

ステム（光マウス）を開発したので、その概要について報告する。

2. 開発に対する背景

2.1 既存のマウスエミュレータ

頸髄損傷者向けのポインティングデバイスは、主にパソコンの利用を目的としたマウス代用装置に関して研究報告があり[3-9]、市販品も存在する[10-12]。スキャン選択[12]や方向毎のスイッチ操作による移動[4]、ジョイスティックタイプの操作[8]を別とすれば、多くの機器は頭部の動きをマウスカーソルの動きに連動させてマウス操作を行うものであり[3,5,7,9]、頸髄損傷者の残存機能を有効に活用するものである。

これらの機器を使用する際には、ゲイン(gain: 頭部の動きに対応するマウスカーソルの移動量の設定)と感度(sensitivity)の設定があり、これらの設定が適切でない場合には問題が起こる。ゲインに関すれば、市販品では厳密なキャリブレーション操作は必要ないが、利用者はマウスカーソルがアイコンやメニューバーなどの目的箇所到達するように頭部を動かさなくてはならず、頭部がわずかししか動かない場合には画面の周辺にマウスカーソルが移動しないことがある。

2.2 光キーボードユーザへの適合

本システムを開発した背景には、Windows-PC のマウス利用を目的に光キーボードユーザ(頸髄損傷者)に対して市販品の Tracker-One・Track-IR の導入を検討したものの、PC 画面(19インチ)と利用者の距離が90cm程度と離れているために、機器に備えてあるゲイン調整では画面の周辺にマウスカーソルが移動しないという事例が存在することによる。また、利用者はこれまで光キーボードによるキーボード操作には習熟しているため[2]、レーザーポインタを活用したマウスポインティング機能が望まれていた。

3. 画像処理による液晶画面上のポインティング箇所の検出

利用者がマウスカーソルを移動させたい箇所にレーザーポインタを照射し、そこへマウスカーソルが移動すれば、ユーザインタフェースとして十分である。本システムは USB カメラにより取り込んだ画像をソフトウェア的に処理し、液晶画面上のレーザー照射箇所を検出してマウスカーソルの移動に連動させるアプリケーションである。手順は以下の通りとなる。

3.1 偏光フィルタの利用

パソコンの液晶画面には偏光フィルタが組み込まれており、同じフィルタを90度回転させたフィルタを通して撮影すると、液晶画面のみが黒く撮影され(図1左→右)、液晶画面フレームの検出が容易になる。

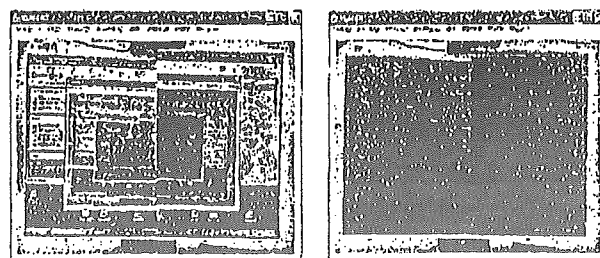


図1 フィルタ挿入前後の取り込み画像の様子

Fig.1 CRT Image with/without PL-filter

3.2 USB カメラの利用

前述の偏光フィルタを利用した USB カメラ(トリニティ: uCamHi-130C, カラーCMOS, Rev. USB2.0)により液晶画面を撮影し、取り込んだ画像をソフトウェア的に処理する。画像処理ボードのようなハードウェアを利用しないことでシステムが簡略化する。現状では、画面周辺部におけるレーザー光の反射を考慮して、USB カメラを2台設置し、おのおの撮影した画像を合成した上で1枚の撮影画像(640×480画素)として処理を行う。

3.3 ソフトウェアによる画像処理

まず、取り込んだ画像を2値化し、液晶画面フレームを検出する。合成された画像内において液晶フレームは正確な四角形とはならないため、以下の手順でフレームの左上、右下座標を算出し四角形とする。

図2は2値化された画面データの左上部を模式的に表した物であり、それぞれのセルが1つの画素を示し、「1」は実際には「0xFFh」である。

Cy[m]

m									
0	8	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	8	1	1	1	1	1	1	1
3	2	5	1	1	0	1	0	1	0
2	3	3	1	1	1	0	0	0	0
1	4	2	1	1	0	0	0	0	0
0	5	2	1	1	0	0	0	0	0
1	6	3	1	1	1	0	0	0	0
n		0	1	2	3	4	5	6	7
Cx[n]		7	7	4	3	2	3	3	2
Cx[n+1]-C x[n]		0	3	1	1	1	0	1	

図2 フレームの左上座標の求め方

Fig.2 Upper-left position of LCD frame

Cx[n]はX=0~640までの各列(Y=0~480)の要素が「1」である画素の合計値である。Cy[m]も同様にY=0~480の各行(X=0~640)の要素が「1」である画素の合計値である。次に Cx[n]と Cx[n+1]、Cy[m]と Cy[m+1]の差分が一番大きいところ

を求め、それぞれ+10画素(または-10画素)した点をフレームの左上座標とする。上図の例では、左端 $n=2$ 、上端 $m=2$ が交点で、座標値は $X=12$ 、 $Y=12$ となる。右下座標についても同様である。

その後、しきい値の設定により液晶フレーム上の大きなノイズを除去し、しきい値以上の輝度の高い画素の重心位置をレーザポインタの照射箇所とみなす。しきい値は使用状況により調整することとし、現状では画面を4行に分割してエリア毎にしきい値を設定する。

さらに細かいノイズを除去するため収縮・膨張処理を加える。収縮処理とは、ある画素の近傍に一つでも0値があればその画素を0値に、その他を1値にする処理であり、膨張処理はその逆で、ある画素の近傍に一つでも1値があればその画素を1値に、その他を0値にする処理である。収縮→膨張処理の順に行うと、白い孤立したノイズが収縮処理の際に除去され、レーザポイント箇所だけを検出しやすくなる。

3.4 マウスカーソルの移動

図3はアプリケーションを起動した際の模式図で、太線がPC画面である。アプリケーション(長破線)には液晶を撮影した画面を表示し、画像内に検出された液晶フレーム(点線)とフレーム内の照射検出箇所(点線内の○)との相対位置を求め、液晶画面上のマウスカーソル位置(矢印)へと反映させ、移動させる。図3では液晶フレーム右上にレーザ照射箇所が検出されており、PC画面では右上位置にマウスカーソルが移動する。

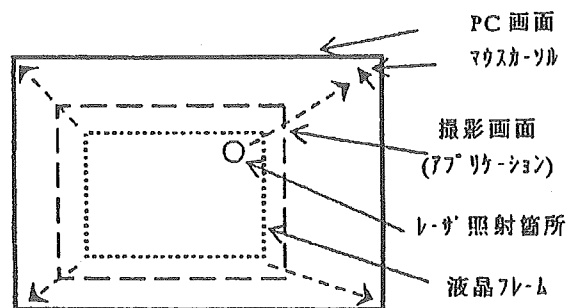


図3 算出された液晶フレームとレーザ照射箇所の位置関係およびマウスカーソル位置

Fig.3 Calculated CRT flame and light spot position, and linked mouse cursor position

処理は10FPS(frame/sec)程度で、レーザ照射箇所の座標値は随時バッファに蓄積されている。マウスカーソルの移動は、フレーム毎のレーザポインタの移動量 $m(\text{dot/frame})$ を算出し、その移動量が規定値 M 以下の状態で規定の継続時間(追従遅れ: T 秒)経過した後に行うこととした。この処理により、レーザポインタをすばやく($M \text{ dot/frame}$ 以上で)移動させたときには停止した後の T 秒後に、ゆっくり動かしたときには M

dot/frame 以下であれば、レーザポインタの移動にあわせてマウスカーソルがゆっくり追従する。また、光入力式キーボードユーザは左右クリック・ドラッグなどのマウス操作を液晶画面の周辺に配置した専用センサにレーザ光を照射することで行っているため、上記のような移動処理によりクリック操作を行うために頭部を移動させた際でもその動きにマウスカーソルが追従することはない。 $M(\text{dot/frame})$ 、 $T(\text{sec})$ の設定値は利用者の状況に合わせて変更可能とする。

