

# 頭部操作式電動車椅子の製作

中国ポリテクカレッジ  
(中国職業能力開発大学校)

天野 隆・石部 剛史

## 1. はじめに

近年、重度障害者や高齢者が操作できる車椅子として、電動車椅子が各種開発されている。この電動車椅子の大部分は、手によるジョイスティック操作である。この方法は、簡単な方法でかつ自在に操作できる点で優れている。しかし、長時間連続で操作した場合、手指などの上肢に疲労を伴う上、操作するための手指が拘束される。また、上肢障害の度合いによっては、操作が困難な場合もある。

以上の問題点を解決するために、ジョイスティックに代わる新たな操作方法が、種々提案されている。いずれの提案においても、最初に検討されているのは、使用者が電動車椅子を操作しようとする意思に基づく動作のセンシング方法である。このセンシング方法については、大きく分けて2つの傾向がみられる。1つは、使用者の身体にセンサを取り付け、各部位の動作や姿勢等をセンシングする方法<sup>1)</sup>である。もう1つは、カメラで使用者を撮影し、非接触でセンシングする方法<sup>2)</sup>である。

前者においては、センサ信号の取得や処理が比較的容易であり、システムの簡素化が図れる。しかし、身体に直接センサを取り付けるため、使用者が感ずる違和感は避けられない。後者においては、非接触であるために、使用者の違和感は少ないと考えられる。しかし、カメラ、画像処理装置等の積載によるシステムの複雑化、重量の増加が問題となる。

以上を踏まえ、本報告では、前者の方法を選択し

た。具体的には、前者の方法の欠点である、使用者の違和感を軽減するための方法を検討し、設計、製作、実験、考察という流れで行った<sup>3)4)</sup>。これにより、使用者の疲労の軽減および手指の拘束のない新たな操作方式による電動車椅子の実現を目指した。

## 2. 操作方法の提案

まず、使用者が電動車椅子を操作しようとする意思に基づく動作の対象を考えるうえで、身体の部位を選択する必要がある。対象となり得る部位は、さまざま考えられる。本報告においては、以下に述べる理由により、対象として頭部を選択した。一般に、使用者は進みたい方向に頭部を動かす傾向がみられる。このことは、頭部の動作と電動車椅子の動作がリンクすれば、使用者の意思により自然に操作することが可能であるといえる。ただし、前項にも述べたように、頭部にセンサを装着する必要がある。これについては、帽子にセンサを内蔵することにより対処した。また、帽子を用いることによって、使用者が感ずる違和感も軽減できると考えた。

次に、具体的な方法について述べる。図1に示すように、頸椎付近を原点とし3軸を定義した。また、頭部の代表的な動作である、「かしげる」、「うなづく」、「ふる」動作をそれぞれロール、ピッチ、ヨーのオイラー角に割り当てた。この3つの動作を電動車椅子の方向、速さのパラメータに割り当てる必要がある。本報告においては、後述する理由により、方向、速さを、それぞれロール、ピッチ角と対応させた。ロ

ール、ピッチ角のセンシングは、前述したように、頭部に装着した帽子に内蔵された2つの角度センサで行った。それぞれの角の大きさに応じて、駆動用モータの回転方向、回転数を調整することにより、電動車椅子が頭部の動作とリンクして動作する。

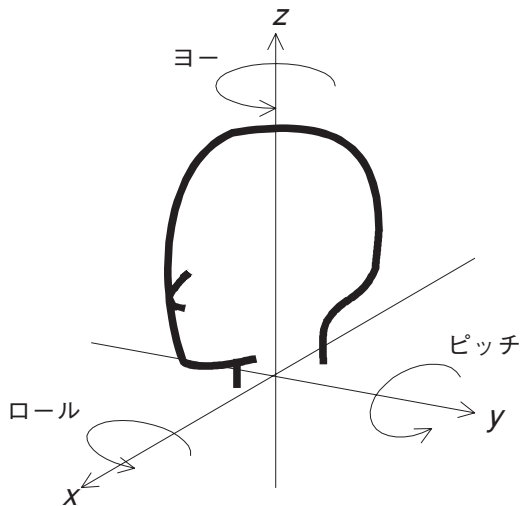


図1 頭部の動作とオイラー角

### 3. 電動車椅子本体

#### 3.1 全体構成

図2に、製作した電動車椅子本体、センサおよび周辺回路が内蔵された本體操作用の帽子（以下、コントローラとする）および被験者を示す。電動車椅子



図2 電動車椅子本体とコントローラおよび被験者

子本体は、JIS規格の標準車椅子をベースに、DCモータ、バッテリー、マイコン、モータ駆動回路部、受信回路部、受信アンテナを搭載している。コントローラは、センサ、送信回路、送信アンテナを搭載している。コントローラと電動車椅子本体は、無線デジタル通信を行っている。

