



鐘撞き VR における振動刺激による衝突時の力触覚提示

Haptic Presentation of Vibration at the Collision in KANETSUKI-VR

高木周平¹⁾, 新美将太郎¹⁾, 岩田賢樹²⁾, 那須龍平²⁾, 柳田康幸²⁾

Shuhei TAKAGI, Shotaro NIIMI, Yoshiki IWATA, Ryuhei NASU, and Yasuyuki YANAGIDA

1) 名城大学 理工学研究科 情報工学専攻

(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口一丁目 501 番地, {193426005, 193426010}@ccalumni.meijo-u.ac.jp)

2) 名城大学 理工学部 情報工学科

(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口一丁目 501 番地, {150441018, 150441098}@ccalumni.meijo-u.ac.jp, yanagida@meijo-u.ac.jp)

概要: 我々は鐘撞きを VR 空間で体験できるシステム「鐘撞き VR」を構築した。本システムでは、撃力反転機構により、鐘撞きをした際の撞木運動方向の反転や撞木の重さ、非弾性衝突を再現した。しかし、撞木と鐘という、固い物体同士が衝突する瞬間の感覚を十分再現できていたとは言いがたい。そこで、撞木部分の紐に取り付けたボイスコイルモータにより振動刺激の提示を行い、衝突感を演出した。また、振動刺激により固い物体同士が衝突する瞬間の感覚を再現し鐘撞き体験の質の向上ができているか、評価実験を行った。

キーワード: 振動, 力覚, 触覚, エンタテインメント

1. はじめに

大晦日の夜、人間が持つ 108 の煩惱を鎮めるため鳴り響く鐘の音がある。日本の伝統文化の「除夜の鐘」である。しかし近年、この年の瀬の風物詩が消えていく状況にある。「除夜の鐘」は大晦日の深夜から翌年にかけて行われる。深夜に行われていることから、騒音であるという苦情が寄せられ「除夜の鐘」を取りやめる寺院もある。伝統文化の継承のためにも我々は「鐘撞き VR」と称し、VR (Virtual Reality) で鐘撞きを再現、体験できるシステムを構築した。鐘撞き VR 体験の様子を図 1 に示す。

VR は視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚の五感を対象としたものである。このような五感の情報を組み合わせて伝統を継承するという方法はただ観察するだけよりも短時間で学習を行うことができると言われている。VR と伝統文化の継承は親和性が高いと考えられている[1]。鐘撞きのような文化の伝承には VR との親和性が高いと考え、鐘撞き VR を構築した。

既存の鐘撞き VR システムでは、「撃力反転機構」[2][3]と称した機構により鐘撞きをした際の撞木運動方向の反転や撞木の重さ、非弾性衝突を再現している。しかし、鐘撞きにおける撞木と鐘という固い 2 物体が衝突した瞬間の感覚を十分に再現できていたとは言えない。この感覚は、撞木と鐘が衝突した瞬間の体験者の手に伝わる振動や衝

