

## イノベーション再考(その2) マイクロプロセッサことはじめ

2016年12月10日  
西村 吉雄

## 主な話題

- マイクロプロセッサは新結合の典型
- プログラム内蔵方式によってコンピュータが実用化
- 電卓向けチップにプログラム内蔵方式を導入
- 製造販売権は最初はインテルにはなかった
- マイクロプロセッサというイノベーションは研究と無縁

西村 吉雄 NISHIMURA Yoshio

2

## マイクロプロセッサは シュムペーターの「新結合」の典型

- マイクロプロセッサは、プログラム内蔵方式コンピュータを集積回路チップに載せたものと言える
- プログラム内蔵方式コンピュータと集積回路チップのそれぞれは、1970年前後には、ありふれた製品
- ところが結合を新しくして、集積回路チップにプログラム内蔵方式コンピュータを載せたマイクロプロセッサは、シュムペーターが言う通りのイノベーションとなり、大げさに言えば、その後の人類の運命を変えた

西村 吉雄 NISHIMURA Yoshio

3

## 新結合の遂行がイノベーションの本質 (シュムペーター)

- 経済を発展させるための原動力(=イノベーション)の本質は、「われわれの利用しうるいろいろな物や力の結合を変えること」である。すなわち
- 「われわれの意味する発展の形態と内容は新結合の遂行(Durchsetzung neuer Kombinationen)という定義によって与えられる」[シュムペーター、『経済発展の理論(上)』、岩波文庫、1977年、p.100]

西村 吉雄 NISHIMURA Yoshio

4

## 半導体とコンピュータの出会い

- トランジスタが初めて動作したのは1947年12月16日である。プログラム内蔵方式コンピュータの初の動作は1948年6月21日になる。両者(半導体とコンピュータ)の誕生が同時期だったこと、これは運命的である
- 両者は互いに刺激し合い、支え合いながら共に発展する。20世紀後半以後の産業は、分野を問わず、両者に染め上げられてゆく
- 約四半世紀後の1970年代初頭、両者は再び運命的に出会い、マイクロプロセッサを誕生させる

## マイクロプロセッサのインパクト

- マイクロプロセッサの登場は1971年。その後のインパクトはすさまじい。ありとあらゆる機器に入り込み、われわれの生活を劇的に変えた
- 「およそ人間の発明したもので、マイクロプロセッサの開発と発展ほど、短期間のうちに大きな影響を与えたものは他に見あたらない」[『第13回(1997)京都賞受賞者資料』, 稲森財団, 1997年]

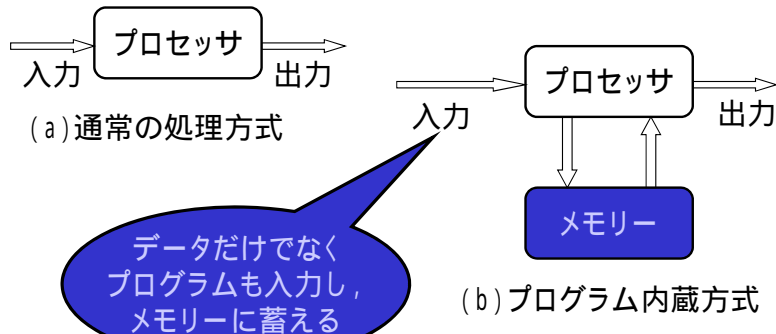
## 主な話題

- マイクロプロセッサは新結合の典型
- プログラム内蔵方式によってコンピュータが実用化
- 電卓向けチップにプログラム内蔵方式を導入
- 製造販売権は最初はインテルにはなかった
- マイクロプロセッサというイノベーションは研究と無縁

## プログラム内蔵方式はプログラムの柔軟性を実現しようとした

- プログラム内蔵方式は、ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) の開発過程で生み出される。このENIACは、軍事目的の高速汎用電子計算機開発プロジェクトである。米国ペンシルベニア大学電気工学科(通称ムーア・スクール)で1943年から実施された。実動作は戦後の1945年12月
- ENIACそのものはプログラム内蔵方式ではない。プログラムを変えるには、ハードウェア(配線)を変えなければならない、柔軟性に乏しかった。これを何とかしようとして、プログラム内蔵方式にたどりつく

