

制御系模擬用プログラム

富 田 昇
福 山 忠 男

Digital Simulation Program

Noboru Tomita
Tadao Fukuyama

This simulation program is written for the purpose of analyzing the control system. Several computing blocks which are similar to the computing elements of the analog computer are provided in this program and the digital computer is operated like an analog computer for the actual calculations.

The results of calculations can be obtained by putting in the data which specify the configuration of the control system in about 5 to 10 minutes.

1. ま え が き

ディジタル計算機も速度が速くなり、いろいろな計算が実用的になってきた。このプログラムはディジタル計算機でアナログ計算機のように制御系の計算をするために書いたもので、アナログ計算機以上とはいえないまでも、かなり有役だと思われる。アナログ計算機におけるスケール変換、パッチング等の必要がなく、系を示すデータを入れるだけで計算結果が得られるようになっている。演算方式はアナログ計算機と似ていて、演算要素（加減乗除、微分、積分等）がプログラムの中で作られており、入力データによってそれ等を結んで系を構成し、計算を行う。入力データを変える事でいろいろな系が構成されるし、今までのように一々プログラムを書かねばならなかった煩わしさがなくなった。

アナログ計算機と比較してみると、利点として

- (1) データだけで系が構成できる。……………アナログ計算機では、パッチ板上で結線せねばならぬ。
- (2) スケール変換の必要がない。……………アナログ計算機では、演算電圧が適当な範囲に入るように原式を書き直さねばならない。
- (3) 係数の大小、正負が自由にとれる。
- (4) 乗除算、平方根、指数関数等が簡単にでき、精度がよい。
- (5) アナログ計算機では容易に作れない要素がディジタル計算機では作れる。

欠点としては、アナログ計算機とは逆に、

- (1) 計算中に係数の変更が任意にできない。
- (2) 計算速度が速くなったとはいえ、くり返し計算を要する問題では時間がかかる。

以下、このプログラムの計算方法、データの記入法と計算結果について述べる。プログラムはFORTRANで書かれている。

2. 計算方式について

幾つかの演算要素の計算式と計算機内部での系の演算方法について述べる。

2-1. 計算式

以下使用する文字は、 ΔT : 計算ピッチ, x_n, x_{n-1} : 入力変数, y_n, y_{n-1} : 出力変数。

(1) 1次遅れ

以前、報文で述べた方法で、入力を2つに分けてそれぞれの出力を求め、その和を出力とする。

$$y_n = y_{n-1} + (x_n - x_{n-1})A + (x_{n-1} - y_{n-1})B$$

$$\text{ここで、} A = 1 - \frac{T_c}{\Delta T} B, B = 1 - e^{-\frac{\Delta T}{T_c}}$$

T_c : 時定数

(2) 積分

$$y_n = y_{n-1} + \frac{(x_n + x_{n-1})\Delta T}{2}$$

(3) 微分

$$y_n = \frac{(x_n - x_{n-1})}{\Delta T}$$

(4) P I 動作調節計

$$x_{1n} = x_{1n-1} + \frac{(x_n + x_{n-1})\Delta T}{2T_I}$$

$$y_n = K_P(x_n + x_{1n})$$

(5) P I D 動作調節計

$$x_{1n} = x_{1n-1} + \frac{(x_n + x_{n-1})\Delta T}{2T_I}$$

$$y_n = K_P \left\{ x_n + \frac{T_D(x_n - x_{n-1})}{\Delta T} + x_{1n} \right\}$$

ここで K_P : 調節計のゲイン

T_I : // 積分時間

T_D : // 微分時間

2-2. 演算方法

計算機内部での演算は、まず、最初の要素に入力値が与えられるとその出力値を計算し、2番目の要素の入力として入れる。2番目の要素の出力値が計算されると、3番目の要素の入力として入れてやる。このようにして次々と行い、最後の要素まで一通り計算が終ると、1ピッチ進めて再び最初の要素から計算を始める、という方法である。このやり方は系が前向の場合には問題はないが、フィードバックを含むとき（制御系は殆んどそうだが）は $e^{-\Delta T/s}$ という無駄時間を入れて計算していることになる。つまり、フィードバック点に戻ったときには既に計算が行われた後になり、その値は次の計算のときにしか使用されず、1ピッチ (ΔT) だけ無駄時間の入った計算になる。そのため、このプログラムでは系の中にフィードバックが含まれているかどうかを判定し、含まない場合は1回だけの計算とし、含む場合は3~4回くり返し計算をして修正した後、1ピッチ進めるようにしている。

