

## 視線移動を考慮した 頸髄損傷者のためのペン型ポインティング・デバイス

伊藤英一<sup>†</sup> 大橋正洋<sup>†</sup> 飯塚慎司<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>神奈川県総合リハビリテーションセンター

〒243-01 神奈川県厚木市七沢516

<sup>‡</sup>株式会社アプティ

〒251 神奈川県藤沢市藤沢1031

頸髄損傷による四肢麻痺者は運動機能のみならず、上肢の感覚機能にも障害を有する。そのため、高い巧緻性を必要とするマウス操作が困難となる場合が多い。そこで、感覚の無い手指やスティックによりポインティング操作を行なうためマウスの代替装置を利用する。

しかし、キー操作などによる代替装置では失われた感覚機能を視覚により代替することが必要であり、マウスポインタに集中するべき視線が頻回に移動せざるを得ない。

そこで、キーボードなどによる選択や押し替えの必要な方法ではなく、上肢の位置に影響されず、粗大な運動によって二次元の方向を示すことが可能なポインティングデバイスを考案・試作し、評価実験を行なった。

### A pen-type pointer for quadriplegics that devised to reduce excessive line of sight movement

Eiichi Ito<sup>†</sup>, Masahiro Ohashi<sup>†</sup>, Shinji Iizuka<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>Kanagawa Rehabilitation Center

516 Nanasawa, Atsugi, Kanagawa, 243-01 Japan

<sup>‡</sup>Advanced Peripherals Technologies, Inc.

1031 Fujisawa, Fujisawa, Kanagawa, 251 Japan

Quadriplegics cannot operate the mouse because of paralyzed hand's motor and sensory function. When they use the mouse emulators by keyboard operation or switch operation, they have to move line of sight from the display to the keyboard quite frequently.

We developed a pointing device that is not influenced by position of the upper limb and can operate with limited motor function. This pointing device, "Magic Wand" can reduce excessive line of sight movement when quadriplegics are accessing the computers.

## 1. はじめに

コンピュータを利用する重度身体障害者の割合が多くなっている。言葉や書字の代替などコミュニケーションの補助 [1] や余暇、就労に至るまで様々な場面でコンピュータを利用している。特に自力移動の困難な四肢麻痺者にとって、パソコン通信など情報通信ネットワークの利用は単に社会参加への足掛かりとしてではなく、自ら持ち得る情報を発信するという社会貢献をも可能にする重要なメディア [2] となってきた。今後のコンピュータ開発には障害者を含む全ての人達の利用を考慮する必要がある。

重度身体障害者のコンピュータアクセス手段は身体機能によって大きく異なる。高位頸髄損傷による四肢麻痺者（以下、頸髄損傷者とする）の場合、手指に運動、および感覚の麻痺があり、指によるキーボードの打鍵は不可能となる。そのため、装具などにより掌に装着したスティックやマウススティック（図1参照：口にくわえた菜箸など）によって電源スイッチを入れ、キーボードを打鍵している。

また、最近では Macintosh や MS-Windows など GUI (graphical user interface) を活用したものが多く、マウス操作はコンピュータアクセスに必要不可欠なものである。しかし、マウス操作は上肢に障害の有るものにとって大変難しい。そのため、障害者用マウス代替装置が開発されてきたが、利用者の残存機能による代替を重視しているため、操作性まで考慮されているものは僅かである。

そこで、上肢によりキーボード操作の可能な C6 頸髄損傷者（C6：第6頸髄節まで

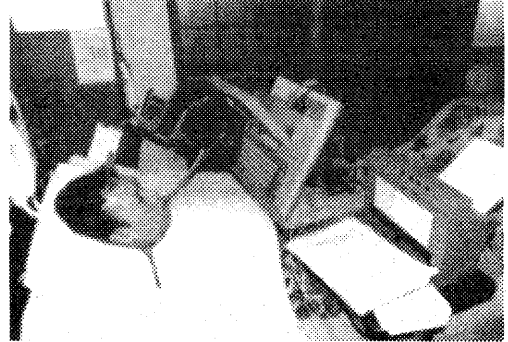


図1. マウススティックによる  
コンピュータアクセス

が健常) の操作性を考慮したペン型ポインティング・デバイスを開発したので報告する。

## 2. ポインティング操作

### 2.1 通常のポインティング操作

一般的なポインティング・デバイスであるマウスは、掌で軽く握り、机などの平面を上下左右に滑らせることによりマウスポインタが移動する。マウスポインタの移動方向を定める座標原点はマウス自身に存在するため、上下左右の位置決めだけでなく、マウス本体の回転をも制御する必要が有る（図2参照）。また、マウス操作におい

