
超電導でできること

デバイス研究開発（コンピュータ、ルータ）

内容

- ✓ 進歩してきた半導体回路の現状
- ✓ なぜ超電導回路？
- ✓ 超電導コンピュータ、ルータの研究

コンピュータの基礎：2進数

普段の我々の生活

“0～9”の10個で表現

10進数

10^3 の位	10^2 の位	10^1 の位	10^0 の位
0	0	1	3

$$10^3 \times 0 + 10^2 \times 0 + 10^1 \times 1 + 10^0 \times 3 \\ = 13 \text{ (10進数表示)}$$



コンピュータ内部の世界

“1” と “0” の2個で表現

2進数

2^3 の位	2^2 の位	2^1 の位	2^0 の位
1	1	0	1

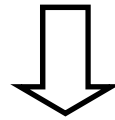
$$2^3 \times 1 + 2^2 \times 1 + 2^1 \times 0 + 2^0 \times 1 \\ = 13 \text{ (10進数表示)}$$



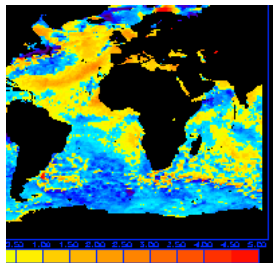
求められる高度な計算



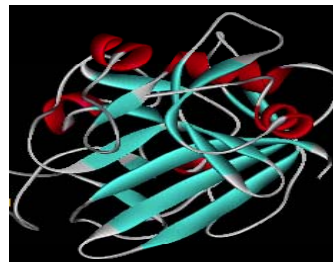
✓ 進歩を続けてきた半導体回路



今後も更に求められる高度な計算



環境



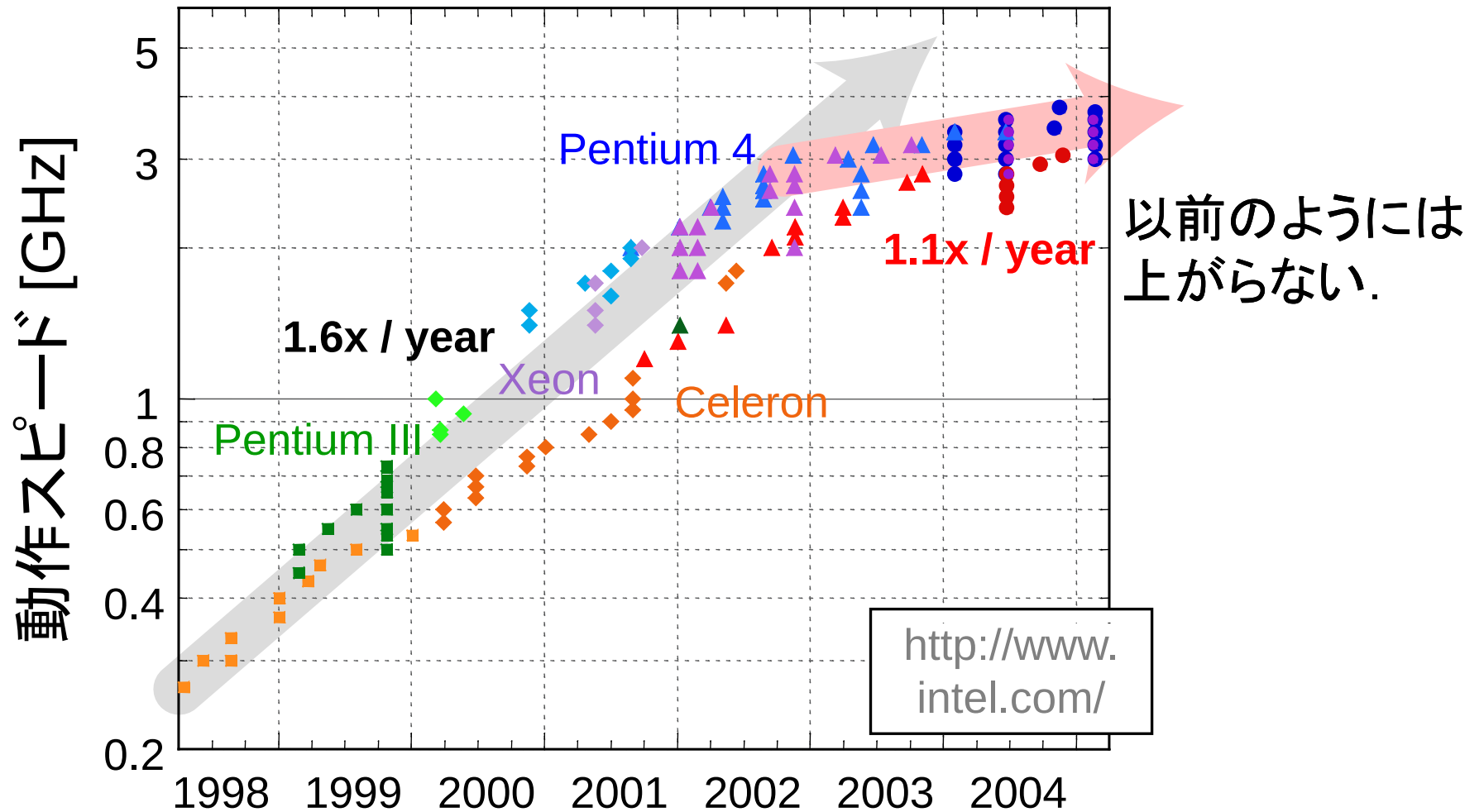
バイオ



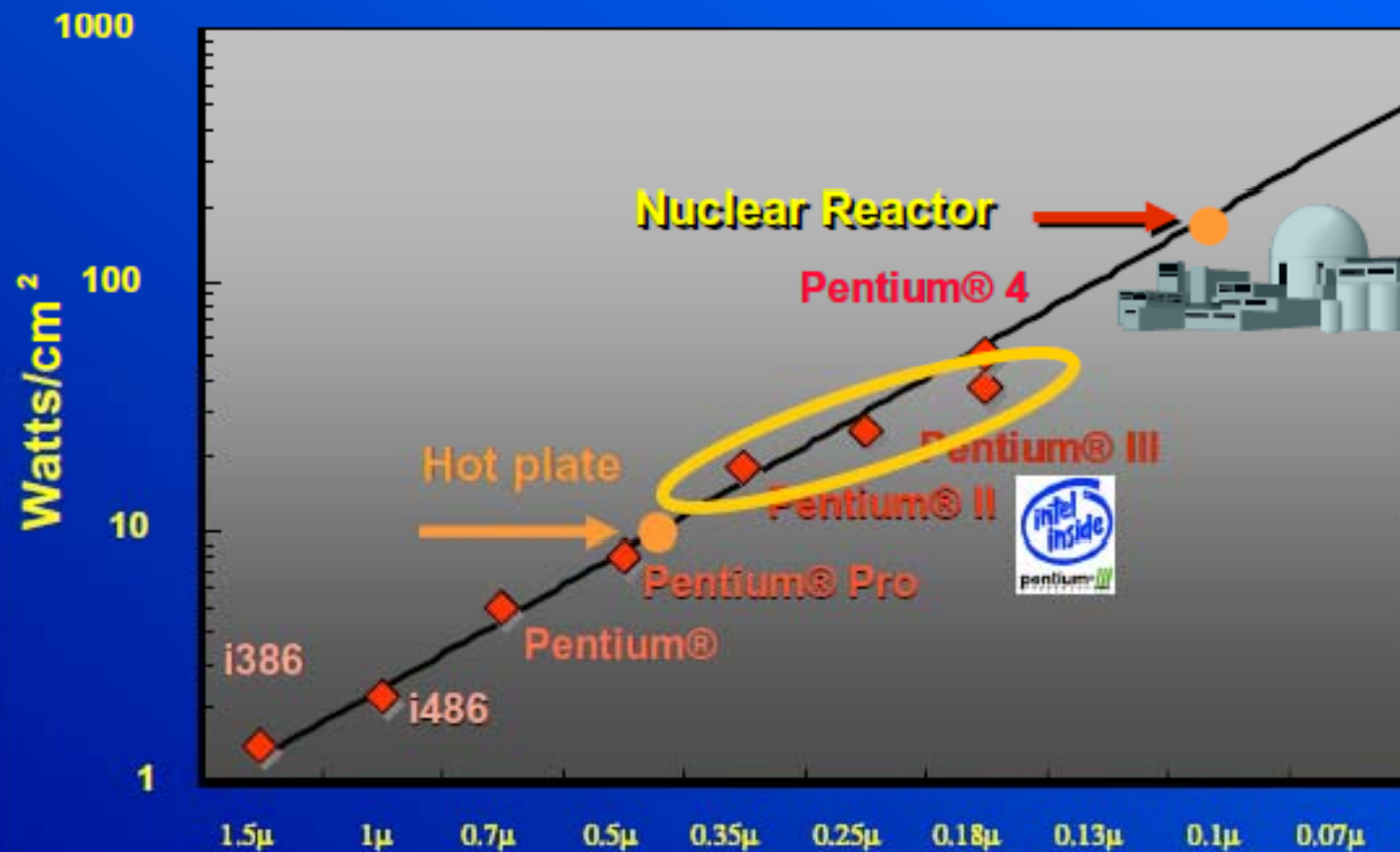
天文

しかし、半導体回路もかなり問題が見え始めています。

半導体コンピュータ動作スピードの現状



半導体チップの熱の問題



* "New Microarchitecture Challenges in the Coming Generations of CMOS Process Technologies" – Fred Pollack, Intel Corp. Micro32 conference key note - 1999.



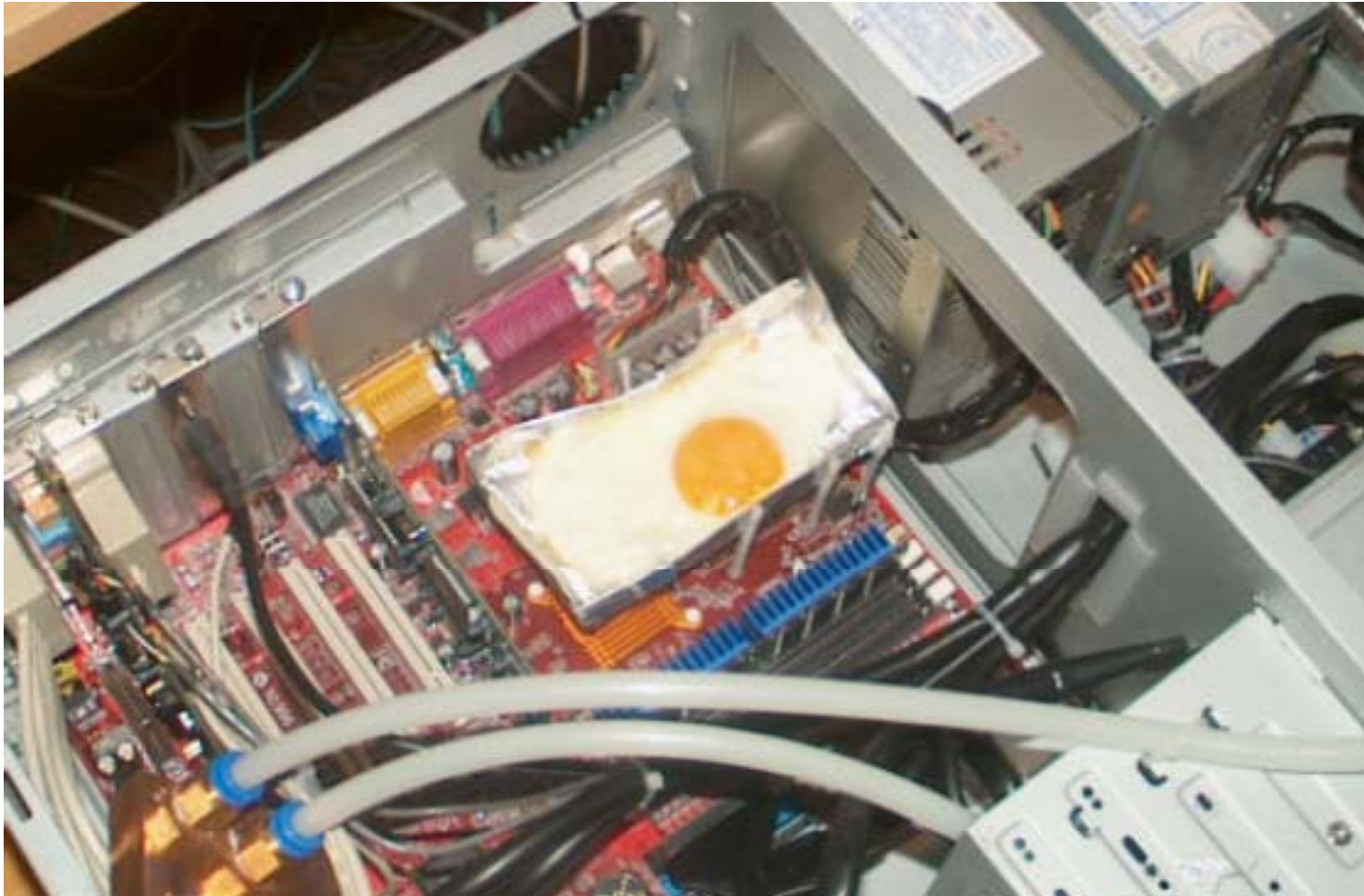
Sun's Surface



Rocket Nozzle



半導体チップの熱の問題

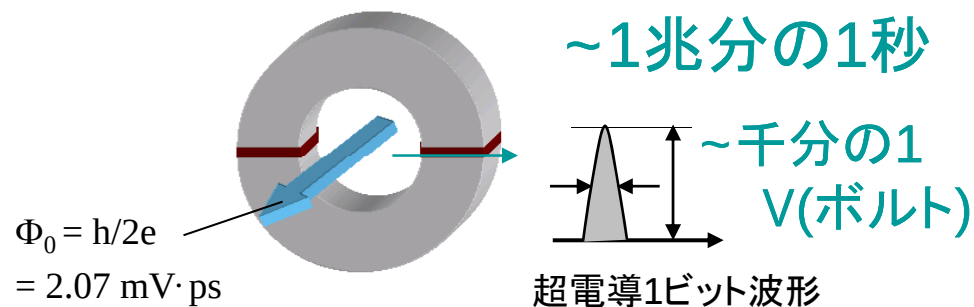


たまご焼きが実際に出来るくらい熱を持っています。

超電導を使ったら...

