

接触面の空気圧制御による摩擦力提示インタフェースの開発

瀬尾和也^{†1} 永谷直久^{†1} 北村武也^{†1}

タッチディスプレイへの入力時に、幅広いレンジの力覚をユーザに提示可能なインタフェースとして、我々は接触面の空気圧を制御することによる摩擦力制御手法を提案してきた。

本研究では、提案手法をペン型のデバイスに適用し、デバイス内に小型の電動ポンプを配した装置と接触面形状の設計開発を行った。また、接触面に負圧力または正圧力を発生させることで、これまでよりも小型の電動ポンプを用いても十分な摩擦力の提示が可能であるかどうかを実験により評価した。

1. 序論

1.1 研究背景

近年、身の回りにタッチパネルが身近になった。タッチパネルは、入力装置の役割だけではなく、ディスプレイとしての役割も担っており、従来のマウスおよびキーボードによる入力と比較すると、ディスプレイ上の文字およびグラフィックを直感的に操作することが可能となっている。タッチパネルによる入力は、視覚的にわかりやすく、直感的な操作が可能であるが、キーボードなどの入力インターフェースにあった触力覚フィードバックが乏しい。タッチペンによる入力の際の触力覚フィードバックも指による操作と同様に、フィードバックに乏しい。触力覚フィードバックの乏しさが原因で操作ミスが誘発されるとの指摘[1][2]もある。この問題の解決のために様々な研究が行われており、手法としては、タッチパネルを搭載する機器そのものおよび機器側に取り付けてフィードバックを与える方法、または、タッチパネルとは別の専用デバイスを作成してフィードバックを与える方法がある。

1.2 関連研究

タッチパネルを備えた機器を通して、ユーザに触力覚フィードバックを与えるシステムとしては、機械的な振動刺激を用いた手法と機械的振動を用いない手法の2つに大別される。

機械的な振動刺激を用いる手法としては、機器筐体に振動子を取り付け、タッチパネル操作時にパルス振動によるフィードバックを与える Active Click[3]、振動によるスクイーズ効果を利用し、パネルの摩擦力を擬似的に制御する Surfpad[4]、ディスプレイの固定台の脚部にソレノイドを取り付けて触力覚を提示する手法[5]、超音波による振動を利用する手法[6]が提案されている。また、タッチディスプレイの筐体側ではなく、タッチペン側にアクチュエータを内蔵させて振動を提示する手法も提案されており、ソレノイドを利用して、振動で触力覚を提示する Haptic Pen[7]や、音の振動で触力覚を提示する wUbi-Pen[8]などが提案されてい

る。

機械的振動以外を用いる手法としては、透明電極による静電気力で触力覚を提示する Skeletouch[9]、負圧吸着力を用いた摩擦力提示手法[10][昨年のEC]、ペン先の鉄球の回転を電磁石による制御によって触力覚を提示する手法[11]などが提案されている。

1.3 研究目的

本研究では、著者らの先行研究で報告した負圧吸着力を用いた摩擦力制御手法に加えて、空気吐出を用いた浮力(以下、正圧とする。)による摩擦力制御を実現することを目的とし、ペン型の装置への実装を行った。

タッチペンを介した触力覚フィードバックを与える研究は過去にもなされているが、機械的振動を用いてタップ操作時にフィードバックすることを主眼に置いたものが多くを占める。そこで、本研究ではフリック操作やスワイプ操作に触力覚を提示することが可能な装置の実現を目指し、空気圧の正圧負圧を用いた摩擦力制御についての評価を行う。

2. デバイスの開発

2.1 先行研究の問題点とその改善

我々の昨年度の研究である負圧吸着力を用いたペン型インタフェースの開発では、負圧吸着力を得るためには固定された角度でペンを把持する必要があるという問題点と、連続的な負圧吸着力提示の維持が困難であるという問題点があった。