## プログラム内蔵方式



西村 吉雄 NISHIMURA Yoshio

9

## プログラム内蔵方式ではプログラムをメモリーに入れる

- プログラム内蔵方式では、データ(処理の対象)だけでなく、プログラム(処理の手続き)を、コンピュータ・システムに内蔵するメモリーに入れる
- システムがプログラムを内蔵するのでプログラム内蔵方式の名がある。プログラムをシステム内に蓄えるので蓄積プログラム方式とも呼ぶ。英語ではstored programという

西村 吉雄 NISHIMURA Yoshio

10

## プログラム内蔵方式の特徴

- ハードウェアが汎用になる  
仕事が変わってもハードウェアを変えなくていい
- 違う仕事にはプログラム(ソフトウェア)を変えて対処する  
ソフトウェアを書くという仕事の登場と発展
- 書き換え可能なメモリーが要る  
メモリー産業の大発展

西村 吉雄 NISHIMURA Yoshio

11

## プログラム内蔵方式ではプログラムを別のプログラムで操作できる

- データとプログラムを同じメモリーに入れるためには、両者の表現形式を共通にしなければならない  
両者とも同じ形式のデジタル信号で表現される
- デジタル化の結果、数値、文字、音声、画像などを統一的に操作できることになった
- **プログラムもデータと同形式のデジタル信号となったため、プログラムで別のプログラムの操作が可能になる**  
**コンピュータが万能の機械となる道が拓ける**

西村 吉雄 NISHIMURA Yoshio

12

## プログラム内蔵方式の考案

- プログラム内蔵方式は巨大なイノベーションである。しかし誰が考案したか。その確定は難しい
- ENIAC関係者(モークリーとエッカートが主導)の間で自然発生か。ENIACのプログラム方式は柔軟性に乏しく、「これではだめだ」と関係者は早くに気づく。プログラム内蔵方式に関するメモをエッカートが提出したのは1944年1月だという
- プログラム内蔵方式実現のためのEDVACプロジェクトを、関係者はENIAC完成前の1944年8月に始める。フォン・ノイマンがプロジェクトに加わったのは、同じ1944年8月である

## ムーア・スクール・レクチャ

- ENIAC/EDVACプロジェクトを実施していたペンシルベニア大学電気工学科(ムーア・スクール)は、1946年7月8日～8月31日、「電子式デジタルコンピュータ設計のための理論と技術」と題する夏季セミナー(通称ムーア・スクール・レクチャ)を開催
- その後に開発された黎明期のプログラム内蔵方式コンピュータはすべて、このムーア・スクール・レクチャーの講師や聴講者が生み出した

## プログラム内蔵方式の考え方を文章にしたのはフォン・ノイマン

- フォン・ノイマンはプログラム内蔵方式の考え方を文章にした[1945年6月30日付の「EDVACに関する報告書 草稿」]。
- ムーア・スクール・レクチャでは、この報告書がテキストに使われた。ここからプログラム内蔵方式がノイマンの考案であるかのような伝説が生まれたのかも知れない
- しかし当時の関係者は、プログラム内蔵方式をノイマン型と呼ぶことは「好まない」としている

## プログラム内蔵方式の実現

- プログラム内蔵方式コンピュータの実現では、本家のEDVACは遅れる
- プログラム内蔵方式として最初に動作したコンピュータは英国マンチェスター大学の「Baby Mark」で、1948年6月21日に初めて動作する
- 次も英国で、ケンブリッジ大学のEDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator) が、1949年5月6日に動作した
- 最初の商用コンピュータは米国のUNIVAC で、1951年3月に国勢調査局に納入される

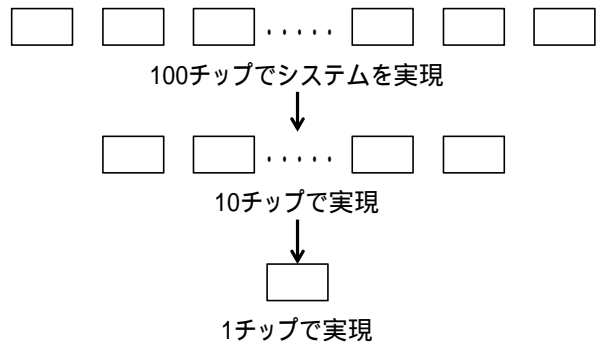
## 主な話題

- マイクロプロセッサは新結合の典型
- プログラム内蔵方式によってコンピュータが実用化
- 電卓向けチップにプログラム内蔵方式を導入
- 製造販売権は最初はインテルにはなかった
- マイクロプロセッサというイノベーションは研究と無縁