- 消費電力が低い！
(千倍から1万倍低い)
- 速い！ (十倍～百倍速い)
- 超電導配線が使える。

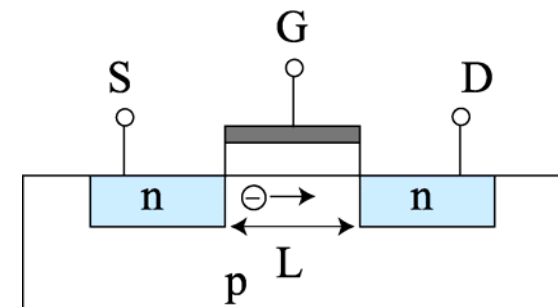
単一磁束量子で“1”と“0”を表現



超電導

電圧で“1”と“0”を表現

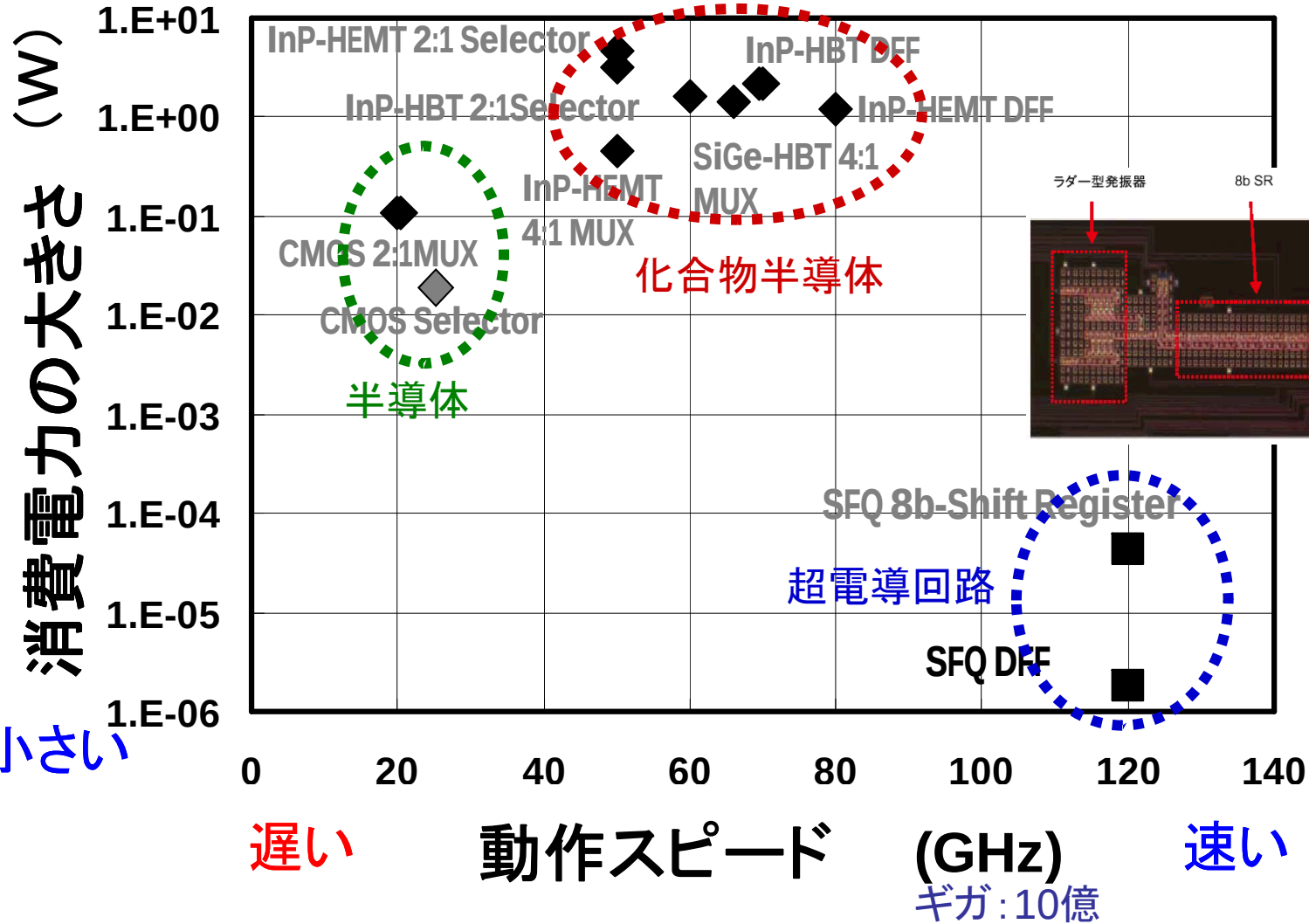
$\sim 1 \text{ V(ボルト)}$



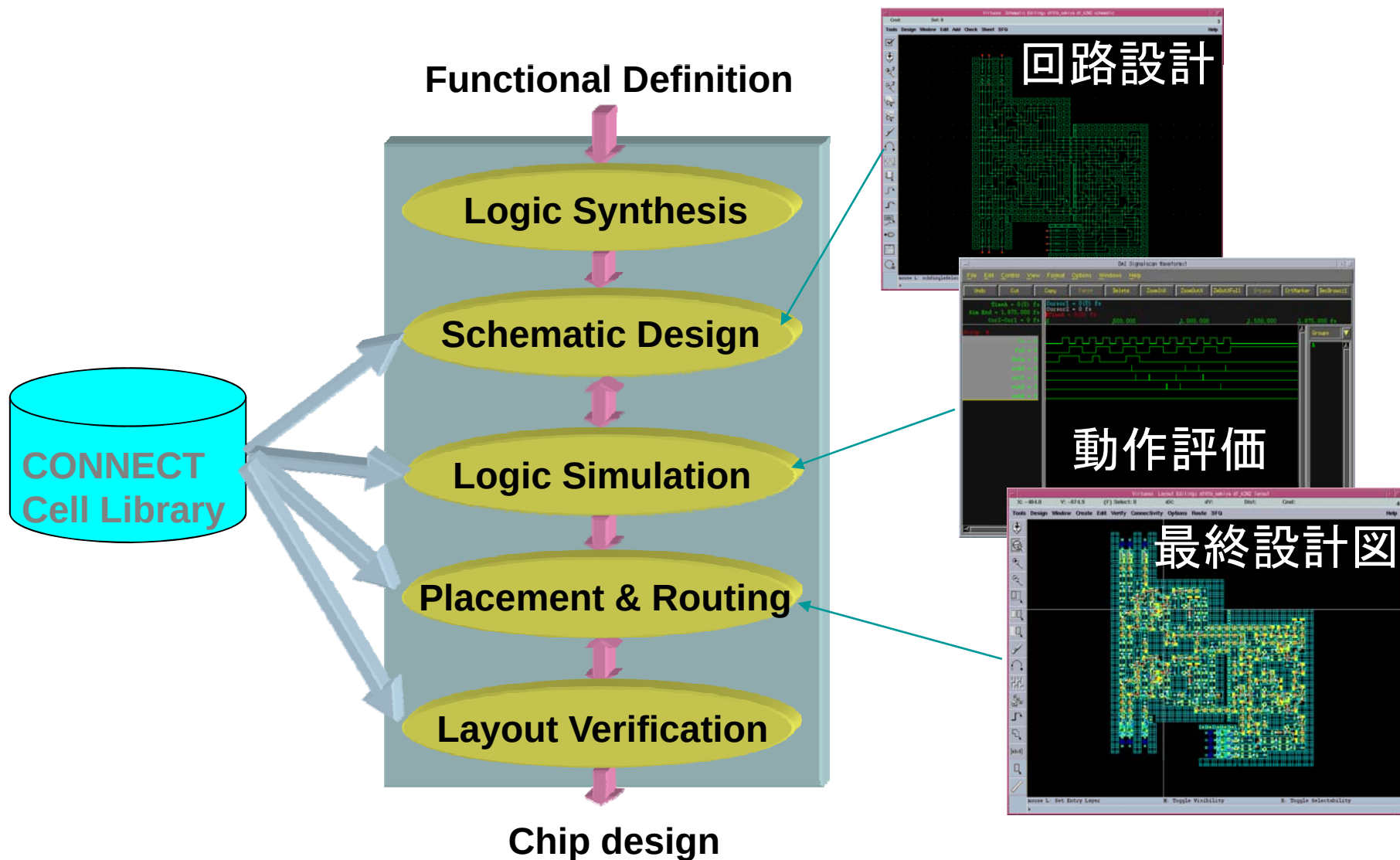
