

○中田行彦（立命館アジア太平洋大）

1. はじめに

液晶ディスプレイと半導体デバイスは、高度情報化社会を支えるキーデバイスである。

このキーデバイスの一つである液晶ディスプレイは、欧州で液晶材料の研究が行われ、米国で液晶ディスプレイとして発明された。そして、日本は、市場に出せる商品を開発、事業化し、液晶産業を創造、成長させてきた。しかし、1996年頃から韓国、1999年頃から台湾が、液晶産業に参入し、近年両国は大きく液晶の生産量シェアを拡大し、図1に示す様に、日本を追い越した。^{1,2)} この結果、現在では液晶産業はアジアのみで盛んである。

沼上幹は、1996年までの液晶ディスプレイの精緻な技術革新史から欧米と日本の行為連鎖システムを議論した。³⁾ 本論文は、その後の韓国、台湾への技術移転を含め、液晶技術から見た日本、韓国、台湾のアジアのイノベーション・システムを考察した。

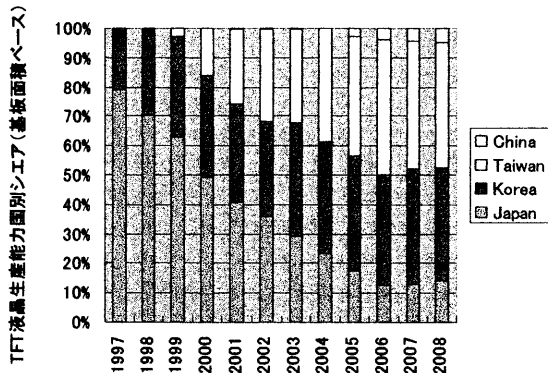


図1 TFT液晶生産能力国別シェア；(1, 2)から作成

2. 液晶技術から見た欧州、米国のイノベーション・システム³⁾
液晶材料は、1889年にオーストリア植物学者F. Reinitzerが植物でのコレステロールの機能を調べる基礎研究で発見した。

米国では、RCAのデビッド・サーノフ研究所のR. Williamsがネマティック液晶の光の透過率が電場により減少することを見出し、1962年に液晶表示装置の特許を出願すると共に、1963年に論文発表を行った。G. E. Helmeierは、彼の業績に関心を持ち、液晶の研究を発展させ動的散乱(Dynamic Scattering; DS)効果を見出し、この効果を用いた液晶表示装置を開発した。その後、英数字ディスプレイ、静止画ディスプレイ、液晶電子時計、液晶電圧計等の多数の試作品を開発し、1968年6月に新開発した。また、1968年7月に学会発表した。

しかし、液晶が今後数年間の開発期間ではテレビにならないと判ってきた。そして1969年にメンバーの多くが他の研究テーマ

に移った。液晶開発に残ったメンバーは短期間で市場に導入可能な製品の開発へと目標を変更したが、事業化には至らなかった。

3. 液晶技術から見た日本のイノベーション・システム

1) 萌芽期の液晶技術

日本では1960年代後半に種々のディスプレイが開発されていた。

世界初の液晶を使つた商品「液晶電卓」が生まれる経緯は、NHKプロジェクトX製作班による書籍等に表されている。^{3,4,5,6,7)}

「中央研究所の和田富夫は、テレビを見ていると、RCAにおいて、2枚の薄いガラス板の間に液晶をいれ電圧をかけると、透明のガラス板が白く変わる事を見出し、ディスプレイに使えると放送していた。和田は、当時産業機器事業部長であった佐々木正を訪問し、壁掛けテレビを可能にする技術と研究開始を説得した。佐々木がRCAと連絡を取ると、「液晶の反応速度が遅く、時計がせいぜいで、壁掛けテレビは無理」との回答であった。しかし、和田はやり方を説明し、研究開始の了解を得た。

