

# コンピュータアーキテクチャの研究

-- 思い出と期待 --

飯塚 肇

成蹊大学大学院工学研究科情報処理専攻  
〒180 武蔵野市吉祥寺北町3-3-1

本稿では、筆者の経験からコンピュータアーキテクチャの研究を振り返り、その研究に関するいくつかのコメントと、今後の研究への期待を述べる。

## Computer Architecture Reserch

-- Remembrance and Expectation --

Hajime Iizuka

Department of Information Sciences  
Seikei University

3-3-1 Kichijojikita-machi, Musashino, Tokyo, 180 Japan

E-mail: jim@is.seikei.ac.jp

This paper studies a computer architecture research from the author's experiences. Several comments on how computer architecture research should be done are given. It also refers to computer architecture research expectations in future.

## 1 はじめに

コンピュータアーキテクチャはコンピュータの発明以来ずっと研究されてきた。その間、計算モデルとしてはフォンノイマン以来大きな進歩があったとはいえないが、アーキテクチャは変化し、今後も高速処理を可能とする新しいアーキテクチャが生まれてくるだろう。アーキテクチャは、それ単独で良いものがあるというより、使用できるデバイスやソフトウェア技術等他の周辺技術に依存して良いものが定まるといふ側面が強い。従って、テクノロジーの変化や応用の要請がある以上、より高性能なコンピュータを実現するためのアーキテクチャ研究は常に新鮮な研究テーマであり続ける。

しかしながら、アーキテクチャは工学であり、ただ、マシンのある部分のアーキテクチャが過去にないとか、その点だけを取ってみれば他より優れているというだけで研究に意味があるわけではない。アーキテクチャの研究をするときには、やはりいくつかのポイントを押さえて実行すべきと思われる。ここでは、筆者の経験（多くは失敗の）からどのようにアーキテクチャ研究を進めるべきかについて私見を述べてみたい。

## 2 アーキテクチャ研究の流れ

図1に筆者がかつて所属し、コンピュータアーキテクチャの研究を行なった電子技術総合研究所における汎用コンピュータのアーキテクチャ研究の流れを示す。但し、以下の議論のために作ったもので、筆者が直接関与していないところについては誤っているかも知れず、当然記入すべきことが抜けているかも知れないことをお断りしておきたい。

さて、電総研に於けるアーキテクチャ研究の第1期は1950年代後半から1960年代前半のコンピュータを実用化するための研究と単一プロセッサ高速コンピュータアーキテクチャの研究であった。1950年代には、日本においてコンピュータの研究をしていた場所は数少なく、アーキテクチャの研究には基本回路の研究も含まれ、利用できるハードウェア部品とのバランスの良いアーキテクチャが研究のねらいであったと思われる。この点において、ETL Mark IVが歴史に残る成功をおさめたことはよく知られている。

この成功の後、1960年代初めに、高性能コンピュータETL Mark VIの研究が行なわれた。Mark VIには先行制御やキャッシュメモリの原形等進んだアーキテクチャのアイデアが見られるが、手作りマシンで

年代	主なマシン (システム)	目標	主な研究者	主なアイデア
1955～1964	Mark IV, Mark VI	実用コンピュータ, 高速コンピュータ	高橋 西野, 相磯	基本回路, 先行制御, 命令バッファ
1966～1970	ETSS (OS)	TSSオペレーティングシステム	淵他多数	仮想マシン, ページング
1971～1979	PULCE, ACE	共有記憶マルチプロセッサ, マイクロプログラマブルμP ファームウェア高級言語マシン	飯塚, 古谷 島田, 山口	マルチキャッシュ, ロード /ストア命令セットμP
1980～199?	Sigma, EM-4	データフローマシン	弓場 島田, 山口	データフローアイデアの統 合, Explicit token store

表1 電子技術総合研究所におけるコンピュータアーキテクチャ研究の流れ

あったためか実用機としての成功には至らず、ここで電総研のアーキテクチャ研究は一旦中止された。そして、研究は第2期のタイムシェアリングオペレーティングシステムの開発へとハードウェアからソフトウェアへ移行した。筆者は、この頃いわば、Mark IV, Mark VIの後続研究をしたくて電総研に入ったのであるが、実際はOSの研究からスタートすることになった。

1960年代の後半は研究機関におけるアーキテクチャ研究の冬の時代であった。研究開発の主流は大規模メインフレームに移り、研究機関の手におえなくなったからである。その後、1970年代になって、ミニコンピュータの低価格化、マイクロプロセッサの発展によって再びアーキテクチャ研究が盛り上がり始め、電総研に於ても高性能マイクロプロセッサ、バス結合型マルチプロセッサシステムの研究が再開された。レジスタ型ロードストア命令セットアーキテクチャ、マルチキャッシュを持つ共有記憶マルチプロセッサ等とその後のアーキテクチャの先駆けが見られる（と本人だけが思っている？）が、突っ込みが甘く、実用システムへのインパクトはなく、終了した。ただ、その後の電総研および他の研究機関でのアーキテクチャ研究を刺激したのが貢献と言えるかも知れない（これも当事者のみの思い込み？）。

