

## 3次元CGによる火縄銃製造工程の 可視化に関する基礎検討

林 武 文

要 旨：火縄銃の製造方法は、鉄砲鍛冶の間で受け継がれた門外不出の秘伝の技術であり、研究が進んだ現代においてもいくつかの工程に関しては不明な点が残されている。本稿では、3次元CGを用いた火縄銃製造工程の可視化を目的とし、そのためのプロセスを紹介するとともに、現時点での映像制作の内容と課題および公開に向けた今後の進め方について述べる。

キーワード：火縄銃、鍛冶、可視化、3次元CG、堺鉄砲鍛冶屋敷

### 1. はじめに

大阪府堺市は、16世紀の種子島鉄砲伝来以来、江戸期から明治期に至る300年以上の間、根来（和歌山県）、国友・日野（滋賀県）とともに西日本における火縄銃の生産拠点のひとつとして栄えた。堺市環濠都市区域の北部に位置する井上家は、江戸期に成長した鉄砲鍛冶であり、江戸中期以降には、戦国時代から続く榎並家、芝辻家などの年寄五鍛冶に肩を並べる生産量を誇っていた<sup>(1)</sup>。2014年10月に井上家住宅における古文書資料の確認作業が開始され、火縄銃の図面や取引先の名前が記された文書、帳簿類など江戸期の鉄砲生産に関する資料が多数発見された。その歴史的価値の高さから2015年より堺市と関西大学の共同研究調査が開始され、2019年3月に報告書<sup>(2)</sup>が刊行された。その後、堺市の鉄砲文化を国際的に発信することを目的に鉄砲鍛冶屋敷整備計画が策定され、現在では2023年度の火縄銃産業をテーマにした博物館（仮称 堺鉄砲鍛冶屋敷ミュージアム）の開館に向け、井上家住宅主屋の保存整備が進んでいる。

関西大学なにわ大阪研究センターでは、2021年度より基幹研究班において、堺市と関西大学の共同研究成果の可視化と情報発信を目的とした研究プロジェクトを開始した。本報告は、その一環として取り組んでいる3次元コンピュータグラフィックス（CG）を用いた火縄銃製造工程の可視化について述べたものである。火縄銃の製造方法は、現在では研究が進み、秘伝書を解説した書籍も出版されているが、いくつかの工程に関しては具体的な方法が不明なものもある。本プロジェクトでは、可視化のための基礎検討として、製造工程に関する文献を参考に制作対象とするシーンを決め、実際にCG映像を試作した。この映像を、2022年度10月に実施された堺市—関西大学主催の堺鉄砲鍛冶屋敷ミュージアムシンポジウム<sup>(3)</sup>で公表し、関係者や有識者の意見を徴取した。本稿ではCG制作のための検討と試作した映像の内容および現時点での課題と今後の方向について述べる。

## 2. CG制作のための検討

### 2.1 資料収集

火縄銃の製造技術は、1543年に種子島に伝来した鉄砲の製造技術を、日本各地の鉄砲鍛冶職人が進化させ、門外不出の秘伝の技術として受け継いだものであった<sup>(4)(5)</sup>。江戸後期には、製造方法を記した書物として、滋賀県国友鉄砲の一貫斎國友藤兵衛著『大小御鉄砲張立製作』と周防徳山藩の砲術家 棟居保春著『中嶋流砲術管闢録』が存在したが、詳細な加工方法やノウハウに関しては未掲載の部分が多い<sup>(6)-(8)</sup>。井上家における製造方法に関しては、調査資料の中に図入りでその過程を説明する『鉄砲作法秘伝書』（年未詳、文化9年（1812年）の注記あり）が存在するが<sup>(2)</sup>、資料の分析が進んでおらず、現時点では十分な情報を得ることが困難であった。ただし、そこに描かれた挿絵を見る限りでは、上述の江戸後期の書物と類似の絵図が多く含まれていることが分かった。そこで、年代的にも地域的にも近く、先行して研究と情報公開がなされている国友鉄砲の資料<sup>(9)-(12)</sup>を基にして、CG映像の試作を行うことにした。

### 2.2 CGで表現する製造工程

火縄銃製造の基本工程は、概ね以下の4工程に大別される。

- I. 銃身の鍛造
- II. からくり部品の制作と組み立て
- III. 台木（銃床）の制作
- IV. 全体の組み立てと調整

これらの工程は、一般には分業制であり、井上家では、主としてIとIVが行われていたと考えられる。屋敷には鍛冶場に加えて完成品の火縄銃を顧客に提示して商談をするためのスペースも設けられていた。

