

対称性を考慮した結晶形態図の描画

黒河, 清
愛媛県立八幡浜高校

中牟田, 義博
九州大学理学部

青木, 義和
九州大学理学部

<https://doi.org/10.15017/4495588>

出版情報 : 九州大学理学部研究報告. 地質学. 16 (2), pp.87-97, 1990-01-30. 九州大学理学部
バージョン :
権利関係 :

対称性を考慮した結晶形態図の描画

黒河 清*・中牟田義博・青木義和

Crystal drawings using the symmetry operation

Kiyoshi KUROKAWA*, Yoshihiro NAKAMUTA, and Yoshikazu AOKI

Abstract

A new computer program for drawing of crystal habits has been written in a BASIC language. This program includes the data for symmetry operations, and allows of a minimum input of symmetrically equivalent crystal faces. The data for drawing a crystal habit using this program are the lattice constants, the crystal class, Miller indices and relative central distances of the crystal faces and the view direction. The full program is listed in the appendix.

Generally, the crystal morphology can be quantitatively described by the relative distances from the center of the crystal to each face, *i.e.* central distances. However, it is difficult to measure the central distance of each face directly.

In this study, it is pointed out that the central distance of a crystal face has a linear relation with the length of an appropriate crystal edge. The relation can be written as $r = V \cdot l + W$, where the r and l letters mean the central distance of a crystal face and the length of an edge, respectively. The V and W letters mean the constants which can be evaluated by fitting the equation to the appropriate two crystal habits drawn with the presented program, in which the r values are initially given for drawing and the l values can be measured in the figures drawn.

This relation may be widely applicable to almost all crystals in order to estimate the relative central distance of each face by which the crystal morphology can be quantitatively described.

I. まえがき

結晶の形態は鉱物の重要な性質の一つであり、その描画方法、形態を支配する要因の解析などについて、古くから多くの研究者の興味を引いてきた。現在、鉱物学の一つの重要な研究テーマとなっている結晶成長に関する研究は、結晶形態を支配する要因の解析に端を発している。

天然に産する鉱物の形態が、成長時の温度や圧力などの物理的条件、微量元素の結晶表面への吸着などと密接に関係して変化していることは、SUNAGAWA (1957)、遠藤・砂川 (1970) などが黄鉄鉱について、

WYATT (1954)、PUPIN (1980) などがジルコンについて指摘しているところであるが、その基となる結晶形態は、伸長比などの一部の特徴でとらえたり、定性また半定量的に形態をグループ化することによって表されてきた。今後、天然に産する鉱物について、形態を決定する要因となった成長時の条件を結晶成長の理論を基として解析して行くためには、鉱物の形態そのものを定量的に捕らえる一般的方法の確立が必要である。

結晶の形を定量的に表現する一つの方法として、MATSUURA and AOKI (1989) はジルコンの形態を、発達する面の結晶中心からの距離比として表し、結晶形態相図を作成した。MATSUURA and AOKI (1989) に示されたような形態の定量的記載は、結晶面の発達の程度をその面の中心からの距離として定量化した結晶形態図の描画を基礎としている。

* 愛媛県立八幡浜高校
平成元年8月1日 受理

結晶形態の描画方法としては、従来、DANA (1898), PARKER (1929), 高野ら (1957) などの方法がよく用いられてきたが、これらの方法で結晶形態を描画するには、手作業による複雑な過程を要し、面の発達程度を定量的に表現した形態図を描く場合には相当の誤差を含んだものとなる。STROM (1979) は結晶面の発達程度をその面の中心からの距離として、結晶形態をコンピュータを用いて描画する方法を示した。その後、KANAZAWA and ENDO (1981) は STROM (1979) の方法を計算時間の点で改善した描画方法を示し、双晶の描画をも考慮したパーソナルコンピュータ用のプログラムを発表している。しかし、KANAZAWA and ENDO (1981) では、結晶の対称性が考慮されていないため、描くべき結晶面の入力が増えるとともに、対称性を考慮した結晶形態図を描画する場合、プログラムを使用する側が対称操作について熟知している必要がある。

今回、筆者らは結晶形態図の描画に際し、対称操作を考慮する方法を示し、対称操作のためのデータをプログラム中に組み込むことにより、より一般化されたパーソナルコンピュータ用のプログラムを作成した。また、本プログラムにより描画した図を用いて、結晶の形態を定量的に表す方法について考察を行った。プログラムは16ビットパーソナルコンピュータ (NEC 製 PC-9801) を使用して BASIC 言語で記述した。プログラムの利用をはかるために、プログラムリストを付録として掲載する。

II. 結晶形態図の描画

第1図にパーソナルコンピュータを用いた結晶形態図の描画のための概略的な計算手順を示す。今回の研究の目的の1つは、対称性という鉱物の持つ本質的な性質を描画に際して考慮することにある。対称性を考慮することによって、等価な一組の面についてはその中の一面を指定するだけで形態図の描画が可能となる。例えば、 $m3m$ という晶族に属するザクロ石の $\{110\}$ と $\{211\}$ の集形を描画する場合、 $\{110\}$ は12個、 $\{211\}$ は24個の等価な面よりなり、形態図には36面が出現することになる。このような形態を描画するためには、この36面すべてを指定する必要があるが、今回の研究では (110) と (211) の2面の指定の後、対称操作を行うことにより、36面を導き出し、形態図を描画しようとするものである。

今、結晶の持つ対称性が点群 (晶族) として与えら

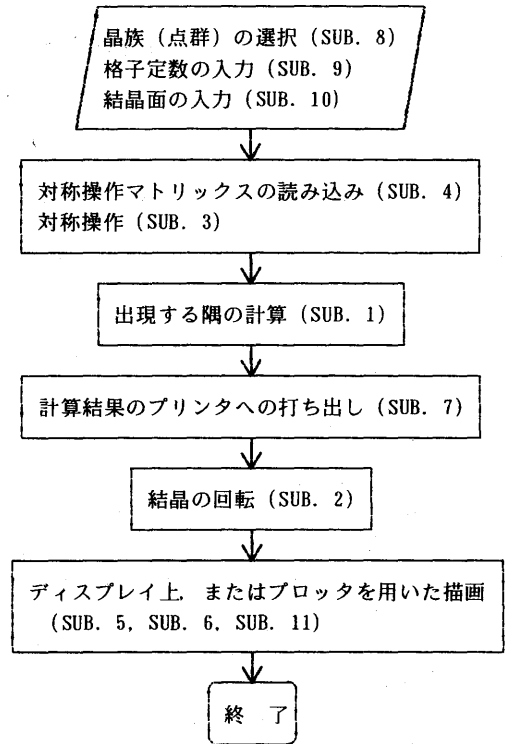


Fig. 1 Flow chart showing the procedures of calculation. The number of subroutine for each work in the program is also shown such as SUB. 1, SUB. 2 and SUB. 10.

れた場合、点群の中の一つの要素 s_i は1つの対称操作に相当し、三次元の行列として与えられる。すなわち、 (hkl) 面に s_i という対称操作を加えて導かれる面を $(h_i k_i l_i)$ とすれば、

$$\begin{pmatrix} h_i \\ k_i \\ l_i \end{pmatrix} = s_i \begin{pmatrix} h \\ k \\ l \end{pmatrix}$$

と表すことができる。 s_i は対称操作のためのマトリックスであり、たとえば、対称心による操作では、

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

といった値を持っている。第1表に、結晶に認められ

Table 1. List of 32 crystal classes.