半導体

電力とスピードの比較

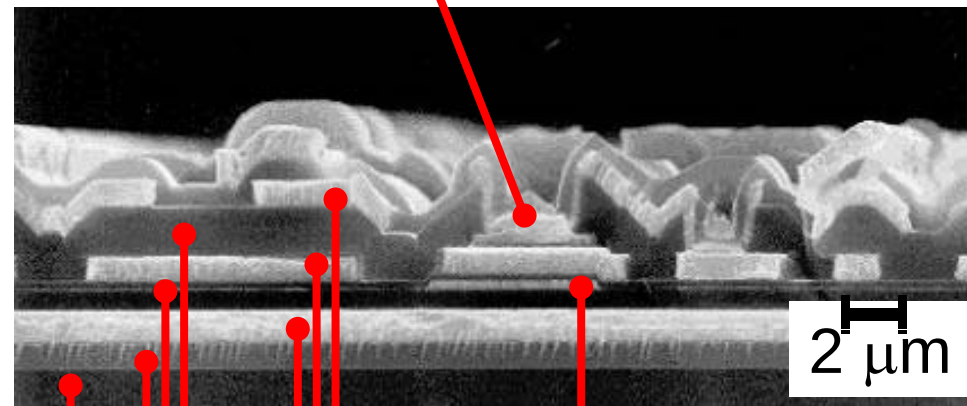
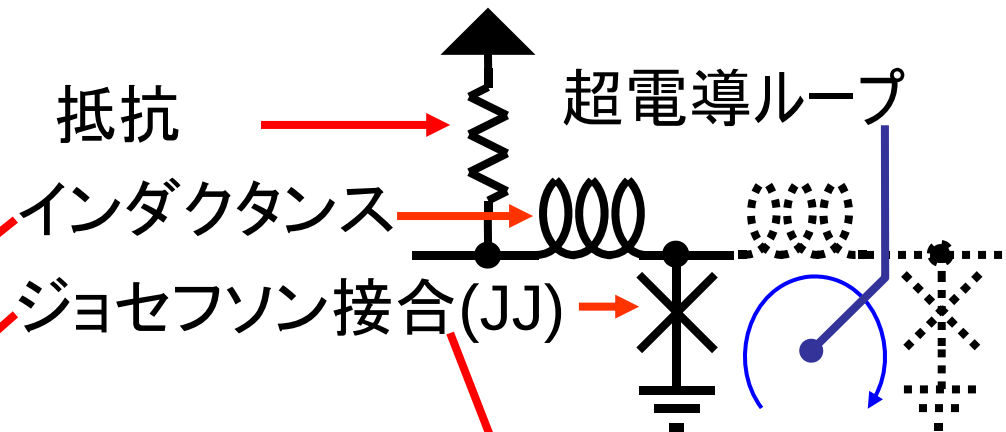
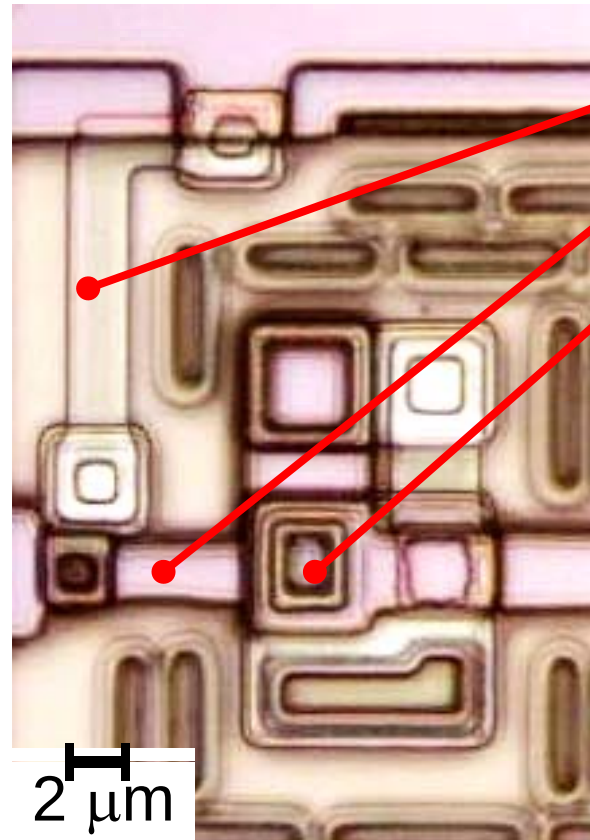
大きい



超電導回路の設計

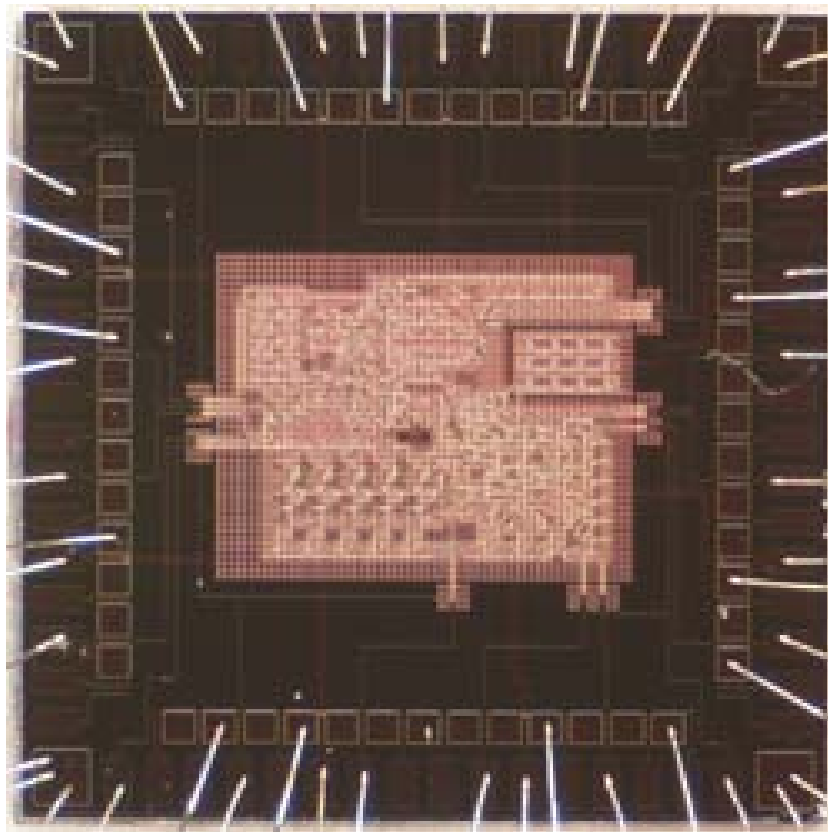


超電導回路の構造



Si 基板
SiO₂ (絶縁体)
Nb (超電導体)
Mo (抵抗体)

