

VRコンテンツにおける硬質物体叩打時に発生する反発力の提示デバイス

加藤修朋^{†1} 兼松祥央^{†1} 松吉俊^{†1} 三上浩司^{†1}

概要: 近年 Virtual Reality (以下「VR」) を用いたコンテンツが世間一般でも普及してきている。例えばゲームでは FPS やアクションなど様々なジャンルの VR ゲームが作られており、プレイヤーに振動などを用いてゲーム内の感覚を提示することでよりリアリティの高い体験を提供している。また、VR を用いた研究も多く行われており、衝撃力や抵抗力、反力など様々な力覚の提示を行う研究がなされている。ゲームやアニメーションの中には硬い物体が衝突した際に弾き返されるという表現がある。この硬い物体が衝突した際の弾き返される力、反発力の表現には、運動方向に対して反対方向への力と物体叩打時の衝撃力、物体叩打後の振動の提示の3つの要素が必要である。そこで、本研究では金属や岩石のような硬質物体を叩打した際の反発力を提示するデバイスの提案をする。

1. はじめに

近年 Virtual Reality (以下「VR」) 技術が普及し、様々な分野に利用されている[1][2][3][4]。それら VR を用いた体験では、体験者へ力覚や嗅覚などの感覚を提示することでよりリアリティの高い体験を与えることが可能である。例えば Meta Quest 3 のような VR ゲームデバイスにおいてはコントローラーを振動させることによって、力覚の提示が多く行われている。

また VR コンテンツの研究では振動とは異なる力覚の提示に関する研究も行われている。例えば物体が衝突した際の衝撃力提示[5][6]や物質の硬さに応じた抵抗力提示[7]、皮膚を圧迫することによる接触物体から受ける反力の提示[8][9]といった研究である。

ゲームやアニメーションなどのエンターテインメントコンテンツでは物体を叩いた際に弾かれるという演出が見受けられる。例えば『モンスターハンター』[a]というシリーズのゲームでは、鉱石を採集するというアクションを行うことができる。その際プレイヤーキャラクターは鉱石に向かってピッケルを振り下ろし、ピッケルが鉱石とぶつくと弾かれるという表現がある。また、アニメーション作品の『ONE PIECE』[b]では作中に覇気という特殊能力が存在しており、その中に物体の表面を硬質化するというものが存在している。そしてその能力を用いて物体を弾き攻撃を防ぐという表現がなされている。

この「物体が衝突した際に生じる弾かれる力(以下「反発力」)」を表現するために、反発力の提示に必要な要素を調査した。そして反発力を提示するために必要な要素は次の3つが必要になることがわかった。

- 運動方向に対して反対方向への力(以下「逆力」)
- 物体叩打時の衝撃力
- 物体叩打後の振動

しかし、先行研究では接触物体から受ける反力か物体衝突時における衝撃力のどちらかみの提示が行われており、衝撃力と反発力が同時に提示されていない。そこで、本研究では VR 空間内で金属や岩石といった弾性力が低く硬い物質(以下「硬質物体」)を叩打した際に、現実で反発力を提示するデバイスを制作する。また、叩打時に異なる振動を提示することで反発力に差が生じるのかも検証する。

2. 先行研究

2.1 衝撃力の提示に関する研究

加世田ら[5]は金属製ワイヤが弛緩状態から伸び切って緊張状態へ変化する際に発生する力を利用し、木こり作業の大きな衝撃力を提示するデバイスの提案と構築を行った。2本の金属製ワイヤが弛緩状態から伸び切って緊張状態へ変化することで振っていた斧が急停止し、斧を振った方向とは反対方向へ大きな力が加わる。その大きな力を木こり作業の体験者へ衝撃力として提示した。

Koga ら[6]は剣道において剣戟時に刀同士が衝突した際のフォースフィードバックシステムとして GEKI2 の開発をした。GEKI2 は2つのモーターで構成されており、選手が握ると2つの回転モーメントが発生する。通常はこの2つのモーターが回転しているが、両方のモーターを停止させることで角運動量の保存により発生した慣性がプレイヤーに衝撃力を与えた。

これらの研究では衝突する直前までの運動方向と反対方向に力を瞬時加えることで衝撃力の提示をした。本研究でもこの考えを取り入れる。

^{†1} 東京工科大学

a) ©CAPCOM

b) ©尾田栄一郎/集英社・フジテレビ・東映アニメーション

2.2 抵抗力の提示に関する研究

古堅ら[7]はユーザーに切り抜く感覚を与えるデバイスである FULCutter を制作した。FULCutter はコンテンツ映像に合わせた対象物体の材質に応じた切断途中の抵抗の提示と切断後の抵抗の消失を行うことで、切り抜く感覚を提示している。また、対象物体の材質の違いによって切り抜く感覚の違いを表現するために、抵抗値を物体や切断部位によって変化させ、大根、オレンジ、骨付き肉、鉄骨を切り抜くコンテンツを実装した。そして、FULCutter と振動機能を実装した Oculus Touch を用いて評価を行った。その結果、Oculus Touch での体験よりも高い評価の切り抜く感覚を与えることに成功した。

