

伸縮性を有する二次元通信シート

高柳 直歩 *1 松久 直司 *2,*3 杉浦 裕太 *1,*3

Stretchable Two-Dimensional Communication Sheet

Naoto Takayanagi*1, Naoji Matsuhisa*2,*3 and Yuta Sugiura*1,*3

Abstract – In this study, we propose a two-dimensional communication sheet that can be subjected to elastic strain up to approximately 50%. The sheet consists of a stretchable conductor layer, a dielectric layer, and a stretchable conductive grid layer. The sheet is made by attaching a thermoplastic polyurethane film to a commercially available quake-resistant mat and screen-printing conductive ink on top of the film. The sheet is attached directly to the surface of the human skin and can supply power to devices placed on it without interfering with the movement of joints and other parts of the body. We confirmed the effectiveness of the sheet by investigating how the transmission status changes when the sheet is actually stretched and retracted.

Keywords : two-dimensional communication

1. イントロダクション

近年、ウェアラブルデバイスに電力を供給する手段として、二次元導波路伝送と呼ばれる技術を利用した二次元通信シートを利用することが考えられている [1],[2]。二次元導波路伝送はワイヤレス電力伝送技術の一つであり、広い面の任意の点に給電できる。二次元通信シートは一般に導電体層、誘電体層、導電体グリッド層の3層で構成されている。このシートにマイクロ波を伝送し、導電体グリッドの隙間から放射されたエバネッセント波を受信機が取り出すことで電力の供給および通信が可能となる。

二次元通信シートのウェアラブルデバイスへの応用として、野田らは導電性の糸で刺繍した布を用いた二次元通信シートを開発した [1]。このウェアラブル二次元通信シートは上面も下面もメッシュ構造である点が特徴的である。ピンバッチ状に形成されたデバイスを布地に突き刺すことで給電が可能である。布を素材としているため柔軟で、衣服のような使い方を想定している。伸縮性の導電糸を使用することで、二次元通信シートを伸縮させることの可能性について示唆しているが、現状では伸縮させることは不可能である。一方で、人体表面に直接貼り付けた使用を考えた際には、関節などの動きを阻害しないためにシートが伸縮する機能を有することは重要である。

これまでにウェアラブル二次元通信シートに限らず、様々な二次元通信シートの研究が行われてきた。しか



図1 伸縮性を有する二次元通信シート (左) とその使用例 (右)

Fig.1 Stretchable Two-Dimensional Communication Sheet(left) and Its Usage Example(right)

し、伸縮性について詳しく議論したものはほとんどない。本研究の目的は、二次元通信シートの人間への関節部分などを考慮したウェアラブル利用である。これを実現するための基礎研究として、伸縮性ポリマーと伸縮性導電インクに注目し、これらを組み合わせることで伸縮性を有する二次元通信シートを試作した。

2. 関連研究

二次元通信シートは前述のとおり二次元導波路にマイクロ波を伝送することで、グリッドの隙間から放射されたエバネッセント波を利用して給電や通信するものである。二次元通信シートはワイヤレス電力伝送であるため、シートと受信機器との間に薄いフィルム等を挟んだとしても問題なく給電や通信が可能である。また、広い面の任意の点で伝送できることはもちろん、電磁干渉性にも優れている。さらに、マイクロ波はシート内部とその近傍にのみ拘束されるため、安全性の観点から見ても有効である。そのため、二次元通信シートを用いた多種多様な研究が行われてきた。

*1: 慶應義塾大学

*2: 東京大学

*3: JST さきがけ

*1: Keio University

*2: University of Tokyo

*3: JST PRESTO

そのうちの一つに、二次元通信シート上のデバイスの位置推定がある。中妻らは静電容量分布計測に基づいて位置推定をした^[3]。平らはシートに伝送させるマイクロ波の周波数に応じて定在波の形が異なり、位置による供給電力が変化することを利用して、デバイスの位置を推定した^[4]。ウェアラブルデバイスへの利用もある。野田らが開発したウェアラブル二次元通信シートは衣服のように着用可能であり、身体表面に数多くの小さいデバイスを同時に分布させることができる^[1]。二次元通信シートでマイクロ波を使用すると、シート内の定在波の影響でヌル点と呼ばれる受信機への伝送効率が著しくなる部分が生じてしまうことが知られている^[5]、^[6]。この問題への解決策として、手嶋らは、複数の入力点を適切に選択する入力点選択型給電方式を検討した^[7]。宇田らはウェアラブル二次元通信シートでマイクロ波を利用するため、従来の正方形グリッドとは異なる円形メッシュを用いて、ヌル点の位置を簡易的に推定可能だと示した^[2]。他にも二次元通信シートを拡張し、タイルのように見立てて、部屋全体に配置することで、床面を利用した低漏出の高速近距離無線通信環境を実現した例もある^[8]。

