

Title	スーパーコンピュータの並列化動向
Author(s)	井口, 寧
Citation	Research report (School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology), IS-RR-98-0001A: 1-12
Issue Date	1998-01-16
Type	Technical Report
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/8378
Rights	
Description	リサーチレポート (北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科)

スーパーコンピュータの並列化動向

井口 寧
1998, 1/16
IS-RR-98-0001A

Center for Information Science
Japan Advanced Institute of Science and Technology
Asahidai 1-1, Tatsunokuchi
Nimino, Ishikawa, 923-1211, JAPAN
inoguchi@jaist.ac.jp

(C) Yasushi Inoguchi, 1998

ISSN 0918-7553

1. はじめに

スーパーコンピュータは従来大規模科学技術計算の担い手として大きな成功を収めてきたが、近年では、使用しているバイポーラ型論理素子の高速化が限界に近づいてきたため、1CPUあたりの性能の更なる向上は見込めなくなっている。この限界を打開するため、ベクトルCPUを並列化したシステムや、マイクロプロセッサを多数用いて高い並列化により性能向上を目指すシステムなどが提案されている。本報告では、今後の新しいシステムの展望について議論するために、従来のハイパフォーマンスシステムの発展性、拡張性、性能向上の工夫を、プロセッサの構成方式の違いごとにまとめ、検討する。

2. システムレベルでの並列化の動向

超高速科学技術計算を目的とするコンピュータは、おおまかに (a) 科学技術計算向き大型汎用機、(b) ベクトル型スーパーコンピュータ、(c) 超並列システム、の3種類に分類できる。この中で (b) のベクトル型スーパーコンピュータは、従来からの共有メモリによるマルチプロセッサのものと、近年見られるクラスタシステムの2つに分けることができる。これらのタイプ別のシステム性能のグラフを図1に、諸元を表1から表3に示す。

最初にベクトル型システムを世代に分け、構成や性能向上について考察する。スーパーコンピュータの世代分類については、さまざまな分け方があるが、ここではCray社の分類に基づいた分類を用いる。第0世代にはIBM360/195などが含まれ、高速スカラー処理が特徴である。第1世代の代表的なシステムとしては、ILLIAC IV, STAR-100などが上げられ、この世代ではベクトル処理が導入された。ベクトルレジスタを有した、いわゆるスーパーコンピュータは第世代に分類され、CRAY-1がこれにあたる。第2世代の特徴は、FORTRANの自動ベクトル化、ショートベクトルのベクトル化、高速スカラー処理などがあげられる。1980年代前半の第3世代からは国産メーカーも参入し、Cray-X-MP, S-810, VP200, SX-2などが出揃う。これらのシステムの特徴は、並列CPU、並列パイプラインを有し演算性能の向上を図っている点と、複雑な演算を含むベクトルも処理可能となったことである。並列パイプラインは、パイプラインレベルの並列化であり、CPU内に複数のパイプを並列に実装し、1CPU当りの性能を高めている。並列化コンパイラなどの新しい技術を用いることなく容易に従来のソフトウェアを高速化することができるという利点があるが、パイプラインの並列化が進むと半性能長が大きくなり、実効性能が低下する傾向が出てくる。1980年代後半の第4世代では、クロック周期も短縮され、並列CPU構成のスーパーコンピュータが主流となる。また、1CPU内のパイプラインも、前世代のシステムが同一の演算を複数のパイプラインで行っていたのに対し、これらのシステムではパイプラインを独立に動作させ異なる演算を並列に行うことによって、半性能長の低下を軽減している。並列化に対しては、適用される問題の多くは2次元以上のデータ構造を有していることを利用し、最外周DOループを分割し各プロセッサに割り当てることにより、比較的効率良く並列化している。この世代のシステムとしては、Y-MP, S-820, SX-3などが含まれる。

現在のベクトル型システムでは、処理性能向上の方法が分化しており、様々な方法が実現されている。一つのグループは従来の方法を踏襲し、クロック周期の更なる短縮によりCPU当りの性能を確保し、共有メモリによる密結合システムとして、システム全体の性能を確保している。これらのグループとしては、S-3800やT90などが含まれる。別のアプローチとして、回路素子をこれまでのバイポーラ素子からCMOS素子に転換し、1CPU当りの性能は低下するがCPUの台数を増加させることによりシステム全体の性能向上を図る方法をとっている、VPP700やSX-4などのグループもある。デバイス技術の変更の原因としては、バイポーラ素子の消費電力がCMOSに比べ格段に多いため集積度を上げることが難しいこと、CMOSの比例縮小の法則から微細加工が十分発達すると高速で高い集積度を持つデバイスがCMOSで実現可能であること、などの原因が考えられる。

