

2019. 4.22

電子計算機工学

Ibaraki Univ. Dept of Electrical & Electronic Eng.

Keiichi MIYAJIMA

教科書および参考書

教科書:

柴山 潔: コンピュータアーキテクチャの基礎, 近代科学社, 2003年

参考書:

春日 健, 舘泉 雄治: 計算機システム, コロナ社, 2005年,
ISBN 4-339-01197-5

レポートの×切と提出先

E2棟(旧システム棟)6F606室(宮島教員室)前

レポートBOX

レポート×切:

講義の翌日(火曜日)PM7:00頃

質問および授業に関する情報

授業に関する質問は、E-mailでも受け付けます。

質問がある場合は、下記のアドレス宛にメールを送って下さい。

keiichi.miyajima.fmath@vc.ibaraki.ac.jp

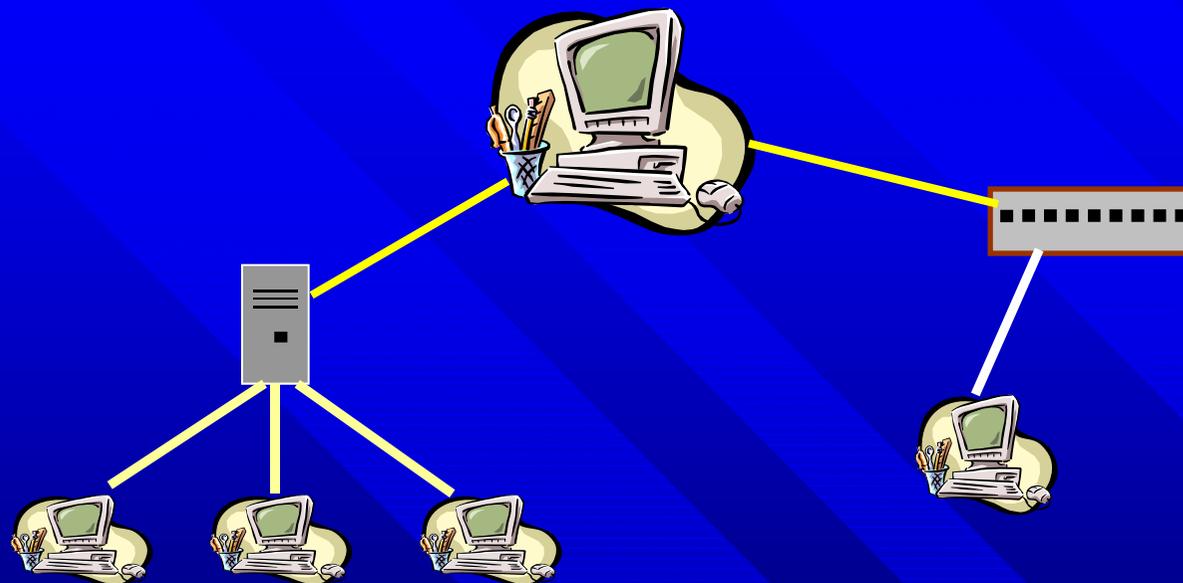
授業に関する情報は、下記のホームページを見てください。

<http://fm.ee.ibaraki.ac.jp/index.html>

コンピュータ
アーキテクチャとは？

コンピュータアーキテクチャ

コンピュータを中心としたシステム



全体を一つの“建築物(アーキテクチャ)”と見なす

コンピュータシステム全体の設計思想

コンピュータシステム

- ハードウェアとソフトウェア

- 物理的機構

主としてハードウェアによって実現した機能

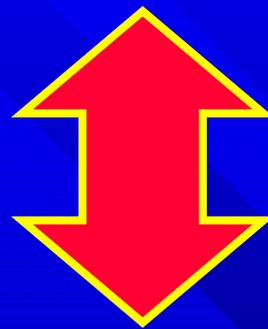
- 論理的機能

主としてソフトウェアによって実現した機能

トレードオフ

- コンピュータシステムのトレードオフ

専用性を高めることによって処理速度を高速化



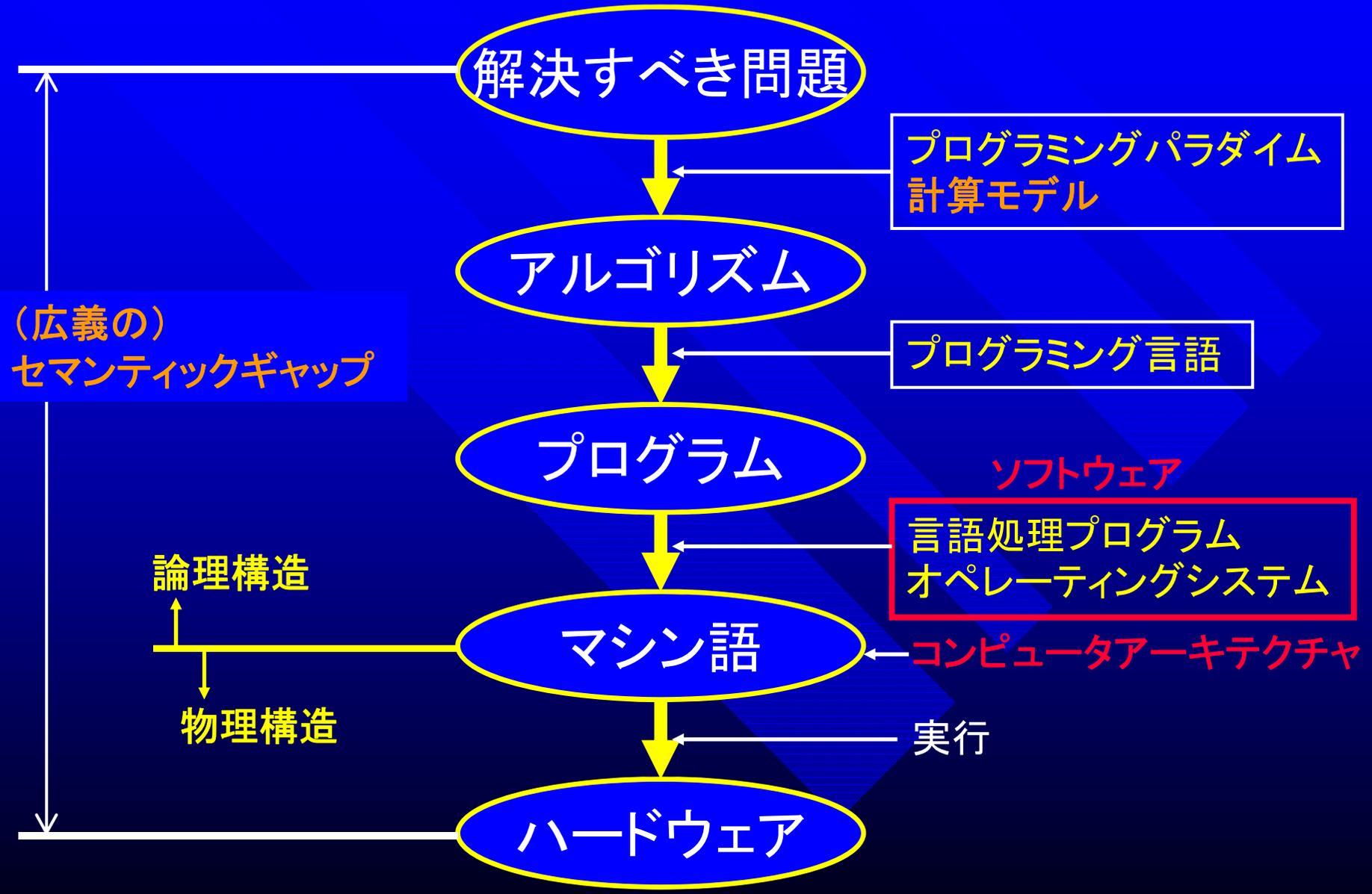