これらの二次元通信シートは柔軟なものもあるが伸縮性を備えたものは存在しない。本研究ではこれらの二次元通信シートの基本的な技術に加え、伸縮性のポリマーと伸縮性導電インクを組み合わせることで伸縮性を有する二次元通信シートを実現した。

3. 実装

3.1 材料

誘電体層の素材には、市販されている熱可塑性エラストマーを素材とした耐震マットを使用した。伸縮導電体層と伸縮性導電グリッド層には伸縮性導電インク(信越化学工業株式会社, SCI-109)を使用した。このインクを誘電体層の上に熱可塑性ポロウレタンフィルム(TPUフィルム, 武田産業株式会社, Tough Grace)を貼り付け、その上から印刷した。

3.2 製造プロセス

初めに、誘電体層の上面にTPUフィルムを気泡が入らないように注意して貼り付けた。次に伸縮性導電インクをスクリーン印刷技術を用いてTPUフィルムの上から印刷した。この際、ずれないように両面テープやマスキングテープで上下からスクリーン印刷代にしっかりと固定した。印刷後110°Cで10分間ベークした。シートを十分に冷やしたのち、下面に対しても同様にTPUフィルム貼り付け、伸縮性導電インクをスクリーン印刷し、110°Cで10分間ベークした。こうして伸縮性を有する二次元通信シートが完成した(図2)。

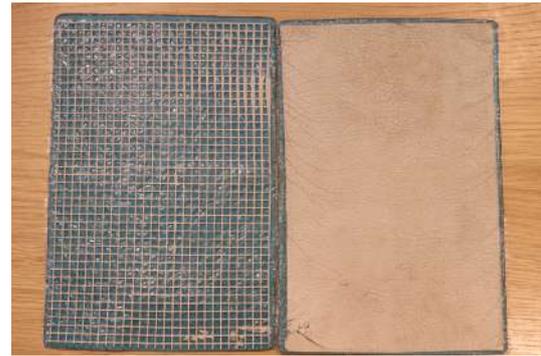


図2 伸縮性を有する二次元通信シートの表面(左)と裏面(右)

Fig.2 Stretchable Two-Dimensional Communication Sheet

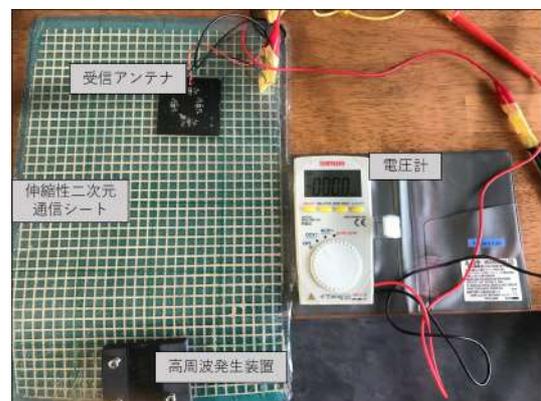


図3 実験用システムの構成

Fig.3 Experimental System Configuration

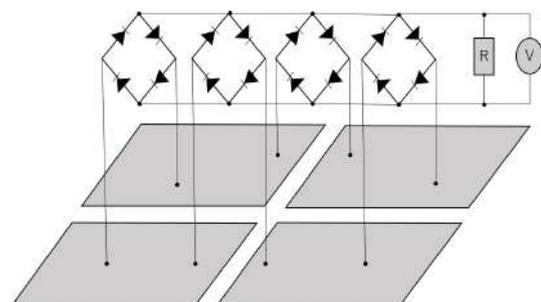


図4 受信アンテナの整流回路

Fig.4 Rectifier circuit for receiving antenna

3.3 実験用システムの構成

伸縮性二次元通信シートの性能を評価するため図3のような計測環境を構成した。このシステムは二次元通信シート、高周波発生装置、受信アンテナ、電圧計の4つの要素で構成されている。この高周波発生装置は2.2 GHzから2.5 GHzまでのマイクロ波を発生させることができる。今回は2.3 GHzで固定した。受信アンテナは安定した測定を可能とするため、文献^[4]を参考に4つの電極を回転対称に配置した(図4)。



図 5 20 分割にした測定エリア
 Fig.5 Measurement Area Divided into 20 Sections



図 6 変形前の受信電圧
 Fig.6 Received Voltage before Transformation

4. 実験

本研究の当初は伸縮させながらの使用を目的としていた。しかし、事前の簡易的な実験により、10%の伸縮歪を与えた段階で伝送効率が著しく低下してしまうことが分かった。一方で 20%程度の伸縮歪であれば、伸縮後も効率がほとんど変わらないことが分かった。そこで今回の実験では、本シートの限界である 50%の伸縮歪を与え、戻した際にどの程度まで効率が回復するかどうかを測定し、本シートの伸縮に対する耐久性を確かめた。

