

## 第3章 駆動機能・機構設計

### 3.1 目的

前輪を多輪包絡線による大径輪設計による改良をしたことにより、50mm の段差を乗越えられるようになったが、乗り越える際に約 170N の力を要し、高齢者の 95%tile が乗越えられるようにするには必要な力を 128N 以下に抑えないと、高齢者が段差を上るのは負担が大きい。また坂を上る時も使用者にかかる負担が増えてしまう。それらを防ぐ為に、歩行支援機による 50N の支援する力を持たせるために原動力を取り付ける必要性が浮上してきた。よって本章では、歩行支援機に原動機を付随させる設計を目的とする。

### 3.2 調査

#### 3.2.1 支援方法

- ・ 支援手段の原動機として、本研究ではモータによる駆動とする。
- ・ モータによる直接後輪駆動の場合、負荷によって壊してしまう恐れがある上、適切な回転数とトルクを確保できない。よって減速比を与えトルクを稼ぐとする。
- ・ 前輪は段差乗り越えユニットおよび操舵機構が付いている為、機構の複雑化および前重量増加を避けるため、モータによる後輪 2 輪駆動とする。
- ・ 1つのモータだけで駆動させるには、旋回や方向転換時に生じる左右輪回転差をデフレンシャルギアなどによって補わなければならないため、機構の複雑化および重量増加を招く。そこで、小型のモータを 2つ使用し左右独立駆動とし、駆動力確保および浅海および方向転換時の左右輪回転差を補うものとする。

#### 3.2.2 50mm の段差乗越え時に必要な力

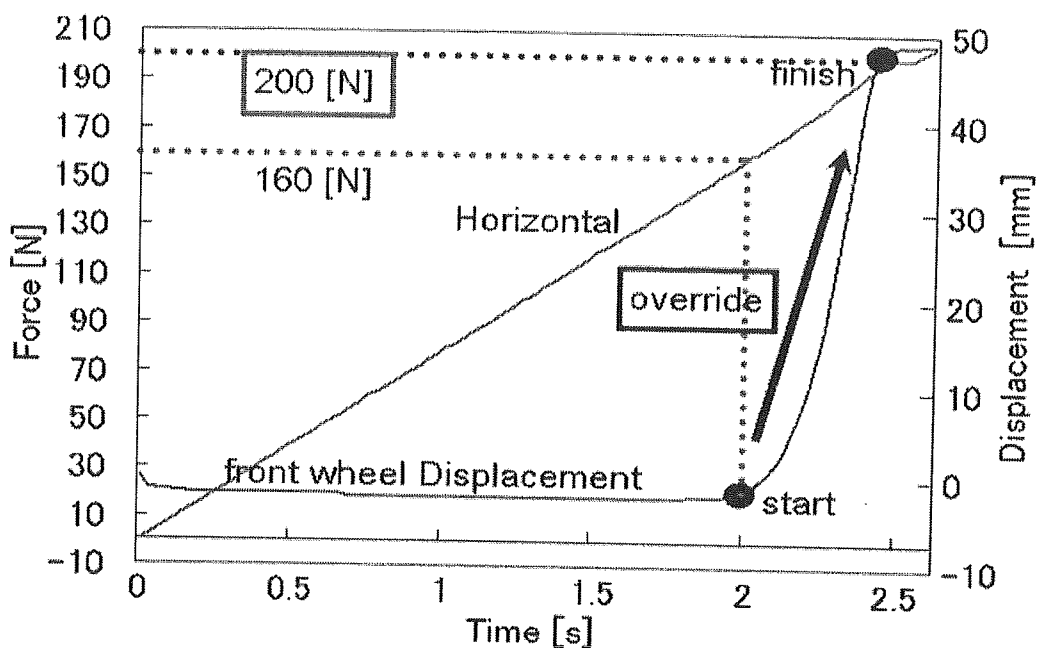


Fig.3.2.1 多輪包絡線のための段差乗越え

図 3.2.1 より、モータが最低 40N の支援をすれば、使用者が簡単に段差を乗越えられるが、本研究では最低 50N として設計を行っていく。

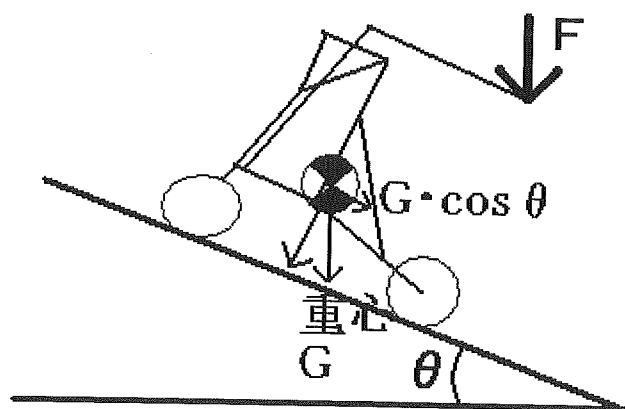


Fig.3.2.2 坂にいるときの使用者にかかる力

平野部以外の地方ではかなりの傾斜があるものと思われるが、道路構造令に規定されている縦断勾配は 12% (6.8°) である。そこで、市販されている電動カート、電動車いすの仕様を参考に登坂能力を決定した。また登坂では、歩行支援機の自重も平地と比べ使用者に負担になる。

### 3.2.3 使用者に対して考慮する点

機器と使用者の関係を考慮する。その要素として、使用者の歩幅、つまり使用者の歩き

方による、歩く時の足の振り幅（前後左右）および廊下や出入り口の幅との関係などの歩行支援機の横幅と、使用者の立ち位置を考慮に入れた駆動方式を考える。

歩行者の歩幅、移動速度について、若年者から高齢者まで、歩行状態に関する事を以下にまとめた。動作特性として、歩幅、歩数、歩行速度の3点について平成10年度のNEDOによる調査結果を参考にした。

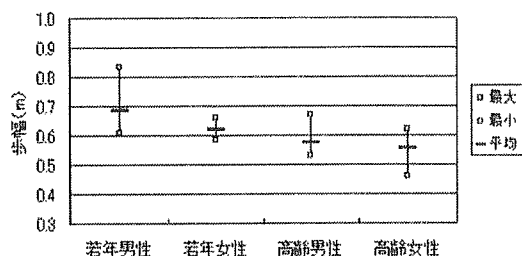


Fig3.2.3 自由歩行時の平均歩幅

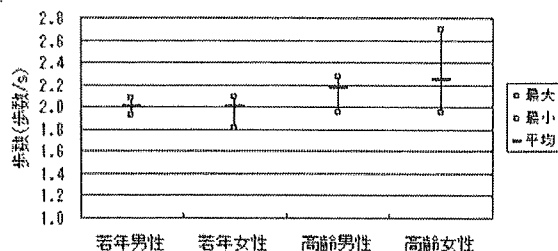


Fig3.2.4 自由歩行時の平均歩数

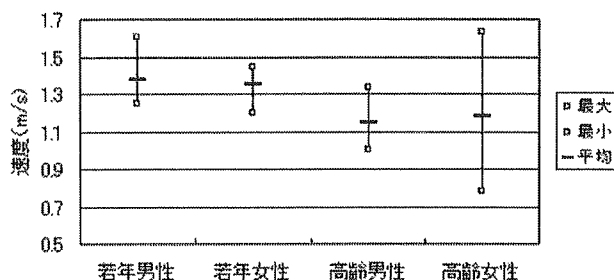


Fig3.2.5 平均移動速度

平均歩幅は年齢層および若年者の性別、平均歩数は年齢層による差が認められる。また、移動速度は年齢層による差が認められるが、性別による差は見られなかった。従って上図より、高齢者の移動速度はおおよそ 0.8~1.7m/s であることがわかった。また、高齢女性の移動速度の幅が非常に大きい、これは被験者の差が非常に大きかったためである。以上のことより、移動速度は人によって可変であるため、速度域を 0~0.833m/s とする。

