

1. 日本のマイクロプロセッサ技術

Microprocessor Technologies in Japan by Ken SAKAMURA (The University of Tokyo) .

坂村 健¹

¹ 東京大学

1. はじめに

マイクロプロセッサは米国で1971年に生まれたが誕生当時から日本とは関わりが深く¹⁾ 我が国のメーカーもすぐ参入して数多くのマイクロプロセッサを開発ならびに生産してきた。だが現在に至るまで主導権を握っているのは米国勢である。日本のメーカーも技術的には決して米国勢に遅れていたわけではなく、新しい技術にも挑戦してきた。そこでここでは日本のマイクロプロセッサ技術の位置づけを見るため、利用される市場も含め1. パーソナルコンピュータ (PC) /ワークステーション (WS) 向け汎用マイクロプロセッサ, 2. 組み込みシステム向けマイクロコントローラ, 3. その他, デジタル信号プロセッサ (DSP) やメディアプロセッサなどの3つに分けて論じていこう。

筆者は1987年からIEEE MICRO誌でゲストエディタを8回務め、日本のマイクロプロセッサやソフトウェア技術を米国の読者に紹介してきた^{2) ~8)}。掲載された論文は各時点で米国に紹介するに足る水準以上の技術あるいはユニークな技術であるという間接的な指標になると思うのでマイクロプロセッサLSI関係のみを表-1に示す。

2. PC/WS向けのプロセッサ

PC/WS向けのプロセッサとしては汎用のマイクロプロセッサが使われている。特長としてより高い性能や拡張性を重視し広いアドレス空間を目指す。結論からいえば日本はこの分野は得意でない。マイクロプロセッサ自体は4ビットマイクロプロセッサi4004 (Intel, 1971) に代表される組み込み用から生まれたが、汎用マイクロプロセッサは歴史的にはその時点におけるより大型のコンピュータをLSI化しようとする動きがきっかけとなった。1970年代には当時広く使われていた16ビットミニコンピュータまたは類似のCPUをLSI化することが目標の1つだった。我が国のメーカーは計算機部門と半導体部門のどちらも持っていたがマイクロプロセッサ事業をどちらが担当するか必ずしも明確でなかった。実はこれが後で悔いを残すことになるのだが... 国産16ビットマイクロプロセッサとして1975年に μ COM16 (NEC) やL-16A (パナファコム、

現PFU) が出荷されている⁹⁾。米国と比べても意欲的であった。

一方、米国の半導体メーカーは専業メーカーが多かったため、コンピュータメーカーから命令セットのライセンスを受けるよりも独自命令セットを持つ汎用16ビットマイクロプロセッサを1970年代後半に市場に送り出した。その命令セットはミニコンピュータとすでに普及していた8ビットマイクロプロセッサの影響を受けていた。8086 (Intel, 1978年), Z8000 (Zilog, 1978年), 68000 (Motorola, 1979年) が典型的である。その後、我が国のメーカーはマイクロプロセッサ事業を半導体部門が担当するようになっていたこともあり、どのメーカーも新たに独自プロセッサを出すよりも米国製プロセッサのライセンスを取得する道を選択した。

1980年代に入ると32ビットマイクロプロセッサが現れ始める。メモリ管理ユニットを内蔵し仮想記憶のサポートも始まり、以後マイクロプロセッサが組み込み用でない汎用のコンピュータを構成する要素となった。一方マイクロプロセッサを搭載するプラットフォームは1970年代後半にパーソナルコンピュータが現れたが、1981年発売のIBM PCが16ビットマイクロプロセッサ8088 (Intel) を採用したことが現在まで影響している。1980年代になるとワークステーションが現れ始める。32ビットマイクロプロセッサは16ビットマイクロプロセッサを拡張したX86 (IA-32, Intel) および68K (Motorola) が主流になった。両者とも主要プラットフォームに採用されたためであるがすべて米国を中心とした動きである。このころ米国の半導体メーカーは新規にマイクロプロセッサのライセンスを他メーカーに供与するのを控えるようになっており、我が国のメーカーは方向性を模索しており、独自プロセッサの開発につながっていく。

