

題名	21 世紀のコンピュータ技術について
Title	A Few Thoughts on Computer Technology for the 21st Century
著者名	マーシャン・エドワード・ホフ Jr.
Author(s)	Marcian Edward Hoff, Jr.
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	13
受賞年度	1997
出版者	財団法人 稲盛財団
Publisher	The Inamori Foundation
発行日 Issue Date	8/30/1999
開始ページ Start page	158
終了ページ End page	178
ISBN	978-4-900663-13-1

## 21世紀のコンピュータ技術について

マーシャン・エドワード・ホフJr.

20世紀を省みると、人類が技術の進歩において長足の進歩を遂げた世紀だったと言えます。過去100年において、人類は交通、通信、娯楽、工業、農業、医学等の分野で大きな躍進を遂げました。自動車、航空機、映画、ラジオ、テレビ、衛星を使った通信、携帯電話、産業用ロボット、新薬、新しい診断方法、外科技術、体内ペースメーカー等々、今世紀に開発され、広く一般に普及したものを挙げればきりがありません。

私自身について言えば、私は物心がついた頃から技術に魅せられていました。人類は長い歴史の中で素晴らしい機器を発明してきましたが、それらの機器のおかげで、我々は今、先祖が想像もつかないような便利で快適な生活を享受しています。特に今世紀は、技術開発に携わった人々にとっては収穫の多い100年でした。あまりに多くの発明や開発がなされたので、どの技術分野を探索すべきか迷うほどです。この100年間の技術的な進歩の中で、私が特に関心を持つのはコンピュータの開発です。私は自身の職業としてコンピュータに携わることが出来たことを非常に幸運だったと思います。さらに、このたびは稲盛財団からこの分野での私の研究が認められ、世界で最も権威ある賞を授かることになりましたことは望外の喜びです。

人類が開発した機器の中でも、コンピュータほど汎用性があり用途が広いものは他に見あたりません。私が先ほど申し上げました様々な技術分野のどれ一つをとっても、コンピュータが使われない分野はありません。コンピュータは航海にも、画像処理にも、ロボットの制御にも、医学的な診断にも役立っています。ますます多くの技術分野でコンピュータが使われるようになり、その一方でコンピュータにかかるコストは急速に下がっています。

新しい技術の導入は、いつも私達が期待するように簡単でスムーズにいくわけではありませんが、過去100年に導入された新しい技術を振り返る時、我々は人類の順応性を認めないわけにはいきません。しかし、新しい技術の出現によって生活を脅かされた人もいたのです。例えば、技術の進展によって時代遅れになった職業の労働者は職を失いましたし、人体に有害な新しい物質に曝された人々もいました。その結果、技術の進歩に対して敵対心を持ち、今日私達が抱えている問題の多くを技術のせいにする人々もいます。こういった人々はコンピュータのことも非難しています。コンピュータは非人間的で、人間関係を希薄にしているというのです。ですから、新しい技術を全て捨て去り、昔の「シンプルな」生活に戻ろうという人もいます。また、我々は全て農民になって、必要なものは土地を耕して育て、家は化石燃料を使わずに薪で暖房しようという人さえいます。このような考え方はロマンチックですが、私はそのよう

## A FEW THOUGHTS ON COMPUTER TECHNOLOGY FOR THE 21ST CENTURY

Marcian Edward Hoff, Jr.

We can look back on the 20th century as a century in which we, the members of the human race, have made enormous technical progress. In the last 100 years we have created revolutions in transportation, communication, entertainment, manufacturing, agriculture, medicine, etc. These past years have seen the development or widespread distribution of automobiles, air transport, movies, radio, television, satellite communication, cellular telephones, industrial robots, remarkable medicines, new medical diagnostic techniques, new surgical techniques, implantable pacemakers—the list could go on and on.

For almost as long as I can remember, I have been fascinated by technology. Mankind has developed some remarkable tools over his history, and these tools allow us to perform feats that our ancestors could not even imagine. This last century has been very generous to one who wanted to participate in the development of technology. There have been so many developments that one has a difficult time deciding what area of technology to explore. One of the developments of this last century that was of particular interest to me was the computer. I feel very fortunate to have had the opportunity to work with computers during my career, and now to have my work in that area recognized by the Inamori foundation with this most prestigious award is overwhelming.

Of all of the tools developed by mankind, the computer seems the most versatile, the most universal. Computing power can play a significant role in every one of the areas of technology that I mentioned above. Computers help in navigation, in image processing, in robotic control, in medical diagnostics. New ways to use computers to extend these other technologies are being developed, while the cost of computing power continues to fall rapidly.

The introduction of the new technology has not always been as smooth or as easy as we might have desired, but the fact that so much has been accomplished in 100 years is a testament to the adaptability of the human race. Nevertheless there have been some whose lives were worsened by the new technologies, for example, workers displaced from jobs made obsolete, and people exposed to new hazardous materials. Some people have even taken a hostile view of technology, blaming the new developments for most of the problems we face in today's life. They argue that computers are partly to blame, that computers are impersonal or isolate us from one another. They suggest we stop all new technology development and return to our previous "simpler" way of life. One view suggests we should all be farmers, growing just what we need, living off the land, heating our homes with wood rather than fossil fuels. As romantic as that concept may appear, I feel that we just can no longer afford that life style. I also feel that technology, and computers in particular, are being unfairly

な生活はもはや不可能だと考えています。私は、また、技術、特にコンピュータは不当に非難されていると思うのです。今日私達が抱える問題の原因は技術以外のところにもあるはずです。

では、他にどのような要因があるのでしょうか。20世紀で特筆すべき点は、技術の進展以外にもあります。今世紀は人口が爆発的に増加した世紀でもありました。過去100年間で世界人口はおそらく4倍に達しました。20世紀の終わりには、地球上の人口密度が1平方マイル当たり100人になると思われます。これは、地面の上であれば南極やサハラ砂漠、ヒマラヤ山脈の峰々など、人の住めない地域も含めての見積もりです。