この研究では運動方向と反対方向に加える力の大きさを変えることで物質の硬さを表現した。つまり運動方向と反対方向へ力を加えることで硬さの表現をすることが可能である。本研究ではその考え方を取り入れる。

2.3 反力の提示に関する研究

稲葉ら[8]は指先力覚提示装置と指先接触面積制御装置を統合した柔らかさディスプレイを試作し、柔軟弾性物の提示を試みた。指先力覚提示装置は母指と示指の二指への擬似反力を提示する。疑似反力の提示方法にはモーターを用い、指先に装着したベルトを巻き取り、指先を圧迫することで物体に接触した際の反力を提示した。稲葉ら[8]の研究から、実際に体験する感覚に近い感覚を誘起することが可能な力覚を、動作に応じた適切なタイミングで提示することで本来よりも小さな力で力覚提示が可能であることがわかった。

池田ら [9]は指先接触面積制御を行う触覚ディスプレイとグローブ型の力覚提示装置を統合し、把持動作に対する物体の柔らかさを表現可能な触覚ディスプレイを開発した。指先への反力の提示にはゴム膜とモーターを使用した。ワイヤを介したモーターによってゴム膜を牽引することで反力を提示した。また、ゴム膜の内部に圧縮空気を送り込むことで膨張したゴム膜と指の接触面積が増え、指が沈み込むような柔軟弾性物体の感覚を提示した。

これらの研究から運動方向に働いている力と同じ大きさの力を運動方向とは反対方向へ加えることで反力を提示することが可能である。また、実際に体験する感覚に近い感覚を誘起することが可能な力覚を、動作に応じた適切なタイミングで提示することで、本来よりも小さな力で力覚提示が可能であるということもわかった。

3. 提案手法

3.1 概要

本研究では VR コンテンツ内で硬質物体を叩打した際に発生する反発力を提示するデバイスの制作を目的とする。その目的に対して本研究では次の 3 ステップで進めた。

- VR コンテンツ制作
- 振動提示デバイス制作
- 反発力提示デバイス制作

3.2 VR コンテンツ

本研究では硬質物体を叩打した際の反発力の提示を行うため、図 1 のような VR コンテンツを制作した。VR コンテンツは Unity[10]を用いて制作した。制作した VR コンテンツ空間にはプレイヤーの VR 空間における手（以下「仮想手」）、VR 空間内のハンマー（以下「仮想ハンマー」）、VR 空間で叩打するための図 2 で示すような 3 種類の硬質物体（以下「仮被叩打物体」）と台座が存在する。台座は仮被叩打物体を置いておくためのものであり台座自体は本研究に直接的な関係はない。また、仮想ハンマーは仮想右手で把持しており、仮想右手に追従して動く。VR コンテンツ内でプレイヤーは 3 種類の仮被叩打物体の前を移動することができる。そしてプレイヤーがそれぞれの仮被叩打物体を叩打する際に異なる振動を提示する。



図 1 VR コンテンツ



図 2 3 種類の仮被叩打物体

仮被叩打物体と仮想ハンマーの接触判定には Unity の Collider を使用しており、仮被叩打物体に仮想ハンマーが接触した場合、後述する振動提示デバイスが振動することでプレイヤーに振動の提示を行う。

3.3 振動提示デバイス

本研究において使用する振動提示デバイスは図 3 に示すような樹脂製のハンマー（以下「実ハンマー」）と振動装置の役割をする Nintendo Switch の Joy-Con[11]（以下「ジョイコン」）を 2 機使用した。



図 3 振動提示デバイス

本研究でジョイコンを採用した理由は PC との通信が早く複雑な振動の提示ができるハプティックリアクタを搭載しているからである。そして2つのジョイコンと実ハンマーを図3のように固定した。ジョイコンは実ハンマーの上部と下部に固定することで、実際に硬質物体を叩打した際と似た振動の提示を行う。また、ジョイコンは PC と Bluetooth 接続を行い専用のスクリプトで振動を制御する。

振動装置であるジョイコンは仮想ハンマーが仮被叩打物体と接触すると振動する。2つのジョイコンは仮被叩打物体ごとに周波数、振幅、振動時間を変えている。また、同一の仮被叩打物体であっても2つのジョイコンでは周波数、振幅、振動時間が異なる。周波数、振幅は上部のジョイコンを強く、下部のジョイコンを弱く設定した。また振動時間は上部のジョイコンが短く、下部のジョイコンが長くなるよう設定した。このように設定することで振動が上部から下部へと伝わってくるように感じられ、実際に硬質物体を叩打した際の振動と類似する。

