

馬アバタ走行体験のための 手を用いたVR ロコモーションシステム

岸野 聖耀^{*1} 齋藤 智輝^{*1} 徳永 拓未^{*1} 磯江 亮太^{*1}
前田 佳澄^{*1} 中村 文彦^{*1} 柴田 史久^{*1} 木村 朝子^{*1}

A Hand-Based VR Locomotion System for Running as a Horse Avatar

Syouyou Kishino^{*1}, Tomoki Saito^{*1}, Takumi Tokunaga^{*1}, Ryota Isoe^{*1},
Yoshito Maeda^{*1}, Fumihiko Nakamura^{*1}, Fumihisa Shibata^{*1}, Asako Kimura^{*1}

Abstract — 近年、VR ロコモーションや非人間型アバタを用いた身体変容体験に関する研究が進められていくが、動物アバタの多くは人間中心の操作方法に依存しており、動物の身体的特徴を考慮したロコモーション設計は十分に検討されていない。本研究では、馬アバタによる走行体験のための VR ロコモーションシステムを提案する。体験者は人工芝を貼付した入力デバイスを左右交互に手で叩くことで移動し、圧力センサおよび距離センサにより叩く動作や引く動作を検出する。また、人工芝への接触感覚と走行速度に応じた風提示を組み合わせて、馬アバタによる走行体験の向上を図る。本展示発表では、手による操作と感覚提示を組み合わせた馬アバタ走行体験のデモを行う。

Keywords : Virtual Reality (VR), ロコモーション, 馬アバタ, 多感覚提示, 身体変容体験

1. はじめに

VR (Virtual Reality) は、ユーザが人間に限らず多様な生物になる体験を可能にする。特に、動物アバタを用いる体験は、環境への共感を高めたり^[1]、自然への関与を高めたりすることが報告されている^[2]。こうした非人間型アバタでの体験においても、VR 空間内を移動する手段は不可欠である。実際の歩行を用いるロコモーションは自然な移動を実現できる一方、歩行のための実空間を確保する必要があり、その範囲を超えた移動は困難である。そこで、その場で行うジェスチャに移動を対応付けることで、実空間の制約を受けずにロコモーションを実現する手法が提案されている^[3]。

一方、非人間型アバタでの体験では、用いるジェスチャが体験の質に影響する。アバタの外観に即したジェスチャによってロコモーションを行うことで、アバタへの同一化やユーザ体験が向上することが報告されている^{[4],[5]}。しかし、これらの研究ではジェスチャを腕で行っており、ロコモーションに伴う触覚フィードバックは考慮されていない。実環境での歩行では、一步ごとに地面からの触覚フィードバックが足へ与えられるのに対し、腕によるジェスチャを用いたロコモーションでは、そのような触覚は得られない。このように、身体動作だけでなく、接地に伴う触覚フィードバック

もロコモーション体験を構成する重要な要素であると考えられる。

そこで、本研究では四足動物に着目する。四足動物では前肢が地面と接触する部位であり、人間の腕は前肢と相同な部位にあたる。このため、四足動物アバタでは、ジェスチャを行う部位とアバタが地面に接触する部位とが身体構造上対応しており、手への触覚提示を接地部位そのものへの触覚提示として利用できる。一方、人間型アバタの腕振りによるロコモーションでは、腕は本来地面に接触する部位ではないため、手への触覚提示は接地を代替する手がかりにとどまる。さらに、四足動物アバタでは、入力デバイスの表面に地面の素材を配置することで、前肢が地面へ接触する感覚を自然に提示できるとともに、体験者は着座したまま体験できるという利点がある。

本研究では、馬アバタによる走行体験のための手を用いた VR ロコモーションシステムを提案する。体験者は、人工芝を貼付した入力デバイスを左右交互に手で叩くことで、VR 空間内の馬アバタを走行させる。人工芝により前肢の接地感覚を提示するとともに、手の反復入力から算出した走行速度に応じて風を提示することで、馬として走行している感覚の向上を図る。また、本システムを用いた VR 競馬アプリケーションを実装し、複数の体験者が同一レースで競走できる環境を構築した。本稿では、提案する VR ロコモーションシステムと VR 競馬アプリケーションについて述べるとともに、先行展示を通して得られた知見を報告

