



# あ…ありのまま今起こったことを話すぜ！ 「絵を描いていたら指が短くなっていた」

L-let me tell you straight fact about what happened now!

“I was trying to draw a picture but somehow my finger got shorter.”

原直弥<sup>1)</sup>, 青戸誠<sup>1)</sup>, 塚越優治<sup>1)</sup>, 桂田紗希<sup>1)</sup>

Naoya HARA, Makoto AOTO, Yuji TSUKAGOSHI, Saki KATSURADA,

浦西友樹<sup>1)</sup>, 古川正紘<sup>1)</sup>, 前田太郎<sup>1)</sup>

Yuki URANISHI, Masahiro HURUKAWA, and Taro MAEDA

1) 大阪大学 大学院情報科学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5)

**概要**：自分の指を描けば描くほど擦り減っていくクレヨンに見立てて塗り絵をしてもらい、まるで自分の指が短くなっていくかのような体験を提案する。本体験では、触覚刺激として振動覚を用いたファントムセンセーション(Phantom Sensation; PS) および視覚刺激としてディスプレイに映し出した 3DCG の指が短くなってゆく映像をそれぞれ提示できるデバイスを作成する。また、体験者の塗った絵にスコアを付け、ハイスコアを狙っていくようなゲーム性のある体験を考えている。触覚提示デバイスの予備実験として PS を引き起こしやすい条件を振動モーターによって調べた結果、今後は振動の各パラメータを細かく調整し、位相の制御を行う必要があるという結論を得た。

**キーワード**：振動覚, ファントムセンセーション, クロスモーダル, 振動制御

## 1. はじめに

### 1.1 作品イメージ

多くの人は小さな頃に塗り絵をしたことがあるのではないだろうか。塗り絵はただ色を塗るだけであっても、様々な塗り方で個性が出て、面白いものである。誰もが幼少期から学生時代にかけて絵を描くという経験を体験しただろう。絵に色を塗るために用いるツールは、クレヨンや色鉛筆、絵の具といったように様々挙げられるが、今回我々は小さい頃から誰もがなじみ深いはずであるクレヨンに注目した体験を考えた。クレヨンは描けば描くほど擦り減っていき、すぐに短くなってしまふ。そのすぐに「擦り減る」という点に焦点を当て、自分の指をクレヨンに見立てて塗り絵をしてもらい、色を塗れば塗るほど指がみるみる擦り減り、短くなっていくという不思議な体験を提案する。

### 1.2 目的

本体験は、自分の指を使って色塗りをする際に触覚的かつ視覚的なフィードバックを与えることによって、自分の指がまるでクレヨンになったかのように擦り減っていくといった今まで経験したことのないようなインタラクティブな体験を届けることを目的とする。

### 1.3 関連研究

我々は指が擦り減って短くなっているという知覚を与えるための触覚フィードバックとして、ファントムセンセーション(Phantom Sensation; PS)という心理物理現象に注目した[1]。PS とは、皮膚上の離れた 2 点を同時に刺激することで、その中間に 1 点の刺激を受けていると感じる錯覚現象である。2 点間の刺激の強度に差を持たせることで知覚位置をずらすこともできるとされている。PS に注目した研究[2][3]は数多く行われており、様々な触覚提示に応用ができると考えられる。

### 1.4 作品概要

我々は PS という現象をヒントに、指先と指の付け根に設けた振動モーターを制御し、指で実際に物体をなぞったときに生じる知覚を残したまま、振動覚のみ知覚位置をずらすことで、指の接触位置がずれたと錯覚するのではないかと考えた。また、この触覚提示に加えて、視覚フィードバックとしてディスプレイに映し出された 3DCG の指が短くなっていく映像を指の接触知覚位置に同期させて見せることで、自身の指の変化について、視覚的にも臨場感を高めることを目指す。