## 集積回路技術の本質的矛盾

- 集積回路が大規模になり、LSI(大規模集積回路)と呼ばれるようになったころ、本質的矛盾に直面する
- 集積回路の製造技術は少品種大量生産向き
- それなのに製造技術の進歩は必然的にチップの汎用性をなくし、多品種少量生産の要請を招く。すなわち
- 集積規模増大 用途限定 多品種少量生産

## システムに必要なチップ数は 製造技術進歩につれて減っていく



## プログラム内蔵方式をLSIチップに導入する試みが1960年代末に始まる

- 1960年代末になると、集積回路はLSI(大規模集積回路)と呼ばれる段階に達する
- そのLSIチップにプログラム内蔵方式を導入しようとする試みが各所で始まる
- 一説では、自称マイクロプロセッサの発明者は500人もいるという[Berlin, *The Man Behind the Microchip*, Oxford University Press, 2005, p.183]

## 日本の電卓メーカーがLSIにプログラム内蔵方式の導入を考える

- 日本の電卓メーカー日本電子計算機(ビジコン)は1960年代の終わりごろ,先の集積回路の矛盾に直面していた
- 電卓にLSIを使いたいのだが,電卓の機種ごとに別のLSIを発注していたのでは非常に高くつく
- プログラム内蔵方式を,電卓向けLSIチップに導入することを,ビジコンは考える。「メモリーの内容を変えるだけで違った電卓モデルを作ることが可能」という発想だった [嶋,『マイクロコンピュータの誕生』,岩波書店,1987,p.16]

西村 吉雄 NISHIMURA Yoshio

21

## ビジコンはインテルと提携

- ビジコンは提携先に,米国の半導体メーカー,インテルを選ぶ。1969年4月28日にインテルと仮契約を結び,6月に嶋正利を含む三人の技術者をインテルに送る
- ただしこのときのビジコン構想は,プログラム内蔵方式を導入してはいたが,それぞれのチップの汎用性が低く,チップの品種は12種にものぼった [Berlin, *The Man Behind the Microchip*, Oxford University Press, 2005, p.184]

西村 吉雄 NISHIMURA Yoshio

22

## インテルは人手不足だった

- 当時のインテル社は,創立間もないベンチャー企業である。設計スタッフの数が限られていて,12種ものチップの設計には対応できない
- 社長のノイスはアーキテクチャーを最初から考え直すよう,担当のテッド・ホフ(Marician Edward Hoff, Jr.)に指示する [Faggin, et al., "The History of the 4004", *IEEE Micro*, vol.16, Dec. 1996, pp.10-201996]
- 設計をもっと簡単にして,チップの種類を減らす必要があった

西村 吉雄 NISHIMURA Yoshio

23



Robert Noyce(インテルの創業者)

西村 吉雄 NISHIMURA Yoshio

24

## ホフが4ビットのCPUを提案

- 「8月の下旬のある日、ホフが興奮気味に部屋に入って来て、3、4枚のコピーを我々に手渡した。これが4004を中心とした世界初のマイクロコンピュータ・チップ・セットMCS - 4の原型である
- 今まで沈黙していたホフが突然、とうとうとしゃべり出した。『4ビットのCPU』という新しいアイデアの提案に、我々はあっけにとられた」[嶋正利「マイクロコンピュータの誕生と発展」、『エレクトロニクス・イノベーションズ』、pp.159-185、日経マグロウヒル社、1981年]

## ホフはチップを4種に減らす

- ホフはプログラム内蔵方式の基本に戻り、チップをプロセッサとメモリーに集約して、チップを4種に減らす
- 報告を受けたビジコン本社は、ホフの提案を高く評価 [嶋「マイクロコンピュータの誕生」、岩波書店、1987年、p.52]
- それを受け、ホフと嶋は具体化の検討を始める。そこにスタンレー・メーザー (Stanley Mazor) も加わり、ソフトウェア面を支援する [マローン「インテル 世界で最も重要な会社の産業史」、文藝春秋、2015年、p.176]

