

最後に、コイルスプリング及びショックアブソーバーの諸元を示した。復元力は設計したコイルスプリング、減衰力は1自由度系モデルの運動方程式から導いた値を用いた。また、ショックアブソーバーは、「ポルテ」（カヤバ工業株式会社 製）を用いるが、減衰力は、 $100 \cdot 200 \cdot 300 \text{ kg/s}$ と調整可能になっている。

上記モデルの駆動力としては、システムが速度 0.42m/s ($=1.5\text{km/h}$) になるように後輪に速度を与えた。(シミュレーションを開始させると、角速度に変換されて計算される。) また、この速度は歩行器使用高齢者の平均速度である。シミュレーション結果を下図に示した。

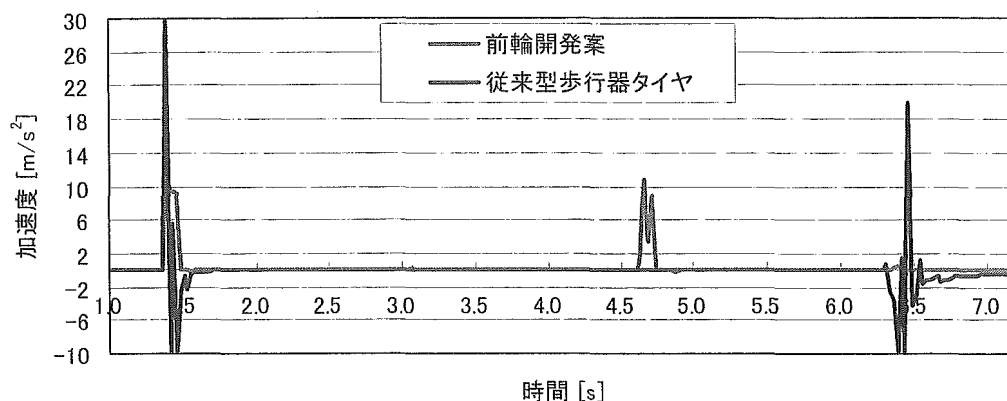


Fig. 5.1.3 不整路走行時のキャストと前輪開発案における上下加速度比較

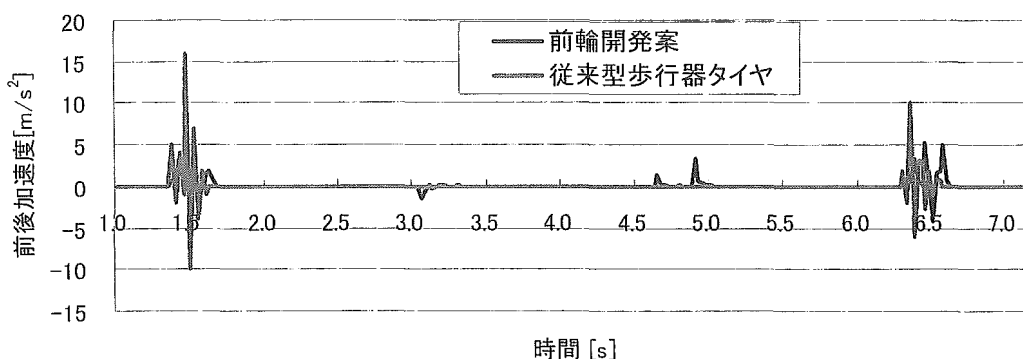


Fig. 5.1.4 不整路走行時のキャストと前輪開発案における前後加速度比較

Fig. 8.1.3 は、不整路走行時の上下加速度を示したものであるが、加速度が4回に渡って発生している事がわかる。各加速度発生の原因は、前輪開発案の1.前輪の段差乗り上げ、2.後輪の段差乗り上げ、3.前輪の段差降輪、4.後輪の段差降輪の順である。2及び4の加速度が小さいのは、前輪の加速度を計算させているためである。ここで、従来型歩行器タイヤの加速度の値は、実験値（2004年度アクティブ班論文参照）とした。前輪が乗り上げるとき従来型歩行器タイヤの上下加速度は約 30m/s^2 に対し、前輪開発案は約 10m/s^2 と約 $1/3$ に抑えられる事がわかった。また、前輪が降りるとき従来型歩行器タイヤの上下加速度は約 20m/s^2 に対し、前輪開発案は約 11m/s^2 と約 $1/2$ に抑えられる事がわかった。さらに、Fig.8.1.4の前後加速度をみると前輪が乗り上げるとき従来型歩行器タイヤは約 16m/s^2 に対し、前輪開発案は約 4m/s^2 と約 $1/4$ に抑えられる事がわかった。また、前輪が降りるとき従来型歩行器タイヤは約 10m/s^2 に対し、前輪開発案は約 5m/s^2 と約 $1/2$ に抑えられる事がわかった。

シミュレーション環境の条件設定を変化させると、結果が大きく変わる場合があることや、タイヤがファセットで定義されていることから、今後は実機での実験を行い、シミュレーション結果と比較していくことが望ましいと考える。

5.2 前輪開発案における段差乗越えシミュレーション

「前輪開発案における不整路想定シミュレーション」と同様に、Visual Nastran Desktop 2001 (4D) を使用して段差乗越えのシミュレーションを行った。また、シミュレーションモデルを以下に示した。

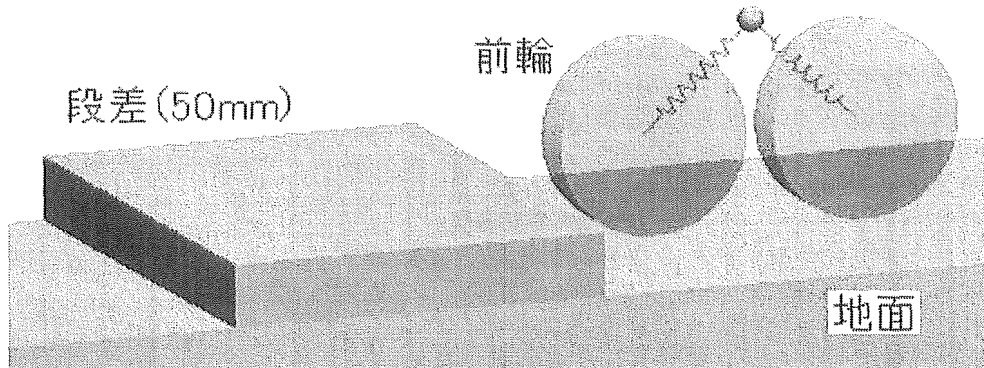


Fig.5.2.1 前輪開発案の段差乗越えシミュレーション

上図の通り、段差を 50mm (「実際のガタ路及び段差における調査」を参照) に設定した。シミュレーション環境及びモデルの設定値は「前輪開発案における不整路想定シミュレーション」の値を使用した。上記モデルの駆動力としては、システムが速度 0.075m/s (前輪が段差に当たってから乗越えるまでの時間を 1[s]としたときの速度) になるように後輪に速度を与えた。(シミュレーションを開始させると、角速度に変換されて計算される。) シミュレーション結果を下図に示した。

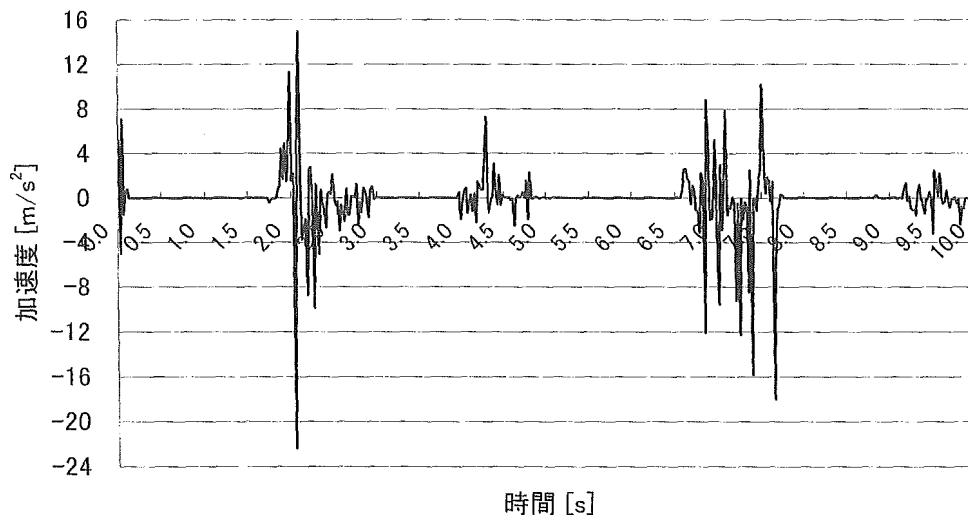


Fig. 5.2.2 前輪開発案の段差乗越えシミュレーションの上下加速度

Fig. 5.2.2 は、不整路走行時の上下加速度を示したものであるが、加速度が 4 回に渡って発生している事がわかる。各加速度発生の原因は、前輪開発案の 1.前輪の段差乗り上げ (Fig. 5.2.3 の 2~4)、2.後輪の段差乗り上げ (Fig. 5.2.3 の 5~6)、3.前輪の段差降輪 (Fig. 5.2.3 の 6)、4.後輪の段差降輪 (Fig. 5.2.3 の 8) の順である。また、上図にて評価している上下加速度は前輪タイヤである。1.前輪の段差乗り上げ (23m/s²) 及び 3.前輪の段差降輪 (18m/s²) の加速度が大きいのはそのためである。シミュレーション環境の条件設定を変化させると、結果が大きく変わる場合があることや、タイヤがファセットで定義されていることから、今後は実機での実験を行い、シミュレーション結果と比較していくことが望ましいと考えた。次に、段差乗越えシミュレーションの動作を 1~8 段階にし、下図のように示した。

