

VLIWコンピュータの パイオニア QA-1

富田 眞治

tomita@kuis.kyoto-u.ac.jp

京都大学大学院情報学研究科 教授

当時：京都大学工学部 助手



VLIWコンピュータのパイオニア QA-1

1961年に日本で最初の μ P（マイクロプログラム）制御計算機、KT-Pilotを開発された京都大学工学部情報工学科の萩原宏教授に、私が助手として採用されたのは1973年であった。その当時は1970年代の集積回路の勃興期で、先生は何か面白いコンピュータを作ろうと思っておられた。ちょうど半田付けのできる助手（私）も来たり、科学研究費補助金も少なからずあったので、実際に作るようになった。コンピュータグラフィックス（CG）などを高速に処理するプロセッサはどうかということになり、幾何変換の4×4行列を高速処理するプロセッサということで、必然的に算術論理演算装置（ALU）の台数は4となった。

QAの由来はQuadruple ALUsである。京都での第15回情報処理学会全国大会（1974年）で発表した最初の論文は「図形処理のためのハードウェア構成」であり、1977年、トロントのIFIP大会での論文発表時には稼働していた。幾何変換はいわゆるSIMD方式で可能であるが、より汎用性を持たせることを考えたので、 μ 命令レベルでMIMDとして、160ビット長で異なるALU演算を4つ、異なるメモリアクセスを4つ、順序制御を1つ同時に指定できる方式を考案し、これを低レベル並列処理方式と名づけた。当時の比較的大型の汎用コンピュータで採用されている水平型 μ 命令形式は非常にダティーと思っていたので、水平型 μ 命令形式の徹底した汎用化を図り、 μ 命令形式を「きわめて美しく」したのである。 μ Pを格納する制御記憶装置は160ビット×1K語で、1KbのTTLメモリで作成し、容量が小さいので仮想制御記憶方式として、バックアップを主記憶装置に設定した。主記憶装置は当時最高速（350nsec）の

Mostec社の1KbDRAMを使用した（株）東光製で、256KBのもので1千万円もした。また、主記憶装置上に256×256の画像メモリを設定し、ディスプレイ可能とした。

図-1にQA-1の写真を示す。筐体やフラットケーブルは日立神奈川工場でHITAC8800の廃棄処分があったので、そのセレクトチャンネル部分を輸送費無料でいただいて帰り、金きり鋸と電動ドリルを使って2、3日で解体して使用した。物の製作時間に比べて解体時間のいかに短いことかと少し考えさせられたことを思い出す。

1977年には線画（ワイヤフレーム）で、1978年にはカラー（ラスタスキャン）で花の周りを舞う蝶のリアルタイムアニメーションが稼働した¹⁾。

図-2、図-3が「花と蝶」のリアルタイムアニメーション



図-1 QA-1概観

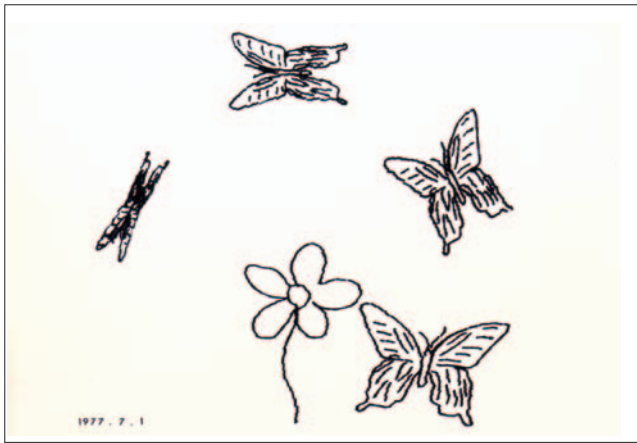


図-2 アニメーション「花と蝶」(ワイヤフレーム)

ン写真である。Gordon Bell氏が来室された時にデモを行ったが、図-2の中央の花も少し回転していた。花の中に虫がいるのですよとジョークを言ったら、Bell氏が大笑いしてくれたことを思い出す。

