

図 7.8 前輪取り付け図

(1) 実験目的

カムと空気入りゴムタイヤをつけた歩行支援機が段差に出くわしたときの衝撃を調べて、使用者の体の負担が減少していて、その結果、問題のない使用感が得られているのかを検証する。

(2) 実験方法

使用感を評価するにあたって、実機に加速度センサを取り付け、段差の昇降時の加速度を進行方向（X 軸）で計測することによって横揺れを調べた。

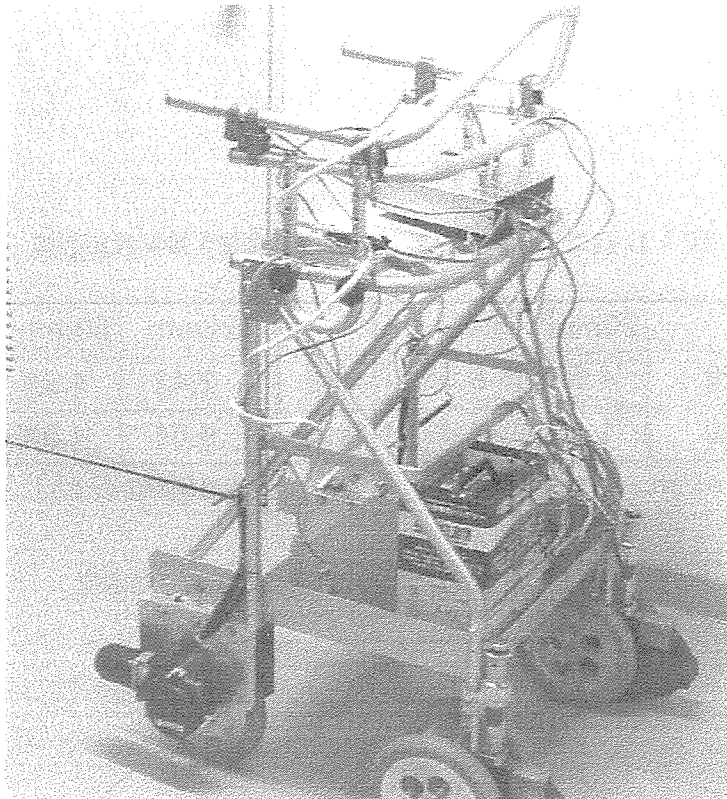


図 7.9 実験装置全景

また、初速度 0 の状態からの段差乗り越え能力を検証するので図 7.3, 7.4 のように前輪を 20mm 段差に接触させた状態からの段差乗り越えを行う。

上に挙げた条件で、ソリッドタイヤとゴムタイヤを、その都度付け替えることにより比較実験を行った。

(3) 実験結果

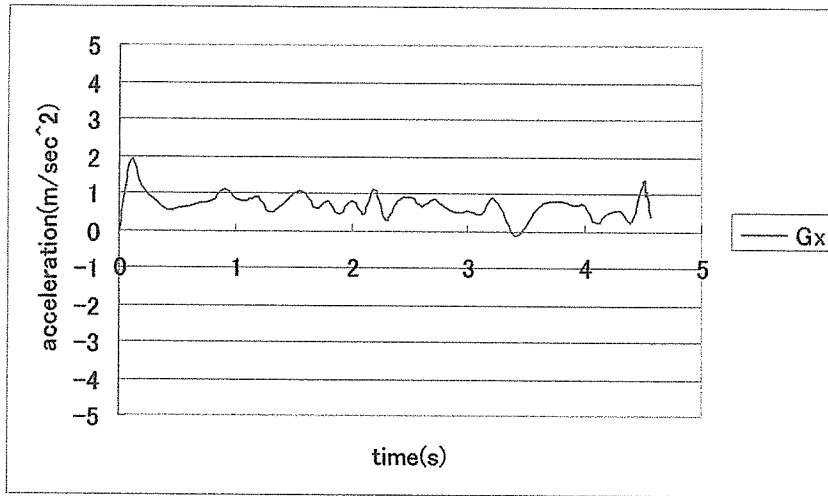


図 7.10 ソリッドタイヤ装着時の段差乗越え横揺れ加速度

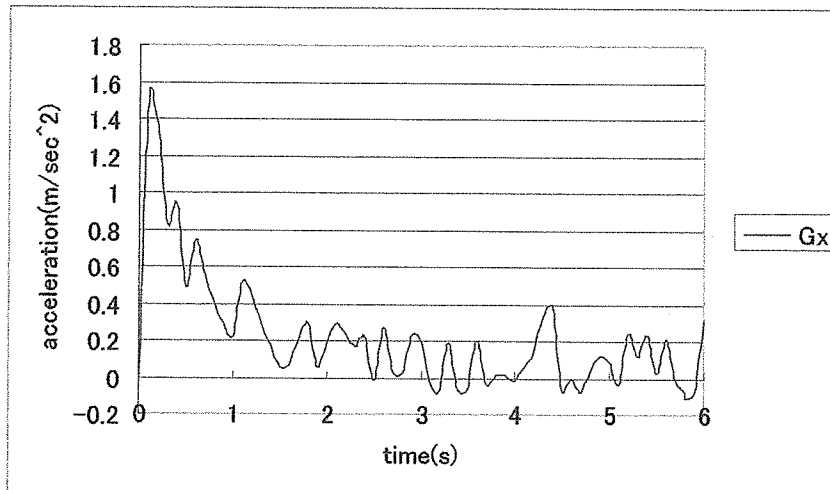


図 7.11 空気入りタイヤ装着時の段差乗越え横揺れ加速度

	20mm	50mm		20mm	50mm
前輪	4.82	8.05	前輪	2.42	4.51
後輪	1.43	3.42	後輪	6.01	4.01

測定された上下加速度[m/sec²] 測定された前後加速度[m/sec²]

図 7.12 段差通過時の歩行支援機に加わる加速度

	20mm	50mm
前輪	2.84	4.35
後輪	6.01	10.4

測定された電流量[A]

図 7.13 段差通過時の消費電流値

(4) 考察

実験の結果、ゴムタイヤ装着時の方が段差に出くわした時の横揺れが少なく、直進安定性が向上し、使用する際のフィーリングの向上をはかることができた。

また前輪接触時の衝撃は使用者に段差の存在を知らせるシグナルになり、段差を跨ぐ際の躓き事故の防止に効果があると考えられる。

- ・ 上下方向加速度は 20mm より 50mm の方が加速度が大きい
- ・ 段差を乗越えるのに必要な時間は 20mm の方が短い、50mm と極端な差もないので上った距離の差が上下加速度の差の原因と考えられる。
- ・ 前後方向の加速度で最も高い値を記録したのは、上下方向とは違い 20mm 段差であった。

8. 駆動動力機構

電動モータによる駆動輪は、後左右輪に独立して設置するレイアウトを採用している。歩行支援機では、低速で高トルクが出せる小型電動モータが必要となる。歩行では、快足レベルである 5km/h の歩行速度で外径 200mm の車輪は約 133rpm である。15deg の登り坂道を 3km/h で上るとすると、80rpm で車軸部での駆動トルクが約 10Nm 必要である。前年度までは ER デバイスによるブレーキを用いるためにベルト伝達によってモータから駆動輪である後輪に動力伝達が行われていたが、モータがフレームに取り付けられていたため、フレームの設計変更にもなって再度モータの取り付け位置を考えねばならなくなる問題があった。そこで、本年度はモータの取り付け位置をフレームから外し、駆動部分の一体化して、駆動部分のユニット化と省スペース化をはかった。さらに、本年度の駆動動力機構では、前年度使用された ER ブレーキを用いないことが決定されている。そのためにブレーキ等をモータ制御で行わなければならないため、普通の DC モータではなく、制御性能が良い DC サーボモータを用いる。

8.1 必要トルク

支援機に必要なトルクが大きい場合について考えると、以下のような時があげられる。

- ・ 登坂可能最大斜度 15[deg]の坂での登坂時
- ・ 最大乗越し可能段差 20[mm]の段差での乗越し時

これらの場合について、70[kg]の人が支援機にしっかりと荷重をかけた場合(荷重 $W=70[\text{kg}] \times 30[\%]=21[\text{kg}]$)での必要トルクを計算し、支援機の最大必要トルクを求める。

8. 1. 1. 登坂可能最大斜度での必要トルク

上記の条件を元に、登坂時の力学モデルを Fig.8.1,8.2 に、負荷トルクを求める式を以下に示す。

$$T_{\max} = r(mg + W) \sin \theta \quad (8.1)$$

$$T_{\max} : \text{最大負荷トルク [Nm]} \quad r : \text{後輪半径 [mm]} \quad F_2 : \text{後輪にかかる力 [N]}$$

$$m : \text{歩行支援機の重さ [kg]} \quad W : \text{使用者の荷重 [N]}$$

式(8.1)から、登坂時の最大負荷トルクを求め、そのときに車輪がスリップしない限界トルクとの関係を Fig.8.2 に示す。

Fig.8.2 から登坂角度が 10.2[deg]において、床面がリノリウム($\mu=0.2$)のときに最大負荷トルクが限界トルクを上回り車輪がスリップしてしまう。アスファルト($\mu=0.4$)よりも摩擦係数が高い床面であれば開発コンセプトの登坂可能最大斜度 15[deg]をクリアできる。そのときに必要なるトルク T_{\max} は

$$T_{\max} > 10.4 [\text{Nm}] \quad (8.2)$$

8. 1. 2 最大乗越し可能段差での必要トルク・前輪+段差乗越え装置装着 (r=600mm)

当面の目標である乗越し可能段差高さは 20[mm]であるが、段差乗越しモードを搭載したときの将来的な目標では乗越し可能段差高さは 50[mm]である。よって、ここでは段差高さ 50[mm]までを想定して必要トルクを求めていく。段差乗越しに必要な力 F_2 の式を用いて、図 8.3 に示す段差乗越え装置の場合の車輪径($r=600[\text{mm}]$)から必要トルクを求める。

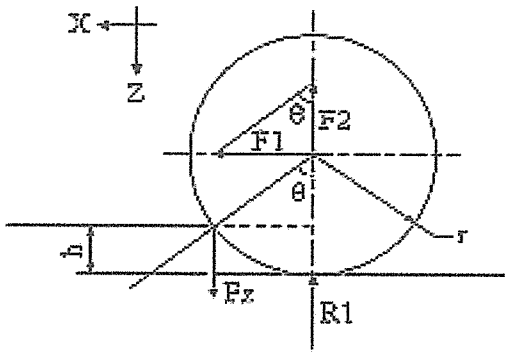


図 8.1 前輪段差乗越え時のモデル(1)

