

車いす指向型簡易振動・衝撃低減装置の設計開発 —装置の性能検証—

須田敦¹・宮尾育正²

要旨：車いすへの実用を意識した簡易振動・衝撃低減装置を提案する。本稿では、装置の段差乗り越え時の性能を加速度によって評価し、装置の有効性を確認した。実環境で実験を行い、装置の低振動・低衝撃における優位性を得た。これにより、多くの車いす使用者への振動や衝撃によって及ぼされる痛みや身体的負担の軽減が期待されるだけでなく、精神的負担の軽減にもつながり、介護を提供する現場の負担低減にもつながるものと期待される。

キーワード：振動抑制、衝撃吸収、加速度、計測、車いす

1. はじめに

車いすやストレッチャーを使用する際、病院内においても視覚障害者誘導用ブロック¹⁾などの突起物による段差や、エレベーター乗降口のすき間²⁾の段差によって振動や衝撃が発生する。また、屋外では路面の凹凸などによって振動や衝撃が発生する。発生した振動や衝撃は搭乗者に伝わり、痛みや身体的な負担につながる。加えて、段差を回避しようとする介護者の精神的負担にもつながる。

これまでにも振動や衝撃を低減するための前輪キャスター^{3), 4)}が開発されてきた。しかし、これらのキャスターでは、ある特定の質量帯域以外では振動や衝撃の低減効果が小さい。また、前輪のキャスターだけを改良しても、車いすの後輪から振動や衝撃が伝わってしまうという問題点もある。

そこで本研究では、様々な質量でも振動や衝撃の低減効果を大きく取るために、使用的する質量に応じてばね定数を変更し、振動の伝達率が一定になる装置を提案した⁵⁾。本稿では段差乗り越え時の性能を検証し、装置の有効性を確認する。これにより、多くの搭乗者の振動や衝撃によって及ぼされる痛みや身体的負担の軽減が期待されるだけでなく、介護者の精神的負担の軽減にもつなげ、介護を提供する現場の負担低減にもつなげる。

2. 装置について

2. 1 振動特性

車いす使用時の路面から搭乗者へ伝わる振動は、タイヤなどのばね要素と装置のばね要素の2自由度

以上でモデリングされるが、本論文では装置の基本特性確認のため1自由度で考える。

一般的に、ばね定数を k 、質量を m とすると、固有振動数 ω_n は式(1)で表される。

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

車いす走行時の路面から入力される振動を力励振による定常振動と考える。路面より入力される振動の振幅と、装置から伝わる振動の振幅との比を M とする。固有振動数 ω_n と入力される振動の振動数 ω の比と、 M の関係は式(2)で表される。ここで、 ζ は減衰係数比であり、系が持つ減衰の度合いを示し、式(3)で表される。また、減衰係数を c とする。

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1 - (\omega_n/\omega)^2)^2 + (2\zeta\omega_n/\omega)^2}} \quad (2)$$

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}} \quad (3)$$

式(1)～(3)より、搭乗者の質量 m が変化しても、装置のばね定数 k を変えることによって、路面から入力される振動の振幅と、装置から伝わる振動の振幅の比 M を一定の範囲の値にすることができる。振動や衝撃を軽減することができる。言い換えると、質量の変化に対し適切にばね定数を変化させないと、搭乗者へ伝わる振動が大きくなることがわかる。なお、ばね定数を小さくすると問題は解決されるように考えられるが、実際には装置の可動範囲の問題もあり

1 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 助教

2 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 卒業生
(現 サントリープロダクツ(株))

適切なばね定数選択が必要である。

2. 2 装置概要

装置は振動計などに用いられる、ばね定数を比較的低くとることができるユーイング形振子⁶⁾を基本に設計する。装置は、質量が検出された際に、目標の伝達率が得られるように、装置の機構部分を制御するというものである。Fig. 1に装置の概要を示す。

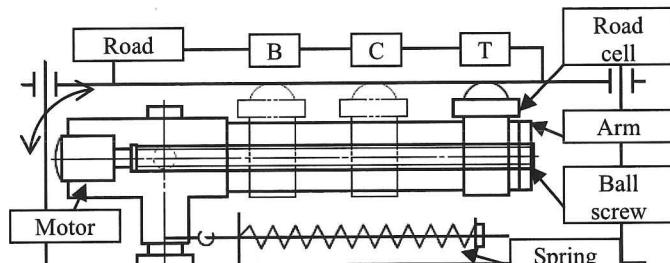


Fig. 1 Schematic overview

ロードセルで荷重を検出し、その質量に応じモータを制御しボールねじを介しロードセル部を T～C～B の所定の位置へ移動させる。ロードセルの位置によって装置のてこ比が変わり、装置の見かけのばね定数が変化する。

