

伝統工芸品の形状測定方法の研究

Research on shape measurement methods to apply for traditional crafts.

会津若松技術支援センター 産業工芸科 関澤良太

伝統工芸品や文化財の数多くが地域企業や博物館等で保管されているが、膨大な数のために管理しきれない。3D技術により形状を測定しデジタル化することで、保管や展示、新製品開発への活用が期待されている。しかし、デジタル化に際して、対象の凹凸形状や特に黒色の測定が難しいという課題がある。そこで3Dスキャナで測定可能な凸形状と黒色の範囲の検証試験を行った。本研究の結果より、3Dスキャナの苦手とする黒色や凸形状の違いによる測定限度、測定誤差が分かった。

Key words: 3Dスキャナ、伝統工芸品、黒色の測定、グレースケールチャート、凸形状

1. 緒言

伝統工芸品や文化財の数多くが地域企業や博物館等で保管されているが、膨大な数のために管理しきれない。これらの地域の宝を産業振興に生かすため、形状を3D点群データとして測定・活用し、レプリカの作成やデジタルアーカイブとして保存、及び展示につなげたい等のニーズがある。しかし、伝統工芸品等によく使われている、光を吸収する黒色や光を反射する光沢物、光を透過する透明物は、測定が困難である。また、細かな凹凸形状がどの程度まで測定できるか分からない等の課題がある。黒色物体の測定の際、対策としてパウダースプレー等を表面に吹き付けることで測定する方法が一般的であるが、文化財や出土品、歴史的価値のある工芸品等は、測定時に損傷させることができない。

そこで本研究では、黒色の濃淡の違いと凸形状の違いにより、どの程度点群データを取得できるか、その測定限界や誤差の傾向を調べることを目的に実験を行った。

2. 実験

2. 1. 測定装置



図1 研究で使用した3Dスキャナ

測定に使用した3Dスキャナ (EinScan Pro 2X Plus, SHINING 3D社) を図1に示す。今回は、被測定物を付属のターンテーブルに乗せて360度回転させる方法 (固定スキャン方法) で測定した。また、測定に使用

事業名「「そだてる研究室」事業」

した3Dスキャナの仕様を表1に示す。

表1 研究で使用した3Dスキャナの仕様

スキャン精度	0.04[mm]
点間ピッチ (固定スキャン時)	0.24[mm]
スキャン範囲	208×136～ 312×204[mm]
被写界深度	±100[mm]
焦点距離	510 [mm]
光源	白色LED

2. 2. 測定可能な黒色の検証

2. 2. 1. グレースケールチャートによる検証

黒色の物体は、黒色が濃いほど光を吸収してしまうため、3Dスキャナでの形状取得が困難である。そこでまずは、白 (1段階) から黒 (20段階) へ段階的に変わるグレースケールチャート (富士フィルムイメージングシステム社製) を指標として、どの段階の黒色まで測定可能かを検証した。

今回使用したグレースケールチャートは、デジタルカメラ、光学レンズ、スキャナなどの開発・評価などに使われる検査治具、試験票板のひとつである。使用したグレースケールチャートを図2に示す (サイズ: 縦50×横205×厚み0.23mm)。

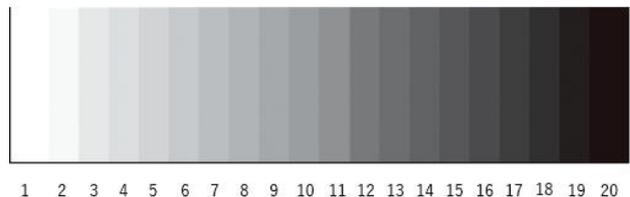


図2 使用したグレースケールチャート (20段階)

2. 2. 2. 測定方法と測定可能な黒色の段階

スキャナの照射角度を変えることで、黒色部位を測定するために最適な角度を検討した。図3に示すように、グレースケールチャートに対してスキャナの照射

角度を水平から 10 度刻みで 80 度まで変えた。また、測定後に色の境目が見えるように木材に段階に応じて 1~20 までの番号を彫刻した治具を作製し、それにグレースケールチャートを貼り付け測定サンプルとした。測定サンプルを付属のターンテーブルに乗せて、360 度回転させて測定（固定スキャン方法）した。



