

## 解説

## 2. 並列処理マシン開発の現状



## 2. 並列処理マシン開発の現状†

高橋 義造††

## 1. はじめに

並列処理の研究分野は並列計算機の構成法，プロセッサ結合方式，プロセッサ要素，並列処理言語，並行プロセスの制御方法，問題の分割処理方法，並列計算機の各分野への応用などの多岐にわたる。そしてこれらの研究の結果を評価し，検証するためのテストベッドとして使用する目的で各所で並列処理マシンが開発されるようになった。それらの中にはすでに実用に供されているものもあり，また商用機として第三者向けに発売されているものもある。また最近では並列処理マシンを組み立てるための部品となるチップが開発され，利用できるようになっていく。本報告では国内および海外の並列処理マシンの開発の現状を紹介することとする。

まず第2章では取り上げる並列処理マシンの範囲について説明する。それに基づいて第3章では国内で開発されているものについて調査した結果を報告する。また第4章では主として米国ではあるが，外国での開発の様子を述べる。そして第5章ではこれらの調査に基づいて並列処理マシンの方式や，性能についての統計をとり，その傾向をさぐることにする。

## 2. 並列処理マシンの現状調査に当たって

並列処理マシンに関する研究発表は最近非常に増えており，またこれに関する国際会議もきわめて多いのでその開発の現状を漏らさず調査することは困難である。また発表されたものの中には単なる提案に止り，実際に製作する計画のない，いわゆるペーパーマシンが数多くある。実際のマシンを作るにはかなりの資金と時間を要するが，しかし実機を設計し製作する過程で得られる知見は貴重であり，また実機の上で問題を処

理してはじめて新しい課題が見いだされることなど，その効果は大きい。

今回の調査は次のような方針で行った。

(1) 現在実際に稼働しているか，あるいは実機を製作することを目標に研究されている並列処理マシンで，公開された論文に発表されたもの。

(2) 国内のものについてはできるだけ漏れなく網羅すること。

(3) 海外のものについては明らかに国内のものよりは多いので，網羅することは不可能であり，最近のいくつかのサーベイペーパーで取り上げられたニュース性のあるものに限ること。

実際に調査を行ってみると非常に多くの研究が広い分野にわたって行われているので，調べ落とししたものがかかなりあると思うがご容赦願いたい。

## 3. 我が国の並列処理マシン

我が国での並列処理の研究が始まったのはミニコンが現れ，またカーネギーメロン大学 (CMU) の C. mmp の発表に刺激された結果ではないかと思う。その後，マイクロプロセッサの時代になり，その値段がどんどん下がるにつれて大学や研究所での研究が一層盛んになった。通産省の大プロ「科学技術用高速計算システム」や「第5世代計算機」の一環として開発されているマシンにも多くの並列処理マシンがある。

過去に開発されたが現在はすでに使用されていないものは除くこととし，現在稼働している並列処理マシン，およびまだ完成していないがすでに開発に着手されており，そのことが学会の論文などに発表されている並列処理マシン 77 種類，延べ 84 システムを開発の年代順に並べたものを表-1 に示す。この表にはマシンの名称，所在，稼働開始の年，並列処理の方式と構成方式，使用されているプロセッサ要素，システムの性能，および代表的な応用分野を記した。またこれらのマシンに関する論文は参考文献の次の欄にマシン番

† Currently Developed Parallel Computers by Yoshizo TAKA-HASHI (Department of Information Science, Tokushima University).

