

4.4 制御ユニット

4.4.1 構成パーツ

SPX-8000(AS-500 と AS-520 の 2 枚組) 株式会社テクノ製
DC-DC コンバータ(24V から 5V に変換と 24V から±15V に変換)
4-Q-EC サーボアンプ DES50/5 × 2 個 MAXON MOTER 製
EC40 ブラシレスモータ × 2 個 MAXON MOTER 製
プラネタリギアヘッド GP42C × 2 個 MAXON MOTER 製
エンコーダ HEDL5540 × 2 個 MAXON MOTER 製
エンコーダデータ中継基板
アクセルレバー × 2 組

※アクセルレバーについては後項で述べる。

これらのパーツを Fig.4.3.4 の各ブロックに当てはめると、SPX-8000 は位置制御全般を担い、人間からの指令も SPX-8000 が処理を行う。サーボアンプ内では速度制御と電流制御を処理し、モータからのパルス発生器がエンコーダに相当する。
各パーツの詳細図を以下に示す。

SPX-8000 配線図
AS-500

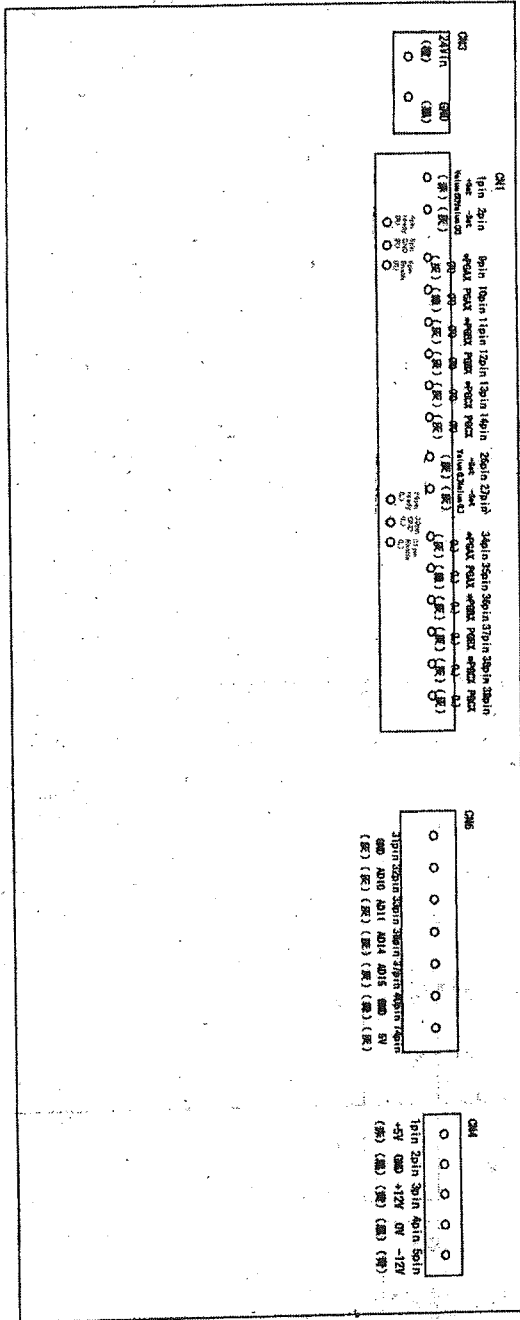


Fig.4.4.1 AS-500 配線図

SPX-8000 配線図
AS-520

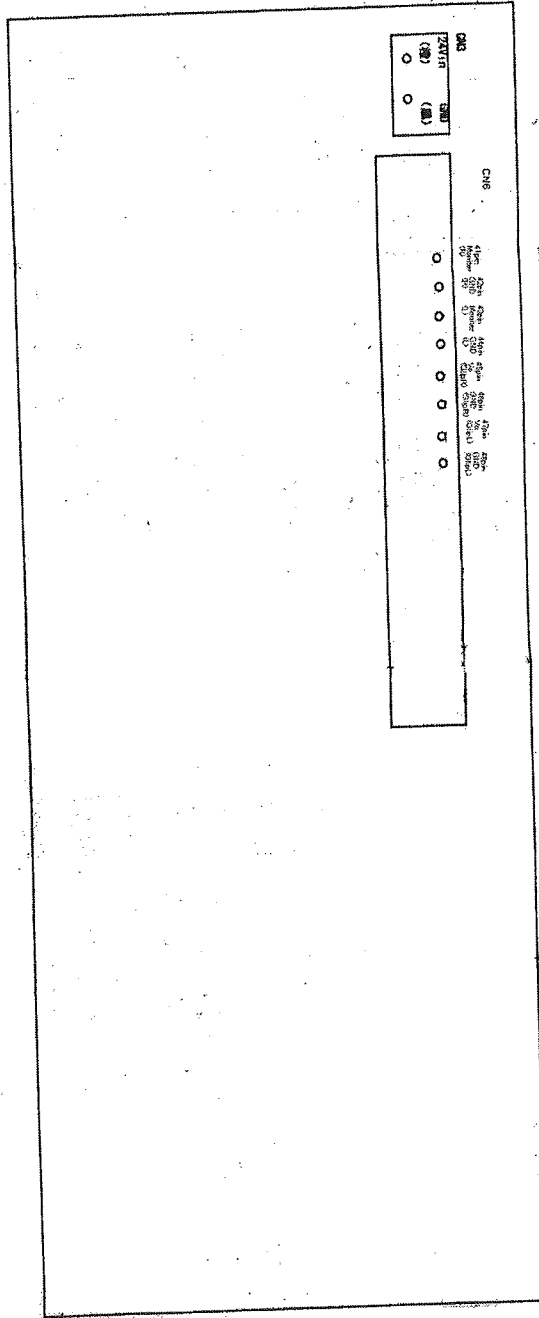


Fig.4.4.2 AS-520 配線図

SPX 入力用DC-DCコンバータ基板

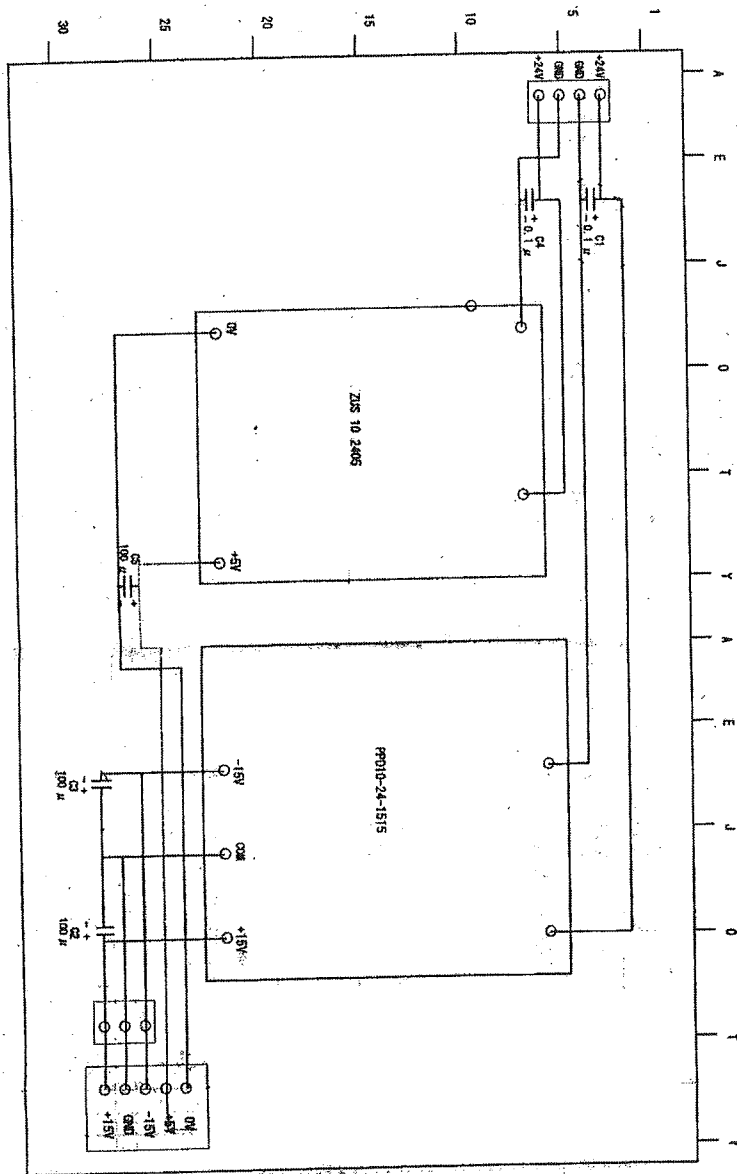


Fig.4.4.3 DC-DC コンバータ回路図

駆動用モータ・サーボンプ・エンコーダ (R/L)

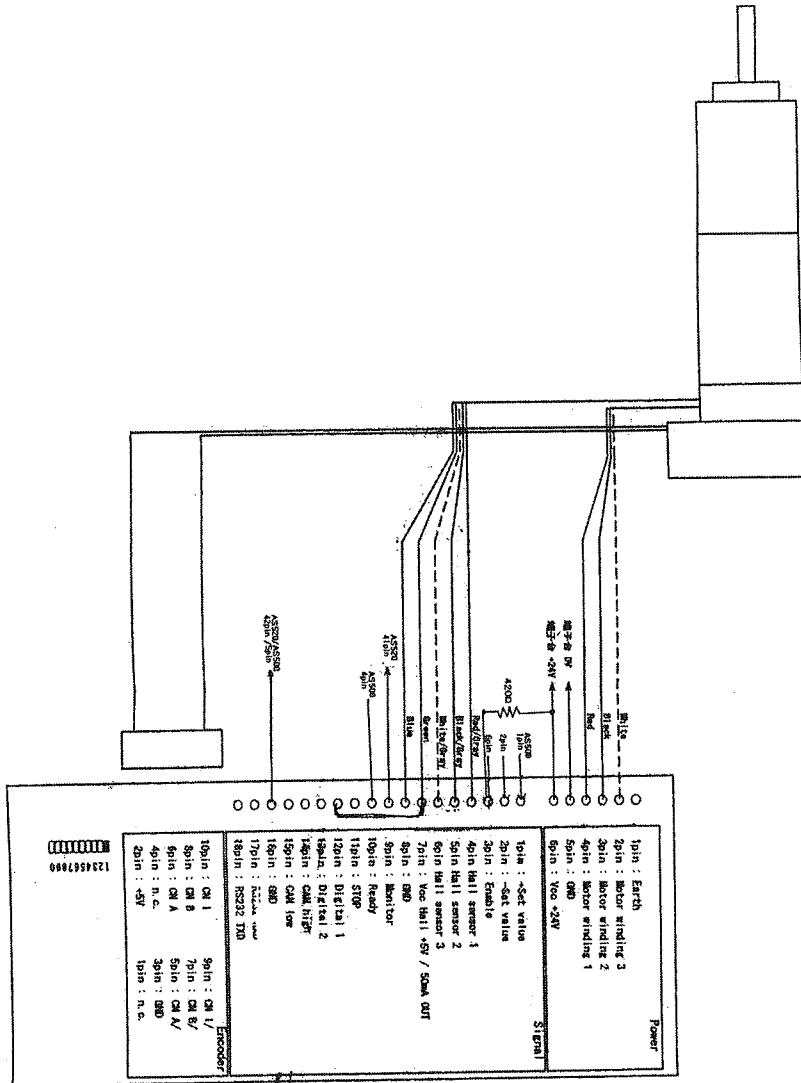
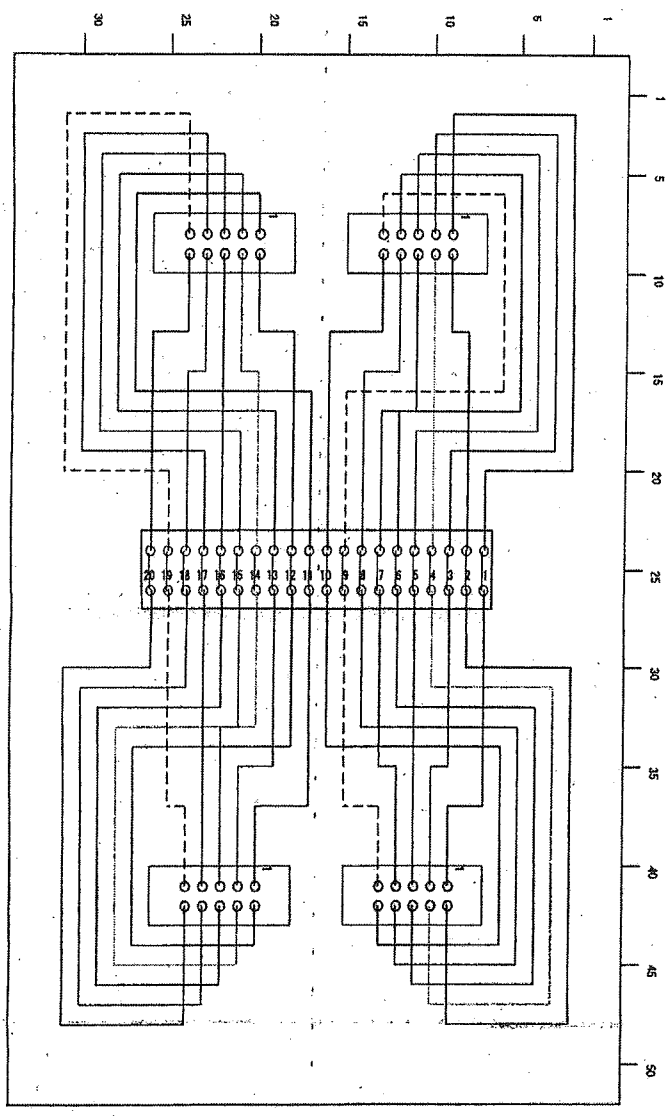


