

# 人の触り方を記録する「やわらかメモリー」の検討

Examination of "Yawaraka memory" that records the way people touch

田山 佳宗<sup>1</sup>, 渡邊 洋輔<sup>2</sup>, エムディ ナヒン イスラム シブリー<sup>2</sup>, 小川 純<sup>2</sup>, 古川 英光<sup>2</sup>

Yoshimune TAYAMA<sup>1</sup>, Yosuke WATANABE, MD Nahin Islam SHIBLEE<sup>2</sup>, Jun OGAWA<sup>2</sup>, Hidemitsu FURUKAWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山形大学工学部,

<sup>2</sup>山形大学大学院理工学研究科

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Yamagata University,

<sup>2</sup>Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

## 【要約】

ソフト材料の物理リザーバー計算を活用して、人の触り方を記録・保存するウェアラブルデバイスを提案する。このウェアラブルデバイスを「やわらかメモリー」と呼び、ソフト材料による人の肌への接触親和性とユーザーの体形や動きに対する密着性を実現し、快適な装着感を提供する。このデバイスを活用し、接触する動作を識別できる機械学習器を作成し、触覚から入手できる情報を別のユーザに伝達することでどのような意思疎通がなされるのかについて検証する。

キーワード: ウェアラブルデバイス, センシング, 機械学習

## 【Abstract】

We propose a wearable device that records and stores human touch utilizing the physical reservoir computing of soft materials. This wearable device, referred to as "Soft Memory," realizes a comfortable fit by offering skin affinity through soft materials and adhering well to the user's body shape and movements. By employing this device, we create a machine learning classifier capable of identifying touch actions and investigate the kind of communication that can be achieved by conveying information obtainable from the sense of touch to another user.

## 1. 諸言

人と人とのコミュニケーションにおいて、互いの認識を伝達する際に、ある事象について観測した結果を、言葉やジェスチャーによる対話を通じて共通の認識を形成しようとするものである。しかしながら、対話による伝達情報は主観的な経験によるバイアスを受け易く、多少なりとも認識の齟齬が発生する可能性がある。この認識の齟齬は、言語的、身体的なハンディキャップにも大きく依存し、実際のところ直接的な聴覚および視覚による対話でのコミュニケーションは高度なインタラクションを必要とする。

そこで、本研究は触覚による対話において、そのコミュニケーションがどのようなものとなり得るかを探るため、人と人との間に物体への接触を介在させた場合における共通認識を生み出すためのウェアラブルデバイスを開発し、その触覚コミュニケーションにおける認識の齟齬について検証することを目的とする。

本稿では、人と物理的な識別手段としてソフト材料を媒体とする物理リザーバー計算による触覚識別をウェアラブルデバイス化する。ソフト材料の物理リザーバー計算における関連研究としては、フレキシブルセンサーを用いた微細な生体情報の変化の定量的なデータの検出が挙げられる[1][2]。その中でも、廣瀬らは弾性の異なる構成要素から成る口腔内における触覚情報に着目し、微細な食感を歯および歯肉を通した微弱な圧力変化か

ら高精度に識別するための咀嚼ロボット「Gel Biter」を開発し、その有用性を示している[3]。

そして、開発するウェアラブルデバイスに基づいて、個人の触り方を識別し、その情報を保存し、対話相手にフィードバックを行うことができる圧電感知ウェアラブルデバイス「やわらかメモリー」について議論する。

## 2. やわらかメモリー

本章では、圧電感知ウェアラブルデバイス『やわらかメモリー』で対象とするコミュニケーションの概要と、その装置構成、センサー信号のデータ処理および識別学習法について述べる。

