

博物館の既存アーカイブを活用した万年筆の 3DCG 再現

曾我麻佐子^{†1} 鈴木卓治^{†2}

概要: 本研究では、博物館が所有する既存のアーカイブを用いて効率的に 3D コンテンツを作成することを目的とし、万年筆の 3DCG を生成する手法の提案と VR での活用を想定した軽量化を行った。まず、万年筆の撮影画像から求めた半径データを用いて本体形状のカーブを作成し、垂直軸を中心にカーブを 360 度回転させることで本体の形状を作成する。その後、万年筆のマルチアングル画像から作成した展開図画像をテクスチャとして貼る。クリップの形状は本体と同様にカーブを作成し、クリップ分の角度だけ回転させる。半径データの前後の差が閾値以上の点のみを対象とすることで軽量化を行う。既存データのない本体の上下部は 3 種類の形状によって補間し、クリップの太さと下部の突起は手作業で作成する。提案手法を用いて国立歴史民俗博物館所蔵の蒔絵万年筆 20 本を 3DCG で再現した。さらにこれらを VR で閲覧できるシステムを開発し、企画展において 8 週間展示した。

キーワード: 3DCG, 万年筆, 博物館, VR, アーカイブ

3DCG Reproduction of Fountain Pens Utilizing Museum's Existing Archives

ASAKO SOGA^{†1} TAKUZI SUZUKI^{†2}

Abstract: In this research, we aimed to create 3D contents efficiently using existing archives owned by museums and proposed a method to generate 3DCG images of fountain pens and to reduce their image data for use in VR. First, the curve of the main body shape is created using existing radius data. After that, the curve is rotated 360 degrees around the vertical axis to create the main body shape. After creating the 3DCG shape of the fountain pen, the rollout image of the fountain pen is attached to the body shape as a texture. For the shape of the pocket clip, a curve is created corresponding to the main body and rotated by the angle of the clip. The upper and lower parts of the main body without existing data are interpolated by three kinds of shapes, and the thickness of the clip and the protrusion of the lower part are manually created. In this research, 20 of the Maki-e fountain pens in the National Museum of Japanese History were converted to 3DCG, and a VR system using these 3DCG was developed. The system was used at the special exhibition for eight weeks.

Keywords: 3DCG, Fountain pen, Museum, VR, Archive

1. はじめに

近年、遺跡や文化財などを永久に保存するデジタルアーカイブ化が盛んに行われている。一方、VR(Virtual Reality)技術の普及により、3次元(3D)コンテンツをVR空間で表示し、360度どの角度からでも見るのが可能になってきている。3Dコンテンツの利点は様々な角度から観察できることであるが、既存のデジタルアーカイブは画像を主とする2次元のアーカイブが多く、高精細な3Dコンテンツを制作するには時間と手間がかかる。

そこで本研究では、博物館が所有する既存のアーカイブを活用し、蒔絵万年筆の3DCGを効率的に生成する手法を提案する。蒔絵万年筆には微細な装飾が施されているが、近くで見なければ見えにくく、細部までわかりにくい。また、万年筆は紫外線や人の油で劣化を早めてしまうので、ガラスケースに収納して展示されることが多く、直接触れることはできない。これらを3DCGで再現し、VR空間で

閲覧できるようにすることで、博物館展示を支援することが可能になると考える。

計測データをもとにCG再現を行っている研究として、工芸作品である「十二の鷹」を対象としたもの[1]や、日本刀を対象としたもの[2]がある。これらは文化財そのものを3D計測し、そのデータをもとにCG再現を行っている。しかし、3DCGコンテンツの作成には手間がかかるため、一部しか再現できていない場合が多い。建築物や景観をCGで再現した例としては、祇園祭の風景[3]や、歴史的建造物のエクステリア[4]、永福寺跡[5]などがある。これらは、建築物の図面、写真などからCG再現を行っている。本研究では、博物館が所有する既存データを有効活用することを目的とし、既存の画像アーカイブから3DCGコンテンツを制作する手法を提案する。

