電動車いすの操作性向上に関するユーザインターフェースの研究

中島　康博，安田　星李，吉成　　哲，
鎌田　英博，安河内義明，綿貫　幸宏

Research of User Interfaces improving drivability of Electric Wheelchairs

Yasuhiro NAKAJIMA, Seiki YASUDA, Satoshi YOSHINARI
Hidehiro KAMATA, Yoshiaki YASUKOUCHI, Yukihiro WATANUKI

抄　録

電動車椅子をジョイスティックにより操作する場合，前後方向速度が０になる方向と旋回速度が０になる方向がある。これらの方向は，直進とスポットターン動作を表すため人間の操作感に対して重要な指標となる。通常，これらの方向はジョイスティック中立点を原点とする直交座標軸の軸線上にあるが，ユーザがその方向を速度の０方向線と認知してジョイスティックを操作しているとは限らない。むしろ，個人によって一定角の偏差を持っており，車椅子の操作感が損なわれることが考えられる。本研究ではジョイスティックによる車椅子の操作性を向上させるため，各０点について４方向の角度偏差を学習し，４軸回転座標変換によって操作を補正するジョイスティックを開発し，電動車椅子に搭載して走行試験を行った。その結果，ユーザの持つ角度偏差をジョイスティック側で補正し，直進スタート時のジョイスティック操作を安定させ，走行安定性を向上させることができた。

１．はじめに

電動車椅子は，歩行に支障をきたした障害者用に設計された移動補助機器である。特に重度障害者の使用が多く，上肢に障害を持つものも多い。従って操作性を向上させるには，個人の障害の状態や使用条件に合わせた設定がハード，ソフトともに不可欠になる。

電動車椅子に採用されている操作デバイスは，そのほとんどがアナログジョイスティックである。最近の電動車椅子用操作デバイスの中には，ユーザの操作快適性を上げるために，動作パラメータを高度にプログラムできるのも多く出てきた。近年では最大速度設定の他に，加減速度，感度等も調整可能なものがある [1]。

これらの調整パラメータは，ユーザがジョイスティックを電動車椅子に固定された直交座標系に沿った操作を行うことと仮定している。しかしながら，ユーザがジョイスティックを操作する際には，操作する筋や操作方法，上肢の支持位置，レバーの把持状態など様々な条件があり，ユーザがイメージする車椅子進行方向やレバー操作と，上肢や手指による実際の操作が一致するとは限らない。過去の研究では上肢のスティフネスにより，操作が理想位置からある角度でずれることが報告されている [2][3]。ただし，これらの報告では上肢を肩－肘２関節アームとして扱っており，ユーザ個々の操作形態（前腕部で支点を作るなど）によるスティフネスの変化やユーザの空間認知能力等を考慮すると，角度偏差が操作方向によって異なる値を示すことが十分考えられる。しかしながら，これらの角度偏差を補正するようなシステムを組み込んだジョイスティックコントローラはまだない。

本研究では前後左右４方向の角度偏差を自動的に学習し，回転座標変換によって偏差を補正する方法を検討した。また，上記機能を有するジョイスティックプロトタイプを開発し，上記偏差補正法の有効性を検証した。

２．ジョイスティック操作時の角度偏差

この研究の前提として，電動車椅子用ジョイスティックの角度偏差補正の必要性を検証するために，車いすを固定した状態でのジョイスティック操作実験を行った。この実験では，

ユーザがジョイスティックを操作する際に，ユーザがイメージする操作方向と実際の操作の間に生じる角度偏差を測定した。

2．1実験方法

車椅子は，ジョイスティックを倒しても動作しないように動力を切って固定し，被験者は固定された車椅子に着座する。また，被験者は実験時にはジョイスティックを見ずに操作することとする。

以上の条件で，被験者は指示に合わせてジョイスティックを前，後，左，右の各方向に操作し，指示した方向と実際の操作方向の間に偏差が生じるか計測した。実験用車椅子には，SUZUKI製MC-13Pを使用した。被験者は，20代前半から30代前半までの健常者８名（男６名，女２名）とした。

