「エンタテインメントコンピューティングシンポジウム（EC2015）」2015 年 9 月

弾性素材のせん断変形を用いた タッチパネルへの水平方向力入力：入力モードの判別

中井優理子[†1]　工藤慎也[†1]　岡崎龍太[†1†2]　梶本裕之[†1]

現在多くのタッチパネルは静電容量方式で入力の検出をしており，指の座標検出や接触面積計測が可能である．一方，指の力に関しては垂直方向成分のみ接触面積の変化による推定が実現されている．そこで我々は弾性素材を使用し，非電源かつ簡易に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てきた．今回は指の接触面積情報から力入力とスワイプの判別をすることで，力入力とスワイプの両方の入力を可能な新たなアプリケーションを開発した．

Tangential Force Input of Touch Panel Using Shear Force Deformation of Elastic Material: Discrimination of Force and Swipe Input

YURIKO NAKAI[†1]　SHINYA KUDO[†1]
RYUTA OKAZAKI[†1†2]　HIROYUKI KAJIMOTO[†1]

Many capacitive touch panels detect the position and contact area of the user finger, and can estimate the vertical force from the change in the contact area. However, they cannot estimate the tangential force. We have proposed methods of tangential force input for touch panels using elastic materials. In this report, we developed a new method to distinguish force input and swipe input. We also proposed some applications that utilize the two input modes.

1.　はじめに

現在普及しているスマートフォンやタブレット型コンピュータなど，タッチパネルを搭載するモバイル端末では入力の検出に主に静電容量方式が採用されている．この方式では指の座標検出や複数点の指の検出，および接触面積測定が可能であるが，指の力に関しては現在のところ接触面積測定を利用した垂直方向成分のみの推定しか実現されていない．

そこで我々はこれまで透明な弾性素材をタッチパネル表面に用い，非電源かつ簡易に指の力の水平方向成分の推定を実現する手法を提案してきた[1][2][3][4]．提案手法では透明弾性層の水平方向のバネ定数と指座標変化の情報から力の水平方向成分を推定していたが，水平方向の力入力と通常の指を滑らせる操作（スワイプ）を判別する手法については検討していなかった．

本報告では指の接触面積情報を用いた力入力とスワイプの判別手法と，この区別によって可能となる新たなアプリケーションについて議論する．

2.　関連研究

三軸方向の力分布計測はロボティクスの分野を中心として長い歴史を持つが[5]，ここではタッチパネル等のサーフェス型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[6]．

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[7]．佐藤らは同手法を利用し，携帯型タッチパネル端末用入力デバイスを提案した[8]．筧らの 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[9]．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しわ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[10]．以上のように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にはカメラを用いた実装例が多く，ポータブルデバイスへの採用は難しいと考えられる．

カメラ以外を用いた実装例として，Harrison らはディスプレイとタッチパネルの間にジョイスティックを設けることで水平方向の力の入力が可能なタッチパネルを開発している[11]．しかしこの手法ではマルチタッチへの対応が難しく，また，ジョイスティックを使用する分タッチパネル

[†1] 電気通信大学
The University of Electro-Communications
[†2] 日本学術振興会特別研究員
JSPS Research Fellow

のサイズ（厚み）が大きくなるため，この手法もポータブルデバイスへの採用は難しいと考えられる．

これに対して我々はカメラやジョイスティックを使用することなく，現行のタッチパネルの機能のみを用いた手法を提案してきた．Heo らも現行のタッチパネルの機能のみで取得できる指の接触面積情報と指が移動する速度を利用した簡便な水平方向力入力を提案している[12]．ただしこの手法では前方向に力入力をした際のエラー率が高かった．その原因として，摩擦抵抗の少ないタッチパネル上で水平方向の力入力をするためには指が滑らないように垂直方向にも強い力を込める必要があるため，力入力をした際に指が第一関節を軸として回転し，タッチパネルにより検出される指座標が後方へずれてしまったことが考えられる．我々は水平方向に力を加えた際に指の移動に伴い，容易にせん断変形する柔らかい弾性素材を用いることで指への垂直方向の負荷を減らし，エラー率低減に成功した．

3. 提案手法

本論文では我々の提案手法を用い，水平方向の力入力とスワイプの判別を行う手法を提案する．そこで本章では提案手法の構造の説明の後，判別手法について述べる．

3.1 弾性素材を用いたケース型アタッチメント

我々は既存のタッチパネルの機能の変更や追加をすることなく，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ている[4]．図 1 に基本的な構造を，図 2 に実物の写真を示す．

