

図 6.9 取り付けイメージ

上記の操舵角切り替え機構では、通常の走行時には安定する操舵角 35[deg] を使い、自転時のみ操舵角 63[deg] と後輪のパワーステアリングを使用することで、ハンドル操舵方式の利点を活かしたまま、スムーズな自転を行うことができる。様々な使用条件に対応するため、自動で操舵角を切り替える機構や、操舵角以外の切り替え機構についても検討している。

6.5.3 カム式作動角制限装置

後輪によるパワーステアリングによる自転を考えた場合、前輪の角度は 63[deg] 程度であるといことがわかったが、実際の使用を考えると、常に 63[deg] 切れてしまうと直進安定性が損なわれるなど、本来のステアリングの長所を損なってしまう恐れがある。そこで、その場での旋回が必要となしのみ 63[deg] 程度ステアリングが切れ、通常使用時は 35[deg] 程度の切れ角になるようにする装置を図 6.10 に示す。

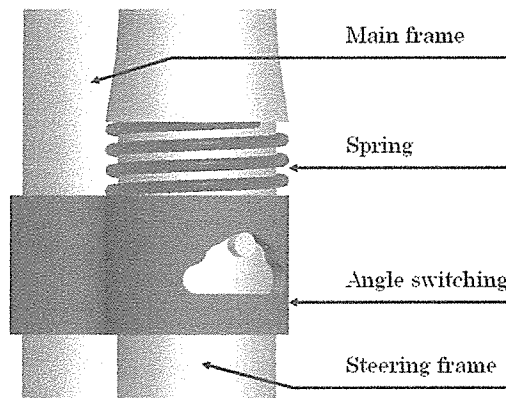


図 6.10 カム作動角制限装置

これは、通常 35[deg] のハンドル切れ角となっているが、使用者がその場での旋回をしようと、ステアリングを強くすると、ガイドに沿ってスプリングが縮められ、65[deg] まで操舵角が広がるというものである。そして、スイッチレスの概念により、それにあわせ後輪のモーターを左右それぞれ逆方向に回転させることにより、その場での旋回を自動的にアシストできるようにするというものである。

操舵角制限装置はステアリング方式に限らず、キャスト方式にも使用可能である。カム部の傾斜とバネ定数を変えることにより、あるタイヤ角度のときの求心トルクを自由に設定することが可能である。

6.5.4 傾斜キャスト方式

通常のキャストでは特に段差乗り越しの際に車輪が被支援者の進行方向とは異なる方向に向いてしまい、段差をうまく乗り越すことができないという問題が発生することがある。車輪が使用者の進行方向とは異なる方向に向いてしまう原因としてキャストの重心位置がある。重心位置が常に進行方向に対して後方であれば、車輪はロードノイズを受けても被支援者の意図しない方向を向くことはないはずである。そこで重心を常に後方に置いておく装置としてキャスト回転軸を傾斜させること（以下傾斜キャスト）を提案した。傾斜キャストでは車輪の切れ角はキャスト回転軸の傾斜角度に依存する。キャスト回転軸の傾斜角度を制御することにより従来の自在キャストと同様に高い旋回性能を維持しつつ、直進性に特化した操舵装置になりうる。

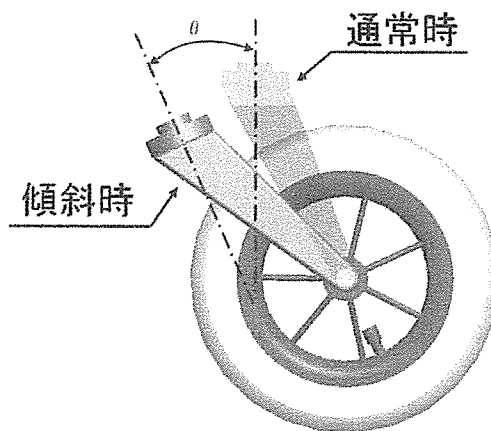


図 6.11 傾斜キャスト

6.5.5 パワーステアリング

パワーステアリングはモーターにより後輪の左右輪を逆回転させることでその場での旋回をアシストするものである。この方式は単体での採用も可能な上、操縦装置との併用が可能であるという利点がある。

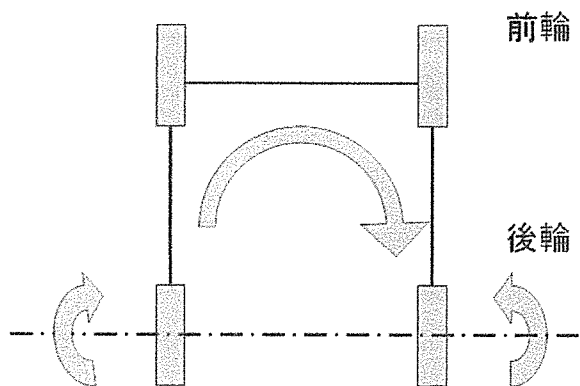


図 6.12 パワーステアリング

6.5.6 各方式の比較と決定

6.3.6.4 項で述べてきた各方式の比較を表 6.2 に示す。

表 6.2 各方式の比較

新方式	方式		特徴
	キャスト	ステアリング	
第 3 輪方式	△	○	悪路対応可能なステアリング方式。前輪を浮上させるため、アクチュエータにより装置が大掛かりになる。
段階的作動角切替え装置	—	○	シンプルな機構で操舵角を制限できる。反面切替が不連続であるため、使用上のフィーリングに問題が残る。
カム式作動角制限装置	○	○	アクチュエータ不要で操舵角の連続的な制限が可能である。
傾斜キャスト	○	—	連続的な操舵角の制限が可能であるが、左右輪のリンク、アクチュエータ・機構等問題が多々残る。
パワーステアリング	○	○	唯一後輪によるアシストであるため、すべての方式と組み合わせ可能である。

以上、比較した結果、アクチュエータが不要で連続的に制限が可能なカム式作動角制限装置を採用するのが最適と判断した。また、カム方式との組み合わせにはできるだけシンプル・軽量にするためにキャストとの組み合わせがよいと判断した。以下、このカムキャスト方式について述べる。

6.6 カムキャスト方式

6.6.1 構造

カムキャスト方式は、前輪部に用いたにキャストの旋回軸の回転によりカムを押し上げ、スプリングが伸縮することでキャストの作動角を制限する装置である。カム傾斜のつけ方、スプリングのばね定数を変えることでキャストがある角度を向いている時の、中心に戻そうとする力(以後求心力とする)のセッティングを無段階に変える事が可能である。図 6.10 にイメージを示したが、図 6.13 に具体的な構造を示す。

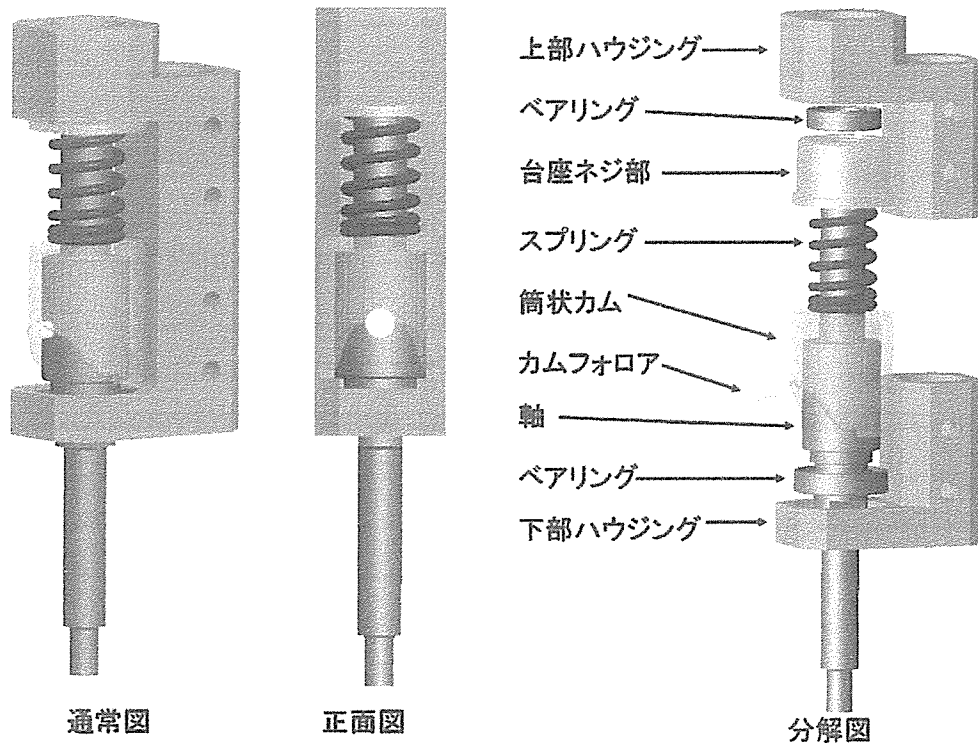


図 6.13 カムキャストの構造

以下、各部品について説明する。

6.6.2 ハウジング

本体フレームとの接合及び、キャスト軸を固定するためのベアリングを挿入する部品である。スプリングを交換するなど取り外しが必要な為、上部と下部に分解できる構造となっている。上部ハウジングには台座のネジ部を取り付けるためのメネジ加工を、下部ハウジングは筒状カムが回転してしまうのを防止するため、キー溝状の溝を付け、そこを筒状カムに取り付けた突起が上下できるようにした。素材はアルミニウムのAL2017を用い、加工は精度を上げる為にNCマシンによる削り出しを選択した。尚、本体と取り付けはボルト止めとなっている。

・強度解析

ハウジング部は2つの軸を固定する為と、カム部の上下ストローク量を十分に確保できるような形状に設計した。また、形状は加工が削り出しであるため、それに適した形となっている。設計された部品が壊れる恐れがないか、強度解析を行った。

