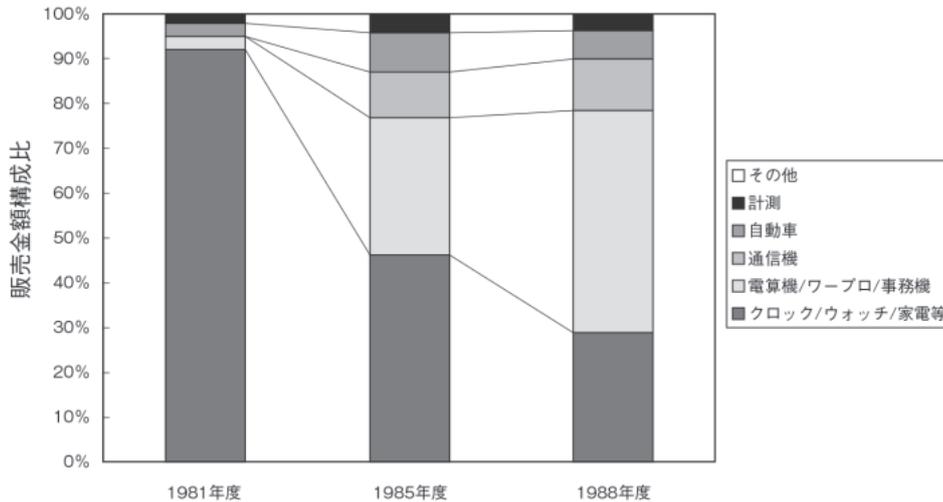


図 3.29 STN 以後の需要分野拡大推移<sup>34)</sup>

(注) 1981年度は矢野経済研究所 (1982), p.21に; 1985年度は矢野経済研究所 (1986), p.86に; 1988年度については矢野経済研究所 (1989), p.84にそれぞれ基づいている。

Film-Transistor=TFT) トランジスタ液晶が液晶市場に登場して登場してくる。

- 1) 菅沼義方他：“液晶ウォッチ①”、728 (56) -731 (59) , エレクトロニクス 1975 年 7 月号、オーム社
- 2) 守久光男他：“CMOS シェンケル型 DC-DC コンバータ”、pp.92-107、日経エレクトロニクス、1973.12.3
- 3) 鷲塚諫編／中村武司著：「連載：TFT 液晶開発物語第 3 回」、液晶も低消費電力化戦争の一途、エレクトロニクス 1995 年 3 月号、p.15
- 4) 橋本伸太郎情報、2015 年 1 月
- 5) 沼上幹：「液晶ディスプレイの技術革新史」、第 10 章 時分割駆動の進展、p.284、白桃書房 (1999 年 9 月 25 日)
- 6) 発明と発見のデジタル博物館：日本語ワードプロセッサ「TOSWORD JW-1」：<http://dbnst.nii.ac.jp/pro/detail/653>
- 7) セイコーエプソン株式会社：「年表で読むセイコーエプソン」 p.80、2001 年 2 月
- 8) セイコーエプソン株式会社：「年表で読むセイコーエプソン」 p.109、2001 年 2 月
- 9) 沼上幹：「液晶ディスプレイの技術革新史」、第 10 章 時分割駆動の進展、p.282、白桃書房 (1999 年 9 月 25 日)
- 10) 沼上幹：「液晶ディスプレイの技術革新史」、第 7 章 日本における液晶の科学・技術研究、pp.192-193、白桃書房 (1999 年 9 月 25 日)
- 11) 「日立茂原工場 50 年史、1943-1993」、pp.37-38
- 12) P.J.Wild, LM.: “First-Hand: Liquid Crystal Display Evolution - Swiss Contributions”, [http://ethw.org/First-Hand:Liquid\\_Crystal\\_Display\\_Evolution\\_-\\_Swiss\\_Contributions](http://ethw.org/First-Hand:Liquid_Crystal_Display_Evolution_-_Swiss_Contributions)
- 13) 衣川清重メモ、2014 年 10 月 20 日
- 14) 沼上幹：「液晶ディスプレイの技術革新史」、第 10 章 時分割駆動の進展、p.277、白桃書房 (1999 年 9 月 25 日)
- 15) 鷲塚諫編／中村武司著：「連載：TFT 液晶開発物語第 3 回」、液晶も低消費電力化戦争の一途、エレクトロニクス 1995 年 3 月号、p.15
- 16) 沼上幹：「液晶ディスプレイの技術革新史」、第 10 章 時分割駆動の進展、p.287、白桃書房 (1999 年 9 月 25 日)
- 17) 鷲塚諫編／中村武司著：「連載：TFT 液晶開発物語第 3 回」、液晶も低消費電力化戦争の一途、エレクトロニクス 1995 年 3 月号、p.15
- 18) シャープ株式会社：「液晶の世界」、p.58、1996 年 4 月
- 19) 川上英昭：特許公報 昭 57-57718、出願：1973 年 10 月 19 日、広告：1982 年 12 月 6 日
- 20) Hideaki Kawakami: United States Patent 3976362, Foreign Application Priority Data Oct. 19, 1973 Japan, Granted on Aug. 24, 1976
- 21) P.M.Alt and P. Pleshko: “Scanning Limitations of Liquid-Crystal Displays”, IEEE TRANSACTIONS ON TLECTRON DEVICES, VOL. ED-21, NO.2, pp.146-155, FEBRUARY 1974
- 22) 高津晴義：“液晶材料の開発と工業化”、DIC Technical Review No. 11, pp.29-36、2005 年
- 23) Martin Schadt: “Plenary Lecture: The history of the liquid crystal display and liquid crystal material technology”, Liquid Crystals, 5:1, p57 (1989)
- 24) T.J.Sheffer and J.Nehring: “A new, highly multiplexable liquid crystal display”, Appl. Phys. Lett. 45 (10) , 15, p.1021, 15 November 1984
- 25) 鷲塚諫編／谷口弘毅著：「連載：TFT 液晶物語第 4 回」、液晶ビジネス確立への悪戦苦闘、エレクトロニクス 1995 年 4 月号、p.73、オーム社
- 26) 衣川清重：メモ、2015 年 1 月 19 日
- 27) 堀田定吉：メモ、2014 年 6 月 2 日
- 28) F.Funada et al.: “Interference Color Compensation Double Layered Twisted Nematic Display”, USPAT4443065, Apr. 17, 1984
- 29) 鷲塚諫編／谷口弘毅著：「連載：TFT 液晶物語第 4 回」、液晶ビジネス確立への悪戦苦闘、エレクトロニクス 1995 年 4 月号、p.72、オーム社
- 30) 和田啓志他：特許公報 (B2) 平 3-18164 (出願：1987 年 5 月 19 日、公告：1991 年 3 月 11 日)
- 31) 和田啓志他：特許公報 (B2) 平 3-50249 (出願：1987 年 5 月 19 日、公告：1991 年 8 月 1 日)
- 32) セイコーエプソン株式会社：「年表で読むセイコーエプソン」 p.143、2001 年 2 月
- 33) 蔵塚也：“日本語ワードプロセッサの興亡 - 定量指標からの考察”、ITEC Research Paper 04-08, p.3, December 2004
- 34) 沼上幹：「液晶ディスプレイの技術革新史」、第 12 章 超振れネマティック・モードとアクティブマトリクスの開発、p.349、白桃書房 (1999 年 9 月 25 日)

# 4 | TFT (Thin Film Transistor 薄膜トランジスタ) 液晶

TFT 液晶は TFT と液晶ディスプレイと言う全く異なる個別技術に基づく素子を組み合わせたものである。2つの素子の共通項と言えば、TFT は導体と絶縁体との中間の導電性を示す半導体材料を利用していること、液晶ディスプレイは結晶と(等方性)液体との間の性質を示す液晶材料を利用していること、つまり双方とも中間状態にある材料であることである。このことは、わずかの条件変化で特性に大幅な差異をもたらす材料を使用しているということであり、別の面から見れば、人の関与により特性のコントロールが可能になることを意味し、好みの特性を実現できるという見方もできる。本章では、この二つの組み合わせの上に一大産業を築いた TFT 液晶についてその発展の跡を追うこととする。

## 4.1 TFT

現在テレビやパソコンの液晶ディスプレイに使用されている TFT は、液晶が電子ディスプレイに使える可能性があるとして発表される以前から本格的な研究がワイマー (Paul K. Weimer, 1914 - 2005) により DSRC で進められていた。彼のそのころの活動を見ると以下のとおりである。

1961年8月17日 P.K.Weimer  
 "Solid State Device with Gate Electrode on Thin Insulative Film"<sup>1)</sup>

1964年2月14日 P.K.Weimer  
 "Tellurium Thin Film Field Effect Solid State Electrical Devices"<sup>2)</sup>

すなわち、ハイルマイヤーが液晶の研究を開始したのと同じ年の1961年に TFT の特許出願を行っているのである。彼の目的は、当時結晶ウェファを使って開発され始めていた MOS-FET に対抗し、簡単な蒸着で全行程を薄膜化して安価な半導体デバイスを創出することであった。

図 4.1 はワイマー特許に記載された図であるが、この図の (a) は基板 10 と共にその上に形成されている TFT 素子の断面図である。基板 10 としてはガラス、石英などが使用例として挙げられている。12、14 はソース電極、ドレイン電極であり、16 は半導体材料である。半導体材料の使用例の1つとして多結晶

CdS を挙げている。18 はゲート絶縁膜であり、SiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub> などが使用例となっている。20 がゲート電極で、これらの要素でトランジスタが構成されており、全てを薄膜工程で生成する、としている。

図 4.1 (b) は半導体として CdS を使用した TFT の特性であり、TFT がエンハンスメントモードで動作していることを特徴として挙げている。ゲート電圧 V<sub>g</sub> を上げて行き、表面準位やトラップなどが電子で埋められた後は、以下の式に則って TFT が挙動する、としている<sup>3)</sup>

$$I_d = V_d \cdot \Delta V_g \cdot C \cdot \mu / L^2$$

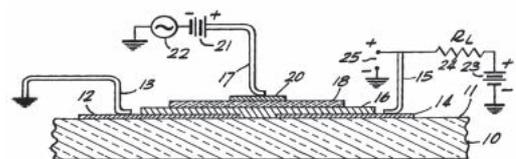
I<sub>d</sub>: ドレイン電流、ΔV<sub>g</sub>: 表面準位やトラップなどが電子で埋められた後からのゲート電圧変化、C: ゲート電極と半導体膜とで作る容量、μ: 半導体膜中の電子移動度、L: ソース電極とドレイン電極との距離。

更に、

$C = \epsilon \cdot L \cdot W / d$  ε: ゲート絶縁膜の誘電率、W: ゲート電極幅、d: ゲート絶縁膜厚であるので、I<sub>d</sub> は以下のように表せる。

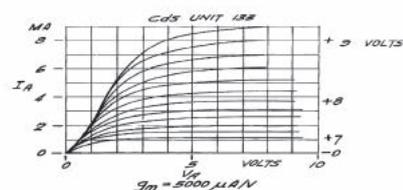
$$I_d = V_d \cdot \Delta V_g \cdot W \cdot \epsilon \cdot \mu / (d \cdot L)$$

つまり、大きな電流値を得る、或いはその値を大きく変化させようとする場合には、①誘電率の大きなゲート絶縁膜、②移動度の大きな半導体の膜、③薄いゲート絶縁膜、④ドレインとソースの距離を小さくする微細加工プロセスが必要であることをしめしている。



(a) 断面図

- 10: 絶縁基板(ガラス、セラミック、他)、11: 基盤の上面
- 12, 14: 電極、13, 15, 17: 取り出し線、16: 半導体膜: CdS、他
- 18: 絶縁膜(SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 他)、20: 絶縁膜制御電極
- 21, 23: 電池、22: 信号源、24: 負荷



(b) 入力電圧-出力電流特性

図 4.1 ワイマー (RCA) の TFT 特許に記載された図<sup>4)</sup>

さらにワイマーは1964年にはテルル (Te) を半導体膜として用いた特許を出願した (図 4.2)。目的は、Te は p 型半導体となるため従来の n 型と組み合わせ、相補型のフリップフロップを作ることにあつた。また、Te が元素半導体であり、他の化合物半導体を使った場合に問題となる化学量論比のバラツキがなく、再現性の良いことを長所として挙げている。ワイマーは薄膜化で半導体デバイスのコストダウンを狙つたのであつたが、その後プレーナー技術を用いたウェファプロセスが進展したことにより、その意味が薄れた。しかし、その先駆的業績は評価されてよい。なお、C-MOS 特許を1963年に申請したワンラスは、ワイマーの薄膜相補型 TFT の研究に注目していた。

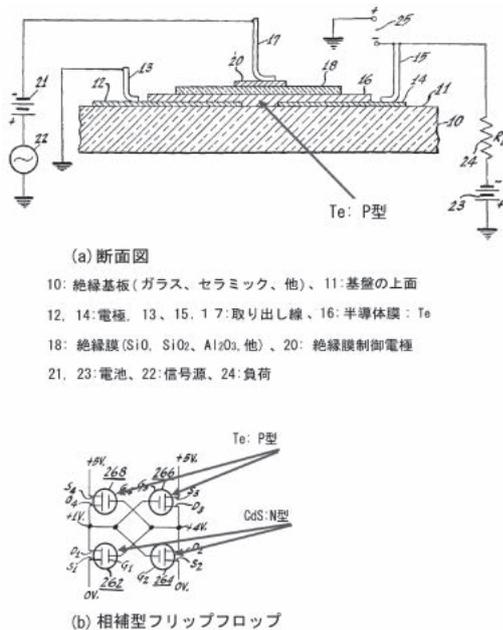


図 4.2 ワイマーの Te を使用した TFT 特許の図<sup>5)</sup>

TN 液晶の開発を終えたシャープでも表示容量の拡大を目指し、TN 液晶そのものの改良に加え、新しい領域の研究もすべきであるとして、1975 年から TFT の研究を開始した。最初に採り上げた材料は CdS であつたが、2 年ほどして Te に切り替えた。理由としては、当時の半導体薄膜生成法の蒸着法では、化合物半導体の成分元素の蒸気圧の違いから信頼性、再現性のよい半導体膜が生産できると思えず、当時蒸着法で成膜できる唯一の元素半導体候補が Te であつたことである。Cd と異なり、公害問題の虞がなかつたことも大きな理由のひとつであつた。目指した商品は電卓の次の商品としての携帯情報端末であつた。

## 4.2 TFT 液晶

TFT 液晶は、ドットマトリクス状に配置した液晶ディスプレイの各々のドットに、一個ずつ TFT (Thin Film Transistor = 薄膜トランジスタ) を対応させ、直列に接続して構成されている (図 4.3-a)。TFT はソース S に印加されている電圧による電流を、ゲート G に印加される電圧によって制御しており、電流を流し込んだり遮断したりしている。TFT ガラス基板と対向ガラス基板の 2 枚のガラス基板を 3 μm ~ 5 μm 程度離しながら、基板周囲で接着してパネルを製作する。出来た 3 μm ~ 5 μm 程度の空間に液晶材料が注入され、TFT 液晶パネルとなる (図 4.3-b)。

TFT は、走査電極である X 電極とデータ電極である Y 電極と共に、TFT ガラス基板上に形成される。TFT のドレイン電極 D は液晶表示ドットの片方の電極に接続され、液晶表示ドットのもう一つの電極は対向ガラス基板全面に形成された対向電極に接続されることになる (図 4.3-b)。

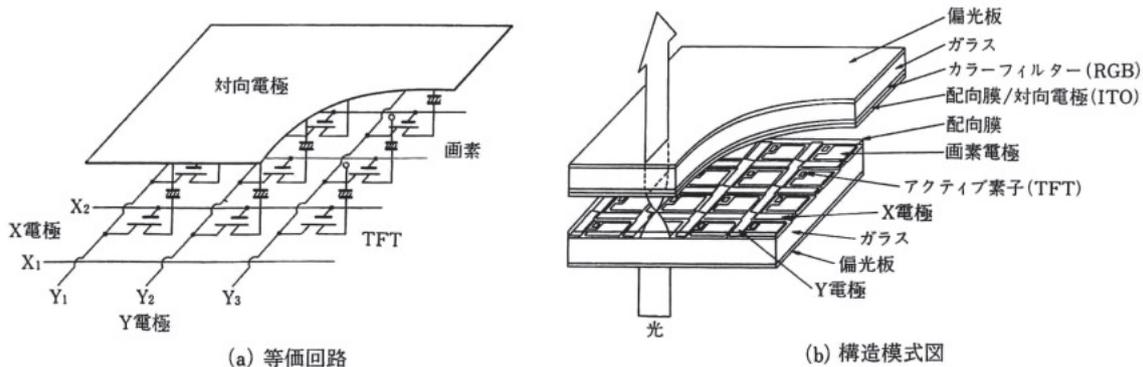


図 4.3 TFT 液晶パネルの等価回路と構造模式図<sup>6)</sup>

TFT素子の動作は基本的にMOSトランジスタと同じ原理で動作する。MOS (Metal Oxide Semiconductor) の語源が示すように、ゲート電極からサブストレート方向に見てみると、ゲート (金属) 電極、酸化シリコン絶縁膜、P型半導体サブストレートの順に重なっている (図4.4)。

NチャンネルMOSトランジスタを例にとり動作を説明する。P型サブストレート表面にソースとドレイン用のN型領域を作り、ソースとドレイン両領域の間のP型サブストレート領域表面をシリコン絶縁膜で覆い、その上にゲート電極を生成する。この状態でドレインとソース間には互いに逆接続されたダイオードが生成されていることになり、ドレインとソース間には電流は流れない。

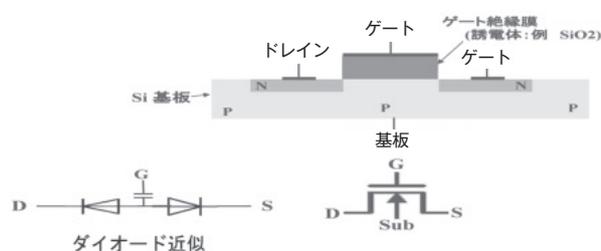


図 4.4 MOSトランジスタの原理 -1

次にゲートに充分大きな正の電圧  $V_{on}$  を印加すると、ゲート電極の反対側のP型サブストレート表面に負の電荷、つまり電子が誘起され、ゲート絶縁膜を絶縁層とするキャパシターが形成される。更に電子が増えると、元来P型であったこの領域はN型に変わるまでになる。ソースとドレインはN型であるから、両領域の間がP型からN型に反転すると、N型だけでソースとドレインが繋がることになり、逆接続され

ていたダイオードは消滅し、電気的には単なる抵抗となる (図4.5)。この時、ソースとドレインの間に電圧を印加すると、 $V_{on}$  よりも充分小さな電圧でソースとドレインとの間に電流が流れる。これがMOSトランジスタの動作原理である。

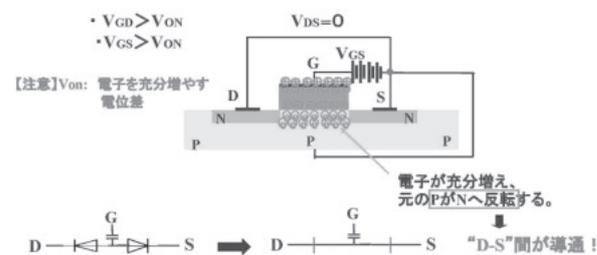


図 4.5 MOSトランジスタの原理 -2

TFT素子の断面図を図4.6-aに示す。ドットマトリクスはXYマトリクスと呼ばれることがあり、この場合、Y電極は縦方向電極でデータ電極である。Y電極はソースバスラインでありソースSと接続している。ソースSとドレインDとの間は半導体膜で接続されているが、この薄膜半導体膜とX電極 (走査電極) であるゲートバスラインGバスとの間には、ゲート絶縁膜 (G絶縁膜) があり、構成がMOSトランジスタと同じであることが分かる。

TFT素子の電圧-電流特性 (図4.6-b) も、基本的にはMOSトランジスタの特性と同じであるが、TFT液晶の場合、TFTを単にON/OFFするアナログスイッチとして使用するため、TFTを抵抗領域と遮断領域で使用する。また、液晶を交流駆動するため、ドレイン電流  $I_d$  は双方向に流れる。このため、動作点は第1象限と第3象限との双方を使用する。TFTを導通状態にするゲート電圧  $V_{gson}$ 、遮断状態にする

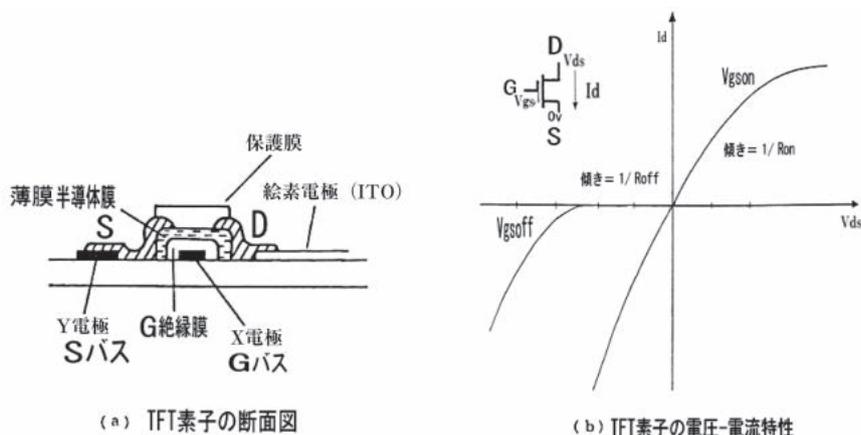


図 4.6 TFT素子の電圧-電流特性とTFT素子の断面図

$V_{gs\text{off}}$  に応じて  $V_{ds} - I_{ds}$  曲線が異なるが、 $V_{ds} - I_{ds}$  曲線の傾きが TFT の等価抵抗の逆数となり、充分低い ON 抵抗、充分高い OFF 抵抗を確保するようなドレイソース電圧  $V_{gs}$  を設定する必要がある。

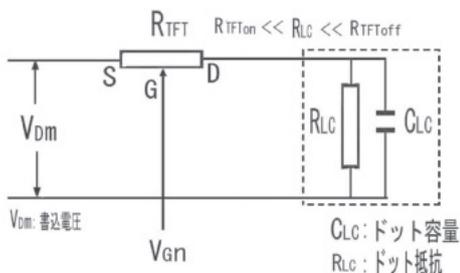
TFT 液晶ディスプレイにおいては、各表示ドットに直列に TFT アナログスイッチ  $R_{TFT}$  が接続された等価回路となっている (図 4.7-a)。TFT 液晶パネルの走査電極となっているゲート電極に TFT アナログスイッチを一斉に充分低い低抵抗値  $R_{TFTon}$  にするよう走査信号電極  $V_{Gn}$  に  $V_{GON}$  を印加する (図 4.7-b)。 $V_{GON}$  を印加している時間は、走査線数を  $N$ 、走査周期を  $T$  とすると  $T/N$  となる。この時  $R_{TFT}$  は十分に低い抵抗  $R_{TFTon}$  となる。 $R_{TFTon} \ll R_{LC}$  となるよう設計しておく、この時間内に表示ドットの等価容量である  $C_{LC}$  に書き込み電圧  $V_{Dm}$  にまで時定数  $\tau_{on} = C_{LC} \cdot R_{TFTon}$  で充電されることになる。この書き込み時間が過ぎると、走査信号電極  $V_{Gn}$  には TFT を遮断領域に追い込む電圧  $V_{GOFF}$  が印加され、TFT は十分に大きな OFF 抵抗値  $R_{TFToff}$  状態となる。この抵抗値を液晶表示ドットの等価抵抗  $R_{LC}$  よりも充分大きな値になるよう設計しておく、TFT が OFF になったあとは、書き込まれた電圧  $V_{Dm}$  は時定数  $\tau_{off} = C_{LC} R_{LC}$  で変化していくが、 $\tau_{off}$  を充分大きく設計しておく、次の書き込みタイミングまで殆ど変化せずホールドされる。次の書き込みタイミングではデータ電圧  $V_{Dm}$  の極性を反転して、同じ大きさの電圧まで  $C_{LC}$  を充電し、交流駆動を行う。

具体的には、充分低い低抵抗値  $R_{TFTon}$  と、十分に大きな OFF 抵抗値  $R_{TFToff}$  の比を簡易に見積もっておく。液晶ディスプレイの階調を 100 階調まで再現することを目安として、印加電圧を 1% の精度で表示ドットに印加するとする。書き込み時間  $T/N$  の間に

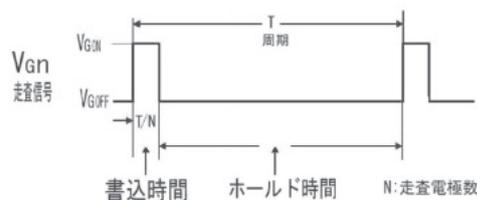
書き込み電圧  $V_{Dm}$  の 99.5% まで  $C_{LC}$  を充電すると、 $T/N = 5.3 \times \tau_{on} = 5.3 C_{LC} R_{TFTon}$  であればよい。また、TFT が遮断領域に入ってホールド時間  $T(1 - 1/N)$  の間に 0.5% だけ放電変化をすると、 $N$  が大きい場合は  $(1 - 1/N) = 1$  となるため、 $T = \tau_{off}/200 = C_{LC} R_{LC}/200$  となり、 $R_{LC}/R_{TFTon} = 5.3 \times N \times 200 = 1000 \times N$  となる。日本で行われていたアナログ TV 放送では走査線は 480 本程度 (最小 483 本) であったため、半分の解像度で TFT 液晶表示をすると  $N=240$  となり、 $R_{LC}/R_{TFTon} = 2.4 \times 10^5$  となる。この計算では  $R_{TFToff} \gg R_{LC}$  という前提を置いた。仮に  $R_{TFToff} = 10 \times R_{LC}$  とすると、 $R_{TFToff}/R_{TFTon} = 2.4 \times 10^6$  となり、アナログ TV 画面の 1/2 の垂直解像度の表示を行うために必要な TFT の ON/OFF 比は、概略 106 程度は必要と見積られる。また、アナログ TV 放送で 240 本の垂直解像度の表示を行う場合、 $T=1/60\text{Hz} = 17\text{msec}$  となるので、液晶材料の緩和時間である  $C_{LC} R_{LC}$  も  $200 \times 17\text{msec} = 3.4\text{sec}$  となり、充分大きな容量値、抵抗値が求められる。容量値は光学特性、閾値電圧等の要請から必要な設計値が決まって来るため、温度依存性が大きな抵抗値を有する TFT 液晶用材料としては、高温になっても充分高い抵抗値を持つものが求められる。

このように TFT 液晶パネルの場合は、各表示ドットに TFT アナログスイッチが設けられているため、データ電極に与えられた電圧そのものが直接ドットに書き込まれる。その後、他のドットに書き込まれる書き込み電圧は OFF になった TFT によって遮断されるため、表示ドット電圧は他のドット書き込み電圧の影響を受けずクロストークが生じない。

TFT 液晶ドットに書き込まれる書き込み電圧は、単純ドットマトリクス駆動にあったような走査線数の



(a) TFT-液晶表示ドット 等価回路



(b) 走査信号タイミングチャート

図 4.7 TFT 液晶駆動基本説明

制限を受けず、液晶の印加電圧-透過率曲線の任意の電圧を印加できるため、液晶の特性をフルに活用でき、高品位な表示が可能となる。また、走査線数  $N$  を増やしても液晶表示ドットの印加電圧-透過率曲線に、より急峻な傾きが必要になる事はない。走査線数  $N$  を増やすために必要となるのは、書き込み時間が  $T/N$  となることから、より短時間でも十分に CLC に充電が出来る小さな  $R_{TFTon}$  である。

液晶表示ドットの各々に TFT の様な外部素子を付加してドットマトリクス表示駆動を行う方式をアクティブ(ドット)マトリクス駆動方式と呼ぶのに対し、外部素子を付加することなく、液晶表示ドットの電圧-透過率曲線の急峻さのみを利用してドットマトリクス駆動を行う方式を単純マトリクス駆動方式と呼んでいる。厳密に言えば、active の反対語は passive であるため、Passive Matrix Drive と呼ばれることもあるが、習慣上あまり使われていない。

### 4.3 a-Si (amorphous Silicon アモルファスシリコン) TFT 液晶

1976年1月、ダンディ大学のグループが a-Si で PN ジャンクションを作成したことを発表した(図4.8)。ドナー、アクセプターの不純物を加えたシランガスをプラズマ放電分解により a-Si 膜を作成した。この報告以降、a-Si が太陽電池用として研究され始めた。しかしながら、この時期は TN 液晶がようやく電卓や腕時計に使われ始めたばかりであり、1970年前後に DSRC のレヒナー(Lechner)の詳述していた FETC 回路と直ちに結びつける動きにはならなかった。

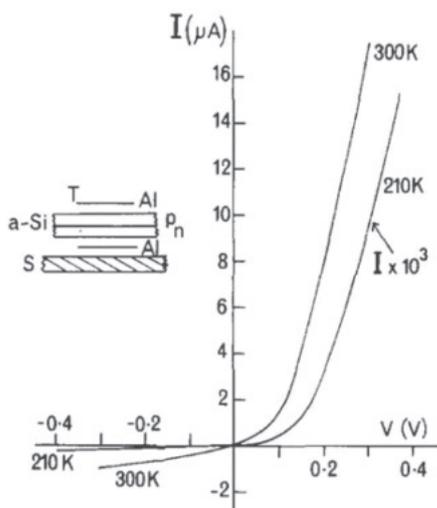
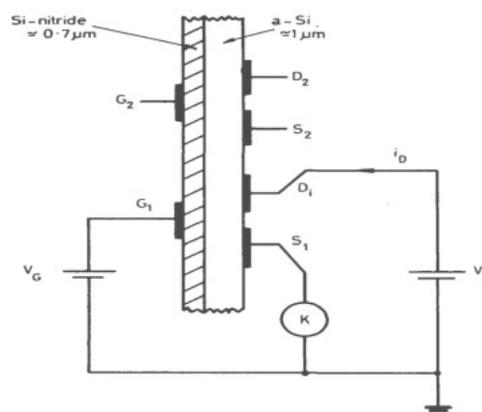
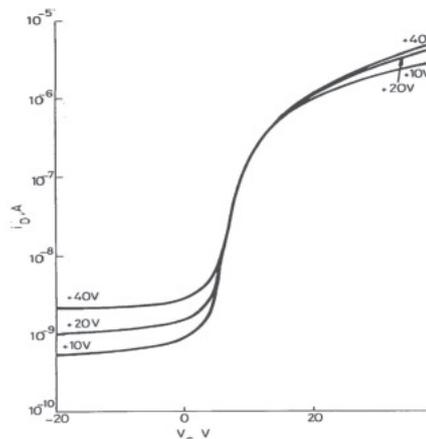


図 4.8 ダンディ大学グループによる a-Si-PN 接合特性<sup>7)</sup>

3年後の1979年に同じグループが a-Si TFT の試作について発表(図4.9)したが、このときもその特性は電流値変化が3桁程度であり、それ程良くはなかった。しかし、長年化合物半導体や単結晶 Si ウェハ上の MOS トランジスタを使って液晶アクティブマトリクスディスプレイを研究してきた研究者にとっては、大きなニュースであった。