Fig.4.4.4 サーボアンプ・モータ・エンコーダ配線図

エンコーダ データ中継基板



① 端子表出方

1pin	n.c.	SPX 155in
2pin	+5V	SPX 161in
3pin	0V	SPX 166in
4pin	n.c.	SPX 171in
5pin	CH A / CH	SPX 176in
6pin	CH B / CH	SPX 181in
7pin	CH A / CH	SPX 186in
8pin	CH B / CH	SPX 191in
9pin	CH I / CH	SPX 196in
10pin	CH I / CH	SPX 201in
11pin	n.c.	SPX 206in
12pin	n.c.	SPX 211in
13pin	0V	SPX 216in
14pin	n.c.	SPX 221in
15pin	CH A / CH	SPX 226in
16pin	CH B / CH	SPX 231in
17pin	CH A / CH	SPX 236in
18pin	CH B / CH	SPX 241in
19pin	CH I / CH	SPX 246in
20pin	CH I / CH	SPX 251in

② コネクタ入出力

①	n.c.	SPX
②	n.c.	SPX
③	CH A	CH A
④	CH B	CH B
⑤	CH A / CH	CH A
⑥	CH B / CH	CH B
⑦	CH A / CH	CH A
⑧	CH B / CH	CH B
⑨	CH I / CH	CH I
⑩	CH I / CH	CH I

Fig.4.4.5 エンコーダデータ中継基板回路図

歩行支援機回路図

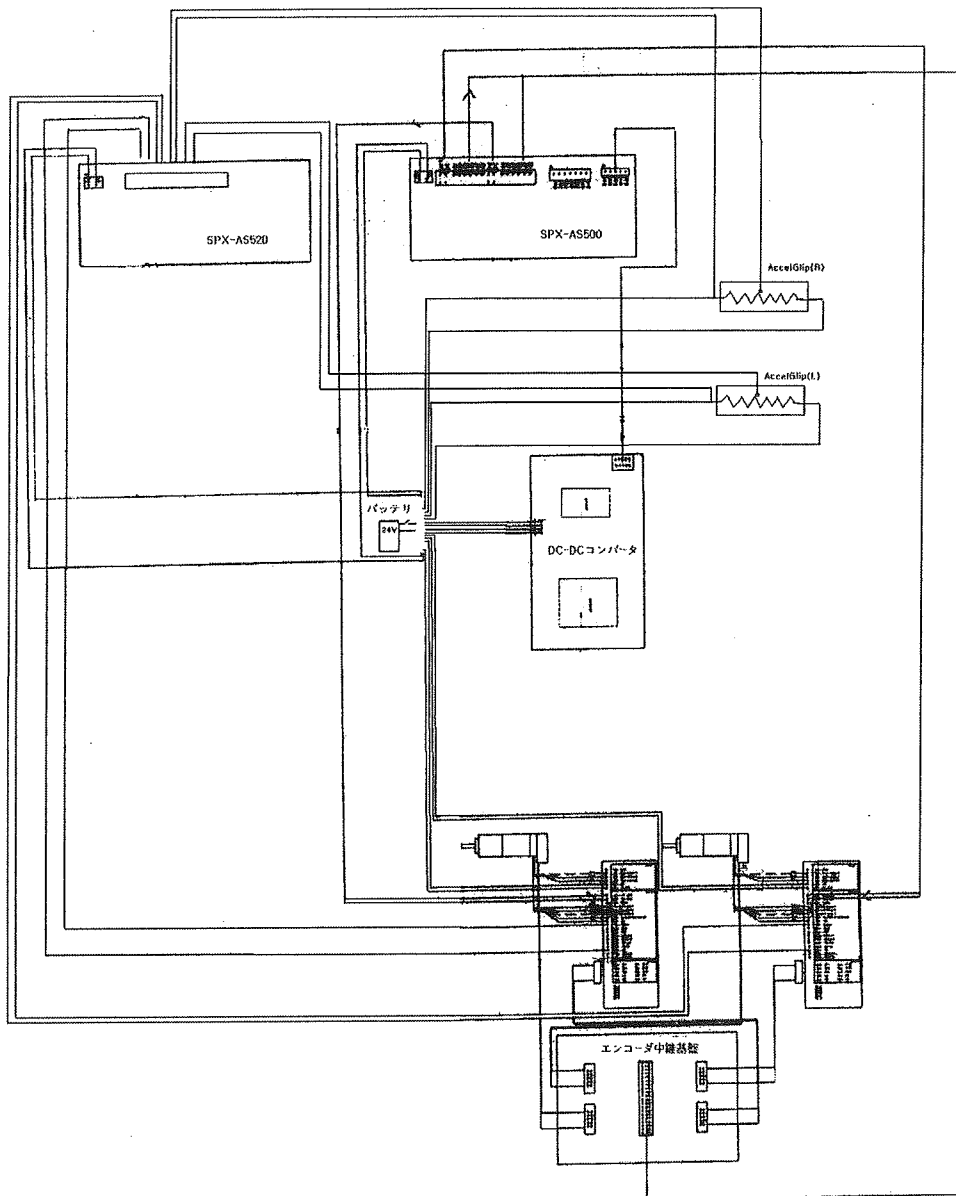


Fig.4.4.6 制御ユニット全体の配線図

4.4.2 各パーツの基本データ

駆動系設計にて選定したモータ、ギア、エンコーダ、サーボアンプの各特性を Tab.4.4.1～4.4.4 にまとめた。

Tab.4.4.1 サーボモータ特性

	数値	単位
定格出力	120	W
公称電圧	12.0	Volt
無負荷回転数	5900	rpm
停動トルク	606	mNm
回転数／トルク勾配	10	rpm/mNm
無負荷電流	390	mA
端子間抵抗	0	Ohm
最大許容回転数	18000	rpm
最大連続電流	6.00	A
最大連続トルク	101	mNm
最大効率	79	%
トルク定数	19	mNm/A
回転数定数	500	rpm/V
機械的時定数	9	ms
ロータ慣性モーメント	85.0	gcm ²
端子間インダクタンス	0.090	mH
熱抵抗(ハウジング／周囲間)	3	K/W
熱抵抗(巻線／ハウジング間)	1	K/W
巻線熱時定数	16	s
ハウジング熱時定数	530	s

