

負圧吸着力を用いた ペン型デバイスの開発

瀬尾和也^{†1} 城山一真^{†1} 永谷直久^{†1}

1. 序論

1.1 研究背景

近年、スマートフォンやタブレット端末の登場により、身の回りにタッチパネル付きのデバイスが身近になった。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、より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、押下感など、キーボードなどの従来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]もあり、この問題の解決のために様々な研究が行われてきており、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主流である。

1.2 関連研究

タッチパネルを搭載する機器にフィードバックを与えるものとしては、機器筐体に振動子を取り付け、タッチパネル操作時に短いパルスを送って引き起こす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]、超音波による振動を利用するもの[5]が存在する。

タッチパネルとは別の専用デバイスを作成するものとしては、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もの[6]、透明電極による静電気力で触力覚を提示する Skeletouch[7]、負圧吸着力を用いた入力補助インターフェース[8]、ペン型の触力覚提示デバイスが存在する。ペン型の触力覚提示システムとしては Haptic Pen[9]という、ソレノイドを利用して、振動で触力覚を提示するものや、wUbi-Pen[10]という、音の振動で触力覚を提示するもの、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もの[11]が存在する。

1.3 研究目的

本研究では、先行研究である負圧吸着力を用いた入力補助インターフェースと同様の仕組みを用い、ペン型の入力補助装置を作成する。タッチパネルを操作する際に、指だけでなく、タッチペン、またはスライダスと呼ばれるペン型のデバイスを用いて入力を行うことがある。タッチペンによる触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、数が少なく、フリック操作やスワイプ操作のための摩擦力というアプローチというより、タップ操作に主眼を置いたものが多くを占める。そこで、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として、本研究を行う。負圧吸着力を用いた入力補助インターフェースの装置は、全体的に大型であり、携帯性に優れないという欠点があった。それゆえ、シリンダの小型化、それに追従して機構部も同様に小型化が可能であり、それをペン自体に搭載することが可能ではないかと考えた。

2. デバイスの開発

先行研究である負圧吸着力を用いた入力補助インターフェースでは、モータの回転運動をインボリュート曲線によって直線運動に変換する機構を用いて、シリンダロッドを引き、負圧を発生させていた。今回ペン型のインターフェースに搭載できるように小型化するためには、インボリュート曲線を用いた円運動を直線運動に変換する方法や、ラックピニオン機構やスライダクランク機構等での実現は難しかったため、リニアアクチュエータを利用した。さらに、先行研究で使用していたシリンダでは、最大までシリンダロッドを引くと、過剰なほどの負圧吸着力が提示されてしまったため、シリンダも小型化が可能であろうと考えた。

装置のシリンダは、SMC社のストロークが15mmである小型ピンシリンダ CJPB6-15を採用した。同じSMC社のストロークが10mmであるピンシリンダ CJPB6-10も候補としてあったが、それぞれのピンシリンダと先行研究で使用したシリンダである CJ2E10-30Z を圧力センサ PSE533-M5 で負圧力を測定すると、図1のように、最大負圧力が CJ2E10-30Z は-82kPa程度、CJPB6-15は-78kPa程度、CJPB6-10は-72kPa程度と、CJ2E10-30Zと比較してもCJPB6-10の出せる負圧が少なかつたため、CJPB6-10の採用は見送った。

^{†1} 京都産業大学大学院

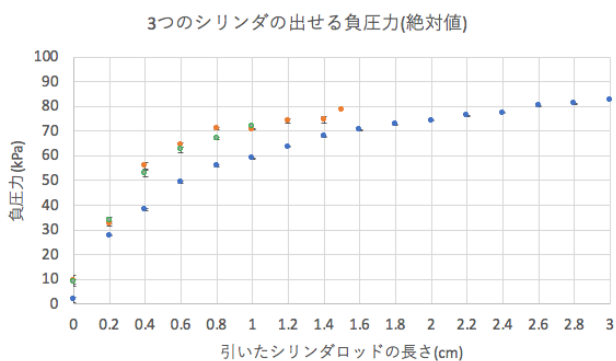


図1 三つのシリンダがそれぞれ出せる負圧力(kPa)