誤差を調べるのに \sin, \cos を発生させてみたが、かなりの精度で計算されており、数表と比べても5桁目で違う程度である。(例1参照)

精度については実用上差支えないと思う。

データを入れる準備としては、一応問題をブロック線図に書き、要素、入出力変数、計算順序を決めねばならぬ。必要なデータ、およびその入れ方については次節に述べる。

3. データの記入

例題を挙げ、データ記入の方法および計算結果を記す。

3-1. 例題

(1) 例1. (Fig. 1)

Example 1. Generation of the sinusoidal wave.

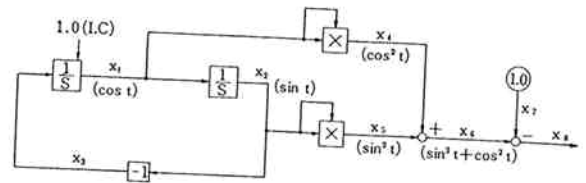


Fig. 1

$\sin t, \cos t$ の発生と $\sin^2 t + \cos^2 t$ を計算する。計算ピッチは0.005, 計算時間は20sec まで。

(2) 例2. (Fig. 2)

制御系の計算で、調節計のゲインと積分時間をつぎの2通りで行う。

1回目 $K=1.5 \quad T_I=8.0$

2回目 $K=2.0 \quad T_I=6.0$

計算ピッチは0.01, 計算時間は40sec まで。

Example 2. Simulation of the control system.

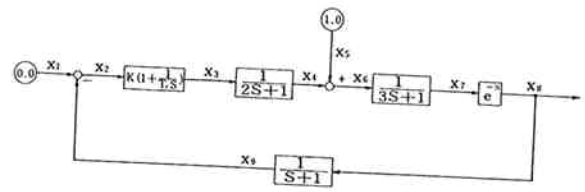


Fig. 2

3-2. データの記入

Table 1, Table 2. は例1, 2 の入力データである。データ用紙の主な項について説明する。

(1) メインシート

要素数……使用する要素の全数量を記入。

プリント番号……プリントしたい変数の番号を記入する。(6個まで)

変更………係数(ゲイン, 時定数等)を変えて、くり返し計算する場合は1を記入する。この場合は変更用データシートに変更値を書かねばならぬ。

終了サイン………最後の問題のデータシートに、-1を記入する。

要素番号……計算順序に従って要素番号を記入する。演算要素とその番号については、Table 3. を参照の事。

入力1………要素に入る変数の番号を記入。

入力2………加減乗除等のように2つの入力のある場合に記入。

出力………要素から出る変数の番号を記入。

出力初期値……要素の初期値を記入。ただし、0.0
の場合は記入不要。

時定数, 無駄時間, ゲイン等……要素により必要な
ものを記入する。

(2) 変更用シート

メインシートの変更の欄に1が記入された場合は、係
数を変更するという事なので、この変更用シートに変更
値を記入する。

番地……メインシートの縦および横の番号で変更

する係数の場所を示す。

変更値……変更値を記入。

変更終了サイン……変更が終りの場合-1を記入す
る。変更を続ける場合は何も書かなくて
よい。

Table 4, Table 5. は例1, 2の計算結果である。計
算に要した時間は例1で3分, 例2で1回の時間が2分
であった。

Table 1 Input data of example 1.

