

画像生成システムSIG2

Photo-realistic Image Generation System for Realtime Animation

安部 美乃夫 西村 健二 高畠 一哉 平井 誠 中瀬 義盛
Minobu ABE Kenji NISHIMURA Kazuya TAKABATAKE Makoto HIRAI Yoshimori NAKASE

松下電器産業株式会社 情報システム研究所
Matsushita Electric Industrial Co., Ltd. Information Systems Research Laboratory

あらまし 従来の単純な光学モデルでは得られない、より高品質 (Photo-Realistic) な 3 次元画像の準実時間生成を目標として、SIG2 (Shaded Image Generator 2) を開発した。SIG2 は、互いに独立して動作する最大 10MIPS/20MFLOPS のユニットプロセッサ 36 台を VME バスで結合したマルチプロセッサシステムである。画素データの出力バンド幅を確保するため、各ユニットプロセッサで計算した画素データは 10M ビクセル/秒の高速イメージバスを通して HDTV 規格のフレームメモリに書き込まれる。SIG2 を用いて、各物体表面間の光の相互反射や光源の配光特性を考慮したりリアルな 3 次元画像を秒 10 コマの速度で生成することができた。

Abstract SIG2 (Shaded Image Generator 2) is a multi processor system for high-speed and high-quality image generation. It has 36 unit-processors, each of which has a maximum performance of 10 MIPS / 20 MFLOPS. They get code or data through VME-bus and execute instruction independently. To perform high-speed image output to HDTV frame-memory, each unit-processor has High Speed Image Bus Interface whose band width is 10 million pixels per second. SIG2 can generate 10 photo-realistic 3-D scenes per second, which have global illumination effect.

1. まえがき

コンピュータから人間への有効な情報伝達手段として、コンピュータ・グラフィックスの利用が重要視されている。現在、単純な光学モデルでの実時間画像生成装置は実現されているが、物体の質感や立体感が誰にでも理解できるような高品質の 3 次元画像の実時間生成装置は、膨大な浮動小数点演算を必要とするため、実現されていない。

近年、マイクロコンピュータが高機能かつコンパクトになり、半導体メモリの高集積化が著しい点に着目し、マルチプロセッサ構成と実行

時画像データベースのメモリ常駐化により、画像生成速度の向上を計った例がいくつか報告されている [1][2][3]。我々もマルチコンピュータ画像生成システム MC-1 を開発し、評価検討を加えてきた [4][5]。

今回、我々はより高品質 (Photo-realistic) な出力画像の準実時間生成をめざし、画像生成システム SIG2 (Shaded Image Generator 2) を開発した。SIG2 は、1 プロセッサあたり最大 10MIPS/20MFLOPS の処理性能を持つユニット・プロセッサを 36 台並列に動作させるマルチプロセッサ・システムである。生成画像は HDTV 規格対応のフレームメモリに出力される。

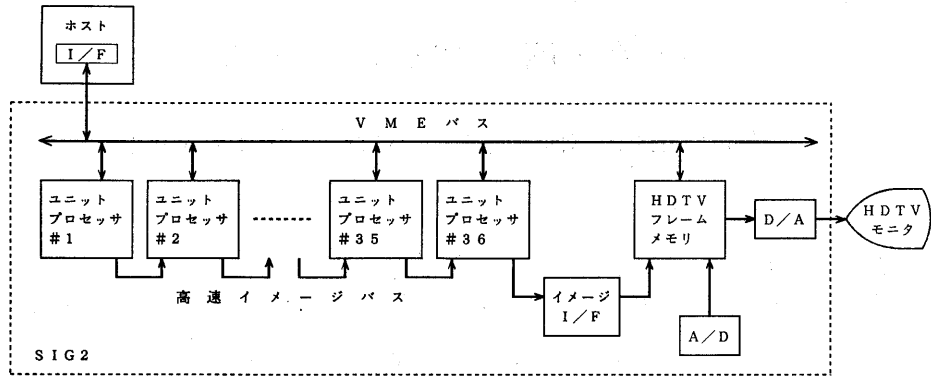


図1. SIG2システム構成図

さらに、我々はレイ・トレーシング法では得られない高品質な画像の生成を行なうために、ラジオシティ法による光の相互反射のシミュレーションと、スキャンライン法による物体表面への照度マッピングを用いた画像生成手法を開発した[6]。上記手法をSIG2上にインプリメントした結果、視点移動に伴う動画生成を秒10コマの速度で実行できた。