Tab.4.4.2 プラネタリギアヘッド特性

	数値	単位
減速比	53 : 1	
減速比(絶対値)	637/12	
慣性モーメント	15	gcm ²
最大モータ軸直径	10	mm
段数	3	段
連続最大トルク	15	Nm
断続最大トルク	22.5	Nm

最大効率	72	%
重量	460	g
平均バックラッシュ(無負荷時)	0.5	°
ギアヘッド長	69.9	mm

Tab.4.4.3 エンコーダ特性

	値
電源電圧 Vcc	5V±10%
出力信号	EIA Standard RS-422
内臓ラインドライバ	DS26L31
チャンネル数	2+lindex
カウント/回転(分解能)	500
位相差Φ(標準値)	90° e
ロジック幅 s	min.45° e
信号立ち上がり時間	180ns
信号立ち下がり時間	40ns
インデックス・パルス幅(標準値)	90° e
使用温度範囲	0…+70°C
コード・ホイール慣性モーメント	≤0.6gcm ²
最大角加速度	250000rad/s ²
出力電流/チャンネル	max.20mA
最大周波数	100kHz

Tab.4.4.4 サーボアンプ電氣的特性

	値
電源電圧 Vcc (リップル < 5%)	12 - 50 VDC
最大出力電圧	0.9 · Vcc
最大出力電流 Imax	15 A
最大連続出力電流 Icont	5A
PWM スイッチング周波数	50 kHz
最大効率	92%
電流コントローラバンド幅	1 kHz
最大回転数 (2 極モータの場合)	25 000 rpm
内蔵モータチョーク/相	160 μH / 5 A

4.5 アクセルレバーの開発

4.5.1 コンセプト

歩行支援装置をモータ駆動でアシストするにあたり、使用者のフィーリングに合わせた、柔軟な操作ができるインターフェースを搭載することが不可欠である。

4.5.2 開発機の条件

以下に、開発するにあたっての条件を挙げる。

使用者が歩行支援装置に体重を預けた状態で使用できるもの

直感的に操作できるもの

使用者からの情報を電氣的に受信できるもの

歩行支援機の仕様から外れないもの

限りなくスイッチレスなもの

安価で製作できるもの

4.5.3 形状決定

以上の条件より、開発しようとするインターフェースの理想的な形状が、自転車のブレーキレバーに近いことから、今回は自転車のブレーキレバーを外して流用することにした。具体的な理由として挙げられる一番の点は、使用者が歩行支援装置のハンドル部に体重を預けた際、使用者に残された自由は、首から上か指先だけとなり、さらに首から上については、使用者の体系により位置などの個人差が大きいので、指先で操作することが妥当だと言えるからである。

機械的な部分としては、ブレーキレバーから出ているブレーキワイヤーの先に、スライドボリュームのつまみを繋ぎ、つまみの逆側には引きバネを固定して繋ぐ。レバーを握るとボリュームの抵抗値が変わる。

