

150回研究会記念特別企画 (2) パネル討論：アーキテクチャ研究の将来

相 磯 秀 夫^{†1} 飯 塚 肇^{†2} 田 中 英 彦^{†3}
富 田 眞 治^{†4} 島 田 俊 夫^{†5} 中 島 浩^{†6}
笠 原 博 徳^{†7} (司会) 天野 英晴^{†8}

かつて日本のコンピュータアーキテクチャ研究には夢と未来があり、華やかで、活気に満ちていた。メインフレームの全盛期、計算機は、それ一つで、数億から数千万円かかる巨大システムであり、日本の産業界において重要な地位を占めていた。日本企業は、命令レベルでは IBM コンパチであっても独自の技術で計算機を開発しており、ポスト IBM アーキテクチャに向かって大学共々やる気は十分であり、このための資金も備えていた。80年代から90年代にかけて、第五世代計算機プロジェクト、超並列計算機プロジェクトなど歴代主査がリードした大型プロジェクトを通じて産官学は一体になって新しいアーキテクチャ研究に取り組んで来た。

それに比べて、現在のコンピュータアーキテクチャをめぐる情勢は下記のように変化している。

- (1) 高性能な汎用アーキテクチャは Intel に完全制覇され、日本企業は例外を除いて「計算機用」の CPU を作らなくなった。結果として、プロセッサアーキテクチャの研究は産業界とのリンクを失った。このため、優れた研究があっても実世界にインパクトを与えることがほとんどできなくなった。
- (2) マルチメディア用、組み込み用 CPU、SoC アーキテクチャは日本の半導体業界の中でも大きな位置を占めており、実際に日本企業は大量に CPU を作っている。しかし、SoC にとって、組み込み CPU 自体のコストおよび重要性は低く、狭い意味での「計算機アーキテクチャ」の重要性はさほど大きくない。チップ全体のアーキテクチャは実際にチップを作成する LSI 設計者の研究対象領域となっている。
- (3) グリッドや PC クラスタの研究開発は盛んで、ユビキタスコンピューティングなど夢がある研究領域も開けている。しかし、計算機アーキテクチャ研究者の役割はさほど大きくない。情報系の大型プロジェクトには計算機アーキテクチャ分野が含まれなくなりつつある。

コンピュータアーキテクチャ研究会 150 回記念パネルでは、歴代の主査をパネリストに迎え、コンピュータアーキテクチャ研究が往年の輝きを取り戻し、若手研究者に夢を与えるために、どのように研究を展開していけば良いか、その戦略を議論する。

150th Memorial Panel: On Future Computer Architecture Researches

HIDEO AISO,^{†1} Hajime Iizuka,^{†2} Hidehiko Tanaka,^{†3} Shinji Tomita,^{†4}
Toshio Shimada,^{†5} Hiroshi Nakashima,^{†6} Hironori Kasahara^{†7}
and Hideharu Amano (Moderator)^{†8}

Compared with 80's and 90's when the 5th generation computer project and massively parallel architecture project were carried out, recent researches on computer architectures in Japan tend to be inactive because of various problems. This memorial panel tries to explore the strategies of future architecture researches in Japan. Seven successive chiefs of IPSJ SIG ARC join as panelists.

†1 東京工科大学 (Tokyo Engineering University)

†2 成蹊大学 (Seikei University)

†3 情報セキュリティ大学院大学 (Institute of Information Technology)

†4 京都大学 (Kyoto University)

†5 名古屋大学 (Nagoya University)

†6 豊橋技術科学大学 (Toyohashi University of Technology)

†7 早稲田大学 (Waseda University)

†8 慶應義塾大学 (Keio University)

Mumble on Computer Architecture Research and Education

Hajime Iizuka

(Department of Information Sciences, Seikei University)

1. コンピュータアーキテクチャ研究の原点

コンピュータアーキテクチャの研究は、当然、コンピュータアーキテクチャを良くするための研究である。従って、それを考えるにはコンピュータアーキテクチャとは、何かを原点に戻って考えるべきであろう。これに関しては Amdahl の定義[1]が著名であるが、これは命令セットアーキテクチャに特定しているので、ここでは、より古くからあってより一般的な Brooks の次の定義[2]をあげておこう。

Computer architecture, like other architecture, is the art of determining the needs of the user of a structure and then designing to meet those needs as effectively as possible within economic and technological constraints.

