

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04147

研究課題名（和文）体に身につくVR技能トレーニングを可能とする触覚デバイス3次元集積スマートウェア

研究課題名（英文）Tactile feedback device integrated smart wear for training

研究代表者

高松 誠一（Takamatsu, Seiichi）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・准教授

研究者番号：20635320

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,900,000円

研究成果の概要（和文）：視覚、聴覚だけではできない「手を取って動きを教える」機能をVR技能トレーニングに組み込む技術を研究開発した。まず、体の動きを検知するMEMSセンサと振動フィードバックを行う振動モータを組み込んだスマートウェアの開発を行った。特に、低温かつ伸縮に耐える布上への配線実装構造として、ビアホールインターポザー構造を開発し30%以上の伸縮に耐える配線実装構造を実現した。この構造を用いて、センシングと触覚フィードバックが可能なスーツを開発した。さらに、開発したスマートウェアとVR用映像ソフトUnityを用いて、VR映像と連動してセンシング、フィードバックを行うシステムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義は、VR用にスマートウェア実装構造を開発したことである。特に、ヤング率が大きく異なる材料間での材料力学特性に着目し、曲げや伸縮に強いデバイス実装構造を開発したことである。さらに、衣服に実際にセンサや振動モータを実装し、VR用ウェアを開発した。このウェアは、人の動きにより起こる伸縮に耐える特性を持つため実用的であり、今後トレーニングシステムへの実用化などを通じて社会貢献が可能であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to integrate the function of "teaching movement by taking hands" into VR skill training, which cannot be done by visual and auditory senses only. Firstly, we developed a smart wear that integrates a MEMS sensor that detects body movements and a vibration motor that provides vibration feedback. Especially, a via-hole interposer structure was developed as a wiring mounting structure on fabric that can withstand low temperatures and expansion. Our structure can withstand expansion and contraction of 30%. Using this structure, we developed a suit that enables sensing and tactile feedback. Secondly, we constructed a sensing and feedback system that works in conjunction with VR images using the developed smart wear and Unity, a VR image software.

研究分野：電子テキスタイル

キーワード：MEMS 電子テキスタイル センサ ウェアラブル IoT 触覚フィードバック

1. 研究開始当初の背景

現在、人口減少社会におけるモノづくりには、溶接など熟練技術の継承をいかに効率的に行うかが大きな課題となっている。溶接等の熟練技術の伝承を考えたとき、熟練技能者は初心者に実演を見せたり、手を取って動きを教えたり五感を使って身体動作を教えている。その効率化として、VRを活用して技能トレーニングを行うことが考えられている。従来技術における最も進んだトレーニングシステムとしてリンカーンエレクトリック社製のVRTEXがある。このシステムでは、溶接トーチの速度や溶接対象物との接触角度など5つの重要パラメータをCG中に多数の矢印やレベルゲージを使って一度に表示しており、情報過多が生じ、初心者が溶接トーチの動作を理解できなかった。そのため、視覚以外に触覚などで「手を取って動きを教える」ことに相当する手や腕の動きを見ながら触覚で情報を身体に直接伝える多感覚情報提示が必要である。この際の技術的な課題は、体全体にセンサや触覚フィードバックデバイスを分布して配線配置できるスマートウェア技術である。



図1 スマートウェアによるVR技能トレーニングシステムのコンセプト

2. 研究の目的

本研究の目的は、視覚、聴覚だけではできない「手を取って動きを教える」機能をVR技能トレーニングに組み込むことである。具体的には、手や腕など身体の動きをMEMS加速度センサで検知し、触覚アクチュエータ(振動モーター)でフィードバックをかけることが可能なVR用スマートウェアを試作する。この際の課題は、ヤング率の大きなセンサや振動モータ等の電子部品と、ヤング率の非常に小さい配線やニット布の差により、伸縮変形により境目で破断するという課題がある。また、VR用スマートウェアとVR用映像ソフトとを連動したコンテンツがないという課題がある。この2つの課題を解決することを本研究の目的とする。

