

# 顕微鏡距離画像によるマイクロ形状計測に関する研究 —回転工具刃先の高速三次元再構成方法の提案—

静岡大学 ○宇野大, 白杵深, 三浦憲二郎

Micro shape measurement using microscopic depth image  
—High-speed 3D reconstruction of machining tool edges—

Shizuoka University Masaru Uno, Shin Usuki, Kenjiro T. Miura

The digital microscopic imaging technique has a wide variety of applications by combining image and signal processing techniques, e.g. reviews of patterned semiconductor wafers, visualization of printed circuit boards, inspection of micron-scale industrial components, medical and biological examinations, and so on. For measuring 3D objects, there is an inspection system using Shape from Silhouette(SFS) and Shape from Focus(SFF) methods[1]. However, it is difficult to apply it for rotating object like machining tools because SFF is used. In this study, we propose to use Digital Refocusing and Shape from Silhouette method together for measuring 3D shapes including microstructures. Our method can inspect 3D structure of a micro component quickly and it is expected to be a novel evaluation system.

## 1. はじめに

近年, 3D-CAD および 3D プリンタ等のマイクロ加工技術の発展により, マイクロメートルオーダの微細構造を有する精密部品を製造することが容易になってきた. これに伴い, これらの製品の三次元形状評価が必要となる. 現在, マイクロ形状評価に用いられているレーザー顕微鏡, 走査型プローブ顕微鏡等は高分解能であるが, 非常に高価であり, 測定時間も長いため高速で安価な三次元形状評価方法が求められている. 製品評価システムとして, 前川らによる光学顕微鏡を用いて撮影した複数枚の画像から Shape from Silhouette(SFS)法と Shape from Focus(SFF)法を組み合わせたマイクロ製品評価システムがある[1]. この評価システムは SFF 法を用いるため, 光軸方向にカメラを移動させながら複数枚の画像を得る必要があり, 測定時間が長いため, 現場評価が困難である. そこで, 本研究では Levoy らによるデジタルリフォーカス法を応用した Light Field Microscopy[2]による顕微鏡距離画像と SFS 法を併用し, 光学顕微鏡へ適用することを提案する. これにより, マイクロ部品の三次元形状を高速に計測することが可能となる. 更に, 計測データから形状モデルを再構成することが出来るため, CAE 等を利用した新しいマイクロ製品評価システムの実現が期待される.

## 2. SFS 法によるマイクロ形状の再構成

SFS 法は複数方向から撮影した物体の画像から輪郭形状を抽出し, 三次元空間へ逆投影することで物体の三次元形状を再構成する方法である(図 1 参照). この方法は撮影した画像において物体と背景を分離できれば良いため, 容易に三次元形状の再構成ができ, また使用する画像枚数を増やすことで高精度な再構成が可能となる. この SFS 法を光学顕微鏡に適用し, マイクロ形状再構成を行う. しかし SFS 法では, 凹んでいる部分はどの方向からも死角となってしまう再構成出来ない.

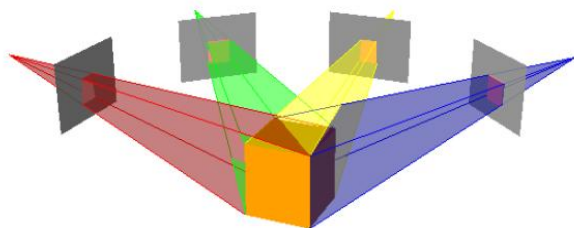


図 1 Shape from Silhouette(SFS)法

## 3. ライトフィールドを利用した顕微鏡距離画像の取得

図 2 にライトフィールドカメラの概略図及びデジタルリフォーカス法の原理を示す. 従来のカメラ系における中間像面にマイクロレンズアレイが配置されており, マイクロレンズの焦点面に撮像素子が配置されたカメラであり, 試料とマイクロレンズアレイ, メインレンズと撮像素子がそれぞれ共役な関係となっている. 従来のカメラでは撮像素子に試料から出た光の方向を求めることが出来ないが, ライトフィールドカメラでは個々のマイクロレンズから出た光が試料からの光に対応しているため, 撮像素子上で取得された特定の画素とそれに対応するマイクロレンズの関係から試料から出た光の光路を逆に辿ることができる. このため, 特定の画素を足し合わせるによりある位置での試料情報の再構築が可能となる. また, 光軸方向での任意の位置(refocus plane)で再構築する場合には, それに対応する光路を個々のマイクロレンズの位置と撮像素子上の個々の画素位置から計算し, それに対応する画素を足し合わせることで再構築が可能となる. この方法を光学顕微鏡に適用し, 顕微鏡距離画像を取得する.