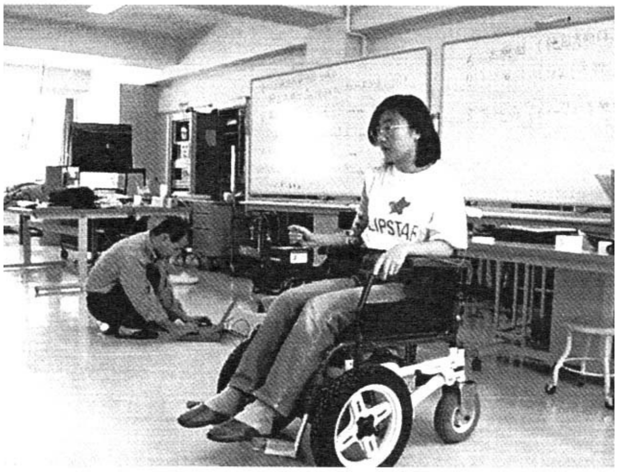

写真1　実験風景

2．2結果及び考察

代表的な被験者のジョイスティック軌跡を図１に，各被験者の測定結果を図２に示す。図１より，この被験者のジョイスティック操作は，各軸方向に対し角度偏差を生じているのがわかる。軸方向から紙面に向かって反時計回りを正とすると，この被験者のもつ角度偏差はそれぞれ前方+12°，後方-3°，左方-6°，右方-1°となる。また各方向へのジョイスティック軌跡は明らかに直交しておらず，前後方向，左右方向の各軌跡は同一直線上には無いことがわかる。

また,各軸からの偏差がフルスケール値に対し10%（ 5.7°）を越えたものは32例（8名×4方向）中16例，20％（ 11.3°）を越えたものは３例であった。

図１の被験者では，前方の角度偏差を左右方向のスケールに換算すると，フルスケール値に対し最大21%となり，直進時の操作安定性に影響を及ぼす可能性が考えられる。

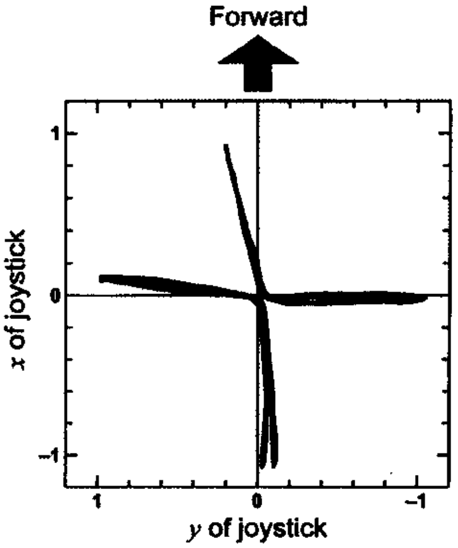

図1　ジョイスティック軌跡

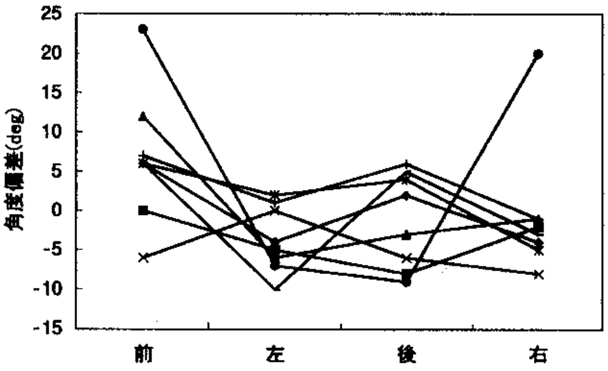

図2　各被験者の角度偏差

3.四軸角度補正型ジョイスティック

２の結果から，ジョイスティック操作にはユーザ固有の角度偏差が伴うことがわかった。この偏差が車椅子の操作性に及ぼす影響をなくすために，角度偏差を補正する手法を考案し，そのプログラムを組み込んだジョイスティックのプロトタイプを開発した。