(a) TFT (G:ゲート、D:ドレイン、S:ソース)と特性測定系の模式図

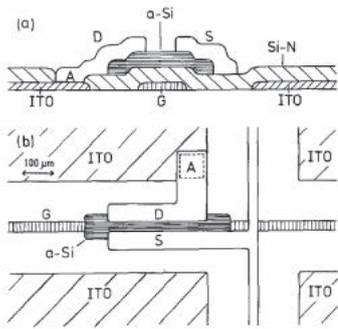


(b) ドレイン電流  $I_D$ -ゲート電圧  $V_G$  特性

図 4.9 ダンディ大学グループの試作した a-Si-TFT の特性<sup>8)</sup>

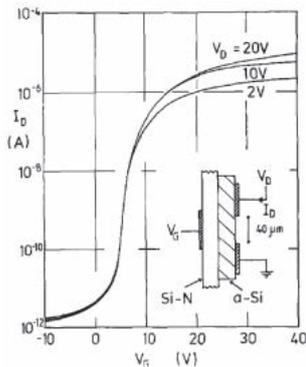
同グループは更に1980年の国際学会(ESS-DERC Europhysics Conf. 1980)で発表し、翌年 Applied Physics に投稿した。

$5 \times 7$ ドットの a-Si-TFT 液晶の試作報告であり、フォトリソグラフィを使用して再現性良く TFT を作成していた。15V より低い電圧で250本程度の走査線による駆動が可能で、TFT の電流も6桁の変化を示す素晴らしいものであった(図4.10)。



(a) TFT断面図 (b) TFTアレイ平面図

ITO:酸化インジウム、G:ゲート、D:ドレイン  
S:ソース、A:コンタクトホール



(c) ドレイン電流  $I_D$ -ゲート電圧  $V_G$  特性

図 4.10 ダンディ大学グループによる  $5 \times 7$  ドットの a-Si-TFT 液晶<sup>9)</sup>

1981年、スピア教授が来日し、訪問先で太陽電池を含む講演と  $5 \times 7$  ドットの a-Si-TFT 液晶のデモを行った。それまでは a-Si の研究に関しては太陽電池が主であったが、これを機会に TFT に対する研究が日本で一気に広がった。

1981年12月、シャープでも、太陽電池グループの装置を借りて試作をすると、電流値が6桁変化するなど非常に良い特性(図4.11)を得て、その特性の素直さに驚き、Te から a-Si への切り替えを急いだ。

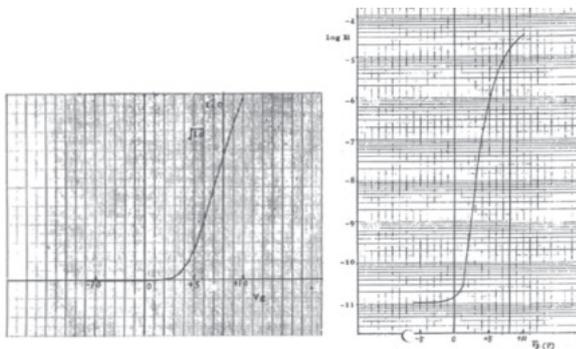


図 4.11 シャープでの最初の a-Si TFT の特性  
1981年12月23日<sup>10)</sup>

1982年は a-Si-TFT 液晶開発元年とも言える年であり、キャノン、スタンレー、星電器、三洋、東芝など、各社が次々と a-Si-TFT 液晶の開発発表を行った<sup>11)</sup>。画面サイズは概ね 2~4 型、ドット数は  $120 \times 120 \sim 240 \times 240$  ドットであった。TFT 液晶パネル基板上の画素パターンの基本構成(図4.12)に於いて、TFT 部の S はソース電極、G はゲート電極、D はドレイン電極である。

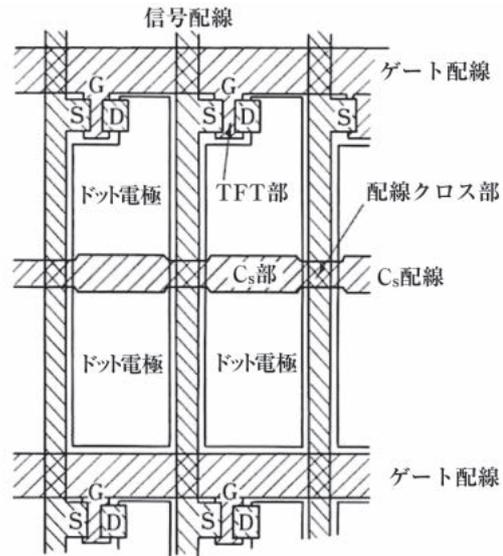


図 4.12 画素パタンの基本構成<sup>12)</sup>

S は信号配線から、G はゲート配線から突き出している。D は透明電極で各ドット電極に接続されている。ドット電極は上下に分割されているように見えるが、チャンネル保護膜型の a-Si-TFT アレイ基板の断面構造(図4.13)から分かるように、層間絶縁膜を介して補助容量 Cs 電極とドット電極との間で補助容量を構成しており、上下のドット電極は電氣的に繋がっている。

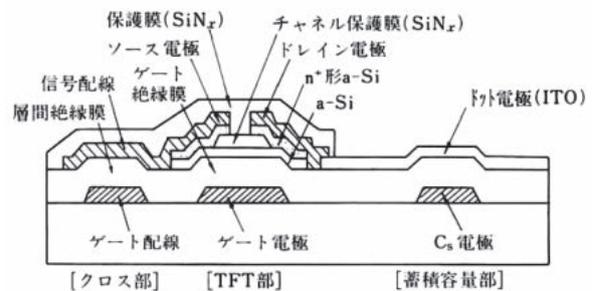


図 4.13 チャンネル保護膜形の a-Si 形 TFT アレイ基板の断面構造<sup>13)</sup>

図4.13においてゲート電極の上にはゲート絶縁膜を介して a-Si から成る半導体膜がある。半導体膜の上

のチャンネル保護膜は、ソース部とドレイン部との間にエッチングでチャンネルギャップを形成するとき半導体膜までエッチング除去してしまわないように半導体膜を保護しているものである。n+a-Si 膜は、a-Si 半導体膜とドレイン電極との間に良好なオーミックコンタクトを確保するために、a-Si を充分低抵抗にした n 型 a-Si 膜である。通常、チャンネルギャップ巾は 2 ~ 4  $\mu\text{m}$  に設定されており、この部分の精度を量産で確保するために、高額なフォトリソグラフィシステムが必要となる。チャンネルエッチ型 a-Si-TFT (図 4.14) では、チャンネル保護膜が使用されておらず、n+a-Si 膜を充分除去するために、その下の a-Si 半導体膜までエッチング除去する設計になっている。a-Si-TFT の a-Si 半導体膜厚は TFT 特性上、また生産工程短縮上、100nm (ナノメートル =  $10^{-9}\text{m}$ ) 以下とする事が望ましいが、量産初期には再現性の良い成膜、再現性の良いフォトリソグラフィの確保が難しく、チャンネル保護膜型 TFT 構造を採用することが多かった。後に、成膜装置、フォトリソグラフィシステムの完成度が上がるにつれ、a-Si 半導体膜厚を 200 - 300nm にし、チャンネルエッチ型 TFT 構造を採用するに至っている。

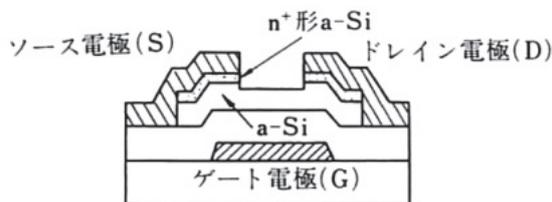


図 4.14 チャンネルエッチ形 a-Si 形 TFT の断面構造<sup>14)</sup>

1982 年 12 月、両角伸治のグループが開発した、Si ウェハを用いた 1.2 型、152 x 210 ドットの液晶ディスプレイを使用したテレビを付けたテレビウォッチ (図 4.15) をセイコーエプソンが発売した。画質も良いとは言えず、また、光を通さない Si ウェハを使う限り、液晶は反射型でしか使うことが出来ない宿命にあった。将来的にも画質の改良が難しいと思われ、精々腕時計等限定したニッチ市場でしか生きられないだろうというのが一般的な見方であり、大きな動

きにはならなかったものの液晶でテレビ画像を表示した世界初の商品として意義深い。



図 4.15 Si ウェハを用いた液晶テレビウォッチ  
1982 年 12 月発売  
1.2 型 152 x 210 ドット<sup>15)</sup>

- 1) P.K.Weimer: "Solid State Device with Gate Electrode on Thin Insulative Film", USPAT3258663, Filed Aug. 17, 1961, Patented June 28, 1966
- 2) P.K.Weimer: "Tellurium Thin Film Field Effect Solid State Electrical Devices", USPAT3290569, Filed Feb. 14, 1964, Patented Dec. 6, 1966
- 3) P.K.Weimer: "Tellurium Thin Film Field Effect Solid State Electrical Devices", USPAT3290569, Column6, Filed Feb. 14, 1964, Patented Dec. 6, 1966
- 4) P.K.Weimer: "Solid State Device with Gate Electrode on Thin Insulative Film", USPAT3258663, Filed Aug. 17, 1961, Patented June 28, 1966
- 5) P.K.Weimer: "Tellurium Thin Film Field Effect Solid State Electrical Devices", USPAT3290569, Filed Feb. 14, 1964, Patented Dec. 6, 1966
- 6) 鷲塚謙監修:「液晶ディスプレイ - その概要と応用市場」、第 3 章 液晶デバイスの校正技術、p.65、1992 年 9 月 1 日、ラジオ技術社
- 7) W.E.Spear et al.: "Amorphous silicon p-n junction", Applied Physics Letters, Vol.28, No.2, pp.105-107, 15 January 1976
- 8) P.G.Le COMBER et al.: "AMORPHOUS-SILICON FIELD-EFFECT DEVICE AND POSSIBLE APPLICATION", ELECTRONICS LETTERS, Vol.15, No.6, pp.179-181, 15th March 1979
- 9) A.J.Snell et al.: "Application of Amorphous Silicon Field Effect Transistors in Addressable Liquid Crystal Display Panels", Appl. Phys. 24, pp.357-362, 1981
- 10) 船田文明: "TFT 研究開発ことはじめ", シャープ技報、第 96 号、p.4、2007 年 11 月
- 11) 日本学術振興会第 142 委員会編:「液晶デバイスハンドブック」、付表 1 液晶デバイスの技術開発年表、pp.690-691、日刊工業新聞社、1989 年 9 月 29 日
- 12) 松本正一:「液晶ディスプレイ技術」、第 2 章 a-Si 形 TFT 方式アクティブマトリクス液晶、p.55、産業図書出版、1996 年 11 月
- 13) 松本正一:「液晶ディスプレイ技術」、第 2 章 a-Si 形 TFT 方式アクティブマトリクス液晶、p.56、産業図書出版、1996 年 11 月
- 14) 松本正一:「液晶ディスプレイ技術」、第 2 章 a-Si 形 TFT 方式アクティブマトリクス液晶、p.57、産業図書出版、1996 年 11 月
- 15) セイコーエプソン株式会社:「年表で読むセイコーエプソン」、p.111、2001 年 2 月

# 5 | 小型 TFT LCD

## 5.1 液晶テレビ開発経過<sup>1) 2)</sup>

テレビ用ディスプレイに必要な要素技術は、最小でも対角 13~14 インチの画面サイズ<sup>3) 4)</sup>、動画に対応する高速応答性、静止画に対する低焼付性、広い色再現範囲、低コスト等があり、技術的には究極のディスプレイである。

1968年にRCAが、液晶が電子ディスプレイに利用できる可能性があることを大々的に記者発表した時、実用化には大きな困難が伴うと留保を付けながらも、本技術に期待を寄せる周囲に押される形で、究極のディスプレイとなるテレビ実現の可能性にまでも言及せざるを得なかった。

三菱電機ではその発表を契機に、1965年ごろから始めていたEL、プラズマディスプレイパネルなどを用いた壁掛けテレビの研究のなかのひとつのテーマとして1970年頃から新居宏任を中心として液晶テレビの研究を開始した<sup>5)</sup>。日立製作所でもRCAの記者発表に接し、1971年から日立研究所で正式に組織化して液晶テレビを目指した。

しかしながら当時の液晶の技術レベルではテレビの早期実現は不可能であった。CRTテレビを事業経営の主要な柱の1つとしていた三菱、日立は当初液晶テレビを目指したものの、その研究成果はテレビからは程遠い小型小容量表示への応用に生かされるに留まった。両社とも1975年からTN液晶の生産出荷を始めたが、日立製作所の場合は腕時計用、三菱の場合は電卓用であった。

テレビを目指した研究は各所で続けられた。ひとつの流れとしてはレクナー (Lechner) の提案したFETCをシリコンウェハー上に実現する方法を代表例とするアクティブマトリクス方式があった。他のひとつの動きは、液晶材料の改良や新たな表示モードの開発による単純マトリクス方式であった。

単純マトリクス方式の研究は、1970年頃からスタートしたが、その目指したところの違いから二つのグループに分けることができる。ひとつは当初から電卓・ウォッチへの応用を目指してスタートしたグループであり、1973年から生産を始めた。もうひとつは、始めは液晶テレビの開発を目指したものの早期の実用化は困難であることを認識し、将来的な目標はテレビに置きつつも、当面のテーマとして電卓・腕時計を

採り上げたグループである。双方とも1975年から電卓・腕時計用液晶生産を開始することで合流し、高度情報化社会時代の、大表示容量 (大表示ドット数) のドットマトリクス液晶の開発に取り組んで行く事になった。生産開始から約10年を経た1983年~1985年、TN液晶は変身してSTN/FSTNとなり、待ち構えていたワープロ、ノートPCの市場を創造して行った。

一方、アクティブマトリクス液晶については、ダンディ大学グループの1976年から1981年の5年間に亘る3つの論文が日本の研究者を動かし、1982年、各社からa-Si-TFT液晶の開発発表が相次いだ。キャノン、スタンレー技研、星電器、三洋、東芝などの企業であり、a-Si-TFTがアクティブ素子の最有力候補となった。

1983年になり、各種技術の発表がなされ、カシオとシティズンが単純マトリクス駆動の白黒テレビを発売した。どのような使われ方をするのかとの興味から注目はされたが、液晶業界としての大きな動きにはならなかった。

## 5.2 p-Si TFT LCD と世界初カラー液晶TVの開発 (諏訪精工舎事例)<sup>6)</sup>

1982年12月に販売開始された1.2型液晶テレビウォッチの開発者である諏訪精工舎の両角伸治等は、翌1983年5月、p-Si (多結晶シリコン) TFT駆動による、2.14型240×240ドットのTN液晶を用いたカラー液晶テレビの開発をSID'83で発表した。今までの、白黒テレビ開発とは異なり、初めてのカラーTFT液晶テレビ発表として大きな注目を集めた。翌1984年の8月から液晶ポケットカラーテレビET-10 (図5.1) をエプソンが販売開始した。半導体材料としてp-Siを使ったTFT (図5.2) をアクティブ素子として使用しており、TFT液晶を商品化した世界初の製品となった。2型の面積にドット数は240×220ドット、3原色各々のドット数は1/3となり、世界に向けて日本の積極的な開発姿勢を力強く印象づけた。ポリシリコンは通常の半導体プロセスで使用している減圧CVD (Low Pressure & Temperature Chemical Vapor Deposition) 法により石英ガラス基板上に形成して作成した。a-Siに比して移動度が大きく (約30~100cm<sup>2</sup>/Vs、a-Siの移動度は約0.3~1cm<sup>2</sup>/Vs) 電流を流し安い反面、OFF時のリーク電流が大きいこと

に対応するため、p-Si - TFT を直列に接続したデュアルゲート TFT 構造を採用している。TFT 特性や信頼性の観点から重要な要素であるゲート絶縁膜には特性的、生産工程的に安定した熱酸化二酸化シリコン (SiO<sub>2</sub>) を使用することとし、1,000℃ 以上の工程で作成した。この開発でバックライトを使用してカラー表示をした影響は大きく、小型テレビ開発に大いなる拍車を掛けることになった。

この世界初の p-Si-TFT を用いたポータブルカラー液晶テレビの開発により、両角伸治は AV 界のノーベル賞と呼ばれるエデュワルドライン財団技術賞 (Eduard Rhein Foundation Technology Award) を 1985 年に受けた<sup>7)</sup>。



図 5.1 世界初液晶カラーテレビ EPSON ET-10  
1984 年 8 月発売<sup>8)</sup>  
2 型 p-Si-TFT-LCD 240 x 220 ドット

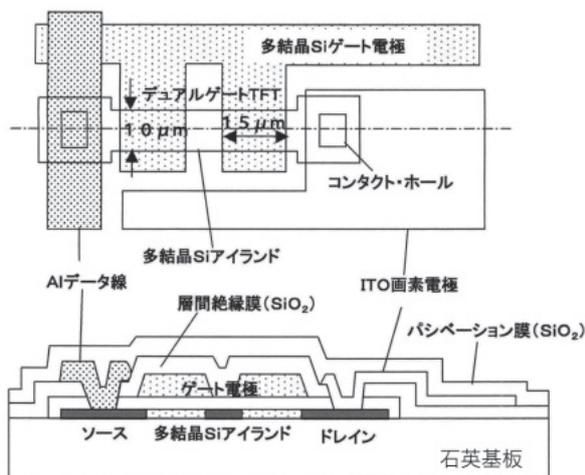


図 5.2 p-Si-TFT の構造とレイアウト<sup>9)</sup>

このときの液晶材料としてエプソンは、新規に登場してきたフッ素系材料を選択した。フッ素系液晶はチソ株式会社で世界で初めて合成した液晶材料であり (図 5.3)、X や Y の位置に F が置換される。

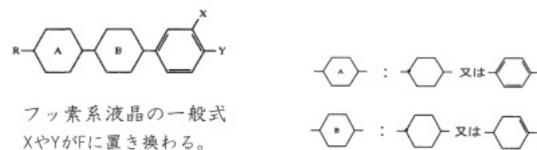


図 5.3 フッ素系液晶材料特許 杉森滋他：“ハロゲンベンゼン誘導体液晶”、チソ株式会社<sup>10)</sup>

フッ素系液晶はネマティック液晶から等方液体へ変化する温度 T<sub>c</sub> に近づいた高温になっても、抵抗値は変化せず電圧の保持率は高いままで変化しない (図 5.4) が、従来の CN (シアノ) 系液晶では T<sub>c</sub> に近づくと電圧の保持率が低下してくる。

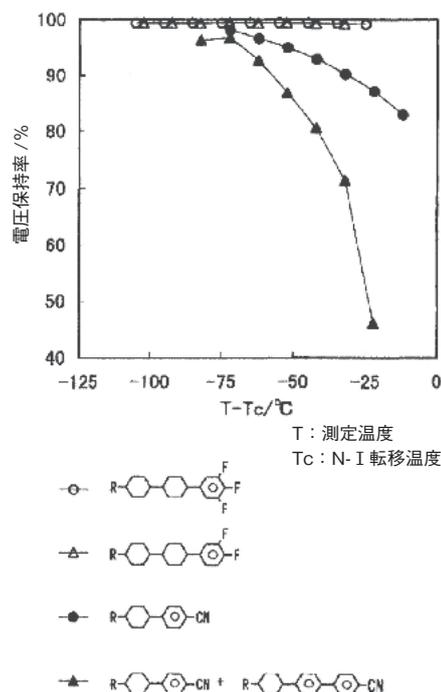


図 5.4 フッ素系液晶材料の電圧保持率特性の温度依存性<sup>11)</sup>

従来のシアノ系液晶 (表 5.1) と典型的なフッ素系液晶 (表 5.2) の特性を比べて見ると、誘電率異方性 Δε、複屈折性 Δn、粘性 η 全てに於いてフッ素系液晶が小さい値を示している。誘電率異方性 Δε が小さいと閾値電圧 V<sub>10</sub> が大きくなり、駆動電圧が大きくなる点から一般的には短所となる可能性があるが、フッ素系液晶の場合閾値電圧に関係する弾性定数も小さいことから閾値電圧が大きくなることに繋がらない。

また、フッ素系液晶の複屈折率が小さいことを活用し (表 5.2)、従来の TN 液晶の設計基準であったセカンドミニマムである d · Δn = 1.1 μm に比べ、ファーストミニマム d · Δn = 0.6 μm が可能となり、生産性良く広視野角 TFT 液晶パネルを実現でき

表 5.1 チッソ株式会社で合成された TN 用液晶材料：CN 系<sup>12)</sup>

No.	化学構造式	C	転移温度 N	I	$d_e$	$d_n$	$\eta/mPa \cdot s$
6		·	66.0	· (26.0)	· 26.3	0.193	75
7		·	44.5	· (30.0)	· 26.9	0.173	110
8		·	50.7	· (-0.5)	· 27.6	0.173	43
9		·	42.0	· 57.0	· 8.6	0.150	35
10		·	110.7	· 228.1	· 11.9	0.232	87
11		·	64.0	· (27.3)	· 21.0	0.107	45

表 5.2 典型的なフッ素系液晶材料<sup>13)</sup>

No.	化学構造式	C	転移温度 N	I	$d_e$	$d_n$	$\eta/mPa \cdot s$
16		·	88.0	· 158.5	· 4.8	0.094	12.1
17		·	44.2	· 118.0	· 5.8	0.104	18.6
18		·	64.7	· 93.7	· 8.3	0.073	25.1
19		·	56.8	· 117.5	· 11.4	0.074	27.4
20		·	105.8	· >250	· 5.3	0.154	57.6

る。更に、粘性が小さいことは応答時間が小さくなることに繋がり、特にテレビ用途には有利である。

その他にもフッ素系液晶は複屈折率の波長依存性(図 5.5)や、閾値電圧の温度依存性が小さい(図 5.6)という特性も有しており、バックライトと言う発熱体

を近く持つカラー表示素子に使用するには非常に大事な特長である。このように、フッ素系液晶は TFT-LCD との相性が良く、TFT 液晶の伸張と共に現在では液晶材料の主流となっている。

液晶ディスプレイのカラー化にはカラーフィルター

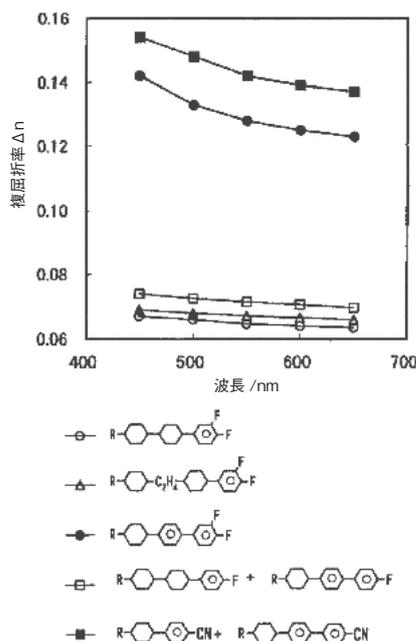


図 5.5 フッ素系液晶の複屈折率の波長依存性<sup>14)</sup>

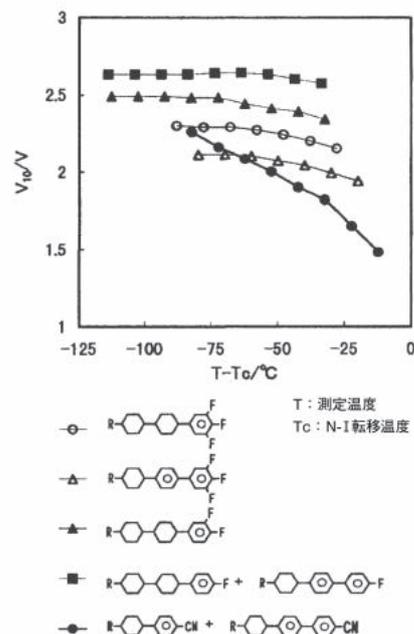


図 5.6 フッ素系液晶材料の閾値電圧の温度依存性<sup>15)</sup>

を挿入する必要があるが、ガラス厚から来る視差を避けるためにこれを液晶セル内に設けている（図 5.7）。

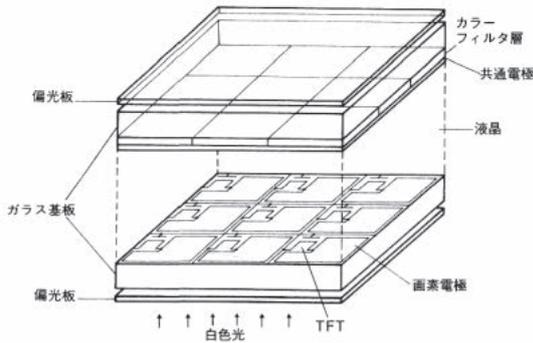


図 5.7 液晶カラーディスプレイの構造<sup>16)</sup>

しかし、TN 液晶と組合せるとパネル透過率が極端に落ちるため、小型冷陰極蛍光灯を使用して鮮やかなカラーを演出する必要がある。また、TFT ガラス基板上の ITO（酸化インジウム）表示電極と、各 TFT へ信号を配信するゲート配線（=走査電極）、ソース配線（=データ電極）との間の電圧が印加されない部分や、TFT のドレインに接続されている画素電極周囲は印加電圧のエッジ効果により特異な行動を示しコントラストの低下や微妙な色再現性を損なうため、その部分を視界から隠すべく、カラーフィルタに BM（ブラックマトリクス）を設ける（図 5.8）。

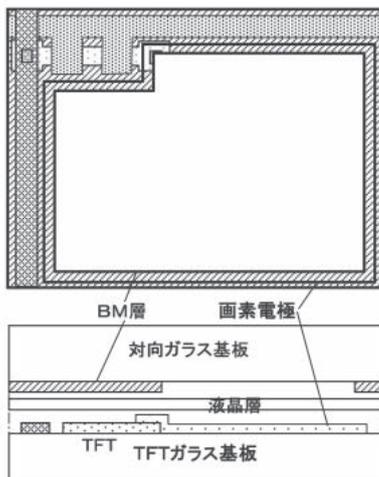


図 5.8 BM（ブラックマトリクス）層を用いた画素断面構造<sup>17)</sup>

カラーフィルタを作成する場合、特に絵素数が小さい場合は RGB の 3 原色に対して、異方性ができる限り小さくなる配置方法を採用する必要がある。最適な配列は図 5.9 に示される (c) デルタ配列である

とされているが、カラーフィルタの色の位置に合わせて TFT や絵素電極を変える必要があるため、データ電極配線が長くなり歩留まりの悪化が懸念されること、また、光の通過率（開口率）小さくなる可能性があることなどのため、次善作として (b) モザイク配列を採用した。

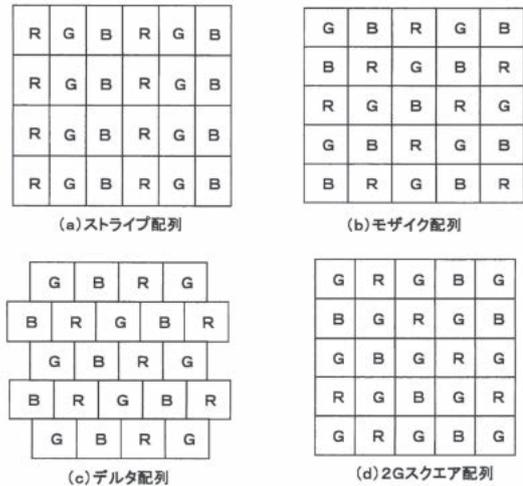


図 5.9 カラーフィルタの色配列<sup>18)</sup>

液晶層へは有害な物質を溶出させないことが重要であり、このために液晶層の周囲の物質には化学的な安定度が高いことが求められる。BM には金属 Cr を蒸着し、カラーフィルタ基材にはアクリル系を使用して染色法でカラーフィルタを作成している（図 5.10-a）。また、カラーフィルタの光学特性としては、光源の 3 原色をできる限り効率良く通過させ、不要な波長は遮断する急峻なバンドパス特性が要求される（図 5.10-b）。

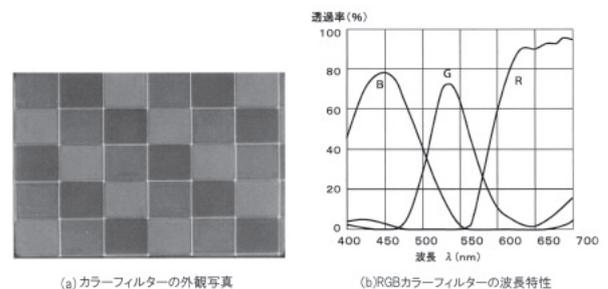


図 5.10 カラーフィルタ<sup>19)</sup>

光源には点灯時に電極過熱が不必要な冷陰極蛍光灯を使用し、液晶パネルの過熱を出来るだけ避けるため、エッジライト方式を採用して薄型化を図っている（図 5.11）。

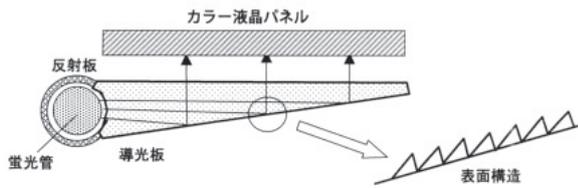


図 5.11 小型蛍光灯を利用したバックライトの構造<sup>20)</sup>

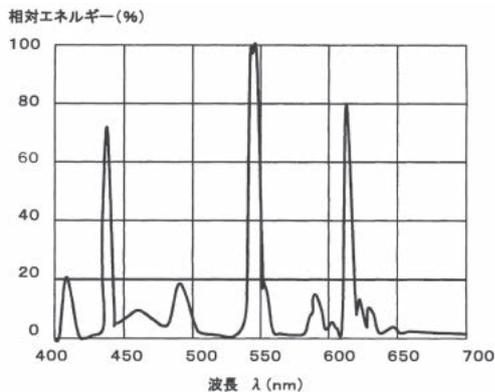
バックライトとしては0.8ワット入力、カラーフィルター特性に合ったRGBピークを強調したものを開発した(図5.12-a)。従来の白色発光型に比較して約60%の効率向上を実現できた。また、CIE標準色度図(図5.12-b)に於いて、各3角形の頂点が3原色RGBの色度となり、その3角形の中の色度が再現できることになるが、エプソンのカラーパネルは、その3角形の面積の、NTSC標準テレビ放送に対応する面積比から、NTSC標準テレビ放送の想定する色再現範囲の約70%が再現できることになる。

図5.13はp-SiTFTカラー液晶表示モジュールの外観写真を示す。パネルの左右に1個ずつ配置されてい

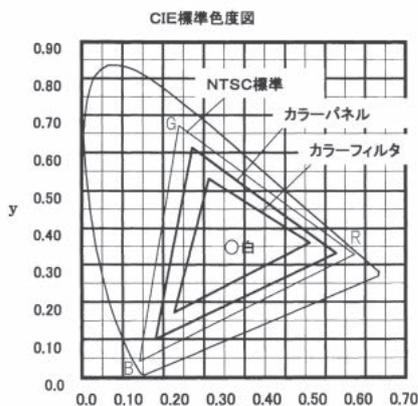
るのは120出力のゲート電極走査駆動LSI、上下に1個ずつ配置されているのは同じく120出力のデータ電極駆動用LSIである。双方ともLSIは樹脂モールドを施してTAB(Tape Automated Bonding)実装されており、端子はNi処理されたTFT液晶パネルへ半田付け接続されている。