†† 徳島大学工学部情報工学科

表-1 国内の並列処理マシン

No.	名称	所在	年次	処理方式, 構成方式	並列度	データ長	PE の構成	性能	代表的な応用分野
1	GMMCS	群馬大	54	データフロー, バス結合 SM	4	8	MC 6800+Am 9511	SORT(300)0.4秒	データフロー実験
2	PPA	北大	55	MIMD, メモリ結合リング	32	16	ミニコン+FAU	5 MFLOPS	連続系シミュレーション
3	KDSS-1	豊田工大		MIMD, MRPM 型 SM	7	16	東芝 $\mu$ -7	1.6 MFLOPS	離散系シミュレーション
4	MUNAP	宇都宮大		低レベル並列	4	16	Am 2903 $\times$ 4	FFT(1024)0.6秒	記号処理
5	M $\mu$ P	富山職訓	56	MIMD, バス結合 SM	4	8	i 8085	0.4 MIPS	組込み型マイコン
6	G. PSYCO	京大		SIMD, バス結合	8	16	TMS 9900	1.2 MIPS	画像表示
7	動画像処理システム	東大		MIMD, バス結合星型	4	8	i 8035	0.1 MIPS	動画像認識
8	DFNDR-1	群馬大		データフロー, バス結合 SM	4	8	MC 6809+Am 9511	0.13 MFLOPS	データフロー実験
9	EDDY	阪大		データフロー, 8-WAY	16	16	Z 8001 $\times$ 2	5 MIPS	リスト処理
10	PX-1	NTT 基礎研 東工大		格子結合 データフロー, 環状バス結合	32	8	Z 80+TDC 1008 J	20 MOPS	パターン認識
11	EDAC	東大	57	データフロー, バス結合星型	3	16	LSI 11/23	0.024 MFLOPS	データフロー実験
12	HYPHEN C-16	九大		MIMD, 二進木バス	16	8	Z80 A	4 MIPS	科学技術計算
13	PIPE	岩手大		SIMD, 格子結合	16	8	Am 2903 $\times$ 2	44 M $\mu$ OPS	画像処理
14	UNIP	広島大		MIMD, 線形結合+SM	32	8	Z 80 A	15 MOPS	非数値計算
15	DDDP	沖電気		データフロー, 環状バス	4	16	Am 2901 $\times$ 4	0.7 MIPS	科学技術計算
16	LINKS-1	阪大		MIMD, メモリ結合星型	65	16	Z 8001+iAPX 86/20	12 MIPS	画像表示
17	$\alpha$ -16	鳥取大		MIMD, マトリクスバス スイッチ結合 SM	16	8	i 8085 A+i 8231	FFT(1024)0.5秒	信号処理
18	AAP	NTT 厚木研		SIMD, 3次元格子	64K	1	専用 LSI	4 GOPS	信号処理
19	CORAL '83	徳島大	58	MIMD, チャンネル結合二進木	15	8	i 8085	3 MIPS	並列計算実験
20	HAL	日電		並列パイプライン, スイッチ 網結合	32	16	専用回路	0.6 億ゲート/秒	回路シミュレーション
21	PAX-128	筑波大		MIMD, メモリ結合トラス	128	8	MC 68B 00+ Am 9511	4 MFLOPS	連続体シミュレーション
22	muse-2	早大		MIMD, 巡回ネットワーク結合	6	8	Z 80 A	2 MIPS	科学技術計算
23	ADENA-I	京大		MIMD, FIFO 結合格子型	16	8	F 8	0.016 MFLOPS	偏微分方程式
24	QA-2	京大		低レベル並列, バス結合	4	32	ハードロジック	6 MFLOPS	画像処理
25	WAMUX	早大		MIMD, バス結合 SM	7	16	i 8086+i 8087	0.1 MFLOPS	シミュレーション
26	BCM 結合計算機	神戸大		MIMD, バス結合放送メモリ	8	16	i 8086+i 8087	0.4 MFLOPS	信号画像処理
27	関数型言語向計算機	豊橋技大		データフロー, バス結合	4	20	ハードロジック	tarai(8,4,0) 0.4秒	データフロー実験
28	PIE-I	東大		MIMD, 階層バス	1	16	MC 68000+ 専用回路	10 KLIPS	論理型プログラム
29	HIDIC-IP	日立	並列パイプライン	12	8	専用 LSI (ISP)	108 MOPS	画像処理	
30	SICOM	金沢工大	MIMD, メモリ結合完全結合	6	8	MC 6809	1.5 MIPS	電子交換機	
31	CAP	富士通	MIMD, FIFO 結合トラス	64	16	i 80186+i 8087	0.1 M pixel/秒	高速映像生成	
32	Wavefront 演算専用機	日立	シストリックアレイ	16	8	ハードロジック	5 MOPS	論理シミュレーション	
33	HAP (試験機)	NTT 情報研	MIMD, 階層 2次元格子	16	16	i 8086+i 8087	0.8 MFLOPS	科学技術計算	
34	TIP-1	日電	データフロー, リングバス	9	16	ハードロジック	10 MFLOPS	画像処理	
35	PAX-64 J	筑波大	MIMD, メモリ結合トラス	32	16	DCJ-11	3 MFLOPS	連続体シミュレーション	
36	株分けシミュレータ	富士通研	MIMD, SW 網+環状バス	16	16	MC 68010	0.5 KLIPS	AI	
37	神経回路網 シミュレータ	千葉大	MIMD, 環結合	3	16	MC 68000	1.5 MIPS	シミュレータ	
38	PIM-R	ICOT	MIMD, バス結合 SM	8	16	MC 68000	不明	Prolog マシン	
39	FX	富士通	並列パイプライン	20	6~8	専用 LSI	30 GOPS	信号処理	
40	SYNAPSE	慶大	MIMD, バス結合 SM	6	16	MC 68000	不明	Lisp マシン	
41	単一バス並列計算機	東北大	60	MIMD, バス結合クラスタ	8	8	Z 80 A	2 MIPS	科学技術計算
42	DFM (試験機)	NTT 基礎研		データフロー, バス結合クラスタ	8	43	ハードロジック	1 MOPS	リスト処理
43	MC-1	松下電器		MIMD, HDLC 回線結合星型	8	16	MC 68000+ 専用回路	96 MFLOPS	画像生成
44	PIM-D	ICOT		データフロー, バス結合クラスタ	8	32	Am 2901+専用回路	24 KLIPS	知識情報処理
45	NEBULA	徳島大		並列パイプライン	2	16	Am 2903 $\times$ 4	FFT(1024)11 ms	信号処理