2.1.1 ペン型デバイスの把持角度の改善

負圧吸着力による力触覚提示を発生させる条件として、ペン先部とタッチパネルが密着している必要があったため、従来手法ではペン本体とペン先部を固定しており、把持した装置とタッチパネルが垂直状態の場合のみでしか使用できなかった。この問題点を改善するために、ペン先部をボールジョイントにすることで、ある程度の角度をつけてペンを把持した状態での使用が可能となった。

^{†1} 京都産業大学
Kyoto Sangyo University

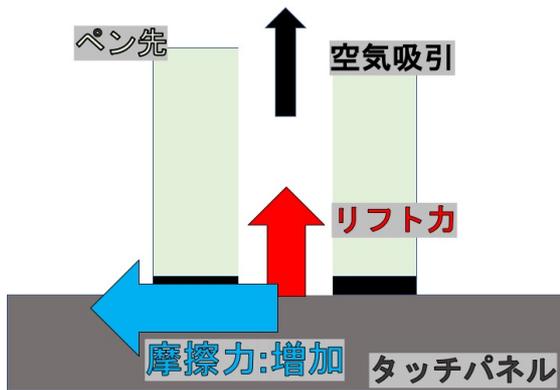


図1 負圧による摩擦力発生原理

2.1.2 連続的な負圧力発生

エアシリンダは特性上、連続的な負圧発生を得意としていない。連続的な負圧発生を行うためには、エアシリンダ複数個と電磁弁等を用いて空気圧回路を作成する必要があり、複数個のエアシリンダ制御のためのアクチュエータ及び電磁弁の用意のため、装置構成が大きくなり、ペン型装置に組み込むことが困難となる。そこで、負圧発生をエアシリンダの代わりに空気を吸い込み続けることが可能な電動ポンプで行うことにした。今回使用した電動ポンプの出せる負圧力は-65kPaであり、先行研究よりこの値は十分である。

2.2 正圧による摩擦力減衰方式

エアシリンダはある程度の時間負圧を維持することは可能であったが、空気吐出を維持することが困難であった。今回、動力を電動ポンプにすることにより、空気吐出の維持も容易になったことから、本研究では正圧を用いて摩擦力を減衰させる方式の装置も作成する。

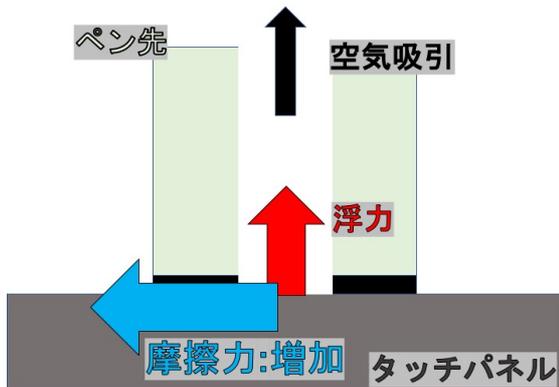


図2 正圧による摩擦力減衰の原理

2.3 作成した装置

本体はペン先部、ボールジョイント取り付け部、持ち手部、ポンプ取り付け部からなり、ペン先部の空気圧作用部であるゴム部分を除き、これらは Formlabs 社製 SLA 方式 3D プリンタ Form2 の Durable レジンで造形した。ポンプ取り付け部には、スポンジまたは同社製のゴムショア A50 程度の柔軟性のある材料である Elastic レジンでポンプの振動を抑えるものを作成し、内蔵した。ペン先部は同社製のゴムショア A80 程度の硬さである Flexible レジンで造形し、ゴム部分が無いものも作成したが、今回その評価は行わない。

