

実写画像テクスチャによる仮想空間表示方式の検討

宮内 信仁 佐伯 俊彰 福岡 久雄 下間 芳樹
三菱電機(株) 情報技術総合研究所

最近、3次元仮想空間のCGモデルだけの表示方式に対して、イメージベースレンダリングがリアリティの高い実写画像による仮想空間表示方式として脚光を浴びている。我々は、3次元仮想空間のコンテンツの見栄えの向上とその作成効率の向上を図るべく、3次元CGによる仮想空間表示に実写画像テクスチャを貼った板を配置させる表示方式を提案している。本方式では、実写画像テクスチャの板(テクスチャオブジェクト)を固定的に配置するだけでなく、ユーザの視点に合わせて変形や位置決めを行い、実写画像上の対象物があたかも3次元的な位置形状をもつように表示させるものをいくつか検討した。本稿では、本方式の設計コンセプト、処理の概要、試作システムについて述べる。

Image-based Rendering with Viewpoint Dependent Real Image Texture Mapped Boards

Nobuhito Miyauchi Toshiaki Saeki Hisao Fukuoka Yoshiki Shimotsuma
Information Technology R & D Center, Mitsubishi Electric Corp.

We have developed an image-based rendering technique which exploits real image texture mapped boards. Our aim is to improve the reality of visual contents and the efficiency of visual content development phase. The shape of the texture and the arrangement of the board are altered so as to follow the user's changing point of view (POV) and look as if actual objects exist. We call this board "Texture-Object". The transformation process according to user's POV is as follows: One real image texture is divided into some subsections to each of which we apply a different Affine transformation. In this paper we will present its design concept, display process, and implementation of our prototype system.

1. まえがき

我々は分散仮想環境構築基盤 Spline^[1] 上に3次元CGモデルによる仮想空間アプリケーションをいくつか開発してきたが、よりリアリティの高いコンテンツを低開発コストで導入したいと望んでいた。

同様のニーズから、最近、3次元仮想空間のCGモデルだけの表示方式に対して、連続的な実写画像の仮想空間内の移動を実現するイメージベースレンダリングがリアリティの高い実写画像による仮想空間表示方式として脚光を浴び、多様な研究例が報告されている。

最も有名なのが、QuickTimeVR^[2]であり、一般のパソコンにて手軽にパノラマ空間を見渡すことができる。また、いくつかのサンプリング撮影した写真を元に、全く異なった視点から見た実写画像を加工することのできるイメージベースレンダリング技術が米国の大学や企業を中心にいくつも発表されている。

さらに、3次元CGモデルの中に実写画像を取り込む技術として、主にテクスチャマッピングにより、直方体のCGモデルに建築物の写真を貼って置いたり、円筒物体をユーザの周りにおいてパノラマ背景画像を貼ったりすることが一般的に行われてきた。これより、実写画像からテクスチャを切り出し、リアルな3次元オブジ

ェクトを構築する手法の研究が多く見られ、ソフトウェア製品にもなっている^[3]。

我々は、このような技術動向を踏まえ、リアリティの向上を目指し、既存の3次元CGモデルの表示環境に実写画像を取り込むために、パソコン上で動作する低表示処理コストの簡易なイメージベースレンダリングの導入について検討した。これから、実写画像テクスチャを貼った板を3次元CGによる仮想空間中に配置させることを前提として、これらの板をユーザの視点に合わせて変形や位置決めを行い、実写画像上の対象物が3次元的な位置形状をもつように表示させる方式を開発した。

2. テクスチャオブジェクトによる仮想空間表示 (1) 処理方式の設計方針

目標とする仮想空間表示システムでは、表示処理コストを抑える観点から、実写画像を仮想空間内にただ部品として配置することを前提とした。しかし、そのまま固定的に並べるだけでは、どうしても演劇舞台での書き割りのように写真の板が空間内に置かれているようにしか見えない。そこで、実写画像中の対象物が実際に存在するかのように、実写画像テクスチャを貼った板をユーザの視点に適応させて3次元仮想空間内に変形及び配置を行う方式を検討した。