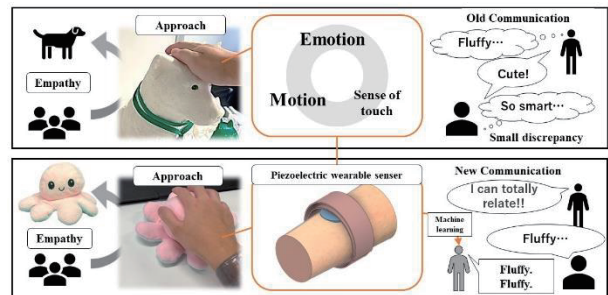


図 1. やわらかメモリーの概念図

## 2.1 やわらかメモリーの設計概要

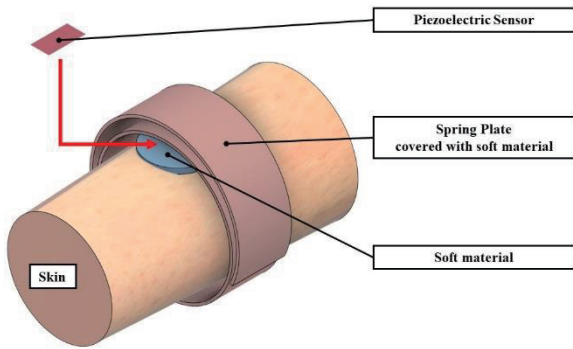


図 2. やわらかメモリーの装置構成

やわらかメモリーの概要を図 1 に示す。本稿で取り扱う状況とは、ある物体に接触した際に、接触者が感じる印象を脳内で言語化するものである。この際、接触者の経験に基づいて言語化がなされるが、例えば、柔らかい犬型のオブジェクトに触れた際には、「ふわふわ」、「かわいい」、「とても賢そう」などの言葉に触覚情報が変換される。この言語化プロセスは個人に強く依存するため、異なる接触者が同一の物体に触れた場合、図 1 上部に示すように、両者間での齟齬が発生する可能性がある。それゆえに、やわらかメモリーは、人間の触り方の情報、すなわち動作や触感をデータとして識別する機械学習器を介し、接触者同士で触覚情報を伝達し合う。これにより、対話から生じる感情の共有を目指すウェアラブルデバイスのシステムである。このデバイスでは、接触者の動作および触覚情報の読み取りに圧電フィルムセンサーが用いられる。また、データ処理には、前述の通り、物理リザーバー計算[4]が採用される。

### 2.1 やわらかメモリーの装置構成

やわらかメモリーの装置構成を図 2 に示す。本装置は、肌に接触する側から柔軟材料、圧電フィルムセンサー、ステンレススチール製ばね板で構成されている。この構成において、柔軟材料は重要な役割を果たしている。柔軟材料は、圧電フィルムセンサーが取得するデータを、弾性変形を通じて増幅する効果を提供する。したがって、感度の高い圧電フィルムセンサーは、より細かい刺激を検知することが可能である。本研究では、柔軟材料として軟性シリコンの Ecoflex™00-30 (Smooth-On, Inc. 社) が採用されている。ばね板により、装置は簡単に肌に押し付け固定することができ、これにより、装着時の取得情報の個人差を軽減することが可能である。

### 2.2 やわらかメモリーによる識別学習法

本研究では、やわらかメモリーを用いて繊細な感知データを収集し、高度な触覚識別を実現するための新しい識別学習法を開発している。具体的な手順としては、まず、装置を身に着けた状態で、対象物体への接触動作を行う。このプロセスを通じて、バンド内部の圧電セン