3．1　補正のアルゴリズム

ジョイスティックの位置を表す座標系O-xyを考える（図3)。原点をジョイスティックの中立点にとり，χ軸正方向をジョイスティック前方，y軸正方向を左方にとる。このとき，χ軸は車椅子の進行方向に一致しているものとする。また，原点から正方向の軸をχ＋，y＋軸，負方向をχ－，y－軸と呼ぶことにする。

ジョイスティックにより車椅子を操作するとき，χ＋，χ－軸は旋回速度が0となる線（車椅子は直進する）を，

y＋，y－軸は前後方向速度が０となる線（スポットターンまたは停止）を表す。通常，前後方向速度はｘの関数で，旋回速度（またはステアリング角）はｙの関数で表される。このジョイスティック座標系の４軸に対し，ユーザが持つ角度偏差 $\theta_{x+}, \theta_{x-}, \theta_{y+}, \theta_{y-}$ を考える。各 θ は，ユーザがその軸方向をイメージして操作した際に発生する理想の方向からの偏差を表す。各 θ は対応する座標軸に対し，上から見て反時計方向に偏差を持つとき正とする。この角度偏差を補正パラメータとして用い回転座標変換で消去し，角度偏差によって生じる車椅子動作とユーザの動作イメージとのずれを解消する。

偏差の補正方法について説明する。図３のようにジョイスティックの位置が点 $P(r, \theta)$ にあるとき，４本の軸を対応する角度補正量だけ回転する。各軸にはさまれた象限は，両軸の回転に合わせて扇状に伸縮すると同時に，象限上に描かれている仮想の目盛も伸縮すると考える。ただし，このとき点 **P** の位置は移動しない。伸縮後に象限上の目盛を読むことで点 **P** の新しい座標値 $P'(r', \theta')$ が得られる。車椅子本体は，ジョイスティック位置が P' にあるものとして駆動モータの制御を行う。実際の計算では，点 **P** のある象限に対し，その象限をはさむ軸の角度補正パラメータを用いて，

$$r' = r$$

$$\theta' = \begin{cases} \dfrac{\frac{\pi}{2}(\theta - \theta_{x+})}{\frac{\pi}{2} - \theta_{x+} + \theta_{y+}} & ;\theta_{x+} \le \theta < \frac{\pi}{2} + \theta_{y+} \\ \dfrac{\frac{\pi}{2}\left(\theta - \theta_{y+} - \frac{\pi}{2}\right)}{\frac{\pi}{2} - \theta_{y+} + \theta_{x-}} + \frac{\pi}{2} & ;\frac{\pi}{2} + \theta_{y+} \le \theta < \pi + \theta_{x-} \\ \dfrac{\frac{\pi}{2}(\theta - \theta_{x-} - \pi)}{\frac{\pi}{2} - \theta_{x-} + \theta_{y-}} + \pi & ;\pi + \theta_{x-} \le \theta < \frac{3}{2}\pi + \theta_{x-} \\ \dfrac{\frac{\pi}{2}\left(\theta - \theta_{y-} - \frac{3}{2}\pi\right)}{\frac{\pi}{2} - \theta_{y-} + \theta_{x+}} + \frac{3}{2}\pi & ;\frac{3}{2}\pi + \theta_{x-} \le \theta < 2\pi + \theta_{x+} \end{cases}$$

の２式により **P** から P' に変換される。

３．２　角度補正パラメータの学習

角度補正パラメータは，システムを偏差学習モードに切り替えた後にユーザが前後左右と思う方向にレバーを倒すことで学習する。可能であれば，進路を前進やスポットターンなどにロックしたほうが，より実操作に近い状態の学習となる。また，ユーザの操作能力の変化による補正量の増減を考え，開発したプロトタイプにはオンラインで角度補正パラメータを学習する機能を組み込んだ。車椅子スタート時にジョイスティックの位置が角度補正パラメータの方向から一定角度の範囲に入っているとき学習機能が作動し，角度偏差を学習・更新する。学習時の流れを以下に示す。

