

Ohmic-Sticker: 静電容量方式タッチサーフェスへの貼付により Force-to-Motion を実現する入力機器

池松 香^{*†‡} 福本 雅朗[‡] 椎尾 一郎^{*}

概要. 静電容量方式のタッチサーフェス上へ貼り付けるだけの簡単な作業で取り付けられる Force-to-Motion 方式の入力機器, Ohmic-Sticker を提案する. プリント基板上へ加圧により抵抗値が変化する感圧センサを設置し, タッチサーフェスの流出電流値を用いて抵抗値変化を計測することで, 指先の微細運動による入力を実現する. 本論文では, 予備調査に基づく Ohmic-Sticker の設計要件の検討と, 実際に作成した 0.5 DoF から 6.0 DoF の入力を可能とする複数の Ohmic-Sticker 及びその応用例を報告する.

1 はじめに

現在市販されているラップトップ PC の多くには, トラックパッド型のポインティングデバイスが採用されている. 一方で, かつて多く見られたスティック型のポインティングデバイス [6] は採用例が激減している. スティック型ポインティングデバイスは, マウスやトラックパッドなどの移動制御 (Motion-to-Motion) 型とは異なり, 力制御 (Force-to-Motion) 型の入力デバイスである. 指を大きく動かす必要が無く, デバイスの専有面積も少なく済むため, ラップトップ PC などの小型機器への搭載に適している. その反面, 操作には慣れが必要であり, 熱的な愛好家が多い一方で「使いにくい」と感じるユーザーも多い [5]. スティック型デバイスの採用が困難であるもう一つの原因はセンサの構造にある. 現在のセンサは 3–5mm 程度の厚みがあるため, 薄型化が特に要求される現在のラップトップ PC や 2-in-1 PC への組み込みが困難である. 仮にコストや厚みを大きく増すことなく, 既存のラップトップ PC にスティック型ポインティングデバイスを設置できれば, ユーザの選択肢を増やすことが可能であると考えられる.

本論文では, 既に多くのラップトップ PC に設置されている静電容量方式のトラックパッド (以下, タッチサーフェス) にシールのように貼り付けるのみで簡便に動作し, 0.5 DoF から 6.0 DoF (以上) の入力を実現する薄型の Force-to-Motion 方式入力機器である “Ohmic-Sticker” を提案する. これにより, 前述の “組み込み” についての課題解決を目指す. Ohmic-Sticker はタッチ点から GND へと至る経路中に, 印加圧力により抵抗値が変化する機構を介在させ, Ohmic-Touch [3] の原理により, 抵抗値に応じた連続的な入力を可能とする. 本機構は [3] とは異なり, 接続経路中に人体が含まれないため安定した入力が可能である. 印加された力に応じて抵

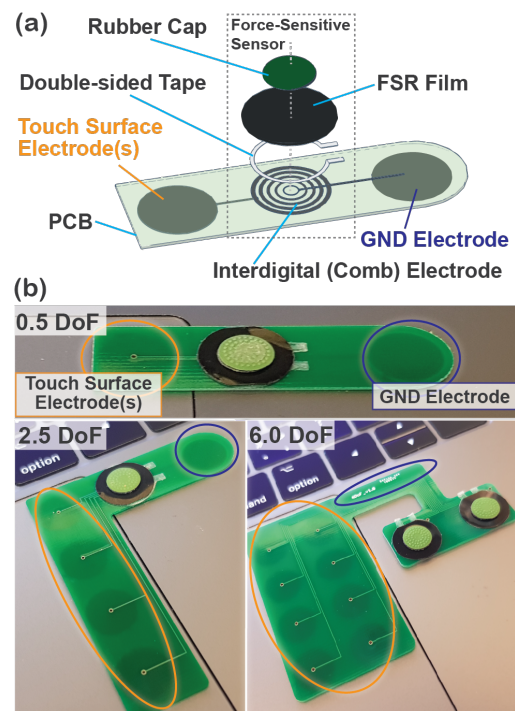


図 1. (a) Ohmic-Sticker 構造図, (b) 0.5, 2.5, 6.0 DoF 入力を可能とする実装例.

