



世界最速スーパーコンピュータ「京」



平成23年12月17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
渡辺 貞

内容



- スーパーコンピュータとは？
- スーパーコンピュータの応用例
- スーパーコンピュータの歴史
- スーパーコンピュータの高速化
- 世界のスーパーコンピュータ開発と日本の位置づけ
- スーパーコンピュータプロジェクト
 - ー世界最速「京速コンピュータ:京」ー
- スーパーコンピュータの施設



スーパーコンピュータとは？

スーパーコンピュータとは？



Wikipediaより

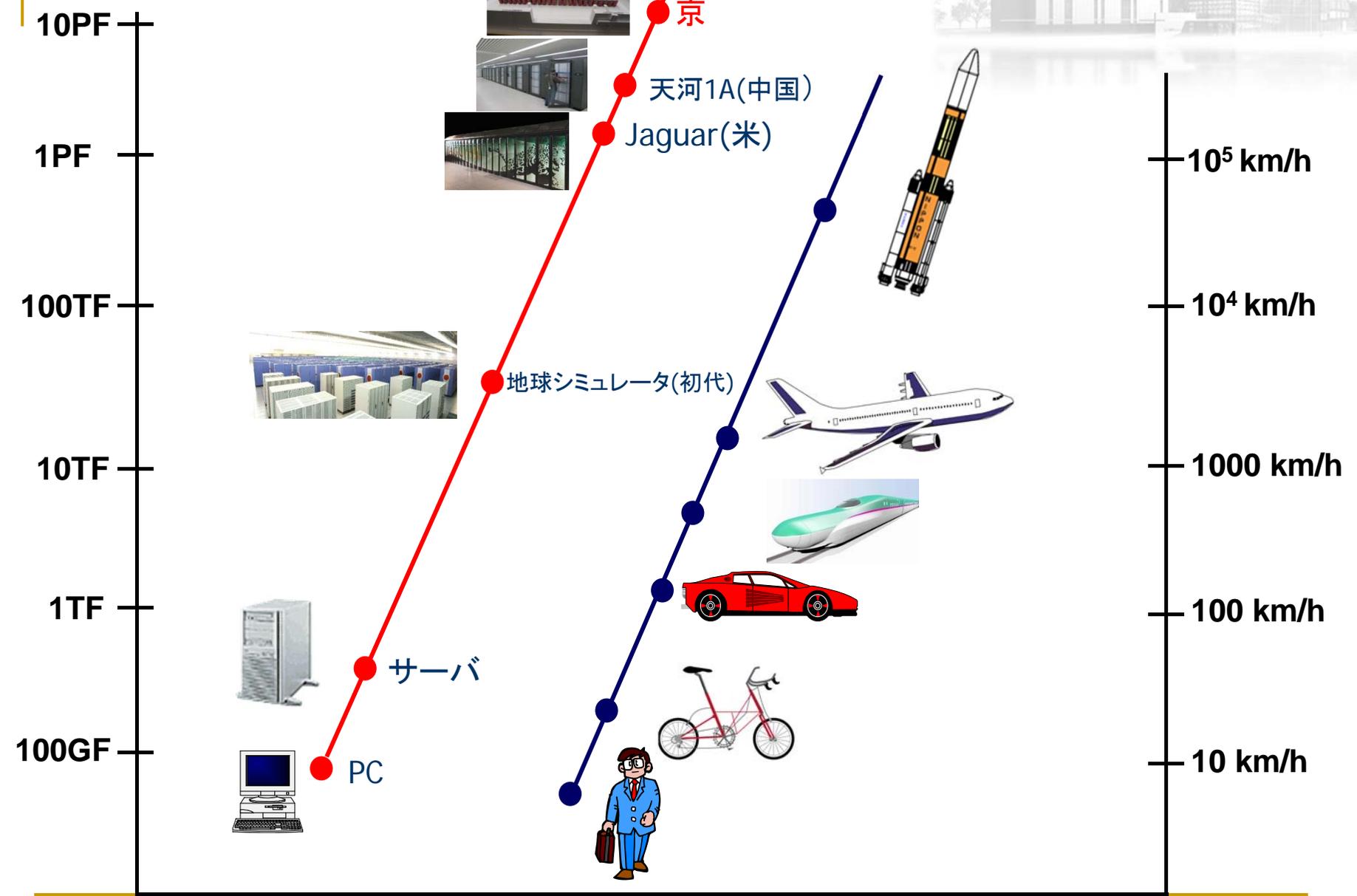
定義 [編集]

スーパーコンピュータの定義は時代によって大きく変化するが、一般的にはその時代の最新技術が投入された最高性能の計算機を指す。現時点では一般的に使用されるサーバ機よりも浮動小数点演算が1,000倍以上速いコンピュータを「スーパーコンピュータ」と呼ぶことが多い。



スーパーコンピュータとは、加減算などの数値演算が一般的なコンピュータよりも桁違いに速いコンピュータで、主として科学技術計算に使われるコンピュータ

どのくらい速いか？



1GFlops=1,000,000,000演算/秒 1TFlops=1,000,000,000,000演算/秒 1PFlops=1,000,000,000,000,000演算/秒

第3の科学：計算科学



理論

実験

計算

(数値シミュレーション)

超長時間の現象：宇宙, 気候, 環境

超短時間の現象：核融合, 衝突, 燃焼

実験不可能：結晶/分子構造,
安全解析, 気象

↓
計算機実験=数値シミュレーション

↓
膨大な計算量

↓
超高速コンピュータ (スーパーコンピュータ)

スーパーコンピュータで何ができるか？



- ・スーパーコンピュータを使った数値シミュレーションで対象物を**拡大/縮小**あるいは**時間を延長/短縮**することにより、目に見えないもの、予測できないもの、実験不可能なものを**目で見、予測し、実験**を行うことができる。



スーパーコンピュータの応用例

気候変動予測(地球温暖化)



動画

提供:AORI/NIES/JAMSTEC/MEXT

Ground motion and tsunami simulations using the tsunami-coupled equation of motion in 3D

Maeda and Furumura (2011) Pure and Applied Geophysics - *under review*

動画

[Present] Resolution: 1km
CPU Time: 2 hour
(ES 64 node)



[Expected] Resolution: 0.25
km
CPU Time: < 10 min
(K-Computer)