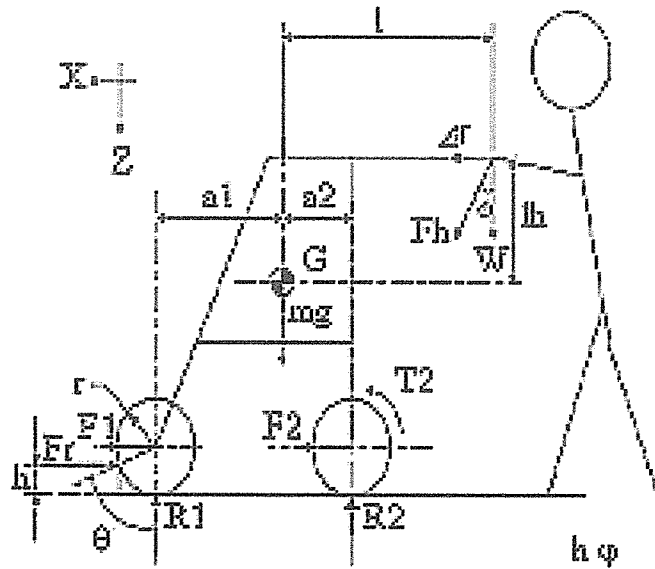
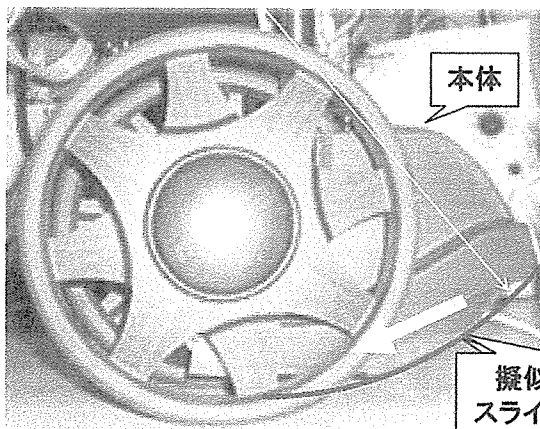


図 8.2 前輪段差乗越え時のモデル(2)

$$F_2 = \mu R_2 = \frac{\mu(lW + (mg + W)a_1 - l_h \Delta F)}{a_1 + a_2} \quad (8.3)$$

$$h \leq r \left(1 - \frac{1}{\sqrt{A^2 + 1}} \right) \quad (8.4)$$

$$A = \frac{\mu(lW + (mg + W)a_1 - l_h \Delta F) + \Delta F(a_1 + a_2)}{(mg + W)a_2 - lW + l_h \Delta F} \quad (8.5)$$



擬似大車輪
車輪径1200mm

本体とスライド部の間には
ベアリングが仕込まれており、
スライド部が段差を捉えた後、
本体が後輪の後押しにより
スムーズに段差上にせり上がります。

擬似大車輪と
スライド部の接点

図 8.3 スライド式段差乗越え装置 (r=600mm)

$$F_2 > \frac{(mg + W)a_2 - lW}{a_1 + a_2} \times \frac{\sqrt{2rh - h^2}}{r - h} \quad (8.6)$$

$$T = 0.1F_2$$

$$T > 0.1 \times \frac{(mg + W)a_2 - lW}{a_1 + a_2} \times \frac{\sqrt{2rh - h^2}}{r - h} \quad (8.7)$$

式(8.7)に歩行支援機の仕様の値をいれると、

$$T > 4.27 \text{ [Nm]} \quad (8.8)$$

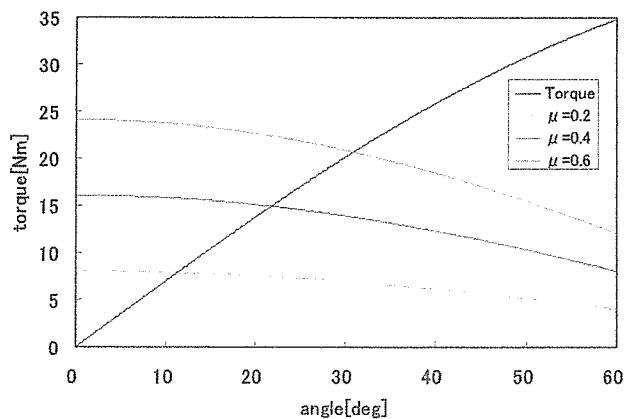


図 8.4 Maximum torque

8.1.3 後輪乗越え時の必要トルク

後輪は、基本的に段差乗越え装置を装着しない。これは、後輪が駆動軸であるので、段差に空気入りタイヤが食い込み車軸に加わる電動モータからのトルクが大きく、摩擦係数 $\mu=0.8$ を想定することができるためである。この時に必要な軸トルクを算出する。

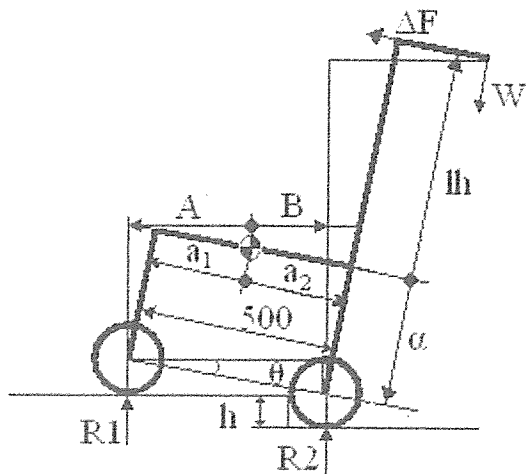


図 8.5 後輪乗越え時のモデル(1)

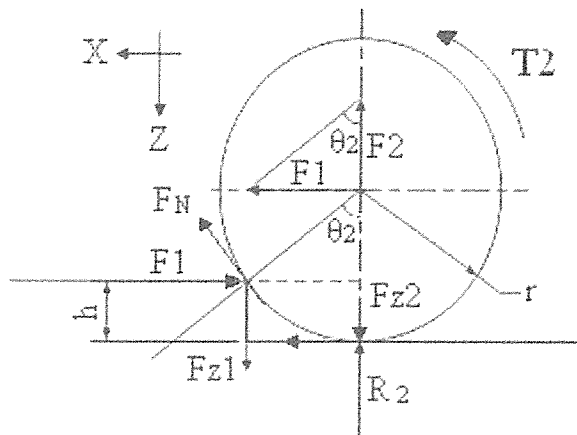


図 8.6 後輪乗越え時のモデル(2)

$$T_z = F_r r_z = \frac{R_2 \tan \theta_2 - \Delta F}{\cos \theta + \sin \theta \tan \theta} \quad R_z = F_{z2} + F_{z1}$$

$$F_r \leq \frac{0.8 R_2 \cos \theta}{1 - 0.8 \cos \theta \sin \theta} \quad F_{z2} = 0$$

.. (8.9)

バリアフリー路面の段差高さ 20mm では、6.5Nm の軸トルクが必要であり、最大段差高さである 50mm では、10.5Nm の軸トルクが必要となる。

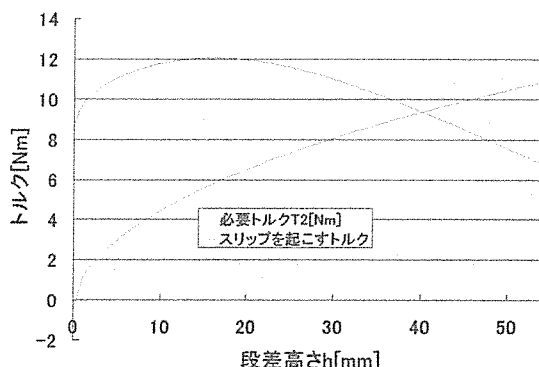


図 8.7 後輪の段差通過に必要な軸トルク

8.1.4 電動モータの要求性能・必要トルクの決定

8-1-1~8-1-3 項から支援機に必要なトルク T を決定すると、登り坂や 50mm 段差乗越え(後軸)より、最大トルクは、

$$T_{MAX} \cong 10.5 \text{ [Nm]} \quad (8.10)$$

となる。このトルクは、車輪軸ベースで、極低速から 80rpm(登り坂 3km/h の歩行)で要求される仕様である。

快足レベルとして、5km/h の歩行を想定すると、車輪ベースで 133rpm の回転速度となる。一般に、快足で歩く時は、路面がなめらかで、歩きやすい状況が考えられ、必要トルクは数 Nm と考える。路面抵抗の大きい砂利路などはここでは、想定しないが、上記の最大トルクであれば、ほぼクリアは可能と考える。従って、電動モータの出力は、10.5Nm/80rpm とすると、約 14wat の仕事率であり、効率なども考慮して、20wat 弱の出力を必要とする。

現存の電動モータでは、これらの要求仕様を満足するものは無い。数千 rpm で、小数点以下の Nm トルクの小型モータを用いて、減速し、その分トルクを稼ぐやり方が現実的である。しかし、多段のギヤ列やベルト列を必要として、騒音やメンテナンス、干渉などに加え、バックラッシュなどのがた系の影響が出てしまい、問題点が多い。

できれば、コンパクトで車輪部およびその近傍で構成される駆動力部を形成し、互換性や足回りのスペースを確保するものが求められる。今までのものも含め、以下の電動モータの検討を行った。電圧は、高い方が良いが、電源装置との関係もあり、12 または 24V を使用する。

- (1) TS4603DC サーボモータ+多段ギア列・バックラッシュ大、騒音大
- (2) 自動車用ドア自動開閉用電動モータ・ウォームギアと電磁クラッチのセット
電源断の時、車輪がウォームギアでロックされてしまう。
- (3) ソーラーカー用アウターロータ電動モータを用いたインホイール方式・まだやや回転数が高い
・コギングトルクが若干大きい。

8.2 歩行支援機の速度

前年度までの支援機では 5[km/h]の速度まで出るように設計されていたが、使用者が高齢者や身障者であることを考慮するとこれはオーバースペックである。そのため、本年度設計する支援機では最大速度を 3[km/h]に設定して設計を行っていく。

