

〔非公開〕

TR-C-0150

3次元物体形状の面対称性に基づく
能動的復元および色彩情報の再現

吉田 和憲
Kazunori YOSHIDA

大谷 淳
Jun OHYA

岸野 文郎
Fumio KISHINO

1 9 9 6 3 . 1 5

A T R 通信システム研究所

3次元物体形状の面对称性に基づく能動的復元および
色彩情報の再現

吉田和憲 大谷 淳 岸野文郎

ATR 通信システム研究所

1996年3月19日

Active 3D Shape and Color Data Reconstruction
Based on the Symmetry of 3D Object

Kazunori YOSHIDA Jun OHYA Fumio KISHINO

ATR Communication Systems Research Laboratories

March 19, 1996

概要

筆者らは、物体の面対称性を用いて、再帰的かつ能動的な3次元物体形状の復元を効率的に行う方法を提案し検討を進めてきた。本論文では、能動的カメラの各視点からの画像情報を用いて、3次元形状再構成結果に色彩情報を加える手法を提案する。

本手法では、事前にカラーサンプルを用いて求めておいた変換式を用いて、3次元物体形状復元手法によって得られた物体形状を構成するポリゴン、およびその法線情報と観測時に得られた画像の濃淡から、各ポリゴンの拡散反射成分を推定する。本手法によって、よりリアリティの高い3次元物体の再現が可能となることを示している。

目次

1	はじめに	2
2	物体形状の観測・再構成手法	4
2.1	物体形状の対称性に対する仮定	4
2.2	物体の観測	4
2.3	物体形状の再構成	6
3	色情報の再現	8
3.1	拡散反射係数の推定手法	8
3.2	照明条件の観測	8
3.3	物体の色情報の推定	9
4	実験	11
4.1	自動車模型	11
4.2	人体頭部模型	11
5	むすび	17

第 1 章

はじめに

筆者らは、互いに異なる複数の場所にいる複数の人々が、あたかも一堂に会しているような感覚をもちつつ会議を行うことができる通信を、臨場感通信会議と呼び、検討を進めている [1]。臨場感通信会議では、検出系で人物や物体の動きを検出し、再現系におけるそれぞれの 3 次元モデルにおいて再現し、これを立体表示する。そのため、3 次元物体形状の効率的なモデリングの確立が重要である。

対象物体が実存している場合のデータ入力方法は、キーボードによる入力や、レンジセンサ等の 3 次元ディジタイザによる方法があげられる。また、正視投影図によって物体が表現されている場合は、キーボードによる入力や、平面毎に 2 次元のディジタイザによって入力する方法をとることが多い。このように、従来の CAD を用いたモデリング法では形状が既知の単純な物体しか扱いにくいために、自由曲線によって構成される複雑な立体である場合には、その 3 次元形状を観測データから自動的に生成する方法が必要とされている。そこで、我々はこれまでに 3 次元物体形状再構成のために必要な複数視点からのシルエット像を自動的に獲得し、それらのシルエット像より 3 次元物体形状を自動的に再構成する手法を提案し検討を行ってきた [2]。この手法では、面对称性を持つ物体を対象として、その面对称性に注目することで物体の画像を獲得する視点を自動的に導きだし、ロボットアームに取りつけられた CCD カメラを、ロボットアームを移動させることにより、導き出された観測点での物体の画像を取得するという処理を新たな視点が導き出されなくなるまで再帰的に繰り返す。その後、対象となる 3 次元物体形状を、獲得された幾つかの画像からオクトツリーモデルにより再構成する。最後に再構成結果に、観測によって得られた画像をテクスチャデータとしてマッピングしている (図 1.1)。

しかし、物体がモデリングされた環境でこの物体モデルを観測する場合にはリアリティの高い再現が実現されるが、照明環境の異なる場所に再構成された物体を配置した場合には、逆に違和感を高める結果となる。そのため、単純に観測された画像をマッピングするのではなく、観測時の照明条件等も考慮に入れたモデルによる色彩情報の推定が必要となる。

本稿では、筆者らにより提案された能動的カメラを用いる手法により再構成された 3 次元形状、およびあらかじめ計測により求めておいた観測環境における照明条件とを用いて、物体の持つ反射成分のうちの拡散反射成分を推定する。すなわち、ある表面上の点の法線方向と、観測された画像上の濃淡情報、あらかじめ求めておいたこれらの法線および濃淡情報と物体表面の色との関係式を用いてリアリティの高い 3 次元形状のモデリングを行う。また、関係式を容易に求めるため、前述のようにロボットアームの先端に CCD カメラを取りつけるのではなく、先端に物体を取りつけ、固定された CCD カメラで観測を行う。

以下、2 章では、筆者らの提案している物体の観測・再構成の手法について述べ、3 章で、検討している色情報推定の手法について述べる。4 章で実験結果を示し、5 章で結論について述べる。