両立できない

汎用性が失われる

例) ゲーム専用機とPC

ハードウェアとソフトウェアでも同様のことがいえる

情報処理の階層構造



(狭義の)セマンティックギャップ

応用ソフト

基本ソフトウェア
(システムプログラム)

(狭義の)
セマンティックギャップ

このギャップを埋める機能(例): OS、コンパイラ

ハードウェア

コンピュータシステムの設計において重要なこと

*目的に合わせて*ハードウェアとソフトウェアの機能のバランスを適切に定める

設定した段階で、そのコンピュータシステム全体の機能と性格が決まる

本講義では、コンピュータシステムを構築する際の基本的なハードウェア機構やソフトウェア機能、さらにはその組み合わせ方法について、分類・整理してコンピュータアーキテクチャについて説明する

コンピュータ技術の歴史(1)

1940年代に現在のコンピュータ・アーキテクチャーの原型が誕生した。

ハンガリー生まれの、フォン・ノイマンが現在のコンピュータ・アーキテクチャーの原型を提案した。

ノイマン型コンピュータ

- (1) 命令やデータは、すべて、2進数で表現する。
- (2) ノイマン型コンピュータでは、あらかじめプログラムやデータをメモリに格納しておく。
 - … (プログラム内臓方式)
(stored program 方式)
- (3) 構造は、プロセッサとメモリの機能分担
- (4) 基本的にプログラムカウンタで逐次実行する。

コンピュータ技術の歴史(2)

第1世代 真空管の時代(194x-195x)

第2世代 半導体(トランジスタ)の時代(195x-196x)

第3世代 集積回路(IC)の時代(196x-197x)

第4世代 大規模集積回路(VLSI)の時代(197x-198x)

第5世代 インターネット時代(198x-199x)