入力データシート

年	月	日	問題番号	要素数	計算ピッチ	計算時間									
1970	2	18	1	8	0.005	20.0									
プリント番号			プリント間隔		変更	終了サイン									
1	2	6	8	0.5											
要素番号	入力1	入力2	出力	出力初期値	(1) 時定数	(2) 無駄時間	(3) ゲイン	(4) 積分時間	(5) 微分時間	(6) ON-OFF 切替点	(7) ON-OFF 上限値	(8) ON-OFF 下限値	(9) べき乗		
(1)	8	3		1	1.0	.	.	.	.	.	.	.	.
(2)	8	1		2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
(3)	4	2		3	.	.	-1.0	.	.	.	.	.	.
(4)	11	1	1	4	1.0	.	.	.	.	.	.	.	.
(5)	11	2	2	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.
(6)	2	4	5	6	1.0	.	.	.	.	.	.	.	.
(7)	30			7	1.0	.	.	.	.	.	.	.	.
(8)	1	6	7	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.
(9)					.	.	.	.	.	.	.	.	.
(10)					.	.	.	.	.	.	.	.	.
(11)					.	.	.	.	.	.	.	.	.
(12)					.	.	.	.	.	.	.	.	.
(13)					.	.	.	.	.	.	.	.	.
(14)					.	.	.	.	.	.	.	.	.

Table 2 Input data of example 2.

入力データシート														
年	月	日	問題番号	要素数	計算ピッチ	計算時間								
			2	9	0.01	40.0								
プリント番号			プリント間隔	変更	終了サイン									
8	2	3	4	6	7	1.0	1	-1						
要素番号	入力1	入力2	出力	出力初期値	① 時定数	② 無駄時間	③ ゲイン	④ 積分時間	⑤ 微分時間	⑥ ON-OFF 切替点	⑦ ON-OFF 上限値	⑧ ON-OFF 下限値	⑨ べき乗	
①	30			5	1.0	.	.	.	.	.	.	.	.
②	2	5	4	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.
③	3	6		7	.	3.0	.	.	.	.	.	.	.
④	5	7		8	.	.	1.0	.	.	.	.	.	.
⑤	3	8		9	.	1.0	.	.	.	.	.	.	.
⑥	30			1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
⑦	1	1	9	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
⑧	6	2		3	.	.	.	1.5	8.0	.	.	.	.
⑨	3	3		4	.	2.0	.	.	.	.	.	.	.
⑩					.	.	.	.	.	.	.	.	.
⑪					.	.	.	.	.	.	.	.	.
⑫					.	.	.	.	.	.	.	.	.
⑬					.	.	.	.	.	.	.	.	.
⑭					.	.	.	.	.	.	.	.	.

変更用データシート									
番地	変更地	変更値	番地	変更地	変更値	番地	変更地	変更値	変更終了サイン
8	3	2.0	8	4	6.0				-1
		.			.			.	
		.			.			.	
		.			.			.	
		.			.			.	
		.			.			.	
		.			.			.	
		.			.			.	
		.			.			.	
		.			.			.	
縦	横		縦	横		縦	横		

Table 3 Computing blocks and numbers.

1	減算 $y = x_A - x_B$	
2	加算 $y = x_A + x_B$	
3	1次遅れ	
4	ゲイン(係数) $y = K \cdot x$	
5	無駄時間	
6	PI調節計	
7	PID調節計	
8	積分	
9	微分	
10	ON-OFF $x > x_0 \quad y = x_H$ $x \leq x_0 \quad y = x_L$	
11	掛算 $y = x_A \cdot x_B$	
12	割算 $y = x_A / x_B$	
13	べき乗 $y = x^K$	<p>($x, x_A > 0$である事)</p>
14	べき乗 $y = (x_A)^{x_B}$	
15	正弦 $y = \sin x$	
16	余弦 $y = \cos x$	
17	自然対数 $y = \log_e x$	
18	常用対数 $y = \log_{10} x$	
19	指数関数 $y = e^x$	
20	絶対値 $y = |x|$	
21	平方根 $y = \sqrt{x}$	
22	逆正接 $y = \tan^{-1} x$	
30	常数	

Table 4 Result of example 1.

