これまでの復習 (前期中間試験に向けて)

山本昌志*

2004 年 5 月 31 日

1 CASL II とは

- コンピューター内部では、データと命令は 0 と 1 の 2 進数で表現されます。たとえば、加算命令 (足し算) は、00100000000100000000000000001010 です (教科書 p.1)。これを機械語といいます。
- これは、覚えるのも大変なので、この命令を人間にわかり易くする工夫が考えられました。0 と 1 の機械語の代わりに、ADDA GR1, ADDRES と、表記するようにしたのです (教科書 p.1)。これがアセンブラ言語です。
- 実際のコンピューターの動作は機械語なので、アセンブラ言語は、アセンブラーと言うプログラムで、機械語に変換します。
- 高級言語、たとえば FORTRAN とアセンブラ言語には、大きな違いがあります。高級言語の 1 個の命令をコンパイルしてマシン語に変換すると、それは数多くのマシン語から構成されます。一方、アセンブラ言語をアセンブルすると、1 個の機械語になります。即ち、アセンブラ言語は機械語と 1 対 1 の対応があります。
- アセンブラ言語は CPU の動作を指示するものとも言えます。したがって、CPU の種類によりそのアセンブラ言語は異なります。
- 基本情報技術者試験でも、アセンブラ言語があります。その場合、CPU 毎に試験をしていたのでは、大変です。そこで、仮想のアセンブラ言語、CASL II が考えられました。このアセンブラ言語が動作する仮想のハードウェアーを COMET II といいます。

2 チューリング機械とノイマン型コンピューター

- チューリング機械は、図 1 のような構造をしています。そして、その動作は、次の通りです。
  - 書き換え可能な無限に長いテープと、オートマトンと言われる移動可能な機械からできている。
  - テープには、いろいろな記号が書かれている。

*国立秋田工業高等専門学校　電気工学科

– オートマトンには、テープの内容を読み書き可能なヘッドと内部状態を記憶する装置、テープの任意の位置に移動する装置から構成されている。
– オートマトンの動作 (テープの読み書き) や移動は、今の場所のテープの記号と内部状態により決まる。

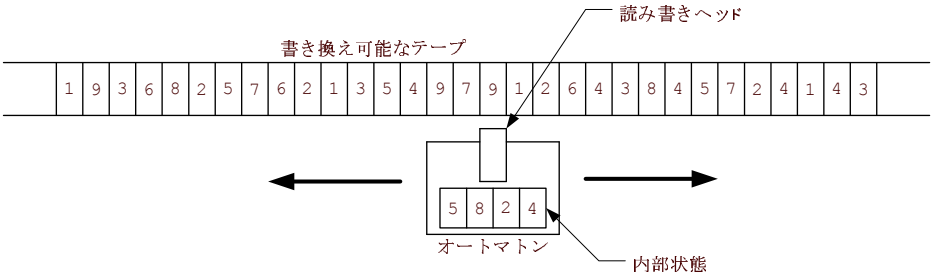


図 1: チューリング機械

- この単純なチューリング機械で、ほとんどあらゆる計算ができます。計算できない問題もあるようですが、これはここの講義のレベルを超えます。
- このチューリング機械を実際に実現させたものが、ノイマン型コンピューターです。その特徴は、以下の通りです。
  – 1 次元的に並んだメモリーがあり、そこにプログラム (命令) もデータも格納される。メモリーの内容は、自然数の番地で参照できる。
  – メモリーに格納されたプログラム (命令) とデータの見かけ上の区別はない。プログラムをデータとして見ることも、データをプログラムとしてみることもできる。

3 基数の変換 (2, 10, 16 進数)

- いろいろな数の表記方法があります。N 進数の場合、次のように N 個の底で数を表現します。

  2 進数　$0, 1$
  10 進数　$0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$
  16 進数　$0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \mathrm{A}, \mathrm{B}, \mathrm{C}, \mathrm{D}, \mathrm{E}, \mathrm{F}$

- 桁上がりは、2 進数の場合 1 の次で 10 に、10 進数の場合 9 の次で 10 に、16 進数の場合 F の次で 10 になります。
- 我々が通常用いている数の表現の意味は、次の通りです。数字の並ぶ順序が重要です。これを「位取り記数法」と言います。

$$(1905)_{10} = (1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 5 \times 10^0)_{10}$$