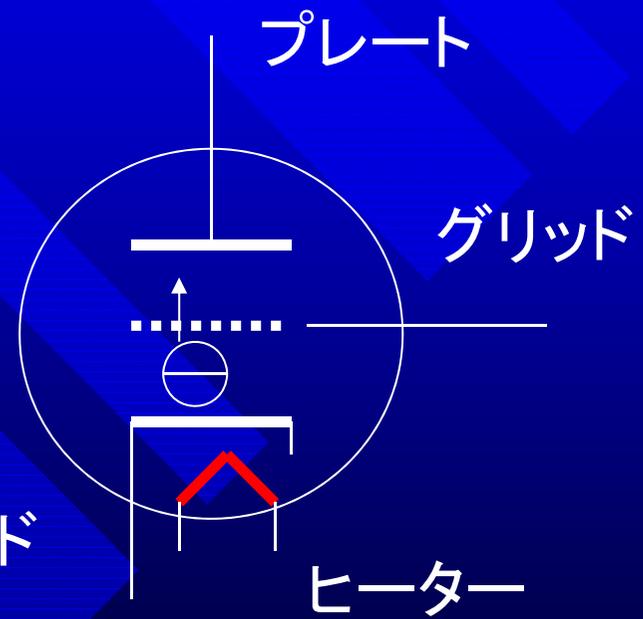
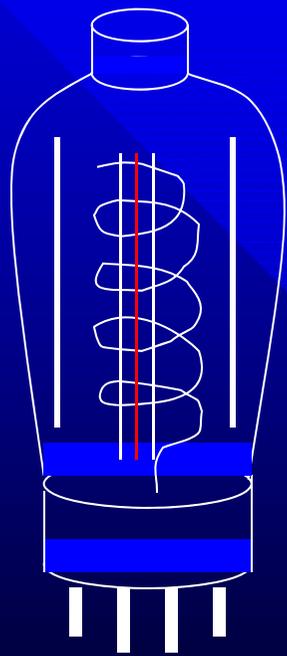
第6世代 ユビキタス時代(199x-)

コンピュータ技術の歴史(3)

最初のコンピュータは、真空管

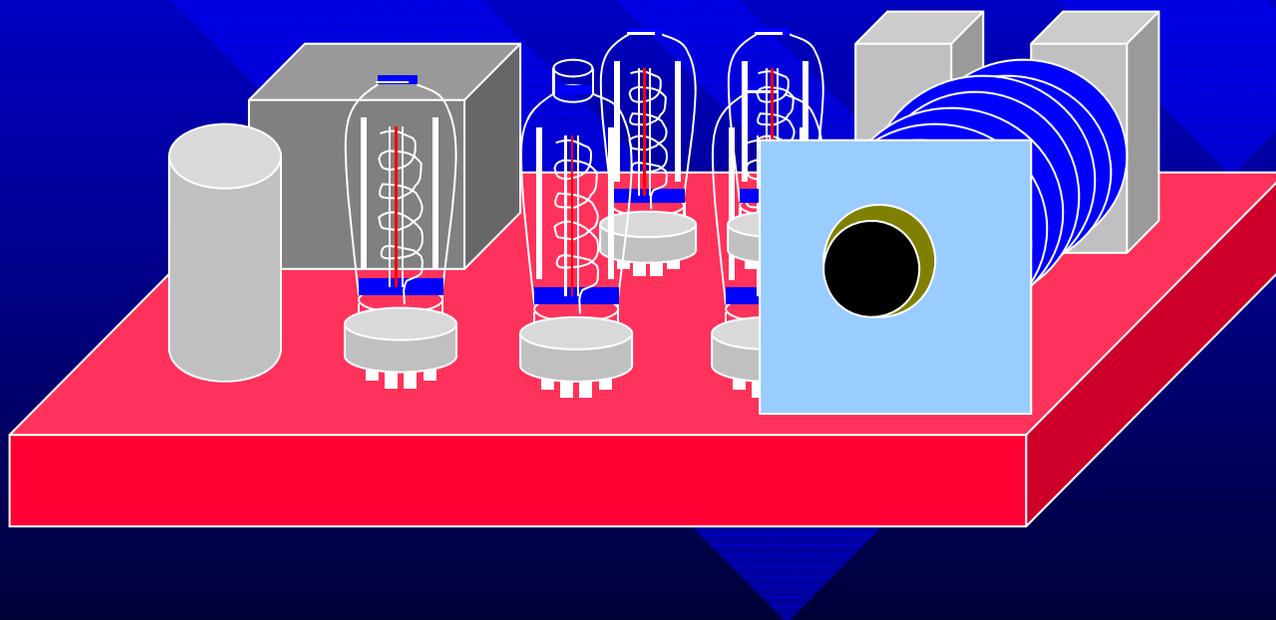
真空管って？

真空管



余談

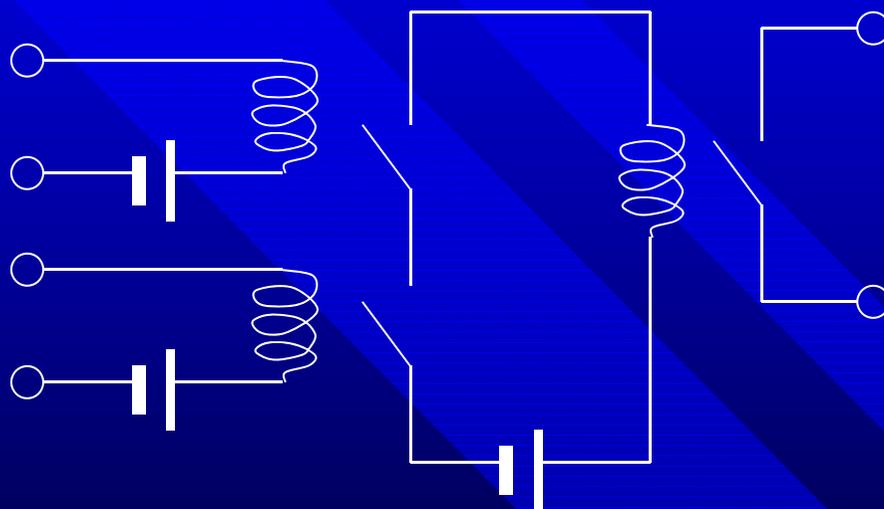
真空管ラジオ



余談

リレー論理回路

AND回路



コンピュータ発展の壁

何だと思う?