別の見方をすると、私達一人一人の周囲にいる人間の数が100年前の4倍に増えたこととなります。通信手段の進歩のおかげで、遠くの世界で起きている出来事を茶の間のテレビで眺めることも出来るようになりましたから、周囲の人間の数は実際以上に増えているように思えるかもしれません。このように増加した人口を扱うためにもコンピュータは役立っています。たくさんの電話を人間の交換手がいちいち接続することを想像してみてください。

私達は今、20世紀の終わりにさしかかっているのと同時に西暦1000年代の終わりに近づいています。人類の活動が記録され始めたのはおそらく5,000年前だと思われませんが、現在のような人口増加を今後1,000年続けていくとしたら、地球上の至るところが人類でいっぱいになって、他の生物のいる場所が無くなってしまおうでしょう。

このような人口増加によって、ついに人類は地球が有限で、資源も有限なのだという事に気付いたのです。人類の全人口が天然資源を酷使し、他の生物を絶滅の危機に追いやっていることに、私達はやっと気が付き始めました。私が住んでいるカリフォルニアでも、アワビはほとんど取り尽くされ絶滅してしまいました。カリフォルニア・サーディンは何年も前に取り尽くされ、鮭も沿岸の流域開発によって生存が危うくなっています。開発の影響を抑えるための対策も探られ始めましたが、人口増加による開発需要の増大と環境保護の間で揺れ動いています。

私達人類は、まだまだ学ばなければなりません。世界のあちこちで農地を切り開くために森林が伐採されていますが、そのために大気が危険な状態になりかねません。私達は、地下資源が無尽蔵にあるかのごとく石油や天然ガスを燃やしています。口先では環境保護を唱えながらも、実際の消費は増え続けているのです。

今、私達は廃棄できる資源の量も有限だということを学び始めました。川や海に捨てたゴミによって、今まで何とか生き残ってきた生物種も生存が脅かされています。

blamed for problems caused by other factors.

What other factor might be important? Consider that the 20th century has been notable in another way besides advances in technology. It has also been a century of an enormous increase in the human population. The population has increased perhaps fourfold in the last 100 years. As of the end of the century, we will have some 100 human beings for every square mile of solid surface on the planet, which area includes such inhospitable places as Antarctica, the Sahara Desert, and the peaks of the Himalayas.

One way to view the growth in population is that each of us has four times as many neighbors as did our ancestor of a century ago. But advances in communications may make it seem like an even greater increase because we now see, on television screens in our living rooms, events that take place in some far distant corner of the world. One of the roles of computers is to allow us to cope with this much larger number of people. Just consider the number of telephones and try to imagine handling all of the calls placed today with human operators.

We are not only coming to the end of a century, we are also coming to the end of a millenium. We now have records from perhaps some five millenia of human activity. If we were to continue the current rate of expansion of the human population for just one more millenium, for just ten more centuries, there would come a day when there will not be enough space on the surface of the earth for anything other than people.

This population growth has reached the point where we are finally becoming aware that the planet we occupy is finite, with finite resources. We are just awakening to the fact that our sheer numbers are taxing those resources, and endangering other species. In California, where I live, the delicacy abalone has nearly been fished to extinction. California sardines were fished to extinction years ago. Salmon are threatened by developments along coastal rivers. Actions to remedy the impact of development are being taken, but there is a struggle between the needs of the growing population and the preservation of the environment.

We still have much to learn. In parts of the world the great forests are being cleared to make farmland, which may put our very atmosphere at risk. We burn oil and natural gas as if the underground reservoirs are an infinite supply. Even with this knowledge, we give only lip service to conservation, and our consumption continues to grow.

We are just learning that even the resources for waste disposal are limited. Pollution from dumping trash into the rivers and coastal waters threatens species which have thus far survived. Contamination may be making some of our food sources unhealthy. Even irrigation of land to make it more productive can lead to the

また、汚染によって私達の食べ物が健康を害するようになるかもしれません。作物の収穫を上げるために造られた灌漑施設さえもが有害な鉱物の堆積を促し、大地を汚染することもあるのです。化石燃料を燃やすことで、地球の大気の組成が変わり、地球温暖化につながるとも言われています。地球温暖化によって海水面が上がり、陸地が減少することも考えられます。

では、昔の単純な生活に戻れば良いのでしょうか。一人一人が菜園を持ち、そこを耕すだけで自給自足の生活を送るような、そんな時代に戻れば良いのでしょうか。それは不可能だと私は思います。そのためには家庭菜園を作るだけの土地が必要ですが、そのような土地はありません。私達はもはや、森を切り開き、薪で暖をとることも出来ません。そんなことをすれば煙で大気が汚染されるばかりでなく、森林による酸素放出機能が低下し、大気は危機に瀕するでしょう。カリフォルニア州では当局が暖炉で薪を燃やすことをやめるように言っているくらいです。

ですから昔の生活に戻ることはロマンチックな夢にすぎないのです。私達皆が農民になるのは非効率ですし、第一土地が不足しています。土地を有効利用するためには、高層アパートに住むことです。そうすれば住宅地を減らして農地を増やすことが出来ます。

今世紀は、世界人口が増えただけでなく人類の寿命も今世紀に飛躍的に伸びました。アメリカでは今世紀の初めには47歳であった平均寿命が76歳まで伸びました。このような寿命の伸びは主として医学と医療技術の進歩によるものです。寿命が伸びた結果、人口増になっただけでなく、年齢による人口比率も変化しました。今後も医療技術の進歩によって寿命はますます伸びると思われませんが、それによって人口増加も続き、環境への負荷も増すものと思われます。しかし、だからといって病気による苦しみを取り除くための研究を中止することは出来ません。

資源への需要に影響を与える要因として、もう一つ、通信の発達も挙げられます。世界中で通信が発達し、広帯域通信の料金も安くなったため、地球上のほとんどどこでもテレビの画像や電話での会話が楽しめ、インターネットへのアクセスも可能になりました。このような通信手段の発達により、地球上の様々な国の人々が生活様式の違い、とりわけ先進国と開発途上国の格差に気付くようになりました。その結果、公平な資源配分を求める声が今後ますます高まることが予想されます。現在富める国に住んでいる私達は、今ある富を貧しい国の住民と分かち合うことが求められるようになるでしょう。

人類が生存し続け、しかも満足のいく生活レベルを維持しようとするのであれば、

accumulation of undesirable minerals and the ultimate poisoning of that land. Models indicate that the burning of fossil fuels is changing the composition of the atmosphere in a way that may warm the planet. Such warming could raise the oceans and leave us with even less solid surface.

