

半導体の歴史

— その7 20世紀後半 集積回路への発展(2) —



株式会社ルネサステクノロジ
生産本部技術開発統括部
MCU デバイス開発部 主管技師

おくやま こうすけ
奥山 幸祐

その他の日本における トランジスタ技術への取り組み

前稿にて新鋭の東京通信工業(通称 東通工、現・ソニー)がアメリカのウェスタン・エレクトリック社(WE社)からトランジスタ特許使用許可を得る契約を結び、携帯ラジオに適用することで、トランジスタラジオとして全世界にトランジスタの名前を広めたことに触れた。そこには将来のトランジスタラジオの需要を見通した着眼点のもと、果敢な技術開発への挑戦と、凄まじい技術者たちの努力と工夫があった。トランジスタを発明したのはアメリカのベル研究所であるが、その技術を日本に持ち込み、一般大衆向け製品の部品に仕上げるに当たり、多くの技術改良が施され、安価で丈夫な部品に育て上げられている。最終製品が出来上がった時点ではトランジスタの祖国であるアメリカをも凌ぐ技術へと仕上げられていたのである。

一方、東通工のトランジスタ製品化とは別に、日本においてトランジスタをいち早く作り上げたグループがある。東通工を初め、日本の企業がトランジスタ開発を手がけたのは1952年のトランジスタ関連特許が公開されて

からであるが、そのグループは1949年のベル研究所からの接合型トランジスタの発表後に、トランジスタの将来性に確信を持ち、文献を参考にしながら独力でトランジスタ動作を実測確認する。1951年に高純度ゲルマニウム結晶を精製し、純国産の点接触トランジスタを試作、翌年の1952年には接合型トランジスタの試作にも成功している。



岩瀬新午

そのグループは当時の通信省(NTTの前身)電気通信研究所(通研)神代分室無線研究科である。国の研究機関であることから製品化はしていないが、これらが日本での最初のトランジスタとなる。研究課長の関壮夫は1949年に接合型トランジスタが発表されたのを見て、トランジスタを用いる事により高信頼で小型、軽量、低消費電力の電化製品を実現できると確信する。当時の吉田五郎所長は関の下に優秀な人材を投入し1950年度からトランジスタの研究を始めさせる。関は東北大学理学部原子核研究室助手の岩瀬新午をスカウトし、同年2月に佐方利通主査の下でこの研究の責任者にすることで、岩瀬がこの研究の中心者となる。3月には京都大学からの新人、浅川俊文を加えることでコンビを組み、二人で文献を探す事から始めると共に、東北大学教授である渡辺寧の講義や通信省電気試験所物理部長の鳩山道夫主催の半導体勉強会などに参加することなどでトランジスタの概要を掴む。渡辺寧や鳩山道夫らは当時の日本占領軍GHQから逸早く得たアメリカでのトランジスタ発明の情報をもとに、日本でのトランジスタ技術の布教的役割を果たすと共に、多くの研究者を育て上げることで、日本における半導体学術研究のベースを作り上げてゆく大きな役割を果たしている。岩瀬らは早くも10月には日本最初の点接触型トランジスタの試作に成功している。これはゲルマニウム(Ge)の検波器に、もう1本の針電極を立て、針電極間の距離を50 μ mにして、バーデン、プラッティンらの点接触トランジスタ動作を再現させるものである。Ge検波器は秋葉原のジャンク屋で入手し、針電極を微小な間隔でたてるのは金属顕微鏡を利用している。文献を読みながら、針電極を変えたり、結晶面の場所を変えたり、表面処理を変えたりと手当たり次第行なったが、初めは全く電流増幅は現れず、浅川は「電流増幅は嘘ではないか?」とぼやきながら進めることになる。増幅作用が見られない原因をあれやこれやと考えながら試行錯誤してゆく。アメリカよりも日本の湿度が高いのが原因ではないかと考え、測定装置全体をガラスのベルジャーで覆い、中に吸湿剤を入れて湿度を下げたりもしている。毎日毎日測定を繰り返すがやはり旨いかない。この繰り返し作業を続けているうち、ある朝、突然増幅効果を確認することになる。浅川が疲れ果て、2~3日休暇を取って研究室に出てきた朝である。岩瀬が満面の笑顔で増幅作用が出たと電流電圧特性を浅川に見せたのである。測定前に、

