

身障者も操作可能な自動車操縦 インタフェースの研究

村田嘉利[†] 齊藤慎弥[†] 吉田和広[†]
鈴木和浩^{††} 高橋大祐^{††}

障害を持った人の多くが自立して生活したいと望んでいるにもかかわらず、自動車産業におけるこの分野の研究は、進んでいるとは言い難い。ホンダのフランスシステムのオリジナルは1980年代に開発されており、既存の自動車に補助装置を改造付加することで身障者の要望に応えるに留まっている。既存の自動車に補助装置を取り付ける方法では、障害内容によって個別に改造する必用があり、補助装置およびその取り付け工賃は高価になり、柔軟性に欠けるといえる。現在、自動車の制御は油圧から電子技術に移行しつつあり、電気信号によってステアリングやブレーキを含めてほとんど全ての操作は電子制御可能な状況にある。我々は、地磁気センサあるいはジャイロセンサを利用して人の動作を正確にモニタリングする技術、機器をコントロールする技術を開発している。この技術を自動車操縦インタフェースに応用することにより、障害内容に柔軟に対応可能な自動車操縦インタフェースを開発する。本論文では、上肢障害者向けの操縦インタフェースについて述べる。

A Study of an Automobile Operating Interface for Handicapped Persons

YOSHITOSHI MURATA[†] SHINYA SAITO[†]
KAZUHIRO YOSHIDA[†]
KAZUHIRO SUZUKI^{††} DAISUKE TAKAHASHI^{††}

Although many handicapped persons want to support themselves, developments of driving interface for them have not enough evolved. In case of Honda Franz system, the original system was developed in the 1980s. It is customized for each handicapped person and added to an ordinary automobile. Therefore, it is expensive and lacks flexibility for kinds of handicap. Operating systems of the automobile such as steering and braking etc. are shifting from the hydraulic system to the electric system. We are developing motion sensing and control technologies with the terrestrial magnetic sensor or the gyro sensor. We apply these technologies to develop the automobile operating interface which is flexible for handicapped persons. In this paper, the operating interface for persons who have a handicap of their upper limbs is described.

1. はじめに

障害を持った人の多くが自立して生活したいと望んでいるにもかかわらず、自動車産業におけるこの分野の研究は、進んでいるとは言い難い。例えば、ホンダ・フランスシステム[1, 2]のオリジナルは1980年代に開発されており、既存の自動車に補助装置を改造付加することで身障者の要望に応えるに留まっている。フランスシステムでは、足で自転車のペダルを漕ぐ要領でステアリングを操作している。このような既存の自動車に補助装置を取り付ける方法では、補助装置およびその取り付け工賃は非常に高価になりがちであり、障害内容に応じて改造付加することから、障害内容に柔軟に対応可能とは言いがたい。それに対し、ニッシン自動車工業と東京農工大学工学部機械システム工学専攻の和田正義教授が共同開発した「ジョイスティック式自動車運転システム」では、ジョイスティックを利用し、ステアリング等を操作するようにしている[3, 4]。ジョイスティックを利用することから、手首が稼動すれば運転可能となり、より多くの障害者の要望に応えることが可能である。しかし、手や腕が利用できない利用者まででは対応していない。

現在、自動車の制御は油圧から電子技術に移行しつつあり、電気信号によってステアリングやアクセル、ブレーキを含めてほとんど全ての操作は電子制御可能な状況にある。我々は、地磁気・加速度センサあるいはジャイロセンサを利用して人の動作のモニタリングや機器の操作をする技術を開発している。自動車組み立て工場において、工員がマニュアルと異なった作業を行った場合、瞬時にアラームを出すシステムを開発し、実ラインで稼動試験を行っている[5]。また、スキージャンプ選手の膝や腰の角度の変化をモニタリングし、ビデオ画像と対比できるシステムを開発している[6]。上肢が不自由な人向けに、アンドロイド携帯電話を利用した家電リモコンの開発も進めている[7]。