Can we return to the earlier, simpler day in which each of us is self-sufficient with our own garden? I do not believe so. There isn't enough arable land to provide the family farms that that vision would make necessary. We can no longer afford to cut and burn trees to heat our homes—the impact on the atmosphere is too great not only from the polluting effects of smoke but also from the loss of oxygen regeneration that the trees provide. Consider that local authorities in California now ask us not to burn wood in our fireplaces because of its impact on air quality.

So much for the romantic life style. We cannot all be gentlemen farmers—it's too inefficient and there isn't enough land. A better use of the land is for most of us to live in high-rise buildings so less land is used for housing and more is available for farming.

Not only has the population of the world increased, but so has the life span of human beings increased significantly during the century. In the U.S.A., life expectancy has grown from 47 years at the beginning of the century to 76 years at the end of the century. Much of this increase in life expectancy has resulted from progress in medical technology. Not only has this increase in life span contributed to population growth, but it also impacts the distribution of age within the population, which in turn impacts demand on resources. It is highly likely that continued progress in medical technology may further increase our life spans, which adds to the problem of population growth. It is also very difficult to justify cutting off research which eliminates the suffering caused by illness.

Another factor which may well affect demand on resources is communications. We have improved communications around the world and brought down the cost of wide-band transmission to the point where television images, telephone conversations and Internet access are available almost everywhere on the planet. As the various peoples of the world become more aware of differences in life style, most particularly differences in distribution of resources, we may well find that there will be a rising demand for a more equitable distribution of those resources. Those of us who currently live in the wealthier nations may be expected to share more of that wealth with the poorer nations.

If we are to survive as a species and still preserve a satisfactory life style, we are going to have to limit our numbers and we are going to have to learn to use the resources of our planet more efficiently.

How do we use resources more efficiently? The answer is with the judicious use

私達はまず人口を抑制し、地球上の資源をもっと有効に利用するすべを学ばなければなりません。

では、どうすれば資源の有効利用が出来るのでしょうか。それには、技術を賢く利用する以外手だてはありません。技術の有効利用で、すでに解決された問題もいくつかあります。

たとえば、世界各地に人を派遣するより電子信号を送った方が消費するエネルギーははるかに少なくなります。通信手段が進歩すれば、それだけ人が移動する必要がなくなり、その分移動にかかるエネルギーを節約出来るようになります。自宅で出来る娯楽があれば、都心部まで遊びに行く必要がなくなり、その分エネルギー消費も少なくなります。断熱効果の高い建物に住み、インテリジェント・コントロールの空調施設があれば、少ないエネルギー消費で快適な生活が送れます。農業の発達で、土地に負荷をかけずに食物生産することも可能になりますし、単位面積当たりの生産量を上げることも出来ます。このような場面でもコンピュータはデータを分析して収穫量を増やしたり、また、作物への水やりや肥料計画を最適化するなど、大変役に立っています。

他にも多くの場面で、コンピュータはエネルギーや他の資源の有効利用に役立っています。コンピュータを使えば、これらの資源の分配・流通も効率的に行うことが出来ます。現在の生活水準は、多くの人にとって十分満足のいくものではないかもしれませんが、近代的な技術が無ければ、私達の生活水準はさらに悪くなるのです。

私は自分が20世紀に生まれたこと、そして幼い頃から科学技術の魅力の虜になったことを非常に幸運だと思っています。おかげで、私は自分の好きなことにふけりながら、生活の糧を得ることが出来ました。

科学の分野で私が最初に興味をもったのは化学でした。一番古い記憶をたどると、私とは12歳しか年の変わらない叔父が手品のような実験をして見せてくれた、幼い頃の思い出にたどりつきます。叔父が無色の液体を2種類混ぜ合わせると、不思議なことに液体の色が真っ赤になったのです。それは、まるで手品でした。私はその手品の秘密を是非知りたいと思いました。

子ども時代は誰もが力がなく、自分の力で自分の人生を決めることは出来ません。子どもはたいてい親に言われたことをやり、義務教育を受けるために学校に行かなければなりません。しかし、このような手品のからくりを知ることで、子どもなりに自分には力があるのだと感ずることが出来ます。科学技術を知る者には、何と何を組み合わせれば何が出来るか、たとえばこの液体とあの液体を混ぜれば何色になるか、最

of technology. We are already seeing how technology can help with some of these problems.

It takes less energy to send an electronic signal around the world than it does to send a human. Improvements in communications can eliminate the need for some travel and thereby save the excess energy that the travel would require. Entertainment in our homes can save energy by eliminating our traveling to some central location for amusement. Improved insulation combined with more intelligent control can reduce the energy needed to make us comfortable. Developments in agriculture can help us to produce the food we need with less impact on the land, and to use less precious land for a given amount of food production. Even here computing can play a role, both in helping analyze data leading to better crops and more efficient feeding schedules and in planning the optimum watering and fertilization schedules.

There are many more places where computing can improve the efficiency with which we use energy and other resources. Even the distribution of those resources can be made more efficient by the use of computing power. While the current standard of living for the average human may be worse than we might desire, without modern technology we would be in a far worse condition.

I consider myself very fortunate not only to have been born in this century but also to have fallen in love with science and technology at a very early age. As a result I have been able to earn a living by indulging in my hobbies.

