

# 合焦点顕微鏡を利用したデジタルシボの形状検査\*

和合 健\*\*、浅沼 拓雄\*\*

従来の有機溶剤のエッチングに代わるシボ性状加工法としてデジタルシボが注目されている。デジタルシボの特性は、偶然性を排除した再現性の高いシボ性状が生成できる点である。合焦点顕微鏡は、その測定原理による鮮明さを追求する画像処理操作を活用することで、高能率かつ高安定性の形状測定を実現している。ここでは、デジタルシボの特性を生かした形状検査に対する合焦点顕微鏡の適用性について検証した。その結果、デジタルシボにおけるビット高さが数 10 $\mu\text{m}$  程度のスケール領域では、合焦点顕微鏡の誤差領域は共焦点顕微鏡と同等であり、更に測定能率では共焦点顕微鏡よりも優れていることが分かった。

キーワード：デジタルシボ、合焦点顕微鏡、共焦点顕微鏡、高能率、形状検査

## Geometric check of digital surface texture

### using focus variation microscope

Takeshi Wago, Takuo Asanuma

DIGITAL SHIBO has received considerable attention as an alternative to standard SHIBO, which uses surface textures that are manufactured by an etching method using an organic solvent. One of the significant features of DIGITAL SHIBO is a high reproducibility without accidentalness. Further, highly efficient and stable measurements can be achieved by performing geometric check using the sharp image processing function of a focus variation microscope. The applicability of a focus variation microscope to perform geometric check is investigated by taking advantage of the DIGITAL SHIBO. The results depict that the range of measurement deviation of a focus variation microscope is comparable to that of a confocal microscope in the scale range of several 10  $\mu\text{m}$  in bit height. Furthermore, we observe that the measurement efficiency of a focus variation microscope is considerably better than that of a confocal microscope.

**Keywords:** digital surface texture, focus variation microscope, confocal microscope, high efficiency measurement, geometry check

## 1 緒言

自動車の内装や家電製品の外装に与える凹凸模様、いわゆるシボは、従来有機溶剤を使用したエッチング法で製作されてきたが、それに代わるデジタルシボが注目されている。従来のエッチング法によるシボ金型製造方法は、目隠しマスクでパターン模様を与え、エッチング液の濃度、時間、その他独自方法により溶融深さや溶融広さを制御している。このようにエッチング法によるシボの凹凸は、偶然性による形状生成が排除できず、明確な設計値を持ちえなかった。一方、デジタルシボは、CADにより凹凸形状の指示を与え、NC 工作機械により製造する方式で、明確な設計値を持たせられる。

従来のエッチング法によるシボ性状の形状検査方法は、シボのビットの大きさ・かたち及び単位面積当たりの個数を光学顕微鏡による寸法検査や計数カウント、目視に

よる官能検査により参照ワークと比較する方法で行われていた。デジタルシボは設計時の CAD モデルが設計値となるため、検査時の誤差算出において設計値照合検査が適用できる。

我々は今までにデジタルシボの設計値照合検査への適用性について接触式輪郭測定機と共焦点顕微鏡で検証してきた。接触式輪郭測定機は ZX 面の 1 ラインの測定に制限されるが凹凸の激しい面（急勾配面）での測定や測定能率で有効であり、特に測定結果の信頼性が高い優位性があった。共焦点顕微鏡は測定原理が明確であるためトレーサビリティが確立し、測定結果の信頼性が高いが、高精度測定を行うためには高倍率、例えば $\times 20$  対物レンズ等の高倍率を使用する必要があり、1 ショットの測定範囲が狭く測定能率に難点を有していた。

一方、合焦点顕微鏡は低倍率の対物レンズ、例えば $\times 2.5$

\* 平成 28 年度 事業化支援事業

\*\* 素材材技術部

で形状測定が行えるため一度に $\square 5\text{mm}$ 程度の広いエリアの測定が行える高能率測定の利点を有するが、測定原理が各社で異なるため、ユーザによる測定誤差の検証が必要になっている。

ここでは、従来のエッチング法とは異なる製造方法となるデジタルシボで生成されたシボ形状に適する検査方法を求めるため、合焦点顕微鏡のデジタルシボ検査への適用性を検証した。

