補助動力付き手動車いす

垣 本 映* 舟久保 昭 夫* 鈴 木 重 信* 関 口 行 雄*

Development of Wheelchair with Assistive Power Unit

Akira KAKIMOTO*, Akio FUNAKUBO*, Shigenobu SUZUKI*, Yukio SEKIGUCHI*

*Department of Rehabilitation Engineering, The Polytechnic University

ABSTRACT

A wheelchair with an assistive power unit employing a differential gear is now under development. The wheelchair is specially aimed to those who have a little residual power to drive a hand driven wheelchair, but often use a powered wheelchair. People who have C5 or C6 level spinal cord injury or the aged who have lower limb impairment are initially considered. The purpose is to encourage them to keep their residual ability or even to improve it by adjusting the assistive power.

A prototype has been developed and tested on experimental basis. The prototype has one DC servo motor (120W) and the output torque is transmitted to rear wheels through a differential gear, Oldam's shaft couplings and electromagnetic clutches. Applying voltage to the clutches turns the land-driven wheelchair into a powered wheelchair. The control system is utilizing an 8 bit single chip microcomputer and rotation angle sensors. Velocity feedback control is installed in the software.

In addition to performance tests following the JIS test procedures, 11 subjects, hand-driven wheelchair users tried the prototype and found its operation easy and that it is helpful when ascending or descending a slope.

Key Words

Wheelchair, Powered wheelchair, Assistive Power, Differential gear, Microcomputer Control

1.はじめに

平成3年度の厚生省の調査によれば、肢体不自由障害者の総数は約155万人であった¹⁾。ある車いすメーカーによると、このうち車いすを利用する障害者は約25万人で、リハビリテーションや下肢機能の低下のため使用する人の約25万人と合わせると計約50万人が車いすを使用して

いるそうである。今後、我国の急速な高齢化を考えるとその数は急激に増加すると考えられる。移動支援機器としての車いすに対する個々の多様なニーズも高まってくるであろう。

現在の車いすは大きく、手動車いすと電動車いすに分けられる。手動車いすは軽量で折り畳みができるものもあり運搬が容易である。一方、電動車いすは下肢だけでなく上肢の不自由な人にとって移動を確保する上できわめて有効な機器である。しかしながら、人も含めて重量が100

*正会員 職業能力開発大学校 福祉工学科
〒229 神奈川県相模原市橋本台4-1-1

kgを越え、階段や段差などで介助する場合たいへん重く、普通乗用車への搭載も困難である。また電動車いすを使用する場合、わずかな操作力で使用できる反面、現在保有している上肢の残存機能さえも低下させてしまうことが懸念される。さらに、段差やスロープなどを移動する際に補助を必要とするという人に関して、市販の電動車いすほどの駆動力を必要としない場合が多いと考えられる。

また、手動車いすを利用していた障害者が、加齢にともなって上肢機能が低下し、使用する場所によっては補助的な動力が必要となってきた。ここで手動車いすから電動車いすに乗り換えてしまうことは、本人にとって保有機能の低下をもたらすといった肉体的な問題ばかりでなく、自信を失うといった精神的な問題をも生じ得る。これは筋ジストロフィーなど進行性疾患の患者にもあてはまる⁵⁾。

これらを背景として、介護用を兼用するものも含め、補助輪1輪の補助動力装置や前輪や後輪を生かした2輪型の補助動力装置が開発、商品化されてきている。しかしながら、旋回性能の面で回転半径が小さくとれなかったり、手動による操作と補助による操作の切り替えが容易でないなどの難点があった。

これを踏まえ、我々は手動車いすに補助動力装置をつけた自操式の補助動力付き手動車いすを試作した。本研究ではその構成、仕様、機構、駆動方法、また工学的評価、車いす利用者による評価の方法とその結果につき報告する。