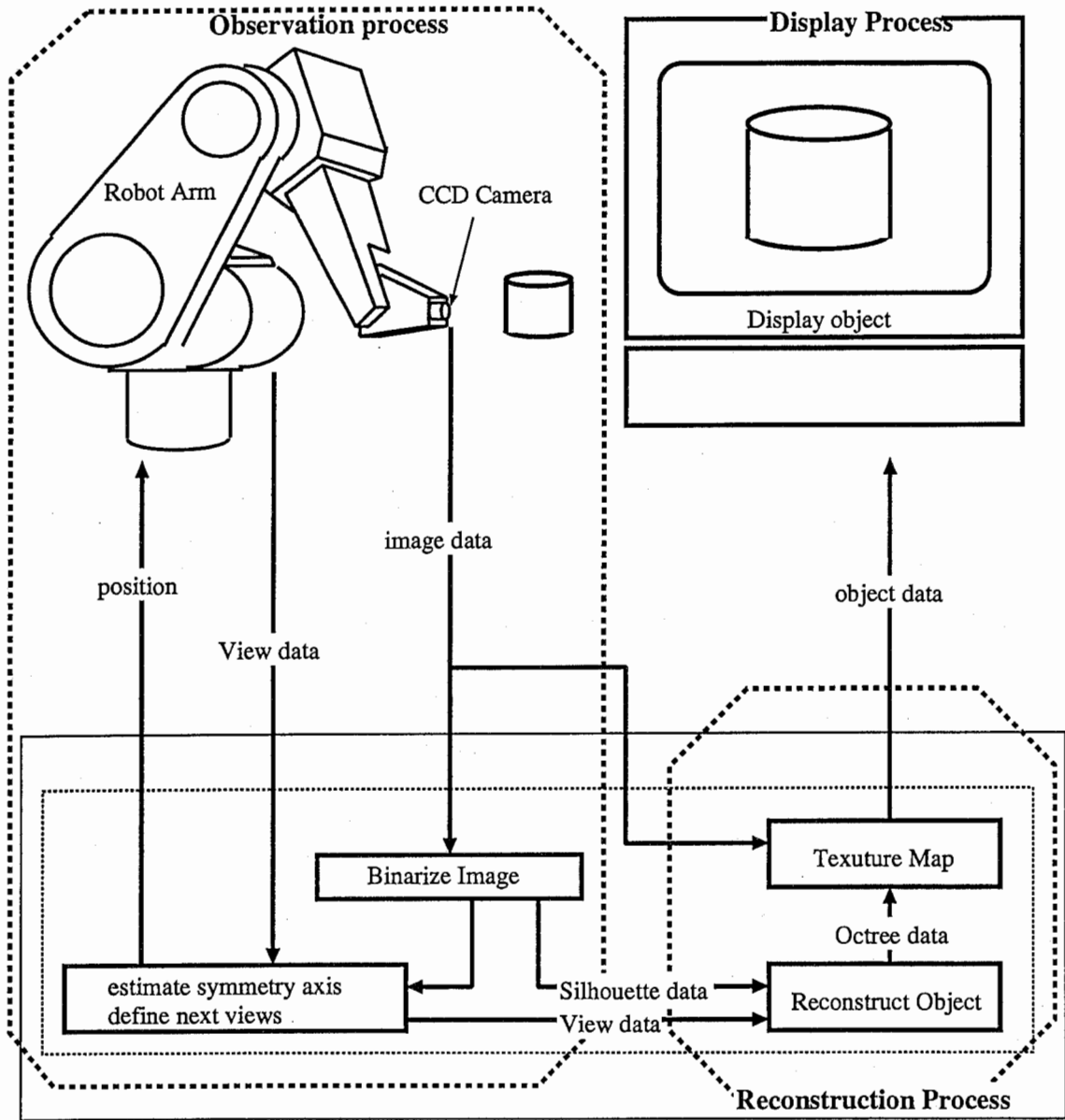


図 1.1: 本観測システムのシステム構成

第 2 章

物体形状の観測・再構成手法

本研究で行っている 3 次元物体の観測・再構成では、物体の形状に対して面对称に対する幾つかの仮定をおき、その仮定を用いて、画像上の物体のシルエットから対称軸を推定し、画像を採取した視線方向と対称軸とから対称面を求めて観測する視点を決定するプロセスを再帰的に実行する (図 2.1)。

2.1 物体形状の対称性に対する仮定

本研究では、対象となるシーンは室内でありその内部に多く見られる人工物が対象となる。これらの人工物の多くは人間が使う道具として何らかの機能を果たすものである。道具として使う場合には水平な台の上で使用する人が多いと考えられ、その際に安定姿勢を取れないものは非常に使いづらくなる。

人工物がその機能を果たす際、その形状の持つ対称性も問題となる。その人工物に対して、何らかの力を加えて、その物体の持つ機能を果たすとき、物体の形状が、加えられた力に対して何らかの対称性を持つならば、物体はその加えられる力に対して安定性を崩すことは少ないと考えられる。このため、物体形状がこのような対称性を持つならば、容易にその機能を果たし得、効率が良い。本研究では物体の持つこれらの対称性に注目する。

したがって、物体には重力が働く事を考えると、物体は、重力と、その物体が機能を果たすときに加えられる力に対して対称性を持つと考えられる。これらが 1 次独立の場合、物体がこれらの方向を含む面に対して対称となることが期待される。

また、物体が均一な素材で形成されている場合、物体に働く力は重心に作用するので、対称面は物体の重心を通り、物体に働く力の方向を含む面となる。

このような物体を対象として考えるとき、以下のような仮定をおくことができる。

- 物体は水平な台上に安定な姿勢でおかれている
- 物体が少なくとも 1 つの対称面を持つ
- 少なくとも物体の持つ 1 つの対称面は重力方向を含む

この仮定から、観測初期の視線方向を重力方向と同じ方向とする。

2.2 物体の観測

ある視点から獲得された画像上での物体の領域を S とすると、この領域の重心 $G = (G_x, G_y)$ 、および領域 S の慣性主軸の傾き θ は次のように表される。

$$G = (G_x, G_y) = \left(\frac{\sum_{(x,y) \in S} x}{n}, \frac{\sum_{(x,y) \in S} y}{n} \right) \quad (2.1)$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{b/\sqrt{b^2 + (a-c)^2}}{2} \quad (2.2)$$

ここで、 a, b, c は次の式で与えられる。

$$a = \sum_{(x,y) \in S} (x - G_x)^2$$

$$b = \sum_{(x,y) \in S} (x - G_x)(y - G_y)$$

$$c = \sum_{(x,y) \in S} (y - G_y)^2$$

このとき、重心 G を通る、傾き θ の直線、もしくは G を通りこれに垂直な直線のいずれかがこの領域の対称軸 l となり (図 2.1)、いずれかを選択する必要がある。そのため、元の画像をそれぞれの直線の回りに反転させた画像との差分をとり、これを対称性の尺度として用いる。この値が小さい方を対称軸と決定する。なお、両方の直線におけるこれらの差分がいずれも大きい場合には、いずれも対称軸でないと判断する。

