

# 装飾金具の三次元形状計測と輪郭抽出

電子部 飯屋一昭, 上園剛 機械金属部 岩本竜一

## Three Dimensional Shape Measurement and Contour Extraction of Ornamental Picture

Kazuaki KARIYA, Tsuyoshi UEZONO and Ryuichi IWAMOTO

形状が平たく、表面に複雑な凹凸模様のある装飾金具等の形状計測を行うために、光切断法による三次元形状計測システムを構築した。本システムは、2本のレーザスリット光を被計測物（装飾金具）に照射し、CCDカメラでスリットを計測する計測法で、160,000ポイントの計測時間が約12分と接触式の三次元計測機に比べ高速計測が可能であった。また、本計測法により加工輪郭線の抽出を試みた。その結果、加工輪郭線が抽出でき、得られたデータはNCデータへの変換が可能であった。

### 1. 緒言

高級仏壇の装飾金具等は、鹿児島県伝統産業の一つにあげられ、熟練者により手作業で作られている。形状は、花模様を中心にデザインされ、平たく複雑な模様である。製造工程は、原盤、母型作成、電気鋳造、製品切取加工、仕上げ処理の順である。

これらの伝統工芸品のように手作りされた製品は、形状等の計測が困難なことから数値データがないことが多い。このため、形状を数値データとして取り出すことができれば製造工程の一部を自動化できる可能性を生み、また、CADデータに変換できれば、デザインの変更、修正等が容易に行え、さらに光造形システム等が利用可能となり試作等が容易に行える。このことは、新製品開発までの工程が改善または短縮される可能性を秘めている。

しかし、この装飾金具を既存の三次元形状計測機等で複雑な花模様が認識できる程度のポイント数を計測するには、高度な計測技術が必要となり、また、膨大な計測時間を要するため、簡易でしかも迅速な計測方法が求められている。

このため、レーザスリット光とCCDカメラを利用（光切断法）した非接触式の三次元形状計測システムを構築し、計測データ利用について検討を行った。

### 2. 光切断法を用いた三次元形状計測

#### 2.1 光切断法

三次元計測には、触針法から三角測量の原理を利用したもの、光の波動性や速度を利用したものなど、種々の方法がある<sup>1)</sup>。本システムでは、機械的構造が簡単で、計測時間の短い光切断法を利用した。

一般的な光切断法による計測では、図1(a)のように被計測物に対し垂直上方からスリット光を照射し、照射されたスリット光を計測するために45度程度の角度でCCDカメラを1台または2台配置した構成になっていることが多

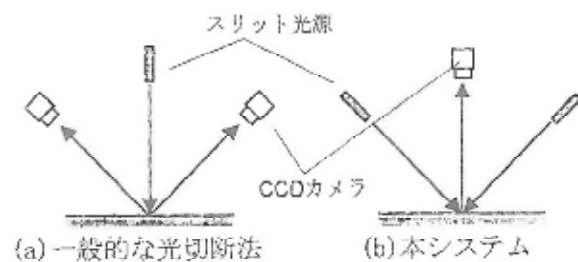


図1 光切断法

い。この構成の長所は、三次元座標の縦軸、横軸、高さ軸の中で、縦軸、横軸が格子状になり、固定点であるため、計測データが比較的シンプルな構成になることである。短所は、CCDカメラから影になる部位にスリットがあった場合、計測できないことと、これを補完するために2台のCCDカメラを利用した場合に、CCDカメラ間で種々の調整が必要となることである。

本システムで計測する装飾金具は、計測面の面積（概ね200mm×250mm）に対し、高さ方向が10mm程度と平たい形状になっている。模様は、高さ10mmの中でデザインされ微妙な曲線で表現されている。このため、高さ方向の計測精度を変更して、計測する必要が生じることがある。本システムでは、このことを考慮し比較的容易に再構成が行えるシステム構成とした。

#### 2.2 計測システムの構成

図1(b)は、本システムのスリット光とCCDカメラの構成である。この構成では、スリット光源の高さと照射角度を変更することで、容易に高さ方向の計測精度を変更できる。図1(a)においてもCCDカメラを変更すれば同様になるが、この場合は、縦軸、横軸、高さ軸の精度が変わる可能性があり、しかもカメラ間の再調整が必要になる。

