

液晶ディスプレイ事始

船田 文明 (シャープ(株) 技監)



1. はじめに

今日の液晶ディスプレイの発展は、MOS半導体技術、とりわけCMOS-LSI技術との出会いがあったからであると言い切っても間違いではないであろう。

もちろんその背後には1946年公表のペンシルバニア大学での電子計算機ENIACの開発に象徴される情報化社会の到来という人類史的に見た大きな潮流のうねりがあった。

ところで、「液晶」という、液体でも固体でもない物質の熱力学的中間状態としての液晶という妙な状態が発見されたのは1888年であった。しかし、この液晶を電子機器に応用してみようという発想は、1906年のde Forestによる三極真空管の発明を起点とするエレクトロニクス誕生の時点からかなりの年月が経過後でもなかなか生まれてこなかった。

ようやく1934年になってイギリスのMarconi社のLevine達が初めての液晶デバイスとしての液晶光変調素子の発明を行った。すなわち液晶の電気光学効果を光の変調素子として利用しようという企てであった。しかし、この液晶デバイスは当時の電子能動素子としての真空管と相性が良いとは言えなかった。印加電圧の違い、電流動作と電圧動作の違い、形状の違いなど多くの点で不一致状態であった。そのような状況もあり、この発明は結局、実用化には至らず、液晶デバイスはいわゆる死の谷に深く埋もれてしまったのであった。

本稿では、このような状況から今日の情報通信(IT)時代の代表的なヒューマンマシーンインターフェイスとなった液晶ディスプレイ(LCD)について特にその実用化までの初期段階をその開発の一端を担う機会に恵まれた技術者の視点から振り返ってみたい。

2. LCDの開発前夜

液晶の工学的応用が1934年以降再び眠りに入ってから数十年が経過した。しかし、世界は動いていた。液晶に係る物理・化学に関した多くの科学的発見と

知識集積は地道に進展していた。

電子工学の分野に於いても真空管に変わる電子能動素子としてのトランジスタがベル研究所のShockley達により1947年の暮れに点接触型として、また1948年の初めには接合型の原形が発明され、本格的な半導体デバイスの時代が開花した。

さらに、半導体デバイスは、単体回路素子の概念から1952年のイギリスのDummerの集積回路の概念提案を経て、1959年のKilbyによる具体的な集積回路素子の発明により真空管時代のエレクトロニクスを大きく脱皮成長させる形態となったマイクロエレクトロニクスを創出するという流れが始まった。

そして、1960年代を迎えた。

1960年にはベル研究所のKahng達によりMOSトランジスタが発明された。そして引き続き1963年にはCMOS技術がFairchild社のWanlassによって発明された。

このような背景の下で数十年ぶりに「液晶を工学的に応用しよう」という動きが出てきたのであった。Levine達の発明に継ぐ次なるマイルストーンとなった発明は1960年に出願されたウエスティングハウス社のFergusonの発明による液晶センサーと1962年に出願されたRCA社のWilliamsによる液晶ディスプレイの発明であった。

彼らの発明の背景には、米国・ソ連間の冷戦状況に於ける軍事競争の下で人工衛星やミサイル用の小型軽量・低消費電力・高信頼性長寿命化を狙った新規デバイス開発に係る高額の研究開発資金を米国政府が投入していたという社会情勢もあった。

3. 電卓の誕生と集積回路そして液晶ディスプレイ

演算回路に半導体素子を最初に応用した電子式卓上計算機(電卓)は、シャープから1964年に図1中の左に示す商品CS-10Aとして発売された。この電卓はゲルマニウムトランジスタ530個とダイオード2300個による演算回路で構成されていた。その他の回路

素子等を含めると総部品数は約5000点に及びそれぞれ個別部品が手作業のハンダ付けで組み立てられていた。当時の開発技術者であった浅田篤（シャープ元副社長）や鷲塚諫（シャープ元副社長）達の言葉によれば、最初のうちは作っていく途中からハンダ付けがはずれ、また検査出荷後も運送の振動などで故障が発生し、その対策に連日悩まされていたとのことであった。このことが何としても頑丈で壊れにくい集積型の回路素子が欲しいという「IC開発への思い」に繋がったとのことであった。

