

題名	私とマイクロプロセッサ―初めに応用ありき、応用が全てである
Title	The Microprocessor and I: It All Starts with the Application
著者名	嶋 正利
Author(s)	Masatoshi Shima
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	206
終了ページ End page	229
ISBN	978-4-900663-13-1

## 私とマイクロプロセッサ—初めに応用ありき、応用が全てである

嶋 正利

1997年度の京都賞先端技術部門の受賞を告げられたとき、胸がワクワクするような感動と大きな喜びが体中に満ち溢れました。今回の受賞は誠に名誉であり誇りであります。この受賞の意義は、マイクロプロセッサは『新時代を切り拓く技術』であったことを世界的に認めていただいたことです。この受賞は、世界初のマイクロプロセッサ4004の発明と開発を行った人達だけではなく、マイクロプロセッサという今まで世の中に存在していなかった新技術を、認知し、世界に広め、そして採用し、成長させてくれた人達への、大きな勲章ではないでしょうか。私個人にとってみても、この受賞は、28年間マイクロプロセッサの開発という道を一筋に歩んで来たことへの誇りをより強くさせてくれました。また、長い年月をかけて文化を創り上げ、次々と新しい理論や思想を生み出し、さらに、創造性に富んだ企業を次々と生んでいる、この美しい京都から戴いた賞に、深く感謝しております。

私は、半導体や電気の専門家ではありません、コンピュータの専門家でもありません。ちょっとしたきっかけでやり始めた仕事で30年という長い間続いたという感じです。先頭を走ることは決して易しいことではありませんし、ストレスも溜まります。しかし、先端の創造性ある開発が成功しますと、開発が次の開発を生み、その開発が私を成長させてくれました。アメリカでマイクロプロセッサの開発に夢中になっていたときに、仕事で熱くなった頭を冷やすために、読んだ本があります。その本は司馬遼太郎氏の小説『花神』です。主人公である村田蔵六こと大村益次郎の生涯です。小説には、『ひとびとの需要のためにのみ村田蔵六は存在している。蔵六からそれをしたと思ったことは一度もなく、ひとびとが蔵六の技能を必要とするままに蔵六は生きて来た〈おれも変わっている〉』と書いています。時代の要請に従い自分の意志とは関係なく、神が決めた道を、夢中になって歩み、真っ直ぐに生きた村田蔵六の姿に自分の姿を重ねることがありました。本日は、『マイクロプロセッサと私』という題で、私がどのようにマイクロプロセッサに関わったかを、お話ししたいと思います。

私は、1943年に静岡で生まれました。静岡は、八面玲瓏白雪と詠われた美しい富士山と駿河湾があり、気候温暖で豊かで、のんびりした土地です。父は、洋品店を営んでおりましたが、新しいものが何よりも好きな人でした。母は、人一倍正義感に富んでおり、気が強く、曲がったことが大嫌いな人でした。新しものがり屋で、頑固でしつこい性格は、私に遺伝し、全く新しくゼロから出発する開発という仕事には大いに役に立ちました。私の家の周りには映画館が6軒もあり、映画を見て育ち、絵が好きで、家が洋品店であったので、小学5年の時に長期間かけて古代から現在までの服装の歴史を絵巻物にしたこともあります。私の性格は、夏に台風が来ると海に出掛け大

## THE MICROPROCESSOR AND I: IT ALL STARTS WITH THE APPLICATION Masatoshi Shima

When I was informed that I was to receive the 1997 Kyoto Prize in Advanced Technology, I was overwhelmed with great excitement and delight. It is indeed a great honor and I am extremely proud of this Prize. I understand that this honor signifies that the microprocessor we developed has been recognized as a "technology to open up a new era." I also understand that this Kyoto Prize is a medal for not only inventors and developers of the world's first microprocessor, the 4004, but also many individuals who have recognized this newly created technology, disseminated it worldwide, employed it in many applications, and contributed to its further development. Personally, the Kyoto Prize has strengthened my pride in my having devoted myself exclusively to microprocessor development these past 28 years. I am particularly pleased to receive this honor in Kyoto, a beautiful historical city, where various cultures, new theories and thoughts, and creative enterprises have been born and nurtured throughout its long history.

Regarding myself, I am not a specialist in semiconductors or electricity. Neither am I a computer specialist. At the beginning of my career, I did not have any special purpose, but somehow I have continued working in this field for nearly three decades. It has not been easy: it has been stressful to lead development as a frontrunner these three decades. However, I was able to develop myself through a series of creative developments, where one successful development always created a demand for another. While I was developing microprocessors in the U.S., I had so much fervor for the work that I needed to cool myself down. This is why I began reading the novel *Kashin*, written by Ryotaro Shiba. The hero of this novel is Zoroku Murata (also known as Masujiro Ohmura, a historic figure of the 19th century). In the novel, there is a passage: "Zoroku Murata lived only to satisfy others' demands. He never desired to do anything for himself, but used his technical expertise in accordance with others' needs." I felt a strong affinity with Zoroku Murata, who lived up to the demands of his time, going a way that God prepared for him, paying little attention to his own desires. Today's presentation title is "The Microprocessor and Myself," and I would like to speak about how I became involved in the development of microprocessors.

I was born in Shizuoka Prefecture in 1943. Shizuoka is home to beautiful Mt. Fuji and to Suruga Bay, and it enjoys a mild climate and a relaxing atmosphere. My father ran an apparel and accessory shop, and was very fond of anything novel. My mother had a strong sense of justice, hated anything unfair, and was very strong-minded. From my parents, I inherited obstinacy and



波にもまれながら泳ぐことが楽しみの一つであった、というような少し無鉄砲なところがあり、中学3年の時にロケット遊びで指を3本なくしてしまいました。母は理科系よりも法律を勉強することを何度も何度も勧めましたが、子供の頃から絵と工作と実験の好きな私は、思いは化学者になることでした。

