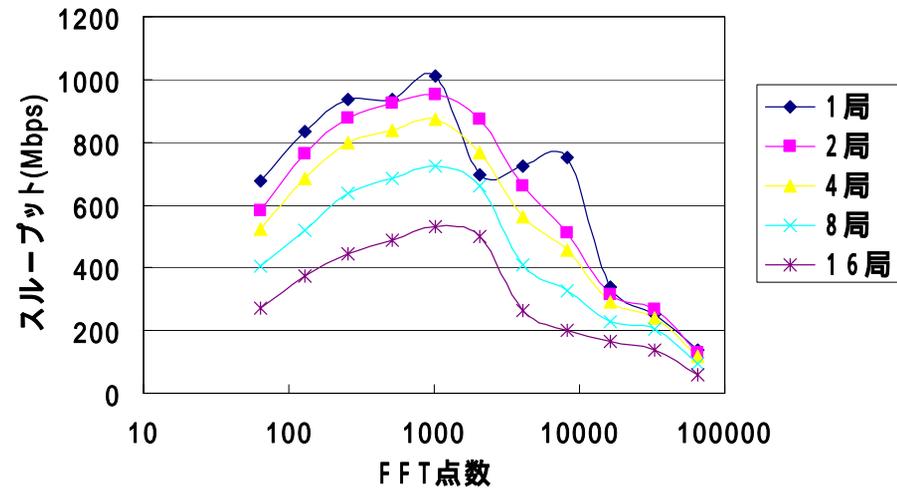
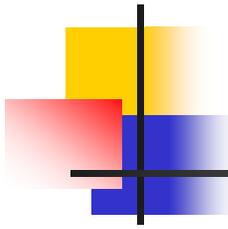


# 10Gbpsを目指した 次世代PC-VLBI構想

木村守孝、中島潤一、近藤哲朗、竹内 央(NICT)





# ソフトウェア相関器の特徴

---

- 汎用PCを使用するため安価
  - ネットワークへの親和性が高い
  - 処理の自由度が高い(分光点数、出力レートなど)
  - ソフトであるため誰でも開発に参加可能
- 相関処理システムの乱立**
- 相関処理速度はプログラマのスキルに大きく依存  
**1倍 ~ 1/1000倍程度**

# ギガビット系ソフト関連

～ 高速化手段の優先順位 ～

高速なアルゴリズムの使用  
高度なプログラムテクニック  
最後に物量(分散処理)

ギガビット系ソフト関連では、  
を重視  
は極力控える

# 高速処理を妨げる技法の数々

- キャッシュに収まらない配列の使用
- 予測不可能な分岐の多用
- 数バイト単位でのディスクアクセス
- 1ビット単位でのデータ処理
- ベクトル処理への不対応
- マルチCPUへの不対応

プログラマのスキル不足

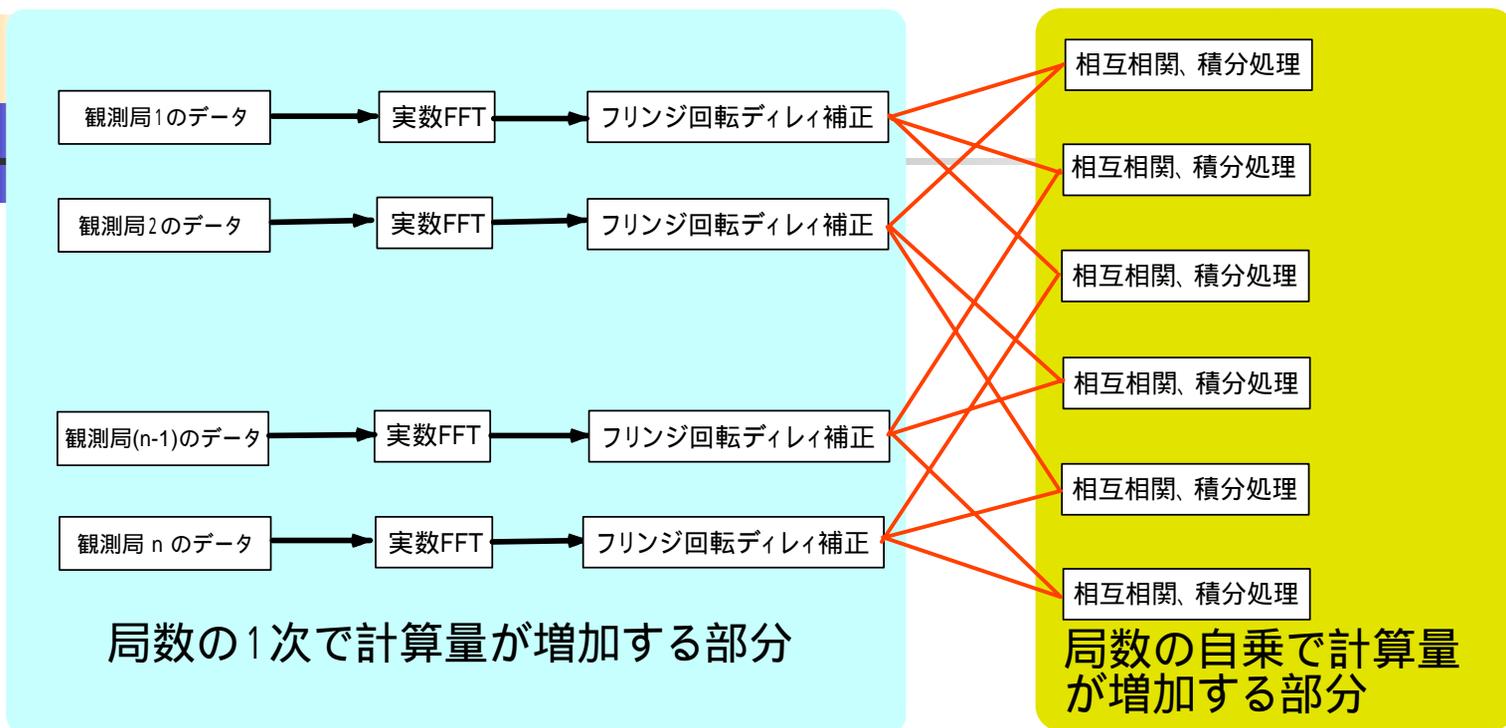
- XF型で高い周波数分解能
- 多局相関を $o(n)$ のFX型でなく $o(n^2)$ のXFで構成
- 多基線処理を1基線毎に計算
- フリンジ回転に毎回 $\sin, \cos$ を計算
- XF型相関を浮動小数点に変換し処理