System	Crystal class
Triclinic	1 (1) . $\bar{1}$ (2)
Monoclinic	2 (2) . m (2) . $2/m$ (4)
Orthorhombic	222 (4) . $mm2$ (4) . mmm (8)
Tetragonal	4 (4) . $\bar{4}$ (4) . $4/m$ (8) . 422 (8) . $4mm$ (8) . $\bar{4}2m$ (8) . $4/mmm$ (16)
Trigonal	3 (3) . $\bar{3}$ (6) . 32 (6) . $3m$ (6) . $\bar{3}m$ (12)
Hexagonal	6 (6) . $\bar{6}$ (6) . $6/m$ (12) . 622 (12) . $6mm$ (12) . $\bar{6}m2$ (12) . $6/mmm$ (24)
Cubic	23 (12) . $m\bar{3}$ (24) . 432 (24) . $\bar{4}3m$ (24) . $m\bar{3}m$ (48)

The number of symmetry operations of each crystal class is shown in the parentheses.

る32晶族とその要素の数を示す。

各晶族に含まれる要素の数は、もっとも対称性の低い1という晶族で1個、最も対称性の高い $m\bar{3}m$ という晶族で48個であるが、それぞれの要素についての値は、HAHN and KLAPPER (1983) を参考にして求めた。今回作成したプログラムでは、これらのデータをデータ文としてプログラムに付属させ、描画に際しては、晶族の指定のみで対称操作が実行できるようにした。

対称操作により結晶形態図に描かれるべきすべての結晶面を導出した後、描画のための計算を行った。

今、 n 個の面よりなる結晶を直交座標系に置いたとき、各結晶面に対する単位法線ベクトルを \mathbf{m}_i 、座標の中心から面までの距離を λ_i とし、 \mathbf{r}_{ijk} を、 i, j, k 三つの面によりつくられる隅の位置ベクトルとすると、 i, j, k によってつくられる隅が実際に出現するためには、

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{r}_{ijk} &\leq \lambda_1 \\ \mathbf{m}_2 \cdot \mathbf{r}_{ijk} &\leq \lambda_2 \\ &\vdots \\ \mathbf{m}_n \cdot \mathbf{r}_{ijk} &\leq \lambda_n \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

という関係を満たさなければならない。

STROM (1979) は n 個の結晶面を持つ結晶について、任意の三つの面の組み合わせにより ${}_nC_3$ 個の隅を求めた後、(1) に示した n 個の条件式に適合するものを出現可能な隅として形態図の描画を行った。それに対し、KANAZAWA and ENDO (1981) は、2つの面の組み合わせにより ${}_nC_2$ 個の稜を表す直線の方程式を導いた後、この直線と他の $(n-2)$ 面との交点を求め、これらの交点のうち、稜の長さを最小にする交点が、隅として(1)

の条件式を満足することを示し、形態図の描画を行った。

両者とも、(1) の条件式を用いて隅の出現を判定する点で、同様の原理に基づいているが、STROM (1979) の方法では ${}_nC_3$ 個の隅の計算を必要とするのに対し、KANAZAWA and ENDO (1981) の方法では ${}_nC_2$ 個の稜の計算で済むことになり、計算時間の点で改善されたものといえる。今回の計算は KANAZAWA and ENDO (1981) に示された手順に沿って計算式を導き描画を行った。

実際に観察される形態と描画した形態図との比較を容易にするためには、任意の方向に結晶を回転させた後に描画することが望ましい。今回、視点の方向を、結晶の立体投影法で通常用いられる ρ と φ の極座標形式で与え、 ρ 方向の回転マトリックスを \mathbf{R}_ρ 、 φ 方向の回転マトリックスを \mathbf{R}_φ とし

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \mathbf{R}_\rho \mathbf{R}_\varphi \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

の回転を行った後に描画するようにした。 (x, y, z) は直交座標系における回転前の隅の座標、 (x', y', z') は回転後の座標であり、 \mathbf{R}_ρ と \mathbf{R}_φ は

$$\mathbf{R}_\rho = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \rho & -\cos \rho \\ 0 & \cos \rho & \sin \rho \end{pmatrix}, \quad \mathbf{R}_\varphi = \begin{pmatrix} \sin \varphi & 0 & -\cos \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \end{pmatrix}$$

で与えられる。ただし、直交座標系は、 $\rho = 90^\circ$ 、 $\varphi = 90^\circ$ を X 軸、 $\rho = 90^\circ$ 、 $\varphi = 0$ を Y 軸、 $\rho = 0^\circ$ を Z 軸として取り、回転前の視点は Z 軸の方向にあるものとする。

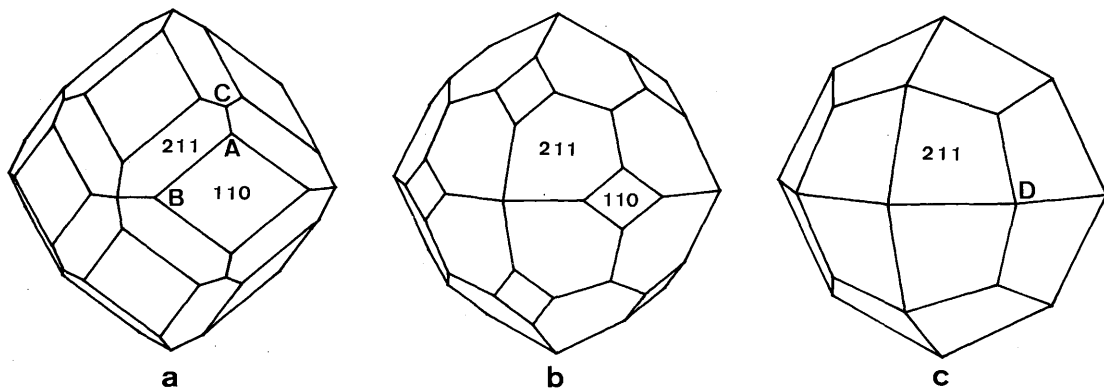


Fig. 2 Crystal figures of a garnet crystal. a, b, and c are drawn with the different central distances as shown in Table 2.

通常、標準的に描かれる形態図では、視点の方向は、 $\rho=83^{\circ}37'$ 、 $\varphi=71^{\circ}34'$ となっている。

結晶形態図の描画のために作成したプログラムはメインプログラムと11個のサブプログラム、および対称操作のためのデータ文を含む。それぞれのサブプログラムで行う作業については第1図に示した。

第2図に、一例として、ザクロ石の $\{110\}$ と $\{211\}$ の集形を描画した図を示す。描画のために入力したデータは第2表に示した。描画に際し対称操作を考慮したことにより、第2表に示すように限られたデータの入りで、多くの面を有する複雑な形態が描画できることがわかる。

III. 形態図を利用した結晶形態の定量化

第2図に示した形態図において、 $\{110\}$ 面の結晶中心からの距離を λ_{110} 、 $\{211\}$ 面の距離を λ_{211} とすると、第2表に示すようにaでは $\lambda_{110}/\lambda_{211}$ の値が0.95、bで

は1.05、cでは1.16となり、 $\lambda_{110}/\lambda_{211}$ が大きくなるほど $\{110\}$ 面の発達は悪く、すなわち形態に現れる $\{110\}$ 面の面積は小さくなっていることが分かる。最も $\lambda_{110}/\lambda_{211}$ の値が大きいcでは、 $\{110\}$ 面は出現せず、 $\{211\}$ 面のみよりなる単形となっている。この様に、形態の変化は、面の中心からの距離、ここでは $\lambda_{110}/\lambda_{211}$ の変化として定量的にとらえることができる。しかしながら、実際に観察される形態においては、 $\lambda_{110}/\lambda_{211}$ を直接求めることは多くの場合困難である。

今、第2図a、bに示した形態に着目すると、これらはcに示した形態からDを頂点とし(110)を底面とする四角錐を切りとったものと見ることができる。これらの切りとられた2つの四角錐は互いに相似形をなし、その高さ、および各辺の長さは比例関係にある。このことから、第2図aに示した稜ABの長さを l 、ACの長さを m 、 $r=\lambda_{110}/\lambda_{211}$ として l と r 、 m と r の関係についてみると、

Table 2. The data used to draw the figures of a garnet crystal.