図3 グレースケールチャートの測定方法

2. 2. 3. 漆塗装サンプルの測定

前述した結果を踏まえて、工芸品を模して作った漆塗装（黒色反射）が施してあるサンプルを測定した。このサンプルは、緩やかな曲面を有する重箱の蓋で、4 分の 1 の面積を漆で塗装している。

測定可能かを予測するため、事前に図 4 に示すように、測定サンプルの上にグレースケールチャートを重ねて、明暗度を目視で確認するとともに、光沢度計（PG-1M、日本電色工業株）で光沢度を測定した。

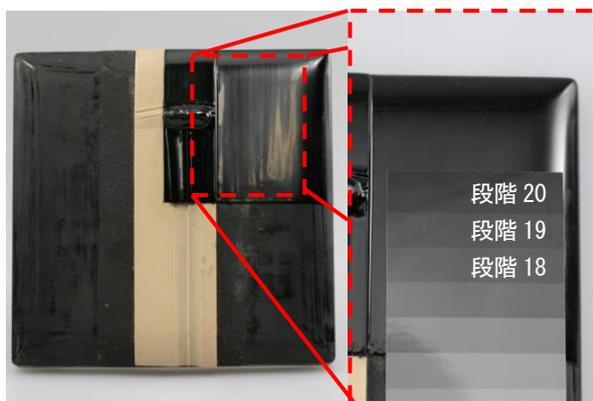


図4 測定サンプルとグレースケールチャートの比較

2. 3. 測定可能な凸形状の評価

2. 3. 1. 測定の目標寸法

伝統工芸品等の 3D スキャンデータを活用するにあたって、3D プリンタでのレプリカ作成等を想定している。本研究では、3D プリンタの最小出力サイズが測定できるかを検証した。3D プリンタ（FLASHFORGE 社製 Adventurer4）の仕様と形状測定の

目標寸法を表 2 に示す。3D プリンタで使用したノズル直径 0.4 mm が、出力可能な最小の線幅となるため、これを形状測定の目標寸法とした。

表2 3Dプリンタの仕様と目標寸法

プリント方式	熱溶解積層法
積層ピッチ	0.05~0.4[mm]
造形精度	±0.1[mm]
プリントサイズ	220×200×250[mm]
ノズル直径	0.4[mm]
目標寸法 (ノズル直径より)	0.4[mm]

2. 3. 2. 測定サンプル

本研究では、凸形状に着目して検証を行った。以下 3 つの測定サンプル作製し、それぞれ A, B, C とした。全体サイズは、幅 X50×奥行 Y50×厚さ Z4 mm とした。

サンプル A：線形状モデル

サンプル B：突起形状モデル

サンプル C：段差モデル

サンプル A を図 5 に、サンプル B を図 6、サンプル C を図 7 に示す。また、3D プリンタで出力した各サンプルの線幅、突起の長さ、段差の寸法をデジタルマイクロスコープ（KH-7700、HIROX 株）を用いて測定し、スキャンデータ値との誤差を確認した。

サンプル A では、線形状を有する物を想定し、幅を変えて測定可能かを検証した。厚み 1.0 mm の四角が、0.4~1.2 mm まで 0.1 mm 刻みで幅が太くなるモデルとした。

