

制御系の初等的な諸問題に対する パーソナルコンピュータの利用について

小川 恵三[※]、梅田 浩司[※]、館 喜美子
高瀬 博文、中川 孝之

諸 言

BASIC言語を用いた最近のコンピュータは、過去に用いた手廻し式機械的計算機、押ボタン式電子計算機の計算能率に比べてその能率がきわめて高く、データ処理装置と組合せ使用すると、研究上でも装置設計上でも有用な器具となる。すなわち、コンピュータと、XYプロッタよりなる装置は、プログラム作成の工夫の仕方によって各種の問題の処理が可能となり、研究作業の能率をいちじるしく向上させる。

本報告は、制御工学上の諸問題の中で、代表的な幾つかの問題の処理を対象とし、その演算用プログラム、および演算例を示し、後日この種の諸問題を取扱う際にプログラム作成上の手数を省略したり、又プログラムの改良を試みるための資料とするため、今までに作成したプログラムと、処理上の成果との記述を目的としたものである。

特に、コンピュータによる演算では、パラメータの変化によって数多くのデジタル値（計算値）が算出されるので、問題の考察に便利なように、コンピュータとXYプロッタとから成るシステム上でこれらの数多くのデータ値の処理について工夫が必要となる。ここでは処理の対象とする問題として、古典制御理論における基礎的な例を取扱うことにした。

ここで使用したコンピュータはPANAFACOM C15Eであり、XYプロッタは渡辺測器WX4671型、（マイプロット）である。

1. プログラム作成上の概要

コンピュータとXYプロッタ（プリンタではなく）とを組合せ、デジタル量として得られる計算値に対し、適当な演算処理の後、XYプロッタ面上では、プログラム中のパラメータの変化に応じてプロッタ面上の図形が変る。このような利用の仕方は数多いデジタル値の整理を容易ならしめ、そして、この図形の変化は、問題の解析と考察とを行なうための重要な手がかりとなる。このような取扱い、すなわちプロッタ面上の図形から設計の変更、および動作の修正などを行なう際、最も良く使用する記録紙は、直角座標採用（方眼紙、片対数、両対数）および極座標採用の方眼紙である。それ故本節で、これらの方眼紙を白紙上に画くためのプログラムをのべ、次節においてコンピュータを用いて制御に関する諸問題を取扱った例についてのべる。

※小川恵三：ヤンマーディーゼル株式会社

※梅田浩司：岐阜県庁

1.1 直角座標軸作図用プログラム

代数式の関数関係，複素平面上のベクトルの表示等にこの方眼紙が用いられ，これらの目盛を記録紙に作図する必要がある。そこでつぎに，コンピュータ，XYプロッタよりなる系を動作させるBASIC言語（横軸，縦軸等の目盛，および座標の値を指示する命令）により組立てられたプログラムと，プロッタ上に画かれた図形とを，プログラム1，図1に示す。

```

10 DIM IBF(20),OBF(20)
20 OPEN #5:="",IBUF(10)
30 OBUF(OBF),IEC1
40 IFC #5
50 EOR #5:"00"
60 CONNECT #5:30,1
70 PRINT #5:"H"
80 PRINT #5:"S2"
90 PRINT #5:"M1200.3"
100 PRINT #5:"X0,100."
110 PRINT #5:"M1200.3"
120 PRINT #5:"X0,100."
130 PRINT #5:"M100.12"
140 PRINT #5:"X1,100."
150 REM
160 A0=-5
170 FOR B0=200 TO 260
180 PRINT #5:"M":B0-2
190 PRINT #5:"P":A0:""
200 A0=A0+1
210 NEXT B0
220 REM
230 A1=-4
240 FOR B1=400 TO 210
250 PRINT #5:"M1110."
260 PRINT #5:"P":A1:""
270 A1=A1+1
280 NEXT B1
290 PRINT #5:"H"
310 END
    
```

プログラム 1

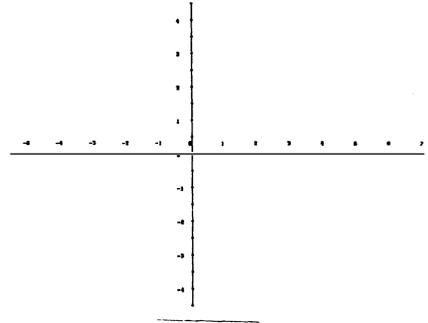


図 1

つぎに，このプロッタ上のペン動作の概略について，プログラムとプロッタ上の図形とを対応させて説明する。行番号10-60：コンピュータとXYプロッタ間の信号の授受を指定，110-140：プロッタ上，Y軸，X軸の作図，160-210，及び230-280：それぞれY軸，及びX軸上の座標値をプリントすることの命令文である。そして図1はプロッタ上のペンの作図例である。

