

# バイオメタル・ファイバーを用いた 指の引っ張りによる接触感覚の提示と指の曲げ計測

安達 祐輝<sup>1,a)</sup> 高田 峻介<sup>1</sup>

**概要:** 本研究は、バイオメタル・ファイバー (BMF) を用いた、指の引っ張りによる接触感覚の提示と指の曲げ計測を同一機構で実現する手法を提案する。BMF は、通電加熱によって緊張収縮、自然冷却によって弛緩伸張する繊維状のアクチュエータで、両端を引っ張り、力を加えることで抵抗値が変化する。従来の触覚提示を兼ね備えた入力インターフェースと比較し、軽量、静音で他のアクチュエータ、センサを必要としないデバイスを製作することができる。プロトタイプを製作し、実験協力者による接触感覚の客観的評価と実装した指の曲げによる入力が可能かを検証した。

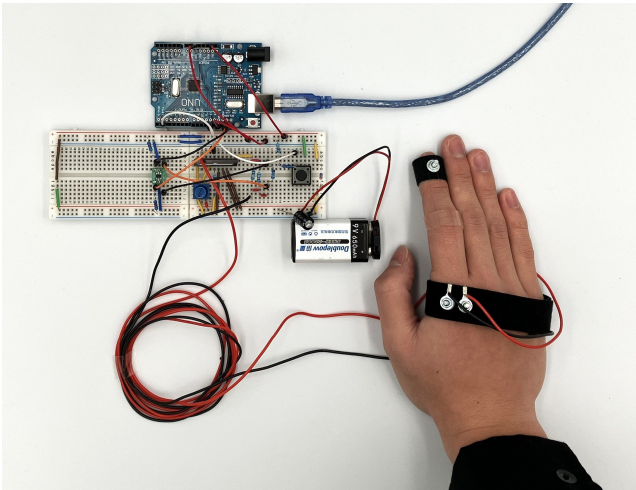


図 1 プロトタイプ

## 1. はじめに

VR, AR での使用を目的とし、触覚提示を兼ね備えた入力インターフェースは数多く提案されており、没入感の向上という観点で、重要視されている [1]。しかし、触覚提示と入力は別々のアクチュエータ、センサで実装されている。

本研究は、バイオメタル・ファイバー (BMF) [2] という、本来マイクロアクチュエータとして使用される素材に着目した。BMF は通電加熱によって緊張収縮、自然冷却によって弛緩伸張する繊維状のアクチュエータで、両端を引っ張り、力を加えることで抵抗値が変化する素材である。これを用いて、指の引っ張りによる接触感覚の提示と指の曲げ計測を同一機構で実現する手法を提案する。ここでの

接触感覚は、「空中に表示された平面メニューに直接触れたような感覚」と定義する。

本稿では、提案手法を基にプロトタイプ (図 1) を製作し、実験協力者による接触感覚の客観的評価と指の曲げによる入力インターフェースを述べる。

## 2. 関連研究

触覚を提示する手法として、モータやバイブレータをアクチュエータとして使用した手法 [3] [4] が提案されている。これらの手法は、装置全体の重量が大きく、短時間の使用でも疲労を伴う問題がある。また、駆動音が大きいため、コンテンツへの影響も懸念される。形状記憶合金 (SMA) を用いた手法 [5] [6] も提案されている。SMA はモータやバイブレータと比較して、軽量、静音であるが、提示できる力は小さく、力の強弱も調整できない。また、素子自体が 70 °C 程度まで発熱するという問題がある。

提案手法は、SMA と同様の特徴を持つが、繊維状であるため非常に細く、駆動時の発熱も自然冷却により抑えることができる。したがって、長時間の使用と触覚提示を両立したデバイスを設計することが可能である。

指の曲げを計測する手法として、曲げセンサを使用する手法 [7]、導電繊維手袋の電流経路の短絡を利用する手法 [8] が提案されている。これらの手法は高精度なトラッキングが可能であるが、触覚提示機能を搭載する場合、別のアクチュエータが必要となる。

