

段差対応型電動車いすの開発

山本光男*¹ 水野和康*² 水野金儀*¹ 小谷 勇*¹

Development of a Powered Wheelchair for Overcoming Variations in Ground Level

Mitsuo YAMAMOTO, Kazuyasu MIZUNO, Kaneyoshi MIZUNO and Isamu KOTANI

三角形の頂点に3個のタイヤを取り付けた車輪構成とすることにより段差昇降のできる電動車いすを開発した。大きさは、長さ1100mm、幅650mm、座面高さ550mm、総重量は106kgであり、走行、段差、キャスト、椅子を制御するために合計5個のモータを使用している。タイヤ径は150mmであるが、100mm程度の段差を昇降できる。また、段差昇降時に車体が傾くことから、座面を水平に保つ制御を行っており大きな恐怖感なしに昇降できる。

1. はじめに

車いすでは、坂路、悪路などにおいて使用者や介助者に多大な負担が強いられている。最近では、種々の電動車いすが開発され使用者の負担も軽減されつつある。しかし、現在市販されている電動車いすは、小型化、低価格化を図るため、機能的には、モータを用いて車輪を駆動するだけのものが多く、わずかな段差や、隙間に車輪が落ちた場合、車いすが重いだけにかえって使いづらいこともあるなど問題がある。一方、アメリカでは2輪でバランスをとることができ、段差や階段なども昇降できる電動車いすが開発され注目されている。日本においても、使用条件等の制限はあるが階段を昇降する電動車いすや座部が上下動する車いすなどの開発が行われており、今後は、価格だけでなく、付加価値の高い電動車いすの開発が求められるようになってくると考えられる。ここでは、1車輪に3個のタイヤを配置するだけの比較的簡単な機構で、段差を乗り越えることのできる電動車いすの開発を試みた。

2. 電動車いすの構成

2. 1 外形

試作した電動車いすは、長さ600mm、高さ265mm、幅360mmのアルミフレームをベースに車輪といすを取り付けた構成であり、車輪カバーを含めた全体の大きさ

は、長さ1100mm、座部までの高さ550mm、幅650mm、バッテリーを含めた総重量は106kgである。写真に試作した電動車いすの外観を示す。

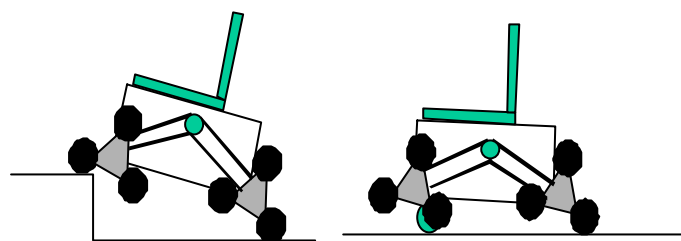


写真 試作車

2. 2 車輪機構

本車いすの車輪機構は、段差昇降を行うために、1辺250mm正三角形の頂点に、直径150mmのタイヤを3個取り付けた車輪4個と昇降可能なキャスト1個で構成した。図1に、試作車の動きを示す。段差昇降時は、図1(a)に示すように、段差モータからの駆動力をチェーンを介して、前後輪に伝達し、前後輪を同期して回転させている。通常走行は、図1(b)のようにキャストを下降させ、後輪は1タイヤを接地した状態で、駆動モータの回転を歯車を介してタイヤに伝達し走行する。操舵は、左右の駆動モータの回転数を制御することにより行っている。

*1 応用技術部 *2 機械電子部



(a) 段差昇降

(b) 通常走行

図1 段差昇降機構

2. 3 駆動系

本電動車いすでは、左右の走行モータ、段差モータの他に、段差・走行切り替え時にキャストを上下させるためのモータ及び段差昇降時に座部が傾くことによる恐怖感をやわらげるため、座部を水平に保つ機構を有しており、全体を5個のモータにより制御している。電圧12V容量28AHのバッテリーを2個直列に接続して用いていることから、モータは定格電圧24Vの直流モータを使用している。表に使用したモータの出力を示す。段差モータは、車輪の回転を40秒/1回転と比較的ゆっくりとした速度で、一定であることから、走行モータに比べて出力の小さいモータを使用している。

表 モータ出力

モータの使用場所	モータ出力 (W)
左右走行モータ×2個	134
段差モータ	80
キャストモータ	13
座部駆動モータ	24

3. 制御部の構成と制御方法

3. 1 処理の流れ

本電動車いすは、16ビットのワンチップマイコン（日立製 H8/3048）で制御している。ジョイスティック等アナログ信号はマイコン内蔵のAD変換器を介して10ビットデータとして入力される。左右の走行モータ出力は、マイコンのPWM出力機能を用いている。段差、キャスト、座部駆動モータについては、速度制御はせず、ON-OFF出力のみである。ブザーと表示は使用者に種々の警告を行うためのものである。

