

エンジニアリングの面白さ

ジャック・セントクレア・キルビー

技術とエンジニアに対する人々の見方は、私が生きている間に変わった。今世紀初頭、毎年のようにあつと驚くような新しい発明がなされた。交通では、電車、遠洋定期船、自動車など。建設では、ダム、橋、トンネルなど。新しいエネルギー源としては、蒸気機関や、ガソリンエンジン、発電機など。新素材においては、プラスチックやアルミ、また鉄鋼の改良など。そして、新しい消費材として、冷蔵庫やエアコン、カメラ、ラジオが登場し、人々の満足を生み、生活の質を向上した。

今日、このような驚異的な開発は、テレビ、コンピューター、様々な形態の個人通信機関、そしてもっと最近にはバイオテクノロジーに至るまで続いているが、一方で、エンジニアや技術に対する人々のイメージは以前とは異なるものになった。アメリカ中の大学で工学部の学生が減っている。技術は、環境や近代的生活の欠点の大部分を引き起こした犯人と考えられている。反テクノロジー運動は、もし進歩が止まれば、または少なくともスローダウンすれば、世界はもっと住みよい場所になると訴えている。

私は断固として意見を異にする。稲盛理事長もご賛同いただけると思うが、私は人類の活動の中で最も偉大なのは、人類と社会の改善のために尽くすことであると信じている。また、技術は、過去においてそうだったように、人類がおかれた状況を改善し続ける可能性を持つと確信している。新しい技術と知識は、世界全体の生活環境の向上に不可欠であり、それが科学の進歩や人間の精神とバランスをとって進められることが必要である点においては稲盛理事長と同じ意見である。

技術が重要なのは、それが出来事を引き起こす力を持っているからである。例えば、自動車の発明は、先進国の人々の生活様式を変貌させた。予期されなかった形でそれは起こり、その内には、望ましくないケースもある。誰も渋滞や、事故、公害を求めてはいなかったが、振り返ってみると、こういったことは、私達の移動性を手に入れた対価としては小さかったと思える。

今日、世界中の人々は、この点での可能性を期待している。それが実現され

るためには、多分まったく新しいアイデアや技術が必要になるだろう。エンジニアは、先進国によって使われてきた資源、その資源の大量消費なしで人々を移動させる新しい方法を見つけなければならない。この実現に向けて、非常に有能なエンジニア達は、重要な役割を果たすだろう。

このようなことから、私は、エンジニアであることに誇りを覚える。そして、私のキャリアが、若い人々がエンジニアリングと技術を将来の仕事に選ぶかと考えるきっかけになればと希望する。

私は、ミズーリ州ジェファーソンシティで1923年に生まれた。両親はイリノイ州出身で、隣り合う二軒の農家に生まれ、二人ともイリノイ大学を卒業した。父は、電気エンジニアで、私がまだ、かなり若い頃、カンザス州西部の小さな電気会社の社長に就任した。私達一家は、まずサリナに、そして後にグレートベンドに移った。

当時、サリナもグレートベンドも人口1万人から2万人の小さな町だった。中西部のこの種の小さな町は、子供が育つには素晴らしい環境であった。

私は、サリナとグレートベンドの公立校に通い、グレートベンド・ハイスクールを1941年に卒業した。成績は常に平均以上だったが、決して例外的に優秀な生徒というわけではなかった。この時期、私は、父が担当の電気設備を見て回るのについていき、このような経験を重ねるうちに、私は自分もエンジニアになりたいということに気づいた。

1937年、カンザス西部を電を伴う大型の嵐が襲い、州内中で停電や電話の不通事故が起こった。父は、地元のアマチュア無線技師を使って、州内に散在する事業所との連絡をとった。私にとって、これがアマチュア無線との出会いだった。私は他の地元のアマチュア無線技師数人と会い、モールス信号の勉強とライセンス取得のための試験勉強を始めた。私は1938年にライセンスを得た。そして、送信機を作り、アメリカ全土のハムと通信を始めた。

アマチュア無線の経験を通じて、私は、エレクトロニクスを専門とする電気エンジニアになることを決心した。1941年、高校を卒業した時、私はこの分野のトップであるマサチューセッツ工科大学への進学を希望した。当時、マサチューセッツ工科大学は、厳しい入学試験を設けていた。それも、特に数学において。私は一度も数学が得意だったことがなかった。そして、あと2、3点のところ受験に失敗した。

