

ワイヤによる衝撃力の提示を用いた木こり体験 VR

加世田幸輝^{†1} 嶋津温紀^{†1} 山村大樹^{†1} 山本凌雅^{†1} 柳田康幸^{†1}

概要：斧を使って木を切り倒すときの体験を提供する VR システムを構築した。木を斧で切り倒す体験の重要な要素は斧が木の幹に当たったときの衝撃感であり、これを再現する手段として、斧を模擬したデバイスを金属製ワイヤのループに固定し、斧を横に振ってある位置に来るとワイヤが弛緩状態から一瞬で緊張状態へ変化する仕組みを用いた。また、衝撃感の提示に加えて、斧が木の幹に挟まって抜けにくくなる感覚、繰り返し斧を打ち付けることにより太い木の幹を切り進み、打撃位置が変化していく感覚を再現した。

1. 研究背景

日本は国土面積の約 70%を森林が占める森林国である。この広大な森林を山村の林業活動等によって管理することで、我々は国土の保全や水資源のかん養等の恩恵を受けることができる。しかし現状は度重なる台風などの災害により放置された人工林が土砂と共に人を襲う等、森林の管理が行き届いていないために不利益を被っている事が多い。

[1][2]

人々に森林の重要性について関心を持ってもらうための一つの方法として、実際に木々と触れ合う体験を提供することが考えられるが、都市生活者にとってそのような体験を行う機会は乏しい。そこで我々は VR を用いて、斧で木を切り倒す体験を再現するシステムを作成した。



図 1 木こり体験 VR システム



図 2 木こり体験 VR 中 HMD 内に表示される映像

2. 関連研究

斧で木を切り倒す体験において第一に重要なのは、ユーザが斧を振って木の幹に当たった際の大きな撃力と考えられる。VR 空間内における大きな撃力、反力の提示手法は未だ確立されておらず、現状の商用 VR コンテンツの多くはコントローラに内蔵された小型の振動子による軽微な触覚提示にとどまっている。市販されている力覚フィードバック装置である PHANTOM[3]など、机上に設置する方式の比較的小型の力覚提示デバイスでは、多軸方向への力覚フィードバックが可能であるが、可動範囲の制約や、発生可能な力の大きさの制約により、人間が全身を使って行う動作で発生するような大きな力を受け止めることはできない。比較的大きな力を提示可能なハプティックデバイスとして、ER ブレーキを使用した力覚提示システム[4]が挙げられるが、デスクスケールのデバイスであり、人間がフルボディスケールで行う動作には対応していない。また、慣性モーメントを用いた撃力提示デバイス[5]は、回転するフライホイールの角運動量を瞬時に把持部へ伝達する方式であり、非設置型のため可動範囲の制約を受けずに瞬間的な力積を提示可能である。しかし、非接地型であるがゆえに装置自体を自由に動かしてしまうため、木こり体験に利用しようとする衝撃力を感じた後に斧が木を通過してしまう状況が簡単に発生するため、本研究に適用することはできない。

3. 提案手法

木こり体験における感覚提示として、静止した立木に人間が振った斧をぶつける際の衝撃力を提示する。そのため、大きな反力の提示が必要であると同時に立木を斧がすり抜けてはいけない、つまり衝撃の発生位置がある一点で固定されている必要がある。

本研究では、木こり作業の衝撃力を提示するため、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、衝撃力を提示する方法を提案する。このデバイスは斧を模した棒状の把持部とそれにつながれ

た金属製ワイヤで構成されており，被験者が棒を一定方向に振った際，つながれた金属製ワイヤが伸び切ることによって棒の力覚提示部に衝撃感を提示することができる。

同様にワイヤを用いた力覚提示デバイスの先駆的な研究に SPIDAR[3]があり，等身大スケールに拡張したシステムも製作されている[7]。SPIDAR は，ユーザの動きを連続的に追跡し，常にワイヤを張った状態で動作しつつモータもしくはブレーキによって力を提示する方式である。これに対し，本研究での提案手法ではワイヤはある一定の長さに設定しておき，斧を自由に動かしている間はワイヤが弛緩しており，斧を振ってある位置に達するとワイヤが緊張し衝撃力が発生する方式である。力覚提示を行う場所を設定し待ち受けるという観点では，環境型ハプティックデバイス（[8]など）の特徴を有する。環境型ハプティックデバイスの最大の特徴は，VR 空間において手指あるいは把持したツールが自由に動いているときと，物体に接触したときに発生する力のダイナミックレンジを確保しやすいことである。