この定義からも分かるように、コンピュータアーキテクチャは、テクノロジーや応用等の束縛条件の下に、知恵を絞って求められる情報の計算や記憶に関する操作を効率的に実行するコンピュータの構造を追求するものでなければならない。言い換えれば、“コンピュータアーキテクチャは、諸制約の下にテクノロジーを速度と容量に変換する”ものであって、その研究はこの目的に則していなければならない。

2. コンピュータアーキテクチャ研究の実際

1 で述べた目的に沿ってこれまで多くの研究が行われ、コンピュータの高性能化に寄与してきた。今後も、テクノロジーや応用が進化する限り、新たなアーキテクチャが求められ続けるであろう。しか

し、アーキテクチャにおける基本的技法は“同時処理”と“時間的無駄の削除”であって(具体的には、並列実行やプログラム特性の活用(キャッシュ)や複数ケースの precompute という形で利用されている)、全く抜本的なアイデアが近々生まれるとは考えがたい。また、学位取得のために論文作成(それも質より量)が求められる学生に取って、アーキテクチャの本来の目的に沿っていて、かつ、厳しい(?)審査に通る論文を生産することは困難で、より容易に論文が作成できる新しい応用分野を指向することはある程度やむを得ないことであろう。

3. アーキテクチャ研究の方向付け

3. 1 アーキテクチャ研究のポイント

私が、アーキテクチャ研究において、重要なポイントとして学生に言ってきたことは、次の3点であって、ずっと変わっていない。

(1) Insight, (2) Balance, (3) Some courage

3. 2 経験からの実際的ポイント

筆者の個人的、かつ、経験からのアーキテクチャ研究において考慮すべきポイントについては、100回目の記念研究会のときに述べた[3]。久しぶりにその原稿を読み返してみたが、今も考えは変わっていない。ここでは、その項目だけをあげさせていただきたい。

- ① アーキテクチャ研究は継続性が必要
- ② アーキテクチャ研究は、突っ込みと粘り強さが必要
- ③ 欲張りすぎではいけない

- ④ Postmortem を重視せよ。
- ⑤ バランスの良いアーキテクチャ研究の重視
- ⑥ 良いアーキテクチャはディスカッションから生まれる

3. 3 大学でのアーキテクチャ研究と教育

最近、大学でのアーキテクチャ研究は、かつての活発さが無く、産業界へのインパクトも少ないといわれる。先に述べた本来のアーキテクチャの目的に厳密に則した研究という意味では、確かに厳しい状況にある。直ぐに気付くような良いアイデアは見つからないし、何かアイデアがあっても、その検証にも時間がかかるし、他の部分への影響も含めた本質的評価は容易ではない。新規性が大きくなければ論文として受け入れられない現状では、そうした分野の研究がこれから博士号を取得しようとする学生にとって魅力的でなかったとしてもやむを得ないことであろう。では、どうしたら良いのだろうか。これについても新しい考えは思いつかないので100回の講演予稿[3]であげたポイントを再録させていたきたい。

- ① 本来のアーキテクチャの研究と教育的アーキテクチャの研究の差を認識する。

大学で行う研究では、有効性が十分検証されなくても、新規性や可能性があれば価値を認める。論文の査読もその点を考慮する。

- ② 本来のアーキテクチャの研究

アーキテクチャの研究では、前節⑥に指摘したように、優秀な指導者のもとで色々な側面からの十分な議論が不可欠である。その意味では、研究者集団である中立的研究機関への期待が大きい。大学としては、近くの大学の研究者がグループを作ってやってはどうだろうか。但し、単なる分担では意味が無い。