しかし、商品化に耐える寿命を持つ液晶材料を見つけ出す困難に行き当たった。新人の船田文明は、膨大な液晶の組合せの中から、要求を満たす液晶を探す仕事を任せられ、迷路を抜け出せずいた。ある日、液晶材料の容器の蓋を閉め忘れて帰った。液晶は不純物が混じって、通常は実験に使えなかった。しかし、液晶材料は非常に高価であったため、もったいないと思い、今までにやりたかったができていなかった実験を行った。交流電圧を印加したところ、液晶の反応速度が速かった。1週間後も、その液晶は動作していた。その結果、「交流を用い、液晶のなかに電流が流れやすくなる添加剤を加えれば、液晶の寿命は長くなるのではないかと考えた。この様にRCAが断念した液晶の突破口を見つけ出した。

一方、その当時のシャープの主力商品であった電卓は、値下げ競争で「電卓戦争」に入っていた。電卓開発をリードしてきた驚塚謙は、泥沼の値下げ競争に巻き込まれるのではなく、他社が真似できない独創技術を盛り込んだ魅力的な電卓を作らないと、この戦争に勝てないと思った。

このため、ディスプレイに液晶を採用することとした。そして、新型電卓を開発するため、電卓、液晶、半導体の異なる分野の研究者、技術者を総勢55人集めプロジェクトチームが結成された。そして世界初の液晶を用いた電卓EL-805が市場に出された。」

この液晶技術の萌芽期の研究・開発から、日本のイノベーション・システムの特長を考えると、次のように言える。

- 1) 試作レベルにある技術を、市場が受け入れられる商品にする技術の研究・開発
- 2) 長期でかつ明確な商品目標設定（この場合電卓）
- 3) プロジェクトチーム等による研究と開発の直結、「技術の融合」を助長する組織構成員間の濃密な相互作用

2) 液晶の技術革新—TN液晶と薄膜トランジスタ

最初に市販された電卓の液晶表示は、RCAの試作品と同じくDSモードが用いられた。しかし、1971年にTN(Twisted Nematic)液晶が、J.L.Ferguson等によって発明された。低消費電力、低電圧、高応答の特長によりTN液晶に移行していった。^{3,4,7)}

そして高コントラストで動画を表示できるディスプレイ技術として、RCAのB.J. Lechner等はアクティブマトリックスの概念を提案した。この概念を実現するための薄膜トランジスタ(Thin Film Transistor; TFT)として種々の材料が研究された。

日本では、セイコーの両角伸治等は、まずSiウエハ上のトランジスタを用いた反射型アクティブマトリックス液晶を開発した。⁷⁾その後、水晶基板上にポリシリコンを形成しTFTを開発した。セイコーは、ポリシリコンTFTを用いたカラー液晶テレビを1983年に学会発表し、1984年に市販品としては世界初の2インチカラーテレビを発売した。しかし、水晶基板を用いることから、大型化、低コスト化に限界があった。

この頃、英国ダンディ大学のP.G. Spear, P.G. Le Comber等は、1975年にアモルファス・シリコン(a-Si)でpn制御が可能であること、1979年にTFTが作成でき液晶ディスプレイに応用できることを発表した。

三洋の桑野幸徳等は、この論文に刺激されa-Si太陽電池の開発を行い、1980年にa-Si太陽電池を世界に先駆けて発売した。また、三洋は1983年の日本エレクトロニクスショーに世界初のa-Si TFTを用いたアクティブマトリックス液晶を展示した。⁷⁾

シャープでは、1979年から3年間日本電子工業振興会(JEIDA)からの委託事業を踏まえ、a-SiTFTを研究した。そして1985年に、3.2インチのa-SiTFTを用いたパネル試作し、学会発表した。この試作を基に、シャープではa-SiTFT液晶の事業化が決定された。また、基板サイズとしてA4サイズが生産できるものを採用する決断がなされ、3インチの液晶パネルが生産され、携帯テレビに応用された。⁶⁾