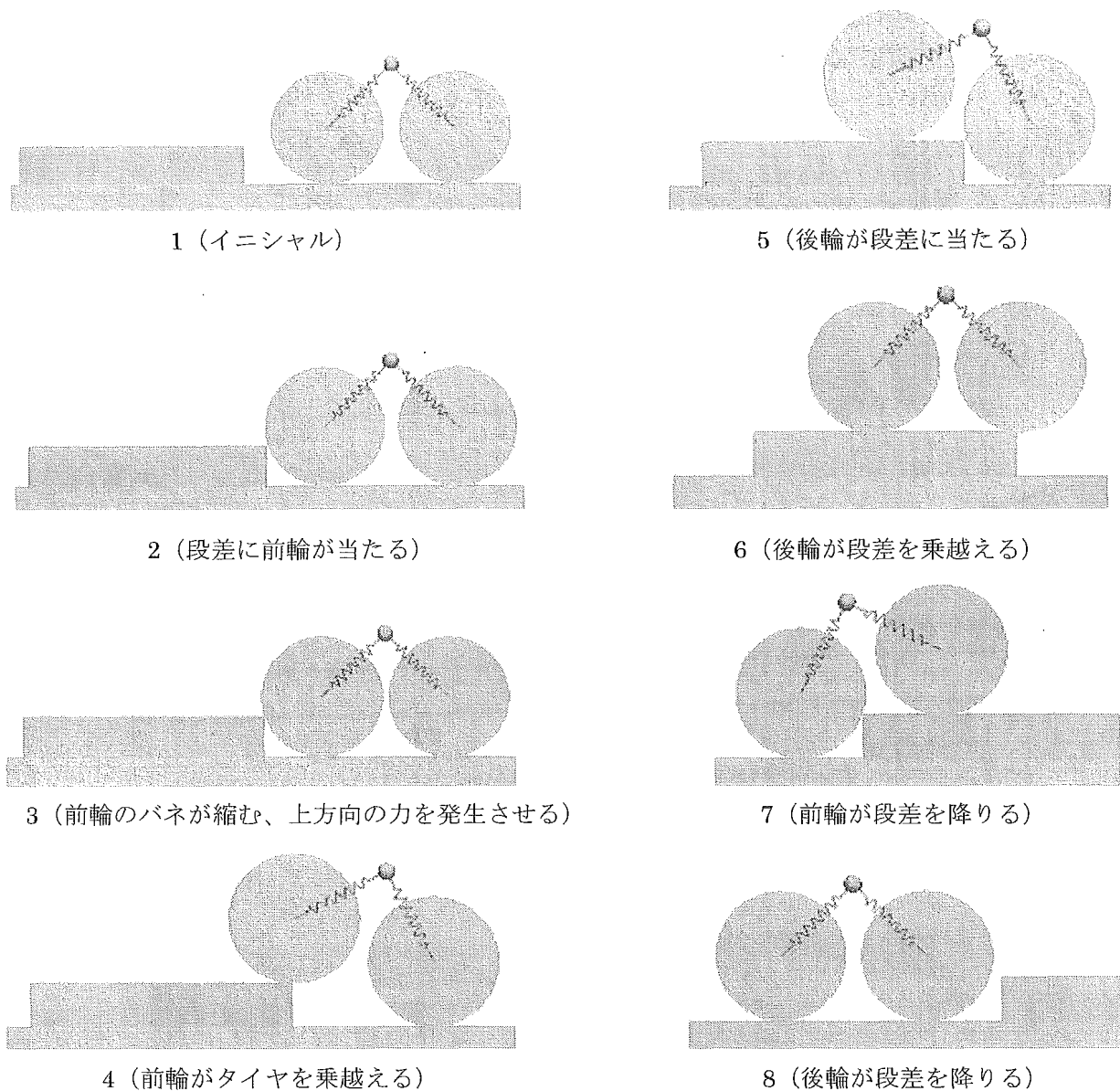


Fig. 5.2.3 段差乗越えシミュレーションにおける8段階動作図

上記に示したように、前輪構造案が 50mm の段差に対して Fig. 5.2.3 の 4 及び 5 の状態にあるとき、Fig. 5.2.3 の 1 の状態からの上下変位は約 22mm であった（もちろん、後輪も段差に乗り上げたときはイニシャルより 50mm 高い位置にある）。使用者にとって、段差を超えなければならないような場面に直面したとき、姿勢を徐々に変化させること（いきなり 50mm の高さになるのではなく、0mm→22mm→50mm と変化させること）によって姿勢を保ちやすいのではないかと考える。これは、後の実験で評価していくこととした。

5.3 前輪開発案の性能評価

製作した前輪開発案の性能において、まず静的な実験をすることでその性能を評価することとした。以下に、製作及び購入した部品及び設計図を示した。

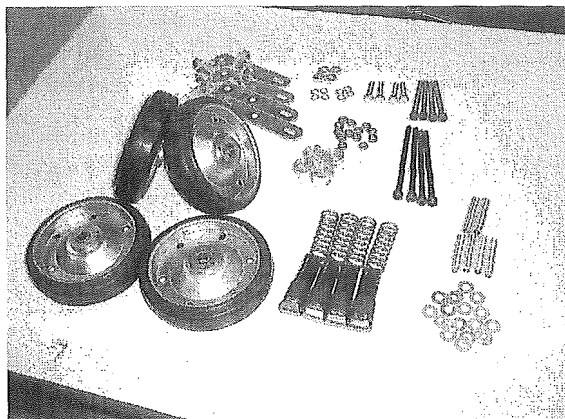


Fig.5.3.1 前輪開発案の全部品

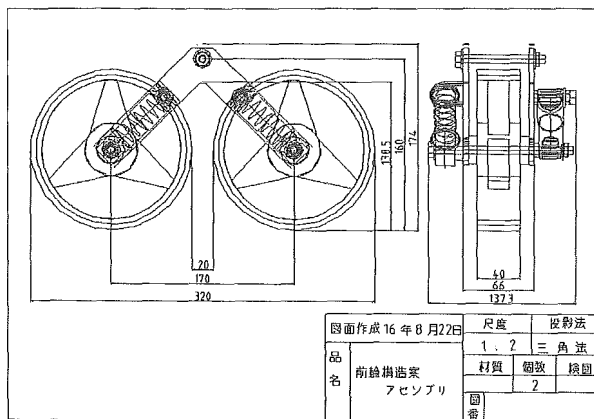


Fig. 5.3.2 前輪開発案の設計図面

Tab.5.3.1 前輪開発案の主要諸元

部品	説明
タイヤ	合成ゴム(B入) $\phi 150 \times 40$ 車輪全幅 56mm
スプリング	$\phi 200$ (中心径) $\times \phi 2.6$ (線径) $\times 64$ mm スプリングレート 6500N/m
ショックアブソーバー	ポルテ(KPR-100NU) カヤバ工業(株) 製 減衰力 100~300kg/s
フレーム	A5052 板使用

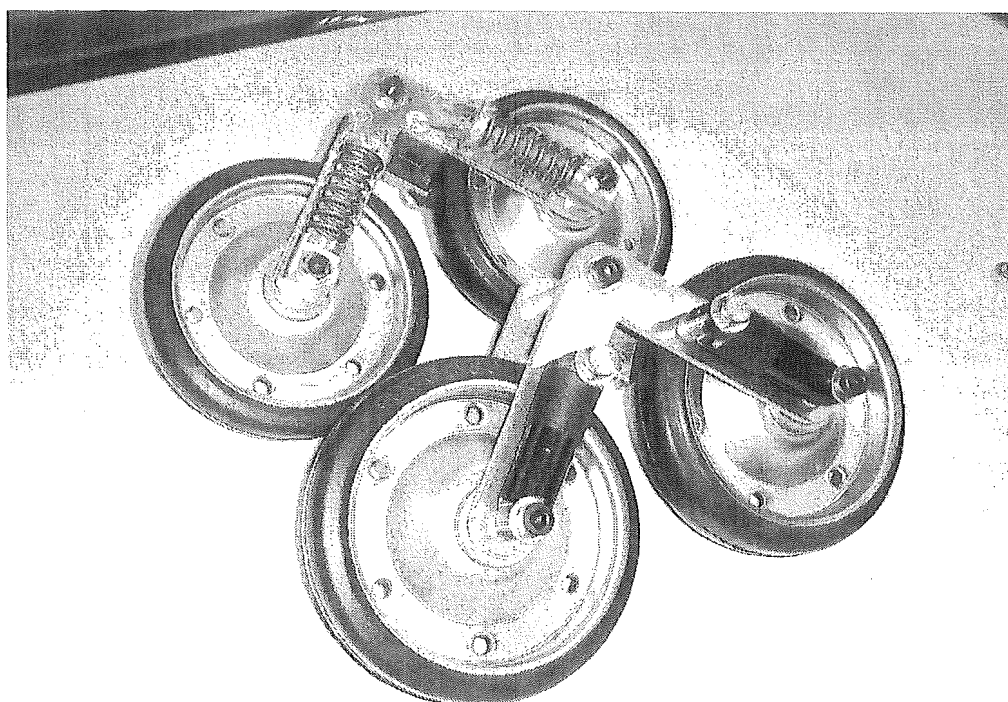


Fig. 5.3.3 前輪開発案の試作モデル

Tab. 5.3.2 使用した部品とその重量

部番	名称	個数 [個]	CAD		実測	
			重量 [g/個]	総重量 [g]	重量 [g/個]	総重量 [g]
1	M8 並目ボルト(P1.25×130mm)	4	57	228	47	188
2	M8 並目ボルト(P1.25×33.5mm)	4	19	76	18	72
3	M8 並目ボルト(P1.25×78mm)	2	36	72	31	62
4	コイルスプリング	4	19	76	24	96
5	コイルスプリングステー(下)	4	26	104	25	100
6	コイルスプリングステー(上)	4	6	24	7	28
7	ブラケット(フレーム)	4	95	380	92	368
8	M8 ボルト用特殊シム(ショック上)	4	0.6	2.4	0.5	2
9	M8 ボルト用特殊シム(ショック下)	4	1	4	1	4
10	M8 ボルト用特殊シム(スプリング下)	4	4	16	4	16
11	M8 ボルト用ワッシャー	16	0.2	3.2	0.3	4.8
12	M8 ボルト用ナット	10	3.5	35	3	30
13	ショックアブソーバー	4	152	608	146	584
14	合成ゴムタイヤ φ150 ベアリング入	4	860	3440	735	2940
15	タイヤ径変換カラー	4	3.45	13.8	8	32
16	フレーム固定用カラー	2	3.45	6.9	9	18

前輪開発案総重量 [kg/輪]	2.5		2.27
-----------------	-----	--	------

上表より、前輪開発案の実測した重量は 2.27[kg / 輪]、2 輪では 4.54kg であることがわかった。ここで目標重量は 4kg のため、今後ブラケットなどの軽量化によって解消することとした。