膜たんぱく質と水分子

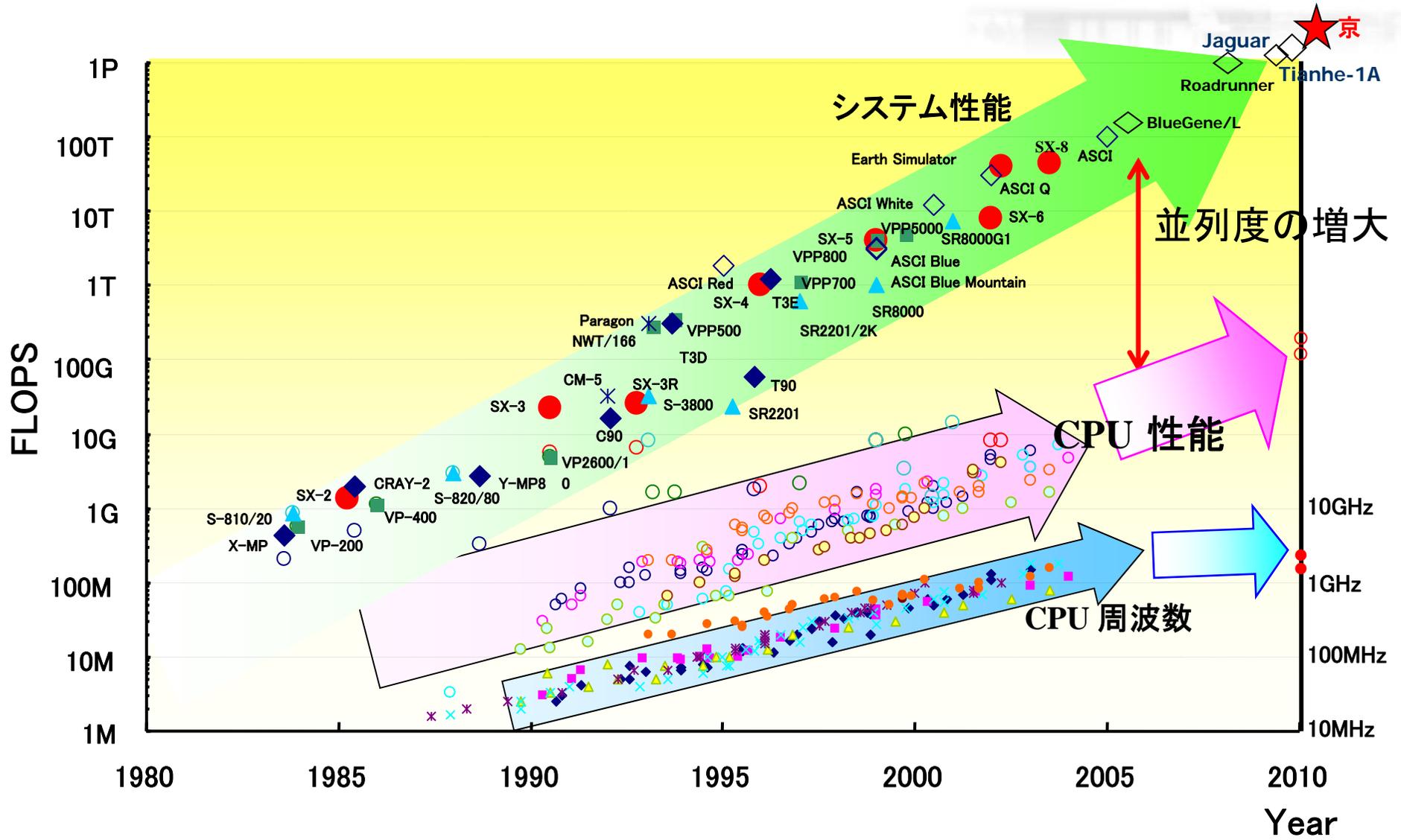


動画

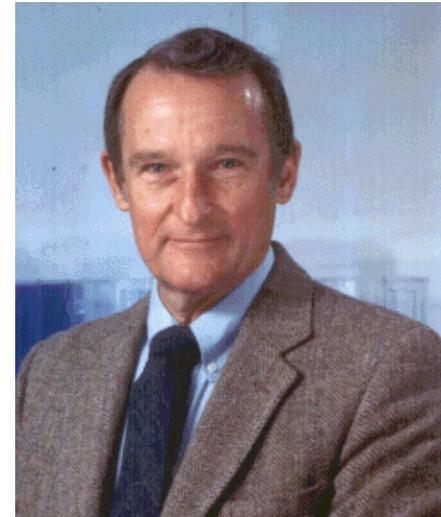


スーパーコンピュータの歴史

スーパーコンピュータの歴史



Cray-1 (1976)



Seymour Cray

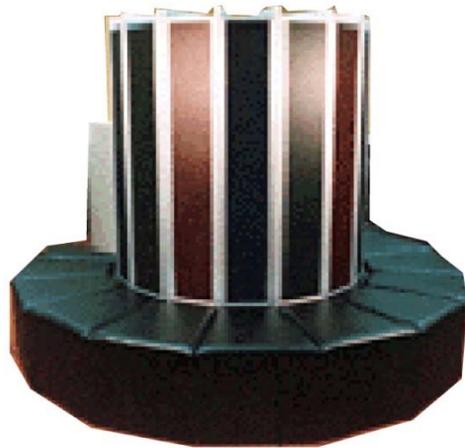
NWT (1993)



CP-PACS(1996)



70年代のスパコンと現在のスパコン



Cray-1 (1976)

Sourced from http://www.thocp.net/hardware/cray_1.htm

◇単一CPUシステム



地球シミュレータ (2002)

◇超並列システム

技術の進歩 (Cray-1と京)

	Cray-1(1976)	京(2012)	倍率
性能	160MFlops	>10PFlops	6,000万倍以上
メモリ容量	8Mバイト	>1Pバイト	1億2000万倍以上