1.2 方眼紙作図用プログラム

この方眼紙は，実験観測値相互の関係を明らかにするため用いられ，図式的関係から実験式の誘導に良く使用される。この場合，方眼紙には普通の日盛のもの，片対数，および両対数方眼紙等がある。これらの方眼紙の縦横座標の値や，目盛間隔は，実験・考察など取扱いの都合で任意の値に選ぶ。すなわち，プログラム上で，特定の命令文上の数値を変更して任意の日盛にすれば，希望する任意の方眼紙がプロッタ上に作図できる。例えば，まず普通の方眼紙作図用のプログラム，及び作図例はプログラム2，及び図2となる。

```

10 DIM IBF(20),OBF(20)
20 OPEN #5:="",IBUF(10)
30 OBUF(OBF),IEC1
40 IFC #5
50 EOR #5:"00"
60 CONNECT #5:30,1
70 PRINT #5:"M"
80 PRINT #5:"S2"
90 FOR A=0 TO 25
100 X=A*100+300
110 PRINT #5:"M":X:""
120 PRINT #5:"D":X:""
130 PRINT #5:"D":X:""
140 PRINT #5:"M":X:""
300"
400 NEXT A
405 REM
410 PRINT #5:"S3"
420 FOR B=0 TO 18
430 Y=B*100+300
440 PRINT #5:"M300."
450 PRINT #5:"D300."
460 PRINT #5:"D200."
470 PRINT #5:"M200."
480 NEXT B
485 REM
490 H=100
500 PRINT #5:"M100.30"
510 FOR B=0 TO 180 ST
    
```

プログラム 2

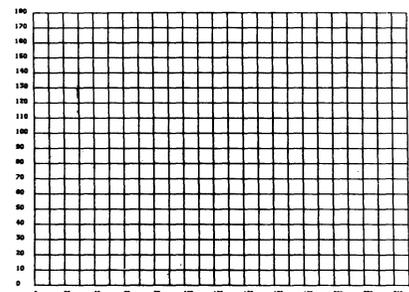


図 2

前と同様，プログラムの行番号とペン動作の関係の説明はつぎのようである。行番号10-50：コンピュータとXYプロッタ間の接続，310-400，及び420-480：それぞれ25本，及び18本の縦線，及び横線の作図をする。つぎに490-540，及び560-620：それぞれ縦座標の日盛，及び横座標の日盛の作図を行なう。その他，行番号80，410，550は，座標値の文字の大きさの指定信号である。

1.3 片対数，両対数日盛方眼紙作図用プログラム

長い時間，及び周波数を変数とする実験結果の表示や，それらの関係を考察したり，またそれらの関係を実験式であらわすことを目的とするような取扱いにおいて，良く使用する方眼紙である。この

用紙をプロッタ上の白紙に画かせるためのプログラムは、つぎのプログラム3、及び4、そして作図例は図3、図4である。

```

5 REM "対数方眼紙"
10 DIM IBF(20),OBF(20)
)
20 OPEN #5:"",IBUF(1B
F),OBUF(OBF),IECI
30 IFC #5
40 EOR #5:'00'
50 CONNECT #5:30,1
70 PRINT #5:"H"
73 PRINT #5:"M300,300"
)
75 PRINT #5:"S3"
77 INPUT K,L,M,S,Q,R,
T
80 A=1
81 B=10
82 C=1
90 FOR D=A TO B STEP

```

```

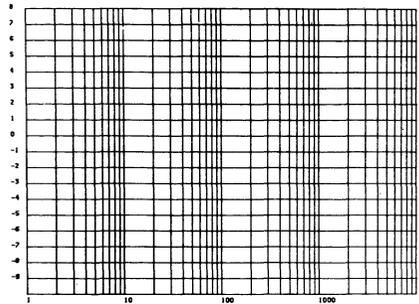
C
100 X=INT(300+K*LOG10
(D))
110 PRINT #5:"D":X;"",
300"
120 PRINT #5:"D":X;"",
":L:""
130 PRINT #5:"M":X;"",
250"
135 IF D>A THEN 145
140 PRINT #5:"P":D;"",
145 PRINT A,X,D
150 PRINT #5:"M":X;"",
300"
160 NEXT D
170 IF A=M THEN 300
180 A=M*10
181 B=M*10

```

```

182 C=C*10
190 GOTO 90
200 Q=R
210 FOR Y=400 TO L ST
EP Q
220 PRINT #5:"M":S;"",
":Y:""
230 PRINT #5:"D300,";
Y;"",
240 PRINT #5:"M200,";
Y;"",
245 Q=Q+T
250 PRINT #5:"P":Q;"",
260 PRINT #5:"M":S;"",
":Y:""
270 NEXT Y
280 PRINT #5:"4"
290 END

```



プログラム 3

```

13 DIM IBF (20),OBF(2
)
20 OPEN #5:"",IBUF(1B
F),OBUF(OBF),IECI
30 IFC #5
40 EOR #5:'00'
50 CONNECT #5:30,1
60 PRINT #5:"H"
70 PRINT #5:"M300,300"
)
80 PRINT #5:"S3"
90 READ K,L,M,S,R,Q
95 DATA 625,2175,1000
,2000,0,1,1,0
100 A=1
110 B=10
120 C=1
130 FOR D=A TO B STEP
C
140 X=INT(300+K*LOG10
(D))
150 PRINT #5:"D":X;"",
300"
160 PRINT #5:"D":X;"",
":L:""