No.	名 称	所 在	年次	処理方式, 構成方式	並列度	データ長	PE の 構 成	性 能	代表的な応用分野
46	(SM) <sup>2</sup> -II 1号機	慶大		MIMD, RSMM 結合	4	16	MC 68000	3 MIPS	疎行列計算
47	並列 Lisp マシン	東北大		MIMD, クロスバ- SW 結合	4	16	MC 68000	FIB(20) 4秒	AI
48	BC プロセッサレイ	岡山理大		シストリック, 放送バス線形	256	8	Z 8	2.8 MOPS	行列, 画像処理
49	DON	豊橋技大		MIMD, チャネル結合二重木	7	8	Z 80 A	評価中	組合せ問題
(38)	PIM-R	ICOT		前記	16	16	前記	不明	前記
50	MUGEN	東北大		MIMD, バス結合クラスタ	32	8	Z 80 A	12 MIPS	科学技術計算
51	流体シミュレータ	日立		MIMD, FIFO 結合格子	6	16	MC 68000+ NS 32081	0.25 MFLOPS	流体シミュレータ
52	EM-3	電総研		データフロー, ルータ網結合	16	16	MC 68000	10 MIPS	記号処理
53	EXPERTS	京大		2 レベル階層マルチプロセッサ	1x1	16	Am 2903+専用回路	5 M $\mu$ OPS	3次元動画表示
54	PIE-II	東大		MIMD, 階層バス結合	1	16	MC 68000+専用回路	評価中	論理型プログラム
55	(SM) <sup>2</sup> -II 2号機	慶大		前記	20	16	MC 68000+FFP	2 MFLOPS	前記
56	SIGMA-1	電総研		データフロー, クロスバ-スイッチ	4	32	専用 LSI	12 MFLOPS	科学技術計算
57	MiPAX シリーズ	三井造船		MIMD, メモリ結合トラス	8~64	16	DCJ-11+FPJ-11	4~32 MFLOPS	科学技術計算
58	自律分散 マニプレータ	東大		MIMD, 直列バス線形結合	14	16	i 8097	100 計算/秒	制御
(44)	PIM-D	ICOT	61	前記	16	32	前記	48 KLIPS	前記
59	CORAL 68 K	徳島大		MIMD, DMA 結合二進木	15	16	MC 68000	10 MIPS	整数大規模計算
60	GRACE	東大		並列パイプライン, スイッチ網	15	16	専用回路	ストリーム 3 MB/秒	関係データベース
61	LINKS-2	阪大		MIMD, 2次元バス結合	100	32	専用 LSI	500 MFLOPS	画像生成, CAD
62	AAP 2	NTT 厚木研		SIMD, 3次元格子	64K	1	専用 LSI	20 GOPS	画像処理, CAD
63	HYPHEN-II	九大		MIMD, 二進木バス	16	16	MC 68010	不明	科学技術計算
64	ORAGA	東大		MIMD, スイッチ網による 完全結合	3	16	MC 68000	2K メッセージ/ 秒	オブジェクト指向
65	HAP	NTT 情報研		前記	256	16	i 80186+i 8087	10 MFLOPS	前記
66	PARK	神戸大		MIMD, バス結合	4	16	MC 68000	不明	Prolog マシン
(53)	EXPERTS	京大		前記	2x2	16	前記	200 面/秒	前記
67	PIE-III	東大		前記	4	16	専用回路	200 KLIPS	前記
68	OSCAR	早大	62	MIMD, クラスタ	16	32	専用 LSI+FFPU	64 MFLOPS	
69	KPR	京大		MIMD, 二進木	4	40	専用回路	不明	Prolog マシン
70	GP <sup>2</sup>	豊田工大		MIM, MVM 結合	64	16	東芝 NEW $\mu$ -7	5 MFLOPS	汎用
71	$\beta$ -16	鳥取大		MIMD, マトリクスバス スイッチ結合	16	16	MC 68000+APU	1.2 MFLOPS	数値シミュレーション
(68)	OSCAR	早大		前記	64	32	前記	256 MFLPOS	前記
72	MAN-YO	日電		MIMD, ループ型多段結合	100	32	専用回路	50-500 ns/gate	論理 DA
(59)	CORAL 68 K	徳島大		前記	63	16	前記	37.5 MIPS	前記
(56)	SIGMA-1	電総研		前記	128	32	前記	384 MFLOPS	前記
73	DFM	NTT 基礎研	63	前記	63	32	専用 LSI	不明	前記
74	ADENA-II	京大		MIMD, FIFO 結合 3次元格子	100	不明	専用 LSI	5 GFLOPS	偏微分方程式
75	中期 PIM	ICOT		前記	100	不明	専用 LSI	数 MLIPS	知識情報処理
76	Proteus	早大		SIMD/MIMD, バス結合	未定	32	専用回路	7-9 M $\mu$ IPS	記号処理
77	EM-4	電総研	64	前記	1000	32	専用 LSI	1 GIPS	前記
(68)	OSCAR	早大		前記	128	32	前記	512 MFLOPS	前記

号をインデックスとして記載してある。なお、この表の中で同じマシン名が繰り返して出てくるのは、一挙に全システムを作らず、段階的に開発を進めて最終的に目標のマシンを完成させる計画のものである。

今回の調査でわかったことは、ほとんど全国の大学で並列処理の研究が行われているのではないかと思われるほどで、その内の大多数では実際にマシンが開発されていることである。やはり市販のマイクロプロセ

ッサを使ったものが一番多く、それも最初は Z 80 などの 8 ビット MPU や 16 ビットの i 8086 だったものが最近では MC 68000 に人気が集まっている。そして試作の段階から徐々に実用の段階に近づいてきているようである。