8.3 多段ギア列方式

8.3.1 モータの選定

支援機に搭載するバッテリー前年度と同じ物を使用するため、出力電圧は 24[V]となっている。これを元にギア比との関係から使用モータは多摩川精機社の TS4603DC サーボモータに決定した。Tab.8.1 に定格トルクと定格回転数を、詳しい性能については付録に示す。

Tab.8.1 TS4603 specification

Rated torque [Nm]	0.318
Rated rotation speed [rpm]	3000

8.3.2 減速比の決定

支援機が満たさなければならない性能は、式(8.1.6)と 8-2 から、

$$T > 10.4 \text{ [Nm]}$$

$$V = 3 \text{ [km/h]}$$

V : 歩行支援機速度

となる。Tab.8.1 に示すモータ性能との関係から減速比は 36:1 に決定する。

8.3.3 ギアの選定

ギアによる伝達はバックラッシュの関係から、使用するギアの個数が少ないほうが望ましい。しかし、設計する動力部は省スペースと動力部のユニット化を目標としている。これを優先させるために径が大きいギアを使用することは難しい。よって、ギアの個数が多くなってしまうのを許容した選定を行っていくこととする。選定したギアと、ギアにかかるトルクとの関係を Tab.8.2 に示す。

Tab.8.2 Tolerance torque

Gear number	Teeth number	Face width [mm]	Reduction ratio	Rotating speed [rpm]	Load torque [Nm]	Tolerance torque [Nm]
1	16	8	1	3000.00	0.32	4.20
2	48	6	3	1000.00	0.95	14.32
3	20	8	3	1000.00	0.95	5.93
4	56	6	1.07	2803.74	0.34	17.18
5	40	6	6	500.00	1.91	11.53
6	20	8	6	500.00	1.91	5.93
7	40	6	12	250.00	3.82	11.53
8	20	8	12	250.00	3.82	5.93
9	60	6	36	83.33	11.45	18.14

許容トルクに余裕があるギアもあるが、今回は市販のギアを使用しているため、寸法の制限などの理由で Tab.7.2 で選定したギアを使って動力部の設計を行うこととする

8.3.4 駆動部

これまでに選定したモータとギアをもとに駆動部の設計された駆動部を Fig.8.3 に示す。実際に作られた駆動部を Fig.8.8 に示す。

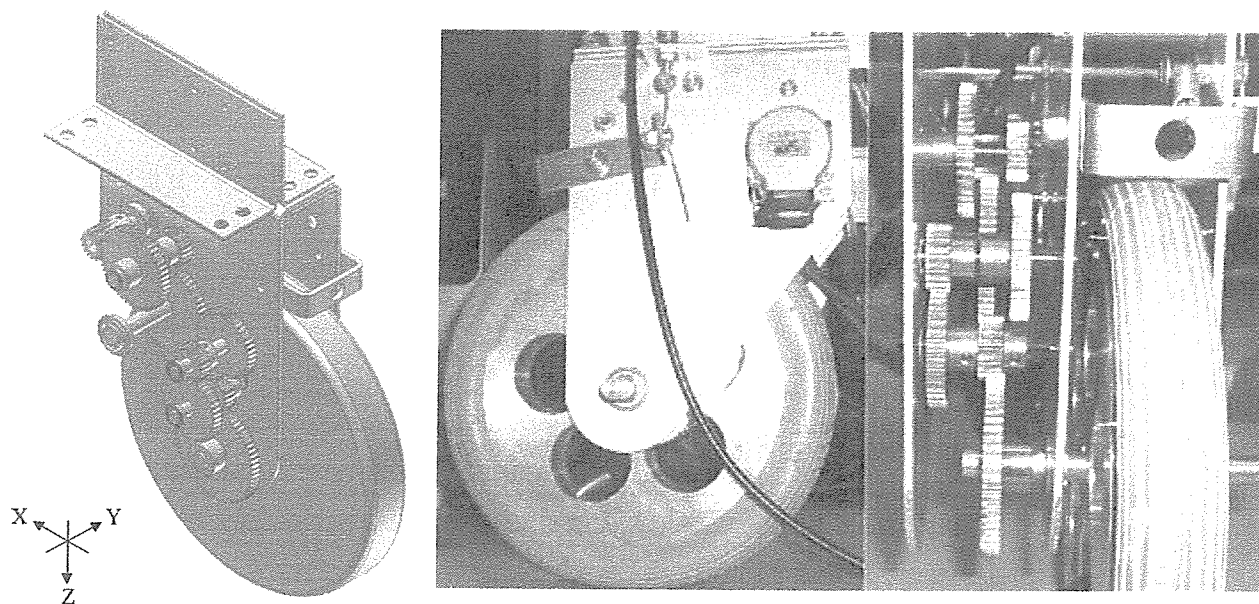


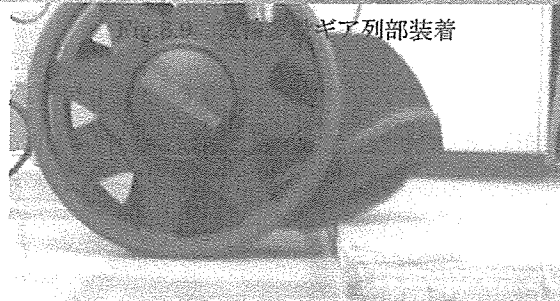
Fig. 8.8 Power unit

Fig.8.8を見るとわかるとおり、ギア伝達のみということと、径の大きなギアを使用しないということからギアが5段にかけて動力伝達がされている。伝達効率は約90[%]と問題はないが、動作時の音についてはやはり大きな音を発している。また、バックラッシュもやはり生じているため、モータからどの程度の遅れが生じるのかについてなど、不感帯について測定する必要がある。そのためにはモータと車輪にエンコーダをつけ、回転伝達の遅れを計測する必要があるが、本年度作られた車輪軸にエンコーダを取り付けることができないので、車輪軸の再設計を行いエンコーダが取り付けられるようにしなければならないという問題点が残ってしまった。騒音の問題については、今回はギアの材質がすべてS45Cであるという問題もある。この点についてはポリアセタールなどの材質のギアでも負荷トルクに耐えられるかの検討を行い、ある程度の解消していく必要がある。

Tab.8.3に駆動部の性能を、Fig.8.9に駆動部を支援機の本体フレームに搭載した図を示す。

Tab. 8.3 Power unit specification

Weight [kg]	2.7
Height [mm]	333
Width [mm]	210
Rated torque [Nm]	11.45
Rated rotation speed [rpm]	83.33
Speed [km/h]	3.14



8.4 パワーウィンド用ギアードモーターによる駆動部

8.4.1 駆動部の概要と目的

現在の歩行支援機に搭載されているサーボモーター式駆動部はトルク不足が不足していると考えられる為、ミツバ製自動車のパワーウィンド用ギアードモーターを

用いた歩行支援機用駆動部を製作する。パワーウィンド用ギアードモーターはウォームギアと電磁クラッチを備えており、その特徴について以下に示す。

- (1) ギア部にウォームギアを採用したことで低速回転・高トルクを発揮でき、手押しで回転しない。
- (2) 電磁クラッチを採用しているので、ウォームギア付きでもクラッチを切ることによって手回しで回転できる。
- (3) 回転数を検知することのできるセンサーを搭載している。

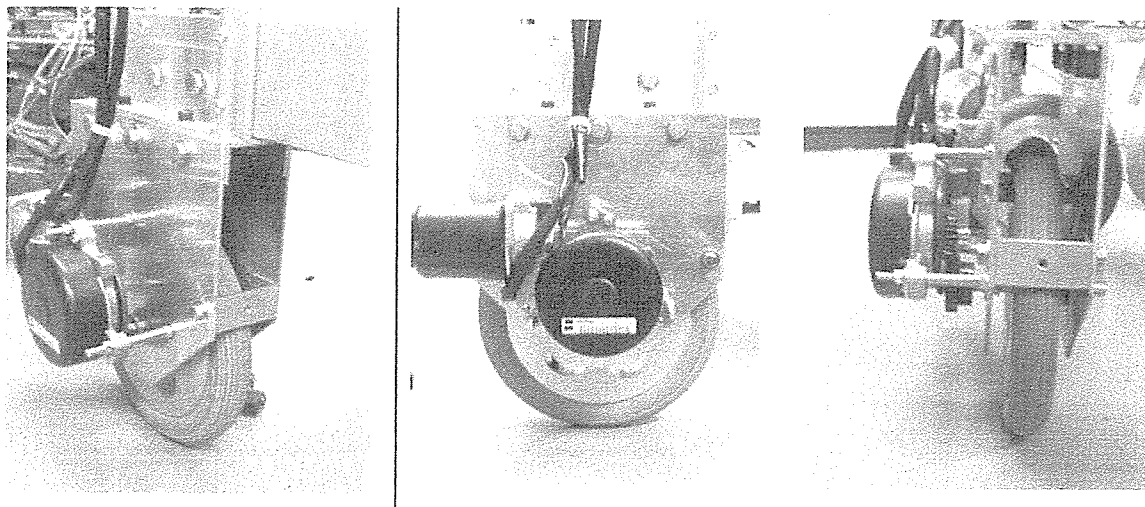


図 8.10 パワーウィンド用ギアードモーター

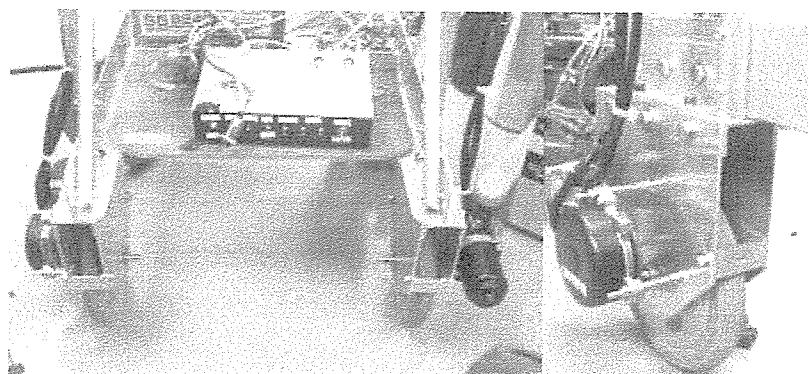


Fig. 8.11. Geared Motor とドライバーユニット部

8.4.2 ギアードモーターのスペックについて

導入したギアードモーターについては詳細なデータの提供を受けることができなかったため、公表されている値について以下に示す。

Tab8.4. Geared Motor

仕様	DCブラシレスモーター
動作電圧(V)	12
ギア構成	ウォームギア一段のみ
クラッチ	電磁クラッチ(非通電時クラッチ off)
制御系	回転数検知機能有

8.4.3 駆動部のスペックについて

上記ギアードモーターを下記に記す一組の歯車を用いて動力を伝達する。

Tab. 8.5 Geared Motor Unit

	歯車 1	歯車 2
モジュール	1.25	1.25

歯数	30	26
基準円直径(mm)	37.5	32.5
歯幅(mm)	8	8

採用されているタイヤは直径 200mm の空気入りゴムタイヤである。

8.4.4 動作試験と今後の展望について

前輪径(1200mm)と上記駆動部を歩行支援機 3 号機に取り付け、50mm 段差乗り越え試験を行ったところスムーズに段差を乗り越えることに成功した。従来の歩行支援機のトルク不足問題は克服できたものと思われる。

