

画面分割法による三次元物体表示および遠近処理

西田 友是 中前 栄八郎

(福山大学工学部) (広島大学工学部)

1. はじめに

計算機を用いて創成された三次元物体の透視図を表示することは機器、建築物のCADに有用な手段である。三次元物体を表示する方法にはX-Yプロッター等による線画(line drawing)による表示法^{1,2)}およびCRT等による濃淡表示(half-tone presentation)法^{3,4)}がある。前者については隠れた線分を消去して表示する隠線消去(hidden line elimination)問題があり、後者については隠面消去(hidden surface removal)および付影(shading)問題がある。これらの問題について ①処理時間の短縮化、②画質の改良、③入力データの簡易化が議論されてきた。筆者らは複雑でデータ量の多い図形に関して処理時間の短縮化を計り、かつ小規模の計算機によりこれを処理するための画面分割法を提案する。この画面分割とは透視面をいくつかに分割し、分割画面に必要最少限のデータを用いて処理を行なうものである。また、画質の改良に関して、すでに図柄処理等について報告した⁴⁾が、今回、物体の表示レベルを視点からの距離の関数により求める方法を提案する。これは、線画表示における遠距離物体の必要以上の詳細な描写の除去と、カラー陰影表示における遠近によるコントラストを考慮したものである。

従来、画面分割に関して、面の前後判定処理時間を短縮するために空間を分割する(sectorization)方法¹⁾があるが、この分割は必ずしも表示画面と対応したものであるのではなく、また、記憶容量の最適化を考慮していない。遠近感の表示については線画表示において、近くのを明るく、遠方のものほど輝度を落とす輝度変調法⁵⁾あるいはハード的に画面上の特定な部分(中央部)をぼかす方法⁶⁾がある。前者はリアル感にとぼしく、後者は視点からの距離を考慮したものであるのではなく汎用性に欠ける。

筆者らは、すでに隠線消去³⁾およびカラー陰影表示⁵⁾プログラムを開発しているが、これらのプログラムに本手法を適用することにより、実用的なプログラムが開発されたので、応用例と合わせて報告する。

2. 画面分割、遠近処理の意義と処理上の問題点

筆者らが、すでに開発している凸多面体集合の隠線消去及びカラー陰影表示プログラムは、物体の自動作成機能、図柄処理、高能率なWINDOW機能、複数光源の処理等の特徴を有すが、これらに画面分割、遠近処理プログラムを加えることにより次の利点を生じる。

以下に利点とこの際必要な処理および問題点を列記する。

2.1 画面分割について

[利点]

①処理しようとする画面に必要なデータのみをDISKから主記憶装置に呼び出す方式を採用することにより小規模計算機で複雑な図形を処理できる。

②CPUの並列処理が可能な場合、分割画面毎に並列処理されるので処理時間の短縮が期待される。

③ 隠線消去、隠面消去は一般に図形量の二乗に比例する。したがって画面分割により対象図形量が減少し、処理時間の短縮が計れる。

④ 円筒状の透視面を採用することにより、非常に広角視野(360°)の画像を得ることができる。

⑤ 陰影表示の場合、光源数が多くなるに従って、必要な記憶容量が急躍的に増大するが、分割処理により多光源を取扱うことが可能になる。

⑥ 局所的な処理が可能となり、画面の部分的変更が容易となり、かつ高速処理ができる。

[問題点]

① 円筒分割においては、各分割画面に対する透視変換式が必要となる。

② 分割画面に必要な情報のみの抽出に関して次の点を考慮する必要がある。

i) 隠線消去については分割視野内の物体及び図柄を高能率に抽出する方法。

ii) 陰影表示については、付影処理に必要な物体は分割視野内のもののみでは充分でなく、これらの処理に必要な物体の適正な抽出が必要であり、かつ複数光源に対して有効な抽出方法。

なお、i) ii)の処理においてDISKとのアクセス回数の少ない方法。

③ 特定の分割画面に図形が集中する場合の適切な分割処理を必要とする。

2.2 遠近処理について

[利点]

① 線画において図形量が多い場合、遠方部が近接部に比べ塗りつぶされた感じとなり、図形が必要以上に複雑となる。この場合、物体の詳細表示度を視点からの距離の関係を用いて求めることにより、煩雑さを減少し、より現実的な画像を実現する。

② 陰影表示において、視点と物体との距離を考慮して、遠方ほどかすむ効果を導入することにより、より遠近感・現実感を増すことができる。また、可視距離を短くすることにより、視界の悪い場合の画像を得ることができ、飛行あるいは航行シミュレーションへの応用が可能となる。