提案手法は、BMF の伸張による抵抗値の変化を利用して、指の可動域が制限されるが、触覚提示と同一機構で実装できる。

<sup>1</sup> 神戸市立工業高等専門学校 電子工学科

<sup>a)</sup> r119302@g.kobe-kosen.ac.jp

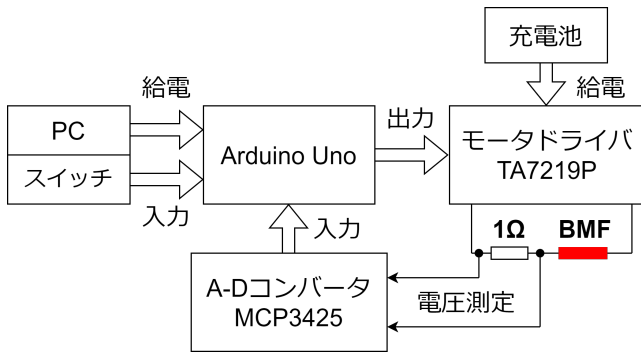


図 2 システム構成

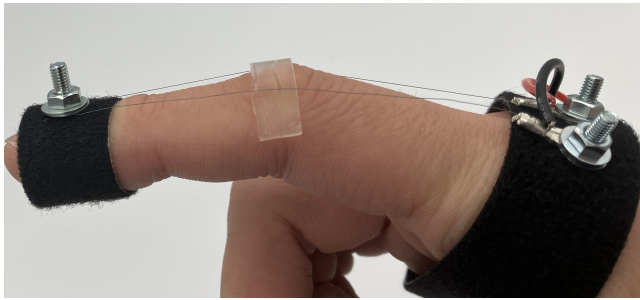


図 3 装着部（第二関節のナノテープは指の保護のために使用）

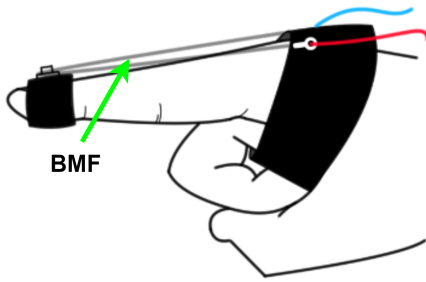


図 4 概略

### 3. 提案手法

図 2 にシステム構成, 図 3 に装着部, 図 4 に概略を示す。以下に原理および製作したプロトタイプを述べる。

#### 3.1 バイオメタル・ファイバー (BMF)

BMF は通電加熱によって緊張収縮, 自然冷却によって弛緩伸張する繊維状のアクチュエータである。“通常はナイロン糸のようにフレキシブルでしなやかだが, 電流を流すとピアノ線のように硬く, 剛くなって収縮する” [2]。

変位量は全長の約 4% で, 1m 当たり 27V, 200mA の印加で取り出すことができる。また, それ以上の電流を流すことで, 応答速度の向上が可能である。しかし, 高温で発熱するため自然冷却にかかる時間が増加し, 連続的な駆動は難しくなる。

繊維状であるため, 非常に軽く, 振動, 駆動音が発生しないという特徴も持つ。また, 両端を引っ張り, 力を加えることで, BMF の長さが伸張し抵抗値が変化する。

#### 3.2 接触感覚の提示

接触感覚は, 人差し指の先端および根本間に BMF を折り返すように固定し, BMF の収縮動作によって指先を引っ張ることで提示した。折り返すことで提示する力を大きくし, 接続端子が指先の運動の妨げになることを防いでいる。

#### 3.3 指の曲げ計測

指の曲げ計測は, 電流を流している状態で指を曲げ, BMF に直列接続した抵抗の端子間電圧の変化を読み取ることで認識する。これは, BMF の両端を引っ張り, 力を加えることで抵抗値が変化する性質を利用している。

#### 3.4 プロトタイプ

システム構成は, 制御機器として Arduino Uno, 電流供給回路としてモータドライバ (TA7291P) を使用した。Arduino デジタルポートの入力にスイッチの ON, OFF, 出力にモータドライバの制御ピンを割り当て, 任意のタイミングでの駆動を可能にしている。モータドライバには 9V, 650mAh の充電電池を外部電源として使用し, 接続された可変抵抗によって BMF に印加する電圧を調節している。また, BMF に直列接続した 1kΩ 抵抗の端子間電圧を 16 ビット A-D コンバータ (MCP3425) を通して Arduino で読み取っており, 数 mV の電圧の変化から指の曲げを認識している。なお, A-D コンバータに大電流を流さないようにするため, 1kΩ 抵抗に 16Ω 抵抗 2 つを並列接続している。

プロトタイプは, 15cm の BMF 片の両端をブレッドボード接続用の銅線とともに丸型の圧着端子に圧着し, 指先 1 点, 指の根元 2 点の計 3 点にネジで固定した。指とネジの固定にはファスナーテープを使用した。指の第二関節に BMF が接触してしまうため, ナノテープを用いて指を保護した。

