

Inkjet Printed Speaker: 導電性インクの印刷だけで作る折り紙スピーカー

加藤 邦拓* 齊藤 一哉* 川原 圭博*

概要. 本稿では導電性インクとインクジェットプリンタによる印刷物だけで作成可能な折り紙スピーカーを提案する. 既存研究で示されてきた導電性インクを用いたスピーカーの作成手法では, 印刷したコイルに永久磁石を配置して作る必要があった. これに対し提案手法では, 導電性インクを用いて印刷した用紙に切る・折り曲げるなどの加工をし, 高電圧を印加することでスピーカーの作成を検討する. これにより, ユーザーが作成した様々な形状の折り紙などを, そのままスピーカーとして使用することが可能となる.

1 はじめに

近年, インクジェットプリンタや3Dプリンタなどの機器により導電性の素材を出力し, センサや回路, インタラクティブオブジェクトを作成する手法が数多く提案されている. そのひとつとして, こうした機器を用いてスピーカーを作成する試みがなされている. Ohらの提案したPEP (Printed Electronic Papercrafts)では, アプリケーション例のひとつとして導電性インクを用いて印刷した紙によってスピーカーを実装している [3]. PEPのアプリケーション例では, コイル形状回路の中央に永久磁石を配置し, 3Dプリンタで出力したオブジェクト内部に組み込むことでスピーカーを実現している. これに対し本研究では, 永久磁石の取り付けを必要とせず, 導電性インクによって印刷した用紙を切ったり, 折り曲げたりするだけで容易に作成できる折り紙スピーカーを提案する.

2 実装

2.1 Electrostatic Speaker

提案するスピーカーはElectrostatic speakerの原理を用いることで音を発生させる. このスピーカー原理は二つの電極から構成される. 二つの電極の間に薄い絶縁層を挟み, 電極の一方に高電圧の交流信号, もう一方をグラウンドに接続することでそれぞれの電極に逆向きの電化が生じ, 静電気力が発生する. この際, 印加する交流電圧の周波数を制御することで音階を表現することができる. 同様にElectrostatic speakerを用いたスピーカーの作成に関する研究として, Ishiguroらの3D Printed Interactive Speakersがある [2]. Ishiguroらの手法では, 3Dプリンタで造形したオブジェクトに対し, 導電性・絶縁性の塗料を重ねて塗布することでスピーカーを実現している. これに対し本研究では, 家庭用インクジェットプリンタと導電性インクによって印刷した用紙を用いて

Electrostatic speakerを形成する. 図1aにスピーカーの基本構成を示す. 提案手法では, 片面に導電性インクが印刷された二枚の用紙を電極として用いる. この二枚の用紙をそれぞれ高電圧および, グラウンドに接続する. 更に一方の用紙の表面 (印刷面) がもう一方の用紙の裏面に接触するように重ね合わせることで静電気力が発生し, スピーカーとして機能する (図1a左). 一般的なElectrostatic speakerでは電極間に薄い絶縁層を別途要するが, 提案手法では導電性の層が印刷される基板である印刷用紙自体がその役割を担い, スピーカーとして機能させることができる. 絶縁層として紙やPETなどの薄い柔軟素材を用いているため, 図1a右のように, 印刷用紙の裏面同士が接触するように重ね合わせることで同様に機能する.

2.2 システム構成

電極の印刷には銀ナノ粒子インク (NBSIJ-MU01, 三菱製紙) および, 専用PET紙 (NB-TP-3GU100, 三菱製紙) を使用した. 電極に対し, マイコン (mbed LPC 1768, ARM Ltd) から電圧・周波数を制御可能な電源装置 (MHV 12-1.0K2000P, Bellnix Co., Ltd) が接続され, 音階を制御する. 現状の実装では最大で600Vの電圧を印加することができる.

3 折り紙スピーカー

本章では導電性インクによって印刷した電極を切る, 折り曲げるなどの加工によって作成した折り紙スピーカーの例を示す. 図1bは折り鶴型のスピーカーを作成した例である. この例では導電性インクを印刷した一枚の用紙を折り曲げてスピーカーを形成している. 導電性インクを印刷した回路は折り曲げに弱く, 特に印刷面を表とした状態で強く山折りをすると抵抗値が上がり, 折り目を境に断線を起こす場合がある. 本研究ではこれを利用し, 敢えて印刷面を部分的に断線させることで, 導電性インクを印刷した一枚の用紙から, 高電圧を印加する電極とグラウンドに接続する電極に分割している. また,