超電導コンピュータ (CORE1 α ver. 5)

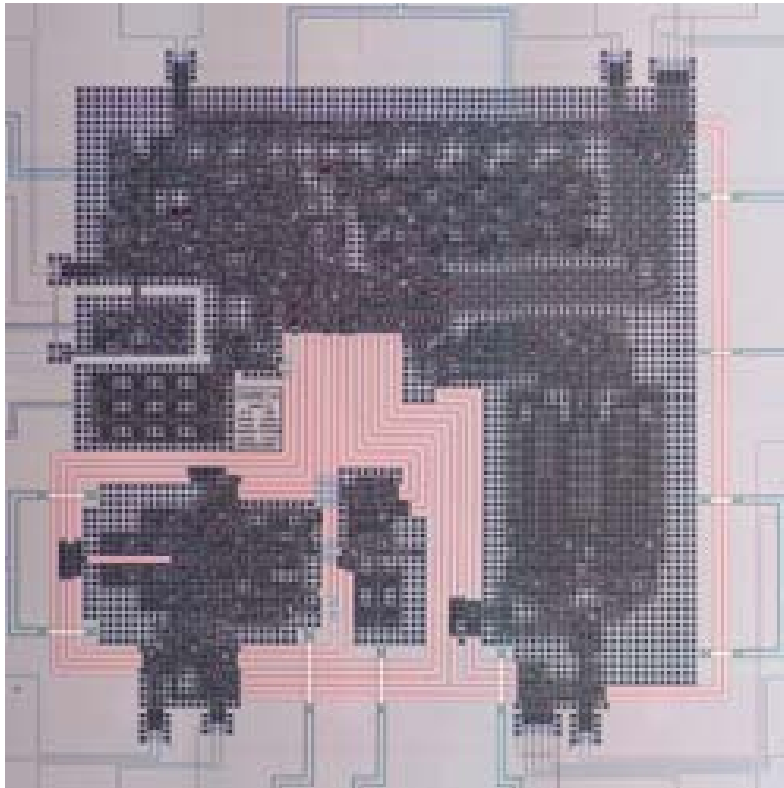


- 4999 JJs
- 15.2 GHz (Local clock)
- 1.6 mW
- 167 MIPS

世界初の超電導マイクロ
プロセッサ

M. Tanaka, F. Matsuzaki, T. Kondo, N. Nakajima, Y. Yamanashi, A. Fujimaki, H. Hayakawa, N. Yoshikawa, H. Terai, and S. Yorozu, in *Tech. Dig. IEEE Int. Solid-State Circuit Conf.*, San Francisco, CA, Feb. 2004.

超電導コンピュータ CORE1 α ver. 10

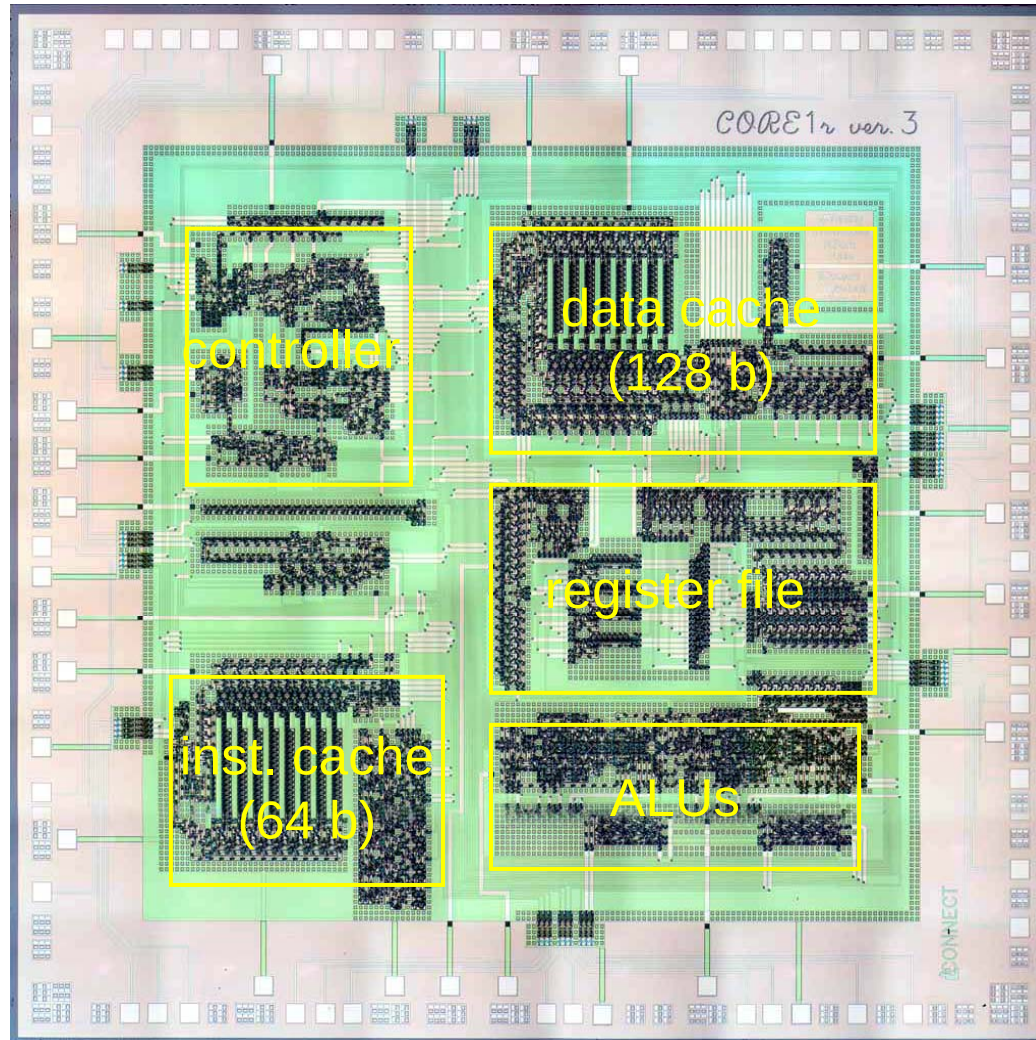


- 7220 JJs
- 21 GHz (内部クロック)
- 2.3 mW
- 200 MIPS

超電導メモリを搭載した
超電導マイクロプロセッサ

K. Fujiwara, Y. Yamashiro, N. Yoshikawa, A. Fujimaki, H. Terai, and
S. Yorozu, Supercond. Sci. Technol. 16, 2003.

超電導コンピュータ CORE1 γ



- 8 bit, bit-serial
- 1000 MOPS at peak
- 25 GHz bit-operation
- 4-stage pipelining
- 22302 JJs
- 2.63 A (6.5 mW)
- 128-bit inst. Cache
- 64-bit Data Cache
- 6.36 x 6.36 mm²
- 8 mm die

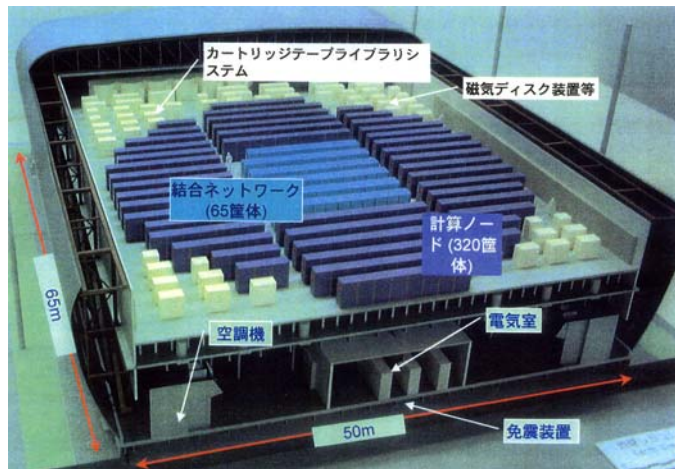
パイプライン、デュアルALU
データ、キャッシュメモリ

Tanaka et al., Presented at ISEC 2007, P-B04, I-S02.

