

# 一章 真空管エレクトロニクス

## 真空管の誕生

19 世紀末のエレクトロニクスをリードしたのは電灯と通信\*1である。真空管によりこの 2 つが合流する。電球の長寿命化のため真空度を高める研究が続けられるが、結局は不成功に終わることになる。この過程でエジソンは後にエジソン効果\*2と云われることになる仕組みを使った一種の電球を開発し発電機の制御装置を開発している。この電球に検波作用があることを 1904 年にイギリスの John Fleming\*3が発見する。Fleming valve(二極管)の誕生である。その 2 年後の 1906 年に米国の Lee DeForest が audion(三極管)\*4を発明し真空管エレクトロニクス時代の幕が開かれる。

真空管の生産は発明から 10 年経った頃でも米国では年 2 万本程度に過ぎなかった。これが米国の一次大戦参戦とともに急速に拡大し 1918 年には 100 万本に達する。US Army Signal Corps(米陸軍通信隊)の野戦用通信機に採用されたことにより真空管は規格化・互換化が進み標準化された信頼性の高い部品となる。真空管は General Electric(GE)\*5、DeForest Radio Telephone&Telegraph、Westinghouse(WH)により製造されている。いずれの真空管メーカーも東海岸のマサチューセッツからペンシルバニアに立地する企業である。そして一次大戦から 30 年頃までに、Hygrade Incandescent Lamp(マサチューセッツ)、Novelty Incandescent Lamp\*6(ペンシルバニア)、Raytheon(マサチューセッツ)、Philco(ペンシルバニア)、DuMont(ニュージャージー)なども真空管事業に参入する。

\*1 19 世紀は有線通信を中心に通信は大きな発展を遂げる。1832 年ドイツで電信機が発明され、1866 年には電信用の大西洋横断ケーブルが敷設されている。日本ではデンマークの Great Northern Telegraph により 1871 年に上海-長崎間に海底ケーブルが敷設され日本は世界と電信によって結ばれた。尚、米国での電信サービス開始は 1844 年、電話サービスの開始が 1878 年。

\*2 1883 年にエジソンの発見した電球に金属棒等を追加しそれに電圧をかけるとフィラメントから電子が飛び出す現象。1910 年に Owen Richardson によって原理が解明されエジソン効果(リチャードソン効果とも云われる)と名づけた。尚、電球が発明される以前には放電を利用したアーク灯が使われていたが、眩しすぎることや放電音の煩さ、炭素電極の消耗のため、電極間隔の調整を必要とし普及は限定的であり、且つ屋内証明には不向きだった。また、電球を発明したのはエジソンではなく、イギリスの Joseph Swan が 1875 年に発明している。エジソンは 79 年に竹を炭化・結晶化(黒鉛)させたフィラメントを使って電球の長寿命化に成功する。1879 年当時、Swan の電球寿命が 45 時間程度であり且つ発光効率(1.4 ルーメン/w)も悪かったのに対し、エジソンの電球は 81 年時点で寿命 600 時間、2.25 ルーメン/w と一般家庭にも普及できるレベルに達する。尚、現在の一般に普及している LED 電球は発行効率 110 ルーメン/w、寿命 5 万時間(明るさが当初の 70%まで落ちるまでの時間)である。尚、フィラメント用竹の探索をしていたエジソンの助手に京都の竹を勧めたのは伊藤博文だと云われている。

\*3 フレミングの法則で有名な Fleming は英国の Edison 系企業 Edison&Swan United Electric Light Company の技術者として一時期勤務、退社し大学に戻った後も技術顧問として在籍。産学協同の走り。

\*4 DeForest の audion は無線機の detector(検知器)用に開発された。増副作用が発見されるのは 12 年頃のこと。GE の Irving Langmuir によって三極管が完成をみる。尚、オーストリアの Robert Lieben も DeForest とほぼ同時期に三極管を発明している。

\*5 Edison General Electric Company と Thomson-Houston が 1892 年に合併して誕生。送電の直流方式を推進した Edison は交流方式を推進した Westinghouse に敗れ技術的・経営的に問題を抱え合併を余儀なくされ、実質的オーナーである JP モルガンに見切りを付けられ社長の座を追われ社名からも名前を消される。

\*6 Hygrade と Novelty は 1900 年代初期に切れた電球の修理再販業として出発し、その後電球製造を経て RCA からライセンスを得て真空管に参入している。この 2 社は 31 年に合併し Sylvania となる。

## 国策会社 RCA の設立

1901 年に Guglielmo Marconi(イタリア人)はカナダのニューファンランド島と米マサチューセッツの Cape Cod に無線基地を建設し、この年に大陸間の無線通信実験に成功\*<sup>1</sup>する。これに先立ちニューヨークに事務所が置かれるが、これが発展し American Marconi が設立される。同じくカナダには Canadian Marconi を設立。1903 年頃には通信品質は不安定なものの国際通信事業を開始できる技術レベルに達する\*<sup>2</sup>。

American Marconi は 10 年に米国最大の無線通信会社 United Wireless Telegraph(UWT)を特許侵害で訴え勝訴し、12 年にはこれを吸収することによって事業基盤を拡張させた\*<sup>3</sup>。UWT は 6 年に American Wireless Telephone&Telegraph と American DeForest Wireless Telegraph が合併して誕生した会社である。この時、Lee DeForest はスピンオフ(Fessenden との特許紛争に負け責任を取って退社)して DeForest Radio Telephone&Telegraph を設立している。

第一次大戦後、無線通信事業の外資系企業による支配は安全保障上から好ましくないとして、1919 年 10 月に American Marconi(イギリス系)の資産を継承して Radio Corporation of America(RCA)が誕生する。これには当時の海軍次官補であった Franklin Roosevelt が大きな役割を演じている。更に特許紛争による混乱が産業の発展を損なっていたとの認識により、無線通信関係の特許は国家管理すべきとして、GE や WH、AT&A、United Fruits\*<sup>4</sup>の持つ特許権を RCA が引き継ぐことになる。GE は開発や購入により多くの特許を保有していたものの、audion(1906 年)の特許は DeForest から購入した AT&T が保有し、heterodyne receiver(1906 年)関連特許は United Fruits と WH の共有であったり、また super-heterodyne(1918 年)は Edwin Armstrong 氏\*<sup>5</sup>の保有であったりと特許関係は複雑であった。主要特許の多くが RCA に集約され、RCA がラジオや真空管メーカーにライセンスを供与することになる。

\*1 モールス信号で「S」の文字を繰り返し送信。グレートブリテン島最南西 Cornwall の Poldhu から発信した信号を対岸のアイルランドのロスレア、アイルランド北西岸のクリフデンで中継しニューファンランド島の St.John's の Signal Hill で受信することに成功。

\*2 1903 年 1 月 18 日、無線によりセオドア・ルーズベルト大統領からイギリス国王エドワード 7 世へ”In taking advantage of the wonderful triumph of scientific research and ingenuity”と、科学技術の進歩を称賛する言葉で始まる 50 単語ほどのメッセージを送信。

\*3 この時、American Marconi は UWT から 70 個所の地上局及び 500 隻の船舶に装備された無線局などの運営業務を引き継いでいる。

\*4 United Fruits は中米でバナナやコーヒーのプランテーションを営むとともに通信・運輸関係も支配しており通信とも関係が深かった。RCA の GE(30.1%)、Westinghouse(20.6%)、AT&T(10.3%)に次ぐ株主(4.1%)となった。

\*5 特許紛争は収まったわけではなく、その後も激しい紛争が続く。例えば、Armstrong は RCA への特許売却で富豪になったものの、長年に渡る数々の特許紛争で財産も使い果たし、RCA との FM に関する特許紛争中の 1954 年 1 月に自殺。裁判は勝訴となる。

## ラジオ放送の開始

20 年 11 月 2 日に WH が Pittsburgh に KDKA を設立して放送を開始したのがラジオの本格的な放送の始まりだと言われる\*<sup>1</sup>。この最初の放送は大統領選挙の開票速報でハーディングの勝利を伝えた。WH はラジオ受信機の販売も併せて行い、受信機を一般家庭に販売した最初の企業となっている。WH は翌年

9月にWBZをSpringfield(マサチューセッツ州)、10月にWJZをNewark(ニュージャージー州)、11月にKYWをChicagoに設立し放送を開始している。GEもSchenectady(New York州)の工場にWGYを設立し22年2月に放送を開始する。22年末には全米で569局が設立された。運営費は放送局を設立したデパートメント・ストアーなどのスポンサーに依存していた\*2。

ラジオは20年には数千台(無線通信機は除く)の普及に過ぎなかったが、24年には普及率は10%(約300万台)を超え、29年の大恐慌直前には40%、30年代末には80%に達し市場はほぼ飽和状態になる。尚、乗用車の販売は20年代半ばには年350万台\*3(登録台数17,481千台、1000人当たり150.9台)に達し、29年には400万台を超え、60%近い普及率(登録台数23,121千台、1000人当たり189.9台)に達していた。T型Fordの価格は当時300ドルほどだったのに対し、ラジオの価格は30ドル程度であり、現代の感覚からみるとラジオは相対的に高かった。放送局の送信出力の低さや3球程度のラジオの感度では聴取可能地域は限られていたこともあり、ラジオの普及はそれほどスムーズではなかった。

ラジオの本格放送が開始されると、RCAはGEとWH製のラジオ受信機の販売を行う。そして26年にはNational Broadcasting Company(NBC)\*5をGE、WHと合併で設立する。GE、WHはそれぞれ独自に放送業に進出していたがNBCに事業が集約され、これらをベースにして全米48局がネットワーク化されナショナルネットワークが誕生する。

\*1 1906年12月に米国のReginald Fessenden(カナダ人)がマサチューセッツ州のBrant Rockで無線による音声放送(実験)を行う。これが娯楽および音楽を一般向けに流した世界初のラジオ放送と言われる。但し、一般家庭には受信機は無かったのほとんど聴取はされなかったかも。1909年1月にはSan JoseにCharles Herrold(Stanford大学でのフーバー大統領のクラスメイト)等が自作の15Wのspark transmitterを使って毎週水曜日午後9時より30分間のラジオの定期放送を開始。20kmほど離れた所でも聴取できたという。改良が重ねられ4年ほど後には5,000km離れたU.S. Navy wireless stationでも聴取できたと言われる。一次大戦中に民間のラジオ放送局に放送禁止命令が出され、18年7月31日に放送停止。

\*2 WHはラジオを売った収益でラジオ放送局を運営した。局名にToolが付くものも有り有料放送もあった。コマーシャルに関しては22年8月にAT&T Toll Broadcastingが10分50ドルで不動産会社であるQueensboro Corporationのthe Hawthorne Court Apartments in Jackson Heights(22年に建てられた14棟のビルからなるアパートメント群で現存している)販売のためのコマーシャルを流したのが最初と言われる。本格的にコマーシャルに依存するようになるのは20年代末期になってからであった。

\*3 米国の25年の乗用車生産(工場出荷)台数は3,735千台。約20万台は輸出され国内販売台数は約350万台。29年の生産は4,455千台。

\*4 20年代を通して低価格ラジオのリーダーだったCrosley(21年Ohio州Cincinnatiで創業)の場合、\$7の低価格の鉱石ラジオを発売、24年発売の二極管式真空管ラジオ(再生検波1管+増幅1管)は\$18.5、25年発売の一極管式(再生検波のみ)は\$9.75だった。三極管式(第一段に再生検波1管、二段に増幅2管)が標準的で、1球、2球タイプは廉価版。

\*5 NBCへの出資比率はRCA50%、GE30%、WH20%。

## (独禁政策)

そして29年にRCAはGEとWHのラジオや真空管の開発部門を吸収、同時にVictorを154百万ドルで買収しエレクトロニクスのリーディングカンパニーとしてのRCAが誕生する。大株主であるGE、WHと密接な関係を続けてきたが、独禁法問題が生じ32年にGEとWHはRCAから手を引くことになる。RCAは設立当初は無線通信の国策会社としてのスタートだったが、ラジオの誕生により事業内容は大きく変化していった。

29年の大恐慌の発生原因として独占化や寡占化があったとして、独禁政策が積極的に進められていった。特許権は独占的な権利であり、市場独占の目的で行使することは悪用(Patent misuse)と見做され、独

禁法訴訟に敗れると特許を無償で公開させられたりした。この時代に米国はプロパテントからアンチパテントへと大きく切り替わっていく。そして約 50 年後に登場するレーガン政権が国際競争力復活などの観点より知的財産権を保護強化する政策に転換するまでアンチパテント政策は続くことになる。

### (ラジオ受信機メーカーの濫立)

19 世紀末期には既に有線の電信を使ったアマチュア通信が行われていたと言われる。そして、1905 年頃にはアマチュア向けの無線システムが通信販売などで販売され普及が進む。12 年の電波法の施行で使用電波の制約や免許制によりアマチュア無線は激減し、更に一次大戦中に無線通信は国防上の理由から国家の統制下であり無線機の民間保有は禁止されるが、大戦後の 19 年 10 月に解禁され、また帰還兵により無線機が持ち帰られたことなどもあり、無線機は大戦直後には 20 万台近くが民間にも普及していたようである。ラジオの登場に先立ち無線通信技術はマニアを中心に一時中断があったものの一般人にもそれなりに取得されていたようである

大戦で無線機に接した帰還兵の中に Zenith を創業する Ralph Mathews と Karl Hassel がいた。Mathews の自宅のキッチンテーブルで無線機器の組み立てを始める。Chicago に振興のラジオメーカーが集積する先駆けとなる。Closley や packard Bell(Los Angeles)などの新興企業や真空管メーカーの GE、WH、Sylvania、更には重電の Emerson(St.Louis)なども一斉に参入する。そしてラジオ放送の開始とともに数百のラジオメーカーが濫立する。その後も、Raytheon(Massachusetts 州)、Motorola(Chicago)などの参入は続く。ラジオ製造は手工業的な色彩が強く、キャビネットは木製で量産性が低く、部品取り付けや配線はほとんど人手頼りであり、キーパーツの真空管は GE/RCA、Sylvania や Raytheon のものであり、ラジオメーカーが差別化する余地は限られ、またスケールメリットもそれほどはなく新規参入は容易であった。しかし新興企業の生き残りは難しく、多くは競争激化、特許紛争、大恐慌を経て淘汰されていく。Zenith の場合は 24 年にポータブル化、26 年には家庭用交流電源駆動の商品化に先鞭をつける。Zenith の生産台数は 29 年の大恐慌前には週 2,000 台超のレベルだったものが、大恐慌後には週 300 台にまで低下した。幸い受注生産 (BTO) を行っており完成品在庫を持たなかったため、いち早く低価格ラジオの生産に切り替え販売を回復させていく。後のパソコンメーカーと比べると、Zenith の設立の経緯は Apple であり、巨大な RCA/GE/WH 連合に対して積極的に新技術を取り込む姿は IBM に挑む Compaq であり、BTO による需要変化や価格下落に迅速に対応する姿は Dell といったところである。新規参入は容易であったとはいえ生き残り発展するためにはいつの時代であれ経営力・技術力を要する。

Raytheon の場合は 22 年に MIT 出身(且つタフツ大学時代のルームメイト)の Laurence Marshall と Vannevar Bush によって家庭用電気冷蔵庫\*<sup>1</sup>の製造開発を設立されたがうまく行かず、24 年に S-tube\*<sup>2</sup>の開発者の Charles Smith を加えラジオ用真空管に事業変更\*<sup>3</sup>する。そして 25 年に家庭用交流電源で駆動する真空管を発売し、バッテリー駆動だったラジオの家庭用電源化をはかりラジオ用真空管では RCA を凌ぐほどまでになる。米国の一般家庭の電化は 20 年代に急速に進み、21 年の 16%から 29 年には 70%へと高まっていた。

Motorola の場合、設立は 28 年と後発だが旧式のラジオを家庭用電源と繋ぐためのアダプターで参入し、その後 30 年代に入りカーラジオで成功を収める。その後、30 年代に入りカーラジオで成功を修める。30 年に発売されたカーラジオの価格は 120 ドルとかなり高かった。キャデラックなどの高級車 (3,000~10,000 ドル) はともかくとして、シボレー等の大衆車 (500~700 ドル) に普及させるには価格的に高過ぎた。

\*1 家庭用電気冷蔵庫の開発は General Motors 及び傘下の Frigidaire、Electrolux(スウェーデン)や GE が主導し 20 年代に大きく進化する。23 年 Frigidaire が世界初の一体型を発売。25 年 Electrolux が静音の吸収式冷蔵庫(冷媒にアンモニアと水)、27 年 GE がベストセラー機となった Monitor-Top Refrigerator を発売 (発売当初\$525、直に\$200)。また 28 年には General Motors の Thomas Midgley によってフロンガスが開発され 30 年代半ばまでにフロンを使った冷蔵庫が Frigidaire やその競合から 800 万台売られている。30 年の電気冷蔵庫普及率は 8%、40 年には 44%に達する。なお、Thomas Midgley ガソリンにテトラエチル鉛を添加することでエンジンの「ノッキング」の問題を解決したことで知られる。フロンと有鉛ガソリンと言う環境破壊物質の発明は“20 世紀で最も致命的な物質の 2 つを発明した男”として知られる。

\*2 S-tube はヘリウムガスを充填した交流を直流に変換する半波整流器(Helium-filled half-wave rectifier)。

\*3 真空管は Raytheon の商品名で販売された。American Appliance Company として設立されたが、25 年に商品名である Raytheon に社名を変更。

## 黎明期の日本のエレクトロニクス産業

1915 年に GE の真空管の基本特許 (14 年に開発された Langmuir の特許) が日本で成立しその行使権を東京電気 (現東芝) が獲得する。東京電気はもっぱら GE、後にそれを引き継いだ RCA 社の真空管の国産化に努め、19 年には送受信管の製造を始めた。日本無線なども早期(18 年)に真空管製造に参入するものの特許の関係から送信管等の一部に限られたものだった。その他、東京電気からサブライセンスを受けたエレバムやベストなどの中小のメーカーもあった。20 年代半ばには十数社が真空管製造を行っているが、戦前は日本の多くのラジオには東京電気 (ブランド名マツダ) の真空管が使われラジオ用に関しては高いシェアを保持していた。

35 年に特許切れと共に大手企業が参入する。日本電気はフランスの Laboratoire Central de Télécommunications(LCT)<sup>\*2</sup>からの技術導入により 33 年から送信管の製造を開始し、GE 特許の切れる 35 年から真空管製造を本格化する。日立、川西機械<sup>\*3</sup>もこの時期に参入を果たしている。ラジオ用で圧倒的なシェアを持つ東京電気に続き、日本無線、日本電気、日立、川西機械が二番手グループを形成し、この 5 社が戦前には軍用の送信管五社委員会のメンバーとして真空管製造の中心的な役割を果たし、戦後は日電、日立、神戸工業が電電公社用業務管 3 社のメンバーとしていわゆる電電ファミリーの中核を形成した。そのほか戦前には松下、三菱なども参入を果たしている。これらはいずれも半導体企業として後に中心的な役割を担うことになる。