ところで、この電卓一号機の数字表示を行うディスプレイとしては、プラズマディスプレイの元祖とも言えるニキシー管が利用された。このニキシー管はCRTと比べるとかなり小型ではあったが、電圧も高く演算回路を形成する半導体デバイスとの相性は電気的にも形状的にも良いものではなかった。

この問題解決に対しては1967年に伊勢電子株式会社と共同開発した蛍光表示管が採用され、またMOS型の集積回路の採用（16個日立製）と共に小型化・品質向上が図られた図1に示すコンパクト電卓CS-16A（図中の左から2台目）が商品化された。

当時の半導体業界は、集積化はMOS技術よりは高速特性で優れたバイポーラー技術を用いるべきとの意見が多数であったが、シャープは電卓用途としては集積化しやすく低消費電力化に有利なMOS技術にこだわりその方向で開発を推進した。

具体的には、シャープで当時、電卓事業等の産業機器関連事業の総責任者であった佐々木正（シャープ元副社長）がよりコンパクトな電卓を実現すべく、集積度の高いMOS-LSIの開発を行うべく日本国内の先行企業はもちろん最先端の米国企業へ積極的なアプローチを行った。しかし、当時は未だ民生用に大量に安定してMOS集積回路が製造できる状況ではなかった。各社からは無碍にもこの提案は断られてしまった。米國中を依頼して回ったものの良い答えもなく失意のうちに帰途に着いた空港で佐々木正は場内アナウンスで呼び止められた。米国でロケットや人工衛星など宇宙開発を行う国家プロジェクトのアポロ計画に係ってMOS-LSIを開発していたNorth American Rockwell社が佐々木を呼び戻していたのであった。佐々木の提案に応じることをロックウェルの社長が決断したのであった。これはMOS-LSIが軍需のみならず民生品へ適用される事となった「事件」となった。

これにより1969年には従来の機器と比べると圧倒



図1 IEEEマイルストーン賞を受賞したシャープの電卓（左からCS-10A、CS-16A、QT8D、EL-805）

的に小型となった図1に示す電卓QT8D（図中の左から3台目）が商品化された。しかし、未だ電源はAC電源であった。

市場からの電卓商品への要望は、「卓上」型よりはむしろ何時でも何処でも使える「携帯」型にして欲しいというものであった。

このような市場要望を背景にして演算回路素子にはより一層の低消費電力で大規模な回路集積が可能なデバイスが要求されていた。一方、このような中でRCA社は、Fairchild社のWanlassが1963年に発明したCMOSの事業化に積極姿勢を示し、1968年には市場に先駆けてIC製品として出荷を始めていた。このCMOS集積回路は電卓開発技術者が正に望んでいた回路素子であった。極めて少ない消費電力でしかも集積度もMOS構造ゆえに上げられる可能性を有していたからである。

蛍光表示管もCMOS-LSIに比べると消費電力ははるかに大きかった。更なる低消費電力のディスプレイの開発が望まれた。CMOS-LSIを回路素子として用いれば、後は表示素子さえ大幅に消費電力が下れば当時シャープの社長であった佐伯旭（シャープ元社長）が佐々木達に「八百屋さんが算盤に代えて店先で使える携帯型の計算機をつくれ」という開発指示を出していた命題が具現化する可能性が出てきたのである。

このような状況にあって、RCA社が「液晶」という状態を有する有機化合物を用いて超低消費電力でデジタル表示が行えるという発表を1968年の5月に行った。RCA社は、室温域でも液晶を実現する有機化合物を合成・創出すると共にその材料固有の電気光学特性を見出し、集積回路による駆動の可能性を発表した。この発表は世界中のエレクトロニクスメーカーに大きな衝撃を与えた。カラーテレビ技術の先駆者であるRCA社が「液晶ディスプレイ（LCD）は、

今後、ニキシー管やオッシロスコープ用CRTを置き換え、将来は、テレビ用のCRTをも置き換えるであろう」と発表したからであった。

シャープの佐々木は部下の思いを携え待ってましたかとばかり早速渡米し、RCA社に電卓用のディスプレイの開発を依頼した。しかし、先方の開発責任者の副社長は「自分のところでも未だ信頼性を含め未完成で商品化できないものをシャープに技術供与できるわけがありません」とつげなく共同開発の提案は断られてしまった。事実、その後、1971年にはRCAの液晶ディスプレイの研究開発は死の谷に落ち開発プロジェクトは解散となった。その最大の技術的理由は、実用に耐えうる「寿命」が得られない事であった。