#### 4. 海外の並列処理マシン

海外の並列処理の研究の動向は最近の報告<sup>11-14)</sup>に詳

表-2 海外の並列処理マシン

No.	名 称	所 在	完 成	方 式	並列度	データ長	PE の 構 成	性 能	主な応用分野
1	Alice	Imperial C.	1986	reduction machine	16	32	transputer	150 KRPS	AI
2	Balance 8000	Sequent 社	1985	MIMD, SM, bus	2-12	32	NS 32032	1.4-8.4 MIPS	CAD, 画像処理
3	Butterfly	BBN 社	1985	MIMD, shuffle-network	128	16	MC 68000+ Am2901	不明	電子交換, AI
4	CAP	ITT	1985	SIMD, lattice	1024	1	専用 LSI	10 GFLOPS	専門家システム
5	Cedar	U. Illinois	1986	MIMD, SM, SW Net	32	16	MPU+FPU	20 MFLOPS	シミュレーション
	同上	同上	1990	同上	1024	不明	専用 LSI	10 GFLOPS	同上
6	CM*	CMU	1980	MIMD, SM, cluster-bus	50	16	LSI-11	6.8 MIPS	科学技術計算
7	CM-1	Think. Mach.	1986	SIMD, hypercube	64K	1	custom LSI	1000 MOPS	知識情報処理
8	Concert	MIT	1985	MIMD, cluster-ringfus	24	16	MC 68000	不明	汎用
9	Cosmic Cube	Caltech	1983	MIMD, MP, hypercube	64	16	i 8086+i 8087	10 MIPS	高エネルギー物理
10	Crystal	U. Wisconsin	1985	MIMD, token ring	20	32	VAX 11/750	不明	科学技術計算
11	Dado	Columbia U.	1985	SIMD/MIMD, binary tree	1023	8	i 8751	85 PRPS	専門家システム
12	DAP	ICL	1980	SIMD, highway-bus	4096	1	専用 LSI	27 MFLOPS	科学技術計算
13	Dragon	Xerox	1985	MIMD, bus	10	32	専用 LSI	15 MIPS	AI
14	FEM	NASA	1985	MIMD, MP, lattice	8	16	MPU+FPU	不明	FEM
15	GF 11	IBM YorkTwn	1986	SIMD, Benes Net	512	32	専用回路+Weitek	11.52 GFLOPS	量子論
16	HEP-1	Denelcor 社	1984	MIMD, SM, SW Net	16	64	専用回路	150 MIPS	科学技術計算
17	iPSC	Intel Corp.	1985	MIMD, MP, hypercube	32- 128	16	i 80286+i 80287	5 MFLOPS	科学技術計算
18	LAU	CERT, France	1980	Dataflow, SM, bus	32	8	i 8085+Am 2901	不明	数値計算
19	Manchester DFM	Manchester U.	1981	Dataflow, ring	20	37	専用回路	2 MIPS	データフロー マシン
20	MOSAIC	Caltech	1985	MIMD, MP, hypercube	1024	不明	専用 LSI	2.5 GIPS	
21	MPP	Goodyear	1983	SIMD, lattice	16K	1	専用 LSI	216 MFLOPS	画像処理
22	Multimax	Encore Inc.	1986	MIMD, SM, bus	2-20	32	NS 32032+ NS 32081	15 MIPS	科学技術計算, CAD
23	Non-Von	Columbia U.	1985	SIMD, binary tree	63	8	専用 LSI	903 PRPS	AI
24	NSC	Princeton U.	未定	MIMD, MP, lattice	128	32	MPU+pipeline	10 GFLOPS	Navier-Stokes 方程式
25	PASM	Purdue U.	1986	SIMD/MIMD, SM, $\rho$ net	16	16	MC 68010	10 MOPS	画像処理, 音声理解
	同上	同上	未定	同上	1024	16	MC 68020+ MC 68881	1.3 GOPS	同上
26	Pringle	U. Washing.	1984	MIMD, MP, bus	64	8	i 8031+i 8231	64 MIPS	
27	Remp	USC	未定	MIMD, SM, crossbar sw	不明	不明	pipelined processor	不明	
28	RP 3	IBM_Watson	未定	MIMD, SM, Banyan & $\rho$	64	32	RISC processor	100 MIPS	
29	S-1	Lawrence Livermore NL.	未定	MIMD, SM, crossbar sw	16	不明	pipelined processor	1500 MFLOPS	科学技術計算
30	TRAC	U. Texas	1985	MIMD, Banyan-Net.	4	不明	不明	不明	
31	Ultra Computer	NYU	1985	MIMD, SM, $\rho$ Net	64	16	MC 68000	不明	科学技術計算
	同上	同上	1990	同上	4096	16	同上	不明	同上
32	VFFP	Columbia U.	未定	SIMD, torus	256	16	i 80286+i 80287 +VP	4 GFLOPS	科論物理
33	Warp	CMU	1985	systolic array	10	32	ハードロジック	100 MFLOPS	科学技術計算

SM: shared memory, MP: message-passing, KRPS: kilo reduction per sec, PRPS: production rules per sec

しい。しかしこれらの中で取り上げられるものにはやはり米国のものが多い。ヨーロッパで開催される会議で発表される論文をみると実際にはもっと多くのマシンがヨーロッパで開発されているものと思われる。表-2にはこれらの中から33種類の並列処理マシンをアルファベット順にならべて紹介した。表-1と比較するとやはりMC 68000が多いこと、専用LSIがかなり使用されていること、数千台という大規模なマシンが開発されようとしていること、iPSCをはじめ、商

