

電動車いす用タッチパッド型コントローラの開発

中島 康博, 安田 星季, 吉成 哲
牧野 功, 但野 茂*

Development of Touchpad Controller for Electric Wheelchair

Yasuhiro NAKAJIMA, Seiki YASUDA, Satoshi YOSHINARI
Isao MAKINO, Shigeru TADANO*

抄 録

ジョイスティックは一本のレバーで1もしくは2自由度のパラメータを同時に制御できるインターフェースとして様々な機器に用いられている。電動車椅子の操作も、そのほとんどがジョイスティックによって直進、旋回の制御を行うようになっている¹⁾。しかし筋ジストロフィのように筋力が非常に弱いなどの理由でジョイスティックが操作できないために、電動車椅子の使用をあきらめる者も多い。このような現状をふまえ、本研究ではジョイスティックによる電動車椅子の操作が難しい患者に対し、新たに操作性の高いインターフェースを提供するため、指先の接触のみで操作できるタッチパッド型の電動車椅子コントローラを試作開発した。また、本装置を電動車椅子に搭載して筋ジストロフィ患者に対し走行テストを行い、操作性の評価を行った。その結果、指をおいておくだけで定常走行を維持できるため、身体負担が低く押さえられ、操作時の疲労が小さいとの評価を得、コントローラとしての有効性が確かめられた。

キーワード：電動車いす，ジョイスティック，タッチパッド，筋ジストロフィ

Abstract

An electric wheelchair is an assistive device for challenged people, and is almost controlled by a joystick. But some challenged cannot use it for reasons of their muscle physical strength. In this paper, We developed a trial product of a touchpad device for an electric wheelchair. They (for example, by muscle dystrophy patients) can operate an electric wheelchair using the device with light touch and slide. We conducted experiments driving tests with muscle dystrophy patients. As a result of them, we found the device had a good operability for them to control an electric wheelchair.

KEY-WORDS：electric wheelchair, joystick, touchpad, and muscle dystrophy

1. はじめに

ジョイスティックは一本のレバーで1もしくは2自由度のパラメータを同時に制御できるインターフェースとして様々な機器に用いられている。電動車椅子の操作も、そのほとんどがジョイスティックによって直進、旋回の制御を行うようになっている¹⁾。しかし、筋ジストロフィのように筋力が非

*北海道大学大学院工学研究科

*Graduate School of Engineering, Hokkaido University

事業名：外部資金活用研究

課題名：積雪寒冷地における高福祉対型住宅と福祉機器の融合化システムに関する研究開発

常に弱いなどの理由でジョイスティックが操作できないために、電動車椅子の使用をあきらめる者も多い。

このような現状をふまえ、本研究ではジョイスティックによる電動車椅子の操作が難しい患者に対し、新たに操作性の高いインターフェースを提供するため、タッチパッド型の電動車椅子コントローラを開発した。この開発は、特に操作性、小型化、安全性を目標に進めた。また、本装置を電動車椅子に搭載して筋ジストロフィ患者に対し走行テストを行い、操作性の評価を行った。

2. タッチパッド型コントローラの開発

2.1 開発対象機種

筋ジストロフィ患者など、主に筋力が低くジョイスティック操作ができない者を対象に、電動車椅子に搭載し走行を制御するためのタッチパッド型コントローラを開発した(図1)。特に、安全性の配慮、操作性の向上、基板の小型化を目標に開発を進めた。また、本装置は電動車いすの対象機種を選ばないことを前提とするが、開発及び装置組込の簡便さから(株)ワコー技研の電動車いす Emu を開発対象機種とした。



図1 タッチパッド型電動車椅子コントローラ
(左：タッチパッドセンサ，右：信号処理装置)

2.2 ハードウェアの構成

ハードウェアは、タッチパッドセンサ(図1左)と信号変換装置(図1右)の2つで構成する。両者は、PS/2インターフェースを介して接続する(図2)。両者を分離してセンサ部の小型化を図ることで設置自由度が広がり、患者の状態に合わせた適用が可能となる。