(1) 上部ハウジング

条件：フレームパイプが挿入される穴を拘束し、ベアリング挿入部に横方向と縦方向にそれぞれ 500[N]の荷重を加えた。材料特性はアルミニウムの 2017 とした。

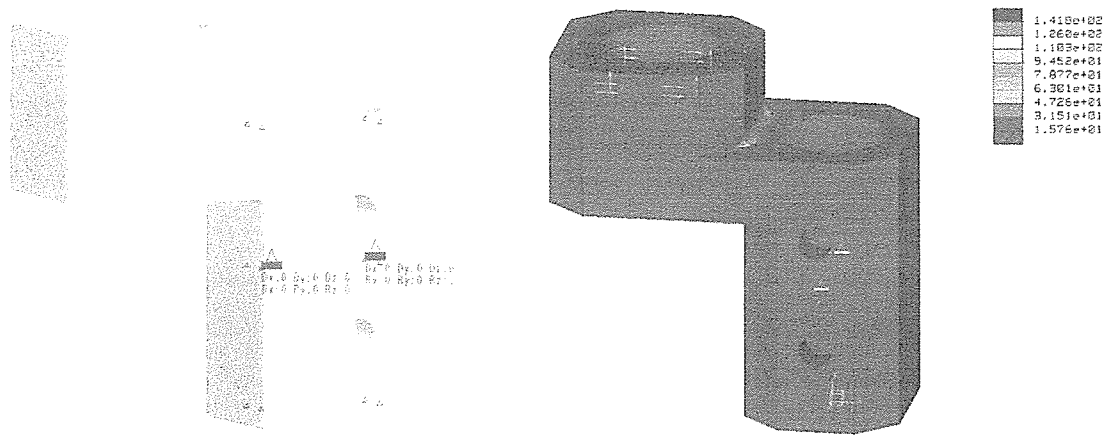


図 6.14 上部ハウジング解析結果

結果：最大応力が $157.5 [N/mm^2]$ であり、材料の耐力である $275 [N/mm^2]$ を十分に下回っているため、強度的な問題は無いと判断される。

(2) 下部ハウジング

条件：フレームパイプが挿入される穴を拘束し、ベアリング挿入部に横方向と縦方向にそれぞれ $500 [N]$ の荷重を加えた。材料特性はアルミニウムの 2017 とした。

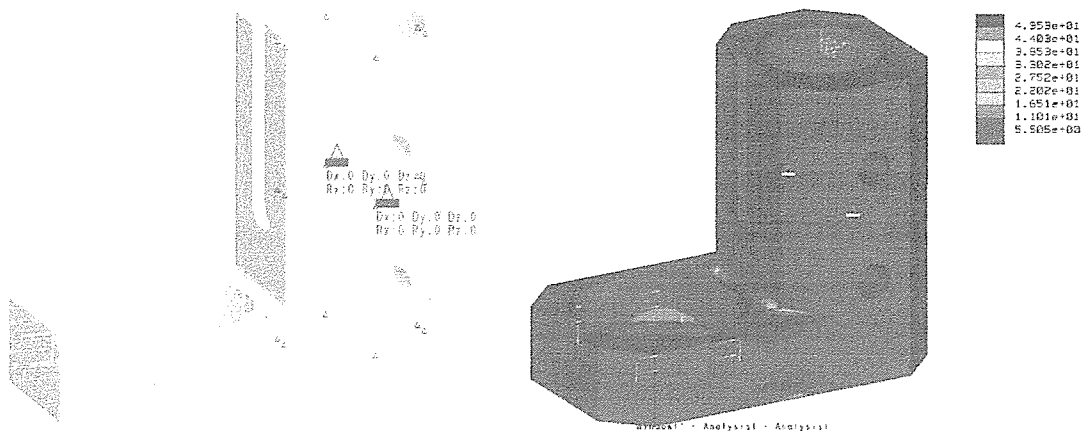


図 6.15 下部ハウジング解析結果

結果：最大応力が $55 [N/mm^2]$ であり、材料の耐力である $275 [N/mm^2]$ を十分に下回っているため、強度的な問題は無いと判断される。

6.6.3 軸

キャストの回転部に取り付け、キャストの回転に合わせてこの軸も回転する。軸の下部には段差解消キャストが取り付けられる。ハウジングとの固定に、上下 2 箇所のベアリングで固定される。この軸に筒状カムが取り付けられるため、カムが取り付けられる部分が太くなっている。その部分にカムをスムーズに動かすためのカムフォロアが取り付けられる構造となっている。材料はアルミニウム 2017 を使用し、旋盤加工により製作する。

・強度解析

条件：上下ベアリング取り付け部を拘束し、前後方向・横方向にそれぞれ $500 [N]$ ずつ荷重を加えた。

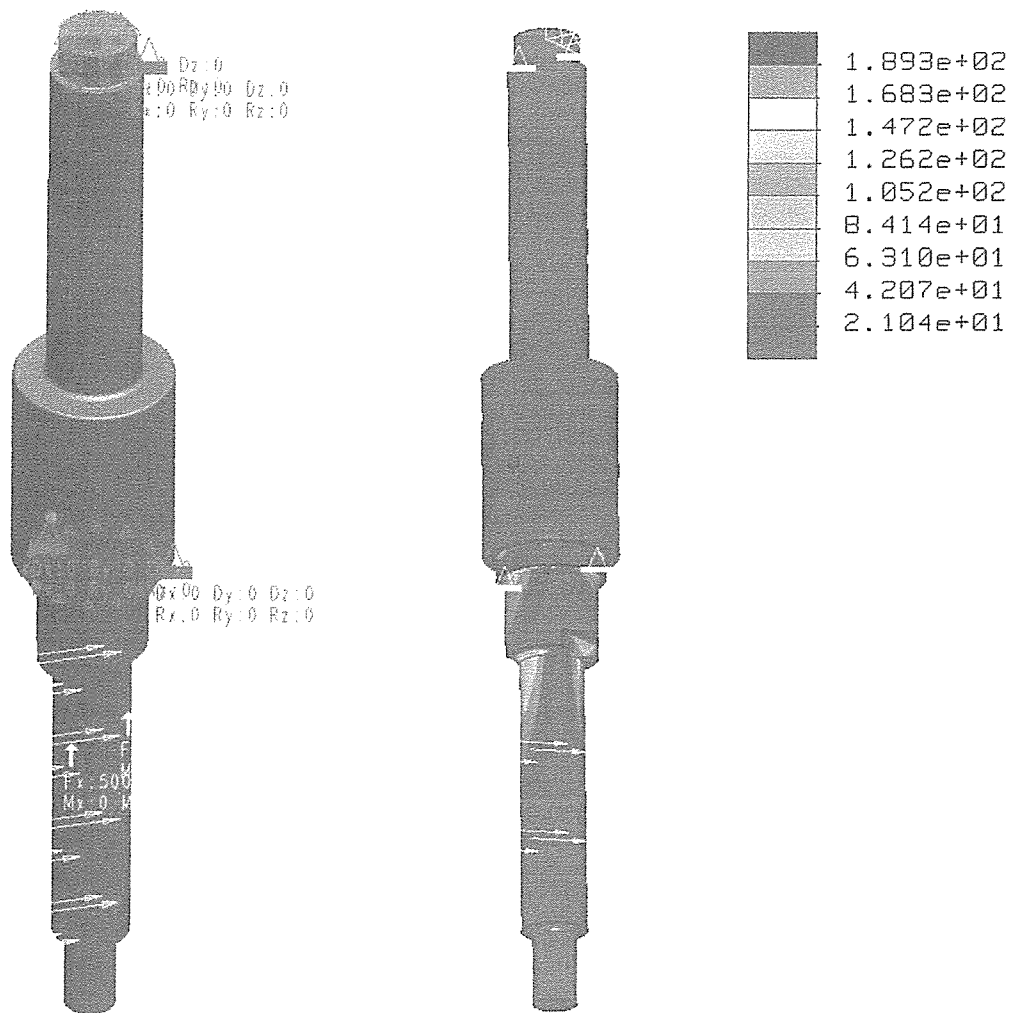


図 6.16 軸解析結果

結果：前後と横方向に 500[N]加えても最大応力が $210[N/mm^2]$ と、耐力を下回っているため、強度的な問題はないものとした。

6.6.4 台座ネジ部

この部品は、上部ハウジングのメネジとかみ合いねじ込む構造となっている。機能としては筒状カム上部と共にスプリングを挟めることと、ベアリングの脱落を防止することである。

・強度解析

条件：加わる荷重はスプリングにより与えられる垂直荷重である。したがって外周を拘束し、スプリングの当たる面に一番硬いばねを圧縮したときの力 250[N]を与えた。材料はアルミニウム 2017 を使用し、旋盤加工により製作する。

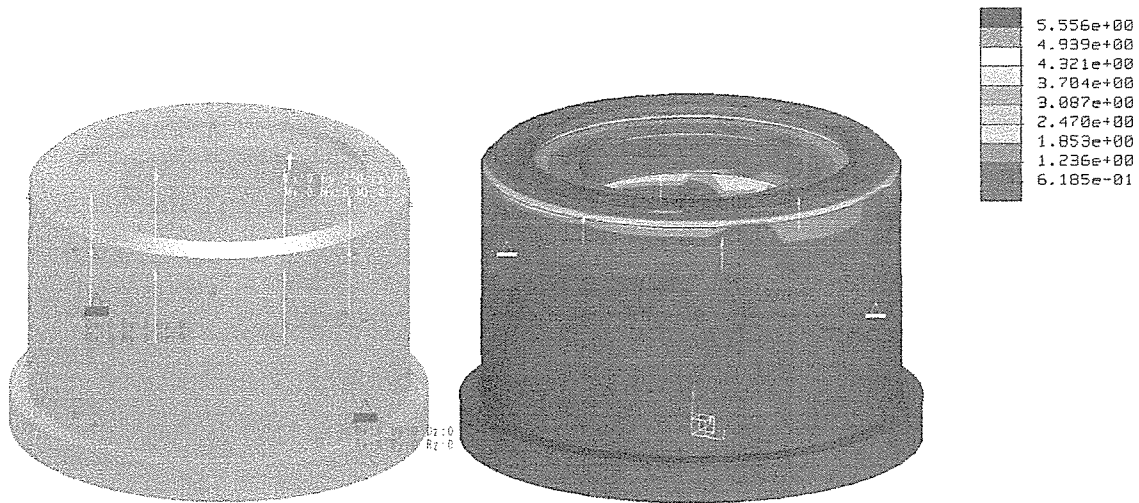


図 6.17 台座ネジ部解析結果

結果：応力は材料であるアルミニウム 2017 の耐力を十分に下回り、強度的な心配はないことが確認された。

6.6.5 スプリング

スプリングは台座ネジ部と筒状カムに挟められて圧縮される。この部品はキャストの求心力を決定する上で重要な部品である。今回は様々な種類のスプリングを用意し、交換できるようにした。用意したスプリングの仕様を表 6.3 に示す。

表 6.3 スプリングの仕様

タイプ	バネ定数 [N/mm]	直径 [mm]	長さ [mm]	最大たわみ量 [mm]
WF	1.0	22	50	22.5
WT	3.9			20.0
WM	4.9			17.5
WH	14.7			15.0