衝撃感を提示するための金属製ワイヤとしては，十分な強度を持たせるためにステンレス製の直径 3mm のものを使用した。このワイヤを力覚提示部の後方上下方向から引き，衝撃感を提示する方向と反対側の力覚提示部に固定してある。

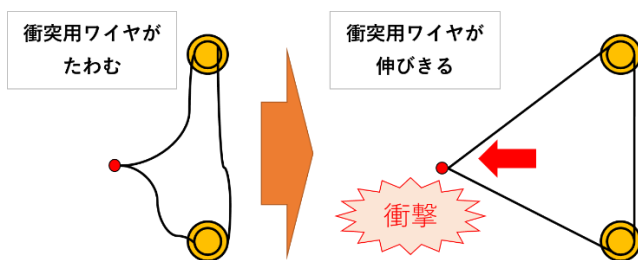
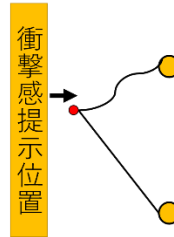


図 3 金属製ワイヤによる衝撃感の提示の様子

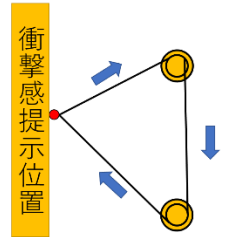
この機構において，初期の構想では，衝撃用の二本のワイヤをそれぞれ別々に固定する方法を考えていた。しかし，この方法では力覚提示部の位置が上下方向に移動してしまうと，力覚提示部を振った際に片側のワイヤのみが張ってしまい，感触に違和感が生じてしまうことがあった。そのため，二本のワイヤを一つのループ状にし，2 個の滑車を用いて上下から引く構造とすることで，力覚提示部の上下方向に対する動作の自由度を設けることができた。

ワイヤ上下固定式



片側のみ張ってしまい位置がずれる

ワイヤループ式



下側が伸びた分上側が短くなるため位置がずれない

図 4 ワイヤ固定方式とループ式の挙動の違い

4. 木こり体験 VR システム

本装置では，木を切る体験を，視覚・聴覚・そして触覚の提示によって再現する。体験者には視覚，聴覚提示用の HMD，ヘッドホン装着してもらい，その状態で触覚提示用の斧を模したデバイス（斧デバイス）を手にとってもらう。斧デバイスには 4 本の金属製ワイヤが繋がれており，体験者が振った方向と反対側に繋がれた二本のワイヤによって斧が木に当たった時の衝撃感を提示し，さらに他二本のワイヤで斧が木に挟まり，抜けなくなった時の感覚を提示する。

このシステムを用いることで，体験者に木こりが斧を使い木を切り倒していく過程での，斧が木にぶつかる時の感覚，作業が進むにつれて斧が木に挟まり，抜けにくくなるといった一連の体験を行ってもらおう。また，触覚提示と同時に体験者が装着している HMD，ヘッドホンからは斧で木が段々と切り進められていく様子，斧が木に刺さる様子，最終的に木が倒れる際の音などの視覚・聴覚提示を行うことで体験のリアリティを高めている。

4.1 システム概要

先述した斧デバイスは，主に衝撃感提示機構・挟まり感提示機構・トラッカの 3 つの部分によって構築されており，加えて PC，HMD，ヘッドホンによって構成されている。