8.5 インホイールモーターによる駆動部について

8.5.1 駆動部の概要と目的

段差乗り越え時や前進速度の調整など細かい制御を従来の歩行支援機で行う場合、駆動部のバックラッシの解決が課題となっていた。そこでダイレクトドライブのできるインホイールモーターを用いて細かい動作に入力に機敏に反応できる足回りを製作する。インホイールモーターの特徴として、

(1) 小径高トルク、DCダイレクトドライブモーター

(2) エコランレース用モーターで実績のある低損失ケイ素鋼板と高占積率巻線とであり、これをベースに改良をしたものである。

巻き線や高磁気密度磁石などの採用で、高トルク化を図ったが、ややコギング現象が目立っている。最大トルクが約 7Nm であり、要求仕様には達していないが、バリアフリー路面では問題なく稼働ができる。

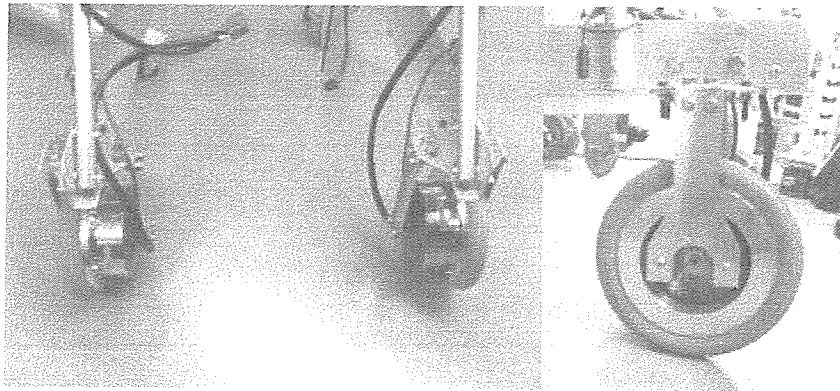


Fig. 8.11. In wheel Motor

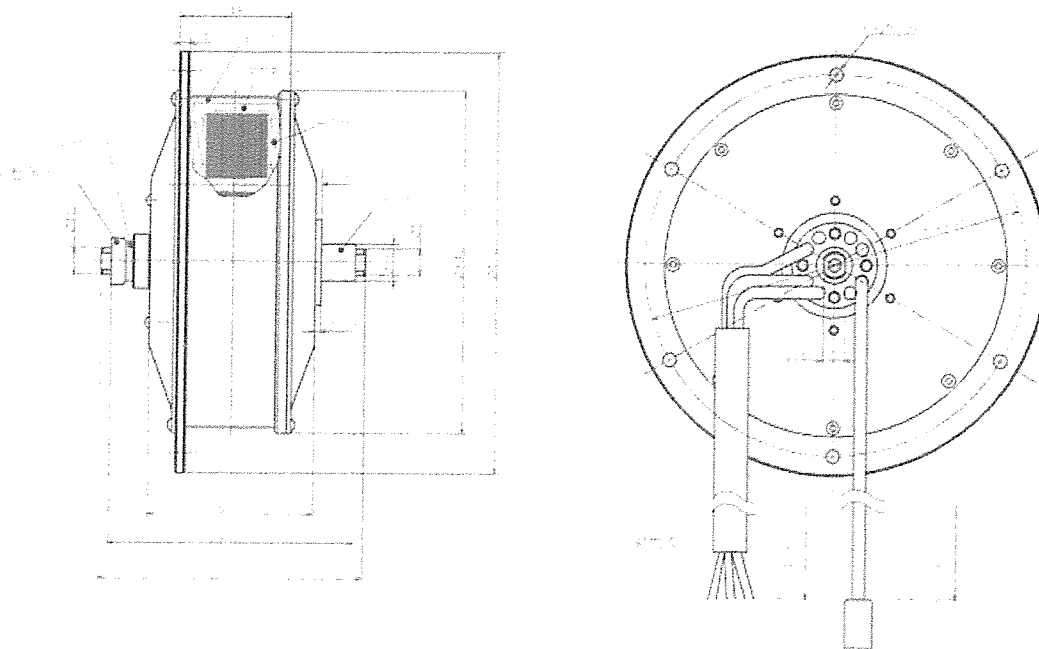


図 8.12 アウターローター式電動モーターの構造

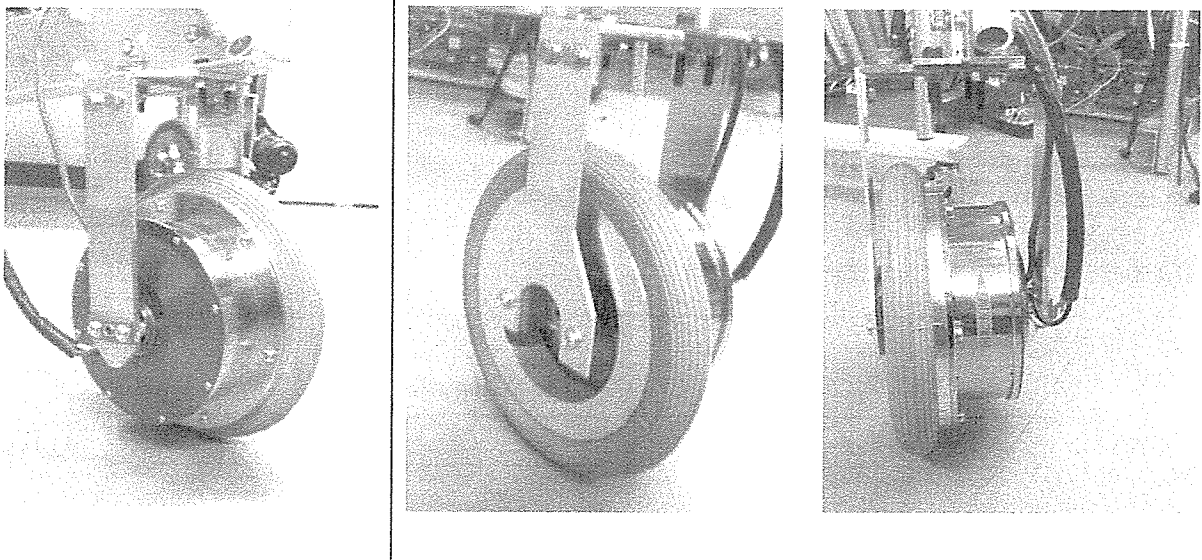


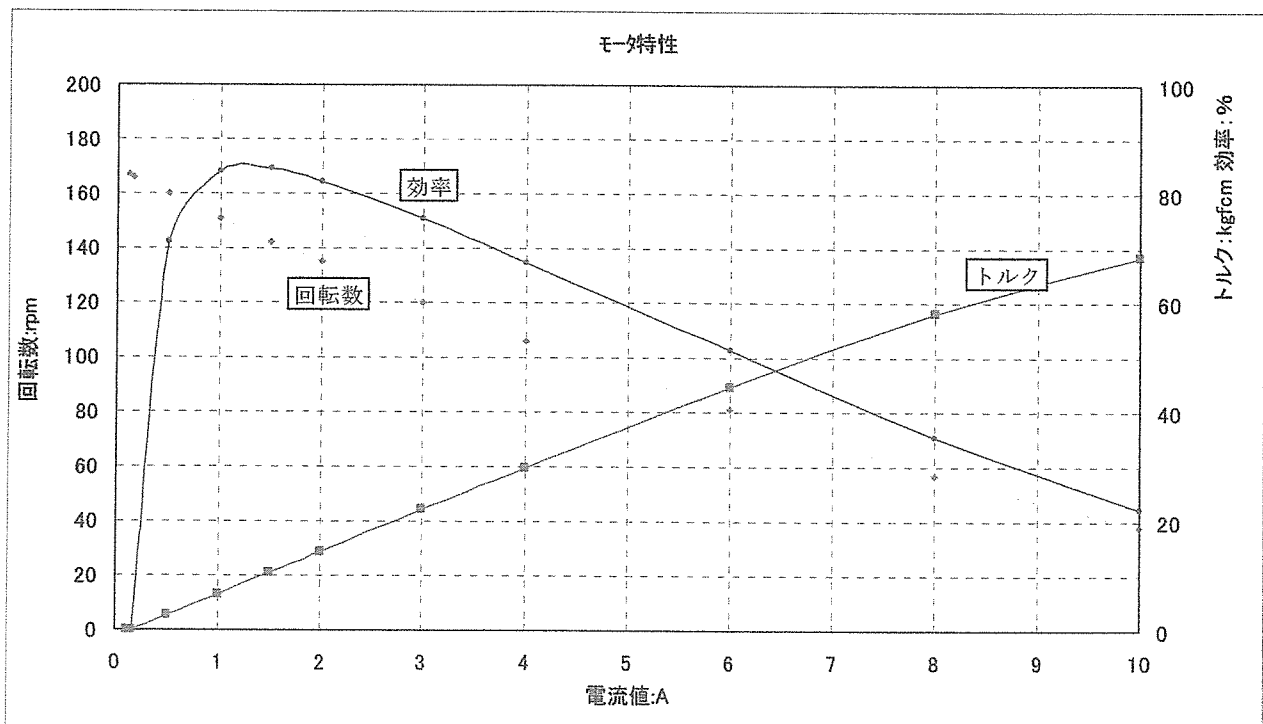
図 8.13 アウターローター方式のインホイールモータ

8.5.2 インホイールモータのスペックについて

導入したインホイールモータのスペックについて以下に記す.