3.5 システムの設置概要

システム配置は図4のようになる。液晶画面の周辺に設置してあるセンサは、光キーボードユーザが利用するマウスカーソル移動用のセンサであり、後述するような使用評価に利用する。

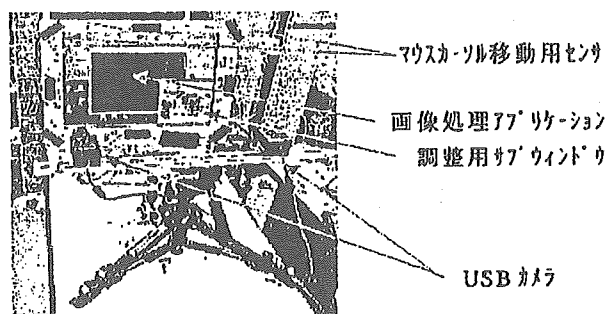


図4 システムの設置概要
Fig.4 System arrangement

4. 使用評価

本システムを利用したポインティング操作と移動用の光センサを用いたポインティング操作を比較し、使用評価を行う。評価項目はマウスカーソルがターゲットサークルへ移動するまでの時間($T1 \text{ sec}$)とマウスカーソルがターゲットに接触してからクリックが完了するまでの時間($T2 \text{ sec}$)を指標とする。

画面には図5のように中心点と周辺30箇所(8方向・3距離と周辺6箇所)の位置にランダムな順にターゲットサークルが表示されるので、被験者は中心→周辺1→中心→周辺2...の順に表示されるターゲットにマウスカーソルを移動させ、左クリック用の光センサにレーザを当てることでターゲットを選択する作業を行う。画面上では、選択されたターゲットは消去され次に選択すべきターゲットだけが表示される。移動時間 $T1$ は、左クリック後からマウスカーソルがターゲットに到達するまでの時間として計測する。

被験者は、頸髄損傷者1名(SCI-A: 光センサによる移動3回)、健常者3名(AbleBody-B: 1名、光マウスシステム1回、光センサ3回、AbleBody-C, D: 2名、光センサ3回)にお願いした。頸髄損傷者は13年程度継続して光キーボードを利用しており、マウ

ス移動用の光センサによるマウスカーソルの移動には熟練している。健常者はどちらの操作も初体験である。

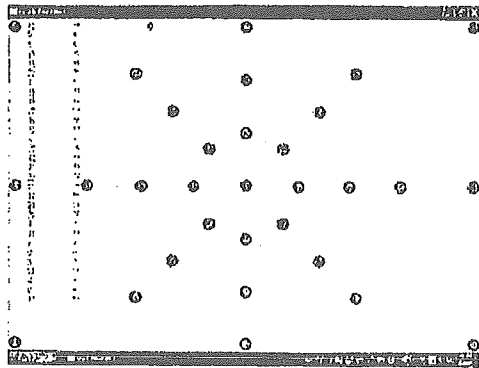


図5 ターゲットサークルの配置
Fig.5 Position of target circle

画面の解像度は1024×768ドット、ターゲットサークルの大きさは直径26ドットであり、標準的な表示における「閉じる・最大最小化」ボタンの1辺と同値である。マウスカーソルの移動速度は、初期値は80 dot/secで、0.6秒以上照射し続けると300 dot/secに加速する設定であり、この値は頸随損傷者が使い慣れている環境における値である。マウスカーソルの位置は50 ms 毎にサンプリングを行った。光マウスシステムにおける設定値は、 $M=10 \text{ dot/frame}$ 、 $T=0.4 \text{ sec}$ とした。

5. 評価結果と考察

利用者のパフォーマンスを下記に定義されるようなスループット(一定時間に処理される仕事量)の値で評価する[13].

$$\text{Throughput} = \frac{\log_2(D/W + 1)}{T1} \dots (1)$$

Dは出発点からターゲット中心までの距離、Wはターゲットの直径、T1は移動時間、単位は bits/sec となる。

図6にThroughput値の結果を示す。図中の値は30箇所のターゲット選択におけるThroughput値の平均であり、1回の計測につきターゲットに到達するまでの移動(往路)と、ターゲットから中心に戻る移動(復路)に関して算出した。

光マウスにより移動を行うと、ターゲットに対して頭部を向ける時間と追従遅れ時間を合計した程度の時間でマウスカーソルが移動するため、Throughput値は光センサを利用するよりも高い値が得られている。復路のThroughput値が大きいのは、復路の場合ターゲットは常に中心に位置し往路に比べターゲットの位置を

確認する必要がないことから、クリック後からセンサにレーザ光を照射するまでの時間が短いことが要因として考えられる。これは、光センサを利用した場合も同様である。

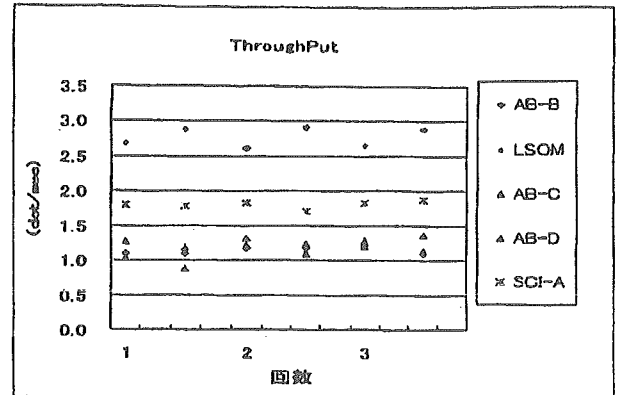


図6 Throughputの結果
Fig.6 Results of Throughput

健常者に比べ頸随損傷者の値が高いのは、光センサによる移動操作に習熟しているためであり、カーソルがターゲット付近に近づいた際の微調整操作(ターゲット前で一旦カーソルを止め低スピードでターゲットにカーソルを合わせる操作もしくはターゲット上でカーソルを止める操作)が上手く、ターゲットを通過する回数が少ないためである。

カーソルがターゲットに接触してからクリックが完了するまでの時間T2を図7に示す。ここでも光マウスによる操作では、光センサに比べ操作時間が30~60%程度短縮している。Throughputと同様に、T2の平均値も頸随損傷者の方が短い結果となっているが、これはT2にはターゲットを通過して反対側に行き過ぎた場合のリカバリー時間も含まれるため、頸随損傷者の操作に対する習熟度が反映されているためである。

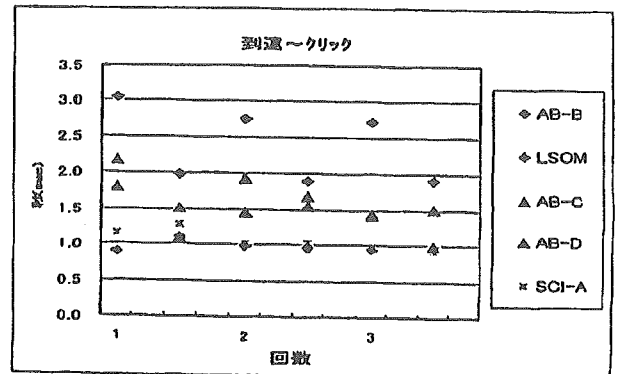


図7 ターゲット到達からクリックまでの時間
Fig.7 Results of T2 (times from arrival to click)

参考までに、光センサによる移動実験においてターゲットを通過した回数の合計値を図8に示す。健常者Bが初回に最高36回を記録したのに比べ、頸髄損傷者は1～3回程度しかターゲット通過していないことから、頸髄損傷者の習熟度が伺える。

