

■目次 (ほげが今回の範囲)

第1部 0と1だけでどうやって計算するの?	★9 コンピュータシステム
第2部 コンピュータの気持ち	★10 記憶装置
第3部 情報をどのように表現するか	★11 オペレーティングシステム
第4部 <u>コンピュータシステム</u>	⇒ ★12 ネットワークのしくみ

これまでこの授業では、コンピュータの基礎である0/1による数の表現と計算の方法(第1部)、および、コンピュータの中核であるCPUとメモリが何をやっているのか(第2部)について学んできた。また、多種多様な情報をコンピュータで扱う方法についても学んだ(第3部)。最後となる第4部では、システムとしてのコンピュータを対象とし、その構成要素であるハードウェア・ソフトウェアについて学ぶ。特に今回は、記憶装置に焦点をあてる。

★9 コンピュータシステム

第2部 ★4でも考えたように、コンピュータは、様々な構成要素が組み合わさったシステム(☆1)(コンピュータシステム)とみなせる。コンピュータシステムは、CPUやメモリ(主記憶装置)、各種の周辺機器といった物理的な実体をもつもの(ハードウェア(☆2))と、そのコンピュータ上で動作するプログラム(コンピュータに対する命令の集まり)のように実体をもたず情報として存在するもの(ソフトウェア(☆3)(☆4))の両方から成っている。

コンピュータシステムのハードウェアは、コンピュータの中核を成すCPUとメモリ、入出力その他様々な役割をはたす周辺機器などを構成要素としている(図1右)。これらの一部については、以下のように既にこの授業で学んできた。

第2部 ★4 入力, 出力, 補助記憶装置の働きについてごく簡単に

第2部 ★5 & 6 CPUの仕組みとメモリの役割について詳しく

この授業の残りの回では、ハードウェアについてさらに次のことを学ぶ。

第4部 ★10 (今回) メモリと補助記憶をあわせた記憶装置の仕組みについて

第4部 ★12 (予定) コンピュータネットワークの仕組みについて

一方,

コンピュータ ソフトなければ ただの箱

と言われるように、ソフトウェアもコンピュータシステムにとって欠かせないものである。システムを構成するソフトウェアは、次の2つに大きく分類できる(図1左)。

アプリケーションプログラム(☆5) ワードプロセッサや表計算ソフトのように、コンピュータ使用者(ユーザ)の要求に応じて情報を処理するソフトウェア。

オペレーティングシステム(☆6) コンピュータシステムが便利かつ効率よく使えるように、ユーザおよびアプリケーションプログラムとハードウェアの間を仲介するソフトウェア。OSと略す。

オペレーティングシステムに関しては、次回(★11)その概要について学ぶ(☆7)。

☆1) システム [system] (1) 略。(2) 略。(3) [自然科学で] 系。(4) [主に工学で] きわめて多数の構成要素から成る集合体で、各部分が有機的に連繋して、全体として一つの目的を持った仕事をするもの。
けい【系】(1) [自然科学で] 互いに作用し合ったり関連を持ったりする多数の物から成る一まとまり。システム、太陽系、銀河系、座標系。(2) [数学で] その定理から直ちに推論出来る別の定理。(三省堂「新明解国語辞典 第五版」より)

☆2) hardware. この語の本来の意味は、「金物(かなもの)」。

☆3) software. hardware との対比で作られた語。

☆4) プログラムだけでなく、コンピュータシステムが扱う文書、音声や画像などのデジタル情報もソフトウェアに含めることがある。また、近年では、コンピュータとは直接つながりのない書籍や映画など(の内容)もソフトウェアと呼ぶことがある。