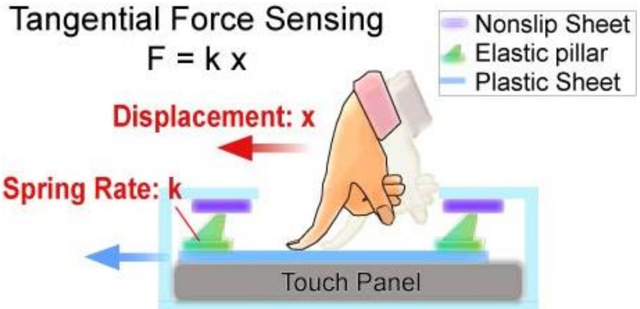

図 1　ウレタンを用いたケース型アタッチメントの構造と入力時の様子

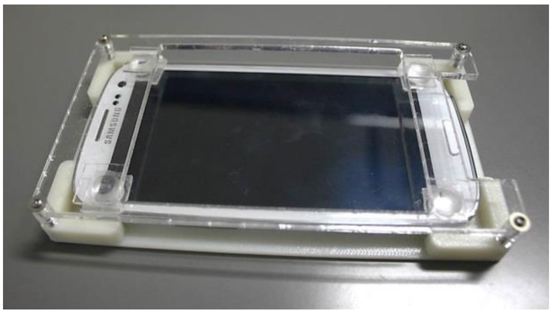

図 2　提案構造の写真

厚さ 6mm のポリウレタン樹脂（クッションパッド 30M（両面テープ入り），エクシールコーポレーション製，C 硬度 30）を貼り付けた 0.2mm のプラスチック板をタッチパネルの上に載せ，タッチパネルの上下から硬い板で圧迫した．ウレタンクッションを圧迫する上板には厚さ 3mm のアクリル板を，下板には厚さ 2mm の ABS 樹脂を使用した．また圧迫する力を一定にするため，タッチパネルの底から上板までの高さを 14.5mm に固定した．上板のウレタンクッションに接触する部分には厚さ 1mm のすべり止めシートを貼りつけた．結果として 6mm のウレタンクッションは垂直に 4.2mm に押しつぶされている状態になった．この状態でプラスチック板の上から水平方向の力入力をすると，ウレタンの上部はすべり止めシートで固定されており，下部はプラスチック板と共に変位するため，ウレタンは図 3 のようにせん断変形する．水平方向の変位はフックの法則（F = k x）により水平方向の力に変換できるため，タッチパネルの接触位置検出機能により力を検出できることを意味している（図 1）．ただしこの段階では，スワイプと力入力との判別はできない．

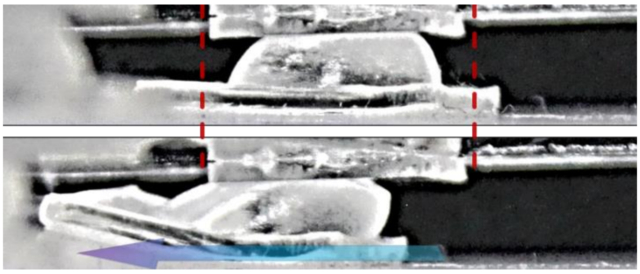

図 3　ウレタンのせん断変形の様子

3.2 力入力とスワイプを判別する提案手法

力入力とスワイプとの違いは，指が滑っているかどうかであると考えられる．言い換えれば摩擦状態の違いであり，静止摩擦状態が力入力，動摩擦状態がスワイプ入力であると考えられる．

静止摩擦と動摩擦の違いは，一般に垂直方向の力と水平方向の力の比率で判別可能である．これを現在の我々のシステムに当てはめて考えると，垂直方向の力は指の接触面積としておおまかに計測可能である．また水平方向の力については，もし滑りを生じていなければ水平方向の指の移動量によって推測可能である．滑りを生じていればこの推測量は実際の水平方向の力よりも小さくなる．つまり指の移動量は，水平方向に働く力がある値「以下」であることを示す指標であると言える．

以上の考察から，（指の接触面積）／（指の水平方向の移動量）の値が大きければ，すなわち垂直方向の力が大きく，水平方向の力が小さければ力入力状態であると判断でき，逆であればスワイプ入力状態であると判断できると考えられる．

