

PC 操作支援用力覚提示タッチパッドの使用者への負担軽減のための薄型化

およびその機能評価

Downsizing of Force Display Touch Pad to Support Operating PC for Lightening Burden to User and
Evaluating Function

- 山本悠人 (富山県立大) 大島徹 (富山県立大)
小柳健一 (富山県立大) 増田寛之 (富山県立大)
本吉達郎 (富山県立大)

Yuto YAMAMOTO, Toyama Prefectural University
Toru OSHIMA, Toyama Prefectural University
Ken'ichi KOYANAGI, Toyama Prefectural University
Hiroyuki MASUTA, Toyama Prefectural University
Tatsuo MOTOYOSHI, Toyama Prefectural University

Abstract: The force display touch pad is a pointing device to support operating PC for the visually handicapped and elderly person. When the user operates the device, the device gives various force senses by the positional relation of cursor, button and window of a computer screen. Regarding prototype, the burden to arm of the operator is large by the height from the surface of the desk to the surface of the touch pad. Therefore, we downsized the touch pad thinning its main body to lighten the burden on the arm and increase operability of the force display touch pad. Then, we made a plan to evaluate the effect of the function by downsizing.

Key Words: Pointing Device, Mechatronics, Life Support Technology

1. 緒言

情報通信技術の発展および普及によって、インターネットを通じた多くの情報の獲得が可能になった。そして、時や場所を選ばず、知りたい情報や世界中のニュースを容易にかつ迅速に獲得したり、在宅での買い物や通信教育ができたりするようになった。このように、インターネット技術は非常に利便性が高いことがわかる。また、一例として、行政の住民向け各種手続きといったサービスをパーソナルコンピュータ(PC)およびインターネット経由で行える⁽¹⁾ようになったことも挙げられる。これらのことから、現代では、PCとインターネットは生活上必要なものとなっている。また、平成25年の個人インターネット利用者数は前年に比べ、392万人増加の1億44万人となっており、人口普及率は82.8%となった⁽²⁾。

現在のPCでは、グラフィカルユーザインタフェース(GUI)が主流であるため、文字や画像による情報が多く、視覚依存の傾向がある。このような視覚による方法は一覧性があるといった利点から、健常者にとっては容易に情報を獲得できる設計となっている⁽³⁾。しかし、視覚障害者の場合、それが情報獲得時の壁となる。また、視覚障害者であっても、スクリーンリーダとキーボード操作によって、PCで主流のアプリケーションのほとんどの操作が行えるようになっている。しかし、多数のボタンがあるキーボードによる入力操作や多くの情報が同時表示される画面内容を理解する能力が必要となるため、テレビなどの他電化製品に比べて利用難易度が高く、中高齢者のPC利用時の壁となると考えられている⁽⁴⁾。さらにプログラミングやCADの利用など、さらに複雑な情報理解の必要な使用目的に対しては、ほとんど対策はとられておらず、これらを用いた教育や就労の妨げとなっている。

これらのことから、視覚障害者や中高齢者が容易にPCを利用できるように、今までにPC操作支援を目的とするデバイスがいくつか研究・商品化されている。しかし、マウスのようなポインティングデバイスでは、普及しているものは未だない。そこで、誰もが容易にPCを操作できるようになる一助になればと、本研究の力覚提示タッチパッドの開発に至った⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

先行研究において力覚提示タッチパッドのプロトタイプが完成したが、解決すべき課題が残っている。その1つが「装置の小型化」である。そこで、本研究では、プロトタイプの構造上の課題を明らかにし、その解決案を提示することを通し、力覚提示タッチパッドの薄型化を行う。また、このような装置を評価するための実験方法について検討する。

2. 力覚提示タッチパッド

力覚提示タッチパッドとは、力覚情報を追加したポインティングデバイスである。図1に先行研究で開発された力覚提示タッチパッド試作機を示す。図中左が本体部、右が制御部である。また、装置の重量や寸法などを表1に表す。制御部には、モータコントローラやモータドライバなどが内蔵され、PCとUSBケーブルで接続する。本体部には、DCサーボモータや二次元平行リンク機構状のアームなどが内蔵されている(図2)。この装置は、本体部のタッチパッド上のフレーム内の操作プレートを指で摘んで動かす。磁力結合によりアーム先端が運動し、PC画面上のポインタ(カーソル)を操作できる。ポインタおよび作業ウィンドウ、ボタンの位置関係に応じて、操作者に図3に示す3種の力覚を提示する(図3)。また、操作プレートを一定以上左回転させるとタップとして扱われる。