先行研究として、館蔵蒔絵万年筆資料のマルチアングル画像撮影ならびに展開図作成のための技術開発[6]が報告されている。この研究では、万年筆を5度ずつ回転して撮影した高精細マルチアングル画像72枚を用いて、軸を回しながら図案を閲覧できる(準3次元表示の)画像コンテンツ、ならびに各画像を細く切って並べた展開図画像を作成

^{†1} 龍谷大学
Ryukoku University
^{†2} 国立歴史民俗博物館
National Museum of Japanese History

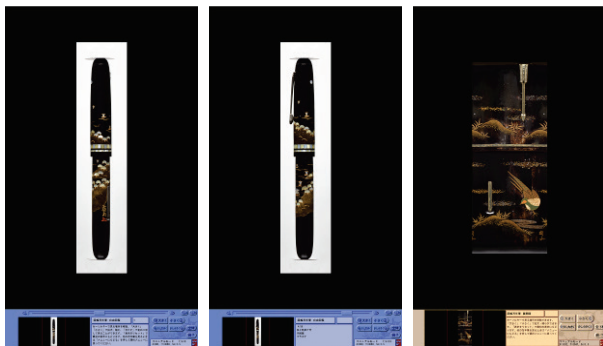


図1 万年筆資料の画像コンテンツ

Figure 1 Digital image viewing of fountain pens.

しており、まるい胴体に描かれた蒔絵の精緻な図案を博物館の展示と図録の両方で詳細に閲覧できるようにするための手法を提案している(図1)。

本研究では、このアーカイブを用いて万年筆の3Dコンテンツを制作し、実際に博物館展示で活用することを目的とする。博物館で展示するためには、期間や予算が限られているため、多くの万年筆の3Dコンテンツを短期間で生成しなくてはならない。そこで本研究では、3Dコンテンツ制作の手間と時間を省くため、先行研究で求められた半径データと展開図画像を使用し、様々な形の万年筆の3DCGを基本的に同じ手順で自動生成する手法を提案する。また、制作する3DCGコンテンツはVRシステムによるインタラクティブな鑑賞を想定しているためCGデータの軽量化も行う。

2. 万年筆の分類と既存データ

2.1 万年筆の分類

本研究では、国立歴史民俗博物館所蔵の蒔絵万年筆44本[7]を対象とする。今回は3Dの形状作成方法を検討するため、クリップ部分を除いた本体を14種類、クリップを14種類に分類した。

(1) 本体

本体部分は形状によって14種類に分類した。万年筆の本体形状の特徴と本数を表1に示す。先端が丸いものや尖っているもの、途中で段差があるものなどがあるが、これらの本体形状は基本的に垂直軸を中心とする回転体として表現できる。また、本体の表面が凸凹しているものもあるが、今回は厳密な形状の再現よりもVRを想定した軽量化および制作時間の短縮を優先するため、すべて同じ手法で生成できるようにする。

(2) クリップ

クリップの形状は13種類に分類できる。クリップの特徴と本数を表2、クリップの形状の例を図2に示す。各図において、左側がクリップの正面図、右側がクリップの側面図とする。クリップの種類によって正面から見た幅や側面の厚みは異なるが、外側の形状は基本的に本体と同じよ

うに回転体として作成可能である。さらに、図2(a)(b)のように厚みがほぼ一定のものは、押し出しで表現できる。しかし、図2(c)の図のように、クリップの厚みが一定でないものや特殊な形状については当てはまらない。また先端突起物は、クリップによって異なるため、写真を参考に手作業で作成する必要がある。

表1 万年筆の本体形状の種類

Table 1 Type of the main body shape.