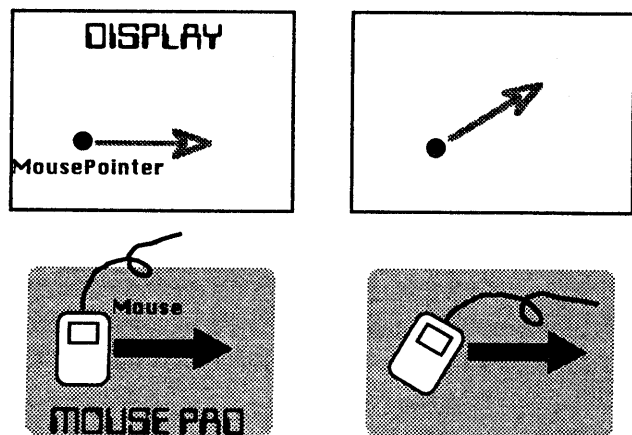


図2. マウス本体の回転とポインタの移動方向

て、操作者の視線はディスプレイ画面上のマウスポインタを注視していることが多い。

ノートパソコンには省スペース性や操作効率の向上が望まれるトラックボールやトラックポイント、ポイントパッドなど様々なポインティング方法が利用されている。これらはキーボード操作のタッチ・タイピングと同様、視線がディスプレイから離れず、手指もキーボード操作時のホームポジションから大きく移動しないように設計されている。

つまり、通常のポインティング操作では、操作者の視線はマウスポインタを移動する目標（終点）と目標に近付きつつあるマウスポインタにあり、ディスプレイから外れるような大きな視線移動はわずかである。また、上肢（手指）の運動制御において視覚によるフィードバックはほとんど無く、体性感覚（皮膚感覚、深部感覚）により行なわれている。

## 2.2 頸髄損傷者による

### ポインティング操作の現状

マウスの利用が困難な身体障害者のために、単純な操作によりポインティング操作

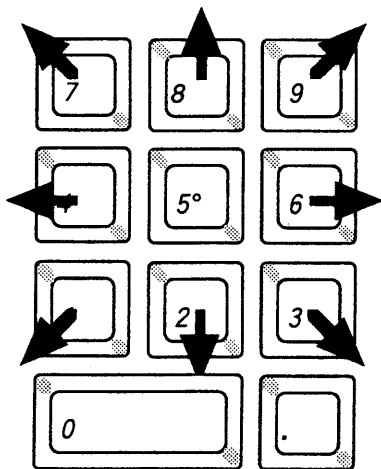


図3. マウスキーの配列

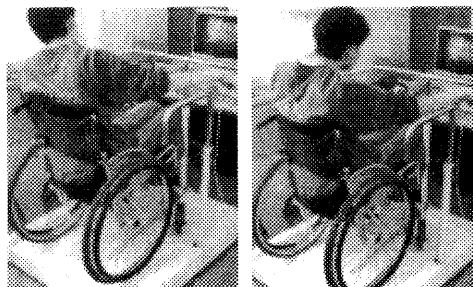


図4. フォースマウス操作風景

を可能にする方法が開発されている。Apple MacintoshOS や IBM AccessDOS [3]、MicroSoft Windows'95にはマウス操作をソフトウェアにより代替するマウスキー（図3参照）がある。これは、キーボード操作によりポインティングを実現するもので、テンキーの"5"を中心とする8個のキーによりマウスポインタを8方向へ移動させるものである。押しボタンによるマウスエミュレータ「こねこの手」[4]も8個のスイッチによってマウスポインタを移動させるマウス代替装置である。

