

SpiMan：ウェアラブル触手型機構を用いた人間拡張デバイスの提案

白田 陽彩人^{†1,a)} 吉田 匠吾^{†1,b)} 謝 浩然^{†1,c)}

概要：本研究では、柔軟性と有機的な動きを実現するソフト・マニピュレータ、ウェアラブル触手型ロボットアームデバイス (SpiMan) の開発を視野に、SpiMan のプロトタイプと SpiMan の設計支援システムを提案する。本デバイスは複数本のケーブルによって制御され、ケーブルを巻き取ることによってらせん状に収まる構造となっている。設計には 3 次元モデリングソフト Rhinoceros を用いており、6 つのパラメータにより曲がる角度や長さ、太さを自由に変更できる。また、本デバイスを装着し、物体を把持できることを確認できた。

1. はじめに

近年、人間拡張の研究は急速に進展している。人間拡張には、身体・認知・感覚・コミュニケーションなど様々な研究領域があるが [1]、本研究では身体の拡張に着目した。ロボットアームによる身体拡張の研究はいくつかあり、ユーザの足によって操作される 6 自由度を持つ、ロボットアーム・ロボットハンド [2] や、人間の身体機能を補強する、ウェアラブル小型ロボットアーム [3], [4]、腰の周りに固定された追加の腕で装着者を補助する [5]、ウェアラブルロボット [6]、スケーラブルで伸縮可能な折り紙構造を用いた余剰肢ロボット [7] などがあり、これらは装着することで使用者を支援するデバイスとなっている。その中でもソフトロボットアームは柔軟性があり、人体を傷つけず人間とロボットアームとのインタラクションをもたらすのに適しているといえる [8]。しかし、一般的にソフトロボットは材料やアクチュエータを慎重に選択し、構造、制御を念に設計する必要がある。そこでバイオミメティクスを用いることで異なるスケールでも安易に対応できる設計原理と、迅速かつ安価な製作プロセスが可能になる。また、設計支援システムを構築することでユーザとの未知のインタラクションが期待できる。さらに、3D プリンタを活用すれば、迅速に個人での製作も可能である。

本研究では、タコの腕から着想を得たウェアラブル触手型ロボットアームデバイス (SpiMan) の開発 (図 1) を目指

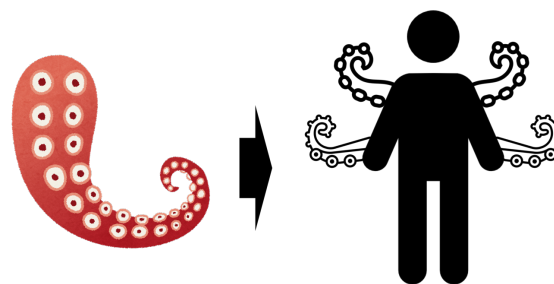


図 1: タコの腕 (左) から着想を得た触手型機構を用いたウェアラブルデバイス (右) の提案

す。既存研究 [9] では対象物を包み込める、様々なスケールの螺旋状ソフトロボットを開発したが、本研究では螺旋状ソフトロボットのウェアラブル化の可能性に着目して、設計支援システムと触手型ロボットアームデバイスのプロトタイプを製作し、支援システムの実用性と、プロトタイプの動作を確認した。

2. 関連研究

2.1 バイオインスパイアロボットアーム

触手型デバイスの先行研究として、Wang らの研究がある [9]。タコの腕やゾウの鼻などの自然界の付属器官に見られる対数螺旋パターンを形態学的に再現した、ソフトロボット (SpiRobs) を提案している。応用例として、極小の生物サンプル (例：アリ) を扱うための小型化されたものや、動的な把持タスクを実行するためにドローンに取り付けられた 1 メートルの長さのソフトマニピュレーター、絡み合いによって様々な物体を把持することができ

^{†1} 現在、北陸先端科学技術大学院大学

^{a)} s2410085@jaist.ac.jp

^{b)} shogo-y@jaist.ac.jp

^{c)} xie@jaist.ac.jp

る SpiRobs アレイをという 3 つの異なるデバイスを提案しており、高い拡張性がうかがえる。また高い器用さを持ち、サイズが 100 倍以上異なる物体や、自重の 260 倍の重さまでの物体を確実に把持できる。

