

J-56

## 環境パターンを使った受動型鏡面位置・方位計測法

## Specular Surface Measurement from Pattern Distortion

徳竹 恒 \*

大嶋 雅好 \*

佐藤 佑樹 \*

伊藤 稔 \*

Hisashi Tokutake

Masayoshi Oshima

Yuki Sato

Minoru Ito

## 1 はじめに

従来の物体鏡面形状計測法は、拡散反射物体を対象としており、鏡面物体への適応は困難であるが、工業応用をはじめ多くの分野で鏡面物体の形状計測が求められている。正反射特性をもつ鏡面物体の3次元計測法は、80年代後半より取り扱われ始めている。1986年中川らは、スポット光走査式光切断法[1]を提案している。スポット投影法が1点のみの位置を計測するという特性を生かし、はんだ付け部の金属表面形状を計測した。この手法は大掛かりな検査装置を必要とし、また、スポットごとの検査を繰り返し、対象全対を計測するために時間がかかり、ビジョンシステムとしての一般性に欠ける。1988年 AC.Sandersonらは、構造化ハイライト法[2]を提案した。この方法は、対象を覆う点光源アレーを走査することで得られる画像上のハイライトに着目して、金属物体の形状を復元しているが定量的な計測には至っていない。また1996年黒田らは、投影パターン光の鏡面反射像による3次元形状計測[3]を提案した。スリットの反射像の変位を解析することで傷を検出している。

一方、受動式の方法では1990年葉ら[4]や1992年汪ら[5]が基準点の位置をあらかじめ計測しておき、基準点を基に、隣接点の勾配を求めるといった手順を周辺領域に伝搬させていく手法を提案した。しかしこの方法は基準点から離れるにつれその位置情報に誤差が累積されて、計測誤差が大きくなるという問題を抱えている。1992年西村らはM配列を用いた鏡面物体の三次元形状計測[6]を提案した。この方法は、計測点の法線を参照面と視線から算出するものであるが、参照点の取り方によって誤差が異なるという問題を抱えている。いずれの方法においても鏡面の再現が悪く、計測精度が議論できる段階には全く至っていない。

これらの問題を解決するために基準点の位置情報が不要で、面上の各点毎に独立に位置と勾配を算出できる新たな計測手法を提案した[7],[8]。本稿では主に提案手法の計測実験の結果を述べる。

## 2 計測原理

図1に計測原理図を示す。予めカメラの横に、カメラとの位置関係が既知の格子パターンを設置し、計測対象の鏡面による反射像(虚像)を観測する。その観測画像は鏡面の位置、形状に依存して歪んでおり、本手法はこの歪みから

鏡面位置形状を復元しようとするものである。

反射点は結像点とカメラの主点を結ぶ線上に存在することは明らかであるが、位置を確定する事はできない。そこで本手法ではパターン位置を微小移動させて、それに対する結像点の変位量を計測し、反射点の位置と勾配を画素ごとに直接的に算出する。

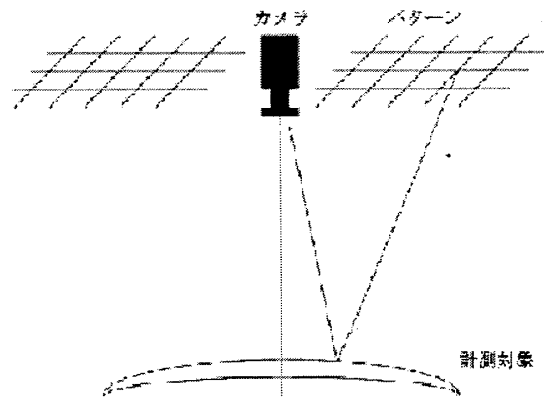


図1: 計測原理図

## 3 キャリブレーション

カメラの焦点距離  $f$ 、カメラ方位角度  $\theta$ 、パターンの位置  $S$  についてキャリブレーションを行う。計測精度に大きく影響する  $\theta$  の値を  $1^\circ$  刻みで変化させて復元を行い、対象鏡面形状が真値に近い結果になるパラメータ値を選出し、さらに、その候補値を中心に  $\pm 1.0^\circ$  で  $0.1^\circ$  刻みで変化させると共に、 $f$  を  $\pm 1.0[\text{mm}]$  の範囲で  $0.1[\text{mm}]$  刻み、 $S$  を  $\pm 10.0[\text{mm}]$  の範囲で  $1.0[\text{mm}]$  刻みで変化させ、復元結果が最も平面になるように3つのパラメータを組み合わせたものをキャリブレーション結果とした。この処理を計算機内で自動で行えるようにした。キャリブレーションにより得られたパラメータの値は  $f : 34.7$ 、 $s : 456.0$ 、 $\theta : 49.5$  であった。

## 4 位置・方位分解能実験

位置分解能についての実験を行うため、鏡面をXYステージ上に置きy軸方向に微小移動させたときのシミュレーションでの結果を図2に、実画像での復元結果を図3に示す。シミュレーションでは  $0.5[\text{mm}]$  の復元精度を有しており、実画像での復元精度は  $1.0[\text{mm}]$  であることが明らかになった。