熱

電力

信頼性

真空管の数、18000本 重さ 30トン

MTBF 30時間(/真空管一本)

(Mean Time Between Failures)

(2年×365×24 / 18000 = 0.972時間)

ソフトデバッグしているうちダウンする。

コンピュータの発展を支えてきたもの

半導体 論理素子 ・ メモリ素子

オペレーティングシステム

プログラミング言語

外部記憶媒体 ドラム、ディスク

ネットワーク

第1世代 真空管の時代

(194x~195x)

真空管の発明 → 電子計算機

電子レベルのスピード

世界最初期のコンピュータ

ペンシルバニア大学 ENIAC (1946)

プログラム内蔵方式コンピュータ

ケンブリッジ大学 EDSAC (1949)

ペンシルベニア大学 EDVAC (1952)

EDVACの特徴:

2進数を用いて、1024語のメモリを持っていた。

世界最初期のコンピュータ

ペンシルバニア大学

~~ENIAC (1946)~~

ENIAC (1946)

真空管の数、18000本

抵抗、 70000個

コンデンサ 10000個

10進数演算器と20個のレジスタ

性能 100kHzクロック、500加算／秒、300乗算／秒

初めてのプログラム内蔵方式

ケンブリッジ大学 EDSAC(1949)

ペンシルベニア大学 EDVAC(1952)

フォンノイマンらが設計し、現在の計算機の構成方式の原型として初めて、プログラム内蔵方式と、2進数演算を採用したコンピュータ。

EDVACの特徴:

2進数を用いて、1024語のメモリを持っていた。

現在までのコンピュータの大半がこの方式。

商用コンピュータ

UNIVAC(1951)

フォンノイマン方式コンピュータの最初の商用機

IBM 604(1948)

パンチカード入出力・プラグボードプログラミング

IBM 701(1951)

並列2進数算術演算方式・科学技術計算用コンピュータ

IBM 702(1955)

事務処理用コンピュータ

バッチ処理

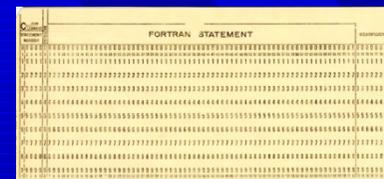
1950年代頃まで

- バッチ処理
プログラムを一括処理
- 計算機→高価
- プログラム、データはカードで供給
- 計算機の操作→複雑
- 専門のオペレータ
- 処理時間: 数時間～数日

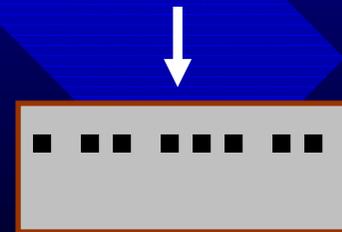


パンチカードシステムの例

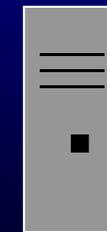
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>



Program(Card)



Card Reader



Computer

Printer

第2世代 半導体(トランジスタ)の時代

(195x~196x)

トランジスタの採用 信頼性の向上

メモリに、磁気コアメモリの採用

第2世代のコンピュータ(1)

IBM7090(1958)

IBM7094

新しい概念の採用

- ・インデックスレジスタ (連続アドレスのアクセスに有効)
- ・浮動小数点演算回路
- ・入出力専用プロセッサ
- ・サブルーチン
- ・メモリアンターリーブ (バンクをまたがる並列アクセス)

第2世代のコンピュータ(2)