タッチパッドセンサは、筋ジストロフィ患者は手掌の発汗が著しく多い傾向があるため、耐水性が高く誤動作の少ない感圧型を採用した。センサエリアは幅35mm×高さ35mmとし、サンプリングレートはPS/2標準の100Hzとした²⁾。パッケージは、モニタ患者から面積が広すぎると指が疲れるという指摘があったことを受け、タッチパッドの面積を縮小し、

同時に正方形状として操作に使用する以外の指を置く位置を確保した。

信号変換装置は、メインコンピュータ、シリアル通信ドライバ、ローパスフィルタ、PS/2ドライバから構成される(図2)。電動車椅子とのインターフェースは、PWM信号を平滑化した簡易的なD/Aコンバータを介してアナログ電圧で出力した。

装置のパッケージは、電動車いすへ設置する際に邪魔にならないよう、装置の大幅な小型化を図った(図3～5)。また、システムが動作不良を起こした場合の安全対策として、動作不良時に電動車いすの制御信号を中立位置に復帰するように回路設計を行った。

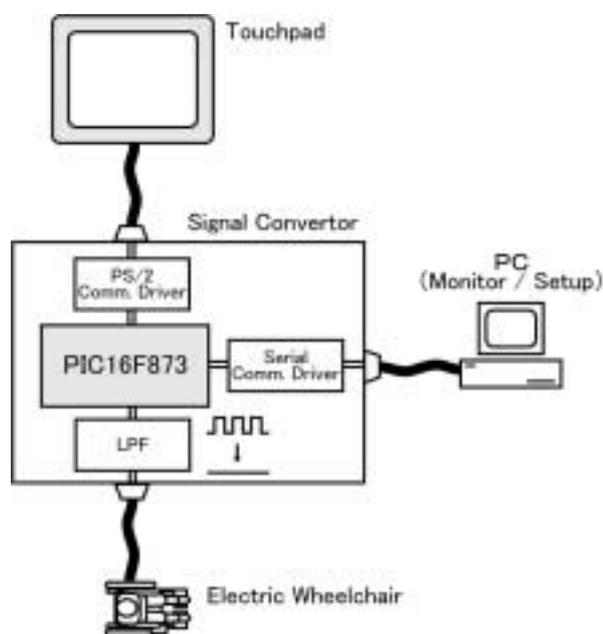


図2 システムの構成

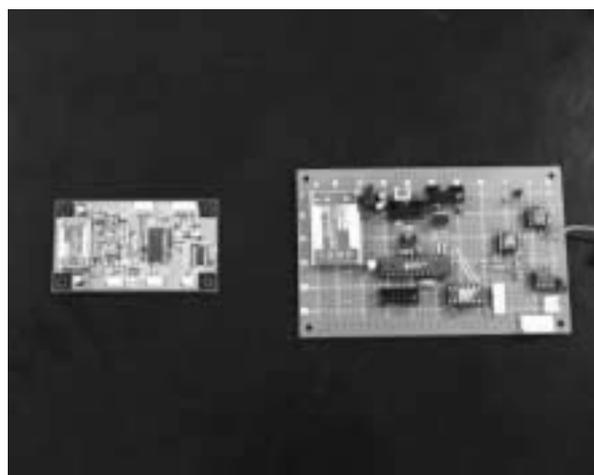


図3 信号変換装置の基板
(左：2次試作基板，右：一次試作基板)

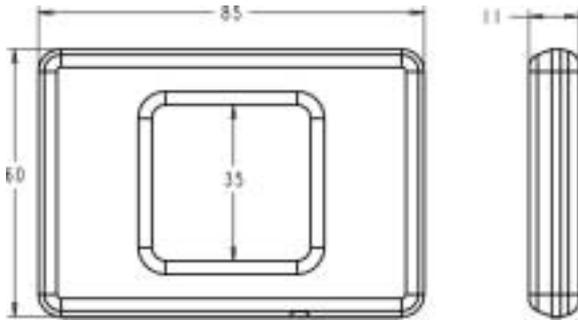


図4 タッチパッドセンサの形状



図5 信号処理装置の形状

2.3 ソフトウェア及び操作方法

コントローラの操作方はノートPCのタッチパッドとほぼ同等である。ただし、PCの場合は指の移動量がマウスカソルの移動量に対応するのに対し、本装置では車いすの速度、角速度に対応させた。電動車椅子のジョイスティックとの関係については、ジョイスティックの横方向の傾斜角がパッドにおける基点からの指のX座標値に、前後方向の傾斜角がY座標値に対応する。操作手順を以下に示す。

