

# 服飾用ボタンと導電繊維を用いたジョイスティック

大塚 晟<sup>1,a)</sup> 高田 峻介<sup>1</sup>

**概要:** E-textile を用いた従来の方向入力インタフェースは、快適性や柔軟性に優れるものの、十字キーでは細かな入力が難しく、タッチパッドでは衣類上の広い面積や複雑な配線が必要である。本研究では、服飾用ボタンと導電繊維を組み合わせたジョイスティックを提案する。衣服のボタンをジョイスティックのレバーとして活用し、ボタン周囲に刺繍された導電糸と接触させた際に形成される回路の抵抗値から角度を計測することで、方向入力を実現する。提案手法は既存のボタンを活用できる手法であり、触覚を伴った操作性を有する。本稿では提案手法の設計・実装プロセスについて述べ、性能評価の結果から E-textile を用いたジョイスティックの実装方法を示した。

## 1. はじめに

E-textile 技術を用いて衣類そのものを入力インタフェースとして利用することで、情報端末をかばん等から取り出すことなく、即座かつ随時に操作ができる。E-textile を用いた入力インタフェースとして、スイッチ [1], [2], スライド [2], [3], 圧力センサ [2], [4] などが提案されている。地図や音楽アプリケーション操作に活用できる方向入力操作として十字キー [5], [6], タッチパッド [7], [8], [9] が提案されている。しかし、十字キーでは斜め方向入力時に細かな角度の指定ができず、タッチパッドは衣類上のある程度の面積を必要とし、配線の数も多くなる。

そこで本研究では服飾用ボタン (以下、単にボタン) をジョイスティック化する手法を提案する。提案手法では縫い付けたボタンをジョイスティックのレバーとして利用し、ボタン周囲に刺繍した導電糸と接触させることで入力方向を検知する。さらに提案手法はタッチパッドに比べてコンパクトに実装できる。ボタンはシャツ、ブラウス、コート、パンツ、ぬいぐるみなどに広く搭載されているため適用範囲が広い。

## 2. 関連研究

ジョイスティックは回転角で抵抗値が変わるポテンシオメータを2つ取り付けて入力方向と強さを検知する。十字キーと異なり、細かい角度を入力できるため、ゲームコントローラを中心に普及している。しかし、一般的なジョイスティックの構造を衣類に適用するには構造に高さが出てしまい、E-textile における柔軟性が損なわれる。

Peng らが提案した IntelliTex[2] の応用例としてウールボールをスティックとしたジョイスティックを提案している。Pinstripe[10] は布地に縫い付けられた平行な導電糸によって布地をつまんだり、すり寄せる操作を行うことで連続的なスクロール入力ができる。また、つまむ布の量により入力の細かさを調整できる。I/O Braid[3] は普通の糸と導電糸を編み込んだひも状のデバイスであり、近接・タッチ・ねじりを入力として扱える。この手法を発展させ、フリック、スライド、掴む、軽くたたたく入力手法が提案されている [11]。これらは E-textile スライドとして活用できるが、方向入力を行うことはできない。

FlexTiles[7] と Textile++[8] は布を、SmartSleeve[12] は服の袖を利用したタッチパッドとして入力を可能にする手法である。Grabics[13] はつまんだ布の折り目に沿って2次元のストローク入力ができる。タッチパッドは衣類上のある程度の面積を必要とし、大きいタッチパッドほど配線の数も多くなる。これらの手法に対し提案手法はボタンを用いることでコンパクトに実装でき、配線の数も5本に抑えられ、製造コスト、デザインへの制約が少なくなる。

## 3. 提案手法

衣類についているボタンは服を留めるため、多少高さをもって縫われている。そのため、ボタンは傾けることや上下左右に動かすことができる。また、手を離れた際にボタンを留める糸のテンションによりボタンの位置が中央に戻る。この動きはジョイスティックのレバーを倒す動きと似ていることから、本研究ではボタンをジョイスティックのレバーとして活用する。