抗値変化する機構は, プリント基板上に櫛型電極と Force-Sensitive Resistor (FSR) フィルムを用いて実装した. 櫛型電極の一端はタッチサーフェス上に設置する電極 (群) に, 他端は筐体の GND に接続されている. 本入力機器を図 1 のようにタッチサーフェスおよび筐体へ取り付けすることで, FSR センサへの加圧による抵抗値変化をタッチサーフェスの流出電流値として取得し, この値を用いて Force-to-Motion の入力を実現する. 本機構を構成する要素である FSR フィルム・プリント基板・ゴムキャップはいずれも薄型化が可能であり, 全体の厚みを 2mm 以内に抑えることができる. 本論文では, 予備調査により Ohmic-Sticker 作成のための条件を提示し, それをもとに実装した複数の Ohmic-Sticker およびその応用例を報告する.

Copyright is held by the author(s).

^{*} お茶の水女子大学大学院

[†] 日本学術振興会

[‡] Microsoft Research

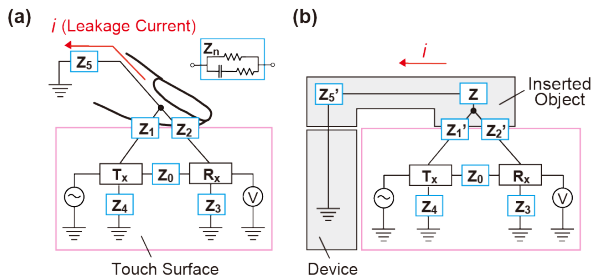


図 2. (a) タッチサーフェスの等価回路, (b) オブジェクトを直接筐体へ接続した場合の等価回路。

2 タッチ入力検出原理

タッチサーフェスは、格子状に並べた電極構造を有している。一方が送信電極群であり、他方はこれらと直行する受信電極群である。これらの電極の一对が交差する部分における等価回路を図 2 (a) に示す。タッチサーフェスは高周波信号を送信電極 T_x へ順に印加し、受信電極 R_x でこれを受信する。電極交点に指などの接地された導電体が近接すると、 T_x からの信号の一部は人体を通じ GND へと流出するため、 R_x で検出する信号は減衰する。タッチサーフェスはこの流出量（流出電流値）が一定の閾値を上回るか否かによりタッチ/非タッチ状態を判別する。流出電流値はタッチサーフェス上のタッチ点から GND へと至る経路のインピーダンス値によって変化する。そのためインピーダンス値を制御することで、タッチサーフェス API が提供する流出電流値（あるいはそれと相関のある値）を利用し、連続的な入力モダリティの提供が可能となる [3]。Ohmic-Sticker はこの原理を用い連続的な入力を行う。

3 設計条件の検討

3.1 GND 接続手法

Ohmic-Sticker を設計するにあたり、GND への接続手法としては下記の 2 種類がある。

- 機器の一端を人体に接続し、人体経由で GND へと接続する方法（人体 GND）
- 機器の一端を直接タッチサーフェスの筐体へ接続する方法（筐体 GND）

一般的にタッチサーフェス筐体内部の電子基板の GND と筐体は電氣的に接続されている。後者の筐体 GND は、図 2 (b) のように導電体の一端をタッチサーフェス上へ他端を筐体へと接続する方法である。

人体 GND および筐体 GND はそれぞれ次の利点欠点がある。まず、人体 GND はユーザの GND 状況および生体インピーダンスの個人差等が流出電流値へ影響を与えるが [3]、筐体 GND においては影響しない。このため、筐体 GND は安定した信号検出が可能である。一方、機器の一端を筐体 GND したまま長時間放置するとタッチ入力の消失現象が発生する [10, 9]。多くのタッチサーフェスでは、タッチサーフェス上における検出位置もしくは流出電流量の変化しない信号を除外することで、環境に適応するキャリブレーションを内部的に行なっているため

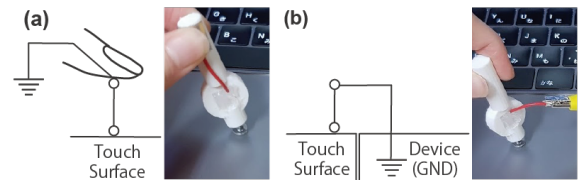


図 3. 実験用タッチペン。ペン先（円形、直径 8mm）と導線により接続されたアルミ部を (a) 指で押さえることで人体 GND に、(b) 筐体へと電氣的に接続されたコネクタに繋ぐことで筐体 GND となる。

である。人体 GND においては、主に人が操作するときに電流流出が発生するためこの影響は比較的小さいと考えられるが、筐体 GND を採用する場合にはキャリブレーションの影響を考慮する必要がある。以上を踏まえ、人体 GND および筐体 GND のどちらの設計とすべきか検討するための調査を行った。