	Crystal class	a (Å)	h	k	l	Central distance	Symmetry operation
a	$m\bar{3}m$	1 1.5	2 1	1 1	1 0	1.00 0.95	yes yes
b	$m\bar{3}m$	1 1.5	2 1	1 1	1 0	1.00 1.05	yes yes
c	$m\bar{3}m$	1 1.5	2 1	1 1	1 0	1.00 1.16	yes yes

$$r = V_1 \cdot l + W_1 \quad (2)$$

$$r = V_2 \cdot m + W_2 \quad (3)$$

という一次式の形で表すことができる。\$V_1, W_1, V_2, W_2\$は定数で、第2図 a と b の場合の \$r, l, m\$ を \$r_a, l_a, m_a, r_b, l_b, m_b\$ として(2), (3)式に代入することにより求めることができる。例えば \$V_1\$ と \$W_1\$ についてみると、

$$V_1 = \frac{(r_b - r_a)}{(l_b - l_a)}, \quad W_1 = \frac{(r_a \cdot l_b - r_b \cdot l_a)}{(l_b - l_a)}$$

となる。また、(2)式の \$l\$ の値が 0 になる \$\lambda_{110}/\lambda_{211}\$ は \$\{211\}\$ と \$\{110\}\$ の集形と \$\{211\}\$ のみよりなる単形との境を、(3)式の \$m\$ の値が 0 になる \$\lambda_{110}/\lambda_{211}\$ は \$\{211\}\$ と \$\{110\}\$ の集形と \$\{110\}\$ のみよりなる単形との境を表している。これらの \$\lambda_{110}/\lambda_{211}\$ の値を実際に求めると、それぞれ 1.1547, 0.8661 となり、\$\lambda_{110}/\lambda_{211} \le 0.8661\$ では \$\{110\}\$ の単形、\$0.8661 < \lambda_{110}/\lambda_{211} < 1.1547\$ では集形、\$\lambda_{110}/\lambda_{211} \ge 1.1547\$ では \$\{211\}\$ の単形となることが分かる。

実際の結晶においては、\$l, m\$ の長さは形態変化だけでなく、結晶の大きさによっても変化するので、形態に対応する量としては \$n (l/m)\$ を考えることとすると、\$r\$ と \$n\$ との関係は(2), (3)式を整理する事により、

$$r = \frac{V_2 \cdot W_1 - V_1 \cdot W_2 \cdot n}{V_2 - V_1 \cdot n} \quad (4)$$

と表すことができる。

以上のザクロ石の例で示されるように、今回作成したプログラムを用いて、晶癖の関係にある 2 つの異なる形態を描画し、適当に選ばれた 2 本の稜について(2), (3), (4)式を決定すると、同様の晶癖をもつ形態については、対応する稜の長さを測定することによって、形態を面の中心からの距離比として定量化できることになる。

IV. むすび

今回、対称操作のためのデータをデータ文としてプログラム中に組み込んだ結晶形態図の描画のためのプログラムを作成した。本プログラムの使用に際し必要なデータは、描くべき結晶の格子定数、晶族、形態を構成する面の指数と結晶中心からの距離、および視点の方向である。対称操作を考慮したことにより一組の等価な面については、その中の一面を指定し対称操作を行うか否かの問いに対して Y を入力することにより等価な面すべてを自動的に導き出した後に結晶形を描画することができる。また、視点の方向は描画後、矢印キーを用いて任意の方向に変化できるようにし、

観察される形態との比較を容易にした。

本プログラムでは描画に際し対称性を考慮したことにより、従来報告された KANAZAWA and ENDO (1981) のプログラムに比べ描くべき結晶面の入力が容易になるとともに、形態図を利用して行われる晶族(点群)の教育に際しても本プログラムを活用することが可能である。

MATSUURA and AOKI (1989) は結晶形態を定量的に取り扱う方法として、結晶面の発達を結晶中心からの距離比で表す試みをジルコンについて行った。しかしながら、実際に観察される形態において結晶面の中心からの距離を直接測定することは多くの場合困難である。今回、結晶面の中心からの距離と形態図に描画された特定の稜の長さが一次式の関係にあること、また、この一次式中の各係数の値は晶癖の関係にある二つの形態図を描画することによって決定できることを示した。これは MATSUURA and AOKI (1989) に示された様な結晶形態相図を作成する場合や、天然の鉱物において結晶面の中心からの距離を求め、形態を定量化していく際に有効な一般的方法の一つになると考えられる。

文 献

- DANA, E. S. (1898): *A Textbook of Mineralogy*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 547-556.
- 遠藤祐二・砂川一郎 (1970): 結晶成長機構からみたオウテツ鉱の双晶。鉱物雑, 9, 451-458.
- HAHN, T. and KLAPPER, H. (1983): *International Tables for Crystallography Vol. A*, Reidel Pub. Co., Boston, 746-785.
- KANAZAWA, K. and ENDO, Y. (1981): Drawing of Crystal and Twin Figures. *Miner. Jour.*, 10, 279-295.
- MATSUURA, A. and AOKI, Y. (1989): A New Method for Quantitative Representation of Zircon Morphology. *N. Jb. Miner. Mh.* (in press).
- PARKER, R. L. (1929): *Kristallzeichnen*, Berlin, 44-55.
- PUPIN, J. P. (1980): Zircon and Granite Petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, 207-220.
- STROM, C. S. (1979): Graphical Presentation of Crystal Habits. *J. Cryst. Growth*, 46, 185-188.
- SUNAGAWA, I. (1957): Variation in Crystal Habit of Pyrite. *Rep. Geol. Surv. Japan*, 175, 1-47.
- 高野琴代・高野幸雄・伊藤和明 (1957): 群馬県荒船鉱山産鶏冠石について。
(付) 結晶図の正確・簡単な作成法。岩鉱, 41, 235-246.
- WYATT, M. (1954): Zircons as Provenance Indicators, *Amer. Mineral.*, 39, 983-990.

