



指側面へのせん断刺激による沈み込み感提示 ～皮膚接触面積の増大が与える影響～

Presentation of a sinking sensation by shear stimulation to the side of the finger: Effect of increasing skin contact area

鉄川樹¹⁾, 柳田康幸²⁾

Tatsuki TETSUKAWA, and Yasuyuki YANAGIDA

1) 名城大学 理工学研究科 (〒468-8502 愛知県名古屋市中天白区 1-501, 253426021@ccmailg.meijo-u.ac.jp)

2) 名城大学 情報工学部 (〒468-8502 愛知県名古屋市中天白区 1-501, yanagida@meijo-u.ac.jp)

概要：粘性流体に指が沈み込む感覚を提示するために、指側面へのせん断刺激を用いたデバイスの開発を目指している。これまでに試作したデバイスでは、せん断刺激を与える際に接触面積の増大が起きていたが、これを粘性流体に触れて内部に沈み込んでいく際のものとして認識していた可能性がある。そこで本研究では、皮膚接触面積の増大の有無によって、提示される沈み込み感の評価にどう影響するか検証した。

キーワード：沈み込み感, せん断刺激, 皮膚接触面積, 力覚・体性感覚

1. はじめに

液体や粒子といった、手指で押すと大きく変形するような柔軟物体に指が埋没する感覚を提示することで、ゲームなどのコンテンツでスライムや溶岩などに触れる体験を提示できるだけでなく、陶芸体験での粘土やぬか床などが指を通り抜ける感覚を再現することで、技能継承に用いる VR コンテンツで没入感や操作感を高めることができると考えている。

佐野らは、柔軟物体へ指を挿入する感覚を提示する方式を提案し、デバイスの試作を行った[1]。このデバイスは、指を挿し入れた柔軟物体を外部から圧迫すると同時に振動刺激を与えることによって摩擦感と圧覚を生起させ、柔軟物体に指を挿入する感覚を提示するものであった。しかし、指を柔軟物体に挿し入れる必要があるため、装着している間は常に接触感覚が生起されるものであった。

そこで我々はこれまでに、提示開始時に指側面へゴムシートを押し当てながら張力をかけせん断刺激を提示し、指腹部への疑似力覚と摩擦感を生起させ、それに加えて指背面への圧迫刺激を加えることで指全体への圧迫感を与えるデバイスを試作し評価実験を行った[2]。このデバイスは、感覚提示を行わない時にはゴムシートに張力をかけず、指側面に接触させないことで、感覚提示時のみ接触感覚を与える設計となっていた。

一方、類似する感覚である物体表面での柔軟感に着目すると、皮膚接触面積と反力を同時に提示することで柔軟感

を提示するデバイスが提案されている[3]。指が柔軟物体に埋没する際には、柔軟物体外部から指に押された表面が変形した後に内部へ侵入することになる。よって柔軟感提示で影響を持つ皮膚接触面積の増大が、沈み込み感提示の際にも影響を与えている可能性がある。

我々の従来の試作デバイスでは、張力をかけられたゴムシートが指側面に巻き付きつつ摩擦によってせん断刺激を与えるため、指側面の腹部側から背面側にかけて徐々に接触する部分が増えていくと考えられる。そのため、せん断刺激に対する皮膚接触面積の増大の影響を考慮できず、沈み込み感提示の評価にせん断刺激が影響したのかどうかについて疑問が残る。

そこで本研究では、せん断刺激と皮膚接触面積の増大を制御可能なデバイスを開発し、それぞれの刺激を切り分けて提示することによって沈み込み感に皮膚接触面積の増大が与える影響を調査した。

2. 提示デバイス

2.1 設計

まずは、せん断刺激による沈み込み感の提示手法について述べる。本研究では沈み込み感を、指腹部が物体を押しつけることによる抵抗の力覚、指側面を伝うように進む物体による摩擦感、指が物体内部に埋没することによる圧覚で提示する。

