

題名	エンジニアリングの面白さ
Title	The Joy of Engineering
著者名	ジャック・セントクレア・キルビー
Author(s)	Jack St. Clair Kilby
言語 Language	日本語・英語 Japanese, English
書名	稲盛財団：京都賞と助成金
Book title	The Inamori Foundation: Kyoto Prizes & Inamori Grants
受賞回	9
受賞年度	1993
出版者	財団法人 稲盛財団
Publisher	The Inamori Foundation
発行日 Issue Date	7/3/1995
開始ページ Start page	94
終了ページ End page	108
ISBN	978-4-900663-09-3

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、毎年のようにあっ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ぼうかと考えるきっかけになればと希望する。

THE JOY OF ENGINEERING

Jack St. Clair Kilby

During my lifetime, the public perception of technology and of engineers has changed. Early in the century, each year brought a new marvel - in transportation, such as trains, ocean liners, automobiles - in construction, with dams, bridges and tunnels - in new sources of power such as steam engines, gasoline engines and electric generators - new materials with plastics, aluminum and improved steel. New consumer products, such as refrigerators and air conditioners, cameras, radios added to personal satisfaction and to the quality of life.

Although this progression of marvels had continued, with television, computers, personal communications. In many forms, and more recently biotechnology, the image of engineers and technology has changed. Engineering enrollments are decreasing in universities across the United States. Technology is considered responsible for threats to the environment and for many of the shortcomings of modern life. An antitechnology movement suggests that the world would be a better place if progress were stopped, or at least slowed.

I strongly disagree. With Dr. Inamori, I believe that man's greatest endeavour is to strive for the betterment of mankind and society. I believe that technology is capable of continuing to improve the human condition, as it has done in the past. New technology and new knowledge will be required to improve the living conditions in the entire world. With Dr. Inamori, I realize that this must be balanced with the development of science and the human spirit.

Technology is important because it causes things to happen. The invention of the automobile, for example, changed the living pattern of people in the developed nations. It has done so in ways which were not anticipated, and some of which now seem undesirable. Nobody wanted traffic jams, accidents or pollution, but in retrospect these seem small prices to pay for our mobility.

Today all of the world wants this capability. New ideas, new technology will probably be needed if it is to be achieved. Engineers will need to find new ways to make people mobile without the intense use of resources which the developed nations have used. If this is to be accomplished, very capable engineers will play an important part in it.

I am therefore proud to say that I am an engineer, and hope that in some way my career will lead young people to consider a career in engineering and technology.

I was born in 1923 in Jefferson City, Missouri. Both of my parents were born on adjacent farms in Illinois, and both were graduates of the University of Illinois. My father was an electrical engineer, and when I was quite small he became

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、かなり幼い頃、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点のところで受験に失敗した。

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、

President of a small electrical utility located in Western Kansas. We moved, first to Salina and later to Great Bend.

Both Salina and Great Bend were small towns, with populations at the time of 10,000 to 20,000. Small towns of this type in the Midwest were excellent places to grow up.

I attended the public schools in Salina and Great Bend, graduating from Great Bend High School in 1941. I was not an exceptional student, although my grades were always above average. During this time I traveled with my Father as he visited the utility properties for which he was responsible. At some time during these experiences I realized that I too wanted to be an engineer.

In 1937 a major ice storm struck Western Kansas, downing power and telephone lines across the state. My father used a local amateur radio operator to maintain contact with his scattered operations. This was my first introduction to amateur radio, and I met a number of the other local hams. I began to study Morse Code, and prepare for the license examination. I received a license in 1938, built a transmitter and began to talk to others around the country.

My amateur radio experiences convinced me that I should become an electrical engineer, working in the electronics field. When I graduated from High School in 1941, I wanted to go to the Massachusetts Institute of Technology, a leader in the field. At that time MIT had rigorous entrance examinations, particularly in mathematics. Math had never been a strong subject for me, and I failed the examination by a few points.

I therefore needed to choose another school, and entered the University of Illinois. It was an excellent choice, and probably better suited to my needs than MIT would have been. I enrolled in September 1941.

After Pearl Harbor, I enlisted in the Army. I remained at the University until June 1943, when I was called up by the Signal Corps, and was trained as a radio operator. Later that year I joined the Office of Strategic Services, and was sent to the Far East, first in India and later in Burma and China. I served as a radio technician, maintaining and repairing radio transmitters. After the War, I re-entered the University of Illinois, graduating 1947.

This was an exciting period in electronics. Before the War, radios had been the only significant application of electronics. The War brought large scale use of radar, sonar, electronic control of machines and the first computers. It also showed the efficacy of large scale, organized research to solve engineering problems.

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。兩人とも、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の分野に大変革をもたらした。操作のために真空のいらない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ないデバイスは、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。

When I graduated from the University in 1947, I knew that I wished to continue in the electronics field. American industry was still downsizing, but I was able to secure a job with the Centralab Division of Globe Union, in Milwaukee.