一方、1980年代半ばからはシンプルな命令セットを持ったRISC (Reduced Instruction Set Computer) アーキテクチャのマイクロプロセッサが現れている。RISC陣営は従来のアーキテクチャをCISC (Complex Instruction Set Computer) と称し、RISCはCISCより飛躍的に高性能だとして、主にWSを構成するプロセッサとして市場に投入された。しかしながら現在、PC/WS市場はIBM PC系のパーソナルコンピュータが

表-1 IEEE MICRO誌に掲載された日本のプロセッサ

年	プロセッサ	開発元	注釈
1988	GmICRO/200 V60/V70 TX1	日立 NEC 東芝	32ビット汎用CISC 32ビット汎用CISC 32ビット組込み用CISC
1989	TRON FPU データ駆動プロセッサ	日立 三菱 シャープ 大阪大学	浮動小数点コプロセッサ DDMPの先祖
1990	並列コンピュータ ADENA用要素プロセッサ ジョセフソンプロセッサ V80	松下	
		日立	4ビット/250MIPS
		NEC	32ビット汎用CISC
1991	GmICRO/100	三菱	32ビット組込み用CISC
1993	GmICRO/500 μVP ファジー推論プロセッサ	日立 富士通	32ビット汎用CISC 64ビットベクトルコプロセッサ
		三菱	
1995	SH3 V830 3次元グラフィックプロセッサ	日立 NEC 富士通	32ビット組込み用CISC 32ビット組込み用CISC
1997	M32R/D	三菱	ロジックDRAM混載32ビットマイクロコントローラ

圧倒的であり、1996年には7000万台を超えている。Macintoshの出荷台数はその1/20程度、Unix Workstationはさらにその1/5である(表-2)。それゆえPC/WS用プロセッサはIBM PC系のパーソナルコンピュータに採用されているX86が圧倒的に使われており、RISCマイクロプロセッサはMacintoshやWS(Unixベース)に採用されているが、合わせてもX86系の足元にも及ばず、しかも需要が広がらない。汎用のRISCマイクロプロセッサは現在はMIPS(MIPS), SPARC(Sun), PowerPC(IBM/Motorola), Alpha(DEC), HP-PA(HP)が生き残っているが大量生産を前提とするマイクロプロセッサビジネスとしては決して成功とはいえない。次世代製品を出し続けるためには、先行投資が必要なため先行きは楽観できない^{*}。X86系も内部構造はRISCプロセッサの影響を受けているが命令セットレベルで見れば今世紀中はCISCプロセッサが市場の主流でありつづけよう。次章で述べる

^{*} 商用RISCプロセッサは当初は必要最小限の固定長命令でシンプルな設計を誇っていたが、性能競争に勝つために結局命令セットを増やしていった。最近ではマルチメディア用命令セットまでを含むRISCプロセッサが普通となった。また実現技術ではCPI(Cycle per Instruction)を下げるためにまずスーパースカラやスーパーパイプラインが採用され、さらに同時発行命令を増やすためにスーパースカラの多Way化、高度な分岐予測回路、プログラムの順序に依らず準備可能な命令から実行するアウトオブオーダー実行、分岐前に命令実行を始めてしまう投機的実行など数々のテクニックを採用して高速化が行われた。だがX86も同様なテクニックを利用して高速化を図ってきたこと、ハードウェアを増強しても性能が向上しにくくなっているなどの理由で、1990年代後半からRISCの優位性を出しにくくなってきている。またIntelはさらなる高性能を狙ってVLIW(Very Long Instruction Word)系のIA-64系プロセッサを発売を予定しているため競争がやりにくくなりつつある。

表-2 PC/WS全世界出荷台数(1996年, 単位1000台)
(*1 Dataquest, *2 International Data Corp.)