2. 対象者と使用環境、使用方法

補助動力付きの車いすを設計する際に、対象とする人とその使用環境、並びに使用方法を明確化する必要がある。本研究では対象者として、屋内などの平坦な床面で自操式の車いすをわずかでも操作することができるだけの保有能力を持っている人、すなわち脊髄損傷レベルでC5、C6レベルかそれよりも下肢運動機能障害が軽度な人、またそれに準ずる人（高齢者など）とした。

使用環境に関しては、スロープ、段差など補

助が必要とされることが多い屋外での使用を主に対象とした。

使用方法については、補助の必要をトルクセンサ、速度センサなどで検知し、介助を自動化する制御方法も考えられるが、ここでは使用者の判断で補助の有無を決め、スイッチにより、走行速度を設定し、その補助量を変えることにした⁷⁾⁸⁾。

3. 構 成

3.1 仕 様

2までに述べた背景を踏まえ、補助動力付き車いすを試作するにあたり次の要件を検討した。

- ①小型軽量であること。
- ②補助動力による動作と手動動作が簡単に切り替えられること。
- ③補助動力量が使用者の車いす駆動特性に合わせて変えられること。
- ④低価格に抑えられること。

この結果、以下の点を設計仕様として決定した。

- ①駆動源としてDCモータを1つだけ使用すること。
- ②差動歯車機構を使用し軸直結型で後輪2つを駆動すること。
- ③電動クラッチを用いて手動、補助の切り替えを行うこと。
- ④駆動電圧等を変えて補助動力量を調節できること。
- ⑤市販の車いすを基台とすること。
- ⑥操舵は使用者が行うこと。

以上により試作した車いすの構成を図1に示す。主な仕様を表1に示す。

Fig.1 Configuration of wheelchair with assistive power unit

Table.1 Specifications of wheelchair with assistive power unit

Actuator	Gear-headed DC motor 24V 120 W
Differential gear	Gear ratio 5 : 2 Module 1.0 (mm)
Clutch	Electromagnetic off : hand-driven on : power assist
Physical dimensions	Length : 1100 (mm) Height : 880 Width : 630 Seat width : 400
Battery	6V × 2, 12V × 1
Weight	36.5 kg

3.2 機構と要素

本研究でフレームとして使用した車いすは駆動軸の取付が容易な片麻痺者用のものである。

一般的な車いすではフレームのパイプから突き出た片持ち軸に、車輪がハブを介して滑り対偶をなす構造となっている。これに対して片麻痺者用のものは、健側から患側の後輪を軸を介して駆動する構造となっているため、軸を取り付けるためのベアリングが溶接で固定されており、追加工が少なく済むのでコストが抑えられる。

動力はDCモータからオルダム継ぎ手を介して減速比5 : 2、モジュール1、S45C製の差動歯車機構に伝えられる。さらにこの出力が左右の駆動軸にオルダム継ぎ手を介してそれぞれ伝達され、電動クラッチを経て左右の駆動輪に伝達可能である。クラッチが励磁されると軸が接続され、駆動トルクが伝達される仕組みである。

補助動力の駆動源として使用するモータの選択に関しては文献²⁾より日常生活に必要な駆動力が約30N・mであること、傾斜12分の1、路面抵抗0.015のスロープ（建築基準の推奨値）を75kgの人が車いす35kg（基礎の車いす20kg、補助機構15kgとした）に乗って、毎秒1mの速度（人がゆっくり歩く速度）で移動できるとする時の計算上の必要出力132Wを根拠として、定格

出力120W（最大240W）、定格トルク約20N・m（最大約120N・m以上）のギヤヘッド付き24VDCモータを使用することにした。

電動クラッチに関しては小型で伝達トルクの高い24V動作のツースクラッチを使用することにした。最大伝達トルクは片側で約25N・mある。

バッテリーは重量効率が優れた小型軽量のシールド電池を使用し、モータの定格電流で使用した場合に、30分以上連続使用可能な容量として12V7Ah(6Vは6Ah)のものをを用いた。

駆動機構をフレームに取り付けるにあたって剛性を上げ、確実に動力が伝達されるよう今回は脱着化を考慮しないことにした。板金加工した板厚2mmのアルミニウムをフレームに固定し、その上に駆動機構を取り付けている。

