

Axonometric Projection の自動作図

中 島 達 夫

1 ま え が き

物品形状の情報伝達的手段として最近 **Technical illustration** または **Pictorial drawing** といわれる立体図法が普及しつつある。この図法は計測性、再現性においては従来の所謂モンジュ図法には及ばないが、視覚性、立体性において優れたものをもっている。しかしモンジュ図法が幾何学的作図法を主法としているのに対し、立体図法では解析幾何学的手法が中心となり、そのため複雑な理論、計算が必要となる。またたとえば円の投影図がモンジュ図法ではやはり円となることが多いが、立体図法ではほとんどの場合楕円となるなど、図を描く面倒さも増大する。もともと立体図法は視覚性を重んじ、細かい寸法自体は2次的なものと考えられる分野での使用が多い。ところが作図の理論、計算、描画が従来の図法より複雑、面倒にならざるを得ない。この矛盾が立体図法の普及を阻害してきたものと考えられる。

しかし最近コンピュータの発達、普及に伴い、立体図法のこれらの難点が解決されようとしている。すなわちコンピュータによる立体図の自動作図である。これに関しては最近いろいろの手法が開発されているが、その多くは非常に大規模のものであり、手軽に使用するのには適していない。

立体図法は大別して **Oblique projection** (斜投影図法)、**Axonometric projection** (軸測投影図法) および **Perspective projection** (透視図法) の3種類がある。ここではそのうちの第2の **Axonometric projection** をとりあげ、その簡易自動作図法を作ってみた。そのためまずその基礎となる理論を準備し、それにもとづき自動作図のプログラミングを行なった。ただし複雑な計算はなるべく避けしかも汎用性をもたせるためCRT上の図形を利用し、さらに **man-machine communication** の援助を併用した。したがっていわば半自動作図法ともいうべきものであろう。またこのような作図法においては、あらゆる方向からの投影に耐えうる隠線および曲面のへりの線の判断・処理が大きな難問となるが、それについて比較的簡易な手法を考えて用いてみた。

2 基 礎 理 論

Axonometric projection (軸測投影図法) は、任意の方向をもつ平行投影線により、それに垂

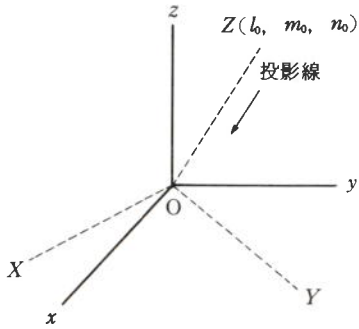


Fig. 1 座標変換

直な投影面上への物体の投影図を作ることといえよう。特にこの投影線が直交座標軸 x, y, z と等しい傾斜をもつ場合を **Isometric projection** (等角図法) という。

一般に物体は便宜上いくつかの構成部分 (これを単体と称することにする) から複合されていると考えることができるが、ここでは物体を構成する幾何学的基本単体として、直線、円、円柱および円錐をとりあげ、それらの単体に関連する解析幾何学的理論式を求めた。

2・1 座標変換

原直交座標系を $O-xyz$ とする。投影線の方角余弦を $-l_0, -m_0, -n_0$ とし、投影面は原点 O を含み、投影線に垂直な面とする。投影面内に座標軸 $O-XY$ をとり、 X 軸は水平面 $O-xy$ 上に、また Y 軸はこれに直交してとるものとする。また Z 軸を投影線に平行に l_0, m_0, n_0 の方向にとる (Fig. 1)。

$O-xyz$ から $O-XYZ$ への座標変換は、次の変換マトリックス A_0 を用いればよい。すなわち

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = A_0 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_0/\sqrt{1-n_0^2} & -l_0/\sqrt{1-n_0^2} & 0 \\ l_0n_0/\sqrt{1-n_0^2} & m_0n_0/\sqrt{1-n_0^2} - \sqrt{1-n_0^2} & \\ l_0 & m_0 & n_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (1)$$