	出荷台数	CPU
PC全体(*1)	70861	ほとんどがX86系
Macintosh(*1)	3696	PowerPC
Unix Workstation(*2)	721	SPARC, HP-PA, PowerPC, MIPS, Alphaなど

表-3 我が国で開発された独自プロセッサと同時期の米国製プロセッサ

	GmICRO500	初代Pentium
出荷年	1993	同左
アーキテクチャ	2wayスーパースカラ	同左
パイプライン	5ステージ	同左
命令セット	TRON	IA-32
バス幅	Addr32bit/Data64bit	同左
クロック	66MHz	同左
MIPS	130	112
素子数	165万	310万
キャッシュ	I 8KB/D 8KB	同左
テクノロジー	CMOS 0.6μm	Bi-CMOS 0.8μm
チップサイズ	176mm ²	294mm ²

ようにRISCプロセッサは1990年代後半から組込み用途に活路を見だしつつある。

ところで我が国のプロセッサでPC/WS向けを狙ったプロセッサとしては、1980年代後半の独自アーキテクチャの32ビットマイクロプロセッサがまず挙げられる。NECのV60/70/80およびTRONアーキテクチャのGmICRO300(富士通), GmICRO500(日立)などである。どれもいわゆる32ビットCISCプロセッサである。当時主流の米国の32ビットCISCプロセッサと比較しても採用している技術ならびに性能は遜色ない(表-3)。しかし採用するPC/WSが少ないまたはまったくないため大きな市場にはならなかった。これは重要な理由である。米国でもアーキテクチャは優れていても適切なプラットフォームを持ち得なかったためにビジネスにならなかったチップは多い。このクラスのチップはPC/WSを狙っているためたとえば組込み応用に利用すると性能価格比が悪くなってしまふ。

ここでは我々の経験からTRONアーキテクチャを論ずる。TRONプロジェクトの誕生は1980年にまでさかのぼる。マイクロコンピュータ応用技術委員会が(社)日本電子工業振興協会の中に組織され、ここで将来のリアルタイムオペレーティングシステムとマイクロプロセッサに関する調査研究が行われた。1983年に実時間性の追求と仕様の公開性を基本とする、新しいリアルタイムオペレーティングシステム標準化の必要性について提言がなされた。これが1984年にTRONプロジェクトの誕生につながり、さらに1986年にはトロン協会が設立され、高性能リアルタイム・オペレーティン

グシステムの仕様と、これらのオペレーティングシステムが実行されるエンジンとしてのマイクロプロセッサ仕様設計された。TRON仕様に基づいた最初のマイクロプロセッサチップが1988年に発表され、以降PC/WS用ならびに組み込み用に8種類以上のTRON仕様チップが開発されてきた^{※2}。TRON仕様チップの特長については、文献10)を参照していただきたい。なおPC/WS用としてはプラットフォームにBTRON OS搭載パーソナルコンピュータを当初から想定していた。米国商務省との貿易摩擦に巻き込まれなければ各社がTRON仕様チップが搭載されたパーソナルコンピュータを市場に投入する予定であった。

まったく新しいマイクロプロセッサの開発は自動車の新モデルの開発に似ている。開発には長期間かかるため数年後の社会の需要をあて込んで不確定要素が多いうちに開発を始めなければならない。新しいアイデアを出しても、それが性能にどれくらい貢献するか実証するのはやさしくない。新しいコンピュータのシミュレータを作成したとしても、将来の典型的アプリケーションを知るのは難しい。そこでアーキテクトが一切の責任を持ちさまざまな要素を勘案して命令セットを決定する。すべてをアーキテクトが独断で決めてしまえばよいのだが、TRONアーキテクチャの場合は多くのメーカーが実装するため各メーカーの意見を取り入れた。そのため必ずしも私が当初意図したようにはならなかった。たとえば基本命令として10進命令は必要ないと思っても参加メーカーが利用する上で強い需要があるなら入れなければならない。各社の要求を満たすため仕様がどんどん膨らみ、製品が現れるまで時間が予定よりかかったことが市場を獲得できなかった原因の1つとなった。

TRON仕様チップの開発過程で新たに得られた成果の例を示す。

- 32ビットプロセッサから64ビットプロセッサへの移行が容易であることを特長の1つとし、64ビットプロセッサはアドレスバス、データバス、演算器が64ビットであるだけでなく、アドレス空間も64ビットであることが必要と定義した¹¹⁾。当時の雰囲気ではマイクロプロセッサで64ビットアドレス空間はほとんどともに受けとられなかったが現在のマルチメディア主導の世界を見ると考え方はかなり先進的であったと自負している。なお64ビットプロセッサは仕様は作られたが実現されなかった。
- 複数のメーカーが命令セットの共通なマイクロプロセ