2. システムの特徴と構成

2.1. システムの特徴

3次元画像生成を高速に実行するシステムのアーキテクチャとしては、特定のアルゴリズムに最適な構成を採用することが最も効果的である。しかしながら、スキャンライン法やレイ・トレーシング法など種々のアルゴリズムが考案されているが、それぞれに長所、短所があり特定のアルゴリズムですべての応用に対処するのは困難である。

一方、非常に大量の浮動小数点演算が必要な点や、画面分割による並列処理が可能である点は、3次元画像生成処理の持つ大きな特徴である。

このような特徴を持つ3次元画像生成に柔軟に対応しその処理を高速に行なうために、SIG2では、プログラマブルで高速の浮動小数点演算が可能なユニット・プロセッサを複数台、汎用のVMEバスで接続した構成を採用した。

SIG2の主な特徴は以下のとおりである。

- ① 10MIPS/20MFLOPSのRISC型プロセッサを用いたマルチプロセッサ構成
- ② 汎用のVMEバスを採用しシステム構成の変更が容易
- ③ 各ユニット・プロセッサは高速のVMEバスマスタとして使用可能
- ④ 専用の高速イメージバス(10Mピクセル/秒)を設け、出力のバンド幅を確保
- ⑤ HDTV規格対応(解像度: 1920×1035ピクセル、色分解能: RGB各8ビット)
- ⑥ UNIX上にプログラム開発環境、実行環境を構築
- ⑦ 科学技術シミュレーションなど種々の応用が可能

2.2. システムの構成

SIG2のシステム構成を図1に示す。SIG2は、36台のユニット・プロセッサ(以下UPと略す)がVMEバスで結合されたマルチプロセッサ・システムである。VMEバスを採用しているため、汎用のCPUボードやメモリ・ボードなどと組み合わせることも可能で、システム構成の変更は容易である。各UPは、ホスト・コンピュータがVMEバスを通して各UPのコード用メモリに書き込んだプログラムを独立して実行できる。

各UPが計算した輝度データは、高速イメージバスを通してイメージ・インターフェースに

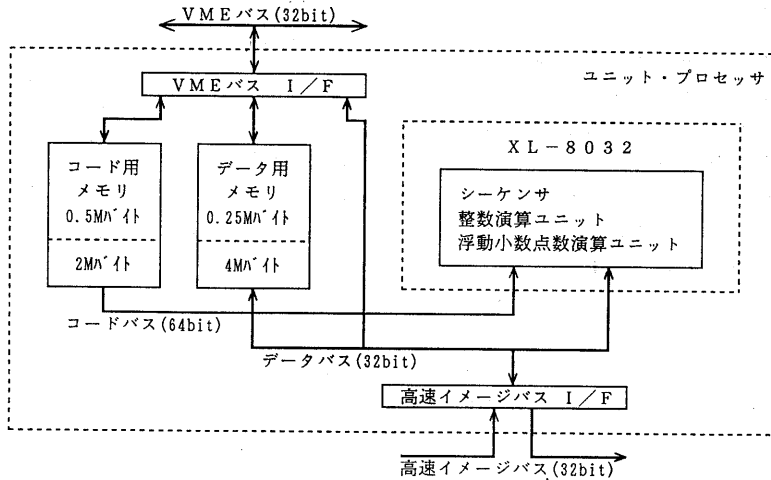


図2. ユニット・プロセッサ構成図

送られ、シリアル／パラレル変換を経て、HDTV用のフレームメモリに書き込まれる。また速度を要求しない場合には、VMEバスを通してHDTV用フレームメモリにアクセスすることもできる。写真1にSIG2の外観を示す。

2.3. ユニット・プロセッサ

ユニット・プロセッサ (UP) は、図2に示すように米Weitek社のプロセッサ・チップセットXL8032を中心に、2.5Mバイトのコード用メモリ、4.25Mバイトのデータ用メモリ、VMEバス・インターフェース、高速イメージバス・インターフェース等で構成している。写真2にユニット・プロセッサ・ボードの外観を示す。

2.3.1. プロセッサ部

XL8032は、シーケンサ、整数演算ユニット、浮動小数点演算ユニットの3チップで構成され、順序制御、整数演算、浮動小数点演算を同時に実行でき、10MHzのクロックで最大10MIPS/20MFLOPSの処理性能を持っている。

