説明用の簡易モデルに於ける計算の実行

予め

- 主記憶にプログラム・データを
- PC に実行開始番地 (通常 0 番地) を

それぞれ書き込んでおいて、

パルスを発生させると動作する。

プログラム・データ: bit 列 (**機械語**)

説明用の簡易モデルの機械語:

命令の符号化 (encoding)

命令	番号	符号化
stop	1	001
load	2	010
store	3	011
add	4	100
subtract	5	101
jump	6	110
jump flag	7	111

例: $87 + 26$ を計算する

	番地	機械語 二進	機械語 十六進	アセンブリ言語	
0	00000	01000100	0x44	load	A
1	00001	10000101	0x85	add	B
2	00010	01100110	0x66	store	C
3	00011	00100000	0x20	stop	0
4	00100	01010111	0x57	A	87
5	00101	00011010	0x1a	B	26
6	00110	00000000	0x00	C	0

アセンブリ言語 (assembly language):
機械語と一対一対応する符丁 (ニーモニック) で
プログラムを記述したもの

アセンブラ (assembler):
アセンブリ言語で記述されたプログラムを
機械語に直すプログラム

$\longrightarrow$ **CPU のアーキテクチャによって**
それぞれ異なる (互換性がない)

例: A と B とを入れ替える

```
0 |    load   A
1 |    store  C
2 |    load   B
3 |    store  A
4 |    load   C
5 |    store  B
6 |    stop   0
7 | A  15
8 | B  5
9 | C  0
```

例: $C \leftarrow \max\{A, B\}$

```
 0 |    load       A
 1 |    subtract   B
 2 |    jump flag  M
 3 |    load       A
 4 |    jump       N
 5 | M  load       B
 6 | N  store      C
 7 |    stop       0
 8 | A  5
 9 | B  7
10 | C  0
```

例: 15×3 を計算する

```
 0 | LOOP  load        B
 1 |       subtract    D
 2 |       jump flag   END
 3 |       store       B
 4 |       load        C
 5 |       add         A
 6 |       store       C
 7 |       jump        LOOP
 8 |  END  stop        0
 9 |    A  15
10 |    B  3
11 |    C  0
12 |    D  1
```

演習問題:

簡易モデル上でのアセンブリ言語により、
自然数 n に対して、
1 から n までの和を計算する
プログラムを作成せよ。

- **実行前 (入力): ラベル `A` の場所に**
  数値 n が書き込まれている
- **実行後 (出力): ラベル `C` の場所に**
  計算結果の数値が書き込まれている

$\longrightarrow$ 出来たら提出

プログラム (アルゴリズム) の評価

- **計算時間が速い**
  (= 計算ステップ数が少ない)
  · · · 時間計算量
- **使用メモリ量が少ない　· · · 空間計算量**

最低限どれだけ必要か

⟶ “問題の難しさ” の評価

· · · 計算の理論・計算量の理論

演習問題:
簡易モデル上でのアセンブリ言語により、
自然数 n に対して、
1 から n までの和を計算する
プログラムを作成せよ。

- **実行前 (入力): ラベル `A` の場所に**
  数値 n が書き込まれている
- **実行後 (出力): ラベル `C` の場所に**
  計算結果の数値が書き込まれている

- **メモリ量: 12 words**
- **ステップ数: $7n + 5$ steps**

まで絞れるようだ。$\longrightarrow$ 挑戦者求む

但し。初期のプログラム開発では、確かに

- **少しでも使用メモリが少ない**
- **少しでも早い (ステップ数が少ない)**

プログラムが良いとされたが、

現在は、実際には、

- **移植性 (可搬性)・拡張性・部品性が高い**
- **保守・管理コストが低い**

プログラムが求められている。

- **ハードウェアコストの低下**
- **人的コストの (相対的) 上昇**

例: $S \leftarrow \sum_{i=0}^{N-1} A_i$ を計算する

0	LOOP	load	N
1		subtract	D
2		jump flag	END
3		store	N
4		load	SUM
5	ADD	add	A
6		store	SUM
7		load	ADD
8		add	D
9		store	ADD
10		jump	LOOP
11	END	stop	0

12	N	5
13	D	1
14	SUM	0
15	A	6
16		37
17		-23
18		25
19		-3

0	load	12	01001100	12	5
1	subtract	13	10101101	13	1
2	jump flag	11	11101011	14	0
3	store	12	01101100	15	6
4	load	14	01001110	16	37
5	add	15	10001111	17	-23
6	store	14	01101110	18	25
7	load	5	01000101	19	-3
8	add	13	10001101		
9	store	5	01100101		
10	jump	0	11000000		
11	stop	0	00100000		