6.6.6 カムフォロア

カムフォロアはキャスト軸の回転運動を筒状カムの上下運動へ滑らかに伝達するために必要な部品である。カムフォロアとして軸径 4[mm]、フォロア径 8[mm]のミニチュアカムフォロアを採用した。材質は SUS440C 相当のものである。カムフォロアの軸は M4×0.7 のネジ部になっており、キャスト軸へねじ込む仕組みとなっている。尚、SUS440C の耐力は $225[N/mm^2]$ 以上となっている。

・強度解析

条件：カムフォロアに最大の荷重が加わるのは一番硬いスプリングを最大圧縮したときの荷重である。したがって、軸部を固定しフォロア部に最大圧縮力 250[N]の荷重を加えた。

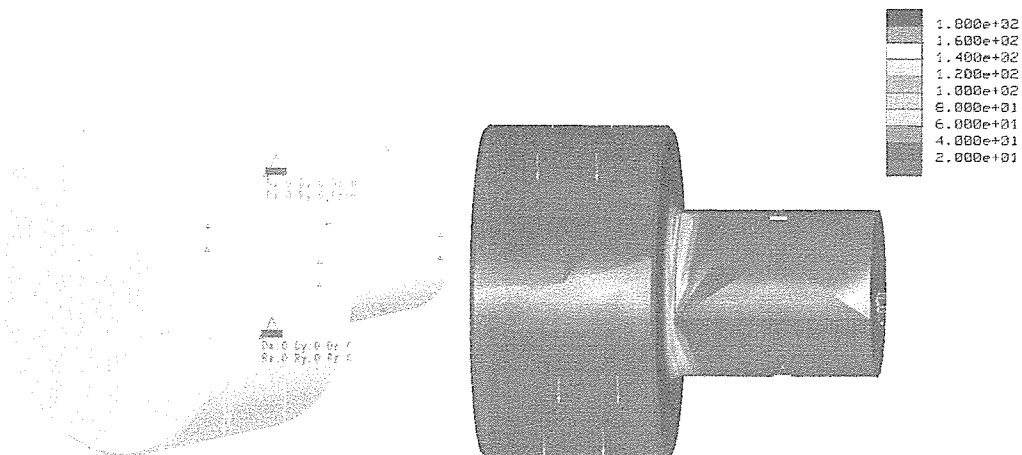


図 6.18 カムフォロア解析結果

結果：最大圧縮力が加わった状態で最大応力が $195[N/mm^2]$ である為、強度的な問題はないことが確認された。

6.6.7 筒状カム

筒状カムは主な機能として、キャスト軸の回転運動をカムフォロアを通して垂直運動に変換することである。カム部の傾斜の付け方によりキャストの切れ角ごとの求心力が変化する。カム部の傾斜は平面に描いた曲線を筒状に巻きつけ、巻き付けた曲線を軸中心に投影した軌道に沿ってカットしてある。(図 6.19 参照)

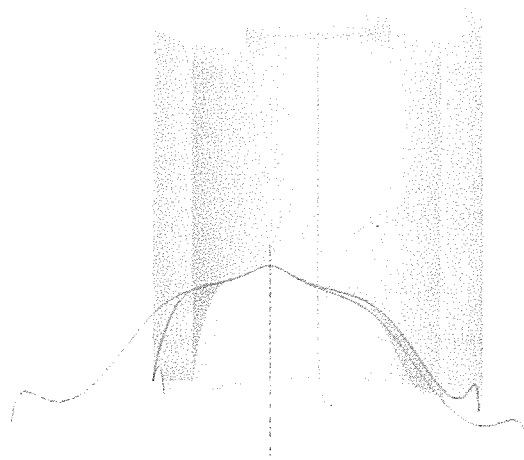


図 6.19 筒状カムの傾斜

傾斜の付け方として、キャスト軸が $\pm 35[deg]$ の範囲ではなだらかな傾斜で、それ以上の傾斜からは急な傾斜になるようにした。また、中心と $\pm 90[deg]$ 付近でくぼみを付け落ち着きを持たせた。全体のストローク量は前輪高・スプリングの最大たわみ量といった設計制約上 $15[mm]$ が最大と判断し、最大のストローク量をとった。

○ 強度について

筒状カムの強度としては通常の応力解析と、傾斜とカムフォロアの面圧強さを計算する必要がある。

・ 応力解析

条件：カムフォロアの上部を固定し、カムの傾斜部に最大圧縮時の $250[N]$ の荷重を加える。

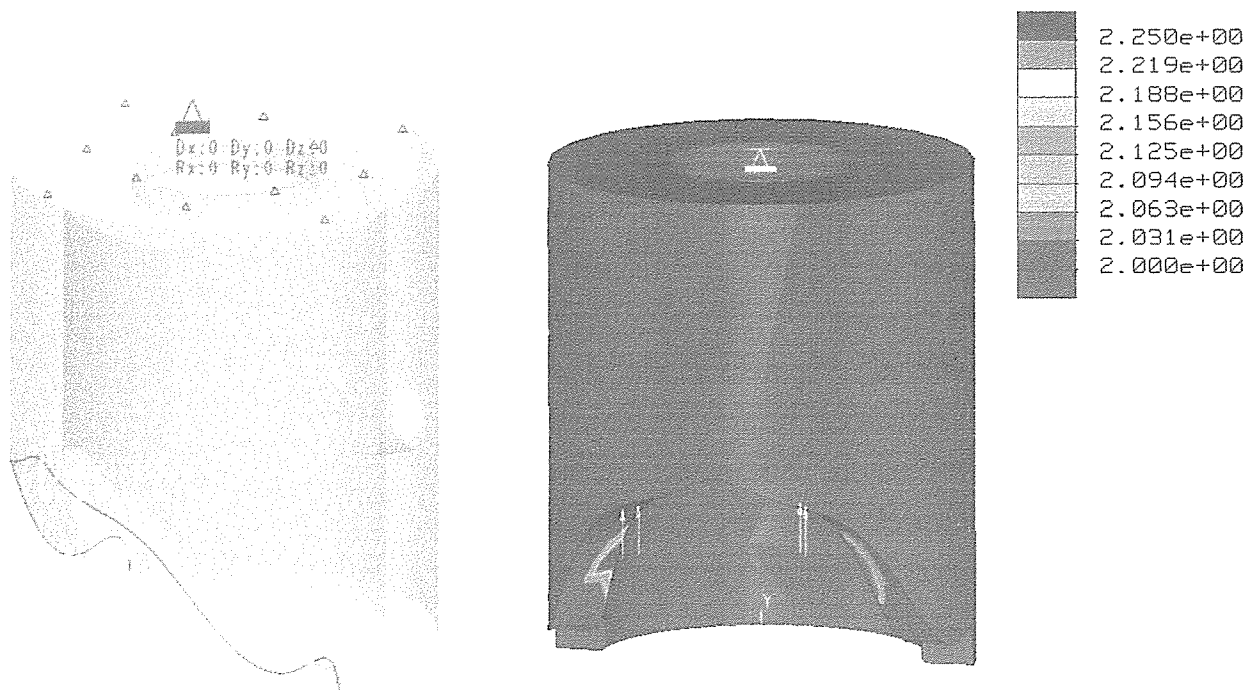


図 6.20 筒状カム解析結果

結果：単純な圧縮による強度はまったく問題ないことが確認された。

・ 面圧強さ

カムキャスト方式を設計する上で、カムとカムフォロアの接触圧力による損傷が心配された。筒状カムとカムフォロアの接触点に作用する面圧が大きくなると、カムの傾斜面が欠けてしまったり、傾斜面全体が磨耗してしまう恐れがある。そこでヘルツの弾性接触理論を用い、接触面の最大圧縮応力を求めた。

筒状カムとカムフォロアの接触状態を2円筒が接触している場合に近似し、計算を行う。この場合、接触面の最大圧縮応力 σ_H は次式で与えられる。

$$\sigma_H = Z \sqrt{\frac{P_n}{b} \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)} \quad (6.11)$$

ここで、 Z は以下のようになる。

$$Z = \sqrt{\frac{1}{\pi \left\{ (1-\nu_1^2)/E_1 + (1-\nu_2^2)/E_2 \right\}}} \quad (6.12)$$

P_n : 接触面に垂直な荷重, b : 接触面の幅, E_1, E_2 : 縦弾性係数, ν_1, ν_2 : ポアソン比:0.3

筒状カムに最大の圧縮応力がかかる箇所は、スプリングの最大圧縮点であり、その際の最大荷重はバネ定数にストロークの15[mm]をかけた値となる。以上のことを踏まえたうえで計算した結果、

$$\text{最大圧縮応力 } \sigma_H \approx 262 [N/mm^2] \quad (6.13)$$

という結果が算出された。この値は筒状カムの材料であるAl2017の耐力275 $[N/mm^2]$ に近い値であるが、最大荷重が加わる箇所が少ないこと、スプリングは交換式で一番バネ定数大きいものを計算に用いたことを踏まえ、強度的に問題がないと判断した。