次にシステムのタイプ別のシステム性能について検討する。第2から第4世代では、ベクトル型システムや大型汎用機が主流であり、マイクロプロセッサは集積度が低く数値演算の担い手にはなりえないという背景があった。これらのシステムでは、従来の大型汎用機とベクトル型計算機では、約二桁の性能差がある。また第3世代に当たる頃には、一方、大型汎用機もベクトル演算機能などの付加機能により、大幅に演算性能を向上したシステムが実現されるようになる。

第4世代から、これらの大型システムがデバイス技術をバイポーラからCMOSに変更したため、CPU当りの性能は伸び悩むようになるのに対し、多数のマイクロプロセッサ(MPU)を並列に動作させる超並列システムも、CM-5などにより商業的に実現されてきている。これらの最大の構成ではTFLOPSまで実現でき、共有メモリによるベクトル型システムに比べ、一桁以上の高い性能を有している。

現在では、超並列システムも、MPUの性能向上に従い1ノードの性能が飛躍的に向上し、プロセッサ数の増加によるよりもノード性能の向上によってシステム全体の性能を確保する傾向になってきている。

3. プロセッサの性能向上

次にプロセッサ単体の性能について、近年急速に発展しているマイクロプロセッサ(MPU)と比較しながら検討する。図2に、大型汎用機、ベクトル機、ベクトルパラレル機、超並列機、MPUのそれぞれの単体の性能を示す。図より、それぞれの性能向上率はほぼ同じであることが分かる。従来より大型汎用機やベクトル機に比べ、MPUの性能向上が非常に著しいことが指摘されてきたが、実際には初期には確かに急激な性能向上がなされているが、近年ではそれほど性能向上が著しいわけではないことがわかる。これは初期には集積技術が十分でなく、演算に必要なハードウェア量を1チップに載せることができないため、浮動小数点演算は殆どソフトウェアでエミュレーションしており、演算性能は極めて低かったのに対し、MPUの集積度が上がるにつれ浮動小数点機能をハードウェアで実現できるようになったためと考えられる。浮動小数点機能がハードウェアで実現されれば、後の性能向上はMPUそのものの性能向上に比例すると考えられる。

近年の傾向として、大型汎用機はCMOS素子で構成されているため、素子技術としてのMPUに対するアドバンテージは無く、性能もMPUと同じレベルになっている。ベクトル型システムも、1990年代初頭の5GFLOPSを越えるシステムの後には、商用システムとしては1CPU当りの性能向上は留まっている。

4. ベクトル型システムの成功の要因

ここで従来のベクトル型システムの成功の要因について考え、現在置かれている状況と比較検討する。ベクトル型システムの要因にはさまざまなものが考えられるが、代表的な要因としては次のようなものである。

i) 素子技術の優位性

ベクトル型システムは、バイポーラメモリなど従来のシステムに比べ極めて高速・高価な素子を用いている。

ii) 演算パイプライン

従来の汎用機が浮動小数点演算に数クロックを要していたのに対し、ベクトル型システムでは浮動小数点演算パイプラインによりパイプライン当り1演算/1クロックを実現している。

iii) ベクトルレジスタ

大量のベクトルデータを容易に扱うことのできるベクトルレジスタの実装。

iv) 並列パイプライン

プロセッサ当りの性能を高めるため、パイプラインを並列実装している。

v) 高いメモリバンド幅

高速で低い集積度のメモリ素子を大量に並列に用い、メモリインターリーブアクセスにより高いメモリバンド幅を得ている。

これに対し、現在の主流のMPUを採用したワークステーションやサーバと比較すると、

i) 既にバイポーラ素子よりもCMOSプロセッサの方が高速な動作が可能となり、この優位性は失われてきている。

ii) RISC化により最近のMPUは殆ど演算パイプラインを持ち、パイプライン当り1演算/1クロックを実現している。

iii) ベクトルレジスタはMPUには実装されていないが、これに代るものとして大容量のキャッシュが実装されている

iv) 演算パイプラインを並列に実装したシステム(Power2, R8000など)もあるが、クロック周期の短縮が難しい。この点ではベクトル型システムに利点があるが、ベクトル型システムでも並列度は4程度であり、それほど差があるわけではない。