プロセッサはボード内のデータ用メモリだけではなく、VMEバスマスタとしてVMEバス上の汎用メモリやHDTV用フレームメモリ、他のUPなどにアクセス可能である。したがって、このUPボードは画像生成だけではなく、高速プロセッサ・ボードとして、科学技術シミュレーションなど種々の応用にも利用が可能である。

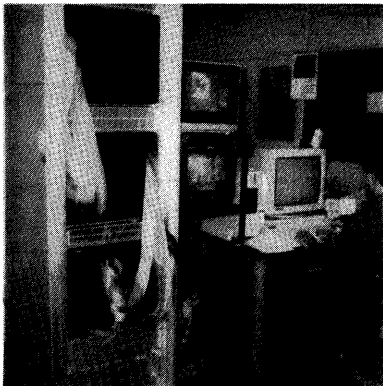


写真1. SIG2外観

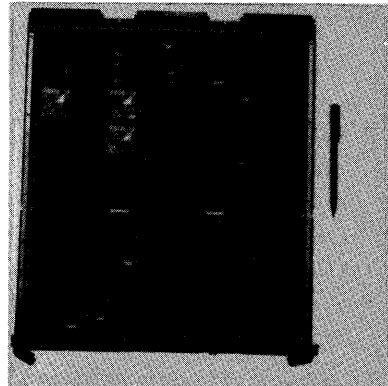


写真2. ユニット・プロセッサ外観

2.3.2. メモリ部

メモリ部は基本メモリ部をSRAMで構成し、拡張メモリ部をDRAMで構成した。メモリを大量に使用しない応用には、基本メモリ部のみの構成でも使用可能である。基本メモリ部は、コード用に0.5Mバイト(64Kステップ)、データ用に0.25Mバイト装備している。これらの基本メモリ部に対しては、常にノーウェイトでアクセス可能である。

一方、拡張メモリ部はコード用に2Mバイト(256Kステップ)、データ用に4Mバイト装備している。拡張メモリ部を構成するDRAMはスタティック・カラム・モードで動作しており、一定の境界内(コード用:512ステップ、データ用:4096バイト)へは、ノーウェイトでアクセス可能である。この境界を越えると最初のアクセスのみコード用で3クロック、データ用で5クロックのウェイトが入る。

一般にコード用メモリの参照には局所性があるので、特にメモリ割り付けを考慮しなくても実行効率の低下は大きくない。また、データ用メモリの参照もスタック、ローカル変数などは基本メモリ部へ、マッピングデータなど大量でかつ連続にアクセスするデータは拡張メモリ部へ割り付けるなどの工夫を行なうことにより、実行効率の低下を防ぐことができる。

2.3.3. VMEバス・インターフェース

UPボードは、スレーブとしてVMEマスタから見た場合、図3に示すようにVMEバス上の一連のメモリと一つのレジスタに見える。すべてのUPボードのメモリはVME空間の同一アドレスに割り付けられ、どのUPボードが読み書きの対象になるかは、各ボードが個別に持つレジスタによって指定される。複数のUPボードを書き込み対象に設定することによりボードキャスト転送が可能になり、VMEマスタからUPボードへのプログラム、データ転送の時間を短縮することができる。

また、マスタとして動作するときは、制御レジスタを設けて、RISC型プロセッサを非同期バスであるVMEバスに適合させている。

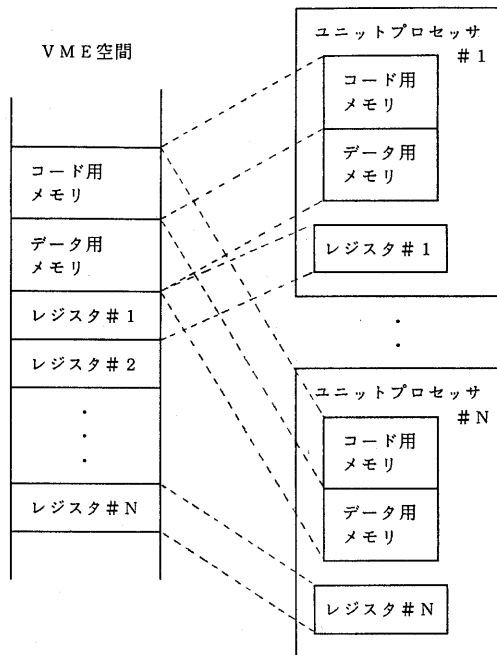


図3. メモリ・イメージ

2.3.4. 高速イメージバスインターフェース

高速イメージバスは、図4に示すようにパケット転送のパイプライン式同期バスで、転送レートは10Mピクセル/秒である。複数のUPボードが同時にパケットを出力しようとするイメージ・インターフェースに近いUPからバスが通じ、上流に接続されているUPのパケット