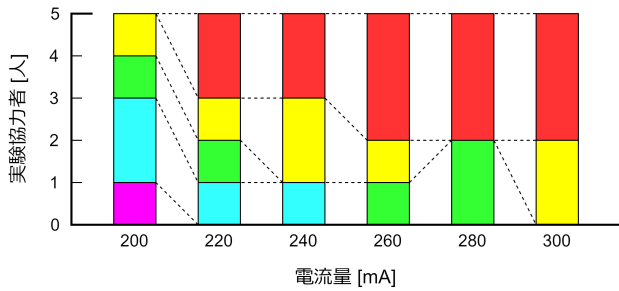
### 4. 検証

以下に, 実験協力者による接触感覚の客観的評価と実装した指の曲げによる入力インタフェースについて, 検証内容と結果を述べる。

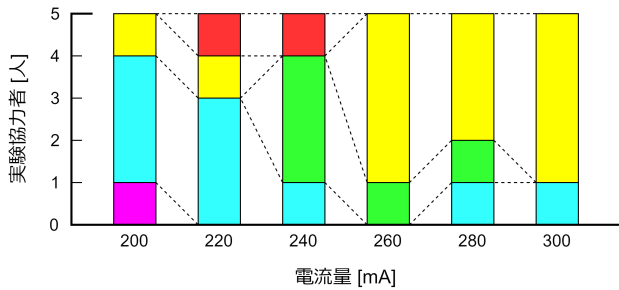
#### 4.1 接触感覚の評価

実験協力者に対して評価実験を行った。なお, 実験協力者は 5 名 (平均年齢 19.6 歳, 男性, 右利き 4 名, 左利き 1 名) で, 実験の所要時間は一人当たり 15 分である。

プロトタイプは利き手の人差し指に装着した。指を軽く曲げ, BMF がピンと張った状態で, スイッチにより任意のタイミングで接触感覚を提示した。流す電流量は 200mA, 220mA, 240mA, 260mA, 280mA, 300mA の 6 段階とし, 流す時間は 0.3 秒間, 各 5 回提示した。順番はランダムとし, 1 セットごとに 5 段階のリッカート尺度を用いたアンケートを実施した。



(a) スイッチを押してから、タイムラグなく触覚が提示されたか。



(b) 平面メニュー時のフィードバックとして十分であるか。

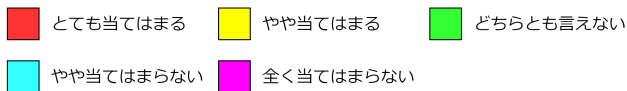


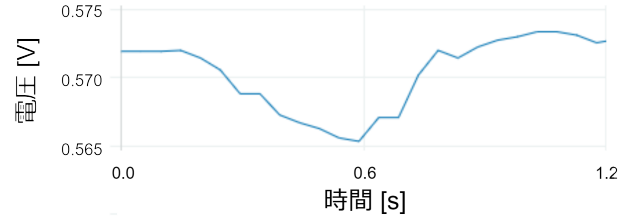
図 5 アンケート集計結果

項目は以下の 2 つである。

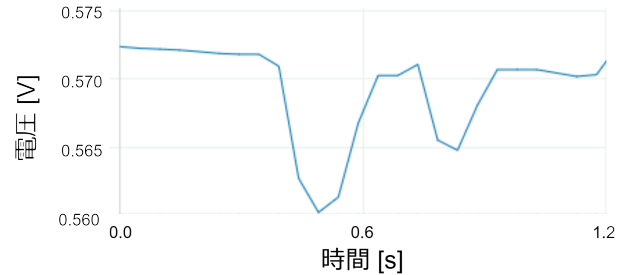
- (a) スイッチを押した音を聞いてから、タイムラグなく触覚が提示されたか。
- (b) 平面メニュータッチ時のフィードバックとして十分であるか。

図 5 にアンケート集計結果を示す。電流量の増加に伴い、項目 (a) は「とても当てはまる」、項目 (b) は「やや当てはまる」と回答した割合が増加している。項目 (a) においては、BMF の立ち上がり時間が早い（電流量が大きい）ほどタイムラグが少ないことを裏付けている。しかし、完全に同時ではなかったという意見も挙げられた。これは制御信号の送受信に多少時間を必要とするためである。よって、アプリケーションでの実装時には予測器等を用いることで改善できると考えられる。項目 (b) においては、電流量の小さい 200 mA～240 mA は提示される力が物足りない、逆に電流量の大きい 280 mA, 300 mA は提示される力が強すぎるため、手甲に固定したファスナーテープが引っ張られる感覚の方が強く感じるという意見が目立った。また、提示される感覚は指先の爪側が引っ張られる感覚に近く、平面メニュータッチ時のフィードバックとは言えないという意見も挙げられた。