判別の手法は次のようになる．水平方向力入力時とスワイプ時の，指の移動量と接触面積の情報を取得する．この２つの情報の２次元プロットに対して回帰分析による判別関数を算出し，その判別関数を用いて力入力とスワイプの判別を行う．今回は Microsoft Excel 2010 の分析ツールを使用し，各ユーザの描く入力方向に対してそれぞれ判別関数を算出した．

4. 検証

4.1 判別関数の作成用データの取得

3.1 節のケース型アタッチメントを用い，水平方向力入力時とスワイプ時の指の移動量と接触面積の情報を取得した．静電容量方式のタッチパネルを備えたスマートフォン（GT-I9300，SAMSUNG 製）に指を載せ，実際に指で入力した．研究室内の 9 名（全員男性，右利き，21～26 歳，平均 23.1 歳）をユーザとして実験を行った．ただしその内 1 名は入力の仕方や入力時の指の特性が他のユーザと著しく異なっていたため, 今回検証するデータから除外した（検証データのユーザの平均年齢は 22.6 歳）．

ユーザには「水平方向の力入力はプラスチック板上で指が滑らないように水平に力を加え，スワイプは指をプラスチック板上で滑らせる」ように指示した．スマートフォンを片手で把持し, 利き手親指をスマートフォン画面に載せ，3 秒間指を安定させた後 1 秒間入力させた. 入力開始から 1 秒間のデータを取得した．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図 4 のように，タッチパネルの画面中央に表示した黄色い円を起点とし力を加えさせた．入力方向は 4 方向で前，後，右，左の順に入力させた．力入力とスワイプを各 5 回ずつ繰り返した．順序効果をなくすため，被験者ごとに力入力とスワイプの順序を入れ替えた．4 方向×2 手法×繰り返し回数 5 回として，1 ユーザあたり 40 回の実験を行った．

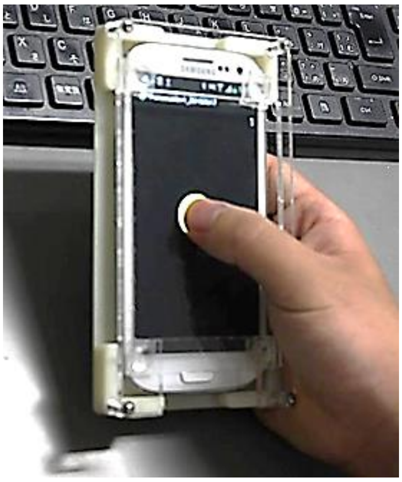

図 4　実験の様子

4.2 判別関数の作成

4.1 節のデータを使用し，各ユーザ・各方向の判別関数を作成した．繰り返し回数は 5 回であったが，ユーザが入力に慣れない最初の 2 回分のデータは除き，後の 3 回のデータを分析に使用した．

指の移動量と接触面積情報を説明変数，入力手法（力入力もしくはスワイプ）を目的変数とし，回帰分析を行い，判別関数を導出した．回帰分析は Microsoft Excel 2010 の分析ツールを使用して行った．目的変数は質的変数（力入力もしくはスワイプ）であり，そのままでは判別関数を導出できないため，それぞれに定数を割り当て，量的変数として扱った．

4.3 判別関数の精度検証用データの取得

前節までの実験とは別の日（4 日後）に，各ユーザに 4.1 節と同様の手順の操作をさせ，同様に力入力とスワイプに関する指の移動量と接触面積のデータを取得した．ただし順序効果をなくすため，各被験者内でスワイプと力入力の順序は入れ替えた．

5. 結果

5.1 各被験者における判別関数の精度

例として，被験者 8 の左方向に入力した場合のデータをグラフ化すると図 5 のようになる．横軸が移動量（pixel），縦軸が接触面積（実際の接触面積／そのデバイスが検出できる接触面積）である．求めた判別関数の y を 0 とすると線形判別式が求まる．線形判別式はグラフ上では黄緑色の直線で，スワイプと力入力を分けている．赤い四角は判別関数作成用力入力のデータ，オレンジの米印が精度検証用力入力のデータ．青い四角が判別関数作成用スワイプのデータ，水色のバツが精度検証用スワイプのデータであり，それぞれ約 180 個のデータが表示されている．