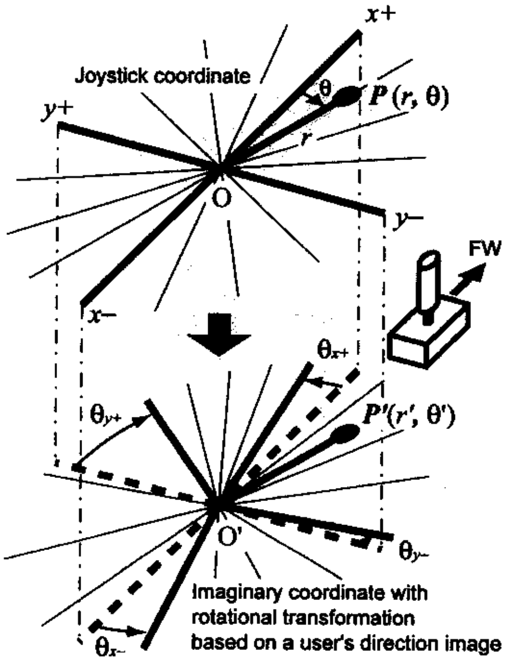

図3　四軸回転座標変換

Ⅰ．ジョイスティック位置 **P** が原点からスタートし，原点からある半径 r_0 以上に移動したとき，**P** の現在値をホールドする。

Ⅱ．ホールドした座標値が，角度補正パラメータの方向から一定角度 θ_0 をもつ扇状範囲に入っているとき，ユーザに「補正された方向への移動」の意図があると見なす。

Ⅲ．角度補正パラメータとホールドした座標値Ｐの角度差 $\Delta\theta$ を入力として学習し，一定の重みを付加して角度補正パラメータに加算する。パラメータは車椅子停止後に更新される。

３．３　ハードウェア

今回開発したジョイスティックは，ジョイスティック本体と車椅子のモータ制御装置の間に中間コントローラを配置して座標変換・制御を行う型式をとるようにした。つまり，ジョイスティックの座標値は中間コントローラ内のA/Dコンバータによってデジタル値に変換され，変換プログラムに従って４軸回転座標変換を施す。その結果を，D/Aコンバータよりモータドライバへ出力する。

この方式の利点は，ジョイスティックのハードウェアによらず角度補正を行えること，また操作特性を中間コントローラで自在に変えられることが挙げられる。このジョイスティックプロトタイプの中間コントローラには，Keyence製KZ-

300を採用した。

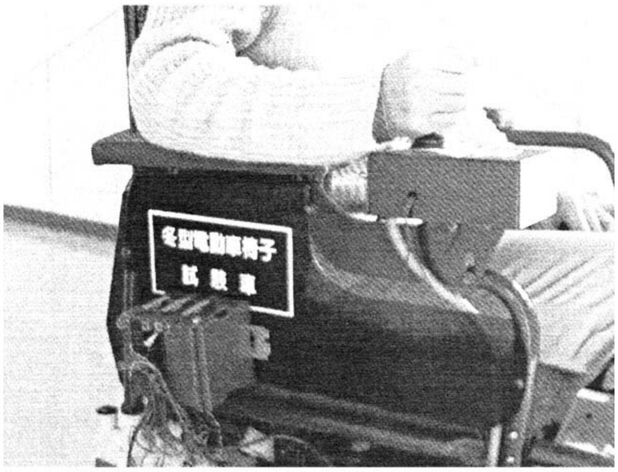

写真2　システム外観

4．走行試験

開発したジョイスティックを使用して車椅子の走行試験を行った。角度偏差を補正しない状態と補正した状態とで電動車椅子の直進走行を行い，ユーザのジョイスティック操作がどのように変化するか計測した。