提案手法における入力方向検知の原理を述べる。図1に

<sup>1</sup> 神戸市立工業高等専門学校

<sup>a)</sup> r119310@g.kobe-kosen.ac.jp

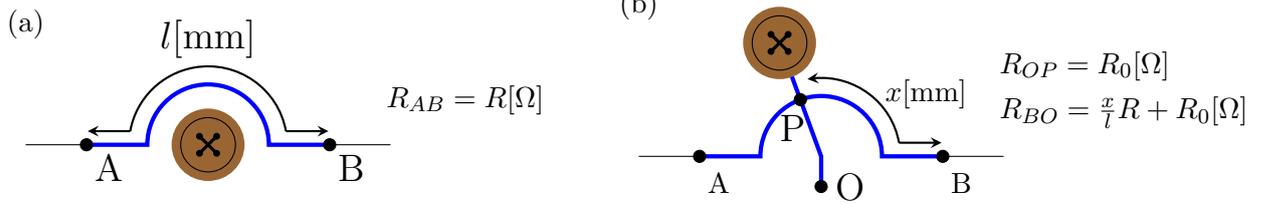


図 1: 服飾ボタンを用いた導電糸ジョイスティックの原理図. 青い線は導電糸 (a) 無入力の状態, (b) 入力時の状態

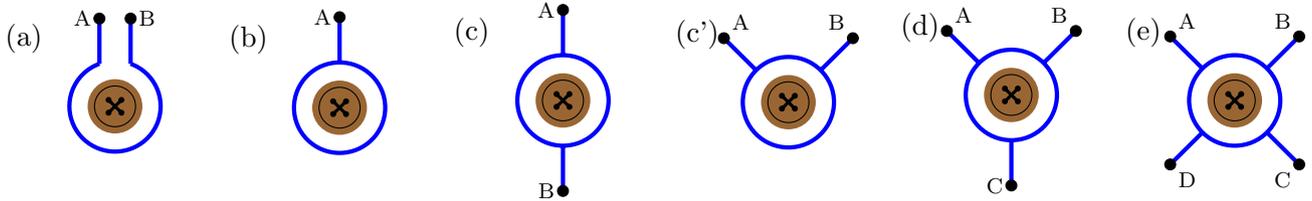


図 2: 服飾ボタンを用いた導電糸ジョイスティックの刺繍形状. (a)(b)(c) は設計上 360 度の入力検出を行えない

示すように、導電糸をボタンを囲むパターン状に縫った場合、ボタンを動かすとボタンを布地にとめている導電糸が周囲に刺繍されたパターンに図 1(b) のように接触する。このとき、周囲に刺繍されたパターンの一端である B 点とボタンに縫い付けた導電糸根元の O 点間の抵抗値は接触位置によって変化する。B-O 点間の経路が長いほど抵抗値は上昇するため、この抵抗値からボタンの角度を計測できる。

### 3.1 刺繍パターン

図 1 においてパターンの両端である A-B 点間を狭めたものを図 2(a) に示す。図 2(a) のパターンでは隙間が空いているため、隙間方向へのボタンの移動を検知できない。また、図 2(b) や図 2(c) のような隙間を閉じたパターンが考えられるが、電圧変化が左右対称であるため、ボタンが左右どちらに移動しているかの判断ができない。

そこで、対称性を破る形状として図 2(c') のパターンが考えられる。端子 A-ボタン間、端子 B-ボタン間の抵抗値が左右対称となる軸が異なるため、それぞれ計測することで入力方向を検知できる。

また、センサ値の処理にマイコンを用いる場合、電圧の変化の方が扱いやすい。2 端子構造では抵抗値計測が必要となるため、電流計測もしくは適切なオーダーの分圧抵抗器を用いた計測が必要である。そのため、図 2(d) に示す 3 端子構造、図 2(e) に示す 4 端子構造であれば刺繍パターンの一部が分圧抵抗となるため、必要素子数が少なくなり、電圧変化計測により入力方向検知が可能となる。