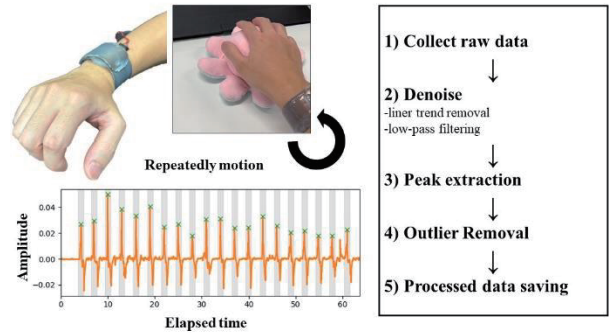


図 3. 圧電センサーのデータ処理手順

サーに伝達された圧力がアナログ電圧値として取得される。このアナログ電圧値は、その後、Arduino Uno と Adafruit ADS1115 というマイクロコンピュータを用いて 16 bit のデジタル値(データ範囲: -32768 ~ +32768)に変換される。さらに、USB シリアル通信を介して、取得データは Python スクリプト上で csv ファイル形式として保存される。この取得データは、ノイズ除去や特徴量抽出などの一連のデータ処理を経た後、識別学習に適用される。図 3 にデータ処理のフローチャートを示す。取得データの前処理としては、ノイズ除去と線形傾向の除去が行われる。これは、取得データがノイズやヒステリシスの影響を受けやすいためである。しかし、一般的にノイズと判断される高周波成分にも識別精度に寄与する重要な特徴量が含まれていることが、既存の研究[5]により明らかにされている。したがって、本研究では、ヒステリシスの除去と併せて、適切なノイズ処理法を選定することが求められる。このため、前述の線形傾向の除去や、ウィンドウ処理によるデータセグメンテーションなど、一連のデータ処理手順が重要である。また、取得した識別データは、物理リザーバー計算[4]を用いて処理される。この手法は、動的なデータ系列から特徴量を効果的に抽出することができるため、やわらかメモリーにおいて高い識別性能を発揮する。

その後、抽出されたピーク部分から各データの特徴量作成を行う。この特徴量作成には、時系列データから多次元の特徴量を自動生成するためのライブラリである tsfresh[6]を用いる。tsfresh は、大量の時系列データから効率よく有用な特徴量を抽出するための高度なツールであり、その応用は広範にわたる。最終的に取得されたデータは、ロジスティクス回帰[7]を用いた機械学習モデルの教師あり分類学習に使用される。この学習プロセスでは、生成された特徴量と対応するラベルが 80% : 訓練データ, 20% : テストデータとして分割される。本研究では、材料特性を含んだ非線形応答を最大限に活用した物性識別精度を検証するために、学習アルゴリズムのパラメータチューニングは実施していない。これは、本研究の主要な目的が、圧電センシングデータの識別精度がどの程度ソフト材料の物性に依存するのかを明らかにすることであるためである。

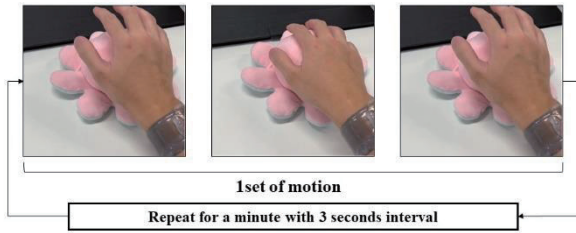





図 4. やわらかメモリーのデータ測定手順

表 1. 異なる弾性率(柔らかさ)をもつ物体への接触動作の識別結果

		
<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Eco-flex 00-10	Eco-flex 00-30	Gypsum
110[kPa]	460[kPa]	6.87[MPa]

### 3. 共感モデルにおける判別実験

本研究は前章で述べた『やわらかメモリー』で、異なる4者間の物体の接触に対する接触方法の識別学習機を作成し、4者間で各々の触り方を伝達した場合、どのような感情を想起するか検証する。そのためまずやわらかメモリーで動作の識別がそもそも可能であるかを検証するため、(A)なでる、(B)つかむ、(C)たたく、(D)つまむ、(E)突くの5つの動作の識別を実施する。次に異なる柔らかさの物体に対する識別ができるか調べる。その後、各個人の触り方の識別と感情の模索を実施する。これらの検証は図4に示すように手首の位置にやわらかメモリーを装着し、触ることを指示された物体に触れることで接触データを被験者から収集する。接触は1分間に20回実行され、接触対象物への反応を記録する。この操作から得られたデータ群を2.2で述べた方法で識別学習を適用する。識別学習の結果から、やわらかメモリーがまず接触者の触る動作、すなわち触覚情報をどの程度識別できるのかを明らかにする。そして、その識別能力が接触者同士の意思疎通をどれだけ可能にするのかを評価する。

