

科学技術イノベーション政策のための 科学実例 ——計算機に関する政策

牧野淳一郎
東京工業大学
地球生命研究所

話の構成

- 自己紹介
- 国策スパコン
 - 「京」を振り返る
 - 歴史的には？
- もうちょっと色々な科学技術政策
- 何故そうなるのか？
- で、エクサは？

自己紹介

● 職歴

2013/1- 東工大地球生命研究所 主任研究者

2012/4- 理化学研究所 計算科学研究機構 粒子系シミュレータ研究チームリーダー (併任)

2011/4- 東工大理学研究流動機構 教授

2006/6- 国立天文台理論研究部 教授

1999/4- 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻 助教授

1994/4- 東京大学教養学部 助教授

1990/4- 東京大学教養学部 助手

天文 (天体物理) 学者？

● 学歴

1990/3 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程修了

1987/3 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻修士課程修了

1985/3 東京大学教養学部基礎科学科第二卒業

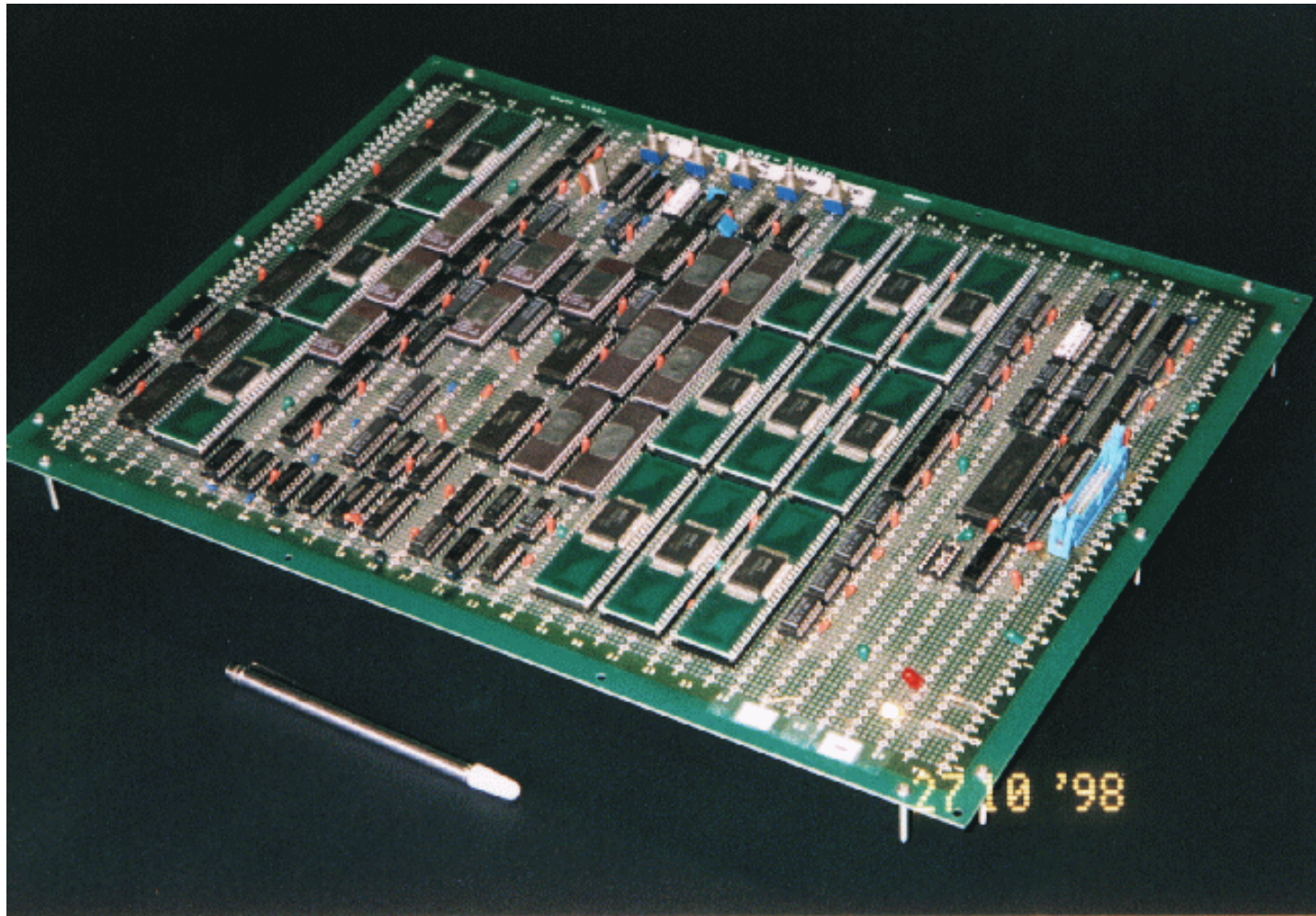
自己紹介(続き)

