

マイコンを用いた都市景観表示手法 の一研究

A Study on Displaying Landscape of a City
by the Use of Microcomputer

銭 谷 善 信 *

○中 北 寛 司 **

By Yoshinobu ZENITANI & Satoshi NAKAKITA

Many computer graphics are displayed by computer. This paper deals with graphics by microcomputer, or personal computer. The graphics are displayed by the wire frame method, surface model method or the solid model method.

This study uses the surface model method. A new method is applied to find possibility of a plane's visibility. The method can decrease the computing time for calculating the visible possibility of planes of buildings and houses.

1. はじめに

現代は、世界的に都市化時代といわれている。人口、産業の異常な都市集中によって、様々な社会問題が引き起こされている。そこで都市化時代における望ましい都市の姿を我々の生活環境等を十分に考えて計画する必要がある。例えば都市景観において実際に街の中で目立つものというのは、建築、土木構造物、それに輸送機関であるが表層つまり物理的な現象だけで捉えず将来像に最も適合した計画を立案し実施していかなければならない。そのため本研究は計画立案段階における一支援システムとしてマイクロコンピュータを用いて、自由な視点位置から眺めた地上景観を描写することに目的を置く。これによって構造物、建築物等の建設による情景変化やそれによる影響を分析したり解析することが可能になる

と考える。

最近、コンピュータを用いたアニメーションやコンピュータグラフィックスが実演されている。これらは超大型コンピュータやスーパーコンピュータと言われる高速大容量の能力を持つコンピュータである。演算結果として表示される色調色数が豊富でかなり実物に近い表現が可能となっている。しかしこれらの装置は高価であり、演算に要する費用も当然高くなる。都市景観の表示は前述したように計画立案段階で必要と考えられるが、これには装置が簡単でどこにでも移動できるシステムが望ましい。大型コンピュータでは端末装置、ディスプレイを随時即座に移動するのは困難である。それに対して本研究で取り扱うマイコンの本体自体軽量で、周辺装置も遅搬移動が簡単である。

* 正会員 工博 摂南大学助教授

**正会員 全日本コンサルタント顧問

一般にコンピュータグラフィックスで物体を表示する方法に①ワイヤフレーム法、②サーフェスモデ

ル、③ソリッドモデルの3つの方法がある。

ワイヤーフレーム法は構造物の骨格を針金細工のように線で順次つないで表示するのみであり、構造物の表面の色を表現できない。ソリッドモデル法は、物体を中身のつまった状態と定義する。複雑な形状の物体をできるだけ簡単な直方体、楕円体、球、平面などのプリミティブに分割し、このプリミティブの集合体（論理積・和）として1つの物体を表現し、光線追跡法を用いて陰影処理などをすることができ。しかし簡単な物体でも8ビットマイコンで8～40時間かかる。この時間はプリミティブの個数に比例する。このように時間がかかりすぎるため本研究のシステムでは不適当である。

本研究ではサーフェスモデルの手法を用いる。一般に任意の面の可視判定は、面の法線ベクトルと視線の法線ベクトルの内積によるが、本研究では、ビルと家の側壁の可視判定に、高速に面の可視判定をする手法を開発した。これによって計算時間の短縮を可能にしている。

2. 都市景観の要素

都市景観の要素には、表-1に示すものが考えられる。本研究では表-1の中で、①～③、⑤～⑩、⑬、⑭、⑯～24を取り扱う。なおテーブル、イス

表-1 景観の要素の分類

平面的広い空間	①河川②空③畑・公園
立体的自然物	④湖沼・海
交通路	⑤木⑥山
	⑦平面道路（車線区分・分離体・交差点）⑧歩道・横断歩道⑨高架道路⑩橋⑪歩道橋⑫鉄道
建築物等	⑬ビル⑭家（切妻・寄棟）⑮駅⑯電柱⑰看板⑱信号・標識⑲案内標示板⑳街路灯
その他人工物	21鉄塔 22電話ボックス 23テーブル 24イス
移動物	25列車 26車両 27自転車・2輪車 28人

などはストリートファニチャと考えている。

3. モデルの特徴

(1) 都市景観表示プロセス

本研究の都市景観を描き出すプロセスは大きく分けて図-1に示す4つの工程からなる。まずデータ作成のプロセスでは、景観表示に必要な対象物（建築物や構造物等）の代表点座標、

