

# 琉球大学学術リポジトリ

## 機構学教育におけるパソコンの利用(1) : カム圧力角の作図と計算

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学教育学部 公開日: 2007-10-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 新里, 祐宏, 国頭, 正二, Shinzato, Sukehiro, Kunigami, Masaji メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/2121">http://hdl.handle.net/20.500.12000/2121</a>

# 機構学教育におけるパソコンの利用(1)

## —カム圧力角の作図と計算—

新 里 祐 宏      国 頭 正 二

Utilization of a Microcomputer in Mechanism Education(1)\*\*

## —Drawing and Calculation of Cam Pressure Angle—

Sukehiro SHINZATO\*    Masaji KUNIGAMI\*

(Received Nov.30,1988)

### 1. 緒 言

カム装置をスムーズに動作させるには、圧力角に対する考察が不可欠である。すなわち、基礎曲線が与えられたとき、圧力角の最大値が許容値内におさまるように基礎円直径を決定しなければならない。設計現場では、この一連の作業は理論的な解析をもとにして進められることが多く、カム設計の1つの制限条件となっている。しかし、教育の場では、基礎曲線からカム輪郭曲線を描いたり、圧力角と基礎円直径の関係を視覚的に確認することが、カムの基本的理解やカムを利用した教材・教具の開発のために重要なことである。

一方、中学校技術科教員の養成に当たって、情報処理教育に向けての題材開発が急務の課題になっている。そこで、一つの題材として、与えられた基礎曲線をもとにカム輪郭曲線と圧力角をプロッタで描くプログラムを作成した。

このプログラムは、圧力角を数値的に求めるもので、基礎曲線が解析的に処理できない場合にも広く利用でき、カム設計におけるその面での制限条件をとりはらうことができる。

使用したパソコンはPC-9801FでプロッタはDXY-980（ローランド）である。プログラムの記述にはN88-BASIC（86）を使った。

### 2. カム輪郭曲線と圧力角の作図

ここでは、かたよりがなく、刃形の従動節からなる板カム装置を考える。

カム輪郭曲線は微小長さの直線の集まりとして表現される。輪郭全体を分割する点の数によって輪郭の滑らかさと圧力角の精度がきまる。分割点の数はプログラム上では任意に設定することができるが、ここではカムの回転角を1度きざみで与えて、360に分割した。このやり方は動径の長さによって隣り合う点間の距離がカム回転角に対して一様でないので、精度にばらつきが生ずることが予想されるが、分割点の座標値の算出が容易なため採用した。

\*Tech.Educ.,Coll.of Educ.,Univ.of the Ryukyus

\*\*第31回産業技術教育学会全国大会にて発表

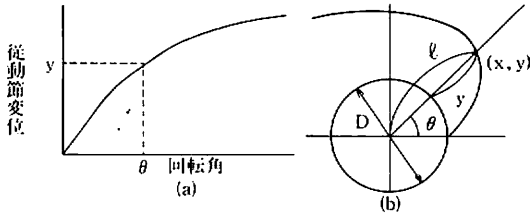


図1 基礎曲線とカム輪郭

カム輪郭線を描くためには、プロッタの直線作図命令でそれぞれの座標間を順々に移動させればよい。図1(a)において、カムの回転角の $\theta$ に対する従動節の変位を $y$ とする。図1(b)において、基礎円直径を $D$ とすると動径 $l$ は $l = y + D/2$ となり、 $\theta$ にたいするカム輪郭の座標値は $x = l \cdot \cos \theta$ ,  $y = l \cdot \sin \theta$ となる。圧力角を図示するためには、図2に示

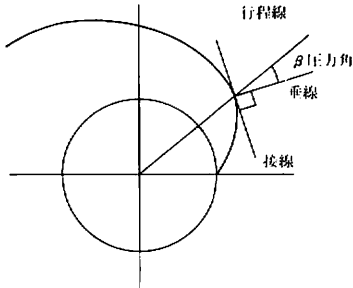


図2 圧力角の定義

すようにカム輪郭曲線上の任意の点における接線とそれに垂直な直線および従動節の行程線を描かなければならない。

図3(a)に示すように、カムの回転角 $\theta$ に対応する輪郭の座標 $(x_2, y_2)$ における接線を両隣の座標 $(x_1, y_1)$ と $(x_3, y_3)$ を通る直線と定義する。作図するためには接線の長さを指定する必要がある。ここでは $2L_1$ とした。いま $dx = x_3 - x_1$ ,  $dy = y_3 - y_1$ と定義すると直線の傾き $\gamma$ は $\gamma = \tan^{-1}(dx/dy)$ .....(1)