図2は、本システムの構成図である。XYテーブルの垂直上方に、CCDカメラを1台設置し、CCDカメラの視野の中心

付近で平行になるように調整したレーザスリット光源を2台設置している。画像処理装置（株）ファーストCSC901a)は、CCDカメラで撮像した画像データのスリットを計測した後、XYテーブルを次の計測位置に移動し、計測終了後、データをパソコンに転送する構成になっている。

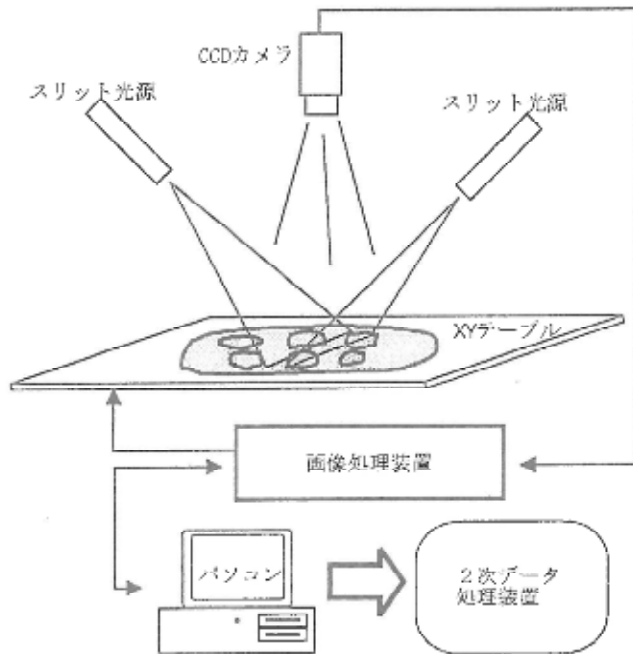


図2 システム構成図

### 2.3 計測方法

図3はCCDカメラから入力された計測中の画像データである（白黒を反転してある）。L1, L2は、初期校正時に設定された計測基準線（XYテーブルに被計測物がない状態のスリット）である。L1, L2から2値化されたスリットまでの画素を計数（Y1, Y2）することで三次元計測を行う。図4は、3角測量法による原理図である。計数された図3のY1(PA)を線OBとすると、スリット光源とXYテーブルのなす角 $\angle AOB = \theta$ は一定であるため、高さABは(1)式で求まる。

$$\text{高さ}AB = OB \times \tan \theta \quad (1)$$

ここで、線OBを図3のY1,  $\tan \theta$ を定数とし $\alpha$ と置き換えると(2)式となる。

$$\text{高さ}AB = Y1 \times \alpha \quad (2)$$

点Oは、計測基準線L1上の点であるから、高さABは、計測基準線から線OBだけずれた座標の高さになる。このため、横軸、縦軸が格子状にならず、データの保持効率が極めて悪くなる。これを防止するため、計数したY1は、見かけ上計測基準線L1上の高さ方向の計測値とし、縦軸を固定ピッチの2次元配列

