

ソーシャルタッチのためのセンサースーツの開発とその応用

住岡 英信^{1,a)} 港 隆史^{1,b)} 塩見 昌裕^{1,c)}

概要: 本研究では、社会生活において重要な要素である他者との触れ合い（ソーシャルタッチ）に着目し、それを理解するロボットを実現するための柔らかい身体をもつロボット用センサースーツを開発した。ソーシャルタッチは相手から触れられた際の状態だけでなく、触れる相手の状態によっても影響を受ける。そのため、圧力センサだけでなく、近接センサとしても機能し、近接距離を計測することができる布型の静電容量方式センサを新たに開発し、それを80個備えたスーツを開発した。これにより、他のセンサ情報を用いることなく、相手との触れ合いの計測だけでなく、相手との近接距離の計測も可能となり、例えば、初めての相手がロボットに触れようとすれば避け、親しい相手では接触を許して抱擁といった触れ合いを行うといった接触前から接触後にかけてのインタラクションが実現できる。また、布型であるため、人間が着用することも可能であり、新たなインタラクションメディアの開発にも利用が期待される。

1. はじめに

他者との触れ合いは我々人間にとって身体的・精神的健康に大きく寄与するものであり [1]、実際、身体的・精神的ストレスの軽減効果は何度も報告されている [2], [3]。そのため、人間と日常的に関わるロボット、ソーシャルロボットにおいても同様の効果を狙った研究が進められている [4], [5] が、未だに身体動作や表情、言語によるインタラクションが主であり、人とロボットの触覚インタラクションの研究は今後重要となる研究領域である。

触れ合いを通して人と関係を構築するためには、ロボットに2つの能力が必要である。1つは人に対して適切に触れることであり、もう一つは人からの接触を認識し適切に反応することである。後者のためにこれまで多くの触覚センサが提案されてきている [6], [7], [8]。特に人との触れ合いを目的とするロボットでは外装に柔らかくし触れた時の心地よさを実現するために、シリコンの皮膚にPVDFフィルムや磁気センサを埋め込んだものや [9], [10]、布型のセンサ [11], [12], [13] などが提案されてきた。これらのセンサは強い抱擁といったある程度の押し込みや歪みがセンサに生じる接触であれば反応するが、人同士の触れ合いにおいてしばしば観察されるそっと優しく撫でるといった軽い接触を検出するのは難しい。また、当たり前であるが、人が触れるまでは反応しない。

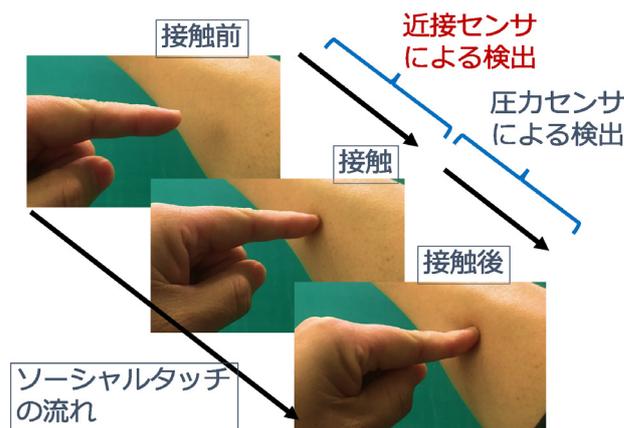


図1 ソーシャルタッチに関する3段階（接触前、接触、接触後）

しかし、人同士のソーシャルタッチの研究においては、触った人（接触者）の接近行動が触られた人（被接触者）の心理・生理情報に影響を与えることが分かっており、触れる前の状態の知覚も非常に重要であることが示唆されている。例えば、接触者が素早い動作で被接触者の腕を掴んだ場合、接触者の意図がどうであれ、被接触者にとっては支配的な動作と捉えられ、逆に近年注目されている被介護者に寄り添った介護方法である「ユマニチュード」 [14] でも推奨されているようなゆっくりとした動作で腕を掴んだときには被接触者は支援的な動作と感じる。実際に、人とロボットのインタラクション研究のいくつかでは、相手との距離によっては相手を不快にする可能性があることを報告している [15], [16]。このことはロボットは人からソーシャルタッチを認識するためには、触れられる前から人の接触

¹ ATR

^{a)} sumioka@atr.jp

^{b)} minato@atr.jp

^{c)} m-shiomi@atr.jp



図 2 開発したセンサスーツ (左図) とセンサ配置 (中央, 右図)