- ③ 大学での研究・教育

資源や人材の限られた一般の大学で本当に意

味のあるアーキテクチャ研究を行うことは、現状では不可能に近い。しかし、アーキテクチャの教育ということになれば、情報科学を専攻する学生全てに対して、単なる知識ではなくアーキテクチャに関して先人が努力してきたものの意味を的確に教育することが絶対的に必要である。それには、アーキテクチャ設計の経験も無い者が教科書を見て単に知識を教えているだけでは駄目である。十分な時間をかけて、経験者と若手がチームを組んで教育することが望まれる。そこから、優れた研究者や開発者が生まれるに違いない。

- ④ 企業の大学のアーキテクチャ研究と教育に対する支援の増加

最後に、日本に真のコンピュータアーキテクトを生み出すために必要な方策のとして前回もあげたものを再掲させていただく。

- ・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し、各種技法を学ぶ機会
- ・企業と大学の一方通行でない人材交流
- ・論文数がすべてでない現実的評価
- ・アイデアを企業化するベンチャービジネスの支援

参考文献

- [1] Amdahl, G.M., G.A.Blaauw and F.P. Brooks, Jr.: Architecture of the IBM System/360, IBM J. R&D., vol.8, no.2, pp.87-101, 1964-04.
- [2] Brooks, F.P. Jr. Architectural Philosophy, p.5, chap. 2, W. Buchholz (ed.) "Planning a Computer System: Project Stretch", McGraw-Hill, 1962.
- [3] 飯塚 肇: コンピュータアーキテクチャの研究 —思い出と期待—, 情報処理学会研究報告, 94-ARC-108, pp.27-31, 1994-10.

アーキテクチャ研究の今後

田中英彦

(情報セキュリティ大学院大学)

概要

デバイス技術とアーキテクチャ技術の双方を総合的に考えた設計のあり方は、まだやるべきことが多い。また長年に涉って蓄積されてきたアーキテクチャ技術を設計ソフトウェアの形で明示化し、それを CAD ツールとして使うということが、今後やるべきことではなかろうか。このような方向での考えを述べる。

SIGARC150回記念大会パネル討論
日本の計算機アーキテクチャ研究の将来
2004年5月14日
富田眞治(京都大学情報学研究科)

危機的状況その1 採択論文数

ISCA												
年	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83		
件数	0	0	0	1	1	5	2	4	2	13		
年	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93		
件数	2	5	15	3	2	6	1	3	3	3		
年	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03		
件数	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0		

危機的状況その1 採択論文数

MICRO												
年	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83		
件数	0	0	0	1	1	1	1	1	1	3		
年	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93		
件数	2	0	0	2	0	1	1	0	1	0		
年	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03		
件数	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0		

危機的状況その1 採択論文数

ICS												
年	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83		
件数	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
年	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93		
件数	—	—	—	2	3	4	3	3	3	10		
年	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03		
件数	3	8	4	3	8	2	2	1	2	0		

危機的状況その2 学生の配属希望

? 当日公開

問題点と提案

- Catch Up型研究開発の行き詰まり
独創的な発想、面白い発想が必要
日本人によるEpoch Makingなコンセプト?
インパクトのある論文はあるか?
- 高速化のためのアイデアの枯渇化
明確な評価尺度: 高速性
ありとあらゆる手法の研究
汎用プロセッサアーキテクチャ
汎用並列アーキテクチャ
他の評価軸の導入: 省電力化
高速化との比較尺度が不明確
専用コンピュータ・衰退

3 コミュニティ形成と国際化努力の必要性

ISCA, Micro, ICSなど主要国際シンポジウムへの
採録数激減か？

文部省科学研究費特定領域研究、並列分散処
理PDCコンソーシアム以後のコミュニティ形成は？
国際的な情報発信と英文ACS論文誌刊行への逡巡
研究会論文誌の刊行努力
SACSISなどの国際シンポへの発展は？
JSPP、SWoPP：国内研究者の組織化
アーキテクチャ研究戦略会議の必要性
競争的資金 個人 vs 集団

