JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	触手型機構を用いたウェアラブルデバイスの開発と設計支援システムの提案
Author(s)	白田, 陽彩人; 吉田, 匠吾; 謝, 浩然
Citation	情報処理学会第212回ヒューマンコンピュータインタラクション研究発表会, 2025-HCI-212(18): 1-5
Issue Date	2025-02-26
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/19710
Rights	社団法人 情報処理学会, 白田陽彩人, 吉田匠吾, 謝浩然, 情報処理学会第212回ヒューマンコンピュータインタラクション研究発表会, Vol.2025-HCI-212, No.18, 2025, 1-5.ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は(社)情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.
Description	情報処理学会第212回ヒューマンコンピュータインタラクション研究発表会, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 東京, 2025年3月5日-7日

JAIST
JAPAN ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

Vol.2025-HCI-212 No.18
2025/3/6

触手型機構を用いたウェアラブルデバイスの開発と設計支援システムの提案

白田 陽彩人[†1,a)]　吉田 匠吾[†1,b)]　謝 浩然[†1,c)]

概要：ソフトロボットアームはその柔軟性から，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．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) とその設計支援システムの開発を行った．本デバイスは複数本のケーブルによって制御されるウェアラブルデバイスで，物の把持や新たな身体表現が可能である．これにより，デバイス装着者と人やモノとのインタラクションを可能にする．また，複数本の触手の同時使用デバイスを作成し，応用の可能性を示している．設計支援システムは 3 次元モデリングソフトを用いて作成した．さらに，ユーザ評価を行い，表現の拡張性が示唆された．

1. はじめに

ロボットアームによる人間拡張の研究は医療・福祉分野や産業・労働支援，日常生活での活用などがあり，リハビリ支援や労働環境の改善，生産性の向上が期待できる [1][2][3][4][5][6]．本研究は特にソフトロボットに着目した．ソフトロボットアームには柔軟性があり，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 [7]．これにより，新たなコミュニケーション手段や身体表現としての活用が期待できるが，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，制御を入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生物の階層的な構造によりスケーラブルで，迅速かつ安価な製作プロセスが可能になる．また，ロボットアームの設計支援システムを構築することで，バイオミメティクスのスケーラビリティを活かして様々な大きさ・形状のロボットアームを作成でき，コミュニケーション手段や身体表現の拡張を支援することが出来る．

本研究では，既存研究 [8] から着想を得た柔軟で有機的な動きを可能にするソフトマニピュレータである、ウェアラブルロボットデバイス (SpiMan)(図 1) を提案し，新たなコミュニケーションや身体表現を探ることを目的とする．本研究では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．

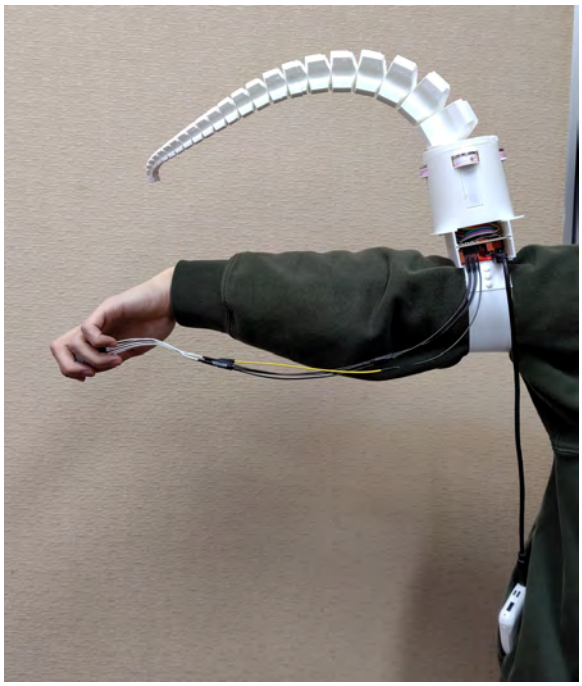


図 1: タコの腕から着想を得た触手型機構を用いたウェアラブルデバイスの提案

2. 関連研究

本研究では，バイオインスパイアされたウェアラブルデバイスによる人間拡張を目指しているため，バイオインスパイアされたロボットアームとウェアラブルデバイスによる人間拡張の研究を紹介する．

