

# VR・MR 環境下での聴覚刺激による擬似的な体性感覚提示手法の検討

Study of Simulated Somatosensory Feedback Method by Auditory Stimuli in VR/MR Environment

5119E004-0 植井 康介 指導教員 菅野 自由弘 教授  
UEI Kosuke Prof. KANNO Yoshihiro

概要： ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を装着した人工/複合現実感環境（VR/MR）における体性感覚提示手法として、感覚間の相互作用（クロスモダリティ）による錯覚が応用されている。このようなクロスモーダル錯覚による体性感覚提示手法は、外部装置を装着する負担の少ない手法として期待されている一方、得られる触感が微弱であることが課題となっている。本研究では、触覚との共起性が高いモダリティである聴覚に着目し、VR/MR 環境下で仮想物体に接触した際に提示される聴覚刺激が体性感覚へ及ぼす影響の解明を目的とした。具体的には、皮膚感覚に対する検証として、手のひらで仮想の物体と触れ合う際に擬似的な接触音を付加し、それによって得られる触感錯覚への影響を強度と印象の観点から検証した。そして深部感覚に対する検証として、接触音の周波数特性に着目し、仮想の流体に手を入れる動作に対し手や腕に受ける擬似力覚への影響を検証した。

キーワード：クロスモダリティ，VR，MR，体性感覚，聴覚刺激

Keywords: cross-modality, virtual reality, mixed reality, somatosensory feedback, auditory stimulus

## 1. 序論

HMD を装着した VR・MR 環境における体性感覚提示手法として、感覚間の相互作用（クロスモダリティ）による錯覚が応用されている。

このようなクロスモーダル錯覚による体性感覚提示手法は、外部装置を装着する手間や負担の少ない手法として期待されているが、得られる体性感覚は微弱であることが課題となっている。[1]

この擬似的に得られる体性感覚をより強める手段として、筆者は触覚との共起性が高いモダリティである聴覚に作用する刺激に着目した。

本論文は、VR・MR 環境下で仮想物体に触れる際、擬似的に知覚される体性感覚を変化させる上で有効な聴覚刺激提示手法の解明を目的とする。

具体的には、仮想物体と手のひらが接触した際に提示される擬似接触音が体性感覚の錯覚に与える影響について、皮膚感覚と深部感覚の観点から検証する。

## 2. MR 環境下での擬似接触音を用いた皮膚感覚の錯覚提示

本章では、MR 環境下で仮想物体との接触時に提示される聴覚刺激が擬似的な体性感覚へ与える影響の解明のため、2種類の異なる大きさ・形状の仮想物体(図1)を想定し、手のひらに接触した際に提示される擬似接触音が体性感覚の錯覚に与える影響について、大きさと質の観点から検

証した。

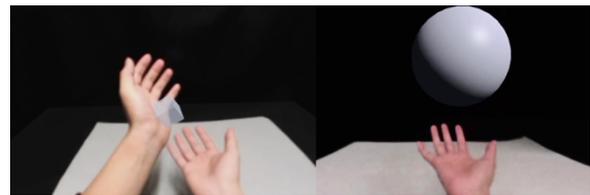


図1 実験で使用した2種類の仮想物体

音量と知覚される触感の関係(図2, 図3)は、平均値の値からは単調増加傾向であったが、標準誤差を考慮するとどの音量においても触感への影響にほとんど差は見られなかった。

仮想物体の形状や動作にあまり影響しない可能性が示唆され、かつ音量を接触の強さとして解釈する傾向は個人差が大きく、必ずしも音量が大きいほど触感が大きくなる訳ではないことが判明した。この理由として、視覚刺激によって得られる物体の解釈や大きさ、速度などの情報に対して、経験的にもっともらしく感じられる擬似接触音の音量が存在していた可能性が推測される。

また、MR 環境下で仮想物体が手に接触する際の触感の印象は、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。強度因子と鋭性因子に関しては強い相関を示しており、共に仮想スフィアにおける擬似接触音の影響が大きかった。このことから、動作量や仮想物体の形状によっては、視覚刺激によって判断される仮

