



# Tape-tics を用いた新たな触覚ツールキットの開発と応用

パニアグア カルロス<sup>1)</sup>, 太田 裕紀<sup>1)</sup>, 平尾 悠太郎<sup>1)</sup>, ペルスキアエルナンデス モニカ<sup>1)</sup>,  
内山 英昭<sup>1)</sup>, 清川 清<sup>1)</sup>

Carlos Paniagua, Hiroki Ota, Yutaro Hirao, Monica Perusquía-Hernández,

Hideaki Ychiyama, and Kiyoshi Kiyokawa

1) 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 (〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5,  
{paniagua.carlos.pe2,ota.hiroki.oc6,yutaro.hirao,m.perusquia,hideaki.uchiyama,kiyo}@is.naist.jp)

**概要:** Tape-tics は、テープ LED のコンセプトから着想を得た、自由な長さに切り取り曲面に貼り付けることができる小型振動子と LED を搭載したハプティックデバイスである。ユーザーが任意の場所に貼り付けて触覚フィードバックを受け取ることができる。振動強度は 256 段階で調整可能で、各ノードの振動子を個別に制御できる。本研究では、柔軟性の高い触覚デバイスを提供するための新たなツールキットとして Tape-tics を開発し、応用例として複数のアプリケーション（音楽連携、筋力可視化、VR グローブ）を紹介する。また、一般向け体験会を通じて柔軟性と拡張性が高く評価され、その有効性を確認した。これにより、プログラミングなどの専門知識がないユーザーでも GUI コントローラを使って簡単にデバイスを制御でき、エンターテインメント、ヘルスケア、VR など様々な分野での応用が期待される。

**キーワード:** ハプティクス, ウェアラブル, 偏芯モータ, フレキシブル基板

## 1. はじめに

バーチャルリアリティ (VR) の普及に向けて、「触覚・ハプティクス」分野が VR 体験の重要な要素として、活発に研究されており、振動触覚はゲーム機や携帯電話を通じて広く普及している。しかし、これらの振動触覚技術を利用した商業製品は、手や胸など特定の部位に特化した設計に限定されており、体のどんな場所でも触覚フィードバックを提供することができないという課題がある。また、多数の振動子を扱う研究や開発では、デバイスを製作時に設計回路の配線が複雑になり、プロトタイピングが困難になるという問題もある。そのため、開発しやすく、柔軟性の高い触覚デバイスの需要が高まっている。

そこで、研究、教育、芸術デザイン分野でハプティックデバイスの開発を支援するためのツールキットが多数提供されている。これらのツールキットは、制御用のソースコード、回路基板データ、GUI ベースの開発ソフトなどを含み、非専門家でも扱えるように設計されている。代表的なツールキットとしては TECHTILE Toolkit [1] がある。しかし、新しい機能を追求する際には、ユーザが独自の拡張やカスタマイズを行う必要があり、本格的なデバイス開発は行うことはできない。

さらに、ユーザが自由に大きさや形状を再構成できるモジュラ型ハプティックデバイスも開発されている。サーボモータを内蔵した形状変化するインターフェース、Chain-FORM [2] や柔軟に変形できるテープ型のセンサモジュール SensorTape [3] などがある。しかしこれらは部品の組み



図 1: デバイスの外観

立てが必要で、繊細な作業が求められる。

そこで、上記の欠点を克服するために、本研究ではテープ LED の概念から着想を得た、小型振動子を配列した切断可能なテープ型デバイス「Tape-tics」を開発した。デバイスの外観を図 1 に示す。Tape-tics の各ノードは、LED 制御 IC、小型円盤振動子、フルカラー LED で構成され、フレキシブル基板に実装されている。そのためユーザはデバイスを任意の長さに切り取り、望む場所に貼り付けて、触覚フィードバックを受け取ることができる。256 段階での振動強度の調整が可能であり、ノードごとに振動子の個別制御が可能である。

以下に本研究の主な貢献を示す。

- 専門知識がないユーザも扱えるように、触覚デバイス開発の難易度を大幅に下げることを実現
- Tape-tics を用いたアプリケーションの紹介
- 一般向けの体験会での調査によるデバイスの有効性の確認

## 2. Tape-tics: 小型振動子を並べたテープ型デバイス

### 2.1 概要

Tape-tics はテープ LED の概念から着想を得て、自由な長さに切り取り曲面に貼り付けられる小型振動子と LED を搭載したハプティックデバイスである。最終的に PCB-CAD を用いて回路設計しフレキシブル基板への実装をプリント基板業者に依頼した。ノードごとに振動子の個別制御、振動の強弱の調整が可能で、振動強度に応じて LED の明るさも変化する。