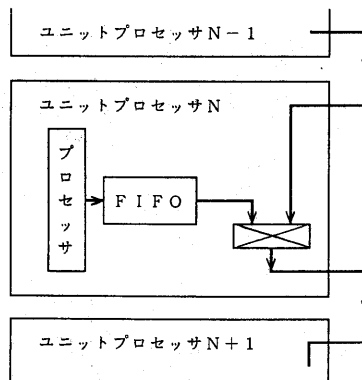


図4. 高速イメージバスの構成

は待たされる。パケット出力中のボードの出力が終わったところでスイッチが切り替わり、上流のUPからのパケット出力が始まる。ただし、パケットの途中で下流のUPボードからのパケットの割り込みが発生することはない。

UPボード上のプロセッサは、一連の画像データを図5に示すような1語32ビット幅のパケットとしてボード上のFIFOに組み立て、転送開始のトリガをかける。その後、プロセッサはパケット転送の終了を待たずに、次の画像データの生成に取りかかることができる。

ところで、高速イメージバスの転送レートは10Mピクセル/秒であり、この速度では秒10コマの動画表示は無理である。そこで、動画表示時は静止画表示時ほど解像度の低下が気にならない点に着目し、後に述べる高速書き込みモードとフィールド表示モードを用いることで、水平方向、垂直方向それぞれの解像度を1/2に落とし、秒10コマの表示速度を実現している。

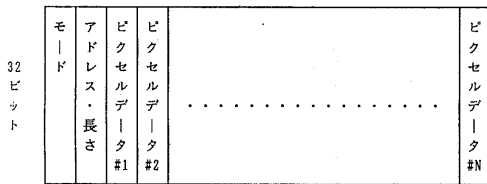


図5. パケットの構成

2.4. イメージ・インターフェース

イメージ・インターフェースは、高速イメージバスから受け取ったパケットを解釈し、シリアル/パラレル変換を行なった後、画素データをフレームメモリに出力する。フレームメモリへの表示位置は図5に示したパケット中のアドレスフィールドが示している。

イメージ・インターフェースには2つの動作モードがある。1つは通常書き込みモードで、パケット中の1ピクセルのデータをフレームメモリの1ピクセルに書き込む。もう1つは、高速書き込みモードであり、パケット中の1ピクセルのデータをフレームメモリ中の連続する2ピクセルに書き込むものである。後者のモードを用いることにより水平方向の解像度を1/2にすることができる。

2.5. HDTV用フレームメモリ

HDTV対応フレームメモリは、図6に示すように1920×1035ピクセルの解像度を持ち、各ピクセルあたりRGB各8ビットの色情報を持っている。D/Aへの表示データの出力以外に、A/Dからの入力、VMEバスからのアクセス、イメージ・インターフェースからの入力の3種

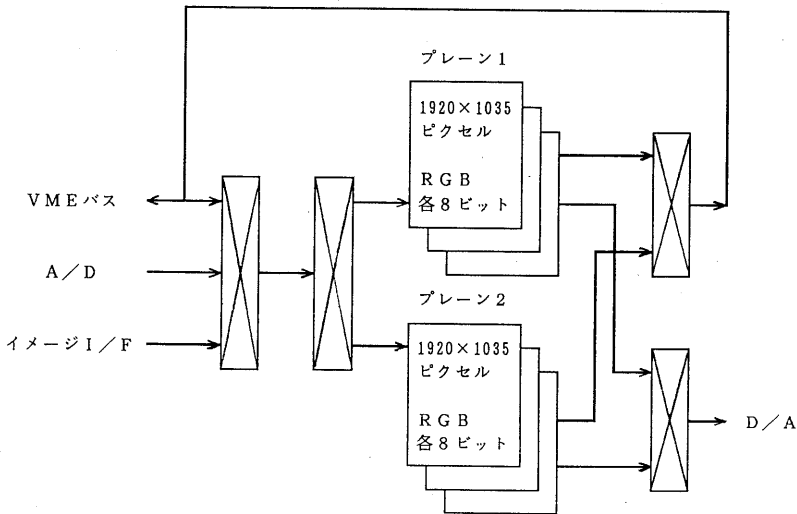


図6. HDTVフレームメモリ構成図

のアクセスを行なうことができる。表示データの出力とそれ以外のアクセスはサイクルステールで行なわれるので、表示に影響を及ぼさずにフレームメモリへの読み書きができる。