図 5.13 p-Si TFT カラー液晶表示モジュールの外観写真<sup>22)</sup>



(a) RGBピークを強調した蛍光灯のスペクトル



(b) RGBピークを強調したバックライトによる色度

図 5.12 RGB ピークを強調した蛍光灯を用いたカラー液晶パネル色度<sup>21)</sup>

1987年1月、エプソンは世界初1.27インチp-SiTFT-LCD 320x220ドットのパネルを3枚使用したビデオプロジェクター VPJ-700(図5.14)の発売を開始した。SID'85で諏訪精工の両角伸治が開発報告したものであり、1.27インチと言う小型のパネルを用い、ハロゲンランプを光源として、小型・軽量(420W x 266D x 125H mm、7.6kg)なプロジェクターの領域の市場を開拓したものである。



図 5.14 世界初3板式液晶ビデオプロジェクター<sup>23)</sup> VPJ-700(1989年1月発売) 1.27型p-Si-TFT液晶パネル×3

プロジェクターの構成要素(図5.15)次の様な動作を行う。光源であるランプから出た光は、1枚目のダイクロミックミラーで青成分のみが透過しミラーで反

射されライトバルブとして働いている TFT 液晶パネルで変調されプリズムに入る。他の 2 色は反射され第 2 のダイクロイックミラーに入り、緑成分のみが反射され TFT 液晶パネルで変調されプリズムに入る。第 2 のダイクロイックミラーを透過した赤成分はミラーで 2 回反射され TFT 液晶パネルで変調されプリズムに入る。プリズムに入った RGB 成分はプリズムで合成され投射レンズを通りスクリーンに到達する。

ライトバルブとして使われる TFT 液晶パネルは、TV 用に使われるパネルからカラーフィルターを取り除いた白黒パネルであるが、常に高温・高照度な環境に曝されるため、パネルの信頼性確認が重要である。

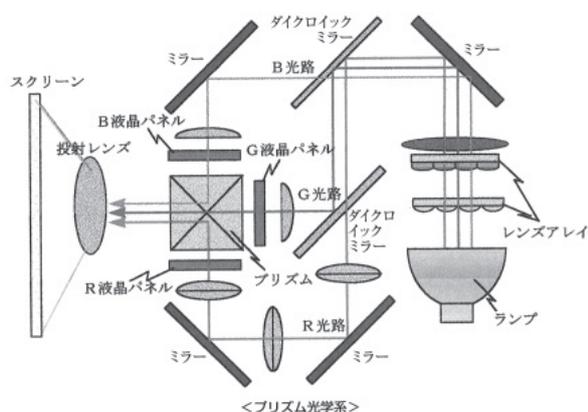
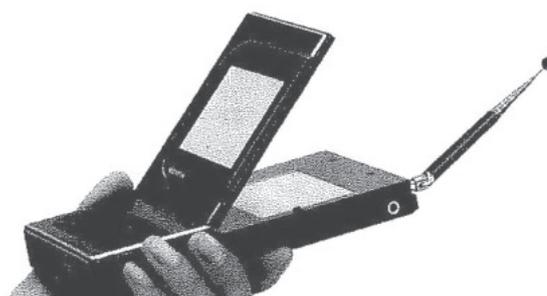


図 5.15 3 板式液晶プロジェクターの構成要素  
ダイクロイックプリズム方式<sup>24)</sup>



図 5.16 世界初 a-Si-TFT フルカラー液晶テレビ  
松下 TR-3LT1 の外観 (a)  
1986 年 7 月発売<sup>25)</sup>  
3 型 a-Si-TFT LCD 372 × 240 ドット



TR-3LT1 の外観 (b) 外光利用も可能化<sup>26)</sup>

### 5.3 a-Si-TFT LCDと世界初a-Si-TFTカラー液晶 TV の開発 (松下電器産業事例)

1986 年 7 月に松下は世界初の a-Si-TFT 液晶テレビの販売を開始した (図 5.16)。同社の中央研究所では、1981 年のスピヤ教授の来日を切っ掛けに、a-Si の研究ターゲットを太陽電池から TFT 液晶へ切り替える決定を素早く下した。その決定に従って研究テーマを変えた中に太陽電池用の a-Si 膜の研究で膜質向上に自信を付けていた堀田定吉がいた。堀田は a-Si-TFT を開発するに当たり、課題として a-Si 半導体膜質、ゲート絶縁膜 SiN<sub>x</sub> 膜質、a-Si 半導体膜質へのオーミックコンタクトの確保、の 3 点を最重要課題として挙げた。この中で、a-Si の膜質については太陽電池の変換効率で 5% を達成していることから、十分なものが確保できている、と判断した。オーミックコンタクトも太陽電池で実現できていると判断できた。残る課題はゲート絶縁膜であり、基本特性や長期信頼性に重要な役割を果たすシリコン窒化膜 (SiN<sub>x</sub> 膜) の膜質

改善に努力を集中することにした。

初期の a-Si-TFT の特性は不安定そのものであり、当初予想したことであったが電流値は測定している短時間の間にも変化してしまうほどであった。SiN<sub>x</sub> 膜質確保にはストイキオメトリーを完全なものに近づけて低応力を実現させることに注力した。TFT の閾値電圧 (V<sub>th</sub>) のシフトに関しては、SiN<sub>x</sub> の分光学的バンドギャップ (E<sub>gopt</sub>) での管理が有効であった。

当初、ガラス基板にはプレパラート用のコーニング 7094 を使用していたが、E<sub>gopt</sub> が 4.7eV で頭打ちになってしまった。基板を石英に変更すると、果たして 5eV - 6eV に一気に上がった。半導体膜、絶縁膜は PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) で、電極膜はスパッタリング (Sputtering) 装置で成膜するが、基板温度、ガス圧、成膜速度など様々な項目で成膜条件を管理しなければならなかった。透明なガラス基板の温度管理ひとつを

とっても未知の領域であった。窒化膜が一息付いたと思っけても、TFT のオン/オフ比が取れなかった。ある日、a-Si 半導体膜の成膜時、原料ガスの元栓を開けること忘れて成膜をしたところ、配管の残留ガスしか反応に関係できず、結果として a-Si 半導体の膜厚は従来の膜厚であった  $3000\text{\AA}$  に対して極端に薄い  $200\text{\AA}$  (図 5.17) となってしまった。ところがオン/オフ比はそれまでの中で最高であった (図 5.18)。それまでの a-Si 半導体の膜厚は太陽電池並の  $3000\text{\AA}$  としていたためオン/オフ比がとれていなかったことが判明した。条件出しを改めて行くと、最適膜厚は  $300\text{\AA}$  付近であった。この見直しで、進めていた量産計画に於ける PECVD の発注は 1 台で済むことになった。

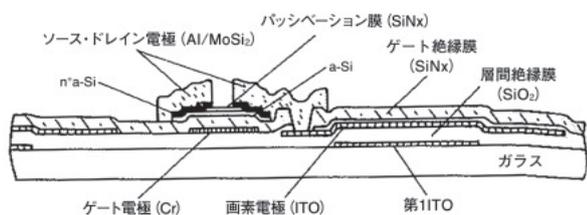


図 5.17 TFT アレイの概略断面図<sup>27)</sup>

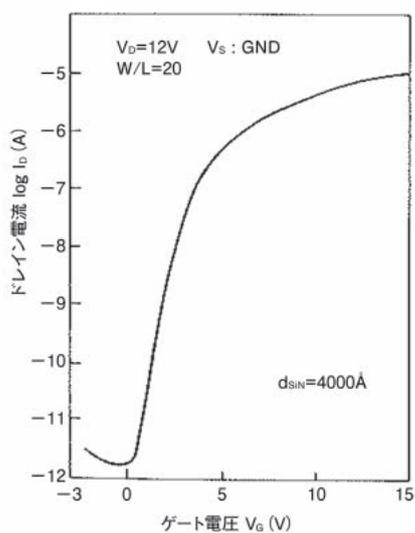


図 5.18 a-Si TFT の電圧 - 電流特性<sup>28)</sup>

1982 年 1 月には 2.4 型白黒 a-Si-TFT 液晶パネルを開発した。この結果を見極めて a-Si-TFT 液晶工場への設備投資を決定した。1984 年 4 月には 2.4 型カラー TFT 液晶パネルを開発し、カラー化への課題抽出を行うとともに、3 インチ a-Si-TFT 液晶パネル 4 面取りの、6 インチ角のコーニング 7059 ガラスを採用し

た a-Si-TFT-LCD 工場建設を決定した。

課題の中で特に拘ったのは放送動画に対応する高速応答特性と色再現範囲の確保であった。高速応答を得るには液晶材料の粘性を小さくすることと液晶層厚  $d$  を小さくすることが有効である。一般的に、液晶の透過率の波長依存性 (旋光分散) は、 $d$  が  $10\ \mu\text{m}$  程度以上であれば小さいが、動画に対応すべく液晶の応答時間を短縮しようと  $d$  を  $6\ \mu\text{m}$ 、 $4\ \mu\text{m}$  と小さくしようとすると、液晶の透過率の波長依存性が大きくなる。また、印加電圧が無い場合にも光が漏れ、特に、印加電圧が小さくなる黒レベル付近の色の再現性が悪化 (図 5.19 - STD) してしまう。この対策のため、松下ではマルチギャップ液晶セル (Multi-Gap Liquid Crystal Cell) と名付けた、3 原色に対応する液晶層厚を各々の色に最適化して異なった値にし、旋光分散を補償する技術 (図 5.19 - M.G.) を特許化した (Tetsu Ogawa, et al: COLOR LIQUID CRYSTAL DISPLAY APPARATUS", USPAT4632514, 日本優先権主張出願日: 1984 年 1 月 31 日、成立: 1986 年 12 月 30 日)。マルチパネルギャップの効果 (図 5.19) は以下のとおりである。すなわち、従来の単一ギャップ (SG) 液晶厚  $5.2\ \mu\text{m}$  の透過率曲線 (STD.) では、印加電圧を 5V から低下させて透過率が低下するところから RGB の色毎に曲線が分離し始め、閾値電圧以下の部分でも  $450\text{nm}$  (○: 青色) の透過率が再上昇しており、十分な黒色が再現出来ていないことを示しているが、マルチギャップ技術を用い、緑色 ( $\Delta$ :  $545\text{nm}$ ) の  $d_G = 5.2\ \mu\text{m}$  とした液晶厚を中心に青色 (○:  $450\text{nm}$ ) と赤色 ( $\square$ :  $610\text{nm}$ ) とで液晶厚を変えた曲線 (M.G.) では各色毎の曲線の分離は無く、閾値電圧以下の部分での透過率の再上昇も無い。

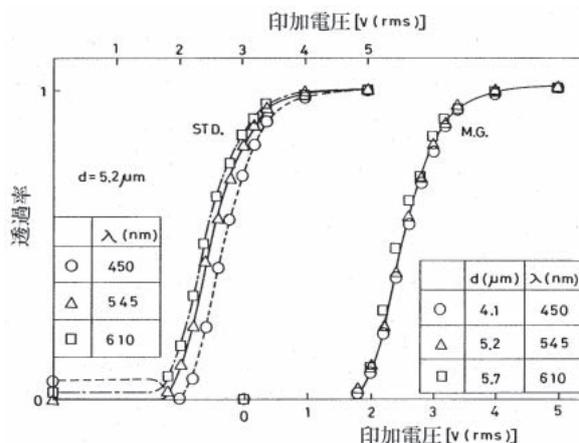


図 5.19 マルチギャップパネルの効果<sup>29)</sup>

この結果は、1986年5月に開催されたSID1986にて学会発表され、1986年7月から世界初のフルカラーa-Si-TFT液晶テレビ：TR-3LT1として発売された。

TR-3LT1には、画面サイズは3型であり、表示ドット数は372×240で、標準アナログ放送企画の約1/4のドット数が採用されていた。また、ブラックマトリクス（MB）処理されデルタ配列されたカラーフィルターが採用（図5.20）、色配列の異方性が少ない滑らかなカラー画像再現が狙われていた。

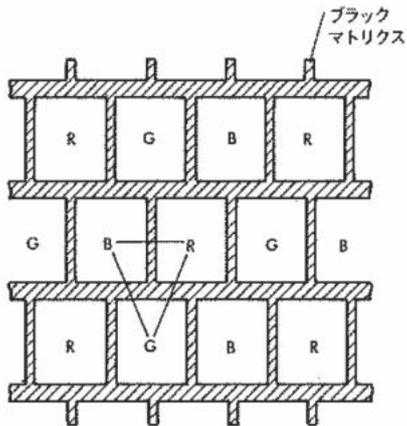


図 5.20 カラーフィルターの色配列とBM<sup>30)</sup>

a-Si-TFT-LCDパネルの信号供給回路・走査回路（図5.21）はa-Si-TFT-LCD用として新規に開発されたデータ電極駆動用LSI・ゲート電極駆動用LSIが、63出力のデータ電極駆動用LSIはモジュールの上下に3個ずつ、60出力ゲート電極駆動用LSIは片側に4個実装されている（図5.22）。

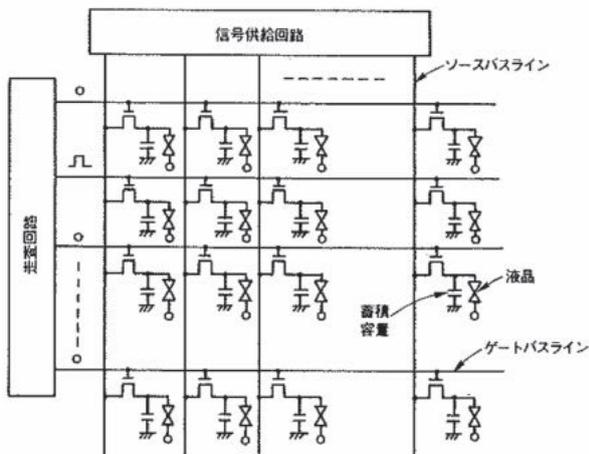


図 5.21 アクティブマトリクス型液晶パネルの等価回路<sup>31)</sup>

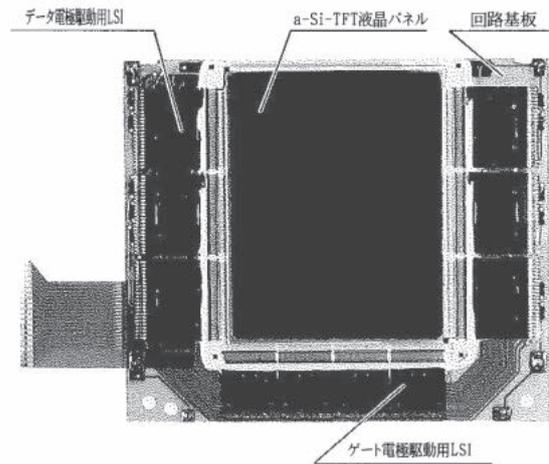


図 5.22 a-Si-TFT液晶モジュールの外観<sup>32)</sup>

TR-3LT1のブロックダイヤグラム（図5.23）に於いてa-Si-TFT-LCDに特有の部分は、右側の表示部と、その表示部を制御するコントローラとクロマ出力である。コントローラはC-MOSで作成され、複合ビデオ信号を受け、同期信号分離を行い、その分離した同期信号を用い、表示部のデータドライバー、ゲートドライバーに必要な制御信号を作り送りだしている。また、クロマ出力回路は、コントロール回路からの制御信号を受け、クロマ処理されたRGBのビデオ信号をデータドライバーに必要な電圧レベル・極性に処理し、データドライバーに送り出す役割を果たす。

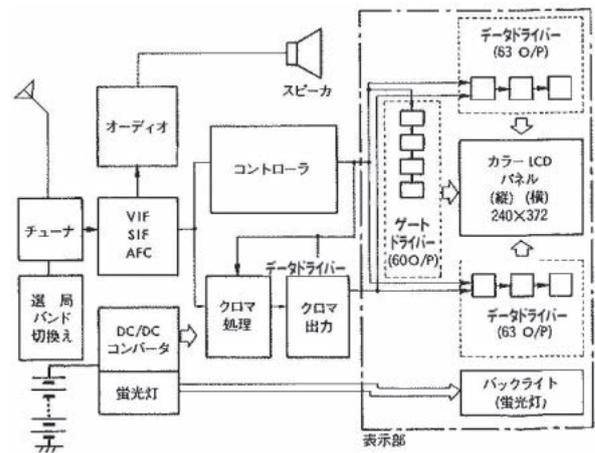


図 5.23 TR-3LT1のブロックダイヤグラム<sup>33)</sup>

CIE色度図上における色再現範囲（図5.24）において、TR-3LT1はCRTの約83%の色再現範囲をカバーしており、またコントラストの視野角依存性（図5.25）において、コントラスト比>30:1、視野角範囲（コントラスト比:20:1）:>±35度（左右）、±30度（上下）を満たしており、個人用フルカラーa-Si-TFT-

LCD テレビとしての基準を創った。

尚、世界初のフルカラーa-Si-TFT-LCD テレビの開発チームは、英国ランク財団 (RANK Foundation) より、英国ダンテュー大学の Le Comber 教授、Spear 教授と共に 1988 年度のランク賞を受けている。

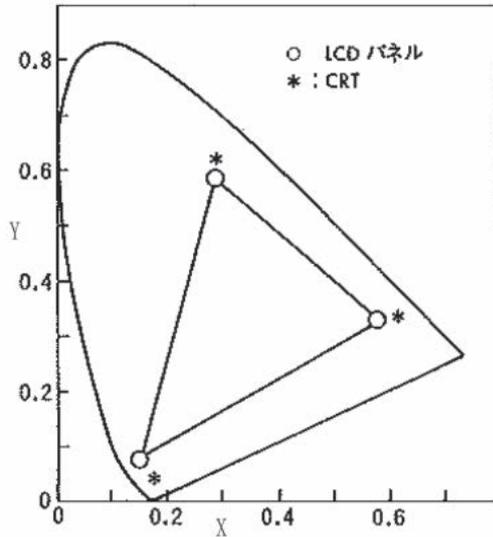


図 5.24 CIE 色度図上における色再現範囲<sup>34)</sup>

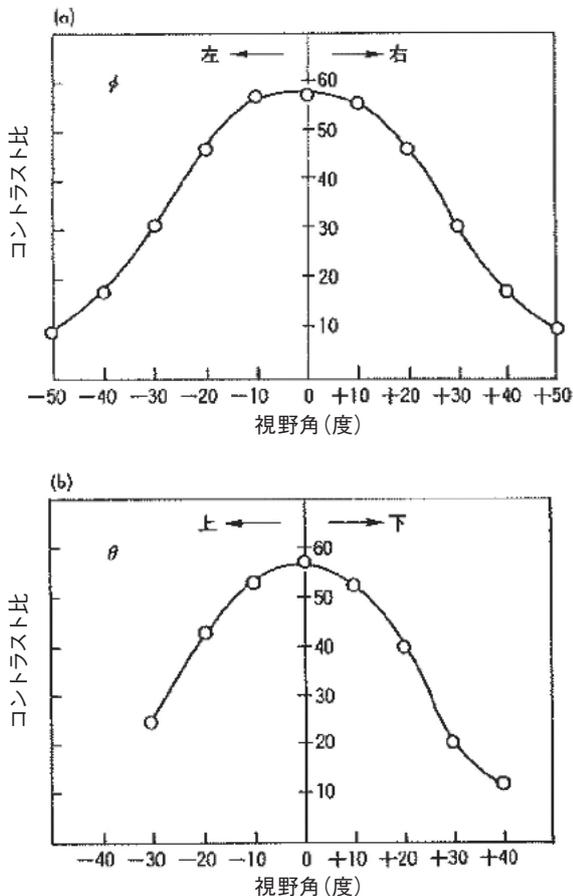


図 5.25 コントラストの視野角依存性<sup>35)</sup>

## 5.4 a-Si-TFT LCD 世界初大型マザーガラス工場の立ち上げと応用商品 (シャープ事例)

シャープにおける TFT を用いた TV の研究・開発の具体的な行動を起こしたのは他社に遅れること約 1 年であった。TFT-LCD そのものの研究は 1975 年より開始しているため、他社に比較して早いほうであったが、その想定商品は、TV ではなく、個人用情報端末であった。TV を含む個人用家電事業と、電卓から始まった情報機器事業との 2 つの事業を柱とした経営を行う上で、常にコスト意識が高く、液晶 TV は商品にするにはまだまだコストパフォーマンスが悪いと考えていた。また、液晶ディスプレイ研究に携わっている主要なメンバーは、全員 S-734PT という液晶 C-MOS 電卓開発生産事業化緊急プロジェクトで、研究を事業化した経験を有しており、液晶 TV は事業化するまでには未だ熟していない、と考えて居た。

TFT 液晶 TV の事業化には大きな投資が必要になることは明白であり、このため、他社に遅れて a-Si-TFT 液晶の研究/開発/事業化を進めるに際しても、全社的な合意を形成するために、他社との遅れを取り戻す事を意識しながらも、緊急プロジェクトを次々と立ち上げ慎重に開発ステップを踏んで行った。しかし、いざ投資を決定した限りは、単純マトリクス液晶事業展開の経験より、事業化に必要な生産コストを達成するためには世界初の大規模マザーガラスを使うことが必須であるとして、当初からその採用に踏み切った。

### 5.4.1 a-Si-TFT LCD 3 型 20 枚取り (マザーガラス: 320x300mm) 工場立ち上げ

1981 年 12 月に、従来採り上げてきていた Te に変わる元素半導体としての a-Si の可能性の大きさを TFT の試作で確認したシャープの研究所では、半導体膜としての a-Si の研究開発に新規に必要なプラズマ CDV 装置の導入に必要な資金を通産省の開発助成プロジェクトに応募し得ようとしたが、既にそのテーマは他社テーマとして決定済みとことが判明した。このため、応募テーマを修正し、半導体膜として Te を使用する文字放送用 TFT ドットマトリクス液晶の保護膜用に SiNx を研究開発するとして応募し、1982 年 4 月から 3 カ年総額 2 億円の提案が認められた。

1983 年 3 月、通産省の補助金を受け次年度試作品として文字放送対応として Te-TFT を用いた 3.2 型 248 x 204 ドットマトリクス LCD (図 5.26-a) の試作品が完成した。ゲート絶縁膜としてはゲート電極に用いた Ta を陽極酸化した酸化タンタルを用い、半導体膜と

しての Te を 4nm の膜厚で用いるものであり、文字表示用のため階調表示をしていないものの、均一な表示を行うのに困難を極めた。更に、1983 年 6 月には、独自テーマとして取り組んだ階調付 a-Si-TFT3 型 248 × 204 ドットマトリクス LCD (図 5.26-b) の試作を完成させた。断線も多く有り、また、全体としての表示均一性は良いとは言えないレベルではあったが、限られた領域内では滑らかに階調が取れ、Te に比較し、a-Si の筋の良さを改めて確認することになった。この時、TFT-LCD のデータ駆動回路は個別部品で大きなラックに組み上げた。しかしながら、他社は 1982 年に既に a-Si-TFT の開発発表を行っていたので、他社に遅れること約 1 年での試作であり、直ちに同一 TFT-LCD パネルを使用したカラー化の試作を開始した。



(a) 通産省の補助金を受け試作した文字放送対応 Te-TFT3, 2型248x204ドットマトリクスLCD (1983年3月)



(b) 独自テーマとして試作した階調付 a-Si-TFT3型248x204ドットマトリクスLCD (1983年6月)

図 5.26 3型クラスドットマトリクス LCD 試作 (Te-TFT と a-Si-TFT) <sup>36)</sup>

カラーフィルターは外部調達をすることとし調査した結果、IC 事業部で生産しているカラー CCD に使われていることが判明、その調達先であった凸版印刷に試作を依頼した。しかしながら、凸版印刷としても、当時としては 3 型と言う大きなカラーフィルターは TFT-LCD 用に試作しことが無い、とのことで、色調整、表面の平坦性確保、透明電極を蒸着させることに対する耐熱性、また、液晶への不純物の溶出性、等、手探りの互いの試作評価が続いたが 1983 年 9 月末にはカラー化試作が完成した。テレビメーカーでありながらカラー

CRT を生産していないシャープにとり長年の悲願であるカラーテレビ用表示素子を自前生産出来る可能性が出て来たのである。線欠陥・点欠陥・表示ムラと表示品位的には問題を抱えながらも、試作機にリアルタイムで動くカラー画像を見て、経営陣の目の色が変わった。

9 月の試作が時間最優先の試作であったことから、クリーンルームを設置し、1984 年 3 月に第 2 次カラー TFT-LCD テレビ試作を完成させた。画面サイズは 3.2 型、ドット数は 255 × 240 ドット、諏訪精工舎が SID'83 で発表した 2.13 型 p-SiTFT-LCD のドット数 240 × 240 を意識したドット数を採用し、TFT プロセスを見直し、また、カラーフィルターもテレビ事業部の評価を取り入れて修正を図ったものであり、初めて線欠陥の無い TFT-LCD パネルが得られた。画質も大幅な改善が見られたことから、この第 2 次試作の結果を受け、液晶テレビの開発を目的とした緊急プロジェクトを次々に発足させた。

1984 年 4 月にポケットブルカラー液晶ディスプレイのプロジェクト A190PT を発足させた。開発の主管を技術本部 (中央研究所) とし、期間は 1984 年 5 月から 1985 年 10 月までの 18 ヶ月であった。目的は a-Si-TFT 駆動方式と、改良が著しい最新の STN 技術を取り入れたデューティ駆動方式との比較を行うことであった。二方式によるカラー液晶ディスプレイの実用化試作を行い、表示品位とコスト見積もりとを行うと共に、液晶テレビの試作も行うこととした。開発責任者を中央研究所、テレビ事業部からそれぞれ 1 人ずつ選んで充てた。

デューティ駆動方式としては 2.5 型 120V × 320H ドット 1/60 デューティ、3.2 型 240V × 255H ドット 1/120 デューティの 2 機種、a-Si-TFT 駆動方式として 3.2 型 240V × 255H の 1 機種、計 3 機種を同時に開発することにした。2.5 型 120V × 320H ドット 1/60 デューティの機種は小型携帯情報端末への応用の可能性を見極めようとしたものであった。

1984 年 10 月、最優先で取り組んだ a-Si-TFT3.2 型 240V × 255H ドットカラフィルター 2G スクエアの試作機が完成した。しかし、元来輝度の一番大きい緑のドットが他の色の 2 倍になっており、輝度と色度とのトータルバランスを取ることができない、青のドットが連なった横線が目立つ、という問題点に加え、255H と言う水平ドット数がテレビ放送を見るには少なすぎる、といったことも明らかとなった (図 5.27)。この評価結果を受けて a-Si-TFT 液晶に関しては水平ドット数を増やして 3.2 型 240V × 360H とし、TFT 液晶用テレビ開発に繋げることにした。



図 5.27 A190PT 試作 a-Si-TFT3.2 型  
240V × 255H ドット  
カラーフィルター：2G スクエア配列<sup>37)</sup>

1985年4月、デューティ液晶事業のSTN化に伴う拡大に対応し、ディスプレイ開発責任者がディスプレイ事業部へ転出し、液晶ディスプレイ開発責任者の交替があった。

1985年9月、A190PTの総括が行われた。テレビ用としてはカラー再現性、応答時間、視野角範囲において圧倒的に優位性があるとしてa-Si-TFTを採用することが決定された。また、カラーフィルターのΔ配列採用の効果は表示の滑らかさに現れ(図5.28)、表示ドット数の小さい場合のテレビ表示には必須の技術であると高く評価された。開発されたa-Si-TFT3.2型液晶パネルを搭載したカラー液晶テレビを試作(図5.29)した結果、サイズ、ドット数とも商品性ありと判断されたが、その画質に対しては、更に改良が必要であるとテレビ事業部は主張した。一方、開発されたカラーデューティ液晶に関しては、テレビへの採用は否定されたが、携帯情報端末用として更に改良研究を続けて行く事となった。

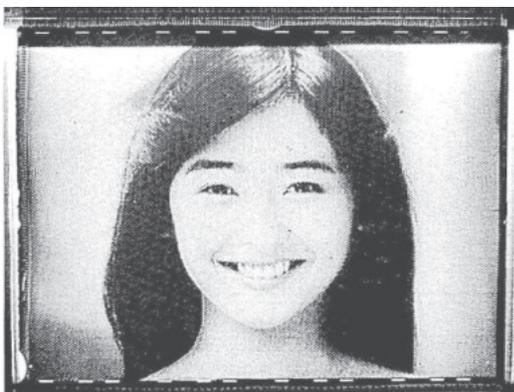


図 5.28 A190PT 試作 a-Si-TFT 3.2 型  
240Vx368H ドット カラーフィルター：Δ配列<sup>39)</sup>  
1985年9月



図 5.29 A190PT 試作 TV a-Si-TFT 3.2 型  
240Vx368H ドット  
カラーフィルター：Δ配列 1985年9月<sup>39)</sup>

1985年10月、新たなプロジェクトの企画書が作られた。記号をA208PTと称するもので、1985年11月から1986年9月まで、技術本部と電子部品事業本部のディスプレイ事業部が協同して、a-Si-TFTカラー液晶ディスプレイモジュール量産についての生産技術を確認することを目的としたものであった。プロセスの確立を技術本部が担当し、設備設計とラインの新設を電子部品事業本部が担当した。TFT液晶工場は、中央研究所、半導体事業部双方の所在地である天理事業所の半導体第1工場の西側半分を使用することとし、状況に応じて直ちに拡張出来る備えも行った。技術本部では開発・試作ラインを中央研究所5Fに設置し、プラズマCVDの量産用第1号機を導入して量産機の性能確認、量産プロセスの開発をするとともに、ディスプレイ事業部から派遣された生産ラインリーダーの育成を図った。

併せて液晶ディスプレイの開発を行いながら、生産設備の検討も平行して進めた。

量産ラインの新設に関しての最初で最大の課題はマザーガラスサイズの決定であったが、当時ディスプレイ事業部でゲーム&ウォッチの多面取り用に導入していたマザーガラスの中で最大のものであった300 × 320mmに決定した。これは単純マトリクス液晶事業の経験から、コストダウン・品質確保のためにa-Si-TFT-LCDにおいても多面取りが必須である、との信念からの決定であった。因みに、300 × 320mmのマザーガラスから20枚を取るために、テレビ事業部の合意も得て、今まで試作してきた3.2型を3型に縮小することにした。また、3型の次の機種としては4型を計画しており、これは12枚取れる(図5.30)。しかし、当時の半導体業界での最大ウェファサイズ

が6インチであったために、フォトリソグラフィーに使用する大型基板用露光機を新規開発する必要が生じた。このため、研究所で使用していた試作用露光機メーカーにまずは試作依頼を行ったが、開発を断られた。