### 3.2.4 歩行機能が低下した人の行動範囲について

高齢者の外出先として、主に病院、スーパーマーケット、近所の公園や友人の家などがあげられる。歩行機能が低下しなければ、公共の交通機関を利用して買い物に行っていたが、歩行機能が低下してからは近所のスーパーマーケット等にしか外出しないという人が多いと考えられる。また、つかまり歩きがやっとの人は家からあまり出る事はないと考えられる。

高齢者に限らず、歩行機能が低下した人が、外を自由に歩けたら、昔のようにバスや電車に乗って買い物に行きたいという人が増えるのではないかと考えられる。

そこで開発した歩行支援機を使用して外出した時の公共施設のドア幅や、通路幅などの寸

法が問題になるので、以下に公共施設のドア幅の寸法を示す。

Tab.3.2.1 公共施設等のドアと幅の関係

項目	寸法(mm)
建物入り口	1000
部屋入り口	800
非常口	750
スーパーマーケットの通路幅	1200~1700

このような状況と人体データを考慮して、歩行支援機の空間は駆動部分も含めて以下のような平面図上におけるコの字空間状のスペースへの配置とした。

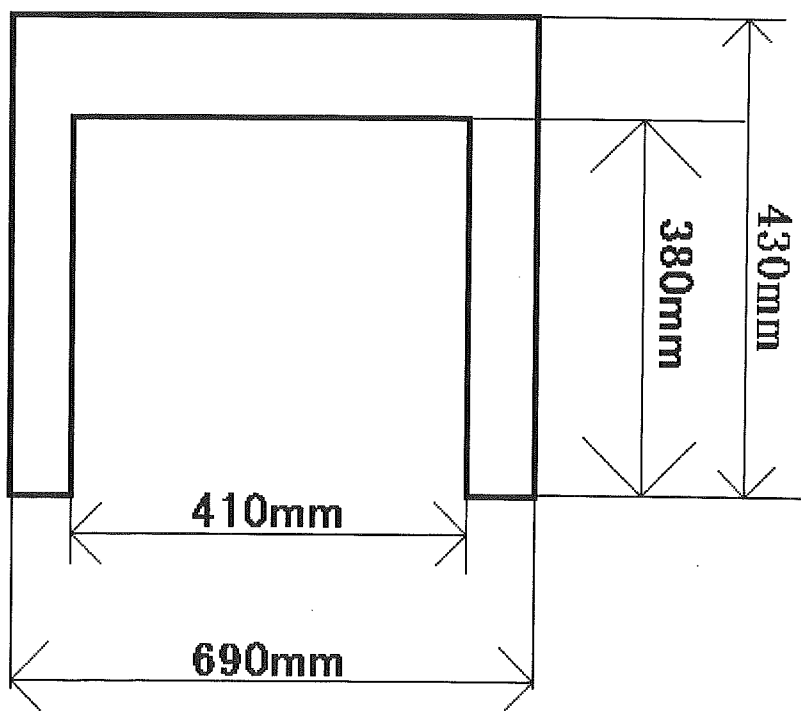


Fig3.2.6 歩行支援機スペース

歩行支援機の幅が 690mm なのは、1 番通る幅が狭い非常口が通れば日常的に生活するには問題が無いからである。幅が 410mm のところは人間が入るスペースとした。縦の 380mm 部分は、使用者が歩行支援機を押して歩行動作を妨げないよう考慮した。

### 3.2.5 駆動方式の選定

Tab3.2.2 駆動方式の種類

駆動方式	各評価項目の重み(10点法)					
	伝動効率	騒音	メンテナンス	重量	コスト	合計
ギア	10	7	2	4	3	26
ローラーチェーン	10	3	4	6	6	29
サイレントチェーン	10	3	4	6	4	27
タイミングベルト	10	9	8	7	4	38
平ベルト	6	9	8	7	7	37

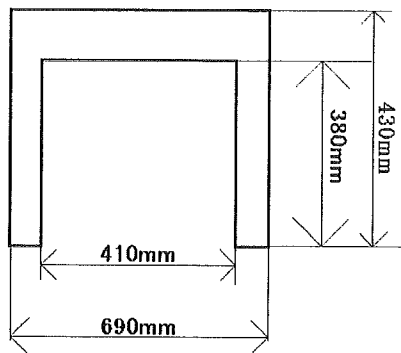
駆動方式の選定として、Tab3.2.2 よりメンテナンス性、静音性、伝達効率などの総合的な面を考慮した結果、本年度はタイミングベルトを採用した。

### 3.2.6 駆動と懸架装置との関係

本年度は歩行支援機の後輪足回りにスイングアーム方式の懸架装置を組み込む。だが、後輪だけスイングアームで動けるようにしてしまった場合、モータと後輪の軸間距離の変動により、ベルト張力の変化によってベルト外れの可能性が浮上してくる。これを避けるため、スイングアーム内に後輪とモータを搭載することで軸間距離を常に一定に保つことができるユニットスイング式とした。また、テンショナー機能を設けることでベルト張力を一定に保ち、回転トルクの伝達ロスを防ぐ。

## 3.3. 仕様書

仕様書 歩行支援機 駆動
要件
<p>1.形状寸法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・道路交通法、公的交通機関乗車可能範囲。</li> <li>・道路交通法に基づき、免許を不要とする。</li> <li>・ドア、自動ドア等を通り抜ける事ができることとする。</li> </ul> <p>平均寸法：</p>



## 2.原動力

- ・道路交通法に基づき、免許を不要とする。
- ・原動力となるモータを2つ使うこととする。
- ・モータの公称電圧はバッテリーが手に入りやすくするため、24Vまでのものにする。

## 2.重量

- ・もしもの時、一人で持ち上げることができることとする。
- ・駆動部全体で8kg以下にする。
- ・全体重量は本研究で歩行支援機にステアリングや駆動，制御部分を乗せていくため全体で30kgとする。

## 3.力

- ・構成者女性平均体重の35%免荷重（約20kg）を可能とする。  
（調査項目より）
- ・横方向の力を受けたとしても転倒しないこととする。（重心位置）
- ・衝突時のG+力を受けても変形しないこととする。
- ・使用速度は：0～0.833m/s程度