実験手順

前輪開発案のフレームとの接合部分に荷重をかけていき、サスペンションのストロークを見るということを行った。まず、前輪開発案を水平な地面の上に固定（前後軸方向はフリーとした。）した。次に、フレームとの接合部分に 5kg ずつ 30kg（計 6 回の測定）まで錘を乗せていき、その際のサスペンションのストローク量をノギスにて測定した。測定は、バネ×ダンパー、バネ（両側）、バネ（片側）の 3 パターンとした。

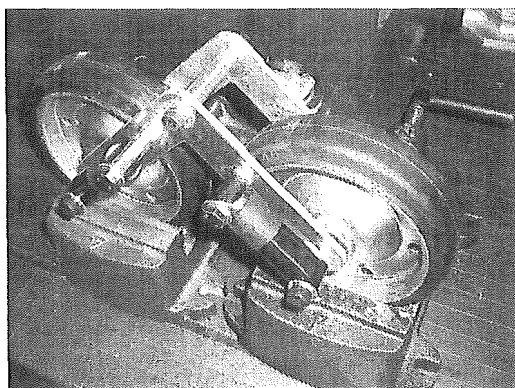


Fig.5.3.4 万力による固定（前後軸フリー）

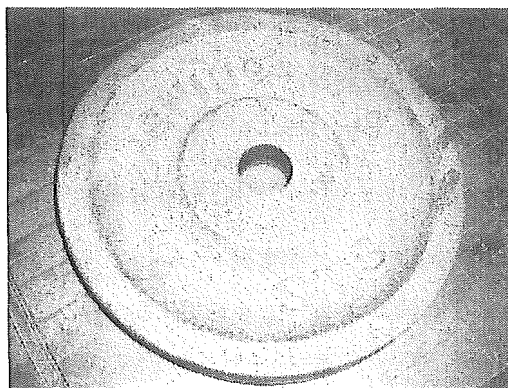


Fig.5.3.5 5kg の錘

実験結果

Tab5.3.3 各パターンにおける静荷重に対するストローク量

	実験条件	荷重 [N]	ストローク量 [mm]					
			50	100	150	200	250	300
1	バネ×ダンパー		0.1	0.5	0.7	1	1.4	1.8
2	バネ(両側)		0.1	0.2	0.4	0.4	0.5	0.7
3	バネ(片側)		0.4	0.9	1.6	3	3.9	4.9
4	理論値		0.8	1.5	2.3	3.0	3.8	4.5

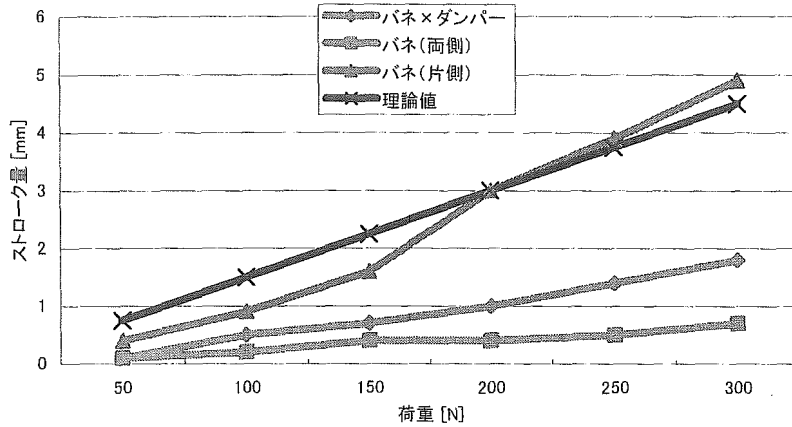


Fig.5.3.6 各パターンにおける静荷重に対するストローク量

考察

ダンパーを搭載すると、荷重に対してのストローク量が理想値よりも明らかに小さい事がわかった。これは、ダンパーの特性によるものと考えた（下図参照）。つまり、ショックアブソーバーのオイルにバネ力を含んでおり、これが製作したスプリングと並列にもう1つスプリングがある状態になっているのである。

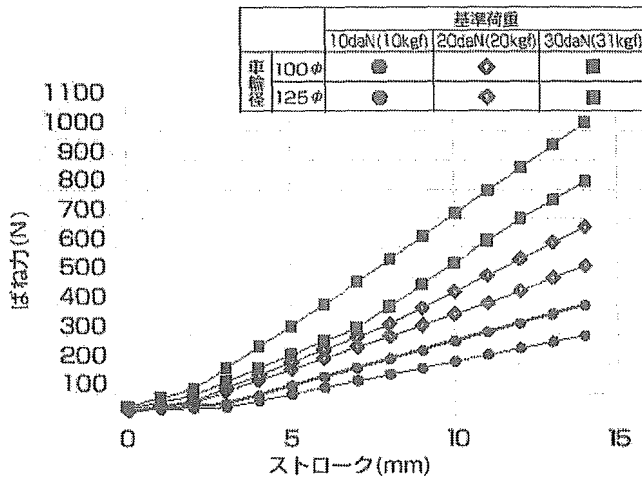


Fig. 5.3.7 ポルテのバネ力特性

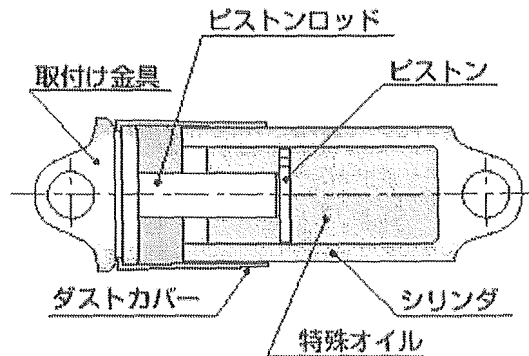


Fig. 5.3.8 ショックアブソーバーの構造

また片側のみにスプリングを装備した場合、ほぼ理想値と同様の値をとっているが、ストローク量が荷重に対して若干線形でないことがわかった。これは、ブラケットなどに荷重がかかりボルトとのこすれや左右のストローク量が均一ではないことが挙げられる。こすれに関しては軸受け、ストローク量を均一に保つにはスタビライザなどの導入が必要であると考えた。

5.4 不整路を想定した走行実験

設計した前輪開発案において、実際の不整路を走行させたときに発生する振動を特定する。そこでまず、不整路想定シミュレーションと同様に段差 5mm の板を昇降させたときの振動の様子を測定することとした。ここでは、シミュレーション結果の比較も同時に行っていくものとした。

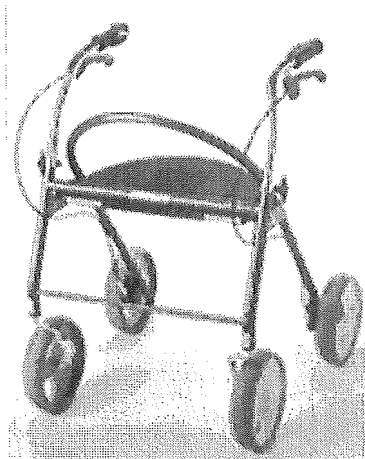


Fig.5.4.1 実験に使用する歩行支援機

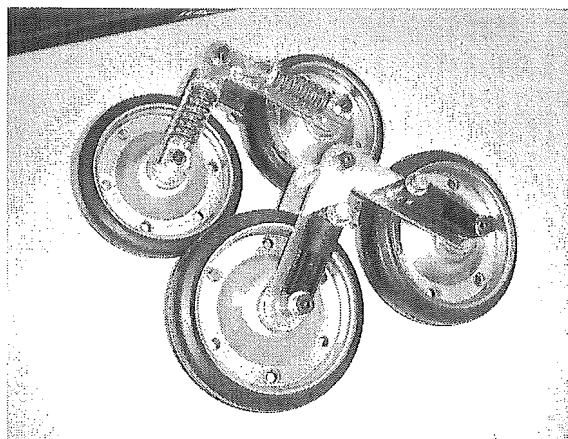


Fig. 5.4.2 前輪開発案の試作モデル

また、実験に使用する歩行支援機の仕様を下記に示した。

サイズ：幅 560×奥行 640×高 850mm（最大時）

キャスター：前後輪共に直径 210mm

重量：8.8kg

材質：ステンレス、スチール

※ 但し、ハンドル部分は力センサを取り付けるため自作した。

(1) 実験装置

- ・ 歩行支援機（設計した前輪装着のもの）・・・コスモネティ
- ・ JPEL 製 ノートパソコン
- ・ OROS 製 PC FFT アナライザ OR25
- ・ PCB PIEZOTRONICS 製 3 軸測定加速度ピックアップ (IL NO.7)
- ・ PCB PIEZOTRONICS 製 POWER UNIT MODEL 480B02×2
- ・ KISTLER 製 カセンサ（4 自由度：並進方向 3 軸及び鉛直軸回転方向）
- ・ 5mm 厚の板（購入元：ドイツ株式会社）

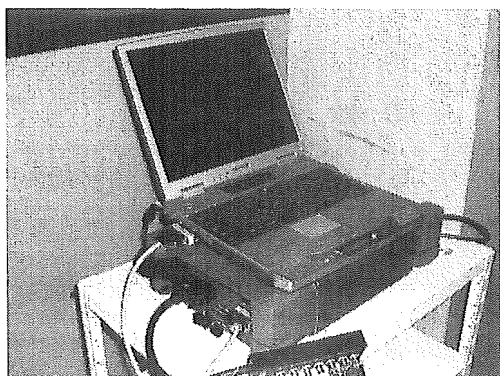


Fig. 5.4.3 OROS (OR25)

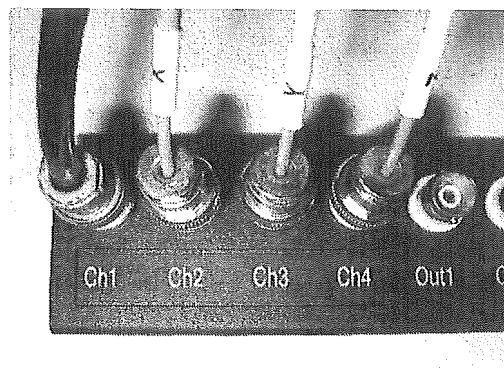


Fig. 5.4.4 OROS への入力 (ch1~ch4)