スーパーコンピュータの高速化

コンピュータの性能(計算速度)を高めるには



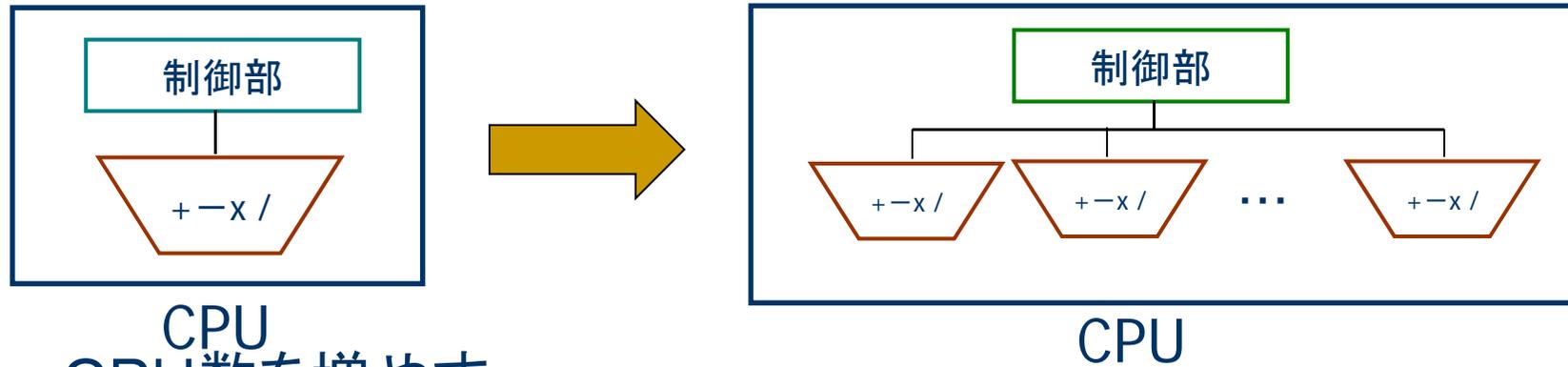
$$\text{速度}(S) = \frac{\text{処理量}(Q) \longrightarrow \text{大} \longrightarrow \text{並列度を増大}}{\text{時間}(T) \longrightarrow \text{小} \longrightarrow \text{処理時間を短縮}}$$

並列度を増大: CPU数、演算器数、メモリバンド幅など

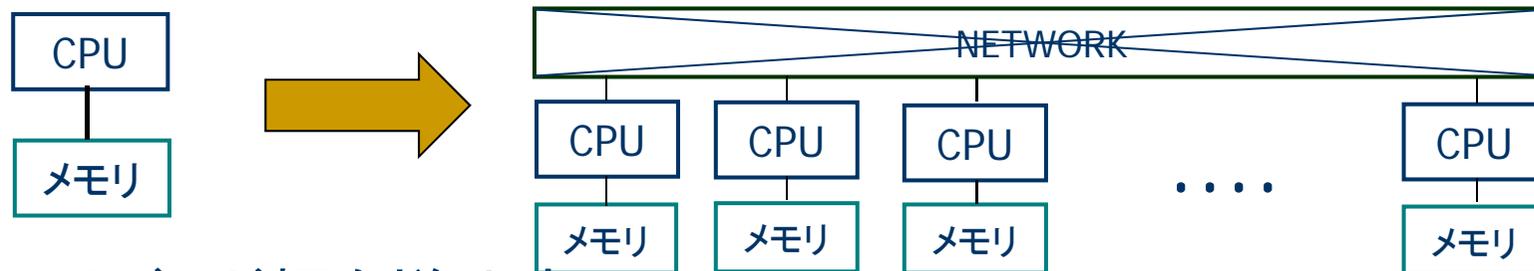
処理時間を短縮: クロック時間短縮(周波数大)、データ呼出し時間短縮など

並列度を増大

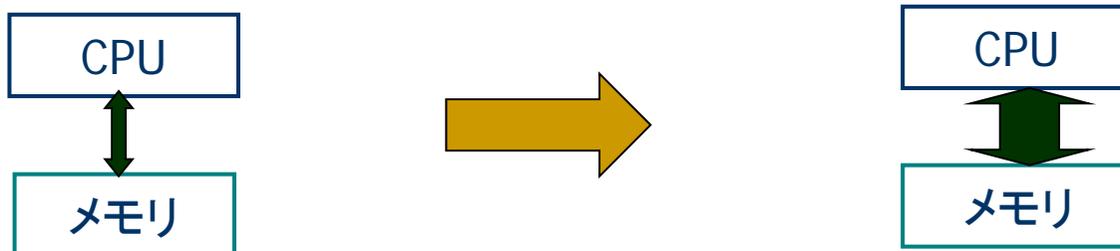
- 演算器数を増やす



- CPU数を増やす



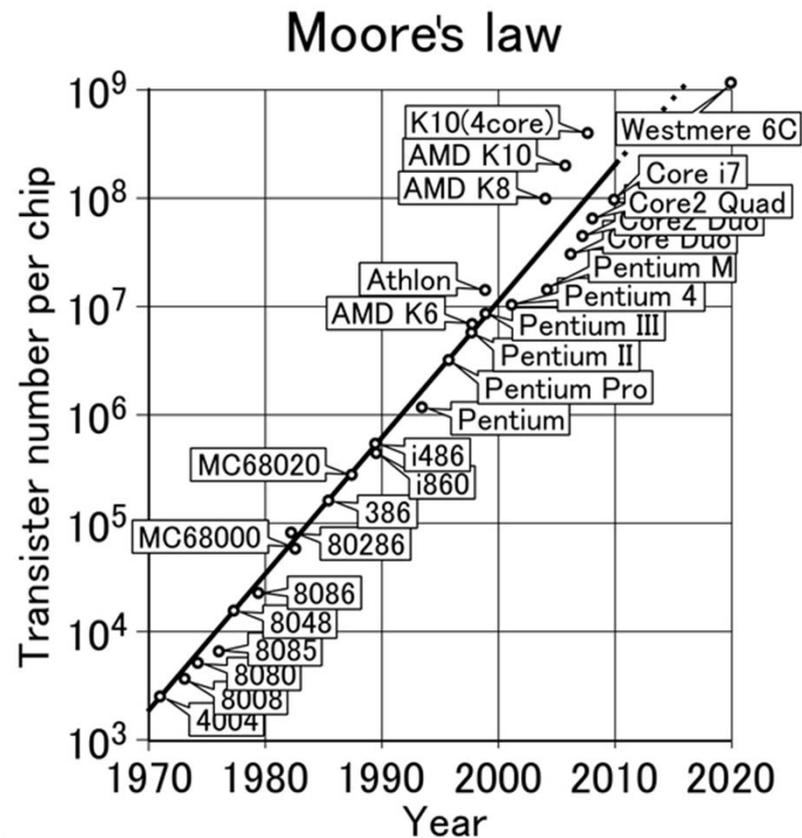
- メモリバンド幅を増やす



処理時間を短縮



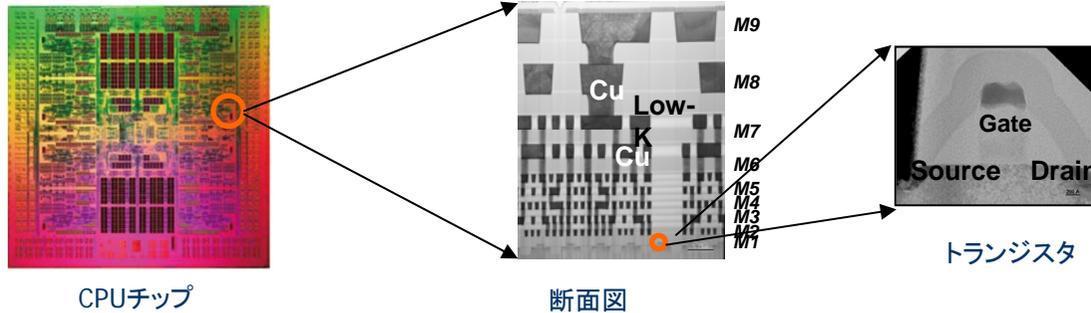
- クロック時間の短縮(周波数の向上)
 - 半導体の集積度の向上(プロセスの微細化)
 - ムーアの法則
 - 半導体の集積度(トランジスタ数)は、1.5年~2年で、2倍の向上