専用型では当然考慮されていることが無視されている。

これらすべてを排除すれば極めて高速な処理系が構築可能！

# 多基線相関処理の計算コスト

～ 理論限界速度 ～



**n局mサンプルをm点FFTで全基線相関処理時に  
必要な浮動小数点演算数**

処理項目	浮動小数点演算数
実数フーリエ変換	$5/2 m \log m \times n$ ( 支配的 )
遅延追尾 + フリッジ回転	$3m \times n$
全基線相関 + 積分	$4m \times n(n + 1)/2$ ( 含自己相関 )

# 1Gbps(512Msps/2bit) の 実時間処理に必要な演算速度

分光点数を1024点とした場合

観測局数	基線数	1秒間の総演算数	PC 1台あたりの速度
2	1	$30 \times 10^9$	15 Gflops
3	3	$48 \times 10^9$	16 Gflops
4	6	$68 \times 10^9$	17 Gflops
5	10	$90 \times 10^9$	18Gflops
6	15	$114 \times 10^9$	19Gflops
7	21	$140 \times 10^9$	20Gflops
8	28	$168 \times 10^9$	21Gflops
9	36	$198 \times 10^9$	22Gflops
10	45	$230 \times 10^9$	23Gflops

1993年	Pentium(60MHz × 1way) = 60Mflops
2004年	Intel: XeonMP (3.4GHz × 2CPU × 4並列) = 27.2Gflops AMD:Opteron250 (2.4GHz × 2CPU × 4並列) = 19.2Gflops IBM : PowerPC 970FX (2.5GHz × 2CPU × 4並列 × 2(乗加算演算)) = <b>40Gflops</b>
2005年	SCEI : CELL(2GHz × 512並列) = <b>1Tflops</b> < = 理論性能では50GbpsのVLBIまで実時間処理可能