## 2. 体験の流れ

本体験の大まかな流れを図1に示す。

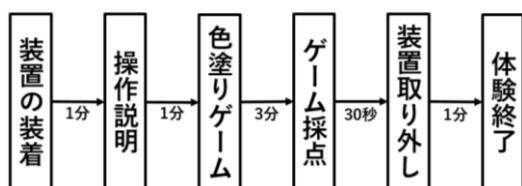


図1：体験の流れ

装置の装着から体験の終了まで、およそ6分の体験時間を想定している。

## 3. 各システム詳細

### 3.1 触覚提示デバイス

このデバイスは爪と指の付け根に装着する振動モーター、振動モーターを制御する Arduino と専用の回路、そして指先の振動特性をリアルタイムに取り出すための加速度センサから構成される。爪や指の付け根に付けてもらうための振動モーターは脱着が簡単になるようにゴムバンドを使用して固定するものとする。この際のゴムバンドの装着感が接触位置のずれの錯覚の妨げにならないかについては今後検討をし、固定方法は変更する可能性がある。また、体験の臨場感を損なわないために、指は伸ばしたまま、曲げたりできないように関節を棒で固定することも考えている。

PS を引き起こすためには、指で物体をなぞった際に得られる振動に対応した振動を指先と指の付け根の振動モーターで調整する必要がある。ただし、振動モーターをどのように出力させたときに PS を引き起こしやすく、どの程度の知覚位置のずれを生じさせることができるのかが不明瞭である。また著者の全員が PS を体験したことがないため、実際に PS を生起させること、そして、知覚位置をずらしていくことが可能であることを確かめるべく、我々は簡易的な予備実験を行うことにした。

#### 3.1.1 接触位置知覚の予備実験

この予備実験は被験者1名で行った。振動モーターとして VMT-003A(駆動電圧 0.5~3.0V)を用い、Arduino によって PWM 制御をし、0~255 の値で駆動電圧を正規化した。また実験では余計な感覚情報が入らないように目を閉じてもらい、視覚情報を遮断することにした。

我々は指先に起こる振動と指の付け根に起こる振動の周波数が一致した時に PS が生起しやすくなり、異なる時は生起しにくくなるのではないかと仮説を立てた。使用する振動モーターは電圧によって中のおもりが回転するもので、同じ電圧を印加した際に出力される振動の周波数は一致するはずである。そこで PS の体験も兼ね、実験1として振動モーターの出力を同一の条件3種類、それぞれ異なる条件4種類を用意し、ランダムに被験者に提示した。

被験者は机に固定した定規の目盛りに合わせて指を伸ばし、指先の振動子を指の腹に、指の付け根の振動子を第二関節と付け根の間にマスキングテープで固定した。そして、自身の指の振動を感じる位置をペンで指してもらった。実験時の様子を図2および3に示す。

