電子計算機 **3E**

3E　2003.6.16

本日の授業のテーマ

今までの学習内容をまとめます。

(1) CASL II とは
(2) 基数の変換(2, 10 ,16 進数)
(3) 負の整数の表現
(4) COMET II の文字の取り扱い
(5) 主記憶装置とレジスタ

本日の授業のゴールは、以下のとおり。

- 高級言語、アセンブラ言語、機械語の関係がわかる。
- CASL II と COMET II の関係がわかる。
- 2, 8, 10 ,16 進数の整数の相互の変換ができる。
- 負の数の表現方法が理解できる。
- COMET II の文字の扱いが理解できる。
- コンピュータの基本構造が理解できて、その動作が分かる。
- 主記憶装置のアドレスとデータが理解できる。
- レジスタの動作が理解できる。

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、覚えるのも大変だし、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 個のマシン語になります。即ち、アセンブラ言語はマシン後と 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 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、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, A, B, C, D, E, 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。

$$(1905)_{10}=(1\times10^3+9\times10^2+0\times10^1+5\times10^0)_{10}$$

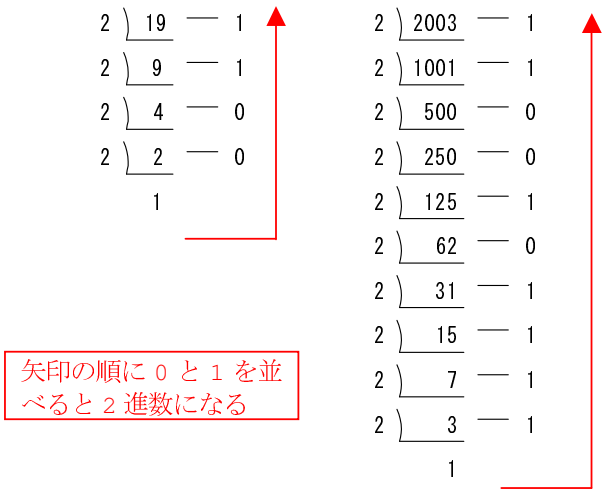
・基数の変換(2→10 進数)。通常の位取り記数法が理解できれば、簡単です。

$$\begin{aligned}(1101)_2 &=(1\times10^{11}+1\times10^{10}+0\times10^1+1\times10^0)_2\\ &=(1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0)_{10} \quad \leftarrow \text{普通はここから計算}\\ &=(8+4+0+1)_{10}\\ &=(13)_{10}\end{aligned}$$

・2 進数の各桁の 10 進数の値を覚えておくと便利です。

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

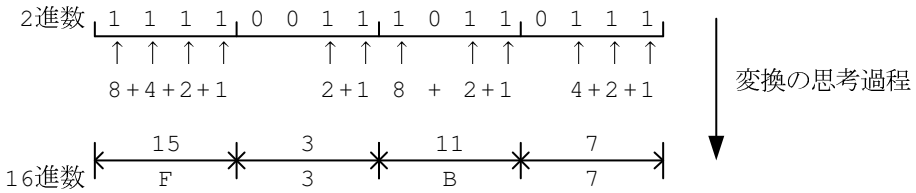
・基数の変換(10→2 進数)。2 で割った余りを並べます。変換方法の例を、以下に示します。$(19)_{10}=(10011)_2$、$(2003)_{10}=(11111010011)_2$ です。



・基数の変換(16→10 進数)。これも、2 進数と同じです。

$$
\begin{aligned}
(376)_{16} &= (3\times10^{2}+7\times10^{1}+6\times10^{0})_{16} \\
&= (3\times16^{2}+7\times16^{1}+6\times16^{0})_{10} \\
&= (3\times256+7\times16+6\times1)_{10} \\
&= (886)_{10}
\end{aligned}
$$

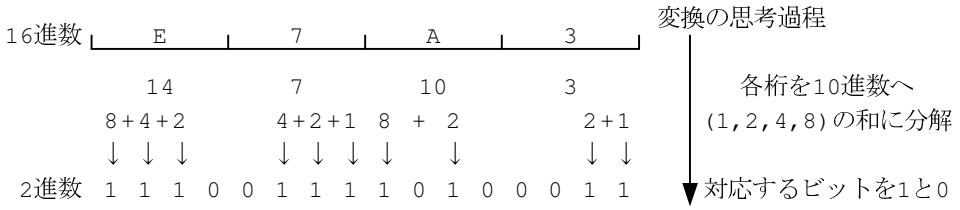
・基数の変換(2→16 進数)。2 進数の各桁を、最小桁から 4 桁ずつ区切り、それぞれを 16 進数に変換します。



