RK-008

上肢障害者の特性を考慮したポインティング操作の研究
Study of the Mouse Pointing Operation with the Characteristic of the Physically-challenged Person

本多 博彦†
Honda Hirohiko

１．はじめに

手に不自由がある人たちの中には，筋ジストロフィー，脊髄性進行性筋萎縮症(SPMA)，進行性骨化性筋炎(FOP)，筋萎縮性側索硬化症（ALS），遠位型ミオパチーといった難病を患っている患者達が多く存在する．彼らがパーソナルコンピュータ(以下 PC と略す)やインターネットを利用することは日常生活を過ごす上で大きなメリットがある．外出が困難な障害者が，自力で情報を取得することや発信することができ，また必要なものを注文することもできる．これにより介護者の負担を減らし，患者たちの生き甲斐や社会参加にも繋がる可能性があるので，PC 利用は重要な役割を果たしている．そのため障害者が，PC をできる限り長期に渡って使い続けられることは，彼らにとって大きな意味を成す．

彼らの多くは，手の可動域が病状の時間進行に伴い制限されていく症状を持っているため，彼らが PC を操作する場合，個々の障害に応じて様々な種類の入力支援機器を利用している[1][2]．しかし，病状の時間進行に伴なった動きの制限や，連続した作業が疲労しやすいといった問題から，現状使っていた入力機器（キーボード，マウスなど）あるいはアプリケーションを，健常者と同じようにそのまま使い続けることは困難な現状がある[3]．そのため現場では，個性を考慮した多様な機種や調整機能を持つものが望まれている．

一般に入力機器の設計は汎用性を重視するため，個別の事情に対応した機器は数少ない．そのため，与えられた汎用的な入力機器に障害者側が無理して合わせている現状がある．ユーザーが機械に合わせるのではなく，機械がユーザーに合わせて自動的に調整するシステムが理想である．操作特性を考慮した自動調整キーボード[4]，機械特性修正による熟達促進効果[5]等，機械がユーザーに合わせる手法の研究[6]は多数行われているが，進行性の疾患を持った難病患者に対する具体的な方策を提示するものではない．

そこで本研究では，入力操作能力が経時的に低下する障害者の病状進行に合わせ，操作性の調整を容易に行うことができ，障害者が望むパフォーマンスをできるだけ維持できる入力支援技術について考察を行う．特に，障害者から利用状況をヒアリングすると，病状の時間的進行により，マウス操作に大きな影響が出ることや，キーボードが手で利用できなくなっても代替として画面上のスクリーンキーボードをマウスで利用する場合が多いことなどがわかっている[7]．これらのことから，本研究ではマウス操作に着目し，ユーザーの操作特性を考慮した支援技術についての提案を行う．

２．関連研究

マウス操作におけるポインティング動作を評価する指標として，ポインティングに要する時間が，ターゲット距離やサイズに関連していることがフィッツの法則で示されている[8]．ターゲットまでの距離が長くなるほど，または，ターゲットのサイズが小さくなるほど要する時間が長くなるとされている．また，方向にも依存してポインティング時間に差があることが報告されている[9]．大画面高解像度の使用を想定した長い距離での運動特性の分析では，ターゲットサイズによる影響は受けにくく，ターゲット方向によって軌跡が膨らみ，距離が長くなるほど大きく膨らむことが報告されている[10]．一方で，脳性麻痺患者のポインティング操作特性についての研究もされてきたが[14]，脳性麻痺患者の多くは痙性や付随意運動を有しており，それらを考慮した検討がなされてきた．本研究は，長期的に少しずつ変化するポインティング動作からゲイン設定を行うため，痙性や付随意運動を伴う対象者は現段階では外して考える．

これらの特性を踏まえた上で，いくつかのポインティング支援技術が先行研究として提案されている．ポインタの脱出方向にあるオブジェクトにポインタを瞬時に移動させる Object pointing 手法は，ターゲット距離を短くすることで支援するものである[11]．オブジェクト付近ではポインタ速度を減少させ，それ以外の場所ではポインタ速度を増加させる Semantic pointing 手法もある[12]．Delphian Desktop では，ポインティング中の速度からターゲットまでの距離を予測し，ジャンプさせることでポインティング距離を短縮している[13]．

