

ステレオ顕微鏡

5AB-4

河井 良浩 植芝 俊夫 富田 文明

電子技術総合研究所

1. はじめに

マイクロマシン技術において、その基礎のひとつである計測評価法の確立が求められている[1]。形状測定に関しては、市販品としてレーザ顕微鏡、触針式の形状測定機、触針式の段差測定機、原子間力顕微鏡などがあるが、3次元的な複雑形状部品の測定、評価には適していない。また、微生物などの動物体の3次元形状測定において、レーザ顕微鏡は生命体を殺傷してしまうなどの理由で適当ではない。光学顕微鏡から得られる画像を解析するシステムに関しては、単眼の画像をイメージフォーカスを利用して3次元形状を復元するシステムが市販されている。しかし、精度、動物体を扱えないなどの短所がある。そこで2眼のステレオ画像を扱うことで3次元形状を計測するステレオ顕微鏡の研究が行われている[2]。

今回、我々は光学顕微鏡に2台のカメラ、x-y-zステージを組み合わせ、立体形状を柔軟に測定できるステレオ顕微鏡システムを開発した。対象物体を拡大したステレオ画像を解析し、3次元微細構造の復元を行う。ステレオ法に関する技術については我々の研究・開発してきた処理モジュールを組み合わせることで行っている[3-6]。[2]のシステムとの相違は、x-y-zステージとの組み合わせにより、(1)カメラキャリブレーションを容易に行え、(2)高倍率時の焦点深度の変化に対応可能な点である。本発表では、システムの概要を紹介し、カメラキャリブレーション法や復元手法について述べる。

2. システム

システムは図1に示すような構成である。基となる顕微鏡(ニコン実体顕微鏡 SMZ-U)にアダプタを介して2台のCCDカメラ(SONY XC-75)を取り付け、640×480pixelのステレオ画像を得ている。台座にx-y-zステージを設置し、コンピュータからの位置制御を可能とした。x, y, z軸の可動量はそれぞれ60mm, 40mm, 18mmで、分解能は1nmである。顕微鏡の倍率設定は手動で、7.5~75倍であり、1pixelは8.70~0.870nmに相当する。その際の焦点深度は、(1.36~17.4mm)~(0.06~1.0mm)である。倍率を上げた際の光量不足を補

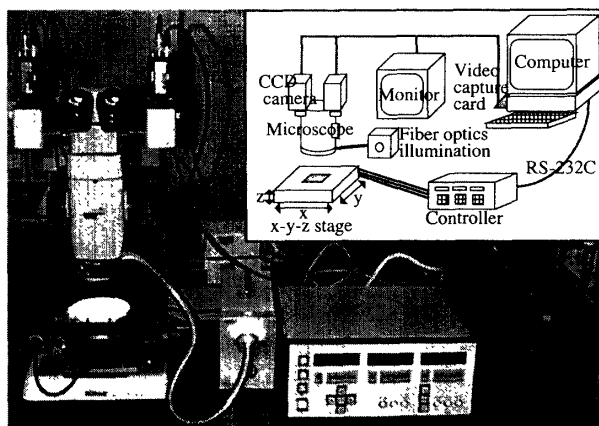


図1: システム全景

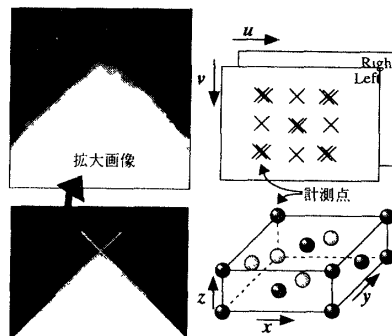


図2: カメラキャリブレーション

うため、補助光源としてリングファイバ照明装置を設けた。また、光量調整も現段階では手動調整である。

3. カメラキャリブレーション

カメラのキャリブレーションはx-y-zステージを利用して行う。図2に示した黒地に白地の直角が置かれたAパターンを用意し、この頂点部分を画像上で検出し、 $(x, y, z, u_l, v_l, u_r, v_r)$ を求める。拡大画像にあるように、キャリブレーションパターン自身がはっきりした境界を持たない場合、つまり多少ぼけた画像でも安定して頂点位置を検出するため、まずテンプレートマッチングでおおよその位置を求め、次に頂点をなす2辺それぞれに直線を当てはめ、その交点を頂点の座標としている。このパターンをx-y-zステージを動かすことによって、図2のような計14箇所を計測して、カメラのパラメータ(カメラ座標系の原点、方向、焦点距離、撮像面から画像面への変換)を計算する。

Stereo Microscope

Yoshihiro Kawai, Toshio Ueshiba, Fumiaki Tomita
Electrotechnical Laboratory
1-1-4 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

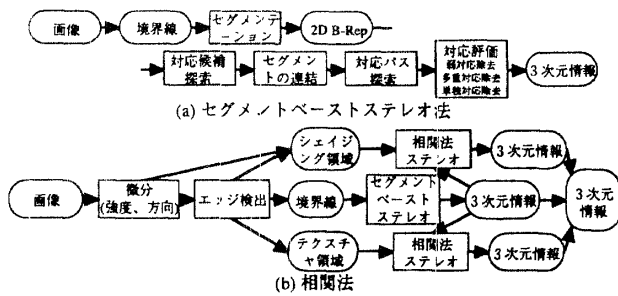


図3: ステレオ画像処理

4. 測定方法

対象物の全体形状の測定には図3に示すセグメントベースステレオ法^[3-5]を基に相関法も併用している。これらの手法により3次元形状幾何データを得ることができる。そのため、形状測定にとどまらず、モデルとの認識^[6]を行うことにより、計測物体の判別、形状評価などを行うことができる。