- 基数の変換 (2 → 10 進数)。通常の位取り記数法が理解できれば、簡単です。

$$
\begin{aligned}
(1101)_2 &= (1 \times 10^{11} + 1 \times 10^{10} + 0 \times 10^1 + 1 \times 10^0)_2 \\
&= (1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0)_{10} \qquad \leftarrow \text{普通はここから計算} \\
&= (8 + 4 + 0 + 1)_{10} \qquad \leftarrow \text{ここから計算しても良い} \\
&= (13)_{10}
\end{aligned}
$$

- 2 進数の各桁の 10 進数の値 (重み) を覚えておくと便利です。

$$1,\ 2,\ 4,\ 8,\ 16,\ 32,\ 64,\ 128,\ 256,\ 512,\ 1024,\ 2048,\ 4096$$

- 基数の変換 (10→2 進数)。2 で割った余りを並べます。変換方法の例を、以下に示します。
$(19)_{10} = (10011)_2$,　$(2003)_{10} = (11111010011)_2$ です。

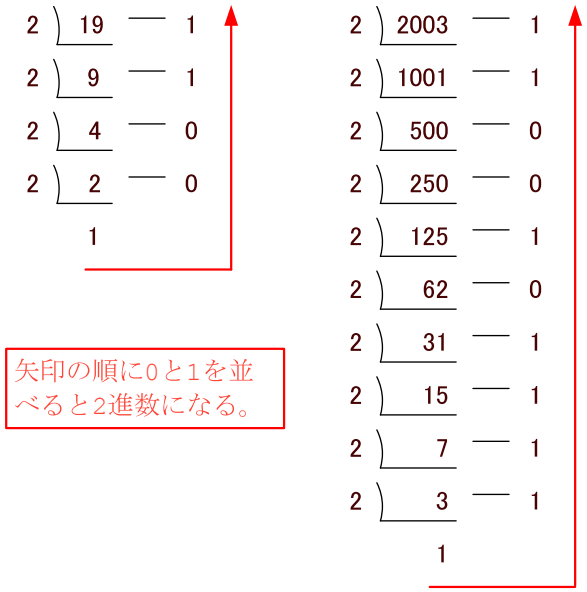
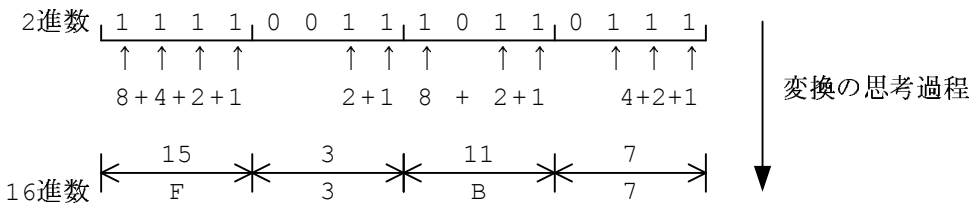


図 2: 10 進数から 2 進数への変換方法。

- 基数の変換 (16→10 進数)。これも、2 進数と同じです。

$$
\begin{aligned}
(376)_{16} &= (3 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 6 \times 10^0)_{16} \\
&= (3 \times 16^2 + 7 \times 16^1 + 6 \times 16^0)_{10} \\
&= (3 \times 256 + 7 \times 16 + 6 \times 1)_{10} \\
&= (886)_{10}
\end{aligned}
$$

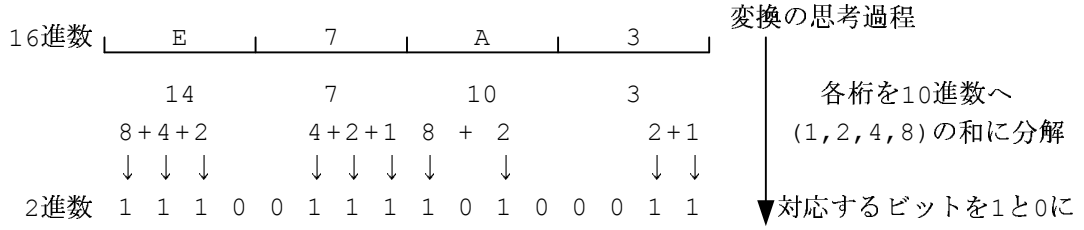
- 基数の変換 (2 → 16 進数)。2 進数の各桁を、最小桁から 4 桁ずつ区切り、それぞれを 16 進数に変換します。