My first introduction to science was via chemistry. One of my earliest memories was seeing my uncle, who is only twelve years older than I, mixing two colorless liquids and producing a brilliant red color. It seemed like magic, and I wanted to learn how to do such magic.

As a child, one has very little power, very little control over one's life. The child must usually do what the parents ask, must attend school as the state demands. But the magic of technology grants power to those who understand it. When one understands science and technology, one can predict what will happen when known combinations are tried. Knowing how to accomplish a desired result or knowing how to fix some piece of equipment gives one a feeling of personal power.

As an example, consider electronics. No one has ever seen an electron, so electronic circuit operation is based on various theories. These theories predict that various combinations of electronic components will produce certain results. The electronics engineer designs his circuit based on the theories and expects it to work as the theories predict. I still get great satisfaction from building an electronic circuit that I have designed, and seeing it perform as the design predicted.

There are many areas of science and technology one might study. As I indicated

初から分かっています。期待する結果を得るために何をすれば良いのか、また、どのように器具を調整すれば良いかを知っていれば、力を得たような気分になれるものです。

エレクトロニクスを例にとってみましょう。誰も電子を見た人はいませんから、電子回路の操作はいくつかの理論に基づいて行います。これらの理論を知っていれば、どの電子部品を組み合わせればどういう結果になるかを予測することが出来ます。エレクトロニクスの技術者は理論に基づいて回路を設計し、回路が理論どおりに動くことを期待します。私は今でも自分で設計した回路が予測どおりに動いた時は非常な満足を感じます。

科学技術には多くの分野がありますが、先ほど申し上げましたように、私が最初に興味をも持ったのは化学でした。叔父はいくつかの化学反応を見せてくれただけではなく、大学の教科書を私にくれました。私は叔父の教科書を何度も何度も読み返しました。私がまだ10歳になる前に、両親は私にしぶしぶながら化学の実験セットを買ってくれました。それに叔父がいくつか器具を追加してくれました。こうして化学に親しむことで、私は色々なことが分かり始めました。例えば、石鹼とは何かとか、酸によって服に穴があくのはなぜとか、また、ある種の物質がどんなに危険かといったことまで分かってきたのです。

12歳になった頃、私は別の分野に興味を持ち始めました。叔父が、さまざまな科学分野の記事が載っている「ポピュラー・サイエンス」誌の購読契約を結んでくれたのです。ある時、私はアライド・ラジオの電子部品の広告を見つけ、早速無料のカタログを取り寄せてみました。カタログを見ると、すぐにエレクトロニクス関係の本を注文し始めました。それを見た両親は、クリスマスに短波ラジオのキットをプレゼントしてくれ、父が組み立てを手伝ってくれました。こうして、私は化学の手品とは別の種類の手品にも興味を覚えたのです。新しい手品によって、私は世界中の放送を聞くことが出来ました。モスクワ放送も聞きましたが、1950年代のアメリカのメディアとは、同じ事件に対しても相当異なる見解があることが分かりました。

私は化学とエレクトロニクスの両方の勉強を続けました。ハイスクールの頃、私はオシロスコープに使うブラウン管の広告を目にし、注文して自分でオシロスコープを組み立ててみました。ハイスクールの最終学年では、ワシントンにあるウェスティングハウス・サイエンス・タレント・サーチへの招待を受けました。その頃私は将来予想される化石燃料の枯渇に備えて水素と二酸化炭素から燃料を合成するプロジェクトに取り組んでいましたが、このプロジェクトによってワシントンへ招待されたのです。

before, my first love was chemistry. Not only did my uncle demonstrate some chemical reactions, but he also gave me some of his college textbooks and I read and re-read them. By the time I was ten years old, my parents had reluctantly gotten me a chemistry set. My uncle helped me add to it. Many things were explained by chemistry—what soap was, how acids could eat holes in your clothes, even how some substances could be dangerous.

When I was twelve years old, I got an introduction to a new area of technology. My uncle gave me a subscription to Popular Science Magazine, which reported on many developments in science. In one issue I saw an advertisement for a free catalog of electronic supplies offered by Allied Radio. I sent for the catalog and soon began ordering books on electronics. Seeing my interest, my parents gave me a short-wave radio kit for Christmas and my father helped me to assemble it. Now I had a new type of magic—I could listen to stations from around the world—even Radio Moscow, which provided a view of events that differed considerably from the U.S.A. media of 1950.

I continued to study both electronics and chemistry. While in high school I saw an advertisement for cathode-ray tubes of the type used in oscilloscopes. I ordered one and built a crude oscilloscope. However, as a high school senior, I won a trip to Washington, D.C. in the Westinghouse Science Talent Search. The topic of the science project that won me the trip was the synthesis of hydrocarbon fuels from carbon dioxide and hydrogen. Such synthesis would become desirable when the finite supplies of fossil fuels ran out. Even in 1954, I was concerned about the limits of the planet.

When it was time to go to college, I was forced to make a decision between chemistry and electronics. College programs are divided into such categories. My uncle, by then a chemical engineer, suggested that the job market for chemists was limited, so I chose electrical engineering as a course of study and I was accepted by Rensselaer Polytechnic Institute (R.P.I.).

At the beginning of the summer between high school and college, my father got me an interview in the electronics laboratory at the company where he worked, General Railway Signal Company (G.R.S.). They offered me a summer job and I worked there every summer from 1954 through 1959. That job gave me my first experience with transistors, which had been developed only a few years before.