Fig. 2 に装置の外観を示す。

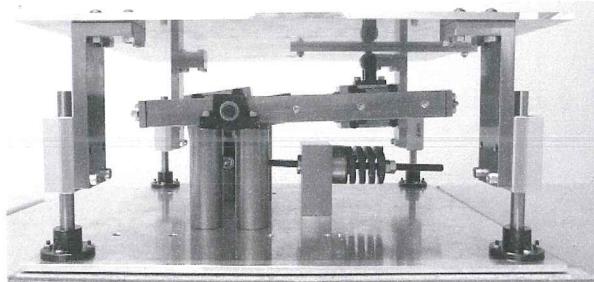


Fig. 2 Appearance of device

3. 実験

3. 1 実験概要

Fig. 3 に示すように装置を実際に車いす（カワムラサイクル製 KA22-38SN）に装着し、段差乗り越え時の装置上部（ばね上）に伝わる加速度と装置下部（ばね下）の加速度を計測する。突起は Fig. 4 に示すように平滑な路面に固定されており、幅 40 [mm]、高さ 6 [mm] の矩形である。走行速度は 1 [m/s] とする。実験装置全体を Fig. 5 に示す。なお、装置上下部の加速度はマルチ入力データロガーによって同期計測する。

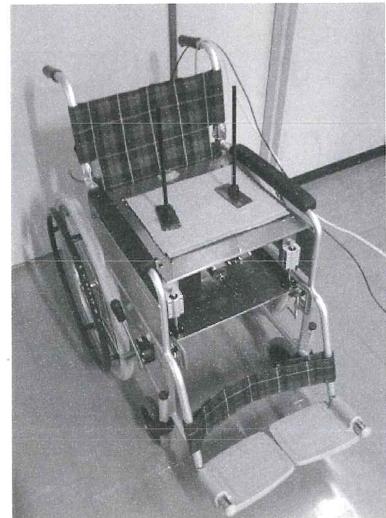


Fig. 3 Device equipped wheelchair

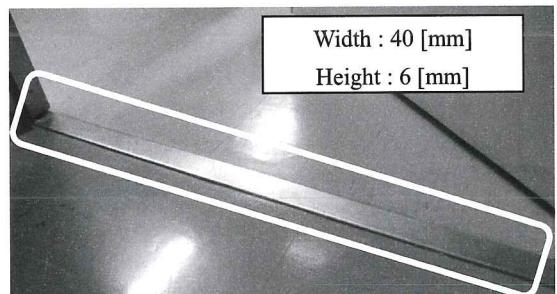


Fig. 4 Bump

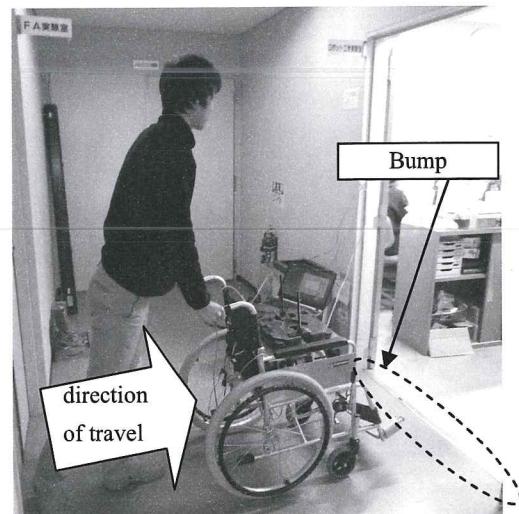


Fig. 5 Overall view of experiment system

3. 2 車いすの挙動

車いすが段差を乗り越える際に発生する振動加速度を計測する。まず、装置下部（ばね下、装置の効果が及ばない部分）の挙動を確認する。Fig. 6 に振動加速度波形の一例（ロードセル位置：C、荷重：144 [N]）を示す。

Fig. 6 より、車いすが段差を乗り越える際の挙動を、大きく分けて 4 段階に分けて考えられる。

第一は、Fig. 6 で示している 1st 部分で、車いす前部のキャスターが段差に衝突した際に発生する最大加速度であると考えられる。

続いて第二に、Fig. 6 で示している 2nd 部分で、車いす前部のキャスターが段差から落ち、路面に接触した際に発生する最大加速度であると考えられる。

第三に、Fig. 6 の 2nd 部分を過ぎた後は、車いすのフレーム自体のばね要素による振動と減衰がしばらく続くことが見受けられる。

最後に、Fig. 6 で示している 3rd から 4th にかけての部分で、車いす後部の車輪が段差に衝突した際に発生する最大加速度であると考えられる。車輪には空気が入っており、前輪部のキャスターと比べると、剛性が低い。このため、段差と接触した際に、車いす全体が沈み込むように車輪が変形し、最小加速度が発生していると考えられる。その後、車輪が跳ねるように 4th の最大加速度が発生し、車輪や車いすのフレームのばね要素による振動と減衰がしばらく続くことが見受けられる。