突した直後の手に伝わる振動の余韻のことである。

そこで、撞木部分の紐にボイスコイルモータを取り付け、振動提示をすることで固い 2 物体が衝突した瞬間の感覚を再現した。

また、ボイスコイルモータの振動刺激による固い 2 物体が衝突した瞬間の感覚の再現について被験者の主観評価を行った。

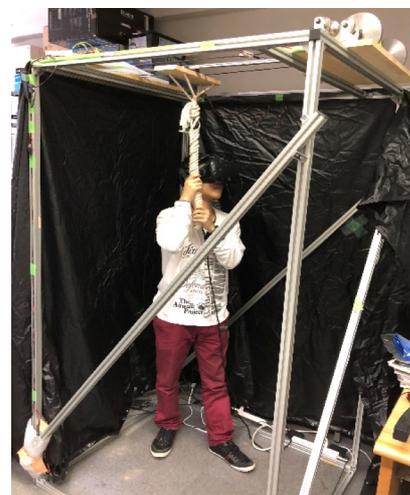


図 1 鐘撞き VR 体験の様子

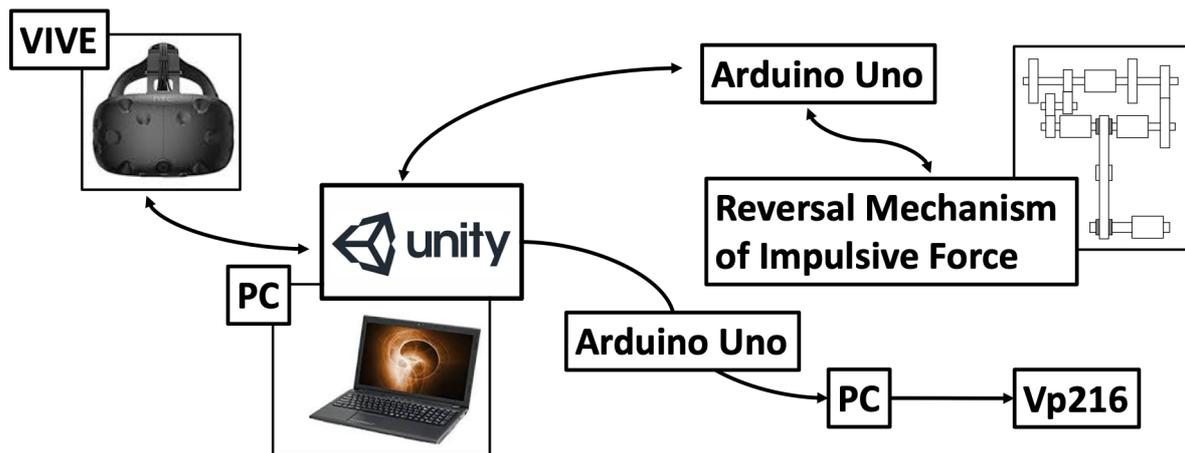


図 2 : システム構成

2. 関連研究

今回、撞木と鐘という、固い物体同士が衝突する瞬間の感覚を振動提示により再現する。これまでも振動提示による触覚の再現をしたデバイスがある。

バレーボールのサーブ・レシーブなどの技の種類やボールの往来の触覚提示するリストバンド型ハプティックデバイスがある[4]。このデバイスは手首の上下左右4箇所振動アクチュエータが接するように構築されたものであり、振動刺激の提示位置と振動の種類を変えることでサーブ・レシーブ・アウト・インの4種類のイベントを表現する振動刺激を提示している。

バレーボール中継を能動的に楽しむためのボール型ハプティックインターフェースの開発もされている[5]。バレーボール中継の選手によるレシーブ、トス、アタックといった打撃を振動により提示している。

また、視覚情報の映像提示、聴覚情報の音声提示をするコンテンツに振動情報を組み合わせることによって臨場感、没入感、現実感といった体験のリアリティが向上するという報告がある[6]。

既存の鐘撞きVRに不足していた固い物体同士が衝突する瞬間の感覚の再現、鐘撞きという体験の質の向上を目的とし振動刺激を組み合わせられるシステムを構築した。

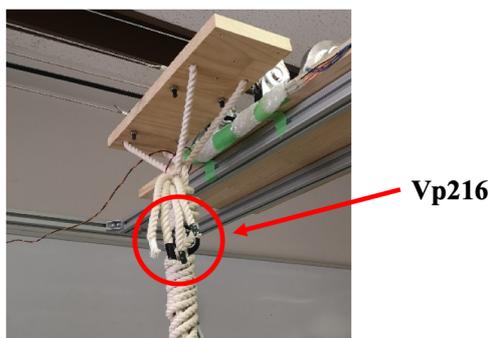


図 3 : 紐部分内のボイスコイルモータ (Vp216)

3. システム概要

鐘撞きシステムの構成を図2に示す。

今回、ボイスコイルモータに出力する振動提示の音源は龍泉寺（愛知県名古屋市守山区）の鐘樓の鐘を撞いた際の撞木の紐部分の振動を収録したものを使用している。体験者が掴む紐部分にマイクを設置し収録した。収録した振動刺激は撞木と鐘の衝突瞬間から振動がなくなるまでの約2秒間の音声情報である。

振動刺激に使用するボイスコイルモータは Vp216 (Acouve Lab 社製) を使用している。ボイスコイルモータは図3のようにシステムの撞木部分の紐部分内に設置した。

鐘撞きの際の撞木運動方向の反転や撞木の重さ、非弾性衝突の再現には既存の撃力反転機構を用いる。撃力反転機構には電磁クラッチを3つ、フライホイールを2つ、ロータリーエンコーダを1つ使用する。使用する電磁クラッチはAMP-20 (小倉クラッチ社製)、ロータリーエンコーダはE6B2-CWZ6C (オムロン社製) を使用する。撃力反転機構の撞木と鐘の衝突前後の動作を図4に示す。フライホイールを体験者に回転させることで撞木の重量感を提示する。衝突前後の電磁クラッチのON、OFFの切り替えにより、伝達するギア配列の数が偶数から奇数に変わり、体験者には撞木部分の運動方向が反対になる。また、衝突瞬間において1つのフライホイールを電磁クラッチの動作により切り離すことで、エネルギー損失させ非弾性衝突を再現している。

