

# コンピュータ基礎(4)

5章 プロセッサ

## コンピュータの構成要素

- **処理装置 (CPU, プロセッサ)**  
(5章の授業で詳しく説明します)
  - 命令を主記憶装置から読み込んで解釈, 実行する.
  - **演算装置と制御装置**の2つからなる.
  - 四則**演算**や**制御** (条件判断) を行う.
- **記憶装置** (3章, 4章の授業で詳しくやります)
  - **主記憶装置**: メインメモリ. 計算機が動作している間に, 処理途中のデータを一時的に記憶する. 普通, 電源を切ると内容が消えてしまう (揮発性).
  - **補助記憶装置**: ハードディスクなど. 主記憶装置よりも大容量で, 処理結果を長期的に記憶するために用いられる. 電源を切っても内容は消えない (不揮発性).
- **入出力装置** (2章の授業で詳しくやります)
  - パソコンであればマウスやキーボード, ディスプレイ.
  - 家電機器の制御や画面表示なども含む.

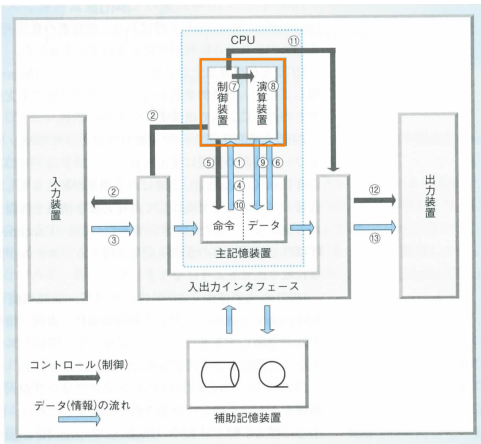
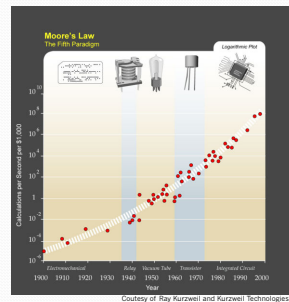


図 1-4B データの流れとコントロールの流れ

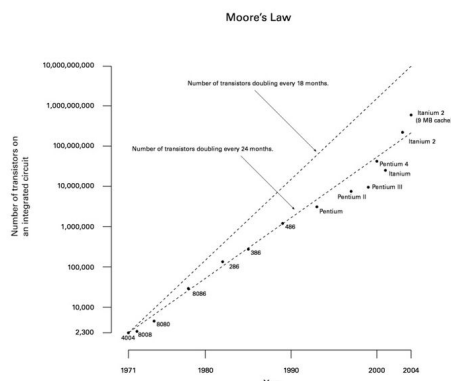
## ムーアの法則

- 集積回路(IC, LSI)のトランジスタの集積密度
  - 18-24ヶ月ごとに倍になる, という経験則
  - インテルの創業者, ゴードン・ムーアが提唱

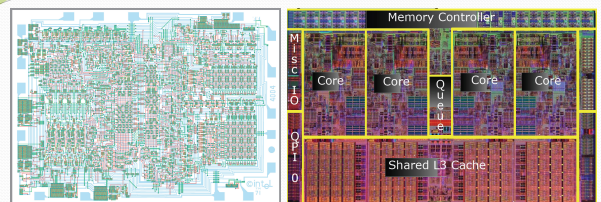


Courtesy of Ray Kurzweil and Kurzweil Technologies, Inc.

## ムーアの法則



## CPUの高集積化



Intel 4004, 1971年  
2300トランジスタ  
動作クロック: 731kHz

Intel Core i7, 2008年  
7億3100万トランジスタ  
動作クロック: 3.33GHz

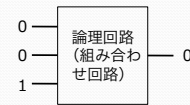
トランジスタ数 318,000倍  
経過年数 37年  
 $2^{(37/2)} \approx 371,000$   
クロック周波数も数千倍に.  
1クロックでできる処理も大幅に違う.