研究はどんなことをやってきたか

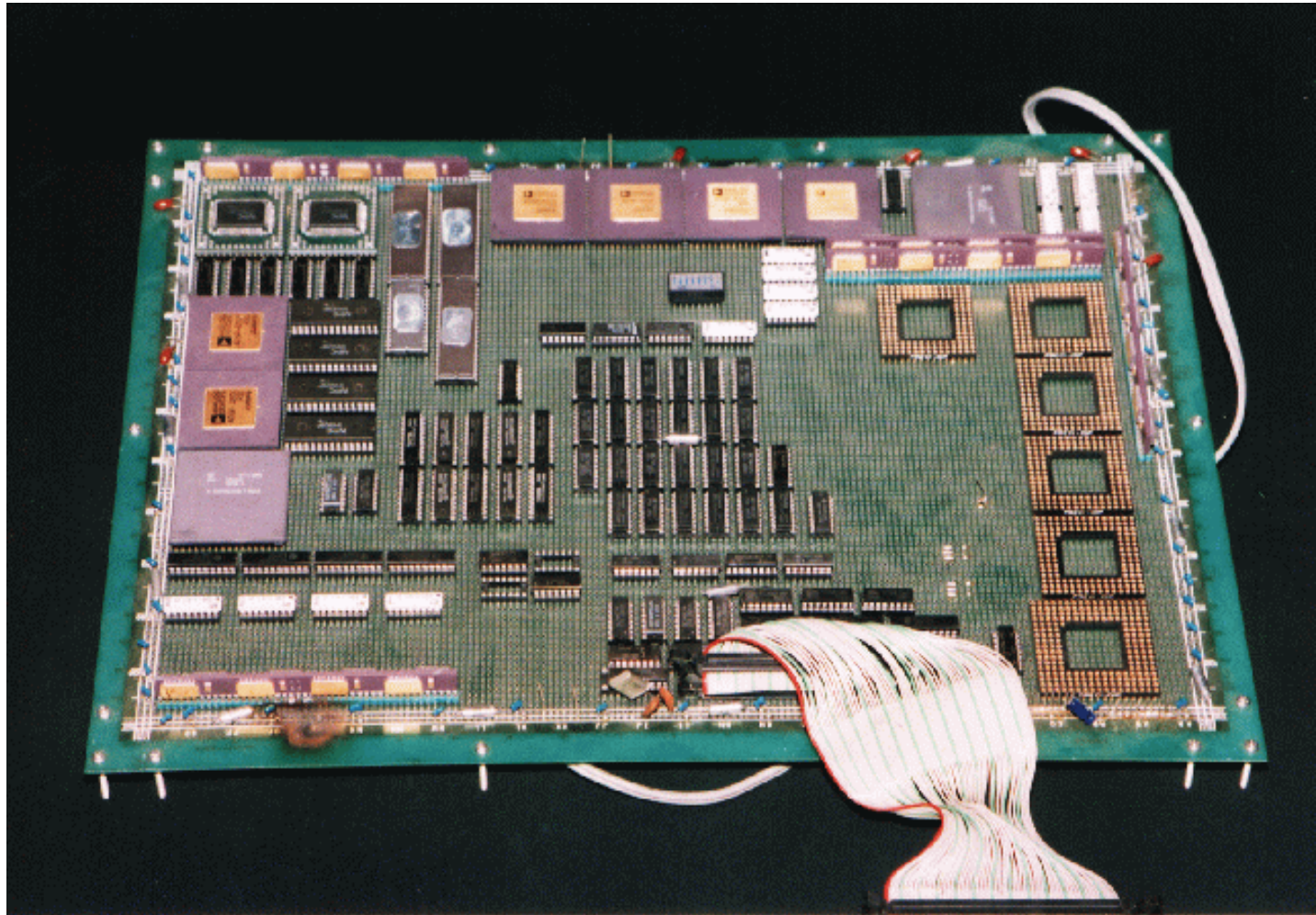
- 主に理論・シミュレーションによる天体形成・進化の研究
 - 宇宙の大規模構造の形成・銀河形成
 - 銀河中心・球状星団の力学進化
 - 惑星形成
- シミュレーションのための計算アルゴリズムの研究
- シミュレーションのための計算機の開発

あんまり普通の天文学者というわけでもない。

GRAPE-1(1989)