体験スペースにおけるボイスコイルモータが取り付けられた紐や撃力反転機構の位置関係を図5に示す。

ソフトウェア構成としては、Unity (Unity Technologies 社製) で作成したアプリケーションで映像提示や音声提示、力触覚提示、振動提示を同期させている。鐘や撞木、景色などのアニメーションの映像提示にはヘッドマウントディスプレイのVIVE (HTC 社製) を使用している。鐘を撞いた際の音声提示にはVIVE デラックスオーディオストラ

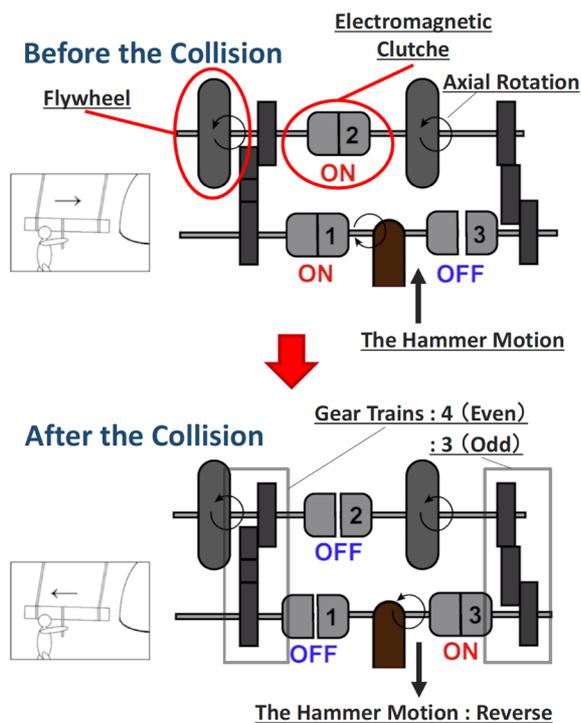


図 4：撃力反転機構の衝突前後の動作

ップ (HTC 社製) を使用した。撃力反転機構の制御は Arduino Uno を介したシリアル通信で PC により制御した。ボイスコイルモータ Vp216 への振動刺激の音声出力には Unity を起動している PC (GALLERIA ドスパラ社製) とは別に用意した PC (MacBook Pro Early 2015 Apple 社製) で行っている。2 台の PC において Arduino Uno を介したシリアル通信を行い、Unity のアプリケーションによって振動刺激を制御している。

映像提示や音声提示、力触覚提示、振動提示の同期は HMD に出力されるアニメーションの 3D オブジェクトである撞木と鐘の衝突判定によって行われる。

4. 主観評価実験

ボイスコイルモータの振動刺激により固い 2 物体が衝突した瞬間の感覚を再現できているかを被験者の主観により評価させた。

4.1 実験方法

被験者には鐘撞き VR をボイスコイルモータによる「振

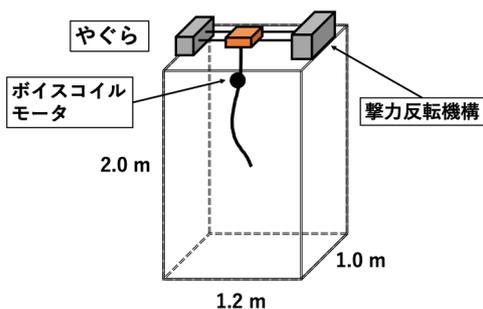


図 5：体験スペース

動刺激なし」と「振動刺激あり」について順番に体験させた。それぞれの体験の後に「固い 2 物体が衝突した瞬間の感覚を再現できているか」について 1~5 の 5 段階で評価させた。鐘を撞くという体験の試行回数は 3 回ずつとした。被験者は 20 代男性 7 名である。

4.2 実験結果

ボイスコイルモータによる「振動刺激なし (Non-Vibration)」と「振動刺激あり (Vibration)」について 7 名の被験者 (A~G) の主観評価値と平均の評価値を図 6 に示す。主観評価結果より平均値は「振動刺激なし」が 2.9, 「振動刺激あり」が 4.3 という結果になった。また、「振動刺激なし」と「振動刺激あり」のデータ群の間で対応のある t 検定をかけたところ $p = 0.0015$ となり、平均値の有意差が確認された。また、実験後のインタビューにおいて「固い 2 物体が衝突した瞬間の感覚の再現は振動があったほうが良い。」、「振動で衝突している感じがした。」といった意見や「振動があったほうが良いが振動の仕方に違和感がある。」、「振動が細かすぎる (振動周波数が高い)」といった意見があった。