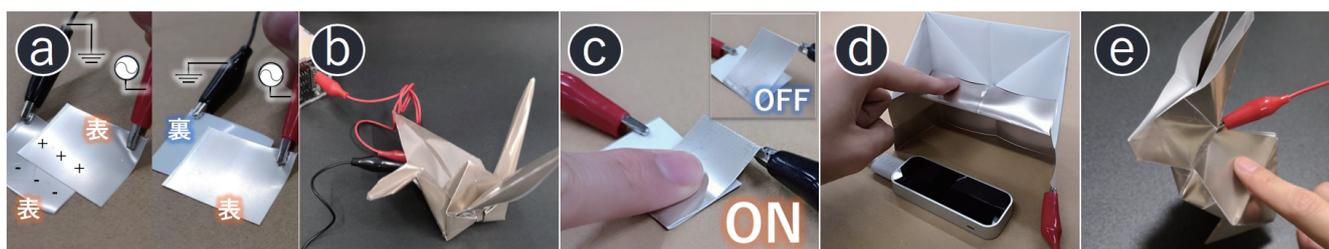


図 1. a) スピーカー基本構成, b) 折り鶴スピーカー, c) スイッチ型スピーカー, d) インタラクティブなオルガンスピーカー, e) インタラクティブな動物型スピーカー.

印刷面を表にした状態で山折りをすることで、用紙の裏面（印刷されていない面）同士が接触し、図 1a 右の状態ですピーカーが形成される。図 1b の例では、折り鶴の右側の翼の裏面に高電圧が接続され、表面にグラウンドが接続された状態となっている。これにより、ユーザが作った任意形状の折り紙に電源装置を接続するだけでスピーカーとして機能させることができる。

折り曲げによる断線を用いることで、一枚の用紙を折り曲げた電極からスピーカーを作成することができる。また、今回使用した手法では高電圧および、グラウンドが接続されたそれぞれの電極が絶縁層を挟んで接触している状態でなければ音が発生しない。図 1c はこれを利用し、折れ曲がった状態の用紙をユーザが手で押し込んでいる時にだけ音が発生するスイッチ型のスピーカーを作成した例である。これを応用し、複数のスイッチを配置することでピアノのような楽器型のスピーカーも作成可能となる。

図 1d・e は第 2 章で示したスピーカーの実装法とは異なり、高電圧を印加した電極のみを使用した例である。この手法では、電極に触れたユーザの指をスライドさせる動作を行うことで音を発生させる。この現象は人体をグラウンド側の電極として活用し、皮膚表面と電圧を印加した電極との間に起こる静電気力によるものである。一般的には Electro vibration と呼ばれ、Human-Computer Interaction (HCI) 分野では皮膚感覚を提示する触覚ディスプレイの研究にて活用されていることが多い [1]。これにより、ユーザが電極の表面を撫でる操作をしているときのみ音が発生するスピーカーを作成することができる。図 1d は、折り紙で作ったオルガン型のスピーカー作成した例である。オルガンの鍵盤部分が電極面となっており、電源装置が接続されている。Leap Motion を用いてユーザの指を検出し、位置によって異なる音を発生させるインタラクティブな楽器型のスピーカーとして使用することができる。この他にも、動物の形をした折り紙を撫でると鳴き声を発するといったインタラクティブな折り紙スピーカーへの応用が可能である (図 1e)。

4 今後の展望

本章で挙げた例以外にも、様々な形状のスピーカーを、導電性インクを印刷した用紙だけで作成することができる。現状の制約として、電極同士の接触面が狭くなると音が小さくなってしまいうことが挙げられる。またユーザが自由に作成した折り紙に対して、どの部分に電源装置を接続するべきかが分かりづらい、導電性インクを用紙の全体に対して印刷しているためインクの消費量が増えてしまうといった問題がある。今後の展望として、入力した折り紙に対して、適切な電極パターンを作成するデザイン支援システムの実装を行う。接触面が大きくなるよう電極の設計を行い、電極の配置箇所や折り紙を作成する際に目印となるガイド線を印刷することで、最適な折り紙スピーカーの実現を目指す。

謝辞

本研究は JST ERATO 川原万有情報網プロジェクト (JPMJER1501) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Olivier Bau, Ivan Poupyrev, Ali Israr, Chris Harrison. TeslaTouch: Electro vibration for Touch Surfaces. In *Proc. of UIST'10*, pp.283-292, (2010).
- [2] Yoshio Ishiguro, Ivan Poupyrev. 3D Printed Interactive Speakers. In *Proc. of CHI' 14*, pp.1733-1742, (2014).
- [3] Hyunjoo Oh, Tung D. Ta, Ryo Suzuki, Mark D. Gross, Yoshihiro Kawahara, Lining Yao. PEP (3D Printed Electronic Papercrafts): An Integrated Approach for 3D Sculpting Paper-Based Electronic Devices. In *Proc. of CHI' 18*, Paper No.441, (2018).