PROBLEM NO. 1 1970, 2.18

TIME	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)
0.00	0.10000E 01	0.00000E 00	0.10000E 01	0.00000E 00
0.50	0.87759E 00	0.47942E 00	0.10000E 01	0.38147E-05
1.00	0.54031E 00	0.84147E 00	0.10000E 01	0.47684E-05
1.50	0.70753E-01	0.99749E 00	0.10000E 01	0.95367E-06
2.00	-0.41613E 00	0.90931E 00	0.10000E 01	0.57220E-05
2.50	-0.80113E 00	0.59849E 00	0.10000E 01	0.66757E-05
3.00	-0.98999E 00	0.14115E 00	0.10000E 01	0.28610E-05
3.50	-0.93647E 00	-0.35075E 00	0.10000E 01	0.57220E-05
4.00	-0.65368E 00	-0.75678E 00	0.10000E 01	0.66757E-05
4.50	-0.21084E 00	-0.97752E 00	0.10000E 01	0.38147E-05
5.00	0.28362E 00	-0.95894E 00	0.10000E 01	0.57220E-05
5.50	0.70863E 00	-0.70558E 00	0.10000E 01	0.76294E-05
6.00	0.96016E 00	-0.27947E 00	0.10000E 01	0.57220E-05
6.50	0.97660E 00	0.21506E 00	0.10000E 01	0.38147E-05
7.00	0.75395E 00	0.65694E 00	0.10000E 01	0.89831E-05
7.50	0.34671E 00	0.93798E 00	0.10000E 01	0.66757E-05
8.00	-0.14542E 00	0.98937E 00	0.10000E 01	0.38147E-05
8.50	-0.60195E 00	0.79854E 00	0.10000E 01	0.76294E-05
9.00	-0.91110E 00	0.41220E 00	0.10000E 01	0.66757E-05
9.50	-0.99718E 00	-0.75058E-01	0.10000E 01	0.38147E-05
10.00	-0.83913E 00	-0.54394E 00	0.10000E 01	0.66757E-05
10.50	-0.47563E 00	-0.87965E 00	0.10000E 01	0.57220E-05
11.00	0.43175E-02	-0.99999E 00	0.10000E 01	0.57220E-05
11.50	0.48321E 00	-0.87551E 00	0.10000E 01	0.95367E-06
12.00	0.84379E 00	-0.53667E 00	0.10000E 01	0.47684E-05
12.50	0.99779E 00	-0.66445E-01	0.10000E 01	0.47684E-05
13.00	0.90740E 00	0.42005E 00	0.10000E 01	0.95367E-06
13.50	0.59503E 00	0.80371E 00	0.10000E 01	0.47684E-05
14.00	0.13687E 00	0.99059E 00	0.10000E 01	0.47684E-05
14.50	-0.35479E 00	0.93495E 00	0.10000E 01	0.19073E-05
15.00	-0.75959E 00	0.65040E 00	0.10000E 01	0.38147E-05
15.50	-0.97842E 00	0.20662E 00	0.10000E 01	0.57220E-05
16.00	-0.95771E 00	-0.28775E 00	0.10000E 01	0.28610E-05
16.50	-0.70252E 00	-0.71167E 00	0.10000E 01	0.38147E-05
17.00	-0.27533E 00	-0.96135E 00	0.10000E 01	0.66757E-05
17.50	0.21927E 00	-0.97567E 00	0.10000E 01	0.47684E-05
18.00	0.66019E 00	-0.75111E 00	0.10000E 01	0.38147E-05
18.50	0.93947E 00	-0.34265E 00	0.10000E 01	0.66757E-05
19.00	0.98873E 00	0.14969E 00	0.10000E 01	0.57220E-05
19.50	0.79593E 00	0.60539E 00	0.10000E 01	0.38147E-05
20.00	0.40826E 00	0.91287E 00	0.10000E 01	0.76294E-05
			0.10000E 01	0.66757E-05

Table 5 Result of example 2.