自動車の制御が電子制御からされていることから、センサに関する我々の技術を応用することにより、障害者向けの自動車操縦インタフェースの研究開発を行っている。自動車の操作系は、以下の2つに大別可能といえる。

- ① ステアリングやウィンカ、ブレーキ、アクセルといった運転中、頻繁に操作し、即応性が要求されるもの
- ② ヘッドライトを始めとするライト類、ワイパー、エアコンのように運転開始時、あるいは運転中でも数回程度の操作ですみ、操作が若干遅れてもトラブルに結びつきにくいもの

音声認識技術における認識率は車内においても非常に高くなっており、運転開始時

[†] 岩手県立大学 Iwate Prefectural University

^{††} 株式会社ジェーエフピー JFP Inc.

あるいは運転中でも数回程度しか操作しないものの操作には適している。その一方、運転中に頻繁に操作するものについては、即応性が要求されることから、足や腕といった身体を利用して操作することが望ましい。本研究開発では、①に絞って技術開発を進める。障害レベルとしては、まずは上肢障害を想定して、両足のみで①の範囲の操作をする技術を開発する。研究の進め方としては、最初から本物の自動者を利用して操縦インタフェースを開発するのではなく、パソコン上で動作するドライビングシミュレータを開発し、それを試作した操縦装置によって車両操作することにより操作性に優れた操縦インタフェースを開発する。パソコン上で動作するドライビングシミュレータは、将来的に操縦装置を商品化した際に添付する操縦練習用シミュレータのベースとなると想定している。開発対象は、ステアリング等の操縦装置とドライビングシミュレータの2つからなる。

次章では、障害者向けの自動車操縦システムについて紹介する。第3章では、ジャイロセンサを利用した操縦装置について述べ、第4章において、開発を進めている操縦練習用ドライビングシミュレータについて説明する。第5章において、操縦装置とドライビングシミュレータの結合について述べる。第6章でまとめる。

2. 障害者向け自動車運転システム

上肢障害者向けの自動車操縦付加装置として、両足を利用して操縦するフランツシステムがある。フランツシステムは、1965年ドイツで両上肢を事故で失った電気技師エーベルハルト・フランツ氏が開発したもので、同氏から直接、技術指導を受けたHondaが独自の技術を加え、「Honda・フランツシステム」としてシビックに装着し、1982年に国内で初めて発売した。図1に示すように足の前後回転運動でステアリング操作を行っている。足を図中①のステアリングペダルにのせ、自転車のペダルをこぐように回すことによりステアリングは左に回る。逆に回せばステアリングは右に回る。図中④の足用セレクトレバーを使用し、上げるとドライブに、下げるとバック、さらにパーキングにと、シフトできる。パワーウィンドウやライトなど運転時に使うスイッチ類は右足元に集中して配置されている。ウィンカやワイパーは膝で操作する形式となっている。更に教習用の補助ブレーキ（図中⑥）も用意されている。利用者ごとに最適化するオーダーメイドが可能となっている。それであるが故と思われるが、現在、適用車種はホンダ・フィットに限られている。

ニッシン自動車工業の亀田藤雄氏と東京農工大学工学部機械システム工学専攻の和田正義教授が開発した「ジョイスティック式自動車運転システム」では、ジョイスティックを利用して操縦付加装置を制御することにより、ステアリングに加えてブレーキ、アクセルの操作を可能としている。ロボット・メカトロニクス技術を利用し、従来の手動装置による自動車の運転が困難であった障害者の人たちにも自動車運転を



- | | |
|--------------|--------------|
| ① ステアリングペダル | ④ 足用セレクトレバー |
| ② ステアリングボックス | ⑤ ヒザ用サイドブレーキ |
| ③ ブレーキロックボタン | ⑥ 教習用補助ブレーキ |

図1. Honda・フランツシステム

可能にすることを目的としている。下肢に加えて、上肢に障害があっても手首を自由に動かせれば運転可能となることから、多くの障害者の要望に応えることが可能になっている。しかしながら、上肢に重度の障害を持ち、手や手首をほとんど使えない人が運転するのは難しいといえる。