2・2 点の投影

空間の1点 (x, y, z) の投影面 $O-XY$ への投影点 (X, Y) は (1) 式より、 $n_0^2 < 1$ の場合

$$\left. \begin{aligned} X &= (m_0x - l_0y) / \sqrt{1-n_0^2} \\ Y &= \{ (l_0x + m_0y)n_0 - (1-n_0^2)z \} / \sqrt{1-n_0^2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$n_0^2 = 1$ の場合には、 $l_0 = m_0 = \epsilon, n_0^2 = 1 - 2\epsilon^2$ (ϵ 微小) として

$$X = (x - y) / \sqrt{2}, \quad Y = (x + y) / \sqrt{2}$$

これが **Axonometric projection** の基本となる。

2・3 直線の投影

直線の投影図は直線となり、平行直線の投影図はやはり平行直線となる。また線分の比は投影によって変化しない。しかし直線の長さおよび2直線間の交角は投影によって保存されない。

直線の方角余弦を l, m, n とする。この直線の投影図の方角角を θ とすると、(2) 式において $x = l, y = m, z = n$ として

$$\tan \theta = Y/X = \{ (l_0l + m_0m + n_0n)n_0 - n \} / (m_0l - l_0m) \quad (3)$$

投影により直線の長さは一般に縮小するが、その縮小率 (軸測尺) を η とすると、上と同様に

$$\eta = \sqrt{X^2 + Y^2} = \sqrt{1 - (l_0l + m_0m + n_0n)^2} \quad (4)$$

なお投影線とこの直線のなす原角を θ_c とすると、

$$\cos\theta_c = l_0l + m_0m + n_0n \quad (5)$$

したがって直線が投影線と平行のとき $\eta = 0$ (最小), 直交するとき $\eta = 1$ (最大) となる。

原軸 x, y, z 軸に平行な直線の投影図の特性は Table 1 のようになる。ただしカッコ内の数値および Fig. 2 は Isometric projection ($l_0 = m_0 = n_0 = 1/\sqrt{3}$) の場合のものである。

Table 1 直線の投影図の特性

平行軸	x	y	z
X軸となす角 θ (Isometric projection)	$\tan^{-1}(l_0n_0/m_0)$ (30°)	$\tan^{-1}(-m_0n_0/l_0)$ (150°)	-90° (-90°)
直線の縮み率 η (Isometric projection)	$\sqrt{1-l_0^2}$ ($\sqrt{2/3}$)	$\sqrt{1-m_0^2}$ ($\sqrt{2/3}$)	$\sqrt{1-n_0^2}$ ($\sqrt{2/3}$)

2・4 円の投影

一般に平面2次曲線の投影図は2次曲線となるが、円の投影図は楕円となる。

座標原点 O を中心とし、半径 r , 面の法線方向余弦が l, m, n である円を考える。円を含む面内に直交軸 X_1, Y_1 軸, 法線方向 (l, m, n) に Z_1 軸をとり, X_1 軸は水平面 $O-xy$ との交線上にとるものとする (Fig. 3)。

円を極表示により

$$X_1 = r \cos\theta_0, \quad Y_1 = r \sin\theta_0, \quad Z_1 = 0 \quad (6)$$

とあらわす。円周上の1点 (X_1, Y_1, Z_1) , $(r \cos\theta_0, r \sin\theta_0, 0)$ の原座標 (x, y, z) への変換演算は (1) 式の A_0 と同形のマトリックス

$$A = \begin{pmatrix} m/\sqrt{1-n^2} & -l/\sqrt{1-n^2} & 0 \\ ln/\sqrt{1-n^2} & mn/\sqrt{1-n^2} & -\sqrt{1-n^2} \\ l & m & n \end{pmatrix} \quad (7)$$

の逆変換 A^{-1} である。 A は直交行列であるので、 A の転置行列を A' とすると、

$$A^{-1} = A'$$

となる。したがって変換は、

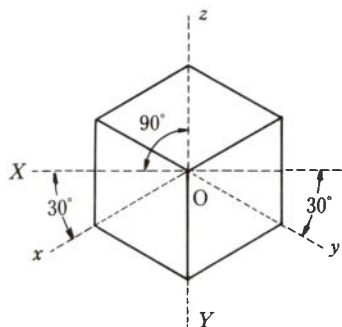


Fig. 2 x, y, z 軸および立方体の投影図 (Isometric projection)