^{*1}: 立命館大学 情報理工学部

^{*1}: College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

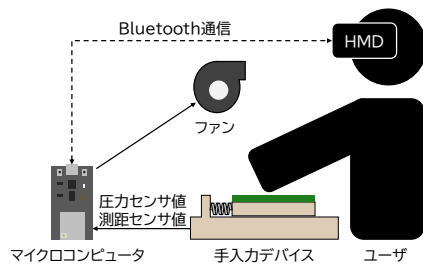


図1 手入力による四足ロコモーションシステムの構成

Fig.1 System Configuration of Hand-Based Horse Locomotion

する。

2. 手入力による四足ロコモーション

我々は、HMD（Head-Mounted Display）ユーザの手の反復動作に基づいて、仮想空間内の馬アバタの走行速度を制御するシステムを開発した（図1）。本システムを用いたアプリケーションについては、3章で記述する。本システムは、手入力および手への触感を通して前肢の接地感覚を提示する入力デバイスと、風覚提示装置で構成される。HMDとしては、Meta Quest 3もしくはMeta Quest 3Sを使用した。入力デバイスおよび風覚提示装置は、HMDとBluetoothで通信した。

2.1 入力デバイス

我々は、ユーザの叩打および手前へ引く操作を計測するデバイスを開発した（図3）。入力デバイスは、バネ機構を備えた可動部、圧力センサ（FSR-406, Interlink Electronics）、2種類の測距センサ（GP2Y0E02A, Sharp；GP2Y0E03, Sharp）、マイクロコンピュータ（ESP32 Dev Module, Espressif Systems）で構成され、ユーザの左右にそれぞれ1台ずつ配置した。バネ機構は、一定周期での反復動作を可能にするとともに、ユーザが可動部を手前に引いた際の抵抗感を実現した。可動部の上面には、手への触感を通して馬アバタの前肢が地面へ接触する感覚を提示するため、人工芝を貼付した。

本デバイスでは、叩く動作を検出する圧力センサ方式と、手前に引く動作を検出する測距センサ方式の2種類を実装した。馬の前肢動作を模した入力方法として、地面を叩く動作と地面を掻き込む動作の双方を入力として扱えるよう、入力方式を実装した。圧力センサ方式では、ユーザが可動部を叩いた際の圧力を計測し、閾値を超えた場合に入力と判定した。一方、測距センサ方式では、可動部を手前に引いた際の変位を測距センサで取得し、変位が閾値を超えた場合に入力と判定した。

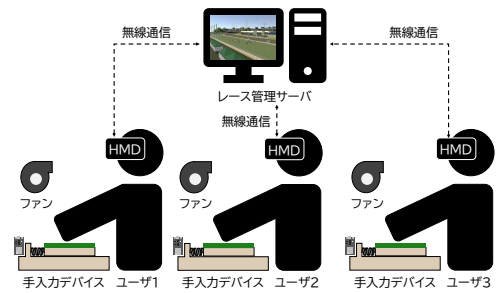


図2 VR 競馬アプリケーションの構成

Fig.2 System configuration of VR horse-racing application.

2.2 馬アバタの走行速度の制御

馬アバタの走行速度は、左右の入力デバイスからの入力に応じて更新した。左右交互の操作のみを有効な入力として扱うため、直前に検出された入力と反対側の入力が検出された場合にのみ、有効な入力とみなした。

この構成により、左右交互の入力を一定頻度で継続した場合に走行速度が維持され、頻度を高めれば加速し、入力が途切れれば減速する。すなわち、体験者の手の反復頻度が馬アバタの走行速度に対応する。

2.3 風覚刺激提示

馬アバタによる走行感覚を向上させるため、走行速度に応じた風を提示した。風の提示には、シロッコファン（GDB7530S12N32X25225, GDSTIME）を2個使用した。ファンはユーザの左右前方にそれぞれ1基ずつ配置した。入力デバイスへの有効な入力が検出された際にはファンの出力を増加させ、入力が途切れた場合には出力を徐々に低下させることで、走行速度の変化に応じた風覚を提示した。

3. VR 競馬アプリケーション

手入力による四足ロコモーションを応用したVR競馬アプリケーションを開発した（図2）。本アプリケーションでは、ロコモーション手法から得られる走行速度に基づいて馬アバタの位置を更新し、複数のユーザおよびNPC（Non-playable Character）が競走するレースを実現した。複数のユーザが同一レースで競走するため、各ユーザが使用するHMDはレース管理サーバと通信する構成とした。

図4にユーザ視点を示す。ユーザは競馬場を走る馬アバタとしてレースに参加する。走行中は、他のユーザまたはNPCが操作する馬が同一空間に描画され、ユーザは自身と他の馬との位置関係を把握しながら競走する。各馬アバタは走行速度に加えてスタミナを持っており、手入力の頻度によって決まる走行速度だけでなく、スタミナ配分も競走結果に影響する構成とした。