3. 足による自動車運転装置

3.1 対象とする操作

自動車を運転するためには、ステアリング、アクセル、ブレーキといった基本操作とそれに伴うウィンカやワイパー、ウィンドウの開閉操作が必須である。それに加えて、カーナビやオーディオ、エアコンといった機器の操作も必要となる。しかし、こ

これらの操作は、以下の2つに大別可能といえる。

- ① ステアリングやウィンカ、ブレーキ、アクセルといった運転中、頻繁に操作し、即応性が要求されるもの
- ② シフトレバー、ヘッドライトを始めとするライト類、ワイパー、エアコン、ウィンドウの開閉、といった運転開始時、あるいは運転中でも数回程度の操作で済み、操作が若干遅れてもトラブルに結びつきにくいもの

音声認識技術における認識率は車内においても非常に高くなっており、カーナビにおける行き先入力などに利用されている。音声認識は、運転開始時あるいは運転中でも数回程度しか操作しないものの操作には適している。その一方、運転中に即応性が要求される操作やアナログ的な操作については、音声認識は向いているといえず、足や腕といった身体を利用して操作することが望ましい。

本研究においては、①の運転中に頻繁に操作され、即応性が要求されるものを対象とする。今回は、上肢には障害があるが、下肢については自由に動かせるとの前提にたち、ステアリングおよびウィンカを足で操作する装置を開発する。アクセルおよびブレーキについては、既存の自動車の操縦装置をそのまま利用するとしている。

3.2 操縦装置の構成

我々の研究室では、これまで地磁気・加速度センサやジャイロセンサを利用して人の動作のモニタリングやジェスチャーを利用した家電対応のリモコンの開発を行ってきた。自動車が走行している最中、地磁気に影響を与える物が周囲にくることを阻止するのは難しいと考え、今回はジャイロセンサを利用して自動車の操縦装置を開発することとした。任天堂のWiiやスマートホンにおいてジャイロセンサを利用した自動車レースのゲームが多く発売されている。TVゲームやスマートホン上のゲームで

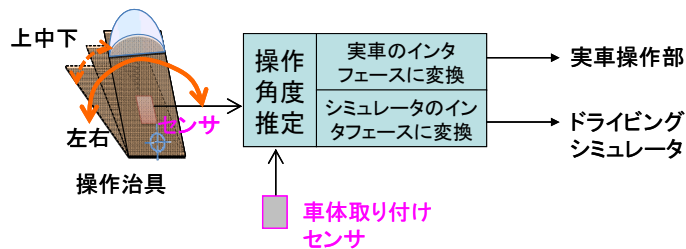


図2. 操縦装置の構成 (将来形態)

は、操作者つまりドライバが操作する位置は基本的に固定している。それに対し、本物の自動車に搭載した場合には、自動車の移動に伴いドライバ自身も移動する。ジャイロセンサあるいは地磁気センサを利用して自動車を操縦するためには、自動車の動きがセンサに与える影響を除去する必要がある。我々は自動車会社の協力を得て、センサ出力を自動車の制御信号に変換して自動車を操縦することを目指している。システム構成としては、図2の様な構成を想定している。家電用のリモコンでは、ジェスチャーにより操作を行ってきた。しかし、今回は、運転中の不用意なジェスチャーによって自動車が意図しない動きをすることを避けるため、足で操作する操作治具を用いることとした。操作治具に取り付けたジャイロセンサからの出力(角速度)をパソコンに入力し、角度に変換する。同様に車体に取り付けられたジャイロセンサからの出力についても角度に変換し、操作治具に取り付けられたジャイロセンサの出力から推定した角度から減算する必要がある。その情報を元にステアリングの切れ角の情報やウィンカを動作させる制御信号に変換する。現段階では、自動車メーカの協力を得られていないこともあり、パソコン上で動作するドライビングシミュレータにおける自動車の操作信号に変換する。また、現時点においては、車体に取り付けるセンサは用意しておらず、操縦装置を固定状態においてシミュレーション上の自動車を操縦する技術を開発している。