4．1実験方法

無補正時と補正時とでそれぞれ直進走行を行わせ，スタート時のジョイスティック操作がどのように変化するか試験を行った。補正パラメータ値は，事前に進路を固定して直進走行を行い，角度偏差を学習させたものを使用した。前進方向の補正効果をみるために，角度補正パラメータはｘ＋軸方向のみを使用し，他の軸は前進方向の補正値と同じ値と仮定した。被験者は，20代前半から30代前半までの男性３名，女性１名で行った。実験用車椅子には，SUZUKI社製モータチェアMC-13Pを使用した。

4．2結果及び考察

代表的な被験者の結果を図4,図5に示す。角度補正値は，事前に学習させた$\theta_{X+}=10.2$degを使用した。無補正モードでは，図４のようにスタート時に傾斜方向を誤り，スタート後すぐに傾斜方向を修正しているのがわかる。それに対し補正モードでは，スタート後１秒間のジョイスティック角度は補正値付近でほぼ安定した。

また図５より，ノーマルモードではジョイスティックの軌跡はフルスケール値に対し60％付近（t 0.4sec）から修正操作を行っているが，補正モードでは100％付近までほぼ直線上になっており，直進時のステアリングに対するユーザ負荷を軽減している。

5．まとめ

(1)　ジョイスティック操作では，前後左右の各方向において，ユーザ固有の角度偏差が見られた。

(2)　ユーザがジョイスティックに対して持つ角度偏差を４方向について学習し，回転座標変換を用いてジョイスティック座標値を補正する方法を検討した。

(3)　上記方法を用いた車椅子用ジョイスティックを開発し，スタート直後の車椅子操作を安定させることができた。

参考文献

(1)　塩沢：輸入電動車椅子の適合性について，日本リハビリテーション工学協会誌，pp4-13，Vol.11,No．２（1996）

(2)　中島，中西，大島：ジョイスティックのスティフネスと操作性，第17回バイオメカニズム学術講演会予稿集，pp55-56（1996）

(3)　中西，大島：障害者・高齢者の機器入力用ジョイスティックのスティフネスと操作性，日本機械学会北陸信越支部総会講演会講演論文集，pp233-234（1996）

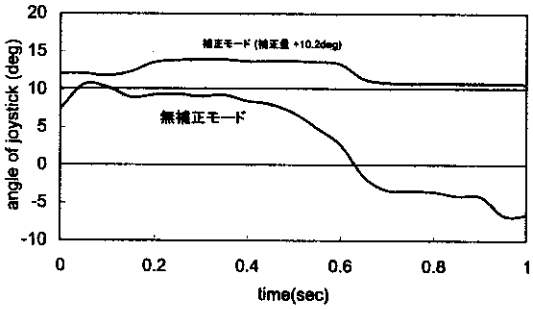

図4　走行実験結果

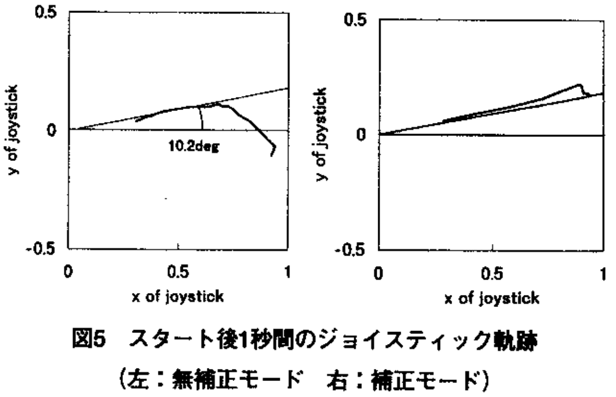

図5　スタート後1秒間のジョイスティック軌跡
（左：無補正モード　右：補正モード）