私は、東北大学の伊東先生の研究室で有機化学を専攻しました。伊東先生の化学に対する情熱は圧倒されるほど強く、研究や討論や教育を通して研究者の真の姿を見た思いでした。配属された研究室には、竹下助教授をはじめ、博士課程と修士課程の学生がいて、生半可な気持ちでは研究に取り組めないような雰囲気でした。選んだ研究は、東北大学の研究テーマの一つである檜の成分のヒノキチオール（hinokitiol）の性質を反応速度の面から研究することでした。これが私の研究開発への一歩でした。研究室に配属される前に、科学方法論や実験計画法などの本を読みましたが、いざ研究を始めますと、論文の収集や読み方やまとめ方、実験機具の洗い方などをはじめ、全てに関して、専門家と素人との違いを思い知らされました。また、反応時間の経過とともに、反応させたものをサンプリングして分析していきます。1週間近くかけて実験をしていきますから、適当に始めますと、最後に問題が山積みになってしまいます。私は、この経験を通して、研究に対する姿勢、何事にも手を抜かない、実験は逆算して計画し実行することなどの方法論を学び身につけました。やがて、卒業の時期が近づいて来たのですが、化学業界が不況になったことと、怪我をしていたせいも、就職口はなかなか見つかりませんでした。幸運なことに、教授の紹介でコンピュータも販売しているビジコン社に入社することが決まりました。卒業研究の実験のまとめに使ったのはモーターで動く機械式電動計算器でした。この頃から、コンピュータを使って有機物の構造決定を行うことが実用段階に入って来ました。新しいものが好きな私は、無理して化学で身を立てるよりも、電子で動くというコンピュータに挑戦してみようと決断しました。方法論を身に付けた私には不安感はありませんでした。

1967年にビジコン社に入社しました。当時のビジコンは、手回し計算器やトランジスタを使ったビジネス用電子式卓上計算器を開発し販売しており、さらに、科学計算用電卓や会計機や電子計算機の販売とソフトウェア開発を手がけていました。電卓は、1960年代初頭にイギリスのアニタ（ANITA）社により、真空管を使って開発されました。やがて、日本の各社が、トランジスタとダイオードと抵抗と磁気コアメモリなどの部品を使って、開発と量産に成功しました。当時の電卓は、今日のパソコンと同じく、ビジネス機器や科学計算用機器の花形商品でした。私は、コンピュータ部に配属され、製造元の三菱電機でプログラミングの教育を受けることになりました。コン

persistence, as well as my preference for anything new and novel. This character of mine was very useful for development work, which I had to start from scratch.

In our neighborhood, there were six movie theaters. As a child, I often went to see movies. I also liked painting pictures. As my father was dealing in apparel, I made a long picture scroll showing the history of costumes from ancient times to the present. That was when I was in the fifth year of elementary school (eleven years old). I was rather a reckless boy, since I loved to go swimming amid high waves whenever a typhoon came to my hometown. When I was a senior student at the junior high school, I lost three fingers while playing with rockets. Although my mother encouraged me to study law, rather than natural science, I wanted to become a chemist, since I loved experiments, handicraft, and drawing.

I entered Tohoku University and studied organic chemistry in Professor Ito's laboratory. Professor Ito had an overwhelming enthusiasm about chemistry research. He demonstrated to us students the ideal state of a researcher, through his lectures, researches, and discussions. Comprising Associate Professor Takeshita and many graduate students on master and doctoral courses, Professor Ito's laboratory team had a sort of solemn atmosphere that prohibited us undergraduate students from doing anything by halves. I decided to study one of the research themes of Tohoku University: the characteristics of hinokitiol, an ingredient of *hinoki*, a Japanese cypress, in terms of its reaction speed. This was the first research that I conducted in my life. Before I joined the laboratory, I read several books on scientific methodology and experiment planning methods. However, I soon found a great difference between lay persons and specialists in the manner in which they collected, read, and compiled papers, and even in ways they cleaned experiment tools. In the study of hinokitiol, I had to sample and analyze this compound in various reaction stages over the course of time. Since the experiment took nearly one week, I found that if I did not work hard in the initial stages, I would have a huge amount of work to do at the end. Through this study, I learned important lessons concerning research attitudes and methods: I should do everything thoroughly and completely; and experimental schedules must be prepared and carried out based on backward calculation.

Before graduation, I had difficulty in finding a job, due to the recession in the chemical industry, and perhaps due partly to my handicap. Fortunately, the Professor Ito introduced me to Busicom Corp., which sold computers, and I decided to join the company. For my graduate thesis, I used a motor-driven calculator to analyze my experiment data. By then, computers were already in



コンピュータのプログラミング言語であるフォートランやコボルやアセンブラの勉強は非常に興味があり面白いものでした。水が砂にしみ込んでいくように頭に入っていました。プログラムの作成は、言語を覚え、論理的思考が出来れば、決して難しいものではありません。しかし、素晴らしいプログラムを組むためには、応用に精通し、応用を真に好きにならなければなりません。ところが、3ヶ月ほどの教育を終了した段階で最初に担当したのは科学分野ではなくビジネス分野のプログラムでした。2ヶ月ほど勉強しつつ仕事をしたのですが、応用分野には全く興味が湧かなく、思い切って電卓部門への転属を希望しました。1ヶ月後に、電卓の開発と製造を受け持っていたビジコンの子会社である、大阪の茨木市にあった、日本計算器製造に移りました。この半年間のプログラミングの経験と半年遅れの電卓部門への配属が、私をマイクロプロセッサの誕生に出会わせ、私の一生を変えました。

システムを構築する技術は10年ごとに飛躍的に進化しています。その技術が『時代を切り拓く技術』であり、先端技術です。1951年に開発されたトランジスタにより『回路の時代』となりました。トランジスタを使って回路を組むことが出来ればシステムを設計することが可能となりました。続いて、1961年に開発された集積回路により『論理の時代』が登場しました。開発するシステムの機能が理解出来、論理的な思考が出来、論理が組め、その論理を集積回路に置き換えることが出来れば、システムを設計することが可能となりました。幸運なことに、私が電卓部門に移籍した時期は、トランジスタから集積回路に移行しつつある時期でした。半年前であれば、私の才能も経験も生かす、私の人生も変わったものになったでしょう。電卓部門に移る頃に読んだ忘れられない本があります。高橋氏の『ディジタル電子計算機』と宇田川氏の『論理数学とディジタル回路』でした。3ヶ月間、毎日、本が真っ黒になるまで夢中になって勉強した痕跡が今でも残っています。この2冊が私の一生の宝となり技術の基本となりました。最初の仕事は、集積回路を使って設計された電卓の試作機を作ることでした。当時の電卓は一人の人間の頭の中に入れられるほどの論理量で構成されており、配線で論理を組み立てるハードワイアード論理方式が使われておりました。また、論理が逐次制御カウンタとキーボードの組み合わせで構成されていたため、論理を作るのは大変ですが、論理やシステムを理解するのは易いことでした。

大学卒業後の2年目の1968年春に最初のチャンスがやって来ました。それは、ビジコンの東京工場である電子技研に転属した直後のことでした。この頃から日本は電卓の供給基地となり、相手先ブランドの製品開発が重要になって来ました。同時に、個々の製品ごとに論理を設計したり製造をしなければならない従来のハードワイアード論

practical use for determining organic structures. Since I had loved anything novel, I was determined to challenge the new field of electronic computers, rather than chemistry. Since I learned scientific methodology, I did not have any worries about entering this new field.