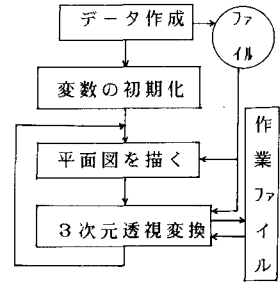


図-1 プロセス

高さ、奥行き、長さ等のデータを1つずつ入力し、これをファイル（フロッピーディスク）に記録しておく。本研究では1対象物につき256バイトを記憶領域に割りあてて。170ピクセル当り8インチで3500、5インチ200で2560の対象物を記録できる。変数の初期化では次の3次元透視変換プロセスに必要な変数を初期値で与えておく。

平面図を描くプロセスでは、描く領域を指定することによってその領域内にどのような対象物があるか色分けで示すことができる。平面図を描写後、この領域内に任意に視点を設定し、視線の方向を定める。この視点位置・方向のデータは次の3次元透視変換プロセスに用いられる。

3次元透視変換プロセスでは、ファイルからデータを順次読み出し、座標変換を行ない、視点の前方にある物体のみを作業用ファイルに一時的に記録する。次に視点から遠い物体から順に並び換えた後、クリッピング処理を行ない描写する。描写完了後は画面の記録を35mmカメラやビデオカメラを用いて行ない、再び平面図描写プロセスに戻る。

(2) データ作成と表示方法

a) ビル ビルを表示する

場合、基本パターンとして図-2に示すような直方体を考え、代表点（頂点1）の座標を(X1,Y1,Z1)、幅A、奥行きB、高さH、基準面（面1278）の東からの角度θを入力し、各頂点の座標を計算する。この各頂点を透視変換し、次節で示す面

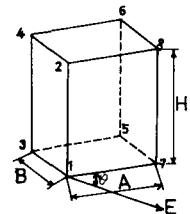


図-2 ビルの座標

の可視判定方法を用いて描写する。側壁および屋上面は写真1に示すように125色の中から任意に指定できる。なお屋上にある塔屋その他の建物はビルの付属物とし、多面体の物体として入力する。

b) 家—家は切妻・寄棟の2種類を考え、図-2に示すように各頂点に番号をつける。頂点1を代表点 (X_1, Y_1, Z_1) とし、幅A、奥行きB、高さ H_1 、面2478からの屋根の高さ H_2 、頂点の奥行きDL、基準面1287の東からの角度 θ を入力し、各座標の値を計算する。頂点1-8はビルと同様である。頂点9,10は、

$$\begin{aligned} X_9 &= X_1 + (A \cdot \cos \theta) / 2 - DL \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta, & Y_9 &= Y_2 + H_2 \\ X_{10} &= X_1 - B \cdot \sin \theta + DL \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta, & Y_{10} &= Y_9 \\ Z_9 &= Z_1 - (A \cdot \sin \theta) / 2 - DL \cdot \cos^2 \theta \\ Z_{10} &= Z_1 - B \cdot \cos \theta + DL \cdot \cos^2 \theta \end{aligned}$$

で計算される。側壁、屋根の色指定はビルと同様である。

c) 電柱、円柱—図-4に示すように高さH、太さAとする。円柱の上下面は目の高さによって見え方は円形—楕円—直線状と変化するので、この見え方を楕円の横対縦の比率で与える。図-4 柱体上下面のこの比率を P_1, P_2 とする。円柱の座標を図-9のように与えて、上下面の楕円の中心を $(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2)$ 、視点の座標を (X_p, Y_p, Z_p) とすると、 P_1, P_2 は次式で求められる。

$$\begin{aligned} \tan P_1 &= |Y_p - Y_1| / \sqrt{(X_p - X_1)^2 + (Z_p - Z_1)^2} \\ \tan P_2 &= |Y_p - Y_2| / \sqrt{(X_p - X_2)^2 + (Z_p - Z_2)^2} \end{aligned}$$

d) 木—木は幹と葉の部分に分けて考える。木の葉の形態を図-5のように3種類考える。幹の部分の表示法は円柱と同様である。葉の形は楕円の偏平率Pで与えて定める。 $P=1$ の時は円、 $P>1$ の時は縦長楕円、 $P<1$ の時横長楕円、 $P=0$ の時円錐形とする。次に3次元透視変換を行なう時、視点高さの変化によって葉の形の見え方が変化する状態

を表現する必要がある。木の葉の中心位置と同じ高さで無限遠から見れば図-5のように見えるが、有限遠で目の高さを変化すれば葉の形は楕円形—球形と変化する。3次元透視変換前の楕円の横半径 R_1 、縦半径 R_2 、変換後をそれぞれ r_1, r_2 とする。

$$\begin{aligned} R_2 &= P \cdot R_1, & r_1 &= (X_3 - X_2) \cdot R_1 / A \\ r_2 &= (Y_3 - Y_2) \cdot R_2 / H, & P' &= r_2 / r_1 \end{aligned}$$