本実験では、やわらかメモリーが触覚情報を取得および識別できるかどうかを検証する。今回の実験では表1に記す接触対象(I)~(III)に対して一定の接触動作を行った場合における、接触動作の識別を行う。接触対象は(I) Ecoflex™ 00-10(弾性率 110[kPa])、(II) Ecoflex™ 00-30(弾性率 460[kPa])、(III) 石こう(弾性率 6.87[MPa])であり、同形状で弾性率とタック性が異なる材料で作成されている。

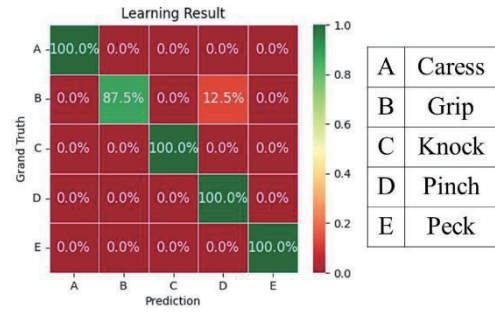


図 5. 動作による判別結果

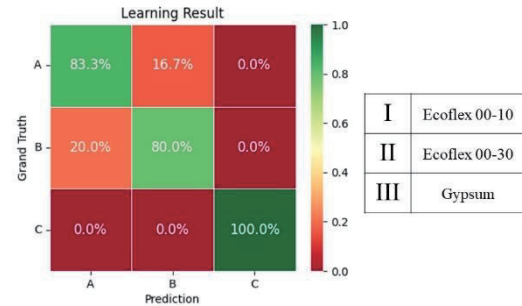


図 6. 異なる物性に対する識別結果

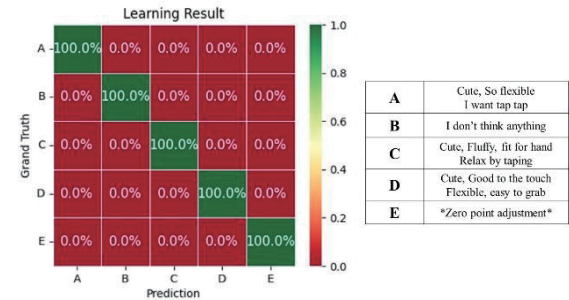


図 7. 被験者 X ごとの触り方の識別結果とアンケート結果

ここでは本研究の本題である個人の触り方の判別とそれを用いた意思疎通が可能かを実験する。今回被験者4名(以下被験者 X)に対して同一の対象を用意し、触り方を学習する。学習の際には動的識別を行うことを考慮し、ゼロ点調整として接触動作を行わないデータを学習させる。その際に、同一対象について持っている勘定についてアンケートを行った。意思疎通実験では学習により生成される学習モデルを用いた動的識別を行い、目標ラベルを学習モデルの作成に関与していない被験者2名(以下被験者 Y)に提示する。被験者は提示されたラベルの触り方を模索し、被験者が終了を申し出るまで動的識別を続ける。終了を申し出た際に、指示されたラベルの触り方と一致しているか、また、測定対象に対してラベルの被験者 X が持っていると思った感情についてアンケートを行い、これらの一致が起こるかどうかを検証する。

表 2. 被験者 Y ごとの触り方の一致度とアンケート結果

Ravel	Motion consistency	Emotion estimation
A	△	Spare time, relax
B	○	Angry
C	△	Admiring, to treat gently
D	×	Admiring, cute

#### 4. 実験結果の分析と考察

図 5 には、動作による実験のロジスティック回帰に基づく識別結果が示されている。水平軸は予測ラベルを、垂直軸は実際のラベルを示している。これにより、対角成分に表記される値が予測と実際のラベルの一致（識別精度）を示している。平均識別率は 97.5%と、高い識別率を有している。これは、やわらかメモリーによって動作が認識可能であることを示し、やわらかメモリーの本題である触り方の記憶と合致している。

図 6 には、異なる物性の識別実験の結果が示されている。平均識別率は 87.8%である。この結果は、やわらかメモリーが装着者から受け取る触覚情報を適切に取得可能であることを示している。これは、やわらかメモリーが触覚を他者と共有するために必要な性能を有しているといえる。