以上より、0.3 秒間 260 mA の電流を流した場合の触覚提示が定義された接触感覚に最も近いことが分かった。



(a) タップ



(b) ダブルタップ

図 6 指の曲げ計測

## 4.2 指の曲げ計測

著者実験を行った。プロトタイプを右手人差し指に装着した。BMF に 100 mA の電流を流した状態で、タップ、ダブルタップのジェスチャの行い、端子間電圧の変化を計測した。図 6 に取得した電圧の変化を示す。

指を曲げたタイミングでかかる電圧が僅かに小さくなっていることがわかる。ダブルタップの場合、短時間で指を動かすため、タップの場合と比較して立ち下りから立ち上がりまでの時間が短い。また、1 回目よりも 2 回目の方が変化量が小さい。

以上より、閾値の設定やパターンの学習を行うことで複数の入力が可能となる。

## 5. 課題

製作したプロトタイプは、手の大きさ、指の長さに合わせて調整することができず、装着時の指の角度によっては BMF がたわむ機構になっており、収縮によって発生する力が十分に伝わらない場合がある。そのため、可変かつ固定可能なスライド機構の端子固定部への搭載を検討する必要がある。

接触感覚の提示は、平面メニューをタップした感覚と言えないという意見に対し、人差し指の先端および根本の固定方法を見直す必要がある。具体的に、先端部は力のかかる向きを水平方向から垂直方向に変える機構、根元部は手の甲に軽く接触する程度に留めることで改善されると考えられる。また、今回行った検証は小規模なものであったため、今後は実験協力者数を増やし、検証用の VR アプリケーションを用いて接触感覚の提示における提案手法の有用性を検証する。

## 6. おわりに

BMF を用いた, 軽量, 静音な指の引っ張りによる接触感の提示と指の曲げ計測を同一の機構で実現する手法を提案した. プロトタイプを製作し, 検証を行った結果, 0.3 秒間 260 mA の電流を流した場合の触覚提示が「空中に表示された平面メニューに直接触れたような感覚」に最も近いことが分かった. また, 指の曲げ計測により, タップ, ダブルタップのジェスチャ判定ができることが示唆された. 本プロトタイプは空中に表示された平面メニューを操作することを想定して製作したが, 課題として示した箇所を改善し, 各指それぞれに拡張することで, 一素子 (BMF のみ) で VR に表示されたキーボードへの入力と付随する触覚フィードバックを提示することが可能になると考えられる.

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP22K17941 の助成を受けたものです.

### 参考文献

- [1] Thomas Muender, Michael Bonfert, Anke Verena Reinschlüssel, Rainer Malaka, Tanja Döring. Haptic Fidelity Framework: Defining the Factors of Realistic Haptic Feedback for Virtual Reality. In Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1-17. 2022.
- [2] トキ・コーポレーション. バイオメタル・ファイバー BMF. <https://www.toki.co.jp/biometal/products/bmf/bmf.php> (Accessed on 12/15/2023)
- [3] Robert Kovacs, Eyal Ofek, Mar Gonzalez Franco, Alexa Fay Siu, Sebastian Marwecki, Christian Holz, Mike Sinclair. PIVOT: On-Demand Handhelds in VR. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 1046-1059. 2020.
- [4] Meta. Meta Quest 2 コントローラー. <https://www.meta.com/jp/quest/accessories/quest-2-controllers/> (Accessed on 12/15/2023)
- [5] Takuro Nakao, Kai Kunze, Megumi Isogai, Shinya Shimizu, Yun Suen Pai. FingerFlex: Shape Memory Alloy based Actuation on Fingers for Kinesthetic Haptic Feedback. In Proceedings of the 19th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, pp. 240-244. 2020.
- [6] Robert Pettys-baker, Brad Holschuh. Reconfigurable, Adhesive-Free, Wearable Skin Strain Device. Adjunct Proceedings of the 2023 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and the 2023 ACM International Symposium on Wearable Computing, pp. 267-270. 2023.
- [7] Diver-X. Contact Glove. <https://diver-x.jp> (Accessed on 12/16/2023)
- [8] 高田 峻介, 門本 淳一郎, 志築 文太郎. 導電繊維を用いた手形状および把持物体認識可能なデータグローブ. 第 23 回一般社団法人情報処理学会シンポジウム インタラクション 2019, pp. 795-797. 2019.