PROBLEM NO. 2 1970, 2.18

TIME	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(7)
0.00	0.00000E 00	0.00000E 00	0.00000E 00	0.00000E 00	0.10000E 01	0.00000E 00
1.00	0.00000E 00	0.00000E 00	0.00000E 00	0.00000E 00	0.10000E 01	0.28351E 00
2.00	0.28351E 00	-0.10915E 00	-0.17131E 00	-0.27598E-01	0.97240E 00	0.48431E 00
3.00	0.48431E 00	-0.29715E 00	-0.49122E 00	-0.15061E 00	0.84939E 00	0.60664E 00
4.00	0.60664E 00	-0.46471E 00	-0.81470E 00	-0.35477E 00	0.64523E 00	0.64635E 00
5.00	0.64635E 00	-0.57329E 00	-0.10759E 01	-0.59411E 00	0.40589E 00	0.61051E 00
6.00	0.61051E 00	-0.60978E 00	-0.12427E 01	-0.82256E 00	0.17744E 00	0.51762E 00
7.00	0.51762E 00	-0.57840E 00	-0.13080E 01	-0.10050E 01	-0.49934E-02	0.39252E 00
8.00	0.39252E 00	-0.49493E 00	-0.12841E 01	-0.11217E 01	-0.12166E 00	0.26072E 00
9.00	0.26072E 00	-0.38143E 00	-0.11943E 01	-0.11684E 01	-0.16844E 00	0.14374E 00
10.00	0.14374E 00	-0.26086E 00	-0.10756E 01	-0.11543E 01	-0.15428E 00	0.56097E-01
11.00	0.56097E-01	-0.15282E 00	-0.95196E 00	-0.10967E 01	-0.96669E-01	0.42888E-02
12.00	0.42888E-02	-0.70728E-01	-0.84930E 00	-0.10170E 01	-0.16955E-01	-0.12687E-01
13.00	-0.12687E-01	-0.20817E-01	-0.78249E 00	-0.93545E 00	0.64549E-01	-0.15376E-02
14.00	-0.15376E-02	-0.25307E-02	-0.75679E 00	-0.86844E 00	0.13154E 00	0.27703E-01
15.00	0.27703E-01	-0.10073E-01	-0.76894E 00	-0.82600E 00	0.17400E 00	0.64134E-01
16.00	0.64134E-01	-0.34525E-01	-0.80961E 00	-0.81148E 00	0.18852E 00	0.98101E-01
17.00	0.98101E-01	-0.66081E-01	-0.86633E 00	-0.82256E 00	0.17749E 00	0.12262E 00
18.00	0.12262E 00	-0.95960E-01	-0.92642E 00	-0.85264E 00	0.14736E 00	0.13403E 00
19.00	0.13403E 00	-0.11773E 00	-0.97926E 00	-0.89330E 00	0.10670E 00	0.13188E 00
20.00	0.13188E 00	-0.12790E 00	-0.10177E 01	-0.93586E 00	0.64134E-01	0.11833E 00
21.00	0.11833E 00	-0.12594E 00	-0.10388E 01	-0.97314E 00	0.126865E-01	0.97209E-01
22.00	0.97209E-01	-0.11364E 00	-0.10429E 01	-0.10003E 01	-0.94618E-03	0.72930E-01
23.00	0.72930E-01	-0.94371E-01	-0.10336E 01	-0.10155E 01	-0.45453E-01	0.49612E-01
24.00	0.49612E-01	-0.72098E-01	-0.10158E 01	-0.10190E 01	-0.18989E-01	0.30386E-01
25.00	0.30386E-01	-0.50539E-01	-0.99491E 00	-0.10134E 01	-0.13385E-01	0.17045E-01
26.00	0.17045E-01	-0.32563E-01	-0.97566E 00	-0.10020E 01	-0.19693E-02	0.10032E-01
27.00	0.10032E-01	-0.19855E-01	-0.98142E 00	-0.98839E 00	0.11606E-01	0.86504E-02
28.00	0.86504E-02	-0.12880E-01	-0.95394E 00	-0.97596E 00	0.24042E-01	0.11406E-01
29.00	0.11406E-01	-0.11054E-01	-0.95585E 00	-0.96696E 00	0.33040E-01	0.16433E-01
30.00	0.16433E-01	-0.13059E-01	-0.96765E 00	-0.96256E 00	0.37439E-01	0.21912E-01
31.00	0.21912E-01	-0.17227E-01	-0.96765E 00	-0.96283E 00	0.37166E-01	0.26377E-01
32.00	0.26377E-01	-0.21914E-01	-0.97835E 00	-0.96699E 00	0.33014E-01	0.28892E-01
33.00	0.28892E-01	-0.25776E-01	-0.98863E 00	-0.97368E 00	0.26316E-01	0.29102E-01
34.00	0.29102E-01	-0.27947E-01	-0.99694E 00	-0.98141E 00	0.18587E-01	0.27163E-01
35.00	0.27163E-01	-0.28062E-01	-0.10024E 01	-0.98878E 00	0.11220E-01	0.23608E-01
36.00	0.23608E-01	-0.26252E-01	-0.10048E 01	-0.99474E 00	0.52595E-02	0.19163E-01
37.00	0.19163E-01	-0.22971E-01	-0.10045E 01	-0.99871E 00	0.12894E-02	0.14578E-01
38.00	0.14578E-01	-0.18866E-01	-0.10023E 01	-0.10005E 01	-0.94550E-03	0.10487E-01
39.00	0.10487E-01	-0.14611E-01	-0.99902E 00	-0.10006E 01	-0.56171E-03	0.73217E-02
40.00	0.73217E-02	-0.10785E-01	-0.99565E 00	-0.99925E 00	0.75150E-03	0.52571E-02