## プロジェクト進行に難題が生じる

- ビジコンとインテルは1970年2月6日に本契約を結ぶ。4月に嶋は再度インテルを訪れる。ところがプロジェクトは全然進行していない。新型メモリーの製造にトラブルが生じ、インテルが苦境に陥っていたためである
- 当時のインテルの本業はメモリーである。社内の多く(特にグローブ)は、ビジコン・プロジェクト実施に反対だった。しかしノイスはあきらめなかった

## マイクロプロセッサ開発は日米ベンチャーの共同作業

- フェアチャイルドから移籍したばかりのフェデリコ・ファジン (Federico Faggin) をノイスは担当者に指名
- チップとして具現化する作業には嶋も巻き込まれた [嶋「マイクロコンピュータの誕生」、岩波書店、1987年、p.71]
- 嶋が帰国後の1971年1月、チップの動作をファジンが確認。マイクロプロセッサが誕生する
- マイクロプロセッサ開発は、日米ベンチャー企業の共同作業だった [西村「発注者と受注者のやりとりが世界初のマイクロプロセッサを実現」『日経エレクトロニクス』1998年2月9九日号、pp.213-221]

## インテルは4004への 嶋の貢献を認めない

- 世界初のマイクロプロセッサ4004については、嶋の貢献をインテルは認めない。嶋はあくまでも「顧客」であって、開発者ではないとする。マイクロプロセッサを開発したのはホフであり、インテルであり、米国企業であると主張
- 嶋はその後インテルに入社する。そして8080などのマイクロプロセッサを開発する。この開発者としての嶋をインテルは高く評価し、大いに顕彰する



嶋 正利



Marcian Edward Hoff, Jr.

## マイクロプロセッサ開発への ナショナリズムの影

- マイクロプロセッサ開発を米国の業績としたいという思いが米国側にある。4004開発はインテルの仕事であり、直接的にはホフの業績とする
- 逆に日本側は、日本の関与を大きくみたい。京都賞の受賞者は嶋、ホフ、メイザー、ファジンの4人である。嶋を受章者に加えているところに、日本側の思いが反映していると私は考える

## 主な話題

- マイクロプロセッサは新結合の典型
- プログラム内蔵方式によってコンピュータが実用化
- 電卓向けチップにプログラム内蔵方式を導入
- 製造販売権は最初はインテルにはなかった
- マイクロプロセッサというイノベーションは研究と無縁



## マイクロプロセッサの製造販売権は 最初はインテルにはなかった

- マイクロプロセッサ・チップ・セットはビジコン社のためだけに製造販売されるカスタム製品で、インテルには製造販売権がなかった
- ビジコンは開発費として10万ドルをインテルに支払う。あわせて最低6万セットを買うことを約束し、1セット当たり50ドルを払う。こういう契約だった[Berlin, *The Man Behind the Microchip*, Oxford University Press, 2005, pp.184-185]

## インテルは製造販売権を6万ドルで獲得

- ノイスは1971年2月に来日、ビジコン社長の小島と会う。ビジコンは業績が悪化しており、小島はチップ・セットの値下げをノイスに要請[Berlin, *The Man Behind the Microchip*, Oxford University Press, 2005, pp.195]
- インテルは6万ドルの値下げを承諾するが、このチップ・セットを他の顧客に販売できるように、契約を変更することを求めた。ライバルの電卓メーカーには販売しないことを条件に、ビジコンは契約変更を了承[ジャクソン『インサイド インテル 上』翔泳社, 1997年, p.115]

## インテルはマイクロプロセッサの会社として、 世界最大の半導体メーカーに成長

- マイクロプロセッサの製造販売権を獲得したインテルは、マイクロプロセッサを主力製品とする会社になっていく
- 1985年にはDRAM事業から撤退し、パソコン向けマイクロプロセッサのメーカーとして成長
- やがて世界最大の半導体メーカーとなって現在に至る

## マイクロプロセッサの二つの応用

- 世界初のマイクロプロセッサ「4004」が売り出されたのは1971年11月である。エレクトロニクス業界は興奮する。1970年代前半のうちにブーム状態となった
- マイクロプロセッサの応用は大きく二つに分かれる。一つは汎用の小型コンピュータ、すなわちパソコンやスマホを実現し、進化させる方向である
- もう一つは、コンピュータではない機器の内部で、プログラム内蔵方式の処理を行い、機器の性能や価値を上げる。この使い方を組み込み型(embedded)と呼んでいる