### 2.2 ハードウェア構成

Tape-tics はマイクロコントローラを内蔵した制御部と Tape-tics 本体の制御部で構成されている。システム全体の構成を図 2 に示す。

#### 2.2.1 制御部

構成を図 3 に示す。M5Stack Atom Matrix を装着した縦 47 mm、横 46 mm のコントローラ部である。Bluetooth Low Energy によってコンピュータとの無線通信を行う。GPIO 端子を搭載しており他のセンサ類と組み合わせることができる。フレキシブル基板用の FFC コネクタに駆動部を接続し、電源は外部のバッテリーから DC5V を供給する。

#### 2.2.2 駆動部

構成を図 4 に示す。1 ノードは縦 25 mm、横 43 mm、厚さ 0.2 mm で、2 層のポリイミドベースのフレキシブルプリント回路技術 (FPC) を用いて開発した。各ノードは LED 制御 IC、小型円盤振動子、フルカラー LED で構成され、フレキシブル基板に実装されている。ノード間の通信は FastLED ライブラリ [4] を用いて行い、最長 5 メートルまで通信が可能だが、消費電力の制限上最大 35 ノード接続できる。ノードごとに金属パッドがむき出しになっており、それらを結合したり、はんだ付けすることでノードの再結合ができる。

制御 IC は RGB フルカラー LED ドライバ IC WS2811 (World Semi) [5] を配置し、単一のシリアル通信ラインを使用し、複数の IC をカスケード接続できる。振動子は偏芯モータである円盤型振動モータ LCM1027A2445F (LEADER) を搭載し、LED は FastLED ライブラリに対応したフルカラー LED WS2812B-V (World Semi) [6] を搭載している。

### 2.3 開発支援ソフトウェア

Unity で Tape-tics をコントロールするためのグラフィカルユーザインタフェース (GUI) を開発した。図 5 に GUI の外観を示す。制御するノードの個数、振動強度、LED の色、多彩な触覚表現を設定できる。また、設定値をテキストファイルで保存し、後に読み込み設定値を呼び出すことができる。これにより、プログラミングの知識がないユーザでも Tape-tics を容易に制御できる。

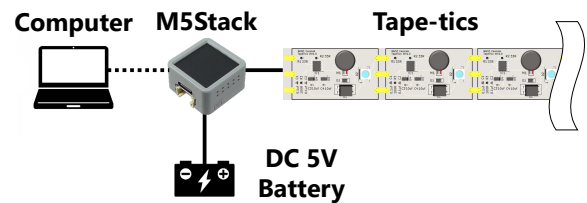


図 2: システム全体の構成

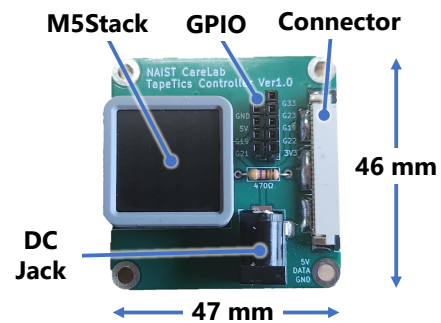


図 3: 制御部の構成

## 3. アプリケーション

デバイスの拡張性と柔軟性を示すため、様々な場面での利用を想定した 3 つのアプリケーションを開発した。

### 3.1 音楽連携アプリ

エンターテインメント分野の応用例として、音楽と連携したアプリケーションを開発した。このアプリケーションは、音楽のリズムやメロディに合わせて Tape-tics が振動し、視覚的なフィードバックも提供する。具体的には、Python のコードを用いて音楽の振幅を解析し、その振幅に合わせて Tape-tics の各ノードが振動・点灯するように制御する。これにより、音楽の感覚を触覚と視覚の両方で体験できるインタラクティブなエンターテインメントシステムを実現できる。