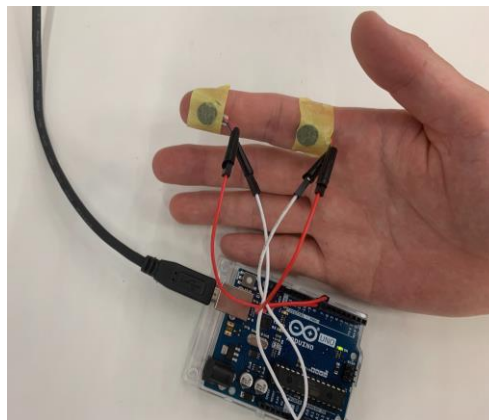


図2：振動モーター位置

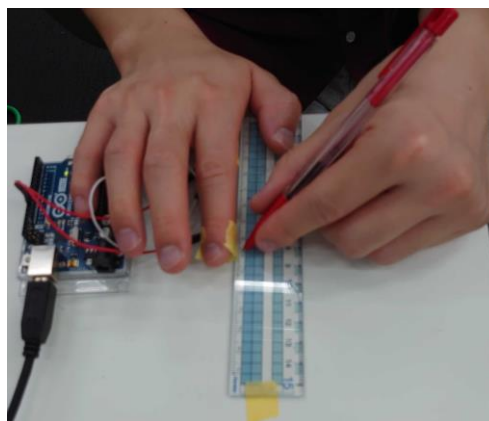


図3：実験時の様子

結果として、PSを感じたという意見が得られたのは、出力が同じ条件で1パターン、異なる条件で3パターンであり、すべての条件で各振動モーターの振動を少なからず感じていた。この結果は仮説に反しており、異なる周波数であってもPSを感じることもあるということが分かった。PSを感じる条件に振動モーター間の距離も関係するのではないかと考えた我々は、指の付け根の振動モーターを第一関節と第二関節の間にずらして実験を行うことにした。実験2は実験1の被験者と同様の被験者で行われた。提示された条件も実験1と同様であり、提示の順番はランダムに入れ替えた。その結果、PSを感じたという意見が得られたのは出力が同じ条件で2パターン、出力が異なる条件で1パターンであった。また、実験1と同様全ての条件で各振動モーターの振動を少なからず感じていた。このことから、振動モーターの距離は指のようなあまり長くない部位に関しては大きく影響しないのではないかと結論を得た。

次に加速度センサを用いて振動特性を取るためのシステムを簡易に作り、実際に振動の特性を取ってみることに

した。対象とするのは爪先に設けた振動モーターによる振動が指を伝播して伝わった際の振動特性を取ることとした。爪の振動モーターは実験1,2で用いた出力条件の一つである1.0Vを使用し、加速度センサは第一関節の腹側に配置することにした。そして取得したデータを[-1.0, 1.0]の範囲に正規化し、FFT処理を施した。図4にその際得られた結果を示す。図は左上が生データ、右上が正規化した際のデータ、下がFFT処理を施した際のデータである。

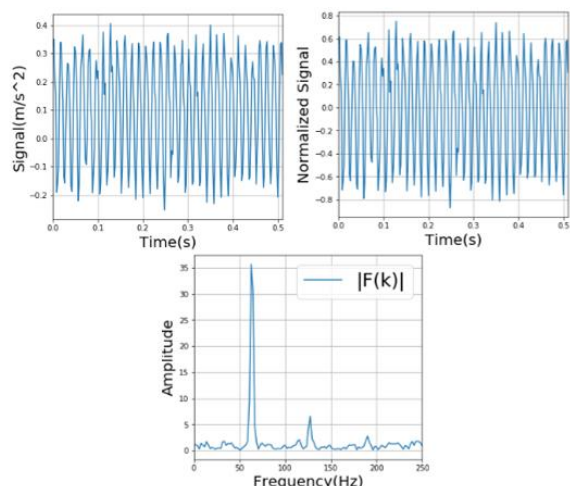


図4：加速度センサによる振動特性取得結果

今後は同様の処理を利用して様々な振動特性を計測し、PSを引き起こす条件について各パラメータについて細かく検討していく。

### 3.1.2 今後の実装について

予備実験でPSを感じられなかった理由として考えられるのは、それぞれの振動モーターの締め付け方の違いや、接触部位の硬さの違い、また振動モーターの応答性の悪さから少しの時間差が生じた影響により、振動の位相がずれたことが考えられる。今後は、振動モーターを振幅や周波数、位相について細かく制御ができるようにすることが目標であり、それらを制御することで、両端の振動がどのような関係になった際にPSを感じやすくなるのかを詳しく検討しなければならない。また丹羽ら[4]が述べているように、装着状態の変化による刺激強度の変化を考慮したデバイスを作成する必要があると分かる。

また、指の腹側の第一関節付近に加速度センサを付けることで、指先の振動の特性をリアルタイムに取得し、それに応じて両端の振動モーターを制御することも考えている。そのうえで、「物体をこする際の振動」と「爪の振動モーターによる振動」、「それらを同時に発生させたときの振動」のそれぞれの関係についても調べる必要がある。すなわち指を伝わる振動の伝達関数を理解する必要があり、その関係から指先の振動と付け根の振動の強度を操作し、PSによる振動知覚を生起、移動させることを目指す。