In 1967, I joined Busicom Corp, which was then developing and marketing manual calculators, electronic desktop business calculators incorporating transistors; selling scientific calculators, accounting machines, and electronic computers; and was developing software. Desktop calculators, incorporating vacuum tubes, were first developed in the early 1960s by ANITA in the UK. Before long, Japanese manufacturers successfully developed and began high-volume production of new calculators, comprising transistors, diodes, resistors, magnetic core memories, and other components. Just like personal computers are the boom today, calculators were then the stars of business machines and scientific computers. In Busicom Corp., I was assigned to the computer division, and received programming training at Mitsubishi Electric Corporation, a computer manufacturer. I found myself extremely interested in the study of programming languages: Fortran, Cobol, and Assembler. I learned everything as quickly as water penetrates into sand. Making programs is never difficult, if you have learned languages and you are accustomed to thinking logically. To build really helpful programs for practical use, however, requires thorough knowledge on a specific application. Moreover, you must have a strong affinity to that specific application field. When I finished my three-month training, I was assigned to make programs for business applications, not for scientific applications, unfortunately. Although I studied business during the following two months, I found no interest in that field. Accordingly, I asked the company for a transfer to the calculator division. One month later, I was transferred to Nippon Calculating Machines Company, Busicom's subsidiary in Ibaraki City, Osaka Prefecture, which was developing and marketing calculators. My half-year experience in programming and this half-year lag in starting my career in the calculator division determined the rest of my life. Had I been assigned to join the calculator division half a year earlier, I should not have been involved in the microprocessor development project, which changed my whole life.

Looking into the past decades, system construction technologies have undergone breakthroughs roughly every ten years. Such breakthroughs have brought about advanced technologies or the "technologies to open up a new era."

In 1951, the development of transistors opened up the "circuit age," when engineers became able to design systems by building circuits with transistors.



理方式に行き詰まりが出てきました。その問題を解決するために、コンピュータの経験のあった丹波技術部長からプログラム方式の電卓への応用が提案されました。配線ではなくプログラムを変更することにより電卓の機能を変更しようとするアイデアでした。幸運にも電卓部門でプログラムの経験のあるのは私だけでした。私は、各OEM先ごとに仕様の異なる電卓の開発を短期間に行い得る手段として、集積回路の代表であるTTL回路を使いプロセッサを開発することに決めました。コンピュータと同じように、プログラムをメモリに格納するストアードプログラム論理方式を開発し、プリンタ付き電卓の開発に成功しました。ただし、プログラムを格納するメモリには現在のゲーム機のプログラム用カートリッジにも使われている読み出し専用のメモリであるROMを使用しました。このROMの内容を変更することにより、ゲーム機と同じように、別の機能を持った電卓が出来上がります。その開発したプロセッサは、 $n$  個の“0”と“1”だけで構成される2進データを取り扱うのではなく、主として $n$  桁という10進データを取り扱うソロバンのような10進コンピュータでした。

1960年代後半に入りますと、米国の半導体産業界は大規模集積化回路であるLSI技術を今日のパソコンの主メモリに大量に使われているDRAMメモリに応用することを開発しました。日本の電卓業界は、LSI化による、高性能化、多様化、低価格化、軽量化、そして高信頼性化への道を模索していました。ビジコンも、米国の調査会社に依頼して、提携可能な半導体メーカーの選択とLSI設計に必要な技術情報の入手を開始し、1968年末にプロジェクトチームを作りLSIの開発を開始しました。ビジコンは、高密度と高性能が実現出来る新世代の半導体プロセスであるシリコンゲートMOSプロセスを持っている設立されたばかりの故ノイス博士が経営していたインテル社を選びました。ビジコンは、インテルと提携して、計算機能のほかに多くの種類の入出力機器を持ったビジネス用電卓や科学計算用電卓や伝票発行機や銀行の窓口端末機などのビジネス機器に使える汎用LSIを開発する方針を決めました。1969年6月までに、より汎用性のある10進コンピュータ用マクロ命令の仕様を決め、電卓用プログラムを作成し、LSIのみによるシステム構成を決め、各LSIの論理回路図の大半を作成しました。後で分かったことですが、インテルには専門の論理設計者がいなかったのです。これは大きな誤算でした。

1969年6月に、ジャンボ機747就航の前年のため、羽田発の、座席が狭くクッションも悪いボーイング808にて、ハワイ経由で20時間かけてカリフォルニア州サンフランシスコへ向かいました。初めての米国での仕事に対する緊張と不安があり、英会話にも全く自信がなかったのですが、何でも見てやろうそして何でもやってみようという

The development of integrated circuits in 1961 brought about the “logic age,” when system design required engineers only to understand the functions of the system to develop; think logically; build up logic; and realize the logic with integrated circuits. Fortunately, I was transferred to the calculator division during the era when the IC’s were replacing transistors. If I had been transferred half a year earlier, I could not have used my talent or experience in programming. There are two books that I read enthusiastically when I was transferred to the calculator division. These books, which I shall never forget, are *Digital Electronic Computers* written by Mr. Takahashi and *Logical Mathematics and Digital Circuits* by Mr. Udagawa. For three months, I read these books every day, until they became worn out. I still treasure these books, which provided me with basic technological knowledge. My first task at the calculator division was to implement a calculator prototype using IC’s. At that time, the logic size of one calculator was small enough to be stored in one person’s brain. Calculators then employed hard-wired logic, in which wires were used instead of programs. Since the circuit comprised an asynchronous counter and a keyboard, it was easy to understand the system and logic, although it was difficult to build up the logic.

