

非同期回転法による物体の3次元形状測定

松田 純治, 島田 英之, 塩野 充, 宮垣 嘉也

岡山理科大学工学部情報工学科

(1996年10月7日 受理)

1. まえがき

最近のコンピュータの低価格化, 高性能化, さらにはコンピュータグラフィックスの技術進歩により, 仮想の空間内でもとの物体を視覚的に再現するという作業が容易になってきた。3次元形状測定は, 従来より被服のデザインなどのごく一部の工業的な用途に用いられてきたが, 上述のような背景から, たとえば貴重な工芸品や高価な物品などを, あたかも実際に手に取って眺めるように手元の末端に表示するということも実現可能になりつつある。現に, ネットワーク技術の急速な発達により, 美術館や各種の資料館がインターネットを通じて所蔵品を公開するという試みもすでに行われている。これらのことから, 簡便な3次元形状測定が実現できれば, その用途は広いと考えられる。

現在, 物体の3次元形状を測定する代表的な手法として, 光切断法などの投光法¹⁾がある。これは, 水平に置かれた対象物体にスリット光やレーザー光を照射し, 光断面図を得る手法である。測定はこの断面に対して垂直な方向からカメラを用いて行い, ビームで作られる折れ線の端点および屈曲点の座標の読み取りを行う。しかし, 反射の弱いもの, または, 鏡面反射の強いものに対しても完全な形状が得られない。また, レーザー光は測定対象物体に対してなんらかの影響を及ぼす可能性があるが, これは例えば, 生態やまたは, 文化的価値の高い工芸品などの測定に危険がともなうことを意味する。また, この方法では, 撮影する側と回転台の間に同期が必要不可欠であり, 一般に装置の構成は複雑かつ高価になりがちである。

そこで本研究では, CCDカメラにより非同期かつ不定期に撮影された動画像の各フレームより,

- (1) 絶対回転数
- (2) 断面(投影)形状
- (3) テクスチャ情報

という情報を取得する。(1)のために, 絶対回転角を2進符号化したバーコードを画像に写し込む方法を用いる。(2), (3)については, 各種の画像処理を用いる。

この手法により, ごく通常の撮影環境で, 物体の3次元形状測定を安価に実現することが本研究の目的である。

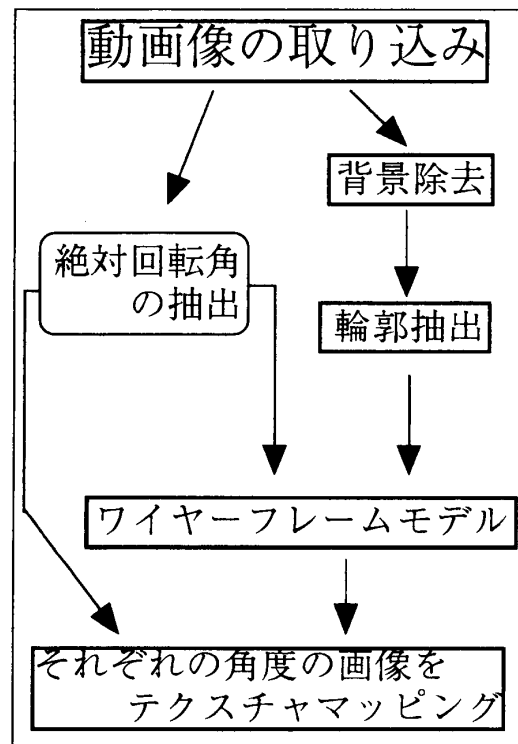


図1 処理手順

2. 物体の3次元形状測定の手順

ここでは、本研究における物体の3次元形状測定の手順について述べる(図1)。各処理項目の詳しい説明を、以下に記す。

2.1 動画像の取り込み

本手法では CCD カメラ を使って、回転台上で回転している対象物体のフルカラー動画像(320×240)を取り込む。その時、物体を置く回転台にバーコードを貼り付けるため、厚さ5cmのアクリル板を置く。

