

VisualHaptics を用いた受動操作における擬似触覚生起の検証

松本英資^{†1} 安中勇貴^{†1} 山岸丈留^{†1} 相澤裕貴^{†2} 渡邊恵太^{†1}

概要：立体感や奥行き感、質感などで擬似触覚を提示するシステム「VisualHaptics」がある。我々は様々な条件で VisualHaptics を体験しているときに、自分が操作していなくてもカーソルと自分の手の動きが一致していれば、擬似触覚を感じることを発見した。そこで本研究では、能動的にマウスを操作する条件と受動的に手が動かされる条件で VisualHaptics を体験し、それらの体験の違いを調べる。本稿では、能動操作の擬似触覚と受動操作の擬似触覚の違いを調べた簡易的な実験の内容と結果についてまとめる。



図 1 受動操作による擬似触覚体験

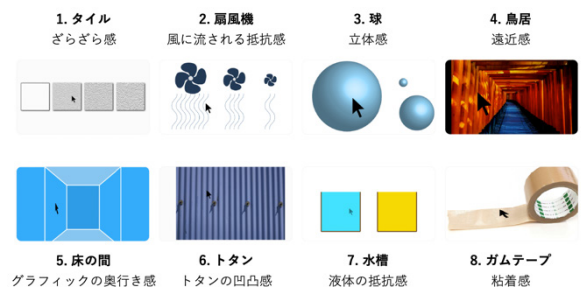


図 2 VisualHaptics

番号はタスクで体験した順番を表す

1. はじめに

視覚情報だけでも、実際にはないはずの触覚を起こす現象がある。これは擬似触覚 (Pseudo-haptics) [1] と呼ばれ、GUI や VR 空間における触覚提示手法としての応用が期待されている。

渡邊らは、マウスカーソルにおける擬似触覚システム「VisualHaptics^a」を提案した[2]。VisualHaptics は、ユーザがマウスを動かして、操作したカーソルの動きや形の変化で擬似触覚を生み出す。この要因として、渡邊らはカーソルに対する所有感が関係していると考察している[3]。神保らは、動いているマウスに手を乗せて、手が動かされている状態 (受動操作) でも、マウスと同じ動きのカーソルに所有感を感じると考察した[4]。これらから能動操作だけではなく、受動操作でも擬似触覚を感じる可能性が考えられる。他に能動操作以外でも、画面上に指を添えて指先のアニメーションを眺めているだけで、擬似触覚を得られることがわかっている[5]。では、これらの擬似触覚と受動操作における擬似触覚はどのような違いがあるのだろうか。

そこで本研究では、VisualHaptics を用いて受動操作における擬似触覚体験について調べる。本稿では、能動操作の擬似触覚と受動操作の擬似触覚の違いを調べる簡易的な実験の内容と結果についてまとめる。そして、今後の厳密な

実験を行うための課題やその対策について議論する。

2. 簡易実験

受動的な擬似触覚を体験した感想をもらう簡易実験を行った。

2.1 実験条件

受動的な擬似触覚について調べるために、受動操作以外の実験条件も設けた。具体的な実験条件を以下で紹介する。

1) 能動操作

参加者は自分でマウスを持ち、自分で操作する。マウスの動かし方に指示はせず、参加者は自由にマウスを動かした。

2) 受動操作

マウス操作は他者が行い、参加者はマウス操作者の手の上に自分の手を添える (図 1)。

3) 観覧

マウス操作は他者が行い、参加者はマウスに触れずに VisualHaptics を表示しているディスプレイを眺める。

2.2 機材

ディスプレイはサイズ 23.8 インチで、解像度 1920×1080 であった。使用した PC の OS は Windows 10 だった。マウスは RIVAL 650 WIRELESS を使用し、参加者はマウスパッドの上でマウスを操作した。

^{†1} 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科

^{†2} 明治大学大学院 先端数理科学研究科 先端メディアサイエンス専攻

a <https://keitalab.github.io/VisualHaptics-WebGL/>

表 1 受動操作による擬似触覚体験時の感想
擬似触覚に関するコメントのみ抜粋.