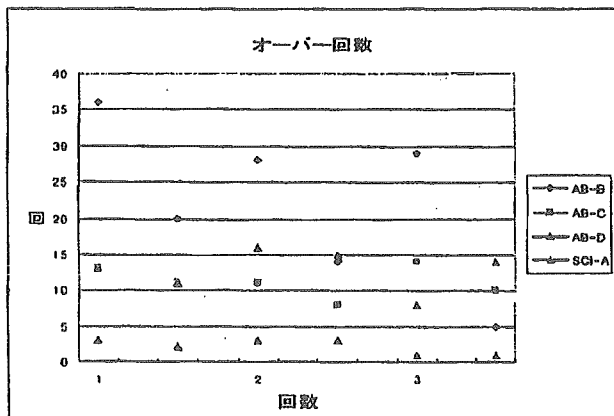


図8 ターゲットを通過した回数

Fig.8 Results of Target-over

図7・8に見られるように、光センサの操作に習熟していない場合でも操作を繰り返すことで計測に参加していただいた頸髄損傷者のような操作性を身に着けることは可能であろうと予想できる。しかし、光マウスによるマウスカーソルの移動を光センサと比較すると、図6・7に見られるように Throughput 値、ターゲットに到達してからクリックまでの時間において大きな改善が見られており、評価実験からは光マウスを利用した方が操作性は良いことが伺える。

6. まとめと課題

本システムでは、マウスカーソルを移動させたい箇所にレーザポインタを照射させるためゲイン調節の必要はなく、頭部に限らず液晶画面範囲を照射できる程度の稼動域が得られれば、マウスの移動が可能となる。課題は撮影画面上に撮影される室内灯の映り込みなどのノイズ対策であり、USBカメラの設置位置と適切なしきい値の設定が重要となる。しかし、利用場面では設定の手間を極力省くことが要求されるため、ラフな設置環境においても更に安定してポイント箇所を検出する機能を備える必要がある。また、今後頸髄損傷者による臨床評価を行い、改良点を検討していく予定である。

文 献

- [1] 数藤康雄, 伊藤和幸, 他: "レーザ光源を用いた各種コミュニケーション機器について", 第7回工学カンファレンス講演論文集, (7), pp.317, Aug., 1992.
- [2] 藤川景: 五秒ほどの青空, 第1版, pp.201-204, 三五館, 1997
- [3] 河村洋, 土肥徳秀: "PSD素子を用いた光マウスの試作(第2報)", 第6回工学カンファレンス講演論文集, (6), pp.149, Aug., 1991
- [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回工学カンファレンス講演論文集, (9), pp.463, Aug., 1994
- [5] 小泉義樹, 島山卓朗, 他: "高位頸髄損傷者用パソコン入力装置の開発", 第12回工学カンファレンス講演論文集, (12), pp.97, Aug., 1997
- [6] 早川泰詞, 田中芳則, 他: "舌によるパソコン操作器具について", 第15回工学カンファレンス講演論文集, (15), pp.319-322, Aug., 2000
- [7] 石濱裕規: "ジョイスティック型を用いた高位頸髄損傷者への入力支援", 第15回工学カンファレンス講演論文集, (15), pp.323-326, Aug., 2000
- [8] 宮崎信次: "ジョイマウスと音声認識ソフトを用いた重度肢体不自由者用パソコン入力装置", 第18回工学カンファレンス講演論文集, (18), pp.207-208, Aug., 2003
- [9] 田中博章, 蔭田憲和, 他: "位置検出機能を備えたポイントユニットの開発", 第19回工学カンファレンス講演論文集, (19), pp.189-190, Aug., 2004
- [10] http://www.kokoroweb.org/index_device.html より TRACK-IR
- [11] http://www.kokoroweb.org/index_device.html より トラッカー
- [12] <http://www.kokoroweb.org/product.html> より 「できリンク」
- [13] E. F. LoPresti and D. M. Brienza, Adaptive Software for Head-Operated Computer Controls, IEEE Trans. on Neural System and Rehabilitation Engineering, vol.12, no.1, pp.102-111, March, 2004

肢体不自由者向けポインティングデバイスに関して ー視線入力装置とマウスポインティングデバイスー

伊藤和幸

国立身体障害者リハビリテーションセンター 研究所

E-mail: ito@rehab.go.jp

あらまし 肢体不自由者のコミュニケーションとパソコン操作支援を目的に、視線入力装置とマウスデバイスを開発している。視線入力装置はALS患者などを対象とした文字入力装置、マウスデバイスは標準マウスの利用が困難な頸髄損傷者向けのマウスポインタとして利用する。いずれの装置も実用場面を考慮し、簡易なシステムで利用できるように各処理をソフトウェアな画像で行うことで実現を目指している。マウスデバイスに関しては、液晶画面に当てたレーザポインタの照射箇所にもマウスカーソルを移動させるシステムを開発し、光キーボードを利用している頸髄損傷ユーザに対するマウスインタフェースの改善を行った。

キーワード 頸髄損傷者、光キーボード、偏光フィルタ、視線入力

Pointing Device for Persons with Physical Disabilities - Eye-gaze Communication aids and Mouse Pointing Device -

Kazuyuki ITOH

Research Institute, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

E-mail: ito@rehab.go.jp

Abstract We have developed pointing device for persons with physical disabilities for their communication and PC use. Eye-gaze system is developed for ALS patients etc.. Mouse device is utilized as a mouse pointing device for spinal cord insured (SCI) patients. We develop light spot operating mouse system, which detects an irradiation point of the laser pointer on a liquid crystal screen with image processing software and links to mouse cursor movement. As mouse cursor moves to a laser irradiated point, it is comfortable for SCI PC user to operate GUI windows system.

Keyword Cervical Spinal-Cord Insured, Light Spot Operating Keyboard, PL-Filter, Eye Gaze Input

1. はじめに

当研究所では、肢体不自由者のコミュニケーション支援とパソコン操作支援を目的に、視線入力装置とマウスポインティングデバイスを開発している。どちらのシステムも画像の取り込みにはUSBカメラを利用し、ソフトウェア的に画像処理を行って視線の検出お

よび液晶画面に照射したレーザポインタの位置検出（→マウスカーソルへの動きに連動）を行っている。USBカメラの利用と専用ハードウェアによる処理を介さないことでシステムの簡略化を目指している。以下、それぞれのシステムに関して記述する。

2. 視線入力装置

これまでに、ビデオキャプチャーシステムにより画像を取り込み、取り込んだ画像をソフトウェア的に処理して視線検出を行い文字入力に利用するシステムを開発してきた[1]。システムの更なるバージョンアップとして、画像の取り込みに USB カメラを利用することでシステムをさらに簡略化すること、介護者のセッティングにおける負担の軽減を目指して、広範囲の画像を取り込み、視線の推定を行うシステムを開発することが課題となっている。これまでのシステムでは片目範囲を拡大撮影して画像処理していることから、正確なセッティングが求められること、利用者の動き（介護による動き）により眼球が撮影範囲から外れると利用できなくなることがネックであったため、広い範囲を撮影して画像処理することでこれらを解決する。

図 1 に、これまでに開発しているシステムの設置概要を示す。ノートパソコンの利用が可能であり既にシステムは簡略化されているが、ビデオキャプチャボードを用いているために拡張ボックス（図中左下の丸囲いしたボックス）が必要となっている。

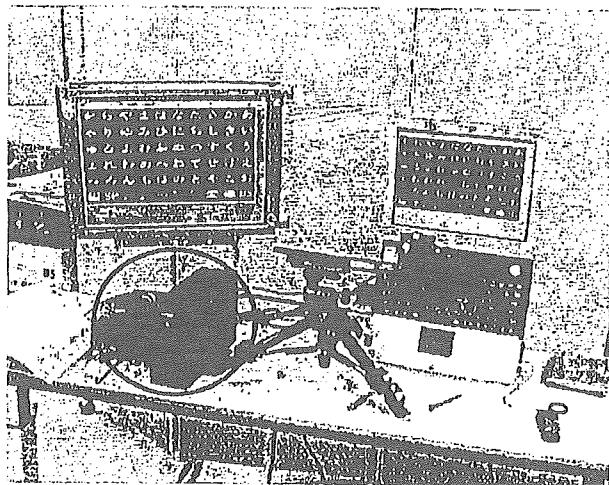


図 1 これまでの視線入力式文字入力装置の概観

図 2 に新規開発システムの設置概略を示す。手前に赤外線光源、中央にノートパソコン、奥に USB カメラが設置されており、USB カメラを利用することでシステムは更に簡略化される。ベッド上で仰向け姿勢で利用する場合には、図 1 と同様に適宜外部接続の液晶を拡張する。また、図 3-1, 2 に取り込んだ眼球付近の画像を示す（-1 が新システム、-2 が旧システムによる取り込み画像）。図 3-1 の様に、これまでの片目の拡大撮影よりはラフなセッティングが可能となるが、一方では視線検出分解能は劣ることになるため、画面上に配置できる選択肢数との兼ね合いにより、現在拡大率を検討しているところである。

