

|                  |   |
|------------------|---|
| 題名               | コンピューターエンジニアへの道                                       |
| Title            | A Computer Engineer Looks Back                        |
| 著者名              | モーリス・ヴィンセント・ウィルクス                                     |
| Author(s)        | Maurice Vincent Wilkes                                |
| 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              | 8   |
| 受賞年度             | 1992  |
| 出版者              | 財団法人 稲盛財団   |
| Publisher        | The Inamori Foundation                                |
| 発行日 Issue Date   | 11/1/1993   |
| 開始ページ Start page | 92  |
| 終了ページ End page   | 107   |
| ISBN             | 978-4-900663-08-5                                     |

## コンピューターエンジニアへの道

モーリス・ヴィンセント・ウィルクス

私の鮮明に残っている一番古い記憶は、両親と私が住んでいた家の庭の小道を、少女が吉報を知らせに駆けてくる、というものです。その吉報とは、「終戦」でした。1918年11月11日のことです。第一次世界大戦が終結したのです。当時、私は5歳と4か月でした。6歳から私は学校に通い始めました。たぶんこれは遅いほうだと思いますが、私はすぐに学校の勉強に興味を持ち、いつも技術者か科学者になりたいと思っていました。12歳のとき、数学に加えて物理と化学の授業が始まったときは、大いに喜んだものです。15歳の頃には、すでに微積分を学んでいました。

1931年にケンブリッジ大学に進学し、数理物理学、中でも応用力学、電磁気学、熱力学などの基礎知識を習得しました。また、当時まだ新しい学問であった、波動力学についても勉強しました。純粋な数学の教育を受けたのは、ほんのわずかであると言えます。ほとんどが解析や幾何学で、群論は基礎をかじった程度、集合論についてはまったく勉強しておりません。

私は1934年に学士号を取得し、キャベンディッシュ研究所に研究生として入りました。かの偉大なロード・ラザフォードがこの研究所の所長であり、原子物理学は全盛期にありました。この研究分野に私はあまり関与していませんでした。と申しますのも、電離層における電波の伝搬という私の研究は、ラザフォードの研究所の中で、数少ない原子に関係しない物理学だったからです。もちろんある程度は原子物理学の研究にも加わりましたが、同僚の研究に加わり、悲哀をともにできなかったことを、あとになって悔やんでいます。

私は以前からラジオに興味があり、電波の伝搬について深い関心を持っていました。アマチュア無線の免許を持っていた時期もあります。また、たくさんの送信機や受信機を設計し、製作しました。ケンブリッジ大学のラジオ・グループに課せられた課題は、電離層から影響を受ける電波の特性を研究し、高圧下での気圧の構造を解明することでした。その化学構造と電離の状態の解明です。また、通信手段ではなく、計測手段としての電波機器を開発するという、比較的新しい研究も含まれていました。しかし結局、計測用の機械をつくる一歩手前までしかいきませんでした。

博士号を取得した1937年頃に、初めてコンピューターにかかわり始めました。1937年には、デジタル・コンピューターはまだこの世に存在しませんでした。当時、コンピューターとは、卓上計算機で計算を行う人間のことを指す言葉でした。コンピューターが機械のことではなく人間のことを指す言葉だというと、今の方々は驚かれるでしょう。しかし、アナログ・コンピューターについてはもっと興味深いことがあります。アナログ・コンピューターは当時の卓上計算機や今日のデジタル・コンピューター

## A COMPUTER ENGINEER LOOKS BACK

Maurice Vincent Wilkes

Thank you very much.

My earliest distinct recollection is of a small girl running up the garden path of the house where I lived with my parents, eager to share good news. The good news was, "There's peace." It was the 11th of November, 1918. The First World War was over. I was five years and four months old. When I was six I started school. A slow start perhaps, but I soon began to find school work interesting and congenial, and I cannot remember a time when I did not want to be an engineer or a scientist of some sort. When I was twelve it was a great joy to me to start the study of physics and chemistry along with mathematics. By the time I was fifteen I started calculus.

In 1931 I went up to Cambridge University, where in my undergraduate course I had a good grounding in mathematical physics; notably mechanics, electromagnetism, thermodynamics, and similar subjects. Also wave mechanics, which at that time was only a few years old. My education in pure mathematics would, I suppose, now be considered a meagre one. Mostly analysis, geometry, no more than bare elements of group theory, and no set theory.