PC: 00000= 0 **Acc:** --------= **FR:** -

0	load	12	01001100	12	4
1	subtract	13	10101101	13	1
2	jump flag	11	11101011	14	0
3	store	12	01101100	15	6
4	load	14	01001110	16	37
5	add	15	10001111	17	-23
6	store	14	01101110	18	25
7	load	5	01000101	19	-3
8	add	13	10001101		
9	store	5	01100101		
10	jump	0	11000000		
11	stop	0	00100000		

PC: 00100= 4 **Acc:** 00000100= 4 **FR:** 0

0	load	12	01001100	12	4
1	subtract	13	10101101	13	1
2	jump flag	11	11101011	14	6
3	store	12	01101100	15	6
4	load	14	01001110	16	37
5	add	15	10001111	17	-23
6	store	14	01101110	18	25
7	load	5	01000101	19	-3
8	add	13	10001101		
9	store	5	01100101		
10	jump	0	11000000		
11	stop	0	00100000		

PC: 00111= 7 **Acc:** 00000110= 6 **FR:** 0

0	load	12	01001100
1	subtract	13	10101101
2	jump flag	11	11101011
3	store	12	01101100
4	load	14	01001110
5	add	16	10010000
6	store	14	01101110
7	load	5	01000101
8	add	13	10001101
9	store	5	01100101
10	jump	0	11000000
11	stop	0	00100000

12	4
13	1
14	6
15	6
16	37
17	-23
18	25
19	-3

PC: 01010= 10 **Acc:** 10010000=-112 **FR:** 1

0	load	12	01001100	12	4
1	subtract	13	10101101	13	1
2	jump flag	11	11101011	14	6
3	store	12	01101100	15	6
4	load	14	01001110	16	37
5	add	16	10010000	17	-23
6	store	14	01101110	18	25
7	load	5	01000101	19	-3
8	add	13	10001101		
9	store	5	01100101		
10	jump	0	11000000		
11	stop	0	00100000		

PC: 00000= 0 **Acc:** 10010000=-112 **FR:** 1

0	load	12	01001100	12	3
1	subtract	13	10101101	13	1
2	jump flag	11	11101011	14	6
3	store	12	01101100	15	6
4	load	14	01001110	16	37
5	add	16	10010000	17	-23
6	store	14	01101110	18	25
7	load	5	01000101	19	-3
8	add	13	10001101		
9	store	5	01100101		
10	jump	0	11000000		
11	stop	0	00100000		

PC: 00100= 4 **Acc:** 00000011= 3 **FR:** 0

0	load	12	01001100	12	3
1	subtract	13	10101101	13	1
2	jump flag	11	11101011	14	43
3	store	12	01101100	15	6
4	load	14	01001110	16	37
5	add	16	10010000	17	-23
6	store	14	01101110	18	25
7	load	5	01000101	19	-3
8	add	13	10001101		
9	store	5	01100101		
10	jump	0	11000000		
11	stop	0	00100000		

PC: 00111= 7 **Acc:** 00101011= 43 **FR:** 0

こうして、

loop の 2 巡目に

次の場所のデータを読むことに成功した。

以下略。

しかし、この方法では、
プログラム部分を書き換えてしまうため、
プログラミングし難い。
(面倒で、間違い易く、読み難い。)

$\longrightarrow$ 実機では、
指標レジスタ (index register) を使って
計算が行なえるように実装するのが普通。

指標レジスタ (index register)