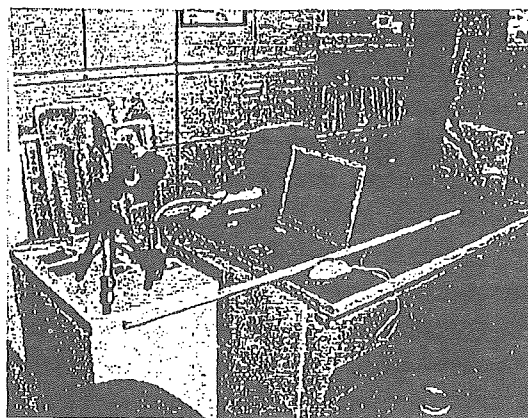


図 2 新規開発中の視線入力式文字入力装置の概観

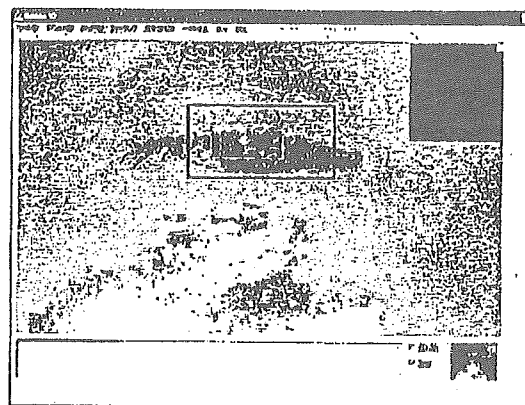


図 3-1 新規システムによる眼球付近の画像

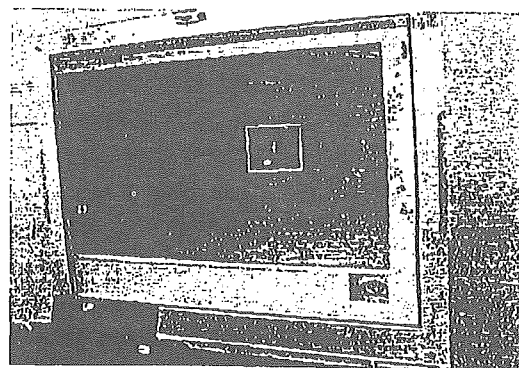


図 3-2 旧システムによる眼球付近の画像

3. マウスポインティングデバイス

当研究所では、頸髄損傷者向けのパソコン入力装置としてレーザーポインタを利用した光キーボードを実用化している[2]。本装置は OS が MS-DOS 時の頃の開発であり、開発コンセプトはキーボード代用装置としての位置づけである。その後、OS は Windows に移行し、GUI(Graphical User Interface)が主流の利用環境で

はマウスを利用する頻度が高くなってきた。光キーボードは頸髄損傷者により臨床評価され、キーボード代用装置としての有効性は認められているが[3]、マウスカーソルの移動操作は各移動方向(上下左右と斜め方向の 8 方向)に対応するセンサにレーザ光を照射することで行っているため、移動の方向によっては頭部の向きと視線方向が一致しない場合があり、インタフェースとしては最適でないという課題が残っている。

そこで、液晶画面に当てたレーザポインタの照射箇所をソフトウェア的な画像処理により検出し、その箇所へマウスカーソルを移動するシステム(光マウス)を開発することで解決を図っている。

4. 開発背景

4.1 既存のマウスエミュレータ

頸髄損傷者向けのポインティングデバイスは、主にパソコンの利用を目的としたマウス代用装置に関して研究報告があり[4-10]、市販品も存在する[11-13]。スキャン選択[13]や方向毎のスイッチ操作による移動[5]、ジョイスティックタイプの操作[8]を別とすれば、多くの機器は頭部の動きをマウスカーソルの動きに連動させてマウス操作を行うものであり[4,6,8,10]、頸髄損傷者の残存機能を有効に活用するものである。

これらの機器を使用する際には、ゲイン(gain: 頭部の動きに対応するマウスカーソルの移動量の設定)と感度(sensitivity)の設定があり、これらの設定が適切でない場合には問題が起こる。ゲインに関すれば、市販品では厳密なキャリブレーション操作は必要ないが、利用者はマウスカーソルがアイコンやメニューバーなどの目的箇所到達するように頭部を動かさなくてはならず、頭部がわずかしき動かない場合には画面の周辺にマウスカーソルが移動しないことがある。

4.2 光キーボードユーザへの適合

本システムを開発した背景には、Windows-PC のマウス利用を目的として光キーボードユーザ(頸髄損傷者)に対して市販品の Tracker-One・Track-IR の導入を検討したものの、PC 画面(19 インチ)と利用者の距離が 90cm 程度と離れているために、機器に備えてあるゲイン調整では画面の周辺にマウスカーソルが移動しないという事例が存在することによる。また、利用者はこれまで光キーボードによるキーボード操作には習熟しているため[3]、レーザポインタを活用したマウスポインティング機能が望まれていた。

5. 液晶画面上のポインティング箇所の検出

利用者がマウスカーソルを移動させたい箇所にレーザポインタを照射し、そこへマウスカーソルが移動

すれば、ユーザインタフェースが改善される。

本システムは USB カメラにより取り込んだ画像をソフトウェア的に処理し、液晶画面上のレーザ照射箇所を検出してマウスカーソルの移動に連動させるアプリケーションである。手順は以下の通りとなる。

5.1 偏光フィルタの利用

パソコンの液晶画面には偏光フィルタが組み込まれており、同じフィルタを 90 度回転させたフィルタを通して撮影すると、液晶画面のみが黒く撮影され(図 4 左→右)、液晶画面フレームの検出が容易になる。

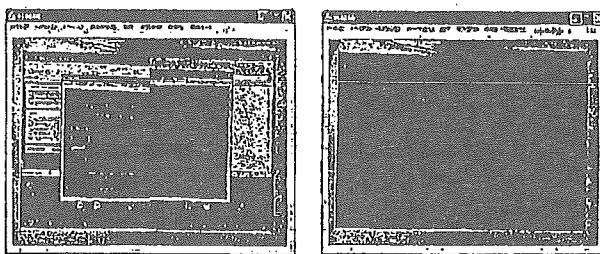


図 4 フィルタ挿入前後の取り込み画像の様子

5.2 USB カメラの利用

前述の偏光フィルタを利用した USB カメラ(トリニティ: uCamHi-130C, Rev. USB2.0)により液晶画面を撮影し、取り込んだ画像をソフトウェア的に処理する。画像処理ボードのようなハードウェアを利用しないでシステムが簡略化する。現状では、画面周辺部におけるレーザ光の反射を考慮して、USB カメラを 2 台設置し、おのおの撮影した画像を合成した上で 1 枚の撮影画像(640×480 画素)として処理を行う。

5.3 ソフトウェアによる画像処理

まず、取り込んだ画像を 2 値化し、液晶画面フレームを検出する。合成された画像内において液晶フレームは正確な四角形とはならないため、以下の手順でフレームの左上、右下座標を算出し四角形とする。

図 5 は 2 値化された画面データの左上部を模式的に表した物であり、それぞれのセルが 1 つの画素を示し、「1」は実際には「0xFFh」である。

$Cx[n]$ は $X=0 \sim 640$ までの各列 ($Y=0 \sim 480$) の要素が「1」である画素の合計値である。 $Cy[m]$ も同様に $Y=0 \sim 480$ の各行 ($X=0 \sim 640$) の要素が「1」である画素の合計値である。次に $Cx[n]$ と $Cx[n+1]$ 、 $Cy[m]$ と $Cy[m+1]$ の差分が一番大きいところを求め、それぞれ +10 画素(または -10 画素)した点をフレームの左上座標とする。上図の例では、左端 $n=2$ 、上端 $m=2$ が交点で、座標値は $X=12$ 、 $Y=12$ となる。右下座標についても同様である。

