

# 心斬体：柄型デバイスによる斬撃体験 VR シミュレータ

山口航之祐<sup>†1</sup> 山本景子<sup>†1</sup>

**概要：**本研究は、日本刀を用いる抜刀道の「斬撃感」を再現することを目的とし、斬撃前後の集中状態と掌に生じる衝撃・しびれに着目し、柄型デバイスおよびそれを用いる VR シミュレータ「心斬体」を提案する。集中状態については「遠山の目付」を参考に、注視対象以外の環境をグレースケール表示にし、対象全体を周辺視野で捉えやすくする視覚演出を行う。触覚提示として、ソレノイドによる衝突時の反力、LRA による母指球への局所的なしびれを提示する。振動提示と視覚効果が斬撃体験のリアリティに与える影響を検証するため評価実験を行った。その結果、視覚刺激と触覚刺激を組み合わせた斬撃体験は斬撃感のリアリティ向上に寄与する可能性が示唆された。

## 1. はじめに

### 1.1 抜刀道と斬撃

抜刀道とは、日本刀を用いて実際に「斬る」ことを実技として取り入れた武道である[1]。その修練は、精神を統一して乱れの無い所作で標的と対峙し、心身を統一・集中し「気(精神)・剣(刀の操作)・体(身体の動かし方)」の一致を図りつつ、標的を斬ることが求められる。肉体による技術だけではなく集中した心構えがあいまって基本となり本質を形作っている[2]。

実際に斬る感覚を再現する試みとして、標的となる物体を仮想空間内で切ることに特化したVR(Virtual Reality)技術、ハプティクス研究が報告されている[5][6]。一方で斬る感覚を再現するVR体験では、デバイスを振り下ろした際にみに単純な振動提示を行うことが主流である。しかし、これでは上述の「気・剣・体」を含む斬撃は十分に体験できない。

抜刀道における標的を斬る行為いわゆる斬撃のリアリティを高める取り組みとしてどういったアプローチが有効であるかを確認するため、筆者は真剣を用いた斬撃を体験しに行った。体験では抜刀道に熟達した指導者から教わりながら、斬る対象に対して本物の日本刀を右上に高く振り上げ、敵の左肩から右腰骨に向かって斜めに振り下ろす「袈裟斬り[3]」を行った。その結果、斬る対象に日本刀を振り下ろした際に生じる感覚として、以下の要素5点が重要であることがわかった。

1. 斬撃前後に生じる体験者の精神状態
2. 斬る対象への刀の入射角
3. 力の加え方
4. 母指球への強い衝撃
5. 斬撃後における母指球へのしびれ

このうち、本研究では斬撃の熟練度に左右されない感覚の再現に主眼を置き、要素1, 4, 5に着目することとする。

### 1.2 斬撃時の集中状態

体験者の集中状態への移行を促進するため、「遠山の目付」に着目する。Kato[4]によると、遠山の目付とは、遠くの山々を眺めるように、相手全体を視野に収める視線の用い方であり、相手の顔だけでなく全身を捉える技といわれている。剣道熟練者

は稽古中において面の中にいる相手の「目」に視線を向け、少ない注視回数で長時間注視を行うとともに、比較的少数の注視位置を含む、網羅的でない視覚探索戦略を採用していることが示されている。対照的に初心者は相手の詳細な情報を探ろうとして短い注視を多数行い、多くの注視位置を使用すると報告されている。このことから、遠山の目付に類似した視線パターンを再現することにより熟練者にみられる集中状態を体験者に反映できると考えられる。

## 2. 関連研究

振動提示以外のフィードバックで要素1の再現に関連した研究として「次元切断刀[5]」がある。敵アバタが斬られたアニメーションや刀を振る際に生じる音を含む視聴覚提示を行っている。加えて視覚提示では、時間の進みが通常と異なっていることを示すために、画面の周囲の色を少し変える演出を行っている。聴覚提示では、スピーカのノイズキャンセリング機能を用いて音を低減することで「無音感」を提示し、抜刀中に周囲が特別な空間になっていることを表現している。これらの視聴覚提示により要素1における集中後の精神状態を再現することは可能であると考えられるが、体験者自身を集中状態へ移行させているとはいえない。