日本でのラジオ放送は 25 年 3 月 1 日の東京放送局による芝浦の東京高等工芸学校の一室からの試験放送(3 月 22 日に仮施設からの正式放送としての仮放送)から始まる<sup>\*5</sup>。そして 25 年 7 月 12 日の愛宕山からの本放送開始時点では契約台数は 3,500 台<sup>\*4</sup>であった。受信料は月 1 円とけっして安くはなかった。26 年 8 月には東京・大阪(25 年 6 月 1 日仮放送開始)・名古屋(25 年 6 月 23 日試験放送開始)の三放送局が合同し日本放送協会が設立され、28 年には札幌(6 月 5 日)、仙台(6 月 16 日)、広島(7 月 6 日)、熊本局(6 月 16 日)が開局し全国に電波が行き渡り始める<sup>\*6</sup>。28 年 11 月 5 日には全国中継放送 (札幌-仙台間は無線中継、仙台-東京-名古屋-大阪-広島-熊本間は中継線) が開始される。

ラジオ受信機では 25 年に東京電気からサイモホン、芝浦製作所からジェノラのブランドで真空管ラジオが発売されている<sup>\*7</sup>。東京電気は弱電、芝浦製作所は重電である。ともに三井系で GE と

資本・技術提携関係にあった。39年には両社は合併し東京芝浦電気となる。20年代末までラジオは直流電流式のバッテリー駆動であり、真空管ラジオは余り普及はしていなかった。交流式が普及し出すのは米国に2年ほど遅れて28年頃からとなる。東京電気から交流用の検波管や出力管が販売されるのは28年である。所得水準が低い(世帯収入は月30円)こともあり価格が高い真空管ラジオの普及は初期的には限られたものであった。

一方、方鉛鉱や黄鉄鉱を検波素子に使う鉱石ラジオは米国ではそれほど普及しなかったのに対し、日本では20年代末でも過半を占めていた。鉱石ラジオでは聴取可能地域は放送局に近いところに限られる。

\*1 日本無線はコヒラ検波器を使った三六式無線通信機を開発(製造は安中電機製作所：現アンリツ)した元海軍技術者らにより15年に設立される。日露戦争で「敵艦見ゆ」の電信はこのコヒラ検波器が使われた。終戦後、日清紡の支援を受ける。尚、日本無線の半導体子会社はRaytheonとの合併として設立された新日本無線(現：日清紡マイクロデバイス)。

\*2 Laboratoire Central de Télécommunications(LCT)は1916年に設立された国立の通信中央研究所。本来は通信規格の策定などが業務の中心であったようだが、Laboratoire de Télégraphie Militaire(軍事通信研究所)なども吸収し通信用真空管などの研究も行ってたほか、LCTブランドで真空管の販売も行ってた。日本電気は32年に技術者1名(小林正次、61年専務、63年退社し70年まで慶応大学教授、58年には日本学術会議会員に選出されている)を1年間派遣し真空管の製造技術を習得させ翌33年より真空管製造を開始している。

\*3 川西機械は1920年に飛行機メーカーとして川西財閥によって設立される。28年に飛行機部門は川西航空機(現：新明和工業)として独立。戦後、神戸工業と改称。68年に富士通の傘下に入り半導体部門は富士通本体が吸収、ラジオ部門などは独立し富士通テンとなる。

\*4 1925年末のラジオ聴取契約者数は東京放送局131,373件、大阪47,942件、名古屋14,290件の合計193,605件。32年2月には聴取契約が100万件を突破し、35年4月には200万件、37年5月には300万件、39年1月には400万件、40年5月には500万件と着実に増加を続ける。尚、ラジオの生産台数(物品税課税ベース)は35年4月から40年3月の5年間で2,332,832台であり、輸入数は特に目立ったものではなく、ほぼこの間の契約者数の増加300万件は生産数233万台をかなり上回っている。物品税を逃れている自作機などが終戦直後と同様多かったのかも。

\*5 試験的な放送としては、22年頃から既に始まっており、東京朝日新聞や東京日日新聞(現：毎日新聞)、報知新聞が担っていた。また新聞社による独自のラジオ放送も行われ、例えば24年には、大阪朝日新聞による皇太子裕仁親王(昭和天皇)御成婚奉祝式典(1月26日)や大阪毎日新聞による第15回衆議院議員総選挙(5月10日)開票の放送がなされている。言論統制の為か、1923年12月、逓信省は放送用私設無線電話規則を制定し公益法人のみに放送事業を許可する方針とし、新聞社等の民間は排除。

\*6 当時の無電源の鉱石ラジオや単球式真空管ラジオでは、例えば熊本放送局の電波を福岡県で受信するには無理があった。30年12月6日には九州で2番目の放送局として福岡放送局が放送開始、31年12月21日には3番目として小倉放送局が放送開始する。福岡県の契約者数は28年に1,500件、31年には12,000件。放送局の設置は植民地も含め続き、熊本放送局(那覇から790km)管轄下の沖縄では距離的に近く31年開局の台北放送局(那覇から630m)からの放送も聴取されていた。42年3月19日に沖縄放送局が開局する。

\*7 その他に放送開始前後に、真空管ラジオでは、安中電機製作所(単球式価格不明：形式認定取得日24/12/20)、大阪電気製作所(単球式価格60円：形式認定取得日24/12/20)、日本無線(単球式価格55円：形式認定取得日25/3/4)などが販売されている。東京電気のサイモホンは2球式で価格90円、形式認定取得日25/2/7。少なくとも1球式の場合は、ヘッドホン(両耳型レシーバー)ないしは、安価な国産品が普及するまでは海外製の高価なホーンスピーカーなどが必要であったし、電波の弱い地域での聴取のためには増幅用の拡張機(2球式、ほとんどラジオと同じ形状で並べて使う)も使われることもあった。

## (鉱石ラジオから真空管ラジオへ)

早川金属鉱業研究所(現：シャープ)から25年2月に鉱石ラジオが3円50銭で販売され好評を得る<sup>\*2</sup>。翌26年には中国を始めアジア各国に輸出もされている。これにより24年に3人の従業員で再出発<sup>\*1</sup>したシャープは

再建に成功する。シャープの起源は12年に9年間の丁稚奉公を終えた早川徳治が19歳で東京本所(墨田区)に金属加工工場を開いた時に始まる。15年にシャープペンシル(早川式繰出鉛筆)を発明(改良)する。当初は全く売れなかったものの、欧米で売れるようになり、海外での高い評価が伝わって国内でも注文が殺到するようになる。23年の関東大震災で工場が全焼、妻子も亡くし、債務返済のため大阪の債権者に焼け残った機械設備および特許の無償での使用权を引き渡しての無からの再出発であった\*3。

シャープは28年には真空管式(交流)に参入している。シャープのラジオの価格は30年には65円、そして32年にはベストセラーとなった真空管4本使用の富士豪33型を35円。以後、36年には27円、37年には24円。これらシャープ製の価格が売れ筋の価格だった。

真空管ラジオの価格低下は鉱石ラジオからの需要のシフトをもたらすが、シャープの32年の35円という価格は、機器の価格差は大きくとも、月1円と言う受信料を考慮するなら総費用差は鉱石ラジオに比べたいして大きくはなく、鉱石から真空管への需要を大きくシフトさせる転機となる価格水準であった。

松下が真空管ラジオに参入したのは31年、後発としては八欧(現:富士通ゼネラル)が38年、帝国電波(現:クラリオン)が40年に参入しているが、30年代前半を中心に180社ほどの真空管ラジオメーカーが誕生している。主要なメーカーとしては、関東の山中電気\*4(ブランド名テレビアン)、七欧通信機\*5(ナナオラ)、関西の松下電器(ナショナル)、早川金属工業(シャープ)があり、そのほか主だったところとして、財閥系の東芝、三菱、日立、日本電気、関東では安立電気(現:アンリツ)、日本無線、八欧、帝国電波、日本精器(50年頃倒産)、関西では戸根(50年頃倒産)、双葉(50年頃倒産)、大阪無線(ダイヘンの子会社、50年代に清算)などがあつた\*6。

真空管ラジオにより日本の電子部品も高度化していく。鉱石ラジオ関連部品は粗悪部品が多く、コンデンサーなどは性能・品質の劣った紙コンデンサー\*7がもっぱら使われていたが、30年代に入りこれらの部品も真空管式への需要シフトに対応し、優れた外国製部品を真似ることにより高度化していく。それなりの技術力を備えた新興の部品メーカーが誕生するのはこの頃からであった。日本ケミコン(31年)やエルナー(34年)などはこの時代に電解コンデンサーの事業化のために設立されている。

\*1 早川徳次郎が早川金属工業研究所を設立して間もなく、それを聞きつけた慶応大学教授の岡田満から歯科治療に使われるスベップリングチューブ(以前岡田に納入したことがあつた)の発注を受けるとともに、借用書無しで(借用書を受け取ろうとせず)設備費用として1,000円の融資を受ける。初年度の売上は金属文具とともにスベップリングチューブが大きな売上となり、事業が軌道に乗ることになる。

\*2 シャープの他にもラジオ放送の開始とともに鉱石ラジオの製造に参入した企業がかなりあつた。25年設立の池田無線(昭和無線→SMK)も鉱石ラジオのために創業され25年4月に販売を始める。昭和無線(29年1月社名改称)は32年頃に真空管ラジオに参入。

\*3 シャープはラジオ事業が順調に立ち上がると、片付いたはずの債務問題がぶり返され、借金返済にしばらく追われることになる。

\*4 山中電気(山中製作所)は21年創立。1925年「ダイヤモンド」ブランドで直流電源のラジオやスピーカ(ホーン型)を販売している。28年にはエリミネータラジオ(交流電源)を販売するほか東京電気のラジオ受信機サイモホンの下請けとして部品加工などを行う。電力会社などでラジオの販売をするとも有つたが、そうしたところにOEM販売をおこなっている。ラジオ組み立てに必要な部品はほとんど内製しており内製率が高く、それを生かした経営を行っている。戦後の混乱期、ドッジラインによる不況を乗り切つたものの、TVで躓き1954年に発売するものの翌年には撤退、1956年に東芝の傘下に入った。

\*5 七欧通信機は24年にラジオ用のラッパ型などのスピーカ製造で創業。当時のラジオはまだスピーカ外付けが主流であつた。ラジオ部品や蓄音機部品を手広く扱っていた。1931年にはマグネティックスピーカ内蔵の3球エリミネータ受信機ナナオラ100型を発売しラジオに進出。1950年代から始まつたTV競争でも1953年TVを売り出し初期的には順調に立ち上がったもののシェアは3%程度で低迷してしまい苦境に陥り1957年に東芝傘下に入った。高価なTVは一般大衆への販売はローン販売が主となり、ラジオとは異なる販売網の確立が必要だった。

販売網の整備には莫大な資金を要し、それができるのは大資本の総合家電メーカーだけだった。三洋電機が53年に従来の半額の低価格の洗濯機(28,500円)の販売を始めるが、その拡販のために特約契約で販売店の囲い込みを図っていた。そうした動きの後、57年に松下電器が「ナショナルショップ」と「ナショナル店会」を発足させ系列店政策を開始する。松下は当時主流であつた各メーカーの併売店を自社の専売店にするために自社メーカーの取り扱い比率に応じて与えるいわゆるレポートなどで囲い込みを進め傘下におさめた。

それに続き日立は日立チェーンストール、東芝はマツダリンクストア、三菱はダイヤモンドショップ、早川がフレンドショップなどの名称で電気店の囲い込みが一斉に始まった。

\*6 44年時点で、750万台のラジオが設置されていたが、終戦時には160万台が戦災で破損、190万台が部品交換等の修理が必要な状態であり、100万台が老朽化といった理由で使用不能で、使用可能数は300万台に過ぎなかったといわれる。

ドッジ(ライン)不況(恐慌と言うべき:49~50年)とラジオが戦前の水準まで普及が回復してきたこともあって、49年に200社あったラジオメーカー数は、翌年には数分の1に激減し多くの準大手・中堅メーカーが破綻する。生産台数は48年の807,398台から50年には287,410台にまで減少する。

部品を買ってラジオを組立てると、ラジオにかかる高率の物品税を払わなくてすみ、直接的な材料費のみなら半額に近い値段で制作できるので、街でのラジオ組立(および物品税を逃れた闇業者)が盛んであり、50年にはセットメーカーの生産台数の約3倍のラジオが中古品の再生販売等も含め街で組立販売されたと、セットメーカーの生産台数や真空管の生産本数、聴取契約加入数などの比較から推定されている。

一方、そうした自作などが多くなるのと、それとともに四畳半工場的な業者や修理業者などから部品業に参入し、本格的な部品業者へと成長していくものが現れてくる。トリオ、アルプス、菊水、ミツミ、ロームなど戦後派の部品メーカーにはその後の日本の電子工業の中で重要な地位を占める企業に成長したものも多い。一時的にせよ、戦後の混乱期に出現した非正規の市場の拡大が新規参入を促進したと言える。

52年(暦年)にはラジオの生産台数は939,307台に達し、戦前のピークである41年(年度)の917,011台を超え、税率が5%に下がった翌53年には1,407,112台に達する。

尚、ラジオの物品税(工場出荷時)は38年10%、41年20%、44年60%。1947年から49年までは30%、以降引き下げられていき53年には5%。

\*7 紙コンデンサーは誘電体として紙(油紙)を使用。現在でも紙はスパーサとしては使われることが有る。

## 第二章 トランジスタの誕生

### Bell 研

1904年に Fleming により二極管が発明されるが、同じ年にインドの Jagadish Bose により鉱石検波器も発明される。この鉱石検波器はやがて真空管にとって代わられていく。天然鉱石と接触した金属面の電導度に非オーム性があることは既に 1835 年に発見されている。しかし検波作用が起こることは分かるとしても作用が複雑なため理論的な解明は遅々として進まなかった。例えばイギリスの Harold Wilson が 1932 年にトンネル理論を出す、38年の Schottky の半導体と金属間に形成される空乏層 (Schottky barrier) の概念などにより否定されかけてしまいそうになったりする。そしてこのトンネル理論がある特殊な状態において成り立つことを 57 年に江崎 玲於奈が立証することになる。紆余曲折を経ながらも、20 年代半ば以降、原子の中の電子の状態を記述できる学問として完成をみた量子力学は、それ以降半導体などに応用され、現象の理論的解明を助けることになる。

真空管の陰に隠れ半導体の研究はあまり産業界からは注目されることは無かったが、30 年代半ばにレーダーの開発が盛んになってくると真空管では高周波特性が悪く、再び鉱石検波器が見直されることになる。またリレー式電話交換機の接点不良に T&T は悩まされていた。こうした中で Bell 研の研究部長 (Director of Research) であった Mervin Kelly が半導体に着目することになる。Bell 研は天然鉱石に頼る偶発性の高い手法を改め、特性を握る鍵は材料 (結晶) にあるとして 35 年に材料研究チームを発足させる。William Shockley が入所したのは 36 年 9 月であった。

47 年 12 月に Bell 研の Walter Brattain<sup>\*2</sup> と John Bardeen<sup>\*3</sup> によって点接触型トランジスタが発明<sup>\*4</sup> される。入所以来<sup>\*5</sup>、個体増幅器の研究に賭けてきた Shockley は先を越されてしまう。Shockley の真の貢献はこの発明直後から始まる。翌 48 年 1 月に Shockley は接合型トランジスタを考案する。点接触型に比べ更に進んだ構造であったが、その制作を可能とするゲルマニウム結晶製作技術は未だ完成されていなかった。また 49 年 7 月発行の Bell System Technical Journal に掲載された論文でトランジスタの動作原理を解析するとともに更に革新的なトランジスタの実現を予見することになる。そして 50 年に Gordon Teal によりチョクラスキー法<sup>\*6</sup> による高純度の単結晶製造技術が開発され、この技術を基に 51 年に二重ドーピング法による接合型 (成長接合型) TR が開発され、Shockley の予見通りの増副作用が確認される。接合型トランジスタは増副作用が Ge 結晶の内部でおこなわれるため製品の特性のバラツキが少なく信頼性も高く量産性に優れているため注目されることになる。この開発こそが Shockley をノーベル賞受賞へと導くことになった。

Bell 研はその後も、選択拡散法やエピタキシャル成長法などを開発し、今日の半導体製造工程の原型となる手法である、拡散/酸化、露光/エッチング、膜成長の技術を確立させ草創期の半導体技術をリードしていく。TR は広範な専門分野にわたる横断的な研究組織、充実した実験設備、明確な開発目標を与えた AT&T などのニーズ、そしてそれらの統合のなかで誕生する。

AT&T (Bell 研は AT&T の研究部門) は反トラスト法訴訟 (49 年より、Western Electronics の分離を含む) を意識したのか、特許開放政策を採る。

また内製 (製造は Western Electronics) を原則とし積極的には外販は行わなかったため市場でのプレゼンスを得ることは少なかった<sup>\*7</sup>。また研究者の社外への流失を制限しようとはしなかったため Bell 研出身の研究者たちが半導体産業の草創期に大きな役割を果たすことになる。

\*1 鉱石ラジオの場合、探り式が主流であった。金属針 (cat whisper) などで鉱石表面の感度の良いポイントを探る方式であった。受信周波数や鉱石の結晶 (多結晶) 状態等により同じ鉱石の表面でも受信特性にバラツキが多かったのに加え、結晶表面や金属表面が酸化な

どにより劣化するため、その酸化膜などを引っ搔いて擦り取る必要もあった。なお、シャープは固定式。

\*2 Brattain の弟に赤外線吸収スペクトルの研究および応用により大きな業績をなした Robert Brattain がいる。弟の Robert と Bardeen はプリンストン大学時代の友人であり、弟を通し、Brattain と Bardeen は旧知の仲でもあり二人は極めて仲が良かった。一方、二人と Shockley の関係は Shockley の性格のためであって極めて嫌悪であった。

\*3 Bardeen は 45 年末に Bell 研入所。51 年に Illinois 大学へ。56 年に Shockley、Brattain とともにトランジスタの発明によりノーベル物理学賞を受賞し、更に 72 年にも超電導の研究で 2 度目の受賞をする。ノーベル物理学賞を 2 度受賞した唯一の人物。

\*4 Bell 研のトランジスタ特許は 48 年 6 月 17 日に出願されるが、その 1 か月半後の 48 年 8 月 13 日には WH のフランス子会社の Herbert Matare と Heinrich Welker (Ge 単結晶製作) によって同様の特許が出願されている。これは大戦中、独 Telefunken 社のポーランド Wroclaw にある研究所(ベルリンから疎開)在勤中に Herbert Matare が発見した現象を基にしたものであった。作戦中・戦後の混乱により研究が中断(研究再開は 2 人とも 47 年初めに WH に入社後)したことにより、また論文等の発表の機会が無かったことにより TR 開発の栄誉は Bell 研の Bardeen らに帰すことになる。試作された TR はミュンヘンの Deutsches Museum に展示されている。尚、日本でも NHK 技術研究所の内田秀男によって同様の増副作用が Bell 研に先立って(ないしはほぼ同時期に)確認されている。