1. 指をセンサ面に接触させる(図6左)。この接触点が操作座標の原点(基点)となる。
2. 指をセンサ面に接触させたまま進みたい方向にずらす(図6中央)。ドライバは、基点からの指の位置を検出し、車椅子への制御信号に変換する。基点からの指のX座標値を旋回速度、Y座標値を直進速度として車椅子を走行させる。
3. 指を離すと停止する(図6右)。



図6 タッチパッドコントローラの操作方法

前後方向の速度 V_y と基点からの Y 座標値 P_y は、

$$V_y = \begin{cases} A_y(P_y - 1) & (P_y < -1) \\ 0 & (-1 \leq P_y \leq 1) \\ A_y(P_y - 1) & (1 < P_y) \end{cases}$$

の関係にあり、通常感度では 1mm の不感帯を通して 10mm で最大速度に達する。図7に直進速度 V_y と座標値 P_y の関係をしめす。この関係は、旋回速度についても同様である。メインコンピュータは操作量と操作感度 A_x, B_x, A_y, B_y から目標速度を演算し、PWM のデューティサイクルに置き換えて出力する。感度は、ソフトウェア的に調整することが可能で、実用上では、5mm 程度まで上げられる。

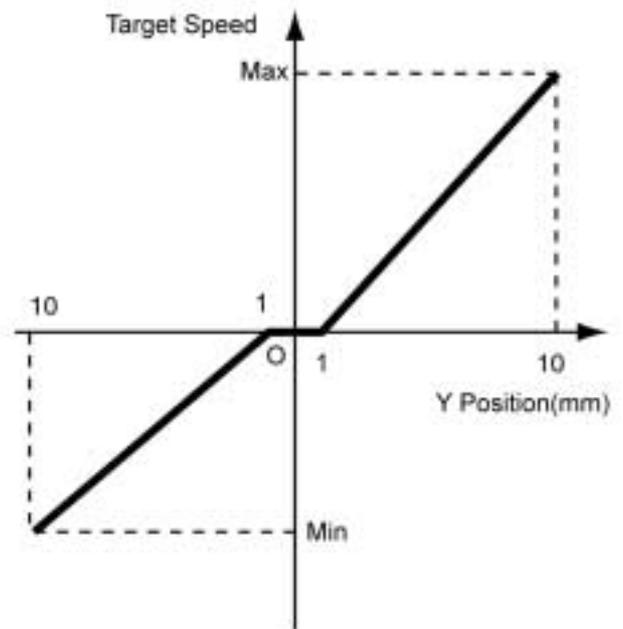


図7 指の接触位置 Y 座標値と目標速度の関係

2.4 操作性における問題点と解決

2.4.1 レンジオーバー時の基点移動

本タッチパッドコントローラには、手元を見ずになめらかな操作を実現するため、相対座標系による操作アルゴリズムを開発し搭載した。すなわち、最初にタッチパッドに接触した点を基点として、そこから指をスライドさせ、基点と現在の接触点の相対座標を制御信号の基準としている。これにより、使用者はパッド面のおおよその位置をつかんでおけば、パッドの中心点を確認せずに操作できるので、デバイスへの意識の負担が軽くなる。

しかし、相対座標系による操作で大きな問題となるのは、レンジオーバーによる操作性の低下である。タッチパッドで操作する場合、パッド面積より操作範囲の方が狭いので、基点から最大速度境界を越えて操作する場合にはソフトウェア的に出力を制限(最大速度のまま)する。しかし、基点情報はそのまま残るので、最大速度から速度を落とすには、最大

速度境界の内側まで指を戻す必要がある(図8)。タッチパッドを電動車いすのような移動機器で運用する場合、最高速度を維持して中長距離を走行する操作がもっとも多いが、同時に速度を少し落として旋回するような操作も多い。このときに、レンジオーバーの距離が長くなると指をずらしても速度が落ちなかったり、逆に急激に速度が落ちるなどといった問題が生じ、操作性を損なう。