☆5) application program. **応用ソフトウェア**ともいう。

☆6) operating system. **基本ソフトウェア**ともいう。

☆7) 2年後期「計算機システムII」で、OSに関するより詳しいことを学べます。

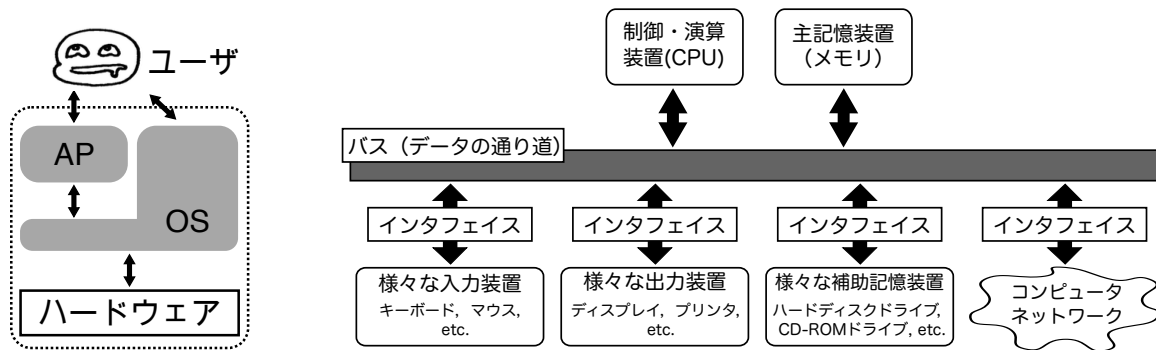


図1 コンピュータシステム. 左は、コンピュータシステム (点線内) を構成するハードウェアおよびソフトウェアとユーザの関係. OS はオペレーティングシステムを, AP はアプリケーションプログラムを表す. 右は、システムを構成するハードウェアの中身 (PC の場合の例).

★ 10 記憶装置

記憶装置 (☆8) は、コンピュータが扱う様々な情報を記憶・記録しておくためのハードウェアである。記憶装置に対して、CPU などが情報の読み出しや書き込みを要求し情報を出し入れすることを、記憶装置に**アクセス** (access) するという。

コンピュータシステムにおける記憶装置の性能は、主として、**アクセス速度** (アクセスに要する時間の長さ、装置とインタフェースの**レイテンシ**や**スループット** (☆9) で決まる) と、記憶容量と価格の比によって評価される。当然、高速で (アクセス時間が短い)、大容量・低価格なものがよいが、一般に高速な記憶装置ほど高価 (より低速な記憶装置と比べると、同じ記憶容量を実現するのに高くつく) である (表1 参照)。そのため、複数種類の記憶装置を組み合わせるシステムを構成する場合はほとんどである。

種類	代表的なアクセス時間	1GiB あたりの価格
半導体メモリ (SRAM)	0.5 から 2.5ns	500 から 1,000 ドル
半導体メモリ (DRAM)	50 から 70ns	10 から 20 ドル
半導体メモリ (フラッシュ)	5 から 50 μ s	0.75 から 1 ドル
磁気ディスク (HDD 等)	5 から 20ms	0.05 から 0.1 ドル

表1 2012 年頃の各種記憶装置のアクセス時間と価格の代表的な値 (☆10)。単位の接頭辞 n は 10^{-9} , μ は 10^{-6} , m は 10^{-3} を表す。磁気ディスクのアクセス時間は DRAM の 10^6 (= 100 万) 倍近い。

例えば、CPU と直接データのやりとりをする**主記憶装置** (☆11) (**メインメモリ**) には、アクセス速度を重視して、高速な**半導体メモリ**が採用されるのが普通である。しかし、半導体メモリは高価なため、それだけで大容量を実現するのは価格面で現実的でない。そのため、低速だけれどもより安価に大容量を得られる**ハードディスクドライブ (HDD)** などが**補助記憶装置** (☆11) として併用される (☆12)。

以下では、記憶装置の性質について説明し、代表的な記憶装置として半導体メモリとハードディスクドライブを紹介する。

☆8) **メモリ** (memory) や **ストレージ** (storage) ともいう。ただし後述のように、メモリは主記憶装置を、ストレージは補助記憶装置をそれぞれ指すこともある。