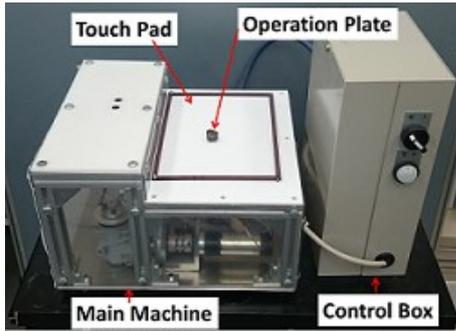


Fig. 1 Prototype of Force Display Touch Pad

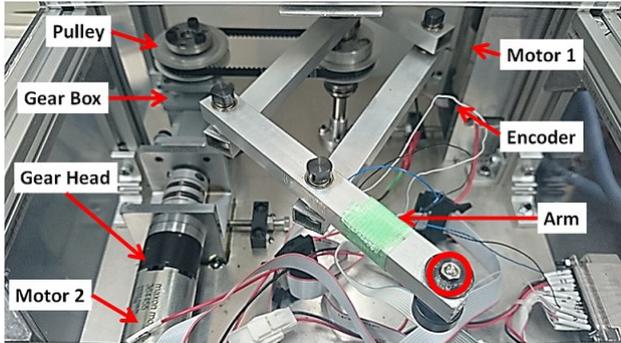
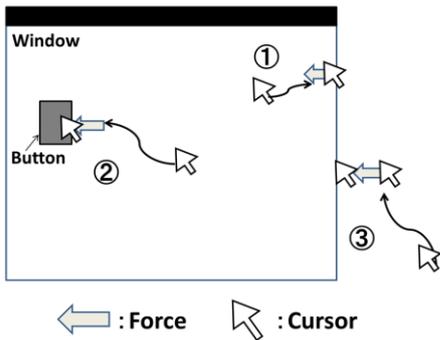


Fig. 2 Mechanism of Main Machine



- ① PC画面上のウィンドウ枠の画面端からの反力
- ② アイコンや選択ボタンに引き込まれるような力
- ③ 枠外から作業ウィンドウ枠に誘導する力

Fig. 3 Force Sense

Table 1 Specification of Prototype

Weight(Main Machine)	7.6[kgw]
Weight(Control Box)	3.8[kgw]
Size(Main Machine)	309×302×267[mm]
Size(Control Box)	200×120×300[mm]
Size(Touch Pad)	148×210[mm]
End-point Position Force(Magnet Coupling)	0.54[N]
End-point Position Force(Maximum Force)	2.45[N]

3. 装置の課題点

力覚提示タッチパッドのプロトタイプには、「Internet Explorer以外のブラウザに対応できない」や「文字や文章への力覚提示が不足している」といった課題もある。しか

し、本研究では、「装置が大きすぎ、日常的には使いづらいため、実用化できない」や「机面からタッチパッド操作部までが高すぎ、タッチパッド使用の際、腕に負担がかかる」といった装置が大きすぎる点を解決することとした。

プロトタイプ開発当時、選定されたモータは軸方向長さが99.2[mm](プラネタリギアヘッド長を含む)⁽⁶⁾と細長く、装置全体の大型化を防ぐためにモータを水平に設置する必要があった。この配置法では、モータの回転をアーム側のプーリに伝達させるために、かさ歯車を用いてその回転軸方向を変更する必要があった。結果、かさ歯車側のプーリの高さに合わせて、シャフトに各部品を配置せざるを得なくなり、装置が大型化した。

したがって、求める装置のサイズ目標を示した上で、新たにモータを選び直し、各部品配置の見直しを行う。

4. 薄型化の目標および条件

薄型化するにあたり、目標寸法および許容条件を述べる。図4は側面や上面の板材の厚みやゴム足の寸法を除いた装置本体フレームの簡略図である。図4中のアルファベット表記の箇所が、薄型化の際の目標値および許容条件の指定箇所である。(A)は目標値指定箇所であり、従来の143[mm](底板の厚み6[mm]を除いた場合137[mm])から30[mm]台にする。アーム2本分の厚み(1本10[mm])と操作プレート動きに追従させるためにアーム先端に取り付ける磁石のおおよその厚みを合計した値が30[mm]台であるので、この値にした。(B),(C)は許容条件指定箇所であり、従来のモータ配置位置や部品寸法変更などで従来の寸法より大きくなってよい箇所とする。

