

# ゲルのせん断変形を用いたタッチパネルにおける水平方向力入力

中井優理子<sup>†1</sup> 工藤慎也<sup>†1</sup> 岡崎龍太<sup>†1</sup> 梶本裕之<sup>†1†2</sup> 栗林英範<sup>†3</sup>

現在多くのタッチパネルでは入力検出に静電容量方式が用いられており、指の座標や接触面積の計測が可能である一方で、指の力の測定は接触面積による垂直方向のみ実現されている。そこで本研究ではゲル層を設ける簡易な手法で水平方向の力を測定し、タッチパネルへの水平方向の力入力を実現する。具体的にはゲルの水平方向のバネ定数と指の座標変化の情報から、水平方向の力を得る。本研究では提案手法により実現される水平方向の力入力を活用し、非電源かつ簡易な実装で画面全体のジョイスティック化や画面内のやわらかい物体のよりリアルな造形などへの応用を目的とする。

## Tangential Force Input for Touch Panel Using Shear Deformation of Gel Layer

YURIKO NAKAI<sup>†1</sup> SHINYA KUDO<sup>†1</sup> RYUTA OKAZAKI<sup>†1</sup>  
HIROYUKI KAJIMOTO<sup>†1†2</sup> HIDENORI KURIBAYASHI<sup>†3</sup>

Many capacitive touch panels detect the user's finger position and contact area, and it can estimate vertical force by the change of the contact area. However, they do not have the ability of detecting and measuring tangential force. This research aims to enable tangential force detection using gel layer. The tangential force is estimated from the gel spring ratio and user's finger displacement. By this tangential force input method, the whole surface of the tablet becomes joystick, or we can model virtual soft objects in the display by deforming with our fingers.

### 1. はじめに

現在普及している多くのタッチパネルでは入力検出に静電容量方式が用いられており、入力時の指の座標の検出や接触面積の測定が可能である。しかし現在のところ、タッチパネルが測定できる力は垂直方向成分のみである。

そこで本研究では現行のタッチパネルへの水平力入力を、ゲルを用いるだけの非電源かつ簡易な実装で実現する。

### 2. 関連研究

三軸方向の力分布計測はロボットフィンガの高機能化を中心として長い歴史を持つが 1), ここではタッチパネル等のインタフェースとしての応用を念頭に置いた研究を示す。平面に加わる力の位置と方向は、一点であればその平面に取り付けた 6 軸力センサによって算出することができる。下条らはこの方法を用い、視覚障がい者用の点図ディスプレイを一種の入力デバイスとしている 2)。一方この方法では多数の点を同時に押す状況には対応できないという課題がある。Vlack らの GelForce は透明な弾性体に埋め込まれた 2 色のマーカ群の水平変位をカメラで計測し、力ベクトル分布の逆算を行っている 3)。渡部らは同手法を利用し携帯型タッチパネル端末入力デバイスを提案した 4)。箕らの ForceTile はマーカ群が埋め込まれた弾性体をテーブル

トップインタフェース上で利用する方法を提案している 5)。坂本らの WrinkleSurface はタッチパネルに貼りつけた柔らかい透明なゲルシートの皺の形状からプッシュ、スラスト、ツイストといった力入力を実現している 6)。

以上のように従来研究において三軸方向の力分布計測をタッチパネル上のインタフェースとして実現する提案はカメラを必要とする場合が多い。これに対して本研究ではマーカやカメラを用いることなく、現行のタッチパネルの機能のみを用いた手法を提案する。

### 3. 提案手法

現在多く利用されている静電容量式のタッチパネルは指の接触位置および接触面積を算出することが出来る。現行の垂直方向の力検出は接触面積の変化を利用している。

一方、指の水平方向の力を測定しようとするとき次のような問題が生じる。まず通常のタッチパネル表面は摩擦が低いため指が滑る状況にあり、そもそも水平方向に力を加える事が難しい。指が滑らないように表面に粘着性を持たせることも考えられるが、逆に滑らせる動作が難しくなり、また粘着した指の水平方向の力計測を現在のタッチパネルの機能で行うには接触位置の移動を見ることになるが、微小な移動となることが予想される。これに対して接触させた指を回転させる入力手法も提案されているが 7)、本研究が目指す水平方向の力検出にはならない。タッチパネルで指の同定のために指紋を検出する提案もあり、これを用いれば滑りと力の区別も可能と考えられるが、非常に解像度の高いセンシングが必要となる 8)。