ところで、RCA社が記者発表に続いて発表した技術論文に於いては直流電圧を用いた液晶の電気光学的実験が報告された事もあり、その後の研究では各社とも直流電圧駆動が常識となっていた。合わせて、直流駆動の回路は交流駆動の場合と比べて簡単のため、コストの点でも優位性を有していた事が足枷となっていた。しかし、RCA社が発表した動的散乱モード(DSM)と名づけられた液晶表示方式ではイオン電流が表示原理上必要であったこともあり、直流電流を流し続けると液晶材料や電極に酸化・還元といった電気化学反応が起こり、それがLCDを短寿命にしていたのである。その対策としては液晶材料の純度向上を図り、不純物イオンの数を減らしたり、酸化・還元が生じにくい材料による電極の形成などを行う事で改善がなされ、1千時間程度の動作寿命は得られるようになってはいた。しかし、一方でイオンの数を減らすと表示性能が劣化する事となり寿命と性能のジレンマに陥っていた。見やすい表示で実用レベルの数万時間の長寿命を実現するのは程遠く、すべての研究者がこの壁にぶち当たってしまったのであった。

RCA社から電卓用の液晶ディスプレイの共同開発を断られ自主開発を余儀なくされたシャープでも和田富夫(シャープ元事業部長)達の中央研究所の技術者たちが試行錯誤の研究活動を行っていたが、他社と同様に特性と寿命の両立の壁にぶち当たっていた。国内外の有力メーカーからは「LCDの研究中止」のニュースも入りだし、RCA社ですら研究チームが解散されたとの情報も入ってきた。シャープに於いても例外ではなかった。次年度の研究計画と予算を決める1971年の12月がLCDの研究開発の存続の判

断時期であった。

この様な状況にあって、シャープ内で10月頃に新入社員であった著者によりひとつの実験が行われた。LCDの交流駆動実験であった。液晶材料や電極が電気化学反応で劣化するのなら、直流駆動ではなく交流で駆動する方法を採用すれば良いのではないかという考え方である。この考え方自身は外国の技術者も含め既に提案されており、長寿命化に効果があるという実験結果も報告されていた。しかし、その場合には良い表示効果が得られなかったのである。すなわち、表示特性と素子寿命の両立が出来なかったのである。

この様な状況下で、著者のひとつの失敗がチャンスを生む結果となった。実験に手間取り前の晩遅くに帰った翌朝、私は入社した際に実験室の机の上に蓋を閉め忘れた液晶試料ビンを見つけた。「しまった。空気中の水分で貴重な液晶化合物が分解したかもしれない」と思うと同時に「そうだ、分解してイオンが出来ているならあの実験をやってみよう」と液晶の交流駆動の実験を行ったのである。純度を上げイオン数を減らした試料では交流駆動でうまく表示できなかったのに対し、この失敗材料は予想通りすばらしい表示効果を示したのである。そして、理屈通り交流駆動では電極や液晶材料の酸化還元反応は起こらず1ヶ月たっても劣化は全く見られなかった。交流駆動によるDSM効果発現のためには、誘電緩和現象のために液晶材料中に一定量のイオンが必要である事は理論的には予測は出来たが、しかし、1グラムあたり何万円もする高純度の液晶材料にイオン不純物を意図的に添加することは新入社員の身の私には出来なかった。しかし、「失敗」がそれを実行してくれたのであった。

この事を受け、液晶材料化合物の合成で共同研究開発をしていた大日本インキ化学工業に化学的にも安定で液晶化合物に悪影響を与えないイオン添加剤の開発を依頼し、結果として弱酸・弱塩基のアンモニウム有機塩化合物が合成された。そして、この成果は両社共同で特許出願され特許登録された。