In the spring of 1968, two years after graduation from Tohoku University, I had my first opportunity to develop calculators. Shortly before, I was transferred to Electro-Technical Industries, Busicom’s plant in Tokyo. By then, Japan was already a major supplier of calculators, developing customers’ original equipment. To comply with a wide variety of customer demands, however, conventional hard-wired logic came to a deadlock, since it requires logic design and manufacturing for each respective product type. To solve this problem, Technological Manager Tamba, who had experience in computer technology, suggested the use of programmed logic in calculators. His idea was that, instead of using hard wires, programs should be used to alter calculator designs. Luckily, I was the only staff member that had programming experience. I decided to develop a processor that used TTL circuits (typical IC’s), so as to develop calculators, in a short period, of different specifications given by OEM (original equipment manufacturing) customers. I developed stored program logic, in which programs are stored in memories, just like in a computer, and I finally succeeded in the development of a calculator with a printer. For memories that stored programs, I used ROMs (read-only memories); ROMs are currently used in program cartridges for game machines. Like a game machine, a calculator can have different functions, by changing ROM contents. The processor I developed was a decimal computer, which, like an abacus, handled  $n$ -digit decimal data, instead of binary data,



楽しみの方が大きかったです。やっと着いたサンフランシスコの空港にはホフ博士が迎えに来てくれました。空港からさっそくホフの車でインテルがあるマウンテンビュー市の宿舎に向かいました。その頃のインテルは、創立後1年で、従業員が125人にも満たない規模で、建物も2000平方メートルほどの非常に貧弱な印象を与える中古の貸しビルで、製造装置もリースしていました。こんな会社に頼んで大丈夫かな、というのが最初の印象でした。しかし、5人の博士を擁してDRAMとPROMの開発に邁進していました。インテル側では、コンピュータとソフトウェアと回路に詳しいホフ博士とソフトウェア技術者のメイザーが担当者になりました。

“生みの苦しみ”とはよく言ったもので、実際に打ち合わせ作業に入ると、壁にゴツゴツ突き当たる日が少なくありませんでした。米国には電卓を開発している会社がほとんどなく、電卓に関する情報がないこととインテルに論理設計者がいなかったことが、ビジコンが提案したキーボードや表示やプリンタなどの機能やLSIの仕様や論理図を理解させるのに非常に困難さを生じさせました。ただ、ホフは私が提案した電卓のストアードプログラム論理方式とその10進コンピュータ用のマクロ命令と電卓のプログラムに非常に大きな興味を示しました。そこで、英語があまりうまくない私が電卓のマクロ命令やプログラムやシステム構成などを説明しました。

共同開発が暗礁に乗り上げそうになった1969年8月下旬のある日、ホフが数枚の紙を片手に、興奮気味に、突然、私の部屋に飛び込んできました。ホフが最初に示したブロック図には、プロセッサの骨格である3つの箱が描かれていました。すなわち、私が提案したマクロ命令で構成しているn桁という10進コンピュータを、1桁という4ビットのデータを取り扱う2進コンピュータに変更しようという提案でした。すなわち、より低いレベルのマイクロな命令とプログラムを組み合わせるマクロ命令を作るというアイデアでした。これが世界初のマイクロプロセッサの“産声”でした。さらに、開発するLSIの種類も減少させるアイデアでした。電卓という応用分野からの特異な要求と10進コンピュータのLSI化という一粒の種ともいえる初期的なアイデアが、4ビットの2進コンピュータという新たなアイデアへと導いたのです。1968年のビジコンにおけるストアードプログラム論理方式の電卓への導入の成功は、インクリメンタルな改善ではなく、飛躍的な新世代の論理方式の導入によるものでした。ところが、私が1969年にインテルに提案したのは、私がかつて成功したアイデアに対するインクリメンタルな改良とそのLSI化だけでした。一方、ホフは、私の提案に対して、一歩踏み込んだ創造的な案を出してきました。

実用化へ向けての本当の開発はここから出発しました。発明と開発とは大きく異な

comprising n-numbers of “0” and “1.”

In the latter half of the 1960s, the U.S. semiconductor industry began to apply LSI (large-scale integrated circuit) technologies to DRAM memories, which are now in wide use, as the main memory in personal computers. Japan's calculator industry was also interested in the use of LSIs as a means to develop products of higher performance, wider diversity, lower price, lighter weight, and higher reliability. In this climate, Busicom, in cooperation with an American survey company, began selecting an American semiconductor manufacturer with whom to tie up, and collecting necessary technological information for LSI designs. At the end of 1968, Busicom formed a project team to develop LSIs. As a tie-up partner, Busicom selected Intel, a company then newly established by the late Dr. Noyce, because the company owned silicon gate MOS processing technology, a new-generation semiconductor processing technology enabling the production of high density and high performance LSIs. Through this tie-up with Intel, Busicom intended to develop general-purpose LSIs for various business machines with a wide variety of I/O functions, in addition to computing power. Such machines included business calculators, scientific calculators, billing machines, and bank window terminals. By June 1969, Busicom had already determined the specifications of macroinstructions for decimal computers, which permitted more applications than conventional non-programmable logic; They had also prepared programs for calculators, decided to use only LSIs for system configurations, and prepared logic circuit diagrams for the majority of LSIs. At that time, Busicom did not know that Intel had no specialists in logic design, which was a great misjudgment.

In June 1969, one year earlier than the debut of the Boeing 747, I left Tokyo International Airport in a Boeing 808, notorious for its narrow seats and terrible cushions. It took 20 hours to reach San Francisco via Honolulu. It was my first business trip to the U.S., and I felt a little nervous, since I had little confidence in my English speaking ability. However, my excitement and ambition to learn about everything there was greater than the concerns of my new tasks in an unknown land. At San Francisco Airport, I was welcomed by Dr. Hoff, who drove me to a hotel in Mt. View, where Intel was located. Only one year after its establishment, Intel was then a small company with less than 125 employees. Its office building of 2,000 square meters appeared homely. Intel rented the office and manufacturing facilities. At first impression, I wondered if Busicom should have contracted such important business to Intel. Before long, however, I found that Intel employed five ph.D.s and was enthusiastically promoting DRAM and PROM developments.



