

## 公道を走行可能な車いす用脱着式電気駆動システム開発

Removable Electrical Drive System for Wheelchair Travels on Public Road

○ 岩見有希（東京電機大学） 岩瀬将美（東京電機大学） 井上淳（東京電機大学）

Yuki IWAMI, Tokyo Denki University  
Masami IWASE, Tokyo Denki University  
Jun INOUE, Tokyo Denki University

**Abstract:** The purpose of this study is to develop a removable transportation drive system which isn't necessary for wheel chairs to change. The merits and demerits of a wheelchair and electric wheelchair vary according to distance and area of roadway. Therefore, it is hard that one type of wheel chair deal with various circumstances. In the study of the power-assisted wheelchair for the movement disorder, a motor is selected without considering the distance which a user moved. Hence, considering circumstances when a removable transportation drive system is attached, a motor and gear system are designed. In addition, the drive system is designed with 3DCAD. As a result, a drive system which drives at a fast gear ratio is designed. In conclusion the wheelchair with the drivesystem is able to move long distances in a short time.

**Key Words:** Wheelchair, Life Support, Welfare Engineering

## 1. 序論

本研究の目的は下肢不自由者の負担を軽減するために、手動車いすに外付け可能な脱着式電動駆動システムを開発することである。

移動する状況によって適した車いすが異なり、気軽な移動を実現するためには、車いす使用者が状況に応じて車いすを使い分ける必要がある。車いす使用者は長距離移動時にヘルパーによる乗車と降車の介助や送迎を利用している。しかし、身体障害のある方はリハビリや挑戦心から介助なく外出したいと考える<sup>(1)</sup>。

現状、車いすは手動式車いすと電動式車いすに区分され、それぞれの車いすには異なる特徴がある。村田によると、手動車いすは前輪を浮かすことで低い段差がある状況でも走行できるが、他の公共機関を使用しない場合の長距離移動は使用者の負担が大きくなる<sup>(2)</sup>。一方、電動車いすは重量から介助なしで車載することが困難であるが、移動時に筋力がいらぬため、バッテリーが持続する間は気軽に走行できる。このように、車いすによって一長一短がある。それぞれの車いすの長所を持った車いすが必要である。

坂道を走行する状況において、使用者の筋力を補助する車いすの研究としてパワーアシスト車椅子が開発されている。垣本達はCooperによる車いすの運動モデル式により車いすを近似している。駆動部に用いられるモータは目標傾斜角や目標速度で走行できる駆動システムを選定するべく、負荷及びモータに関する速度-トルク特性曲線からモータを選定している。さらに、選定したモータを駆動システムに直接つけた場合、回転数が高く、トルクが低い場合、減速比を設定するアプローチを取る開発をしている<sup>(3)</sup>。しかし、パワーアシスト車椅子では車いす使用者の介助力に追従する駆動力をモータから出力するため、歩道よりも速く走行する事が出来ない。長距離の移動において速度が遅い場合、所要時間が長くなり、使用者の負担が重くなる。そこで使用者の負担を軽減すべく、長距離移動時には高速移動可能な電動車いす、リハビリや近距離における移動には手動式車いすという切り替えが実現できれば解決策と云える。脱着式駆動システムは既存の機器であり、あい・あーる・けあ製のチェアライダー<sup>®</sup>やアピリティーズ製のシェルパバイク<sup>®</sup>が存在する。これらの機器は歩道での運用を主眼においていることから歩道における最高速度以下で走行をする。しかし、他の公共機関を用いて遠方へ外出することから、車道を含めた行動全体を走行可能な駆動システム

が必要である。また、車いす使用者の意見を反映させるために、試乗するための試作機を開発する。

駆動システムを開発する課題として、公道を高速で走行可能なモータと減速比の選定が必要である。また、簡単な脱着と牽引に耐えられるジョイント機構の設計に関しては木原の論文が参考となる<sup>(4)</sup>。

本稿では使用者のニーズから仕様を考慮し、走行時における負荷からモータ及び減速比を選定する。最高速度での走行を検証するために試作機を製作する。

## 2. 駆動システムの設計

車いす使用者が移動したい距離に関して、使用者のニーズを調査し、設計すべき駆動システムの仕様を検討する。仕様に基づき、駆動系を装着し、人を載せて走行したときに発生する駆動力や摩擦力を含む走行時の負荷を導出する。得られた結果から、駆動系を目標速度で動作させることが出来るモータ減速装置のギア比の選定を行う。