表1に電動車椅子の主な仕様を示す。仕様は、おおむねJIS規格の電動車椅子に準じた。また、最小回転半径の縮小、ステアリング機構の省略による軽量化を図るために、後輪左右独立駆動を採用した。

表1 電動車椅子の主な仕様

大きさ	900(L)×600(W)×750(H)
本体重量	52[kg]
コントローラ重量	0.57[kg]
設定乗員重量	70[kg]
走行速度	0.6[m/s]
登坂可能角度	5[°]
駆動方式	後輪左右独立駆動

#### 3.2 モータの選定

制御性の良さやバッテリーの使用等を考慮し、DCモータを採用した。手順としては、負荷トルク、慣性モーメント、加速トルクを算出し、十分なトルクかつ所要の回転数をクリアするギヤードモータを選定する<sup>5)</sup>。負荷トルク、慣性モーメント、加速トルクは、式(1)~(3)で算出される。また、速度と回転数、速度と角速度の関係を式(4)、(5)に示す。なお、慣性モーメントに関しては、全重量が電動車椅子の両輪に包括されているとみなした<sup>6)7)</sup>。

$$\tau_L = mg(\sin\theta + \mu\cos\theta)r \quad (1)$$

$$J = \frac{1}{2}mr^2 \quad (2) \quad \tau_a = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

$$N = \frac{60v}{2\pi r} \quad (4) \quad \omega = \frac{v}{r} \quad (5)$$

$\tau_L$ [Nm]: 負荷トルク,  $m$ [kg]: 質量,  $g$ [m/s<sup>2</sup>]: 重力加速度,  $\theta$ [°]: 登坂傾斜角,  $\mu$ : 転がり摩擦係数,  $r$ [m]: 車輪半径,  $J$ [kgm<sup>2</sup>]: 慣性モーメント,  $\tau_a$ [Nm]: 加速トルク,  $\omega$ [rad/s]: 角速度,  $t$ [s]: 加速時間,  $N$ [rpm]: モータ軸回転数,  $v$ [m/s]: 速度

ここで、表1より、最もトルクが必要な $\theta = 5$ [°]の

場合を考え、各パラメータを算出した。

まず、負荷トルク、慣性モーメントを算出する。  
 $m = 122[\text{kg}]$ ,  $g = 9.8[\text{m/s}^2]$ ,  $\theta = 5^\circ$ ,  $\mu = 0.03$ ,  $r = 0.11[\text{m}]$ として、式(1), (2)に代入すると、

$$\tau_L = 122 \times 9.8 \times (\sin 5^\circ + 0.03 \times \cos 5^\circ) \times 0.11 \approx 15.78[\text{Nm}]$$

$$J = \frac{1}{2} \times 122 \times 0.11^2 \approx 0.74[\text{kgm}^2]$$

となる。次に、所要の速度から、モータ軸回転数、角速度を算出する。 $V = 0.6[\text{m/s}]$ ,  $\pi = 3.14$ として、式(4), (5)に代入すると、

$$N = \frac{60 \times 0.6}{2 \times 3.14 \times 0.11} \approx 52.11[\text{rpm}]$$

$$\omega = \frac{0.6}{0.11} \approx 5.45[\text{rad/s}]$$

となる。さらに、加速トルクを算出する。加速時間を  $t = 1[\text{s}]$ として式(3)に代入すると、

$$\tau_a = 0.74 \times \frac{5.45}{1} \approx 4.03[\text{Nm}]$$

となる。モータは2個搭載されており、負荷トルクと加速トルクの和の半分である  $9.91[\text{Nm}]$ が、モータ1個当たりの必要トルクとなる。以上をもとに、メーカーのカタログ値から、算出したパラメータにより近いモータを選定した。表2に、選定したモータの仕様を示す。