I took my bachelor's degree in 1934 and joined the Cavendish Laboratory as a research student. Lord Rutherford, the great Lord Rutherford, was in the middle of his tenure as head of the laboratory, and atomic physics was going through one of its greatest periods. I did not see too much of that work because my research was on the propagation of radio waves in the ionosphere, one of the few non-atomic branches of physics that Rutherford supported in his laboratory. I followed, to some extent, the work that was going on in atomic physics but I have since regretted that I was not sufficiently close to the work of my fellow students to share in their excitements.

I'd been attracted to radio-wave propagation by a long-standing interest in radio. I'd held an amateur transmitting license for some years. I'd designed and built a good deal of receiving and transmitting equipment. The mission of the Cambridge radio group was to study the characteristics of the radio waves that were reflected from the ionosphere, in the hope that it might be possible to draw conclusions from them about the composition of the high atmosphere. That is, its chemical composition as well as its state of ionization. This involved the designing of radio equipment for measurement instead of communication — something that was rather new. The radio art had then only progressed to the point at which one could build equipment for measurements of that kind.

I took my Ph.D. degree in 1937, and it was around that time that I first became



一のように数字を処理することができず、数字は物理的な量として認識されていました。アナログ・コンピューターの仕組みをよく表すものとして、計算尺があります。計算尺では、数字を定規の長さで計ります。

さて、1937年後半にケンブリッジ大学は、当時としてはかなり進歩的な決定をしました。コンピューター研究所設立の決定です。それは実際には数学研究所と呼ばれていましたが、1970年頃に、コンピューター研究所と名称を変更しました。大学はこの研究所に、多種多様の卓上計算機と最新のアナログ・コンピューター、特に微積分解析機という単純な微積分の方程式を解くコンピューターを設置しようとしていました。微積分解析機はその計算結果を数表ではなく、グラフで表示することになっていました。

微積分解析機はマサチューセッツ工科大学のベニーバー・ブッシュが数年前に考案していました。実は、その当時ケンブリッジには解析機の試作機があったのです。これはおもしろい機械で、ほとんどがメッカーノの部品でできていました。メッカーノとは組み立て式の玩具で、当時イギリスの少年たちの間ではやっていたものです。この試作機はあまり正確ではなかったため、大学は、かなり実用的なブッシュの設計に基づいて、大型のコンピューターを開発するよう要求しました。この大型コンピューターは技術会社によって製作されることになっていましたが、第二次世界大戦が勃発して大学の計画が一時的に中断された1939年9月まで、研究所には届きませんでした。

私自身もすぐに出征し、1945年9月まで戦場から戻りませんでした。その後私は同コンピューター研究所に所長として迎えられました。微積分解析機はすでに設置されていましたが、人々の関心はいまやデジタル・コンピューターに移っていました。

また、1945年には、すでに力学や電気力学の原理をもとにしたデジタル・コンピューターが1、2台ありましたが、大型電子コンピューターは1台しかありません。そのコンピューターはENIACというペンシルベニア大学の大学院電気技術科（ムーア研究所）で1945年に完成されたものです。プログラムはプラグとソケットとスイッチのさまざまな配列で決まっています。ENIACはプエスパー・エッカート博士とジョン・モークリー博士という二人の偉大な技術者によって考案され、さらに設計、製作されたものです。

さて、ENIACは、機械技師でも電子工学を応用し簡単につくれるもので、操作も簡単でした。大きさはまるで山のようなものでした。これには18,000本以上の真空管が使われ、先程申し上げましたように、プラグとソケットと電気スイッチの配列によってブ

involved in computing. In 1937, there were no digital computers in the world. The term computer meant a human being working with a desk calculating machine. And people today are rather amused if you use the word computer to mean a person and not a machine. However, there was much interest in analog computing machines. These do not handle numbers in the way that desk calculating machines did then and digital computers do today. In analog machines, numbers were represented by the magnitudes of physical quantities. A slide rule is a good example of an analog computing device. Numbers on a slide rule are represented by distances measured along a scale.

Now, in late 1937, the University of Cambridge took a decision which was very advanced for its period. The university decided to establish a computer laboratory. It was, in fact, called a mathematical laboratory, and it wasn't until around 1970 that we changed the name to computer laboratory — but it was the same laboratory. The university had the intention of equipping this new laboratory with a wide range of desk calculating machines and the latest analog machines, especially a differential analyzer, a machine for solving ordinary differential equations. The results would be presented in the form of a graph, not a table of numbers.