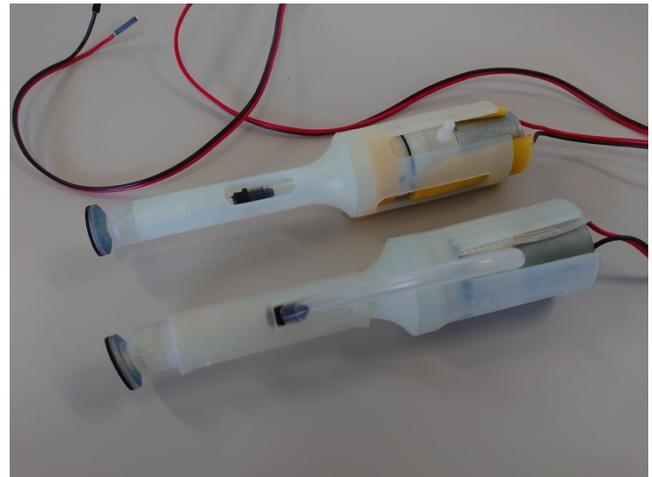


図3 作成した装置

この装置は、ポンプとチューブの接続箇所を変更することにより、負圧による摩擦力提示を行うか、正圧による摩擦力減衰を行うかを変更することが可能な設計にした。

3. 評価実験、結果

3.1 実験目的

作成した装置が負圧方式、正圧方式がそれぞれ、どの程度の摩擦力を出すことが可能かを検証する。

3.2 実験方法

摩擦力を計測するために、図4のような計測装置を作成した。モータ Dynamixel MX-28 と接続されたボールねじを回転させることによりフォースゲージを等速で移動させ、ペン型インタフェースと量りに挟まれたスマートフォンを引っ張る力を測ることで、摩擦力が変化しているかを検証する。

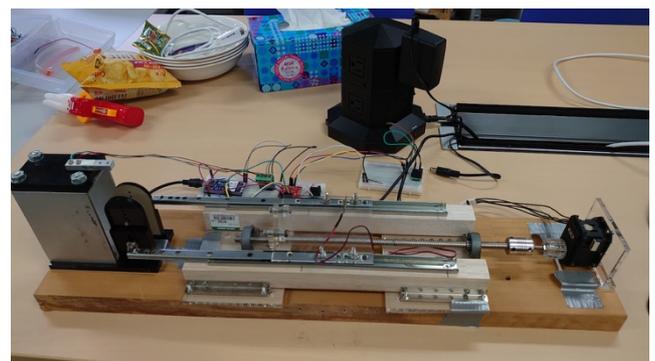


図4 計測装置

3.2.1 実験条件

- ・ペン型インタフェースのペン先部はボールジョイントのものでなく、持ち手部分が角度がタッチパネルに対して 45 度に固定されたものを使用、ペン先の素材は厚さ 1mm のゴム。
- ・チューブの長さは、負圧方式のものは、内径 $\phi 1.2\text{mm}$ チューブ 90mm + 内径 $\phi 4\text{mm}$ チューブ 105mm であり、このときの負圧吸着力は -64kPa である。また、正圧方式のものは、内径

φ1.2mm チューブ 60mm+内径 φ4mm チューブ 105mm である。

- ・スマートフォンは、本物を使用せずにアクリルにスマートフォン用保護フィルムを貼り付けたもので代用する。裏にはテフロンテープを貼っており、滑りやすくした。重量 45g。

- ・ペン先は、

- ①φ18mm 円形ゴムの中心に φ2mm の円形孔を開けたものの

- ②φ18mm 円形ゴムの中心に φ6mm の円形孔を開けたものの

- ③φ18mm 円形ゴムの中心に φ10mm の円形孔を開けたものの

- ④φ18mm 円形ゴムの中心に③と同面積の四角形孔を開けたもの

- ⑤φ10mm 円形ゴムの中心に φ2mm の円形孔を開けたものの

- ⑥φ10mm 円形ゴムの中心に φ6mm の円形孔を開けたものの

これら六種類を用いて実験を行う。

3.2.2 実験手順

実験は、以下の手順に従って行う。

1. 実験装置のペン先部を交換する。
2. スマートフォンを量りの上に乗せ、フォースゲージとテグスで繋ぎ、量りを 0g 表示にする。
3. 本研究装置を持ち、ペン先でスマートフォンを押し付け、量りの表示が 500g 程度になるようにする。
4. 装置の電源をオンにし、空気吸引または空気吐出を行い、負圧または正圧をかける。
5. 計測装置のモータを動作させ、計測を行う。