```

```

200 PRINT A,X,D
210 PRINT #5:"M":X;"",
300"
220 NEXT D
230 IF A=M THEN 280
240 A=M*10
250 B=M*10
260 C=C*10
270 GOTO 130
280 PRINT #5:"M300,30
0"
290 A=1
300 B=10
310 C=1
320 FOR E=A TO B STEP
C
330 Y=INT(300+K*LOG10
(E))
340 PRINT #5:"D300,";
Y
350 PRINT #5:"D":S;"",
":Y:""
352 PRINT A,E,Y
354 PRINT #5:"M300,";
Y

```

```

400 NEXT E
410 IF A=100 THEN 500
420 A=A*10
430 B=B*10
440 C=C*10
450 GOTO 320
470 PRINT #5:"H"
500 REM
510 FOR X1=300 TO S S
TEP K
520 PRINT #5:"M":X1;"",
:250"
530 PRINT #5:"P":R;"",
540 R=R*10
550 NEXT X1
600 REM
610 FOR Y1=300 TO L S
TEP K
620 PRINT #5:"M100,";
Y1
630 PRINT #5:"P":Q;"",
640 Q=Q+T
650 NEXT Y1
660 PRINT #5:"H"
700 END

```

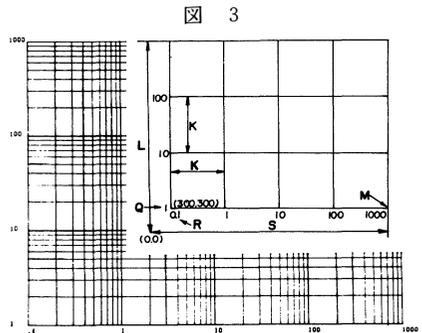


図 3

図 4

プログラム 4

1.3.1 片対数方眼紙作成用プログラム (プログラム3、及び図3参照)

プログラムの行番号とペン動作の関係について、簡単に説明する。行番号10-50は前例と同様で、80-160：横軸方向の長さKを対数目盛1~10に分割し縦線を描く。この操作を指定したMの値まで繰り返す。(図4参照)200-270：Lの長さに対し等間隔の横線を作図する。横罫線の座標値をプリントする。これらのプリント操作を終了して、片対数方眼紙が作られるが、その外この図面の意義を明らかにするため、さらに空白部分の適当な場所にそれぞれの内容をプリントする命令文を付け加え、プログラムが完成される。

1.3.2 両対数方眼紙作成用プログラム (プログラム4、及び図4参照)

1.3.1でのべた片対数方眼紙作成用プログラム中の80-190に相当する命令文中のXをYとしてプログラムの290-450までの命令文を付加したものがプログラム4であり、このとき両対数方眼紙が作成される。

```

10 REM KYOKU ZAHYO
20 DIM IBF(20),OBF(20)
)
30 OPEN #5:"",IBUF(1B
F),OBUF(OBF),IECI
40 IFC #5
50 EOR #5:'00'
60 CONNECT #5:30,1
70 PRINT #5:"H"
80 T=0.0174532
90 READ A,B
100 DATA 1750,1300
110 FOR R=200 TO 1000
STEP 200
120 X=INT(A+R)
130 Y=INT(B)
140 PRINT #5:"M":X;"",
":Y"
150 FOR I=0 TO 360
160 T=I*PI
170 X=INT(R*COS(T))+0

```

```

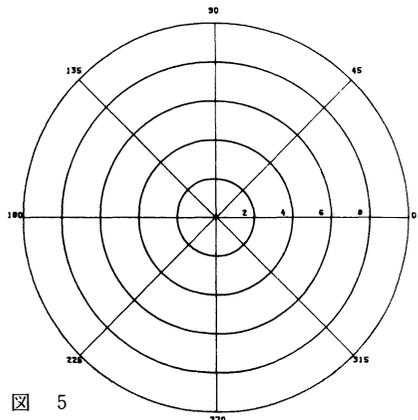
+5+R)
180 Y=INT(R*SIN(T))+0
+5+B)
+4 PRINT #5:"D":X;"",
":Y"
190 NEXT I
200 NEXT R
230 REM
230 PRINT #5:"S3"
235 C=0
240 FOR I=0 TO 315 ST
EP 45
280 T=I*PI
290 X=INT(1000*COS(T)
)+0,+5+A)
300 Y=INT(1000*SIN(T)
)+0,+5+B)
310 PRINT #5:"M":A;"",
":B"
320 PRINT #5:"D":X;"",
":Y"

```

```

330 X1=INT(1050*COS(T
1)+0,+5+A-30)
340 Y1=INT(1050*SIN(T
1)+0,+5+B)
350 PRINT #5:"M":X1;"",
":Y1"
360 PRINT #5:"P":F;"",
365 C=C+45
375 NEXT I
380 PRINT #5:"M1890,1
310"
390 E=2
410 FOR F=1890 TO 249
0 STEP 200
420 PRINT #5:"P":F;"",
131"
430 PRINT #5:"P":E;"",
440 E=E+2
450 NEXT F
460 PRINT #5:"H"
500 END

```



プログラム 5

図 5

1.4 極座標系用目盛作成プログラム

この図は制御工学におけるベクトル軌跡を求める場合や、その他、数式を極座標系上に表示する場合に用いられる。このプログラム、および作図例は、プログラム5、及び図5の通りである。なおプログラムに対して簡単に説明すると、20-60：計算機とXYプロッタ接続命令、80-210：原点を中心とする円の作図、235-375：原点を通る8つの方位とその角度との作図。380-450：横軸上の座標値を表示するための命令である。