形状番号	特徴	本数	上下の形状	本体の凸凹	段差
①	上部丸、段有フラット	1本	上:丸 下:平	無	有
②	高先平、段有フラット	3本	上:平 下:平	無	有
③	高先丸、段有フラット	17本	上:丸 下:丸	無	有
④	上部少し丸、段有フラット	1本	上:少し丸 下:平	無	有
⑤	高先尖る、段有フラット	1本	上:尖 下:尖	無	有
⑥	キャップなし、下部尖る	4本	上:丸 下:尖	無	無
⑦	キャップなし、両端尖る	1本	上:尖 下:尖	無	無
⑧	上部斜め、ゆるカーブ	1本	上:斜 下:平	無	無
⑨	段有、ゆるカーブ	1本	上:少し丸 下:平	無	有
⑩	段有、ゆるカーブ	5本	上:平 下:平	有	有
⑪	上部尖る、段有フラット	1本	上:尖 下:平	無	有
⑫	両端平ら、ゆるカーブ	2本	上:平 下:平	無	無
⑬	両端平ら、フラット	4本	上:平 下:平	無	無
⑭	両端尖る、フラット	2本	上:平 下:平	無	無

表2 クリップの形状の種類

Table 2 Type of the pocket clip shape.

形状番号	特徴	本数	形状(正面)	形状(横)	先端
①	矢形	1本	矢型	フラット	逆三角
②	逆三角、先球	10本	逆三角	フラット	球
③	逆三角、先楯	6本	逆三角	フラット	丸
④	上部波、逆三角、先楯	4本	上部波・逆三角	フラット	丸
⑤	フラット、段有	3本	フラット	フラット	三角
⑥	フラット	2本	フラット	カーブ	三角
⑦	直線	3本	直線	フラット	三角
⑧	上部丸、フラット	1本	上部丸・フラット	カーブ	カーブ
⑨	直線	5本	直線	カーブ	半円
⑩	全体的に丸	1本	全体的に丸	上斜め・直線	丸
⑪	逆三角、先丸	4本	逆三角	カーブ	丸
⑫	段有、先球	1本	段有・フラット	カーブ	球
⑬	段有、直線	1本	直線	カーブ	三角
⑭	クリップなし	2本			

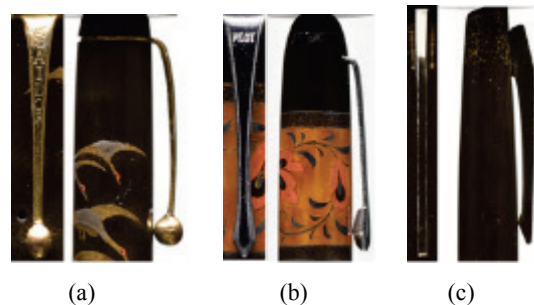


図2 クリップの形状の例

Figure 2 Examples of the pocket clip shape.

2.2 既存データ

(1) 万年筆の半径データ

万年筆の既存データの一つとして先行研究[6]より画像処理を用いて求められた半径データがある。万年筆資料を5度ずつ回転させて撮影した72枚のマルチアングル画像(図3(a))から2値化画像を生成し、左からスキャンして最初に黒になる画素から中心軸までの距離を半径データとする(図3(b))。本研究ではこれらの半径データを万年筆の形状作成やクリップが存在している角度を求めるために使

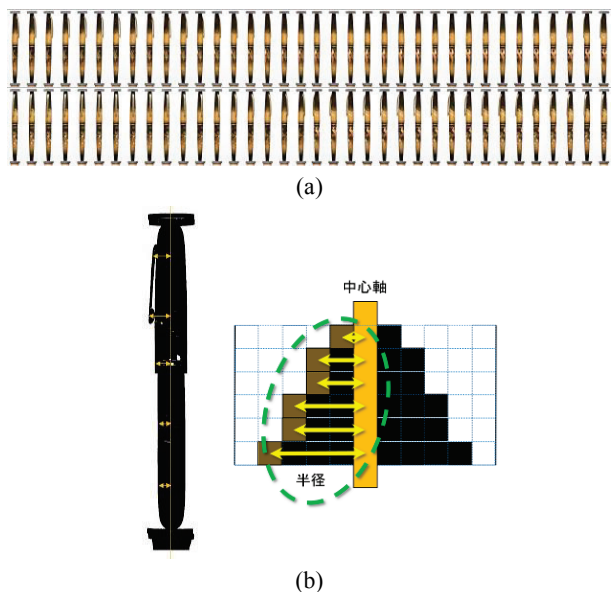


図 3 半径データの算出
 Figure 3 Calculating radius data.

