片漕ぎ型パワーアシスト車いすの提案と走行制御シミュレーション*

青島伸一^{*1}, 橋本靖治^{*2}
竹内亨^{*2}, 白石昌武^{*3}Proposal and Simulation of One-Hand Drive Type Wheelchair
with Power Assist FunctionShin-ichi AOSHIMA, Yasuharu HASHIMOTO,
Toru TAKEUCHI and Masatake SHIRAISHI

Various one-hand drive type wheelchairs have been developed for persons who can use only right or left arm. However, there was not an one-hand drive type wheelchair with a power assist function. So, in this paper, we propose for several mechanisms and control methods of such a wheelchair. Then, the simulation of linear and circular tracking control was performed for the proposed wheelchair. The result showed the validity of the proposed control method.

Key Words: Wheelchair, Power Assist, Mechanism, Control

1. はじめに

現在, 高齢化社会は着実に進行しており, それに伴って, 病院, 老人ホームそして各家庭における車いすの需要は確実に増加している. 車いすは大きく分けて手動, 電動の二つに分けられる. それぞれ, 使用者の障害に適した形状, 機能を有する多種多様な車いすが研究⁽¹⁾, 開発⁽²⁾されている. 最近では, 人力と電動機の力を両方使って走行するハイブリット型⁽³⁾あるいはパワーアシスト型車いす⁽⁴⁾と呼ばれるものが研究開発されている. このタイプの車いすは普通の電動車いすのスティックで操作するタイプに比べて, 積極に残っている身体機能は使うというコンセプトで作られており, リハビリ効果や自分で動かしているんだという満足感が味わえる点で利点がある. さて, 通常は両足に障害があり, 両手は使える. しかし, 中には脳いっ血などで半身不随となり片手だけしか使えない方がいる. それらの方のために片手で操作できる片漕ぎ型車いす⁽²⁾が開発されている. しかし, この車いすの

場合, 片手で両手分の力を出さなければいけないため, かなりの負担が片手にかかってしまうという問題点がある. そこで, 本論文では電動機で片手の負担を軽減させる片漕ぎ型パワーアシスト車いす⁽⁵⁾⁽⁶⁾を提案し, 機構と制御に関して検討を行った. さらに, 走行制御シミュレーションにより有効性を検討した.

2. 片漕ぎ型人力車いす

まず, 現在市販されている片漕ぎ型人力車いすに関して簡単に説明を行う. 片漕ぎ型人力車いすの種類は大きく分けて次のような三つのタイプに分かれる. なお, 本論文では, 半身不随の方の場合で健康な側を健側, 麻痺している側を患側と呼ぶことにする.

(1) 一ハンドリング駆動タイプ

ハンドリングを進みたい方向へ傾けて回すことにより, 前キャストの角度を変え, 任意の方向に走行できる.

(2) 二ハンドリング駆動タイプ

健側にハンドリングが2本あり外側のリングを回転させると, 患側の車輪が駆動し, 内側のリングを回転させれば健側の車輪が駆動する.

両輪のバランスを取りながら走行するが, 操作はかなりの熟練と練習が必要である.

* 原稿受付 1996年9月4日.

^{*1} 正員, 茨城大学工学部 (〒316 日立市中成沢 4-12-1).^{*2} 茨城大学大学院.^{*3} 茨城大学工学部.

(3) レバー駆動タイプ

(a) 操縦レバーを進みたい方向へ漕ぐように動かすことにより、左右の車輪の角速度の比率が変わり前後左右 360° 自由自在に走行できる。

(b) 操縦レバーを前後に操作しながらレバーを進みたい方向に回転させることで前キャストの角度を変え、任意の方向に走行できる。

このように各種片漕ぎ型車いすが開発されているが、片手で操作するためかなりの力が必要で高齢者などのために少ない力で走行できる車いすが望まれている。

3. 片漕ぎ型パワーアシスト車いすの提案

本論文ではトルクセンサを用いたトルクセンサ型の片漕ぎ型パワーアシスト車いすと、トルクセンサを用いず、角速度センサのみを用いる角速度センサ型片漕ぎ型パワーアシスト車いすの二つを提案する。以下にその概要を説明する。