本研究では、既存研究では提案されていない新たなモデル製作手法とデバイスを提案する。

2.2 ウェアラブルデバイス

人間拡張を目的としたウェアラブルデバイスの研究を紹介する。三橋らは、これまでに研究されている尻尾型デバイスが身体強化を備えていないことと、尻尾の動きと感情表現の関係が不透明であることに着目し、身体拡張と感情表現の拡張の両方を行う人間拡張デバイス「RESTAIL」を提案している [5]。また、足立らはヘッドマウント型デバイスはユーザに伝達される情報量が少ないという欠点と、それ以外のデバイスでは装着部位によっては視界が防がれることもあるという欠点に着目し、インタラクティブに操作可能なヘッドマウント型デバイスの開発を行った [10]。本研究では、SpiMan を身体の様々な部位に装着し、物体の把持などの補助や新たな身体表現の手法としての活用を目指す。

3. 提案手法

本研究では、設計支援システムおよび SpiMan のプロトタイプ、SpiMan-Hand を提案する。触手部分の構造図を図 2 に示す。既存研究 SpiRobs では対数螺旋をもとにスパイラルパラメータと一定の角度間隔 (Δ) によってロボットユニットの寸法を決定しているが、本研究では、ユニット一個目の幅 w 、高さ h 、ユニット下部の角度 θ_{under} 、下部・上部の合計角度 θ_{sum} 、縮小比率 k 、ユニット総数 N の 6 つのパラメータでモデルを決定する。パラメータが増えることによって、曲がる角度や、長さ、太さを自由に変更でき高い拡張性が期待できる。また、既存研究では 2 ケーブルおよび 3 ケーブルのデバイスを提案していたが、本研究では制御と操作の容易性から 4 ケーブルの設計および制御を提案する。また、応用例として手に装着する SpiMan-Hand を製作した。

3.1 設計支援システム

触手型機構の設計支援システムは Rhinoceros の Grasshopper によって構築した (図 3)。設計の流れは、六角形のユニットを製作し、これを縮小しながら個数を増やすことによって SpiMan のベースとなるモデルができる。ユニット一個目の幅 w 、高さ h 、ユニットの下部の角度 θ_{under} 、下部・上部の合計角度 θ_{sum} 、縮小比率 k 、ユニット総数 N の 6 つのパラメータによりベースモデルを製作できるように設計した。各種パラメータの範囲は、シミュレーションを S として、 $0 < w$, $0 < h$, $-90 < \theta_{under} < 90$,