10 ペタフロップス(京速)コンピュータ開発

1秒間に1京(10の16乗)回の演算性能

文部科学省が計画するプロジェクトで2012年完成を目指す。



地球シミュレータ (NEC)
の経験など国産技術を集結

理化学研究所を拠点



BlueGene/L 米国IBM

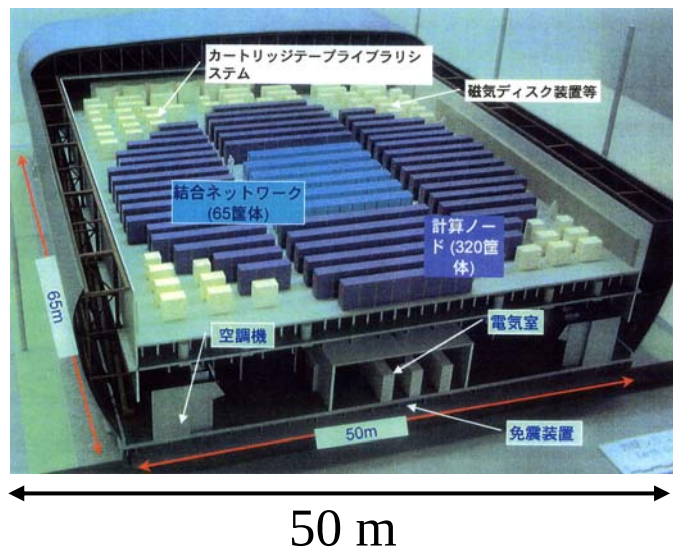
360 テラフロップス

2007年6月現在 第1位

1ペタフロップス 級の計算に必要な大きさ

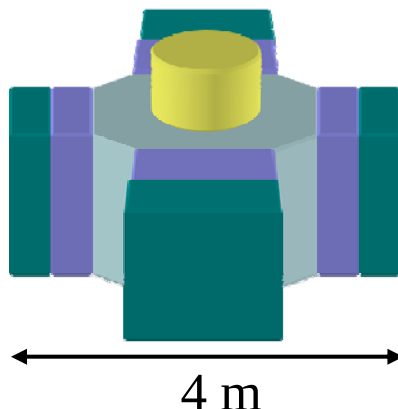
地球シミュレータ: 35 テラフロップス

半導体技術



- 消費電力
 - 8 MW
 - (電子レンジ約2万個分) $\times 30$
- 配線量
 - 8万本、2400 km
- 寸法
 - 50m $\times$ 50m