\*工学院大学

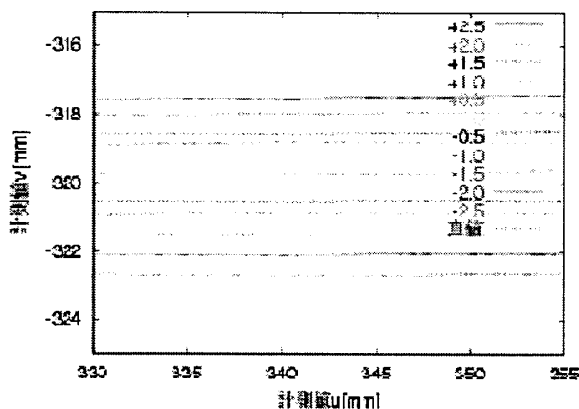


図 2 : シミュレーション位置分解能結果

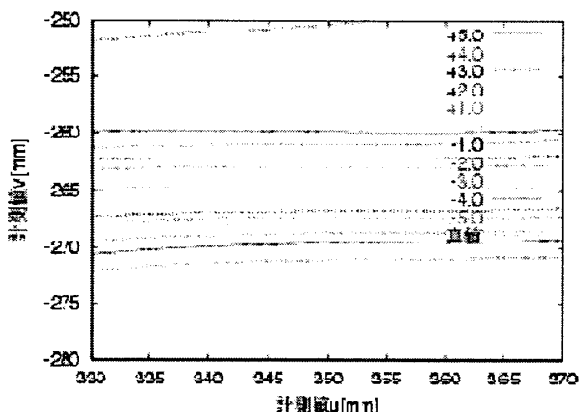


図 3 : 実画像を用いた位置分解能の実験結果

次に方位分解能についての実験を行った。鏡面の傾きを  $\pm 0.0167^\circ$  の範囲を  $0.0083^\circ$  刻みで変化させた。鏡面形状復元結果を図 4 に示す。シミュレーションでは  $0.0083^\circ$  の精度をもち、実画像の復元では平均誤差  $0.38^\circ$  であった。

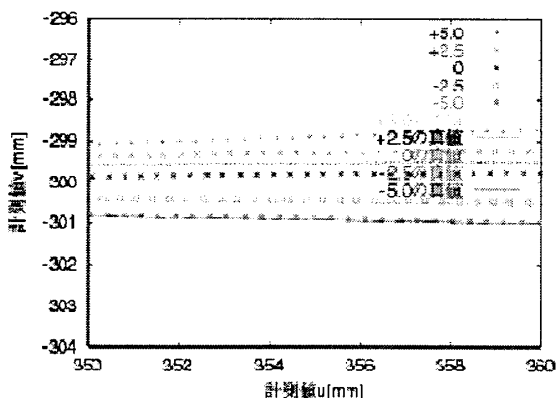


図 4 : シミュレーション方位分解能結果

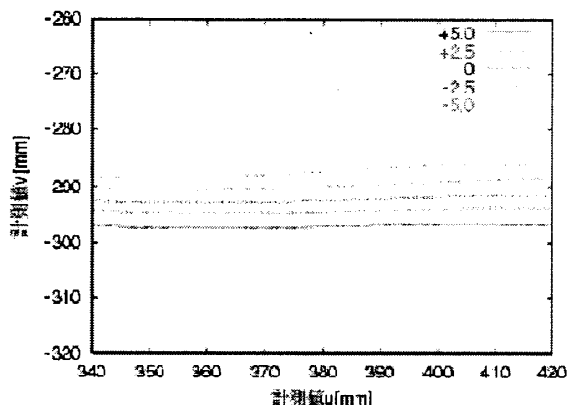


図 5 : 実画像を用いた方位分解能の実験結果

## 5 まとめ

鏡面位置・方位を計測する計測点分解能の手法について、実験パラメータの校正、及び計測精度について明らかにした。

位置計測精度(分解能)は、シミュレーションでは  $0.5[\text{mm}]$ 、実画像を用いた計測結果では  $1.0[\text{mm}]$  であった。方位分解能はシミュレーションでは  $0.5^\circ$  の精度があったが、実画像での計測では平均誤差  $0.38^\circ$  であった。

今回は対象を平面鏡に限定して検討したが、今後は曲面をもつ鏡面の測定の検討を進めるつもりである。

## 参考文献

- [1]中川, 押田, 二宮, 佐々木:「スポット光走査方式光切断法によるはんだ付部の形状検出」、計測自動制御学会論文、22,9,pp.982-987(1986)
- [2]Sanderson A.C., Weiss L.E. and Nayar S.K. :「Structured highlight inspection of specular surface」,IEEE Trans.Pattern Anal.Machine Intell. , PAMI-10,1,pp.44 - 55(1988)
- [3]黒田, 三池:「投影パターン光の鏡面反射像による3次元形状計測」、信学技報(1996-11)
- [4]葉, 藤村, 山田:「符号化格子光源の証明による鏡面曲面測定」、計測自動制御学会論文集 Vol.26No.11 1313/1315(1990)
- [5]汪, 佐藤, 井口, 加藤:「鏡面物体の3次元形状計測」、電子情報通信学会論文集 D-II VolJ75-DII pp.1177-1186(1992-07)
- [6]西村, 藤村, 伊藤, 喜安:「M配列を用いた鏡面物体の三次元形状計測」、電学論 C112 巻 2 号 (1992)
- [7]大嶋, 佐藤, 中村, 伊藤:「環境パターンを用いた鏡面形状計測」、電子情報通信学会総合大会 (2000-03)
- [8]大嶋, 佐藤, 伊藤:「環境パターンを用いた鏡面形状計測」、画像センシングシンポジウム講演論文集 pp.223-226(2000-06)