

$$\lambda^2 + 2\zeta\omega_n\lambda + \omega_n^2 = 0 \quad \dots (4.3.1.6)$$

$$\therefore \lambda_{1,2} = -\left\{ \zeta \pm \sqrt{\zeta^2 - 1} \right\} \omega_n$$

よって c の値は、

$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{mk}} \quad \dots (4.3.1.7)$$

c_c を臨界減衰係数、 ζ を減衰比。

$c < 2\sqrt{mk}$ 、すなわち、 $\zeta < 1$ を考え、式(4.3.1.6)を書き直し、

$$\lambda_{1,2} = -\left(\zeta \pm j\sqrt{1-\zeta^2} \right) \omega_n, j = \sqrt{-1} \quad \dots (4.3.1.8)$$

とすると、式(4.3.1.1)の解は、

$$x(t) = A_1 e^{-(\zeta - j\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t} + A_2 e^{-(\zeta + j\sqrt{1-\zeta^2})\omega_n t} \quad \dots (4.3.1.9)$$

$$= e^{-\zeta\omega_n t} \left(A_1 e^{j\sqrt{1-\zeta^2}\omega_n t} + A_2 e^{-j\sqrt{1-\zeta^2}\omega_n t} \right)$$

オイラーの公式から、式(4.3.1.9)を書き直すと、次式のようなになる

$$x(t) = e^{-\zeta\omega_n t} (B_1 \cos \omega_d t + B_2 \sin \omega_d t) \quad \dots (4.3.1.10)$$

ここに、 $B_1 = A_1 + A_2$ 、 $B_2 = j(A_1 - A_2)$ であり、 ω_d は

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad \dots (4.3.1.11)$$

である。初期条件として $t=0$ のとき、

$$x(0) = x_0, \dot{x}(0) = v_0$$

となり、

$$B_1 = x_0, B_2 = (\zeta\omega_n x_0 + v_0) / \omega_d$$

を得るから、式(4.3.1.10)は、次式のようなになる、

$$x(t) = e^{-\zeta\omega_n t} \left(x_0 \cos \omega_d t + \frac{\zeta\omega_n x_0 + v_0}{\omega_d} \sin \omega_d t \right) \quad \dots (4.3.1.12)$$

$$= e^{-\zeta\omega_n t} C_0 \sin(\omega_d t + \phi)$$

ここに、初期条件により定まる定数 C_0 と位相遅れ角 ϕ は次のようになる

$$C_0 = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{\zeta\omega_n x_0 + v_0}{\omega_d} \right)^2}, \phi = \tan^{-1} \frac{\omega_d x_0}{\zeta\omega_n x_0 + v_0}$$

なお、 ω_d は減衰固有円振動数である。

歩行支援機前輪 1 輪にかかる重量を 22[kg]、トーションバネのばね定数を 3.3 の時、1 自由度粘性減衰振動において、減衰比をそれぞれ 0.2、0.5、0.8 とし変位の比較を行なった、その結果を図 4.3.1.3 に示す。

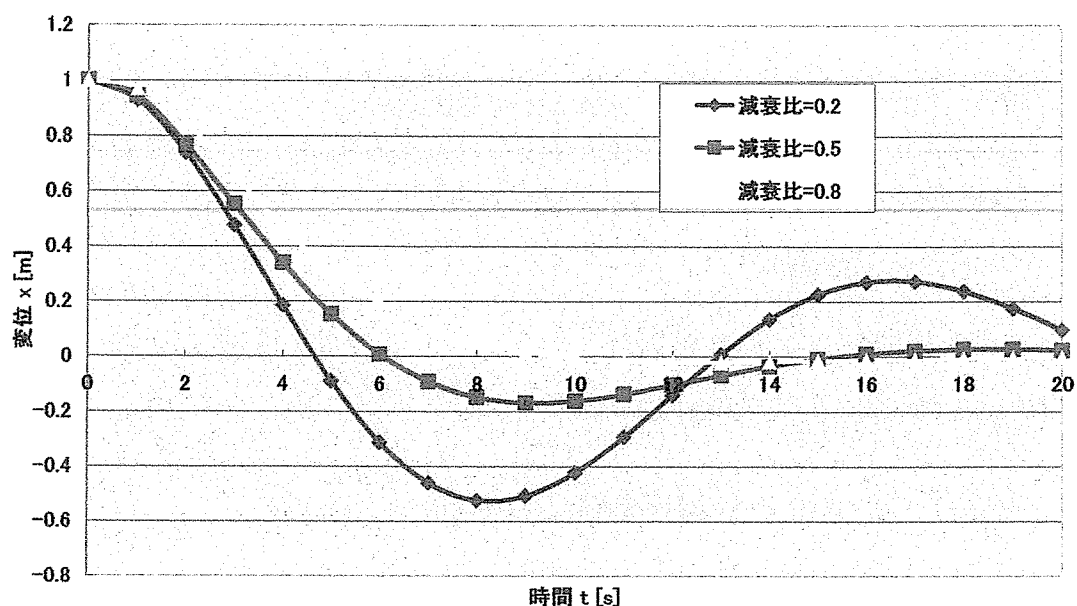


図 4.3.1.3 1 自由度粘性減衰振動

4.3.2 ダンパーの決定

ダンパーを決定する上で、次の 2 つのダンパーを候補としてあげた。減衰調整機構を有し、様々な高さの段差に適した調整を行なうことが可能なダンパー。片方向のみに減衰が発生し、段差を上る時にダンパーの反力によって生じる使用者への負荷を伴わないヒンジダンパー。それぞれの写真と図面、メリットとデメリットを以下に記す(図 4.3.2.1、図 4.3.2.2、図 4.3.2.3、表 4.3.2.1 を参照)