[問題点]

① 表示レベルの判定要素である視点と物体との距離及び大きさの判定方法の開発を必要とする。

② 遠方がかすんだ感じを表現するための、距離と色変化との関連の定式化を必要とする。

3. 三次元図形表示システムにおける画面分割および遠近表示の位置づけ

陰影表示と隠線消去とでは若干処理方法が異なるが処理の複雑な陰影表示を中心に述べる。画面分割および遠近処理を考慮した陰影表示プログラムは大別して以下のステップよりなる。

[ステップI]: (a)物体を自動作成し、(b)*それらのデータをグループ単位にDISKにファイルする。なお、この際Boundary Cubicを求める(4.1参照)。

[ステップII]*: 視野が与えられると、分割画面を設定する。

[ステップⅢ]*:各分割画面に必要なデータのDISKからの抽出、輪郭線の抽出及び表示レベルの決定。

[ステップⅣ]:凸多面体の輪郭線を利用して物体の前後関係および物体上の影を求める。

[ステップⅤ]:(a)図形を走査し、走査線上の面について隠面消去を行ない、(b)各点の照度・色を求めCRTへ出力する、(c)*必要なら遠近コントラスト処理を施す。

ここで*部が本論文において開発された部分である。

以上のステップの概略フローを図Ⅰに示す。図から判かるように、ステップⅢ、Ⅳはまず視点について処理し、次に光源数 n_s だけ繰り返す。ステップⅢ～Ⅴは画面分割数 n_b だけ繰り返す。またステップⅡ～Ⅴは視点または光源の変化する毎に繰り返す。

一方、隠線消去の場合は、ステップⅣでは各線分の交点を求める。ステップⅤでは文献³⁾に示す不可視度数の考え方をを用いて可視部分を求めプロットする。

4. 画面分割処理

2.1 で述べた画面分割処理の問題点の解決法として、画面分割の種類と方法、分割画面に必要なデータの抽出法及び記憶容量の不足を緩和するための分割画面の自動分割法について述べる。

4.1. 画面分割の種類及び透視変換

(1) 種類

① 平面分割:透視面を平面とする平面分割であり、標準的な視野角(水平角 55° 程度)以内のものについて適用する。透視平面は図2に示すように注視点を通り視線に垂直な平面であり、各画面は基本的には縦方向の等分割(4.3参照)である。

② 円筒分割:透視面を円筒とする円筒分割であり、標準的な視野角を越す広角視野に適用する。但し、分割された円筒は平面を用いて近似する。透視面は図3に示すように真の注視点(ここでは入力時の値)を通り、視線 $P_0 P_f$ に垂直な円筒とする。各画面は縦方向の等分割である。