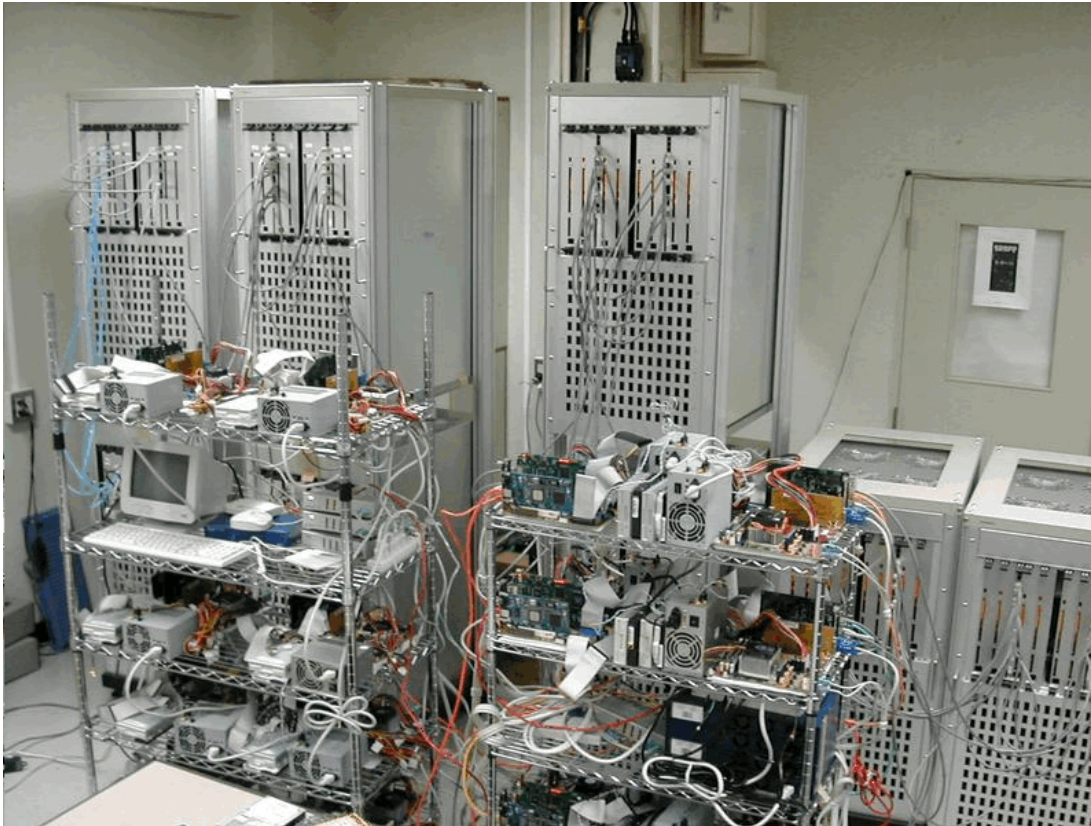
GRAPE-2(1990)



GRAPE-4(1995)



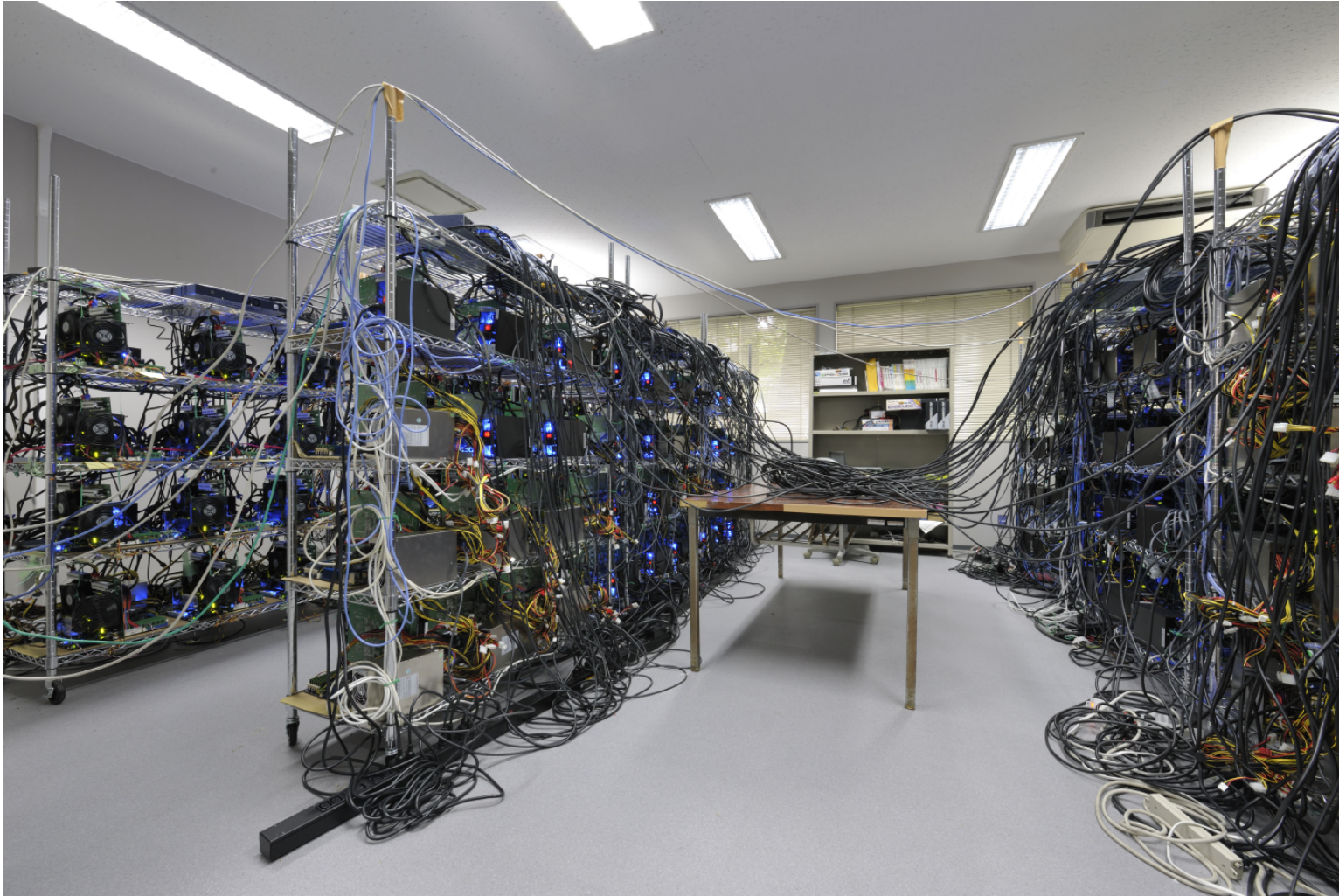
GRAPE-6(2002)