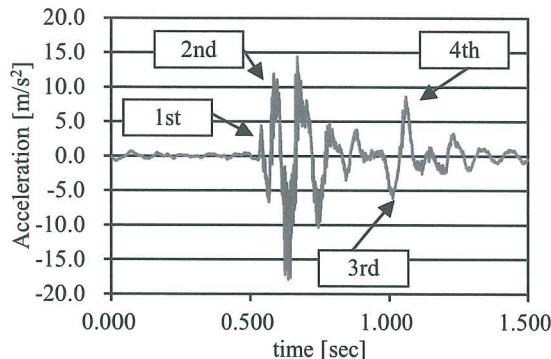


Fig. 6 Example of experimental result

3. 3 段差乗り越え（1）

装置下部（ばね下、装置の効果が及ばない部分）と装置上部（ばね上、装置の効果が及ぶ部分）の振動加速度を計測する。荷重を 528 [N]負荷した際の、ロードセル位置の違いによる波形の違いを計測した。ロードセル位置が T の波形を Fig. 7 に、ロードセル位置が C の波形を Fig. 8 に、ロードセル位置が B の波形を Fig. 9 に示す。

の波形を Fig. 9 に示す。

Fig. 7 のようにロードセル位置が T であると、車いす全体が共振しており、下部の挙動は Fig. 6 のようになっていないことが見受けられる。これに伴い、上部の挙動も下部より大きい値が示されている。

Fig. 8 のようにロードセル位置が C であると、下部の挙動は Fig. 6 とよい一致が見られる。上部の挙動は下部の挙動を下回っており、かつスムーズな挙動であることが示されている。装置によって振動の伝達が低くなっていると考えられる。

Fig. 9 は縦軸の範囲を Fig. 7 や Fig. 8 の半分としている点に注意されたい。Fig. 9 のようにロードセル位置が B であると、下部の挙動は Fig. 6 とよい一致が見られる。上部の挙動は下部の挙動を上回ることなく、かつスムーズな挙動であることが示されている。振動の伝達自体は変わらないが、装置の作用が確認された。

3. 4 段差乗り越え（2）

荷重を 823 [N]負荷した際の、ロードセル位置の違いによる波形の違いを計測する。ロードセル位置が T の波形を Fig. 10 に、ロードセル位置が C の波形を Fig. 11 に、ロードセル位置が B の波形を Fig. 12 に示す。

Fig. 10 のようにロードセル位置が T であると、上部の挙動は下部より著しく大きい値が示されている。これは装置の可動域を超えてしまい、底付きしているためだと考えられる。現実的には装置の耐久面的にもこのような状態で使用することは好ましくない。

Fig. 11 のようにロードセル位置が C であると、車いす全体が共振していることが見受けられる。しかし、上部の挙動は下部の挙動を下回っており、かつスムーズな挙動であることが示されている。装置によって振動の伝達が低くなっていると考えられる。

Fig. 12 のようにロードセル位置が B であると、上部の挙動は下部の挙動を下回っており、かつスムーズな挙動であることが示されている。装置によって振動の伝達が低くなっていると考えられる。