背景は対象物体と色相がはっきりと異なる色(今回は青)にしておく。また、ライトを2方向からあて、背景に映る物体の影を薄くすることにより、この背景除去の処理を行いやすくする。

2.2 絶対回転角の抽出

あらかじめ貼り付けておいた絶対回転角を2進符号化したバーコードの値を、以下のようにして読み取る。

(1) バーコードの上端下端の検出

バーコードの上端下端を検出する方法として濃度ヒストグラムを使う。それを図2に示す。

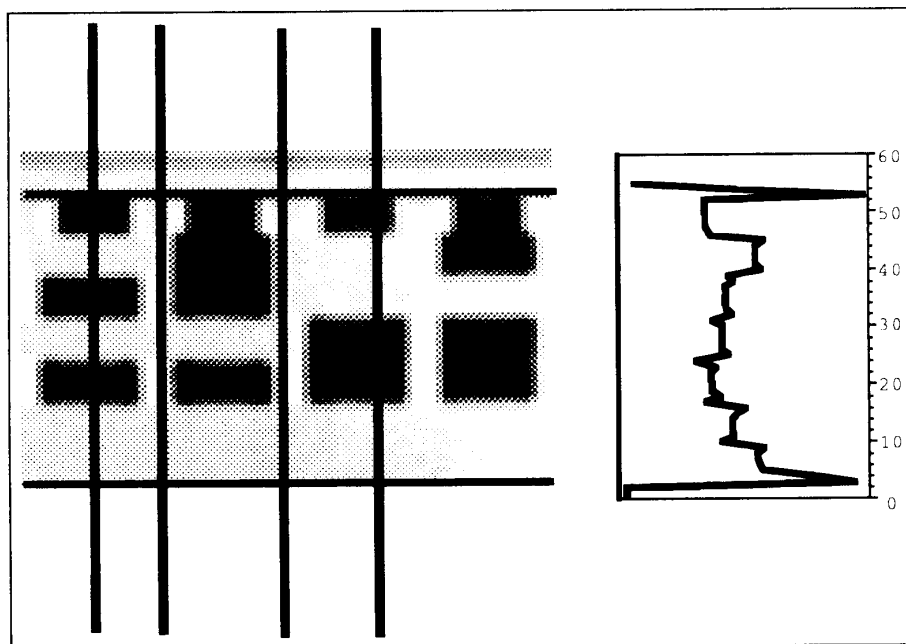


図2 バーコードと累積濃度ヒストグラム

図2の縦線は、その部分のバーコードが画像によって得られたことを示す。*得られたバーコードの部分の濃度値を累積し、ヒストグラムに表したのが図2の右のグラフである。グラフより上端と下端において累積値が極端に低くなっている事が読み取れるが、これはバーコード間に空白を設けているので、その部分しか通過しないもの、つまり、上端と下端しか読み取らないものが存在しているためである。これによりバーコードの上端と下端が検出できる。

(2) バーコード値の読み取り

バーコード値の読み取りにあたって、まずバーコード画像を2値化する。バーコードは上端と下端の間で等間隔に配置されている。誤認識を避けるために他のものより少し幅が狭いバーコード（以後、誤認防止コード）を使う。この誤認防止コードがないと、2値化によって生じる不安定な部分を読み取り、誤認識をしてしまう恐れがあるからである。この方法の概念図を図3に示す。

図より、右の誤認防止コードを通っていない場合、上から5番目のバーコードで誤認識の恐れがあるが、左の場合はそのような誤認識の恐れのある場所は存在しない。これにより誤認防止コードを通っていることで、バーコード値の誤認識が避けられる。