指腹部への力覚提示手法として、指側面へ電気刺激を与えて疑似力覚を提示する研究がある[4]。この研究では、指

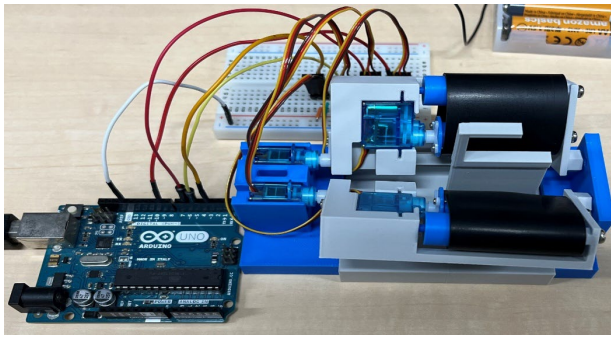


図 1 デバイス概観

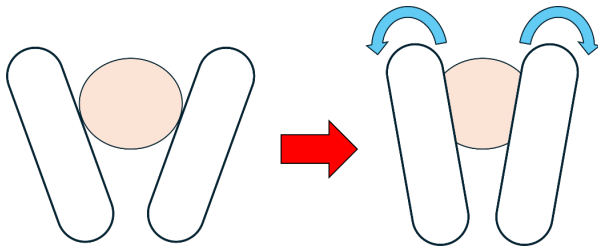


図 2 提示動作

腹が変形する際には指側面も変形することに着目し、指側面への陰極刺激によってメルケル細胞へ刺激を与え、圧覚を生起させることで疑似力覚を提示していた。そのため、指側面が変形する刺激と摩擦感を同時に提示した場合でも疑似力覚は提示できると考えられる。そこで、電気刺激を用いるのではなく、摩擦による機械的なせん断変形刺激によって疑似力覚を提示することに加えて、指が沈み込む正面方向からの圧覚を提示するために、指側面への圧覚刺激を組み合わせることで沈み込み感を提示する。

2.2 実装

作成した沈み込み感提示デバイスを図 1 に示す。以前の試作デバイスでは、ゴムシートを引き伸ばすことで、指側面への張力を発生させつつ疑似力覚と摩擦感を提示していた。しかしこの方法では、ゴムシートが引き伸ばされるため、接触面積が増大していたと考えられる。そこで本研究では、ゴムシートを用いたベルトを指側面に押し付けながら駆動させる手法を用いた。ベルトが指腹部の端に軽く触れた状態から提示を開始し、提示に合わせてベルトを押し付ける度合いを高める、あるいは提示前から指側面にベルトを接触させ、提示の間動かさないことによって皮膚接触面積の増大を制御するものとした。

図 2 のように、ベルトが指側面に軽く触れている状態から、サーボモータを用いて左右同時に挟み込むように指側面へ押し付けることで、接触面積が指腹部から背面に向かって増大することになる。それと同時にベルトを回転させることで、ゴムシートと指側面の皮膚で摩擦を用いてせん断刺激を与える。サーボモータはデバイスの小型化と指を挟むことによる怪我を防ぐため小型のものを左右押し付け用とベルト駆動用で 2 つずつ用いている。これらのサーボモータは PC とシリアル通信を行う Arduino Uno によって制御される。