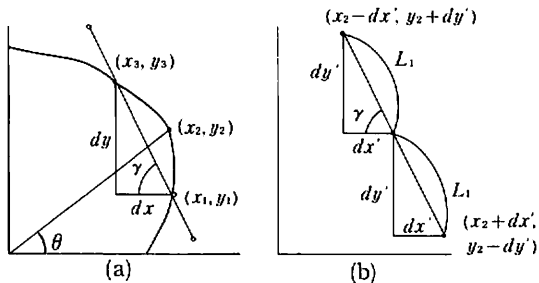


図3 接線の座標

となる。また、 $dx' = L_1 \cdot \cos \gamma$ ,  $dy' = L_1 \cdot \sin \gamma$ と定義すると、接線を引くのに必要な2つの座標は図3(b)に示すように $(x_2 + dx', y_2 - dy')$ と $(x_2 - dx', y_2 + dy')$ となる。 $dx$ と $dy$ は座標を示す値 $x_1, x_3, y_1, y_3$ の大小関係によって正負の符号をとりうる。しかも、図としては同じ勾配でも $dy$ と $dx$ の符号で $dx$ と $dy$ の符号を変えてやらないといけないので、プログラムでは場合分けをしてそれぞれ符号を指定した。(プログラムリスト1 470行~520行)

接線に垂直な線は図4に示すように座標 $(x_2, y_2)$ と $(x_4, y_4)$ を結ぶ線となる。ここでは、角 $\gamma$ , 角 $\sigma$ を図のように定義すると $\sigma = 90^\circ - \gamma$ となる。垂線の長さを $L_2$ とすると、 $dx''$ と $dy''$ は $dx'' = L_2 \cdot \cos \sigma$ ,  $dy'' = L_2 \cdot \sin \sigma$ となり、座標 $(x_4, y_4)$ の値は

$$x_4 = x_2 + dx'' \dots \dots \dots (2)$$

$$y_4 = y_2 + dy'' \dots \dots \dots (3)$$

となる。一方、垂線は図2の $x_3$ から $x_1$ を見て左側(輪郭線の外側)に立てなければならないので、

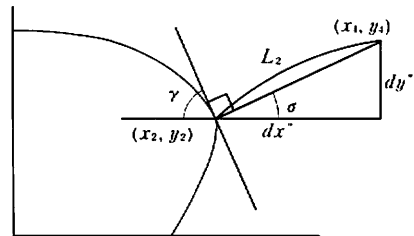


図4 垂線の座標

$dx$ と $dy$ の符号により場合分けをして $dx''$ と $dy''$ の符号を指定しなければならない。

(プログラム1 610行~680行)

従動節の行程線は図5に示すように、カムの回転軸の座標 $(x_0, y_0)$ と $(x_5, y_5)$ を結ぶ線となる。図から、

$$x_5 = (l + L_3) \cdot \cos \theta \dots \dots \dots (4)$$

$$y_5 = (l + L_3) \cdot \sin \theta \dots \dots \dots (5)$$

として与えられる。 $L_3$ は任意に与えればよい。(プログラムリスト1 560行)

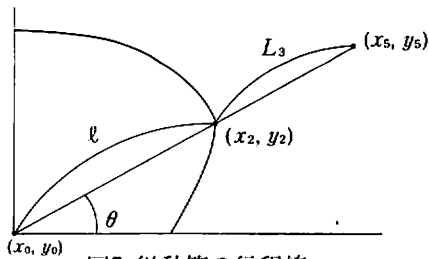


図5 従動節の行程線

### 3. 圧力角を数値的に算出する方法

カム輪郭曲線はカムの360°の回転角に対して存在し、任意の点の圧力角は接線と垂線と行程線の関係で決まる。図6は第1象限における圧力角の1例を示したものである。

以後、解析を容易にするため第2、第3及び第4象限における圧力角の表現も第1象限に回転移動して考える。すなわち、新たにカム回転角として $\phi$ を導入する。 $\phi$ と $\theta$ の関係は次のようになる。(プログラムリスト1 1010行~1050行)

$$\begin{aligned} 0^\circ \leq \theta < 90^\circ & \dots\dots\dots \phi = \theta \\ 90^\circ \leq \theta < 180^\circ & \dots\dots\dots \phi = \theta - 90^\circ \\ 180^\circ \leq \theta < 270^\circ & \dots\dots\dots \phi = \theta - 180^\circ \\ 270^\circ \leq \theta < 360^\circ & \dots\dots\dots \phi = \theta - 270^\circ \end{aligned}$$