The differential analyzer had been invented some years earlier by Vannevar Bush at the Massachusetts Institute of Technology, M.I.T. We did, in fact, have at that time a model differential analyzer at Cambridge. This was an interesting machine. It was built largely of Meccano parts. Meccano was a constructional toy that was a great favorite with British boys of the period. This model machine was capable of a limited accuracy only and the university proceeded to order a full-scale one to be built according to Bush's drawings, which he very generously made available. This big machine was to be built by an engineering firm. Well, the machine had not been delivered by September 1939 when the beginning of the Second World War brought the university's plans to a temporary halt.

I myself went off immediately on war service, and did not return until September 1945. And then I was appointed head of the computer laboratory. The differential analyzer had been installed, but people's thoughts were already turning to digital machines.

In 1945, there were already one or two digital computers based on mechanical or electromechanical principles in operation, but there was only one electronic machine, one large-scale electronic machine, and that was a machine known as the ENIAC, which had been completed at the School of Electrical Engineering in



プログラミングされていました。ENIACの製作が最終段階にさしかかったとき、考案者であるエッカートとモークリーは考えました。そして新しい、根本的に異なるアプローチで問題に対処すれば、さらに小型で高性能のコンピューターが開発できると確信したのです。

この点で、二人はすでにより方法を知っていました。今世紀の偉大な数学者、ジョン・フォン・ノイマンと組んだのです。フォン・ノイマンは相談役としてENIACのプロジェクト・チームに加わりました。しかし、不幸なことにフォン・ノイマンとこの二人によって高い成果をもたらした共同研究の成果は、最初にノイマン一人の名前で発表されたのです。そのため、このレポートで発表された新しい原理に基づくコンピューターは、フォン・ノイマン型コンピューターとも言われていますが、これはこの研究に最初に着手し、基本的なアイデアを提供したエッカートとモークリーに対して不公平に思われます。私は、エッカート-フォン・ノイマン・コンピューターと呼びたいのですが、これもまたモークリーに対して失礼にあたりますね。

私が初めてフォン・ノイマンのレポートを見たのは1945年5月のことでしたが、これこそコンピューターの向かうべき方向を示している、とすぐに感じました。そこには新しいコンピューターの構造を決定する原理がありました。まったく予期せぬことでしたが、その後すぐに、私はフィラデルフィアのムーア研究所から、エッカートとモークリーの主催する講座に招待する、という電報を受け取りました。その当時、大西洋航海は依然戦時政権による規制下にあり（飛行機での旅行は禁止されていたため、海路をとるしかありませんでした）、何度も危険な目に遭いながら、やっとフィラデルフィアに着いたときには、講座はそのコースの半分以上を終了していました。

それにもかかわらず、私は、ある部分は講義から、ある部分はエッカート博士やモークリー博士との会話から、当時プログラム記憶式デジタル・コンピューターについて学べることのすべてを学びました。ムーア研究所の講義は、私に技術情報の共有を寛大に認めてくれました。他の機会にもここでの技術情報の共有について謝辞を述べてきましたが、稲盛理事長の名前を冠し、その理想を具体化した財団から賞をいただくに際して、博士の前でこの感謝の気持ちを述べるのができたのは非常な喜びです。

私は、講義が終了してからも数週間、フィラデルフィアに滞在し、紹介を受けた人々を訪ねました。やがて、ケンブリッジ大学でも開発できると思われるコンピューターの構想が、私の頭の中で展開し始めました。実際、われわれはこのコンピューターを開発し、それはEDSACとして知られるようになりました。当時、原理は明らかになっていましたが、プログラム記憶式コンピューターはまだ作られてはいませんでした。

the University of Pennsylvania in 1945. The program was set up by means of a formidable array of plugs and sockets and switches. The ENIAC was conceived by two very remarkable engineers: Dr. Presper Eckart and Dr. John Mauchly, who were also responsible for its design and construction.

The ENIAC was a straightforward implementation in electronic terms of the sort of machine that a mechanical engineer might have built. It was enormous in size. It contained over 18,000 vacuum tubes and, as I've said, the program was set up on it by this array of plugs, sockets, and mechanical switches. When the ENIAC was in the final stages of construction and its designers, Eckart and Mauchly, had time to think, they realized that by taking a new and entirely radical approach to the problem, a much smaller and yet more powerful machine could be built.