### 2.1 車いす使用者のニーズ

超小型モビリティのガイドラインより、広範囲を移動することができるようになった高齢者は10.0 km圏内を移動するという調査結果が得られている<sup>(5)</sup>。電動車いすを用いた10.0 km圏内の移動には長時間を要するため、気軽な移動が困難である。また、今のところ身体障害者が使用することが出来る超小型モビリティは存在しない。そこで、車いす用脱着式駆動システムの最高速度を原動機付き自転車と同じく30.0 km/hに設定する。移動障害である地方部の大きな傾斜は、DID調査によると、傾斜度6%(3.4 deg)の道が8割を占める<sup>(6)</sup>。よって、使用者のニーズとして3.4 degの傾斜を30.0 km/hで走行する性能が必要であると設定する。なお、駆動系と車いすの持つ全ての車輪を地面に設置して走行させる場合、荷重が分散するため、地面とのグリップ力が低減する。そこで、路面を安定して走行するために必要な接地面の数は、3点であることから、駆動系のタイヤを1つとし、車いすの後輪2つを用いて3点接地できる設計をする<sup>(4)</sup>。3点接地時に、積載可能な重量は肢体不自由者を乗せても最高速度で走行できるものである必要がある。肢体不自由者の体重は健常者と比べて軽いことから既存の電動車いすと同様、積載可能重量を100 kgとする<sup>(7)</sup>。

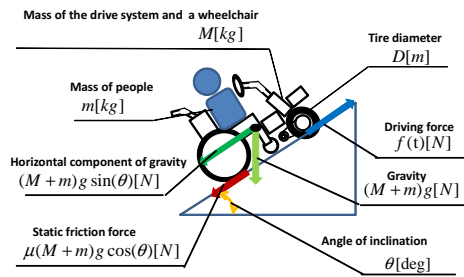


Fig.1 Power relationship to work on removable drive system

Table 1 Simulation constant

Constant name[Unit]	Signage	Value
The diameter of the drive wheel[cm]	$D$	26.0
Drive system total mass[kg]	$M$	41.0
Acceleration time[s]	$T$	20.0
Coefficient of static friction	$\mu$	0.80
Coefficient of rolling friction	$\mu'$	$15 \times 10^{-3}$
Acceleration of gravity[m/s <sup>2</sup> ]	$g$	9.81
Efficiency 80% of the motor torque[N·m]	$\tau_m$	3.20
Motor torque at the time of start up[N·m]	$\tau_0$	16.5

Table 2 Simulation variable

Variable name [Unit]	Signage
Torque[N·m]	$\tau(t)$
Number of revolutions[rpm]	$N(t)$
Acceleration[m/s <sup>2</sup> ]	$a(t)$
Acceleration factor	$k$
Time[s]	$t$
Velocity[m/s]	$v(t)$
Initial velocity[m/s]	$v_0$
Friction[N]	$r$
Tilt angle[deg]	$\theta$
Force[N]	$f(t)$
Output[W]	$W(t)$
Maximum torque[N·m]	$\tau_{max}$
Starting torque[N·m]	$\tau_s$

## 2.2 走行時における負荷の導出

体重が 100 kg の使用者が搭乗する車いすを 30.0 km/h まで加速した時に生ずるトルクと回転数を計算し，平坦，登板時共に負荷特性曲線がモータの特性曲線内に収まるシミュレーションからモータを選定する．使用する定数と変数を Table. 1, Table. 2 に示す．駆動システムに働く力関係を Fig. 1 とする時，駆動システムのモデル式は (1) となる．

$$\frac{2\tau}{D} = (M + m)\{a(t) + g \sin(\theta) + \mu g \cos(\theta)\} \quad (1)$$

