

静電気発生装置を用いた気配の提示

柄沢未希子^{†1} 梶本裕之^{†1}

概要: 感染症の蔓延をきっかけに、遠隔コミュニケーションが人々の生活に浸透しつつある。我々は、遠隔コミュニケーションに併せて伝える雰囲気として「気配」に着目した。気配とは他者の存在の暗示的な提示であり、ユーザの認知的負荷を抑えつつ他者の存在する「場」を表現するための重要な要素であると考えられる。本稿では、静電気発生装置を用いて気配らしい感覚を提示するシステムを提案する。実験を通じて、システムの近くにいるだけで身体に“もわっと”感じる気配らしい感覚を提示できることを示した。

1. はじめに

感染症の蔓延をきっかけに、遠隔コミュニケーションが人々の生活に浸透しつつある。遠隔コミュニケーションは、映像と音声でのやり取りが主である一方で、遠隔コミュニケーションに用いられる触覚提示技術も研究が進められてきており、これまでに鼓動を伝送するシステム[1]、握手を伝送するシステム[2]、タッチを伝送するシステム[3]、ハグを伝送するシステム[4][5]などが提案されている。これらの既存システムは、鼓動、握手、タッチ、ハグなどの実体を再現して伝えるシステムである。一方で、触覚提示技術以外の技術で、実体ではない雰囲気を伝えるシステム[6]が提案されている。これは、雰囲気を伝えることで感性豊かなコミュニケーションの実現を目指したシステムである。

本稿では、触覚提示技術で雰囲気を伝えるシステムを提案する。我々は、伝える雰囲気として「気配」に着目した。気配とは他者の存在の暗示的な提示であり、ユーザの認知的負荷を抑えつつ他者の存在する「場」を表現するための重要な要素であると考えられる。遠隔コミュニケーションを行う際にカメラやマイクをセットアップする感覚と同程度の簡便な方法で、気配らしい感覚を提示するシステムを提案する。

気配を提示するシステムの先行研究には、湿度・水蒸気を発生させて気配を提示するもの[7][8]、音響の一部を消去したり、強調したりすることで気配を提示するもの[9][10]、準静電界を用いて帯電させたブラウン管テレビやデバイスに身体を近づかせることより気配を提示するもの[11][12]が提案されている。

我々は、気配らしい感覚を提示するため、静電気発生装置を用いる。静電気を用いた研究には、立毛を制御することで驚きや興奮を増強させるものがある[13]。本稿では、静電気発生装置によって発生する静電気を用いて、システムの近くにいるだけで身体に“もわっと”感じる触覚を提示

し、得られる感覚で気配らしさを表現する。

2. 提案システム

2.1 システム構想

提案システムには、システムの近くにいるだけで身体に“もわっと”感じる感覚を提示するために、静電気発生装置を用いる。システムを稼働させることにより静電気発生装置が帯電し、近くにある身体との間に電荷の偏りが生じることで装置に引き寄せられる。このときに、ユーザは“もわっと”感じる。提案システムは、この感覚を提示する範囲を広くするため、静電気発生装置を複数並べて使用する。静電気発生方法にはバンデグラフ発電機[14]の仕組みを採用する。これにより、高電圧回路を扱う必要なく静電気を発生させることができる。

2.2 システム構成

図 1 に、以上の構想を実現する提案システムのハードウェア構成を概略として示す。

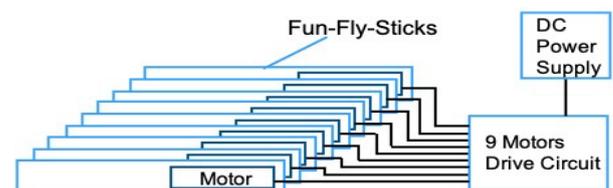


図 1 ハードウェア構成 概略図

提案システムでは、小さなバンデグラフ発電機が実装されている玩具(Fun-Fly-Stick[15]、横幅 3cm)を静電気発生装置として用いる。この玩具の内部には、装置を帯電させるために回転するベルトを備えており、ベルトを回転させるモータは FET (TOSHIBA, 2SK2232)を介してマイクロコントローラ(Espressif, ESP32-DevKitC)により ON/OFF 制御する。

