

共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**、飯村 崇**

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加工法が注目されており、デジタルシボの特長は、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。共焦点顕微鏡は、その測定原理から大きなZ軸駆動が実現できる光学系を有するため、高精度かつ高範囲の形状測定が行える特長を有する。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共焦点顕微鏡の適用性について検証し、その有用性を示した。

キーワード：デジタルシボ、共焦点顕微鏡、形状ベストフィット、測定能率、面の繋ぎ合わせ

Digital Surface Texture Inspected Using Confocal Microscope

TAKESHI Wago, TAKUO Asanuma and TAKASHI Iimura

The standard fabrication technique of SHIBO surface texture, which is manufactured by etching, requires organic solvents. High reproducibility is required for manufacturing digital SHIBO. Toward this goal, we use a confocal microscope, with its long stroke Z-axis drive, to achieve high-accuracy and long-range feature measurements. This study uses a confocal microscope to demonstrate efficient feature inspection of digital SHIBO and discusses the utility of this instrument.

key words : digital surface texture, confocal microscope, profile best fit, measurement efficiency, stitching

1 緒言

自動車の内装や家電製品の外装に凹凸模様を与えた、所謂シボは、従来有機溶剤を使用したエッチング法で製作されて来たが、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。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あることから明確な設計値を持つ。

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¹⁾に対して適する検査方法を求めるために、非接触式形状測定法のデジタルシボ検査への適用性を試した。非接触式形状測定は、面による高密度な形状測定が行え、接触式スタイラスの場合に難しい、先端Rに制限される微細奥部の形状走査ができるなど、高分解能の測定が行える。その一方で、光学的な表面特性による測定誤差や急勾配時の測定時に生じる虚像などの間違いが入り込む余地があり、測定での信頼性の低さが指摘されている。

2 実験装置

2-1 目的

従来のエッチング法によるシボ性状の形状検査方法は、シボのピットの大きさ・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が適用できる。ここでは、非接触式形状測定法の中で共焦点顕微鏡とレーザプローブ式三次元測定機（以下、レーザプローブCMM）を取り上げた。共焦点顕微鏡は、顕微干涉計に迫る高さ方向の分解能を持ち、nm~ μ m 台のマイクロ領域からメソ領域に至る高レンジの形状測定に有効である。レーザプローブCMMは三角測量式測定原理により μ m~mm 台において垂直かつ水平方向を広域レンジで測定できるが、拡散反射光を利用するため測定のばらつき σ が大きくなる欠点がある。ここでは、両者で同一のシボ性状を測定して設計値照合を行い、誤差算出結果や作業能率及び作業容易性を比較して、デジタルシボ検査における優位性と欠点を抽出する。評価の要点は、ワーク座標系の設定方法、ベストフィットの要否と予想される。

* 平成 26~27 年度 技術シーズ形成研究事業（発展ステージ）

** 素形材技術部

2-2 仕様

実験に使用した共焦点顕微鏡 (OPTELCICS HYBRID L7、レーザーテック株) と、レーザプローブ CMM (Crysta-

表1 主な仕様

Element	Confocal Microscope	Laser probe CMM
Light source (λ)	White light	Red laser (660 nm)
Principle	Confocal optical system	Triangulation method
Resolution	Height	—
	Width	7 μm
Error of indicated	Height 0.11+L/100 μm (L mm)	8 μm (1σ sphericity)
Range	Height	30 mm
	Width	□1.5 mm (×10 objective)
Measurement area (mm)	(X,Y,Z)=(150,150,80)	(X,Y,Z)=(705,705,605)

ApexC776-SurfaceMeasure403、(株)ミットヨ)の主な仕様を表1に示す。両者の大きな違いは、異なる対象分野における要求事項であり、共焦点顕微鏡は狭い領域における正確さが要求され、レーザプローブ CMM は広い領域における高自由度測定が要求され、正確さ/測定レンジの比率で表わすと共焦点顕微鏡は 7.3×10^{-5} ($0.11 \mu\text{m}(2\sigma) / \square 1.5 \text{ mm}$)、レーザプローブ CMM は 20.0×10^{-5} ($8 \mu\text{m}(\sigma) / 40 \text{ mm}$) となりほぼ同等である。