用機がかなりあること<sup>5)</sup>などの傾向がわかる。

米国では本格的な並列処理マシンの開発のために政府の援助がかなり強力に行われているようである<sup>6)</sup>。たとえばBBN社のButterflyや、Thinking Machines社のCM-1、コロンビア大学のDadoやNon-VonはDARPA(Defence Advanced Research Projects Agency)の援助を受けている。またカリフォルニア工大のCosmic Cube、イリノイ大学のCedar、テキサス大学のTRAC、MITのデータフローマシン

などは DOE (エネルギー省) と NSF (National Science Foundation) の両方からサポートされている。また NASA は MPP, FEM, NSC などの実用目的の並列処理マシンの開発を援助している。また民間企業も大学での開発を積極的に援助し、その技術を用いて自社で並列処理マシンの開発を行っているところがある。たとえば IBM はニューヨーク大学の Ultra Computer をもとに自社の研究に使う目的で RP 3 を開発しており、インテル社はカリフォルニア工大の Cosmic Cube をもとに iPSC を商品化し、販売している。

ヨーロッパでは ESPRIT プロジェクトの一部として AI 用の並列処理マシンの研究を行うためのワーキンググループがあり、大学と Phillips, AEG, BULL などの企業が参加してそれぞれ独自のマシンを開発しようとしている<sup>7)</sup>。英国の INMOS 社が並列処理マシンのプロセッサ要素として使うためのマイクロプロセッサ Transputer<sup>8)</sup> を開発したこともあって、これを使った並列処理マシンの開発が今後盛んになるものと思われる。

## 5. ま と め

第 3 章, 第 4 章に取り上げた各種の並列処理マシンについて方式や性能を調べ、分類してみた。もちろん今回の調査はすべての並列処理マシンを網羅したものではなく、また無作為に抽出したサンプルでもないから、これから引き出した結論は完全に正しいものということとはできないが、一応の傾向を読み取ることができるのではないかと思う。

### 5.1 応 用 分 野

表-1, 2 には主要な応用分野を一つだけ示したが、これらの並列処理マシンは一般に複数の応用分野を指している。これらの中から不明なものを除いて多いものから並べると次のようになる。

科学技術計算	33 台
人工知能	23 台
画像処理	12 台
シミュレーション	11 台
CAD	9 台
信号処理	7 台
コンピュータグラフィックス	6 台
データベース	5 台
その他	7 台

上記のうち科学技術計算はスーパー・コンピュータの

分野であり、またコンピュータグラフィックスも従来はスーパー・コンピュータで行われていたものであるが、精度よりも高速性が要求されるので並列処理マシンの方が有利な分野である。このように大多数の並列処理マシンはスーパー・コンピュータの応用分野を目指しているわけである。人工知能は従来のノイマン型計算機では不得意な分野であり、並列処理による各種の新しい計算機方式が模索されている最中である<sup>9)</sup>。また NSC, GF 11 などは特定の研究に専用を使用するために、実験装置を作るのと同じ目的で開発されたものである。なお画像処理の分野については非常に多くの専用マシンが開発されている。それらのほとんどは並列処理マシンであるが、これについては他に報告<sup>10)</sup>もあるので今回は調査を尽くさなかった。実際には上記の数字よりもずっと多いものと思われる。

### 5.2 開発の目的

これらの並列処理マシンがどのような目的で開発されたのか、また開発されようとしているのかを調べてみた。その結果は次のようになった。

- 1) テストベッドを作るため 89 台
- 2) 特定の問題専用に応用するため 14 台
- 3) 並列処理の研究環境を供給するため 7 台

テストベッドというのは新しい並列処理マシンの方式を検証するため、すなわち机上だけでは見逃されるかもしれない問題点を発見したり効率を実測するための装置である。これを用いてその方式のマシンに特有の OS やプログラムを開発することができる。次の目的のものは現実に当面する問題を処理するのに従来の計算機では性能が不十分であったり、経済的に引き合わないために、専用機として開発された実用機である。大阪大学の LINKS はトーヨーリンクス社によって商品化もされている。最後の目的のものは各種の問題の並列処理方式を研究するための道具として使うマシンで、いわゆる商用機である。Balance 8000, Butterfly, HEP-1, iPSC, Multimax, MiPAX などがこれに当たる。このうち iPSC はカリフォルニア工大の Cosmic Cube を、MiPAX は筑波大学の PAX をもとに商品化されたものである。

現在のところテストベッドが圧倒的に多いのは並列処理マシンの方式がまだ十分に確立していないためであるが、一方では商用機が出現してきたことは並列処理マシンが汎用計算機として使われる時代の近づいたことを示しているものと見ることができよう。

5.3 並列処理方式

これらの並列処理マシンをその並列処理方式によって大雑把に分類すると次のようになる。

MIMD 型	71 台
データフロー型	17 台
SIMD 型	14 台
並列パイプライン型	5 台
シストリックアレイ	3 台

この中の MIMD 型をさらに分類すると

メッセージ転送型	48 台
メモリ共有型	23 台

となる。この分類に当たっては一概にこの型とよめることのできないものが多い。たとえば Dado や PASM は MIMD と SIMD の二つの動作モードを持つのでこの両方に分類した。

