



ボクシングにおけるアバターを用いた 自己投射型トレーニングシステムの提案

中村 壮一¹⁾, Cheymol Antonin¹⁾, 脇坂 崇平¹⁾, 南澤 孝太¹⁾

Soichi NAKAMURA¹⁾, Cheymol Antonin¹⁾, Sohei WAKISAKA¹⁾, Kouta MINAMIZAWA¹⁾

1) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

(〒 223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, soichi.nakamura, antonin.cheymol, wakisaka, kouta@kmd.keio.ac.jp)

概要: 本研究では、ボクシングに取り組む人が自己理解を深めながらトレーニングに取り組める自己学習型トレーニングシステムを提案する。従来の自己学習法では、二次元映像を見返す受動的な手法が主であり、三次元かつ能動的なトレーニングのアプローチは十分に検討されていない。本システムでは、複合現実空間にユーザーの動作を再現したアバターとトレーニングを行い、システムの有効性を検証する。

キーワード: ボクシング, 自己投射, アバター, 複合現実空間

1. はじめに

ボクシングにおけるトレーニング手法は長年、映像教材の活用や対面による指導が中心であり、動作の修正や技能習得は主に二次元的かつ受動的な方法に依存してきた。仮想現実 (VR) や複合現実 (MR) をはじめとする XR 技術の発展に伴い、三次元空間内でインタラクティブかつ能動的に取り組めるスポーツトレーニングのアプローチが多数提案されている。特にボクシングのように、全身の協調運動や反応速度、フォームの再現性などが要求される格闘技においては、XR による没入型トレーニングの応用可能性が高いと考えられる。従来の研究では、フィードバックによるパンチフォーム修正を目的とした VR トレーニングシステムが提案されている [1]。これらの多くはボクサーの動作データを「正解」として用いることにより、その動作データとユーザーの動作を比較することでフォーム改善を促す仕組みを採用している。一方で、個人のボクシングにおけるプレイスタイルや動作傾向の自己理解を促進するアプローチは限定的であり、その学習効果やトレーニングとしての有効性は十分に検討されていない。

本研究では、ユーザーの身体動作を記録し、それを複合現実空間に投影された人型アバターに再現することで、ユーザーが過去の自身と対面しながらインタラクションを行うトレーニング体験を構築する。このような体験設計は、ユーザーに自己の動作を新たな視点から捉え直す機会を提供し、従来の正解データに基づく模倣学習とは異なる、内省的かつ能動的なプレイスタイル理解の支援につながると考えられる。本稿では、このインタラクション設計がユーザーの自己理解に与える影響について、予備的に検討する。

2. 関連研究

本節では、本研究と関連する先行研究を概観し、VR/MR を活用した格闘技トレーニングにおける位置づけを明らかにする。石橋ら [1] は、パンチフォームの分類器と関節角度の誤差可視化を活用した AR ボクシングシステムを提案し、正しいフォームへの修正支援を実現している。また、Chen ら [2] による VCoach では、プロのパンチデータを学習させた分類器とリアルタイム姿勢フィードバックを組み合わせ、VR 空間におけるパーソナライズドなトレーニングの有効性を定量的に示している。さらに、Pastel ら [3] は空手の複雑な防御動作を題材に、VR トレーニングの技能習得効果を他の学習法 (ビデオ学習等) と比較し、トレーニング後の保持力を含め、VR の有効性を実証している。また、全身可視化と部分可視化 (前腕のみ) の比較を通じて、簡易な身体提示でも十分な学習効果が得られる可能性が示唆されている。Arizumi ら [4] の「I vs. Me」では、本研究と同様に、過去の自分と戦う構造を通じて、自身の運動記憶の曖昧さと向き合う体験が設計されており、記憶と身体感覚のギャップに基づく新たな認知刺激を誘発している。

以上の先行研究は、VR/MR 技術が格闘技技能の学習支援において高い有用性が示されている。しかしながら、Arizumi ら [4] の研究を除き、多くの手法は「正解」とされる理想的な動作や熟練者の動作を基準とし、それらの模倣や修正を促すことを目的として設計されている。

本研究では、従来の他者の動作を基準としたような、模倣や修正型のトレーニング手法とは異なり、複合現実空間にユーザー自身の過去の動作をアバターで再現し、それをユーザーの正面に配置して対峙させることで、自己のプレイスタイルへの理解や内省を促進するような自己投射型のインタラクションに着目する。

3. 提案手法

ユーザーの眼前またはユーザーの立ち位置に、自身の身体動作を再現した人型の 3D アバターを配置する。本稿では簡便のため、このアバターを「自己投射アバター」と呼ぶこととする。自己投射アバターは、過去にユーザーが記録したボクシング動作を再生する機能を持つ。ユーザーは現時点の自分として、過去の自分と対面する。