(2) 透視変換

① 平面分割:文献³⁾の透視変換と同じでよく、各頂点の透視面上への座標変換は(付1)(付2)式を適用することにより行なわれる。

② 円筒分割:まず、透視面の求め方について、次に透視変換について述べる。

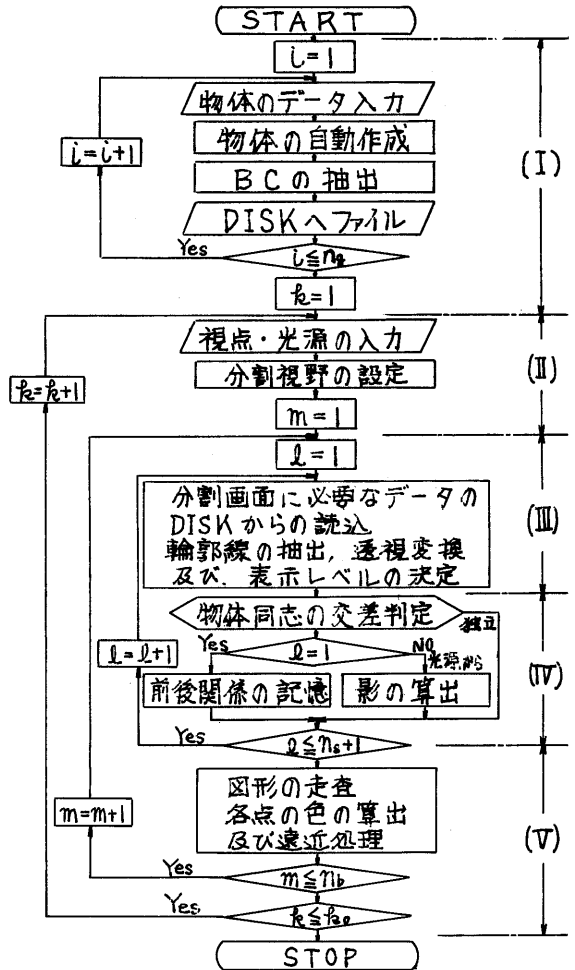


図1. フローチャート

図1. フローチャートの自動分割法について述べる。

①透視面の求め方；円筒分割の各画面は注視点を移動することにより得られる。いま、真の注視点(画面の中心) $P_f(X_f, Y_f, Z_f)$ 、視点 P_v を極座標 (R, θ, φ) で与えるものとする。但し R は視点と注視点の距離で、 θ, φ それぞれは注視点を原点と考えた時の $X-Z$ 平面となす角及び $X-Y$ 平面との角度である。図2に示すように、 i 番目の新注視点 $P_{fi}(X_{fi}, Y_{fi}, Z_{fi})$ は P_v と P_f の距離を R に保ち、 $X'-Z'$ 平面上を回転した点である。この際円筒の性質から Y' の向きはどの透視面も同一である。 P_{fi} の回転角を δ_i とすると、 P_{fi} は次式で表される。

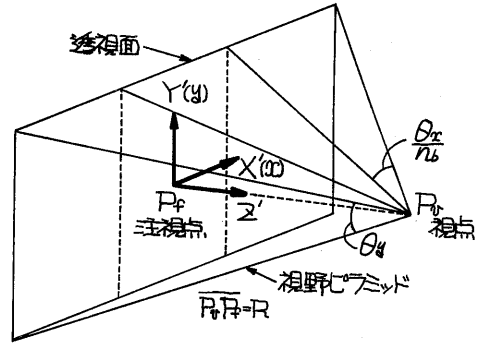


図2. 平面分割

$$\begin{bmatrix} X_{fi} \\ Y_{fi} \\ Z_{fi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\theta & \cos\theta \cos\varphi \\ \cos\theta & \sin\theta \cos\varphi \\ 0 & \sin\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \sin\delta_i \\ R(1-\cos\delta_i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_f \\ Y_f \\ Z_f \end{bmatrix} \quad (1)$$

②透視変換式の求め方：ある点 P の三次元上の頂点を $P(X, Y, Z)$ 透視面上へ投影された点を $P(X', Y', Z')$ 透視平面上の座標系の点を $P(X, Y)$ とし、 $\vec{P}_v \vec{P}_i$ の単位ベクトルを $U(u, v, w)$ とすると、透視変換は(3)式及び(付2)式により得られる。

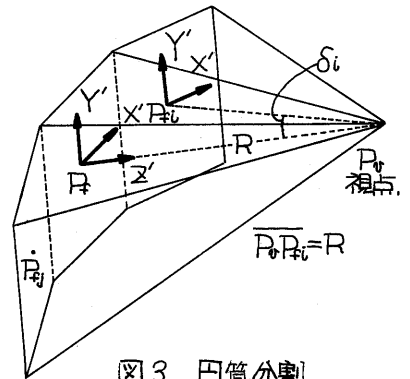


図3. 円筒分割

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} X_{fi} - X_v \\ Y_{fi} - Y_v \\ Z_{fi} - Z_v \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -w \cos\theta \sin\varphi - v \cos\varphi & u \cos\varphi + w \cos\theta \sin\varphi & u \sin\theta \sin\varphi - v \cos\theta \sin\varphi \\ -\cos\theta \sin\varphi & -\sin\theta \sin\varphi & \cos\varphi \\ u & v & w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_{fi} \\ Y - Y_{fi} \\ Z - Z_{fi} \end{bmatrix} \quad (3)$$

なお、ここで(付2)式の $(R-Z')$ が負の頂点は視点より後方にあるから、透視変換は不要である。また、この $(R-Z')$ は視点と頂点との距離に比例するから、以後の処理の簡易化のため、各物体における頂点の $(R-Z')$ の最大値と最小値をそれぞれ DP_{max}, DP_{min} で表し、depth parameter と定義する。

4.2 分割画面に必要なデータの抽出

2.2 において述べたように、各分割画面において、①分割視野内の物体の抽出、②付影処理に必要な物体の追加、が必要である。これらの処理は、まずグループ単位で判定し、次にそれぞれに属する物体、図柄について判定を行なう。これにより計算時間およびDISKへのアクセスタイムの減少が計れる。このグループとは物体(object)の集合であり、ユーザーがデータ入力時に適当にグループピングをしたものである。(例えば、ビル街の場合、一ブロックにあるビル集合)。なお、本プログラムではこのグループを単位に、移動、回転、縮小拡大が可能である。

