

電動車いすの操作インタフェースに関する研究

— ジョイスティック・スイッチの操作特性に関する実験的研究 —

水津 祐紀・奥 英久*・高見 正利*・坊岡 正之**

米田 郁夫***・糟谷 佐紀***

岡山理科大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

*岡山理科大学工学部福祉システム工学科

**広島国際大学医療福祉学部医療福祉学科

***兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所

(2003年11月7日 受理)

1. はじめに

脳性麻痺(Cerebral Palsy: CP)には、筋緊張がアンバランスなため四肢運動が著しく制限されて、日常動作が円滑に行えない「痙直型」(Spastic type: S-type)と、不随意運動が突発的に出現するために自由な日常生活が困難となる「アトローゼ型」(Athetosis type: A-type)に大別される。いずれのタイプも、四肢運動が自由にかつ円滑に行えないために、日常生活動作が制限されるという共通性を持ち、とりわけ重度CP者になると、移動能力が顕著に障害されるため、手動式車いすでの移動さえも不能となる場合がほとんどである。こうした重度CP者にとって、簡単な操作で、しかも自力での移動が可能となる有効手段として「電動車いす(Electric wheelchair)」が挙げられる。

現在供給されている電動車いすのほとんどが、その走行をコントロールする操作インタフェース装置として「ジョイスティック・スイッチ」を用いている。この装置の設置位置が電動車いすの走行に影響することは経験的に知られてきた。そのため、CP者の電動車いす操作の可否を判定するためには、これまでは実際に試乗させて、その操作状況を観察して評価するという方法がとられていた。しかし、電動車いす使用の適否を評価するための客観的裏付けとなる研究はほとんど行われていないのが現状である。

この問題に対して、井手ら⁴⁾は肢体不自由者に対するジョイスティック・スイッチの操作特性を報告している。しかし、これはパソコンを操作するためのポインティング・デバイスとしてのジョイスティック・スイッチに関する研究であり、電動車いすの操作を対象にしていない。

これらの状況をもとに、筆者らは、S-type、A-typeのCP者における電動車いすの操作特性に関する客観的な評価を試みた。これまで基準となる操作データがほとんど蓄積されていない現状なため、今回は比較データとして健常者の電動車いす操作データを合わせて計測することにより、電動車いす用ジョイスティック・スイッチの操作特性について分析を行い、重度CP者が電動車いすの適否評価における指標となる結果を得た。

2. 評価実験

2-1 実験内容

はじめに、パソコンシステムのモニタ画面に○(塗りつぶし無し)、□(塗りつぶし無し)、●(塗りつぶし有り)、■(塗りつぶし有り)のターゲットをランダムな位置に表示し、被験者にジョイスティック・スイッチを操作させ、マーカを移動してターゲットに重ねるとい課題を行わせる。このターゲットの表示からジョイスティック・スイッチ操作によるマーカの移動および課題完了までの、モニタ画面上でのマーカの移動軌跡と経過時間をデータとして、サンプリング50 Hzにより計測する。上記の実験を、水平な床の上(水平路面)に固定した電動車いすに乗車した状態、ならびに8%の傾斜台上(傾斜路面)に固定した電動車いすに乗車した状態での、異なる路面条件で行う。傾斜路面には、前・後・左・右に傾斜を持つ4種類の路面を用いる。

2-2 計測システム

図1に示す計測システムを構成した。実験用電動車いすはActive Chair(株式会社今仙技術研究所製 EMC-230)を使用し、既存のジョイスティック・スイッチを取り外し、同社で標準的に使われているジョイスティック・スイッチ(株式会社今仙技術研究所製)を取り付けた。このジョイスティック・スイッチからの出力信号は、ADコンバータ(株式会社CONTEC製 AD12-8(PM)、API-A10 Version3.52)を介して計測用ノートパソコン(日本アイビーエム株式会社製 Think Pad X20 WindowsMe)に入力される。これにより、ジョイスティック・スイッチを上下左右に傾けることにより、電動車いす前方40 cm³に設置されたモニタ(後述)画面上のマーカ(カーソル)をそれぞれの方向へ動かすことができる。実験用モニタとしては液晶ディスプレイ(ソニー株式会社 CPD-L150)を使用した。計測用プログラムとして、新たに開発した実験プログラムと練習プログラムを使用する。練習プログラムは、データ保存を行えない以外は実験プログラムと同等のものを用意する。これらの計測プログラムは、VisualBasic6.0J sp5(マイクロソフト株式会社製)で作成した。データのサンプリング時間は50 Hzで、これに対する各マークの描画時間は2~3 ms(いずれも1000回実行時の平均)であり、マークの描画がサンプリング時間に影響を与えないことを確認した。