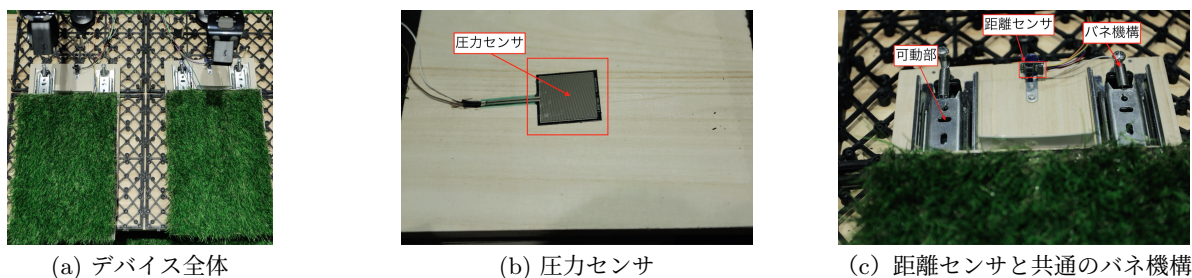


図3 手入力デバイスと入力検出機構 (a) デバイス全体, (b) 圧力センサ, (c) 距離センサおよび両方式に共通するバネ機構

Fig.3 Hand-operated input device and its sensing mechanisms: (a) device overview, (b) pressure sensor, and (c) distance sensor and spring mechanism shared by both input methods.



図4 VR 競馬アプリケーションにおける体験者視点

Fig.4 Participant's view in the VR horse-racing application.

レースは、参加受付、カウントダウン、スタート、走行、ゴールの順に進行する。参加受付では各端末をレース管理サーバへ登録する。全端末の登録完了後にカウントダウンを開始し、終了と同時に全端末でレースを開始する。走行中は各馬アバタの進行度を管理し、コース終端へ到達した順にゴールと判定する。レース終了後には順位を提示する。

レース管理サーバは、レース進行、各端末およびNPCの走行状態を管理する。各ユーザのHMDは、自身の馬アバタの状態（位置、速度、向き、スタミナ、進行度）をサーバへ送信し、サーバから配信された他のユーザおよびNPCの状態を仮想空間内に反映する。この通信には2種類の通信方式を用いた。

レースへの参加、カウントダウン、スタート、ゴールといった確実な到達が求められるイベントの共有にはWebSocket通信を用いた。一方、位置や速度など、高頻度で更新され、一部のパケットが失われても後続の受信により補完可能な走行状態の共有にはUDP通信を用いた。

4. 展示

本展示では、体験者は左右交互の手入力によって馬アバタを走行させ、他の体験者およびNPCと競走する。体験者はHMDを装着した後、まずチュートリ

ルを行う。チュートリアルでは、進行方向へ頭を傾ける方向操作、入力デバイスを叩く動作による加速とスタミナ消費、および入力を止めた際のスタミナ回復を順に体験する。各操作の説明は画面上に段階的に提示され、所定時間が経過すると自動的に次の項目へ進行する。

基本操作の習得後には自由走行時間を設け、体験者が操作に慣れた後、レースへ参加する。レースには他の体験者およびNPCも参加し、同一コースで競走する。体験者は、操作面の人工芝による触感と、走行速度に応じて変化する風覚を受けながら、他の馬との位置関係やスタミナを考慮してゴールを目指す。チュートリアルの所要時間は約90秒である。

HMDを装着していない来場者向けには、レース状況を表示する観戦用画面を設置する。体験の順番を待つ来場者や体験を行わない来場者も、進行中のレースを観戦できる。本画面では、レース管理サーバから配信されるレース状態をブラウザ上に可視化する。

5. 先行展示

VR競馬アプリケーションを用いた展示を、2026年5月17日に立命館大学大阪いばらきキャンパスで開催された「いばらき×立命館DAY 2026」にて実施した（図5）。展示では5台のMeta Questを同一のレース管理サーバへ接続し、来場者が互いの馬アバタを視認しながら競走できる構成とした。展示は10時から17時まで実施し、体験後のアンケートに対して39件の回答を得た。また、圧力センサ方式と測距センサ方式を別々の入力デバイスとして運用した。

アンケートでは、ゲーム満足度、レース満足度、馬になった感覚、走っている感覚、風提示による臨場感について、「非常に満足」から「非常に不満」までの7段階で評価を求めた。本稿では、上位3段階（「非常に満足」、「満足」、「やや満足」）を肯定的回答として集計した。

ゲーム満足度は94.9%（37/39）、レース満足度は84.6%（33/39）であった。また、「馬になった感覚」は



図5 いばらき×立命館 DAY 2026 における展示
Fig. 5 Demonstration at Ibaraki × Ritsumeikan DAY 2026.