3.4 反発力提示デバイス

本研究で使用する反発力提示デバイスは図4に示すように押しばねと木の板を用いて制作した。反発力を提示するためにはステンレス製の押しばねを使用した。反発力や衝撃力の提示をするには逆力が必要になる。ばねは力を受けることで変形し、元に戻る際に力を放出する。その中でも押しばねは受けた力を反対方向へ跳ね返すことのできるばねであり、逆力を提示することに適していた。しかし、ばねは弾性力を持っておりばねの材質によっては弾性物体を叩打している感触になってしまう。そのため、弾性力が低いながらも硬質物体叩打時の反発力を提示できるばねとしてステンレス製の押しばねを採用した。制作した反発力提示デバイスは2枚の木製の板の間に4つのばねを固定し、上部の木製の板には叩打時に発生する音を抑制するために塩化ビニル樹脂製の滑り止めシートを敷き固定した。本研究で

はこの反発力提示デバイスを叩打することで反発力を提示する。



図 4 反発力提示デバイス

4. コンテンツ体験

本研究で制作した VR コンテンツ、振動提示デバイス、反発力提示デバイスを体験者が使用している様子を図5に示す。体験者は頭部に VR コンテンツが映し出されている HMD を装着し、右手に振動提示デバイスを把持する。そして、体験者が VR コンテンツ内の仮被叩打物体に向かって腕を振り下ろし、仮想ハンマーが仮被叩打物体と接触することで、手に持っている振動提示デバイスが振動する。その際 VR コンテンツ空間における体験者、仮被叩打物体間の距離（以下「仮距離」と）実空間における体験者、反発力提示デバイス間の距離（以下「実距離」）をあらかじめ同じにしておくことで、振り下ろした振動提示デバイスが反発力提示デバイスを叩打し反発力を提示する。



図 5 コンテンツを体験している様子

5. おわりに

本研究では、硬い物体が衝突した際の弾き返される力を表現するために重要な3つの要素「逆力の提示」、「衝撃力の提示」、「振動の提示」を定義した。逆力の提示は物体叩打時の反発力を表現するための重要な要素である。また、物体叩打時の衝撃力を提示することも物体を叩打時の反発力を表現するための重要な要素である。そして、物体叩打後の振動の提示は硬質物体を叩打した後に伝わる「痺れる」

ような感触を表現するための重要な要素である

これらを踏まえ、VR 硬質物体叩打体験のためのコンテンツと3つの要素を表現できる振動提示デバイス、反発力デバイスを制作した。

今後は評価実験を行い、本研究で制作したデバイスが硬質物体を叩打した時の感覚を与えることができるのか検証する。さらには仮被叩打物体ごとに異なる振動を提示することで、反発力は同じであっても振動の差によって感じる反発力に差が生じるのかも合わせて検証する。

参考文献

- [1] “Meta Quest 3”. <https://www.meta.com/jp/quest/quest-3/>, (参照 : 2023-12-05).
- [2] 黒田知宏, 村上満佳子, 田畑慶人. VR の福祉応用の現状. 医療情報学, 2001, vol.21, no.5, p.341-347.
- [3] “ワイヤ駆動型 6 自由度力覚提示デバイス SPIDAR-G”. <http://www.nihonbinary.co.jp/Products/VR/Haptic/SPIDAR/SPIDAR-G.html>, (参照 : 2023-08-08).
- [4] 石橋賢, Toni, Da, Luz, and Remy, Eynard. 北直樹, 姜南, 瀬木宏, 寺田圭介, 藤田恭平, 宮田一乗. スパイダーヒーロー : 張力提示によるエンタテインメント VR. 映像メディア学会誌, 1989, vol.66, no.1, p.J11-J16.
- [5] 加世田幸輝, 嶋津温紀, 山村大樹, 山本凌雅, 柳田康幸. ワイヤによる衝撃力の提示を用いた VR 木こり体験. 情報処理学会, 2020, インタラクション 2020, p.507-511.
- [6] Koga,D. and Itagaki,T. Virtual Chanbara. In ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications, 2002, p.83.
- [7] 古堅耕太郎, 兼松祥央, 三上浩司. FULCutter: 材質の違いを考慮した切り抜いた感覚を与える力覚フィードバックデバイスの開発とその評価. 情報処理学会, 2020, インタラクション 2020, p.629-632.
- [8] 稲葉豪, 藤田欣也. 指先圧迫による擬似反力提示装置の提案と試作. TVRSJ, 2007, Vol .12, No .1, p.95 -102.
- [9] 池田義明, 藤田欣也. 指先の接触面積と反力の同時制御による柔軟弾性物体の提示. TVRSJ, 2004, Vol.9, No.2, p187-194.
- [10] “Unity”. <https://unity.com/ja>, (参照 2023-12-05).
- [11] “My Nintendo Store”. https://store-jp.nintendo.com/list/hardware-accessory/controller/HAC_A_JAPAA.html, (参照 2023-12-05).