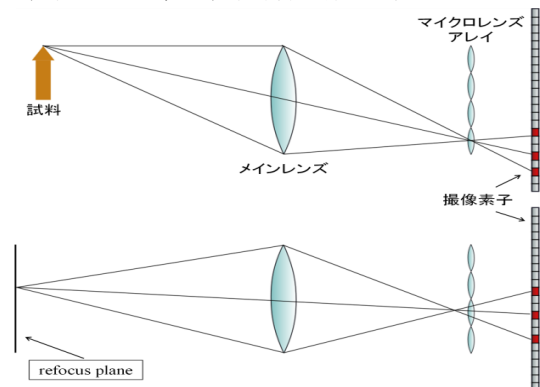


図 2 ライトフィールドカメラとデジタルリフォーカシング

## 4. 実験装置の試作

### 4.1 実験装置

本研究で使用する実験装置を図 3 に示す. 試料ステージは下側に x, y, z 方向の移動ステージと光軸に対する角度調整を行う回転ステージ, 試料を 1 周回転させる回転ステージ, また試料中心と回転中心を微調整するための x, y 方向の移動ステージが取り付けられている. また, ライトフィールドカメラは Raytrix 社製の R5-M-GigE を使用した.

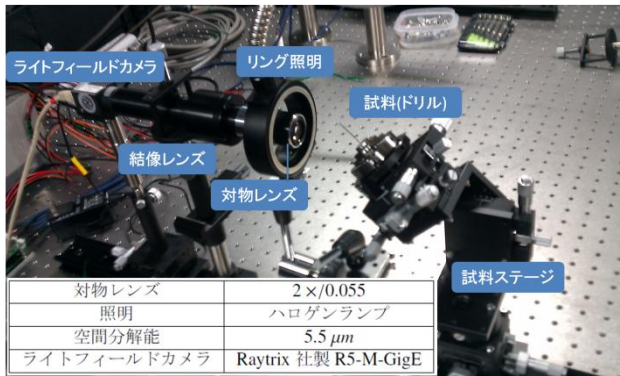


図3 実験装置

#### 4.2 顕微鏡距離画像の校正

ライトフィールドカメラで取得された距離情報は色情報のみであるため、深さが既知である試料をもとに色情報から距離情報への変換を行う必要があり、本研究では距離画像への変換を行うために光軸に対して45°傾けたテストターゲットを用いて測定を行った。図4に実験装置で取得したテストターゲットの距離画像の例を示す。なお、ここではライン間隔は1mmのものを使用した。取得された距離画像の色情報から無次元化された距離値を求め、実際の距離と比較することで光軸方向の測定範囲及び分解能を求めた。図5に距離の校正結果を示す。左側の縦軸が色情報から無次元化された距離値、右側の縦軸がテストターゲットの値から求めた距離値である。実験より距離値0.1が実際の距離1.6mmに対応していることが分かった。

次に、ライン間隔を変えて光軸方向の空間分解能および測定範囲の評価を行った。表1にそれぞれの理論値と実験値を示す。光軸方向の空間分解能の理論値は顕微鏡の焦点深度の式より算出した。光軸方向の測定範囲については、テストターゲットの傾きが45°であることから画像の視野範囲の最大奥行きが4.2mmとなってしまうためこのような結果となっている。また、光軸方向の空間分解能については、今回測定を行ったラインペアの最小間隔が120μmであるため、このような結果となっているが更にライン間隔が細かいものを測定することが可能であると考えられる。