製造工程I～IVの中で最も重要であるのがIである。硬い玉鋼を鍛錬する日本刀の鍛造と異なり、火縄銃は3次元的な加工のため柔らかい軟鉄を材料に用いるが、発射の衝撃に耐える銃身の強度と細部の加工精度の確保を両立させることが不可欠である。

CG映像の制作に際し、工程Iに関して、CGで表現すべき具体的な鍛造作業の工程を以下のa～fの通り決定した。

#### a. 鍛造による銃身の成形（うどん張り）

軟鉄の板材（瓦金）に心金を当て、それを中心に筒状に変形させて合わせ目を鍛接する。

#### b. 葛巻（かずらまき）による銃身の強化

銃身の筒に短冊状の軟鉄の薄板を巻き付けて鍛接し強度を増す。

#### c. 銃身内側の研磨

銃身を作業台で固定し、研磨器具「もみしの」を用いて銃身内部を研磨する。

#### d. 銃身外部の仕上げ

円筒の外部を削り、8角形に仕上げる。

#### e. 火皿や照準器の取り付け

火皿や照準器は、沸かし付け（溶着）を行うか銃身に溝を形成してはめ込む。

## f. 尾栓ねじ穴（雌ねじ）の制作

銃身の最底端は取り外し可能なねじとなっており、雌ねじを切る工程が必須である。

図1に長浜城博物館特別展の図録<sup>(9)</sup>に掲載された銃身の鍛造工程のイラスト画を示す。これらは、上述の江戸後期の鉄砲製造の書物の挿絵を基に描かれており、a、b、eの工程が図示されている。

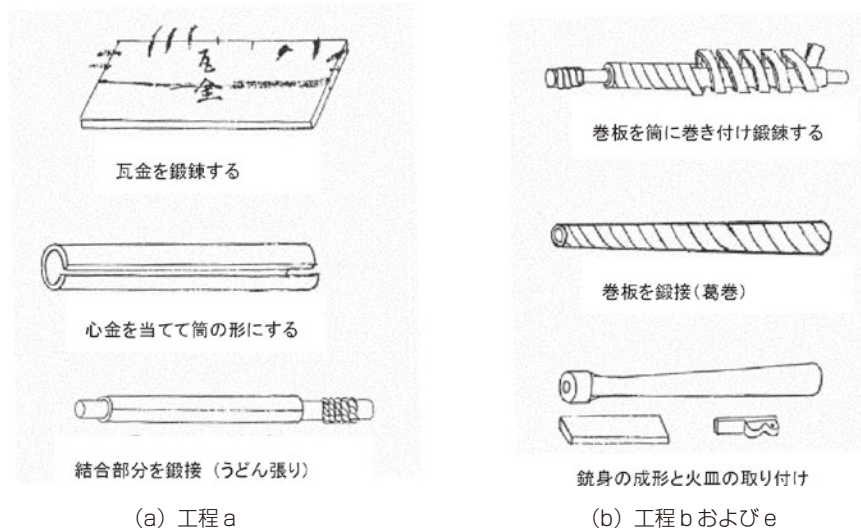


図1 銃身の鍛造工程（長浜城博物館特別展「国友鉄砲鍛冶—その世界—」図録<sup>(9)</sup> p.46掲載の図を改編して使用）

ここで、工程fの尾栓ねじ穴の制作に関しては、秘伝書にも書かれておらず、方法が明らかになっていない。雄ねじの制作は金属の円筒をらせん状に削ってねじ山を形成するが、問題は銃身の内側に切られた雌ねじの形成方法である。熱間鍛造もしくはタップによる切削加工で製造されていたと考えられている<sup>(13)(14)</sup>。前者は、雄ねじを熱せられた銃身に挿入して銃身を外から叩くことによって雌ねじの跡を内側に形成する方法であり、後者は、現代の雌ネジ製造と同様にタップ工具を使って内側の溝を切削加工で形成する方法である。またさらに、熱間鍛造時に雄ねじを回して出し入れることにより深い溝を形成したという説もある<sup>(15)</sup>。今回は、前者の熱間鍛造による製法をCG化することにした。