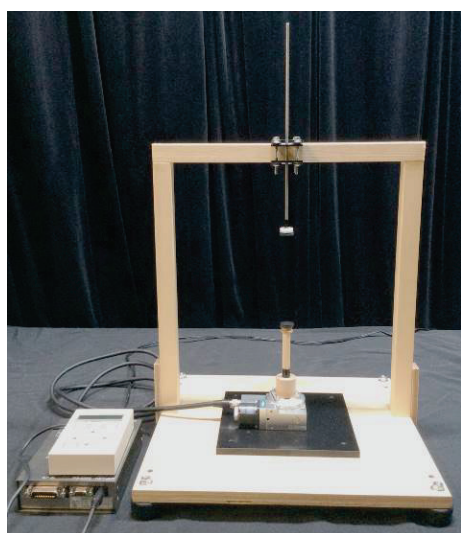


図 4 万年筆のマルチアングル画像撮影のための治具
 Figure 4 Jig for multi-angle imaging of fountain pens.

用する。ただし、撮影用の治具が万年筆の上部・下部を挟んで回す仕掛けになっており(図4)、万年筆の両先端の半径データは取得されていない。

図5は万年筆の半径データから作成した万年筆の断面図の例である。マルチアングル画像であるため72方向からの半径データが存在するが、このうちの1つの方向からの半径データを本体およびクリップの形状作成に使用する。本体形状の作成には、クリップの反対側の角度のデータ、クリップ部分はクリップがある角度の半径データをそれぞれ使用する。

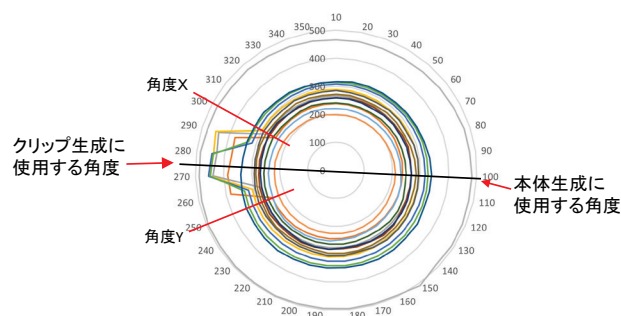


図 5 万年筆の断面図と使用する半径データ
 Figure 5 Sectioned drawing and used radius data.

(2) 万年筆の展開図画像

本研究では、先行研究[6]で作成した展開図画像を3Dモデルに貼りつけるテクスチャに使用する。万年筆の展開図画像は、マルチアングル画像から切り出した画像を接合して作成する。ここで注意すべきは、実際の万年筆は理想の回転体ではない(中心軸からの半径が変化するため)、単純に一定の幅で切り出した場合、画像の重複や不足が発生することである。そこで、半径データを用いて、画像の幅が回転角(今回は5度)に比例する画像を各マルチアングル画像から計算し(図6(a))、これを等幅(回転角相当幅)に切って接合する(図6(b))。これにより段差がある万年筆でも、接合部分がずれることなく1枚の展開図画像で表現できる。展開図画像は幅を一定に補正済みであるため、本研究では万年筆の段差の有無にかかわらず、展開図画像1枚を万年筆本体のテクスチャとして使用する。

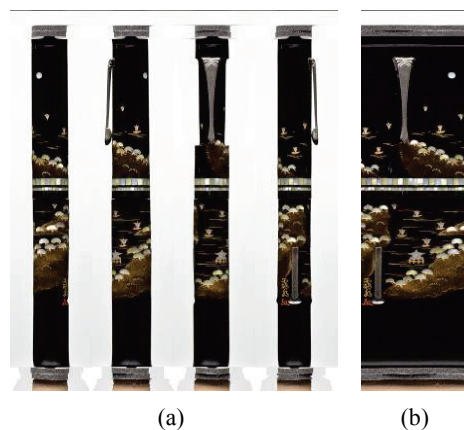


図 6 マルチアングル画像からの展開図画像の作成
 Figure 6 Composition of rollout image from multi-angle images.