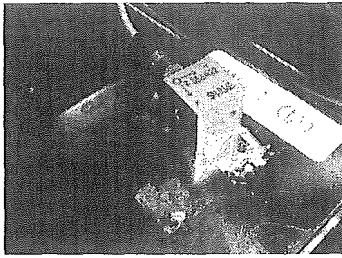


Fig. 5.4.5 3軸加速度ピックアップ

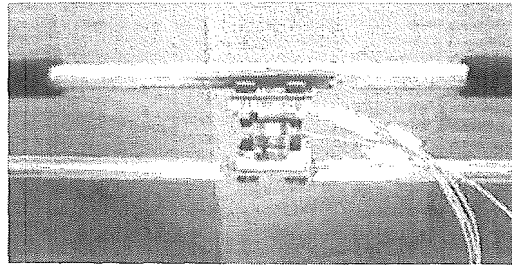


Fig. 5.4.6 カセンサ

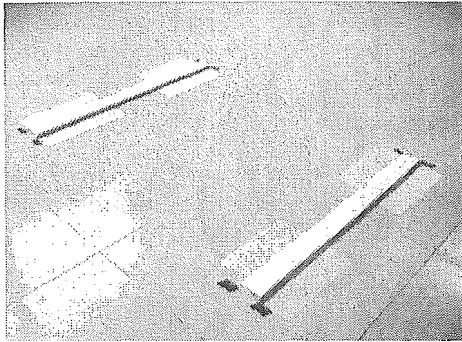


Fig. 5.4.7 路面状況

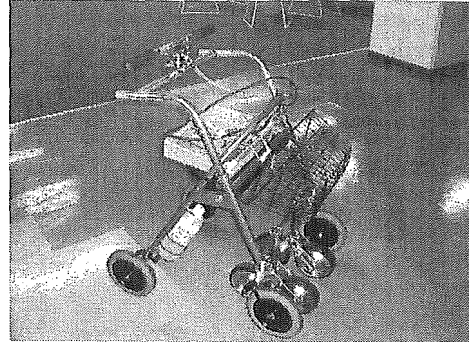


Fig. 5.4.8 設計した前輪を装着した歩行支援機

PC FFT アナライザ(OR25)の設定

入力 1ch. センサタイプ: Acceleration, (m/s²)

感度: 0.97898×10^{-2} (V/(m/s²))

レンジ: 3.16 (V)

入力 2ch. センサタイプ: Acceleration, (m/s²)

感度: 1.09337×10^{-2} (V/(m/s²))

レンジ: 3.16 (V)

入力 3ch. センサタイプ: Acceleration, (m/s²)

感度: 1.02985×10^{-2} (V/(m/s²))

レンジ: 3.16 (V)

※ 入力 1ch、2ch、3ch は、それぞれ X 軸、Y 軸、Z 軸方向の加速度を測定。

カップリング: ICP

周波数レンジ: 0~100 (Hz)

周波数分解能: 0.25Hz

オーバーラップ: トリガ毎

ウィンドウ関数 1: フォース (開始: 0 終了: 278)

ウィンドウ関数 2: レスポンス (開始: 0 減衰開始: 209 x 位置: 308 y 位置: 0.2999)

FFT 分解能: 801

トリガモード: レベル

対象データ: スペクトル

アームモード: フリーラン

トリガモード: レベル (入力レベルチャンネル: ch1 入力レベル: 1%)

ディレイ: -0.2 [s]

(2) 実験手順及び測定項目

まず、歩行支援機に力センサ及び3軸加速度ピックアップを取り付けた。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。前輪が5mm厚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及び前輪部及びフレーム各部に発生する加速度)を測定した。シミュレーションでは、歩行支援機単体(人間を支援していない状態)での測定であったため、条件を沿わすように歩行支援機を押すときには体重が乗らないようにした。また、実際には最大40%の免荷を目標としているので、被験者(体重60kg:平均体重)は歩行支援機に体重を乗せた場合(荷重は、力センサによって測定)も測定した。加速度ピックアップの装着位置は、前輪部付近及びハンドル部を中心に測定した(x:前後軸方向、y:左右軸方向、z:鉛直軸方向…下図参照)。

実験前の注意として、開発する歩行支援機の目標重量が20kgであることから今歩行支援機重量(8.8kg)に重り乗せて調整することとした。これには体重計を用いて前後重量配分が50:50になるように調整した。以下に、実験風景及び輪荷重測定風景を示した。

コスモネティの性能を測るために既存タイヤ($\phi 200$ チューブレスタイヤ)、さらに空気入りタイヤ($\phi 200$)での測定も行うことでタイヤ比較をした。

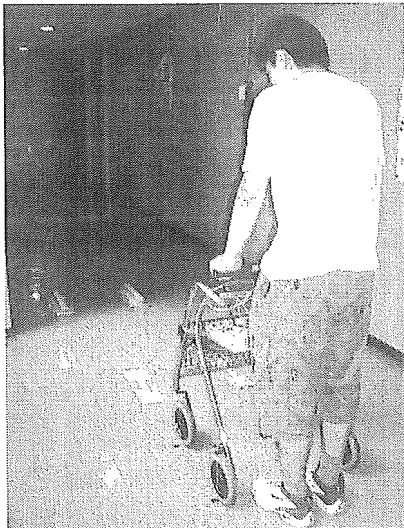


Fig. 5.4.9 実験風景

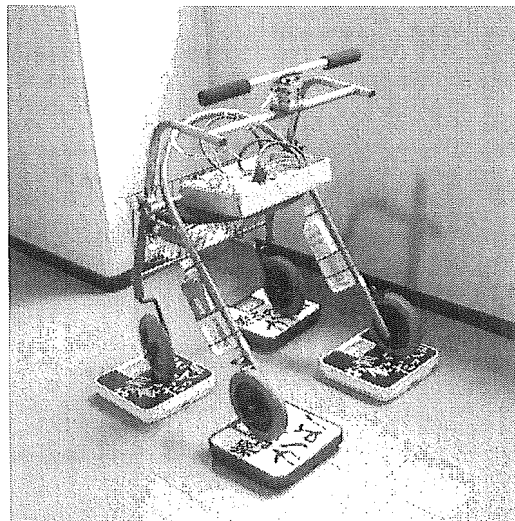


Fig. 5.4.10 輪荷重測定

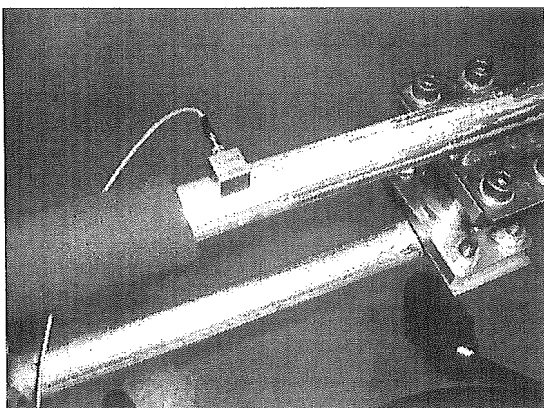


Fig. 5.4.11 加速度計搭載位置(ハンドル部)

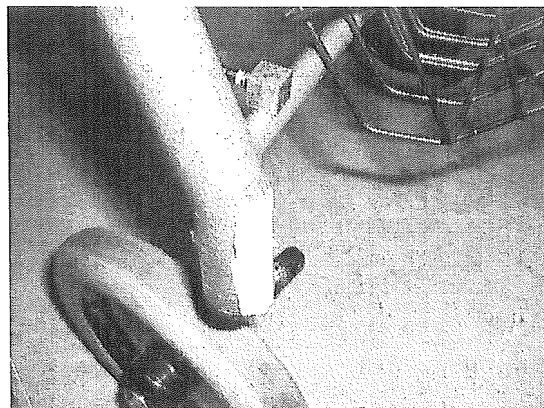


Fig. 5.4.12 加速度計搭載位置(タイヤ部)

(3) 実験結果 (Fig.5.4.13~26 において、縦軸：加速度 [m/s²]、横軸：時間 [s])

シミュレーション比較用

乗り上げ時 (支援なし 加速度ピックアップ位置：タイヤ部)

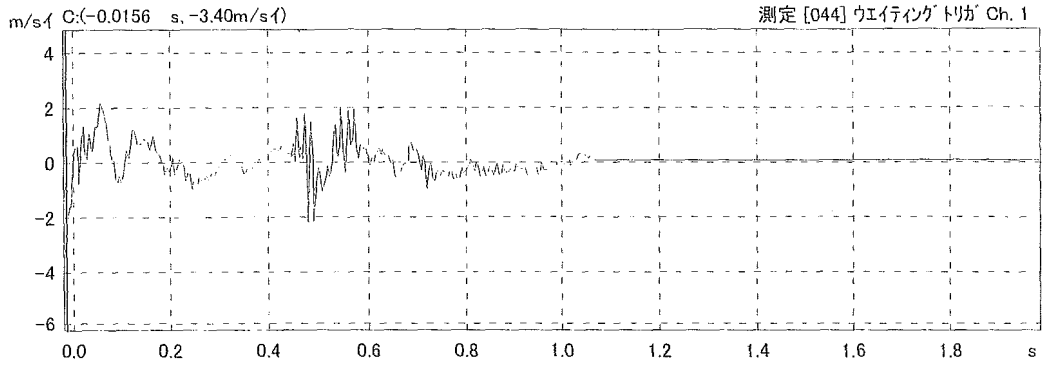


Fig. 5.4.13 前後軸方向の加速度 (X 軸)

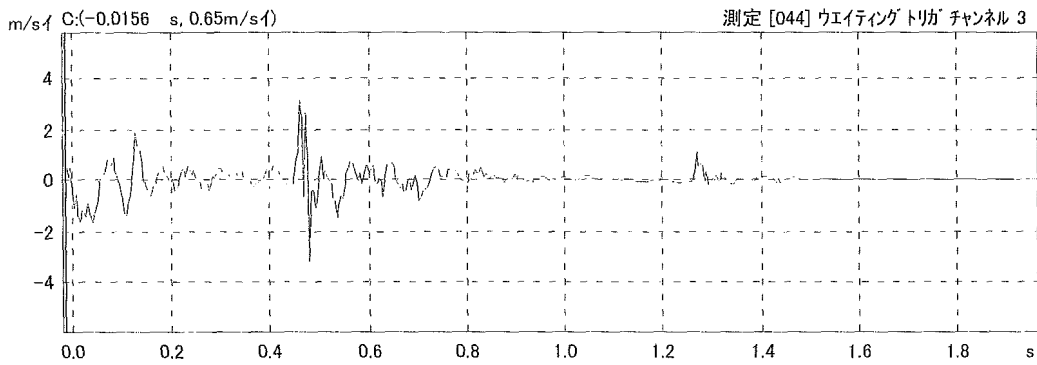


Fig. 5.4.14 鉛直軸方向の加速度 (Z 軸)

