

米国のスーパーコンピュータ開発状況について

2007年3月27日

目次

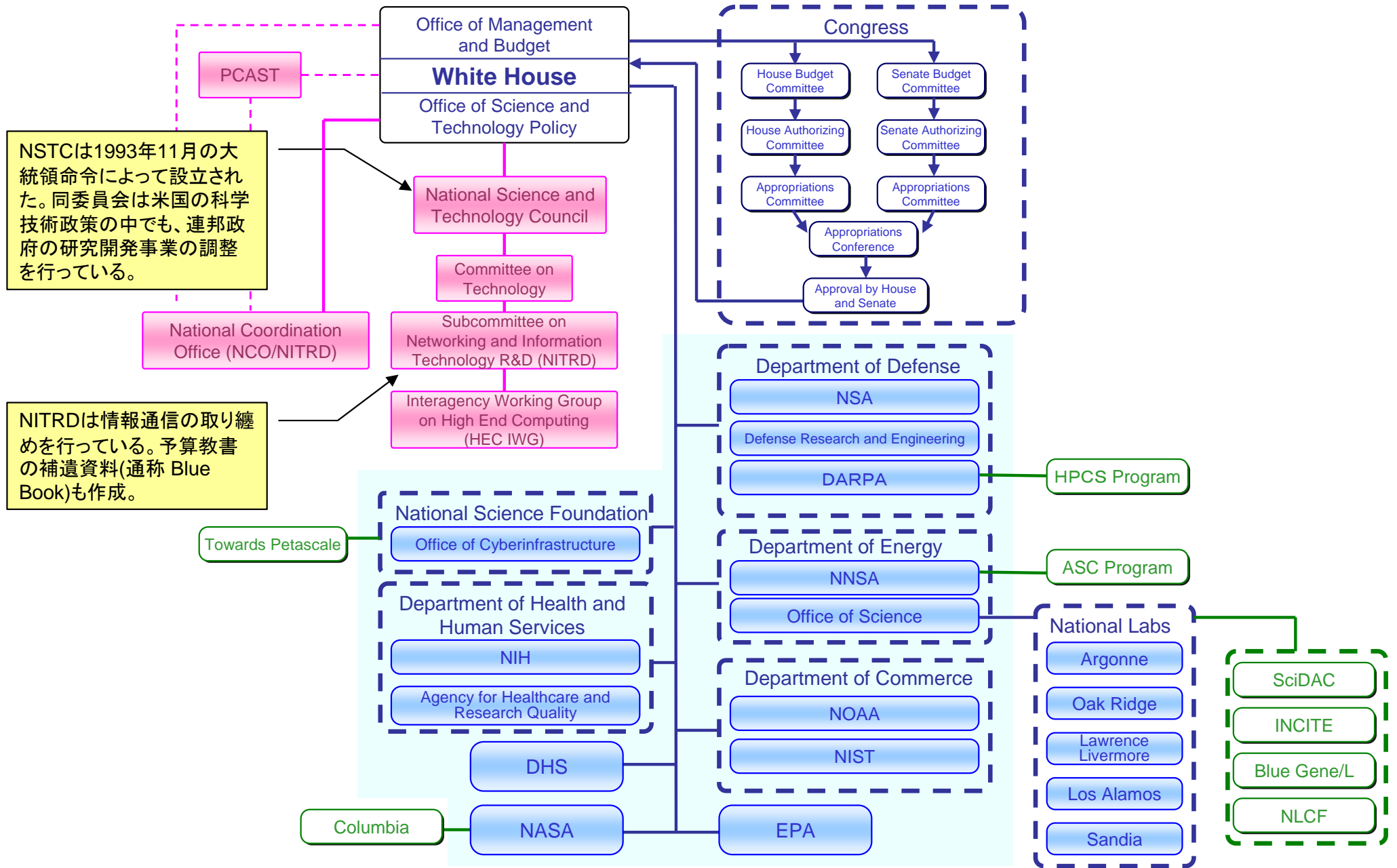
1. 米国政府のスーパーコンピュータ戦略	P 2
位置づけ・目的	P 3
連邦政府における推進体制	P 4
スーパーコンピュータ予算	P 5
2. 政府主要プロジェクトの状況	P 7
政府主要プロジェクトの状況まとめ	P 8
エネルギー省(DoE)の状況	P 9
国防総省(DoD)の状況	P12
米国科学財団(NSF)の状況	P15
米国航空宇宙局(NASA)の状況	P16
米国国立衛生研究所(NIH)の状況	P17
3. 開発企業の戦略・計画	P18
概要	P19
日米スーパーコンピュータ・MPUベンダーの製品開発計画	P20
CrayのHPC戦略	P21
IBMのHPC戦略	P24
SunのHPC戦略	P29
ClearSpeedについて	P33
IBMのMPU戦略	P34
INTELのMPU戦略	P37
AMDのMPU戦略	P41
(参考文献)	P43

1. 米国政府のスーパーコンピュータ戦略

位置づけ・目的

- 1991年HPC法以来の長い歴史を持ち、「スーパーコンピュータの重要性」は政府関係者に広く理解されている。
 - 1991年HPC法の趣旨: (1) HPCに対する連邦政府支援の継続、(2) 各省のスーパーコンピュータ施策のコーディネーション
 - 2006年1月、ブッシュ大統領一般教書演説においてスーパーコンピュータ開発支援に言及
 - 「米国の競争力を維持していくためには、人々の才能や創造力といった点で世界をリードしなければならない。このためにスーパーコンピューティングのような有望分野への取り組みを支援する。」
- 数多くの府省において、自らのミッションを達成するための共通の基盤 (enabling technology) として位置づけられている。
 - スーパーコンピュータ戦略の主目的は「国防・安全保障」
 - 兵器開発: DoD中心
 - 核実験の置き換え: DoE中心
 - 国防シミュレーション: 2001.9以降追加
 - 上記達成のためのスーパーコンピュータ技術(先端コンピュータ技術)開発
 - 科学技術の振興
 - ナノ・バイオ・気象・災害シミュレーション・宇宙等: NSF等
 - 産業の国際競争力

連邦政府における推進体制



スーパーコンピュータ予算

■ 米政府スーパーコンピュータ関連予算(公表部分)

- 2005年度 約1,100億円から、2008年度 約1,500億円に拡大。(1ドル=約115円で計算)

■ NITRD参加組織別 HEC予算推移(単位:100万ドル)

組織名		HEC I&A	HEC R&D	HEC 合計
NSF	05年度概算	198.9	101.8	300.7
	06年度概算	220.3	62.7	283.0
	07年度予算	272.4	64.1	336.5
	08年度予算	303.1	67.1	370.2
OSD/DoD 研究施設	2007年度初めてOSDの予算にDoD研究組織予算が組み込まれた為、05年度・06年度概算は含まれていない。			
	07年度予算	260.4	6.2	266.6
	08年度予算	234.1	2.0	236.1
NIH	05年度概算	133.8	66.6	200.4
	06年度概算	198.5	N/A	198.5
	07年度予算	194.7	N/A	194.7
	08年度予算	131.7	1.8	133.5
DARPA	05年度概算	N/A	64.3	64.3
	06年度概算	N/A	94.1	94.1
	07年度予算	N/A	89.6	89.6
	08年度予算	N/A	68.9	68.9
DOE/SC	05年度概算	98.2	107.3	205.5
	06年度概算	104.4	109.1	213.5
	07年度予算	135.3	160.4	295.7
	08年度予算	250.5	67.0	317.5
NSA	05年度概算	N/A	53.9	53.9
	06年度概算	N/A	89.2	89.2
	07年度予算	N/A	36.4	36.4
	08年度予算	N/A	60.3	60.3

組織名		HEC I&A	HEC R&D	HEC 合計
NASA	05年度概算	53.7	1.7	55.4
	06年度概算	60.3	N/A	60.3
	07年度予算	63.9	N/A	63.9
	08年度予算	69.2	N/A	69.2
NIST	05年度概算	3.4	0.6	4.0
	06年度概算	2.3	1.2	3.5
	07年度予算	2.4	1.3	3.7
	08年度予算	2.4	1.3	3.7
DOE/NNSA	05年度概算	31.4	34.5	65.9
	06年度概算	10.0	15.9	25.9
	07年度予算	9.5	23.4	32.9
	08年度予算	9.8	17.8	27.6
NOAA	05年度概算	12.9	1.8	14.7
	06年度概算	11.4	1.9	13.3
	07年度予算	16.4	1.9	18.3
	08年度予算	16.4	1.9	18.3
EPA	05年度概算	2.3	N/A	2.3
	06年度概算	3.3	N/A	3.3
	07年度予算	3.3	N/A	3.3
	08年度予算	3.3	N/A	3.3
合計	05年度概算	534.6	432.5	967.1
	06年度概算	610.5	374.1	984.6
	07年度予算	958.3	383.3	1341.6
	08年度予算	1020.5	288.1	1308.6

ご参考：略語表

ASC	Advanced Simulation and Computing (DoEのプロジェクト、旧ASCI)
ASCI	Accelerated Strategic Computing Initiative (DoEのプロジェクト、現在のASC)
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency (DoDの組織)
DHS	Department of Homeland Security (米国土安全保障省)
DoD	Department of Defense (米国防総省)
DoE	Department of Energy (米エネルギー省)
EPA	Environmental Protection Agency (環境保護庁)
HPCMP	High Performance Computing Modernization Program (DoDのプロジェクト)
HPCS	High Productivity Computing Systems (DoDのプロジェクト)
INCITE	Innovative and Novel Computational Impact on Theory and Experiment (DoEのプロジェクト)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (航空宇宙局)
NIH	National Institutes of Health (国立衛生研究所)
NIST	National Institute of Standards and Technology (DOCの組織)
NCO/NITRD	National Coordination Office for Networking and Information Technology Research and Development (国家調整局)
NLCF	National Leadership Computing Facility
NNSA	National Nuclear Security Administration (国家核安全保障局)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (アメリカ国立海洋大気庁)
NSA	National Security Agency (国家安全保障局)
NSF	National Science Foundation (全米科学財団)
OSD	Office of Secretary of Defense (DoDの組織)
PCAST	President's Council of Advisors on Science and Technology (大統領科学技術顧問委員会。従来の従来、大統領情報技術諮問委員会(PITAC)の機能を吸収)
SciDAC	Scientific Discovery through Advanced Computing (DoEのプロジェクト)

2. 政府主要プロジェクトの状況

政府主要プロジェクトの状況まとめ

	予算総額	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
DoE ASC計画	約\$1800M (2005-2010)	ASCI Purple 100TF BlueGene/L 370TF			BlueGene/P 1PF			BlueGene/Q 10PF?	
DoE NLCF計画	約\$150-200M (2004-2008)	Cray Red Storm (XT3) 20TF	Cray X2 100TF	Cray X2 250TF	Cray Baker 1PF				
		IBM BlueGene/L 5TF	BG/L 50TF	BlueGene/P 100TF					
DoD/DARPA HPCS計画	約\$160M (2002-2005)	第二フェーズ 研究開発 (Cray, IBM, Sun)	第三フェーズ 研究開発開始 (2ベンダーに絞る)				実効2PF (4PF超までの拡張性確保)		
DoD/NSA	\$52M (2006のみ)			Cray Black Widow 数 100TF~	(最終目標は1PF超の実現。時期未定)				
NSF Cyber Infrastructure 計画	\$200M (2007-2010)	説明会 (6月) 一次提案 (9月)	最終提案 (2月) →選定	開発(2007年 10月開始)			2010年に 1PFを目指す		

エネルギー省 (DoE) の状況～ASC～

ASC (Advanced Simulation and Computing) 計画

(DoE NNSA:National Nuclear Security Administration, <http://www.llnl.gov/asci/>)

- 前身はASCI (Accelerated Strategic Computing Initiative) 計画。1996年の包括的核実験禁止条約 (CTBT) 署名を受けてDoEが設定した「備蓄核兵器保全管理プログラム (SSMP)」の一環として、備蓄核兵器の安全性・信頼性・性能の確保を目的に、核実験ではなく最先端のコンピュータによるモデリングとシミュレーション実験によって核兵器のパフォーマンスを分析するための研究開発を行う。
- これまでに「ASCI レッド」(インテル社製、3.2TF)、「ASCI ブルー・マウンテン」(SGI-クレイ社製、3.1TF)、「ASCI ブルー・パシフィック」(IBM社製、3.9TF)、「ASCI ホワイト」(IBM社製、12.3TF)、「ASCI パープル」(IBM社製、111TF)、「BlueGene/L」(IBM社製、367TF)等の実績。

【予算(システム関連)／計画】

	FY 2005	FY 2006	FY 2007	FY 2008	FY 2009	FY 2010	FY 2011	FY 2012
予算	\$ 265M	\$ 283M	\$ 321M	\$ 311M	\$ 306M	\$ 306M		
計画* (*システムはいずれもIBM)	ASCI Purple 100TF							
	BlueGene/L 370TF			BlueGene/P 1PF				BlueGene/Q 10PF?