†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

ⓒ2025 Information Processing Society of Japan

2.1 バイオインスパイアロボットアーム

バイオインスパイアされたデバイスに関する先行研究として，Wang らの研究が挙げられる [8]．この研究では，タコの腕やゾウの鼻といった自然界における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）の提案がなされている．具体的には，以下の三つの異なる応用例が示されている：(1) 極小の生物サンプル（例：アリ）を扱うために小型化されたデバイス，(2) 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 メートル長のソフトマニピュレーター，(3) 絡み合いを利用して様々な物体を把持できる SpiRobs アレイ．このような多様な応用例から，提案された技術の高い拡張性が示唆される．また，SpiRobs は，100 倍以上のサイズ差がある物体や，自重の 260 倍に達する重さの物体を確実に把持できる優れた器用さを持つことが確認されている．

SpiRobs は対数螺旋パターンをもとに設計を行っているが，本研究では，SpiRobs よりも形状の自由度が高いモデル製作手法を示す．また，既存研究では提案されていないデバイスを提案する．

2.2 ウェアラブルデバイス

ロボットによる手指の補強は、特に上肢に障害のある患者の代償やリハビリのツールとして、多くの応用の可能性があることから Monica らは，2 本のロボット指から構成されるウェアラブルデバイスを開発した [9]．次に，三橋らは，従来の尻尾型デバイスが身体強化機能を備えていないことや，尻尾の動きと感情表現との関係が不明確である点に着目し，身体拡張と感情表現の両方を補完する人間拡張デバイス「RESTAIL」を提案している [4]．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，他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]．最後に，Zhuying らは機械学習アルゴリズムを活用することで，環境内の鳥の音を認識し，鳥の羽ばたきを模倣した触覚フィードバックを提供するウェアラブルデバイス「GoChirp」を開発した．このデバイスはユーザーの注意を鳥の生活に向け，自然への意識とつながりを高めることが期待されている [11]．

本研究では，身体表現やコミュニケーションに焦点をあてて人間拡張をめざしている．

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 [8] 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．