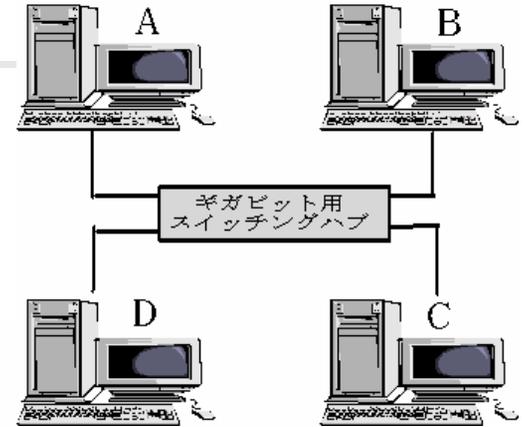
# P2P型データ再配置

+

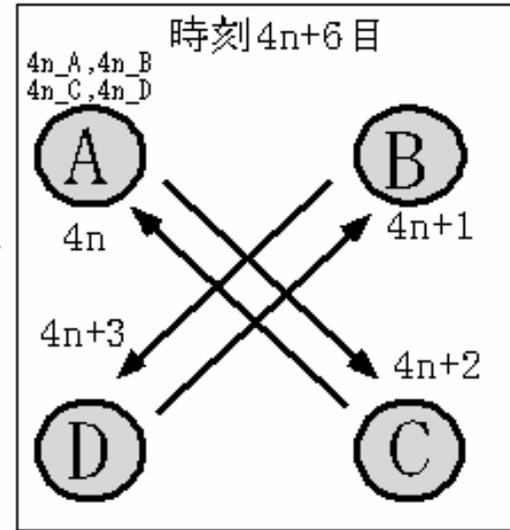
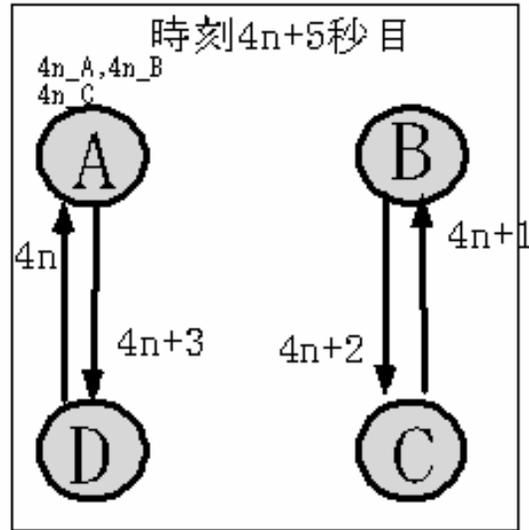
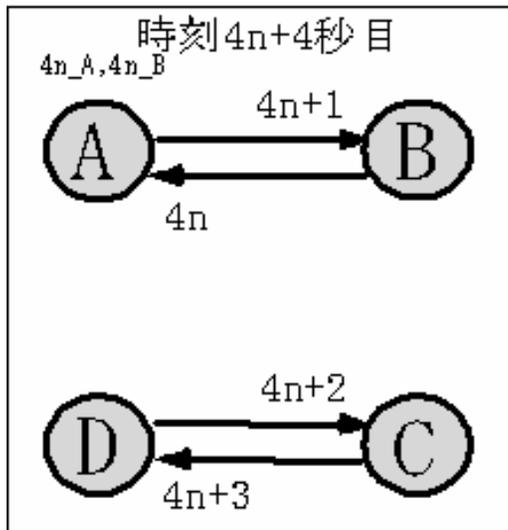
# 時間分散型相関処理

- ◆ 1局あたりPC 1台用意
- ◆ スイッチングハブを利用したスター型ネットワーク
- ◆ 多局多基線同時相関処理
- ◆ 時間分割型の分散処理
- ◆ P2P型のデータ分散
- ◆ データ分散と相関処理は並列動作

4局観測の相関処理の例



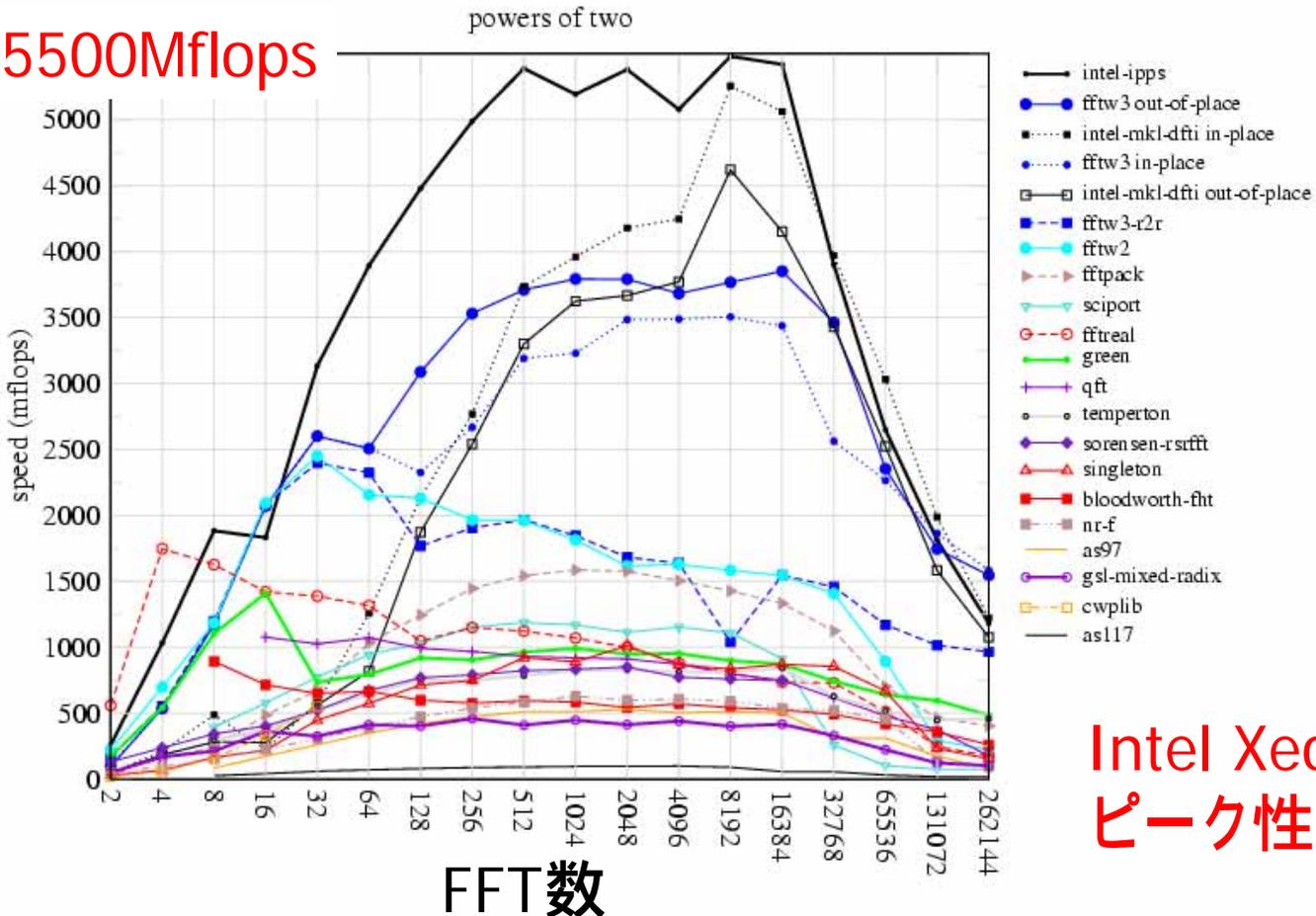
P2P型のデータ再配置法(特許出願済み) 総転送レートは**1Gbps × PC数**



