両足操作型ポインティングデバイスの検討

Feasibility of Feet-operated Pointing Device

正会員 久米 祐一郎[†], 井上 啓^{*‡}
Yuichiro Kume[†] and Akira Inoue^{*‡}

あらまし 手腕に集中する PC 操作を分散させるために、両足で板を傾斜させて操作するポインティングデバイスを試作し、マウスと比較して評価した。ポインティングに要する時間はキーボードとマウス間で手が移動する時間を考慮すればマウスと同等以上、なぞりについては斜めの要素でマウスより精度が劣ることが明らかになった。

キーワード: GUI, ポインティングデバイス, 足, 作業性, なぞり

1. ま え が き

現在のコンピュータ操作では、画面上のアイコン等のオブジェクトとマウスに代表されるポインティングデバイスによる Graphical User Interface (GUI) が広く使用されている。このコンピュータ操作においては、作業負荷は視覚と手腕に集中しているが、他の感覚系や足等の他の運動系は積極的に使用されておらず、これらに作業負荷を分散させることは自然な発想である。

足を OA 機器の操作に用いることは、決して新しい考えではなく、古くから録音タイピスト用のテープレコーダでは足操作スイッチが使用されてきた。また GUI の概念とマウスが考案された当時にも脚によるポインティングが試みられ¹⁾、それ以後もいくつかの足操作デバイスが検討されている^{2)~6)}。それらは床面移動形^{2)~4)}、膝操作形¹⁾、スイング形⁵⁾、片足傾斜指示形⁶⁾等に分類できる。これらのデバイスでは、足を床面で大きく動かす必要や、足を内側に傾けたりする姿勢等の作業性の難があったり、机に固定された比較的大掛かりな装置もあり、いずれも広く使用されるには至っていない。

このような背景から、足で操作できる使い易いポインティングデバイスの実現を目標として、今回、我々は両足をプレート上に乗せて傾斜させることによりポインティング作業を行うデバイスを試作し、GUI 環境下のポインティ

ングやなぞり作業についての評価実験・検討を行った結果について報告する。

2. 試作したデバイスと実験システム

図 1 に本研究で試作した両足操作傾斜指示形のポインティングデバイスの外観を示す。両足を乗せて傾斜させるフットプレートと床に置かれた台から成っている。大きさは 300×300 mm の正方形で、厚さは 56 mm である。

図 2 に、本研究で使用した実験システムを示す。フットプレートは、図示したように中心部にある半球状のピボットで支持されており、どの方向にも自由に傾斜させることが可能である。また、台とフットプレートの間、前後左右 4 カ所にスプリングが取り付けられており、フットプレートを踏んで傾斜させる場合に適当な反力を発生させてい

図 1 試作した両足操作形ポインティングデバイス
Prototyped pointing device operated by both feet.

2000 年 2 月 28 日受付, 2000 年 4 月 3 日採録

[†] 東京工芸大学 工学部 光工学科

(〒243-0297 厚木市飯山 1583, TEL 046-242-9508)

[‡] Department of Photo-optical Engineering, Tokyo Institute of Polytechnics

(1583, Iiyama, Atsugi-shi, Kanagawa 243-0297, Japan)

* 現在 コニカ株式会社

図 2 実験システム
Experimental system.

る。4個のスプリング支持であるが、踏力に対する反力の異方性はほとんど見られない。使用者はフットプレートに両足を乗せ、スキーの場合の加重のように、ポインタを移動させたい方向に加重することにより、フットプレートを傾ける。これによって足を床面で大きく移動させる必要もなく、机の下も広く使用できる。

フットプレートの傾斜は図示したように、フットプレート背面の半球に取り付けられたLEDの光を台に取り付けられた4個のフォトランジスタで検出、差動増幅することにより電気信号に変換して、その信号をADコンバータを介してPCに取込んだ。傾斜角が水平から $\pm 15^\circ$ の範囲で、ほぼ傾斜角と出力信号は比例関係にある。試作したシステムでは、フットプレートの傾斜角度に比例して画面上的ポインタの移動速度を変化させるようにした。

なお、クリックスイッチは作業上、足で操作する必要性が小さいため、図2に示したようにキーボードのスペースバーの手前に取り付けた。

3. 試作したデバイスによる作業特性

3.1 ポインティング特性

GUI環境下で重要な作業のひとつとして、アイコンや画面の特定の位置を画面上のポインタで指示するポインティングがある。試作したデバイスの操作性に影響を与えるパラメータとして、フットプレートの傾斜角度とポインタの画面上で移動する速度の関係(以下、移動感度)、および傾斜角度と反力の関係(以下、傾斜感度)がある。そのため移動感度を36, 66, 106, 140 dots/s/deg, 傾斜感度を0.38, 0.57, 1.14, 1.54, 2.19 deg/kgfに設定して、ポインティング作業特性を評価した。なお加重については、フットプレート上、中心から10cmの位置での実測値であり、傾斜感度はばね定数の異なったスプリングを利用することにより変化させた。

ポインティング作業実験では17形ディスプレイを用い、画面解像度はVGA(640×480 dots)でアイコンはWindows標準の32×27 dotsで表示した。実験の作業環境は通常の計算機操作と同様とし、机の高さは750 mm, 視距

図 3 ポインティング作業の評価実験の方法
Procedure of pointing performance experiments.