☆9) 第12回★8.1 参照。

☆10) 「コンピュータの構成と設計 第5版」パターソン&ヘネシー, 日経 BP 社, より。

☆11) 主記憶/補助記憶を一次記憶/二次記憶と呼ぶこともある。

☆12) 補助記憶を併用する理由はこれだけでなく、後述の「揮発性」もからんでいる。

★ 10.1 記憶装置の性質と分類

■**記憶媒体や仕組みの違いによる分類** 記憶装置は、情報をどのような媒体（メディア）に記録するか、どのような方法で読み書きするか、という観点から分類できる。大昔のコンピュータでは、紙テープやパンチカードを媒体とし、穴を開ける／開けないで情報を記録した。近年の記憶装置では、磁気（☆13）や光（☆14）を利用する媒体や、半導体素子などが主に用いられる。記憶装置に用いられる媒体のなかには、記録した情報を何度でも変更できるタイプのものであれば、一度書き込んだら変更できないタイプ（読み出し専用ということで**ROM**(Read Only Memory)と呼ぶことがある)のものもある（☆15）。

■**揮発性** 記憶装置のなかには、記憶した情報を保持しておくためにエネルギー（一般には電力）を継続的に供給しなければならないものがある。エネルギー供給が断たれると（電源を切ると）情報が消えてしまうので、このような記憶装置は**揮発性**（☆16）であるという。対して、エネルギーを使わず記憶を保持できる記憶装置は**不揮発性**であるという。

コンピュータでの作業中の情報が揮発性の主記憶装置にのみ保持されていた場合、停電したり不揮発性の補助記憶に「保存」しないでソフトウェアを終了させたりすると、作業内容が失われてしまうことになる。

■**シーケンシャルアクセスとランダムアクセス** 情報を読み書きする際に、記憶媒体中で位置を逐次移動しながらアクセスしていく方式を**シーケンシャルアクセス**（☆17）といい、媒体中の記録位置によらず任意の場所の情報にアクセスする方式を**ランダムアクセス**（☆18）という。

昔のテープレコーダやビデオのように磁気テープを記憶媒体とした記憶装置では、シーケンシャルアクセスしかできなかった。近年のコンピュータシステムの記憶装置は、ほとんどのものでランダムアクセスが可能となっている（☆19）。

★ 10.2 半導体メモリ

半導体メモリとは、半導体素子を集積した回路で作られた記憶装置である。現代のコンピュータの主記憶装置はほぼ全て半導体メモリである。主記憶装置に用いられる半導体メモリはランダムアクセス可能なものであり、**RAM**(Random Access Memory)と呼ばれることもある。半導体メモリには様々な種類・分類がある。以下に代表的なものをあげる。

■**DRAM**(Dynamic RAM) 小さなコンデンサ（キャパシタともいう）に電荷が貯まっているかどうかで1ビットを記憶する仕組みの半導体メモリ（図2右参照）。揮発性である。電荷を放出することで読み出しを行うので、読み出し操作の後には同じ情報を再度書き込む必要がある。また、何もしなくても時間が経つと放電してしまうので、定期的読み出しと書き込みを行って電荷を補充する**リフレッシュ**という操作も必要になる。そのため、後述のSRAMと比較すると（表1参照）、アクセスが低速で消費電力が大きいのが短所である。その半面、より単純な回路で構成

☆13) 磁気テープや磁気ディスクを媒体とする装置など。ビデオテープレコーダ（いわゆるビデオ）は前者の例、ハードディスクドライブは後者の例。

☆14) 光ディスクを媒体とする装置など。多くの場合、レーザー光を用いて読み書きする。CD(Compact Disc)やDVD(Digital Versatile Disc)、BD(Blu-ray Disc)は光ディスクの例。

☆15) 例えばCDには、ディスク製造時に情報が書き込まれ変更できない通常のもの（音楽CDやCD-ROM）に加え、追記のみできるCD-R、何度も書き換えできるCD-RWがある。

☆16) 英語では「揮発性の」という意味の語 *volatile* を用い、*volatile memory (storage)* という。「不揮発性の」は *non-volatile*。