他にも新島ら[5]は視覚刺激を用いることでPSの生起を制御可能であること、また、ある時点での刺激だけでなく、その前後の刺激による影響を受ける可能性もあることを

示している。このことから、指が短くなる映像を見せることによりPSの生起や知覚位置の制御を促す効果があるのではないかと考えられるため、早急に視覚提示デバイスを作成し、視覚提示と合わせた刺激によってどの程度知覚が変化するかについても検討する予定である。

最後に触覚提示デバイスの完成予想図を図5に示す。

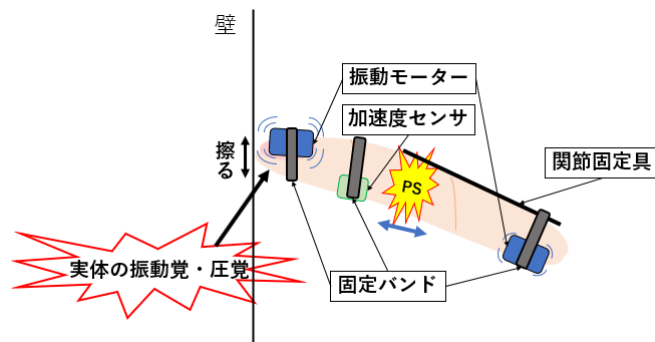


図5：触覚提示デバイス完成予想図

### 3.2 視覚提示デバイス

このデバイスは、自分の手を隠すための箱、および箱に取り付けられたディスプレイ、箱やディスプレイを支え、視点位置に高さを調節する機構を持つ脚、また、箱の内部に設置し、手の動きをキャプチャするLeap Motionからなる。視覚提示デバイスの概要図を図6に示す。

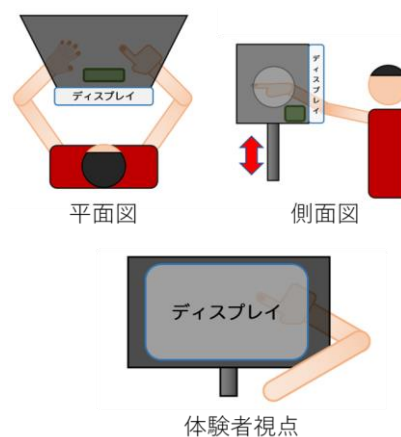


図6：視覚提示デバイス概要図

箱は両側面に穴が開いており、どちらの利き手でも利用しやすいように設計する。また、側面から手を入れやすいように、箱は完全な直方体型ではなく、台形柱型となっている。ディスプレイは箱の体験者側の側面に固定されている。大きさは平均的なタブレット程度のものを想定している。脚は箱の下部に固定されており、カメラの三脚のように上下の伸縮を調節することができる機構を想定している。また、Leap Motionは手にセンサ類を付けることを避けるためにも採用した。精度について、時間分解能は本作品で使う上で充分であると判断したが、設置位置や手までの距離も含めて検証し、今後変更する可能性がある。



ディスプレイ内には、3DCG で作られた手、色塗りをする下絵が書かれた壁、体験者が空間内の壁に触れた際に出るクレヨン色が映し出される。塗られる色はできるだけクレヨンで描いた際の色を再現する。図7にディスプレイ内に映し出される映像を想定した図を示す。

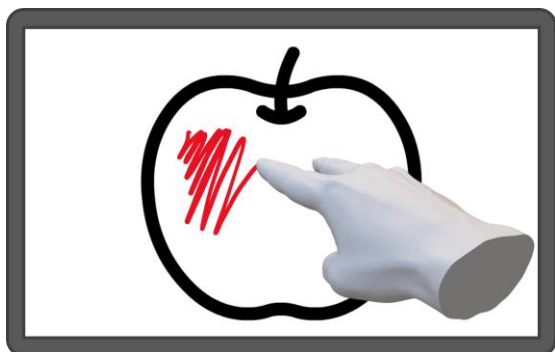


図7：ディスプレイの出力予想図

3DCG で映し出される手は指が擦り減ったという錯覚を感じさせるために、触覚提示デバイスの知覚位置のズレに同期させ、指の先端が少しずつ減るように見せる。

### 3.3 色塗り機構

ディスプレイ内に表示された絵に色を付けるソフトウェアは、Unity を用いて作成する。箱の奥壁の位置を予め Unity 空間内とキャリブレーションしておき、Leap Motion で取得した指の先端位置と箱の奥壁の位置が接触した判定になると色がディスプレイに表示されるようにする。この際、Unity 内において、指の接触判定は PS による知覚位置のずれに合わせてずらしていくことも考えている。