## 2 実験方法

### 2-1 実験装置

実験に使用した合焦点顕微鏡 (INFINITE FOCUS、alicon) と共焦点顕微鏡 (OPTELCIS HYBRID L7、レーザテック株) の主な仕様を表1に示す。両者の大きな違いは測定原理であり、合焦点顕微鏡が移動焦点法<sup>1)</sup>、共焦点顕微鏡が共焦点法である。

分解能は垂直方向で共焦点顕微鏡は $0.1\text{nm}$ であり対物レンズの倍率に依存しない。合焦点顕微鏡は対物レンズ倍率に依存し $\times 2.5$ で $2300\text{nm}$ である。指示誤差は共焦点顕微鏡には明記されているが、ここでの合焦点顕微鏡には明記されていない。

一方、合焦点顕微鏡の利点は、比較的低い倍率の対物レンズを使用した測定で形状測定が対応でき、測定範囲は $\times 2.5$ で、1ショットで $5.72 \times 4.35\text{mm}$ を測定できる。対物レンズが $\times 20$ の共焦点顕微鏡と比較すると1ショットで $44.2$ 倍の測定範囲がある。そのため測定能率で比較すると、合焦点顕微鏡では1ショット測定で $5.72 \times 4.35\text{mm}$ の測定範囲を $48$ 秒で測定できるのに対して、共焦点顕微鏡 ( $\times 20$ ) で同等範囲を測定するには、ステッチング機能を利用して $29.4$ 分を要する。

表1 主な仕様

Element	Focus Variation Microscope	Confocal Microscope
Light source ( $\lambda$ )	White light	White light
Principle	Focus Variation method	Confocal optical system
Resolution	Height	$2300\text{ nm}$ ( $\times 2.5$ Objective)
	Wide	$7.04\text{ }\mu\text{m}$ ( $\times 2.5$ Objective)
Error of indicated	—	$0.11 + L/100\text{ }\mu\text{m}$ (L mm)
measurement area	$4.35 \times 5.72\text{ mm}$ ( $\times 2.5$ objective)	$\square 0.75\text{ mm}$ ( $\times 20$ objective)
measurement time	$48\text{ sec}$	$54\text{ min}$ (case of $9 \times 9$ stitching)
Working distance	$8.8\text{ mm}$	$10\text{ mm}$
Table stroke (mm)	(X, Y, Z)=(100, 100, 100)	(X, Y, Z)=(150, 150, 100)
NA	—	$0.45$ ( $\times 20$ Objective)

### 2-2 ワーク座標系の設定

形状測定機は相対測定で形状評価する測定原理であるからワーク座標系 (WCS : Work Coordinate System) 設定の必要性は小さい。しかし両顕微鏡とも、測定時の位置決め の簡便性や繰り返し測定のための簡易的な WCS 設定機能は有している。共焦点顕微鏡では回転軸と X、Y 軸ゼロ点設定の機能を有し、合焦点顕微鏡は X、Y 軸ゼロ点設定だけを有している。合焦点顕微鏡での回転軸設定

は測定物上の手前側面の2点を利用して角度を計算し、手動直動式回転テーブルで機械座標系 (MCS: Machine Coordinate System) に合わせた。

### 2-3 デジタルシボの測定方法

荒加工で  $R1.5\text{ mm}$  ボールエンドミル、仕上げ加工で  $R0.5\text{ mm}$  ボールエンドミルを使用して、デジタルシボ製造方法で加工したシボ性状に対して二つの測定機で測定した。対象としたシボ性状は、自然由来の木の葉模様となる不規則模様と、球と長穴リブを規則的に CAD で配置した幾何学模様であり、広さは二つとも $\square 45\text{ mm}$ 程度である。

合焦点顕微鏡では対物レンズを $\times 2.5$ として1ショットで位置指示した5箇所を測定した。1ショットあたりの測定範囲は $4.35 \times 5.72\text{mm}$ であった。共焦点顕微鏡では、対物レンズ20倍とした場合の視野は $\square 0.75\text{ mm}$ である。ステッチング機能を利用して縦横 $9 \times 9$ の計81個による $\square 6.75\text{ mm}$ の走査範囲として、位置指示した4箇所を測定した。