2. 伝達関数のベクトル軌跡

2.1 簡単な伝達関数に対する一般的な処理方法

一般に伝達関数は、演算子Sに関する分数式で、その式の分子、分母はSに関する多項式であらわされる。いま周波数応答特性を考え、 $S = j\omega$ とおき、伝達関数の実数部をX1、虚数部をY1とすれば伝達関数は複素数 $X1 + jY1$ となり、これらのX1、Y1は、後に示すように、円振動数 ω の関数として求められる。つぎにこの複素量をXYプロッタ面上に表示するには、特定の換算式を用い(後述の(9)式)、この式にコンピュータにより計算されたX1、Y1、を代入して、例に示すプログラム命令によりプロッタ面上にベクトル軌跡が求められる。ベクトル軌跡が求められると、それぞれの円振動数に対するゲイン、及び位相角の凡その値が、このようにしてえられたXYプロッタ上のベクトル軌跡から推定できる。

つぎに一般の伝達関数の中で、関数の形が異なる比較的簡単なつぎの伝達関数の式(1)~(4)についても同様に複素数 $X1 + jY1$ の実数部X1、虚数部Y1を求め、それぞれ式(5)~(8)に示す関係がえられる。

$$G(S) = \frac{K(1 + T_1S)}{(1 + T_2S)(1 + T_3S)} \quad (1)$$

$$G(S) = \frac{K(1 + T_1S)}{S(1 + T_2S)((1 + T_3S)(1 + T_4S))} \quad (2)$$

$$G(S) = \frac{e^{-SL}}{S} \quad (3)$$

$$G(S) = \frac{e^{-SL}}{1 + TS} \quad (4)$$

すなわちこれら(1)、(2)、(3)、(4)式において、それぞれの場合のX1、Y1は簡単な計算からつぎのように求められる。

$$\begin{cases} X1 = K\{1 - T_2T_3\omega^2 + T_1(T_2 + T_3)\omega^2\}/Z \\ Y1 = K(T_1 - T_2 - T_3 - T_1T_2T_3\omega^2)\omega^2/Z \\ Z = (1 - T_2T_3\omega^2)^2 + (T_2 + T_3)^2\omega^2 \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} X1 = K(T_1 - T_2 - T_3 - T_4)\omega/Z \\ Y1 = -K\{1 + (T_1T_2 + T_2T_3 - T_3T_4 - T_4T_1 - T_4T_2 - T_1T_3)\omega^2 - T_1T_2T_3T_4\omega^4\}/Z \\ Z = \omega(1 + T_2^2\omega^2)(1 + T_3^2\omega^2)(1 + T_4^2\omega^2) \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} X1 = \sin(wL)Z \\ Y1 = \cos(wL)Z \\ Z = -1/w \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \overline{X1} = \{\cos(wL) - T \cdot w \cdot \sin(wL)\} / Z \\ Y1 = -\{\sin(wL) + T \cdot w \cdot \cos(wL)\} / Z \\ Z = 1 + T^2 w^2 \end{cases} \quad (8)$$

複素数 $X1 + jY1$ の原点を, XY プロッタ上の任意の点の座標 $X0, Y0$ と一致させ, プロッタ上の標準長さと $X1, Y1$ の長さの比を考慮し, 次の算式により座標変換をする。

$$\begin{aligned} X &= \text{INT}(X0 + \alpha X1) \\ Y &= \text{INT}(Y0 + \beta Y1) \end{aligned} \quad (9)$$

ここで, α, β はプロッタの座標の値を基準にした拡大, または縮小率をあらわす。そしてすでにのべたある換算式とはこの式のことである。

式(1)……(8)の中の時定数 $T_i (i=1, 2, \dots)$ をプログラム中に記入する際, T_1 の代りに便宜上変数 $A, B, C, D,$ 等とにおいて作成した例もある。