最高トルクは最高速度の時でも、50mmの段差が乗越えられるように、速度が0.833m/sの時、50N以上に設定する。

スーパーなどで買い物をした時、買った物も運べるよう最高100N以上出るように設定する。

（使用者の平均歩行速度、歩幅より）

- ・剛性を高く設計する。

## 4.安全

- ・安全率を3以上確保する。

- ・高さ 800mm の所で横荷重 20kg を加えたとしても転倒しないこと。
- ・前進荷重 24kg、 $4.2\text{m/s}^2$  で衝突しても変形がないこと。

#### 5.駆動方式

- ・制御の精度向上のため、伝動効率 100%のものを使用し、かつ与えられたスペース内に納めるため、タイミングベルトを使用する。

#### 5.人間工学

- ・モータと後輪の軸間距離は、使用者の足が当たらないようにするため、400mm とする。

#### 6.生産

- ・学内での生産を考えるため、できるだけ単純な構造を採用すること。

#### 7.品質管理

- ・メンテナンスフリーとする。

#### 8.組み立て

- ・学内での組み立てが可能であること。

### 3.4 設計

#### 3.4.1 モータの選定

モータの支援する最低限必要な仕事率を計算する。50N 以上の支援が必要で、速度  $0.833\text{m/s}$  のとき 50mm の段差を乗越えるときの仕事率は 2.5 J となり、仕事率は 41.67W 以上必要になる。

モータの出力を 41.67W が 100%のものを選んでしまうと、モータの寿命を縮めてしまう。よって 41.67W が約 20%のモータを選ぶこととする。

このことから 2つのモータで 240Wの出力で、仕様書から 24Vの公称電圧、モータ全体で  $\phi 50\text{mm}$  のモータを選定した。選定したモータの仕様を以下の表にあらわす。

表 3.4.1 モータの仕様書

	数値	単位
定格出力	120	W
公称電圧	12.0	V
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	6000	mA
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 <sup>2</sup>
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

### 3.4.2 タイミングベルトの選定

後輪の最高速度と力をトルクと回転数にする。ここでタイヤの直径は 200mm のものを使用する。

速度から回転数にする式は

$$P = V / 2r\pi \quad (\text{式 3.4.1})$$

$$T = F \times r \quad (\text{式 3.4.2})$$

P : 回転数 (rpm)

T : トルク (mNm)

V : 速度 (mm/min)

F : 力 (N)

r : 半径 (mm)

$\pi$  : 円周率

この式 3.4.1 と式 3.4.2 から回転数が約 79.6rpm の時、5000mNm のトルクが必要になる。

モータの駆動力線図と後輪の必要な駆動力を比べてみると、後輪よりモータは高回転、低トルクであることがわかる。必要トルクを稼ぐには減速比を約 49:1 以上にする必要がある。しかし、これだけのギア比を稼ぐのにベルトについているプーリでは、これだけの

ギア比は稼げない。このようなことから選定したモータは少スペースで減速比が稼げる 1:53 のプラネタリギアを搭載する。しかし、最高トルクを考えると 1:53 ではトルクが足りないことから、さらにプーリ側のギア比を 1:2 にした。



以上のことからタイミングベルトとプーリの仕様を以下の表にあらわす。

Tab3.4.2 タイミングベルトの仕様

タイミング ベルト	ベルト	周長	1128mm
		幅	15mm
		ピッチ	8mm
	原動軸 プーリ	ピッチ円直径	71.3mm
		ピッチ	8mm
		歯数	28
	非原動軸 プーリ	ピッチ円直径	142.6mm
		ピッチ	8mm
		歯数	56
軸間距離		394.39mm	

また、プラネタリギアとプーリのギア比を考慮に入れた駆動力線図を以下に示す。

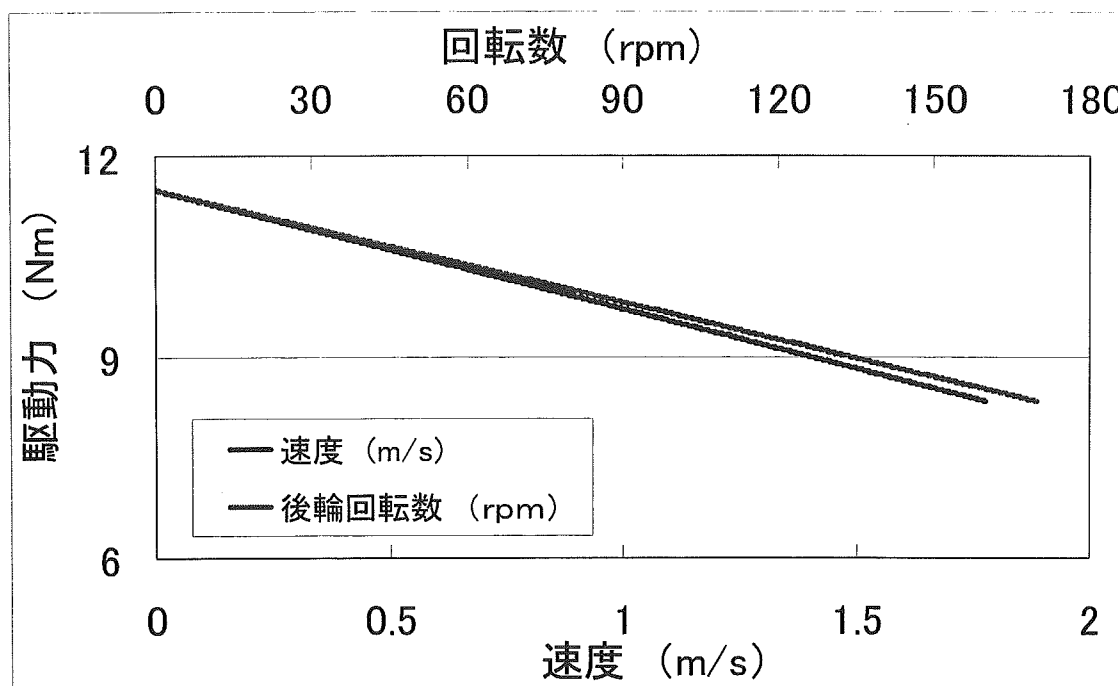


Fig3.4.1 後輪における駆動力線図

### 3.5 後輪の設計

ベルトからの駆動力を後輪に伝えるプーリと後輪を、直接連結させた方がスペースを取らないため後輪を設計することにした。ここで転倒防止のため後輪の材質を鉄にし、歩行支援機を低重心化した。その絵を下の図に表す。