Tab. 8.6 In Wheel Motor

仕様	DCブラシレスインホイールモータ
動作電圧(V)	24
定格出力(W)	40
最大出力(W)	70
最大効率(%)	85
定格負荷回転数(rpm)	135



8.5.3 動作実験について

インホイールモーターの逆転と正転を交互に繰り返して反応速度を見たところ、時間的ロスがほとんど無く機敏に反応してくれたので、細かい制御を実現することができる見込みが立った。ダイレクトドライブの特徴が出ており、段差乗り越え時など無駄時間が無く、フィーリングの良い制御が可能である。しかし、コギング現象がかなり目立っている。使い方によっては、節度感がでて、必ずしもマイナス点とはならない。

9. 駆動・制動ユニットの設計

開発する歩行支援機は使用者が高齢者であり、歩行という複雑な操作に専念するため、可能な限り操縦レバーレス化を目標とする。また、同時に転倒など、安全性に関しても十分に配慮し、違和感のない歩行支援をおこなうことを目指している。被支援者のハンドルへの加荷重に関し、前方への押し力を上下方向の支持荷重で割り算するものが速度制御の代用特性として優れていることが分かった。

9. 1 電子制御系

図2に、歩行支援機の電子制御系のフローチャートを示す。

- (1) 電動駆動モータ部
- (2) 駆動車輪部 (後輪)
- (3) 操舵車輪部 (前輪)
- (4) ハンドル部
- (5) 本体構造部
- (6) 電源供給部

以上の各部位の機能とそれらと通信を行う主コンピュータ制御部から構成されている。図9.1に示すように、各部位にはいくつかのセンサーが搭載されており、必要に応じてサブのコンピュータ制御部を設け、必要十分なデータのみを通信する方式である。将来は、各部位間の直接的通信でローカルエリアで自律的な制御ができる方式を導入することで信頼性を向上させる。歩行支援機の主たる機能である左右に独立した駆動輪の制御は、電動モータの制御システムを介して主制御部と通信をすることになる。このような方式をとることで、各部位の機能レベルのカスタマイズに適応できるように、取り付け部等の物理的な互換性だけでなく、電子制御に関しても互換性を確保することを想定している。

また、カスタマイズに関しては、歩行パターンの個人差が認められるため、制御に関する学習機能を導入して、より快適に支援ができるようにする。しかし、この歩行支援機のコンセプトとして、歩行能力の不足分をその歩行環境に従って補うのが基本的な考えであり、必要以上に支援を強化するものではない。歩行に関して、歩行支援機を使用することで違和感が生じないようにすることが重要である。更に、被支援者がまた屋外にでて歩きたくなるような機能の付加価値は常に志向しなければならないと考える。

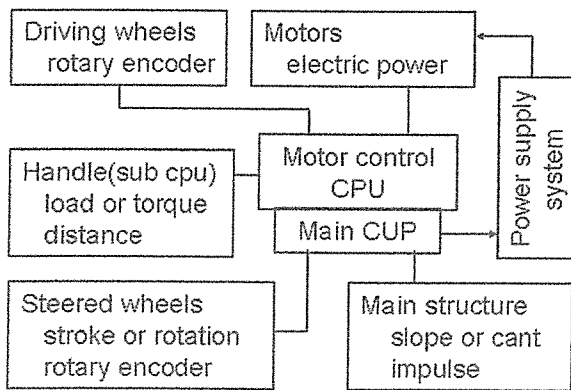


Fig. 9.1 The system architecture

9. 2 歩行支援機のアシスト方法について

また、歩行支援機を制御するにあたり次のモードに分け、制御を行なう。場合によっては、制御系のカスタマイズのために下記の各モード毎にモジュールとしての最適化が図られ、これらの統合モードとして主コンピュータ制御部の調整が行われるものとする。

- (1) 前(後)進モード(含、極低速)

- (2) 登降坂モード
- (3) 段差乗越しモード (含, 凸凹路)
- (4) 旋回モード
- (5) 自転モード
- (6) 停止モード (含, 非常停止)

の6つのモードに分けて歩行支援機の制御を行なう。

前(後)進モードは、平坦路をハンドル部のセンサー信号により前(後)進方向に直進するように動力支援を行う。登降坂モードは、歩行支援機自身の運動性能に対する重力の加速度をキャンセルするような制御を行い、それ以外は原則平坦路の前(後)進モードに準じる。段差乗越しモードは、その段差等の通過時の衝撃を緩和するような通過モードであり、前輪通過後に被支援者の足の送りが段差等のバリアーに到達する際の「つまづき」への警告モードも含める。旋回モードは、機械的な操舵装置も用いるが、原則として、自転モードと前(後)進モードを組合わせたものである。自転モードは、左右の駆動車輪を逆転することで、自転するものである。狭い通路での方向転換やエレベータ内での自転を想定している。停止モードは、被支援者が移動を中止する際のモードであるが、危険防止のための非常停止を含む。

9. 3 前進モードの動力支援方式

(1) 速度制御と負荷制御

機器に加わる力は歩く周期で増減しているため、常に一定の力が加わっているわけではない。図9.2に示すように、歩行の左右交互移動による1サイクル中での歩行支援機に加わる前進推力 F_x と上下支持力 F_z は、常に変化している。足の運びによってその押し力や支持力が変化することは報告している⁽³⁾。

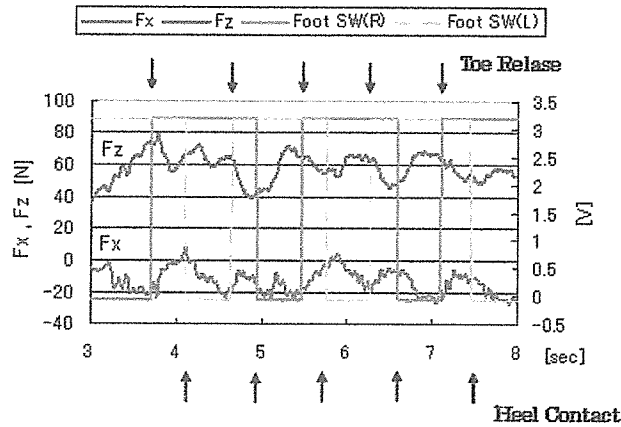


Fig. 9.2 Load on the handle at walking pattern

従来は、 F_x の値により電動モータの補助駆動力を決めていたが、この方式では負荷制御のため物理的に適正値を見いだそうとする方式であり、人間の感性とは一致しない。人間が(歩行)移動する際は、ビジュアルな情報を頼りに移動している場合が多くその寄与も大きい。従って、目の前の移動目標にどのくらい早く近づくかが一義的であり、移動のためにどのくらい負荷すなわち力を要するのかは予測できない。常に押してみても抵抗力が大きいとそれに対抗しようとする頭脳の判断によって間接的に移動を自分の意志に適合させようとする。すなわち、歩行移動において、速度制御が人間工学的にも直接的で分かりやすく、優れている。

ここで、被支援者がどのような速度で歩きたいのかを操作スイッチレスでどのように判断するかが大きな課題となる。歩行支援を受ける人は、余裕がない状態で歩行動作に集中しながら歩くことになるので、その際歩くことを中断して操作スイッチなり、レバーを動かすことは大きなリスクを伴う。

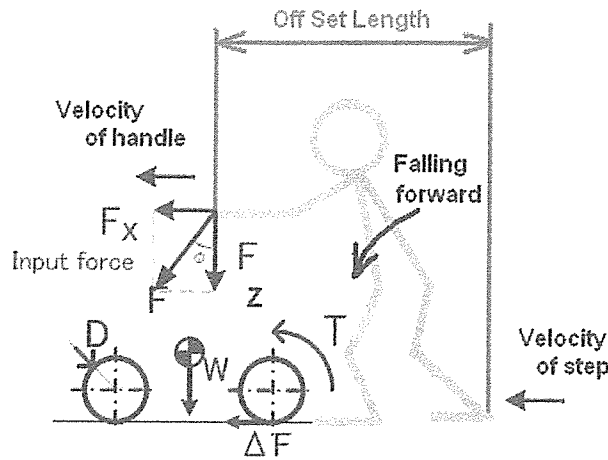
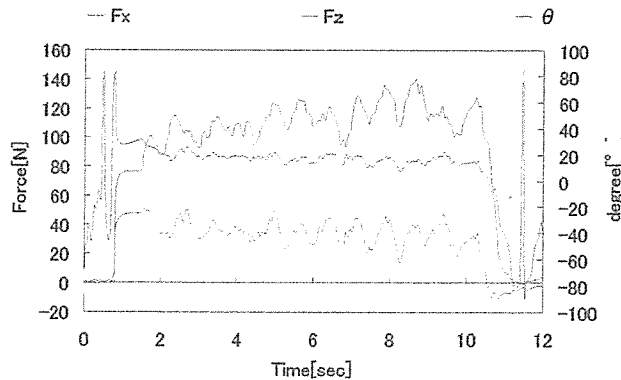


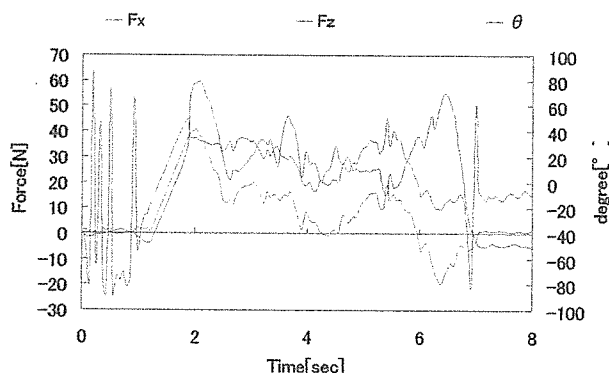
Fig. 9.3 Off set value between handle and step