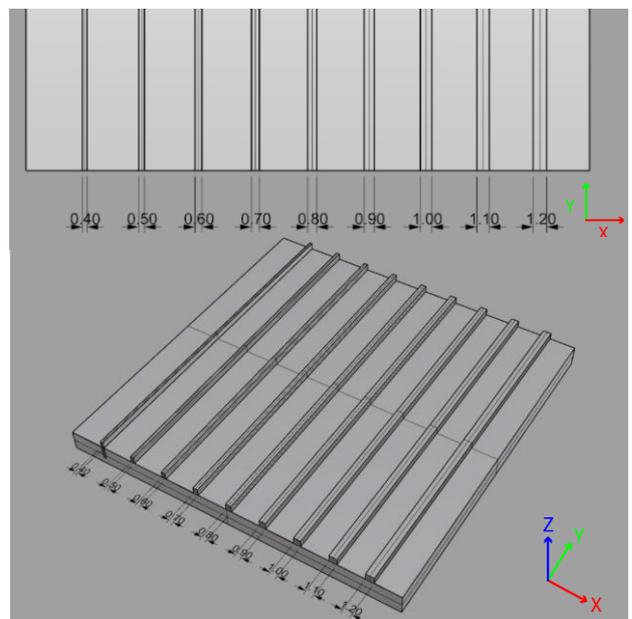


図5 線形状の測定サンプル：A

サンプル B では、突起形状のある物を想定し、突起部分の突き出し長さを変えて、測定可能かを検証した。幅 1.0 mm の四角が、一定の平面から 0.1 mm~1.0 mm

で0.1 mm刻みで、突き出しているモデルとした。

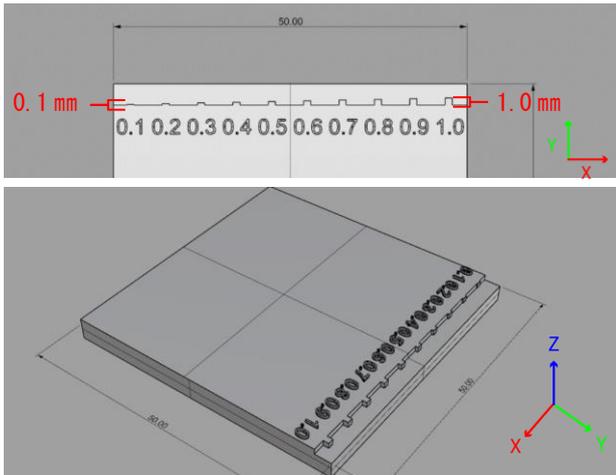


図6 突起形状の測定サンプル：B

サンプルCでは、段差を有する物を想定し、段差がどのくらいまで測定可能かを検討した。0.1 mm～0.4 mmまで厚さ方向0.1 mm毎に平面を階段状に重ねた。

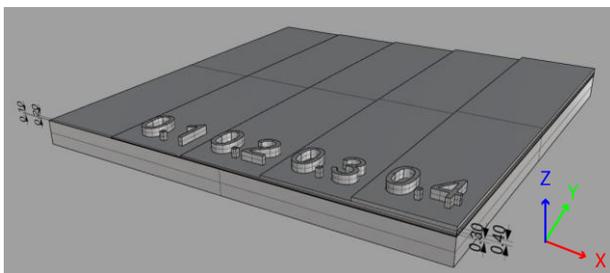
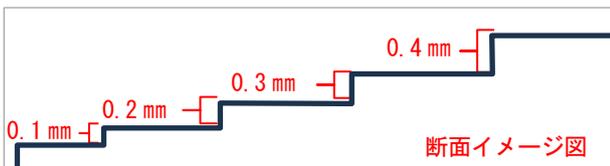


図7 段差形状の測定サンプル：C

図3のグレースケールチャート測定と同様に3Dスキャナを三脚に固定し、サンプルA,B,Cをそれぞれ付属のターンテーブルに乗せて、測定サンプルを回転テーブルに垂直に立て測定を行った。

3. 結果と考察

3. 1. 測定可能な黒色の検証

3. 1. 1. 測定可能な黒色の段階

グレースケールチャートの測定結果を図8に示す。図のグレー部分は取得した3Dデータの表、黄色部分は裏である。測定できなかった面は黒く欠損している。70度に着目すると、グレースケールチャートの裏面だけ形状取得できている。

測定の可・不可の基準は、欠損が無くグレーの面を取得できたか否かとした。照射角度80度では何も測

定できず、照射角度70度ではグレースケールチャートの裏面のみ測定ができた。照射角度60度から取得できる面が増加し、照射角度0度では、1段階から18段階までの黒色を欠損なく測定できた。照射角度19段階から欠損が開始、20段階は一部しかスキャンできなかった。

測定結果より、最も良好に測定可能な光の照射角度は、撮影したい面に対して垂直に照射した0度であることが分かった。また、18段階までの黒色であれば、欠損することなく形状取得が可能であった。

