

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月21日現在

機関番号：33918

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21500526

研究課題名（和文） 重度肢体不自由者のためのポインティングデバイス制御の研究

研究課題名（英文） Study of controlling pointing devices for people with physical disabilities

研究代表者

渡辺 崇史 (WATANABE TAKASHI)

日本福祉大学・健康科学部・准教授

研究者番号：30410765

研究成果の概要（和文）：本研究は、神経筋疾患等による肢体不自由者が限定された指でポインティングデバイス进行操作する際に、どのような傾向を持つのかを実験を通して明らかにし、個別の困難さに対応するカーソル移動制御方法を開発することであった。その結果、カーソル移動には特定の方向に困難さや速度差が生じること等が明らかになり、障害者支援技術に関する新たな知見を得ることができた。そして、カーソル移動方向と量が調整可能なソフトウェアを設計試作し、実際に肢体不自由者の適用を試みたことで有用性の確認をすることができた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this work was to characterize the pointing device operations by examining the ease of cursor control in order to improve assistive technology and to produce cursor movement control software (CMC) for users with physical disabilities. For the purpose of this work, the cursor movement experiments were performed using two types of manual operation; the index finger and the thumb, on three sizes of trackballs. As a result, to achieve full cursor control and optimize the operational performance of the pointing devices, the direction and speed of cursor movement needed to be independently controlled to meet the individual needs of the users with physical disabilities. The CMC materialized the following three cursor control modes. The separate control mode: This is the control mode that can consider arbitrary directions to be upper, lower, the left and the right direction in each cursor movement. The bidirectional mode: This is the controlled mode so that the cursor can move vertically or horizontally if it is within a set area. The alternative mode: This is the control mode with movement on one plane, vertically or horizontally, regardless of the movement angle of the cursor.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学，リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：リハビリテーション工学，支援技術，ユーザインタフェース

## 1. 研究開始当初の背景

重度肢体不自由のある人、特に筋ジストロフィーや筋萎縮性側索硬化症(以下、ALS)等の神経筋疾患におけるコミュニケーション手段は、パソコンを利用する場合が非常に多い。その場合の一番の技術課題は、キーボード、マウス、あるいはこれらを代替する操作スイッチ(以下、入力デバイス)の適合であるが、さまざまな支援に関わった経験から、入力デバイスと身体機能レベルとの関係は表1のように整理することができる。

I 期	身体部位の可動域の減少はあるが、適合した入力デバイスを選択すれば、直接入力操作およびカーソル操作が可能な状態
II 期	身体部位の可動域はより限定され、カーソル操作に必要な随意的な操作であれば、保たれている状態(最低限、4方向以上の動き) ※例:母指であれば、屈曲/伸展、内外転の随意的な動きのこと
III 期	4方向以上の身体部位の随意的な動きはあるが、ポインティングデバイス操作に必要な可動域が全て同程度に保たれていない状態 ※例:母指であれば、屈曲/伸展、内外転の動きがあっても、その可動域にバラツキがある状態
IV 期	ポインティングデバイス操作に必要な4方向以上の身体の動きが消失し、2方向以下の随意的な身体の動きが保たれている状態、あるいは、随意的な生体反応が見られる状態

表1 パソコン操作における身体機能レベル

実際の支援場面では、III期レベルにおいて利用可能な適用手段が存在しないことが問題となっている。そのために、身体機能レベルがIII期程度まで低下すると、IV期で利用される1スイッチ入力によるスキャン入力操作をやむなく適用せざるを得ないのである。このことは、利用者の残存機能があるにも関わらず、活かすことができないということになり、廃用症候群の原因となっていること、場合によっては利用者自身の喪失感の出現、あるいは生活の質の低下にもつながってしまうという問題を内在している。

## 2. 研究の目的

本研究は4方向以上の身体部位の随意的な動きはあるが、ポインティングデバイス操作に必要な可動域が全て同程度に保たれていない状態にある重度肢体不自由者のパソコン操作向上を達成するため、重度肢体不自由者の残存能力を活かす方法と、身体状況等に適合したポインティングデバイス制御方法の開発を目的とする。特に本研究では、手指による操作を対象部位として、ポインティングデバイス操作に関する要因、ポインティングデバイス操作によるカーソル操作実行プロセスの認知モデル再形成の方法、重度肢体不自由者に適合したポインティングデバイス制御の方法といった、課題の解明に取り組む。そして、障害者のパソコン利用支援に対して、有益な技術となる提案を目指す。