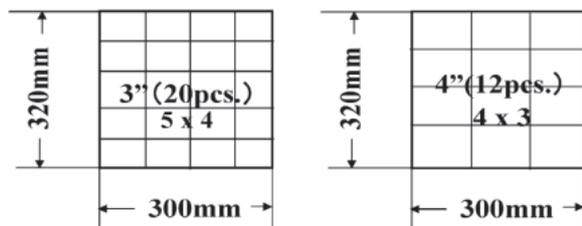


図 5.30 マザーガラス：300 × 320mm

1985年の初頭、A190PTのチーフをしていた船田文明は、光学工業技術協会から液晶ディスプレイ担当の講師の依頼を受けて、同協会主催の1985 オプトエレクトロニクス技術研修会に出かけた。その技術研修会には半導体露光装置担当の講師としてニコンの諏訪恭一も来ていた<sup>40)</sup>。控え室の雑談の中で船田は諏訪に、1画面最大横幅で8cm ぐらいの TFT パネルを大型マザーガラスで作りたいが大型マザーガラスに対応できる露光機がない、大型マザーガラス用露光機を作れないか、と尋ねた。諏訪はできる、と答えた。当時諏訪は、1枚のウェーハの全域を使用することにより、多数の異種の回路を結合して大規模集積化するチップインテグレーション、ウェーハインテグレーションの研究をしていた。半導体露光装置に高速レチクル交換機能を付ける、繋ぎ画面で2重露光をして結合して大画面化する、という二つのアイデアに基づく案を練っていた諏訪は、このアイデアを用いると TFT の大型マザーガラス用露光装置も可能である、と思ったのである。

TFT 液晶と半導体露光機、それぞれの研究開発の実務責任者の邂逅から1週間後、両社で打ち合わせを行い、互いの仕様を確認した。画面の大きさと必要とされる分解能が、半導体用露光機とは大きく異なるため、露光レンズは新規設計することを前提にして、世界初の大型 TFT マザーガラス用露光機の開発が始まった。尚、このレチクル高速露光機は諏訪恭一他により特許出願され、権利化されている (図 5.31)。

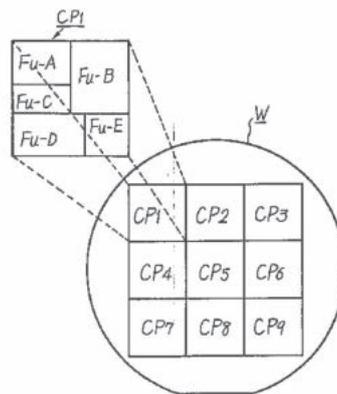
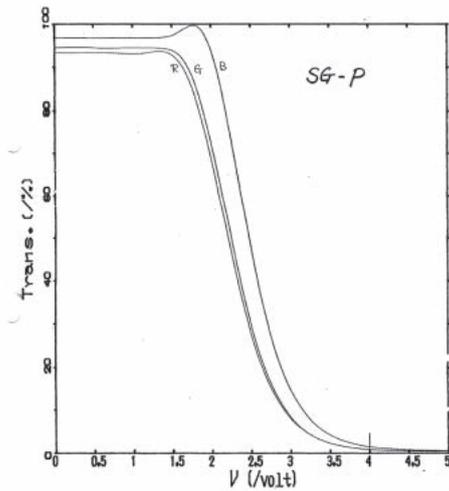


図 5.31 露光方法：ステッパー方式特許説明図<sup>41)</sup>

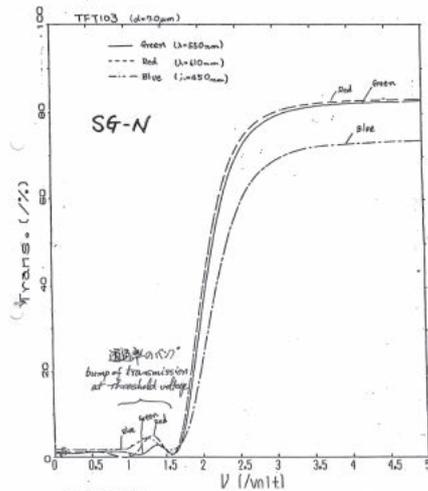
a-Si-TFT-LCD の表示品位向上に対する技術本部の追求に終わりはなかった。とりわけ、CRT テレビで市場の厳しい競争に鍛えられたテレビ事業部の評価は厳しく、技術本部の研究者達が他社の液晶テレビとの競争に主眼を置いていたのに対し、テレビ事業部では CRT との表示品位比較を当然のこととしていた。特に、黒レベル付近の色の再現性に大きく拘っていた。

液晶テレビの開発では動画対応のために高速応答も追求しなければならない課題であったが、これを達成するためには液晶層厚を薄くする必要があった。6ミクロン、4ミクロンと薄くしていくと液晶の旋光分散が生じ始めることが黒レベル付近の色再現性を劣化させる原因であるが、この劣化の度合いは TN 液晶の表示モードとして、電圧を印加しない時に黒表示となるノーマリブラックを採用することにより大きくなっていった。ノーマリブラックモードを採用していた理由は、信頼性の確認が未だ途上であり、a-Si-TFT への負荷を少しでも軽減するためであった。電圧を印加しない場合に白表示となるノーマリホワイト (ポジ表示 = P) の場合には、白表示に約 2Vrms、黒表示に約 4.5Vrms (図 5.32-a、SG-P: 単一セルギャップ・ノーマリホワイト) であるが、ノーマリブラック (ネガ表示 = N) の場合は、黒表示に約 1.5Vrms、白表示には 2.5Vrms であり (図 5.32-b、SG-N: 単一セルギャップ・ノーマリブラック)、ノーマリホワイトの場合が、絶対値で約 1.8 倍 (4.5Vrms / 2.5Vrms)、振幅で約 2.5 倍 (2.5Vrms / 1Vrms) の電圧が必要であることが分かる。

この電圧を ON/OFF するためには TFT に印加するゲート電圧を大きくする必要があり、その分 TFT へのストレスが大きくなり、TFT-LCD パネル歩留まり、延いては生産コストにも影響することになる。当然のことながら、技術本部からプロジェクトに参加



(a) ノーマリホワイト



(b) ノーマリブラック

図 5.32 TN 液晶の動作モードにおける印加電圧 - 透過率曲線<sup>42)</sup>

し、TFT-LCDを開発している液晶研究所員はTFTに優しいノーマリブラックを推し、一方、ユーザーのテレビ事業部側は、黒レベル付近の色再現性の決定的な良さに加えて、黒からの立ち上がり曲線の特徴がCRTのそれ(図5.33)と良く似ており、その長所も強調して、ノーマリホワイトを推し、双方はなかなか合意に達しなかった。

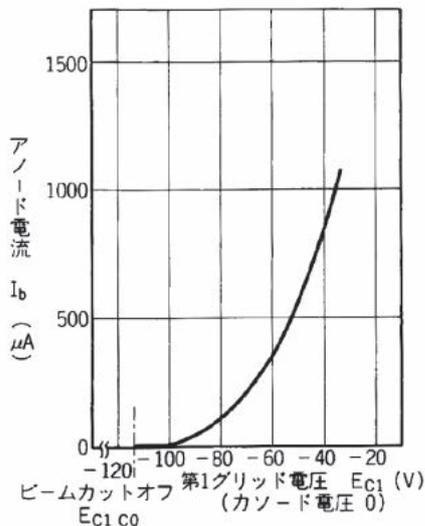
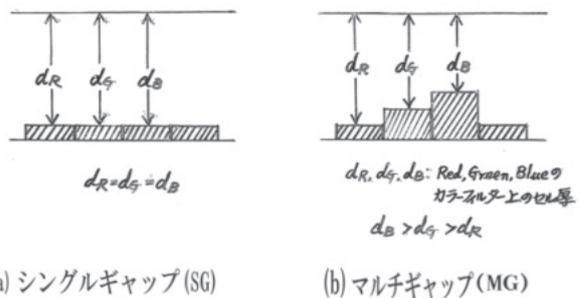


図 5.33 CRT グリッド電圧 - アノード電流特性例 (19 型)<sup>43)</sup>

そのような状況の中、松下が1986年5月、SID'86 於いて低電圧域での旋光分散対応策として新たな発表を行った。従来の単一ギャップ (SG) に対して、RGB のカラーフィルターの色に応じてセル厚を変え

るマルチギャップ (MG) セルを提案しており<sup>44)</sup>、更に7月にはその方式を用いて量産販売を開始するというのであった。図5.34はシングルギャップとマルチギャップの模式図である。



(a) シングルギャップ (SG)

(b) マルチギャップ (MG)

図 5.34 TN 液晶におけるセル厚<sup>45)</sup>

同一学会にシャープも a-Si-TFT-LCD3.2 型 240V × 360H Δ 配列について発表していたが、ノーマリブラックを採用しながらも、黒付近の旋光分散に対しては抜本的な対策を取ってはいなかった。

松下が旋光分散問題に技術的対応策を発表したことに対し、シャープとしても大きな決断をする必要に迫られた。生産の困難性から見て、松下の採用したマルチギャップセルが長く使われ続ける技術とは思えず、他の特性評価を含め総合的に見て(図5.35)、目指すべきはノーマリホワイトモードの採用、という結論に到った。

パネル構造 特性	SG-P	MG	SG-N	SG-ND
コントラスト	◎	◎	○	◎
視角 (度)	上下	◎	○	○
	左右	◎	○	◎
中間調	◎	◎	△	○
黒レベル	◎	○+	○	○+
セル厚依存性	◎	△	○	○
駆動電圧	△	◎	◎	◎

◎:非常に良い ○:良い △:良くない

図 5.35 SG・MGとP・Nとの組み合わせによる特性評価<sup>47)</sup>

SG: 単一セルギャップ MG: マルチギャップ  
P: ノーマリホワイト N: ノーマリブラック

動作電圧が大きいというハンディはあったが、RGBの3本の透過率特性が黒レベルになだらかに収束していくというノーマリホワイトモードの持つ特長は、黒レベルムラ、セル厚ムラ、温度ムラ、高温動作ムラに関し、優位となる。しかしながら、ノーマリホワイトの採用は信頼性、歩留まりの面で経営的に大きな影響をもたらす危惧があったので、社長に報告し、裁可を仰ぐことにした。社長の決定によりノーマリホワイトの採用に向けて設計の見直しを開始した。

1986年10月に電子部品事業本部（ディスプレイ事業部）からA208（A）PT、電子機器事業本部（テレビ事業部）からA208（B）PTの2つのプロジェクトが1987年3月終了の予定でスタートした。

液晶にノーマリホワイトモードを採用した3型a-Si-TFT-LCDの量産と、その液晶を搭載したテレビの開発と量産をターゲットとしていた。A208PT電子部品事業本部（ディスプレイ事業部）では、印加電圧が変わることから、信頼性確認、TFTプロセスの見直し、モジュール内蔵駆動回路の変更を行い、A208PT電子機器事業本部（テレビ事業部）では、変更したパネルサンプルを受けて、ビデオ回路の変更、確認を行った。

社長は、1985年のプラザ合意後の円高対策の一つとして、短期課題と長期課題との二兎を追う戦略の中核施策の一つとして液晶事業へ経営資源を傾注する方針を決定しており、1986年11月にはLED、EL、LCDの3つのディスプレイ事業を合わせ推進していたディスプレイ事業部から液晶事業を独立させ、その初代事業部長として、14年前に電卓事業部の技術課長として、当時危機にあった電卓事業体質改革を立案し液晶C-MOS電卓開発・生産プロジェクトであるS-734を起動させた鷲塚諫を据えた。

1986年10月からは量産設備の搬入が本格化し、11月からは個別装置の条件出し、12月からは通しの条件出しをした後、試作を開始した。しかし、良品は全く出て来ず、当初計画である12月25日良品出荷、というクリスマスプレゼントを送り出すことからは程遠い状態で年を越した。

プロセス装置間搬送時ガラス割れ、成膜装置内ガラス割れ、断線欠陥・点欠陥・表示ムラ・電圧/温度/光によるTFT閾値電圧変化・液晶時定数低下、IC事業本部で開発された192出力アナログデータドライバー特性バラツキ、等々、ノーマリホワイトモードの採用に関係するもの、関係のなさそうなものを課題として採り上げ、一つ一つ課題に取り組んだ。

TFT液晶モジュールの良品が工場から出てこないからと言って、テレビセット側の量産準備を遅らせることはできないので、合意の下、TFT液晶工場側で仮設定した点欠陥基準を満たさない不良TFT液晶モジュールをテレビ事業部へ送付し、テレビ事業部ではその不良モジュールを使ってテレビセット側の生産準備を進めた。テレビ事業部では、技術、生産技術、生産部、品質部、資材部、等、生産関連部門の連絡会で、液晶テレビの出荷市場品質確保のための最大の課題は新規部品であるTFT液晶モジュールの品質確保であるとの合意のもと、テレビセットの最高動作温度である40℃に設定した高温エージング室を液晶テレビ専用に分け、液晶テレビを技術試作の段階から次々と高温エージング室に運んだ。40℃の周囲温度環境に置かれた液晶テレビセットの中では、TFT液晶モジュールは、主としてバックライトで暖められ50℃になっていた。そして、CRTテレビの市場対応で鍛えられたテレビ事業部の各部門の目と感覚とでTFT液晶モジュールの不良項目があぶり出されたのである。即ち、9万個以上の表示ドットの中の数個の表示ドットの表示状態の劣化を見つけようとする、周囲照度が可変な場所で、光をTFT液晶パネルに照射し、RGB各色のレベルを単独、または、他の色と一緒に黒から白まで変化させて、長時間、多数のTFT液晶モジュールを試験に掛ける必要があった。そこで、今度は、光照射高温エージングをTFT液晶工場で急遽行うことにした。テレビ事業部より液晶テレビから外側のケースのみを外したテレビシャーシをACアダプターとセットで300台購入し、工場空きスペースにラックで棚を組み、難燃性静電防止塩化ビニルで周囲を覆い、空気加熱のために布団乾燥機から温風を送り込み、PID温度制御器と温度ヒューズとを取り付け、周囲温度50度℃、TFT液晶パネル温度60℃の高温バーンインテスト槽

を手作りで1週間で作り上げた。TFT 液晶パネルの微妙な液晶表示状態の変化を見るためには50℃の実駆動バーンインテスト槽の中に入る必要があったが、連続では1時間とは中で作業は出来なかった。

しかしながら、実駆動バーンインテスト槽を活用し、不良項目を確認し、分類し、対策を立て、また、テレビ事業部の40℃高温エージング室でのテスト結果との相関を確認していった。

これらの問題はノーマリホワイトモードの採用に関係するものが主であったが、中にはそれに関係のなさそうなものもあり、一つ一つに対応して行かなければならなかった。

1987年3月、A208PTは双方とも解散し、A208(A)PT電子部品事業本部は液晶事業部第3生産部となったが、量産出荷はできなかった。3月には出荷の目処は立っていたが、その確認に更に3ヶ月を要したのである。

1987年6月、テレビ事業部と液晶事業部第3生産部との間で出荷、受け入れ基準に合意が成立し、出荷全数を40℃で6時間バーンインする体制を整え、3ヶ月遅れて液晶事業部第3生産部から3型フルカラーa-Si-TFT-LCDモジュールの出荷が始まった。図5.36は、TFT液晶パネルにドライバーのみを実装した開きモジュールであり、ドバイパーの各々のテープキャリアに設けられた2本のスリットで折り曲げ外形を縮小し金蔵ケースに組み込んでモジュール化し出荷される。

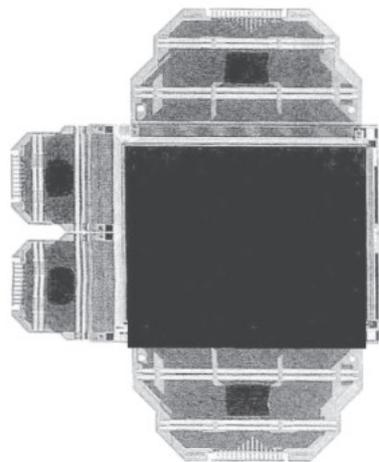


図 5.36 3型 a-Si-TFT LCD 384x240 ドット  
△配列 (開きモジュール)<sup>48)</sup>  
データドライバー: 192出力 x 2個 (上下)  
ゲートドライバー: 120出力 x 2個 (左)

評価サンプルの不足や、新規開発のセミホット冷陰極蛍光灯保護回路の量産バラツキの問題があり、これらの解決に時間を費やしたこともあって、3型カラーa-Si-TFT液晶テレビ3C-E1(図5.37)の出荷は1987年10月となった。



図 5.37 シャープ液晶 TV 3C-E1<sup>49)</sup>  
1987年10月発売

液晶テレビの表示性能面では、コントラスト比は60を越え(図5.38-a,b)、白から黒へ映像出力レベルを変化させた時の色変化も小さく(図5.39-a)、色再現範囲も、少し範囲はずれているが、再現面積はCRTに比して100%の再現範囲を実現していた(図5.39-b)。

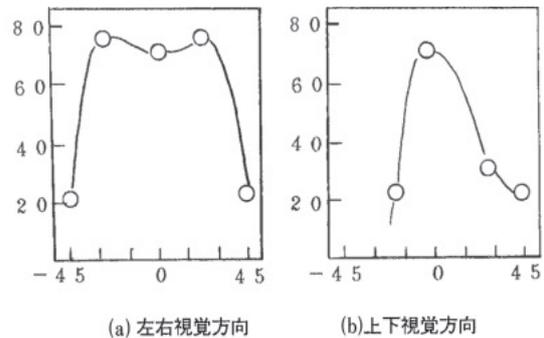


図 5.38 3C-E1 のコントラスト比<sup>50)</sup>

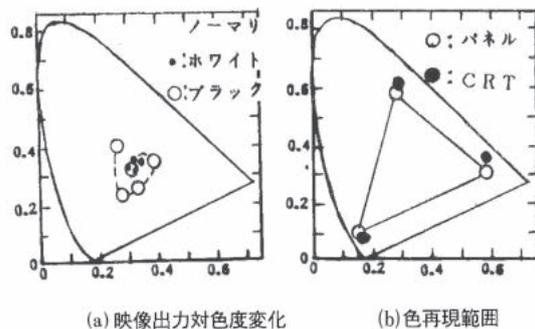


図 5.39 3C-E1 の色再現範囲<sup>51)</sup>

#### 5.4.2 14型フルカラーa-Si-TFT LCD 開発<sup>52)</sup>

a-Si-TFT-LCDの工場出荷開始時は歩留まり向上のため、不具合への対応、生産プロセス見直し、装置修正等、次々に出現する問題に対処しなければならなかった。一方では次期製品開発という絶対的なスケジュールもあり、連日身を削りながらの作業が続いた。そのような中、「毎日毎日小さいものばかり扱っていては気が滅入る」という冗談交じりの担当者の溜息を逆手に取られて、「大きい物を作ろうやないか!」と本部長の鷺塚諫に乗せられてしまった。

しかし鷺塚諫が具体的なサイズ・目標完成時期を明示することはせず、現場の技術者達がどんな回答を持ってくるのかを待った。

1987年中頃、非公式第3生産部内大型TVパネルプロジェクトが発足した。TFT-LCD設計担当が準備した300×320mm基板におけるパネルサイズと取れ数との関係を示す一覧表(表5.3)を参考に、パネルサイズの検討をした。4型が、10月からの販売に備え、量産試作が始まっていた時期であった。そして、

4面取りの6.6型ではインパクトが小さい。

1枚取りの14型では少なくとも線欠陥の無い良品を取るにはリスクが大きすぎる。

と言うことから、2枚取りの8.9型に殆ど決定しかかった。また、液晶研究所では次期研究課題を検証するためのサイズとして6.6型を検討している、との情報を入手してきたことも、液晶研究所よりは大きくしておこう、との思惑から8.9型に決定するのを後押しした。

しかし、8.9型に最終決定するのに一抹の不安を覚えるメンバーもいた。表示品改善に厳しいアドバイスを出し続けていたTV事業部長に意見を求めた結果、a-Si-TFT LCD技術でCRTに対抗し、テレビを本気で狙うのであれば最低限のサイズは14型である、とのことであった。この背景には当時、TVとして数量的に日本で一番多く販売されていたサイズは14型であったという事情もあった。

1969年、RCAではテレビとして御最小サイズの13型の研究開発計画をレクチャーはスケジュールを提出出来ず、経営陣はテレビ用に液晶の研究開発継続を断念した。

日米の“テレビ屋”の最小サイズに対する認識は一致していたのである。

同じ試作をするのであれば、それ以上にない最大限のサイズで試作をした方が、a-Si-TFT LCDがCRT

表 5.3 面付別パネルサイズ一覧表<sup>53)</sup>

面付	画面サイズ	画素数	パネルサイズ	ドライバー数	マスク構成
1面	14型	G 480	228.2	120本×8	1枚マスク
		S 960	300.0	192本×10	
	12型	G	205.0		
		S	270.0		
	10型	G	176.0		
		S	230.0		
2面	8.9型	G 480	153.0	120本×4	
		S 960	200.7	160本×6	
	8型	G 480	145.75	120本×4	
		S 960	185.7	160本×6	
4面	6.6型	G 480	117.3	120本×4	
		S 720	153.0	180本×4	
	6型	G 480	112.25	120本×4	
		S 720	144.0	180本×4	
6面	5.7型 (縦)	G 480	100.4	120本×4	1枚マスク
		S 768	127.2	192本×4	
9面	4.4型 (横)	G 240	75.9	120本×2	
		S 640	100.4	160本×4	
12面	4型 (縦)	G 240	76.5	120本×2	2枚マスク
		S 480	94.8	120本×4	
20面	3型 (横)	G 240	58.3	120本×2	1枚マスク
		S 384	75.5	192本×2	
48面	1.5型 (縦)	G 240	38.0	120本×2	1枚マスク
		S 320	47.2	160本×2	

※基板サイズは300×320とする

に対抗して成長するための課題をより鮮明にあぶり出し、そのことがこのタイミングで試作をする最大の意味づけになる、といった議論を展開し、チームの総意が形成された。こうして一枚取り14型は非公式第3生産部内大型TVパネルプロジェクト内で承認され、チーフを通じて鷺塚諫に報告され承認を得た。

絵素数は、当時のアナログTV放送に準拠すれば640×RGB×480ドットとなる。このため、走査線側の絵素数は480と決定した。一方、データドライバー側は、当時開発されたばかりの4型用アナログドライバーを流用することを勘案し、640より大きく3の倍数として一番小さい数字である642とした。試作完成時期は1997年度末の1988年3月末とした。

計画を決定したものの、パネルを試作するための予算は一切なかった。しかしながら、鷺塚は社長に14型の重要性を説いて支持を求めた。プラザ合意後のシャープ経営戦略の中心のひとつに液晶事業を据えていた社長はその重要性を理解し、その場で経理部門に対し第3生産部で14型を開発するための予算を確保するよう指示を出した。

14型開発の業務外作業を開始した。TFT-LCDパネルの試作は、3型/4型パネルの量産を続けている装置を使い行われた。

各部署が毎日手一杯の忙しさにある状態で、14型パネル試作品が早急に出てくることは考えられなかったが、5月連休に入る前日夕暮れにやっと絵が出た。

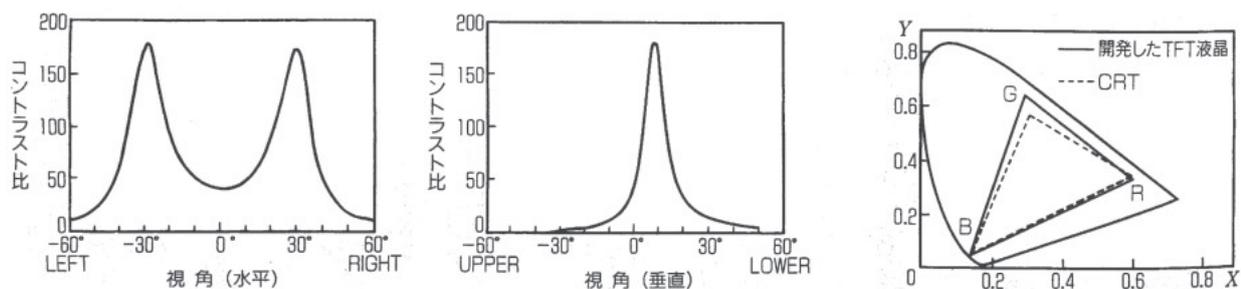
周波数的、駆動出力能力的に14型を動作させるアナログフルカラードライバーLSIは当時存在していなかったため、使用したドライバーは、3型用192出力ドライバーLSIに出力偏差解消の改良を加えて開発中の4型用162出力ドライバーLSIの量産前のエンジニアリングサンプルを流用し、パネルの上下にデータドライバーを実装し駆動出力能力を上げ、電源電圧を定格の1.5倍程度に上げ動作周波数を確保し辛うじて絵

が出たのである。しかしながら、ドライバーLSIは定格使用を遙かに超えた状態で動作しており、ドライバーLSIチップ温度は触れば指が火傷するぐらいに上昇しており、銀紙を貼り付け放熱面積を広め、更に、周囲からブロアーで強制冷却を行わなければドライバーLSIは数分の内に動作停止に陥る状態であった。絵は出たものの、果たしてTFT液晶パネルの表示品位能力を充分引き出しているものかどうか確信が持たず、担当者は連休初日も実験室に出、絵出し調整を行なった。そしてその開発は1988年6月16日に記者発表され(図5.40)、また、学会発表もされた<sup>54)</sup>。



図 5.40 14 型 TFT カラー液晶ディスプレイ  
1988 年 6 月 16 日開発記者発表

絵素数は当時のアナログテレビ放送に準拠するもので、ピークコントラストは優に100を越え(図5.41-a)、色再現範囲もCRT並(図5.41-b)であった。3型の生産がやっと始まったばかりで、生産プロセス、生産装置も不安定な時期で、問題山積であった。プロジェクトの当初から参画したテレビ事業部には画質に対する拘りがあり、液晶研究所側にはその拘りの意味が理解できないもどかしさからからくる反発があった。し



(a)コントラストの視角依存性——コントラスト比の視角依存性を示しており、最大値は100を十分超えており、また左右方向は十分に広い

(b)色度図表——CRTの範囲に比べ、TFT液晶は同等もしくは広い。

図 5.41 14 型フルカラー a-Si-TFT 液晶の特性<sup>55)</sup> 642 × 480 ドット カラーフィルター：Δ配列

かし、性能と生産性双方に関する液晶の特質を正面からとらえて対応した液晶研究所により当初3型に作り込まれた技術を元に、第3生産部ではCRTサイズでCRT並のカラー表示範囲を持つa-Si-TFT-LCDの試作に成功した。

この14型開発は、a-Si-TFT-LCD技術が①CRT並のフルカラー表示が可能、②CRTサイズで、表示の均一性が高く、大型基板対応が可能、③外光反射が非常に小さい、④低消費電力といった特性を持つことが25年以上前に実証され、その意義が今日まで継続しているとして、2014年度IEEE Milestoneに認定された。また、エデュワルドライン技術賞受賞(図5.43)も1990年度に受けた。

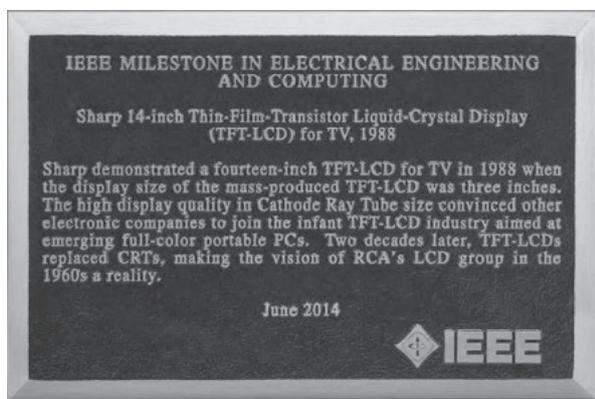


図 5.42 2014 年度 IEEE マイルストーン盾 シャープ 14 型 TV 用 TFT-LCD、1988<sup>57)</sup>



図 5.43 14 型フルカラー TFT 液晶がエデュワルドライン賞を受賞 1990 年 8 月 23 日、於: ケーニヒヴィンター (独)<sup>58)</sup>

なお、14型の試作に際しては、シャープの大型基板用露光機の開発依頼を受けたニコンが納入した、液晶用TFT大型マザーガラス用ステッパー露光機が最大限活用された。この露光機は小さい各露光面を、隣接露光面と正確に接続しながら何回も露光し、全体露光を完了させると言う特長を有していた。

### 5.4.3 カラーTFT-LCDの外光低反射性

3型を見ていた時は明確には認識されていなかったが、外光反射が非常に小さいことの認識が確立出来たのは、役員会で14型のデモ展示を行った時の、油絵を描くことを趣味にしていた役員の一員の感想、『質感が良く出ているね。』という一言がきっかけであった。当然のことながら、技術者達はカラーTFT液晶の画質改良の研究をするときに、CRTをレファレンスとして横に置いている。このため、周囲照度を増して行くとCRTの方が先に、黒表示部分が灰色になって表示画像のコントラストが低下し、表示の鮮やかさが失われて行くことに気付いてはいた。しかし液晶ディスプレイの方は、偏光板の表面が低反射コート処理されているため、CRTよりも単に表面反射率が小さいだけ、と考えてそれ以上の要因を深く分析することはしなかった。ところが、絵描きの役員『質感が良く出ているね。』の一言があり、これに動かされて改めてCRTとカラーTFT液晶との外光の行路を考察すると、CRTも表面に反射防止膜処理をしているものがあり、単なる表面反射率の差では説明がつかないことが分かった。そしてカラー化のためにTFT液晶に設けられたカラーフィルターに思い当たった。

例えばプラズマディスプレイ(CRTも同様)の場合、外光を反射するのは主として粉体化された蛍光体であるが、これは外観上は灰色系の色をしており、波長に依存せず外光を大きく散乱反射する(図5.44)。

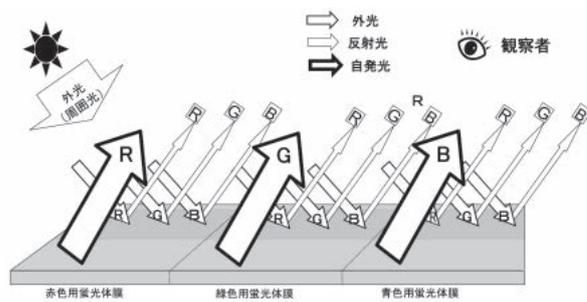


図 5.44 自発光用蛍光体膜を使うディスプレイの場合の外光反射説明模式図  
(粉体化された蛍光体は灰色系の色が多く、外光の全ての波長を強く反射する。)

一方、カラーTFT液晶は表示ドット毎に3原色のカラーフィルターが設けられており、カラーフィルターに到達した外光は、その色に相当する成分だけが通過し、他の色成分はそのカラーフィルターに吸収される(図5.45)。

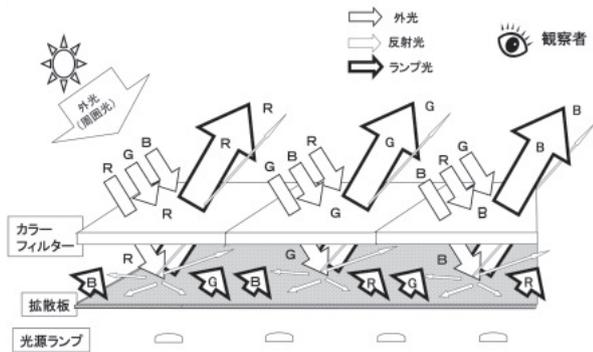


図 5.45 カラー TFT 液晶に使用されているマイクロカラーフィルターによる外光低反射性説明模式図 (他の2色は吸収される。)