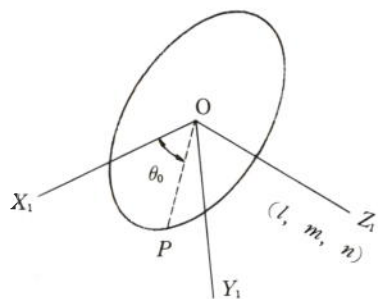


Fig. 3 円と座標

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = A^{-1} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = A' \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m/\sqrt{1-n^2} & ln/\sqrt{1-n^2} & l \\ -l/\sqrt{1-n^2} & mn/\sqrt{1-n^2} & m \\ 0 & -\sqrt{1-n^2} & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r\cos\theta_0 \\ r\sin\theta_0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

この $(x y z)'$ にさらに (1) 式の投影変換を施せば円の投影曲線 (X, Y, Z) が得られる。
すなわち

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = A_0 \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = A_0 A' \begin{pmatrix} r\cos\theta_0 \\ r\sin\theta_0 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{r}{\sqrt{1-n^2}} \times \begin{pmatrix} [(l_0l + m_0m)\cos\theta_0 - (l_0m - m_0l)n\sin\theta_0] / \sqrt{1-n_0^2} \\ [(l_0m - m_0l)n_0\cos\theta_0 + \{(l_0l + m_0m + n_0n)n_0n + 1 - n_0^2 - n^2\} \sin\theta_0] / \sqrt{1-n_0^2} \\ [l_0m - m_0l]\cos\theta_0 + \{(l_0l + m_0m + n_0n)n - n_0\} \sin\theta_0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

したがって円 (r, θ_0) の投影図 (X, Y) は、

$$X = \frac{r}{\sqrt{1-n_0^2} \sqrt{1-n^2}} [(l_0l + m_0m)\cos\theta_0 - (l_0m - m_0l)n\sin\theta_0] \quad (9)$$

$$Y = \frac{r}{\sqrt{1-n_0^2} \sqrt{1-n^2}} [(l_0m - m_0l)n_0\cos\theta_0 + \{(l_0l + m_0m + n_0n)n_0n + 1 - n_0^2 - n^2\} \sin\theta_0]$$

上の2つの式より θ_0 を消去すれば、円の投影曲線として次式の楕円が得られる。

$$[1 - n_0^2 - \{(l_0l + m_0m + n_0n)n_0 - n\}^2] X^2 - 2(l_0m - m_0l) \{(l_0l + m_0m + n_0n)n_0 - n\} XY + \{1 - n_0^2 - (l_0m - m_0l)^2\} Y^2 = (1 - n_0^2)(l_0l + m_0m + n_0n)^2 r^2 \quad (10)$$

この投影楕円の短軸は原円の面法線 (l, m, n) の投影図と重なり、その方向は (3) 式より知ることができる。長軸は短軸と直交するので、その方向角を θ_a とすると、(3) 式より

$$\tan\theta_a = \frac{l_0m - m_0l}{(l_0l + m_0m + n_0n)n_0 - n} \quad (11)$$

投影面の座標軸 $(O-XY)$ を θ_a だけ回転して座標軸を $O-X'Y'$ とすると、(10) 式の楕円は次式のように規準化される (Fig. 4).

$$X'^2 + \frac{Y'^2}{(l_0l + m_0m + n_0n)^2} = r^2 \quad (12)$$

この楕円の長軸の長さもとの円の直径 $2r$ に等しく、短軸の長さを $2r'$ とすると、

$$r' = (l_0l + m_0m + n_0n) r \quad (13)$$

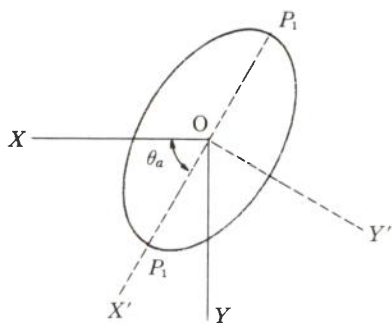


Fig. 4 円の投影図

となる。また長軸の頂点の投影点 P_1 の $O-XY$ 座標 (X_1, Y_1) は、

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= \pm r \cos \theta_a \\ Y_1 &= \pm r \sin \theta_a \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

