コンピュータシステムA - ハードウェアを中心に -

#7 性能向上、集中と分散

Yutaka Yasuda

超並列アプローチ

- NEC 地球シミュレータ (2002/6~2004/6 TOP500 winner)

  8 CPU からなる計算ノードを高速ネットで640台接続

  5120のスーパーコンピュータで並列計算

- 東京工業大学 TSUBAME 2.0 (2010/11 TOP500 #4)

  12CPUコア+3GPU (Tesla) をもつ演算サーバを高速ネットで 1408 台 (2.9GHz Intel 64bit core x 16,896)

- 何故このようなスタイルの高速計算機が？

  超高速計算のためにこのスタイルを採った理由は？

繰り返し処理

- (一般的) コンピュータの特長

  単純な装置で複雑な処理を可能にする
- 役割分担の存在

  ハードウェアは単純・高速に

  複雑さはソフトウェアで実現

  複雑な処理は単純な処理の組み合わせや繰り返しに分解
- これがハードウェアに高速性が求められる理由

  分解処理の例：多数桁の足し算

多数桁の足し算

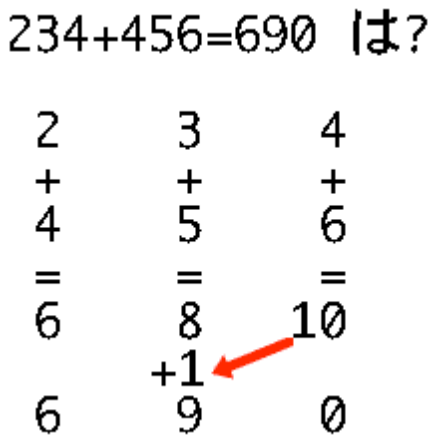
- 筆算は分解処理の例

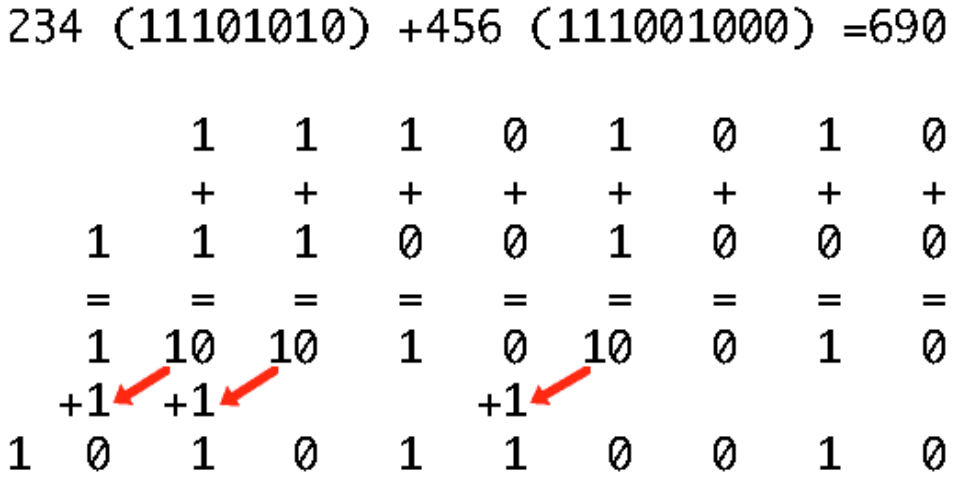
  「多数桁の足し算」を「一桁演算の繰り返し」へ単純化

- 10進で3桁の足し算を分解

  10進1桁の足し算を三回(繰り上がり込み)