ります。開発とは、発明というアイデアを単に実現化するだけではなく、実際に応用に使えるように機能と性能とコストを最適化し、実際の製品を期間内に作り上げることです。命令と機能とシステム構成に関して具体的な話し合いを進めていくうちに、何が足りないのかが少しずつ明確になってきました。ホフの最初のアイデアは、非常に基本的なもので、キーボードや表示やプリンタなどの入出力機器の制御方法、LSIのみによるシステムの構成方法、チップの種類の減少の代わりに高価なメモリの容量の増大、などに関して不明瞭な点が多く、そのままでは電卓へは応用出来ませんでした。特に、LSIのみでシステムを構築するビジコン案を、プロセッサのみを開発しようとしているインテルに納得させるのは易しい仕事ではありませんでした。また、当時のメモリは、コンピュータ会社が使っていたため非常に高価で、今の16MビットのDRAMメモリの8000分の1のわずか256バイトの容量でも日本人の初任給の4分の1もしました。電卓に使えるプログラム用メモリの容量は、予算上、最大で、1Kバイトでした。メモリ会社とシステム会社の体質の違いが出ました。面白いことに、マイクロプロセッサ4004の性能も、今日パソコンに使われているマイクロプロセッサの8000分の1です。

1969年8月から12月の4ヶ月間に、ホフとメイザーと私がキャッチボールをしながら、今思えば、特許が取れそうな多くの発明をしました。それらは、当たり前のような発明ですが、マイクロプロセッサと組み合わせれば強力な特許となったでしょう。1番目の発明は2進データの10進データへの変換命令です。この命令により、性能が向上するばかりでなくメモリ容量が大幅に減少します。2番目の発明はプログラム言語の実行制御方法でした。パソコンが誕生したときに、マイクロソフト社が開発したBASICという言語が登場し一世を風靡しました。また、今日のインターネット時代になりますと、サンマイクロシステムズ社が開発したJAVAという言語が登場しました。どちらも、登場した時は、プログラム中の言語を一つずつマイクロプロセッサの命令に翻訳しつつ実行するインタープリタ方式を採用しています。電卓においても、電卓用言語があって、その言語を翻訳するインタープリタ機能が必要となり、マイクロプロセッサを使ったインタープリタ機能が発明されました。このために、アプリケーションに使うメモリ容量が半減し、さらに3番目の発明に必須な技術となりました。その3番目の発明ですが、最も重要なことは、今まで集積回路を使ったハードウェア回路網で実現していた入出力機器の実時間での制御を、マイクロプロセッサを使ってソフトウェアで置き換えることでした。今まで誰もやっていなかったことを、性能の低いマイクロプロセッサと少ない容量のメモリを使って、多くの入出力機器をソフトウェ

The Basicom project involved Dr. Hoff, who was familiar with computer software and circuits; and Mr. Mazor, a software engineer.

Recalling the days when we first began discussing the development processes, I think of the phrase “the throes of birth.” It was so difficult to get Intel’s engineers to understand Basicom’s ideas concerning the functions of a calculator, particularly the functions of a keyboard, display, and printer; LSI specifications; and logic circuit diagrams. The major factors of this difficulty were that there were only a few companies in the U.S. that were developing calculators and that Intel had no logic designers. Hoff, however, showed a great interest in stored program logic; macroinstructions for decimal computers; and calculator programs, which I proposed to use. In my poor English I explained to him calculator macroinstructions, programs, and system configurations.

One day in the latter half of August 1969, when the co-development had almost reached a deadlock, Hoff suddenly rushed into my room with several sheets of paper in his hand. He looked very excited, when he showed me a block diagram, comprising three boxes of the processor framework. He suggested that instead of my proposal of an n-digit decimal computer, comprising macroinstructions, we should develop a 4-bit binary computer capable of handling 1-digit decimal data. In other words, he suggested that the macroinstructions should be prepared by combining lower-level macroinstructions with programs. This was the “first cry” of a newly born microprocessor. Hoff also proposed that we should decrease the number of LSI types to develop. What led to the new concept of the 4-bit binary computer were specific demands of calculators and the initial idea of producing a decimal computer with LSIs.

Back in 1968, Basicom successfully introduced stored program logic into calculators. A major factor of this achievement was that rather than making an incremental improvement, I adopted a radical innovation by introducing a new-generation logic. However, my proposal to Intel in 1969 concerned an incremental improvement of my former idea and the use of LSIs. In contrast, Hoff’s proposal was much more creative.

With this idea of Hoff’s, the “development” of microprocessors started in a real sense. There is a great difference between “invention” and “development”: whereas “invention” refers to the realization of an idea, “development” refers to the production of practical products within a certain period, by optimizing functions, performance, and costs. Through discussions of Hoff’s idea in terms of instructions, functions, and system configurations, we gradually discovered what was lacking in his initial idea. Since his idea concerned basic frameworks, there



アを使って実時間で制御することが果たして可能なかどうかが一番大きな不安でした。例えば、プリント中や演算中や表示中はキーボードを受け付けない、というような仕様に変えればソフトウェアで制御することが出来ますが、そのような電卓は誰も買いません。そこで、まず、電卓の入出力機器制御のうちで重要と思われる多くの機能を実際にプログラムを組んでみて、命令や性能やプログラムステップ数の確認を行いました。最終的に、2番目の発明と、新たな命令と、キーボードや表示やプリンタ用に新たに追加した出力拡張ポート用LSIなどを組み合わせて、入出力機器の制御をソフトウェアを使って実時間で制御することが可能となりました。1969年12月までに、電卓の主要な機能をプログラムすることにより、命令と機能とシステム構成の仕様が決定されました。