IBMは2006年6月に東京都内で開催した同社のプライベート・セミナー「IBM Deep Computing Innovation Forum」を開催し、IBM Research VPのTilak Agerwala氏が「Blue Gene」の開発ロードマップを公表。2010年までにピーク性能1PFLOPSの「Blue Gene/P」を、2010～2012年には同10PFLOPSの「Blue Gene/Q」の開発を目指すとした。(http://www.nikkeibp.co.jp/news/manu06q3/505812/)同社はこれまでBlue Gene/Qの目標ピーク速度を3PFLOPS程度としていた。ただし、本内容は米国では発表されていない。また、上記セミナーでLLNLのMark Seager氏は、2008年に1PFLOPSをアルゴリズム研とペアでいれることを計画していると述べている。(http://www.gcn.com/online/vol1_no1/40250-1.html)

なお、最近の動向として、DOE NNSAのBob Meisner氏は、SC05の「Federal HEC Update」セッションにおいて、NNSAのHPCプログラムは(国防などを含む)国家重要問題(problems of national importance)における大規模コンピュータ・サイエンスから予測のための科学(science of prediction)へと焦点を移していると語った。また、NNSAプロジェクトに対する新たなプロポーザルでは①科学技術における予測可能性及び②大型シミュレーションのための検証(Verification & Validation)戦略という2点について、検討されていることが必須としている。

エネルギー省 (DoE) の状況～SciDAC～

SciDAC (Scientific Discovery through Advanced Computing) II 計画

(DOE Office of Science, <http://www.scidac.org/>)

【趣旨／開始年】

Scientific Discovery through Advanced Computing (SciDAC、<http://www.scidac.gov/>)プログラムは、エネルギー省Office of Scienceによって2001年に開始されたプログラムで、テラスケール・コンピュータを効率的に利用し、科学アプリケーション・ソフトウェアを開発、その後、これらが広く利用可能となるようにしていくことを目標としたものである。複数の異なる分野の専門家を集め、ハードウェア及びミドルウェア・インフラに対応した最先端の数学アルゴリズムやソフトウェアを開発することを目的としたコラボレーションを前提としている。SciDACプログラムの3つのリサーチ・コンポーネントは以下の通り。

- テラスケール・スーパーコンピュータのコンピューティング・ケーパビリティを最大限に活用するための次世代科学シミュレーション・コードを生み出す。
- テラスケール・コンピュータを効率的かつ効果的に利用するために開発された上述の科学シミュレーション・コードを利用可能とするための数学的コンピューティング・システム・ソフトウェアを開発する。
- (複数の) 科学者が、大規模なコンピュータ・シミュレーションや科学実験・観測による巨大データセットの管理・流通・分析を効果的に共同で行えるようにするための分散型科学ソフトウェア・インフラを構築する。

SciDAC IIでは、従来からある科学アプリケーション開発プロジェクト(SAPs、17件)に加え、Institutes(4件)、Centers for Enabling Technologies(9件)が追加された。前者は、学界においてSciDACプログラムの認識をさらに高めるため、大学が主導となっているセンター・オブ・エクセレンスを支援することを目的としている。後者は、SAPsと連携し、SciDAC Scientific Computing Software Infrastructureの中のComputing Systems Software Environmentといった分野の研究・開発に取り組んでいる。

【予算】

SciDACには以下のようなプログラムが含まれており、2001年から5年間に亘り約6,000万ドル規模の投資が行われてきた。2006年より第2フェーズである「SciDAC II」プログラムが開始され、2010年にはペタ級システムの利用実現が可能になると予測している(<http://www.scidac.gov/missionSD2.html>)。2006年9月7日、競争力協議会主催の第3回HPCユーザ・カンファレンスにおいて、「SciDAC II」のファンディング先として全米70以上の組織・団体などから応募された240件の中から30のプログラムが選ばれ(SciDAC Iの初年度は51プログラム、応募数はその約3倍)、各プロジェクトに対して3年～5年間に亘りファンディングを行う予定。5年間の同プログラムの予算は合計6,000万ドル超。ファンディング・パートナーとしてエネルギー省のNational Nuclear Security Administration (NNSA)に加え、2006年開始のSciDAC IIからは米国科学財団(NSF)、航空宇宙局(NASA)も参加している。

出典: 2006年9月7日付けエネルギー省プレスリリース: <http://energy.gov/news/4135.htm>

エネルギー省 (DoE) の状況～NLCF～

NLCF (National Leadership Computing Facility) 計画

(DoE Office of Science, <http://www.ccs.ornl.gov/nlcf/index.html>)

- DoEが進める次世代スーパーコンピュータ調達計画で、2004年5月、実施機関として傘下のオークリッジ研究所(ORNL)の5カ年計画を採択(一部はアルゴンヌ研究所に設置)。単にTOP500の頂点を目指すのではなく、Capability計算センターとして大規模かつ高度なプロジェクトにフォーカスした世界最高レベルの演算能力を提供することにより、科学分野におけるブレークスルー及び持続的な技術革新を創出する。

【予算／計画】

2004年、第1フェーズとして2,500万ドルの研究助成が決定。今後5年間で1億5,000万ドルから2億ドルの予算が見込まれている。

	FY2004	FY2005	FY2006	FY2007	FY2008	FY2009
予算 (計\$150-200M)	\$25M	\$25M	\$26M(注)	\$36M(注)	未定	未定
オークリッジ に設置	Cray X1E 20TF	Cray Red Storm (XT3) 20TF	Cray X2 100TF	Cray X2 250TF	Cray Baker 1PF	
アルゴンヌ に設置		IBM BlueGene/L 5TF	BG/L 50TF	IBM BlueGene/P 100TF		

(注: FY2006以降の調達計画には、情報の出典により若干のずれがある。またFY2006/2007予算は未公表のため推定値)

クレイ社は2006年6月、DOE オークリッジ研究所と約200M(2億ドル)の複数年契約を締結したと発表。オークリッジ研に設置している現行のクレイXT3(スカラ型)をアップグレードし、2007年に250TFを、さらに2008年にBaker(コード名)にて1PF(ピーク性能)を達成するとしている。
<http://investors.cray.com/phoenix.zhtml?c=98390&p=irol-newsArticle&ID=873357&highlight=>

「地球シミュレータと共に、日本がコンピュータ・サイエンスの分野で新たな時代を迎えたのは疑いない。日本人はその成果に対する祝辞を受けようとしている。日本の努力のお陰で切り開かれたコンピュータ・サイエンスの新時代に、米国は(スパコン分野で)疑いの余地がない絶対的優位を回復するために十分なコミットメントをしていかなければならない。」

出典: Spencer Abraham DOE長官は、NLCFスタートに際して米競争力協議会(Council on Competitiveness)を会場に行なわれたスピーチ(2004年5月12日)

国防総省 (DoD) の状況～DARPA～

HPCS (High Productivity Computing Systems)

(DoD, The Defense Advanced Research Projects Agency: DARPA, <http://www.highproductivity.org/>)

2010年を目標に、国家安全保障及び産業界のために寄与する経済性、運用性に優れた高生産性の新世代コンピューティングシステム(新しいアーキテクチャ)を開発。新アーキテクチャに関して、従来からのTOP500番付け(Linpackベンチマークにもとづく演算性能指標)に対して、より総合的なProductivity評価の方式が必要になったため、ひとつの試みとして、HPC Challengeベンチマークを発案。

【目標】

- 性能 (time-to-solution): 安全保障上重要なアプリケーションの性能を10～40倍高速化
- プログラム容易性 (idea-to-first-solution): アプリケーション開発のコストと時間を削減
- 移植性 (透過性): 研究と業務アプリケーションソフトウェアをシステムから分離
- 堅牢性 (信頼性): 外部からのアタック、HW障害、プログラムエラーに対する考えられるすべての防御テクニックの適用
- 学界の関心を高めるとともに、産業界からHPCSプログラムへの投資および製品を仰ぐ

出典: <http://www.darpa.mil/ipto/programs/hpcs/objectives.htm>

【予算／計画】

	CY2002	CY2003	CY2004	CY2005	CY2006	CY2007	CY2008	CY2009	CY2010
Phase-1 概念研究 (1年)	IBM, Cray, Sun, HP, SGI 各\$3M								
Phase-2 研究開発 (3年)		Cray "Cascade": \$49.9M IBM "PERCS": \$53.3M Sun "Hero": \$49.7M							
Phase-3 プロトタイプ開発 (4.5年)					実効2PFのプロトタイプ製作(4PF超までの拡張を可能とする設計) Cray (\$250M)、IBM (\$244M)				

国防総省(DoD)の状況～NSA～

(DoD NSA:National Security Agency, http://www.nsa.gov/home_html.cfm)

- 国家安全保障局(NSA)は国防総省(DoD)の諜報機関の1つ。CIAがおもにHUMINT(Human Intelligence:スパイを使った諜報活動)を担当するのに対し、NSAはSIGINT(Signal intelligence:電子機器を使った諜報活動)を担当。

【予算／計画】

- FY2006 HEC R&D 用に\$89.2M(うち\$52Mが”Black Widow” & ”ELDORADO”の開発に充当)
- (利用対象:アーキテクチャ／システム、高速スイッチ／インターコネクト、プログラミング環境、量子コンピュータ)

CY2003	CY2004	CY2005	CY2006	CY2007
Cray “Red Storm X1E”:\$17.5M				
			Cray ”Black Widow” & ”ELDORADO”: \$52M(2006分のみ。2007分は未定) 数100TF～ ”Black Widow” の最終目標は1PF超の実現(時期未定)	

国防総省(DoD)の状況～OSD～

HPCMP(High Performance Computing Modernization Program)

(OSD(Office of Secretary of Defense), <http://www.hpcmo.hpc.mil/>)

DoD配下の研究所のHPC能力の更新を行うことで、スーパーコンピューティング、通信、計算モデルの分野で米国のリーダーシップを強化し、先端防衛技術開発の加速を行う。1992年スタート。2006年現在で587プロジェクト、4617ユーザ(133サイト)、10の分野。

【予算／計画】

FY2006 \$210M (OSD and DoD Service research organizationの予算枠)

毎年25%程度のシステム更新が実施されており、約20%(\$40-50M)の予算が割かれている。

米国科学財団(NSF)の状況～OCI～

Cyber Infrastructure Vision for the 21st Century

(NSF: National Science Foundation, Office of Cyber Infrastructure,
<http://www.nsf.gov/dir/index.jsp?org=OCI>)

- 2010年までに、シミュレーションの活用によるバーチャルな研究環境の提供を目的とするペタスケール・コンピュータの開発を含む、コンピュータ、データおよびネットワーク技術を活用した、科学・工学研究のための環境を整備する。
- 多くの異なる科学分野に幅広い影響力を有するアーキテクチャのシステムを模索。
- 将来的には、全米の研究機関・大学等をネットワークで結ぶことも視野に入れている模様。

【予算／計画】

	FY2006	FY2007	FY2008	FY2009	FY2010
予算	\$30M	\$200M(ハード&関連要員-\$100M、ソフト&その他-\$100M)			
スケジュール (調達)	説明会(6月) 一次提案(9月)	最終提案(2月) →選定	開発(2007年10月開始) →2010年にペタスケールを目指す		

NSFは2006年6月に調達説明会を開催。ポイントとしては、(1)ペタコンの活用を通じた、ペタスケールの科学・研究の提案を募集。ハード・ソフトの開発も含むが、ペタスケールのハードウェア調達そのものが目的ではない。(2) 一次提案 9月8日締切、最終提案 2月2日締切、(3)参加資格は、大学や非営利研究機関のみ。営利機関の参加も可能であるが、主提出者とはなり得ない、(4)予算総額の上限 2億ドル(2006-2011年にかけての4年間プロジェクト)。FY2007 は0.5億ドル。

<http://www.nsf.gov/pubs/2006/nsf06573/nsf06573.html>

米国航空宇宙局(NASA)の状況

NAS Project Columbia

(NASA Advanced Supercomputing (NAS) Division,
http://marsoweb.arc.nasa.gov/About/Projects/Columbia/columbia_build.html)

【概要】

2004年、National Leadership Computing System (NLCS)の一環として、1TBのメモリを共有する512個のプロセッサで構成されたCOLUMBIAノード4台をつなぎ、2048プロセッサ(Itanium2: 1.6GHz × 9MB L3 キャッシュ、SGI NUMA結合)からなる大規模共有メモリ環境を構築した。

SGI ALTIX - COLUMBIA SUPERCOMPUTER:

システム	: 20ノードの SGI® Altix™ 3700 superclustersで合計 10,240CPU
プロセッサ	: INTEL Itanium® 2、1.5GHz、6 MB cache.
メモリ	: 1 TB global shared memory/512CPU supercluster、合計 20 TB
システムソフト	OS : Linux® based operating system ジョブ管理 : PBS Pro™ コンパイラ : INTEL® Fortran/C/C++ その他 : SGI® ProPack™ 3.2 software
ネットワーク	: SGI® NUMalink™ interconnect InfiniBand network、10 gigabit Ethernet、1 gigabit Ethernet
外部記憶装置	: 440 TB of online Fibre Channel RAID 10 PBアーカイブ記録装置

【予算／計画】

2004年の120日間、\$50Mで実現。650人のユーザーが使用可能。52TF

米国国立衛星研究所(NIH)の状況

(Department of Health and Human Services NIH: National Institutes of Health,
<http://nihroadmap.nih.gov/bioinformatics/index.asp>)

生物医学(生体臨床医学)データの管理と分析、および生物学的プロセスのモデル化の両方にコンピュータの処理能力を適用することによって、人間の疾病の解明、診断、治療、予防のための基礎知識を増進することを目標としている。生物学、医学、計算科学、情報科学の分野に関わる生物学者・化学者・物理学者・コンピュータ科学者が、米国のどの場所からでもスーパーコンピュータ・ネットワークにアクセスでき、共通のソフトやツールを使って、それぞれの研究者が生医学に関わるデータを共有、あるいは分析するための計算インフラを作り上げることが行われており、現在7つの**NCBC** (National Center for Biomedical Computing) という形で研究開発(ソフトウェア及びデータ管理ツールの作成)が行われている。

1. National Center for Simulation of Biological Structures(SimBioS)
2. The National Alliance for Medical Imaging Computing(NAMIC)
3. i2b2 Informatics for Integrating Biology & the Bedside
4. Center for Computational Biology (CCB)
5. National Center for Integrative Biomedical Informatics (NCIBI)
6. National Center for Multi-Scale Study of Cellular NetworksMAGNet:
National Center for Metascale Analysis of Genomic and Cellular Networks
7. The National Center for Biomedical Ontology (cBIO)

3. 開発企業の戦略・計画

概要

米国スーパーコンピュータベンダーの戦略

1. C r a y

ベクトル型、スカラー型（XT3、XD1、MTAなど）、再構成アーキテクチャのように、複数種のアーキテクチャの計算機を製品化し、Cascadeという異機種統合システムにまとめ、Adaptive Supercomputingという概念で有効性、将来性をアピールしている。HPCSプログラムで協業関係にあるAMDとの契約を2010年まで延長した。

2. I B M

PowerアーキテクチャをベースとしたA S C I purpleから、P E R C Sという幅広い分野のアプリケーションを効率良く実行するアーキテクチャに進化させようとしている。一方、BlueGeneという応用分野を絞ってコスト・電力あたりの性能を重視した製品を提供している。