## 3 実験結果及び考察

二つの測定機で得られた測定値を CSV 形式でエクスポートし、Excel VBA により様式を整えて設計値照合を行う解析ソフトウェア (Focus InspectionV8.3、Nikon Metrology) にデータを渡した。設計値照合方法は、設計値に STL 形式モデル、測定値に CSV 形式の点群モデルを配置した。

形状測定機での設計値照合検査で必須となる設計値と測定値のベストフィットには4つの方法を試した。それらは、①ベストフィット無し、②ベストフィットによる回転無し、直動移動Zのみ、③ベストフィットによる回転X、Y、Z軸、直動移動Zのみ、④ベストフィットによる回転X、Y、Z軸、直動移動X、Y、Z軸である。4種類

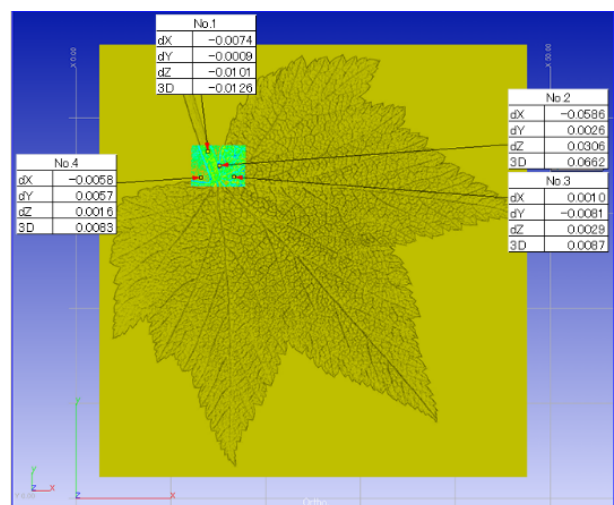


図1 合焦点顕微鏡によるランダムシボの測定誤差 ( $\times 2.5$  objective non stitching)

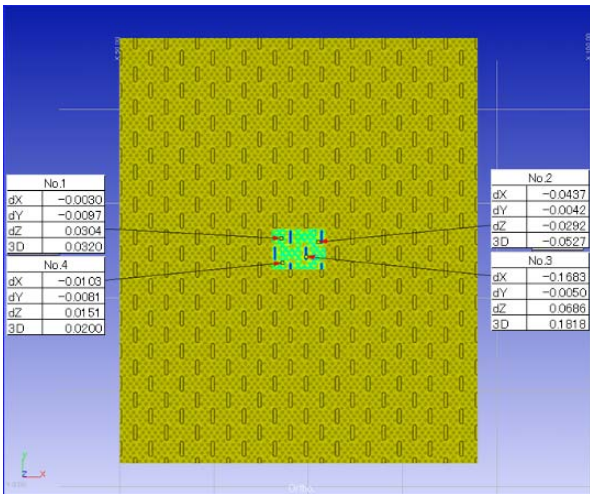


図2 合焦点顕微鏡による幾何学シボの測定誤差 (×2.5 objective non stitching)

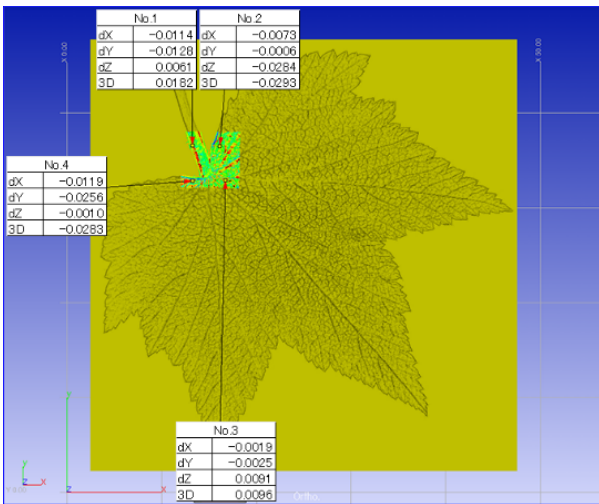


図3 共焦点顕微鏡によるランダムシボの測定誤差 (×5 objective applied stitching 9×9)

