

Title	日米スーパーコンピュータ開発に見るイノベーション創発の必要条件
Author(s)	西田, 政人; 井川, 康夫
Citation	年次学術大会講演要旨集, 27: 287-290
Issue Date	2012-10-27
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/11024
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

2 B 2 3

日米スーパーコンピュータ開発に見るイノベーション創発の必要条件

○西田政人（高度情報科学技術研究機構）、井川康夫（北陸先端科学技術大学院大学）

1. はじめに

2006 年から文部科学省主導で理化学研究所が開発推進し、富士通株式会社が製造した「京」が昨年、スーパーコンピュータのランキングサイトである Top500 Supercomputer sites で世界一を達成した。また、これに先立つ 2010 年 11 月に実施された事業仕分けで、この「京」の開発で世界一を目指す意味が問われ、話題になったことは記憶に新しい。スーパーコンピュータのように多額の開発費がかかる技術開発は国の技術力を図るバロメータ的な要素もあるが、先端技術開発により生み出されるイノベーションは、それ自身のイノベーションのみならず、関連製品で採用されるテクノロジーにおけるイノベーション、さらには、その成果を利用することによって生み出されるイノベーションと波及効果の広がりには極めて大きいと言える。一方で、巨額な開発投資とリスクを伴う開発であるため開発を担うメーカーにとっては大きな負担を伴うものでもある。

スーパーコンピュータ開発においては激しい開発競争が繰り広げられてきており、過去 20 年間の性能向上は 10 万倍に達している。すなわち年率約 1.8 倍近い驚異的な性能向上を長期に渡って続けて来たことになる（経験則の Moore の法則で性能向上してきた半導体集積回路では年率約 1.6 倍）。このような急速な成長について、これまでスーパーコンピュータの開発を牽引してきた米国および何度も世界一を達成してきた日本のメーカーにおいて、どのようにイノベーションが創発されて来たか、またどのような要素がそのイノベーション創発の要因になっているのか、さらにそのイノベーションが継続的に発生している要素は何かについて考察する。

2. スーパーコンピュータ開発とイノベーション

Utterback らはイノベーションのダイナミックモデルとして、技術的非連続が発生した直後の“流動期”“から技術的には斬新的な変化でプロセスイノベーションが中心になる”移行期”から“固定期”へ移行し、製品概念は淘汰されて“ドミナントデザイン”に収斂していくことを示した

[1]。また Utterback らは 1980 年代から 1990 年代にかけてのスーパーコンピュータ開発にこれを適用し、当時の状況を技術的非連続からドミナントデザイン生成への過渡期にあるとした [2][3]。しかしながら、その後も新たな非連続が継続的に発生し、長期に渡って安定したドミナントデザインが存在していないように思われる。このような技術的非連続を生み出す要素として Chesbrough はラディカルなイノベーションを起こすためには社内の”クローズドイノベーション”“だけでは限界があり、社外からの”オープンイノベーション”の活用が効果的であると述べている [4]。実際スーパーコンピュータの開発においては産学官の研究連携や企業間の協業や M&A が製品開発につながっている事が多い。また von Hippel は、イノベーションはメーカーだけではなくユーザーからも生み出される事を指摘しており”リードユーザー”“の役割がイノベーション創発に重要であるとしている [5][6]。特にスーパーコンピュータ開発では、ユーザーは、大学や研究機関の研究者が主であり解決すべき問題はユーザー自身が持っている場合も多く、ユーザーコミュニティを通じてマーケットトレンドを牽引しているといえる。

3. Top500 Supercomputer site とスパコン市場

Top500 Supercomputer Sites は Linpack というベンチマークプログラムを利用し、実際にプログラムを実行して得られた浮動小数点演算性能（FLOPS 値）を申告してもらい、その結果を年に 2 回 (6, 11 月) 集計し、上位 500 位までを公表している。Top500 にはハイエンド・スーパーコンピュータ市場のかなりの部分を含んでいる事から、最新のスーパーコンピュータの性能動向や HPC (High Performance Computing) 市場動向をある程度正確に反映しているものと言える。また、上位における性能競争は、技術革新と製品開発の激しい競争の場であり、新たなイノベーション創発の現場をつぶさに観察できるものとしても非常に有用な情報源となり得るものであると言える。