3.3 操作治具と信号処理内容

センサを取り付けた操作治具を用いてステアリング操作とウィンカ操作をするため、ステアリング操作は操作治具を足で左右に動かすことにより行い、ウィンカ操作は操作治具を足で中立状態から上下に動かすことにより行うこととした。操作治具と操作する方向の関係を図3に示す。

ジャイロセンサはドリフト現象があり、静止状態においても角速度が検出される。

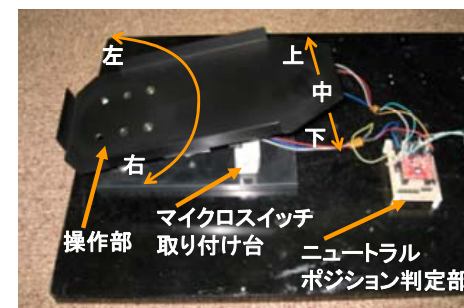
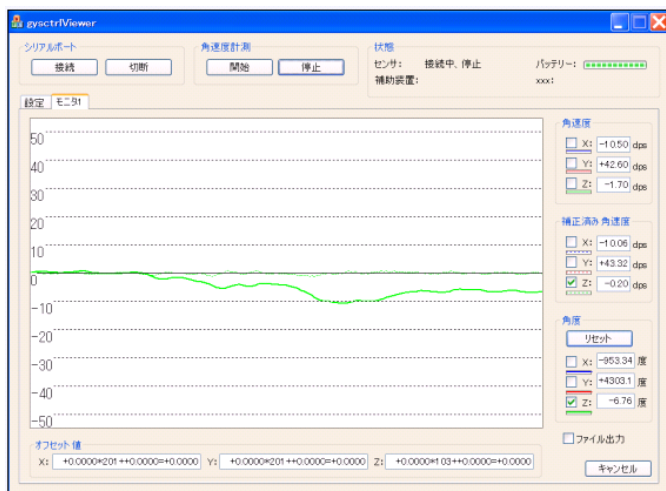


図3. 操作治具



(a) 静止状態における角度（補正前）

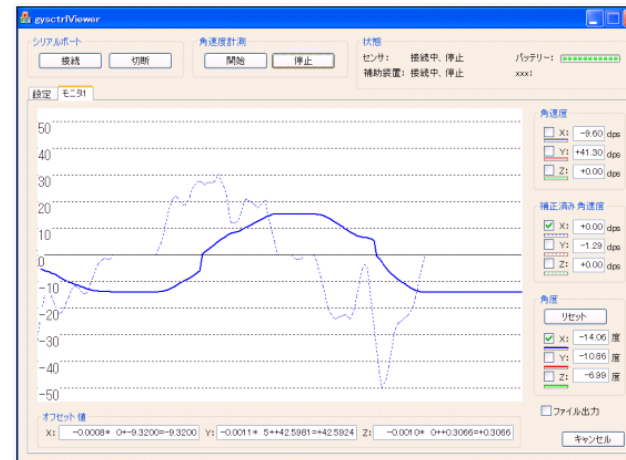
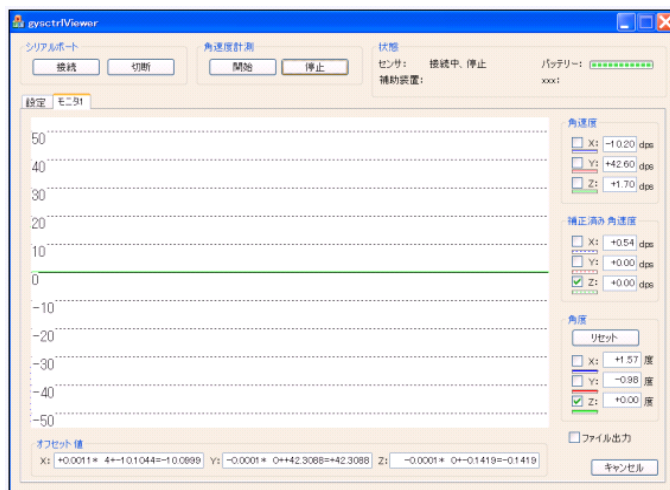