3.1.1 GND 接続状況による影響の調査

人体 GND の場合、GND 状況の変化がどの程度流出電流値へ影響を与えるかについての調査を行った。本調査ではユーザ人体の筐体へ接触/非接触の条件を調査対象として選定した。なぜなら、ラップトップ PC 使用の際には、パームレストに腕を置く/持ち上げる、机の上/膝の上に置いて操作する等により、人体と筐体の接触・非接触状態が頻繁に変化し、これが検出電流に影響を与えると考えたからである。また、これに加え AC アダプタ接続/バッテリー駆動の条件の計 4 通りの GND 条件を設定した。

6 名の被験者（女性 4 名、男性 2 名、年齢 23–57 歳）が調査に参加した。被験者は図 3 (a) のタッチペンを利き手で把持し、4 通りの条件の組み合わせについてそれぞれ 4 回のタッチ入力をタッチサーフェスの中央部へ行った。また、人体の影響を同一にする目的で、図 3 (b) に示す筐体 GND の条件においても、タッチペンを把持し 4 回のタッチ入力を行い、参考となる値を計測した。タッチサーフェスは 12-inch MacBook (Apple, トラックパッド領域: 112 × 70mm) を用い、木製の机の上に設置した。筐体への接触条件について、非利き手の掌が筐体のパームレスト部へ触れるよう指示し、非接触条件では触れないよう指示した。タッチ開始/終了時のタッチペン近接状態のデータを除外するため、1 回のタッチは 7 秒間継続し開始 1 秒後から 6 秒後までの 5 秒間の流出電流値を 120Hz のサンプリング周波数で記録した。macOS 10.12 上にて動作する調査用のアプリケーションを C++ および MultitouchSupport.framework により実装し、流出電流値と相関のある値はサードパーティによるオープンソースのライブラリ (MTDeviceDeclarations の size プロパティ) により取得した。

3.1.2 結果と考察

人体 GND における各条件の流出電流値の平均および、参考値として筐体 GND の流出電流値の平均を図 4 に示す。これに対して 2 要因分散分析（被験者内計画; 独立変数として (1) 筐体への人体接触/非接触、

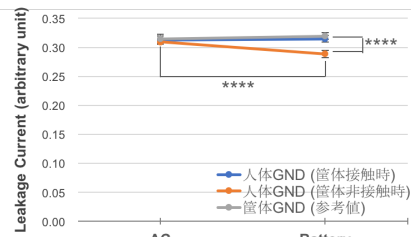


図 4. 条件毎の流出電流値の計測結果と標準誤差。

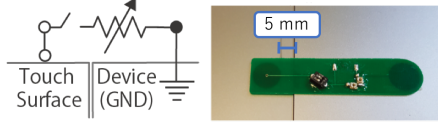


図 5. 実験に用いた器具. タッチサーフェス上の電極 (円形, 直径 10mm) と筐体接続用電極 (円形, 直径 11mm) 間にスイッチおよび可変抵抗器を設置。

(2) AC アダプタ接続/バッテリー駆動条件, 従属変数として流出電流値)を実施した. この結果, 有意な条件 (1) の主効果 [$F(1, 5) = 125.328, p < .001$], (2) の主効果 [$F(1, 5) = 27.438, p < .005$] および (1) $\times$ (2) の交互作用 [$F(1, 5) = 139.750, p < .001$] が確認された. また, (1) $\times$ (2) の交互作用における単純主効果を分析した結果, (1) $\times$ (2: バッテリー駆動) [$F(1, 10) = 257.365, p < .001$] および, (2) $\times$ (1: 非接触) [$F(1, 10) = 104.643, p < .001$] について有意な差が確認された.

AC アダプタ接続時には筐体へ接触/非接触状況によらず流出電流値は安定していたものの (AC 接続時の平均値に対する変動値平均の割合 1.0%), バッテリー駆動の際には, 接触状態は非接触状態と比較し流出電流値が増加する傾向にあった (バッテリー駆動時の平均値に対する変動値平均の割合 8.7%). すなわち, 人体 GND を用いた場合, 人体の筐体への接触状況に応じ, 9%程度の流出電流値の誤差が生じることが確認された. 以上の結果より, Ohmic-Sticker では筐体 GND を採用する方針とした.