3 実験方法

3-1 ワーク座標系の設定

座標測定機 (CMM) は球状チップが取り付けられたプローブにより水平、垂直端面に対して X、Y、Z 点を取得してワーク座標系が設定できるが、一般的な形状測定機は相対座標により凹凸を検査する考え方であることから、予めワーク座標系が設定できない。そこで両者毎に適する方法でワーク座標系の設定を試した。共焦点顕微鏡は、X、Y 方向位置決め点測定、Z 方向位置決め点測定の機能を有し既存ソフトウェアでワーク座標系が設定できた。レーザプローブ CMM は多数の点群を取得してソフトウェアに受け渡し後にパソコン画面上でワーク座標系を設定する考え方であることから、測定前にワーク座標系の設定は行えなかった。ワーク座標系は双方の測定機ともワーク上端面で空間軸、ワーク下辺で回転軸、X、Y、Z ゼロ点はワーク左下隅の上端面とした。

3-2 デジタルシボの測定方法

荒加工で R1.5 mm ボールエンドミル、仕上げ加工で R0.5 mm ボールエンドミルを使用してデジタルシボ製造方法にて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。

共焦点顕微鏡では、対物レンズ 10 倍とした場合の 1 ショットの視野は $\square 1.5 \text{ mm}$ である。縫い合わせ機能を利用して木の葉模様は 4×4 の $\square 6.0 \text{ mm}$ 、幾何学模様は 3×3 の $\square 4.5 \text{ mm}$ を走査範囲とし、位置指示した 5 箇所を測定した。レーザプローブ CMM では、高速で広い面の形状測定が行えることからプローブ姿勢は鉛直下向きの基本姿勢により点間ピッチ及びピックフィードピッチ 0.007 mm、重複幅 0.1 mm の設定でエリア測定をした。

4 実験結果及び考察

共焦点顕微鏡で得られた測定値のデータ量に対する設計値照合検査を実施するパソコンの処理能力を考慮し、

共焦点顕微鏡の画像サイズ変換機能を利用して $\square 1.4 \text{ mm}$ (1000 ピクセル) に縮小変換して CSV 形式でエクスポートした。得られた測定値は CSV 形式であり、データ配置は 2 次元配列 (最上行が X 軸、最左列が Y 軸、X,Y に囲まれた中央部が Z 軸とした並び) であった。そこで Excel VBA により 1 列目が X 軸、2 列目が Y 軸、3 列目が Z 軸、行方向にシーケンシャル番号としたデータ並びに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、測定値に点群モデルを配置した。ベストフィット方法は共焦点顕微鏡では X、Y、Z 回転可かつ X、Y、Z 移動可として実行した。レーザプローブ CMM では X、Y、Z 回転不可、X、Y、Z 移動可として実行した。設計値照合検査で得られた結果を表 2 及び図 1~図 4 に示す。表 2 より木の葉の σ では、共焦点顕微鏡が 0.076 mm、レーザプローブ

表2 形状誤差

Parameter	leaf		Geometric	
	Confocal	LaserCMM	Confocal	LaserCMM
Number of valid points	5000000	1362878	327631	821553
Average Deviation	0.774	0.411	1.064	0.820
Minimum Deviation	-0.524	-0.599	-0.682	-0.450
Maximum Deviation	1.298	1.010	1.746	1.270
Deviation Range	0.007	0.005	0.070	-0.017
Deviation Sigma	0.076	0.093	0.135	0.094
Deviation Root mean square	0.076	0.093	0.135	0.094

