



MR 火縄銃：幅広い年齢層向けの体験型理解支援システム

Mixed Reality Matchlock: An Interactive Understanding Support System for a Wide Range of Age

宋文澤, 林武文

Wenze SONG, Takefumi HAYASHI

関西大学 総合情報学研究科 (〒569-1052 大阪府高槻市霊仙寺町 2 丁目 1-1, haya@kansai-u.ac.jp)

概要：本研究では、文化財の火縄銃を対象とし、実物レプリカの「触覚体験」と複合現実（MR）技術による「内部構造可視化」を統合した対話型システムを構築した。体験者は火縄銃のレプリカを実際に手に取りながら、内部で展開される精密な点火装置を透視的に観察し、直感的な理解を得ることができる。さらに、射的ゲーム要素の導入により娯楽性を高め、若年層を中心とした多様な利用者の学習意欲を刺激し、伝統的文化財に対する新しいアプローチ手法を提示する。

キーワード：火縄銃, 展示支援, デジタルコンテンツ, 複合現実(Mixed Reality)

1. はじめに

火縄銃[1] 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、当時の戦術や社会に大きな影響を与えた。伝来後は種子島での技術習得を経て、堺市や国友村などで本格的な国産化が進められ、戦国大名による軍事利用が拡大した。

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。火縄銃の仕組みは、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という比較的シンプルな構造であるものの、文字や図による説明では理解が困難な側面がある。この問題を解消するため、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 による解説動画[2][3] や AR コンテンツ[4] で明示した。ただし、若年層の文化財への関心が薄いため、これらの説明が幅広い年齢層に受け入れられないという課題がある。そのため本研究では、過去の研究成果を踏まえつつ、より分かりやすいユーザインタフェースと若年層を惹きつけるゲーム性の実現を目的とする。

2. 体験の設計

本研究では Meta Quest 3 を使用し、ヘッドセットの使用経験がない体験者でも体験に没入できるよう、パススルーモードを採用して体験中も現実世界の景色を見ることができるようにした。体験者は図 1 に示すように、3D プリンタで製作した火縄銃モデルの銃床に組み込まれた右手用コントローラを握って操作する。このモデルの製作方法は、モデリングソフトウェアで火縄銃モデルとコントローラの形状を差し引いて作成したものである。バーチャル空間

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。



図 1.体験用のレプリカ



図 2.コントローラの位置

一方で、このようなレプリカを使用した結果、コントローラが遮蔽される範囲は図 2 の赤色部分に示すように、これはユーザインタフェースを制作する際に、ジョイスティックとトリガーボタン以外に選択肢がないことを意味す

る。

本システムの開発では、以下の目標を設定した。

- 1. ユーザ操作では右手コントローラのジョイスティックとトリガーのみ使用可能
- 2. 体験者が火縄銃の構造を直感的に感じられるようにする
- 3. 体験者が火縄銃の発砲時の点火方法を直感的に感じられるようにする
- 4. 火縄銃に興味のない人でもシステム内で楽しさを感じられるようにする

上記の 1 に基づき、開発時にはジョイスティックの上移動、下移動、垂直押下、トリガー押下の 4 つの操作のみを使用した。使用可能なボタンの中でも体験者がユーザインタフェースに慣れやすくなるよう配慮した。上記の 2 に基づき、本システムでは体験者が火縄銃の構造を分解し、各部品の名称を表示できる機能を制作した。上記の 3 に基づき、システムではトリガーを押下すると同時に、ハイライトされた発砲に関わる部品もトリガーの動きに連動するように設計した。上記の 4 に基づき、システムに射的ゲームを追加し、火縄銃には興味がないが XR ゲームを好む体験者をより多く惹きつけることとした。

3. システム開発

3.1 パーツの展開とパーツ名の表示

本システムでは既存研究で制作された火縄銃の CG モデルを使用した。このモデルは実物の火縄銃を 3D スキャンし、それを参考に制作されたものである。火縄銃の全長は約 123cm であり、銃身、銃床、火縄挟み、火皿、引き金等の部品から構成される。

体験者が HMD を装着してコントローラを握ると、図 3(a)に示すような完全な火縄銃モデルが手中に現れる。ジョイスティックを上方向に操作すると、図 3(b)のように各部品がゆっくりと分解展開し、下方向に操作すると部品が元の位置に戻って完全な火縄銃の形状に復元される。また、ジョイスティックを垂直に押下すると図 3(c)のように主要部品の名称が表示され、再度押下することで名称表示が消える。部品名が表示されている間に分解・復元操作を行

うと、各部品名はそれぞれの部品と一緒に移動する。

3.2 点火装置

火縄銃の点火装置は図 4 に示すような仕組みである。通常状態では、③火ばさみが②盗人金（シア）に引っかけられており、動かない状態で保持されている。この時、火ばさみは火縄を挟んだまま火薬から離れた位置にある。