カラーフィルターを通過した光は TFT 液晶パネルを通過してバックライト用の蛍光灯で散乱され、TFT 液晶パネルの裏側から再びカラーフィルターに到達し、カラーフィルターの色に相当する成分だけがそのカラーフィルターを通過して観察者の目に到達し、反射光となる。その割合が小さくなることは容易に推察できる。他の色成分はそのカラーフィルターに吸収される。このように、各ドットに設けられた3原色のマイクロカラーフィルターが外光を2回も選択吸収しているという理想的な反射防止膜になっているのである。このようにカラーフィルターと言う、ある意味で非常に原始的なカラー化の原理を利用せざるを得なかったことが、期せずしてカラーTFT 液晶に低反射性をもたらしていたことになる。そうしてモバイル、アウトドア、ユビキタスと言うキーワードに象徴される時代の変化に対応した、周囲が明るい環境でも使用しやすいカラーTFT 液晶の実現となったのである。図 5.46 にカラーTFT 液晶ディスプレイとカラープラズマディスプレイの“黒レベル”の比較を示す。

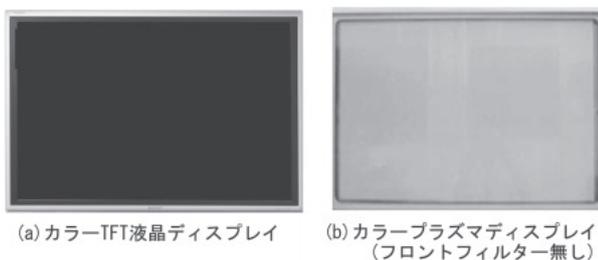


図 5.46 外光反射比較 (フラッシュ撮影) (表示されている明るさが“黒レベル”に相当する。)

- 1) 日本学術振興会第 142 委員会:「液晶ハンドブック」、付録 1 液晶デバイスの技術開発年表、p.669、日刊工業新聞社、1989 年 9 月 29 日
- 2) 沼上幹:「液晶ディスプレイの技術革新史」、第 7 章日本における液晶の科学・技術研究、pp.192-199、白桃書房、1999 年 9 月 26 日

- 3) B.J.Lechner: “History Crystallized: A First-Person Account of the Development of Matrix-Addressed LCD for Television at RCA in the 1960s”, Information Displays 1/08, Vol.24, No.1,p.30, January 2008
- 4) 新本孫宏からの助言、1987 年 10 月
- 5) 新居宏壬との面談、2014 年 7 月 6 日
- 6) 両角伸治: “TFT を用いたカラー液晶表示デバイスの開発とその事業化”、博士学位論文、平成 14 年度、高知工科大学院、平成 14 年 1 月 8 日
- 7) [http://www.eduard-rhein-stiftung.de/html/hauptseite\\_e.html](http://www.eduard-rhein-stiftung.de/html/hauptseite_e.html)
- 8) セイコ・エプソン株式会社:「年表で読むセイコーエプソン」、p.121, 2001 年 2 月 [http://www.epson.jp/ms/1984\\_8.htm](http://www.epson.jp/ms/1984_8.htm)
- 9) 両角伸治: “TFT を用いたカラー液晶表示デバイスの開発とその事業化”、博士学位論文、平成 14 年度、第 3 節 TFT 基板の設計、p.57, 高知工科大学院、平成 14 年 1 月 8 日
- 10) Shigeru Sugimori et al.: “LIQUID-CRYSTALLINE HAROGENOBENZENE DERIVATIVES”, USPAT4405488, Sep. 20, 1983
- 11) 後藤泰行他: “TFT-LCD 用液晶材料の開発”、日本科学会誌 2001 No.4, p.194 (2001)
- 12) 後藤泰行他: “TFT-LCD 用液晶材料の開発”、日本科学会誌 2001 No.4, p.195 (2001)
- 13) 後藤泰行他: “TFT-LCD 用液晶材料の開発”、日本科学会誌 2001 No.4, p.195 (2001)
- 14) 後藤泰行他: “TFT-LCD 用液晶材料の開発”、日本科学会誌 2001 No.4, p.195 (2001)
- 15) 後藤泰行他: “TFT-LCD 用液晶材料の開発”、日本科学会誌 2001 No.4, p.195 (2001)
- 16) セイコ・エプソン株式会社:「年表で読むセイコーエプソン」、p.73, 2001 年 2 月
- 17) 両角伸治: “TFT を用いたカラー液晶表示デバイスの開発とその事業化”、博士学位論文、平成 14 年度、高知工科大学院、第 7 節 TFT 液晶パネルの表示性能評価とその考察、p.73、平成 14 年 1 月 8 日
- 18) 両角伸治: “TFT を用いたカラー液晶表示デバイスの開発とその事業化”、博士学位論文、平成 14 年度、高知工科大学院、第 5 節 バックライトの設計と性能、p.82, 平成 14 年 1 月 8 日
- 19) 両角伸治: “TFT を用いたカラー液晶表示デバイスの開発とその事業化”、博士学位論文、平成 14 年度、高知工科大学院、第 4 節 カラーフィルターの製造方法と条件、p.88, 平成 14 年 1 月 8 日
- 20) 両角伸治: “TFT を用いたカラー液晶表示デバイスの開発とその事業化”、博士学位論文、平成 14 年度、高知工科大学院、第 5 節 バックライトの設計と性能、p.89, 平成 14 年 1 月 8 日
- 21) 両角伸治: “TFT を用いたカラー液晶表示デバイスの開発とその事業化”、博士学位論文、平成 14 年度、高知工科大学院、第 5 節 バックライトの設計と性能、p.92, 平成 14 年 1 月 8 日
- 22) 両角伸治: “TFT を用いたカラー液晶表示デバイスの開発とその事業化”、博士学位論文、平成 14 年度、高知工科大学院、第 6 節 液晶カラーパネルの作成と駆動に関する検討、p.94, 平成 14 年 1 月 8 日
- 23) セイコ・エプソン株式会社:「年表で読むセイコーエプソン」、p.155, 2001 年 2 月
- 24) セイコ・エプソン株式会社:「年表で読むセイコーエプソン」、p.203, 2001 年 2 月
- 25) 発見と発明のデジタル博物館: <http://dbnst.nii.ac.jp/pro/detail/440>
- 26) 田中誠一他: “a-Si-TFT を用いた 3 インチカラー液晶 TV”、National Technical Report Vol.33, No.1, p.64, Feb. 1987
- 27) 田中誠一他: “a-Si-TFT を用いた 3 インチカラー液晶 TV”、National Technical Report Vol.33, No.1, p.66, Feb. 1987
- 28) 田中誠一他: “a-Si-TFT を用いた 3 インチカラー液晶 TV”、National Technical Report Vol.33, No.1, p.66, Feb. 1987
- 29) Tetsu Ogawa et al.: “COLOR LIQUID CRYSTAL DISPLAY APARARUS ”, USPAT4632514, Dec.30, 1986
- 30) 田中誠一他: “a-Si-TFT を用いた 3 インチカラー液晶 TV”、National Technical Report Vol.33, No.1, p.67, Feb. 1987
- 31) 田中誠一他: “a-Si-TFT を用いた 3 インチカラー液晶 TV”、National Technical Report Vol.33, No.1, p.66, Feb. 1987
- 32) 田中誠一他: “a-Si-TFT を用いた 3 インチカラー液晶 TV”、National Technical Report Vol.33, No.1, p.70, Feb. 1987
- 33) 田中誠一他: “a-Si-TFT を用いた 3 インチカラー液晶 TV”、National Technical Report Vol.33, No.1, p.72, Feb. 1987
- 34) 田中誠一他: “a-Si-TFT を用いた 3 インチカラー液晶 TV”、National Technical Report Vol.33, No.1, p.67, Feb. 1987
- 35) 田中誠一他: “a-Si-TFT を用いた 3 インチカラー液晶 TV”、

- National Technical Report Vol.33, No.1, p.67, Feb. 1987
- 36) 船田文明：“TFT 研究開発ことはじめ”、シャープ技報、第 96 号、p.9、2007 年 11 月
  - 37) 鷺塚諫編、船田文明著：“TFT 液晶開発物語、第 6 回、TFT 液晶開発の産みの苦しみ”、エレクトロニクス 1995 年 6 月号、p.94、1995 年 6 月
  - 38) 鷺塚諫編、船田文明著：“TFT 液晶開発物語、第 6 回、TFT 液晶開発の産みの苦しみ”、エレクトロニクス 1995 年 6 月号、p.94、1995 年 6 月
  - 39) 鷺塚諫編、船田文明著：“TFT 液晶開発物語、第 6 回、TFT 液晶開発の産みの苦しみ”、エレクトロニクス 1995 年 6 月号、p.94、1995 年 6 月
  - 40) 諏訪恭一：“a-Si-TFT 液晶用大型基板露光装置誕生秘話”、諏訪恭一メモ、2014 年 9 月 6 日
  - 41) 諏訪恭一他：“露光方法”、ニコン株式会社、特許番号第 2715937 号、登録日 1997 年 11 月 7 日
  - 42) 石井裕：所蔵シャープ液晶研究所内部報告メモ、1986 年 6 月 21 日
  - 43) 中村好郎監：「NHK テレビ技術教科書（上）」、7.2 受像管の特性と動作、p.249、日本放送出版協会、1989 年 4 月 10 日
  - 44) S.HOTTA et al.: “Full-Color Multi-Gap LCTV Display Panel Addressed by a-Si TFTs ”, SID'86 Digest, p.296, May 12, 1986
  - 45) 石井裕：所蔵のシャープ液晶研究所内部報告メモ、1986 年 6 月 21 日
  - 46) F.Funada et al.: “An Amorphous-Si TFT-Addressed 3.3in. Full-Color LCD ”, SID'86 Digest, p.293, May 12, 1986
  - 47) 石井裕：所蔵シャープ液晶研究所内部報告メモ、1986 年 6 月 21 日
  - 48) 鷺塚諫監修：「液晶ディスプレイ - その概要と応用」、第 3 章液晶ディスプレイの構成技術、p.94、ラジオ技術社、1991 年 9 月
  - 49) シャープ提供
  - 50) 赤塚忠明他：“液晶カラーテレビ 3C-E1 ”、シャープ技報、第 38 号、p.126、1987 年
  - 51) 赤塚忠明他：“液晶カラーテレビ 3C-E1 ”、シャープ技報、第 38 号、p.126、1987 年
  - 52) 鷺塚諫編、武宏著：“TFT 液晶開発物語、第 8 回、CRT に対抗できる”、エレクトロニクス 1995 年 8 月号、p.92、1995 年 8 月
  - 53) 加藤博章所蔵のシャープ第 3 生産部内部報告資料、1988 年 5 月 23 日
  - 54) T.Nagayasu et al.: “A 14-IN.-DIAGONAL FULL-COLOR a-Si TFT LCD ”, Proceedings of 1988 INTERNATIONAL DISPLAY CONFERENCE, p.56, 1988
  - 55) T.Nagayasu et al.: “A 14-IN.-DIAGONAL FULL-COLOR a-Si TFT LCD ”, Proceedings of 1988 INTERNATIONAL DISPLAY CONFERENCE, p.57, 1988
  - 56) [http://ethw.org/Milestones:Sharp\\_14-inch\\_Thin-Film-Transistor\\_Liquid-Crystal\\_Display\\_\(TFT-LCD\)\\_for\\_TV\\_1988](http://ethw.org/Milestones:Sharp_14-inch_Thin-Film-Transistor_Liquid-Crystal_Display_(TFT-LCD)_for_TV_1988)
  - 57) [http://www.eduard-rhein-stiftung.de/html/hauptseite\\_e.html](http://www.eduard-rhein-stiftung.de/html/hauptseite_e.html)

## 6 | 大型 LCD

TFT-LCD はサブミクロンの加工精度を必要とし、高精細な半導体と同等な生産装置を使うので、採算性の問題から小型で高付加価値の商品に搭載しなければ産業として立ち上がって行かない、と言う見方があった。加えてまずは小型で技術レベルを上げ、次のステップで大型に進んで行くべきであるとの考え方があり、まず小型 TV を応用商品として採り上げたという経緯があった。

一方、パソコンが事業全体の中で重要な位置を占めていたメーカーでは、ラップトップ PC、ノート PC の開発競争に勝ち抜くため、TFT-LCD 開発の当初から PC への搭載を目指していた。ここでは、まず、STN-LCD と TFT-LCD、双方の技術開発と密接な関連をもっていた PC の進展状況を辿り、次に大型 TFT-LCD の開発の系譜を辿る。尚、ノート PC とは、外形サイズにノートサイズ (A4: 210 × 297mm) を意識した商品を指しており、A4 ファイル (A4 サイズ + 1 インチ = 概略 235 × 320mm) ノート、true-Note (概略 210 × 297mm) 等がある。A4 ファイルより大きいものをラップトップ PC と呼ぶ。時系列的にはラップトップ PC がまず市場に出て来たが、後から出て来た製品をラップトップ PC と差別化するためにノート PC という用語を新たに用い出した。しかし、厳密な定義があるわけではない。

### 6.1 ラップトップ PC とノート PC、大型 LCD

1985 年 4 月、東芝が欧州にて T1100 (図 6.1) をラップトップ PC として販売開始したが、この機種はいくつかの特徴を有していた。すなわち、当時デスクトップ PC の標準となっていた IBM PC との互換性の付与、携帯性を向上させるための液晶ディスプレイ (640 × 200 ドット) の採用、当時標準であった 5.25 インチよりも小型の 3.5 インチフロッピーディスクの搭載、低消費電力化を図るための C-MOS ゲートアレーの積極的な導入等である。そして、307W × 305D × 66Hmm、4.5kg、充電式電池で 8 時間動作を可能とした。また、ソフトウェア業者を説得して、3.5 インチフロッピーディスクによりパッケージソフトの供給を開始し、ユーザー自身がプログラムを組むことを不要とした。さらに、IBM PC 用に 1981 年に開発された CGA (Color Graphic Adaptor, 640 × 200: 2 色) 互換の、外部カラー CRT モニター接続用コネクタも有

していた。

デスクトップ PC がオフィス中心に使用されたのに対し、T1100 は、何処でも、何時でも、誰でも、のコンセプトで作られたものであり、ラップトップ PC が人を中心にすえた使用環境を提供するものであることを示して新規市場創造に大きな寄与をした。この貢献が評価されて、2013 年度の IEEE Milestone に認定された (図 6.1) <sup>1)</sup>。



図 6.1 ラップトップパソコン 東芝 T1100<sup>2)</sup>  
640x200 ドット

その後、ラップトップ PC の外形サイズが A4 (297 × 210mm) を中心とするノート PC へと発展して行くのと相まって、使用される液晶ディスプレイも進化を続けて行った (表 6.1)。

1988 年 12 月にはコンパック・ポータブル Compaq Portable SLT/286 が発表された。STN LCD の走査線数を 480 本に拡大した世界初の VGA (640 × 480 ドット) 液晶ディスプレイ採用し、デスクトップ PC と同等の性能を持つ PC としてその性能が評価された。液晶が VGA という、CRT でも使われている基準を満たし、やっと一人前のディスプレイになったのである。1つの基準を満たすと次に満たすべき基準が出てくる。カラー化されていないと、この機種で残念がられたカラー化である。

1989 年 7 月には東芝の Dyna Book J-3100SS が、世界初の A4 ファイルサイズノート PC として発表された。640 × 400 ドット液晶ディスプレイに W310 × 254D × 44Hmm、重量 2.7kg で、PC がラップトップから A4 ファイルサイズ品に進化し、後のノート PC のコンセプトを決定づけたものとして意義深い。

表 6.1 ポータブル PC と液晶ディスプレイの進化<sup>3)</sup>

発売年月	メーカー	機種	備考
1985年4月	東芝	ラップトップパソコン T1100 640 x 200 ドット 307W x 305 D x 66 H mm、4.5kg	IBM PC 互換 3.5 インチフロッピーディスク CGA(Color Graphic Adaptor, 640x200: 2 色)互換の 外部カラーCRT モニター接続用コネクタ
1988年12月	Compaq	Portable SLT/286 640x480 ドット 340Wx220Dx110H mm 6.3kg	世界初 VGA(640x480 ドット)液晶ディスプレイ採用
1989年7月	東芝	DynaBook J -3100SS 640 x 400 ドット 310W x 254 D x 44 H mm 2.7kg	世界初の A4 ファイルサイズノート PC
1989年7月	NEC	PC-9801LX5C 640 x 400 x RGB(8 色) 339Wx380Dx115H 8.7kg	日本初のカラーSTN 液晶ディスプレイ搭載
1989年10月	NEC	PC-9801N 640 x 400 x RGB(8 色) 316W x 253D x44H mm 2.7kg	NEC 初の A4 ファイルサイズノート PC STN カラー液晶ディスプレイ 640 x 400 x RGB(8 色)を搭載
1990年5月	NEC	PC-9801T model F5 640 x 400 x RGB 346W x 460 D x 120 H mm 10.4kg	日本初のカラーTFT 液晶ディスプレイ(8色)搭載
1991年10月	NEC	PC-9801NC 640 x 400 x RGB 316Wx254Dx56H mm 3.2kg	A4 ファイルサイズノート PC 世界で初 a-Si-TFT カラー液晶ディスプレイ搭載ノート PC

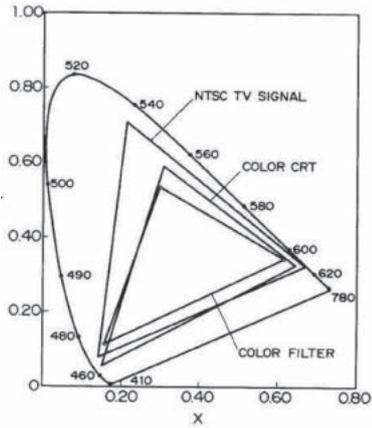
同じころ NEC が続けざまに液晶ディスプレイを搭載した PC を発表した。まず、1989年7月にデスクトップである PC-9801LX5C に、日本初のカラーSTN 液晶ディスプレイを 640 × 400 × RGB (8 色) の仕様で搭載した。続いて同年 10 月には、同社初の A4 ファイルサイズノート PC として、STN カラー液晶ディスプレイ 640 × 400 × RGB (8 色) を搭載した PC-9801N を、翌年 5 月に日本初のカラーTFT 液晶ディスプレイ 640 × 400 (8 色) を搭載したデスクトップ PC-9801T model F5 を、1991年10月には世界で初めて a-Si-TFT カラー液晶ディスプレイ 640 × 400 × RGB を搭載した PC-9801NC を、A4 ファイルサイズノート PC として発売した。

このように、1985年から1991年まで約6年をかけて、640 × 200 ドットのモノクロ液晶を搭載したラップトップ PC から、VGA/TFT カラー液晶搭載のノート PC まで、STN LCD と PC の相互作用の下に進化して PC 市場を拡大した。この間、平行して TFT-LCD の開発も進められた。TFT-LCD の開発は日本

メーカーが主導し、新規市場を創造してきたものであるが、STN LCD についても TFT-LCD の場合に劣らぬほど、世界の技術開発で中心的役割を果たし、技術の発展に貢献したことを記しておきたい。

## 6.2 大型 TFT-LCD の開発

小型 a-Si-TFT カラー液晶 TV の開発を優先するメーカーに対し、もう一方のメーカーは、高度情報化時代の大きな流れに乗るために、当初からノートパソコン向けの a-Si-TFT 大型カラーLCD の開発を行った。東芝の樋口豊喜のグループは、先に述べた T1100 の販売が開始されたのと同じ年の 1985 年末、早くもパソコン用途を狙った a-Si-TFT9.5 型カラーディスプレイを試作した。図 6.2 にこのディスプレイの特性を示す。ドット数は 640 × RGB × 480 の VGA、表示色は 8 色のマルチカラー、色再現範囲は CRT の 73%、コントラスト比は 12:1 以上と、ノートパソコン用途に絞った仕様を提案し、カラー化に大きな課題を抱え



(a) カラー・フィルタの CIE 色度図

画素サイズ	192mm×144mm (対角9.5インチ)
画素数	640 × 480
画素サイズ	300μm×300μm
画素TFT	W/L=25/10
使用液晶	TN液晶
表示方式	透過形
背面照明	三波長蛍光管
表示色	8色
駆動方式	48Hzインターレース 線順次
駆動電圧	ゲート電圧 18V データ電圧 10V
コントラスト	12:1以上

(b) LCDの主な仕様

図 6.2 9.5 インチ液晶カラーディスプレイの特性 東芝総合研究所<sup>5)</sup>

ていた EL に対する優位性を示すことになった<sup>4)</sup>。

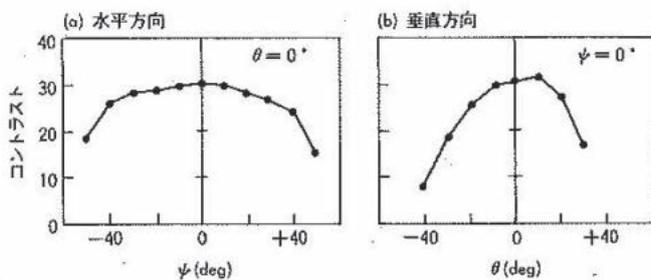
また、松下の竹田守他は 1987 年 2 月に、1 ドットに複数の TFT を設けて冗長を持たせ、点欠陥の低減を目差した 12.5 型 640 × RGB × 480 パネルを設定し、コントラスト比は最大で 30:1、色再現範囲が CRT の 68% と、パソコン用としては十分な特性を持っているものを開発している。図 6.3 にこのディスプレイの特性を示す。

更に 1987 年 11 月、坂井徹他のセイコー電子工業グループは 14 型 640 × RGB × 440 を開発した。大型化に伴う走査バスラインでの抵抗による信号減衰に起因する、左右の表示不均一性などがあるものの、パネル内でのコントラスト比は最大で 20:1 としている<sup>7)</sup>。

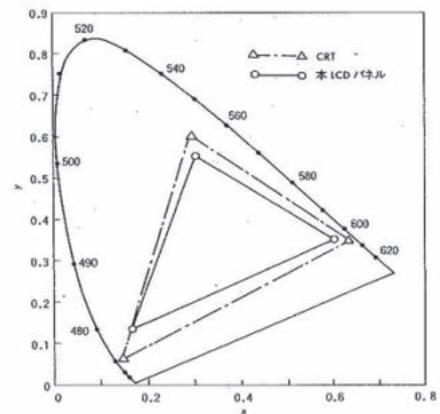
1988 年 6 月、既に述べたようにシャープから 14 型

フルカラー a-Si-TFT LCD の開発発表があった<sup>8)</sup>。他社と異なり、研究所による成果ではなく、プロセスと設備は 3 型、4 型の小型 AV 用 a-Si-TFT LCD パネルの生産に毎日使用しているものを使って開発した。また PC や OA 用を目差したマルチカラーではなかった。しかし、CRT 並のサイズの 14 型、ドット数は VGA と標準 TV とを見込む 642 × RGB Δ 配列 × 480、フルカラー (アナログドライバーを使用)、色再現範囲は CRT と同等 ( $\geq 100\%$ )、コントラスト比は 100:1 以上、表示均一性は全表示領域において良好と、今にも生産が可能と思われる圧倒的に高い表示品位でデモ展示がされた。

とはいえ、実際には、断線欠陥のないパネル歩留まりは数%未満であったし、大型パネルを駆動するドラ



(a) コントラストの視野角依存性



(b) CIE 特性

図 6.3 冗長方式を採用した 12.5 インチ a-Si-TFT アクティブマトリクス液晶ディスプレイ 松下無線研究所<sup>6)</sup>

イバーは4型用のドライバーを複数個並列接続した定格オーバーでの流用で高温になり、冷却ファンを止めれば直ちに動作停止となる状態であった。このような状態でのデモではあったものの、14型の表示品位はa-Si-TFT LCDに大きな可能性を見る人を納得させるのに充分であった。特に、14型のデモを見て、初めて自分たちの供給した材料や装置が14型の試作に使われたことを知った供給業者から、これでa-Si-TFT LCDにもっと経営資源を傾注すべきであると、社内を説得しやすくなったと謝意を表されたことが印象的だったと、14型を開発したプロセスエンジニアの多くが語っている。

3型、4型を生産しているプロセスを使用して一気に14型を試作してしまったため、14型の記者発表の後、1988年8月、急遽、大型TFT-LCDを量産化するための要素技術開発と事業化構想を立案する緊急プロジェクトA1128PTを立ち上げた。統括には鷲塚諫自らが就き、副統轄に柘川正也を充てた。

シャープは、それまでa-Si-TFT LCDを、TVを含むAV市場に向けて開発していた。14型についてもTV用途を意識してデータドライバーをアナログドライバーとし、フルカラー表示を行っていた。しかしながら、A1128プロジェクトの成果が上がり、かつノートPC市場の立ち上がりが目の前に迫っていることも考慮し、従来目標としていたAV市場に加えてノートPC向けの市場にも対応すべく、大型TFTカラーLCD開発のための緊急プロジェクトとしてのA1140PTを1989年4月に立ち上げた。

このような中、1988年9月、日本IBM大和研究所と東芝電子総合研究所との協同研究になる、14.26インチ、720×550×RGBW（16色）の発表が行われた（図6.4）。本製品はワークステーション用に開発されたものであった。

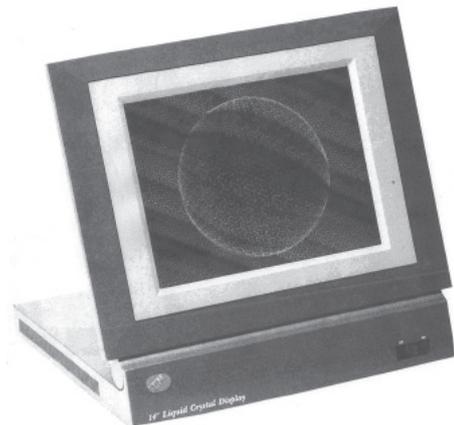


図 6.4 14.26 インチ a-Si-TFT LCD  
720 × 500 × RGBW (16 色) <sup>9)</sup>

このように次々と大型 a-Si-TFT LCD が発表され、技術的には CRT 並のサイズと表示品位を実現出来る、という確信の下に a-Si-TFT LCD 工場建設が相次いで計画された。

- 1) 東芝 T1100: IEEE Milestone [http://www.ieeeeghn.org/wiki/index.php/Milestones:Toshiba\\_T1100\\_a\\_Pioneering\\_Contribution\\_to\\_the\\_Development\\_of\\_Laptop\\_PC\\_1985](http://www.ieeeeghn.org/wiki/index.php/Milestones:Toshiba_T1100_a_Pioneering_Contribution_to_the_Development_of_Laptop_PC_1985)
- 2) 東芝 T1100: 記者発表 1100: [http://www.toshiba.co.jp/about/press/2013\\_10/pr\\_j2901.htm](http://www.toshiba.co.jp/about/press/2013_10/pr_j2901.htm)
- 3) コンピューター博物館: <http://museum.ipsj.or.jp/computer/personal/index.html> より整理
- 4) 松本正一監修、小穴保久著: 「液晶紳士随想録」、11 液晶国際結婚、p.90、株式会社テクノタイムズ社、2002年4月12日
- 5) 樋口豊喜他: 「9.5インチ液晶カラーディスプレイ」、テレビジョン学会技術報告、ED914、p.1、1985年12月20日
- 6) 竹田守他: 「冗長方式を採用した12.5インチ a-Si-TFT アクティブマトリクス液晶ディスプレイ」、National Technical Report Vol.33 No.1 Feb. 1987, p.76, 1987年
- 7) 坂井徹他: 「3枚マスクによる14インチアクティブマトリクスカラーLCD」、ITEJ Technical Report No.11, No.27, p.67, ED '87-94, Nov. 1987
- 8) シャープ: 「14型 TFT カラー液晶ディスプレイを開発」、プレスリリース、1988年6月16日
- 9) 日本IBM社内報: 「大和研究所、世界最大のTFT液カラー液晶ディスプレイを開発」、1988年8月号、p.14、1988年8月

# 7 | a-Si-TFT 液晶産業立ち上げ

大型マザーガラスを使って生産された様々なサイズの a-Si-TFT LCD により生み出される新規商品と、その大型マザーガラスのサイズの変遷とが液晶産業の立ち上げを特徴づける。ここでは最初の a-Si-TFT LCD 工場の建設により出荷された a-Si-TFT LCD が、AV と PC 双方の新規商品の創出をサポートしてきた状況と、その後 a-Si-TFT LCD 工場が次々と建設され、パネルサイズと取れ数を競いながら液晶産業が立ち上がって来た当時の状況を辿る。

## 7.1 シャープ天理 a-Si-TFT 工場の立ち上げと新規商品

図 7.1 は世界初の大型マザーガラスを採用したシャープの天理 a-Si-TFT 工場の生産実績である。同図に見るようにこの時期のシャープの実績は飛躍的に

伸びており、また図 7.15 (後掲) に示すように同社の生産能力は他社を圧していた。この事実を踏まえて業界の代表としてシャープについて記述することとする。

ニコンが開発したステッパー方式の露光機を用い、デュオティ液晶工場で既に使っていた最大マザーガラスであった大型マザーガラスサイズ (320 × 300mm) を採用して、1987 年 6 月、3 型 a-Si-TFT パネルから生産を始めた。その後多様なパネルの混合生産を行いながら TFT-LCD 事業が拡大されて行った。その背景には、時代の流れに乗って新規開発された商品に搭載するという、明確で大きなニーズが用意されていた幸運もあったが、その新規開発商品も液晶ディスプレイの存在があったればこそその成長であり、両々相俟つての発展であったと言える。以下ではこのような技術革新の歴史を辿ることとする。