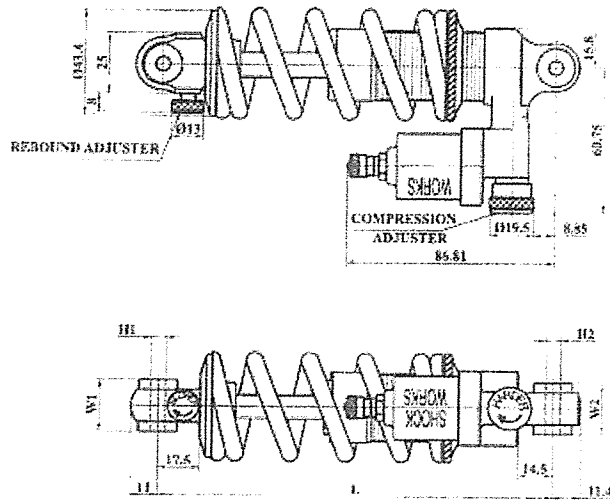


図 4.3.2.1 減衰調整機構付きダンパーの 2D 図面

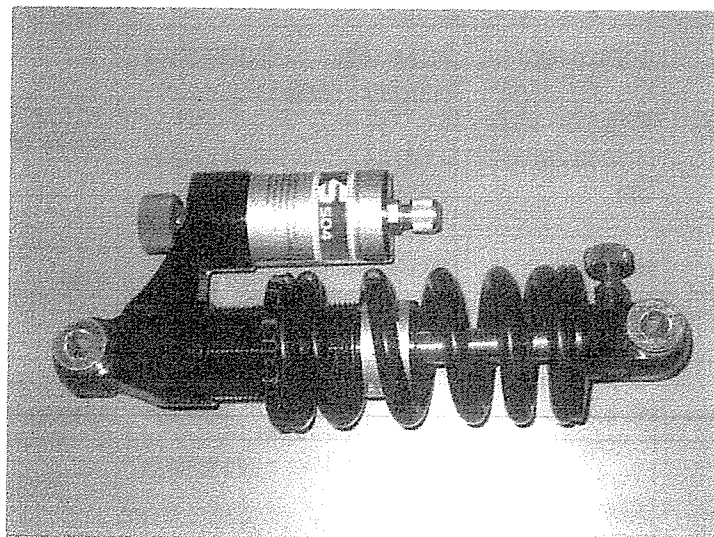


図 4.3.2.2 減衰調整機構付きダンパー

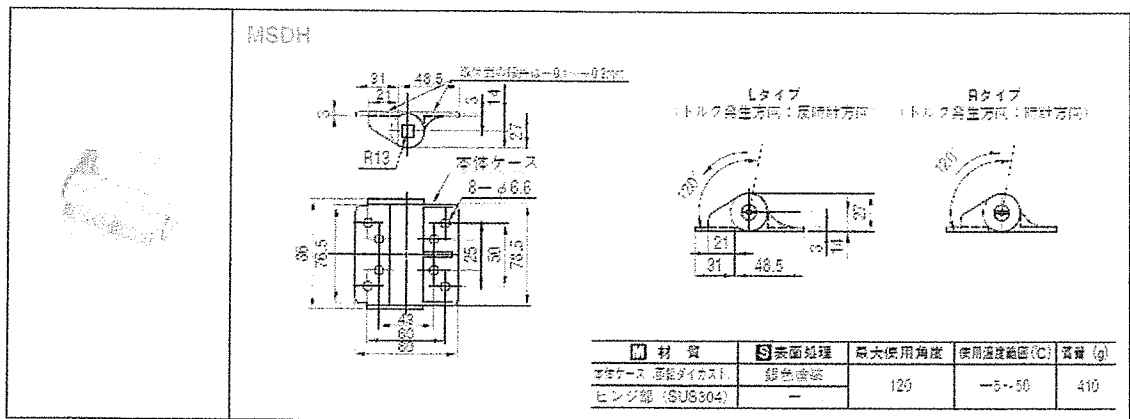


図 4.3.2.3 ヒンジダンパー実物及び 2D 図面

表 4.3.2.1

項目	ヒンジダンパー	減衰調整機構付きダンパー	備考
重量	410g	320g	ヒンジダンパーの方が重量増
取付方法	全長が短いため、現在の前輪機構への取付が容易に可能	全長が長いため現在の前輪機構に搭載するためには、フレームやステアリング機構などの大幅な変更が必要	ヒンジダンパーの方が取付が容易
価格	6200円	16100円	ヒンジダンパーの方が安価
機能	片方向のみに反力が発生するため、段差を昇降時の抵抗にならず、ダンパーによる使用者への負荷が生じない	両方向にダンパーの反力が生じるため、段差昇降時の抵抗になり、ダンパーによる使用者への負荷が生じる	ヒンジダンパーの方が、使用者の負担を軽減する、歩行支援機の目的に一致する
減衰調整	調整が不可能。そのため、様々な高さの段差に適した減衰を得ることが出来ない	調整が可能。その為、様々な高さの段差に合った減衰を設定することが可能	ヒンジダンパーは様々な段差に対して適切な設定が出来ない
メンテナンス	メンテナンスフリー	減衰調整のセッティングが必要	ヒンジダンパーの方が高齢者向け

表 4.3.3.1 より重量、減衰調整の面でヒンジダンパーよりも減衰調整機構を有したダンパーの方が適切であることがわかったが、取付方法や価格、機能、メンテナンス、さらに片方向のみに作用するため、減衰比 0.8 にした場合にも段差を昇る際の抵抗にならず、かつ段

差を降下した際の振動の緩和を短い時間で達成することが出来ると考え、ヒンジダンパーの方が歩行支援機に適していることがわかった。

この結果より、本研究の目的にもっとも適しているヒンジダンパーを採用することにした。

4.3.3 機能展開

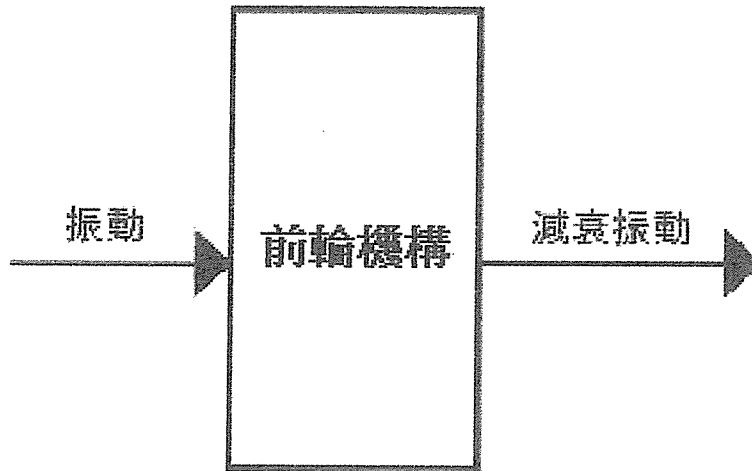


図 4.3.3.1 システム全体の機能

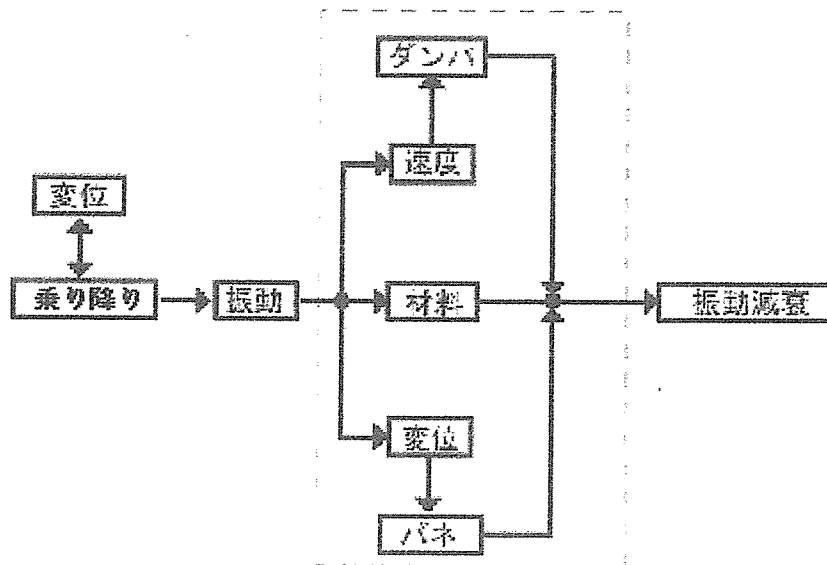


図 4.3.2.2 機能構造図

4.3.4 ダンパー取付方法の設計

ダンパー取付方法を検討するに上で、考慮しなければならない項目を次の仕様書内に記載する(表 4.3.4.1 を参照)。

表 4.3.4.1 ダンパー取付方法仕様書

		仕様書 歩行支援装置 前輪減衰機構		
変更	D,W	要件		担当
		1.形状寸法 ・歩行時に足に当たらないような大きさのサスペンションを選択する。 2.重量 ・歩行機の軽量化に勤めたいので、できる限り軽くしたい。 3.力 ・歩行支援機の重量に対して、十分な強度を保有する。 4.エネルギー ・地面からの変位のエネルギーはバネで吸収するものとする。 ・地面からの速度のエネルギーはダンパーで吸収するものとする。 5.人間工学 ・歩行時に足に当たらない場所に設置する。 4.生産 ・発注になるため、想定外の力がかかる位置は避ける。 7.品質管理 ・メンテナンスフリーとする。 ・取付及び取外しが容易な構造とする。		