表2 DCモータ（減速比1：50）の主な仕様

定格出力（使用電圧）	120 [W] (24 [V])
定格回転数	50 [rpm]
定格トルク	11.8 [Nm]

### 3.3 ハードウェア構成

図3～5に、電動車椅子本体のハードウェア構成、受信回路部、マイコンおよびモータ駆動回路部を示す。マイコンには、Microchip社製のPICマイコンを用いた。PICマイコンを中心として、入力側にはデジタル通信用の受信回路部、出力側には、モータ駆動回路部の構成となっている。

入力側では、まず、送信されたセンサデータ（FSK変調信号）を、アンテナを介して受信する。次

に、受信回路では、センサデータをFSK復調およびアスキーコード化し、RS232C通信ポートより出力する。さらに、アスキーコード化されたセンサデータはレベルコンバータを介して、マイコンにシリアル入力する。

マイコンでは、センサデータに応じたPWMパルスのデューティ比を演算し、4bitで出力している。

出力側では、デューティ比の変化したPWMパルスがモータ駆動回路に送られ、デューティ比に応じた電力がDCモータに供給される。

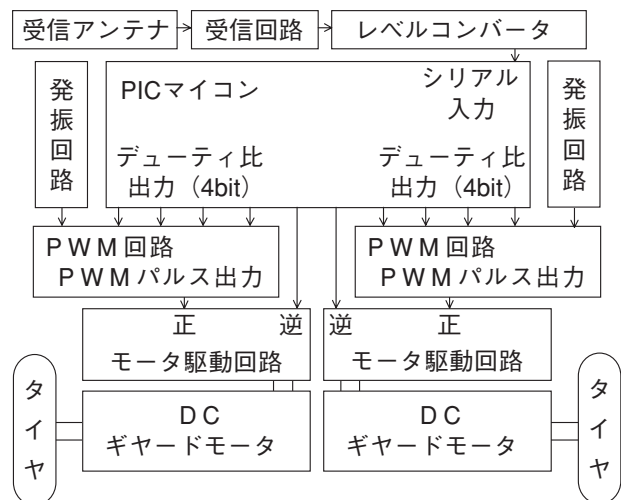


図3 ハードウェア構成

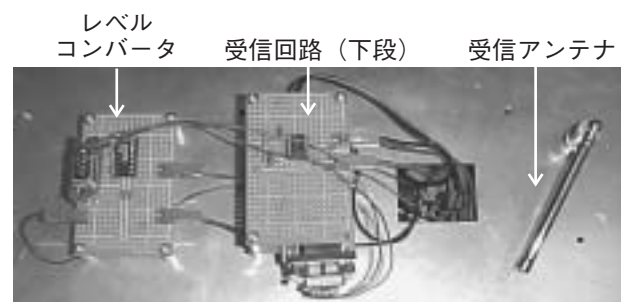


図4 受信回路部

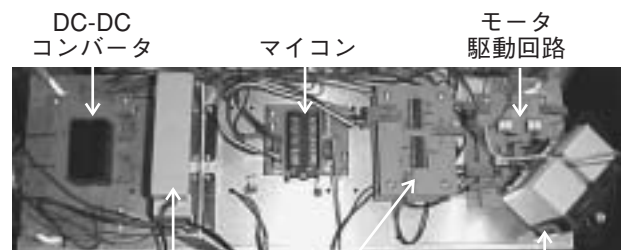


図5 マイコンおよびモータ駆動回路部

## 4. コントローラ

### 4.1 センサの選定

第2項で述べたように、電動車椅子の方向、速さを、それぞれロール、ピッチ角と対応させた。理由として、以下に述べる。まず、電動車椅子の速さに関しては、頭部を前傾させる度合いが大きいほど、電動車椅子が速くなるということをイメージすると、ピッチ角と対応させることが最適であると考えた。

一方、方向に関しては、例えば頭部を左に振る度合いが大きいほど、電動車椅子は左方向へ回転するというイメージし、製作当初はヨー角と対応させることが最適であると考えた。