超電導スーパーコンピュータ: 1ペタフロップス



消費電力を100倍低く、
大きさ10分の1以下で実現可能

超電導コンピュータの今後の目標

小型な10 テラフロップス級コンピュータ

半導体を用いた並列コンピュータ

超電導スーパーコンピュータ

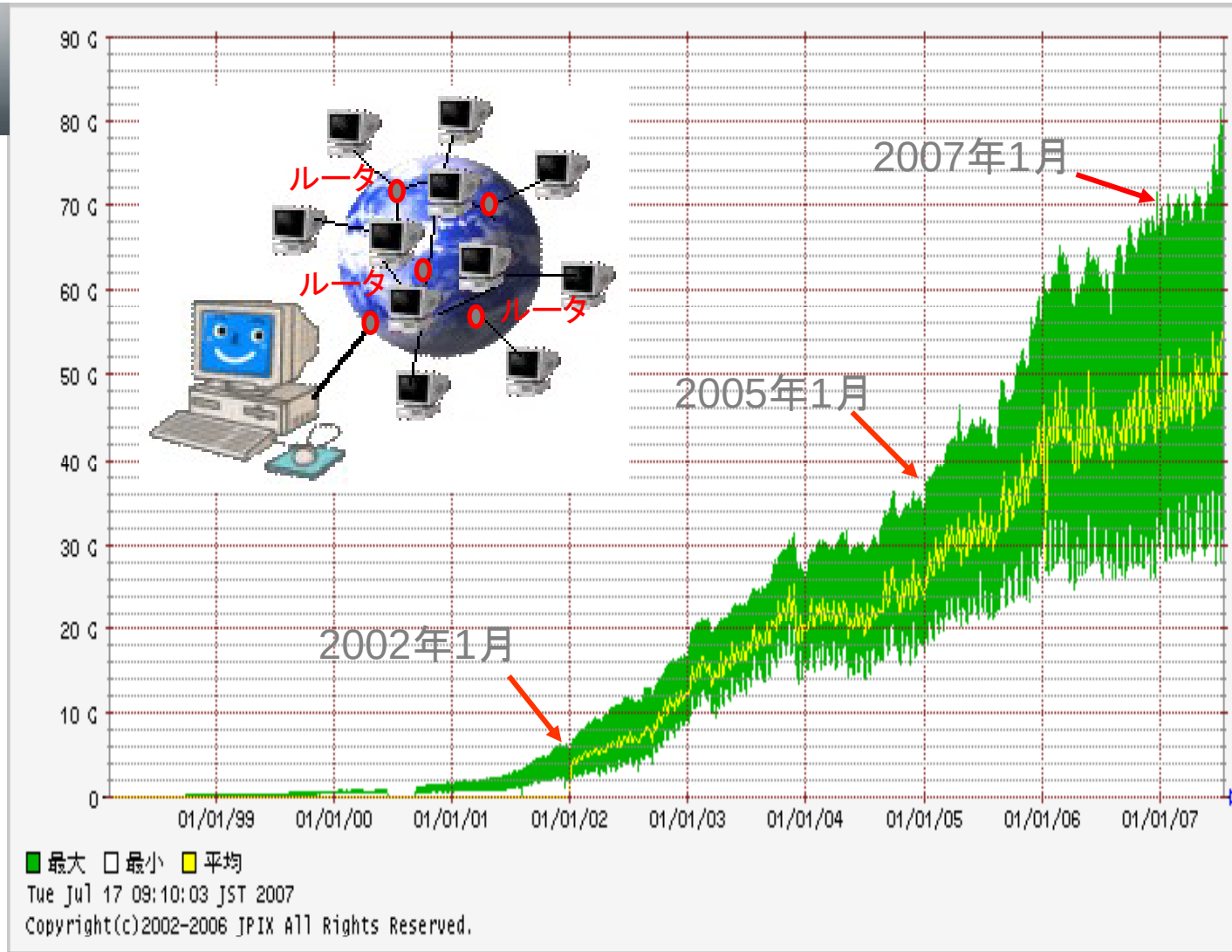


~2 kW、1ラック



~150 kW、30 ラック

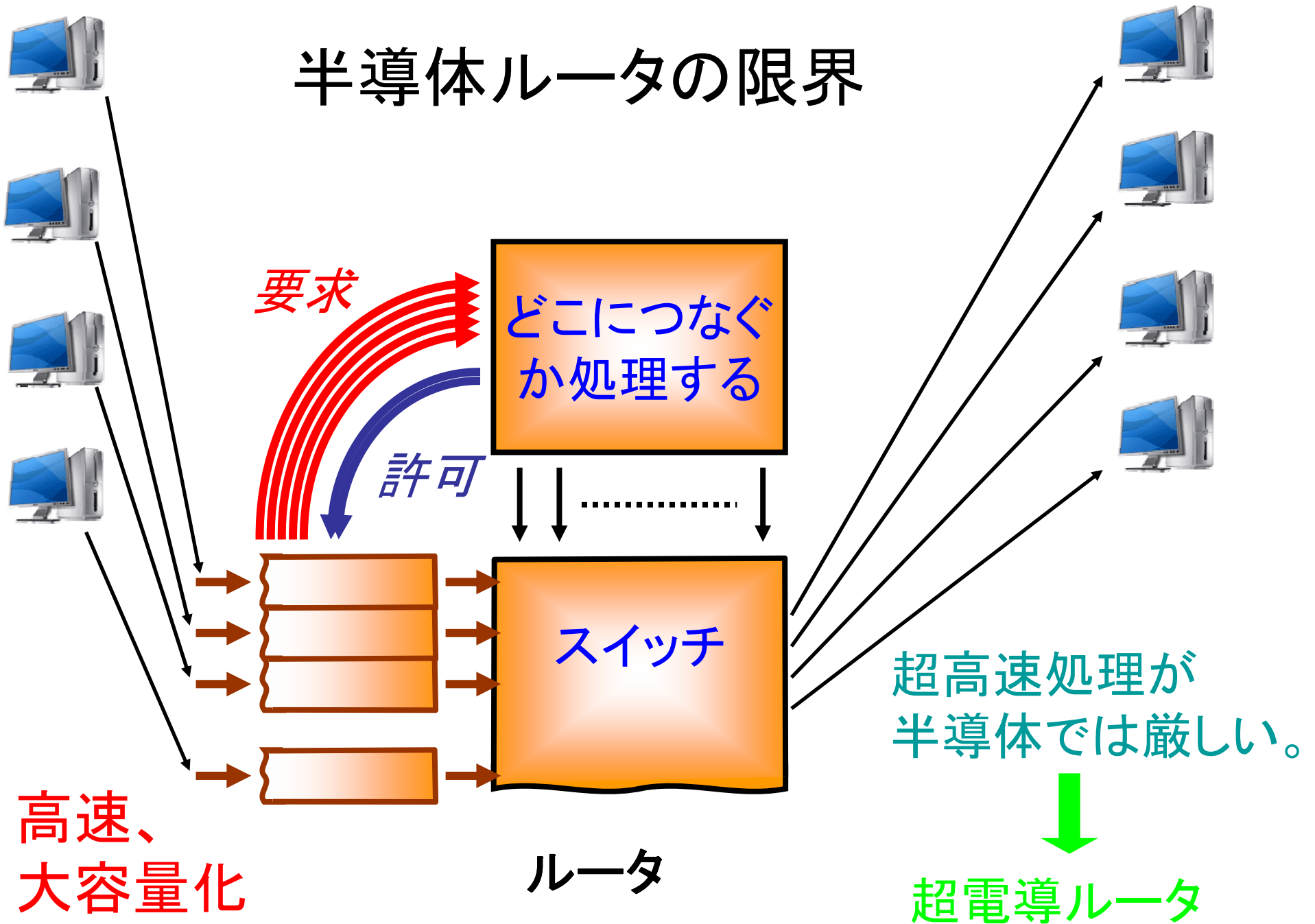
インターネット利用量の増大



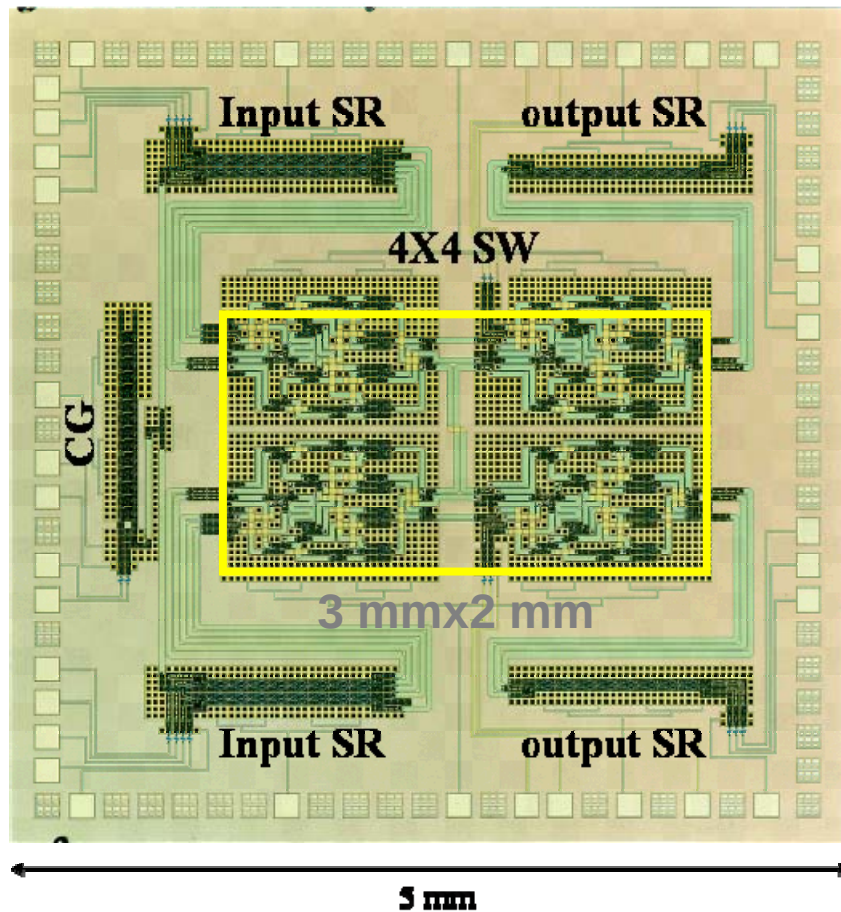
<http://www.jpix.ad.jp/jp/technical/traffic.htm> 参照

ルータとは、中継や接続を行う機器。

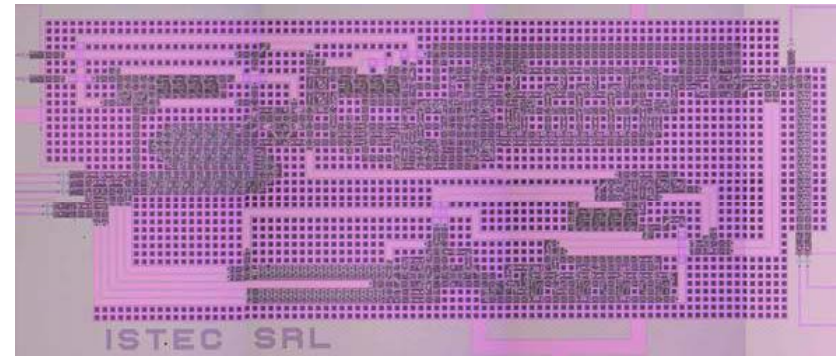
半導体ルータの限界



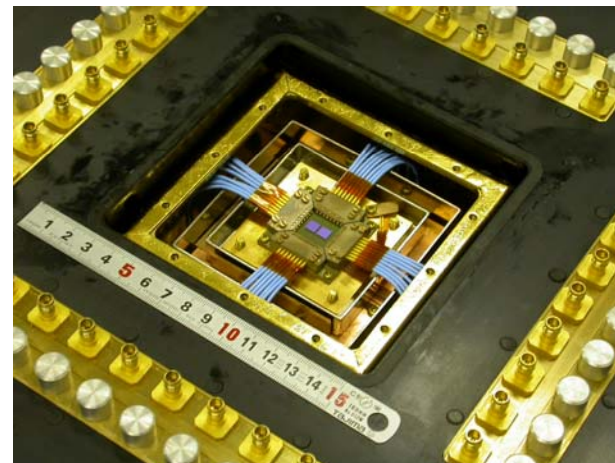
超電導ルータ用回路の40GHz動作 (半導体より100倍早い処理スピード)