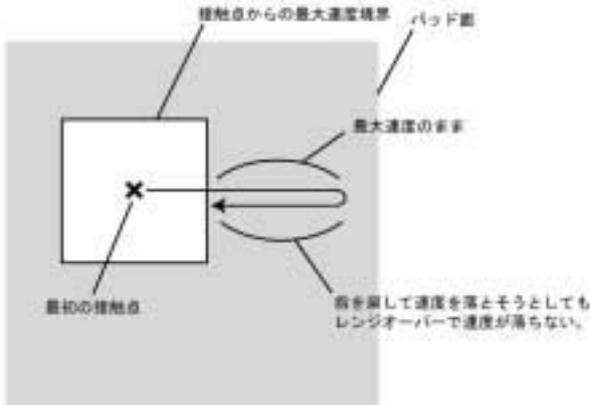


図8 レンジオーバー時の操作性低下

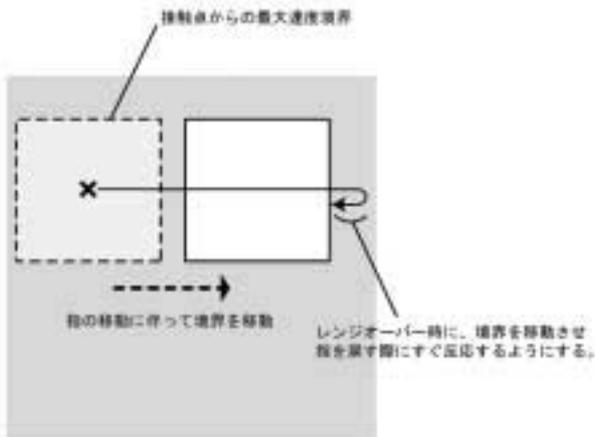


図9 レンジオーバー時の基点移動

そこで、レンジオーバーによる操作性低下を解消するため、レンジオーバー時に基点を移動するようにアルゴリズムを改善した。レンジオーバーがある一定値に達した場合、それ以上に指が境界から遠ざかる場合にはその移動量だけ基点を移動方向にずらすように改善した(図9)。これによりレンジオーバー時にも常に最大速度境界が現在の接触点付近にあるため、速やかな速度変更が可能となり操作性が改善された。

2.4.2 指の接触ノイズの除去

タッチパッドの指の接触位置は点であることを仮定しているが、実際にはある程度の接触面積がある。つまり、センサが検知する接触位置は、ある一定の広がりを持って接触範囲に分布する。実際には、センサが時点々々で検知する接触位置が、ノイズ信号のように細かく変動する(図12)。この信

号を直接制御信号に置き換えて電動車いすのドライバに送信しても、電動車いすのドライバ側にフィルタ回路があるため、また電動車いすの慣性もあるため動作には大きく影響しない。しかし、先に述べたレンジオーバーの処理に関連して、操作性に大きな影響を及ぼしていた。

先に述べたように、最高速度の操作範囲から外側にレンジオーバーの“余白”を設け、それを越えると基点が移動することで、最高速度から速度を変更する際の操作性が向上する。ただし、このときの余白が小さいとわずかな動きで基点が移動してしまい、最高速度を維持するのが難しくなる。つまり、余白にはある適当な範囲がある訳だが、その余白は、指が不随意に動く範囲よりわずかに大きいぐらいが適当である。

しかし、不随意に動く範囲に接触ノイズ的な信号がのることで、ノイズにより基点が移動したり、それを防ぐために余白を広げて操作性が低下するといった問題が生じた。そこで、指の不随意運動部分のみを信号として取り出すために、図10のブロック線図のような積分型デジタルノイズフィルタを構成してノイズを除去した。フィルタの周波数応答を図11に示す。これにより、ノイズ成分を除去して余白を最適な範囲に設定でき(図12)、結果として最高速度を維持しやすくなり、操作性は向上した。