付 録 (プログラムリスト)

```

100 CLEAR:OPTION BASE 1:CONSOLE 0,25,0.1:COLOR 7:CLS 3
110 PI#=3.14159265#:RAD#=#PI#/180
120 DIM HO%(50),KO%(50),LO%(50),SYOP%(50),RO(50)
130 'HO%, KO%, LO%: millar index of a crystal face
140 'SYOP%=0: draw a crystal face
150 'SYOP%=1: draw the crystal form derived from a face
160 'RO : the distance between the origin and the face
170 'NO : number of the faces initially given
180 'NUMBER : number of the faces after symmetry operation
190 'S : number of the edges to be drawn
200 '
210 DIM CLASS$(6),SY$(32),WX$(48,3),WY$(48,3),WZ$(48,3),
    WY$(3,3)
220 'WX%: symmetry operation matrices for h index
230 'WY%: for k index
240 'WZ%: for l index of a face
250 '
260 FOR I=1 TO 6:READ CLASS$(I):NEXT I
270 FOR I=1 TO 32:READ SY$(I):J1=LEN(SY$(I)):J1=5-J1
280 IF J1=0 GOTO 300
290 FOR J=1 TO J1:SY$(I)=SY$(I)+" ":NEXT J
300 NEXT I
310 WY$(1,1)="-x":WY$(1,2)="-y":WY$(1,3)="-z"
320 FOR I=1 TO 3:WY$(2,I)="" :NEXT I
330 WY$(3,1)="-x": WY$(3,2)="-y": WY$(3,3)="-z"
340 DATA TRICLINIC, MONOCLINIC, ORTHORHOMBIC, TETRAGONAL,
    HEXAGONAL, CUBIC
350 DATA 1, -1, 2, m, 2/m, 222, mm2, mmm, 4, -4, 4/m, 422, 4mm, -42m,
    4/mmm, 3, -3, 32, 3m, -3m, 6, -6, 6/m, 622, 6mm, -6m2, 6/mmm, 23,
    m3, 432, -43m, m3m
360 '
370 CLS 3:COLOR 4:PRINT TAB(18);
    "*** WELCOME TO CRYSTAL FORM DRAW PROGRAM ***":COLOR 7
380 LOCATE 4,4:LINE INPUT "NAME OF THE CRYSTAL : ",NAMES$
390 LOCATE 40:INPUT "O K?, Y/N ",YNS$
400 IF YNS$="N" OR YNS$="n" GOTO 370
410 '
420 GOSUB 5620:'select a point group
430 GOSUB 6040:'enter the lattice constants
440 GOSUB 6420:'enter the crystal faces to be drawn
450 '
460 'reset dimensions-1
470 IF DIMS<>"SET" GOTO 490
480 ERASE H%,K%,L%,R,M%,MY,MZ,AP%
490 YN=0:FOR I=1 TO NO:IF SYOP(I)=1 THEN YN=YN+1
500 NEXT I
510 N1=N0+YN*(SYN%-1)
520 DIM H%(N1),K%(N1),L%(N1),R(N1),M%(N1),MY(N1),MZ(N1),
    AP%(N1)
530 '
540 GOSUB 2360:'symmetry operation
550 '
560 'reset dimensions-2 *
570 IF DIMS<>"SET" GOTO 590
580 ERASE X1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2,I%,J%,FB%,XR1,YR1,ZR1,
    XR2,YR2,ZR2,D
590 N2=NUMBER*(NUMBER-1)
600 DIM X1(N2),Y1(N2),Z1(N2),X2(N2),Y2(N2),Z2(N2),
    XR1(N2),YR1(N2),ZR1(N2),XR2(N2),YR2(N2),ZR2(N2),
    D(N2),I%(N2),J%(N2),FB%(N2)
610 DIMS="SET"
620 '
630 CLS 1:LOCATE 35,12:PRINT "working..."
640 GOSUB 790:BEEP:BEEP:BEEP:'calculation of the edges
650 CLS 1:LOCATE 27,12:INPUT "PRINT DATA?, Y/N ",YNS$
660 IF YNS$="Y" OR YNS$="y" THEN GOSUB 5110:'print DATA
670 '
680 GOSUB 1800:'rotation of the crystal
690 GOSUB 3170:'drawing of the figure
700 '
710 CLS 3:LOCATE ,6:INPUT "DRAW another FACES?, Y/N ",YNS$
720 IF YNS$="Y" OR YNS$="y" GOTO 440
730 LOCATE ,6:INPUT "DRAW another CRYSTAL?, Y/N ",YNS$
740 IF YNS$="Y" OR YNS$="y" GOTO 370
750 CLS 3:COLOR 4:LOCATE 34,12:PRINT "THANK YOU...":COLOR 7
760 END
770 '
780 '*****
790 'SUB 1: calculation of the crystal edges
800 '*****
810 'calculation of direction cosines
820 'MX(i), MY(i), MZ(i): direction cosines of
830 ' the unit vectore normal to the i'th face
840 '
850 ON CLASS% GOTO 860,940,980,980,1020,980
860 ' for triclinic
870 SA=SIN(A1):CA=COS(A1):CB=COS(B1):CC=COS(C1)
880 V=A*B+C+SQR(1-CA*CA-CB*CB-CC*CC+2*CA*CB*CC)
890 Q12=1/B/SA:Q13=-CA/C/SA
900 Q23=1/C
910 Q31=B*C*SA/V:Q32=C*A*(CA*CB-CC)/V/SA
920 Q33=A*B*(CA*CC-CB)/V/SA
930 GOTO 1070
940 ' for monoclinic
950 Q12=1/B:Q13=0
960 Q23=1/C
970 Q31=1/A/SIN(B1):Q32=0:Q33=-COS(B1)/C/SIN(B1):GOTO 1070
980 ' for orthogonal
990 Q12=1/B:Q13=0
1000 Q23=1/C
1010 Q31=1/A:Q32=0:Q33=0:GOTO 1070
1020 ' for trigonal and hexagonal
1030 Q12=1/A:Q13=0
1040 Q23=1/C
1050 Q31=2/SQR(3)/A:Q32=1/SQR(3)/A:Q33=0
1060 '
1070 FOR I=1 TO NUMBER
1080 M1=Q12*K%(I)+Q13*L%(I):M2=Q23*L%(I)
1090 M3=Q31*H%(I)+Q32*K%(I)+Q33*L%(I)
1100 MO=SQR(M1*M1+M2*M2+M3*M3)
1110 MX(I)=M1/MO
1120 MY(I)=M2/MO
1130 MZ(I)=M3/MO
1140 NEXT I
1150 '
1160 'calculation of both sides of crystal edges
1170 '(X1(i), Y1(i), Z1(i)), (X2(i), Y2(i), Z2(i)) :
1180 ' coordinates of both sides of the edge
1190 ' between face I%(i) and face J%(i)
1200 S=0
1210 FOR I=1 TO NUMBER-1
1220 FOR J=I+1 TO NUMBER
1230 H1=0
1240 IP=MX(I)*MK(J)+MY(I)*MJ(J)+MZ(I)*MZ(J)
1250 IF ABS(IP)>.99999 GOTO 1610
1260 E=1-IP*IP:E0=SQR(E)
1270 BX=(MY(I)+MZ(J)-MZ(I)+MY(J))/E0
1280 BY=(MZ(I)+MX(J)-MX(I)+MZ(J))/E0
1290 BZ=(MX(I)+MY(J)-MY(I)+MX(J))/E0
1300 A11=(R(I)-R(J)*IP)/E:A12=(R(J)-R(I)*IP)/E
1310 AX=A11*MX(I)+A12*MX(J)
1320 AY=A11*MY(I)+A12*MY(J)
1330 AZ=A11*MZ(I)+A12*MZ(J)
1340 D1=0:D2=0
1350 FOR K=1 TO NUMBER:IF H1=1 GOTO 1510
1360 IF I=K OR J=K GOTO 1510
1370 IPB=MX(K)*BX+MY(K)*BY+MZ(K)*BZ
1380 IPA=MX(K)*AX+MY(K)*AY+MZ(K)*AZ
1390 IF IPB=0 GOTO 1500
1400 T=(R(K)-IPA)/IPB
1410 IF IPB<0 GOTO 1460
1420 IF D1=1 GOTO 1440
1430 D1=1:GOTO 1450
1440 IF T>T1 GOTO 1510
1450 T1=T:GOTO 1510
1460 IF D2=1 GOTO 1480
1470 D2=1:GOTO 1490
1480 IF T<T2 GOTO 1510
1490 T2=T:GOTO 1510