静電気発生装置は 9 本用いる。これは、後述の実験にお

^{†1} 電気通信大学 大学院情報学専攻

いて、前腕への提示を行う予定であり、静電気発生装置 9 本を 2cm 間隔で設置すると、前腕の長さとして想定している約 45cm[16]となるためである。

提案システムの外観を図 2 に示す。



図 2 提案システムの外観

3. 実験

3.1 実験概要

本実験は、稼働中の提案システムの近くにいるだけで身体に“もわっと”感じる触覚を提示できることを示す目的と、“もわっと”感じるシステムからの距離の閾値を測定する目的で行った。同時に、気配らしさに合っている設置距離について調査する目的から、提案システムからの各距離における気配らしさとのマッチ度合いを主観評価した。

被験者に提案システムの前に前腕を置いてもらい、システムを稼働させたときに“もわっと”感じたか否かを回答してもらった。併せて、“もわっと”感じたとき、気配らしさに合っているかを回答してもらった。これをシステムからの距離を変えた複数条件で行った。

3.2 実験条件

被験者には、提案システムの前に右の前腕を置いてもらい、視覚と聴覚からの情報を遮断するために、アイマスクとイヤホンを装着してもらった。提案システム稼働中は、被験者のイヤホンにピンクノイズを流した。各試行のあと、直前の提示に対して、“もわっと”感じたか否かを口頭で回答してもらった。“もわっと”以外の何らかの感覚を感じた場合は、“もわっと”感じたとは回答しないようにしてもらった。また、“もわっと”感じたとき、気配らしさに合っているか（以下、整合度）も口頭で回答してもら

った。整合度の評価は 7 段階のリッカート尺度を用いた(7 が最も整合している)。

提案システムは、9 本全ての静電気発生装置を同時に稼働させた。各試行の稼働時間は 4 秒間であった。

システムからの距離の閾値は、階段法で下降系列と上昇系列の両方から決定した。下降系列は、システムからの距離 30cm から開始し、上昇系列は、距離 5cm から開始した。被験者が“もわっと”感じたとき回答したら距離を 5cm 遠ざけて次の試行を行った。“もわっと”感じないと回答したら距離を 5cm 近づけて次の試行を行った。下降系列では、3 回“もわっと”感じたとき回答された時点で測定を終了した。上昇系列では、3 回“もわっと”感じないと回答された時点で測定を終了した。また、下降系列、上昇系列ともに、距離 5cm で“もわっと”感じないと回答された時点でも測定を終了した。測定結果から閾値を得る方法は、最後の 2 試行のうち、最後に“もわっと”感じた距離と閾値に決定した。上昇系列と下降系列で閾値が異なる場合は、2 つの平均値を閾値とした。以上の測定を、袖をまくった状態(以降、袖なし)と、袖を下ろした状態(以降、袖あり)で実施した。

実験の様子を図 3 に示す。実験は、21~35 歳の 14 名の被験者(うち女性 5 名、左利き 1 名)に対して行った。実験時の部屋の湿度は 40% 前後であった。



図 3 実験の様子

以上の実験の他に、静電気探知機(サンハヤト)で各距離の帯電電位を測定した。測定の様子を図 4 に示す。測定は、実験時の提案システムと被験者前腕の中央との位置関係を再現して行った。