コレクタに大電流を流してやる前処理を施すことで増幅作用が確認されたのである。岩瀬らはこの前処理をフォーミングと呼んでいる。浅川が秋の物理学会で報告すると、電気試験所の人から「自分の所ではできなかったのに、なぜ通研ではできたのか？」としつこく聞かれるが、自分でも理由が判らないので明確な回答ができず、ただ安定な接触、低湿度、そして毎日電圧を上げ、下げたことを話すのみであった。これが、日本国内初のトランジスター動作の確認である。

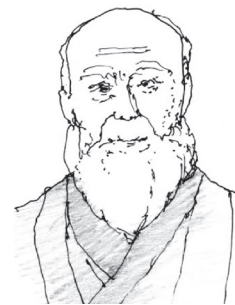
本格的に結晶内の不純物濃度を制御したGeを手作りし、安定したトランジスター動作を確認するのは翌年になる。1951年4月に東京大学から入社した新人の富永大雄を加えて99.99999%の高純度のGe結晶を試作し、同年10月には純国産点接触型トランジスターの試作に成功、1952年4月に物理学会で富永が発表している。富永は非常に真面目で几帳面な人であり、電流増幅について、結晶の非抵抗、表面処理、電極材料、針の圧力、「フォーミング」の条件としての電流、電圧、波形などについて徹底して実験を行なう。これらの実験の積み重ねにより、その後のトランジスターの試作にすばらしい特性のものがどんどん作れるようになる。そして、この年の新人の渡辺誠を加えて日本最初の接合型トランジスターの試作に成功している。1953年に、このトランジスターを用いたラジオ、電蓄、補聴器を三越で開かれた電気通信展覧会に出展しようとするが、プラスチックでモールドした段階で増幅率が低下し使える状態なくなり、結局、上司の関には告げないまま、公表は接触型トランジスターとしながら点接触型トランジスターを代用して展示している。どちらにしても、この時のラジオが日本での初めてのトランジスターラジオとなる。この年に世界理論物理学会が日本で開かれ、バーディンをはじめ世界の固体物理学者が来日し、日本の研究者も直接話す機会を得ている。この時、バーディンは通研に立ち寄り、通研製の接合型トランジスターの特性をカーブトレーサの波形で確認している。また、岩瀬や浅川らは1954年に東通工の好意で同社の五反田の会議室で合金型トランジスターの作り方などを聞く機会を持つ。ここでアメリカのWE社から技術導入した東通工の秘術力の高さに感心するとともにアメリカの工業力の大きさをあらためて感じている。通研が研究室内で実験的に試作したものと、東通工が世界に向けて工業化してゆくために準備していた量産レベルの違いが現れたのである。例えば、製造可能なGeのインゴットの大きさは通研では持ち合わせのGeを全て集めても径10センチ×厚1センチの大きさのものを作るのが精一杯であったが、東通工で見せて貰ったものは、幅1.5インチ、長さ30センチの銀灰色をした見事なナマコ型の単結晶である。前稿の「トランジスターの名を有名にした日本のトランジスターラジオ」項で触れたように、合金のやり方など色々な面で独自

に工夫されたものであったのである。東通工のこの技術が、単にアメリカから導入されたものではなく、東通工がWE社から特許公開されただけで技術支援を受けずに大部分を独自に工夫したものであることを岩瀬や浅川らがどれだけ認識したかは確かでない。