というわけで、私は他の学校を選ばなければならず、イリノイ大学に入学し

た。それは、非常によい選択だった。多分、私の求めていたものにはマサチューセッツ工科大学より合っていただろう。私は1941年9月に入学した。

真珠湾攻撃の後、私は陸軍に入隊した。その後も大学に留まっていたが、1943年6月通信隊に徴集され、無線技師として訓練を受けた。その後、同じ年に、私は戦略サービス部（The Office Strategic Services）に配属された。そして、極東に送られ、インド、ビルマ、中国と転々とした。仕事は、無線技術者として、無線送信機の保守・修理を行った。戦後、イリノイ大学に復籍し1947年に卒業した。

当時は、エレクトロニクスにおいてエキサイティングな時代だった。戦前、エレクトロニクスの重要な応用例は、無線しかなかった。それが戦争の影響で、レーダー、ソナー、機械の電子制御、初期のコンピューターなどが大規模に使用されるようになった。また、エンジニアリングに関する問題の解決のために、大規模で組織化された研究が有用であるということも、この時期に証明された。

1947年に大学を卒業した時、自分がその後もエレクトロニクス分野でやっていきたいことは、はっきりしていた。アメリカの産業は縮小を続けていたが、私はミルウォーキーのグローブ・ユニオン社の中央研究部に就職することができた。

中央研究所を選んだのは幸運なことだった。そこでは、今であれば厚膜ハイブリッド回路と呼ばれるものが初めて開発されていた。銀の塗料がセラミック基盤の上に蒸着（deposit）され、コンダクタを形成し、カーボン・ベースのインクでレジスタが作られた。小さなコンデンサは基盤の上に直接作られ、大きなものは装着された。必要な真空管はソケットでつけるか、基盤の上に直接はんだづけされた。これらの製品はラジオ、テレビ、補聴器に使われていた。その市場は厳しいコスト管理を要求し、売値は10分の1セントまで細かく決められ、旧式の部品より高くつく設計は認められなかった。

中央研究所はまた別の意味でも幸運な選択だった。少人数のグループで仕事をしたので、私は、エンジニアリングから販売や製造までのプロセス全体を見ることができた。この時期、私はクーリー（A. S. Khori）とウォルフ（R. L. Wolff）という優れた二人の指導官を持つことができた。両人とも、経験豊かで有能なエンジニアで、新入社員の教育に非常に積極的だった。

新しい分野で仕事をしていたため、発明はかなりたやすいことだった。既存の設計から離れたものは、ほとんど何でも、まったく新しいもので、大抵の場

合特許がとれた。この時、私の仕事で10以上もの特許をとった。そのうち最も重要だったのが、第一還元チタン酸塩 (the first reduced titanates) とサンドブラスト技法による自動調整レジスタを使ったコンデンサの設計だった。

1948年、ベル研究所はバーディーン、ブラッタン、ショックリーによるトランジスタの発明を発表した。その本当の実用性が理解されるまでにはそれから5、6年必要だったが、この発明はエレクトロニクス分野に大変革をもたらした。操作のために真空のいらぬ寿命の長いデバイス、そして、電力を食うフィラメントのいらぬデバイスは、エレクトロニクス分野が直面していた多くの障壁を取り除いた。

1952年、ベルは、関心のある企業に向けてライセンスを提供した。中央研究所もその一つだった。その年の6月、ライセンスを受けたアメリカ国内の24社、国外からの4社が、マーレー・ヒルでトランジスタの設計と製造に関する2週間の講義を受けた。私は、ウォルフ氏とともに、中央研究所を代表してこの講義に出席した。このミーティングは、今日まで続くトランジスタ時代の幕開けとなった。

ミルウォーキーに帰ると、私はゲルマニウム・トランジスタの製作に必要な機器の組み立てを始めた。これには、酸化ゲルマニウムの還元と精製、そして結晶成長が必要だった。初期のトランジスタは、このように製造されたが、小さな結晶の面上にインジウムのドットで合金を作る合金のトランジスタが、成長接合に取って変わることは、すぐはっきりした。中央研究所では、主に補聴器用に、この種のトランジスタを少量生産していた。

中央研究所での仕事はエキサイティングであり、楽しかった。それは、新しい分野で働く喜びと、今までに誰もしたことがないことをする喜びを私に教えてくれた。顧客との最初のコンタクトから、設計、製造に至るまで、全体のプロセスに携わることができるため、学習経験としても素晴らしいものだった。同時に、消費者製品の仕事をしていたため、コスト管理の重要性も学んだ。