その値に対応した指令を駆動ユニットに送る、というアプリケーションを次項で述べる。

以下に簡易的なブロック図を示す。

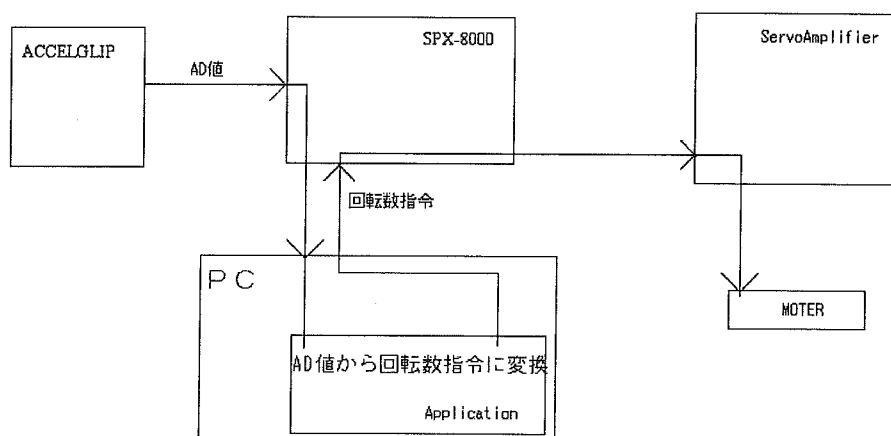


Fig.4.5.1 アクセルレバー周辺のブロック図

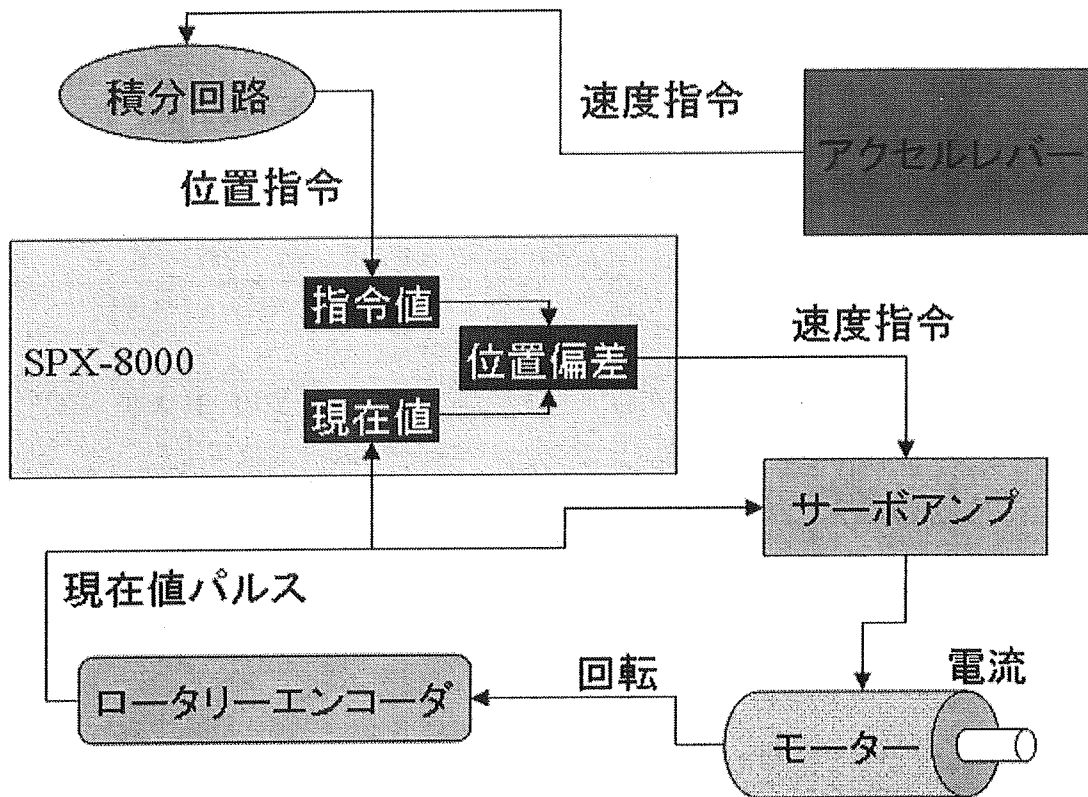


Fig.4.5.2 制御システムイメージ

4.5.4 アプリケーション開発

外部からの入力やサーボユニットへの指令などのデータ送受信は基本的には制御基板 SPX-8000 を介して行う。今回開発するインターフェースからの出力は、直流電圧のアナログ値であり、その値を直接モータへの指令にするには乱雑すぎる。そこで、アナログ値からモータへの回転数指令へ変換するためのアプリケーションを、株式会社テクノ社が提供する SPX-8000 用アプリケーションサンプルを参考に、C++言語にて独自に開発した。また、プログラムにより、レバーの握りに応じてモータが駆動するように設定したので、開発したアプリケーションを「AccelGlip(アクセルグリップ)」と命名した。

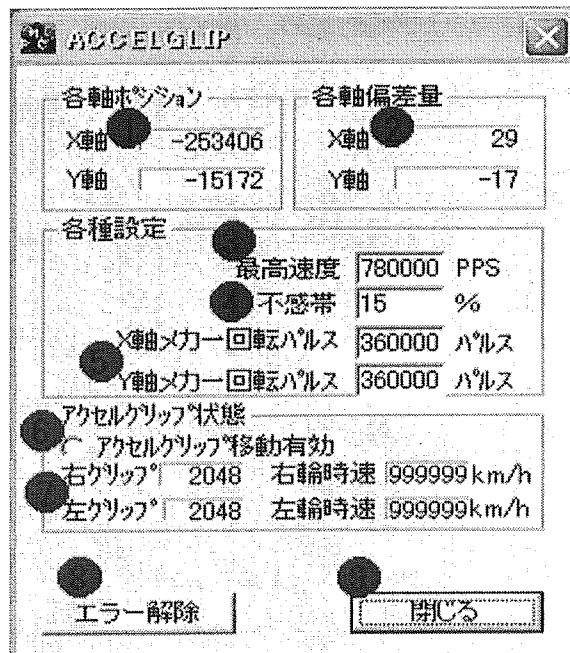


Fig.4.5.2 アクセルグリップダイアログ

図 4.5.2 における各表示について表 6.3.3.1 にまとめた。

表 4.5.1 アクセルグリップダイアログの各表示項目

図中の番号	表示項目	内容
1	各軸ポジション	各軸への指令値
2	各軸偏差量	各軸の偏差(機械位置－指令位置)の値
3	最高速度(pps)	グリップを最大限握った時のパルス速度
4	不感帯(%)	グリップの遊び幅率
5	メカ一回転パルス	モータ軸が一回転するときのパルス量
6	アクセルグリップ移動	チェック時のみグリップに反応する
7	左右グリップ位置	2048～0 で 0 の時最大速度
8	エラー解除ボタン	エラーが発生した際のリセットボタン
9	閉じるボタン	アプリケーションの終了ボタン

4.6 駆動ユニットの性能評価

4.6.1 直線走行における動力性能測定実験

目的

駆動ユニットを搭載した歩行支援機の実速度測定を行い、計算上の指令速度と比較し、路面状況ごとの機械的な誤差を測定した。また、モータを制御できる範囲での最高回転数および最高速度の計測、安心して使用でき得る速度の検討を行った。

使用した実験機材

歩行支援機(駆動ユニット搭載)

制御基盤 SPX-8000(株式会社テクノ製)

制御用ノート PC (Panasonic 製)

巻尺

安定化電源(キーエンス社製 : MS2-H300)

ストップウォッチ

荷重用ペットボトル 2 リットル×12 本

ガムテープ(目印用)

電源用延長コード

ビデオカメラ

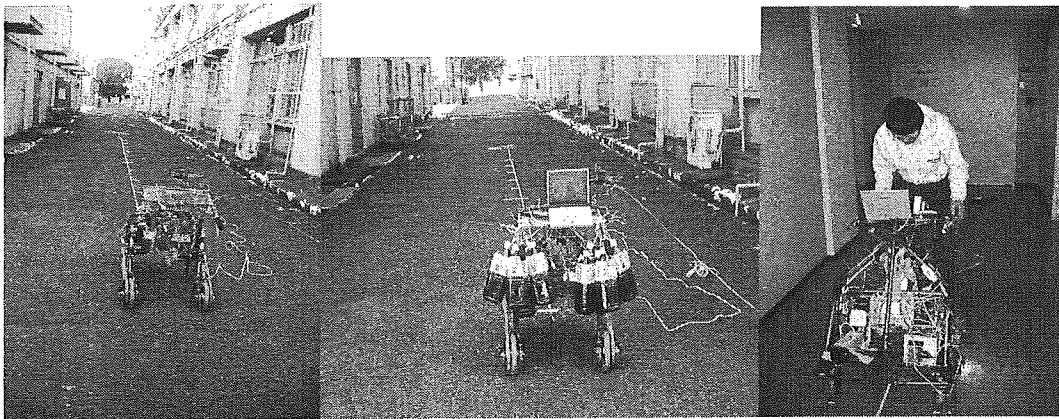


Fig4.6.1 実験風景

実験方法

事前に、タイヤを浮かした状態で、偏差エラーが出ない最高回転数を測定した結果、130.0r.p.m(約 2.45 km/h)であることがわかったので、この値を上限の目安として行った。測定速度を使用速度範囲(最高 2.45 km/h、平均 1.0 km/h)の時速 0.5km/h~2.45km/h として、0.5km/h ごとにそれぞれにおける指令回転数(rpm)を算出し、入力データとした。