ここで、オイラー角を検出するには、主に傾斜センサ、ジャイロセンサがあげられる<sup>8)</sup>。さらに、ジャイロセンサは、姿勢ジャイロか、レートジャイロの二種類に大別できる<sup>9)</sup>。頭部の動作自体は緩慢なことから、ロール、ピッチ角の検出は、安価でかつ、低周波領域における静的な動きを検出するのに適した傾斜センサで対応可能であると考えられる。

しかし、傾斜センサは、原理として鉛直方向に吊した重りや液面と、基準物質との傾きを検出する。ヨー角が変化しても、理論的に鉛直方向の変化はないため傾斜センサを用いることができず、ジャイロで対応することになる。まず、姿勢ジャイロは、角度を出力するため容易に取り扱えるが、高価でありサイズも大きくなる。一方、レートジャイロは、比較的安価ではあるが、角速度出力であるためマイコン等で積分する必要がある。また、一般には、積分等による累積誤差を除去するために、他のセンサと併用して使用することが多い。

以上を踏まえると、レートジャイロと他のセンサを併用して、ヨー角を検出する方法が適当と考えられた。しかし、本報告では、システムの簡素化を考慮し、別のアプローチを検討した。結果として、ヨー角の代わりにロール角を電動車椅子の方向と対応させた。以上により、傾斜センサを選択した。

### 4.2 全体構成

図6, 7に、コントローラ、コントローラの回路構成を示す。中央部、および前側に、それぞれロール、ピッチ角検出用の傾斜センサを配置している。また、その他のスペースには、送信回路、送信アンテナ、およびこれらに電源を供給するために9[V]乾電池を搭載している。

表3, 4に、リニア傾斜センサ、およびデジタル送受信回路として用いたワイヤレスデータログユニットの主な仕様を示す。傾斜センサは、 $\pm 60 [^\circ]$ の範囲を2.5 [V]を基準として、1~4 [V]の範囲でアナログ出力をする。ワイヤレスデータログには、12bitのA/Dコンバータが内蔵されている。

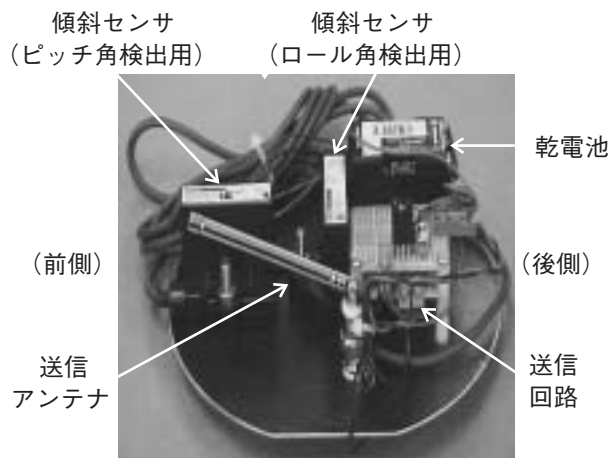


図6 コントローラ

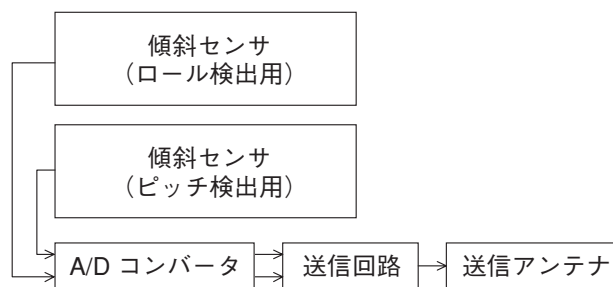


図7 回路構成

表3 リニア傾斜センサの主な仕様

検出角度範囲	$\pm 60 [^\circ]$
電源電圧範囲	DC5 [V] $\pm 0.5$ [V]
消費電流	20 [mA]以下
出力電圧範囲	1~4 [V]
水平電圧	2.5 [V] $\pm 0.05$ [V]
感度	25 [mV/°] $\pm 3$ [%]

傾斜センサから出力されたデータは、送信回路においてA/D変換された後、FSK変調され、アンテナを介して送信している<sup>10)</sup>。

表4 ワイヤレスデータログユニットの主な仕様

発振方式	SAWレゾネータ 固定周波数
受信方式	スーパーヘテロダイン
送信出力	3[m]/500[mV]以下
送受信周波数	314.5[MHz]
通過帯域幅	100[kHz]以上
通信フォーマット	2400[bps], 8[bit], start/stop 1[bit]
内蔵A/D	分解能 12[bit], 8[ch]
変調形式	FSK