図 4 帯電電位測定の様子

3.3 実験結果

図 5 に、“もわっと”感じる距離の閾値に該当する人数と各距離で測定された帯電電位を示す。

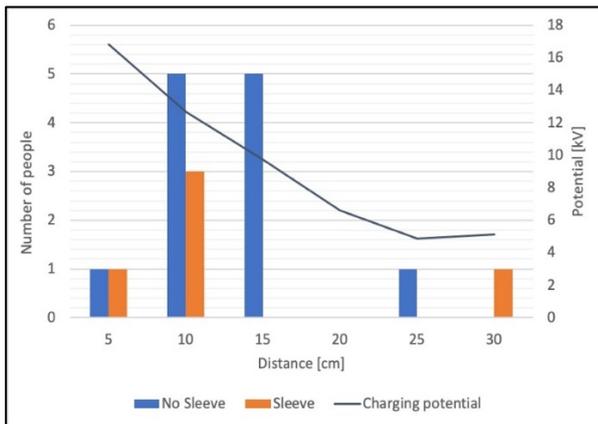


図 5 “もわっと”感じる距離の閾値に該当する人数と各距離で測定された帯電電位

図 5 の結果から、袖なしの場合、被験者 14 名中 11 名(約 8 割)がシステムからの距離 10cm 以上で“もわっと”感じたことが分かる。

図 6 に、距離別の“もわっと”感じなかった人数を示す。

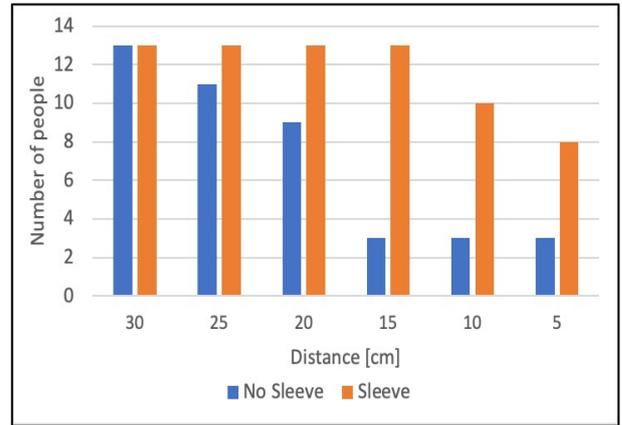


図 6 距離別 “もわっと”感じなかった人数

図 6 の結果から、袖ありの場合、被験者 14 名中 8 名(57%)は距離 5cm でも“もわっと”感じなかったことが分かる。また、袖なしの場合、距離 5cm でも“もわっと”感じなかった被験者が 3 名いた。

図 7 に、袖なしの状態における距離別の気配らしさとの整合度の分布を、図 8 に袖ありの状態における距離別の気配らしさとの整合度の分布を示す。これらの結果には、上述の距離 5cm でも“もわっと”感じなかった被験者 3 名は含まれない。

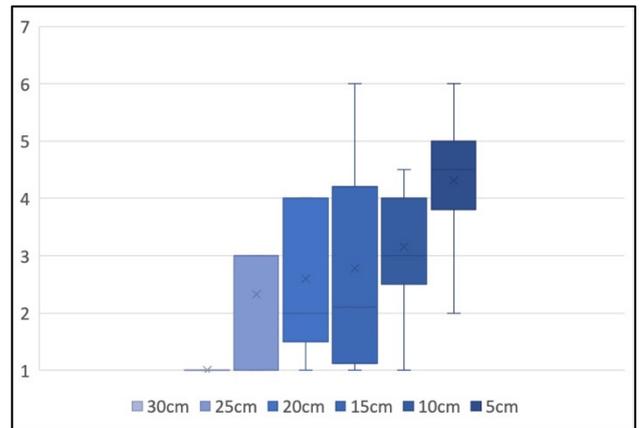


図 7 距離別 気配らしさとの整合度 (袖なし)

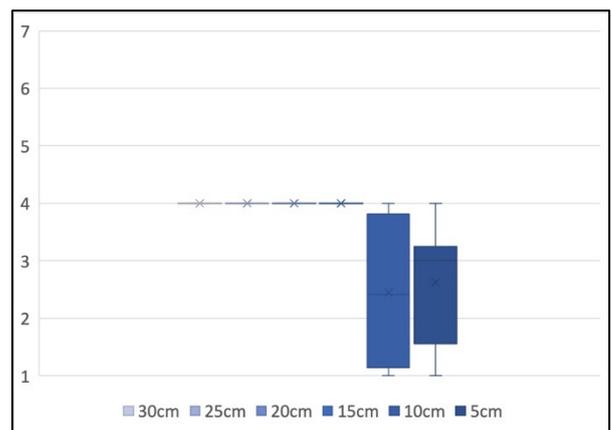


図 8 距離別 気配らしさとの整合度(袖あり)

図 7 の結果から、“もわっと”感じた感覚が強いときに、気配らしさととの整合度が大きくなる傾向が見られるが、距離 15cm においては、回答のばらつきが大きくなった。図 8 の結果からは、袖ありの場合、“もわっと”感じた場合でも、袖なしに比べて低い評価になることが分かった。