4. 分析方法とその結果

4.1 分析方法

分析の手段としては、公開されているスーパーコンピュータの性能ランキングサイトである Top500 スーパーコンピュータサイトに集積、公開されている過去 20 年間のデータを利用し、スーパーコンピュータを開発したメーカーおよびその製品に着目して長期間、独自にハイエンド・スーパーコンピュータを開発してきた日米のメーカー 6 社、IBM、CRAY、SGI、富士通、日立、NEC について、各社が独自に開発した製品毎に分類したうえで Top500 サイトで年 2 回更新されているシステムの性能を合計したものをその製品の合計性能として集計した。合計性能値の 20 年間の推移をプロットしたものを図 1 (1)～(6)に示す。

4.2 イノベーションの発生状況

各製品のグラフは Top500 に登録され始めてから性能及びシステム数が増大するが、その後運用停止や Top500 から脱落する事で合計性能値が減少するため山なりのカーブを描く。製品世代間では性能向上に伴い、カーブの位置が上昇していくが、そのカーブの位置の上昇率が、製品世代間の性能向上といえる。この製品の性能向上率と Top500 全体の性能向上率（赤線）とを比較し、性能向上率が Top500 のトレンドを越える製品は、Top500 の性能トレンドを牽引している製品として「ラディカル製品」と定義し、ラディカルなイノベーションを生み出したと見なせる製品と考えた。

4.3 イノベーションの発生要因

これらのラディカル製品に関して、文献等をもとにその発生プロセスを可能な限り詳細に分析し、どのような要因によって、そのラディカルイノベーションが創発されたかについて、以下の視点から分析を行った。