1955年以降になると大手電機メーカーがトランジスタ量産に積極的に踏み切り、アメリカのメーカーから技術導入し、本格的な量産工場を設立するに到ると、これに伴い通研の研究者たちからも多くのメンバーが電機メーカーの研究室や事業部などに転職し、各メーカーの牽引役となり、日本の半導体産業を支えてゆく。1957年に岩瀬が三洋電機に入社すると同時に半導体研究所長に就任、1962年には関が日立の中央研究所第4部長（半導体研究部門）に就任、浅川が三菱電機中央研究所へ転出することで、それぞれ第一線で活躍することになる。

日本における電子工学の礎

前稿から日本におけるトランジスタ技術の導入と発展について述べたが、敗戦による極貧の経済状態に在りながら、アメリカにて1948年にトランジスタが発明された直後に、この固体素子の動作原理を理解し、将来性とその重要性を認識することで発明の発表から2年後には自らの手で再現、1952年に特許が開放されてから3年後には産業製品として量産を開始し、その4年後には世界一の生産国となり、半導体技術が技術立国日本の1つの柱となってゆく。この様な10年以内の短期間での技術昇華を可能にできた要因とその下地はどのようにして形成されたものであろうか。この稿は谷光太郎著『半導体産業の系譜』を参考に日本での電子技術発展を可能にした背景について触れてゆく。



八木秀次

ここに1人の科学者がいる。それは八木秀次である。八木は1886年1月28日に大阪の豪商の3男として生まれ、子供のころは算数が嫌いであつたが、日露戦争での日本海軍の無線通信の活躍をし、工学科に進んでいる。「1905年5月27日午前2時45分、九州西方海域203号地点にて連合艦隊特務艦隊、艦長成川揆大佐指揮の仮装巡洋艦「信濃丸」がバルチック艦隊の病院船「アリヨール」の灯火を夜の海上に発見。接近して無灯火航行中の他の艦を多数確認し、4時45分、第一報にて「敵艦見ユ」を意味する「タタタ」で始まる「敵艦203地点ニ見ユ0445」を打電した」のが、日本で戦争に使用した初めての無線通信になるが、

このニュースに八木少年は心を躍らせる。文学少年であった八木は無線技術に興味を抱き、まるで日本海戦における連合艦隊参謀秋山真之のT字戦法で敵前回頭したごとく大学進学を目の前にして大転換し工学科に進む。これによって生涯を無線通信技術研究にささげる事になり、この事が日本の電子工学の礎を築くことになる。蛇足であるが、後年、八木は高性能なアンテナを発明するが、このアンテナがレーダーシステムとして太平洋戦争で日本軍よりも連合軍に積極的に使用されることで日本の敗戦を早める一因となる。歴史的な皮肉とも言える。

1909年7月に東京帝国大学（東大）工科大学電気工学科を卒業している。通信省電気試験所所長で兼任講師をしていた浅野応輔から電信・電話学講義を受け、無線研究に益々興味を持った八木をよく電気試験所を訪れている。浅野は日本海海戦での無線電信技術に貢献した1人でもある。また、八木は与謝野晶子の実兄である東大教授鳳秀太郎に電磁気学の講義を受ける事で研究者の意義と面白さを知り、研究者の道を望み、鳳の紹介で仙台高等工業校（後の東北大）の電気講師となる。

翌年、教授となり、1913年にはドイツ・ドレスデン工科専門大学に留学し、バルクハウゼン教授に師事する。その後、イギリスに渡り、ロンドン大学ユニバーシティ・カレッジの教授で真空管の発明者であるフレミング（半導体のはなし2で触れたフレミング）の下で学んでいる。先の稿でも触れたように1904年にフレミングが2極真空管を発明し、1906年にド・フォレストが3極真空管を発明したことで電子技術の時代が始まる。トランジスタは3極真空管を固体素子で実現する技術であり、電子の増幅、発信、変調などの電子技術の基本となる特性が実現されたのは3極真空管である。八木が留学する前の年1912年には3極真空管の増幅効果、留学した年には電波の発信作用が発見されたときであり、まさに、電子技術が勃興する時に八木はフレミングの下で種々の実験を経験する。その後帰国し、1919年に東北大の工学博士の学位を得る。