キーボード操作以外ではタブレットやトラックボールを利用している場合も多い。さらに、頭部の傾斜や旋回を利用した「ヘッドマスタ」や、操作スイッチによる「HAマウス」[5]、体幹の重心移動による「フォースマウス」[6]（図4参照）など特殊なものもある。しかし、後者は利用目的や利用者の身体機能を限定したものであり、頸髄損傷者によるコンピュータの汎用作業には適していない。

頸髄損傷者の場合、運動機能によりトラックボールの利用が可能であったとしても、上肢の位置覚や触覚の代償動作として視覚によるフィードバックが必要となる。

つまり、体性感覚の低下がある場合、「手」と「デバイス」の位置を確認するため、頻繁に視線がディスプレイと手元を往復する。キーボードの操作が必要なマウスキー

や押しボタンによるマウス代替装置なども同様に視線移動が生じる。

### 3. 頸髄損傷者に適した

#### ポインティングデバイス

#### 3.1 頸髄損傷者に適したデバイスの条件

C6レベルの頸髄損傷者がキーボード操作を行うには、まず把持力の無い手指でスティックを握るためのカックアップスプリントや万能カフを装着する。そのスティックには消しゴム付鉛筆など先端に滑止めの処理を施したものを利用し、キートップを押し下げるときに滑らない工夫が必要である。当然ながらタッチタイピングが不可であり、ディスプレイとキーボード間における視線移動が生じてしまう。しかし、キーボード操作においては入力確認やかな漢字変換時にディスプレイを見る程度であり、ポインティング操作ほどディスプレイに集中する必要がないため、問題は少ないと考える。

以上の点から、頸髄損傷者が視線移動の少ないポインティング操作をキーボード操作と併用しながら実行するためには以下の条件が必要である。

- ①スティックにより操作可能
- ②スティックによる選択や押替えが不要
- ③上肢の絶対位置に影響されない
- ④上肢の粗大な運動（肩関節による上肢の制御）で操作
- ⑤クリック操作も同様に実行可能

以上より、スティック自身にポインティング機能を付加する方法を考案した。これは、キーボード打鍵用のスティックの先端にせん断力を加えることで、二次元平面における方向と大きさを表現でき、マウスポインタの移動方向と移動速度を与えることが可能である。

### 3.2 ペン型ポインティング・デバイス

キーボード打鍵用のスティックに架かるせん断力を検出するため、先端に4方向（2軸）のロードセルを設ける。そして、その出力（モーメント）からスティックに加えられた力の方向と大きさを算出し、それらに応じたマウスポインタの移動方向と移動速度に変換する。この機構により、机上に限らずスティック先端にせん断力を架けることによりマウスポインタを上下左右に移動させることが可能となる。

また本機構は、移動させたい方向へスティックを滑らせる『ペン書きモード』と、移動させたい方向へスティックを傾ける『ジョイスティックモード』の双方を切り替えることなく利用できる。（図5参照）

モーメントを計測する方法としては、歪みゲージを利用した方法が一般的である。しかし、本機構には高精度は不要であり、小型・軽量・低価格を実現するためにもアンブ等の必要な歪みゲージは適さない。そこで、最近ノートパソコンに利用され始めたポインティング・デバイスを応用することにした。これはFSR (Force Sensing Resistor: 感圧抵抗素子) によりモーメントを検出するもので、IBM Think Padシリー

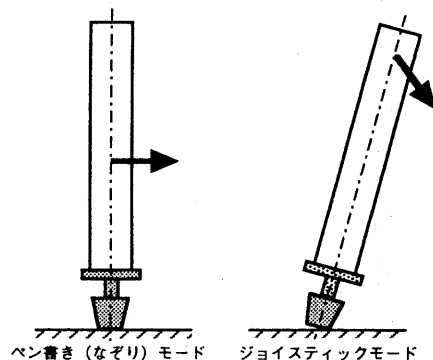


図5. ペン型ポインティング・デバイスの操作モード

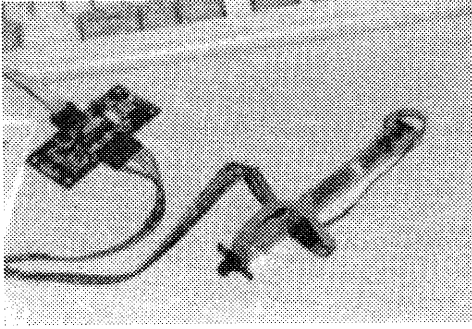


図6. ペン型ポインティング・デバイス  
"Magic Wand"

