



スライムにピンアレイを刺突することによる表面凹凸の変化が平滑感知覚に与える影響

The Effect of Surface Roughness Change Caused by Piercing a Slime with a Pin Array on Smoothness Perception

高見太基¹⁾, 齋藤大雅²⁾, 亀岡嵩幸²⁾³⁾, 梶本裕之²⁾

Taiki TAKAMI, Taiga SAITO, Takayuki KAMEOKA, and Hiroyuki KAJIMOTO

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

2) 電気通信大学 大学院情報学専攻 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {saito, kameoka, kajimoto}@kaji-lab.jp)

3) 日本学術振興会 (〒102-0083 東京都千代田区麹町 5-3-1)

概要：周期構造をもつ表面は液体や固体などに対して摩擦感や非吸着感などの機能を有することが知られている。我々はスライムにピンアレイを刺突すると表面の凹凸が変化し、平滑感が変化することを発見した。本研究はこの知見に基づき、スライムとピンアレイを用いて平滑感を変調可能なデバイスを開発する。本稿では特にピンの刺突高さの変化によるスライム表面での平滑感の変化について調査した。

キーワード：触覚, スライム, ピンアレイ, 平滑感

1. はじめに

近年のHMDを用いたVR体験は、視覚や聴覚への刺激が充実し、高い没入感を提示することができる。しかしながら触覚情報は不足しており、大きな課題の1つである。現在普及しているHMDの多くはハンドヘルドタイプのコントローラーが採用されており、振動子が内蔵されている。しかしながら十分な触覚提示とは言えず、様々な触覚提示手法が研究されている[1][2][3]。

これらの多くは力提示や振動刺激、電気刺激などの手法が用いられているが、柔らかい素材感を提示するために実際に布や粘土といった素材をディスプレイとして用いる手法も提案されている。Matobaら[4]は細かい粒子素材を密閉し、内部の圧力を制御することで硬軟感を提示可能なジャミングディスプレイを提案している。Leeら[5]はブラシの毛の長さや毛先の方向を制御することで様々な粗さと剛性を提示している。また、Degraenら[6]は3Dプリンタで作成した高さの異なる毛髪構造と視覚情報を組み合わせることでVR環境における柔らかさ感を提示した。

ここで、我々はこれらの柔軟素材での触覚提示において、濡れ感の提示が十分でないことに着目した。例えば布の湿り感については温度感覚が大きく寄与していることが知られているが[7]、ここではより水分量の多い、水棲生物等を触ったときのような感覚を指すこととする。イソギンチャクやナマコ等を触る感覚が提示できれば、例えば水中体験VRなどに応用できると考えられる。

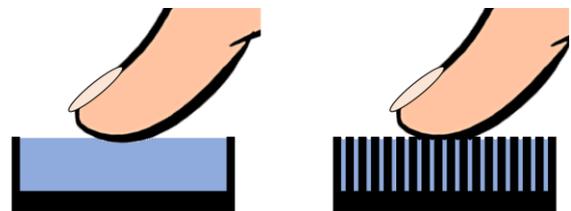


図 1: スライムの表面 (左) とピンアレイを刺突することで生じる凹凸がある表面 (右) で平滑感が変わる

濡れ感が提示できる柔らかい素材として様々な素材を検討した結果、スライムが適していると考えた。これは表面の濡れが保たれていること、およびそれにも関わらず指で触れた際に指に水が残らない性質があるためである。一方前述のような濡れ感コンテンツを考えると、滑りやすさ(以後平滑感)、すなわち摩擦に起因する表面テクスチャ感(すべすべ、ごつごつ)も変化させる必要があると考えた。

我々はこの検討の過程で、スライムにピンアレイを刺突するとスライム表面の凹凸が変化し、平滑感が変化することを発見した(図1)。

本研究では、濡れ感をもつ状況下での平滑感を変化させる提示手法として、スライムにピンアレイを刺突する触覚ディスプレイを提案する。本装置はピンアレイを上下に駆動させて刺突高さを制御し、スライムの表面凹凸を

変化させることで濡れ感を含む平滑感を変調する。本稿では予備的検討としてピンの刺突高さを変えることによるスライム表面での平滑感知覚の変化について調査した。

2. 実験

本実験の目的は、スライムの表面に対して刺突するピンの高さを変えると、表面凹凸が変化して平滑感知覚が変わることを検証することである。

2.1 実験装置

実験に用いる容器はすべて光造形3Dプリンタ(Form3, Formlabs Inc.)を使用した。また、素材は Standard Resin Black (Formlabs)を使用した。この素材はマットな質感となっており、主観的な摩擦感への影響は少ない。ピンアレイの接触密度は、スライムを刺突する過程で折れにくい中で最も高いピン幅 0.4mm, ピン中心間距離 1mm に固定した(図2)。これは本実験が微細な表面凹凸を想定しているためである。ピンの高さは容器の底からスライムの表面までの高さ 3.00mm を基準として-0.50, -0.25, 0.00, 0.25, 0.50 mm の5つを用いた(図3)。

