

資料を以下のURLにアップロードしてあります
<http://www.ritsumei.ac.jp/~tomori/lec/ca/>

計算機構成論 第1回

— 計算機アーキテクチャ概説 —

大連理工大学・立命館大学 国際情報ソフトウェア学部

大森 隆行

担当者

■ 大森 隆行

おおもり たかゆき

OMORI Takayuki

この授業について

■ 15回の講義

■ 学習すること

- コンピュータがどう構成されているのか

- コンピュータがどのように動いているのか

■ 講義の流れ

- 説明→確認問題→確認問題の説明

■ 評価方法

- 日常点 40%

 - レポート、中間試験 を含む

- 期末試験 60%

授業計画 (前半)

- 第1回 計算機アーキテクチャ概説
- 第2回 計算機における数値表現(1)
- 第3回 計算機における数値表現(2)
- 第4回 命令セットアーキテクチャ(1)
- 第5回 命令セットアーキテクチャ(2)
- 第6回 命令セットアーキテクチャ(3)
- 第7回 命令の実行(1)
- 第8回 命令の実行(2)

授業計画（後半）

- 第9回 中間試験および解説
- 第10回 算術演算の実行(1)
- 第11回 算術演算の実行(2)
- 第12回 算術演算の実行(3)
- 第13回 性能評価
- 第14回 パイプライン
- 第15回 まとめ

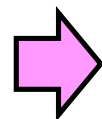
教科書

■ コンピュータの構成と設計 上 第5版

David A. Patterson, John L. Hennessy 著、
成田光彰 訳、日経BP社

講義内容

■ コンピュータ(計算機)とは



■ 概説

■ 計算機の五大装置

■ CPU、記憶装置

■ 計算機の中身

■ Apple iPad 2 の例

■ プログラム内蔵方式

コンピュータとは

■ コンピュータ

- 電子的に計算を行う機械

- 例

 - パソコン

 - 組み込みコンピュータ

 - 車載コンピュータ

 - スーパーコンピュータ

 - スマホ (スマフォ、スマートフォン)

いろいろなコンピュータ

- コンピュータ (computer)
 - 計算機とも呼ぶ
(日本語の「計算機」は、電卓(電子卓上計算機、calculator)を意味することもあるが、この授業ではcomputerの意味で使用)
- パーソナルコンピュータ (personal computer)
 - 個人用のコンピュータ
- 組み込みコンピュータ (embedded computer)
 - 専用機能を有する機器に組み込まれたコンピュータ
- スーパーコンピュータ (super computer)
 - 高性能、高コスト
- サーバ、クライアント (server, client)
 - ネットワークを介してアクセス
- クラウドコンピューティング (cloud computing)
 - ネットワークを介してコンピュータ群を利用

コンピュータの利用

- ヒトゲノム研究プロジェクト
- WWW (World Wide Web)
- 検索エンジン
- 人工知能

コンピュータに関する基本用語

■ ハードウェア (ハード)

- 計算機を構成する回路、装置などのように、物理的な実体を持つもの。

■ ソフトウェア (ソフト)

- 計算機を動かすプログラムなどのように、物理的な実体を持たないもの。
- アプリケーションと同じ意味で使われることも多い。
- ソースコード、実行ファイル、プログラムの設計書などすべてをひっくるめて言うときにも使う。

■ プログラム

- ソースコードを指したり、実行ファイルを指したり、状況によって様々に解釈される。

■ アプリケーション (アプリ)

- OSの上で実行されるプログラム (OSは含まない)。
- 大抵は実行ファイル(製品を意識して使うことが多い)。

コンピュータに関する基本用語

■ ソースコード

- プログラムがどう動くのかを書いたもの
- プログラミング言語で書かれている

■ 実行ファイル

- ソースコードをコンパイルすることで生成される
- 中身は機械語(直接実行できる)
- Windowsだと拡張子.exe
- そのOS(Windows等)や計算機に特化しているので、通常、他のパソコンに持って行っても動かない

■ OS (オペレーティングシステム)

- 基本ソフトウェア。Windows, Mac OS, Unix, Linuxなど
- 計算機の基本的な管理を担当するソフトウェア(プログラム群)