しかし，これらの実験は，被験者が正しい姿勢で，手首，指，肘，肩の筋肉を利用して自然な動きでマウス操作を扱えることを想定している場合が多い．本研究の対象者は，進行性症状をもつ上肢障害者に属する人たちなので，ほとんど肩や肘が使えず，手首を固定しマウスを包むようにして手のひらをかぶせ，手のひらと指の運動のみでマウス操作を行わなければならない．また手首から先を自由に回転させることも困難である．そのため，マウスを掴んで机上で転がすことの自由度が著しく制限され，短い距離を転がし持ち上げるといった動作を繰り返すことになる．このような動作だと，フィッツの法則のようにポインティングの調整時間と計画時間の分け目がはっきり現れない可能性が高く，またユーザーの意図する動きを軌跡から予測したり，ターゲット位置を推測することも困難である．したがって前述の支援技術でのマウスの動かし方をそのまま適用することは難しい．また，進行性症状を持つ障害者特有の問題として，マウス操作の連続的操作に対して大きな肉体的疲労を伴うことがあげられる．このことから，何種類もの試験やトライ

Copyright © 2012 by
The Instiute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.

アンドエラーを繰り返し，その都度，操作特性に合った調整を自ら行っていくことは多大な負担を強いることになる．

本研究では，これら進行性症状を持つ障害者のターゲット属性を測定し，どのような特有な問題点があるのかを分析し，その上で，ユーザーに負担を強いることなくマウス操作特性を改善するシステムについての提案を行う．

3. 上肢障害者の特性を調べる実験

3.1 ポインティング精度の測定

本研究の対象者である上肢障害者は，一般に障害の度合いや症状が各個人で異なっているため，マウスの動かしやすさもそれぞれ異なっている．これら障害者が行うマウス操作において，どのような特性があるのか把握するため，ある定められた点をターゲットとしたポインティング作業を行い，その分布状態や，マウス動作の方向依存性，距離依存性について調査する実験を行った．

最初に，目的のターゲットに対しどれだけ正確にポインティングできるか精度を調べる測定を行った．実際に障害者に被験者となって頂くことが望ましいが，何度も繰り返す作業はたいへん負担が大きいため，まずは健常者に対し，手に障害を持っている状態と同じように拘束負荷を与えた状態で測定を行った．拘束条件に関しては，上肢障害者から充分ヒアリングを行ったうえで，表１に示す４段階の異なる症状を設定している．ＡからＤにかけて症状が重くなり，病状が進行した状況を再現している．その妥当性については，定性的ではあるが上肢障碍者から実際の動きに近いとのコメントを得ている．

状態名	拘束条件
A	何も拘束をかけない
B	マウスの周囲に 15mm の枠を設け，ポインタ対称の中心が 15mm 以下に接近できないように拘束する
C	厚さ 2mm 程度の布製手袋（軍手）をはめ，指や手のひらの掴んだ感覚や押さえる力の伝達を鈍らせる
D	Ｃの状態からさらに厚い防寒用手袋（5mm 程度）をはめ，なおかつＢ条件の枠も設け，感覚と可動範囲の両方を拘束する

表１　障害の状況を再現する拘束条件

被験者はいずれも日常から PC を使い慣れている健常者で，５人（20 代男性１人，40 代男性２人，40 代女性 2 人）に対しそれぞれ表 1 に示す拘束負荷を同様にかけて測定した．実験環境は，通常使用と同様に机上に設置されたディスプレイに正対し，車いすに座った状態で机の上に置いたマウスを利き腕で操作してもらった．ディスプレイは 20 インチ(解像度 1280×1024)で，被験者の目と画面との距離は 70 ｃｍである．仕様 PC の OS は Windows7 でマウスの設定を含め，アイコンや文字の大きさなどは標準設定としている．使用したマウス（SONY VGP-UMS30）は被験者が日常使用している汎用性のあるタイプである．

障害者が文字入力を行うには，Windows 標準搭載の QUARTY 配列のスクリーンキーボードを使用している場合が多く，画面を占有し過ぎない大きさにして，常にディスプレイ下端に表示させている（図１）．