5. 実験結果

3章の方法でキャリブレーションを行った結果、14箇所の計測点の重心を原点とすると、倍率が約7.5倍の場合は、

位置(mm)	方向
左: (-31.024, 0.231, 287.166)	(-0.1646, 0.1686, -0.9718)
右: (31.972, -0.892, 286.269)	(-0.1393, 0.0332, -0.9897)

となり、カメラ間距離63.0124mm, 輻輳角13.64°, 8.23°のカメラ配置のシステムである。

図4はマイクロマシンの部品の一つである直径2.5mmの歯車(中心の歯車は直径0.5mm)であり、そのステレオ画像が図5(a)である。セグメントベースステレオ法によって3次元復元された境界線部分は(b)である。(c)は(b)の情報を利用して特徴ある領域(テクスチャ領域、および、シェイディング領域)のみに対して相関を計算して視差を求め、テクスチャマッピングした3次元形状の復元結果である。得られた結果をモデルデータベースに照合することで、物体の種類、位置、姿勢を検出することができる^[6]。

6. おわりに

ステレオ顕微鏡システムを開発し、カメラキャリブレーション法、微小物体の3次元形状計測手法について簡単に述べた。x-y-zステージを用いることで、キャリブレーションを容易に行うことができ、また、倍率を上げた際にも安定して行えることを示した。測定に関しては、ステレオ法の基本モジュールを組み合わせることで、3次元形状を復元できた。

今回は全体形状の計測に関しての実験のみを行ったが、図5にあるように中心の歯車部分に関しては、輝度がなだらかな勾配なため、はっきりした境界線を検出することができず、3次元形状を十分復元できていない。そのため、対象部分を高倍率で撮影し、計測する必要がある。

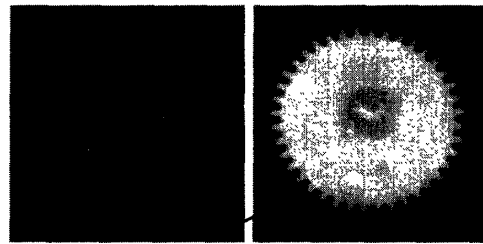
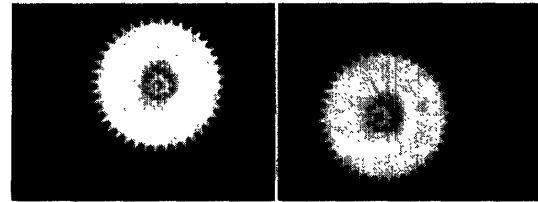
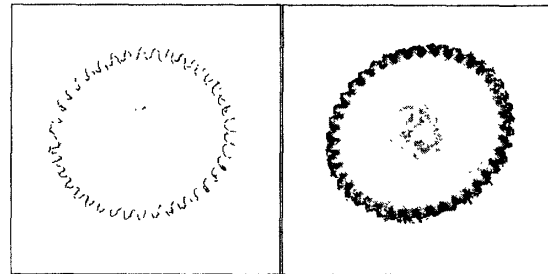


図4: 対象物体



(a) ステレオ画像



(b) 3次元形状(エッジ部分) (c) 3次元形状(面情報)

図5: 全体形状

しかし、前述のように拡大するほど焦点深度が小さくなるため、高さ(z軸)方向の形状変化が大きい対象では撮影箇所すべてにフォーカスを合わせて撮影することができない。そこで、焦点深度の大きさに応じてステージをz軸方向に動かし、複数の位置においてデータを測定しなければいけない。そして、各段階で得られる情報を統合し、対象の部分形状を得る必要がある。今後は、高倍率撮影時での形状の測定方法、および、これにより得られた部分形状と全体形状の統合方法の関しての研究を行う予定である。

参考文献

- [1] マイクロマシンセンター:“平成8年度マイクロマシン技術の標準化に関する調査研究報告書”, pp.13-28 (1997)
- [2] W-H.Liao, S.J.Aggarwal, J.K.Aggarwal:“The reconstruction of dynamic 3D structure of biological objects using stereo microscope images”, Machin Vision and Applications, 9, pp.166-178 (1997)
- [3] 石山, 角, 河井, 植芝, 富田:“セグメントベースステレオにおける対応候補探索”, 信学技法, PRMU96-136 (1997)
- [4] 河井, 植芝, 石山, 角, 富田:“セグメントベースステレオにおける連結性と対応評価”, 信学技法, PRMU96-135 (1997)
- [5] 植芝, 河井, 角, 石山, 富田:“セグメントベースステレオにおける対応バスの効率的探索”, 信学技法, PRMU96-137 (1997)
- [6] 角, 河井, 富田:“セグメントベースステレオによる自由曲面体の認識”, 信学技法, PRMU96-149 (1997)