3.2 オートキャリブレーションの抑止

Ohmic-Sticker で使用する感圧センサは加圧しない状態で一定の抵抗値を保ち, 加圧により抵抗値が低下する. これをタッチサーフェスと筐体 GND 間に設置した場合, 設置直後はタッチ入力が発生した状態として検出されるものの, タッチサーフェスのオートキャリブレーションにより, 一定時間が経過すると入力は消失する. また, 設置開始時の抵抗値 (初期抵抗値) によりキャリブレーションによる影響は異なると考えられる. そこで, 筐体 GND を用いる場合には感圧センサの初期抵抗値をキャリブレーションの特性を考慮し決定する必要がある.

3.2.1 オートキャリブレーションの調査

本調査は前述の調査と同様の屋内環境およびタッチサーフェスを AC アダプタへ接続した状態にて実施した. 図 5 に示す可変抵抗器によりタッチ点から筐体までの抵抗値を調整可能な実験器具を用意し,

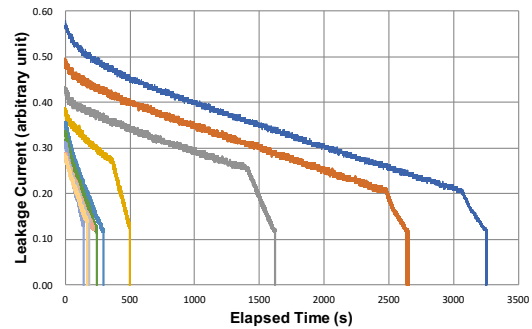


図 6. 抵抗値毎の時間経過による流出電流値変化。

スイッチを OFF にした状態で, Z 軸方向へ導電性を持つ両面テープ (3M, 9703) によりタッチサーフェス右辺中央部へ, 縁とタッチサーフェス上の電極は 5mm の間隔を空けて取付けた. 次に, スwitchを ON にし実験器具により発生するタッチ入力消失するまでの流出電流値を 30Hz のサンプリング周波数で記録した. キャリブレーションによるタッチ入力消失後に, 実験器具の抵抗値を 0kΩ まで減少させる操作を行い, 次に 200kΩ まで増加させる操作を行った. 以上の手順を, 実験器具の抵抗値を 10kΩ から 190kΩ まで 20kΩ 刻みで調整し計 10 回の計測を行った. キャリブレーションをリセットすることを目的として, 20kΩ 刻みの抵抗値調整の際には実験器具をタッチサーフェスから取り外し, 3 分間タッチサーフェスを操作しない時間を設けた.

3.2.2 結果と考察

抵抗値毎の時間経過に対する流出電流値の計測結果を図 6 に示す. いずれの抵抗値においても, 時間経過とともに計測される流出電流値は減少しある時点でタッチ入力 (以下, 流出電流が計測されている状態を“タッチ入力”と表記) が消失した. なお, 電流値の減少は OS の内部的な補正の結果であり, 実験器具の抵抗値が変化し, 実際に電流値が減少しているわけではない. 110kΩ 以上の場合タッチ入力は発生するものの, OS によるタッチ判定はなされなかった. タッチ入力の消失に要する時間については 130kΩ–150kΩ 間を除き, 初期抵抗値が小さいほど長くなる傾向にあった. タッチ消失後に抵抗値を増減する操作を行なったところ, 抵抗値を減少させた際には, 初期抵抗値が 50–190kΩ の場合, 再度タッチ入力が発生した. 初期抵抗値が 10–30kΩ の場合はタッチ入力は発生しなかった. 一方で, 抵抗値を増加させた際にはいずれの場合においてもタッチ入力は消失したままであった. すなわち, 設置開始時と比較し流出電流値が増加すれば再度タッチ入力は検出されるものの, 初期抵抗値が小さすぎる ($\leq 30k\Omega$) と消失状態のままであった. タッチ入力の最長継続時間は 54 分程度であった (10kΩ). また, いずれの初期抵抗値においても一度機器を取り外し, 再度取り付けた場合にはタッチ入力検出された.