想物体の強度や尖鋭性が、聴覚刺激によって変化することが示された。

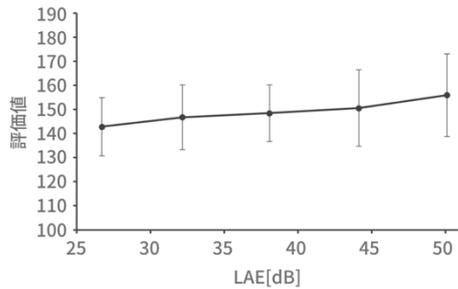


図2 音量ごとの触感の大きさの平均値 (仮想キューブ)

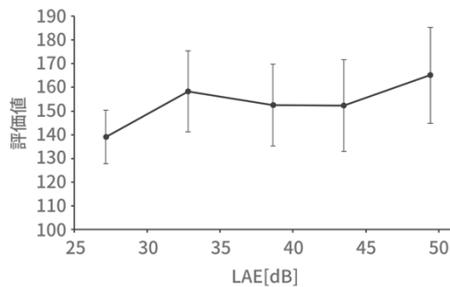


図3 音量ごとの触感の大きさの平均値 (仮想スフィア)

### 3. VR 環境下での接触音の周波数特性の変化を利用した深部感覚の錯覚提示

本章では、擬似接触音の周波数特性が擬似力覚に与える影響の解明のため、HMD を装着した VR 環境下で仮想流体に触れる際、接触音の周波数特性が流体から手や腕に受ける擬似力覚の大きさに及ぼす影響について検証した。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(図4)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聴覚刺激が提示された。



図4 仮想流体内で手を動かす様子

各実験条件における「流体から手や腕に感じる抵抗感」の大きさを図5に示す。結果より、接触音の周波数特性は「体から手や腕に感じる抵抗

感」の大きさに影響を及ぼすことが分かった。特に、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「体から手や腕に感じる抵抗感」は大きくなると考えられる。参加者からのインタビュー結果からは、各条件において水の重さの違いを感じていたことが読みとれ、聴覚刺激が与える重さの印象が「体から手や腕に感じる抵抗感」の知覚に影響を及ぼしたと推察できる。

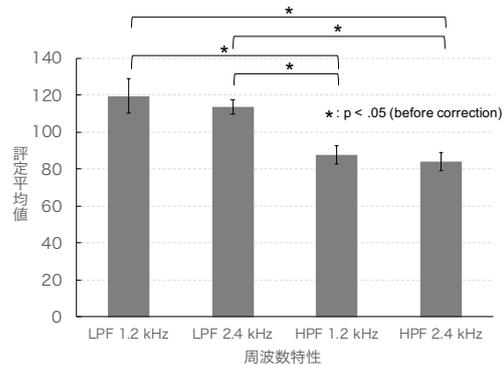


図5 「手や腕に感じる抵抗感」の評定平均値

### 4. 結論

本研究では、VR・MR 環境下で知覚される体性感覚の提示において聴覚刺激に着目し、仮想物体と手のひらが接触した際に提示される擬似接触音が体性感覚の錯覚に与える影響について、皮膚感覚と深部感覚の観点から検証した。これらをまとめると、本研究を通して以下の知見が得られた。

- (1) 擬似接触音を提示すると擬似的な皮膚感覚は大きく感じられるが、音量による感じ方の違いは個人差が大きい
- (2) 触感の印象は、動作量や仮想物体の形状によっては、視覚刺激によって判断される仮想物体の強度や尖鋭性が、聴覚刺激により変化
- (3) 低周波数帯域の音量が相対的に大きいほど「流体から手や腕に感じる抵抗感」が大きくなる

本論文によって得られたこれらの知見は、クロスモーダル錯覚による体性感覚提示手法の発展に貢献するものとする。

注：

[1] 盛川浩志, 飯野瞳, 金相賢, 河合隆史：シースルー型 HMD を用いた微触感錯覚の呈示と評価；日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 18(2), p. 151-159 (2013).