3. 万年筆のCG再現

3.1 再現手順

万年筆のCG再現手順を図7に示す。本体とクリップ部分を別に作成し、最後にクリップと本体を結合する。まず、本体の半径データを用いて点を入力していき、これらの点

をつなげて万年筆の本体形状のカーブを作成する。このカーブを垂直軸に対して 360 度回転させることで万年筆の 3D モデルを作成する。その後、3D モデルに 1 枚の展開図画像をテクスチャとして貼る。クリップは、本体同様にカーブを作成し、クリップの角度分だけ回転させて面を作成する。その後、面にクリップ部分の展開図画像のテクスチャを貼る。

ここまでの既存データを使用した 3DCG 再現であるが、博物館で展示する 3DCG コンテンツとしては不十分である可能性があるため、さらに、本体形状の上部・下部やクリップの太さなど、データのない部分の補間を行い、一部創作により 3DCG コンテンツとして制作した。本研究では、スムージング、上部・下部のデータ作成、形状作成などをスクリプトで自動化している。3DCG の作成には Autodesk Maya を使用し、スクリプトは Python で記述した。



図 7 万年筆の CG 再現手順

Figure 7 Procedure of CG reproduction of fountain pens.

3.2 本体の作成

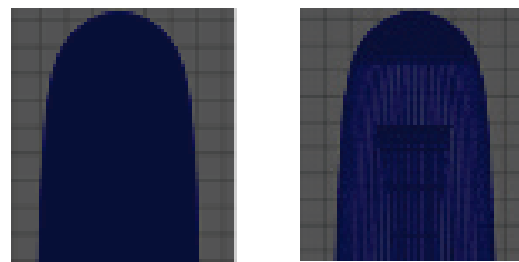
(1) 本体形状の作成

本体のカーブは、クリップのない角度のマルチアングルの半径データを使用する。各行 (1 ピクセルごと) の半径データを用いて点を入力していき、これらの点をつなげて万年筆の本体形状のカーブを作成する。また、半径データを全て使用するとデータ量が多いため、カーブ作成時に点を減らすことで形状を維持しながらポリゴン数を軽減する。さらに、半径データにノイズが含まれていると凸凹が不自然に CG 再現されてしまう場合がある。そこでノイズを目立たなくするため、スムージングを行うことで不自然な凸凹を軽減する。その後、データのない上部・下部の補間を行う。補間して完成したカーブを万年筆の垂直軸を中心に 360 度回転させる。

(2) 本体カーブの軽量化

万年筆の半径データは約 7000 行と高精細のため、多くのデータが存在する。これらを全て使用すると万年筆の形状が平らである場合は無駄が多いため、軽量化を行う。各行の半径データは、10 で割り切れる場合と、前後 4 つのデータの差の合計が 2 以上 10 以下の場合のみ点座標を入力す

るようにし、それ以外の点は使用しないようにした。図 8 はデータの軽量化の実行例であり、図 8(a)は全てのデータ、図 8(b)は軽量化したデータのポリゴンの例である。



(a)全てのデータ (b)軽量化したデータ

図 8 データの軽量化

Figure 8 Polygon reduction.

(3) カーブのスムージング

本体形状が凸凹した模様の万年筆を 3D 化する場合、凸凹が不自然に再現されてしまう場合がある。また撮影環境により半径データにノイズが入る可能性もあるため、カーブ作成時にスムージングを行う。本研究ではオフラインのメディアンフィルタを用いることで、形状を維持しつつ不自然に再現されている凸凹を除去している。各行の半径は、50 行分の中央値に置き換えて入力した。すべての半径データにスムージングを行うと必要な段差も消えてしまうため、平らな形状の部分のみスムージングを行っている。