6.6.8 製作されたカムキャスト

図6.21に製作されたカムキャストを示す。この写真では段差乗り越しキャストと接続し、軸上部にはセンサを接続する為のボルトが立てられている。

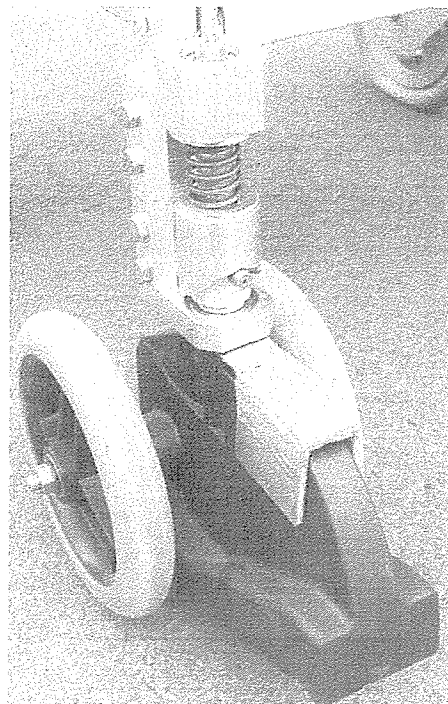


図 6.21 カムキャスト

6.6.8 動作実験

製作されたカムキャストの効果を実証する為の実験を行った。

(1) 実験方法

実験方法として、カムキャストを歩行支援機に取り付け、図 6.22 のような荒れた路面を通過し、キャストの挙動をセンサで感知し、評価するという方法にした。

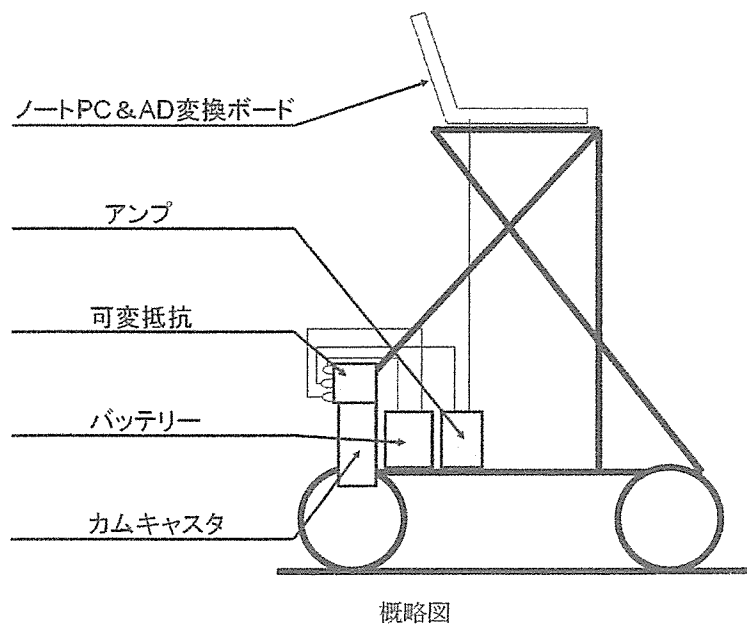


図 6.22 荒れた路面

5[m]の荒れた路面を歩行し、カムが入っていないフリーの状態と表 6.3 に示したスプリングを入れた場合とに分け、それぞれ 4 試行ずつ行った。

(2) 実験装置

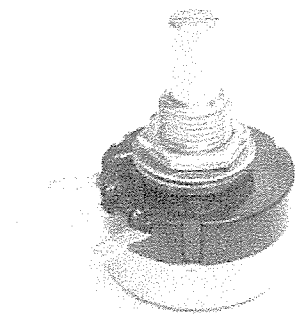
実験装置としてカムキャストの軸に可変抵抗（ボリューム）を取り付け、キャストが回転することでその抵抗値が変わり、その電圧変化をアンプで増幅し、AD 変換ボードを通しノート PC に取り込まれるという仕組みになっている。（図 6.23）



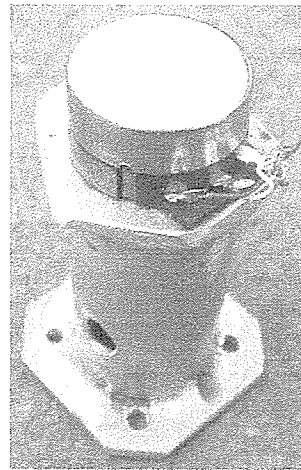
実際の実験装置

図 6.23 実験装置

可変抵抗としては東京コスモス電機社の RV24YN の 10K Ω を用いた。そしてその可変抵抗をセンサーステアに固定し、カムキャストの旋回軸と接続した。（図 6.24 参照）