They had already progressed a good way in this thinking when they were joined by John von Neumann, who was a prominent mathematician of the period. Von Neumann joined as a consultant to the ENIAC project. Now, it's very unfortunate that the results of this highly fruitful collaboration between von Neumann and the engineers was first made known in a report to which von Neumann's name only was attached. In consequence, computers based on the new principles, the principles set out in this report, are often described as von Neumann computers, which does a great injustice to Eckart and Mauchly, who had started the work and contributed some of the fundamental ideas. I myself preferred to use the term "stored-program computer" to describe this new kind of computer. But if names must be attached, I prefer to say the Eckart-von Neumann computer, although I am conscious that still does an injustice to Mauchly.

I first saw a copy of von Neumann's report in May 1945 and it was at once clear to me that this was the way that computer development would go. These were the principles that would determine the structure of future computers. Quite unexpectedly, shortly afterwards I received a telegram from the School in Philadelphia inviting me to attend a course of lectures in which Eckart and Mauchly were to be the principal instructors. At this time, Atlantic shipping was still subject to wartime government regulation and — one didn't go by air then, one still went by sea — I had some difficulty in securing a passage, with the result that the course was more than half over when I arrived. Nevertheless, I learnt, partly from the lectures, partly in conversation with Eckart and Mauchly, all, I repeat all, that was then to be known about the design of stored-program computers. I've always regarded the holding of the School course as an outstanding



これをつくることは電子工学への挑戦であり、私が受けるべき挑戦でした。6年間の戦争を終え、ケンブリッジ大学はようやく正常に戻りつつありました。そこにはどこよりも、平和の価値を確立し、研究プロジェクトを始めるように、と私を駆り立てる力がありました。さらに、コンピューター研究所長として、私は必要な資金や設備を使える立場にありました。加えて、戦争時にレーダーに関する仕事をしたことも、電子工学の研究に非常に役立ちました。研究対象の規模が大きかったにもかかわらず、たし算、ひき算、かけ算などの計算機能のための真空管回路、つまりプログラム実行を制御する回路の設計はさほど困難ではないようでした。さらに私は、こうした初期のコンピューターを設計し始めていた他の研究者も同様な印象を持っていることを確信しました。大まかに言えばそれは事実でしたが、なお、学ぶべきことはありました。大半の電子アプリケーションにおいては、回路が一瞬誤って機能しても、それはさして重大なことではありませんでした。スクリーンに一瞬その誤りが出ますが、たぶん見ている人は気づきません。だから、それは重大なことではありませんでした。しかし、コンピューターの場合には、コンピューターが間違えば、その間違いはほとんどの場合、致命的な誤りとなるのです。われわれは技術用語を備えつけた回路を設計するために、一瞬のことを正しく伝える回路を設計する方法を学ばなければなりません。この問題が正しく認識されれば、解決は困難ではありませんでした。だから、それ以降の電子コンピューターの設計者にはまったく何の問題もなかったと確信しています。

次は演算のための回路でした。当時は莫大な容量を持つデジタル・メモリーが存在しなかったため、そのようなデジタル・メモリーの開発もまったく別問題としてありました。そのため研究プロジェクト全体も、当然こうしたメモリーが開発できるか否かにかかっていた。ノイマン博士がこのプロジェクトに参加する前から、エッカート博士は製作可能なメモリーの様式に関するアイデアを出していました。そのアイデアとは、超音波の遅延装置を使用したもので、これからそれがどのように作動するのかを説明したいと思います。この「発明」に基づいて、エッカート、モークリー両博士は彼らのアイデアを丁寧につくっていきました。研究グループに代わってノイマン博士が書いたレポートは、本質的に同じアイデアに基づくものでした。

遅延装置は水銀が詰まった約1メートル半の長さのチューブからできています。両端には水晶振動子がついてます。数字を表す波動が一方の水晶振動子に伝えられ、その水晶振動子はその波動を高周波音の波動、つまり超音波波動に変えます。この波動は音速とともにチューブの中をゆっくりと伝わるので、反対側の端に着くまでに1ミ

example of generosity in the sharing of technical information. I have acknowledged it on other occasions. It's a pleasure to me to be able to repeat the acknowledgment in the presence of Dr. Inamori, having received an award from the foundation that bears his name and embodies his ideals.