(2) 速度制御の代用特性について

我々の提案では、この被支援者の希望する歩行速度を設定する代用特性として、 F_x と F_z の比率（例えば、 F_x/F_z 比、 $\tan \phi$ など）で設定することとする。前進押し力 F_x の大きさのみで歩行支援機の駆動力または歩行速度を決めると、比較的歩行能力が高い人が軽いタッチですばやい歩行を望むと歩行支援機はゆっくりした動きとなり鈍重に感じる。また、逆に F_x の大きな押し力が加わった場合を考える。図 9.3 に示すように、比較的脚力が弱い人が、斜め前方方向に自分の体重を大きくかけ、何とか前進する時は、上下に体重をかけたハンドル支持点は足が動く速度よりも速く前方に移動し身体の前方向への傾斜が更に増加し、いわゆる前のめり状態となり、不安定な姿勢となる。 F_x の大きさにより設定された速度についてゆけるだけの脚力を持っている人であれば問題ないが、脚力により F_x の値に対する速度設定を適正に変化させる必要がある。その脚力のパラメータとして上下方向の体重支持力 F_z を採用し、脚力を考慮した押し力： F_x/F_z 比を代用特性とする。図 9.4 にハンドル部に加わる前（後）方押し力 F_x と上下方向体重支持力 F_z および $\theta = \tan^{-1}(F_x/F_z)$ の測定結果を示します。通常の歩行パターン(a)では、右左の歩行サイクルにより F_x や F_z は繰返しの変動がみられますが、 θ はほぼ一定の安定した値を示しています。速度制御の代用特性としては良好な特性といえます。(b)パターンでは、歩行時の歩行支援機への力のかけ方が大幅にちがう歩き方であればその変化に従って θ の値が変動し、上下支持力が小さく歩行支援機に頼らない状態では前方に押し力が增大すれば、目標速度の増加のため θ 値が増大するが、上下支持力が大きく歩行支援機に体重を預けている時は前方押し力が大きくとも速度設定は一定のままとなっており、安全な速度制御がなされているのが分かる。



(a) Normal walking pattern



(b) irregular walking pattern

Fig. 9.4 Parameters of the handle load sensors

9.4 上り坂と下り坂での歩行支援

前述の負荷制御方式では、勾配による重力の分力の負荷がハンドルに加えた被支援者の信号に加えて考える必要がある。上り坂では、平坦路より意識的に前方への押し力を加える必要がある。また、下り坂は特に歩行支援機にとって苦手な状況である。下りの重力分力により支援機が前方に加速され、図 9.3 のようなハンドルと足とのオフセット量が大きくなり、前のめりの転倒の危険が生じる。常に、後方への押し力により、制動力となる逆トルクを配慮する必要がある。

勾配による重力の分力をその路面状況によりハンドル操作で調整する動作を被支援者に求めることは難しい。速度制御方式では、勾配による負荷の制御を行わず、速度を設定することで、上り坂での速度低下を補完するように補助駆動力を自動的に増大し、下り坂では速度増大抑制のため一定の速度で前進するように逆トルクが自動的に加わる。従って、歩行路面状況の変化にも適合するには、速度制御方式の方が優れている。

なお、図 9.6 に示すように、安全性を確保するため、速度制御方式に加えて、傾斜センサーを付加して、重力の分力をセンスして、平坦と同じ前進に必要な駆動力となるように駆動力のバイアスを駆動システムに加える方式を採用し、その安全性を確保する⁽⁴⁾。

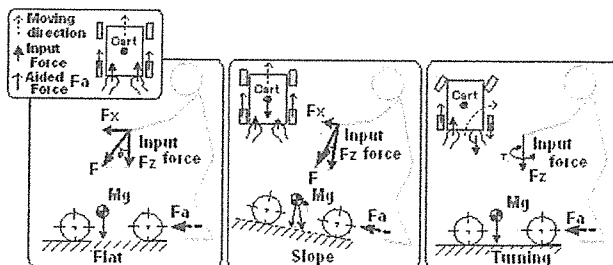


Fig. 9.5 The movement image on the slopes

9.5 制御システム概要

歩行支援機のシステム構成を図 9.7 に示す。

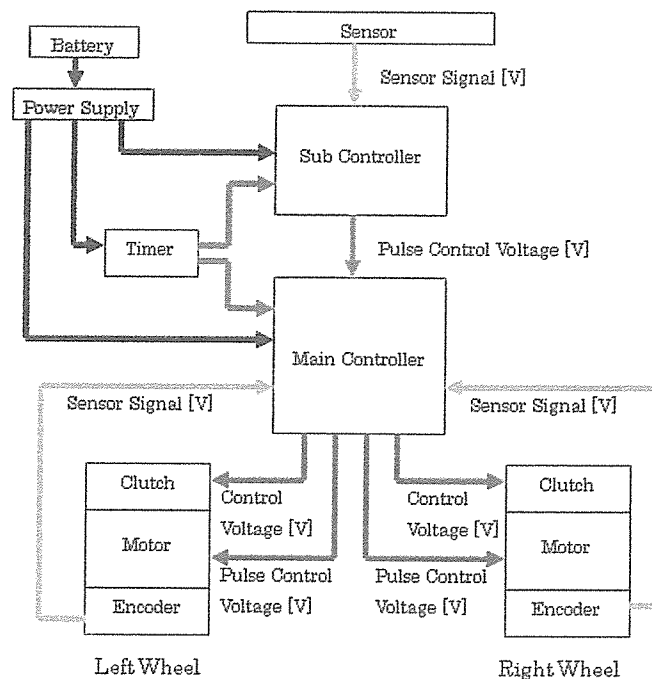


図 9.7 システム構成図

Main Controller と Sub Controller に PIC18F8720 を使用する. コントローラに 2 個の PIC を使用するため, この 2 個の時間を同期させる必要がある. このために, PIC16F84A をタイマーとして使用する. これにより, タイマーを Main Controller で発生させないため, Main Controller の負担を減らすことになる.

センサからの情報はすべてアナログであるので, A/D 変換する必要がある. Sub Controller でセンサからの情報を処理し, Main Controller に送る. 送られてきた情報を元にして Main Controller でモータを動作させる.

スイッチレスで操作するために使用するセンサは, 力, 加速度, 距離である. また, モータの状態を把握するためにエンコーダを用いて回転数のデータも得た.

9.6 制御方法

歩行支援機の制御には, 図 9.8 のように人が歩行器を押す力 F を利用する.

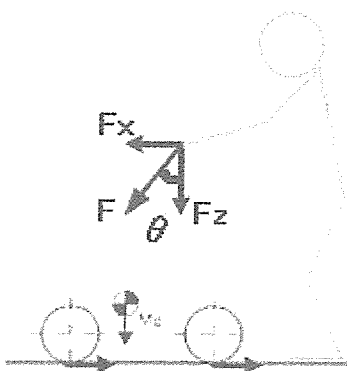


図 9.8 制御に用いる力

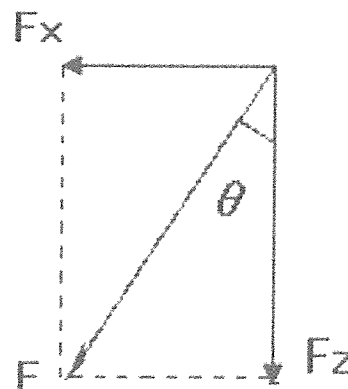


図 9.9 力の分解図

人が歩行器を押すとハンドルに F の力が加えられる. F は, 水平方向の力と垂直方向の力の合力なので, 水平方向の力 F_x と垂直方向の力 F_z に分解し, この 2 力を代用特性として速度制御を行う.

昨年までの研究で, F_x と F_z には周期性があることがわかっている. F_x と W を用いて負荷制御を行うと, 周期性のために滑らかな動作にならずぎくしゃくしてフィーリングが悪い. フィーリングのより滑らかな動作をさせるために速度制御

を行う。

速度制御を行うために、 F_x/F_z を代用特性としこの値に応じて速度を決め、それにあった回転をするようにモータへ出力する。これにより、実際の操作としてはハンドルを押すだけですむために操作レバーレスとなる。

使用者がつまづいたり歩行器に引っ張られる形になり転んでしまわないように距離センサを取り付け、一定以上の距離を離れると自動的に停止するようにする。逆に、近づきすぎたときは回転数を増やして一定の距離を保つようにする。

上り坂や下り坂では、平坦路と同様の速度で動作すると危険につながる可能性が高い。これを防ぐために、前後方向の加速度センサを取り付け上り坂、下り坂を検知する。検知したときには、速度を平坦路よりも遅くしたり、一定間隔で回転と停止を繰り返すようにする。

傾斜路では平坦路と同じようにすると、傾斜の方向に曲がっていってしまう。これを防ぐために、左右方向の加速度センサを取り付け、傾斜を検知させる。傾斜路を検知した場合には、傾いている側のモータの回転を増やすなどをして曲がらないようにバランスをとる。

