

# 火縄銃への理解を深めるための MR インタフェース

宋文澤<sup>†1</sup> 林武文<sup>†1</sup>

**概要:** 本研究では、市販の HMD とコントローラを用いて、火縄銃の触覚を保ちながら複合現実(MR) 空間で体験できるユーザインタフェースを提案した。3DCG モデルと実物のレプリカを組み合わせ、ユーザが火縄銃を手に持ちながらその構造や点火機構を直感的に理解できるシステムを開発した。本システムは 2024 年 10 月 12 日に開催された講演会でのアンケート結果から、有効性が示唆された。

## 1. はじめに

3DCG やモデリング技術の発展によって、複雑な構造を持つ部品の再現が容易になってきた。これは博物館や美術館においても、文化財の構造を理解させるのに役立つ。例えば、本研究の対象である火縄銃[1]はその一例である。

火縄銃は、日本における初期の火器であり、16 世紀に種子島に漂着したポルトガル人から伝来した。火縄を点火源として銃身内の火薬を発火させ、弾丸を発射する構造である。その機構は比較的シンプルであるが、当時の戦術や社会に大きな影響を与えた。火縄銃の構造を詳細に再現することで、その技術的特徴や歴史的背景を深く理解することが可能である。林らは時代考証に基づき火縄銃を 3D 造形し、その作製方法、構造、点火の仕組みまでを 3DCG による AR コンテンツ[2]や解説動画[3]で明示した。

一方、3DCG や AR のみを用いる場合、触覚の欠如により質感や重量感の再現が難しく、実物の持つ感覚的な情報を十分に伝えることができないという課題がある。本研究では、市販のヘッドマウントディスプレイ (HMD) とコントローラを用いて、火縄銃の触覚を保ちながら複合現実 (MR) で体験できる革新的なユーザインタフェースを提案する。本稿では、火縄銃への理解を深めるために、提案したインタフェースの構造や実現方法、および体験者からの一部の評価について詳述する。

## 2. ユーザインタフェース

本研究では、既存のデジタル化された火縄銃モデルを活用し、実際の火縄銃レプリカを手に持ちながら、MR 空間で 3DCG モデルと同期させるインタフェースを開発した。

その実現方法は図 1 のように示す。まず、ブーリアン演算を用いて、(1)火縄銃の銃床の 3DCG モデルから (2)Meta Quest 2 のコントローラの 3DCG モデルを差し引くことで、(3)コントローラの形状に合わせた凹みを持つ銃床の 3D モデルを作成した。次に、このモデルを 3D プリンタで出力し、図 2 のように、コントローラが銃床の凹部に正確に嵌合するようにした。最後に、バーチャル空間で火縄銃モデ

ルとコントローラの相対位置を計算することで、MR 環境内で火縄銃を再現することが可能となった。

さらに、Meta Quest 2 と Meta Quest 3 のコントローラの手握り部分の形状が完全に一致しているため、本研究で設計した銃床は、Meta Quest 2 のコントローラを用いて差分演算により制作されたものの、Meta Quest 3 にも同様に嵌め込むことが可能である。本研究では、より新しく、ビデオアシスル対応の Meta Quest 3 を用いてコンテンツの開発を行った。

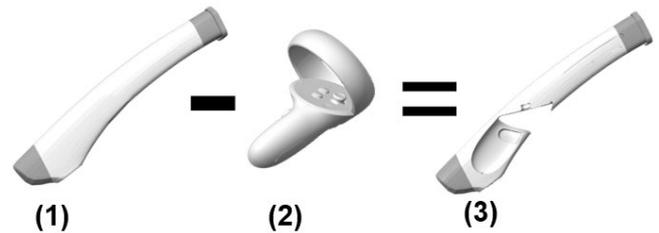


図 1. 火縄銃のインタフェース



図 2. インタフェースの使用時の様子

## 3. 点火装置への理解支援

火縄銃の点火装置の仕組みは図 3 に示す。通常の状態では、③火ばさみは②盗人金 (シア) に引っかけられ、移動できない状態に保持されている。この状態では、火ばさみは火縄を保持したまま火薬に接触していない。

点火を行う際には、①引き金が引かれるとともに②盗人金 (シア) が左右に移動する。この動作により、③火ばさみの動きを制限していた盗人金の先端が火ばさみから

<sup>†1</sup> 関西大学

外れる。これによって、火縄を保持している火ばさみが解放され、火皿へと落下し、火縄が火皿の火薬に触れることで点火が完了する仕組みである。この構造によって、火縄銃の発射が可能となっている。