## コンピュータの速度の指標

- **MIPS** (Million instructions per second)
  - 1秒間に、いくつの命令を処理できるか。
  - 100万個単位(million)。
  - 計算機によって、1個の命令の機能が異なるため、MIPSだけで優劣が決まるわけではない。
- **FLOPS**
  - Floating point number Operations Per Second
  - 1秒間に、小数の計算をいくつ実行出来るか。
  - 科学技術計算の能力を測るのに向いている。

## 論理回路とは

- 0と1の入力から出力を決める回路



例：多数決回路（入力のうち0か1の多い方を出力する）

- 論理回路を作るには？
  - どのような部品を使うのか？
  - どのようにして設計するのか？

詳細は、2年前期「論理回路」で学習します。

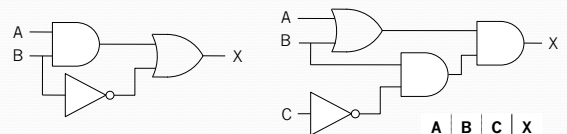
## 基本論理素子

- どんな論理回路でも、この組み合わせで作れる

名前	AND (へこんでいる)	OR (尖っている)	NOT (このマルが重要！)																																				
MIL記号																																							
意味	入力が両方とも1のとき、1を出力	入力のどちらかが1のとき、1を出力	入力の反転 0ならば1, 1ならば0																																				
	<table border="1"> <thead> <tr><th>A</th><th>B</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	X	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table border="1"> <thead> <tr><th>A</th><th>B</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	X	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table border="1"> <thead> <tr><th>A</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	X	0	1	1	0
A	B	X																																					
0	0	0																																					
0	1	0																																					
1	0	0																																					
1	1	1																																					
A	B	X																																					
0	0	0																																					
0	1	1																																					
1	0	1																																					
1	1	1																																					
A	X																																						
0	1																																						
1	0																																						
	$X = A \cdot B$	$X = A + B$	$X = \bar{A}$																																				

## 例題

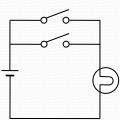
- 以下の論理回路の真理値表を書け。



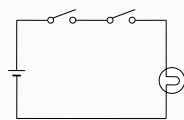
A	B	X
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

A	B	C	X
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

## スイッチ回路



並列つなぎ  
どちらかのスイッチがONなら電球が点灯する  
ORに相当



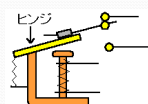
直列つなぎ  
両方のスイッチがONなら電球が点灯する  
ANDに相当

- スwitchのつなぎ方で、ANDとORの機能を作る
  - 他の回路からスイッチをON/OFF出来れば、論理回路を繋いでいくことが出来る  
→ 電気によりON/OFF出来るスイッチの利用

## 基本論理素子の作り方

- リレー（電磁石式のスイッチ）

- 電磁石に電気を流すとスイッチがONになる
- 回路が切れる方もある



オムロンホームページより

- 基本論理素子

- リレーを2つ、直列つなぎにすると、両方をONにしないと電気が流れない・・・ANDの動作
- リレーを2つ、並列つなぎにすると、どちらかがONなら電気が流れる・・・ORの動作
- リレーの回路が切れる側の接点を使うとNOTが作れる
- 実際に、リレーを使ったコンピュータは存在した
  - 1950年代。計算は遅い。
  - 現在はトランジスタに置き換えられている

## その他の論理回路記号

- 記号に付けられた  $\circ$  は反転を表す。  
NANDはANDの反転, NORはORの反転
- NANDかNORのどちらかだけで,  
どんな論理回路でも作ることが出来る