コンピュータに関する基本用語

■ 計算機アーキテクチャ

- コンピュータの設計概念（どう作られるのか）

- ハードウェアとソフトウェアの橋渡し役

 - 例えば、どんな命令を受け付けるか？

 - それを実行するためのハードウェア構成は？

 - このコードはどう解釈・実行される？

 - より早く動くコードは？

 - よりリソースを浪費しないコードは？

- ソフトウェアを作る場合でも、知っておくべき！

確認問題

- コンピュータとは、(1)的に(2)を行う機械である。
- 計算機的设计概念、すなわち、計算機がどのように作られるかのことを、(3)と呼ぶ。
- 計算機のうち、回路、装置などの物理的な実体を持つものを、(4)と呼ぶ。これに対して、プログラムなどを(5)と呼ぶ。
- (6)は、計算機上の基本的な管理を担当するソフトウェアである。例として、WindowsやUnixなどが挙げられる。



講義内容

■ コンピュータ(計算機)とは

■ 概説

➡ ■ 計算機の五大装置

■ CPU、記憶装置

■ 計算機の中身

■ Apple iPad 2 の例

■ プログラム内蔵方式

計算機の5大装置

■ 5大装置

「5大機能」と呼ぶこともある

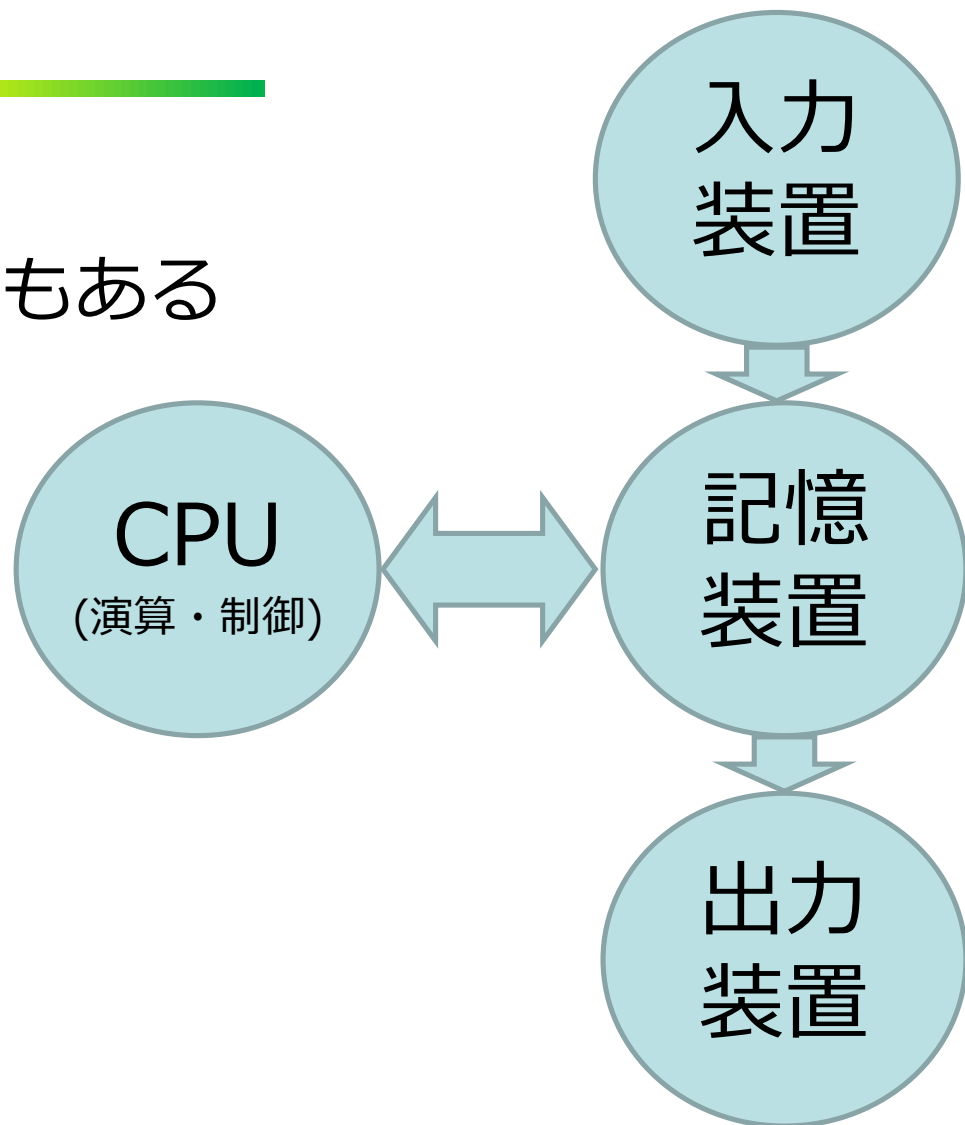
■ 演算装置

■ 制御装置

■ 記憶装置

■ 入力装置

■ 出力装置



計算機の5大装置

■ 演算・制御装置

■ CPU (中央演算装置)