Centralab was a fortunate choice. They had been the first to develop what would now be called thick film hybrid circuits. Silver paint was deposited on a ceramic substrate to form conductors, and carbon based inks to form resistors. Small capacitors could be formed in the substrate, and larger ones attached. The required vacuum tubes could be attached with sockets, or soldered directly to the substrate. These products were used in radios, television sets and hearing aids. These markets provided rigorous cost disciplines. Selling prices were measured in tenths of a cent, and designs which sold for more than the cost of the components that they replaced were not acceptable.

Centralab was also a fortunate choice in another way. The group with which I worked was small, so that it was possible to see the entire process, from engineering through sales and production. I had two excellent mentors during this period, A.S.Khouri and R.L.Wolff. Both were experienced and capable engineers, and both quite willing to teach a newcomer.

Because I was working in a new field, it was quite easy to make inventions. Almost anything which departed from the previous designs was novel and probably patentable. I received about a dozen patents for my work during this period, the most notable of which were a capacitor design using the first reduced titanates and a technique for automatically adjusting resistors using a sandblasting technique.

In 1948 the Bell Laboratories announced the invention of the transistor by Bardeen, Brattain and Shockley. Although several years would be required before the full implications could be understood, this invention revolutionized the field of electronics. A long life device which did not require a vacuum for its operation, and one which did not need a power consuming filament removed many of the barriers which the field of electronics had faced.

In 1952 Bell offered licenses to interested companies, one of which was Centralab. In June of that year 24 American licensees and four from outside the country met at Murray Hill for a two week course in transistor design and fabrication. With R.L.Wolff, I attended the meeting on behalf of Centralab. This meeting began the transistor era, one which continues to this day.

When we returned to Milwaukee, I began to assemble the equipment required to build germanium transistors. To do so, it was necessary to reduce the germanium

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

ニウム酸化物、精製し、結晶を育てる。 although the first transistors were built in this way, it quickly became apparent that grown junctions would be replaced by alloy transistors, in which dots of indium were alloyed to the faces of a small crystal. At Centralab we produced small quantities of transistors of this type, primarily for use in hearing aids.

My work at Centralab was exciting and fun for me. It taught me the joy of working in a new field, and of doing work that had not been done before. It was also a wonderful learning experience, for it was possible for me to be involved with the complete process, from the initial customer contact through design and production. Because we worked with consumer products, it also taught me the importance of cost discipline.

Although Centralab was in small scale production of transistors which could be integrated with their hybrid circuits, by 1958 it became apparent that the field was moving more rapidly than their resources would permit. I determined that it was time to leave, and contacted several other companies in the business. I chose Texas Instruments. TI had also been an early entrant into the field, and had established an excellent reputation. They had produced the first pocket transistor radio design, and begun making transistors for it in quantity. Most important, they had been a leader in the use of silicon as a substitute for germanium, announcing the first silicon transistors in 1954.

The 1950's were a very dynamic period for the transistor industry. Within that time the first point contact transistors were replaced by alloy transistors, then surface barrier transistors, mesa transistors and finally the planar designs. This was also accompanied by a shift from germanium to silicon as the basic material. Few companies could keep up with this progress.

The entire field of electronics was also changing during this period. Radio gave way to television as the largest single products, and to this were added many of the developments of the War — radar, sonar and electronic controls for many different applications. Of even greater importance, the computer era began. From a component standpoint, the computer was of particular importance, because it was built of great numbers of identical circuits, offering an opportunity for volume production.

The computer also made some of the problems of all electronics more apparent. People were able to visualize and design systems which, if they were realized with existing technology, would be too big, too heavy, consume too much power and simply get too hot to work. Because they were painstakingly assembled

量生産の可能性が出てきたのである。

コンピュータの出現により、エレクトロニクスの問題のいくつかが、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・ユニオンの中核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

from tens or hundreds of thousands of individual parts, they would have been unreliable and unaffordable.

By the mid-1950's these problems were visible to many in the industry. A number of companies began research programs to seek a solution. All of the approaches tended to make the individual components smaller, so that the approaches tended to make the individual components smaller, so that collectively they were called miniaturization programs.

Each had a common objective, to build complete electronic circuits. T.R.Reid has pointed out that building a circuit is like building a sentence. There are certain standard components — nouns, verbs and adjectives in a sentence; resistors, capacitors, transistors and diodes in a circuit — each with its own function. By connecting the components in different ways you can get sentences, or circuits that perform in different ways. Over the years, each component had developed a specialized set of processes for its manufacture.

All of these programs fell into three general categories. One group felt that the main problem was the assembly of the individual parts, and that by making all parts the same size and shape they could automate the assembly process. A second group felt that thin film circuits could be built, a more modern form of the thick film technology used at Centralab. Both of these approaches would have used conventional transistors, assembled to the other components.