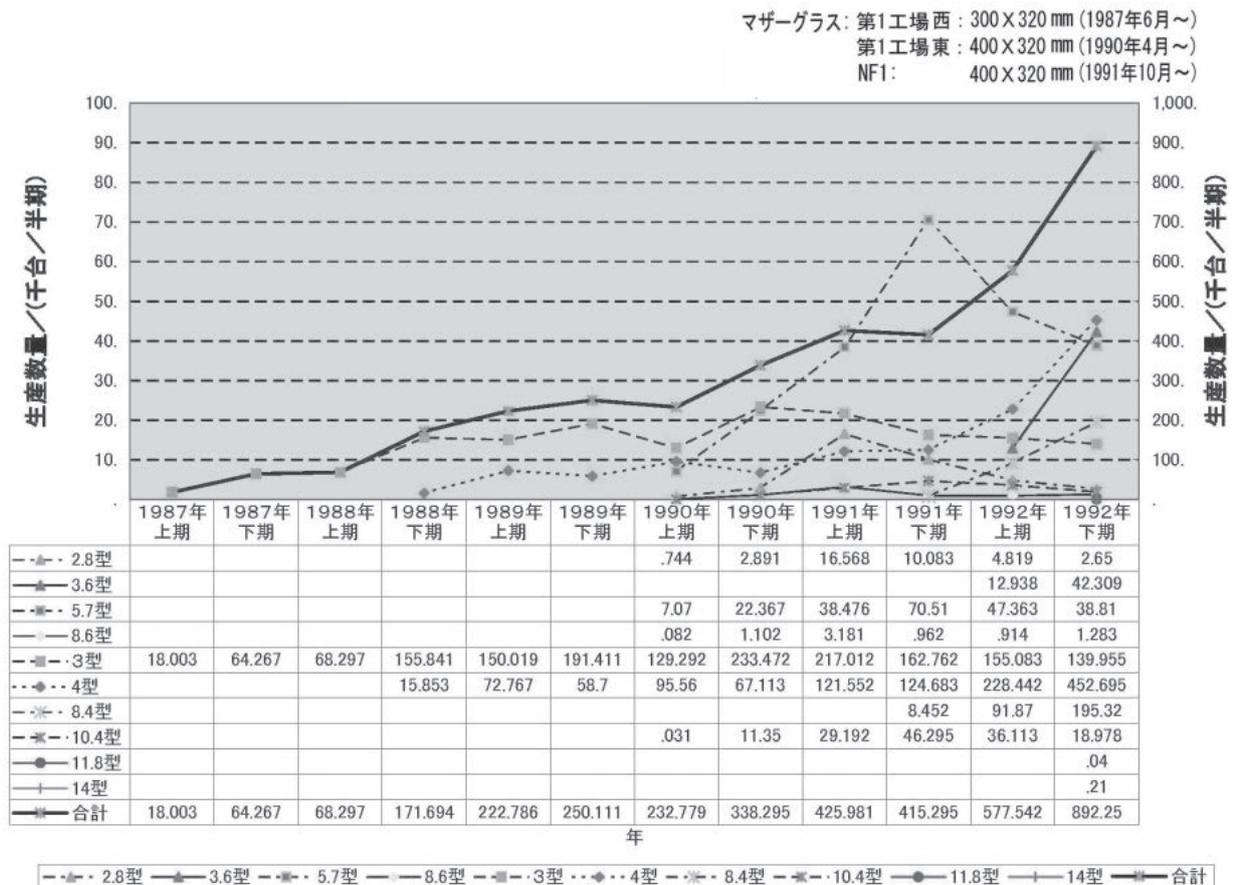


図 7.1 a-Si-TFT 液晶生産実績 (サイズと数量) シャープ液晶天理工場

1987年上期から生産が始められた3型パネルは、1枚のマザーガラスから20枚取りができた。当初の想定応用商品はポケットブルTVであり、想定通りの使われ方をしていたが、1988年上期からはポータブル8mmビデオプレイヤーに搭載され始めた。

1988年下期からは4型(480×240ドット、Δ配列、12枚取り)モジュール(図7.2)の生産が開始された。

モジュールにはデータドライバー、走査ドライバー、複合同期パルス分離機能を持たせたコントローラICが含まれていたが、ビデオ信号処理回路は搭載しなかった。これは3型モジュールと同じであった。モジュールを使うユーザーとしては大手TVメーカーを想定していたので、その方がユーザーにとって他社との差別化の絵作りをするのに都合が良く、システムの区切りが合理的であると思ったからである。応用商品は3型と同様にポータブルTVと8mmビデオプレイヤーであった。ビデオプレイヤー技術者からは、3型の時に、表示ドット数の少ない(384×240、後に240は234に変更)割に、同一サイズの解像度の高いCRTよりも画質が良い、との評価を得ていた。これは次の2つに理由による。ひとつは先に述べたように、カラーTFT液晶のマイクロカラーフィルターを使う発色原理に基づく、外光低反射性に起因するものである。もうひとつは、CRTの場合は表示ドットの端が惚け、輝度が高くなると表示ドットの面積が大きくなり解像度が低下するが、TFT-LCDの場合は表示ドットの端は常に鮮明であり、輝度によりその面積が変化することもないことによる。

1989年上期からは、3型(384×240ドット、20枚取り)が3板式液晶プロジェクターXV-100Z(図7.3)に搭載され始めた。エプソンの1.27型p-Si-TFTを用いた機種から半年遅れの市場投入となったが、色再現性を向上させるために岩崎電気と協同開発をした放電管であるメタルハライドランプを搭載した。TFT液

晶パネルはTV用3型パネルからカラーフルターを除去して白黒パネルとしたものを用いた。常に高温、高照度の環境で使用されるため信頼性確認に時間を要したが、結果としてTV用パネルとTFT基板は兼用できることが確認された。パネル温度が高温(60℃)になっても黒レベルの劣化は少なく、ノーマリホワイモードを採用した狙いが活かされた。図7.4はプロジェクターの内部構造と構成要素を示しているが、3型という大きなパネルを使用しているため、高価になるプリズムは使わずダイクロイックミラーと通常の全反射ミラーとで光学系を構成している。

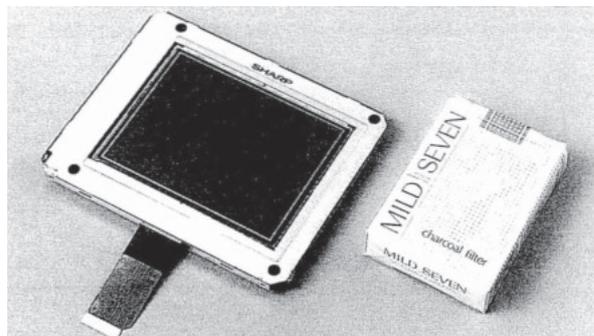
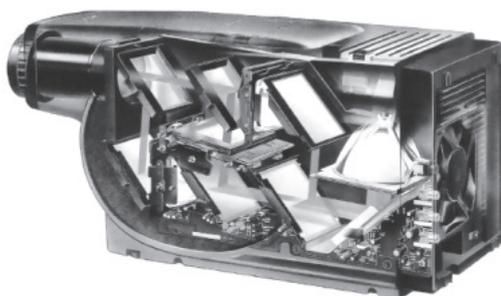


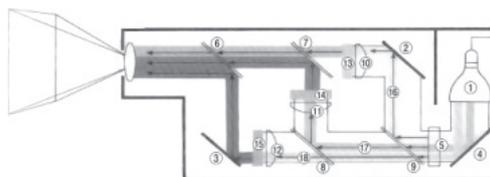
図 7.2 4型TFTカラー液晶モジュール(1988年) 480×240ドット



図 7.3 3板式液晶プロジェクター XV-100Z 3型a-Si-TFT-LCD 384x240x3ドット 1998年6月 メタルハライドランプ採用



(a) 内部構造



- |                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| ① ランプ:新規開発<br>高輝度メタルハライドランプ | ⑬ 赤 液晶パネル |
| ②~④ 全反射ミラー                  | ⑭ 青 液晶パネル |
| ⑤ フィルター:UVフィルター             | ⑮ 緑 液晶パネル |
| ⑥~⑨ ダイクロイックミラー              | ⑯ 赤       |
| ⑩~⑫ コンデンサーレンズ               | ⑰ 青       |
|                             | ⑱ 緑       |

(b) 構成要素

図 7.4 3板式液晶プロジェクターの内部構造と構成要素

1989年度は3型、4型の工程改善、歩留まり向上に専念し、新パネルは開発しなかった。1990年4月からは、社内的大型パネル開発プロジェクト(A1140PT)の成果として、初期投資分を生かすべく搬送系の共通化を図ることとした。すなわち初期マザーガラスと新規マザーガラスの1辺だけでも同じ大きさになるようにすれば、ラインの共通化が可能であるということで、初期マザーガラスの1辺の大きさを320mmであったので、新規マザーガラスの大きさを(400×320mm)とした。このラインは天理第1工場東側に導入され稼働を開始した。1990年上期には一気に4機種の生産が開始された。このマザーガラスは10.4型VGAパネル2枚取りを想定していた。

2.8型(480×456ドット、20枚取り)は画像のきめ細かさの向上を図った液晶プロジェクターの2機種のパネルである。5.7型(720×240ドット、6枚取り、ストライプ配列)(図7.5)は、1991年1月のVICS推進協議会の発足を見込み、純正のカーナビゲーション用に開発された。当時のカーナビゲーションシステムのディスプレイにはCRTを採用していたが、奥行きが長すぎる、明るい環境で見にくい、といった理由からTFT-LCD採用の強い要請が電装メーカーから届いていた。また、産業用の操作盤用モニター用途も考慮すべきであるという営業部門の要望にも応えることとしたが、小口ユーザーにはバックライトシステム設計能力が無いことを想定し、ビデオ信号処理ICを標準内蔵し、標準のRGB信号と複合ビデオ信号の2つのビデオ信号を受けつけられるようにした。バックライト用冷陰極蛍光灯の標準内蔵と蛍光灯用インバーター電源はオプション供給とすることによって、ユーザー側の開発負担を出来るだけ軽減し、短期間で量産納入が可能となるような策をとった。

カーナビゲーションメーカーの部品認定で、高温側の試験においては、ここでもノーマリホワイトモードの採用により、コントラスト低下も少なく円滑に作業が進んだ。しかし、低温側の-10℃点灯試験では量産バラツキにより冷陰極蛍光灯の点灯不具合が出て認定不合格となる可能性がある、との指摘を5.7型モジュールの納入先の技術部門から受けた。これに対しては、蛍光灯内ガス成分比の再検討、点灯開始インバーター電圧再設定を行い、部品認定を受けた。

8.6型(960×456ドット、2枚取り、ストライプ配列)はAV用途を目差した機種であったが、最初の用途は東京の山手線列車の乗降口の上に取り付けられた乗客向けカラー動画対応列車情報提供サービスであった。液晶モジュールは外販TVメーカーに販売さ

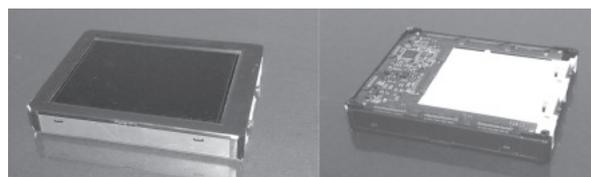


図 7.5 車載用 5.7 型 TFT 液晶モジュール (バックライト内蔵)<sup>1)</sup> 720×240ドット 1990年

れた後、そのメーカーで列車搭載用に強化された。特に、一部の不心得な人種による破壊行為にも耐えられるように、前面透明保護板を装着する方法をとった。その後、このTVメーカー系列の列車情報提供サービス会社に再納入され、毎日10時間以上1日も休むことなく数年間使用された。この時期には3型の出荷を開始してから3年が経っており、生産装置の改良が進み、プロセス条件の量産マージンも見直され、生産も安定してきており、量産納入も比較的円滑に進められた。また、市場に出てからの不具合もなく、大型基板を用いたシャープ製のa-Si-TFT LCDの品質が、実際に市場で確認されることになった機種であった。

また、8.6型モジュールは1991年7月に発売され、世界初の壁掛けTVとなった液晶ミュージアム9E-C1(図7.6)にも使用された。この機種はデザインや色を変え、シリーズとして11機種も同時発売されており、液晶TV市場創造に懸けるシャープの意気込みを示している。しかしながら、標準価格は50~60万円であったことから、根強い人気に支えられたものの大きな売上には成長しなかった。



図 7.6 世界初壁掛けテレビ 8.6型液晶ミュージアム 960×456ドット 9E-C1 1991年7月

1990年上期に4機種の最後の機種として販売が開始されたモジュールが10.4型(640×RGB×480)である。用途はラップトップPCであった。14型対応緊急プロジェクト(A1128)の成果を受け継ぐ緊急プロジェクトA1140PTの目的は、大型カラーTFT-LCDモジュール開発であった。このプロジェクトで

開発したのが10.4型であった。パネルの2枚取りを想定した(図7.7)マザーガラス400×320mmを使用する生産ラインも立ち上げ、このラインから10.4型モジュールの出荷を開始し、シャープはa-Si-TFT LCDのPC市場へも参入したのである。

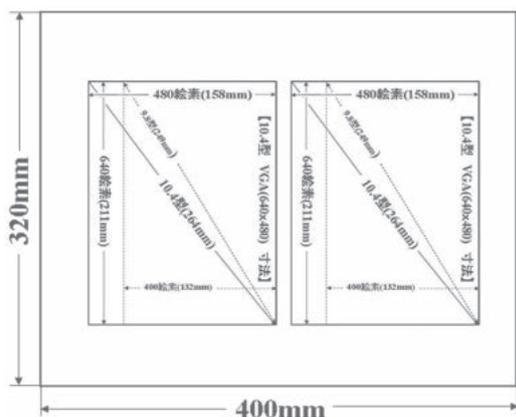


図 7.7 新規ライン 第1工場東側  
400×320mm：10.4型VGA2枚取り

新規400×320mmの生産ラインが安定すると、このマザーガラスでの10.4型の2枚取りでは、マザーガラス面積に余裕が感じられるようになった。このため、露光機がステッパーである強みを活かし、余った領域を使って小型のパネルを共取り生産することとし、種々検討を加えた。特に大きな課題は主機種である10.4型を生産すると必ず共取り機種ができることになり、共取り機種の数量管理が難しくなることであった。このため、定常的に納入が続く商品ではなく、ある程度数量が貯まった時に売り切りにすることができる商品を検討した。その結果、マイコンが本格的に導入され始めていたアミューズメント(パチンコ)向けに4型を5枚共取りすることにした(図7.8)。

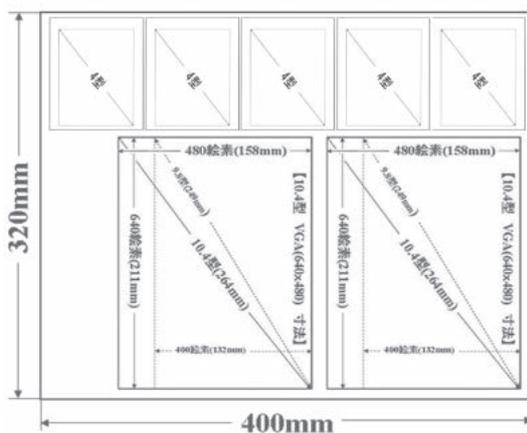


図 7.8 第1工場東側：共取り10.4型VGA×2枚  
+4型5枚取り

アミューズメント向けで特徴的なことは、液晶ドットの動作不具合である輝点欠陥や黒点欠陥に関する基準が緩やかだったことである。TV用では1-2個の欠陥で不合格になるものが、アミューズメント基準では合格となり、実質上線欠陥以外は基準合格となった。このことにより、工場立ち上げ後にも段々と基準が厳しくなっていたTV基準外パネルのすくい上げが可能となり、大いに助けられた。

納入開始に際して困難な課題として想定したことは、やはり業務用のものであり、1日12時間程度1年間連日の動作に耐えられるものでなければならない。このような使用条件下で固定表示パターンが焼き付けられることを懸念したが、問題になることはなく、逆に品質の良さの確認になった。もう一つの想定課題は、パチンコ玉が釘に当たりながら落ちて来るときの振動であり、この振動はジェットエンジンの中よりも厳しく、車のヘッドランプ基準の白熱ランプのフィラメントも簡単に切れてしまう程、ということであったが、これも杞憂に終わった。

1991年11月の世界初のハイビジョン専門テレビ局「ハイビジョン試験放送」の開局に備え、1991年2月には「世界初ハイビジョン対応3板式液晶プロジェクター：XH-L100(図7.9)」をミュージックデコーダ、投射スクリーンとのシステム受注販売を次月から開始することを記者発表した。5.5型a-Si-TFT LCDパネルを3枚用いたもので、色づれなく200型にまで拡大投射できるとして本体価格800万円であった。1993年8月にシャープとして2回目のエデュワルドライン賞を受けた機種となった<sup>2)</sup>。



シャープ(株)

図 7.9 世界初のハイビジョン対応3板式液晶プロジェクター XH-L100 受注開始：1991年3月15日  
5.5型a-Si-TFT-LCD 1200×1000ドット×3枚  
標準価格：800万円(税別)  
エデュワルドライン賞：1993年8月7日

1991年下期からは8.4型の出荷が始まった。この機種は、10.4型VGAモジュール市場の急速な立ち上がり、機種立ち上げ時の低歩留まりも災いして、モジュールの供給が追いつかない状況に対応するために企画された。顧客の増量要望への対応策として、10.4型VGAを2枚取りしている320×400のマザーガラスから4枚取りにすべく、最大画面サイズを至急検討するよう驚塚諫から指示が出た。指示を受けて検討した結果、最大8.4型がとれることがわかった(図7.10)。

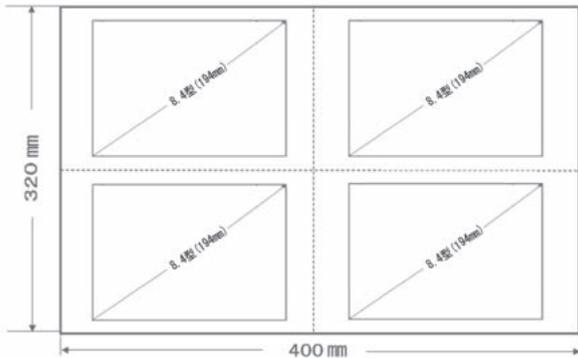


図 7.10 第1工場東：8.4型VGA4枚取り

当時のPCに搭載されていたTFT-LCDの画面サイズは10.4型が殆ど標準となっていた。このサイズはドットマトリクス表示において、画素ピッチ0.33mmでVGA(640×480)表示をした場合の大きさで、表示画面の対角が10.4インチになるのである。画素ピッチ0.33mmは、コンピューターモニターが導入される際に、人間工学的研究による最適の文字サイズから出てきた数字である。これを8.4型にするとVGA表示の画素ピッチが0.27mmになってしまう。この0.27mmがPCメーカーに受け入れられるのか、確信が持てなかったため、主要なユーザーの反応を探った。その際、新規8.4型VGAは現行10.4型VGAに比し、消費電力、モジュール厚、モジュール重量、価格のすべてにおいて1/2以下とし、価格は1,000\$以下とする、という目標仕様も同時に提案した。その結果、2社にこの目標仕様とセットで8.4型VGA、画素ピッチ0.27mmが受け入れられたので、開発が正式にスタートすることとなった。

開発推進に当たっては、モジュール構造の見直し、低閾値電圧液晶材料の開発、TFT-LCDパネル設計ルールの見直し、開発途上だった新規駆動LSI開発の前倒し採用、色再現範囲の見直し、等々ありとあらゆるものを検討組上にあげ、一方では第1ユーザーとの仕様擦り合わせを緊密に行った。そして約1年をかけて開発を完了させ、1991年9月に記者発表を行った(図7.11)。目標仕様は全て達成し、消費電力については目標を越

えて1/3以下を達成した。この機種は各社が10.4型VGAの4枚取りができるようになる1994年後半まで、約3年間生産が継続され、シャープのTFT-LCD事業を世界のトップに押し上げる機種となった<sup>3)</sup>。

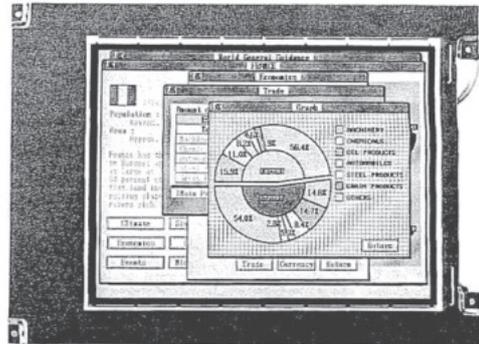


図 7.11 8.4型VGAモジュール LQ9D11 1991年下期

1992年上期から3.6型モジュールの生産が開始されているが、これは640×480のドット数を持つリヤプロジェクション用モジュールである。

1992年10月には、ビューファインダーをのぞき込むのではなく、モニターを見ながらムービー撮影が出来る世界初の新規形態のムービーカメラ液晶ビューカムVLH-1が発売された(図7.12)。徹底的に外光反射を押さえた4型TFT-LCDを採用しており、操作がしやすく、撮影した動画をその場でみんなが見られるということで、ムービー業界に一大旋風を巻き起こした。



図 7.12 世界初 液晶ビューカム VLH-1 1992年10月

1992年下期には11.8型と14型の生産が開始された。11.8型はXGA(1024×768)の画素数を持ち、ラップトップPCの高性能化に対応するものであった。14型は1152×900の画素数を持つ、ワークステーションモニター用であり、温度変化や時間経過による色ズレが、画面の周辺に到るまで全く起こらないという特長を活かし、CRTの牙城領域にTFT-LCDの応用領域を拡大して行こうとするものであった。

図7.1の生産実績表の時間軸の範囲外にある時期

であるが、1995年1月にPC用のパネルである10.4型VGAモジュールを用いた10.4型液晶テレビLC-104TV1が発売された。TFT-LCDメーカーの一斉工場立ち上げと、Windows95対応でのPCメーカーのノートPC開発機種数の減少とが重なって、TFT-LCDが過剰となり価格の大幅下落が起こった時期であった。このとき、液晶TV市場の活性化を図るために発売企画されたものであるが、液晶TV市場創造に掛ける辻晴雄の絶えざる熱意を物語るものと言える。



図 7.13 大型液晶テレビ 10.4型 LC-104TV1  
1995年1月

## 7.2 a-Si-TFT 工場建設

表 7.1 は各社の a-Si-TFT 工場の立ち上げ時期と採用されたマザーガラスサイズを纏めたものである。6章までの記述と重複する部分もあるが、ここで各社の液晶ディスプレイ事業化の歴史を振り返ることとする。

東芝総合研究所の小穴保久の a-Si-TFT LCD のターゲット製品は PC であり、研究所の開発試作ラインで 240 × 300mm のガラス基板を使用して、1985 年 10 月に 9.5 型 VGA8 色を開発している<sup>4)</sup>。

一方、松下では太陽電用に a-Si を研究していた堀田定吉が、a-Si で TFT が動作することを知り、1981 年のスピアの来日を切っ掛けに太陽電池から TFT-LCD の研究に方向を変えた<sup>5)</sup>。ターゲット商品を小型 TV とした堀田は、当時 LSI 生産で使われていた 6 インチウエファ用の露光機を採用して、6 インチ角のコーニングガラスから 3 型 TFT-LCD パネル 4 枚取りすることを計画し、a-Si-TFT LCD 工場建設をいち早く行った。そうして 1986 年 7 月に世界初のフルカラー a-Si-TFT LCD TV を世に送り出した。

表 7.1 a-Si-TFT 液晶工場展開 (マザーガラスサイズ/mm) 1985 年～ 1995 年

年	各社	シャープ
1985	東芝 [1985] <開発ライン> 240x300	参考 [ '82年 大和郡山大5工場] フォーティ液晶用 324x300
1986	松下 [ '86年6月] AV用 152x152 [6.1寸角:3" 4面]	[ '86年1月 天理中研5F] <開発-試作ライン> 150x150
1987	NEC [1986] <試作ライン> 300x350	[ '87年6月 天理第1工場西] AV用 320x300 [3" 20面 / 4" 12面 / 5.7" 6面]
1988	日立 [1988.9] AV用 200x270	[ '88年6月] 14型フルカラーTFT液晶開発記者発表 CRT並のサイズ・色再現範囲 コントラスト比≧100:1
1989	コーニング [1989] ガラス加工ラインを日本に建設	
1990	東芝 [1989.12] <試作ライン> 300x400	
1990	NEC [1990 Q3] 300x350 [9.4"VGA 2面]	[ '90年8月天理第1工場東] 320x400 [10.4"VGA 2面→8.4"VGA 4面]
1991	DTI [1991 Q2] 300x400 [10.4"VGA 2面]	[ '91年10月 天理NF1] 320x400 [8.4"VGA 4面]
1991	松下 [1991 Q4] 320x400 [10.4"VGA 2面]	
1992		[ '92年7月] 液晶天理工場 ISO9001認定 TFT-LCDで世界初。
1993	NEC [1993 Q4] G2 360 X 465 [9.4"VGA 4面]	
1994	コーニング [1994] 溶融工程を日本・韓国に建設	
1994	DTI [1994 Q2] G2 360 X 465	[ '94年8月 天理NF3] G2 360x465 [10.4"VGA 4面] 片出し
1995	日立 [1994 Q4] 370x470 [10.4"VGA 4面] 松下, サムソン, A D I LG	[ '95年10月 三重1工場Bライン] G2.5 400x500(B) [11.3" SVGA 4面]

a-Si-TFT液晶工場展開(マザーガラスサイズ/mm) 1985年～1995年

①内容は、右の資料を参考に筆者が再構成。  
②記入時期は工場稼働と出荷とが混在しているため、3ヶ月程度のズレを考慮にする必要あり。

T. P. Murtha et al.: "Managing New Industry Creation", Stanford University Press (2001)  
松本正一監修:「液晶紳士随想録」、テクノタイムズ社 (2002年4月12日)  
宮の沢純:「宮の沢レポート 2010年5月 FPD市場から 基板サイズ大型化の終焉」(2010年5月15日)  
柴山圭太他編兼発行:「桂泰三氏オーラルヒストリー」、滋賀大学経済学部 (平成25年4月1日)  
赤羽淳:「東アジア液晶パネル産業の発展」、勁草書房 (2014年4月25日)  
迫周司メモ (2013年3月4日)、堀田定吉・太田勲夫メモ (2014年6月2日)  
岩井浩也メモ (2014年6月24日)、衣川清重メモ (2014年12月10日)

1975年から小型情報端末向けに TFT-LCD の研究を始めたシャープは、当初元素半導体である Te を使用していたが、1981年のスピアの来日を機に a-Si-TFT の研究を開始した。a-Si-TFT LCD の基礎研究を終えた 1984 年からは液晶研究所とテレビ事業部と協同で、TV 用の a-Si-TFT LCD 生産を目差し一連のプロジェクトを立ち上げた。

1985年9月のプラザ合意に続く円高不況の真っ直中、1986年には、コストダウンのためには大型マザーガラスを使用して多数枚取りを行うことが必須であるとして、当時デューティ液晶事業で使用していた最大のガラスサイズであった 320 × 300mm のマザーガラス<sup>6)</sup>を採用する a-Si-TFT LCD 工場建設をすることとした。露光機は TFT-LCD 用に開発されたニコンのステッパーを導入し、工場建設を開始した。そして、マザーガラスの生産ライン投入開始から約 8ヶ月、当初予定から約半年遅れて 1987年6月から 20枚取り 3型 a-Si-TFT LCD モジュールの出荷を開始した。それから 1年後の 1988年6月、生産ラインを使ってテレビ表示品位（特に、コントラスト比 ≥ 100 : 1、フルカラー）の 14 型の開発発表をし、a-Si-TFT LCD 大型基板技術が CRT に対抗出来る可能性があることを立証した<sup>7)</sup>。

日立は 1988年9月に、自社のデューティ液晶生産ラインと同一サイズである 200 × 270mm のマザーガラスを採用し、AV 用小型 TFT-LCD の生産を開始した<sup>8)</sup>。

また、NEC では、1986年に 300 × 350mm 基板を採用した試作ラインを構築し<sup>9)</sup>、小型 AV 用 4.3 型 (378 × 480 ドット) を試作／出荷していたが、2枚取りができるノート PC 用 9.3 型 640 × 400 のカラー表示試作を 1988年8月に行い、ここで大きく大型カラー PC 用に大きく舵を切った。そして、1989年3月には総勢約 150 名に及ぶ全社を挙げた特別プロジェクトとしてカラー液晶推進開発本部を発足させ、1990年に生産を開始し<sup>10)</sup>、1991年初夏には歩留まりも 50% を越え、1991年10月のエレシヨーンに世界初の TFT カラーノートパソコン PC-9801NC の記者発表と同時に発売を開始した。

東芝は 1989年12月に 10.4 型 VGA2 枚取りを目差して、300 × 400mm の試作ラインを構築し<sup>11)</sup>、東芝と日本 IBM の合弁会社の DTI が 1991年に 10.4 型 VGA2 枚取りの生産を開始した<sup>12)</sup>。

シャープでは、1990年8月に、10.4 型 VGA2 枚取りを目差して 320 × 400mm の 2 本目の大型ラインを構築したが、顧客からの増量納入の強い要望があり、8.4 型 VGA4 枚取りを顧客に提案した。一部の顧客に 8.4 型 VGA4 枚取りが受け入れられ、天理第 1 工場か

らサンプル出荷を開始した。

1991年2月にバブル景気の崩壊がはじまる中、TFT-LCD 専用工場である天理 NF1 が立ち上がった 1991年10月からは 4 枚取りで数量を倍増させ 8.4 型 VGA 出荷を開始した。因みに、300x400mm のマザーガラスを使ったプロセスで 4 枚取りが出来る最大サイズは 7.8 型であった<sup>13)</sup>。

1992年7月には、海外ユーザー向け商品出荷に必須であった ISO9001 認証を世界で初めて TFT 液晶設計生産事業所として液晶天理工場が得た。

シャープの 8.4 型 VGA4 枚取り出荷開始から約 2 年後の 1993年に、NEC が、365 × 460mm マザーガラスラインを構築し、9.4 型 VGA4 枚取りを開始した。

これに対抗して、シャープは 1994年8月より、NEC と同一サイズである 365x460mm のマザーガラスから、従来のドライバー上下だしから、データドライバーを片方に集めて実装する片出し（図 7.14）により、10.4 型 VGA4 枚取りに成功し優位性を回復した。ドライバー実装を片出しにするためには、ドライバーの接続端子ピッチを表示ドットピッチの 0.11mm よりも小さくする技術を開発する必要があり、また、ドライバー接続前の検査装置でも、該ピッチで 1920 本の電気接続を可能とするプローブを開発する必要があったが、ドライバー接続材料メーカー、装置メーカーの協力を得てやり遂げた。

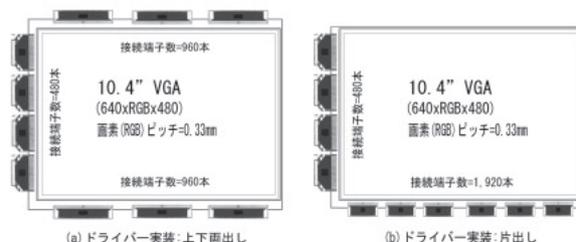


図 7.14 ドライバー実装の改革：上下両方出し→片出し、パネル取数 2 倍に。

1994年には、a-Si-TFT 用のマザーガラス基盤を供給してきたコーニングが、1989年に日本で開始したガラス加工ラインに加え、日本と韓国とに同時にガラス溶融工程を設立したことも大きな出来事であった<sup>14)</sup>。

1995年第4四半期に日立が、少し大きい 370 × 470mm のマザーガラスを導入して 10.4 型 4 枚取りを実施した。その後は各社とも 10.4 型 VGA4 枚取りが実施出来るようになり、また、新規工場立ち上げが相次ぎ、市場にパネルの余剰感が出て、パネル価格が大幅に下落した。それら新工場の中にはサムソン、LG の工場も含まれていた。

この状況に対応し、1995年10月、シャープは時期

優先策として進めて来ていた 400 × 500mm の新規マザーガラス基盤ラインを稼働させ、11.3 型 S-VGA(800 × RGB × 600) パネルの市場投入を開始した。

1993 年から 1996 年における a-Si-TFT LCD の生産能力は約 +60% / 年で伸張 (図 7.15) した。これはノート PC 市場を目差した 1990 年代前半の a-Si-TFT LCD 工場建設ラッシュによる飛躍である。

このようにして、各社各様に開始した a-Si-TFT LCD 事業は、激しい競争をしながら日本の TFT-LCD 産業を立ち上げた。

### 7.3 液晶産業

日本の液晶産業の歴史は世界の液晶産業の歴史でもある。

1973 年に電卓、腕時計から本格的にスタートした日本の液晶産業の生産規模 (図 7.16) は、1985 年 9 月の“プラザ合意”後の急激な円高 (図 7.17) 不況の中、1985 年に 500 億円を越え、その後 STN 液晶 (ワープロ、ノート PC 搭載用) の導入により 1000 億