この CJPB6-15 で最大の負圧を発生させるために必要な力、つまりシリンダの空気流入口を塞いでいる状態でシリンダロッドを最大まで引くために必要な力をフォースゲージで測定したところ、約 10N 必要であったため、アクチュエータとして Actuonix 社のリニアアクチュエータ L12-30-50-6I を採用した。このリニアアクチュエータは、6V 駆動で 30mm ストロークあり、最大 12N までの力が出せるため、今回採用したシリンダに対して使用可能である。ストローク移動のための制御は 1000~2000 μ s 間での PWM 信号で行うため、マイクロコントローラ単体での制御可能である。

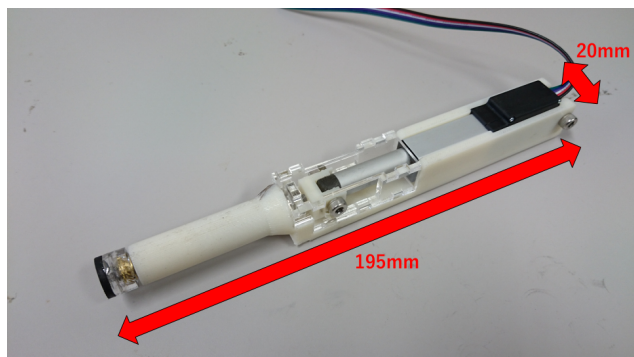


図2 作成したペン型デバイス

3D プリンタで作成したペン本体にこれらのシリンダとアクチュエータを取り付け、アクリルとゴムをレーザーカッターで加工し作成したペン先部を取り付けることでペン型デバイスを作成した。(図2)このペンの大きさは、ペン先を含み配線部を含まない全長が 195mm、持ち手部分は ϕ 14mm である。ペンの持ち手部分である円筒内には、ペン先部を取り付けるための二つの管継手 KQ2H02-M5A を外径 ϕ 2mm で 25mm にカットしたポリウレタンチューブで繋いだパーツを CJPB6-15 に取り付けて内蔵させている。持ち手部分内部は六角筒状になっており、ねじでペン先を固定する際にも空回りしないように作成した。シリンダと管継手等、ねじ部分を繋げる際には、ねじ山からの空気漏れ

を防止するために必ずガスケットシールを挟み込んでから接続させる。シリンダロッドには、3D プリンタで作成したリニアアクチュエータのロッドと接続できるような部品を取り付ける。ペンの上部にはリニアアクチュエータを取り付けている。持ち手部とリニアアクチュエータをはめ込む部分の間の部分がリニアアクチュエータでシリンダを引っ張る際に歪曲するのを防止、同時に動作部分に指が挟まらないようにするためにアクリルで保護するようなパーツも作成した。

前述のペン先部(図3)の作成方法は、厚さ 5mm のアクリル板を前述の管継手を接続するためのビットインサートナットを挿入するための穴と共に任意の大ききでカットする。さらに同じサイズの厚さ 2mm のアクリルと 1mm のゴムシートを中心に穴を開けるような形でカットする。アクリルはアクリル用接着剤で接着し、2mm アクリル部分とゴム部分は強力な両面テープで貼り合わせる。その後、5mm アクリル部分に開けた穴にホットボンドを注入し、その上からはんだごてで熱したビットインサートを挿入する。作成後、このパーツから空気が漏れていないかのテストを行う。シリンダと管継手パーツをペン先部に取り付け、ゴム面の穴部分を塞ぎ、水の中に入れてシリンダにより空気を流入させて、気泡が確認できなかったものは使用可能である。(図4)