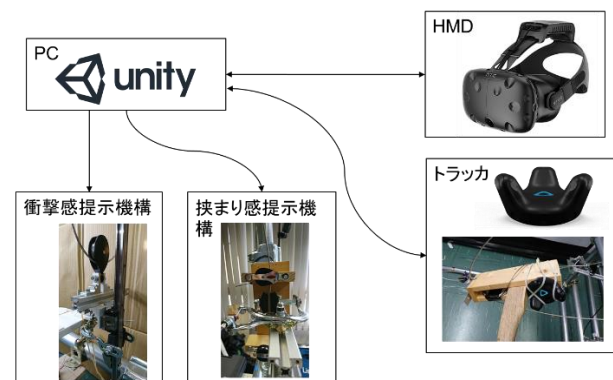


図 5 システム全体概要

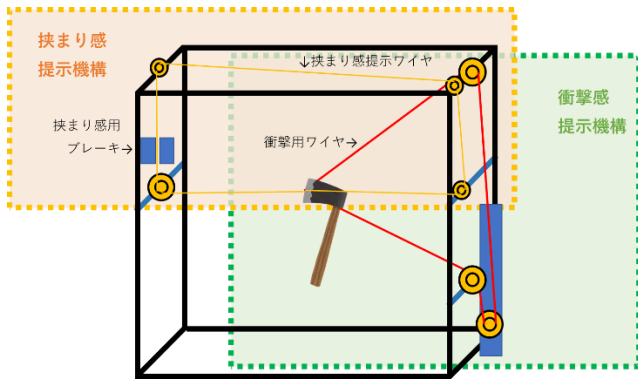


図 6 斧デバイス概要

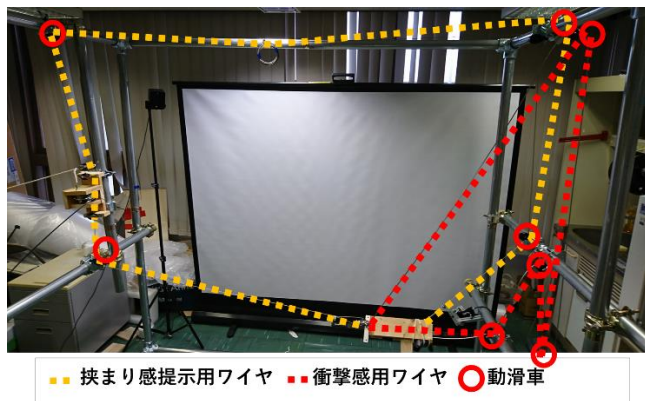


図 7 実際の斧デバイスの構造

4.2 斧デバイス

この節では、斧デバイスについて、それを構成する衝撃感提示機構・挟まり感提示機構の二つについて説明する。

4.2.1 衝撃感提示機構

斧を木に衝突させた際の衝撃感を提示するため、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生じる力を利用するシステムを構築した。斧に見立てた衝撃感提示部分と、それに繋がる金属製ワイヤ、全体のフレームに取り付けられた滑車にワイヤが吊り下げられることで構成されている。また、滑車の一つは、レール上に取り付けられたブレーキに固定されている。このブレーキと動滑車はレールの上を軸方向に自由に動くことができ、ブレーキによる摩擦で固定されている間は斧デバイスを振ったときの打撃力の大きさに応じて移動するようになっている。