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

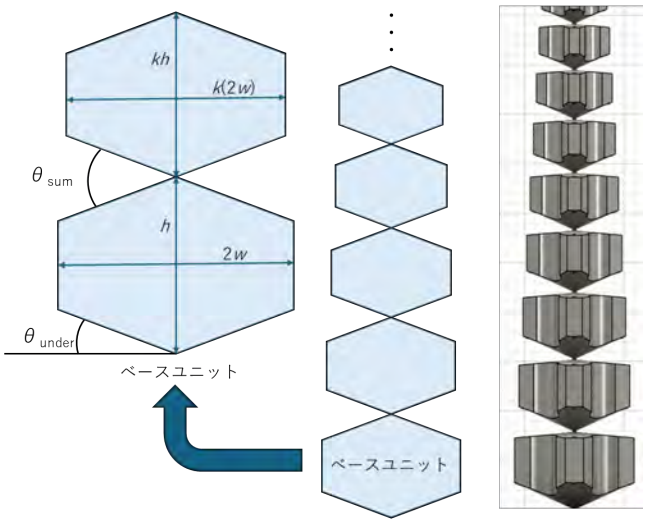


図 2: 触手型機構の構造図および本実験で作成されるデバイス形状

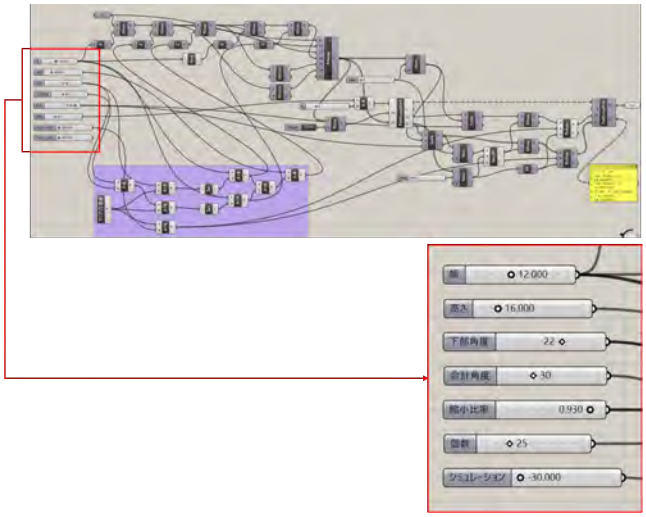


図 3: Grasshopper の全体図とパラメータの一覧

ⓒ2025 Information Processing Society of Japan

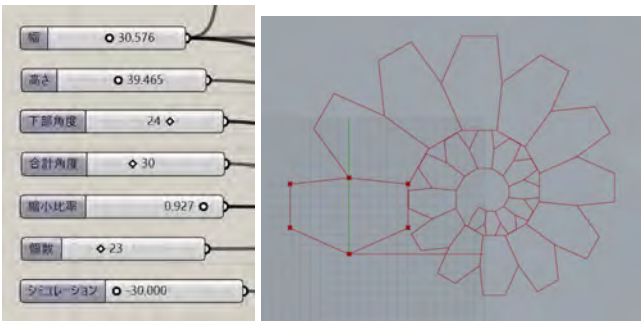
きるよう設計した．各種パラメータの範囲は，シミュレーションを S として，$0 < w$, $0 < h$, $-90 < \theta_{under} < 90$, $\theta_{under} < \theta_{sum}$, $0 < k < 1$, $1 \leq N$, $-\theta_{sum} \leq S \leq \theta_{sum}$ である．ベースモデルを立体化することで複数本のケーブルで駆動する SpiMan を製作できる．また，シミュレーションにより巻き取り時の形状を確認することができる．

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，Polalu 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．電源にはモバイルバッテリーを使用しており，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 を用いてモデリングした．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 4a のパラメータをもとに Fusion にて寸法を入力し，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，ベースユニットのコピーと縮小を行うことで，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．



(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

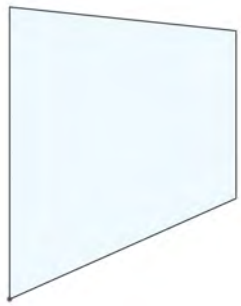
3.2.2 制御方法

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．

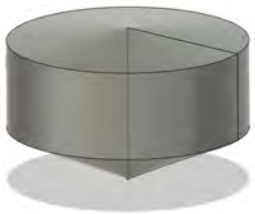
3.3 SpiMan-Hand 製作

図 5 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．

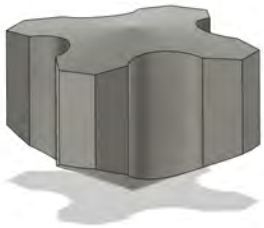
- ステンレスワイヤー ϕ 0.5 mm
- 本体：TPU
- 腕部分：PLA
- リング：PLA
- ベルト：TPU
- ベルト止め：PLA



