



運動する柔軟球による硬平板の表現

Presentation of hard surface with moving soft ball

竹内将大¹⁾, 村田華蓮¹⁾, 梶本裕之¹⁾

Masahiro TAKEUCHI, Karen MURATA, Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {takeuchi, murata, kajimoto}@kaji-lab.jp)

概要: 2つの全く同じ形状、弾性を持つ指が互いにぶつかる時、指の接触界面は平面となる。この原理から、我々は「指と似た弾性をもつ柔軟球」を指と対向させて動かすことによって硬平板を表現可能であると考えた。本稿ではこの考察に基づき、人肌ゲルを指の運動と反対方向に動かすことで、実際の人肌ゲルよりも硬く知覚させることが可能であることを検証する実験を行った。本原理を用いて、高速で稼働しユーザと接触しても安全な、柔らかい触覚提示部を備えた遭遇型デバイスへの応用を目指す。

キーワード: 触覚, 硬軟感, 硬さ, 皮膚変形, 反力, 人肌ゲル

1. はじめに

触覚インタフェースの中でも遭遇型デバイスは、手にほとんど何も装着せずに利用でき、実際に物体と接触するため自然な感覚を提示可能という利点がある[1, 2, 3, 4]。また、装着型や把持型の触覚インタフェースに比べ、皮膚変形にともなう感触も現実により近い触覚提示が可能である。しかし、多くの遭遇型デバイスは硬平板を手の接触タイミングに合わせて高速に移動させる形式であり、予期せぬ衝突によりユーザが負傷してしまう危険がある。さらに、板の位置だけでなく姿勢の制御も行う必要があり、システムの複雑化につながる。

これらの問題を解決するために、触覚提示部に柔らかい球体を用いる方法が考えられる。同じ形の指が等速で互いに接触した場合、鏡像の原理により2つの指は全く対称の変形を生じ、その境界面は平面となる(図1)。よって、指に近い硬さと曲率を持つ球を指と等速に対向させて接触させることができれば、「硬い平面」を表現できると考えられる。また球体を利用することにより前述の板による遭遇型提示とは異なり姿勢の提示は不要となる。すなわち、安全かつ位置制御のみで機能するデバイスが構築可能と考えられる。

本研究は指と柔軟球の接触において柔軟球を指の動きに対向させることで、より硬く知覚される現象を確認し、それを遭遇型触覚提示に利用することを目的とする。本稿ではその予備的検討として、指を模した人肌ゲルを等速に対向させた場合と静止させた場合で、指が接触した際の硬軟感の主観量測定を心理物理的手法にて行う。

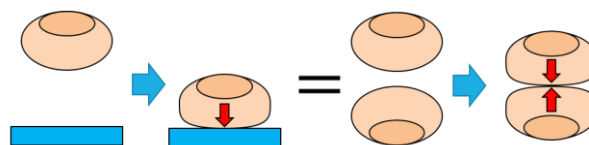


図1: 指が硬平板に接触した際(左)と指同士が等速で互いに接触した際(右)で境界面は同じ平面になる

2. 実験

本実験は、指と同型で同じ弾性の人工指が対向して等速で接触する際に、静止している状態の人工指に接触する場合と比べて硬く知覚されることを確認することを目的とする。今回は指を模した人肌ゲルと被験者の指を対向させ、硬度を変えた人肌ゲルを試料として用いて実験を行った。評価は主観的等価点を二重階段法で測定することで実施した。

2.1 実験条件

実験の比較刺激として用いる試料には株式会社エクシールの「人肌®のゲル原液 乳白」を使用し、硬化剤の種類や混合比率を変えることで8種類の硬度の人肌ゲルを作成した。試料はプラスチックコップを容器として厚さが約3cmになるように質量を統制した(図2)。硬度はタイプE2のアスカー硬度計を用いて測定したところ、柔らかいものから順に、3.0, 11.2, 19.2, 29.5, 38.9, 45.8, 54.0, 62.2であった(図3)。