この頂点に対応する原円の点の方向角 θ_0 を θ_a とすると、

$$\theta_a = \tan^{-1} \frac{m_0 l - l_0 m}{(l_0 l + m_0 m + n_0 n) n - n_0} \quad (15)$$

とみちびくことができる。

コンピュータで作図するときには原円の角 θ_0 を parameter にとるのが便利である。楕円と同心の半径 r の円上で規準軸 OX' と任意の角 θ_0 をなす点を P' 、 OX' への P' からの垂線と楕円との交点を P とする (Fig. 5)。規準軸の角を θ_a 、楕円の短軸の長さを $2r$ とし、 P の $O-XY$ 、 $O-X'Y'$ 座標の値を (X, Y) 、 (X', Y') とすると、

$$\left. \begin{aligned} X &= X' \cos \theta_a - Y' \sin \theta_a = r \cos \theta_0 \cos \theta_a - r' \sin \theta_0 \sin \theta_a \\ Y &= X' \sin \theta_a + Y' \cos \theta_a = r \cos \theta_0 \sin \theta_a + r' \sin \theta_0 \cos \theta_a \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

ここで θ_a 、 r' は (11)、(13) 式より計算できる。

参考までに、原軸 x, y, z 軸に垂直な円の投影図 (楕円) の特性値を (11) - (15) 式を用いてみちびき、Table 2 に示す。カッコ内の数値および Fig. 6 は Isometric projection ($l_0 = m_0 = n_0 = 1/\sqrt{3}$) の場合のものである。

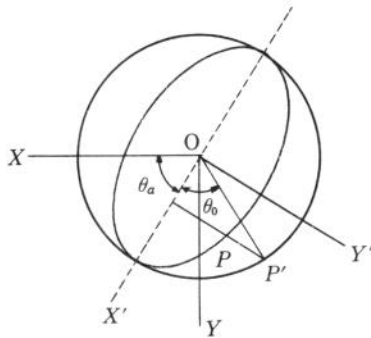


Fig. 5 円とその投影図

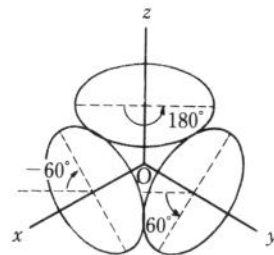


Fig. 6 x, y, z 軸に垂直の円の投影図 (Isometric projection)

Table 2 円の投影図の特性

垂 直 軸	x	y	z
垂直軸の方向余弦	$l = 1, m = 0, n = 0$	$l = 0, m = 1, n = 0$	$l = 0, m = 0, n = 1$
長軸がX軸となす角 θ_a	$\tan^{-1} \left(-\frac{m_0}{l_0 n_0} \right)$	$\tan^{-1} \left(\frac{l_0}{m_0 n_0} \right)$	180°
(Isometric)	(-60°)	(60°)	(180°)
長軸頂点に対応する原円方向角 θ_{0a}	$\tan^{-1} (-m_0/n_0)$	$\tan^{-1} (l_0/n_0)$	180°
(Isometric)	(-45°)	(45°)	(180°)
短軸/長軸の比	l_0	m_0	n_0
(Isometric)	$(1/\sqrt{3})$	$(1/\sqrt{3})$	$(1/\sqrt{3})$

2・5 円柱の投影

端円の半径 r , 軸の方向余弦が l, m, n , 長さ h の直円柱とする。

端円の投影は2・4による。

円柱の長さの縮み率 η は(4)式より求められる。すなわち

$$\eta = \sqrt{1 - (l_0 l + m_0 m + n_0 n)^2} \quad (17)$$

中心軸の投影面上の方向角を θ_1 とすると、(3)式より

$$\tan \theta_1 = \{(l_0 l + m_0 m + n_0 n) n_0 - n\} / (m_0 l - l_0 m) \quad (18)$$

画面上に描かれる母線すなわち円柱像の側線は両端円の長軸頂点間を結ぶ直線となる (Fig. 7)。

2・6 円錐の投影

底円が原点 O を中心とし、半径 r , 中心軸の方向余弦が l, m, n , 高さが h の直円錐とする。

底円の投影図は2・4によって得られる。

側線として描かれる母線は、頂点 P_1 から底円の投影曲線へひく接線となる。この接点 P', P'' の位置は解析幾何学的に求めることができるが、相当複雑な式となるので、ここでは省略し、かわりにコンピュータ向きの一法を示す。