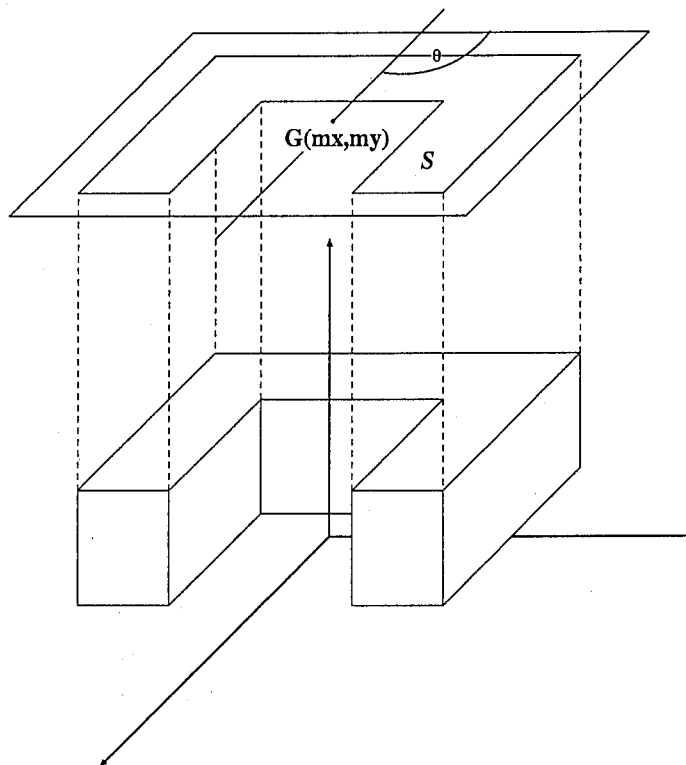


図 2.1: 対称軸の推定

対称軸を得た後、対称面の推定を行い、次に観測を行う点を 4 点決定する。対称面は観測の視線方向と対称軸の方向を含み、重心を通る直線として与えられる。また、視線方向を v 、 l を

対称軸 l の方向とすると、次に観測する 4 点の方向 $v_1 - v_4$ はそれぞれ次の式で与えられる。

$$v_1 = l \quad (2.3)$$

$$v_2 = (v \times l) \quad (2.4)$$

$$v_3 = -l \quad (2.5)$$

$$v_4 = -(v \times l) \quad (2.6)$$

初期視点で得た画像で得た重心位置を基準位置として、それぞれの視線方向へ定義された距離だけ移動した位置をそれぞれの視点として定義する。ここで、後の形状の再構成処理を簡単にするために、それぞれの視点におけるカメラ画像の座標系 x, y, z は x が水平方向と一致するように次の通りに定める。

$$x = \frac{g \times v_i}{\|g \times v_i\|} \quad (2.7)$$

$$y = v_i \times x \quad (2.8)$$

$$z = v_i \quad (2.9)$$

ここで、無意味な観測を避けるため、求められた各視線方向に対して、以前に観測した方向と重複するか否かを調べる。すなわち、以前に観測した視線方向との内積を求め、一定値以上より大きい場合、同一の視点と見なし、その点での観測を行わない。

重複のなかった視点に対して、CCD カメラを求めた視点へと移動し観測を行い、同様の処理を行う。本手法では、はじめに述べた通り、拡散反射成分の効率的な推定のため、CCD カメラを移動する代わりに物体を回転させることで同様の処理を行う。

能動的な物体観測を実現するために、上記の処理を新しい視点が見つからなくなるまで以下のような手順で再帰的に繰り返す。

1. カメラを与えられた観測点 X へ移動する。 X の初期値は、2.1 で述べた仮定に基づき、重力方向 g を視線方向ベクトルとする
2. 画像を獲得する
3. 得られた画像から物体領域を抽出する。本研究では画像の 2 値化によって領域の抽出を行う
4. 式 (2.2) に従って物体領域の対称軸の傾き θ を求める。対称軸が求まらない場合、対称軸の探索が終了したとして処理を終了する。
5. 得られた対称軸から、式 (2.3)–(2.6) より 4 視点と各々の視線方向 X_i, v_i を求める。
6. 4 視点について、過去の観測視点との重複をチェックする。
7. 重複のなかった X_i, v_i を観測点として、1. ~ 7. の処理を再帰的に行う。
8. 処理終了

2.3 物体形状の再構成

3 次元物体形状の再構成は、観測時に得た各画像における物体の領域断面とする筒状の体積をボクセル表現し、各視点間の筒状の体積 (ボクセル) の論理積をとることで行う (図 2.2)。

また、このとき、再構成した物体形状に観測された画像をテクスチャとしてマッピングする。ここでは物体を Cube の集合体として表現しているため、初期位置で得られた画像と、初期位置で推定された 4 視点の画像を用いる。

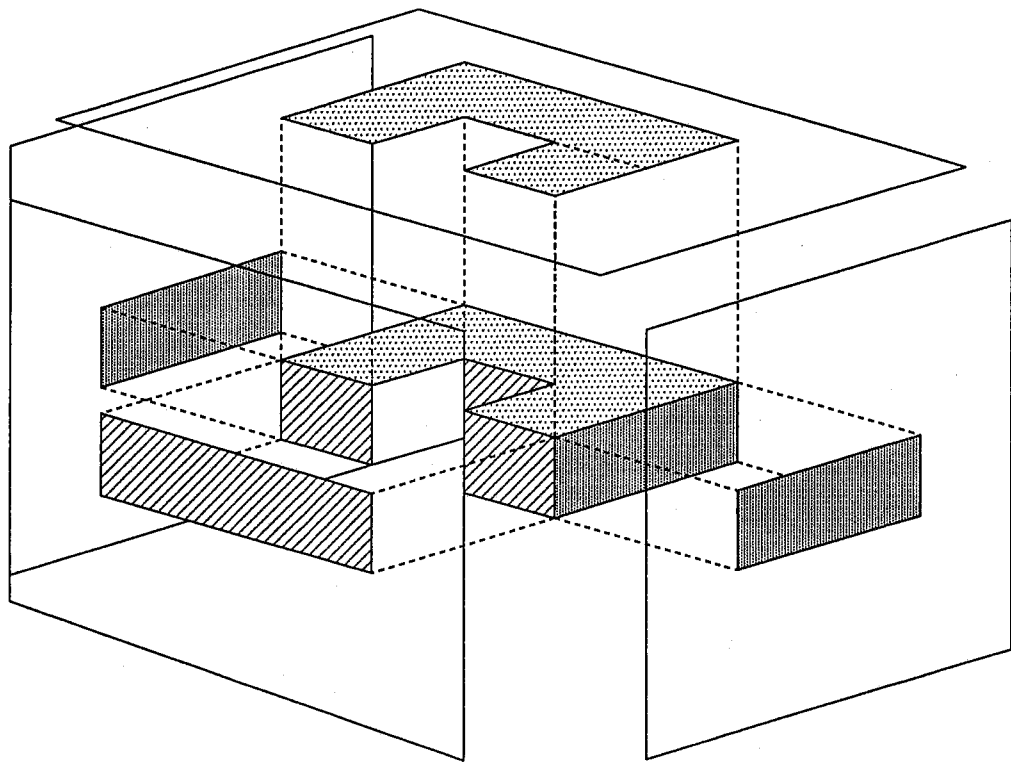


図 2.2: 3次元物体形状の再構成

第 3 章

色情報の再現

前述した観測により、再構成した 3 次元物体形状と、各視点から得た画像を得られる。これらから、物体表面のある点の法線方向、およびカメラによって観測される色彩情報が得られる。しかし、これらの情報からのみでは照明条件等が未知であることから、物体表面のオリジナルの色彩情報の推定は困難である。