\*5 Shockley は二次大戦中の 42 年 5 月から終戦時までの 3 年間ほど Bell 研を離れ、海軍のレーダー開発など委託研究に従事。

\*6 チョクラスキー法はポーランド出身の Jan Czochralski がドイツ AEG(ドイツエジソンとして創業、GE と関係が深い)在職中の 1916 年に開発した高純度単結晶製造法。

\*7 Western Electronics は 48 年に点接触型 TR の製造(試作)を始め 52 年には二重ドレーピング法により製造された Ge-TR を発売し技術的・製造的に業界をリードしていたが外販がほとんどなく市場でのプレゼンスは低い。

尚、48 年には Raytheon が点接触型 TR の CK703 を発売するが千個ほどしか売れていなかった。51 年の改良版の CK716 でも精々 1 万個程度。事業として立ち上がるのは 52 年に発売された合金型の CK718 から。補聴器に採用され 100 万個ほど売られている。

## ライセンス供与

Bell 研は特許開放政策の一環として、また情報公開の要請が強かったこともありシンポジウムを開催<sup>\*1</sup>している。51 年 9 月には軍関係者を対象とし、続いて大学や一般企業を対象に、翌 52 年 4 月には 25 社<sup>\*2</sup>のライセンス契約企業を含む 40 社を対象に開催された。

最初にトランジスタ(以下 TR)に着目したのは U.S. Army Signal Corps であった。TR が真空管に比べ小型・軽量で低消費電力であることを高く評価し性能向上の研究のため 52 年 10 月に Transistor Program を立案し、GE、Sylvania、Raytheon など主要な真空管メーカーと契約を結ぶ。

\*1 シンポジウムは 51 年 9 月 17 日から 5 日間の開催で、軍人や軍所属の研究者 121 人、大学関係 41 人、産業界 139 人の計 301 人が参加。深刻な東西冷戦時代であったこともあり、シンポジウムに先立ち軍のチェックを受け、重要部分は軍事機密に関わるとして Gordon Teal は講演者リストから外された。また参加者は軍の審査(military clearance)を受けている。

また当初、軍に比べると産業界はトランジスタに対してそれほど大きな期待は持ってはいなかったようである。

52 年 4 月のライセンス契約企業に対する 8 日間にわたるシンポジウムでは具体的な製造技術の伝授が中心であった。国内 26 社、NATO 加盟国の 14 社の計 40 社が参加。但し、*"In crystal growing, for example, Gordon Teal wrote papers on crystal growing, but never disclosed a lot of the details of the process to get the crystals to grow."*と言われる程度の開示しかなされてはいなかった。

尚、ソニーが正式にライセンス契約を締結するのは 54 年であり、シンポジウムには参加していない。

\*2 52 年に 34 社が契約を結ぶことになる。内、22 社が実際に TR の製造を行うが、60 年代に残っているのは 12 社で、10 社は撤退している。尚、今日まで残っているのは TI のみかも。分社化して独立している企業の Siemens の Infineon と Philips の NXP も加えると 3 社の original licensee が現在も半導体メーカーとして 70 年に渡り脈絡を保っている。

尚、ライセンス料は契約一時金 \$25,000 に加え、ランニングロイヤリティが当初は TR 売上の 5%、但し 53 年に 2% 引き下げられた。

## 真空管系半導体メーカーの衰退

TR が製品化されて 10 年ほどの間に大きな変化がある。技術的には点接触型<sup>\*1</sup>から合金型やメサ型、選択拡散型(二重ドーピング)Si-TR<sup>\*2</sup>、Planer 型 Si-TR への革新がある。

点接触型 TR は WE の Allentown(ペンシルバニア州)で 50 年代前半に年数万個生産されていた。これらは爆撃機搭載のコンピュータ TRADIC(Transistorized Airborne Digital Computer)<sup>\*3</sup>や WE の交換機に搭載された。またヨーロッパや日本、ソ連でも製造されていた。点接触型 TR は 50 年代初期には周波数特性が合金型や接合型より優れていたが、信頼性、とりわけ衝撃には弱かったこともあり、直に RCA の開発した合金型が主流となり、50 年代半ばには姿を消していく。点接触型 TR は米国を中心に生涯で 1 百万個(多くとも 3 百万個)ほど生産された程度である。

51 年に RCA の Jacques Pankove や GE の John Saby 等によってほぼ同時期に合金(接続)型が開発される。RCA は積極的に合金型の技術を提携関係にあった真空管メーカーにライセンスする<sup>\*4</sup>。RCA は 53 年 5 月より合金型 TR の商業生産を開始し(この時、点接触型も同時に開始)、53 年に 100 万個、55 年には 350 万個、57 年には 2,900 万個とピークに達したが、その後は合金型 TR の最大のユースであった TR ラジオが日本勢に席卷されたことにより市場を失い生産は急速に低下する。

合金型 TR は需要面では当初は周波数特性(遮断周波数)1MHz 程度が限度であり専ら小型軽量というメリットが目され補聴器へ応用された。この時期には RCA のほか Ratheon や Sylvania なども活躍している。50 年代半ばには 100MHz を超え、2 バンドラジオのオール TR 化を可能とし TR ラジオへ用途を広げ、60 年頃には数百 MHz に達し現在とそれほどの差異の無いレベルにまで到達している。かなり広範な真空管のユースを代替することが可能となる。

これに対し Bell 研は 54 年に拡散法を開発(拡散接合型 TR)し、更に同年にはメサ型、57 年には選択拡散法を開発する。また 54 年には Ge に比べ高周波特性に劣るものの温度特性に優れる SiTR が Bell 研の Morris Tanenbaum と既に Bell 研去り TI に移っていた Gordon Teal により開発されている。そして、Bell 研の Mohamed M. Atalla<sup>\*4</sup>が表面パッシベーション技術や熱酸化技術を開発し、それを応用して Fairchild 社の Jean Hoerni<sup>\*5</sup>によって 58 年に Planar 型 SiTR が開発され TR は完成に至り、更に同じく Fairchild の Robert Noyce により Planar 型 SiTR 技術をベースにして 59 年の Monolithic Integrated Circuit (IC) へと発展していくことになる。需要面では補聴器・ラジオという限られた民生用から Si-TR では軍需に大きく依存するようになり、これは 60 年代の BIP-IC にも引き継がれていく。

\*1 点接触型 TR は日本でも作られており、56 年に開発された日本最初の TR 式コンピュータである電総研(電子技術総合研究所)の MarkIII には点接触型 TR のソニー製 T1698 が 130 個搭載された。価格は 1 個 3,971 円。および 1800 個の単価 500 円の点接触型 Ge-DI を使用。点接触型は接合型に比し速度は早いものの信頼性が低く、そのため MarkIII は故障が多かった。ソニーは当時は生産数も少なく安定した品質のものを製造できていなかったと思われる。

尚、MarkIII は Ge-Di で論理ゲートを構成し TR は増幅用に使う Diode-Transistor-Logic を採用。

\*2 熱酸化によるシリコン酸化膜を用いた選択拡散型 TR の製造にはマスク(乾板)を使って露光、エッチングするという現在の半導体製造の原型ができています。

\*3 51 年から開発が始まり 54 年 1 月に完成する Bell 研が開発した世界初の TR コンピュータである空軍向けの TRADIC Phase One Computer には 684 個の Bell Labs 開発の Type 1734 Type A cartridge transistors と、10,358 個の点接触型 DI が搭載されていた。

\*4 Atalla はエジプト出身。Atalla の開発したシリコン酸化膜を用いて 57 年には同じ Bell 研の Carl Frosch と Lincoln Derick により選択

拡散型 Si-TR が開発され、これが Hoerni の Planer 型 TR、更には Noyce の Monolithic Integrated Circuit へと発展する。また Atalla は 59 年には韓国出身の Dawon Kahng(不揮発性メモリーの基礎技術である Floating gate の開発者でもある)とともに MOS-FET を開発し MOS 型半導体への道も開くなど、Atalla は Kahng とともに半導体の進歩にとって極めて重要な役割を果たす。

\*5 Jean Hoerni はスイス生まれ。57 年に Shockley の設立した Shockley Semiconductor Laborator に加わる。翌年、Noyce らと共に Farechild Semiconductor を設立。61 年に Amelco(Teledyne)、64 年に Union Carbide Electronics、67 年には Intersil と 4 社の設立に参画する。

## 航空・宇宙関連市場

この目まぐるしい技術の進歩に多くの企業の興亡がある。米国では真空管時代から TR の初期の時代をリードした企業は 60 年代末までにほとんど姿を消して行く。真空管企業にとっては真空管事業との競合関係があり、TR は小型・軽量・低消費電力などのメリットを持つとしても、単に真空管の補完的な位置づけに過ぎなかった。そのためメリットを生かせる製品は携帯タイプという限られた応用分野に過ぎず、既存の産業用・民生用製品への応用には小型・軽量・低消費電力などは大して重要ではなく、コストや高周波特性面での劣位性の方が寧ろ大きかった。

しかし、小型・軽量・低消費電力と言う特性は航空・宇宙関係では極めて重要な特性であった。そのため航空・宇宙関連の高額な機器・システムでは TR は高価格であったがシステム全体のコストに占める比率は少なく、真空管との競合において十分な優位性を発揮できた。補聴器や TR ラジオなどの場合は TR の価格比率が高く、TR が高価格では製品コストを大きく引き上げることになり市場性を損なわせてしまうため、真空管との競合のためには低価格が必須となる。そのため用途によって価格には大きな格差があった。50 年代末では軍需は民需に対して約4倍<sup>\*1</sup>であった(軍需 7.4ドル、民需 1.9ドル)。

そして、急速な技術発展による低価格化と特性の向上は半導体の応用範囲を大きく広げ、単なる真空管の代用物を超えたキーパーツへと発展していくことになる。

\*1 TR は特性のバラツキがあるが、たいていは TR としての機能は十分に備えている。但し、ユーザーが望む特性範囲に収まるものは必ずしも高い割合で取得できるものではなく、その特性の範囲外のものには TR として十分に機能はしても所要が無い限りは不良品として破棄されることになる。軍用の装置の場合、使用個数が多く特性的にバラツキが大きいとチューニング等に多大な手間を要し生産性が損なわれるため、バラツキを抑えるため選別され取得率が低くコスト高になると推定される。

尚、米 TR メーカーは軍用としては売れなかったものを、再度分類しなおし TR メーカーなどに安値で売っていたと思われる。更に売れ残ったバラツキの大きいものは日本の中小のラジオメーカー、特に輸出向けの TOY ラジオ(玩具ラジオ、通常は TR6 個に対し 2 個程度の TR ラジオ)メーカーなどへ捨値で米国のバイヤー(TOY ラジオの発注者)を通して売られていた、ないしは無償で支給されていたと思われる。59 年に TOY ラジオの生産台数 2,125 千台、金額 1,248 百万円、単価 587 円というデータあり。尚、従業員 20 人以上の企業は台数 298,909 台、金額 272 百万円、単価 910 円となっており、TOY ラジオメーカーは零細企業が中心であった。6 個使いの TR ラジオに比べ価格は 1 桁近く安かった。60 年代半ばには日本の TOY ラジオメーカーは香港企業などとの競争で敗退して行く。

## 黎明期の半導体産業

RCA は 51 年に合金型 Ge-TR を開発し初期の TR 産業をリードする。日本企業では東芝、日立、神戸工業が 52 年に RCA から技術供与された。松下も Philips を通じて間接的に合金法のライセンスを受けている。しかしながら RCA は合金型 TR 技術を深追いし過ぎ、特に Si への流れに後れを取ってしまう。これは RCA のみではなくそのライセンスを受けた企業にも共通しており日本企業も例外ではない。大きな要因としては、Si では Ge ほど容易な合金接続形成法が無かったこと、また、当時は Ge 結晶製造が製造の大きな部分を占めており、TR メーカーが結晶も作る事が一般的であったが、融点(1,420°C)の高い Si 結晶作りは高温を要したり、また爆発

性の材料を扱ったり、更に材料の精製など技術的に多くの課題があり、TR メーカーの手におえるものではなかった\*1。

RCA の他では、Texas Instrument(TI)と Transitron Electronic(マサチューセッツ州 Wakefield)が 50 年代後半の市場をリードする。ベル研出身の技術者が TI や Transitron の中心的な役割を果たした。

Transitron は東部のラジオメーカーに少なからず依存しており、ドーピング法（拡散法）による接合型 Ge-TR で急成長するものの、日本企業に市場を奪われた米 TR ラジオメーカーの衰退とともに 50 年代末には早くも勢いが失せるが、その後も軍用・コンピューター用を中心に高信頼性の個別半導体メーカーとして 80 代半ばまで存続している。SiTR への転換も迅速だったものの、どうしてか 60 年代初期に MOS 技術などの研究を進めていたものの IC へは進出しておらず、IC との競合により市場を奪われていくとともに、多くの技術者も他社へ去って行く\*2。

#### トランジスター生産額(59年)

TI	100 百万ドル
Transitron	45
GE	45
RCA	42

\*1 日本の場合、Ge の結晶作りは TR メーカーの内製であったが、Si に関しては信越化学、小松電子(現:SUMCO)、大阪チタン(現:SUMCO)、日窒電子化学(現:SUMCO)、日本電子金属(現:SUMCO)などの中堅の化学メーカー(及びその新設した専業子会社)が担うことになる。

尚、現在 Si-wafer では信越がトップであり SUMCO がそれに次ぎ、両社で世界シェアは 6 割超のシェアも持つ。

\*2 東部の TR メーカーは衰退したり、IC への進出に出遅れたり進出をしなかった企業が多く、多くの技術者が TI やシリコンバレーの IC メーカーへ去っている。

55 年に MIT を卒業後 Sylvania Semiconductor に入った Morris Chang は 58 年には TI へ移る。84 年に TI を去り General Instrument の社長を経て台湾に戻り、87 年に TSMC(一時外れるが 2018 年まで CEO を務める)、94 年には Vanguard の設立に参画し、今日の台湾半導体産業の発展の立役者となる。尚、TSMC は Philips を筆頭株主(28%)とし、台湾政府(21%)などの出資によって設立されている。日系企業などとのクロスライセンス契約などでは Philips の子会社として Philips によってカバーされていた。

尚、Philips の保有比率は 2003 年までに 21.5%に減り、2008 年までに全保有株を売却している。

尚、Wafer process(前工程)の国別シェア(200mmwafer 換算の月産ベース)では 2020 年末において、台湾 4,448 千枚/月(シェア 21.4%)、韓国 4,253 千枚/月(20.4%)、日本 3,281 千枚/月(15.8%)、中国 3,184 千枚/月(15.3%)、北米 2,623 千枚/月(12.6%)となっており、台湾がトップである。東アジア 4 か国で世界シェアの 73%を占めている。

## TI の成功

1930 年に地震学を応用して油層を探索するサービス会社 Geophysical Service が Jhon Karcher と Eugene McDermott によりテキサス州 Dallas に設立される。39 年に Coronado Corporation Inc.(GSI)と改称されるが、機器製造部門は Geophysical Service の名で子会社として存続する。そして 41 年に GSI は McDermott、John Johnson、Cecil Green、Henry Peacock によりいわゆる Management Buyout によって買いとられる。第二次大戦中に油層探索の技術を潜水艦検知に応用することにより軍需と結びつく。51 年に Texas Instruments と改称される。戦後も爆撃機のレーダーシステムの開発など軍との密接な関係が続く。50 年には従業員 1,128 人、売上高 7.6 百万ドルとなっている。

Bell 研(WE)からライセンスを受けた企業は真空管関連企業が中心であったのに対し、TI は異分野からの進出と言える。WE は TI が TR を作れるとは思っていなかったと云われる。Bell 研からライセンスを初期に受けた日本の企業\*1 の内、ソニーを除けば全て主要な真空管メーカーである。ソニーの場合 53 年に WE と仮契約を

結ぶが、その契約を認可する立場にある通産省がなかなか認可せず本契約を結ぶのは翌 54 年になる。貴重な外貨の無駄遣いだと考えられてしまったのかもしれない。ともあれ日米とも門外漢のような企業の方が成功していた。

\*1 59 年の時点で、WE より東芝(53 年)、ソニー(53 年仮、54 年本)、神戸工業(54)、日立(54)、三菱(54)、富士電機(58)、三洋(59)がライセンスを受けている。また、RCA のライセンスは神戸工業(51)、東芝(52)、日立(52)、松下(52、Philips より間接)、ソニー(57;ライセンス料率 1%)、富士電機(58;1.5%)、三洋(59:1.5%)。ライセンス料率は WE2%、RCA3%がベース。

## Gordon Teal の入社

TR は点接触型の発明に続き Shockley によって 48 年に接合型が考案されたが、この接合型 TR が試作されたのは 3 年後の 51 年であった。これに関して大きな役割を果たしたのが Gordon Teal であった。Ge 単結晶が TR 技術の革新に必須であると主張<sup>\*2</sup>したものの認められず解雇覚悟で開発を行ったと言われる。

52 年に Teal が生まれ故郷の Texas に戻ろうと思っていた時に、たまたま New York Times 誌に載った TI の求人広告を目にしたのが入社するきっかけだったといわれる。そして Teal が TI に入社<sup>\*2</sup>したことを知りトップクラスの科学者や技術者が TI に集まってくる。

\*1 点接触型 TR には Ge 多結晶が使われていた。

\*2 Teal の入社は 53 年 1 月。Research Director として、先ず Dallas に Central Research Laboratory を創設する。

## 世界初の TR ラジオ

TI は 54 年に高周波の成長接合型 Ge-TR の量産に成功する。TI はこれを使い TR ラジオを試作する。当時主流の合金型 Ge-TR は周波数特性が悪くラジオ用としては未だ無理があった。TI は TR ラジオの製造販売会社を求め RCA、Sylvania、Philco などの大手ラジオメーカーは興味を示さず、結局はマイナーな Indianapolis の IDEA Corp が(開発<sup>\*1</sup>)製造販売することになる。Brand 名の REGENCY は IDEA が TV signal booster(TV 電波が弱い地域が多かった)などで使っていたブランド名であり、TI の名前はでてこない。

53 年に試作された TR ラジオは 6TR 型であったが TI(及び IDEA)は小売目標価格を 50ドルと設定してコストダウンのため 4TR に設計変更し、更に TR のコストは十数ドル掛かっていたが量産時における原価低減の目的を立て、これを 1 個 2.5ドル(計 10ドル)で IDEA に供給する。他の費用は 17~18ドル程度であった。54 年 11 月に本体小売価格 49.95ドル(オプションの革製のカバー 3.95ドル、イヤホン 7.5ドルを含めると 61.4ドル)で売り出される。

コンデンサー等の部品メーカーは小型部品の制作に消極的で調達できず、部品面では単に真空管を TR に置き換えたものであったが、それでも空間を余すところなく、且つ整然と部品が配置され、またほとんど配線が無いスッキリした設計となっており、いわゆる Shirt-Pocket-Size(12.7 cmx7.62cmx3.2cm でシャツのポケットには納まらない)を実現した。REGENCY TR-1 の誕生である。REGENCY TR-1 は 14 万台(販売きかん年)が売られたが成長接合型 Ge-TR の歩留まりが低かったこともあって十分な生産ができなかった。