以上より初期抵抗値の選択について検討する. キャリブレーション後に再度検出が不可となる 30kΩ 以

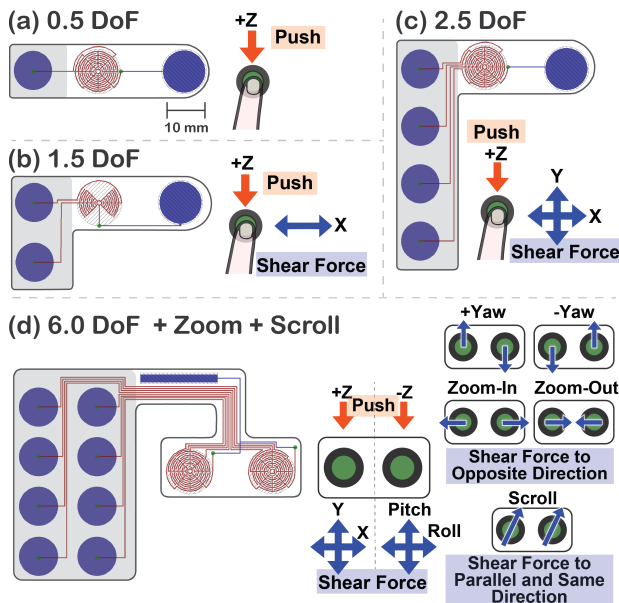


図 7. 作成した基板の電極パターン。赤は表面の、青は裏面の電極および配線を、緑は表裏の導通点を、灰色はタッチサーフェス上へ設置する領域を示す。

下の抵抗値は適していない。30k Ω より大きい抵抗値については、抵抗値の変動（低下）によりタッチ消失から復帰し、再度の検出が可能であるため初期抵抗値として利用可能である。この場合、0k Ω から初期抵抗値（初期抵抗値がタッチサーフェスにより検出可能な抵抗値を上回る場合はその上限値）までが入力に利用可能な抵抗値範囲となる。

4 Ohmic-Sticker

以下に Ohmic-Sticker の構造および、各電極構造に対応する操作方法について述べる。

4.1 基本構造

前節での検討に基づき、基本設計に際して以下の点に考慮した。

- 人体の筐体接触によるノイズが発生しない筐体 GND を用いる
- タッチ入力消失から復帰可能な抵抗値以上の初期抵抗値を採用する

Ohmic-Sticker の基本構造を図 1 に示す。Ohmic-Sticker のセンサ及び電極構造は MicroNav 360 (Interlink Electronics)¹ を参考に作成した。二層のプリント基板（厚み 0.6mm）に、円環状両面テープ（直径 14mm、厚み 0.16mm、圧力調整用間隙有）、FSR フィルム²（直径 14mm）およびゴム製のキャップ（直径 8mm）を重ねた構造を有している。キャップは接着剤によって FSR フィルム上に接着した。基板には、タッチサーフェス上へ設置する電極（直径 10mm）、楕形電極（直径 10mm）および筐体 GND に接続するための電極（直径 11mm）が配置されている。FSR フィルムは炭素粉の塗布面を楕形電極

に対向させ、円環状両面テープの厚みによる僅かなギャップを介し取り付けられている。フィルムの上から加圧することで、加えた力に応じフィルムと楕形電極の接触面積が変化する。これにより楕形電極間の抵抗値が変化し、圧力センサとして機能する。タッチサーフェス上へ両面テープにより本入力機器を取付けることで、感圧センサの抵抗値変化を流出電流値の変化としてアプリケーション側で検出し、感圧式ボタンやトラックポイント等の機能を実現する。

4.2 電極パターンおよび対応する入力操作

図 7 に 0.5 DoF から 6.0 DoF までの入力操作を可能とする Ohmic-Sticker の電極パターンを示す。なお、ある軸において基準点から見て一方向のみの入力を .5 DoF と表記する。楕形電極のパターンを工夫し、タッチサーフェス上の各電極における抵抗値変化を個別に取得することで、単純な押下 (a) に加え (b, c, d) に示す様々な入力操作を実現する。

(a) **0.5 DoF** パターンは、タッチサーフェス上に設置する電極を一つ有し、楕形電極を通じて筐体へと接続される。アクチュエータ上での指の押下操作による感圧センサの抵抗値変化を利用し、0.5 DoF の押し込みボタンを実現する。

(b) **1.5 DoF** パターンは、タッチサーフェス上に設置する電極を二つ有し、それぞれ左右に二分割された楕形電極を通じて筐体へと接続される。アクチュエータ上での指の左右へのずらし操作による感圧センサ左右部の抵抗値変化を利用し、1.0 DoF のボタンを実現する。また、アクチュエータ押下時には 2 個のタッチサーフェス上の電極が反応する。これにより 0.5 DoF の押し込みボタンの機能を併せ持つ 1.5 DoF の入力が可能となる。