そのため、周囲の照明条件をあらかじめ観測しておくことにより、物体表面の法線方向、およびカメラによって得られる色彩情報の間の関係を定式化し、物体観測によって得られた情報をこの式に適用することにより、オリジナルの色彩情報を推定する。

3.1 拡散反射係数の推定手法

本研究では、サンプルデータをもちいてあらかじめデータを求めることにより、観測環境を既知化し、物体表面の拡散反射成分を推定する。

拡散反射による光の反射は、入射光の強さおよび方向を I_{in}, L 、出射光の強さおよび方向を I_{out}, V 、拡散反射成分を k_d 、面の法線方向を N とすると、次のように表される。

$$I_{out} = k_d \sum (N \cdot L) I_{in} \quad (3.1)$$

サンプルデータによる観測によって、照明環境が既知となり、CCD カメラを固定することにより、出射光の方向が一定となるので、式 3.1 は次のようになる。

$$I_{out} = k_d f(N) \quad (3.2)$$

式 3.2 により、 k_d を次のように表す。

$$k_d = g(I_{out}, N) \quad (3.3)$$

3.2 照明条件の観測

照明条件を求めるためには、サンプルデータの色彩情報が既知である必要がある。我々は市販の色見本をサンプルデータとし、各々サンプルデータの色彩情報は、マンセル色表を用いて対応する RGB を求め、これを正規化したものを拡散反射成分とする。

このサンプルデータを物体を観測する個所におき、それを 5° 間隔で x 方向 y 方向それぞれ、 -45° から $+45^\circ$ まで CCD カメラにより観測する。

また、物体形状の観測により、面の法線が求められるので、以上より、下のようなデータを得る。

- 物体表面のある平面の(法線)方向 (x, y, z)
- 拡散反射成分 (R, G, B)
- 各サンプルにおいて観測された (r, g, b)

これらを用いて、式 3.3 から、表面の法線方向の高次項も考慮して以下の様に、拡散反射パラメータを求める行列を求める。

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ xy \\ yz \\ zx \\ xyz \\ r \\ rx \\ ry \\ rz \\ \vdots \\ rxyz \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

ここで、 A は 16×3 の変換行列である。本研究では、カラーサンプル 24 サンプルに対して観測を行って、式 (3.4) における A を求めた。

3.3 物体の色情報の推定

観測の結果得られた画像、および 3 次元形状から物体表面の色情報を求める際に、3 次元形状を Polygon で記述する必要がある。本研究では、Lee[3] らの研究を参考にこれを行った。

ある視線方向から得た画像に対して、物体を構成するそれぞれのポリゴンに上述の式 (3.4) を適用する。全ての観測された画像に対してこの処理をおこない、得られた推定値の平均をそのポリゴンの色彩情報とする。