加速方式は式 (2) の傾きを持つランプ波形とし，20.0 s ごとに

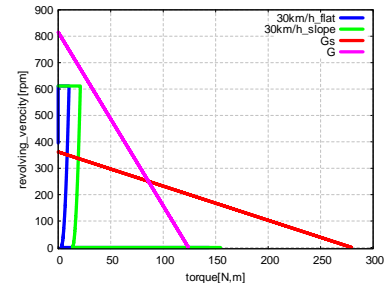


Fig.2 Characteristic curve at the time of the high and low speed

30.0 km/h まで加速，等速，減速する．

$$k = \frac{30.0 - v_0}{T^2} \quad (2)$$

トルク，回転数，出力をそれぞれ式 (3)，(4)，(5) として，負荷特性曲線を導出する．

$$\tau(t) = \frac{D(M + m)}{2 \times 10^{-2}} \cdot a(t) \quad (3)$$

$$N(t) = \frac{60}{2\pi D \times 10^{-2}} \cdot v(t) \quad (4)$$

$$W(t) = \frac{2\pi\tau}{60} \cdot \omega(t) \quad (5)$$

また，始動時に用いる低速減速比  $G_s$  と 30 km/h で走行する高速減速比  $G$  はそれぞれ式 (6)，(7) より選定する．

$$G_s = \frac{\tau_s}{\tau_0} \quad (6)$$

$$G = \frac{\tau_{max}}{\tau_m} \quad (7)$$

## 2.3 モータ及びギア比の選定結果

低速，高速ギアをそれぞれ介した速度-トルク特性曲線は Fig. 2 である．Fig. 2 より，低モータ効率で 30.0 km/h に達することができるため，モータ及びギア比を定格出力 1.0 kW のモータ，低速減速比 10.9，高速減速比は 4.84 と選定する．

## 3. 実機製作

最高速度での走行を検証するため，駆動システムを製作する．使用するモータが要件を満たすことを確認するためにモータの同定を行い，T-I，T-N カーブを作成する．機構は各部品が干渉しないように設計を行う．設計データを元に実機の製作を行う．

### 3.1 モータの同定

始動から時間が経過し，一定電流  $i(t)$  [A] となったモータのモデル式は印加電圧  $E_b$  [V]，内部抵抗  $R$  [ $\Omega$ ]，インダクタンス  $L$  [H]，逆起電力  $E_c$  [v] のとき式 (8) となる．

$$E_b = Ri(t) + E_c \quad (8)$$

逆起電力は長さ  $l$  [m] の導体が磁束密度  $B$  [T] 内を移動することにより生じることから，逆起電力  $k_e$  と角速度  $\omega$  には式 (9) の関係が成り立つ．

$$E_c = Bl\omega = k_e\omega \quad (9)$$

また，磁束内の導体に電流  $i(t)$  [A] を流すと，導体から力が発する．導体はモータ軸を中心に回転するため，トルク  $\tau(t)$  [N/m] と電流  $i$  [A] の関係は式 (10) となる．

$$\tau(t) = Bli(t) = k_i i(t) = k_e i(t) \quad (10)$$

内部抵抗は式 (8)，(9) より，ストールトルクを加えたとき，逆起電力が生じないため，式 (11) から同定できる．

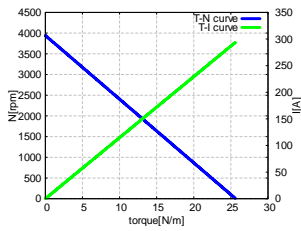


Fig.3 T-I, T-N curve

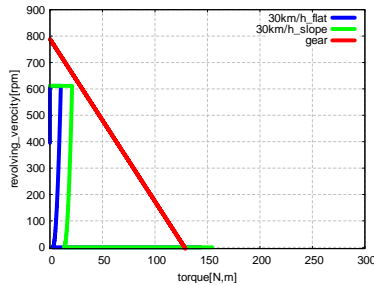


Fig.4 Characteristic curve of the identified motor

$$E_b = Ri(t) \quad (11)$$

内部抵抗を導出後，無負荷で動作したとき，式 (12) の関係から逆起電力定数を同定する．

$$E_b = Ri(t) + k_e \omega \quad (12)$$

逆起電力定数を式 (10) に代入し，電流変化に応じたトルクを導出する．また，式 (10)，(12) を用いて，トルク変化に応じた回転数  $N$  [rpm] は式 (13) より導出する．

$$N = \frac{60(E_b k_e - R\tau)}{2\pi k_e^2} \quad (13)$$

得られた値を近似し，T-I カーブ，T-N カーブを作成する．

### 3.2 モータ同定結果

モータの内部抵抗は  $0.12 \Omega$ ，逆起電力定数は  $0.09$  であり，一次近似して得られた T-I カーブ及び T-N カーブは Fig. 3 となり，関係式はそれぞれ式 (14)，(15) となる．

$$i = 11.5\tau \quad (14)$$

$$N = -153\tau + 3942 \quad (15)$$

得られた関係式から負荷特性曲線を導出すると，Fig. 4 となり，要件を満たしている．

### 3.3 実機設計

設計する駆動システムのシステム構成図は Fig. 5 である．この駆動システムは目標速度での走行が可能であることを確認するための試作機である．手動式車いすと電動式車いすを場面に応じて切りかえるために，接続部には着脱機構が必要になる．また，Fig. 5 より，駆動システム内には 2.1 節で同定実験を行った定格出力  $1.0 \text{ kw}$  のモータを所望のトルクで動作させるために，PWM 信号で動作させるコントローラが接続されている．モータはコントローラを介して同定実験同様， $36\text{V}$  の電圧を印加する必要がある．今回は航続距離も考慮し， $12 \text{ V}$  のニッケル水素バッテリーを 3 つ直列接続したものをを用いる．駆動輪とモータ軸は 2.3 節で導出したスプロケットとチェーンを接続し，動力を伝達する．これらの構成部品の内，モータとバッテリーは重量が大きい．タイヤに動力を伝動する大スプロケットはタイヤに固定する