# FFTのベンチマーク性能 (Intel 系)

<http://www.fftw.org/> より  
single-precision real-data, 1d transforms

5500Mflops



Intel Xeon 2.8GHz  
ピーク性能5.5Gflops/CPU

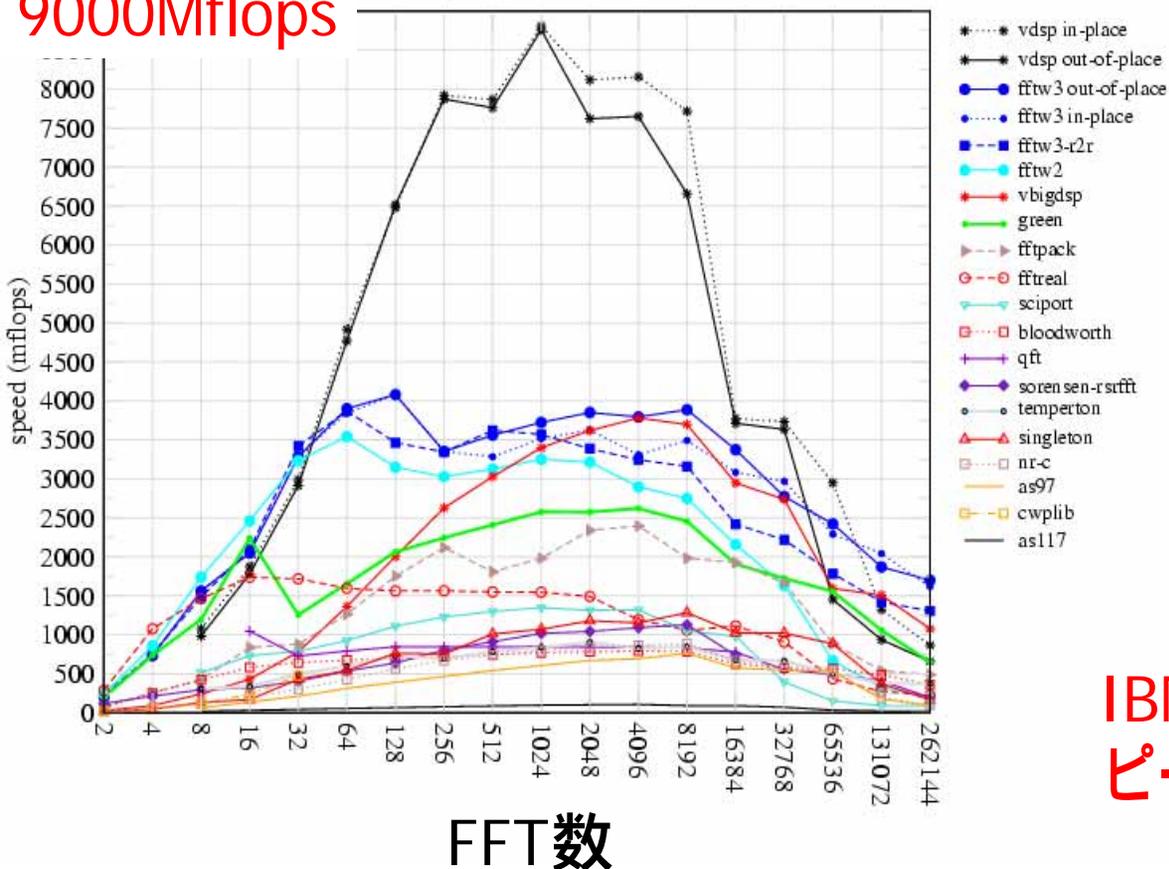


# FFTのベンチマーク性能 (IBM 系)

single-precision real-data, 1d transforms

powers of two

9000Mflops

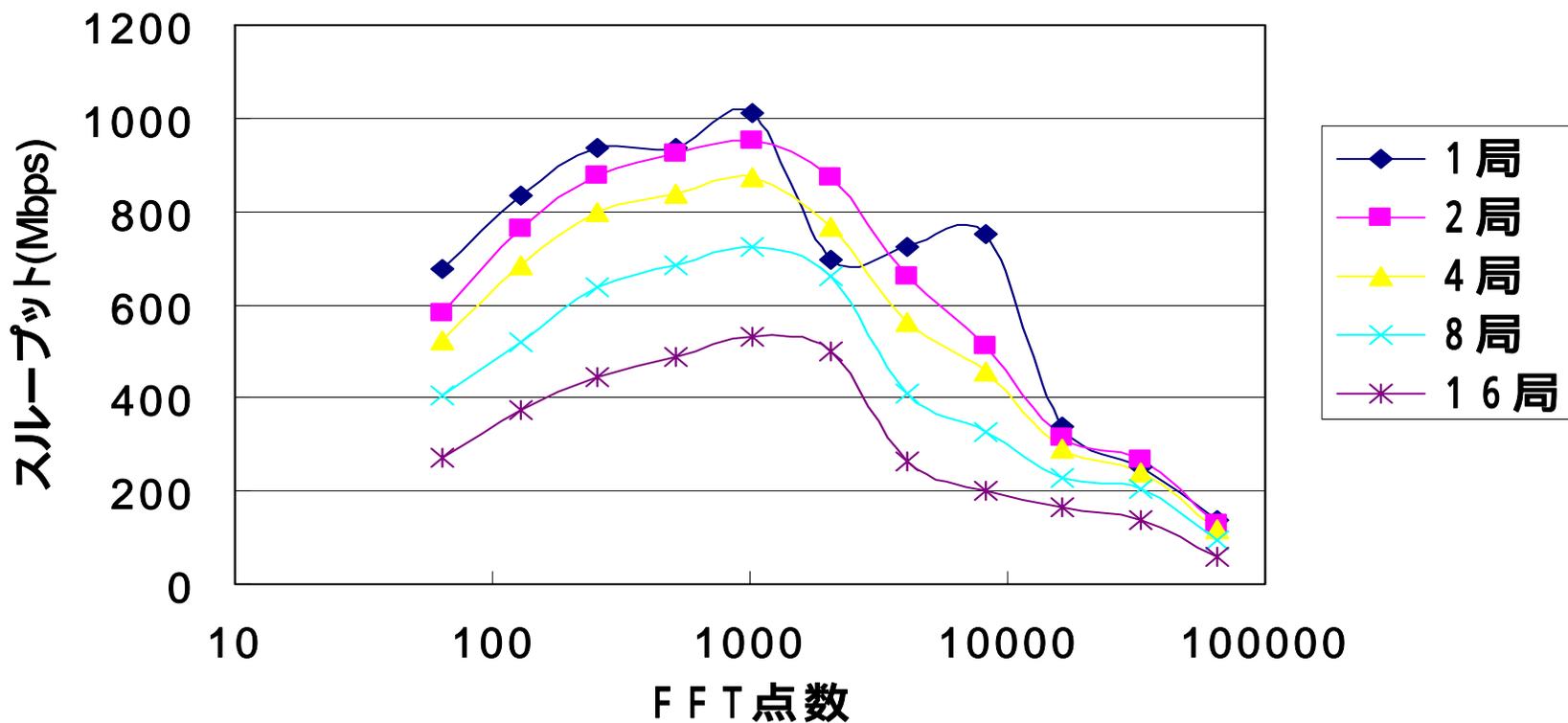