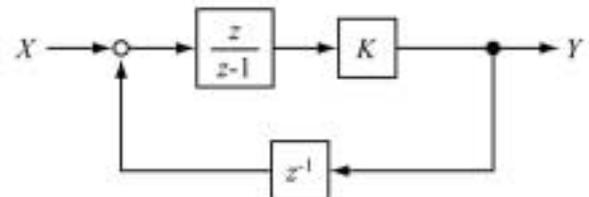


図10 ソフトウェアフィルタのブロック線図

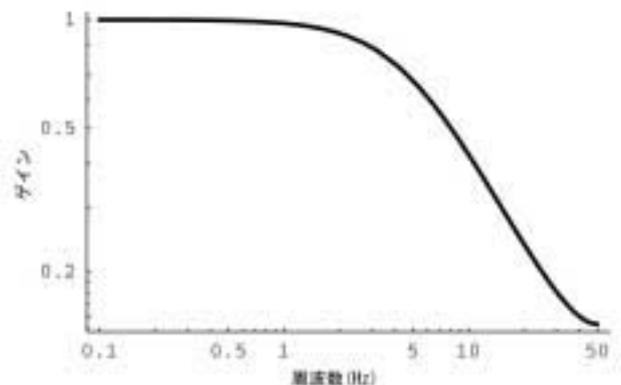


図11 ソフトウェアフィルタの周波数応答 (K=1/4の場合)

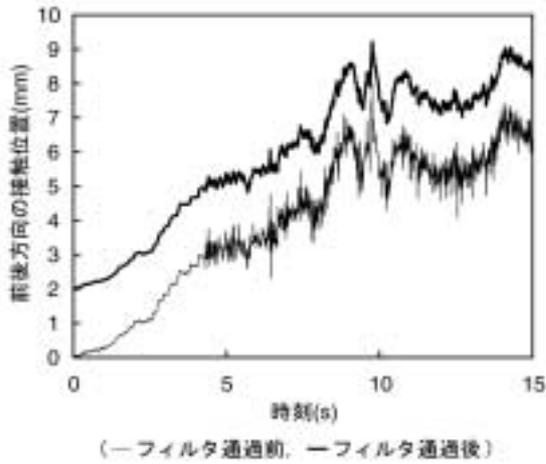


図12 フィルタの適用例 (K=1/4)

3. 走行テスト

本装置を電動車椅子に搭載し、筋ジストロフィ患者9名に実際に操作してもらい、装置の走行テストを行った(図16)。搭載する電動車いすには、ワコー技研のEmuを使用した。(図13, 14)。

走行テストは、(1)4.8mの走路を直進、(2)2本のパイロンの間を旋回しながら走行、(3)50cm先のパーに接近-停止の3パターンを行った(図15)。以上の走行テストを終了後、コントローラの操作性についてアンケート調査を行った。その結果を表1に示す。

また、口頭によるアンケート調査により、次のような評価を得た。

- ・指を置いておくだけで走行を維持できるので、ジョイスティックに比べ操作が楽である。
- ・微妙な動作はジョイスティックに比べ操作しやすい。
- ・アームレストと同一平面上に配置できるので、ギャップが少なく操作が楽だ。
- ・ケース面積に比してセンサ面積が広いので、操作に使わない指を置く場所が小さい。センサの面積を小さくするか、