- パソコンの"頭脳"
- あらゆる処理を行う
→1つ1つを演算と呼ぶ

■ 記憶装置

■ メモリ (主記憶装置)

- 電源を切ると中のデータが消える
- 比較的高価・高速で低容量

■ HDD (ハードディスクドライブ)

- 電源を切っても中のデータが消えない
- 比較的安価・低速で大容量

■ 入力装置

- キーボード、マウスなど

■ 出力装置

- モニタ(ディスプレイ)など

※各デバイスがどの装置に該当するかは、
人により見方が異なることがあります

CPU性能の表現

■ 応答時間(実行時間)

- 作業開始から終了までの時間

■ CPU時間

- CPUが作業を行った時間
- ユーザCPU時間、システムCPU時間に分類できる

■ スループット(バンド幅)

- 一定時間内に行った作業量

CPU性能の表現

■ CPUの性能は周波数[Hz]で表現

- クロック周波数 (1秒あたりのクロック数)
- クロックごとに命令が実行される



周波数が高い = 短い時間に多くの命令が実行

```
アーキテクチャ: x86_64
CPU 操作モード: 32-bit, 64-bit
バイト順序: Little Endian
CPU: 8
オンラインになっている CPU のリスト: 0-7
コアあたりのスレッド数: 2
ソケットあたりのコア数: 4
ソケット数: 1
NUMA ノード数: 1
ベンダー ID: GenuineIntel
CPU ファミリー: 6
モデル: 158
モデル名: Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz
ステッピング: 9
CPU MHz: 800.007
CPU 最大 MHz: 3800.0000
CPU 最小 MHz: 800.0000
BogoMIPS: 5599.85
仮想化: VT-x
L1d キャッシュ: 32K
L1i キャッシュ: 32K
L2 キャッシュ: 256K
L3 キャッシュ: 6144K
NUMA ノード 0 CPU: 0-7
フラグ: fpu vme de pse tsc msr pae mce cx8 apic sep mtrr
```

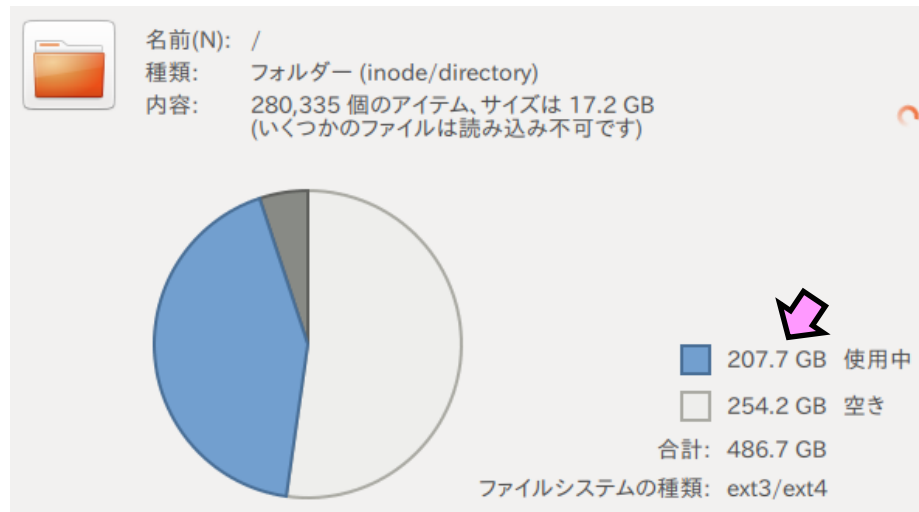
UbuntuのlscpuコマンドによるCPUの情報表示

CPU性能の表現


- CPI (clock cycle per instruction)
 - 1命令の実行に要するクロック数
- クロックサイクル時間
 - クロックごとの時間間隔
 - ある命令の実行にかかる時間 $= \text{CPI} \times \text{クロックサイクル時間}$
- FLOPS (floating-point operations per second)
 - 1秒間に可能な浮動小数点数の演算の回数

データ量(記憶容量)の表し方

- データ量はビット、バイトで表現
- 1ビットはON/OFFで記憶



Ubuntuのディスク使用状況の表示



```
MemTotal:      16272932 kB
MemFree:        568616 kB
MemAvailable:   8551132 kB
Buffers:        1732980 kB
```