IBM PowerPC 970FX 2GHz  
ピーク性能 9 Gflops/CPU

# PowerPC970 (2GHz)

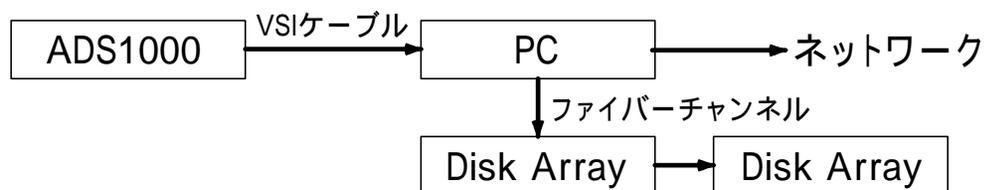
## 多基線相関処理ベンチマーク結果

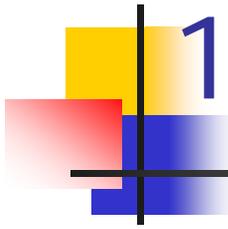
### 2ビット相関処理



# 量産型 (試作モデル)

- ディスクアレイとPC部を分離
- Raid-5記録による高信頼性
- 最大記録速度2Gbps
- 最大記録時間7時間以上@ 1 Gbps
- 複数ディスクアレイの同時使用可
- ホットスワップ対応
- 観測 & 相関処理で共通システム