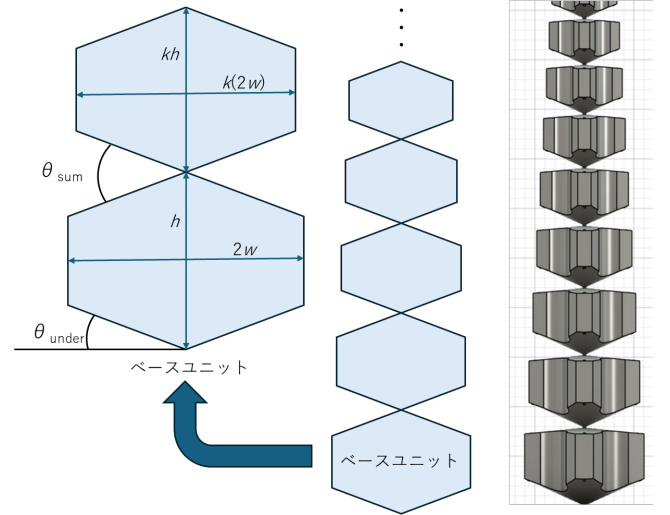


図 2: 触手型機構の構造図および本実験で作成されるデバイス形状

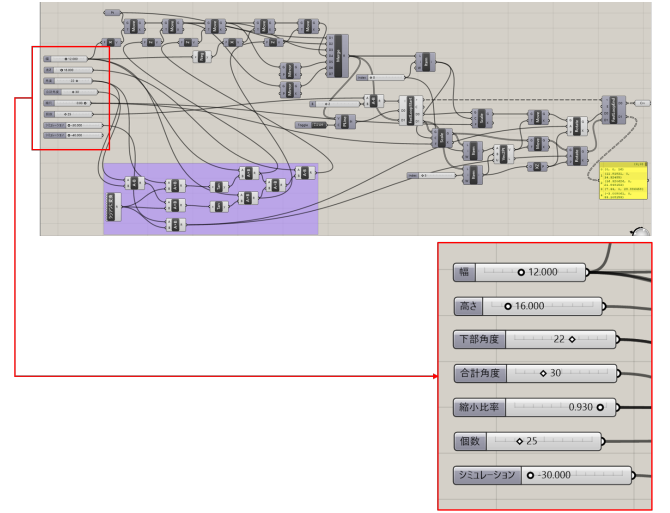


図 3: Grasshopper の全体図とパラメータの一覧

$\theta_{under} < \theta_{sum}$, $0 < k < 1$, $1 \leq N$, $-\theta_{sum} \leq S \leq \theta_{sum}$ である。ベースモデルを立体化することで複数ケーブルの SpiMan を製作できる。また、シミュレーションにより巻き取り時の形状を確認することができる。

3.2 SpiMan 製作方法

本デバイスは SpiMan 本体と、DC モータ、制御基板により構成されている。使用した駆動パーツおよび素材は、駆動パーツ：Arduino nano, TB6612FNG 搭載 デュアルモータードライバ, Pololu 380:1 Micro Metal Gearmotor HP 6V with Extended Motor Shaft, Pololu 1000:1 Micro Metal Gearmotor HP 6V with Extended Motor Shaft, Pololu Magnetic Encoder Pair Kit for Micro Metal Gearmotors, 12 CPR, 2.7-18V, PE LINE 100 m 0.8 号 標準直径 0.165 mm, 素材：触手部分：TPU, 土台部分：PLA である。電源は 5V で供給している。

3.2.1 本体製作

設計支援システムで作成したベースモデル (図 4) をもとに, Autodesk Fusion によりモデリングした. 図 4 a は Rhinoceros 上でのパラメータを示している. 図 4 b はそのパラメータにより出力されたベースモデルを示している. モデル製作手順を図 5 に示す. まず, 図 4 a のパラメータをもとにベーススケッチを作成する (図 5 a). 次にスケッチを回転により立体にする (図 5 b). 作成した立体を, 押し出し (切り取り) によって窪み形状を作成しベースユニットができる (図 5 c). 最後に, ベースユニットをコピーと縮小し, モデルが完成する (図 5 d). モデリングしたデータは 3 D プリンタにより造形した. 3D プリンタは Bambu Lab X1-Carbon を使用した. 製作したプロトタイプを図 6 に示す.

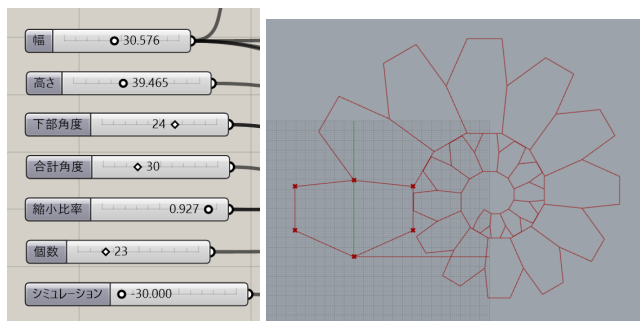
3.2.2 制御方法

入力はジョイスティックにより行う. ジョイスティックからのアナログ信号を読み取り, アナログ値から回転方向と速さ (PWM 値) を決定する. モータは PWM 値に従って動き, 対面のモータ同士は連動している. また, エンコーダを使用し回転数のずれを補正している.