図 5. 操作治具を操作したときの角速度と角度の関係



(b) 静止状態における角度（補正後）

図 4. ドリフト現象による推定誤差の補正状況

今回は、ATR Promotions が開発・発売している WAA_006 を利用したが、やはりドリフトはあり、その角速度のバラツキは正規分布になっておらず、時間と共に偏りが変化している。角速度を積分して角度に変換した場合、静止状態にもかかわらず、図 4 (a) に示すように角度が変動する。ドリフトの影響を少しでも除去するため、静止状態においてセンサ出力である角速度に対して移動平均（例えば、サンプリング周期 25ms とし、5 ポイントを移動平均）をとり、その値を元に更に初期補正值を求める。初期補正值としては、一定区間（例えば、200 ポイント）の値に対して最小二乗法によりドリフトの変化を 1 次関数で近似した時の傾きと切片とした。静止状態と判断した場合は、移動平均した角速度の値を加えて最小二乗処理し、初期状態におけるオフセット値を求める。図 4 (b) にその結果を示す。補正後の値は 0° となっている。非静止状態、つまり操作治具を動かした時は、動き始めたと判断したときの補正值を利用し、ドリフト値の推移を推測し、オフセットすることとした。その例を図 5 に示す。なお、静止状態にあるか非静止状態にあるかの判定は、触れ幅の絶対値の最大のものから 10 件を取り出し、その平均値とした。しかし、ドリフトによる誤差がある状態において、角速度を積分して操作治具の角度を長時間に渡って推測することは難しい。その対処として、操作治具がニュートラルになったことをマイクロスイッチにより物理的に検出し、蓄積された誤差を解消するようにした。

4. ドライビングシミュレータ

本研究におけるドライビングシミュレータは、ドラビングゲームのようにリアリティーや過度な迫力を実現するのではなく、

- ① 運転する自動車が道路を外れたか否か、ガードレールにぶつかったか否か、等の判定
- ② その際、内輪差の影響を考慮
- ③ 交通法規を守っているか否かの判定
- ④ 都市や住宅地の道路だけでなく、高速道路、山間部にあるワインディングロやヘアピンカーブといった多様なステアリング操作を要求される道路の実現

が要求される。④を実現するため、Google マップから道路データを抽出する。また、①および②を実現するため、道路を関数表示する。まず、道路上の任意の場所に点をプロットし、3次スプライン曲線によって関数を生成する。プロットした点間は個別のパラメトリック曲線として補間し、それぞれを1つの道路としてみなす。これにより道路データ生成の時点で1つの道路の区切りを任意に行なえるため、道路データに対する交通ルールの付加を柔軟に行なうことが可能となる。

交差点の生成に関しては、接続する道路の曲線関数、幅員を入力とし、道路が交差する点を自動的に計算し、2次B-スプラインによって円弧曲線を生成する。1つの交差点は接続された道路の数と同数の曲線を持つ。