MIMD 型のマシンが大部分を占めるが、これは汎用のマイクロプロセッサが使用できること、処理方式が柔軟であることなどによるのであろう。このなかでもメッセージ転送方式の多いのが目立つが、これは高並列度のマシンが開発の目標とされるようになってきたからであろう。データフロー型のマシンが次に多いが、これは最も未知の方式として研究者の興味が集中していることによるのであろう。SIMD 型のマシンのルーツは ILLIACIV であるが、現在の並列処理マシンでは 1 ビットマシンが多い。応用分野は画像処理が多いが、DAP のように科学技術計算に使われるものもある。並列パイプライン型は従来のパイプラインの高速性をマルチプロセッサと組み合わせたもので、専用のマシンに使われている。

5.4 構成方式

並列処理マシンはそれぞれ複数個のプロセッサ・モジュールとメモリ・モジュールを接続することによって構成されている。この接続に使うネットワークの方式によって間接ネットワーク型と直接ネットワーク型に分けられる。前者はマトリクススイッチまたは多段スイッチネットワークによって接続する方式であり、後者はモジュール同士をバスまたはチャンネルによって直接接続する方式である。表-1、表-2 の並列処理マシンを二つの型に分類すると次のようになる。

間接ネットワーク型	21 台
直接ネットワーク型	89 台

さらに直接ネットワーク型を結合方式によって分類すると次のようになる。

バス結合	23 台
------	------

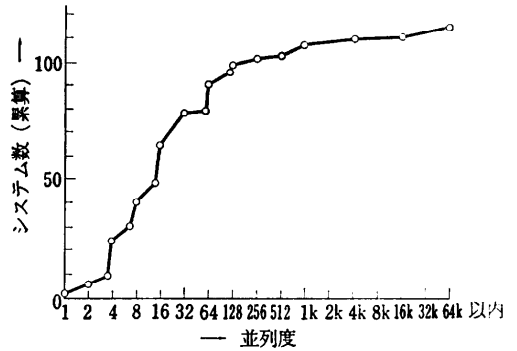


図-1 並列度による分類

木/クラスタ結合	20 台
格子/トーラス結合	19 台
リング結合	9 台
線形結合	5 台
超立方体結合	5 台
星形結合	5 台
シャッフル型	3 台
完全結合	1 台

5.5 並列度

並列処理マシンの並列度、すなわちプロセッサ要素の台数によって分類した結果は 図-1 のようになる。図には並列度に対するマシンの累積台数を示してある。16台程度の並列度のものが一番多いが、100 台以上のものもかなりある。

5.6 プロセッサ要素の性能

並列処理マシンの性能を左右するものは並列度、構成方式、およびプロセッサ要素の性能である。そこでこれらの並列処理マシンを構成しているプロセッサ要素の種類を調べて分類した結果は次のようになる。

8ビット MPU	15 台
8ビット MPU+APU	7 台
16ビット MPU	22 台
16ビット MPU+APU	18 台
32ビット MPU	3 台
32ビット MPU+APU	2 台
専用 LSI	19 台
ビットスライス MPU	6 台
ミニコン	2 台
専用回路	16 台

ここに、MPU はマイクロプロセッサ、APU は算術演算プロセッサを意味している。専用 LSI はゲートアレイやスタンダードセルを含んでいる。専用回路とは TTL や ECL で組み立てられたハードロジックを

指している。今のところは8ビットに取って代わった16ビットMPUが全盛であるが、そのうちに32ビットMPUが増えてくるであろう。また並列処理マシンに使用することを目的に開発されたTransputerを使ったものはまだ少ないが、これも今後かなり利用されるのではないかと考えられる。なお表の性能の欄にあるMIPS値は同じ値でも、データ語長によって性能が違うことに注意されたい。

## 6. おわりに

今回の並列処理マシンの現状調査に当たっては国内の研究者の方々に調査票を送って開発されたマシンや、開発の計画をお聞きした。回答を寄せられた方々に深く感謝する次第である。最初の考えではそれぞれのマシンの処理方式と構成方式を中心に分析を行って比較、検討するつもりであったが、方式はまさに千差万別であってこれを細かく分類し、その傾向を分析することは筆者の力に余ることがわかった。その結果どおり一遍の現状分析になってしまったが、並列処理マシンの開発の現状を知るのに多少とも役立つことを願って筆をおくことにする。

## 参考文献

- 1) Hwang, K.: Multiprocessor Supercomputers for Scientific/Engineering Applications, Computer, Vol. 18, No. 6, pp. 57-73 (1985).
- 2) Seitz, C.L.: Concurrent VLSI Architectures, IEEE Trans., Vol. C-33, No. 12, pp. 1247-1265 (1984).
- 3) オムリ・サーリン: パラレル・プロセサの開発状況を探る, 日経コンピュータ, No. 115, pp. 105-113 (2.17. 1986).
- 4) Srin, V.P.: An Architectural Comparison of Dataflow Systems, Computer, Vol. 19, No. 3, pp. 68-88 (1986).
- 5) Linebuck, J.R.: Parallel Processing: Why a Shakeout Nears, Electronics, Vol. 58, No. 43, pp. 32-34 (10.28. 1985).
- 6) Schneck, P.B. et al.: Parallel Processor Programs in the Federal Government, Computer Vol. 18, No. 6, pp. 43-56 (1985).
- 7) Treleven, P.C.: Parallel Architectures and Languages for AIP, ESPRIT Technical Week (1985).
- 8) Barron, I. et al.: Transputer does 5 or more MIPS even when not used in Parallel, Electronics, Vol. 56, No.17, pp. 109-115 (1983).
- 9) 稲葉則夫: 人工知能プログラムを高速に実行するマルチプロセサ方式の並列処理マシン, 日経

エレクトロニクス, No. 387, pp. 143-168 (2.17. 1986).