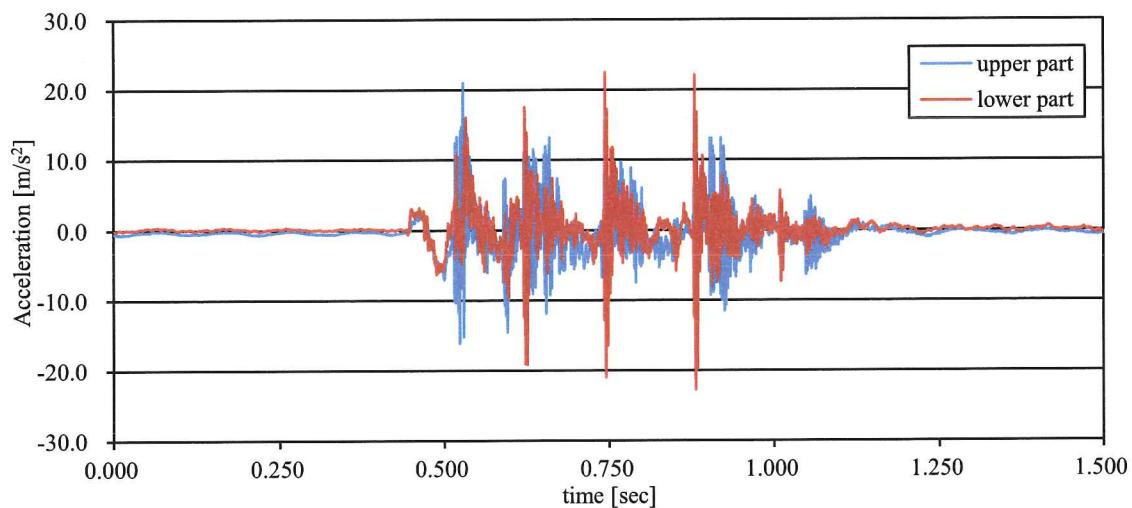


Fig. 7 Experimental results (Position: T, Load: 528 [N])

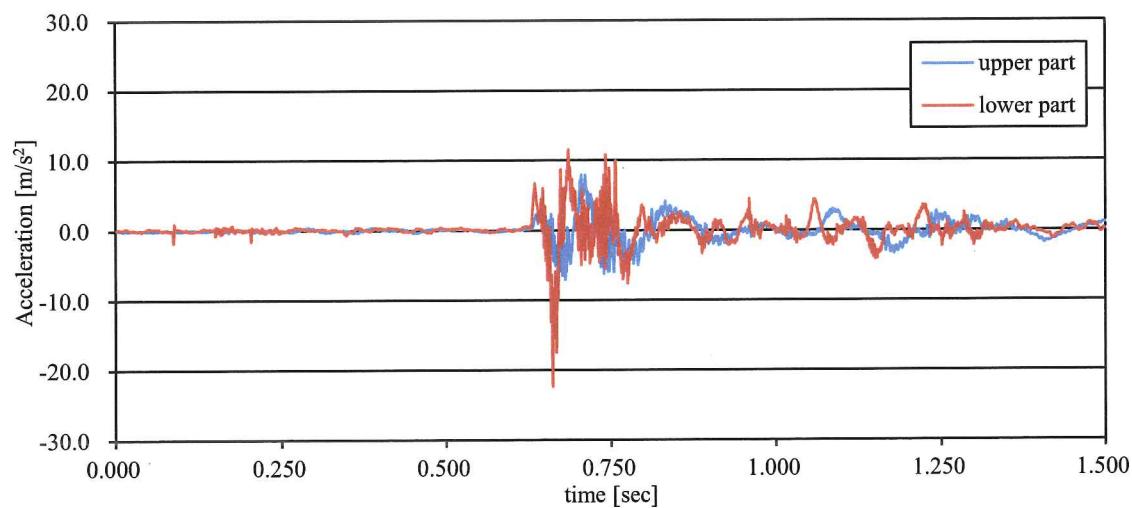


Fig. 8 Experimental results (Position: C, Load: 528 [N])

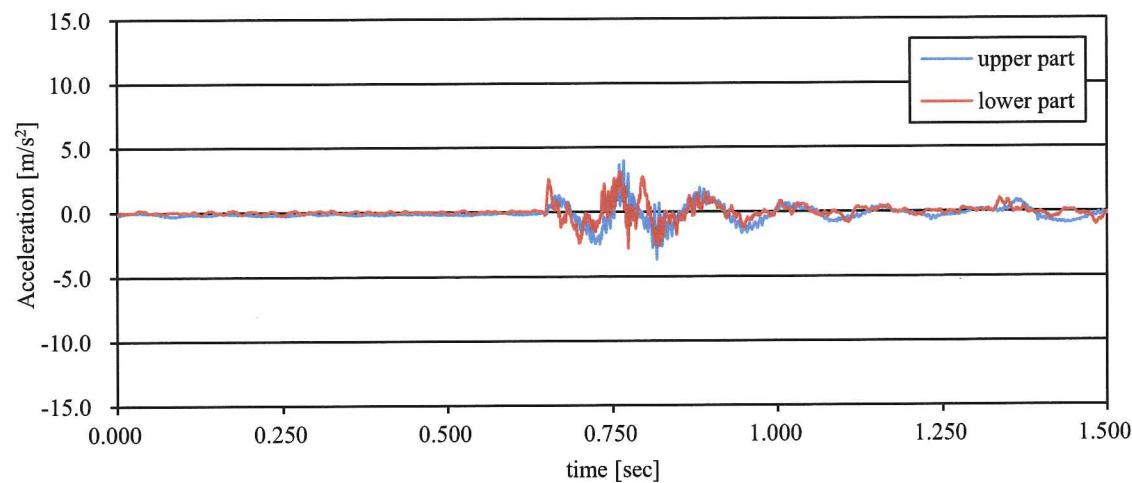


Fig. 9 Experimental results (Position: B, Load: 528 [N])