この様な経験を得て東北大で研究を進めた八木は、当時、弱電と呼ばれていた電子工学に研究テーマを絞り、日本における電子工学の草分け的な存在となる。八木は国内では逸早く真空管の研究を主要テーマとしておく。真空管の電子の振る舞いを研究する基礎物理学にテーマをおいたのである。先の稿で述べたようにアメリカでは1920年にラジオ放送が開始され、その受信機に用いられる真空管の理論が完成しつつあった。近い将来、この真空管が主役になると見込んだのである。研究の資金集め方などについて同じ東北大で鉄鋼及び金属に関する冶金学・材料物性学の研究を行なっている本多光太郎の影響を受け、外部の財団や企業から資金集め、研究の基盤を築いている。本多光太郎は、日本はもとより世界に先駆けてこれらの研究を創始し、磁

性鋼であるKS鋼、新KS鋼の発明者として知られていた。これらの特許権を住友に寄贈することで多額の寄付金を得て、金属材料研究所を創設していた。八木もこの研究所に相当する電気通信研究所の創設に尽力する。結果として、八木の努力が実り、八木が大阪帝国大学（阪大）に異動した後に、東北大にこの研究所が創設される。本田や八木の外部からの研究資金の導入は東北大の伝統となり、現在でも活発に行なわれている。これらの努力により、真空管の研究においても、自前の真空管製作所を4カ所も設けている。研究室にきた見学者は研究室にある真空管の数に驚いている。また、八木は研究室に各国の物理学会誌を金に糸目を付けず取らせている。これらの資金面を含めた努力とともに多くの人材育成を、その後の阪大での物理学教室主任時代や後年の内閣技術院総裁などを通して行なっており、これらの活動が日本における電子工学の裾野を広げてゆく。例えば、1933年に大阪帝国大学理学部物理科主任教授に就任し、菊池正士の原子核物理研究を主任教授として予算的にも人的にも支援し、講師として在職していた湯川秀樹を叱咤激励し、それが後にノーベル物理学賞を受賞する中間子論に関する論文につながっている。更に、1944年には内閣技術院総裁に就任し、八木が総裁を務めた内閣技術院は、立ち遅れていた日本の科学兵器開発を指導する中心的存在となるべき組織であり、総裁の八木自身、熱線誘導兵器の研究を推進している。同研究は技術者の井深大と海軍技術将校の盛田昭夫が出会い、戦後、前記した東通工を創業するきっかけとなる。戦後では江崎玲於奈の「半導体の内部における電子のトンネル効果現象の発見」を高く評価し、ノーベル賞受賞の8年前に学士院賞を受賞させている。

一方、八木は貴重な発明も行なっている。「八木・宇多アンテナ」や「陽極分割型マグネトロン」などである。1925年に「八木・宇多アンテナ」の基礎理論を公表、翌年に特許を出願し、1928年に八木・宇田の連名で論文にしている。このアンテナが発明される発端は、当時、八木の指導の下で当時八木研究室にいた講師の宇田新太郎が実験中に電流計の針が異常な振れ方をするので原因を探求したところ、実験系の近くに置かれた金属棒の位置が関係していることが突き止められ、このアンテナの基本となる原理が発見される。発信や受信のアンテナの前に波長の半分より少し短い長さの導体を置くと、その方向に指向性を増す、いわゆる「導波現象」を確認したのである。この現象に着目した八木と宇多は、さまざまな条件下で実験を重ね、超短波の送受信方法を理論的に解明。その理論に基づく「指向性アンテナ」の特許を申請し、これを『電気学会雑誌』に発表する。特許出願が八木の単独名で出されたため、日本国外の人々には“Yagi antenna”として知られることとなり、日本では海外からの情報により注目されだしたので、日本