3. S u n

H P C SのPhase I / IIではH e r oプログラムで参加しており、2008年にはRockというプロジェクトを計画している。

MPUベンダーの戦略

1. I B M

Power、PowerPC、Cellによってあらゆる分野でPowerアーキテクチャを適用させ、デファクトスタンダード化を狙っている。

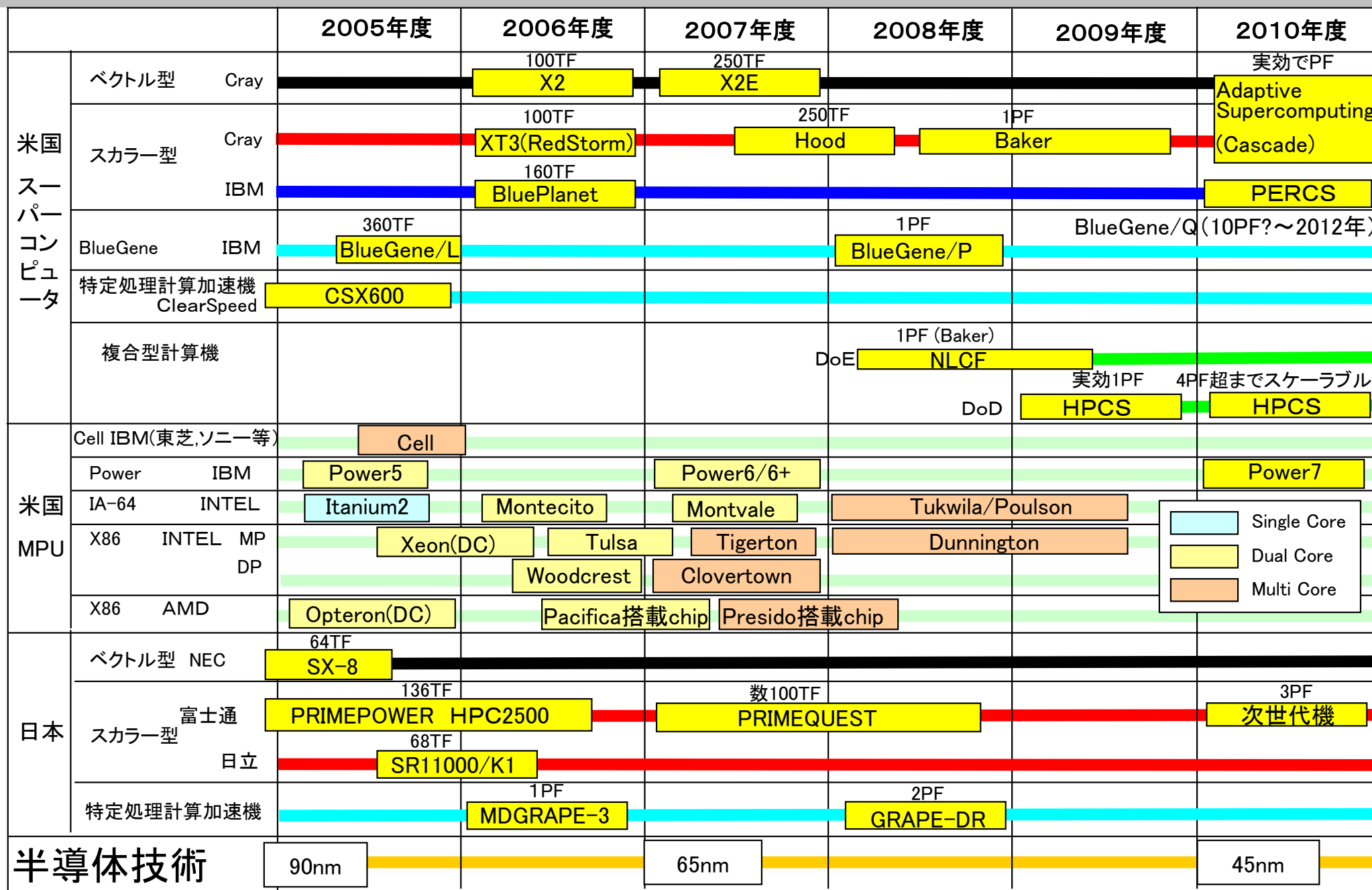
2. I N T E L

IA-64、IA-32 (EMT64を含む)の2種類の製品ラインを持ちながら、デュアルコアからマルチコアへ製品強化を行う戦略。更に、Xscale (ARMアーキテクチャ)でモバイル製品にも対応。

3. A M D

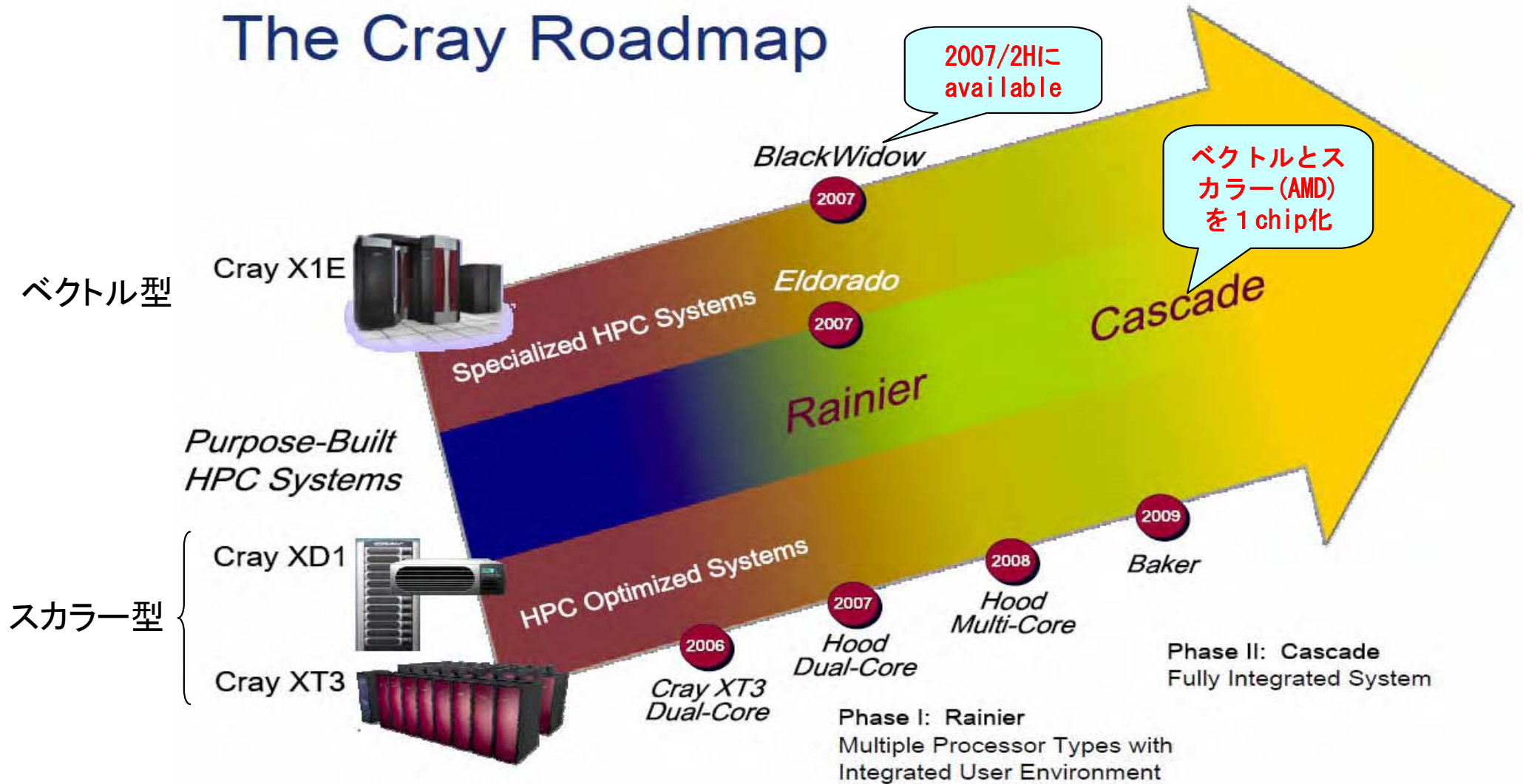
IA-32 (EMT64を含む)アーキテクチャにおけるデュアルコアからマルチコアへ製品強化を行う戦略をとるが、I B Mとの協業によって半導体プロセス技術の強化を狙う。

日米スーパーコンピュータ・MPUベンダーの製品開発計画



C r a y のHPC戦略～ロードマップ～

The Cray Roadmap



BlackWidowとEldoradoが2007年に登場。AdamsからHoodに名前を変更

出展：2006 Spring CASC Meeting March 13, 2006

CrayのHPC戦略～Cascadeプロジェクト～

- DARPAのHigh-Productivity Computing System(HPCS)プロジェクト対応としてCrayはStanford大、Caltech/JPL、NotreDame大と組んでCascadeプロジェクトを提案。2003～2006年のPhase2において49.9M\$を授与されている。2006年度よりPhase3で製品開発がスタート予定。(2社に絞られる)
- Cascadeのアプローチ
 - 並列コード開発の容易性
 - Co-array Fortran および Unified Parallel C で共有メモリの一貫性制御(shmem)をサポート
 - Chapel言語の開発
 - デバッグ、チューニングツールのサポート
 - 自動性能分析
 - Heterogeneous, Tailorableなマシンで広いアプリに対して、高性能で使いやすく
 - スレッドレベル並列
 - データレベル並列
 - 規則的、離散的なメモリアクセスにおいても高い転送性能を実現
 - 空間的、時間的ローカリティ
 - 堅牢性
 - フォールトトレラントなHWと、障害に対して柔軟な対応が可能なOS

CrayのHPC戦略～Adaptive Supercomputing～

2006年3月20日に“Adaptive Supercomputing”を正式にアナウンス

■ リリース概要

- ・数年のうちに、スカラー、ベクトル、マルチスレッディングおよび、HWアクセラレータなどを1つのプラットフォームに統合。
- ・すべてがブレードタイプとなると予想される。
- ・OSはLinuxに統一。
- ・アプリケーションを特定のプラットフォームに容易にあわせることができる。
- ・AMDとの契約を2010年まで延長、HPCSプログラムでAMDと協力

■ ロードマップ

- 1st phase “Rainier”と呼ばれるプロジェクト。Crayの全てのプラットフォームが利用可能な統合環境を提供（2007年開始予定）
- 2nd phase 完全にインテグレートされたマルチアーキテクチャシステム
- final phase プラットフォーム間のダイナミックなリソースアロケーション
“Adaptive Supercomputing”の自動化

■ 考察

従来から行ってきた、ヘテロコンピューティングへの取り組みとして、

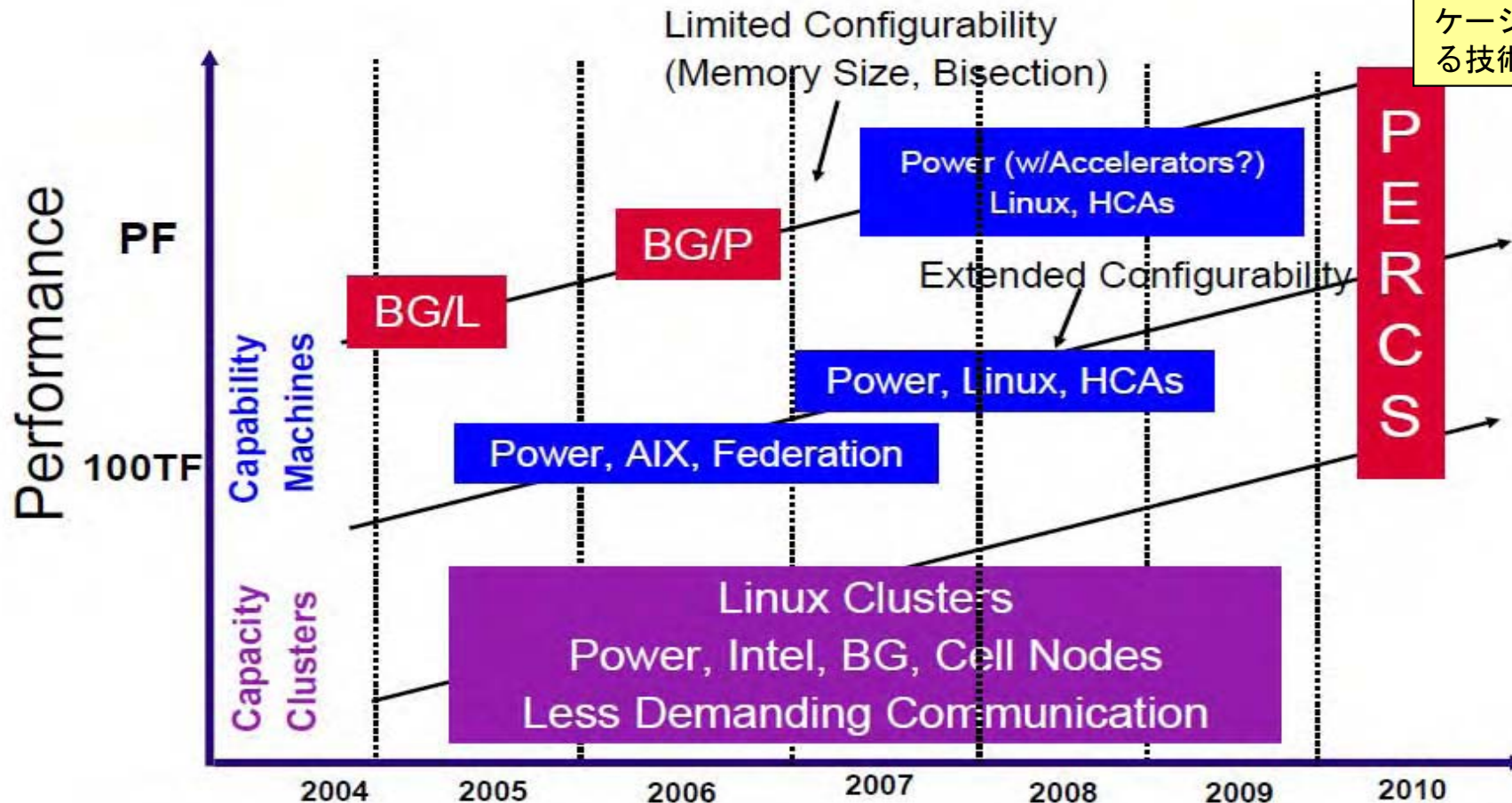
- ①スカラーにリコンフィギュラブルなHWアクセラレータ(FPGA)を付加するXD1
- ②ベクトルとスカラーのヘテロシステムとして、OpteronサーバとBlackWidowを共通のネットワークで接続する“Rainier Project”
- ③マルチスレッド(MTA)とスカラー(XT3)を共通化する“Eldrado”

を示していることから、PIM等の当初のCascadeの斬新さは薄れ、現実的な構成に変更されてきたとも見える。

IBMのHPC戦略～ロードマップ～

Doe、DARPA等による国家プロジェクトを活用し、ローレンスリバモア国立研究所、アルゴンヌ国立研究所、テキサス大などと連携しながら、Blue Gene、Powerシステム、Linux Cluster等の複数の系列製品のLSI技術、ハードウェア/ソフトウェアアーキテクチャ、アプリケーションといった幅広い技術の開発を進めている。