ズの内蔵ポインティング・デバイス (TrackPoint) などに採用されている。Think Pad シリーズでは、キーボード中央の [G] [H] [B] キーに囲まれた箇所へ配置されたピン状の超小型ジョイスティックである。そのジョイスティック部分のパーツと同等な VersaPoint MicroJoystick (インターリンク社製) を、キーボードを打鍵するスティックの先端に取り付けたものがペン型ポインティング・デバイス "Magic Wand" (図6参照) の基本的な機構である。

一般的にポインティング・デバイスにはクリックボタンが装備されている。通常、PCAT 互換機や NEC PC9801 シリーズなどには2つのクリックボタンが存在する。その場合、アプリケーションソフトにもよるが、多用するのは左ボタンであり、今回の実験ではポインティング機能の評価ということで左クリックのみを設けた。クリックボタンの操作も打鍵やポインティング操作と同様、視線移動の無い操作方法が必要である。そこで、本機構にはキーボード打鍵よりも強い力でスティックを押し込むことによりクリックボタンと等価な操作となる機構を設けた (図7参照)。

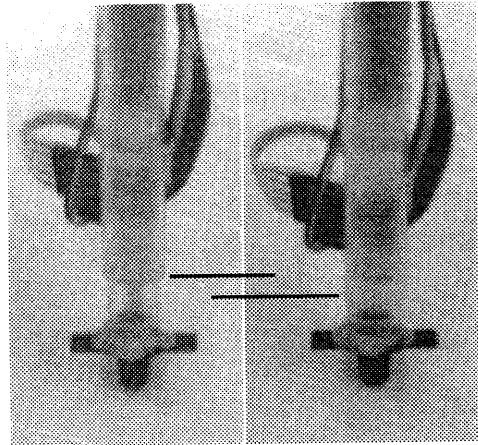


図7. 押し込みによるクリック動作

## 4. 利用実験

### 4.1 対象

試用評価を行う被験者は、ワープロ/パソコン歴が6年程度の頸髄損傷者 (C6レベル: 男性46歳) である。通常のパソコン操作はユニバーサルカフに滑り止めの付いたキーボード専用スティックを装着し打鍵している。また、ポインティング操作としてはクリックボタンを外付けしたトラックボールを利用している。

### 4.2 実験環境

使用したパソコンはPCAT 互換機で、MS-Windows を搭載したものである。VersaPoint MicroJoystick 専用ドライバを組込み、感度や加速度などは被検者に適したものを事前に調整した。

被検者は車いすに座り、カットアウトテーブルを膝の上部に載せて、テーブル上にキーボードを置き右上肢にて打鍵する。ペン型ポインティング・デバイスは被検者が通常使用しているユニバーサルカフ (ボールペンやキーボード打鍵用スティック、フォーク、スプーン等を装着するための装具) に装着した。ペン型ポインティン

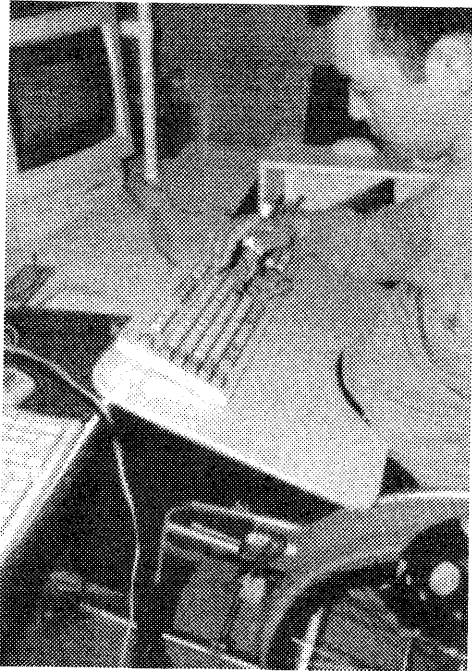


図 8. 実験の操作環境

グ・デバイスを操作する場所や位置は特に指定せず、被検者の利用しやすい位置で操作することとした。(図 8 参照)