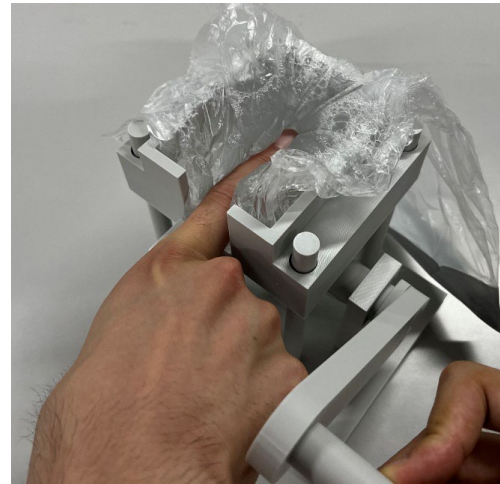


図 3 標準刺激提示装置の概観

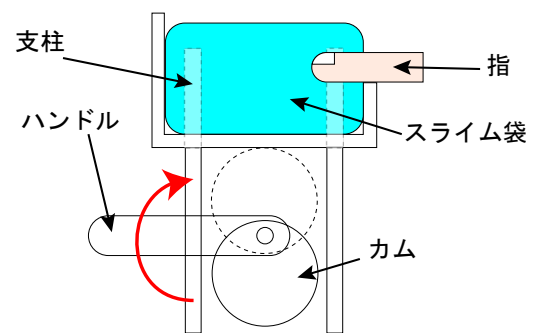


図 4 標準刺激の提示方法

3. 実験

3.1 実験概要

作成したデバイスを用いて、せん断刺激による沈み込み感提示に皮膚接触面積の増大が与える影響を評価することを目的として実験を行った。

本実験は、20 代の男女 10 名の実験協力者に対して実施した。

3.2 実験条件

実験条件として、せん断刺激のみを提示する場合、皮膚接触面積の増大のみを提示する場合、2 つの刺激を同時に提示する場合の 3 条件を用いた。各刺激提示の前には、ベルトを指側面に触れるようにサーボモータを駆動させた。皮膚接触面積の増大のみを提示する場合には、指側面にベルトを押し付ける動作のみが行われた。同時に提示する場合には、ベルト回転と駆動が同時に行われた。せん断刺激のみを提示する場合には、ベルトを回転させる動作のみを行った。

実験参加者 1 人あたり、各条件について 5 回ずつ、計 15 回の提示をランダムな順序で行った。

3.3 標準刺激

沈み込み感は、日常生活の中で感じる事が少ない感覚であり、基準となる刺激無しで沈み込み感を評価することは困難であると考えられる。そこで、薄いビニール袋にスライムを入れたものを、指に押し付ける実験装置を作成し、

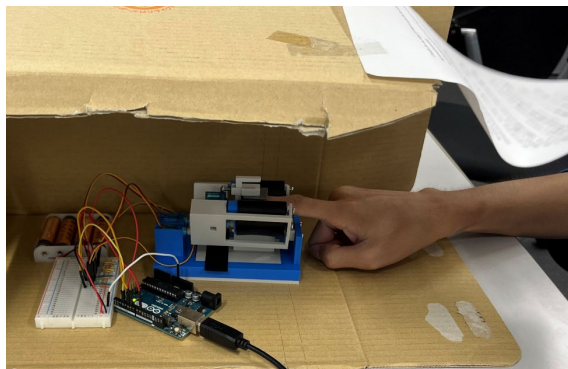


図 5 実験環境の概観

それによって提示される刺激を標準刺激とした。作成した標準刺激提示装置を図 3, 図 4 に示す。

3.4 実験環境

実験環境を図 5 に示す。実験は座位にて行われた。参加者は右手人差し指を提示デバイスに設置し、沈み込み感提示を受け、口頭で回答を行った。実験中、視覚刺激による沈み込み感知覚への影響を避けるために、提示デバイスは障壁によって隠され、参加者が直視することはなかった。標準刺激についても同様に障壁を用いて視覚刺激の影響を避けた上で、右手人差し指を設置して提示を受けた。

3.5 実験手順

まず、実験参加者は前述の実験装置を用いて標準刺激を与えられた、なお標準刺激は実験参加者が希望した場合にはいつでも確認できるものとした。

その後、実験参加者は実験条件で示した通り、計 15 回の提示を受けた。そして、それぞれの条件で提示されるたびに、標準刺激と与えられた刺激を比較して、感じた沈み込み感の強さを、1 を「全く異なる刺激に感じた」、5 を「全く同じ刺激に感じた」とする 5 段階のリッカート尺度によ