(a) 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

ⓒ2025 Information Processing Society of Japan

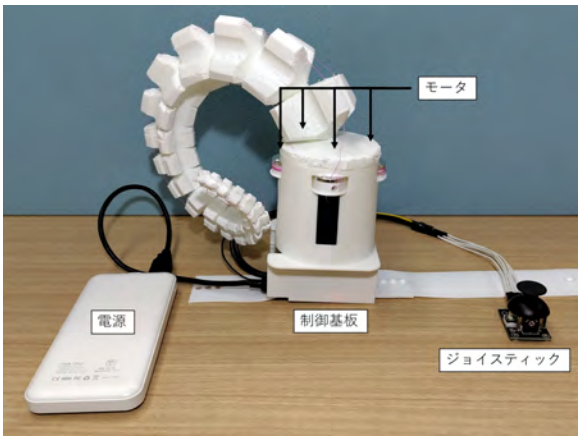


図 6: SpiMan プロトタイプ

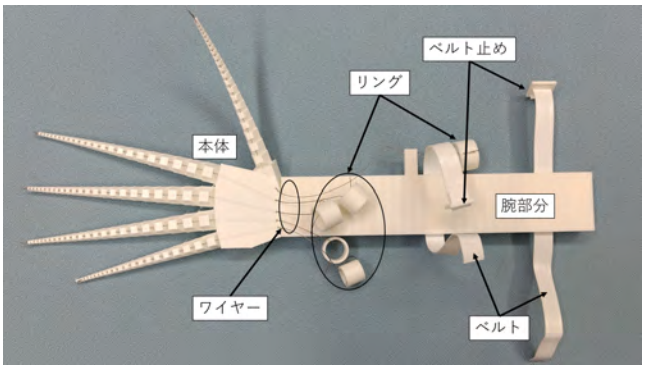


図 7: SpiMan-Hand のプロトタイプ

3.4 デバイス評価

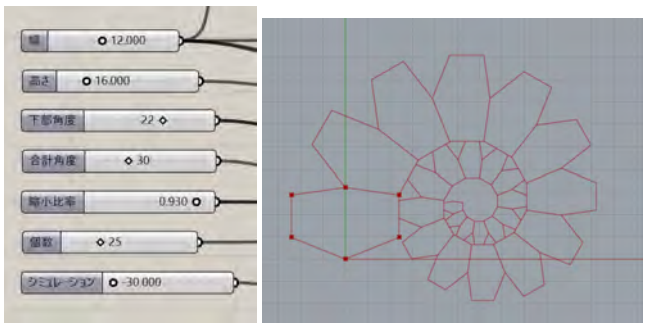
SpiMan のプロトタイプについて，OZ 法をもちいてユーザ評価を行った．男性 2 名 (平均年齢 23 歳) にデバイスを装着してもらい，デバイスを動かすことと，装着したまま歩行や PC 操作を行ってもらった．その後，使用感や表現の拡張性についてのインタビューを行った．

SpiMan-Hand では，デバイスを装着し，さまざまな形状のものを用意して，把持ができるかを確認した．

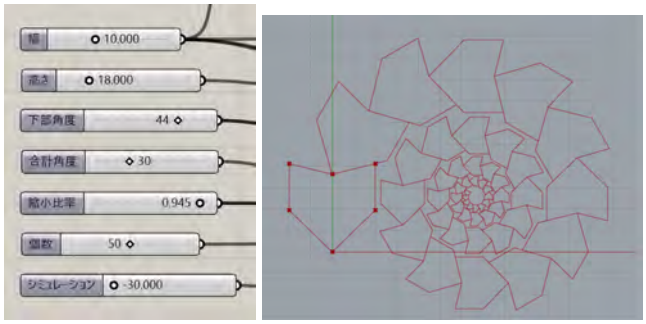
4. 結果

設計支援システムを用いて製作した 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)．物を把持および保持できることも確認できた (図 9 b)．また，ユーザ評価では，使用感についてずれによる違和感があるという意見があったが，表現の拡張性については，高い拡張性があるという意見が得られた．活用例として，言葉を発さない作業中での感情表現としての活用があげれた．これらのことから，新たなコミュニケーション手段や感情表現などの身体表現法としての可能性が期待される．

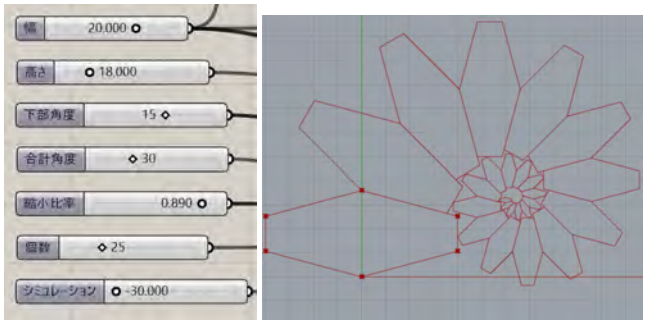
SpiMan-Hand を装着している様子を図 10 に示す．２本のベルトにより手を固定しているため，安定してリングを引っ張ることができた．把持の実験により，実際に手で物を握る要領で様々な形状の物体を把持できることが確認できた (図 10d〜f)．また，SpiMan-Hand は高い応答性とダイレクトな触覚フィードバックを得られることが確認できた．