☆17) *sequential access*

☆18) *random access*

☆19) ただし、ほとんどの記憶装置では、小さな単位ではシーケンシャルアクセスしかできず、擬似的にランダムアクセスを実現している。

☆20) SRAMよりもDRAMの方が同じ面積の回路でより多くのビットを記憶できる。DRAMではコンデンサ1つとスイッチとして働くトランジスタ1つでメモリセル1つを構成できるのに対して、SRAMではセルあたり6個程度のトランジスタが必要となる。

できるので安価に大容量を実現しやすい(☆20)のが長所である。PCの主記憶装置はそのほとんどがDRAMを使っている。図2左に、DRAMでできたメモリチップ(☆21)と、それを封入したメモリIC、それを複数搭載したメモリモジュールの典型例を示す。多くのPCの主記憶装置は、このようなメモリモジュールをマザーボード上の専用スロットに挿入、あるいはメモリICをマザーボードに直接はんだ付けしたものである。

■SRAM(Static RAM) 1ビットを保持できるフリップフロップ(☆22)と呼ばれる論理回路を用いる半導体メモリ。揮発性である。DRAMと比較すると(表1参照)、リフレッシュの必要がないので高速なアクセスが可能で消費電力が小さい点が長所である。一方、容量あたりの単価が高い点が短所である(☆20)。そのためPCでは、CPUのキャッシュメモリ(☆23)などに用いられる(☆24)。

■フラッシュメモリ 不揮発性を特徴とする半導体メモリ。DRAMやSRAMに比べてアクセス速度が遅いので、補助記憶装置に用いられることが多い。近年では、携帯電話・スマートフォンやデジタルカメラ等の携帯情報機器の補助記憶装置として広く普及している(☆25)。また、低価格化が進んだため、ノートPC等のハードディスクドライブ(HDD、後述)を置き換えるSSD(Solid State Drive)と呼ばれる補助記憶装置としても急速に普及しつつある(☆26)。

★ 10.3 ハードディスクドライブ

ハードディスクドライブ(HDD, Hard Disk Drive)は、硬い磁気ディスクを媒体とする記憶装置である(☆27)。図3に描かれているように、プラッタと呼ばれる磁気ディスク(直径3.5および2.5インチのものが主流、1枚から4枚程度取り付けられている)が高速回転(数千から1万5千回転/分程度)し、可動するアームの先端に取り付けられた磁気ヘッドを介して磁性体の磁化方向(N極S極の向き)を読み取る／変化させることで情報の読み書きを行う。半導体メモリと比較すると(表1参照)、容量あたりの単価が安く大容量の記憶装置を実現しやすい点が長所である。一方、可動部が存在するため衝撃に弱い点、アクセス速度が遅い点が短所である。

☆21) 現在のDRAMチップは、1つあたりの容量が4,8,16Giビットのものが多く、

☆22) フリップフロップは、2年前期の「計算機システムI」に登場します。

☆23) CPUが高速にアクセスできるように、主記憶の内容の一部をコピーして保持しておく記憶装置。詳しくは次回。

☆24) PCの基本的な設定情報を保持しておく役割の小容量メモリとしてマザーボードに取り付けられ、電池で内容を保持しているものもある。

☆25) 機器に内蔵のもの、USB接続のもの、小さなカード型等、様々な形態のものがある。

☆26) HDDと比較すると、容量あたりの単価は高いが、(読み出しの)アクセス速度と耐衝撃性の点で優れている。

☆27) 硬い円盤だから「ハードディスク」(hard disk)。金属やガラスでできている。プラスチックの柔らかい円盤「フロッピーディスク」(floppy disk)を用いるフロッピーディスクドライブというものもある。

☆28) 「ED2」と記された図は、「情報機器と情報社会のしくみ素材集」のものを利用してもらって
ます：<http://www.sugilab.net/jk/joho-kiki/>