実験で容器に入れるスライムは、洗濯のり 25.0ml と水 20.0ml を混ぜた溶液に、ホウ砂 1g を沸騰させたお湯 12.5ml に入れた溶液を混合させ作成したものを使用した。

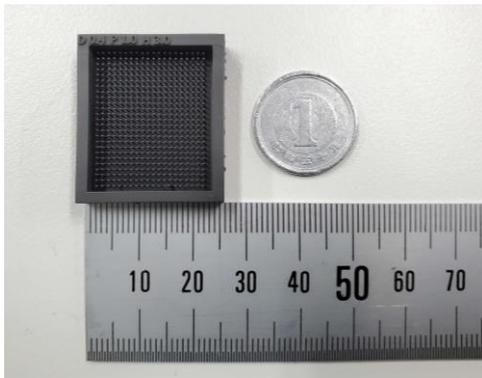


図 2: スライムを入れる接地型ピンアレイを有した容器



図 3: 使用したスライムと高さの異なるピンアレイで刺突したスライム (左から-0.50, -0.25, 0.00, 0.25, 0.50 mm)

2.2 実験手順

実験の様子を図4に示す。実験の際は試料が被験者に見えないように腕を通す台に覆いをかけた。被験者には各試行の前に指腹を少し湿らせるためスライムのみ指を押し付けるように指示した。これは予備実験にて、各試料

を触る前にスライムに触れることでより平滑感知覚に変化が起きやすいことを確認したためである。次に、基準となるピンの高さが 0.00mm (スライムの高さとピンの高さが一致) の試料を触り、続けて基準刺激を含む5つの条件の中からランダムに選択された試料を触った。その後基準刺激と比較して平滑感を7段階リッカート尺度(-3:べたべた~ +3:つるつる, 0が基準)で回答させた。一連の流れを各条件で5試行, 合計25試行を行った。試行の際は被験者の指の下に試料が来るように実験者が試料を移動した。なお、試行を重ねるとスライムが変形し、表面の高さが変わってしまうため試行が半分に達したところでスライムを元の状態に戻すための数分の休憩を設けた。

実験は21才~26才の被験者5名(男性5名)に対して行った。1人を除き全員が右利きであった。実験はすべての被験者で右手人差し指を用いて行った。



図 4: 実験の様子

2.3 実験結果

図5に結果を示す。横軸の値は、スライムの表面を基準としたピンの高さであり、縦軸はリッカート尺度で回答した平滑感の値である。

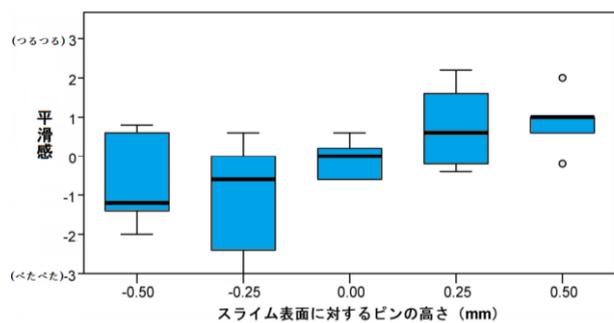


図 5: 実験結果 (多湿環境)

実験結果としてピンの高さ間の有意差はみられなかった。図6を見ると、ピンの高さが 0.00mm と 0.50mm 以外は分散が大きく、「べたべた」と「つるつる」の両方の評価をする条件が全体的にみられた。この結果は、実験時にスライムに触れた際に付着する水分量が予備実験のときと比べて増えていることが影響していると考えられた。実験日が梅雨の影響で多湿環境であったことも影響していると考えられた。実際、この実験を行った7月1日と2日は大雨

が降っていた[8].

2.4 低湿度条件での実験および結果

前回の実験で想定した平滑感の変化が生起しないことがわかり、それが多湿環境に起因していると考えられた。そこで別日に湿度を 70 度未満に統制して再度実験を行った。被験者は 21 才～27 才の 8 名 (男性 7 名, 右利き 6 名) で行い、その内 3 名は前回の実験に参加した者である。

湿度を統制した実験の結果を図 6 に示す。なお、湿度の平均は 67 度であった。結果としてピンの高さ間の差がみられた ($p < 0.001$)。各条件における分散は前回実験と比べて小さくなり、ピンの高さがスライム表面で上下することが平滑感知覚に影響を及ぼしたことが確認できた。また、ピンの高さのペアごとの比較をみると、ピンの高さが 0.00mm 以外の全てのピンの高さ間に有意に差がみられた。

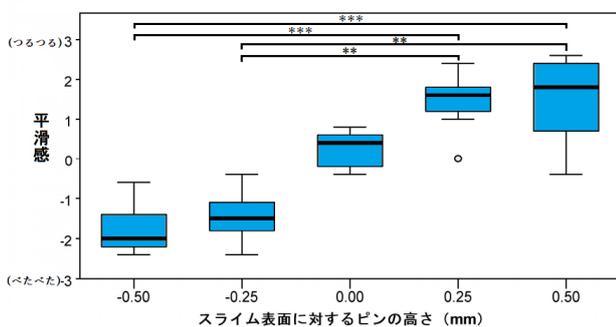


図 6: 実験結果 (湿度 70 度未満). (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$).