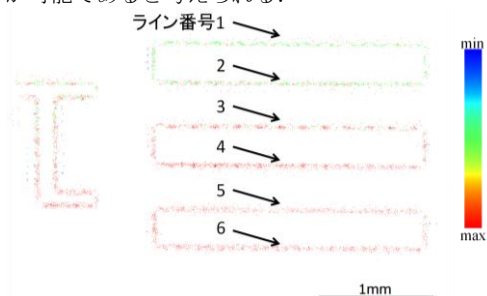


図4 顕微鏡距離画像

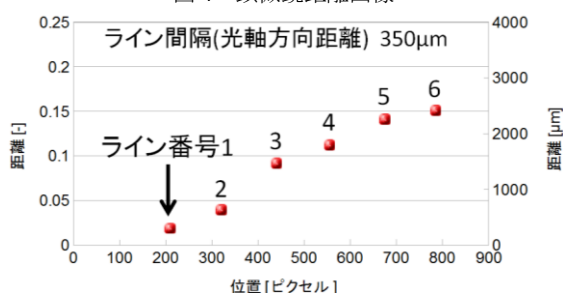


図5 距離の校正結果

表1 光軸方向の測定範囲と空間分解能

	理論値	実験値
測定範囲	16mm	4.2mm
空間分解能	83μm	120μm

#### 5. 回転工具刃先の三次元再構成

ここでは、4節で試作した装置を用いて実験を行った。試料としては回転工具(ドリル:φ1)を用い、その先端の計測を行った。また、実験条件としてドリルを20°ずつ回転させ18枚の画像を取得した。

##### 5.1 外観形状の取得

取得画像からSFS法によって再構成を行った結果を図6に示す。ドリル外観形状はSFS法により再構成されているが、SFS法の欠点である死角の部分(物体表面の凹凸情報)が再構成されていないことが分かる。

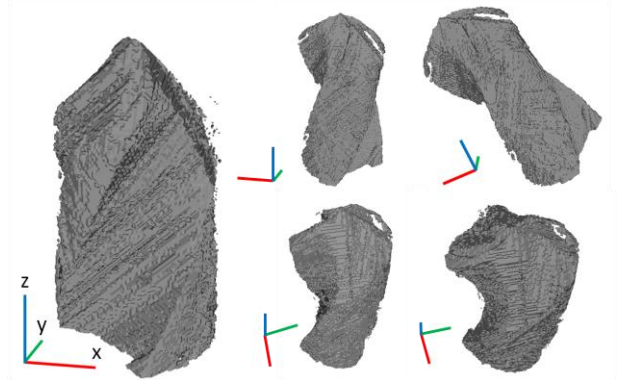


図6 ドリルの三次元再構成

##### 5.2 距離画像の取得

ドリル先端の顕微鏡距離画像(図7)を取得した。マイクロ距離情報が色情報として記録されていることが確認できた。

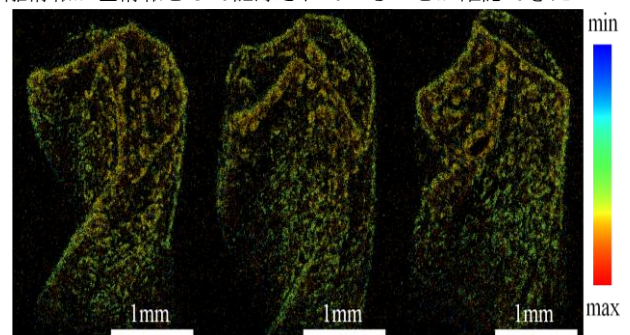


図7 ドリルの顕微鏡距離画像

#### 6. 結言

ライトフィールドカメラを光学顕微鏡に適用し、得られた顕微鏡画像を用いてSFS法によりマイクロ形状の再構成を行うことを提案した。顕微鏡距離画像の校正を行い、測定範囲および空間分解能を算出した。更に、回転工具刃先の三次元計測に適用した。今後は距離情報をSFS法で再構成した外観形状に反映させ、マイクロ形状製品の評価を行う。

##### 参考文献

- [1] 末安秀匡, 前川卓: “コンピュータビジョンによるマイクロ製品の形状評価方法”, 情報処理学会研究報告 Vol.2012-CG-146, No.8, pp.1-6, February 2012.
- [2] Marc Levoy, Ren Ng, Andrew Adams, Matthew Fother, Mark Horowitz: “Light Field Microscopy”, ACM Transactions on Graphics (ACM SIGGRAPH 2006) Vol.25, No.3, pp.924-934, July 2006.