## 5. 制御アルゴリズム

### 5.1 全体の流れ

図8に、メインプログラムのフローチャートを示す。まず、マイコン内の各モジュールの初期化を行う。次に、傾斜センサにより出力されたピッチ、ロール角を取得する。さらに、2つの角に応じたPWMのデューティ比を、マイコンにより演算する。最後に、モータ駆動回路へデューティ比を出力する。なお、アイドルループは、ピッチ角取得から、デューティ比出力までとしている。

### 5.2 ピッチ・ロール角の取得

図9、10に、ピッチ角データ取得のフローチャート、受信データフォーマットを示す。まず、図10に示すように、先頭1バイト分のチャンネル番号を取得する。次に、チャンネル番号が一致すれば、3～6バイトの4バイト分のデータを取得する。さらに、アスキーコードから数値に変換する。なお、ピッチ角、ロール角は、それぞれチャンネル番号1、2に割り当てており、全く同様のフローとなる。

### 5.3 PWMデューティ比の演算

図11、12に、頭部の可動域における角度設定方法、デューティ比の演算フローチャートを示す。前述したとおり、ロール、ピッチ角の大きさと、電動車椅子の方向、速さが対応するように、モータの回転数

を調整する。図11に示す可動域は、健常者のデータであり、障害者や高齢者においては縮小すると予想される。さらに、個人差もあるため、可動域を厳密に設定するには調査が必要である。しかし、現段階においては未調査であるので、健常者の可動域内に仮設定した。

まず、ピッチ角における設定方法について述べる。図11(1)中に示すように、正面を向いている状態を基準(0°)に、前、後傾をそれぞれ正、負とし+40°～-75°の可動域<sup>11)</sup>がある。この可動域において、10°間隔に区分する。各区分に、デューティ比0～

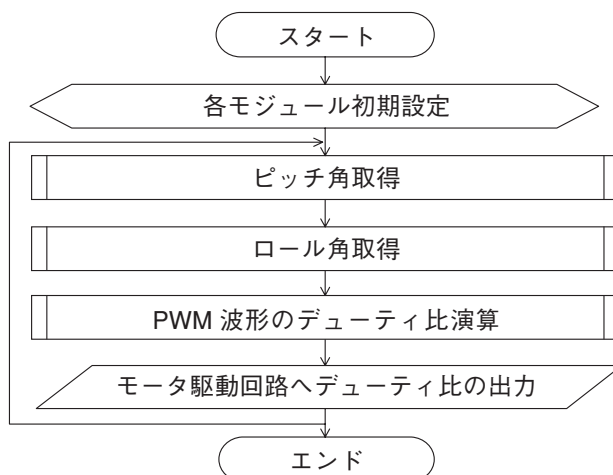


図8 メインプログラム

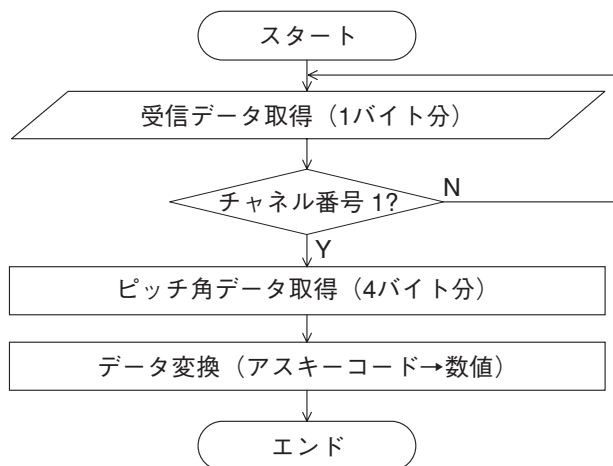


図9 ピッチ角データの取得

Ch	Sp	DATA	DATA	DATA	DATA	CR	LF
----	----	------	------	------	------	----	----

Ch: チャンネル番号, Sp: スペース, DATA: データ, CR: キャリッジリターン, LF: ラインフィード

図10 受信データ (アスキー形式8バイト)