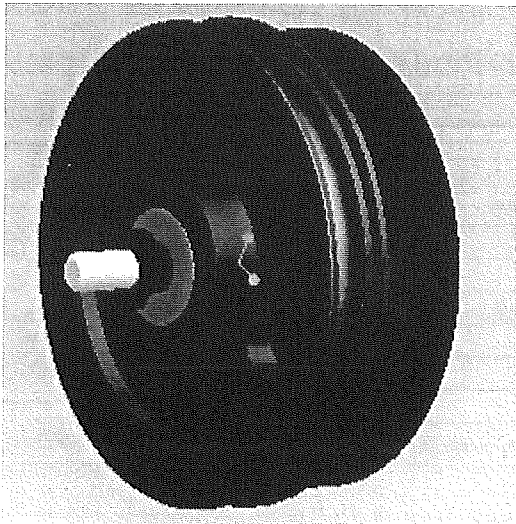


Fig3.5.1 後輪ホイール

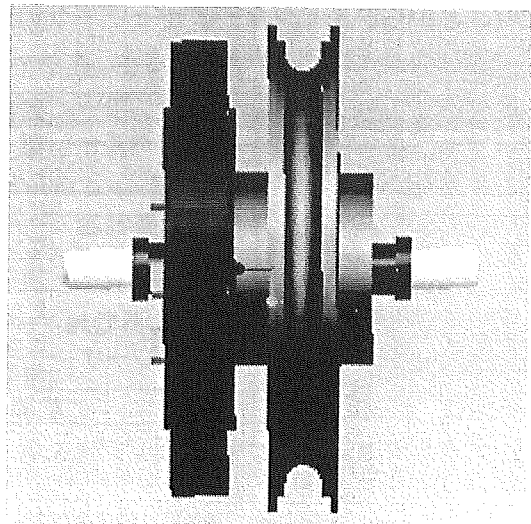


Fig3.5.2 後輪ホイール

ホイールとプーリは $\phi 6$ のボルト4本で連結させ、軸とホイール、プーリの間にベアリングを入れた。この設計により、後輪に与えられた寸法内に収めることができた。

また、後輪には段差を降りたときに強い振動が起こるため、ホイールと軸には 250kg の荷重がかかっても耐えられるよう設計した。その解析結果は以下のとおり。

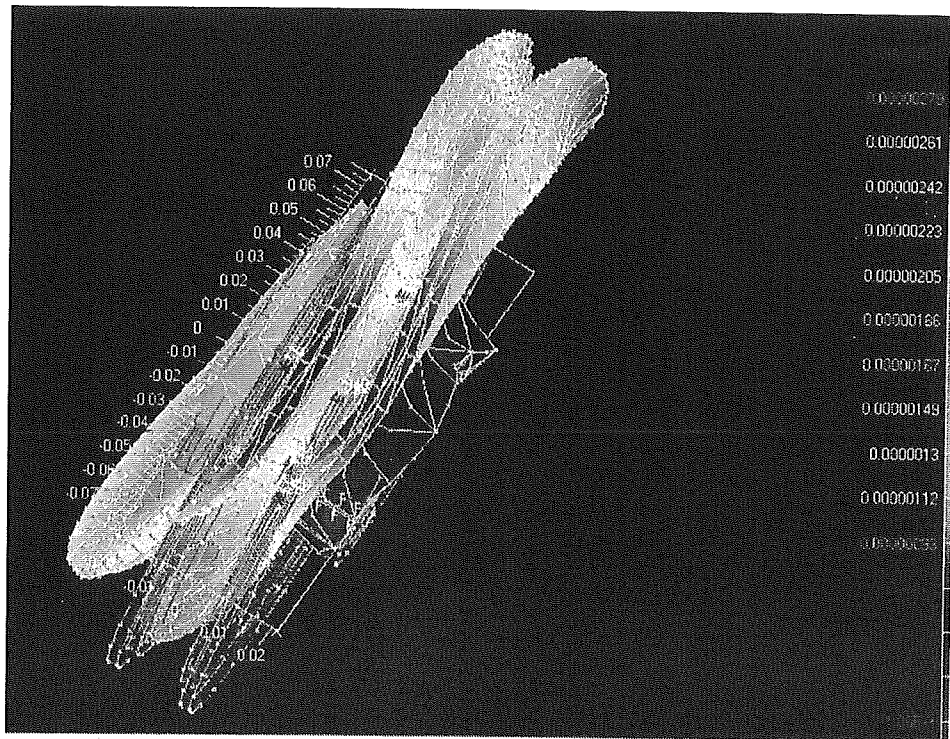


Fig3.5.3 後輪ホイールの解析結果の例

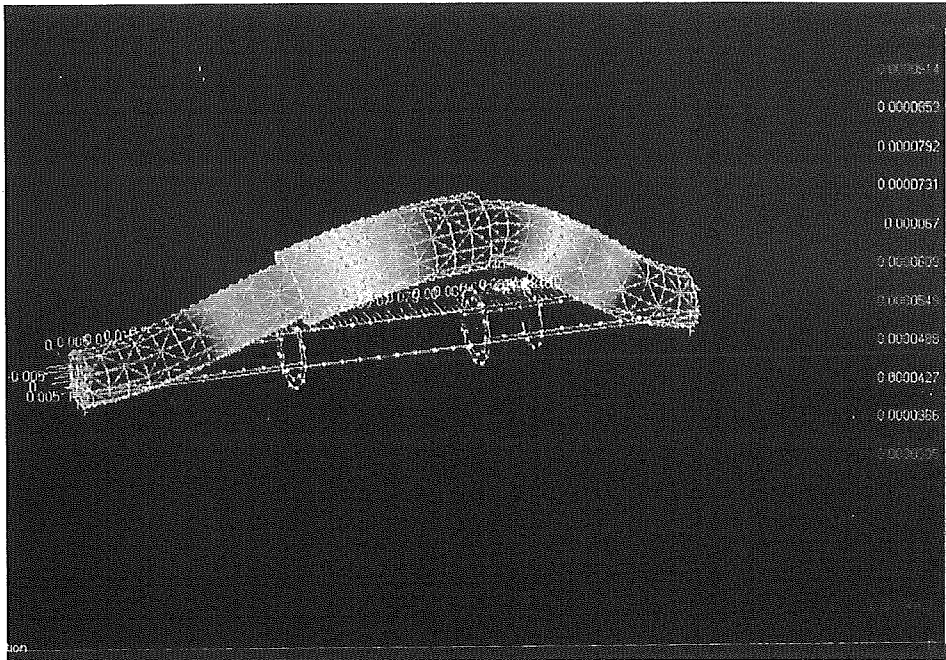


Fig3.5.4 後輪軸の解析結果の例

### 3.6 スイングアームの設計

スイングアームについてはパイプを 2 本使う構造とし、その間に後輪部を両端から抑え、その先端にフレームと接続させる支点部を持つ形状とした。

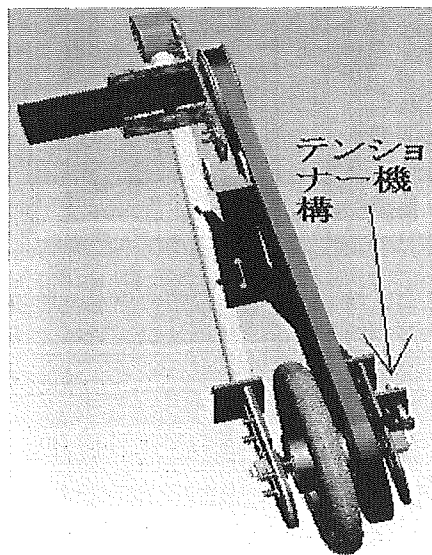


図 3.6.1 スイングアーム全体図

スイングアームのパイプを A アームのように設計し、フレームと接続させる部品は中にベアリングを入れ、1 軸の回転のみフリー状態にした。また、後輪部の近くにテンショナー機構を付けたことにより少スペース、軽量で楽にベルト張力を調整できるようになった。