# 1 Gbps-16局相関器のコスト

---

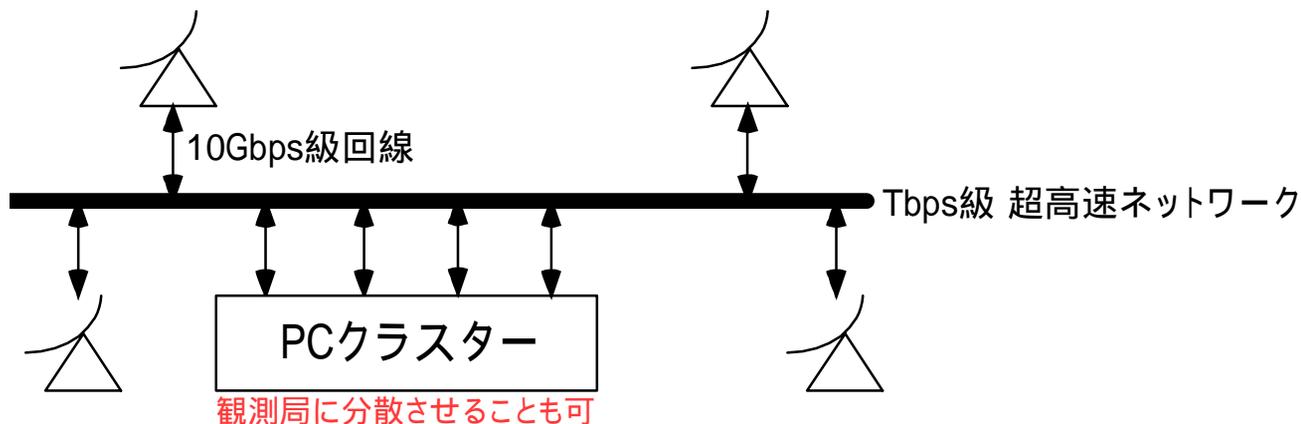
高性能PC	16台	40万円 × 16
高性能ハブ	1台	10万円台
ディスクアレイ		70万円 × 16
その他:ラック、ケーブル		?
合計		2000万円以下

ソフトウェア開発の方が遥かに高価

# 10Gbps-VLBIシステム 構想

基本コンセプトは継承し、各性能を現状より1桁高い物に置き換え

	現PC-VSI (2Gbps)	2005年度末	性能向上率
計算能力	30Gflops/PC	1Tflops/PC (CELL@SCEI)	33倍
PCIバス速度	4Gbps (PCI-X 66MHz x 64bit)	32Gbps (PCI-Express 2.5Gbps x 16)	8倍
ネットワーク速度	1GbE x 2	10GbE	5倍
記録速度	2048Mbps	2048Mbps ?	1倍



# 相関処理と分散処理

分散に適したデータ処理とは？

データ転送速度 データ処理速度

## SETI@home

- 転送量 250KB(1WorkUnit)
- 計算時間 数時間(1WorkUnit/PC)

データ転送時間 データ処理時間

分散処理が極めて有効な手段

## VLBIの分散処理

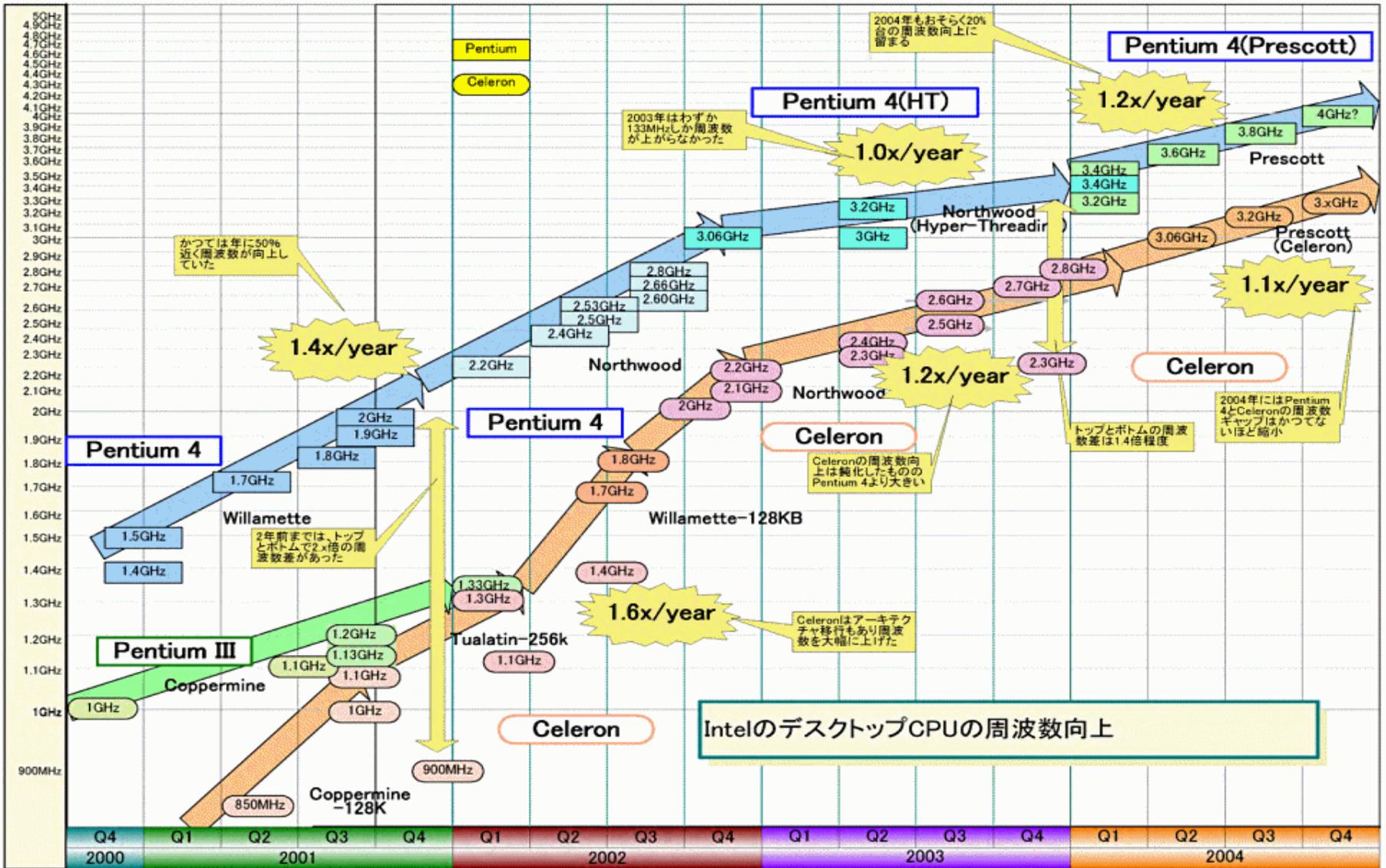
- データ転送速度(数十～千Mbps)
- データ処理速度(数百Msps/PC)