## 4. 実装

提案手法を検証するための機器を作製した。図 2 のデザインを Inkscape で描画し、Ink/Stitch 拡張機能で刺繍データを作製した。刺繍は上糸と下糸に導電糸のフジックス Smart X[14] を使用し、Brother 社の刺繍ミシン EMM1901

を用いて刺繍した。円形部の直径は 15mm、線は 1.5mm 幅のジグザグで縫われている。図 2(a) は 315 度の円弧で縫われている。刺繍された端子は 40mm 分ある。フジックス Smart X は本来銀色であるが、空气中に硫化物や硫黄成分または塩素やフッ素などのハロゲン系の化合物が存在していることにより黒ずんでいる [14]。布は綿 100% の白色の布を使用し、型崩れを防ぐため裏に接着芯を貼り付けた。

刺繍した円形部の中心に 3D プリンタで作製した服飾ボタンをフジックス Smart X で縫い付けた。ボタンは直径 20mm の丸い 4 つ穴ボタンであり、各穴の直径は 2mm である。刺繍した円に接するため、一般的なボタンより高さのゆとりをもって緩く縫われている。また、計測用の電極として布裏のボタンの縫い目に導線を取り付けている。作製したジョイスティックを図 3 に示す。

## 5. 実験

作製したジョイスティックでの抵抗値の変化を計測した。図 3 のパターン (a)–(e) について、図 4 の回路を組んで計測した。(c)(c')(d) は A 点、B 点を切り替えるスイッチがあり、(e) は A-C 点間、B-D 点間と接続経路を組み替えるスイッチがある。A0-GND 間のコンデンサと抵抗はノイズ対策として設けられ、抵抗の値は接続した端子に応じて変更されている。点 A を 0 度として、45 度ずつ入力方向を変えながら、0 度から 360 度までの入力による電圧変化を計測した。各パターン、各角度 10 回ずつ計測した。計測結果を図 5 に示す。

(a) の無入力電圧は 0mV であった。図 5(a) より、(a) は角度に対して電圧がおおむね直線的に増加している。電流が流れる経路の長さが長くなるほど抵抗値が増加するため、適切な変化である。角度が大きくなるほど分散が大きくなっている。