2002年の 64 Tflops
システム

初代地球シミュレー
タの 1.5 倍の性能
を 1/100 のコスト
で

GRAPE-DR(2009)



自己紹介 (続き 2)

2011 年度

文部科学省 研究振興局 情報課 が作った

HPCI 推進委員会 が作った

今後のハイパフォーマンス・コンピューティング（HPC）技術の研究開発
の検討ワーキンググループ
の答申を踏まえてできた

今後の HPC 技術の研究開発を検討する作業部会 (コンピュータアーキテクチャ、コンパイラ・システムソフトウェア、アプリケーションの 3 個)
のうちアプリケーション作業部会の取りまとめ作業を理研 (神戸の AICS)
の富田さんとやった

自己紹介 (続き 3)

2012-2013 年度

- 「今後の HPCI 計画推進のあり方に関する検討ワーキンググループ」
委員
- 「将来の HPCI システムのあり方の調査研究」 にも参加

「今後のHPCI計画推進のあり方に関する検討ワーキンググループ」

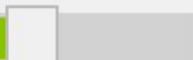


“京”の100倍の性能、
新型スパコン開発へ

新型スパコン

1,000億円ほどの予算で開発予定

NHK



00:48 / 01:20



国策スパコン

国家プロジェクトとしての計算機開発

- 通産省系

- 科学技術用高速計算機システム (1981-89)
- 第五世代 (1982-91)
- RWCP (1992-2001)

- 文部省系

- 数値風洞 (?-1993)
- CP-PACS (1992-96、国家プロジェクトというほどではない?)
- 地球シミュレータ (-2002)
- 「京」 (2006-2012)

通産はこの前に: 「超高性能電子計算機の開発」 (1966-?)

成功だったかどうか

科学技術用高速計算機システム	×
----------------	---

第五世代	×
------	---

RWCP	×
------	---

数値風洞	◎
------	---

CP-PACS	○
---------	---

地球シミュレータ	△
----------	---

「京」	?
-----	---

数値風洞、CP-PACS はそれぞれ VPP-500、SR-2201 として商品化、競争力のある製品ができた

成功 (あるいは失敗) したプロジェクトの 共通性？

- 数値風洞、 CP-PACS
 - 基本的に単一のサイエンスゴール
 - リーダーの顔が見える (三好、岩崎)
- それ以外 (地球シミュレータはちょっと特殊)
 - 「汎用」
 - リーダーが明確でない
 - 政治家/役人主導

「京」の概要

- 2006-2012 の 7 年間で開発。開発費 1200 億円
- ピーク性能 10PF 強、LINPACK 性能 10PF 以上
- 約 8 万ノード、3 次元 (本当はもうちょっとややこしい) トーラスネットワーク
- 1 ノードは 1 ソケット、SPARC-64 VIIIfx (Venus) プロセッサ
- 8 コア、2way SIMD ユニット 2 つ、2GHz、128Gflops ピーク
- プロセッサ消費電力は 58W (typical)、システム全体は 10MW 以上

「京」の場合

LINPACK 世界一を失敗とかいうのはいかが？みたいな意見もあるかもしれないですが、問題が多いことは間違いないので、、

大体の時系列

- 2004 年くらいから文科省の下の情報科学技術委員会、計算科学技術推進ワーキンググループで議論
- 2005 年の「中間報告」
 - － 8 分野からの要求をまとめた (ことになっている)
 - － ベクトル 2PF + スカラー 4PF + 「特定処理計算加速機」 20PF
- 2006 年度「次世代スーパーコンピュータ：概念構築に関する共同研究」実質的にはデザインコンペ。NFH の他、東大 (+ 天文台)、九大、筑波大等も参加