	能動操作	受動操作	観覧
タイトル	<p>参加者 B 受動操作より擬似触覚を得られた. テクスチャの先入観による影響がありそう.</p> <p>参加者 C 受動操作と観覧のときは擬似触覚に気づかなかったが, 能動操作で初めて気づいた.</p>	<p>参加者 A マウスの移動量が多い方が擬似触覚を得やすい. カーソル速度は遅い方が擬似触覚を得やすそう.</p> <p>参加者 B 操作者の手から感じる振動や自分の意志ではない動きによって画面よりも手元に意識が傾いた.</p> <p>参加者 C 擬似触覚は得られなかった.</p>	<p>参加者 A 視覚的にカーソルの運動は理解できるが擬似触覚は得られなかった.</p> <p>参加者 B 擬似触覚は得られなかった.</p> <p>参加者 C 視覚的にカーソルの運動は理解できるが擬似触覚は得られなかった.</p>
扇風機	<p>参加者 B 能動操作だけ擬似触覚を得られた. 自ら擬似触覚を得られやすいようにカーソルの速度を調整しているかもしれない.</p> <p>参加者 C 能動操作が 1 番擬似触覚を得られた. ディスプレイに表示されているテクスチャに対する触覚として違和感がある.</p>	<p>参加者 A 風に対する抵抗感ではない.</p> <p>参加者 B 風に対する抵抗感と考えると違和感がある.</p> <p>参加者 C 擬似触覚は得られなかった.</p>	<p>参加者 A 擬似触覚は得られなかった.</p> <p>参加者 B 速く横切った方が擬似触覚を得られやすい.</p>
球	<p>参加者 B 8 種類の中で 1 番擬似触覚を得られた. 受動操作との違いはない.</p> <p>参加者 C 擬似触覚は得られなかった. 受動, 観覧実験の方が視覚的錯覚を感じられた.</p>	<p>参加者 A マウスの動きが大きい方が擬似触覚を得やすい.</p> <p>参加者 B 一番大きな球の中心を通るように横切るときが最も擬似触覚を感じる.</p> <p>参加者 C 立体感を感じるが擬似触覚は得られなかった.</p>	<p>参加者 A 視覚的に立体感を感じるが擬似触覚は得られなかった.</p> <p>参加者 B 擬似触覚は全く得られない.</p> <p>参加者 C 錯覚表現であって擬似触覚は得られなかった.</p>
鳥居	<p>参加者 B 擬似触覚は感じにくいカーソルを注視せず全体を眺めるように見ると擬似触覚を得やすい.</p> <p>参加者 C 他の Haptic に比べて擬似触覚が得られやすい.</p>	<p>参加者 A 擬似触覚が得られた. マウスの動きは大きい方が擬似触覚を得やすい.</p> <p>参加者 B 体験しているうちに徐々に擬似触覚が得られるようになった. カーソルの動きが速い方が擬似触覚を得やすい.</p> <p>参加者 C 擬似触覚が得られた.</p>	<p>参加者 A テクスチャから視覚的に立体感を感じるが, 擬似触覚はない.</p> <p>参加者 B カーソルの動きが速いときに擬似触覚が得られた. 能動, 受動操作と変わらない.</p> <p>参加者 C カーソルの動きが速い方が擬似触覚を得られやすい.</p>
床の間	<p>参加者 B 大きくは変わらないが受動操作の方が擬似触覚を得られた.</p> <p>参加者 C カーソルの拡大縮小が起きないから擬似触覚を得にくい.</p>	<p>参加者 A カーソルはゆっくりと大きく動かした方が擬似触覚を得られやすい.</p> <p>参加者 B カーソルの動きが速い方が擬似触覚を感じやすい.</p> <p>参加者 C 立体だと錯覚するが擬似触覚ではない.</p>	<p>参加者 A 擬似触覚が得られた.</p> <p>参加者 B 能動, 受動操作に比べて擬似触覚が得られにくい.</p> <p>参加者 C 受動操作よりも擬似触覚を感じる.</p>