また、傾斜路面での操作特性を計測するため、傾斜板を使用した。これにより8%勾配を実現した。

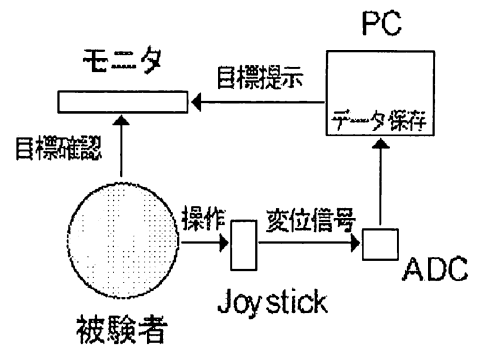


図1 計測システム

2-3 計測データ

今回の実験では、測定開始時からマーカがターゲット近傍に達するまでの時間を操作時間とする。図2は重度CP者の計測データの一例である。縦軸はジョイスティック・スイッチの出力電圧の変化を電圧で表し、横軸は測定開始からの経過時間を示している。このデータから、 t_0 (測定開始時刻)、 t_1 (ジョイスティック・スイッチが動き始めた時刻)、 t_2 (目標位置の63%まで達した時刻)、 t_3 (目標位置の90%に達した時刻)を算出する。

以上の各時刻から、以下の時間を求める。

- (1) 反応時間 (t_1-t_0)
 - ・目標の提示(測定開始)に対してどの方向にジョイスティック・スイッチを動かすかを判断し、その態勢を取るまでの時間。
- (2) 移動時間 (t_2-t_1)
 - ・目標となるターゲットの方向に、マーカを近づけるためにジョイスティック・スイッチを傾け続けている時間。
- (3) 調整時間 (t_3-t_2)
 - ・ターゲット近傍にマーカが近づいたので、重ねようとジョイスティック・スイッチを細かく操作する時間⁴⁾。

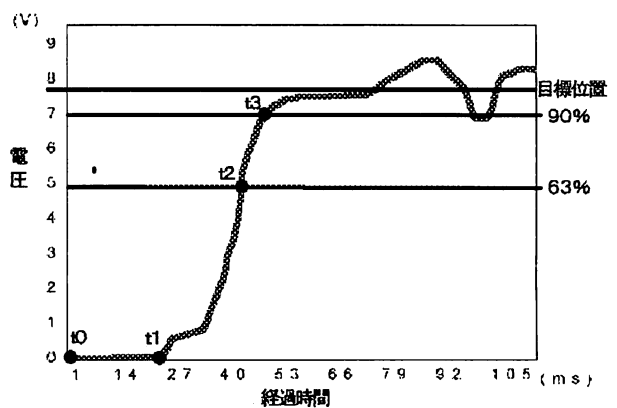


図2 計測データの一例

また、計測した移動軌跡から、ターゲットの表示位置(目標位置)の電圧値を百分率で示し、その目標位置から、 $\pm 10\%$ 以上の電圧値をジョイスティック・スイッチの電圧値が超えた場合を、誤操作回数(目標位置近傍からの逸脱した回数)と判断し、それをカウントする。

3. 実験

3-1 予備実験

まず、マークの組み合わせと色について検証する予備実験を行った。

目標となるターゲットをモニタ画面上の「ホームポジション(中央)」+「上下左右いずれか1方向」の組み合わせで、5秒間点灯させる。マークの目標となるターゲットの位置は、被験者がジョイスティック・スイッチを傾けきったままで固定しないように、ジョイスティック・スイッチの最大位置の85%の値とした。ターゲットおよびマークの一辺もしくは直径は、モニタ画面上での実測値で1.3 cmであり、ホームポジションと各方向の目標位置のターゲットとの距離は6.4 cm⁹⁾である。この距離はジョイスティック・スイッチを20°倒した時のマークの移動距離に相当する。また、モニタ上での、マークの上下左右の移動方向は、ジョイスティック・スイッチの前後左右方向に対応する。

被験者は男子大学生14名(平均年齢21歳、全員右利き)とし、[マーク-ターゲット]の組み合わせ4組[□-○][○-□][□-●][■-○]にそれぞれモノクロ、カラー(赤、青の2色のみ)の2パターンを加えた全8パターンを提示し、既述の方法により実験後、追従性および視認性について5段階評価のアンケート調査を行った。結果を表1に示す。表1で①は追従性、視認性をもっとも悪いと評価した人数で、⑤はもっとも良いと評価した人数を表す。