中央研究所は、社内で生産されるハイブリッド回路に一体化されるトランジスタを少量製造していたが、1958年には、エレクトロニクス分野が研究所の資源が対応できるよりも急速な進歩を遂げていることが明らかになった。私はここを離れる時期がきたと判断し、同業の企業を幾つかあたってみた。その中で、テキサス・インスツルメンツ社を選んだ。テキサス・インスツルメンツ社はこの分野に初期から参入しており、すでに卓越した評判を勝ち得ており、世界初

のポケット・トランジスタ・ラジオの設計を行い、それに使用するトランジスタの大量生産を始めていた。最も重要なことは、1954年に最初のシリコン・トランジスタを発表するなど、彼らはシリコンをゲルマニウムの代替物として使用することにおいて最も進んだものの1社だった。

1950年代、トランジスタ産業は非常にダイナミックな時期を迎えた。最初の点接触トランジスタに代わって、合金トランジスタが、そして、表面障壁トランジスタ、メサ形トランジスタ、最終的にはプレーナトランジスタが使われるようになった。同時に、基本材料がゲルマニウムからシリコンに変わった。この進歩についていけたのはほんの数社だった。

また、エレクトロニクスの分野全体が変貌を遂げていた。ラジオは、最大の単一の製品の座をテレビに譲り、同時に、戦時中の開発成果であるレーダー、ソナー、様々な応用のための電子制御が重要になった。さらに、もっと大切なこととして、コンピューター時代が始まった。コンポーネントの立場から見ると、コンピューターは特に重要なものだ。なぜなら、コンピューターは同一種の回路を大量に使用するため、大量生産の可能性が出てきたのである。

コンピューターの出現により、エレクトロニクスの問題のいくつかは、より明確になった。それは、人々が思い描き、実現できるシステムは、もしそれが細心の技術を駆使したとしても、大きすぎる、重すぎる、電力の消費量が多すぎる、その結果、部屋は暑くなりすぎて仕事ができないという問題だった。そういったシステムは、労を尽くして、何十、何百、何千ものバラバラの部品を組み立てて作られたので、信頼性や価格の面で不十分だった。

1950年代中頃までに、業界の多くの者はこのような問題を認識するようになった。数社は解決法を模索する研究プロジェクトを開始した。どのアプローチも個々のコンポーネントの小規模化を目指す傾向があったので、こういった努力は一般にミニチュア化計画と呼ばれた。

どのプロジェクトも、完全な電子回路を作るという共通の目的を持っていた。リード (T. R. Reid) は回路を作るのは、一つの文章を組み立てるのと同じであると指摘した。文章には、名詞、動詞、形容詞、回路には、レジスタ、コンデンサ、トランジスタ、ダイオードという標準的コンポーネントがあり、各コンポーネントは異なる機能を持っている。これらのコンポーネントのいろいろな組み合わせによって、異なる性能を持つ文章や回路ができる。年月が経つにつれ、コンポーネントごとに、それぞれに合わせた製作工程が開発された。

これらのプロジェクトすべては、一般的に三つのカテゴリーに分類することができた。一つのグループは、主たる問題は各パーツの組み合わせであり、すべてのパーツを同じサイズと形にすることで、組み立てプロセスを自動化できると考えた。二つめのグループはグローブ・ユニオンの中央研究所で使われていた厚膜技術をもっと進めた形である薄膜回路ができるはずであると考えた。両方のアプローチとも、他のコンポーネントに組み込まれていた従来のトランジスタを使用するものであった。

三つめのグループは、このような努力は間違っていると考え、もっと根本的に違うアプローチが必要だと考えた。彼らは、私達の素材に関する知識は十分であると考え、それゆえ回路機能を満たすまったく新しい構造の開発が可能はずだと考えた。インダクターやコンデンサと同じ機能を持つ水晶が好例だった。

私が1958年の5月にテキサス・インスツルメンツ社で働き始めた時、私はミニチュア化を担当することになっていた。どのようなアプローチでもとってよいことになっており、私は、今までに提案されていたアプローチの足りない点を検討し始めた。6月、会社は大型休暇に入った。1年以上そこで働いた従業員は皆、年間休暇をとることになっていたが、私はまだ2、3か月しか働いていなかったの、仕事を続けた。

すべてのアプローチに共通した主要な問題の一つが、かかわる素材と製造過程の数があまりに多いことであるのは、明らかだった。私はその数を減らすアプローチの検討を始めた。トランジスタやダイオードが半導体物質でできるのはわかっていた。比較的高くつき、従来の技術を使って作った場合と比べて性能は良くなかったが、レジスタもコンデンサも半導体物質で作ることは可能だった。