データ転送速度 データ処理速度

分散処理に極めて不向き

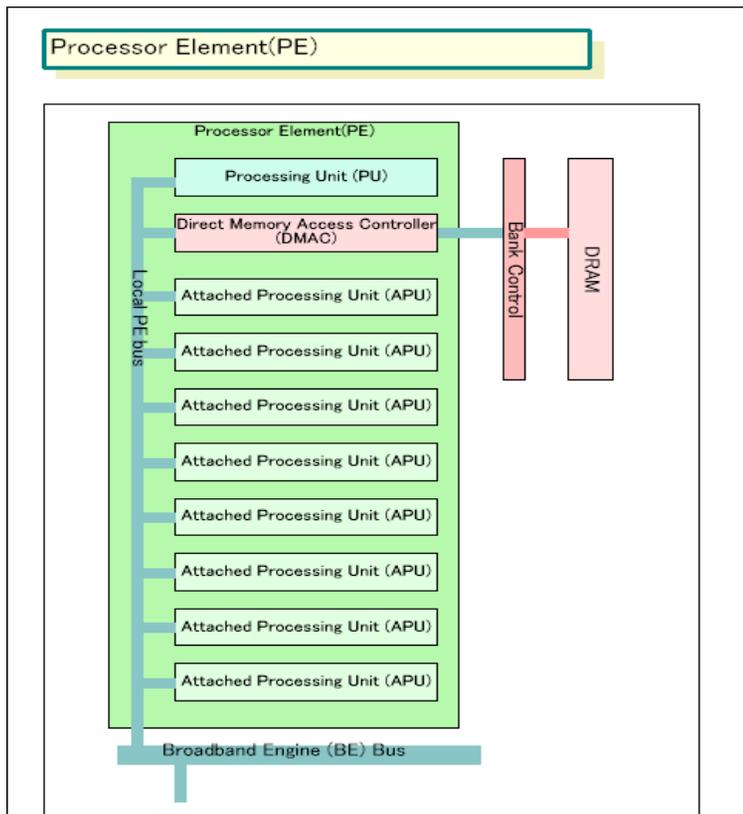


# クロック上昇の現状(例: Intel)

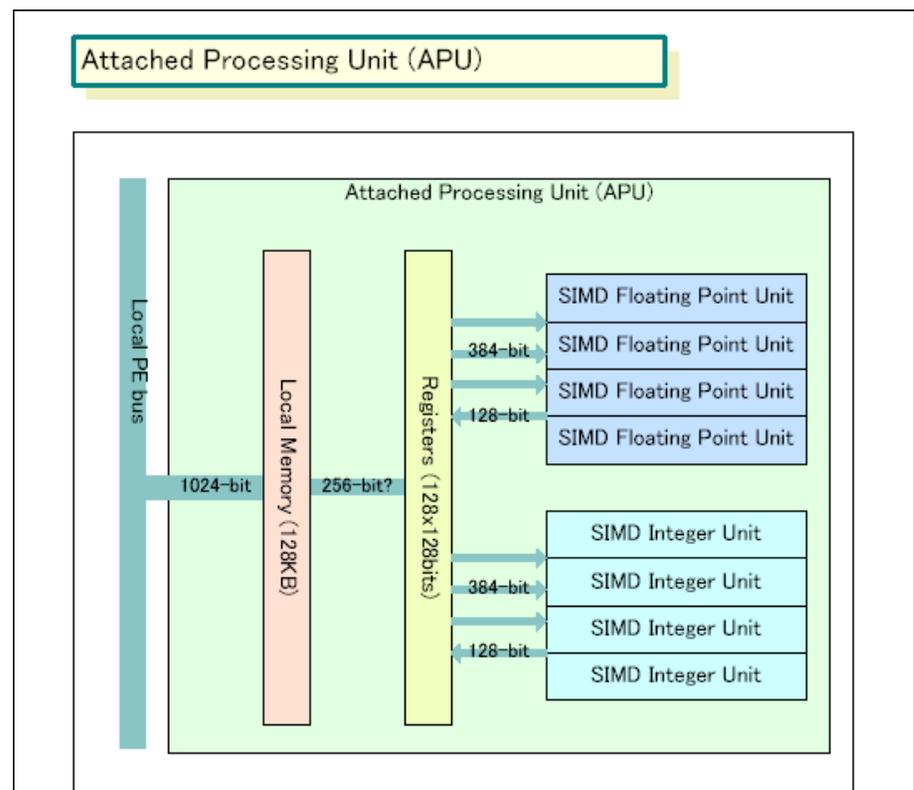


# マルチコアによるCPU性能向上

例: Sony CELL 1Tflops/CPU (現状CPUに比べ**30倍の性能**)