  2進では9桁、足し算も9回

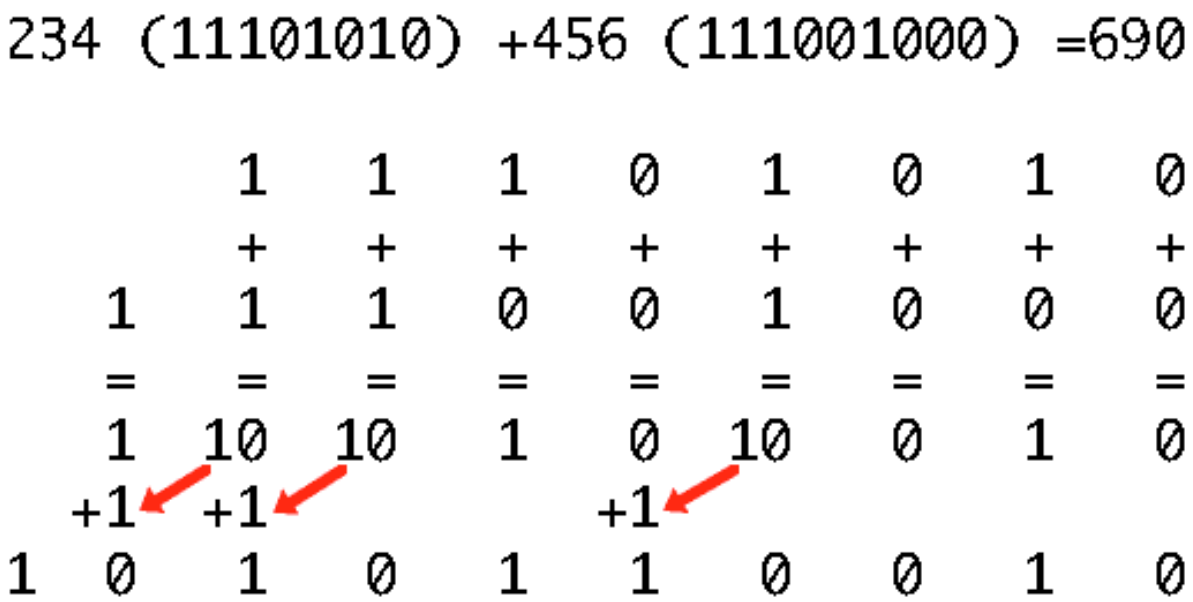




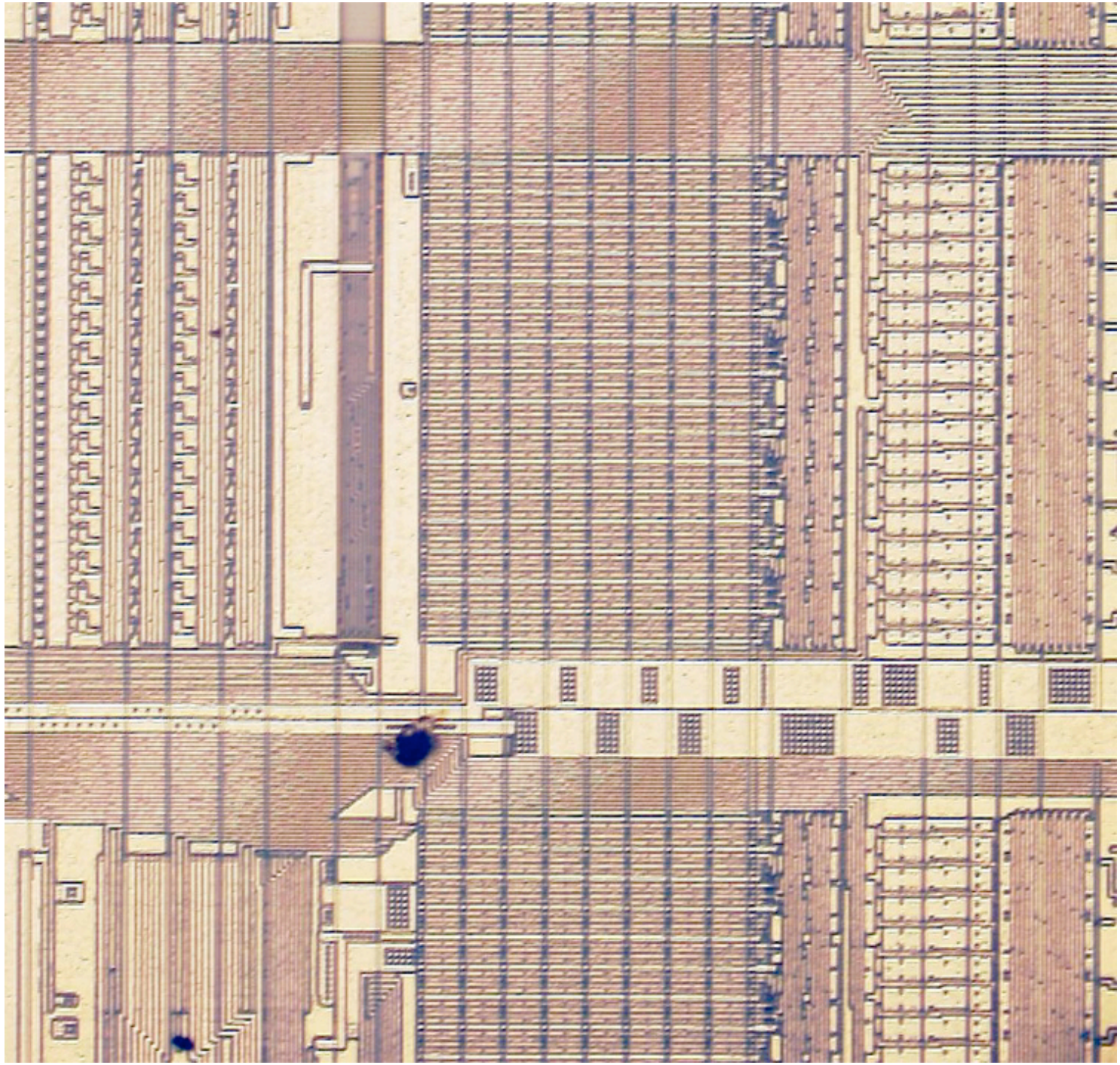
実際の演算処理

このような方法(筆算)で処理を行なう場合、
1. 一つの素子を9回使い回して処理する
2. 素子を9つ並べて一回で処理するか

のいずれかとなる。



CPU 内部の
拡大写真



性能 (処理速度) は何で決まるか

- ビット並列度を高める

  性能＝回路の複雑さ

  Intel 4004 (1971)の4bitから 64bit に
- 繰り返し周期をより短く

  性能＝短い繰り返し周期＝高速な回路

  Intel 4004 (1971)の108KHzから 3.8GHz 程度に
- これを微細化によって実現する

微細化による利益

- 微細化＝一石三鳥

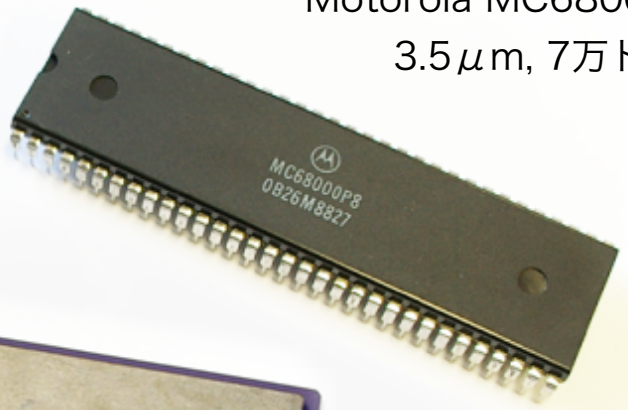
- より細く短い配線：電気の伝わる時間を短縮
- より小さな素子：機能するまでに必要な時間を短縮
- 一定面積に集積できる回路の増加

  処理時間短縮に貢献する機能・部品の追加
- チップ面積縮小によるチップ単価（製造コスト）低減

素子技術の発展と高速化

Intel i860XP, 40MHz, 1990