(c) **2.5 DoF** パターンは、タッチサーフェス上に設置する電極を四つ有し、それぞれ上下左右に四分割された楕形電極を通じて筐体へと接続される。アクチュエータ上での指の上下左右へのずらし操作により、感圧センサ上下左右部での抵抗値が変化する。斜め方向へのずらし操作時には 2 つのタッチサーフェス上の電極が反応するため、2 電極における流出電流値により方向ベクトルを算出し、連続的に 2.0 DoF の操作を実現する。また、アクチュエータ押下時には複数（3-4 個）のタッチサーフェス上の電極が反応する。これにより 0.5 DoF の押し込みボタンの機能を併せ持つ 2.5 DoF の入力が可能となる。これは、従来のスティック型ポインティングデバイスに相当する操作を提供する。

(d) **6.0 DoF** パターンは、タッチサーフェス上に設置する電極を八つ、楕形電極を二つ有する。タッチサーフェス上に設置する電極の内、左側の列の四電極は右側の、右側の列の四電極は左側の、上下左右に四分割された楕形電極を通じて筐体へと接続される。左側のアクチュエータに対応する操作は (c) と同様である。右側のアクチュエータに対して

¹ <https://www.interlinkelectronics.com/micronav-360>

² プラスチックフィルムの片面に炭素粉が塗布されたものを使用。フィルム自体の可変抵抗性は乏しい。

は (c) と同様の操作にて三軸方向の回転系のうち pitch と roll を割り当て、押し込みは-z を割り当てる。また、yaw については左右アクチュエータの上下反対方向へのずらし操作を割り当てることで三次元座標系および回転系の 6 DoF 操作を実現する。さらに、両アクチュエータの同時操作によりズームおよびスクロール機能を実現可能である。

4.3 初期抵抗値

各電極から GND までの初期抵抗値について、アクチュエータに加圧していない際の流出電流値を 3 秒間ずつ 3 回計測した平均値を、前述の調査結果と比較した。図 7 (a) のようにタッチサーフェス上の電極と円形の楕形電極を通じ GND へ接続された経路は $70\text{k}\Omega$ 程度の、図 7 (b) 等のように $1/4$ の扇形の楕形電極を通じ GND へ接続された経路は $190\text{k}\Omega$ 以上のインピーダンスに相当することを確認した。

5 アプリケーション例

グラフィックス編集ソフトウェア Illustrator の操作を拡張するアプリケーションを実装した。これは、利き手により通常通りタッチサーフェスによるカーソル操作を行いつつ、非利き手で 0.5 DoF および 1.5 DoF の Ohmic-Sticker を補助的に操作することを想定している。具体的には、タッチサーフェス操作により選択したオブジェクトの、透明度や線幅変更を行う。この際、0.5 DoF の押し込み操作においてはプレビュー操作を割り当てる。すなわち、押し込みによってパラメータを一定方向へ変化させるが、指をアクチュエータから離せば操作前の状態へ戻る。一方、1.5 DoF の Ohmic-Sticker の左右への指ずらしにおいては、実際に指を離れた瞬間に選択されたパラメータ値に変更される。

2.5 DoF の Ohmic-Sticker による入力をカーソルの相対座標系による移動へ、タッチサーフェスによる入力を絶対座標もしくは従来の相対座標による移動へと割り当て適宜切り替える、デスクトップ常駐のウィジェットを実装した。これにより、タスクに応じて適した座標系により入力を実現する。

商用の 3D CAD (Tinkercad, Autodesk) を操作するためのウィジェットおよび、三次元 VR 空間のウォークスルーアプリケーションを実装した。先述した三軸座標・回転操作を 6.0 DoF の Ohmic-Sticker により行うことができる。

6 関連研究

スマートフォン等を含む静電容量方式タッチ入力機器の入力拡張を目的として、流出電流値を用いた入力手法が提案されている。流出電流値はタッチ点から GND に至る経路のインピーダンスによって制御可能であることに着目し、Ohmic-Touch [3] は抵抗成分を、Flexibles [7] は容量成分の変化を利用している。提案手法は [3, 7] とは異なり、筐体 GND の利用により流出電流値の安定性を高めた。