#### 4.3 実験内容

今回の実験では、ポインティングとキーボード操作を併用する汎用作業を行ない、被検者の主観的な意見（通常利用しているトラックボールとの差）と操作状況を観察した結果から有効性を判断する。操作内容は MS-Windows における基本的な操作とワープロソフト「一太郎」を利用した文章の作成／編集作業である。

#### 4.4 結果

視線移動はトラックボールと比較して大幅に減少している。トラックボールを利用している場合でも、ボール上にスティックや掌を接触させたまま回転できる狭い範囲であれば視線移動は生じない。しかし、大

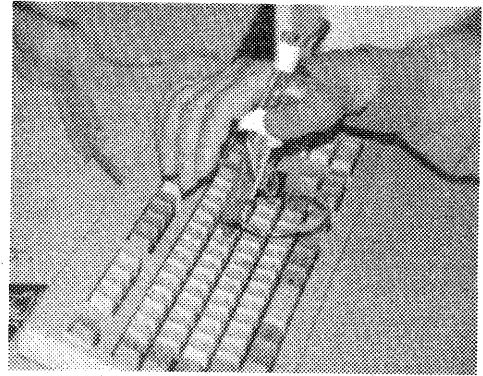


図 9. "Magic Wand" によるキーボード操作

きな移動を伴う場合にはスティック等の置き換えが必要となり、視線移動の発生率が高くなる。

ペン型ポインティング・デバイスではキーボード打鍵時(図 9 参照)にマウスポインタが若干移動するが作業には影響しない。また、ポインティング操作時の視線移動はほとんど無く、キーボード操作とポインティング操作の変換時と、実験に使用したプロトタイプの形状に起因する不都合(ペンの操作角度に制限がある)により、マウスポインタが停止し、その時点で視線移動が発生した。

## 5. 考察

### 5.1 形状について

実験に使用したペン型ポインティング・デバイスのプロトタイプはスティックにノック式マーカーペンを利用した。このマーカーペンは外径 14mm、長さ 140mm であり、VersaPoint を接着するには適するが一般の鉛筆(外径約 8mm)と比較して太く、ユニバーサルカフへの装着(固定方法)には工夫が必要であった。また、ペン型ポインティング・デバイスが回転してしまうと座標軸が旋回して、意図する方向へマウスポインタを移動することが困難になる。

利用したセンサー (VersaPoint) の一般的な実装 (組込み) はキーボード上であり、形状はコネクタとなるベース平面に対して垂直にピンが立つものである。そのため、センサーをマーカーペンのノック部に接着した本プロトタイプでは、ケーブルがスティック先端付近から水平方向へ突出しているため、スティックを傾けるとテーブルと干渉してしまう。つまり、ペンを操作する角度に制限があった。今後、センサーおよびスティックの形状については検討する必要がある。

## 5.2 操作特性について

ポインティングの操作性に関しては、8方向の直線移動に限定される押しボタンによるマウス代替装置や AccessDOS、Easy Access の「マウスキー」とは異なり、マウスやトラックボールのような自由度が得ら

れた。また、マウスやトラックボールと比較して視線移動の少ないポインティング操作とクリック操作が確認された。マウスポインタの移動方向を変更したり、クリック操作へ切り替る場面においても、肩関節による粗大な運動によって制御可能であった。(図10参照)

しかし、C6頸髄損傷者の上肢には肘関節伸展機能の低下が認められることから、ペン型ポインティング・デバイスを前方および外側方向に「力」を加えることが困難となる。そのため、右上肢でペン型ポインティング・デバイスを操作する場合には上および右方向への感度を上げるなど、方向毎に感度調節が可能な機能の必要性を認めた。さらに、クリック時にはペン型ポインティング・デバイスを下方へ押し下げる必要が有るが、この荷重によりモーメントが発生し、マウスポインタの移動により誤操