正式な契約の締結に時間がかかりそうなので、1969年12月末にいったん日本に帰国し、具体的な電卓のプログラムを再度組み、命令と機能とシステム構成の仕様の再確認を行い、最終的な仕様書を作成しました。インテルからの4004のマニュアルに図が多いのは、英語による説明不足を恐れて図を多用して仕様書を作成したためです。契約は1970年3月に正式に結ばれ、4月初旬に私一人で再度インテルへ出かけました。今回の訪問は、この開発のためにインテルでは二人の開発技術者を雇うという約束であったので、インテルが設計したものを確認することでした。ただ、契約書とは別の取り決めの中に、必要であれば私が論理設計やレイアウトの検証やテストプログラムの作成を手伝う、という文書があったのが気がかりでした。インテルを訪問すると、1週間前に入社したという新しい担当者であるシリコンゲートテクノロジーの第一人者であるファジン博士を紹介されました。不安が的中して、プロジェクトは全く進行していないばかりでなく、仕事の引き継ぎもされていませんでした。さらに悪いことに、開発技術者はファジンと二人のレイアウト設計者しかいなく、論理設計者はいませんでした。仕方なく、仕様書と内部の動作を説明し、私が4004の論理設計と論理シミュレーションとテストプログラム作成を担当し、残りの全てをファジンが担当することになりました。論理シミュレーションに使うシミュレータはホフが作ってくれました。また、東京のビジコンが、私が作成した論理図に基づいて集積回路を使いマイクロプロセッサ4004の検証用ボードを作り、論理の検証を同時に行うことを決めました。ファジンと二人で月曜日から土曜日まで毎日11時間ほど仕事中毒のように働き、設計開始からわずか8ヶ月で4つのLSIの設計を完了させました。マイクロプロセッサ4004の論理設計は、レイアウト設計者が二人しかいないので、回路設計とレイアウト設計のプランとしても使えるようにと思って、トランジスタを使って行いました。

were many obscure points concerning controlling methods of such I/O devices as a keyboard, display, and printer; system configuration with only LSIs; and the need to use more expensive, larger-capacity memories, to decrease the number of necessary chip types. To apply his idea to calculators required further discussions. I found it particularly difficult to persuade Intel, which intended to develop only a processor, to adopt Busicom's proposal of building up a system with LSIs only. At that time, memories were used by computer manufacturers, and were extremely expensive. For instance, a 256-byte memory, which has only 1/8,000 capacity of today's 16-M bit DRAM, amounted to one quarter of the average starting salary of Japanese workers. Accordingly, for its calculators, Busicom was not allowed to use memories that exceeded the cost of a 1-kbyte. However, Intel's approach to memories was much different from Busicom's, since Intel was a memory manufacturer, while Busicom was a system manufacturer. It is an interesting coincidence that the performance of the 4004 is exactly 1/8,000 of today's microprocessors used in personal computers.

During the four months between August and December 1969, Hoff, Mazor, and I invented many devices, for which, I now believe, we could have obtained patent rights. Although none of them appeared to have extraordinary features, combined with the microprocessor, they had great potential for obtaining patent rights. The first such invention was a convert instruction from binary data to decimal data. This instruction is effective in enhancing performance, and drastically reducing the memory capacity. The second invention was interpreter loading and executing method. When personal computers were newly developed, Basic, a programming language developed by Microsoft was most influential. With the advent of the "Internet age," JAVA, a language developed by Sun Microsystems, made its debut. At the time of their debut, both languages adopted interpretive methods, by which each term in a program was translated into processor instructions. Like these languages, calculators also have a specific language for calculators, and require an interpreting function. Therefore, we developed an interpreter using a microprocessor. The interpreter halved the necessary memory capacity for applications, and, in turn, led to the third invention. Regarding this third invention, the most important issue was that software replaced the hard-wired circuits in real-time control of I/O devices. However, before succeeding in this invention, we were worried if real-time control of I/O devices would be possible with software, since our system incorporated only a low-performance microprocessor and low-capacity memories. We knew that it would be possible if keyboard functions were suspended when the system was



当時の電卓の基板の設計と同じく、半導体のレイアウトも2次元でなされているので、電卓の基板設計の経験が生かされました。4004のレイアウトが自分の描いた論理図どおりに出来上がった時は感激しました。

4004の開発が終了し、私の本当の仕事、電卓の開発が始まりました。まず、標準メモリを使って作ったROM代換品と、4004用RAMメモリと出力拡張ポートと、電卓用プログラムを読み込むためのカード読み取り機を搭載し、電卓用試作モデルを作りました。次に、プログラムをカード読み取り機から読み込ませ、プログラムの検証作業に入りました。幸運なことに、プログラムには欠陥がなく、電卓の開発にも成功しました。私にとって、4004の開発は電卓開発に必要な部品作りであったので、4004そのものの成功よりも、プリンタ付き電卓が1971年3月に完成したときの喜びの方がはるかに大きく感激しました。試作した電卓のスタートボタンに手を触れたときの感触が今でも手に残っています。実際には、スタートボタンを押すとシステムが初期状態に入ります。次に、スタートボタンを放すとシステムがスタートします。ボタンを押すのは簡単ですが、放すのは、マイクロプロセッサを何回開発しても、怖いものです。ボタンを放すと同時に、何年もかけて開発した結果が瞬時に出てしまいます。成功すれば成功者となりますが、動かなければ、見ている人が、一人減り、また一人と減っていき、失敗者となります。その激しい緊張で心臓が切り刻まれる思いがします。女の人が自分のお腹を傷めて生んだ赤ん坊が可愛いように、開発者にとっては、自分の体を傷めて生み出したマイクロプロセッサは本当に可愛いものです。

世界初のマイクロプロセッサが成功裏に開発されましたのは、応用、コンピュータ、ソフトウェア、論理設計者そしてLSIなどの異なる専門分野の開発技術者が、協力し合い、学際的に、かつ挑戦的に、知恵とアイデアを出し合い、多くの問題を粘り強く解決しつつ、一粒の種から出発し製品としての完成品を作り上げたからであります。

世界初のマイクロプロセッサ4004は、電卓ばかりでなく、キャッシュレジスタや銀行の窓口端末機などのオフィス機器にも応用されました。マイクロプロセッサの登場により、前世代の『論理の時代』の集積回路で作られたハードウェア論理回路網をソフトウェアで置き換えるという、『プログラムの時代』が登場しました。マイクロプロセッサは『新時代を切り拓く技術』となり、その誕生とともに2つの顔を持つようになりました。マイクロプロセッサは、知的能力としてのワンチップマイコンの道を開き、同時に、コンピュータ会社が独占していた閉鎖的なコンピューティング・パワーを創造に挑戦する若き開発者に解放し、パソコンやワークステーションやコンピュータゲーム機が誕生し、ソフトウェア産業が花開き、高性能マイクロプロセッサへの道

printing, computing, and displaying. However, we also knew that such calculators would not sell. To develop a calculator that would sell, we actually built up programs for various important functions to control I/O devices, and examined instructions, performance, and program step numbers. In the end, we were able to control I/O devices with software, by combining the macroinstruction interpreter, our second invention, with new instructions, and the LSI for output port, which had been newly developed for controlling the keyboard, display, and printer. By December 1969, the specifications of instructions, functions, and system configuration were determined through the programming of major calculator functions.