5. 考察

被験者による主観評価結果より、「固い 2 物体が衝突した瞬間の感覚」について「振動刺激なし」よりも「振動刺激あり」が再現できていることが確認できる。被験者 7 名全員について「振動刺激なし」よりも「振動刺激あり」の評価が高かった。平均値の有意差が確認できた。このように振動刺激があると「固い 2 物体が衝突した瞬間の感覚の再現」ができていると考えられる。インタビューによる意見にも「固い 2 物体が衝突した瞬間の感覚の再現は振動があったほうが良い。」、「振動で衝突している感じがした。」といった振動があったほうが良いという意見があったため、振動刺激がある方が衝突した瞬間の感覚の再現ができていると考えられる。

しかし、実験後のインタビューの結果にもあるように「振動があったほうが良いが振動の仕方に違和感がある。」、「振動が細かすぎる (振動周波数が高い)」というように振動自体があることは良いが振動の音源に違和感があるという意見があった。今回のボイスコイルモータに出力す

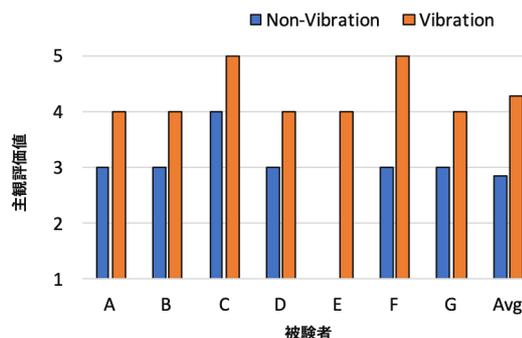


図 6：主観評価結果

る振動刺激の音声は実際の鐘を撞いた際に録音したものである。しかし、撞木の紐部分に設置して録音していたとはいえ鐘を撞いた際の音も含まれるものであった。鐘を撞いた際の音が振動を再現するうえでノイズとなってしまう違和感を与えたのではないかと考えられる。

また、「今回使用したボイスコイルモータの振動では鐘を撞いた際の固い 2 物体が衝突した瞬間の感覚の再現はできないのではないか」という意見もあり。振動刺激を提示する新たな振動子の検討を行う必要がある。

6. まとめ

本研究では、既存の鐘撞き VR では不足していた撞木と鐘という固い物体同士が衝突する瞬間の感覚の再現を振動提示で行うシステムを構築した。

また、振動刺激を与えることのできるシステムについて主観評価実験を行った。その結果から振動刺激がある方が固い物体同士が衝突する瞬間の感覚の再現ができることが確認された。しかし、振動に違和感がある被験者もいた。今後は振動の録音の方法や振動刺激を提示する新たな振動子の検討を行う必要がある。

謝辞 本研究の趣旨を理解し快く協力して頂いた龍泉寺（愛知県名古屋守山区）の皆様には厚く御礼を申し上げます。感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 檜山敦, 土山裕介, 宮下真理子, 江渕栄貴, 関正純, 廣瀬通孝: 一人称視点からの多感覚追体験による伝統技能教示支援, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.16, No.4, pp.643-652, 2011.
- [2] 新美将太郎, 高木周平, 岩田賢樹, 那須龍平, 柳田康幸: 撃力反転機構を用いた 鐘撞き VR の構築 —システムコンセプトとハードウェア—, ロボティクス・メカトロニクス講演会, No.19-2, 2A1-T07, 2019.
- [3] 高木周平, 新美将太郎, 岩田賢樹, 那須龍平, 柳田康幸: 撃力反転機構を用いた 鐘撞き VR の構築 —ソフトウェア構築とシステム評価—, ロボティクス・メカトロニクス講演会, No.19-2, 2A1-T05, 2019.
- [4] 東真希子, 半田拓也, 清水俊宏, 近藤悟: 触覚による情報伝達のためのリストバンド型ハプティックデバイスの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第 23 回大会, 21A-4, 2018.
- [5] 半田拓也, 東真希子, 清水俊宏, 近藤悟: スポーツ中継を能動的に楽しむためのボール型ハプティックインターフェースの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第 23 回大会, 21A-5, 2018.
- [6] 半田拓也, 有安香子, 川喜田裕之: 映像音声と振動との提示時間差の許容範囲およびリアリティ評価, ITE Annual Convention 2015, 22C-2, 2015.