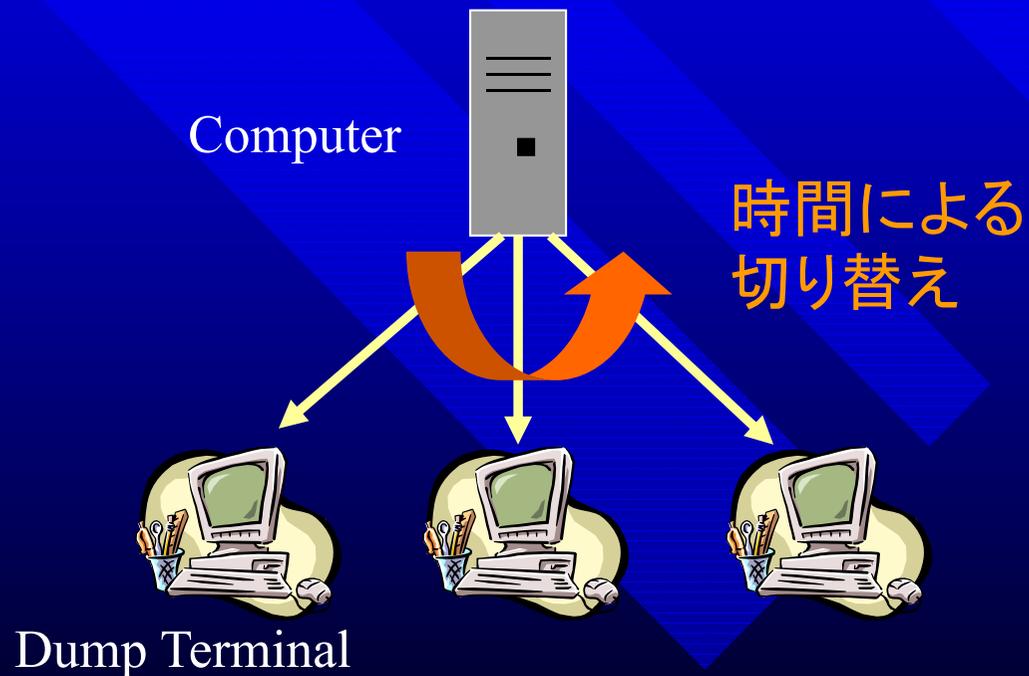
UNIVAC LARC
IBM STRETCH

- ・命令の先取り(instruction pre fetch)
命令の取り出しと実行をオーバーラップ。
- ・マルチプログラミング
1つの処理装置で複数のプログラムを実行。
- ・タイムシェアリングシステム
複数のターミナルで1台のコンピュータを共用。

タイムシェアリング処理

1960年代頃まで

- 1台の計算機に複数の端末
- 端末を順次切り替えて一人で占有(しているかのよう)
- インタラクティブな操作



第2世代のコンピュータ(3)

高級プログラミング言語

FORTRAN(1957)

ALGOL (1960)

COBOL (1961)

バッチ処理の進化 と オペレーティングシステム

磁気テープにあらかじめユーザのプログラムやデータを格納しておき、連続的に処理し、磁気テープに出力する。

この処理を管理するオペレーティングシステムがおかれた。

第3世代 集積回路の時代

(196x~197x)



ICによってコンピュータの小型化、高速化

SSI 小規模IC

MSI 中規模IC 数千トランジスタ

LSI 大規模IC 数十万トランジスタ

ICメモリ

多層プリント板

汎用コンピュータ時代の幕開け

制御部にマイクロプログラミングが採用された。

第3世代のコンピュータ(1)

アーキテクチャー

IBM システム360シリーズ(1964)

360° 応用できるコンピュータ

汎用機としての設計思想(アーキテクチャー)

この時から、明確にアーキテクチャーという言葉が使われ、プログラマーから見た、ハードウェアの論理仕様として定義。

Principle Operation

第3世代のコンピュータ(2)

仮想記憶 (Virtual Memory)

大きなメモリ空間が必要になってきた。

仮想マシン (Virtual Machine)

IBM VM370 (1972)

オンラインリアルタイムシステム

通信回線を経由した遠方からデータの入力し、結果を直ちに返送。

座席予約システム、銀行端末

背景： 通信回線の信頼性向上、端末装置の実用化

第3世代のコンピュータ(3)

CDC6600(1964)

CDC7600(1969)

CDC STAR100

ILLIAC IV (64台のレイプロセッサ)
(1972 NASAに納入)

第3世代のコンピュータ(4)

小型コンピュータ

DEC PDP-8 (1965)

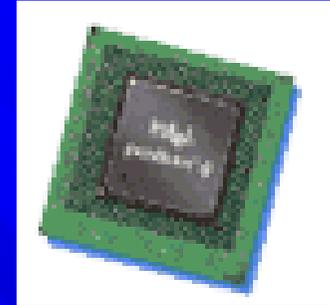
低価格 オフィスコンピュータの先駆け

UNIXの誕生

DEC PDP-7上に新たなOSを開発し、UNIXと名づけた。

第4世代 大規模集積回路(VLSI)の時代

(197x~198x)



ICの高集積化 VLSI(Very LSI)

科学技術計算用スーパーコンピュータの出現

マイクロプロセッサの出現

パソコン

BASIC

MS-DOS

ワークステーション

UNIX

最初のパソコン



マニア向け

8ビットパソコン

BASIC

音響カプセルで、パソコン通信(300ボー)

業務用パソコンの出現

(日立)16000シリーズ MB-16001 (1982)

- ・16ビットCPU,
- ・メモリ標準320KB／最大576KB
- ・OSにMS-DOSを採用
- ・FORTRANやCOBOLといったプログラム言語に対応
- ・カラーグラフィックや漢字表示
- ・科学技術計算分野などにも適用
- ・業務用のパーソナルコンピュータとして位置付け

マイクロプロセッサ

マイクロプロセッサが大きな影響を与えた時期

インテル	4ビットマイコン	i4004
	8ビットマイコン	i8080
	16ビットマイコン	i8086
	32ビットマイコン	i80x86
ザイログ		Z80
モトローラ	16ビット	MC68000
	32ビット	MC680x0

PC-9800 (1982)

日本電気製16ビットマイクロプロセッサ

μPD8086(8086コンパチブル)-5MHz,

画像処理用LSI

(グラフィック・ディスプレイ・コントローラμPD7220を搭載)

主記憶容量最大640キロバイト,

1986年10月 PC-98LT 国内初のラップトップ型パソコン

1987年9月 PC98XL 32ビット卓上型パソコン

マイクロプロセッサ

マイクロプロセッサが大きな影響を与えた時期

インテル	4ビットマイコン	i4004
	8ビットマイコン	i8080
	16ビットマイコン	i8086
	32ビットマイコン	i80x86
ザイログ		Z80
モトローラ	16ビット	MC68000
	32ビット	MC680x0