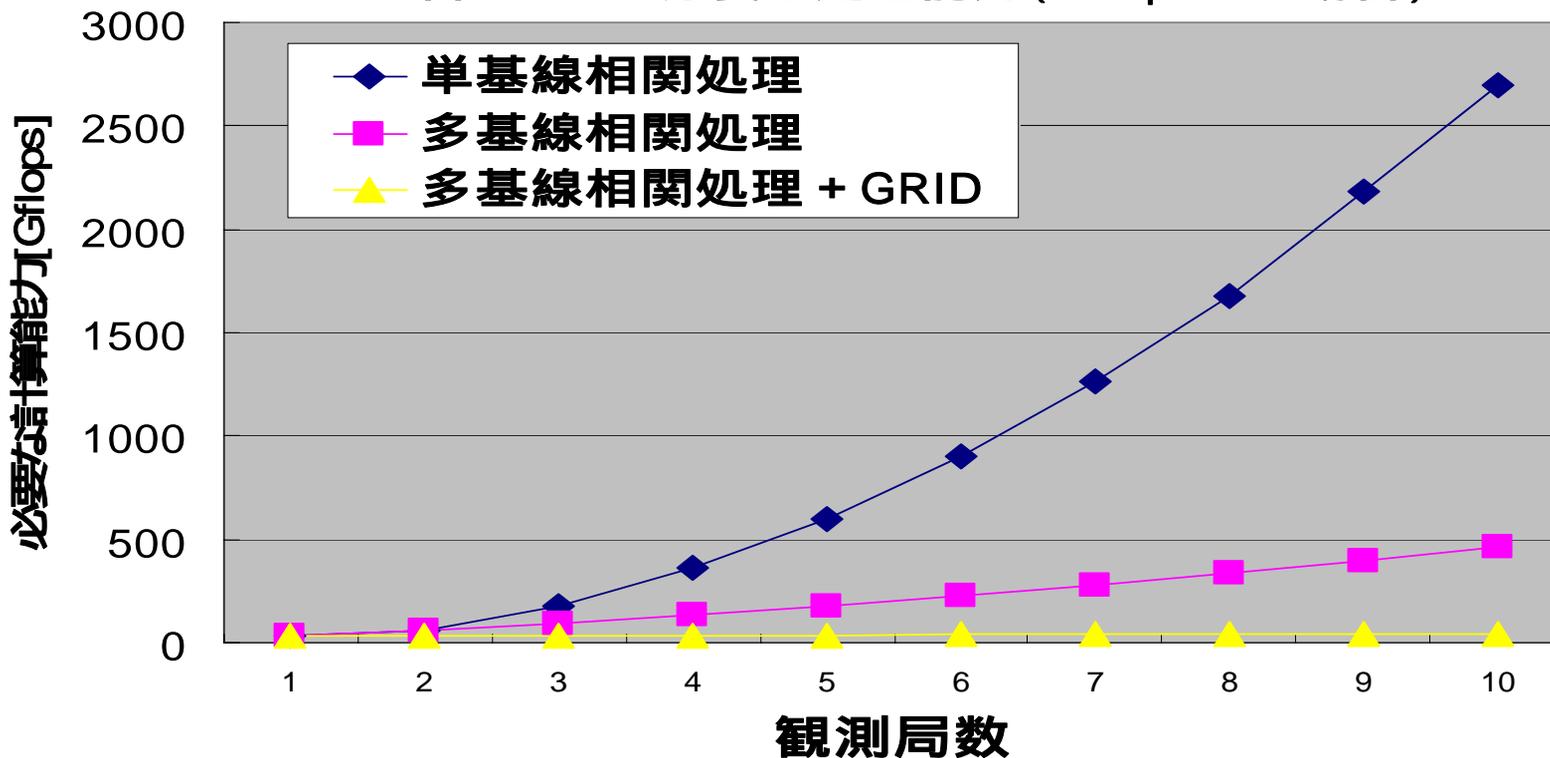
Copyright (c) 2003 Hiroshige Goto All rights reserved.



Copyright (c) 2003 Hiroshige Goto All rights reserved.

# アルゴリズムによる高速化の結果

実時間処理をするため  
PC1台あたりに必要な処理能力(1Gbpsでの場合)



# データ取得系のアルゴリズム

## データ取得系のアルゴリズム

- ✓ **高速性&低負荷** (1秒分データを1回のDMA転送で実行、CPUは毎秒1回の割り込み処理をするのみ)
- ✓ **信頼性** (キャプチャ動作はアプリケーションとは独立)
- ✓ **自由度** (キャプチャーデータを同時に複数のアプリケーションで使用できる)
- ✓ **開発性** (アプリケーション側でドライバーを意識することなしに開発可能)