時系列続き

- 2005 年から 2006 年にかけて CSTP 評価委員会からボロクソに言われる。目標、アーキテクチャを文句がでないように色々変更。
- 2006 年初め (だったと思う) 開発実施本部設置、ヘッド:渡辺 (NEC OB)
- 2007 年夏: ベクトル (?PF) + スカラー (?PF) 合計 10PF 以上、と決定
- 2009 年春: ベクトル担当の N が撤退
- 2009 年 11 月 13 日 (金) 仕分け。「2 位じゃいけないんですか？」
- 2010 年 10 月。プロトタイプ機が Green500 4 位にランクイン
- 2011 年 6 月。8 割完成で Top500 1 位
- 2011 年 11 月。全ノード動作で Top500 1 位。ゴードンベル賞獲得

- 2012 年 11 月。2 度目のゴードンベル賞獲得 (石山、似鳥、牧野)

「京」の問題点

- 値段が高い
- 2012年のマシンとして特色がない(競争力がない)

何故そうなったか？が問題

「京」の進み方の問題点と思われるもの

- **何をするために作るのかを「ワーキンググループで議論」**
- **結局、「何のため」かははっきりしないままスタート**
- **計画スタートまでに目標性能が二転三転した。**
- **アーキテクチャも二転三転した。**
- **開始してからメーカーが降りるという前代未聞の事態にいたった。**

どうしてそんなことになったのか？(1)

何をするために作るのかを「ワーキンググループで議論」

- 「スパコン開発は重要」が先にある議論＝「何故重要か」を説明するための議論。
- 成功したプロジェクトではこんなステップはない
- 色々沢山の分野の人に話をきいて全部入れる、という感じのレポートになる

どうしてそんなことになったのか？ (1a)

「スパコン開発は重要」の「大前提」

- この「大前提」がどこからくるのかは語られることがないので良くわからないが、多分こういうのかなと想像してみる
- 多分、背景にあるのは過去の「成功体験」
- 1960-80年代の垂直統合型の計算機＋半導体産業モデル
- 当時のIBMに「追いつけ追い越せ」

60-80年代モデル

- 半導体技術は「産業のコメ」
- 大規模・微細プロセスの半導体製造を牽引するのはハイエンドの超大型計算機
- 超大型計算機に使われた半導体技術が普及型の計算機やそれ以外のデジタル技術に波及

1980年代までは上手くいっているように見えていた

でもって

老人の学者さんとか、政策決定に関与する人の頭には依然これがある。で、このモデルによってお金が流れる構造はできている。

「産業のコメ」の嘘

- 今から振り返ると明らかなこと:このモデルは遅くとも1980年頃には破綻していた
 - － マイクロプロセッサは初めから MOSであったように、民生技術は CMOSに 70年代に移行。スパコンが CMOS化したのは 90年代 (ETA 除く)。20年遅れた。
 - － 古いアーキテクチャで CMOS化したスパコンはマイクロプロセッサベースの並列システムに駆逐された
- しかし、1980年代にはそうは見えなかった

1980年代

- 日米半導体摩擦の時代
- スパコン摩擦というのもあった。
- これらが一体となって「日本株式会社」の優位性みたいな
- どちらも今は見るかげもなく、、、

日本の半導体産業の凋落と崩壊

- LSIチップそのものを作ることを半導体産業の主要部分とするなら、日本からは事実上半導体産業は消滅した
- これ結構知らない人が偉い人には多くてびっくりすることがある
- 28nm の論理 LSI を自社製造する国内企業はない
- 日立は 130、富士通は 65、NEC は 55(?) で終了
- つまり、日本の「半導体企業」は全部ファブレス化した
- 元々ファブレスで始めた会社と競争できるわけがない

GRAPEでの経験

何故日本の論理LSIは駄目だったかについての個人的感想

- 実はGRAPEでは国内の半導体メーカーを使ったことがない
- 一応GRAPE-6は東芝。但しこれはIBMとライブラリ共通化して、IBMで設計、東芝で製造。
- それ以外はNS、LSI Logic、TSMC

日本メーカーは大規模LSIの少量生産に対応したがない(できない)

＝設計能力がない(設計が高コスト)

何故設計能力がないのか

- 私にはよくわからない
- 但し、国内某社と海外某社を比べると、設計の方法論レベルで5-10年のギャップあり
- 単純に変化の速度に適応できていないだけのようにも見える

「京」の話に戻ると

- Fが開発を受けるにあたっては自社の45nmプロセスで、
という条件があったらしいという噂
- 噂が事実かどうかはともかく、Fは「京」のプロセッサは
自社のライン(但し古くスケールの量産用ではない)で製造、
商品版のFX10はTSMCの40nm
- どういうわけか45nmから40nmになっただけで8コアから
16コアに。
- 結果的には、Fの45nmは「するべきではなかった投資」

目標設定における問題のまとめ

- 実は大型計算機開発への国家投資が、計算機だけでなく半導体産業を通して経済発展全体に貢献するはずという30年前に破綻したモデルが暗黙の大前提としてある。
- 結果的に、生き残れなくなった半導体製造産業に公共投資
- 半導体各社が今後どうするか?というのが根本問題にある。明らかなことはファブレスで生き残ってはいけないということ。

どうしてそんなことになったのか？(2)