$$(1111001110110111)_2 = (F3B7)_{16}$$

図 3: 2 進数から 16 進数への変換方法。

- 桁数が合わない場合は、先頭に必要なだけゼロを書き足して考えます。例えば、$(101100)_2 = (00101100)_2 = (2C)_{16}$ となります。
- 基数の変換 (16→2 進数)。16 進数の各桁を (1, 2, 4, 8) の和に展開して、それぞれのビットに対応させます。



$$(E7A3)_{16} = (1110011110100011)_2$$

図 4: 16 進数から 2 進数への変換方法。

- 基数の変換 (10→16 進数)。2 つの方法があります。
  1. 一旦、2 進数へ変換した後、16 進数へ変換する。　← おすすめ
  2. 16 で割って、その余りが各桁になる。

4 負の数の表現

- COMET II では、負の整数は 2 の補数で表現されます。メモリーの中に、16 ビットで格納されます。
- 負の数を 2 の補数で表現する手順は、以下の通りです。

  ① 負の数の絶対値を 2 進数で表現して、ビット反転する。

② +1 加算

[例]$(-18)_{10}$ は、COMET II の内部、16 ビットの 2 の補数は、$(1111111111101110)_2$ と表されます (メモリーへの格納状態)。

$(-18)_{10}$	0000000000010010	←	18 の 2 進数表現 (16 ビット)
	1111111111101101	←	ビット反転
	1111111111101110	←	+1 加算

- 2 の補数を使うと、以下の有利な点があります。
  - 負の数の加算が通常の加算器で出来る。
  - 加算の場合の負の数、あるいは減算は、①2 の補数に変換して、②加算器による加算を行う。減算器を作るより、この方が回路が簡単になる。

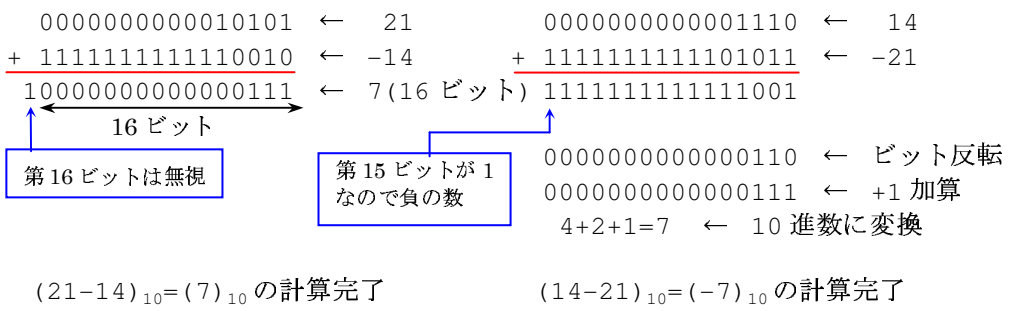


図 5: 補数を使った計算

- 2 の補数を求める手順 (①ビット反転 ②+1 加算) は、コンピューター内部表現では、$\times(-1)$ と同じです。
- COMET II の符号付き整数
  - 正の数は 16 ビット 2 進数でそのままの表現です。一方、負の数は 2 の補数を使います。正か負かの判断は、最上位のビットで判断します。最上位の第 15 ビットが 0 ならば正、1 であれば負です。
  - 最上位のビットが符号を表すため、絶対値は残りのビットで表すことになります。したがって、表現可能な整数は-32768〜32767 です。

正の整数の最大値	$(0111111111111111)_2 = (2^{15}-1)_{10} = (32767)_{10}$
負の整数の絶対値の最大値	$(1000000000000000)_2 = (2^{15})_{10} = (32768)_{10}$