斬る感覚の再現においては触覚提示を行う先行研究として、「FULCutter[6]」がある。モータを用いて持ち手の重さを調整し、物体切断時の抵抗の提示および抵抗の消失を提示することで切り抜く感覚を与えている。また、要素5のしびれ感覚の再現にアプローチした研究として、野球ヒッティング体験を例に振動および熱刺激を用いて残効(しびれ感覚)の提示効果を検証した研究がある[7]。残効の構成要素のうち、ピリピリ感提示にボイスコイルアクチュエータ、熱感提示にペルチェ素子を用いてデバイスを構築し、衝撃感のリアリティと知覚強度を向上させている。これに対して本研究では、要素4, 5を再現する手段として、要素4をソレノイドによる衝撃提示、要素5をリニア振動アクチュエータ(LRA: Linear Resonant Actuator)による振動提示により再現するとともに、視覚効果によって体験者の集中状態への移行を促進することでよりリアルな斬撃体験を提案する。

<sup>†1</sup> 東京電機大学

### 3. 心斬体：柄型デバイスによる VR 斬撃体験シミュレータ

#### 3.1 概要

本研究では、注視しているオブジェクト以外をグレースケール表示に変換し、色情報を抑制する。これにより、注視対象全体を捉えやすい状態を作り出すことで、注視対象のオブジェクトに注視点を保ちつつ、周辺視野で対象全体を捉えるという遠山の目付に近い視線の使い方を支援することを目指す。

斬撃感の再現には、刀と対象が接触した瞬間の衝撃をソレノイドアクチュエータ、対象を斬った直後に生じる母指球への局所的なしびれをLRAによって再現し、これら2つを組み合わせた触覚提示によって、1.1で述べた要素4, 5の再現を目指す。

以上のアプローチで、武道経験の有無にかかわらず「気・剣・体」の一致を図った状態で標的を斬るという抜刀道の世界観を伝え、従来よりもリアルな斬撃を体験させる。

#### 3.2 設計

提案手法の有効性を検証するために、視覚刺激と触覚提示を統合した斬撃デモを体験できるシステムを設計する。本システムは、図1のように制御用PCとHMD (Meta Quest Pro) による視覚提示部、刀の柄形状を模した柄型デバイスから構成される。PCからUnityで制作した斬撃デモをHMDに提示する。柄型デバイスは、日本刀の柄に近い把持感を保ちつつ、位置を計測するコントローラと、衝撃提示用ソレノイドおよびしびれ感提示用リニア駆動アクチュエータ (LRA) を内部に配置した構成である。デバイス上部にコントローラを取り付けるためAMVR製のQ3JP2を使用し、柄型デバイス用に調整を行った。Unity上の刀モデルは柄型デバイスの動きと同期して動作する。振動子の制御にはArduino Leonardoを使用し、対象を斬る際に生じる衝撃提示をソレノイド、局所的な振動提示にLRAを用いることで対象を斬る際の衝撃としびれ感覚を再現する。これにより、斬撃感を一連の体験として提示できる。

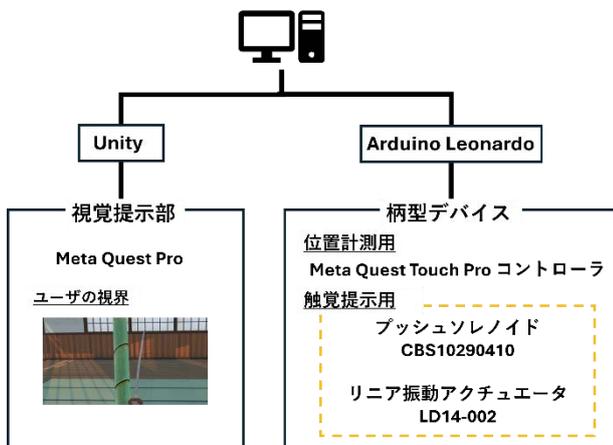


図1 システム構成

#### 3.3 実装

3.2で述べた設計に従い、システムの構築を行う。実装した柄型デバイスを図2に、HMDに提示されるユーザの視界を図3に示す。柄型デバイスについては、ソレノイドとLRAを柄形状内部に格納し、LANケーブル1本で通信と電源供給を行う構成である。これにより、柄部分の過度な肥大化を抑え、実際の刀に近い把持感を損なわずに体験を提供できるよう配慮している。



図2 柄型デバイス (上: 外観, 下: 内部)