3. 研究の方法

### 3. 研究の方法

#### (1)ポインティングデバイス操作におけるカーソル移動特性の推測

実際の神経筋疾患による肢体不自由者は、近位筋が侵されるが特定の指先の巧みな動きが残存する場合、逆に手内筋等の遠位筋から筋力低下が起こる場合等、疾患の種類によってさまざまな特徴を持つが、同じ疾患名であっても障害状況や筋活動の程度の個人差は大きい。

そこで、神経筋疾患等の障害の進行により重力に抗する上肢の筋力が低下し、上肢の一部を机等に設置させ、限られた手指のみでポインティングデバイス操作を行うII期レベルの肢体不自由者を想定してポインティングデバイス操作を行った時、個人差に依らない困難さにはどのような傾向があるかを明らかにした上で、多様な個別性に対応する適合技術に対する有用な知見を得るための基礎研究として、パソコンディスプレイ上のカーソルを移動させる操作(以下、カーソル移動実験)を実施した。

①II、III期レベルの肢体不自由者に対して比較的多く適用される断続操作系ポインティングデバイスであるトラックボールを用いて、カーソル移動実験を行った。そして、ボール部直径の異なるトラックボール(以下、トラックボール条件)とトラックボールを操作する手指(以下、操作指条件)を変化させて、提示されたカーソル移動課題を行った時のカーソルの移動軌跡、速度、および操作者の官能評価がどのように変化するかを測定し、カーソル移動に対して及ぼす影響について検討した。

②カーソル移動実験後、実験協力者から複数寄せられた自由記述意見を分類し、カーソル移動実験の結果と対比させて想定したII、III期レベルの肢体不自由者の困難さを考察した。さらにこれらの結果から、実際の臨床現場での相談や支援に応じ、ポインティングデバイスの選定や設置方法等に対して支援者に求められる考慮すべき点と、ソフトウェアによる対応方法の提案を行った。

## (2)カーソル移動制御ソフトウェアの設計

前項(1)のカーソル移動実験の分析結果を基にして、ポインティングデバイス操作を4個の独立したベクトル値を持つものと捉え、ポインティングデバイス操作がなされた時にカーソルポインタを制御するソフトウェアを設計した。

## (3)カーソル移動制御ソフトウェアの試作と有効性の検証

当該ソフトウェアを試作し、実際のⅢ期レベルにある重度肢体不自由者に適用し有用性を検証した。

## 4. 研究成果

### (1)カーソル移動実験の結果

カーソル移動実験は、座位姿勢が可能でポインティングデバイスを用いてパソコン操作をすることに対して特段の配慮が必要のない31名の実験協力者にて実施した。本実験でのトラックボール条件は、トラックボール大(ボール部直径55mm)、中(同16mm)、小(同8mm)とし、操作指条件は示指操作、母指操作とした。なお、全て右手の操作であった。

#### ①カーソル移動特性について

操作のしづらさについては、トラックボール条件や操作指条件に関わらず、カーソル移動操作方向間に有意な差があることが認められた。本実験結果では、垂直上下方向に移動させる時と、斜め方向では下から斜め上に向かって移動させる時と左上から右下に向かって移動させる時に操作のしづらさへの回答が多かった。

操作時のカーソル速度比較においては、上下方向と斜め方向移動において、操作者の個人差に依らず、カーソル移動に速度差が生じることがわかった。

#### ②「隣の指に当たって操作しづらい」等の操作指以外に関する意見への考察

隣の指とは示指操作であれば中指、母指操作であれば示指であるつまり、示指MP関節および母指CM関節の内転の動きに制限を与えていたことになる。内転の動きが必要な斜め方向移動に移動速度が遅くなっている実験結果と一致していた。この結果より、示指あるいは母指でトラックボールを操作する時は、隣り合う指が操作指の動きに制限を与えないように操作指との距離をとった指の置き方やトラックボール設置方法を考慮する必要がある。

#### ③「母指の方が操作しやすい」等の操作指に関する意見への考察

本実験では明らかな差が確認できなかったが、母指の方が関節の動きに自由度が高いため、さまざまな移動方向に対応しやすかったと推察できる。この意見は本研究で想定したⅡ、Ⅲ期レベルの肢体不自由者においてポ