<sup>†1</sup> 電気通信大学  
The University of Electro Communication  
<sup>†2</sup> 科学技術振興機構 さきがけ  
Japan Science and Technology Agency  
<sup>†3</sup> 株式会社ニコン 映像カンパニー  
Imaging Company, Nikon Corporation

### 3.1 水平力センシングのための構造

以上の考察に基づいた本研究で提案するタッチパネルの全体構造を図 1 に示す。ハードコート層、ソフトゲル層の順に積層された構造をとる。ハードコート層は厚さ 0.15mm 程度のポリ塩化ビニルシート (Digio2, ナカバヤシ製) であり、表面保護、粘着防止の役割を果たすと共に表面からの力入力を下のソフトゲル層に伝えるだけの柔軟性を保持している。ソフトゲル層は厚さ 1mm 程度のシリコーン樹脂によるゲル (KE-1052 (A/B), 信越シリコーン製) であり、ハードコート層からの力入力により変形を受ける。

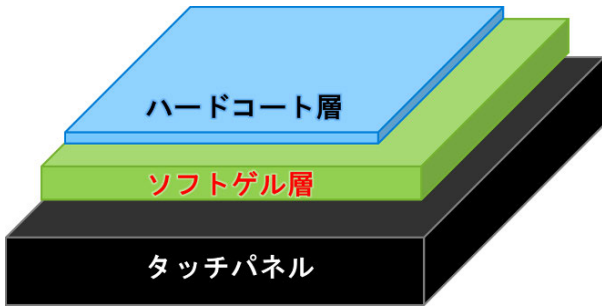


図 1 提案するタッチパネルの全体構造

Figure 1 Structure of the touch panel with tangential force sensing

ソフトゲル層の非圧縮性の特性により、ソフトゲル層はその柔軟性にもかかわらず上下方向への変位を大きく生じることにはない (ポアソン比 0.5 に近い非圧縮性の素材であるため圧縮性の変形を生じにくい)。さらに上にハードコート層を設けていることで、WrinkleSurface 6) で利用されていたような表面の「しわ」が生じにくく、変形の逃げ場のない、上下の大変位を生じにくい状況となっている。

一方で水平方向の変位に関しては素材の非圧縮性は障害とならない。このため我々の試作では、通常の指の力で水平方向に数 mm ないし 1cm 程度の大変位を生じることが明らかとなった (図 2)。

つまり本構造は、垂直方向には比較的固く、水平方向には大変位を許す弾性の異方性を強く持っている。ここでタッチパネルの接触位置検出機能を用いると、水平方向の変位はフックの法則 ( $F = kx$ ) により水平方向の力を意味している。

本システムでは水平方向に滑らせる操作も可能である。滑りの有無は垂直方向の力検出 (これは既存の接触面積に基づく手法で算出する) に基づいて判断すれば良い。

なおソフトゲル層とタッチパネルの間にさらにハードコート層を挟むことも考えられる。これによってゲルとタッチパネルの粘着を防ぎ、二枚のハードコート層と一枚のソフトゲル層から構成されるシートをユーザの好みに合わせて脱着できる。