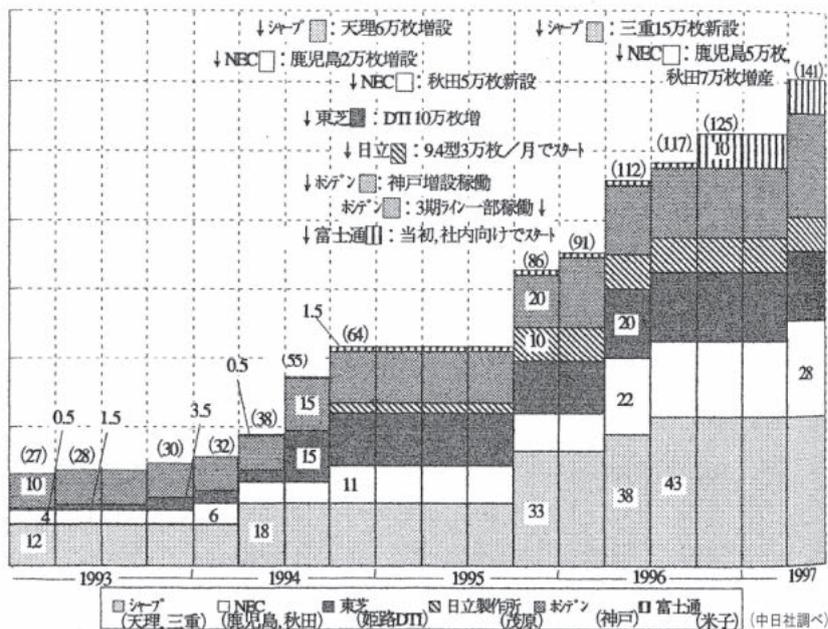


図 7.15 TFT-LCD 主要メーカーの生産能力 (10 型換算月刊 / 万枚) 推移<sup>15)</sup> ( ) : 全社合計

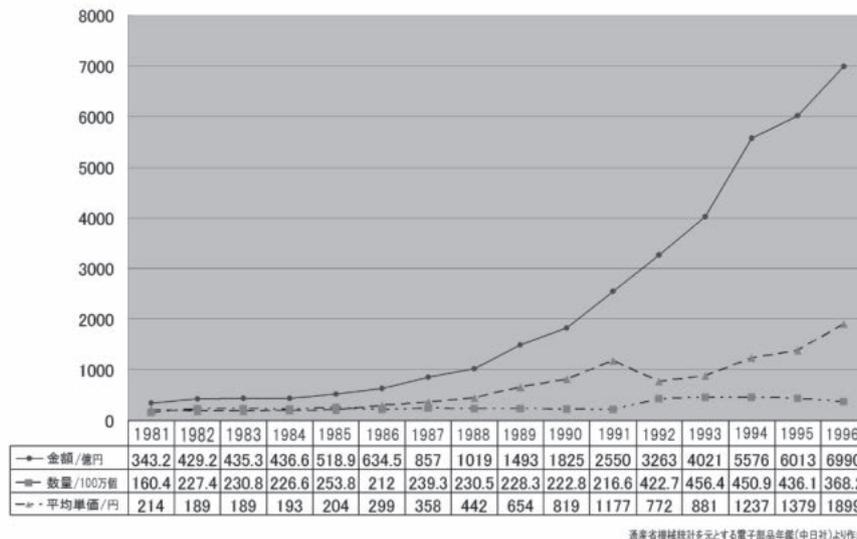


図 7.16 液晶素子の生産 (金額、数量、平均単価図)<sup>16)</sup>

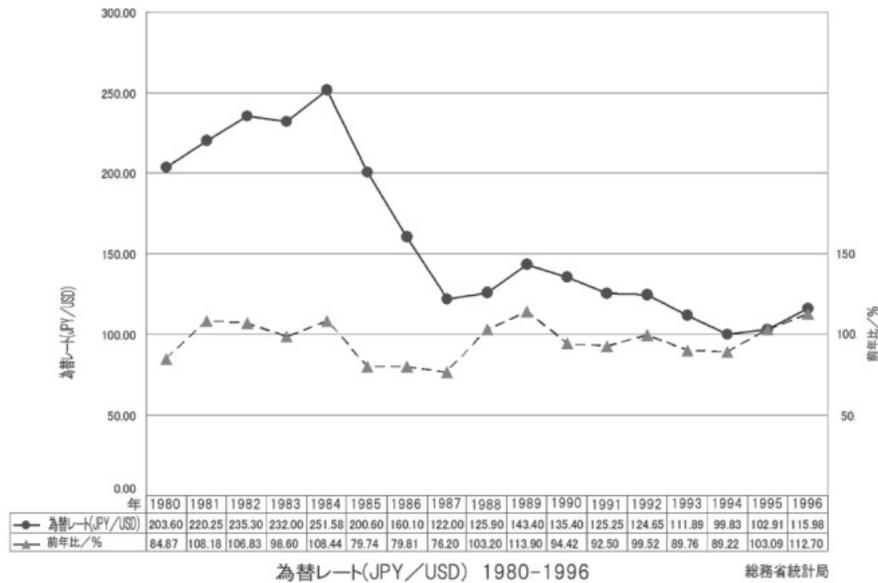


図 7.17 JPY / USD 為替レート推移 1980 - 1996<sup>17)</sup>

円を越えた 1988 年までは平均 +24% / 年の伸張を続けた。

1987 年の小型 AV 市場向けの大型基板 a-Si-TFT LCD 工場稼働に続き、1990 年 -1991 年のカラー PC 市場向け大型基板 a-Si-TFT LCD2 面取り工場稼働、1992 年 -1993 年の a-Si-TFT LCD4 面取り工場稼働と目まぐるしくマザーガラスサイズを変えながら展開した。1991 年 2 月から始まるバブル経済崩壊により GDP の伸び率が大きく落ち込んだにも拘わらず (図 7.18)、液晶ディスプレイの生産の 1991~1994 年の平均成長率は +32% / 年に達し、大きく成長していった。

しかしながら 1995 年に入ると 1994 年下期から兆候

のあった米国 PC 市場における変調が顕著になってきた。即ち、ホームコンピューティング、マルチメディアをキーワードにした CRT 搭載一体型デスクトップ PC に比べ、ノート PC が魅力ある商品像を市場に提案出来ず需要の伸びが鈍化した。その結果、Windows 95 の登場に対し PC メーカーはデスクトップ PC の開発に注力し、一方ノート PC に対しては開発技術者のリストラを行う動きさえあった。このような PC 市場の動向は、液晶ディスプレイの需要の伸び悩みとなって現れ、8.4 型 / 9.4 型など小さめのパネルに物余り現象が生じて大幅な価格下落を招いた。生産能力を増強した時点でのこの現象は 10.4 型の価格にも影響を及ぼ

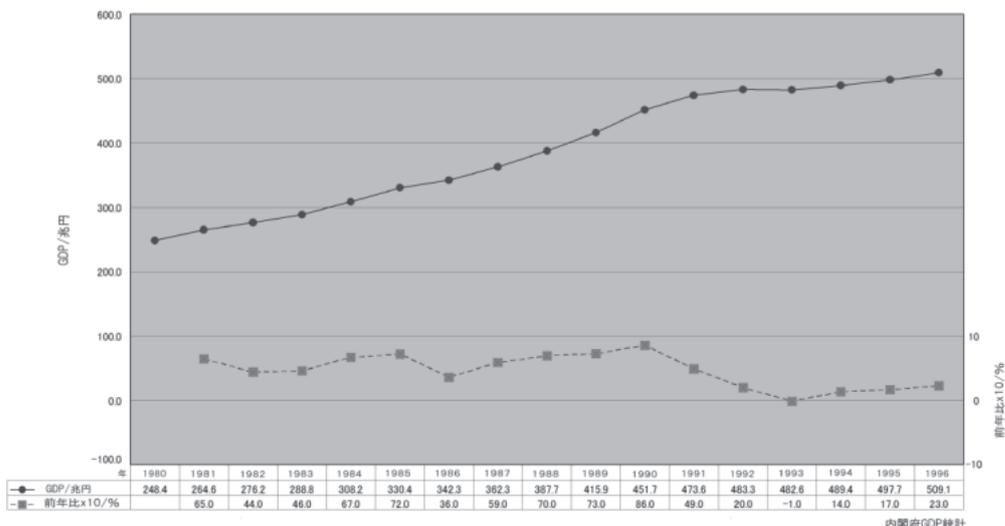


図 7.18 日本の GDP 1980 - 1996<sup>18)</sup>

し、例えば1995年当初950 \$レベルであった10.4型VGAの価格は年末には500 \$を下回った<sup>19)</sup>。

このようにして、a-Si-TFT LCD産業は1995年に初めてのクリスタルサイクルを経験したが、デスクトップPCでWindows 95への切り替えが完了したPCメーカーはノートPCへの注力を再開し、Windows95に合った性能アップを図った。以後、11.3型、12.1型SVGA (800xRGBx600ドット) や13.3型XGA (1024xRGBx768ドット) などの大型高

精細パネルへ、広視野角技術<sup>20) 21)</sup>を導入しながら、市場が変化して行き、同時に液晶市場全体が回復して行くことになる。

1995年に前年比+8%と大幅な伸張率の低下を経験した液晶産業は、1996年度には+16%と成長を回復した。

この年度の液晶産業は10社を越える液晶パネルメーカーにより支えられていた(図7.19、図7.20、図7.21)。

液晶生産全体の中でSTN液晶は1996年には約

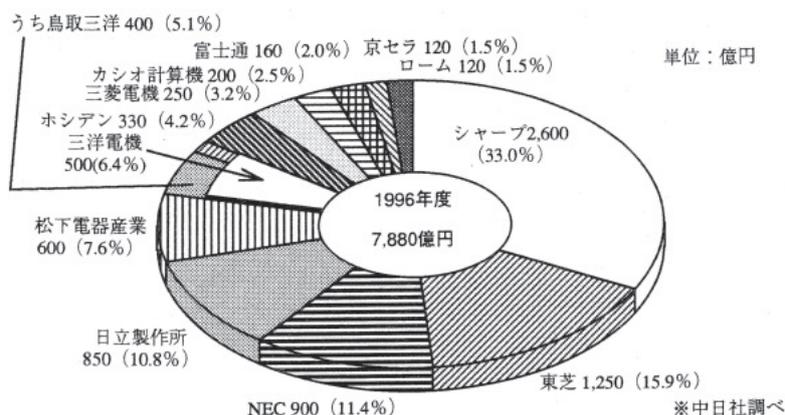


図 7.19 LCDの国内メーカー別生産シェア<sup>22)</sup>

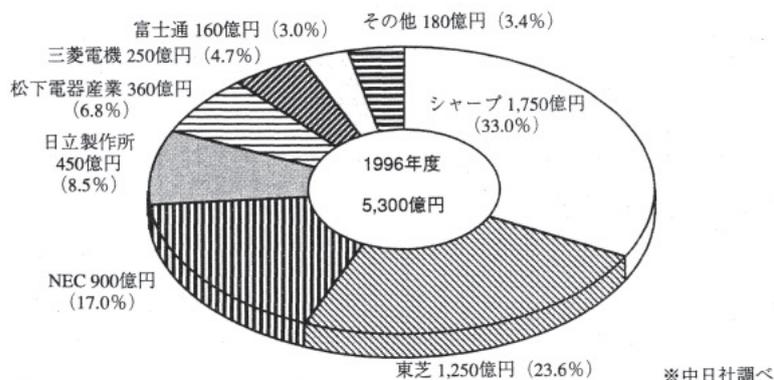


図 7.20 TFT-LCDのメーカー別シェア<sup>23)</sup>

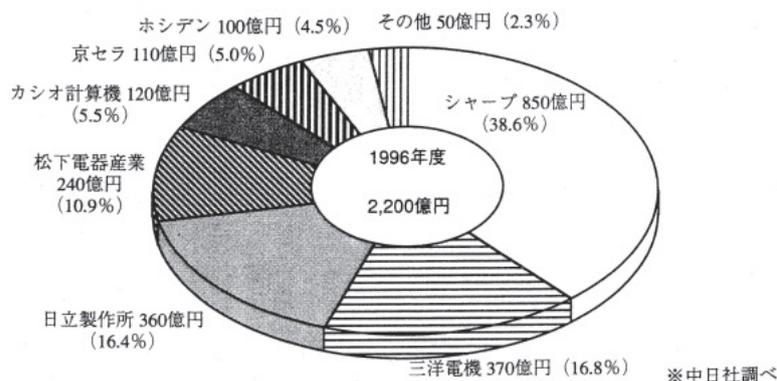


図 7.21 STN-LCDのメーカー別シェア<sup>24)</sup>

30%のシェアを持っていたが、韓国・台湾の TFT 液晶産業が勃興してくる 1990 年代後半に、TFT 液晶の激しい価格破壊が起こり、そのシェアは急速に減少して行く事になる。

- 1) 鶴飼健一提供、2011 年 5 月 13 日
- 2) Eduard Rhein 財 団：[http://www.eduard-rhein-stifung.de/html/hauptseite\\_e.html](http://www.eduard-rhein-stifung.de/html/hauptseite_e.html)
- 3) 鷺塚謙編、金谷吉晴著：“連載：TFT 液晶物語”、第 9 回 カラーノート液晶への茨の道、エレクトロニクス 1995 年 9 月号、pp.81-83 オーム社、1995 年 9 月
- 4) 松本正一監修、小穴保久著：「液晶紳士随想録」、液晶国際結婚、pp.87-97、テクノタイムズ社、2002 年 4 月 12 日
- 5) 堀田定吉・太田勲夫メモ、2014 年 6 月 2 日
- 6) 迫周司メモ、2013 年 3 月 4 日
- 7) IEEE Milestone: [http://ethw.org/Milestones/Sharp\\_14-inch\\_Thin-Film-Transistor\\_Liquid-Crystal\\_Display\\_\(TFT-LCD\)\\_for\\_TV\\_1988](http://ethw.org/Milestones/Sharp_14-inch_Thin-Film-Transistor_Liquid-Crystal_Display_(TFT-LCD)_for_TV_1988)
- 8) 衣川清重メモ、2014 年 12 月 10 日
- 9) 松本正一監修、加藤英彦著：「液晶紳士随想録」、「売れるか、造れるか、儲かるか」、pp.129-140、テクノタイムズ社、2002 年 4 月 12 日

- 10) T.P.Murtha, S.A.Lenway, J.A.Hart: 「Manageing NewIndustry Creation」, 1 Industry Creation as Knowledge Creation, p.17, Stanford University Press, 2001
- 11) 松本正一監修、小穴保久著：「液晶紳士随想録」、液晶国際結婚、p.88、テクノタイムズ社、2002 年 4 月 12 日
- 12) 松本正一監修、小穴保久著：「液晶紳士随想録」、液晶国際結婚、p.96、テクノタイムズ社、2002 年 4 月 12 日
- 13) 鷺塚謙編、金谷吉晴著：“連載：TFT 液晶物語”、第 9 回 カラーノート液晶への茨の道、エレクトロニクス 1995 年 9 月号、p.82、オーム社、1995 年 9 月
- 15) 中日社：「総合電子部品年鑑 1994」、4.TFT-LCD、p.170、1994 年
- 16) 通産省機械統計を元とする電子部品年鑑（中日社）より作成。
- 17) 総務省統計局データより作図
- 18) 内閣府 GDP 統計より作図
- 19) T.P.Murtha, S.A.Lenway, J.A.Hart: 「Manageing NewIndustry Creation」, APPENDIX TWO, p.208, Stanford University Press, 2001
- 20) 発明者：近藤俊克己他：特許公報（B2）第 2949354、日立製作所、1993 年 9 月 10 日出願、1999 年 6 月 18 日登録
- 21) 岡本謙次他：“超高画質 MVA-TFT 液晶ディスプレイ”、FUJITSU, 49, 3, pp. 175-179 (05, 1998)
- 22) 中日社：「電子部品年鑑 1996-1997」, 1. 液晶ディスプレイ、p.136、1997 年
- 23) 中日社：「電子部品年鑑 1996-1997」, 5. TFT-LCD、p.144、1997 年
- 24) 中日社：「電子部品年鑑 1996-1997」, 3. STN-LCD、p.140、1997 年

## 8 | あとがきと謝辞

最初に断らなければならないが、筆者は或る時期世界の液晶産業界を席卷したシャープのOBである。会社での一生を液晶事業関連の様々な現場で生きてきた筆者に突如として国立科学博物館から、自らの体験に基づいて液晶技術の発展の歴史をまとめるよう要請があった。過去には技術史などというものには全く縁がなく、どのようなことになるか不安もあったが、液晶事業に関連して会社人生を過ごして来た者として、その歴史をまとめるということには心惹かれるものもあり、引き受けることとした。とはいえ、突然のことで準備も整わないうちにスタートせねばならず、集められる情報も限られており、勢い、出身企業であるシャープの情報が大部分になってしまった。その中で筆者としては極力、日本全体の流れに目を向けた記述に心を配ったつもりではあるが、やはり、シャープに関する記述がほとんどを占めることとなった。やむを得ないことと思いつつも、反面、忸怩たる思いも大いに残り、批判も受け、今後の課題としたい。しかし、この報告書で記述した1996年までの実績を見る限り、日本の状況を、シャープに代表させることは、それほど的外れであるとは思えない。また、内部の細かいところを記したので、ひとつの産業がどのようにして起こるかの一例を極めて具体的に示し得たのではないかと思う。これを以て読者は諒とされたい。

本報告書は下記の原則に従って纏めた。

- (1) 全体を大きな時系列の流れとして構成する。
- (2) その大きな流れ全体を視座として、現在から遡り、採り上げる項目の取捨選択を行う。
- (3) 取捨選択した液晶ディスプレイ項目に関しては、できる限り商品を含む関連項目について述べる。
- (4) 調査報告書に含む期間は、1888年の欧州における液晶発見を始点、1996年の日本のa-Si-TFT LCD工場建設完了による日本の液晶ディスプレイ産業の確立で終点とする。

このような原則に基づき構成されたごつごつとした報告書であるため、異なる切り口から見れば不足な面が多々あることは否めない。その点に関してはあるものについてはご容赦頂き、また、あるものについては今後の課題とさせて頂きたい。

何処までを“歴史”として扱うか、については大いに議論の余地がある。a-Si-TFT LCD産業は、STN液晶事業が大きく伸び始めたのと同時期の1986年に

世界で初めて日本で量産が開始され、1991年の土地バブル崩壊時に日本で大きく飛躍しはじめ、一時期は日本の独り勝ちの強さを誇った。しかし1996年以降、バブル崩壊後の後遺症による日本経済の停滞と期を一にして、IMF管理を脱した韓国に始まり、日本からの技術移転を受けた台湾が続く海外メーカーの参入が本格化する中で、日本勢は後退を重ね、半導体に続いてa-Si-TFT LCD産業でも主導権を失って行った。本論文ではこのことには触れておらず、また、この局面打開策として2001年年頃から低温p-Si-TFTによる携帯電話向け本格的投資が始まり、加えてシャープは、“液晶ビッグバン”と称して大型液晶テレビ市場創造を仕掛けた、が、これについても触れていない。これは、関連諸課題への対応策検討が、日本経済全体に共通する政治的重要課題として現在も進行形であり、未だ歴史たり得ない期間に属しているからである。報告書の終点を1996年とした理由がここにある。

日本が世界の液晶生産工場となっていた1996年に於いて、生産金額で33%という大きなシェア(図7.20)を何故シャープが確保し得たかについて、現場で必死に生きてきた者としての私見を列記する。

(1) 電卓事業経営体質の変革を迫られていた時期、電卓事業部課長の鷲塚諫が1972年に、液晶とC-MOSを搭載したポケットブル電卓開発生産プロジェクト(S-734)設立の建白書を纏めた。このプロジェクトの企画は全社を巻き込む構想の上に作られており、「液晶」という事業が全社的目標として明確に意識されるようになった。

(2) プロジェクト終了後、新規部品事業である液晶事業を、情報商品事業部である電卓事業部が受け取り、液晶ディスプレイを自分たちの商品の重要構成部品として商品と融合化し、開発に取り組んだ。

(3) 同社としては基盤技術もノウハウもない未知の領域であった液晶であり、当然のことながら開発メンバーも全員が素人であった。しかし、中央研究所課長の和田富夫をリーダーとする若い素人集団の液晶研究グループの情熱により、1973年には電卓用DSM液晶の開発に成功した。一方では液晶駆動回路に必須のC-MOS設計生産能力を半導体事業部が獲得した。こういったこと背景には会社の将来に対する危機感の全社的共有があった。

(4) 新規液晶応用商品開発の中心は事業部が担ったが、新規技術は研究所から移管されて行った。両者は

距離的に10km程度しか離れておらず、関連部門責任者の人柄も手伝い、事業部と研究所との良好な意思疎通が継続した。

(5) 当時シャープはテレビメーカーでありながら、CRTを生産しておらず、テレビ用ディスプレイの自社生産は悲願であった。1984年、小型TV用a-Si-TFT LCDを中央研究所で開発することになった際、テレビ事業部と合同のプロジェクトを立ち上げたが、その当初より、テレビ事業部の新本孫宏がCRTに対応できる画質を実現すべく粘り強い指導力を発揮した。

(6) 1985年9月のプラザ合意後の円高経済に対応するため、1986年に出身母体と性格が異なる社長、管理担当副社長、技術担当副社長の、チェック&バランスの効率的3頭体制が整った。また、社長は液晶ディスプレイデバイス事業を経営の1つの核とすることを決定し、液晶応用商品を創出するスパイラル戦略を進めた。このため、ゼロから電卓事業を創造してきた経歴を持つ情報商品技術出身の鷺塚諫を液晶事業部長に据えた。

(7) 1987年に競合他社に先駆けて、ニコンのステッパ露光技術を採用し、世界初の大型マザーガラスでSi-TFT LCD工場を立ち上げた。このとき、a-Si太陽電池事業を停止して人材をa-Si-TFT LCDの増強に投入した。同時に、工場から出て来たa-Si-TFT LCDの表示性能、寿命確認にテレビ事業部の全面的支援を得た。このような体制の下で生産されたa-Si-TFT LCDは、表示品位面、品質面で外販ユーザーの高い評価を獲得し、円滑な顧客拡大に繋がった。

(8) 3型に作り込まれた技術と生産設備を転用して、14型a-Si-TFTフルカラー液晶ディスプレイを開発し、“大型マザーガラスa-Si-TFT LCD技術”がCRTに対抗できる可能性があることを実証した。

(9) 明るい環境ではCRTを凌駕さえする表示品位を示す14型a-Si-TFTフルカラー液晶ディスプレイのデモを行いながらa-Si-TFT LCDの将来成長性を説き、材料メーカー、装置メーカー、液晶ディスプレイユーザーのa-Si-TFT LCD関連事業への参入を促し、シャープ液晶事業拡大のための協力を早期に得た。

(10) 鷺塚諫の、事業の成否は人材で決まるという信念に基づき、1997年に液晶学校を開校し、新入社員、他部門からの転入者の早期戦力化を推進した。

(11) TFT液晶事業の急速な拡大に応じて、半導体事業/デューティ液晶事業から、TFT事業に大規模な人員シフトを行った。

上述の要点をまとめると、事業の創造には、事業目

標を明確に描き出し、全社を挙げてこれに当たる体制を作り上げ、機運を醸成することがまず第一歩であることがわかる。それと適所に人を得ることは逃せないポイントであるが、これはある程度天の配剤によることもある。具体的な施策としては、時宜を得た投資の決断、人材育成、関連企業をも巻き込んだ仲間づくり、といったところが重要である。

しかしながら、なんといっても新規事業の創造には信念を持つリーダーが必須である。シャープの液晶事業成功の陰には、その時々、その場その場に、有能なリーダーがいた。中でも鷺塚は信念と情熱、そうして統率力を兼ね備えたキーマンであり、フォロワーを各所各所のキーマンに育てた。彼なくばシャープの液晶事業があれほどの地位を築き得たか、おそらく違った展開になったであろう。

## 謝辞

本報告書を纏めるに当たり、下記の諸氏を始め、多くの方々からのご指導、ご教示を頂くと共に、貴重な資料、情報を提供頂いた。この場を借りて深く感謝申し上げますと共に、折角提供頂いたにも関わらず構成上採用できないものも有ったの方々にはお詫び申し上げ、今後の機会に活用させて頂くことをお願いする。

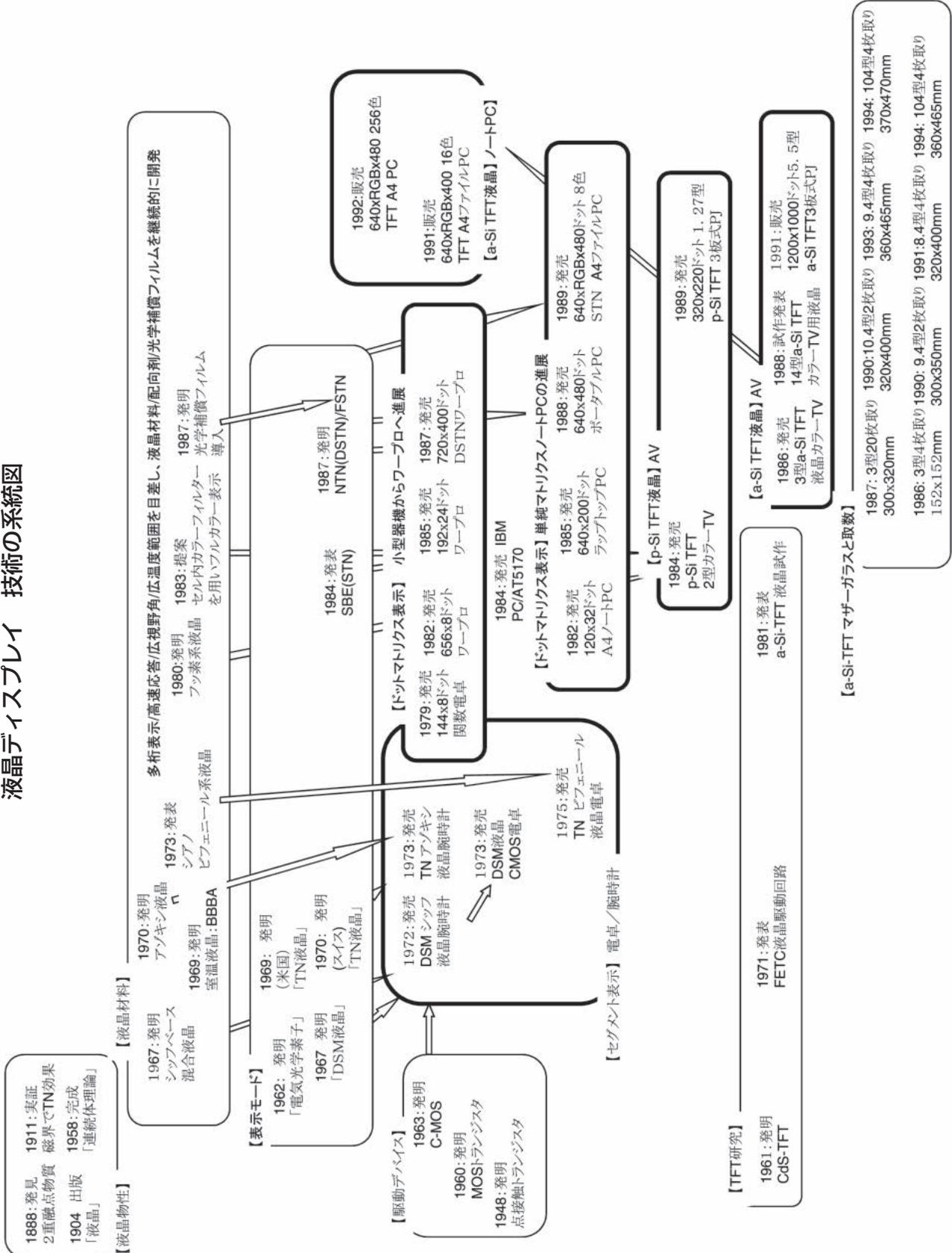
(敬称略、順不同)

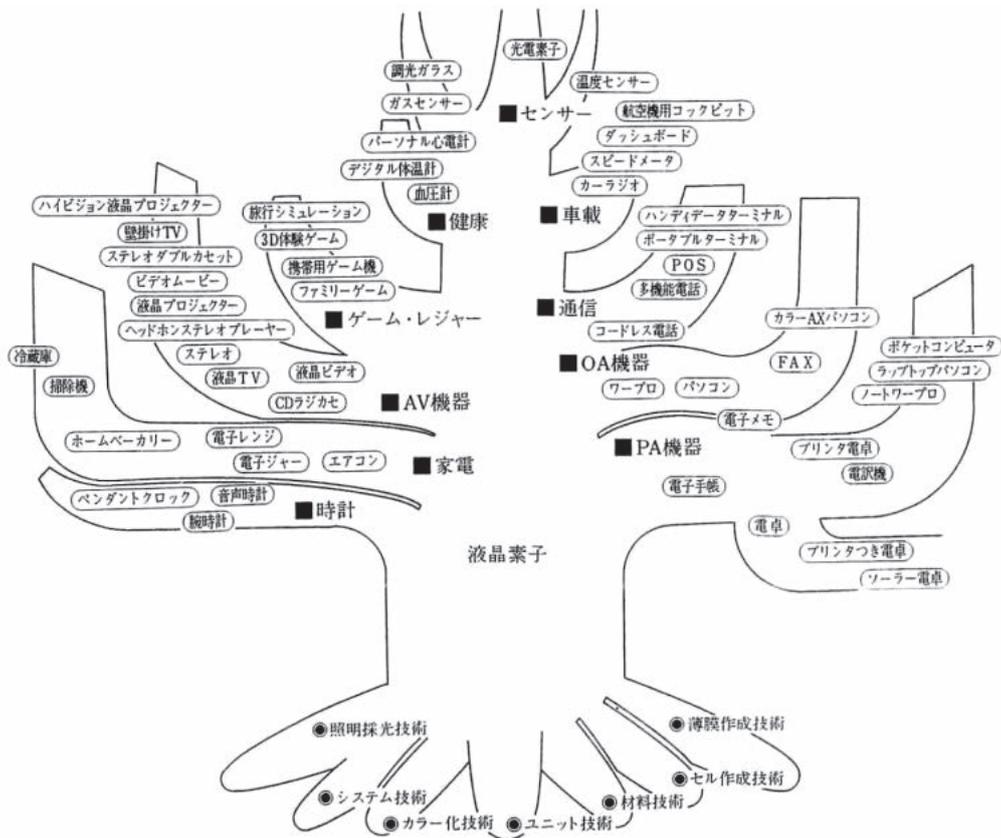
沼上 幹  
桂 泰三  
新本孫宏  
川本博久  
山崎淑夫  
両角伸治  
鳥山和久  
衣川清重  
新居宏壬  
堀田定吉  
太田勲夫  
北原洋明  
Thomas P. Murtha  
Alex Magoun  
Benjamin H. Gross  
石井裕氏  
岩井浩也  
東入來信博  
諏訪恭一  
森 英敏  
富田 博  
栗木康幸