1980年代電総研アーキテクチャ研究は実用指向からより学問的な（先進的な）データフローアーキテクチャの研究へ転換する。以来、10余年、この分野では世界的に評価される成果をあげるに至っている。しかしながら、データフローアーキテクチャの実用マシンとしての評価は未だ高くなく、次の世代のコンピュータアーキテクチャに貢献したとはいえない。

### 3 アーキテクチャ研究に関するコメント

以下では筆者の経験からアーキテクチャ研究におけるいくつかのコメントを述べる。

【C11】アーキテクチャ研究は、継続性が必要。

アーキテクチャ研究には時代の流れを読むことと単なる知識以外の多くのノウハウを必要とする。経

験者が企画し、次の若手を指導することが必要であり、若手はまず、雑務も含めて経験しなければならぬ。一度やめてしまった後で再び研究グループを作り、新たなスタートをするには多くの時間と労力がある。（Mark VIと次の研究のスタート）

【C12】アーキテクチャ研究は、突っ込みと粘り強さが必要。

過去日本で行われた研究にも、その後スタンダードとなったアイデアや技術がいくつも見られる。例えば、電総研での研究だけでも先行制御（Mark VI）、タイムシェアリングOS（ETSS）、マルチプロセッサキャッシュによる分散共有記憶（ACE）等がそれであるし、京大のQA-2はVLIWの初期の試みであった。しかし、それらの技術の商用機への実現はアメリカに遅れを取っている。日本の研究が論文作成中心で、実用性への突っ込みやその技術の現実的評価が不足だったように思われる。また、最近は多少変わってきたが、これまで企業がアメリカでの技術確立を採用の条件にしていた（と筆者には思われる）ことも影響しているかもしれない。

【C13】欲張り過ぎてはいけない。

筆者が1970年代にマルチプロセッサの研究をしたとき、PMSアーキテクチャの設計のみならず、プロセッサモジュールのエンジンまで全て新規開発を試みた。意欲はあったものの当時は研究グループも完全に立ち上がっておらず、能力的にも人数的にも追及したいことはあっても手が回らない状況を生じ、どれもが中途半端になってしまったことがあった。電総研の様な研究機関には大学や企業ではできない新鮮でかつ大規模な研究が期待されるが、それぞれの研究グループの能力に応じて目標を絞ることが必要である。

【C14】Postmortemを重視せよ。

アーキテクチャ研究の歴史においてこれまで多くの試作機が廃棄され忘れられていった。コンピュータアーキテクチャの研究は試作なしではなかなか説得力がないし、実現してみても初めて解かることも少なくないので新しいアイデアの試作をすることは望ましいことであるが、ハードウェアが完成したとき

は実装技術の差で古いものに負け、いくつかのアイデアに関する論文が書かれただけで終わってしまったものも少なくない。従って、外見にはそうした試作が無意味のように思われることがあるが、試みをしたことが悪いのではなくて、そのアーキテクチャで何がよく、何がまずかったの分析 (Postmortem) をし、発表しないことがその研究の意味を無くすことになる。学会もPostmortem論文をもっと評価すべきである。

#### 【C15】 バランスの良いアーキテクチャの研究の重視。

コンピュータアーキテクチャにはそれ単独で良い方式は存在しない。そのとき、あるいは次の世代のハードウェアテクノロジーとソフトウェア技術にマッチしたアーキテクチャでなければ研究する意味は少ない。新規性のみ追及すると、しばしば、'新規'でなく'珍奇'なものとなる。古いアイデアの組み合わせであっても、時代の要請にあった取り入れ方がなされ、バランスの良いアーキテクチャになれば、大いに意義がある。

#### 【C16】 良いアーキテクチャは ディスカッションから生まれる。

S. CrayやR. Bartonのようにアメリカには天才的なコンピュータアーキテクトがいた。日本には彼らに匹敵するアーキテクトはこれまでいなかったように思われる。しかし、現代コンピュータアーキテクチャは一人のアイデアだけで総合的に良いものが生じるステージにはない。むしろ、何人かの幅広い知識を持った者のグループで討論することによって良いものが生まれると思われる。筆者の経験からも一人で考えたことにはしばしばぬけがあった。

## 4 これからのアーキテクチャ研究

アーキテクチャの研究はコンピュータ発明以来続いてきた古いものであるが、これからもコンピュータの高性能化要求に対応して重要な研究分野として続いていくだろう。しかし、これからはただ、漫然とそれまでにない新規性だけを求めただけの研究