79.5% (31/39), 「走っている感覚」は 82.1% (32/39) であり, 多くの体験者から肯定的な評価が得られた。一方, 「風提示による臨場感」の肯定的回答率は 46.2% (18/39) であり, 他の評価項目と比較して低かった。

(1) 手入力による馬アバタ走行体験

「馬になった感覚」および「走っている感覚」に対して多くの肯定的回答が得られたことから, 左右交互の手入力による操作が, VR 空間内の馬アバタの走行と自然に対応付けられたことが示唆された。また, 手の反復動作, 人工芝への接触感覚, および馬アバタの走行が一連の体験として統合された可能性がある。一方, 本展示では実験条件を統制した比較評価は実施していないため, 本手法が通常のコントローラ入力と比較して, 馬になった感覚や走っている感覚をどの程度向上させるかについては, 今後, 対照条件を設けた実験により検証する必要がある。

(2) 入力方式

展示スタッフによる運用上の観察では, 測距センサ方式は圧力センサ方式よりも入力を検出しやすい場面が見られた。圧力センサ方式では, 叩く位置や強さによって入力が安定しない場合があった。一方, 測距センサ方式でも, バネの耐久性やセンサ固定位置のずれによる誤入力が確認された。今後は, 圧力センサと測距センサの判定を統合し, 叩く動作と引く動作をより安定して検出できる入力判定方法を検討する。

(3) 風提示

自由記述では, 「風は感じませんでした」「風は意識していなかったので効果があったのかわからなかった」といった意見が得られた。アンケート結果と併せて考えると, 本実装では風提示が十分に知覚されず, 臨場感の向上へ結び付かなかった可能性がある。今後は, 提示強度や提示位置, 走行状態と風量との対応方法を改善するとともに, 風提示の有無を比較する評価を行う。

なお, 本稿では感覚に関する設問にも満足度尺度を

用いたため, 感覚の強さと満足度が混同された可能性がある。今後は, 感覚の強さを評価できる尺度を用いて検証を行う予定である。

6. まとめ

本研究では, 馬アバタ走行体験のための手を用いた VR ロコモーションシステムを提案した。提案システムでは, 四足動物の前脚動作を参考に, 左右一對の入力デバイスを手で交互に操作する動作を馬アバタの走行速度に対応付けた。さらに, 入力デバイスへの人工芝の貼付による手への触感提示と, 走行速度に応じた風提示を組み合わせることで, 馬アバタによる走行体験の向上を図った。また, 本システムを用いた VR 競馬アプリケーションを実装し, 複数の体験者が同一レースで競走できる環境を構築した。

先行展示では 39 件のアンケート回答を収集し, 「馬になった感覚」で 79.5%, 「走っている感覚」で 82.1% の肯定的回答が得られ, 提案システムによる馬アバタ走行体験の実現可能性が示された。一方で, 風提示の知覚しやすさ, 入力方式の安定性, およびデバイスの耐久性には課題が残った。

今後は, 圧力センサと測距センサの判定統合による入力安定性の向上, 専用筐体の開発, 風提示方法の改善, および通常のコントローラ入力との比較実験を通して, 手を用いた四足アニマル向け VR ロコモーションシステムの有効性と設計指針についてさらに検討する。

参考文献

- [1] Ponto, K., Tredinnick, R., Verbeke, M., Kopp, K., Swanson, L. and Gagnon, D.: Waddle: using virtual penguin embodiment as a vehicle for empathy and informal learning, *Proceedings of the 29th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '23*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2023).
- [2] Ahn, S. J. G., Bostick, J., Ogle, E., Nowak, K. L., McGillicuddy, K. T. and Bailenson, J. N.: Experiencing Nature: Embodying Animals in Immersive Virtual Environments Increases Inclusion of Nature in Self and Involvement with Nature, *Journal of Computer-Mediated Communication*, Vol. 21, No. 6, pp. 399–419 (2016).
- [3] Kitaura, Y., Hattori, K., Nakamura, F., Kataoka, Y., Shibata, F., Kimura, A. and Mori, S.: Not All WIP Are Perceived Equally: Different Speed Expectations in Seated Walk-in-Place Locomotion, *Proceedings of the 2025 31st ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '25*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2025).
- [4] Khan, O., Nam, H. and Kim, K.: Impact of Avatar-Loocomotion Congruence on User Experience and Identification in Virtual Reality, *IEEE Transactions on Visualization and Com-*

puter Graphics, Vol. 31, No. 11, pp. 9878–9888 (2025).

- [5] Tanahashi, S., Hashiguchi, S., Nakamura, F., Kataoka, Y., Shibata, F., Mohr-Ziak, P., Stanescu, A., Mori, S. and Kimura, A.: Experiencing Walking-in-Place Locomotion in Virtual Reality with Quadrupedal Animal Avatars, *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2026*, AHs '26, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 809–812 (2026).