「京」の半導体技術

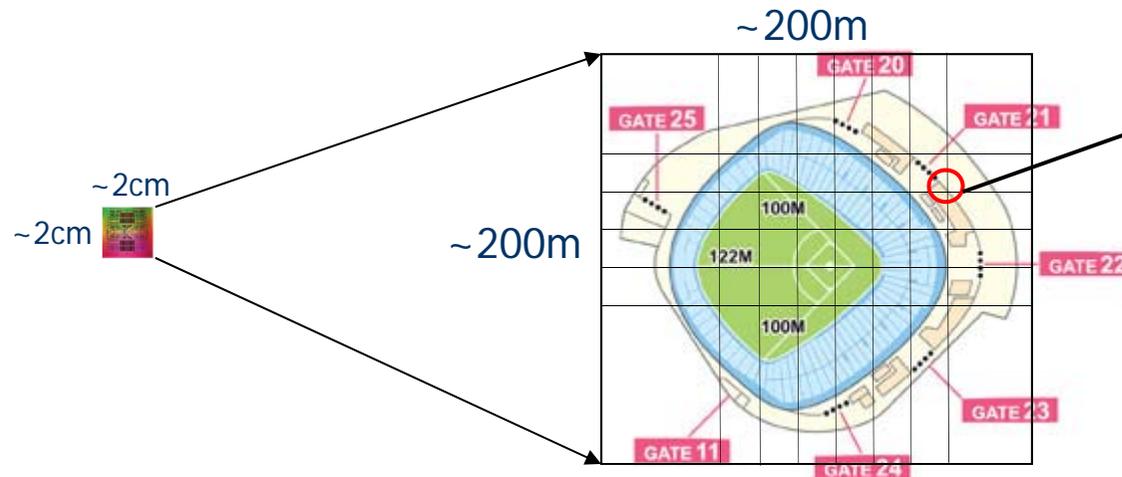


■ 45ナノ・半導体プロセス



- CPUチップ
- ・ 7億6千万トランジスタ
 - ・ 58W@30°C
 - ・ 128GFLOPS

45ナノとは？ (1ナノ・メートル=10⁻⁹メートル)

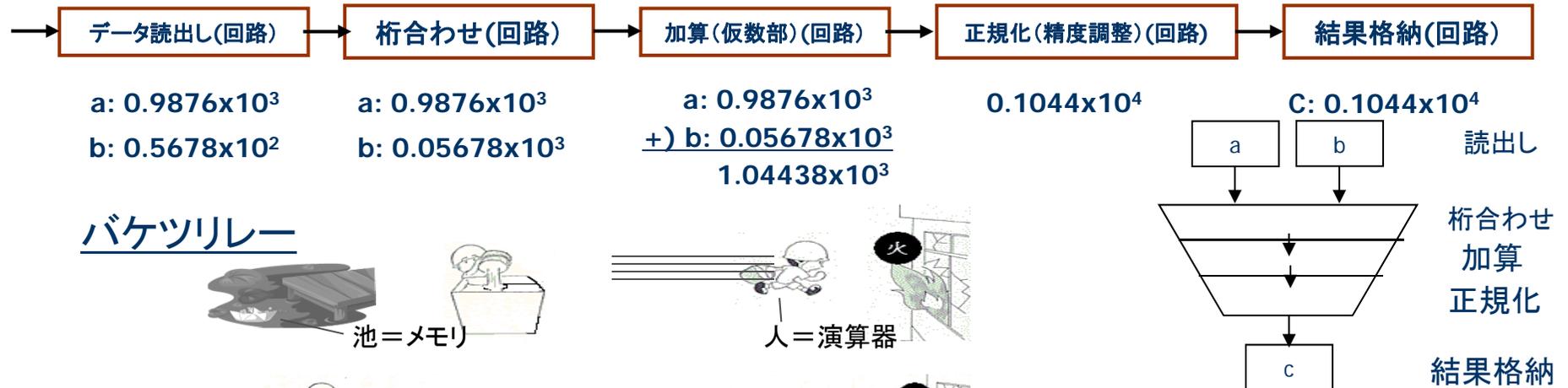


東京ドームに
およそ0.5mmの
電気配線をするのと
等価な技術
或いは、7~8mm間隔で
トランジスタを全面に
敷き詰める程度の技術

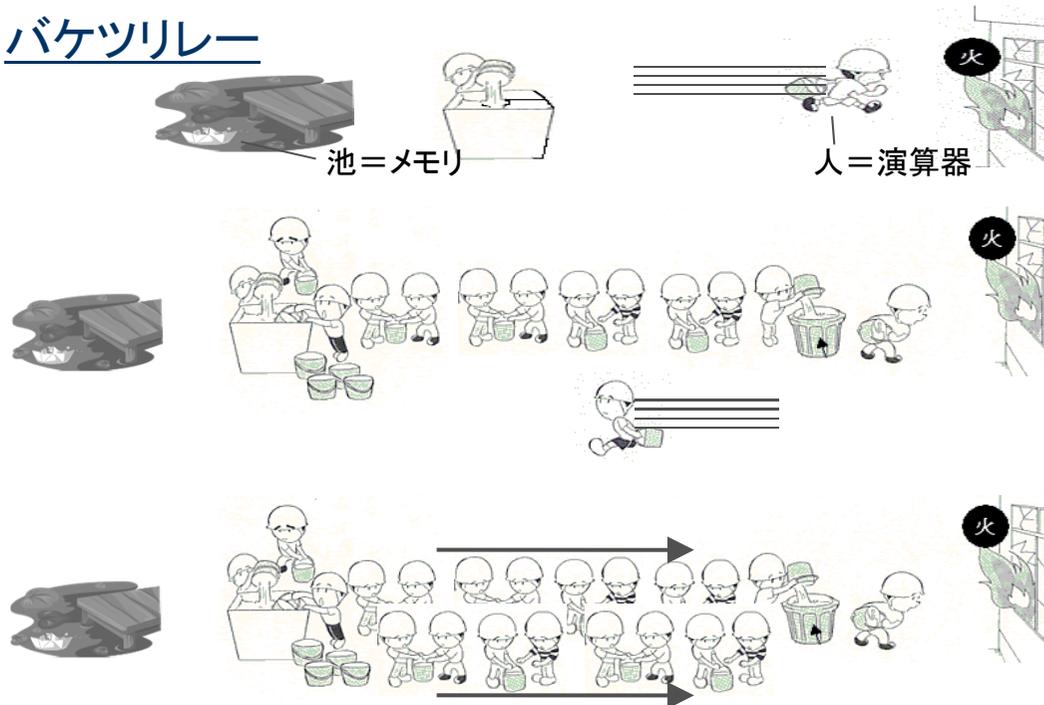
高速演算の仕組み

■ パイプライン演算(処理)