(1) トルクセンサ型

図1にトルクセンサ型の片漕ぎ型パワーアシスト車いすを示す。この車いすは左半身不随者用である。図に示すように、操作する右側(健側)の車輪とハンドリムの間にトルクセンサを設置し、健側の車輪操作時に測定されたトルクと同じトルク(直線走行)あるいは少し異なったトルク(曲線走行)を患側の車輪を駆動するモータに発生させる。それにより、片側車輪のみを操作した場合でも、直線、曲線走行を可能にする。ただし、左右の構造が異なるため、重心がずれ、慣性モーメントも左右で異なるため、同じトルクを左右の車輪に加えても直進しないで多少のずれが生じると考えられる。しかしPID制御を使えば修正できると考えられる。この場合、健側車輪はパワーアシストされていない。健側車輪も操作時にパワーアシストする場合には、健側車輪操作時に測定されたトルク τ の α 倍のト

ルク $\alpha\tau$ を健側車輪を駆動するモータに発生させ、トルク $(1+\alpha)\tau$ を患側の車輪を駆動するモータに発生させる。

(2) 角速度センサ型

図2に角速度センサ型の片漕ぎ型パワーアシスト車いすを示す。この車いすはトルクセンサ型車いすからトルクセンサを外した構造となっている。したがって、このタイプは比較的高価で取付方法が難しいトルクセンサがいらないという点が利点である。この角速度センサ型の片漕ぎ型パワーアシスト車いすは制御方法によってさらに次の二つに分かれる。

(a) フィードバック制御方式

直線走行の場合をはじめに説明する。直線走行を行うためには左右車輪の角速度が同じになればよい。そこで、操作する右車輪の角速度を左車輪角速度の目標値とし、左車輪の角速度を制御量とする。そして、制御量を目標値に追従させるように角速度フィードバック制御を行う。しかし、走行面からの外乱などにより、角速度フィードバックだけでは正確な直進走行はできない。そこで、車いすの位置と角度もフィードバックすることにより直線軌道を追従させる。実際の制御システムでは左右の車輪の角速度はエンコーダによって測定された角度から計算でき、車いすの位置と角度は左右の角速度から容易に計算できる。曲線走行の場合は角速度フィードバックに関しては目標値を右車輪の角速度より少し小さくしたり(左旋回)、大きくしたり(右旋回)することにより実現できる。

(b) フィードフォワード制御方式

この制御方法の原型は駆動モータが左右両輪に取付けられている自立型の独立二動輪操舵型移動車の制御方法⁽⁷⁾としてすでに提案されている。本論文では上記制御方法を片漕ぎ型パワーアシスト車いすの走行制御用に構成し直し適用した。その方法について以下に簡単に説明する。

Fig.1 One-hand drive type wheelchair with torque sensor

Fig.2 One-hand drive type wheelchair with only angular velocity sensor

健側の右腕で右車輪を回転させたときに測定された右車輪の角速度と左車輪の角速度の時系列データを用い、患側である左車輪の角速度をある値にするために必要な、左車輪を駆動するモータトルクを計算し、そのトルクをモータに生じさせる。この計算には車いす本体、搭乗者、車輪、およびモータの重量、慣性モーメントが考慮される。この制御方法により右車輪のみを操作した場合でも、左車輪の角速度を制御することができ、直線、曲線走行が可能となる。直線走行の場合には左右角速度が等しくなるように制御する。また、曲線走行の場合には目標とする曲線(円)軌道に沿うように、左車輪角速度目標値を右車輪角速度の比例倍になるように設定し、制御すればよい。

以上述べたように、本論文で提案した車いすは構造、制御方式により三つのタイプに分かれるが、それぞれ長所、短所があると考えられる。トルクセンサ型では比較的高価で取付方法が難しいトルクセンサを使用しなくてはならず、左右の構造が異なるため同じトルクを発生させても完全に直進走行せず、ずれが生じると思われる。しかし、微妙な右手の操作トルクを検知してくれるため感度の高い操作性が実現できる可能性がある。角速度センサ型のフィードバック制御方式ではトルクセンサを使用せず構造が簡単になり、制御方式も簡単に実現できるため実用的だと思われるが、反面、フィードバック制御のみであると応答性が悪く角速度誤差が大きくなり直進走行性が悪くなり蛇行してしまう可能性がある。これらの方式に対して、角速度センサ型のフィードフォワード制御方式ではトルクセンサを使用しないので構造が簡単になり、車いす本体、搭乗者、車輪、およびモータの重量、慣性モーメントが考慮されフィードフォワード制御が行われるので応答性が速くなり操作性がよくなると考えられる。そこで、提案したなかで最も構造が簡単で走行特性がよいと考えられる角速度センサ型のフィードフォワード制御方式に関して走行制御シミュレーションを行い、有効性を確認することにする。走行制御シミュレーションを行うためには車いすの動特性が必要になる。そこで4章では車いすの動特性について述べる。