表1 追従性および視認性に関するアンケート結果

(a) 追従性(モノクロ)						(b) 追従性(カラー)					
マーク	ターゲット	①	②	③	④-⑤	マーク	ターゲット	①	②	③	④-⑤
□	○	0	0	6	6 2	□	○	0	0	4	6 4
○	□	0	0	3	9 2	○	□	0	1	2	3 8
□	●	2	7	4	1 0	□	●	0	4	5	5 0
■	○	6	4	4	0 0 (人数)	■	○	2	8	1	2 1 (人数)

(c) 視認性(モノクロ)						(d) 視認性(赤)						(e) 視認性(青)					
マーク	①	②	③	④	⑤	マーク	①	②	③	④	⑤	マーク	①	②	③	④	⑤
○	0	0	5	5	4	○	0	1	1	5	7	○	1	0	1	5	7
□	0	2	4	4	4	□	0	2	3	3	6	□	1	1	3	3	6
●	4	4	3	2	1	■	1	7	4	1	1	●	0	7	3	2	2
■	5	5	4	0	0 (人数)												

全体的に塗りつぶし(●■)を含む組み合わせが、追従しにくい、見にくいという結果を示した。これは重ねるという動作において、下になってしまうターゲットがほとんど見えなくなるために、重ねにくさを感じたものと考えられる。その他に「ターゲットよりもマークの方を小さくした方が良い」とする意見が多数を占めた(14名中10名)。また、[○-□]の組み合わせでは、追従しにくいという意見は皆無だった。モノクロとカラー(赤、青)のパターンに関しては、カラーの方が追従しやすいという意見が多数であった(14名中12名)。

以上の結果から、本実験では「追従性」「視認性」の良かった、マーク□(青)、ターゲット○(赤)のパターンを採用することにした。図3は完成した実験プログラムの測定画面である。

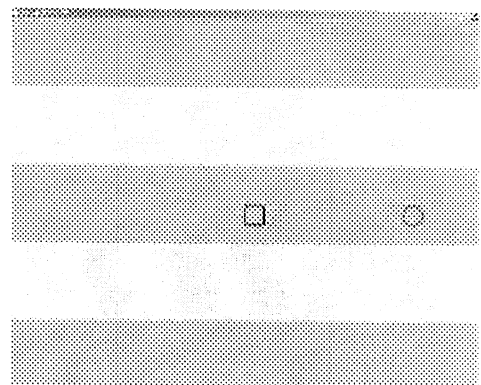


図3 実験時の測定画面

3-2 本実験

3-2-1 条件

実験手順は以下の通りである。

- (1) 被験者を電動車いすに乗せる。
- (2) 練習プログラムを使用し、練習を行う。練習後に被験者の希望によって、ジョイスティック・スイッチを電動車いすの標準位置より前後に動かす。ただし測定開始後はこの変更は行わない。
- (3) 実験プログラムを使用し、予備実験と同様の計測方法で計測を開始する。ターゲットは上下左右5回ずつランダムで表示され、計20回の計測を自動的に行う。

次に、8%勾配の傾斜路においても、上記(1)~(3)を実施した。

図4に、水平路面時でのA-type重度CP者の実験風景を示す。

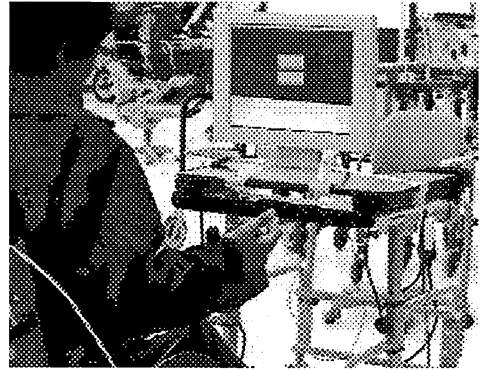


図4 実験風景

3-2-2 被験者

重度CP者7名(平均年齢32歳、男性5名、女性2名、うち4名がS-type、3名がA-type、全員右利き)および健常者8名(平均年齢26歳、男性2名、女性6名、全員右利き)を被験者とした。重度CP者のプロフィールを表2に示す。