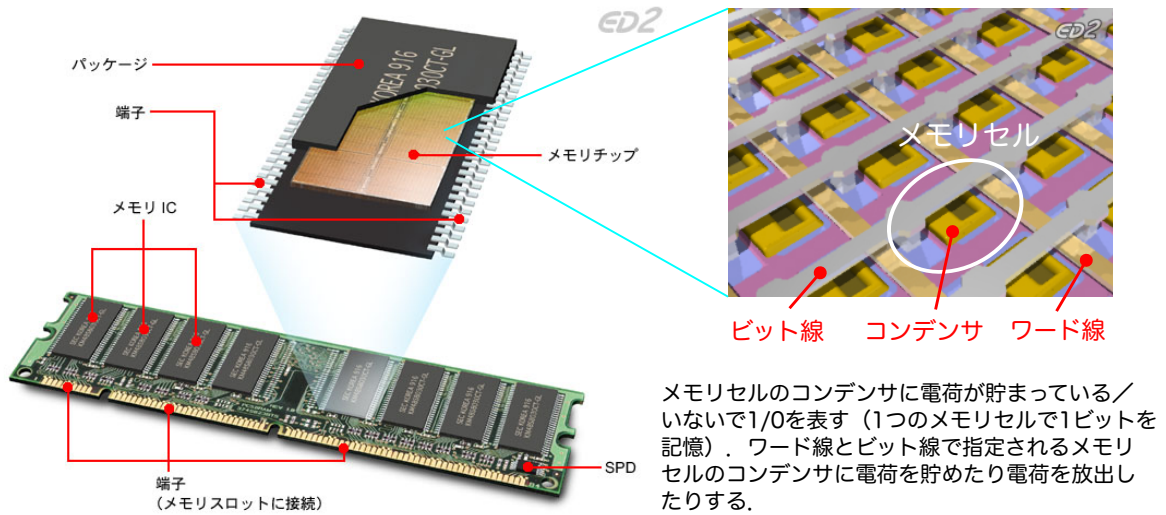


図2 メモリモジュール、メモリ IC とメモリチップ (左), DRAM の仕組み (右) (☆ 28).

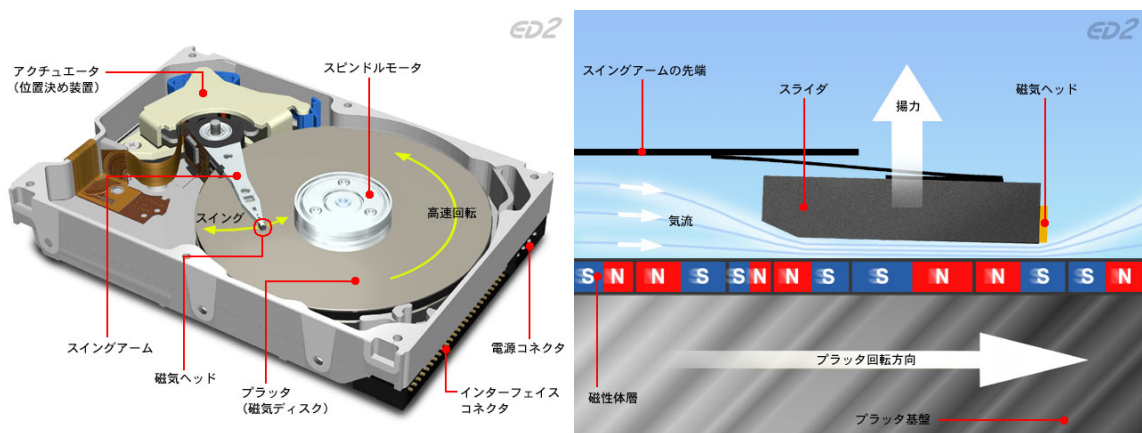


図3 ハードディスクドライブの構造と仕組み (☆ 28). 右図では磁性体がプラッタ面に平行に磁化されるように描かれているが、近年では垂直に磁化させる方式を採用してより記録密度を高めているものが多い。