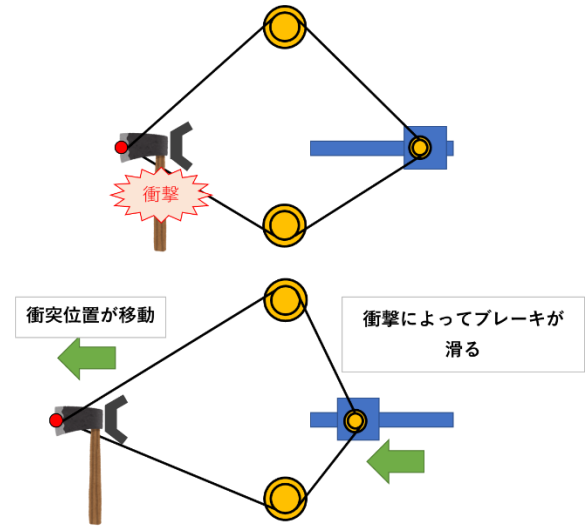


図 8 衝突位置調節機構の動作例

また、実装した衝撃感提示機構について、衝突用ワイヤ及び衝突位置調節機構の実際の構造を以下に示す。

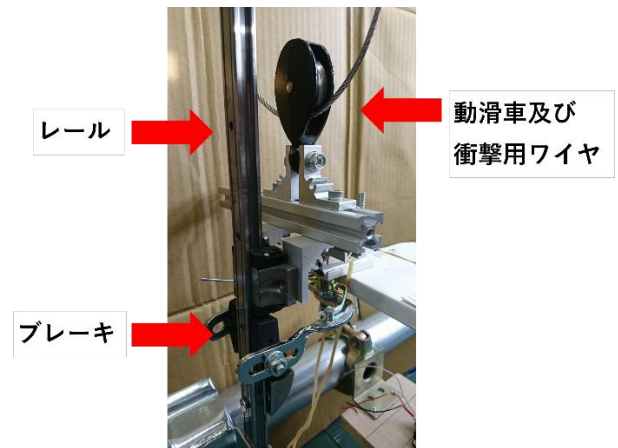


図 9 動滑車がブレーキによってレールに保持されており、衝撃用ワイヤが引かれることで動滑車がレール上を移動する

4.2.2 挟まり感提示機構

挟まり感提示機構は、斧デバイスに取り付けられた金属製ワイヤとワイヤを固定するブレーキ部分によって構成されている。この機構は衝撃感提示機構とは別のワイヤ、ブレーキで構成されており、任意のタイミングでワイヤにブレーキをかけることで斧デバイスを前後方向に固定することが可能となっている。

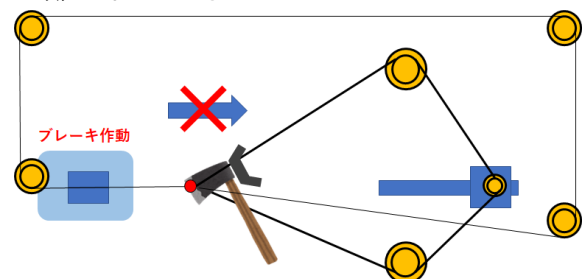


図 10 ブレーキが作動し斧が引けなくなる様子

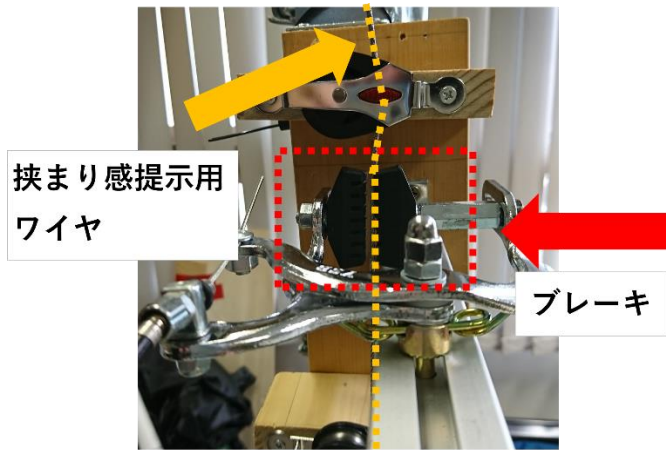


図 11 ブレーキを掛けることで挟まり感提示用ワイヤを固定する

4.3 システム構成

木こり体験 VR では、斧を振り木を切り倒す動作を行うため、体験者が持つ斧と体験者が装着している HMD 内の斧オブジェクトの位置が一致している必要がある。そのため、斧デバイスに VIVE トラッカを装着し、位置の計測を行う。

