

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：32708

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18095

研究課題名（和文）聴覚刺激のクロスモーダル知覚による擬似触力覚の呈示

研究課題名（英文）Pseudo-haptic Feedback by Cross-modal Perception of Auditory Stimuli

研究代表者

中島 武三志（Nakajima, Musashi）

東京工芸大学・芸術学部・助教

研究者番号：60707404

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,600,000円

研究成果の概要（和文）：ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を用いた人工現実感（VR）/複合現実感（MR）環境において、映像内の仮想物体の位置や形状を変形することで、擬似的に触覚や力覚が知覚される現象（擬似触力覚）が報告されている。本研究では、仮想物体への接触時に効果音を呈示すると擬似触力覚にどのような影響が生じるかを検証した。

その結果、効果音によって触覚の強度や鋭鋭性が変化することが示された。また、接触音の低周波数帯域のパワーが相対的に大きいほど手や腕に感じる抵抗感（力覚）が大きくなることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における成果により、呈示可能な強度の限界が指摘されていた擬似触力覚において、効果音を付加したり、その周波数特性をコントロールすることによって、より豊かな触力覚を呈示可能であることを明らかにした。特に、物理シミュレーションによるリアルな接触音でなくても、VR/MRコンテンツの制作意図に応じた効果音によって触力覚をコントロールできる可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：In an artificial reality (VR) / mixed reality (MR) environment using a head-mounted display (HMD), a phenomenon has been reported in which the sense of touch and force are perceived in a pseudo manner by deforming the position and shape of a virtual object (Pseudo-haptics). In this research, how the pseudo-haptic sensation is affected by presenting an artificial contact sound when contacting a virtual object was examined.

As a result, it was shown that the tactile strength and sharpness change depending on the contact sound. It was also found that the relatively large power in the low frequency band of the contact sound increases the sense of resistance (force sensation) felt in the hands and arms.

研究分野：感性情報学

キーワード：擬似触力覚 クロスモーダル 聴覚刺激 VR MR

1. 研究開始当初の背景

(1) ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いた人工現実感 (VR) / 複合現実感 (MR) 環境において、表示される映像内の CG オブジェクトの位置や形状を変形して表示することで、擬似的に触覚や力覚が知覚される現象が報告されている。このような錯覚は、ある感覚における知覚が別の感覚における知覚に影響を及ぼすクロスモーダル知覚の一種であり、擬似触力覚 (スードハプティクス) と呼ばれる。擬似触力覚は、体に外部装置を装着する形で実際に体性感覚を呈示する必要がない点特徴である。特に VR 環境においては、HMD を装着して視界を遮られた状況下で外部装置を手や腕に装着する手間や負担から解放される。また MR 環境においては、実世界環境に重ねて表示された仮想の物体や、ウィンドウやボタンといった UI に触れて操作する状況でも外部装置が映像内に映り込む心配がない上、ユーザが外部装置から離れられず行動が制限されることもない。このように、擬似触力覚は外部装置を装着することによる手間や負担、制約が少なく、HMD を装着した VR/MR 体験中でも手軽に触力覚を呈示できる手法として期待されている。

(2) 一方で、得られる擬似触力覚の強度には限界があるとも指摘されており^[1]、十分に触感が得られないことが課題となっていた。擬似触力覚の強度を高め、より豊かな触感を呈示するには、視覚刺激だけでなく複数の感覚刺激を呈示することが有効であると考えられる。特に聴覚刺激は、触力覚を受容する体験において共起性の高いモダリティの一つである。すなわち、人間が対象物体に触れる、動かす等の身体動作に伴って、多くの場合で物体が振動し、音波が発生する。したがって、触力覚と聴覚はしばしば同時に知覚されることとなる。人間はこのような触力覚と聴覚刺激の共起性を実世界とのインタラクションから学習し、経験として蓄積している。この経験こそが、クロスモーダル知覚を引き起こす重要な手がかりとなる。このような背景を踏まえ、筆者はこれまで身体動作に応じて変化する効果音による擬似力覚誘発の可能性を検討してきた^[2]。それまでの研究により、仮想物体を動かす動作に応じて音高が変化する聴覚刺激を呈示することで、擬似的に知覚される力覚を高められる可能性が示されていた。しかし、音高以外の音響パラメータが擬似力覚に及ぼす影響についての検討や、手触りや質感といった触覚の質的側面に対する影響は明らかになっていなかった。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、HMD を装着した VR/MR 環境において、仮想物体に手で接触する際に呈示される効果音が擬似触力覚に及ぼす影響を検証することが目的である。具体的には以下の 4 項目について研究を進めた。

