

Pole-Scale VR：ポール状デバイスを用いた省スペースなルームスケール VR 環境の提案

今枝 和暉* 田原 和真* 塚田 浩二*

概要. ルームスケール VR は、HMD 等を用いた VR 空間を「実際に歩き回る」体験を付与できるが、広大なスペースや大掛かりな機構が必要となる課題があった。本研究では、一つのポール状デバイスを中心として、省スペースで自然な VR 空間での移動体験を提供するシステム、「Pole-Scale VR」を提案する。ユーザは HMD を装着し、片手でポールを握った状態を初期状態として、ポールの周囲を回るように移動する。ポール状デバイスは軸に沿って回転し、ユーザの移動方向等を検出できる。さらに、フォースフィードバック機能を備えており、VR コンテンツと連動して引張／抵抗感等を提示する。ポールを中心として物理的な移動範囲を自然に制限することで、省スペースで没入感の高い移動体験を提供することを目指す。

1 はじめに

ルームスケール VR は、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) 等を用いて VR 空間を「実際に歩き回る」体験を付与できるが、広大なスペースが必要となる [5]。こうした課題を解決するために、錯覚を用いて限られた物理空間内で広大な仮想空間を体験させる研究 [2] や、物理空間で移動する什器型ロボットを用いて移動体験を支援する手法 [1, 4] が研究されている。

一方、これらの先行研究では、大掛かりな装置が必要とするものが多く、一般家庭などで利用することは困難であった。本研究では、一本のポール状デバイスを中心として、省スペースで自然な VR 空間での移動体験を提供するシステム、「Pole-Scale VR」を提案する (図 1)。

2 関連研究

LoopBot[1] では、単一のロボットがユーザの動きに追従し、さらにロボットに搭載された環状の触覚プロップが前後に移動することで、ロボット自体の移動を相殺しながら手すりのような連続的な触覚フィードバックを提供している。複数のロボットを動的に配置する複雑なシステムが必要ないため、配置の遅延や衝突のリスクといった問題を解決できる。

RoomShift[3] では、昇降機構を備えた複数の移動ロボット群が、VR 空間と同期して現実の家具を動的に再配置することで、家具全体の触覚を提示する。各ロボットはルンバをベースとし、リフトを用いて家具の下に潜り込み、持ち上げて移動させることができる。光学式モーションキャプチャシステム

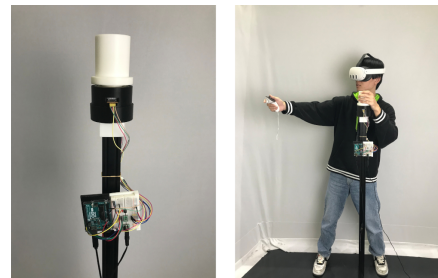


図 1. Pole-Scale VR の外観と利用例

でユーザの位置を追跡し、ユーザが次に触れる可能性のある仮想オブジェクトに対応する物理的な家具を、ロボット群が協調して先回りして配置する。そのため、少ないロボット、家具で VR 空間での家具構成を実空間で再現することができる。

TableMorph[4] は、凹型および凸型の二種類のテーブルが、HMD やハンドトラッカーで計測されたユーザとテーブルの相対位置に基づいて、ユーザが次に触れる可能性のある場所に自動的に再配置される。さらに、ユーザの仮想的な手の位置や、仮想テーブルの形状を現実のものから意図的にずらして提示する。これにより、ユーザは実際とは異なる多様な形状のテーブルに触れている触覚体験を得ることができる。

本研究では、一本のポール状デバイスを中心として、ポールの周りを回転する VR 空間の移動体験を提供する。シンプルで省スペースな構成で、自然な移動体験を目指す点に特徴がある。

3 提案

本研究では、一本のポール状デバイスを中心として、省スペースで自然な VR 空間での移動体験を提供するシステム、「Pole-Scale VR」を提案する。ユー

ザはHMDを装着し、片手でポールを握った状態を初期状態として、VRコンテンツを体験する。ユーザはポールの周囲を水平方向に360度自由に移動でき、その動きがVR空間内での移動に反映される。ポールにはセンサ／フォースフィードバック機構が搭載されており、ユーザの移動検出／情報提示を行う。主要な機構をポール状デバイスに集約することで省スペース／シンプルな構成を取りつつ、物理的な移動範囲を制限して、VR空間内で自然な移動体験を提供することを目指す。