インティングデバイスを検討する際に、まずは母指による試用評価を行ってみるという適用順序を示す重要な示唆であった。

#### ④「上下方向が動かしづらい」等の特定の方向に対する意見への考察

特に上から下への垂直移動に関する意見が多かった。これは操作のしづらさと平均速度の比較結果とも一致していた。トラックボールでより効率的に上下方向にカーソル移動させる(ボールを転がす)時は、予備動作としてカーソル移動方向とは反対方向への多関節の動きが多く求められる。例えば、示指により上から下への垂直方向にカーソル移動をする場合は、DIP関節、PIP関節の屈曲とMP関節を伸展させた後、DIP関節、PIP関節の伸展とMP関節を屈曲させるという動き、つまり現在指を置いているボール面位置から一度指を離し、上方かつ遠位方向のボール面に指を置くという予備動作が必要となる。この動作は重力に抗う運動であるため、本研究で想定したような進行性神経筋疾患等による肢体不自由者にとって最も困難な動作の一つである。

この結果より、肢体不自由者による操作に対して考慮すべき点は、肢体不自由者の身体状況に合わせて操作指を十分に動かせるトラックボール面に指を置くことができる環境にすることが大切である。また、トラックボール面積が大きいほど操作指を置く自由度が高く、トラックボールサイズが小さいほど予備動作が軽減されると考えられる。

しかしながら我々は、ベッド上で臥位姿勢しかとれない場合等ではどうしても適切な位置にトラックボールを設置できない場合があることを経験している。よって、特定のカーソル移動方向に困難さがある場合、あるいは操作姿勢や環境によって設置方法等に制限を受ける場合においては、肢体不自由者個々の手指の可動域に合わせて特定の方向のみ、あるいは移動方向ごとにカーソル移動方向を可変できる対策、例えばある方向にポインティングデバイス操作を行った時、その方向を上方向へのカーソル移動と見なすようなソフトウェア上での対応が求められる。

#### ⑤「小さなトラックボールは大きく移動させやすいが、位置決めがやりづらい」等のボールの大きさに関する意見への考察

トラックボールの大きさと解像度の関係であると考えられる。解像度の調整を行えば位置決め操作性は改善するであろうが、本研究で想定した神経筋疾患等によるⅡ期レベルの肢体不自由者においては、各関節可動域の減少にはばらつきが見られる場合があるので、加えて各カーソル移動方向に対して個別に移動量(速さ)を設定できるソフトウェアによる対応が必要となる。

## (2) カーソル移動実験のまとめ

Ⅱ期レベルの肢体不自由者の断続系ポインティングデバイス操作を想定し、トラックボールを用いた手指操作のみでのカーソル移動操作実験を実施した。その結果、単指によるカーソル移動操作は特定の方向に操作のしづらさや速度差が生じること、操作指やトラックボール部の大きさによっても差異が見られることが明らかになった。そして、トラックボール適用時に考慮すべき点とカーソル移動制御方法に対する知見を得ることができた。

また、本実験の協力者と神経筋疾患による肢体不自由者とは骨格構造は変わらないことから、個人差に依らないカーソル移動時の困難さを同様に内在していると考えられるため、筋力低下した状態にある場合には、本実験で得られたカーソル移動特性の傾向がより顕著に現れてポインティングデバイス操作に影響を与えていると推測することができた。この影響はⅡ、Ⅲ期レベルの肢体不自由者のポインティングデバイス操作を困難にし、やむなくⅣ期レベルのパソコン操作方法を適用しなければならない原因の一つになっていると考えられる。

しかしながら、神経筋疾患による肢体不自由者は同じ疾患名であっても筋活動の個人差は大きく、日々の体調や生活環境による変動もみられる。特に進行性疾患であれば肢体不自由者自身の経時的な筋活動の変化もある。このような筋活動の変動あるいは変化がある場合には、本実験で得られたカーソル移動特性に併せて多様な傾向を示すと考えられる。

この結果、肢体不自由者がポインティングデバイス进行操作する時、操作しづらい方向に対してカーソル移動量(速さ)を調整できるようにすること、そして操作指の可動域に合わせてポインティングデバイス操作方向を適切なカーソル移動方向に変換できるようにするカーソル移動制御ソフトウェアの開発の必要性が確認できた。

