

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、デューティ液晶の 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 5×7 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° , 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