3.3 SpiMan-Hand 製作

図 4 a のパラメータにより製作した 3D モデルを, 指のサイズまで縮小しモデルを製作した. 製作したものを図 7 に示す. SpiMan と同じく, 3D プリンタ (Bambu Lab X1-Carbon) により造形した. リングに指を通しケーブルを引くことにより先端がカーリングする構造になっている. 使用したパーツおよび素材は以下に示す.

- ステンレスワイヤー ϕ 0.5 mm
- 本体: TPU
- 腕部分: PLA
- リング: PLA
- ベルト: TPU
- ベルト止め: PLA

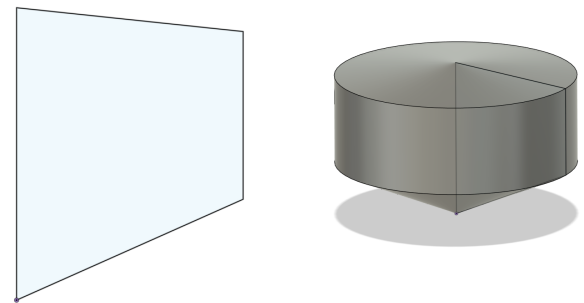


(a) パラメータ (b) ベースモデル

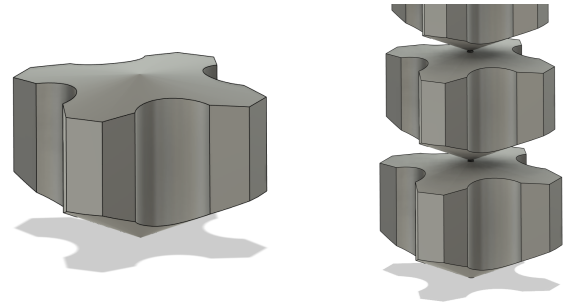
図 4: パラメータおよびベースモデル

4. 結果

設計支援システムによりいくつか製作した SpiMan のベースモデルおよび各種パラメータを図 8 に示す. パラメータを調整することで, 多様なモデルを製作できることが確認できた. 製作した SpiMan はジョイスティックを動かすことで, 4 本のケーブルの制御により 360 度に動作できた (図 9 a). また, 物を把持および保持できることが確認できた (図 9 b). これにより, 身体に装着した際, どの角度からも物体を把持できることが示唆された. また, 多彩な動きにより, 新たな身体表現法としての可能性が期待