ここでは、この板をテクスチャオブジェクトと称する。以下に、本方式の構成要件を列挙する。

- ・実写画像中の対象物のもつ 3 次元座標情報を元に、ユーザの視点情報に合わせてテクスチャオブジェクトの部分及び全体に対して変形及び配置を行う。
- ・遠方の背景のようにユーザが移動してもとどまってしまうように配置させるもの(遠景)と、近距離の建造物がある場所に存在するように、ユーザの視点に対応して変形や移動を行うもの(近景)の両者を用意する。
- ・テクスチャデータ自体の変形(加工)は、処理のコストが軽微なものだけを採用する。軽微な変形とは、テクスチャオブジェクトを直線にて分割した複数のポリゴンの各頂点の位置を変更するものである。この各ポリゴンに対応する部分的なテクスチャデータが上記のポリゴンの変形に応じて変形することになる。分割の元となる構成点は、被写体の物体を構成する平面と分割ポリゴンとの各頂点とを対応させて座標情報を設定する必要がある。
- ・複数のテクスチャ画像から画素レベルで演算処理し新たなテクスチャ画像を生成するような処理は行わないものとする。

(2) テクスチャオブジェクトの種類

本方式にて使用するテクスチャオブジェクトは、視差が生じない固定的な遠景とそれ以外のユーザからの距離が近い対象物の近景に大きく分類される。本方式では、室内パノラマやビルボードなどの既存の表示技術についても、同等の効果をもつタイプを包含的に用意できる。以下に全種類について記す。

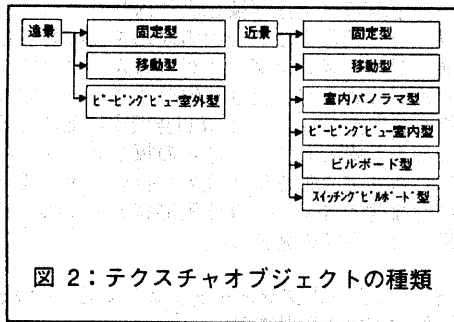


図 2: テクスチャオブジェクトの種類

(a) 遠景

ユーザが移動するとそれにつれて移動し、ユーザの見る背景としては固定して見えるようにするテクスチャオブジェクトである。背景のパノラマ実写画像を利用することが多い。その配置位置は、ユーザが移動可能な空間よりも遠方となる。その表示対象はその遠景テクスチャオブジェクトの位置よりも遠方に存在する。

- ・固定型

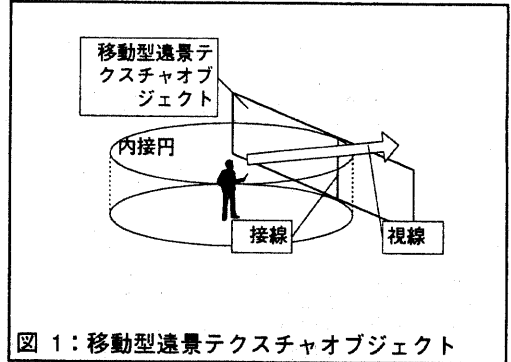


図 1: 移動型遠景テクスチャオブジェクト

ユーザの周囲を取り囲むように多角柱面やその一部のように固定的に配置する。

- ・移動型
 - 遠景の周囲 360° のパノラマ写真をユーザの視線に正対するように滑り回転運動させる。
- ・ピーピングビュー室外型
 - 建築物の一室から外の遠景を窓を通して見るような画角 180° (デフォルト値) 分のパノラマ写真をユーザの視線に正対するように滑り回転運動させる。
- (b) 近景
 - ・固定型
 - 固定的な風景として配置し利用できる写真を変形させずにそのまま利用する。
 - ・移動型
 - 被写体の物体の構成面に応じた分割を行い、その各分割要素に対して 3 次元座標情報に基づいたアフィン変換を行う。物体を回り込んだ方向からのテクスチャ画像も用意し、視線方向に応じて切り替えることで、全視線方向に対応できる。
 - ・室内パノラマ型
 - 室内の周囲 360° のパノラマ写真をユーザの視線に正対するように滑り回転運動させる。
 - ・ピーピングビュー室内型
 - 室内や建造物の内部を覗くような画角 180° (デフォルト値) 分のパノラマ写真をユーザの視線に正対するように滑り回転運動させる。
 - ・ビルボード型
 - 常に同じ画像をユーザに対して正対して表示する。
 - ・スイッチングビルボード型
 - ユーザに対して正対して配置するが、回転角度に応じて画像を切り替えて表示する¹。

(3) 視点情報に基づく近景の変形処理

¹ これらのビルボード類は書き割りと同様に被写体の 3 次元形状を視点位置からの距離に応じて再現することはできない。ただし、この程度のもので樹木や人物像などに十分に利用できるもので、本方式でも利用している。