底円の中心および頂点の投影点をそれぞれ $O(X_0, Y_0)$, $P_1(X_1, Y_1)$ とする。底円の周上の1点の投影点を $P(X, Y)$ とし、 $\angle OP_1P = \theta$, P_1O , P_1P の方向係数を t_0, t とする (Fig. 8) と、

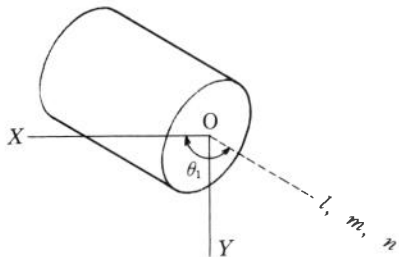


Fig. 7 円柱の投影図

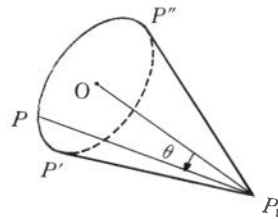


Fig. 8 円錐の投影図

$$t_0 = \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0}, \quad t = \frac{Y_1 - Y}{X_1 - X}$$

故に

$$\tan \theta = \frac{t_0 - t}{1 + t_0 t} = \frac{(X_1 - X)(Y_1 - Y_0) - (X_1 - X_0)(Y_1 - Y)}{(X_1 - X_0)(X_1 - X) + (Y_1 - Y_0)(Y_1 - Y)} \quad (19)$$

接点 P', P'' は $\tan \theta$ が極値となる点であるので、それより P', P'' の位置を知ることができる。

なお載頭率を p とすると、頭円の中心 $O'(x', y', z')$ および半径 r' は

$$\left. \begin{aligned} (x' \ y' \ z') &= (1 - p)h(l \ m \ n) \\ r' &= pr \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

となるので、2・4より描くことができる (Fig. 9).

3 隠線の処理

立体の投影図作成の手続きにおいて最も面倒なのは隠線の判定と処理であろう。すなわち線がそれより前方にある物体により部分的にまたは全体に隠蔽されるとき、それを判断し、隠蔽部分を確定することが必要である。これは理論的に計算して求めることのできる場合が多いが、それが困難な場合もある。計算しうる場合も一般に相当面倒であり、ましてあらゆる方向からの投影に耐えうる計算式を作るのは容易なことではない。

当プログラムでは単体における隠線は主に計算式に依存し、単体相互の干渉による隠蔽については人間の判断による援助を利用することにした。

3・1 単体の隠線

円柱または(截頭)円錐では底円または頭円のいずれかの円周の半分またはそれに近い部分が必然的に隠線となる。すなわち正面(上面)から視るとき底面の、また背面方向から視るときあるいは仰視(frog eye view)のときには頭円のそれぞれ円周線が部分的に隠れる (Fig. 10)。

また平面上に描かれている円などの図形は背面視のとき図形全体が不可視の状態になる。

これらの線の隠蔽判定は次のように行ないうる。円柱、円錐の中心軸(底より頭部へ方向を正とする)の方向余弦を l, m, n 、投影線と逆方向の線の方向余弦を l_0, m_0, n_0 、その両線の交角を θ_c とすると (5) 式を用い

$$\cos\theta_c = l_0l + m_0m + n_0n < 0 \tag{21}$$

のとき背面視となることが判断できる。

3・2 点の隠蔽の条件

P_0 点 (x_0, y_0, z_0) が隠点となる条件を調べる。妨害する物体は三角形 $P_1P_2P_3$ または四角形 $P_1P_2P_3P_4$ (1平面内とする) の面のいずれかとする。 P_1, P_2, P_3, P_4 の原位置を (x_i, y_i, z_i) ($i=1 \sim 4$) とする (Fig. 11)。このとき隠点となるのには次の2条件を満足しなくてはならない。

- (1) P_0 点がこの三角形または四角形を含む無限平面の後方象限にあること。
- (2) P_0 点の投影点がこの三角形または四角形の投影図形の内部に存在すること。