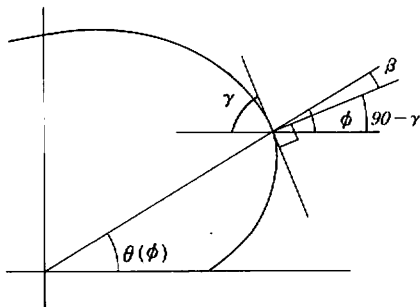


図6 第1象限における圧力角の表示例

圧力角 $\beta$ は一般に $\phi$ と $\gamma$ の関数として表現できる。しかし、象限によって $\gamma$ の定義や符号を変える必要がある。また、図6からも予想されるように $\phi$ と $\gamma$ の差によって圧力角は複数の表現式をもつ。さらに、圧力角は行程線の下方にきているときは負荷となるので正、上方にくるときは負荷とならないので負と定義する。以上のことを考慮して場合分けをおこなう。

### 1) $\gamma$ と象限の関係

第1象限では、 $\gamma$ は図3(a)と(1)式に示すように定義される。図7(a)の第2象限における $\gamma$ も(1)式で定義されるが、90°回転して第1象限で考えると図7(b)のように、 $\gamma = \tan^{-1}(dx/dy)$ となる。しかも、第2象限にあるので、 $dx$ と $dy$ のデータは $dx < 0$ 、 $dy < 0$ として入っているの、計算では傾きは正となるが、第1象限では負になるため最終的には負号をつけ $\gamma = -\tan^{-1}(dx/dy)$ となる。同様に第3象限は第1象限に、第4象限は第2象限と同形になる。(プログラムリスト1

1010行~1015行)

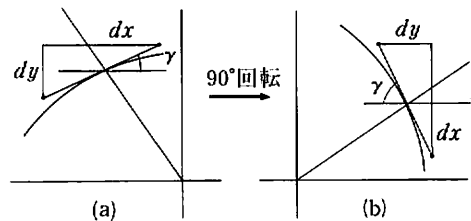


図7 第2象限から第1象限へ

### 2) 圧力角の符号と $\gamma$ の符号による場合分けと対応する $\beta$ の表現式の例

図8~11に $\gamma$ による場合分けの例を示す。図中にそれぞれのパラメーターを $\phi$ 、 $\beta$ とした場合分けと対応する $\beta$ の式をあげてある。

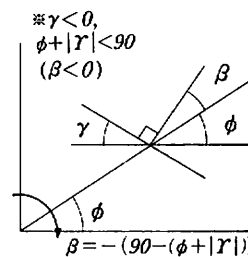


図8 場合分け1

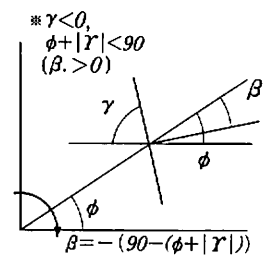


図9 場合分け2

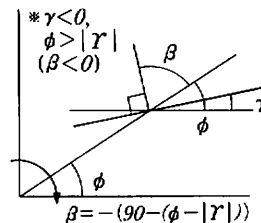


図10 場合分け3

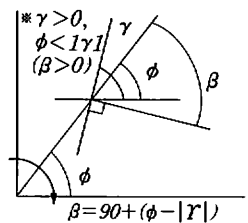


図11 場合分け4

一方,  $\gamma=90^\circ$ ,  $0^\circ$  についても  $\phi$  による場合分けが必要である。

図12に  $\gamma = 90^\circ$  の時の場合分けを示す。

図13は  $\gamma = 0$  における場合分けである。ロ) は動作不能なので除外する。イ) の形状をもつカム、すなわち、1つの回転角に対して2つの座標をも

つかみについては本プログラムでは処理できない。  
しかし、このような形状は衝撃が大きくなるので  
一般には使用されず、本プログラムの実用性を低  
下させるものではない。