HPC Cluster Directions

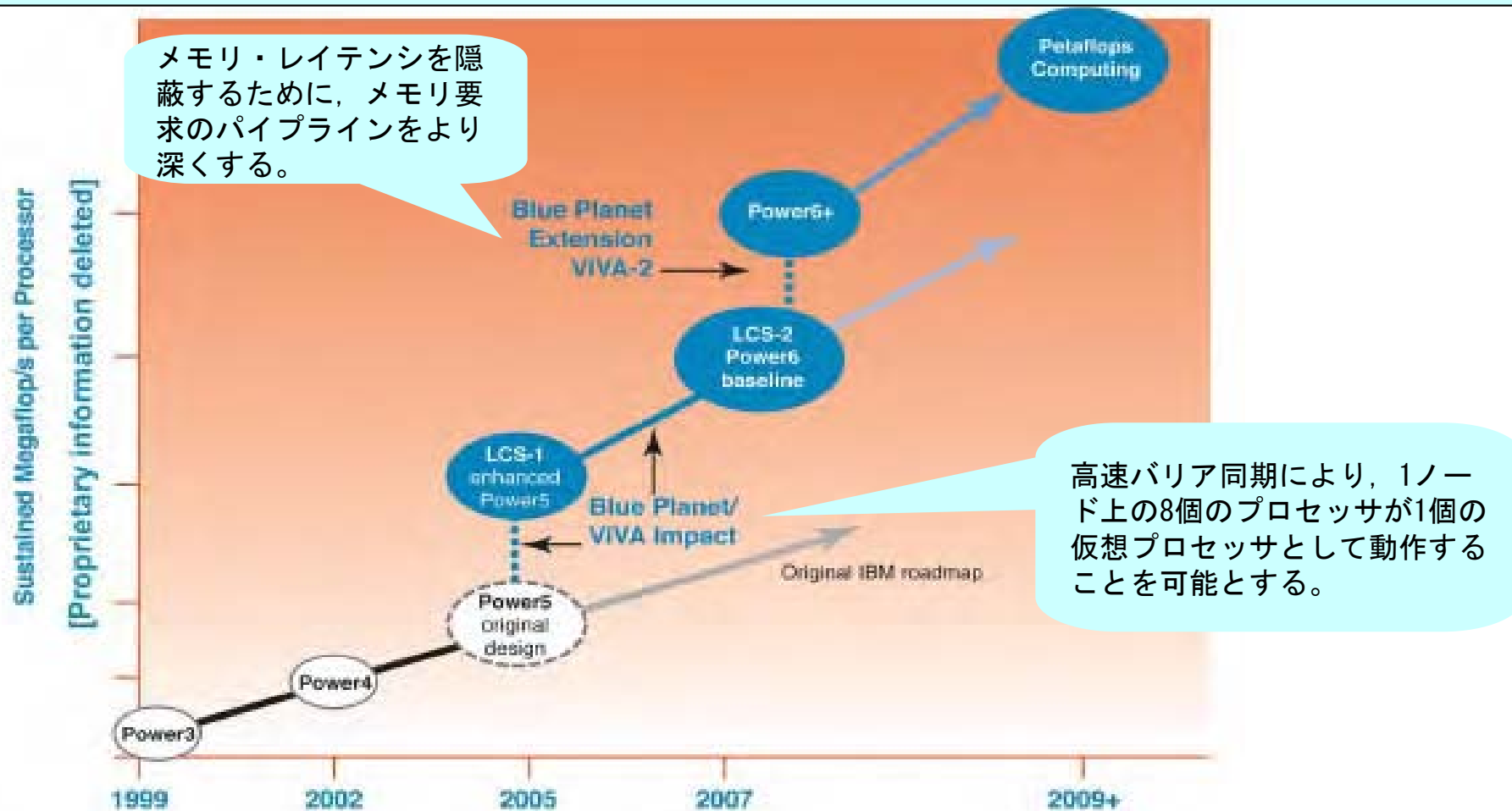


2010年頃に向けては、複数系列の開発を集約するPERCSプロジェクトを推進し、デバイスからアプリケーションまでの多岐に渡る技術が検討されている

出展：「IBM's High Performance Computing Strategy」Don Grice October 26, 2004

IBMのHPC戦略～Power系システム～

先の“Blue Planet”Proposalにおいては、地球シミュレータに対抗すべく、Science-Drivenコンピュータ・アーキテクチャとして、ViVA (Virtual Vector Architecture) 及びSystem-on-a-chipの検討を、それぞれ、同社のPower5プロセッサ及びBlueGeneにて行っている。



【Science-Drivenアーキテクチャ (ViVA適用) のロードマップ】

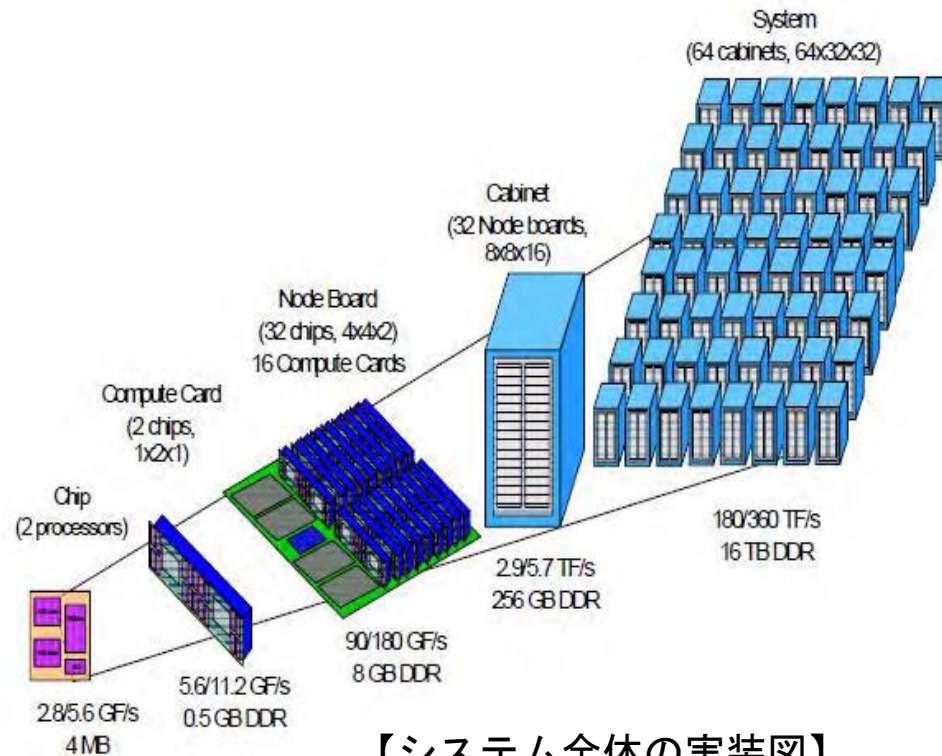
出展：「National Facility for Advanced Computational Science: A Sustainable Path to Scientific Discovery (A Proposal to the D o E Office of Science from Lawrence Berkeley National Laboratory)」、H. Simon et al. April 2, 2004

IBMのHPC戦略～BlueGene～

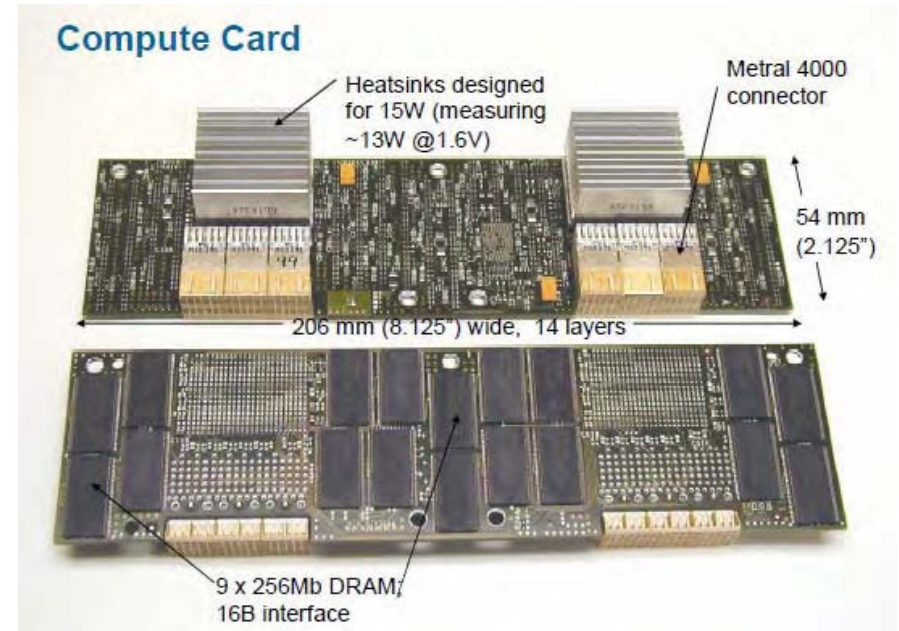
BlueGeneにおいては、COTS (Commodity Off-The-Shelf) と同レベルの価格性能比の達成を目的とし、SoC (System-on-a-Chip) を採用した。また、価格性能比の向上のために、一部のアプリケーションのニーズを考慮しつつ、電力性能比の向上を重視した。BlueGeneが取り組んだアプリケーションは大きく3つに分類される。

- (1) 物理現象のシミュレーション
- (2) リアルタイム・データ処理
- (3) オフライン・データ解析

中でも、物理現象のシミュレーションは、国立の研究所とスーパーコンピュータセンターの典型的なアプリケーションである。更に、BlueGeneは専用計算機を置き換えるとも言っている。



出展：「Application Driven Supercomputing An IBM Perspective」William R. Pulleyblank



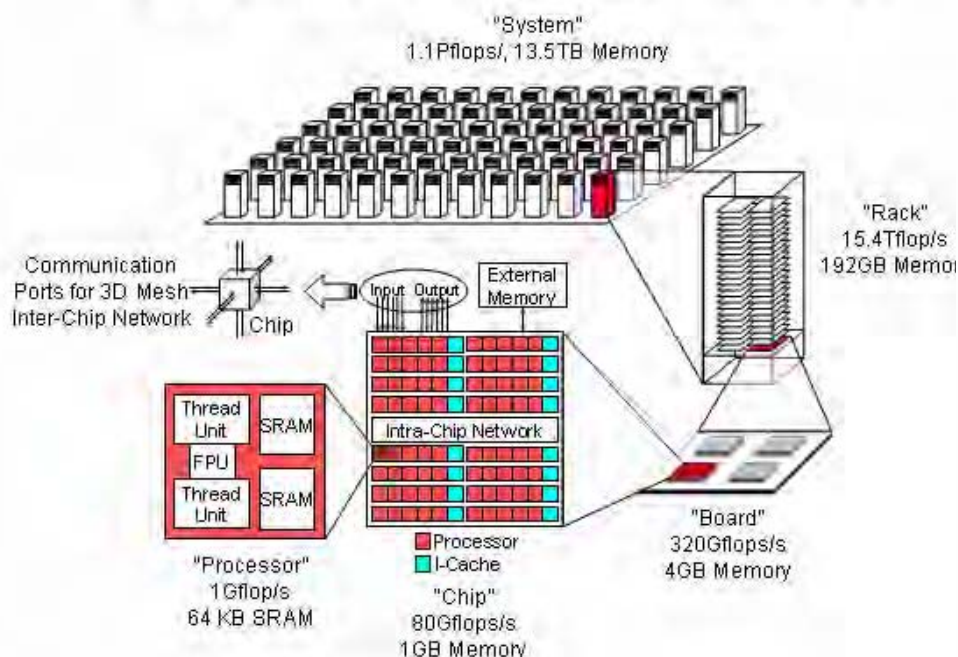
【コンピュータカードの概観】

ラック当りの性能は電力性能比20kW程度
電力性能比が高いPowerPCを選択し、周波数を700MHzに抑える。
PowerPCは高性能プロセッサと比較して2～10倍の電力性能比

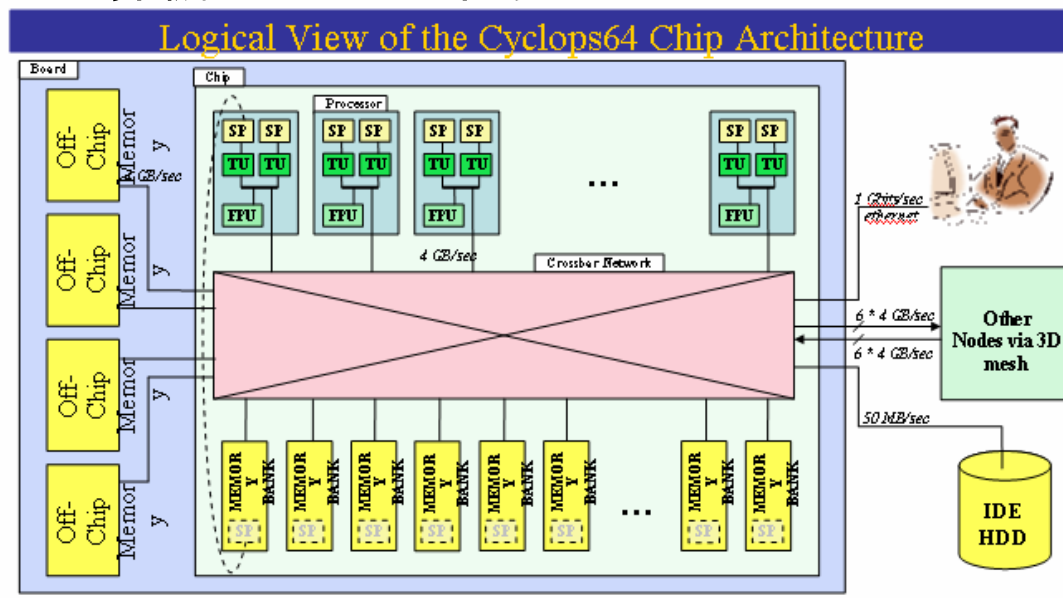
出展：「Application Driven Supercomputing An IBM Perspective」William R. Pulleyblank

IBMのHPC戦略～Cyclops-64～

デラウェア大学との共同研究による、超並列計算機システムの開発プロジェクト Cyclops-64 Supercomputer



【システム全体の実装図】



Processors	: 80 / chip	On-chip Memory (SRAM)	: 160 x 32KB = 5120 KB
Thread Units (TU)	: 2 / processor	Off-chip Memory (DDR2)	: 4 x 256MB = 1GB
Floating-Point Unit (FPU)	: 1 / processor	Hard Drive (IDE)	: optional
Scratch-Pad Memory (SP)	: n KB / TU		

SP is located in the memory banks and is accessed directly by the TU and via the crossbar network by the other TUs.