$$f(x, y) = z$$

$$x = \text{横軸座標}$$

$$y = \text{縦軸座標}$$

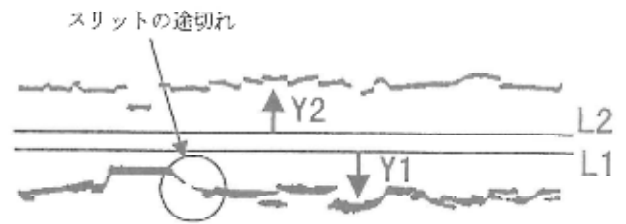


図3 計測中の画像データ

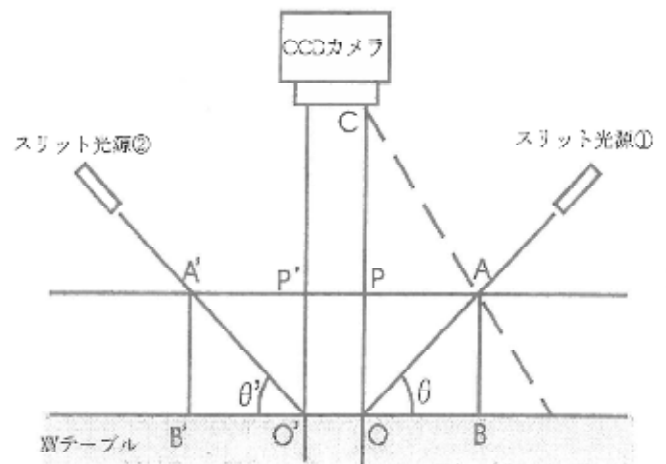


図4 計測原理

### z-高さ軸座標

としてデータを保持している。

また、三次元座標(X, Y, Z)は、(3)式で求まる。

$$X = x$$

$$Y = y + Y1 \quad (3)$$

$$Z = Y1 \times \alpha$$

この三次元座標は、画像上の座標であるため、実座標に変換するためには、画像データ上のX軸（横軸）、Y軸（縦軸）、Z軸（高さ軸）の1画素の距離を算出して補正する必要がある。また、XYテーブルとCCDカメラ間の距離Cに対しOBが大きい場合は求めた実座標(X, Y, Z)に対し更に補正が必要である。

### 2.4 画像の合成

図5は、スリット光源の影となる領域を含む計測データで、■がスリット光源①、○がスリット光源②である。スリット光を図5のa方向から照射した場合は領域1が、b方向からは領域2が、計測不能となるが、2方向からの計測データを合成すれば影部の計測が可能であった。また、被計測物が、複雑な形状になると、図3のスリットのように途中が途切れ計測できない箇所があったが、2方向からの計測データを合成することで、計測ミスが減少した。

図6は、スリット光源①および②で計測されたデータを処理過程ごとに画像化したものである。画像座標(X, Y)に

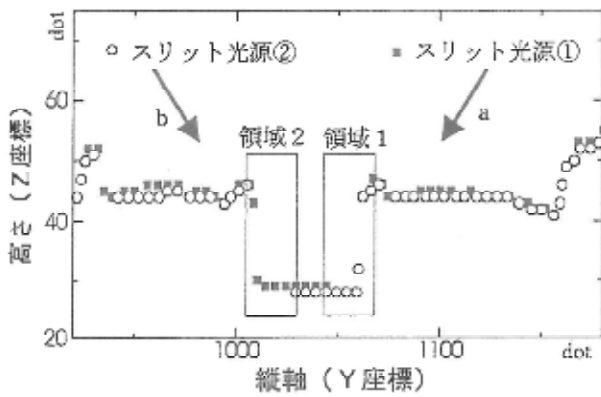


図5 2方向からの計測データ

対し高さZをモノクロ256階調で表している。濃度の明るい部位が高く、暗くなるほど低い部位である。

図6(a), (b)は、計測中のデータを画像化したもので座標の補正を行っていないために模様が歪んでいる。図6(c), (d)は、図6(a), (b)を(3)式で展開した画像である。図6(c)では、模様の上方面部が、図6(d)では模様の下方面部が影となり計測されていないことがわかる。図6(e)は、図6(c), (d)を合成した画像である。未計測部の座標は、図6(c)と図6(d)で異なっており、両画像を合成することで互いに計測されていない部位を補完し、未計測部が減少していることがわかる。また、図6(f)は、図6(e)の未計測部を画像ノイズと見なし、メディアンフィルタでノイズ除去を行ったものである。この画像から裝飾金具の内部模様が鮮明に計測されていることが確認できる。

### 2.5 三次元計測機との比較

本システムの計測精度を確認するために、三次元測定機と計測データの比較を行った。本システムの最小計測精度は、X軸、Y軸が0.147mm、Z軸が0.140mmである。また、三次元測定機の計測精度は、X軸、Y軸、Z軸ともに0.001mmである。精度の比較は、本システムを最小単位で計測し、三次元計測機では本システムで計測したデータのX軸、Y軸を同ピッチで計測し、Z軸（高さ）を比較した。