At the end of December 1969, I returned to Japan, since it appeared that it would take a long time before the two companies would sign the official contract. In Japan, I built practical programs for calculators, again; reconfirmed the specifications of instructions, functions, and system configurations; and finalized the specifications. Intel's manual of the 4004 contained many charts and diagrams, since Intel was afraid that we might misunderstand explanations in English. The official contract was finally concluded in March 1970. In early April, I crossed the Pacific Ocean alone to visit Intel again. The purpose of this trip was to confirm Intel's finished design. Intel had promised that it would employ two more engineers to complete the design. I was a little worried, however, since, in an agreement other than the official contract, there was a passage that, if so demanded by Intel, I would help with logic design, layout verification, and preparation of test programs. When I reached Intel, I was introduced to a new staff member who had joined Intel the previous week. He was Dr. Faggin, a leading engineer in Silicon Gate Technology. To my great disappointment, I found that my concern had come true: no progress had been made on the project since I left Intel several months previously, nor were the new staff given sufficient explanation about the task. What was worse still was that Intel had only two layout designers, besides Faggin, and no logic designers. Not knowing what else to do, I explained the specifications and internal logic of the calculator. We decided that I would be responsible for the 4004's logic design, logic simulation, and the preparation of test programs; whereas Faggin would be responsible for all the remaining tasks. Hoff made me a simulator with which to simulate the logic. Busicom's staff in Tokyo prepared a verification board for the 4004, using ICs, based on the logic diagram I made, and we decided to verify the logic simultaneously with the simulation of the processor. Faggin and I then worked like workaholics, tackling the tasks eleven hours a day from Monday through



を開きました。1981年にIBMパソコンの開発により『OSとGUIの時代』となり、1991年のWWWの開発により『インターネットと言語の時代』が始まりました。2001年にどのような新技術が登場するか予想できませんが、時代は『コミュニケーションの時代』となります。

1971年のマイクロプロセッサ4004の開発以来、今日までの26年間に100種類以上のアーキテクチャを持ったプロセッサが開発されました。アーキテクチャとは、拡大解釈しますと、『より多様な、より大きな、より複雑な問題を、より高速に、より柔軟に、より使い易く、より高い信頼度で処理し、かつより安く製造する』ことを可能にさせる『コンピュータに関する構造／枠組みや考えかた／仕様』です。アーキテクチャとはアイデアであり、アイデアとは思想であり個性のほとばしりです。その個性のほとばしりが多くの創造的開発をもたらししました。新しいアーキテクチャは、必ずと言っていいほど、新規の応用分野からの特異な要求を満たすべく生まれています。すなわち、『初めに応用ありき、応用が全てである』と言えます。

創造的開発とは、いまだ世の中に存在していない製品を開発することですから、成功という希望と失敗という不安を抱き合わせて、人跡未踏の荒野を羅針盤も持たずに進むようなものです。また、創造的開発とは、芸術や宗教と同じく、自分の世界を創り出すことでもあります。したがって、創造的開発における新規概念の創造のためには、強い意志を持って、開発こそわが道と信じ、人の歩んだ道を行ってはいけません。ところが、開発者の頭の中は誰も知りませんから、新規概念の理解者は最初はほんの少数で、無視されたり非常に低い評価しか得られません。いわゆる優秀な技術者ほど、自分が考え出したものよりも他人が考えたものの方を高く評価しがちです。しかし、自分のアイデアが正しいと思って提案したのですから、自分の表現力がまずかったのか、相手が理解し得なかったのかと思い、不退転の意志で、改めて提案することが大切です。ひ弱で評論家風になりがちな優等生的な頭脳よりも、強く頑固で独断的で決断力と実行力がある回転の速い頭脳の方が開発に適しています。創造的開発の基本は現状に決して執着しないことです。今まで培った技術やノウハウや経験を捨てることは決して容易なことではありません。しかし、経験という過去と現在を分析し、解析し、昇華させ、エッセンスだけを残し、あとは思い切って捨て去るのが成功への一歩です。すなわち、インクリメンタルな改良や改善は創造的開発ではないのです。次世代マイクロプロセッサの開発においては、使用する半導体プロセスも次世代半導体プロセスとなります。そのため、前世代の半導体プロセスに基づいて考案された開発方法、設計手法、論理や回路やレイアウトそのものの設計が陳腐化してしまう場合が多

Saturday. As a result, we completed the design of four LSIs in as little as eight months. Since there were only two layout designers, we adopted transistors for the logic design of the 4004, so as to use the logic design also as a circuit and layout design. At that time, a semiconductor's layout was two-dimensional, just like a calculator board design. Accordingly, I was able to take advantage of my experience in calculator board design. I was really excited and greatly moved when the layout of the 4004 was completed, just as the logic diagram that I had drawn.

After completing the development of the 4004, I began my original task: development of calculators. First of all, I produced a calculator prototype, by mounting a ROM compatible memory made from a standard memory with a RAM memory for the 4004, an I/O port, and a card reader to read calculator programs. Next, I verified programs by reading programs with the card reader. Fortunately, the programs were intact, and I was able to develop calculators successfully. For me, the 4004 was only a necessary component of the calculator, so I was more delighted when I completed the calculator with a printer in March 1971 than I was at the moment of the successful development of the 4004. I still remember the feeling in my finger when I first touched the calculator's start button. In actuality, when you press the start button, the system goes into an initial state and halts. It is the moment you release the button when the system really starts. For me, it is rather easy to press the button but I always feel tense when I release the button, since that is the moment when I will know the result of my several years of hard work. If a system works, I will know that I have succeeded in the development; if it does not, my colleagues will leave the laboratory one by one, leaving me alone, and I will know that I have failed. Whenever I release the button, I feel as if the strong tension could break my heart. Just as a mother, having suffered terrible birth pains, cannot but love her baby, developers cannot but love the product that they have produced through pain.