## (3) カーソル移動制御方法の設計

カーソル移動実験の結果より、Ⅲ期レベルの肢体不自由者の多様な個別性に対応するため、カーソル移動制御ソフトウェア(以下、CMC)を設計した。CMCは、画面上のカーソル移動空間を独立した4つのベクトル(上, 下, 左, 右)と見なし、移動方向と移動量を個別に設定・制御できるようにしたソフトウェアである。すなわち、利用者がある方向にポインティングデバイス进行操作すると、CMCの設定に従って画面上のカーソルの移動方向と量に変化するということである。このようにカーソル移動を制御することで、利用者の身体機能(できること)、操作環境およびポインテ

ィングデバイス設置方法等に合わせて適切なカーソル移動を実現することができる。

## (3) CMC の試作

Visual C 2008にて以下3制御モードを試作した。CMCはWindows2000以降で動作する。なお、カーソル移動量(Movement rate)はいずれのモードでも上下左右個別に設定できる(図1)。

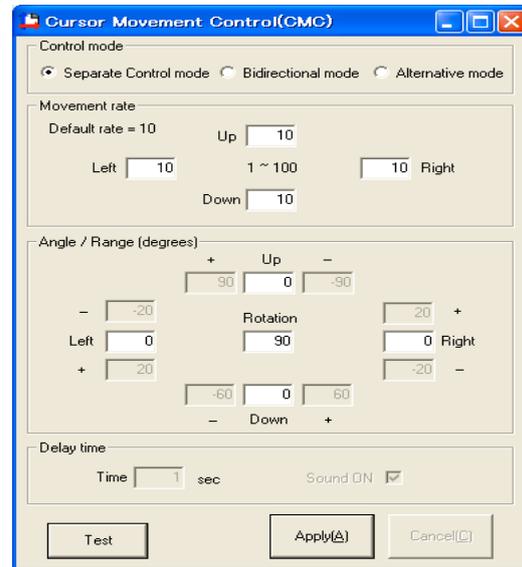


図1：CMC設定画面

### ①独立制御モード (Separate Control Mode)

図2のように角度 $\theta_U$ ,  $\theta_D$ ,  $\theta_L$ ,  $\theta_R$ の角度を設定することで、任意の方向を上, 下, 左, 右方向と見なす制御モードである。例えば、回転角度 $\theta_U$ に設定されているU方向にポインティングデバイス操作がされると、それは垂直上方向と見なされ、画面上のカーソルはU'の方向に移動する。このモードは、4つのカーソル移動方向ごとに制御できるため、関節拘縮や筋萎縮等により可動域制限がある利用者に対して、より個別的な適用を可能とする。

### ②2方向モード (Bidirectional Mode)

図3のように、U', D', L', R'の両側に移動領域の角度 $\theta$ をそれぞれ設定する。この領域内でのポインティングデバイス操作であれば、画面上のカーソルは垂直または水平方向のみに移動する。このモードでは可動域制限だけでなく、不随意運動があり巧緻性が低下している利用者に対して、確実かつ実用的なカーソル移動操作を提供することを想定した。

### ③方向変換モード (Alternative Mode)

垂直か水平いずれかの一方向しかカーソルが移動しない制御モードである。カーソル移動方向の切り換えは、水平方向か垂直方向

かのいずれかの方向へポインティングデバイス操作が実行された後、カーソルが停止待機時間 (delay time, T) だけ現在位置に停止すると、カーソル移動方向がもう一方の方向に切り替えられる。このモードは進行性疾患等のある人が現状よりさらに可動域制限が見られるようになった場合であっても、限られた手指等の2方向の動きによってポインティングデバイス操作を利用し続けられるようにすることを想定した。