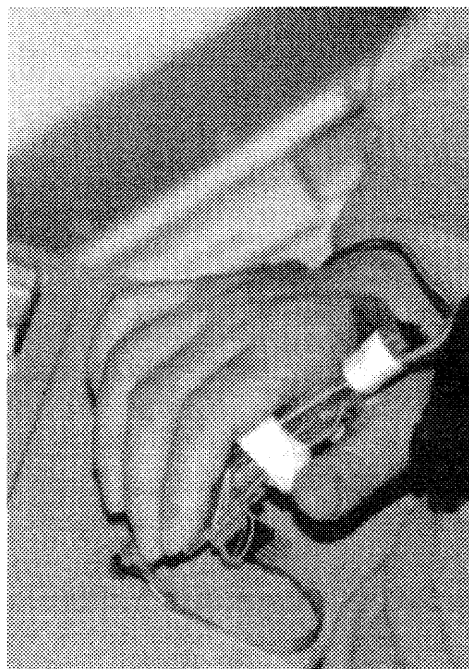
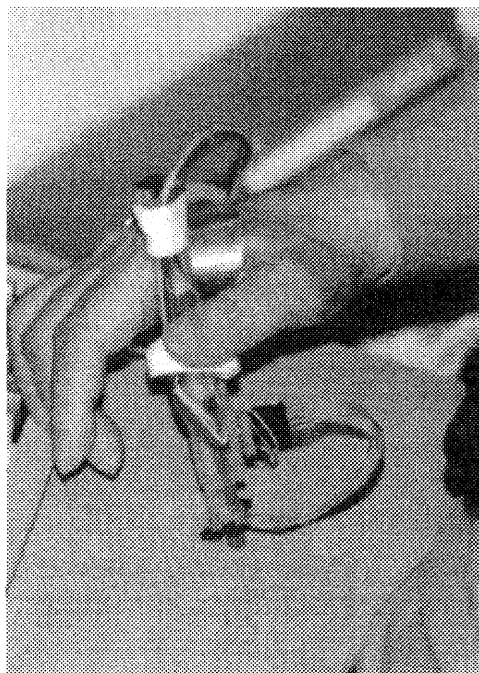


図10. マウスポインタの移動 (方向による手先の変化)

作となる場合がある。これを防止するため、マウスポインタの移動感度に不感帯等を設けるなどの検討が必要である。

## 6. まとめ

C6頸髄損傷者がキーボード操作を行う際に利用するスティックで、ポインティング操作をも可能にするペン型ポインティング・デバイスを考案し、試作・評価を行った。これは、ポインティング操作時における視線移動を極力無くすことにより、パソコン操作の効率を向上させるものである。また、ポインティング操作時、およびポインティング操作からクリック操作へ、またはその逆において、操作肢位の変化はほとんど無く障害者には適していると考えられる。

マウスやトラックボール等一般のポインティング・デバイスと等価な自由度が有り、ポインティング・デバイスとしては健常者の利用にも十分絶え得るものと予想される。今後は、マウスポインタの加速度や方向毎の感度調節、不感帯の設定などが可能なドライバソフトにより、利用者個人に適した操作環境を提供する予定である。

## 参考文献

- [1] 伊藤英一：身体障害者を支援するコンピュータテクノロジー、bit (共立出版)、25 (9)、p.14-21、1993
- [2] 伊藤英一、大橋正洋他：情報通信による在宅重度身体障害者の社会参加、第6回利用者指向の情報システムシンポジウム論文集 (情報処理学会)、p.33-42、1994
- [3] 飯塚慎司：AccessDOS、リハビリテーション・エンジニアリング、Vol.9, No.1、p.35-38、日本リハ工学協会、1994
- [4] 伊藤英一、藤井直人他：押しボタン式マウスの実用化 (II)、第9回リハ工学カンファレンス講演論文集 (日本リハ工学協会)、p.463-466、1994
- [5] 畠山卓朗、田中 理他：重度筋ジストロフィー患者のパソコン操作支援に対する取り組み、第8回リハ工学カンファレンス講演論文集 (日本リハ工学協会)、p.299-304、1993
- [6] 伊藤英一、鈴木邦治：重心移動を利用したマウス (フォース・マウス) の開発、第8回リハ工学カンファレンス講演論文集 (日本リハ工学協会)、p.315-317、1993