この結果、本システムの計測値と三次元計測機の計測値の間にオフセットが見られた。図7は本システムの計測値にオフセット値を加えた値と三次元計測機の計測値をプロットした図で、縦軸が高さ、横軸が両像の縦方向である。オフセット値を加えた計測値では、明らかに計測ミスと思われる値を除くと、誤差は2画素(0.280mm)以内であった。オフセット値を持つ原因の一つは、本システムの初期校正に使用した基準ブロックの材質および色等が供試体と異なっていたことが考えられる。

また、本システムの計測時間は、計測点数160,000ポイントで約12分であった。同じ計測ポイント数を接触式の三次元計測機で計測するには数日程度の時間を要する。こ

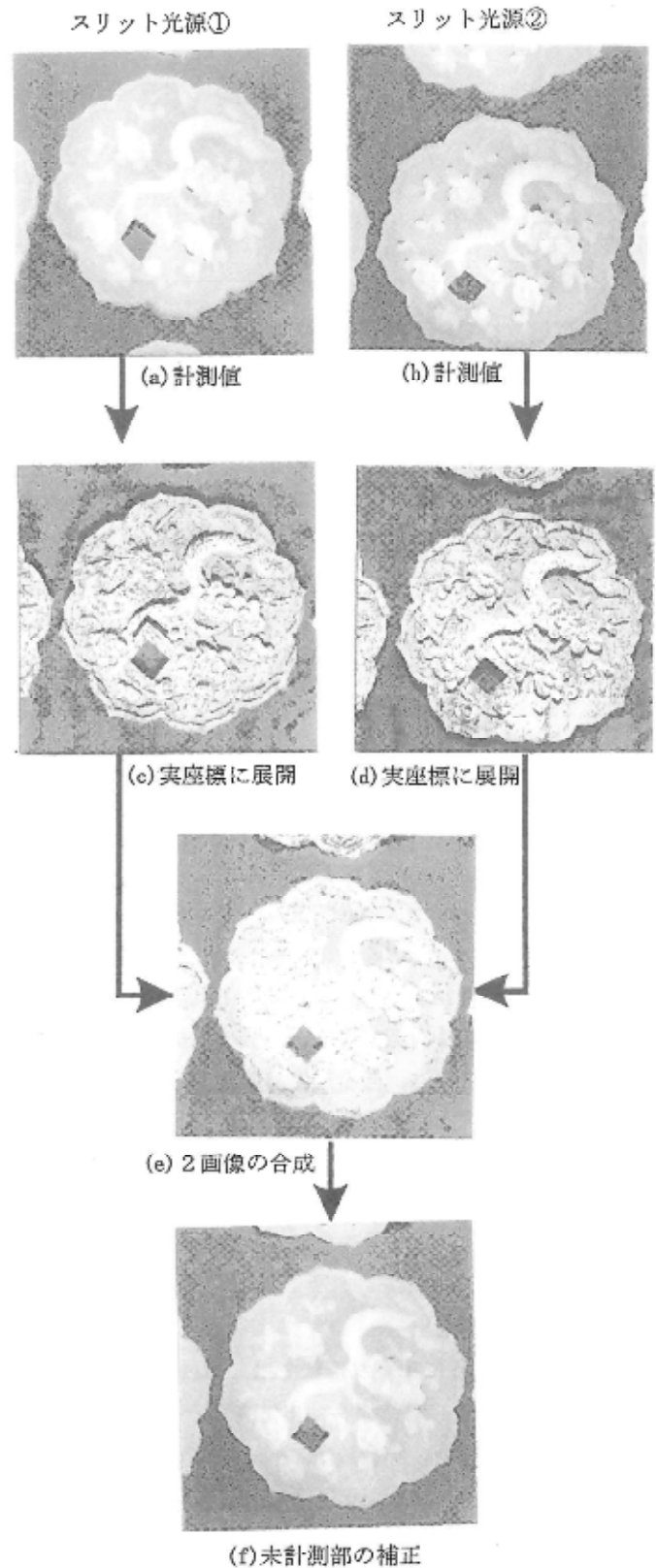


図6 計測の処理過程

のことから、接触式の三次元計測機に比べ高速計測が可能であると言える。

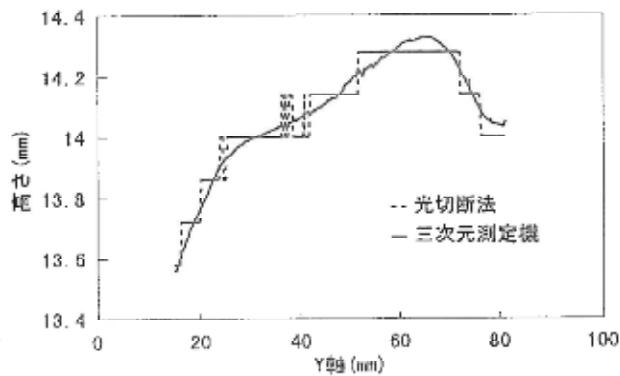


図7 光切断法と三次元測定機との比較

### 3. 加工輪郭線抽出

図8の装飾金具は、ベース部から模様部分が切取加工され一部品となる。切取加工輪郭線は、模様の外周輪郭、および、模様内部でベース部と同様の高さの窪み部分の輪郭である。三次元計測されたデータから加工輪郭線の抽出が可能であればNC加工機等が利用できるため、データ活用法として加工輪郭線の抽出について検討した。

