



静電気による体毛の動きを用いた 受動的かつ非装着な柔らかさ提示システム

Passive and Non-Contact Softness Presentation System Using Hair Movement Induced by Electrostatics

柄沢未希子¹⁾, 梶本裕之¹⁾

Mikiko KARASAWA, and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 情報理工学研究所 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {karasawa, kajimoto}@kaji-lab.jp)

概要: 我々は、受動的かつ非装着で柔らかさを提示するシンプルなシステムを模索する中で、静電気による体毛の動きが柔らかさ感を生じさせることを発見した。本稿では、玩具の静電気発生装置を用いたシンプルな構成の触覚提示システムを構築し、静電気が体毛を動かすことで受動的かつ非装着な柔らかさ提示の可能性を検証した。さらに、接地面積の増大を伴う皮膚上の時空間的变化が柔らかさ知覚に寄与するという既知の知見に基づき、体毛の動きによる時空間的变化が柔らかさ感を誘発できるとの仮説の元に、その変化を生じさせる制御方式の提案と予備評価を行った。

キーワード: 柔らかさ, 非装着, 静電気, 触覚提示

1. はじめに

人々は、視覚経験の有無に関係なく、柔らかいものを好む傾向がある[1]。柔らかさの体験は、心地よさの付与[2]、愛着の形成・維持[3]、さらにはネガティブな気分の緩和や社交性の促進[4]と、人々に有益な効果をもたらす。これらの効果をもたらす体験をシステムによって提供する場合、想定されるユーザの使用背景は様々である。

そうした背景の1つとして、心理的あるいは物理的なハードルによりシステムを利用しづらいユーザが想定される。例えば、システムの必要性に気づいていなかったり、システムの利用に対して敷居が高いと感じていたりする状況などが挙げられる。このような場合には、ユーザの能動的な操作や装着を伴わず、「いつの間にか」柔らかさが提示される受動的な触覚提示システムが求められる。

多くの研究[5][6][7][8]が柔らかさを提示する手法を提案しているが、そのほとんどはユーザが触れに行く、あるいは装着するものであり、受動的かつ非装着で提示するものではない。受動的かつ非装着で柔らかさを提示することが可能なシステムには、超音波振動子アレイを用いて柔らかい物体を押し込むときの圧力分布を再現するもの[9]が挙げられるが、現時点では大掛かりである。

我々は、シンプルな構成で受動的かつ非装着で柔らかさを提示するシステムを模索する中で、静電気による体毛の動きが柔らかさ感を生じさせることを発見した。

これまでの体毛の動きを用いた研究には、驚きや恐怖、

気配を提示するシステムの例はあるが[10][11][12]、我々の知る限り柔らかさを提示するシステムの例は未だ存在しない。もし静電気によって柔らかさを提示できるなら、「いつの間にか柔らかさを提示する(ことによって効果を果たす)」という我々のコンセプトが実現できると考えられる。

本研究では、静電気による体毛の動きを用いて柔らかさを提示する触覚提示システムを提案する。静電気は空間に形成された電界を介して体毛などに作用し、直接触れることなく皮膚感覚を変化させられるため、受動的かつ非装着での柔らかさ提示が可能であると考えた。そこで本稿では、玩具の静電気発生装置を用いたシンプルな構成の触覚提示システムを構築し、被験者による主観評価実験を通じて、この仮説の検証を試みる(検証1)。

触覚による柔らかさの知覚は、皮膚感覚と深部感覚の両方の作用が関わっている[13]が、提案システムは受動的に柔らかさを提示するため、皮膚感覚のみを利用する。皮膚感覚に基づいた提示では、柔らかさと接地面積の変化の知覚との関係がこれまでに研究されており[14][15]、先に挙げた既存研究にも接地面積を大きくすることで柔らかさを提示するものがあった[5][6][7]。そこで我々は、接触面積の増大を皮膚上の時空間的な知覚変化と捉え、静電気による体毛の動きにおいても時空間的变化を生じさせることで、柔らかさ感が効果的に誘発されるのではないかと、この仮説を立てた。この仮説に基づいて皮膚上の時空間的

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r} \quad (1)$$

すなわち、体毛の動きに時空間的变化を与えるには、 F を時間的に変化させればよい。

そこで、それを実現するための制御方式として以下の3種類を設計し、比較のため何も制御しない方式と併せた4種類を提案する(図3)。

方式(a): 距離 r および電荷量 q に変化を加えず、装置を駆動させる(前章の実験で採用)(図3(a))

方式(b): 距離 r を時間とともに減少させる(図3(b))

方式(c): 電荷量 q を時間とともに増加させる(図3(c))

方式(d): 方式(b)および(c)の変化の組み合わせであるが、距離 r は時間とともに増加させる(図3(d))