この様に、TN液晶、TFTによるアクティブマトリックスディスプレイの開発により、液晶は動画を表示できるようになった。

3) 大型液晶への扉を開く14インチ

しかし、3インチ程度の大きさのTFT液晶では応用できる商品は限られていた。このため、TFT液晶の大型化が可能であり、多くの商品に応用できることを示す必要があった。このため、シャープでは経営陣の指導により、3インチが主流だった当時、大型液晶の研究に挑戦した。1988年当時に世界初の14インチカラーTFT液晶ディスプレイの開発に成功した。この挑戦が、大型液晶が実現可能であることを世に示し、現在の大型液晶への扉を開いたエポックメイキングな研究・開発であった。⁶⁾

4) 液晶事業のテイクオフと産業化⁵⁾

シャープが液晶事業をテイクオフさせ、世界シェアのリードを決定づけたのは、8.4インチTFT液晶であった。

当時、7インチ程度の白黒液晶がノートパソコンに使われ始めていた。しかし、パソコンメーカーは、カラー化したがつていた。しかし、カラー液晶は、カラーフィルター等が必要で価格が高くなった。シャープは、この価格アップに対する付加価値として、カラー化だけでなく画面サイズも大きくする戦略にでた。

第1世代と呼ばれる液晶生産ラインは、通常300mm x 400mmのガラス基板が用いられていた。シャープは、これに対し320mm x 400mmと20mm大きいガラス基板を用い、他社とほぼ同じ様な生産装置を用い、膜厚の均一性等を改良した。この結果、1枚のガラス基板から他社より大きな8.4インチカラーTFT液晶を4面取ることができた。このガラス基板サイズの拡大された20mmが、シャープの液晶事業を大きく立上げ、世界シェアを伸ばす契機となった。このようにガラス基板サイズは、液晶事業において他社と差別化する最も大きな技術戦略のポイントであり、標準化が難しくなっている。

4. 液晶産業と半導体産業の比較⁸⁾

液晶産業を理解するために、半導体産業と比較した。

1) 液晶および半導体の要求仕様⁸⁾

液晶と半導体は類似している部分と異なる部分がある。成膜、露光、エッチング等の同様の工程を持っている。しかし、これらの間には多くの違いがある。この液晶と半導体の比較を、表1に示す。半導体の場合には、300mm直径の単結晶シリコンウエハが用いられる。素子サイズは、MPUチップの例では約9mm x 9mmである。しかし、液晶の場合は、最新の生産工場では、1500mm x 1800mmのガラス基板が使われている。これはシリコンウエハの38倍である。さらにガラス基板から取れる1つの素子サイズは、現在市場に投入されているテレビに用いられている45インチ液晶パネルである。これは、MPUチップの6755倍の面積を持っている。これらの相違の原因について、以下に述べる。半導体の場合、情報を処理する機能が価値を持っており、素子サイズは直接的には価値を持っていない。設計ルールを微細化することにより、素子サイズを小さくでき、機能も向上でき、コストも下げられる。「ムーアの法則」として知られているように、1つの半導体チップにのるトランジスタの数は、18ヶ月で2倍になる。このため、半導体製造の指導原理は、「微細化」である。このため、半導体産業は「標準化装置」と「標準サイズのシリコンウエハ」を受け入れる。

これに対して、液晶の場合には、大きな画像ほど価値を持っているから、液晶パネルのサイズ自体が価値を持っている。1枚のガラス基板から数枚の液晶パネルを取る。このため、大きな液晶パネルを得て競争力を高めたいため、「ガラス基板の大型化」が望まれる。液晶の基板サイズ、素子サイズは、半導体に比較し、各々38倍と6755倍である。

表1 液晶と半導体の要求仕様の比較

	液晶	半導体	備考
基板材料	ガラス	Siウエハ	
寸法	1500x1800mm	300mmΦ	
面積	27,000cm ²	707cm ²	38.2倍
素子			
応用製品	液晶テレビ	MPU	
寸法	45 inch	9mmx9mm	
面積	5472 cm ²	0.81cm ²	6755倍
プロセス			
最高温度	350℃	900℃	
環境			
装置	カスタマイズ装置	標準装置	
ロードマップ	無し	有り	ITRS Roadmap