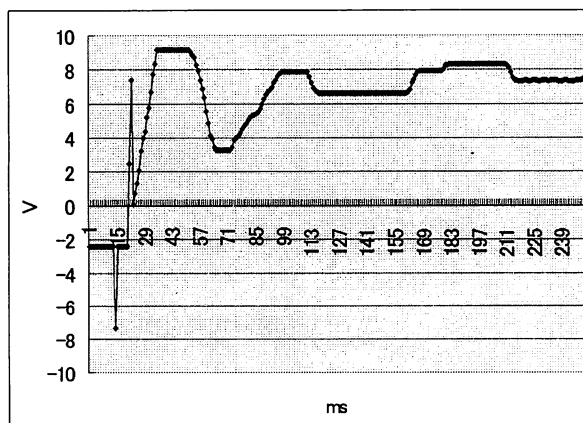
表2 被験者一覧

No.	性別	年齢	タイプ	電動車いす乗車経験
1	M	40	A-type	あり
2	M	40	S-type	あり
3	M	33	S-type	なし
4	M	29	S-type	なし
5	F	29	S-type	あり
6	F	29	A-type	なし
7	M	27	A-type	あり

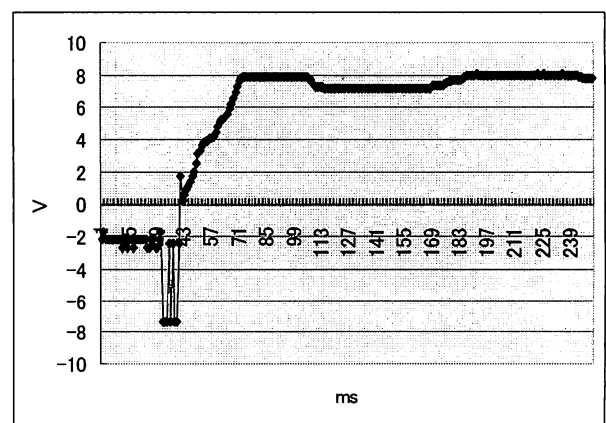
4. 結果

4-1 操作時間

図5に、重度CP者と健常者の水平路面でジョイスティック・スイッチを前傾させた場合(前方向操作時)の計測結果例を示す。これらの計測結果をもとに、重度CP者および健常者における、反応時間、移動時間、調整時間の平均値と標準偏差を求めた。各データの平均値の差の検出には、Welchの「t検定」を用いた。



(a) 重度CP者の操作データ例



(b) 健常者の操作データ例

図5 ジョイスティック・スイッチの前後変位(水平路面)

図6は、各操作方向における重度CP者および健常者の操作時間の平均値と標準偏差を示している。t検定ではいずれの時間においても、重度CP者のデータと健常者のデータとの間に有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。しかし、図6から明かなように、重度CP者の反応時間は31.6 ms~36.7 msであるのに対し、健常者の反応時間は27.3 ms~33.0 msであり、ジョイスティック・スイッチの全方向において健常者の時間が短い傾向を示した。しかし、移動時間および調整時間においてはその傾向は認められなかった。逆に、重度CP者の方が短い時間で操作を行っている傾向が認められた。