以上の点を踏まえ開発した取付方法を以下に示す(図 4.3.4.1～図 4.3.4.4 を参照)。

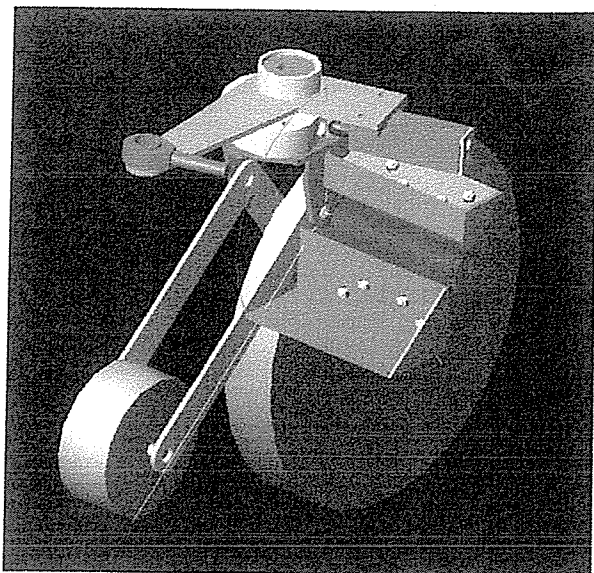


图 4.3.4.1 前輪機構全体図

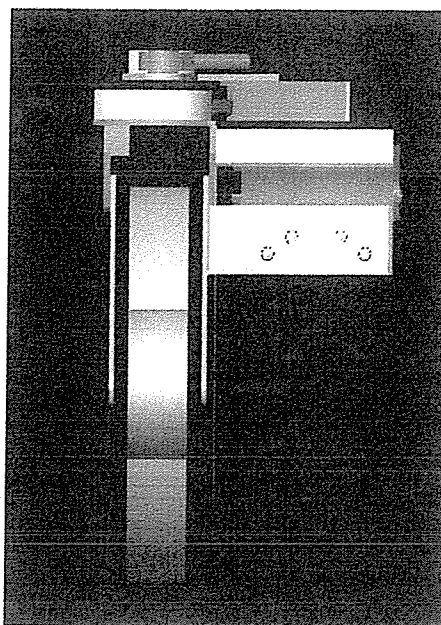


图 4.3.4.2 前輪機構正面図

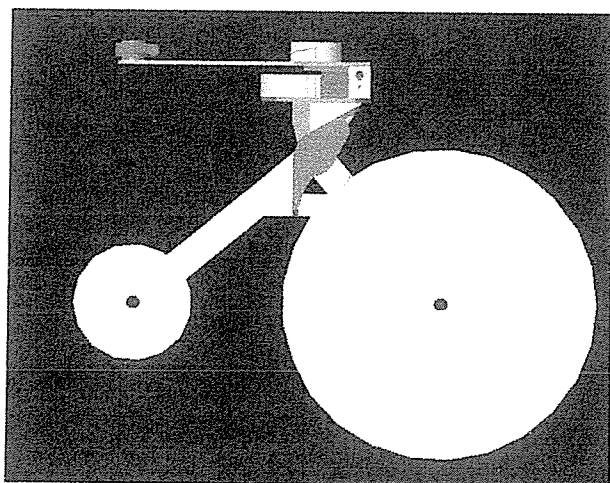


图 4.3.4.3 前輪機構側面図

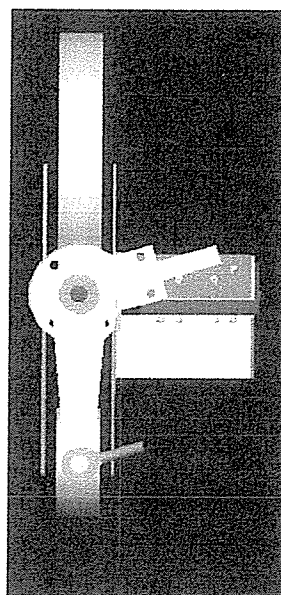


图 4.3.4.4 前輪機構上面図

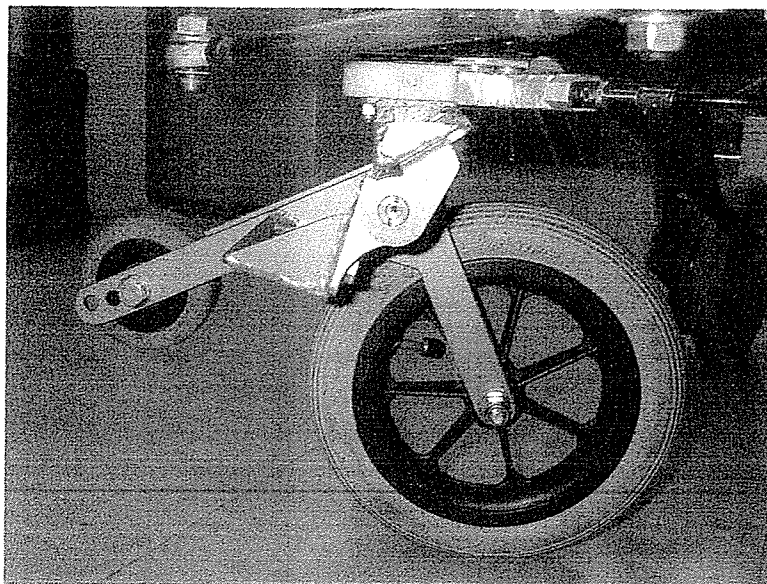


図 4.3.4.5 前輪機構実物(側面図)

必要となる部材及び部品を表 4.3.4.2 に記す。

表 4.3.4.2 使用した部材及び部品

部品番号	名称	主な材料	個数
1	ヒンジダンパー	亜鉛ダイカスト、SUS304	2
2	取付ブラケット	SS400	/
3	ブラケットステー	SS400	
4	M6ボルト	steel	8
5	M6ナット	steel	8
6	M6ワッシャー	steel	16

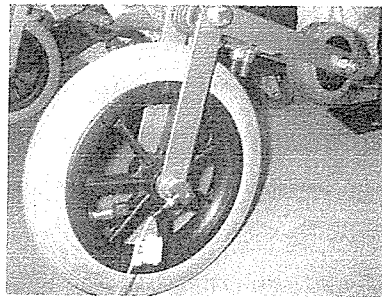
4.4 前輪減衰機構の 50mm 段差降下による振動測定実験

4.4.1 実験目的

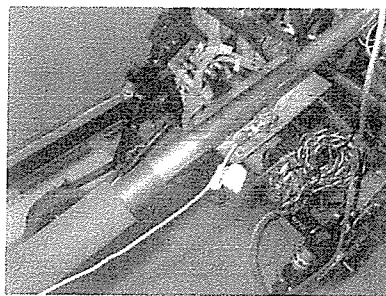
歩行支援機が段差に差し掛かった時、振動が発生し、グリップ部が振幅する。それにより、歩行器使用者に不安感を与える結果となる。前輪部にトーションバネを設置することにより振動緩和は達成されたが、その目的達成のために設置した前輪部のトーションバネによって、段差を降りた後、新たな振動が発生し使用者への不安感の収束に時間を有する結果となる。

今実験においては、歩行支援機前輪にダンパーを設置した時、トーションバネによって発生した振動が、どの程度抑えられ、不安感を取り除くのに必要な防振性能を保有しているかを調べる。

歩行支援機への加速度ピックアップ配置を図 4.4.1.1 に示す。

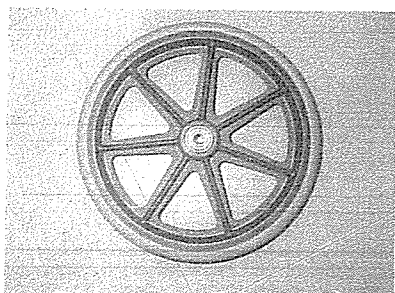


車軸部の加速度ピックアップ設置点

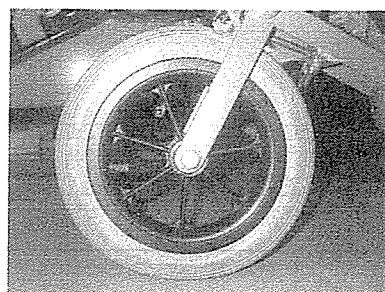


ハンドル部の加速度ピックアップ設置点

図 4.4.1.1 歩行支援機への加速度ピックアップ配置



エアレスゴムタイヤ



エアタイヤ

図 4.4.1.1 実験使用タイヤ

取り付け位置に対する目的を表 4.4.1.1 に示す。

表 4.4.1.1 各部加速度ピックアップの測定対象

取り付け位置	目的
前輪車軸部	車軸部振動を測定
ハンドル部	グリップ部振動を測定

4.4.2 使用機材

- ・ 歩行支援機（設計した前輪減衰機構を装着したもの）
- ・ PCB PIEZOTRONICS 製 3軸測定加速度ピックアップ（IL No.7）×2
- ・ 50mm厚の板（購入元：ドイト株式会社）
- ・ SHAPE 製 ノートパソコン
- ・ OROS 製 PC FFT アナライザ OR2X
- ・ PCB PIEZOTRONICS 製 センサ校正機（IL No.8）