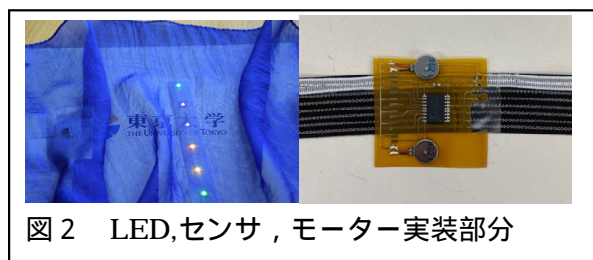


図2 LED,センサ,モーター実装部分

3. 研究の方法

実装構造の試作方法は、以下のとおりである。まず、厚さ100 μmのポリウレタン(PU)シート(DUS202, シーダム株式会社)に伸縮性導電性ペースト(SSP2801, 東洋紡株式会社)で配線パターンをスクリーン印刷した。布と配線を形成したPUシートは厚さ100 μmのホットメルトシート(HMS)(SHM101, シーダム株式会社)を用いて熱接着した。振動モータやセンサチップをはんだ実装した両面フレキシブル基板をHMSによりテキスタイル基板に熱圧着した。図2はLED, センサ, 振動モータを実際に実装したデバイスを示す。

実装構造のシミュレーションにおいて、提案する実装構造と従来の実装構造の比較を行った。有限要素法ソフトAbuqusを用いて、それぞれの構造に30%以上の大変形歪を加えたときの応力集中を解析した。ニットやポリウレタンシートなどの超弾性体のモデルは、FEMシミュレーションに用意されていないため、単軸引っ張り試験とモデルから算出し、使用した。

VRシステムと連動したシステムの開発には、ゲーム開発ツールUnityを用いて行った。ゲームの画面はVRヘッドセット(HTC Vive, HTC)に映し出され、手持ちのコントローラで操作することができる。

PCに接続したマイコンとスマートウェアに搭載したマイコンはBluetoothで通信を行っており、ゲームに連動してスマートウェアの振動モータを振動させることができる。ゲーム内で接触があった部分を

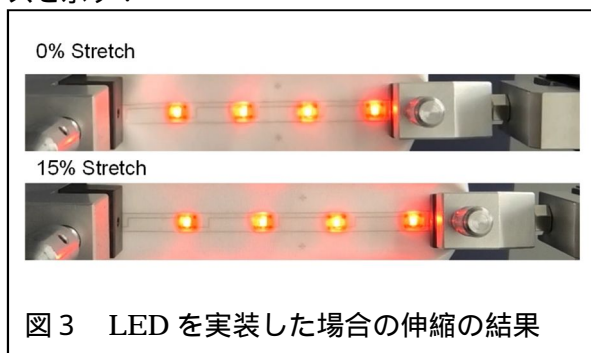


図3 LEDを実装した場合の伸縮の結果

振動させることで、実際に手取り足取りで動き等を誘導する様子を体で知覚することができる。

4. 研究成果

VR 用スマートウェアのための電子デバイス実装構造として、本研究では、硬い部分と柔らかい部分のミスマッチによる応力集中を軽減させる構造を提案した。具体的には、応力集中部分を現在の配線上から絶縁層部分に移動させる材料力学的構造を提案した。この構造の機械特性を実験とシミュレーションから評価した。従来構造と提案構造を試作し、引っ張り試験により評価を行ったところ、提案構造が36%伸縮に耐え、従来の10%より大きいことを実験的に示した。これは、人の皮膚の伸縮程度であり、衣服にも同様に必要な伸縮を持つことを確認した。図3のように、実験的に LED を実装したデバイスが伸長に耐えることを示す。また、図4のように、有限要素法シミュレーションにより、従来構造では、10%程度で破断ひずみ10%程度が配線にかかるのに対し、提案構造では、30%まで10%の破断ひずみがかからないことが分かった。また、応力集中緩和実装構造パラメータを最適化し、厚みが多いほど配線への応力が減ることが分かり、200 μm 以上により、30%以上の引っ張り歪に耐えることが分かった。