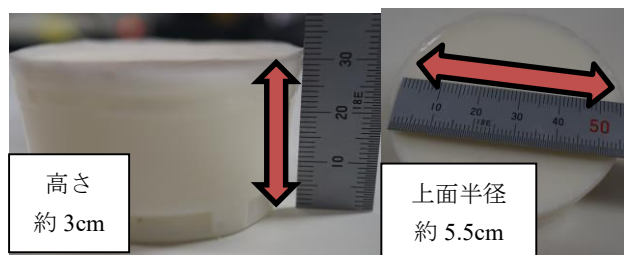


図 2: 試料の大きさ



図 3: 実験に使用した試料

実験で指と衝突させる指モデルには、試料の中央に近い 4 番目の硬度にあたる 29.5 の人肌ゲルを使用した。一般的な日本人成人の指サイズ[5]に近いマネキンの指を使用して型取りを行った。さらに、実際の指に近づけるために、指の骨と爪をそれぞれ割り箸とプラスチック板によって再現した。(図 4)

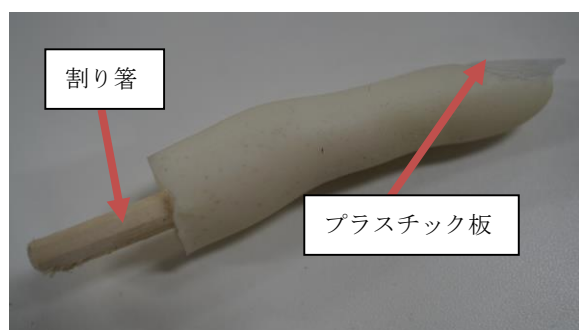


図 4: 実験に使用した指モデル

2.2 実験手順

実験の様子を図 5 に示す。図 6 のような、モータを回転させるとプーリーが糸を巻き取ることで反対に設置された指置きと指モデルが等速で対向する実験装置を作成し、利用した。esp32 を用いた PD 制御によって位置制御を行った。実験中はモータの駆動音等の外部環境音を遮断するためヘッドホンからホワイトノイズを提示し、被験者には閉眼するよう指示した。まず、被験者は振動を緩和するためのスポンジ片を利き手の人差し指に装着し、実験装置に指を固定した。装置によって指モデルと 3 回接触した後、提示された試料を触り、試料が指モデルより「硬い」か「柔らかい」かの強制 2 択で回答させた。試料は二重階段法に

よってランダムに上昇系列と下降系列が選択され、試料を触り回答するたびに装置に指を戻して指モデルとの接触を行った。これを上昇系列、下降系列ともに 3 回連続で回答が反転するまで行うというセットを、指モデルを装置に固定した場合と、装置から外し固定した場合の 2 条件で行った。どちらも、相対速度は等しくなるよう調整を行った。一人当たりの実験時間は約 50 分であった。

実験は 21~24 歳のナイーブな被験者 8 名 (男性 8 名) で行われた。全員が右利きであった。



図 5: 実験の様子

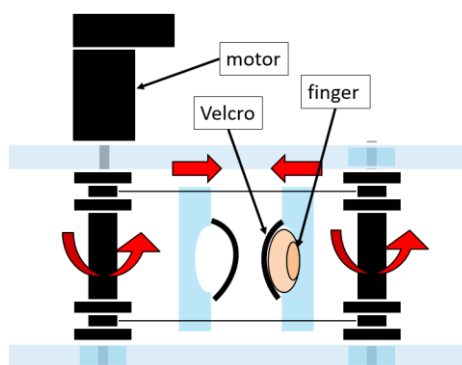


図 6: システム概要図

3. 結果

図 7 はそれぞれ、被験者ごとに上昇系列と下降系列の終点を平均した結果を、指モデルを実験装置に固定した場合と実験装置から外して固定した場合で比較した箱ひげ図である。