- 加算($c=a+b$): 車の組み立てラインと同様、下記処理を連続して実行する



バケツリレー



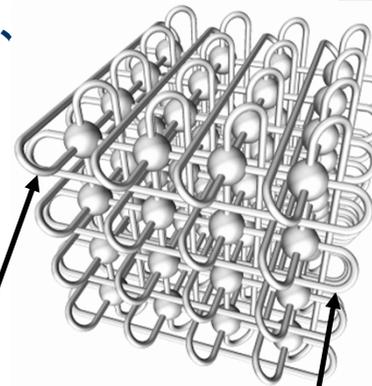
高速化:

- ・ バケツの引渡しピッチを速くする
⇒ クロック高速化(周波数を高める)
- ⇒ 人と人との距離を詰める
⇒ 高密度実装(半導体の集積度を高める)
- ・ バケツリレーを複数同時に行う
⇒ 並列化(演算器を複数備える)

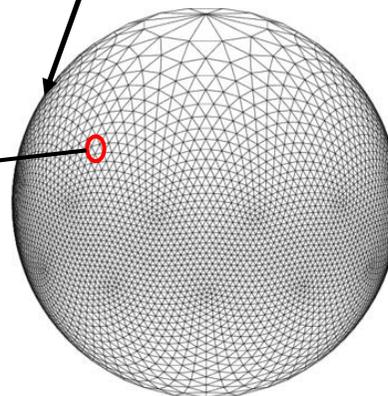
並列処理(並列演算)の仕組み

リチャードソンの夢(1920年代)

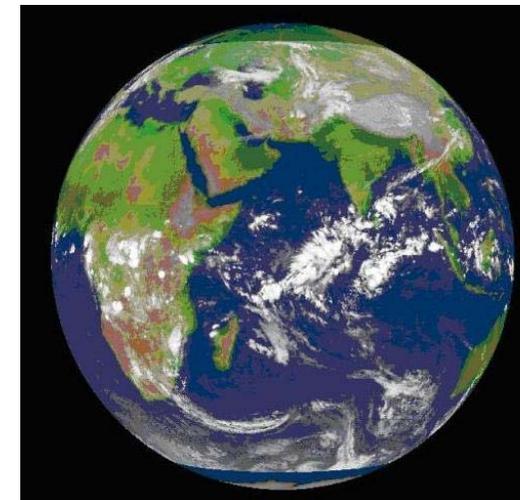
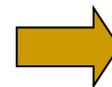
- ・ 円形劇場に64,000人を集め、
 - ・ 各人に紙と鉛筆を持たせ、
 - ・ 地球を格子状に分割して、
 - ・ 温度、湿度、気圧等を計算
- ⇒ 気象予報における並列計算



各格子点の温度、湿度、
気圧等を並列計算



格子(mesh)



シミュレーション(計算)結果

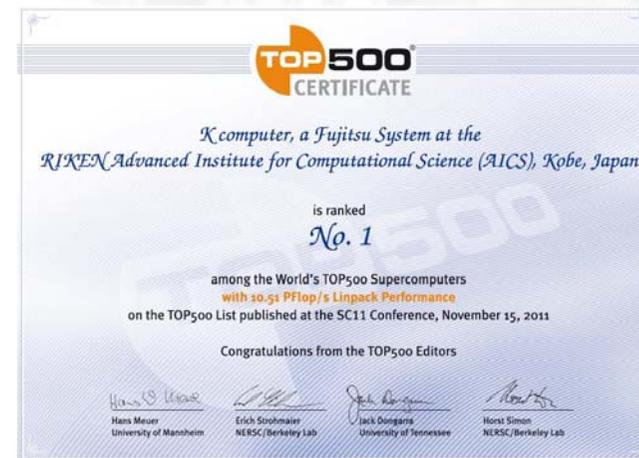


世界のスーパーコンピュータ開発

TOP500リストで2期連続世界第一位！ (LINPACK性能テストで、10PFlops達成)

■ 世界第一位の評価

	H23.6	H23.11
性能値	8.16PFlops	10.51PFlops
抜群の高性能	第2位の3倍以上の性能 2位～6位を足した性能を上回る	第2位の4倍以上の性能 2位～8位を足した性能を上回る
高い信頼性	高負荷下、 28時間連続走行	高負荷下、 29.5時間連続走行
高効率システム	効率 93.0%	効率 93.2%