国内でも八木アンテナとの名称が広まる。欧米の学会や軍部では、八木・宇田アンテナの指向性に注目し、これを使用してレーダーの性能を飛躍的に向上させ、陸上施設や艦船はおろか航空機にもレーダーと八木・宇田アンテナが装備される。一方、日本の学界や軍部では敵を前にして電波を出すなど、暗闇に提灯を燈して位置を知らせるも同然と、殆ど注目されず、その存在を知る者も殆どいなかった。この為、このアンテナがミッドウエイ海戦の勝敗などに大きく影響している。現在においてもこれほど汎用性が高く、抜群の精度を誇るアンテナは開発されていないと言われ、世界中の各家庭の屋根にテレビアンテナとして掲げられている。

八木の後を継いだのが渡辺寧である。日本でトランジスター研究の最初期の研究を統括することになる。渡辺は1921年に東大の工学部電気工学科を卒業し、東北大の八木の下に講師として職を得る。八木の下で真空管の研究一筋に戦前を過ごしており、1926年に工学博士となり、1929年に同教授に就任、1934年に海軍技術研究所嘱託となり、電波兵器の改良・開発に指導的役割をはたし、1937年に通信省電気試験所兼任となり、1943年には海軍技師も兼任する。日本海軍は、先に述べた八木・宇田アンテナを用いたレーダーシステムを太平洋戦争のなかばになって本格的に取り入れようとする。そうして作り上げたレーダーシステムの故障原因の大半が真空管不良であった。50数本の真空管が使用されていたが、一本でも不良になるとレーダー自体がだめになる。真空管は東芝、日本電気、日本無線などのメーカーで作られていたが良品率が悪く1%程度であり、良品検査にパスしても100時間も通電すると球切れ現象を起こす。要するに品質が悪く、到底安定して50数本の真空管が使えるような状況ではなかった。さらに軍艦の上では大砲の発射による振動で球がきれる。その他の部品も高温多湿な環境では度々不良となった。これらの不良問題は切実な問題であり、軍は長岡半太郎、八木、渡辺らの学識経験者やメーカーの代表者による、陸海電波技術委員会を組織して対応を協議している。渡辺は1937年から通信省電気試験所技師兼任、1945年2月に海軍技術研究所島田実験所長に就任する。朝永振一郎（東京文理大）、菊池正士（阪大）、湯川秀樹（京大）らの物理学者が集められ、1000名近い一大研究所となる。終戦で研究所が解体すると東北大に戻り、物性論の文献に耽る。

トランジスター発明を最初に知るのは渡辺と電気試験所電子管部長の清宮博、同第一通信部長兼企画部長の吉田五郎の3人と言われている。トランジスターが発表された1948年である。情報を流したのは、ベル研究所にいたことのあるGHQ（連合司令部）のCCS（民間通信局）の研究部長のフランク・A・ポーキングホーンである。吉田は関にトランジスター研究を命じ、関が東北大から岩瀬をスカウ