^{※2} 米国のあるマイクロプロセッサメーカーは「TRON仕様マイクロプロセッサが発表されたときはかなり脅威に思った」と当事者から聞いたことがある。アーキテクチャはまともであり、日本のメーカーはCPUに次いで各社連携して周辺チップをたちまちのうちに充実させると考えていたそうである。その後そうはならなかったのが安心したという。アーキテクチャの成功は必ずしも主プロセッサにあらず周辺チップ群の充実にあるということを米国メーカーは経験からよく分かっていたのである。

ッサを発売する場合、互換チップを別にすれば一般にはある組織が開発したチップを他企業にライセンスするのが一般的であった。トロン仕様のマイクロプロセッサチップは共通仕様に基づき、多数の半導体メーカーが独自に設計し、開発を行った。これらのチップがすべて互換性を有していることを検証することが新たに必須となり、そのための互換性検定スイートが開発された¹⁰⁾。これもコンピュータの歴史上かつてなかった完全オープンアーキテクチャの実験であり、うまくいけばユーザに選択の幅を大きく与えることになった。

結果的には、1980年代半ばに計画されたオリジナル32ビットマイクロプロセッサは、日本のメーカーにとってはオリジナル高性能プロセッサを開発する人材養成の役目を果たし、それが1990年代の各社の組み込み用32ビットRISCプロセッサ開発に活かされていった¹²⁾、^{※3}。

1990年代になってからはPC/WS用に関しては日本の独自マイクロプロセッサであまり見るべきものはないようである。米国で1980年代後半から1990年代前半に盛んであった汎用の独自アーキテクチャRISCプロセッサ開発競争には加わらず、もっぱら米国メーカーが開発したアーキテクチャ/マスクパターンのライセンス生産となった。

さて、もう1つの流れとしてX86互換プロセッサがある。命令セットは独自ではないが互換性を保ちながら性能を向上させるのにも高い技術が必要となる。Intelは一時を除いて基本的にX86のライセンスをしておらず他社が互換プロセッサを生産しようとする著作権や特許の侵害が問題になる。NECは1984年に8086と上位互換性のあるV20/30/40/50シリーズを発表したがIntelを相手にした裁判が1989年まで長引いた。勝訴に終わったものの係争を恐れてかそれ以降国産大手半導体メーカーはX86互換CPU市場は大きいにも関わらず参入しなかった。ただi4004の開発メンバーであった嶋正利氏の設立したブイ・エム・テクノロジー(現アスキー・ブイ・エム)は1988年に独自命令セットとX86系の命令セットをサポートしたVM8600を製品化、その後も下位のX86互換チップを出し続けている。一方、米国のX86互換プロセッサメーカーは現在もIntelの主力チップと性能価格面で真っ向から競う上位マイクロプロセッサを市場に送り続けている。

3. 組み込みシステム向けのプロセッサ

マイクロプロセッサの大きな市場としてもう1つの大きなマーケットが組み込み用途である。日本には実質的に軍事マーケットはなく、それが民生機器および産業機器重視の開発姿勢を生み、それを狙った組み込み用マイクロプロセッサの開発はマイクロプロセッサが現れたときから非常に盛んであった。組み込み用マイクロ

^{※3} 本特集で取り上げられているSHとM32R/DはTRON仕様のマイクロプロセッサに関わった人々が手がけた。

表-4 (a) 世界市場マイクロコントローラ出荷額
(単位100万ドル, 出典: In-Stat Inc.)

順位		企業	売上げ (100万ドル)	
1995	1994		1995	1994
1	1	Motorola	\$ 1,781	\$ 1,511
2	2	NEC	1,421	1,208
3	4	三菱	945	708
4	3	日立	899	782
5	5	Intel	835	605
6	6	TI	807	534
7	8	Philips	524	345
8	7	松下	500	413
9	10	Lucent (AT&T)	492	275
10	9	東芝	400	328

(b) 世界市場マイクロプロセッサ出荷額
(単位100万ドル, 出典: In-Stat Inc.)