計画スタートまでに目標性能が二転三転した。

- 要するに、初期の目標が予算の割に低過ぎて国際競争力がないものだったため(今でも低い)
- そうなった直接の理由(ここは推測): メーカーの見積りをそのままあげたから
- メーカー見積りが高い理由: アーキテクチャ・開発モデルが時代遅れになっていたから

つまり:

開発することにしたものも、開発のしかたも間違っていた

結局、開発自体が無理、ということでメーカー撤退。

どうしてそんなことになったのか？(3)

アーキテクチャも二転三転した。

これも、根本には「暗黙の大前提」がある。スパコンを開発することが目的で、何のために何ができるスパコンを作るか、が欠落している

もうちょっと詳しくアーキテクチャについて

昨年公開された資料からいくつか

第179回国会 決算行政監視委員会 第 4号平成二十三年十二月八日

- スーパーコンピュータ「京」については、当初のスカラー・ベクトル混合型の技術選択がなぜ途中で方針転換されたのか、また、その変更が予算執行にどのように反映されたのかを政府は国民に明確に説明する義務がある。開示されていない会議の資料、議事録を公開するとともに、技術選択の過程、ベクトル型スーパーコンピュータとの連携など今後の方針が明確に説明される必要がある。
- また、スーパーコンピュータに関しては、最速の一台の能力だけでなく、国内における必要な総計算能力、地域分散の必要性、民間のニーズなどについてのデータを政府は明らかにすべきであり、「京」完成後のスーパーコンピュータの開発については、その戦略を早急に検討して公表するとともに、費用を精査することによりコストの縮減を図る必要がある。

(つづき)

- 「京」の利用に当たっては、その能力を有効に活用するため、コンソーシアム体制に依存することなく、ニーズの高い利用者が透明・公平な手続で選定されるような枠組みを構築して早期に供用を開始するとともに、純粋な科学、自然大災害予測など重要な国家的要請に基づく研究利用と、対価を得られる民生技術開発とを区別した利用のためのルールを策定すべきであり、後者については利用料金等を徴収するなどして、運用経費負担を圧縮すべきである。

ということで、大量の会議資料が公開された

公開になったもの

- 情報科学技術委員会 次世代スーパーコンピュータ概念設計評価作業部会 議事要旨・議事録・配付資料 (2007/3-6)
 - － ベクトル＋スカラーと決定した委員会
- 次世代スーパーコンピュータプロジェクト中間評価作業部会 (2009/4-7)
 - － ベクトルなくなっても大丈夫と結論した委員会

前回のキーポイント：概念構築のためのなんとか

- 概念構築といいつつすでに枠が決まっていた
 - HPL 10PF
 - 電力 30MW 以下
 - アクセラレータ付けるならやはり 10PF
 - この範囲でアプリケーションの性能を上げること
- その結果、各社の提案が収斂した

以下、2012/6 に公開になった当時の会議資料から

(2012/6 公開)



回収資料

資料2-2

次世代スーパーコンピュータの概念設計 について 続き)

平成19年3月27日

理化学研究所
次世代スーパーコンピュータ開発実施本部

(2012/6 公開)

アーキテクチャ案の概要 (汎用システム) 【月末時点】

- 基本要件仕様 性能評価の基準とするシステム構成)
 - 理論ピーク性能 :10PFLOPS
 - 総メモリ容量 :2.5ペタバイト

アーキテクチャ案	NEC	日立	富士通	筑波大学
コア数 (コア: 1演算プロセッサ)	中並列 10万以下	高並列 10～50万	超並列 50～100万	
計算ノード数	～5万		10～15万	
高速演算機構	ベクトル		SIMD	
消費電力 (本体のみ)	20-30 MW	10-20 MW	20-30 MW	10-20 MW
設置面積	3000 m ² 以上	1000-2000 m ²	3000 m ² 以上	1000-2000 m ²