100%内において25%間隔で割り当て、頭部の傾斜角と電動車椅子の速さの関係がリニアとなるようにした。なお、基準に対して、負の方向に傾斜した場合は、両モータのデューティ比は0%とし、電力をカットしている。

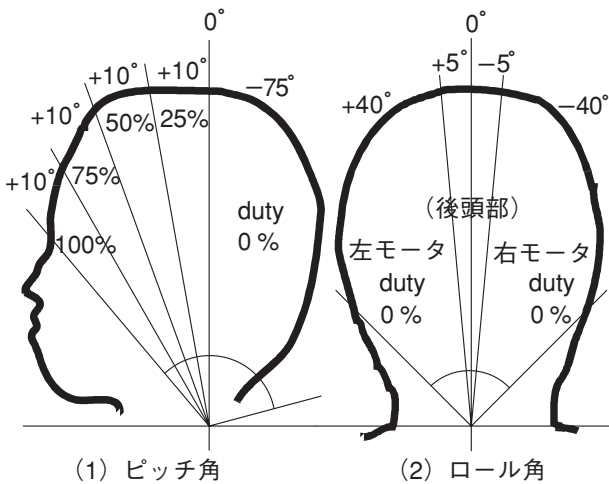


図11 頭部の可動域と角度設定

次に、ロール角の設定方法について述べる。図11(2)中に示すように、頭部を地面に対し垂直にしている状態を基準(0°)に、左、右傾をそれぞれ正、負とし±45°の可動域<sup>11)</sup>がある。±5°の範囲は、頭部のゆれを考慮し、モータの回転数を左右同値としている。ここで、左側のみを考えた場合、5°～45°においては、左モータのデューティ比は0%とし電力をカットしている。例えば、図12に示すように、ピッチ角が20°～30°の範囲内において、ロール角が5°～45°の範囲では、右モータのみデューティ比75%で回転している。この場合、電動車椅子は左側に旋回する。なお、右側も同様である。

## 6. 実験と考察

図13に、製作した電動車椅子のテスト走行を、写真内の番号順に1秒間隔で示す。条件は、室内において、フラットな床でおこなった。被験者は、20歳の男子大学生(身長165 [cm], 体重50 [kg])とした。1コマ目において、被験者は、顔を正面に向け頭部を地面に対し垂直に立てた状態(ピッチ角、ロール角共に0°)であるので、車椅子は静止している。2、3コマ目において、被験者は頭部を前傾させたため、車椅子は前進している。4～10コマ目において、被験者は頭部を前傾かつ左傾の状態を保持しているために、車椅子は左にUターンしている。

図13にも示したとおり、被験者の頭部の動作にしたがって、電動車椅子を操作することが可能となった。ただし、被験者の頭部の動作と、電動車椅子の動作をリンクさせるための調整には時間を要した。

コントローラと電動車椅子本体間は、無線デジタル通信の使用により、頭部と電動車椅子本体間の配線の省略が可能となった。これにより、被験者に配線が引っかかる、もしくは配線同士が絡み合うなどの煩わしさがなくなった。また、コントローラが独立しているため、センサの調整や変更なども比較的容易に行えると考えられる。一方、帽子に内蔵されているセンサおよび周辺回路の電源を搭載する必要があり、重量の増加による頭部もしくは頭部への負担がみられた。さらに、頭部を傾斜させるため、ピ