グループ単位で処理を行なうために、3章の〔ステップI〕において、図4に示

すようにグループ内に含まれる物体の頂点座標のX, Y, Z方向の最大値および最小値からなる直方体を求めておく。これを Boundary Cubic (以下BCと略す)とする。

(1) 分割視野内の物体抽出

本手法は、物体と視野ピラミッド(本章では分割された視野)との位置関係を用いて、物体をA~D種(図5参照)に分類し、その性質を利用することにより以後の処理の高速化を計っている(文献¹⁵⁾参照)。まず各BCを分類し、各々の種類により以下の処理を行なう。i) BCがD種ならそのグループは視野外であるから入力しない、ii) BCがA種ならグループ内の全物体をコア上へ呼び出す、iii) それ以外(BまたはC種)ならグループ内の全物体をコア上へ呼び出し、さらに各物体について同様な分類を行ない、D種物体は除去する。なお、図柄の抽出に関しては、A~C種物体の表の面に属するものを抽出する。但し、B, C種物体については視野内の図柄のみでよい。

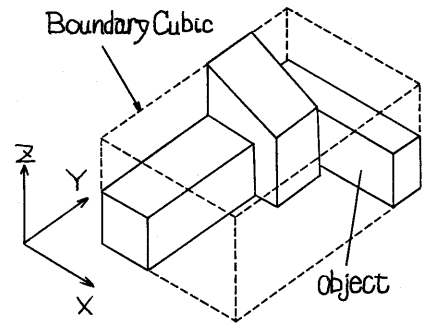


図4. Boundary Cubic

物体(BCについても同様)と視野ピラミッドとの交差判定について述べる。

まず、二次元上で(X-Y平面)で判定し、交差する可能性のあるものは三次元上で以下の方法で判定を行なう。視野ピラミッドの構成面 S_i の法線ベクトルは外部を向くものとし、物体の頂点数 m 、その輪郭線を $[P_1 \dots P_m P_{m+1} \dots P_n]$ とし、(付3)式を用いると、i) $i=1 \sim 4$ に対して $F_{Si}(P_j) \leq 0$ ($j=1 \sim m$) を満足するものが一つでもあればD種、ii) $F_{Si}(P_j) \geq 0$ ($i=1 \sim 4, j=1 \sim m$) ならA種、iii) i) ii) 以外の場合には、物体の輪郭線を求め、 $j=1 \sim m$ に対して $F_{Sj}(W_i) \leq 0$ ($i=1 \sim 4$) なる輪郭線分 $[P_j, P_{j+1}]$ が一つでも存在すればD種、iv) 以上の何れにも含まれないものはB ($DP_{min} > 0$) またはC種 ($DP_{min} \leq 0$)。

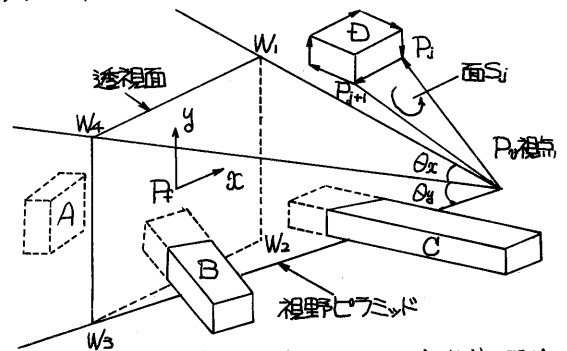


図5. 視野ピラミッドと物体の関係

(2) 付影処理に必要な物体の抽出

(1)において求めた視野ピラミッド内の全物体の depth parameter の最大値、最小値を求め、それらの点を含む視線に垂直な平面を用い、視野ピラミッドを切断する。その切断面により構成される四角錐台を視野多面体(以下VPと略す)と定義し、光源と光源から見たVPの輪郭頂点を結ぶことにより構成される凸多面体を光多面体(以下LPと略す)と定義する(図6参照)。なお、LPの構成面の法線ベクトルの方向は輪郭線(右廻り)の性質を用いて外側の方向に定義する。