着地時

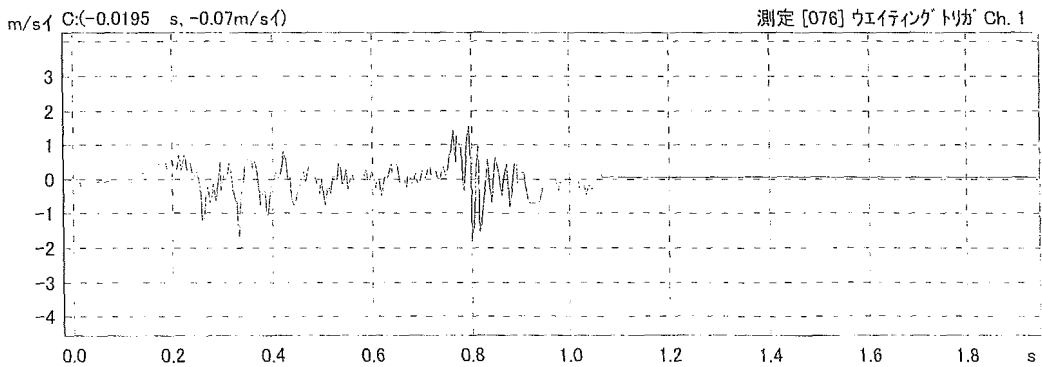


Fig. 5.4.15 前後軸方向の加速度 (X 軸)

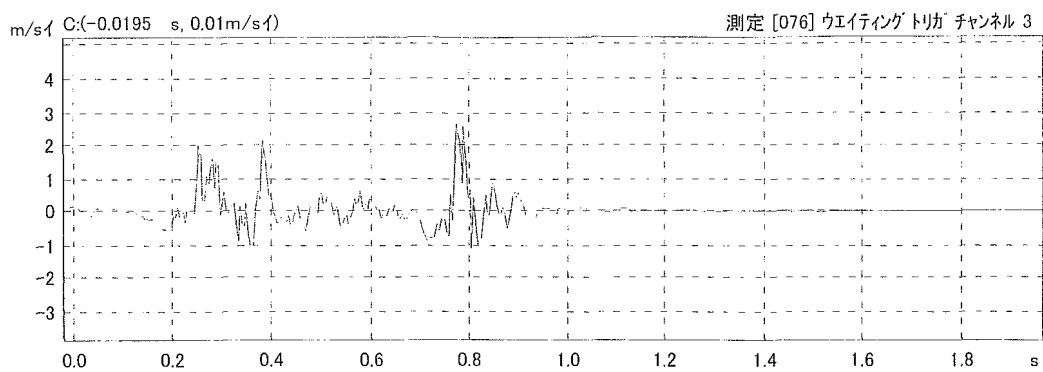


Fig. 5.4.16 鉛直軸方向の加速度 (Z 軸)

実際の現象

乗り上げ時 (支援あり 加速度ピックアップ位置: タイヤ部)

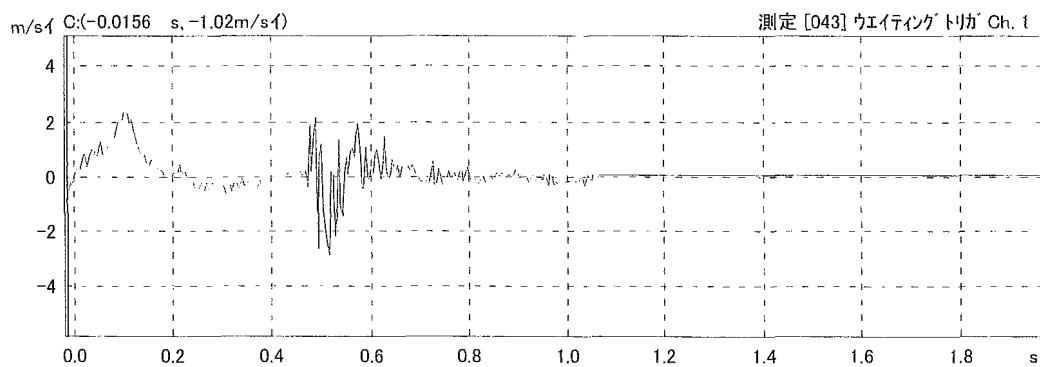


Fig. 5.4.17 前後軸方向の加速度 (X 軸)

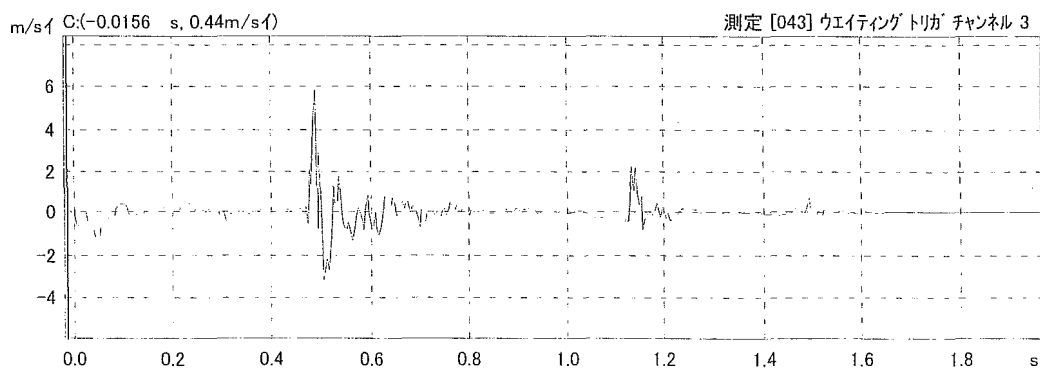


Fig. 5.4.18 鉛直軸方向の加速度 (Z 軸)

着地時

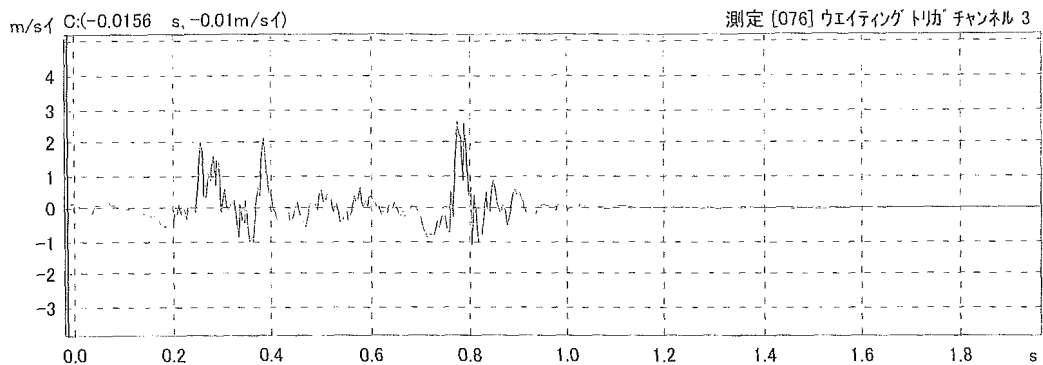


Fig. 5.4.19 前後軸方向の加速度 (X 軸)

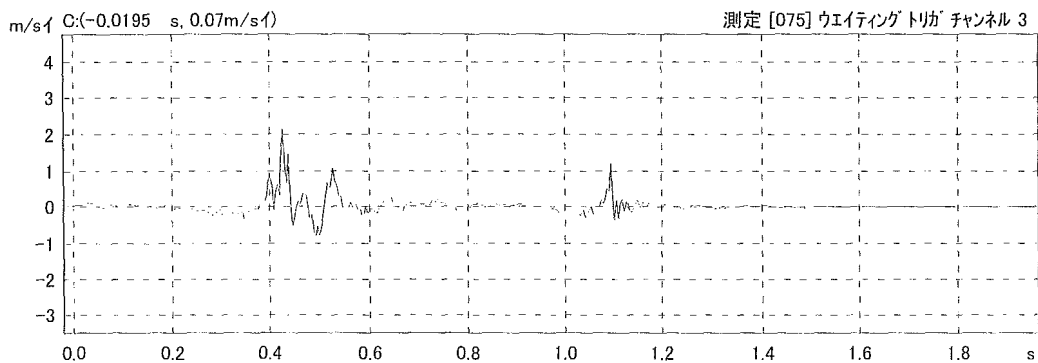


Fig. 5.4.20 鉛直軸方向の加速度 (Z 軸)

タイヤ比較用 (乗越え時)

φ200 チューブレスタイヤ (支援あり 加速度ピックアップ位置: タイヤ部)

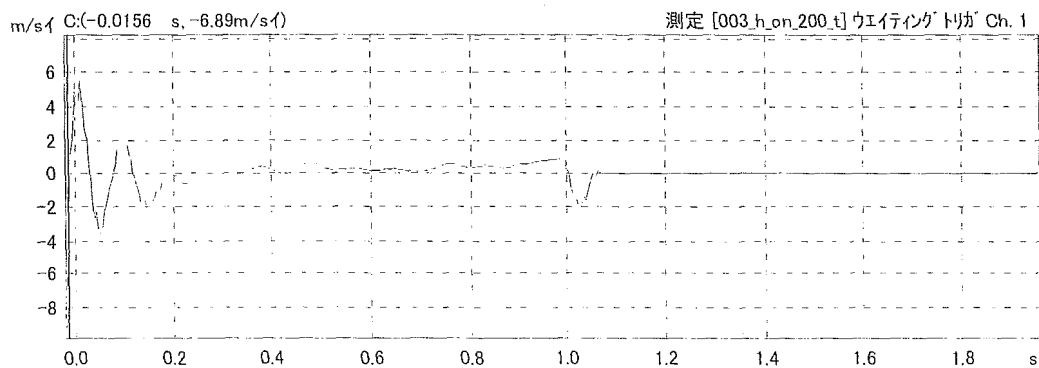


Fig. 5.4.21 前後軸方向の加速度 (X 軸)