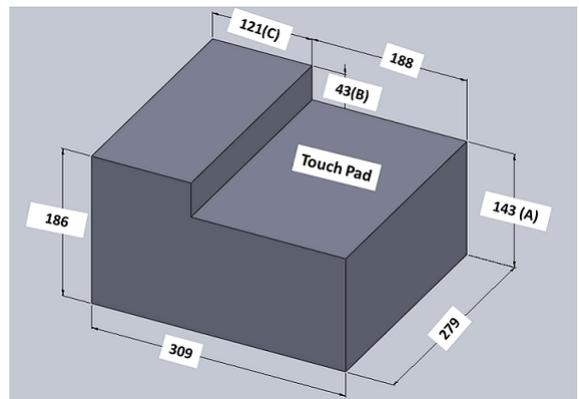


Fig. 4 Simple Drawing of Prototype

5. 部品選定および配置変更

5-1 モータ再選定と配置案

薄型化のためには、モータ配置位置の変更が必要となる。図5は、プロトタイプのアーム軌道である。図のようにアームは稼働するので、モータを図中の赤枠線内に配置するのが望ましいと考える。前述を踏まえると、従来のコアレスモータ A-max32 シリーズは軸方向長さが99.2[mm]と長いことが問題となる。そこで、以下の条件でモータを選定し直した。

- 従来の軸方向長さ99.2[mm]よりも短く、30[mm]以内のDCモータとする。
- 従来の定格トルク38.4[mNm]以上の定格トルクを出力可能なDCモータとする。
- モータ直径はある程度ならば考慮しない。
- 従来のモータコントローラで制御可能である。

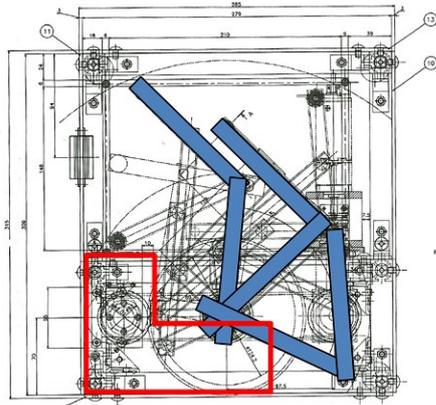


Fig. 5 Orbit of The Arm

これら条件に合うモータとして、ブラシレスDCモータではあるが、特殊電装株式会社のアウターローター・シリーズ「FZ4051」を候補として選んだ。モータの軸方向長さは軸長を除き27.5[mm]、定格トルクは49[mNm]である。また、このモータ対応のモータドライバ「TD129900A-244M00」も選んだ。仕様変更として、従来のモータコントローラでも制御可能なように、モータドライバには外部指示電圧端子の内部回路に1[μF]のコンデンサが追加され、PWMデューティ比（0~100%）を平滑してDC0~5[V]のアナログ信号に変換されるようになっている。このモータを用いると、図6(a)~(c)のような配置が可能となる。

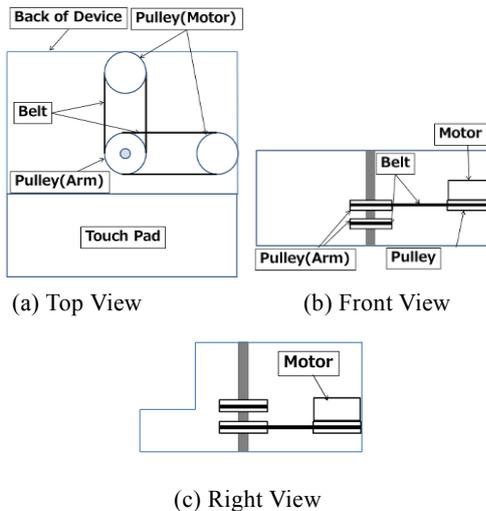
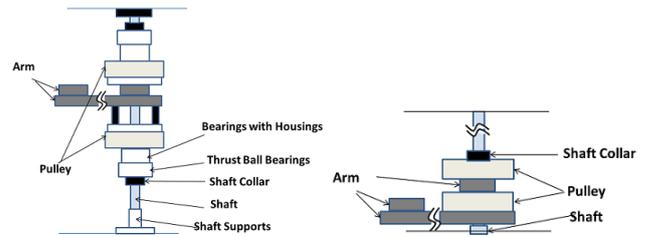