#### 3.1 計測データの補正

図8の画像データに点在する黒い点は、2、4画像の合成で述べた理由により計測されなかった部分で、比較的広い面積の未計測部である。輪郭線抽出の前処理として未計測部の補正を行った。未計測部は、高さの変曲点付近に現れやすく、また、周辺画素の濃度値より低い濃度値となる特徴がある。補正する点の周辺の濃度値を調べ、濃度値0（周辺画素の未計測部）を除いた最小値を補正值とした。

また、ベース部は、ある程度の高さがあるため、3.2輪郭抽出で述べる手法により輪郭抽出を行うとベース部の外周が輪郭線として検出される可能性がある。このため、ベース部の外周と接する矩形を求め、ベース部の外周と矩形との間にある濃度値0の領域をベース部の外周の濃度値で補正した。

#### 3.2 輪郭抽出

図9(a)のように単純な形状では、単一濃度（同じ高さ）のしきい値で加工輪郭線を抽出できるが、図9(b)の本システムで計測した装飾金具は、ベース部が平坦でなく、かなり歪曲しているため、正確な加工輪郭線を抽出できない。求める加工輪郭線は、模様部とベース部との境界線である。この輪郭線は、ベース部から急激に濃度値が高くなるためエッジ強度が強く、逆にベース部は、歪曲しているものなだらかな曲面のためエッジ強度が弱い特徴がある。このため、各画素のエッジ強度を、(4)式で示すsobelの差分型エッジ抽出オペレータ<sup>2)</sup>を用いて算出した。