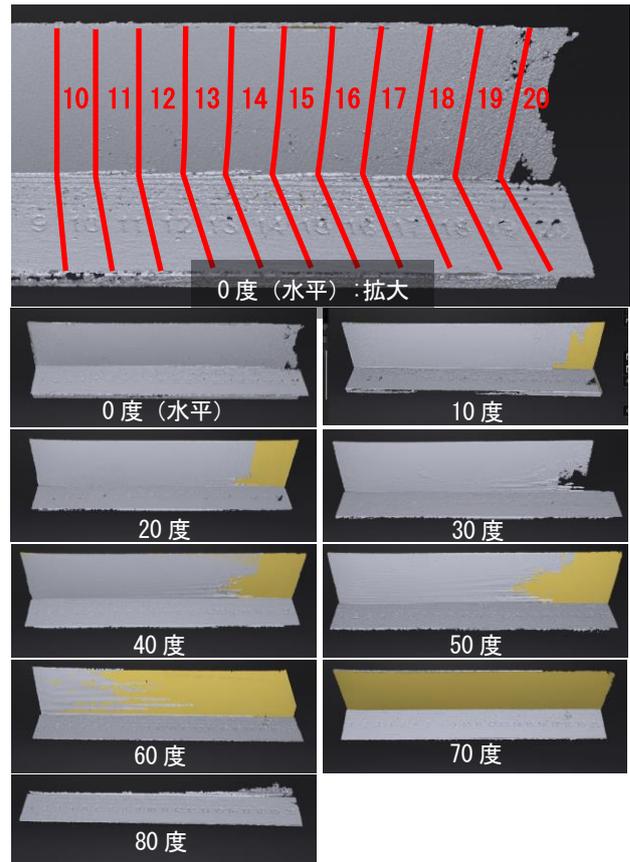


図8 各照射角度に対するグレースケールチャートの測定結果

3. 1. 2. 漆塗装サンプルの測定結果

漆塗装サンプルとグレースケールチャート20段階すべての光沢度を測定した。漆塗装サンプルとグレースケールチャート20段階すべての光沢度の平均値を表3に示す。

表3 光沢度の比較結果

項目	光沢度 (85度)
漆塗装部分	93.2
グレースケールチャート平均値	92.5

測定面に対して、垂直に照射するため、光沢度は85度の値を比較した。比較した結果、光沢度は両者ともほぼ同等の値であり、明暗度では、測定サンプルの漆塗装部分の方が暗かった。

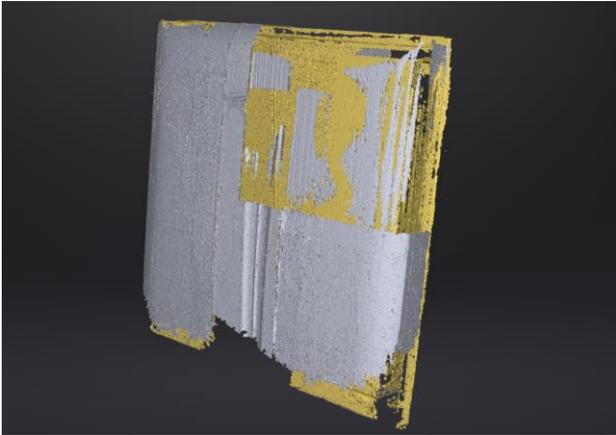


図9 漆塗装サンプルの測定結果

漆塗装サンプルの測定結果を図9に示す。漆塗装部分は、一部しか測定できなかった。グレースケールチャート20段階と比べて、明暗度が暗いことが原因として考えられる。

3. 2. 測定可能な凸形状の評価

3. 2. 1. サンプルA, B, Cの測定結果

サンプルAの測定結果を図10に示す。サンプルAでは、切断線A-A（全長50mmの中間、Y25mm点）で切断し、その断面である断面図A-Aから線幅を計測した。設計値線幅の測定位置は、断面図A-Aに示すように、サンプル天面からZ方向+0.5mmの位置とした。