この手法により、バーコードを水平に撮影することができれば、バーコード値を確実に読み取ることができる。

2.3 背景除去

光の3原色である赤、緑、青 (R,G,B) を色相、彩度、明度 (H,S,V) に変換する。そし

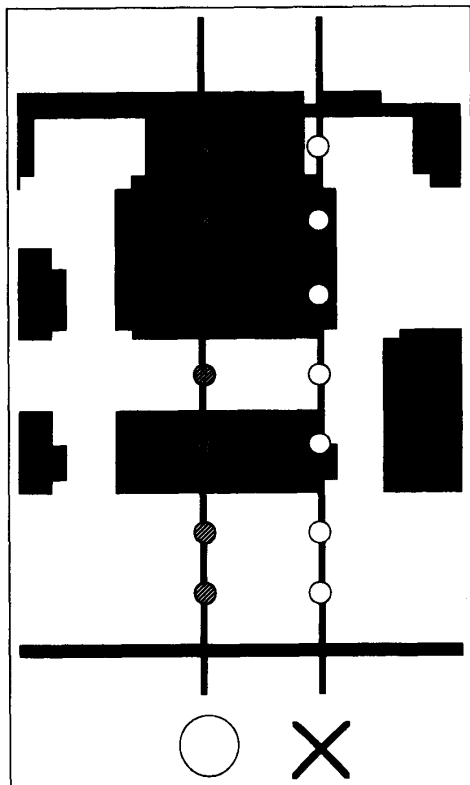


図3 バーコード値の読み取り

て、これにより得られた H,S,V 値から 2 値化のしきい値を決定し 2 値化を行う。この操作により対象物体の領域を抽出する事ができ、背景除去を行う。

2.4 輪郭抽出

背景除去を行った画像に膨張と収縮を施す。この膨張と収縮という作業は、膨張により、小さい穴や gap が埋まり、また、収縮によって、対象物体付近の細かい雑音部分が消える。これらの作業により、対象物体の周囲の微小な雑音を除去することができる。これらの作業で得られた 2 値画像について、以下のようにして輪郭追跡を行う。

- (1) 得られた 2 値画像の物体領域に、中心最左部から右に探索し、対象物体を発見した所を開始点とする。
- (2) 開始点から対象物体を時計まわりに検索し、開始点に戻ったら終了する。

ここまでの作業を、バーコード認識による絶対回転角の抽出で得られた 60 枚の画像すべてに行うことにより、60 枚の輪郭線データを得ることができる。これらのデータを用いて、次に述べるワイヤーフレームモデルの作成を行う。

2.5 ワイヤーフレームモデル

ワイヤーフレームモデルの作成は次の手順で行う。

- (1) 画像に行っておく前処理

- (a) 得られた輪郭画像の画面における最上部を見つける。
 - (b) 見つけた最上部から最下部まで、y 軸方向に一定間隔で点をサンプリングする(本研究では、5ピクセル間隔で点をサンプリングした)。
 - (c) この作業を得られた画像60個のデータに行い、60個の独立した輪郭データが得られる。
- (2) ワイヤフレームモデルの作成
- (a) 輪郭データを、絶対回転角に応じて Affine 変換で y 軸まわりについて回転移動する。
 - (b) この作業を画像60枚に対して行い、輪郭データのうち縦方向と隣接する点を結ぶ。この作業によって、ワイヤフレームモデルが完成する。

2.6 テクスチャマッピング

テクスチャマッピングは次の手順で行う。

- (1) 作成されたワイヤフレームモデルの正視化されたデータを作る。
- (2) ワイヤフレームモデルは点の集合でできている。ここにテクスチャをマッピングするためには、面のデータ(点がどの順番で結ばれているか)が必要である。そのため、正視化されたデータを作る。
- (3) 原画像に対応するワイヤフレームモデルの座標上に(2)のデータを使って、テクスチャをマッピングしていく。

本研究ではテクスチャマッピングを行うにあたって、OpenGL⁴⁾を使用した。この OpenGL (GL は “Graphics Library” の略) は、グラフィクス・ハードウェアに対するソフトウェア・インタフェースである。これを利用して3次元動画オブジェクトのカラー画像を作成するプログラムができる。また、コンピュータ・グラフィックス技術を駆使して写實的、または現実には存在しない空想上の画像も作成できる。そして、この OpenGL を使ってテクスチャマッピングをしたワイヤフレームモデルは、実際に撮影を行っていないどの角度からも描画が可能である。