(b) の無入力電圧は 3.0V であった。図 5(b) より、(b) は

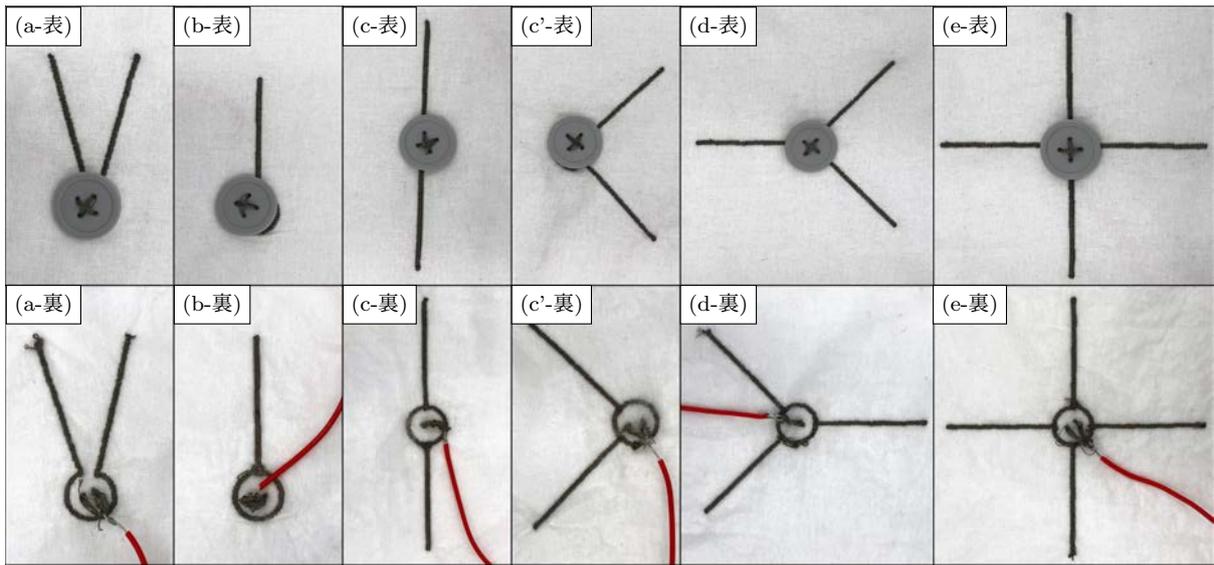


図 3: 作製した導電糸で縫ったボタンを用いたジョイスティック

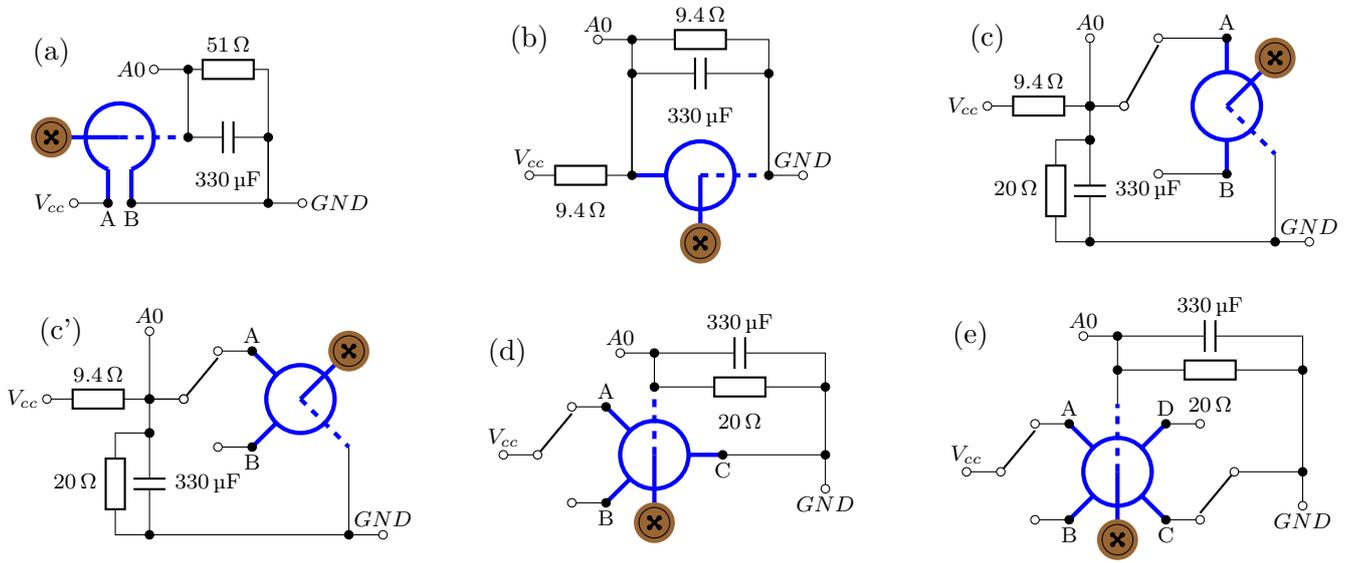


図 4: ジョイスティック計測回路

0度, 360度の時に電圧が最小, 180度, 225度の時に電圧が最大となっている。電流経路長が180度より短い225度が180度と近い電圧値を示すのは, 左右の刺繍に若干の抵抗差があるためと考えられる。電圧変化は180度, 225度を軸に左右対称の2次曲線的な変化が見られた。これは時計回りの経路と反時計回りの経路を通ることで並列抵抗が形成されている状態と同じであると考えられる。90度と315度の計測の分散が大きくなっており, この角度のあたりで急峻な変化が発生しやすく, 僅かな入力方向のずれで大きく電圧が変化することがわかる。180度と225度の電圧変動幅は小さく, このあたりの角度の変化は検知しづらい。また, 180度を軸に左右対称であるため, 電圧値から入力方向を一方に決定できない。