このVPと光源の位置との関係を用いて以下の方法により付影処理に必要な物体を抽出する。

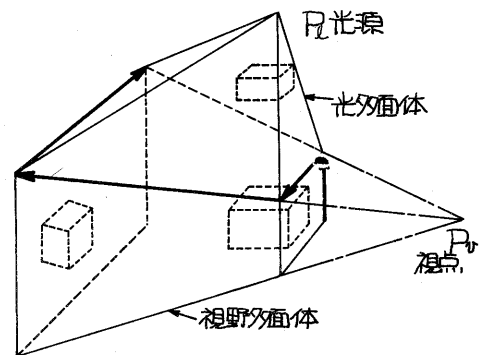


図6. 視野多面体及び光多面体

- i)光源がVP内のとき：付影処理に必要な物体はVP内のもののみである。
 ii)光源がVP外のとき：VP外の物体がVP内の物体に影を生じさせる可能性がある。したがってVP内で、かつVP外の物体を追加する必要がある。但し、これらの追加物体上の影は求める必要はなく、他の物体に影を生じさせるかどうかの判定に必要な情報は輪郭線であるから、これのみを追加する。

LP内の物体の抽出方法は(i)と同様な方法を用いる。

必要な情報は隠線消去または陰影処理では若干異なるが、その相異点を表1に示す。なお、5章で述べる小さい物体、および図柄は本処理の段階で消去しておく。

	視点に対して	各光源に対して
隠線消去	VP内物体の表の面 表の面の図柄	
陰影表示	VP内物体の表及び裏の面 表の面の図柄	VP外かつLP内の 物体の輪郭線

4.3 分割画面の自動分割

分割画面は、基本的には縦割であるが、場合によっては、特定の画面に物体が集中することがある。その場合にはさらにその画面を横方向に自動的に再分する方式とする。なお、本プログラムにおいては、他に、図形の状況に応じて分割角度を任意に指定する不等分割、および任意な個所だけ局所的に処理する任意分割も可能である。

表1. 分割画面に必要な情報

5. 遠近処理

5.1 表示レベルを考慮した遠近処理

(i) 線画および陰影表示における表示レベル

(a)線画表示：物体の遠近の区別なく同一レベルの表示をすると、遠方のものが必要以上（人間の可視能力以上に）描かれ、線分の密度が高く煩雑となる（図7参照）これを避けるため物体および図柄を視点からの距離およびその大きさに基づいて、遠方のものを省略する。

一つの物体は輪郭線、内線および図柄によって表現されるが、その大きさおよび視点からの距離の指標により、どの程度まで表示するかの指標I~IVを定め表2の関係を用いて処理する。また、各々の表示レベルにおいて描かれる内容を表3に示す。

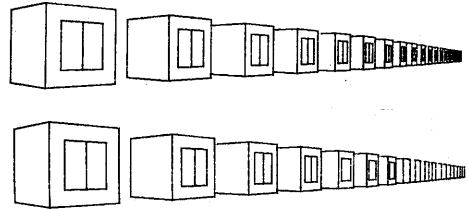


図7. 図形の煩雑さ(下図は遠近処理を施した)

(b)陰影表示：陰影表示の出力図形はデジタル画像であるから、ある程度より小さい図形は表示不能である。また遠方部の小さい物体上の影は計算時間の短縮のため省略する。したがって表示レベルを表2の如く分類し、表示する内容を表3に示す。

距離指標 大きさ指標	隠線消去			隠線表示	
	1	2	3	1	2
1	I	I	II	I	I
2	I	II	III	I	II
3	I	II	IV	III	III

表2. 表示レベル

表示レベル	隠線消去	陰影表示
I	輪郭線,内線,図柄	面,図柄,影
II	輪郭線,内線	面,図柄
III	輪郭線	表示しない
IV	表示しない	

表3. 表示する内容

(2) 表示レベルの決定

表示レベルは視点と物体との距離および物体の大きさにより以下のように決定する。

(a) 距離の指標：4章で述べた *depth parameter* DP_{min} とユーザーが指定する基準距離を用いて表2のごとく、隠線消去では3段階に、陰影表示では2段階に分類する。

(b) 大きさの指標：透視面上の輪郭線あるいは図柄の面積を用いて決定する。物体の大きさは輪郭線を用いて決定するが、輪郭線は右廻りであるから輪郭線 $[P_1, P_2, \dots, P_n, P_{n+1}, \dots, P_n]$ の場合次式で求める。

$$S = (x_1 y_n - y_1 x_n) + \sum_{i=1}^{n-1} (y_i x_{i+1} - x_i y_{i+1}) \quad (4)$$

この場合(a)と同様に基準面積を用い、表3に示す段階に分類する。

5.2 コントラストを考慮した遠近処理

三次元図形、特に建築物、風景を表示する際には奥行感を表現するデプスキュー (*depth cue*) が重要となる。一般に遠方の物体ほど色彩や階調が次第に乏しくなり、その結果物体の輪郭も曖昧となる。この効果を表示し得る画像を得ることが望ましい。