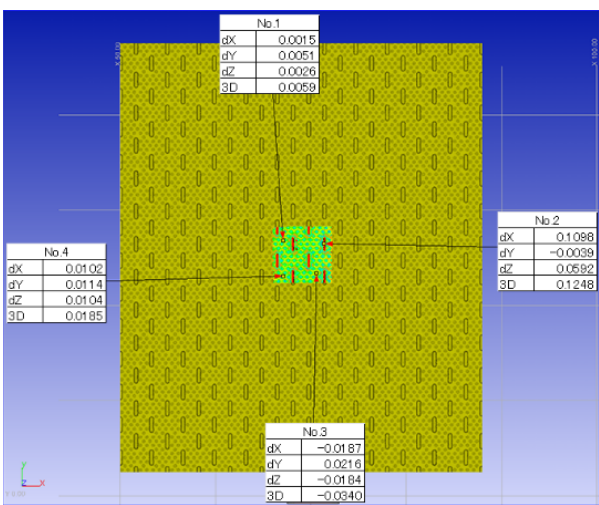


図4 共焦点顕微鏡による幾何学シボの測定誤差 (×5 objective applied stitching 9×9)

を設定した理由は、ベストフィットによる回転及び直動

移動が誤差計算での悪さの影響を及ぼしている事例が日常測定で多々見受けられるため、4種類の誤差傾向を比較した。ここではベストフィット④の場合の設計値照合検査結果を表2及び図1～図4に示す。

表2より、木の葉模様の標準偏差 $\sigma$ は、共焦点顕微鏡が0.0292 mm、合焦点顕微鏡が0.0236 mm、幾何学模様

表2 形状誤差

Parameter	Leaf		Geometric	
	Focus variation	Confocal	Focus variation	Confocal
Number of valid points	500150	1048569	499912	1048569
Maximum Deviation	0.1145	0.1484	0.2263	0.2196
Minimum Deviation	-0.0701	-0.1020	-0.1068	-0.1757
Range	0.1846	0.2504	0.3332	0.3953
Mean Deviation	0.0002	-0.0011	0.0067	0.0055
Sigma	0.0236	0.0292	0.0462	0.0513
Root Mean Square	0.0236	0.0292	0.0462	0.0513

※Focus variation: ×2.5 objective, non stitching

※Confocal: ×20 objective, applied stitching 9×9

では、共焦点顕微鏡が0.0513 mm、合焦点顕微鏡が0.0462 mmとなった。両顕微鏡で得られた $\sigma$ の差はシボ形状が木の葉模様の場合0.0056mm、幾何学模様で0.0051mmとなり、ほぼ同等であった。

測定能率で比較すると合焦点顕微鏡は対物レンズ×2.5を使用していることから1ショットで広域測定が行え、24.88mm<sup>2</sup>の面積走査を48秒で行えた。一方、共焦点顕微鏡は対物レンズ×20を使用しているため1ショットの測定面積は0.56mm<sup>2</sup>となり、広域面積を測定するためにはステッチング機能を利用する必要があり、縦横9×9の計81個の場合、走査面積は45.56mm<sup>2</sup>となり54分を要した。

測定精度の検証のために、接触式輪郭測定機で幾何学模様のリブ穴部を測定したZ軸方向の形状誤差dZの平均値0.067mmを標準値として利用して各測定機の結果を比較した。その結果、合焦点顕微鏡ではdZ 0.0686mm、共焦点顕微鏡ではdZ 0.0592mmとなり両者とも接触式輪郭測定機にトレーサブルな値を示した。

#### 4 結言

明確な設計値を持つデジタルシボ検査への適用性について、合焦点顕微鏡を対象に共焦点顕微鏡を参照として比較して調べた。その結果、デジタルシボのスケール領域(ピットの高さで数10 $\mu$ m程度)では、合焦点顕微鏡の測定値は誤差領域が共焦点顕微鏡と同等であり、測定能率では共焦点顕微鏡よりも優れていることが明らかになった。

#### 文献

- 1) Reinhard Danzl et al.: Focus Variation – a Robust Technology for High Resolution Optical 3D Surface Metrology、Journal of Mechanical Engineering、57、3(2011) pp245-256.