4. 車いすの動特性の解析

本章では、走行制御シミュレーションを行うために、車いすの動特性の解析を行う。図3、4に車いすの運動と駆動系を示す。ここで、車いすは、左右に取付けられた二つの車輪によって操作され、その車輪間の中点が車いすの重心位置とする。さらに、各パラメータの定義を表1に示す。

図3から、車いすの運動方程式は次式で表すことができる。

$$M \frac{dv}{dt} = f_r + f_l \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = T(f_r - f_l) \quad \dots\dots\dots (2)$$

また、車いすの重心位置における速度 v および角速度 ω は次式で表される。

Table 1 Definition and value of parameter for wheelchair

Symbol	Definition	Value
M	Mass of wheelchair and user	80.0 [kg]
J	Moment of inertia for wheelchair	2.081 [kgm ²]
$J_{r,l}$	Moment of inertia for wheel	0.14 [kgm ²]
J_{ml}	Moment of inertia for motor	0.00045 [kgm ²]
$\delta_{r,l}$	Coefficient of friction for wheel	0.02 [kgm ² /s]
T	Distance between right and left wheels	0.51 [m]
$R_{r,l}$	Radius of wheel	0.3 [m]
γ_l	Gear ratio of left wheel	39
τ_{wr}	Torque by right hand	
τ_l	Torque of left motor	
v	Velocity of center of gravity for wheelchair	
$v_{r,l}$	Velocity of wheel	
ω	Angular velocity of center of gravity for wheelchair	
$\omega_{r,l}$	Angular velocity of wheel	
ω_{ml}	Angular velocity of left motor	
$f_{r,l}$	Drive force of wheel

Fig. 3 Motion of wheelchair

Fig. 4 Drive system of wheelchair

$$v = \frac{R_r}{2} \cdot \omega_r + \frac{R_l}{2} \cdot \omega_l \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\omega = \frac{R_r}{T} \cdot \omega_r - \frac{R_l}{T} \cdot \omega_l \quad \dots\dots\dots (4)$$

式(3), (4)を微分して次式が求められる。

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{2} \left(R_r \cdot \frac{d\omega_r}{dt} + R_l \cdot \frac{d\omega_l}{dt} \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{T} \left(R_r \cdot \frac{d\omega_r}{dt} - R_l \cdot \frac{d\omega_l}{dt} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで、式(1), (2)から f_r, f_l について求めると、次式(7), (8)が求められる。

$$f_r = \frac{1}{2} \left(M \cdot \frac{dv}{dt} + \frac{J}{T} \cdot \frac{d\omega}{dt} \right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$f_l = \frac{1}{2} \left(M \cdot \frac{dv}{dt} - \frac{J}{T} \cdot \frac{d\omega}{dt} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

式(7), (8)に式(5), (6)を代入して整理すると、次式(9), (10)が求められる。

$$f_r = \frac{1}{2} \left\{ R_r \left(\frac{M}{2} + \frac{J}{T^2} \right) \frac{d\omega_r}{dt} + R_l \left(\frac{M}{2} - \frac{J}{T^2} \right) \frac{d\omega_l}{dt} \right\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$f_l = \frac{1}{2} \left\{ R_r \left(\frac{M}{2} - \frac{J}{T^2} \right) \frac{d\omega_r}{dt} + R_l \left(\frac{M}{2} + \frac{J}{T^2} \right) \frac{d\omega_l}{dt} \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

また、図4から車いすの駆動系の運動方程式は次式で表される。

$$\tau_{wr} = J_r \cdot \frac{d\omega_r}{dt} + \delta_r \omega_r + R_r f_r \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\tau_{li} = J_{li} \cdot \frac{d\omega_{li}}{dt} + \frac{1}{\gamma_i} \left\{ J_l \cdot \frac{d\omega_l}{dt} + \delta_l \omega_l + R_l f_l \right\} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式(11), (12)に式(9), (10)を代入して整理すると、最終的に次式(13), (14)が求められる。

$$\tau_{wr} = A \cdot \frac{d\omega_r}{dt} + C \cdot \frac{d\omega_l}{dt} + E \cdot \omega_r \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\tau_{li} = B \cdot \frac{d\omega_l}{dt} + D \cdot \frac{d\omega_r}{dt} + F \cdot \omega_l \quad \dots\dots\dots (14)$$