v) ベクトル型システムのメモリバンク数が数百に達するのに対し、MPUを用いたシステムのメモリバンク数はたかだか数バンクであり、メモリとの入出力性能はベクトル型システムに比べ非常に低い。またLSIを使用した場合のピン数の制約から、MPUへの入出力バンド幅はかなり制限される。

このように、現在ではメモリバンド幅の利点を除いて、従来のベクトル型システムの優位性の多くがMPUベースのシステムで実現されている。

5. 結論

世界の超高速計算機に関するTOP500という資料がある。従来はベクトル型システムが上位を独占していたが、現在は上位はすべて並列システムとなってきている。しかしながら、並列システムは理論性能は非常に高いが実効性能を引き出すのが非常に難しいという問題点がある。これに対し従来のベクトルシステムは非常に発展し、単純な行列演算では理論性能の90%近くを容易に引き出すことができる。これは4節で述べたように、高いメモリバンド幅による寄与が大きいものと考えられる。MPUをベースとしたシステムでは、チップのピン数の制限から、CPUのメモリバンド幅を向上することが難しい。しかし、CPU当りのメモ

リバンド幅は小さくとも、多数のノードの合計としてのシステム全体メモリバンド幅は決して小さくないので、ノード単位のメモリバンド幅をいかすアルゴリズムの採用などにより、理論性能の1/3程の性能は確保できると考えられる。

参考文献

- [1] "スーパーコンピュータ", 日本物理学会編, 培風館, 1985
- [2] 名取亮, 野寺隆, "スーパーコンピュータと大型数値計算", 共立出版, 1987
- [3] シドニー フェーンバック, "スーパーコンピュータ: 超高速計算のためのハードウェアとソフトウェアのすべて", パーソナルメディア, 1988
- [4] 島崎真昭, "スーパーコンピュータとプログラミング", 共立出版, 1989
- [5] "スーパーコンピュータ: 製品・技術・応用", 日経データプロ編集, 日経BP社, 1989.
- [6] 長島重夫, 田中義一, "スーパーコンピュータ", オーム社, 1992