4.4.3 実験方法

歩行器を 1.5km/h となるように歩行させる。今実験においては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。

エアレスゴムタイヤを装着した歩行支援機を 50mm の段差から降下させ、ダンパー効果の有無を測定する。次に、エアタイヤを装着した歩行支援機にて、50mm の段差から降下させ、ダンパーを取付けた状態とダンパーを取外した状態、それぞれの加速度及び加速度レベルの大きさを測定。ダンパー有無による比較及び許容値と比較する。

以下に実験風景を示した。

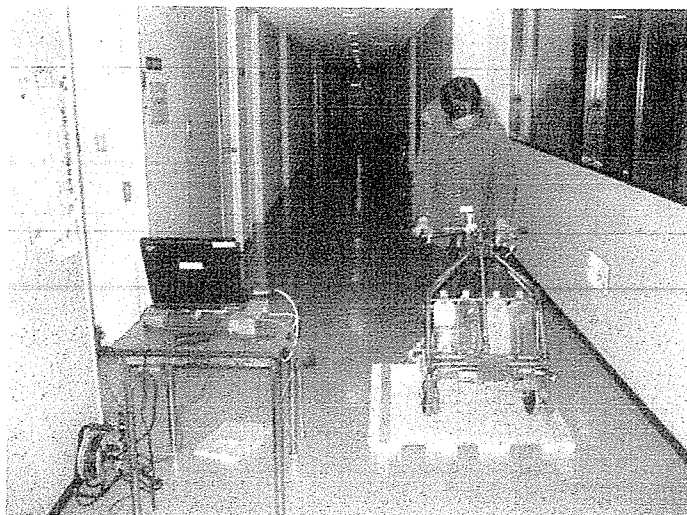


図 4.4.3.1 実験風景

4.4.4 実験条件

PC FFT アナライザ(OR2X)の設定

入力 1ch. センサ名称 : PCB_IL7_X

センサタイプ : Acceleration, (m/s²)

感度 : 0.099426 (V/(m/s²))

レンジ : 10.0 (V)

入力 2ch. センサ名称 : PCB_IL7_Z

センサタイプ : Acceleration, (m/s²)

感度 : 0.100693 (V/(m/s²))

レンジ : 10.0 (V)

入力 3ch. センサ名称 : PCB_IL7_X

センサタイプ : Acceleration, (m/s²)

感度 : 0.0966051 (V/(m/s²))

レンジ : 10.0 (V)

入力 4ch. センサ名称 : PCB_IL7_Z

センサタイプ : Acceleration, (m/s²)

感度 : 0.0952796 (V/(m/s²))

レンジ : 10.0 (V)

※ 入力 1ch、2ch は、それぞれ車軸部の x 軸、z 軸(前後方向を x 軸、上下方向を z 軸とする)

※ 入力 3ch、4ch は、それぞれハンドル部の x 軸、z 軸

カップリング : ICP

周波数レンジ : 0~160(Hz)

周波数分解能 : 0.1(Hz)

オーバーラップ : 0%

ウインドウ関数 1 : レクタングュラ

ウインドウ関数 2 : レクタングュラ

FFT 分解能 : 1601

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 (レベル入力チャンネル : チャンネル 2、入力レベル : 1%)

ディレイ : -0.625[s]