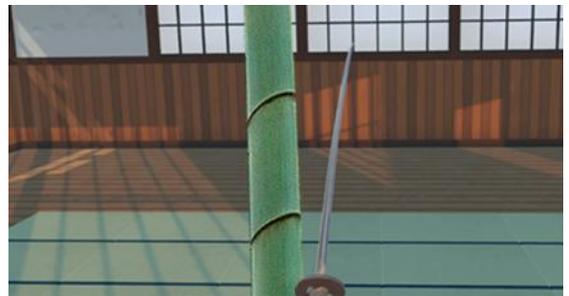


図3 ユーザの視界

### 4. 実験

#### 4.1 目的

本実験では、刀を用いて物体を斬る際に生じる斬撃感覚をソレノイドおよびLRAによる触覚提示と注視対象以外の環境色を変化させる視覚効果を組み合わせた体験が斬撃感のリアリティを高めるという仮説を検証することを目的とする。

#### 4.2 手法

実験協力者に4条件 (条件1: 触覚提示あり・視覚効果あり, 条件2: 触覚提示あり・視覚効果なし, 条件3: 触覚提示なし・視覚効果あり, 条件4: 触覚提示なし・視覚効果

なし)で実験を行う。各条件において斬撃感の主観評価を行い、触覚提示および視覚効果が斬撃感に与える影響を検討する。実験では4条件をランダムに並び替えた4パタンの順序を用意し、実験協力者ごとにカウンタバランスをとった。

#### 4.3 主観評価

各条件での体験直後にアンケートを実施、また全条件終了後、比較アンケートを実施し、斬撃感や集中に関する主観的な回答を収集する。具体的なアンケート項目は以下の通りである。回答は「1:全くそう思わない」～「4:どちらともいえない」～「7:非常にそう思う」の等間隔7段階の評価で実施してもらい、各項目に回答の理由を問う自由記述欄を用意している。また、全てのアンケート終了後にインタビューも行う。

<各条件体験後アンケート>

- ① 斬撃感がリアルだと感じたか
- ② 硬い物体を斬った際に生じるしびれ感覚に近かったか
- ③ 狙いを定めている感覚があったか

<全条件体験後比較アンケート>

- ① 最も斬撃感を感じた条件はどれか

### 5. 結果と考察

実験は現在進行形なので、本稿では実験協力者2名の結果について述べる。各条件体験後のアンケート結果を図4～6に示す。4条件での比較を行うと、条件1の視覚触覚双方があり、斬撃感のリアルさと硬い物体を斬った際に生じるしびれ感覚への再現において最も評価が高いことがわかる。また、比較アンケートの結果によると、協力者2名とも最も斬撃感を感じた条件は条件1と回答した。条件1では、「竹を斬ったときの反作用的な力を感じられた気がした」、「振動がビリビリしていた」、「斬るときに竹の色が濃くなって周りがモノクロになっているときがあった」という意見が見られた。このことから、視覚刺激によって再現した熟練者の視線パターンと触覚提示の組み合わせが斬撃感のリアリティ向上に寄与したと考えられる。

一方で、図5を見ると触覚提示を行っている条件2においてしびれ感覚の評価が低い傾向がみられた。触覚提示を行っているため、条件1と同様にしびれ感覚の再現性は高まると予想していたが、ソレノイドとLRAによる触覚提示だけではしびれ感覚の再現性を高められるとは限らない可能性があることが示唆された。これは、体験者の意識が周囲の景色や色に向かったことで注意が分散し、母指球への刺激を感じにくかったことが考えられる。

実験後に行ったインタビューでは、周辺環境をグレース

ケール化する視覚刺激に対して、「思い込みかと思った」、「一点集中すると周りが見えなくなることがあるため、普段通りだと思った」という意見がみられ、注視しているオブジェクト以外をグレースケール表示に変換する手法は、体験の質を損なわずに斬撃感の再現に寄与すると考えられる。