行動を認識する必要があることを示している。こういった接触前のインタラクションの認識はロボット自身や相手の体によって接近行動が見えないことが起こるため、視覚情報のみで対応することは難しく、他の感覚情報によっても検出できることが望ましい。

そこで、本研究では、ソーシャルタッチを接触・接触後の状態だけでなく接触前の状態も含んだ3段階のプロセスとして考える (図 1)。この全ての段階を認識しながら、人との触れ合いを適切に行える社会的ロボットを実現するために、本研究ではそういった認識をロボットに可能とするためのセンサスーツの開発を行った。

2. 設計コンセプト

Silvera-Tawil *et al.* [8] は、社会的ロボットが人との触れ合いを実現するために、触覚センサに必要な要件をまとめ、以下の7点を挙げている：

- (1) 10–40 mm の空間解像度
- (2) センサの頑健・安定・再現性
- (3) 約 0.3 N ($\approx 30g/cm^2$, 優しく撫でる場合) から 10 N ($\approx 1000g/cm^2$, 叩く場合) までの力の検出。
- (4) 製造が簡便で、高い耐久性
- (5) ロボットの様々な立体表面への適応性
- (6) ハードウェアの気温, 湿気, 埃, 光, 電場など人間の日常生活において発生するノイズに対する耐性
- (7) 実時間での情報処理 (20-60Hz)

これらの特徴に加え、接触前行動についても知覚できることが望ましい。そのため、以下についても必要となる：

- (8) 接触後だけでなく、接触前の状態に対するための近接センシング

これらに基づき、本研究では製造が簡便で、立体表面への適応が容易な布型のセンサに着目する。導電性繊維を用いた布に静電容量方式の近接センサと圧力センサとしての機能を持たせることで、優しく撫でるから叩くまでの幅広い接触状態を検出するとともに、接近前の近接状態の検出も実現する。

3. ソーシャルタッチのためのセンサスーツ

開発したセンサスーツを図 2 に示す。各腕に 9 チャンネル、胴体の前面、背面にそれぞれ 33, 29 チャンネルの計

80 チャンネルを備えている。各センサは $5cm \times 10cm$ の導電性の布により構成された静電容量方式のセンサである。

各センサ (図 3) は、表面が導電性の糸、裏面は絶縁体であるポリエステル糸で構成された布 (三機コンシス製) である。表面の布が絶縁性の布で覆われたワイヤでマイクロコントローラ (PIC16F1847) に接続されており、各センサの静電容量値がマイクロコントローラ付属の静電容量計算法能を用いて 5 ミリ秒ごとに計算される。センサは布であるため、柔らかく、曲げ伸ばしが可能であり非常にロバーストである。また、任意の形で構成可能である。人間がセンサに近づくと、センサと人間の間で静電容量が生じ、実際に触れたとき、最大値をとる。実際に使用する際は図 3 の右図の左半分に示されるような絶縁テープを表面に貼るため、センサと人との間の接触距離は 0 にはならず、人が押し込むことでその距離が多少変化する。これによってセンサにかかる圧力を測ることが可能である。また、近接センサとしては、これまでの検討から、約 50cm の近接距離から人間を検出が可能であることが分かっている。使用する素材は安価であるため、低コストでロボットへ実装が可能である。

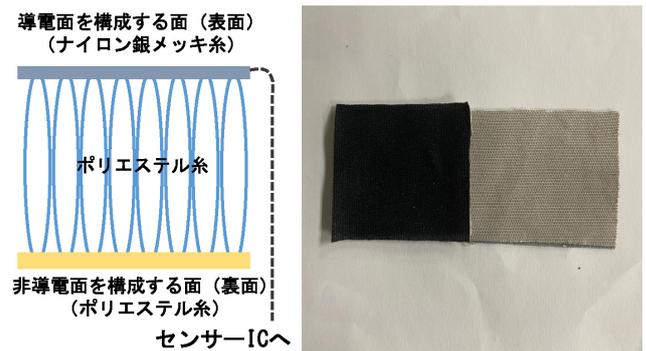


図 3 使用した導電性布型センサ (右図) とその構造 (左図)