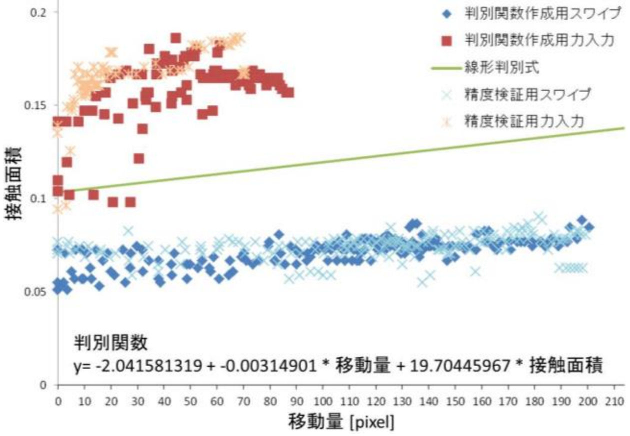

図 5　被験者 8 の左方向のデータ

各被験者，各入力方向の判別精度を図 6 に示す．「判別関数作成用データ」の列は 4.1 節で取得したデータを 4.2 節で作成した判別関数に適用した際の判別精度を示しており，「精度検証用データ」の列は 4.3 節で取得したデータを 4.2 節の判別関数に適用した際の判別精度を示している．それぞれ繰り返し回数 5 回の内，最初の 2 回のデータを除く，3 回のデータを使用した．

被験者 1 に関しては判別関数作成用データと精度検証用データ間で判別関数の判別精度の低下が目立つ．一方で，その他の被験者に関しては検証時の方が判別関数作成時よりも判別精度が高いという結果も見られた．精度が極端に悪い被験者 1 を除けば，検証時には 86%以上の精度で判別できた．

	判別関数作成用データ(%)				精度検証用データ(%)			
被験者No	前	後	右	左	前	後	右	左
1	100	100	100	100	51.94	64.44	82.22	95.56
2	100	99.72	100	100	100	98.89	100	100
3	82.78	96.39	93.61	74.72	96.94	91.39	100	86.67
4	100	100	100	100	100	100	100	100
5	97.22	97.22	99.17	93.04	98.61	93.61	97.5	99.16
6	90.83	91.67	98.61	93.61	99.72	97.22	98.33	97.77
7	96.94	98.89	98.06	98.89	99.17	99.17	100	99.44
8	95.28	90	99.16	97.5	92.22	97.78	97.22	96.67

図 6 被験者ごとの判別精度

5.2 各方向における判別精度

8 名のデータを方向別にまとめた判別精度を図 7 に示す．検証時には 93%以上の精度で判別ができた．

判別関数作成用データ(%)				精度検証用データ(%)			
前	後	右	左	前	後	右	左
93.92	88.13	97.33	90.76	95.07	93.16	94.93	96.08

図 7 方向ごとの判別精度

5.3 判別精度の時間推移

8 名の判別精度の時間推移を方向別にまとめた結果を図 8 に示す．精度の横軸はフレーム数であり 1 秒間のデータを示している．縦軸は判別精度，エラーバーは標準誤差を示している．精度の時間推移を調査することにより，アプリケーションで力入力とスワイプを判別する際，何ミリ秒のデータ量もしくは，何フレームのデータ量があれば，判別可能かを知ることができる．

