

文化財のレプリカ作成における手法の検討

株式会社地域みらい〔3D Network Japan〕

大島 孝博

1. はじめに

現在、立体形状の有形文化財の複製品（以下レプリカ）作成は、シリコンゴムによる型取り法が主流である。直接型を取るため、原資料にかなり近いものを作成する事ができるが、非常に脆い資料には使用できないなどの問題点もある。仮に頑丈な資料だとしても、資料に直接触れるため、ある程度のダメージはあり、破損しないとは言いきれない。

そこで、資料にほとんど触れることなくレプリカを作成できる三次元スキャナーを用いた非接触法が、シリコンゴムによる型取りと比較して、どの程度の再現性を有するのか検証を行った。また、非接触法であっても、レプリカ作成に使用する三次元プリンタによりどの程度違いが出るのか検証を行った。

今回レプリカ作成に使用した資料は、石川県能登町真脇遺跡出土の縄文時代中期の土器片である。幅が約16cm、高さが約9cm、厚みは5~7mm程度である。胎土は硬質で割としっかりとしている。



2. 作成手法

(1) 型取り法

広く一般に行われているシリコンゴムによる型取りを行った。まず、資料全面に錫箔を貼り付け、粘土等で土台、壁を作った後、資料を据えてシリコンゴムを流し込み、片面の型取りを行った。硬化後に残りの面にも同様の処理を施した。その後、資料を取り外し、エポキシ樹脂を流し込み、レプリカを作成した。

(2) 非接触法

三次元計測器を用いた非接触法を行った。資料の計測には、三角測量レーザー光切断方式の非接触三次元デジタル・RANGE7（コニカミノルタセンシング社製）を使用した。その後、取得した点データから三角網を形成して面（ポリゴン）データを作成し、三種の積層式三次元プリンタを用いてレプリカを作成した。

非接触三次元デジタル・RANGE7 原資料計測時の設定				受光レンズ：TELE	
計測回数	計測間隔 (mm)	精度 (mm)	計測点数	レプリカデータ点数	
10	0.08~0.14	±0.04	1,767,090	1,744,983	

※精度とは、実寸値との差

積層式三次元プリンタ レプリカ造形時の設定				
機種	積層間隔	造形トレイ	解像度	レプリカ使用素材
Z510	89 μm	254×306×203mm	600×540dpi	粉体
alaris30	28 μm	300×200×150mm	600×600×900dpi	アクリル系樹脂
EDEN250	16 μm	260×260×200mm	600×300×1600dpi	アクリル系樹脂



3. 比較検討

(1) 視覚による比較検討

型取り法と非接触法により作成したレプリカを、造形後に加工を加えていない素材の状態、全面を同一色で単色に彩色した。それによりレプリカ同士の形状の差異を際立たせ、視覚による比較検討を行った。ただし、検証結果については、あくまでも視覚による比較検討であり、観察者の主観に依存した判断となるために断定はできない。

結果として次のような事が挙げられる。型取りレプリカは、土器表面の質感や形状を最も鮮明に表現しているが、上部隆帯に刻みの入った凸凹文様は凹部の彫りが浅く、表現できていない。非接触レプリカは、EDEN250製のレプリカが最も再現性があり、隆帯凹部の表現も良くできている。しかし、造形時の積層痕が目立ち、全体的にエッジ（縁）部分が丸みを帯びてしまっている。

(2) 数値による比較検討

型取り法と非接触法により作成したレプリカを、造形後に加工を加えていない素材の状態、前述のRANGE7を使用して、原資料計測時と同様の条件で計測を行った。原資料の三次元データと計測した三種のレプリカの三次元データを比較し、全体の偏差量を求めて数値による比較検討を行った。精度検証に使用したソフトは、Rapidform XOV（アイナステクノロジー社製）である。検証は、原資料の三次元データにそれぞれのレプリカの三次元データを最も形状の合致する位置で合成させるベストフィットという方法を用いた。合成した三次元データの横方向をX値、縦方向をY値とした場合のZ値の差を偏差量として求めた。今回の検証では、偏差量の値は右記のカラーマップ上で相対的に広く面積を占める0.1mm以上の数値を抽出するだけに留めた。偏差量がプラスの場合は原資料データよりも外側（厚い）、反対にマイナスの場合は原資料データよりも内側（薄い）という事になる。ただし、原資料に対してではなく、原資料の三次元データに対する検証結果である。

型取りレプリカは、左右に偏差量-0.2mm前後の箇所があり、裏面中央部にも同様の箇所があった。上部の刻み文様凹部では偏差量+0.2mmであった。これは、原資料データよりもレプリカデータの方が薄く、若干内湾して歪んでおり、上部の刻み文様凹部の彫りが浅く、凹部の型取りができていないという結果である。非接触レプリカでは、Z510で造形したレプリカは文様凸部では偏差量±0.1mm以内に収まっているが、上部の刻み文、下部の縄文の凹部では共に偏差量+0.2mmとなっている。これは、歪みが少なく、厚みもほぼ正確に再現できているが、全体に文様凹部の再現ができていないという結果である。EDEN250で造形したレプリカは、裏面中央以外ほぼ全面が偏差量±0.1mm以内に収まっている。これは、ほぼ正確にデータ通りの形状を再現できているという結果である。