実験後のヒアリングから、“もわっと”感じる以外にどのように感じられたかを調査した。回答結果の例を以下に示す。

- 綿で撫でられたような感じ
- 温かい感じ
- フーっと息を吹きかけられている感じ
- 毛が逆立つ感じ
- 流れを感じた
- 人がいるというより通り過ぎている感じがした

3.4 考察

実験結果から、提案システムから 5~10cm の位置にただで身体に“もわっと”感じる触覚を提示できることが分かった。ただしこれは、前腕が露出した状態に限る。

一方で、前腕が露出した状態であっても、距離 5cm で“もわっと”感じない被験者がいたことについては、実験後のヒアリングの結果、3 名のうち 2 名は前腕を剃毛しており、1 名は脱毛していることが分かった。前腕を剃毛していても、距離 5cm 以上で“もわっと”感じた被験者がいたが、彼らが剃った日は実験日の数日または数週間前であった。そこで、著者自らの前腕で、剃ったその日と 5 日後との違いを確認した。その結果、剃ったその日は 5cm、さらには 1cm 程度の近距離であっても“もわっと”感じなかった。一方、剃ってから 5 日後は、10cm で“もわっと”感じた。なお、“もわっと”感じた被験者の体毛の量、生え方は様々であったが、それらが実験結果に影響を与えている印象は得られなかった。以上の結果から、“もわっと”感じる触覚を提示するためには、少なくとも体毛が必要であることが分かった。静電気発生装置が帯電することで体毛が引き寄せられ、その際に毛が動くことで、“もわっと”感じるのだと考えられる。

気配らしさととの整合度については、袖なしの状態と距離 15cm において回答のばらつきが大きくなったことについて、実験後にヒアリングを行った。その結果、距離 15cm で高評価をした被験者からは、“もわっと”感じる感覚が弱い方が気配っぽいと感じたという回答があった。このように、“もわっと”感じた感覚が強い場合と弱い場合でどちらがよく気配らしさとマッチしていたかについて、被験者間で意見が分かれた。これは、気配らしさに求める感覚が人によって異なるからではないかと考えられる。

袖ありの状態については、被験者へのヒアリングから、洋服が押されている感じがして気配っぽくなかった、という意見もあり、前腕が露出した状態の方が気配の提示には

向いている可能性が示唆された。

被験者が回答した“もわっと”感じる以外に得られた感覚については、柔らかい接触があったように感じたという回答が多かったが、温かみを感じたという意見もあった。これは、静電気によって毛が動くことで風として知覚されるものの、実際の風と比較して冷感がないため、相対的に温かみを感じているのではないかと推測される。

また、9 本の静電気発生装置を同時に稼働させていたにもかかわらず、流れを感じたと回答した被験者もいた。そこで、静電気探知機で帯電電位の変化を測定した。その結果、測定位置が不変であっても帯電電位は一定ではなく、時間ごとに小さく増減していることが分かった。これは、静電気発生装置が帯電する電荷の量が一定ではないためと考えられる。図 9 に、システムからの距離 5cm で測定した、稼働開始 4 秒後から 1 秒間の帯電電位の変化を示す。

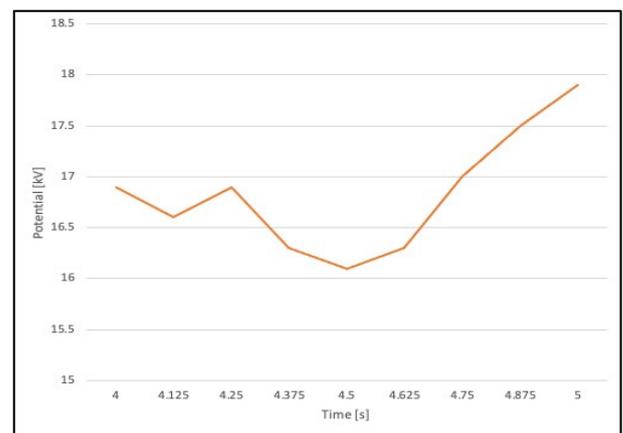


図 9 帯電電位の変化
(距離 5cm, 稼働開始 4 秒から 1 秒間)

風の知覚は、空間的に移動していく感覚というよりは時間的に変化する感覚によって生じると考えられる(風は一般的に空間的に細かい粗密を作り難いと考えられるため)。このため、上述のような時間的な帯電電位の変化を風と解釈したと考えられる。