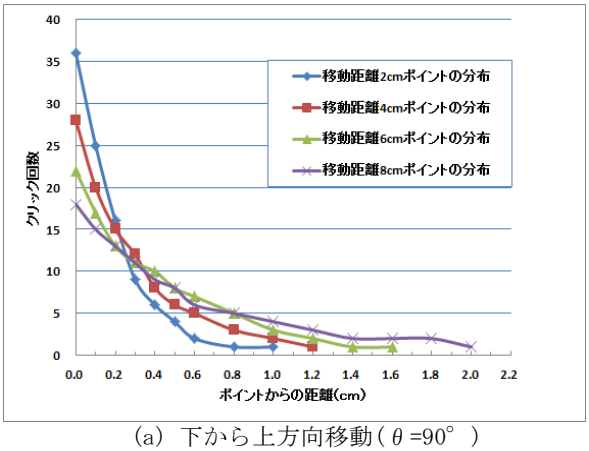
図１　スクリーンキーボードを表示させた状態

上肢障害者が，日頃このスクリーンキーボードを頻繁に使用していることから，特に重視されるポインティングについては，およそこのキーボードの範囲内での特性を把握することが重要だと考える．マウスを動かし始める最初のポジションをキーボードの中心に置くと，8cm 程度の範囲でアルファベットキーをほぼカバーできる．このことから，8cm までの移動距離におけるポインタの操作特性を把握することを最初の目的とする．被験者は，定められた始点から，異なる複数の距離に置かれた点源をめざしポインタを動かし，点源にできるだけ近い場所でクリックする実験を行った．動かしてからクリックするまでは，通常と同じように一連のスムーズな動きの中で行い，意識的に精度を上げようと細かい調整をしないことを条件としている．また，動かし始めにつまずいたり，明らかにミスとわかる計測は場外した．

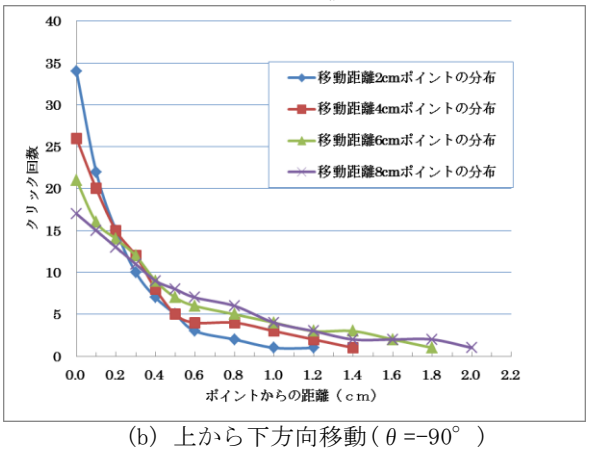
ポインティング精度の方向依存性を見るため，４つの方角について異なる距離でポインティングを行った．始点から水平方向については，左から右移動（θ=0°）と右から左移動（θ=-180°），また垂直方向については下から上移動（θ=90°）と上から下移動（θ=-90°）について測定を行った．各方角において，中心から 2cm，4cm，6cm，8cm とそれぞれ離れた点源を目指して 100 回のポインティングを行い，その分布状況を点源から半径 0.1mm ずつ区切られた円環の中に入る個数としてカウントした．

図２は，４つの方角別に，各距離ごとに測定したポインティングの精度を示したものである．プロットされた点は平滑線で結んである．

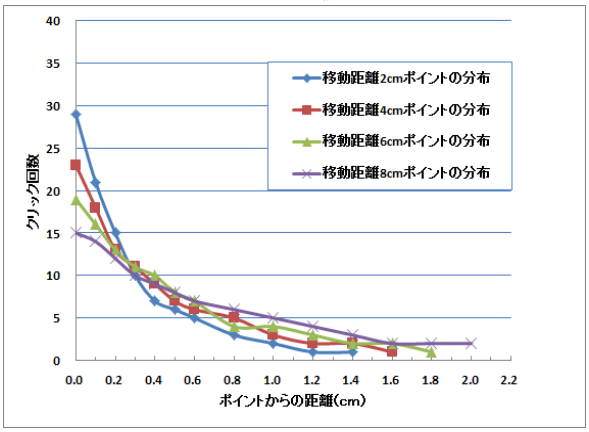
Copyright © 2012 by
The Instiute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.