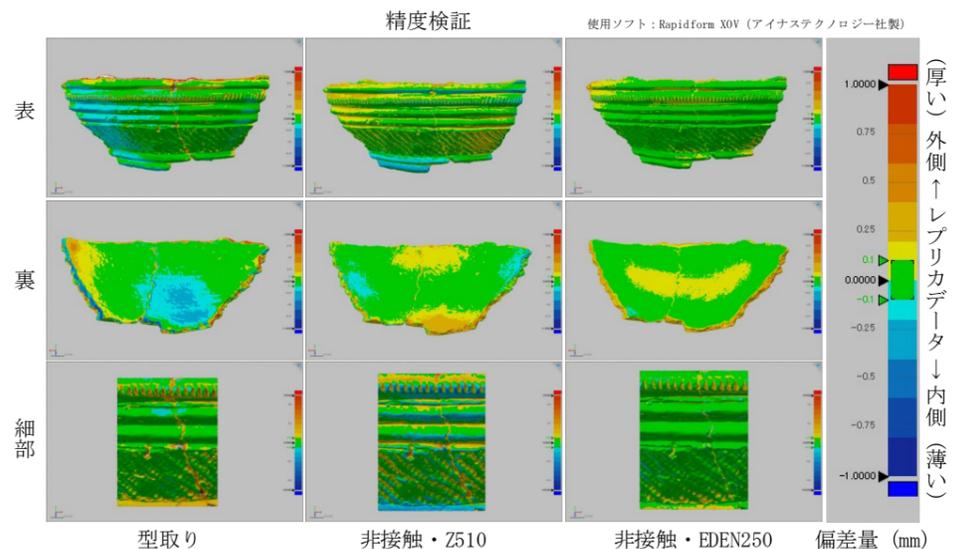
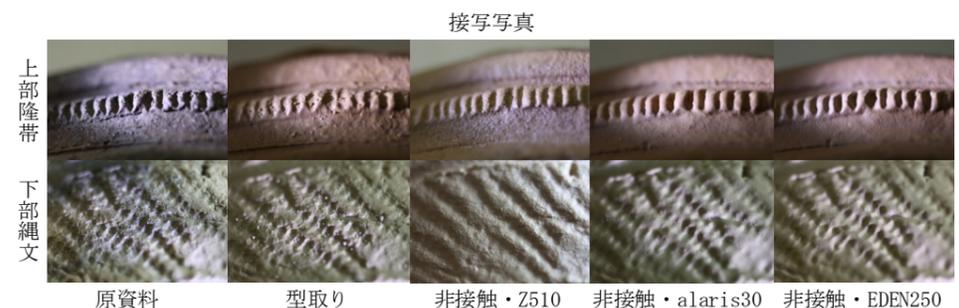
結果として、造形する三次元プリンタにより程度の差はあるものの、型取りレプリカに比べ、非接触レプリカの方が全体の歪みが少なく、文様凹部、厚みもより忠実に再現しているといえる。

4. おわりに

今回の検証では次のような結果が得られた。視覚による比較検討では、型取りレプリカがより忠実に原資料を再現しているという結果が得られた。数値による比較検討では、非接触レプリカがより忠実に原資料を再現しているという結果が得られたが、これは原資料そのものではなく、計測データをより忠実に再現しているといえる。

これらを総合的に判断すると、文化財のレプリカ（複製品）としてより再現性の高い手法は、型取り法であるといえる。これは非接触法が計測して得られた点群から面（ポリゴン）データを作成して資料の形状を再現しているのに対して、型取り法は資料の形状そのものをそのまま型取りできるためである。

今回の検証結果は、あくまでもレプリカの再現性のみ主点をおいているため、一概に型取り法が優れているとはいえない。資料の状態やサイズ、レプリカに使用する素材、用途、費用など様々な条件により、それぞれの手法を使い分ける必要がある。また、一括りに非接触法といっても、計測機器、造形方法は多岐に渡るため、最適なものを選択する事が必要である。



	視覚による比較検討				数値による比較検討			
	質感	縄文	凹部	エッジ	表側	裏側	縄文	凹部
型取りレプリカ	◎	◎	×	◎	-0.2mm	±0.3mm	-0.2mm	+0.2mm
非接触レプリカ	Z510	×	△	×	±0.1mm	±0.1mm	+0.2mm	+0.2mm
	alaris30	△	△	○	-	-	-	-
	EDEN250	○	○	◎	○	±0.1mm	±0.1mm	±0.1mm

参考文献

小島道裕「博物館とレプリカ資料」『国立歴史民俗博物館研究報告 第50集』1993年
山本哲也『博物館のウラおもて—レプリカの真実—』2004年
堀江武史「縄文土器の修復・複製・復元品の活用」『総覧 縄文土器』2008年

謝辞：今回の発表にあたり、以下の方々（敬称略）にご協力を頂きました。ここに謝辞を申し上げます。
資料提供：高田秀樹（石川県能登町教育委員会）
三次元計測：神尾信行、中尾光孝（コニカミノルタセンシング株式会社〔3D Network Japan〕）
データ合成：田子寿文（有限会社アイテック〔3D Network Japan〕）
精度検証：村松小友美（株式会社フューチャーイン〔3D Network Japan〕）
型取りレプリカ作成：石原道知（有限会社武蔵野文化財修復研究所）・堀江武史（府中工房）
非接触レプリカ作成：井家洋、井家美紀（有限会社小松鋳型製作所）・村田達也（三谷商事株式会社）
彩：畑野尚子（有限会社クラフト工房はたの）