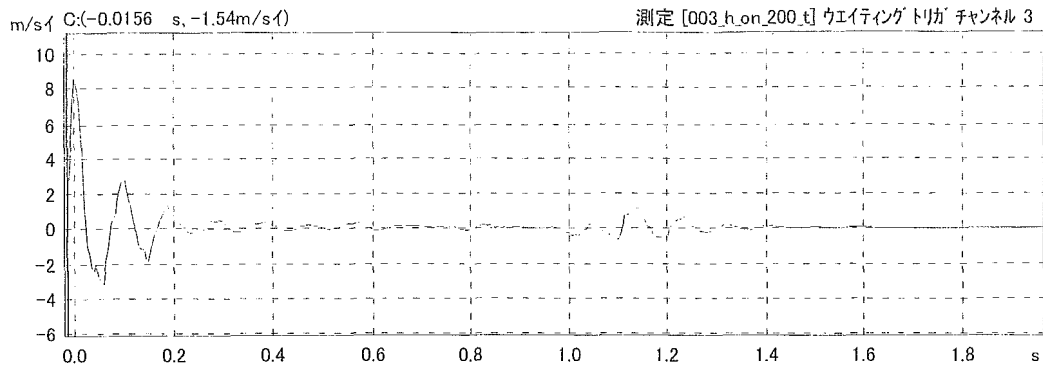


Fig. 5.4.22 鉛直軸方向の加速度 (Z 軸)

φ 200 空気入りタイヤ (支援あり 加速度ピックアップ位置: タイヤ部)

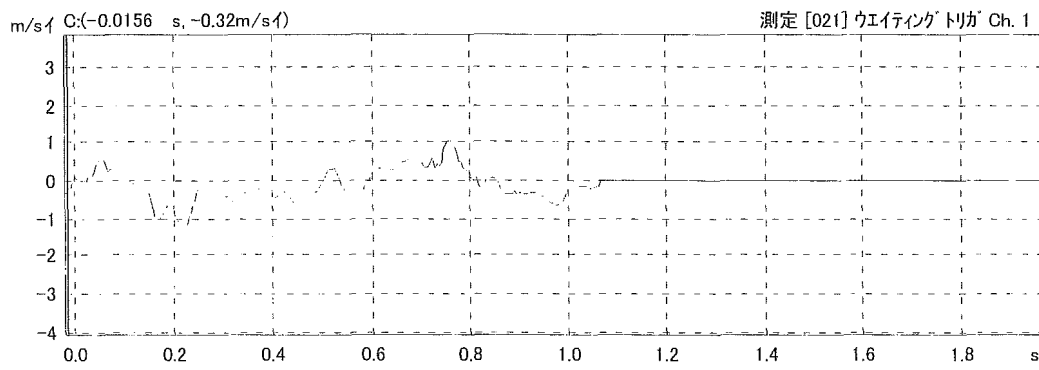


Fig. 5.4.23 前後軸方向の加速度 (X 軸)

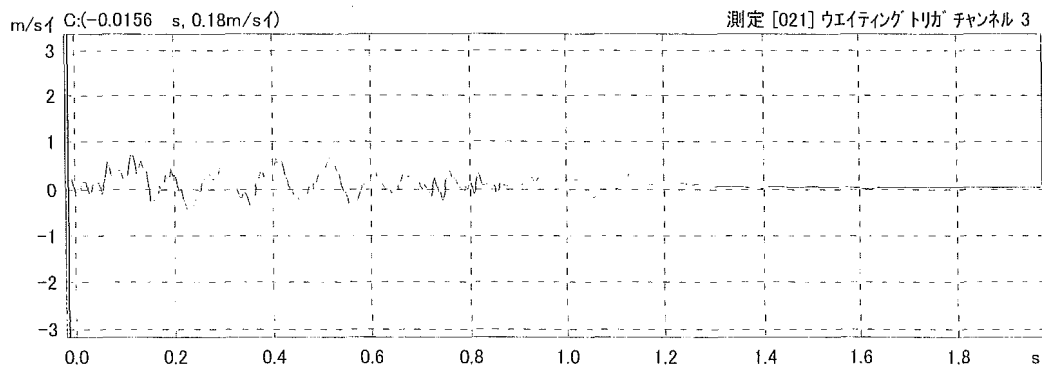


Fig. 5.4.24 鉛直軸方向の加速度 (Z 軸)

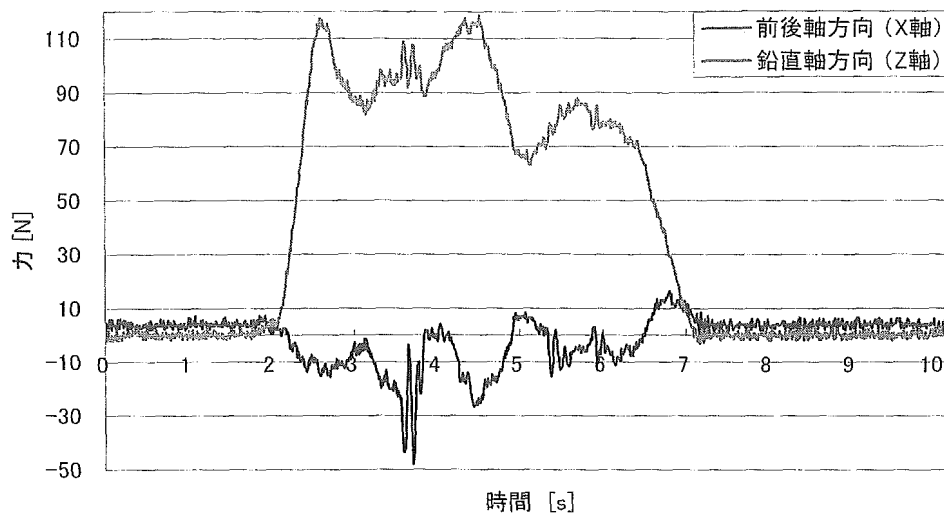


Fig. 5.4.25 被験者が歩行支援機に及ぼす前後及び鉛直軸方向の力

(4) 考察

Fig.5.4.13～16 では、乗越え時及び着地時の前後及び上下加速度は共に約 3m/s^2 であった。また、シミュレーションでは乗越え時の前後及び上下加速度は約 10m/s^2 、着地時の前後及び上下加速度は約 4m/s^2 であった。シミュレーションでの乗越え時の加速度が実験値より 2 倍になっているが、これは被験者が手で押していたために速度が一定ではなかったこと、重量を体重計で測定していたため前輪にかかる荷重がシミュレーション値と多少異なっていたこと、シミュレーションの設定値（特にタイヤ部）が実物と誤差があったことが考えられる。速度に関しては、実験の精度向上のためにモータなどで一定な速度を出せるものを構築し、データを測定していくことが望ましいと考えた。

Fig.8.4.17～20 では、被験者が歩行支援機に支援されての走行実験であるが、支援されない場合とほぼ同様の結果であるが、乗越え時の上下加速度が 6m/s^2 と 2 倍の値となった。これは、サスペンションがほとんどストロークしておらず、タイヤに振動吸収を委ねていることが考えられる。極端に言えば、 $\phi 150$ タイヤが 5mm 板を超えているのほとんど変わらないと考えられる。

Fig.8.4.21～24 では、チューブレス（コスモネティ純正タイヤ）及び空気入りタイヤの比較を行ったが、上下及び前後加速度共に空気入りタイヤの方が抑えられていることがわかった。このことから、空気入りタイヤは振動吸収の面から見て非常に有効であることがわかった。しかし、歩行支援機はほとんど高齢者が使用するために、メンテナンスフリーを考えると空気入りタイヤを採用するには十分に検討が必要であると考えた。

Fig.5.4.25 は、被験者が歩行支援機に及ぼす前後及び鉛直軸方向の力を示したグラフであるが、鉛直下方向に掛かる荷重は最大でも約 110N 、平均すると約 90N であることがわかった。これは、被験者の体重が 67kg であるので、通常走行では約 16%程度の免荷を成していることがわかった。この荷重が大きく変化するという事は、使用者にとって非常に使いにくいものとなり、この値を一定に保つことが快適性へつながると考えた。

5.5 前輪開発案における段差乗越え実験

設計した前輪開発案において、実際に段差（50mm）を昇降させたときの挙動変化及び発生する振動を特定する。そこで、段差乗越えのシミュレーションと同様に段差 50mm の板を昇降させたときの振動の様子を測定することとした。ここでは、シミュレーション結果の比較も同時に行っていくものとした。

（1）実験装置

- ・ 歩行支援機（設計した前輪装着のもの）・・・コスモネティ
- ・ JPEL 製 ノートパソコン
- ・ OROS 製 PC FFT アナライザ OR25
- ・ PCB PIEZOTRONICS 製 3 軸測定加速度ピックアップ（IL NO.7）
- ・ PCB PIEZOTRONICS 製 POWER UNIT MODEL 480B02×2
- ・ KISTLER 製 カセンサ（4 自由度：並進方向 3 軸及び鉛直軸回転方向）
- ・ 50mm 厚の板（購入元：ドイツ株式会社）
- ・ ビデオカメラ

（2）実験手順及び測定項目

まず、歩行支援機にカセンサ及び 3 軸加速度ピックアップを取り付けた。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。前輪が 50mm 厚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及び前輪部及びフレーム各部に発生する加速度）を測定した。シミュレーションでは、歩行支援機単体（人間を支援していない状態）での測定であったため、条件を沿わすように歩行支援機を押すときには体重が乗らないようにした。実際には最大 40%の免荷を目標としているので、被験者（体重 60kg：平均体重）は歩行支援機に体重を乗せた場合（40%の免荷はカセンサによって測定する）も測定することとした。加速度ピックアップの装着位置は、前輪部付近及びハンドル部とした（x：前後軸方向、y：左右軸方向、z：鉛直軸方向・・・下図参照）。

コスモネティの性能を測るために既存タイヤ（φ200 チューブレスタイヤ）、さらに空気入りタイヤ（φ200）での測定も行うことでタイヤ比較をした。以下に、実験風景を示した。