①社外要因

開発に影響を与えた産学連携や M&A や他社協業などのオープンイノベーションおよび、ユーザー自身が生み出すユーザーイノベーションの影響

②社内要因

社内の研究開発や技術基盤およびスーパーコンピュータ以外の製品開発との間での知識共有、技術移転など、クローズドイノベーションの影響

③市場要因

開発された製品が先行して導入されるリードユーザーによるユーザーイノベーションとの関係や市場トレンドの影響

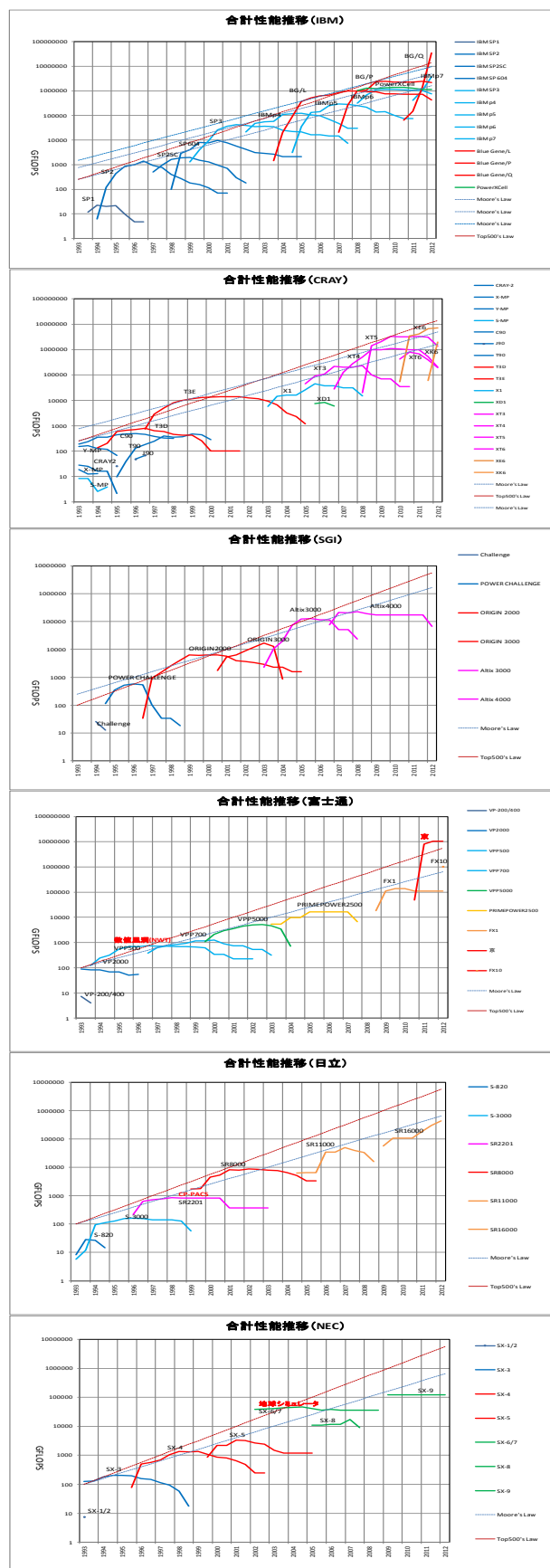


図 1 (1)～(6) 各社の合計性能推移

表1 イノベーション要因一覧

メーカー	製品ライン	製品	稼働年	オープンイノベーション	クローズドイノベーション	ユーザーイノベーション	リードユーザー	NP	ラディカル製品
IBM	POWER HPC	RS6000/SP1	1993		社内CPU研究(801)+NW		OakridgeNL		
		RS6000/SP2	1994		POWER2				
		RS6000/SP2SC	1996		POWER2SC(1チップ化)				
		RS6000/SP604	1998		PowerPC604	ASCI Blue Pacific	LLNL	○	
		RS6000/SP3	1999		POWER3	ASCI White	LLNL	○	○
		pSeriese_p4	2001		POWER4(デュアルコア)		OakRidgeNL		
		pSeriese_p5	2004		POWER5(マルチスレッド)	ASC Purple	LLNL	○	
		System-p_p6	2007		POWER6(5GHzコア)		HPCMP		
		POWER Systems_p7	2010	DARPA HPCS(PERCS)	POWER7(8コア)	失敗:BlueWatersProgram	Illinoi大	○	
	Blue Gene	Blue Gene/L	2004	大学開発QCD専用機	専用機→汎用機	ASC BlueGene/L	ArgonneNL/LLNL	○	○
CRAY	CRAY-Vector	Blue Gene/P	2007			ASC Dawn	LLNL	○	
		Blue Gene/Q	2010			ASC Sequoia	LLNL	○	
		PowerXCell	2008	SCE&東芝との協業	倍精度演算強化	RoadRunner	LANL	○	△
		CRAY-Y1	1976	米CDCからスピニングアウト	ベクトル型を發明				○
		CRAY-2	1985						
		X-MP	1982		マルチプロセッサベクトル				
		Y-MP	1988						
		C90	1991						
		J90	1994						
		T90	1994						
		(SV1)('96~'99SGI)	1998	SGIに吸収(1事業部)					
		X1	2002	SGIから分離	新ベクトル(MSP)		OakRidgeNL		
		(X1e)	2004				OakRidgeNL	○	
		X2	2007						
	T3D	T3D	1993	DEC(alphaプロセッサ)	スカラムPP+3Dトラス		NSF Pittsburg SC		
		T3E('96~'99SGI)	1995				NSF Pittsburg SC		○
	XT	XT3	2004	SandiaNL + AMD	AMD+新Network:Seastar	Jaguar/ASC Redstorm	OakRidgeNL, SandiaNL	○	
		XT4	2006			Jaguar/ASC Redstorm	OakRidgeNL, SandiaNL	○	
		XT5	2007	DARPA HPCS(Cascade)		ASCR Jaguar	OakRidgeNL	○	△
		XT6	2009						
		XE6	2010		新Network: Gemini	ASC Cielo	SandiaNL	○	
		XK6	2011		GPGPU付加				
SGI	Challenge	Challenge	1993	MIPS子会社化	グラフィックスWSから転換				
		PowerChallenge	1994						
	ccNUMA	Origine2000	1996	CRAY社を吸収	CRAY+SGI(新アーキテクチャ)	ASC BlueMountain	LANL	○	○
		Origine3000	2000	CRAY技術ベース					
		Altix3000	2003	CRAY技術+Intel	CPU変更(MIPS→IA64)	NASA Columbia	NASA Ames	○	△
		Altix4000	2006						
富士通	VP/VPPベクトル	VP-100/200/400	1983	航技研三好甫検討会	独自ベクトル型	NS-1	航技研 三好甫		
		VP2000	1989						
		VPP500/NWT	1993		LSI:GaAs/Bi-CMOS混在	航技研 NWT	航技研 三好甫	○	○
		VPP700	1996						
		VPP5000	1999				(京大)		
	SPARC HPC	PrimePower 2500HPC	2002	米国CPU設計会社買収	ベクトル型からスカラ型へ		JAXA		
日立	Sベクトル	FX1	2008			理研 京	理研	○	○
		京	2011						
		FX10	2011						
	SR疑似ベクトル	S-810	1983	航技研三好甫検討会	独自ベクトル型		(東大)		
		S-820	1987				(東大)		
		S-3800	1992				(東大)		
NEC	SXベクトル	SR2000/CP-PACS	1995	HP協業(PA-RISC)	ベクトル→スカラ(PA-RISC)	筑波大CP-PACS	筑波大	○	○
		SR8000	1998	IBM協業(PowerPC)	→PowerPCアーキテクチャ		東大/産総研/筑波大		△
		SR11000	2003	IBM協業(POWER)	IBM+疑似ベクトル機能		(東大)		
		SR16000	2008	IBM協業(POWER)			(東大)		
NEC	SXベクトル	SX-1/2	1985	航技研三好甫検討会	独自ベクトル型		阪大レーザー研		
		SX-3	1990						
		SX-4	1995		LSI:CMOS化		(カナダ気象庁)		△
		SX-5	1998				(欧州ユーザ)		
		SX-6/7/ES	2001	(富士通製メモリ)	1Chipベクトル化	地球シミュレータ	JAMSTEC(三好甫)	○	○
		SX-8	2004				(独HLRS)		
		SX-9	2007				(東北大)		
							(○)は非ラディカル		