また、図6に示すように上記プレーンを2画面分持っていて、書き込みと表示の対象プレーンを独自に設定できるので、ダブルバッファリングによる画像乱れのない動画表示が可能である。

表示モードとしては、通常のフレーム表示モード（インタレース表示）と、偶数あるいは奇数フィールドのみを表示するフィールド表示モードがある。SIG2では、動画表示時にこのフィールド表示モードを用いて、垂直方向の解像度を1/2にしている。

3. プログラム開発環境

XL8032用のソフトウェア開発には、SUN-OSや、XENIX上で動作するCコンパイラ、アセンブラ、リンカ等が利用できる。これらに独自のスタートアップ・ルーチン、モニタプログラムとライブラリを用意して、ユニット・プロセッサ（UP）のソフトウェア開発環境を構築した。

プログラム実行環境は、図7に示すようにホスト（UNIXマシン）上のサーバプログラム、デバイスドライバ、UP上のモニタプログラムから成っている。UPのユーザプログラムからは、これらの実行プログラムはトランスペアレントに見える。すなわち、UPのユーザプログラムが発生したシステムコールは、サーバプログラムによってホスト上のシステムコールに変換され、その結果がユーザプログラムに返されるので、UPのユーザプログラムはあたかもUNIX上で動作しているように見える。

したがって、SIG2のソフトウェア開発はUNIX上のソフトウェア開発とまったく同じ環境で、C言語、アセンブリ言語を利用して行なうことができる。また、標準のUNIXのツール群をすべて利用できるので、良好なソフトウェア開発環境を提供できる。

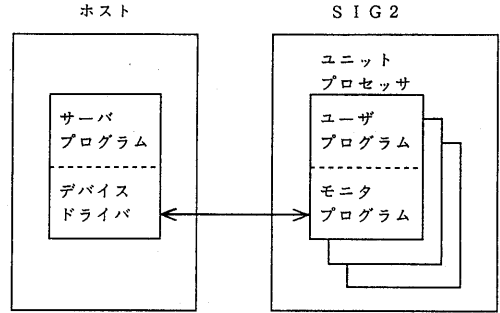


図7. プログラム実行環境

4. 性能評価

4.1. レイ・トレーシング法

UPの性能評価を行なうために、表1に示す3種の形状データについて、レイ・トレーシング法を用いて画像生成実験を行なった。比較のために等しいプログラムと形状データを用いて、米シリコン・グラフィックス社のグラフィック・ワークステーションIRIS4D/60T（CPU:10MIPS、FPU:1.1MFLOPS）の画像生成速度を求めた。実験結果を表2に、生成画像を写真3～5に示す。

各生成画像には、反射・透過・屈折及びアンタイエイリアシングの各処理を施している。

表2から、ユニット・プロセッサ（UP）はレイ・トレーシング法に関してIRISの約3倍の性能を有することがわかる。これは主に浮動小数点演算の処理能力の差によるものと考えられる。

表1. 実験用形状データの構成要素

構成要素 形状データ	三角板	球	円錐	円柱	リング	計
PILLARS	87	5	0	0	0	92個
BONTEN	2	3	4	3	27	39個
PANPH	2	3	0	0	0	5個

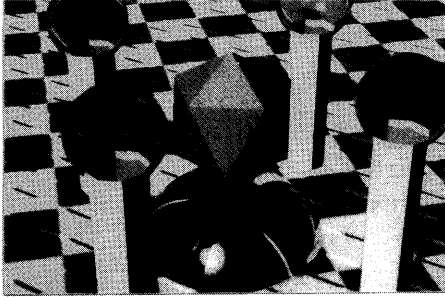


写真3. レイ・トレーシング法による生成画像 (PILLARS)

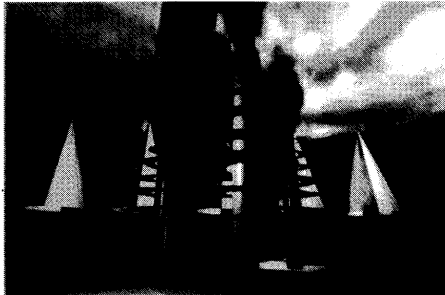


写真4. レイ・トレーシング法による生成画像 (BONTEN)