液晶生産ラインのガラス基板サイズは、1991年に300mm x 400mmから最近の1500mm x 1800mmに急速に拡大している。

2) 技術ロードマップ

「技術ロードマップ」は、技術の方向を指し示すのに重要である。半導体産業の場合、世界的な合意が得られた「技術ロードマップ」が、ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductor) として知られている。しかし、液晶の場合には、世界的な合意が得られた「技術ロードマップ」は無い。というのは、液晶メーカーは「ガラス基板の大型化」により大きな液晶パネルを生産しようとする競争をしているからである。

5. 液晶の工程、製品、産業アーキテクチャ

藤本隆宏は、「モジュール型」と「擦り合わせ型」を比較し、日本は「擦り合わせ型」産業に強みを持つと述べている。^{9,10} 三輪晴台は、半導体産業と製品アーキテクチャの萌芽期から現代まで変化を詳細に述べている。⁹⁾

このため、半導体と比較し、液晶の工程、製品、産業のアーキテクチャを検討した。現在の半導体の特徴を見ると、世界的合意を得た「技術ロードマップ」と「標準化装置」が有る。また、半導体は、IP(Intellectual Property)という「モジュール」を組み合わせることで設計でき、このIPは外部企業から買うことも可能である。この設計は「標準化装置」によって、製品化される。このことから半導体工程のアーキテクチャは、「モジュール型」工程といえる。また、半導体製品のアーキテクチャを見ると、半導体製品の種類に依り、DRAM(Dynamic Random Access Memory)は「モジュール型」であり、SOC(System on Chip)は少し「擦り合わせ型」寄りと言える。

これに対して、液晶は「カスタマイズ装置」で「カスタマイズ工程」を用い、他社より大きな液晶パネルを生産しようとする。このため、液晶産業では、差別化戦略のため「技術ロードマップ」や「標準化装置」が無い。これより、液晶工程のアーキテクチャは、「擦り合わせ型」工程と言える。液晶製品は、TV用液晶パネル、パソコン用液晶パネル、中・小型液晶パネルに分けられる。液晶製品のアーキテクチャは、パソコン用液晶パネルは、まさにノートパソコン用に「モジュール化」されており、「コモディティ化」している。パソコンメーカーは、多数の会社から購買することにより、同じ品質のパネルを低価格で供給することを求める。これに対しTV液晶パネルは、高画質という高パフォーマンスが要求され長期にわたる研究開発と多額の設備投資を必要とし、青島等が指摘しているように「擦り合わせ型」のビジネス・アーキテクチャが適している。⁹⁾ また中・小型液晶パネルは携帯用等に用いられ、携帯電話メーカー等と擦り合わせが必要な製品である。

6. 日本からアジアへの技術移転・技術流出

液晶技術は日本で開発、事業化、産業化されてきた。この液晶技術がどのようにアジアへ技術移転されたかを検討した。図2に日本、韓国、台湾のa-Si TFT液晶の生産パネル数の推移を示す。液晶ビジネスは日本から立ち上がり、3年後に韓国が参入し、台湾は2001年から参入した。¹¹⁾

技術移転のルートとして、日本人技術者の海外でのアルバイトや、日本との合併会社のほかに、装置を介してのものがある¹²⁾、日本の液晶メーカーは、液晶装置メーカーと協力し、ガラス基板