第5世代 インターネットの時代

(198x~199x)

さらなる高集積化(ムーアの法則)

オブジェクト指向プログラミング(C++など)

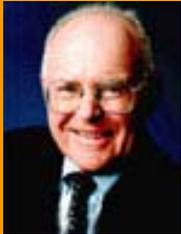
ネットワークの発達

Windows (GUI) コンピュータのダウンサイジング

WWW (World Wide Web)

ムーアの法則

ムーアの法則とは



Gordon Moore が1965年に技術革新の驚異的なペースを予測した。

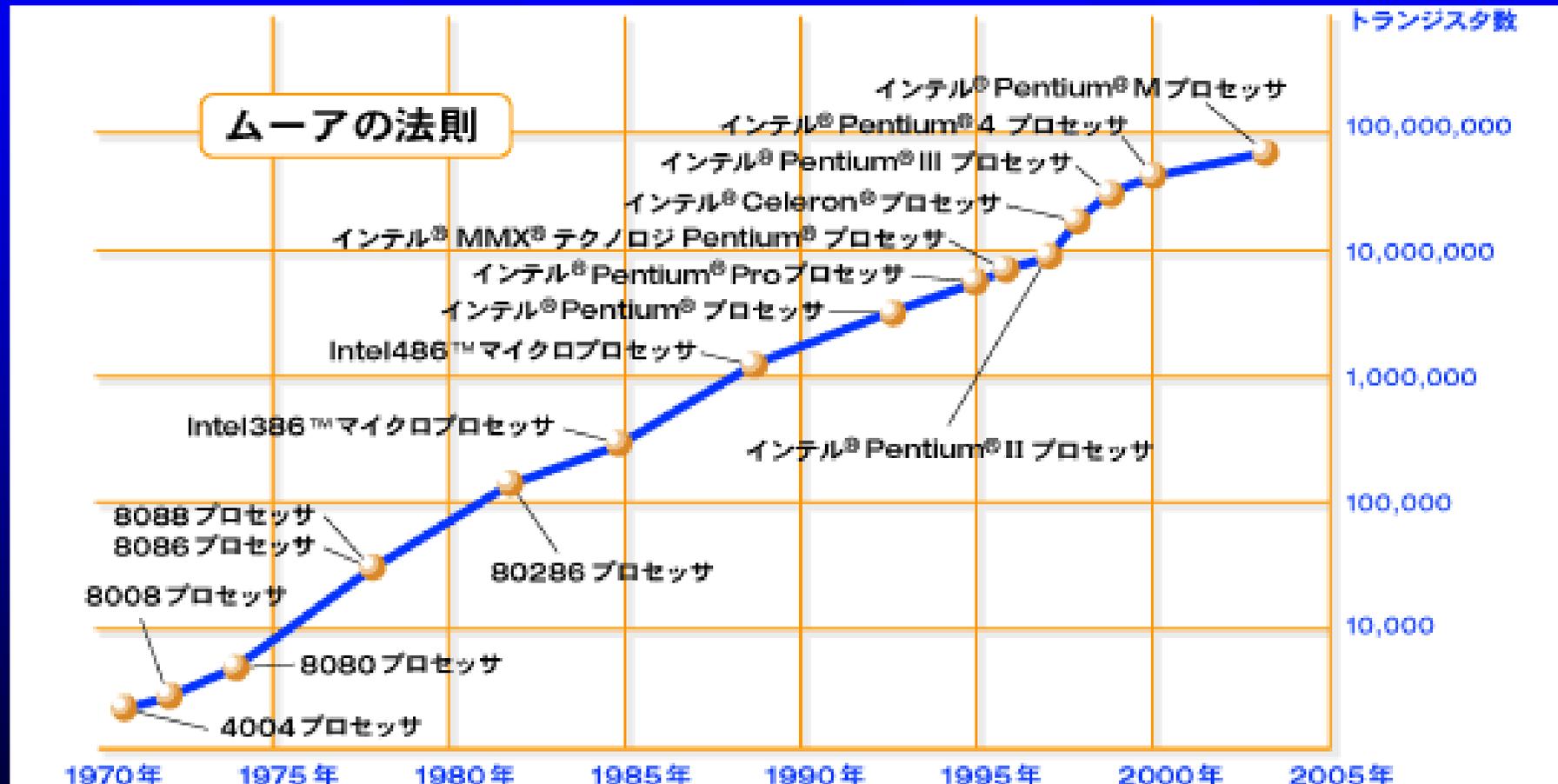
ムーアの法則とは、
「1つのチップ上に集積できるトランジスタの数は
およそ18ヶ月で倍増する」