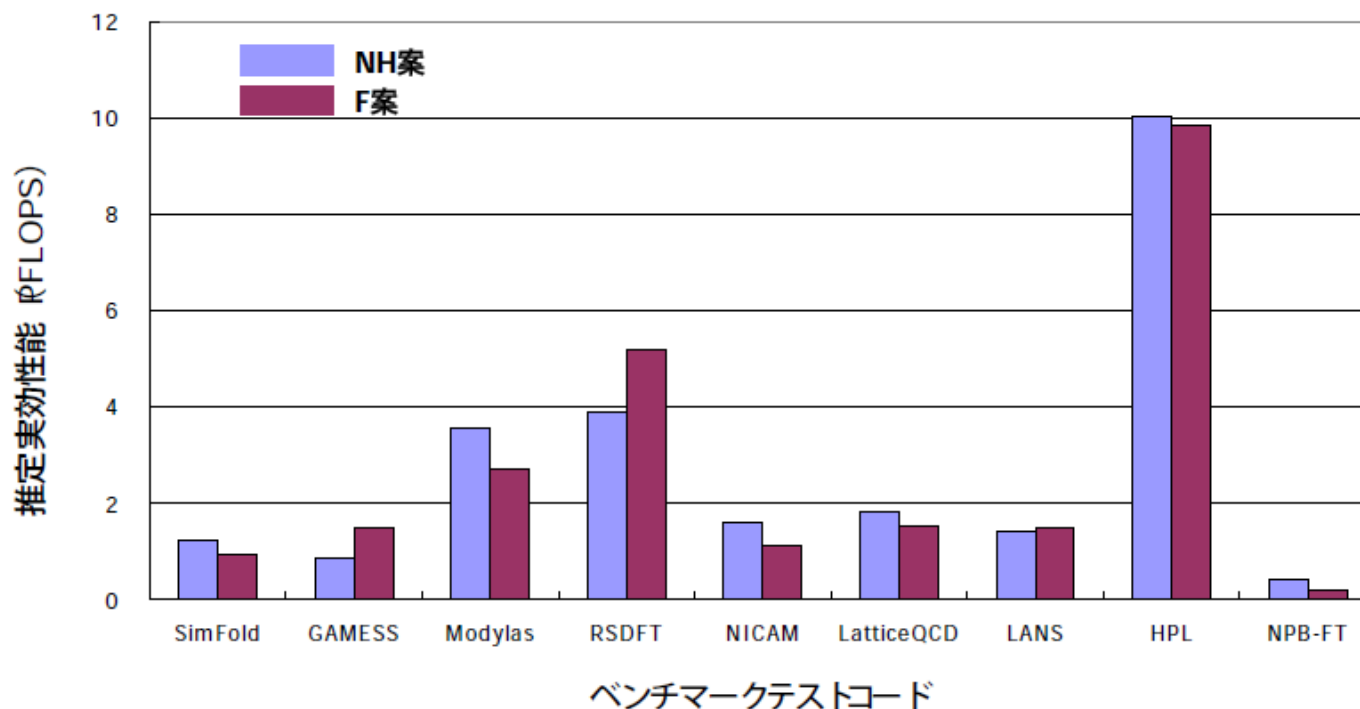
(2012/6 公開)

提案システムの演算部性能の比較

			NH案	F案
演算コア	動作周波数 (GHz)		2	
	演算性能 (GFLOPS)		64	16
	演算加速機構 演算器数)		ベクトル型 (6: 2FMA x 8VPP)	SIMD型 (4FMA)
	レジスタファイル		ベクトルレジスタ 256要素×64本	スカラーレジスタ 128本
CPUチップ 計算 ノード	演算性能 (GFLOPS)		256	128
	演算コア数		4	8
	メモリバンド幅 (Byte/Flop)		0.5	
	L2 キャッシュ	容量 (MB)	8	6
		Byte/Flop	4	2
		特殊機構	選択的登録機構	ライン・ロック機構

(2012/6 公開)

ベンチマーク・テストによる性能予測 (詳細9本)



- ターゲット・アプリケーションから7本のベンチマーク・テスト、及びHPL, NPB-FTについて、実効性能を推定。
- いずれのベンチマーク・テストもほぼ同等の性能。

NH/F の比較

- ベクトル・スカラーで違うはずだったが、アーキテクチャパラメータはほとんど同じものに収斂
- さらに消費電力等も収斂
- さらにベンチマーク性能も収斂

アクセラレータについては？

アーキテクチャ案の概要 (アクセラレータ) 【月末時点】

■ 基本仕様

- アクセラレータ部の理論ピーク性能：10PFLOPS
- 汎用サーバ (ホスト) のI/Oインターフェースに接続
- ホストより指定された演算処理をアクセラレータで実行し、結果をホストに格納

アーキテクチャ案		国立天文台	東京大学
アクセラレータ	アーキテクチャ	SIMD型 プロセッサアレイ	
	プロセッサチップ数	約 15,000	約 20,000
	ポート数	4,000	2,500
ホストサーバ数		2,000	2,500
アクセラレータ部 消費電力		-10 MW ※平成24年6月公開時の注意書き 消費電力については、10MW以下、10-20MW、20-30MWの範囲でまとめたもの。提案は、ホスト部を除いて、1.7MWであった。	-10 MW ※平成24年6月公開時の注意書き 消費電力については、10MW以下、10-20MW、20-30MWの範囲でまとめたもの。提案は、ホスト部を除いて、0.68MW (案1)、0.88MW (案2)であった。

4案の要点

	NH	F	NAOJ	UT
ピーク性能 (TF)	10.48	10.61	10	10
電力 (公開資料)	23	22.8	10	10
電力 (報告書)	23	22.8	1.7	0.88

注意書き拡大

「消費電力については、10MW 以下、10-20MW、20-30MW の範囲でまとめたもの。提案はホスト部を除いて1.7MWであった」

えええ、、、

1.7や0.88が10に？

- 公開時の説明:「消費電力については、10MW 以下、10-20MW、20-30MW の範囲でまとめたもの。提案はホスト部を除いて1.7MWであった」
- 但し、当時の議事録を見るとそんな説明はしていない。「10MW 以下」と議事録には書いてある。
- まあ、資料と説明をみたらこれは10MW くらいだろうと思ったであろう。
- 「誤解」したほうが悪いということで。