Voelker らは、電気的に接続した 2 点以上のタッチ点を持つオブジェクトにおいて、1 つのタッチ点が

走査されている際に他のタッチ点が接地となり、人がタッチし続ける状態と等価の状態を維持することを示した [10]。しかし、タッチ入力機器のキャリブレーションにより、タッチ入力に限られた時間しか継続できないという課題がある。これは筐体 GND を用いたオブジェクト [14] においても同様である。Voelker らはさらに、[10] の構造へアクティブなセンサを追加することで、オートキャリブレーション後も認識可能なオブジェクト [9] を提案した。Ohmic-Sticker は初期抵抗値を適切に設定することで、キャリブレーション後も任意のタイミングでタッチ入力可能な機構を実現する。

導電性の素材を用いてタッチ領域をタッチサーフェス外へと拡張するアタッチメント [13, 8, 4] やオブジェクト [2] が提案されている。[2, 4] はオブジェクトやアタッチメント上のタッチ入力箇所における指の移動により、[8] はスマートフォンを挟むように筐体表裏に設置した磁石を指で動かすことでタッチ発生位置を操作する Motion-to-Motion 方式の入力を可能とする。Ohmic-Sticker はパッシブな部品のみで構成され、タッチサーフェス上で Force-to-Motion 方式の入力を実現する。また、RubberEdge [1] はタッチサーフェスの縁へ取り付け付けた部品へ力をかけ動かすことでカーソル速度の変更を行う。製品化されている例ではジョイスティック型のアタッチメント (MS-JOYDISK, AREA) がある。これは、ジョイスティックを動かすことで導電部がタッチサーフェスに接触しつつスライドする機構となっている。Ohmic-Sticker は TrackPoint と同様にデバイス自体の動きを伴わずに Force-to-Motion を実現する。

ポインティングスティック型の入力機構としては、TrackPoint [6] が挙げられる。これは、スティック表面に設置された複数の歪ゲージによって、スティックに印加された力の大きさと方向を検出するものである。この他に、スティック基部に静電容量式の多軸力センサを設置したものや、スティック基部周囲のプリント基板の歪を計測するものがあるが、いずれの機構も垂直方向に厚みのあるスティックを必要とするため薄型化が難しいと言える。FSR と楕形電極を用いたセンシング機構は、タッチスイッチとして多く用いられている。電極数を増やすことで、スライダやポインティングデバイスを構成することも可能である³。このような入力機構を携帯型機器へ搭載した例 [12] や、また、ウェアラブル機器上に設置した柔軟な素材のアクチュエータ上にて Force-to-Motion 方式の入力を提供する例 [11] もある。

7 議論および今後の課題

本入力機器は、タッチサーフェス上に貼り付けるため、本来のタッチサーフェスとしての機能を使用可能な領域を狭めてしまう。タッチサーフェス上の電極間隔を詰めることで省面積化が可能であるが、

³ <https://www.interlinkelectronics.com>

過度に接近させると、反応する複数の電極同士が一つのタッチ点として認識されてしまう。しかし、同時にタッチ検出が発生しない組み合わせの電極を隣接させ、その間隔を狭めることは検討の余地がある。

本論文での調査には金属製筐体に組み込まれたタッチサーフェスを用いた。一方で、筐体がプラスチック製などのタッチサーフェスにおいても、多くは電磁波ノイズの対策などを目的とし筐体内部はシールドされているため、GND 電極のサイズを大きくすることで筐体 GND の機構を適用可能である⁴。

多くのトラックポイントはキーボードの G・H キーの中央へ配置されており、ホームポジションから手指を動かさずに操作可能であるという利点があるが、Ohmic-Sticker を該当位置へ設置することは困難である。一方で、操作時に指とタッチサーフェスが干渉しないよう基板を厚くすることで、感圧センサ部をスペースキー直下に配置することは検討できる。

本論文では、タッチサーフェスに貼り付けるだけの簡単な作業で取り付け可能な Force-to-Motion 方式の入力機器を提案し、その設計要件を示した。先行研究で課題とされていた、GND 条件変化による流出電流値への影響の調査を行い、筐体 GND 機構の有効性を示した。さらに、タッチサーフェスのキャリブレーションについて流出電流値の観点から調査結果を示したことは、本入力機構の設計要件の検討にとどまらず、静電容量方式タッチ入力機器を用いたインタフェース作成の参考となることが期待される。

本調査において OS によるタッチ発生閾値に達しない流出電流値であっても補正されたことから、人体 GND の機構においても、長時間にわたりタッチサーフェスへ取り付けることが想定される場合はキャリブレーションについて考慮すべきであると言える。なぜなら、[4, 2] のような人体 GND を意図して設計した機構において、導電部の形状・インピーダンス値・接触面積および取付位置によっては、導電部自体が筐体や周囲の物体とカップリングし人体非接触であっても微弱な流出電流が発生する。こうした状況下でキャリブレーションが行われた場合、キャリブレーション後に入力感度が低下あるいは入力検出不可となるなどの影響が懸念されるためである。