PROBLEM NO.	2	1970. 2. 18	HENKOO (5)-(3)	2.000	(6)-(4)	6.000
TIME	X(8)	X(2)	X(3)	X(4)	X(6)	X(7)
0.00	0.00000E 00	0.00000E 00	0.00000E 00	0.00000E 00	0.10000E 01	0.00000E 00
1.00	0.00000E 00	0.00000E 00	0.00000E 00	0.00000E 00	0.10000E 01	0.28351E 00
2.00	0.28351E 00	-0.10915E 00	-0.23179E 00	-0.37203E -01	0.96280E 00	0.48351E 00
3.00	0.48351E 00	-0.29700E 00	-0.67489E 00	-0.20544E 00	0.79456E 00	0.59751E 00
4.00	0.59751E 00	-0.46173E 00	-0.11322E 01	-0.46915E 00	0.51085E 00	0.61301E 00
5.00	0.61301E 00	-0.55844E 00	-0.14979E 01	-0.42438E 00	0.17562E 00	0.53429E 00
6.00	0.53429E 00	-0.56841E 00	-0.17081E 01	-0.11399E 01	-0.13986E 00	0.38419E 00
7.00	0.38419E 00	-0.49446E 00	-0.17595E 01	-0.13759E 01	-0.37589E 00	0.19792E 00
8.00	0.19792E 00	-0.35796E 00	-0.16080E 01	-0.14956E 01	-0.49564E 00	0.14368E -01
9.00	0.14368E -01	-0.18781E 00	-0.13607E 01	-0.14900E 01	-0.48996E 00	-0.13223E 00
10.00	-0.13223E 00	-0.21583E -01	-0.10626E 01	-0.13762E 01	-0.37617E 00	-0.21881E 00
11.00	-0.21881E 00	0.11098E 00	-0.78127E 00	-0.11913E 01	-0.19134E 00	-0.23693E 00
12.00	-0.23693E 00	0.18932E 00	-0.57286E 00	-0.98255E 00	0.17451E -01	-0.19279E 00
13.00	-0.19279E 00	0.20602E 00	-0.47189E 00	-0.79603E 00	0.20397E 00	-0.10429E 00
14.00	-0.10429E 00	0.16678E 00	-0.48686E 00	-0.66803E 00	0.33197E 00	0.39318E -02
15.00	0.39318E -02	0.87788E -01	-0.60161E 00	-0.61842E 00	0.38158E 00	0.10629E 00
16.00	0.10629E 00	-0.87804E -02	-0.78142E 00	-0.64869E 00	0.35131E 00	0.18158E 00
17.00	0.18158E 00	-0.99957E -01	-0.98234E 00	-0.74378E 00	0.25622E 00	0.21673E 00
18.00	0.21673E 00	-0.16674E 00	-0.11612E 01	-0.87711E 00	0.12289E 00	0.20854E 00
19.00	0.20854E 00	-0.19749E 00	-0.12845E 01	-0.10174E 01	-0.17379E -01	0.16309E 00
20.00	0.16309E 00	-0.18939E 00	-0.13338E 01	-0.11355E 01	-0.13546E 00	0.93461E -01
21.00	0.93461E -01	-0.14798E 00	-0.13080E 01	-0.12103E 01	-0.21030E 00	0.16184E -01
22.00	0.16184E -01	-0.85035E -01	-0.12214E 01	-0.12319E 01	-0.23192E 00	-0.52537E -01
23.00	-0.52537E -01	-0.15404E -01	-0.10988E 01	-0.12024E 01	-0.20281E 00	-0.10008E 00
24.00	-0.10008E 00	0.46376E -01	-0.96969E 00	-0.10452E 01	-0.13393E 00	-0.11957E 00
25.00	-0.11957E 00	0.89017E -01	-0.86120E 00	-0.10452E 01	-0.45205E -01	-0.11061E 00
26.00	-0.11061E 00	0.10681E 00	-0.17931E 00	-0.95679E 00	0.43209E -01	-0.78616E -01
27.00	-0.78616E -01	0.98270E -01	-0.77462E 00	-0.88680E 00	0.11320E 00	-0.33006E -01
28.00	-0.33006E -01	0.69444E -01	-0.80377E 00	-0.84746E 00	0.15254E 00	0.15137E -01
29.00	0.15137E -01	0.28553E -01	-0.86910E 00	-0.84327E 00	0.15673E 00	0.55541E -01
30.00	0.55541E -01	-0.14563E -01	-0.95308E 00	-0.87103E 00	0.12897E 00	0.80743E -01
31.00	0.80743E -01	-0.50659E -01	-0.10364E 01	-0.92139E 00	0.78607E -01	0.87276E -01
32.00	0.87276E -01	-0.73063E -01	-0.11023E 01	-0.98149E 00	0.18512E -01	0.75906E -01
33.00	0.75906E -01	-0.78707E -01	-0.11394E 01	-0.10379E 01	-0.37907E -01	0.50969E -01
34.00	0.50969E -01	-0.68306E -01	-0.11435E 01	-0.10797E 01	-0.79714E -01	0.19077E -01
35.00	0.19077E -01	-0.45781E -01	-0.11177E 01	-0.11002E 01	-0.10017E 00	-0.12535E -01
36.00	-0.12535E -01	-0.17073E -01	-0.10708E 01	-0.10976E 01	-0.97606E -01	-0.37517E -01
37.00	-0.37517E -01	0.11315E -01	-0.10149E 01	-0.10753E 01	-0.75302E -01	-0.51615E -01
38.00	-0.51615E -01	0.33697E -01	-0.96240E 00	-0.10401E 01	-0.40110E -01	-0.53274E -01
39.00	-0.53274E -01	0.46271E -01	-0.92363E 00	-0.10008E 01	-0.76866E -03	-0.43651E -01
40.00	-0.43651E -01	0.47670E -01	-0.90487E 00	-0.96372E 00	0.34281E -01	-0.26061E -01