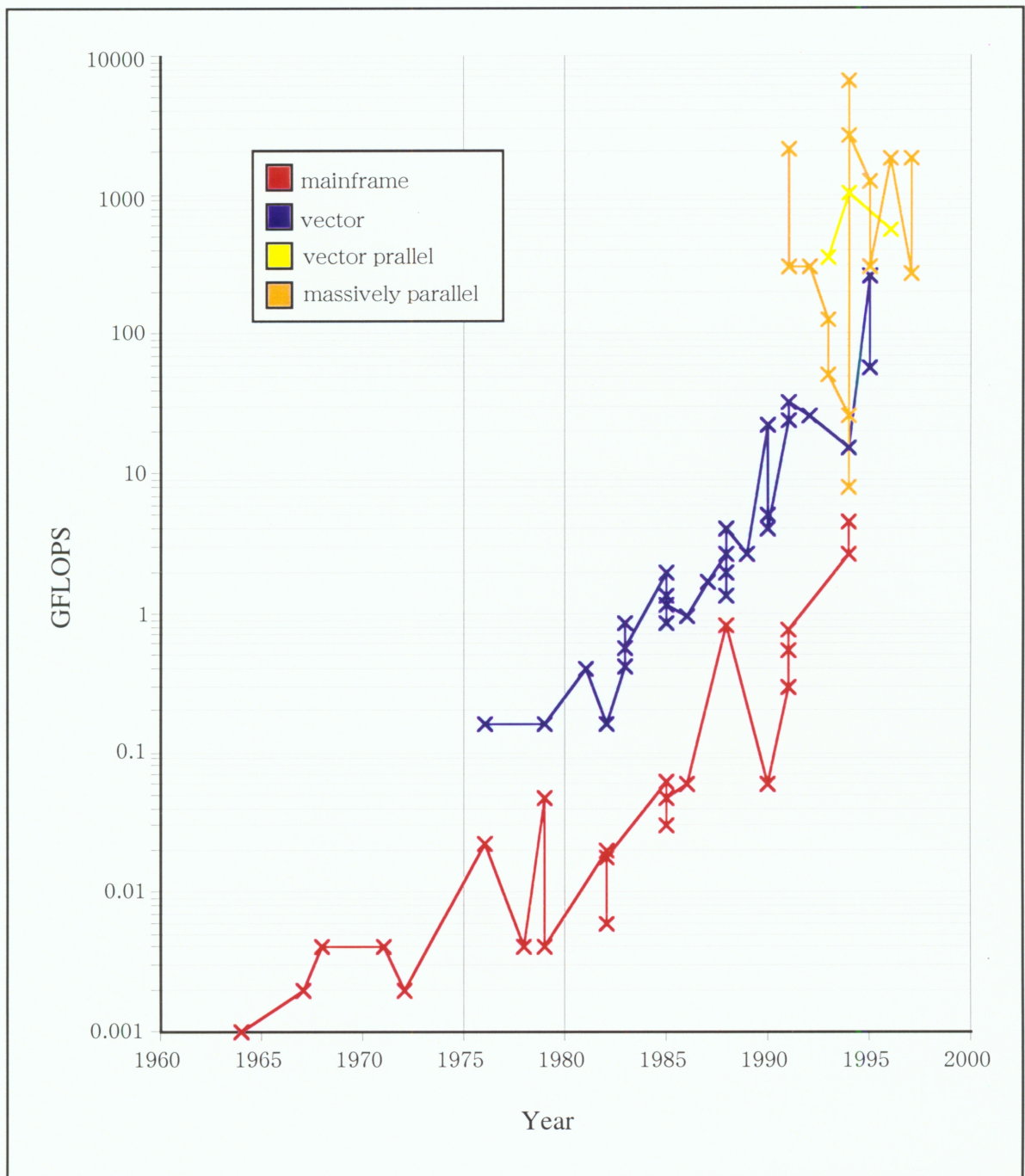


図1 計算機のシステム性能

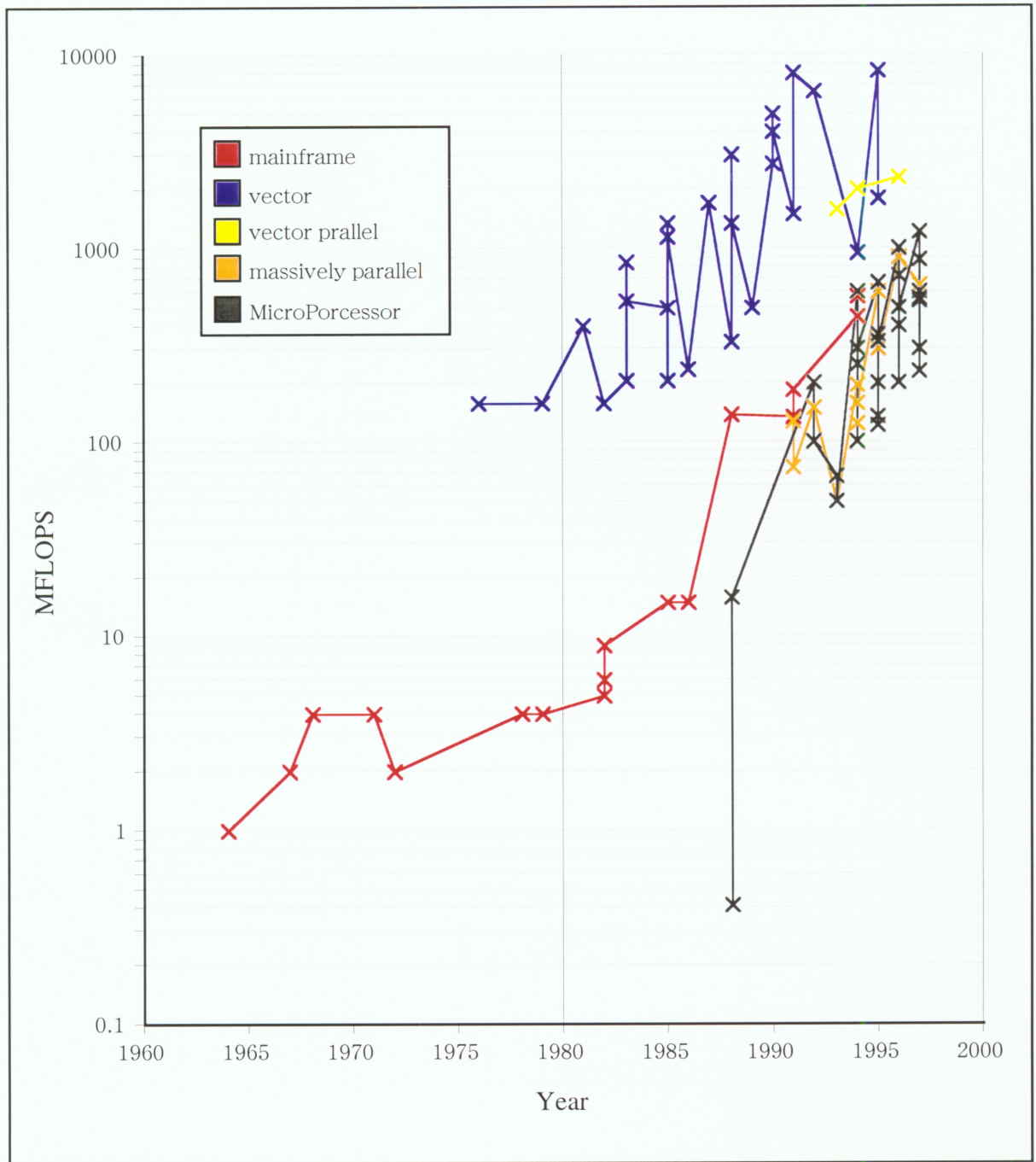


図2 1プロセッサ当りの性能

Processor type	Cray-1 vector	Cray-1/S vector	Cyber205 vector	Cray-1/M vector	Cray-X-MP/2 vector
shipping	1976	1979	1981	1982	1983
クロック周期 T(nx)	12.50	12.50	20.00	12.50	9.50
クロック周波数 clock(MHz)	80.00	80.00	50.00	80.00	105.26
理論性能 Rmax-MFLOPS	160	160	400	160	420
MFLOPS/CPU	80.0	80.0	50.0	80.0	105.0
パイプラインの種類	2	2	2	2	2
パイプラインのセット数	1	1	4	1	1
MFLOPS/CPU	160.0	160.0	400.0	160.0	210.0
Number of CPU	1	1	1	1	2
Vector Register Length	64	64		64	64
Number of Vct Rgstr/CPU	8	8		8	8
Vector Register cap (KB)	4	4		4	4
Load/Store pipe (LS+L+S)	1	1		1	3
Memory Size (MB)	8	32		32	32
Memory Banks	16	16	128	16	16
Memory Band Width (GB/s)					
Number of Channels	24		16	6	8
I/O Band Width (MB/s)	480		400	224	424

Processor type	S-810/20 vector	VP-200 vector	Cray-2/4-256 vector	Cray-X-MP/4 SX-2 vector	VP-400 vector
shipping	1983	1983	1985	1985	1985
T(nx)	14.00	7.50	4.10	9.50	6.00
clock(MHz)	71.43	133.33	243.90	105.26	166.67
Rmax-MF	857	570	1,952	840	1,333
MF/pipe	71.4	133.3	243.9	105.0	166.7
#of pipe kind	6	2	2	2	2
#of pipe set (set)	2	2	1	1	4
MF/CPU	857.1	533.3	487.8	210.0	1,333.3
#ofCPU	1	1	4	4	1
VR length	256		64	64	256
# of VR/CPU	32		8	8	40
VR cap (KB)	64	64	4	4	80
Load/Store pipe	3428	1140	1	3	12
MEM Size (MB)	256	256	2,048	64	256
MEM Banks	256	256	128	32	512
MEM BW (GB/s)			8		11
# of Channels	32	32	8		32
I/O BW (MB/s)	96	48	2,048		50