(c)の無入力電圧は2019mVであった。図5(c)より, A

点接続時には0度, 360度の時に電圧が最小, 180度の時に電圧が最大となっている。B点接続時には0度, 360度の時に電圧が最大, 180度の時に電圧が最小となっている。電圧の変動幅はA点接続時がB点接続時よりも大きくなっている。これは円形刺繍部に繋がる直線の刺繍の抵抗値が異なることが要因である。円形刺繍部の両端の抵抗値が10Ωであるのに対し, A点から円形刺繍部までは10Ω, 円形刺繍部からB点までは30Ωである。B点接続した場合, 直線刺繍での電圧降下が大きいため, 電圧変動幅に差異がある。180度付近の電圧変化はスイッチAに接続した場合は鈍化し, スイッチBに接続した場合は急峻な変化が起き, 0度, 360度の時はその逆となっている。そのため, 計測感度が鈍い箇所を互いに補い合うようになっている。また, A点接続, B点接続を切り替えても180度を軸に左右

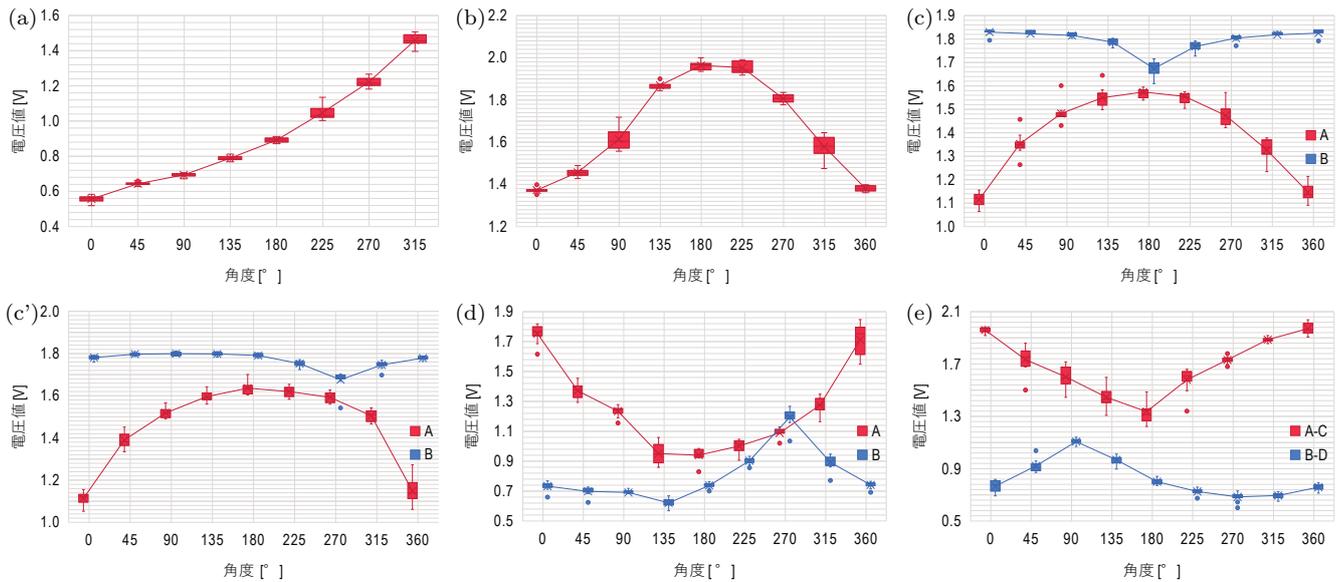


図 5: ジョイスティックの電圧変化

対称の電圧変化が見られるため、入力方向を一方向に決定できない。

(c')の無入力電圧は2023mVであった。図5(c')より、A点接続時には0度、360度の時に電圧が最小、180度の時に電圧が最大となっている。B点接続時には90度あたりの電圧が高く、270度の時に電圧が最小となっている。A点接続とB点接続の電圧の変動幅の違いの原因は(c)と同様である。また、A点接続、B点接続では対称となる角度が異なるため、入力方向を一方向に決定できる。