以上の結果はまだ協力者2名による評価であるため、今後は剣道経験者や多様な年齢層を含めて被験者数を増やし実験を行うことが課題である。

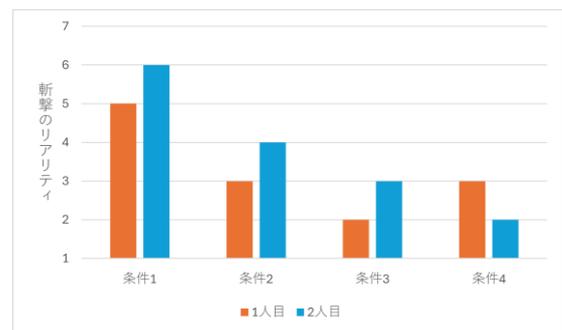


図4 各条件実施後アンケート①  
「斬撃のリアリティ」の比較

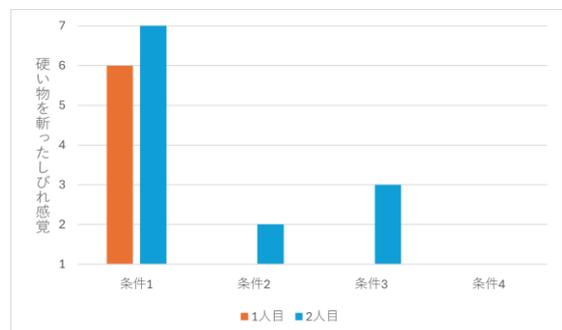


図5 各条件実施後アンケート②  
「硬い物を斬ったしびれ感覚」の比較

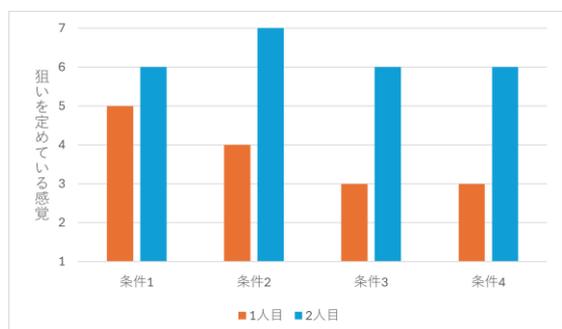


図6 各条件実施後アンケート③  
「狙いを定めている感覚」の比較

## 6. おわりに

本論文では、日本刀を用いる抜刀道の「斬撃感」を再現することを目的とし、斬撃前後の集中状態と掌に生じる衝撃・しびれに着目し、柄型デバイスおよびそれを用いる斬撃体験 VR シミュレータ「心斬体」を提案した。集中状態については、「遠山の目付」を参考に、注視対象以外の環境をグレースケール表示にし、対象全体を周辺視野で捉えやすくする視覚演出を行った。斬撃の触覚としてソレノイドによる衝突時の反力と LRA による母指球への局所的なしびれを提示できる柄型デバイスを設計・実装した。

これらの振動提示と視覚効果が斬撃体験のリアリティに与える影響を検証するため評価実験を行った。その結果、視覚刺激と触覚刺激を組み合わせた斬撃体験は斬撃感のリアリティ向上に寄与する可能性が示唆された。ただし、ソレノイドと LRA による触覚提示だけではしびれ感覚の再現性を高められるとは限らない可能性があることも示唆された。

今後は、協力者数を増やすことや属性を変えて追加実験することが課題である。また、更なるリアリティ向上のために、ソレノイドと LRA の効果的な触覚提示タイミングを検証するとともに、これら以外を用いた触覚提示による斬撃感の提示方法も検討することでよりリアルな斬撃体験を追求したい。本研究では触覚提示と視覚効果が斬撃感にどのように作用するかを検証を目的としたため、触覚刺激と視覚刺激の相互作用については分析できていない。将来的には、この2つの刺激がどのように作用しあうかの分析を行った上でのシステムの改善も行いたい。

## 参考文献

- [1] 居合道 道場案内所, 「日本抜刀道連盟 士成会支部」, <https://iai-doj.jp/dojo/%E6%97%A5%E6%9C%AC%E6%8A%9C%E5%88%80%E9%81%93%E9%80%A3%E7%9B%9F+%E5%A3%AB%E6%88%90%E4%BC%9A%E6%94%AF%E9%83%A8.html>, (閲覧日:2025年12月6日)
- [2] 一般社団法人 全日本抜刀道連盟, 「抜刀道とは」, <https://znbatto.com/about>, (閲覧日:2025年11月29日)
- [3] 名古屋刀剣博物館 名古屋刀剣ワールド, 「剣術における8種類の斬り方」, <https://www.meihaku.jp/sword-basic/swordsmanship-howto/>, (閲覧日:2025年12月3日)
- [4] Takaaki Kato, 「Using “Enzan No Metsuke” (Gazing at the Far Mountain) as a Visual Search Strategy in Kendo」, *Frontiers in Sports and Active Living*, 2020, vol2, Article40, <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00040>
- [5] 小野田響, 小湊咲, 中村一翔, 柏木嵐, 坂本泰清, 藤亘輝, 「次元切断刀」, 第29回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2024, IVRC-08
- [6] 古堅耕太郎, 兼松 祥央, 三上 浩司, 「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」, 情報処理学会インタラクティブ2020論文集, pp629-632
- [7] 藤田光, 細井十楽, 伴祐樹, 割澤伸一, 「振動・熱刺激を用いたしびれ感覚の提示による衝撃感の向上」, 第29回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2024, 3G-12.