表1 ベクトルプロセッサの性能

Processor type	Cray-X-MP/4 VP-400E		Cray-Y-MP/8 S-820/80		SX-2A	Cray-Y-MP8/	
	vector	vector	vector	vector	vector	vector	vector
shipping	1986	1987	1988	1988	1988	1988	1989
T(nx)	8.50	7.00	6.00	4.00	6.00	6.00	6.00
clock(MHz)	117.65	142.86	166.67	250.00	166.67	166.67	166.67
Rmax-MF	940	1,714	2,667	3,000	1,333	2,667	2,667
MF/pipe	117.6	142.9	166.7	250.0	166.7	166.7	166.7
#of pipe kind	2	3	2	3	2	2	2
#of pipe set (set	1	4	1	4	4	4	1
MF/CPU	235.3	1,714.3	333.3	3,000.0	1,333.3	333.3	333.3
#ofCPU	4	1	8	1	1	8	8
VR length	64	64~1024	64	512		64	64
# of VR/CPU	8	256~8	8	32		8	8
VR cap (KB)	4	128	4	128	80	4	4
Load/Store pipe	3	4	3	8	4	3	3
MEM Size (MB)	128	256	256	512	1,024	1,024	1,024
MEM Banks	64	256	256		512	256	256
MEM BW (GB/s)		4.56	42.7		11	42.7	42.7
# of Channels		32		64	64		
I/O BW (MB/s)		96	5,848	288	192	5,848	5,848

Processor type	SX-3/44	VP-2600/10	VP-2600/20	Cray-C90	S-3800/480	SX-3/44R
	vector	vector	vector	vector	vector	vector
shipping	1990	1990	1990	1991	1991	1992
T(nx)	2.90	3.20	4.00	4.20	2.00	2.50
clock(MHz)	344.83	312.50	250.00	238.10	500.00	400.00
Rmax-MF	22,000	5,000	4,000	15,238	32,000	25,600
MF/pipe	344.8	312.5	250.0	238.1	500.0	400.0
#of pipe kind	2	4	4	2	2	2
#of pipe set (set	4	4	4	2	8	8
MF/CPU	2,758.6	5,000.0	4,000.0	952.4	8,000.0	6,400.0
#ofCPU	4	1	1	16	4	4
VR length						
# of VR/CPU						
VR cap (KB)	144		128			
Load/Store pipe (LS+L+S)			8			
MEM Size (MB)	2,048		2,048			
MEM Banks	1,024		512			
MEM BW (GB/s)						
# of Channels	256		125			
I/O BW (MB/s)	1,024		1,024			

表1 ベクトルプロセッサの性能

Processor	Cray-3-128	Cray-4	3090-600E/VIV	500/222	SX-4/512	VPP-700/256	
type	vector	vector	vector	VP	VP	VP	
shipping	1994	1995			1993	1994	1996
T(n _x)	2.11	1.00	17.2	9.50	8.00	7.00	
clock(MHz)	473.93	1000.00	58.14	105.26	125.00	142.86	
Rmax-MF	15,168	262,144	698	355,200	1,024,000	563,200	
MF/pipe	473.9	1000.0		100.0	125.0	142.9	
#of pipe kind	2			2	2	2	
#of pipe set (set)	1			8	8	8	
MF/CPU	947.9	8,192.0		1,600.0	2,000.0	2,285.7	
#ofCPU	16	32		222	512	256	
VR length					256		
# of VR/CPU					72		
VR cap (KB)					144		
Load/Store pipe (LS+L+S)					2048000		
MEM Size (MB)			256		524,288		
MEM Banks					32,768		
MEM BW (GB/s)					16,384		
# of Channels					768		
I/O BW (MB/s)					78,643.2		

表1 ベクトルプロセッサの性能

Processor type	CM5 parallel	Paragon parallel	Cray-T3D parallel	Cenju-3 parallel	AP1000 parallel
shipping		1991	1991	1992	1993
クロック周期 T(nx)		31.25	31.25	6.67	13.33
クロック周波数 clock(MHz)		32.00	50.00	150.00	75.00
理論性能 Rmax-MFLOPS		2,097,152	307,200	307,200	12,800
MFLOPS/CPU		128.0	75.0	150.0	50.0
Number of CPU		16,384	4,096	2,048	256
Interconnection		FAT Tree	2D-mesh	3D-torus	MultiStage
Network Speed (MB/s)			200	300	40
Micro Processor		SPARC	i860XP	Alpha	VR4400SC
Memory Size (MB)			131,072	131,072	16,384