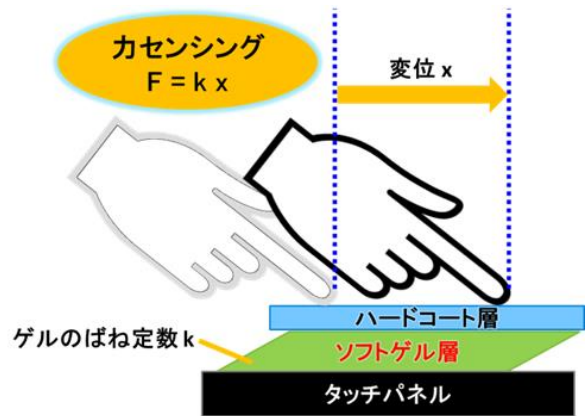


図 2 カセンシングの様子

Figure 2 System for tangential force sensing

実際に作成したシートでの変位の様子を図 3 に示す。

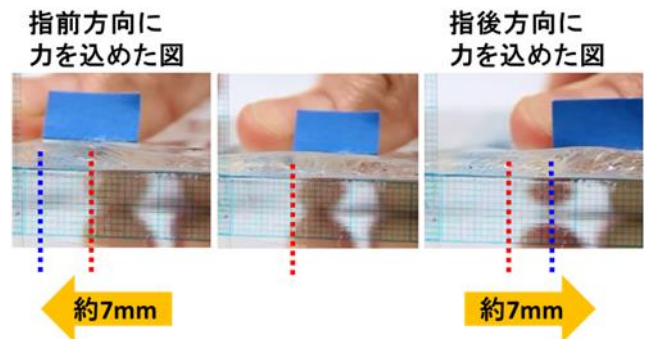


図 3 実際に作成したシートでの変位の様子

Figure 3 User's finger displacement on the sheet

## 4. 評価

提案した水平方向の力ベクトルの算出手法の評価を行った。静電容量式のタッチパネルを備えたスマートフォン (GT-I9300, SAMSUNG 製) を三軸力センサ (DSA-03A, テック技販製, (以下力センサと表記)) に載せ、実際に指で力入力を行った (図 4)。指以外を用いて正確な力を加える事も考えられたが、本手法はタッチパネルの位置検出機能を利用することが特徴の一つであるため、あえて実際の指を用いた。



図 4 力センサの利用

Figure 4 Use of a 3 DoF force sensor

#### 4.1 実験：力の水平方向計測精度検証

押し込み動作を行っていることを前提として、水平方向の力計測の精度を検証した。研究室内の3名（男性3名、21歳～23歳、平均22歳）をユーザとして実験を行った。ユーザが押しこみ動作をしている際の水平方向への座標変化をタッチパネルで取得すると同時に力センサで力の水平方向成分を取得した。今回はユーザには「滑らない範囲でなるべく水平方向の力成分が強くなる」ように力を加えるよう教示した。ユーザには図5のようにコンソール画面に出力される指の力（単位：N, g）を確認しながら100gから500gまで徐々に強く押しこんでいく試行を前後左右四方向に行うよう指示し、100g毎の指の変位量を記録した。また接触位置が力の計測値に影響を与えることを防ぐためユーザにはタッチパネルの画面に表示させた黄色い円を起点とし力を加えさせた（図6）。力の条件を100gから500gの範囲とし、方向4条件、繰り返し回数3回として、1ユーザあたり12回の実験を行った。



図5 実験の様子

Figure 5 Experiment configuration



図6 実験時のタッチパネル画面

Figure 6 Screen capture of the touch panel in the experiment

実験結果を図7から図10に示す。図7は前方、図8は後方、図9は右方、図10は左方に力を加えた場合の結果である。3名の被験者ごとの平均値を示している。この結果により今回のセットアップでは水平方向の力とピクセルの移動量には直線的な関係が有ることがわかった。

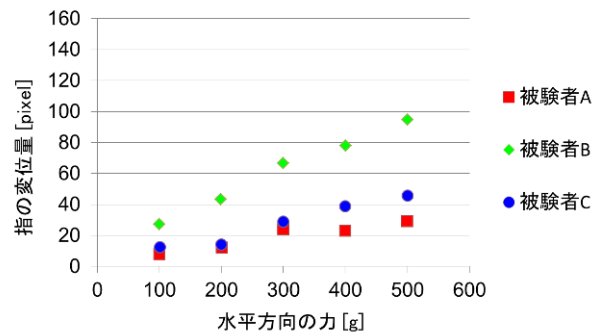


図7 3軸力センサによる水平前方向の力データと指の変位量の比較

Figure 7 Relationship between the tangential force (front direction) and finger displacement

