

(1) 研究題目

※スペースが足りない場合は、枠を追加いただいて構いません。

電子テキスタイル製造技術を用いたデジタル家具の研究開発

(2) 本研究の期間

(西暦) 2022年 4 月 ～ 2023年 3 月

(3) 本研究の成果と今後の課題

研究目的は、いす、ソファ、ベッドのような身の回りの家具に様々なセンサーを組み込みデータ収集可能な IoT 端末化した「デジタル家具」を実現することである。デジタル家具であれば、特別な機器を用いずに座るだけで健康状態を管理ができたり、新型コロナやその他の病気の在宅での患者の常時モニタリングも可能となり、さらには超高齢社会におけるお年寄りの見守りなどへの展開も可能となるため、現代日本社会からの需要が大きいと考えられる。デジタル家具の実現のための技術的課題として、生地や皮、ウレタンフォームからなる家具上に配線実装する技術が必要である。本研究では、1. 布上へのセンサ実装として、布に織り込んだ導電性繊維のタッチパネル技術、2. ウレタンフォーム下への圧力センサ組み込み技術、3. マルチモーダルセンサによる感情推定を開発した。

以下にそれぞれの結果を示す。

1. 家具用布への導電性繊維の織り込みとタッチパネル技術

家具に組み込むには、クッション等の上に貼る布の上に配線を形成する技術が必要である。また、その配線を用いてタッチパネルへ応用した例を示す。

布の上への配線技術としては、導電性繊維を作成し、それを自動織機により織ることで幅 1.2 m で連続的にデバイスを製造する技術を提案し、開発した。本技術では、導電性繊維として、銅薄膜を糸の周りに形成した糸(銅箔糸、明清産業)を用いる。家具への組み込みを考えた場合には、導電性を持ち伸縮性や屈曲性が必要になる。従来は、糸へのメッキや銅線を布へ直接組み込む方法が考えられてきた。このような方法では、配線には伸縮がなく配線が破断する問題と、金属の硬さにより布全体が固くなるため家具の表面への適用が難しかった。本糸は、薄い金属箔を伸縮性がある糸の周りに巻き付けた構造である。そのため、伸縮性を持ち、さらに金属部分が少ないため非常に柔らかいという特性を持つ。この糸を 2.54mmピッチで織り込んだ配線布を横幅 1.2 m の織機で織り込んだ。織り込みは家具などへの実用的に用いることができるように自動織機で行った。一般的な織機は、エア



図 1 家具へのセンサ配線の組み込み

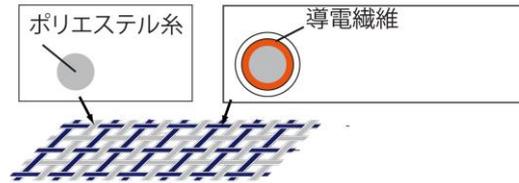
ジェットやウォータージェット型の織機が多く金属薄膜など重い糸を織ることができない。そのた

め、レピア式という古い型の織機で織った。さらに、織る場合には摩擦等で壊れるという課題があるため、摩擦等を軽減する機能の付いたレピア織機により織り込んだ。糸は、縦糸ではなく、横糸に摩擦を軽減するように織り込んだ。図1のように、ソファを覆う程度の織物を織ることに成功した。

このセンサ配線の特性を調査するために、簡単なタッチセンサとしての特性を評価した。タッチセンサは、人と導電繊維の間の容量変化を検知する。構造としては、布の方はセンサ用の配線を組み込んでいる。人の体は、導電性材料と考えることができる。また、タッチパネルにおいてはセンサ側と人の中でコンデンサを形成し、そのコンデンサ容量に応じて静電容量が変化する。今回は、人と手の間を計測した例を写真で示す。写真右の導電繊維が織り込まれた布に手を近づけることで静電容量が大きくなっていることがわかる。