以上の場合分けと  $\beta$  の計算式をフローチャーにして図14に示す。

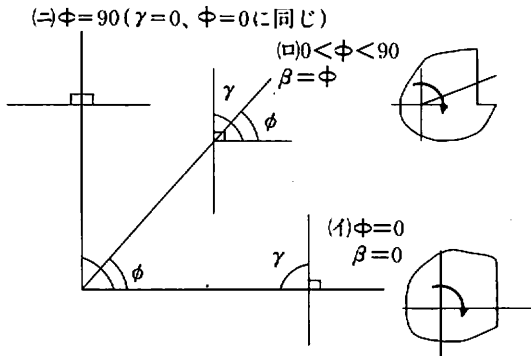


図12  $\gamma = 90^\circ$ の場合

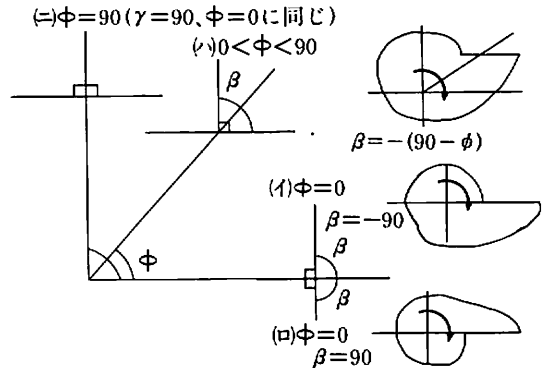


図13  $\gamma=0$ の場合

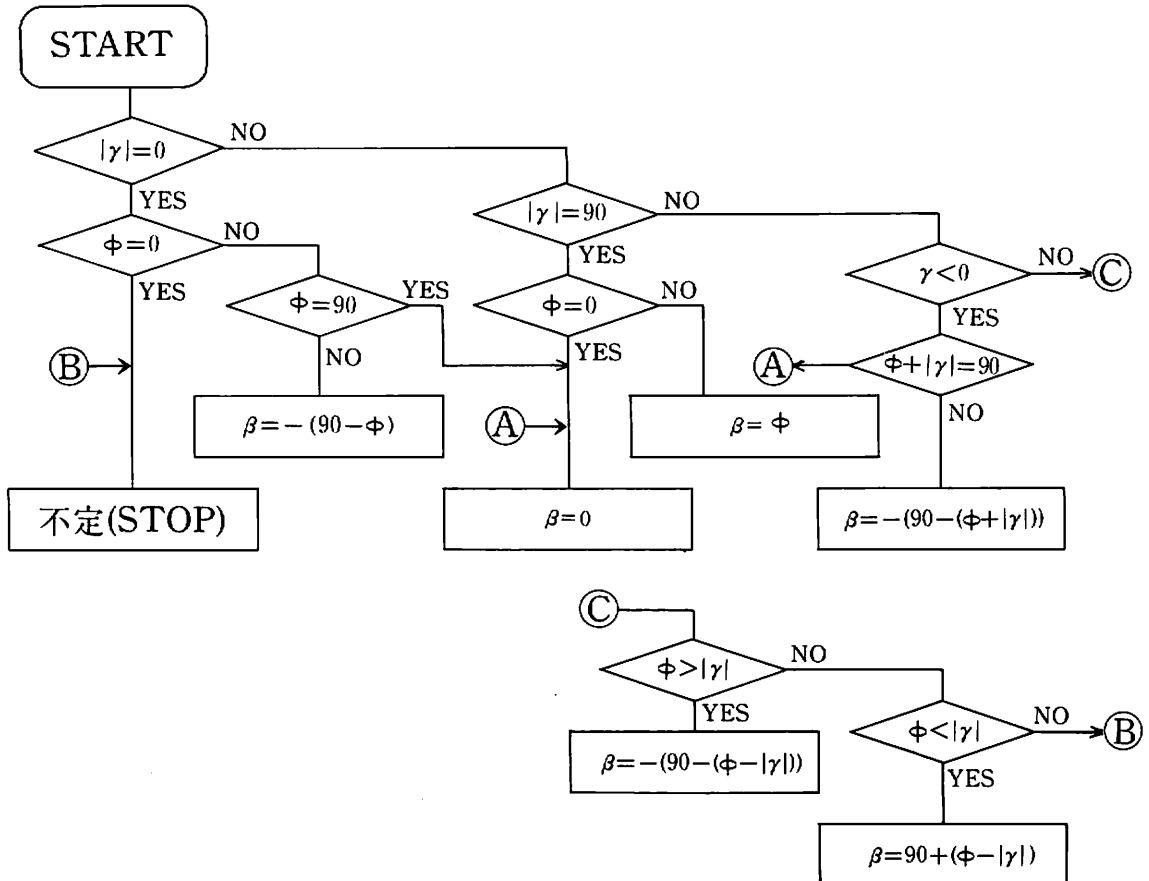


図14 場合分けと $\beta$ 算出式のフローチャート

プログラムリスト1

```

10  *****カムの圧力角の作図と算出*****
20
30  SCREEN 3,0,0.1:CONSOLE 0.25,0.1:CLS 3
40  LOCATE 70,0:PRINT "CAM50":CONSOLE 1.25,0.1
50  DIM H(400),DD1(400),X(400),Y(400)
60
70  S=10*10:D1=30*10:PAI=3.1416
80  L1=150:L2=150:L3=200
90
100 PRINT "          計算中"
110 .
120 FOR I=0 TO 360
130 SITA=I*PAI/180
140 IF I>0 AND I<=180 THEN 150 ELSE 160
150 H(I)=S*SITA/PAI:GOTO 170
160 H(I)=S-S*(SITA-PAI)/PAI
170 DD1(I)=D1/2+H(I)
180 X(I)=DD1(I)*COS(SITA):Y(I)=DD1(I)*SIN(SITA)
190 NEXT I
200 .
210 X0=D1/2+S+200:Y0=D1/2+S+200
220 .
230 CLS 1:PRINT "          出力中"
240 .
250 OPEN "COM1:N81N" AS #1