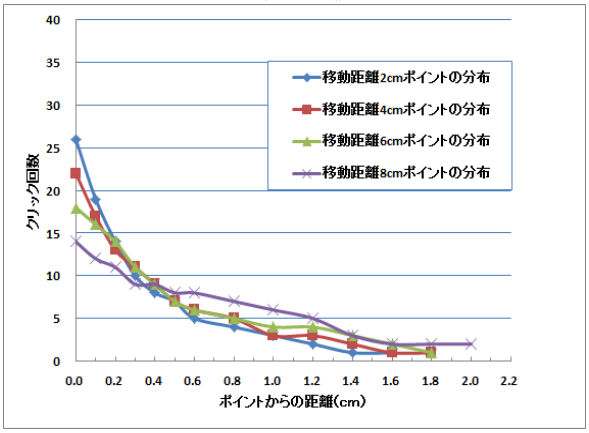
(a) 下から上方向移動（θ=90°）



(b) 上から下方向移動（θ=-90°）



(c) 左から右方向移動（θ=0°）



(d) 右から左方向移動（θ=180°）

図 2　距離別に測定したポインティングの精度

どの方角でも，距離が短いポインティングの方が分布の広がりが狭く精度が高い．そして距離が遠くなるにつれ分布が広がり，精度が悪くなっていることがわかる．定量的に示すため，点源から 9 割のカウントが入る円領域の直径を表 2 に示す．すなわちこの円領域は，あるターゲットを目指してポインティングを行ったとき，90%の確率で成功するためのターゲットサイズを示していることになる．

移動距離 移動方向	2cm	4cm	6cm	8cm
下から上（θ=90°）	0.8	1.0	1.6	2.0
上から下（θ=-90°）	1.0	1.2	1.8	2.0
左から右（θ=0°）	1.2	1.6	2.0	2.2
右から左（θ=180°）	1.4	2.0	2.2	2.4

表 2　点源から 9 割のカウントが含まれる円領域の直径

距離が短いほどサイズが小さく，距離が長いほどサイズが大きくなる．また，垂直方向の方が，水平方向よりもサイズが小さいことがわかる．一方，距離に対して変化する割合はどの方向もほぼ同じであることもわかった．

以上の結果から，ターゲットサイズは距離と方向に応じてサイズを大きくすることで目的のターゲットのミスを減らせると推測できる．

今回のように健常者に対して行った実験だけでは評価が不十分と考え，この実験の再現性を見るため，実際に障害者に同様の実験を回数を少なく（各距離で 5 回，一方向のみ）して測定し，使用感についても評価してもらった．その結果，図 2 の平滑線上にほぼ乗るプロットであり，本実験が十分再現していることがわかった．

次に，始点から移動しクリックするまでのポインティング時間の比較を行った．もっとも早く移動した（クリックまでの時間が短かった）のは，右から左方向（θ=180°）であり，移動平均時間は 6cm で 1.2 秒，8cm で 1.8 秒であった．2cm と 4cm では 1 秒未満となり誤差の範囲で有意な差は出なかった．この移動時間の方向依存性を見ると，T（θ=0°）/ T（θ=180°）=1.0，　T（θ=90°）/ T（θ=180°）=1.1，　T（θ=-90°）/ T（θ=180°）=1.3 であり，移動距離 6cm も 8cm も同じ比となった．このことから，水平方向移動は左右両方向とも同じように動かすことができ，垂直方向移動は水平方向より時間がかかっていることがわかる．特に下から上方向よりも，上から下方向の方がより時間が要することがわかった．先行研究[10]でも健常者を対象に同じ傾向が報告されているが，今回の実験で上肢障害者に対しても確認することができた．これは，障害者が手首が固定され指の筋力が弱く，その状態でマウスを包み込むようにして手前に引く動作が押す動作より困難であることからも説明がつく．

このことから，ターゲット属性であるサイズは水平方向より垂直方向の方が小さくて済むが，移動時間を考慮すると，ゆっくり動かすことでより精度が上がっているためだと解釈することができる．以上から，ターゲットまでのポインティングを効率よく行うためには，距離，

Copyright © 2012 by
The Instiute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan　All rights reserved.

方向，ターゲットサイズといった属性に加えて，上肢障害者の病状進行によるマウス操作の鈍化といった，操作特性の変化をできるだけ防ぐための新たな手段の適用を考えることが必要だと思われる．

4. ポインティングの効率化

4.1 感度の設定方法

上肢障害者は，手のひらと指先の力だけでマウスを細かく転がすことが多く，長い距離を移動する場合にはその回数が増え負担が大きくなる．そのため，１回のマウス操作で大きく移動距離を確保する方式が適していると考えられる．進行性症状により徐々に手首の稼動範囲が限定される状況で，進行に合わせてゲインの比率が少しずつ高くなるシステムであれば，作業効率を維持することが可能となる．ゲインの調整は，マウスの“感度”によって決定される．一般に Windows パソコンのプロパティ調整だけでは，障害者が思うように感度をコントロールできない場合が多い．本研究では，直接システム情報（レジストリ）を書き直すことで感度調整を行うことを試みる．感度の設定は，マウスの移動速度に対するポインタの移動速度の比率により表される．比率の勾配が大きければ感度が高く，勾配が小さければ感度が低いことを示している．Windows では，レジストリの HKEY_CURRENT_USER¥Control Panel¥Mouse の“SmoothMouseXCurve”と“SmoothMouseYCurve”に比率を表す勾配直線の座標値を記録している．標準値は，（（0，0）（0.43，1.37）（1.25，5.30）（3.86，24.3）（40.0，568））で設定されており，直線部分の勾配は 15.04 となっている．これらのレジストリ値を変更することで感度を調整することができる．