発射時には①引き金を引くことで②盗人金（シア）が左右に移動し、③火ばさみを固定していた盗人金の先端部が外れる。これにより火ばさみが解放されて火皿に向かって落下し、火縄が火皿内の火薬に接触して点火される。

本研究では、この点火の仕組みをより直感的に理解できるように、コントローラのトリガーボタンと連動するインタラクションを実装した。ユーザがトリガーを操作すると、MR 空間内でハイライト表示された引き金、盗人金、火ばさみがトリガーの押し込み量に応じて動作する。

トリガーを離している状態では通常的位置を示し、徐々に押し込むと MR 空間内の引き金がコントローラの動きに合わせて作動する。同時に盗人金と火ばさみも段階的に移動し、点火に至るまでの一連の動作が視覚的に再現される。

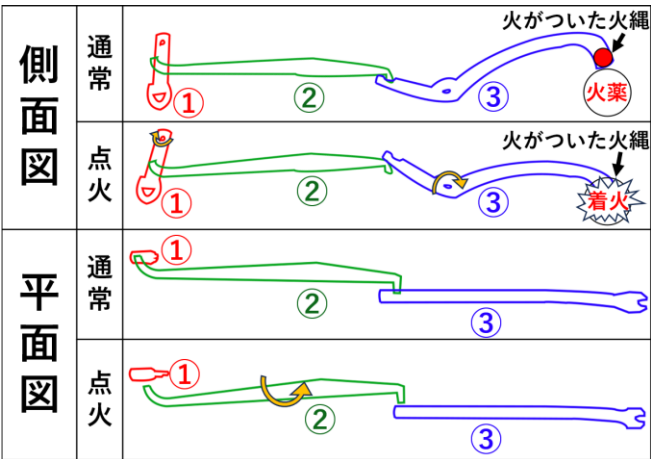
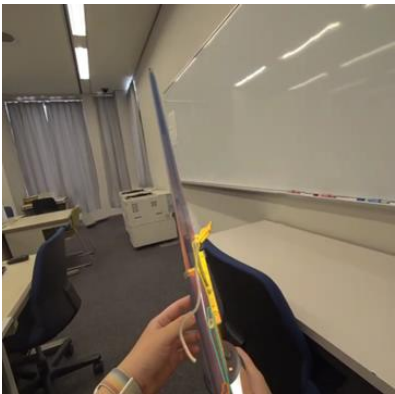
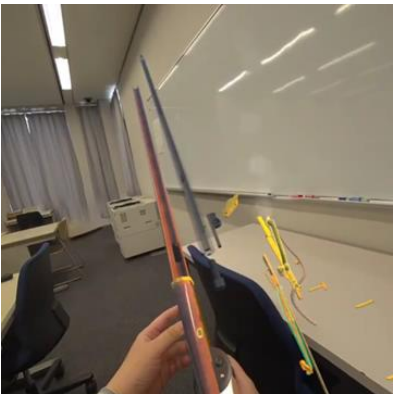