【C64チップのアーキテクチャの論理イメージ】

出展: 「Programming Experience on Cyclops-64 Multi-core Chip Architecture」 Ziang Hu, Geoff Gerfin, Brice Dobry, And Guang R. Gao CAPSL, University of Delaware

システム全体の理論演算性能

- ・ 1.1PF 全メモリ容量 13.5テラByte
- ・ C64と呼ばれるLSIに80個のプロセッサを実装
- ・ 160スレッドユニット/chip
- ・ 80浮動小数点演算ユニット/chip
- ・ 階層的なメモリ構成
Scratch-Pad Memory (SP), On-chip Memory (SRAM), Off-chip Memory
- ・ 3Dメッシュネットワーク

今後の作業

- メモリ階層を意識したコンパイラの最適化技術
- ライブラリの開発
- 先進的なプログラミングモデルの開発
- など

IBMのHPC戦略～PERCS～

2010: High Productivity Computing Systems Research
PERCS (Productive, Easy-to-use, Reliable Computer System)

Balanced attack across all system layers



- Programming environments
 - Focus on simplifying programming tasks and reducing development cycle
- Scalable OS and middleware
 - Support for on-demand computing
- Compilers
 - Tolerating memory latency
- Development of new systems analysis tools
 - An execution-driven evaluation infrastructure
- Systems architecture
 - Application dependent morphing architectures under software control, addressing the memory wall
- Circuits/power/technology
 - High performance, lower power circuits, system level power analysis, advanced packaging

Main theme: A system that adapts to the application, not the other way around

- Continuous program optimization
- System performance evaluation methodology and infrastructure

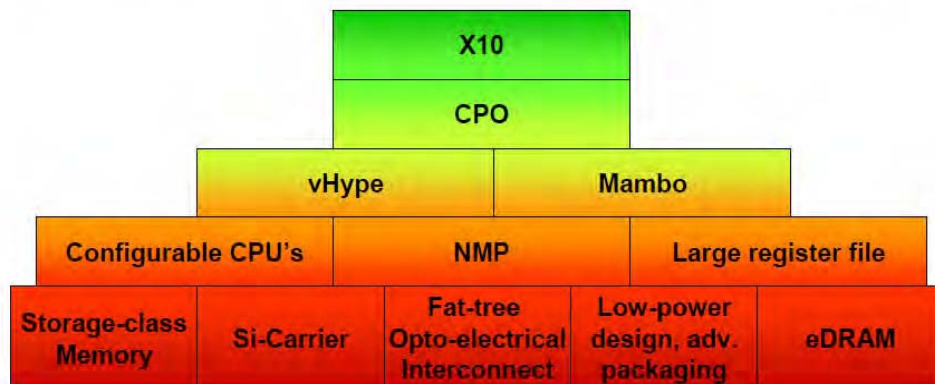
システムの全てのレイヤーで、バランスの取れた開発を行う。

主目標：アプリケーションにシステムを合わせる

- 継続的なプログラムの最適化
- システム性能評価方法と基盤技術
- プログラミング環境
 - プログラミング作業をシンプルにする。
- コンパイラ
 - メモリレイテンシを隠す。
- システム解析ツール
- アプリケーションの応じて変更可能なアーキテクチャ
- 高性能で低消費電力な回路とシステムレベルの電力解析、先端的な実装技術

出展：「IBM's High Performance Computing Strategy」Don Grice

PERCS Technology Bets



【PERCSを構成する技術群】

X10：新プログラミング言語

CPO：Continuous Program Optimizationの略。性能を測定しながら継続的にプログラムを最適化するシステム

vHype：PERCS用システムソフトウェア

Mambo：システム設計に使われるシステムシミュレーター

NMP：Near Memory Processorの略。メモリコントローラーが統合されたマルチスレッドベクトルプロセッサ

eDRAM：








Embeddet DRAMの略。ロジックが混載されているDRAM

出展：「X10 --- a New Programming Model for Productive Scalable Parallel Programming」PMUA Workshop June 21, 2005 Vivek Sarkar, IBM T.J.

Watson Research Center

SunのHPC戦略～製品～

- 現行のサーバー製品ラインナップとしては、従来のSPARC系とAMDのx86系に大別される。HPCに対しては適材適所とのスタンスを見せているが、実際のところはAMDのサーバ(PCクラスタ)を主軸として対応。
- サーバのみではなくソフトウェア環境(OS、コンパイラ、クラスタソフト、グリッドソフト)も含めた総合的なHPC環境を提供。

アプリケーション	ISVアプリケーション Sun HPC Cluster Tools/Development Tools		
運用管理	Sun N1™ Grid Engine Software Sun N1™ System Manager Software		
オペレーティングシステム			
ノード (プロセッサ)			
インターコネク	Gigabit Ethernet		

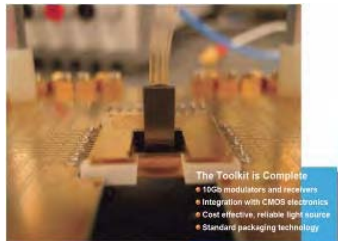
出展：「HPC Product Overview」 Roland Rambau March 2006

SunのHPC戦略～HPCSへの参加～

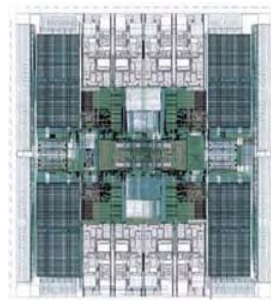
- HPCSのPhase I、Phase IIに参加。
- 現在推進中のPhase II(2003～2006年)では、Heroプログラムにて参加、\$49.7M/3年の予算を受けている。
- ターゲットコンセプト「Ultrascale Computing」
 - 強力なバンド幅の実現
 - 生産性とプログラム容易性の向上
 - 商業的なスーパーコンピューティングの存続
- Heroプログラムの製品への展開計画
 - Heroプログラムのアウトプットは、製品ロードマップに反映される。
 - コモディティのみによるソリューションに対し、生産性とバンド幅の面で大きなアドバンテージのある製品を提供する。
 - Heroプログラムで開発された速度向上技術、低消費電力技術、及びブレードからペタスケールまでのスケーラビリティを向上する技術により、コマースシャルとHPCマーケットの両方のニーズにマッチする次世代システムを設計する。

SunのHPC戦略～HPCSでのキーテクノロジー～

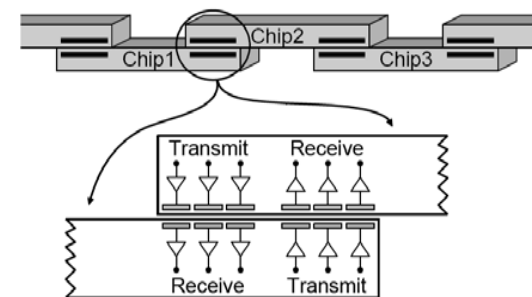
- 近接通信
 - チップ間の配線不要な直接間通信の実現。チップ間(CPU-メモリ間など)の通信における、実装密度、電力、レイテンシ、バンド幅、コストの面で有効。
- 光通信
 - 近接通信を活かすため、Luxtera社と共同でシリコンフォトニクスの研究も行っている。超低レイテンシを保ちつつ良好なスケーラビリティが得られることが特徴だが、現状では信頼性やコスト等の問題がある。
- CMT (Chip Multi-Threading)
 - マルチコアとマルチスレッディング技術。既に第1世代としてUltraSPARC IVで2スレッド/コア、第2世代としてUltraSPARC T1(Niagara)で8コアx4スレッド(CoolThread技術、32スレッド/チップ)が実現されており、64スレッド/チップのUltraSPARC T2(2007年後半)が発表されている。
 - 次世代については、HPCにも適用可能なものとして2008年に「Rock」が計画されている。
- Fortress、Fortran、コンパイラ
 - コンパイラにおける自動並列化機能の向上
 - 1/10のコード量で同等性能を得られるFortranの研究
 - Fortress言語



【Luxtera社のCMOSフォトニクスモジュール】



【UltraSPARC T1】



【チップ間近接通信】

出展：「Sun in High Performance Computing BW Beowulf

User Group Meeting」January 11, 2006 A. J. Mahajan

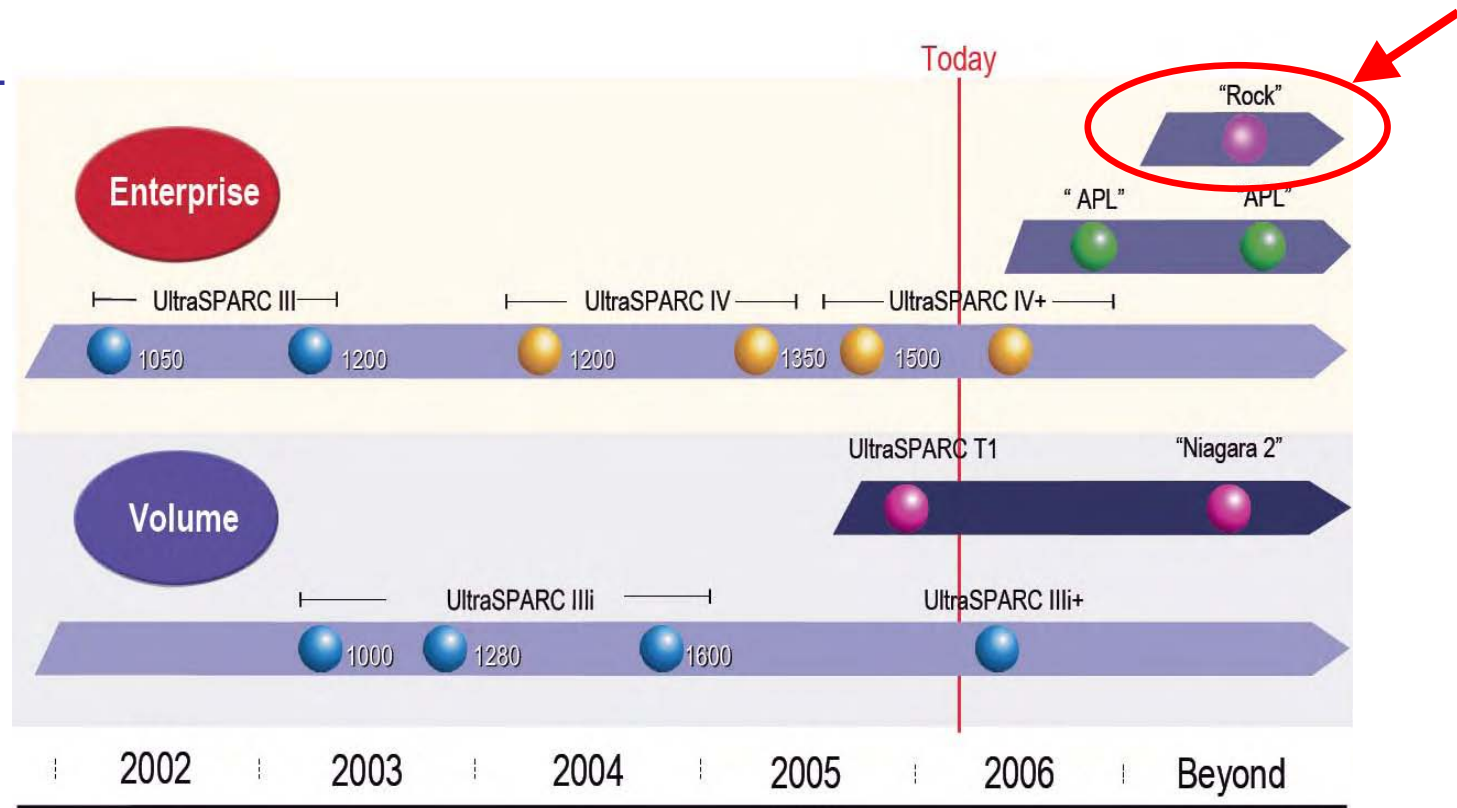
出展：「HPC Product Overview」Roland Rambau March 2006

SunのHPC戦略～ Rockプロジェクト～

- 第3世代のCMT(Chip Multi-Threading)
- Supercomputer-on-a-Chip
- 65nmテクノロジーを採用
- 1.2GHz UltraSPARC-IIIベースのシステムと比較して、30倍以上のスループット性能向上が得られる