(4) カーブの補間

万年筆を撮影した際、万年筆を挟み込む撮影治具の影響で本体部分の上部・下部のデータが欠損してしまっている。そこで本研究では、本体部分の上部・下部を 3 つの形状に分類し、形状によって補間を行った。本体部分の上部・下部の形状の補間の種類を図 9 に示す。図 9 の点線部分は既存データの部分であり、実線は補間する部分である。先端が平らなものの場合は、図 9(a)のように、カーブを閉じて補間を行う。先端が尖っている場合は、図 9(b)のように直線で補間を行う。先端が丸い場合は、図 9(c)のように累乗関数で補間を行う。

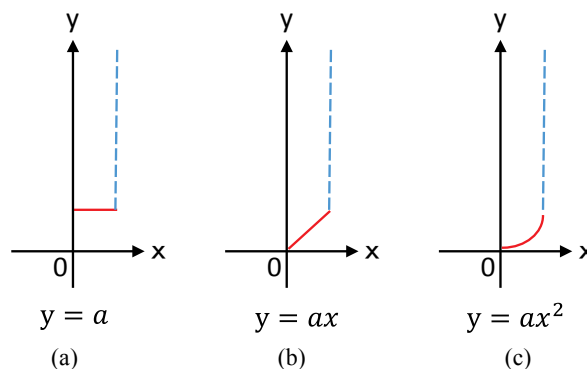


図 9 カーブの補間方法

Figure 9 Interpolation methods of curve.

3.3 クリップの作成

クリップがある部分の半径データを使用し、本体と同様に点を作成してカーブを作成する。その後、垂直軸を中心に回転させて面を作成する。ただし、本体の場合は360度回転するのに対し、クリップの場合は、クリップが存在する部分のみ回転する。クリップ部分の面ができ、展開図画像の一部をテクスチャとして貼りつけた後、図10のようにクリップの形に手作業で切り取る。その後、マルチアングル図を参考にクリップの厚みをつけるため、手作業で面の内側に平行に押し出しを行う。クリップの先端部分は既存データを使用せず、マルチアングル画像を参考に作成する。

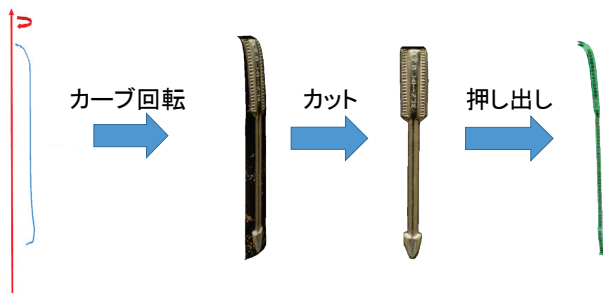


図10 クリップの作成手順

Figure10 Procedure of creating pocket clips.

3.4 CG再現例

万年筆のCG再現例を図11および図12に示す。図11は既存データのみを使用して再現した結果である。上部および下部のデータがないため、空洞になっている。また、クリップ部分も側面しかないので、角度を変えるとクリップ部分の厚みなどが再現できていない。図12は、既存データにない部分を補い、CGコンテンツとして完成度を高めたものである。本体形状の上部・下部は丸みを帯びているため、累乗関数で補間を行った。また、クリップ部分の厚みや先端の突起部分も写真を参考に再現した。これらの2つの万年筆は段差があるが、展開図画像の作成時に段差を考慮しているため、テクスチャが正しく表示されている。

図13は制作した3DCGと写真の比較である。図13において、(a)(b)共に左2本が制作した3DCGであり、右の2本が写真である。図13(a)の万年筆は本体形状の下部が尖っているため、直線で補間を行っている。図13(b)の万年筆は本体形状が凸凹しているためスムージングを行った。また、上部・下部が平らになっているためカーブを閉じて補間を行った。

4. 博物館での展示

制作した万年筆の3DCGデータを使用し、VRで閲覧できる展示支援システムを開発した[8]。HMD(ヘッドマウントディスプレイ)としてOculus Rift CV1を使用し、立体視により仮想空間内で劣化を気にせずに様々な方向から万年