When I graduated from R.P.I., I chose Stanford University for graduate study. My studies at Stanford started in the field of transistors and other solid state circuit devices, and that led to an involvement with integrated circuits. The summer job experience at G.R.S. also got me interested in a problem faced by the railroads. Railway cars were often lost or their locations unknown. That led to the question of whether a way to read the numbers off passing railway cars might be developed. That question led to my

それは、まだ1954年のことでしたが、私はすでに地球の資源が枯渇する心配を始めていたのです。

いよいよ大学に入学する段になって私は化学を専攻するかエレクトロニクスを専攻するかを決めなければならませんでした。大学のコースが分かっていたからです。その頃、叔父は化学エンジニアでしたが、化学を専攻しても就ける仕事に限られているというので、私は電子工学を専攻することにし、レンセラー・ポリテクニク・インスティテュート（RPI）に入学しました。

ハイスクールを卒業してから大学に入るまでの夏休みの間は、父が勤務していたジェネラル・レイルウェー・シグナル・カンパニー（GRS）の面接を父の紹介で受け、同社のエレクトロニクス研究所で働くことが出来ました。以後、1954年から1959年まで、私は毎年夏休みになるとそこで働きました。この仕事によって、私は、当時発明されてからまだ数年しかたっていないトランジスタを扱う機会を得ました。

1958年にレンセラーを卒業すると、スタンフォード大学の大学院に行きました。ここで、私はトランジスタや他の固体回路装置の研究を始めましたが、この経験によって、やがて集積回路の開発に携わるようになったのです。夏休みの間にGRSで働いた経験から、私は鉄道の問題に興味を持ちました。当時の鉄道会社は車両がどこを走っているか分からないことが多く、走っている車両の側面に書かれている数字を自動的に読み取る装置を開発することが切実な課題になっていました。私はこの課題に取り組み、博士論文を書きました。私がコンピュータに関わるようになった引き金も、実はこの問題だったのです。

博士論文のテーマを決める時に、私が鉄道の車両番号読みとり問題を取り上げたいと言うと、新たにスタンフォードの教授になったバーナード・ウイドロー博士に会うようにとアドバイスを受けてました。ウイドロー博士は、学習能力のあるコンピュータに関心を持っておられましたが、車両の番号を読みとるのに必要なパターン認識には、ある種の学習が必要だと思われたのです。私達は学習プロセスのコンセプトをいくつか開発しましたが、それらをチェックする方法が必要でした。最初は学習アルゴリズムを私達の手でシミュレートしてみましたが、すぐにこの研究にはもっと高度なツールが必要だということに気がきました。そこでウイドロー博士はIBMにモデル1620のコンピュータを注文したのです。

1620は私が実際にプログラムした最初のコンピュータとなりました。私達はまず学習モデルを手続き化し、続いてコンピュータ用にコーディングすると、コンピュータは手続きを実行し、結果を出してくれます。これも私には手品のように思えました。

Ph.D. thesis and my involvement with computers.

When it came time to choose a topic for a Ph.D. thesis, I mentioned the railway car number reading problem. I was told to meet a new professor at Stanford, Dr. Bernard Widrow. Dr. Widrow was interested in computers that had learning capability, and it appeared some type of learning would be needed to perform the kind of pattern recognition that would be needed to read railway car numbers. We developed several concepts for learning processes, and needed some way to check them out. We first built some models that we manipulated by hand to perform the learning algorithms, but soon realized we needed a better tool for the study. Dr. Widrow ordered an I.B.M. model 1620 computer.

The 1620 was the first computer that I actually got to program. Again it seemed magic that we could take a concept for a learning procedure, code that procedure for the computer, and then the computer would execute the procedure and produce results that we could study. We could even have the computer work all night on a problem while we went home and slept.

The computer seemed like a very desirable tool, but it was very expensive. Had we purchased it outright, the 1620 would have cost about as much as the annual salaries of some ten engineers. Computers cost so much that one of the conditions for their use was how to keep them busy. People made up problems so that they could justify having the expensive tool.

After receiving my Ph.D. in 1962, I stayed at Stanford as a Research Associate, working in the area of what are now called "neural networks." As much as I enjoyed the academic environment, I was intrigued by industry. In the academic world, if you published a good idea your colleagues would praise you. In the world of business, your good ideas would be praised by customers spending their money. In 1968 I received a call from Bob Noyce who was founding a new company to make semiconductor memory products. I applied and got the job and became Intel Corporation's employee number twelve.

My initial responsibilities at Intel were related to the applications for semiconductor memories. I was expected to produce application information for Intel products, and also to meet with prospective customers to determine their needs and expectations. Hopefully, those customer inputs would be useful in defining the type of memory product to produce.

I also did some computer programming, such as writing simulators for the types of MOS circuits being developed at Intel. MOS, which stands for Metal-Oxide-Silicon or Metal-Oxide-Semiconductor, is an integrated circuit manufacturing process, in particular the one used for the densest, most complex logic and memory circuits. Some

一晩中コンピュータに仕事をさせ、その間に家に帰って寝ることも出来たのです。

このようにコンピュータは非常に頼もしいツールでしたが、問題は価格でした。もし、即金で買ったなら、1620はエンジニアの1年分の給料を10人分合わせたくらいなのです。このように高価な機械だったので、コンピュータを四六時中動かす必要があることが購入の条件となりました。いつも問題を作ってはコンピュータに解決させることで、高価なツールを購入する言い訳としたのです。

1962年に博士号をとると、私はスタンフォード大学の助手となり、現在「ニューラル・ネットワーク」と呼ばれている分野の研究を進めました。こうして大学での学生生活を楽しんでいたのですが、産業界に対しても次第に興味を持つようになりました。大学では、もし素晴らしいアイデアを発表すれば同僚に誉めてもらえます。ところが産業界では、素晴らしいアイデアは製品になり、消費者がお金を払って買ってくれるのです。1968年に、私は半導体メモリ製品の新しい会社を設立しようとしていたボブ・ノイスの誘いにのることにしました。その会社がインテルで、私はインテルの12番目の社員となりました。

インテルでの最初の仕事は半導体メモリのアプリケーションに関するもので、私はインテル製品のアプリケーション情報を作り、同時に顧客になりそうな人々に会って彼らの需要や要求を調べました。このようにして顧客情報を集めることで、どのような種類のメモリ製品を製造すべきか判断しようと思ったのです。