巻尺を使い、測定区間を平地では 10m、傾斜地ではスペースの都合上 8m と設定し、1m 毎に目印をつけた。

測定速度に達するまでの助走区間を適宜に設定した。

各測定値にて、荷重有りの場合と無しの場合の 2 パターンのデータを測定した。

荷重は、590N(約 60 kg f)の使用者が体重をかけた際にかかる体重の 40%と同等の 235N(25 kg f)を、ハンドルの左右に分けて、ペットボトルにてつるした。

走行区間を走行する際、1m ごとに要する時間をストップウォッチで測定し、各区間の速度を計算した。

それぞれ 3 回測定し、平均値を測定結果としてまとめた。

測定場所

C5 号館廊下

直線距離 10m を確保し、助走距離として前後約 2m 程度を適宜確保した。

C5 号館外周辺の平地及び傾斜地

傾斜地はスペースの都合上、走行区間 8 m、傾斜は 3 度とした。

測定条件

<	>	右X	左Y	Z	A
DA°イ		0.50	0.50		
INPOS量		70	70		
ER上限値		100000	100000		
ER飽和量		100000	100000		
PTP時定数		50	50		
PTP速度		360000	360000		
JOG速度		300000	300000		
補間時定数		500	500		
+側ソフトリミット		1000000	1000000		
-側ソフトリミット		1000000	1000000		
原点距離		1000	1000		
アッロチ速度		7500	7500		
原点復帰方向		無し	無し		
原点復帰順位		0	0		
原点復帰逃げ量		2000	2000		
バックラッシュ補正量		0	0		
原点復帰速度		30000	30000		
形状補正係数		0	0		
S字加減速		0	0		
ホームポジション距離		0	0		
ホームポジション順位		0	0		

Fig.4.6.2 サーボパラメータ設定

Tab.4.6.1 各軸設定

	第一軸	第二軸
メカ機構 1 回転パルス数	3600000	3600000
任意分周	180/53	180/53
アナログ速度指令出力	ON	ON
OT チェック機能	ON	ON
指令出力極性	逆	正
FB 入力極性	正	逆
HIO 信号論理	Low(A 接)	Low(A 接)
C 相信号論理	High(B 接)	High(B 接)

実験用プログラム

今回の実験では速度を一定に保つ必要があるのでモータへの指令は回転数指令を採用した。以下に実験に使用した運転プログラムの雛形を記す。なお運転プログラムはテクノコードという SPX-8000 用言語を使用した。

```
SPIN X○○ Y○○ ; //回転数指令。○に X(右輪)Y(左輪)それぞれ回転数を入れる。  
TIM△△ ; //次の命令に移るまでの時間指定。△に秒数を入れる。  
SPIN X0 Y0 ; //回転数 0 rpm を指定(停止)  
END //プログラム終了を宣言
```