可変抵抗



センサーステータ

図 6.24 可変抵抗

(3) 実験結果

図 6.25～図 6.44 に実験結果を示す。横軸が時間、縦軸が左右のキャスト切れ角である。

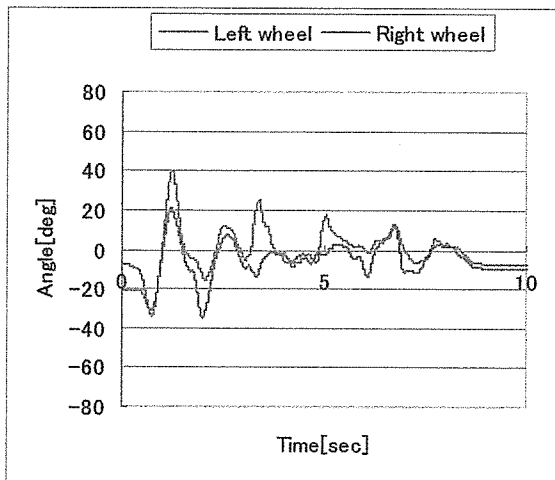


図 6.25 カムなしー第1試行

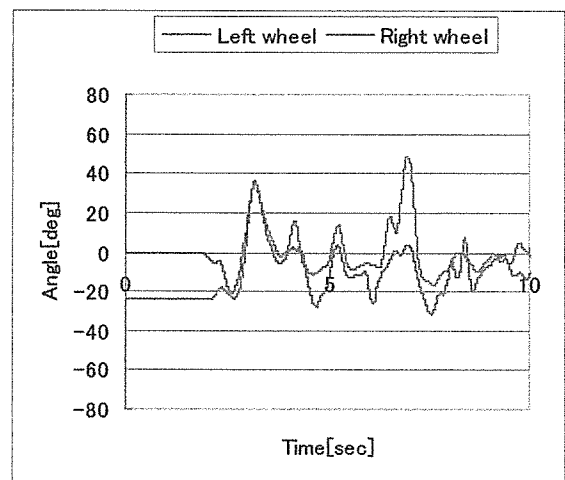


図 6.26 カムなしー第2試行

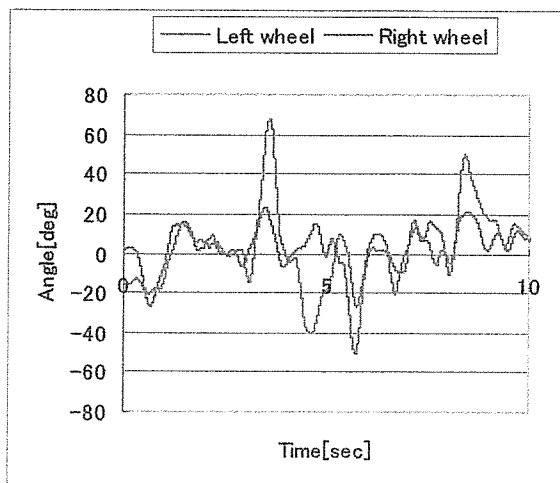


図 6.27 カムなしー第3試行

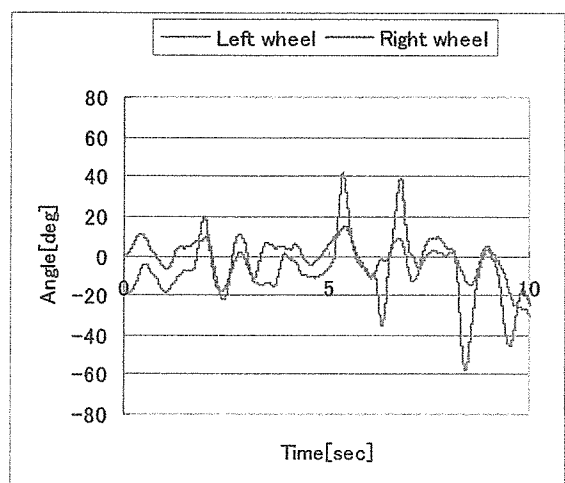


図 6.28 カムなしー第4試行

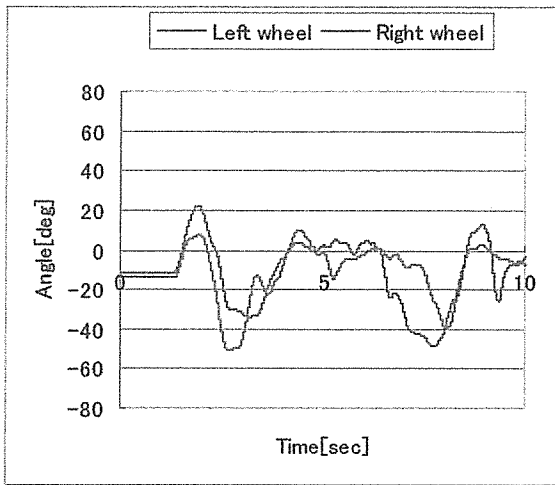


図 6.29 WF (1.0N/mm) - 第1 試行

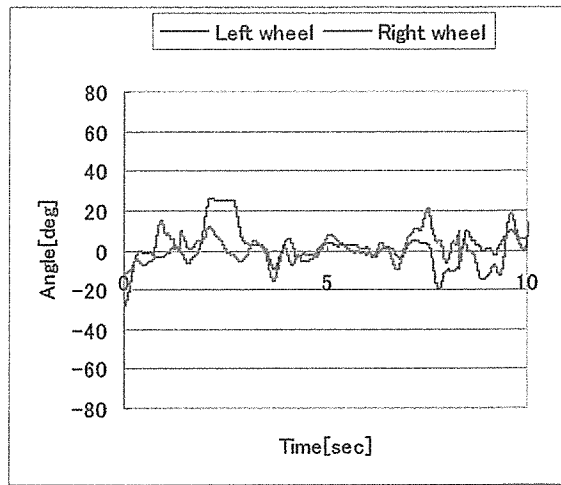


図 6.30 WF (1.0N/mm) - 第2 試行

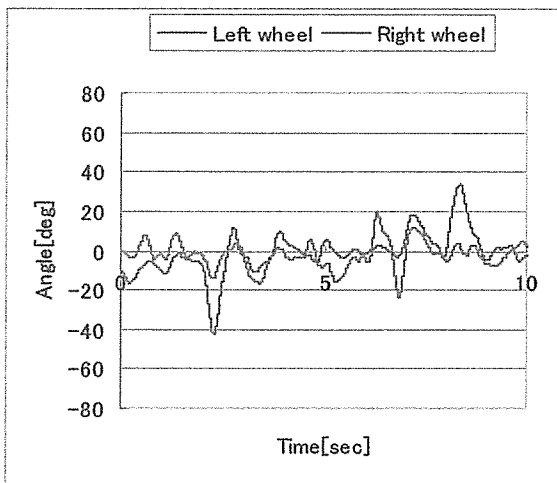


図 6.31 WF (1.0N/mm) - 第3 試行

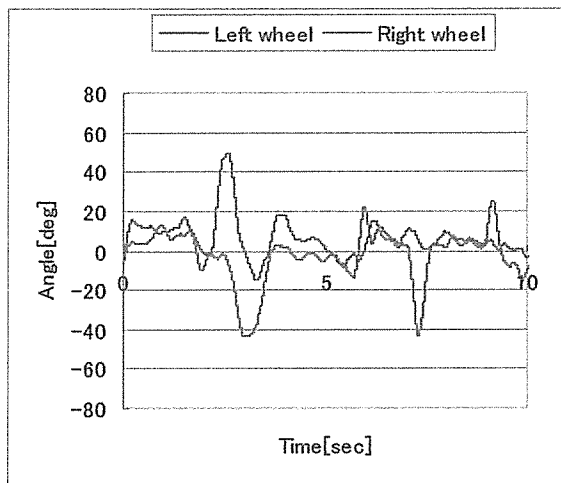


図 6.32 WF (1.0N/mm) - 第4 試行

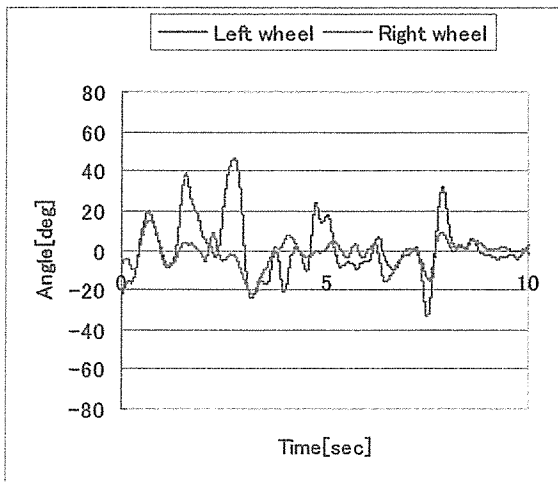


図 6.33 WT (3.9N/mm) - 第1 試行

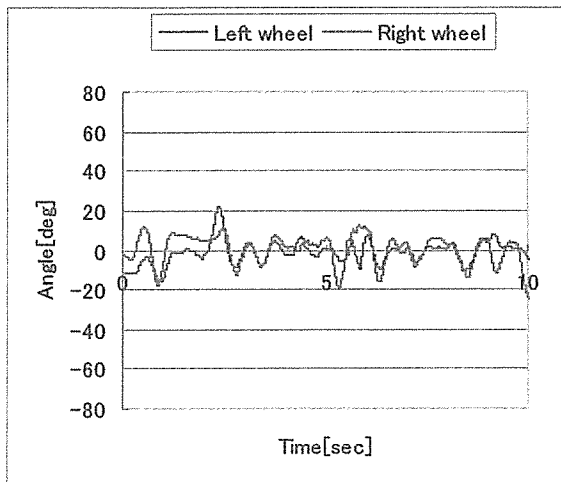


図 6.34 WT (3.9N/mm) - 第2 試行

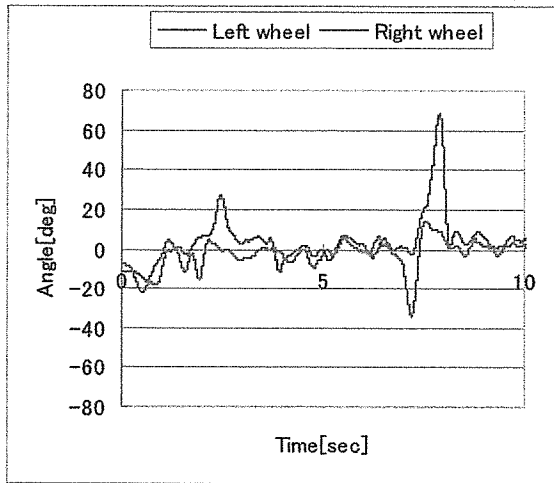


图 6.35 WT (3.9N/mm) - 第3 試行

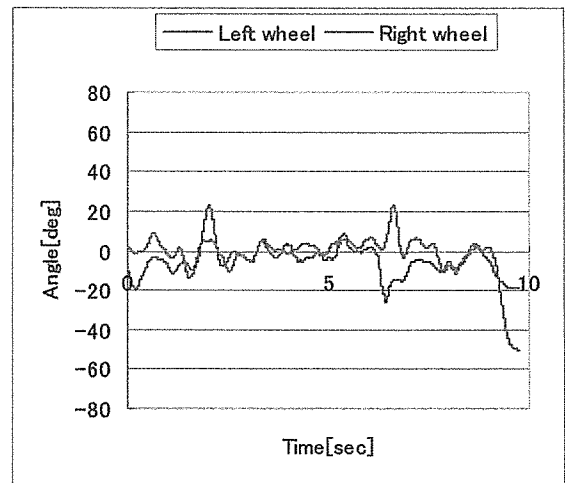


图 6.36 WT (3.9N/mm) - 第4 試行

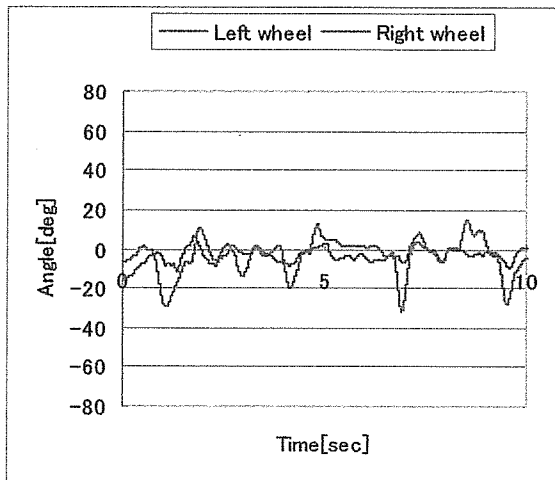


图 6.37 WM (4.9N/mm) - 第1 試行

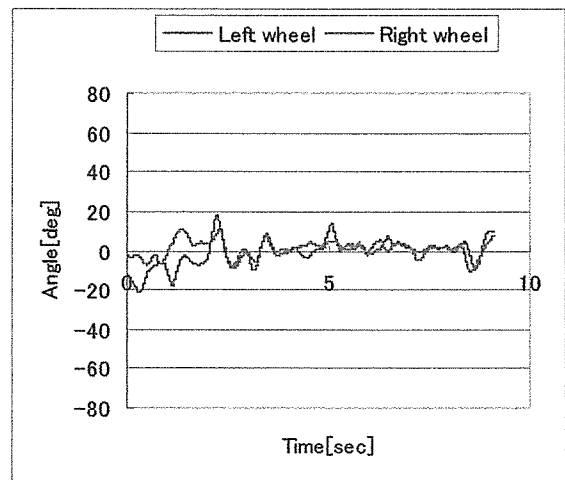


图 6.38 WM (4.9N/mm) - 第2 試行

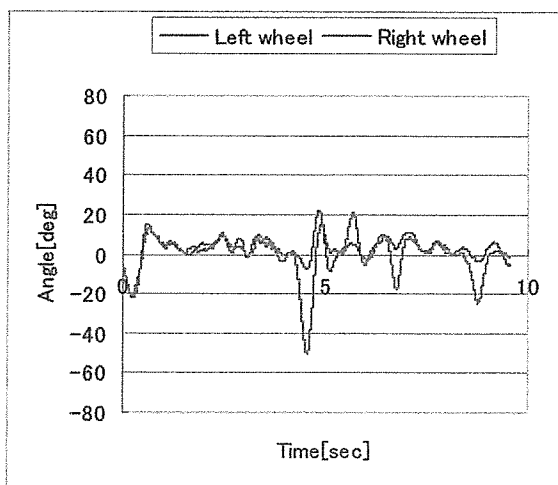


图 6.39 WM (4.9N/mm) - 第3 試行

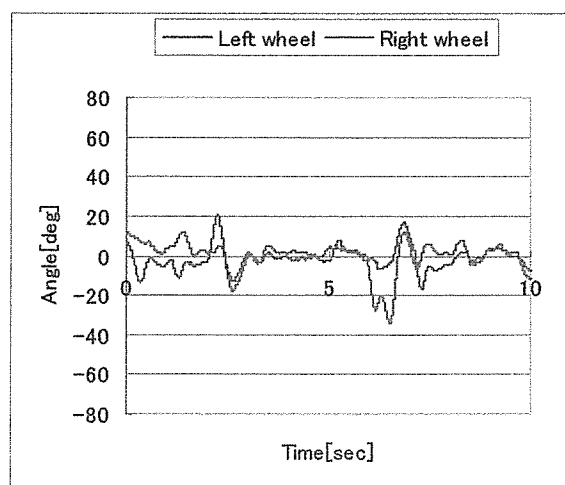


图 6.40 WM (4.9N/mm) - 第4 試行

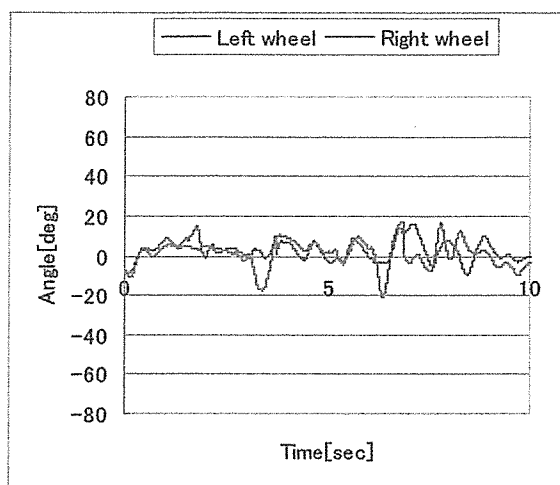


図 6.41 WH (14.7N/mm) 一第1 試行

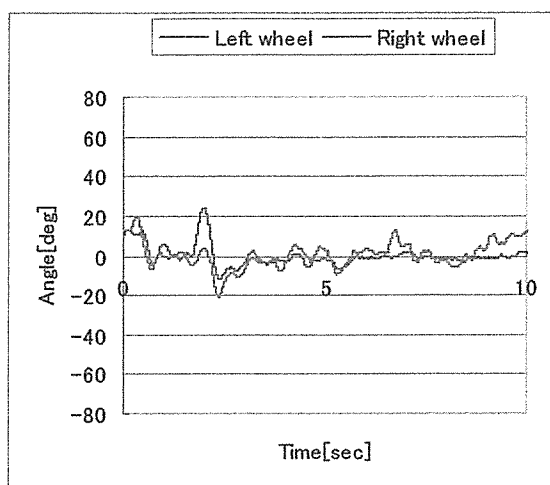


図 6.42 WH (14.7N/mm) 一第2 試行

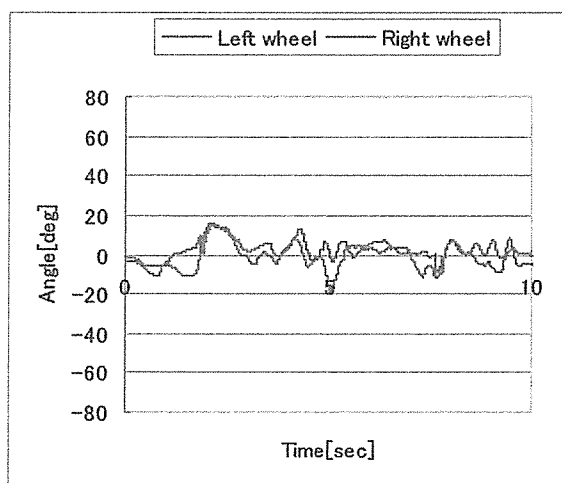


図 6.43 WH (14.7N/mm) 一第3 試行

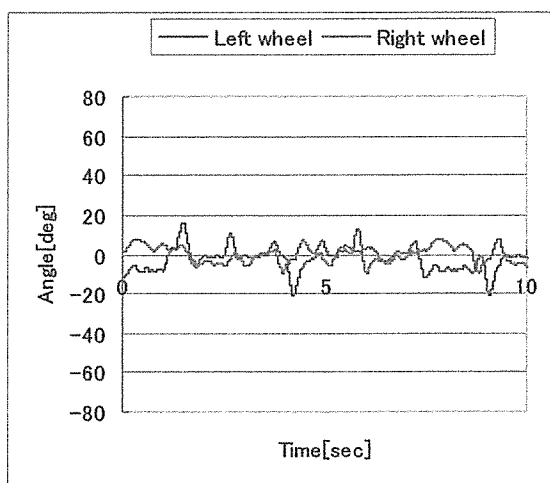


図 6.44 WH (14.7N/mm) 一第4 試行

(4) 実験結果考察

全体を通して突発的な大きな波が出現しているところがあるが、これは今回実験に使用した段差解消キャスタが国内流通しているものが6インチ(152.4[mm])タイプのものしかなく、それを使用して実験した為に、瞬間的に大きめの砂利に引っかかり車輪の挙動が乱れた為だと考えられる。現在使用を予定している200[mm]の空気タイヤを使用すればこの問題は緩和されるものと考えられる。

大きな波を除外すると、ばね定数を上げるほどキャスタの左右への乱れが小さくなっていることがわかる。カムをはずし、通常のキャスタとして使用した場合で $\pm 20[\text{deg}]$ 程度、ばね定数1.0[N/mm]のスプリングを使用した場合で $\pm 15[\text{deg}]$ 程度に、それ以上の硬いスプリング使用時で $\pm 10[\text{deg}]$ 程度のキャスタ切れ角となった。ばね定数1.0[N/mm]を使用した場合にキャスタ切れ角が小さくなったのはスプリングによるものより、装置全体のフリクションによる影響が大きいものと考えられる。ばね定数3.9[N/mm]以上のスプリングで実験結果に大きな差が現れなかったのは、カム傾斜の設計が $\pm 35[\text{deg}]$ 程度までをなだらかな傾斜(20[deg]程度)、それ以上を急傾斜(50[deg]程度)にした為、 $\pm 35[\text{deg}]$ までに関してはある程度以上のばね定数にしても影響が小さい為と考えられる。

6.6.10 カムキャスタまとめ

