

## 第7章 メモリアーキテクチャ

1

### 7.1 メモリ装置の基礎

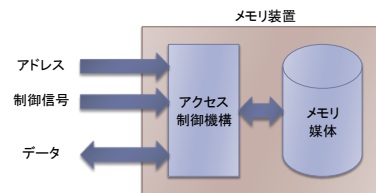
2

#### メモリ装置

- ▶ メモリ装置
  - ▶ マシン命令およびデータを、格納あるいは記憶するハードウェア機構である。
  - ▶ (主として)プロセッサ制御のもとに読み出し(Read)と書き込み(Write)が行われる。
  - ▶ メモリ装置に対して読み出しや書き込みを行うことをアクセスするという。

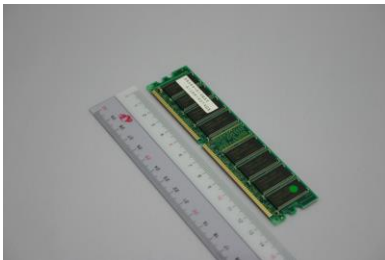
3

#### メモリ装置の基本構成



4

#### メモリ装置 (メモリモジュール)



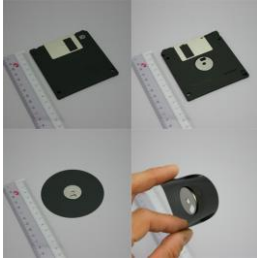
5

#### メモリ装置 (ハードディスク)



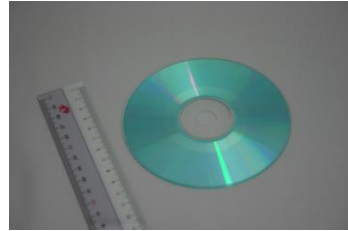
6

## メモリ装置 (フロッピーディスク)



7

## メモリ装置 (CD-R, DVD-R/RW, BD-R)



CD-R : Compact Disc Recordable  
 DVD-R : Digital Versatile Disc Recordable  
 BD-R : Blu-ray Disc Recordable

8

## メモリ装置 (USBフラッシュメモリ)



USB : Universal Serial Bus

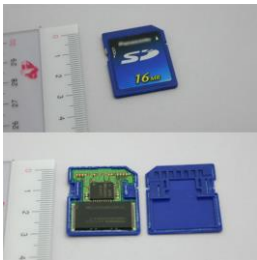
9

## メモリ装置 (コンパクトフラッシュ)



10

## メモリ装置 (SDメモリカード)



SD : Secure Digital Memory Card

11

## メモリ装置 (メモリースティック)



12

## メモリ装置 (SSD)



SSD : Solid State Drive

13

## メモリ装置 (MOディスク)



MO : Magnetic Optical Disc

14

## メモリ装置 (DAT)



DAT : Digital Audio Tape

15

## メモリ装置の分類 (1)

- ▶ メモリ装置の役割による分類
  - ▶ 主記憶装置
    - ▶ CPUとデータのやり取りを高速に行うためのメモリ装置。
    - ▶ 一般に、ICメモリで構成される。
  - ▶ 補助記憶装置
    - ▶ 大量のデータを長期間記憶しておくためのメモリ装置。
    - ▶ ハードディスクやCD-ROMなど。

16

## メモリ装置の分類 (2)

- ▶ メモリ媒体材料の種類による分類
  - ▶ 半導体
    - ▶ メモリ媒体の操作を、電子(電荷)移動(電気伝導)によって行う。
    - ▶ ICメモリなど。
  - ▶ 磁性体
    - ▶ メモリ媒体の操作を、磁力線(磁場)によって行う。
    - ▶ ハードディスクなど。
  - ▶ その他
    - ▶ 光ディスク、光磁気ディスク等。

17

## メモリ装置の分類 (3)

- ▶ 保存の有効期間による分類
  - ▶ 揮発性
    - ▶ 保存は一時的であり、電源オフにより格納内容が消える。
    - ▶ RAMなど。
  - ▶ 不揮発性
    - ▶ 電源を供給しなくても格納内容を保持する。
    - ▶ 揮発性メモリのバックアップ装置となる。
    - ▶ ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、ROMなど。

18

### メモリ装置の分類（４）

- ▶ アクセス（読み出しと書き込み）の可能性による分類
  - ▶ 読み出し操作、書き込み操作の、両者が可能
    - [例]
      - ▶ RAM (Random Access Memory)
        - 読み出し操作、書き込み操作ともに、いつでも可能な半導体メモリ。
        - 本来はランダムアクセス可能なメモリを指す用語であるが、ROM に対する用語として用いられている。
  - ▶ 読み出し操作のみが可能
    - [例]
      - ▶ ROM (Read Only Memory)
        - 読み出し操作のみが可能な読み出し専用の半導体メモリ。