1μm, 120万トランジスタ

Motorola MC68000, 8MHz, 1980
3.5μm, 7万トランジスタ



Sun UltraSPARC III, 600MHz, 1999
0.18μm, 2900万トランジスタ

年ごとに配線幅は狭く、高速になり、また集積素子数も増える。

マイクロプロセッサの成功

- いわゆるCPU

  半導体の微細化、集積化による高速化技術を追及

  他の高速化手法を大きく抜いて成功

- ムーアの法則(Moore,1965)の体現者

  半導体回路の集積度は18-24ヶ月ごとに倍になる

- チップ価格＝開発費用 / 生産数

  共通品、量販品としての PC の成功

  最高速製品が最廉価品であるという矛盾

さらなる高速化と限界

- 微細化による問題

  現行の上級製品は 22nm 〜 32nm 程度の配線幅

  32nm世代のゲート絶縁膜は1.2nmの厚さ（原子数個分）

- 技術開発

  Intel Tri-Gate : 三次元トランジスタの実現

さらなる高速化と限界

- 熱問題

  過去において、微細化と高速化は同義だった

  消費電力＝熱

  トランジスタ数と周波数に比例×動作電圧の2乗に比例

  熱の集中：あの面積に 100W 程度集めると？

  Core i7 3.2GHz = 130W max.

