

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00693

研究課題名(和文)「触って体験型」博物館展示計画のための3Dデジタル造形技術の開発

研究課題名(英文) Development of 3D digital modeling method for exhibition plan of "Hands-on" museum

研究代表者

横山 清子 (Yokoyama, Kiyoko)

名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・教授

研究者番号：50174868

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：博物館での鑑賞者の理解度や興味関心度合いの向上、視覚に障がいのある人の観覧支援のための3D立体造形技術の活用方法を研究した。資料の鋳型を用いた形状測定、3DCADデータによる資料の修復や、現存しない資料の復元、NFCタグ組み込み模型をアプリやWEBコンテンツのインターフェースとすることを実践した。模型作成に適した材料、造形方法、視覚に障がいのある人が触感で色彩を想起するための、色彩の印象と立体表面の微細凹凸形状の触感の印象との関連付けなどの基礎的検討も行った。銅鏡、壺、矢じりなど本研究で作成した模型は、名古屋市博物館、大阪府立弥生文化博物館、南山大学の「触れる博物館」で展示した。

研究成果の概要(英文)：We studied how to use 3D modeling method for viewing support of people with visual impairment and to improve understanding degree and interest degree of viewers at museums. We practiced surface profile measurement using template of material, repair of material or restoration of nonexistent material by 3D CAD tools, and use of NFC tag built-in model as interface of application and WEB content for explanation of exhibited object. We also conducted feasibility studies such as materials suitable for modeling, modeling methods, relationship between color impression and impression of tactile sensation of microscopic asperity on solid surface. The model created in this study, such as copper mirrors, pots, and arrowheads, was exhibited at Nagoya City Museum, Osaka Prefecture Yayoi Museum and "Hands-on Museum" at Nanzan University.

研究分野：情報工学、人間工学

キーワード：博物館観覧支援 ユニバーサルミュージアム 3D立体造形 3Dスキャナ 3Dプリンタ 3D切削機 NFCタグ

### 1. 研究開始当初の背景

3D スキャナや3D プリンタが高機能でかつ安価となり、ファブラボ等のサービスを私的目的で個人が気軽に利用でき、また、製造業において多種少量生産や試作品作成のためのラピッドプロトタイピングの普及により、デジタル立体造形が様々な分野で応用されてきている。博物館の展示支援においても、視覚障がい者が資料に触って鑑賞する、あるいは、一般の来館者においても資料を理解するための動機付けや理解度を高めるために、3D 立体造形による模型やレプリカが活用され始めている。

### 2. 研究の目的

本研究では、鑑賞者のユーザーエクスペリエンスの向上、視覚障がい者の鑑賞支援、展示資料やその背景情報を理解するための動機付けや理解度向上のために、3D 立体造形技術の活用方法の提案と評価を目的とする。

### 3. 研究の方法

(1) 名古屋市博物館、南山大学博物館、大阪府立弥生文化博物館の協力を得て、展示資料の3D スキャンにより形状データを収集する

(2) 3D 切削機、3D プリンタ、レーザーカッターを用いた模型作成における素材の選定、拡大・縮小模型の作成、重さの再現方法を検討する

(3) 3D 模型への NFC タグ組み込みとタブレットアプリを組み合わせたクイズ、3D 模型を加工したパズルなどを作成し、インタラクション機能の実装と評価を行う

(4) 視覚障がい者に対する絵画鑑賞のためのデジタルシボ(表面の微細な凹凸形状)活用のための基礎検討と試作を行い、デジタル造形活用の可能性を検討する

(5) 視線分析から、3D 模型展示が来館者行動に与える影響を考察し、資料への関心や理解に対する3D 模型が与える影響を評価する

### 4. 研究成果

(1) 模型作成における素材の検討

3D 切削機と3D プリンタを比較すると、3D プリンタは積層ピッチを細かくしても層状の段差が目立つため、切削機の方が高精度の立体形状の再現が可能なが分かった。また、切削機の方が多様な材料の加工が可能であることも、模型作成に適している理由である。

図1は、左から MDF、ラワン材、アクリル、



図1 切削材料の比較

ケミカルウッドで石器の模型を比較作成した例である。凹凸形状の詳細な再現性が高いのはアクリルとケミカルウッドであった。アクリルは硬く、ケミカルウッドはやや軟らかいことを考慮すると、石器や金属の資料についてはアクリル、木材などの資料についてはケミカルウッドを立体造形の材料とすることが望ましいと考えられる。この成果に基づき、南山大学博物館での触れる展示室の土偶、名古屋市博物館常設展示室の銅鏡の模型は、アクリルを材料で作成し、現在も展示を行っている。

(2) 拡大・縮小模型の作成

図2は、やじりの形状を3D スキャナで測定し、左から、原寸の300%、200%、100%でケミカルウッドを用いて造形したものである。原寸大、拡大模型何れも表面の稜線は正確に再現できている。造形時間は、原寸大が1時間に対して、200%、300%どちらも1時間30分であった。