カムキャスタを試作し試験を行ったが、悪路でのキャスタ挙動の安定化に効果があることが確認された。しかし旋回性を試験したところ、やはりばね定数を上げるにつれ最小旋回半径が大きくなる傾向にあった。この問題はパワーステアリングを併用することによりある程度の緩和は可能であると考えられる。また、あまりばね定数の高いスプリングを使用すると、旋回半径が大きくなるだけでなく、室内の滑らかな路面に置いてタイヤが滑り、キャスタが旋回方向を向かない場

合もあった。以下、タイヤが滑らない条件とカム傾斜の付け方について考察すると以下のようになる。

- ・ タイヤが滑らない為の条件

図 6.45 のようなパラメータで考えた場合、タイヤが滑らない為の条件は次のようになる。

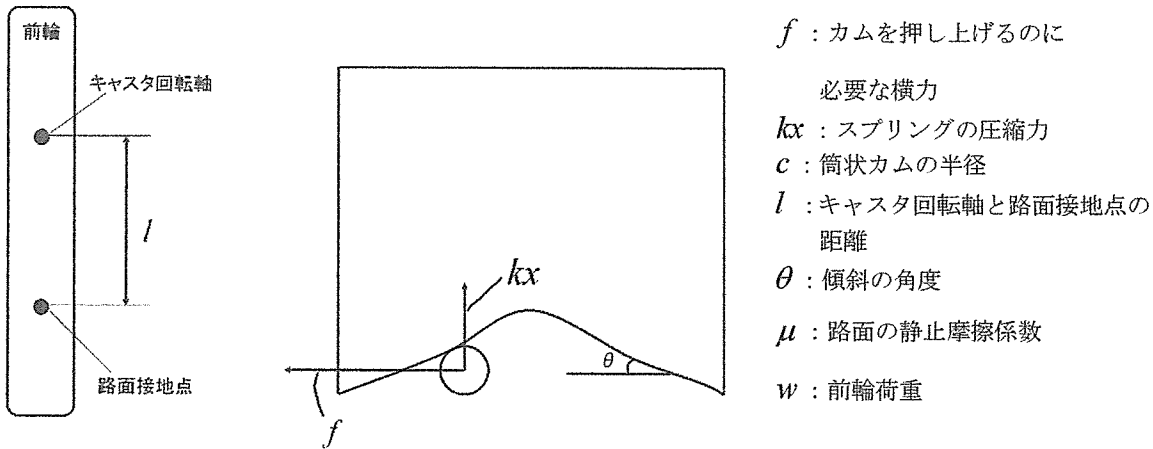


図 6.45 各パラメータ

カムキャストの $c \times f$ の値が前輪の最大摩擦力と l をかけたモーメントの値を超えた場合に、タイヤが滑ってしまう。

つまり、タイヤが滑らない為の条件式は以下のようになる

$$f \cdot c < \mu w l \quad (6.14)$$

これを整理すると

$$kx \cdot c \cdot \tan \theta < \mu w l \quad (6.15)$$

(6.15) の条件を満たしているとき、タイヤは滑らずに旋回することができる。

- ・ カム傾斜の付け方

今回試作にあたり、カム傾斜はキャスト切れ角が $\pm 35[\text{deg}]$ で傾斜角度を $20[\text{deg}]$ 程度に、それ以上の切れ角に対しては傾斜角度を $50[\text{deg}]$ 程度に設定した。またカム傾斜の上下ストローク量は $15[\text{mm}]$ とし、キャストの中心と $\pm 90[\text{deg}]$ 付近に落ち着きを持たせるように凹部を設けた。実際に試作品の評価試験を行うと、この傾斜の付け方では問題があることがわかった。まず、 $\pm 90[\text{deg}]$ 付近の凹部が深すぎて、 $90[\text{deg}]$ 以上にタイヤが切れないことである。バックするときなど $90[\text{deg}]$ 以上の切れ角が必要な状況もあるため、これは改善する必要がある。また、キャスト切れ角が $\pm 35[\text{deg}]$ からそれ以上の角度になるときのカム傾斜が急変化している為、キャストの軸がそこで止まってしまうことがあることも問題である。これらの状況を考え、傾斜は $\pm 35[\text{deg}]$ 付近では現状より急な傾斜に、それ以上の角度では現状より緩やかな傾斜にする必要があると考えられる。

以上のように改善する点も多々存在するが、悪路での挙動が確実に抑えられているため、カムキャストが歩行支援機操作性を向上・安定させる上で効果があることが実証された。

7. 段差乗越え装置

7.1 段差乗越え装置とは

キャストでは、車椅子に比べて乗り越え可能な段差が低い。これは車椅子の方が車輪径が大きく、車輪径が大きいほど、乗り越えられる段差の高さが大きくなるためである。市街地におけるバリアーを解消するために、歩行支援機にも車椅子と同じだけ段差を乗り越える必要がある。ここでは、比較的車いすとして一般に用いられている車輪径を表にすると、表 7.1 のようになる。バリアフリー地域で認められている 20mm 高さの段差を乗り越えるためには、手押し式車いすでの最小車輪径が約 50cm であり、理論上ではないが、実用上の限界と考えておいて良い。介助用車いすや電動車いすは、前進させる力が介助者や電動モータによって行われるため、更に車輪径は小さく $30\sim 40\text{cm}$ の直径の車輪が使用される。この方が

コンパクトで軽量であるため、運搬や保管に有利のためと考えられる。車いすの場合は、前輪はほぼ歩行補助器並の小さな車輪径であり、まともには20mmの段差高さをクリアすることはできないが、段差乗越え時に前輪を浮かせるような姿勢をとるような作用によって通過を試みることが前提である。それに対して、歩行器は、3,4車輪に被歩行支援者の体重を支持するため、前輪を浮かすことは一般には行わない。従って、歩行器の車輪径は段差乗越えには車いす以上に厳しい力学的な条件下での作業である。場合によっては、5mmの段差も越えられない場合が生じる。

表 7.1 車いす、歩行補助器などの車輪直径実勢値

	前輪直径		後輪直径	
	インチ	センチ	インチ	センチ
手押し車いす	5~7	12.7~17.8	20~24	50.8~61.0
介助用車いす	3, 4		12~16	30.5~40.6
シルバーカー		130~138		
歩行補助器		200 (Max)		

7.2 大径理論

図 7.1 に、世の中で存在する段差乗越え装置の代表的な事例を示す。いずれも、車輪直径に対して、より大きい車輪直径相当の円弧を車輪近傍に設置して、車いす並の段差乗越えの能力を得るものである。これらが大径理論と称している。