平均数 : 1

リフレッシュレート : 1

4.4.5 実験結果

エアレスタイヤ、ダンパー無しにおける車軸部の加速度ピックアップによって測定した加速度データを以下に示す。

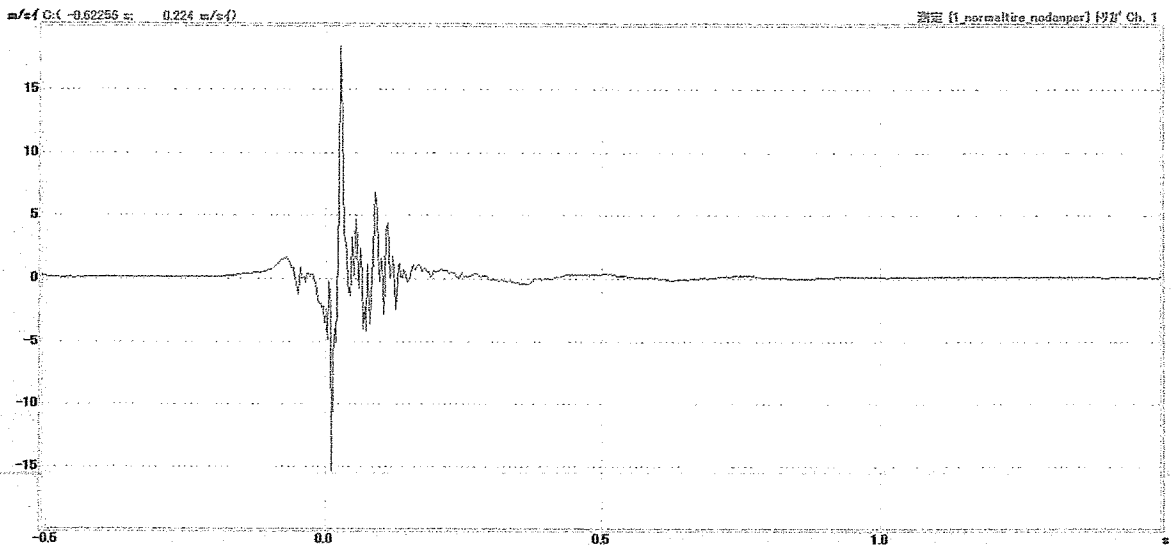


図 4.4.5.1 50mm 段差降下エアレスタイヤ、ダンパー無し of 車軸部 x 軸加速度

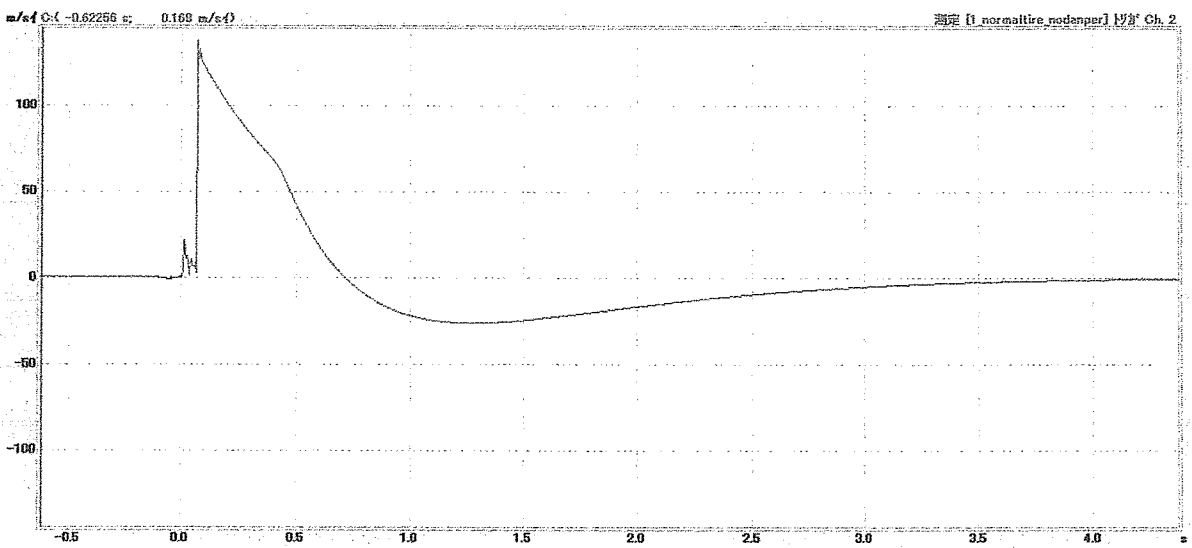


図 4.4.5.2 50mm 段差降下エアレスタイヤ、ダンパー無し of 車軸部 z 軸加速度

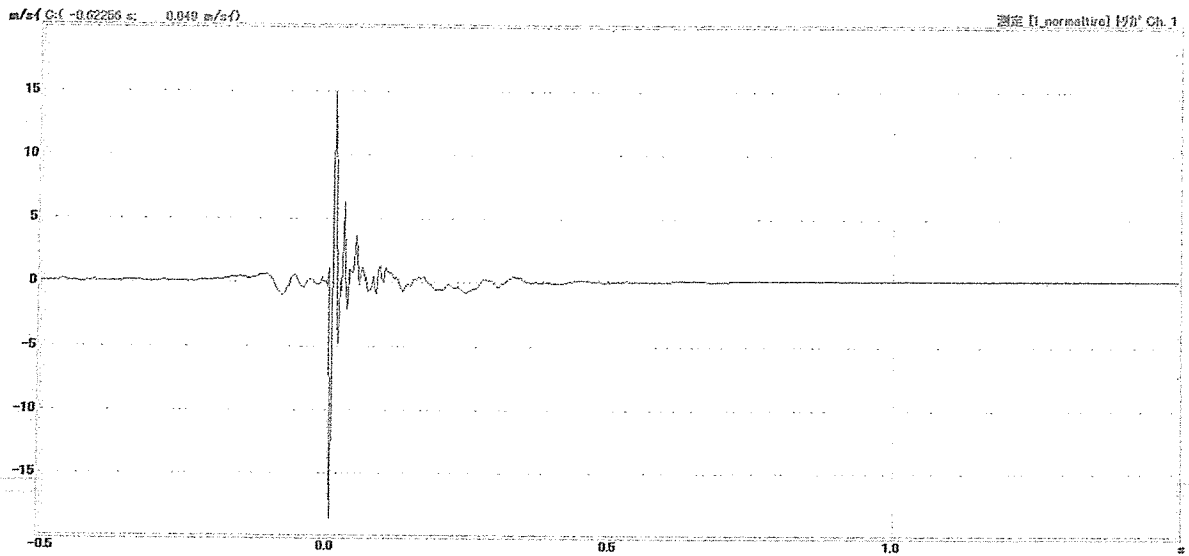


図 4.4.5.3 50mm 段差降下エアレスタイヤ、ダンパー有りの車軸部 x 軸加速度

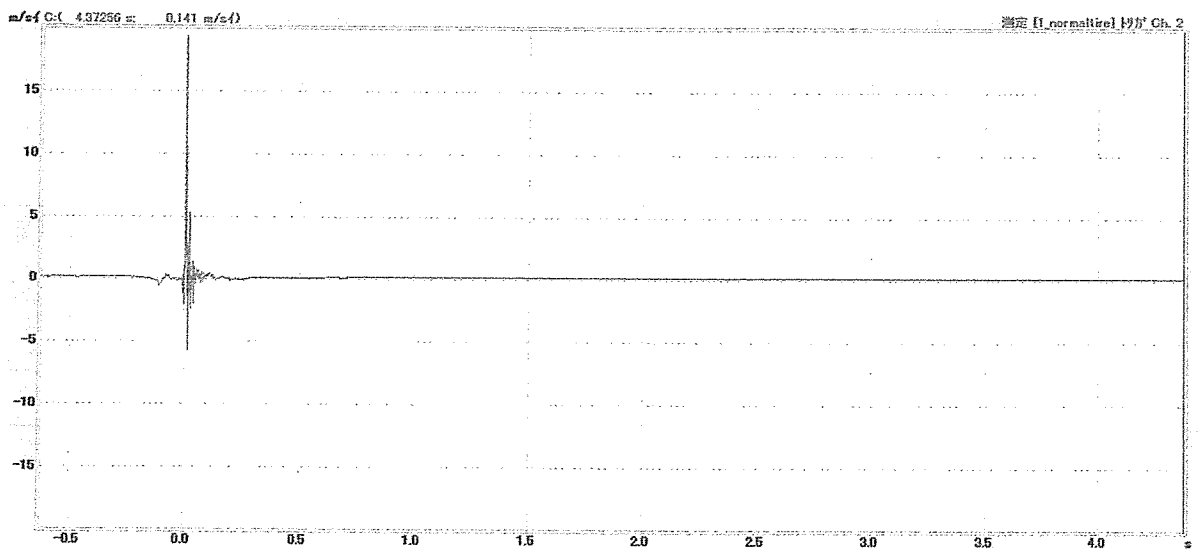


図 4.4.5.4 50mm 段差降下エアレスタイヤ、ダンパー有りの車軸部 z 軸加速度

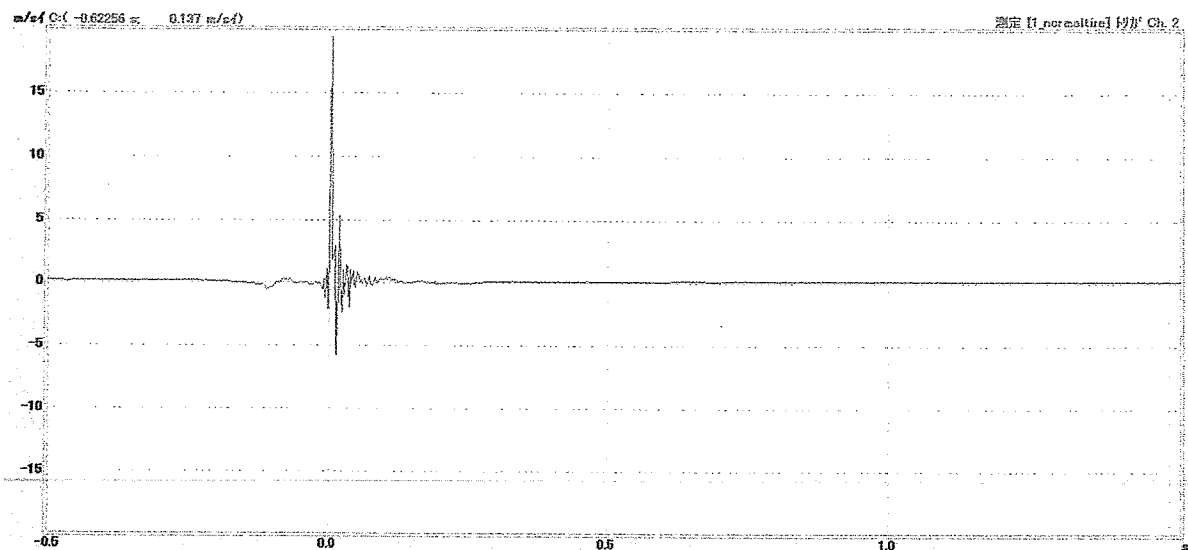


図 4.4.5.5 50mm 段差降下エアレスタイヤ、ダンパー有りの車軸部 z 軸加速度(拡大)

次に、使用者が感じる部分(ハンドル部分)の前後及び上下加速度を理想値 5m/s^2 を達成するため、エアタイヤを装着し、ダンパー有無による車軸部及びハンドル部の前後及び上下加速度を測定した。測定した加速度データを以下に示す。