19

### メモリ装置の分類（５）

- ▶ アクセス方式による分類
  - ▶ ランダムアクセス
    - ▶ アドレスを与えることによって、どの場所にも、(ほぼ) 同一かつ一定の時間でアクセス可能。
    - ▶ 半導体メモリなど。
  - ▶ シーケンシャルアクセス(1次元アクセス)
    - ▶ 1次元に並んでいるメモリセルに、格納順に順次アクセスする。
    - ▶ 磁気テープなど。
  - ▶ 回転媒体への2次元アクセス
    - ▶ 円板媒体上にメモリセルを同心円または渦巻状に並べ、それと直交する方向に動くアクセス機構と、円板の回転による逐次アクセスとを組み合わせるアクセスする。
    - ▶ ハードディスク、フロッピーディスク、光ディスク、光磁気ディスクなど。

20

### メモリ装置の分類（６）

- ▶ 可搬性による分類
  - ▶ 固定
    - ▶ 通常、移動して使用することはできないメモリ装置。
    - ▶ 半導体ディスク、内蔵型ハードディスクなど。
  - ▶ 移動可能
    - ▶ 移動して使用することが可能なメモリ装置。
    - ▶ フロッピーディスク、光磁気ディスク、フラッシュメモリ、小型ハードディスクなど。

21

### メモリ装置の性能指標

- ▶ メモリ装置の性能指標
  - ▶ 容量
    - ▶ 格納できる情報の最大数で示す。代表的な単位は「バイト」。
    - ▶ 空間的性能指標である。
  - ▶ メモリアクセス時間
    - ▶ アクセス要求を出してから、実際にアクセスが終了するまでの時間。単位は「秒」。
    - ▶ 時間的性能指標である。

22

### 【補足】メモリ容量の単位

- ▶ 1KB(キロバイト) = 1,024 B =  $2^{10}$  B
- ▶ 1MB(メガバイト) = 1,024 KB =  $2^{20}$  B
- ▶ 1GB(ギガバイト) = 1,024 MB =  $2^{30}$  B
- ▶ 1TB(テラバイト) = 1,024 GB =  $2^{40}$  B

#### 【参考】

- ▶  $10^3$ は、小文字の k を使う。

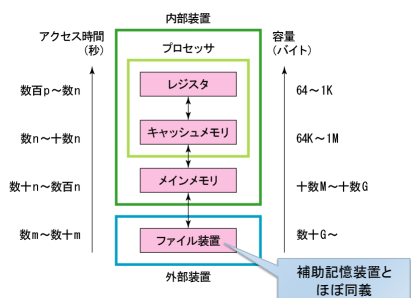
23

### メモリ装置の性能指標と階層

- ▶ 一般に、メモリ装置の性能指標である「容量」と「メモリアクセス時間」の両者に優れたメモリ装置は存在しない。すなわち、容量が大きいメモリはアクセス時間が遅く、アクセス時間が速いメモリは容量が小さい。
- ▶ そのため、現在のコンピュータは、「容量」と「アクセス時間」の異なる複数のメモリ装置を装備し、それらのメモリを使い分けて利用している。
- ▶ たとえば、アクセスされる可能性の高い命令やデータは高速のメモリに格納しておくことにより、実質的なアクセスの高速性を確保することができる。
- ▶ メモリ装置のこのような構成法を**メモリ階層方式**という。

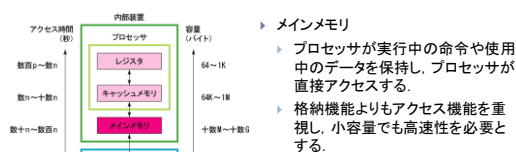
24

## 主要なメモリ階層



25

## 主要なメモリ階層 (メインメモリ)

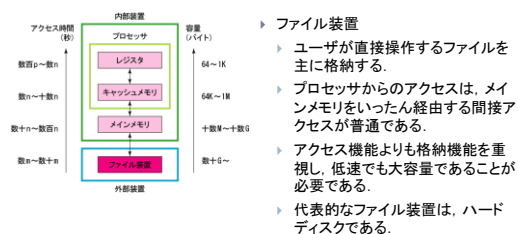


### メインメモリ

- ▶ プロセッサが実行中の命令や使用中のデータを保持し、プロセッサが直接アクセスする。
- ▶ 格納機能よりもアクセス機能を重視し、小容量でも高速性を必要とする。