また、スイングアームにも後輪部と同じ荷重 (250kg) をかけ、解析を行った。

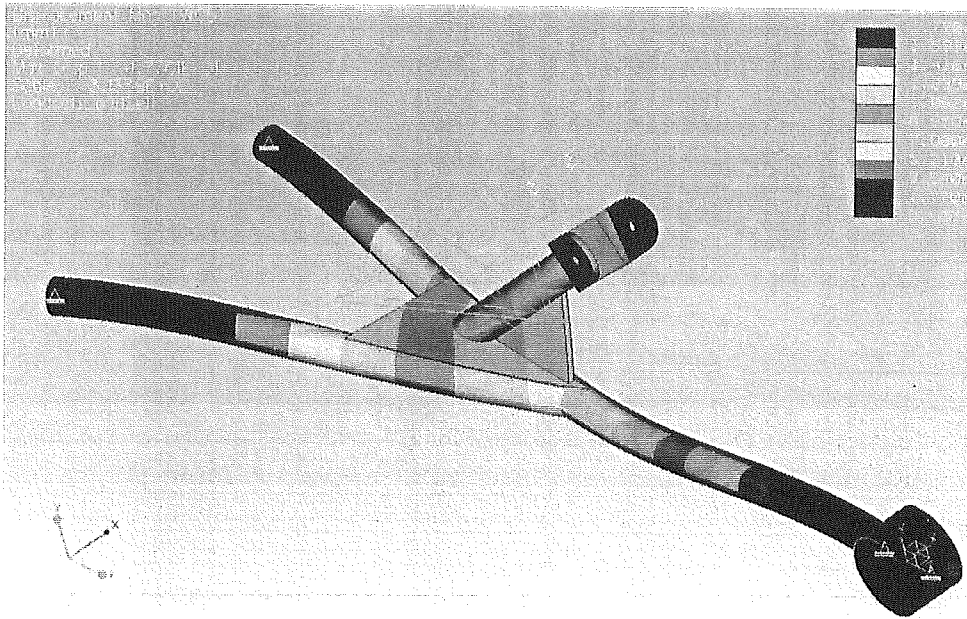


図 3.6.2 スイングアームの静解析図

### 3.7 駆動性能評価実験

#### 3.7.1 実験の目的

設計段階で設定した駆動力線図のとおり、トルクと回転数が出ているかどうか確認するため、実験を行った。

#### 3.7.2 実験器具

ノート型パソコン

歩行支援装置

ワイヤー（直径 1.5mm, 長さ 5m）



Fig3.7.1 ワイヤーと止め金のサーキュラースリーブ  
重り（100g, 200g, 300g, 500g, 1kg, 2kg, 12kg）

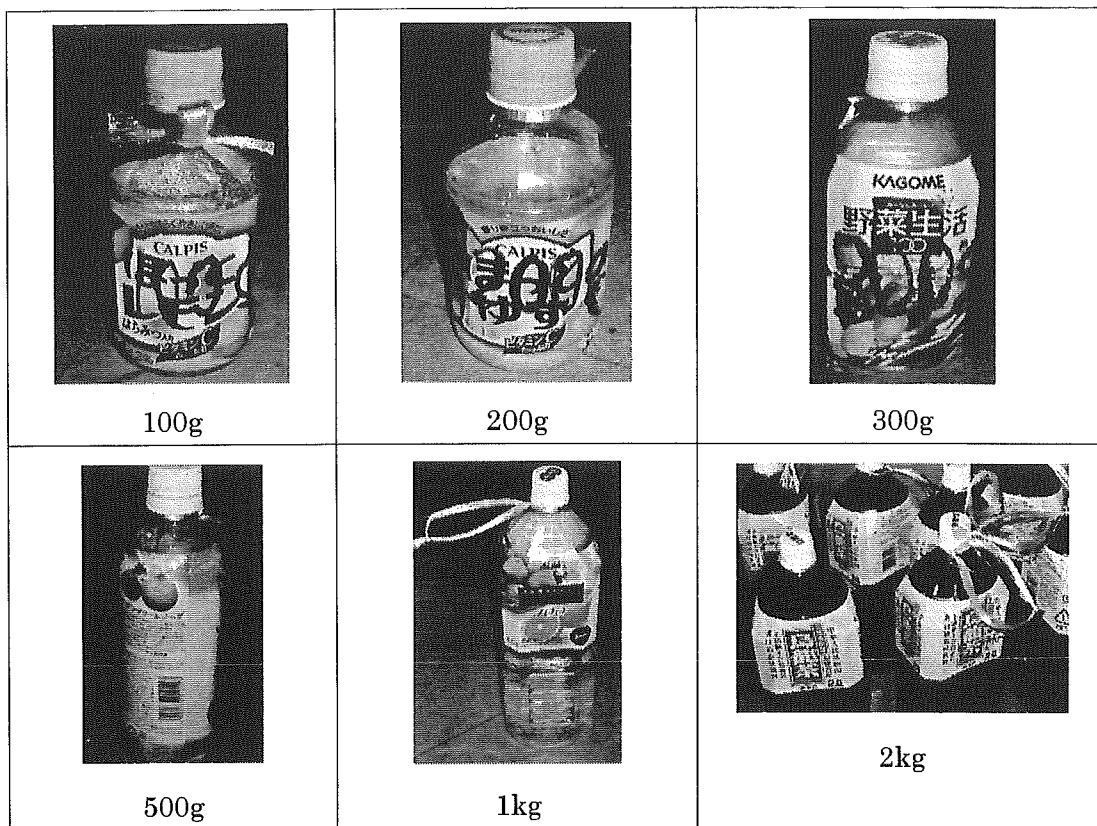


Fig3.7.2 各種重り

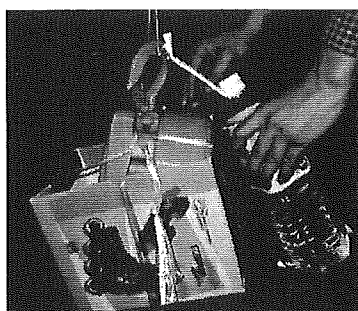


Fig3.7.3 12kg の重り

ジャッキ

滑車

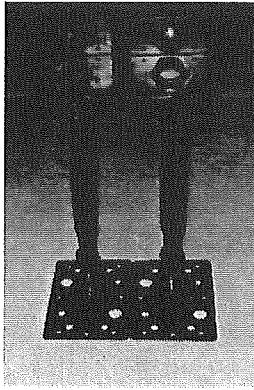


Fig3.7.4 ジャッキ

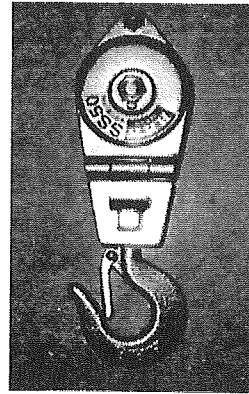


Fig3.7.5 250kg 用滑車

### 3.7.3 実験装置

上記の実験器具を用い、後輪のタイヤにワイヤーを付け、滑車を介して重り  $M$  を付けた。

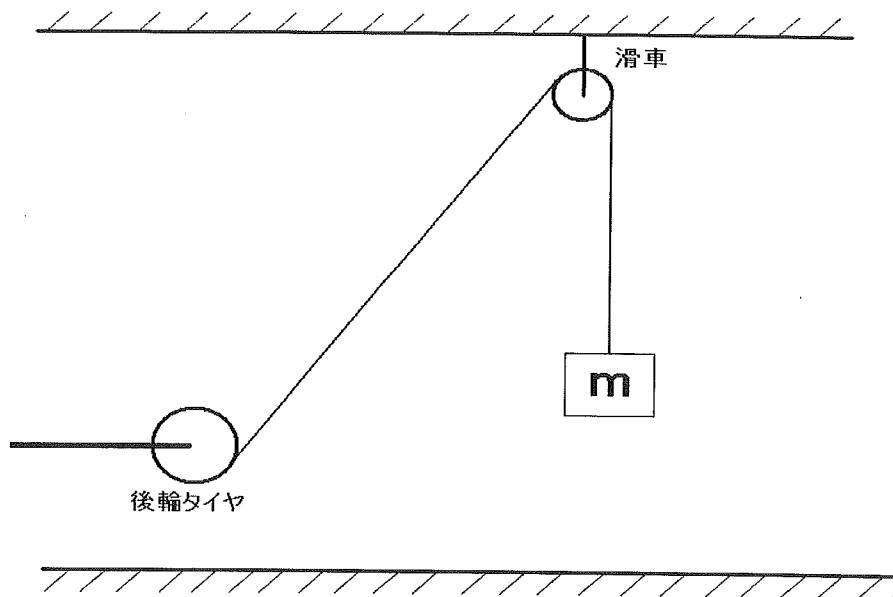


図 3.7.6 実験装置概略図

### 3.7.4 実験方法

制御用パソコンで後輪のタイヤの回転数を指定し、重り  $M$  を 100g 単位で計測した。

### 3.7.5 実験結果

後輪タイヤにワイヤーをかけて測定したところ、どの回転数でも吊り下げられる重りが 15kg までしか持ち上げられなかった。その出てきたデータを図 5.3.2.2 の後輪部の駆動力線図と照らし合わせた図を以下に表す。

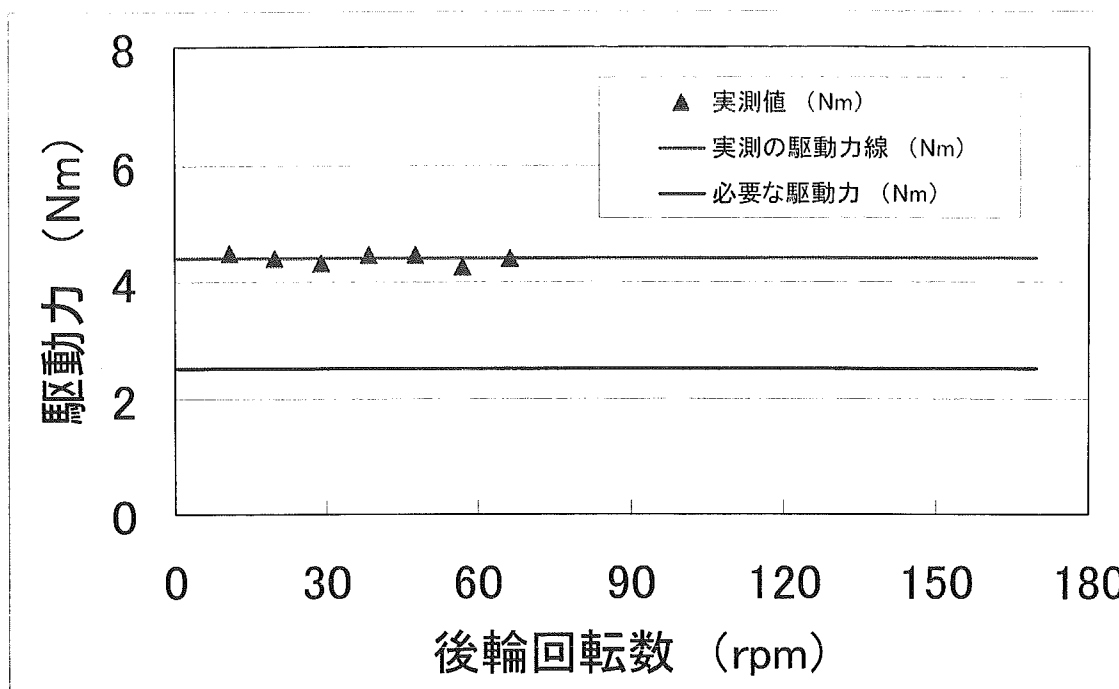


Fig3.7.7 駆動実験結果