図 4 傾斜感度に対するポインタ移動時間
Pointer moving time in terms of foot-plate inclination sensitivity.

離と椅子の高さは被験者自身に使い易い位置に調整させた。ポインティング作業実験は図3に示すように、以下の手順で行った。

- (1) 最初、画面にスタートアイコンとポインタが表示されている。
- (2) 被験者はスタートアイコンをポインタで指示して、クリックする。
- (3) クリックと同時に指示したスタートアイコンは消え、画面上で150 dots離れた位置に、別のエンドアイコンが表示される。このときエンドアイコンが提示される方向はランダムである。
- (4) 被験者はできるだけ早く、現れたエンドアイコンをポインタで指示して、クリックする。

クリックからクリックまでの時間を計測し、ポインタ移動時間として評価尺度とした。実験には20才代の4名の被験者(男性3名, 女性1名)を用い、実験は1セットを各パラメータについて10回, それを20セット行なった。

結果を全被験者の平均値として、図4に傾斜感度に対する

図5 ポインタ移動感度に対するポインタ移動時間
Pointer moving time in terms of pointer moving sensitivity.

る移動時間、図5に移動感度に対する移動時間を示す。いずれのグラフでも極小値が存在し、その範囲は移動感度が60~110 dots/s/deg、傾斜感度が1~1.5 deg/kgfであることがわかる。図4および図5に示された移動時間の極小値は約1.8sであるが、比較のため同様の実験を手で操作するマウスで行った結果は、移動時間は約0.8sであり、これと比較すると移動時間は長くなっている。しかし、PC操作にマウスを使用する場合、キーボードから手を離してマウスを把持し、ポインティング作業終了後にキーボードに手を戻すことが必要な場合が多い。この手の往復時間は約1.2sであり⁴⁾、この時間を含めて評価すれば、今回試作したデバイスの作業時間はマウスと同等以上となる。

画像解像度の影響を調べるため、同様の実験をXGA (1024×768 dots)を用いて行ったが、移動時間は同等であり、画像解像度の影響は見られなかった。これは視覚に提示されたアイコンとポインタの位置情報を基に、足の動作を適応、調整して作業を行えたためと考えられる。

3.2 なぞり作業特性

PCの操作において、ポインティングデバイスは単に位置を指示するのみではなく、GUI環境下では様々なアプリケーションにおいて様々な入力に使用される。その中でも頻繁に行われるものに、文章の一部分の選択、図の作成、描画、ペイント等で定まった線を「なぞる」作業がある。この場合、クリックボタンを押しながらポインティングデバイスを操作して、定まった線をなぞらなければならない。この作業では速く行うだけではなく、定まった線を正確になぞることが要求される。

本研究では作図作業を模擬し、画面上の縦線、横線、斜線、および円をポインタでなぞり、速さと精度について実験を行った。実験に使用した、なぞりパターンを図6に示す。画面解像度はVGAとして、縦、横、斜めの長さ200 dotsの線、および半径100 dotsの円である。なぞりの開

図6 なぞり特性評価実験に用いた線パターン
Line patterns used for line-trace performance experiments.

図7 足を用いたポインティングデバイスによるなぞり作業の例 (提示された線と実際になぞった軌跡が囲まれた領域を塗りつぶしてある)
Examples of trace lines by feet-operated pointing device. Areas surrounded by displayed and traced lines are painted.

始点と終了点は図示したように半径10 dotsの円を用いた。円の場合は開始点と終了点は同じであり、なぞる方向は横線の場合は左から右、縦線は上から下、斜線は左上から右下、円の場合は両方向とした。

被験者には開始点をクリックし、クリックボタンを押したまま、ポインタで線をできるだけ速く、かつ正確になぞり、終了点でポインタを停止させ、クリックボタンを離すように指示した。実験で使用した被験者は20歳代の男性4名であり、比較のため同様の実験をマウスにて行った。実験は各条件10回を1セットとして20セット、各被験者について行った。

実際に足デバイスにより、なぞり作業を行った軌跡の一例を図7に示す。図7では、提示された線と実際になぞった線で囲まれた領域を塗りつぶしてある。なお、実験中はこの塗りつぶし領域は表示せず、ポインタの軌跡のみ表示

図8 提示された線と実際になぞった軌跡が囲まれた領域で示したなぞり作業の精度
Areas surrounded by displayed and traced lines representing accuracy of tracing tasks.