順位		企業	売上げ (100万ドル)	
1995	1994		1995	1994
1	1	Intel	\$ 10,800	\$ 8,036
2	3	AMD	881	992
3	2	Motorola	781	827
4	11	IBM	468	297
5	6	TI	219	202
6	4	Cyrix	210	240
7	5	Hitachi	188	66
8	7	NEC	100	82
9	8	LSI Logic	58	51
10	10	IDT	45	25

プロセッサはしばしばマイクロコントローラと呼ばれるが、1チップの中にCPUに加えて少量のRAM, ROM/PROM/EEPROM, 入出力ポート(シリアル, パラレル), タイマ, 割込みコントローラなどを含み、ほとんどそれだけで組み込みコンピュータの役目を果たすことができるプロセッサを指す。組み込み応用の最終製品はコンピュータでない。したがって組み込み向けは過去からのバイナリ互換性は必ずしも必要ない、また多くのアプリケーションソフトウェアをそろえる必要がないなどの理由から顧客が気に入れば独自アーキテクチャでも採用される。また絶対的な性能よりも価格性能比の高いことが重要である。よってPC/WS用よりも参入が容易であるためさまざまな製品が開発される。ただコスト要求は非常に厳しく下は数十円からハイエンドでも高々数千円なのでPC/WS用に比べて利益は少なく大量販売が前提となっている。また市場ではまだ4, 8ビット製品が大半を占めている¹³⁾。日本のメーカーはマイクロコントローラ(MCU)には強く世界市場売上げトップ10社(In-Stat Inc. 1995)の中に5社、トップ5の中に3社が入っている(表-4(a))。我が国のメーカーは下位のマイクロコントローラに非常に

表-5 32ビット組み込み用マイクロプロセッサ出荷数
(単位100万個, 出典: 1996 Micro Design Resources)

機種	メーカー	出荷数 (100万個)	
680X0	Motorola	35.4	CISC系
683XX	Motorola	18.2	
MIPS	MIPS	19.2	RISC系
SuperH	日立	18.3	
X86	Intel	8.0	
i960	Intel	6.2	
ARM	ARM	4.2	
29K	AMD	2.1	
Coldfire	Motorola	1.0	
SPARC	Sun	0.9	
PowerPC	IBM	0.5	

強く4, 8, 16ビット製品では独自製品も多く、搭載しているメモリやI/O, タイマなどにより実に多数の品種を用意している。一方マイクロプロセッサは世界市場売上げトップ10社(In-Stat Inc. 1995)の中に2社で、トップ5社の中には1社も入っていない(表-4(b))。

最近では32ビット組み込みRISCマイクロプロセッサが注目されており、情報家電あるいはデジタル家電やインターネット家電と称される計算量が4, 8ビット組み込みプロセッサに比べて甚だしく多い用途を想定している。具体的には家庭用32ビットゲーム機、カーナビゲーションシステム、携帯情報端末、デジタルカメラなどを狙っている。それぞれが一応の大きさのマーケットになると予想される。32ビット家庭用ゲーム機は年間数百万台出荷されているので組み込みMPUの市場としても大きい。組み込み用32ビットマイクロプロセッサの中でも我が国から生まれたプロセッサはRISCアーキテクチャをとるが組み込み向きにプログラムができるだけ小さくなるようにオブジェクトコード効率を重視している¹⁴⁾。代表的なのはNEC V800シリーズおよび日立SHシリーズで両者とも1992年に発表された。これらはRISC本来の定義に反して、「ロードストア方式のレジスタマシンではあるが命令語長が32ビット固定でなく16ビット固定、または16/32ビットの可変長」というアーキテクチャを採用している。そのためCISC的RISCといわれたり米国ではミニRISCと称する。海外では独Hyperstoneも似たアーキテクチャであるが、コード効率にうるさい我が国から生まれた動向といってもよいだろう。これら組み込み用32ビットミニRISCは性能10~100MIPS以上。マルチメディア応用をねらって乗算器やDSP機能、3次元グラフィック機能を内蔵した機種がある。国産では他に三菱M16や

¹⁴⁾ TRON仕様チップにおいて、RISCを採用しなかった最大の理由はオブジェクトコード効率である。PC/WS用だけでなく組み込み用にも使うためにプログラムサイズを小さくすることが強く要求された。表-5を見れば分かるように組み込み32ビットプロセッサでもいまだにCISCの680X0/683XXが使用実績トップである。

表-6 プログラマブルDSP世界市場
(金額シェア, 出典: 1996 Forward Concepts)