4 実装

本システムは、ポール状デバイス／HMD／制御用PCを中心に構成される(図2)。ポール状デバイスは、回転機構及び制御用マイコンを中心に構成される。中心となる回転機構の構造を図3に示す。ステッピングモーター(SPG27-1101)の軸に持ち手が接続されており、さらに軸はギアを介してロータリーセンサ(RDC803101A)に接続される。持ち手の下部には大型のベアリングを搭載することで、筐体との摩擦を軽減している。このような仕組みにより、ユーザの入力検出／システムからの力覚提示を単一の機構で実現する。マイコン(Arduino UNO)では、モータードライバ(DRV8835)を介してステッピングモーターを制御する。さらに、制御用PCとシリアル通信を行う。次に、HMDとしてMetaQuest3を利用し、開発環境としてUnityとMeta XR Core SDKを利用した。HMDは制御用PCと無線接続され、OSC(Open Sound Control)通信を行う。マイコンからは、ポールの現在角度を制御用PCを介してHMDに常時送信する。一方、HMDからは任意のタイミングで、任意の角度にポールを回転させることができる。これにより、VRコンテンツ内の状態にあわせてポールを制御し、フォースフィードバックを生成する。

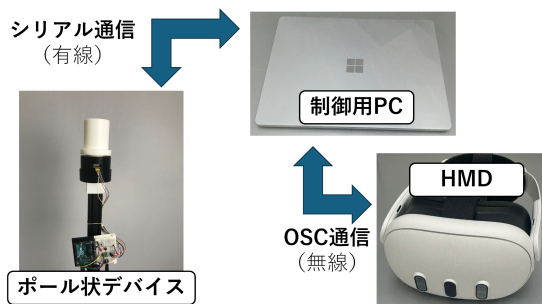


図 2. システム構成図

また、応用例としてFPSゲームを制作した。ユーザはビルの吹き抜けに立てられたポールを片手で掴み、もう一方の手のコントローラで銃を撃つというシチュエーションを体験する(図4)。ユーザは各

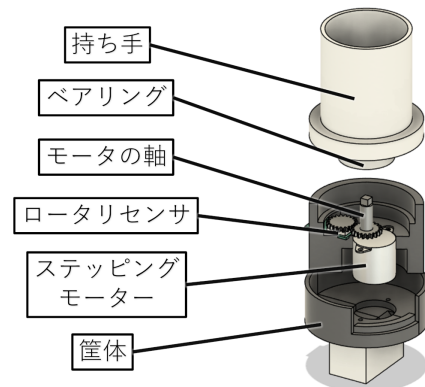


図 3. ポール状デバイスの回転機構の構造

階毎に全方位から襲い来る敵に対し、ポールを中心に自身の身体を物理的に回転させて応戦する必要がある。さらに、フォースフィードバックをゲーム性を高める機能として活用する。例えば、視野外から敵が接近する場合は、敵の方向の角度まで持ち手を自動で回転させる。こうした身体的な誘導を通して、ユーザの状況認識を支援したり、ゲーム体験の向上を目指す。

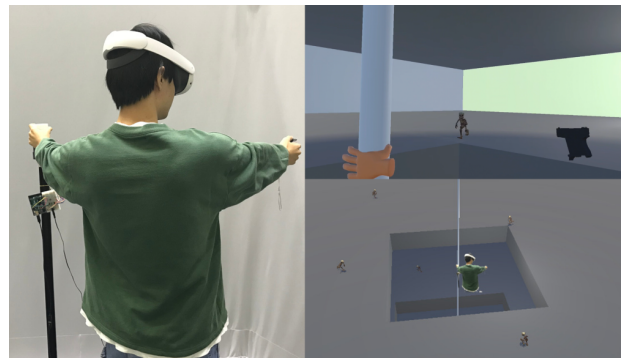


図 4. FPS ゲームの応用例

5 議論と展望

現時点ではモータのトルクが弱く、フォースフィードバックを感じにくい。そのため、よりトルクのあるモータに変更し、それに対応した筐体の設計をしていく必要がある。また、今後の展望として、上下方向に対してもセンシング／フォースフィードバックを追加していきたい。

参考文献

- [1] T. Ikeda, K. Fujita, K. Ogawa, K. Takashima, and Y. Kitamura. LoopBot: Representing Continuous Haptics of Grounded Objects in Room-scale VR. In *Proceedings of the 37th Annual ACM Symposium on User Interface Software and*

Technology, UIST '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.

- [2] E. Langbehn, P. Lubos, G. Bruder, and F. Steinicke. Application of redirected walking in room-scale VR. In *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*, pp. 449–450, 2017.
- [3] R. Suzuki, H. Hedayati, C. Zheng, J. L. Bohn, D. Szafr, E. Y.-L. Do, M. D. Gross, and D. Leithinger. RoomShift: Room-scale Dynamic Haptics for VR with Furniture-moving Swarm Robots. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, p. 1–11, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [4] A. Yamaguchi, S. Yokoi, K. Matsumoto, and T. Narumi. TableMorph: Haptic Experience with Movable Tables and Redirection. In *SIGGRAPH Asia 2023 Emerging Technologies*, SA '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [5] 株式会社東京ドーム. 宇宙ミュージアム TeNQ. <https://www.tokyo-dome.co.jp/tenq/>, 2025. (2025-10-23 確認) .