4 × 4スイッチ、約2,800接合、40GHz動作
スイッチ容量160Gbps
Cisco社の最大容量ルータの1/4を3x2mmで実現



4x4スイッチ制御用処理回路
40GHz動作、約3,000接合



超電導ルータのデモ

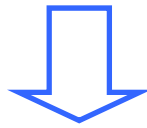


PC4台からの映像を超電導スイッチにより切り替える。

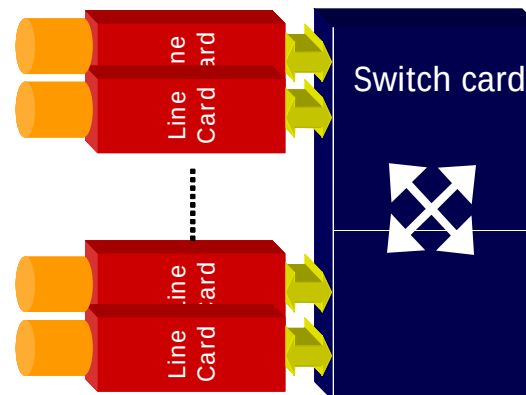
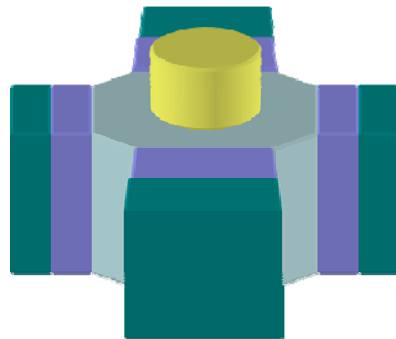
まとめ

- ✓ 超電導回路は”高速”、”低消費電力”、”小型”

半導体や光技術との融合

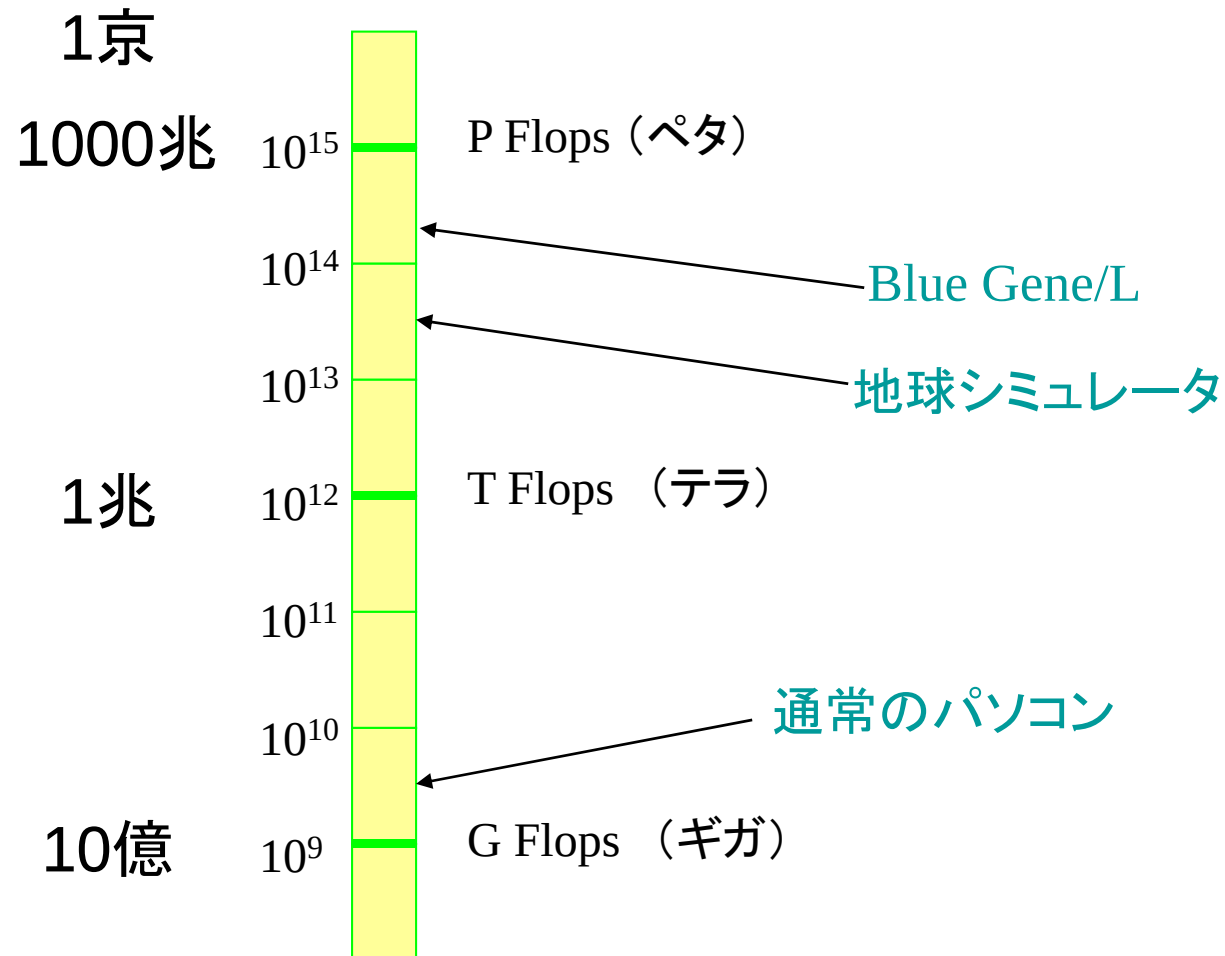


次々世代のコンピュータ、ルータ実現へ



参考：計算スピードの単位

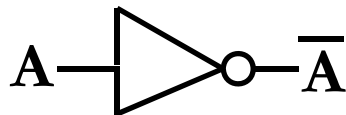
Flops = 1秒間に行える浮動小数点演算数



参考：論理演算

◆ NOT演算

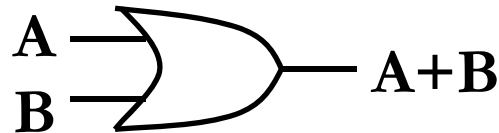
A	$\overline{A}$
1	0
0	1



“出力は入力の反転”

◆ OR演算

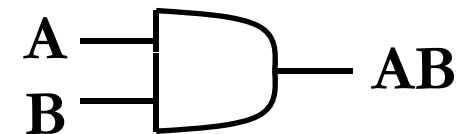
A	B	$A+B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



“片方でも1なら1”

◆ AND演算

A	B	AB
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



“両方が1なら1”

この三つの論理ゲートで、全ての演算が実現出来る。