	1996 (est) (%)	1995 (%)
1 Texas Instruments	44.7	44.1
2 Lucent Technology	29.4	28.8
3 Analog Devices	11.4	7.9
4 Motorola	7.9	12.0
その他	6.2	7.04

M32Rシリーズ, 富士通FR20などがある。

■ SH

本特集で取り上げるSHはオリジナルアーキテクチャのプロセッサで, 急速に立ち上がり32ビット組込みプロセッサとしては世界市場で1~2を争う(表-5) 数少ない例であろう。出荷台数の多い機器への採用を働きかけたのが効いており, たとえばSegaの32ビット家庭用ビデオゲーム機Saturnには日立のSH-2が各2個も採用されて市場が広がった。固定長16ビット命令というアーキテクチャは1992年に発表されて以来海外にも影響を与えたようで, 32ビット長固定命令のみであったARMがThumb (1995), MIPSがMIPS-16 (1996) という16ビット長の圧縮命令を定義している。Motorolaも16ビット固定長命令の32ビットRISCコアであるM.CORE (1997) を提供するようになった。

■ M32R/D

コンピュータシステムの性能をさらに向上させるためにはDRAMとプロセッサとのインターフェースがネックとなっており, LSIのピン数も数百とこれ以上増やすのも限界に近くなっている。そこで信号はチップ外に出るから遅延が大きくなるのであり, 集積度に余裕も出てきたのでDRAMとロジックを一緒にすればよいというロジック/メモリ混載の議論がここ数年高まっている。DRAMとロジックを1チップに組み合わせることにより, 広帯域幅, 低遅延, 低消費電力などが期待できる。研究レベルでもUCBのIntelligent RAMや我が国でも高性能ロジック/メモリ/通信を混載したLSIの開発のためにPPRAMコンソーシアムが産学協同プロジェクトとして進められている。ただロジックLSIとメモリLSIは製造プロセスが異なるので, 混載にどれくらい効果があるのか疑問の声も出てきている。その効果を実証する例として1~2MB程度の小容量のDRAMを搭載しCPUと128ビットバスで結んだ組込み用マイクロプロセッサM32R/Dがすでに我が国から商品化されており, 海外メーカーも興味を持っているのは心強い。

4. その他のプロセッサ

■ DSPとメディアプロセッサ

DSP (Digital Signal Processor) は信号処理専用のプロセッサで, 乗算器を内蔵して積和演算が高速に行

える。1979年にIntelが発表した2920が最初の製品とされているが, 16ビット固定小数点演算の第一世代のDSP LSIは1980年代になり製品が揃い, 日本の各社も参入した。その後, 浮動小数点演算, アドレス空間の拡大, マシンサイクルの高速化, 内蔵メモリ増大などの改良が加えられた。ただ価格が下がらなかったため大量の利用が始まったのは1990年代からである。1990年代には消費電力ならびに電源電圧の低減, ASICコア化も進みハードディスクや携帯電話, モデムなど出荷量が多い商品に欠かせない部品となった。日本のメーカーは現在でも製品は多数出しているが世界市場売上上位4社 (1996年 Forward Concepts) の中には入っていない(表-6)。上位の会社は半導体ではDSPに特化している会社が多く上位機種から下位機種まで品揃えが幅広く応用向けにカスタム化した製品も用意している。コスト要求が厳しいためか, 競争が激しいためか我が国のメーカーは単体のDSPに関しては海外の専門メーカーに比べて影が薄い。

メディアプロセッサは1990年代後半になり注目を集めた音声処理, グラフィックス処理, 動画処理などマルチメディア処理のための専用高速プロセッサ。DSPの性能と汎用マイクロプロセッサの使いやすさを備えており, 1つの命令で複数のデータを操作するSIMD (Single Instruction Multiple Data) アーキテクチャなど並列演算を積極的に行うことにより数GOPS (Giga Operation Per Second) の性能が得られ汎用マイクロプロセッサで処理するよりも1桁程度速い。国産も含め, 各社ともさまざまな製品を開発しているが今のところ並列度を確保しやすいVLIW型が多い¹⁴⁾。国産では富士通Multi Media Assist (MMA), 三菱D30V, 松下Media Core Processor, そしてデータ駆動型のシャープDDMPなどがある。

■ DDMP (Data Driven Media Processor)