HMD 映像中の斧と木の幹との衝突は、衝撃感提示機構のレール上の位置を計測することで検出している。この衝突検知と同時に HMD 映像中では木の幹が斧によって切り進められた際の視覚・聴覚演出を行い、同時に挟まり感提示機構によって斧が木の幹に挟まり、抜けなくなる感覚の触覚提示を行う。

4.4 ソフトウェア

体験者が装着している HMD では、森林の中に立っている一本の木の前に自らが立ち、斧デバイスと連動した斧の映像を提示する。体験者が HMD を通して見る風景は、Unity でリアルタイムレンダリングを行うことによって描画する。木や斧、周辺の森林といったモデルはモデリングソフトを用いて制作する。体験者が斧を振って木の幹に当たった際、木に切り込みが入ったような映像演出と同時に、ヘッドホンから衝撃音を提示する。

また、衝撃感提示機構中のレールから送信されてきた動滑車の位置はソフトウェア側で処理され、衝突判定や挟まり感提示機構中のブレーキの作動などをソフトウェア側で制御している。

4.5 木こり体験 VR の動作フロー

まず初めに、体験者は HMD 及びヘッドホンを装着し、斧デバイスを手に持つ。体験者は HMD で提示された映像中の木に向かって斧デバイスを振る。

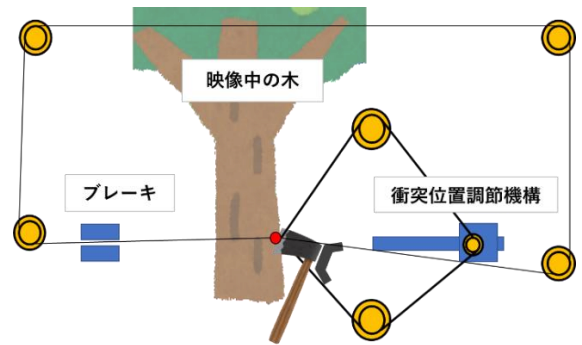


図 12 斧デバイス初期位置

体験者が斧を振り、木の幹が切れていくにつれて衝突位置調節機構により衝突位置を前方に移動させる。この際 HMD 内に提示している映像内の木も同様の進み具合で切り込みが入る。