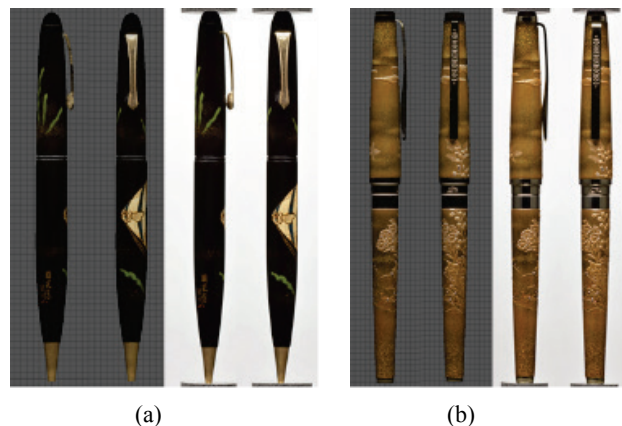
図11 既存データのみによるCG再現例

Figure 11 CG reproduction result of fountain pens using existing data only.



図12 一部創作を含むCG再現例

Figure 12 CG reproduction result of fountain pens with partly creation.



(a)

(b)

図13 万年筆のCGと写真の比較

Figure 13 Comparison of CG results and photos.

筆を鑑賞できる。Wiiリモコンプラスを万年筆に見立てて操作することで、直感的に操作することができる。万年筆の3DCGはHMD装着者以外も鑑賞できるように、4Kモニターにも出力している。また、HMDの画面上に表示されたカーソルやデバイスからのボタン入力により、表示する万年筆の切り替えが可能である。CGデータは、クリップの

加工や上下部の補間により完成度を高めたものを使用した。

開発したシステムは、国立歴史民俗博物館の企画展「デジタルで楽しむ歴史資料」において8週間展示した[9][10]。企画展では、実物の万年筆資料を20本（前期：10本、後期10本）展示する予定であったため、実物と同じ20本をVRシステムで閲覧できるようにした。VRシステムは、万年筆展示の隣に設置し、実物を見た後にVRで確認できるようにした。図14は展示室の風景、図15はシステムの実行例である。



図 14 企画展での展示風景

Figure 14 Photo of the special exhibition.



図 15 万年筆のVR鑑賞システム

Figure 15 VR Exhibition system of fountain pens.

5. 評価

作成した3DCGの万年筆がより軽いCGデータになっているか確認するため、既存データをそのまま使用した万年筆の3Dモデルと提案手法で軽量化した万年筆の3Dモデルのポリゴン数を比較した。対象とした万年筆は「04:松と帆掛け舟」である。全ピクセルデータは6461行分の半径データを使用したものであり、3Dモデルのポリゴン数は966,684

であった。これに対し、提案手法によって軽量化した3Dモデルのポリゴン数は145,136であり、ポリゴン数を1.5割まで減らすことができた。コンテンツのクオリティの差は確認できなかったため、クオリティを高く保ちつつ軽量化できたと考えられる。快適なVR体験を得るための目安として、フレームレートは60fps、処理時間としては16msが必要と言われている。全ピクセルデータを使用した3Dモデルは約100万ポリゴンであり、本研究で使用した実験機材では1本しか表示することができないが、提案手法で軽量化した3Dモデルは約14万ポリゴンであり、約9本表示できるようになるため、効果はあると考えられる。

また、スクリプトによる作業自動化の効果を検証するため、3DCGの作成にかかる時間の比較を行った。1本の万年筆制作において、カーブ作成後の作業を手作業で行った場合と、スクリプトで一部自動化して作成した場合にかかった時間を比較した結果、手作業の場合は32分であったが、一部自動化した場合は14分であり、作業時間を半分以上短縮することができた。したがって、多くの3DCGコンテンツを制作する際には効果があると考えられる。

6. おわりに

博物館が所有する既存のアーカイブを3D化し、VRコンテンツとして博物館展示で活用することを目的とし、効率的に3DCGを作成する手法を提案した。万年筆の2値化画像から求めた半径データとマルチアングル画像を細く接合した展開図画像を用いて、本体部分とクリップの形状を作成した。半径データの前後の差が閾値以上の点のみを対象とすることで軽量化を行い、ノイズを減らすためにスムージングを行った。また、CGコンテンツの完成度を高めるため、データのない本体の上部・下部は補間して作成し、クリップの太さや下部の突起は写真を参考に手作業で作成した。提案手法で軽量化した3Dモデルは全データを使用したモデルの1.5割まで削減することができ、作業時間も半分に以下に短縮することができた。