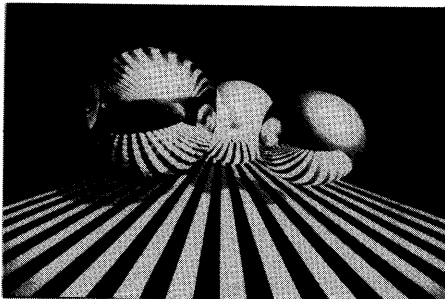


写真5. レイ・トレーシング法による生成画像 (PANPH)

4.2. ラジオシティ法とスキャンライン法

表3に示す形状データ及び光源データについて、ラジオシティ法とスキャンライン法を用いて以下の手順で画像生成実験を行なった。物体の形状モデルはメッシュ構造のサーフェイス・モデルを用い、その表面は全て拡散反射面とした。

- ① ラジオシティ法を用いて物体表面の照度分布を、光源からの直射光による直射照度と物体間の相互反射光による環境照度との和として算出し、照度マッピングデータとして蓄える。このとき、直射光が物体表面にもたらず比較的鋭い照度変化を正確に表現するために、直射照度算出時にはメッシュを構成するパッチを更に複数のサブパッチに分割し、各サブパッチについて照度計算を行なう。
- ② スキャンライン法を用いて隠面処理を行ない、上述の照度マッピングデータや他の各種マッピングデータを用いてRGBそれぞれの輝度を算出する。負荷分散のために1台のUPが前処理を担当し、結果を他のUPにブロードキャスト転送する。他のUPは1スキャンライン単位で割当てられた領域を処理する。

物体の位置及び表面の反射率や光源の位置及び配光特性が一定である場合、①で一度算出した照度マッピングデータを用いて②の処理を繰返すことにより、視点移動や視線変更を秒10コマの速度で実行することができた。生成画像の1コマを写真6に示す。

表2. 画像生成速度 (レイ・トレーシング法, 512×480画素)

生成マシン 形状データ	IRIS4D/60T	SIG-2(UP1枚) [対IRIS比]
PILLARS	13分02秒	3分40秒 [3.6倍]
BONTEN	6分58秒	2分35秒 [2.7倍]
PANPH	16分23秒	4分40秒 [3.5倍]

表3. 実験用形状データ及び光源データ

環境照度算出時の パッチ数	直射照度算出時の サブパッチ数	室内照明の数
2,599	12,195	6

5. むすび

HDTV対応、秒10コマの高品質(Photo-realistic)な画像の動画生成を目標としたマルチプロセッサ構成の画像生成システムSIG2について述べた。

今後さらに並列性などの評価実験を行ない、詳細な性能評価を行なう必要がある。また、ユニット・プロセッサはプログラマブルな高速プロセッサ・ボードとして使用可能であるので、画像生成だけではなく、科学技術シミュレーションなど種々の並列処理への応用も考えていく予定である。

<参考文献>

- [1] 西村仁志他, "並列画像生成システムLINKS-2のアーキテクチャ", 情報処理学会論文誌Vol.29 No.8, 1988
- [2] 吉田雅治他, "グラフィックス専用計算機SIGHTの基本設計", 情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会資料, CA-60-4, 1988
- [3] 石井光雄他, "高並列計算機CAP", 電子情報通信学会論文誌Vol. J71-D No.8, 1988
- [4] 日高教行他, "マルチコンピュータ画像生成システムMC-1", 情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会資料, CA-58-5, 1985
- [5] 平井誠, "画像生成コンピュータMCについて", CG OSAKA '88, 1988
- [6] 西村健二他, "光の相互反射を考慮した高速画像生成のための一手法", 情報処理学会第37回全国大会講演論文集, pp. 1693, 1988

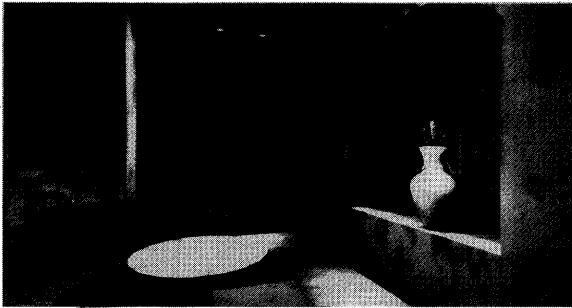


写真6. スキャンライン法による生成画像