事前計算

モータ側プーリー/タイヤ側プーリー比 : 1/2

車輪直径 : 200 mm

制御基盤に出す指令値はモータの回転数なので、モータ回転数と歩行支援機の時速を比べた表を表 3.4.1.2 に示す。

Tab.4.6.2 時速 - 回転数相対表

時速(km/h)	回転数(rpm)
0.5	26.5
1.0	53.1
1.5	79.6
2.0	106.1
2.45	130.0

実験結果

測定値を路面状況や荷重の有無などの条件ごとに、それぞれ区間ごとの速度として、以下の Fig.4.6.3～Fig4.6.10 にまとめた。

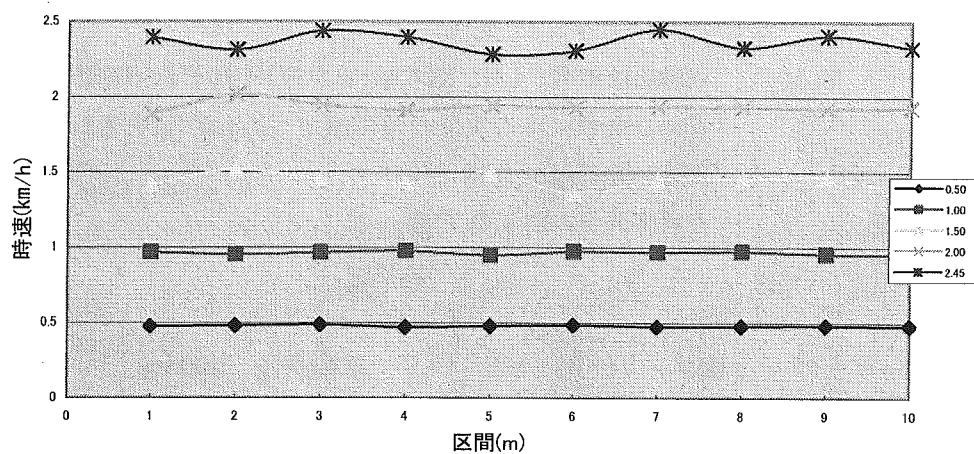


Fig.4.6.3 アスファルト/平地/荷重無し

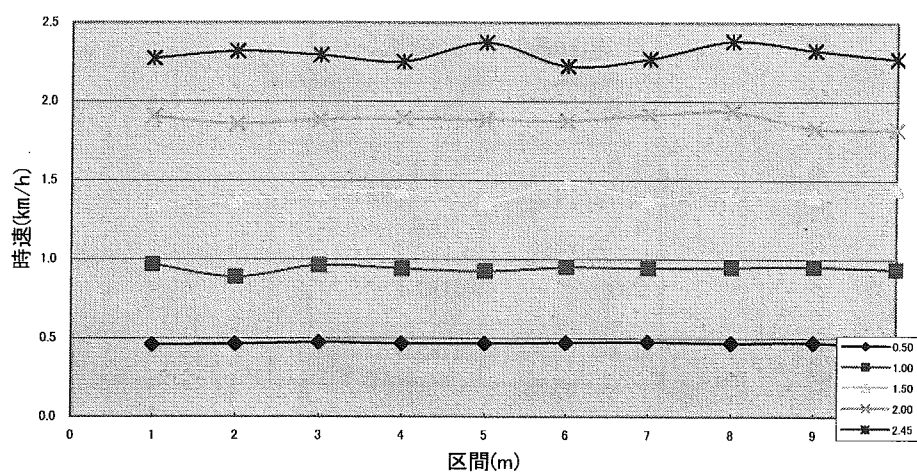


Fig.4.6.4 アスファルト/平地/荷重あり

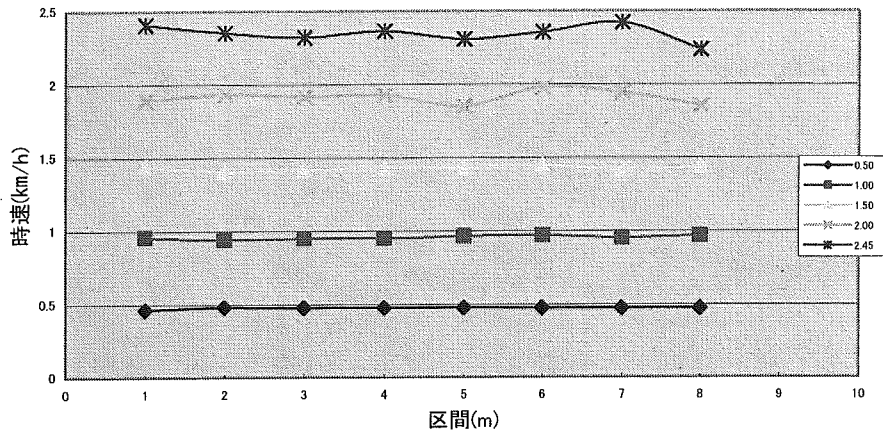


Fig.4.6.5 アスファルト/上り/荷重無し

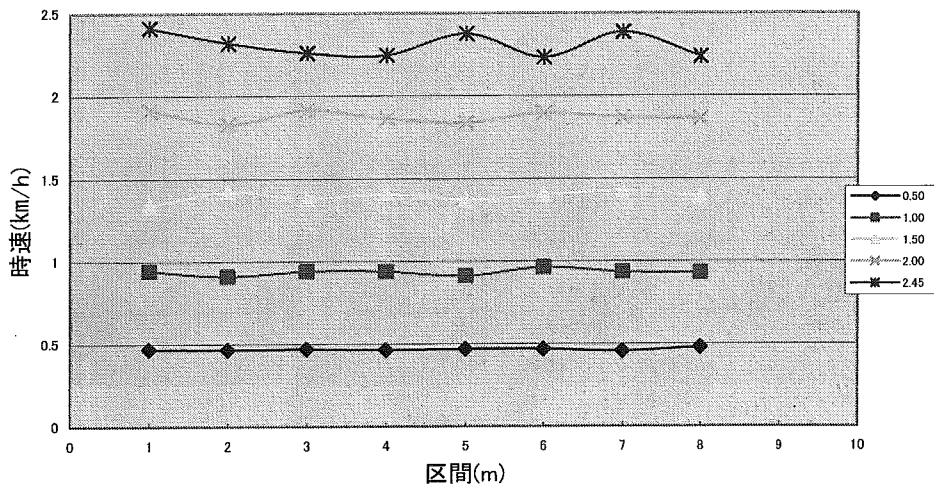


Fig.4.6.6 アスファルト/上り/荷重あり

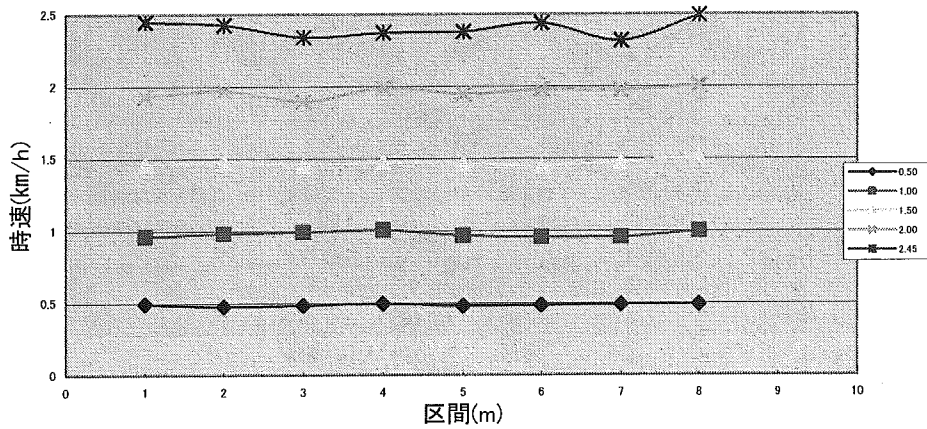


Fig.4.6.7 アスファルト/下り/荷重無し

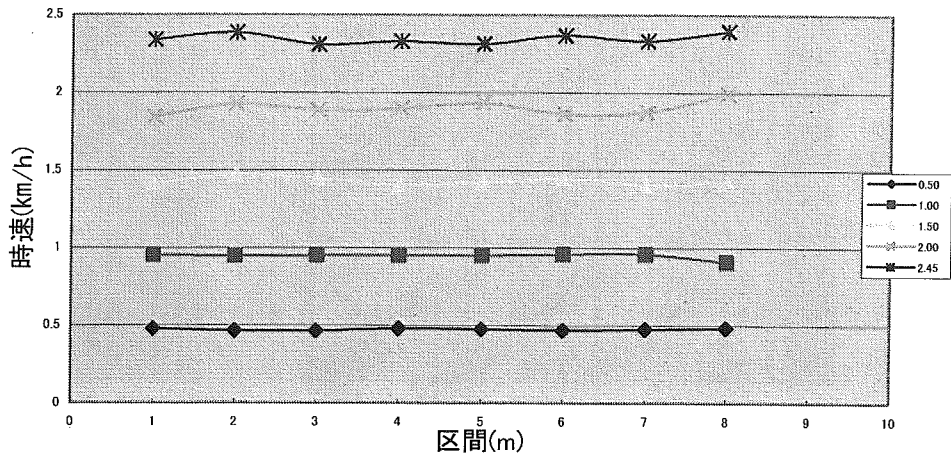


Fig.4.6.8 アスファルト/下り/荷重あり

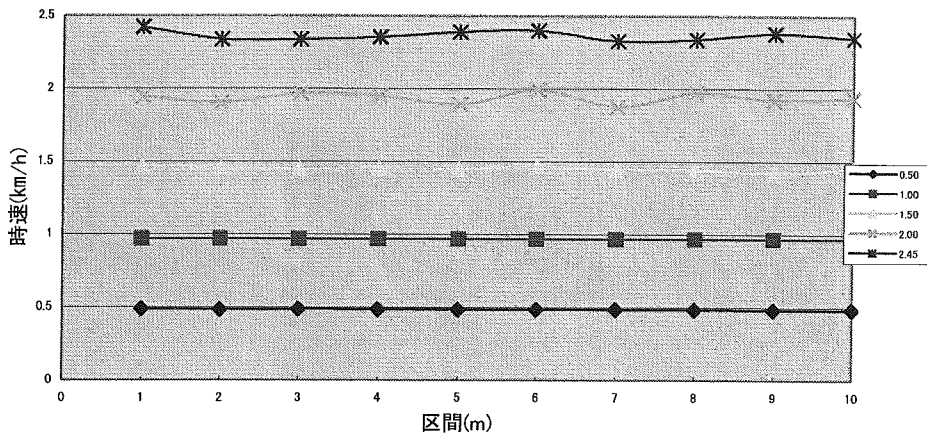


Fig.4.6.9 廊下/平地/荷重無し

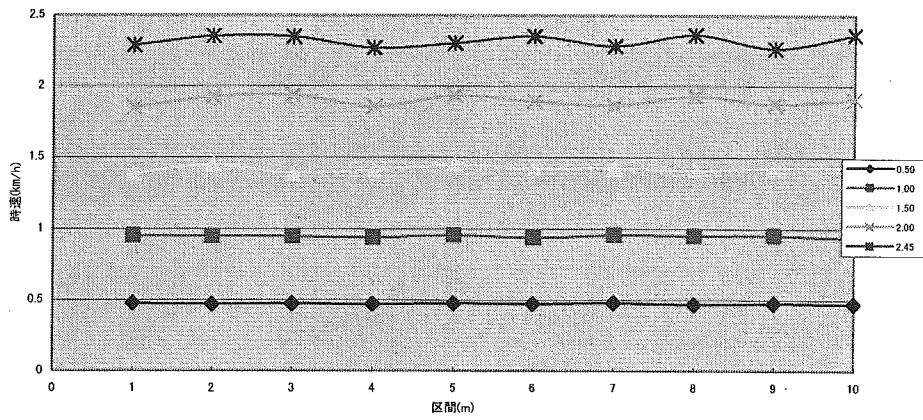


Fig.4.6.10 廊下/平地/荷重あり

また、各条件の指令速度に対する出力速度を、出力率として Fig.4.6.11 に示した。

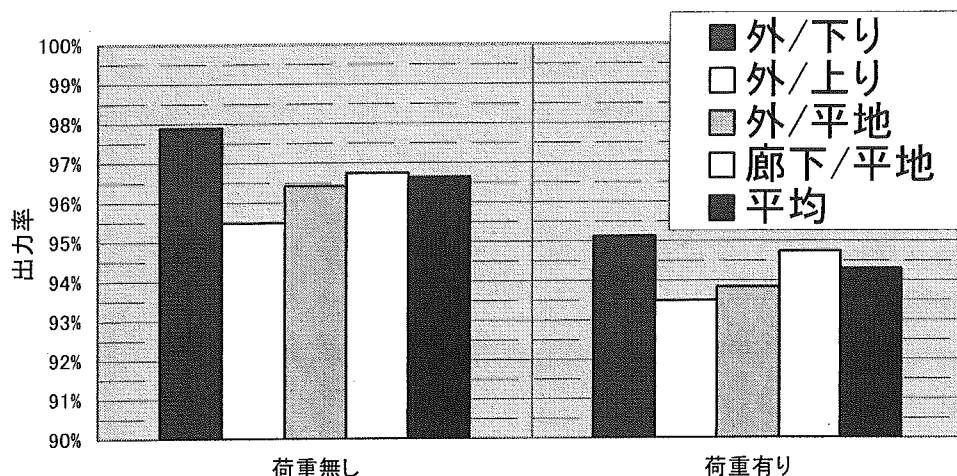


Fig.7.6.11 平均出力率

考察

実験結果の各図より、各区間の速度のバラつきが確認できるが、その原因として考えられることは、測定方法にあるといえる。今回の測定では、荷重の有無を条件としていたため、測定時に使用者は、進行方向を大きくそれない限り、なるべくハンドルには触れないようにした。そのため、若干の左右のずれによって、区間ごとの速度にバラつきが生じたといえる。

これは、各条件において、移動速度が上がるほど、バラつきの幅が大きくなっていることから同様のことが言える。

また、図 6.3.4.1.11 より、指令速度に対する出力速度は、全条件において 93%以上出力できているので、出力された速度は誤差の範囲内であると考えられる。