260 PRINT #1,"M":0:",";Y0
270 PRINT #1,"I":2*X0:",";0
280 PRINT #1,"M":X0:",";Y0+X0
290 PRINT #1,"I":0:",";-2*X0
300 PRINT #1,"C":X0:",";Y0","D1/2:",";0,360
310 PRINT #1,"M":X0+X(0):",";Y0+Y(0)
320 FOR I=0 TO 359 STEP 1
330 PRINT #1,"D":X0+X(I+1):",";Y0+Y(I+1)
340 NEXT I
350 PRINT #1,"H"
360 .
370 CLS 1:PRINT "どの角度の圧力角が知りたいですか"
380 PRINT "PHAI      ANGLE1"
390 LPRINT "PHI      ANGEL1"
400 INPUT PHAI
410 .
420 IF PHAI=0 OR PHAI=360 THEN DX1=X(1)-X(359)
    :DY1=Y(1)-Y(359):GOTO 440 ELSE 430
430 DX1=X(PHAI+1)-X(PHAI-1):DY1=Y(PHAI+1)-Y(PHAI-1)
440 IF DX1=0 THEN AT1=PAI/2 ELSE AT1=ATN(ABS(DY1/DX1))
450 XX1=L1*COS(AT1):YY1=L1*SIN(AT1)
460 .
470 IF ABS(ABS(DX1)-0)<.0001 THEN P=0
480 IF ABS(ABS(DX1)-0)<.0001 THEN Q=0
490 IF DX1>30 THEN P=1
500 IF DX1<0 THEN P=-1
510 IF DY1>0 THEN Q=1
520 IF DY1<0 THEN Q=-1
530 .
540 PRINT #1,"M":X0:",";Y0
550 PRINT #1,"L4"