本手芸は、視点と物体上の各点との距離により色度を変化させ、無限遠点では与えられた明るさの灰色となるものとする。また、その色度は距離について指数関数的に変化するものとし、その時定数に相当するものを可視距離とする。

各点の色は以下のようにして求める。図8に示すように走査線 (*scan line*) 上のある点を P とし、 P 点と視点との距離を r とすると、 P 点の色 D (D_r, D_g, D_b) は次式より求まる。

$$D = D + (F - D) (1 - e^{-\frac{r}{R_0}}) \quad (5)$$

但し、 D は P 点を含む面の色 D [C_r, C_g, C_b] およびその点の照度 E により求まる色 (文献¹⁴参照)、 F は無限遠点の色であり、 R_0 は可視距離である。

ここで処理時間の短縮化のため、指数関数は直線近似を用い、*scan line* と面 S との交点 x_1 および x_2 (図8参照) と視点との距離 r_1, r_2 を求め、線形補間 (一画素に対する距離の変化分 Δr を次々と加える) により求める (図9参照)。

6. 適用例

図10に適用例を示す。(a) は三相変圧器のCADの例である。コイル部の円筒は虚物体円柱を用いて作成し、またコイル一相分を一つのグループとし、他の二相はそれを自動複製したものである。なお円筒は多角形近似であるが、より画質を良くするため照度に関するスムージングを行なっている。

(b)~(g) はビル街を表示した例であり、(b)~(e) は注視点を一一定とし、視点を道

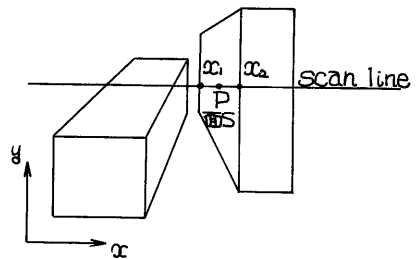


図8. 各点の色の算出

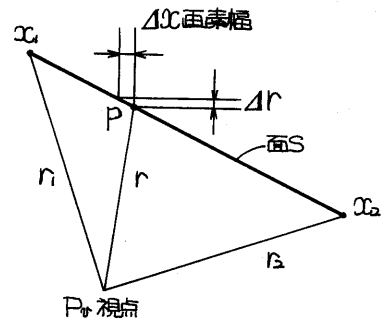


図9. 距離の補間

路にぞって移動させたもの、(f)は(e)点において注視点を変えたもの、(g)は霞の効果を表示したものである。

(h)(i)はビル街の広角視野画像を線画に適用した例であり円筒分割を行なっている。なお、視野角は 120° 、分割数は8である。また本例は表示レベルを考慮した遠近処理を施してある。なお、本例のデータを表4に示す。

本例の計算にはOKITAC 40/50(ユーザエリア48KW)およびグラフィカM508カラーCRTを使用した。なお、筆者らのプログラムでは一分割中の最大物体数は45個である。

例	物体数	頂点数	図柄頂点数	画面分割数	可視距離	備考
(a)	145 (入力:30)	1310	0	8	∞	影を省略
(b)~(g)	155	1273	1268	5	(b)~(e)15km (f) 5km	

表4. 本例のデータ

7. おわりに

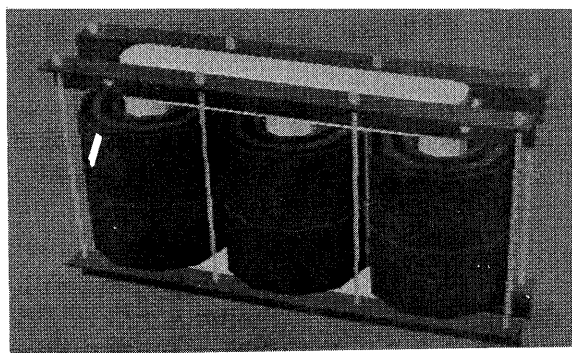
適用例でも示したように画面分割処理により、小規模計算機でデータ量の多い図形の処理が可能となった。また本稿は白黒表示なので十分な表現ができないが、遠近処理が加えられることによりリアル感のある画像が得られた。

処理時間に関しては、CPU並列処理をすることによりかなりの処理時間の短縮が期待できる。

画面分割処理を適用できるものとして次のものがあげられる。①飛行機の視野の研究(180° 視野の透視図の作成)、②動画への応用(動く物体が存在する画面のみを局所的に計算)、③円筒状のスクリーンに投影することにより、広角パノラマ映像が得られる。