この P' (変換後の偏平率)と中心位置、半径 r_1 を用いて葉が描かれる。(C)の円錐形の葉の場合、底面は楕円と同じ変換を用い、図-5のDLと底面の間を数等分して順次大きい楕円から頂点へと半径を減少させて描く。なお葉には前面に黒い点をランダムに散らせる。[A] (B) (C)

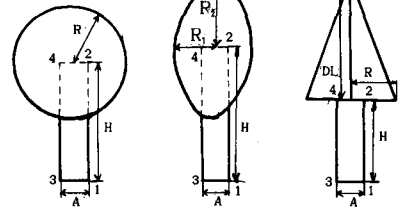


図-5 木の形態

e) 高架道路

高架道路は橋脚部と庄版部に分けて入力、描写する。まず橋台は図-6のように π 型、T型の2種類を考え、代表点(頂点D)の座標と東からの角度 θ, A, DL を入力し、各頂点の座標を計算する。脚部はビル又は円柱と同様な方法で入力する。庄版部は図-7のように点を定める。

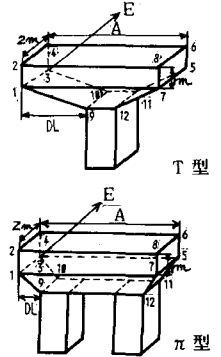


図-6 橋脚

曲線や上下の勾配があるため、これを表 r 現するようにZ軸 x, y, z の回りの回転角を

α, β, δ とし、代表点(頂点1)の座標、幅A、長さD、面1278の東からの角度 θ を与えることによって、各点の座標を計算する。

f) 畑、公園、河川—これらは一般に平面的と考

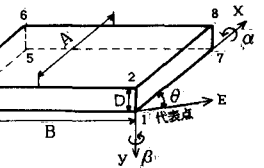


図-7 庄版

えられる。周囲の形態を基本的には四辺形とし、周囲の4つの点の座標を入力することにする。なお斜面、堤防の法面は一般の可視判定方法を用いた面の可視判定後に描写する。

g) 平面路、歩道、車線分離帯——これらも前述の畑、公園と同様に周囲の4つの点の座標を入力する。

4. 3次元透視変換

(1) 一般的可視判定

入力された面が

定められた視点から

見えるかどうかの

可視判定は一般的

には図-8のように

面1234の法線と

視線のなす角を θ

とすると、

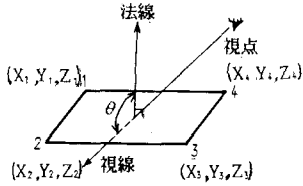


図-8 面の法線と視線

$\cos \theta < 0$ の時「見える」、 $\cos \theta \geq 0$ の時「見えない」となる。面を構成する4つの点の座標を図-8のように表面から見て左回りに番号をつけて与えると、法線ベクトルの成分(V_a, V_b, V_c, V_d)は、

$$V_a = (Y_1 - Y_2)(Z_1 + Z_2) + (Y_2 - Y_3)(Z_2 + Z_3) + (Y_3 - Y_4) \\ \cdot (Z_3 + Z_4) + (Y_4 - Y_1)(Z_4 + Z_1)$$

$$V_b = (Z_1 - Z_2)(X_1 + X_2) + (Z_2 - Z_3)(X_2 + X_3) + (Z_3 - Z_4) \\ \cdot (X_3 + X_4) + (Z_4 - Z_1)(X_4 + X_1)$$

$$V_c = (X_1 - X_2)(Y_1 + Y_2) + (X_2 - X_3)(Y_2 + Y_3) + (X_3 - X_4) \\ \cdot (Y_3 + Y_4) + (X_4 - X_1)(Y_4 + Y_1)$$

$$V_d = -(V_a \cdot X_1 + V_b \cdot Y_1 + V_c \cdot Z_1) \quad \text{で求められる。}$$

視点の位置を(X_p, Y_p, Z_p)、視線の北からの角度 θ 、視線の水平からの角度 ψ 、3次元透視変換マトリックスを

$$T = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & q \\ t_1 & t_2 & t_3 & 1 \end{pmatrix}$$