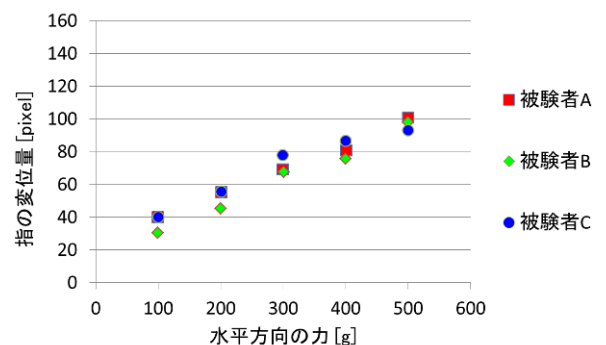


図8 3軸力センサによる水平後ろ方向の力データと指の変位量の比較

Figure 8 Relationship between the tangential force (back direction) and finger displacement

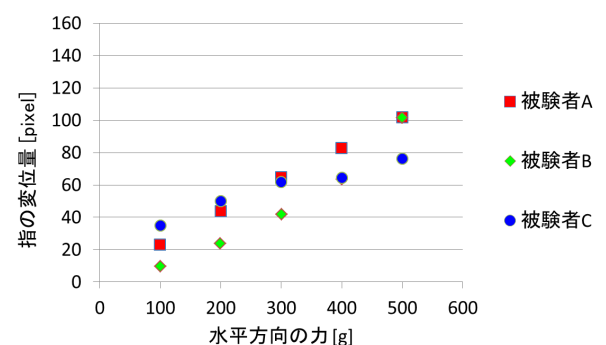


図9 3軸力センサによる水平右方向の力データと指の変位量の比較

Figure 9 Relationship between the tangential force (right direction) and finger displacement

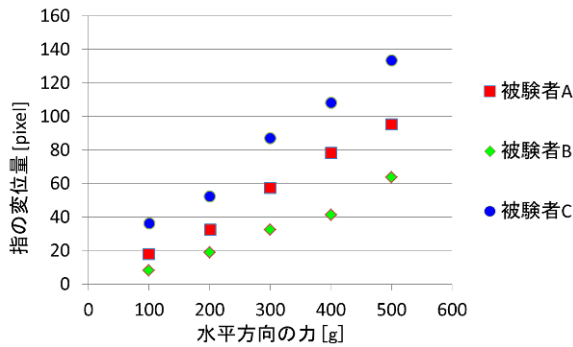


図 10 3 軸力センサによる水平左方向の力データと指の変位量の比較

Figure 10 Relationship between the tangential force (left direction) and finger displacement

## 5. アプリケーション

これまでに実現した水平方向の力入力を活かしたアプリケーションを紹介する。

### 5.1 Gel Drive

ハンドル操作を行うアプリケーションである。本提案手法では画面全体にゲルを貼って実装しているため、画面の任意の位置にハンドルを設けることができる。

指の座標の情報のみを用いてハンドル操作をする場合と比較し、本アプリケーションでは指の水平方向の力の情報を使用できるため、ある程度力を込めた場合にのみハンドルが動く等の映像提示によりハンドルの重たさを表現することも可能である。またゲルの復元力によりユーザは意識的に指の位置を確認することなく指をホームポジションに戻すことができる (図 11)。

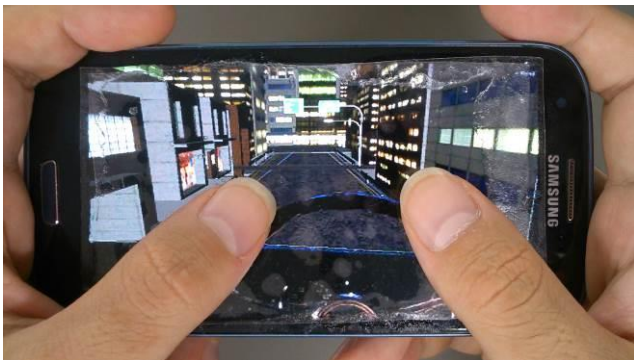


図 11 Gel Drive を使用している様子

Figure 11 A user playing GelDrive

### 5.2 Clay Fun

水平方向の力入力をを用いることで、画面内のやわらかい物体に力調整をしながらの造形を実現するアプリケーションである。今回は画面内の粘土を見本の形状に近づけるゲームを作成した (図 12)。

