

凸凹のある崖を滑落したのちナイフを刺して停止する マンガ物理学的 MR システム

常川広貴[†] 松浦昭洋[†]

概要: 本研究では、崖を滑落中に壁にナイフなどを刺して停止する、というマンガ物理学的シーンにおける主に手と腕部における刺激を体験可能な MR システムを提案する。身体を落下させる代わりに崖面を模したデバイスを上方に運動させ、刃の引っ込むナイフ型デバイスをその面に押し込み、相対的に体感を実現させる。ナイフを押し込む強さを圧力センサで取得して面の移動速度を制御し、ナイフの柄に付属するソレノイドにより崖の凹凸の変化を表現する。

1. はじめに

実世界の事物や環境情報を、仮想世界の視聴触覚も含む条件設定と複合した形で提示し体感可能とする複合現実 (Mixed Reality, 以下 MR) の研究開発が進展している。高い没入感や実在感のある MR の体験を可能とするためには、仮想世界における条件設定と実世界における物体の形状や物理条件との間の整合性が重要となる。視聴覚情報については、Microsoft 社の HoloLens や Meta 社の Meta Quest 2 等のプロダクトを用いた実時間による体験が可能なシステム・コンテンツが多く開発されている。触覚に関しても、比較的静的な物体の触感や運動特性に対しては、物体を保持したり触れる際の重さや力覚を再現するシステムが開発されており [1][2], 身体の拡大縮小という非現実的な形状変化を体感させるシステム [3] があるが、マンガ・アニメ・映画等で表現されてきたより空想的な現象の MR 的な表現の多くは未だ実現していない。

筆者らはマンガやアニメの世界で蓄積されてきた「マンガ物理学 (Cartoon Physics)」 [4] の事象に着目し、MR 的枠組みによる実現を目指している。「マンガ物理学」とは、通常の物理法則には反するが、多くの人にエンタテインメント表現として受け入れられている現象・法則をまとめたものである。これまでに、マンガ物理学的事象として、何らかのきっかけで崖面を滑落したプレイヤーが斜面にナイフを刺して停止するシーンを取り上げ、ナイフと崖面をデバイス化して、プレイヤー自身が滑落する代わりに崖面のデバイスに設置されたベルトコンベアが上方に運動し、刃の引っ込むナイフを面に押し付けることで滑落を相対的に体感させる MR システムを提案した [5]。しかし、本システムでは平坦な崖面しか考慮されておらず、面との接触時の安全性や面の硬さのベルト依存性などの課題も残されていた。

そこで本研究では、岩などの突起物のある崖面におけるより表現力のある滑落体験を実現するため、ナイフ型デバイスの柄部分にソレノイドを埋め込み、仮想世界の崖面の突起物と接触する際にソレノイド内の可動鉄心を出すことで、接触して弾かれる感覚を提示する。さらに、コンベアベルトの上側に巻き込み防止のスリットを設置し、下側に当て板・スポンジ等を設置することで、安全性を高めつつ崖面の硬さをより現実に近いものとする工夫を行った。

2. システム構成

本システムは主に HMD (Oculus Quest), ナイフ型デバイス, 崖面デバイス, Arduino Uno, PC により構成される。図 1 に体験時のイメージ図を示す。以下、ナイフ型デバイスと崖面デバイスについて詳述する。



図 1 提案システムによる体験イメージ

2.1. ナイフ型デバイス

ナイフ型デバイスは、刃が柄に固定された通常のナイフではなく、突き立てると刃が柄の中に引っ込むタイプのもを用いる。これは、ナイフを実際に面に差し込んだときと同様の形状変化を実現するためである。柄の内部には、圧縮バネが刃に直接接続され、その下端に圧力センサ及びプッシュソレノイド (タカハ機工, CB1250) が設置される。さらにナイフ型デバイスの位置をトラッキングするため Meta Quest のコントローラも取り付けられる。ナイフが押し込まれる際に取得される圧力値は、後述する崖面デバイスのモータの回転速度に反映される。ナイフが崖面上の岩などの突起物に当たる際には、ソレノイド内の可動鉄心が押し出され、プレイヤーに面との接触時の形状変化と衝撃を体感させる。

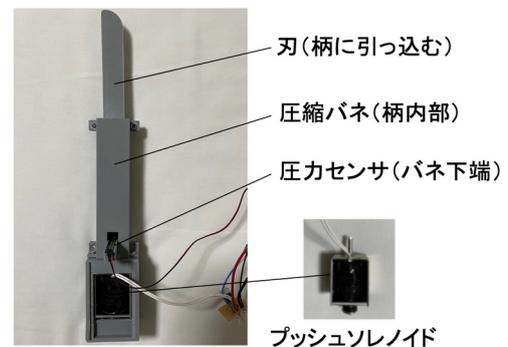


図 2 ナイフ型デバイス

2.2. 崖面デバイス

崖面デバイスは、図3のように、手等の巻き込み防止のためのアクリル板シールド、コンベアベルト、DCモータ（12V-4.9kg/cm, 最大 18800RPM）、ベルトへの感触時の硬さを表現するための当て板・スポンジ・摩擦軽減用シート（PTFEシート）等から構成される。崖面の斜度は約80度である。プレイヤーの滑落時にコンベアを上方に回転運動させ、その面にスリットを通してナイフ型デバイスを押し当て、主に手と腕部に対して滑落時と同様の物体の運動感覚を与える。モータの回転数はナイフ型デバイスの圧力値を元にPWM制御され、崖面デバイスの位置をトラッキングするためにMeta Questのコントローラをデバイス上部に取り付け、VR映像との時間的、位置的同期を可能とした。