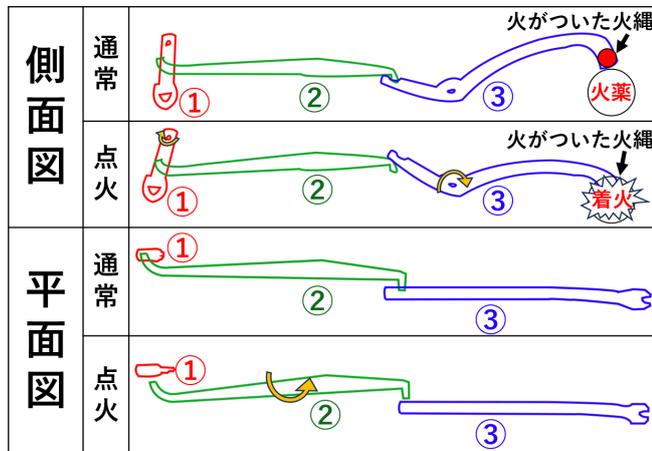


図 3. 火縄銃の点火装置の仕組み

本研究では、火縄銃の点火時の仕組みをより直感的に理解できるように、2章で紹介したインタフェースを活用し、インタラク션을導入した。具体的には、ユーザがコントローラのトリガーを押すと、MR空間内でハイライト表示された引き金、盗人金、火ばさみが、コントローラの押し込み具合に応じて位置が変化するものである。

トリガーを離れた状態では「通常」の状態を示し、トリガーを徐々に押し込むと、MR空間内の引き金がコントローラの角度に合わせて動く。同時に、盗人金と火ばさみも段階的に変化し、点火時の状態へ移行する様子が視覚的に示されるよう設計されている。

この動きは線形補間(式(1))によって実現した。図4のように、本プログラムでは引き金、盗人金、火ばさみの各部品について、通常状態と点火状態の回転角度をあらかじめ設定している。次に、コントローラのトリガーの押し込み度合いを検知し、それを0から1の範囲の変数 $t$ として表現する。トリガーが完全に押し込まれた場合、 $t=1$ 、完全に離された場合は $t=0$ となる。最後に、システムは $t$ の値に応じて引き金、盗人金、火ばさみの回転角度を調整する( $t=0$ の場合は通常状態、 $t=1$ の場合は点火状態の回転角度となる)。本研究では、線形補間を実現するために、開発ツールUnityのQuaternion.Lerp関数を使用した。

$$q_{lerp} = \frac{(1-t) \cdot q_1 + t \cdot q_2}{\| (1-t) \cdot q_1 + t \cdot q_2 \|} \quad (1)$$

( $q_1$ : 初期回転,  $q_2$ : 目標回転,  $t$ : 補間パラメータ)



図 4. インタラクション構成図

#### 4. 評価

本研究のコンテンツは2024年10月12日に開催された鉄砲鍛冶屋敷講演会「堺と国友」[4]で展示され、コンテンツの体験者からアンケートを20件回収した。その結果、70代以上の体験者が6割以上を占めるにもかかわらず、「点火装置の理解支援のインタラクションは良かったか」についての5段階評価で、全員が4以上の評価を与えた(評価は大きいほど良い)。これは、本提案のインタフェースが有効であることを示唆している。

#### 5. おわりに

本研究では、市販のHMDとコントローラを用いて、火縄銃の触覚を保ちながらMR空間で体験できる革新的なユーザインタフェースを提案する。具体的には、3DCGモデルコントローラを組み合わせ、ユーザが火縄銃を手に持ちながら、その構造や点火機構を直感的に理解できるシステムを開発した。また、展示で積極的な評価を受け、システムの有効性が示された。

ただし、本実験の被験者数は少なく、さらなる検証が必要である。また、本研究で提案したインタフェースを、より完成度の高いMRシアターに応用し、体験者にストーリーな体験を提供することは今後の課題となる。

**謝辞** 本研究は、関西大学なにわ大阪研究センター特別研究費および関西大学と堺市の連携事業費による支援を受けました。コントローラを銃床に組み込むアイデアをご教示いただいた研究室OBの坂口和弥氏に感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] “慶長大火縄銃 堺市”, <https://www.city.sakai.lg.jp/kanko/rekishi/bunkazai/bunkazai/shokai/bunya/kougeihin/keichohinawaju.html> (2024/10/29)
- [2] 林武文, 石田考毅, 青木唯, 郷原啓二, 「火縄銃製作過程の可視化とARコンテンツの開発」, 電気学会 電子・情報・システム部門 知覚情報研究会資料, No.PI-23(90), pp.37-42 (2023)
- [3] 林武文: 「3次元CGによる火縄銃制作の可視化」, なにわ大阪研究, Vol.6, No.1, pp.1-13 (2024)
- [4] 堺市: 令和6年度堺市と関西大学との地域連携事業 鉄砲鍛冶屋敷講演会「堺と国友」受け継がれる鉄砲鍛冶の歴史」の開催について堺市, <https://www.city.sakai.lg.jp/kanko/rekishi/bunkazai/bunkazai/oshirase/teppoukajilecture2024.html> (2024/11/24)