私は、また、コンピュータのプログラミングもしました。たとえば、インテルが開発していたMOS回路のシミュレータもプログラムしました。MOSとはMetal-Oxide-Silicon（金属酸化膜シリコン）もしくはMetal-Oxide-Semiconductor（金属酸化膜半導体）の略で、集積回路製造の一プロセスです。特に、高密度で複雑な論理回路やメモリ回路の製造に使用されます。この仕事に携わっているうちに、私は当時流行していたミニコンピュータに関わるようになりました。当時、ミニコンピュータは半導体のテスト機器用に設計されており、研究室で使用されていました。大型のメインフレーム・コンピュータと比べて小型な上に、価格も安かったのですが、それでも、平均的なエンジニアの半年分の給料と同程度はしていました。アーキテクチャが極端にシンプルなミニコンピュータもありましたが、それでも、プログラミングさえ適切にされていれば、非常に複雑なタスクも実行可能でした。

インテル創設の数ヶ月後に、同社は日本のビジコン社が製造する電卓用の集積回路を製造することに同意しました。インテルは主としてメモリの製造を手がける方針でしたが、このようなカスタム品のビジネスも資金繰り上、手がけなければならなかつ

of this programming got me involved with minicomputers, which had become quite popular by that time. Minicomputers were being designed into semiconductor test equipment, and were being used in laboratory environments. Not only were minicomputers smaller in size than the larger mainframe computers, they were also much less expensive. However, the typical minicomputer still cost as much as half of an engineer's annual salary. Some minicomputers were remarkably simple in their architecture. In spite of the simple architecture, suitable programming allowed them to perform some very complex tasks.

A few months after its founding, Intel agreed to manufacture integrated circuits for a family of calculators to be built by Busicom of Japan. Even though Intel expected to be primarily a memory manufacturer, it was felt that this custom business could result in needed cash flow. I was assigned to work with three engineers who came to Intel from Japan to finish and transfer their design. As I began to understand the design, I began to get concerned that the complexity and the number of different chips needed to allow this one family of circuits to implement many different models of calculators would overload Intel's limited design capability. The number and complexity of the chips could also make it difficult to meet the cost targets for the calculators.

My experience with minicomputers suggested to me that the architecture could be simplified if a suitably programmable architecture were used. The design as proposed did have some programmability, but I felt the architecture could be improved by reducing the complexity of the processor while replacing any lost functionality by additional programming. That led to my proposing an architecture of a very simple general purpose computer that could be programmed to perform most of the calculator functions. This approach was ultimately accepted and, with the help of my colleagues, brought to reality. The architecture was sufficiently simple that the central processing unit could be realized as a single chip.

Initially, a contract was signed that gave exclusive rights to the chips to Busicom, although there were clauses that anticipated the possibility that Intel might sell the chips to others. If the first devices had remained limited to use only in the Busicom calculators, it might not have created the revolution that followed. Fortunately, circumstances led to Intel's offering the microprocessor for much more general usage.

Two events led to this broader availability of the single chip processor. One was from negotiation with Busicom. The other was the undertaking of a second microprocessor development, almost in parallel with the Busicom chip family.

Shortly after Intel committed to build the first microprocessor for Busicom, a customer came to Intel with a request for a special memory for a computer terminal which contained a simple central processing unit. Stanley Mazor and I concluded after a

たのです。日本から3人の技術者がチップの設計を仕上げ、伝達するためにインテルに派遣されてきましたが、私は彼ら3人と共同で働くようにとの指示を受けました。彼らの設計は一つのチップファミリで多くの異なった電卓モデルを実装しようとするため、チップの種類が多くなりすぎ、またチップ自体が複雑になりすぎて、インテルの限られた設計能力を超えてしまうのではないかという不安を持つようになりました。また、チップの数が多く複雑なために、電卓の製造コストも高くなりすぎるのではないかと懸念しました。

ミニコンピュータに携わった経験から、私はアーキテクチャをプログラミング可能にすれば、もっと単純化出来ると思いました。ビジコンが提案した設計でもプログラミングは可能だったのですが、私はプロセッサを単純化し、その代わりにプログラムを追加することでアーキテクチャを改良出来ると思いました。そこで、私は電卓の機能をほとんど実行できるようにプログラムすることが可能な、単純な汎用コンピュータ用のアーキテクチャを提案しました。結局私の考えが採用され、それは同僚の協力を得て実現に至りました。出来上がったアーキテクチャは十分シンプルで、CPUを単一のチップ上にまとめることが出来ました。

当初の契約では、チップに関する諸権利は全てビジコンに属することになっていましたが、インテルが他社にチップを販売する可能性についても言及した個所もあったのです。もし、これらのチップがビジコンの電卓にしか使えないものであれば、その後の飛躍的な進展はなかったでしょう。しかし、幸いなことに、その後インテルはもっと汎用性のあるマイクロプロセッサを提供することになったのです。

この単一チップを使ったプロセッサが広く入手可能になった裏には二つの出来事がありました。一つ目の出来事は、ビジコンとの交渉、二つ目はビジコンチップファミリとほぼ平行して進められた第2のマイクロプロセッサの開発でした。

インテルがビジコンの電卓用に世界初のマイクロプロセッサを開発し始めて間もない頃、一人の顧客がインテルを訪れ、単純なCPUのコンピュータ・ターミナル用特殊メモリを開発してほしいと依頼しました。しばらく検討した後、私とスタンレー・メイザーは、依頼されたCPUがビジコンの電卓用に開発していたものと比べても、あまり複雑にする必要は無いという結論に達しました。そういうわけで、インテルでは第2のマイクロプロセッサ・プロジェクトが始まったのです。最終的にはどちらも汎用プロセッサとして発表され、何百ものアプリケーションが可能でした。また、さまざまなアプリケーションによって、元の装置を改良する必要も出てきました。それらの改良要求は半導体処理技術の進歩によって満たすことが出来ました。

brief study that the central processing unit for the terminal was not much more complex than the one to be developed for the Basicom calculators, and that led to the second microprocessor project at Intel. Ultimately, both processors were announced for general use, and soon hundreds of applications for microprocessors appeared. Those applications led to requests for upgrades to the original devices, and improvements in semiconductor process technology allowed those upgrades to become reality.