市場に受け入れられる価格設定を行い原価低減に努力する TI 半導体ビジネスの原型が出来上がっている。TI は 30 年後にパソコンにおいてもこの手法を貫こうとしたが失敗してしまった。

TI に続き、翌年には Raytheon、Zenith、Emerson、RCA、GE、Admiral、Arvin などが一斉に参入する。これら

は TI 製より若干大き目のサイズで Coat-Pocket-Size<sup>\*2</sup>とでも言うべきものであった。

TR ラジオは米国でブームとなった。一つには当時は冷戦の只中で米政府は有事のための対策としてラジオに着目し、51 年に有事放送局(Conelrad Stations)を開局し、53 年(63 年まで)からはその周波数である 640kHz と 1240kHz の 2 か所に CD(Civil Defence)マークをラジオに付けることを義務化している。政府のプロパガンダの類で、ソ連からの核攻撃<sup>\*3</sup>を起ころうる現実の恐怖として認識させるためだった。そしてラジオがサバイバルのための必需品であることを盛んに宣伝するようになるが、携帯型の TR ラジオはまさに打ってつけの製品であった。有事は起こらなかったものの TR ラジオは 50 年代半ばからのロックンロール世代の必需品となりヒット商品となっていく。そうした中でやや遅れて登場したのがソニーの TR ラジオであった。57 年に米国の TR ラジオ生産金額は 77.7 百万ドル、58 年 82.3 百万ドル、そして 59 年にはピークを迎え 93.7 百万ドルとなる。一方、この間、日本からの輸入が 57 年 5.6 百万ドル、58 年 16.0 百万ドル、59 年 55.2 百万ドルと急増していく。

\*1 TI が試作したプロトタイプを基に IDEA Corp が再設計。量産の民生用機器としてはほとんど使われたことがないプリント基板が採用されている。TR などピンタイプの部品を多く採用しプリント基板のホールに差し込み半田槽で一括して半田付けをしている。IDEA は TR ラジオに関し特許申請(55 年 3 月、成立は 59 年 6 月)を行っているが、少し TI と揉めたようで、結局それを TI が 25,000 ドルで買い取ることで決着。

\*2 例えば、もともとポピュラーであった 57 年発売の Zenith Royal 500(7TR、価格 75 ドル)のサイズは 14.6cmx8.89cmx3.81cm で容積的には REGENCY TR-1(310cm<sup>3</sup>)に比べ 6 割(495cm<sup>3</sup>)ほど大きい。尚、Sony の TR-63 は 112mmx71mmx32mm で TR-1 に比し容積では 2 割小さい。

\*3 核攻撃に耐える通信網として 61 年から開発が進められたのがインターネットの前身となる ARPA-NET である。64 年に Rand Corporation(Santa Monica にある空軍と密接な非営利の研究機関で 48 年に Douglas Aircraft から分離)の Paul Baran が原型を考案した。69 年に UCLA から Stanford 大学を経由して Utah 大学へメッセージを送る実験に成功している。

## Si-TR

TI は Ge-TR を深追いすることはなく、Si-TR に開発リソースを集中し他社を大きく引き離す。54 年 4 月に開発に成功し、翌月には製造を開始する。Si-TR は周波数特性において Ge-TR に劣るものの、耐熱性に優れ 57 年には米国初の人工(軌道)衛星 Explorer1 号<sup>\*1</sup>に搭載されるなど軍需・航空宇宙関係のニーズに適っていた。他社に対して数年のリードとなる。

当時の TR 製造は Ge や Si の単結晶作りが製造、研究開発共にキーであり Teal を擁する TI がリードする。研究と製造は地理的に離れているのが一般的だったのに対し、その後も TI の研究開発は製造と一体であり研究所は製造工場の位置されており連携が良かった。

\*1 Explorer1 号はソ連が 57 年 10 月 4 日のスプートニク 1 号を打ち上げた 4 か月ほど後の 58 年 1 月 31 日に打ち上げられた。スプートニク 1 号が 92 日間で落下したのに対し、Explorer1 号は 12 年以上地球を回り続けた。尚、ソ連は 46 年 10 月に占領地域にいたドイツの科学者・技師・職工・その家族の計 2 万人をモスクワ近郊などの一種の強制収容所に収容し開発に協力させた。翌 47 年 10 月、米国に先駆けソ連はロケット(ほとんどドイツの V2 ロケットと同等)打ち上げに成功する。スプートニクは言うなれば V2 ロケットのエンジン 5 基を束にして推進力を得ていた(クラスターロケット)程度のもので、実質は米国にかなり遅れていた。尚、終戦時には既にドイツは大陸間弾道ミサイルを作る技術を持っていた。ソ連は推進力を得るためエンジン基数を増やしていくが、増やすにつれエンジン同時制御が困難を極め、約 30 基のエンジンを要する有人月面着陸ロケット計画は断念に追い込まれることになる。

## IC の発明

TIは50年代末にU.S.Army Signal Corpが推進したMicro-Moduleプログラムに参加していた。このプログラムではRCAが中心的な役割を果たしていた。Micro-Moduleはサイズが標準化されたモジュールにTRなどで回路を形成し、複数のモジュールを垂直に重ね合わせ小型軽量化と信頼性を実現しようとしたものであった。

58年9月にJack KilbyはMicro-Moduleの代案としてMiniaturized Electronic Circuitを開発した。これがICの原型となる。11mm×1.6mm角の細長いGeチップに1個のTRと抵抗など計5素子が電氣的に絶縁されて形成、それらが細長い金線によって空中配線されていた\*1。この製法では集積度的には精々10素子程度が限度であり量産性も極めて低いものである。59年2月に特許申請(5年後の64年6月に成立)され、翌月にIRE(Institute of Radio Engineers)ショーで公開された。

これに対してFarechildのRobert Noyce\*2はPlaner型TRを応用して、Si-chip上にそれぞれ絶縁されたTR(1個)、DI(1個)、コンデンサー(2個)、抵抗(3個)を形成し、アルミ蒸着・エッチングで配線パターンを形成し配線したバイポーラ型集積回路\*3を開発し59年7月に特許出願(61年4月成立)している。これは今日のIC構造の基礎となるもので、実用的な価値はKilbyのMiniaturized Electronic Circuitに比べ遥かに高いものであった。TIはノイス特許の無効を求めて訴訟を起こし10年間に渡って争われることになる(Noyceが勝利)。

\*1 KilbyのMiniaturized Electronic Circuitは一個の半導体チップ上に全ての素子を集積するというアイデアであった。58年9月12日にこのアイデアをベースにして作られた発信器をKilbyはTI社の幹部が見守る中で見事に作動させた。これを契機にTI社はマイクロモジュール方式に変えてKilbyが考案したモノリシック方式を本命として推進することになる。

\*2 Noyceは1990年に他界していたため、2000年のノーベル物理学賞のテーマに半導体集積回路が選ばれた時点では候補者に上らなかった。

\*3 厳密に言うと、NoyceのICは熱酸化により二酸化シリコン薄膜を形成し、それを絶縁膜としてその上にAl蒸着・エッチングにより配線パターンを形成、およびPN結合の逆方向には電流が流れない特性を利用して素子間を絶縁させた。また、抵抗はアルミ配線の長さ・幅を調整することによって作成(代用)した。

## 海外製造展開

TIは60年には売上2億33百万ドル、従業員17千人に発展する。

### TIの概況

	売上(百万ドル)	人員(人)
50年	7.6	1,128
60年	232.7	16,881
70年	828.6	44,752
80年	4,100.0	89,875

TIは海外への製造展開にもかなり積極的で、先ず56年のイギリスを皮切りに先進国での現地一貫生産を開始し、60年代末には東南アジアでの組立試験工場設立している\*1。また57年設立のFarechildも61年に香港、64年に韓国(ソウル近郊の富川)、68年にシンガポールに進出している。その他、ほとんどの米国半導体企業は東南アジアを中心にして、メキシコ(米国境地帯、比較的小規模)など組立・試験は海外に依存していた。TRの組立試験工程は極めて労働集約的でありアジアの拠点の多くは人員規模としては1,000人~3,000人程度である。東南アジア・東アジア諸国が電子産業の製造拠点として発展していく契機となる。

労働集約的な後工程(組立試験)を低賃金の東南アジアに展開することで、TIは日系企業に対してもコスト

優位性を維持した。ICの初期の代表的な製品であるBIP-ICの汎用TTL(Transistor-Transistor-Logic)の74シリーズなどでは圧倒的な価格競争力を持っていた。

TIは70年に自社製の16ビットミニコンHAL-9で制御した半自動機のIC組立用のwire bonder装置ABACUSを開発しTexasのSherman工場に13台設置したのを皮切りに72年には全自動のABACUS-IIを開発し約1,000台を世界中の工場に設置するなど省力化にも積極的であった。それでも成長に伴いかなりの人員を必要とし東南アジアへの依存を高めて行く。

また、空輸<sup>\*3</sup>により軽量・高価なチップは米国から運ばれたものの、パッケージは日本企業から調達されるようになり、半導体組立が東南アジアに集中するようになったことで日本の半導体パッケージメーカーが発展していく。逆に日本企業から部材を調達できたことがアジアでの半導体組立の立地としての優位性だった。

日本企業のICリードフレームへの参入は新光電気<sup>\*4</sup>が68年、三井ハイテックは70年だった。三井ハイテックは72年にはシンガポール、73年には香港に生産拠点を設立するなど海外展開に積極的だった。また多ピンの高精度のリードフレームはエッチングにより製作されていたが、三井ハイテックは精密プレス加工により製作することに成功しコストを低減させた。セラミックパッケージ<sup>\*5</sup>では、新光電気が66年、日本特殊陶業が63年、京セラが68年に参入し、日系企業がICパッケージでリードするようになる。

#### TIの海外生産拠点展開

56年	イギリス	一貫生産	Bedford(スコットランド)
61年	フランス	一貫生産	Nice
66年	西ドイツ	一貫生産	Freising(ミュンヘン近郊)
68年	日本	一貫生産	鳩ヶ谷(埼玉県)
68年	イタリア	一貫生産	Rieti(ローマ近郊)
68年	シンガポール	組立試験	
69年	台湾	組立試験	台北
72年	マレーシア	組立試験	クアラルンプール
79年	フィリピン	組立試験	バギオ(ルソン島中部)

尚、TIの日本進出は資本自由化前だったため、日本の半導体産業の保護育成を図る通産省によりなかなか認可されなかった。これに対しTIがIC特許<sup>\*6</sup>の公開を拒否したため、通産省はソニーとの合弁(TI:49%)での進出を認可し、68年5月によりやく日本TIが発足する。そして71年にはソニーは手を引きTIの100%子会社となる。

そして、TIは73年に大分の日出工場<sup>\*7</sup>が操業を開始し、69年に設立された熊本の九州日電とともにシリコンアイランド九州を代表する工場となる。一方、FairchildはTDKとの合弁<sup>\*8</sup>で72年に長崎県諫早に進出する。日系、米系とも70年前後に相次いで九州に進出<sup>\*9</sup>することになるが、要因として当時は求人難で、特に半導体にとっては若年女子労働者の確保が切実な問題であった。そのため若年女子労働力確保のため九州や東北への工場展開を行っていた。

80年のTIの従業員数は9万人、売上41億ドル、Motorolaは7万人、売上31億ドル、National Semiconductorは4万人、売上10億ドルに達した。

\*1 表面劣化に強いPlaner Si-TRの開発によって海外への組立試験工程の展開が可能となった。Planer Si-TRは選択拡散のために形成された酸化シリコン層が表面を覆っており、それが保護膜の役割を果たしている。Planer TRを開発しいち早く量産化したFairchildが東南アジア展開の先陣を切っている。TIとモトローラは省力化・自動化に積極的に取り組んだのに対し、Fairchildなど中堅メーカーの方が組立試験工程の海外生産展開では先行する。進歩が急速であった柔軟性に乏しい自動機より得策だったのかも。他社ではGeneral Instrumentの64年の台湾高雄、65年のMotorolaの韓国ソウルへの展開があるものの、本格化するのは60年代末からとなる。

\*2 16ピン換算で、半自動機の ABACUS は 400 個/シフト(8 時間)。尚、手動機ならば熟練の作業員なら 400~480 個/シフトであり熟練作業員並の能力を持っていた。効率は良いとは言えないが、手動の場合、作業員のスキルの高低によるバラツキが多いが半自動機によりバラツキを抑えることができる。ABACUS は改良版を含め 58 台生産された。1 台当たりの制作費は 65,000ドルだった。

一方、BACUS-II(制御は TI960A ミニコン)は初期モデルで 2,000 個/シフト、後期の改良版で 5,000 個/シフトの処理能力を持っていた。1 台当たりの制作費は 15,000ドルに低減している。また、ABACUS-IIは自動化が進んでおり、1 人の作業員が複数台を管理することができ、人的効率は飛躍的に向上したと思われる。

日本勢が wirebonder で TI をキャッチアップするのは 16k-Dram が本格化する 78 年頃。

\*3 航空輸送時代の幕開けとなる Boeing747(ジャンボ)の就航は 69 年。747 は構造上、機体の下部は貨物室になっている。

\*4 新光電気は戦後の混乱期に富士通信機製造(現富士通)の長野工場と同工場内にあった親会社の富士電機の研究部分所の閉鎖にとどまらず失職した研究所の技術者たちを中心にして 21 年 2 月に合資会社長野家庭電器再生所が設立される。切れた電球の修理再販事業からのスタートだった。

\*5 セラミックパッケージとして当時はメタルシール、フリットシール、サーディップなどのタイプがあった。リードフレームを使うプラスチックパッケージに比べ、高価であったが温度特性や防湿効果などが高かった。尚、防湿効果が高いため組立に使う線材はアルミで十分だった。プラスチックタイプは金線が使われた。

\*6 TI と日本企業がライセンス契約を結んだのは 68 年であり、WE(53 年東芝)、Fairchild(63 年日電)に比し、かなり遅れた。TI のライセンス料率は 2%程度。尚、Fairchild(Planer 特許)は日電が 4.5%で専用実施権を得て、他企業に 5%程度でサブライセンス。

\*7 TI は日出工場を老朽化もあって 2013 年 6 に月閉鎖。鳩ヶ谷工場は 2000 年にエプソンに売却(01 年 10 月閉鎖)。

\*8 72 年 8 月に Fairchild は TDK との合弁で TDK フェアチャイルドを設立。オイルショック後に清算された。長崎県諫早の工場はソニーにより買収されソニー諫早工場となっている。諫早工場は 2021~23 にかけて 7,000 億円を投じ能力増強中。CMOS イメージセンサーで約 5 割のシェアを持つソニーの半導体(売上約 1 兆円でフラッシュメモリーの東芝から分離し売却されたキオクシアに次ぐ)は日本で最も元気のいい様である。

\*9 三菱電機の九州進出が最も早く 67 年に熊本市竜田町に半導体工場を建設、更に 70 年に第二工場を熊本県菊池郡西合志町に建設。

## ソニーの TR ラジオ

日本では戦時中に生産設備の軍需用への転用のためラジオや真空管の生産水準は著しく低下した。更に 44 年には民生用真空管生産は資材の割り当てが無くなり事実上生産はストップした。戦後、ラジオ用真空管の生産は再開されるが、大手が戦災により生産体制が整わない内に、家内工業的な多数の小企業から真空管が販売される。その数は 100 社に近かった。また RCA は東芝と戦前に東芝と結んでいた特許契約(東芝がサブライセンス実施権を持つ)を見直し各社と個別に契約を結んだため、東芝の寡占的体制は崩れ、日電、川西機械(神戸工業)、日本無線などが一斉にラジオ用真空管に参入する。

一方、東芝に加え、日立、三菱などの重電メーカーもラジオに参入してくる。ラジオメーカーの数は町工場のようなものも含めると 200 社以上になった。ラジオの生産は 48 年に 80 万台にまで回復してきたが、ドッジラインによる不況で 50 年には 30 万台を割る。これにより真空管・ラジオメーカーとも淘汰が一举にすすむ。大手も大きな痛手を受ける。日立はこの時ラジオから撤退している。日電の場合は戦後ラジオ用真空管に参入し、他社に先駆け MT 管(小型のミニチュア管)の量産体制を整えたものの、売上が急減していくつかの工場を閉鎖しラジオ管は大津工場に集約するが、幸いにも朝鮮戦争の勃発とともに需要が急増し危機を逃れた。

## ラジオ生産台数

1935	153,974	1940	852,903	1945	87,529	1950	287,410
1936	427,287	1941	917,011	1946	672,767	1951	411,083
1937	406,753	1942	841,301	1947	772,428	1952	939,307
1938	604,462	1943	741,816	1948	807,398	1953	1,407,112
1939	740,356	1944	262,372	1949	608,689	1954	1,423,022

## TR ラジオ

日本で最初の TR ラジオは 54 年 1 月に神戸工業によって試作されているが、これは試作だけで終わっている\*1。性能的・コスト的な課題があったかもしれないが、むしろ経営幹部が市場性に気付かなかったからだといわれる。しかし、TR ラジオの市場性は当時の日本では低かったようだ。

結局、製品化はソニーが先行する\*2。55 年 8 月に TR-55 を価格 18,900 円で発売されている。Super-heterodyne 式\*3 の 5TR 型であった。9 月には TR-2(2TR 型、5,700 円)、10 月には TR-33(3TR 型、12,600 円)を発売する。尚、日本の TR ラジオの生産金額(ソニーのみの数値と思われる)は 55 年 142 百万円、56 年 560 百万円である。

ソニーは TR ラジオが大きな市場に成長していた北米に目を向け、57 年 1 月に進出を果たす。まずカナダの Distributer の GENDIS ブランドで TR-72(7TR 型)を 4 万台出荷、そして 6 月には SONY ブランドで 3 万台超の TR-6(6TR 型)が米国で販売された。そして、3 月には最初のヒットとなる TR-63(6TR)が発売されている。縦型で小型(112mm×71mm×32mm)、従来品の半分以下と言う低消費電力で米国では 39.95 ドルで発売されている。全世界で 50 万台売れ、同タイプのモデルも含めると 150 万台を超え、スタンダードになった。

ソニーの成功もあって、57 年には、三洋、東芝、松下、八欧、日電、翌 58 年には日立、日電、ビクター、立石など主要な企業だけでも 20 社ほどが続き、さらには家内工業的な企業までもが米国を中心に輸出を始める。輸出金額は 57 年の 22 億円から 60 年には 427 億円へと急増し、輸入規制問題\*4 が早くも生じる。尚、1960 年の日本の総輸出額は 1 兆 4,596 億円で、TR ラジオはその 2.9%を占めている。

## TRラジオ

	生産額 (百万円)	輸出額 (百万円)	生産台数 (台)
1955	142	0	(不明)
1956	560	0	(不明)
1957	5,523	2,175	940,669
1958	17,950	10,712	3,888,745
1959	44,051	33,681	9,180,441
1960	59,159	42,652	10,712,863