I stayed on for a few weeks in Philadelphia after the course, visiting people to whom I had received introductions, and began to turn over in my mind the design of a machine that we might possibly construct in Cambridge. And we did, in fact, construct such a machine, and it became known as the EDSAC. Now, the principles were clear, but no stored-program computer had yet been built. To build one was a challenge in electronic engineering and it was a challenge I was well placed to take up. Cambridge was beginning to return to normal after six years of war. There was a great urge there, as elsewhere, to establish peacetime values and to initiate research projects. Moreover, as head of the computer laboratory, I had access to the necessary funds and facilities. And, in addition, my wartime work on radar had added significantly to my experience of electronic engineering. Now, in spite of the great scale of the undertaking, it did not appear that there would be any great difficulty in designing vacuum-tube circuits for performing arithmetic operations — addition, subtraction, multiplication — or in designing circuits for controlling the execution of the program. And I'm sure that other electronic engineers setting out to design one of the early machines felt the same. Broadly that was true, but, even there, there was something to learn. In many electronic applications, it does not matter if the circuits function incorrectly for a brief space of time. There may be momentary flash on a screen. Probably it passes unnoticed by the viewer. It doesn't matter. But in a computer, the computer would have made a mistake and that mistake would, in all probability, have been fatal. And so to put it in technical terms, we had to learn how to design circuits that would handle transience correctly. Once this problem had been identified and correctly stated, there was no real difficulty in solving it, and I'm sure that later designers of electronic computers had no trouble at all.

So much then for the computing circuits. The digital memory was an entirely different matter, because no digital memory capable of holding hundreds or thousands of numbers had ever existed in the world up to that time. And, of course, the whole project depended on such a memory being available. Now, Eckart, right at the beginning, before von Neumann had joined the project, had made a suggestion for a form of memory that might be constructed. This used an ultrasonic delay unit, and I will explain in a moment how it worked. It was on the



リセカンドかかります。波動はそこでもう一方の水晶振動子に突き当たって電子波動に増幅され、変化します。つまり、波動はこれを繰り返す間にかなり歪められます。最も重要なことは、波動が同調（シンクロ）することです。絶えず作動している波動発生機からクロックパルスと呼ばれる波動が出され、送り込まれます。つまり、このクロックパルスは増幅器から発生する波動を同時に進める役割を持ち、そしてこれらの波動は、遅延装置の最初の部分に戻ります。ここまで説明すれば、これらの波動が閉じ込められているのがおわかりになったと思います。これらの波動は遅延装置の中を繰り返し循環し、蓄積されます。EDSACでは、一つの装置の中に約500の波動を蓄積することができます。

このメモリーの仕様は、古典物理学においてすでに証明された原理に基づいているので、その実用性を疑う必要はありません。しかし、これはムーア研究所やその他で研究開発されてきたデジタル・メモリーに関する他の構想にも適用できるわけではありません。それぞれの構想が実際に使えるかどうかを見極めるまでには、研究開発が必要とされます。この点で私は、戦争中に、デジタル・メモリーではなく、レーダー関係、特に永久エコーの停止に関する目的で、水銀遅延装置を使用した実験が行われていたことに気づきました。私自身はその実験に関与していませんでしたが、それが行われていたことは知っていました。この時点で非常に幸運なことに、私はトーマス・ゴールド氏に会うことができました。彼は、最近までコーネル大学の教授を務め、その前は水銀遅延装置に関するこの実験が行われた英国海軍本部に勤務していました。ゴールド氏が構想の本質にかかわる情報を教えてくれたため、私は何週間にも及ぶ実験を省くことができました。

そこで、私は32本の遅延装置チューブが必要なことがわかりました。われわれはこのチューブをタンクと呼びました。つまり、32本のタンクが必要だったわけです。私はこれを16個の電池からつくろうと決めました。電池には一番上に6本のチューブがあります。その下にはもう二列、チューブが並んでいますが、これらは電子装置で接続されています。装置間の構造については厳重な条件が必要となりました。それは、それぞれのタンクの中の水晶は、わずかな耐性を備えながら、同じ間隔で置かれていなければならないことでした。つまり、それぞれのタンクの長さは、わずかな耐性を備えながら、同じでなければなりません。その上、それぞれの水晶振動子もお互い完全に平行に並べられていなければなりません。私は、自分の計算に間違いがないとの自信を持っていましたが、それでも最初の電池が完成し、作動したときにはホッとしたことをお話ししておきます。

basis of this “invention,” if you like, that he and Mauchly proceeded to elaborate their ideas. And von Neumann’s report, which he drafted on behalf of the group, was, in essence, based on the same idea.