Cy[m]									
m									
0	8	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	8	1	1	1	1	1	1	1
3	2	5	1	1	0	1	0	1	0
2	3	3	1	1	1	0	0	0	0
1	4	2	1	1	0	0	0	0	0
0	5	2	1	1	0	0	0	0	0
1	6	3	1	1	1	0	0	0	0
n		0	1	2	3	4	5	6	7
Cx[n]		7	7	4	3	2	3	3	2
Cx[n+1]-Cx[n]		0	3	1	1	1	0	1	

図5 フレームの左上座標の求め方

その後、しきい値の設定により液晶フレーム上の大きなノイズを除去し、しきい値以上の輝度の高い画素の重心位置をレーザーポインタの照射箇所とみなす。しきい値は使用状況により調整することとし、現状では画面を4つに分割してエリア毎にしきい値を設定する。

さらに細かいノイズを除去するため収縮・膨張処理を加える。収縮処理とは、ある画素の近傍に一つでも0値があればその画素を0値に、その他を1値にする処理であり、膨張処理はその逆で、ある画素の近傍に一つでも1値があればその画素を1値に、その他を0値にする処理である。収縮→膨張処理の順に行うと、白い孤立したノイズが収縮処理の際に除去され、レーザーポイント箇所だけを検出しやすくなる。

5.4 マウスカーソルの移動

図6はアプリケーションを起動した際の模式図で、太線がPC画面である。アプリケーション(長破線)には液晶を撮影した画面を表示し、画像内に検出された液晶フレーム(点線)とフレーム内の照射検出箇所(点線内の○)との相対位置を求め、液晶画面上のマウスカーソル位置(矢印)へと反映させ、移動させる。図6では液晶フレーム右上にレーザー照射箇所が検出されており、PC画面では右上位置にマウスカーソルが移動する。

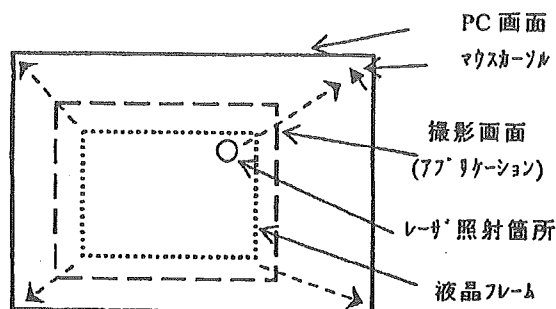


図6 算出された液晶フレームとレーザー照射箇所の位置関係およびマウスカーソル位置

処理は10FPS(frame/sec)程度で、レーザー照射箇所の座標値は随時バッファに蓄積されている。マウスカーソルの移動は、フレーム毎のレーザーポインタの移動量 $m(\text{dot/frame})$ を算出し、その移動量が規定値 M 以下の状態で規定の継続時間(追従遅れ: T 秒)経過した後に行うこととした。この処理により、レーザーポインタをすばやく ($M \text{ dot/frame}$ 以上で) 移動させたときには停止した後の T 秒後に、ゆっくり動かしたときには $M \text{ dot/frame}$ 以下であれば、レーザーポインタの移動にあわせてマウスカーソルがゆっくり追従する。また、光入力式キーボードユーザは左右クリック・ドラッグなどのマウス操作を液晶画面の周辺に配置した専用センサにレーザー光を照射することで行っているため、上記のような移動処理によりクリック操作を行うために頭部を移動させた際でもその動きにマウスカーソルが追従することはない。 $M(\text{dot/frame})$ 、 $T(\text{sec})$ の設定値は利用者の状況に合わせて変更可能とする。

5.5 システムの設置概要

システム配置は図7のようになる。液晶画面の周辺に設置してあるセンサは、光キーボードユーザが利用するマウスカーソル移動用のセンサであり、後述するような使用評価に利用する。

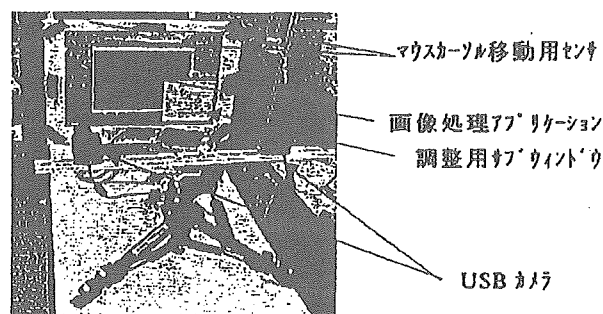


図7 システムの設置概要

6. 使用評価

本システムを利用したポインティング操作と移動用の光センサを用いたポインティング操作を比較し、使用評価を行う。評価項目はマウスカーソルがターゲットサークルへ移動するまでの時間 ($T1 \text{ sec}$) とマウスカーソルがターゲットに接触してからクリックが完了するまでの時間 ($T2 \text{ sec}$) を指標とする。

画面には図8のように中心点と周辺30箇所(8方向・3距離と周辺6箇所)の位置にランダムな順にターゲットサークルが表示されるので、被験者は中心→周辺1→中心→周辺2...の順に表示されるターゲットにマウスカーソルを移動させ、左クリック用の光センサにレーザーを当てることでターゲットを選択する作業を行う。画面上では、選択されたターゲットは消去さ

れ次に選択すべきターゲットだけが表示される。移動時間 T 1 は、左クリック後からマウスカーソルがターゲットに到達するまでの時間として計測する。

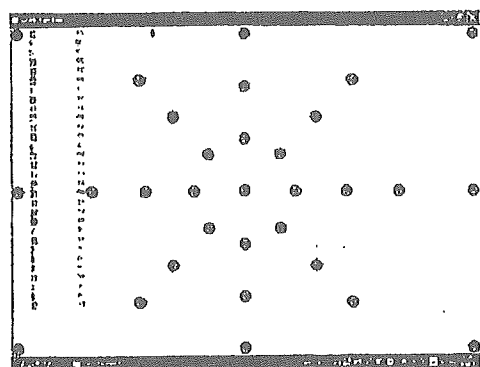


図 8 ターゲットサークルの配置

被験者は、頸髄損傷者 1 名 (SCI-A: 光センサによる移動 3 回)、健常者 3 名 (AbleBody-B: 1 名、光マウスシステム 1 回、光センサ 3 回、AbleBody-C, D: 2 名、光センサ 3 回) にお願した。頸髄損傷者は 13 年程度継続して光キーボードを利用しており、マウス移動用の光センサによるマウスカーソルの移動には熟練している。健常者はどちらの操作も初体験である。

画面の解像度は 1024×768 ドット、ターゲットサークルの大きさは直径 26 ドットであり、標準的な表示における「閉じる・最大最小化」ボタンの 1 辺と同値である。マウスカーソルの移動速度は、初期値は 80dot/sec で、0.6 秒以上照射し続けると 300dot/sec に加速する設定であり、この値は頸髄損傷者が使い慣れている環境における値である。マウスカーソルの位置は 50ms 毎にサンプリングを行った。光マウスシステムにおける設定値は、M=10dot/frame, T=0.4sec とした。

7. 評価結果と考察

利用者のパフォーマンスを下記に定義されるようなスループット(一定時間に処理される仕事量)の値で評価する[14]。

$$\text{Throughput} = \frac{\log_2 (D/W + 1)}{T_1} \dots (1)$$

D は出発点からターゲット中心までの距離、W はターゲットの直径、T 1 は移動時間、単位は bits/sec とする。

図 9 に Throughput 値の結果を示す。図中の値は 30 箇所のターゲット選択における Throughput 値の平均であり、1 回の計測につきターゲットに到達するまでの移動(往路)と、ターゲットから中心に戻る移動(復路)に関して算出した。

光マウスにより移動を行うと、ターゲットに対して頭部を向ける時間と追従遅れ時間を合計した程度の時間でマウスカーソルが移動するため、Throughput 値は光センサを利用するよりも高い値が得られている。復路の Throughput 値が大きいのは、復路の場合ターゲットは常に中心に位置し往路に比べターゲットの位置を確認する必要があることから、クリック後からセンサにレーザ光を照射するまでの時間が短いことが要因として考えられる。これは、光センサを利用した場合も同様である。