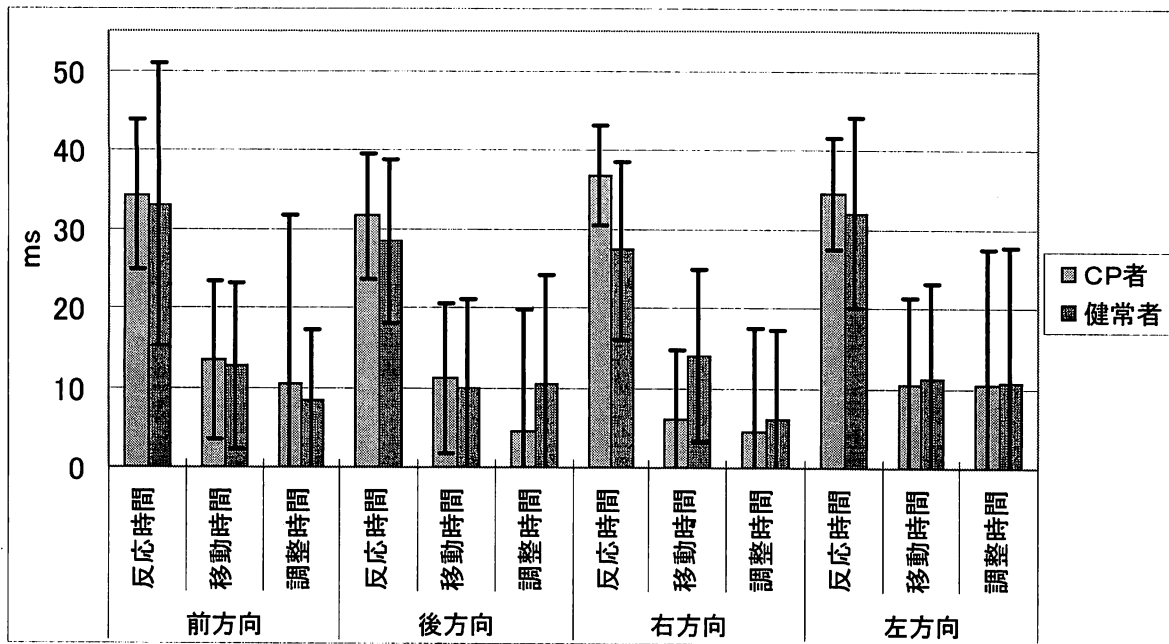


図6 重度CP者および健常者の平均操作時間(水平路面)

次に操作時間をS-typeとA-typeで比較した。図7は水平路面でのS-typeおよびA-typeの操作時間の各方向における平均値、標準偏差を示している。前・後方向への操作時の反応時間に有意差が認められた ($p < 0.05$)。

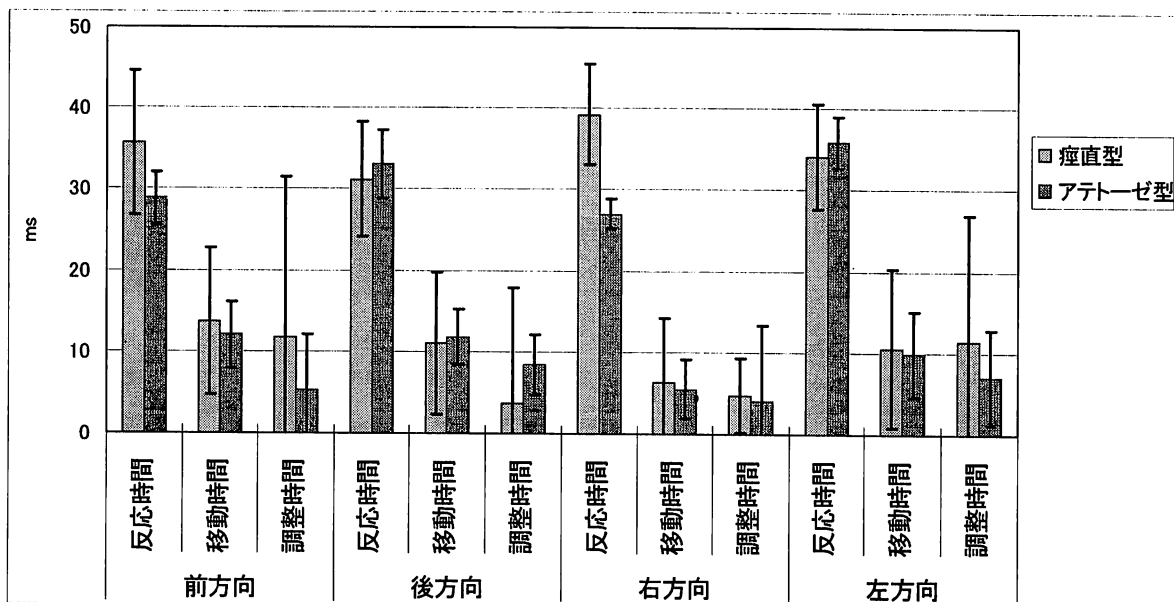


図7 S-typeおよびA-typeの平均操作時間(水平路面)

水平路面と傾斜路面が操作に与える影響の有無についても比較した。図8は重度CP者の各方向操作時における水平路面、傾斜路面での平均操作時間の比較を示したものである。

図8に示すように、各方向操作時ともに、反応時間は30.4 ms～39.0 msの範囲内に収まり、主観的ではあるが、路面の傾斜による差は認められなかった。また、移動時間および調整時間は、前方向操作時(図8-a)にはすべての路面で等しい時間を必要としたが、左・右方向操作時(図8-c)(図8-d)では、後上傾斜路面(坂を下る時の姿勢)がもっとも時間を要し、水平路面において時間が短くなった。特に、右方向操作時の水平路面は移動時間6.2 ms、調整時間4.6 msと短い時間で操作が行われている。後方向操作(図8-b)に関しては、右上傾斜路面(片流れ路面)のみ操作に長い時間を必要としているが、水平およびそれ以外の傾斜時は他の方向操作時に比べて短い時間で操作を完了していた。また、水平路面時は傾斜路面時に比べ、前後左右すべての操作方向とも共通して移動時間、調整時間が短い傾向が認められた。