1. MR 環境下での効果音が擬似触覚の強度に与える影響
2. MR 環境下での効果音が擬似触覚の質に与える影響
3. VR 環境下での効果音の周波数特性が擬似力覚に与える影響
4. 効果音による擬似力覚の変化を体験できる VR コンテンツへの応用

3. 研究の方法

(1) 本研究の目的として掲げた 4 項目について、以下に具体的な方法を述べる。MR 環境下での効果音が擬似触覚の強度に与える影響に関しては、効果音の有無および音量によって擬似触覚の強度に差があるかを検証するための主観評価実験を実施した。実験では、ビデオスルー型 HMD 上に表示される仮想物体に手で触れる行為に合わせて効果音を呈示し、効果音のない標準刺激と比較した触感の大きさを ME 法 (magnitude estimation method) で評価した。その後、得られた触感に関するインタビューを行った。実験参加者は 2 種類の仮想物体と触れる動作に対し、それぞれ 5 種類の異なる音量の効果音が呈示された。実験参加者は図 1 に示す仮想の立方体 (以下、仮想キューブ) を左右の手のひらで転がす動作と、図 2 に示す仮想の球体 (以下、仮想スフィア) を片手で弾く動作を行った。



図 1 仮想キューブを転がす様子

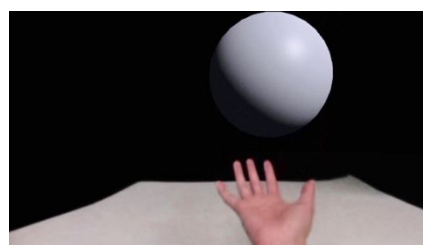


図 2 仮想スフィアを弾く様子

(2) MR 環境下での効果音が擬似触覚の質に与える影響に関しても(1)と同様の主観評価実験を行った。実験では、(1)での実験と同様の動作に対して、効果音がない場合と呈示した場合の触感に対する印象を SD 法 (semantic differential method) を用いた五件法で評価した。仮想物体に触れる体験として、大きさ・形状の異なる仮想物体に対し、異なる動作量の

2種類を用意した。実験参加者は仮想キューブを左右の手のひらで転がす動作と、仮想スフィアを片手で弾く動作を行った。

(3) VR環境下での効果音の周波数特性が擬似力覚に与える影響に関しては、周波数特性の異なる聴覚刺激に対して得られる擬似力覚の強度を検証するための主観評価実験を実施した。実験では、HMD上に表示される仮想の流体に手で触れながら動かす動作時に聴覚刺激を呈示した。標準刺激と比較刺激を交互に呈示し、「手や腕に感じる抵抗感」をME法(magnitude estimation method)で評価させた。その後、得られた触感に関するインタビューを行った。実験参加者はホワイトノイズに4種類の異なるフィルタ処理を施した効果音が呈示された。実験参加者は図3に示すように上から下へ落ちる仮想流体に右手を入れ、上下に動かす動作を行った。



図3 流体内で手を動かす様子

(4) 効果音による擬似力覚の変化を体験できるVRコンテンツへの応用に関しては、本研究を通して得られた知見を応用したアート・エンタテインメント作品の制作・展示活動を行った。

4. 研究成果

(1) MR環境下での効果音が擬似触覚の強度に与える影響に関して、効果音を提示すると触感は大きく感じられ、効果音なしを100とした時の評価値は平均して約1.5倍になることが実験結果より分かった(図4)。一方、音量による感じ方の違いは個人差が大きいことが判明した。また効果音による擬似触覚の強度の増加率は、仮想物体の形状や動作にそれほど影響しない可能性が示唆された。

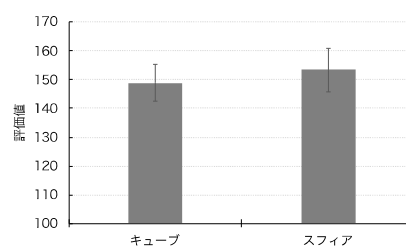


図4 体験ごとの擬似触覚強度の評定平均値

(2) MR環境下での効果音が擬似触覚の質に与える影響に関して、触感の印象は、強度因子、鋭性因子、豊潤性因子の3因子で構成される結果となった。また、視覚刺激によって判断される仮想物体の強度と鋭性が、効果音によって変化することが示された(図5)。一方、豊潤性因子に関しては、今回使用した効果音では大きな影響はなかった。