\*1 神戸工業は 54 年 1 月に点接触型 Ge-TR の発売(翌 2 月発売)に先立ち上野精養軒でお披露目を開いているが、その際に、この TR ラジオの試作品を紹介している。尚、神戸工業は 52 年春に Bell 研より Ge 単結晶を入手し、他社に先駆けて点接触型 Ge-TR の試作に成功。その開発グループに江崎玲於奈(47 年神戸工業→56 年ソニー→60 年 IBM)がいた。

一方、ソニーは 54 年 10 月に千代田区の東京会館で TR のお披露目している。更に 10 月末には日本橋三越本店でトランジスタとトランジスタ応用製品の展示会(および TR と DI の即売会)を開いた。この時には、応用製品として試作第 1 号のゲルマニウム TR ラジオに加え、ゲルマニウム時計、補聴器も展示している。

\*2 GHQ の民主化政策の一環として、45 年 11 月にはラジオは増産指示。また、GHQ の指導(47 年 10 月)もあって混信等の通信妨害要因となる国民型や放送局型のラジオ(4 球の並四式など)から super-heterodyne 方式(5 球スーパーラジオ)への転換が進む。51 年 9 月 1 日に中部日本放送(名古屋)、新日本放送(大阪)を皮切りに年内に民放 6 局が開局したほか、民放の開局が相次ぐ。

\*3 さく良商事から TR ラジオ TGR-21(1TR タイプ、TR はソニー製 T11 を使用、4,300 円)がソニーに先立つかないしはほぼ同時期に発売されていた。そのほか同種のラジオ(ユニオン PR-2、1,900 円など)が、キットとして早い時期から価格は 2 千円から 3 千円台で発売されていた。ただ、これらはいわゆる TOY ラジオの走りと言えそうである。3~4 年後には濫立し主に輸出されている。

\*4 61 年 7~12 月の TR ラジオの輸出割り当ては、189 社に対して行われた。その他、354 社が過小実績業者として一括割り当てを受け(先着順)、計 543 社が対象とされた。

## 小型電子部品

日本製の TR ラジオが米国市場など世界市場を一挙に席卷するが、単に価格が安かったのみではなく、小型で性能・信頼性が高く、且つ余裕を持って小型軽量化が可能であったため設計の自由度が高くデザイン性にも優れていた。米国製が単に真空管を TR に置き換え無理やりに押し込んだものが多かったのに対し、日本製は他の電子部品も小型化されていた。例えば三美電気製作所(現:ミネベアミツミ)の Polyvaricon<sup>\*1</sup>(三美の商標名)と言う小型の可変コンデンサーがソニーの最初のヒットとなった TR-63 以降の機種に搭載されていたが、小型・軽量で衝撃に強く、且つ、高周波特性にも優れ耐熱性・耐湿性・耐久性にも優れていた。また個人のラジオ修理業から転じ 54 年創業の東洋電具製作所(現:ローム<sup>\*2</sup>)から小型炭素膜抵抗器が 55 年に売り出されている。こうした TR ラジオの小型化に適した小型電子部品のぞんざいも日本の成功の大きな要因であった。極端な物資不足だった時代は過ぎていたが、小型化は作業効率が落ちるとしても材料費の節減となりコスト削減の有力な手段だったが、こうした製品が日本で開発されていたことが TR ラジオにおいて大きな優位性をもたらすことになる。材料の節減は単なる粗悪品を生む場合も多いが電子部品に関しては時代のニーズにマッチしていた。そして TR ラジオによってこれら戦後派の電子部品企業が成功のきっかけをつかんでいる。東洋電具製作所はこの後、67 年には半導体に参入し、69 年には IC も手掛けることになる。

一方、米国の場合は小型電子部品製作の技術自体は日本より進んでいたというより次元が異なっていたと言ふべきものだった。とりわけ 50 年代後半は航空宇宙関連を中心に電子部品の小型化のニーズが高まる。そのため超小型部品や高密度実装技術の開発が進められている。但し、それらは高コストの特殊品に過ぎず TR ラジオなどの民生機器に応用されるものではなかった。例えば、Kilby の IC のアイデアが生まれるきっかけとなった Micro-Module プログラムは、57 年 10 月に RCA の Surface Communications Division がペン(万年室)サイズの TR ラジオを試作し軍にデモンストレーションしたことと、時を同じくして起こったソ連のスパートニック打ち上げが RCA 主導による Micro-Module プログラムが始まるきっかけになったと言われる。それにより、1 立方フィートの 5 万部品を搭載できるレベルの技術が開発されている。

また、今日の Molecular electronics の起源を求めると 57 年から WH と空軍によって進められていた、当時 Molelectronica と呼ばれていた技術を開発するプロジェクトに辿り着く。結晶中に多くの個体物理現象を組込み電子回路と等価な機能を形成することを目指したと言われる。

\*1 55 年 3 月に三美が発売した 25mm×25mm×15mm の Polyvaricon が Sony の TR-63 や八坂の 6G620 など多くの機種に搭載されていたが、ラジオのサイズもほとんど同じで、使用部品もほとんど同じ様なものだった。尚、三美は 59 年には更に小型化(16mm×16mm×10mm)している。三美は 49 年に個人創業(54 年三美電気製作所創業)されたいわゆる 4 畳半工場であり、ラジオ用などの電子部品を作り神田や秋葉原の電気街を得意先にしてきた。

また、こうした新興企業に加え、戦前・戦中の軍需関係の部品メーカーの民需へ転換・再興した企業も多いが、そうした企業からも TR ラジオの普及により発展の機会を得たものも多い。例えば、44 年に三菱電機の下請けとして電波兵器レーダー用チタンコンデンサーの下請生産を行うが、終戦で「軍需工場」として一時は閉鎖されたが、電熱器等の製作で糊口を凌ぎ、戦後のラジオブーム時にチタンコンデンサー製造を再開し TR ラジオにより発展の糸口を得ている。また太陽誘電の前身の軍需の佐藤航空無線器材製作所は IFT(可変コイルの一種)用の小型円筒コンデンサーや小型フェライトコアにより同じく TR ラジオにより発展の機会を得る。ソニーも井深大の起こした日本測定器株式会社の流れを汲むとも言え軍需企業からの転身とも言える。海軍技術中尉であった盛田昭夫とはケ号爆弾開発研究会

(戦闘機搭載の赤外線誘導の対戦艦用爆弾)で知り合ったのが縁である

## トンネル・ダイオード

この半導体産業の黎明期に活躍した技術者でノーベル賞を受賞したのが 73 年の江崎玲於奈と 2000 年の Jack Kilby であった。Kilby の授賞は発明から 41 年後であった。

江崎は 47 年に神戸工業へ入社、56 年にソニーへ移り、そして 60 年には BM の Watson 研へ移った。57 年 8 月に発明されたトンネル(江崎)・ダイオードの特許(57 年 9 月出願、黒瀬百合子さんと共同出願)はソニーが基本特許こそ取得したものの、トンネル Di のスイッチング速度の高速性が将来のコンピューター用論理素子の有力な選択肢として注目され、その応用に取り組んだ IBM などの外国勢にことごとく応用特許を取得されてしまった。アナログ主体の日本の当時の半導体産業にとって、デジタル系機器での応用に向いていたトンネル DI は余り注目されることは無かった。ソニーは応用特許を外国勢に抑えられてしまった反省から、その後は基本発明の後、応用研究・開発研究を経て一括して外国特許申請を済ませてから発明の発表を行う方式にしている\*1。

トンネル DI は 60 年代初期には注目されたが、IC 化及び ECL 回路など高速化技術の発展によってコンピュータ素子としては採用されることは無く影の薄い素子となってしまったが、トンネル現象は半導体のみならず超電導やその他様々な電子関連に共通する現象であり寧ろその応用は 21 世紀に期待されるとも言える\*2。

\*1 トンネル DI の発明のケースでは、発明の翌月に特許申請が行われ、その翌月には江崎と実習生だった東京理科大学学生の鈴木隆によって学会発表がなされていた。

\*2 半導体関連としては、フラッシュメモリーの書き込みにおいてトンネル効果が利用されている。また、量子コンピュータなどにおいてもトンネル効果は重要な要素技術と言える。

## Si-TR と IC への対応の遅れ

単純に TR の生産数だけで比較すると、59 年には既に日本が米国を上回っている\*1。ラジオを中心とする民需では日本が 86.5 百万個に対して、米国は民需 71.5 百万個、軍需 12 百万個の計 83.5 百万個と数量的には日本が上回ることになる。労働集約的な TR 生産では低賃金の日本が優位であった。

トランジスタ生産数(百万個)

	日本	米国		日本	米国
1954	0.0065	-	1960	139.8	131.8
1955	0.085	-	1961	180.1	193.0
1956	0.56	-	1962	231.7	258.2
1957	5.7	27.8	1963	267.5	302.9
1958	26.7	46.1	1964	415.9	398.0
1959	86.5	83.5	1965	454.0	631.7

しかし、Ge-TR での成功は次の Si-TR や IC の成功には結びつかなかった。Si Planer 型 TR の場合、現在の IC 製造と同様に Si ウェハー\*2 による製造工程が使われ、Ge 合金型 TR に比し前工程の生産性が高いことに加え、平面的な構造のため組立工程の生産性も高く省力化も行いやすかった。更に planer 型の場合は SiO<sub>2</sub> 膜で表面が保護されており表面の劣化に強く、また空輸貨物輸送\*3も普及し、米国企業による組立工程を低賃金の海外に移転する動きがすすみ日本の低賃金による優位性は失われて、TR ラジオの輸出規制もあり再び日本

企業が TR 生産数でも米国企業に抜かれることになる。TR ラジオの成功により Ge-TR 偏重となり、Ge から Si への変化、更には IC 化に乗り遅れ Ge-TR で築き上げられた日本の地位は若干勢いを失いかけるものの、電卓・テレビ\*4 等民生用機器の急成長もあり、軍需・産業用\*5 に牽引された米国とは異なる発展の道を辿っていく。日本の Si-TR の生産が Ge-TR を超えるのはようやく 69 年になってであった。IC において米国企業をキャッチアップできるのは更に 10 年後の 70 年代末である。

IC 化は先ず BIP(バイポーラ)デジタル回路から始まるが、60 年代初期には極めてコストが高く、それに見合う市場は日本には少なかった。価格に糸目をつけない軍需・航空宇宙や、大きく発展しつつあったコンピュータ産業に依存し得た米国半導体企業に対して、日本は余りにも市場規模が小さく大きく立ち遅れることになる。

米国 IC 生産高(百万ドル)

	生産	平均価格	軍需比率
	百万ドル	ドル	%
1962	4	50.0	100
1963	16	31.6	94
1964	41	18.5	85
1965	79	8.3	72
1966	148	5.1	53
1967	228	3.3	43
1968	312	2.3	37

\*1 1959 年の米国の半導体(TR 及び DI)生産金額は 396 百万ドル。内、軍需が 180 百万ドルで 45%を占めていた。非軍事用の産業用・民生用 TR に限ると、日本の生産金額 44 百万ドル(86.5 百万個)、単価 51 セントに対し、米国は 134 百万ドル(71.5 百万個)、単価 1 ドル 87 セントと単価は 4 倍近い。既にアメリカでは IBM のオールトランジスタ型のコンピュータが 50 年代後半には登場しており、TR 需要はコンピュータや交換機など産業用機器が金額的にはラジオ用を上回っていたと思われる。数量はともかくとして金額的には米国が日本を大きく上回っていた。

\*2 1960 年ごろには米国では直径 20mm の Si-wafer の入手が可能であった。

\*3 1960 年代初頭、ダグラス DC8F、ボーイング B707F など 30 トン積みの貨物専用機(ないしは貨物主体の貨客機)もあらわれ、航空貨物輸送は大きく増大する。例えば日本発着の航空貨物量は 1960 年の 6,200 トンから 1965 年には 35,400 トンと約 6 倍に増。

\*4 日本企業は TR ラジオに続きテレビ(TR テレビ、59 年に東芝が世界に先駆けて発売)でも躍進を遂げる。テレビの場合、小型化によるメリットは少ないとは言え、消費電力は真空管式テレビの約 1/3 の 30W 程度と省エネ性能に優れ、真空管からの置き換えが進む。更にラジカセ(63 年)や VTR(65 年)、オーディオ製品など製品も多様化し家電業界は大きく発展することになる。1965 年には家電製品の生産額 7,137 億円(輸出 1,818 億円)から 75 年には 32,744 億円(輸出 11,800 億円)と成長し、半導体市場を牽引する。更に電卓やコンピュータなど事務用機器など半導体のユースは広がり、日本の半導体産業は成長していく。

尚、テレビは IC の需要を牽引することが期待されたが、大きなブラウン管は他の部品に小型化の必要性を与えなかった。そのためテレビにおける IC 搭載は高性能なイメージを醸し出すための単なる宣伝に使われたに過ぎなかった。TR の歩留まりさえ低いのに IC は更に低歩留まりでコストアップになると考えられていた。それに加えアナログ回路は IC 化に適さない大容量のコンデンサや高抵抗値の抵抗の回路を含んでいたり、加えてアナログ用 IC は同じ機能でもユーザーが要求する仕様は多様であり標準化・汎用化が難しく、単純なスイッチング TR で構成されるデジタル回路と異なり IC 化が進みにくかった。その一方でメリットとして IC 化により信頼性が高まりアフターサービスの手間が省ける効果があるが、これは寧ろ C 化してから気付かれたことであった。70 年代後半に高機能化の為にテレビのデジタル化が進むまでは IC 化のニーズはそれほど無かったと言える。

## 半導体企業の盛衰

TR の草創期に活躍した RCA は真空管メーカーであり且つラジオメーカーでもあった。Si への流れに乗り遅れ、おまけに Ge-TR では日本製 TR ラジオの攻勢に敗退する米ラジオ産業の衰退により市場を喪失していく。RCA から技術導入した欧米の真空管メーカーはほぼ同じ道を辿る。

日本ではソニーと日本電気が非 RCA の技術系統であり、特に日本電気はラジオで弱かったせいも Ge-TR では後れをとってしまい Si に注力していく。Si はトランジスタの開発ではマイクロ波用への拘りから他社に出遅れたが、IC においては順調な立ち上がりとなり、以後 40 年に渡って日本の半導体産業をリードする。63 年に IC 製造には避けられない Fairchild の Planer 特許の専用実施権を獲得し、他社は日電に再ライセンス料を支払うことになる。

#### 日電のIC生産個数

1961	50個
1962	1万個台
1963	1万個台
1964	1万個台
1965	3万個
1966	33万個
1967	290万個
1968	1,000万個

売上高も 1965 年には 5500 万円程度のものが 1970 年には 112 億円(3,998 万個)に成長し、米国以外の半導体メーカーとしてはトップとなる\*1。

60 年代末頃より、日本では家電系メーカーに代わり通信・コンピュータ系メーカーが半導体産業のリード役として登場する。アナログからデジタルへ、TR/Di の個別半導体から IC へと市場のリード役は変わっていく。とりわけ IBM が IC を本格的に搭載する System370 シリーズを出荷する 70 年頃からコンピュータ産業\*2 が半導体産業の牽引役として技術面とともに市場面でもリードしていく。

そのため、宇宙・軍需関係更にはコンピュータなど産業用機器を市場として持つ TI、Motrola や Fairchild など米国半導体メーカーに比べ日本の半導体メーカーに IC への対応の遅れは大きく、60 年代から 70 年代前半にかけては日本の IC 産業は保護されるべき脆弱な産業の一つに過ぎなかった。

日本で IC 生産が立ち上がる 60 年代末期で、NAND、NOR や Flip-Flop の基本的なゲート IC が電卓やコンピュータに搭載される。アナログ IC のオペアンプなどもこの頃から製品化されている。日本の IC 生産額は 67 年に 25 億円(333 万個)、68 年に 103 億円(1,988 万個)、69 年 210 億円、70 年 476 億円と増加していく。

\*1 日本電気(コンピュータはハネウェルから技術導入、およびハネウェル製のノックダウン生産)は 65 年にオール IC 化された日電独自開発のコンピュータ NEAC2200-500 を発売している。14pin パッケージの高速不飽和型の CTL (Complementary Transistor Logic) 型素子搭載し、個別半導体で作成した場合に比し数分の 1 のサイズで且つ信頼性を 1 桁以上向上させた。一方、独自技術の富士通は 68 年に飽和型の TTL(Transistor-Transistor-Logic)を使い FACOM230-60 を発売しているが、ハード的に見るとプリント版実装技術なども含め NEAC2200-500 に比しかなり見劣りがするものだった。

\*2 産業用半導体のユースとして、コンピュータが大きなウェートを占めるようになってきたのは、IBM360 シリーズの登場から。尚、IBM は 360 の成功により、68 年頃には米国シェア 70%(市場規模 213 億ドル)、欧州シェア 58%(市場規模 45 億ドル)を占有した。IBM は 360 シリーズ用の半導体生産のために 62 年にニューヨーク州 Fishkill に敷地面積 182 万㎡(83 年に追加取得し 247 万㎡)の広大な土地を取得し Fishkill 工場を建設、本格生産を 64 年から行っている。ここで、SLT(Solid Logic Technology)と呼ばれた Hybrid-IC を生産している。IC の品質は当時まだ大型コンピュータに本格採用するには十分ではなく、IBM は Hybrid 方式を採用している。生産数量は 64 年 6 百万個、65 年 56 百万個、66 年 90 百万個と拡大。IBM も半導体メーカーとして見るなら、桁外れに巨大半導体メーカーの誕生である。内製であるが金額換算すれば、TI、Motrola、Fairchild などの大手企業に対し優に 1 桁以上上回る。Fishkill 工場はピーク時の 84 年末には 31,300 人の従業員を抱えた。

その後、長期に渡り IBM が影の半導体トップメーカーとして半導体産業に君臨し、日本のコンピュータ・半導体メーカーはその陰に怯える

ことになる。端的な例は75年頃、IBMがFuture Systemに1M-DRAMを搭載するという噂が流れ、その対策として76年3月に通産省の補助金を得てコンピュータメカ7社による超LSI技術研究組合が設立されている。当時はやっと4K-DRAMの量産化が本格化し、16k-RAMの開発が進んでいた頃である。IBMなら1M-DRAMの開発が可能であると本気で信じられていた。尚、IBMの半導体製造拠点としては、バーモント州Burlington、海外ではドイツのSingdelfigen、フランスのEssones、日本では83年末にMOS-memoryの操業を開始した野洲などがある。

## 輸入自由化と行政指導

揺籃期のIC産業保護のために輸入制限や行政指導がなされていた。日本は64年4月にIMFの8条国に移行しOECD加盟、自由化を迫られることになる。

### IC輸入自由化

- 70年09月 100素子未満のIC自由化
- 73年04月 200素子未満のIC自由化
- 74年12月 コンピュータ用を除くICの自由化

政府はコンピュータ産業の育成策を積極的に採っていたが、コンピュータ技術のキーとなるのがICであるという認識が政府・産業界に定着し、半導体産業育成のための女性が積極化していく。米国の場合は政府関係(軍需・宇宙)の助成・市場が半導体産業の成長に大きな役割を果たしたのは60年代末までであったのに対して、日本では70年代に政府により半導体産業に対し、直接・間接的に助成がなされる。