3. 考察

図 6 よりスライムにピンを刺突し、表面凹凸を変化させることで平滑感を変調させられることが確認できた。これは、ピンの凹凸そのものがテクスチャ感を生じたためではないと考えられる。なぜならスライム表面に対してピンが露出するに従って平滑感が上昇している (よりつつつと感じている) ためである。この現象は、微細な凹凸がスライムと指との接触面積を小さくし、スライムの粘着感を抑制したためではないかと考える。さらに、密度の高いピンアレイがスライム自体の動きを抑制することで、指との接触によるスライムの変形が抑制されたことも考えられる。また有意に異なる平滑感を提示可能な範囲として 0.25mm 以上の刺突量が必要であることがわかった。先行研究[6]では数ミリでの高さの違いで摩擦感に変化を生じさせていたので、今回の結果からスライムを用いたことによる粘着感や変形の抑制が数ミリよりわずかな高さの違いで平滑感を変化させることができると示唆された。

また環境湿度が高い場合 (今回の実験環境では 70 度以上) では、スライム表面はみずみずしく、つつつとしていた。これは湿度が高いことでスライム表面の水分量が変化し、摩擦特性も変化したことが原因と考えられる。このときの感覚は被験者のコメントより「雨が降った際のアスファルトに近い触感であった」、「全体的に触ると指に付着

する水分量が多かった」という意見が得られた。このような結果から、多湿によるスライム表面にあらわれた水分が全ての条件の平滑感知覚に影響を与えたと考えられる。したがって、スライムを触覚ディスプレイとして用いる場合は環境湿度を一定に保つことが重要であることが明らかになった。一方で、湿度が統制された場合では、ピンの高さが異なると触感は明らかに異なると述べられていた。

はじめに述べたように、スライムは濡れ感を生じさせることができるので、今回の実験結果を踏まえて VR 空間内の水中体験で触れるインタラクションに応用できる可能性があると考えられる。

4. おわりに

本稿では、スライムに高さの違うピンアレイを刺突することで表面凹凸を変化させ、異なる平滑感を提示可能なことを確認した。実験の結果、湿度 70 度未満で統制した場合にはピンアレイによるスライムの表面凹凸の変化は、平滑感が変化することが示唆された。今回の実験では、ピンがスライム表面下にある場合はべたべた、スライム表面より高い場合はつつつといった知覚の変化を確認した。またスライムの表面摩擦感は環境湿度の影響を受けるためスライムを触覚ディスプレイとして用いる場合には湿度の統制が重要であることもわかった。

今後は本現象についてより詳細に検討するために、ピンの硬さや接触密度を変えた条件で検証を行う。また、今回はスライムの配合を一意に決定して実験を行ったため、スライムの配合を変えることで幅広い質感の提示ができるかについても検討していきたい。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP20H05957 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] C. Pacchierotti, S. Sinclair, M. Solazzi, A. Frisoli, V. Hayward and D. Prattichizzo: Wearable Haptic Systems for the Fingertip and the Hand: Taxonomy, Review, and Perspectives, in IEEE Transactions on Haptics, 2017.
- [2] J. Perret and E. Vander Poorten: Touching Virtual Reality: A Review of Haptic Gloves, ACTUATOR 2018; 16th International Conference on New Actuators, 2018.
- [3] R. L. Klatzky, D. Pawluk and A. Peer: Haptic Perception of Material Properties and Implications for Applications, in Proceedings of the IEEE, 2013.
- [4] Y. Matoba, T. Sato, N. Takahashi and H. Koike: ClaytricSurface: An Interactive Surface With Dynamic Softness Control Capability, SIGGRAPH 2002 Emerging Technologies, 2002.
- [5] C. Lee, H. Tsai and B. Chen: HairTouch: Providing Stiffness, Roughness and Surface Height Differences Using Reconfigurable Brush Hairs on a VR Controller, Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human

Factors in Computing Systems, 2021.

- [6] Donald Degraen, André Zenner and Antonio Krüger: Enhancing Texture Perception in Virtual Reality Using 3D-Printed Hair Structures, In Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2019.
- [7] 柴原舞, 佐藤克成: 布の温度制御による湿り感の錯覚, 繊維製品消費学会, 56 巻, 12 号, pp. 951-958, 2015.
- [8] 東京都府中市での 7 月の日ごとの気象庁のデータ, http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_a1.php?prec_no=44&block_no=1133&year=2021&month=7&day=&view=p1