した。実験ではクリックボタンを押してから離すまでの作業時間と、精度として提示された線と実際になぞった線で囲まれた領域に含まれるドット数を求めた。

作業時間については、提示される線の種類によらず、マウスと足デバイスの作業時間には大差は見られなかった。一方、図8に提示された線となぞった線に囲まれた領域のドット数を示すが、縦線と横線の場合にははみ出した領域について足デバイスとマウスの間に大差は見られなかったが、斜め線と円の場合には足デバイスのものはマウスより大きくなった。図7のなぞった軌跡からも明らかなように、試作したデバイスでは縦と横方向は操作性が良いが、斜め方向では精度良く操作し難いことが明らかになった。デバイス自体の特性としてはポインティングに異方性がないことから、それは人体の骨格や関節の可動方向等の構造によるためと考えられる。

4. 考 察

本研究では、設置スペースや足の動作範囲が少ない両足操作傾斜支持形のポインティングデバイスを開発した。ポインティング特性は現状の解像度のディスプレイ上で、手の移動時間を考慮すればマウスと同等以上であり、充分実用になると考えられる。足を内側に傾けるなど、不自然な動作もほとんどなく、また足を大きく動かす必要もなく、長時間の使用にも充分耐えうと思われる。

現在、身体障害者にとってPCはコミュニケーションツールとして不可欠である。本研究で試作したポインティングデバイスは足を用いるため、手が使用できない肢体障害

者や、キーボードから手を離したり、戻したりする作業を円滑に行えないロービジョン等の視覚障害者がPCを使用する場合に有用と考えられる。本デバイスは単なるフットスイッチではなく、2次元の連続的な量を入力することが可能であることから、PCに限らず拡大読書器のような身体障害者用補助機器の操作⁷⁾にも有効と考えられる。

なぞりの実験で明らかになったように、本デバイスでは前後、左右の作業性は良いが、斜め方向については人間の骨格構造に起因し、作業性が劣ってしまう。もちろん、この欠点を克服するための装置自体の改良も必要ではあるが、人間の骨格や関節構造と本デバイスの構造から得策ではなく、むしろこの特性を生かした応用も考慮すべきであると考えられる。

5. む す び

両足操作傾斜指示形ポインティングデバイスを試作し、手で操作する通常のマウスと比較して評価を行った。ポインティングの作業性については、マウスを使用するときと比較すると、手がキーボードとの間を移動する時間を考慮すれば同等であるが、描画等のなぞり作業では斜めにポインタを移動する場合、精度が劣ることが明らかになった。

〔文 献〕

- 1) W. K. English, D. C. Engelbart, M. L. Berman: "Display Selection Technique for Text Manipulation", IEEE Trans. Human Factors in Electronics, **HFE-8**, 1, pp. 5-15 (1967)
- 2) 武藤, 藤本, 田村: "足マウスの指示動作特性と文書入力作業におけるキー操作との協調性について", Human Interface, 1, pp. 191-196 (1986)
- 3) 田村, 藤本: "新しいメディア・対話形式", エレクトロニクス, 昭和62年1月号, pp. 47-52 (1987)
- 4) 今井, 久米, 津田: "足を用いたポインティングデバイスの検討", 映像学技報, **21**, 20, pp. 29-34 (1997)
- 5) G. Pearson, M. Weiser: "Of Moles and Men; The Design of Foot Controls for Workstations", CHI '86 Proceedings, pp. 333-339 (1986)
- 6) 金田, 西, 土井, 藤沢, 吉田: "フットマウスの試作", 第14回ハ工学カンファレンス講演論文集, pp. 207-210 (1999)
- 7) 大倉, 小笠原, 丹治, 立川, 山崎, 岡田: "カメラ移動型拡大読書器の試作とその応用", 労働科学, **75**, 4, pp. 131-137 (1999)

く め ゆういちろう
久米祐一郎 1985年、早稲田大学大学院理工学研究科物理学及応用物理学専攻博士後期課程修了。(株)東芝、早稲田大学理工学部助手、シカゴ大学医学部研究員、SRI インターナショナル主任研究員等を経て、現在、東京工芸大学教授。バーチャルリアリティ、視覚障害者補助技術等の研究に従事。工学博士。正会員。

いのうえ あきら
井上 啓 1997年、東京工芸大学工学部光工学科卒業。1999年、同大学大学院工学研究科光工学専攻修士課程修了。在学中、視覚障害者用補助機器や足を用いたインタフェースデバイスの研究に従事。現在、コニカ(株)勤務。