本システムは以下の要素から構成される：

1. ユーザーの全身動作を記録（HMD のボディトラッキング機能を使用）
2. 記録データを自己投射アバターに再生し、ユーザーの眼前または立ち位置に配置
3. パンチの命中タイミングに応じて、コントローラーやハプティックベストにより触覚フィードバックを提示
4. 過去の自身と対話的に「対戦」することで、プレイスタイルへの内省を促進

このような設計は、攻撃と被攻撃の双方が同一人物（ユーザー自身）であるという特徴を持ち、ユーザーに自己動作への同一性や再認識を促す可能性があると考ええる。本手法は、正解動作との比較による修正型トレーニングとは異なり、内省的かつ能動的なプレイスタイル理解を支援する自己投射型のアプローチを志向している。

4. システム構成

MR 環境の構築には、HMD（Meta Quest 3）および開発環境として Unity を用いた。ユーザーの身体動作のトラッキングは HMD の内蔵カメラで処理し、そのトラッキングによって記録されたデータを Unity 上で制御する。本研究では、身体動作の記録手法をウェアラブルかつ簡便に全身のトラッキング（上肢・頭部以外は推定アルゴリズムによる）が可能であるという利点を踏まえ、HMD のフルボディトラッキング機能を採用した。触覚提示には、Meta Quest 3 Controllers, Tact Suit X40 (bHaptics) を用いた。コントローラーはユーザーが自己投射アバターに対してパンチをヒットさせた時のユーザーの手にフィードバックするため、Tact Suit X40 はユーザーがパンチを被弾した時のフィードバックを提示するために採用した。なお、パンチのヒットおよび被弾時における触覚提示を目的としており、振動刺激のバリエーションについては深く追求していない。そのため、振動提示には短時間の単発振動を用いることとした。全体のデバイスの装着図を図 1 に示す。

本システムでは、自己投射型アバターを 2 体使用する構成とした。1 体はユーザーの眼前に、もう 1 体はユーザーの実際の立ち位置に重ねて配置する。両者を識別できるよう、身体の色を変えて区別している。また、初回の動作記録時には、現実環境下で自然なパンチ動作を誘発するため、実物の人型サンドバッグを用いた。サンドバッグとアバターのイメージを図 2 に示す。

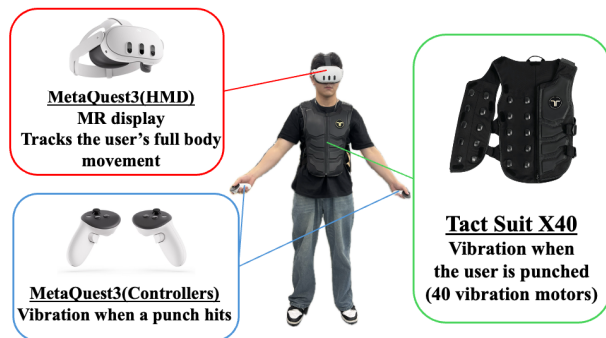


図 1: デバイス装着図

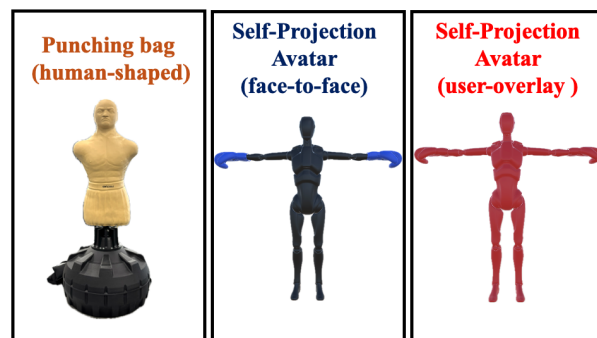


図 2: 人型サンドバッグ（左）．ユーザーと正対する黒色の自己投射アバター（中央）．ユーザーと重なる赤色の自己投射アバター（右）．

5. 予備的検討

ユーザーが自身のプレイスタイルを客観的に捉える過程で、過去の動作を再現するアバターの認知とその影響を予備的に検討した。本研究の筆者はボクシングトレーナーとしての実務経験を有しており、トレーニングセッション開始に先立ち、参加者に対して基本的なパンチ動作に関する簡易なレクチャーを実施した。その後、参加者は本システムを用いたトレーニングセッションに参加した。本セッションは軽度の身体運動を伴う内容であるため、健康状態に問題がなく、視機能に著しい障害のない成人男性 3 名を対象として実施した。参加者のうち 1 名はアマチュアボクシングの経験を有している。