### 3.7.6 考察

駆動実験結果の結果、どの回転数でも 0.0416Nm(15kg)までしかトルクが計測できなかった。これは、汎用制御基盤 SPX-8000 のためであると考えられる。SPX-8000 の動作上では、指令位置と機械位置の差(偏差)が一定値以上になると「偏差過大エラー」となり、指令の一切を遮断し停止させる機能がある。0.0413Nm(14.9kg)までは偏差の許容範囲内で回転していたが、0.0416Nm(15kg)以上になると偏差が許容範囲を超えてしまうので、制御側からエラーとして停止した。

各回転数で何度か同じ事をしたが、 $5.5 \times 10^4$ (200g)程度のばらつきはあったものの、平均を取ってみたところ、許容荷重は約 0.0416Nm(15kg)であったため、ここがエラーの起きる境界であると考えられる。

また後輪のタイヤを回転数 75rpm 以上での空転においても、同様のエラーが発生し停止した。しかし、モータの回転にはまだ余裕があるように感じた。このことから、モータの以上回転や高負荷による焼き切れを防止するために、安全装置としての制限が設けられていると考えられる。

### 3.7.7 結論

今回スイングアームと後輪部の目標重量は合わせて 8kg 以下だったが、製作してから計ってみたところ 16kg だった。目標重量の 8kg オーバーしてしまったが、ホイールやプーリなどの設計をもう一度見直せば、決して実現できない重量ではないとわかった。

制御基盤の制限によって、設計したとおりの結果は得られなかったが、50mm の段差を乗り越えるには十分な支援力があることを確認することが出来た。

これにより制御基盤による安全装置の開放により設計とおりのトルクが出るため、もし万が一、買い物の帰りに片方のモータが動かなくなったとしても、もう 1 つのモータでも帰る事が出来るようなフェイルセーフ思想をもった性能を秘めているものと推測される。



## 第4章制御システムの構築

### 4.1 目標性能

使用者が歩行支援機を使用する際の負荷を、モータによる駆動ユニットを搭載することによって軽減する。特に段差を乗り越す際の、使用者が歩行支援機を押す力をサポートすることに重点をおく。また、使用者が歩行支援機に身体を預けた状態で制御できるようなインターフェースおよびアプリケーションを開発する。