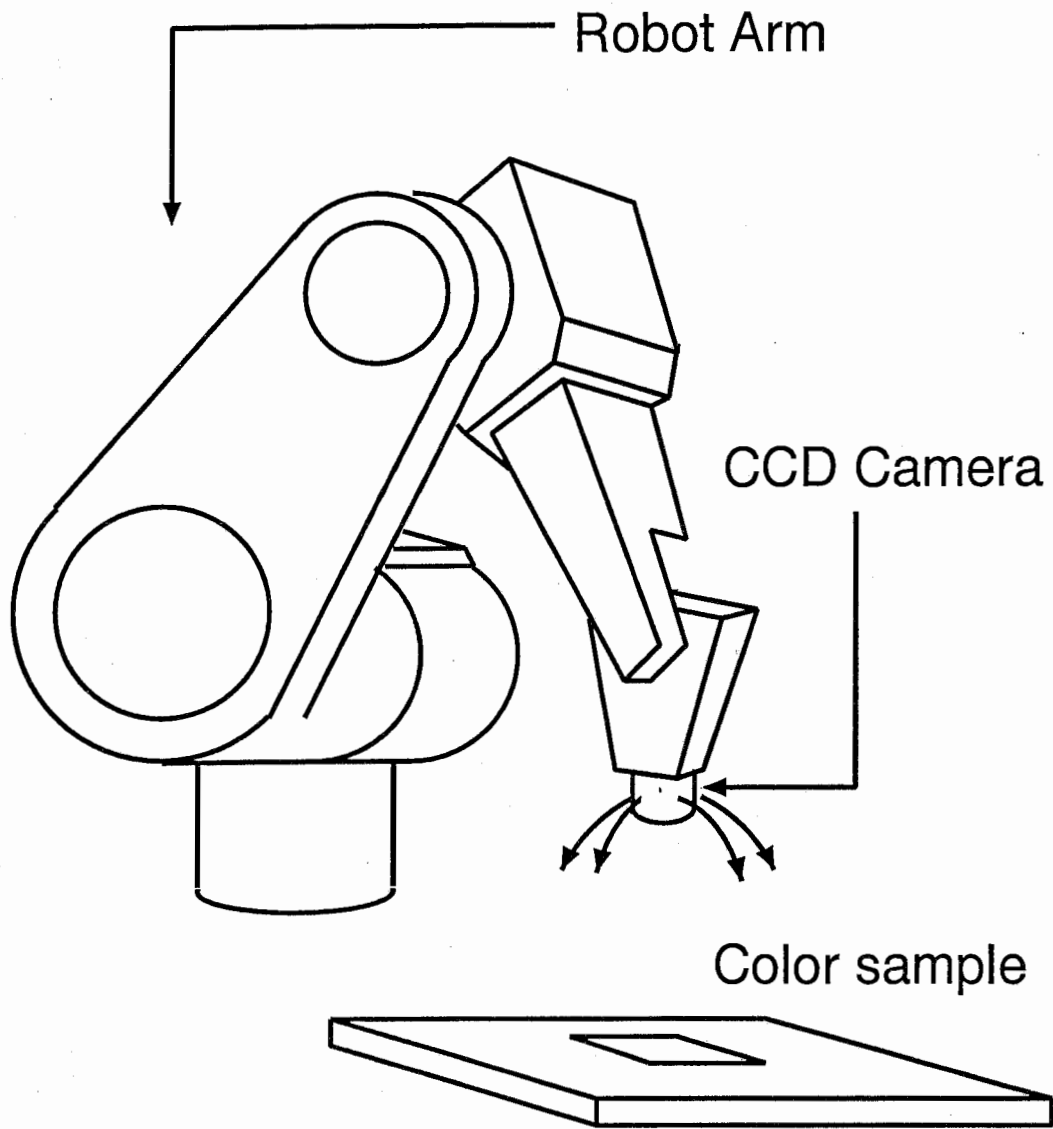


図 3.1: 照明条件の観測

第 4 章

実験

ロボットは川崎重工業製の Js10-A01 を使用し、コントローラに Sun-4 ワークステーションを RS-232C で接続することにより、作成したプログラムによってロボットを制御することを可能とした。また、画像の入力は、柏木研究所の nexus6000 をロボットを制御するワークステーションに接続して使用した。読み込んだ画像から対象となる 3 次元物体の形状を再構成し、拡散反射成分の推定を行った結果を表示するためにシリコングラフィックス社製のワークステーションを用いた。

本研究では 2 つの物体を用いて複数のシルエット像を取得、3 次元形状の再構成を行い、それぞれの拡散反射成分を推定した。一つ目は自動車の模型であり、もう一つは人物の頭部の模型である。二つとも人工物であり安定姿勢も持っている。しかし、自動車は前方への移動を主な機能として持つ物体であり、その機能を効率的に果たすために安定姿勢を持っている。また、人物の頭部の模型は機能を持たない物体であるが、安定姿勢を持っており、高い面対称性を持つ。

入力画像の大きさは 512×480 RGB 各 8bit であり、物体を再構成したボクセル空間は $256 \times 256 \times 256$ とした。また、ボクセルデータをポリゴン化する際に、ボクセルデータを $128 \times 128 \times 128$ 相当として処理を行っている。

4.1 自動車模型

自動車の模型の場合、物体は赤のみで塗装されている。まず、初期位置である、鉛直情報から画像を獲得 (図 4.1)、そこで前述の処理を行い、対称軸を推定、次に観測する視点を決定した。これらの視点について観測を行い、それぞれについて対称軸を推定、観測を行った (図 4.2, 4.3)。

各々支店の画像において画像処理を行った結果、それ以上の視点が見つからなかったため、観測が終了している。以上の観測によって得られた画像から物体形状を再構成しテクスチャマッピングを施したのが図 4.4 である。

これに対して、表面の拡散反射係数を推定し、再現したのが図 4.5 である。パラメータを与えているため、スポット光源等の高度な処理も可能となった。なお、このとき鏡面反射のパラメータは適当に与えている。

4.2 人体頭部模型

この模型の場合、物体の全体は肌色で、目は青、唇は赤で塗装されている。自動車の模型と同様の処理を行い、画像を取得する (図 4.6 - 4.8)。

観測で得られた画像から物体形状を再構成しテクスチャマッピングを施したのが図 4.9 である。

少ない視点で再構成したデータであるため、表面のなめらかさに関し、テクスチャマッピングを行うと、かえって違和感が増している。

これに対して、表面の拡散反射係数を推定し、再現したのが図 4.10 である。こちらは、シェーディング等の処理によって、再現された形状がよりなめらかに表現されている。目の領域は小さいため、十分な結果とはなっていないが、唇の領域は赤で再現されている。