トタン	参加者 A 音があることが擬似触覚の助けとなっている。 参加者 B 受動操作よりも擬似触覚が得やすかった。 参加者 C トタン自体も動いた方が擬似触覚を得られやすい、能動操作が最も擬似触覚が得やすい。	参加者 A トタン自体は動かない方が擬似触覚を得られやすい。 参加者 B カーソルの動きが速い方が擬似触覚を得られやすい。 参加者 C 擬似触覚は得られなかった。	参加者 A 結局音があれば感覚は変わらない。 参加者 B 自らの体験と重なる部分があるため観覧においても擬似触覚が得られた。
水槽	参加者 B 受動操作より能動操作の方が抵抗感の違いがわかりやすい。 参加者 C 受動操作、観覧に比べ能動操作が最も擬似触覚を得にくい。	参加者 A 擬似触覚を得られた。 参加者 B 擬似触覚を感じた。 参加者 C 擬似触覚を得られた。	参加者 A 能動操作に比べて擬似触覚を得づらい。 参加者 B 擬似触覚は得られなかった。 参加者 C 受動操作と同様に擬似触覚を得られた。
ガムテープ	参加者 B 能動操作が最も擬似触覚が得やすい。 参加者 C テクスタチャがガムテープであることを頭に入れつつ意識してカーソルをゆっくり動かすと擬似触覚を得られたゆっくり動かしすぎると擬似触覚は失われる	参加者 A 粘着感よりもカクカクしている印象を受けた。 参加者 B カーソルをゆっくり動かすと触覚は得ることができる。 参加者 C 擬似触覚を得られなかった。	参加者 A 擬似触覚は得られなかった。 参加者 B 受動操作と同様に擬似触覚は得られない。 参加者 C 擬似触覚は得られなかった。

2.3 手順

参加者は VisualHaptics における 8 種類の Haptics (図 2) を固定の順番で体験し、体験中に感じたことを自由に述べる。参加者によって実験条件の順番はランダムにした。

2.4 参加者

実験参加者は 23~25 歳の 3 名 (男性 2 名, 女性 1 名) で全員コンピュータサイエンスを専門とする大学院生である。すべての参加者は正常な視力あるいは矯正視力を有し、右利きであった。

2.5 結果と考察

全参加者のコメントを表 1 にまとめた。本節では、特に興味深かったコメントを取り上げて考察する。

個人差はあるが、扇風機を除いた 7 種類の Haptics で受動操作でも擬似触覚があった。特に鳥居と水槽は、全参加者が受動操作でも擬似触覚を感じた。鳥居の奥行き感、視覚情報による錯覚効果がそもそも強いため、受動操作でも擬似触覚を感じやすい可能性がある。水槽の抵抗感、マウスの動きとカーソルの動きの違いが顕著であるため、受動操作でも感じやすいと考えている。

タイル・トタン・水槽・ガムテープは、受動操作より能動操作の方が擬似触覚を感じやすいという意見があった。この理由として、能動操作の場合自分が擬似触覚を感じやすいようにマウスの動かし方や速さを制御できることが挙

げられる。実際に参加者 B は扇風機を体験したときに「受動操作とは違い、自分でカーソル速度を変えられるから擬似触覚を感じやすいのかもしれない」とコメントしていた。一方で、参加者 B は床の間において「大きくは変わらないが、受動操作の方が能動操作より擬似触覚を感じやすい」と述べていた。また、参加者 C は水槽において「受動操作、観覧に比べ能動操作が最も擬似触覚を得にくい」とコメントしていた。これらは受動操作によって背景のコンテキストへの違和感が解消されたからだと考察する。このことに関しては 3.1 節で議論する。また、扇風機・球・床の間・水槽は、観覧でも擬似触覚を感じるという意見があった。これは、カーソルの動きや形の変化が大きいため、マウスに触れていなくても変化に気づきやすいからだと考えている。一方で、参加者 A が球を体験したときに「観覧でも立体に見える錯覚は感じるが、能動操作・受動操作のような立体をなぞる感覚はない」とコメントしていた。このことから、観覧において参加者が「立体に見える錯覚」と「立体に擬似触覚」を混同して、「観覧でも擬似触覚を感じる」とコメントした可能性も考えられる。

参加者 A の「受動操作だとマウスの動きがわかりづらいからマウス感度を下げたい」という意見があったので、追加でマウス感度を下げた状態で全種類の Haptic を体験した。その結果、「マウスの動きがわかりやすくなって擬似触

覚を感じやすくなった」とコメントした。他の参加者にも追加実験を行った結果、同様のコメントがあった。これは受動操作だと能動操作よりマウスの動きがわかりづらく、カーソルの動きと照らし合わせづらいためだと考えた。

3. 議論

3.1 本実験に向けての課題

本節では、簡易実験の結果から今後行う本実験で厳密な実験環境を整えるための課題を述べる。

3.1.1 コンテキストが与える影響

VisualHaptics の擬似触覚は、扇風機やトタンといった背景画像のコンテキストに依存している。そのため参加者の中には「実物だとこのような動きはしないから擬似触覚を感じなかった」と述べた人がいた。また、「受動操作だと実物との違いによる違和感がないから、能動操作より擬似触覚を感じやすい」というコメントもあった。このようにコンテキストが実験のノイズになってしまった可能性がある。本実験では、VisualHaptics ではなく簡素な見た目で作成したコンテキストに頼らない擬似触覚システムを用いる予定である。