Ubuntuのmeminfoコマンド
によるメモリの情報表示

データ量(記憶容量)の表し方

国際単位系(SI:
International System
of Units)として規定

- 1ビット(bit)
- 1バイト(byte) = 8ビット
- 1キロバイト(KB) = 10^3 バイト
- 1メガバイト(MB) = 10^6 バイト
- 1ギガバイト(GB) = 10^9 バイト
- 1テラバイト(TB) = 10^{12} バイト
- 1ペタバイト(PB) = 10^{15} バイト
- 1エクサバイト(EB) = 10^{18} バイト
- 1ゼットタバイト(ZB) = 10^{21} バイト
- 1ヨットタバイト(YB) = 10^{24} バイト

データ量(記憶容量)の表し方

- 1ビット(bit)
- 1バイト(byte) = 8ビット
- 1キビバイト(KiB) = 2^{10} バイト
- 1メビバイト(MiB) = 2^{20} バイト
- 1ギビバイト(GiB) = 2^{30} バイト
- 1テビバイト(TiB) = 2^{40} バイト
- 1ペビバイト(PiB) = 2^{50} バイト
- 1エクスビバイト(EiB) = 2^{60} バイト
- 1ゼビバイト(ZiB) = 2^{70} バイト
- 1ヨビバイト(YiB) = 2^{80} バイト

データ量の表し方

■ 1ミリ(milli-)	10^{-3}
■ 1マイクロ(micro-)	10^{-6}
■ 1ナノ(nano-)	10^{-9}
■ 1ピコ(pico-)	10^{-12}
■ 1フェムト(femto-)	10^{-15}
■ 1アト(atto-)	10^{-18}
■ 1ゼプト(zepo-)	10^{-21}
■ 1ヨクト(yocto-)	10^{-24}

確認問題

- 1バイトは、(1)ビットである。
- 1キロバイトは、(2)バイトである。
- 1キビバイトは、(3)バイトである。
- 計算機の5大装置とは、(4)装置、(5)装置、(6)装置、(7)装置、(8)装置である。
- 下記の装置は、5大装置のうちどれに相当するか。
 - (9)キーボード (10)ディスプレイ (11)メモリ (12)マウス (13)CPU



記憶装置の種類

■ 揮発性メモリ

- 電源を切るとデータが消える

■ 不揮発性メモリ

- 電源を切ってもデータが消えない

■ シーケンシャルアクセスメモリ

- 順番にデータを読み書きする e.g., テープ

■ RAM (random access memory)

- 通常は揮発性

- 自由な順番でデータを読み書きできる

- DRAM (Dynamic RAM) リフレッシュ必要

- SRAM (Static RAM) リフレッシュ不要

記憶装置の種類

■ キャッシュ

SRAM

- メモリ(主記憶)より高速
- 一時的なデータの保管場所として使用される

■ 1次記憶 (主記憶)

DRAM

- 実行中のプログラムと、そこで使用されるデータを記憶しておく装置

■ 2次記憶

磁気ディスク

- 磁気ディスクが主流
- フラッシュメモリも使われるようになってきている (SSD: solid state drive)

講義内容

■ コンピュータ(計算機)とは

■ 概説

■ 計算機の五大装置

■ CPU、記憶装置

➡ ■ 計算機の中身

■ Apple iPad 2 の例

■ プログラム内蔵方式

計算機の中身

■ (例) Apple iPad 2 A1395

計算機の中身

■ (例) Apple iPadの論理基盤

計算機の中身

■ (例) A5チップ内の集積回路

講義内容

■ コンピュータ(計算機)とは

■ 概説

■ 計算機の五大装置

■ CPU、記憶装置

■ 計算機の中身

■ Apple iPad 2 の例

➡ ■ プログラム内蔵方式

プログラム内蔵方式

- コンピュータで処理を行うための
命令やデータを、あらかじめメモリ内に
格納しておくという方式
- 今日のすべてのコンピュータの基本概念
- ノイマン型とも言われる

フォン・ノイマン

- 生年：1903-1957
- ハンガリー出身、
アメリカの数学者
- 数学
 - ゲーム理論の成立に貢献
 - モンテカルロ法
- 物理学
 - 量子力学を形式的に完成
- 計算機科学
 - プログラム内蔵方式の考案者とされる

確認問題

- SRAM、DRAM、磁気ディスクについて、下記の問いに答えよ。
 - (1) どれが揮発性で、どれが不揮発性か。
 - (2) 速度の速い順番に並べよ。
 - (3) ビットあたりのコストの高い順に並べよ。
- コンピュータで処理を行うための命令やデータを、あらかじめメモリ内に格納しておくという方式を、(4)方式と呼ぶ。
- (5)は(4)方式の考案者とされている。



参考文献

■ コンピュータの構成と設計 上 第5版

David A. Patterson, John L. Hennessy 著、
成田光彰 訳、日経BP社

- 画像は著作権で保護されている可能性がありますので、
公開・頒布を禁止します。