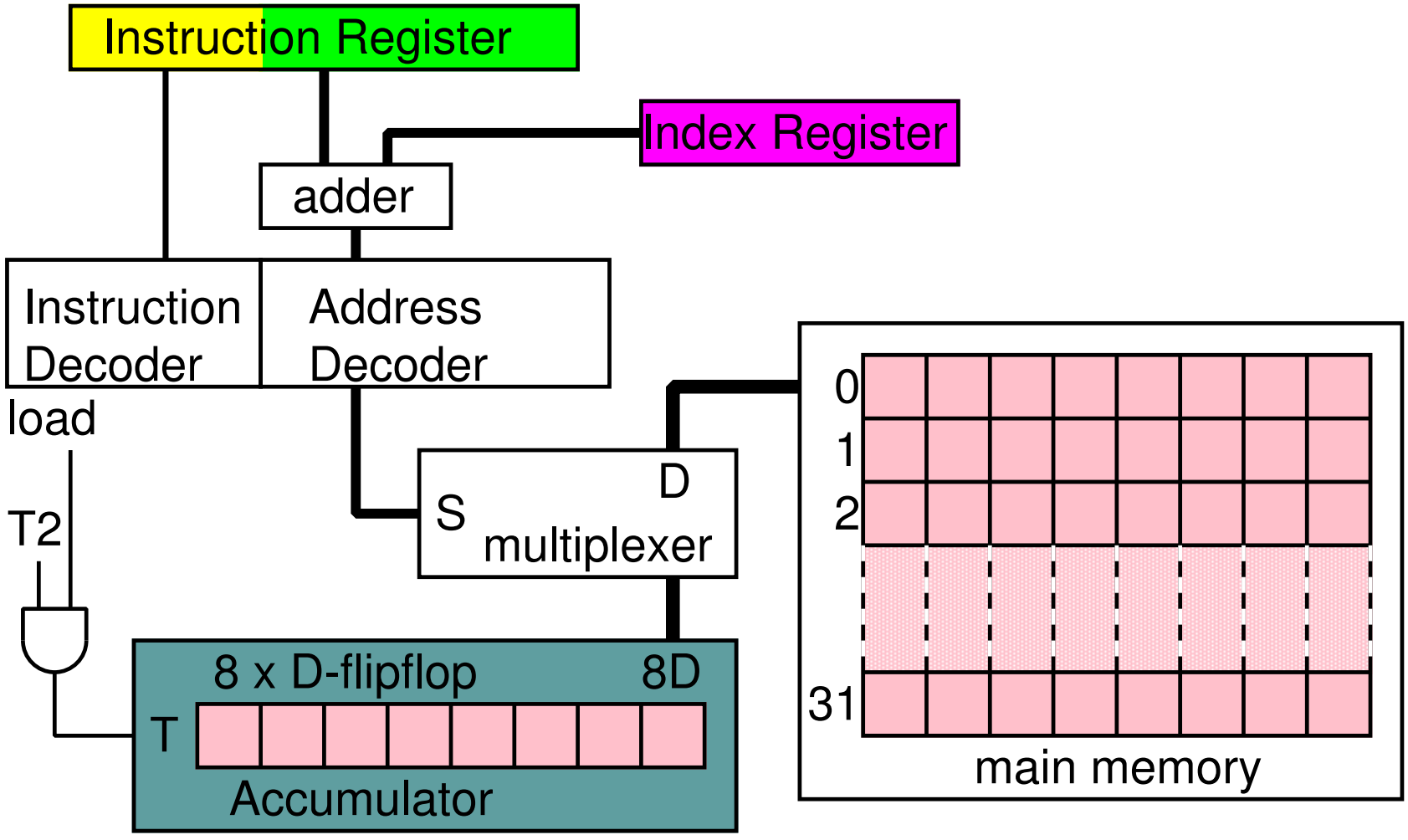
命令の番地部の解読の際に、

ここの値を加算して、

実際に読む番地 (実効アドレス) とする

$\longrightarrow$ **「配列」の実装**

指標レジスタ (index register)



ともかく、これが出来ると、例えば、

N 個のデータを別の場所にコピーする
プログラム

が書ける。

(レポート課題の例)

更に

- **データを次々と書き込んで**
  メモリを一杯にする
- **自分自身の複製を別の場所に作る**
- **更にその複製に実行を移して**
  自分自身の複製を繰返す

などのプログラムも作れる。

(但し、この簡易モデルでは、
機能限定なので書き難いかも)

とは言え、

こんな簡易モデルでも結構色々出来るので、

遊んでみて下さい。

計算の理論

命令の実行 (＝「計算」) とは、

レジスタまたは主記憶の
現在の値 (状態) に従って、

その値を変更 (書込) すること

であった。

プログラム内蔵方式 (von Neumann 型) では、プログラム・データを区別なくメモリ上に置いていたが、やはり本質的に違うもの。

- **プログラム: 一つの問題では固定**
- **データ: 可変な入力**

どんな (有効な) データ (入力) が来ても、
所定の出力を返すことが要請される。

或る問題の「計算が可能」

$\Updownarrow$

その計算を行なうプログラムが存在

$\Downarrow$

計算機の機能 (＝ 「計算」のモデル)
を決めて議論する

ここでは、代表的な「計算のモデル」を
幾つか紹介する。