Processor type	Exemplar parallel	IBM-SP parallel	nCUBE3 parallel	CM5E parallel	Cray-T3E parallel	SR2201/1024 parallel
shipping		1994	1994	1994	1994	1995
T(nx)		10.10	16.00	20.00	31.25	3.33
clock(MHz)		99.00	62.50	50.00	40.00	300.00
Rmax-MF		25,344	8,000	6,553,600	2,621,440	1,228,800
MFLOPS/CPU		198.0	125.0	100.0	160.0	600.0
#ofCPU		128	64	65,536	16,384	2,048
Interconnection		Xbar+ring	MultiStage	HyperCube	FAT Tree	3D-torus
Network Speed		250/600	40	24	40	480
uProcessor		PA-RISC7100	Power	original	SuperSPARC	Alpha21164
MEM Size (MB)		32,768	16,384	67,108,864	2,097,152	4,194,304

Processor type	Cray-T3E-900RS/6000-SP parallel	Cray-T3E-1200 parallel
shipping		1996
T(nx)		2.22
clock(MHz)		450.00
Rmax-MF		1,843,200
MFLOPS/CPU		900.0
#ofCPU		2,048
Interconnection		3D-torus
Network Speed		480
uProcessor		Alpha21164a
MEM Size (MB)		4,194,304

表2 超並列システムの性能

Processor	i8086	i80186	i80286	m68020	i80386DX	
type	uP	uP	uP	uP	uP	
shipping		1978	1984	1984	1985	1986
クロック周期 T(nx)		125.00		83.33	40.00	62.50
クロック周波数 clock(MHz)		8.00		12.00	25.00	16
理論性能 Rmax-MFLOPS						
SPECint95						
SPECfp95						
SPECint92						
SPECfp92						
レベル1キャッシュ (KB)					0.25	
レベル2キャッシュ (KB)						
レベル3キャッシュ (KB)						
MFLOPS/pipe						
パイプラインの種類						
パイプラインのセット数						

Processor	m68881	m68030	R3000	i80486DX	m68040	PA-RISC7000	
type	uP	uP	uP	uP	uP	uP	
shipping		1988	1988	1988	1989	1989	1989
T(nx)		40.00	20.00	25.00	30.30	40.00	20.00
clock(MHz)		25.00	50.00	40.00	33.00	25.00	50.00
Rmax-MF		0.41		16			
SPECint95							1.6
SPECfp95							2.0
SPECint92				27.9	22.4	21	
SPECfp92				35.8		15	
LV1 \$ (I+D)(KB)		0.25	0.5			8	
LV2 \$ (KB)							
LV3 \$ (KB)							
MF/pipe		0.41		16.0			
#of pipe kind		1.00		1.00			
#of pipe set (set		1		1			

Processor	Sparc	Alpha21064	i80486DX2	PA-RISC7100	R4000	R4400	
type	uP	uP	uP	uP	uP	uP	
shipping		1990	1992	1992	1992	1992	1992
T(nx)		25.00	5.00	15.15	10.00	10.00	6.67
clock(MHz)		40.00	200.00	66.00	100.00	100.00	150.00
Rmax-MF			200		200	100	0
SPECint95					3.2		
SPECfp95					4.0		
SPECint92		21.8	138	39.6	124	59	109
SPECfp92		22.8	200	18.8	159	61	97
LV1 \$ (I+D)(KB)			16	8		16	32
LV2 \$ (KB)							
LV3 \$ (KB)							
MF/pipe			200.0		100.0		
#of pipe kind			1		2		
#of pipe set (set * unit)			1		1		

表3 マイクロプロセッサの性能

Processor type	SuperSparc uP	HyperSparc uP	m68060 uP	P5 uP	PPC601 uP	Alpha21164 uP
shipping	1992	1993	1993	1993	1993	1994
T(nx)	16.67	13.89	20.00	15.15	20.00	3.33
clock(MHz)	60.00	72.00	50.00	66.00	50.00	300.00
Rmax-MF				66	50	600
SPECint95	1.5					8.5
SPECfp95	1.7					12.7
SPECint92	89.0	80.0	60	78.0	40	341
SPECfp92	103.0	105.0	45	63.6	60	513
LV1 \$(I+D)(KB)	36	8	16	16	32	16
LV2 \$(KB)						
LV3 \$(KB)						
MF/pipe				66.0	50.0	300.0
#of pipe kind				1	1	2
#of pipe set (set * unit)				1	1	1