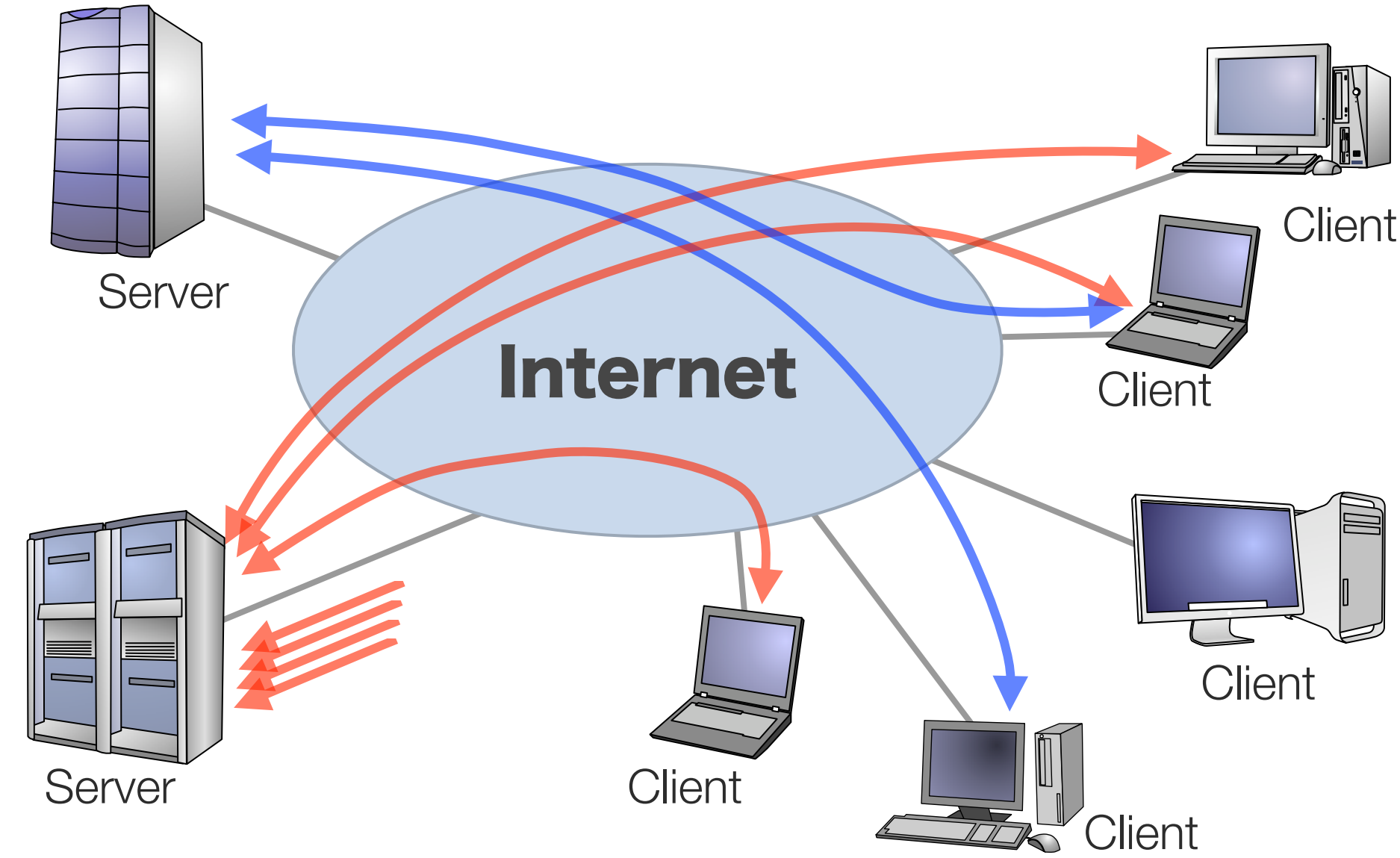
ブレイクスルー

既存技術の限界を別の視点から
打ち破る動きが必要な時がある

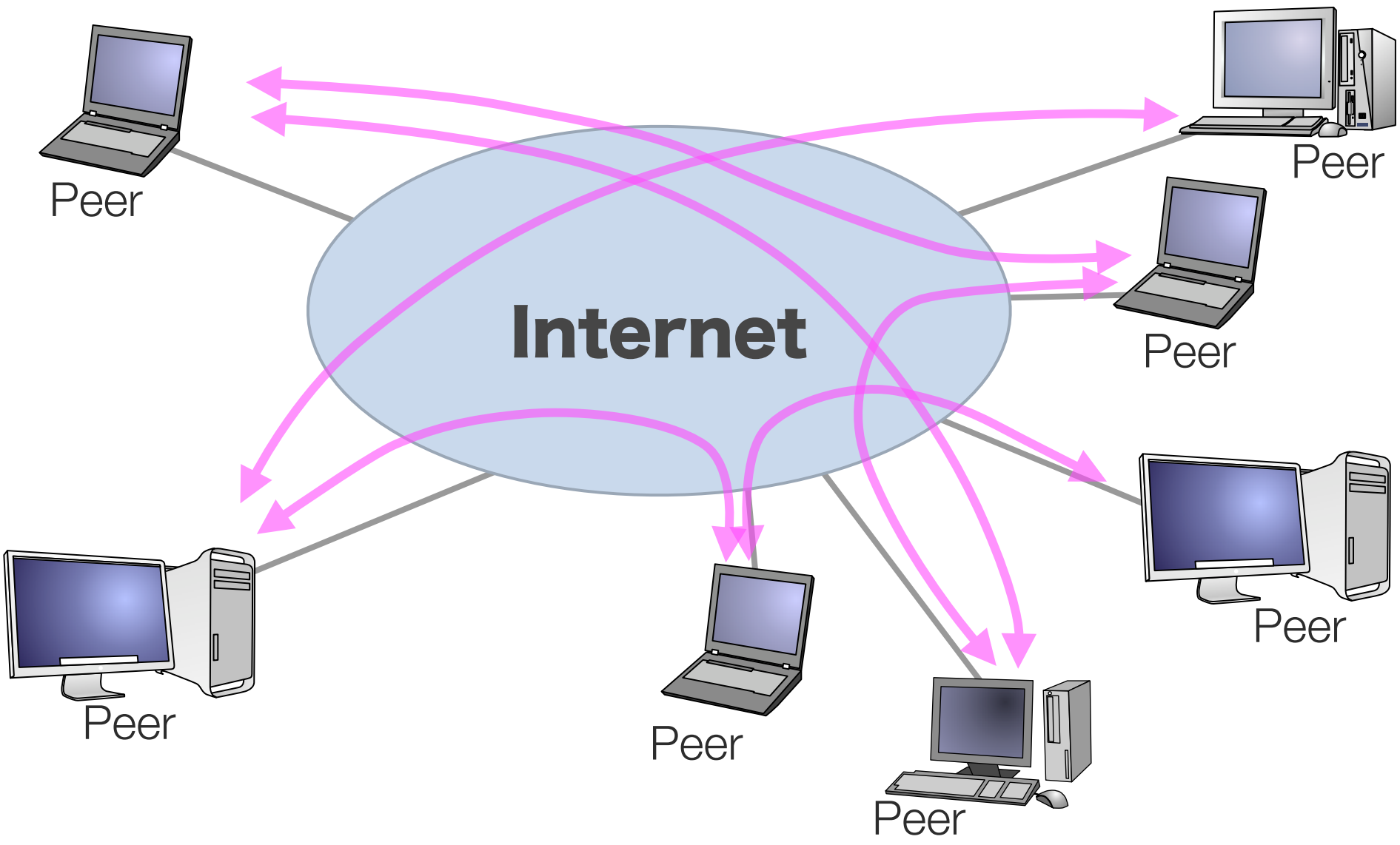
並列分散・グリッド・P2P

- 並列処理
  - 単体プロセッサの速度に依存するモデルからのシフト
  - 複数のプロセッサを同時に利用するモデル
  - SMP ・マルチコア
- 超並列（ネットワーク接続）
  - 大量のコンピュータを集めて大きな計算資源を
  - グリッド
- P2P
  - 集中サーバによるネットワーク処理の限界
  - 互いに対等なコンピュータを接続して協調動作
  - サーバ・クライアントとは異なる新しいモデル

インターネットのサービスモデル



P2Pサービスモデル



集中と分散、技術のバランス

- 集積回路への技術集中
  - 従来手法での高速化の限界
- それを補う処理能力向上の手法
  - 並列処理・分散処理（実は両者は同じもの）
- 素子・デバイス技術の開発
  - 光スイッチ、スピントロニクス（racetrack）、etc..
- 歴史
  - 計算機が実用化されて50年
  - そのダイナミズムを感じる
- 次の判断をその波の上で行う感覚が求められている