- COMET II の符号無し整数
  - 正の数は 16 ビット 2 進数でそのままの表現です。一方、負の数を表すことはできません。

– 正の整数は、16 ビットのパターンが 2 進数と同じです。したがって、表現可能な整数は 0〜65535 です。

$$\text{最小値} \quad (0000000000000000)_2 = (0)_{10}$$
$$\text{最大値} \quad (1111111111111111)_2 = (2^{16} - 1)_{10} = (65535)_{10}$$

5 COMET II の文字の取り扱い

- 数値と異なり、文字にはそれぞれ、番号をつけて区別します (コード化)。文字とそれに対応する番号は、規格 JIS X0201 ラテン文字・片仮名用 8 単位符号で決まっています。
- この番号は、8 ビットなので、最大 256 文字しか使えません。数字とアルファベットと片仮名と記号を表すのであれば十分です。漢字は、使えません。
- COMET II の 1 ワード 16 ビットに対して、文字は 8 ビットしか使いません。COMET II では 1 ワードで 1 文字を表すため、16 ビットのうち上位 8 ビットは 0 として、下位 8 ビットで 1 文字分を表します。例えば、アルファベットの Yama を表す場合、Y は $(59)_{16}$、a は $(61)_{16}$、m は $(6D)_{16}$、という番号がついているので、COMET のメモリーには、次のように格納されます。ただし、アドレスの実際の割り当ては、OS が決めます。

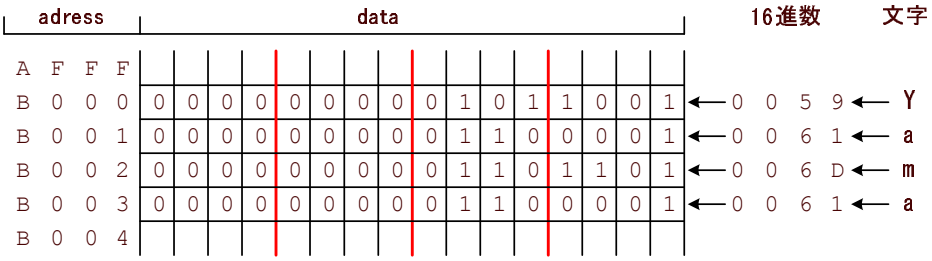


図 6: 文字列”Yama”のメモリーへの格納

- 数値と文字では、メモリーの中身は異なります。例えば、数値の $(9)_{10}$ と文字の”9”は、以下のようになります。文字の”9”は、JIS X0201 では、$(39)_{16}$ です (図 7)。

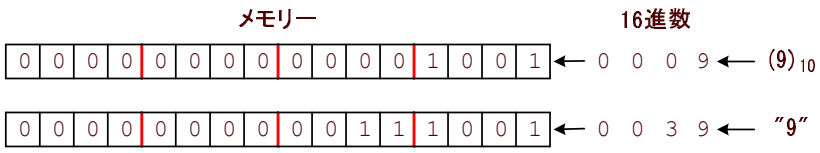


図 7: 数値の $(9)_{10}$ と文字”9”のメモリーへの格納

- メモリーの中身を見ると、それが数値なのか文字なのか、判断できません。命令毎に数値を扱うのか、文字を扱うのか決まっています。

6　主記憶装置とレジスタ

- COMET II では、16 ビットを 1 ワード (1 語) と言い、この単位でデータの処理をします。
- 主記憶装置 (メインメモリ) には、1 ワード (16 ビット) 毎にアドレスがついています。アドレスも 16 ビットです。
- コンピューターのプログラムは、データと命令から構成されます。この命令とデータは、実行時に主記憶装置 (メインメモリ) に格納されます。
- レジスタもデータなどを蓄えるので、主記憶装置同様、メモリの一種です。しかし、それぞれ、役割が異なります。主記憶装置は、いろいろなデータ (命令もデータの一種と考える) を蓄えるファイルキャビネットのようなものです。一方、レジスタは、実際に CPU がデータを加工するときに一時的に記憶する場所です。
- CPU と主記憶装置は、図 8 のような関係です。CPU は主記憶装置のアドレスを指定することにより、主記憶装置に格納されているデータを引き出します。そして、それはレジスタに記憶され、その中身に従い、処理されます。処理された結果ももちろん、レジスタに記憶されます。レジスタの中身を主記憶装置に戻すことにより、データの加工が完了します。