現在、2.5 DoF の Ohmic-Sticker において、印加圧力-カーソル移動速度間のマッピングは [6] を参考に実装しているが、検出可能な印加圧力の範囲が異なる等の理由により、本入力機器用へ最適化することを検討している。今後はユーザ実験によりポインティングデバイスとしての性能評価を行う。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 17J02834 の助成を受けたものである。

⁴ Vaio Ultrabook SVT13139CJS (Windows8) を用いて確認した。流出電流値と相関のある値は SynDeviceCtrl reference, ZRaw プロパティにより取得した。

参考文献

- [1] G. Casiez, D. Vogel, Q. Pan, and C. Chaillou. RubberEdge: Reducing Clutching by Combining Position and Rate Control with Elastic Feedback. In *Proc. of UIST '07*, pp. 129–138.
- [2] F. Heller, S. Voelker, C. Wacharamanotham, and J. Borchers. Transporters: Vision Touch Transitive Widgets for Capacitive Screens. In *Proc. of CHI EA '15*, pp. 1603–1608, 2015.
- [3] K. Ikematsu and I. Siio. Ohmic-Touch: Extending Touch Interaction by Indirect Touch Through Resistive Objects. In *Proc. of CHI '18*, pp. 521:1–521:8, 2018.
- [4] K. Kato and H. Miyashita. ExtensionSticker: A Proposal for a Striped Pattern Sticker to Extend Touch Interfaces and Its Assessment. In *Proc. of CHI '15*, pp. 1851–1854.
- [5] A. K. Mithal and S. A. Douglas. Differences in Movement Microstructure of the Mouse and the Finger-controlled Isometric Joystick. In *Proc. of CHI '96*, pp. 300–307.
- [6] J. D. Rutledge and T. Selker. Force-to-motion Functions for Pointing. In *Proc. of INTERACT '90*, INTERACT '90, pp. 701–706, 1990.
- [7] M. Schmitz, J. Steimle, J. Huber, N. Dezfali, and M. Mühlhäuser. Flexibles: Deformation-Aware 3D-Printed Tangibles for Capacitive Touchscreens. In *Proc. of CHI '17*, pp. 1001–1014.
- [8] R. Takada, T. Isomoto, W. Yamada, H. Manabe, and B. Shizuki. ExtensionClip: Touch Point Transfer Device Linking Both Sides of a Smartphone for Mobile VR Environments. In *Proc. of CHI EA '18*, pp. 607:1–607:6.
- [9] S. Voelker, C. Cherek, J. Thar, T. Karrer, C. Thoresen, K. I. ård, and J. Borchers. PERCs: Persistently Trackable Tangibles on Capacitive Multi-Touch Displays. In *Proc. of UIST '15*, pp. 351–356, 2015.
- [10] S. Voelker, K. Nakajima, C. Thoresen, Y. Itoh, K. I. ård, and J. Borchers. PUCs: Detecting Transparent, Passive Untouched Capacitive Widgets on Unmodified Multi-touch Displays. In *Proc. of ITS '13*, pp. 101–104, 2013.
- [11] M. Weigel and J. Steimle. DeformWear: Deformation Input on Tiny Wearable Devices. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, 1(2):28:1–28:23, June 2017.
- [12] J. O. Wobbrock, D. H. Chau, and B. A. Myers. An Alternative to Push, Press, and Tap-tap-tap: Gesturing on an Isometric Joystick for Mobile Phone Text Entry. In *Proc. of CHI '07*, pp. 667–676.
- [13] N.-H. Yu, S.-S. Tsai, I.-C. Hsiao, D.-J. Tsai, M.-H. Lee, M. Y. Chen, and Y.-P. Hung. Clip-on Gadgets: Expanding Multi-touch Interaction Area with Unpowered Tactile Controls. In *Proc. of UIST '11*, pp. 367–372, 2011.
- [14] 池松 香, 尾崎 保乃花, 椎尾 一郎. Ohmic-Extension: 筐体グラウンドへの接続を利用した静電容量方式タッチサーフェス拡張ウィジェット. 情報処理学会インタラクシオン 2018, pp. 998–1003.