3. 結果と考察

3.1 バーコードについて

本研究をするにあたって、最大の問題はバーコードの誤認識にあった。これを実現するために、いくつかの段階を経て、最終的にバーコードを水平に撮影さえすれば、バーコードの値が確実に認識できるまでになった。そのバーコードが図4である。このバーコードで実現できる理由は、上下に太い線を付加し、バーコード間に空白を設けることで、バーコードの位置が明確に検出できる。また、一番上に少し幅のせまいバーコードを設けることで、2値化する際の、バーコードの輪郭部分の微小雑音に影響されずにバーコードの値が認識で

きる。これらのことにより、図4のバーコードで正確にバーコードの値が認識できた。

こうしてできたバーコードで、撮影した結果の有効画像枚数、必要な画像、確率を表にしたものが、表1である。

ここで試行1～3は手回しで行い、速さは1から速い、遅い、普通で、この表現は3つの相対的なものである。次に試行4～6は、回転台をモータにより1分間に45回転で一定速度で回転させたものである。

そして、有効画像枚数は、一律350枚(約45秒)中のもので、絶対回転角は、必要な絶対回転角60個に対して得られた回転角の個数、必要な絶対回転角に対して得られた回転角の確率を示している。

表1より、手回しも自動回しも絶対回転角が得られる確率に大差ない。このことから、回転台が水平にさえ回れば、一定速度で回らなくても、特に支障はない、ということができる。

3.2 2値化およびテクスチャマッピング

図5は、処理をする前の対象物体AとBの画像である。この画像に2値化の処理を行った。2値化には色相、彩度、明度(H,S,V)を用いて行ったが、この処理を行いやすくするため、画像を撮影するとき背景を対象物体と色相が離れている青色にした。実際に、背景を赤やにして撮影を行ったところ、2値化(背景除去)ができないわけではない。しかし、対象物体と似た色の背景は色相、彩度、明度が近い値になるので、できれば色相、彩度、明度がより高い(色相、彩度、明度の値に特徴がある)背景のほうが、しきい値を



図4 最終的なバーコード

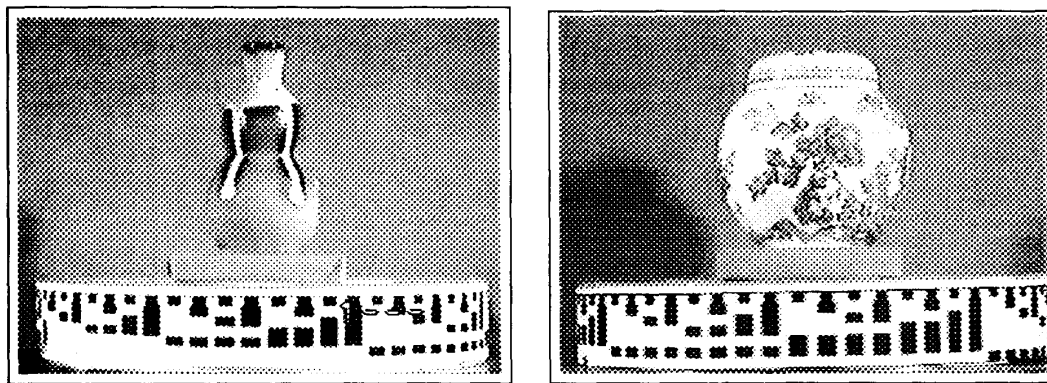
表1 バーコードの認識結果

名称	有効画像枚数	絶対回転角	確率 (%)
試行1	148	54	90.0
試行2	190	59	98.3
試行3	162	56	93.3
試行4	179	60	100.0
試行5	165	56	93.3
試行6	179	57	95.0