26

## 主要なメモリ階層 (ファイル装置)

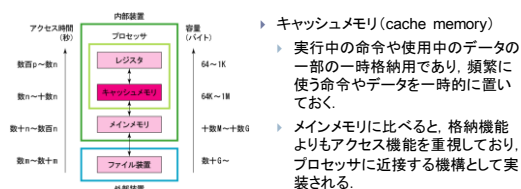


### ファイル装置

- ▶ ユーザが直接操作するファイルを主に格納する。
- ▶ プロセッサからのアクセスは、メインメモリをいったん経由する間接アクセスが普通である。
- ▶ アクセス機能よりも格納機能を重視し、低速でも大容量であることが必要である。
- ▶ 代表的なファイル装置は、ハードディスクである。

27

## 主要なメモリ階層 (キャッシュメモリ)



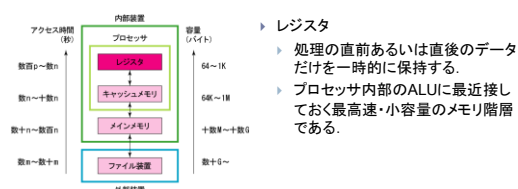
### キャッシュメモリ (cache memory)

- ▶ 実行中の命令や使用中のデータの一部分の一時格納用であり、頻繁に使う命令やデータを一時的に置いておく。
- ▶ メインメモリに比べると、格納機能よりもアクセス機能を重視しており、プロセッサに近接する機構として実装される。

詳細は、コンピュータアーキテクチャ II にて

28

## 主要なメモリ階層 (レジスタ)



### レジスタ

- ▶ 処理の直前あるいは直後のデータだけを一時的に保持する。
- ▶ プロセッサ内部のALUに最近接しておく最高速・小容量のメモリ階層である。

29

## 演習問題

- ▶ 問題1
  - ▶ メモリ装置の性能を測る代表的な指標を2つあげよ。
  - ▶ 主要なメモリ階層を4つあげよ。
  - ▶ 上記4つのメモリ階層を、性能指標の観点から説明せよ。

30

## 7.2 ICメモリ

31

### 半導体メモリ（ICメモリ）

- ▶ 半導体メモリ
  - ▶ 半導体チップ上に、トランジスタ(増幅機能を持った半導体素子)を集積して構成する。
  - ▶ 現代の半導体メモリ素子の多くが、集積度の大きいMOS (Metal Oxide Semiconductor) という半導体材料によって構成されている。
  - ▶ MOSメモリ技術は、“3年間で集積度が4倍に向上する”という「ムーアの法則」にしたがって進展し続けている。
  - ▶ MOSメモリは、回路構成方式の違いによって、以下の2種類に大別できる。
    - ▶ SRAM (Static RAM)
    - ▶ DRAM (Dynamic RAM)

32

### SRAMとDRAM

- ▶ SRAM (Static RAM)
  - ▶ 4～6個のトランジスタを用いてフリップフロップを構成し、それを1メモリセル(1ビットメモリ素子)とする。
  - ▶ DRAMに比べて制御が簡単である。
- ▶ DRAM (Dynamic RAM)
  - ▶ MOSトランジスタと対にしたコンデンサの電荷量によってメモリ機能を実現する。1～2個のトランジスタで1メモリセルを構成できるため、SRAMに比べて集積度が高く、大容量なメモリを実現可能である。
  - ▶ コンデンサからの漏れ電流による格納内容の消失を防ぐために、リフレッシュという読み出しと書き込みの動作を、一定時間内に一度は行う必要がある。
  - ▶ 現在、DRAMとしては、バスクロックに同期して高速に動作するSDRAM (Synchronous DRAM) や、クロックの立上りと立下りの両方で動作するDDR SDRAM (Double Data Rate SDRAM) などが実用化されている。

33

### ROM

- ▶ ROM
  - ▶ 本来は、「読み取り専用のメモリ」を意味していたが、フラッシュメモリなどの実用化に伴い、現在では、「不揮発性で読み取りを中心として使用するメモリ」を意味するようになっていく。
- ▶ EPROM (Erasable Programmable ROM)
  - ▶ データの書き込みは電氣的に行い、消去には紫外線を用いるROM。
- ▶ EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM)
  - ▶ データの書き込み、消去とも電氣的に行えるROM。フラッシュメモリは、EEPROMの一種である。

【補足】

フラッシュメモリをカード型にパッケージしたものは、メモリカードと呼ばれる。代表的なメモリカード規格には、Compact Flash、Smart Media、SDメモリカード、メモリースティック等がある。