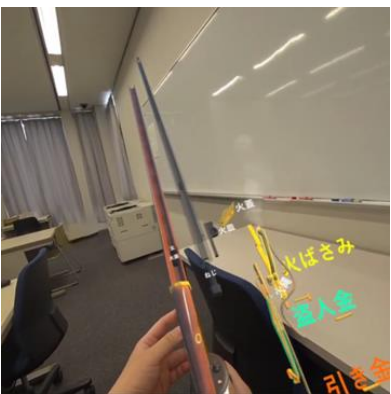
図 4.点火装置の仕組み



(a) 結合した火縄銃



(b) 分解された火縄銃

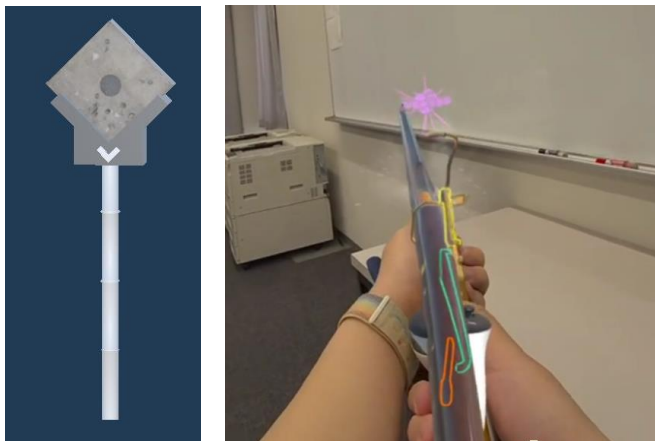


(c) パーツ名の表示

図 3.火縄銃のモデルとパーツ

3.3 エンターテインメント性の考慮

火縄銃に関心がないがXRやゲームに興味を持つ体験者を惹きつけるため、本研究ではトリガーを完全に押下した際に火縄銃が発砲し、音響効果と煙の視覚効果とともに弾丸が射出される機能を実装した。体験開始時には、歴史的原型に基づいてモデリングされた標的（図5(a)）が、3つランダムに生成される。体験者が発射した弾丸が標的に命中すると、標的が消失するとともにパーティクルアニメーションが再生される（図5(b)）。本システムでは、Unity 公式の Asset Store[5] から取得した有料アセットを用いて163種類の異なるパーティクルアニメーションを使用して、標的への命中時に完全にランダムな視覚効果が発生することで体験者の新鮮感を向上させている。3つの標的がすべて撃破された後は、体験者の視野範囲内に新たな標的が3つランダム生成され、継続的な体験が可能となっている。



(a) 標的

(b) 撃破された標的とパーティクル効果

図5.射的ゲーム

4. 評価の計画

本研究では、開発したMR火縄銃システムの有効性を検証するため、添付のアンケートを用いた評価実験を実施する予定である。

評価対象者は小学生から70代以上の幅広い年齢層とし、特に若年層への教育効果を重点的に検証する。また、火縄銃に関する事前知識レベル（「全く知らない」から「よく知っている」までの4段階）の違いが体験効果に与える影響についても分析する。

アンケートでは、システムのユーザビリティ（操作のわかりやすさ、VR酔いの有無、体験時間の適切性）、各機能の有効性（パーツ分解・合成、名称表示、点火装置観察、射的ゲーム）について5段階評価で測定する。さらに、火縄銃の構造や仕組みに対する理解の深化、最も印象に残った機能、システムの改善点について調査する。

収集したデータに基づき、年齢層別・事前知識レベル別の比較分析を実施し、どの層に対してより効果的であるかを定量的に評価する。また、自由記述の内容分析により、システムの改善点を抽出し、今後の開発方向性を明確化する。

る。

5. おわりに

本研究では、若年層の文化財への関心向上を目的として、火縄銃の構造と仕組みを直感的に学習できるMRシステムを開発した。Meta Quest 3 のパススルーモードを活用し、3Dプリンタで製作した火縄銃レプリカにコントローラを組み込むことで、現実感のあるMR体験環境を構築した。

開発したシステムでは、限られた操作方法（ジョイスティックとトリガーのみ）という制約の中で、火縄銃の分解・合成機能、部品名表示機能、点火装置の動作観察機能を実現した。さらに、射的ゲーム機能を追加することで、火縄銃に興味のない体験者でも楽しめるエンターテインメント性を確保した。特に、トリガー操作と連動した点火装置の動作再現により、従来の文字や図による説明では理解困難な発射の仕組みを視覚的かつ体感的に学習できるようにした。

本研究は、デジタル技術を活用した文化財教育の新たな可能性を示すものである。従来の博物館展示や教科書による静的な学習から、MR技術による動的で体験型の学習へのパラダイムシフトを提案している。このようなアプローチは、デジタルネイティブ世代の学習スタイルに適合し、歴史や文化に対する理解と関心を効果的に促進することが期待される。

今後は、計画した評価実験を通じて本システムの教育効果とユーザビリティを定量的に検証し、年齢層や事前知識レベルによる効果の違いを明らかにする予定である。また、評価結果に基づいてシステムの改良を行い、より効果的な文化財教育ツールとしての完成度を高めていく。

本研究の成果は、火縄銃以外の文化財や歴史的資料にも応用可能であり、MR技術を活用した新たな文化財普及手法の確立に貢献することが期待される。将来的には、博物館や教育機関での実用化を目指し、世界の豊かな文化遺産を次世代に継承するための革新的な教育ツールとして発展させていきたい。

謝辞 本研究は、関西大学ならびに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] 鹿 児 島 県 : 鉄 砲 伝 来 , <https://www.pref.kagoshima.jp/aa02/pr/gaiyou/itiban/hatu/teppo.html> (2025/7/3)
- [2] 林武文, 3次元CGによる火縄銃制作の可視化, 関西大学ならびに大阪研究センター紀要「なにわ大阪研究」, pp.1-14 (2024)
- [3] なにわ大阪研究センター: 「CG でよみがえる火縄銃の製造と発射のしくみ」(CG映像), https://cdn.ideacollab.org/public/matchlock_video/

(2025/7/3)

- [4] 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)
- [5] ゲーム制作に最適なアセット | Unity Asset Store: <https://assetstore.unity.com/> (2025/7/3)