また、色を塗る場所によって自分の好きな色に変えられる方法も考えており、箱内で手を図8のように動かすことで Leap Motion で取得した手の姿勢に応じて Unity 内で色が変わるようにする。手の姿勢に対応する色は未定であるが、5本の指で5色変えられるように作成する予定である。



図8：手の姿勢による色変更制御予想図

現時点では、この体験はどれだけ下絵をはみ出さずに色塗りができたか、という点について、こちらが用意した採点基準を用いて個人スコアを算出し、ハイスコアを狙ってもらうというようなゲームを用意する予定である。

## 4. システム構成

本体験のシステム構成を図9に示す。

本システムは現在のオンラインでの審査が行われる状

況も鑑み、できるだけ小型かつ軽量のデバイスを作成し、装置の設置や体験を容易にする設計を行う。

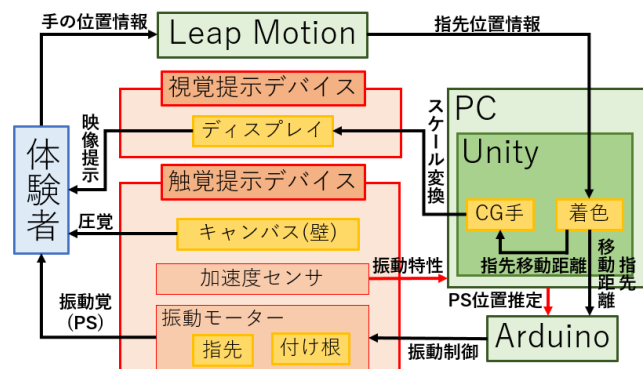


図9：システム構成

## 5. むすび

PS による知覚位置のずれを確認するための予備実験を行った結果、振動の振幅や周波数、また位相制御までを正確に行う必要があることが分かった。従ってパラメータの調整によって意図した場所へ PS を発生させることができるように、発生条件や移動条件を模索していく。また、指がクレヨンになったというリアルな接触感を出すためには、PS で感じる振動がクレヨンを物体にこすりつけた時の振動に近い振動であることが望ましい。今後は、クレヨンで描いている際に生じるクレヨンと物質間の振動特性を調べ、それに近いものを与えられるような手法も考える。

また、von Békésy ら[1]は、PS が皮膚への温度提示によって知覚強度が変化することや、知覚部位の感度によって PS による感覚の大きさの変化に時間的な違いがあることも示している。それらも考慮し、皮膚へ温感提示をすることによる知覚位置のずれを確認する実験も考えている。

## 参考文献

- [1] Georg von Békésy: Neural Funnelling along the Skin and between the Inner and Outer Hair Cells of the Cochlea, THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, Vol. 31, No. 9, pp. 1236-1249, 1959
- [2] 大原淳, 他, 温度によって生じるファントムセンセーション, 第14回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2009
- [3] 白井暁彦, 他, 皮膚感覚のファントムセンセーションを用いた3次元画像との対話システム, IEICE Technical Report, Vol. 96, pp. 77-84, 1997
- [4] 丹羽真隆, 他, 安定した振動呈示のためのフィードバック制御による振動子の振動状態制御, TVRSJ, Vol.11, No.1, pp. 59-68, 2006
- [5] 新島有信, 他, 視覚刺激を用いたファントムセンセーションの生起の制御に関する検討, TVRSJ, Vol. 21, No. 1, pp. 93-100, 2016