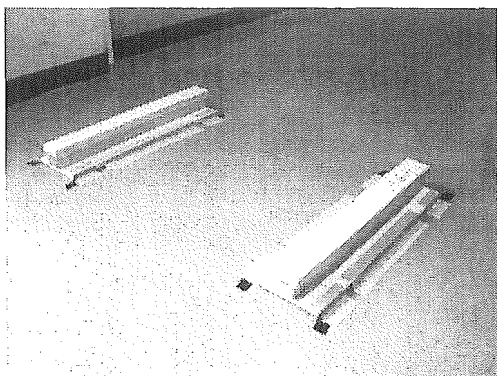


Fig.5.5.1 路面状況



Fig.5.5.2 実験風景

実験条件

PC FFT アナライザ(OR25)の設定

入力 1ch. センサタイプ: Acceleration, (m/s²)

感度: 0.97898×10^{-2} (V/(m/s²))

レンジ: 3.16 (V)

入力 2ch. センサタイプ: Acceleration, (m/s²)

感度: 1.09337×10^{-2} (V/(m/s²))

レンジ: 3.16 (V)

入力 3ch. センサタイプ: Acceleration, (m/s²)

感度: 1.02985×10^{-2} (V/(m/s²))

レンジ: 3.16 (V)

※ 入力 1ch、2ch、3ch は、それぞれ X 軸、Y 軸、Z 軸方向の加速度を測定。

カップリング: ICP

周波数レンジ: 0~100 (Hz)

周波数分解能: 0.25Hz

オーバーラップ: トリガ毎

ウインドウ関数 1: フォース (開始: 0 終了: 278)

ウインドウ関数 2: レスポンス (開始: 0 減衰開始: 209 x 位置: 308 y 位置: 0.2999)

FFT 分解能: 801

トリガモード: レベル

対象データ: スペクトル

アームモード: フリーラン

トリガモード: レベル (入力レベルチャンネル: ch1 入力レベル: 1%)

ディレイ: -0.2 [s]

(3) 実験結果

シミュレーション比較用

乗り上げ時 (支援なし 加速度ピックアップ位置: タイヤ部)

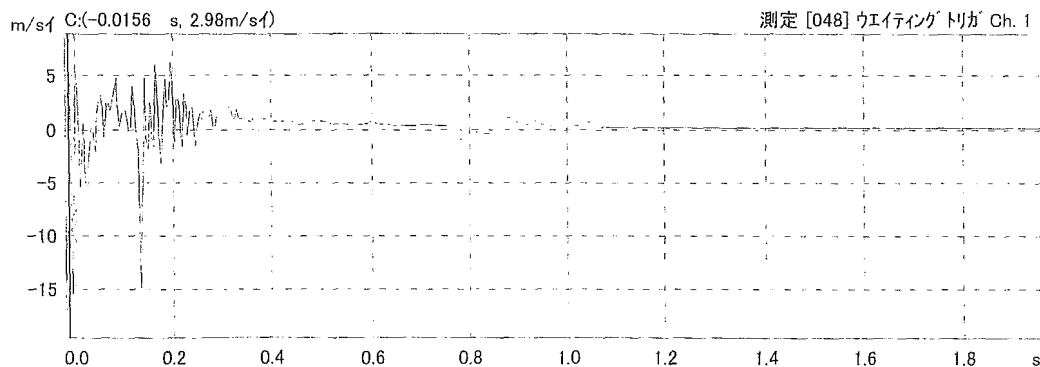


Fig.5.5.3 前後軸方向の加速度 (X 軸)

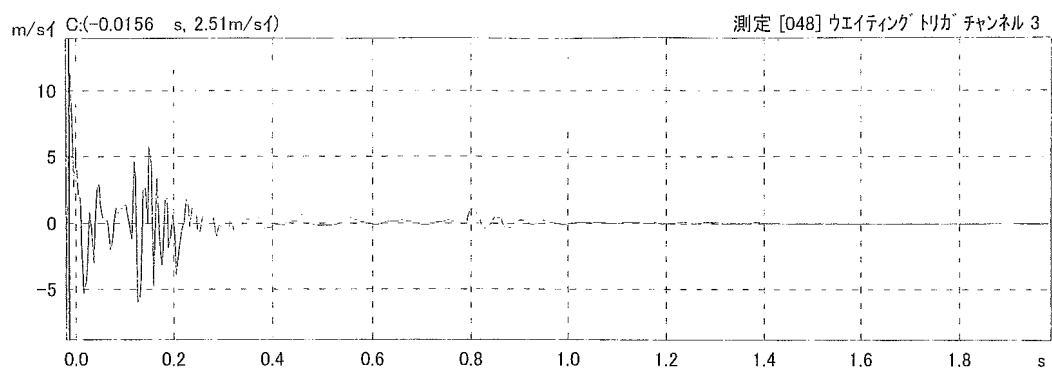


Fig. 5.5.4 鉛直軸方向の加速度 (Z 軸)

着地時

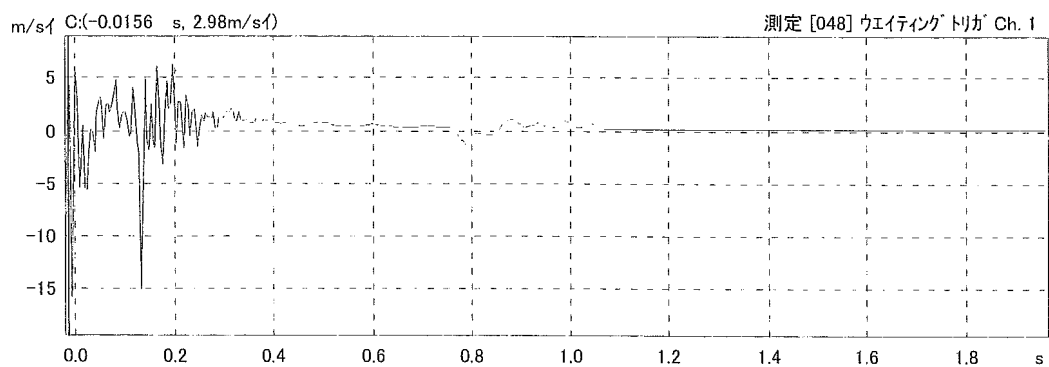


Fig. 5.5.5 前後軸方向の加速度 (X 軸)

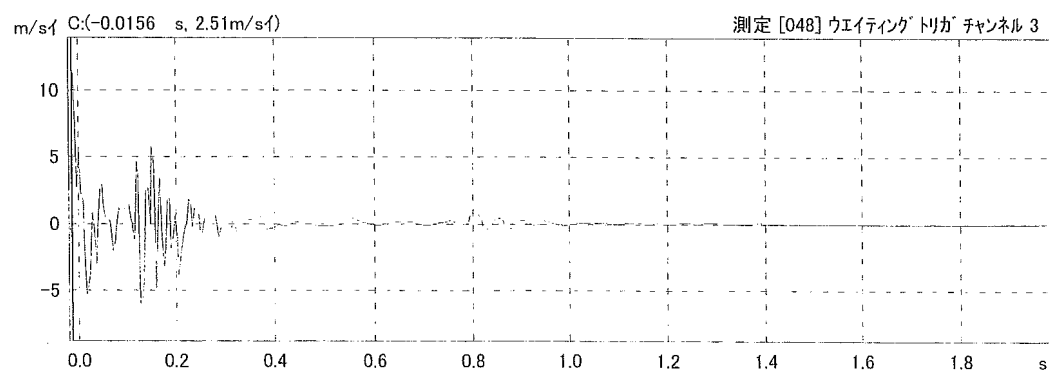


Fig. 5.5.6 鉛直軸方向の加速度 (Z 軸)