ここに $a_{11} = \cos \theta$, $a_{12} = 0$, $a_{13} = \sin \theta$,

$$a_{21} = \sin \theta \cdot \sin \psi, \quad a_{22} = \cos \psi, \quad a_{23} = -\cos \theta \cdot \sin \psi$$

$$a_{31} = \cos \psi \cdot \sin \theta, \quad a_{32} = -\sin \psi, \quad a_{33} = -\cos \theta \cdot \cos \psi$$

$$t_1 = -X_p \cdot \cos \theta - Y_p \cdot \sin \theta \cdot \sin \psi - Z_p \cdot \cos \psi \cdot \sin \theta$$

$$t_2 = -Y_p \cdot \cos \psi + Z_p \cdot \sin \psi, \quad t_3 = X_p \cdot \sin \theta + Y_p \cdot \sin \psi$$

$$t_4 = X_p \cdot \sin \theta + Y_p \cdot \cos \theta \cdot \sin \psi + Z_p \cdot \cos \theta \cdot \cos \psi$$

視線の変換マトリックスは、 $t_{11} = a_{11}$, $t_{12} = a_{12}$,

$$t_{13} = 2 \cdot a_{13}, \quad t_{14} = a_{13} / Z_p, \quad t_{21} = a_{21}, \quad t_{22} = a_{22},$$

$$t_{23} = 2 \cdot a_{23}, \quad t_{24} = a_{23} / Z_p, \quad t_{31} = a_{31}, \quad t_{32} = a_{32},$$

$$t_{33} = 2 \cdot a_{33}, \quad t_{34} = a_{33} / Z_p, \quad t_{41} = t_1, \quad t_{42} = t_2,$$

$$t_{43} = 2 \cdot t_3 - Z_p, \quad t_{44} = t_3 / Z_p \quad \text{とおくと、}$$

$$T_e = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} \end{pmatrix}$$

で示される。視線のベクトル(V_1, V_2, V_3, V_4)とする

$$\begin{aligned} D &= |T_e|, \quad DT_1 = t_{21} \cdot t_{32} \cdot t_{44} + t_{41} \cdot t_{22} \cdot t_{34} - t_{23} \\ &\cdot t_{32} \cdot t_{41} - t_{31} \cdot t_{22} \cdot t_{44} - t_{21} \cdot t_{34} \cdot t_{42}, \quad DT_2 = t_{11} \cdot t_{32} \\ &\cdot t_{44} + t_{12} \cdot t_{32} \cdot t_{41} - t_{11} \cdot t_{42} \cdot t_{34} - t_{12} \cdot t_{31} \cdot t_{44}, \quad DT_3 \\ &= t_{11} \cdot t_{22} \cdot t_{44} + t_{12} \cdot t_{24} \cdot t_{41} + t_{21} \cdot t_{42} \cdot t_{24} - t_{14} \cdot t_{22} \\ &\cdot t_{41} - t_{11} \cdot t_{42} \cdot t_{24} - t_{11} \cdot t_{42} \cdot t_{24} - t_{44} \cdot t_{21} \cdot t_{12}, \quad DT_4 \\ &= t_{11} \cdot t_{22} \cdot t_{34} + t_{12} \cdot t_{24} \cdot t_{31} + t_{32} \cdot t_{21} \cdot t_{14} - t_{31} \cdot t_{22} \\ &\cdot t_{14} - t_{12} \cdot t_{21} \cdot t_{34} - t_{11} \cdot t_{24} \cdot t_{32} \quad \text{とおけば、} \end{aligned}$$

$$V_1 = DT_1 / D, \quad V_2 = -DT_2 / D, \quad V_3 = DT_3 / D, \quad V_4 = DT_4 / D \quad \text{で示}$$

される。以上から面の法線ベクトルと視線ベクトルの内積は $\cos \theta = V_a \cdot V_1 + V_b \cdot V_2 + V_c \cdot V_3 + V_d \cdot V_4$ となる。

(2) 本研究の可視判定

a) ビルの壁面の可視判定

直方体のビルの場合、視点から見えるビルの壁面は最大2面、視点がビルより高い場合には屋上を含めて3面である。残りの2つの壁面は見えない。そこで本研究では以下のように壁面の可視判定をする。