```

新里：機構学教育におけるパソコンの利用(1)

```

560 PRINT #1, "I": (DD1 (PHAI) + L3) * COS (PHAI * PAI / 180) ; ", " : (DD1
(PHAI) + L3) * SIN (PHAI * PAI / 180)
570 PRINT #1, "L0"
580 PRINT #1, "M": X0 + X (PHAI) + P * XX1 ; ", " : Y0 + Y (PHAI) + Q * YY1
590 PRINT #1, "D": X0 + X (PHAI) - P * XX1 ; ", " : Y0 + Y (PHAI) - Q * YY1
600 PRINT #1, "M": X0 + X (PHAI) ; ", " : Y0 + Y (PHAI)
610 IF ABS (ABS (DX1) - 0) < .0001 THEN 620 ELSE 630
620 IF DY1 > 0 OR ABS (ABS (DY1) - 0) < .0001 THEN PX=1 ELSE PX=-1 :
GOTO 650
630 IF ABS (ABS (DY1) - 0) < .0001 THEN 640 ELSE 650
640 IF DX1 > 0 OR ABS (ABS (DX1) - 0) < .0001 THEN PY=1 ELSE PY=-1 :
GOTO 650
650 IF DX1 < 0 AND DY1 > 0 THEN PX=1 : PY=1
660 IF DX1 < 0 AND DY1 < 0 THEN PX=-1 : PY=1
670 IF DX1 > 0 AND DY1 < 0 THEN PX=-1 : PY=-1
680 IF DX1 > 0 AND DY1 > 0 THEN PX=1 : PY=-1
690 PRINT #1, "I": L2 * PX * COS (90 * PAI / 180 - AT1) ; ", " : L2 * PY * SIN (90
* PAI / 180 - AT1)
700 IF ABS (ABS (DX1) - 0) < .0001 THEN G1=90 ELSE G1= (ATN (DY1 / DX1)) *
180 / PAI
710 IF ABS (ABS (DY1) - 0) < .0001 THEN G2=90 ELSE G2= (ATN (DX1 / DY1)) *
180 / PAI
720 PRINT #1, "H"
730 '
740 GOSUB 1000 : GOSUB 2000
750 '
760 GOTO 400
770 END
1000 '
1010 IF PHAI=0 OR PHAI=360 THEN PHAI2=0 : G=G1 : GOTO 1070
1020 IF PHAI < 90 THEN PHAI2=PHAI : G=G1 : GOTO 1070
1030 IF PHAI < 180 THEN PHAI2=PHAI-90 : G=-G2 : GOTO 1070
1040 IF PHAI < 270 THEN PHAI2=PHAI-180 : G=G1 : GOTO 1070
1050 IF PHAI < 360 THEN PHAI2=PHAI-270 : G=-G2 : GOTO 1070
1060
1070 IF ABS (G) > 0 AND ABS (G) < .001 THEN 1110 ELSE 1080
1080 IF ABS (ABS (G) - 90) < .001 THEN 1130 ELSE 1090
1090 IF G < 0 THEN 1140 ELSE 1150
1100
1110 IF PHAI2=0 THEN STOP ELSE 1120
1120 IF PHAI2=90 THEN 1190 ELSE 1180
1130 IF PHAI2=0 THEN 1190 ELSE 1200
1140 IF PHAI2+ABS (G) = 90 THEN 1190 ELSE 1210
1150 IF PHAI2 > ABS (G) THEN 1220 ELSE 1160
1160 IF PHAI2 < ABS (G) THEN 1230 ELSE STOP
1170 '
1180 B=- (90 - PHAI2) : GOTO 1240
1190 B=0 : GOTO 1240
1200 B=PHAI2 : GOTO 1240
1210 B=- (90 - (PHAI2 + ABS (G))) : GOTO 1240
1220 B=- (90 - (PHAI2 - ABS (G))) : GOTO 1240
1230 B=90 + (PHAI2 - ABS (G)) : GOTO 1240
1240 RETURN
2000 '
2010 PRINT USING "#####.###" : PHAI, B
2020 LPRINT USING "#####.###" : PHAI, B
2030 RETURN

```

#### 4. プログラムの概説

プログラムリスト1は能力的には実用に耐え得るものであるが、学生演習に使用する目的から、簡素な記述になっている。学生はプログラムを加工し、その加工効果を確認しながら演習を進めることで容易にプログラミング力を養成できる。作図用コマンドにはDX Y-GL（ローランド）を使用した。

プログラムについて概説する。

##### 1) 30～50行

画面の設定で、40はFILE名を画面上に残しておくためである。変数は、H(I)は従動節変位、D D1(I)は動径、X(I)は輪郭のX座標、およびY(I)は輪郭のY座標を示す。

##### 2) 70～80行

カムリフト(S)、基礎円直径(D1)接線の長さ(L1)、垂線の長さ(L2)、行程線の長さ(L3)の設定で、プロッタは0.1mm単位で動作する。

##### 3) 120～190行

輪郭曲線座標の入力。このプログラムでは図15に示す基礎曲線から座標を求めている。本プログラムの使用にあたっては、基礎曲線が関数で表現できる場合にはFOR～NEXT文を使い、表現できないときはDATA文を使えばよい。座標点の数で作業の精度が決まる。

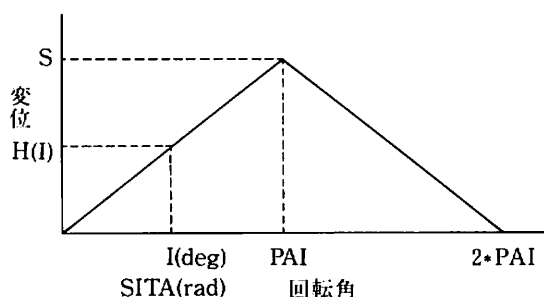


図15 基礎曲線

##### 4) 210行

プロッタの作図原点で、カム回転中心の座標になっている。カムの大きさを考慮して、自動的に設定される。

##### 5) 250～350行

カムの作図。RS-232C仕様の記述になっている。

260～270：水平中心線，280～290：垂直中心線，300：基礎円，310～340：輪郭，350：ペンアップで待期。320の各数値はデータの数と輪郭に要求する滑らかさの程度によって利用者が決めればよい。