4 研究環境の整備、デバイス屋、VLSI屋との連携

シミュレータなどの研究ツールの開発と普及
デバイス屋、VLSI屋さんと連携したVSLIモデル化
配線遅延が支配的：レイアウト設計までやらないと
性能が分からない
次、次々世代のVLSI設計ルール、モデル化

5 着想、実験検証、製品化、標準化サイクル

アーキテクトは製品化までいかないと満足・燃焼しない？
新しい着想→シミュレーションで検証→
実製品として企業で実装→標準化
アメリカでの研究スタイル：研究と実用密着

6 若手アーキテクトは育成されているか？

学生がアーキテクチャ研究室に来ない
悲しい現実！
コンピュータサイエンス(CS)教育のみでは
不十分？
電気系をベースとしたコンピュータ
エンジニアリング教育が必要

7 実世界に立脚して考える

一步踏み込んだ産業界との連携
実世界のニーズ、アプリの掌握
次、次々世代VLSIモデルの掌握
大型予算の獲得とコミュニティ再形成

計算機アーキテクチャ研究の将来について

島田俊夫（名古屋大学）

計算機アーキテクチャ研究を取り巻く環境

- プロセッサの生産は年間約 80 億台と非常に多いが大部分は組み込みプロセッサで、コンピュータとして使用されるプロセッサの比率は非常に低い。
- 組み込みプロセッサはシステム LSI として実現されることが多く、現在ではアナログ混載や DSP も搭載するなど汎用プロセッサの役割は低下している。
- システム LSI は大規模なシステムであるにもかかわらず、製品寿命が短く、頻繁な仕様の変更、開発期間の短縮に応じるため、IP コア部品を組み合わせて設計することが多く、汎用プロセッサも一部品として扱われている。

以上のような環境の中で計算機アーキテクチャ研究をどのように進めていくべきかについて論じる。

大学における計算機アーキテクチャ研究

計算機システムの開発が大規模化した現在では、大学が貢献できることは、基礎研究を進めて要素技術を開発することと人材養成ではないだろうか。創造的な研究は、必ずしも計画されたプロジェクト研究の中で達成されるわけではない。個々の研究者がそれぞれの興味にしたがって、いろいろな分野で独自の観点から地道に研究を進めていくうちに生まれてくるように思われる。プロセッサの性能を今後もムーアの法則に従って伸ばしていくために、個人的には以下のような研究テーマが興味深いと考えている。

● 高性能プロセッサの研究

- － 物理特性を考慮したアーキテクチャ
- － チップマルチプロセッサ
- － 効率の良いマルチスレッド実行技術

● アーキテクチャ技術に基づく低消費電力技術

研究が高度であることを示すために、最難関の国際学会に論文を通すことを目指したい。具体的には ISCA や MICRO があげられる。この他に採択率が 30 に置いて最も権威のある国際会議またはジャーナルに論文を載せ、国際的に尊敬されることが重要であると考えている。

大学における計算機アーキテクチャ教育

最近、計算機アーキテクチャの分野に優秀な学生が進学してこない傾向にある。さらに修士の学生が博士課程に進学してこない。これは計算機アーキテクチャの分野に限らず、名大では電気系全体の問題になっている。このままでは若手研究者を大学で養成することは困難になりつつある。博士を取り巻く社会的環境も原因と考えられるので、大学のみで解決できる問題ではないと思うが、問題点として議論してみたい。

Fancy Architecture も数打ちゃ当る

中島 浩 (豊橋技術科学大学)

1 Fancy Architecture の魔力

アーキテクチャ研究の目指すところは新たな計算メカニズム (および計算原理) の発見であり, その実現によって飛躍的な性能向上が得られれば, 研究者として一生食うに困ることはない。ここで問題となるのは, 「飛躍的」な性能向上を地道な努力で得るのは難しく, 一見とんでもない fancy なアイデアが必要となることである。