- 71年 集積回路開発促進費補助金  
電子計算機、新機種開発促進費補助金  
周辺装置等開発促進時補助金
- 72年 超高性能コンピュータ開発技術研究組合設立
- 75年 超LSI研究組合設立

これらの助成もさることながら、電電公社とのDIPS<sup>\*1</sup>やLSIの共同開発、および、電電公社による機器の調達<sup>\*2</sup>が半導体産業の育成に大きな役割を果たし、とりわけ、電電ファミリーの日電・富士通・日立の3社が日本の半導体産業のリード役となっていく。

\*1 Denden Information Processing System の略。70年代初のDIPS-1、70年代半ばのDIPS-11などがある。電電公社は57年にUSASHINO-1を開発するなどコンピュータ開発にも取り組んだことがあったが、その後はしばらく電子交換機の開発に専念しコンピュータ開発から離れていた。

DIPS-1は電電公社がアーキテクチャーを決め68年から71年にかけて富士通・日電・日立に対してそれぞれ独立に設計・製造を競わせた。Microprogram方式、また論理回路には高速のCML(ECL)のSSI/MSI採用など技術的に一挙に高度化し、ハード的にIBMをキャッチアップさせるのに大きく寄与したと言える。

DIPS-1開発においては、3社の中では唯一富士通のみがDesign Automation(DA)を既に使っていたこともあり最初に開発に成功するが、日電・日立はDAを使っておらず設計ミスに悩まされることになる。IBMは50年代末頃に7000シリーズの設計に論理シミュレーションなどDAを既に使っていたが(DAは60年代になってUCパークレーで開発され普及していく)、富士通がDAを導入するのは60年代末となるが、日系他社は更に遅れていた。DIPSシリーズは生涯に2,500台が出荷されている。電電公社はコンピュータの飛び抜けて大きなユーザーでもあった。

DIPS-11では、日立がモデル10(75年9月試作完)、日電がモデル20(75年11月試作完)、富士通がモデル30(76年6月試作完)を開発している。性能比は10を1として、20は1.4、30は3。CPUの論理素子には多品種少量に対応できるマスタースライス(Gate-array)方式が採用されている。これは同じパターンチップを製作し、第一層配線までは共通で作り、第二層目の配線パターンのみで多様なICを作り上げる方式で、低コストでfull-LSI化を実現し、ハード面ではIBMを凌駕することになる。富士通の場合(素子名MB11kシリーズ:ECL100ゲート,1000素子)、DIPS-11/30に加え、ほぼ同時期に開発された自社のMシリーズ、OEM生産するAmdahl社の470/V6に採用し、1台当たり2,000個程度(共通なものも有るので数百種程度)が搭載されている。MB11kの基本設計はアムダール社が行っているが、問題は当時まだこれに耐える本格的な多層配線プロセスが確立していなかったことであつたが、富士通のケースをみると、平坦

化技術(SOG:Spin On Glass)を世界に先駆けて開発したほか、配線間絶縁膜形成、エッチング技術等を高度化させ IC の高集積化を飛躍的に高めることができる要素技術を MB11k の開発において完成させている。尚、DIPS-11/30、M シリーズ、470/V6 とも IBM 互換機である。

\*2 電電公社向け部品の採算性は極めて高かった。電電公社向けシステムに使う部品は認定品規格として高い信頼性を要求されていたが、それを斟酌しても 1 桁近く高い価格であり、特に日電・富士通の半導体事業部門を潤した。値下がりの激しい IC において、当初設定された価格で購入が続けられたことにもよる。

## 欧州企業の立ち遅れ

Philips は WE と提携関係にあり早くから TR に取り組んでいた。但しかなり消極的で、48 年 10 月に出された assessment paper では“現状では”としながらも TR は真空管を代替しえるものではないと結論している。Bell 研が試作した TR ラジオに関しては雑音が多く、一段あたりの増幅率が小さすぎ、Hf 性能(高周波特性)が悪い、出力が小さいなどと酷評していた。Philips は 50 年に Ge-DI を製品化し、51 年には点接触型 TR を試作、53 年頃にはイギリスの Mitcham<sup>\*1</sup>、オランダの Nijmegen、ドイツの Hamburg で生産を開始している。早くも 52 年には点接触型 TR の生産しているが、その後は合金型への移行が進み、欧州では Philips が OC シリーズと名付けられた TR 群により圧倒的なシェアを占めたが、それでも真空管事業と比べると売上比率は 58 年 23%63 年 65%68 年 95%(IC 含む)であり、且つ真空管事業の衰退により比率が向上したとこも有って、初期的には成功を収めるものの順調とは言えない。60 年代に入った頃には合金型の衰退とともに Philips は半導体事業の勢いを失うことになる。尚、Philips は日本では松下電器と資本技術提携し 52 年 12 月に松下電子工業<sup>\*2</sup>を設立している。

製品への応用としては Philips は 54 年に補聴器、57 年にポータブル型 7TR タイプのラジオを発売するが、TR 需要を牽引するほどの勢いはなかった。また、IBM と提携し 53 年より真空管式コンピュータの開発を行うが、56 年には撤退しておりほとんど外販は行われていなかった<sup>\*3</sup>。

欧州は半導体応用機器のコンピュータでは IBM 等米国企業に、民生機器では日本企業に席卷され、半導体産業を牽引する産業が弱く後れをとることになる。欧州では TR メーカーとして Philips(半導体部門は独立し NXP)の他、ドイツの Siemens(半導体部門は独立し Infineon)、Telefunken、イギリスの STC(Standard Telephone&Cable)、GEC(General Electric Company)、フランス<sup>\*4</sup>の Thomson、CSF(Compagnie Générale de télégraphie Sans Fil)、イタリアの Olivetti の子会社の SGS(Società Generale Semiconduttori)<sup>\*5</sup>などがあるが、いずれも歴史を持つ大企業であり、且つ、SGS (Olivetti はタイプライターなどの事務機メーカー) 以外は真空管の代表的メーカーであった。

\*1 イギリスの真空管メーカーMullard の工場。Mullard は 1920 年に Stanley Mullard によって設立される。Stanley Mullard はイギリスの真空管メーカーMackey や Edison and Swan Electric Light Company、および一次大戦中には英国海軍の研究所で真空管の研究開発を行ったのち 1920 年に Mullard electronics company を設立する。27 年には資本業務提携関係にあった Philips の完全子会社となっている。50 年頃において Philips は欧州 6 か国に 13 の真空管工場を持っていたが、その内の 6 工場はイギリスの Mullard の工場であり Mullard が Philips の真空管事業の中核であった。Mullard では、Micham 工場(ロンドン市内)で 1952 年に点接触型 TR の生産を開始、53 年には接合型 TR の生産を開始、合金型も早くから取り掛かり、57 年に新設した欧州最大の TR 工場 Southampton の操業開始時には合金型が生産の主力となっている。

\*2 松下電子工業は資本金 6 億 6 千万円と松下電器の資本金 5 億円よりも大きかった。52 年 12 月に設立され出資比率は松下 70%、Philips30%。54 年には大阪府高槻に工場建設し、松下電器内の電球等関連事業を移管するとともに、Philips の新鋭設備を導入し真空管・ブラウン管等を相次いで生産。1957 年 5 月には Ge-DI、同年 11 月には Ge-TR(合金型と思われる)の製造を開始している。尚、技術提携に関し Philips は当初 7% (4.5%で決着)のライセンス料(+技術指導)を要求したといわれる。一方、松下も経営指導料名目で 3%を得ることになる。

\*3 Philips は 60 年代末期にオフィスコンピュータやミニコンで再度参入し、それなりの成功を収める。また、70 年代に入るとフランス政府主導でフランスの CII(International Company for Informática)を中心に欧州の主要コンピュータメーカーが連携し UNIDATA というコンソーシアム結成の動き出てくるが、73 年に CII、Philips、Siemens の 3 社でコンソーシアムが結成されるが、スパコンなど大型機分野への進出をはかるが、75 年には CII が Honeywell Bull と合併(CII Honeywell Bull) したことから脱会し事実上 UNIDATA は破たんする。尚、Siemens はその後、Telefunken や Nixdorf を吸収し、富士通(Siemens 本体向け)や日立 (Siemens と BAFS の合弁会社 C OMPAREX 向け) から IBM 互換機の OEM 供給を受け事業の再構築を図っている。

\*4 フランスには、Bell 研とほぼ同時に TR を開発した F & S Westinghouse(50 年代初期には早々と撤退)や、Bell 研と最初にライセンス契約を結んだ 34 社の内の 1 社である LCT(日電と真空管技術供与)などもあるが、いずれもほとんど目立たない。

\*5 フランスの Thomson、CSF、イタリアの SGS の 3 社は合併して、STMicroelectronics(21 年売上 128 億ドル)となっている。

## 第三章 シリコンバレー

### Stanford 大学

20 世紀初頭の San-Francisco Bay Area は北部に工業が発達していた。Bay Area の東北端にある Vallejo にはミシシッピ川以西では最大の工場といわれた Mare Island Navy Yard<sup>\*1</sup>(海軍工廠)があった。1854 年に設立され第二次大戦中には 5 万人を超す従業員を抱えた。それに対して Bay Area 南部は果樹園の広がる田園地帯だった。

シリコンバレー形成の源流を求めるなら、1887 年に鉄道事業で財をなした Leland Stanford によって Palo Alto<sup>\*1</sup>に Stanford 大学が設立にまで遡るべきかもしれない。そして 1906 年 4 月に San Francisco を襲った地震によってかなりの数の企業が Palo Alto 周辺に移転してきた。この地震と 5 日間続いた火事によって 3,000 人が死亡し 5 億ドルの被害を被った<sup>\*2</sup>。この時、American DeForest Wirejess Telegraph の無線通信網により自身のニュースが San Diego 停泊中の戦艦 Chicago に電信され、それを受け救助に出動し火事に追われた 2 万人を救助したが、これが自然災害において無線機器が活躍した最初だと言われている。当然の事、Mare Island からの海軍部隊なども救助に活躍している。

シリコンバレーらしきのある企業としては、1909 年に Stanford 大の卒業生 Cyril Elwell によって Palo Alto に設立された arc transmitter 製造(デンマークから技術導入)のため Federal Telephone&Company(32 年に ITT が吸収)があった。Federal の設立の際に Stanford 初代学長(President: 1891-1913 年)の David Starr Jordan が 500 ドル出資すると、近隣の事業化たちがそれに続いたといわれる。また三極管の発明者である Lee DeForest も彼の設立した DeForest Radio Telephone&Telegram を追われた後 2 年間(11~13 年頃)ほど、この Federal に勤めていた。これは設立して間もない Federal の評判を高めたという。Titanic 号沈没<sup>\*3</sup>の翌 13 年に、全ての客船への無線機の装備が義務付けられたことや、第一次大戦の軍需により Federal は発展していく。ITT に買収された際、Federal はニュージャージー州に移るが、その際に退社した者の中に、自宅を作業場としてコングロマリットの Litton Industry<sup>\*4</sup>の前身である Litton Engineering Laboratories を Redwood(Palo Alto の北西 10km)創業するに Charles Litton(Stanford 大学出身)がいる。また Litton の Federal 時代の部下には後に TI の共同創業者となる Cecil Green がいた。Litton は第二次大戦の軍需(レーダー用真空管など)で大きく成長する。

\*1 厳密に言うと、行政的には Palo Alto 市には属していない、というかこの市町村にも属してはいない。Santa Clara 郡(Palo Alto など 15 の市を含む)の直接的な管轄下にある。尚、徴税などの業務は Palo Alt 市に委託。

\*2 戒厳令が出され怪しいものは躊躇わずに射殺せよとの命令だされた。

\*3 Titanic は 12 年 4 月 12 日に遭難したが、結果はともかくとして無線が大いに活躍した。Titanic は 12 日だけで近辺を航行中の船舶から 6 回にわたり冰山に関する情報を受けたり傍受していた。遭難信号は 58 マイル離れていた地点を航行していた客船 Calpathia に受信され、Carpathia は直ちに向きを変え全速力で航行し受信から 4 時間後(沈没から 2 時間後)に現場に到着し 2,224 人の乗客乗員の約 1/3 ほどの 705 名の救助を行った。

\*4 Litton Industry は 54 年に Charles Thornton に買収され、2001 年には Northrop Grumman に買収される。Varian や Hewlett Packard などと共に Silicon valley の前身と言える Microwave Valley を代表する企業の一つである。Silicon Valley の起源を Shockley Transistor Corporation に求めるとするなら、Microwave Valley の起源は Federal Telephone&Company に求めることができる。

## Hewlett Packard

Stanford 大学教授の Frederick Terman は産学協同の核として、優秀な卒業生を起業家として育て大学の周辺に置こうとした。この施策に載って 38 年に William Hewlett と David Packard は Palo Alto の貸ガレージで Terman から借りた 538 ドル Terman がアレンジしてくれた 1,000 ドルの銀行ローンを元手に事業を起す。最初の製品として Disney が製作していた Fantasia の為の audio oscillator HP-200B を 8 台製作した。そして翌 39 年に Hewlett-Packard(HP)を設立している。大戦中、Terman は軍のレーダー探知阻止装置<sup>\*1</sup>の研究に従事することになり、HP にマイクロ波発信機を発注する。これを契機に軍需用の計測器の大量受注に成功し成長の足場をつくり、シリコンバレーを代表する企業に発展して行く。HP の与えた影響は単に事業的な成功にとどまらず、HP Way と称される従業員を信頼し自主性を重んじ失敗をも容認する企業哲学や厚生福利の充実 (catastrophic health insurance など)、従業員持ち株制ストックオプション制や、いわば組織合成の誤謬の弊害を除くために考案された事業部業績評価制度など、シリコンバレーの企業のみではなく世界的にも大きな影響を与えることになる。フレックスタイム制度なども HP がいち早く(Varian と競うように)導入したことにより広まって行ったと言える。

これらは東部の企業に対してシリコンバレー企業を大きく特徴づけることになる。Fairchild はシリコンバレーの企業であったとしても、親会社の Fairchild Camera&Instrument は東部企業であり東部の流儀で経営されていたため Noyce や Moore までもがスピンアウトする一因となった。

その後、Terman が Stanford の(副)学長<sup>\*2</sup>(Provost) の時、学校経営に窮し<sup>\*3</sup>大学の所有地 209 エーカー (84 万 m<sup>2</sup>)をリースして 51 年に研究工業団地 (Stanford Industrial Park→Stanford Research Park)を Palo Alto 市と協力して創っている。当初進出したのが電子機器メーカーの Varian Associates<sup>\*4</sup>(48 年創業)や HP である。Varian は Terman が役員を兼務する会社で 4 エーカー(16,000 m<sup>2</sup>)の土地を年 16,000 ドル 99 年契約でリースした。55 年には HP は本社も入居している。現在は 700 エーカー(280 万 m<sup>2</sup>)に拡張され、設立当初からの Varian や HP にくわえ、Tesla や Skype など 150 社が入居している。

\*1 第二次世界大戦で、連合軍はドイツのレーダー技術によって多大な被害を受けている。ドイツは国内および占領地域にレーダー網巡らし、制空権を握っていた時期があった。ドイツのレーダー網に対する対策として米軍は MIT の Radiation Laboratory を母体にして Harvard 大学に Radio Research Laboratory (RRL)を設立したが、Terman がその責任者を務め 850 人ほどの研究者・スタッフを率いていた。“細かく切ったアルミホイル”(chaff)を航空機からばら撒くことによって独レーダー網を錯乱することができるようになったが、この chaff を開発したのが RRL である。当時、米国のアルミホイル生産量の過半は対独のレーダー対策に使われていたと言われている。当初は手で撒き、後には自動機で撒いている。大戦末期には resnatron(高出力の真空管)を使った電波によるレーダー探知阻止装置を開発している。

Terman は戦後、Stanford 大学に戻ると Microwave Research Laboratory を設立し、RRL の研究者を Stanford に呼び寄せている。1950 年代にはスタンフォード大学周辺には主に軍需産業に携わるマイクロ波関連企業の大規模集積地“Microwave Valley”が silicon に先立って形作されることになる。Litton、Varian、HP などは、Microwave Valley 企業の先駆けである。

\*2 米英アイルランドなどの大学には Provost という役職があるが、日本で言う副学長とはかなり意味合いが異なっている。また、大学により役割は異なる。理事長 (President) に対する学長 (Provost) という位置づけに近いのでは。尚、ライス元国務長官はスタンフォード大学の第 10 代 Provost であった。

\*3 米国の私立大学は潤沢な基金 (University endowment) を持っているが、21 年時点で Stanford は 378 億ドルと Harvard(519 億ドル)、Yale(423 億ドル)に次ぐ第三位の資金量を誇っている。4 位 Princeton(377 億ドル)、5 位 MIT(275 億ドル)と続く。尚、学生 1 人あたりでは、Princeton 4,478 千ドル、Yale 3,506 千ドル、Harvard 2,701 千ドル、MIT 2,307 千ドル、Stanford 2,192 千ドル、これに Pomona 1,793 千ドルが続く。Stanford などは大学院を持つ研究型の大規模大学であり、年間予算も大きい。リベラルアーツ系の大学である Pomona 大学(カリフォルニア州 Claremont) は学生総数 1,690 人に対して基金 3,030 百万ドル、年間支出が 245 万ドルに過ぎず実質的には最も財政的に豊かな大学の様である。

\*4 Varian はマイクロ波用真空管メーカーとして創業したが、真空技術などを生かし IC の配線用のアルミなどの蒸着装置・スパッター装

置メーカーとして半導体産業とともに発展する。

Varian はスパッター装置関連と分析装置関連を、HP を分割して誕生した Agilent Technologies に、Ion Implantation(不純物注入)装置関連)を Applied Materials に売却し、医療機器関連を残していたが、21 年に Siemense に売却している。

## LLNL と IBM

1951 年 9 月に Lawrence Livermore National Laboratory(LLNL)が California 大学 Berkeley 校の付属施設として Livermore(Palo Alto の北東 46km)に開所されロスアラモスと並ぶ核開発の中心となる。コンピュータにとっては LLNL に導入されることは最高性能の証であり極めて重要な意味を持つ。IBM、Sperry Rand\*1、CDC など LLNL をターゲットユーザとして製品開発を行っていた。Super Computer の走りである。冷戦の最中、核開発に最も積極的な時期であった。LLNL の持つ意味は極めて大きく、例えば、Sperry Rand は 50 年代末に接合型 TR6 万個を搭載した LARK\*2を開発するが、これは Livermore Advance Research Computer の略であった。また、IBM はかなり背伸びした開発計画を立て、悉く失敗してしまうのも LLNL のニーズに応えようとした為だといわれる。

コンピュータ開発は戦時下に始まり、その産業としての発展も軍需に依存したものだ。軍需から得られる開発成果・利益で民需事業を推進する構造が 50~60 年代のハイテク産業であるコンピュータ、半導体産業の典型的なパターンであった。IBM がコンピュータで本格的に民需に参入するのは 54 年の小型機 BM650 からであり、その成功により 60 年頃には民需異存が 5 割を超すが、60 年代になっても依然として政府関係の重要性は高かった。