9.7 制御のフローチャート

プログラムを作成にあたり、以下のフローチャートを作成した。

図 9.9 はサブコントローラーのフローチャートである。

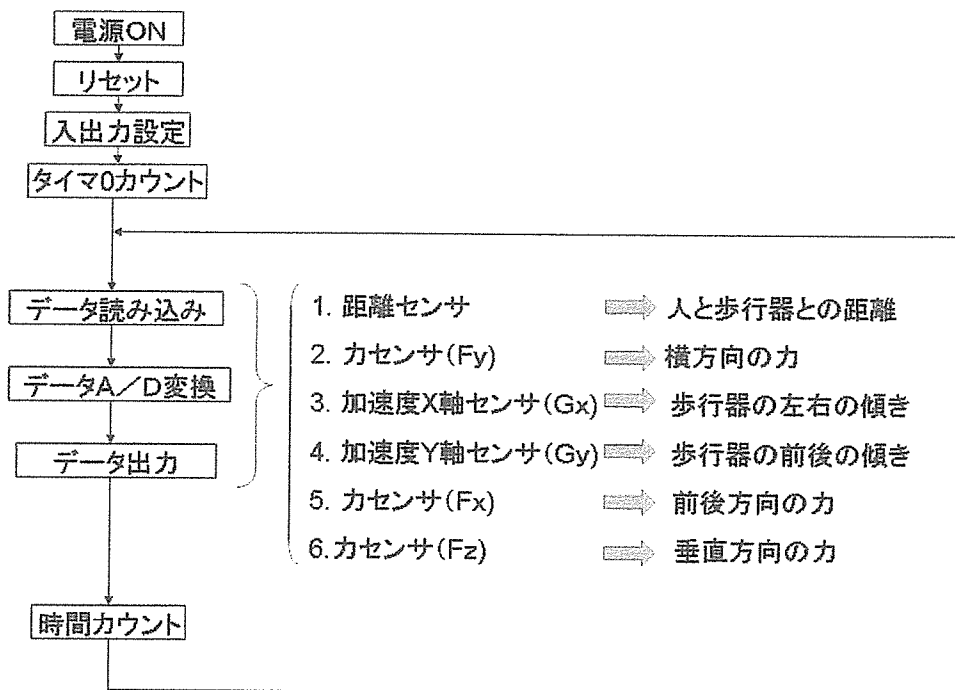


図 9.9 サブコントローラーフローチャート

フローチャートで使用しているデータは、以下に示すように用いられる。

(1) 距離データ

人と歩行器の距離を計測し、一定以上の距離を離れたら歩行器を停止する。また、一定以上近づいたときは速度を上げて、少し距離を置く。

(2) 加速度センサ x 軸 (Gx) データ

歩行器の左右の傾きを検知することで傾斜路の判断を行う。

(3) 加速度センサ y 軸 (Gy) データ

歩行器の前後の傾きを検知することで、上り坂、下り坂の判断を行う。

(4) カセンサ前後方向 (Fx) データ

人が歩行器を前後に押す力を検知する。制御のための代用特性としても用いる。

(5) カセンサ垂直方向 (Fz) データ

人が歩行器の垂直方向に加える力を検知する。制御のための代用特性として用いる。

(6) カセンサ左右方向 (Fy) データ

人が歩行器の左右方向に加える力を検知することで、力のかかった方向に旋回を行う。旋回時には、左右で回転数を変えたり逆方向に回転させたりするための判断に用いる。

このフローチャートは、センサに入力された情報を A/D 変換し、メインコントローラーに送るチャートである。

データの読み込み、A/D 変換、データ出力を距離、横方向の力 (Fy)、加速度 X 軸センサ (左右の傾き)、加速度 Y 軸センサ (前後の傾き)、前後方向の力 (Fx)、垂直方向の力 (Fz) の順に行い、その後時間のカウントを行う。これを動作中は繰り返し行っている。

次に、図 9.10 は制御プログラムのメインフローチャートである。

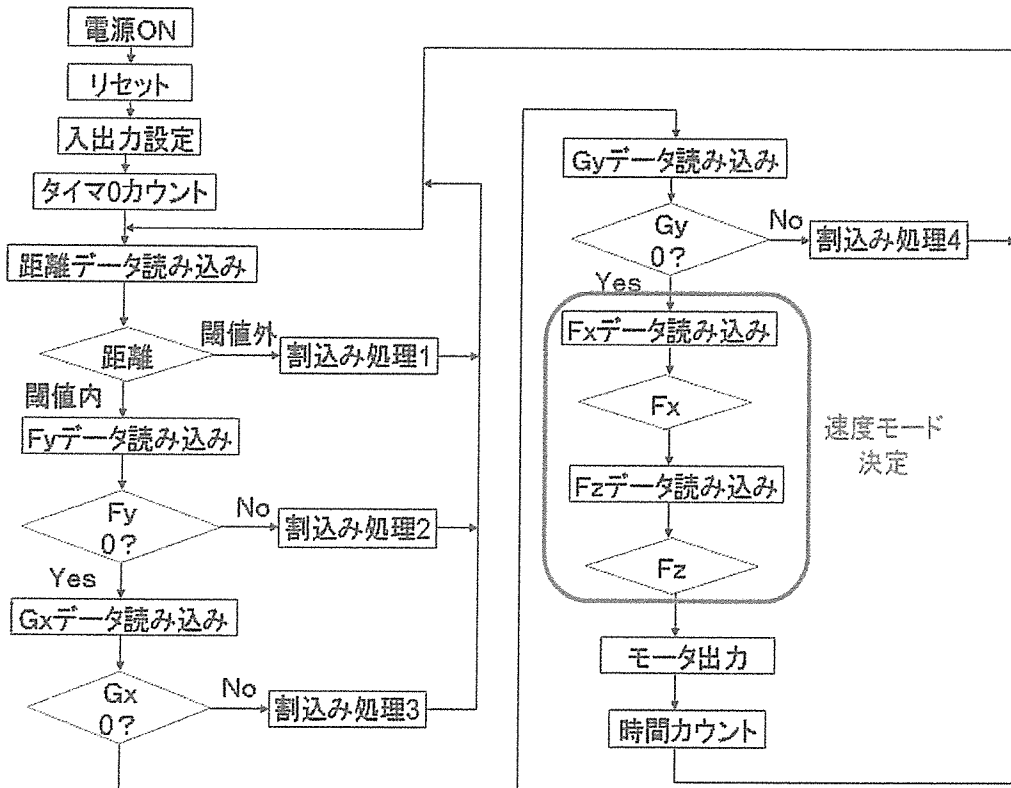


図 9.10 メインコントローラーフローチャート

このフローチャートは、平坦路を前進するものであり傾斜路や上り坂、下り坂、旋回、カーブにおいては割込み処理で行うようにしている。

まず、距離センサのデータを読み込み、一定の距離の中に人がいるのを確認する。このときに、距離が遠かった場合には停止し、近い場合にはモータの回転数を少し増やし、距離をあける。次に、横方向の力 (Fy) のデータを読み込み、左右に曲がるかどうかを確認する。旋回をする場合には、左右のモータの回転数をずらしたり、逆に回転させたりする。その次に、加速度 X 軸センサ (Gx) のデータを読み込み、傾斜路であるかを確認する。傾斜路であった場合は、左右の回転数に差をつけることで直進するようにする。次に、加速度 Y 軸センサ (Gy) のデータを読み込み、上り坂や下り坂かどうかを確認する。坂であった場合には、平坦路より遅い速度で動作させたり、一定間隔で停止するなどさせる。次に、前後方向の力 (Fx) を読み込み、その後に垂直方向の力 (Fz) を読み込む。そして、Fx/Fz の値をだし、その値に応じて移動速度を決定しモータへ出力する。

速度は、Fx/Fz の値に閾値を設けておき、入力された値がどの閾値内に当たるかで決定する。

モータの制御は PWM 方式で行う。

9.8 実験

9.8.1 実験目的

ハンドル部に取り付けたセンサから、 F_x/F_z の代用特性で速度制御が確立できているか、また、負荷制御のときに比べてハンドル部にかかる荷重は変化しているかを検証する。これらの結果から、ハンドルに力を加えることで使用者がどのように動作したいと思っているかを判断し、スムーズにアシストすることができるようになると考える。

9.8.2 実験方法

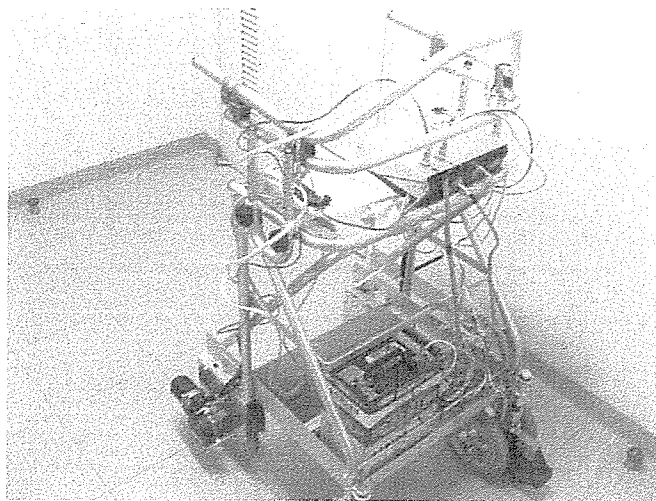


図 9.11 歩行支援機モデル

歩行支援機を使用しながら、被験者に平坦路を歩行してもらった。機器には、感圧導電ゴムユニットセンサをとりつけて、被験者が歩行時に F_x 方向と F_z 方向に加えている力を測定した。