これらすべてのコンポーネントが同じ素材から作れるのであれば、それを同一素材の部品一個にまとめることが可能だった。適切に連絡すれば、完全な回路を形成できた。

これが「モノリシック（一体化）」というアイデアの基本であった。コンセプトのデモンストレーションのため、すぐに単純な回路が作られた。当初の回路が稚拙なものだったにせよ、それは様々な種類のコンポーネントを一つの半導体ピースにすることが可能だったということは示された。公の場での最初の発表は1959年3月に行われた。

当初は、非常に多くの批判が起こった。反対意見は三つの主だった種類に分類できた。

- 1) このコンセプトは材料のうまい使い方ではないという意見。窒化タルタルからもっと良いレジスターを作ることが可能であり、もし他のコンポーネントを含むための妥協が必要でなければ、トランジスタはより優れたものができる。
- 2) 優れた回路の歩留まり率は常に低いという心理があった。もし90%の歩留まりのコンポーネント10個が含まれた場合—これは、当時、可能性の薄い数字だったが—全体の歩留まりは35%以下となる。したがって、コストは許容範囲を超える。
- 3) 半導体メーカーが少数の設計者を必要とするだけになるので、システム・メーカーの回路設計者が失業する。

それから2、3年の間は、このような点が全米の技術会議で討議された。議論は決して結論を出すことはなかったが、集積回路が生産されるようになると次第に消えていった。

最も初期の応用のいくつかは、軍や宇宙計画においてであった。ミニットマン・ミサイルと、人類を月に送るアポロ計画は、最高の信頼性を有するコンポーネントが必要とされた。その両者において、集積回路技術が採用されたことで、この新技術は力強い承認を得たのである。

1964年、集積回路は比較的小さな産業用・家庭用製品メーカー数社に採用されつつあった。デジタル・イクイップメント社はICを使ってミニコンピュータの製造を開始した。ゼニス社は補聴器にその技術を採用した。1968年には大手企業もそのアイデアを受け入れた。

コンセプトが受け入れられるようになると、何百人の、そして後には何千人もの世界中の最も有能なエンジニアが、そのための研究を始めた。新しいプロセスが創案され、より優れたトランジスタが発明され、コンピューター支援設計のための進んだ技術が開発された。結果として、この分野は急速な進歩を遂げた。1ダースのコンポーネントを積んだ単純なチップが1970年には10,000のコンポーネントを含むようになり、今日ではコンポーネントの数は数百万になった。この進歩は一人の個人、一つの会社、あるいは一つの国の努力によるものではない。

進歩に伴い、電子回路のコストも急速に低減した。1958年に、一つのトラン

ジスタのコストは約10ドルだった。今、400万以上の完全な回路を載せたチップをその値段で買うことができる。値段は、将来さらに下がるだろう。

このように、コストが100万分の1以下になったことで、エレクトロニクス分野は規模が大きく拡大した。1960年代に1,000万ドルしたものより性能的に優れたパソコンを、今では1,000ドル以下で購入することが可能だ。現在の機種は卓上に置けるほど小型で、初期の頃必要だった空調を効かせた大きな部屋はもはや必要ではない。簡単な四則計算を行う電卓は5ドル以下で買える。

結果、世界の半導体市場は、世界中の何十万もの人々に有意義な仕事を与えながら、おおよそ750億ドルに成長した。集積回路のコストが下がったことで、世界のエレクトロニクス市場は現在約7,500億ドルであり、世界中の多くの人々の生活を変えている。

このような集積回路も少数ながら軍事目的に使用されているが、ほとんどはあらゆる人々の生活の質を改善するのに役立てられている。例えば自動車は、集積回路コンピューターの搭載により、汚染物質の排出を減らしており、ラジオやテレビはほとんど完全に普及されつつあり、世界の人々の距離を縮めている。

今日、このような努力が世界中で続けられている。日本はエレクトロニクス分野のリーダーになった。例えば、ソニー・コンピューター・サイエンス研究所 (Sony Computer Science Laboratory) の所、土井、竹内各博士は、人とコンピューターの対話を容易にして、コンピューターの「人格化」における先駆者的研究をされている。

私は、このような発展のすべてを自分の功績であるとは考えていない。ただ、その進歩を目の当たりにできただけで満足である。このような経験こそ、エンジニアリングがやりがいのある職業であるという理由である。自分がほんの小さな部分でも、このような変化の実現に参加できたということは、人間の他の活動分野では、滅多に味わえない経験である。

私はエンジニアであることに誇りを持っている。そして、今日の若者達が、このエキサイティングでやりがいのある分野でのキャリアを考えてみるよう、ぜひお薦めしたい。