ビルを真上から見

た場合、図-9のよう

に頂点に記号をつけ

ると、視点I、IIIの

時は1面のみ、視点

IIでは2面が見える。

なおK0は視点に最も

近い頂点の番号とし、

$$K_2 = (K_0 + 3) \bmod 4,$$

$$K = (K_0 + 5) \bmod 4, \quad K_1 = (K_0 + 7) \bmod 4$$

で示される。ここで $K - K_1$, $K - K_0$, $K_2 - K_0$, $K - K_2$ を

通る直線を F_1, F_2, F_3, F_4 とし、これらの直線に視点

座標を代入した値をそれぞれ f_1, f_2, f_3, f_4 とする。

視点Iの場合、直線 F_1 の下、 F_3 の上にあるので、 f_1

$\cdot f_3 < 0$ となる。視点IIIも同様にして、 $f_2 \cdot f_4 < 0$ となる。

視点IIでは、直線 F_1 と F_3 のしたでかつ F_2 と F_4 の下である。ここで $E_1 = f_1 \cdot f_3$, $E_2 = f_2 \cdot f_4$ とおくと、

$$\text{視点Iでは} \quad E_1 < 0, \quad E_2 > 0 \quad \text{より} \quad E_1 \cdot E_2 < 0$$

$$\text{視点IIでは} \quad E_1 > 0, \quad E_2 > 0 \quad \text{より} \quad E_1 \cdot E_2 > 0$$

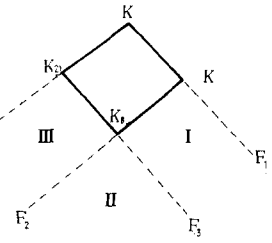


図-9 ビルの可視判定

視点Ⅲでは $E1>0$, $E2<0$ より $E1 \cdot E2 < 0$ となる。したがって $E1 \cdot E2 > 0$ で2面, $E1 \cdot E2 < 0$ で1面がそれぞれ見えることがわかる。

屋上が見えるかどうかは、視点の高さ Yp がビルの屋上の高さより上か下かで容易に判定できる。

b) 家の壁面と屋根の可視判定

家については、壁面はビルと同じ可視判定法を用いるが、屋根は前述した一般的な可視判定法をとる。なお切妻は2面、寄棟は4面の法線ベクトルを求めて判定する。家の頂点は図-3のように番号をつけて

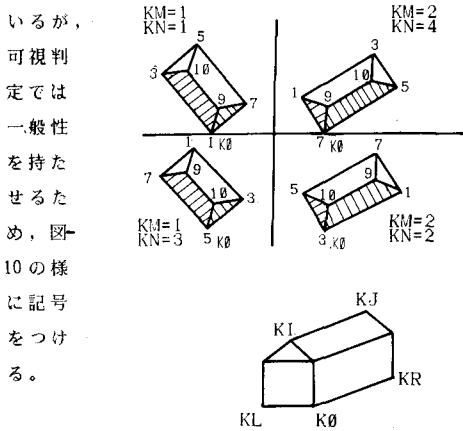


図-10 家の屋根の可視判定

ここに $K0$ は視点に最も近い平面上の頂点である。

ここで、

$$KM = (K0 \text{ MOD } 4 + 1) / 2, KN = (K0 + 1) / 2 \text{ とおく。}$$

この KN の値の変化に対応して KL, KR, KI, KJ は表-3のようになる。視点

の高さが屋根より低い時、寄棟では図-10に示す4つの場合が考えられるが、 KN, KM の2つの値によってどの屋根の面が見えるかは容易に判

表-3 KL, KR, KI, KJ の変化

KN	KL	KR	KI	KJ
1	7	3	9	10
2	5	1	10	9
3	3	7	10	9
4	1	5	9	10

定することができる。視点が屋根より高い時は4つの屋根面全てについて可視判定する必要がある。

(3) 透視変換のプロセス

3次元透視変換のプロセスは、①水平線の位置を計算する。②水平線がウィンドウ内なら、空の色を

塗る。③水平線がウィンドウの下線より上の時、平面、畑、公園を描く。④全ての対象物を3次元透視変換する。⑤家、斜面は屋根面等の法線ベクトルを求める。⑥ビルと家について壁面の可視面に関する数値 $E1, E2$ を計算する。⑦視野ピラミッド内にある対象物のみを作業用ファイルに記録する。⑧作業用ファイル内の対象物を視点から遠い順に並びかえる。⑨作業用ファイルの対象物をクリッピング処理をして表示する。

(4) クリッピング処理

描写対象となる物体を描く場合、物体の各面が表示画面の範囲内かを判定して、各面の色を塗る必要がある。1つの面が4つの点で構成される時、この4つの点の中で、1点、2点、3点、4点がそれぞれ範囲外に出る場合を判定し、それぞれの場合に応じてクリッピングの処理を行なう。