9.8.3 実験結果

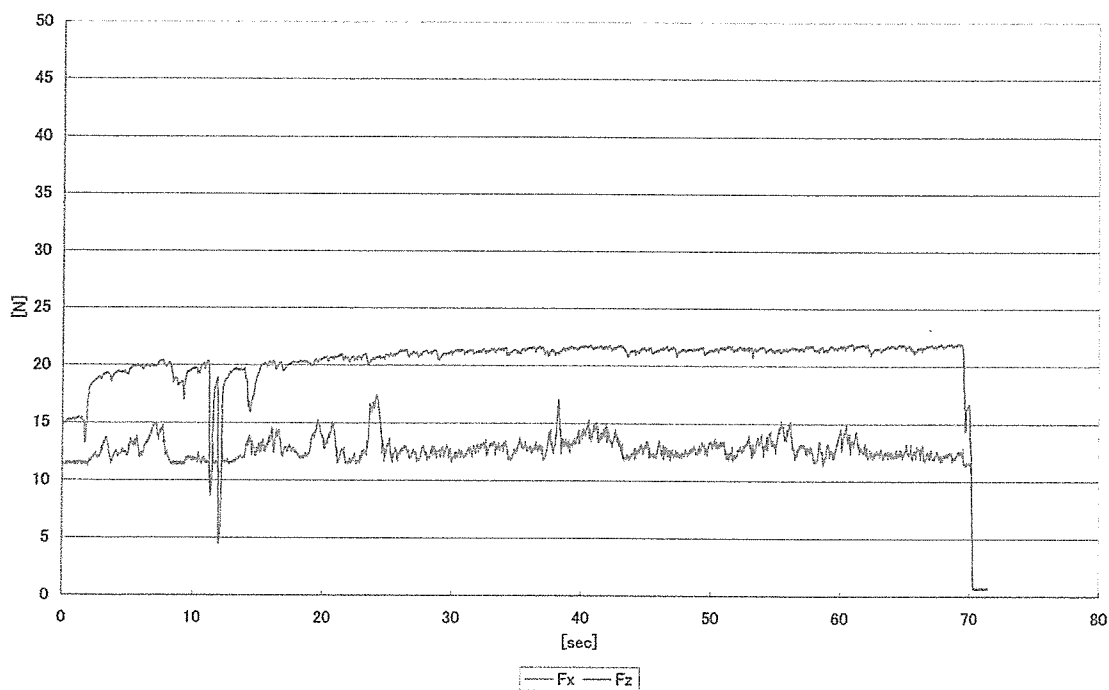


図 9.12 被験者 1 1回目

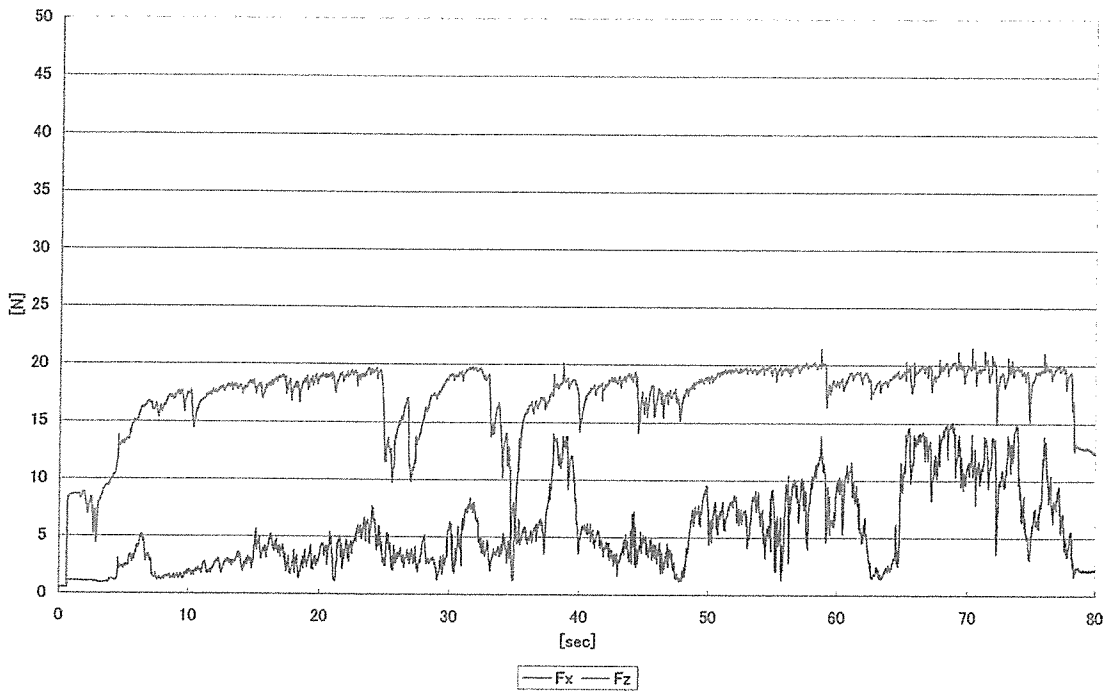


図 9.13 被験者 2 2回目

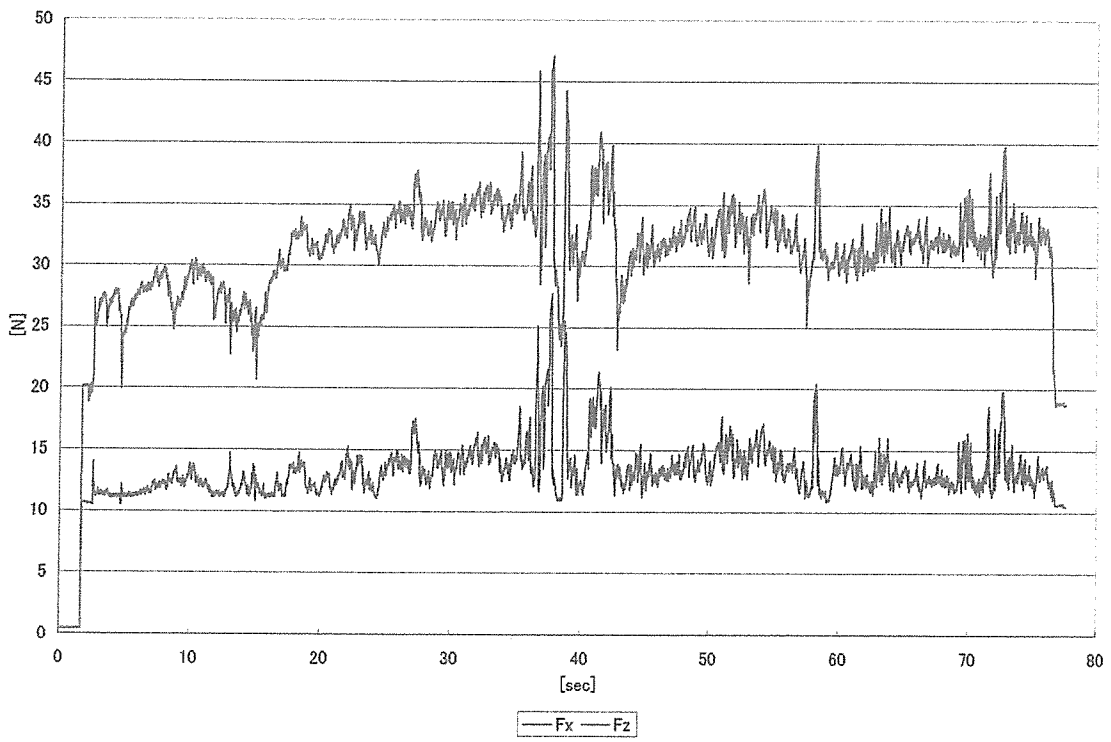


図 9.14 被験者 2 1回目

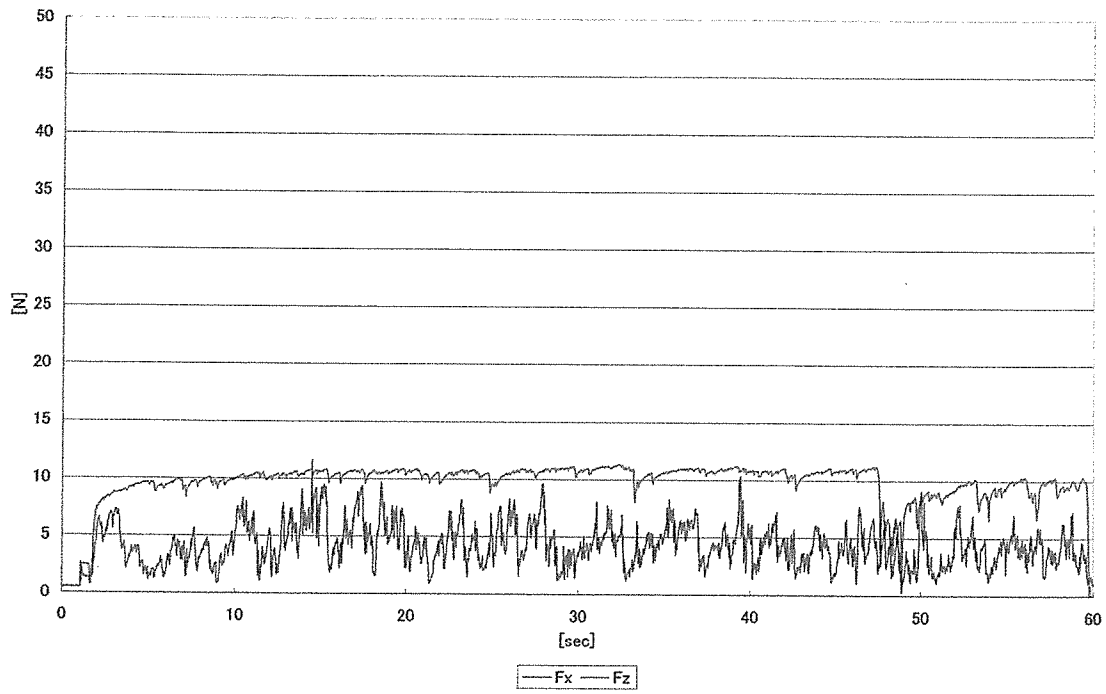


図 9.15 被験者 2 2回目

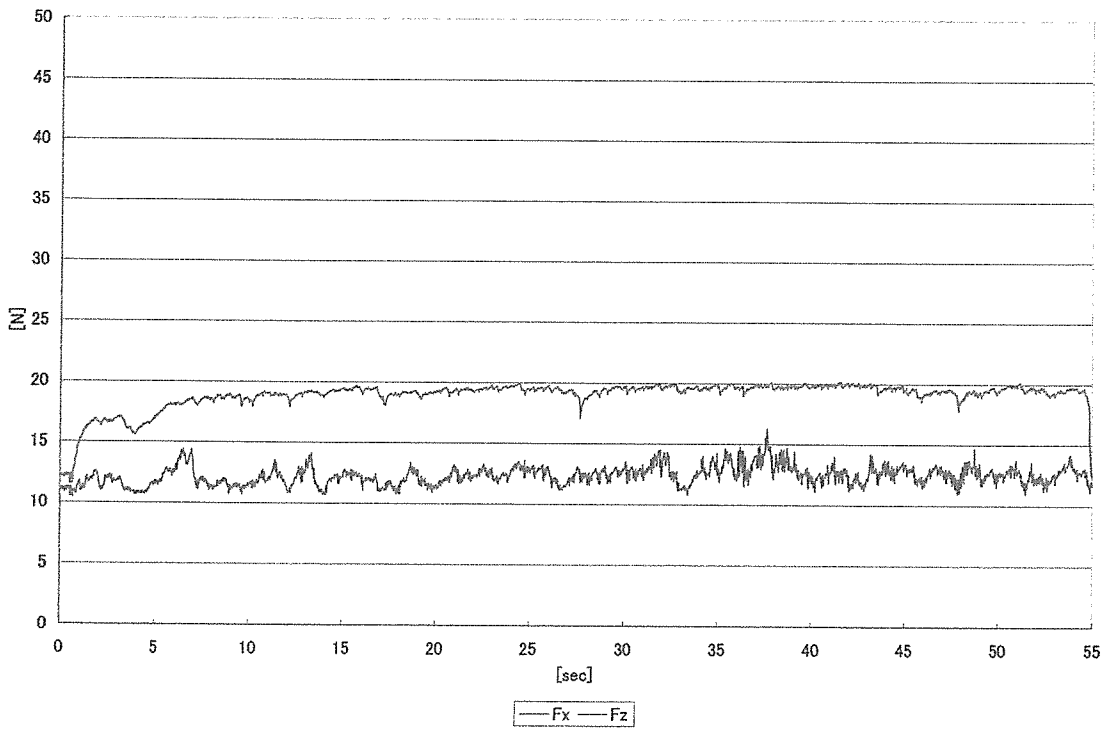


図 9.16 被験者 3 1回目