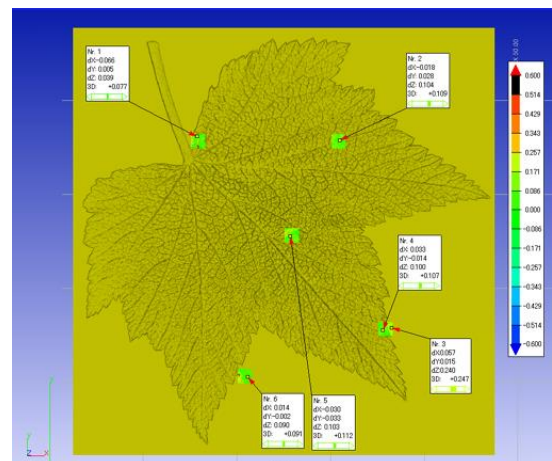


図1 共焦点顕微鏡によるランダムシボの形状誤差

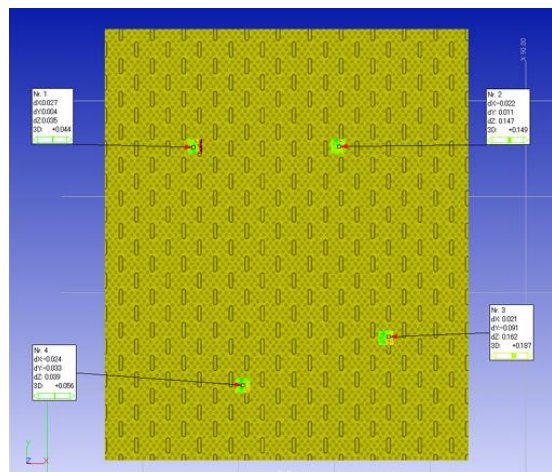


図2 共焦点顕微鏡による幾何学シボの形状誤差

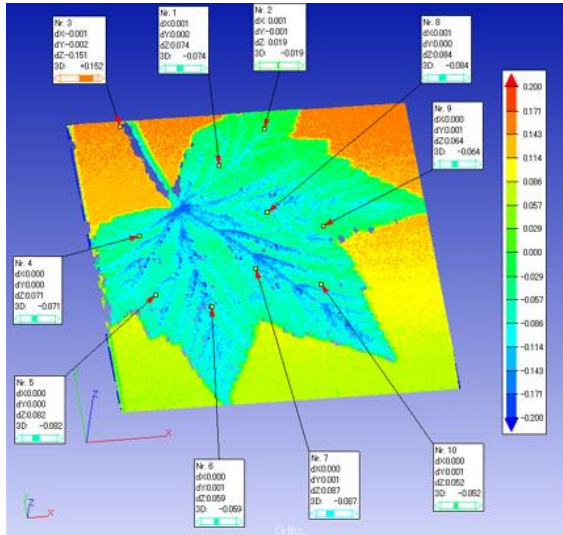


図3 レーザプローブCMMによるランダムシボの形状誤差

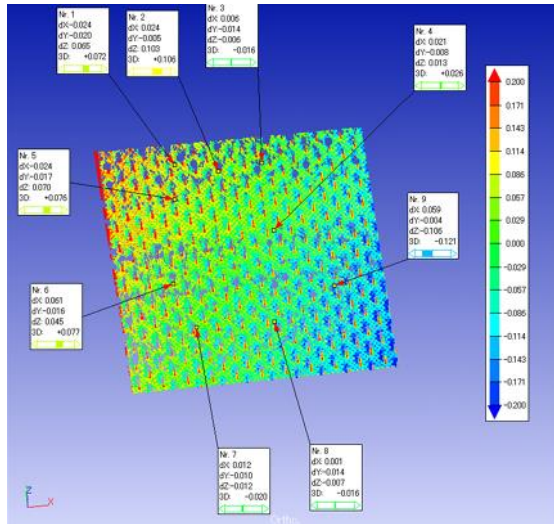


図4 レーザプローブCMMによる幾何学シボの形状誤差

CMM が 0.093 mm、幾何学模様では、共焦点顕微鏡が 0.135 mm、レーザプローブ CMM が 0.094 mm となった。共焦点顕微鏡では $\square 1.4$ mm 領域を 5 箇所、レーザプローブ CMM では全領域の測定であるためレーザプローブ CMM の方で誤差が大きくなると予想したが、幾何学模様では逆転した。レーザプローブ CMM と共焦点顕微鏡はセンサ特性が異なり、レーザプローブ CMM は広い領域において全体の誤差分布の傾向把握が容易に行える。一方、共焦点顕微鏡は狭い領域において高分解能による形状検査が行える。しかしながら、双方ともに誤差の数値の信頼性が未だ保証できていないので、不確かさを付与するなどの数値の信頼性確保が今後の課題である。

5 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、共焦点方式と三角測量方式の二つの異なる測定原理の非接触測定機を比較した。その結果、共焦点顕微鏡では狭い領域を高精度に検査する場合、レーザプローブ CMM では広い領域における誤差分布を検査する場合に適することが分かった。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、測定装置の操作及び解析方法についてご教示頂いたレーザーテック(株)の南村裕孝氏並びに(株)ミットヨの石川雅弘氏に感謝の意を表する。

文 献

- 1) 株式会社ケイズデザインラボ: D3 テクスチャー運用教育(2014).