つぎに伝達関数のベクトル軌跡を求めた例をしめす。

2.2 $G(S) = K(1 + T_1S)/(1 + T_2S)(1 + T_3S)$ のベクトル軌跡

$G(S) = K(1 + T_1S)/(1 + T_2S)(1 + T_3S)$ のベクトル軌跡を求めるプログラム, 及びベクトル軌跡はプログラム6, 図6となる。なお, このプログラムと作図との関係をつぎに説明する。

```

S 265N 16F:20:00F:20
20 OPEN #5:"1BUF:IB
F:1BUF:0BF):IEC1
30 IFC #5
40 EOR #5: 00
50 CONNECT #5:30.1
60 PRINT #5:"M"
70 INPUT USING "T1,T2
,T3,K:"T1,T2,T3,K
80 PRINT #5:"M200,200
0"
90 PRINT #5:"S0"
100 PRINT #5:"PVECTOR
LOCUS"
110 PRINT #5:"M100,10
00"
120 PRINT #5:"X1,250,
8"
130 PRINT #5:"M600,25
0"
140 PRINT #5:"X0,250,
6"
150 PRINT #5:"S4"
150 A=1
170 FOR B=100 TO 2000
STEP 500
180 PRINT #5:"M1B1",
1050"
190 PRINT #5:"P:A:1"
200 A=A+1
210 NEXT B
220 PRINT #5:"M500,18
00"
230 PRINT #5:"P "
240 PRINT #5:"M550,15
00"
250 PRINT #5:"P1"
260 PRINT #5:"M500,50
0"
270 PRINT #5:"P-1"
280 DIM P(1000)
290 DIM S(1000)
295 0=0
300 FOR W=0 TO 0.5 ST
EP 0.005
310 GOSUB 5000 NEXT W
320 FOR W=0.51 TO 1 S
TEP 0.01
330 GOSUB 5000 NEXT W
340 FOR W=1.05 TO 7 S
TEP 0.05
350 GOSUB 5000 NEXT W
360 FOR W=8 TO 70
370 GOSUB 5000 NEXT W
380 FOR W=0 TO 1 STEP
0.1
390 0=1
400 GOSUB 5000 NEXT W
410 FOR W=1 TO 5
420 0=1
430 GOSUB 5000 NEXT W
440 GOTO 700
500 REM SUB PROGRAM
510 Z=(1-T2*T3*W*W)^2
*(T2+T3)^2*W*W
520 X1=K*(1-T2*T3*W*W
+T1*(T2+T3)*W*W)/Z
530 Y1=K*((T1-T2-T3-T
1*T2*T3*W*W)/W)/Z
540 X=INT(600+X1*500)
550 Y=INT(1000+Y1*500)
552 IF Q<0 THEN 500
555 V=ABS(X)
560 R(V)=INT(600+X1*5
00)
570 S(V)=INT(1000+Y1*
500)
575 PRINT V,R(V),S(V)
577 GOTO 620
590 IF W<0 THEN 600
590 PRINT #5:"M1X",
"Y"
600 PRINT #5:"D1X1",
"Y1"
610 PRINT #5:"J"
620 RETURN
700 PRINT #5:"S3"
720 PRINT #5:"M1R(0)
1": "S(0)
730 FOR V=0 TO 10

```

プログラム 6

計算し, その近傍に w の値をプリントする命令文である。900-1020: XY プロッタの空白部に伝達関数と演算条件をプリントする文である。

このプログラムにおいて, もし別の伝達関数に対するベクトル軌跡を画く場合には, サブプログラム, 510-530の命令文の代りに, 表1に示した伝達関数に対応する関数式 $X1, Y1, Z$ を代入し, 更に行番号900-1020間の文に修正した関数形をあたえると, 新たなプログラムに従った解がえられる。

VECTOR LOCUS

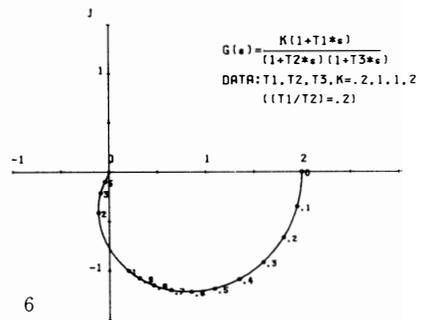


図 6

行番号5-270: XY プロッタ上にすでに示した座標系を作図する命令文で, 280-360: w が0-0.5まで0.005間隔, 0.5-1.0まで0.01, そして1-7まで0.05間隔に, 行番号500-620までに書かれたサブプログラムにより, $X1, Y1$ を計算し, ベクトル軌跡を作図するものである。また, 380-440: $w=0.1$ より5までそれぞれの $X1, Y1$ を計