5. モデルによる計算例

(1) モデルによる時間短縮効果

本研究で開発した面の可視判定法と一般的な方法（面の法線ベクトルと視線ベクトルの内積）とで、1つの物体表示に関して3次元透視変換の計算と描写に必要な計算時間にどれだけ違いがあるかを示したのが表-4である。

表-4 計算時間の比較（単位：秒）

	見える壁面数	見える屋根数	本研究の方法	一般的な方法	差
家	2	2	22-25	33-36	11
	1	1	19-21	28-32	9-11
	1	1	16-19	27-33	11-14
ビル	2	1	18(2.2)	26(2.9)	8(0.7)
	1	1	14(1.9)	22(2.6)	8(0.7)
	1	0	12(1.6)	20(2.1)	8(0.7)

() 内は16ビットの計算時間

表-4から、本研究による方法は一般的な方法と比較して計算時間で約30%短縮されていることがわかる。なおビルについては() 内に16ビットによる結果を示してあるが、16ビットでは24%程度の短縮で

あることがわかる。1つのビルを表示するのに8ビットで8秒の短縮であるから、都市全体には多数のビルがある場合、例えば100で800秒(16ビットで70秒)、1000で8000秒(16ビットで700秒)の短縮が可能であることがわかる。

(2) マイコンによる表示例

写真-1に本研究で表示可能な125色を示す。マイコンを用いて2種類の表示を実行した。まず第一は写真-2、3に示すように、ビルがぎっしりと並んだ横400m、縦250mの仮想地域である。ビル数60、道路本数10本で道路の車線区分はない。ビルは色が一部塗り残されたところが見られる。これはBASICインタープリタのソフト上の欠点である。これを解決するためには色を塗り始める点を2~3回変えて同じ領域を色塗りすればよいと考えられるが、それに伴って計算時間が増加する欠点が出てくる。

描き始めるまでの計算時間は8分、描き出してから終了するまでに12分、合計20分かかった。なおこれと同じ状況を16ビットマイコンで実行したところ合計9分48秒であった。これらの計算時間はデータの入出力にフロッピーディスクを用いているが、作業用のファイルにRAM Disk(1CのRAMをフロッピーの代わりに利用する)を用いることによって計算時間をさらに3割短縮することが可能である。

写真-4には高架道路平面道路上から見た状態を表示した例を示す。

次に第2は写真-5、6に示すように、第1の例で取り扱っていない畑、公園、車線区分のある道路、歩道、横断歩道、信号、曲線道路、鉄塔、電話Boxなどを表示した。白線、車線区分、横断歩道などは写真-7、8に示す拡大した状態では、写真-5、6よりも明瞭に見ることができる。ただし曲線道路は曲線を何か所かに区分して描くようにしているため、その区切りが目だっており、スムーズな曲線に見えないのが欠点である。

6. むすび

125色の限られた色数ではあるが、マイコンでもかなり現実に近い都市景観表示が可能であるが、今後は計算時間をより高速化すること、現在は表示していない他の種類の対象物を表示する必要があると考える。このためには高級言語Compiler(Fortran, Basic, C等)による開発を行なう必要がある。

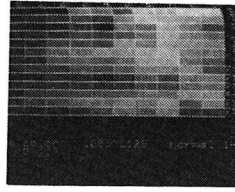


写真-1

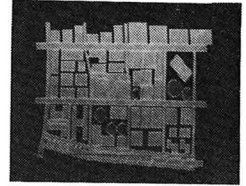


写真-2

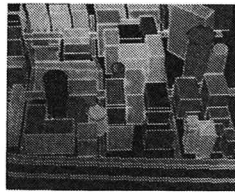


写真-3

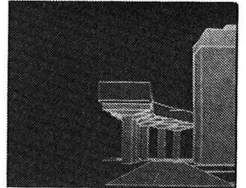


写真-4

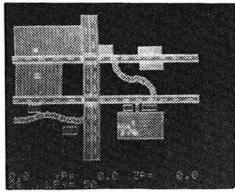


写真-5

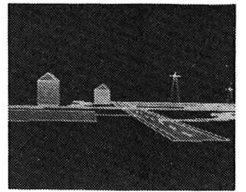


写真-6

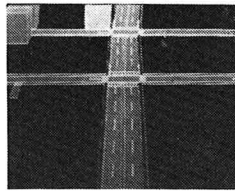


写真-7

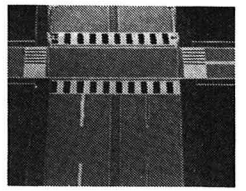


写真-8