図2 拡大模型の例

(3) 重量の再現

デジタル造形による模型作成において、資料と異なる材料を用いた場合、同等サイズであっても、重量は再現できない。重量の再現のために、資料の材料より比重の軽い素材で形状を造形し、資料と模型の質量の差の重量を持つ錘を埋めこんだ模型を作成した。図3の例は、資料に対して模型の質量が約6g軽かったため、3D スキャナで測定した形状データに対して3DCAD上で、図の写真に示す窪みを12個作成し、3D 切削機で造形した後、直径5mm、質量0.5gのスチールボールを内部に埋めこみ、貼り合せて模型を完成した。3D プリンタや切削機など造形材料に制約があり、資料と異なる材料を用いる場合も、でき



図3 錘を埋め込み重量を再現した「矢じり」の模型の例

るだけ触感が類似し、かつ、重量を再現すれば、視覚に障がいがある人の観覧を支援するユニバーサルミュージアムにおいても使用可能な模型が作成できる。

#### (4)修復・復元模型の制作

腐食や破損した資料は、これまで専門家が手作業で修復や復元を行ってきた。デジタル造形の場合、3DCADでデータを編集することで修復や復元を行うことができる。図4は出土した銅鏡を展示したもので、周辺が欠けたり、腐食し凹凸模様が消えたりしていることが分かる。模様の規則性から、欠損したり腐食している部分の模様を予測し、それと同じ模様のある部分をデータで抽出し、欠損部分に適合するように反転や回転を施し、腐食や欠損部分にはめ込む操作を行う。図5は図4左の銅鏡をデータで修復し、切削機で造形した模型である。



図4 出土した銅鏡 (名古屋市博物館)



図5 データで修復した模型

また、名古屋市博物館が所蔵する「尾張瓦」の破片のデジタルデータを3DCADでつなぎ合わせ、欠損部分は3Dデータとして補間し、さらに、その凹凸を反転させ、そのデータに基づき切削機で木を切削することで、木型を復元した。古代瓦の型は木製であるため、腐敗し現存しないことから、木型の復元はデジタル造形の有用性を示す一つの例といえる。

#### (5)デジタルシボによる色彩の表現

視覚に障がいのある人が、デジタルシボの施された模型や絵画の表面に触れることで色彩が想起できることを目指して基礎的検

討を行った。方法は、「派手・地味」「柔らか・硬い」「暖かい・冷たい」「軽い・重い」「強い・弱い」「興奮・鎮静」「好き・嫌い」の7項目の印象をそれぞれ5段階評価で回答する実験を、色彩については、「白」「灰色」「黒」「ビビッドトーン」「ライトトーン」「ブライトトーン」「ディープトーン」「ダークトーン」「ペールトーン」「ライトグレイッシュトーン」「グレイッシュトーン」「ダルトーン」に対して、デジタルシボについては、「模様を付けずアクリル素材のまま」「ドリルによる荒削り」「1mm正方形」「2mm正方形」「4mm正方形」「6mm正方形」「8mm正方形」「10mm正方形」それぞれについて、全盲視覚がい者5名、日本人晴眼者17名、韓国人晴眼者7名で実施した。評価項目に対するイメージプロフィールが類似の色彩とデジタルシボの組み合わせを求め、それぞれの色彩の表現に適したデジタルシボを抽出した。その結果、1mmのシボはディープトーン、2mmのシボはビビッドトーン、10mmのシボはライトトーンとの相関が強い結果となった。試作では、デジタルシボに加えて色相環上での位置を示す印を付与することで絵画を表現した。

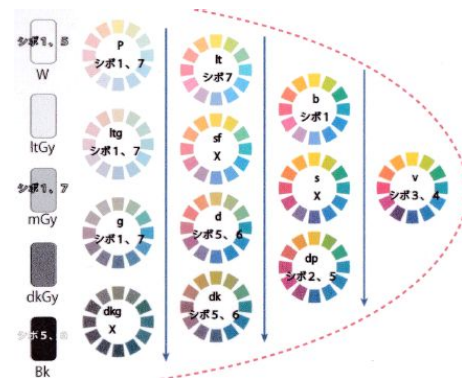


図6 実験で対象とした色彩

実装のためには、シボの形状を三角形、円など変化させ、色相環の位置を表現する方法を検討する必要があるため、シボの大きさを2mmに固定し、形状を、三角形、四角形、五角形、六角形、八角形、円とし、SD法による印象評価を行った。一方、2mmのシボと関連づけたビビッドトーンにおける色相環の6色に対してもSD法を行い印象が類似の色とシボの形状の関連付けを行う実験を実施した。円、八角形と暖色、三角形、五角形と寒色の印象が類似している結果は得られたが、色相環の6色すべてに対してシボ形状を対応させるまでには至らなかった。