移動型の近景では、分割されたテクスチャオブジェクトの各ポリゴンごとにアフィン変換に基づく変形を行う。

テクスチャオブジェクト上の被写体の物体の3次元形状情報を参照し、物体の構成面に対応するようにテクスチャオブジェクトを直線にて分割する(現在は手作業に委ねている)。物体の構成面の各頂点に対応する分割されたテクスチャオブジェクトの各頂点に対して物体の3次元位置座標に基づいてアフィン変換を行う。この結果、ユーザの視点から、物体の構成面が実際に3次元的に配置されて見えるように、分割されたテクスチャオブジェクトが変形される。

単純な直方体の建築物では、テクスチャオブジェクト内の分割は単純である。樹木のような複雑な形状の物体も、葉で覆われた面をいくつかの平面で構成されるように粗いモデリングを行えば、同様なアフィン変換で近似的な3次元形状の再現が可能になる。

(4) 視点移動に伴う遠景の切り替え

遠方の背景は、遠景テクスチャオブジェクトとして、視点位置から一定の距離を保持して配置する。ただし、遠景といえども、移動距離が一定の限界を越えれば、視差の再現のために移動先の遠景に合うように切り替えていく必要がある。

したがって、ユーザの移動する領域をいくつかに分割し、その領域ごとに切り替えるべき遠景を対応させる。この基本的な考えは、既にQuickTime VRに見られ、移動する場所ごとに背景のパノラマ映像が用意されている。この遠景切り替えタイミングを設定した境界線に分割された空間を視野空間と呼ぶことにする。

(5) 遠景切り替えのための空間分割

ユーザが視野空間内を移動しても、遠景は固定的に見えるので、実際には視差があっても再現されない。遠景の被写体についての真の視差からの最大誤差は、視点から遠景までの距離とユーザの移動する領域が決まれば、一意に決定する。これから、視点から遠景までの距離を一定とし、ユーザがどの分割された空間に移動しても遠景の視差に対する許容誤差が一定値以下となるように、一律の形状に分割する。

本方式では単純な格子状分割を採用している。格子状分割ではユーザの位置判定の算出処理コストが小さくなり、遠景画像撮影作業が単純化できるなどの長所がある。

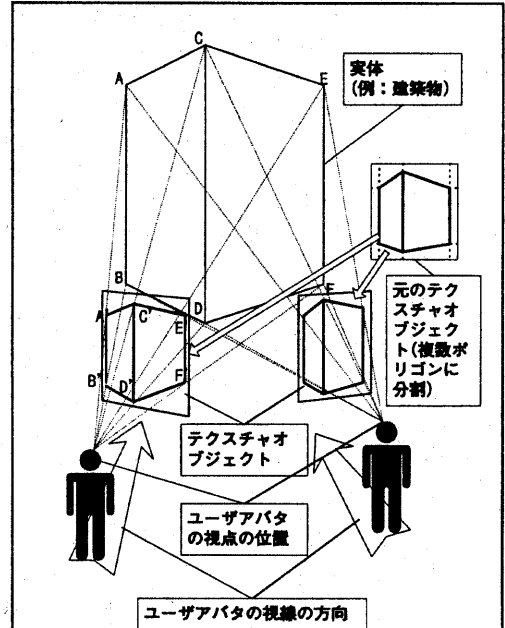
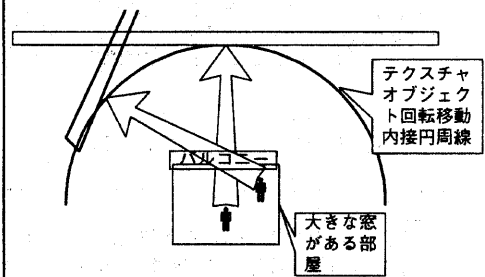


図 3: 移動型近景テクスチャオブジェクト

ピーピングビュー室外型



ピーピングビュー室内型

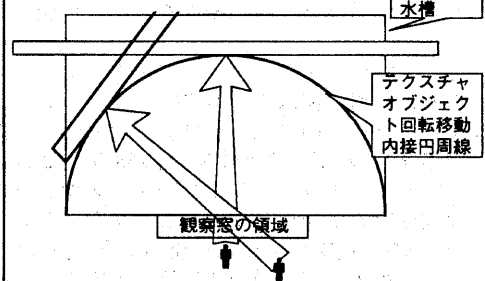


図 4: ピーピングビューテクスチャオブジェクト

(6) テクスチャオブジェクトの空間ごとの管理

遠景以外の近景テクスチャオブジェクトについて表示対象となるのは、遠景よりも手前に位置するものである。図 5 に、格子状分割空間にテクスチャオブジェクトを配置した例の水平面図を示す。視点から遠景までの距離を既に一定値としたので、一律形状の分割された視野空間が定めれば、ユーザが存在する視野空間ごとに表示対象の近景テクスチャオブジェクトが決定する。