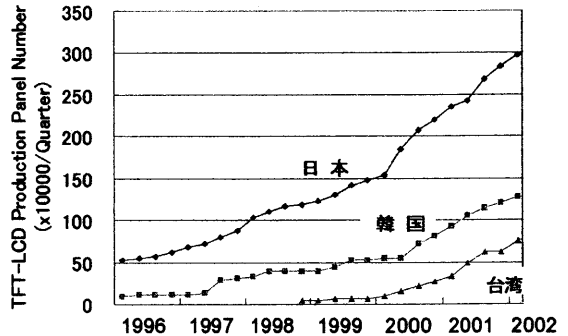


図2 TFT-LCD生産パネル数の国別推移¹¹⁾

サイズを拡大した「カスタマイズ装置」を開発した。これは、歩留りの向上のための生産ノウハウが「カスタマイズ装置」に、ハードウェアと生産レシピとして埋め込まれる。この「カスタマイズ装置」を通して、アジアへ技術流失した。液晶用の「カスタマイズ装置」は、半導体用の「標準化装置」と比較し、開発にかけられる時間と販売期間が短く、販売数量が少ないため、液晶装置メーカーの事業は厳しい状況にある。このため日本の液晶メーカーが「カスタマイズ装置」を自社内にクローズするのは困難であり、アジアに流失した。現在では、ウエット系装置の開発や日本企業の韓国進出で韓国産化は50%を超えた。¹³⁾

7. 日韓台の液晶への投資戦略

競争力に最も大きく影響した投資戦略について記す。日本、韓国、台湾の液晶への設備投資額、営業利益を図3、4に示す。¹⁴⁾

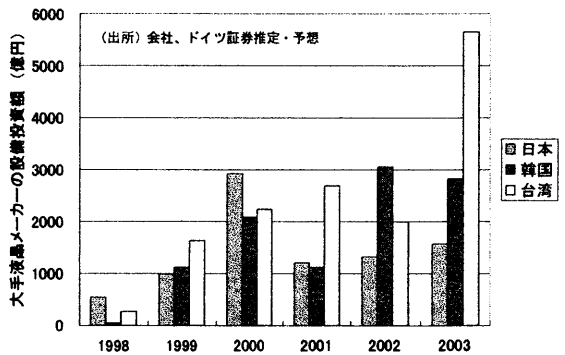


図3 液晶メーカーの設備投資額推移¹⁴⁾

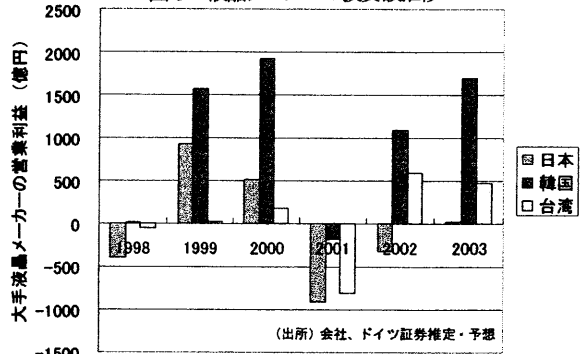


図4 液晶メーカーの営業利益推移¹⁴⁾

日本は、1999年の好況時に、大きな利益を上げたため、2000年に平均的な年に比較して約3倍の投資を行った。しかし、図5に示す様に、液晶生産ラインが稼働した2001年はすでに需要が低下しており、大きな損失を計上した。また、2001年以降は、投資額は維持したまま、大型投資の決断はなされていず、日本ではシャープのみが、第6世代の液晶生産ラインに投資をした。

これに対して韓国は、液晶産業が最も苦しんだ2001年に投資を決断し、2002、2003年と大きな投資を行った。また、台湾は特に2003年に5500億円以上と日本の4倍近い大きな投資を行った。

8. アジアのイノベーション・システム

今まで述べてきた、液晶から見たアジアのイノベーション・システムを表2にまとめる。

欧州は基礎研究に重点を置いている。米国は、国家の研究開発費を基礎とし、自由な基礎研究から独創的な技術を生み出している。しかし、事業化に問題がある。

日本は、長期間にわたる明確な商品目標設定とチームワーク、市場が受け入れられる商品にする技術の研究開発に特長がある。国家プロジェクトのバックアップもある。

韓国は、タイムリーな投資戦略と、日本から「カスタマイズ装置」や日本人技術者を通じた積極的な技術移転、国家プロジェクトによる装置・部材メーカーの育成によるイノベーション・システムより、日本を追い抜いた。