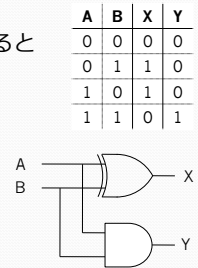
名前																																																
MIL記号																																																
意味	入力が両方とも1のとき, 0を出力	入力のどちらかが1のとき, 0を出力	入力が違えば1を出力 (排他的論理和)																																													
真理値表	<table border="1"> <thead> <tr><th>A</th><th>B</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	X	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1"> <thead> <tr><th>A</th><th>B</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	X	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	<table border="1"> <thead> <tr><th>A</th><th>B</th><th>X</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	X	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	X																																														
0	0	1																																														
0	1	1																																														
1	0	1																																														
1	1	0																																														
A	B	X																																														
0	0	1																																														
0	1	0																																														
1	0	0																																														
1	1	0																																														
A	B	X																																														
0	0	0																																														
0	1	1																																														
1	0	1																																														
1	1	0																																														

## 加算回路(1)

- 筆算の1けた分を考える

$$\begin{array}{r} 0\ 0\ 1\ 1 \\ +\ 0\ 1\ 1\ 0 \\ \hline 1\ 0\ 0\ 1 \end{array}$$

- $0+0=0$
- $0+1=1, 1+0=1$
- $1+1=0$  で, 1繰り上がる
- $A+B=X$  で, 繰り上がり Y とすると
  - X は A と B の XOR
  - Y は A と B の AND
- これを という
  - 下の桁からの繰り上がりを計算できないので, 「半」



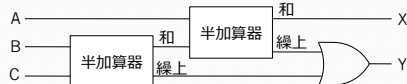
## 加算回路(2)

- 下の桁からのくり上がりを考える

- $0+0+0=0$
- $0+0+1=0+1+0=1+0+0=1$
- $0+1+1, 1+0+1, 1+1+0$  のときはその桁は0で, 1繰り上がる
- $1+1+1$  のときは, その桁は1で, 1繰り上がる

- これを という

- 半加算器を2つ使って作れる



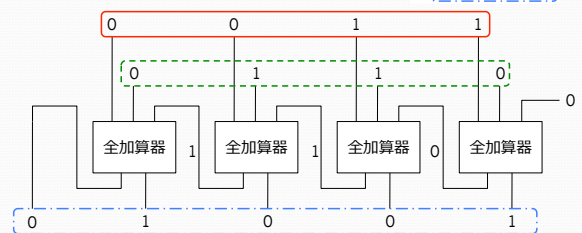
$$\begin{array}{r} 0\ 0\ 1\ 1 \\ +\ 0\ 1\ 1\ 0 \\ \hline 1\ 0\ 0\ 1 \end{array}$$

A	B	C	X	Y
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

## 加算回路(3)

- 筆算の回路を作ることが出来る

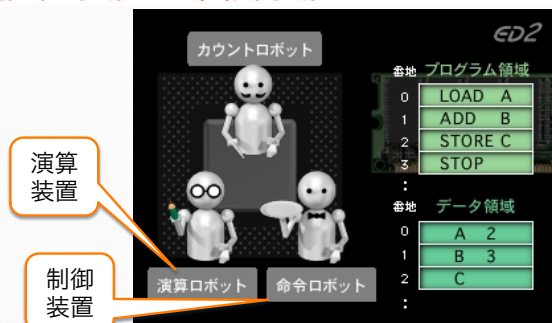
$$\begin{array}{r} 0\ 0\ 1\ 1 \\ +\ 0\ 1\ 1\ 0 \\ \hline 0\ 1\ 0\ 0\ 1 \end{array}$$



- その他の計算

- 引き算: 2の補数 (反転して1を足す) して加算
- 掛け算: シフト (桁ずらし) と加算の繰り返し

## 制御装置と演算装置



- 「計算を行う部分」だけでは, 複雑な処理は出来ない. プログラム (命令) を解釈する部分が必要.

## 命令の読み出し

- 命令アドレスレジスタ (プログラムカウンタ)

- 現在, 実行中の命令がメモリのどこにあるかを常に記憶している, 特別なレジスタ.