このユーザが存在する視野空間に対応する表示対象の近景テクスチャオブジェクトの集まりをテクスチャオブジェクトグループと定義する。ユーザが各視野空間を渡り歩いていけば、各視野空間に対応するテクスチャオブジェクトグループが表示対象として切り替わっていく。

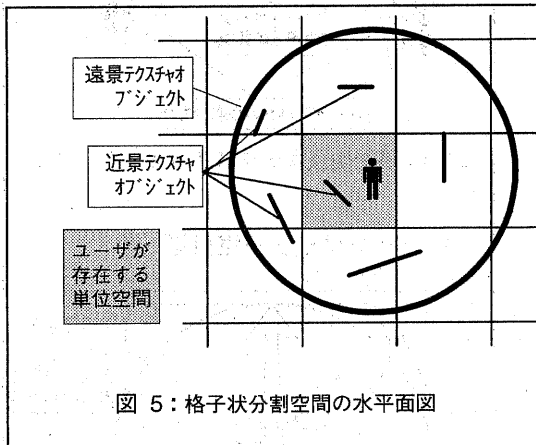


図 5：格子状分割空間の水平面図

(7) 本方式の長所

(a) テクスチャオブジェクトは被写体の実体の実際の位置を考慮して配置がなされるので、近似的なオクルージョンが実現でき、実写画像と 3次元 CG モデルの共存が可能である。

(b) 3次元 CG ハードウェアアクセラレータの有効活用が図れる。本方式では、テクスチャ画像データの加工処理は、直線分割された画像データの各頂点位置の移動のみで実現し、テクスチャメモリに格納する画像データの入れ替えは発生しない。これから、テクスチャデータのマッピング情報を固定したまま、そのポリゴンの頂点位置の設定を行うので、3次元 CG レンダリングのパイプライン処理にて表示が可能となる。

3. 本方式のレンダリング技術上での位置づけ

我々は、テクスチャオブジェクト方式の位置づけを行うために、既存のレンダリング技術とその技術が目指す方向によって分類した。

(1) ジオメトリレンダリングとイメージベースレンダリングに基づく分類

まず、既存のレンダリング技術を文献^[4]に基づいて大きく 3 系統に分類してみた。

文献[4]では、3次元 CG モデルのレンダリングをイメージベースレンダリングに対して、ジオメトリレンダリングと称している。ジオメトリレンダリングでは、表示対象のモデルは 3次元位置座標を指定された頂点から構成される。

また、イメージベースレンダリングには多くの方式があり、正確な定義が困難であるが、ここでは 2次元イメージだけを組み合わせるだけで、3次元 CG モデルとの共存まで含めないものをイメージベースレンダリングとする。

同じくイメージベースレンダリングと称されるものでも、3次元 CG モデルとの共存を考慮しているものを、今回、中間的な分類として、ジオメトリレンダリングにイメージベースレンダリングの導入を図るものとした。

テクスチャオブジェクト方式は、イメージの設定のためにポリゴンベースの板を用いて、表示対象をテクスチャオブジェクトごとの実体として位置設定を行う。これから、同じイメージベースレンダリングの方式であっても、3次元 CG モデルとの融合を考慮しているので、中間的な分類となる。

(2) 視点位置や視線方向の自由度及び表示処理コストに基づく分類

ジオメトリレンダリングでは、視点位置や視線方向が全く自由であるが、イメージベースレンダリングでは、制約のあるものがある。個々のイメージベースレンダリングを多くの状況に合わせて組み合わせて用いれば、視点位置や視線方向の自由度を向上させることは可能だが、特に自由度を追求していないものを制約のあるものとして分類した。

さらに、視点位置や視線方向の自由度に完全に対処しようとするれば、処理コストが増大する傾向にあるので、簡略な手法にて処理コストの低減を考慮したものと、処理コストよりも忠実な表示を目指したものとに分類した。

テクスチャオブジェクト方式は、自由な視点位置や視線方向に対処し、一般のパソコンで利用できる低コストの表示処理を目指している。東大の KK システム^[6]も、視点情報に基づいて、部分的な撮影画像をアフィン変換による変形を行い組み合わせる画像を合成するものである。KK システムでは、背景となるいくつかの画像全体をアフィン変換し利用していたが、その画像を被写体ごとにレイヤを割り当て、それぞれに奥行き情報を与えて個別に変形を行う方式を文献^[6]にて提案している。さらに、写真内の被写