(a) ベースのスケッチを製作 (b) 回転により立体を製作



(c) 切り取りにより窪みを製作 (d) コピー及び縮小を繰り返す

図 5: 製作手順

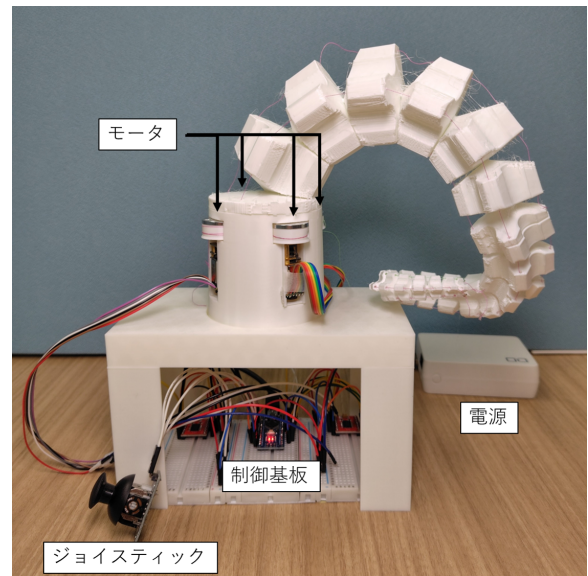


図 6: SpiMan プロトタイプ

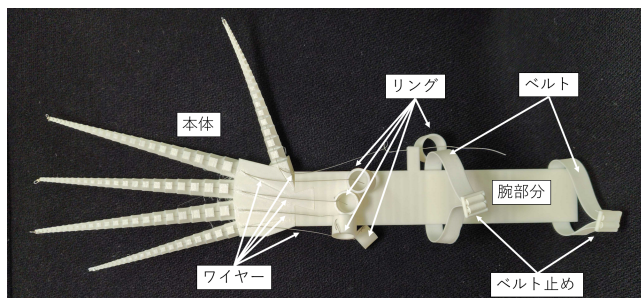
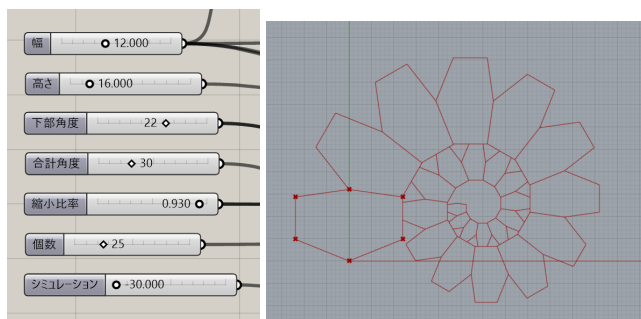


図 7: SpiMan-Hand のプロトタイプ

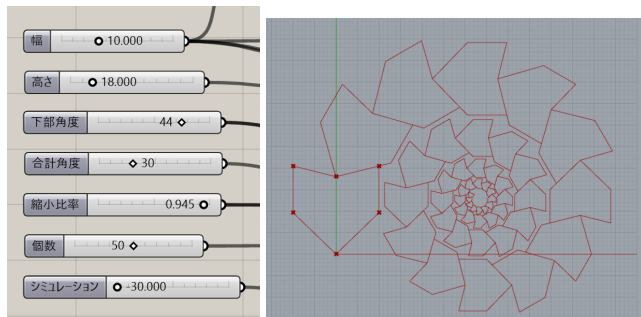
される。

SpiMan を装着している様子を図 10 に示す。実際に手で物を掴む要領で物体を把持できることが確認できた。また、SpiMan-Hand は高い応答性とダイレクトな触覚フィードバックを得られることが確認できた。