決定しやすく、2値化を行いやすかった。

図5の画像に2値化を行った画像を、図6に示した。

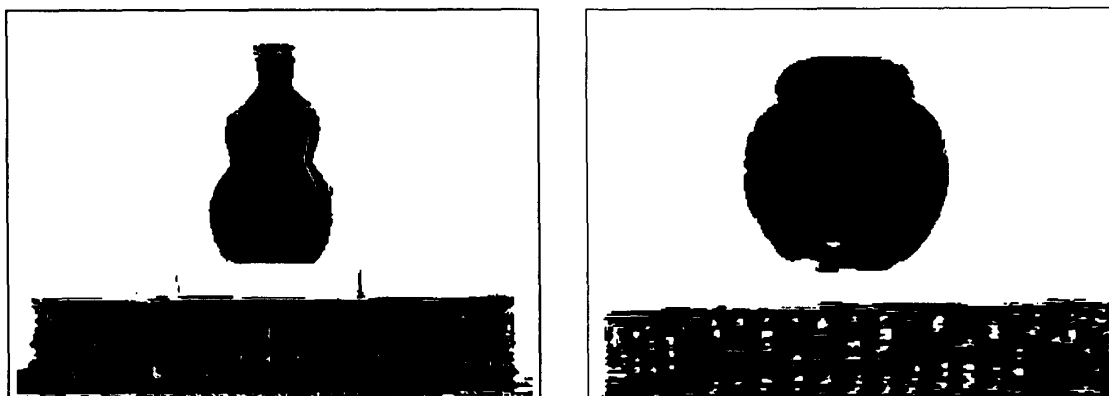
続いて輪郭抽出を行いやすくするために膨張と収縮を施した。膨張と収縮によって得ら



対象物体 A

対象物体 B

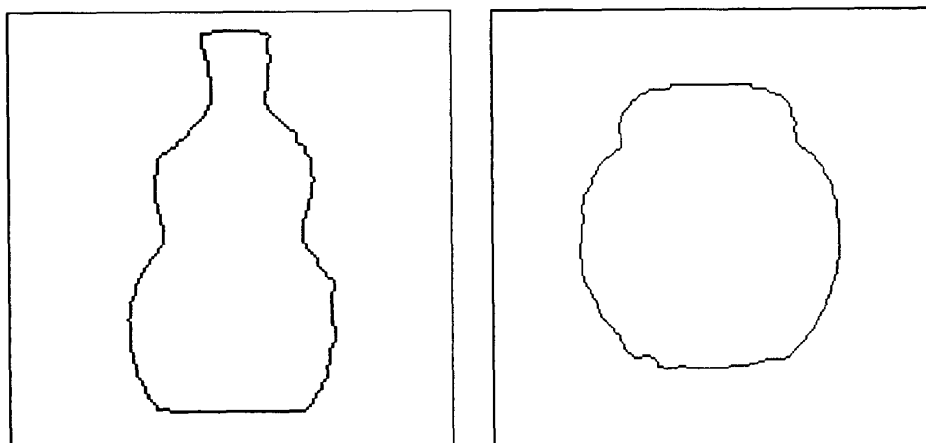
図5 処理前の画像



対象物体 A

対象物体 B

図6 2値化した画像



対象物体 A

対象物体 B

図7 輪郭追跡を行った輪郭画像の例

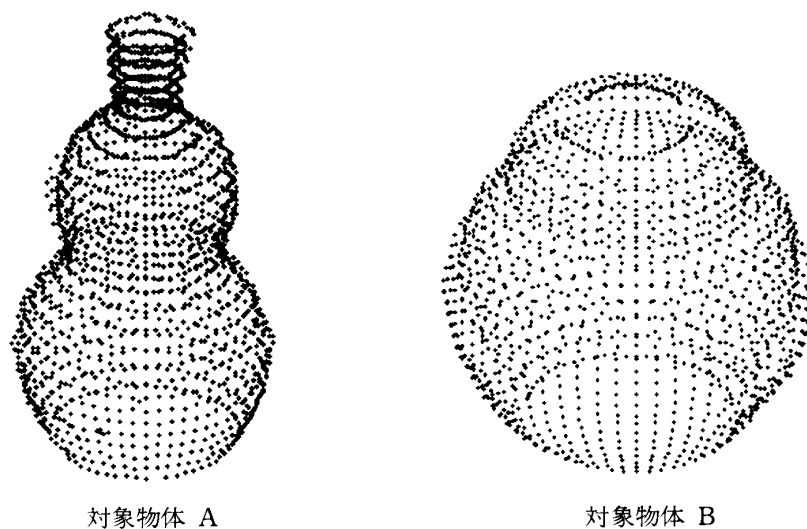