工程bの葛巻であるが、図1(b)に示された長い薄板を銃身に巻きながら鍛造する時のイメージが描き難いために、今回は、細い銃心を製作する時の方法をCG化した。すなわち、先に円筒形に巻いた薄板を熱しておき、銃心にはめて締めた後、鍛接する方法である。この方法は、模造銃の銃身の鍛造シーンを収録した映像<sup>(15)</sup>でも採用されている。

## 3. CG映像の制作

### 3.1 火縄銃のモデリング

火縄銃の3Dモデルは、堺市所有の小口径の火縄銃（全長：123.4cm，銃身長：90.4cm，口径：1.2cm，銘文：「摂弼住 井上関右衛門 作」、製造時期は江戸後期と推定される）を元に制作した。堺市より実物を借り受け、3Dスキャナによって、銃身、台木、からくりの部品の3次元点群デー

タと色情報を取得した<sup>(16)</sup>。得られた点群データをメッシュデータに変換することにより、CGモデルを生成することが可能であるが、3Dスキャナで取得したデータはノイズが多く、データ容量が大きいため、これをテンプレートに用いて3次元CGソフト3ds Maxにより新たに形状を作成した。また、質感データに関しても、一眼レフカメラを用いて各パーツの画像を撮影し、テクスチャデータとして用いた。図2にモデルにした火縄銃の写真を示す。