試作した補助動力機構を取り付けた車いすの平面図と左側面図を図2に示す。駆動機構は座面の下にすっぽりと納まっている。

Fig.2 Top view and left side view

1.Frame 2.Bracket 3.Caster 4.Rear wheel
5.Pushrim 6.Base 7.DC motor 8.0.01dam's
shaft coupling 9.Differential gear 11.Ball
bearing 12.Sealed battery 13.Control circuit
14.Switch box 15.Button for speed set
16.Button for stop

全重量はバッテリーと制御装置を含めて36.5 kgとなり市販の電動車いすのおよそ半分である。

3.3 制御装置

補助動力装置の仕様で述べたように、本研究で目標にしている車いすは、仕様者の駆動特性に合わせて補助動力量を加減するというのである。このためには、車いすを使用している人がどのくらいの駆動力を車いすに作用させているかを知る必要がある。すなわち、トルクセンサが必要になってくる。しかし、トルクセンサの選択、取付法、信号伝送法など解決しなければならない課題が多い。

本報告では、滑らかな加減速を行うこと、負荷変動による速度変化を抑えることにより、乗り心地を良くするため、速度フィードバック制御を実現することにした。

当初、機構、動力の動作を確認するなどの基礎実験を行うため、補助動力量を3段階設定できるよう、リレーによるモータ駆動電圧切り替え回路(12, 18, 24V)を製作した。しかしながら、電圧による駆動電圧設定だけでは負荷変動を生じたときに走行速度も変化してしまう。スロープを上り切った時など、急に加速して危険である。また起動時や停止時には加減速なしでは慣性のための衝撃が大きく、機械システムにダメージを与える可能性がある。そこでワンチップマイクロコンピュータを用いた制御回路を作成し、連続的な速度制御が行えるようにした。図3に制御回路のブロック図を示す。

Fig.3 Blockdiagram of control system

制御回路は使用者からの補助動力のオンオフや速度の設定を取り込むスイッチボックス、ワンチップマイクロコンピュータ回路、モータ駆動PWM信号発生回路、回転角度センサの信号を処理するカウンタ回路、パワーMOSFETを用いたモータ、ブレーキ駆動回路、シリアル通信回路からなる。シリアル通信回路は、車いす駆動時の駆動データのホストコンピュータへのアップロード、ホストから開発したプログラムのダウンロードなどに用いる。

センサとして、負荷変動時に速度をフィードバックするため、回転方向のわかる回転角度センサ(図3のEncoder)を考案した。回転角度センサは図4のように小型リードスイッチを2つ平行にならべて背もたれ部と座面の交点にあたる位置に左右1対ずつ設置し、後輪のスポークに取り付けたマグネットが接近する度に、位相の異なるパルスを出力するようにしたものである。この2つの信号の立ち上がりとしち下がりにおける片方のスイッチの動作状態を見ることにより、回転角度のみでなく回転方向も認識することが可能となる。120度おきにマグネットを配置し3分の1の回転角度(移動量にして60cm)の分解能がある。マイクロコンピュータ内のタイマと組み合わせることにより速度を求めることができる。

Fig.4 Rotation angle sensor with two micro lead switches

3.4 速度制御の方法(ソフトウェア)

使用者の体重の違いによる重量の変化や、アップダウンなど路面の状態の変化により、モータに対する負荷が変動しても、速度が大きく変

動することのないように速度フィードバック制御を行う。

このため、PWM波形のデューティ比を等価な駆動電圧に換算して、PID制御することも考えられるが、ここでは予め、負荷を変え、定常時のデューティ比と回転速度の関係を求め、これをテーブル化した。負荷を推定し、その都度テーブルを参照することにより目標速度を維持できるようにプログラムを作成した。