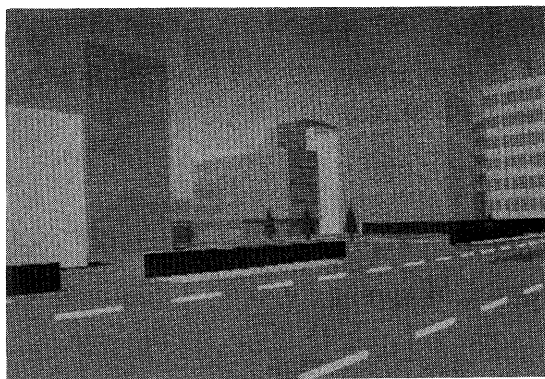
なお遠近処理においては、可視距離、無限遠点の色および明度、基準面積等ユーザが指定するものが多く、またそれらの自然現象との対応が充分解明されていない。

謝辞 本研究を進めるに当り、プログラム作成、データ作りなどで協力頂いた広島大学小林、斉藤、田阪君および福山大学計算機室藤井氏に感謝致します。

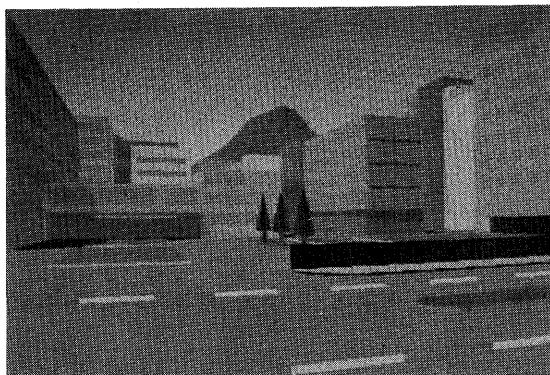


(a)

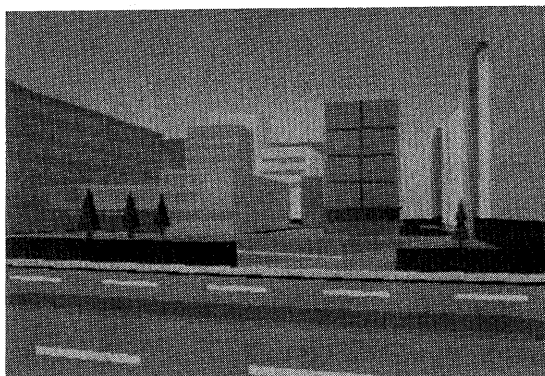
図10. 適用例



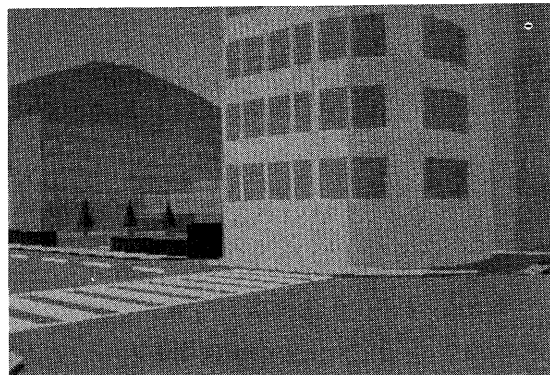
(b)



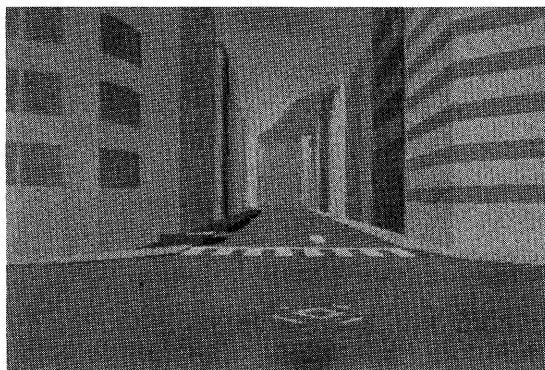
(c)



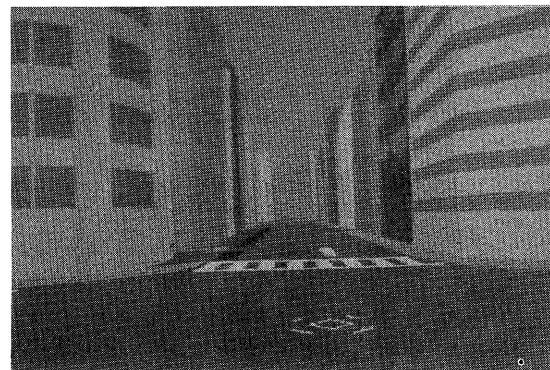
(d)