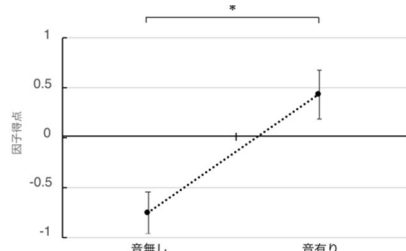


図5 仮想スフィアにおける「鋭性」因子得点平均値

(3) VR環境下での効果音の周波数特性が擬似力覚に与える影響に関して、高周波数帯域に比べて低周波数帯域の音量が相対的に大きいほど「手や腕に感じる抵抗感」は大きくなることが実験結果より示された(図6)。

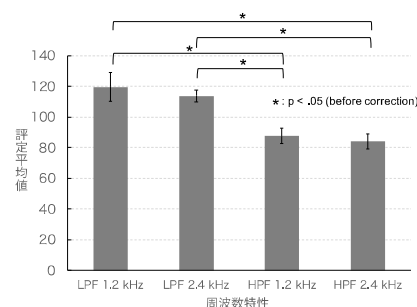


図6 「手や腕に感じる抵抗感」の評定平均値

(4) 効果音による擬似力覚の変化を体験できるVRコンテンツへの応用に関して、(3)で得られた結果をもとに知覚される力覚の異なる様々な仮想流体に手を触れながら自身の感覚に意識を集中させることで、没入感が得られるインタラクティブコンテンツ(作品名: 電脳瀑布, 図7)を提案した。また、体験時の様子を収めた動画をインターネット上に公開する形で研究成果の発信を行った。

<引用文献>

- [1] 鳴海拓志. “Pseudo-haptics 応用インタフェースの展望 疑似触力覚提示からその先へ”. システム/制御/情報, 61巻11号, pp.463-468, 2017.
- [2] 臼井亮人, 中島武三志, 菅野由弘. “視覚及び聴覚刺激によるクロスモーダル現象を利用した力覚の錯覚”. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集, pp.184-187, 2017.

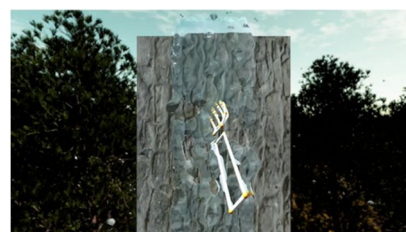


図7 「電脳瀑布」体験時の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Nakajima, Musashi	4. 巻 2019
2. 論文標題 Pseudo-haptic feedback by cross-modal perception of auditory stimuli	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Impact	6. 最初と最後の頁 36-38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21820/23987073.2019.10.36	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 中島武三志, 植井康介, 飯田隆太郎	4. 巻 25
2. 論文標題 MR環境下での擬似接触音が触感錯覚に与える影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 白井 亮人, 中島 武三志, 菅野 由弘	4. 巻 23
2. 論文標題 視覚及び聴覚刺激によるバネの擬似力覚呈示	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 271-279
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18974/tvrsj.23.4_271	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 植井 康介, 飯田 隆太郎, 中島 武三志, 菅野 由弘
2. 発表標題 MR環境における擬似接触音の音量が触感に及ぼす影響
3. 学会等名 エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮下 翔, 中島 武三志, 菅野 由弘
2. 発表標題 掌握運動中に提示される音が力覚に及ぼす影響
3. 学会等名 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植井 康介, 中島 武三志, 菅野 由弘
2. 発表標題 聴覚刺激によるMR環境下での擬似触覚の強化
3. 学会等名 インタラクシオン2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小栗 令央, 中島 武三志, 菅野 由弘
2. 発表標題 仮想現実空間における振動スピーカを内蔵した靴型デバイスによる足底への擬似圧覚提示
3. 学会等名 インタラクシオン2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植井 康介, 中島 武三志
2. 発表標題 VR環境下における接触音の周波数特性が擬似触力覚に与える影響
3. 学会等名 インタラクシオン2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------