```

```

1500 IF IPA>R(K) THEN H1=1
1510 NEXT K
1520 IF H1=1 OR T2>T1 GOTO 1610
1530 X1=AX+T1*BK:Y1=AY+T1*BY:Z1=AZ+T1*BZ
1540 X2=AX+T2*BK:Y2=AY+T2*BY:Z2=AZ+T2*BZ
1550 D=(X1-X2)*(X1-X2)+(Y1-Y2)*(Y1-Y2)+(Z1-Z2)*(Z1-Z2)
1560 D=SQR(D):IF D<.00001 GOTO 1610
1570 S=S+1
1580 X1(S)=X1:Y1(S)=Y1:Z1(S)=Z1
1590 X2(S)=X2:Y2(S)=Y2:Z2(S)=Z2
1600 D(S)=D:I%(S)=I:J%(S)=J
1610 NEXT J
1620 NEXT I
1630 '
1640 'check the appearance of a crystal face
1650 'AP%(i)=1: the i'th face is appear
1660 'AP%(i)=0: the i'th face is hidden
1670 AP%=0
1680 FOR I=1 TO NUMBER
1690 COU%=0
1700 FOR SO=1 TO S
1710 IF I=I%(SO) THEN COU%=COU%+1
1720 IF I=J%(SO) THEN COU%=COU%+1
1730 NEXT SO
1740 IF COU%>2 THEN AP%(I)=1:AP%=AP%+1:GOTO 1760
1750 AP%(I)=0
1760 NEXT I
1770 RETURN
1780 :
1790 '*****
1800 'SUB 2. rotation of the crystal
1810 '*****
1820 'input of sight direction
1830 CLS 1:LOCATE 25,8:PRINT "1: from [hkl] direction"
1840 PRINT:PRINT TAB(25);"2: from standard position"
1850 COLOR 6:LOCATE 30,6:INPUT "which? ",SEEK:COLOR 7
1860 IF SEEK<1 OR SEEK>2 GOTO 1850
1870 IF SEEK=2 THEN PHIS=PI#/2-(18+26/60)*RAD#:
ROHS=PI#/2-(6+23/60)*RAD#:GOTO 1990
1880 CLS 1:LOCATE 27,6:PRINT "INPUT DIRECTION "
1890 LOCATE 32, 8:INPUT "H= ",H%
1900 LOCATE 32,10:INPUT "K= ",K%
1910 LOCATE 32,12:INPUT "L= ",L%
1920 LOCATE 41:INPUT "O K? ",YN$
1930 IF YN$="N" OR YN$="n" GOTO 1880
1940 GOSUB 2220:[h, k, l] --> ψ, ρ angles
1950 HX%=H%:KX%=K%:LX%=L%:ROHS=ROH:PHIS=PHI
1960 '
1970 'calculation of the rotation matrix
1980 'Ri: i, j component of the matrix
1990 SP=SIN(PHIS):CP=COS(PHIS):SR=SIN(ROHS):CR=COS(ROHS)
2000 MX=SR*CP:MY=CR:MZ=SR*SP
2010 R11=SP:R13=-CP
2020 R21=-CR*CP:R22=SR:R23=-CR*SP
2030 R31=SR*CP:R32=CR:R33=SR*SP
2040 GOTO 2070
2050 '
2060 'rotation
2070 FOR I=1 TO S
2080 XR1(I)=R11*X1(I)+R12*Y1(I)+R13*Z1(I)
2090 YR1(I)=R21*X1(I)+R22*Y1(I)+R23*Z1(I)
2100 ZR1(I)=R31*X1(I)+R32*Y1(I)+R33*Z1(I)
2110 XR2(I)=R11*X2(I)+R12*Y2(I)+R13*Z2(I)
2120 YR2(I)=R21*X2(I)+R22*Y2(I)+R23*Z2(I)
2130 ZR2(I)=R31*X2(I)+R32*Y2(I)+R33*Z2(I)
2140 I1=I%(I):IPI=MX*MX(I1)+MY*MY(I1)+MZ*MZ(I1)
2150 J1=J%(I):IPJ=MX*MX(J1)+MY*MY(J1)+MZ*MZ(J1)
2160 IF IPI<0 AND IPJ<0 THEN FBK(I)=1 ELSE FBK(I)=0
2170 'FBK(i)=0: i'th face is a front plane
2180 'FBK(i)=1: i'th face is a back plane
2190 NEXT I
2200 RETURN
2210 :
2220 '[h, k, l] --> ψ, ρ angles
2230 M1=-Q12*K%+Q13*L%:M2=Q23*L%:M3=Q31*K%+Q32*L%+Q33*L%
2240 MO=SQR(M1*M1+M2*M2+M3*M3):MX=M1/MO:MY=M2/MO:MZ=M3/MO
2250 IF MY=1 THEN ROH=0:PHI=PI#/2:GOTO 2330
2260 IF MY=-1 THEN ROH=PI#:PHI=3*PI#/2:GOTO 2330
2270 IF MY=0 THEN ROH=PI#/2:GOTO 2290
2280 ROH=ATN(SQR(1-MY*MY)/MY):IF ROH<0 THEN ROH=PI#+ROH
2290 IF MX=0 THEN PHI=SGN(MZ)*PI#/2:GOTO 2310
2300 PHI=ATN(MZ/MX)
2310 IF MX<0 THEN PHI=PI#+PHI:GOTO 2330
2320 IF MZ<0 THEN PHI=2*PI#+PHI
2330 RETURN
2340 :
2350 '*****
2360 'SUB 3. symmetry operation of the crystal faces
2370 '*****
2380 N=1
2390 FOR I=1 TO NO
2400 IF SYOP%(I)=1 GOTO 2430
2410 H%(N)=H0%(I):K%(N)=K0%(I):L%(N)=L0%(I)
2420 R(N)=RO(I):N=N+1
2430 NEXT I
2440 FOR I=1 TO NO:IF SYOP%(I)=0 THEN SYOP%(I)=1:GOTO 2570
2450 MX=0:FOR J=1 TO SYN%
2460 X=WX%(J,1)*H0%(I)+WX%(J,2)*K0%(I)+WX%(J,3)*L0%(I)
2470 Y=WY%(J,1)*H0%(I)+WY%(J,2)*K0%(I)+WY%(J,3)*L0%(I)
2480 Z=WZ%(J,1)*H0%(I)+WZ%(J,2)*K0%(I)+WZ%(J,3)*L0%(I)
2490 H1=0
2500 FOR K=1 TO N-1:IF H1=1 GOTO 2530
2510 YN%=ABS(X-H%(K))+ABS(Y-K%(K))+ABS(Z-L%(K))
2520 IF YN%=0 THEN H1=1
2530 NEXT K
2540 IF H1=1 GOTO 2560
2550 H%(N)=X:K%(N)=Y:L%(N)=Z:R(N)=RO(I):N=N+1:MX=MX+1
2560 NEXT J:SYOP%(I)=MX
2570 NEXT I:NUMBER=N-1
2580 RETURN
2590 :
2600 '*****
2610 'SUB 4. read symmetry operation matrices
2620 '*****
2630 ON CLASS% GOTO 2650,2690,2740,2790,2880,3020
2640 '
2650 ' triclinic
2650 ON SY% GOTO 2660,2670
2660 RESTORE 7030:GOTO 3080
2670 RESTORE 7040:GOTO 3080
2680 '
2690 ' monoclinic
2690 ON SY%-2 GOTO 2700,2710,2720
2700 RESTORE 7050:GOTO 3080
2710 RESTORE 7060:GOTO 3080
2720 RESTORE 7070:GOTO 3080
2730 '
2740 ' orthorhombic
2740 ON SY%-5 GOTO 2750,2760,2770
2750 RESTORE 7080:GOTO 3080
2760 RESTORE 7090:GOTO 3080
2770 RESTORE 7100:GOTO 3080
2780 '
2790 ' tetragonal
2790 ON SY%-8 GOTO 2800,2810,2820,2830,2840,2850,2860
2800 RESTORE 7110:GOTO 3080
2810 RESTORE 7120:GOTO 3080
2820 RESTORE 7130:GOTO 3080
2830 RESTORE 7140:GOTO 3080
2840 RESTORE 7150:GOTO 3080
2850 RESTORE 7160:GOTO 3080
2860 RESTORE 7170:GOTO 3080
2870 '
2880 ' trigonal and hexagonal
2880 ON SY%-15 GOTO 2890,2900,2910,2920,2930,
2940,2950,2960,2970,2980,2990,3000
2890 RESTORE 7190:GOTO 3080
2900 RESTORE 7200:GOTO 3080
2910 RESTORE 7210:GOTO 3080
2920 RESTORE 7220:GOTO 3080
2930 RESTORE 7230:GOTO 3080
2940 RESTORE 7250:GOTO 3080
2950 RESTORE 7260:GOTO 3080
2960 RESTORE 7270:GOTO 3080
2970 RESTORE 7290:GOTO 3080
2980 RESTORE 7310:GOTO 3080
2990 RESTORE 7330:GOTO 3080
3000 RESTORE 7350:GOTO 3080
3010 '
3010 ' cubic