##### 6) 370～400行

圧力角を知りたいカム回転角の入力。回転角(PHAI)は単位を度で入力する。

##### 7) 420～450行

接線，垂直線，行程線を引くための基礎データの算出変数を図3記号と比較すると，DX1：dx，DY1：dy，XX1：dx'，YY1：dy'となる。

##### 8) 470～520行

接線を引くときの2つの座標点は、基準点(XO, YO)から、左右、上下いずれに位置するかを判定し、dx'(XX1)やdy'(YY1)の符号を設定して規準点に加算して求める。その判定のためにdx(DX1)とdy(DY1)の符号を利用している。

##### 9) 540～720行

接線，垂線，行程線を引き圧力角を作図する。560で従動節の行程線を引き，580～590で接線を引き，600で垂線の向きが判定されるまでペンアップの状態で待期。610～680は垂線を輪郭線の外側に引くためのdx(DX1)とdy(DY1)を使った判定作業で，その判定結果を係数PY，PXに入力している。690で垂線を引く。図4の $\sigma$ は $(90 * PAI / 180 - AT1)$ ， $dx''$ は計算式の形で表現されている。700～710は，角度 $\gamma$ の2つの表現法， $(dx/dy, dy/dx)$ に対応するG1，G2の単位を変え，圧力角の算出を持つ。

##### 10) 1000～1240行

圧力角の算出。1010～1050は，第1象限への回転移動とそれに伴う傾き $\gamma$ の補正である。1070～1240は図14のフローチャートに従って記述したものである。1110と1160の“STOP”は図14の“不定”に対応する。

##### 11) 2010～2030行

CRT画面とプリンタへの算出値の出力である。ここでは，1度単位で輪郭値が入力されているので，PHAIは整数の形で印字される。



## 5. プログラムの評価と作図例

本プログラムの妥当性を検証するため、圧力角が解析的に容易に求まる、図15のような基礎曲線をもつカムについて別に計算し、本プログラムの算出結果と比較した。

図1の記号を使って表記すると、圧力角 $\beta$ は次のようになる。

$$\beta = \tan^{-1}((\ell - D/2)/(\theta \cdot \ell)) \dots\dots(6)$$

表1は基礎円直径 $D=30\text{mm}$ 、リフトを $20\text{mm}$ として(6)式を使って解析的に算出した結果と本プログラムで数値的に求めた結果、及び図から求めた結果を示す。それぞれの結果はよく一致している。

表1 圧力角の値

回転角 (度)	圧 力 角 (度)		
	解 析	数 値	図
10	21.56	21.56	—
30	19.15	19.15	—
45	17.66	17.66	17.5
120	12.66	12.66	12.6
270	—	-14.29	-14.3