今後の課題として、データがない部分や金属部分の再現度が低かったことから、これらを改善する必要がある。金属部分の再現については、もともと展開図画像の作成のために撮影された画像であり、露出オーバーを起こす光沢成分を極力排除する撮影を実施しているため、本データを用いる限り、光沢情報は人工的に補う必要があろう。その場合、そのようにして得られたCG画像が博物館展示に適するものであるかどうかは検討が必要である。また、本体形状が凸凹した模様の万年筆の3DCG再現については、不自然ではないほどに3DCG再現できたが、マルチアングル画像の一つの方向の半径データしか使用せずスムージングを行ったため少し凸凹が残ってしまった。これについては、他のアングルの半径データから本体形状が凸凹していない

部分の半径データのみを抽出すれば、より平らにできるのではないかと考えられる。万年筆の作成方法については、テクスチャの貼りつけやUV設定についてもスクリプトで自動化できるようになれば、作業時間をさらに短縮することが期待できる。

謝辞 万年筆の制作にご協力頂いた本田ちなつ氏に感謝の意を表す。本研究の一部は、JSPS 科研費 17K01213 の助成によるものである。

参考文献

- [1] 松田宗, 田中法博, 市川拓磨, 望月宏祐, 室屋泰三, 北村仁美, 光反射モデルに基づいた工芸作品のCG再現, 情報処理学会研究報告, vol.2014-CG-155, pp.1-7, 2014.
- [2] 望月宏祐, 林一成, 更科友啓, 田中法博, 禹在勇, 計測データに基づいた日本刀のレンダリング手法, 情報処理学会研究報告, vol.2009-CG-134, pp.89-94, 2009.
- [3] 黒川輝貴, 石河健, 王晟, 長谷川恭子, 徐睿, 吉田俊介, 岩澤昭一郎, Roberto Lopez-Gulliver, 田中覚, 3D ゲームエンジンを用いた京都・祇園祭の仮想空間構築とその活用, NICOGRAPH 2015 論文集, F-05, 8 ページ, 2015.
- [4] 内藤旭恵, 重藤祐紀, 坂井滋和, 歴史的建造物のデジタルアーカイブにおける参照資料と再現CGのリアリティに関する研究, 画像電子学会第42回年次大会予稿集, R2-4, 2014.
- [5] 大滝由明, 長沢可也, 羽切孝昌, 草野友徳, 木野宏亮, 三ツ堀弘, 小林康幸, 江口達也, 福原廣志, 福田誠, コンピュータグラフィックによる永福寺の復原, 情報処理学会研究報告, vol.2004-IS-091, pp.127-134, 2005.
- [6] 鈴木卓治: 蒔絵万年筆資料のマルチアングル画像撮影ならびに展開図作成のための技術開発, 国立歴史民俗博物館研究報告, vol.206, pp.39-59, 2017.
- [7] 国立歴史民俗博物館(編): 万年筆の生活誌 - 筆記の近代 - (展示図録), 国立歴史民俗博物館, 2016.
- [8] 富田脩平, 曾我麻佐子, 鈴木卓治, HMDとペン型デバイスを用いた万年筆の展示支援システム, インタラクシオン2017論文集, pp.434-435, 2017.
- [9] 国立歴史民俗博物館企画展示「デジタルで楽しむ歴史資料」, 2017-3-14~5-7, <http://www.rekihaku.ac.jp/exhibitions/project/old/170314/index.html>
- [10] 鈴木卓治, 小島道裕, 曾我麻佐子, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子, 歴史系博物館と大学が連携して作り上げるデジタル展示 ~企画展示「デジタルで楽しむ歴史資料」を事例として~, 情報処理学会人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, vol.2017, pp.283-288, 2017.