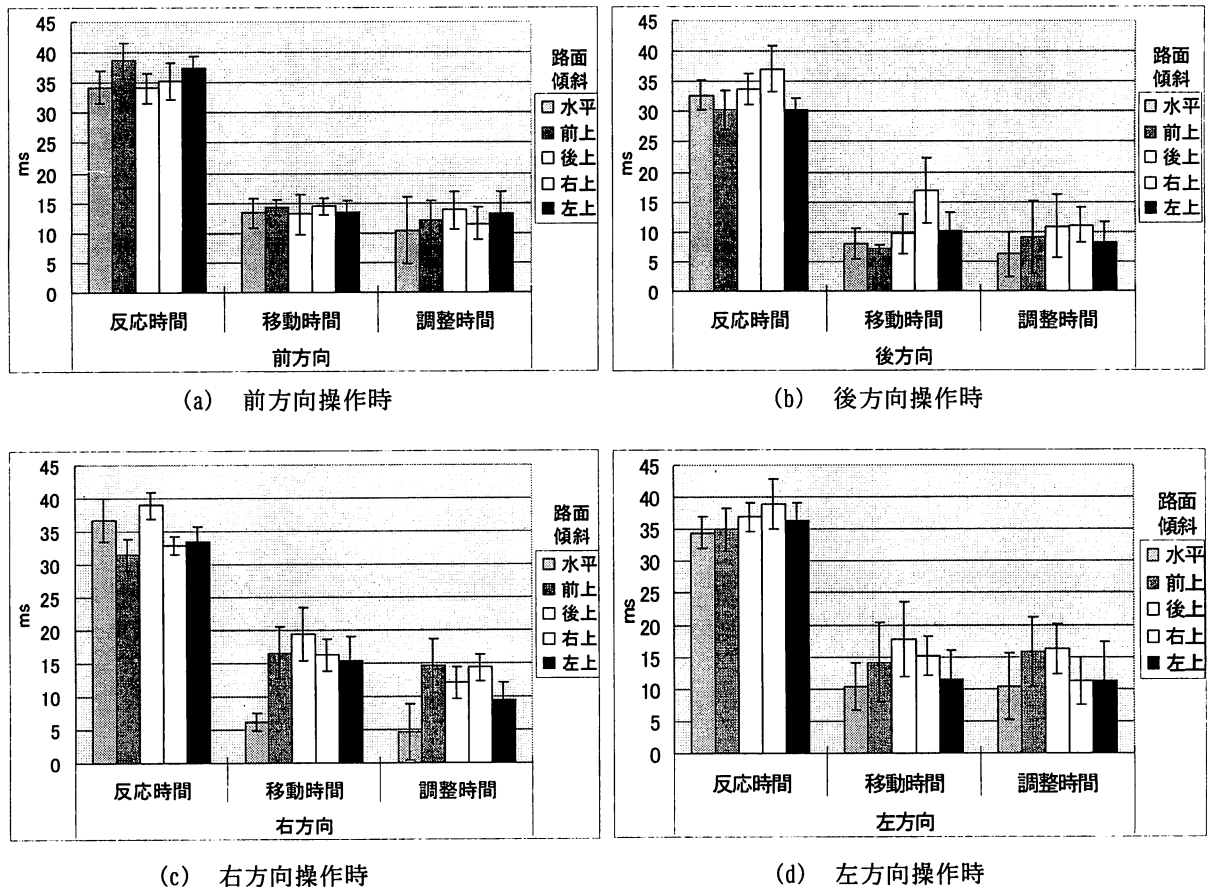


図8 ジョイスティック・スイッチの操作方向に対する路面傾斜と操作時間の関係

4-2 誤操作回数

表3は健常者、S-type、A-typeの水平路面時における誤操作回数の平均値を示したものである。すべての操作方向において、健常者よりS-type、S-typeよりA-typeの方が誤操作回数が多い結果となった。また、健常者、CP者を問わず、ジョイスティック・スイッチを前方向に操作する場合は、他の方向の場合と比較して誤操作回数が少なく、逆に左・右方向は多い傾向が認められた。

表3 誤操作回数(水平路面)

	健常者	CP者	
		S-type	A-type
前方向	1.6	2.6	3.4
後方向	1.4	4.7	8.8
右方向	2.3	4.4	14.0
左方向	2.2	4.2	10.0

図9に、誤操作回数が高い値を示したA-type重度CP者の、水平路面での前方向操作時における平均値をグラフに示した一例である。この平均値とは、t3（目標位置の90%に達した時刻）以降のジョイスティック・スイッチの電圧値の平均値を示す。図9から明らかなように、誤操作回数としてカウントされる±10%の範囲内に平均値が収まっており、目標近傍にマーカを持って行くことは可能だが、固定することが困難な様子が確認できた。