この fancy なアーキテクチャには, その発案者の心を捉えて離さない強大な魔力がある。一般に研究者は自分のアイデアに惚れ込むものであるが¹, 特に fancy な話は他人がその良さを理解するのが難しいため, 学会で発表すれば叩かれ², 論文を書いても相手にされず², というように世間の荒波に揉まれているうちに, どんどん可愛くなってしまっているものである。

このため fancy architecture を思いついてしまった研究者が, 長い年月を可愛い我が子の育成に費やし, そのあげくに親子心中状態に陥ってしまう, などという悲劇がしばしば見られることとなる²。また研究者自身の悲劇だけならまだしも, できの悪い子によく見切りをつけて振返ると, そこには学生や若手の屍が累々と, というような惨劇にもなりかねない²。

2 Fancy Architecture の乱射

冷静に考えてみると, fancy な話はそうそう当るものではない。本当に素晴らしいアイデアのみ湧出す

¹ そうでなくてはいけない。

² あえて事例は挙げない。

る神泉のごとき頭脳や, 雑多な思いつきの中から真の宝石を見いだす透徹した眼力などを自分に期待できないとすると, 良さそうと思った話の十に一つが当れば上出来であろう。したがって一発当てて千金を得るためには, 9 発の無駄弾を覚悟しなければならない。

このような粗製乱造を限られた資源と時間の中で効率的に行う鍵は, 素早く無駄弾に見切りをつけることである。つまりアイデアをさっさと評価して駄目なものをどんどん切り捨てる必要があるが, ここで注意すべきは「評価」という言葉の意味である。アーキテクチャに限らず計算機科学の分野では, 「良い結果が得られることを確認する」といったニュアンスで「評価」が用いられる傾向があるが³, 「あれとこれを混ぜてみたけどやっぱり駄目」といった雰囲気を実験を繰り返して稀に当ると Nature に, という業界の人々のように⁴, 冷徹かつ気軽に自分のアイデアを評価する姿勢が必要である。

3 Fancy Architecture の粗製

上記のように下手な鉄砲を乱射するには, 弾込めにも時間を費やしてはならない。つまりチップを作るなどは FPGA でも論外, VHDL 記述やクロックレベル・シミュレーションも牛刀の部類である。つまり手軽にアーキテクチャのプロトタイプングを行い, 手軽にその良否を評価する環境を整える必要がある。

このような環境が既存のツールの組合せで容易に実現できれば問題ないが, 従来のものとは大きく異なる fancy なアーキテクチャへの対応は一般に困難

³ もちろん論文ではそうであるのが自然だが。

⁴ ちよつと言い過ぎかも。

であろう。したがってアーキテクトにはプロトタイプ
ピングや評価環境を自作する能力が求められる。つ
まりアーキテクトは、スクリプト言語などの簡易的
なも含む多様な言語・ツールを駆使できる優れたソ
フトウェア開発者でなければならない。

上記の要件は指導的立場にある研究者にも当然求
められ、ハードウェアの設計力よりも重要な要件で
あると言える。すなわちハードウェアについては感
覚・センスがあれば十分であり、ソフトウェアの開発
能力こそが単に「突飛な」という意味だけではなく
「極上の」という意味も含む fancy architecture を生
み出す原動力である。

4 Fancy Architecture の棚卸

最後に真の fancy architecture を創造するための
研究会の役割について触れておく。外れ弾であって
も、鉄砲やガンマンによっては的を射抜く可能性も
ある。幸い研究会には研究成果の質を問わず発表を
受け付けるという素晴らしい伝統があり、このよう
な場を外れ弾を熨斗をつけて提出し、欲しい人には
お持ち帰りいただくというのも、アーキテクチャ研
究や研究会の活性化の一法ではなかろうか。「外れ弾
特集および一般」という会があれば、筆者などは常
に出品する用意があるのだが...