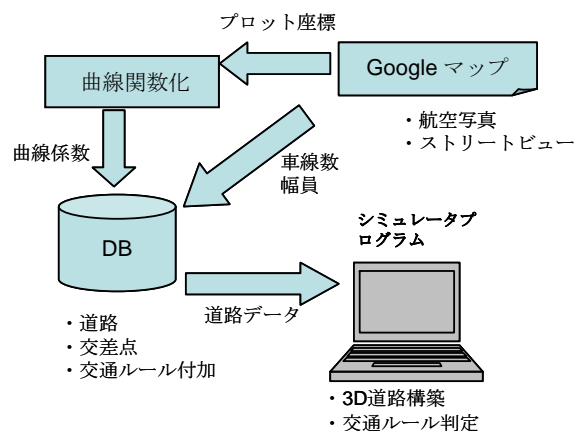


図6. 道路データの抽出から3D道路を生成する過程

多様な道路に柔軟に対応できるように、図6に示すように、道路データをデータベース化し、そのデータを基に3D道路を生成する構成とする。練習する道路を選択、道路データをダウンロードし、3D道路を実現する。DBへ格納するデータは道路データと交差点データである。道路データとしては、作成した曲線の係数、および左右の車線数、幅員のほか、道路に付属する樹木等の有無である。また、交差点データは接続されている道路同士を繋ぐ曲線の係数を持つ。道路、交差点にはIDを付加し、道路データにはその前後で接続する交差点IDをデータとして格納する。

以上の道路データより、OpenGLを用い、3D道路生成プログラムの実装を行なった。また、車両モデルを生成した道路上へ配置し、加速度運動、旋回運動を適用して、簡単なドライビングシミュレータを作成した。このシミュレータプログラムは、データベースに格納された道路データを読み込み、このデータをもとに3Dポリゴンを自動的に生成する。交通法規への対応はこれからである。

5. 操縦装置とドライビングシミュレータの結合

ドライビングシミュレータに対するAPIは、図7に示すように4層構造とした。センサに対してサンプリング周期等を指定するセンサ制御APIとステアリングコントローラシミュレートAPIを別モジュールとし、共にDLLの形で提供する。DLLとすることにより、APIのインタフェースに変更がなければ、上位アプリケーション側の修正・再コンパイルをせずに、DLLの差し替えだけでAPIの更新が可能である。センサ制御APIは、シリアルポートを使いセンサを制御する機能を提供する。ステアリングコントローラシミュレートAPIは、ジャイロセンサから得られた信号を、上位アプリケーションがゲームパッドを使うような感覚で使えるようにしたものである。角速度を角度に直す積分計算やドリフト補正、マイクロスイッチの信号を元に角度をリセットす

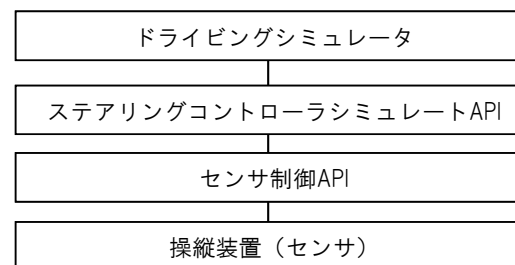


図7. 操縦装置（センサ）とドライビングシミュレータの結合関係

る処理は、ステアリングコントローラシミュレート API 内部で行うようにした。また、一定の範囲の動きを無視する（遊びを作る）処理もステアリングコントローラシミュレート API で行うこととした。設定画面例を図 8 にしめす。第 4 章で説明したようにドリフト除去のパラメータを設定する。オフセット値は、ドリフトの影響を低減するための補正值を示している。

ステアリングコントローラシミュレート API は、上位アプリケーションには、「角度」ではなく、ゲームパッドと同じ感覚で使えるようにするため、ゲームパッドを制御する API (DirectInput) にならい、任意の範囲の数値（上位アプリケーションで設定可能。例えば-100～+100, 0 がニュートラル, -100 が左一杯, +100 が右一杯）に変換する。このとき、センサが一定の角度内にあるとき、上位アプリケーションにニュートラル位置（例えば 0）を渡すことにより、ステアリング操作に遊びを設定可能としている。遊びの範囲は、上位アプリケーションで設定する。