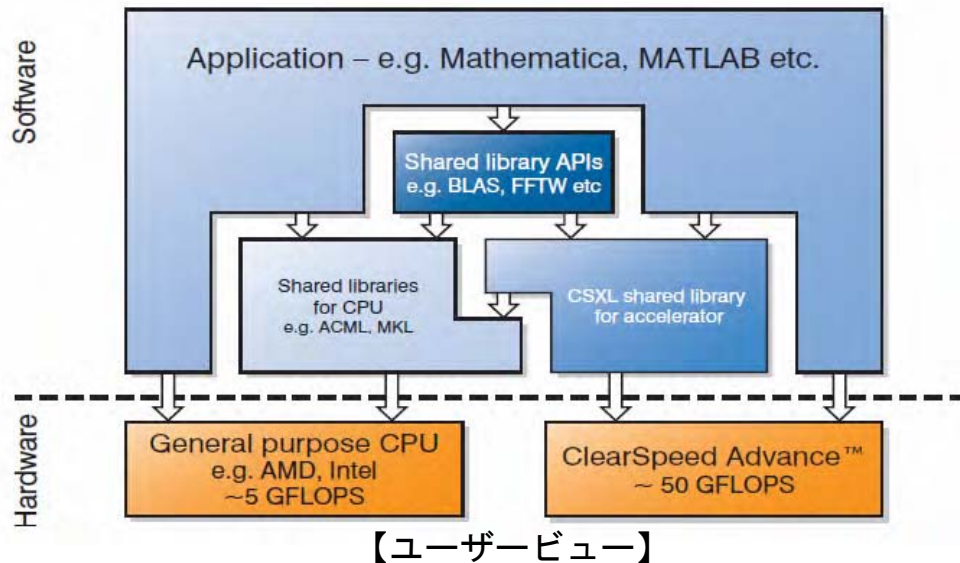
2008年

SPARCプロセッサ ロードマップ

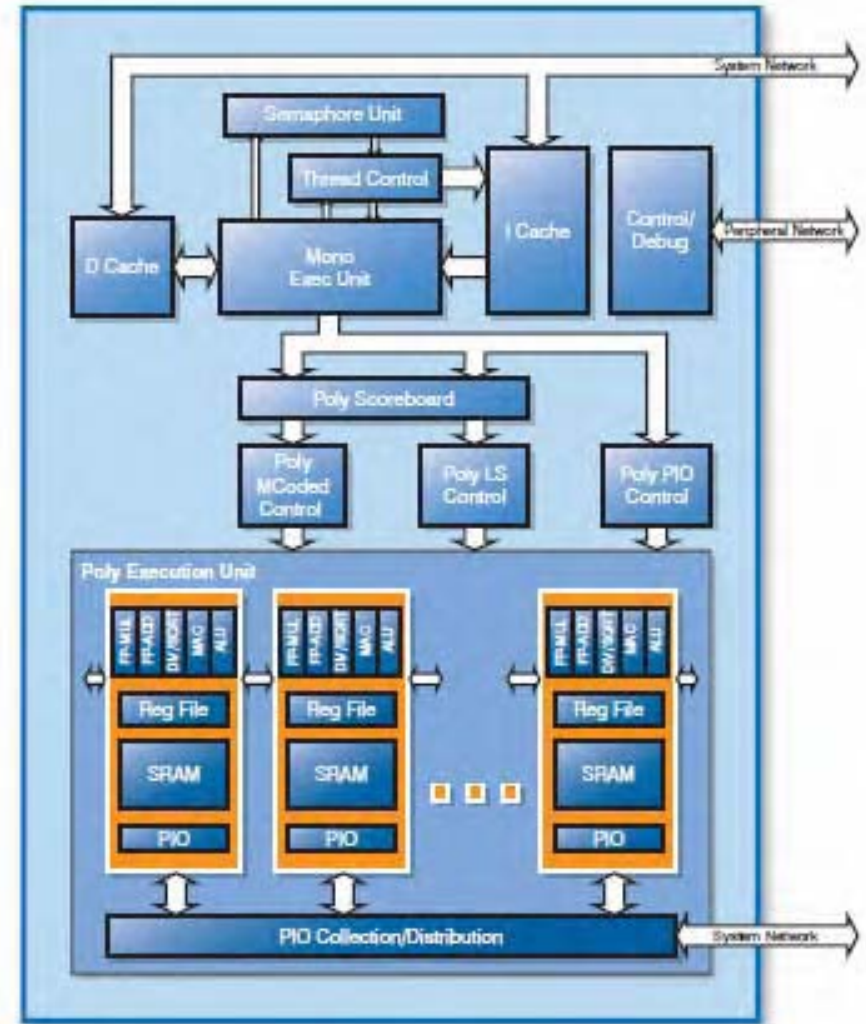


ClearSpeedについて

- ・ コプロセッサによりアプリケーション性能を高めるソリューションを提供。
- ・ 現状は、汎用インターフェース（PCI-X）を使用したアクセラレータ製品を提供。ファーストユーザーとして、SunのOpteronクラスタと共に東工大に導入。
- ・ AMDが、将来のOpteronプロセッサにHyperTransportで直結するコプロセッサとして検討中と言われている。
- ・ 今後利活用が広がる分野
 - 構造流体連成解析 → 船舶
 - 構造・衝突解析 → 自動車初めものづくり全般
 - タンパク解析 → バイオ
 - 材料解析 → 半導体



主プログラムは、通信ライブラリによってホストのメモリからアクセラレーターボードに入力データを送って、計算結果を待つ。



【構成図】

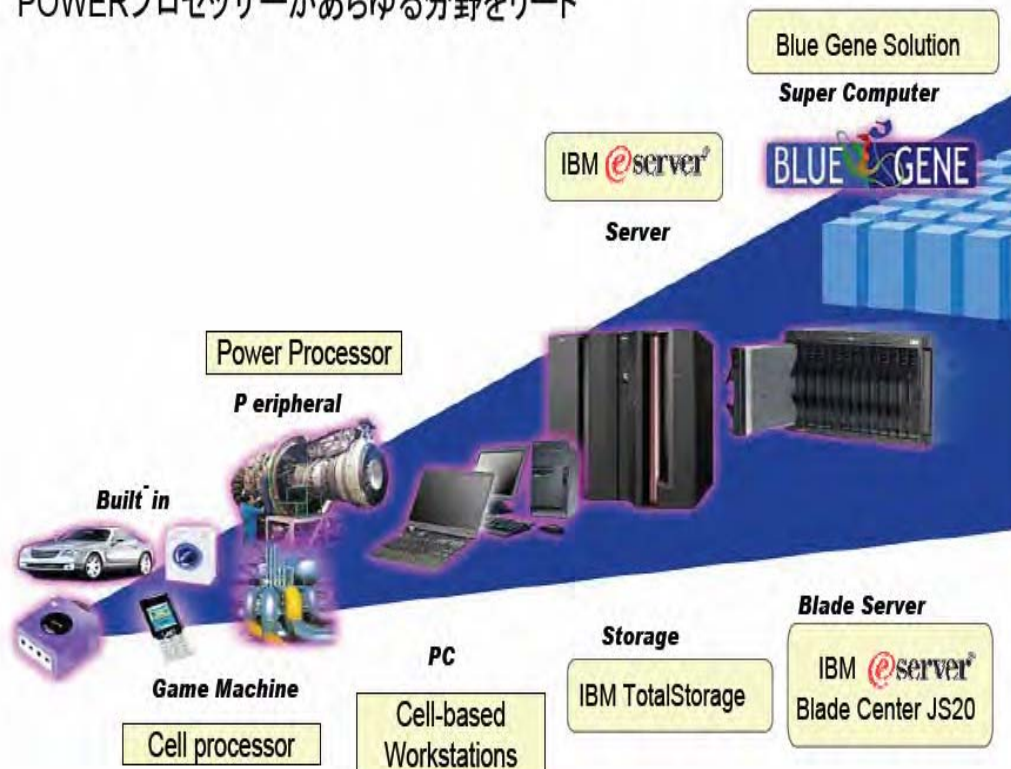
消費電力10W

DGEMMの単/倍精度で25GFの実行性能

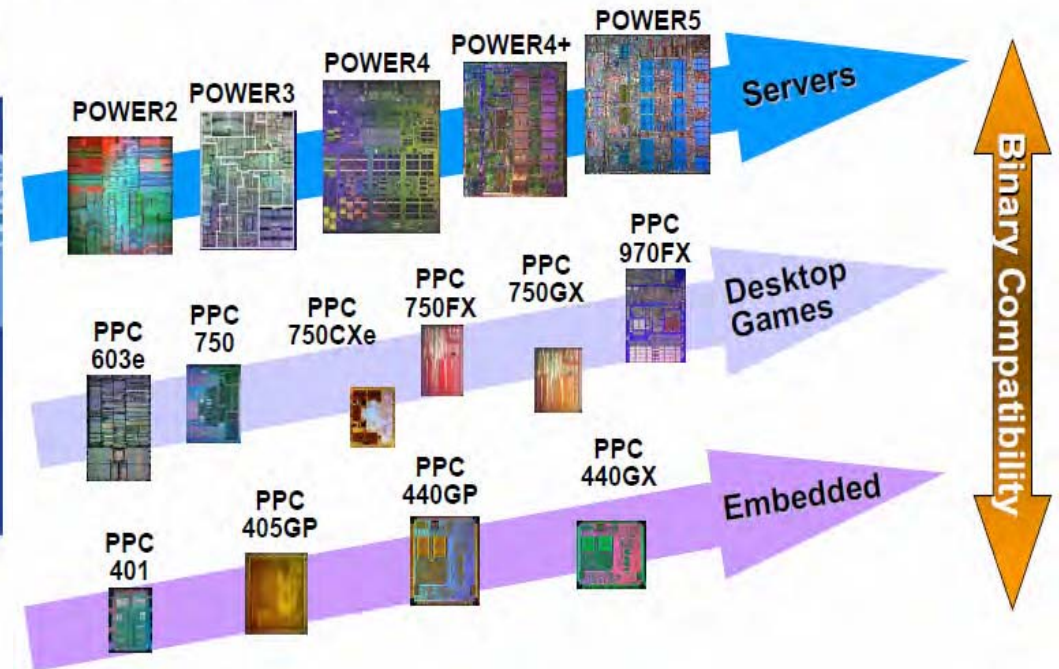
IBMのMPU戦略～Powerアーキテクチャ～

Power Everywhere : Powerアーキテクチャがあらゆる分野で活用されることを目指している。

- ◆ ゲーム機からIBMサーバー、ストレージ、スーパーコンピュータまで POWERプロセッサがあらゆる分野をリード



POWER : The Most Scaleable Architecture



PPC: PowerPC

出展 : 「Deep Computing with IBM Systems」 Barry Bolding, May 2005

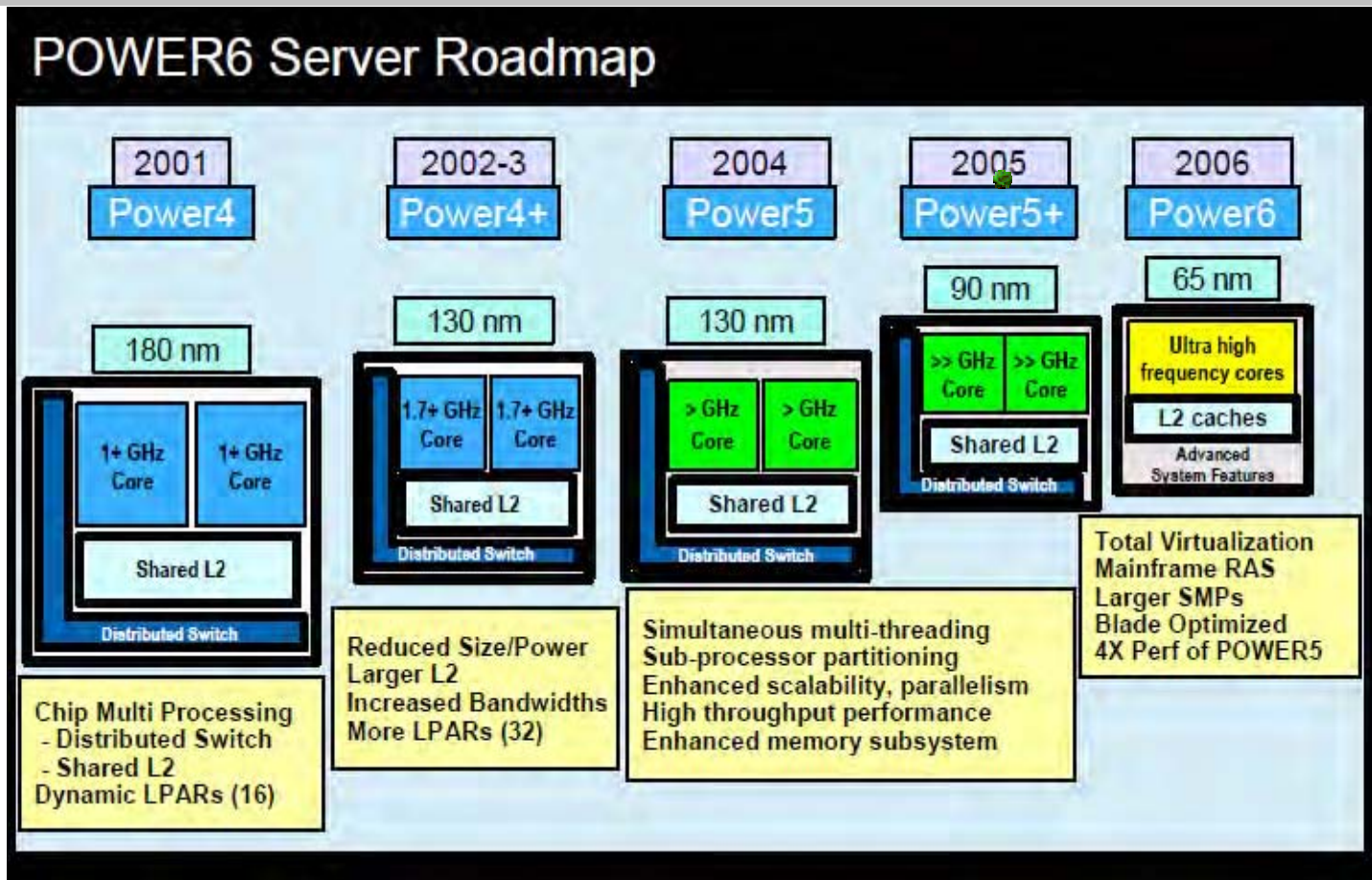
出展 : 「System & Technology 日本での戦略」 出澤研太, 2005年7月

Power : Performance Optimization With Enhanced RISC

PowerPC : Performance Optimization With Enhanced RISC for Personal Computer

あらゆる分野をカバーするために複数のラインアップを製品化している。更に、Powerアーキテクチャをオープンな仕様にして開発するために、Power.org を2004年12月を発足し、2006年4月5日時点で44社加入。

IBMのMPU戦略～Powerのロードマップ～



Power6に関する情報

出展：「Application Driven Supercomputing An IBM Perspective」,
William R. Pulleyblank,

- ・動作周波数は、4～5GHz（Power5の約2倍）

パイプラインのステージ数はPower5と同じ。各ステージの論理回路数を半分にするために、回路に2倍、3倍の処理をさせている。一連のトランジスタに複数の機能を割当て、ラッチ間のゲート遅延を半分に抑える。

- ・消費電力は、Power5と同レベル

すべてのアプリケーションがマルチコア向けに移植されているわけではない。単一プロセッサ用アプリケーションのシングルスレッド時における性能と、SMP時における性能のバランスをとることに努力している。このために動作周波数を上げた。