- CPUの動作

- [命令取り出し (フェッチ)] 命令アドレスレジスタに記憶されているアドレスから, 命令を読み出す.
- [命令解釈 (デコード)] 命令によって, CPUのどの回路を働かせるかを決める.
- [命令実行] メモリにデータを読み書きしたり, 計算を行ったりする.

## クロックとレジスタ

クロック

計算途中  
結果の  
保存場所  
(レジスタ)



- クロックに合わせて命令の読み込み、解釈、実行が行われる。
- 計算途中結果はCPU内部のレジスタに蓄えられる。

## 記憶階層

重要!!

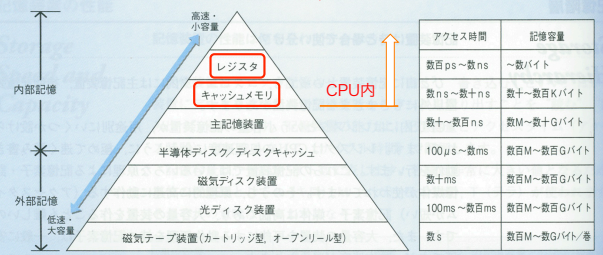


図 3-6 記憶階層の構造と特性

- 大容量のメモリほど遅い
  - 速度と記憶容量の両立のため、階層化されている

## CPUの仕組み

- **制御装置**
  - 主記憶装置から命令を取り出し・解釈して、他の装置(演算装置など)を動作させる
- **演算装置**
  - 四則演算、論理演算、大小比較などを行う。
- **レジスタ**
  - 計算の途中結果や、処理対象のデータが主記憶装置のどこにあるか(データのアドレス)を記憶する。
  - CPU内部に設けられ、非常に高速だが小容量。
- **クロック**
  - 計算機の動作のタイミングを取る信号。
- **バス**
  - 計算機外部とデータのやりとりをする信号線。

## 命令の仕組み



- **命令部**
  - 命令の種類を数値で表す。例えば、メモリからデータを読み出すのが 0x10, メモリへのデータの書き出しが 0x20, 足し算が 0x30, 引き算が 0x40 など。
- **アドレス部**
  - データを読んだり書いたりする対象のメモリのアドレスを表す。
  - 命令によっては、計算する値そのものだったり、レジスタの番号だったりもする。

## CPUの動作と命令

- **命令とは?**
  - 高級言語(例えばC言語)で作ったプログラムをコンパイルすると、実行ファイルができる。この中身は、CPUが直接解釈できる命令(機械語)である。
  - 機械語は、それぞれの単純な命令が二進数で表されている。
  - 変数名などの「名前」は全て、数値に置き換えられている。
    - int a, b, c; とすると、a, b, c という変数に対応するメモリの番地(アドレス:例えば 100, 104, 108)が決められる。
    - 例えば、C言語のプログラムで c = a + b; とすると、次のような機械語命令が作られる。
      - 100番地からデータを読み出してレジスタに入れる。
      - 104番地からデータを読み出してレジスタの値に加える。
      - レジスタの値を108番地に格納する。

## CPUの入出力制御

- 計算機の手信号線をバスと呼ぶ
  - CPUと直接つながっているもの: 内部バス。CPUと、メモリや入出力装置をつなぐ。それ以外は外部バス。
  - パソコンに内蔵する拡張カードの端子をシステムバスと呼ぶ。共通規格化されている。
- **パラレルインタフェースとシリアルインタフェース**
  - **パラレル(並列)インタフェース**: 複数の信号線で同時にデータを送る。
    - 8bitのデータなら、8本の信号線で送るなど。
    - 例: PCI, SCSI, GP-IB, ATA など。
  - **シリアル(直列)インタフェース**: 1本の信号線に1bitずつ順次送る。最近では高速化が著しい。
    - 例: RS-232C, USB, IEEE1394, Serial-ATA など(有線)
    - IrDA(赤外線), Bluetooth(電波)なども。