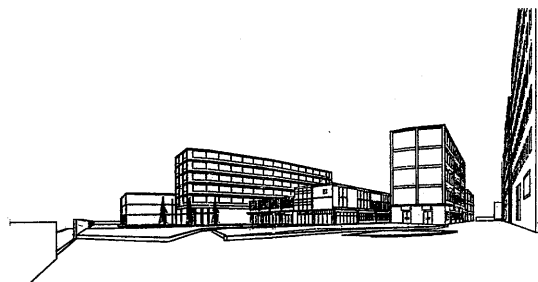
(e)



(f)



(g)



(h)



(i)

图 10. 适用例

[付録]

i) 透視変換: 三次元上の点 $P(X, Y, Z)$ を透視面上の点 $P'(x, y)$ へ投影する。

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ -\cos\theta \cdot \sin\varphi & -\sin\theta \cdot \sin\varphi & \cos\varphi \\ \cos\theta \cdot \cos\varphi & \sin\theta \cdot \cos\varphi & \sin\varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_f \\ Y - Y_f \\ Z - Z_f \end{bmatrix} \quad (\text{付1})$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \frac{R}{R - Z'} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} \quad (\text{付2})$$

但し、視点あるいは光源を注視点 F を原点とした極座標 (R, θ, φ) で与えたとき

ii) 三頂点 P_i, P_{i+1}, P_{i+2} により構成される面 S_i と頂点 P_j との関係

$$F_{S_i}(P_j) = - \begin{vmatrix} X_i & Y_i & Z_i & 1 \\ X_{i+1} & Y_{i+1} & Z_{i+1} & 1 \\ X_{i+2} & Y_{i+2} & Z_{i+2} & 1 \\ X_j & Y_j & Z_j & 1 \end{vmatrix} \begin{cases} > 0 & \text{面 } S_i \text{ の正領域に } P_j \text{ が存在} \\ = 0 & \text{面 } S_i \text{ 上に } P_j \text{ が存在} \\ < 0 & \text{面 } S_i \text{ の負領域に } P_j \text{ が存在} \end{cases} \quad (\text{付3})$$

[参考文献]

- 1) P.P.Loutrel; A Solution to the hidden line problem for computer drawn polyhedra, IEEE Trans. Computers, C-19(March 1970)
- 2) 大森: 多面体の隠線消去問題, 情報処理, 12, 9, P534 (1971)
- 3) 中前・西田: 多面体の隠線消去の一手法, 情報処理, 13, 4, P239 (1972)
- 4) C.Wylie, G.Ronn-y, D.Evans, R.Erdahl; Half-tone perspective drawings by computer, Fall Joint Computer Conference, (1967)
- 5) J.E.Warnock; A hidden surface algorithm for computer generated halftone pictures, Dep.Comput.Sci., Univ.of Utah, Tech.Rep., 4-15, (Jun. 1969)
- 6) A.Appel; On calculating the illumination of reality, Hardware, p.945 (1969)
- 7) W.J. Bouknight; A Procedure for Generation of Three Dimensional Half-toned Computer Graphics Presentation, Comm.ACM, 13, 9, (Sep. 1970)
- 8) Watkins; A Real-Time Visible Surface Algorithm, Dep. of Computer Science, Univ. of Utah, (Jun. 1971)
- 9) R.Goldstein, R.Nagel; 3-D visual simulation, Simulation, p.25 (Jan. 1971)
- 10) H.Gourand; Continuous shading of curved surfaces, IEEE Trans.Computers, (Jun. 1971)
- 11) Newell; A new Approach to the Sadad picture Problem, Proc. of the ACM, (1973)
- 12) D.P. Green berg; Computer Graphics in architecture, Scientific American, (1974)
- 13) F.C.Crow; Shaded Computer Graphics in the Entertainment industry, Computer Graphics, vol.11, No.2, (Summer 1977)
- 14) 西田・中前: 三次元物体の陰影表示の一方法, 情報処理, 15, 1, P.18 (Jun. 1973)
- 15) 西田・中前: 三次元物体のカラー陰影表示の一手法, コンピュータビジョン研究会4-1 (Jun. 1980)
- 16) 吉川: コンピュータグラフィク論, 日科技連 P184 (1977)
- 17) 児玉 他: 実時間映像発生におけるカラー情報処理方式, 電気学会全国大会1289 (1979)