- ・デュアルコア・チップ

IBMのMPU戦略～Cellプロセッサ～

次世代プロセッサ「Cell」の動向

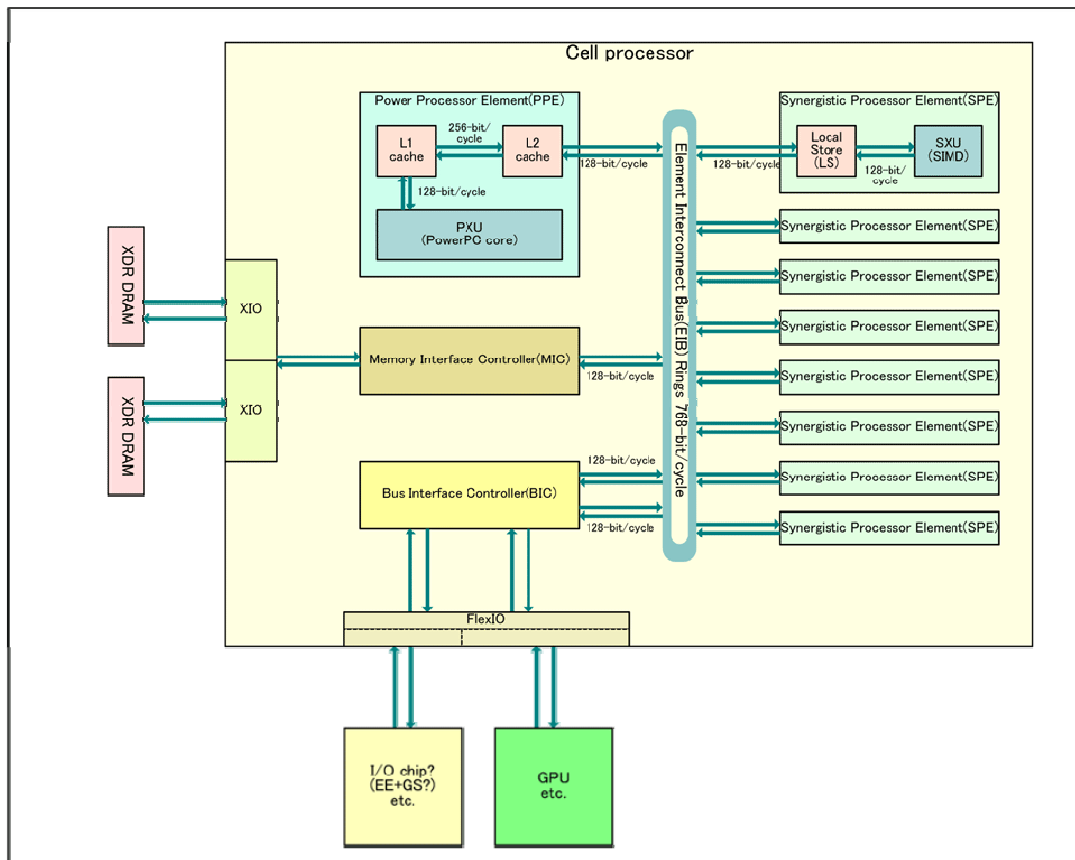
2005年2月7日 ソニー、SCEI、東芝とともにCellの技術仕様を公表

2006年2月8日 米IBM, Cell BEプロセッサ搭載ブレード・サーバーなどを発表

格納しているブレード・サーバー間のデータ転送速度を高速化した新型筐体「IBM BladeCenter H」や、Cell Broadband Engine (Cell BE) プロセッサを搭載した新型ブレード・サーバーなどを発表した。

Cell processor high level diagram

Cell BEプロセッサ搭載ブレード・サーバーは、2006年第3四半期に利用可能とする予定。



【9コアのCellプロセッサを搭載したブレード】

出展：「米IBM, Cell BEプロセッサ搭載ブレード・サーバーなどを発表」Info Enterprise 2006年2月9日

次世代プロセッサ「Cell」仕様

- ・浮動小数点演算理論性能（単精度）256ギガFLOPS
- ・クロック4GHz以上
- ・9個のコア（PPE×1, SPE×8）：PPEはPowerPC 970 (G5) と互換
- ・新メモリ「XDR DRAM (Yellowstone)」インターフェイス
- ・チップ間接続の広帯域インターフェイス「FlexIO (Redwood: レッドウッド)」
- ・90nm SOI プロセス
- ・ダイサイズ現在の試作チップで221平方mm
- ・トランジスタ数 234M個

Copyright (c) 2005 Hiroshige Goto All rights reserved.

出展：「後藤弘茂のWeekly海外ニュース～ISSCCで、ついにCellが登場～ソニーグループ、IBM、東芝が共同発表」
PC watch 2005年2月8日

INTELのMPU戦略

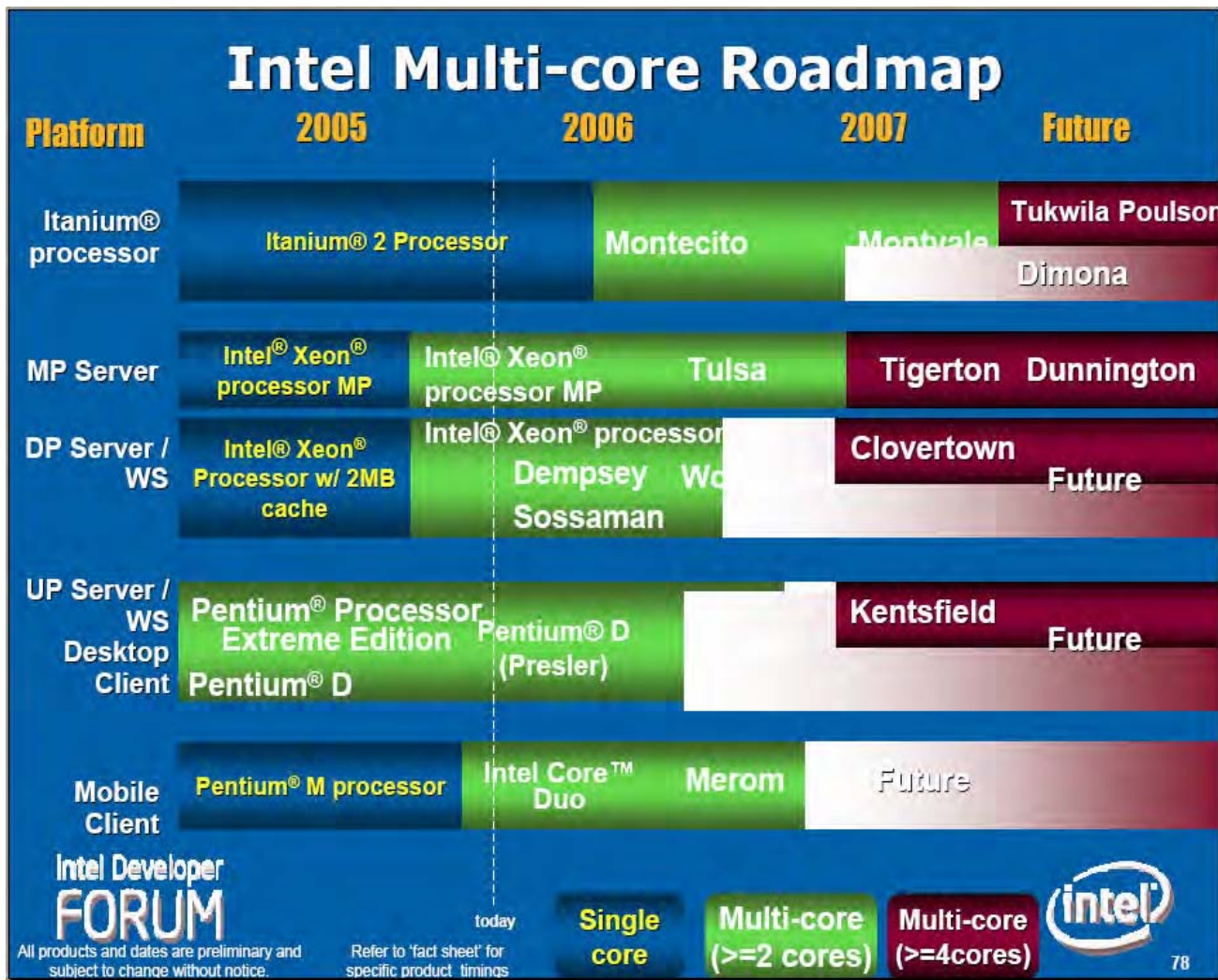
- ・ハイエンドコンピューティング向け
 - EPICアーキテクチャ(IA-64) Itanium2
 - IA-32(EMT64を含む) Xeon

HPCシステムとしては、EPICアーキテクチャのプロセッサだけでなくIA-32系プロセッサによるPCクラスシステムも増えている。
- ・サーバー、デスクトップ向けプロセッサ
 - Pentiumなど
- ・モバイル向けプロセッサ
 - ARMアーキテクチャのXscale

(参考)

- ・過去にHPCへの取り組んだ経験があるが、現在はプロセッサ開発・製造に専念
 - INTEL ParagonXP/S (1993年出荷)
RISC(i860/XP)ベースのMPPシステム 143.4GF
 - ASCI Red (1995年完成) Sandia National Laboratory
Pentium-Proベースのマルチプロッサ 1.34TF(1999年には2.34TF)

INTELのMPU戦略～マルチコアのロードマップ～



- 2005年後半からデュアルコア製品の提供を開始。
- 2007年ごろから順次4コアの製品化を予定。

出展：Inside the INTEL® Core™ Microarchitecture Microarchitecture
March 8, 2006 INTEL Developer Forum講演資料

INTELのMPU戦略～次世代IA-32コア～

・ IA-32系次世代コア「Core™ Architecture」

キーポイントは電力あたり性能の向上。従来のXeon系コアで使われているNetburst系アーキテクチャから、モバイル系プロセッサで活用されているBaniasアーキテクチャの発展系となる。

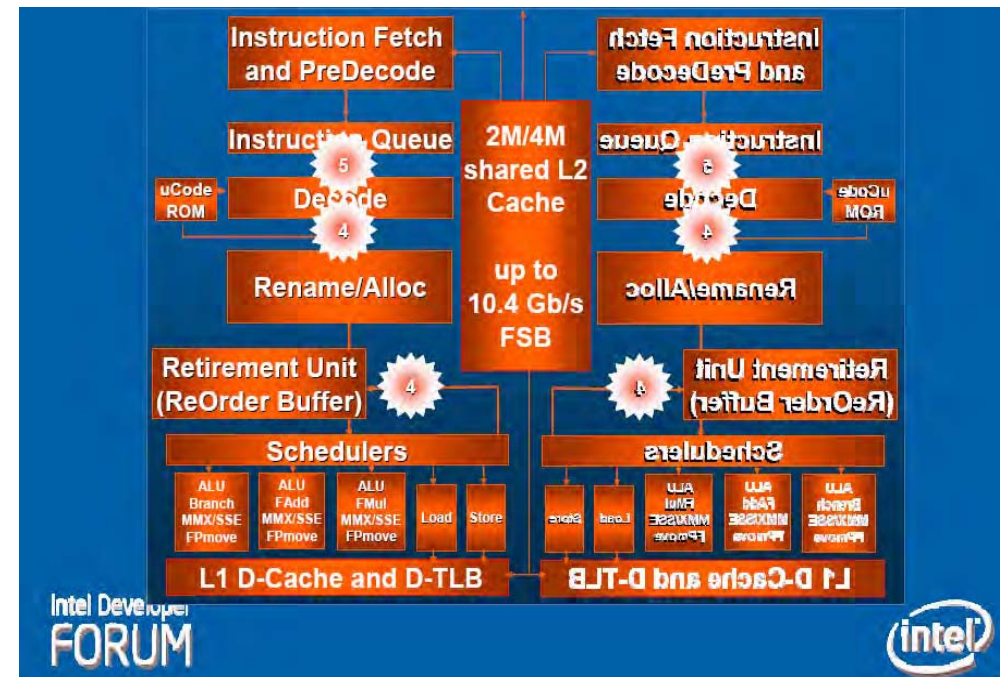
・ Xeon系プロセッサではWoodcrest（2006年7月出荷, DP : Xeon 5100シリーズ） Tigerton（2007年2H, MP）から本アーキテクチャに変更となる。

－クロックあたりの並列処理命令数を向上

XeonDP後継の“Woodcrest(開発コード)”では既存のものより性能を80%改善しながら消費電力は35%削減の見込み。

Woodcrestの仕様

- ・ 共有L2キャッシュ(4MByte)
- ・ 汎用演算器3個
- ・ Branch命令/FAdd/FMul 1個
各演算器はSSE命令も実行可
- ・ Load/Store実行ユニット 1個
- ・ 4命令を同時に発行可能
- ・ 2つのマイクロ命令を融合し1命令として発行
- ・ バーチャリゼーション・テクノロジー(VT)搭載
- ・ 省電力機能(Intelligent Power Capability)搭載
- ・ 製造プロセスは65nm



【Woodcrestブロック図】

出展 : Inside the INTEL® Core™ Microarchitecture Microarchitecture
March 8, 2006 INTEL Developer Forum講演資料

INTELのMPU戦略 ～2015年のアーキテクチャ～

1. チップレベルマルチプロセッシング (CMP)

-シンプルで消費電力効率が優れたコアを多数搭載する方式

1チップが提供可能なシステム性能を大幅に向上と、必要以外のHWの活動を休止させる。

-コアとインターコネク、キャッシュの動的再構成能力

既にINTELの通信機器組み込みプロセッサIXPシリーズは16個のコアを集積した製品でありネットワーク処理に活用されている。

2. 特定用途専用ハードウェア

無線LAN用ブロック/3Dレンダリングユニット/DSP/音声認識/文字認識/セキュリティ/可用性管理/XMLやその他のインターネットプロトコル処理/データマイニング/自然言語処理

3. 大規模メモリサブシステム

コアの近くにギガByteサイズの大容量メモリを配置する。

オンチップのメモリが既存の主記憶を置き換える。

キャッシュメモリが動的に再配置可能にする。

4. マイクロカーネル

ビルトインマイクロカーネル機能の複雑化

タスクの割り当て

コアのパワーのオン/オフなど負荷に応じた再構成

5. 仮想化

実ハードウェアの多様性、複雑性の隠蔽、マネージメント、可用性、セキュリティの改善

6. シリコン/プロセス技術

シリコン技術は現在のペースで2015年やそれ以降も延び続けていく。高誘電率/メタルゲート/Tri-gateトランジスタ/III-V族トランジスタ/カーボンナノチューブ/シリコンナノワイヤーなどの新素材や構造により牽引する。

7. 既存環境との互換性

既存のアーキテクチャとの互換性を保障し続けていく必要がある。

AMDのMPU戦略

1. 半導体プロセス技術

AMDは、2003年1月よりIBMとの半導体プロセス共同開発を開始しており、65nmおよび45nmの微細化技術開発を推進している。65nmプロセスは2006年後半から、また45nmプロセスは2008年から、製品に投入する予定である。

さらに、2005年11月には、半導体プロセス技術開発に関するIBMとの技術提携の範囲を拡充した。期間は2011年までとなり、32nmおよび22nmプロセスを見据えた協業となる。