The delay unit consists of a tube full of mercury about one and a half meters long. At each end there are quartz crystals. Pulses, representing numbers, are fed into the first quartz crystal, which converts them into pulses of very high frequency sound: ultrasonic pulses. And these pulses travel slowly, with the speed of sound, down the tube, taking a millisecond to arrive at the other end. They there impinge on the second crystal, reconvert into electronic pulses, and are amplified and reshaped — they’d become much distorted in their journey. Most importantly they are synchronized. We have a supply of pulses, called clock pulses, coming from a continuously running pulse generator. These clock pulses are fed in; they serve to synchronize the pulses that have emerged from the amplifier and those pulses are put back into the beginning of the delay line. So you see these pulses are trapped. They circulate repeatedly through the delay line and are, in that way, stored. About 500 pulses in the EDSAC design could be stored in a single tank.

Now, this form of memory depended on the known principles of classical physics and there was no reason to doubt its practicability. This was not true of other proposals for a digital memory that had been canvassed at the School and elsewhere. They would all have required research before one could be sure that they were viable. Now, I was aware that some experimental work had been done during the war years with mercury delay units for purposes connected with radar — not a digital memory — in particular, concerned with the cancellation of permanent echoes. I had no contact with that work myself, but I knew it had been done. And I was extremely fortunate at this point to meet Thomas Gold, who was until recently a professor at Cornell, who had worked at the British Admiralty establishment where this work on mercury delay lines was being done. And Gold was able to give me some essential design information that saved me many weeks of experimental work.

I figured out that we would need 32 of these delay tubes — they were called tanks, for some reason we called them tanks — that I would need 32 tanks and I decided to build them in batteries of 16. You can see on the top there are six tubes; underneath there are two other layers and they are connected to electronic equipment. There were very stringent requirements on the mechanical construction. The crystals in the various tanks had to be the same distance apart, to within a small tolerance. That is, the length of each tank had to be the same to within



EDSACの開発はそれ以降、かなりの急ペースで進展しました。あとの部分がまだ設計されている間に最初の部分ができあがりました。装置を作動させる課題の大半は、ウィリアム・レンウィック氏の肩にかかっていました。彼は、中心的メンバーの技師として、このプロジェクトに最初の段階から参加していました。1949年5月6日にまったく突然、EDSACは初めて正確な計算を行いました。これは、ENIACよりかなり小さいもので、それまでの6分の1にあたるわずか3,000本強の真空管でできていますが、通常の機械より処理能力があります。それはまったく新しいロジカル原理に基づいて設計されているからです。

機械が作動したこの時点で、プロジェクトの第二段階が始まりました。つまり、プログラミング手法の開発と、できるだけ多くの科学分野にこれを応用することです。機械が作動する前からプロジェクトに参加していた、研究生のデビッド・ウィーラーがプログラミング手法の開発に大きく貢献し、彼の研究は広く認められました。1950年末に、われわれは、開発してきた手法に関する包括的なレポートを書くことができました。このレポートは翌1951年に、私、ウィーラー氏、および同様に大きな貢献をした研究生のギル氏との共著の形で、米国のアディソン・ウェスリー社から出版されました。この本は『EDSACとサブルーチンのライブラリーに関する自動デジタル・コンピュータのプログラムへの準備』というタイトルがつけられました。実際、この本はコンピューター・プログラミングに関して書かれた最初の本でした。この本は日本にも輸入され、後藤博士と和田博士は、この本が彼らの初期の考え方に影響を与えた、と話してくれました。

機械が作動したので、次は当然の帰結としてコンピューターの設計方法で改善できる点はないか、と考えるようになりました。私はメンテナンスを非常に懸念していました。というのも、最近の半導体装置とはまったく異なり、真空管回路はあまり頼りにならなかったからです。真空管回路は維持管理がたいへんでした。EDSACのメモリーのように構造が規則的な部分、つまり複製の同じ装置から構成される部分は、規則的な構造を持たない部分よりも、デザインばかりではなく、メンテナンスも簡単であることは明らかでした。計算が行われるEDSACの演算装置は規則的なものではありませんでしたが、規則的な演算装置を設計する方法があることはわかっていました。しかし、制御装置が問題でした。私はこれについて長い間考え、ついにマイクロプログラミングと呼ぶシステムを考案しました。私はコンピューターの制御回路をミニチュアの小型コンピューター、つまり大きなコンピューターの中にある小さなコンピューターとみなしました。この小型コンピューターが、プログラム化されたコンピューター

a small tolerance. And, moreover, the crystals had to be accurately parallel to one another. Now, I had full confidence in my calculations — that this would be alright — but nevertheless, I confess that when the first battery was constructed and made to work, I experienced a feeling of relief.