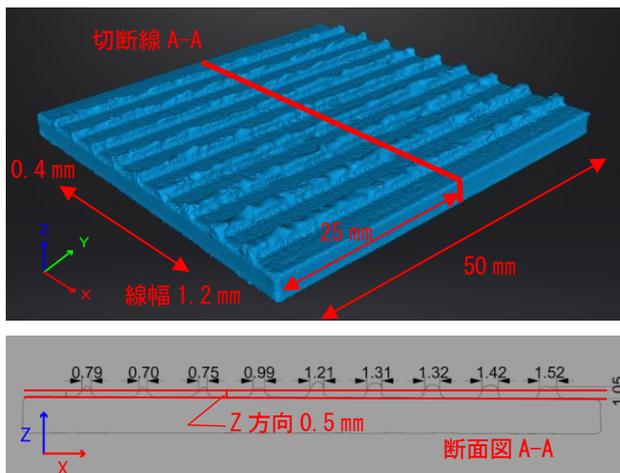


図10 サンプル：Aのスクランデータ

①設計値と②3Dプリンタで出力したサンプルの実測値、③スキャンデータの比較を表4に示す。③から②の差を取り比較した結果、誤差は+0.14~+0.45mmであった。断面形状の角が取れた四角形状になったことが影響していると考えられる。すべての線形状でプ

リント物よりも線幅が広がったが、凸形状として測定できた。

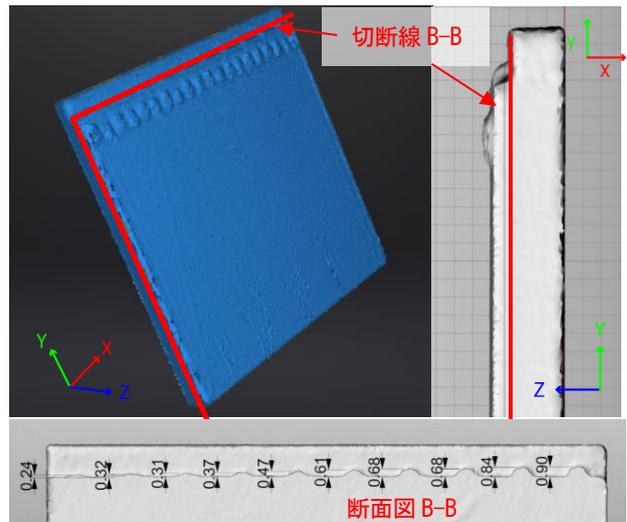


図11 サンプル：Bのスクランデータ

サンプルBの測定結果を図11に示す。切断線B-B（各突起形状の厚みの中間を通る）で切断し、そのXY平面に平行な断面から突起形状の長さを測定した。突起部分の断面形状もサンプルAと同様に角が取れた四角形状になった。

①設計値と②3Dプリンタで出力したサンプルの実測値、③スキャンデータの比較を表5に示す。③から②の差を取り比較した結果、突起の長さの誤差は、-0.05mm~+0.13mmであった。目標寸法の0.4mmよりも小さな突起を測定できた。また、突出している長さが長いほど、誤差は少ない傾向があった。