図5のように、提案するデバイス配線実装構造を用いることで、上半身へのセンサ、振動モータ実装スマートウェアの試作に成功した。実際に、振動フィードバックが可能なゲームを Unity を用いて開発し、被験者からゲームの臨場感が上がるというアンケート結果を得た。今後は、被験者数やトレーニングシステムとしての完成度を上げることで、VR トレーニング技術へ適用されることが期待される。

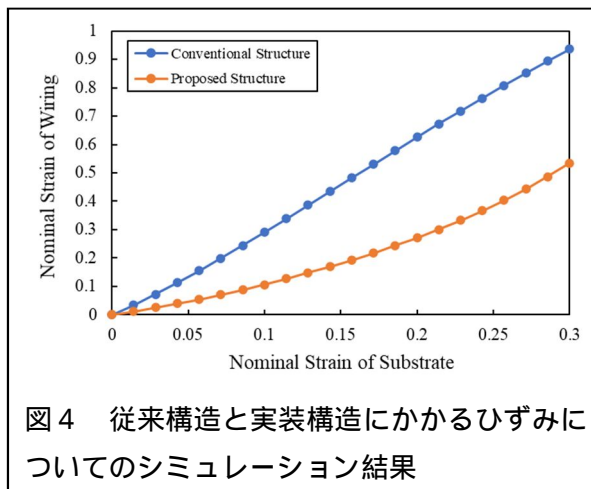


図4 従来構造と実装構造にかかるひずみについてのシミュレーション結果

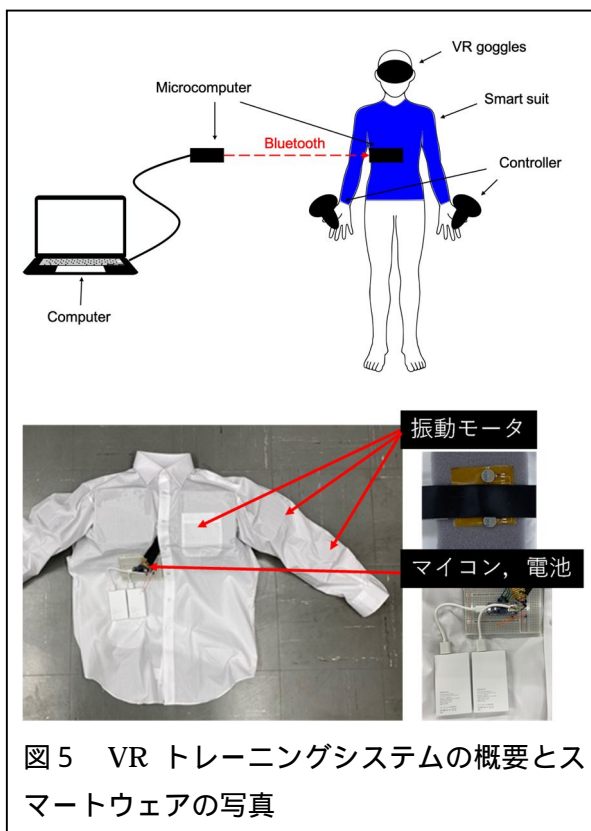


図5 VR トレーニングシステムの概要とスマートウェアの写真

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Seiichi Takamatsu, Suguru Sato, and Toshihiro Itoh	4. 巻 7
2. 論文標題 Stress concentration-relocating interposer in electronic textile packaging using thermoplastic elastic polyurethane film with via holes for bearing textile stretch	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 accepted
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-13493-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takeshita Toshihiro, Makimoto Natsumi, Kobayashi Takeshi, Takamatsu Seiichi	4. 巻 33
2. 論文標題 Relationship between Thermal Stability and Structure of MEMS Cantilevers Embedded in an Elastomer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 1073 ~ 1073
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18494/SAM.2021.2915	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takamatsu Seiichi, Minami Kanon, Itoh Toshihiro	4. 巻 33
2. 論文標題 Fabrication of Highly Stretchable Strain Sensor Fiber by Laser Slitting of Conductive-polymer-coated Polyurethane Film for Human Hand Monitoring	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 1091 ~ 1091
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18494/SAM.2021.2950	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takeshita Toshihiro, Makimoto Natsumi, Kobayashi Takeshi, Takamatsu Seiichi	4. 巻 33
2. 論文標題 Relationship between Thermal Stability and Structure of MEMS Cantilevers Embedded in an Elastomer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 1073 ~ 1073
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18494/SAM.2021.2915	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okuda Shinji, Yamamoto Michitaka, Takamatsu Seiichi, Itoh Toshihiro	4. 巻 140
2. 論文標題 Highly Stretchable Vertical-wavy Cu Interconnects Fabricated by a Micro-corrugation Machine and a Pre-stretched Silicone Rubber Substrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines	6. 最初と最後の頁 186 ~ 187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.140.186	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto Michitaka, Karasawa Ryu, Okuda Shinji, Takamatsu Seiichi, Itoh Toshihiro	4. 巻 2