図 7 には、被験者 X ごとの触り方の識別とその際のアンケート結果を示している。識別率は非常に高く、動的識別の学習モデルとして利用することが可能である。表 2 には、意思疎通実験の結果が示されている。ラベルを支持された際の動作の一致率を三段階別に示している。この一致率は目測であり、数値的裏付けはないことを明記しておく。この一致率は B では一致していたが、A, C においてはある程度の要素が一致している程度にとどまった。D においては要素の認識においても一致しなかった。やわらかメモリーを用いた意思疎通実験では、感情の系統が独立していた B においては被験者群 X と被験者群 Y とともに、「かわいい」や「癒し」とは異なり、「無関心」、「怒り」であった。これは、やわらかメモリーによる大まかな感情の共有であると考えられる。A, B, C においては大まかな感情では一致するものの、細かいニュアンスの一致には至らなかった。しかし、A においては被験者 X, Y とともに自身がどのように感じているのかという認識の一致が見られた。C, D においては、測定物の形に注目した感情は共有できなかった。これは、実際の形に基づいた接触を行い、触覚を介した感情ではなかったためである。これにより、やわらかメモリーでは触覚を介した感情は記録できるが、視覚情報による先入観は伝達できないという性質を持つことが示されている。

#### 5. 結言

本研究では、圧電感知型ウェアラブルバンド「やわら

かメモリー」の開発及び、その感情共有の性質についての検討を行った。やわらかメモリーは、物体に触れた際にピエゾフィルムセンサで情報を波形として取得し、機械学習による識別を通じて、接触動作、触感、個人の触り方において高い識別率が得られた。また、一部の感情の共有が可能となり、触感を介した新たなコミュニケーションの足がかりとなることが実験から示唆された。しかし、今回の実験では接触動作と感情のあいまいさや、動的識別の精度に関するいくつかの課題が浮き彫りとなった。今後は、装置の設計の最適化を図るとともに、接触動作の数値化や感情の測定にチェックマーク方式を導入することで、より詳細な調査を行う予定である。また、異文化コミュニケーションにおいて、異なる文化圏同士での感情の共有が可能であるのか、あるいはこれが同一文化圏内での現象に限定されるのかについても、引き続き調査を進めていく計画である。

#### 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP21H04936, JP22K17972, 管理法人 NEDO の委託業務 (JPNP14004 と JPNP20004) によって支援を受けたものである。

#### 参考文献

1. K. Matthias: "Innovation potentials and pathways merging AI, CPS, and IoT," Appl Syst Innov, vol.1, no.1, 2018.
2. L. K. Ramasamy, F.Khan, M. Shah, B. V. V. S. Prasad, C. Iwendi and C. Biamba: "Secure smart wearable computing through artificial intelligence-enabled internet of things and cyber-physical systems for health monitoring," Sensors, vol.22, no.3, 2022.
3. Hirose, K., Sudo, I., Ogawa, J., Watanabe, Shiblee, MD. N. I., Khosla, A., Kawakami, M., Furukawa, H.: Gel Biter: Food Texture Discriminator based on Physical Reservoir Computing with Multiple Soft Materials. AROB Journal, vol.27, no.4, 2022.
4. 田中, 中根, 廣瀬: リザバーコンピューティング—時系列パターン認識のための高速機械学習の理論とハードウェア—. 森北出版株式会社, 2021
5. Maria. V, O., Marit, O., Thomas, L., Oyvind, S., Yunus, Y., Tor. A, J., Ronald, M.: The role of tactile feedback in laparoscopic surgery, Surgical Laparoscopy, Endoscopy & Percutaneous Techniques, vol.16, no.6, pp.390-400, 2006.
6. M. Christ, N. Braun, J. Neuffer, and A. W. Kempa-Liehr, Time series feature extraction on basis of scalable hypothesis tests (tsfresh - a python package), Neurocomputing, vol.307, pp. 72-77, 2018.
7. F. Pedregosa et al, Scikit-learn: Machine Learning in Python, Journal of Machine Learning Research, vol.12, pp. 2825-2830, 2011.