こうした指数関数的な成長、そして一貫して微細化を続けるトランジスタのサイズにより、パフォーマンスの向上とコストの低下が実現している。

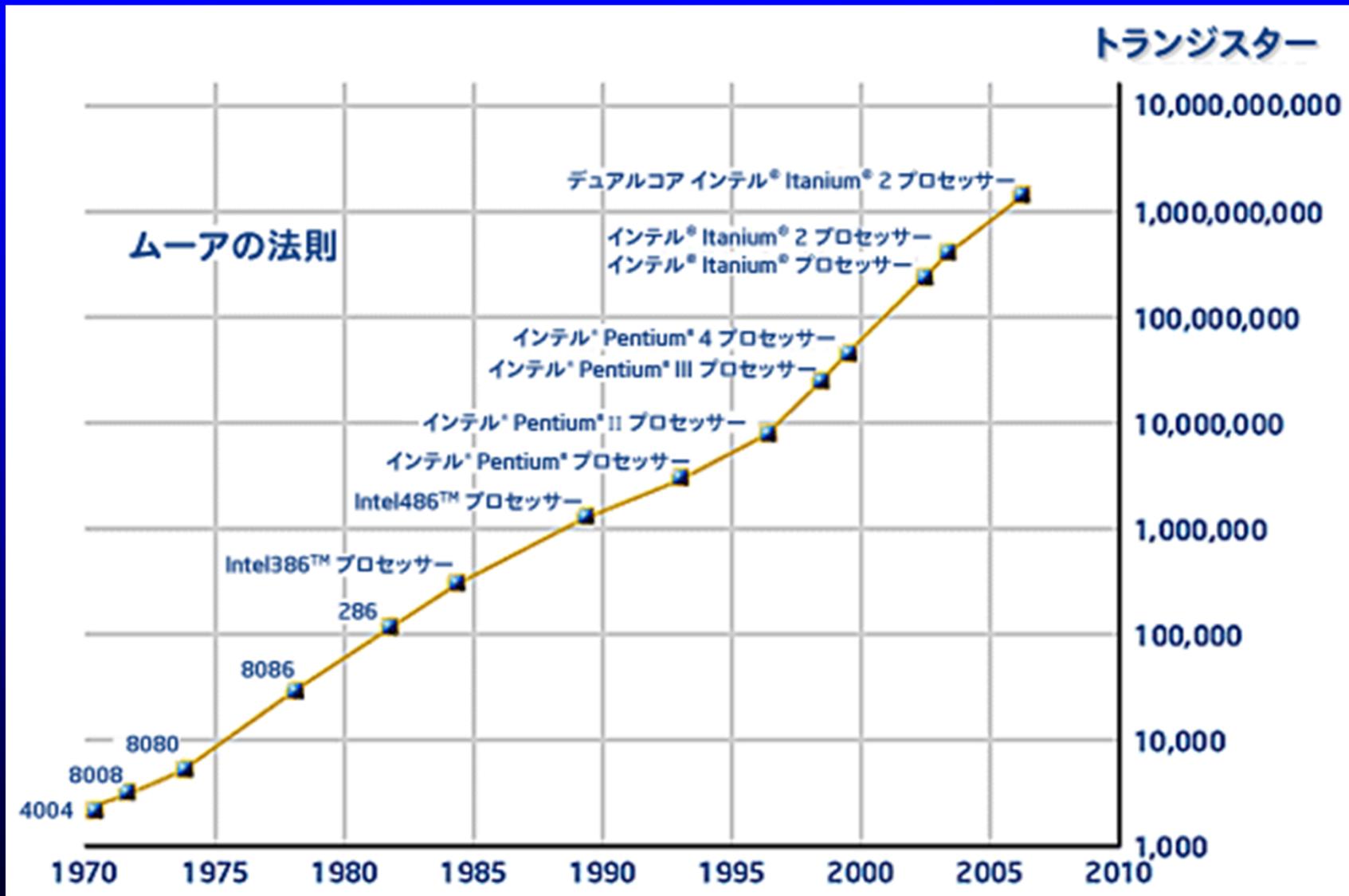
「ムーアの法則」は今も生きている。

1人のエンジニアの観察が半導体業界全体の羅針盤および原動力となった。

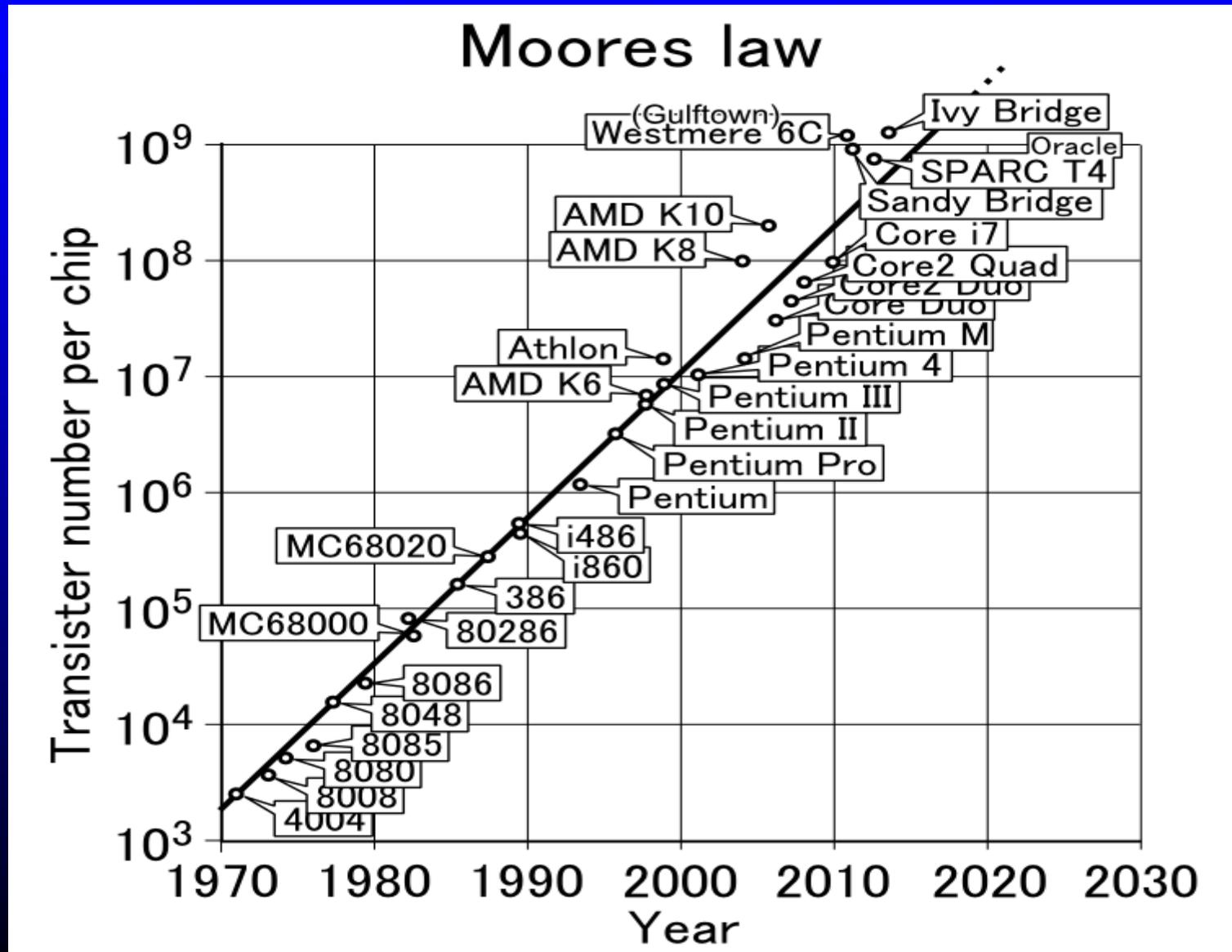
インテルプロセッサとムーアの法則



インテルプロセッサとムーアの法則



インテルプロセッサとムーアの法則



おまけ

IT技術はどれくらい進歩しているか？

1978年 スペースインベーダ発売



おまけ

IT技術はどれくらい進歩しているか？



写真は ほぼ当時のゲームのプレイスタイル。

このようなテーブル筐体で遊んだ。

おまけ

IT技術はどれくらい進歩しているか？



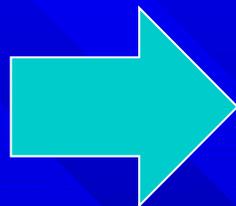
テーブルの中はこのような複雑な配線が必要だった

おまけ

IT技術はどれくらい進歩しているか？



1978年当時の基盤



40年



現在は手のひらにのるUSBメモリに
約500万台分！！

通信に1秒もかからない！

Intelマイクロプロセッサ一覧表

マイクロプロセッサの名称	発表年	動作周波数	トランジスタ数
4004 マイクロプロセッサ	1971	0.108MHz	2300個
8008 マイクロプロセッサ	1972	0.2MHz	3500個
8080 マイクロプロセッサ	1974	2MHz	6000個
8086 マイクロプロセッサ	1978	5~10MHz	2万9000個
8088 マイクロプロセッサ	1978	5~8MHz	2万9000個
80286 マイクロプロセッサ	1982	6~12MHz	13万4000個
Intel386(TM) マイクロプロセッサ	1985	16~33MHz	27万5000個