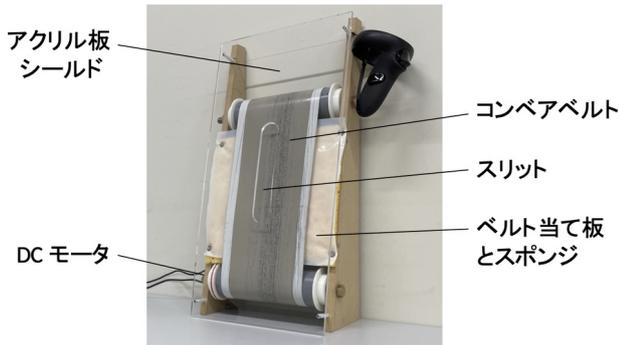


図3 崖面デバイス

本デバイスとHMD、ノートPC、Arduino Unoから成るシステムの概要図を図4に示す。

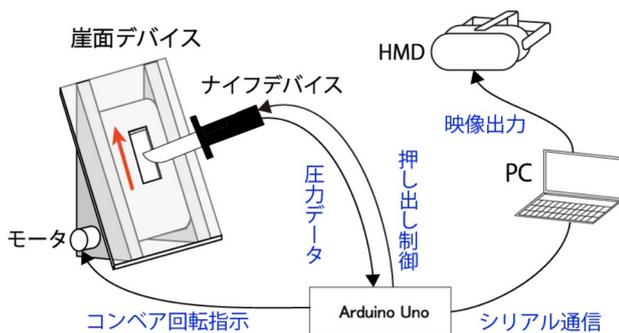


図4 システム概要図

3. アプリケーション

3.1. Arduinoのアプリケーション

Arduino UnoのアプリケーションではPCとのシリアル通信を行い、ナイフ型デバイスの圧力値の読み取り、プッシュソレノイドの押し出し制御、崖面デバイスのモータの回転制御等を行った。モータの回転速度は、ナイフ型デバイスから読み取った圧力値により変化させた。

3.2. VRアプリケーション

VRアプリケーションはUnity 2020.3.10f1を用いて作成した。ナイフ型デバイスの圧力値に基づき、HMDで提示する壁の運動速度、すなわちプレイヤーの滑落速度を定め、プレイヤーに対して崖面、ナイフ、自身の手等を含む映像を提示した。ここで、右手用コントローラの位置を元に映像内の手とナイフを表示し、左手用コントローラの位置を元に映像上にコンベア上のスリットの位置を示す四角形を表示した。

体験のためのコンテンツとして、賊により崖から落とさ

れる直前の状態から滑落、停止までの映像を作成した。3DモデルはOPEN3DMODELからダウンロードしたものを使用し、アニメーションに関しては、歩きモーションはSteamVRのHumanoidWalkを使用し、しゃがみモーションはBlenderで作成した。

4. 体験の流れ

本システムの体験の流れを以下に示す。プレイヤーはナイフ型デバイスを手に持ち、崖面デバイスに対峙する。システムが開始すると、奥からスーツ姿の男が現れ、しゃがんでプレイヤーをのぞき込む（図5左）。その後コンベアの回転が始まり、HMD内の映像上でも滑落が始まる。この状態でプレイヤーがナイフを崖面に突き立てると（図5右）、ArduinoによるPWM制御によりコンベアの回転速度が遅くなり、HMD上でも滑落の速度が遅くなっていく。さらに突き立て続けるとモータの回転が止まり、HMD上でも落下が停止する。



図5 体験時のVR映像

5. まとめ

本稿では、滑落中の崖面にナイフを刺して停止するMRシステムに関して、ナイフ型デバイスにソレノイドを付属させ押し出し制御することで、崖面の凸凹の体感を可能とし、面の接触時の感触をより現実的にし、安全のためのシールドを付けるなどの改良を行った。また、ストーリー性を考慮したコンテンツの作成も行った。システムの現状として、ソレノイド自体の動作は確認しているが、ナイフ型デバイス内に埋め込んだ際の動作がまだ安定していないため、発表時の安定したデモのため調整を行う必要がある。また、現システムは主に手と腕部への刺激が中心のため、全身の落下感を強化する仕組みも今後の課題である。

謝辞 本研究はJSPS科研費21K12198の助成を受けて行った。

参考文献

- [1] Choi, I., Culbertson, H., Miller, M. R., Olwal, A., and Follmer, S.. Gravity: A Wearable Haptic Interface for Simulating Weight and Grasping in Virtual Reality. Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '17). 2017, p. 119-130.
- [2] 佐瀬一弥, 岸本慎也, 熱海勇斗. 力覚インタラクションが可能なVRナマコの制作～生き物の3Dモデリングとハプティックレンダリング手法～. 電気学会研究会資料知覚情報研究会（日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究委員会第20回研究会予稿集）. 2018, PI-18-035.
- [3] Kawaraya, Y., Kubo, R., and Matsuura, A.. Tactile Scaling: An MR System for Experiencing Virtual Body Scaling. Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia 2020 Posters. 2020, Article No.18.
- [4] Cartoon physics. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Cartoon_physics#, (参照 2022-12-21).
- [5] Tsunekawa, H. and Matsuura, A.. Cartoon Sliding: An MR System for Experiencing Sliding Down a Cliff. Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia 2021 Posters, 2021, Article No. 21.