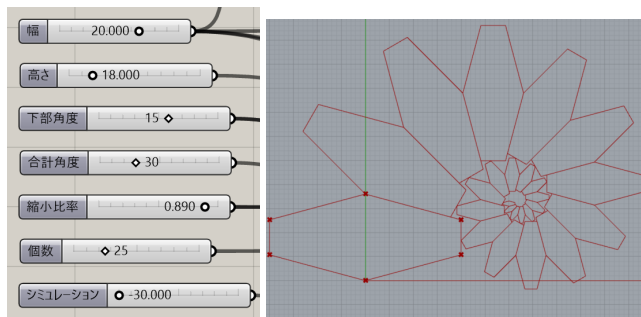
(a) パラメータ 1

(b) パラメータ 1 のベースモデル



(c) パラメータ 2

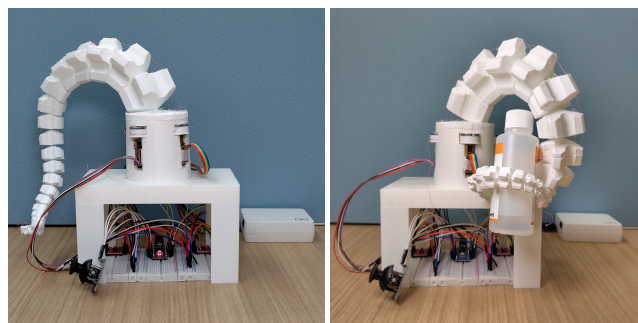
(d) パラメータ 2 のベースモデル



(e) パラメータ 3

(f) パラメータ 3 のベースモデル

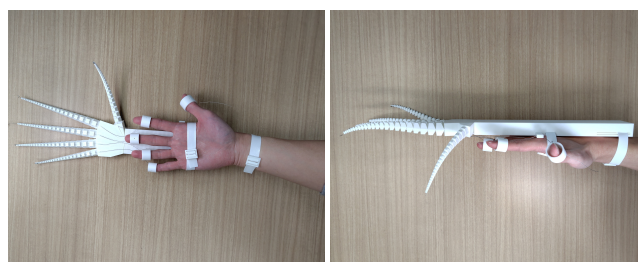
図 8: ベースモデルおよび各種パラメータ



(a) 動かした様子

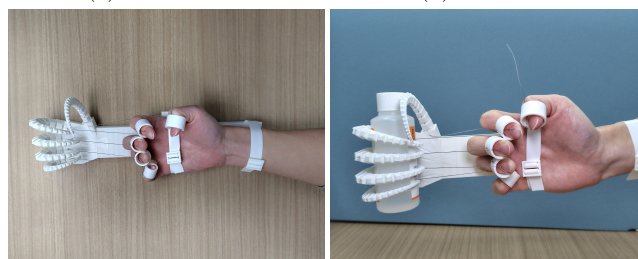
(b) 物を把持している様子

図 9: SpiMan プロトタイプ



(a) 弛緩時 正面

(b) 弛緩時 横



(c) 引張時

(d) 物を把持している様子

図 10: SpiMan-Hand の装着および把持している様子

5. おわりに

本研究では 6 つのパラメータにより、様々な触手をモデリングできる設計支援システムを構築した。また、SpiMan のプロトタイプを製作し、動作することができた。さらに、SpiMan の応用の可能性として、SpiMan-Hand を製作し、高い応答性と物体を把持できることを確認できた。

今後はウェアラブルデバイスとしての実装を目指しつつ、頭や背中に装着するデバイスを製作し SpiMan-Hand 以外の応用の可能性を探っていく。そのほかに、設計支援システムや SpiMan をユーザに使用してもらい、使用感などの評価実験を行っていく。

参考文献

- [1] Roope Raisamo, Ismo Rakkolainen, Päivi Majaranta, Katri Salminen, Jussi Rantala, and Ahmed Farooq. Human augmentation: Past, present and future. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 131, pp. 131–143, 2019.
- [2] MHD Yamen Saraiji, Tomoya Sasaki, Kai Kunze, Kouta Minamizawa, and Masahiko Inami. Metaarms: Body remapping using feet-controlled artificial arms. In *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 65–74, 2018.
- [3] Zeyu Ding, Shogo Yoshida, Takuma Torii, and Haoran Xie. xlimb: Wearable robot arm with storable and extendable mechanisms. In *12th Augmented Human International Conference, AH2021*, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [4] Haoran Xie, Zeyu Ding, Shogo Yoshida, Toby Chong, Takuma Torii, and Tsukasa Fukusato. Augmenting human with compact supernumerary robotic limbs. In *13th Augmented Human International Conference, AH2022*, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
- [5] Haoran Xie, Kento Mitsuhashi, and Takuma Torii. Augmenting human with a tail. In *Proceedings of the 10th Augmented Human International Conference 2019, AH2019*, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [6] Federico Parietti and H Harry Asada. Supernumerary robotic limbs for aircraft fuselage assembly: body stabilization and guidance by bracing. In *2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 1176–1183. IEEE, 2014.
- [7] Mikiya Kusunoki, Linh Viet Nguyen, Hsin-Ruey Tsai, Van Anh Ho, and Haoran Xie. Scalable and foldable origami-inspired supernumerary robotic limbs for daily tasks. *IEEE Access*, Vol. 12, pp. 53436–53447, 2024.
- [8] Siddharth Sanan, Michael H Ornstein, and Christopher G Atkeson. Physical human interaction for an inflatable manipulator. In *2011 annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society*, pp. 7401–7404. IEEE, 2011.
- [9] Zhanchi Wang, Nikolaos M. Freris, and Xi Wei. Spirobs: Logarithmic spiral-shaped robots for versatile grasping across scales. *Device*, p. 100646, 2024.
- [10] Yuya Adachi, Haoran Xie, Takuma Torii, Haopeng Zhang, and Ryo Sagisaka. Egospace: Augmenting ego-centric space by wearable projector. In *Proceedings of the Augmented Humans International Conference, AHs '20*, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.