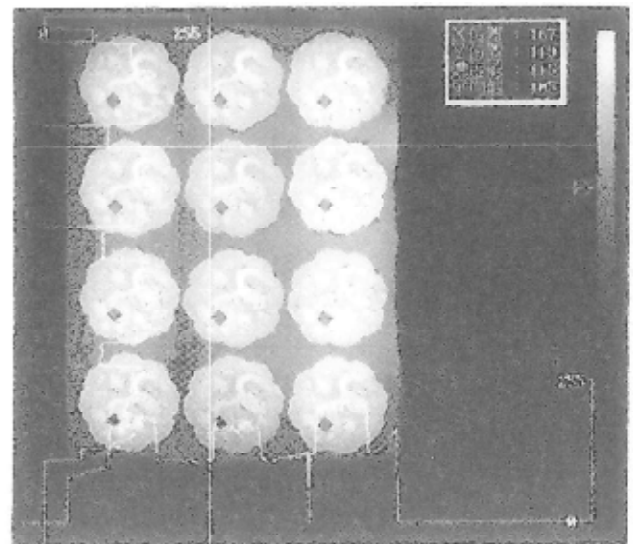


図8 画像化した計測データ

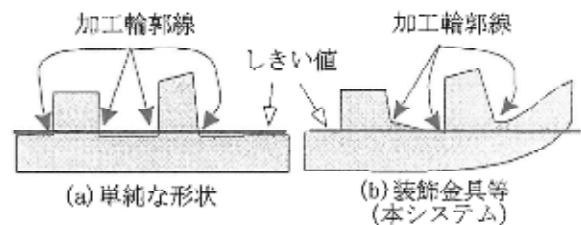


図9 断面の高低さ

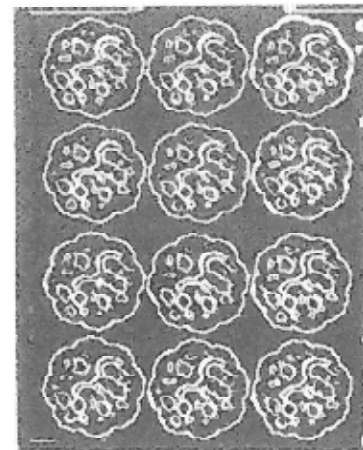


図10 検出した輪郭線

$$\begin{matrix} & -1 & 0 & 1 & & -1 & -2 & -1 \\ fx: & -2 & 0 & 2 & & fy: & 0 & 0 & 0 \\ & 1 & 0 & 1 & & & 1 & 2 & 1 \end{matrix} \quad (4)$$

$$\text{エッジ強度} = \sqrt{f_x^2(x,y) + f_y^2(x,y)}$$

さらに、輪郭線を抽出するためにベース部が除去できるエッジ強度をしきい値として2値画像化した。

外周加工輪郭線は、図10の局所的にある輪郭線群を包絡する閉曲線である。画像原点からX軸方向に走査し閉曲線となる輪郭を検出した後、閉曲線の内部領域を走査しないよう重み付けし、次の閉曲線を走査する手法で外周加工輪郭線を抽出した。

模様内部の窪み部の加工輪郭線は、閉曲線内の輪郭線群に埋没しており、輪郭線群から内部加工輪郭線を抽出することは困難であった。このため、図11のように閉曲線の内部領域を、外周加工輪郭線上の点An, Bn間を結ぶ直線で示される濃度で2値化し、検出された領域の輪郭を抽出した。

図12は、抽出した加工輪郭線をNCデータに変換し、NC加工機で切削した輪郭線である。

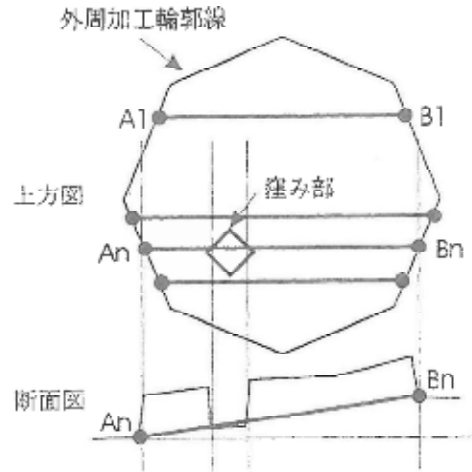


図11 窪み部の抽出

#### 4. 結 言

本計測システムの長所と短所を列記する。

##### <長所>

(1)最大の長所は、計測時間が接触式の三次元計測機と比べ高速であることである。このため、計測ポイントを多くでき、計測データを2次加工することにより様々な利用が考えられる。

(2)本システムではXY軸の1画素の距離を0.147mm、Z軸を0.140mmに校正されている。この1画素の距離は、CCDカメラとXYテーブルとの距離、CCDカメラのレンズの倍率、および、スリット光源の角度に依存する。このため、再調整、再校正により必要な精度に変更可能である。

##### <短所>

計測面が光沢のあるもの、光を透過・吸収・散乱するものについては、計測誤差が大きい。このため、被計測物が限定されることである。



図12 輪郭データを利用した加工例

光切断法による三次元形状計測システムは、比較的安価に、また、簡易に構築が可能である。高精度の三次元測定機のように、被計測物の評価および校正には計測精度が十分でないものの、手作業で作られ数値化されていない製品の形状計測には、柔軟に対応できると思われる。

#### 参 考 文 献

- 1)尾上守夫：“画像処理ハンドブック”，昭晃堂(1987)p. 393
- 2)高木幹雄ら：“画像解析ハンドブック”，東京大学出版会(1991)p. 550