データ駆動方式は非ノイマン方式アーキテクチャの代表として1970年代後半に多くの研究が行われた。1980年代になり研究レベルのLSI化が行われ, NECが1984年に発表した画像処理プロセッサImpppのように商品化された例もある。だが, ノイマン型に対する優位性がなかなか見いだせず, その後とぎれていた。DDMPは1980年代の研究を受け継いでデータ駆動方式をあきらめず製品化したことが特記されるべきだろう。VLIW型が多いメディアプロセッサにおいてデータ駆動型がどのような位置を占められるか注目される。

5. 総合評価

日本のマイクロプロセッサ技術を海外, 特に米国と比べるのは難しい。技術的なブレイクスルーをどれくらい成し遂げたか, それともあくまでもビジネスなのだからどれくらい売れていることで比較するのが

等々、視点を変えると評価が変わるからだ。一般的には個別の技術的要素より総合的に見て優れているから売上げにつながるケースが多い。

しかしあれこれいっても新しいマイクロプロセッサ開発の主力はやはり米国であり、すでに分かっているプロセッサアーキテクチャや実装にかけては日米とも差がないというのが結論であろうか。とにかくアーキテクチャに関しては個人差の方が大きい。未踏破でリスクな技術に関しては米国の企業家精神や我が道を行くといった態度がプラスに働いている¹⁵⁾。

結果として日本はPC/WS用の汎用マイクロプロセッサは不得意で、組み込み用マイクロプロセッサに秀でている。日本のメーカーが参入しなかった独自アーキテクチャの汎用RISCプロセッサは技術的には高性能コンピュータを構成するための要素として興味深いが

- 良質のコンパイラや開発ツールを調達するのが今もって難しいこと。
- プロセッサ間での競争が非常に厳しいこと。
- 汎用RISCプロセッサの市場がUnix WS市場以上に広まらないこと。

を考えるとビジネス的にはこの選択は間違っていないのだろう。ただ数々の高速化技法がこれから組み込み用マイクロプロセッサでも必要になってきており、スーパースカラの採用が本格化してきている。性能競争をうまく乗りきるアイデアが求められている。

またプロセッサを普及させるためには、プロセッサのアーキテクチャや実現技術のみならず、周辺チップの充実、開発環境の整備、主要なOSをサポートしているかなどさまざまな要因が関係してくる。もちろんドキュメントがどれくらい充実しているかも重要である。海外での普及を見込むならなおさらである。周辺チップが問われるのは日米間だけでなく、メーカー間にも起こる。1980年代初頭にはアーキテクチャ的に洗練されたMotorola 68KがIntel X86を制覇すると思われていたが、そうはならなかった理由の1つはIntelの方が周辺チップが充実していたからだ。逆にIntelにしてみれば、アーキテクチャの不利を周辺チップの充実で乗りきったのである。ある点が劣っていても総合的欠点にはならないことの証明である。米国勢は多くは半導体専門メーカーにも関わらず、1970年代から言語プロセッサや開発ツールの整備は充実していた。一方我が国では大型計算機やミニコンピュータ部門を持つ総合メーカーが手がけたにも関わらず、その総合力は必ずしも活かされなかった。マイクロプロセッサに総合力が重要であるという意識が当時はどこの国産メーカーにもまったくなかったのである。

6. おわりに

マイクロプロセッサの歴史を眺めると必ずしも技術、性能が優れた製品が普及するようにはなっていない。

い。日本の製品は特に劣っているとは考えにくい。しかし流行だから他社が手がけているからというような理由で手がけることが多く、自ら新たなマーケットを作り出す意欲は米国勢が圧倒的である。特に米国メーカーは新しい技術を導入する際もマーケットを常に意識する¹⁶⁾。