この手順でペン先①～⑥を空気圧による負荷なし、負圧、正圧の三つの場合で各試行十五回ずつ行い、平均の力を算出する。

3.3 実験結果

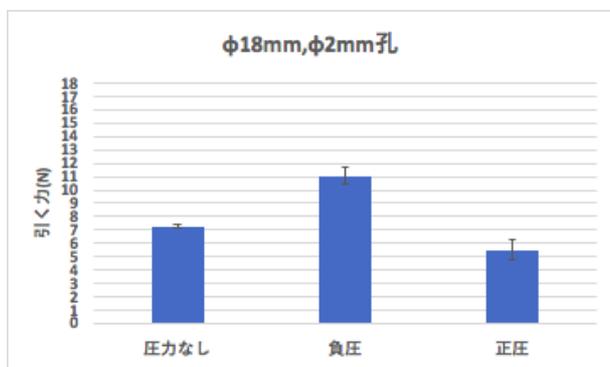


図 5 ①の実験結果

①では、圧力なしで 7.29N、負圧方式で 11.05N、正圧方式で 5.5N で あ っ た。

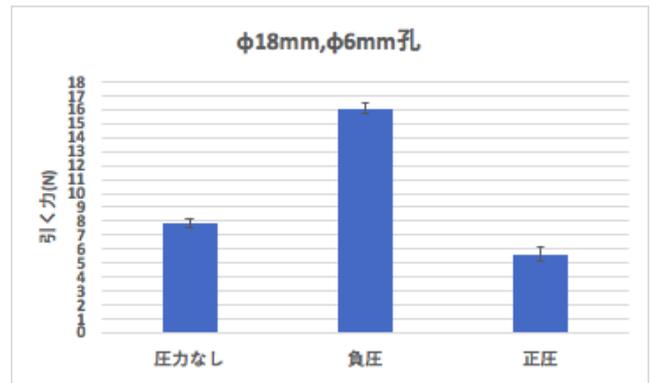


図 6 ②の実験結果

②では、圧力なしで 7.82N、負圧方式で 16.1N、正圧方式で 5.64N であった。

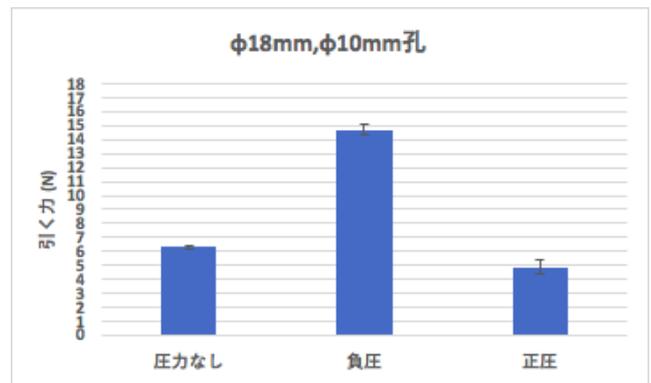


図 7 ③の実験結果

③では、圧力なしで 6.32N、負圧方式で 14.7N、正圧方式で 4.87N であった。

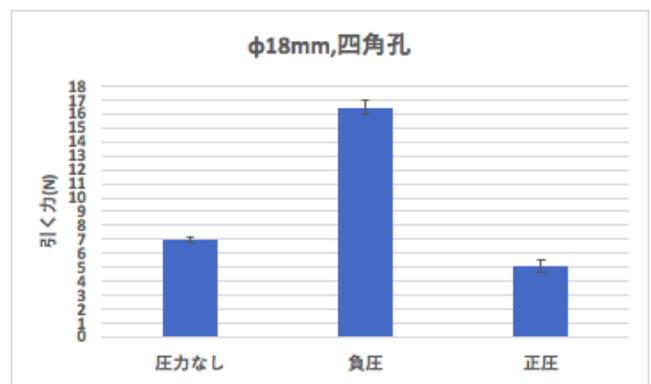


図 8 ④の実験結果

④では、圧力なしで 6.99N、負圧方式で 16.47N、正圧方式で 5.11N であった。

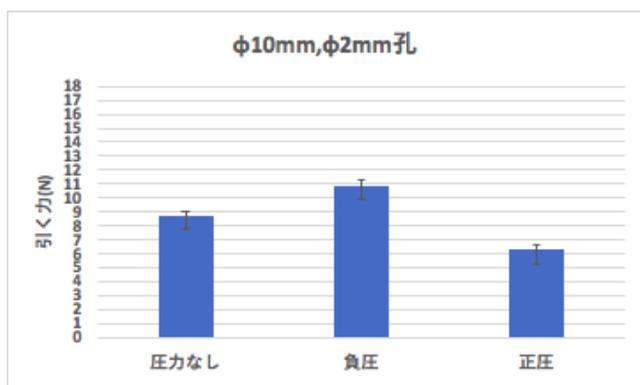


図9 ⑤の実験結果

⑤では、圧力なしで 8.76N、負圧方式で 10.88N、正圧方式で 6.27N であった。

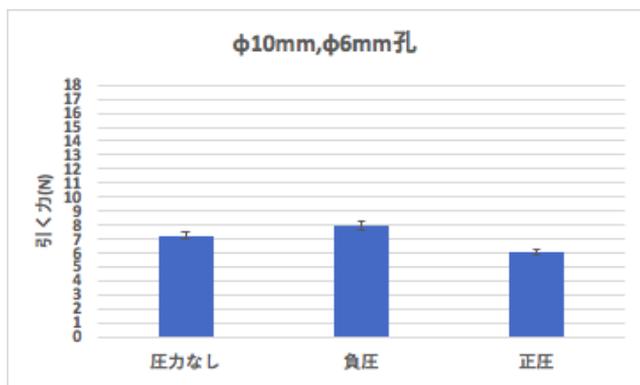


図10 ⑥の実験結果

⑥では、圧力なしで 7.25N、負圧方式で 7.98N、正圧方式で 6.08N であった。

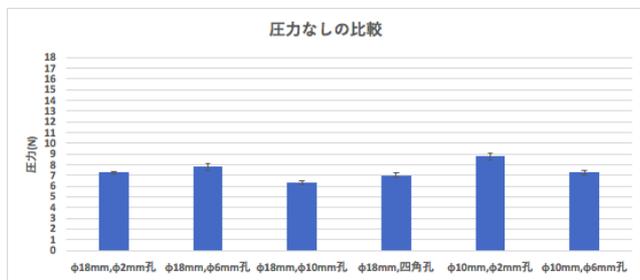


図11 ペン先間の圧力なしの比較

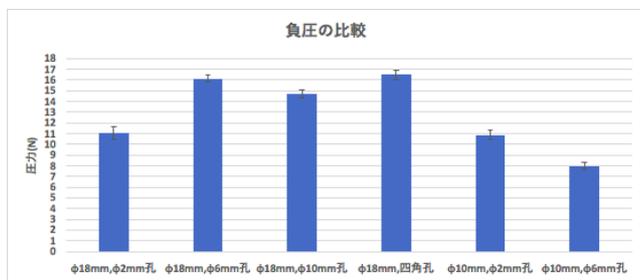


図12 ペン先間の負圧の比較

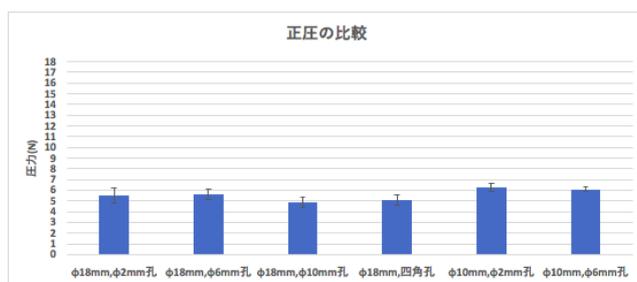


図13 ペン先間の正圧の比較

4. 考察

正圧方式では①～⑥より、孔の大きさは摩擦力に大きく影響せず、ゴム部分の面積の大きさが影響を及ぼすと考えられる。また、実際に使用した際には負圧方式よりも知覚しやすかったが、今回数値として圧力なしの場合との差が小さかった。これは、今回の計測ではスマートフォンの滑り出しから測っていたため、静止摩擦力としてこの数値が出ていることが考えられる。このことから、動摩擦力で計測を行うと、数値が下がると考えられる。