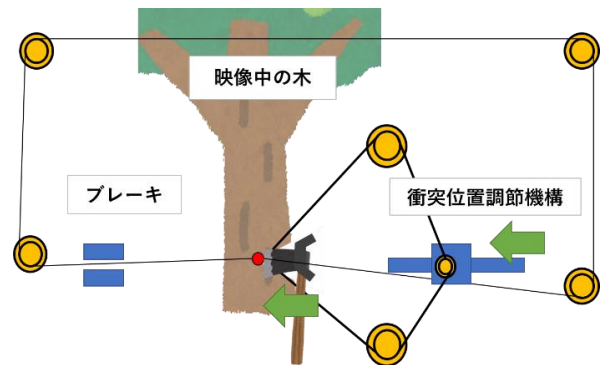


図 13 斧デバイスを用いた木の切断過程

木をある程度切り進めていくと、斧が木の幹に挟まり抜けなくなる。この感覚を挟まり感提示機構の動作によって提示する。

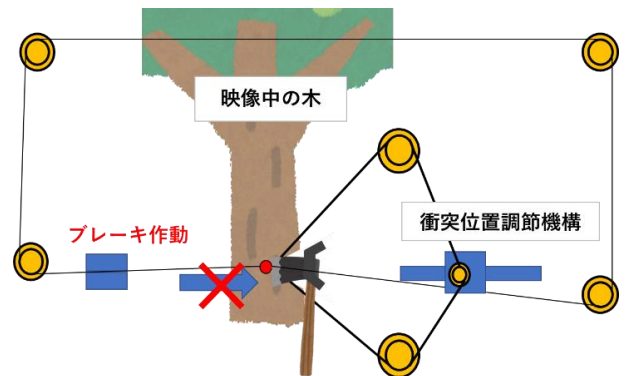


図 14 斧デバイスが木に挟まった時の動作

この状態から、体験者が斧デバイスを引き抜こうとしたのちに斧が解放される。

これらの過程を繰り返し、斧を使って木を切り倒す感覚の提示を行う。

4.6 評価実験

木こり体験 VR のシステム作成後、大学祭において被験者へのアンケートによる主観的評価実験を行ったため、その結果について以下で述べる。

4.6.1 方法

被験者 213 名に木こり体験 VR を体験してもらう。その後、表 1 に示す 4 つの項目それぞれについてどれだけリアルに再現できているかを、良い、やや良い、普通、やや悪い、悪い、の 5 段階で主観的に評価してもらい、集計する。回答未記入の項目があった場合には無効回答とし、集計から除外する。

表 1 アンケート項目

	質問内容
項目 1	木を斧で切る体験全体について
項目 2	斧の重さ
項目 3	斧の挟まり感
項目 4	木を切った際の衝撃感

4.6.2 結果

無効回答を除いた 205 名分の回答の集計結果を図 15 に示す。

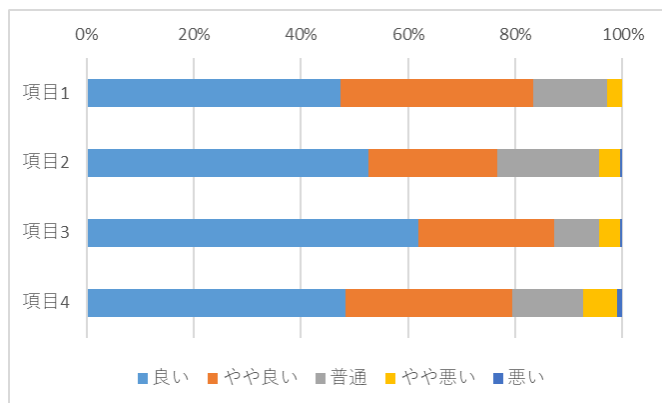


図 15 アンケート集計結果のグラフ

良い、やや良いと回答した割合の合計値が全項目で 7 割を超えた。このことから当初の目的である木を斧で切り倒す体験を再現するシステムがおおよそ完成したと言える。

5. 結論

本研究では、金属製ワイヤを用いた大きな衝撃力を提示するデバイスの提案を行い、実際に構築した。また、構築したシステムを被験者に実際に使用してもらい、主観的評価実験を行った。その結果、大多数の人が想像する木こりのイメージ通りの体験が得られることが分かった。

今後の方針としては、金属製ワイヤによる衝撃感提示機構がどれだけ大きな力を発生させることができるのかといった客観的な検証実験を行っていきたい。

参考文献

[1] 林野庁. “所管事業の概要”.

http://www.rinya.maff.go.jp/j/kouhou/jigyoku_gaiyou.html, (参照 2019-12-18)

[2] 林野庁. “平成 30 年度 森林・林業白書 全文”.

<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/30hakusyo/zenbun.html>, (参照 2019-12-18)

[3] T. H. Massie and J. K. Salisbury. “The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects”. Proc. ASME Winter Annual Meeting, Symp. On Haptic Interface for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 1994.

[4] 坂口正道, 古荘純次. ER ブレーキを用いたパッシブ型力覚提示システムに関する基礎研究. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2000, vol. 5, no. 4, pp. 1121-1128.

[5] バーチャルチャンバラ. <https://ivrc.net/2000/report/ariel.pdf> (参照 2019-12-19)

[6] 佐藤誠, 平田幸広, 河原田弘. 空間インタフェース装置 SPIDAR の提案. 電子情報通信学会論文誌 D-2, 1991, vol. 74, no. 7, pp.887-894.

[7] 櫛田英功, 石井雅博, 佐藤誠. マルチモーダルな等身大仮想環境 Big SPIDAR. 第 2 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 1997, pp. 131-132.

[8] 星野洋, 平田亮吉, 前田太郎, 舘暲. 仮想触空間における物体形状の実時間提示法. 日本ロボット学会誌, 1997, vol. 15, no. 6, pp. 868-877.