A third group felt that these efforts were wrong, and that a more radical approach must be taken. They felt that our knowledge of materials was now complete enough so that entirely new structures could be invented to perform circuit functions. A quartz crystal, which performed the functions of an inductor and a capacitor was the favorite example.

When I began to work at Texas Instruments in May 1958, it was understood that I would work on miniaturization. I was free to choose an approach, and began to consider the shortcomings of those that had been proposed. In July TI began a mass vacation. All employees who had worked there for more than a year were expected to take their annual leave. Since I had been there only a few months, I worked.

It was clear that one of the major problems with all of the approaches was that they involved many different materials and fabrication processes. I began to consider an approach which would reduce the number. It was obvious that transistors and diodes could be made of semiconductor materials. Resistors and capacitors could also be made from semiconductors, although both would be

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もので、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。窒化タングステンからもっと良いレジスタ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

relatively expensive and neither would perform as well as the best made with more conventional techniques.

Since all of these components could be made with a single material, it was possible to consider making them all within a single piece of material. By connecting them properly, complete circuits could be formed.

This was the essence of the “monolithic” idea. Simple circuits were quickly made to demonstrate the concept. Although these initial circuits were crude, they demonstrated that many types of components could be formed within a single piece of semiconductor. The first public announcement was made in March 1959.

Initially there was a great deal of criticism. The objections fell into three major categories:

- 1) Some people felt that the concept did not make good use of materials. Better resistors could be made from tantalum nitride, and better transistors made if compromises were not required to include other components.
- 2) It was also felt that the yield of good circuits would always be low. If ten components were included each with a yield of 90% - an unlikely result at the time - the overall yield would be less than 35%. Costs would therefore be prohibitive.
- 3) The circuit designers in the systems houses would be put out of work, because only a few designers would be required by the semiconductor makers.

During the next few years these points were debated at technical meetings throughout the country. The debates were never conclusive, but gradually disappeared as integrated circuits moved into production.

Some of the earliest applications were in the military and space programs. Both the Minuteman missile and the Apollo mission to put a man on the moon required components of the highest reliability. The adoption of integrated circuit technology by both gave the new technology a strong endorsement.

By 1964, integrated circuits were being adopted by a number of the smaller companies for industrial and consumer products. Digital Equipment began to build minicomputers with IC's and Zenith adopted the technique for its hearing aids. By 1968, even the major companies had accepted the idea.

As the concept was accepted, hundreds and later thousands of the best engineers in the world began to work on it. New processes were devised, better transistors invented and sophisticated techniques for computer aided design were developed. Consequently, progress in the field was rapid. The simple chips with a dozen components grew to those with 10,000 by 1970 and to several million today.

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・サイエンス研究所 (Sony Computer Science Laboratory) の所、土井、竹内各博士は、人とコンピュータの対話を容易にして、コンピュータの「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

This progress was not the work of any one individual, one company or one country.

The progress was also accompanied by a rapid decrease in the cost of electronic circuits. In 1958 a single transistor cost about \$10. Today it is possible to buy a chip with more than four million complete circuits at that price, and additional decreases can be expected in the future.

This decrease in cost of more than one million has greatly expanded the field of electronics. Today it is possible to buy personal computers for less than \$1,000 which are more capable than the \$10,000,000 versions of the 1960's. The current models are small enough to fit on a desk, no longer requiring the large air conditioned room of the earlier period. A simple four function calculator can be bought for less than five dollars.

As a consequence, the world wide semiconductor market has grown to about \$75 billion, providing meaningful jobs for hundreds of thousands of people around the world. Because of the low cost of integrated circuits the world electronics market is now about 750 Billion dollars, changing the lives of many of the people in the world.

Although a few of these integrated circuits are used for military applications, most are used to improve the quality of life of everyone. Automobiles emit fewer pollutants because of their integrated circuit computers. Radio and television have become more nearly universal, bringing the people of the world closer together.

Today this work continues around the world. Japan has become a leader in the electronics field. Drs. Tokoro, Doi, and Takeuchi of the Sony Computer Science Laboratory, for example, are doing pioneering work in "personifying" computers, making for easier humans to interact with them.

Although I do not consider myself responsible for all of this activity, it is satisfying to have seen its growth. It is this kind of experience which makes engineering such a rewarding profession. To know that you have had even a small part in bringing about such changes provides an experience unmatched in few other fields of human endeavor.

I am proud to be an engineer, and would like to encourage the young people of today to consider a career in this exciting and rewarding field.

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、ぜひお勧めしたい。

稲盛財団1993——第9回京都賞と助成金

発 行 1995年7月3日

発 行 所 財団法人稲盛財団

京都市下京区四条通室町東入函谷鉾町87番地 〒600

電話〔075〕255-2688

製 作 (株)ウォーク

印刷・製本 大日本印刷株式会社

ISBN4-900663-09-3 C0000