図 7.1 の事例では、左から、大径の扇状振り子式、スライダー方式、リンク式スイング機構式などである。

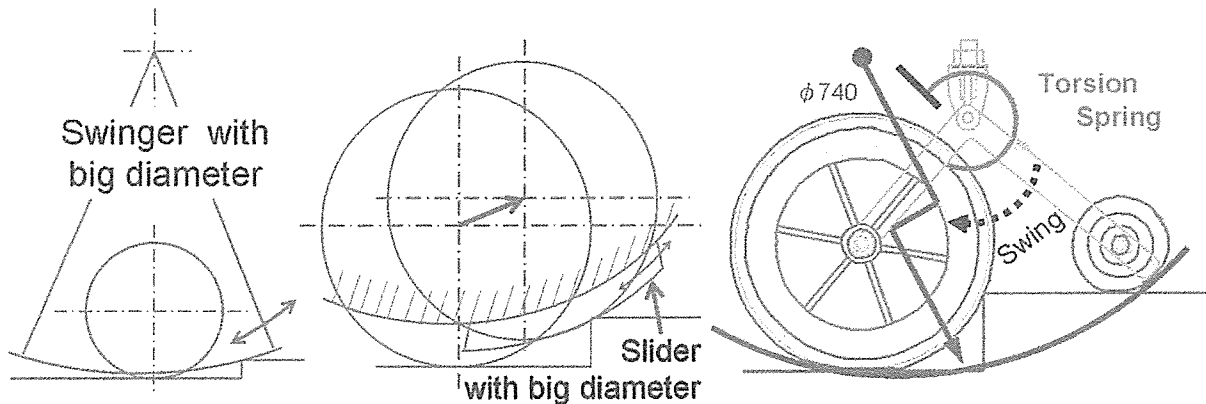


図 7.1 段差乗り越し装置

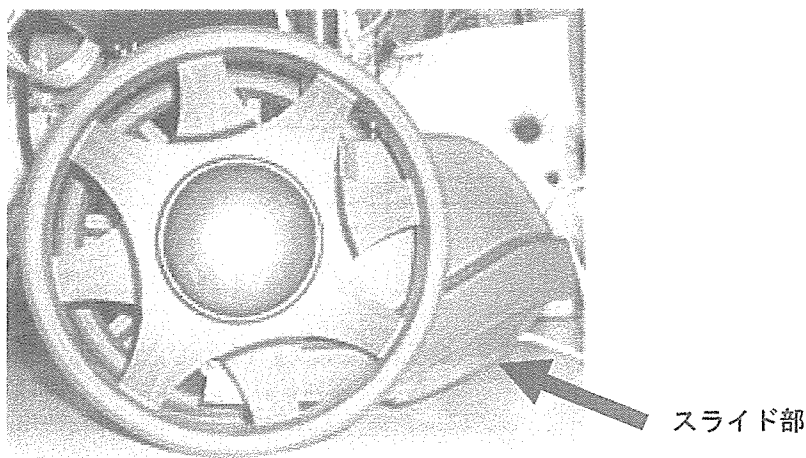


図 7.2 スライダー方式の段差乗越え装置

図 7.2 の事例では、積極的に前輪を浮かせることをしない歩行器の場合は、段差乗越えの条件がきびしいので、直径 60cm よりも更に大径を用いる場合が多い。この事例では、直径が 100cm を越える大径の円弧を用いて、その付加価値を上げている。

バリアフリー住宅では車椅子が困難なく越えられる段差高さを 20[mm]としており、この高さまでの段差であれば許容している。このため 20[mm]までの段差を通常歩行と同じように歩行でき、それ以上はモータによる電動アシストによる制御で 50[mm]までの段差を乗越えることを目標とする。

7.3 段差乗越え能力について

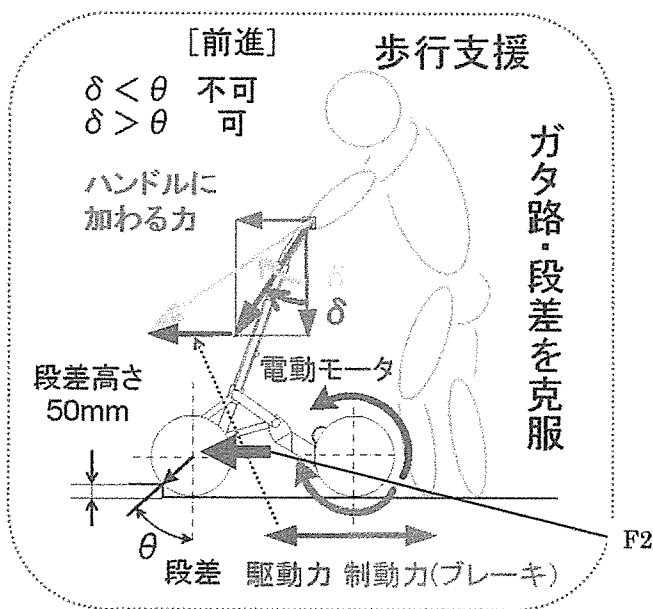


図 7.3 大径理論

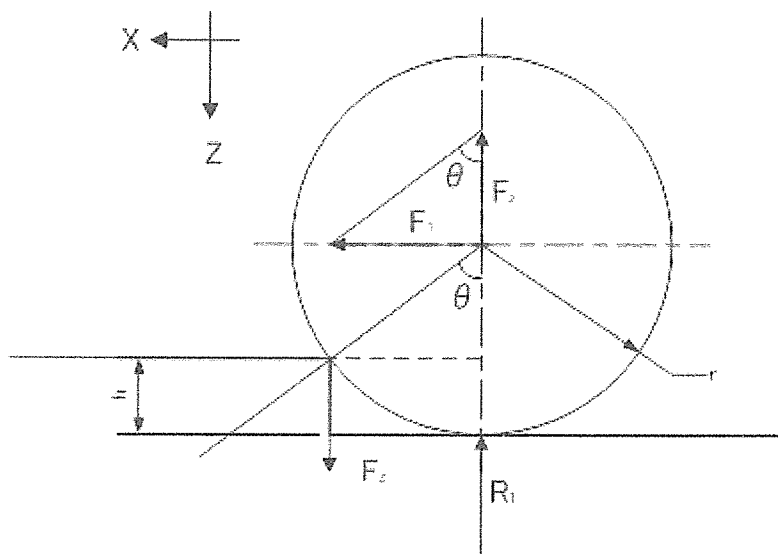


図 7.4 歩行支援機のタイヤまわりのモデル

しかし、径の大きなタイヤを用いても、ハンドルに加わる力の方向によっては段差を乗り越えることができない場合がある。ハンドルを前に押す力より体重を強く鉛直方向にかけてしまうと上図 7.3 にある $\delta < \theta$ となり、段差を乗り越えることができない。

ハンドルに加わる力を F 、後輪の x 方向の駆動力を F_2 、段差に接触したタイヤが上に上がる力を R_1 、タイヤの x 方向

の力を F_1 , z 方向の力を F_z とする.

前輪方向にかかる力は

$$F \sin \delta + F_2 = F_1 \dots (7.1)$$

ここで, $F_z \geq R_1$ のとき, 歩行支援機の前輪は上昇を始め, 段差を乗り越えることができる.

乗り越えを始めるとき $F_z = R_1$ について考えると,

$$F_z = R_1 \dots (7.2)$$

$$F_z = F \cos \delta \dots (7.3)$$

$$\frac{F_1}{\tan \theta} = R_1 \text{ であるから, } F_1 = R_1 \tan \theta \dots (式3.4)$$

式 (7.1) に (7.2), (7.3), (7.4) を代入すると,

$$F \sin \delta + F_2 = F \cos \delta \tan \theta \dots (7.5) \text{ となる.}$$

ここで簡単のため, δ を 30° , θ を 60° として(式3.5)に代入し計算すると, 結果は

$F_2 = F$ となり, 後輪もハンドルを押した分だけ進んだ, つまり段差を乗り越すことができたことがわかる.

以上により, 後輪が前進することによっても, 同様に段差乗り越しが可能であるということがわかる. 後輪が駆動することによって, ハンドルを押す力の x 成分が大きくなるので δ も大きくなり, $\delta > \theta$ となったとき段差を乗り越すことができる.

7.4 段差乗り越し実験

段差乗り越しキャスターと駆動部を用いて本年度作られた歩行支援機 2 号機での段差乗り越し能力の検証とそのときのハンドル部にかかる荷重を測定する実験を行う.

(1) 実験方法

初速 $v=0$ からの段差乗り越し能力の検証を行うために Fig.7.5 に示すような, あらかじめ前輪部の段差乗り越しキャスターに高さ $h=20[\text{mm}]$ の段差が接している状態から実験を始める.

被験者は健常者の学生 3 人で行った. それぞれの身体情報を Tab.7.2, 実験の力学図を Fig9.2 に示す.