2. 論文標題 Long wavy copper stretchable interconnects fabricated by continuous microcorrugation process for wearable applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Engineering Reports	6. 最初と最後の頁 121431-121438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/eng2.12143	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 遠藤聡志, 高松誠一, 伊藤寿浩
2. 発表標題 銅箔カッティングによる布上配線の研究
3. 学会等名 精密工学会学術講演会 2022春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高松誠一, 伊藤寿浩
2. 発表標題 環境調和型生体電極の検討
3. 学会等名 エレクトロニクス実装学会2022春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 工藤悠佑, 高松誠一, 伊藤寿浩
2. 発表標題 感情推定のためのマルチモーダルセンシング技術の研究
3. 学会等名 エレクトロニクス実装学会2022春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Junya Nakagawa, Maria Zymelka, Takahiro Yamashita, Takeshi Kobayashi, Natsumi Makimoto, Seiichi Takamatsu, and Toshihiro Itoh
2. 発表標題 Mechanical modeling of ultra-thin MEMS piezoresistive strain sensor assembly
3. 学会等名 The 12th Japan-China-Korea Joint Conference on MEMS/NEMS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayana Mizutani, Seiichi Takamatsu, Toshihiro Itoh, Zymelka Maria, Takeshi Kobayashi
2. 発表標題 Glove-Shaped Wearable Device Using Flexible MEMS Sensor
3. 学会等名 2022 International Conference on Electronics Packaging (ICEP 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuma Takagi, Junya Nakagawa, Seiichi Takamatsu, Toshihiro Itoh
2. 発表標題 Study on Wiring and Mounting Structures for Smart Suits with Actuators
3. 学会等名 2022 International Conference on Electronics Packaging (ICEP 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中川 潤哉, 高松 誠一, 伊藤 寿浩, 山下 崇博, 牧本 なつみ, 小林 健, マリア ジメルカ
2. 発表標題 極薄MEMSチップ実装技術の研究
3. 学会等名 精密工学会学術講演会 2020秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥田 真司, 高松 誠一, 伊藤 寿浩
2. 発表標題 コルゲート加工機を用いた微小縦波構造を持つストレッチャブル配線の開発
3. 学会等名 精密工学会学術講演会 2020秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 磯部 魁, 海法 克享, 高松 誠一, 伊藤 寿浩
2. 発表標題 日常生活時における腰痛診断のためのウェアラブル生体電極アレイ製造技術の開発
3. 学会等名 精密工学会学術講演会 2020秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 遠藤 聡志, 伊藤 寿浩, 高松 誠一, 近井 学
2. 発表標題 VR溶接シミュレータの触覚フィードバックデバイスの検討
3. 学会等名 精密工学会学術講演会 2021春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富田 直人, 伊藤 寿浩, 高松 誠一
2. 発表標題 ポリウレタンの反応性制御による銀ナノ粒子インクジェット配線微細化の検討
3. 学会等名 精密工学会学術講演会 2021春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富田直人, 山本 道貴, 高松 誠一, 伊藤 寿浩
2. 発表標題 インクジェットによるe-textile用配線形成の検討
3. 学会等名 精密工学会学術講演会講演論文集 2019A(0), 211-212, 2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関