ここで、各係数 A, B, C, D, E, F は以下のように定義する。

$$A = J_r + \frac{R_r^2}{2} \left(\frac{M}{2} + \frac{J}{T^2} \right)$$

$$B = \frac{1}{\gamma_i} \left\{ \gamma_i^2 J_{li} + J_l + \frac{R_l^2}{2} \left(\frac{M}{2} + \frac{J}{T^2} \right) \right\}$$

$$C = \frac{R_r R_l}{2} \left(\frac{M}{2} - \frac{J}{T^2} \right)$$

$$D = \frac{1}{\gamma_i} \left\{ \frac{R_r R_l}{2} \left(\frac{M}{2} - \frac{J}{T^2} \right) \right\}$$

$$E = \delta_r$$

$$F = \frac{1}{\gamma_i} \cdot \delta_l$$

式(13), (14)を用いることにより、左右車輪にある角速度を生じさせるための右手と左モータが出すべき

トルク値を算出することができる。

また逆に、右手と左のモータが発生するトルク値から式(13), (14)の微分方程式を解くことにより左右車輪の角速度を算出できる。

なお、式(1)～(14)は、文献(7)の独立二輪操舵型移動車の走行制御における動特性、トルク計算の式を引用あるいは参考にして導出した。

5. 走行制御シミュレーション

本章では、提案した片漕ぎ型パワーアシスト車いすの走行制御シミュレーションを行う方法について述べる。走行制御シミュレーションの座標系を図5に示す。車いすは XY 平面上を走行するとする。時刻 t における車いすの位置を $(X(t), Y(t))$ 、車いすの速度を $V(t)$ 、角速度を $\omega(t)$ 、進行方向と X 軸とのなす角を $\theta(t)$ とする。速度 $V(t)$ 、角速度 $\omega(t)$ は左右の車輪角速度から式(3), (4)で求まる。すると次の三つの式から進行方向と X 軸とのなす角 $\theta(t)$ 、車いすの位置 $(X(t), Y(t))$ が計算できる。したがって、各時刻ごとの車いすの左右の

$$\theta(t) = \int_0^t \omega(t) dt \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$X(t) = \int_0^t v(t) \cos \theta(t) dt \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$Y(t) = \int_0^t v(t) \sin \theta(t) dt \quad \dots\dots\dots (17)$$

車輪角速度が求まると車いすの位置と進行方向が逐次計算でき、シミュレーションが行える。

次にフィードフォワード制御方式を適用した走行制御シミュレーションについて説明する。図6に走行制御シミュレーションのブロック線図を示す。まず、提案した片漕ぎ型パワーアシスト車いすで直線走行する場合を考える。搭乗者は健側の右腕で右車輪を回転させる、このとき右車輪の角速度は ω_r だとする。直線走行させるには左車輪の角速度 ω_l は右車輪の角速度 ω_r と等しくしなければならない。そこで左車輪の角速度の目標値 ω_{ld} を ω_r とする。左車輪の角速度を

Fig. 5 Coordinates for traveling control simulation

Fig. 6 Block diagram of traveling control simulation

ω_r とするためにモータが発生すべきトルク τ_l は車いすの動特性を表す式(14)を計算することにより求まる。理想的にはこのトルクを与えれば左車輪は角速度 ω_r となり、直線走行を行うはずである。しかし、実際の車いすの走行制御では各種外乱やパラメータ誤差などにより、走行軌跡は直線上からずれる(このパラメータ誤差の影響をシミュレーション上で実現する方法は本章の最後に述べる)。そこで、そのトルクに、走行軌跡のずれを修正するためのPI制御からの修正トルク $\Delta\tau_l$ が加算される。加算された後のトルクが加えられたときの左車輪の角速度は式(14)を先ほどと逆に使い、加算された後のトルクを左辺 τ_l に代入し、 ω_l に関する微分方程式と考え解くことにより求まる。なお、走行制御シミュレーションプログラムでの微分方程式の解法には、ルンゲクッタ法を用いた。

次に、以上により求められた実際の走行時の左右車輪角速度 ω_r , ω_l の値から、式(3)と(4)を用いて片漕ぎ型パワーアシスト車いすの重心位置における速度 v と角速度 ω を算出する。次に、求められた速度 v と角速度 ω の値から、式(15), (16), (17)を用いて最終的に片漕ぎ型パワーアシスト車いすの走行軌跡を求めることができる。