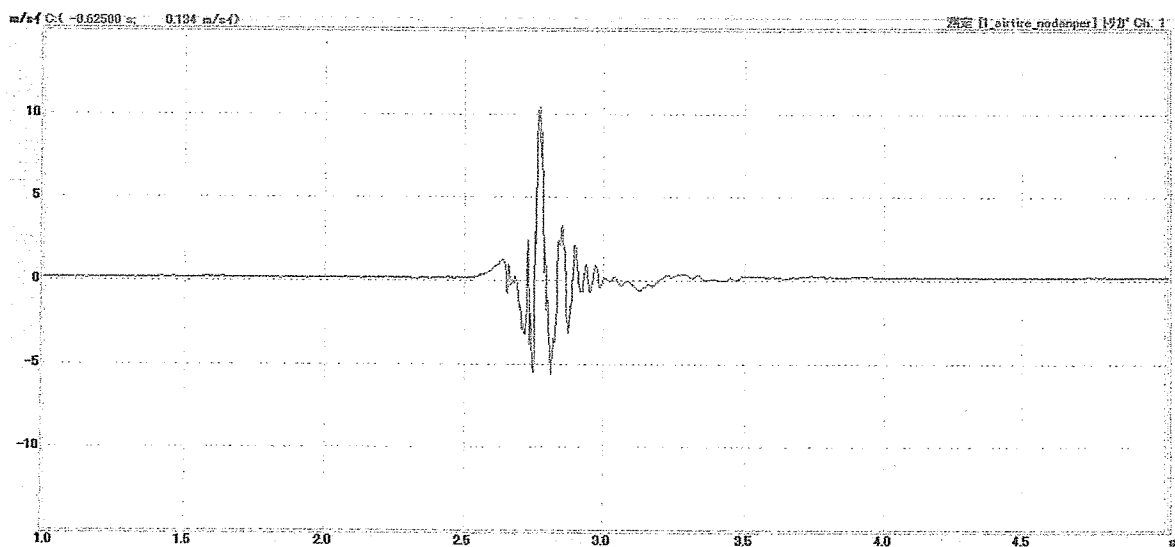


図 4.4.5.6 50mm 段差降下エアタイヤ、ダンパー無しの車軸部 x 軸加速度

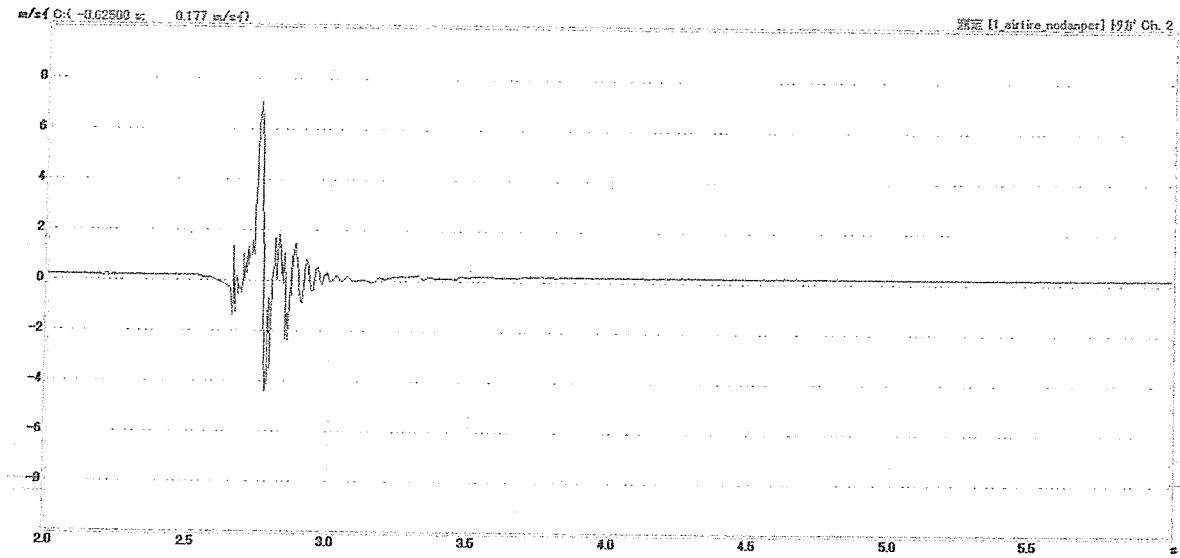


図 4.4.5.7 50mm 段差降下エアタイヤ、ダンパー無しの車軸部 z 軸加速度

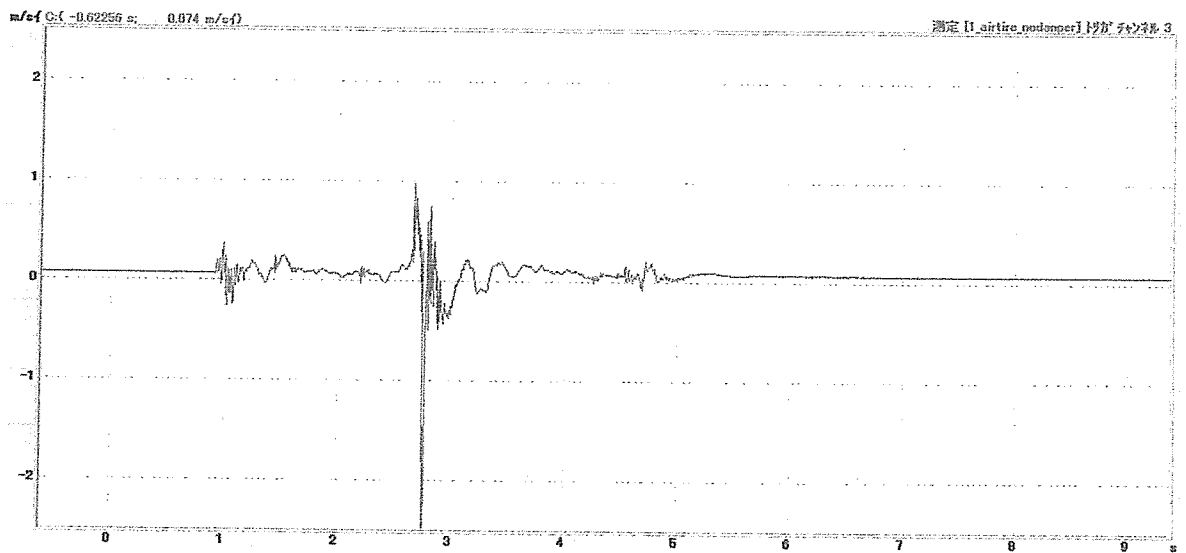


図 4.4.5.8 50mm 段差降下エアタイヤ、ダンパー無しのハンドル部 x 軸加速度

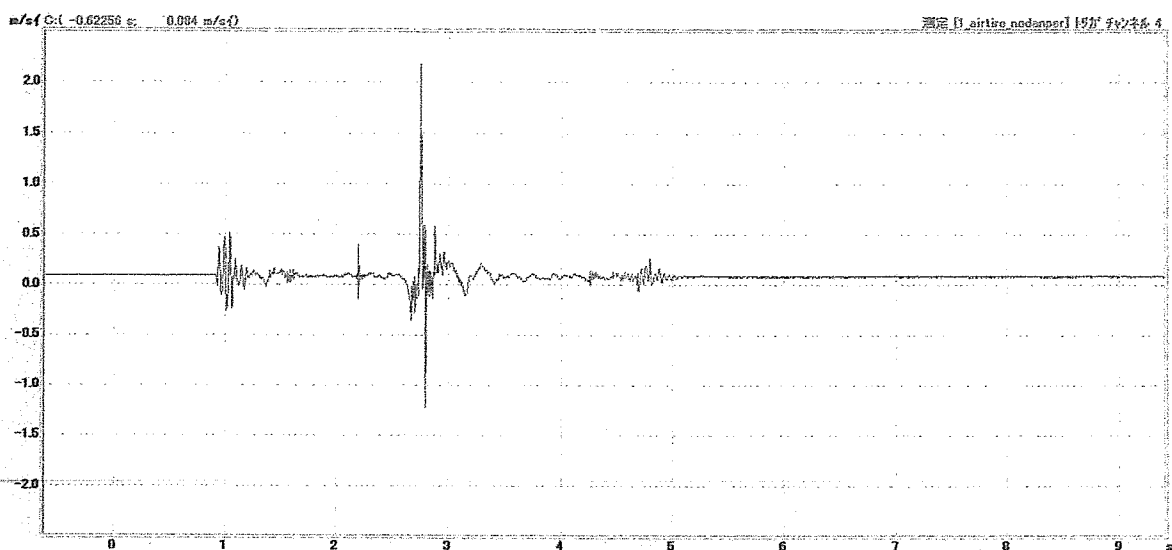


図 4.4.5.9 50mm 段差降下エアタイヤ、ダンパー無しのハンドル部 z 軸加速度

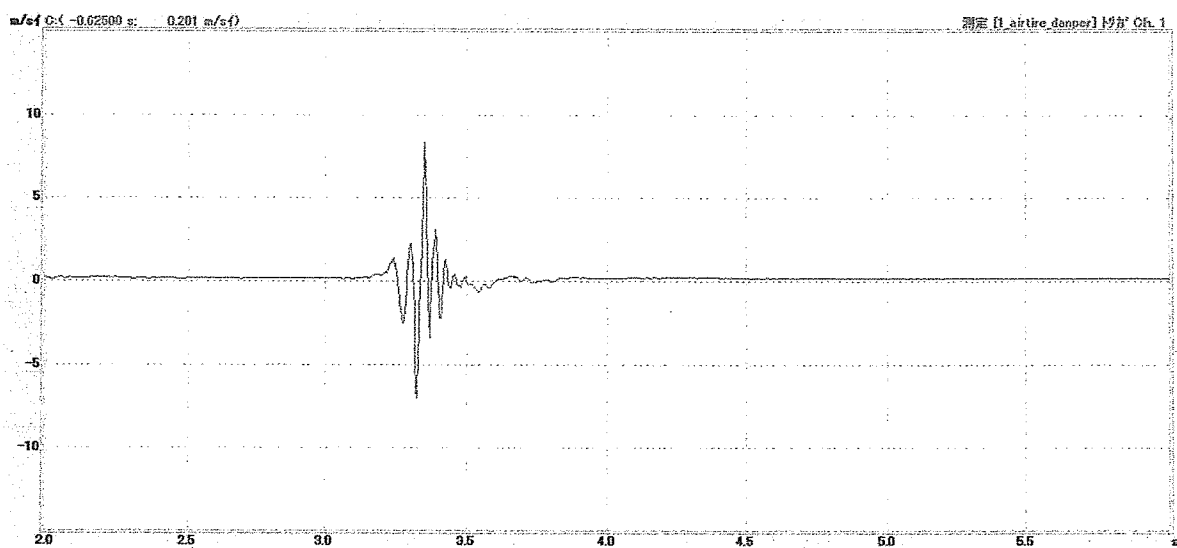


図 4.4.5.10 50mm 段差降下エアタイヤ、ダンパー有りの車軸部 x 軸加速度

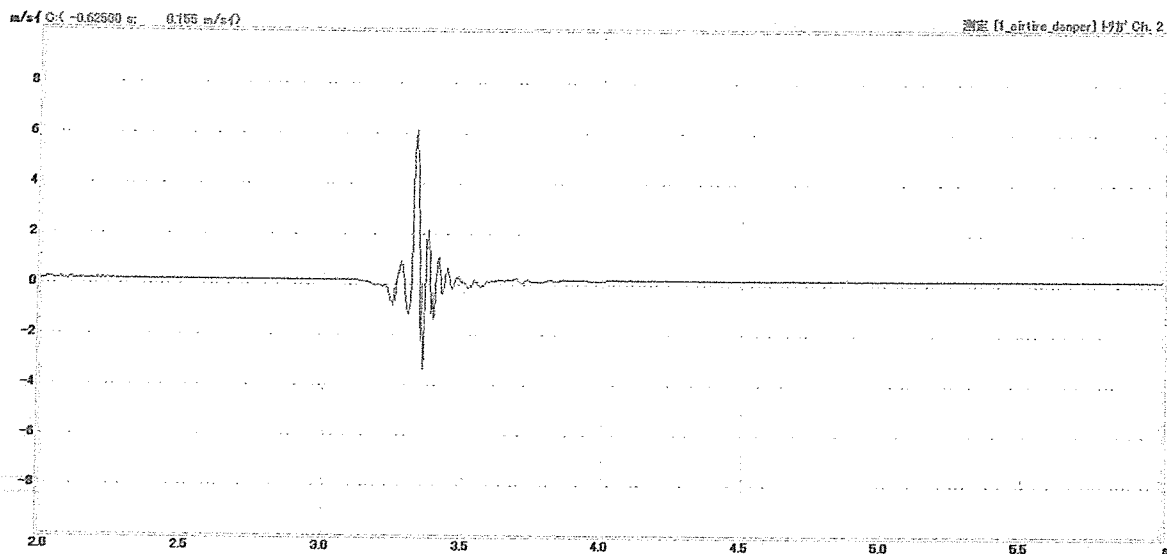


図 4.4.5.11 50mm 段差降下エアタイヤ、ダンパー有りの車軸部 z 軸加速度

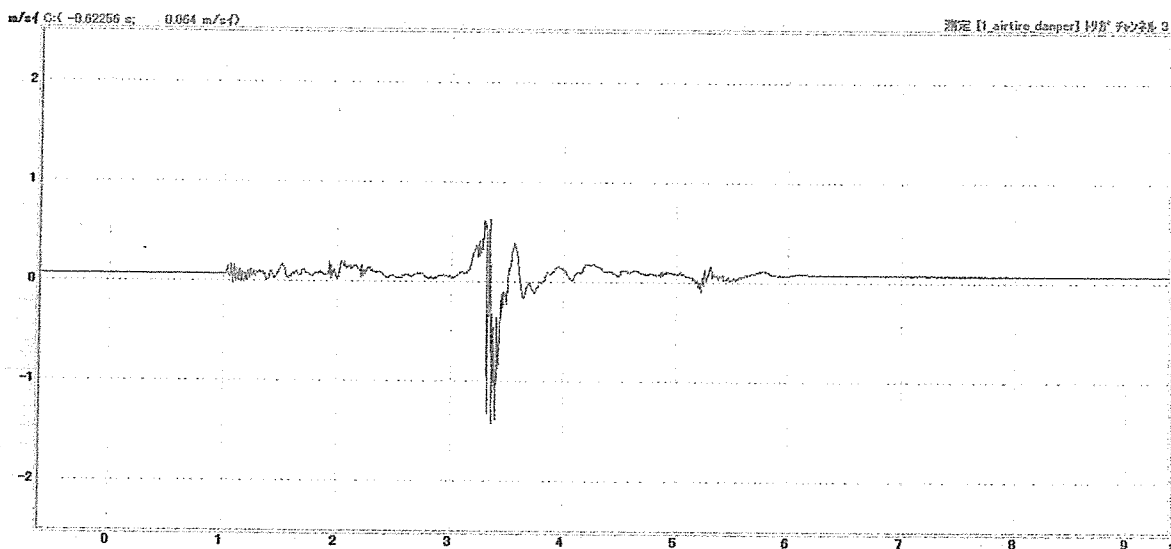


図 4.4.5.12 50mm 段差降下エアタイヤ、ダンパー有りのハンドル部 x 軸加速度

