

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：32692

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K20317

研究課題名(和文) 家庭用ACアダプタのグラウンド端子の持つ電圧を用いた静電摩擦触覚ディスプレイ

研究課題名(英文) Electro-vibration Tactile Display Powered by Commercial AC Adapter

研究代表者

加藤 邦拓 (Kato, Kunihiro)

東京工科大学・メディア学部・助教

研究者番号：00838922

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：市販のモバイルデバイス上に提案した触覚ディスプレイを設置することで、充電ケーブルとACアダプタを接続するだけで触覚を提示することが可能なデバイスを開発した。開発したデバイスでは、GNDとユーザがタッチ操作を行う電極部分の経路をリレーにより一定間隔で電氣的に切断することで、ユーザが感じる触覚を変化させることができる。更に本研究では、モバイルデバイスの画面上だけでなく、画面外に触覚提示インタフェースを拡張する手段についても検討を行った。多数の細い線系電極を用いることで静電容量方式のタッチディスプレイを拡張し、キーボードやゲームコントローラなどの触覚フィードバックのあるインタフェースを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、スマートデバイス上に小型で軽量のアタッチメントを付与するだけで使用可能な触覚提示機能を実現した。数100V以上の高電圧を必要としていた既存手法と異なり、提案手法では一般家庭用ACアダプタを用いるだけで、触覚提示が可能である。また、ACアダプタのグラウンド(GND)端子は、家庭用コンセントに接続された一次回路とは直接繋がっていない。そのため我々がACアダプタのGND端子に直接接触しても、感電の危険がなく高い安全性を有する。こうしたことから、一般への導入のハードルが低く、今後のスマートデバイス市場の発展に寄与しうる技術であると考えている。

研究成果の概要(英文)：We have developed a device with electro-vibration tactile feedback without an additional high-voltage power supply. Our method uses only a commercial AC adapter that is used to charge smartphones. In addition, our system can change the tactile sensation with the AC chopping technique.

Furthermore, we also considered extending the input space of smartphones with tactile feedback beyond the screen of the device. We present ShiftTouch, an attachment-type passive interface that provides multiple inputs for capacitive touchscreens with minimal screen occlusion. ShiftTouch utilizes multiple linear electrodes to control the fine displacement of the touch position. The touch input is activated under the electrodes when several adjacent electrodes are grounded simultaneously. Each input area shares several electrodes with neighboring input areas, and the touchscreen identifies each one by detecting the fine displacement of the touch position.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：触覚ディスプレイ 静電摩擦 スマートデバイス

### 1. 研究開始当初の背景

スマートホンやスマートウォッチを代表とするスマートデバイスは、表面のなめらかなスクリーンを直接手で触れての操作が主流であり、操作時の触覚フィードバックに乏しいという課題があった。こうした課題を解決し、スマートデバイスのユーザビリティを向上させるため、人間の皮膚に対し刺激を与えることで触覚を提示する「触覚ディスプレイ」を統合したスマートデバイスの開発に関する研究は長期に渡り、数多く行われてきた。中でも静電摩擦[1]を用いた触覚ディスプレイは、静電気力を用いることで表面の滑らかな物体上のテクスチャを制御できる技術として着目されている。この触覚ディスプレイは、間に絶縁層を持つ2つの導電体間に生じる静電気力を用いた摩擦の制御によって触覚を提示する手法である(図1)。表面が滑らかで触覚フィードバックに乏しいタッチスクリーン上に実装することで、画面に表示されたコンテンツに合わせて触覚を変化させるなどの応用が行われている。一方で静電摩擦を用いた触覚ディスプレイは、電源装置から供給される数百から数千ボルトの高電圧が必要となるため日常的に活用されているモバイルデバイスへの適用が困難であり、未だ社会実装の段階に至っていない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、スマートデバイス上に小型で軽量なアタッチメントを付与するだけで使用可能な触覚提示機能を実現することである。特に、静電摩擦による触覚ディスプレイのより簡易的なスマートホンへの統合と、開発した触覚ディスプレイを用いたインタラクションの可能性を模索する。

### 3. 研究の方法

本研究では、スマートデバイス上への、触覚提示を可能とする小型で軽量なアタッチメントの開発を行う。そのひとつとしてまず、家庭用のACアダプタのグラウンド(GND)端子の持つ電圧を用いて静電摩擦触覚を発生させる手法について検討した。本研究で用いる静電摩擦触覚ディスプレイの基本構成を示す。図2右側に示された電極はガラス基板上に厚さ100 $\mu\text{m}$ の導電層(クロム)と厚さ2 $\mu\text{m}$ の絶縁層(ガラス)を持つ。研究代表者は、この非常に薄い絶縁層を付与した電極に市販のACアダプタのGND端子を接続し、ユーザがこの絶縁層部分を指で触れることで、既存の静電摩擦触覚ディスプレイと同様の性質を持つ触覚が提示される現象を、これまでの研究において観測していた。本研究ではまず、この現象を活用することで、家庭用のACアダプタに接続するだけで触覚提示を可能な静電摩擦触覚ディスプレイを開発する。