Over the subsequent years, more and more applications for microprocessors have been found, and the microprocessor has made possible the personal computer revolution. It now seems so obvious that the microprocessor should have been developed, but at the time the decisions to first make and then sell the microprocessor were filled with trepidation. There was no guarantee that Intel would be successful with the early products or that our customers would be able to apply them properly. There were major questions about how they should be supported. Fortunately, the products were announced and they were successful.

I look back on that development of the first microprocessor with pride, not just because we developed a successful product, but because that product represented the cooperation of people of different backgrounds and the cooperation of two great nations, two great economic powers. It was especially satisfying to me because some of my early childhood memories were of these two nations in conflict. The result of those same two nations engaged in mutually beneficial cooperation should be a lesson for the whole world.

The underlying semiconductor technology has made enormous advances since the first microprocessor was developed, and those advances have allowed modern microprocessors to offer truly amazing performance. We now pack into a few cubic centimeters more computing power than would have fitted into a large room a few decades ago. As we move into the 21st century, we have a very powerful tool. The real question is whether we will take full advantage of what this computing power can offer.

A lot of the media attention to the microprocessor today is related to usage for Internet access. Other uses well known to the public are word processing tasks and a few other standardized applications such as spreadsheets and data bases. As interesting as these uses are, and I do not mean to imply they are unimportant or inferior uses of microprocessors, I believe there are even more important applications for microprocessors.

Partly because of the publicity given to the Internet access application, the general public, and in some cases the technical public, is becoming less and less aware of other applications of microprocessors, most notably those applications for microprocessors in what is termed "embedded control." Embedded control

その後何年間か、マイクロプロセッサのアプリケーションは数多く考え出され、マイクロプロセッサによってパソコンも登場しました。今考えるとマイクロプロセッサの開発は当然必要なことだったと思いますが、当時、マイクロプロセッサを作り販売するなどということは、非常に大胆でおそろしいことだったのです。インテルが製品を作っても成功する保証はなく、また、顧客がうまく使いこなせる保証も無かったのです。特にサポートは大きな問題でした。私達の製品が成功したのは、非常に幸運だったと思います。

今、最初のマイクロプロセッサの開発を振り返り、私は非常に誇らしく思っています。それは単に成功したからではなく、この成功が異なるバックグラウンドを持った人々の協力の賜物であったからです。すなわち、日本とアメリカという二つの偉大な国家、二つの経済大国間の協力によるものでした。特に私の子ども時代を思い出すと、両国の間にはいがみ合いがありました。かつては敵国同士であった両国が互いに力を合わせ、このような成果を得たことは、全世界に良い手本を示したと言えるでしょう。

最初のマイクロプロセッサが開発されてから、半導体技術は飛躍的に進歩し、また、その進歩によって今日のマイクロプロセッサは驚くべき性能を有しております。数十年前には大きな部屋をいっぱいに占領していた大型コンピュータ以上の演算能力を今ではほんの数立方センチの箱に収めることも出来るようになりました。21世紀に向かって、私達は非常にパワフルなツールを持ったわけです。ただ問題は、私達がこの素晴らしい演算能力を果たして十分に使いこなすかどうかだと思います。

今日メディアの注目を集めているマイクロプロセッサの応用は、インターネットのアクセスに関するものです。その他の用途としては、ワープロとしての利用や、スプレッドシートプログラムやデータベースのような標準化されたアプリケーションがもっとも一般に知られています。私はこれらの用途にも関心がありますし、その重要性は十分認識しておりますが、マイクロプロセッサにはもっと重要な用途があると思います。

インターネットへのアクセスアプリケーションがあまりにも評判になっているため、一般の人々や、中には技術者までもが、マイクロプロセッサの別のアプリケーション、いわゆる「組み込み用」マイクロプロセッサと呼ばれているものの重要性についてあまり認識していないようです。組み込み制御用マイクロプロセッサは自動車のエンジン効率を上げ、排気ガス中の汚染物質を削減します。また、その他の電化製品に利用すれば、エネルギー効率を改善することが出来ます。その上、使いやすく、壊れにく

microprocessors make our automobile engines more efficient and help reduce the pollutants they produce. Embedded control microprocessors in our appliances can help make them more efficient users of energy. Embedded control microprocessors also make appliances easier to use, and can operate to make it more difficult to damage or misuse an appliance. Embedded control microprocessors can offer navigation aids to drivers, and add intelligence to our telephones. However, because they are embedded, they often are invisible.

There are still many areas where we can utilize more embedded bits of computer intelligence. Some applications still await solutions. For example, much work has been done toward building computers which can understand human speech, but the abilities of the current systems still leave much room for improvement. Part of the problem is that much of our understanding of the spoken word depends on the context of the words, and that context relies on a body of knowledge most humans have but computers still lack. As memory becomes cheaper, we may be able to build more intelligence into systems, including much of that fundamental knowledge that most humans acquire over their lifetimes.

There are many other areas where fundamental research into computing is needed. We have made much progress in robotics, and now use robots to improve our manufacturing capability, but we can expect to use future robots for many more tasks. Some of these tasks will require robots with much better pattern recognition capabilities. Experiments are already being made which may lead to robotic automobiles. We should be able to make automobiles safer and more fuel efficient if we can reduce their dependence on human control. Interactive automobiles may cooperate to reduce the number of times brakes are applied, and to travel more closely together. More efficient use of roads and highways could even reduce the amount of land we pave over.

Robots in our homes are another possible use for computing that may improve energy efficiency and also provide services to improve our comfort and save us from unpleasant chores. Robots capable of understanding ordinary human speech should be especially helpful.