4. む す び

以上、例題を挙げて模擬用プログラムについて説明してきたが、制御問題に限らず普通の計算式、例えば

$$y = Ax + Bx^2 + Cx^3 + D \quad (x = x_1 \sim x_2)$$

とか、

$$y_1 = \frac{1}{\sqrt{(1 + \cos w)^2 + (w - \sin w)^2}}$$

$$y_2 = -w - \tan^{-1} \frac{w - \sin w}{1 + \cos w} \quad (w = w_1 \sim w_2)$$

という問題でも、ブロック線図に直せば簡単に解ける。この場合 x, w は常数を積分すればよい。常数を積分すれば時間と共に増加、または減少する量が得られるのでこれを使用する。

各要素の計算式から考えると、計算ピッチ ΔT を小さくすれば精度が上がるはずだが当社の今の計算機では普

通7桁で計算するので、精度は上がらず逆に悪くなる。今の所、制御系の問題では大体0.01前後にしている。

先に述べたようにデジタル計算機の速度が速くなったとはいえ、制御問題の解析には時間がかかるのでわれわれとしては更に速度があがる事を望んでいる。このプログラムについては、今後つぎのように改良してゆきたい。

- (1) くり返計算において自動的に最適点が求められるようにする。
- (2) 演算要素の追加。
- (3) 計算結果が数値だけではわかり難いので一部をグラフ表示する。

最後に、このようなデジタル計算機による種々の計算を通して、単に制御系の解を求めるだけでなく、いろいろな手法を習得して将来の計算機制御の基としたい。