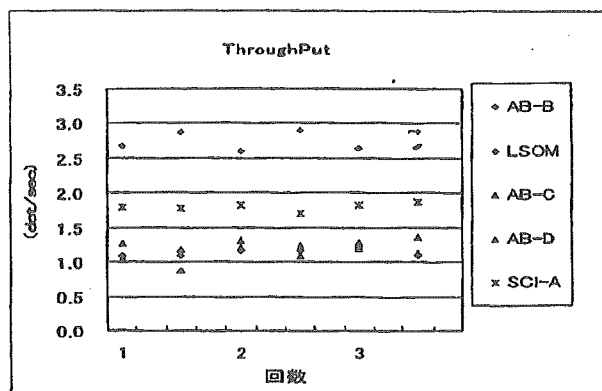


図 9 Throughput の結果

健常者に比べ頸髄損傷者の値が高いのは、光センサによる移動操作に習熟しているためであり、カーソルがターゲット付近に近づいた際の微調整操作(ターゲット前で一旦カーソルを止め低スピードでターゲットにカーソルを合わせる操作、もしくはターゲット上でカーソルを止める操作)が上手く、ターゲットを通過する回数が少ないためである。

カーソルがターゲットに接触してからクリックが完了するまでの時間 T 2 を図 10 に示す。ここでも光マウスによる操作では、光センサに比べ操作時間が 30~60% 程度短縮している。Throughput と同様に、T 2 の平均値も頸髄損傷者の方が短い結果となっているが、これは T 2 にはターゲットを通過して反対側に行き過ぎた場合のリカバリー時間も含まれるため、頸髄損傷者の操作に対する習熟度が反映されているためである。

参考までに、光センサによる移動実験においてターゲットを通り過ぎた回数の合計値を図 11 に示す。健常者 B が初回に最高 36 回を記録したのに比べ、頸髄損傷者は 1~3 回程度しかターゲット通過していないことから、頸髄損傷者の習熟度が伺える。

図 10・11 に見られるように、光センサの操作に習熟していない場合でも操作を繰り返すことで計測に参加していただいた頸髄損傷者のような操作性を身に着けることは可能であろうと予想できる。しかし、光マ

ウスによるマウスカーソルの移動を光センサと比較すると、図9・10に見られるように Throughput 値、ターゲットに到達してからクリックまでの時間において大きな改善が見られており、評価実験からは光マウスを利用の方が操作性は良いことが伺える。

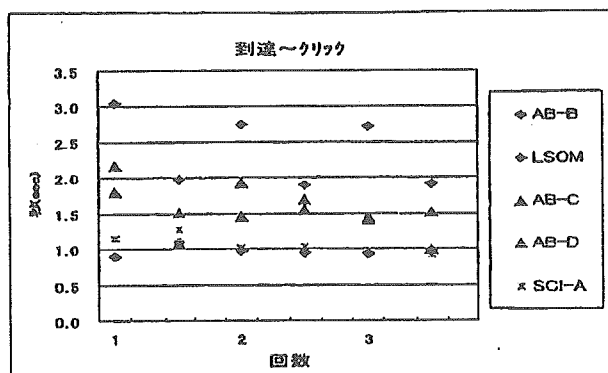


図 10 ターゲット到達からクリックまでの時間

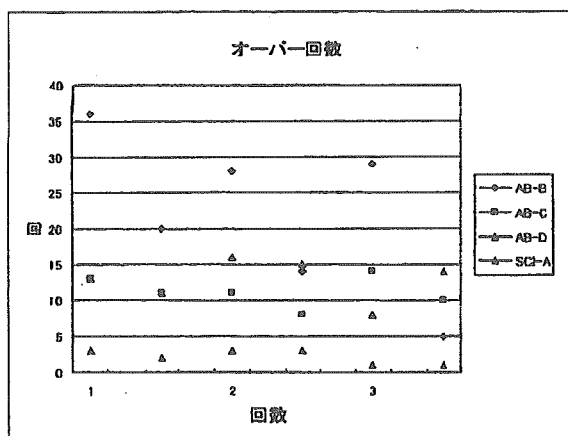


図 11 ターゲットを通過した回数

8. まとめと課題

本分担課題では、共通項として USB カメラによる画像の取り込みと画像処理をソフトウェア的に行うことでポインティングデバイス（視線による文字選択、マウスデバイス）として開発し、両者の効果によりシステムの簡易化が実現している。

課題としては、視線入力装置では分解能の検証とそれに合わせた文字選択方法の構築、マウスポインティングデバイスでは、撮影画面上に撮影される室内灯の映り込みなどのノイズ対策であり、USB カメラの設置位置と適切なしきい値の設定が重要となる。さらに、利用場面では設定の手間を極力省くことが要求されるため、ラフな設置環境においても更に安定してポイン

ト箇所を検出する機能を備える必要がある。また、今後 ALS 患者や頸髄損傷者による臨床評価を行い、改良点を検討していく予定である。

文 献

- [1] 伊藤和幸, 伊福部達: “重度肢体不自由者向けの視線入力式コミュニケーション装置”, 電子情報通信学会論文誌(D), Vol.J88-D-I, No.2, pp.527-535, 2005
- [2] 数藤康雄, 伊藤和幸, 他: “レーザー光源を用いた各種コミュニケーション機器について”, 第 7 回リハ工学カンファレンス講演論文集, (7), pp.317, Aug., 1992.
- [3] 藤川景: 五秒ほどの青空, 第 1 版, pp.201-204, 三五館, 1997
- [4] 河村洋, 土肥徳秀: “PSD 素子を用いた光マウスの試作(第 2 報)”, 第 6 回リハ工学カンファレンス講演論文集, (6), pp.149, Aug., 1991
- [5] 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, (9), pp.463, Aug., 1994
- [6] 小泉義樹, 畠山卓朗, 他: “高位頸髄損傷者用パソコン入力装置の開発”, 第 12 回リハ工学カンファレンス講演論文集, (12), pp.97, Aug., 1997
- [7] 早川泰詞, 田中芳則, 他: “舌によるパソコン操作器具について”, 第 15 回リハ工学カンファレンス講演論文集, (15), pp.319-322, Aug., 2000
- [8] 石濱裕規: “シャイロマウス咬合型を用いた高位頸椎損傷者への入力支援”, 第 15 回リハ工学カンファレンス講演論文集, (15), pp.323-326, Aug., 2000
- [9] 宮崎信次: “ジョイマウスと音声認識ソフトを用いた重度肢体不自由者用パソコン入力装置”, 第 18 回リハ工学カンファレンス講演論文集, (18), pp.207-208, Aug., 2003
- [10] 田中博章, 蔭田憲和, 他: “位置検出機能を備えたポインティングユニットの開発”, 第 19 回リハ工学カンファレンス講演論文集, (19), pp.189-190, Aug., 2004
- [11] http://www.kokoroweb.org/index_device.html より TRACK-IR
- [12] http://www.kokoroweb.org/index_device.html より トッカーワン
- [13] <http://www.kokoroweb.org/product.html> より 「できリンク」。
- [14] E. F. LoPresti and D. M. Brienza, Adaptive Software for Head-Operated Computer Controls, IEEE Trans. on Neural System and Rehabilitation Engineering, vol.12, no.1, pp.102-111, March, 2004

光キーボードユーザ向けマウスポインティングデバイスについて

Light Spot Operating Mouse (LSO-M) for Cervical Spinal-Cord Insured LSO-Keyboard User

国立身体障害者リハビリテーションセンター 研究所 伊藤 和幸

1 はじめに

当研究所では、頸髄損傷者向けのパソコン入力装置としてレーザポインタを利用した光キーボード¹⁾を開発しているが、開発当初はOSがMS-DOSの頃であり、開発コンセプトはキーボード代用装置としての位置づけである。その後、OSはWindowsに移行し、マウスを利用する頻度が非常に高くなってきた。光キーボードは頸髄損傷者により臨床評価され、キーボード代用装置としては有効であるが²⁾、マウスカーソルの移動は各方向(上下左右と斜め方向の8方向)に対応するセンサにレーザ光を照射することで行うため、移動させる方向によっては頭部の向きと視線方向が一致しないことがあり、インタフェースとしては最適でないという課題が残っている。