このように症状進行に合わせたポインティング操作支援ができるよう，本研究では，新たにマウスの”感度”をターゲット属性として適用させることを試みる．症状進行によるポインティング精度の悪化を防ぐためには，単純にはターゲットサイズを大きくする対応が考えられる．しかし上肢障害者がスクリーンキーボードを頻繁に使用することを考えると，ディスプレイのサイズに対しキーのサイズが大きくなると作業領域が圧迫され，逆に効率を悪くしてしまう．従って本研究ではターゲットサイズは時系列で変化させないこととし，感度のパラメータとして，距離(x)と症状の進行(t)を考える．この感度を変化させることで，ポインティング操作にどのような影響を与えるか実験を行う．

4.2 感度の違いによるポインタ時間の測定

実験では，ユーザーがマウスを使ってポインタを動かすのに要した時間を評価関数として扱うこととする．感度の設定値を変化させ，前節と同様に距離の違い（2cm，4cm，6cm，8cm）によるポインティング操作を行い，始点からターゲット位置でクリックするまでの時間を測定する．今回の実験では，前節で求めた距離ごとに直径の異なるターゲットサイズ（円状のエリア）を持ち，そのエリア内でクリックされたものをカウントする．前節のターゲット属性の関係を調べる実験から，水平方向と垂直方向で平均移動時間の差は生じるが，距離によらずその比が一定であることがわかっているので，今回は左から右方向（θ=0°）への移動のみ測定を行った．

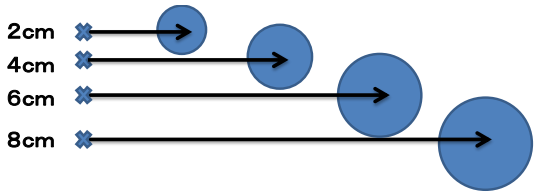
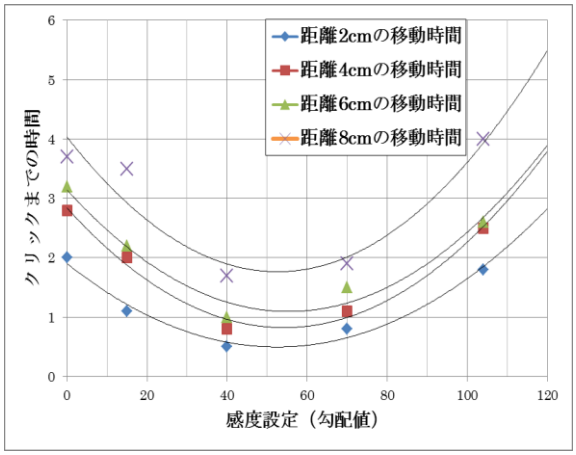
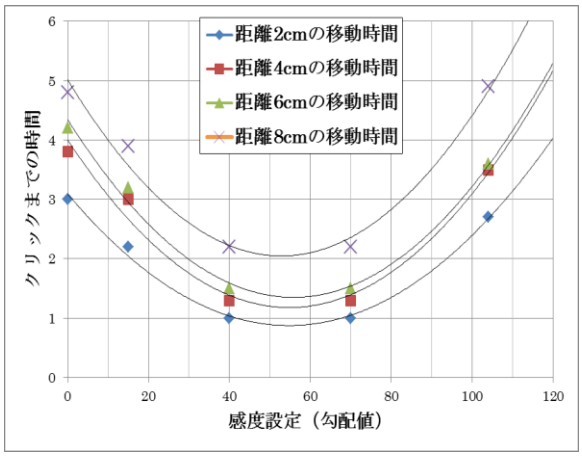


図 3 距離によるターゲットエリアサイズの違い

前節と同様に，健常者を被験者として手の動きに物理的拘束を加え，上肢障害者の症状を再現した状況で行った．被験者は前節と同じ５人に対して行い，感度設定は５パターン用意した．その他の実験環境と条件は前節と同等とした．各症状別に，５つの感度設定に対する距離別のポインタの移動時間(秒)の測定値を図に示す．