2.3 $G(S) = \{K/S(CS+1)(DS+1)\} \{(AS+1)/(BS+1)\}$ のボード線図

```

5 REN "G(S)のボード線図 (J1)"
10 DIM IBF(20), OBF(20)
20 OPEN #1: IBF(10), OBF(10)
F:, OBF(OBF), IE1
30 IFC #5
40 EOR #5: '00'
50 CONNECT #5: 30, 1
70 PRINT #5: "H"
80 DIM R(2500)
90 INPUT USING "A, B, C, D, K": A, B, C, D, K
95 R2=0: O=0
100 FOR X1=0 TO 2500
STEP 10
110 M=10*(X1/625)*0.0
130 C1=(C*B*D*(M^4)-B
M*M-C*M*M-D*M*M)*2<
M-C*D*(M^3)-B*D*(M^3)
-C*D*(M^3))^2
140 A1=K*(A*B*D*(M^4)-A
M*M-C*M*M-D*M*M)/C
150 B1=K*(A*B*D*(M^
5)-A*B*D*(M^3)-A*C*(M^3
)-A*D*(M^3)-M*C*D*(M^
3)+B*D*(M^3)+C*D*(M^3
))/C1
160 Y1=10*LOG10(A1/A1
01*B1)
170 R1=DEG(ATN(B1/A1))
180 IF ABS(R1-R2)>10
0 THEN 200
190 R1=R1+GOTO 205
200 R1=R1-180
205 R2=R1
210 X=INT(X1/300)
220 Y=INT((1200+Y1)/10)
225 R(X)=INT(1200+R1*
10)
230 IF X<300 THEN 25
0
235 IF O=1 THEN 280
240 PRINT #5: "H": X1,
"Y"
250 IF O=1 THEN 280
251 PRINT #5: "D": X1,
"Y"
253 IF O=1 THEN 280
255 IF Y<300 THEN 282
270 PRINT #5: Y1, R1
280 NEXT X1
281 IF O=1 THEN 290
282 PRINT #5: "S"
284 PRINT #5: "M1600, 1
250"
286 PRINT #5: "P"
288 O=0: GOTO 280
290 FOR M=300 TO 2800
STEP 10
300 IF X<300 THEN 32
0
310 PRINT #5: "H": X1,
"R(X)"
320 PRINT #5: "D": X1,
"R(X)"
325 IF R(X)<300 THEN
343
330 PRINT #5: R(X)
340 NEXT X
343 PRINT #5: "M1150, 1
650"
345 PRINT #5: "P1"
350 PRINT #5: "S6"
360 PRINT #5: "M1500, 2
380"
370 PRINT #5: "P(0) ="
375 PRINT #5: "R0, 20"
380 PRINT #5: "1600, 0"
385 PRINT #5: "R20, -20
"
390 PRINT #5: "P2"
395 PRINT #5: "R5, 20"
400 PRINT #5: "1214, 0"
410 PRINT #5: "M2000, 2
335"
420 PRINT #5: "P3"
440 PRINT #5: "M1745, 2
265"
450 PRINT #5: "P (Cx+
1)/(Dx+1)"
500 PRINT #5: "M2451, 2
265"
510 PRINT #5: "P Ax+1
"
520 PRINT #5: "M2451, 2
265"
530 PRINT #5: "P Bx+1
"
540 PRINT #5: "M2050, 1
50"
545 PRINT #5: "S4"
550 PRINT #5: "PDATA: A
:B:C:D:K:"
560 PRINT #5: "P: A: "
:B: "C: "D: "K: "
: "
2000 PRINT #5: "H"
9999 END

```

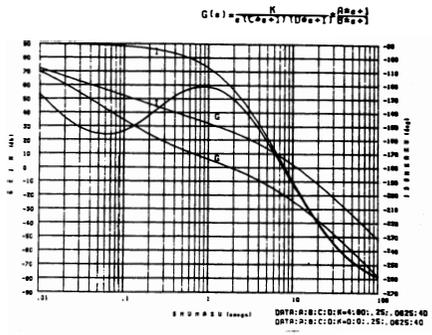


図 7

まず XY プロッタ上に 1.3 節に示したプログラムにより、片対数グラフおよび座標の値を図示し、前節 2.2 のベクトル軌跡の例と同じ手続にしたがったプログラムによって伝達関数のボード線図がえられる。

なわち、行番号 80-280: w の種々の値に対する伝達関数の実数部 X1, 虚数部 Y1, および位相角を求め、ゲイン曲線 (230-286 の命令文) と、位相角の特性曲線 (288-345 の命令文) とを書くことができる。なお、プロッタの空白部に伝達関数、および演算条件等を 350-560 の命令文によって表示される。

ここで上式の A, B, C, D, K は時定数、およびゲイン定数で、これらの定数のえらび方によって種々なボード線図がえられる。すなわち演算操作上、この条件を与える定数は簡単に代入され、演算処理した後、これらのボード線図が求められるので、系の動作の改善を計画する際のコンピュータの利用の 1 例と考えられる。

例	伝達関数	行番号及び命令文
EX1	$G(S) = \frac{K(1+T_1S)}{(1+T_2S)(1+T_3S)}$	510 Z=(1-T ₂ T ₃ w ²) ² +(T ₂ +T ₃) ² w ² 520 X1=K(1-T ₂ T ₃ w ² +T ₁ (T ₂ +T ₃)w ²)/Z 530 Y1=K(T ₁ -T ₂ -T ₃ -T ₁ T ₂ T ₃ w ²)w/Z
EX2	$G(S) = \frac{K}{S(1+T_2S)(1+T_3S)(1+T_1S)}$	510 Z=(1+T ₁ w ²)(1+T ₂ w ²)(1+T ₃ w ²) 530 X1=-Kw{(T ₁ +T ₂ +T ₃)w-T ₁ T ₂ T ₃ w ³ }/Z 520 Y1=-Kw{1-(T ₁ T ₂ +T ₂ T ₃ +T ₃ T ₁)w ² }/Z
EX3	$G(S) = \frac{EXP(-SL)}{1+TS}$	510 Z=1+T ² w ² 520 X1={COS(wL)-TwSIN(wL)}/Z 530 Y1=-{SIN(wL)+TwCOS(wL)}/Z
EX4	$G(S) = \frac{EXP(-SL)}{S}$	510 Z=-1/w 520 X1=SIN(wL)Z 530 Y1=COS(wL)Z