本発表では、光キーボードユーザに対するマウスインタフェースを改善するため、液晶画面上に当てたレーザポインタの照射箇所をソフトウェア的な画像処理により検出し、マウスカーソルの移動に連動するシステムについて報告する。

2 開発背景

2.1 既存のマウスエミュレータ

頸髄損傷者向けのポインティングデバイスについては、主にパソコンの利用を目的としたマウス代用装置に関する研究報告があり^{3,5)}、市販品も存在する⁶⁻¹⁰⁾。スキャン選択¹¹⁾や方向毎のスイッチ操作による移動¹²⁾を別とすれば、多くの機器は頭部の動きをマウスカーソルの動きに連動させてマウス操作を行うものであり^{3,5-7)}、頸髄損傷者の残存機能を有効に活用するものである。これらの機器を使用する際には、ゲイン(gain:頭部の動きに対するマウスカーソルの移動量の設定)と感度(sensitivity)の設定があり、これらの設定が適切でない場合には問題がおこる。ゲインに関するれば、市販品では厳密なキャリブレーション操作は必要ないが、利用者はマウスカーソルがアイコンやメニューバーなど目的箇所に到達する

ように頭部を動かさなくてはならず、頭部の稼動範囲が狭い場合には画面の周辺にマウスカーソルが移動しないこともある。

2.2 光キーボードユーザへの適合

本システムを開発した背景には、光キーボードユーザ(頸髄損傷者)に対してTracker-One・Track-IRの導入を検討したものの、PC画面と利用者の距離が90cm程度と離れているために機器に備えてあるゲイン調整では画面の周辺にマウスカーソルが移動しないという事例が存在することによる。また、利用者これまで光キーボードによるキーボード操作には習熟しているため、レーザポインタを活用したマウスポインティング機能が望まれていた。

3 画像処理による液晶画面上のポインティング箇所の検出

利用者がマウスカーソルを移動させたい箇所にレーザポインタを照射し、そこへマウスカーソルが移動すれば、ユーザインタフェースとして十分である。本システムはUSBカメラにより取り込んだ画像をソフトウェア的に処理し、液晶画面上のレーザ照射箇所を検出してマウスカーソル移動に連動させるアプリケーションである。手順は以下の通りとなる。

3.1 偏光フィルタの利用

パソコンの液晶画面には偏光フィルタが配置されており、同じフィルタを90度回転させたフィルタを通して撮影すると、液晶画面のみが黒く撮影され、液晶画面フレームの検出が容易になる。

3.2 USBカメラの利用

前述の偏光フィルタを利用したUSBカメラにより液晶画面を撮影し、取り込んだ画像をソフトウェア的に処理する。画像処理ボードのようなハードウェアを利用しないことでシステムが簡略化する。

3.3 ソフトウェア的画像処理

取り込んだ画像を2値化し、液晶画面フレームを検出する。その後、しきい値の設定によりノイズを

除去し、しきい値以上の輝度の高い画素の重心位置をレーザポイントの照射箇所とみなす。しきい値は使用状況により調整し、現状では画面を4分割(横に4行)して分割エリア毎にしきい値を設定している。

3.4 マウスカーソルの移動

図1はアプリケーションを起動した際の模式図である。アプリケーション(長破線)は液晶を撮影した画面を表示し、画像内に検出された液晶フレーム(点線)とフレーム内の照射検出箇所(点線内の○)との相対位置を求め、液晶画面上のマウスカーソル位置(矢印)へと反映させ、移動させる。図1では液晶フレーム右上にレーザ照射箇所が検出されており、PC画面で右上にマウスカーソルを移動させる。

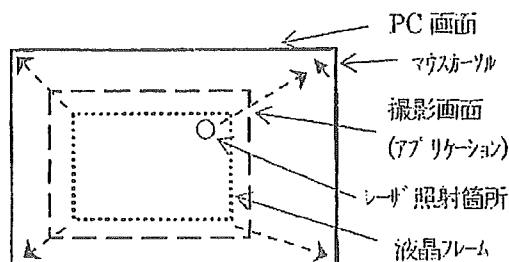


図1 画像処理の内容（撮影された液晶フレームとレーザ照射箇所の位置関係およびマウスカーソル位置）

処理は10FPS (frame/sec)程度で、レーザ照射箇所の座標値は随時バッファに蓄積されている。マウスカーソルの移動は、フレーム毎のレーザポイントの移動量 m (画素/frame) を算出し、その移動量が規定値 M 以下の状態で規定の継続時間 (T 秒) 経過した後にすることとした。この処理により、レーザポイントをすばやく (M 画素/frame 以上で) 移動させたときには停止した後の T 秒後に、ゆっくり動かしただけには M 画素/frame 以下であれば、ゆっくりした移動にあわせてマウスカーソルが追従する。また、光入力式キーボードユーザは左右クリック・ドラッグなどのマウス操作を液晶画面の周辺に配置した専用センサにレーザ光を照射することで行っているため、上記のような移動処理によりクリック操作を行う際にもマウスカーソルが追従することはない。

3.5 システムの設置概要

システム配置は図2のようになる。現状では、画面周辺部におけるレーザ光の反射を考慮して、USBカメラを2台設置し、その撮影した画像を合成

した上で1枚の撮影画像として3.3以下の処理を行う。液晶画面の周辺に設置してあるセンサはこれまで利用していたマウスカーソル移動用のセンサである。

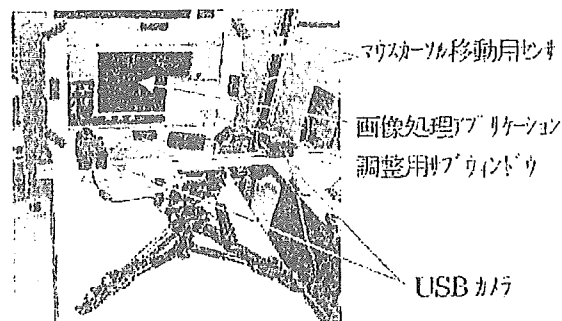


図2 システムの設置概要

4 まとめと課題

本システムでは、マウスカーソルを移動させたい箇所にレーザポイントを照射させるため、ゲイン調節の必要はなく、液晶画面範囲を照射できる稼働域が得られれば、マウスの移動が可能となる。課題は撮影画面上のノイズ対策であり、適切なしきい値の設定が重要となる。しかし、利用場面では設定の手間を極力省くことが要求されるため、大きな面積の高輝度箇所は除去するなどのフィルタ処理を追加することで、更に安定した検出機能を備えていく予定である。また、利用者による臨床評価を行い、改良点を検討する予定である。

参考文献

- 1) 数藤他: レーザ光源を用いた各種コミュニケーション機器について, 第7回リハ工学カンファレンス講演論文集, (7), 317, 1992
- 2) 藤川景: 五秒ほどの青空, 第1版, 201-204, 三五館, 1997
- 3) 河村他: PSD素子を用いた光マウスの試作(第2報), 第6回リハ工学カンファレンス講演論文集, (6), 149, 1991
- 4) 伊藤他: 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, (9), 463, 1994
- 5) 田中他: 位置検出機能を備えたポインティングエントの開発, 第19回リハ工学カンファレンス講演論文集, (19), 189-190, 2004
- 6)-7) http://www.kokoroweb.org/index_device.html より TRACK-IR, トラッカー,
- 8) <http://www.kokoroweb.org/product.html> より 「できりん」.