レンダリングの種類		イメージベースレンダリング	ジオメトリレンダリングにイメージベースレンダリングの導入を図るもの	ジオメトリレンダリング
視点位置自由、視線方向自由 (ウォークスルー、空間内の自由な移動)	実空間の忠実な再現	ビューフィング[8] (ウイソコン大)	光線空間記述[10] (東大原島研)	ボリュームレンダリング
		Plenopticレンダリング[9] (ノースカロライナ大)	ハイブリッドレンダリング[7] (UCB)	レイトレーシングレンダリング
	実写画像による低コストの表示処理	KKシステム(東大廣瀬研)[5] 部分画像の検索転写による情景画像の生成[11] (三菱電機)	テクスチャオブジェクト方式	テクスチャマッピングあり VRMLブラウザ
視点位置固定、視線方向自由 (パノラマ背景表示、対象物の全方向観察)		QuickTimeVR[1] LivePicture[12]	RealSpace[12]	X
視点位置自由、視線方向固定 (1枚の平面画面に対する奥行き感の表現)		Tour into the Picture[13] (日立製作所)		

図 6: レンダリング技術の分類

体の画像領域をその頂点の3次元座標に基づく変換を行い、若干の視点移動に対して三次元的に見せる実験も文献[7]にて試みている。

4. 試作システムの実装

現状の仮想空間アプリケーションのほとんどが水平面方向のウォークスルーを基本としていることから、ユーザのアバタの移動は基本的に水平面に沿って行うものとした。今回、既存のVRMLのビジュアルレンダラに本表示方式のモジュールをOpenGLプログラミングにより組み込む形で実装を行った。図7に、レンダリング処理の内容を示す。既存のVRMLによるポリゴンモデルの表示処理に、テクスチャオブジェクトのポリゴンモデルを表示する処理を付加している。テクスチャオブジェクトの各情報を登録したリスト構造体について、ユーザの視野空間に該当するものを調べ、ユーザの視点に応じた変形を加えたポリゴンモデルの表示処理を行う。

計算処理コストの評価の結果、実写画像テクスチャオブジェクトの表示性能は、テクスチャ付き平面ポリゴンオブジェクトの表示性能にほぼ置き換えられ、テクスチャオブジェクトの位置形状の算出処理のオーバヘッドはわずかであることが判明した。これから、本方式を3次元CGレンダリング処理に組み込むことは非常に有効であるといえる。

本システムによる表示例を図8、図9に示す。図8は、山岳地帯の遠景の手前に建築物の近景や樹木やアバタのビルボードが配置されている

ものである。図9は、移動型の近景の例として金閣寺を3方向から眺めた様子を表示したものである。素材に用いた写真は1枚であるが、屋根や部屋や手すりの部分など写真の領域を8つの部分に分けてそれぞれ実体の位置座標に合わせてアフィン変換を行っている。部分領域の編集では、元々隠されていた箇所を隣接した領域と同様に塗るなどの作業を行っている。

OpenGL関連初期化	
各一般オブジェクト(VRMLモデル)のレンダリング処理	
レンダリング処理の内容	アバタの位置から、格子状視野空間について該当視野空間を求める処理
	指定視野空間に登録されたテクスチャオブジェクトのリスト構造体の参照処理
	各視野空間に該当するテクスチャオブジェクトの個別のレンダリング処理
	各テクスチャオブジェクトの位置と貼り付けるテクスチャ画像形状の算出処理
	各テクスチャオブジェクトのテクスチャメモリへの参照関数の呼出
	各テクスチャオブジェクトの位置設定のトランスフォーム関数の呼出
各テクスチャオブジェクトの基本的なポリゴン表示関数の呼出	
画面の表示用バッファのスワップ[実質的なレンダリングコストの実行]	

図 7: レンダリング処理の内容

5. まとめ

従来の3次元仮想空間を利用したアプリケーションにおけるコンテンツのリアリティの向上と作成コストの削減を目的として、実写画像テクスチャによる仮想空間表示方式の検討を行い、試作システムを開発した。

現在、本方式を適用する実際のアプリケーションを開発中であり、具体的な評価を行う予定である。さらに、テクスチャオブジェクト関連情報の設定を容易に行えるようにオーサリング環境について検討を行っている。