表 1

2.4 伝達関数の極座標系上のベクトル軌跡

すでに、1.4 において極座標系を作図するためのプログラムを示した。この図とベクトル軌跡の XY

```

5 REM VECTOR LOCS
10 DIM IBF(20),OBF(20)
>
20 OPEN #5:="IBUF(18
F):OBF(20)",IECI
30 IFC #5
40 EOR #5:00'
50 CONNECT #5:30.1
60 PRINT #5:"H"
70 INPUT USING "T1,T2
,T3,K="T1,T2,T3,K
280 DIM S(1000)
290 DIM S(1000)
295 Q=0
300 FOR W=0 TO 0.5 ST
EP 0.005
310 GOSUB 5000 NEXT W
320 FOR W=0.51 TO 1 S
TEP 0.01
330 GOSUB 5000 NEXT W
340 FOR W=1.05 TO 7 S
TEP 0.05
350 GOSUB 5000 NEXT W
360 FOR W=8 TO 70
370 GOSUB 5000 NEXT W
380 FOR W=0 TO 1 STEP
0.1
390 Q=1
400 GOSUB 5000 NEXT W
410 FOR W=1 TO 5
420 Q=1
430 GOSUB 5000 NEXT W
440 GOTO 700
500 REM SUB PROGRAM
510 Z=(1-T2*T3+X*W)^2
+(T2+T3)-2*X*W
520 X1=K*(1-T2*T3+X*W
+T1*(T2+T3)+X*W)/Z
530 Y1=K*((T1-T2-T3-T
1+T2*T3+X*W)/Z
540 X=INT(1600*X1+400)
550 Y=INT(1300*Y1+400)
>
552 IF Q=1 THEN 580
555 V=INT(10
560 R(V)=INT(1600*X1+
400)
570 S(V)=INT(1300*Y1+
400)
575 PRINT V,R(V),S(V)
577 GOTO 620
580 IF W=0 THEN 600
590 PRINT #5:"M":X1,"
110

```

```

600 PRINT #5:"D":X1,"
110
610 PRINT W,X,Y
620 RETURN
700 PRINT #5:"S3"
720 PRINT #5:"M":R(0)
:,"S(0)
730 FOR V=0 TO 10
740 GOSUB 8000 NEXT V
750 FOR V=20 TO 30 ST
EP 10
760 GOSUB 8000 NEXT V
770 V=50
800 REM SUB PROGRAM
810 PRINT #5:"M":R(V)
:,"S(V)
815 PRINT #5:"D":R(V)
:,"S(V)
817 PRINT #5:"H6"
820 PRINT #5:"R35,-35"
830 PRINT #5:"P":V/10
:,"
840 PRINT #5:"M":R(V)
:,"S(V)
845 PRINT W,R(V),S(V)
850 IF V=50 THEN 900
860 RETURN
900 PRINT #5:"M2350.2
350"
905 PRINT #5:"S5"
910 PRINT #5:"PG(6)="
920 PRINT #5:"R0.14"
930 PRINT #5:"1700.0"
940 PRINT #5:"M2650.2
400"
950 PRINT #5:"PK(1+T1
x8)"
960 PRINT #5:"M2600.2
300"
970 PRINT #5:"P(1+T2x
8)(1+T3x8)"
980 PRINT #5:"M2350.2
200"
990 PRINT #5:"PDATA:T
1,T2,T3,K="T1,T2
:,"T3":,"K"
1000 PRINT #5:"M2700.
2100"
1010 PRINT #5:"P((T1/
T2)=T1/T2:)"
1020 PRINT #5:"H"
1110 T=0.0174532
1120 READ A,B
110

```

```

1130 DATA 1600,1300
1140 FOR Z=200 TO 100
0 STEP 200
:50 X0=INT(A+Z)
160 Y0=INT(B)
170 PRINT #5:"M":X0:
:,"Y0
180 FOR I=0 TO 360
190 T1=I*KT
200 X=INT(ZxCOS(T1)+
0.5+A)
210 Y=INT(ZxSIN(T1)+
0.5+B)
220 PRINT #5:"D":X:"
:,"Y
230 NEXT I
1230 NEXT Z
1240 NEXT Z
1250 REM
1260 PRINT #5:"S3"
1270 C=0
1280 FOR I=0 TO 315 S
TEP 45
1290 T1=I*KT
1300 Y=INT(1000xCOS(T
1)+0.5+A)
1310 Y=INT(1000xSIN(T
1)+0.5+B)
1320 PRINT #5:"M":A:"
:,"B
1330 PRINT #5:"D":X:"
:,"Y
1340 X1=INT(1050xCOS
(T1)+0.5+A-30)
1350 Y1=INT(1050xSIN
(T1)+0.5+B)
1360 PRINT #5:"M":X1:
:,"Y1
1370 PRINT #5:"P":C:"
"
1380 C=C+45
1390 NEXT I
1400 PRINT #5:"M1950.
1330"
1410 E=1
1420 FOR F=1950 TO 26
00 STEP 400
1430 PRINT #5:"M":F:"
,1330"
1440 PRINT #5:"P":E:"
"
1450 E=E+1
1460 NEXT F
1470 PRINT #5:"H"
1500 END