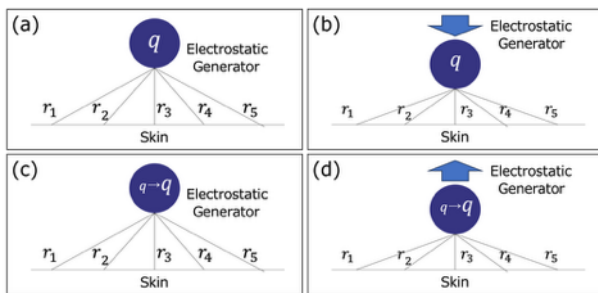


図3 提案する4種類の制御方式

3.2 システム

提案する4種類の制御方式を実装するシステムの構成を図4に示す。

本システムで使用する静電気発生装置とその駆動方法は前章と同様で、マイクロプロセッサとモータードライバを用いたPWM信号により回転速度を制御する。これにより、発生する電荷量 q を時間的に変化させる。また、装置と皮膚との距離 r を時空間的に変化させるために、同マイクロプロセッサと別のモータードライバ(DRV8835)によってステッピングモーターを制御し、滑車機構を上下動させる構成とした。滑車にはリボンを接続し、その先端に装置を取り付けることで、装置の高さを制御可能としている。

3.3 実験手順

本実験では、著者の1名(39歳女性)を被験者とし、除毛を行っていない左前腕を対象に提示を行った。

評価の前に、装置と皮膚との距離を選定するため、簡易的に被験者の「方式(d)」における感覚閾値が4cmであることを確認し、マージンを取って、感覚閾値から0.5cm短い3.5cmを実際の提示距離として採用した。

4種類の制御方式に対し、順序を考慮したすべてのペア(12組)を用い、各ペアに対して3回ずつの比較をランダムに実施し、合計36回の比較を行った。各比較ではペアを1回ずつ提示した後、「より柔らかく感じた方」を被験者が選択することで主観的評価を得た。

なお、提示中は聴覚刺激の影響を排除するため、被験者

はイヤホンを装着してピンクノイズを再生し、視覚情報の遮断のために目を閉じた。

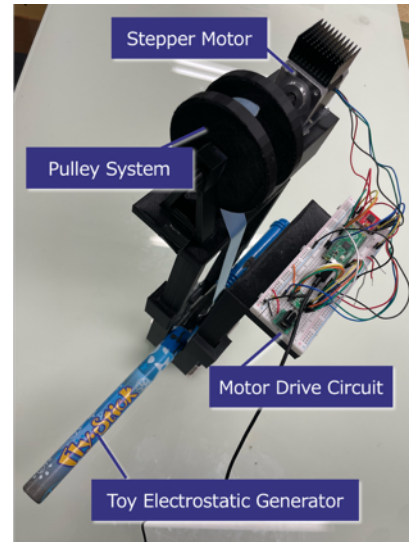


図4 システムの構成

3.4 実験結果

各制御方式に対するBTL(Bradley-Terry-Luce)モデル[17]に基づくスコア(他の方式と比較してどの程度「選ばれやすい」かを示す指標)を図5に示す。

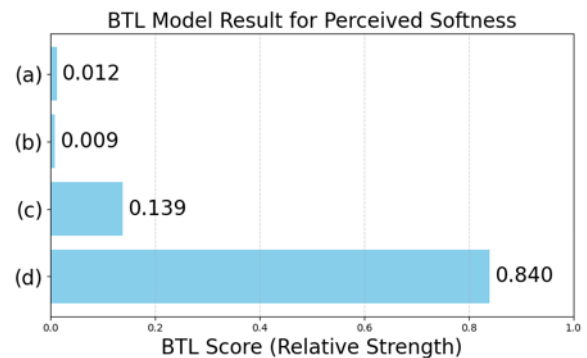


図5 各方式のBTLモデルスコア

結果から、今回の被験者の主観においては、方式(d)が最も「選ばれやすい」、つまり最も柔らかさ感を誘発しやすい方式であることが分かった。また、被験者が評価中に得た感覚は、方式(a)が「ざわざわ」、方式(b)が「ずっしり」、方式(c)が「ふわふわ」、方式(d)が「ぼよん」であり、方式ごとに異なる感覚が得られたことも確認された。

本予備評価は被験者1名の結果であり一般化はできないものの、時間とともに装置と皮膚との距離および電荷量を増加させる方式が最も柔らかさ感を誘発させる結果が得られた。このことは、意図的に距離および電荷量を制御する方式による時空間変化が効果的な柔らかさの提示に寄与する可能性を示すものである。また、方式ごとに異なる感覚が得られたことから、静電気による体毛の動きを用

