

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14131

研究課題名（和文）Development of a Distributed Stretchable 3-axis Sensing System

研究課題名（英文）Development of a Distributed Stretchable 3-axis Sensing System

研究代表者

トモ テイト・ブラドノ（Tomo, Tito Pradhono）

早稲田大学・次世代ロボット研究機構・次席研究員（研究院講師）

研究者番号：00844193

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：今年度は、センサーの耐久性を大幅に向上させ、最初の長さの250%伸ばしたときの伸縮寿命を500サイクル未満から1000サイクル以上に向上した。この改善は、伸縮可能な布地に銅線を縫い付け、複数の基盤を接続できるようにすることで達成された。このような進歩にもかかわらず、1000サイクル以上後には28.4%の残留ひずみが発生した。

しかし、このような状況の中、センサーは伸張された状態で3軸力の測定に成功し、その能力を証明した。この成果により、アレグロ・ハンドの関節の1つを覆うようにセンサーを組み込むことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Beyond addressing challenges in the super aging society, this sensor holds potential for diverse applications, including the medical field. For instance, it can enhance prosthetic limbs by providing tactile feedback to individuals with disabilities.

研究成果の概要（英文）：In this fiscal year, we have significantly enhanced the durability of the sensor, increasing its stretch lifespan from less than 500 cycles to over 1000 cycles when stretched by 250% of its initial length. This improvement was achieved by stitching copper wires onto a stretchable fabric, allowing for the connection of multiple PCBs. Despite this progress, we encountered a residual strain of 28.4% after more than 1000 cycles, attributed to the elastic nature of the material.

However, amidst this, the sensor proved its capability by successfully measuring 3-axis force while being stretched. This achievement enabled us to integrate the sensor into the Allegro Hand, covering one of its joints.

研究分野：Tactile sensing

キーワード：stretchable 3-axis tactile sensor

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、日本では少子高齢化による労働力不足が大きな問題となっており、その解決策として人間共存ロボットの導入が期待されている。人間共存ロボットにおいては従来のセンサに加えて隙間がある関節部を被覆し、安全性および耐久性を高める必要がある。加えて、人の労働を代替するためには正確なセンシングも必要となってくる。これらの要求を満たすためにストレッチャブル(伸縮性)な3軸力センサが開発されている。しかしながら関連研究および先行研究では移動量の大きい関節部分に対して十分な引張率や耐久性を確保できず、加えて特定の場所のみ適用可能なものであり課題が残されていた。

### 2. 研究の目的

本研究では伸縮配線の最大引張率および耐久性およびヒステリシス性を改良することで人間共存ロボットに活用できるストレッチャブルな3軸力センサの開発を進めた。

### 3. 研究の方法

MLX90393 と呼ばれる 3 軸のホール効果型磁気センサを用いており、動作原理としてホール効果と呼ばれる現象を利用して3軸力センシングをしている。3軸の磁気センサにシリコンゴムを被せ、シリコンゴムに磁石を固定している。物体を検知した場合、接触時のシリコンゴムの変形により磁石が移動し磁場が変化することによりホール電圧がその動きを3軸のデータとしてデジタル出力する。

ストレッチャブル部分に該当する伸縮配線については巻線機で製作したコイルを4本作成し液状のシリコンゴムを流し込み硬化させることで弾性を持たせたもの(図1)と、伸縮性の布に導電糸を縫うことにより薄さと伸縮性を持たせたもの(図2)の2つを作成した。伸縮配線において250[%]かつ1000回以上のサイクル試験を行い、耐久性を測定した。