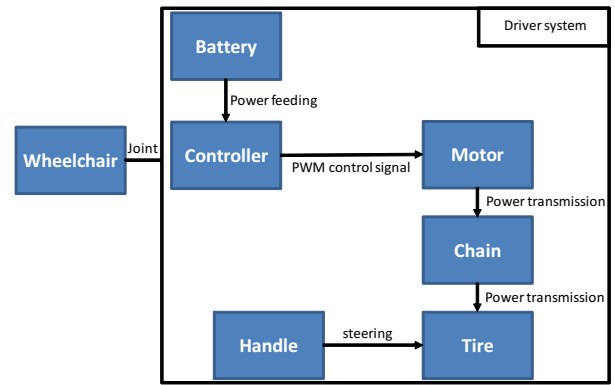


Fig.5 Configuration diagram of a removable drive system

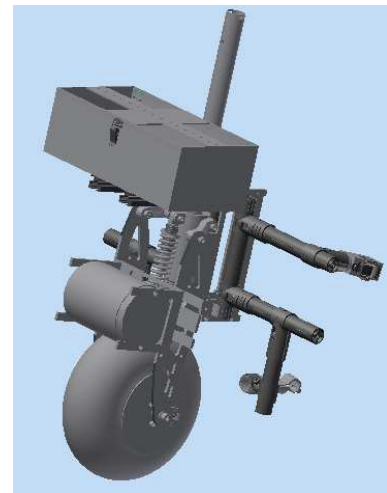


Fig.6 Designed drive system



Fig.7 Wheelchair equipped with a removable drive system installed

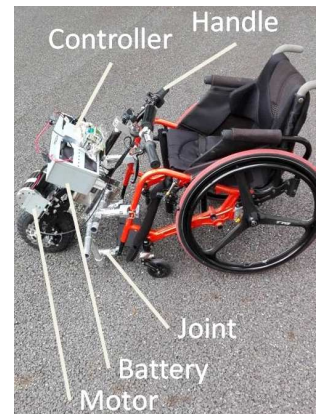


Fig.8 Drive system components

ため，操舵時，モータも旋回する必要がある．そこで，バッテリーを旋回軸を支える固定軸に接続することで，使用者が操舵時に必要な力を小さくすることができるように設計する．なお，車いすは OX エンジニアリング社製の ZZR<sup>®</sup> を使用する．設計した駆動システムを Fig. 6 に示す．

### 3.4 実機の製作

設計した CAD データから製作した脱着式駆動システム装着時における車いすは Fig. 7 となった．構成部品は同定実験で使用した  $1.0 \text{ kw}$  モータ， $36 \text{ v}$  ニッケル水素バッテリー，PWM 制御コ

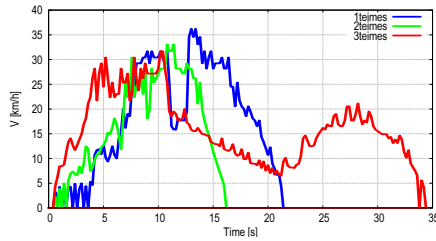


Fig.9 Speed at the time of body weight 60kg boarding

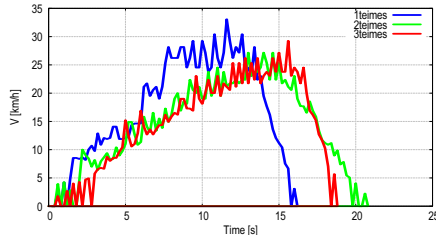


Fig.10 Speed at the time of body weight 70kg boarding

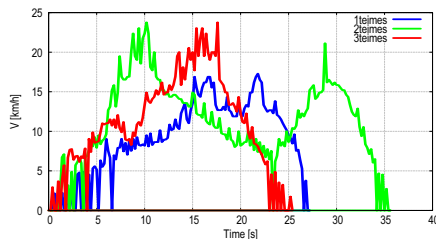


Fig.11 Speed at the time of body weight 100kg boarding

ントローラ，旋回用のハンドル，車いすと駆動システムを接続するジョイントとなっており，それぞれ Fig. 8 に示される位置に固定されている．これらの部品を接続するフレームは既存の機器から代用しているものと，新たに設計したもので構成され，素材は SUS303 を用いている．しかし，駆動系と車いすを接続するジョイント機構の保持力が弱かったため，前輪を持ち上げた状態を維持できない．よって，この代用機では前輪が地面に接触した 5 点接地となった．