### 4.2 調査

#### 4.2.1 50mm段差乗越え実験

アシスト量の指標とした、前年度開発機の50mm段差乗越え実験の結果は以下の通り。

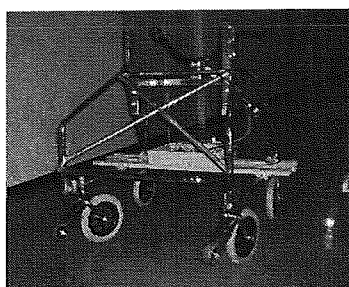


Fig.4.2.1 NW-1 改良型

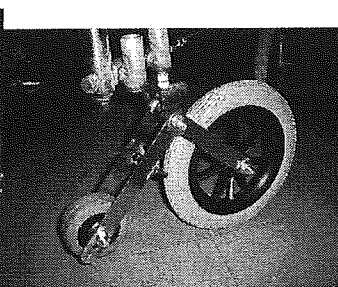


Fig.4.2.2 前輪部

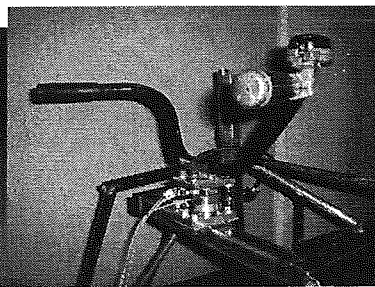


Fig.4.2.3 力センサ部

#### 実験装置及び用具

歩行器改良型 (NW-1 改良型)

NEC 製ノートパソコン

KISTLER 製 力センサ (4 自由度：並進方向 3 軸及び鉛直軸回転方向)

5mm 厚の板×10 枚 (購入元：株式会社ヒコネ)

ガムテープ (板固定用)

工具 (ハンドル取り付け及び前輪取り付け用)

ビデオカメラ

#### 実験手順及び測定項目

まず、歩行支援機に力センサを取り付けた。歩行支援機を 1.5km/h (歩行器使用者の平均速度) になるように速度を調整 (あらかじめ被験者に左記速度になるように数回練習させた) しながらまっすぐ動かした。また、ハンドル部下方に装着した力センサによって並進方向 3 軸と鉛直軸周りのトルクを測定した。さらに、前輪が各高さの板を昇降するまでのデータ (被験者が歩行支援機に及ぼす力) を測定した。

## 実験結果

以下に、ハンドル部に搭載した力センサによって測定された荷重を示した。

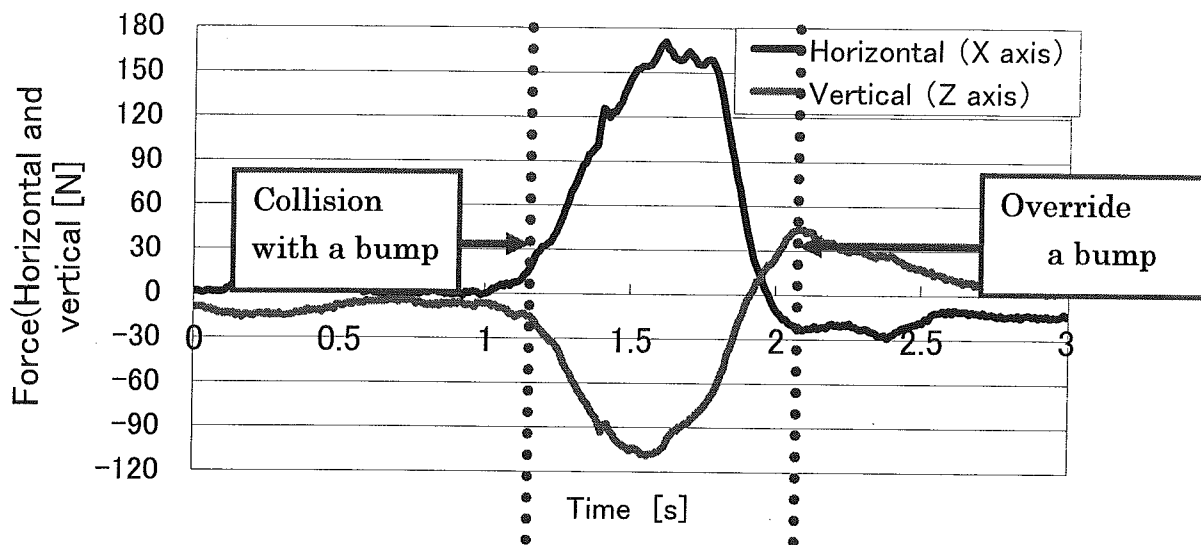


Fig.4.2.4 段差乗越え時に発生させるハンドル部からの荷重

50mm 段差を乗越えた際、歩行支援機を押し力は 170.1N であった。また、歩行支援機にかけた体重（荷重）は 109.1N であった。

## 考察

図 6.2.1.5 では、段差を乗越える際に歩行支援機にかけた力を示したが、歩行支援機を押し力は 170.1N であり、シミュレーション時では 165N であった。0.5%の誤差はあったもののほぼ同等の値を得た。ここで、95%tile にある水平荷重は、129N であるために筋力の低い方にとっては 50mm の段差を乗越えられない可能性がある。

## 結論

モータによるアシスト量の目標値は約 40N とし、それを満足できる結果が得られた。

## 4.3 サーボ機構

### 4.3.1 サーボ機構採用への流れおよび目標

Fig.4.2.4 より、段差乗越え時の歩行支援機において、前後方向の力にマイナス値が出ていることがわかる。これは、乗越えの際、前輪のトーションバネにエネルギーが蓄積され、前輪が段差を上った時にバネの復元力により歩行支援機が前方向に跳ね返るような現象が起こったからである。

それを解決するには、駆動ユニットは単純に進行方向に進むのではなく、移動速度の調整など柔軟な制御ができるフィードバック制御が最適と考えられる。また、左右旋回時に発生する左右後輪の回転差を、左右それぞれにモータを設置して独立した駆動力の発生を可能にし、これを独立懸架とすることで路面追従性を追及した。

本研究では株式会社テクノ製のオープンモーションコントローラ SPX-8000 シリーズを中心としたサーボ機構の導入と使用者による能動的な速度制御インターフェースの開発およびシステム構築を目標とした。

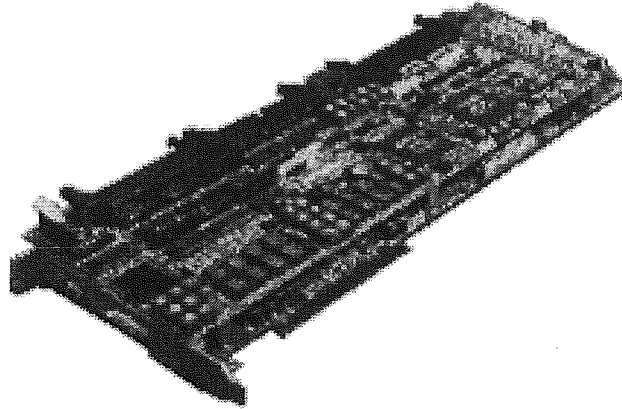


図 4.3.1 テクノ製 SPX-8000 シリーズ

#### 4.3.2 サーボ機構とは

サーボ機構は、フィードバック制御の典型例であって、ロケット、航空機、船舶の自動操縦装置、追跡レーダー、プロセス用操作機、ペン書き記録計などをはじめとして、ロボット、NC 工作機械などにまで広く使用されている。サーボ機構は、その動力源によって、電気サーボ機構と油圧サーボ機構とに分類されるが、前者は主に中小型のものに、後者は大型のものに使用される。本研究では小型の電気サーボ機構を用いて制御を行った。