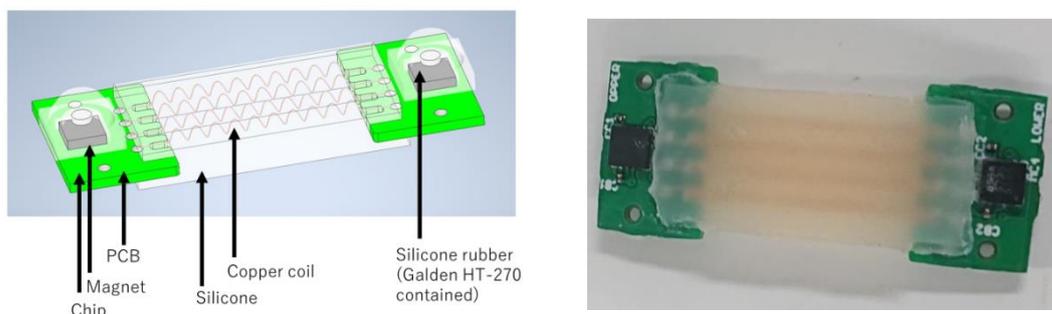


図 1. 銅線コイル+シリコンゴムのコンセプトと実物

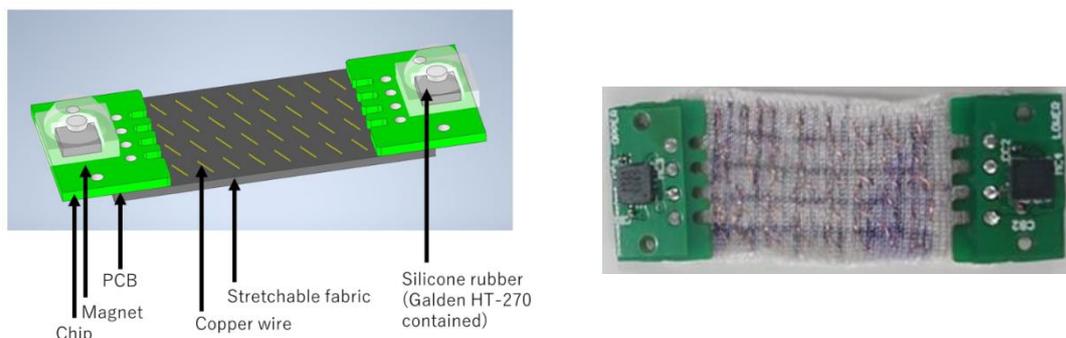


図 2. 伸縮布+縫い付け銅線)のコンセプトと実物

#### 4. 研究成果

示した提案手法の寸法における厚さ部分を抜粋して表にまとめたものを 図 3 に示す。この結果から、2 番目の提案手法では 1000 回以上の繰り返し引張にも耐えられることから耐久性の点で言えば 1 番目の提案手法よりもロボットの被覆に適していることがわかる。また、1 番目の提案手法では 3 回の実験でいずれも耐久性が大きく異なり伸縮配線の信頼性に関しても課題が残った。続いて残留ひずみの結果について比較すると、1 番目の提案手法が 1.89~2.52[%]と低い値を示しているのに対して 2 番目の提案手法では 28.4[%]と 10 倍以上高くなってしまいうことが確認できた。また、比較として伸縮布のみで 1000 回のサイクル試験を行い、その後の残留ひずみを評価したところ 14.8[%]となった。以上の結果から、2 番目の提案手法における課題としてどのように銅線による残留ひずみを低減するか、どのように残留 43 ひずみの小さい素材を選ぶかについての 2 つを検討する必要がある。加えて伸縮配線の厚みについて比較を行うと 1 番目の提案手法が 4[mm]に対して 2 番目の提案手法は 0.8[mm]であり、より薄く伸縮配線を製作できていることが確認できる。全体のまとめとして、2 番目の提案手法である伸縮布にエナメル銅線を縫い付けたセンサーを用いることで、残留ひずみの問題はあるものの耐久性や厚みの観点からより人間共存ロボットに適したセンサーを実現可能であることが示された。

種類	銅線コイル + シリコンゴム 提案手法 1			伸縮布 + 銅線 提案手法 2	伸縮布
	1st	2nd	3rd		
写真					
耐久性 [サイクル]	412	812	183	>1000	-
残留ひずみ [%]	2.52	1.89	2.37	28.4	14.8
厚さ (伸縮配線) [mm]	4	4	4	0.8	0.7

図 3. 各手法における性質の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yan Gang, Schmitz Alexander, Funabashi Satoshi, Somlor Sophon, Tomo Tito Pradhono, Sugano Shigeki	4. 巻 -
2. 論文標題 A Robotic Grasping State Perception Framework with Multi-Phase Tactile Information and Ensemble Learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2022.3151260	査読の有無 有
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 該当する

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Prathamesh Sathe , Alexander Schmitz, Tito Pradhono Tomo, Sophon Somlor, Satoshi Funabashi and Sugano Shigeki
2. 発表標題 FingerTac -An Interchangeable and Wearable Tactile Sensor for the Fingertips of Human and Robot Hands
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Gang Yan , ZHIDA QIN, Satoshi Funabashi , Alexander Schmitz, Tito Pradhono Tomo, Sophon Somlor, Lorenzo Jamone, Shigeki Sugano
2. 発表標題 Vision-Touch Fusion for Predicting Grasping Stability using Self Attention and Past Visual Images
3. 学会等名 IEEE International Conference on Development and Learning (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Gang Yan , Yuyeol Jun, Satoshi Funabashi , Tito Pradhono Tomo, Sophon Somlor, Alexander Schmitz, Shigeki Sugano
2. 発表標題 Geometric Transformation: Tactile Data Augmentation for Robotic Learning
3. 学会等名 IEEE International Conference on Development and Learning (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Prathamesh Sathe, Alexander Schmitz, Satoshi Funabashi, Tito Pradhono Tomo, Sophon Somlor, Sugano Shigeki
2. 発表標題 Design and Development of ExoGlove for Obtaining Human Hand Data
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高瀬祥, T.P.TOMO, Somlor SOPHON, Alexander SCHMITZ, 菅野重樹
2. 発表標題 伸縮性を有する3軸触覚センサuSkinの開発
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhihao Shen, Nanaka Urano, Chih-Pu Chen, Shi Feng, Scean Mitchell, Masao Katagiri, Yegang Du, Franco Pariasca Trevejo, Tito P Tomo, Alexander Schmitz, Ryan Browne, Toshimi Ogawa, Yasuyuki Taki, Gabriele Trovato
2. 発表標題 Participatory Design and Early Deployment of DarumaT0-3 Social Robot
3. 学会等名 ICSR 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yan, G., Schmitz, A., Tomo, T. P., Somlor, S., Funabashi, S., Sugano, S.
2. 発表標題 Detection of Slip from Vision and Touch
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wang, Z., Gao, H., Schmitz, A., Somlor, S., Tomo, T.P., Sugano, S.
2. 発表標題 "Safe Skin" - A Low-Cost Capacitive Proximity-Force-Fusion Sensor For Safety in Robots
3. 学会等名 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yan, G., Schmitz, A., Funabashi, S., Somlor, S., Tomo, T.P., Sugano, S.
2. 発表標題 SCT-CNN: A Spatio-Channel-Temporal Attention CNN for Grasp Stability Prediction
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------	---------