5.1 トレーニングセッション

本セッションは 3 ラウンド構成で実施した。各ラウンド間は 10 秒に設定し、概要は以下の通りである。

a. Round 1（パンチ動作の記録フェーズ）：

本ラウンドでは、ユーザーの両手には仮想のボクシンググローブが表示される。ユーザーは、複合現実空間で眼前に設置されたリアルなサンドバッグに対して素手でパンチングを行う。（パンチングは、複雑化を避けるため「ジャブ→ストレートパンチ→フック」の 3 つのコンビネーションに限定する。）この際、ユーザーの全身動作を記録し、後続ラウンドで再生するためのモーションデータとして保存する。

b. Round 2（自己動作との対戦フェーズ）:

Round 1 で記録された動作を再生する黒色の自己投射アバターを、ユーザーの正面に配置する。ユーザーは両手にコントローラーを持ち、黒色の自己投射アバターのパンチを避け、相手の弱点にパンチを打つ。（本実験では、ボクシングにおける一般的な急所とされる側頭部および腹部に限定した。）このラウンドにおいても、ボクシンググローブは表示したままとし、ユーザーの動作は引き続き記録される。

c. Round 3（比較表示ありの自己動作との対戦フェーズ）:

Round 2 で記録された動作を再生する黒色の自己投射アバターを正面に配置し、ユーザーは Round1 同様に、ジャブ→ストレートパンチ→フックを行う。このラウンドでは、ユーザー側に Round 1 の動作を再現する赤色の自己投射アバターが可視化される。ユーザーは、黒色の自己投射アバター（Round 2 のユーザーの動作）に対して対戦しながら、Round 1 の自分と動作を並行して観察することで、プレイスタイルの変化や傾向を把握することが可能な構成となっている。

以上により、トレーニングセッションの構成を示した。本セッション全体の概要を図 3 に示す。

5.2 評価方法

ユーザーが過去の自身の動作を再現するアバターをどのように認知し、その体験を通じて自身の動作理解にどのような変化が生じたかを明らかにするため、インタビュー形式による主観的評価を実施した。インタビューでは、まず以下の 2 点に関する質問を行い、その後、半構造化形式の対話を通じて詳細なコメントを収集した。

1. 正面に配置された黒色の自己投射アバターに対して、自身の過去の動作として認知したか、あるいは全く別のキャラクターとして捉えたか。
2. Round 1 と比較し、Round 3 における自身のパンチの打ち方に変化を感じたか

5.3 結果

インタビューを行ったところ、以下のようなフィードバックを得た。

- 自身の動作であると感じた場面は一部に限られ、自分の動きを再現された赤色の自己投射アバターが別人のように感じられたという意見が複数あった。
- 自分の姿勢や動きを客観的に捉えるきっかけになったとの肯定的な意見があり、ラウンド構成の明快さが内省的気づきを促す要因として評価された。
- 触覚提示に関しては、「当たったかわからなかった」「もう少し明確なフィードバックが欲しい」などの意見があり、振動刺激の強調や提示方法の改善が求められた。