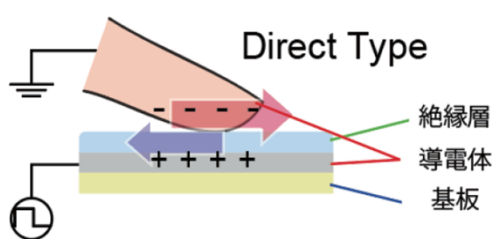


図1 静電摩擦触覚ディスプレイ

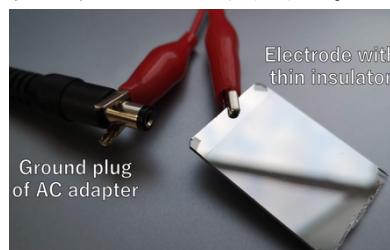


図2 GND端子を接続した静電摩擦触覚ディスプレイの基本構成

この他、電源装置を一切使用しない、触覚提示を可能とするアタッチメントの開発についても検討した。具体的には、レーザカッターによってPET用紙などの薄い素材を切り出し、切り紙の構造を持つボタンを作成することで、触覚フィードバックを持ち、スマートデバイスの入力を画面外に拡張することのできるアタッチメントを開発した(図3)。一般的なスマートデバイスの多くは、静電容量方式タッチセンシング機能を備えている。そのため人間の手指だけでなく、スマートデバイスの画面上に設置した電極を介することでもタッチ操作が可能となる。この特性を使用し、電極の設置位置に応じたタッチ入力座標の変化によって、入力の識別を行うことでスマートデバイスの入力拡張をする手法が数多く提案されてきた。一方で、この手法を用いる場合、ユーザの操作領域が広がるにつれ、導電性素材によるタッチデバイスの画面遮蔽面積が大きくなるという問題があった(図3左)。研究代表者らはこの問題に対処するため、細い線形電極を用いることで微細なタッチ制御を可能とする手法を提案し、少ない画面遮蔽で多数の入力を識別可能とした。これにより、触覚フィードバックのあるキーボード型アタッチメントや、ゲームコントローラ型アタッチメントを開発した(図3右)。



図3 触覚フィードバックを持つスマートデバイスの拡張インターフェース

#### 4. 研究成果

(1) 図4(a)に開発した触覚ディスプレイの基本構成を示す。一般的な AC アダプタの等価回路を示す。AC は内部にトランスを持っており、一次回路(入力)と二次回路(出力)に別れている。家庭用コンセントから一次回路に入力された電圧はトランスを通じて変圧され、直流電圧が得られる。例えば、一般的なスマートフォンの充電用に使用される AC アダプタは 5V の直流電圧に変圧される。このとき変圧された直流電圧は二次回路上にある出力プラグの正極端子と負極端子(GND 端子)との間に生じる電位差から得られる。ここで AC アダプタの二次回路全体に着目したところ、直流電圧として出力される電圧以上の電位を持つことがわかった。家庭用コンセント(100V, 50Hz)に AC アダプタを接続し、GND 端子から得られる出力信号を、デジタルオシロスコープを用いて観測したところ、図4(b)のような波形が得られた。この波形は AC アダプタの機種ごとに異なるが、Apple MacBook Pro 付属の AC アダプタを用いた場合 80Vpp 程度の電位差が観測された。

薄い絶縁層、および透明電極を形成したガラス基板を作成し、提案手法を適用したプロトタイプデバイスを開発した (図4C)。使用した電極はガラス基板上に透明電極と、厚さ  $2 \mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  膜の絶縁層が形成されている。透明電極は 8 mm 四方の電極が  $2 \times 2$  の格子状に並んでおり、それぞれの電極が AC アダプタの GND 端子に接続される。また電極はマイクロコンピュータ (mbed TY51822r3, Switch Science) に接続され、各電極にかかる電圧を測定している。指が電極に接触した際に発生する電圧変化により、指の接触判定を実現した。作成した電極をスマートフォンのスクリーン上に取り付け、指の接触位置に応じて触感を変化させるようなアプリケーション実装した。現状の実装では一般的な静電容量式タッチセンシングと静電摩擦触覚を組み合わせる使用することが困難であるため、ここではスマートフォンはコンテンツ表示用のディスプレイとして使用している。