3.1.2 マウス操作に関するパラメータ統一

今回はマウス操作に関するパラメータを統一していなかったため、参加者ごとでマウス操作に個人差があった。今後厳密な実験環境を設けるにあたって、この個人差を埋める必要がある。そのために今後はマウスの動かし方や動かす速さを指示する予定である。また、実験に使うマウス感度への慣れも個人差があるので、事前に参加者がマウス感度に慣れる練習を設ける予定である。

3.1.3 受動操作におけるマウス制御方法

今回の簡易実験ではマウス操作者の手の上に、参加者が手を乗せる方法を取った。しかしながら、この方法ではマウス操作による振動や手の感触が参加者に伝わり、実験に悪影響を与えると考えた。そこで 2D 平面上に物体を動かすことができる XY プロッタを用いて、マウスの動きを制御する方法を検討した。しかし、XY プロッタもマウスを動かすときに振動することがわかった。これを受けて我々は、参加者に極力振動を与えない受動操作するために、マウスを上下に配置した「2 階建てマウス (図 3)」を検討している。2 階建てマウスでは、参加者は上側のマウスに手を置き、マウス操作者は下側のマウスを動かす。このシステムでは参加者とマウス操作者が触れ合わないため、擬似触覚に影響する感触や振動を防ぐことができる。さらに、参加者が防振手袋を装着してマウスを保持すれば、より振動を感じづらくなると考えている。加えて 2 階建てマウスを配置する面に潤滑材を用いて、床との摩擦から受ける振動を減らす予定である。

3.2 擬似触覚と身体所有感

Gallagher は運動主体感 (Sense of Agency) と身体所有感



図 3 2 階建てマウス

(Sense of Ownership) という概念を提唱した[6]。前者は「自分が操作している感覚」、後者は「自分の一部だと思える感覚」を指す。これまで擬似触覚研究は運動主体感のみの観点で擬似触覚を議論していた[7]。

受動操作では運動主体感を感じない。そのため、受動操作でも擬似触覚を感じることを考えると、擬似触覚のメカニズムの根本的な部分に運動主体感は関係しない可能性がある。一方で、神保らは受動操作でも GUI 上のカーソルと手の動きが一致していれば、身体所有感を感じる可能性があると考えしている[4]。

これらのことから擬似触覚のメカニズムに身体所有感が深く関わっている可能性がある。今後は身体所有感の観点から擬似触覚のメカニズムを明らかにしていきたい。また、身体所有感に関する知見を擬似触覚に応用することで新しい擬似触覚表現が生まれることを期待する。

4. おわりに

本研究では VisualHaptics を用いて受動操作でも擬似触覚体験ができる可能性を示した。今後はより厳密な実験環境を整えて、受動操作でも擬似触覚を感じるのか調べていく。

参考文献

- [1] A. Lecuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard and P. Coiffet.. Pseudo-haptic feedback: Can isometric input devices simulate force feedback?. Proceedings IEEE Virtual Reality 2000, 2000.
- [2] Keita Watanabe, Michiaki Yasumura. VisualHaptics: Generating Haptic Sensation Using Only Visual Cues. ACE2008, Proceedings of the International Conference on ACE2008, pp405, 2008.
- [3] 渡邊恵太, 樋口文人, 稲見昌彦, 五十嵐健夫. 複数ゲームカーソル中における自分自身のカーソル特定. 情報処理学会インタラクティブ論文集, 25-31, 2013.
- [4] 神保一馬, 相澤裕貴, 佐藤大輔, 渡邊恵太, ダミーカーソル実験における受動的な探索での自身のカーソル特定. 第 192 回ヒューマンコンピュータインタラクション研究発表会. 2021.
- [5] 安室奈美恵. Golden Touch. <https://www.youtube.com/watch?v=N6HPANTzA9w>. (参照 2021-12-20) .
- [6] Gallagher, S. , Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science, Trends in Cognitive Sciences, 4(1), pp. 14-21, 2000.
- [7] 渡邊淳司. Haptic Design における Pseudo-haptics 技術の役割および表現分野での事例紹介. システム/制御/情報, 61(11), pp. 459-462. 2017.