性能推定

ベンチマーク	NH	F	NAOJ
SimFold	1.3	1.1	2.5
GAMESS	1.0	1.7	2
Modylas	3.6	2.8	2.9
RSDFT	3.9	5.2	4.3
NICAM	1.8	1.4	2.5
LQCD	1.9	1.7	2

性能は全てペタフロップス単位
まあ私の見積りは楽観的かもしれないが、汎用でもアクセラ
レータでも大して変わらない。

では何故アクセラレータは不採用？

公式の説明

2者のシステム構成により、目標性能達成の見込みが確認できたため、アクセラレータの採用は考慮しない

言い換えると：

アクセラレータのほうが安くできるとか性能高いとかあるかもしれないけど汎用で目標は達成できるのでそっちは考えない

なんだそれ？

「京」まとめ

- プロジェクトとしてみると

- 数値目標が低すぎる
- アプローチが時代遅れなため低い目標も実現困難

という問題がある。

- そうなった理由は、「国産スパコンを作るプロジェクトをやる」という目標ありきで、作ったものに意味があるかどうかをきちんと検討してなかったから
- なにかもうちょっと謎な力が働いているようにも見えるが、よくわからない

国策スパコンは特殊か？という話

話を計算機ハードウェア開発に限っても、「×」なものはいくらでもある
先にあげた例:

- 科学技術用高速計算機システム
- 第五世代
- RWCP

もうちょっと違うところの例

旧科技庁系で目立つもの

- 原子力

- 高速増殖炉、新型転換炉
- 再処理工場
- というか、成功した大規模計画がない気がする

- 航空・宇宙開発

- J-1 ロケット
- JAXA(特に旧NASDA)の色々、ISAS では Lunar-A, Astro-G とか
- 航空関係で成功した大規模計画？

何故上手くいかないのか？

もう一度「京」の場合:

- 目標が適切でない
- アプローチも適切でない

まあ、そんなに細かく分析するまでもなく、この2つは大きな問題を起こしたプロジェクトに共通な特徴。

何故そうなるのか、もおそらくあまり変わらない

目標が適切でないのは何故か？

- 「京」の場合：要するに時代遅れ。30年前ならよかったかもしれない
- 原子力、宇宙、航空、、、

時代遅れな目標が設定される理由：多分2つ

- プロジェクトの時間スケールが長すぎる
- 実質上のプロジェクト立案者の知識が古い

日本におけるプロジェクト立案

- 官僚＋「専門家」の委員会、が基本的構造
- 但し、「専門家」を選ぶのは官僚
- どのような専門家を選べがどのような結論がでるか、は選ぶ側にはわかっていない

つまり、「専門家」にはあまり意味はなくて官僚が決める。但し、官僚はそんなに中身に詳しくない(ひとつの部門に 2-3 年しかいない)

このため、知識の不足に基づく判断をする。そうすると、ほぼ**自動的に時代遅れな判断**になる。

アプローチの決定

これも目標自体と同じ。知識が不足すれば時代遅れになる。

もうちょっとましな方法はあるか？

「専門家」に任せれば上手くいくか？

これはまあ、学術会議は日本に科学政策についてなにかまともな提案ができるか？というような話。各関係学会の希望を集めているようでは×なのはさっきした話と同じ。

政治主導なら？

素人では官僚と同じかもっと悪い。

What I learned from Steve Jobs

— Guy Kawasaki

1. Experts are clueless
2. Customers cannot tell you what they need
3. Jump to the next curve
4. The biggest challenges beget best work
5. Design counts
6. Changing your mind is a sign of intelligence
7. "Value" is different from "price"
8. A players hire A+ players

(いくつか省略)

エクサスケールはどうなってるか？

- 現在までのところ「京」と同様な進みかた
- 2011 年 7 月、アーキテクチャ、システムソフトウェア、アプリケーションの 3WG 発足
- 各分野の要求聞いてアーキテクチャまとめるみたいなのり
- 牧野はアプリケーション WG のメンバー
- アプリケーションに必要な「バンド幅」と「メモリ量」の 2 パラメータで見ることにした
- アーキテクチャとしてレファレンス+3 タイプを提案

1+3 アーキテクチャ

タイプ	B/F	M/F
レファレンス	0.1	0.01-0.1
オンチップメモリ	4	10^{-5}
アクセラレータ型	$10^{-3\sim 2}$	0.001-0.01
ベクター型	1	1

現在

- ほぼ、「京」の 2006-2007 年の段階
- 概ね同じように進んでいる。

「京」の事後評価終了。「成功」ということになった

同じようにやっていい (やらないといけない) ということになる。

まとめ

- 過去の日本における計算機開発には、大成功から大失敗まで色々ある
- 成功と、「成功ということになっているもの」は違う
- 成功した理由、失敗した理由はそれぞれ結構明白
- 次に成功しようと思うなら、大成功したものを見習うべき

おしまい