参考文献

- [1] R.C.Waters, J.W.Barrus, "The Rise of Shared Virtual Environments", IEEE Spectrum, 1997.3
- [2] S.E.Chen, "QuickTime VR - An image-based approach to visual environment navigation", SIGGRAPH'95 Conference Proceedings, pp.29-38, Aug.1995
- [3] 渡辺 一正, "デジタルカメラから3次元モデルを作るー最新イメージベースモデラー3製品の実力診断ー", 日経コンピュータグラフィックス 1997年3月号, page 162~173, 1997.3
- [4] P.E.Debevec, C.J.Taylor, J.Malik, Univ. of California, "Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based approach", Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series pp.11-20, 1996
- [5] 渡邊 洋一, 廣瀬 通孝, 高橋 和久, 腰塚 智己, "臨場感体験のための画像編集技術の研究", Human Interface News and Report, Vol.9, No.3, pp. 273-278, 1994
- [6] 廣瀬 通孝, 宮田 亮介, 谷川 智洋, "二次元実写画像を用いた三次元仮想空間の生成", Human Interface News and Report, Vol.11, No.2, pp. 209-214, 1996
- [7] 廣瀬 通孝, 宮田 亮介, "二次元実写画像を用いた三次元仮想世界の構築", 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol.1, pp. 31-34, 1996.10
- [8] S.M.Seitz, C.R.Dyer, "View Morphing : Synthesizing 3D Metamorphoses Using Image Transforms", SIGGRAPH'96 Conference Proceedings, pp.21-30, Aug.1996
- [9] L.McMillan, G.Bishop, "Plenoptic modeling: An image-based rendering system", SIGGRAPH'95 Conference Proceedings, pp.39-46, Aug.1995
- [10] 藤井 俊彰, 木藤 英二, 金子 正秀, 原島 博, "3次元統合画像通信を目指したホログラムと光線空間の相互変換", 3次元画像コンファレンス'95, pp.220-225, 1995.7
- [11] 亀井 克之, 丸山 稔, 瀬尾 和男, "実環境再現を目的とした部分画像の検索転写による情景画像の生成", 電子情報通信学会論文誌 D-II Vol.J81-D-II No.2 pp.331-341, 1998.2
- [12] LivePicture, RealSpace, <http://www.livepicture.com/>
- [13] 安生 健一, 堀井 洋一, 新井 清志, "Tour Into the Picture: 一枚の画像に基づくアニメーション生成技術", Visual Computing グラフィクスとCAD 合同シンポジウム'97, pp.91-94, 1997

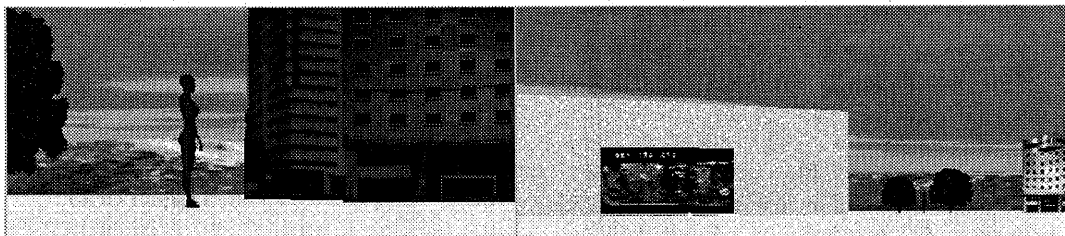


図 8 : 表示例 1

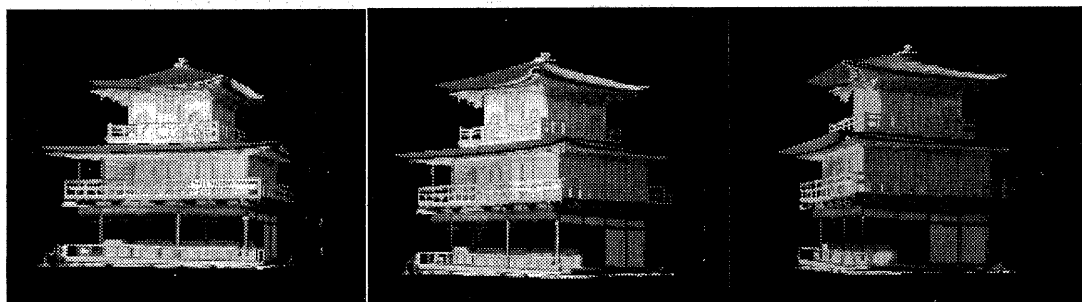


図 9 : 表示例 2