Processor type	i80486DX4 uP	PA-RISC7150 uP	PA-RISC7200 uP	PPC603 uP	PPC604 uP	R8000 uP
shipping	1994	1994	1994	1994	1994	1994
T(nx)	10.00	8.00	8.00	12.50	10.00	13.33
clock(MHz)	100.00	125.00	125.00	80.00	100.00	75.00
Rmax-MF		250	250			300
SPECint95		5.2	6.4		3.6	
SPECfp95		4.6	9.1		3.2	
SPECint92	55.0	149	150	75	128	112
SPECfp92	27.0	201	250	85	120	311
LV1 \$(I+D)(KB)	16		2	16	32	32
LV2 \$(KB)						
LV3 \$(KB)						
MF/pipe		125.0	125.0			75.0
#of pipe kind		2	2			2
#of pipe set (set * unit)		1	1			2

Processor type	Alpha21164 uP	P6 uP	PPC603e uP	PPC620 uP	SuperSparcII uP	UltraSparcI uP
shipping	1995	1995	1995	1995	1995	1995
T(nx)	3.00	5.00	10.00	7.52	11.11	6.00
clock(MHz)	333.33	200.00	100.00	133.00	90.00	166.67
Rmax-MF	666.67	200				333.33
SPECint95	9.8	8.2		6.0	3.5	6.6
SPECfp95	13.4	6.8		6.0	3.5	9.4
SPECint92	400	320.0	120	225	135.0	269.0
SPECfp92	570	283.0	105	300	147.0	386.0
LV1 \$(I+D)(KB)	16	16	32	64	36	32
LV2 \$(KB)		256				
LV3 \$(KB)						
MF/pipe	333.3	200.0				166.7
#of pipe kind	2	1				2
#of pipe set (set	1	1				1

表3 マイクロプロセッサの性能

Processor type	Alpha21164a uP	PA-RISC8000 uP	PPC604e uP	PPC620 uP	R10000 uP	TurboSparc uP
shipping	1996	1996	1996	1996	1996	1996
T(nx)	2.00	120.00	6.02	5.00	5.00	5.88
clock(MHz)	500.00	180.00	166.00	200.00	200.00	170.00
Rmax-MF	1,000	720			400	
SPECint95	15.0	11.8	6.7	9.0	10.7	3.5
SPECfp95	20.0	20.2	6.3	9.0	19.0	3.0
SPECint92		400			300	143
SPECfp92		600			600	119
LV1 \$ (I+D)(KB)	16		64	128	64	32
LV2 \$ (KB)						
LV3 \$ (KB)						
MF/pipe	500.0	180.0			200.0	
#of pipe kind	2	2			2	
#of pipe set (set	1	2			1	

Processor type	UltraSparcII uP	Alpha21164a uP	Klamath uP	PA-RISC8200 uP	Power2SC uP	PPC750 uP
shipping	1996	1997	1997	1997	1997	1997
T(nx)	4.00	1.67	3.33	120.00	7.41	3.76
clock(MHz)	250.00	600.00	300.00	220.00	135.00	266.00
Rmax-MF	500	1,200	300	880	540	
SPECint95	10.4	18.0	11.9	15.5	6.2	12.4
SPECfp95	15.0	27.0	9.6	25.0	17.6	8.4
SPECint92	350.0					
SPECfp92	550.0					
LV1 \$ (I+D)(KB)	32	16	32		160	64
LV2 \$ (KB)		96	512			
LV3 \$ (KB)						
MF/pipe	250.0	600.0	300.0	220.0	135.0	
#of pipe kind	2	2	1	2	2	
#of pipe set (set	1	1	1	2	2	

Processor type	R10000 uP	UltraSparcIII uP
shipping	1997	1998
T(nx)	3.64	1.67
clock(MHz)	275.00	600.00
Rmax-MF	550	
SPECint95	12.0	35.0
SPECfp95	24.0	60.0
SPECint92		
SPECfp92		
LV1 \$ (I+D)(KB)	64	
LV2 \$ (KB)		
LV3 \$ (KB)		
MF/pipe	275.0	
#of pipe kind	2	
#of pipe set (set	1	

表3 マイクロプロセッサの性能