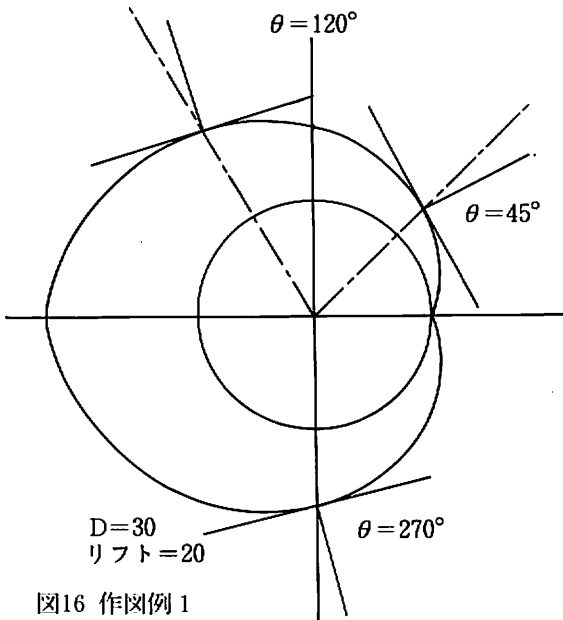


図16 作図例1

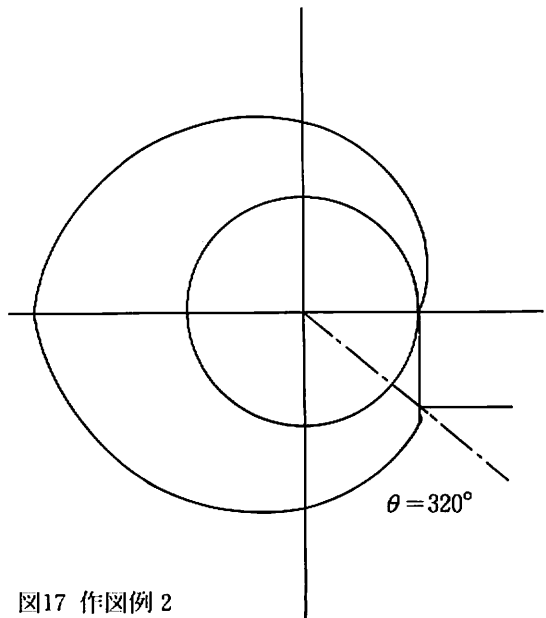


図17 作図例2

図16～17に作図例を示す。図16は先のプログラムリスト1により作図したもので表1に記載したものと同一である。 $\theta=45^\circ$ 、 $\theta=120^\circ$  および  $\theta=270^\circ$  における圧力角を描いている。図17は特殊な形として直線部をもつカムの例で、プログラムリスト1の120～190の行の輪郭座標の入力部分を、プログラムリスト2に替えて得た作図例で

ある。 $\theta=320^\circ$  の場合の圧力角が描かれているが、圧力角は $40^\circ$  となり、図12の(ロ)に示す場合分けの正当性を示す例になっている。

以上のことから、本プログラムが設計の現場においても利用可能な性能をもつものであることがわかる。

## プログラムリスト2

```

120 FOR I=0 TO 315
130 SITA=I*PAI/180
140 IF I>0 AND I<=180 THEN 150 ELSE 160
150 H(I)=S*SITA/PAI :GOTO 170
    
```

```

160 H(I) = S - (S - 62.13) * (SITA - PAI) / (3 * PAI / 4)
170 DDI(I) = DI1 / 2 * H(I)
180 X(I) = DDI(I) * COS(SITA) : Y(I) = DDI(I) * SIN(SITA)
190 NEXT I
191 FOR I = 316 TO 360
192 SITA = I * PAI / 180
193 X(I) = X(315)
194 Y(I) = X(315) * (SIN(SITA) / COS(SITA))
195 DDI(I) = Y(I) / SIN(SITA)
196 NEXT I

```

## 6. 結 び

技術科教育ではその対象領域の学問レベルはさして高くないが、実践可能な身近な技術に関する知識と実践力の養成を1つの目標にしているので、その修得の過程では実験、実習を通した体験学習が重視されなければならない。

機構学は技術科教育の機械領域において最も基本的な分野であるが、対象となるものの形や動きが視覚でとらえられるものが多く、定性的に理解することは容易な分野である。しかしながら、転移可能なレベルにまで知識を高めるためには、系を構成する重要パラメータの影響を実験、実習を通して定量的にとらえさせることが必要である。

一方、電子機器を機能系とすると、機構は構造系と呼ぶことができる。したがって、機構では長さ、重さ、材料等が、主なパラメータとなり、組み上げるために数種の加工技術を要求されることが多い。したがって、製作における時間効率が悪く、電気領域ほどには、多様な実験に柔軟に対応することができない。

しかしながら、近年、身近な機器となったパソコンを利用して、機構学の主な解析対象である機構の動きや形状について、製作を通さない実験学習が可能となり、機構学教育の改善が多いに期待できる。そこで、パソコンを利用した機構学教育改善のための1題材として、本報ではカム圧力角の作図と計算のためのプログラムを報告した。生産現場におけるカムの製作は、コンピュータ制御工作機械の発達で容易になり、切削工具をペンに替えればカムの輪郭が描けるわけで、その面では本プログラムは現場で要求する新技術に応えたものではない。

カム教育で最も重要な事項は、カムの輪郭を描く方法を修得させることと、圧力角が基礎円の径

により変わることを知らせることである。滑らかな輪郭曲線を得るためには座標点を増す必要があり、手書きでは時間がかかりすぎるため、多くの基礎円径に対して圧力角の変化を調べさせることは難しい。しかも、滑らかさが十分でない線に対して接線の精度を上げることも困難な作業である。これまで、学生に2種類の基礎円に対する圧力角の変化を調べさせてきたが、輪郭曲線の滑らかさが十分でなかったり、学生間で圧力角に大きな差が生じたりしても簡便な評価法がなかった。今では、本プログラムを使い学生の描図をその場で評価でき、しかも、他の基礎円径に対しても作図して見せられ、学習効果を上げている。副次的効果としては、プロッタの描図動作を見ることは、パソコンによる位置制御の例に真近に接する機会となり、学生にパソコン利用の世界を一步広く実感させることができることである。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたって、プログラミングや、資料、図画の整理などでお手伝いいただいた当時、当学科学生 宮城安勝氏に感謝致します。

## 参考文献

1. XYプロッタ DXY-980コマンドリファレンスマニュアル (Roland)
2. 稲田重男他 3 機構学 (朝倉書店) PP. 132 (1968)