今回は全試行において確実に取得できた最少フレーム数 59 フレーム目までのデータで判別精度の推移を調査した．

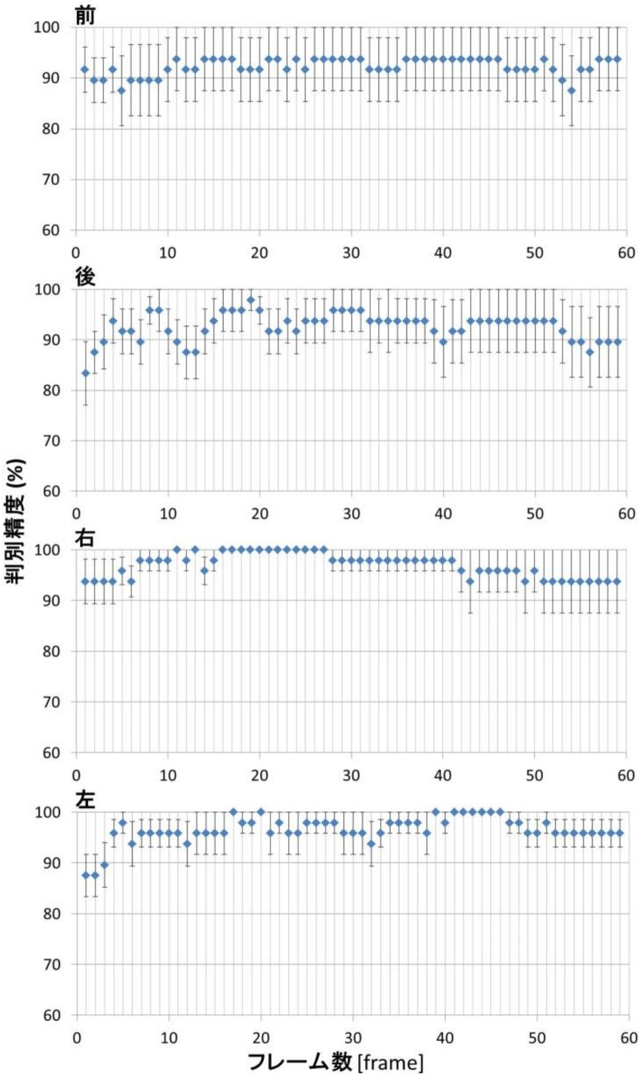

図 8 判別精度の時間推移

図 8 の精度検証用データから，仮に 90%以上の精度で判別したい場合，前方向では 10 フレーム，後ろ方向では 14 フレーム，右方向では 1 フレーム，左方向では 4 フレームのデータがあれば判別可能であるといえる．すなわち，前方向では約 166.67 ミリ秒（-2.73～+2.82 ミリ秒），後ろ方向では約 233.33 ミリ秒（-3.83～+3.95 ミリ秒），右方向では約 16.67 ミリ秒（-0.27～+0.28 ミリ秒），左方向では約 66.67 ミリ秒（-1.09～+1.13 ミリ秒）のデータがあればよい． 1 フレーム目から 80%以上の精度で判別できているため，早い応答性で力入力とスワイプ入力を判別できるといえる．

また当初の仮説では，接触面積（≒垂直方向の力）と移動量（水平方向の力）との間の比率が動摩擦と静止摩擦を区別する量であると考えていたが，実際には判別関数はグラフ原点を通る直線ではなく，グラフに対して水平に近い直線であった．このことから実はユーザの行動としては，接触面積だけを用いても 2 つの行動を判別できる可能性が高いことも判明した．

6. アプリケーション

提案した水平方向力入力とスワイプの判別手法を用い，両方を入力可能なアプリケーションを紹介する．

6.1 マップアプリケーションの操作円滑化

Google マップのストリートビューのようにユーザが検索した場所の景色を確認できるアプリケーションでは,「視点の移動」と「マップ全体のスクロール」の区別が必要となる．このような場合，我々の水平方向力入力を 1 人称視点の移動に，スワイプをマップ全体のスクロールや拡大縮小に対応させることができる．また力入力を 1 人称視点画像の回転に，スワイプ入力を平行移動に対応させる等の方法も考えられる（図 9）.

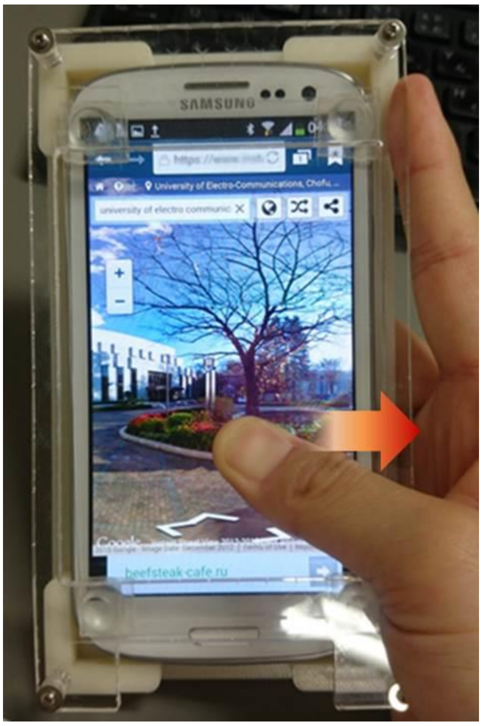

図 9 マップアプリケーションでの利用イメージ

6.2 ページめくりアプリケーション

電子書籍の普及に伴い，タッチインタフェースを用いた読書の機会が増えている．現在の電子書籍でページを進める際，多くの場合は 1 ページずつ進める場合はスワイプをし，ページを指定する場合は画面に表示されたスライダを使用している．本研究の提案手法を用いれば，スワイプ時には既存手法と同様に 1 ページずつ進め，力入力時には力の大きさに応じて速度を調整しながらページを進めるといった操作が考えられる．このような操作方法では，実際の本で内容を振り返るときと同様に，パラパラとページを進めて確認することでもできる．また，速度を調整しながらページをめくるアプリケーションとしてはパラパラ漫画も考えられる（図 10）.