この「イオン添加剤入り液晶材料の交流駆動のスキーム」により表示性能と長寿命化のジレンマが解決される目処が達成し、シャープに於ける液晶の研究開発は継続され、合わせて次期戦略商品としてのポケットブル電卓にLCDを小型の薄型ディスプレイとして採用することが決定され、翌1972年当初からその事業化プロジェクト(S734プロジェクト)が発



図2 液晶電卓EL-805 (動作表示例とガラス上に実装された CMOS-LSI)

足した。このプロジェクトは、要素となる材料開発から工場建設までを約1年強で成し遂げ、回路素子としては東芝製のCMOS-LSIが用いられ、1973年5月に図1、図2に示すポケット電卓EL-805が発売された。単3乾電池一本で100時間の動作という当時としては驚異的性能から、この商品は全世界から注目と好評を持って迎えられた。この時は、また実用的な液晶ディスプレイの誕生の時点ともなった。

4. おわりに

電卓は、上述のように集積回路を民生品の電子機器に導入するきっかけとなった。また、合わせてLCDを実用化させる場ともなった。この意義により電気電子学会IEEEは2005年に、上述した固体素子電卓CS-10A (1964), MOS-ICと蛍光表示管を用いた電卓CS-16A (1967), MOS-LSIを用いた電卓:

QT8D (1969) およびCMOS-LSIとLCDを用いたEL-805 (1973) をマイルストーンとして認定した (図1参照)。

筆者もこのマイルストーンの最終機種であるEL-805の開発に携わることが出来たことに喜びと誇りを感じている。

当時を思い出すと、佐々木を始めとする先輩技術者たちが最新の半導体技術や液晶などの新材料技術を世界に先駆け事業化させようとする熱気が研究室を包んでいた。先輩たちのこの熱気がわれわれ若手の最大の先生でもあった。そして、われわれも同じ熱い思いを持って大型液晶テレビやテレビ付携帯電話につながる大表示容量のフルカラーLCDの開発に取り組む事となった。そしてまた、その時の熱い思いと新技術への挑戦マインドが後輩たちへ伝授されていっていると思っている。

ところで、本文は、いわばLCD研究開発の第一幕である。LCDは、その後、特に薄膜トランジスタ (TFT) との結合によるアクティブマトリックス型LCDの形態で大きく発展した。シャープに於けるその開発は電卓用のLCDを開発完了した1975年末からスタートした。このLCD開発の第二幕としての高精細大画面フルカラー動画表示を可能としたTFT-LCDの開発の詳細については2007年11月に発行されたシャープ技報に技術開発物語「TFT研究開発ことはじめ」としてまとめたので参考にさせて頂ければ幸いである。

(本文に於ける氏名は敬称を略させていただきました)



新入会員 (2008.4.10 ~ 2008.7.9)

個人会員

白砂 元秀 丸文(株)
 岩本 弘 アイティラボ 代表
 三浦 雄三 ジェネシス・テクノロジー(株) 代表
 福角 善雄 エピクルー(株)
 谷本 譲 トーマツコンサルティング(株)
 シニアコンサルタント

賛助会員

(株)ヒューマンウェイブ
 (有)セルボニクス (入会順、敬称略)

会員現況 (7月10日現在)
 個人271名、賛助58団体

賛助会員連絡会 特別講演会のお知らせ
 期日: 9月12日(金) 会場: 如水会館(東京・千代田区一ツ橋)
 13:30 ~ 15:15 賛助会員連絡会
 15:30 ~ 17:30 特別講演会 (パネル討論形式)
 《環境問題への半導体産業の挑戦》
 (1) 低電力集積回路の最近の話題
 講師: 東大・生研 教授 桜井貴康氏
 (2) 太陽電池における技術革新
 講師: 産業技術総合研究所 坂田 功氏
 司会: 足利工大 中原 紀氏
 17:30 ~ 19:30 懇親会

SSIS News Letter "ENCORE" No.57

発行日: 2008年7月31日
 発行者: SSIS 半導体シニア協会
 会長 川西 剛
 本号担当編集委員 大塚 英雄
 〒160-0022 東京都新宿区新宿5-14-3
 有恒ビル4F
 TEL: 03-5366-2488, FAX: 03-5366-2487
 URL <http://www.ssis.gr.jp>
 E-mail: info@sis.gr.jp