川田忠通  
亀井大樹  
内山昌幸  
久保 敦  
寺田幸雄  
寺田謙繼  
佐々木丈彦  
福田宏昭  
浅田 篤  
谷本昭良  
前川浩治  
和田富夫  
宮田慶一  
佐野建二  
中川博英  
中村武司  
西山 満  
上出 久  
城地良樹  
豊郷和之

安川昌昭  
吉田愨夫  
清水桂一郎  
山内 守  
二上高志  
小沢和典  
松浦昌孝  
桑垣 博  
船田文明  
矢野耕三  
加藤博章  
天野 等  
香西周二  
富岡正雄  
安田修平  
宮川晴光  
水方勝哉  
藤原百合子  
落合平八郎  
大賀祐太

# 液晶ディスプレイ 技術の系統図





### 付録1 広がる液晶の世界

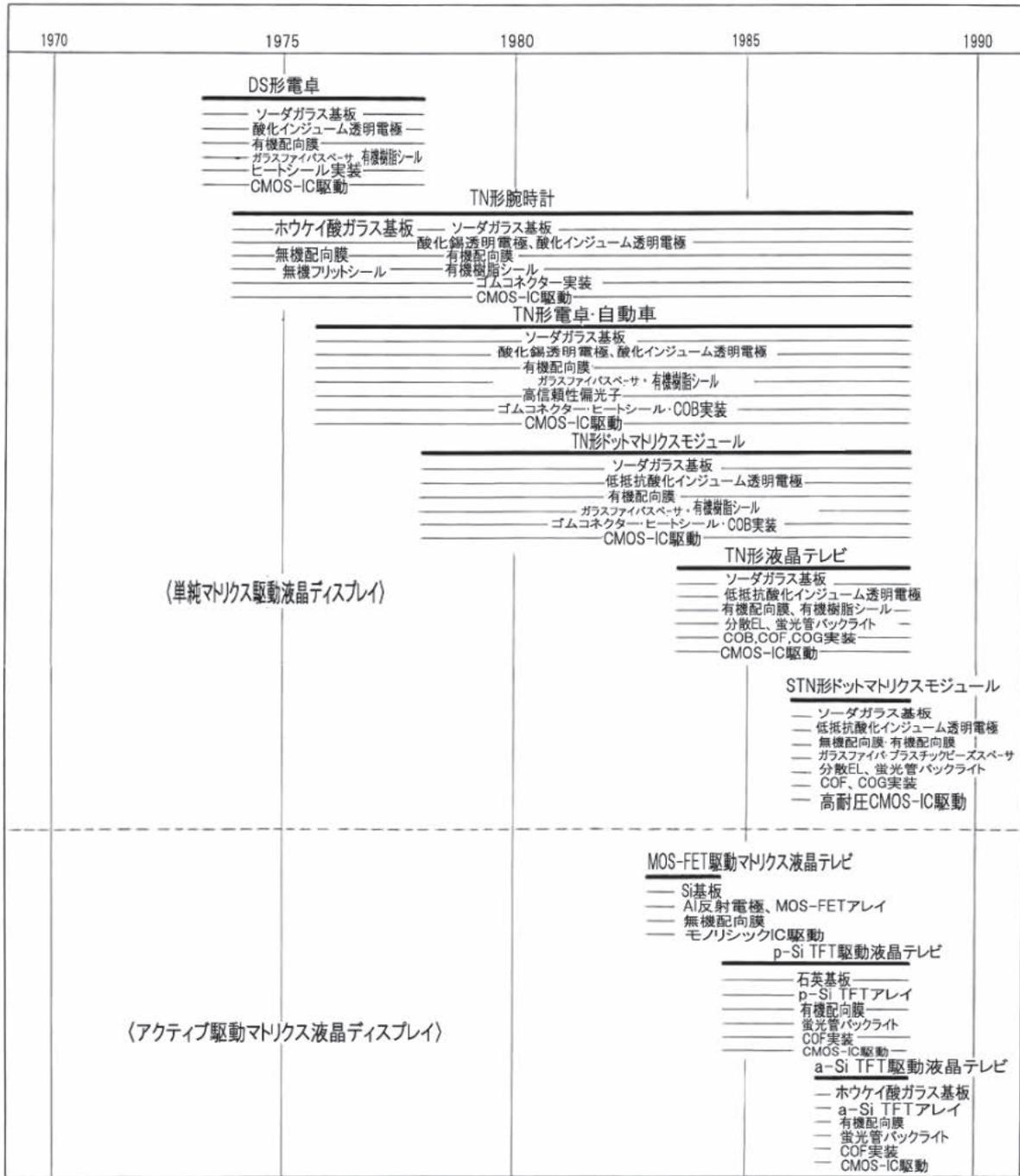
驚塚謙監修:「液晶ディスプレイ」、ラジオ技術社、1991年9月1日

機能	ディスプレイ用フィルム	ディスプレイの例	フィルム素材	
光の機能とディスプレイ用光学フィルム	光の振動方向制御	偏光フィルム(板)	LCD	
		偏光子フィルム	PVA(ポリビニルアルコール)フィルム	
		偏光子保護フィルム	TAC(トリアセチルセルロース)フィルム	
	光の位相差制御(複屈折制御)	位相差フィルム・光学補償フィルム・視野角拡大フィルム	LCD	PC, LCP, フルボルネン樹脂フィルム
	集光	輝度向上・集光フィルム・プリズムシート	LCD	
	光の拡散・散乱	拡散シート	LCD, プロジェクションTV	PET, PMMA
	導光	バックライト導光板	LCD	PMMA, シクロオレフィンポリマー
	光の反射性	バックライト用反射シート・フィルム	反射型LCD LCD(バックライト)	白色PETフィルム AgコートPETフィルム
光の反射抑制	反射防止フィルム	PDP, LCD, CRT, プロジェクションTV	PET基材・フッ素系樹脂フィルム	
近赤外線吸収	近赤外線吸収フィルム	PDP		
(基板)	フィルム基板	LCD, 有機EL	PC, PES(ポリエーテルスルホン)樹脂	

### 付録2 ディスプレイ用フィルムの種類と素材

飯村靖文監修:「液晶ディスプレイ構成材料の最新技術(普及版)」, p.250, シーエムシー出版、2006年10月31日

付録3 液晶ディスプレイおよびこれらを構成する周辺材料・部品の開発推移



“日本学術振興会大142委員会編：「液晶デバイスハンドブック」、pp.216-217、日刊工業新聞社、1989年9月29日”を元に修整



## 付録5 液晶ディスプレイの技術沿革 (1)

西暦年(月)	関連技術開発事項
1888	液晶の発見 (F. Reinitzer (オーストリア))
1961	TFT の発明 (P. Weimer (米))
1963	液晶の電気光学効果の発表 (R. Williams (米))
1968	DS 形と GH 形 LCD 方式の発表 (G. Heilmeyer ら (米))
1969	室温動作 (22~47°C) 液晶 MBBA の合成 (H. Kelker ら (西独))
1971(2)	TN 形 LCD 方式の発表 (M. Schadt ら (スイス))
1971(5)	DS 形液晶表示デジタル腕時計の発表 (Optel 社 (米))
1971(5)	MOS-FET 駆動 AM-LCD の試作 (J. Borel ら (仏))
1971(9)	広温度動作 (-17~+79°C) 液晶の開発 (東芝/S. Matsumoto ら)
1971(11)	ECB (DAP) 形 LCD 方式の発表 (M. Schiekell ら (西独))
1971(11)	AM-LCD の各種基本構成の提案 (B. Lechner ら (米))
1972	液晶表示電子卓上計算機の発売 (Rockwell 社 (米))
1972(10)	TFT駆動カラーTV表示AM-LCDの基本構想の発表 (A. Fisher ら (米))
1973(1)	ガソリンスタンド電子計量機用大型 LCD の実用化 (東芝/東京タツノ)
1973(5)	CdSe 形 TFT 駆動 AM-LCD の試作 (T. Brody ら (米))
1973(6)	DS 形液晶表示電子卓上計算機の量産化 (シャープ)
1973(9)	TN 形液晶表示デジタル腕時計の発表 (セイコー)
1973(12)	MOS-FET 駆動 TV 表示 AM-LCD の試作 (M. Ernststoff ら (米))
1974	IPS (面内スイッチング) 形 LCD 方式の発表 (R. Soref (米))
1974(4)	日本電子機械工業会液晶研究委員会の設立
1974(11)	日本学術振興会情報科学用有機材料第 142 委員会の発足
1975(4)	SOS MOS-FET 駆動 TV 表示 AM-LCD の開発 (L. Lipton ら (米))
1975(10)	第 1 回液晶討論会の開催 (福岡)
1978	ZnO パリスタ駆動 AM-LCD の発表 (D. Castleberry (米))
1979(3)	a-Si 形 TFT の試作と AM-LCD への応用提案 (P. Le Comber ら (英))
1979(6)	MOS-FET 駆動 (240×240 画素) 2.4 インチ型液晶白黒 TV 装置の試作 (松下電器産業/S. Yuyama ら)
1980(4)	MIM 駆動 AM-LCD の発表 (D. Baraff (カナダ))
1980(6)	強誘電性 LCD 方式の発表 (N. Clark & S. Lagerwall (スウェーデン))
1980(6)	第 8 回液晶国際会議の開催 (京都)
1980(8)	a-Si 形 TFT 駆動 AM-LCD の試作 (A. Snell ら (英))
1980(8)	a-Si 形ダイオード駆動 AM-LCD の発表 (A. Harris ら (英))

## 付録5 液晶ディスプレイの技術沿革 (2)

1981	AM-LCD用 p-Si 形 TFT の発表 (日立製作所/A. Misumi ら)
1982	Te 形 TFT 駆動 AM-LCD の発表 (シャープ/M. Matsuura ら)
1982(12)	MOS-FET 駆動 1.2 インチ型液晶白黒 TV 付き腕時計の発表 (服部時計)
1983(5)	p-Si 形 TFT 駆動 2.1 インチ型液晶カラー TV の試作 (諏訪精工舎/S. Morozumi ら)
1983(6)	パッシブマトリクス駆動方式の 2.7 インチ型液晶白黒 TV 装置の発売 (カシオ)
1983(10)	a-Si 形 TFT 駆動 5 インチ型液晶カラー TV 装置の開発 (三洋電機)
1983(10)	a-Si 形 back-to-backダイオード駆動AM-LCDの試作(N. Szydloら(仏))
1984(7)	p-Si 形 TFT 駆動 2 インチ型液晶カラー TV 装置の発売 (諏訪精工舎)
1984(9)	a-Si 形ダイオードリング駆動 AM-LCD の試作 (シチズン)
1984	SBE (STN) 形 LCD 方式の発表 (T. Scheffer ら (スイス))
1985(3)	強誘電性白黒表示 PM-LCD (640×400 画素) の試作 (セイコー電子/T. Harada ら)
1985(10)	a-Si 形 TFT 駆動 10 インチ型 VGA カラー LCD の開発 (東芝)
1985(10)	a-Si 形 TFT 駆動 HAN 方式カラー画像投写ディスプレイの発表 (東芝/H. Hatoh & S. Matsumoto)
1986(4)	STN 形 PM-LCD 搭載のワープロ発売 (三洋電機)
1986(9)	強誘電性カラー表示 PM-LCD (639×400 画素) の試作 (東芝/S. Matsumoto & A. Murayama ら)
1986	MSI駆動AM-LCD (640×400画素) の試作 (セイコー電子/M. Suzukiら)
1987(2)	a-Si 形 TFT 駆動 6 インチ型液晶カラー TV 装置の発売 (日立製作所)
1987(5)	MIM 駆動 3.3 インチ型液晶カラー TV 装置の発売 (セイコーエプソン)
1987(10)	D-STN 形白黒表示 PM-LCD 搭載のパソコン発売 (日本 IBM)
1988(5)	D-STN 形カラー表示 PM-LCD の試作 (シャープ)
1988(6)	a-Si形TFT駆動14インチ形フルカラーLCD(642x480画素、Δ配列)の開発(シャープ)
1988(9)	F-STN 形白黒表示 PM-LCD の発売 (セイコーエプソン)
1988	a-Si 形 TFT 方式 110 インチ型ハイビジョンカラープロジェクタの開発 (シャープ)
1989	a-Si 形 TFT 駆動 (白黒表示) AM-LCD 搭載パソコンの実用化 (Apple Computer 社 (米)/ホシデン)
1990	MIM 駆動 AM-LCD 搭載 EWS の実用化 (東芝)
1994	a-Si 形 TFT 駆動マルチメディア対応 21 インチ型フルカラー AM-LCD の開発 (シャープ)
1995	プラズマ駆動 (PA) 方式 25 インチ型大画面 TV 表示用カラー AM-LCD の開発 (ソニー)
1995~6	IPS (面内スイッチング) 方式超広視野角大型カラー AM-LCD の開発 (日立製作所, NEC, ホシデン)

“松本正一編著:「液晶ディスプレイ技術」、産業図書、pp.17-18、1996年11月8日”に加筆。

## 付録6 液晶ディスプレイ年表

年代	液晶物性 & 材料	液晶ディスプレイと関連技術	液晶ディスプレイ関連商品	社 会
1868年				11月：明治改元（明治元年）
1871年				1月：ドイツ帝国成立
1888年	5月：植物学者のライニッツァー（ドイツ大学、ブラハ）がコレステロールについて報告するなかで、コレステリルベンゾエイトが2重熔点（145.5℃/178.5℃）を持つ事も報告。			
1989年	8月：結晶学者のレーマン（カールスルエ、カールスルーヘ大学）が、物理化学ジャーナルに「流れ結晶について（Über fließende Kristalle）」と題する論文投稿			
1904年	レーマンが大著「液晶（Flüssige Kristalle）」をライプツィヒで出版>>>“液晶”と言う言葉が一般化。			
1909年	春：レーマンが招待により、高野師範学校で液晶の講演を実施>>>仏学派成立			
1911年	動物学者のモーガン（ハリ、ハリ大学）が、TNセルが偏波面を回転させ、磁界で液晶分子を硝子表面に垂直配向させると偏波面は全く回転しないことを報告。			
1914年				
1918年				
1933年	液晶の連続体理論をフアラディ協会誌に投稿（オセーン、スエーデン）			
1939年				
1941年				米国で白黒 TV 放送開始
1945年				
1948年		6月：バーディーン/プラティン（ベル研）が点接触トランジスタ特許出願（1950年10月：成立）		
		9月：シヨックレー（ベル研）が縦台トランジスタ特許を出願（1950年4月：成立）		
1953年			1月：日本初白黒 TV 販売（14型）（シャープ）	2月：日本で白黒 TV 放送開始
1954年				1月：米国でカラー TV 放送開始（NBC 放送）
1957年	5月：ブラウンが（シンシナティ大学、米国）が、化学誌に液晶を紹介>>>米国に液晶研究が拡大			
1957年	フランク（プリストル大学、英国）が液晶の連続体理論を完成			10月：世界初人工衛星打ち上げ成功（ソ連）
1958年				
1959年		2月：キルビー（TI、米国）が特許出願（小型化回路：個別部品IC化）>>>1964年6月23日		
		5月：ヘーニ（フェヤチャイルド、米国）が特許出願：プレーナープロセス >>>1962年3月：成立		
		7月：ノイス（Fairchild、米国）が特許出願（半導体素子と端子構造：IC）>>>1961年04月：成立		
1960年：	ブラウンが Kent 大学（米国）へ移動（教授、化学科ヘッド）			
		3月：フアーガソン（ウェリスステイングハウス）がコレステリック液晶を使った温度係数表示特許を出願>>>1963年12月：米国の液晶特許成立		
		3月：カーン（ベル研）がMOSトランジスタ特許出願>>>1963年8月：成立		
1961年			7月：日本初カラーTV販売（21型）（東芝）	9月：日本でカラー TV 放送開始
				4月：人工衛星で世界初有人飛行（ソ連）
				5月：ケネディ大統領、アポロ計画支持演説。
				8月：東ドイツ、“ベルリンの壁”建設
1962年	液晶について初めて英語で書かれた本を出版（グレイ、Hull 大学、英国）			

## 付録6 液晶ディスプレイ年表(つづき)

年代	液晶物性 & 材料	液晶ディスプレイと関連技術	液晶ディスプレイ関連商品	社 会
1962年		10月: ウィリアムズ (RCA) がネマティック液晶の電気光学効果を利用した特許出願 >>> 1967年5月: 成立		
1963年6月		ワンララス (米国: フェヤチャイルド) がCMOS特許出願 >>> 1967年12月: 成立		
1963年				11月: 米国 ケネディ大統領暗殺 >>> L.B. ジョンソン大統領就任
1964年				10月: 東海道新幹線開業 / 東京オリンピック開催
1965年	8月: 第1回国際液晶学会 開催 (G.H.Brown が開催に尽力、 於: Kent大学、出席者: 129人、内: 米国外: 14人、欧州: 14人、 インド: 2人)		世界初電子式卓上計算機_CS10A 発売 (シャープ)	7月: 日銀引き受けに依る戦後初の赤字国債発行
1967年	3月: シッフバース系混合法液晶 (加水分解あり) 材料特許を出願 (ゴールドマッドハ / カステラーノ、RCA) >>> 1970年11月: 成立	3月: ハイルマイヤー / サノニ (RCA) がDSM液晶特許出願: >>> 1970年3月: 成立		
1968年	5月: ニューヨークロックフエラーブラザーズ社において「液晶ディスプレイ」を記者発表 (RCA) ]	ハルフリッヒがRCA: ハイルマイヤーの元に入社 ヘーニがインテグレーションを設立		
1969年	世界初室温液晶 MBBA (20℃ - 41℃) を合成 (ケルカー / ショイレ、ヘキスト社、独) >>> 研究・開発を大きく促進。	1月: 諏訪精工舎 / 第二精工舎がインテグレーションに時計用C-MOS分周回路開発を発表	世界初 LSI 採用 p-MOS LSI 4 チップ 電卓: Q-TSD 発売 @99800 円 (シャープ)	8月: RCA の会長交替: デイビッド・サノーノフから長男のロバート・サノーノフへ。 RCA を退社した人財が液晶腕時計事業会社設立 (オプテック、プリンストンマンテリアルサイエンス)
1970年	3月: アゾキシ系液晶 (加水分解なし / 色付きあり) 特許申請 (スタインレンサー、メルク、独) >>> 1973年11月: 米国で成立	12月: フアアゴン (イリキスコ、米国) がTN液晶を発売 >>> 1973年8月: 特許成立	12月: 世界初のクォーツ腕時計セイコークォーツ・アストロン 35SQ を発売 (諏訪精工舎) (2004年11月にIEEE Milestone に認定)	3月: 日本万国博覧会 (~9月)
1971年		12月: ヘルフリッヒ / シャット (ホフマンラロッシュ、スイス) がTN液晶特許出願 スイス >>> 1973年2月: 成立 >>> 1976年: イリキスコ TN特許を買取。		
1972年		11月: 液晶を電界効果トランジスタを通して駆動する FETC を発表 (レックナ、RCA)	電卓戦争が進行 (新製品発売社数最大) >>> 以降電卓市場から各社次々と撤退 米国でLED腕時計 (ハミルトン製) / DSM 液晶腕時計 (オプテック製) が発売された。	12月: スミソニアン協定: 360 JPY / USD >>> 308 JPY / USD 6月: 日本列島改造論 (田中角栄)
1973年	3月: シアノビフェニール系液晶開発を発表 (加水分解なし / 色付きなし) (グレイ他、ハル大学、英国)		8月: 3桁表示電卓 "カシオミニ" 発売 @12,800 円 (カシオ) 6月: DSM シッフバース系液晶世界初ポケット電卓 (EL-805) @26,800 円 (シャープ) >>> 他機種と一緒に 2005年度 IEEE Milestone 認定	8月: アラン・ケイ (米国) が "ダイナミックコンセプト" 発表 (A4、512 x 512 ドット、液晶を想定)
1975年	7月: 液晶単マトリクス駆動の限界について投稿 (AR/Pleshko, IBM) >>> 1972年2月号に掲載 >>> 電圧平均化法と同じ結論。 10月: 電圧平均化法特許申請 (川上英昭、日立) >>> 1976年8月: 米国成立、1982年12月: 日本公告		9月: TN アゾキシ系液晶腕時計 (QUARTZ LC V.F.A 06LC) 発売 (セイコー)	10月: 第4次中東戦争 >>> 第1次オイルショック >>> 狂乱物価
1976年		電卓用液晶ディスプレイの外販開始 (諏訪精工 / オプトレックス) / 腕時計用液晶ディスプレイの外販開始 (日立) / 薄型電卓用に、DSM 液晶からTN液晶へ切り替え (シャープ) 電卓用液晶ディスプレイの出販開始 (日立)		11月: 「石油緊急対策要綱」を閣議決定、「総需抑制政策」を実施 >>> 「高度経済成長長期」終焉: 1954年12月~1973年11月
1977年		1月: タンティン大学 (英国) グループが a-Si で PN 接合を実現		
1978年		電卓 / 腕時計以外の用途開拓のために液晶モジュール事業を開始 (日立)。		1月: アップル・コンピュータ設立
1979年		3月: タンティン大学グループが a-Si-TFT 試作発表 >>> 液晶に適用可能性を示唆	144 x 8 ドット関電電卓発売 (シャープ)	

## 付録6 液晶ディスプレイ年表(つづき)

年代	液晶物性 & 材料	液晶ディスプレイと関連技術	液晶ディスプレイ関連商品	社 会
1980年	10月：フツ素系液晶(抵抗率大/種々温度特性小)特許申請(杉森滋他、チツン) >>>1983年9月：米国成立 12月：TN液晶色補償2層セル特許申請(船田文明他、シャープ) >>>1984年4月：米国成立		ゲーム&ウォッチ発売(シャープ)(8年間で5千万台生産)	ゆとり教育が小学校でスタート(～2010年度)。
1981年		ダンディ大学グループが5×7ドットのa-Si-TFT液晶を試作発表をし、日本を訪問>>>日本で一斉にa-Si-TFT液晶の開発開始。		"ゆとり教育"が中学校でスタート(～2011年度)
1982年	駆動桁数を上げるために、TN液晶の展角を90°より増やす事を各社検討	各社、a-Si-TFT液晶試作を発表	1月：656×16ドット：ワープロ発売(シャープ) 7月：120×32ドット世界初A4ノートサイズPC:HX-20(290×215×44mm)発売(エプソン) 11月：640×32ドット：ワープロ発売(東芝) 640×80ドット：折り畳み式PC発売(シャープ)	"ゆとり教育"が高等学校でスタート(～2014年度)
1983年		5月：セル内カラーフィルターを用いるフルカラー表示を提案(東北大学)		2月：コンパック設立
1984年	1月：マルチギャップ特許出願(小川鉄他、松下) >>>1986年12月：米国特許成立	8月：640×256ドットSTN(ツイスト角120°)をラップトップPC用に出荷(日立) エプソンも出荷。 10月：640×256ドットSTNをラップトップPC用に出荷(松下)	3月：384×16ドット：ワープロ(シャープ)/5月：192×24ドット：ワープロ(富士通) 8月：PC/AT5170発売(EGA:640×350 64色 中16色) >>> オープンアーキテクチャ>>> 互換機 9月：640×256ドット：ラップトップPC DG-1(データジェネラル)発売 8月：世界初2型240×220ドットp-Si-TFT液晶カラーTV発売(エプソン)：マルチ製フツ素系液晶採用 >>>1985年度エデュワルドライン賞	Dell Computer Inc. 設立
1985年	11月：SBE論文掲載(Scheffer/Nehring、BBC、スイス)	240×300mm TFT液晶開発ライン(東芝) 年末：a-Si-TFT液晶9.5型VGAカラー(8色)試作(東芝)	8月：200×24ドット：ワープロ(シャープ) 7月：世界初a-Si-TFT3型372×240ドットカラー液晶テレビ：TR-3LTI11発売(松下) >>>1988年度RANK賞	1月：日銀、公定歩合引き下げ_5%>>>4.5%
1986年		6月：世界初152×152mm a-Si-TFT液晶3型4枚取りライン生産開始(松下) 1月：152×152mm TFT液晶開発・試作ライン(シャープ) 300×350mm TFT液晶試作ライン(NEC)		9月：プラザ合意：G5蔵相合意_円高ドル安へ協調介入 >>>円高不況 >>> ①日銀の超金融緩和②内需主導の景気拡大策
1987年	5月：DSTN(NTN)/FSTNの特許申請k(和田啓志他、セイコーエプソン) >>>1991年3月/8月に各々公告		8月：368×48ドット：ワープロ(シャープ) 1月：96×32ドット：漢字が使える電子手帳(シャープ) 6月：720×192ドット：ワープロ(シャープ) 7月：640×400ドット：ワープロ(シャープ) 9月：720×400ドット(DSTN)：ワープロ(シャープ) 11月：640×400ドット(NTN)：ラップトップPC EPSON PC-286L(エプソン) 12月：640×480ドット：世界初VGA Portable SLT/286(コンパック)発売	2月：日銀、公定歩合引き下げ_3%>>>2.5%
1988年		11月：a-Si-TFT液晶12.5型VGAフルカラー試作(松下) 6月：a-Si-TFT液晶14型642×RGB×480ドットフルカラー試作(生産ライン300×320mm1枚取り)(シャープ) >>>1990年度エデュワルドライン賞/2014年度IEEE Milestoneに認定 9月：a-Si-TFT液晶14.26型720×550×RGBW(16色)試作(東芝電子総研・日本IBM火和研協同) 9月：200×270mm生産ライン稼働(日立)		Quanta Computer Inc. 設立
1989年				IMD(International Institute for Management Development) 世界競争力で日本第1位(～1992年)
				5月：日銀、公定歩合引き上げ_2.5%>>>3.25%
				10月：三菱地所、ロックフェラーセンター買収(2,200億円)。
		12月：300×400mm TFT液晶試作ライン(東芝)	12月：96×64ドット(FSTN)：電子システム手帳(シャープ)	12月："日経平均株価：史上最高値_¥38,915.89円"

## 付録6 液晶ディスプレイ年表(つづき)

年代	液晶物性 & 材料	液晶ディスプレイと関連技術	液晶ディスプレイ関連商品	社 会
1980年		Q3: 300 × 350mm a-Si-TFT 液晶 9.4 型 VGA2 面取り生産ライン稼働 (NEC) 8月: 320 × 400mm a-Si-TFT 液晶 10.4 型 VGA2 面取り / 8.4 型 VGA4 面取り生産稼働 (シャープ)		日本 IBM、PC/AT 互換機種上で稼働する DOS/V を発表 1月: 東証日経平均株価の下落により、パナソニックが開始した。・東証平均株価 38712 円 (▲202 円 99 銭) 3月: 「道路交通情報通信システム連絡協議会 (VICS 連絡協議会)」発足 (メンバー: 警察庁・郵政省・建設省) 9月: NHK 「地価は下げられる」5 日連続放送。 11月: 湾岸戦争 ~1991 年 4 月 11 日 >>> 多国露軍への資金協力を 130 億ドル (1991 年 1 月 24 日までに決定)
1991年		Q2: 300 × 400mm a-Si-TFT 液晶 10.4 型 VGA2 面取り生産稼働 (DTI) 10月: 320 × 400mm a-Si-TFT 液晶 8.4 型 VGA4 枚取り生産稼働 (シャープ) Q4: 320 × 400mm a-Si-TFT 液晶 10.4 型 VGA2 枚取り生産稼働 (松下)	3月: 5.5 型 1200 × 1000 ドット 世界初ハイビジョン対応 3 板式プロセクター-XH-H100 受注開始 (@800 万円) (シャープ) >>>1993 年度エデュワルドライオン賞 7月: 世界初壁掛けテレビ_8.6 型液晶 ミニユーリアム発売 (シャープ) 10月: 640 × RGB × 400: 世界初 TFT カラー (4096 色中 16 色) A4 ファイル PC-9801NC (NEC)	
1992年		7月: 世界初 ISO9001 認定 TFT 液晶工場: 液晶天理工場 (シャープ) Q1: 360 × 465mm a-Si-TFT 9.4 型 VGA4 面取り (NEC)	4月: 8.4 型 VGA TFT カラー (256 色): DynaBook 486XS (海外: T-4400XSC) 世界初 VGA TFT 液晶搭載 (東芝) 10月: ビューカム_VL-HL1 発売 (シャープ)	2月: パナソニック。 (パナソニック景気: 1986 年 2 月 ~ 1991 年 2 月) >>> 「失われた 10 年」スタート
1993年	9月: 広視野角特許 (IPS) 出願 (近藤克己他: 日立) >>>1999 年 6 月: 登録。		6月: 8.4 型 VGA TFT カラー (256 色) PowerBook 180C 発売 (Apple)	年末: "BIS 規制" 本格運用開始 (公表: 1988 年、自己資本率: 海外取引 8%、国内取引 4%) IMD 世界競争力で日本第 2 位
1994年		マザーガラス溶融工程を日本と韓国とに建設 (コーニング) Q2: 360 × 465mm a-Si-TFT 液晶 10.4 型 VGA2 枚取り生産稼働 >>>4 枚取り (DTI) 8月: 360 × 465mm a-Si-TFT 液晶 10.4 型 VGA4 枚取り (片出し) (シャープ) Q4: 370 × 470mm a-Si-TFT 液晶 10.4 型 VGA4 枚取り (日立) >>>松下 / サムソン / ADI/LG >>>4 枚取りが一普及		IMD 世界競争力で日本第 3 位
1995年			1月: 10.4 型 / 8.4 型 液晶 TV 発売 (シャープ) >>> 液晶 TV 市場起爆せず。 4月: 8.4 型 液晶 TV 発売 (シャープ) >>> 液晶 TV 市場起爆せず。 1月 17 日: 阪神・淡路大震災 4月: 円高 79.75JPY/USD 5月: 不動産不況で、三菱地所、ロックウェルセンター 14 棟中、12 棟を売却 6月: 日米自動車・同部品協議会実質決着 8月: Windows 95 発売 / 戦後の銀行倒産・兵庫銀行 / 米国内閣として春市介介人 >>> 円安: Mr.Yen (神原英資) 産能力増強が重なり、液晶ディスプレイの物余り現象が発生。	11月: NHK と民放 6 社がハイビジョン実用化試験放送開始 (8 時間 / 日) 1995 年頃から、金融不安私益のため、パナソニックの「銀行不良債権処理」を、従来の「護送船団方式」から、「市場から退場すべき企業は退場させる。」との方式に変更。 1月 17 日: 阪神・淡路大震災 4月: 円高 79.75JPY/USD 5月: 不動産不況で、三菱地所、ロックウェルセンター 14 棟中、12 棟を売却 6月: 日米自動車・同部品協議会実質決着 8月: Windows 95 発売 / 戦後の銀行倒産・兵庫銀行 / 米国内閣として春市介介人 >>> 円安: Mr.Yen (神原英資) 産能力増強が重なり、液晶ディスプレイの物余り現象が発生。
		10月: 400 × 500mm a-Si-TFT 液晶 11.3 型 SVGA4 枚取り (シャープ)		IMD 世界競争力で日本第 4 位
		1995 年_液晶世界市場、初めて前年割れ_▲7% (「クリスタルサイクル」の合)・¥7,900 億 / 94 年 >>> ¥7,400 億 / 95 年、電子部品年産 1995 年・国内前同: 95Q1_24.3%、95Q2_24%、95Q3_▲2%		