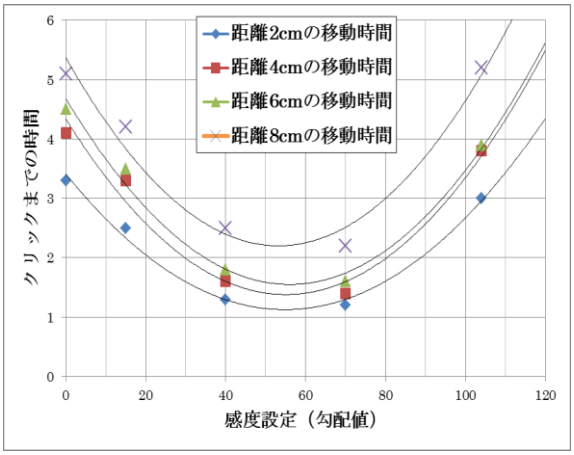


（症状Ａ）

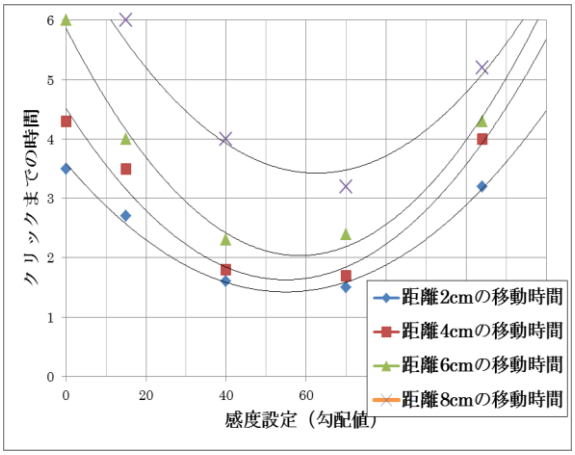


（症状Ｂ）

Copyright © 2012 by
The Instiute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.



（症状Ｃ）



（症状Ｄ）

図４　各症状ごとの感度の違い対するポインタの移動時間

図中では，プロットに重ねて次数２次での多項式近似曲線を示している．感度の低い図の左側部分（ゲインの小さい領域）では，マウスを動かしてもポインタの移動量が少ないため，ターゲットまでの移動時間がかかっている．逆に感度の高い図の右側部分（ゲインの大きい領域）では，ポインタの移動量は大きいがその分精度が悪くなり，ターゲットに留めるまで結局時間がかかってしまうと思われる．実際，感度設定値が 100 より大きい値では，ほぼ目標ターゲットを行き過ぎて戻るという動作を繰り返し行うことになっていた．

このように，異なる感度の設定に対して要した時間をプロットすると，いずれも下に凸の放物線形状を描くことができる．この曲線の最小値がポインタの移動に要する時間が最小であり，具体的には多項式近似曲線（２次）でフィッティングすることで最小値を見つけることができる．これにより，どの症状でも，またどの距離に対してもユーザーにとって最も効率の良い感度設定を導出することができるようになった．

症状Ａの結果では，近距離(2～4cm)においては感度の値が 50 付近であり，距離が長くなると感度の値がやや高くなり 60 付近で最少になった．症状によらず，感度が低く遅い動きとなる設定や，ゲインが高すぎて動きの精度が悪くなる高い設定値では，いずれも測定時間が長くなっている．また症状Ｂや症状Ｃでも，距離による大きな依存性は見られないが，距離が長くなると感度の設定値は高い方へシフトする傾向がある．また，症状が重くなるほど最適な感度の値が大きくなる傾向があり，55 から 65 の範囲で設定値を見出すことができる．症状Ｄでは，マウス操作の負担が高い状態なので計測に時間がかかり安定性に欠けるが，症状が重くなることで感度設定値はより大きくなり，また長い距離の移動においては設定値は大きい方向へシフトしている．

以上の結果から，症状が重くなり手の動きが鈍くなると，ゲインの獲得の効果が大きく表れ，感度設定値を大きくすることで効率を上げ，マウス操作のパフォーマンスを高められることがわかった．また症状が軽い状態では有意な差は認められないが，症状が重くなるにつれ，長い距離移動ほど感度設定値を高めればよいことがわかった．

5. システムの評価

本研究の特徴であるマウス感度の設定を適用させたシステムが，実際に症状を持つ患者にとって効率良いものであるか検証を行う．最初は健常者に対し，手の動きに物理的拘束を加え障害者の症状を再現した状況で測定を行った．拘束条件は前節と同様に４段階の条件（症状の違い）である．さらに，実際に手に障害を持つ被験者Ａにも使用してもらい比較評価を行った．