図8 破線の輪郭画像

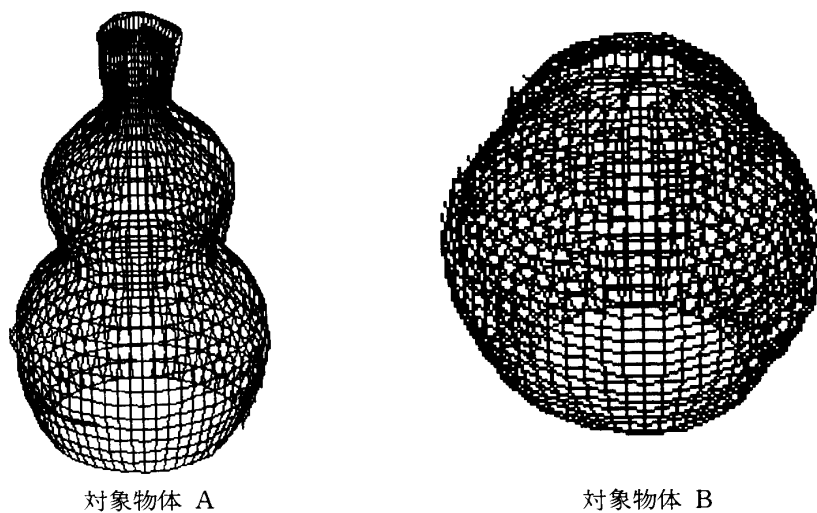


図9 ワイヤーフレームモデル

れた画像は、この処理により、対象物体領域付近にあった雑音が軽減されている。そしてこの画像に輪郭追跡を行うことによって得られた輪郭画像が図7である。

次に行った処理は、ワイヤーフレームモデルを作ることである。この処理の方法問題点があると思われる。それは、輪郭画像を等間隔に切断したため、プログラムでは対象物体の最上点は確認しているが、最下点は確認できなくなってしまうため、物体の下部が切られてしまう場合があるが、手法の性質上やむを得ない。