The success of the 4004 is attributable to the cooperation between engineers of various development fields: applications, computers, software, LSIs etc. By exchanging our expertise and ideas in an interdisciplinary way, and by addressing a great many problems with patience and a challenging spirit, we sowed the seeds of a new technology and grew a finished product.

The world's first microprocessor, the 4004, was applied not only to calculators, but also to cash registers, bank window terminals, and many other office machines. The debut of microprocessors with software replaced the conventional hardware logic circuit networks comprising ICs of the former "logic



いのです。今日まで信じられていたことが明日は全く信じられない状況になってしまいます。

創造的開発においては仕事の進め方に鍵があります。開発はスピード感を持って人の倍の速度で素早く行うことが大切です。若い時にスピード感のある仕事の進め方を身につけることは必須です。製品はなまものと同じで、時間が経つと、陳腐化したり、活きが悪くなったりして、誰も買わなくなってしまう。どんなに素晴らしいアーキテクチャを持ったマイクロプロセッサであっても、最初に考えすぎて開発期間が長引き市場への参入が遅れると、大きな機会を失ってしまいます。極論を言うと、97%の満足度で開発を進めることが成功への鍵です。いわば、マイクロプロセッサの開発は未完成の連続であったのです。人間には常に成長していく能力があり、開発を進めていくと、次から次へと新しいアイデアが浮かんできます。これが、最適化作業が必要な理由の一つです。自分が使える人や、CADなどのリソースと完成日から逆算したスケジュールを考慮に入れて、成長という発散を最適なところで止め、猛然と設計を進めることが重要です。設計に関して言えば、癖はあっても論理的に一貫し、美的にすぐれた構成の方が後でよい性質を現すものであります。ところで、開発にはもう一つ重要な教訓があります。開発の初期においては、創造性を発揮させることが最も重要です。性善説をとるとよいです。ところが、開発の後期においては、仕事の最後のまとめとか、設計の検証やレビューでは、品質と正確さが要求されますので、性悪説をとらなければなりません。

解決しなければならない多くの複雑な問題を抱えた応用にこそ、貴重な宝石の原石がいっぱい埋まっています。それを見つけ出し、カットし、磨き上げることが、創造的開発であり、開発技術者の叡知であり、開発の本当の面白さです。

ご静聴ありがとうございました。

age,” bringing about the new “program age.” Microprocessors, which became the “technology to open up a new era,” had two outstanding impacts. First, microprocessors paved the way to the development of one-chip, “intelligent” microcomputers. At the same time, microprocessors allowed young engineers access to the power of computers, which had been exclusively possessed by computer companies. This permitted the creative development of personal computers, workstations, and computer games, which in turn led to growth in the software industry, and paved the way to the development of high-performance microprocessors. In 1981, IBM commercialized personal computers, which opened up the “age of OS and GUI.” Then, the debut of the WWW in 1991 started the “age of the Internet and languages.” Whatever new technology will appear in 2001, that technology will surely herald the “communication age.”

Since 1971, the year of the 4004's development, 26 years have passed. These years have seen the development of processors that have over 100 architectures. In a broad interpretation, “architecture” is defined as “computer structures, frameworks/concepts, and specifications that ensure the processing of a wider variety of greater and more complex problems at higher speed, with greater flexibility, operability, and reliability, permitting reduction in production costs.” Architectures are created based on ideas, and ideas reflect the thoughts and characteristics of respective developers. The extraordinary characteristics that constantly “pour out of individuals” have brought about many creative developments. At the same time, new architectures have always been created to satisfy the specific demands of new applications. In other words, we can put it like this: in the beginning, there were application demands, and this was all that existed.

Since creative development refers to the development of a product that does not yet exist, engineers involved in creative development can be likened to explorers who go into an unmapped territory without a compass. Engineers and explorers share two contrasting feelings: hope for success and fear of failure. In addition, engineers can be likened to artists or religionists, who create their own world. To conceive a new concept in creative development, an engineer must be armed with the firm belief that his mission is nothing but development, and must be determined to go his own way, never following another's tracks. Since no one knows what a developer is thinking, however, the developer is unlikely to be understood by others. At first, innovative ideas may be ignored or underestimated. In most cases, “excellent” engineers tend to evaluate others' ideas rather than their own. However, they must have confidence in their ideas, and



should be encouraged to set forth their ideas repeatedly; if their proposals are turned down, that is probably because they were not good enough in explaining their ideas, or others were not wise enough to understand them. Creative development requires strong resolution, persistency, determination, and quick and arbitrary decision-making, rather than excellent but vulnerable brains that tend to act like a critic. The essential point of creative development is detaching oneself from one's desire to use what is now available. It is never easy to abandon past achievements, conventional technologies, and know-how. To take the first step towards success, however, an engineer must analyze his/her past achievements and currently available technologies, and extract only the essence, eliminating the remainder. In other words, incremental improvement cannot be creative development. In the development of next-generation microprocessors, engineers must also use next-generation semiconductor processes. This, in turn, may make obsolete many current development and design techniques, and logic and circuit layout, all being based on the former-generation semiconductor processes. In coming days, engineers should not believe in what they believe in today.

In creative development, it is imperative to carry out everything twice as fast as others. You must learn to work at high speed while you are young. Please remember that products are just like perishable goods. No matter how good they are, obsolete products will not sell. No matter how excellent architectures a microprocessor has, if you spend too long a time in development, you will lose the opportunity to commercialize it. In other words, I recommend that you seek to attain 97% satisfaction, not 100%. In a sense, all microprocessors that have been marketed were unfinished. Since humans have the ability to grow, one development always brings about new ideas, which brings about another development. Accordingly, development is endless optimization. The key to success in development is to plan the schedule, based on a backward calculation, taking into consideration available resources, such as human resources and CAD and other tools, and to stop development at the optimal point. With regard to design, logically coherent design with beautiful configurations is likely to prove its value in later years. I have another piece of advice concerning development. At the initial development stages, believe in your potential, since it is most essential to develop your creativity. In later stages, however, doubt everything, since you have to verify designs and examine product qualities, which requires extreme accuracy.

Finally, I would like to compare a development that has many complex problems to the fine cutting of a precious jewel. Like a jeweler who discovers,



cuts, and polishes the mineral into a glittering jewel, engineers pour all their wisdom into creative development, and they find endless delight in the development process.

Thank you for your kind attention.



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**