この電極は、ソファの上において、人が座ったり、動いたりすることで人の動きを検知できることが分かった。

### デバイス構造



### センシングメカニズム



図2 センサ配線を用いた人の検知のメカニズムと静電容量が変化の様子

## 2. ウレタンフォーム下への圧力センサ組み込み技術

家具を用いて人の行動を検知することを考えた場合、クッションの上にセンサを置くだけでなく、クッションの下にセンサを置くことが考えられる。特に、クッションの上に気になるようなセンサを配置すると人へ違和感を与える可能性がある。そのため、人への違和感を考えた場合には、クッションの下にセンサを敷いて人の重心移動などを検知することが重要である。そのため、本研究では、クッションの下にフォースセンサを組み込む家具を作成した。

図3に重心移動を計測するいすの構造を示す。一番上の層はクッションでポリウレタンフォームが組み込まれる。ウレタンフォームの下に、4か所を金属の梁で支えられたいすを作成する。金属の梁の上にひずみセンサを4か所配置する。重心が移動した場合には、それぞれのひずみセンサに力がかかることが予想される。図3下に、どこに重心位置をかけたかによりどのような力がかかるかを有限要素法

### 体重移動を計測するソファの構造

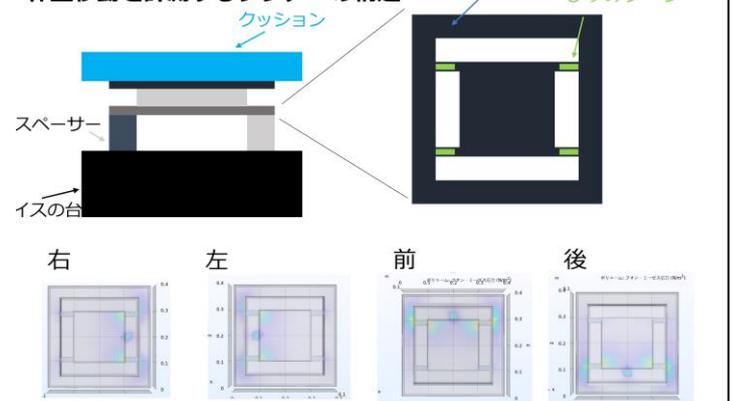


図3 重心移動を検知するソファの構造

解析で解析した結果を示す。図4に実際にセンサを組み込んだソファ構造を示す。左の金属の板が図3で示したうえのカバーであり、ひずみゲージと書いてある部分がセンサが組み込まれている。4つのセンサで、前傾姿勢など重心移動を検知することができる。右のようにウレタンフォームを上に取り付けカバーをし直す。図5に、このウレタンフォームの上で4つの姿勢を検知できるかどうかを検証したデータを示す。4つのセンサからのデータとどの方向に重心移動させたかのデータでデータ