具体的には正の負荷（上り）を想定し、車いすに10kgから60kgまでの重り（バーベル）を乗せ、角度12分の1のスロープをデューティ比を変えて上らせ、速度をテーブル化した。また負の負荷（下り）としてはブレーキのデューティ比を変えてスロープを下らせ、速度をテーブル化した。負の負荷の有無は、速度の変化、すなわち加速度を求め、実験的な値を指標として判断する。

4. 実 験

4.1 性能試験

JIS電動車いす³⁾、またJIS手動車いす⁴⁾の性能評価方法に準じて、重心位置、走行速度、登坂能力、段差乗り越え高さ、連続走行時間を調べた。重心位置は車いす自体と砂袋のテストダミーを載せた状態それぞれで、水平面内位置はフォースプレートをを用い、鉛直方向の位置は釣り下げ法によった。走行速度は車いす台上試験機を使用し、速度設定後10秒から30秒の両後輪の平均速度として求めた。登坂試験は0度から10度の範囲で傾斜を自由に設定できるスロープを、0.5度刻みで傾斜を変えながら、その都度、体重75kgの人に乗ってもらい補助動力のみで上るよう指示した。またC7レベルの脊髄損傷者、1名に同じく、補助動力を使用して登坂を試みてもらった。段差乗り越えについては、高さの可変できるステージを1cmから1cmずつ上昇させ、前方30cmの位置から前輪で接近し乗り越えを行った。連続走行時間は平地アスファルト上を連続で走行可能な時間として求めた。

4.2 性能試験結果

重心位置は車いすだけの状態で車いす後輪軸位置から水平面前方に154mm、垂直方向で上方に40mmとなっていた。またISO規格のテストダミー²⁾(75kg)を載せた状態では同様に前方に204mm、上方に260mmとなっていた。

最大登坂角度は、補助動力だけで5度以上であった。試乗したC7レベルの脊髄損傷者（男性38歳）の場合、約8度のスロープを上ることも可能であった。

モータ駆動電圧12、18、24Vにおける走行速度、段差乗り越え、連続走行時間の結果に関しては表2に示す。

Table.2 Performance test results

Speed	Low: 2.4 km/h (12V) Middle: 3.9 km/h (18V) High: 5.2 km/h (24V)
Max. Slope Angle	> 4.8 deg (70 kg male) 8 deg with power assist (C7 male)
Bump height	30 mm (forward approach)
Continuous run time	ca. 1 hour on flat floor

4.3 速度制御の実験とその結果

アスファルト路面での平地走行、屋外12分の1のスロープの上り下りを低速（設定速度2km/h）で行わせて、速度制御の効果を記録し検討した¹¹⁾。

図5は平地走行時の速度の時間変化を示したものである。指令速度に対して行き過ぎ、戻りすぎが見られる。プログラム上の制御間隔が1回転毎で長すぎると考えられる。

図6は同様に12分の1のスロープを下る際のものである。全く制御しない場合の図7で7km/hまで加速するのと比較し、ブレーキが掛けられ設定速度に近づいているのがわかる。

図8は同様に12分の1のスロープを上る際のものである。時間0の近くで速度がバタつくのは駆動力が上昇していくが、車いすが平地から上りスロープに差し掛かって負荷が急に増加するためと考えられる。

Fig. 5 Speed as function of PWM duty ratio, with 65 kg man, on flat floor, linear motion (reference: 2km/h)

Fig. 6 Speed as function of PWM duty ratio, with 65kg man, on downslope, linear motion (reference: 2km/h)

Fig. 7 Speed as function of PWM duty ratio, with 65kg man, on downslope, linear motion (reference: 2km/h, without feedback)

Fig. 8 Speed as function of PWM duty ratio, with 65kg man, on upslope, linear motion (reference: 2km/h)

4.4 フィールドテスト⁹⁾¹⁰⁾

先のC 7レベルの方に屋内(布地カーペット, P タイル), 屋外(タイル, アスファルト)で平地直進走行, 平地回転運動を行ってもらい, 運転操作, 乗り心地に関する評価をしていただいた。