```



```

3020 ON SY%-27 GOTO 3030,3040,3050,3060,3070
3030 RESTORE 7380:GOTO 3080
3040 RESTORE 7400:GOTO 3080
3050 RESTORE 7430:GOTO 3080
3060 RESTORE 7460:GOTO 3080
3070 RESTORE 7490
3080 READ YN$,SYN%
3090 FOR I=1 TO SYN%
3100   FOR J=1 TO 3:READ WX%(I,J):NEXT J
3110   FOR J=1 TO 3:READ WY%(I,J):NEXT J
3120   FOR J=1 TO 3:READ WZ%(I,J):NEXT J
3130 NEXT I
3140 RETURN
3150 :
3160 *****
3170 'SUB 5. draw a crystal figure on screen
3180 *****
3190 D=1:YN1%=2:YN2%=8:COLPX=2:COLBY=2:GOSUB 3620
3200 CLS 1
3210 LOCATE 50,7:PRINT "1: DRAW"
3220   PRINT TAB(50);"2: change LINE TYPE"
3230   PRINT TAB(50);"3: change SIZE"
3240   PRINT TAB(50);"4: to PLOTTER"
3250   PRINT TAB(50);"5: change SIGHT"
3260   PRINT TAB(50);"6: E N D"
3270 LOCATE 60,6:INPUT "WHICH? 1-6 ",YN%
3280 IF YN%<1 OR YN%>6 GOTO 3270
3290 ON YN% GOTO 3300,3320,3480,3540,3560,3580
3300   draw a crystal figure
3310 GOSUB 3620:GOTO 3200
3320   change line types
3330 CLS 1:LOCATE 50,8:PRINT "0: not draw":LOCATE 49
3340 FOR I=1 TO 7:COLOR I:PRINT USING "##";I::COLOR 7
3350 PRINT ",":NEXT I
3360 PRINT:PRINT TAB(50);"8: broken line"
3370 LOCATE 50,6:INPUT "FRONT LINE, 0-8 ",YN1%
3380 IF YN1%<0 OR YN1%>8 GOTO 3370
3390 LOCATE 50,7:INPUT "BACK LINE, 0-8 ",YN2%
3400 IF YN2%<0 OR YN2%>8 GOTO 3390
3410 LOCATE 60,12:INPUT "O K?, Y/N ",YN$
3420 IF YN$="N" OR YN$="n" GOTO 3370
3430 IF YN1%=8 AND (YN2%>0 AND YN2%<8) THEN COLPX=YN2%
   ELSE COLPX=7
3440 IF YN1%<8 THEN COLPX=YN1%
3450 IF YN2%=8 AND (YN1%>0 AND YN1%<8) THEN COLBY=YN1%
   ELSE COLBY=7
3460 IF YN2%<8 THEN COLBY=YN2%
3470 GOTO 3200
3480   change the size of drawing
3490 CLS 1:LOCATE 50,8
3500 PRINT "SCALE( xn, now n=";D:INPUT ") ",D
3510 LOCATE 65,10:INPUT "O K?, Y/N ",YN$
3520 IF YN$="N" OR YN$="n" GOTO 3480
3530 GOTO 3200
3540   to SUB 6(plotter)
3550 SCREEN 3,..0:GOTO 4270
3560   change the sight
3570 CLS 3:YN=50:GOSUB 1800:GOSUB 3620:GOTO 3200
3580   end of this routine
3590 SCREEN 3,..0:CLS 3:RETURN
3600 :
3610   draw a crystal figure on screen
3620 SCREEN 3,0,0,17:CLS 3
3630 N=0:SPA%(1)=17:SPA%(2)=1:DANG=10*RAD#:DDANG=RAD#
3640 CLS 2:WINDOW(-3/D,-3/D)-(3/D,3/D):VIEW(0,0)-(399,399)
3650 FOR I=1 TO S
3660   IF FBK(I)=1 GOTO 3700
3670   IF YN1%=0 GOTO 3730
3680   IF YN1%<8 THEN LINE(XR1(I),-YR1(I))-(XR2(I),-YR2(I)),
   COLPX:GOTO 3730
3690   LINE(XR1(I),-YR1(I))-(XR2(I),-YR2(I)),COLPX,.&HF8F8:
   GOTO 3730
3700   IF YN2%=0 GOTO 3730
3710   IF YN2%<8 THEN LINE(XR1(I),-YR1(I))-(XR2(I),-YR2(I)),
   COLBY:GOTO 3730
3720   LINE(XR1(I),-YR1(I))-(XR2(I),-YR2(I)),COLBY,.&HF8F8
3730 NEXT I:N=N+1:SPD%=N MOD 2:SCREEN 3,0,SPD%,SPA%(SPD%+1)

```

```

3740 GOSUB 4190
3750 LOCATE 40,20
3760 COLOR 5:PRINT "↑":COLOR 7:PRINT ": up: ";
3770 COLOR 5:PRINT "↓":COLOR 7:PRINT ": down: ";
3780 COLOR 5:PRINT "←":COLOR 7:PRINT ": left: ";
3790 COLOR 5:PRINT "→":COLOR 7:PRINT ": right"
3800 LOCATE 40,21
3810 COLOR 5:PRINT "F":COLOR 7:PRINT ": fast: ";
3820 COLOR 5:PRINT "S":COLOR 7:PRINT ": slow: ";
3830 COLOR 5:PRINT "M":COLOR 7:PRINT ": to MENU"
3840 IF INP(&HE3)=223 GOTO 4050:'M
3850 IF INP(&HE2)<191 GOTO 3900:'F
3860 DANG=DANG+DDANG
3870 IF DANG=RAD#-RAD#/20 THEN DDANG=RAD#:GOTO 3940
3880 IF DANG=RAD#/10-RAD#/200 THEN DDANG=RAD#/10
3890 GOTO 3940
3900 IF INP(&HE4)<247 GOTO 3950:'S
3910 DANG=DANG-DDANG
3920 IF DANG<RAD#/10+RAD#/20 THEN DDANG=RAD#/100:GOTO 3940
3930 IF DANG<RAD#+RAD#/20 THEN DDANG=RAD#/10
3940 FOR I=1 TO 100:YN=FRE(3):NEXT I:GOTO 3740
3950 IF INP(&HEA)=253 OR INP(&HEA)=125 THEN
   ROHS=ROHS-DANG:SEEK=3:GOTO 4030:'↓
3960 IF INP(&HE8)=253 THEN
   ROHS=ROHS+DANG:SEEK=3:GOTO 4030:'↑
3970 IF INP(&HEA)<251 AND INP(&HEA)<123 GOTO 4000:'←
3980 PHIS=PHIS-DANG:SEEK=3:IF PHIS<0 THEN PHIS=PHIS+2*PI#
3990 GOTO 4030
4000 IF INP(&HE8)<251 GOTO 3840:'→
4010 PHIS=PHIS+DANG:SEEK=3
4020 IF PHIS>2*PI# THEN PHIS=PHIS-2*PI#
4030 GOSUB 1990:GOTO 3640
4040 :
4050 YN$=INKEY$:IF YN$<" " GOTO 4050
4060 CLS 1:LOCATE 50,11:INPUT "TAKE HARD COPY? Y/N ",YN$
4070 IF YN$<"Y" AND YN$<"y" GOTO 4170
4080 LPRINT NAME$:",":TITLE$
4090 LPRINT USING "A = ###.### B = ###.### C = ###.###":
   A:B:C
4100 LPRINT USING "α =####.## β =####.## γ =####.##":
   A0:B0:C0
4110 LPRINT "SEE FROM ":
4120 IF SEEK=1 THEN LPRINT "[":HSK:",";KSK:",";LSK:"] ":
4130 IF SEEK=2 THEN LPRINT "STANDARD POSITION ":
4140 LPRINT USING "(ρ =####.##, ψ =####.##)":
   ROHS/RAD#:PHIS/RAD#
4150 CLS 1:LPRINT CHR$(27);">":COPY 3:LPRINT CHR$(27);"]"
4160 LPRINT CHR$(12)::LPRINT
4170 RETURN
4180 :
4190 CLS 1:LOCATE 50,8
4200 PRINT NAME$:PRINT TAB(50);TITLE$:PRINT
4210 PRINT TAB(50);"ψ = ":PRINT USING"####.##":PHIS/RAD#
4220 PRINT TAB(50);"ρ = ":PRINT USING"####.##":ROHS/RAD#
4230 PRINT TAB(50);"Δ = ":PRINT USING"####.##":DANG/RAD#
4240 RETURN
4250 :
4260 *****
4270 'SUB 6. draw a crystal figure by plotter
4280 *****
4290 YN1%=1:COLPX=1:YN2%=7:COLBY=1
4300 CLS 1:LOCATE 30,7:PRINT "1: DRAW"
4310   PRINT TAB(30);"2: change LINE TYPE"
4320   PRINT TAB(30);"3: change SIZE"
4330   PRINT TAB(30);"4: to DISPLAY"
4340   PRINT TAB(30);"5: change SIGHT"
4350   PRINT TAB(30);"6: E N D"
4360 LOCATE 40,6:INPUT "WHICH? 1-6 ",YN%
4370 IF YN%<1 OR YN%>6 GOTO 4360
4380 ON YN% GOTO 4390,4410,4560,4620,4640,4660
4390   draw a crstayt figure
4400 GOSUB 4690:GOTO 4300
4410   change line types
4420 CLS 1:LOCATE 30,8:PRINT "0: not draw"
4430 PRINT TAB(30);"1-6: pen 1-6"
4440 PRINT TAB(30);"7: broken line"
4450 LOCATE 30,6:INPUT "FRONT LINE, 0-7 ",YN1%