## 汎用小型コンピュータとしての応用

- マイクロプロセッサの登場に刺激を受けたアマチュアは「コンピュータがくれる」と興奮し、実際つくってしまう。これが現在のパソコンの原型だ。商品としては1974年発売のAltair 8800を最初のパソコンとすることが多い。アップル社、マイクロソフト社の創立は1976年になる
- スマホの源流は、言うまでもなく携帯電話である。マイクロプロセッサを組み込み、お利口(スマート)にした携帯電話、これがスマホだ。しかし実質は小型コンピュータである

## どこでもソフトウェア、 どこでもデジタル

- 組み込み型の応用は枚挙にいとまがない。炊飯器、洗濯機、クルマ、などなど。私たちの身の回りにある工業製品には、いまや、たいていマイクロプロセッサが組み込まれている
- マイクロプロセッサが組み込まれていれば、そこでは必ずソフトウェアが働いている。またプログラム内蔵方式では、データもプログラムもデジタル化しなければならない。マイクロプロセッサの普及によって、ソフトウェアとデジタル化の産業経済的な意味は格段に大きくなった

## 主な話題

- マイクロプロセッサは新結合の典型
- プログラム内蔵方式によってコンピュータが実用化
- 電卓向けチップにプログラム内蔵方式を導入
- 製造販売権は最初はインテルにはなかった
- マイクロプロセッサというイノベーションは研究と無縁

## マイクロプロセッサは 「研究」とは無縁

- マイクロプロセッサは中央研究所の基礎研究から生まれたものではない。国を挙げての大プロジェクトの成果でもない。この人類史における最大級のイノベーションは、「研究」とは無縁なところで生まれた
- マイクロプロセッサを生み出したのは、日米二つのベンチャー企業間の激しいやりとりである
- ビジコンは多種類の電卓向けにLSIを汎用化したかった。インテルは人手不足なのでLSI品種を減らしたかった。いわば卑近な二つの要求、これを満たすべく誕生したのがマイクロプロセッサである

## もともとインテルは 研究所を持たなかった

- もともとインテルは1968年の創業時、意識的に研究所を持たないと決める。創業者の二人、ノイスとムーアは、共に働いていたフェアチャイルド・セミコンダクタで、研究所の弊害を強く感じていたからだ。事業部は研究所を信頼せず、研究所の成果を事業部ですべて再試験する。「研究所はムダ」と二人は思う
- 研究所を持たなくても、研究をしないわけではない。二人は研究開発を生産ラインのなかで行うことにする。後にこの方式が、半導体メーカーに広まる

## 問題を真に理解するための 研究の積み上げは避ける

- ノイス考案の「最少情報原則」(principle of minimum information)、これがインテルの研究開発の指針だった。問題の答えに見当をつけ、発見的(heuristic)に行けるところまで行く。それで問題が解決しなかったら、元に戻り、別のやり方で必要なだけ調べる
- 問題を真に理解するための研究の積み上げは避ける。解決に必要な情報は少ないほど良しとする[ムーア「半導体産業における研究についての個人的見解」、ローゼンブルーム/スペンサー編『中央研究所の時代の終焉』日経BP社、1998年、pp.217-223]

## 研究開発と製造の同居

- ここで強みになるのが生産現場での研究開発である。作り方を変えてみる、別のやり方を導入してみる、工程を追加してみる、などなどの実験の基盤として生産ラインを用いることができる
- 研究開発と製造の同居によって、インテルは効率的に既存技術に変化を加え、試すことが出来た
- この方法が通用しない大きな問題については、大学との関係を大切にする

## 答えがわかれば理由は要らない 因果から相関へ

- 「研究所を持たず、問題を真に理解するための研究努力の積み上げは避ける」というインテルの方針は、同社が世界最大の半導体メーカーに成長する妨げにはならなかった
- この「最少情報原則」は、まさに「答えがわかれば理由は要らない」である。それは近年のビッグデータが指し示す「因果から相関へ」の方向と一致している[ショーンベルガーほか『ビッグデータの正体』講談社、2013年]