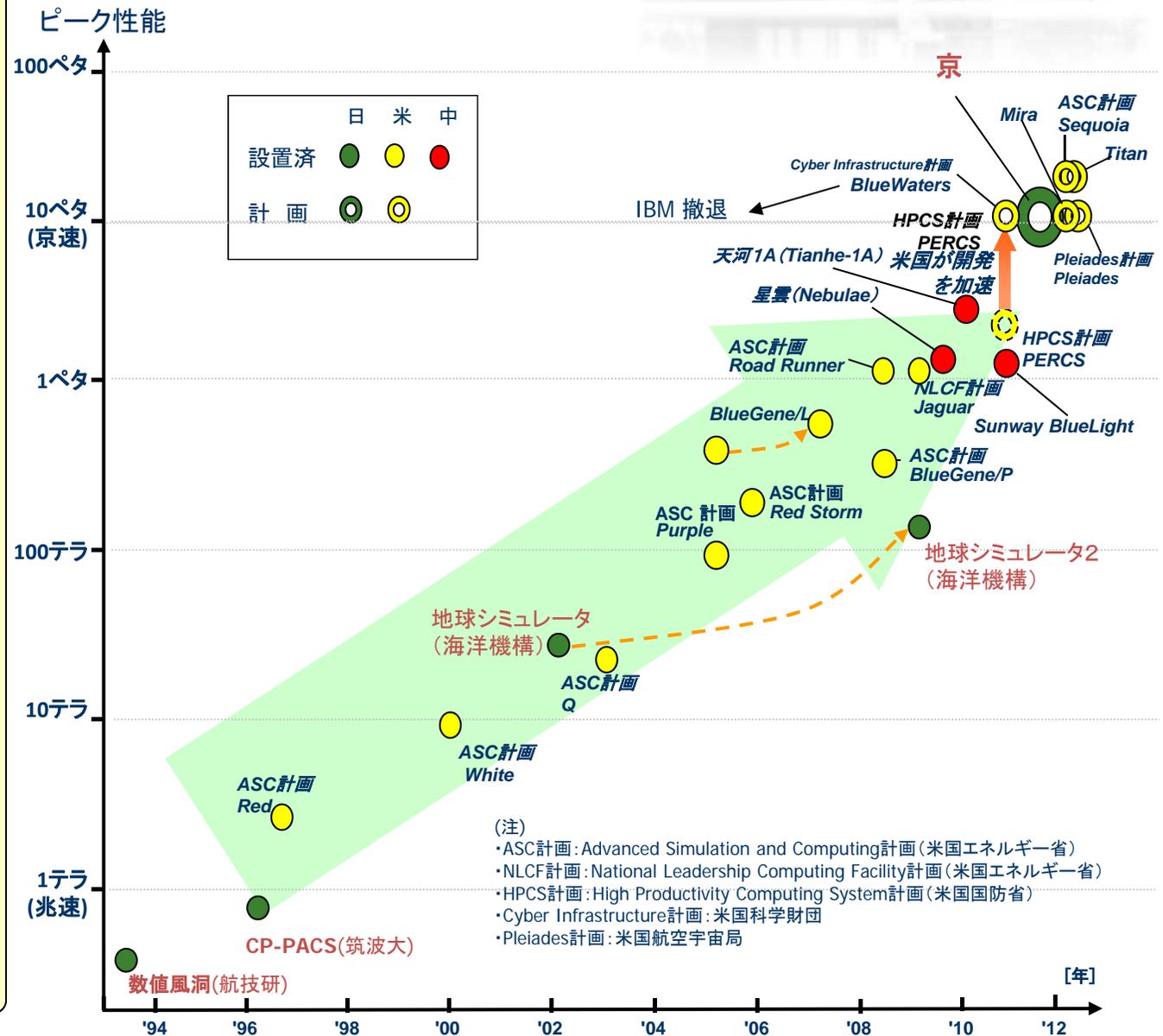


順位	システム名称	サイト	ベンダー	国名	Linpack 演算回数 (テラFLOPS)
1	K computer	理研 計算科学研究機構	Fujitsu	日	10,510
2	天河 1A号	天津スパコンセンタ	NUDT	中	2,566
3	Jaguar	オークリッジ研	Cray	米	1,759
4	Nebulae (星雲)	深圳スパコンセンタ	Dawning	中	1,271
5	TSUBAME2.0	東京工業大学	NEC/HP	日	1,192
6	Cielo	ロアラモス研 (サンディア研)	Cray	米	1,110
7	Pleiades	NASA・エイムズ研究センタ	SGI	米	1,088
8	Hopper	ロレンス・バークレイ研	Cray	米	1,054
9	Tera-100	原子力庁 (エネキ-研)	Bull	仏	1,050
10	Roadrunner	ロアラモス研	IBM	米	1,042

世界のスーパーコンピュータ開発



- ◆ 米国は、軍事利用を中心に産業、科学技術・学術研究での利用のため、複数の大規模プロジェクトを並行して推進。
- ◆ 我が国のスパコン性能は、2004年6月、地球シミュレータが、世界スパコン性能ランキング(TOP500)で第1位を獲得したのが、最後だった。2011年6月第1位を京で奪取。引き続き2011年11月に第1位を獲得
- ◆ 中国がスーパーコンピュータの開発で力をつけてきている。2010年11月に国防科学技術大学(NUDT)の天河1A(Tianhe-1A)が、TOP500で世界第1位。第3位も中国(Nebulae)。現在、天河1Aは、第2位。2011年10月、自国開発のCPUで1ペタシステム開発
- ◆ 2011年6月11月ともに日本のトップは京、東工大のTSUBAME2.0が世界第5位





スーパーコンピュータプロジェクト —世界最速「京速コンピュータ:京」—

「京」の名称



■ “京”

- 10^{16} , or 10 ペタ (flops システム)
- アーチ／門 (計算科学の新時代を開く)



「京」の整備状況と予定



- 平成22年9月29日に計算機本体(筐体)の搬入開始
- 平成23年4月より, 整備中の計算機本体の一部(16筐体)を, アプリケーション・ユーザ(グランドチャレンジ及び戦略分野の一部のユーザ)に提供し, 試験利用を開始。(現在、最大2ペタフロップスが利用可能)
- 平成23年6月20日 ISC' 11(独・ハンブルク)にて, 第37回TOP500リストで第一位を獲得.
低消費電力システムGreen500で世界6位(汎用且つ実運用システムでは世界一)
- 平成23年11月14日SC11(米・シアトル), 第38回TOP500リストでも、引き続き第一位を獲得.
- 平成23年8月本体機器の搬入完了, システムソフト評価を継続中
- (予定)平成24年6月システム完成
- (予定)平成24年11月共用開始

開発日程



平成23年11月 LINPACK 10ペタフロップス達成

性能値	10.51ペタフロップス
理論性能	11.28ペタフロップス
実行効率	93.2%
問題サイズ	11,870,208
実行時間	29時間28分

システムの特長



- ✓ 世界トップクラスの演算性能と汎用性(使いやすさ)の両立
 - ✓ LINPACK 10ペタフロップス(1秒間に1京回)
 - ✓ ペタフロップス級のアプリケーション実効性能
 - ✓ 広範囲のアプリケーションに対応可能

- ✓ 高性能と低消費電力の両立
 - ✓ CPU: 128GFLOPS, 58W(LINPACK時)@30°C
 - ✓ 45nm CMOS プロセス
 - ✓ 2.2GFlops/W, ワット当たりの演算性能で世界トップレベル