IBM は 52 年 San Jose (Palo Alto の南東 25km、Livermore の西南 40km)に San Jose Research Laboratory(86 年に Almaden Research Center に改称)を設立する。ここでの開発成果としては 55 年に世界初の HDD 装置である RAMAC がある。RAMAC は用量 5 百万語(1 語 7bits 構成)、制御回路には真空管が使われ重さは 1 トンあった。翌 56 年 9 月に IBM350\*3として出荷された。

IBM は 55 年より超高性能機の開発を開始する。そして 61 年 4 月に 169 千個の TR を搭載し、768k バイトのコアメモリーを持った IBM7030\*4(Stretch マシン、価格 1,350 万ドル)を出荷するが、プレアナウンスしていた性能に対して半分程度しか出せなかった。価格を 778 万ドルに引き下げたが 8 台(事前予約分のみ)しか売れず 1 年足らずで販売を中止する。ただ、Sperry の LARC の販売阻止効果は十分にあった。

63 年 8 月に CDC(Control Data Corporation)\*5は CDC6600 の発表(64 年 8 月に出荷開始、1 号機は LLNL へ)を行う。価格は 700~1,000 万ドルで 35 万個の TR を使っていた。CDC は Seymour Cray に率いられた僅か 30 人ほどのチームによって開発された。60bit 機で 74 種の命令を持ち RISC のルーツとも言える。またパイプライン的な処理機構を持っており先進的な設計であった。約 100 台が販売され、更に 69 年には後継として DC7600 が開発される。

IBM は CDC6600 との性能争いに負けると、迅速な対応をし大きな成果を上げる。CDC6600 ののは出荷が始まる 64 年 8 月に IBM360/92 のプレアナウンスを行い、更に 2 ヶ月後の 10 月末に開催された AFIPS'64 Fall joint Computer Conferences において IBM360/92 に関する技術面での発表を行い CDC6600 の出鼻を挫こうとした。プレアナウンスから商談を開始し、出荷は 1 年程度後と言うのが一般的と言えるが、360/92 の場合は、開発を始めるのは翌年になってからで、IBM7030 の 100 倍の性能を目指す ACS(Advanced Computing Systems)のプロジェクト・チームが編成されている。核となる技術者は Watson 研(ニューヨーク州 Yorktown Heights)や Poughkeepsie(ニューヨーク州にある IBM の開発製造の主力拠点)、San Jose から 10 数人ずつ集められ、Sunnyvale(San Jose の西方数 km)に集結し、翌 66 年にこの部隊は Menlo Park へ移転する。組織は拡大し末期には 200 人に達するが、開発方針の変更(88 年 5 月に 360 シリーズとの互換性を持つよう変更する)などに

よる混乱もあり開発に失敗し 69 年には ACS プロジェクトは解散する。67 年 6 月に CDC6600 の後継の CDC7600 の出荷が始まるが、それに ACS は対抗する性能を出せなかったと思われる。開発には失敗したものの、CDC6600 の販売を抑えることには成功したと言われる。尚、71 年 3 月に 4 年遅れで IBM 360/195 が CDC7600 対抗機として出荷されるが、7600 を機能的に上回るものではなかった。

68 年 12 月に CDC は独禁法違反等(計 37 項目)で提訴し IBM は 6 億ドル\*6 を支払うことになる。司法省も CDC に続き 69 年 1 月に独禁法違反で IBM を提訴する。

\*1 55 年に Sperry が Remington Rand が買収して誕生。尚、Remington Rand は IBM と同様 PSC(パンチカードシステム)等の事務機器メーカーであるが、ENIAC の開発者の Eckert と Mauchly が 46 年に設立した Eckert-Mauchly Computer を 50 年に買収してコンピュータ事業に進出している。

尚、ENIAC は世界初のコンピュータであるとされているがかなり怪しいものである。ENIAC には 10 進法が採用されていたり、またプログラムはパンチカードなどで読み込む方式ではあったとは言え、ハードの変更(パッチパネル盤を使ってスイッチや配線を変更)を必要とし、プログラムの変更のために 1 週間は要するしのものだった。

一方、ドイツでは 41 年に 2 進法(10 進法に比べハードを単純化できる)を使い、プログラム変更がハードに依存しない方式の Zuse Z3 が既に実用化されていた。IBM は 46 年に Konrad Zuse から特許使用許諾を取得している。Zuse3 が今日のコンピュータの源流といえそうである。

尚、ENIAC に関する特許が成立していたが、Honeywell が特許を保有する Sperry を 67 年に提訴。コンピュータの発明は 42 年にアイオワ州立大学で開発された Atanasoff-Berry Computer (ABC)だとして、ENIAC に関する特許は無効になっている。ABC は 2 進法を使った電子式計算器で、且つ演算と記憶する部分が分離していた。

\*2 Super computer の走り、60 年 6 月に LLNL に納入された。翌 61 年 4 月に IBM7030 が出荷されたため、2 台(もう 1 台は海軍)しか売れなかった。当時 Planer TR の性能が上がっており、それに対し LARK は 1 世代前の成長型 TR を使っていた。尚、開発の中心となったのは中国出身で ENIAC 開発メンバーであった Jeffrey Chu。

\*3 IBM は周辺装置に優位性を持っていた。圧倒的なシェアを持つ PCS(Panch Card SYSTEM)などもろもろの機器をコンピュータシステムに組み込み、更には HDD 装置などを開発した。他社は CPU 装置では優れていたとしても、とりわけ事務用のシステムの性能では総合的には劣り、IBM の周辺機器に依存せざるを得なかった。IBM は寡占力を持つ周辺装置の収益でコンピュータ事業を優位に進めることができた。

尚、大型の汎用機(事務用)としては Remington Rand の UNIVAC 1 の出荷は 51 年、IBM704 は 55 年と IBM は出遅れていた。

\*4 LARK に敗れた LLNL のプロジェクトを引き継ぎ、更に発展させたもので Los Alamos National Laboratory(LANL)のプロジェクトとして開発が進む。性能が出ず 1 号機は値引きして LANL へ納入された。IBM としては最初のスーパーコンピュータの試みであった。CDC6600 が出荷される 64 年までの 3 年間は世界最高速のマシンであった。

\*5 CDC は William Norris を中心とする戦時中海軍で暗号解読器を開発していたメンバーが、46 年に航空機関連メーカーである Chase Aircraft Company にチームごと引きとられ、Engineering Research Associates(ERA)がミネソタ州セントポールに設立される。52 年に ERA は Remington Rand に売却され、57 年 9 月にチームは集団退社し CDC を隣のミネアポリスに設立。約 30 人の技術者集団である。尚、Seymour Cray は 50 年にチームに加わっている。

\*6 裁判は非公開であった。数千万ドルと推定されていた。約 30 年後、DEC で VAX 開発の指揮を執った Gordon Bell が Seymour Cray の追悼公演の際に 6 億ドルだったと言及していた。

## Traitorous Eight と Dirty Dozen

54 年に Shockley は Bell 研を去り、自らが発明した接合型 TR の事業化の為に資金提供者を求め米国中を訪ねまわっている。そして CalTech 大での恩師で科学機器メーカーの Beckman Instruments (現 Beckman Coulter)の創業者 Arnold Bechman の援助により 56 年\*1 に Shockley Transistor Corporation を故郷である Mountain View (Palo Alto の南東 8km)に設立する。この時 Stanford 大の Terman が研究者の採用などで協力したといわれる。この会社は 59 年には Clevite Transistor 社に売却され、更に 65 年には ITT に売却され、68 年

には閉鎖されることになる。Shockley は Clevite への売却後もコンサルタントとしてとどまるが、61 年に交通事故で重傷となり退く。その後 63 年から 72 年まで Stanford 大で教鞭をとっている。

\*1 会社発足時には 25 名であった。55 年から採用活動を始め、先ず William Happ(Raytheon から)、George Horsley(Bell 研)、Leopold Valdes(Bell 研)、Richard Jones(UC Berkeley)の 4 人が採用されている。尚、最初に採用された 4 人の内、56 年に Valdes、57 年に Jones、58 年に Happ が去っている。去るものも多し一方、人材には事欠くことは無かった様で、例えば 58 年にはドイツから Hans Queisser が入所し結晶関連の研究開発に従事し、61 年には Shockley-Queisser limit として知られる太陽光の電気エネルギーへの変換効率が最大 30%であることを解明したりしている。

尚、事業的には 1958 年までに Beckman は 100 万ドル以上を注ぎ込むが、その時点でショックレーが執着した P-N-P-N 型 Di を日産数百個生産するが、特性にバラツキが大きく本格的に採用をするユーザーはなく事業的には依然として立ち上がりず、Beckman は 58 年に shockley semiconductor laboratory と改称した上、Clevite Transistor 社に売却する。尚、Clevite は TR の最初の発明者とも言えるドイツ人 Herbert Mataré の設立した German Intermetall も 55 年に傘下に入れている。

## Traitorous Eight

56 年に Shockley Transistor Corporation が設立されると、Shockley の名声に引かれて、Philco で表面障壁型 TR の研究をしていた Robert Noyce、John Hopkin 大から Gordon Moore、Western Electric から Eugene Kleiner と Julius Blank、Dow Chemical から Sheldon Roberts、CalTech から Jean Hoerni、Stanford 大から Victor Grinich、MIT から Jay Last など全米から研究者が集まってくる。

しかし設立早々、Noyce をリーダーとするグループと Shockley の間に対立が起きる。将来性の高いシリコン酸化膜を用いた選択拡散法<sup>\*1</sup>による TR の開発を主張する Noyce らに対し、Shockley は自分のこれまでの研究の延長にあった P-N-P-N 型のスイッチング素子<sup>\*2</sup> (サイリスタ) の研究を推進したことが対立の契機と云われる。

56 年に Shockley は Bell 研の同僚であった Brattain、Bardeen とともにノーベル賞を受けるが、間もなく Noyce と Moore をリーダーとして Kleiner、Blank、Roberts、Hoerni、Grinich、Last の 8 人が去ることになる。この 8 人は 57 年 9 月に Fairchild Camera&Instrument の創業者 Sherman Fairchild の援助で Fairchild Semiconductor を設立する<sup>\*3</sup>。この 8 人の他に Chih-Tang Sah<sup>\*4</sup>(59 年)や Harry Sello(59 年 2 月)も後に Fairchild に加わる。

Fairchild の立ち上がりは順調だった<sup>\*5</sup>。Bell 研で開発された Si メサ型 TR に集中し、58 年には売上 50 万ドル、59 年 7 百万ドル、60 年 24 百万ドルへと増加する。IBM から B-70 爆撃機のコンピュータ用航空機メーカーの North American Aviation (NAA)からミニットマン・ミサイルの誘導システム用に Si NPN Mesa 型の高速度スイッチング TR2N697/2N697 を受注し飛躍の契機とする。価格は 1 個 100 ドル強だった。61 年には世界に先駆け汎用 IC の Micrologic シリーズを出荷する。軍用機製造の Martin Marietta の汎用コンピュータ MARTAC 420 などに搭載された。価格は 1 個 120 ドルだった。

しかし、この 8 人も Fairchild に長く留まることは無かった。まず、61 年に Kleiner、Roberts、Hoerni、Last の 4 人が Amelco を設立する。これは直に Teledyne 社に買収される。Hoerni は 64 年に Union Carbide に移り半導体半導体部門を創設し、更に 67 年には Intersil<sup>\*6</sup> を設立する。

Hoerni は Planer 技術の開発者として名高い。Planer 技術は表面を酸化膜で覆う(選択拡散の際の遮蔽物として形成した酸化膜を除去せずに残すと言うべき)ことにより劣化問題を解決したのみではなく、IC 化への道も切り開いた。Kilby と Noyce が IC の発明者であるが、いわゆる Noyce の “Semiconductor device-and-lead structure” は Planer 技術を使って Kilby の “Miniature semiconductor integrated circuit” の完成度を大きく高めたものである。

Kleiner は 72 年に Thomas Parkins と設立したベンチャーキャピタルの Kleiner Parkins の設立者として

も有名である。Roberts もベンチャーキャピタリストになっている。

残る 4 人の内、Grinich は Stanford 大学へ、BLANK は 60 年代後半にコンサルタント会社を設立しており、残るのはリーダー格であった Noyce と Moore の 2 人だが、彼らも 68 年に去って Intel を設立することになる。

シリコンバレーでのスピアウトは 60 年代後半が特に激しい。この時期、東部の企業で撤退・事業売却する企業が相次ぐ。フロリダに 59 年に設立された Solitron という今では忘れられてしまったような軍需中心(現在も売上 12 百万ドルの内の 8 割は軍需関連)の半導体メーカーがあるが、60 年代後半には立て続けに買収を行っていた。Honeywell、Bendix、Sperry、Union Carbide とそうそうたる顔ぶれから半導体事業を買収している。そうした大企業の大企業の事業売却が 60 年代後半に集中するが、それに伴い人材も流動化する。シリコンバレーでも MOS-IC で先駆的な役割を果たした Philco-Ford Electronics(Ford が 61 年に Philco を買収)が 68 年に閉鎖される。Philco-Ford は 63 年に Fairchild からスピアウトした James Ferguson らにより設立された General Micro-Electronics Inc.(GME : 7 番目の Fairchild)を買収していたが、GME はトップを切って MOS-IC の商品化をし、キーテクノロジーである Si-Gate 技術を開発した会社であり、MOS 技術の将来性が高いこともあり Philco-Ford Electronics の閉鎖は数多くの Fairchild を生むきっかけとなる。Fairchild に起源をもつ半導体メーカーは 80 年代半ばに数えたら 126 社にのぼったと言われる。

\*1 熱酸化によってシリコン酸化膜形成しフォトプロセスを使ってパターンニングし拡散の際の遮蔽物として用いた選択拡散法は 57 年に Bell 研の Carl Frosch と Lincoln Derick によって開発される。初期の IC 製造の為に要素技術が出揃うことになる。

\*2 50 年に Shockley が考案、Bell 研などで研究が進み、56 年に GE の Frank Gutzwiller によって開発され、58 年初頭に量産化される。但し、Shockley が目指したのはスイッチング素子であり GE の開発したものとは異なる。

\*3 後にベンチャーキャピタリストとなる Kleiner が投資銀行 Hayden Stone と Noyce 達を仲介する。Hayden Stone の Arthur Rock らが Noyce らに Sherman Fairchild を仲介し、Sherman Fairchild は 130 万ドルを出資する。

\*4 Sah は 56 年に Shockley transistor に入社した初期のメンバー。中国出身。Stanford 大で博士号取得後入社。63 年に Frank Wanlass と共に CMOS を開発。尚、Sah は 64 年に Illinois 大学へ、Wanlass も 64 年に GME へ去っている。

\*5 ほとんど市販されている半導体製造機器などは無かった時代であり、半導体メーカーは独自で試行錯誤しながら製造装置を開発していた。Si 結晶製造装置、マスク製造装置(photorepeater)、拡散酸化炉、アルミ蒸着装置などなど。治具なども手作りで、例えば IC チップのワイヤーボンディングに使用されるキャピラリーは細い管を通じてボンディングワイヤ(金線やアルミ線)がキャピラリーの先端から繰り出される構造となっているが、市販の温度計の水銀を抜きそれを加工して作っていた。

\*6 Intersil は 78 年に Northern Telecom の資本参加を受け、83 年には GE により買収され GE Solid State Semiconductor と改称された後、85 年に Harris へ売却される。99 年に Harris の半導体部門が Management Buyout によって独立し Intersil の社名が復活するという変遷を辿った。ルネサス(日電・日立・三菱の半導体部門が統合)によって 17 年の 3,000 億円で買収される。

## Dirty dozen

シリコンバレー同じ頃に IBM の San Jose 研などからのスピアウトが相次ぐ。また ACS 開発の失敗\*1により人材の流出を招くことになる。

IBM の San Jose 研の Vic Witt's storage products group から 67 年 12 月に 12 人(技術者が主、その他 Financial analyst など)が集団でスピアウトし Information Storage System(ISS)を設立し IBM2314\*2 コンパチブルの Disk Storage System を開発する。IBM にとっては前代未聞の出来事だったようである。但し、この 12 人のスピアウトは序の口に過ぎず、68 年夏には Alan Shugart が Memorex に転社すると、多くの技術者が Shugart の積極的なリクルートによりその後につき、その数は 200 人に近づいたと

言われる。Shugart はその後、Memorex を去り 73 年 1 月に FDD の Shugart Associates を Finis Conner 等 9 人ともに設立する。更に Shugart と Conner は 78 年に HDD の Seagate technology を設立し、そこら Conner はスピンアウトし 85 年にはやはり低価格の民生向け製品に特化した HDD の Conner Peripherals を設立し、この IBM San Jose からのスピンアウトは後に FDD や HDD 関連のベンチャーをシリコンバレーに濫立させることになる\*3。HDD 市場は現在(22 年)までに統合が進み Seagate(40%)と Western Digital(40%)、および東芝(20%)の 3 社による寡占状態であるが、嘗ては競争の激しい市場であった。そしてアジアの 4 社(富士通・サムソン・東芝・日立)を除けば、そのほとんどが IBM からスピンアウトした技術者たちによって設立されたものであったと言っても過言ではなさそうである。IBM のストレージ部門からのスピンアウトは 80 年代になっても続いていた。

一方、IBM Melon Park でもスピンアウトの動きが始まる。69 年に ACS は開発中止が決定されるが、その直前には Russell Robelen 等 3 人が IBM を去り Mascor(Multi Access System Corp)を設立している。これに Fred Buelow や John Zasio なども加わり、総勢 20 人ほどが IBM を去っている。

そして、70 年 7 月に Eugene Amdahl が IBM を去り 12 月に IBM コンパチ・大型コンピュータ開発の Amdahl Corp\*4 を設立すると、ベンチャーキャピタル\*5 からの追加出資獲得に失敗し破綻した Mascor から 15 人ほどが合流するほか、泡沫的に誕生し破綻した Berkeley Computer や Gemini Computer などの技術者も Amdahl に合流していく。その後、Amdahl 社は急速に人員を増やし 73 年頃には 600 人を超えるが、その後、人員を半減させるなどのリストラを行い、それがまた人材の流動化を招くことになる。

これら IBM Menlo Park や Amdahl から流出した技術者たちが Federico Faggin や嶋正敏らを継ぐ第三世代の MPU 開発者としてシリコンバレーで活躍していくことになる。

\*1 IBM Menlo Park での ACS プロジェクトは失敗に終わるものの研究としては後の MPU に大きな影響を与えることになる。RISK MPU の原型と言うべきものがプロジェクトの一員であった John Cocke 考案されている。Cray の CDC7600 に始まる RISK architecture は Cocke によって 80 年に IBM801 MPU として完成を見ることになる。