ARC150 回記念 パネル討論 「アーキテクチャ研究の将来」

“産官学連携による高付加価値チップマルチプロセッサの開発”

笠原博徳

(早稲田大学理工学部)

我が国の計算機アーキテクチャ関連技術現状を概観すると、HPC 分野では地球シミュレータに代表されるようなベクトルプロセッサ技術・実装技術が世界を大きくリードしており、ゲーム・携帯電話・デジタルテレビ・カーナビ等で利用される SoC(System on Chip)技術に基づくデジタル民生機器技術でも強い国際競争力を持っている。しかし、汎用マイクロプロセッサ技術では、言うまでもなくインテル・AMD 等に大きく水を空けられている。

また、日本に豊かさをもたらすために重要な産業界における利益という面から考えると、まず HPC は市場が小さく、以前のような汎用大型機への技術転用という用途も限られていることから、基礎科学分野への貢献は大きいものの、直接的利益が期待できない。また、ノート PC のように日本が強い競争力を持ち世界シェアトップを争う分野でも利益は日本に残らず、インテル等米国企業に利益が蓄積される状況である。しかし、低消費電力で価格性能比の優れたプロセッサが望まれるデジタル民生機器分野、特に携帯電話のようにワールドワイドで 10 兆円を越えるような巨大市場を有する分野では今後の技術開発により大きな利益を上げるチャンスがあると考えられる。

このような状況を総合的に考えると、デジタル民生機器で大きな利益を追求しつつ、世界最高となった HPC 技術を継承し、さらには将来的には HPC・組み込みの上下方向から PC マーケットにも進出できるような付加価値の高いプロセッサアーキテクチャ技術を日本から創出できれば日本にとって最高のシナリオとなる。この高い目標に向かって実現可能なアーキテクチャの一つは、複数のプロセッサコアをチップ上に集積するチップマルチプロセッサ技術と考えられる。現在日本が世界に対し優位となった自動並列化コンパ

イル技術と協調するような日本独自のチップマルチプロセッサ技術を産官学連携により博士人材育成と共に創出し、半導体集積度向上に対しスケラブルな性能向上が可能で、同一アーキテクチャで集積コア数を変化させるだけで高・低性能用途にフレキシブルに適用でき、並列化チューニングの負担を軽減しソフトウェア生産的が高く、ハード・ソフトの開発期間を短縮でき、消費電力を小さく抑える付加価値の高いチップマルチプロセッサ及びそれを組み込んだ圧倒的な技術優位性をもつデジタル民生機器を開発することができれば、日本の IT、アーキテクチャの将来はバラ色と勝手な夢を思い描いている。

<略歴>1980 年早大理工電気卒, 1985 年同博士了 (工博), 1985 年学振第 1 回特別研究員, 1985 年カリフォルニア大学バークレー EECS 客員研究員, 1986 年早大理工専任講師, 1988 年助教授, 1989 年-1990 年イリノイ大学 Center for Supercomputing R & D 客員研究員, 1997 年早大理工教授, 2003 年よりコンピュータ・ネットワーク工学科, 1987 年 IFAC World Congress 第 1 回 Young Author Prize, 1997 年情報処理学会坂井記念特別賞受賞, 情報処理学会: ARC 主査 (2000 年 4 月~2003 年 3 月), 論文誌編集委員会 HG 主査, 学会誌編集委員会 HWG 主査, 論文誌 2001 並列処理特集委員長, JSPP2000 プログラム委員長, 代表会員等, ACM ENIAC50 周年記念 ICS 1996 Vice Program Chair. 等スーパーコンピュータ・並列処理に関する各種国際会議プログラム委員, 経産省: ミレニアムプロジェクト IT21”アドバンスト並列化コンパイラ” プロジェクトリーダー, 情報政策提言フォーラム(アーキテクチャ/HPC WG 主査), 文科省:地球シミュレータ中間評価委員, 原研研究評価委員, 計算科学推進センタ第 1 種客員研究員, 東京電力学術評価委員, 日本 EU 協調会議科学技術ラウンドテーブル代表等。