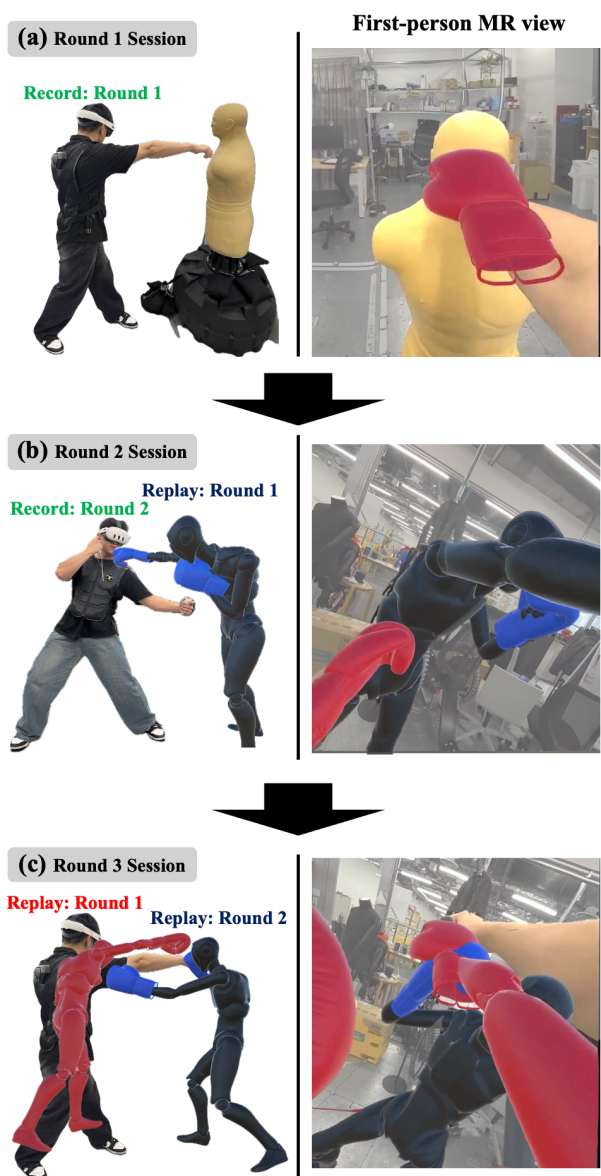


図 3: ユーザーがサンドバッグをパンチングするシーン（上部）。黒色の自己投射アバターとの対戦のシーン（中部）。黒色の自己投射アバターとの対戦及び、赤い自己投射アバターが Round1 の動作をリプレイするシーン（下部）。

- 赤色の自己投射アバターの表示方法については、「透過していたほうがよい」「ガイドのように見えて混乱した」といった意見があり、視覚的な設計の改善が求められた。
- Round 1 において、パンチが物理的に伝わる感覚が得られた点に対しては特に好意的な反応があり、現実との接続を感じられる体験として評価された。
- 自身の動作を再現し、それを比較するプロセスを含んだ構成であったことから、ユーザーは自身の動きに対する理解を深める機会として、積極的かつ意欲的に取り組むことができたとの意見が得られた。

6. 考察と今後の展望

前節のフィードバックから、本システムにおいて過去の自己との対戦体験は、ユーザーの身体動作やプレイスタイルに対する内省的気づきを促す有効な手法であることが示唆された。特に、ラウンド構成の明快さや、試行錯誤を通じた学習体験への肯定的な評価は、本システムがユーザーの主体的な動作理解を支援する可能性を示している。また、物理的な殴打感や実在物とのインタラクションに対する肯定的な反応は、没入感の向上や現実世界との接続性の重要性を示しており、今後の身体提示デザインの参考となる知見を提供している。一方で、アバターの動作が自身のものとして認識されにくい、もしくは記憶と一致しないとの報告もあり、動作の再現性やユーザーとの一貫性に関する認知的課題が存在する。一部のユーザーからは、過去の動作を再現する赤色の自己投射アバターに対して、「ガイドのように見えた」「他人のように認識した」といった反応を示す場面も観察された。この現象は、ユーザーの身体運動に関する記憶や認知が必ずしも明確でなく、視覚情報に依存した動作認識が自己同一性の知覚に強く影響していることを示唆している。また、攻撃者と被攻撃者の双方が同一人物であるという対話構造の中で、ユーザーはアバターに対して通常他者に向けるような反応を示す一方で、その動作が自身の過去のものであることから自己と他者の境界が揺らぐような感覚を引き起こす可能性がある。このような自己と他者の同一化・乖離の知覚的構造は、ユーザーが自己の動作を新たな視点で捉え直す契機となりうる。したがって、本システムは、従来の正解データとの照合による模倣型トレーニングとは異なる、内省的かつ能動的な学習支援環境の実現に寄与すると期待される。触覚提示に関しては、提示タイミングや刺激の種類に対するユーザーからの不満も

寄せられており、今後は運動知覚との整合性を高めるようなフィードバック設計が求められる。

今後の展望としては、ユーザーの自己理解をさらに促進するために、三人称視点において過去の自分と現在の自分が対戦する様子を客観的に観察できるインタラクションの設計が挙げられる。これにより、プレイスタイルやフォームの変化を第三者的視点から比較・評価することが可能となる。さらに、過去の自身の動作再生中に、意図的にダミー動作（例：ランダムな動作パターンや別人のモーション）を部分的に挿入することで、ユーザーがどの程度自らの動作を識別できるか、および自己同一性の感覚や身体的自己認識にどのような影響を与えるかを検討することが考えられる。

参考文献

- [1] 石橋賢, 藤川司, “パンチフォームの自主練習を目的とした AR ボクシングシステム,” 芸術科学会論文誌, vol. 21, no. 1, pp. 1–10, 2022.
- [2] Chang, J., Shin, H., Lee, G., Kim, M., and Kim, G. J., “VCoach: Enabling Personalized Boxing Training in Virtual Reality,” in *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, pp. 182–183, 2020.
- [3] Pastel, S., Petri, K., Chen, C. H., et al., “Training in virtual reality enables learning of a complex sports movement,” *Virtual Reality*, vol. 27, no. 3, pp. 523–540, 2023.
- [4] 有住拓人, 秋元元気, 山下順平, He Jiting, “I vs. Me: An Adversarial Interaction with Your Past Self,” *SIGGRAPH Asia 2024 Emerging Technologies*, ACM, pp. 1–2, 2024.