- 10) 信学論, Vol. J68-D, No. 4, 画像処理特集号 (4. 1984).

## 表-1 の並列処理マシンに関する文献

- 1) 曾和他: 情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会資料, 36-1 (Nov. 1979).
- 2) 渡辺他: 第31回情報処理学会全国大会論文集, 3D-6 (Sep. 1985).
- 3) 中川他: 信学論, Vol. J65-D, No. 3, pp. 386-393 (3. (1982)).
- 4) 馬場他: 信学論, Vol. J64-D, No. 6, pp. 518-525 (6. 1981).
- 5) 谷口: 信学論, Vol. J86-D, No. 3, pp. 237-244 (3. 1985).
- 6) 久保他: 情報処理学会論文誌, Vol. 25, No. 1, pp. 10-18 (Jan. 1984).
- 7) 広瀬他: 第27回情報処理学会全国大会論文集, 7Q-2 (Oct. 1983).
- 8) 曾和他: IEEE Trans., Vol. C-31, No. 9, pp. 820-824 (9. 1982).
- 9) 高橋他: Proc 10th ISCA, pp. 243-250 (6. 1983).
- 10) 佐藤他: 信学論, Vol. J64-D, No. 11, pp. 1021-1028 (11. 1981).
- 11) 大山他: 情報処理学会論文誌, Vol. 25, No. 1, pp. 101-108 (Jan. 1984).
- 12) 末吉他: 情報処理学会論文誌, Vol. 25, No. 5, pp. 813-822 (Sep. 1984).
- 13) 田山他: 信学技報, CAS84-97 (10. 1984).
- 14) 相原他: 情報処理学会論文誌, Vol. 26, No. 2, pp. 349-355 (Mar. 1985).
- 15) 岸 他: Proc. 10th ISCA, pp. 236-242 (6. 1983).
- 16) 出口他: 情報処理学会論文誌, Vol. 25, No. 6, pp. 944-952 (Nov. 1984).
- 17) 井上他: 情報処理学会論文誌, Vol. 25, No. 4, pp. 632-639 (July 1984).
- 18) 渡辺他: 第27回情報処理学会全国大会論文集, 1L-1 (Oct. 1983).
- 19) 信友他: 情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会資料, 44-1 (Feb. 1982).
- 20) 小池他: 情報処理学会論文誌, Vol. 25, No. 5, pp. 873-881 (May 1984).
- 21) 星野: PAX コンピュータ, オーム社 (1985).
- 22) 小原他: 早大理工研報, No. 102, pp. 92-105 (8. 1982).
- 23) 野木: 計測と制御, Vol. 22, No. 4, pp. 2-10 (4. 1983).
- 24) 北村他: 情報処理学会論文誌, Vol. 27, No. 4, pp. 445-453 (Apr. 1986).
- 25) 笠原他: IEEE Trans., Vol. RA-1, No. 2, pp. 104-113 (6. 1985).
- 26) 小畑他: 情報処理学会論文誌, Vol. 24, No. 3,