目標軌道が直線である場合には、上記のように左車輪角速度目標値 ω_{ld} を右車輪角速度 ω_r と等しい値に設定する。また、目標軌道が曲線である場合には、左車輪角速度目標値 ω_{ld} を目標軌道曲線に沿うように右車輪角速度 ω_r にある比例定数 k を掛けた値に設定し同様にシミュレーションを行う。

実際の車いすで走行制御を行わせる場合、車いすの動特性を表す式(14)に含まれるパラメータ B , D , F は実測値に基づき計算されるか、実験によるパラメータ同定によって求める。したがって、その求められたパラメータ値には真値に対して多少の誤差が含まれるはずである。そこで本シミュレーションでは、図6の車いすの動特性のトルク値を求めるときに使う式(14)

Fig. 7 Angular velocity input to right wheel

Fig. 8 Torque that motor of left wheel should generate

(左側のブロック)のパラメータ B , D , F には真値に何%かの誤差を含ませたものを用い、逆にトルクから ω_l を求めるときに使う式(14) (右側のブロック)のパラメータ B , D , F には真値を用いる。

6. 走行制御シミュレーション結果

本章では前述した走行制御シミュレーション方法により求めた、片漕ぎ型パワーアシスト車いすの直線走行、曲線走行における走行制御シミュレーション結果を示す。

(1) 直進走行制御シミュレーション結果

直線走行であるので入力する左右車輪角速度 ω_r と ω_l は等しく設定する。このときの健康腕側である入力する右車輪角速度 ω_r を実際の車いすの低速走行時の車輪角速度にできるだけ近くなるように次式で近似した。ここで、右車輪速度は $v_r=1.0$ m/s とした。

$$\omega_r = |5.2 \sin(\pi t)| \quad \dots\dots\dots (18)$$

この右車輪へ入力する角速度 ω_r を図7に示す。

入力された右車輪角速度 ω_r (図7)から式(14)を用い、左車輪が発生すべきトルク値 τ_l を算出する。そのトルク値 τ_l を図8に示す。

まず、フィードバック制御(PI制御)なしでシミュレーションした結果を図9に示す。なお、車いすの動

Fig. 9 Trajectory of linear traveling (without PI control)

Fig. 10 Trajectory of linear traveling (with PI control)

特性のトルク値を求めるときに使う式(14) (図6の左側のブロック)のパラメータ B , D , F には真値に20%の誤差を含ませた。

図9に示すようにPI制御を行わない場合だと、10 mの移動距離で約8 cm 目標直線軌道 ($y=0$) からずれて走行してしまう。また、走行軌跡は直線ではなくわずかに振れながら走行している。このずれはパラメータに20%の誤差を含ませたためである。誤差を含ませない場合には目標直線軌道に一致する。次に、PI制御を行った場合の走行軌跡を図10に示す。

図10に示すように、PI制御を行うことにより、ほぼ目標直線軌道に沿う直線走行が可能になる。以上の結果より、直線走行に関して、本制御方法の有効性が確認された。

(2) 曲線走行制御シミュレーション結果

次に、円を目標曲線軌道とした場合について走行制御シミュレーションを行い、有効性を確認する。円軌道を走行させるためには左車輪角速度目標値を次式で示すように右車輪角速度の比例倍に設定すればよい。

$$\omega_{ld} = k\omega_r \quad \dots\dots\dots (19)$$

Fig. 11 Torque that left wheel should generate

ここでは、半径 r の円軌道に沿って走行するような比例定数 k の値を計算し、左車輪角速度目標値 ω_{ld} を式(19)により設定する。

ただし、完全に半径 r の円軌道に沿って走行するような正確な比例定数 k を使い設定し、走行制御シミュレーションを行うと、直線走行と同様にパラメータ間に20%の誤差を入れた場合でも、PI制御なしで円軌道に沿った走行軌跡が求められる。実際の車いすでの走行制御では路面からの外乱などによりフィードフォワード制御だけでは円軌道に追従できず、どうしてもPI制御が必要になると考えられる。そこで、本シミュレーションではPI制御の有効性を確認するために、意図的に目標値となる軌道曲線から少しはずれる k 値を使い左車輪角速度 ω_l を設定した。

曲線走行において図7の右車輪角速度 ω_r を入力したときに算出されるトルク値 τ_l を図11に示す。

図11は、進行方向へ10 m移動したときに左へ1 m曲がるような比例定数 k 値 ($k=0.988$) を使い左車輪角速度 ω_l を設定したときの左車輪が発生すべきトルク値 τ_l を示している。なお右車輪角速度 ω_r は図7に示したものをを用いた。