図3 ペン先部



図4 空気漏れのテスト

本装置の制御はマイクロコントローラである mbed NXP LPC1768 と Processing を連携させて動作させる。

3. 評価実験, 結果

3.1 実験方法

前述したシリンダの負圧力は、シリンダから直接圧力センサを取り付けて測定したが、本装置では継手とチューブおよびペン先部により、体積が増え、ボイルの法則により負圧力が減少すると考えられる。そのため、本装置を用いた負圧力を測定する。さらに、本装置で摩擦力を測定することも、本体を固定しつつ測定することが困難である。本体を固定できない場合、ペン先が傾き、空気が漏れて負圧を発生できなくなる。そのため、ペン先部の評価は、先行研究の装置を用いてペン先部のみの評価を行い、本装置で測定した負圧力とペン先の摩擦力を照らし合わせることで評価を行う。

3.2 負圧測定, 結果

測定は、作成したペン型装置のペン先部を取り付ける部分に、ペン先の代わりにビットインサートを取り付け、そこに圧力センサを取り付けて行う。実際のペン先部を取り付けていない分、本装置の出せる負圧力よりも少し変化してしまうが、少なくとも管継手とチューブ部分の変化分は測定可能である。

この実験は本装置のリニアアクチュエータを PWM 信号の制御により 1mm 間隔で計測する。アクチュエータの制御パルスはデータシート上 1000~2000 μ s, ロッド部分は 30mm であるため、約 33 μ s ずつ値を変化させていくことで 1mm の間隔が制御できることとなる。しかし、L12-30-50-6I の制御パルスが、1500 μ s のときにロッドが中央値(=15mm)にならずに 1470 μ s 付近のときに中央値になること、および 1898~2000 μ s のときはアクチュエータが動作しないことが判明したため、1mm 間隔に若干の誤差があり、計測は約 2mm (\approx 1897 μ s, 定規により測定し確認)時からスタートすることとする。プログラムでは、PWM 信号を 2000 μ s から 33.33 μ s ずつ引いていくことで、1mm を制御する。このようにして 2~15mm の各試行を五回ずつ行う。

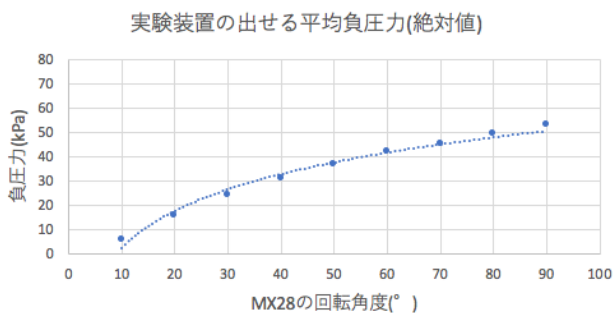


図5 本装置の出せる負圧力(kPa)

結果は図 5 のとおりとなった。配管部の影響により、2kPa 減衰し、-76kPa となった。

3.3 摩擦力測定, 結果

前述したように、作成したペン型装置では、ペン部を固定した摩擦計測が困難であったため、先行研究の負圧創出システムを利用し、ペン先の評価を行う。ペン先は 3mm の単孔のものを使用する。今回のペン先部の摩擦力計測は、先行研究のように上から重りを乗せることが不可能であるため、PROXXON 社のフライスマシンのフライスマータ部を取り除いたものを使用することで、上部から圧力をかけることにより、押さえつける力の代替とした。この力は、フライスマシンの XY ステージ上に固定した量りで測定する。フライス取り付け部分は、装置右部のハンドルおよび上部のつまみによって上下に動作させることが可能である。ハンドルでおおまかに上下を合わせ、つまみで微調整する。ペン先は、それぞれペン先部の形およびビットインサートに合うように穴を開けた二枚の円板状に切ったアクリルにはめ込み、そのアクリル部をフライスマータ部の取り付けていた部分にはめ込んで固定する。このように、ペン先を固定するため、今回の実験では、タッチパネル搭載の端末側を動かす必要がある。タッチパネル搭載の端末はそのままでは量り上で滑らないため、端末の乗るような台車を作成し、それに乗せて滑らせる。その台車はフォースゲージによって押し出すことで動かす。実験装置は図 6 および図 7。