(d)の無入力電圧は0mVであった。図5(d)より、A点接続時には0度、360度の時に電圧が最大、135度の時に電圧が最小となっている。B点接続時には270度の時に電圧が最大、135度の時に電圧が最小となっている。(c)と同様の原因で少し電圧の変動幅がA点接続とB点接続で異なる。接続したスイッチの円形刺繍部の接点から見て、時計回り、反時計回りでは経路長が異なるため、電圧変化の分解能が異なる。A点接続、B点接続では対称となる角度が異なるため、入力方向を一方向に決定できる。

(e)の無入力電圧は0mVであった。図5(e)より、A-C点間接続時には0度、360度の時に電圧が最大、180度の時に電圧が最小となっている。B-D点間接続時には90度の時に電圧が最大、270度の時に電圧が最小となっている。(c)と同様の原因で少し電圧の変動幅がA点接続とB点接続で異なる。A-C点間接続、B-D点間接続では対称となる角度が異なるため、入力方向を一方向に決定できる。

## 6. 議論

(c)(c')のジョイスティックがB点接続したときは電圧変動幅がとても狭く、入力方向を決定できない。この問題は円形刺繍部に繋がる直線の刺繍の抵抗値が高いことが要因

である。この問題を解決するためには、直線刺繍の抵抗値を低くし、円形刺繍部の抵抗値を高くする必要がある。現在の円形刺繍部の両端抵抗値が10Ωであるところを10kΩにすることで、入力方向による電圧変化の影響を大きくできる。導電糸と化学繊維を織り交ぜ、抵抗値の異なる糸を作製する手法[5]を用いることで、抵抗値の異なる刺繍ができる。

ジョイスティックのデザインや回路の配線の方法は図3および図4に示した以外にも考えられる。配線の数を増やし、計測する経路のパターンを増やすことで入力精度の向上が図れる可能性があるが、回路の複雑化、計測回数が増えることによる入力遅延の発生、円形部を小型化していく中で接続できる配線の制限が起こる。衣服に取り込む際には配線の増加がデザインへの制約を与える可能性がある。最適なパターンを見つけるため、詳細な検証を行う必要がある。

本稿では提案手法を刺繍で実装した。市販の布や製品にジョイスティックを付与することができるが、刺繍による凹凸やデザインへの影響がある。布自体に導電繊維を織り込む技術[5],[15]を用いて布に導電繊維を円形に織り込めば、刺繍を行わずにジョイスティックを実装できる。

提案手法はボタンがついているあらゆる衣類にデザインを崩さず、実装可能である。スーツの袖のボタンのようにデザインとして残り、開け閉めしないボタンに対して役割を持たせることができる。導電性布キーボード[16]と提案手法を組み合わせて、トラックポイントがついた布キーボードも実装可能である。また、提案手法ではボタンの素材や形状に制限がないため、ボタン型のデバイス[17],[18]との組み合わせで新たな機能が実装可能となる。例えばゲームコントローラーで見られるハプティクス機能をボ

タン型デバイスに搭載することで、入力の強さによって異なる触覚を与えたり、通常のボタンと見分けるのに使える。

## 7. まとめ

本稿では刺繍による導電糸を用いて円形のジョイスティック型アナログ入力デバイスを実装し、その構造と動作原理、計測結果を示した。複数のデザインパターンで計測を行い、入力方向を検出できることを示した。抵抗値の異なる導電糸を用いることでより高精度な入力方向の検出が可能になる。今後は異なる抵抗値を持つ導電糸での実装、回路パターンの再考、ユーザ実験での評価を行う。