図2に制御の流れを示す。モード切り替えSWの状態により、走行、段差、停止の3つの状態の中の一つが選択される。SW入力は、リミットSWなどのチャタリングの発生を考慮して、30ms間隔のデータ入力に対し、3回連続同じSW状態が維持された場合のデータを用いている。また、アナログ入力は、モータ電圧、電流などノイズの影響を受けやすいため、2ms毎に入力したデータの8回平均を値としている。異常検出は、バッテリー電圧の低下、座部傾斜リミットセンサ、キャスト上下リミットセンサ、車輪位置センサの不正入力を調べ、ブザー、LED表示を用いて使用者に異常を警告するものである。さらに、走行と段差の移行時は、キャストの動きが完了するまでジョイスティックに反応しないため、ブザーを用いて移行中であることを知らせている。ブザーやLEDでの警告は、内容によりブザー音と点滅の周期を変えている。

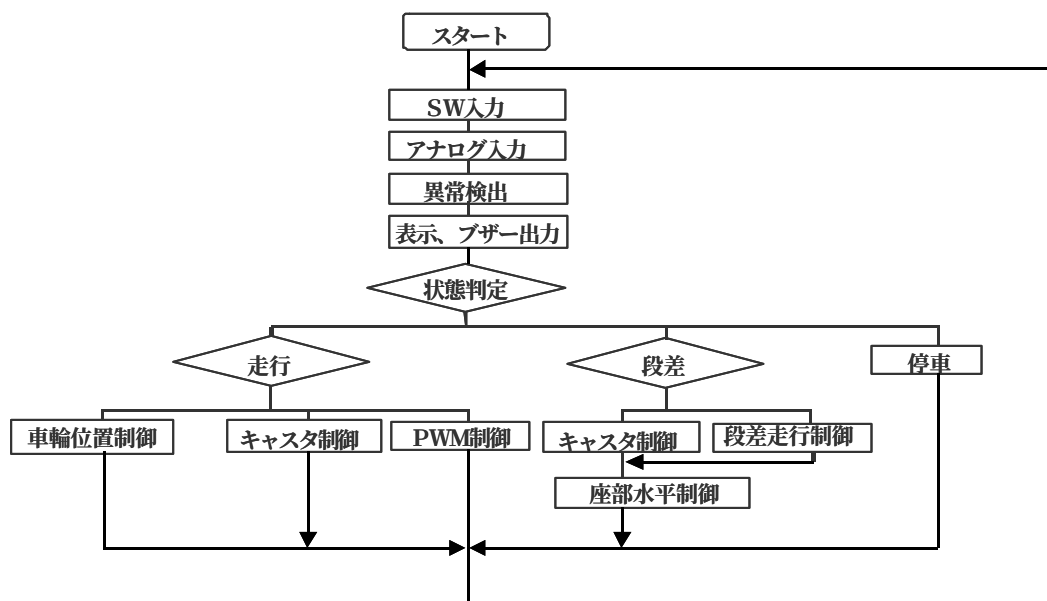


図2 処理の流れ

3. 2 走行制御

走行では、まず、車輪位置の制御を行う。これは、車高を低く押さえ、ホイールベースを長くするために車輪の角度を合わせるものである。次にキャストを下降させ前輪を地面から離れた後、ジョイスティックを倒した方向が進行方向に、倒した角度が速度に比例するように走行モータを制御する。この場合、ジョイスティックで求めた回転数を直接走行モータへの出力とするのではなく、PID制御等を用いることが一般的であるが、ここでは、発進、停止等の衝撃、加速性などを考慮し、ジョイスティックの指示値、実際のモータ回転数などを考慮した目標回転数を計算し、この値に対し、I制御により走行モータをドライブしている。また、本制御では、実際のモータの回転数をエンコーダ等の外付け装置を用いず、モータ電流とモータ電圧から下式により計算している。

$$i = (E_0 - E) / R$$

$$E = k \times N$$

$$N = (E_0 - i \times R) / k$$

$$d = (N - L) / G$$

$$n = M - d$$

ここで、 i ：モータ電流、 E_0 ：モータ電圧、 E ：モータ逆起電力、 N ：モータ回転数、 R ：電機子巻線抵抗、 k ：発電係数、 L ：目標回転数、 $1/G$ ：積分ゲイン、 d ：PWM出力補正值、 M ：現在のPWM出力値、 n ：次回PWM出力値である。

3. 3 段差制御

段差制御では、キャストを上昇させた後、ジョイスティックの指示に応じて前進または後進を行う。座部には傾斜センサが取り付けられており、座部を水平に保持する制御を行っている。ただし、わずかな傾きに対して過敏に反応することを防ぐため $\pm 3^\circ$ のヒステリシスを持たせている。従って、傾斜が $\pm 3^\circ$ を越えた場合、座部を水平に戻すためにモータを駆動している。また、座部の傾斜リミット信号がONの状態では段差昇降を行おうとした場合、転倒する危険から、さらに傾きが大きくなるような昇降指令に対しては段差昇降しないようにしている。