4. おわりに

本稿では、遠隔コミュニケーションに併せて伝える雰囲気として「気配」に着目し、静電気発生装置を用いた気配提示システムを提案した。実験を通じて、システムの近くにいるだけで身体に“もわっと”感じる触覚を提示できることを示した。その他に、気配らしさに合っている設置距離についても調査した。調査の結果、“もわっと”感じた感覚が強いときに、気配らしさととの整合度が大きくなる傾向があるものの、“もわっと”感じる感覚が弱い方が気配らしさがあると回答する被験者もいて、意見が分かれた。

今後の展望として、音の提示と併用した場合の効果の検証、静電気発生装置を短時間間隔で ON/OFF させることで、

より体毛に動きを与えた場合の効果の検証, 提案システムによる温かさの表現に関する調査などが挙げられる.

参考文献

- [1] C. Sommerer, L. Mignonneau, “Mobile Feelings: wireless communication of heartbeat and breath for mobile art,” In *The Mobile Audience* (pp. 269-276), 2011.
- [2] H. Nakanishi, K. Tanaka, Y. Wada, “Remote handshaking: touch enhances video-mediated social telepresence,” In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2143-2152), 2014.
- [3] J. Cha, M. Eid, L. Rahal, A. El Saddik, “HugMe: An interpersonal haptic communication system,” In *2008 IEEE International Workshop on Haptic Audio visual Environments and Games* (pp. 99-102), 2008.
- [4] N. Takahashi, R. Okazaki, H. Okabe, H. Yoshikawa, K. Aou, S. Yamakawa, M. Yokoyama, H. Kajimoto, “Sense-Roid: Emotional Haptic Communication with Yourself,” *Virtual Reality International Conference*, 2011.
- [5] T. James, C. Adrian, P. Roshan, C. Yongsoon, T. Vuong, L. Sha, “Huggy Pajama: a mobile parent and child hugging communication system,” In *Proceedings of the 7th international conference on Interaction design and children (IDC '08)*. Association for Computing Machinery, 2008.
- [6] S. Masaki, I. Yamada, “SHOJI: A communication terminal for sending and receiving ambient information,” *Emotional Engineering*, 2011.
- [7] K. Hokoyama, Y. Kuroda, K. Kiyokawa, H. Takemura, “Mugginess sensation: Exploring its Principle and Prototype Design,” *IEEE World haptics 2017*, pp. 563-568, 2017.
- [8] 嶋田, 羽田, “生物の気配がする箱,” *エンタテインメントコンピュータシンポジウム 2020 論文集*, No. 2020, pp. 162-165, 2020.
- [9] S. Zhao, A. Ishii, Y. Kuniyasu, T. Hachisu, M. Sato, S. Fukushima, H. Kajimoto, “Augmentation of Acoustic Shadow for Presenting a Sense of Existence,” *International Workshop on Modern Science and Technology (IWMST2012) proceedings*, 2012.
- [10] 松尾, 岡野, 橋本, 梶本, “音響的影の提示による気配感覚の増強,” *日本バーチャルリアリティ学会 第12回大会論文集 (2007年9月福岡)*, 2007.
- [11] 鈴木, 阿部, “準静電界を用いた HMD 内での気配の知覚方法の提案,” *エンタテインメントコンピュータシンポジウム 2019 論文集*, No. 2019, pp. 359-361, 2019.
- [12] 鈴木, 川崎, 西村, 岸, 北川, 桑山, 角谷, “メリーさんの電話,” *第24回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集*, pp. 2B-09, 2019.
- [13] S. Fukushima, H. Kajimoto, “Chilly Chair: Facilitating an Emotional Feeling with Artificial Piloerection,” *ACM SIGGRAPH*, 2012.
- [14] R. J. Van de Graaf, K. T. Compton, L. C. Van Atta, “The electrostatic production of high voltage for nuclear investigations,” *Physical Review*, 43(3), 149, 1933.
- [15] “FUN-FLY-STICK Magic Levitation Wand ”. <http://www.unitechtoys.com/funflystick.html>, (参照 2020-12-09).
- [16] “Anthropometry and Biomechanics” In *Man-Systems Integration Standards*, <https://msis.jsc.nasa.gov/sections/section03.htm>, (参照 2020-12-09).