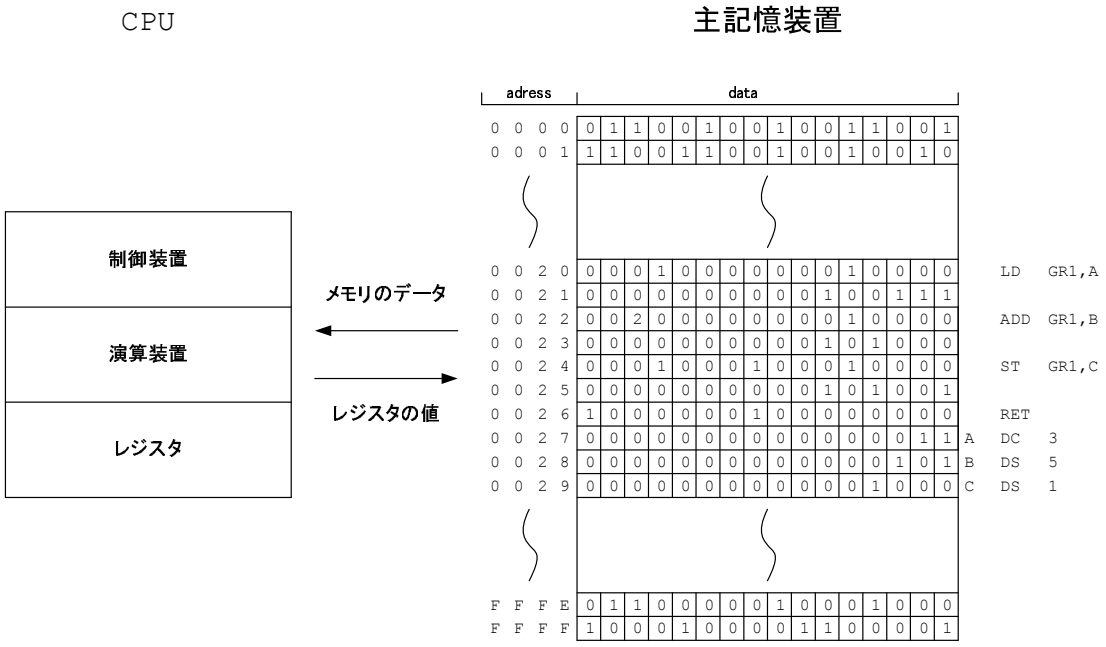


図 8: CPU と主記憶装置の関係

- COMET II のレジスタを表 1 にまとめておきます。

表 1: CASL II のレジスタ

記号	語源	日本語	機能
GR	General Register	汎用レジスタ	計算等に用いる。また GR1〜GR7 は指標レジスタとしても使われる。
SP	Stack Pointer	スタックポインタ	スタック領域の最上段のアドレスを保持する。
PR	Program Register	プログラムレジスタ	次に実行する命令のアドレスを保持する
FR	Flag Register	フラグレジスタ	演算結果の状態を保持する

  - 汎用レジスター
    - 計算等に主に用いられる。
    - 16 ビットのレジスターが 8 個 (GR0〜GR8) ある。
  - スタックポインター
    - スタック領域 (主記憶装置で CPU が記憶場所として使うことができる領域) の最上段のアドレスを格納している。
    - 16 ビットのレジスターが 1 個ある。
  - プログラムレジスター
    - 次に実行する命令のアドレスを格納している。
    - 16 ビットのレジスターが 1 個ある。
  - フラグレジスター
    - 計算結果などの状態を格納している。
    - 3 個の 1 ビットのレジスターがある。

      OF　計算結果がオーバーフローしたとき等、1 が設定される。
      SF　計算結果が負 (第 15 ビットが 1) のとき等に、1 が設定される。
      ZF　計算結果がゼロ (全てのビットが 0) とき等に、1 が設定される。

- 指標レジスターと言うものもあります。
  - 汎用レジスターの GR1〜GR7 が、兼ねます。専用のハードウェアーは無いということです。
  - アドレスをオフセットするときに使います。