重度身体障害者のスイッチ操作時における微少動作圧計測

河合俊宏¹ 伊藤英一² 伊藤和幸³ 中山剛³ 田中芳則⁴ 寺師良輝⁵ 畠中規⁶

¹埼玉県総合リハビリテーションセンター 相談部 福祉工学担当,

²長野大学 社会福祉学部, ³国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所,

⁴広島大学 総合科学部, ⁵総合せき損センター 医用工学研究部,

⁶横浜市泥亀福祉機器支援センター

E-mail: a0192600@pref.saitama.lg.jp

あらまし 重度肢体不自由者のコミュニケーション支援において使用者のニーズを満たす支援機器を選び、それを身体特性に適合させることが重要である。このときの、使用者の動作圧を定量的に計測するシステムを用いて、筋萎縮性側索硬化症患者の計測を行った。

キーワード 重度肢体不自由者、動作圧、微少動作圧

1. はじめに

重度肢体不自由者のコミュニケーション支援に関して重要とされる評価の点は、大きく分けて3つある。稼働部位と可動域、筋力と、巧緻性である。本報は、筋力に関する計測システムの進捗と、個別支援技術開発の中での実際の計測例に関するものである。

2. 筋力評価

本報での筋力評価は、筋萎縮性側索硬化症（以下、ALS）患者を対象としたものであり、正確には、筋力による動作と、個々のスイッチとの間に発生する接触圧計測である。システムとしては既報の、操作圧計測システムを用いた。操作圧となる圧力値としての構成は、現在のところ比率としてのみ評価項目とした。

3. 操作圧計測システム

システムは、操作スイッチと身体との間に配置できるフィルム状の感圧抵抗体を用いたもので、4チャンネルの入力と、1チャンネルの出力が可能である。外形を図1に示す。

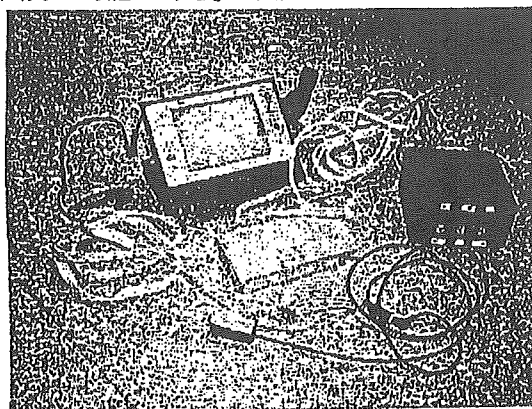


図1. 操作圧計測システム

4. 計測例

対象となったALS患者は、2005年4月から11月までの支援患者9名、のべ13回の訪問のうち、メカニカルスイッチを使うレベルで、実験条件に同意の得られた2名であった。しかし1名は、メカニカルスイッチに関して、十分な間隔を、操作の指と、スイッチとで取っているため、特記すべきデータは計測できなかった。

よって以下に示すのは、64歳男性のALS患者である。本患者へは、2002年から機器支援を継続しており、スイッチ支援に関しては、2004年3月より実施している。

本患者は、四肢機能障害レベルで、自立歩行不可、介助起立保持可能、寝返り介助、自立呼吸可能というレベルである。同一姿勢による痛み、痒みのため、コールは24時間手放せない状態である。

計測の前提となる姿勢保持については、今回は上肢動作であったため、作業療法士による身体評価を基とし、多関節筋の複合運動ではあるが、麻痺による遠位筋からの複合動作が出来ないことを確認した後、計測した。これらは、可動部位と、可動域、巧緻性について、身体適合の専門家によって、位置決めされたことを意味する。

操作圧計測システムで、今回用いた感圧抵抗体は、従来から用いている操作スイッチ（以下SW-A）である。

SW-Aは、AbleNet社のSpecsスイッチで、既に当方等の何度かの訪問で機能決定した物に販売店が台座を付加した物である。

Specsスイッチ自体、また計測に用いた感圧抵抗体を比較して、図2に示す。

計測時の設置方法は、図3のようになる。

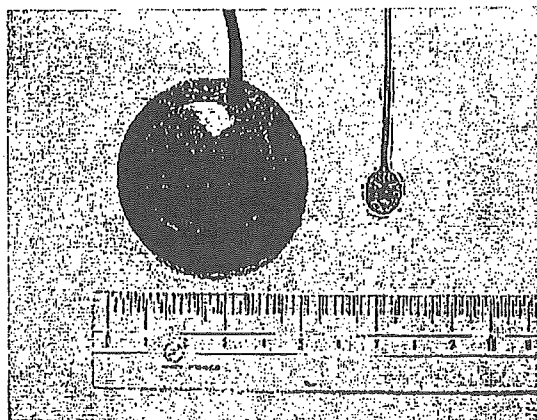


図 2. SW-A

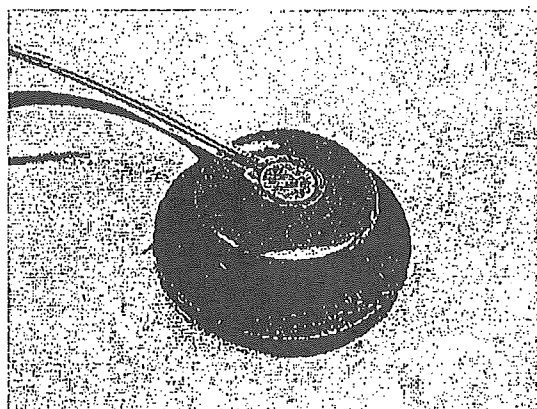


図 3 SW-A 設置方法

本患者には、一定の間隔で、スイッチ操作をしてもらい、操作圧計測システムを 50mSec でサンプリングし計測した。

通常の操作スイッチからの出力は、呼び鈴に接続してあったため、その呼び鈴への信号が入る値を閾値として、操作圧システムの出力として設定し、操作圧と信号出力とを、時系列にて比較した。

5. 結果例

SW-A での出力を換算した物を図 4 に、計測肢位を図 5 に示す。

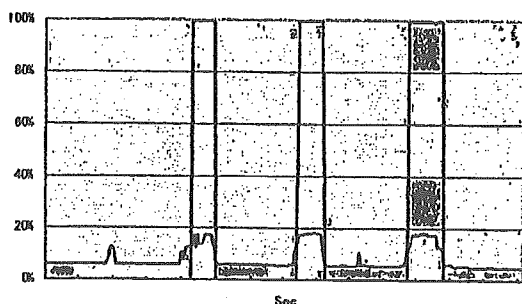


図 4 出力例

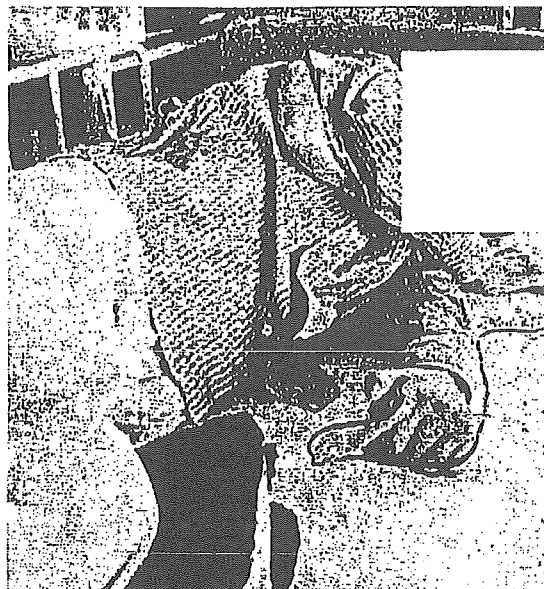


図 5 計測肢位

6. 考察

常に操作スイッチ上には、荷重がかかっており、筋力によって荷重をかけても、出力としての呼び鈴を押せない状態になっている場合もあることがわかる。図 5 にあるように、本患者は、常に拇指を操作スイッチ上に置いておかないと操作ができないため、この荷重は拇指自体の自重とも考えられる。

一般的に市販されているメカニカルスイッチの場合は、機械的要素としてのスイッチの反力と共に、スポンジなどによって反発力を生じさせている場合が多い。常に荷重がかかっていると、それだけスポンジ等の劣化が考えられるため、定期的に計測を続けることによって、患者の病状の進行に追従すると共に、操作スイッチ自体の寿命も推定することが今後は可能になると考えられる。

7. 課題

今後も計測を続けてゆく中で、閾値の設定を、どう各患者間でとってゆくかの議論が必要である。また接触圧力計測の特性上、荷重がかからない場合の動きは計測できないので、操作スイッチ自体の特性を多段階に可変にする工夫が必要になるかも知れない。今後の適合のための課題である。

本計測にご協力頂いた患者さんに感謝する。

また在宅訪問にあたっては、埼玉県総合リハビリテーションセンター 相談部 地域技術支援担当 本山悦子作業療法士、三品雅子保健師には多大なる協力を得た。深謝する。

参考文献

2004 年度第 1 回成果報告会資料