2. プロセッサ技術

2008年までのプロセッサ技術の方向として、

(a) 新設計コアと命令セット拡張(電力制御、FPU強化、仮想化、セキュリティ)

(b) クアッドコア・チップと共有L3キャッシュ

(c) ダイレクトコネクタ・アーキテクチャの強化(HyperTransport高速化、ソケット数拡大、高速DRAMサポート)

(d) メインフレーム級の信頼性

などを掲げており、サーバ向けプロセッサとしての強化を図っている。

また、主要キーワードとして、性能電力比(Performance per Watt)の向上を掲げている。チップレベルとシステムレベルの電力制御技術を使って改善を図る計画をしている。

その他、

オンチップ・コプロセッサの導入

サードパーティ製のオフチップ・コプロセッサ

FPGAの接続

を掲げている点も特徴的である。FPGAの接続に関しては、2006年4月のEmbedded Systems Conferenceにて、HyperTransportにXilinx社のFPGAを接続し、Celoxica社のプログラミング環境を利用するデモが行われている。

AMDのMPU戦略～ロードマップ～

時期	テクノロジー	
現行技術	プロセス	90nm SOI
	CPU	AMD64 (Opteron) デュアルコア 拡張ウィルス防止機能
	ノード	ダイレクトコネクト・アーキテクチャ 8ソケット構成 HyperTransport 2.0 DDRメモリ
	低電力	AMD PowerNow!テクノロジー Cool'n'Quietテクノロジー
2006年	プロセス	65nm (2006年後半)
	CPU	仮想化テクノロジー "Pacifica"
	ノード	DDR2メモリ メモリRAS
	低電力	電力制御、温度制御の改善
2007年	プロセス	—
	CPU	新コア、命令拡張、FPU強化、クアッドコア、共有L3キャッシュ、セキュリティ技術"Presido"
	ノード	FB-DIMM メモリRAS向上 Hyper Transport 3.0
	低電力	Partitioned AMD PowerNow!テクノロジー
2008年	プロセス	45nm
	CPU	—
	ノード	ダイレクトコネクト・アーキテクチャ 2.0、32+ソケット構成、DDR3メモリ
	低電力	—
2008年まで (時期不明)	オンチップ・コプロセッサ サードパーティー製オフチップ・コプロセッサ、サードパーティー製FPGAの接続	

参考文献(1)

1. D o E 関係

- SciDAC Website <http://www.scidac.org/>
- Energy Department Requests Proposals for Advanced Scientific Computing Research, December 27, 2005
<http://www.energy.gov/news/2823.htm>
- National Leadership Computing Facility A Partnership in Computational Sciences <http://www.ccs.ornl.gov/nlcf/index.html>
- National Leadership Computing Facility Oak Ridge National Laboratory
http://www.inl.gov/scienceandtechnology/cams/d/national_leadership_computing_doug_kothe.pdf
- ASC at Livermore <http://www.llnl.gov/asci/>
- The ASCI Red TFLOPS Supercomputer <http://www.llnl.gov/asci/sc96fliers/snl/ASCIred.html>
- Los Alamos National LaboratoryのASC WebSite <http://www.lanl.gov/projects/asci/>
- High-Performance Computing for National Security http://www.lanl.gov/news/pdf/HighPerf_Computing.pdf
- Sandia supercomputer to get dual-core Opteron, ZDNet News: July 29, 2004 http://news.zdnet.com/2100-9584_22-5289251.html
- I B M to build fastest supercomputers, ZDNet News: November 18, 2002 http://news.zdnet.com/2100-9584_22-966312.html

2. D o D 関係

- D o D HPCMP HP <http://www.hpcmo.hpc.mil/>
- HPCMP Program Overview February 2006 http://www.hpcmo.hpc.mil/Htdocs/DOCUMENTS/2006FEB13_HPCMP0_Program_Overview.pdf
- HPCMP Annual Report 2002 http://www.hpcmo.hpc.mil/Htdocs/ANNUALREPORT/2002_HPCmp_annual_report.pdf

3. N S F 関係

- Office of CyberInfrastructure's Website <http://www.nsf.gov/dir/index.jsp?org=OCI>

4. N A S A 関係

- NASA Advanced Supercomputing Division <http://www.nas.nasa.gov/>
- Information from the National Coordination Office for Networking and Information Technology Research and Development: SC|05
HEC BOF - Federal High-End Computing Update November 17, 2005 http://www.nitrd.gov/pubs/20041020_icr.pdf
- NASA Web site NAS COMPUTING RESOURCES <http://www.nas.nasa.gov/Resources/resources.html>

5. N I H 関係

- Information from the National Institutes of Health (NIH) <http://www.nih.gov/news/pr/sep2005/roadmapbackgrounders.pdf>
- Biomedical Information Science and Technology Initiative webpage <http://www.bisti.nih.gov/>
- 7つのNational Centers for Biomedical Computing (NCBC)のウェブサイト
<http://simbios.stanford.edu/> <http://www.na-mic.org/> <http://www.i2b2.org/> <http://www.loni.ucla.edu/CCB/>
<http://www.ncibi.org/> <http://magnet.c2b2.columbia.edu/> <http://bioontology.org/>

参考文献(2)

6. Cray関係

- ・ X1E製品情報 http://www.cray.com/downloads/X1E_datasheet.pdf
- ・ XT3製品情報 http://www.cray.com/downloads/Cray_XT3_Datasheet.pdf
- ・ XD1製品情報 http://www.cray.com/downloads/Cray_XD1_Datasheet.pdf
- ・ MTA-2製品情報 http://www.cray.com/products/programs/mta_2/
- ・ Cray-Initiatives (RedStorm, Cascade, ORNL) <http://www.cray.com/products/programs/index.html>
- ・ Eldorado情報
 - Cray社のプレゼンテーション資料 <http://www-csag.ucsd.edu/teaching/cse294/20050711-eldorado.ppt>
 - CF'05 2005.5.4-6 Italy <http://www.cse.nd.edu/courses/cse40721/www/papers/p28-feo.pdf>
- ・ Cascade情報
 - Cray Cascade Phase II Press Release http://www.cray.com/products/programs/cascade/DARPA_HPCS.pdf
 - SOS7 Zemach <http://www.cs.sandia.gov/SOS7/presentations/zemach.ppt>
- ・ Adaptive Supercomputing
 - Cray News Release March 20, 2006 <http://investors.cray.com/phoenix.zhtml?c=98390&p=irol-newsArticle&ID=833494&highlight=>
 - HP Cwire <http://www.HPCwire.com/HPC/601369.html>
- ・ Needham & Company 8th Annual Growth Conference January 12, 2006 <http://library.corporate-ir.net/library/98/983/98390/items/179268/NeedhamConference2006.pdf>
- ・ IDC 2006.3 <http://cray.com/downloads/IDC-AdaptiveSC.pdf>
- ・ HPC ASIA2001のCray-Japanのプレゼン http://www.gu.edu.au/conference/HPCAsia2001/papers/Kazunori_Mikami_Cray.ppt
- ・ Grid Forum Korea 2002 http://www.gridforumkorea.org/eng/workshop/2002/2002_summer/CRAY.ppt
- ・ Cray Roadmap (2004-2010) <http://www.csm.ornl.gov/workshops/SOS8/Levesque-SOS8.ppt>
- ・ Cray-IR September 2004 http://media.corporate-ir.net/media_files/irol/98/98390/presentations/sgcowen904.pdf
- ・ ECMWF Workshop October 26, 2004 http://www.ecmwf.int/newsevents/meetings/workshops/2004/high_performance_computing-11th/pdf/Per_Nyberg.pdf
- ・ SC2004 http://media.corporate-ir.net/media_files/irol/98/98390/presentations/SC04_Final.pdf
- ・ FallCreek05 http://www.ccs.ornl.gov/workshops/FallCreek05/presentations/j_levesque_prod.pdf
- ・ CASC Spring Meeting 2006 <http://www.ncsc.org/casc/meetings/mar06/cray.pdf>
- ・ National Center for Computational Science (NCCS) WebSite <http://info.nccs.gov/>
- ・ Energy lab to run petascale computer, March 29, 2006 http://www.gcn.com/online/vol1_no1/40250-1.html
- ・ 第3回Cray HPCカンファレンス講演資料(2006年6月14日)

参考文献(3)

7. IBM関係

- PERCS: IBM Effort in HPCS, Mootaz Elnozahy, November 2004 <http://www.ncsc.org/casc/meetings/Vision-Public.pdf>
- Opening Remarks, Robert Graybill, November 2005 <http://highproductivity.org/Nov2005.htm>
- Application Driven Supercomputing An IBM Perspective, W. R. Pulleyblank, March 2004
http://www.spscopic.org/ScicomP9/Presentations/Pulleyblank_CINECA.pdf
- Overview of the Blue Gene/L system architecture, A. Gara et al, IBM J. Res. & Dev. Vol. 49, No. 2/3 March/May 2005.
<http://www.research.ibm.com/journal/rd/492/gara.pdf>
- IBM's High Performance Computing Strategy, Don Grice, October 2004
http://www.ecmwf.int/newsevents/meetings/workshops/2004/high_performance_computing-11th/pdf/Don_Grice.pdf
- Deep Computing with IBM systems, Barry Bolding, SciComp 2005.
<http://www.spscopic.org/ScicomP11/Presentations/IBM/bolding-HPC.pdf>
- Creating Science-Driven Computer Architecture: The "Blue Planet" Proposal", NERSC (National Energy Research Scientific Computing Center), May 2004
<http://www.nersc.gov/news/reports/blueplanet.php>.
- National Facility for Advanced Computational Science: A Sustainable Path to Scientific Discovery (A Proposal to the DOE Office of Science from Lawrence Berkeley National Laboratory)", H. Simon et al. April 2004.
<http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1004&context=lbl>
- BlueGene Program Research Challenges", George Chiu http://www.research.ibm.com/bluegene/presentations/BGWS_11_Challenges.ppt
- National Leadership Computing Facility-Bringing Capability Computing to Science", J. Wells, April 2005
http://www.csm.ornl.gov/workshops/RAMSFall04/presentations/nichols_files/frame.htm
- System & Technology 日本での戦略", 出澤研太, 2005年7月
- Power in the Marketplace and Platform Initiative, Tom Reeves, 2005年7月
- Open Power Platform for New Business Opportunities, R. Bryant, 2005年7月
- Application Driven Supercomputing An IBM Perspective, William R. Pulleyblank, March 2004
http://www.spscopic.org/ScicomP9/Presentations/Pulleyblank_CINECA.pdf
- The Future of High Performance Computing, David Klepacki, March 2003
<http://www.spscopic.org/ScicomP7/Presentations/Klepacki-SciComp7-HPC-Klepacki.pdf>
- National Facility for Advanced Computational Science: A Sustainable Path to Scientific Discovery", Berkeley Lab, April 2004
- Application of full-system simulation in exploratory system design and development, IBM Journal of Research and Development, February 2006
<http://www.research.ibm.com/journal/rd/502/peterson.html>
- Power.org and Open Hardware: Building a Community of Innovation, Nigel Beck, July 2005

参考文献(4)

8. Sun関係

- ・ H P C Product Overview, Roland Rambau http://www.rz.rwth-aachen.de/computing/events/2006/sunHPC_2006/02_Rambau.pdf
- ・ H P C S Program@Sun Jim Mitchell, http://highproductivity.org/Nov05/3-SC05_HPCS_BOF_Sun.pdf

9. ClearSpeed関係

- ・ ClearSpeed Technology Website: <http://www.clearspeed.com/>
- ・ AMD considers ClearSpeed math co-processor, ars technica March 15, 2006 <http://arstechnica.com/news.ars/post/20060315-6392.html>

10. INTEL関係

- ・ Platform 2015: INTEL® Processor and Platform Evolution for the Next Decade <http://www.INTEL.com/technology/architecture/platform2015/>
- ・ Inside the INTEL® Core™ Microarchitecture Microarchitecture March 8, 2006 INTEL Developer Forum講演資料
ftp://download.intel.co.jp/jp/idf/spr2006/keynotes/08_core.pdf
ftp://download.intel.com/technology/architecture/new_architecture_06.pdf
- ・ “脱・性能至上主義”へ、インテルの新プロセッサ「Woodcrest」登場 <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20060626/241771/?ST=print>

11. AMD関係

- ・ Nov. 2005 Analyst Meeting (AMD HP) http://www.AMD.com/us-en/Corporate/InvestorRelations/0,,51_306_13588,00.html
- ・ AMD 3-YEAR TECHNOLOGY OUTLOOK Now~2008 (AMD HP) <http://www.AMDcompare.com/techoutlook/>
- ・ AMDとIBM,最先端チップ製造技術を共同開発 (AMDプレスリリース,2003年1月9日) http://www.AMD.com/jp-ja/Corporate/VirtualPressRoom/0,,51_104_543_10218~65563,00.html
- ・ AMD,IBMとの半導体技術の共同開発をさらに強化 (AMDプレスリリース,2005年11月2日) http://www.AMD.com/jp-ja/Corporate/VirtualPressRoom/0,,51_104_543_13743~102692,00.html
- ・ Industry Experts Present Solutions for Accelerated Computing at ESC West (Celoxica Press Release, March 20, 2006) http://www.celoxica.com/corporate/pressreleases/show_release.asp?DocumentID=436

12. その他

- ・ NITRD BlueBook <http://www.nitrd.gov/pubs/bluebooks/index.html>
- ・ BlueBook日本語版 (2000-2004) <http://www.icot.or.jp/>
- ・ FY 2007 Supplement to the President's Budget <http://www.nitrd.gov/pubs/2007supplement/>
- ・ TOP500 Supercomputer Sites <http://www.top500.org/>
- ・ SC|05 HEC BOF - Federal High-End Computing Update November 17, 2005 http://www.nitrd.gov/subcommittee/hec/2005_sc_hec_bof.pdf
- ・ Report of the High-End Computing Revitalization Task Force (HECRTF) http://www.nitrd.gov/pubs/2004_hecrtf/20040702_hecrtf.pdf
- ・ THE NITRD PROGRAM: FY 2004 INTERAGENCY COORDINATION REPORT http://www.nitrd.gov/pubs/20041020_icr.pdf
- ・ 富士通ジャーナル 2005年12月・2006年1月合併号 Newテクノロジー (1) 次世代スーパーコンピュータ実現に向けた「ペタスケールコンピューティング」への取り組み <http://jp.fujitsu.com/about/journal/286/newtechnology/>