負圧方式では、①、②、③、④より、孔が大きくなる＝面積が増えると摩擦力が増えることがわかる。①と⑤より、ゴムの接触面が異なっても、孔の大きさが同じであると、摩擦力が変わらないことがわかる。しかし⑤、⑥では、孔が大きくなっても抵抗力が減っている。これは⑥は圧力なしと圧力ありの差が小さいことから、空気がリークしていた可能性があり、この影響が出ていると考えられる。

5. 今後の展望

現状負圧吸着力による摩擦力増加と正圧による摩擦力減少の切り替えにチューブを差し替えなければならないため、電磁弁等を用いて切り替えをスムーズにすることが広範囲の摩擦力制御のために必要であると考えられる。

また、本装置では使用時の振動や装置自体の重さが課題となっている。使用しているポンプが動作時に振動するため、操作時のフィードバックとして空気圧制御によるものでなく、振動フィードバックとして知覚される可能性がある。この問題を解決するために、常に振動させることや、振動を減衰させるような機構を設ける必要がある。装置の重さもポンプによる影響が多い。このため、小型のポンプを選定しなおすことや、ポンプの動力を変更することで問題解決を図る。

参考文献

- Hasegawa, Akira, et al. "Evaluating the Input of Characters using Software Keyboards in a Mobile Learning Environment: A Comparison between Software Touchpanel Devices and Hardware Keyboards." *WMUTE*. 2012.
- 樹野淳也, et al. "< 原著論文> タッチパネルのマルチモーダル化が操作性へ与える影響." *近畿大学次世代基盤技術研究所報告* 5

(2014): 55-62.

- 3) 福本雅朗, and 杉村利明. "タッチパネルにクリック感を付加できる ActiveClick." *インタラクション* (2001): 25-26.
- 4) Casiez, Géry, et al. "Surfpad: riding towards targets on a squeeze film effect." *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2011.
- 5) 中山剛, et al. "ソレノイドを用いたタッチパネル型触覚呈示装置の改良." *産業応用工学会全国大会 2013*. 2013.
- 6) Takasaki, Masaya, et al. "Transparent surface acoustic wave tactile display." *Intelligent Robots and Systems, 2005.(IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on*. IEEE, 2005.
- 7) Lee, Johnny C., et al. "Haptic pen: a tactile feedback stylus for touch screens." *Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*. ACM, 2004.
- 8) Kyung, Ki-Uk, and Jun-Young Lee. "wUbi-Pen: windows graphical user interface interacting with haptic feedback stylus." *ACM SIGGRAPH 2008 new tech demos*. ACM, 2008.
- 9) Kajimoto, Hiroyuki. "Skeletouch: transparent electro-tactile display for mobile surfaces." *SIGGRAPH Asia 2012 Emerging Technologies*. ACM, 2012.
- 10) 城山一真, and 永谷直久. "負圧吸着力を用いた入力補助インタフェースの開発." *ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017*. 一般社団法人 日本機械学会, 2017.
- 11) Wintergerst, Götz, et al. "Reflective haptics: enhancing stylus-based interactions on touch screens." *Haptics: Generating and Perceiving Tangible Sensations* (2010): 360-366.