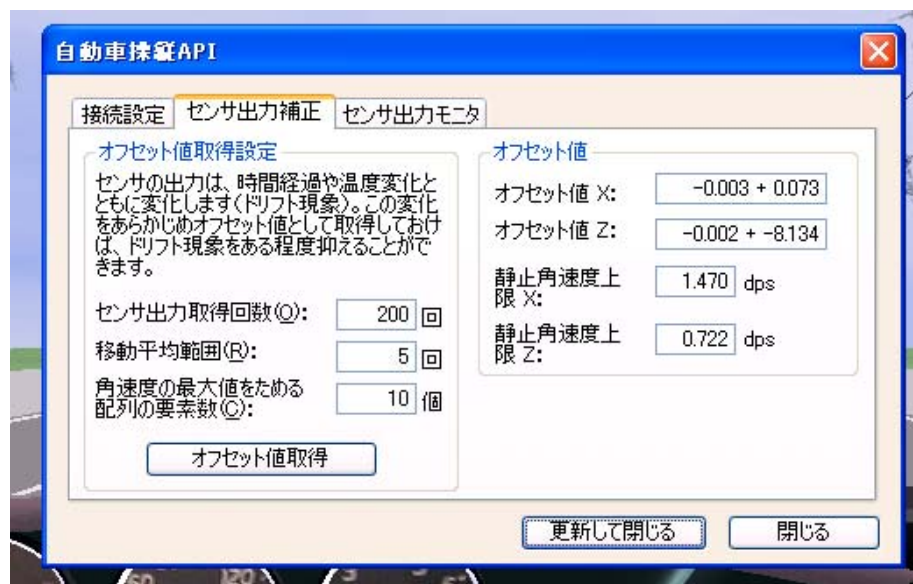


図 8. ステアリングコントローラシミュレート API におけるパラメータ設定例

6. まとめ

上肢障害者を想定した自動車操縦インタフェースの開発を進めている。本論文では、足で操作する操作治具にジャイロセンサを取り付け、ドライビングシミュレータ上の自動車を操縦可能とした。定量的な評価はこれからであるが、足で充分自動車を操作することは可能と思われた。その一方、ジャイロセンサのみを用いたため、ドリフトの影響を出来る限り除去するために操縦治具にマイクロスイッチを取り付け、操作部がニュートラル状態にあることを物理的に検出し、センサ出力からの推定角度をリセットしている。今後、車体の回転量を検出し、操作治具に取り付けたセンサ出力から推定した操作部の回転角から減算する必要があるが、その場合、マイクロスイッチを利用できない。そのため、他のセンサとの組み合わせを検討する。候補として、2つのアーム間の角度を検出できる地磁気センサを考えている。また、適用先を自動車だけでなく、電動車椅子にも拡大する。

謝辞

本研究は、岩手県「いわて戦略的研究開発推進事業」の研究費によるものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] 「HONDA の福祉車両」 <http://www.honda.co.jp/welfare/for-drive/index.html>
- [2] 「足動運転補助装置『Honda・フランツシステム』をフィットにも適用」 <http://www.honda.co.jp/news/2005/4050414.html>
- [3] 和田正義, 亀田藤雄, 「重度障害者のためのジョイスティック式自動車運転装置の開発」, 本機械学会, 福祉工学シンポジウム2009講演論文集, pp.227-228, 2009年9月
- [4] 埼玉工業大学 - 障害者向けジョイスティック運転装置 <http://www.youtube.com/watch?v=xhm0pVQiDsQ&NR=1>
- [5] 佐藤永欣, 高橋俊博, 田島玲, 小田島昌一, 鈴木潤, 石川泰二, 村田嘉利, 『地磁気・加速度センサによる自動車組立工場内作業トレースシステム』, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.3, pp.810-823, 2010年3月
- [6] Masaki Oikawa, Nobuyoshi Sato, Tsuyoshi Takayama, Yoshitoshi Murata, “Design and Implementation of Ski Jumper’s Motion Monitor System by Terrestrial Magnetism and Acceleration Sensors”, The 13rd International Conference on Network-Based Information Systems, (NBIS2010), pp.78-85. (2010.9)
- [7] 大橋健介, 村田嘉利, 高山毅, 佐藤永欣, 小野寺真悦, 『アンドロイド端末を利用した家電リモコンの提案』, 情報処理学会第73回全国大会, 5V-7 (2011.3)