台湾は、日本との合併企業設立等から技術導入し、外部資金を用いた積極的な投資戦略により、「モジュール型」液晶製品の典型であるパソコン用液晶で優位に立っている。

9. まとめ

液晶技術から見た日本、韓国、台湾のアジアのイノベーション・システムを考察した。

日本は、液晶商品開発、事業化、産業化でリーダーシップを取ってきた。しかし、韓国、台湾は、積極的な投資および技術導入により、液晶生産量で日本を抜き去った。

日本のイノベーション・システムの特長を活かした競争力の強化が望まれる。

表2 液晶技術から見たアジアのイノベーション・システム

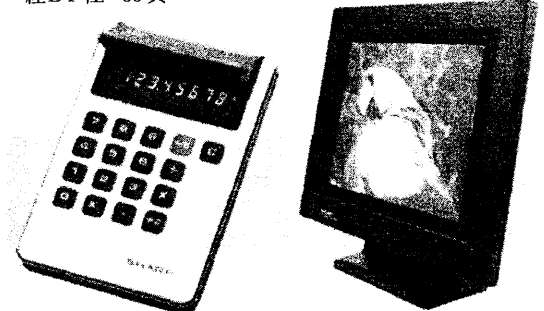
		欧州	米国	日本	韓国	台湾
企業のイノベーション活動	研究	基礎研究	液晶材料			
		応用研究		液晶表示装置		
		開発			液晶電卓	
		事業化			ノートパソコン用	
		産業化			◎	
		技術者			◎	
製品	TV			◎		
	パソコン			△		
	中・小型			◎		
生産能力(2005)				17.30%		
資金調達	設備投資					
装置・部材 インフラ	装置メーカー			シャープ以外X		
	部材メーカー			◎		
国家支援	国家プロジェクト			◎		
	コンソーシアム			ALTEDEC フューチャービジョン		
					技術者流出	
					装置流出	
					◎	△
					◎	×
					◎	◎
					△	×
					38.70%	40.40%
						◎外部調達 積極的投資
						韓国産化50%
						日本の韓国法人 韓国メーカー
					◎	
						開発資金援助 優遇税制

謝辞

本研究は、日本学術振興会からの平成17年度科学研究費補助金で推進され感謝する。また、有用な論議をしていただいた経済産業省・資源エネルギー庁安藤清彦氏に感謝する。

参考文献

- (1) 日経マーケットアクセス「デジタル家電市場総覧2004」
- (2) ディスプレイサーチFPDコンフェレンス・ジャパン2005
- (3) 沼上幹「液晶ディスプレイの技術革新史」白桃書房1999年
- (4) 中岡哲郎編「戦後日本の技術形成」日本経済新聞社(第4章 宇仁宏幸)2002 95頁
- (5) NHKプロジェクトX製作班編「プロジェクトX 挑戦者たち8」日本放送出版協会 2001年9月20日
- (6) 驚塚謙等「TFT液晶物語」第1~12回1995年1月~12月
- (7) ボブ・ジョンストン「チップに賭けた男たち」講談社1998年
- (8) Yukihiko Nakata Proceeding of PICMET'05 2005
- (9) 藤本隆宏等「ビジネス・アーキテクチャ」有斐閣 2001年(第1章藤本隆宏、第2章青島矢一、武石彰、第3章三輪晴治)
- (10) 藤本隆宏「日本のもの造り哲学」日本経済新聞社 2004年
- (11) 「フラットパネル・ディスプレイ2001」日経BP社 2001
- (12) 「フラットパネル・ディスプレイ2005」分析編日経BP社
- (13) 日経マイクロデバイス 日経BP社 2005年6月号 33頁
- (14) 中根康夫「フラットパネル・ディスプレイ2004」実務編 日経BP社 56頁



(参考)世界初の液晶電卓と14インチ液晶(シャープ)