The construction of the EDSAC proceeded from that point with great speed. Early parts were constructed while later parts were still being designed. And much of the load of making the machine work fell on the shoulders of William Renwick, who had joined the project at an early stage as principal engineer. Quite suddenly on the 6th of May, 1949, the EDSAC did its first correct calculation. The EDSAC is very much smaller than the ENIAC — it only has a little over 3,000 vacuum tubes, instead of six times that many — and yet nevertheless it was a much more powerful machine. The power arising from the fact that it had been designed on the new logical principles.

At this point, the machine was working and the second stage of the project could begin. That is to say, the development of programming methods and their application in as many scientific fields as possible. David Wheeler, a research student who joined before the machine was working, contributed greatly to the development of programming methods and his work has been widely recognized. Towards the end of 1950, we were in a position to write a comprehensive report on the methods that we had developed. This report was published in the following year, 1951, in the United States by Addison Wesley under the joint authorship of myself, Wheeler, and Gill, another research student who had likewise made major contributions. This book was entitled *The Preparation of Programs for an Automatic Digital Computer with Special Reference to the EDSAC and the Use of a Library of Subroutines*. It was, in fact, the very first book on computer programming that was ever published. A copy of this book found its way to Japan, and Dr. Goto and Dr. Wada have told me that it influenced their early thinking.

Now that the machine was working, I naturally began to think about what improvements one could make to the method of design of a computer. I was very much concerned with maintenance, because the vacuum-tube circuits were not very reliable — nothing like the reliability of modern semiconductor equipment. They required a great deal of maintenance. It was clear to me that those sections of the machine, for example, the memory of the EDSAC, that were regular in construction — that is to say, they were built of replicated, identical units — that they were much easier not only to design, but also to maintain, than those parts of the machine which did not have that regular structure. The arithmetic unit of



ターが必要とするだけの柔軟性を持ちあわせればいいことに気づきました。われわれの二番目の作品、EDSAC 2 はやはり真空管を使用し、マイクロプログラミングの原理でつくられ、1958年に作動しました。マイクロプログラミングの実用性を確立したのは間違いなく、このEDSAC 2 でした。真空管技術はマイクロプログラミング制御装置の設計に役立ちませんでした。トランジスターの登場で状況は一変しました。結果として、トランジスターが広く使用されるようになるまでは、マイクロプログラミングも普及しませんでした。

それからの数年間に、私が同僚や研究生とともに行った実験の詳細を述べる時間はないようです。この中には、プログラミングの方法論の一段の進展に関する実験もありました。つまり、初期の段階のタイム・シェアリング、キャッシュ・メモリーの使用、独立編集などの開発です。

私は1980年に研究所を離れ、米国で就職したのですが、この直前の数年間に行った一つの開発について話したいと思います。それは広帯域の地域用のデジタル式通信に関する開発でした。コンピューターに関連した通信は、電気通信で従来から使用されていた技術から離れ、コンピューターそのものの製作のために開発してきた新しい技術を使用することで進歩を遂げるということは、この時期、私にとって確信できるものであり、他の仲間にとっても同様でした。われわれはデジタル式の電話をつくり、これは大成功を収めました。偶然にも、この電話の開発は機能的にイーサネットの開発と重なりました。その設計者たちはコンピューター技術を利用する必要性を同様に感じ、やがてイーサネットと呼ばれる、非常に科学的な精密さと簡潔さを備えたシステムをつくりました。これはケンブリッジ大学がつくった電話とはかなり異なっていましたが、その役割と目的は同じでした。

最後に、科学技術やその他の分野で業績を残したい、と考える若者にアドバイスをするように言われていますが、「一生懸命研究を続け、気を散らすな」というような一般的なアドバイス以外に言えることは、実際ほとんどありません。なぜなら、世界は一生の間にかなり変化するからです。私は、父が晩年、引退するまでに世界が変わらなかつたらどんなにか嬉しかった、ということをししばしば口にしていたことを思い出します。そして、他の多くの人も同様に感じてきました。

もちろん、年を重ねるにつれて、多くのことを学び、多くの経験をしたと気づくことは本当です。しかし、私の経験をあなたたち若者にすべてあてはめることは、意味のないことです。なぜなら、私が若者に与えるアドバイスは、若者が住んでいる世界ではなく、私が知っている世界にのみ適用されてきたものだからです。だから、私は

the EDSAC, where the computing was done, was not at all regular, but one could see that there were other ways of designing an arithmetic unit that would be regular. But the control presented a problem. I thought about this for a long time and finally I proposed a system that I called microprogramming. I regarded the control circuits of a computer as a kind of little computer in miniature, a little computer inside the big one, and this little computer would have all the flexibility of a programmed computer.