図6 実験装置

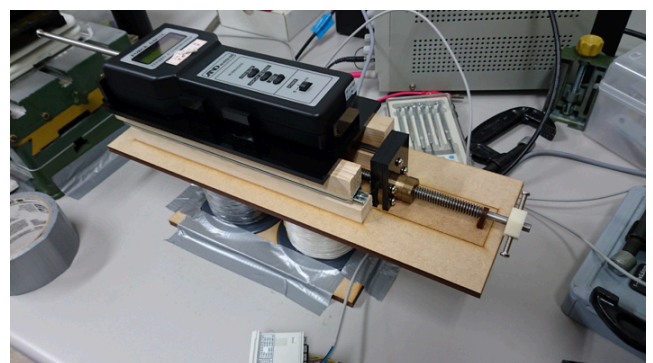


図7 図6の実験装置の右部はスライダで動かせるようにした

台車と量りには、電源とLEDを繋いだ動線の繋がった金属片を取り付け、台車が動いたときにLEDが消える簡易の接触センサにしておく。実験時には負圧力も測っておく。

実験手順は、

1. 画面をめがね拭きで拭いたスマートフォンを台車に乗せ、量りの上に乗せ、量りを0表示にする。
 2. スライダに乗せたフォースゲージの先端を台車に近づける。
 3. 台車の金属片と量りの上の金属片を接触させ、LEDを光らせる。
 4. プログラムでシリンダロッドを制御して空気が最も充填されている状態にし、フライス取り付け部を下げてスマートフォンに力を加える。(本実験では、量りが $800 \pm 10g$ 程度になるようにした。)
 5. プログラムでシリンダロッドを制御し、負圧をかける。
 6. 図7のボールネジを回し、フォースゲージをゆっくり押し出し、LEDの明かりが消えたところで押すのをやめる。
 7. シリンダロッドを戻し、フライス取り付け部を上げる。
- この手順を一条件五回、先行研究での装置で使用している機構のモータの角度を $0 \sim 90$ 度の範囲で 10 度ずつ変化させて計測する。

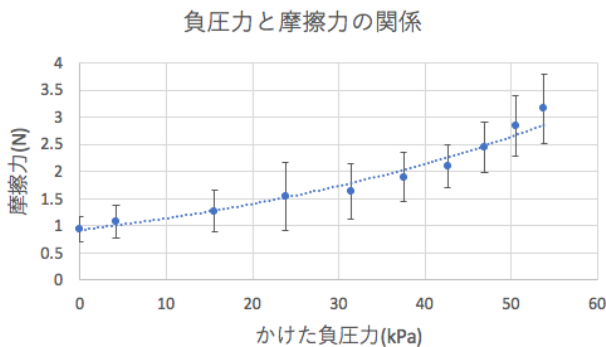


図8 負圧力と摩擦力の関係

実験結果は図8のとおり。-53.8kPaの負圧力が最大でかかっており、かつ量りの表示が $800g (= 7.84N)$ のとき、最大で $3.15N$ 程度の静止摩擦力が出せることがわかる。

4. 考察

先行研究のものの静止摩擦力は $1N$ であったため、 $3.15N$ の静止摩擦力は十分であると考えることができたが、実際に動作させると、摩擦力は感じるものの、先行研究のものよりも強くは感じなかった。これは、先行研究のものは指先に作用させるものだったのに対し、本装置は、腕で感じ

るものであるため、 $3N$ でも弱く感じたのではないかと考えられる。

5. 今後の展望

今回の装置では、ペン先が傾くと、空気がリークするため、ペンと面を垂直にしておかなければならなかったため、ペンを傾けてもペン先が面とくっつくような機構にすることや、吸い付く力が弱いため、吸い付く力を強くするための工夫を施すことが重要である。

6. 参考文献

- 1) 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.
- 2) 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) 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.
- 6) 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.
- 7) Kajimoto, Hiroyuki. "Skeletouch: transparent electro-tactile display for mobile surfaces." *SIGGRAPH Asia 2012 Emerging Technologies*. ACM, 2012.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) Wintergerst, Götz, et al. "Reflective haptics: enhancing stylus-based interactions on touch screens." *Haptics: Generating and Perceiving Tangible Sensations* (2010): 360-366.