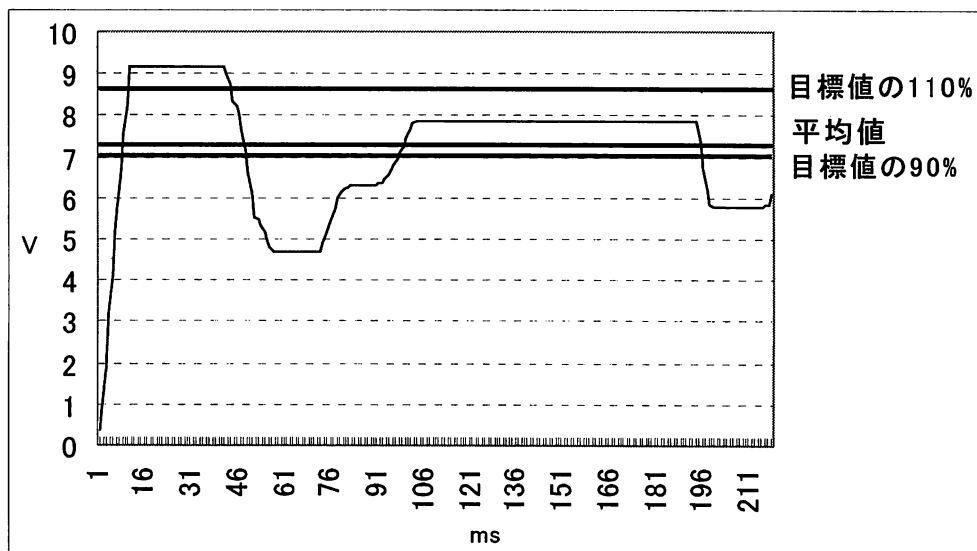


図9 A-type重度CP者の前方向操作時の平均値一例(水平路面)

5. 考察

5-1 重度CP者と健常者の差異

重度CP者よりも健常者の方が、どの操作方向時においても反応時間が短かった。しかし移動時間、調整時間に関しては重度CP者の方が操作を短い時間で行う傾向が認められた。これは目標に気づき、まず目標の方向にジョイスティック・スイッチを傾けきったのち、目標近傍にマーカを近づけるといふ、折り返しのような操作をする結果と考えられる。計測した移動軌跡からもこのことがうかがえ、特に重度CP者にこの傾向は見られた。これは、電動車いす操作時の突発的な発進などを防ぐための考慮すべき結果と考える。

5-2 S-typeとA-typeの差異

S-typeとA-typeの間では前・後方向の反応時間にも有意差が認められた。この結果は、操作時間の比較だけで見ると、S-typeとA-typeが同一のジョイスティック・スイッチを使用することとしても、電動車いすの操作にかかる時間に差異は生じないものとする。

5-3 水平路面と傾斜路面との操作特性の差異

路面の傾斜と操作時間との関係については、反応時間には傾斜による主観的な差は認められなかった。しかし移動時間、調整時間においては水平路面時が各傾斜路面時よりも操作に必要な時間が短かった。道路設計では、通常5%以内の勾配に押さえるのが望ましいとされている。実験で使用した8%勾配は地形的関係から5%以内に勾配を押さえられない場合にのみ適用される。このことから、一般に電動車いすユーザは、日常生活において傾斜面を避けて走行しようとする傾向があるため、8%勾配という経験の無い傾斜に恐怖を覚えたものと考えられる。実際に被験者からは、傾斜路面での乗車姿勢に「怖かった」という意見を得ている。恐怖感は筋緊張を促しやすい。筋緊張とは、身体を動かす際に起こる筋肉の抵抗であり、重度CP者の場合、この抵抗が不随意的に発現する。この筋緊張がジョイスティック・スイッチの操作に影響を与えたものと推測する。加えて、重度CP者には体位の安定保持が困難になりやすいという傾向があり、したがって水平路面走行時においても体位の傾斜が発生しやすい。このように体位の傾きによるジョイスティック・スイッチとの相対的なズレおよび恐怖感からくる筋緊張の操作への影響を減らすためには、車いす車体の構造から考慮する必要があると考える。