提案手法による触覚提示を行う際、触覚の変調を行わず、基本構成のまま触覚提示を行った場合、その周波数は国内のコンセントから得られる交流電流の周波数に一致する(東日本地区では 50Hz、西日本地区では 60Hz となる)。そこで本研究ではリレーを用いたチョッパ制御により、ベースとなる周波数 50-60Hz の触覚から、異なる触覚提示を実現する機能を実装した。なお、本研究は国内会議 WISS2019 にて開発したデバイスについて発表を行った。

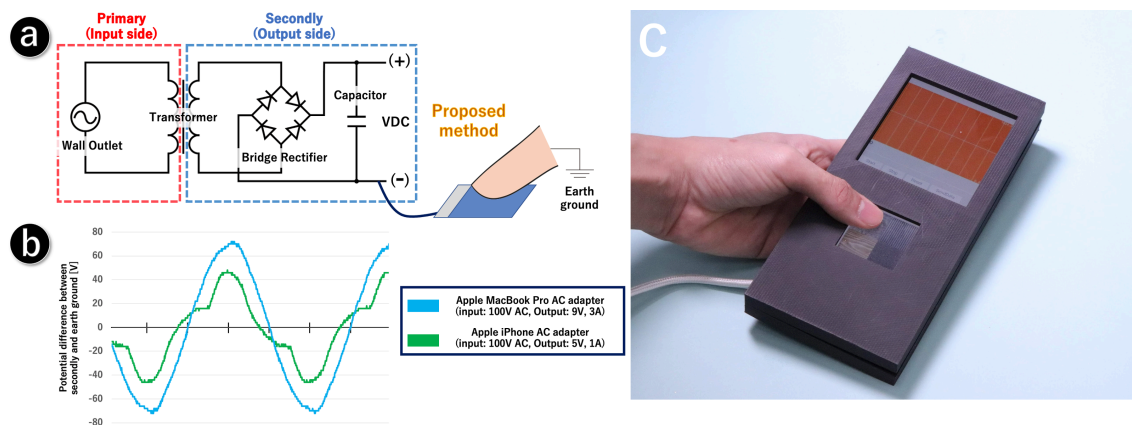


図4 (a) 一般的な AC アダプタの等価回路, (b) AC アダプタ (Apple MacBook Pro, 及び iPhone 6S 付属)の GND 端子から得られる出力波形。計測ではオシロスコープのプロブを AC アダプタの GND 端子に接続し、グラウンドプラグをアースグラウンドに接続した。

(2)電源装置を一切使用しない、触覚提示を可能とするアタッチメントとして、ShiftTouch を開発した。本インタフェースは導電パターンの印刷されたシート(導電層)の上に、導電層を部分的に露出させるための切り抜きのあるシート(マスキング層)を重ねた構造を持つ(図3左)。導電層には複数の線形電極と各電極に接続された配線が印刷されており、電極部をタッチスクリーンに接触するように貼り付けて用いる。導電パターンが露出した切り抜き箇所に指で触れると、複数の隣接した電極が同時に接地されタッチ入力が発生する。接地される電極群に応じてタッチ座標が微細に変化するため、この変化から各入力部での入力を識別可能である。ShiftTouch は従来の円形や矩形の電極を用いたタッチデバイス拡張のためのインタフェースと比較し、インタフェースによる画面遮蔽を軽減することが可能である。

ShiftTouch を用いることで、図3右に示すように、触覚フィードバックを持つタイピングキーボードやゲームコントローラ型のアタッチメントを開発した。導電層には、QWERTY 配列に合わせ設計した導電パターンを印刷した。導電層の上には 63 個の入力部を持つマスキング層を取り付けた。各入力部には Rotational Erection System RES)[2] により作成した切り紙の立体構造を使用した。この構造により、触覚フィードバックを持つモーメンタリ動作方式のボタンを実現した。本インタフェースの電極部をスマートフォンなどに貼り付けることで、63 個のキーを持つタイピングキーボードとして機能する。ShiftTouch によるタイピングキーボードを用いたユーザテストを行った結果、ユーザは平均 12.3 words per minute (WPM), (SD = 1.43)の速度 (Character error rate(CER) = 1.44% (SD 1.14) )で文字入力が可能であることを示した。

[1] Strong,R.M., and Troxel,D.E. An Electrotactile Display. IEEE Transactions on Man-Machine Systems, Vol.11, Issue 1, pp.72-79, (1970).

[2] Miyamoto, Y. Rotational Erection System (RES): Origami Extendedwith Cuts. *Origami* <sup>6</sup>.II. Technology, Art, Education, pp.537-544, (2015) .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 加藤邦拓, 石塚裕己
2. 発表標題 石塚 裕己. 家庭用ACアダプタのグラウンド端子を用いた静電摩擦触覚ディスプレイ
3. 学会等名 第27回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 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
---------	---------