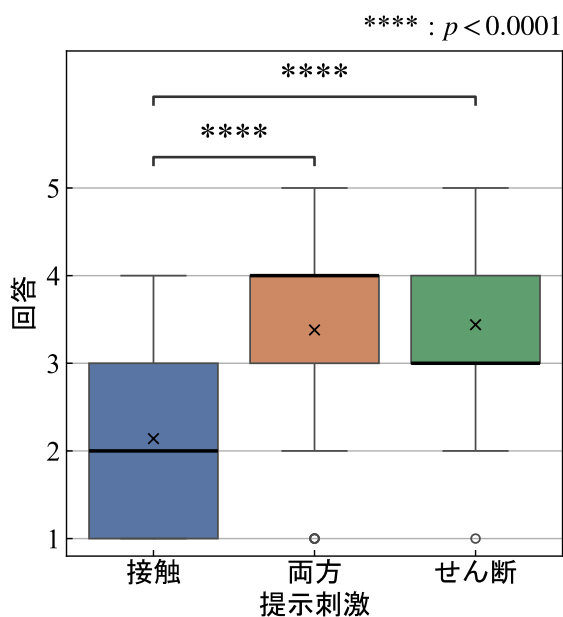


図 6 実験結果

る主観的評価を回答した。

全ての提示に対して評価を終えた後に、気づいたことや感想などを聴取した。

4. 結果

提示刺激ごとの回答を表す箱ひげ図を図 6 に示す。提示刺激のいずれかの組み合わせで有意差があるかどうかについて、Kruskal-Wallis 検定を実施した。その結果、 $p = 3.0 \times 10^{-8}$ となり有意差が見られたため、提示刺激によって回答された評価に差があることが示唆された。そのため、Steel-Dwass 検定を用いてノンパラメトリック多重比較を実施した。その結果、皮膚接触面積の増大のみを提示した場合とせん断刺激のみを提示した場合の間で $p \cong 4.66 \times 10^{-7}$ 、皮膚接触面積の増大のみを提示した場合と両方の刺激を同時に提示した場合の間で $p \cong 2.45 \times 10^{-6}$ となり、有意差が見られた。

5. 考察

図 6 の平均値と検定結果より、皮膚接触面積の増大のみを提示することは、せん断刺激を提示することに比べて沈み込み感を生起しないと考えられる。原因としては、指側面にベルトが押し付けられる際にベルトを回転させなかった場合、指側面の皮膚接触面積は増大しているものの、指腹部の皮膚が下方方向にも押し潰されるように変形したことが考えられる。

せん断刺激のみを提示した場合と両方の刺激を提示した場合で有意差が見られなかった。原因としては、皮膚接触面積の増大が発生するのは、指が腹部から背面まで沈み込むまでであり、その後は指全面に物体が接触するため面積は変化しないことであると考えられる。

今回の実験では図 6 に示した通り、せん断刺激を含む提示の際に外れ値が観測された。このときの実験協力者からの感想より、提示されるせん断刺激の強さが想定しているものよりも大きくなっていったと考えられる。原因としては、指の太さによってはベルトを押し付ける力が想定しているものよりも強くなり摩擦が大きくなったことで、標準刺激の薄い袋に入ったスライムによる沈み込み感とは異なるように感じられたためであると考えている。

6. 結論

本研究では、指側面へのせん断刺激による沈み込み感提示の際に皮膚接触面積の増大が与える影響について評価実験を行った。その結果、皮膚接触面積の増大によって提示される沈み込み感はせん断刺激によるものと比べて小さく、皮膚接触面積の増大の有無が沈み込み感提示に与える影響は、十分小さいことが分かった。

今後は、皮膚接触面積の増大の提示で、より大きく面積が増大した場合や、指の変形が発生しない提示方法を用いた場合、同様の結果が得られるかどうかについて評価することを考えている。また、せん断刺激の提示における、指の太さによる感覚強度の変化を抑えるために、指側面への接触を検出する機構や、指側面を事前計測することで体験者が感じる感覚強度を均一化することを考えている。

参考文献

- [1] 佐野 洋平, 木村 朝子, 柴田 史久, 田村 秀行: 仮想物体への指挿入感提示方式の考案と試作デバイス開発, 第 17 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 235-238, 2012.
- [2] 鉄川 樹, 柳田 康幸: 指側面へのせん断・圧迫刺激を用いた流体への沈み込み感提示, 電子情報通信学会東海支部 令和 6 (2024) 年度卒業研究発表会, 2025.
- [3] 池田 義明, 藤田 欣也: 指先の接触面積と反力の同時制御による柔軟弾性物体の提示, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 9, No. 2, pp. 187-194, 2004.
- [4] 中山 翔太, 真鍋 光希, 牛山 奎悟, 宮上 昌大, 高橋 哲史, 梶本 裕之: 指先側面への電気刺激による疑似力覚提示の検討, 第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2G-19, 2022.