4.1 実験方法

図 5 のように伸縮性二次元通信シートを 5mm 四方の 20 のエリアに分けて、それぞれのエリアに受信アンテナを置き、電圧計の値を読み取った。各エリアに対して受信アンテナの向きを変えながら 12 回ずつ測定した。次に二次元通信シートを 10 回程度 50%の伸縮歪を与えた後に同様の手順で 20 のエリアについて電圧値を測定した。

4.2 実験結果

変形前後の各点での電圧値の中央値を取ると、次の図 6,7 のようになった。また、各点での変形前後の電圧の差分を計算すると図 8 のようになった。



図 7 変形後の受信電圧
 Fig.7 Received Voltage after Transformation

5. 議論と制約

本シートの制約として伸縮させたままの状態では思うような伝送ができない点がある。これは、伸縮により導電グリッド層の抵抗が大きく上昇してしまうからだと考えられる。一方で 20%程度までは伸縮歪を与えても、元に戻せば伝送効率が変わらないことが期待できる。本シートは最大で 50%の伸縮歪を与えることができるが、この際には導電性インクの一部が切れてしまうのか、完全にはもとには戻らない。しかし効率は落ちるものの依然として電力の供給自体は可能であり、小さな LED 程度であれば光らせることができた。

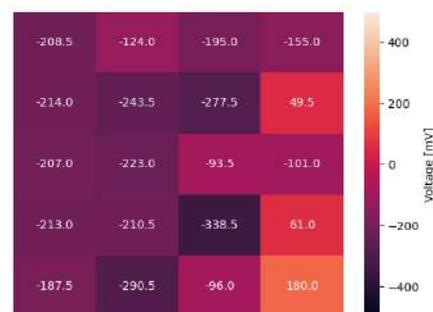


図 8 変形前後の受信電圧の差分
 Fig.8 Difference in Received Voltage Before and After Transformation

二次元通信シートにてマイクロ波を使用する際に、定在波の影響で電力を供給できなくなる点であるヌル点が生じるといった問題は本シートでも存在する。先行研究では、上面の導電層を円形のグリッド層に変更することヌル点の位置を簡単に推定可能としている [2]。これは本シートでも実現できると考える。

6. 結論

本研究では伸縮性ポリマーと伸縮性導電インクに注目し、既存の二次元通信技術と組み合わせることで伸縮性を有する二次元通信シートを開発した。伸縮させた状態で使用することは難しいものの、20%までは伸縮歪を与えても元に戻せば変わらない伝送効率で給電できることがわかった。また、最大で50%の伸縮歪を与えることも可能であり、この場合はやや伝送効率が低下してしまうが、依然として給電はできることがわかった。今後は、伸縮させた状態のままでも給電できるように、素材などを変えて改良していきたい。

謝辞

本研究は、JST さきがけ（課題番号：JPMJPR20B7, JPMJPR2134）の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] Noda, A. and Shinoda, H.: Frequency-division-multiplexed signal and power transfer for wearable devices networked via conductive embroideries on a cloth, *2017 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, IEEE, pp. 537–540 (2017).
- [2] 宇田伊吹, 藤井勝之, 奥村康行 2.4 GHz 帯ウェアラブル二次元通信シートのヌル点簡易位置推定, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. 104, No. 9, pp. 727–740 (2021).
- [3] 中妻啓, 牧野泰才, 篠田裕之 静電容量分布計測に基づく二次元通信シート上のデバイス位置計測, *Proceedings of the 2009 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Fukuoka, Japan* (2009).
- [4] Taira, J., Low, S., Sugimoto, M. and Sugiura, Y.: Detecting Position and Direction of a Device by Swept Frequency of Microwave Using Two-Dimensional Communication System, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, Vol. 12, No. 3, pp. 116–123 (2019).
- [5] Noda, A. and Shinoda, H.: Coupler combination for blind spot elimination in two-dimensional waveguide power transmission, *2012 Proceedings of SICE Annual Conference (SICE)*, pp. 1448–1450 (2012).
- [6] Noda, A. and Shinoda, H.: Antinull 2-D Waveguide Power Transfer Based on Standing Wave Diversity, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 66, No. 1, pp. 306–318 (online), 10.1109/TMTT.2017.2721403 (2018).
- [7] 手嶋宏介, 松田隆志, 張兵, 稲元勉, 高木由美, 太田能, 玉置久 二次元通信システムにおける定在波を考慮した入力点選択型給電方式に関する研究, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. 96, No. 12, pp. 1342–1354 (2013).
- [8] 福井雄大, 野田聡人, 篠田裕之 二次元通信タイルの SNR と通信速度, *IEICE Conferences Archives*, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (2016).