図13 タッチパッドコントローラの手元

- ・ケース面積を広くして指を休ませる場所がほしい。
- ・スイッチターンなどの方向転換を伴う操作についてはジョ



図14 タッチパッドを搭載した電動車いす全景

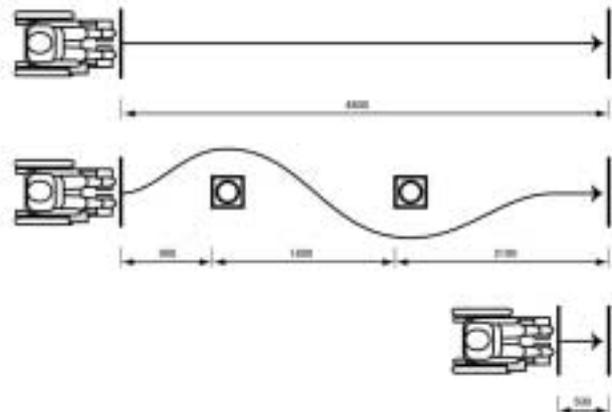


図15 走行テストの走路

表1 走行テスト時のアンケート結果

被験者	操作範囲	速度	旋回速度	タッチパッドの設置位置	車いすの操作しやすさ
	1:狭い-5:広い	1:遅い-5:速い	1:遅い-5:速い	1:悪い-5:よい	1:悪い-5:よい
被験者1	3	3	3	5	2
被験者2	2	2	4	5	2
被験者3	2	3	4	5	2
被験者4	3	1	4	5	2
被験者5	2	3	4	4	2
被験者6	3	2	4	5	2
被験者7	2	3	3	4	2
被験者8	2	2	4	4	2
被験者9	3	3	3	2	2
平均	2.44	2.44	3.67	4.33	2.00
標準偏差	0.50	0.68	0.47	0.94	0.00

走行条件：最大速度4.0km/h，最大旋回速度72deg/s



図16 走行テスト

ジョイスティックと操作性が異なるので、若干の慣れが必要だ。
・設置位置によって操作のし易さが大きく変わるので、設置位置に柔軟性を持たせるようにしてほしい。

4. 走行テストに関する考察

操作範囲については、全被験者からちょうどよい、もしくはやや狭いとの評価を得た。SD法による評価値では、1：狭い-5：広いとすると、平均値は 2.4 ± 0.5 となった。走行テストに用いた試作コントローラではタッチパッド面が35mm四方であったので、この結果を踏まえて1辺3mm-5mm程度の拡大を行うことで対応をしたい。

速度については、SD法による評価値では、1：遅い-5：速いとすると、平均値は 2.4 ± 0.7 となり、やや遅いとの印象があった。また、回転速度については、 3.7 ± 0.5 となり、やや速いとの印象があった。これは、被験者が普段乗車している電動車いすの性能や設定の違いを反映していることから、被験者の車両感覚の違いによる要素が大きいと思われる。

設置位置については、被験者の右前方にアームレストと同一高さに設置プレートを設け、体の中心からやや利き手よりの前方に設置したが、手が疲れないなどおおむね良好な評価を得た。

最後に、ジョイスティックと比較しての使いやすさは、やや使いにくいとの評価を受けた。ただし、全被験者から、「今まで使用している電動車いすはすべてジョイスティック操作で、その操作に慣れていたのであり、このシステムに慣れれば十分に使いやすい。」との意見があった。従って、この結果はタッチパッド自体の使いにくさではなく、車いす自体の性能の差に起因する部分が多いものと思われる。

5. まとめ

ジョイスティックでは電動車椅子を操作できない患者に対し新たなインターフェースを提供するため、タッチパッド型のコントローラを試作開発した。開発に際しては、製品化に向けて操作性の向上、小型化、安全性の強化を目的とし、操作性の向上のために内部プログラムにレンジオーバー時の基点移動、指の接触ノイズのフィルタリング機能を搭載した。

また、本装置を電動車椅子に搭載して筋ジストロフィ患者に対し走行テストを行い、コントローラの操作性評価を行った。その結果、ジョイスティックに比して操作力をほとんど必要としないため筋ジストロフィ患者には操作しやすく、またジョイスティックとほぼ同等の操作性があることがわかった。また、指をおいておくだけで定常走行を維持できるため、身体負担が低く押さえられるとの評価を得た。設置位置に関してははおおむね良好で操作時の疲労が小さいとの結果を得た。また、操作性に関しては、ジョイスティックに比してやや使いにくいとの評価もあったが、車両感覚や車いすの走行性能の違いに起因する部分が多く、コントローラ自体の有効性は十分にあると思われる。

謝 辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構及び北海道地域技術振興センターのウェルフェアテクノシステム研究開発事業の委託により行われた。ここに記して感謝の意を表す。

また、今回の開発にご協力いただいた北海道オフィスプロダクツ、(株)ワコー技研、国立療養所八雲病院の方々にあわせて感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 中島他4名、電動車椅子の操作感覚に関する研究、第14回 八工カンファレンス講演論文集、pp.85-88、(1999)
- 2) IBM Personal System/2 Mouse Technical Manual, IBM, 36pp., (1989)