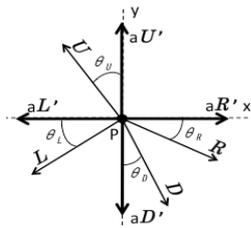


図 2: 独立制御モード

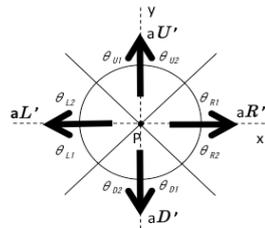


図 3: 2方向モード

#### (4) CMC の試用

Ⅲ期レベルにある肢体不自由者(脊髄性萎縮症 2 型, 以下, 試用協力者)のパソコン操作に CMC を適用して有用性の検討を行った。試用協力者は、臥位姿勢にて図 4 のように小型トラックボールを利用している。関節可動域にばらつきが有り、現在のカーソル移動軌跡を観察すると、図 5 のようなふらふらした軌跡を描くこと、特に下方向への移動に困難さ見られた。そこで、CMC を適用し各方向に対して移動方向変換と移動量を可変させたところ、図 6 のようなカーソル移動軌跡となり、改善が見られた。試用協力者自身からも楽に操作できるという感想を得ることができた。

#### (5) 今後の課題

本研究で開発した CMC の利用は、重度肢体不自由者のパソコン操作方法の選択肢を増やすことや、障害の進行に合わせた継続的・段階的支援が展開できる等、実際の支援に大いに寄与できると考える。そのためには、CMC を多くの重度肢体不自由者の方々に協力していただき改良を重ね、有用でかつ、より個別性に応じた適合支援が実現できることを目指す予定である。

また、ポインティングデバイス制御の研究で得られた知見は、パソコンのカーソル操作だけでなく、電動車いすのジョイスティック操作(前後左右方向に動かして電動車いすを操作)、あるいは、頸髄損傷者等が利用するチンコントロール(顎の動きで電動車いすを操作)等の制御にも適用できる可能性があるため、多方面への応用についても検討する。

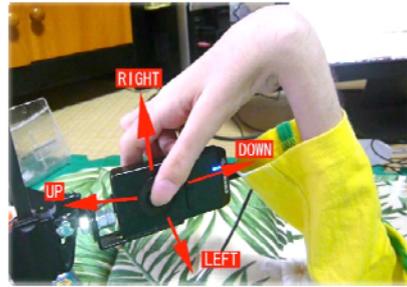


図 4: 試用協力者のトラックボール操作

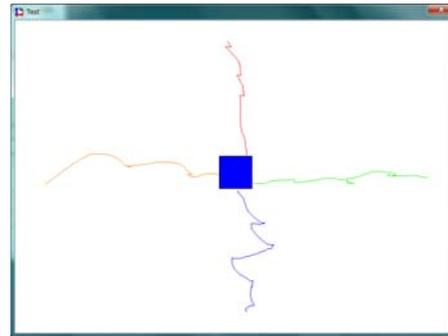


図 5: CMC 適用前のカーソル移動軌跡

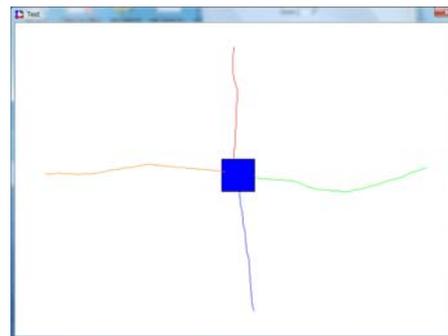


図 6: CMC 適用後のカーソル移動軌跡

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Takashi Watanabe, Takuro Hatakeyama, Toshihiro Okuyama, Noriyuki Tehama, Development of Cursor Movement Control Software for People with Physical Disabilities, Everyday Technology for Independence and Care, 査読有, Vol. 29, 2011, pp. 432-439 DOI:10.3233/978-1-60750-814-4-432

[学会発表] (計 2 件)

- ① Takashi Watanabe, Development of Cursor Movement Control Software for People with Physical Disabilities, 2011 年 9 月 11 日, Maastricht, the Netherlands

- ② 渡辺崇史, ポインティングデバイス操作におけるカーソル移動制御ソフトウェアの試作, 第26回リハ工学カンファレンス, 2011年8月25日, 大阪市

[その他]

- ①カーソル移動制御ソフトウェア (Cursor Movement Control, Windows XP 以降にて動作)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡辺 崇史 (WATANABE TAKASHI)  
日本福祉大学・健康科学部・准教授  
研究者番号: 30410765

### (2) 研究分担者

畠山 卓朗 (HATAKEYAM TAKURO)  
早稲田大学・人間科学学術院・教授  
研究者番号: 50351200

### (3) 研究協力者

奥山 俊博 (OKUYAMA TOSHIHIRO)  
東京大学先端科学技術研究センター  
・特任研究員