また, 神奈川県障害者能力開発校の車いすを利用している訓練生計10名(内, 女性1名)には図 9 に示すようなテストコースを, 試作した車い

Fig. 9 Field test course layout (m)

Table 3 Profile of people for trial ride of wheelchair with assistive power unit

Age	10-19	3
	20-29	5
	30-39	1
	40-49	1
Height (cm)	130-140	2
	150-160	1
	160-170	6
	170-180	1
Weight (kg)	30-40	1
	40-50	3
	50-60	4
	60-70	2
Type of impairment	Lower limb dysfunction	2
	Lumbar or thoracic spinal cord injury	6
	Cerebral palsy	1
	No answer	1
Experience of wheelchair use (year)	<1	1
	2- 3	3
	3- 4	2
	7- 8	1
	9-10	1
	12-13	2

(Total 10)

すで速度を変えて走行してもらい、アンケートに答えてもらった。表3に訓練生の年齢、身長、体重、障害種別、車いすの使用年数を示す。

尚、以上のフィールドテストにおいては、制御回路では電圧切り替え回路を用いた。

4.5 フィールドテスト結果

C7レベルの方から「手動としてはやや重い。しかしスロープの上り下り旋回が楽である」という感想をいただいた。また平地走行時の操舵は視認できるほどの蛇行はなく、この方に関して問題はなかった。旋回時など曲がる方向のブレーキを引くことで敏速に方向転換でき、手を握ることができないC7レベルの人(図10)でもわずかな操作力で旋回できることもわかった。

Fig.10 Test run by a C7 spinal cord injury male

Table 4 Answers to questionnaire (in 5 ranks)

Q1. Collaboration with power assist while driving the wheelchair

speed	Motion	difficult <-----> easy				
Low	Straight		1	1	1	7
	Turning			1	3	6
Middle	Straight	1		2	1	6
	Turning	1	1	2	3	3
High	Straight	2	1	3		4
	Turning	2	3	1	1	2

(Total 10)

Q2. Switch box operation while driving the wheelchair

speed	difficult <-----> easy				
Low			2	1	7
Middle			2	1	7
High			2	2	6

(Total 10)

スイッチの操作に関しては、当初作成したスイッチボックスでは手指の細かな動作が困難なため、キートップが小さく操作しづらいことがわかり、キートップの大きなものにし、数も4つから3つに減らした。

他方、障害者能力開発校の10名の走行テストの結果は、試乗者が比較的若いこともあって(平均25.5歳)操作を覚えるのは10分程度、旋回時に小さく回れない人が数名いたが、他の操作で特に問題はなかった。アンケートの質問と結果を表4に示す。試乗者自身も操作が全般的に容易であるという感想が多い。しかし、高速走行時の操作において特に方向転換において補助動力と協調した車いすの駆動が難しいと感じた人が半数を数えた。

5. 考 察

5.1 性能試験

(1)段差の乗り越えの高さ

JIS試験に準じると補助動力を使用しても変わらなかった。これは前輪キャスタの径が手動の車いすのもので大きさが15cmとなっていることによる。したがってこの段差に関しての補助による乗り越えは手動の車いすの前輪を利用する限り難しいと考えられる。電動車いすのように前輪を用いた段差乗り越えではなく、後輪によるアプローチと前輪キャスタ上げの動作といった手動車いすとしての乗り越え方が考えられる。

しかしながら、試作した車いすのフレームとして活用した片麻痺者用の車いすは、一般的な手動車いすのフレームの後ろにベアリングを溶接して軸を取り付けるため、3cm程度軸が後方へ移動している。このことが車いす重量の増加よりも影響が大きく、キャスタ上げと段差乗り越えを困難にしている。

実際、重心位置のデータを見れば前進時のホイールベースが約41cmに対して、テストダミー搭載時には後輪軸取付位置から前方へ204mmで、前輪と後輪での加重分担比がほぼ50%ずつとなっており、手動車いすで一般的な40:60の比から前輪の方へ負担が増加していることを裏付けている。