5-4 誤操作回数

誤操作回数によれば、重度CP者はマーカを目標位置の方向に接近させて、目標近傍にマーカを近づけることは可能だが、目標位置に固定することが困難であることが確認できた。一方、A-typeは誤操作回数の多さから見ても、S-typeよりもさらに目標位置に合わせる操作が困難なことがうかがえる。このことから、重度CP者は健常者よりも、電動車いすを操作の正確さを損ないやすいと考えられる。また、誤操作回数の値の大小から、既存のジョイスティック・スイッチの適用に関しては、A-typeよりかはS-typeの方が適用しやすいと考える。ただし、機械の応答時間などを調整をすることで、A-typeにおいても適用させることも可能であると考えられる。

6. おわりに

重度CP者が電動車いすをジョイスティック・スイッチにより操作する場合の適合のための客観的な基礎的検討を目的として、S-typeとA-typeの重度CP者を、水平路面および傾斜路面で操作特性を計測した。また、比較データを得るため、健常者に対しても同じ内容の計測を行った。

この結果、重度CP者は健常者に比べて移動時間および調整時間が短いことから、ジョイスティック・スイッチの操作を速い動作で行う傾向があることが明らかとなった。重度CP者におけるS-typeとA-typeでは、前・後方向操作時の反応時間に有意差が認められた ($p < 0.05$)。また、水平路面時の方が傾斜路面時よりも移動時間と調整時間が短いという傾向が認められ、路面の傾斜が操作に影響を与える可能性が示唆された。誤操作回数に関しては、健常者よりも重度CP者の方が高い値を示し、さらにS-typeよりもA-typeの方が回数が上回ることが確認できた。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路の移動円滑化整備ガイドライン(基礎編)，国土交通省(2001)
- 2) 横溝克己・小松原明哲：エンジニアのための人間工学-改訂，日本出版サービス(1999)
- 3) 正田亘：人間工学，恒星社(1997)
- 4) 井手将文・藤家馨・御手洗謙二・黒須頭二：脊髄損傷者における単速度動作特性をもつジョイスティックの操作特性，人間工学学会誌，32，2，pp141-150(1995)
- 5) 五味重春：脳性麻痺，医歯薬出版株式会社(2001)
- 6) 村田厚生：対話型システムにおけるポインティング装置の操作性に関する実験的検討，人間工学学会誌，28，3，pp107-117(1992)

Characteristics of Operating Joystick Controllers for Electric Wheelchairs

Yuuki SUIZU, Hidehisa OKU*, Masatoshi TAKAMI*

Masayuki BOOKA**, Ikuo YONEDA*** and Saki KASUYA***

Graduate School of Engineering,

**Department of Assistive and Rehabilitation Engineering, Faculty of Engineering,
Okayama University of Science, Ridai-cho 1-1, Okayama 700-0005, Japan*

***Department of Health and Social Services, Faculty of Health and Welfare,
Hiroshima International University*

****Hyogo Assistive Technology Research and Design Institute*

(Received November 7, 2003)

An electric wheelchair is the one of useful transport equipments for severely Cerebral Palsied People (CP). However, their involuntary physical movement prevents them from operating joystick controllers of electric wheelchairs effectively. Consequently, this characteristics makes it difficult to adapt electric wheelchairs to prospective CPs as their effective transport equipments.

We have been studying on the development of objective adaptation methods for prospective user of electric wheelchairs. This paper describes the preliminary result of our experimental study on the analysis of characteristics of joystick operation by CPs.

Subjects were seven CPs (five males and two females). Four of them were spastic type, and three of them were athetosis type. Then, eight non-disabled persons of twenty-six years old were added as a controlled group. Tracking test was prepared to measure their characteristics for operating a joystick controller. In the tracking test, a target was displayed on a screen (LCD) at first. Then, a subject was asked to move a cursor on the screen to put it upon the target by operating the joystick controller. During this operation, both a path of the cursor on the screen and time of the operation were measured automatically. Interval from the display of a target to the beginning of actual operation of a joystick controller was defined as reaction time. A commercially available joystick controller from Imasen Engineering corp. was used as typical one. The target was displayed at the upper side, lower side, right side, and left side of the cursor respectively according to the progress of the testing. As the testing environment, both a wooden floor without slope and that with slope of 8% were used.

From the experiments, the following results were indicated.

- 1) A path of the cursor on the screen is indicated as the combination of approaching and adjusting, and time of a tracking is indicated as sum of approaching time and adjusting time.
- 2) Both the adjusting time and the adjusting time of CPs are shorter than it of the control group.
- 3) In the upper and lower targets, the mean reaction time of the athetosis CPs was significantly longer than those of the spastic CPs.
- 4) In the operation on the wooden floor with slope, both the approaching time and the adjusting time were increased.

This result will be useful for incransing adaptability of joystick controllers to prospective CPs.