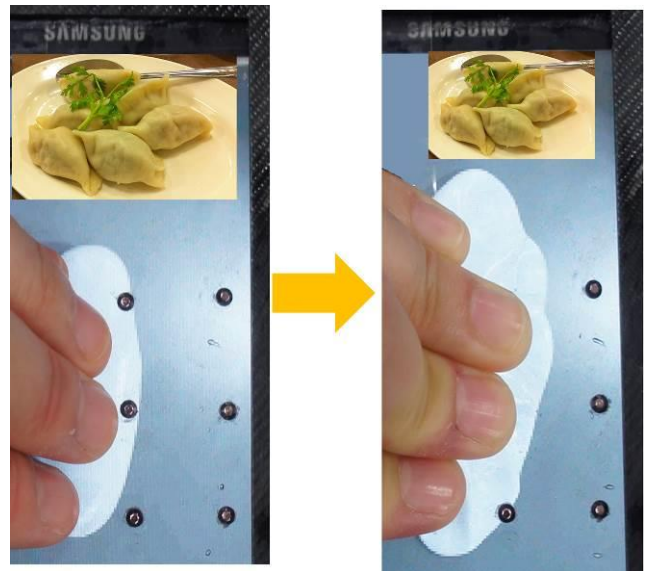


図 12 Clay Fun を使用している様子

Figure 12 A user playing the Clayfun

## 6. おわりに

本研究ではゲルのみの非電源かつ簡易な実装でタッチパネルへの水平方向の力入力を実現する手法を提案し、力入力を活かしたアプリケーションを開発した。今後は本研究で提案した手法をより活かすことのできるアプリケーションを開発するとともに、ハードウェアの最適化を図る。

## 参考文献

- 1) M. Ohka, H. Kobayashi, J. Takata, Y. Mitsuya.: Sensing Precision of an Optical Three-axis Tactile Sensor for a Robotic Finger, ROMAN 2006-The 15th IEEE Inter. Sympo. On Robot and Human Interactive Communication, pp. 214-219 (2006).
- 2) M. Shimojo, M. Shinohara, M. Tanii, Y. Shimizu.: Computers Helping People with Special Needs Lecture Notes in Computer Science, Vol.3118, pp 753-760 (2004).
- 3) K. Vlack, T. Mizota, N. Kawakami, K. Kamiyama, H. Kajimoto, S. Tachi.: GelForce: A Vision-based Traction Field Computer Interface, CHI EA '05 CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 1154-1155 (2005)
- 4) 渡部 陽一, 佐藤 克成, 牧野 泰才, 前野 隆司: 光学式力測定手法を用いた携帯型タッチパネル端末用 入力デバイスの提案, 情報処理学会シンポジウム論文集, pp.521-526 (2012).
- 5) Y. Kakehi, J. Kensei J, K. Sato, K. Minamizawa.: ForceTile: Tabletop Tangible Interface with Vision-based Force Distribution Sensing, SIGGRAPH '08 ACM SIGGRAPH 2008 new tech demos, p. 17:1 (2008).
- 6) 坂本 侑一郎, 吉川 拓人, 大江 龍人, 志築 文太郎, 福本 雅朗, 田中 二郎: WrinkleSurface: しわを作って入力できる柔らかいマルチタッチインタフェース, the 19th Workshop on Interactive Systems and Software, WISS 2011, pp. 7-12 (2011).
- 7) A. Roudaut, E. Lecolinet, Y. Guiard: MicroRolls: Expanding Touch-Screen Input Vocabulary by Distinguishing Rolls vs. Slides of the Thumb, CHI '09 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.927-936 (2009).
- 8) C. Holz, P. Baudisch.: Fiberio: a touchscreen that senses fingerprints, the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp. 41-50 (2013).