QA-1のようなアーキテクチャを採用した商用コンピュータは、1975年にFloating Point Systems社からAP-120Bという名前で発売された。浮動小数点演算装置2台、整数演算器1台を有するマシンで命令長は64ビット、マシンサイクル167nsecであった。QA-1は実にパイオニア的なコンピュータだったのである。

QA-1でCGや高級言語計算機などのさまざまな応用プログラムを開発してきたので、これらの性能評価を集約して、2号機を作ろうということになった。1979年のことである。昼飯に出かける時間が惜しくて、近くの玉蘭というレストランからオムライスの大盛を注文してよく食べた思い出がある。1983年ストックホルムで開催されたISCA (Int Symp on Computer Architecture) での発表時にはまだ稼働しておらず、完成もしていないのに出張・発表したことを萩原教授から厳しく叱られた。

QA-2は256ビット長の μ 命令を採用し、TTLやECL約23,000個のMSIやSSIで実装された。

図-4にQA-2の概観を示す。畳より大きな筐体が11台あり、その各々の底面と上面にファンを着け、冷却ファンをボンドでIC面に貼り付けて冷却した。ファンの音は廊下まで鳴り響いていた。最初に入ってきた修士学生が修了時に論理設計を完了し、次に入ってきた学生がワイヤラッピング実装し、次に入ってきた学生がデバッグし、システムを完成させた。語るも涙の開発であり、小生も最後の100日間は朝から晩までデバッグを行った。その時今日のように髪が白くなった。図-5に示すように、アーキテクチャ的にはQA-1より大幅に洗

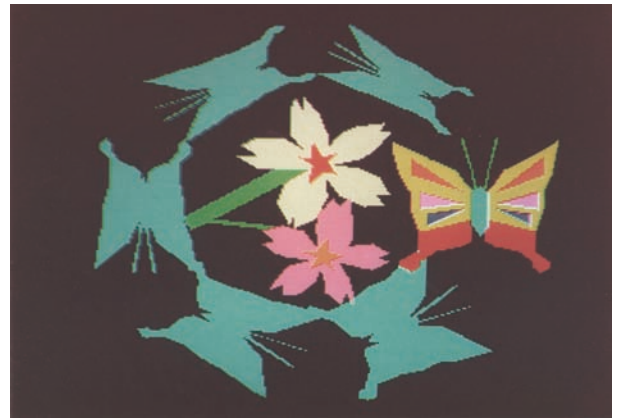
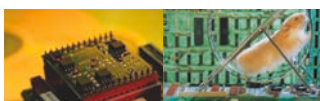


図-3 アニメーション「花と蝶」(ラスタスキャン)

練されており、6KB大容量レジスタ、同一 μ 命令中にデータ依存のある操作を指定できるALUチェイン機能、If F(X0,X1,...,X7) Then JumpFunc1 Else JumpFunc2のような構造的な分岐構造などに特徴があった。1983年暮れには稼働し、3次元CG、Prolog処理系などへの応用を行った²⁾。

ある学部学生が2月の卒業論文提出間際の頃、評価データを収集しているとき、半田屑がボードの電源供給バスとアース間に落ちてショートし、200Aくらいの電流が流れ、ボード1枚が焼け焦げた事故があった。それをある修士学生が自身の修士論文作成でそれどころでない時に修復した。美談であった。

VLIW方式が花咲くこの頃

1980年代前半よりFisherのMultiflow、RauのCydra5などの商用VLIWコンピュータが出現したが、ビジネス的には成功しなかった。1980年代に入るとRISC全盛となり、また1990年代はスーパスカラ方式が世界のマイクロプロセッサの主流となった。2000年代に入ってこの方式の限界が見え始め、Intel社のItaniumやTransmeta社のCrusoeなどの汎用マイクロプロセッサでVLIW方式が採用されるようになった(イメージプロセッサやスーパーコンピュータのスカラユニットにはそれ以前よりVLIW方式が採用されていた)。我々が25年前に開始したプロジェクトがやっと商用化されつつあるのを見て、感無量であり、いま若手に25年後に花咲く面白い研究を期待している³⁾。