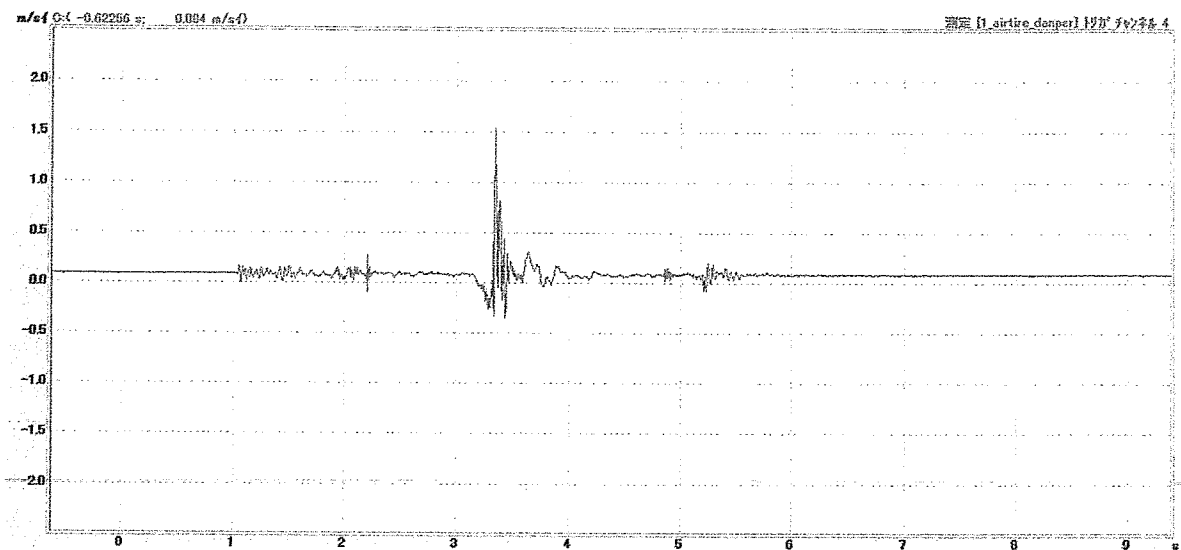


図 4.4.5.12 50mm 段差降下エアタイヤ、ダンパー有りのハンドル部 z 軸加速度

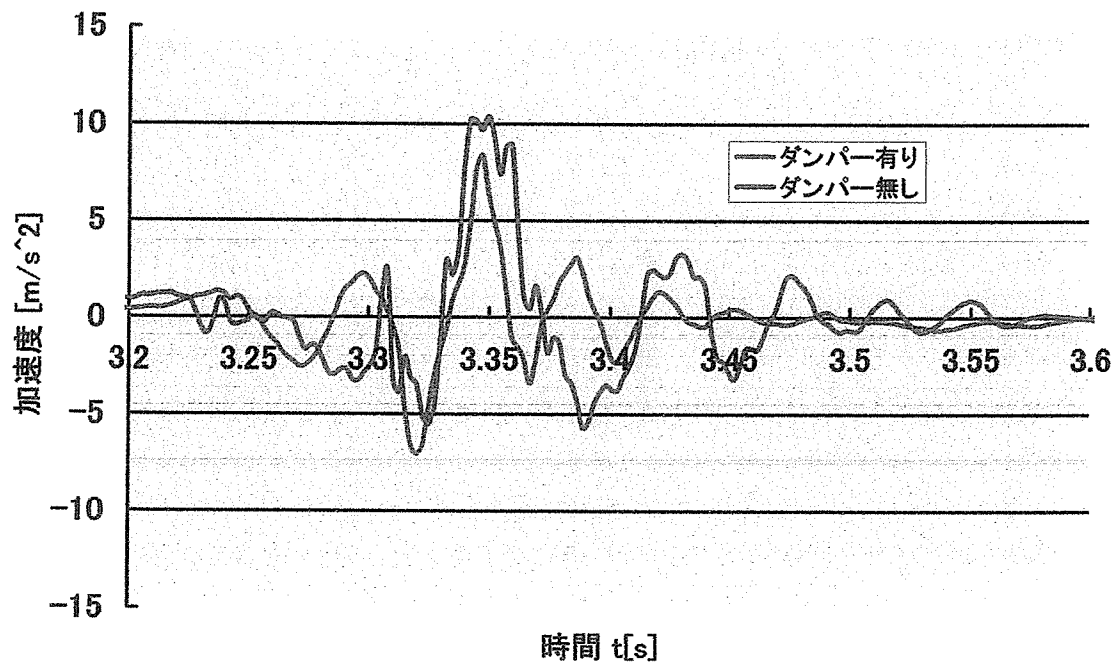


図 4.4.5.13 ダンパー有無による車軸部 x 軸加速度比較

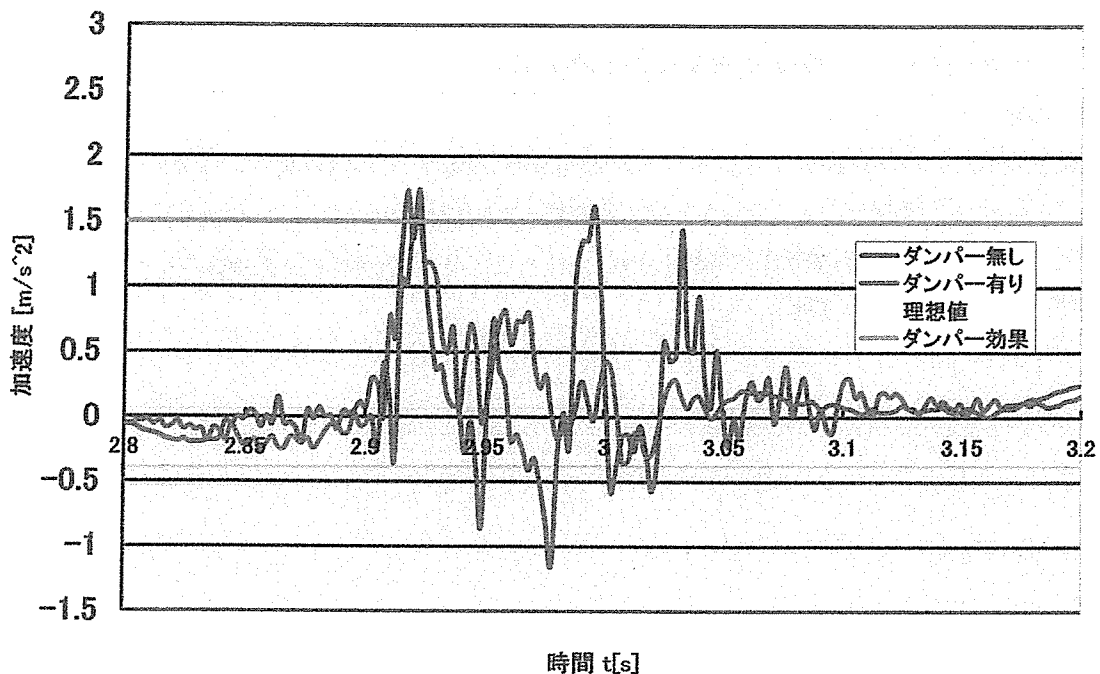


図 4.4.5.12 ダンパー有無によるハンドル部 z 軸加速度比較

4.5 考察

図 4.4.5.2 と図 4.4.5.4 より、ダンパーを有することにより z 軸加速度を大幅に低減することを達成した。また、図 4.4.5.1 から図 4.4.5.5 より、x 軸及び z 軸の段差降下後の 2 次反力を抑えることを達成した。メンテナンスフリーの達成のため、エアレスゴムタイヤを使用し、前後及び上下加速度を理想値の 2.5m/s^2 以下を目指した。ダンパー無しの結果は前後加速度 18m/s^2 、上下加速度においては 140m/s^2 と非常に大きいものであった。ダンパーを有することにより、前後加速度こそ変わらないものの、上下加速度においては 20m/s^2 と大幅な低減を達成した。しかし、許容値の 5m/s^2 以下すら達成することは出来なかった。