この2条件を数式化してみよう。

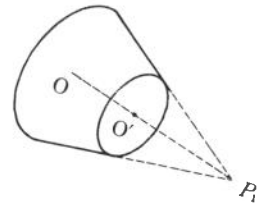
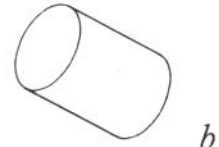


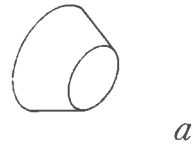
Fig. 9 截頭円錐



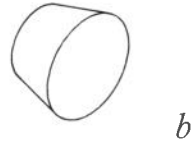
a



b



a



b

Fig. 10 円柱、円錐の隠線
(a:正面視, b:背面視)

$P_i (i=0 \sim 4)$ の投影座標値を X_i, Y_i, Z_i とする。これは (1) 式より計算できる。

条件 (1)

投影線 の方向余弦を $-l_0, -m_0, -n_0$ とする。 $\lambda = +\infty$ とすると光源の位置は $(\lambda l_0, \lambda m_0, \lambda n_0)$ とあらわしうる。条件 (1) は P_0 点と光源が三角形または四角形を含む平面の反対側に存在することである。したがって SGN を符号を示す関数とすると、

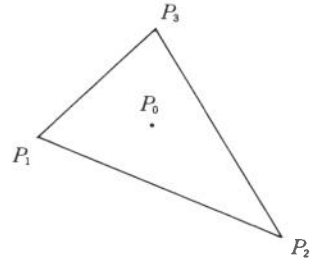


Fig. 11 三角形板による点の隠蔽

$$\text{SGN} \begin{vmatrix} x_0 & y_0 & z_0 & 1 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix} \neq \text{SGN} \begin{vmatrix} \lambda l_0 & \lambda m_0 & \lambda n_0 & 1 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix} = \text{SGN} \begin{vmatrix} l_0 & m_0 & n_0 & 0 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix}$$

これより次式が導かれるが、これが条件 (1) の数式表現である。

$$\text{SGN} \begin{vmatrix} X_1 - X_0 & Y_1 - Y_0 & Z_1 - Z_0 \\ X_2 - X_0 & Y_2 - Y_0 & Z_2 - Z_0 \\ X_3 - X_0 & Y_3 - Y_0 & Z_3 - Z_0 \end{vmatrix} = \text{SGN} \begin{vmatrix} X_2 - X_1 & Y_2 - Y_1 \\ X_3 - X_1 & Y_3 - Y_1 \end{vmatrix} \quad (22)$$

条件 (2)

$P_0(X_0, Y_0)$ が三角形 $P_i(X_i, Y_i) (i=1, 2, 3)$ の内部 (Fig. 11) にあれば、 $P_0P_1P_2, P_0P_2P_3, P_0P_3P_1$ のまわり順が同じになるから、

$$\text{SGN} \begin{vmatrix} X_0 & Y_0 & 1 \\ X_1 & Y_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & 1 \end{vmatrix} = \text{SGN} \begin{vmatrix} X_0 & Y_0 & 1 \\ X_2 & Y_2 & 1 \\ X_3 & Y_3 & 1 \end{vmatrix} = \text{SGN} \begin{vmatrix} X_0 & Y_0 & 1 \\ X_3 & Y_3 & 1 \\ X_1 & Y_1 & 1 \end{vmatrix}$$

これより次式が条件 (2) をあらわす。

$$\text{SGN} \begin{vmatrix} X_1 - X_0 & Y_1 - Y_0 \\ X_2 - X_0 & Y_2 - Y_0 \end{vmatrix} = \text{SGN} \begin{vmatrix} X_2 - X_0 & Y_2 - Y_0 \\ X_3 - X_0 & Y_3 - Y_0 \end{vmatrix} = \text{SGN} \begin{vmatrix} X_3 - X_0 & Y_3 - Y_0 \\ X_1 - X_0 & Y_1 - Y_0 \end{vmatrix} \quad (23)$$