いた提示においては提示パラメータの設計がユーザに与える触覚印象の調整に活用できる可能性がある。

4. まとめ

本稿では、玩具の静電気発生装置を用いたシンプルな構成の触覚提示システムを構築し、静電気が体毛を動かすことによる受動的かつ非装着な柔らかさ提示の可能性を検証した。さらに、接地面積の増大を伴う皮膚上の時空間的变化が柔らかさ知覚に寄与する既知の知見に基づき、体毛の動きによる時空間的变化が柔らかさ感を誘発できるという仮説の元、その変化を生じさせる制御方式の提案と予備評価を行った。実験の結果、本システムが受動的かつ非接触で柔らかさを知覚させ得ることが明らかになった。また、制御方式による体毛の動きにおける時空間変化が柔らかさの印象形成に寄与する可能性も示した。今後は、複数名の被験者を対象とした実験を通じて、制御方式の効果の再現性を検証していく。

謝辞 本研究はJSPS科研費JP20H05957およびJP24K21321の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] A. K. M. Rezaul Karim, Sanchary Prativa, and Lora T. LikovaKarim, “Perception and appreciation of tactile objects: The role of visual experience and texture parameters.” *Journal of perceptual imaging*, 5, 2022.
- [2] Ryo Kitada, Megan Ng, Zheng Yee Tan, Xue Er Lee, and Takanori Kochiyama, “Physical correlates of human-like softness elicit high tactile pleasantness.” *Scientific Reports* 11, 16510, 2021.
- [3] Harry F. Harlow, “The nature of love.” *American Psychologist*, 13(12), pp. 673-685, 1958.
- [4] Kenneth Tai, Michelle Xue Zheng and Jayanth Narayanan, “Touching a teddy bear mitigates negative effects of social exclusion to increase prosocial behavior.” *Social Psychological and Personality Science*, 2(6), pp. 618-626, 2011.
- [5] Kinya Fujita and Hisayuki Ohmori, “A new softness display interface by dynamic fingertip contact area control.” In *5th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, pp. 78-82, 2001.
- [6] Seiya Takei, Ryo Watanabe, Ryuta Okazaki, Taku Hachisu, and Hiroyuki Kajimoto, “Presentation of softness using film-type electro-tactile display and pressure distribution measurement.” *Asia Haptics*, 2014.
- [7] Yujie Tao, Shan Yuan Teng, and Pedro Lopes, “Altering perceived softness of real rigid objects by restricting fingerpad deformation.” *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 985-996, 2021.
- [8] Jia Liu, Aiguo Song, and Haiyan Zhang, “Research on Stiffness Display Perception of Virtual Soft Object,” *2007 International Conference on Information Acquisition*, pp. 558-562, 2007.
- [9] Atsushi Matsubayashi, Tomohisa Yamaguchi, Yasutoshi Makino, and Hiroyuki Shinoda, “Rendering softness using airborne ultrasound.” *2021 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 355-360, 2021.
- [10] Shogo Fukushima, and Hiroyuki Kajimoto, “Chilly chair: facilitating an emotional feeling with artificial piloerection.” *ACM SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies*, Article No. 5, p.1, 2012.
- [11] Naroa Iriarte, Iñigo Ezcurdia, Sonia Elizondo, Josu Irisarri, Daria Hemmerling, Amalia Ortiz, and Asier Marzo, “Contactless electrostatic piloerection for haptic sensations.” *IEEE Transactions on Haptics*, Volume: 17 Issue: 2, pp. 140 – 151, 2024.
- [12] Mikiko Karasawa, and Hiroyuki Kajimoto, “Presentation of a feeling of presence using an electrostatic field: presence-like sensation presentation using an electrostatic field.” *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Article No. 285, pp. 1-4, 2021.
- [13] M. A. Srinivasan, Robert H. LaMotte, “Tactual discrimination of softness.” *Journal of neurophysiology*, 73(1), pp. 88-101, 1995.
- [14] Giulio Ambrosi, Antonio Bicchi, Danilo De Rossi, and Enzo Pasquale Scilingo, “The role of contact area spread rate in haptic discrimination of softness.” *1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Cat. No. 99CH36288C, Vol. 1, pp. 305-310, 1999.
- [15] Alessandro Moscatelli, Matteo Bianchi, Alessandro Serio, Alexander Terekhov, Vincent Hayward, Marc O. Ernst, and Antonio Bicchi, “The change in fingertip contact area as a novel proprioceptive cue.” *Current Biology*, 26(9), 1159-1163, 2016.
- [16] Julià Agramunt, Greg Williams, Brenna Parke, Sergio Mena, Anna DY Rhodes, Victor Ubels, Summik Limbu, Francisco Jimenez, Melissa Hexter, Parastoo Hashemi, Andriy S. Kozlov, Claire A. Higgins, “Mechanical stimulation of human hair follicle outer root sheath cultures activates adjacent sensory neurons.” *Science Advances* 9.43: eadh3273, 2023.
- [17] Bradley, R. A., and Terry, M. E., “Rank Analysis of Incomplete Block Designs: I. The Method of Paired Comparisons.” *Biometrika*, 39(3/4), 324-345, 1952.