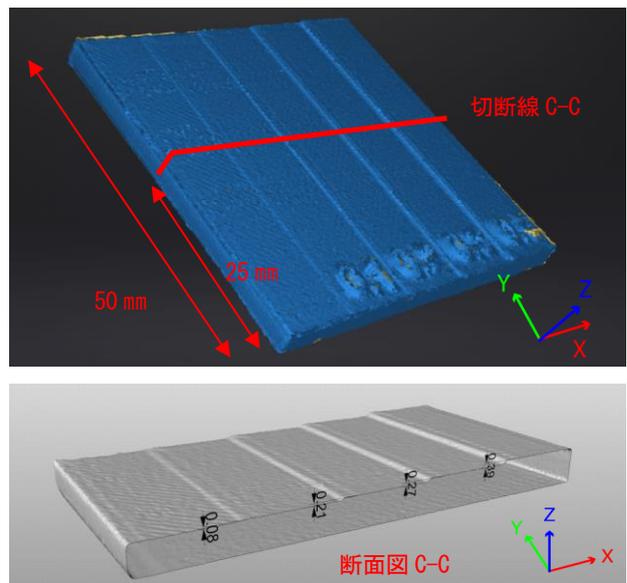


図12 サンプル：Cのスクランデータ

サンプルCの測定結果を図12に示す。サンプルCでは、切断線C-C（全長50mmの中間、Y25mm点）で切断し、その断面である切断面C-Cから段差の厚みを測

表4 サンプルAの設計値と測定結果の比較

①設計値 [mm]	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
②出力サンプルA断面 [mm]	0.47	0.42	0.61	0.69	0.76	0.89	0.94	1.0	1.1
③スキャン [mm]	0.79	0.7	0.75	0.99	1.21	1.31	1.32	1.42	1.52
誤差(③-②) [mm]	+0.32	+0.28	+0.14	+0.3	+0.45	+0.42	+0.38	+0.42	+0.42

表5 サンプルBの設計値と測定結果の比較

①設計値 [mm]	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
②出力サンプルB断面 [mm]	0.12	0.19	0.29	0.39	0.46	0.53	0.64	0.73	0.82	0.94
③スキャン [mm]	0.24	0.32	0.31	0.37	0.47	0.61	0.68	0.68	0.84	0.9
誤差(③-②) [mm]	+0.12	+0.13	+0.02	-0.02	+0.01	+0.08	+0.04	-0.05	+0.02	-0.04

表6 サンプルCの設計値と測定結果の比較

①設計値 [mm]	0.1	0.2	0.3	0.4
②出力サンプルC断面 [mm]	0.1	0.22	0.31	0.43
③スキャン [mm]	0.08	0.21	0.27	0.39
誤差(③-②) [mm]	-0.02	-0.01	-0.04	-0.04

定した。段差部分の断面形状もサンプルAと同様に角が取れた四角形状になった。

①設計値と②3Dプリンタで出力したサンプルの実測値、③スキャンデータの比較を表6に示す。③から②の差を取り比較した結果、段差の厚みの誤差が-0.04 mm~-0.01 mmであった。目標寸法の0.4 mmよりも薄い0.1 mmの高さまで測定できた。

3. 3. 仏像の測定

3. 3. 1. 仏像の測定方法

黒色物体及び細かな凸形状(仏像の手、服のシワ等)を取得できるか検証するため、仏像の模型を測定した(サイズ:縦54×横28×高さ110 mm)。測定可能かを予測するため、事前に図13に示すように、グレースケールチャートの上に仏像の模型を重ねて、目視で明暗度の比較を行った。仏像に曲面が多く、光沢度を測るために十分な平面が無かったため、光沢度は測定しなかった。



図13 測定サンプルとグレースケールチャートの比較

3. 3. 2. 仏像の測定結果

グレースケールチャートと比較した結果、目視において、明暗度は段階19~20と同等の明暗度であり、光沢度はグレースケールチャートの方が高かった。

仏像の形状測定結果を図14に示す。部分的に欠損はあるものの、仏像に彫刻されている細かな凹凸を測定することができた。黒色かつ有機的な形状の物体も撮影したい面に対して垂直に照射することで測定ができた。



図14 仏像模型の測定結果

4. 結言

本研究により、以下のような知見が得られた。

【測定可能な黒色について】

- (1) 最も良好に測定可能な角度は、撮影したい面に対して垂直に照射する照射角度0度だった。

- (2) グレースケールチャート 20 段階において、段階 18 まで欠損なく測定できた。
- (3) グレースケールチャートを用いることで、測定可能な黒色の濃さを予測できた。

【測定可能な凸形状について】

- (1) 測定データは、断面が四角ではなく、角の取れた形状となる。
- (2) 線幅の誤差が実寸より+0.14 mm～+0.45 mmと大きい。
- (3) 突起形状において、突起の長さの誤差は、-0.05 mm～+0.13 mmであり、突出している長さが長いほど、誤差は少ない傾向であった。
- (4) 段差形状において誤差は-0.04 mm～-0.01 mmであり、0.1 mmの高さまで測定できた。

本研究は黒色と凸形状のみ実験を行ったが、凹形状や光沢物、透明物、及びこれらの組み合わせについてこれらの知見を踏まえて、引き続き検討していきたい。

参考文献

- 1) 藤田純一. 黒色反射物体の立体形状測定に関する研究. 鹿児島県工業技術センター研究成果発表会 予稿集 2020 年.