以上のデータ分析の結果および開発プロセスの詳細分析を整理し、各社の製品を製品アーキテクチャ的に継続性のある“製品ライン”に分類し、各製品においてイノベーションに貢献したと考えられる要因を、オープンイノベーション、クローズドイノベーション、ユーザーイノベーションの視点で整理した。また、製品開発に特に貢献したと考えられるリードユーザーを挙げた。さらに国が推進するプロジェクトやプログラム(NP)との関係も示した。以上の結果を表1に示す。

この結果からラディカルイノベーションは同じアーキテクチャをとる製品ラインにおいてはほぼ1回しか発生しておらず、長期に安定したドミナントデザインが存在しないこと、その発生タイミングは国のプロジェクトなどラディカルなリードユーザーが関わった開発において発生していることがわかった。また1990年代後半以降においてはラディカル製品のほとんどがM&Aおよび協業や産学連携による社外のオープンイノ

ベーションの取り込みを起点として開発されている事がわかった。さらに、社内のクローズドイノベーションや、イノベーションを効果的に活用するイノベーションマネジメントの有効性も確認された。特に、高い開発目標を設定し、市場を先導しシステム仕様決定等でメーカーに大きな影響を持っている“ラディカルリードユーザー”が存在し、このラディカルリードユーザーによって引き起こされるユーザーイノベーションがイノベーション創発の重要な要因になっていることが確認された。

4.4 メーカー間および日米間の比較

各メーカー間および日米間での比較分析の結果、米国メーカーでは、IBMとその他の2社との間で大きくアプローチが異なることがわかった。

①「資源保有型」(総合力型)モデル

IBM型といえる。社内技術基盤を活用して、クローズドイノベーションを推進する一方で、

社内技術で不足する非連続で破壊的なイノベーションの取り込みは、産学官連携や協業等により社外からのオープンイノベーションの取り込みで行っている。主要な技術は社内で保持され継承されるが、大きな資源とその維持のための高い維持費が発生する。

②「資源取得型」(M&A 型) モデル

CRAY や SGI のタイプといえる。不足する技術は M&A 等社外から必要に応じて取り込む。逆にコア事業以外は必要に応じて切り離しスピンアウトさせる場合もある。また自ら他社へ身売りするようなケースもあり、業界全体で知識の維持・共有を行っているとも考えられる。