- pp. 351-356 (May 1983).
- 27 飯田他：情報処理学会論文誌，Vol. 27, No. 3, pp. 339-347 (Mar. 1986).
- 28 小池他：第28回情報処理学会全国大会論文集，6F-6 (Mar. 1984).
- 29 福島他：情報処理学会論文誌，Vol. 25, No. 5, pp. 728-735 (May 1984).
- 30 加久間他：信学技報，EC 84-20 (7.1984).
- 31 佐藤他：信学技報，CAS 84-200 (2.1985).
- 32 村松他：第31回情報処理学会全国大会論文集，3D-3 (Sep. 1985).
- 33 岡本他：信学技報，EC 85-5 (5.1985).
- 34 天満他：信学論，Vol. J 68-D, No. 4, pp. 853-860 (4.1985).
- 35 白川他：アーキテクチャ・ワークショップ・イン・ジャパン '84 (11.1984).
- 36 久門他：第30回情報処理学会全国大会論文集 7C-8 (Mar. 1985).
- 37 丁 他：信学技報，EC 84-56 (2.1985).
- 38 尾内他：第31回情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会報告，59-1 (Oct. 1985).
- 40 中西他：情報処理学会記号処理研究会資料，22-3 (Feb. 1983).
- 41 鈴木他：第29回情報処理学会全国大会論文集，S-B-7 (Sep. 1984).
- 42 長谷川他：信学論，Vol. J66-D, No. 12, pp. 1400-1407 (12.1983).
- 43 日高他：情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会報告，58-5 (June 1985).
- 44 伊藤他：Proc. 13th ISCA, pp. 149-156 (6.1986).
- 45 吉尾他：第31回情報処理学会全国大会論文集，3D-1 (Sep. 1985).
- 46 天野他：Proc. 12th ISCA, pp. 100-107 (6.1985).
- 47 黒川他：情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会報告，59-14 (Oct. 1985).
- 48 小畑他：情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会報告，59-2 (Oct. 1985).
- 49 館泉他：信学技報，EC 83-22, 23 (9.1983).
- 50 中田他：情報処理学会技術報告，85-43, CA 59-5 (Oct. 1985).
- 51 長岡他：原子力学会60/秋分科会，D-72(1985).
- 52 内堀他：第32回情報処理学会全国大会論文集，5Q-5 (Mar. 1986).
- 53 新見他：ACM SigGraph '84, pp. 67-76 (7.1984).
- 54 浜中他：第30回情報処理学会全国大会論文集，2C-2 (Mar. 1985).
- 55 天野他：東北大通研シンポジウム III-5 (7.1985).
- 56 島田他：情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会報告，59-9 (Oct. 1985).
- 57 岸他：BOARD, Vol. 4, No. 15, pp. 1-4 (日本 DEC) (1.1986).
- 58 石井他：第3回ロボット学会講演会，2103 (11.1985).
- 59 藤本他：第29回情報処理学会全国大会論文集，5B-2 (Sep. 1985).
- 60 伏見他：第31回情報処理学会全国大会論文集，1B-6, 7, 8 (Sep. 1985).
- 61 河合他：情報処理学会グラフィクスとCAD研究会報告，19-4 (Oct. 1985).
- 62 近藤他：Proc. 13th ISCA, pp. 330-337 (6.1986).
- 63 末吉他：Memoir of Fac. Eng. Kyushu Univ., Vol. 45, No. 3, pp. 201-223 (1985).
- 64 河野他：第31回情報処理学会全国大会論文集，1E-9 (9.1985).
- 65 石川他：第32回情報処理学会全国大会論文集，3R-3 (Mar. 1986).
- 66 松田他：第31回情報処理学会全国大会論文集，2C-2 (Sep. 1985).
- 67 小池他：第31回情報処理学会全国大会論文集，2C-8(Sep. 1985).
- 68 笠原他：Proc. 1st Int'l Conf. Supercomp. Sys., pp. 139-148 (12.1985).
- 69 笹山他：第32回情報処理学会全国大会論文集，2R-3 (Mar. 1986).
- 70 中川他：第32回情報処理学会全国大会論文集，5S-6 (Mar. 1986).
- 71 井上他：信学技報，CAS 84-206 (2.1985).
- 72 小池他：Proc. ICPP, pp. 583-590 (8.1985).
- 73 雨宮他：Proc. 13th ISCA, pp. 10-19 (6.1986).
- 74 野木：Computing Methods in Applied Sci. & Eng., V, pp. 103-122 (1982).
- 75 後藤他：Proc. 3rd Japan-Swedish WS (11.1985).
- 76 西田他：第32回情報処理学会全国大会論文集，5S-5 (Mar. 1986).
- 77 平木他：第32回情報処理学会全国大会論文集，6R-6 (Mar. 1986).

#### 表-2 の並列処理マシンに関する文献

- 1 小長谷他：情報処理，Vol. 26, No. 7, pp. 751-764 (1985-7).
- 2 Balance™ 8000 並列コンピュータシステム (松下電器貿易) (1986).
- 3 参考文献 6).
- 4 Electronics, Vol. 58, No.49, pp. 40-41 (12.9.1985).
- 5 小原：情報処理，Vol. 25, No. 5, pp. 480-490 (Sep. 1984).
- 6 Jones, et al.: ACM Computing Surveys, Vol. 12, No. 2. pp. 121-165 (6.1980).
- 7 Hillis: The Connection Machine, MIT Press (1985).
- 8 Halsted, et al.: Proc. 13th ISCA, pp. 40-48 (6.1986).
- 9 Seitz: CACM, Vol. 28, No. 1, pp. 22-23 (1.



- 1985).
- 10 参考文献 6).
  - 11 参考文献 1).
  - 12 Hockney, et al.: *Parallel Computer*, Adam Hilger, pp. 178-192 (1981).
  - 13 Monier, et al.: *CompCom Spring*, pp. 118-121 (2. 1985).
  - 14 Synder, et al.: *Algorithmically Specialized Parallel Computers*, Academic Press, pp. 213-222 (1985).
  - 15 Beetem, et al.: *Proc. 12th ICSA*, pp. 108-113 (6. 1985).
  - 16 Kowalik: *Parallel MIMD Computation: HEP Supercomputers and its Applications*, MIT Press (1985).
  - 17 参考文献 5).
  - 18 Comptc, et al.: *Information Processing 80*, pp. 175-180 (1980).
  - 19 Gurd, et al.: *CACM*, Vol. 28, No. 1, pp. 34-52 (1985).
  - 20 Seitz: *CACM*, Vol. 28, No. 1, pp. 22-33 (1985).
  - 21 Potter: *The Massively Parallel Processor*, MIT Press (1985).
  - 22 日経コンピュータ, No. 118, p. 178 (3. 31. 1986).
  - 23 参考文献 9).
  - 24 参考文献 6).
  - 25 Kuen, et al.: *Proc. 1st Int'l Conf. Supercomp. Syst.*, pp. 603-612 (12. 1985).
  - 26 Kapauan, et al.: *Proc. 11th ISCA*, pp. 12-20 (6. 1984).
  - 27 参考文献 1).
  - 28 参考文献 3).
  - 29 参考文献 1).
  - 30 参考文献 6).
  - 31 Gottlieb, et al.: *IEEE Trans.*, Vol. C-32, No. 2, pp. 175-189 (1983).
  - 32 Christ, et al.: *IEEE Trans.*, Vol. C-33, No. 4, pp. 344-350 (1984).
  - 33 参考文献 6).

(昭和 61 年 5 月 6 日受付)