Our second machine, EDSAC 2, was also a vacuum-tube machine and it was based on the use of this principle of microprogramming, and was working in 1958. There is no doubt that it was EDSAC 2 that established the viability of microprogramming, although vacuum-tube technology did not lend itself at all well to the design of a microprogramming control unit. This situation changed completely with the coming of transistors, and, as a result, it was not until transistors came into general use that microprogramming itself become widely adopted.

I've not time to describe in detail the many other things on which I worked with my colleagues and students in subsequent years. They included further developments in programming methodology, early developments in time sharing, use of cash memories, machine-independent compiling, things like that.

I might mention one development in the years immediately before I left the laboratory — I left in 1980 and went to work in the United States. It was in wide-band, local-area digital communication. It became clear to me, and indeed to others at that period, that progress in the communications associated with the computer depended on breaking away from the traditional techniques that were used in telecommunications and using techniques based on those we had developed for the computers themselves. We built a digital ring, which was a great success. The development of that ring coincided in time with the development of the Ethernet, whose designers had similarly appreciated the need to go to computer techniques and they produced a very elegant system, called the Ethernet, which was quite different from the Cambridge ring but its role and purpose were same.

I've been asked to say in conclusion something by way of advice to young people who hope to achieve distinction in technology or some other field. But, in fact, apart from general advice like work hard and don't get distracted, and so on, there is really very little that I can say, for this reason: that the world changes to a very significant extent during a person's lifetime. I remember my father used to say in his later years how much he wished that the world had remained as it was until he retired. And many other people have felt the same.



まじめにこうアドバイスします。年を重ねた人の言うことを注意深く聞きなさい。しかし、彼らの言っていることが明らかにあなたの現状にそぐわないならば、年をとった人への自然な尊敬の念だけから、その言葉を過度に重視することはやめなさい、と。

もちろん、われわれは皆、与えられる機会が限られています。1989年に京都賞を受賞したエイモス・ジョエル博士は、受賞記念講演の中で、少年の頃、将来は電話交換所で働きたいとの強い希望を持っていた、と話しています。幸運なことに、彼の父親はベル電話研究所の幹部を知っており、この友人は若きエイモス・ジョエルに、彼が望む機会を与えることができました。同様に、私も幸運にも、デジタル・コンピューターがまだ開発されていない時代にコンピューター研究所の所長になることができました。エイモス博士と私が、こうした幸運に恵まれなかったら、思いもかけない他の分野での京都賞受賞が可能だったかもしれません。人の生涯はその大半が、その与えられた機会によるものです。ご静聴ありがとうございました。

It is, of course, true that as one gets older, one is conscious of having learnt many things and gained much experience. But I think it would be useless for me to pass this experience on to you — and I'm now speaking to the younger people present — because the advice that I would be giving you would be advice that applied to the world that I have known, not to the world you are living in. And so I would advise you, in all seriousness, to listen carefully to what older people have to say, but not to allow your natural respect for them to influence you unduly if it is clear that their remarks are not really relevant to your own situation.

We are, of course, all limited by the opportunities that present themselves to us. Dr. Amos Joel, who received a Kyoto Prize in 1989, said in his commemorative lecture that as a young boy he developed a strong desire to work in telephone switching. By very good fortune, his father knew a neighbor who was an executive at the Bell Telephone Laboratories and this friend was able to give the young Amos Joel the opportunity that he required. And similarly, I was fortunate to become head of the computer laboratory when digital computers were new. If Dr. Joel and I had not had the good fortune we did have, it is possible that we would have received Kyoto Prizes in other fields, but one can, by no means, be sure. A person's career depends, to a major extent, on the opportunities that present themselves to him. Thank you.



稲盛財団1992——第8回京都賞と助成金

発 行 1993年11月1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

ISBN4-900663-08-5 C0000