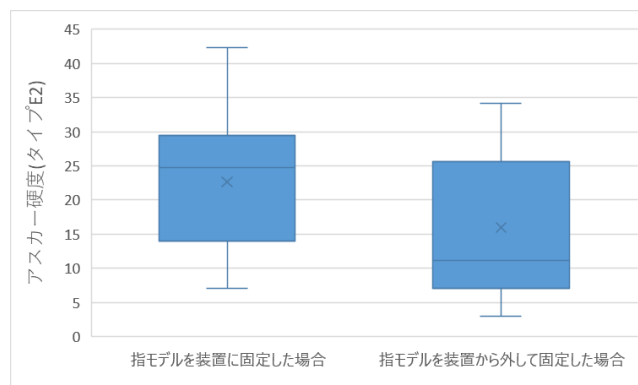


図 7: 各条件における実験結果

指モデルを装置に固定した場合の平均値(標準偏差)は 22.65(12.26)であり、装置から外して固定した場合の平均値(標準偏差)は 15.94(11.70)であった。今回の実験では被験者数が 8 名と少なかったため、統計検定は行わなかった。

実験結果からみられる傾向として、指モデルを装置に固定した場合の方が知覚される硬度の平均値が大きくなった。

4. 考察

今回の実験結果より人差し指とそれに似た指モデルとの接触において、指モデルが指と等速で対向する場合に、指モデルが静止している場合に比べてより硬く知覚される可能性が示唆された。一方で、標準偏差をみると被験者によるデータのばらつきが大きいことがわかる。これは、指モデルの厚みが試料の厚みに比べて薄く、指モデルとの接触時にたわみが生じてしまうことで皮膚変形による比較が阻害されたためだと考えられる。実験時のコメントでも硬さの比較が困難であったというものが複数あげられていた。

さらに、今回の実験はすべての被験者に対して、はじめに指モデルが装置に固定されている条件から実験を行ったため、順序効果が残っている可能性もある。

最後に、今回の実験において、指モデルを装置に固定した場合により硬く感じる被験者と両条件においてほとんど知覚が変わらない被験者に分かれた。この理由としては、第一に実験装置に指を固定した際にリラックスするよう教示を行ったが、ある被験者は実際には多少の力が入ってしまっており、より硬く知覚されたということが考えられる。第二には静止している物体に接触する条件に比べて、両者が対向して接触するという条件は日常であまり起こらない状況であるので、その状況に慣れていない被験者により強い錯覚が生じたのではないかと考えられる。これらは今後、指に力を入れる条件や、指を静止させて指モデルのみを動かす条件を追加して実験を行うことで明らかにしていきたい。

5. おわりに

本稿では同等の形と弾性を持つ物体が等速で対向し接触した際により硬く知覚される現象を確認する実験を行った。実験の結果、ユーザ間のデータのばらつきは大きいものの、等速で対向した場合のほうが指モデルをより硬く知覚される傾向がみられた。また、本現象が起こりやすい人と起こりにくい人が存在する可能性も示唆された。

今後は本現象についてより詳細に検討するために、異なる対向速度や指を静止させた条件で検証を行う。また、より正確に検証が行えるような装置に改良していくとともに、遭遇する対象物の「曲率」についても変化するかどうかについて検証する。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP15H05923 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Yasuyoshi Yokokohji, Ralph L. Hollis, and Takeo Kanade, “What You Can See is What You Can Feel - Development of a Visual/Haptic Interface to Virtual Environment”, VRAIS '96, pp. 46-54, 1996
- [2] Lung-Pan Cheng, Thijs Roumen, Hannes Rantzsch, Sven Köhler, Patrick Schmidt, Robert Kovacs, Johannes Jasper, Jonas Kemper, and Patrick Baudisch “TurkDeck: Physical Virtual Reality Based on People”, UIST '15, pp. 417-426, 2015
- [3] Emanuel Vonach, Clemens Gatterer, Hannes Kaufmann, “VRRobot: Robot Actuated Props in an Infinite Virtual Environment”, IEEE Virtual Reality (VR), pp. 74-83, 2017
- [4] Bruno Araujo, Ricardo Jota, Varun Perumal, Jia Xian Yao, Karan Singh, Daniel Wigdor, “Snake Charmer: Physically Enabling Virtual Objects”, TEI 2016, pp. 218-226, 2016
- [5] 河内まき子, 2012 : AIST 日本人の手の寸法データ, <https://unit.aist.go.jp/hiri/dhrg/ja/dhdb/hand/index.html>