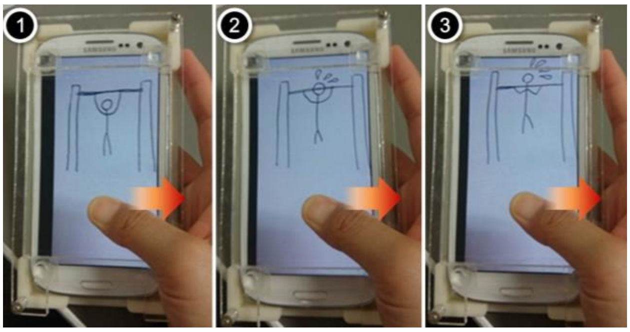

図 10 パラパラ漫画への応用イメージ

7. おわりに

本研究では我々が先行研究において提案してきた水平方向の力入力手法を拡張し，力入力とスワイプを判別可能にする手法を提案した．ユーザの力入力時とスワイプ時の指の移動量と接触面積から判別関数を求め，高い精度で判別が可能であることを検証により確認した．今回，我々は指の移動量と接触面積を入力の判別に利用したが，検証結果から入力判別は接触面積（≒垂直方向の力）情報のみでも実現できる可能性があることを見出した．今後この点について調査していくと共に，力入力とスワイプの両方を入力として用いるアプリケーション開発やハードウェアのさらなる改良をしていく予定である．

参考文献

1) 中井優理子，工藤慎也，岡崎龍太，梶本裕之，栗林英範: 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，インタラクション 2014(第 17 回一般社団法人情報処理学会シンポジウム), pp.212-215 (2014).

2) 中井優理子，工藤慎也，岡崎龍太，梶本裕之，栗林英範: 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（第 2 報）ー既存の垂直抗力測定手法との比較ー，インタラクション 2014(第 17 回一般社団法人情報処理学会シンポジウム), pp.212-215 (2014).

3) Nakai, Y., Kudo, S., Okazaki, R., Kajimoto, H., Kuribayashi, H., Detection of Tangential Force for a Touch Panel Using Shear Deformation of the Gel, CHI EA '14 CHI '14 Extended Abstracts on Human Fact. In *Comp*. *Syst*. (2014), pp.2353-2358.

4) Nakai, Y., Kudo, S., Okazaki, R., Kajimoto, H., Kuribayashi, H., Tangential Force Input for Touch Panels Using Bezel-Aligned Elastic Pillars and a Transparent Sheet, In Proceedings of the adjunct publication of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology. ACM, (2014), pp.111-112.

5) Ohka, M., Kobayashi, H., Takata, J. and Mitsuya, Y., Sensing Precision of an Optical Three-axis Tactile Sensor for a Robotic Finger, Roman 2006-The 15th IEEE Inter. Symp. on Robot and Human Interactive Communication, (2006), pp.214-219

6) Shimojo, M., Shinohara, M., Tanii, M. and Shimizu, Y., Computers Helping People with Special Needs, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3118 (2004), pp. 753-760..

7) Vlack, K., Mizota, T., Kawakami, N., Kamiyama, K., Kajimoto, H. and Tachi, S., GelForce: A Vision-based Traction Field Computer Interface, CHI EA '05 CHI '05 Extended Abstracts on Human Fact. in Comp. Syst (2005), pp.1154-1155.

8) Sato, K., Watanabe, Y., Makino, Y. and Maeno, T., Vision-based Force Sensor for Touch Panel Devices using Built-in Camera, SCIS-ISIS, (2012) pp.852-855.
9) Kakehi, Y., Kensei, J., Sato, K. and Minamizawa, K., ForceTile: Tabletop Tangible Interface with Vision-based Force Distribution Sensing, SIGGRAPH '08 ACM SIGGRAPH 2008 new tech demos (2008) pp.17.
10) 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 (2011) pp.7‐12.
11) Harrison, C. and Hudson, S., “Using Shear as a Supplemental Two-Dimensional Input Channel for Rich Touchscreen Interaction,” CHI '12 Proc. SIGCHI Conf. on Human Fact. in Comp. Syst (2004) pp.3149-3152.
12) Heo, S. and Lee, G., "Indirect Shear Force Estimation for Multi-Point Shear Force Operations," CHI '13 Proc. SIGCHI Conf. on Human Fact. in Comp. Syst. (2013) pp.281-284.