

# 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

加藤 邦拓\* 石塚 裕己†

**概要.** 本稿では、外部の高電圧電源を用いずに静電摩擦触覚を提示する手法を提案する。提案手法はノート PC やスマートフォンを充電するために使用する市販の AC アダプタのみを必要とする。デバイスの基本構成は非常に単純であり、表面に薄い絶縁層が形成された電極を AC アダプタの GND 端子に接続するだけである。従来の研究では高電圧に接続すること必要であった静電摩擦刺激を、この簡易的な構成によって提示することが可能である。本稿では触覚提示の原理について説明し、開発したプロトタイプを示す。

## 1 はじめに

タッチパネルディスプレイに対し触覚提示手法を組合せることで、視覚的情報だけでなく、触覚情報を提示可能なディスプレイの開発に関する研究が数多く行われている。中でも静電摩擦触覚は滑らかな平面に対し、テクスチャを付与できる技術として着目されている。TeslaTouch [1] は、タッチパネルディスプレイと静電摩擦触覚を統合した最初の研究であり、画面上に表示したコンテンツに対して触覚情報を同時に提示することを実現した。しかし、静電摩擦触覚ディスプレイは十分な触覚を提示するために数百～数千ボルトの高電圧電源を必要とすることから、日常的に使用する端末へ適用することが難しいという問題があった。Kim らはこの問題に着目し、静電容量式タッチパネルデバイス上で、静電摩擦触覚を提示するための要件を示した [3]。Haga らも同様の問題の解決策として、タッチ検出のための信号と触覚提示のための信号を交互に送信する手法を提案した [2]。しかしながら、これらの研究はいずれも、依然として 150 V<sub>pp</sub> 以上の高圧電源を必要としていた。

本研究では、外部の高圧電源を必要としない新しい静電摩擦触覚提示手法を提案する。提案手法では市販のスマートフォンや PC に付属する AC アダプタを用いた触覚提示を行う。我々はこの GND 端子に、薄い絶縁層を持つ電極を接続するだけで、既存の静電摩擦と同様の触覚が提示できることを発見した (図 1 左)。本稿ではこの触覚提示手法を用いた触覚提示手法と、実装したプロトタイプについて報告する。

## 2 提案手法

静電摩擦触覚は二つの導体間に生じる静電吸着を用いた触覚提示手法である。表面に薄い絶縁層が



図 1. プロトタイプ外観

形成された一方の導体に高電圧を印加し、もう一方を GND に接続する。この状態で二つの導体を接触させることで、静電気力の作用により吸着力が生じる。また高電圧の交流電圧を印加することで、断続的に吸着を発生させ振動や摩擦などの触覚を提示できる。人間の指は接地された導体と見なすことができるため、絶縁層が形成され電圧の印加された電極上を指で直接触れるだけでユーザは触覚を知覚することができる。一般に、静電摩擦は十分な触感を提示するために 100 V を超える高電圧を必要とすることが知られている。静電気力  $F_e$  は平行平板コンデンサモデルを使って次のように推定できる。

$$F_e = \frac{1}{2} \epsilon S \left( \frac{V}{D} \right)^2$$

$\epsilon$  は誘電率、 $S$  は接触面積、 $V$  は印加電圧、 $d$  は電極間の距離を示す。この式から、高電圧であるほど、また電極間の絶縁層が薄いほど強い触覚が得られることがわかる。提案手法では市販の AC アダプタを用いるため、家庭用コンセントから得られる電圧 (日本国内では 100 V) 以下の電圧となる。我々はこの制約下で触覚提示を実現するため、厚さ 2  $\mu\text{m}$  の絶縁層 ( $\text{SiO}_2$ ) を持つ電極を作成し触覚ディスプレイを構築した。

図 2(a) に一般的な AC アダプタの等価回路を示す。AC アダプタ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

Copyright is held by the author(s).

\* 東京大学

† 大阪大学

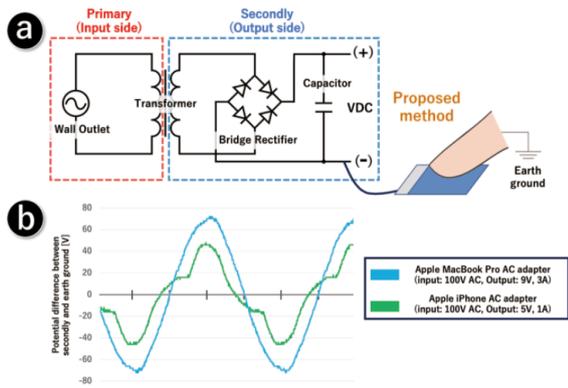


図 2. (a) 一般的な AC アダプタの等価回路, (b) AC アダプタ (Apple Macbook Pro, 及び iPhone 6S 付属) の GND 端子から得られる出力波形. 計測ではオシロスコープのプロブを AC アダプタの GND 端子に接続し, グラウンドプラグをアースグラウンドに接続した.

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 5 V 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 (100 V, 50 Hz) 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 2(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 Mac Book Pro 付属の AC アダプタを用いた場合 80 Vpp 程度の電位差が観測された.

提案手法を用いた静電摩擦触覚ディスプレイを適用したプロトタイプデバイスを開発した (図 1 右). 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ディスプレイ上に取り付け, 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パネルデバイスと, 静電摩擦触覚を組み合わせることは困難であるため, 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.

### 3 おわりに

本稿では市販の AC アダプタを用いた静電摩擦提示手法を提案した. 既存研究に比べ, 高電圧電源を必要としないため, スマートフォン, タブレット端末, ノート PC, ゲーム機器などのデバイスへの応用が期待できる. 提案手法はスマートフォン用 (Android, iPhone), アップル製品を含むノート PC 用, その他電子機器用など様々な AC アダプタにも適用できることを確認している. 本手法のもう一つの利点としては, 安全性の高さが挙げられる. AC アダプタの 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 端子に直接触れても, 感電の危険がなく高い安全性を有する. 現状の実装では, 提示される触覚の強さは使用する AC アダプタの機種に依存している. また我々はチョップ制御によって, 提示する感覚を変化できることを確認している. しかし, 家庭用 AC 電源の周波数 (50Hz, 60 Hz) よりも高い周波数にを提示できるかについては現在の段階では明らかにできていない. 今後, どの程度の周波数を提示可能かについて明らかにしていく.

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K20317 の助成を受けたものである. また, 電気通信大学の梶本裕之教授から本研究に関して有益なアドバイスを頂いた.

### 参考文献

- [1] O. Bau, I. Poupyrev, A. Israr, and C. Harrison. TeslaTouch: Electro-vibration for Touch Surfaces. In *Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '10, pp. 283–292, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [2] H. Haga, D. Sugimoto, Y. Yang, H. Sasaki, T. Asai, and K. Shigemura. Capacitive touchscreen-integrated electrostatic tactile display with localized sensation. *Journal of the Society for Information Display*, 27(2):59–71, 2019.
- [3] K. D. Kim, Y. Choi, S. H. Yoon, J. Kang, H. Kim, and J. Ryu. 39-3: An Electrostatic Haptic Display with a Projected Capacitive Touch Screen. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 47(1):506–509, 2016.