図12~14はそれぞれ半径10 m, 5 m, 1 mの円を目標曲線軌道として走行制御シミュレーションした結果である。

各図中にPI制御を行った場合と、行わない場合の結果を示した。なお、円軌道の走行制御シミュレーションでは計算が多少複雑になるため、図6に示してある θ に関するP制御は行わなかった。また、前述したが、PI制御を行わない曲線走行の軌跡が目標軌道曲線からずれているのはPI制御の有効性を確認するために意図的に目標軌道曲線に沿わないような左車輪角速度 ω_l 値 (k 値) を設定したからである。

本シミュレーションで用いたPI制御のゲインは試行錯誤によりそれぞれの半径で最適と思われるゲイン

Fig. 12 Result of circular traveling control simulation (desire radius 10 m)

Fig. 14 Result of circular traveling control simulation (desire radius 1 m)

Fig. 13 Result of circular traveling control simulation (desire radius 5 m)

としたが、回転半径が小さくなるにつれ、目標円軌道と走行軌跡の誤差が大きくなっている。しかし、円軌道にほぼ一致しており、円軌道においてもフィードフォワード制御およびPI制御の有効性が確認された。また、利用者の体重の違いがどの程度影響するか検討するために、最も影響がでると考えられる図14の半径1 mの場合で車いすと使用者の質量 M を50~100 kgの範囲で変化させ走行制御シミュレーションを行った。その結果、いずれの走行軌跡も $M=80$ kgとした図14の軌跡とほぼ一致することがわかった。したがって、本走行制御法を用いた場合、利用者の体重の違いは走行軌跡にほとんど影響せず有効であることがわかった。

上記のシミュレーションで各半径での円軌道走行が可能であることがわかったが、実際の車いすでは、自由自在にいきたい方向に片手で走行できなければならない。そのためには、走行中に片手操作で式(19)の比例定数 k の値を無段階、段階的に変化させることができる電氣的・機械的機構をハンドリム自身あるいは周辺に付加することにより可能であると考えられる。例えば、ハンドリムに引張力を検知するセンサを取付けることにより実現できる。ハンドリムを内側にすなわち体の方向に引張りながら回した場合はその引張力に応じ比例定数 k が1より小さい値となり、左に曲がり、ハンドリムを外側にすなわち体から離れる方向に引張りながら回した場合はその引張力に応じ比例定数 k が1より大きな値となり、右に曲がり、引張力を加えないで回した場合は $k=1$ となり直進する。

7. ま と め

本論文では片麻痺者のための、電動機で片手の負担を軽減させる片漕ぎ型パワーアシスト車いすを提案し、その走行制御システムを各種提案し、そのうち最も有効であると考えられる、車いすの動特性を使ったフィードフォワード制御とフィードバック制御を併用した走行制御システムに関して走行制御シミュレーションを行った。その結果、直線走行、円軌道走行とも良好な軌跡追従性が実現できており、本提案の走行制御システムの有効性が確認された。今後は実機で検討を行い有効性を確認する予定である。

最後に、本研究を行うに際し、リハビリ訓練等を見学させていただいた秦病院渡辺晃院長をはじめとする

職員の皆様方に深甚の謝意を表す。

文 献

- (1) 米田隆志・舟久保熙康, 車椅子・歩行介助装置の現状と課題, 日本ロボット学会誌, **11**-5 (1993), 44-48.
- (2) 株式会社松永製作所, 車いすカタログ, (1995).
- (3) Cremers, G. B., Hybrid-powered wheelchair: a combination of arm force and electrical power for propelling a wheelchair, *J. Medical Eng. Technol.*, **13**-1/2 (1989), 142-148.
- (4) ヤマハ車いす用電動装置開発, 日刊工業新聞, (1995-7-14), 15.
- (5) 青島伸一・橋本靖治・竹内亨・白石昌武, 各種パワーアシスト型車いすの提案, 日本機械学会茨城講演会講演論文集, (1995), 13-14.
- (6) 青島伸一・竹内亨・橋本靖治・白石昌武, 片漕ぎ型パワーアシスト車いすの提案, 第13回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, (1995), 1027-1028.
- (7) 飯田重喜・油田信一, 独立二輪操舵型移動車の走行制御, 第8回ロボット学会学術講演論文集, (1990), 959-962.