の意義は小さくなり、新しい時代にあったやり方を考えていかねばならない。ここでは、今後のアーキテクチャ研究について筆者の勝手な私見を述べる。  
【C21】 開発のためと教育のためのアーキテクチャ研究の違いの認識。

コンピュータアーキテクチャの研究では、多くの場合、ハードウェア及びソフトウェアの試作を伴う。いずれも費用と時間がかかり、アイデアがよくてもインプリメンテーションが悪くて性能が出ない場合もある。したがって、研究の評価はどのような目的で研究するかによっても変わってくる。

#### 【C22】 開発としての研究

メーカーの製品の開発研究と研究機関での開発研究が含まれる。前者においては、成功する製品を造ることが目的であるから自ら保守的になるのはやむを得ないが、これまでアメリカの状況を見過ぎて、日本の研究のアイデアを良く見ていなかったように思われる。今後のコンピュータにはまねでない独自のコンセプトが求められるから、もっと国内の知恵にも目をむけて欲しい。

一方、中立機関のアーキテクチャ研究は、やはりメーカーではできない意欲的なものが期待されるが、大きな予算を使用し、完成したプロの研究者の集団が行うのであるから、教育が大きな要素である大学と違って、単なる研究者の興味だけで行われるのではなく、将来の実用性に対してははっきりした見通しをもって行われるべきであろう。

#### 【C23】 教育としての研究

アーキテクチャ研究は人材も費用も必要とするから、本格的研究は一般の大学ではやりにくい分野に属する。1960年代後半からマイクロプロセッサが発明される1970年代半ばまで日本における大学でのアーキテクチャ研究が非常に少なかったのはそのためであろう。今、多くの大学でアーキテクチャ研究が行われているが、一部の例外を除いて、教育のための研究的要素が強いと思われる。その研究をベースに優秀なアーキテクトが育って、研究機関や企業で優れたアーキテクチャ研究をするならば、それだけでもそのアーキテクチャ研究は意義がある。

まして、次の時代のコンピュータアーキテクチャにその研究が何らかのインパクトを与えるならば、その研究は大成功であって指導者は大いに評価されるべきであろう。しかし、そうした研究ができる可能性を備えた大学研究室は日本にそう多くないように思われる。アメリカのいくつかの大学はその意味で極めて優れた研究をしてきたが、他分野に比べれば、その数は限られている。多少暴論かもしれないが、アメリカに対抗するためにも日本でもアーキテクチャ研究の intelligence と money をもう少し集中化した方がいいのではないだろうか。但し、それと同時にどこかの大学でも最低限教育としてのアーキテクチャ研究がやりやすい環境が整えられるべきであるが。

【C 2 4】企業は大学のアーキテクチャ研究に もっと 支援を

ここでいう支援とは、よい研究に対する研究費用の支援だけを言うのではなくて、試作支援やソフトウェアの使用などアイデアの実現や教育のための支援を言う。ある程度評価の固まった研究(者)に対する支援だけでなく、もっと一般的な支援がよいアイデアの開発や技術者を産み出す。

【C 2 5】日本に真のコンピュータアーキテクトは生まれるか。

C 1 6でも述べたようにもう天才アーキテクトの時代ではないが、コンピュータアーキテクチャを研究テーマにしてきた身には自他ともにコンピュータアーキテクトと認められる人材が(もっと多く)日本にも生まれてほしいと思う。しかし、そのためにはまだ十分な環境が整っているようには思われない。例えば、

- 幅広い知識を与える教育カリキュラム
- 学生が実際に小規模マシンを構築する機会
- 企業と大学間の一方通行ではない人材交流
- 論文数などではない現実的研究評価
- アイデアを企業化するベンチャービジネスの支援

等アメリカに比べて遅れている分野の整備が求められる。当面C 2 3で指摘したintelligenceとmoneyの集中化(複数)が役立つように思われるがどうだろう。

## 5 むすび

以上筆者のささやかな経験からアーキテクチャ研究の反省と期待を述べた。独断的な意見であり、誤解もあるかもしれないが、これからのアーキテクチャ研究をどうすべきか考えることは大事だと思う。

よく日本には独創的技術がなく、欧米の技術を真似してインプリメンテーションを工夫しただけだといわれる。少なくとも現在実用されているアーキテクチャを表面的に見るかぎりはその非難を全面的に否定することはできないだろう。しかし、実際はアイデアがなかったり、研究方向が誤っていたのではなくて、突っ込みの甘さだとか、研究体制だとか、大学の教育方法だとか、産業界の姿勢だとかに、より多くの問題があって、こうした状況になってしまったような気がする。

これから21世紀に向けて当然これまでのようなやり方でよいはずはない。独創的で、将来の実現性があるコンピュータアーキテクチャの研究をいかにすすめるか、よく考え、時代にあった研究体制を整えることが、何を研究するか、以上に緊急の課題になっているような気がしてならない。