試作したセンサ



ひずみゲージ

ウレタンフォーム下への組み込み



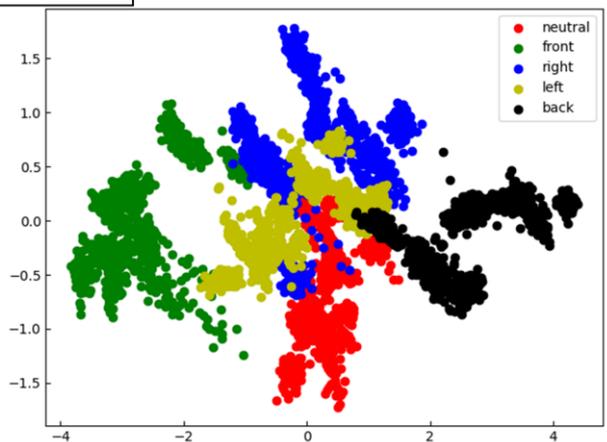
埋め込む

図4 重心移動を検知するソファの製作

セットを作る。具体的には、ソファに重心を中心、前、右、左、後ろに与えた時のセンサのデータを取得した。その後、それぞれのセンサデータに大きなばらつきがあったので、それぞれのセンサデータごとに正規化した。さらに、データの可視化のみを目的に主成分分析を行った。Neutral以外は分離できそうであった。また、ニューラルネットワークで学習させた。これは、ソファに重心を中心、前、右、左、後ろの5データに、それぞれのセンサデータを入れて、5種類の姿勢データを教師データとして学習させたものである。検証の結果 90%以上で解析できることが分かった。実際には、このような姿勢変化は、センサの前後や左右の差を見ることで調べることも可能である。ただし、人の体重や姿勢の違いによりばらつきが出ることが分かっている。そのため、ばらつきのあるデータを多くとり、正解データとともに学習にかけることで簡易に姿勢推定モデルが作れる利点がある。このようなひずみセンサと姿勢推定の結果についての評価は、実用的には有用であると考えられる。また、ソファの下、特にウレタンフォームの下にセンサを組み込むことで上に座っている人の姿勢の解析ができることが分かった。

今後は、健康状態等との比較を行う必要がある。

主成分分析



NNで学習

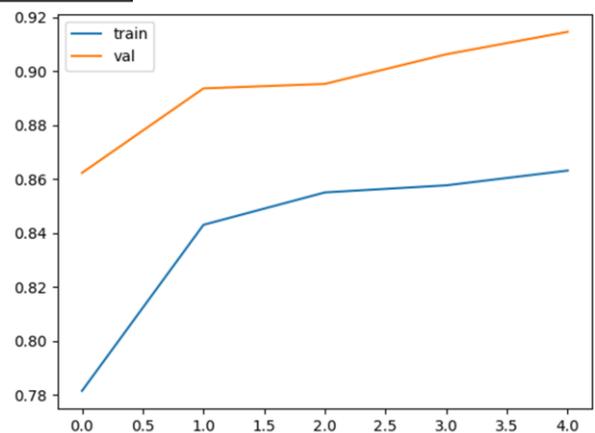


図5 重心移動の検知の主成分分析と NN での学習

### 3. マルチモーダルセンサによる感情推定

本研究のゴールは、ソファなどの上に座った状態で人の健康状態などの状態を自動で検知する家具の開発である。そのためには、ソファにセンサ等を組み込む技術とデータから人の健康状態を検知する AI の開発が必要である。今回は、ソファから直接人のバイタルデータを取ることが難しい部分が多かった。そのため、1で開発した配線を使って、センサを実装し、人のバイタルデータと簡単な感情推定についての評価を行った。具体的には、心拍数センサ、体温センサ、湿度センサ、筋電センサ、GSR センサを用いる。さらにカメラを使って人の表情を検知する。感情の誘発方法については、平常時は無音で、不快時にはホワイト

ノイズを耳に聞かせる。1感情データに対する間隔は 0.8 s で学習方法は、FFNNとCNNを用いた。この方法では、マルチモーダルセンサを用いた場合には、5割程度とあまり精度は高くなかった。実際には、必要とされる精度は7割程度であるため、データ量が不足していたことが原因として考えられる。

センサの種類	正解率 (FFNN)	正解率 (CNN)
心拍数	49%	50%
GSR	46%	53%
筋電	54%	60%
体温	49%	50%
湿度	50%	50%

図6 マルチモーダルセンサによる感情推定

#### まとめ

本研究では、デジタル家具の作製を目指して、家具へのセンサ組み込みとデータ処理方法を開発した。家具へのセンサ組み込み方法について、ソファの外皮表面布へのセンサ電極配線技術を開発し、タッチパネル等を作成することに成功した。今後は、温度センサや湿度センサやバイタルセンサを組み込むことで人のバイタルデータ収集を行う。

家具の中へのセンサ組み込みとして、ウレタンフォームの下にひずみゲージを組み込むことで人の姿勢を検知するソファの開発をおこなった。この技術により、人の姿勢を5種類に分類することができるセンサとAIを開発した。今後は、これを生かして人の状態検知のAIを開発する。

マルチモーダルなセンサと人の状態推定の研究も行った。今回は、家具上につけたバイタルセンサでは学習ができなかったが、人につけたバイタルデータで感情推定データを収集した。今回は、目標の7割に対して5割程度しか精度が出なかった。今後はデータ数を増やすことで精度を向上することを目指す。