```



```

-1,-1,-1,0,0,1,0,0,0,-1,-1,0,0,0,-1,0,0,0,-1,0,-1,0,1
7240 DATA 1,0,0,0,-1,1,1,0,-1,0,0,0,0,-1,0,-1,0,0,0,0,
1,-1,0,0,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,-1,0,0,0,1
7250 DATA 6,6,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,-1,0,1,1,0,0,0,1,1,1,0,-1,
0,0,0,0,1,-1,0,0,0,-1,0,0,0,1,0,1,0,-1,-1,0,0,0,1,-1,
-1,0,1,0,0,0,0,1
7260 DATA -6,6,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,1,-1,-1,0,0,0,0,1,-1,-1,
0,1,0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,1,0,0,0,-1,0,1,0,-1,-1,0,0,0,-1,
-1,-1,0,1,0,0,0,0,-1
7270 DATA 6/m, 12,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,1,0,-1,-1,0,0,0,1,-1,
-1,0,1,0,0,0,0,1,1,0,0,0,1,0,0,0,-1,0,1,0,-1,-1,0,0,0,0,
-1,-1,-1,0,1,0,0,0,0,-1,-1,0,0,0,-1,0,0,0,1,0,-1,0,1,1
7280 DATA 0,0,0,1,1,1,0,-1,0,0,0,0,1,-1,0,0,0,-1,0,0,0,-1,0,
-1,0,1,1,0,0,0,-1,1,1,0,-1,0,0,0,0,-1
7290 DATA 622, 12,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,1,0,-1,-1,0,0,0,1,-1,
-1,0,1,0,0,0,0,1,-1,0,0,0,-1,0,0,0,1,0,-1,0,0,1,1,0,0,0,0,
1,1,1,0,-1,0,0,0,0,1,0,1,0,1,0,0,0,0,-1,1,0,0,-1,-1,0
7300 DATA 0,0,-1,-1,-1,0,0,1,0,0,0,-1,0,-1,0,-1,0,0,0,0,-1,
-1,0,0,1,1,0,0,0,-1,1,1,0,0,-1,0,0,0,-1
7310 DATA 6mm, 12,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,1,0,-1,-1,0,0,0,1,-1,
-1,0,1,0,0,0,0,1,-1,0,0,0,-1,0,0,0,1,0,-1,0,1,1,0,0,0,0,
1,1,1,0,-1,0,0,0,0,1,0,1,0,1,0,0,0,0,1,1,0,0,-1,-1,0
7320 DATA 0,0,1,-1,-1,0,0,1,0,0,0,1,0,-1,0,-1,0,0,0,0,1,-1,
0,0,1,1,0,0,0,-1,1,1,0,0,-1,0,0,0,-1
7330 DATA -6m2, 12,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,1,0,-1,-1,0,0,0,1,-1,
-1,0,1,0,0,0,1,1,0,0,0,1,0,0,0,-1,0,1,0,-1,-1,0,0,0,0,
-1,-1,-1,0,1,0,0,0,0,-1,0,1,0,1,0,0,0,0,1,0,1,0,0,-1,-1
7340 DATA 0,0,0,1,-1,-1,0,0,1,0,0,0,1,0,1,0,0,0,0,0,-1,1,
0,0,-1,-1,0,0,0,-1,-1,-1,0,0,1,0,0,0,-1
7350 DATA 6/mmm, 24,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,1,0,0,-1,-1,0,0,0,1,-1,
-1,0,1,0,0,0,0,1,1,0,0,0,1,0,0,0,-1,0,1,0,-1,-1,0,0,0,0,
-1,-1,-1,0,1,0,0,0,0,-1,-1,0,0,0,-1,0,0,0,1,0,-1,0,0,1,1
7360 DATA 0,0,0,1,1,1,0,-1,0,0,0,0,1,-1,0,0,0,-1,0,0,0,-1,0,
-1,0,1,1,0,0,0,-1,1,1,0,-1,0,0,0,0,-1,0,1,0,1,0,0,0,0,1,
1,0,0,-1,-1,0,0,0,1,-1,-1,0,0,1,0,0,0,1,0,1,0,1,0,0,0
7370 DATA 0,-1,1,0,0,-1,-1,0,0,0,-1,-1,-1,0,0,1,0,0,0,-1,0,
-1,0,-1,0,0,0,0,1,-1,0,0,0,1,0,0,1,1,1,0,0,-1,0,0,0,1,
0,-1,0,-1,0,0,0,0,-1,-1,0,0,1,1,0,0,0,-1,1,1,0,0,-1,0,
0,0,-1
7380 DATA 23, 12,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,1,0,0,0,1,0,0,1,0,0,
0,1,1,0,0,1,0,0,0,-1,0,0,0,-1,0,0,1,-1,0,0,0,-1,0,0,1,
0,0,0,-1,-1,0,0,-1,0,0,0,1,0,0,0,-1,0,0,-1,1,0,0,0,-1
7390 DATA 0,0,-1,0,0,0,1,-1,0,0,-1,-1,0,0,-1,0,0,0,-1,0,0,1,0,0,-1,
-1,0,0,0,1,0,0,-1,0,0,0,-1,1,0,0
7400 DATA m3, 24,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,1,0,0,1,0,0,0,1,0,0,1,0,0,
0,1,1,0,0,-1,0,0,0,-1,0,0,0,-1,0,0,-1,-1,0,0,0,-1,0,0,
-1,0,0,0,-1,-1,0,0,1,0,0,0,-1,0,0,0,-1,0,0,1,-1,0,0,0
7410 DATA -1,0,0,1,0,0,0,-1,-1,0,0,-1,0,0,0,-1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,
-1,1,0,0,0,1,0,0,-1,0,0,0,1,1,0,0,-1,0,0,0,1,0,0,0,-1,0,
0,-1,1,0,0,0,-1,0,0,-1,0,0,0,1,-1,0,0,1,0,0,0,-1,0,0,0
7420 DATA 1,0,0,1,-1,0,0,0,1,0,0,1,0,0,0,-1,1,0,0,-1,0,0,0,
-1,0,0,0,1,0,0,-1,-1,0,0,0,1,0,0,-1,0,0,0,-1,1,0,0,1,0,
0,0,1,0,0,0,-1,0,0,1,1,0,0,0,-1,0,0,1,0,0,0,1,-1,0,0
7430 DATA 432, 24,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,1,0,0,0,1,0,0,1,0,
0,0,1,1,0,0,-1,0,0,0,0,-1,0,-1,0,0,-1,0,-1,0,0,0,0,-1,
0,0,-1,0,-1,0,-1,0,0,1,0,0,0,-1,0,0,0,-1,0,0,1,-1,0,0
7440 DATA 0,-1,0,0,1,0,0,0,-1,-1,0,0,-1,0,0,0,0,1,0,1,0,0,
-1,0,1,0,0,0,0,1,0,0,-1,0,1,0,1,0,0,-1,0,0,0,1,0,0,0,-1,
0,0,-1,1,0,0,0,-1,0,0,-1,0,0,0,1,-1,0,0,1,0,0,0,-1,0
7450 DATA 1,0,0,1,0,-1,0,0,0,1,0,0,1,0,-1,0,1,0,0,-1,0,0,0,
0,-1,0,0,0,1,0,0,-1,-1,0,0,0,1,0,0,-1,0,0,0,-1,1,0,0,1,
0,0,0,0,1,0,-1,0,0,1,0,0,0,0,-1,0,0,1,0,1,0,-1,0,0
7460 DATA -43m, 24,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,1,1,0,0,0,1,0,0,1,0,
0,0,1,1,0,0,1,0,0,0,0,1,0,1,0,0,1,0,1,0,0,0,0,1,0,0,1,
0,1,0,1,0,0,1,0,0,0,-1,0,0,0,-1,0,0,1,-1,0,0,0,-1,0
7470 DATA 0,1,0,0,0,-1,-1,0,0,1,0,0,0,0,-1,0,-1,0,0,1,0,-1,
0,0,0,0,-1,0,0,1,0,-1,0,-1,0,0,-1,0,0,0,1,0,0,0,-1,0,0,
-1,1,0,0,0,-1,0,0,-1,0,0,0,1,-1,0,0,-1,0,0,0,0,1,0,-1,0
7480 DATA 0,-1,0,1,0,0,0,0,-1,0,0,-1,0,1,0,-1,0,0,-1,0,0,0,
-1,0,0,0,1,0,0,-1,-1,0,0,0,1,0,0,-1,0,0,0,-1,1,0,0,-1,
0,0,0,0,-1,0,1,0,0,-1,0,-1,0,0,0,1,0,0,-1,0,0,0,-1,1,0,0,-1,
0,0,0,0,-1,0,1,0,0,-1,0,-1,0,0,0,0,1,0,0,-1,0,-1,0,1,
0,0
7490 DATA m3m, 48,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,1,1,0,0,0,1,0,0,1,0,
0,0,1,1,0,0,1,0,0,0,0,1,0,1,0,0,1,0,1,0,0,0,0,1,0,0,1,
0,1,0,1,0,0,1,0,0,0,-1,0,0,0,-1,0,0,1,-1,0,0,0,-1,0
7500 DATA 0,1,0,0,0,-1,-1,0,0,1,0,0,0,0,-1,0,-1,0,0,1,0,-1,
0,0,0,0,-1,0,0,1,0,-1,0,-1,0,0,-1,0,0,0,1,0,0,0,-1,0,0,