妨害物が四角形 のときには次式が条件 (2) となる。

$$\begin{aligned} \text{SGN} \begin{vmatrix} X_1 - X_0 & Y_1 - Y_0 \\ X_2 - X_0 & Y_2 - Y_0 \end{vmatrix} &= \text{SGN} \begin{vmatrix} X_2 - X_0 & Y_2 - Y_0 \\ X_3 - X_0 & Y_3 - Y_0 \end{vmatrix} = \text{SGN} \begin{vmatrix} X_3 - X_0 & Y_3 - Y_0 \\ X_4 - X_0 & Y_4 - Y_0 \end{vmatrix} \\ &= \text{SGN} \begin{vmatrix} X_4 - X_0 & Y_4 - Y_0 \\ X_1 - X_0 & Y_1 - Y_0 \end{vmatrix} \end{aligned}$$

3・3 摸 索 法

隠線が生ずるケースは多岐にわたり、これらをすべて計算で処理することは不可能に近い。これを補うため理論的計算によらず、CRT上に描かれた投影図形線が他の単体により妨害される点を逐次調べてゆくいわば摸索法が有用である。

いま $P_1(X_1, Y_1)$ から $P_2(X_2, Y_2)$ への直線が途中で隠れる可能性がある場合、 P_1, P_2 間をCRTの最小単位の点の集合とみなし、 P_1 より順次その線を構成する点をたどって進み、その点列が他の線と交叉する所をCRTに描かれた投影画像を用いて手さぐりで見出す。

線と線の交叉には Fig. 12 に示すように、両線を構成する点（○印と×印）が位置的に重複する場合と、重複せずにまたぐ場合があるから注意を要する。

なお妨害する線は当然この手続きに先立って CRT 上に描かれていなくてはならないので線の作図順序に考慮を払う必要がある。なるべく前方にある単体から作画するのが望ましい。

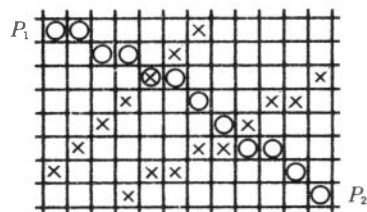


Fig. 12 線の交叉

この手法は線が直線でもまた曲線でも使用しうる。曲線も短い直線からできているものとして処理されるからである。

4 プログラムと作図例

4・1 プログラムの概要

プログラムは直線、円、円柱、円錐より構成される物体の Axonometric projection の自動作図を目的として作った。投影線の方向は自由に指定することができるものとした。自動作図とはいうものの隠線の処理等取扱いにくいものもあるので、完全自動ではなく operator の協力を期待する半自動作図のプログラムである。

プログラムの進行は次の 5 ステップよりなる。

第 1 ステップ：投影線の方向余弦を入力する。ついで物体を構成する単体の寸法・位置のデータを入力する。このデータは次のような数値よりなる。

点：原座標値 x, y, z の 3 数値

直線：始点および終点の点番号の 2 数値

円、円柱、円錐：いずれも 4 数値よりなる。

第 1 数値：種別を示す。0 (円), 1 (円柱), 2 (円筒孔), $3-p$ ($p < 1$) (円錐) 円錐の場合、 p で載頭率をあらわす。

第 2, 第 3 数値：円ではその中心点の点番号と、面法線上にとった適当な点の点番号、円柱および円錐では頭円と底円の中心点の点番号

第 4 数値：(底) 円の半径

第 2 ステップ：上記のデータにもとづき物体の投影図を CRT 上に描く。このとき各単体ごとの隠線は 3・1 の方法により自動処理される。しかし単体相互の干渉による隠線処理はこのステップでは行なわない。

第 3 ステップ：次に CRT 上に描かれた投影図において各単体の隠蔽状態に関し順次次の M_0 の値を入力指示する。

$M_0 = 0$: その単体は全体的に隠れる。

1 : その単体は隠れる部分はない.

2, 3, 4 : その単体は部分的に隠れる ($M_0=2$ の単体は $M_0=1$ の単体により, $M_0=3$ の単体は $M_0=1$ または2の単体によって, また $M_0=4$ の単体はそれ以下の単体によって隠蔽される). この隠れ方にもいろいろの種類があるが, それについては次のステップにおいて指示する.