評価は，マウス感度の設定を適用させた場合と，標準値のまま使用した場合とを比較することで行った．マウス感度は，前節で導いた距離と症状進行の段階に依存しており，多項式近似曲線（２次）の最小値から求められた値を適用する．すなわち，症状の段階とターゲットまでの距離によって感度が変わるシステムである．

本研究の対象者がスクリーンキーボードを使用することを考慮し，ディスプレイ画面の下端から 15cm，左右の幅は 25cm の領域を範囲とする．被験者は，その中心を始点とし，もぐらたたきのように次々と指定されたターゲットまでポインタを移動させクリックを行う．ターゲットは，縦，横，斜めと各方向に指示され，あらゆる方向と様々な距離を移動し，合計するとおよそ 200cm の距離のポインタ移動を行うことになる．この移動に要した合計時間を測定する．被験者には，各症状の段階で設定される感度の動きに十分慣れた後で評価をしてもらった．５人の各被験者（２０代から４０代の男性３人，４０代の女性２人）にそれぞれ２０回ずつトライしてもらい，最も時間がかかった測定と，最も短かった測定を除いた１８回分の測定の平均値を求めた．図は，マウス感度設定の適用を行った場合（グレー）と，感度設定をせず標準のまま測定した場合（網掛け）で，各症状（ＡからＤまで）別にポインタ移動時間の平均値を表示している．

Copyright © 2012 by
The Instiute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.

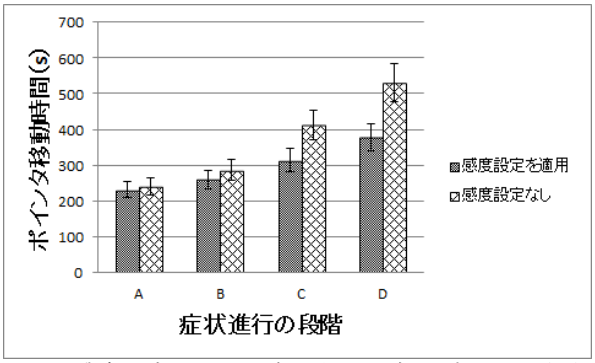


図 5　感度設定のある場合とない場合のポインタ移動時間の比較

ＡとＢの条件で移動時間を比較すると，感度設定をした場合と標準値のままの場合とでは誤差の範囲で一致していた．しかし，より手の動きが悪くなったＣ条件になると，感度設定をした方が誤差の範囲を超えて移動時間が短くなっていることがわかる．Ｄ条件では，より有意な差が現れ，本システムがユーザーの状況に適合して有効に作用していることがわかる．このことは，進行性症状を持った患者の場合，進行が進んだときに本システムの効果がよりはっきり表れ，ユーザーの特性に適合した支援を行うことができることを示唆している．

次に，実際に手に進行性障害を持っている被験者Ａに対し感度設定（60 に設定）を行い，上記試験と同様に合計 200cm のマウス操作を行いポインタの移動時間を測定した．実験の様子を図 8 に示す．その結果，被験者の通常の設定時で 380 秒要した時間が 345 秒と 9%程度時間短縮が認められた．また本システムでの設定の方が，ポインタの動きが自分の意思に近い形で動けるとの主観的評価を得た．



図 6 上肢障害者を被験者とした実験の様子

6. むすび

本研究ではマウスの動きと画面上ポインタの動きの関係に着目し，特に上肢障害者を対象として，ユーザー特性に合わせてポインタの動作特性を改善する手法について考案した．具体的には，病状の進行によるユーザー特性の変化があっても，簡単なキャリブレーション測定から，その時点で最も扱いやすいマウスポインタの感度を見出すことが出来るようになった．障害者を被験者として実験を行い，異なる感度設定による移動時間の測定から，最も効率のよい動きとなる設定値を見出せることが確認出来た．また，この手法によるターゲット属性との関連では，方向に対する依存性がほとんどないことが確かめられた．そして本システムを評価するため，マウスプロパティの設定と本システムの設定とで，健常者に対し障害の状況を擬似的に再現した状態でポインタの移動時間を測定する比較を行った．その結果，本システムの感度設定値の方が，よりユーザーの状況に適合して効率よく操作できる設定であることがわかった．また負担の少ない短時間で有効な設定ができることが確認できた．