(2)平地直進走行

屋内Pタイル、屋外タイル、アスファルト路面など走行を行い、補助動力のみにより現状の電動車いすのように走行することが可能であった。しかし、前輪が一般の手動車いすと同様自在輪を用いているため、使用者による操舵を必要とする。操舵するだけの残存保有機能を保持していない場合には使用が困難になると考えられた。

(3)旋回動作

差動歯車機構により曲がる方向のブレーキを強く掛けると、その分の駆動力が外側に当たる後輪の駆動力に回り、旋回がスムーズに行えることがわかった。例えばJIS電動車いすの回転性能（屋外用）の所に規定されるように1.2m幅の直角路を曲がることのできる。さらにブレーキの引き方を工夫すれば回転半径も調節できる。また手動に切り替えれば一般の電動車いすにできない小回りが可能となる。ただし、レバークレーキはタイヤを削ることになりタイヤの摩耗を著しく早めるので、ドラム式のキャリパーブレーキ等に変更するのが良いと考える。

(4)スロープの上り下り

上りの際には速度が遅くなるため操舵が重くなる。狭い通路では、壁を手で押しながら操舵するなどの工夫が必要とされる。また上りから平坦路に移る場合、下りから平坦路に移る場合など、駆動モータに対する負荷が大きく変化するが、速度フィードバックを掛ける制御により設定速度に対しての変動を抑えることができた。

(5)車いすの補助動力による駆動と使用者の駆動の協調

現在は、使用者が車いすの回転に合わせる、合わせられない時は速度を変える、といった方法を取っているが、これは使用者に対して操作をわずらわしくしている。例えば車いすを駆動するピッチは一定にしてそのときの補助トルクを必要トルクに比例して出力すれば、使い心地が良好となり疲労感を低減することができのではないかと考えられる。

5.2 フィールドテスト

今回試行したフィールドテストで試乗していただいた人は、処方の際、電動車いすか手動車いすか判断の難しいC5、C6の人ではなく、ふだん手動車いすを使用している人であったが、これらの人に対してもスロープの上り下りや回転動作において補助動力を有効に活用できることがアンケートの中から明らかになった。自立を支援しようと想定した使用者の下肢障害のC5、6レベルの人に対して、この車いすが使えるかどうかは、その操舵能力の有無に関わると考えられる。

一方、一般の手動車いすに比べ重くなったこと、駆動軸の位置が後退したこと、特に高速駆動時に駆動の協調が難しいこと、登坂時に操舵が難しいことがフィールドテストからも確認された。

操作スイッチに関してはC7レベルの被験者の要望でキートップの大きなもの（φ40）に換え、またスイッチの数もモータのスイッチ、正転逆転スイッチ、クラッチのスイッチ、低・中・高の速度設定と4個あったものを緊急停止、速度設定スイッチ2つの計3個に減らした。しかし、大きなスイッチはトランスファーの際に邪魔で、特に手指の動作に問題のない使用者から不評であった。操作スイッチに関しては操作者の保有機能に合わせたものを製作する必要がある。

5.3 構造、制御に関して

段差乗り越えなど手動車いすとしての使用法を考慮する場合、補助動力機構を取り付ける車いすとしては、後輪軸の位置が背もたれ部の延長上より前にあるものがよいと考えられる。例えば、各部の調節が可能な市販のモジュール型車いすを用いれば、最大で5cm幅、5mm間隔で軸前後方向位置を調節可能で、しかも軸取り付けが可能である。

補助動力付き車いすの構造全般に関しては、スイッチボックスが大きすぎて移乗（トランスファー）の邪魔になること、駆動軸がベアリングの分だけ後退して駆動しにくいこと、ギヤ部

の騒音が大きいことなどの問題があげられる。運搬を考えると駆動機構の脱着、折り畳みも使用者の中で要望が強い。また使用者の駆動がなくてもスロープ等上れるようにとモータに120Wのものを使用した。補助が少なくともよい人にはさらに補助力を適正化することによって補助動力機構を小型化、軽量化、さらには脱着機構がより簡単になると考えられる。