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

・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、$(101100)_2=(00101100)_2$ として計算します。

・基数の変換(16→2 進数)。16 進数の各桁を(1, 2, 4, 8)の和に分けて、それぞれのビットに対応させます。



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

・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
②16 で割って、その余りが各桁になる。

3 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。

・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 ビット表での 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
	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。
・正の数の減算をする場合、① 2 の補数に変換して、② 加算器による加算で可能となる。減算器を作るより、この方が回路が簡単になる。

［例］ $(21-14)_{10}$ と $(14-21)_{10}$ を加算器(8 ビット)を使って計算する。

```
  0000000000010101  ←  21          0000000000001110  ←  14
+ 1111111111110010  ← -14        + 1111111111101011  ← -21
  10000000000000111  ←  7(16 ビット) 1111111111111001
```

16 ビット

第 16 ビットは無視

第 15 ビットが 1 なので負の数

```
0000000000000110  ← ビット反転
0000000000000111  ← +1 加算
 4+2+1=7   ← 10 進数に変換
```

$(21-14)_{10}=(7)_{10}$ の計算完了　　$(14-21)_{10}=(-7)_{10}$ の計算完了

・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、×(-1)と同じです。

・COMET II 内部では、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、COMET II で表すことのできる整数は、−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	$(1000000000000000)_2=(2^{15})_{10}=(32768)_{10}$

4 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。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 ビットで表現します。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。

adress	data	16進数	文字
A F F F			
B 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 0 0 1	← 0 0 5 9	← Y
B 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1	← 0 0 6 1	← a
B 0 0 2	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 1	← 0 0 6 D	← m
B 0 0 3	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1	← 0 0 6 1	← a
B 0 0 4			

・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。

メモリー	16進数	
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1	← 0 0 0 9	← $(9)_{10}$
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1	← 0 0 3 9	← "9"

・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。

5 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。

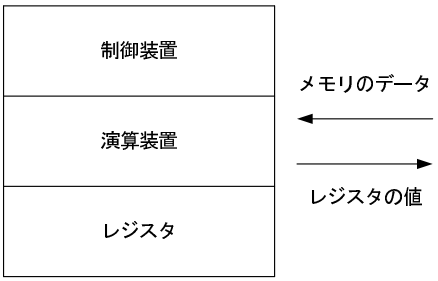
・主記憶装置(メインメモリ)には、1 ワード(16 ビット) 毎にアドレスがついています。アドレスも 16 ビットです。

・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。

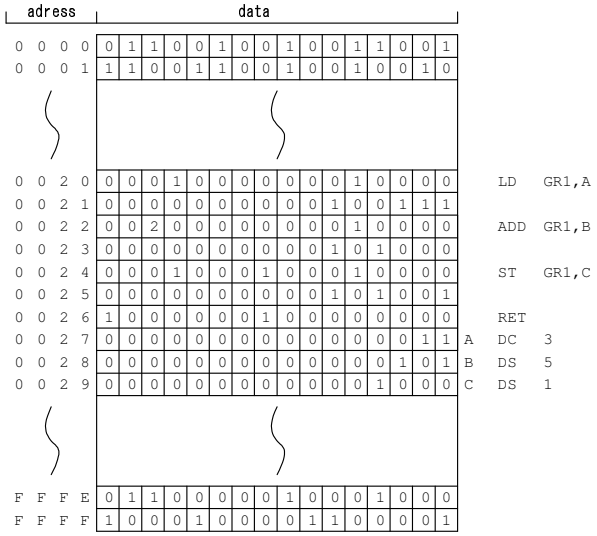
・レジスタもデータなどを蓄えるので、主記憶装置同様、メモリの一種です。しかし、それぞれ、役割が異なります。主記憶装置は、いろいろなデータ(命令もデータの一種と考える)を蓄えるファイルキャビネットのようなものです。一方、レジスタは、実際に CPU がデータを加工するときに一時的に記憶する場所です。

・CPU と主記憶装置は、下図のような関係です。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。

CPU



主記憶装置



・COMET II のレジスタを下表にまとめておきます。

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
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
PR	Program Register	プログラムレジスタ	次に実行される命令のアドレスを保持
FR	Flag Register	フラグレジスタ	演算結果の状態を保持