(a) パラメータ 1　(b) パラメータ 1 のベースモデル



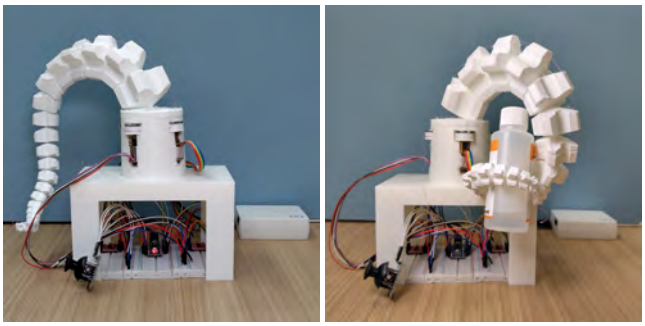
(c) パラメータ 2　(d) パラメータ 2 のベースモデル



(e) パラメータ 3　(f) パラメータ 3 のベースモデル

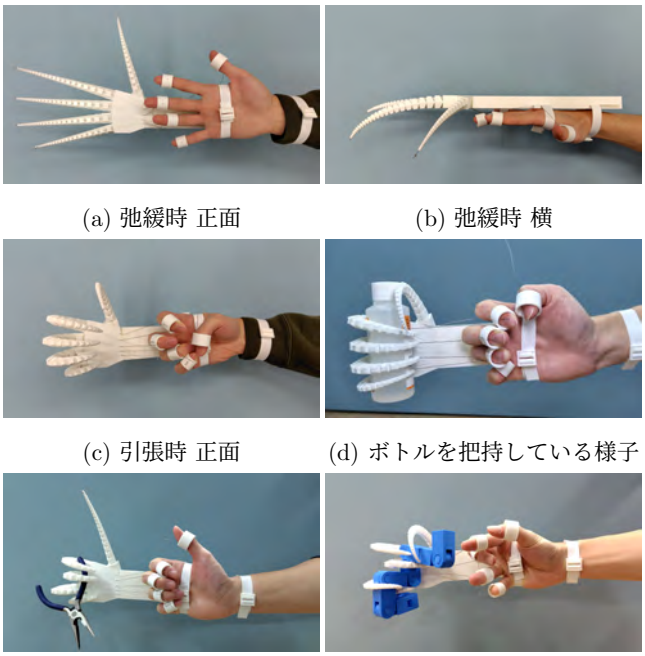
図 8: ベースモデルおよび各種パラメータ

ⓒ2025 Information Processing Society of Japan



(a) 動かした様子　(b) 物を把持している様子

図 9: SpiMan プロトタイプ動作確認



(a) 弛緩時 正面　(b) 弛緩時 横

(c) 引張時 正面　(d) ボトルを把持している様子

(e) ラジオペンチを把持している様子　(f) 複雑な形状の物体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 SpiMan のプロトタイプを製作し，動作の確認と，装着しての評価を行った．また，SpiMan の補強として，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．さらに，SpiMan の応用の可能性として，SpiMan-Hand を製作し，高い応答性とさまざまな形状の物体を把持できることが確認できた．

今後は SpiMan を頭や背中にも装着するデバイスへと発展させ，さらなる身体表現拡張の可能性を探る．また，設計支援システムをユーザに使用してもらい，ユーザーインタフェースの強化を行う．

参考文献

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] Zhanchi Wang, Nikolaos M. Freris, and Xi Wei. Spirobs: Logarithmic spiral-shaped robots for versatile grasping across scales. *Device*, p. 100646, 2024.

[9] Monica Malvezzi, Zubair Iqbal, Maria Cristina Valigi, Maria Pozzi, Domenico Prattichizzo, and Gionata Salvietti. Design of multiple wearable robotic extra fingers for human hand augmentation. *Robotics*, Vol. 8, No. 4, 2019.

[10] Yuya Adachi, Haoran Xie, Takuma Torii, Haopeng Zhang, and Ryo Sagisaka. Egospace: Augmenting egocentric space by wearable projector. In *Proceedings of the Augmented Humans International Conference*, AHs '20, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.

[11] Zhuying Li, Si Cheng, Xiaoqing Sun, Xipei Ren, Yan Wang, and Min-Ling Zhang. Tuning into urban birdsong: enhancing nature connectedness with an AI-powered wearable. *Scientific Reports*, Vol. 15, No. 1, p. 1219, January 2025.

ⓒ2025 Information Processing Society of Japan