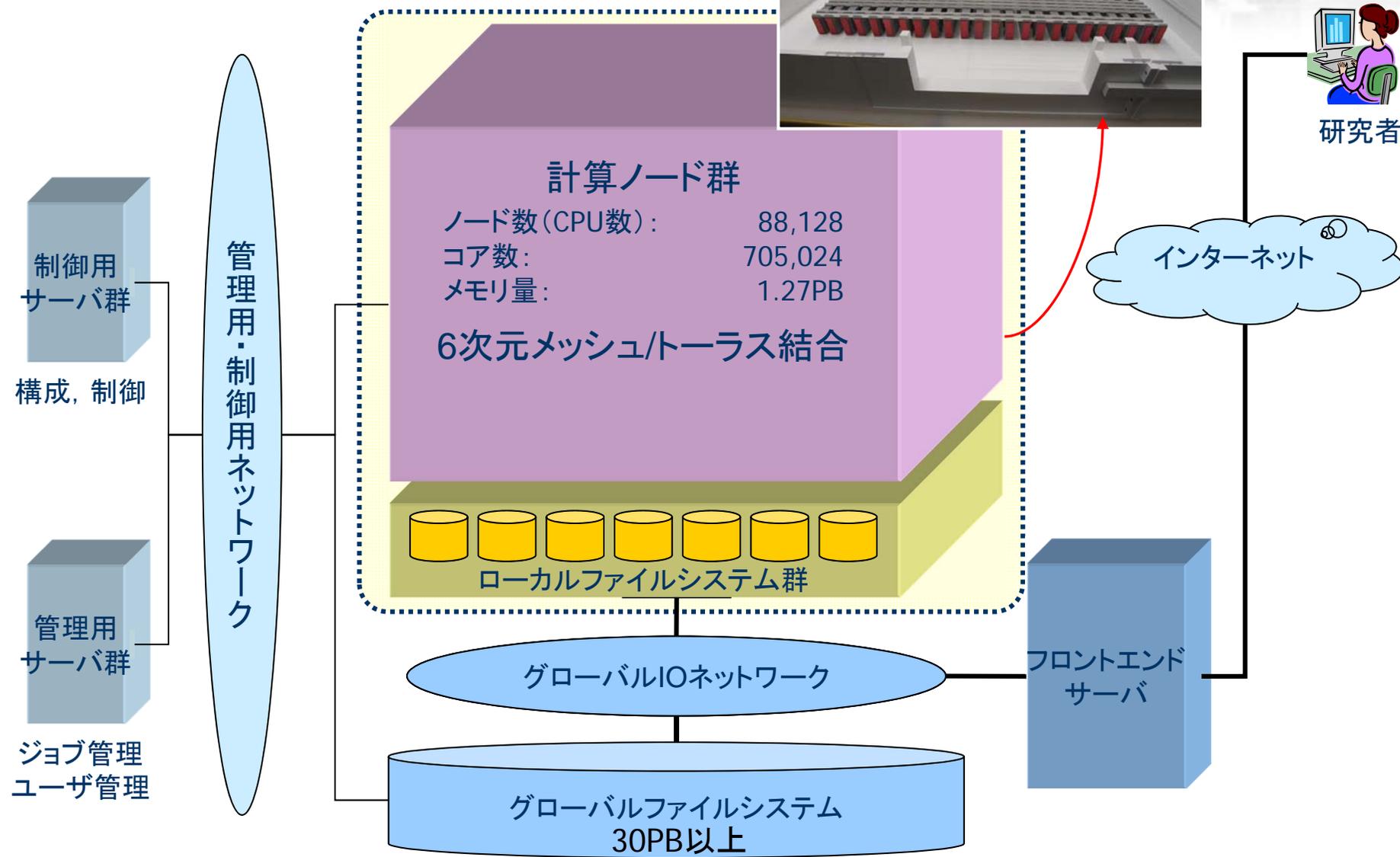
- ✓ 高い信頼性の確保
 - ✓ 「壊れない」、「壊れても全てが止まらない」、「壊れた部分はすぐ直せる」
 - ✓ ネットワークの高信頼性化: 自動代替経路, 自動再構成機能
 - ✓ サーバ二重化、ファイル経路二重化など



システム構成概要



研究者

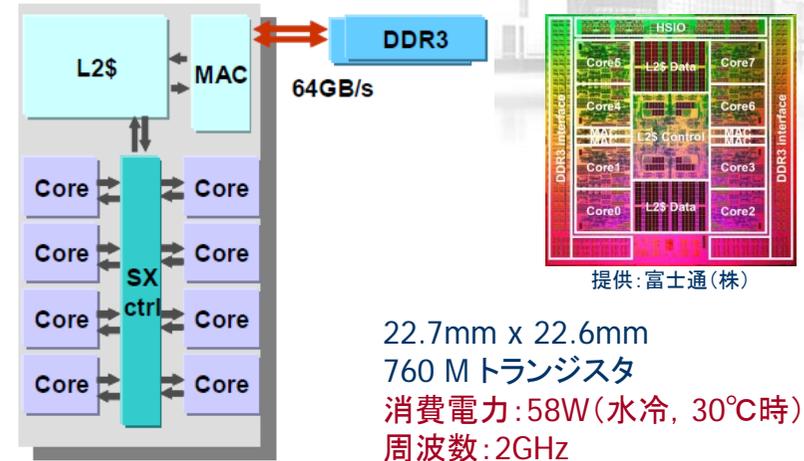


プロセッサ構成

- **8コア構成**, 各コア256本の浮動小数点レジスタを備えたスーパースカラ方式
 - SIMD拡張(積和演算器2個 x 2セット)
 - コア当り16GFLOPS, CPU当り128GFLOPS

- コア共有の2次キャッシュ(6MB, 12way)
 - ハードウェアバリア機構
 - プリフェッチ機構
 - セクタキャッシュ機能

- **データ供給能力**
 - レジスタ-L1キャッシュ間: 4B/FLOP
 - L1キャッシュ-L2キャッシュ間: 2B/FLOP
 - L2キャッシュ-主記憶間: 0.5B/FLOP



	仕様
CPU性能	128GFLOPS(16GFLOPSx8コア)
コア数	8個
浮動小数点演算器構成 (コア当り)	積和演算器: 2 x 2個 (SIMD) 逆数近似演算器: 2 x 2個 (SIMD) 除算器: 2個 比較器: 2個
	浮動小数点レジスタ(64ビット): 256本 グローバルレジスタ(64ビット): 188本
キャッシュ構成	1次命令キャッシュ: 32KB(2way) 1次データキャッシュ: 32KB(2way) 2次キャッシュ: 5MB(10way)コア間共有
メモリバンド幅	64GB/s(0.5B/F)

より詳細な情報は、「SPARC64™ VIIIfx Extensions」を参照のこと

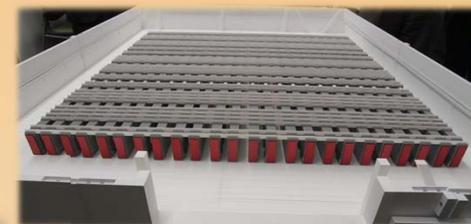
<http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jhpc/sparc64viiiifx-extensions.pdf>