## 参考文献

- [1] E. R. Post, M. Orth, P. R. Russo, and N. Gershenfeld. E-broidery: design and fabrication of textile-based computing. *IBM Syst. J.*, 39(3-4):840–860, July 2000.
- [2] Yuecheng Peng, Danchang Yan, Haotian Chen, Yue Yang, Ye Tao, Weitao Song, Lingyun Sun, and Guanyun Wang. Intellitex: Fabricating low-cost and washable functional textiles using a double-coating process. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [3] Alex Olwal, Jon Moeller, Greg Priest-Dorman, Thad Starner, and Ben Carroll. I/o braid: Scalable touch-sensitive lighted cords using spiraling, repeating sensing textiles and fiber optics. In *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '18, page 485–497, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [4] Roland Aigner, Andreas Pointner, Thomas Preindl, Patrick Parzer, and Michael Haller. Embroidered resistive pressure sensors: A novel approach for textile interfaces. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, page 1–13, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [5] Yiyue Luo, Kui Wu, Tomás Palacios, and Wojciech Matusik. KnitUI: Fabricating Interactive and Sensing Textiles with Machine Knitting. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [6] Kate Hartman, Emma Westecott, Izzie Colpitts-Campbell, Jennie Robinson Faber, Yiyi Shao, Chris Luginbuhl, Olivia Prior, and Manisha Laroia. Textile game controllers: Exploring affordances of e-textile techniques as applied to alternative game controllers. In *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [7] Patrick Parzer, Kathrin Probst, Teo Babic, Christian Rendl, Anita Vogl, Alex Olwal, and Michael Haller. FlexTiles: A Flexible, Stretchable, Formable, Pressure-Sensitive, Tactile Input Sensor. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '16, page 3754–3757, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [8] Keisuke Ono, Shinichiro Iwamura, Akira Ogie, Tetsuaki Baba, and Paul Haimes. Textile++: low cost textile interface using the principle of resistive touch sensing. pages 1–2, 07 2017.
- [9] Stefan Schneegass and Alexandra Voit. Gesturesleeve: using touch sensitive fabrics for gestural input on the forearm for controlling smartwatches. In *Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '16, page 108–115, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [10] Thorsten Karrer, Moritz Wittenhagen, Leonhard Lichtschlag, Florian Heller, and Jan Borchers. Pinstripe: eyes-free continuous input on interactive clothing. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, page 1313–1322, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.
- [11] Alex Olwal, Thad Starner, and Gowa Mainini. E-textile microinteractions: Augmenting twist with flick, slide and grasp gestures for soft electronics. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, page 1–13, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [12] Patrick Parzer, Adwait Sharma, Anita Vogl, Jürgen Steimle, Alex Olwal, and Michael Haller. Smartsleeve: Real-time sensing of surface and deformation gestures on flexible, interactive textiles, using a hybrid gesture detection pipeline. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '17, page 565–577, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [13] Nur Al-huda Hamdan, Florian Heller, Chat Wacharamanotham, Jan Thar, and Jan Borchers. Grabrics: A foldable two-dimensional textile input controller. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '16, page 2497–2503, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [14] 株式会社 フジックス. Smart-x (スマートエックス) — 工業用糸. <https://www.fjx.co.jp/product/detail.php?id=125>(閲覧日: 2025-12-20).
- [15] Poupyrev, Ivan and Gong, Nan-Wei and Fukuhara, Shiho and Karagozler, Mustafa Emre and Schwesig, Carsten and Robinson, Karen E. Project Jacquard: Interactive Digital Textiles at Scale. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, page 4216–4227, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [16] 松村 拓海 and 高田 峻介. 導電繊維を用いた静電容量方式布 QWERTY キーボード. In 第 85 回全国大会講演論文集, volume 2023, pages 243–244. 情報処理学会, Feb 2023.
- [17] Kang-Ho Lee, Dongkyu Lee, Yong-Goo Lee, and Ohwon Kwon. Sewing-enabled electric button for smart fabric. *Journal of Sensor Science and Technology*, 30(2):67–70, 2021.
- [18] 日本国特許庁. 電子ボタン及び発光ダイオードボタンモジュール, 2012. <https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1801/PU/JP-2012-024560/11/ja>.