停止制御は、モータ制御に係わるすべての出力をOFFにし、走行モータにブレーキをかけた状態にして、ブザーとLED出力だけを行う。

4. 走行性能評価

4. 1 走行出力

図3は、停止状態から最高速度まで直進加速した後、右急旋回を行い、続いて、直進加速にもどし最高速到達後停止するといった操舵を行った場合のジョイスティックから計算した指示回転数と実際のモータ回転数

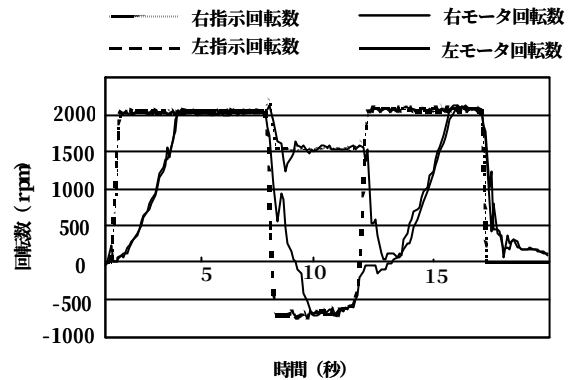


図3 旋回時の指示回転数とモータ回転数

の関係を示したものである。指示回転数は、ジョイスティックの動きに応じて急激に変化している。モータ回転数を直接この値に倣わせると加速度が大きすぎ、発進、停止、旋回等で大きな衝撃が起こる。このため、指示回転数とは別に急激な変化を押さえた目標回転数を新たに計算し、モータ回転数をこの値に近づけるように制御している。図で指示回転数はステップ状に変化しているが、モータ回転数が少し遅れて変化しているのはこのためである。停止時は、指示回転数は急激に0に落ちているが、モータ回転数は、0になる前に減速の傾斜が緩やかになっており、停止時の衝撃が和らいでいることがわかる。急旋回時に左モータの回転数が落ちているのは、キャストが傾いていないため負荷が大きくなったためと思われる。急旋回から直進に戻した時、左右の目標回転数が0近くまで落ちた後指示回転数に近づいているのは、急旋回から直接直進に近づけた場合、指示回転数に一致するまで左右の回転数が異なるため旋回が続くことになる。このため、一旦左右の回転数を下げることによって左右の回転数をそろえている。

4. 2 座部駆動モータ出力

図4は、段差昇降時の座部の傾斜角度の変化を表わしたものである。図では、+方向では 5° 近く、一方方向では 8° 近くになってから水平にもどる動作が始まっている。これは今回の制御で $\pm 3^\circ$ のヒステリシス

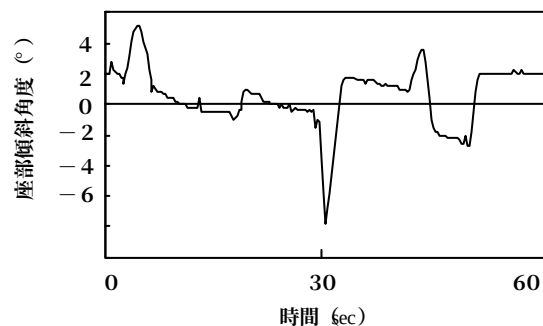


図4 段差昇降時の座部角度変化

を持たせたことと、リレーを用いて正逆の切り替えを行っており、リレー保護のためモータ ON 時に 0.5 秒の遅延を入れているため、傾斜の速い変化に対応できなかったためと思われる。

5. むすび

100mm の段差越えの可能な電動車いすを試作した。トリアームピッチを 150mm、タイヤ径 150mm としたこと、車輪の直径は 450mm と同等となり、部品配置や材質等をさらに検討すれば 150mm まで段差越えが可能であると思われる。また、エンコーダなどの外付けセンサを用いずにモータ電流、モータ電圧から回転数を計算し走行制御を行ったが、直線加速、旋回など比較的追従性の良い制御が実現できた。さらに、段差昇

降時、車体の傾きに対し座部を水平に制御することにより、かなり恐怖感をやわらげることができた。今後の課題としては、座部のモータの正逆の切り替えをリレーを用いて行ったことから応答の遅れが生じたことである。これに対してはリレーをブリッジ回路に変更する必要がある。また、軽量化のためフレーム材にアルミを用いたが、強度的に問題があり、再検討する必要がある。

参考文献

- (1) 竹内、白石：精密工学会誌、65(7)、1030 (1999)
- (2) 日本工業標準調査会：JIS 電動車いす JIS T9203 (1999)
- (3) 日立製作所：日立シングルチップ マイクロコンピュータ H8/3048 シリーズ ハードウェアマニュアル