Intel486(TM) マイクロプロセッサ	1989	25~100MHz	120万個
インテル(R) Pentium(R) プロセッサ	1993	60~200MHz	310~330万個
インテル(R) Pentium(R) Pro プロセッサ	1995	150~200MHz	550万個 (コアのみ)
インテル(R) MMX(R) テクノロジ Pentium(R) プロセッサ	1997	166~233MHz	450万個
インテル(R) Pentium(R) II プロセッサ	1997	233~450MHz	750万個
インテル(R) Celeron(R) プロセッサ	1998~	266~2200MHz	750~4400万個
インテル(R) Pentium(R) III プロセッサ	1999~	450~1333MHz	950~4400万個
インテル(R) Pentium(R) 4 プロセッサ	2000~	1300~3060MHz	4200~5500万個
インテル(R) Pentium(R) M プロセッサ	2003~	900~1600MHz	7700万個

1000MHz = 1GHz

(2003年3月時点)

第6世代 ユビキタスの時代

(199x~)

システムLSI

オブジェクト指向プログラミング (Java)

ネットワークの高速大容量化、無線化

PCクラスタ マルチプロセッサ

WWW (World Wide Web)

まとめ

- アーキテクチャとは設計思想
- コンピュータの世代とアーキテクチャ
世代ごとに、アーキテクチャは異なる。
技術の発達により、**アーキテクチャはどんどん変化する**

本日の課題

1. コンピュータシステムにおける種々のトレードオフを列挙し、それをハードウェア側とソフトウェア機能側とに分けよ。もしいずれの側にも分類できない項目があるならば、その理由を明らかにせよ。
2. “現世代コンピュータ”のアーキテクチャの設計に大きな影響を与えているハードウェア技術とソフトウェア技術について述べよ。