```

```

-1,1,0,0,0,-1,0,0,-1,0,0,0,1,-1,0,0,-1,0,0,0,0,1,0,-1,0
7510 DATA 0,-1,0,1,0,0,0,0,-1,0,0,-1,0,1,0,-1,0,0,-1,0,0,0,
-1,0,0,0,1,0,0,-1,-1,0,0,0,1,0,0,0,-1,0,0,0,-1,1,0,0,-1,0,
0,0,0,-1,0,1,0,0,-1,0,-1,0,0,0,0,1,0,0,-1,0,-1,0,1,0,0
7520 DATA -1,0,0,0,-1,0,0,0,-1,0,0,-1,-1,0,0,0,-1,0,0,-1,0,
0,0,-1,-1,0,0,-1,0,0,0,0,-1,0,-1,0,0,-1,0,-1,0,0,0,0,
-1,0,0,-1,0,-1,0,-1,0,0,-1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,-1,1,0,0
7530 DATA 0,1,0,0,-1,0,0,0,1,1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,1,0,0,0,-1,
0,1,0,0,0,0,1,0,0,-1,0,1,0,1,0,0,1,0,0,0,-1,0,0,0,1,0,
0,1,-1,0,0,0,1,0,0,1,0,0,0,-1,1,0,0,1,0,0,0,0,-1,0,1,0
7540 DATA 0,1,0,-1,0,0,0,0,1,0,0,1,0,0,1,0,-1,0,1,0,0,1,0,0,0,1,0,
0,0,-1,0,0,1,1,0,0,0,-1,0,0,1,0,0,0,1,-1,0,0,1,0,0,0,0,
1,0,-1,0,0,1,0,1,0,0,0,0,-1,0,0,1,0,1,0,-1,0,0
7550 :
9000 *****
9010 'SUB ll. routine for MIPLLOT
9020 *****
9030 IF ASC(C$)>96 THEN C$=CHR$(ASC(C$)-32)
9040 IF C$="D" GOTO 9260:REM draw (x,y)
9050 IF C$="I" GOTO 9270:REM relative draw (x,y)
9060 IF C$="M" GOTO 9260:REM move (x,y)
9070 IF C$="R" GOTO 9270:REM relative move (x,y)
9080 IF C$="L" GOTO 9250:REM line type (x=0 or 1)
9090 IF C$="B" GOTO 9250:REM line scale (x)
9100 IF C$="X" GOTO 9280:REM axis (x,y,z)
9110 IF C$="H" GOTO 9240:REM home
9120 IF C$="S" GOTO 9250:REM alpha scale (x)
9130 IF C$="Q" GOTO 9250:REM alpha rotate (x=0,1,2,3)
9140 IF C$="A" GOTO 9250:REM alpha reset
9150 IF C$="P" GOTO 9290:REM print (x$)
9160 IF C$="N" GOTO 9250:REM mark (x=0-15)
9170 IF C$="J" GOTO 9250:REM new pen (x=0-6)
9180 IF C$="T" GOTO 9250:REM speed (x=0-10)
9190 IF C$=":" GOTO 9240:REM clear
9200 IF C$="O" THEN P0=X:P1=Y:RETURN:REM offset (x,y)
9210 IF C$="F" THEN P2=X:P3=Y:RETURN:REM factor (x,y)
9220 IF C$="*" GOTO 9300:REM initial
9230 RETURN
9240 LPRINT C$:RETURN
9250 LPRINT C$:INT(X):RETURN
9260 LPRINT C$:INT((X+P0)*P2):",":INT((Y+P1)*P3):RETURN
9270 LPRINT C$:INT(X*P2):",":INT(Y*P3):RETURN
9280 LPRINT C$:INT(X):",":INT(Y):",":INT(Z):RETURN
9290 LPRINT C$:X$:RETURN
9300 P0=0:P1=0:P2=1:P3=1
9310 C$="H":GOSUB 9240
9320 C$="Q":X=0:GOSUB 9250
9330 C$="L":X=0:GOSUB 9250
9340 RETURN

```