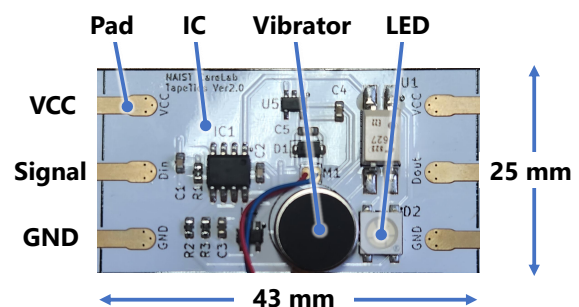


図 4: 駆動部の構成

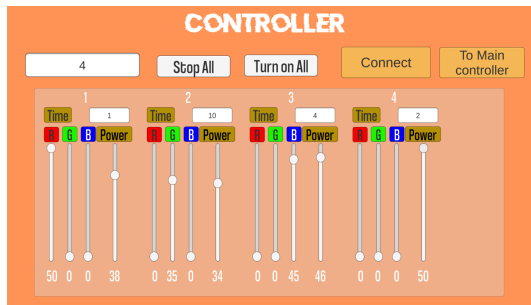


図 5: コントローラ GUI の画面

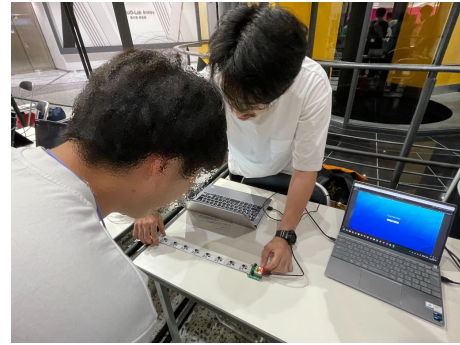


図 7: TechSeeker での体験会



図 6: Tape-tics で自作した VR グローブ装着の様子

### 3.2 筋力可視化アプリ

ヘルスケア分野への応用例として、筋電位センサと連携したアプリケーションを開発した。このアプリケーションでは、筋肉の動きをリアルタイムで測定し、そのデータを元に Tape-tics が振動することで、筋力の状態を可視化する。例えば、特定の筋肉が収縮した際に対応するノードが振動し、筋力の強さや持続時間に応じて振動の強度やパターンが変化する。さらに、Tape-tics の柔軟性を用いることで腕や足など、体のどの部位でも扱うことができる。これにより、リハビリテーションやトレーニングの過程で、患者やトレーナーが視覚と触覚の両方で筋力の状態を把握できる。

### 3.3 VR グローブ

VR アプリケーションを想定した応用例として、簡易的なハプティックグローブを開発した。体験の様子を図 6 に示す。このグローブには Tape-tics が組み込まれており、VR 環境内での触覚フィードバックを提供する。具体的には、VR 内のオブジェクトに触れた際に、対応する部位の Tape-tics が振動することで、ユーザはバーチャル空間での触覚体験を得ることができる。このように Tape-Tics を VR ゲームや教育など様々な用途に応用可能であり、触覚フィードバックによって没入感を高めることができる。

## 4. Tape-tics の一般向けの実践

2024 年 7 月 6 日、7 日に大阪の ATC で開催された Tech-Seeker コレクション 2024 において、一般向けの体験会を実

施した。体験会の様子を図 7 に示す。Tape-tics の説明に加えて、実際にデバイスを体験してもらい、フィードバックを収集した。ものづくりを日々行われている体験者の一人から「1cm 各の大きさが好ましい」というコメントが得られた。現時点では 25 mm、横 43 mm の大きさであり、小型デバイスを制作する際には大きすぎるため、ユーザには不便になるかもしれない。再設計で小型化を検討する。また、小学生の体験者には、腕に Tape-tics を巻き付けてもらい、「腕を撫でられているようだ」というコメントを頂いた。これは、振動が十分に伝わり、多彩な振動表現が可能であることを示唆している。特にテープ型であることから、複数の振動子を連続的に駆動でき、触覚フィードバックの品質が向上するという利点がある。このように Tape-tics は、幅広いユーザー層に対して高い柔軟性と多様な触覚表現を提供できるデバイスである。

## 5. 今後の展望

今後、Tape-tics 開発支援ツールの評価、Tape-tics を用いたワークショップ、および Tape-tics を用いて開発した複数のアプリケーションの評価の 3 つの実験を行う予定である。まず、Tape-tics を用いたアプリケーション開発を支援するためのソフトウェアと物理的なコントローラを開発し、それらの有効性を検証するために利用者感想アンケートを中心に結果を集計し、その結果をもとにソフトウェアとアプリケーションの改善を図る。次に、開発支援ツールの有効性を確認後、複数の被験者を集め Tape-tics を用いたワークショップ（アイデアソン）を開催する。最後に、そのワークショップで制作されたアプリケーションを被験者に実際に体験してもらい評価し、利用者感想アンケートを中心に結果を集計してその結果をもとにアプリケーションのレビューを報告する。

## 6. おわりに

Tape-tics は、柔軟なフレキシブル基板に小型振動子を配列したテープ型デバイスであり、任意の長さに切り取り、任意の場所に貼り付けることができるという特長を持つ。このデバイスを用いることで、触覚フィードバックを提供する新しいインターフェースの開発が容易になる。実際の体験会でも高い評価を得ており、今後の研究や開発において、

さらなる応用が期待される。今後は、ワークショップの実施を予定している。

#### 参考文献

- [1] K. Minamizawa, Y. Kakehi, M. Nakatani, S. Mihara and S. Tachi: “Techtile toolkit: a prototyping tool for design and education of haptic media”, Proceedings of the 2012 Virtual Reality International Conference, VRIC '12, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery (2012).
- [2] K. Nakagaki, A. Dementyev, S. Follmer, J. A. Paradiso and H. Ishii: “Chainform: A linear integrated modular hardware system for shape changing interfaces”, Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 87–96 (2016).
- [3] A. Dementyev, H.-L. C. Kao and J. A. Paradiso: “Sensortape: Modular and programmable 3d-aware dense sensor network on a tape”, Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology, UIST '15, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 649–658 (2015).
- [4] “Fastled animation library”, <https://fastled.io/>.
- [5] “Ws2811 world semi”, <https://www.led-paradise.com/product/2439>.
- [6] “Ws2812b-v5 neopixel rgb”, <https://www.led-paradise.com/product/2575>.