輪郭データとそれらから作ったワイヤーフレームモデルを図8と図9に、このワイヤーフレームモデルにテクスチャマッピングを行ったものを図10に示す。

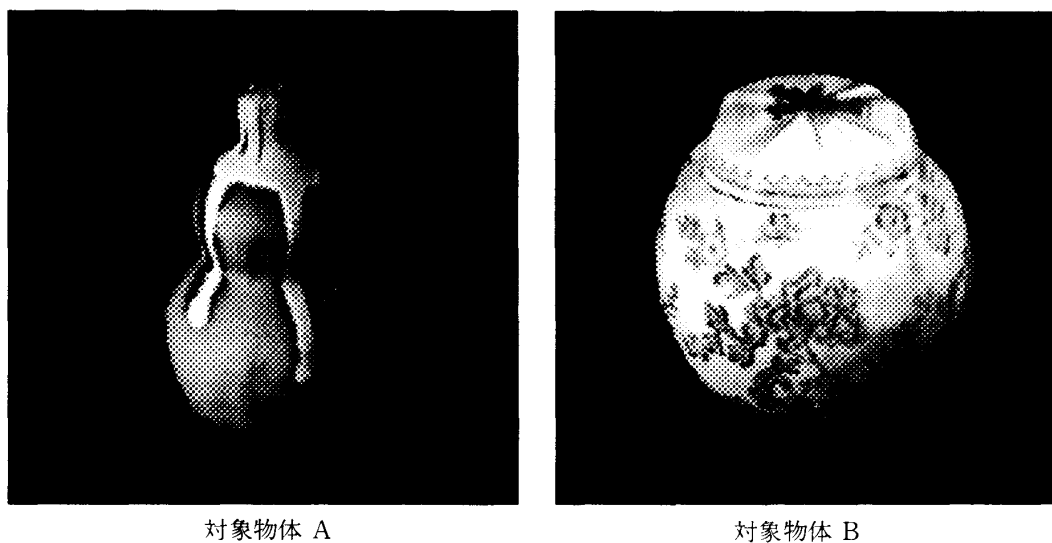


図10 テクスチャーマッピングの結果

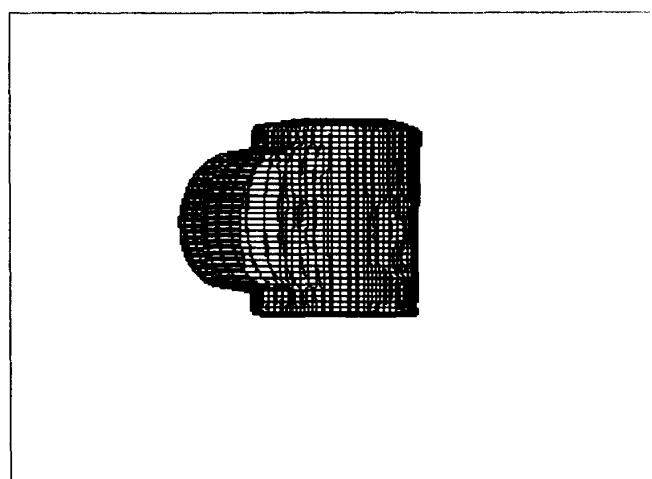


図11 コップの失敗例

4. ま と め

本実験より、物体の三次元形状を、カメラの画像入力のみで測定するという目的がほぼ達成できた。しかし、本手法のワイヤーフレームモデルの構成方法は、正射影と断面図が一致しないもの、つまり、回転体以外には適用できない（この例を図11に示す）。

これを回避するためにワイヤーフレームモデルの構成方法を変えるか、ソリッドモデリングなどの新たな手法が必要である。

最後になったが、本実験を行うにあたってご協力をいただいた、本研究室の平成6年度卒業生金光幸士君に厚く感謝する。

参考文献

- 1) 藤村貞夫：“光計測の基礎”，森北出版（株）（1993）。

- 2) 廣田 薫: “画像パターン認識”, マグロウヒルブック (株) (1985).
- 3) 長谷川純一, 興水大和, 中山 晶, 横山茂樹: “画像処理の基本技法”, (株) 技術評論社 (1987).
- 4) OpenGL Architecture Review Board, Jackie Neide, Tom Davis, Mason Woo: “OpenGL Programming Guide”, (株) アジソン・ウェスレイ・パブリッシャーズ・ジャパン (1993).

Measurement of the Shape of 3-D Object by Asynchronous Rotation Method

Junji MATSUDA, Hideyuki SHIMADA,
Mitsuru SHIONO and Yoshiya MIYAGAKI

*Faculty of Engineering,
Okayama University of Science,
Ridai-cho 1-1, Okayama-shi, 700 Japan.*

(Received October 7, 1996)

In the museum, a simple method to obtain the shape of 3-D object is required. If it is easy to obtain 3-D information, we can use it in our daily life (e. g. on the internet gallery) .

To reconstruct the objet, following information is needed.

- (1) absolute rotation angles
- (2) the projections of the object
- (3) texture of the object

In previous method it is necessary to synchronize the turn table with the camera. However, the synchronization requires high cost and complex mechanism. In proposed method, we encoded absolute rotation angles into bar code. Lengthy images are needed to get all angles to reconstuct the 3-D shape of the object, but this method requires no special device.