\*2 66 年に発売され 360 シリーズおよび 370 シリーズに使われた。Memorex から Memorex660 としてコンパチ機が出されている。ISS の開発したコンパチ機は Telex から販売されている。尚、Memorex と Telex は 88 年に合併し Memorex-Telex となる。96 年に倒産。尚、69 年には、Jesse Aweida, Juan Rodriguez, Thomas Kavanagh, Zoltan Herger の 4 人がスピンアウトとして、IBM コンパチの HDD 装置の Storage Technology Corporation.設立している。HDD では或る程度の成功を収めたものの、IBM コンパチの大型コンピュータ開発に乗り出し失敗し 84 年に破綻する。

\*3 2000 年の HDD 業界の主要企業を見ると、Conner を買収し top に立った Seagate(シェア 21%)を筆頭に、Quantam(16%)、Maxtor(14%)、IBM(13%)、富士通(13%)、Western digital(10%)、Tandon)、サムソン(5%)、東芝(4%)、日立(3%)の 10 社で 99%のシェアを占めていたが、この内、Seagate、Conner、Quantam、Tandon の 4 社は IBM、Memorex を経た技術者たちによって設立され、Maxtor は IBM からの直接のスピンアウトである。

尚、Seagate は Quantam、Maxtor、サムソンを買収、Western digital は IBM を買収した日立を買収、東芝は富士通を買収し、現在の 3 社体制となっている。

尚、HDD のキーパーツとして、ヘッド、モーター、メディア(アルミないしはガラスの基板)があるが、モーター、メディアに関しては日系企業が圧倒的なシェアを持っている。日本電産は 83 年から始まる Siegate との取引(2000 年には Seagate のモーター部門買収)によって飛躍の機会を得たといえる。ヘッドに関しては集約化の進展に伴い内製化が進んでいるため TDK など独立系のシェアは下降気味だが、非 HDD メーカーとしては同じく日系企業が圧倒的なシェアを持っている。

尚、HDD からフラッシュメモリーを使った SSD 化が進んできているが、Western digital(傘下の Sandisk)と東芝は SSD も手掛け、且つ両社は協力関係にある。

\*4 Amdahl は設立早々資金に窮した。期待したベンチャーキャピタルからの出資が思う様には集まらなかった。71 年にシカゴのベンチャーキャピタル Heizer Corporation より 2 百万ドルの出資を受けられた程度であった。同年富士通と提携し 5 百万ドルの出資を受け、翌 72 年には独 Nixdorf 社と提携し 6 百万ドルの出資を受け、これらに続き富士通の追加出資などで約 20 百万ドルを調達する。

事業資金は当初 33～44 百万ドルと想定されていたが、一時大きく膨らみかけたものの、富士通の IC 技術や高密度実装技術との統一を図り(空冷を可能とした)、且つ富士通への生産委託により開発費用の削減、人員の大幅削減をするものの、結果的にはオイルショックによる物価上昇もあってか 47.5 百万ドルを要した。

470V/6 の 1 号機を 75 年 6 月に NASA に納入している。翌 76 年には株式公開を果たしている。尚、富士通の類似機種 DIPS-11/30 や FACOM M-190 に対して 1 年先行しての出荷である。

\*5 70 年代にはいるとベンチャーキャピタルの出資姿勢が厳しくなり、追加出資を受けられず破綻するベンチャー企業が多くなる。ベンチャーキャピタルは、1958 年に SMALL BUSINESS INVESTMENT ACT (SBIC: 中小企業投資法) が制定されたのが契機となり濫立することになる。SBIC は、政府からの低利の借り入れや債務保証で資金調達ができ、それを原資にベンチャー投資を行うことができた。60 年初期には 600 社近い SBIC が全米で誕生したとされる。60 年代にはシティ・コープなどの大手の金融機関、EXXON など大企業、年金基金、大学の Endowment (例えば Harvard 大は 2021 年時点で 532 億ドルを持つ有数の機関投資家である) もベンチャー投資に参入し、ベンチャーキャピタル業界はブームを迎えていた。しかし、69 年のキャピタルゲイン課税の強化 (29%→49%) や不況による株式市場も低迷もありベンチャーキャピタルは不振に陥ることになる。不振からの脱却の契機は 74 年の ERISA 法 (従業員退職所得保障法) による年金基金に対する分散投資の奨励やキャピタルゲイン税率の 78 年の引き下げ (49%→28%、81 年には 20%) により再度ブームが訪れる。

## スプートニックショックと産軍複合体

半導体産業の草創期は産軍複合体\*1 (Military-industrial complex) 華やかかなりし時代であった。冷戦を背景に軍事予算は増え続け 50 年代末期には GDP の 10% (2020 年 3.74%) を占めるに至っていた。企業と軍、更には議員の癒着が問題となっていた時期で、アイゼンハワー大統領は退任の際に警告したほどだった。ケネディー政権になり Robert McNamara が国防長官 (61～68 年) となる。Harvard Business School で助教 (Assistant professor) を務めた後、二次大戦中は陸軍で統計学を使って戦略爆撃の立案などに従事し、戦後 Ford Motors に移り、Ford 社長から国防長官に転じた。McNamara は軍の予算管理に経営学的手法を導入した。Planning Programming Budgeting System (PPBS) を導入し、その手法である Development Concept Paper (DCP) により、効果、スケジュール、費用積算、技術リスクなどをチェックし進行中のプロジェクトの見直しを繰り返している。これにより Boeing の B70 爆撃機の開発を打ち切ったりした。また物資調達に競争原理を導入するためセカンドソースを求めさせるようになったのもこの時期である。それでも軍事予算はベルリン機器、キューバ危機、更に言はベトナム戦争の泥沼化により膨れ上がる一方だった。ABM (Antiballistic Missile) の配備計画に 400 億ドルを申請されたりする。

ソ連の原水爆開発の成功に続き、ICBM (大陸間弾道ミサイル) の成功やスプートニク打ち上げ成功\*2 により危機感が煽られる。

半導体産業の立ち上がり期に、軍と NASA が提供した膨大な研究資金と調達によって半導体は技術・市場とも発展していく。50～60 年代半ば頃までは軍や NASA の調達の場合、公開入札を行うことが原則とはなっていたが、競争原理が働くのはごく初期の段階に過ぎず以後は随意契約に近いものであった。軍は価格よりも性能を重視し企業が要して全ての費用と一定の利益を支払う方式を採った。半導体の場合、不良品も買い上げてくれるようなもので、歩留向上へのインセンティブが働かないどころか、悪ければ悪いほど売り上げも増え収益も上がることになるというとんでもない仕組みであった。70 年代に入り軍拡競争から軍縮へと転換する。軍や NASA の予算が削減されるが、それに加え、McNamara 時代にセカンドソースを求める調達方式に変えたことも大きく影響する。

\*1 産軍+学の複合体と言うべきかも。大学も研究費において軍に対する依存が大きかった。

\*2 この頃の米ソの軍拡・宇宙開発競争及び主な出来事を見ておくと;—

49年03月 ソ:原爆実験成功  
 52年11月 米:水爆実験に成功  
 53年08月 ソ:水爆保有宣言  
 54年01月 米:原子力潜水艦ノーチラス号進水  
 54年03月 米:ビキニ環礁水爆実験  
 57年08月 ソ:ICBM 成功  
 57年10月 ソ:人工衛星スプートニク打ち上げ成功  
 58年01月 米:人工衛星エクスプローラー1号打ち上げ成功  
 59年01月 ソ:ルナ1号月の近傍6,000kmを通過、9月ルナ3号月面に到着(激突)  
 61年04月 ソ:ボストーク1号による有人宇宙飛行(地球周回)成功  
 61年06月 米:マーキュリー・レッドストーン3号による有人弾道飛行成功  
 61年05月 米:ベトナム直接介入開始  
 62年02月 米:フレンドシップ7号による有人宇宙飛行(地球周回)成功  
 62年10月 米ソ:キューバ危機  
 62年07月 米:通信衛星テルスター1号による仏米間テレビ中継成功  
 63年11月 米:リレー衛星(62年12月打ち上げのリレー1号を使って)による日米間テレビ中継成功  
 64年07月 米:無人ロケット・レインジャー7号月面着陸(激突)  
 64年10月 中:核実験成功、67年6月水爆実験成功、核保有国となる  
 65年07月 米:マリーナ4号、火星を周回し撮影に成功  
 67年10月 ソ:ベネラ4号金星に軟着陸  
 68年01月 米:米軍ベトナム派兵55万人に達する  
 69年01月 米ソ:第一次戦略兵器制限交渉(SALT1)の予備交渉開始  
 69年03月 ソ中:ダマンスキー島事件を契機に、中ソ国境線を挟みソ連軍658千人、中国軍814千人が対峙  
 69年07月 米:アポロ11号月面着陸、人類が初めて月面に降り立つ(これを受けソ連は技術的問題も有り月面着陸計画を断念)。  
 71年07月 米:ドル防衛策発表(ドル・ショック)  
 72年05月 米ソ:SALT1及び弾道弾迎撃ミサイル(ABM)制限条約調印、デタントの時代へ  
 73年01月 米:ベトナム戦争終結、69年以降米軍は撤退を続け、終結時には24,000人にまで減っていた  
 73年06月 米ソ:核戦争防止協定調印  
 73年10月 オイルショック

## シリコンバレーと軍需産業

シリコンバレーの代表的な軍需企業\*1としては、56年に Sunnyvale(Palo Alto の南東 14km)に進出した Lockheed がある。ここで人工衛星や戦略ミサイルの制御システムなどの開発や、それらシステムの IC 設計などが行われていた。80年代中頃までは Lockheed の Sunnyvale がシリコンバレー最大の事業所だった。CADAM はここで開発されコンピュータ産業発展に多くな役割を担うことになる。

米国西海岸は航空・宇宙・軍事関係の集積の高い地域で特に Los Angeles 近郊には空軍の最大の拠点である Edwards 空軍基地があり、その南の Antelope Valley には Lockheed や Northrop の本拠がある。また antelope Valley には Rockwell の Space Division が置かれここを中心に General Dynamics、Grumman、McDonnell Douglas など約 100 社のサブコントラクターの協力により 250 万店の部品からなるスペースシャトルの開発・製造がおこなわれた。また Jet Propulsion Laboratory(ジェット推進研究所)も Los Angeles 近郊の Pasadena にある。

55年に汎用計算機である IBM701 の Los Angeles 地区のユーザーを中心にして SHARE(Society for Handling Avoid Repetitional Effort)が結成されている。当時のコンピュータは OS でさえ、必要ならばユーザーのプログラマー等が独自で作成していた。GM や North American Aviation (NAA : 現 Rockwell) のプログラマー等の手を経て改良されていった GM-NAA I/O\*2 というプログラムがあったが、SHARE ではこれをベースにして SOS(Share Operating System)を作成したり、Assembly 言語の SAP(Share

Assembly Program)などを開発したり、ユーザーグループ間のデータ交換のため磁気テープの記憶方式の統一をするなど先駆的な役割を果たしている。この SHARE の中心メンバーだったのが、これら西海岸のコンピュータの先進ユーザーである軍需関連企業であった。

Bay Area は Mare Island Naval Shipyard、San Francisco Naval Shipyard や小型護衛空母などを建造した民間の Kaiser Shipyards (Richmond 市) など軍艦建造の集積地であり、二次大戦中は建艦の半分は Bay Area でなされたと言われる。また二次大戦後は軍の R&D 契約の 3 分の 1 をカリフォルニア州が占め、軍との結びつきが強かった。他州で創業した半導体メーカーも本拠をシリコンバレーに移す動き\*3があったが、シリコンバレーの優位性は半導体装置メーカーなどサポーターインダストリーの集積などもあり高かった。

米国半導体売上	62年	65年
軍需	223	247 百万ドル
その他	352	637
計	575	884

内IC売上	62年	65年
軍用	6.8	61.0 百万ドル
産業用	0.2	23.8
その他		0.2
計	7.0	85.0

IC の需要としては、60 年代中頃までは軍需産業が大きな比率を占めていた。65 年の IC の企業別売上は、TI 26 百万ドル、Fairchild 18 百万ドル、WH 12 百万ドル、Motrola 7 百万ドルと主要 4 社で 4 分の 3 近くを占めていた。

\*1 カリフォルニア州は航空宇宙を中心に、軍需産業の一大集積地であった。69 年のデータでは、国防省の調達(Military Prime Contract)の総額 35,249 百万ドルの内、カリフォルニア州が 6,824 百万ドル(19.4%)を占め、二位のニューヨーク州の 3,074 百万ドル(8.7%)の 2 倍以上であった。特にミサイル・宇宙関連(missile and space system)においては全体 5,474 百万ドルの 46.6%の 2,550 百万ドルを占めた。また、発注内容として、Hard goods と RDT&E の研究開発関連(Research, development, test and evaluation work)に分けられるが、RDT&E において全体で 5,940 百万ドル(70 年)の内の 36.3%の 2,154 百万ドルをカリフォルニア州が占めるなど圧倒的であった。こうした軍需との結びつきがシリコンバレー発展にとって極めて大きな役割を果たし、シリコンバレーは産軍複合の時代の申し子であると言えそうである。

\*2 GM-NAA I/O は、GM で作成された Input/output プログラムをベースにして、North American Aviation (NAA : 元 Rockwell)で機能追加され、更にまた GM で機能追加され作られていった。これが世界初の OS と言われている。例えば機能としては、コンピュータ処理では一つのプログラムを実行するのに、パンチカードを読み込ませたり、紙テープのデータを読み込ませたり、演算処理、ソートなど多くの処理から成っているが、GM-NAA I/O プログラムを使うと、一つの処理が終わると自動的に次の処理を行うことができ効率化がはかれた。40 社ほどで使われていたと言われている。

\*3 例えば 59 年にコネチカット州で創業した National Semiconductor は 67 年に本拠を Santa Clara 市 (Palo Alto の南東 21 km) に移している。Fairchild からスピアウトして 62 年に設立されたMolectro を買収していたが、そこに本拠を移した形である。且つ、Fairchild から Charles Sporck ら 5 人の幹部を引き抜き Sporck をトップ(社長兼 CEO)に登用している。60 年代後半頃には半導体製造装置や原材料など高度化が進み、また先進企業で経験・ノウハウを積んだ人材の獲得などシリコンバレーには半導体産業にとってのインフラ形成も進んでおりビジネス環境が整備されて来ていた。TI や Motorola のような大企業はともかくとして、中堅・小規模企業にとって他地域はデメリットが目立つようになってきていた。60 年頃までは、半導体製造装置は自社開発せざるを得なかったが、60 代半ば過ぎには日本でさえ、例えばアルミ蒸着装置ならば Temescal(53 年 Livermore で創業、67 年 Aico-Temescal)が導入されていた。また、日電はバリアンとの合弁で日電バリアンを設立し、日電の真空機器部を分離・統合しその母体とし、蒸着装置 (スパッタリング装置) やドライエッチング装置などを開発し販売している。

なお、日本のコンピュータ系の主要半導体メーカーの場合 80 年代初めまでは光学系機器を除くと自社開発装置(製作は外注)が多かった様である。先端技術開発のキーが装置開発でもあった。

## R&D の軍需依存

Fairchild の R&D グループ人員は 60 年代半ばにはかなりの数に達し、既に 500 人近かったと言われる。軍事関係の場合、プログラムによっては、例えば当面は製品化に結び付きそうにない CCD などの研究費用は軍が 100% の費用負担を行っており研究費には事欠くことはなかった。また直接的な補助は少なくとも製品販売によって十分に研究費を回収できた。こうした半導体の研究費の多くは航空機メーカーやその関連機器メーカーを問うして半導体企業へ流れ込んでいた。Fairchild の研究部門を統括していた Moore は研究予算の管理に関しては研究員の数のみを管理しそれ以外は統制しなかったというが、それは丸抱え的な軍の研究費補助の仕組みに則したやり方だったのであろう。

70 年には軍事宇宙関連予算の削減の影響が早くも表れだすが、この年、Fairchild は大幅な組織改革を行い R&D 部門<sup>\*1</sup> の人員を 3 週間ほどの間に 500 人から 50 人に減らすという大胆なものだった。解雇ではなく、Mountain View の工場などより製品開発・製造に近い部門に研究員を再配置したものの、72 年の景気回復では再度増員されたりする。このリストラの時期は他の企業を危機的な状況に見舞われており転社もかなわず、また企業も困難な時期であったため、研究員の多くは止まらざるを得なかった。しばらくすると徐々に Intel などへの転出が進んでいく。軍事予算に削減(研究費関連では 3 割程度の削減)や市場が産業用や民生用にシフトしていく中、且つ競争が本格化していく中、Fairchild は大きな方向転換を余儀なくされたようだ。

60 年代末の Honeywell や Sperry の半導体からの撤退に続き、この 70 年代初頭の不況の時期に真空管時代をリードしていた東部の GE、WH、Raytheon、Philco-Ford などが IC 事業から撤退していく。Sylvania も工場閉鎖など事業を縮小している。

軍需が民需での優位に必ずしも結びつくとは限らないが、半導体においては初期的には極めて大きなものだった。TI は 61 年に IC を製品化し、それらは空軍のコンピュータ Minuteman Missile やアポロ宇宙船などに搭載された。Fairchild も同様に NASA との関係が強かった。これらは BIP のゲート IC で集積度が数個の IC の価格が 100 ドルから場合によっては数百ドルしたが、70 年代半ばには 10 セント程度で売られていた IC に比べても見劣りするものだった。この価格ではほとんど産業用や民生用では応用できる製品が見つからず、IC の立ち上げ期での多陽はほとんどが軍事・中庸に限られており、そうしたニーズを持つ米国の半導体企業の独壇場だった。ニーズの乏しかった欧州や日本企業に対し米企業の事業化は先行する。しかし、70 年代以降は軍事・宇宙の市場縮小に対し、産業用から民生用まで広く使われる MOS-IC が市場をリードしていく。この市場の変化により軍需依存の強い Fairchild の低落が始まり、新たに Intel など MOS 系の企業が大きく成長していくことになる。

### RDT&E 契約高

	全米	計	カリフォルニア州		
			比率	内企業	内大学等
68年	6,427	2,155	33.5%	1,983	172 百万ドル
69年	5,940	2,154	36.3%	1,992	162
70年	5,387	1,913	35.5%	1,751	162
71年	5,452	1,569	28.8%	1,427	142

\*1 シリコンバレーでの Fairchild の IC での初期における最大のライバルは 61 年に David Allison など Fairchild からスピンアウトした 4 人によって設立された Signetics(Rheem Semiconductor、Amelco に次ぐ第 3 社目の Fairchildren)であるが、研究所は持たずエンジニアリングパワーはもっぱら製造の生産性向上や顧客対応、特にカスタム IC への対応に重点的に配置するなど、二番手の戦略とでも言うべきものであったが、それなりの成果を出していた。装置メーカーや部材メーカーも育ってきており、それらを活用することで十分にやっつけける時代になってきていた。一方、Fairchild は半導体業界のパイオニアとして業界を研究開発面でリードし、設備開発なども含め広範な分野の開発に取り組んでいた。それによって競争優位を形成できていた時代もあったものの、新興メーカーが濫立し競争が本格化してくると、それらは寧ろ重荷になってしまっていたようだ。競争のパラダイムがシフトしてきた時代であった。