Tab.7.2 Personal data

Name	Height [mm]	Weight [kg]
Subject A	165	78
Subject B	171	53
Subject C	174	66

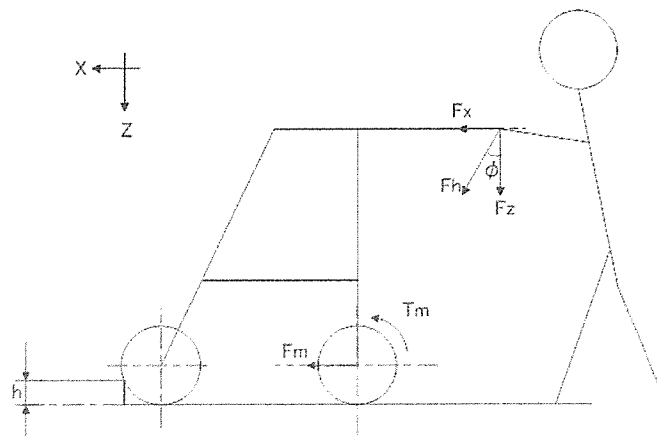


Fig. 7.5 Experimental of beyond the bump mechanism

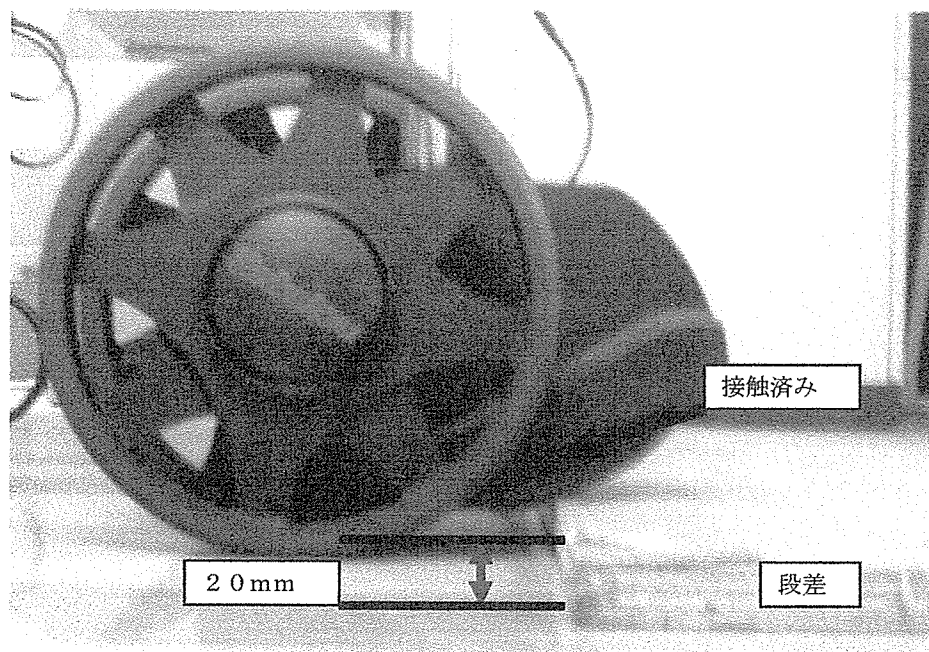


図 7.3 実験方法

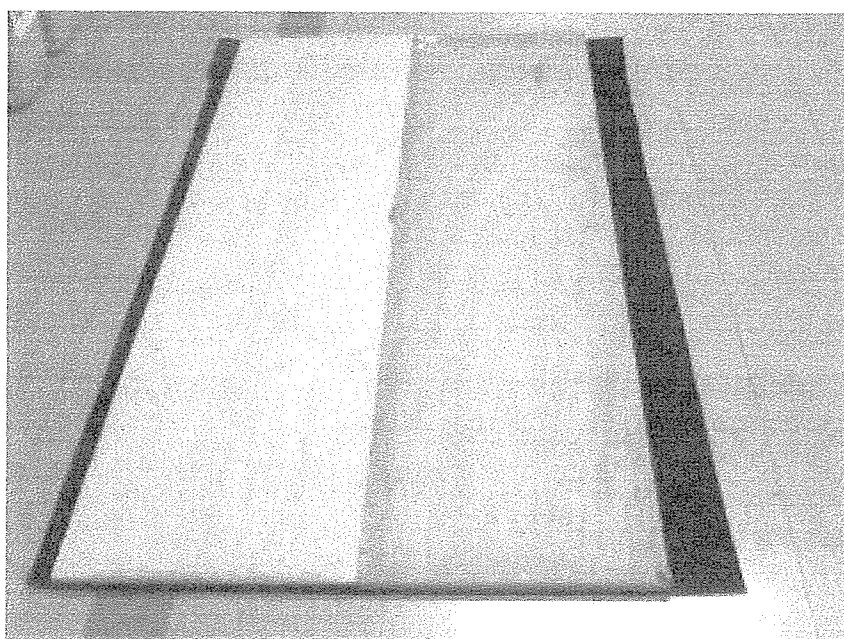


図 7.4 実験走行路

実験では Fig.7.5 に示したとおり，段差を乗り越えるときにハンドル部にかかる荷重(F_x ， F_z)を歪みゲージから，支援機の前輪が段差の登り降りをしている時間を計測するために支援機前方に加速度センサをとりつけX軸とZ軸方向の加速度を計測する．被験者は支援機に体重を預けずに支援機のハンドルを持ちながらの歩行と，支援機に体重を預けるようにハンドルを持ちながら歩く 2 パターンの歩行を行う．両方のパターンにおいて試行回数 3 回ずつ計測を行うこととする．プログラムの関係上，モータの回転数は 100[rpm]，速度 0.1[km/h]の定常回転で行う．

(2) システム構成

本実験のシステム構成図を Fig. 8.3 に、実際の実験装置を Fig. 8.4 に示す。

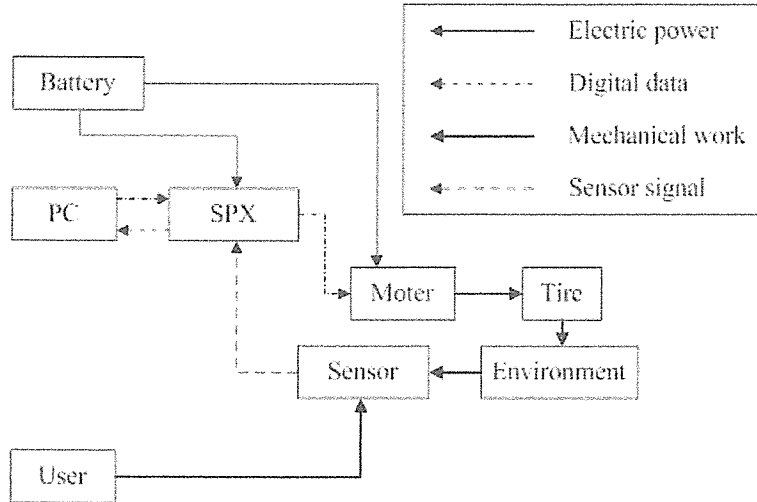


Fig7.5 System diagram for experimental of beyond the bum

(3) 実験結果

以下に F_x , F_z と X 軸, Z 軸の加速度の実験結果とそれから求められた ϕ のグラフを示す

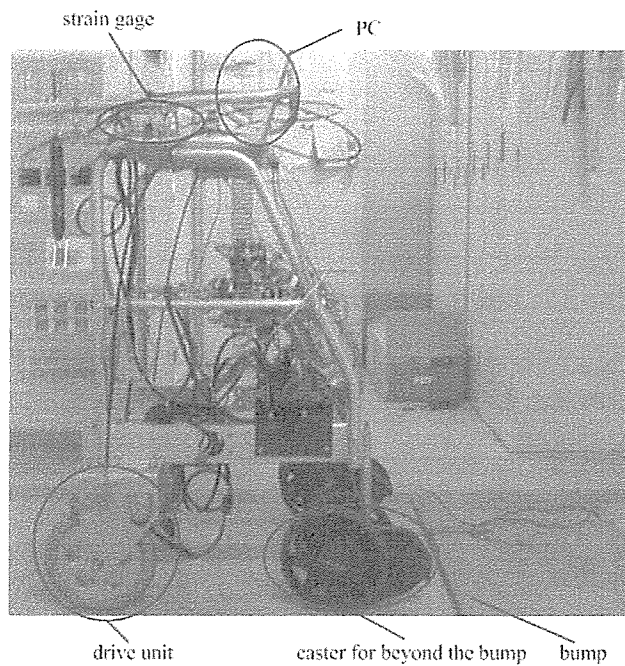


Fig. 7.6 Experimental of beyond the bump device

(4) 実験考察

まず、ハンドル右部の X 軸方向の荷重についてだが、最初の支援機を頼らない歩行(Fig.8.5~Fig.8.26)では目立たないが、歩行機に体重を預けた歩行による実験(Fig.8.27~Fig.8.44)では全部の試行において他と比べて明らかに低い。これを歩行特性と考えるには難しく、センシングの問題ではないかと考える。原因としては、歪みゲージの貼り方やセンサのならしの問題が挙げられる。ハンドル右部の X 軸方向に関してはもう一度センサの見直しを行って、改めて計測を行う必要がある。よって、今回の実験結果で ϕ の値を算出するときにはハンドル右部の X 軸荷重を考慮して算出していない。よって ϕ の変位においては正確とはいいいかねる値ではあることは最初に述べておく。

支援機に頼らない歩行では、被験者 B の ϕ の値が他の被験者に比べ大きく違っている。原因としては被験者 B が支援機を持ち上げてしまったケースなどが考えられる。被験者 A と被験者 C の平地路面での ϕ の値の平均値が 55~45[deg]であり、3 人の被験者が支援機に体重をかけたときの ϕ の平均値は 30~40[deg]となっている。段差乗越し時に関しては立ち

上がりにオーバーシュートが検出される場合もあるが、 $\phi=0[\text{deg}]$ から平均値近傍へと立ち上がり安定している。このオーバーシュートが段差検出のためのパラメータの1つになると考える。しかし、6[sec]前後と9[sec]前後に、支援機に大きな加速度が生じているのがわかる。これはそれぞれ前輪と後輪が段差から降りるときのもので、最大で9[m/sec²]とほぼ重力加速度と同じくらいの加速度が生じている。そのときの衝撃力は今後支援機を製作していく上で無視できないものであるのは明らかであった。今回の実験では、初期状態において前輪部が段差と接触している状態から実験を開始したため、前輪が段差に当たったときの衝撃がない状態からの段差乗越しになっている。実際にはある程度の初速度をもって段差を乗越えるため、もう一度同様の実験を行って、前輪が段差にあたるときと、前輪・後輪がそれぞれ段差降りるときにかかる衝撃力を定量的に求めて、サスペンションなどの衝撃緩和や段差降下機能を設けるなどの対策が必要になるかの検討を行っていく必要がある。

(5) 実験結果

計測結果から特徴的なグラフ形状を示しているものを抜き出して以下に示す。

Fig.7.7は、歩行支援機が段差を乗り越える際に片方のハンドルにかかる垂直荷重とZ方向の加速度のグラフである。Z方向加速度より6sec前後の前輪の降下などが起こっていてハンドル部垂直荷重も変動しているが概ね100N前後を行き来している。

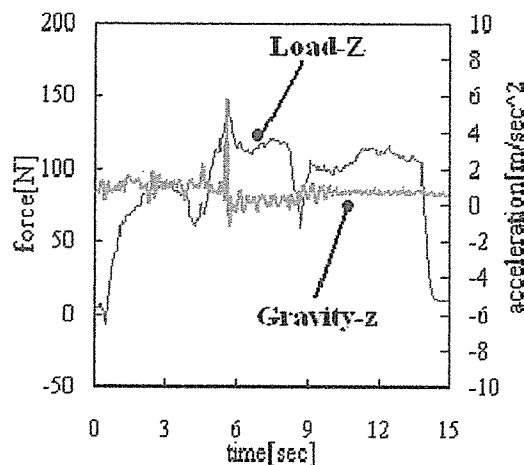


Fig. 7.7 .Result of experiment subject B with weight

次に歩行支援機使用時の左右ハンドル部の垂直荷重合計の平均値を求める。計測開始時や終了時に急激な荷重の減少が見られるが、計測機器の操作などでハンドルから手を離した為に減少したと考えられるので計測開始と最後の3秒間は除外して計算する。

Tab. 7.3 Steering wheel load Unit: N

Test	First	Second	Third	Mean
Person①	254	194	177	208
Person②	204	209	219	205
Person③	155	132	146	145

Tab. 7.3より被験者により差があるものの、何れも3章で求められた20mm段差を乗り越えるのに必要なハンドル部荷重、50mm段差を乗り越えるのに必要なハンドル部の荷重ともに大幅に上回っている。よって段差乗り越しに必要なハンドル部垂直荷重条件は容易に満たすことができる条件だと言え、歩行支援機は20mm段差や50mm段差を乗り越える際にも特に力を加える必要がなく通常の使用方法で乗り越えることができると考えられる。

7.5 前輪ゴムタイヤ

従来の歩行支援機ではソリッドタイヤを使用していた。ソリッドタイヤでは、凹凸路を走行したときのガタつきや段差を降りた際の衝撃が大きく、かねてから、その問題が懸念されていた。

そこで、今回の歩行支援機では直進安定性や段差の衝撃緩衝、安心感のある見た目により使用者の不安を軽減する目的で、サイズは前回同様8インチで、両輪空気入りゴムタイヤ、アルミホイールを採用した。