結論

歩行支援機(駆動ユニット搭載)の直線移動の最高速度は 2.45 km/h を実現した。また、指令速度に対し、十分な出力が可能であることが確認できた。

また、今回学内で実験を行ったため、十分な傾斜地を確保することができなかった。今後は、十分な傾斜と距離を確保、もしくは仮想的に作り出し、再度縦段傾斜の性能評価を行う必要がある。

なお、実験中の 2 km/h 以上で移動した際、使用者が若干速いと感じた時があったので、改めて第三者による移動速度の感性評価実験を行い、最適な移動速度を決定する必要があるということが明らかになった。

4.6.2 段差乗り越え時のアシスト量測定実験

実験目的

今年度開発機において、段差(≤50mm)乗越え時に使用者が歩行器にかかる力を、原動機支援無しの場合と原動機支援有りの場合を測定・比較し、原動機による支援量を測定し、目標性能を満足できるか検討する。

実験装置及び器具

歩行支援装置

Panasonic 製 ノートパソコン(歩行器駆動用)

株式会社テクノ製 SPX8000

maxon Japan 製 サーボアンプ DES50/5 × 2

maxon Japan 製 EC モータ(GP42C+EC40+HEDL5540A12) × 2

DC-DC コンバータ 24V→±15V、24V→+5V

SHARP 製 ノートパソコン

OROS 製 PCFFT アナライザ OR25

動ひずみ計 DPM-611B × 2

ひずみゲージ KFR-05-120-C1-23 × 2

ブリッジボックス DB-120P × 2

50mm 厚の板

ガムテープ(板固定用)

工具

ビデオカメラ

実験条件

OROS の設定を Fig.4.6.11～Fig.4.6.12 に示す。

入力設定								
印刷(P)	入力ch	レンジ	ゲイン	カップリング	工学単位	センサ名	感度	
	Ext			AC				
	9	1.0 V	10 dB	ICP	m/s ²	NP3210	1.93199E-03	
	7	3.16 V	0 dB	DC	N	SENSOR7	0.017892 V/N	
	8	3.16 V	0 dB	DC	N	SENSOR8	0.004797 V/N	
閉じる(C)								
次へ >>(N)								
ヘルプ(H)								
入力モジュール	入力ch	基準モジュール	ウインドウ関数	フィルタ選択	積分選択	積分時間	スーム倍率	極性
force01	チャンネル7	force01	W1	フィルタなし	フィルタなし	1 s	1	+
force02	チャンネル8	force01	W2	フィルタなし	フィルタなし	1 s	1	+
acce01	チャンネル9	force01	W2	ユーザフィルタ	フィルタなし	1 s	1	+

Fig.4.6.11 入力の設定