4. おわりに

本論文では、ロボットがソーシャルタッチを理解するためには接触した後のインタラクションだけではなく、接触する前のインタラクションも考慮する必要があることを指摘し、そのためのセンサスーツを開発した。スーツは 80 個の静電容量方式の布型センサからなっており、約 50cm の近接距離から人間を検出可能である。これを用いることで、接触者の接近行動に対して、親密さなど接触者との人間関係に応じてロボットの応答を変えろといった接触前から接触後にかけての触覚インタラクションが可能となる。提案したのは布型のセンサであるため、ロボットだけでなく、人も着用可能である。そのため、人同士の接触インタラクションの分析や新たな触覚メディアへの利用が期待される。今回はセンサを同じ大きさにしているが、人間が触れる部位によって解像度に違いがあると考えられるため、

検討を進める。また、提案したセンサーはロボットの動作によって影響を受けるため、ロボットの動作とセンサー変化との関係を調査する必要がある。

謝辞 本研究は、JST, CREST, JPMJCR18A1 の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] A. Gallace and C. Spence: “The science of interpersonal touch: an overview,” *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34(2), pp. 246–259, 2010
- [2] Field T (2010) Touch for socioemotional and physical well-being: A review. *Developmental Review* 30: pp. 367–383.
- [3] Cohen S (2004) Social Relationships and Health. *American Psychologist* 59, pp. 676–684
- [4] C. J. A. M, Willemsse, A. Toet, and J. B. F. van Erp: “Affective and Behavioral Responses to Robot- Initiated Social Touch: Toward Understanding the Opportunities and Limitations of Physical Contact in Human–Robot Interaction.” *Front. ICT* 4:12, 2017
- [5] K. Nakagawa, M. Shiomi, K. Shinozawa, R. Matsumura, H. Ishiguro, and N. Hagita: “Effect of robot’ s active touch on people’ s motivation.” In Proc. of the 6th ACM/IEEE Int. Conf. on Human-robot Interaction, pp. 465–472, 2011.
- [6] R. S. Dahiya, P. Mittendorf, M. Valle, G. Cheng, and V. Lumelsky: “Directions Towards Effective Utilization of Tactile Skin – A Review”, *IEEE Sensors*, 13(11), pp.4121–4138, 2013
- [7] B. D. Argall and A. G. Billard: “A survey of tactile human–robot interactions”, *Robotics and autonomous systems*, 58(10), pp. 1159–1176, 2010
- [8] D. Silvera-Tawil, D. Rye, and M. Velonaki: “Artificial skin and tactile sensing for socially interactive robots: A review”, *Robotics and Autonomous Systems*, 63(3), pp.230–243, 2015
- [9] T. Noda, T. Miyashita, H. Ishiguro, K. Kogure, and N. Hagita: “Detecting Feature of Haptic Interaction Based on Distributed Tactile Sensor Network on Whole Body”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 19(1), pp. 42–52, 2007.
- [10] T. Kawasetsu, T. Horii, H. Ishihara, and M. Asada: “Flexible Tri-axis tactile sensor using a spiral inductor and magnetorheological elastomer”. *IEEE Sensors*, Vol. 18(14), pp. 5834–5841, 2018.
- [11] H. Alirezaei, A. Nagakubo, and Y. Kuniyoshi: “A highly stretchable tactile distribution sensor for smooth surfaced humanoids”, In Proc. of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2007), pp. 167–173, 2007
- [12] M. Inaba, Y. Hoshino, K. Nagasaka, T. Ninomiya, S. Kagami, H. Inoue: ‘A full-body tactile sensor suit using electrically conductive fabric and strings’, In Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 1996), vol. 2, pp. 450–457, 1996
- [13] G.H. Büscher, R. Köiva, C. Schürmann, R. Haschke, and H. J. Ritter: “Flexible and stretchable fabric-based tactile sensor”, *Robotics and Autonomous Systems*, 63, pp.244–252, 2015
- [14] Y. Gineste and J. Pellissier: *Humanitude, cuidar e compreender a velhice*. Lisboa, Portugal: Instituto Piaget, 2008
- [15] M. Shiomi, K. Shatani, T. Minato, and H. Ishiguro: “How should a Robot React before People’s Touch?: Modeling a Pre-Touch Reaction Distance for a Robot’s Face”, *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 3, No. 4, pp.3773–3780, July, 2018.
- [16] S. Keshmiri, M. Shiomi, K. Shatani, T. Minato, and Hiroshi Ishiguro: “Facial Pre-Touch Space Differentiates the Level of Openness Among Individuals,” *Scientific Reports*, 9, 1, 11924, 2019.