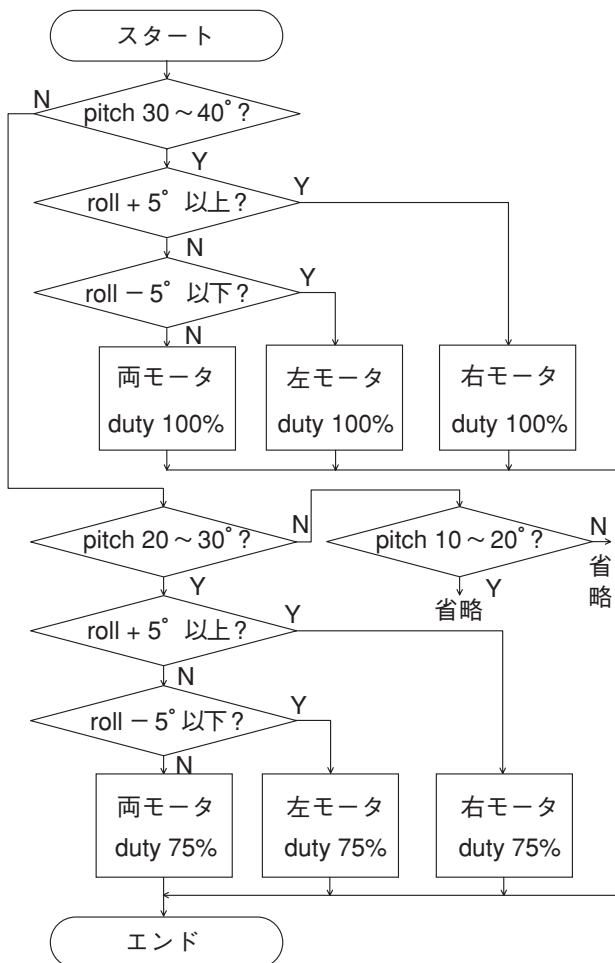


図12 デューティ比の演算



図13 テスト走行

タッチ角が大きくなるにつれ、被験者の視野を狭窄する傾向がみられた。

## 7. おわりに

結果として、ジョイスティックに代わる新しい操作方法である、頭部操作式電動車椅子を試作し、試乗できるまでになった。これによって、目的の1つであった操作するための手指の拘束をなくすことが可能となった。しかし、疲労に関しては、コントローラ重量による肉体的疲労や、視野が狭窄することによる精神的な疲労が出現し、予想していたほどの軽減は達成することができなかった。また、本報告における実験は、外乱がない状態で行っている。実際の環境では、例えば人に声をかけられた、あるいは使用者に何らかの危険が迫っているなどの外乱が

存在する。大抵の場合、使用者は、外乱に対して反射的に動作する。現段階では、この反射的な動作にも、電動車椅子は動作してしまう。

今後は、これら問題を解決すべく、帽子重量の軽量化や、視野の狭窄を軽減するための頭部動作範囲の検討、および使用者の反射的な動作と、意思に基づく動作の区別方法を検討する必要がある。以上により、使用者の疲労を軽減し、かつ自在に操作可能なコントローラの実現を目指す。

## <謝辞>

モータの選定についてアドバイスをいただきました。制御技術科の高橋先生、中野先生、デジタル通信についてアドバイスをいただきました。生産電子システム技術科の黒住先生、ジャイロセンサを搭載した仮想空間シミュレータ用コントローラに関するアドバイスをいただきました。情報技術科の片多先生には、厚く御礼申し上げます。さらに、卒業生である西山君、岡本君、田邊君、藤原君には製作にご協力していただいたことを深く感謝いたします。

## <参考文献>

- 1) 井上剛伸ほか：重度脳性麻痺者を対象とした頭部操作式電動車椅子の開発，バイオメカニズム，pp.303-314，1994.
- 2) 足立佳久ほか：顔の視覚情報処理を用いた知的車椅子，日本ロボット学会，Vol.17，No.3，pp.423-431，1999.
- 3) 天野隆ほか：電動車椅子の操作手法に関する研究，岡山職業能力開発短期大学校紀要，pp.5-10，2001.
- 4) 西山直希ほか：頭部操作式電動車椅子の製作，第2回中国ポリテクビジョン予稿集，pp.3-4，2004.
- 5) 黒須茂ほか：メカトロ・エンジニアリング(10)制御技術，パワー社，pp.115-134，1999.
- 6) モータの選定に関するサイト  
<http://www.picfun.com/motor02.html>
- 7) 伊藤美光：慣性モーメントと設計演習，日刊工業新聞社 1989.
- 8) 多摩川精機：ジャイロ活用技術入門，工業調査会 No.11，2000.
- 9) ジャイロセンサに関するサイト  
[http://www.zmp.co.jp/data/gyro\\_guide.pdf](http://www.zmp.co.jp/data/gyro_guide.pdf)
- 10) 関清三：わかりやすいデジタル変復調の基礎，オーム社，2001.
- 11) 小原二郎ほか：人体を測る，日本出版サービス，pp.82-85，1986.