Fig. 6 Arrangement Plan of Motors

5-2 メインシャフト部の部品配置案

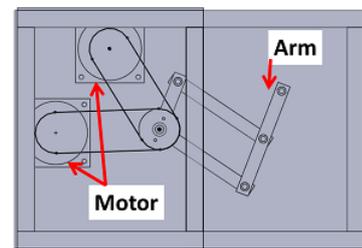
前述のモータ配置を可能にするためにメインシャフト部の部品の並びや数、種類を変更する。図7(a)は従来の部品配置であり、ニードルベアリングなどの薄い部品の表記は省略してある。図7(b)の部品からベアリングホルダセットやスラストベアリング、ニードルベアリングを除き、シャフト下端のセットカラーの代わりに段を設ける。また、その段付きシャフトを、底板を介してねじ止めで固定し、シャフトホルダをなくす。さらに、プーリの軸穴内に高さ合わせ用の金属カラーやフランジなしベアリングをはめ込む。これらにより、図7(b)ようになる。また、図7(b)では、省略してあるが、上から数えて1番目のアームとその下のプーリの間には高さ調節用の金属カラーが入る。



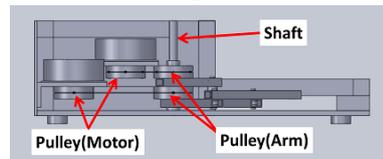
(a) Old plan (b) New plan
Fig. 7 Arrangement Plan of Parts

5-3 最終設計案

これらをまとめると、図8のようになる。図中では、一部柱や側板、天板が省略してある。図8のようになる、図5中(A)の値は48[mm]、(B)の値は66[mm]、(C)の値は217[mm]となる。また、実際に組み立てた場合、図9のようになる。



(a) Top View



(b) Left View

Fig. 8 New Assembly Drawing of Device

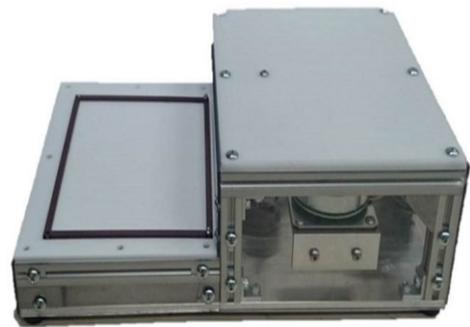


Fig. 9 New Force Display Touch Pad

6. 力覚提示タッチパッドの性能評価

本節では、まず改良した力覚提示タッチパッドの基礎的な性能を検証し、次にこのようなユーザインタフェースが視覚障害者や高齢者の長時間のPC利用に対して有効であるかを評価する方法について検証する。

6-1 基礎能力の理論値

改良型試作機の位置分解能を考える。1000[pulse/rev]のエンコーダを用いると、マイコンで4通倍されることで、タッチパッド面の中央付近では、縦横方向ともに約0.13[mm]となる。ここで、想定するPC画面解像度は1440×900（横×

縦)であり、タッチパッド面寸法は210×148[mm] (横×縦)である。ゆえに、1ピクセル当りの長さは縦約0.15[mm], 横約0.16[mm]となる。したがって、縦横方向ともに手先位置分解能が1ピクセル未満となるため、ポインティングデバイスとして十分な精度を有する。

それぞれのモータが定格トルク49[mNm]を出力すると、アーム先端での提示力(合力)は0.53[N]である。この値は、試作機のアーム先端の磁石間において提示される力(0.54[N])と近い値であり、機能として十分である。

6-2 評価法

力覚提示タッチパッドの目的は、ボタンやカーソルの位置といった視覚情報に大きく頼ることがなくとも、力覚提示による補助によって、PCの操作を容易に行えるようにすることである。したがって、力覚提示による補助がある場合とない場合とで、PC利用時の操作感の差異を確かめることがまず考えられる。実際、筆者らの先行研究⁽⁵⁾でもそれ以外に提案された機器でも、提案する機能の有無による操作性の違いを検証している。しかし、それでは複数の機器を統一的に比較することは困難であり、PC操作の試験方法を標準化する必要がある。

どのような機能を持つ機器であっても、PC操作支援であれば次の2つの観点で評価ができるはずである。

- それを用いてPCを容易に操作できるか
- それを用いてPCを長時間操作しても疲れないか

6-2-1 操作の容易性

操作の容易性には、その機器を用いてPCのある操作を容易に達成できるかということ、その機器自体の操作が容易であるかということを含む。本来評価したいのは前者であるため、実験の前に十分時間を取って、その機器の操作に被験者が慣れておく必要がある。一方、視覚に障害を生じてからの期間が長い者では、ある特定の機器や操作法に習熟しているためにバイアスが生じる恐れがある。そのため、まずはアイマスクを着用した晴眼者を被験者とする方が適当と考えられる。