図2 モデルとなった火縄銃の写真（堺市所有）

### 3.2 レンダリング

前節で述べた銃身の鍛造工程a～fおよび、火縄銃の製造工程Ⅳの銃身・台木・からくりの組み立てまでを制作した。制作した動画の代表的なシーンを図3～10に示す。



図3 工程a：鍛造による銃身の成形



図4 工程b：葛巻による銃身の強化

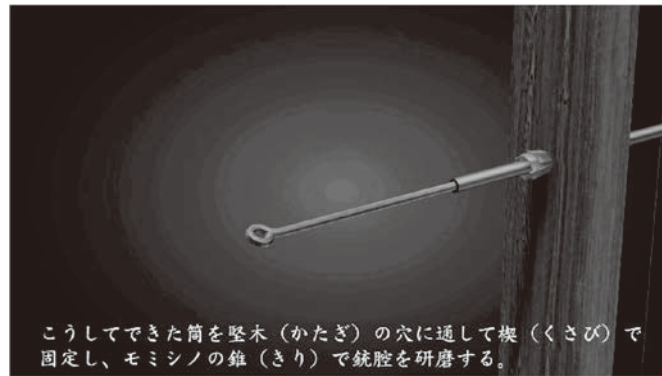


図5 工程c：銃身の内部の研磨

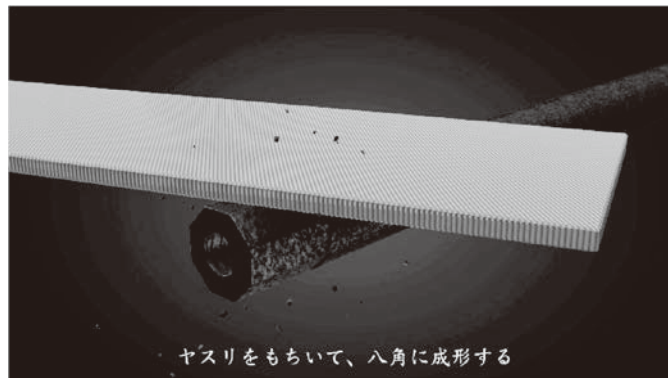


図6 工程d：銃身の外形の仕上げ

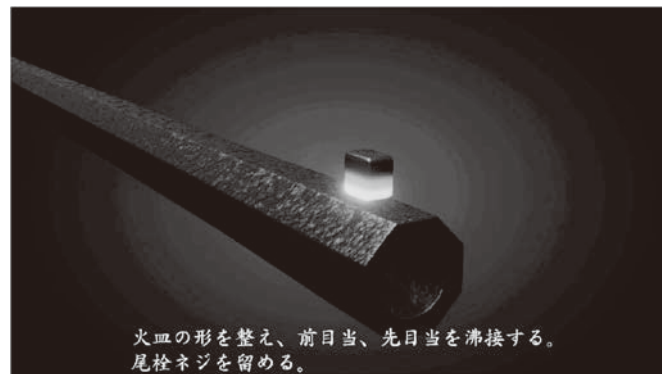


図7 工程e：火皿や照準器の取り付け

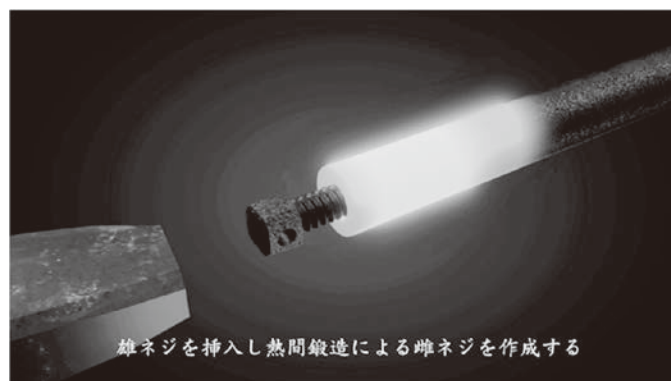


図8 工程f：尾栓ねじ穴の制作



図9 製造工程Ⅳ：銃身、台木、からくりの組み立て



図10 完成品の提示

## 4. 映像編集

各シーンのビデオクリップを編集して映像を制作した。映像の全長は2分46秒であった。各工程を説明する字幕を提示した。また、フリーの音源を使ってBGMを追加した。ハンマーで銃身を打つ鍛造音や加工の切削音は、今回はWebサイトのフリー音源を用い、CGの映像に同期させて再生されるように編集した。効果音によって、CG映像のリアリティがさらに向上し、火縄銃制作の各工程の把握がより容易となった。

## 5. 今後の制作の方向

### 5.1 試作したCG映像の問題点

今回制作したCG映像を、2022年10月23日に実施された堺市— 関西大学主催の「堺鉄炮鍛冶屋敷ミュージアムシンポジウム『よみがえる鉄炮鍛冶屋敷— 鍛冶技術の変遷を辿る —』」<sup>(3)</sup>において公表した。当日は、著者が「CGで描く火縄銃」と題して講演し、パネルディスカッション「鍛冶技術の中の火縄銃」および会場での討論を通じて、参加者からの意見を求めた。また、シンポジウム以降には、火縄銃研究の有識者を訪問して、CG動画に対する意見を求めた。その結果、以下の点についての指摘を受けた。

## (1) 工程 b

本ビデオの葛巻の方法は、細い銃身の小型の銃を作るときの方法であり、モデルとした火縄銃程度の大きさの場合には、秘伝書（図1）に描かれた長い軟鉄の帯を直接銃心に巻いて鍛造したのではないか。

## (2) 工程 c

もみしによる銃身内面の研磨は、もみしのと銃口の間に薄い竹を挟んでスペースを調節して内面を磨いていた。やすりで削るというよりも研磨するというイメージ。使用中の銃に対しても内面は常に研磨されており、鏡面状に仕上げられた状態であった。

## (3) 工程 d

銃身の円筒を八角形に成形するには、やすりによる研磨ではなく、刃物によって切削した可能性がある。軟鉄は柔らかいので刃物で削ることが出来る。

## (4) 工程 e

照準器や火皿などは、銃身に切り欠きを作り、そこにはめ込んだものもある。実物の状態を観察して検討すべきである。

## (5) 工程 f

尾栓ねじは、鍛造ではなくタップを使って加工されたのではないか。鍛造での制作では十分な深さの雌ネジの山が出来ない。また、雄ネジを入れた状態で叩くと銃身が割れてしまう場合がある。江戸時代には、雌ネジを切るタップが存在しており、井上家でも使われていたのではないか。

## (6) 組み立てと完成品に関して

からくりのメカニズムのCG化は可能か。発射の時の内部のメカニズムに関してもCGを使うと分かり易いのではないか。

## 5.2 CG映像の改編

指摘を受けた事項の内、工程bの葛巻の方法と工程fの雌ねじ形成に関しては、再度文献を調査して、井上家で行われていた可能性の高い方法に変える予定である。また、工程dの銃身の外形の成型と工程eの照準器や火皿の接着方法に関しても実物の火縄銃を元にして製造方法を確認する。実際に、銃身の外形に関しては、銃口が太くなっており、やすりで均一に削っているのではないことが分かる。照準器と火皿の主な部分は沸かし付けと考えられるが、火皿の一部は切り欠きにはめ込みの部品が使われている。これらの加工方法に関しては、堺市内の鍛造家にも意見を伺う予定である。