#### (6)NFCタグを組み込んだ模型の作成

大阪府立弥生文化博物館と共同で、「考古楽ハンター」という子供対象の歴史教育コンテンツの一部として、NFCタグ埋め込み模型を作成した。クイズの答えとして正しいと判断した資料の模型にタブレットを触れると、模型に組み込まれたNFCタグのURLを読み取



図7 作成した模型の例



図8 展示の様子



図9 測定のための型採り

り、正解・不正解に応じたアクションが起こる仕掛けとなっている。作成した模型は、土器の壺3種類と、鏡3種類である。図7に作成した模型の例を示す。図8に展示風景を示す。壺の手前上部のシール状のものがNFCタグである。

壺については、積層型の3Dプリンタで造形し、彩色を行った。鏡については、光の反射が強いため、3Dスキャナによる実物の測定が困難であった。そのため、図9に示すように、まず粘土で型を作り、それをスキャナで測定し、3DCADで凹凸を反転させ、アクリル板を切削することで造形を行った。型を作成する際、凹凸模様の詳細な形状が再現できなかったため、表面模様の高精細な写真画像を図形描画ソフトウェアでトレースし、このデータを用いてレーザーカッターで表面の凹凸模様を造形した。今回鏡の造形に適用した方法は、新規な方法であり、展示資料のデジタル造形の可能性拡大に資することができると考えている。

作成した壺と鏡の模型は、「考古楽ハンタ

ー」での活用だけでなく、一般の成人観覧者も興味深く手にとって観察しているとの報告を得ている。「考古楽ハンター」の利用者、もしくは、その保護者のWebアンケートの結果から、模型に触れることで解答の解説が表示されることが興味に繋がり、また、手に取り詳細に見ることで理解度が深まる効果も確認している。

#### (7) 視線解析による3D模型展示が来館者行動に与える影響の評価

実験は、名古屋市博物館常設展における、「三角縁神獸鏡」を対象として、出土した鏡のみの展示が行われている場合と、ケース内の資料に加え、その模型が展示ケースの前に設置され自由に触れることを明示した場合を比較した。実験参加者は、モバイル型の視線解析装置を身に付け、概略1時間程度で巡回できる常設展示室全体を自由な経路と速度で観覧する。図10に視線分析装置の視野カメラの映像を示す。「+」と「」で示されている部分が両眼の視点である。

実験参加者9名の説明文および資料の観覧時間を比較すると、3D模型が設置されている方が有意に説明文を見る時間が長くなっていた。また、3D模型に対する観覧者の行動は、7名の実験参加者が模型を撫でる、模型と資料を何度も見比べる、であった。また、つまむ動作の参加者も6名であった。これらの結果から、自由に触れる3D模型を設置することで、ケース内の資料や説明文を模型と比較しながら鑑賞したり読むという行動を誘発し、資料や背景知識の理解を助ける



図10 模型に触れている時の視野カメラの映像と両眼の視点の位置

表1 模型の有無の比較

	説明文	資料
無	8.9 秒	3.6 秒
有	24.7 秒	12.7 秒
	p<0.05	p=0.3

効果が確認できたと考えている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

武穂波、横山清子、博物館の観覧を支援するコンテンツに関する検討、情報処理学会研究報告、査読無、2016-DCC-13(1)、2016、1-7

河内貴史、横山清子、博物館におけるデジタル造形技術の学際的应用に関する研究、情報処理学会、じんもんこん 2016 論文集、査読無、2016-12-02、2016、31-38

Honami TAKE, Kiyoko YOKOYAMA, Evaluation of information presentation with smartphone at history museum by eye tracking, HCI Int. Posters' Extended Abstracts, 査読有、CCIS713、2017、489-496

〔学会発表〕(計3件)

武穂波、横山清子、博物館の観覧を支援するコンテンツに関する検討、情報処理学会DCC研究会、2016年5月30日～31日、金沢工業大学

河内貴史、横山清子、博物館におけるデジタル造形技術の学際的应用に関する研究、情報処理学会じんもんこん 2016 シンポジウム、2016年12月9日～11日、国立国語研究所

H.Take, K.Yokoyama, Evaluation of information presentation with smartphone at history museum by eye tracking

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

横山 清子 (YOKOYAMA, Kiyoko)  
名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・教授  
研究者番号：5 0 1 7 4 8 6 8

### (3) 連携研究者

黒沢 浩 (KUROSAWA, Hiroshi)  
南山大学・人文学部・教授  
研究者番号：5 0 3 8 7 7 4 2

### (4) 研究協力者

河内 貴史 (KAWACHI Takafumi)  
武 穂波 (TAKE Honami)  
姜 保賢 (GAN Bohyon)