#### 4. 実機検証

2.3 節で行った走行時における負荷導出は Table 1 に示される条件で駆動システム装着時の車いすを走行させたときにおける速度を導出するシミュレーションより行った．このシミュレーション結果が実機でも妥当である事を確認するために，走行検証を行う．走行検証に当たり，走行する場所や路面の状況をシミュレーションに近づけるために，走行検証の条件を定める．条件に従い走行検証を行った結果をまとめる．

##### 4.1 走行検証の条件

シミュレーションにおいて想定した場所は乾いたコンクリートで舗装された路面である．この道を停止状態から目標速度までランプ状の波形で加速した場合，所要時間は 20 秒であるため，50 m 程度の直線が必要である．加えて，現状の道路交通法によると，定格出力 1.0 kw の動力がつけられた機器を走行することが出来ない．以上のことを考慮した結果，大学敷地内のグラウンドを使用した．また，今回は 60 kg, 70 kg, 100 kg の健康者を被験者とする．計測方法は 3 人の被験者が交互に実機に登場し，停止状態から入力を加えて加速し，最高速度に達した地点で入力を弱めることにより，停止状態からの加速を計測する．

#### 4.2 検証結果

60 kg, 70 kg, 100 kg の搭乗者が行った計測結果をそれぞれ Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11 に示す．Fig. 9 より，60 kg の被験者は全ての試行において 10 秒程度で 30 km/h に達している．70 kg の被験者は Fig. 10 より 1 回目の試行では瞬間的に 30 km/h に 10 秒ほどで達している．しかし，2 回目と 3 回目の試行では 10 秒以上入力を加えたとしても速度は約 25 km/h であり，目標速度に達していない．100 kg の被験者は Fig. 11 より全ての試行において 20 km/h 程度の速度まで出力されることがわかる．また，最高速度に達するまでの加速時間も長い結果が得られた．

以上の速度情報から，5 点接地の実機でも 70 kg 以下の方であれば 10 秒程度で停止状態から目標速度まで加速可能である．しかし，1.2 節で設定した車いす使用者のニーズを満足するものではない．

#### 5. 結論

車いすにより広範囲を気軽な移動を実現する駆動システムのモータと減速比を選定した．要求性能は 30.0 km/h で 3.40 deg の傾斜を走行する能力である．路面に接地するタイヤの数は平面を定義するために最低限必要な 3 点とし，最大積載量を 100 kg とした．課題に対してモータは定格出力 1.0 kW の DC モータを選び，平地と登坂道を走行可能とする減速比を選定した．選定した部品から構成図を作成し，操作者に負担を与えないように質量の大きなモータとバッテリーボックスを操舵軸とフレームにそれぞれ配置された駆動システムの設計を行った．この駆動システムを使用し，直線距離 50 m の乾いたコンクリート上の平地を走行する走行検証を行った．結果，70 kg 以下の方であれば目標速度で走行可能であることを確認した．今後は 100 kg の搭乗者が目標速度で走行可能とするべく，DC モータのモータドライバ製作と，3 点接地を可能とするジョイント機構を製作し，設定した車いす使用者のニーズを満足する改良を行う．

#### 参考文献

- (1) 瀬戸市，瀬戸市障害福祉に関するアンケート 調査報告書，p.10, 2014.
- (2) 村田稔，車イスから見た街，岩波書店，vol.238,1994.
- (3) 垣本 映，松田 英夫，関口 行雄，介助型パワーアシスト車いすの開発，精密工学会誌，vol.65,no.8,pp.1126-1130,1999
- (4) 木原啓太，公道を走行可能な車いす用脱着式駆動システムの機構設計，東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 卒業論文,2016
- (5) 国土交通省，駐車場等への充電施設の設置に関するガイドライン,2012.
- (6) 日本開発構想研究所，日本の斜面都市
- (7) 高橋友香，江部紀美子，真砂涼子，本道子和子，川村佐和子，肢体不自由養護学校児童・生徒の身長・体重からみた発育の実態，東京保健科学学会誌，vol.5,no.2,pp.53-60,2002