Speech processing for language translation is another area that could be very useful. We could very well expect to have automatic translation as part of our international telephone systems and as a built-in service of the Internet.

Who will perform the research necessary to extend computer capability? Who will build computing power into an increasing number of applications? It will have to be the future generations of computer scientists and engineers. For us to develop the next generation of computer scientists, we must ensure that our young people become

い製品にし、誤用を避けることも出来るのです。その他、カーナビや、電話のインテリジェント化にも使えます。ただ、これらの機能は「埋め込まれている」ため外から見ても分かりません。

コンピュータのインテリジェンスを埋め込んで使う方法はまだまだあります。中にはまだ開発中の用途もあります。たとえば、会話を理解するコンピュータの開発は、かなり進んでいますが、まだまだ改良の余地があるようです。問題の一つは、話し言葉の多くが文脈によらないと理解出来ないことにあります。その文脈を理解するには多くの知識の集合が必要ですが、この面でコンピュータはまだ人間に追いついていないのです。メモリの単価が安くなり、システムをさらにインテリジェント化することが可能になれば、私達人間が生涯をかけて取得していく多くの基本的な知識をシステムに登載することも出来るようになるかもしれません。

他にもまだまだ、基礎的な研究が必要とされる分野があります。ロボット工学においてはかなりの進展が見られ、今では製造業にロボットを使用することが出来るようになりましたが、将来、もっと多くの仕事にロボットを使うことが出来るようになるでしょう。ロボットを使うためには、ロボットのパターン認識能力を改良しなければならないタスクもあります。ロボット自動車を開発するための実験もすでに始まっています。もし、人間が運転する部分を減らすことが出来れば、自動車の運転は今以上に安全になり、燃料効率も上がるはずです。インタラクティブな自動車が出来れば、ブレーキを踏む回数が減り、車間距離も少なくすることが出来ます。道路やハイウエーの効率利用が可能になれば、道路用地も少なくて済みます。

家庭用ロボットも、エネルギー効率を上げ、私達の生活を快適にし、いやな雑用から解放してくれます。特に普通の日常会話を理解できるロボットを開発すれば、非常に有用でしょう。

自動通訳・翻訳装置も非常に有用な分野です。国際電話やインターネットに自動通訳・翻訳装置が組み込まれていれば大変役に立ちます。

では、このようなコンピュータの能力を拡充する研究を誰がするのでしょうか。誰が、多くのアプリケーションが可能な演算能力を持つコンピュータを開発するのでしょうか。それは未来の世代のコンピュータ・サイエンティストでありエンジニアです。次世代のコンピュータ・サイエンティストを育てるためには、若い人々がコンピュータの新しいアプリケーションに関心を持つように仕向けなければなりません。

コンピュータがインターネットのアクセスにのみ使われるようになってきていますが、私はこの傾向に懸念を持っています。コンピュータ機能を他の製品の中に埋め込

interested in these new applications for computers.

One of my concerns is that as popular opinion increasingly sees computers used only for Internet access, there will be less and less awareness of the embedded control applications that bury computing power in our appliances, even such computing power as might be buried in the Internet. Unless those less well-known uses for computing power remain interesting to our young people, they will cease to inspire research, and progress toward the broadest uses for computing will slow or cease altogether.

You make think that I am unnecessarily concerned about finding young people to continue extending computer capability. However, my fears are based on actual experience. I remember the early days of microprocessor development. At that time most of the glamor in computing was associated with the large mainframe computer. As we tried to recruit talented young people to come to Intel to work on microprocessors we were constantly frustrated—the brightest graduates wanted to be working on something bigger and more exciting. It was not until the media discovered the microprocessor and began to present microprocessors as exciting and important that we found the bright young college graduates actually seeking to work in our arena.

I have often been asked if we visualized the popularity of the personal computer when we were developing and announcing the first microprocessors. I must admit that we did not. The applications we envisioned were those that we now call embedded control. I am very grateful for personal computers, and I find them a wonderful tool for my work, whether for simple word processing or for circuit design and simulation. Nevertheless, I still find embedded control applications of microprocessors fascinating, and my hope is that future generations will find them equally fascinating and that they will continue to be developed for many generations to come.

む「組み込み制御」のことを知る人が少なくなっていくのではないかという懸念です。もちろん、インターネットにこのような演算能力を組み込むことも考えられますが、このようなあまり一般に知られていないコンピュータの使い道に若者が興味を持ってくれない限り、研究も進まずコンピュータの幅広い応用の道も閉ざされてしまいます。

皆さんは私が心配のしすぎだと思われるかもしれません。しかし、私の心配は実際の経験に基づいているのです。私がマイクロプロセッサを開発していた初期の頃を思い出します。当時は、巨大なメインフレーム・コンピュータが輝いて見えました。インテルでマイクロプロセッサの研究をするために才能のある若者を集めようとしたが、いつも卒業生の中でもっとも成績の良い学生は、もっと大きくて華やかな仕事の方に行ってしまいました。若い大学の卒業生が、私達の分野の仕事をしたがるようになったのは、メディアがマイクロプロセッサを重要で輝かしいものだと認めるようになってからでした。

「マイクロプロセッサの開発をしていた頃、今のようにパソコンが全盛になると予測していましたか」というお尋ねをよく受けます。はっきり申し上げれば、全く予測していませんでした。当時私達が考えていたアプリケーションは、今、組み込み制御と呼んでいるものだったのです。私はパソコンの出現を大変喜んでおりますし、自分の仕事にも、ワープロとして、また、回路の設計やシミュレーションに役に立てております。それでも、マイクロプロセッサを組み込み制御用として応用することに魅力を感じ続けています。将来を担う若者が私と同様に、組み込み制御に関心を持ち、これから何世代にもわたって開発を続けられることを願ってやみません。

稲盛財団 1997——第13回京都賞と助成金

発 行 1999 年 8 月 30 日

制 作 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88番地 〒600-8009

電話 (075) 255-2688

**ISBN4-900663-13-1 C0000**