サーボ機構は物体の位置（あるいは速度、加速度）や角度（あるいは角速度、角加速度）などを制御する機構であり、プロセス制御系や自動調整系の一部分として使用されることも多く、電気系の情報を機械量に変換する際によく用いられるものである。電気サーボ機構は位置や角度の情報の変換方法によって直流サーボ、交流サーボ、デジタルサーボなどに分類されることもある。また、制御量の現在位置を取り出して主フィードバック信号を送り出す部分を検出部と呼び、この検出精度がサーボ機構の精度に影響する。そのため、検出部の選定は重要であり、検出要素としては次のものが挙げられる。

- 抵抗形検出器 ———— ポテンショメータ等
- 誘導形検出器 ———— コイルの電磁誘導作用を利用したもの（シンクロ等）
- 容量形検出器 ———— 可変コンデンサ等
- 光電形検出器 ———— フォトトランジスタ、フォトエンコーダ等
- 機械的検出器 ———— ディファレンシャルギア（差動歯車）等

なお、本研究では抵抗形検出器にあたる、MAXON モータ社製の磁気抵抗検出式エンコーダを使用する。

一般的なサーボ機構を表した図を Fig.4.3.2～Fig.4.3.4 に示す。

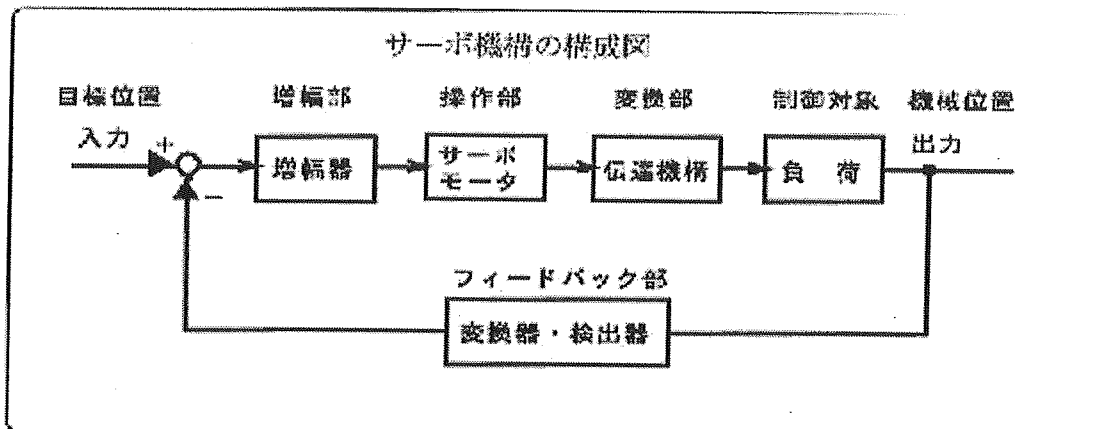


Fig.4.3.2 サーボ機構の構成図

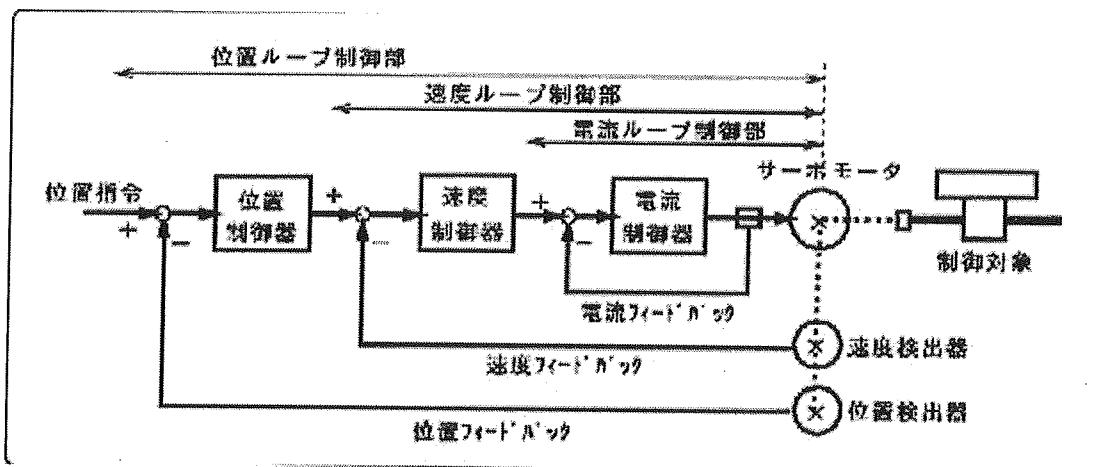


Fig.4.3.2.3 位置制御のサーボ機構

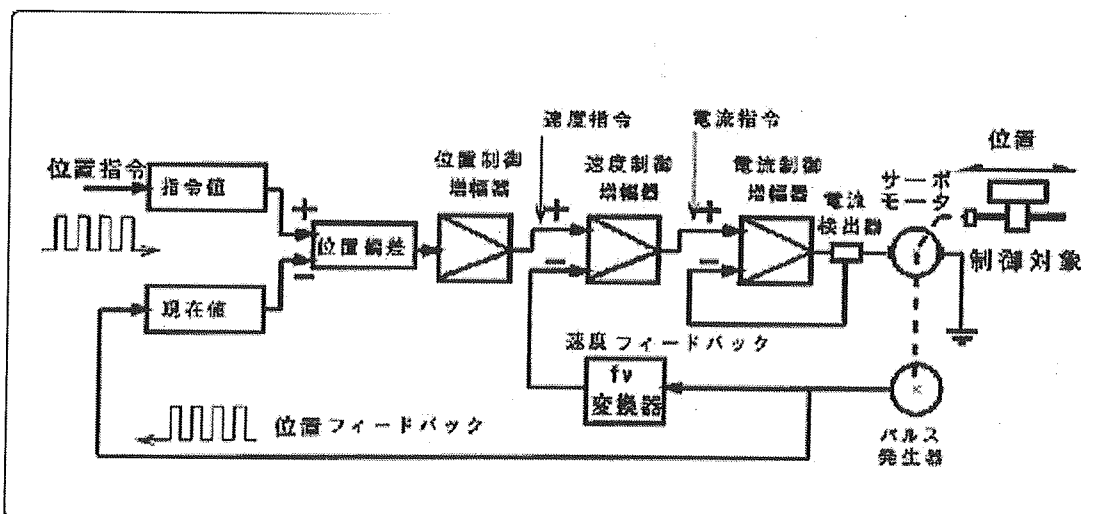


Fig.4.3.4 具体的な制御構成図