実験においては、次の実験群と統制群による試験を行い、多重比較検定に掛けるのが適当と考えられる。ただし、いずれもキーボードとスクリーンリーダーは用いるとする。

- 実験群：力覚提示タッチパッドを併用する
- 統制群1：マウスを併用する
- 統制群2：何も併用しない

また、評価指標としては、課題達成までの時間、操作間違いの回数が挙げられる。統制群2ではポインティングデバイスを用いないため、実験全体では操作間違いは手動により数え上げるしかない。しかし、実験群と統制群1では、例えばカーソルの移動軌跡長さを記録することができるため、いくつかの追加比較が可能である。

実験内容を述べる。用いるアプリケーションは、例えばPC利用検定試験のような、既存アプリケーションに対して標準化されている操作課題からいくつか選択するのが適当である。しかし、研究の背景で述べたインターネットから必要な情報を取得するような課題は設定されていないため、独自に設定する必要がある。スクリーンリーダーを併用するため、画面内のカーソルがボタン上に到達すると、ボタンに書かれた内容を音声により伝える。被験者は、その音声情報を頼りに操作を進める。実験群の場合は、2節に述べた力覚情報が付与される。

6-2-2 長時間操作による疲労度

PCの長時間操作による疲労度の調査研究は、VDT症候群に関するものが広く行われているが、主に視覚刺激に長時間曝されることによる疲労に関するものであるため、今回の実験目的にはそぐわない。また、その他の疲労やストレスに関する研究でも、実験方法を標準化したものは見受けられない。そこで、先行研究⁽⁵⁾で用いた電卓アプリケーションによる操作を一定時間行わせ、その間の操作誤り頻度や脳波、心拍数といった生体情報を計測し比較評価することが有効と考えられる。電卓アプリケーションを用いた計算課題は、平易な内容でありながら比較的小さなボタン操作を繰り返さなければならない。そのため、PCの操作インタフェースの違いによる疲労度の違いが現れやすいと考えられ、また課題を標準化しやすいと期待できる。

実験群及び統制群は6-2-1と同様である。被験者はアイマスクを着用した晴眼者を対象に予備試験をしたうえで、高齢者や視覚障害者でPC利用暦が長い者が望ましい。

7. 結論

力覚提示タッチパッドの薄型化を行い、厚みは48[mm]と、一般的なマウスやキーボードより10[mm]程度高い程度にまで小型化できた。これにより、プロトタイプと比べて明らかに手や腕に対する負担を小さくできたと言える。

また、PCのユーザインタフェースの使いやすさを試験する方法の標準化も視野に入れ、力覚提示タッチパッドの有効性を検証する実験的方法について述べた。

参考文献

- (1) 町田芳明, 障害者向けキー入力装置の開発-ユニバーサルデザインによるキー入力装置の開発-, 電子情報通信学会技術研究報告. WIT, 福祉情報工学, vol. 105, no. 186, pp. 89-93, 2005.
- (2) 総務省, 平成25年通信利用動向調査の結果-総務省-, http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/140627_1.pdf, 2015.2.8.
- (3) 黒柳智弘, 田野俊一, 橋山智訓, 岩田満, 視覚に依存しない音声主体思考支援システムの提案と試作, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, vol. 103, no. 745, pp. 13-18, 2004.
- (4) 鈴木茂樹, 遠藤守, 山田雅之, 宮崎慎也, 安田孝美, 横井茂樹, 中高齢者のPC操作支援のためのWebブラウザ統合型簡易入力インターフェースの開発, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, vol. 105, no. 566, pp. 13-18, 2006.
- (5) Makoto Aoki, Ken'ichi Koyanagi, Toru Oshima, Tatsuo Motoyoshi, Evaluation of Force Display Touch Pad for the Visually Impaired, Proc. of 2013 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2013), CD-ROM/TA1-K.2, 2013.
- (6) 小柳健一, 金原正典, 力覚提示タッチパッドの開発 第1報: 基礎概念と試作, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2009, 1P1-M05, 2009.
- (7) 山本悠人, 小柳健一, 大島徹, 本吉達郎, 増田寛之, 力覚提示タッチパッドの薄型化および能力評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会2015講演論文集 No. 15-2, 2A2-I08, 2015.