完成後の火縄銃の発射シーンに関しては、空砲ではあるが、2022年10月16日に行われた堺祭の火縄銃発射実演の収録を行った。それに基づく、発射音、煙、衝撃などに加えて、内部のメカニズムとして、からくりの動作、玉薬（発射用火薬）と玉込め、火縄から口薬（火皿に盛る火薬）に着火、玉薬が爆発して玉が発射される仕組みを3次元CGで分かり易く表示することとした。

映像制作は、2023年度前半まで継続した後、完成版をWebサイトを通じて公開する予定である。

## 6. まとめ

3次元CGを用いて火縄銃製造工程を可視化するための検討内容と経過について述べた。各地の火縄銃製造拠点における製造方法に関する文献を基に、火縄銃の製造工程を4工程、銃身の鍛造工

程を6工程に分類し、それを元にCG映像の試作を行った。また、制作した映像を公開して有識者らに意見を求め、今後のCG制作に向けた指針を得た。今回明らかになった問題点を中心にCG映像を改編して考証の精度を上げていく。本映像は2023年度にオープンする（仮称）堺鉄砲鍛冶屋敷ミュージアムの紹介映像の一部にも使用される予定であり、3次元CGによる分かり易い情報表現を検討したいと考えている。

## 謝辞

本研究は、2021年度および2022年度関西大学なにわ大阪研究センター基幹研究班において、研究テーマ「鉄砲鍛冶屋敷井上関右衛門家に関する堺市との共同調査に基づく鉄砲ならびに「モノ作り」に関する研究」として研究費を受け、その成果を公表するものである。

本研究を進めるにあたって、火縄銃の貸与と情報提供、シンポジウムの開催や資料調査等でご支援を頂いた、井上俊二氏、堺市文化財課の関係者の皆様、CG映像に対し貴重なご意見を賜った火縄銃研究者と地域や関係機関の有識者の皆様に感謝の意を表す。また、CG制作を通して研究にご協力頂く関西大学非常勤講師・PIXTOPE 郷原啓二氏に厚く御礼を申し上げる。

## 参考文献

- (1) 澤田平：井上関右衛門鍛冶屋敷，堺鉄砲研究，No. 11, pp.86-94, 1983-4.
- (2) 堺市・関西大学，堺鉄砲鍛冶屋敷井上関右衛門家資料調査報告書一蔵のとびらを開いてみればー，2019-3.
- (3) 堺市・関西大学，堺鉄砲鍛冶屋敷ミュージアムシンポジウム「よみがえる鉄砲鍛冶屋敷ー鍛冶技術の変遷を辿るー」（2022.10.23, 関西大学千里山キャンパス）  
〈<http://www.kansai-u.ac.jp/naniwa-osaka/>〉「お知らせ（2022.8.22）」
- (4) 宇田川武久：鉄砲伝来ー兵器が語る近世の誕生ー，講談社，2013-5.
- (5) 霜禮次郎：和銃の歴史ー鉄砲伝来からオリンピックまでー，文芸社，2019-12.
- (6) 宇田川武久編：日本銃砲の歴史と技術，雄山閣，2013-9.
- (7) 所莊吉：火縄銃（普及版），株式会社雄山閣1964-12.
- (8) 所莊吉：図解 古銃事典（普及版），株式会社雄山閣1971-2.
- (9) 長浜市立長浜城博物館編：江戸時代の科学技術ー国友一貫斎から広がる技術ー，サンライズ出版，2003-10.
- (10) 広瀬一實：銃床製作の掟，国友鉄砲研究会，1991-6.
- (11) 長浜市立長浜城博物館編：特別展「国友鉄砲鍛冶ーその世界ー」改訂版（図録），私立長浜城博物館，1991-3.
- (12) 有馬成甫：一貫斎国友藤兵衛伝，武蔵野書院，1932-3.
- (13) 中江秀雄，峯田元治：火縄銃の造り方 金属組織による解析，素形材，No. 59, p. 44, 2018-3.
- (14) 中江秀雄：日本の大砲とその歴史，雄山閣，2022-7.
- (15) 澤田平監修・出演，火縄銃が語る！戦国ハイテク革命（TBS 番組）堺鉄砲研究会所蔵 DVD.
- (16) 坂口和弥，林武文：火縄銃の3次元デジタルアーカイブの構築とコンテンツ開発に関する検討，関西大学なにわ大阪研究，Vol. 4, pp.39-50, 2022-3.

（はやし たけふみ 関西大学総合情報学部教授）