```

プログラム 8

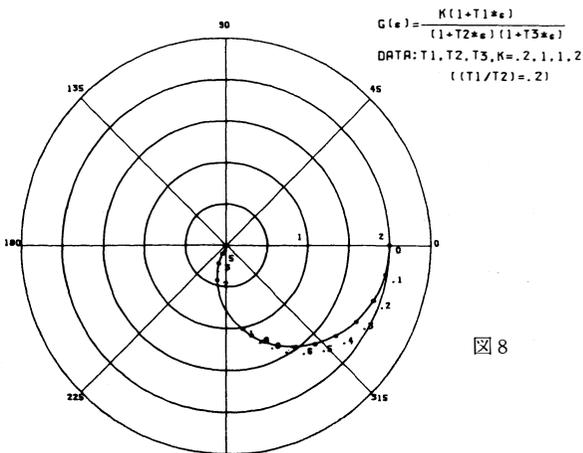


図 8

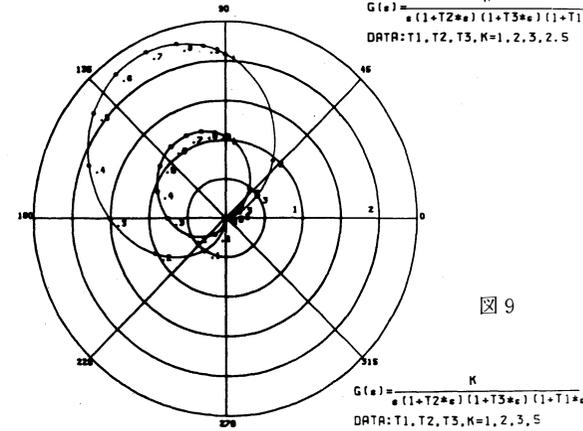


図 9

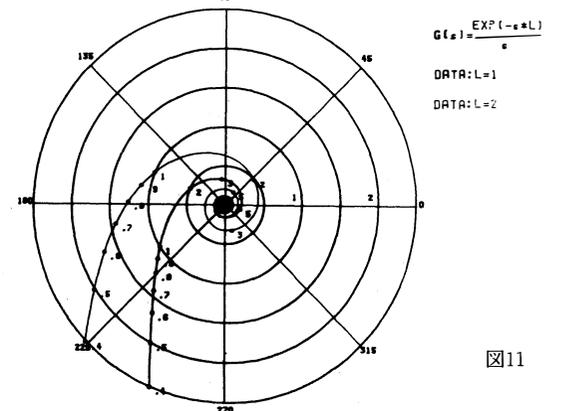


図10

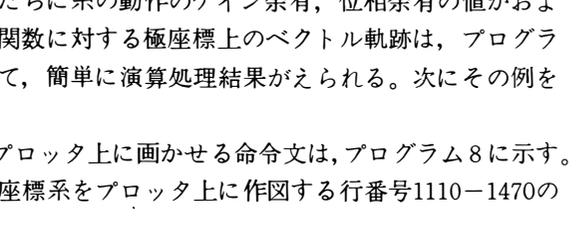


図11

プロッタ上の図を組合わせて得られる図から、ただちに系の動作のゲイン余有、位相余有の値がおよそ決定できる。つぎに式(1)~(4)で示す種々の伝達関数に対する極座標上のベクトル軌跡は、プログラムのうち、ある主要プログラムのみの交換によって、簡単に演算処理結果がえられる。次にその例をいくつか挙げる。

表1のEX1に示す伝達関数のベクトル軌跡をプロッタ上に画かせる命令文は、プログラム8に示す。このプログラムは行番号510-530の命令文と、極座標系をプロッタ上に作図する行番号1110-1470の命令文から作成されている。

さらに表1に示したEX2~EX4の伝達関数のベクトル軌跡を図9~図11に示す。

結 言

コンピュータの使用によって伝達関数のボード線図が、種々の条件（たとえばゲイン、その他、時定数を種々変えた）のもとでそれぞれ対応する結果がえられることや、極座標系上に伝達関数のベクトル軌跡の求め方についてのべた。これらの結果から図式的に、伝達関数のゲイン余有、位相余有の大きさのおよその値が定まるから、ゲイン及び時定数に対する修正のための考察に便利である。すなわち装置の設計上の変更方法を検討するために、このようなコンピュータ利用の方法が見いだされるからである。演算動作のもとにおいて、伝達関数、およびその時定数が異なる場合、命令文の修正と時定数の変更によって、制御系の定数の変化による補償量の大きさの修正が簡単にできることを明らかにした。

なお、すでにのべたように、これらのプログラムはさらに改良の余地がある。ここではいままですめた結果を資料として一応まとめた。

今後、プログラム文の整理をして、演算上の無駄な部分を除去しなければならないと考えている。

On Using of the Personal Computer for the Elementally Problems on the Control Systems

Keizo OGAWA, Kogi UMEDA, Kimiko TACHI
Hirofumi TAKASE, Takayuki NAKAGAWA

We studied the solutions of elementally problems on the control systems and the characteristics of its, by using the BASIC programs of the digital computer.

In this paper, we have discribed the results of BASIC programs of its systems and shown the figures of characteristics of its.

[英文和訳]

制御系の初等的な諸問題に対する パーソナルコンピュータの利用について

小川 恵三, 梅田 浩司, 館 喜美子
高瀬 博文, 中川 孝之

デジタルコンピュータのBASICプログラムを利用して、我々は自動制御系の初等的問題の解と、その系の特性について研究した。

この報告は、そのベーシックプログラムとそしてその特性図を示したものである。

(1982年10月20日受理)