制御に関しては、PWM制御により滑らかな速度制御を実現できた。さらに、回転角度センサを使用し、速度フィードバックを行うことにより、スロープの上り下りに負荷の変動による速度変化を抑えることができた。下り坂の際のブレーキのきき具合の立ち上がりが遅いこと、平地走行時の設定速度への行きすぎ、戻りすぎが大きい。ソフトウェアの改良や回転角度センサ数の増加により解決されると考えられる。負荷がかかったときに補助動力をその負荷に応じて増すといった、トルクフィードバック⁵⁾⁶⁾については今後の課題である。

6. 結 論

電動車いすを常に使用することになると、残存保有機能の低下が懸念される人を対象とし、その維持活用を図る目的で補助動力付き手動車いすを試作した。健常者、車いす利用者による試乗、改良を行った結果、次の結果が得られた。

- ①差動歯車機構を用いたことによりモータを1つにでき、軽量でかつ旋回が容易となった¹²⁾。
- ②体重75kgの人を載せ、建築物に推奨される、傾斜12分の1のスロープの上り下りが補助動力だけで可能となった。
- ③マイクロコンピュータ、回転角度センサを使用した制御回路により速度フィードバック制御が可能となり、負荷の変動に対する速度変動を抑えることが可能となった。

残存保有機能の維持活用を図るという目的は、リハビリテーションの現在の流れに適合しており、症状の固定した人ばかりでなく、リハビリテーションの過程でも補助動力付き車いすは使

用可能である。

今後は、車いす使用者からの感想の中で希望が多かった、運搬のための機構脱着化、使用者の操作機能に適したスイッチ、速度フィードバックソフトウェアの改良、また使用者の駆動力に合わせた補助動力のトルク制御につき検討していく予定である。

謝 辞

本研究において中心的に研究を行った平成4年度本校、研究課程生の内山拓哉君、フィールドテストにおいて多大なご協力をいただいた横浜リハビリテーションセンターの松野さんをはじめとする皆さん、神奈川県障害者能力開発校の皆さんに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 厚生省社会局：身体障害者実態調査，1991
- 2) 大川嗣雄，伊藤利之，田中 理，飯島浩：車いす，医学書院，1987
- 3) 日本工業標準調査会：JIS電動車いす JIS T 9203，1986
- 4) 日本工業標準調査会：JIS手動車いす JIS T 9201，1986
- 5) 片山滋友，関根正次：手動式電動車椅子の研究，バイオメカニズム学術講演会予稿集，91-92，1985
- 6) G.B. Cremers：Hybrid-powered wheelchair：A combination of arm force and electrical power for propelling a wheelchair，Journal of Medicine and Engineering Technology，Vol.13，N01/2，142-148，1989
- 7) 内山拓哉，舟久保昭夫，垣本 映，鈴木重信，磯村 恒，関口行雄：補助動力を用いた手動車いすの開発，1993年度精密工学会春季大会学術講演論文集，813-814，1992
- 8) 内山拓哉，垣本 映，鈴木重信，磯村 恒，関口行雄：補助動力を用いた手動車椅子の開発，第8回エルエスティ学会大会講演予稿集，43，1992
- 9) 内山拓哉，垣本 映，鈴木重信，関口行雄

- ：補助動力付き手動車いすの開発，第2回
人と福祉を支える技術フォーラム93論文集，
S04，1993
- 10) 内山拓哉，垣本 映，舟久保昭夫，鈴木重
信，関口行雄：補助動力付き手動車いすの
開発，第8回リハ工学カンファレンス講演
論文集，561，1993
- 11) 垣本 映，舟久保昭夫，鈴木重信，関口行
雄：補助動力を用いた手動車いすの開発
(第2報)，1993年度精密工学会秋季大会学
術講演論文集，243-244，1993
- 12) 日本工業新聞：手動・電動折衷の車いす，
93年4月7日号