第4ステップ: まず全画面を一応クリアし, ついで第2ステップと同じように各単体を改めて順次描いてゆく. このとき $M_0=0$ の単体は描かず, $M_0=1$ の単体はそのまま描く. M_0 の値が2, 3または4の単体は, その単体を構成する要素別にその隠れ方について次の M_1 の値の入力指示をうけて自動描画する. ここで要素とは単体を構成する部分で一つの連続線よりなるものをいう. たとえば円柱体は頭円, 底円および2側線の4要素よりなるものとする.

$M_1=0$: この要素は全線隠れる.

1 : この要素は全線描け.

$2+\alpha$ ($\alpha \leq 1$) : 要素の始点と終点の間の α 分点を中心として, その前後, 他の線と交叉する点の間の部分を描け.

第5ステップ: 前ステップでCRTの上に完成投影図が描かれるので, この画像をハードコ

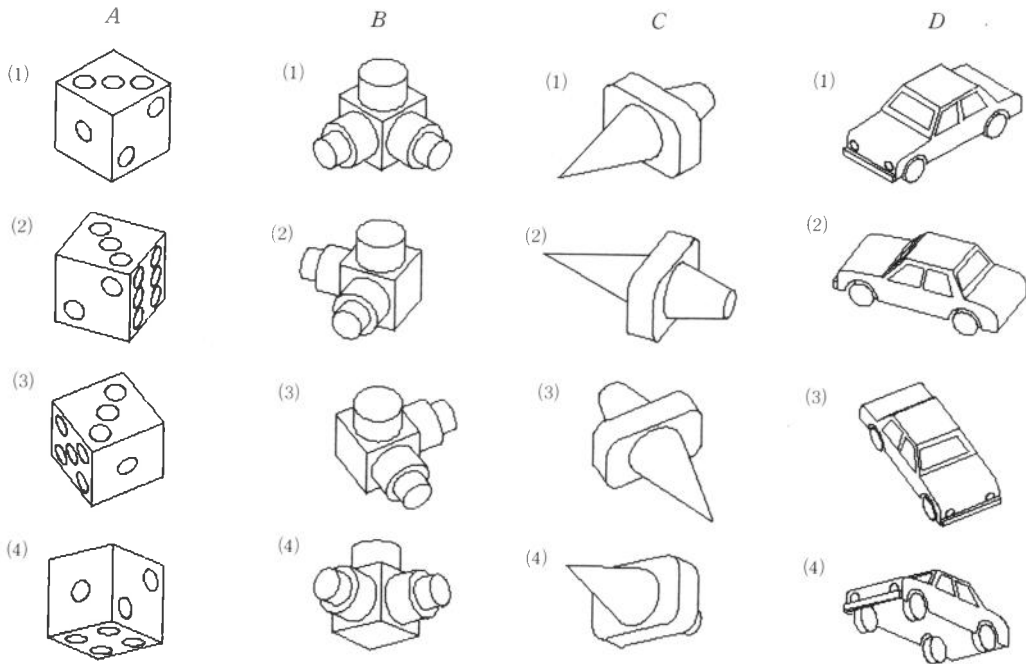


Fig.13 作 図 法
投影線方向余弦 (l, m, n)

- (1) $1/\sqrt{3}, 1/\sqrt{3}, 1/\sqrt{3}$
- (2) $-1/3, \sqrt{5}/3, 1/\sqrt{3}$
- (3) $1/\sqrt{3}, -1/3, \sqrt{5}/3$
- (4) $\sqrt{5}/3, 1/\sqrt{3}, -1/3$

ピーにとる。X-Yプロッタで描くならば、第4ステップでCRT上に作画するのと併行して描かせればよい。

4・2 作 図 例

前記のプログラムを用いて、数例についてそれぞれ4方向からの投影図を作図してみた (Fig. 13)。CRTは160×100のドットよりなるものを用い、コピーはキヤラクタ・ラインプリンタを用いた。CRTのドット数のさらに多いコンピュータを用い、またX-Yプロッタでコピーすればより精密な滑かな図が得られるであろう。

5 む す び

Axonometric projection の簡易自動化のための基礎理論式の作成ならびにプログラミングを行なった。一応の成果を得ることができたが、さらに改善すべき点も多い。特に

- 1 入力データおよび operator の指示をなるべく少く、しかも簡明なものにすること
- 2 構成単体の種類をさらにふやすこと

の2点が残された課題である。