そこで、昨年までと同様のエアタイヤ変更し、実験を行なった。その結果、ダンパー無しの場合、車軸部の前後加速度 10m/s^2 、上下加速度 7m/s^2 、ハンドル部の前後及び上下加速度はそれぞれ 2.5m/s^2 。ダンパーを有した場合、車軸部の前後加速度 8m/s^2 、上下加速度 6m/s^2 、ハンドル部の前後及び上下加速度はそれぞれ 1.5m/s^2 であった。

ダンパーの設置を行なっても、車軸部の加速度を許容値以下にすることは出来なかった。しかし、実際に使用者が触れるハンドル部の加速度を、さらに低減することを達成し、使用者に不安感が生じる振動の発生時間の低減を達成した。

トーションバネの影響による反力は、エアタイヤ装着時ダンパー無しの時、車軸部の前後加速度 5m/s^2 、上下加速度 4m/s^2 。ダンパー有りの時、車軸部の前後加速度 3m/s^2 、上下加速度 2m/s^2 。以上のように、それぞれの加速度を二分の一に低減し、着地により生じる加速度を十分に減衰していると考えられる。

今後は、メンテナンスフリーを実現するため、着地時の衝撃を十分に吸収する、エアレスタイヤを実現する、機構の開発が必要と考えた。

4.6 結論

段差を降下した際及びトーションバネの反力から発生する加速度を、設置したヒンジダンパーによって減衰させ、ハンドル部の加速度を許容値 2.5m/s^2 を十分満足する 1.5m/s^2 を実現した。さらに、減衰機構が搭載されたことにより、使用者に不安感の生じる振動を短時間に減衰することを達成した。