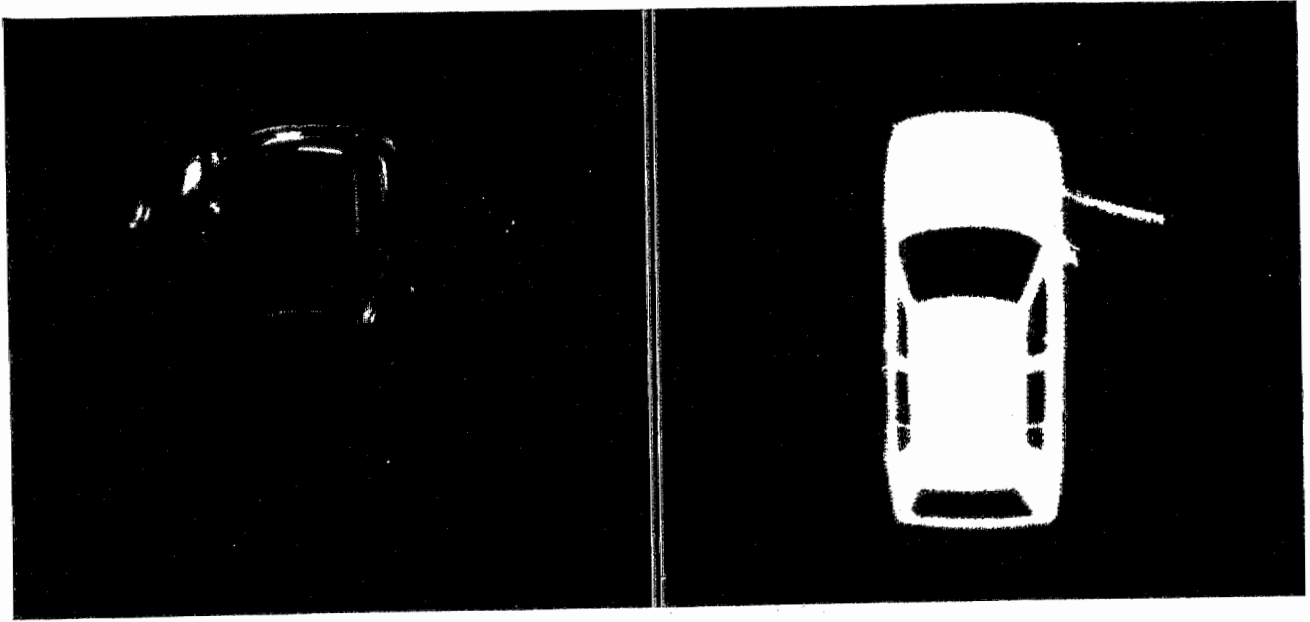


図 4.1: 初期位置での画像

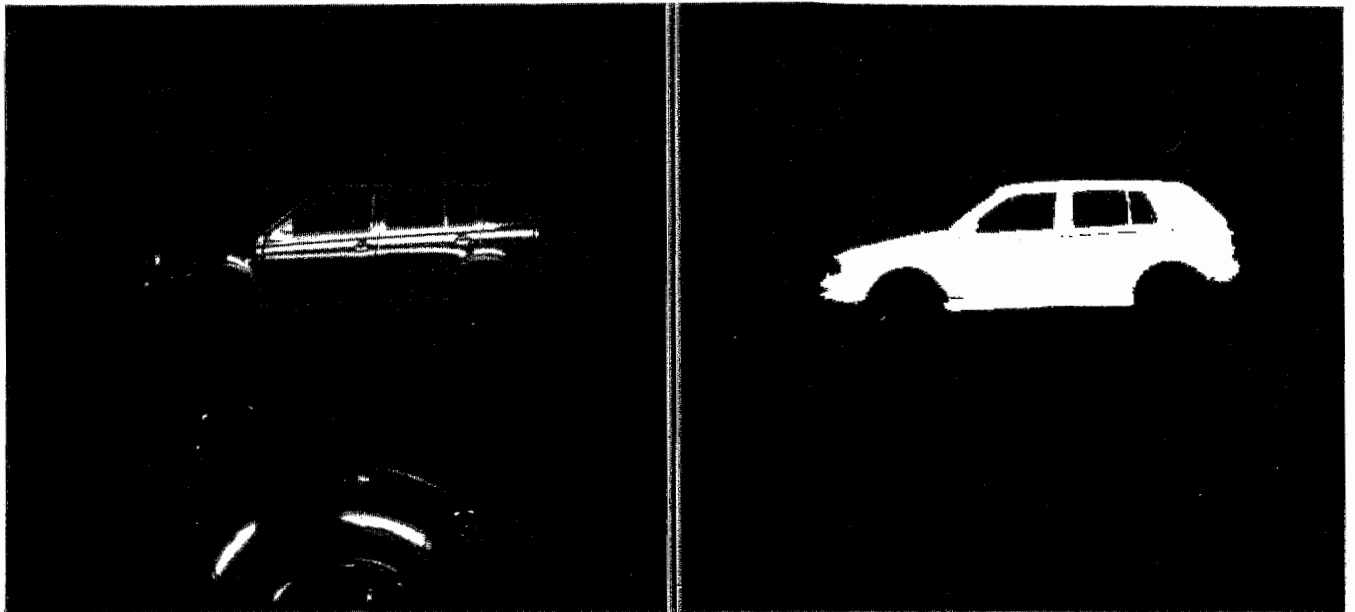


図 4.2: 初期位置で選ばれた視点 1

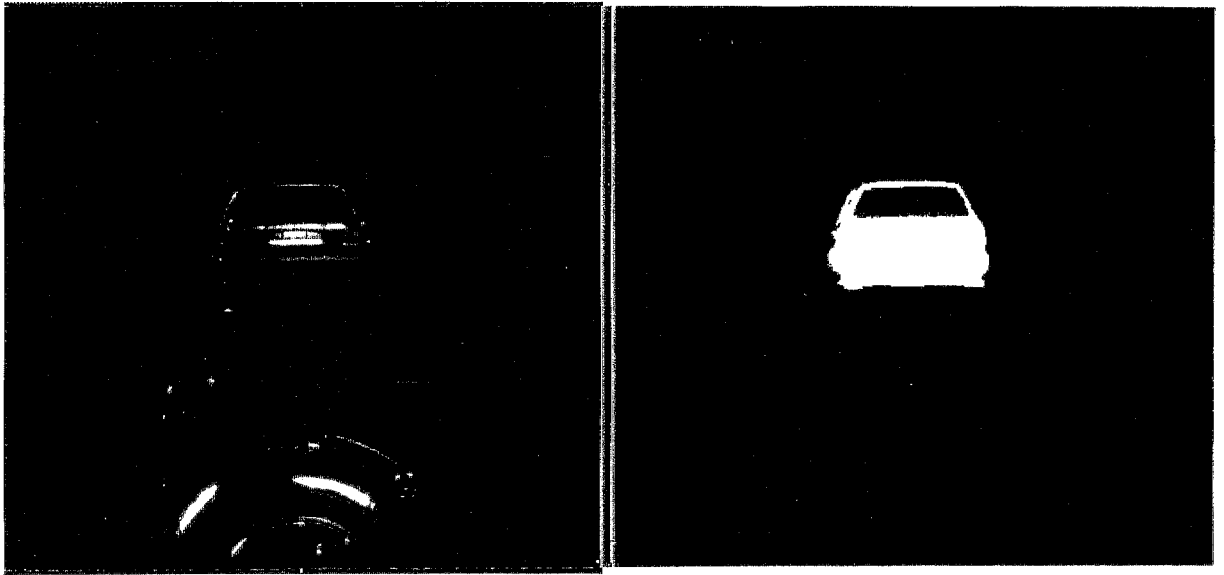


図 4.3: 初期位置で選ばれた視点 2

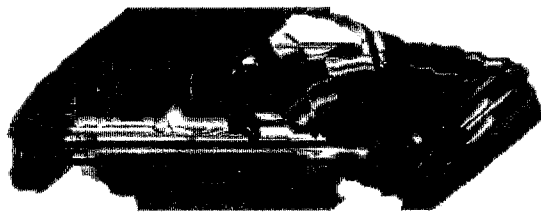


図 4.4: 画像のマッピング結果

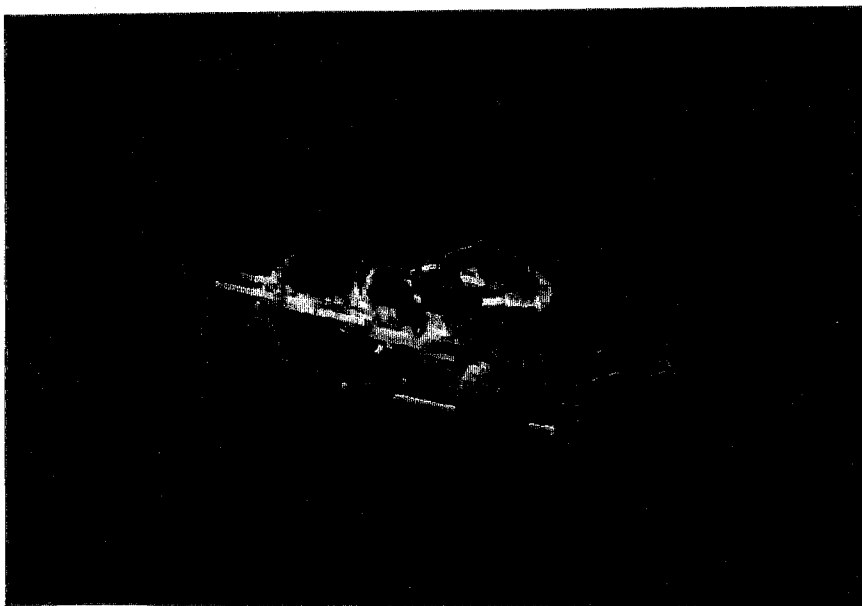


図 4.5: 本手法による結果

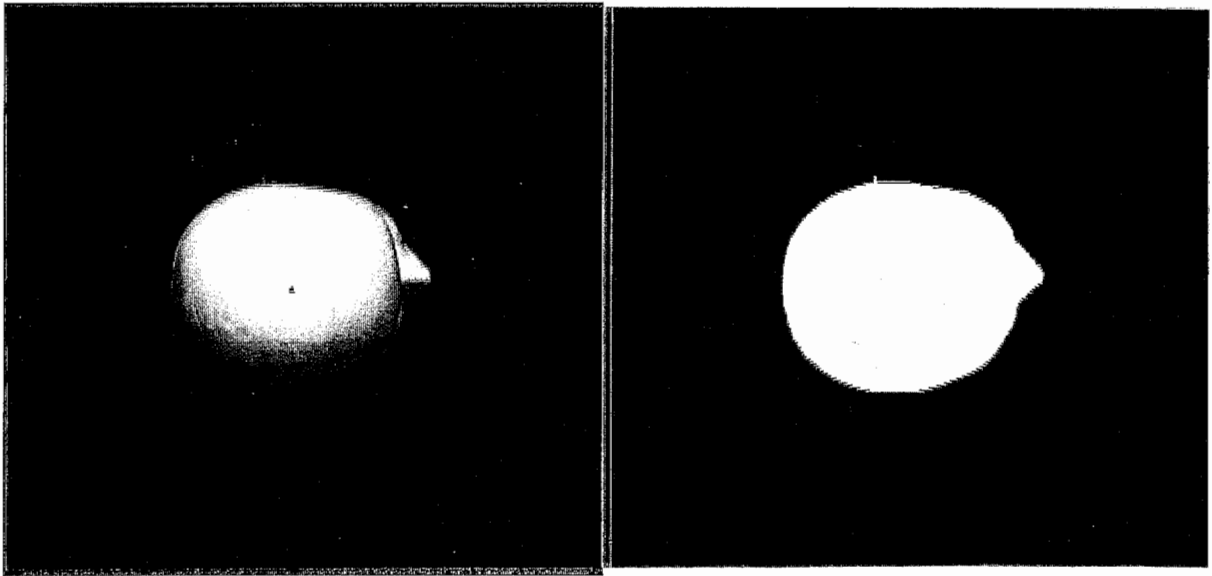


図 4.6: 初期位置での画像

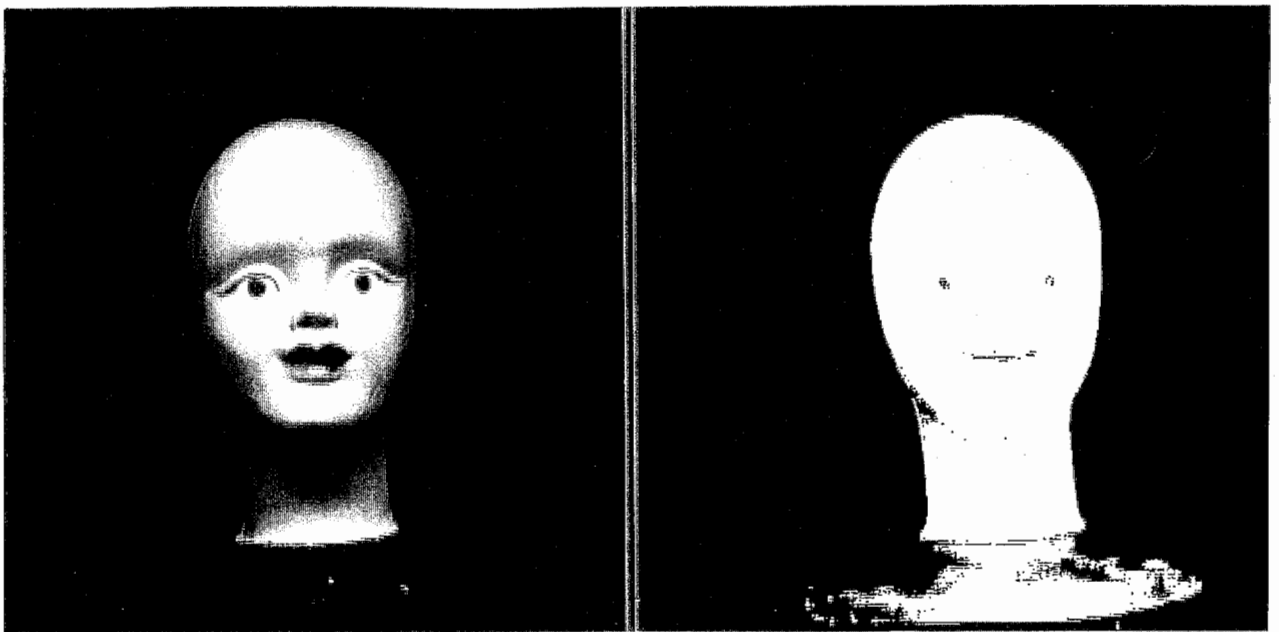


図 4.7: 初期位置で選ばれた視点 1

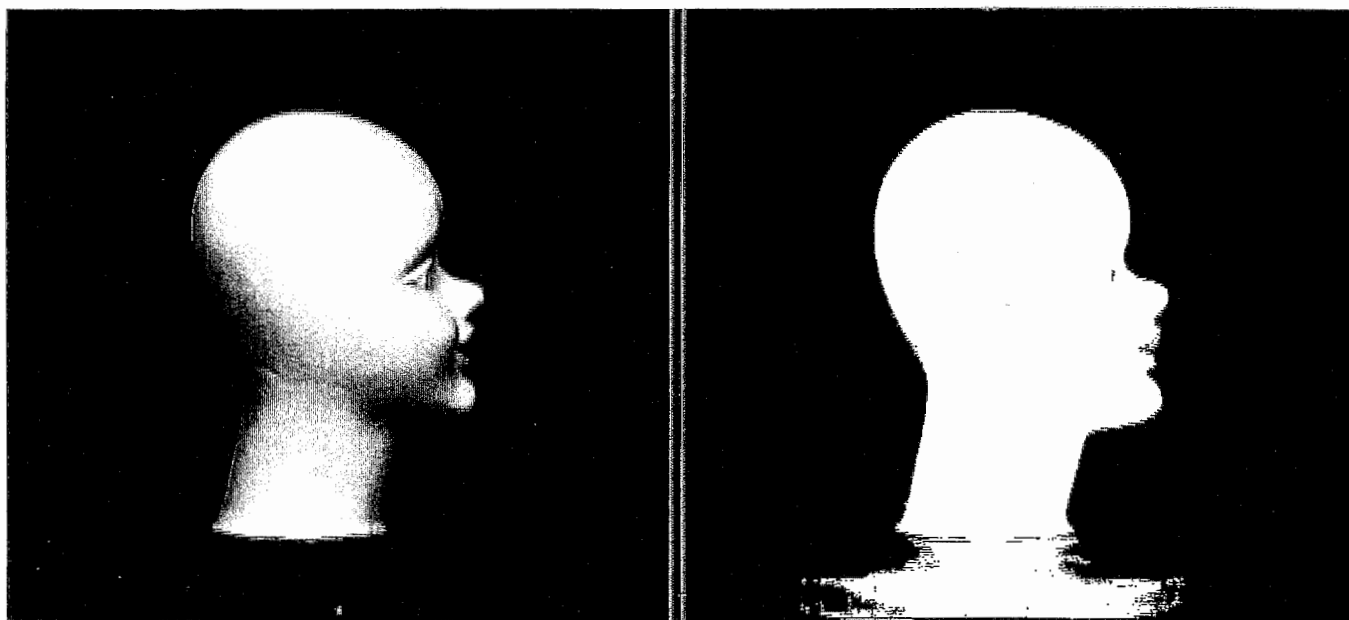