34

### 演習問題



#### 問題2

- ▶ 以下に示す表の空欄を埋めよ、また、正しい選択肢を選べ。
- ▶ なお、集積度および制御の欄は、DRAMとSRAMの比較として解答せよ。

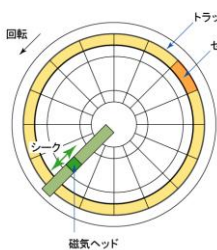
名称		フルスเปル	読み出し	書き込み	集積度	制御
RAM	DRAM		可・不可	可・不可	高い・低い	簡単・複雑
	SRAM		可・不可	可・不可	高い・低い	簡単・複雑
ROM			可・不可	可・不可		

35

## 7.3 補助記憶装置

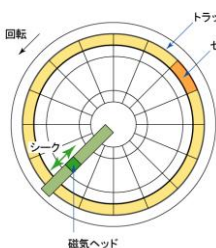
36

## ハードディスクの構造

- 
- ▶ 磁気記録方式であり、硬化(hard)な円盤(disk)に塗付した磁性体の磁化方向により、「0」か「1」を記録する。
  - ▶ 1枚の磁性体の同心円状の記録領域を**トラック**という。また、トラックを、ディスク中心から放射状に区切った記録領域を**セクタ**という。データの読み書きはセクタ単位に行われる。
  - ▶ 磁性体の大きさ(直径)には、3.5インチ、2.5インチ、1.8インチ、1インチなどがある。
  - ▶ ハードディスクとしては、通常1~4枚の磁性体を実装している。

37

## ハードディスクへのアクセス方法

- 
- ▶ 高速回転する磁性体に対し、磁気ヘッドを目的のトラックまで移動し、目的のセクタが磁気ヘッドの真下に来た時点で読み書きを行う。

38

## ハードディスクにおけるアクセス時間

- ▶ 磁気ヘッドを目的のトラックまで動かすことをシークと言い、これに要する時間をシーク時間(数~十数ミリ秒)という。
- ▶ また、その後、磁性体の回転により、目的のセクタが真下に来るまでの時間を、回転待ち時間と言う。平均回転待ち時間は、以下のように表わすことができる。

$$\text{平均回転待ち時間(s)} = (60 / \text{回転数(rpm)}) \times (1/2)$$

- ▶ 一方、データ転送時間は、以下のように表わすことができる。

$$\text{データ転送時間(s)} = \text{データ量(B)} / \text{データ転送速度(B/s)}$$

- ▶ よって、ハードディスクにおけるアクセス時間は、

$$\begin{aligned} \text{アクセス時間(s)} = & \text{平均シーク時間(s)} \\ & + \text{平均回転待ち時間(s)} \\ & + \text{データ転送時間(s)} \end{aligned}$$

となる。

39

## 光ディスク装置

- ▶ 光ディスク装置
  - ▶ レーザー光を用いてデータをアクセスする補助記憶装置の総称。
  - ▶ CD(Compact Disc)、DVD(Digital Versatile Disc)、BD(Blu-ray Disc)、光磁気ディスク(MO : Magnetic Optical Disc)装置などがある。

40

## CD装置

- ▶ 読み取り専用のCD-ROM、ユーザが一度だけデータを書き込めるCD-R(CD-Recordable)、再書き込み可能なCD-RW(CD-Rewritable)などの規格がある。
- ▶ CD-ROM
  - ▶ ディスクにらせん状のトラックがあり、トラックにはビットと呼ばれる溝が記録されている。レーザー光を照射して、反射するレーザー光の量に基づき、ビットか否かを判別する。
- ▶ CD-R
  - ▶ レーザー光を照射して、ディスクの有機色素でできた記憶層を加熱融解し、隣接するポリカーボネート基板上にビットを生成する。
- ▶ CD-RW
  - ▶ 相変化記録方式が広く採用されている。この方式では、レーザー光の強さを制御することで、アモルファス(分子がばらばらな状態)とクリスタル(分子が整列した状態)の部分を作り分け、それぞれの光の反射率の違いに基づきデータを判別する。

41

## DVD装置、BD装置

- ▶ DVD装置
  - ▶ DVD-ROM、DVD-R、DVD-RW、DVD+R、DVD+RWなど各種規格がある。
  - ▶ 基本原理は、CD装置と同様であるが、レーザー光のスポット径を小さくして高密度化を図り、大容量化を実現している。
- ▶ BD装置
  - ▶ 近年、青紫半導体レーザーを使用して高密度化を図った BD(Blu-ray Disc)装置の普及が進んでいる。

42

## 演習問題

### ▶ 問題3

- ▶ 平均シーク時間10ms, 毎分7200回転, 転送速度 $5.12 \times 10^6$ B/s(バイト/秒)の磁気ディスクから, 1Kバイトのデータを読み出すのに要する時間を求めよ. ここで, データを読み出す時間とは, 平均シーク時間, 平均回転待ち時間, データ転送時間の合計を意味する.