プロセッサの普及のためにはよいアプリケーションが必須である。またプラットフォームの選択も重要である。IBM PCへの採用がIntelのX86の成功を約束し、家庭用ゲームマシンの売上げが搭載したプロセッサの成功を左右している。技術だけを見ていると成功の多くが非技術的要因に依存することに気づかない。ところで1995年のIEEE MICROの日本のマイクロプロセッサ特集で筆者は以下のように書いた¹⁶⁾。「ところで後世から振り返るとコンピュータに関して言えば今ほど政治的、経済的な問題が技術に影響を与えた時代はないのではないだろうか。1960年代から1980年代初めまでメインフレームの時代には当初はメーカーが違えばアーキテクチャが違っていた。IBM360/370の互換機メーカーも生まれたが少数派だった。DECのPDP11シリーズやVAXシリーズに代表されるミニコンピュータの時代もアーキテクチャは百花繚乱であった。そしてマイクロプロセッサが誕生した1970年代はさまざまなアーキテクチャがあった。だが、1981年のIBM PCを契機として今ではパソコン用マイクロプロセッサではアーキテクチャ論争は終わっているに等しい。ワークステーションでも生き残るアーキテクチャは1つか2つだろう。これらのアーキテクチャはすべて米国製であり、世界の政治の縮図のように覇権を行使できるスーパーグローバルパワーは米国のみである。日本はリーダーには成り得ないし、なろうという気もないのである。」

我が国にはマイクロプロセッサ開発の潜在的能力はあるが、それを活かすためには技術力はもちろんマーケティングや政治的交渉力などを含めた総合的なパワーがものをいうのである。ちょうど執筆中に日本のマイクロプロセッサメーカーが組み込み用上位プロセッサのライセンスを欧米のメーカーにライセンスを供与したり、次世代機種を共同開発をするというニュースが伝えられた。上の予想が運よく外れてくれることを祈っている。

参考文献

- 1) Faggin, F., Hoff Jr., M. E., Mazor, S. and Shima, M.: The History of the 4004, IEEE Micro, Vol.16, No.6 (Dec. 1996).
- 2) Special Issue on The 32-bit Microprocessor in Japan, IEEE MICRO, Vol.8, No.2 (Apr. 1988).
- 3) Special Far East Issue, IEEE MICRO, Vol.9, No.3 (June 1989).
- 4) Special Issue on Innovative Technology in the Far East,

¹⁶⁾ 一昔前は毎年最新のVLSIの成果を競い合うISSCC (International Solid-State Circuit Conference) において日本勢はチャンピオンデュータを誇り、一方米国勢はただちに市場へ投入できる完成度を求めている。いまでもその傾向がある。

IEEE MICRO, Vol.10, No.2 (Apr. 1990).

- 5) Special Far East Issue, IEEE MICRO, Vol.11, No.4 (Aug. 1991).
- 6) Special East Asia Issue, IEEE MICRO, Vol.13, No.5 (Oct. 1993).
- 7) Special Issue on Microelectronics in Japan, IEEE MICRO, Vol.15, No.6 (Dec. 1995).
- 8) Special Issue on Advanced Memory Technology, IEEE MICRO, Vol.17, No.6 (Dec. 1997).
- 9) マイコンコンピュータ特集号, 情報処理, Vol.17, No.4 (Apr. 1976).
- 10) 森 昭助: 小特集: TRONプロジェクトの現状と展望: CHIPサブプロジェクトの現状と展望, 情報処理, Vol.36, No.10 (Oct. 1994).
- 11) Sakamura, K.: Architecture of the TRON VLSI CPU, IEEE MICRO, Vol.7, No.2 (Apr. 1987).
- 12) 伊藤元昭: 21世紀を拓くための人材と技術を育てた「TRON」プロジェクトが残したもの, 日経マイクロデバイス (Feb. 1997).
- 13) 中本幸一, 高田広章, 田丸喜一郎: 組込みシステム技術の現状と動向, 情報処理, Vol.38, No.10 (Oct. 1997).
- 14) 吉田豊彦: VLIW型メディアプロセッサ, 情報処理, Vol.38, No.6 (June 1997).
- 15) 嶋 正利: 次世代マイクロプロセッサ, 日本経済新聞社 (1995).
- 16) Sakamura, K.: Guest Editor's Introduction, IEEE MICRO, Vol.15, No.6 (Dec. 1995).

(平成9年12月15日受付)



坂村 健 (正会員)

東京大学総合研究博物館教授。専攻はコンピュータ・アーキテクチャ。1984年より、TRONのプロジェクト・リーダーとして新しい概念に基づくコンピュータ体系の構築に精力を注ぐ。さらに、最近はコンピュータ技術を駆使したデジタルミュージアムの構築を、東京大学総合研究博物館において手がける。