実際の現象

乗り上げ時（支援あり 加速度ピックアップ位置：タイヤ部）

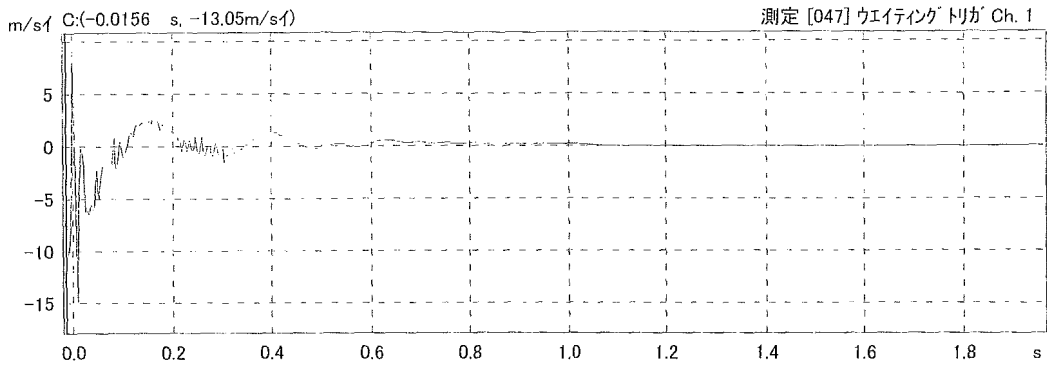


Fig. 5.5.7 前後軸方向の加速度（X軸）

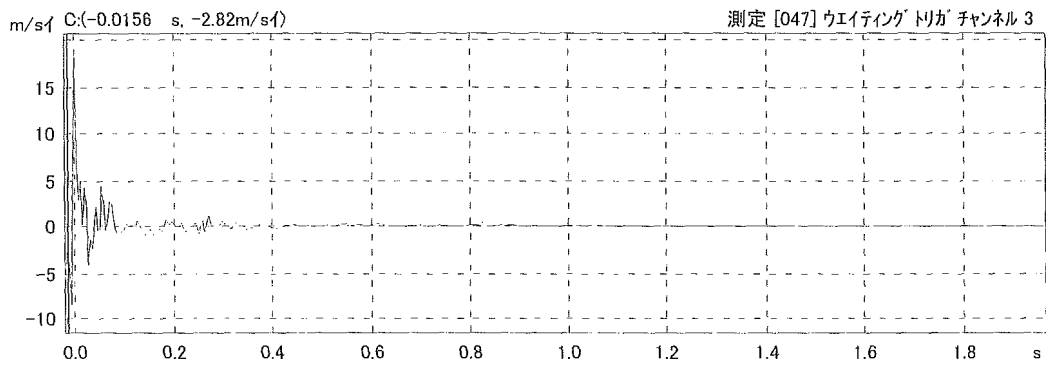


Fig. 5.5.8 鉛直軸方向の加速度（Z軸）

着地時

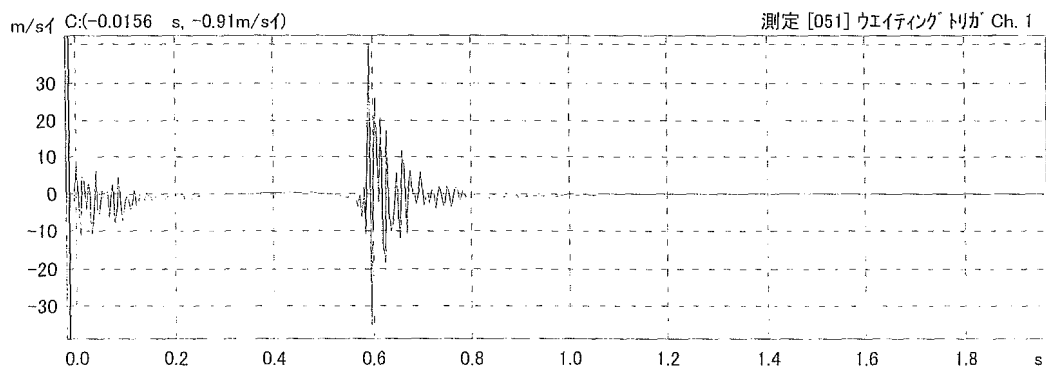


Fig. 5.5.9 前後軸方向の加速度（X軸）

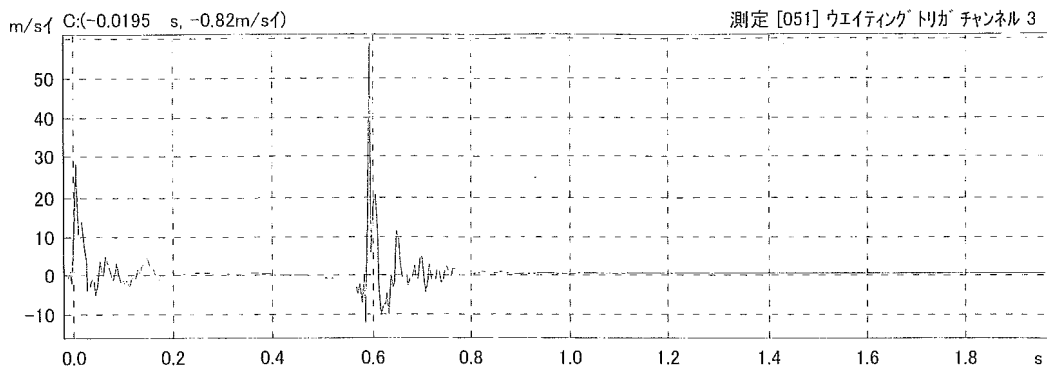


Fig. 5.5.10 鉛直軸方向の加速度 (Z 軸)

人に及ぼす影響

乗り上げ時 (支援あり 加速度ピックアップ位置: ハンドル部)

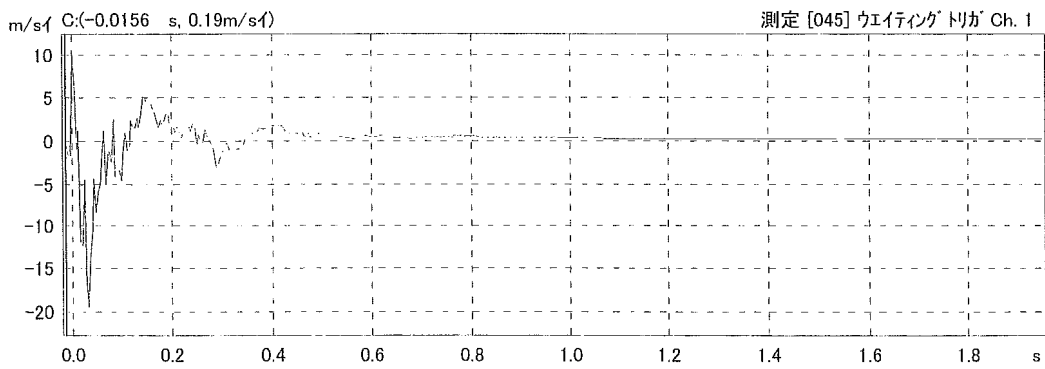


Fig. 5.5.11 前後軸方向の加速度 (X 軸)

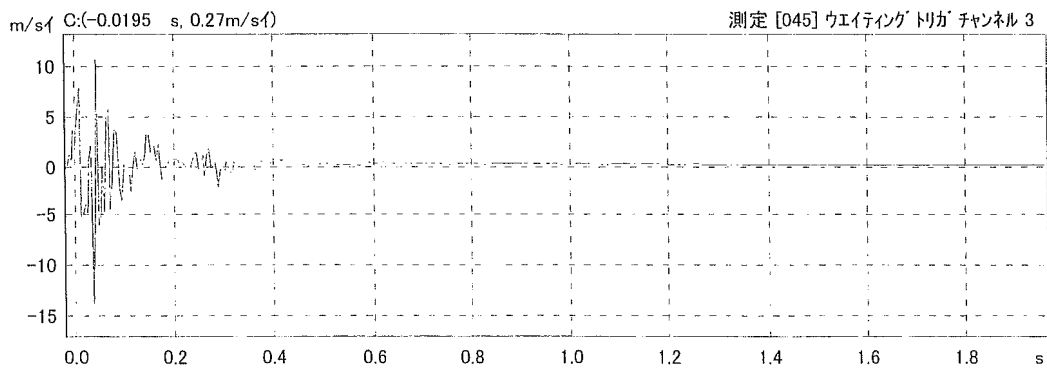


Fig. 5.5.12 鉛直軸方向の加速度 (Z 軸)

着地時

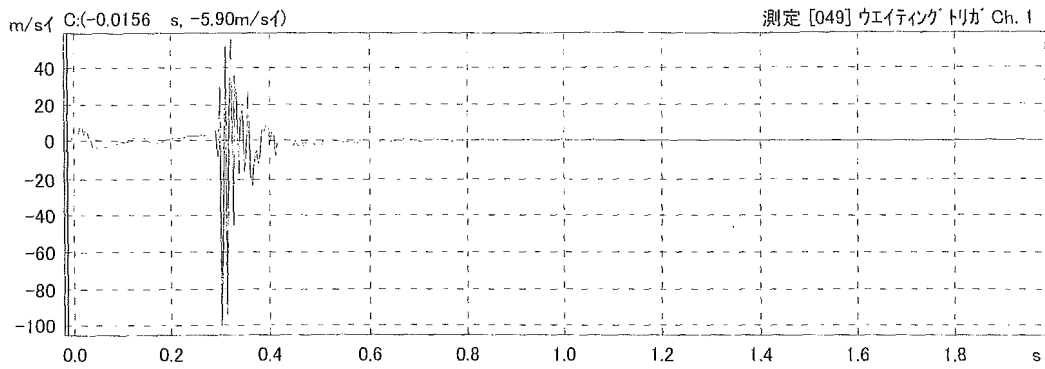


Fig. 5.5.13 前後軸方向の加速度 (X 軸)

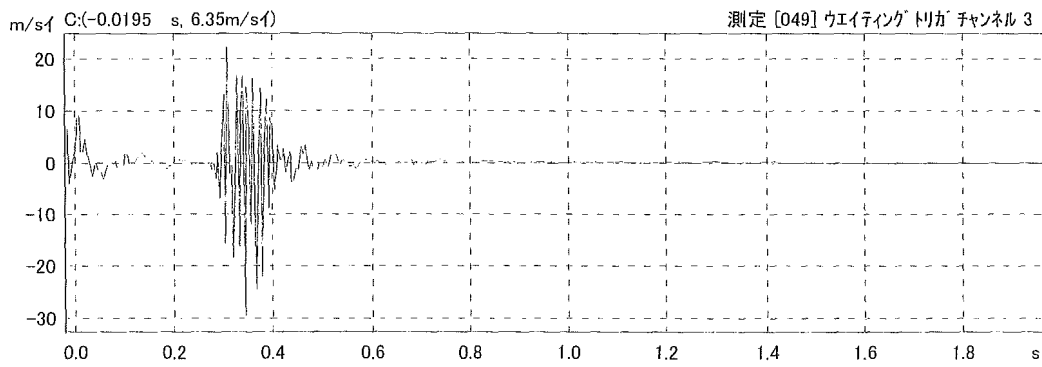


Fig. 5.5.14 鉛直軸方向の加速度 (Z 軸)

φ 200 チューブレスタイヤ (支援あり 加速度ピックアップ位置: タイヤ部 乗り上げ時)

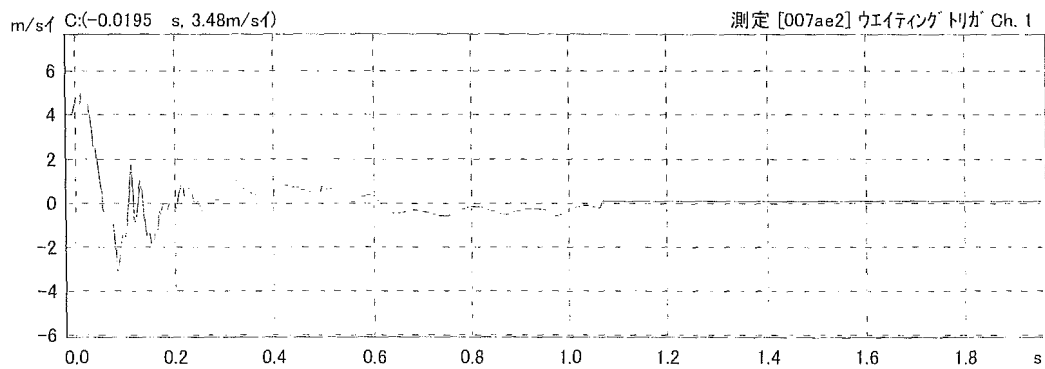


Fig. 5.5.15 前後軸方向の加速度 (X 軸)