世界に「知られる」コンピュータ開発に向けて

QAシリーズの研究は1974から約10年をかけて行った。下記のように多数の方々が参画した(ある人は授業料を払って毎日ワイヤラッピング実装を行った)一大ブ



図-4 QA-2概観

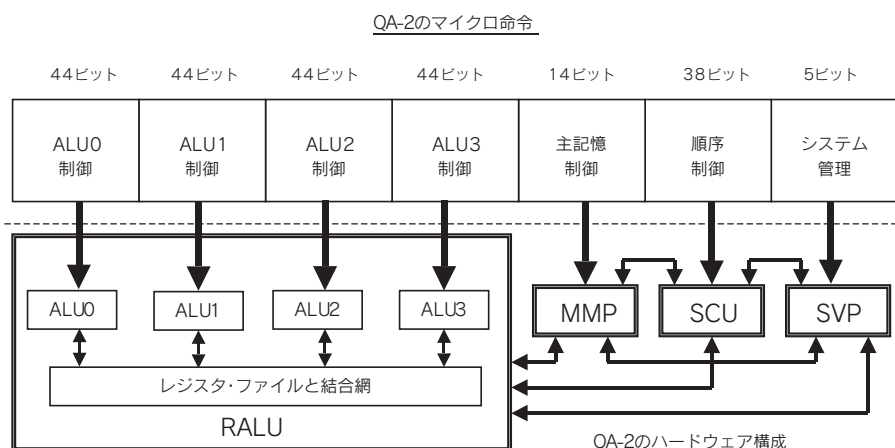


図-5 QA-2のシステム構成

プロジェクトであった。論文の数は電子通信学会論文誌8件、情報処理学会論文誌5件、国際会議5件、英文ジャーナル1件と費やした年数と人数の割には少ないが、実に有能な人材が多数輩出している。人はやはり大きなプロジェクトの中で育つし、その時のリーダーの前向きな姿勢が重要であると思わざるを得ない。

VLIW (Very Long Instruction Word) はエール大学の J.Fisher が1983年の ISCA で命名した (QA-2 の発表と同一セッションで!)。我々は「低レベル並列処理計算機 (Computer with Low-level Parallelism)」と名付け、「低級なコンピュータ」だね、と揶揄された。Fisher が命令長の長いことを明確な形でネーミングしたことは、新しい概念形成を明確に示した点で特記に値する。我々は面白い変わった計算機 (水平型 μ 命令の徹底した汎用化) を開発したが、それが今日からみると命令レベル並列処理における「コンパイラ指向」であり、現在のスーパースカラのように「ハードウェア指向」のものと比べて軽く、高速化可能である、省電力化可能である、などという発想や感覚はなかったのである。仮想制御記憶を採用し、 μP を主記憶装置にも置けるようにしながら、 μP を機械命令プログラムと見なせなかった点、コンパイラの研究をしなかった点もアーキテクチャ上の飛躍

を達成する上で致命的であった。概念を明確にして自己主張しなかったのが Fisher らに比べて少ししか「知らなかった」理由である⁴⁾。

本研究に参加した諸君は以下のとおり。

QA-1: 小柳滋, 柴山潔, 石田亨, 山崎勝弘, 宮脇保裕, 北村俊明, 十山圭介, 二村慈昭, 新実治男, 水谷哲夫, 今井慈郎, 中田登志之, 杉村領一

QA-2: 柴山潔, 北村俊明, 山下博之, 栗山和則, 中島浩, 中田登志之, 釜田栄樹, 藤井誠, 河村武司, 村上和彰, 八田昌弘, 深見圭介

参考文献

- 1) 富田, 柴山, 小柳, 萩原: マイクロプログラム制御による低レベル並列処理コンピュータ, 日経エレクトロニクス, pp.116-144 (1979年4月16日号)。
- 2) 北村, 中田, 柴山, 富田, 萩原: ユニバーサルホスト計算機QA-2の低レベル並列処理方式, 情報処理学会論文誌, Vol.27, No.4, pp.445-453 (Apr. 1986)。
- 3) 富田眞治: コンピュータアーキテクチャ, 第2版, 丸善 (2000)。
- 4) Ebciglu, K.: Some Design Ideas for a VLIW Architecture for Sequential-Natured Software, in Parallel Processing, M.Consnard Ed, North Holland (1988)。

(平成13年9月20日受付)