一方、日本メーカー 3 社も過去、自社内で垂直統合を行うインテグラル型開発を行ってきたと言う意味では IBM に近いとも言える。しかし、IBM と日本メーカー 3 社を比較するとオープンイノベーションの取り込みの積極性に差があるように思われる。また、ラディカルリードユーザーの数と継続性に差があるのではないかと考えられる。一方で、日本において「資源取得型」のアプローチを取ろうとしても、人材の流動性や、ベンチャー企業の生まれにくさなど、国内の業界の流動の低さから同様のアプローチは難しい状況にあると考えられる。

5. 結論と含意

以上のスーパーコンピュータ開発の分析から、先端大規模技術開発において、企業がラディカルイノベーションを継続的に創出するためには、クローズド、オープン、ユーザーの 3 つのイノベーションが重要な要素になると考えられる。特に、ラディカルイノベーションの創発には、ラディカルリードユーザーの存在が重要である。このラディカルリードユーザーは、単に先行ユーザーというだけではなく以下の能力を発揮する。

- 1) 高い目標設定を行い、メーカーを鼓舞
- 2) 強く開発への関与し、技術革新を推進
- 3) 先行投資により市場を先導し溢出を加速

また、これによって、社内のクローズドイノベーションやオープンイノベーションの取り込みが加速される効果があると考えられる。

以上の事から、イノベーション創発を加速するためには、高い目標設定を行い、市場を先導するラディカルリードユーザーを見出し、良好な関係を構築することで、ユーザーが生み出すユーザーイノベーションを活用、また、それが誘発する社内のクローズドイノベーションと、社外からのオープンイノベーションの取り込みを積極的に推進しイノベーションを生み出す可能性を高め、これをイノベーションマネジメントによって持続

的・計画的に推進することによって、継続的にイノベーションが創発する可能性を高めることができる。図 2 に本モデルを示す。

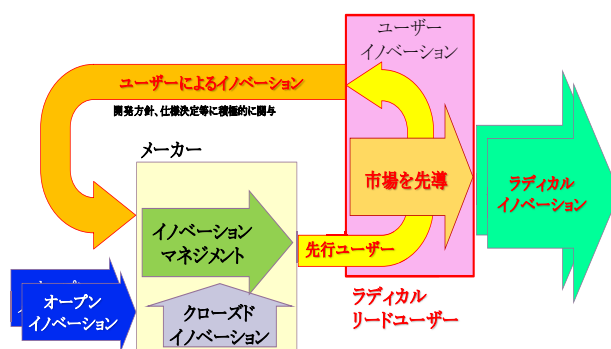


図 2 継続的イノベーション創発モデル

実際、スーパーコンピュータ開発メーカーではユーザーコミュニティとの関係構築が積極的に行われているが、さらに、適切なラディカルリードユーザーを育成する施策の推進が重要と考えられる。米国では多数のナショナル・プログラムが実施され国としても多様なラディカルリードユーザーの育成がなされているとの見方も出来る。一方で日本においてはラディカルリードユーザーと呼べる存在が少なく継続性もあまりない事がイノベーション政策上の課題と言えるであろう。

今後は、スーパーコンピュータ開発に限らず他の技術開発においても本モデルが適用出来るかを検証していきたい。

参考文献

- [1] アッターバック, J. M. (1998) 『イノベーション・ダイナミクス』 有斐閣
- [2] Afuah, A. N. and J. M. Utterback (1991) "The emergence of a new supercomputer architecture" Technology Forecasting and Social Change 40:315-28
- [3] Utterback, J. M., and Suarez, F. F. (1993) "Innovation, competition, and industry structure", Research Policy, 22(1), pp. 1-21
- [4] チェスブロウ, ヘンリーほか編(2008) 『オープンイノベーション』 英治出版
- [5] フォンヒッペル, エリック、榊原清則訳(1991) 『イノベーションの源泉 真のイノベータは誰か』 ダイアモンド社
- [6] フォンヒッペル, エリック、サイコムインターナショナル監訳(2006) 『民主化するイノベーションの時代』 ファーストプレス