図 4.8: 初期位置で選ばれた視点 2

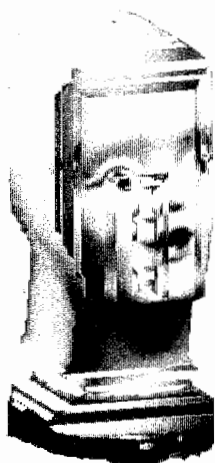


図 4.9: 画像のマッピング結果

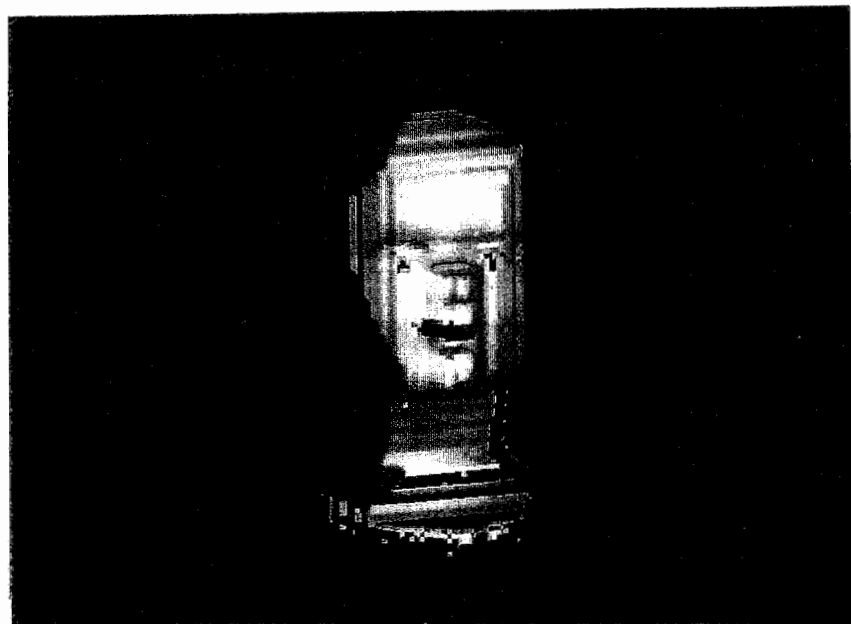


図 4.10: 本手法による結果

第 5 章

むすび

本稿では、従来我々が検討していた 3 次元物体形状の観測・再構成の手法を用いて、再現結果のリアリティを増すため、あらかじめ求めておいた、色見本の表面の法線ベクトル、観測された色情報と物体の色情報との関係式を用いて、3 次元形状観測時に得たデータによって物体の色情報を推定する方法について述べ、実際の画像に対して適用した例を示した。

本手法では、限られた視点からの画像によって物体形状および拡散反射成分を推定、再現しているため、曲面のように、その形状を忠実に再現するためには多くの視点からの観測を必要とするような物体に対しては、再現される形状のクオリティは物体の全周データをもとにするような方法に比べて高くない。しかし、拡散反射成分を推定し、シェーディングをかけることで、リアリティの高い再現ができる。

参考文献

- [1] J. Ohya et al. "Virtual Space Teleconferencing: Real-time Reproduction of 3D human images", *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-25, 1995.
- [2] 吉田, 田中, 西村, 大谷, "形状の対称性を用いた再帰的手法による能動的3次元物体形状推定", '94 日本ロボット学会学術後援会予稿集, 1123-1124
- [3] Ee-Taek LEE, Young-Kyu CHOI and Kyu Ho PARK, "A Method of 3D Object Reconstruction from a Series of Cross-Sectional Images", *IEICE Trans. INF. & SYST.*, Vol. E77-D, No9, pp996-1004 (1994)