「京」のハードウェア構成



システム全体

計算ラック 864



計算速度：1京回/秒
=10ペタフロップス
メモリ容量：.1.27PB

計算ラック群

計算ラック×8



計算速度：98.4兆回/秒
メモリ容量：12TB

計算ラック

システムボード×24
IOシステムボード×6



計算速度：12.3兆回/秒
メモリ容量：1.5TB

システムボード

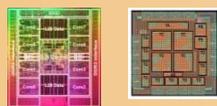
ノード×4



計算速度：5120億回/秒
メモリ容量：64GB

ノード

CPU×1
ICC×1
メモリ

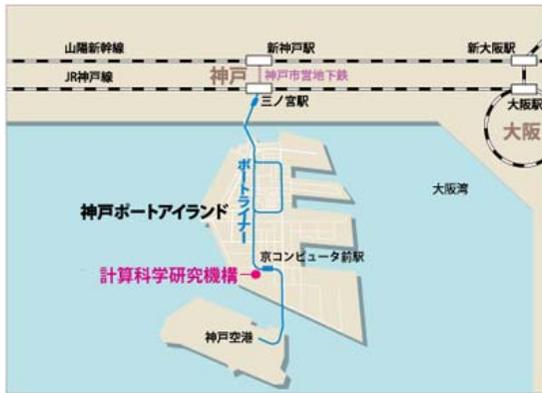


計算速度：1280億回/秒
メモリ容量：16GB



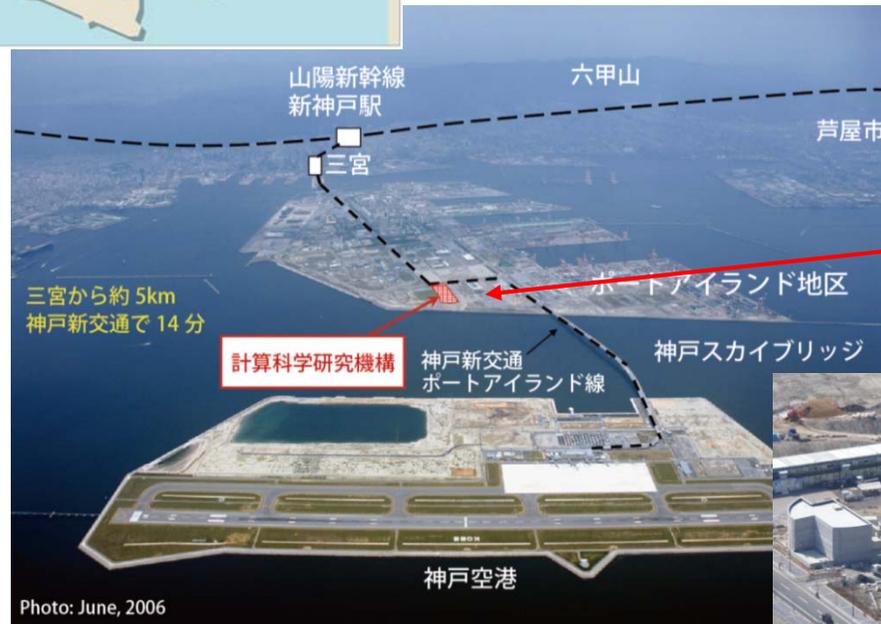
スーパーコンピュータの施設

計算科学研究機構の立地



計算科学研究機構

- < 機構長 > 平尾公彦
- < 設 立 > 平成22年7月1日
- < 職員数 > 88人(非常勤含む)
(平成23年7月1日現在)



- < 所 在 地 > 兵庫県神戸市中央区港島南町7-1-26
- < 敷地面積 > 約2ha(準工業地域)
- < 総 電 力 > 最大約20MW(計算機システム)
- < 電力設備 > 70kV特高受電、コージェネレーション発電併用
- < 冷却設備 > 計算機棟空調機台数: B1F計14台、2F計50台

計算科学研究機構の施設



- 【研究棟】**
- 延床面積 約9,000㎡
 - 建築面積 約1,800㎡
 - 構造 鉄骨造 地上6階地下1階

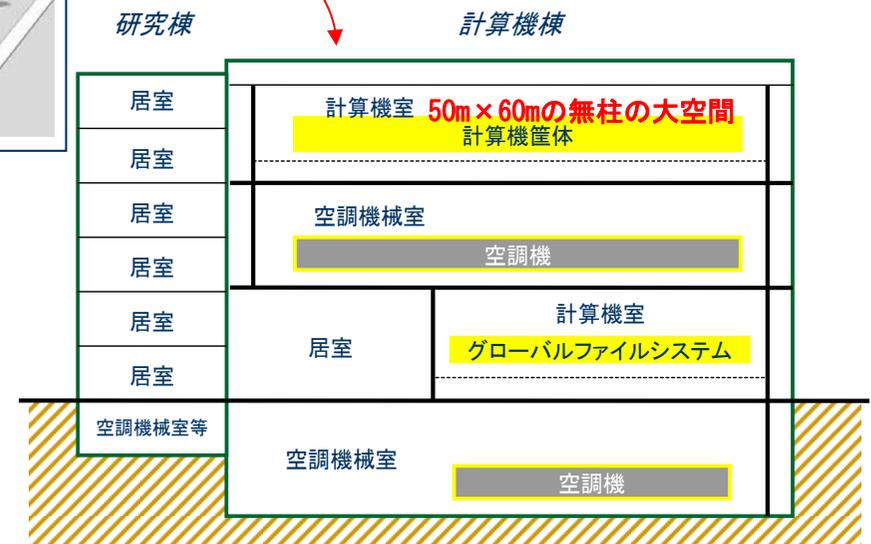


- 【計算機棟】**
- 延床面積 約10,500㎡
 - 建築面積 約4,300㎡
 - 構造 鉄骨造・地上3階地下1階



【熱源機械棟】

【特別高圧電源施設】



【研究棟・計算機棟の断面図】

施設の特長

- 地盤改良と基礎免震構造
 - 液状化に備えて地盤改良
 - 免震構造の建屋



- 無柱のコンピュータ室(60m x 60m)
 - 自由な筐体配置とケーブル配線長の短縮
 - 床加重 : 1 ton/m²
 - 床上げ : 1.5m (ケーブル配線と水パイプ)
- 省エネと環境への配慮
 - コージェネ(5MW x 2)の廃熱利用
 - 雨水と冷却用水の再利用
 - 屋上に太陽光パネル(約50KW)
 - 屋上緑化
 - 消音効果を高める建屋形状



システム設置状況





ご静聴ありがとうございました。