本研究で提案された手法は，特に徐々に進行する症状の患者に適しており，日常の特定動作をモニタリングすることで，ユーザー自身が気づかない程度の操作能力の低下を追随し，感度設定を自動的に最適化することが可能となる．これにより，長期的な症状進行により操作特性が限定されてきても，同じマウス機器を使いながらＰＣ操作におけるパフォーマンスは良好に維持できるこが期待できる．

今後は，さらに長期的なモニタにより設計の改善を行い，また自動設定の検討を行う．さらにマウスポインタ以外の入力インターフェースについても本システムの設計指針を導入することを試みる．

謝辞

本研究の一部は，平成 23 年度科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究，課題番号 21650188）の研究助成を受けて行われました．また，本研究に被験者としてご協力いただいた難病患者の方々に深く感謝いたします

参考文献

[1]Hatakeyama, T., Koizumi, Y., Umeda, Y., and Uchio, M., “The Design and Implementation of Pointing Device for a Multimedia Users with Severe Physical Disability”, The journal of the Institute of Image Information and Television Engineers, Vol.52, No.9 (1998), pp. 137-143.

[2]長嶋祐二,安村通晃,猪木誠二,他,“高齢者・障害者支援とバリアフリー技術の動向”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.5, No.4 (2003), pp. 397-412.

[3]本多博彦,葛西成泰,高橋宏,“手の可動域制限者用ＰＣ入力機器の設計指針”,日本機械学会年次大会講演論文集, Vol.7, No.09-1 (2009), pp. 373-374.

[4]福田収一,樋脇孝平,“押下圧自動調整キーボードの提案− 機械が人間に合わせる時代へ− ”,日本機械学会年次大会講演論文集, Vol.15, (2010), pp. 372-375.

[5]五十嵐洋,“サブリミナル・キャリブレーションによる熟達促進効果”,日本機械学会情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集(IIP2010), No.10-7, (2010), pp. 102-105.

[6]木口量夫,林喜章,古瀬泰徳,“ツール及び動作に応じた認知アシストを行う上肢パワーアシストシステム”,日本機械学会情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集(IIP2010), No.10-7, (2010), pp. 82-85.

[7]縄手 雅彦,佐藤 基次,森本 大資,藤川 浩一,“上肢機能障害者の文字入力のためのマウス軌跡平滑化機能を有するソフトウェアキーボード”,電子情報通信学会論文誌. D, Vol.J90-D, No.3 (2007), pp.763-770.

[8]Accot,J., and Zhai, S., “Refining Fitts’ law models for bivariate pointing”, Proc. Of Conference on Human Factors in Computing Systems, IN; ACM CHI (2003), pp.193-200.

[9]Thompson, S., Slocum, J., & Bohan, M., “Gain and angle of approach effects on cursor-positioning time with a mouse in consideration of Fitts’ law”, Proc. Of the HFES 48th Annual Meeting, Human Factors and Ergonomics Society (2004), pp.823-827.

[10] 築谷喬之, 高嶋和毅, 北村喜文, 岸野文郎,“マウスポインティングにおけるターゲット属性が軌跡と運動特性に与える影響”,ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.10, No.1, (2008), pp.95-102.

Copyright © 2012 by
The Instiute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.

[11] Yves Guiard, Renaud Blanch, Michel Beaudouin-Lafon .,“Object pointing: a complement to bitmap pointing in GUIs”,*In Proc. of Conference on Graphics Interface(GI'04)* (2004), pp.9-16.
[12] H. Keuning-van Oirschot , A. J. M. Houtsma., “Cursor displacement and velocity profiles for targets in various locations”, *In Proc. of EuroHaptics 2001*, (2001), pp.108-112.
[13] T, Asano, E, Sharlin., Y, Kitamura., K, Takashima., F, Kishino., “Predictive interaction using the delphian desktop”, *In Proc. of Symposium on User Interface Software and Technology(UIST 2005)*, (2005), pp.133-141.
[14] 西口宏美,“脳性麻痺者の GUI 画面でのマウスポインタ操作特性に関する一考察－D/C 比が移動および位置決めの時間値に与える影響についてー”, 日本経営工学会論文誌, Vol.60, No.2, (2009), pp.95-103.
[15] Microsoft. “Pointer Ballistics for Windows XP”. Windows Hardware Development., (online), available from 〈http://msdn.microsoft.com/en-us/windows/hardware/gg463319〉, (accessed 2011-10-25).
[16] 姓 名, 姓 名, 姓 名, “文献のタイトル”, 論文誌名, Vol.n, No.n (2008).

Copyright © 2012 by
The Instiute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.