トし研究を開始した事は前記の通りである。渡辺は戦前、真空管の不良問題に苦勞しており、このトランジスターが真空管問題の究極的解決と直感し、積極的に行動してゆく。

その次に発明を知るのは電気試験所の物理課長の鳩山道夫と同試験所の新入所員の菊池誠である。鳩山は菊池にゲルマニウムの結晶に針を立てて増幅作用を確認することを進めている。渡辺は電気試験所の基礎部長も兼務しており、鳩山の上司であり、鳩山にもトランジスターをやるように進めている。その年の10月になると渡辺と電気試験所所長の駒形作次が中心となって勉強会が発足する。渡辺がリーダーで、駒形が幹事役を務める。その一方で、渡辺は、トランジスター発明の報に接すると、直ぐに東北大の研究室の中野朝安、本田波雄の2人と大学院の特別研究生の西澤準潤一の3人にトランジスター研究を命じている。このようにして、日本におけるトランジスターの開発研究が開始されてゆくことで、渡辺の意思が鳩山や菊池、西澤らに伝達され、彼らはその意思を元にそれぞれの個性を生かした新たな発展を作り、更にほかの多くの研究者へと伝達することで裾野が広がる。鳩山や菊池らはかれらの研究室でトランジスターの研究を開始すると同時に、広い対象者に対して勉強会などを開催し、国内の学会活動の活性化を図り、且つ、バーディンやショックレーを初めとした海外の研究者らと広く交流を図ってゆく事で半導体初期の日本のボトムアップを図ってゆく。一方、西澤はPINダイオードの発明を筆頭に、数々の新デバイスの発明を自ら行い、研究室での研究や毎年定例で主催する蔵玉研修会などを通して後進の育成を図ってゆく。彼らもまた、日本の、そして世界の電子工学の礎となってゆく。

前稿で科学の進歩は「駅伝」と似て、科学者たちのバトンタッチで進んでゆくと言う事を述べた。どんな天才が現れても、いきなり急に新しいアイデアが形成されることはない。先人たちの積み重ねがあればこそ、積み木のように天才たちのアイデアが積み重ねられてゆく。日本におけるトランジスター開発に始まる半導体産業の勃興は、八木、渡辺やその他の物理科学者らが戦前から積み重ねて形成された土壌があればこそ、トランジスター発明の報が土壌に溶け込むように昇華されてきたものと考えられる。また、八木を物理学の研究に向かわせた通信省電気試験所所長の浅野や東大教授の鳳もその土壌を形成したひとりであり、浅野や鳳らの前の先人たちもその任を果たし、脈々と継続してきたと考えられる。先に述べた本田光太郎の新材料の発明なども同じような経過を辿っており、日本における怒涛の進歩は半導体技術に限ったことではなく、日本における「もの作り」全般で起こっている。新規の「もの作り」に挑戦することで喜びを感じる土壌があり、それこそが日本の「もの作り」を大切にし尊ぶ文化から生み出されたものである。その文化は必ずしも大それたものではなく、近所

のおじさんがちょっとしたからくりをつくり、周囲の人達の驚く顔を見て悦に入ると言ったようなものである。ちょっとした工夫を喜び合う文化が量子力学を楽しみ、半導体製品を世に送り出すことを可能にする人々を生み出しているように思われる。

一方、ペリー来航でも見られたように、日本人には日本列島の外から圧力が加わり、危機が迫ったと感じた時に、自らを変え、その圧力に対応しようとする。明治維新の時の西洋化がそれを現している。日本人としての本質は保ちながらも、良いものは全て取り込もうとする柔軟性である。この柔軟性も、良いものは良いと言う「もの作り」文化から来るものかも知れない。トランジスター発明の報がペリー来航と同じ外圧とは言えないが、外国の技術に取り残される危機感をもったことは事実である。島国だからこそ持つ危機的意識と新しい物で良いものは素直に取り込み、更に改良を加えることに喜びを感じる「もの作り」文化が、怒濤の技術改革を可能にしているように思われる。

(文中、敬称を略させていただきます)

参考文献

1. 堂田昌男・北田正弘 訳 フレデリック サイツ・ノーマン アインシュバラッハ 著 『エレクトロニクスと情報革命を担うシリコンの物語』
2. 城阪俊吉 著 『エレクトロニクスを中心とした年代別科学技術史』
3. 上山明博 著 『世界が認めた YAGI』
4. 谷光太郎 著 『半導体産業の奇跡』
5. 谷光太郎 著 『半導体産業の系譜』
6. 西澤潤一 大内淳義 共編 『日本の半導体開発 劇的發展を支えたパイオニア25人の証言』

次回

第9回 半導体の歴史

—その8 20世紀後半

集積回路への発展(3)—