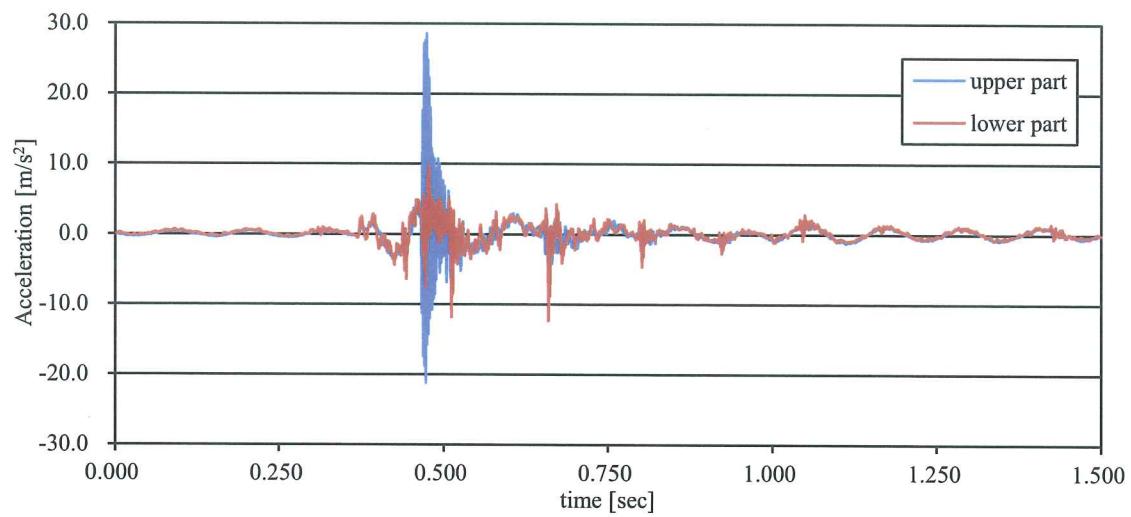


Fig. 10 Experimental results (Position: T, Load: 823 [N])

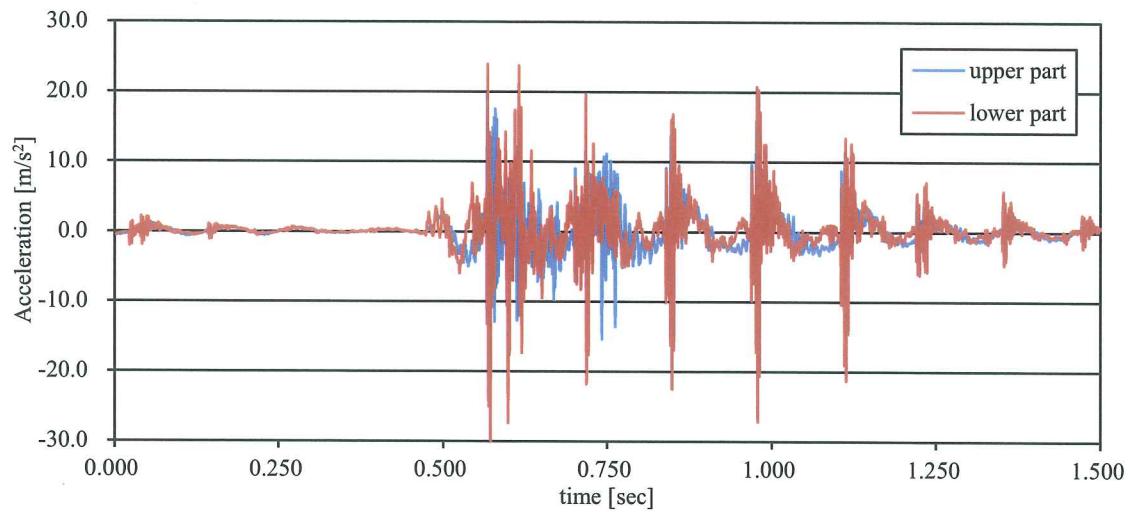


Fig. 11 Experimental results (Position: C, Load: 823 [N])

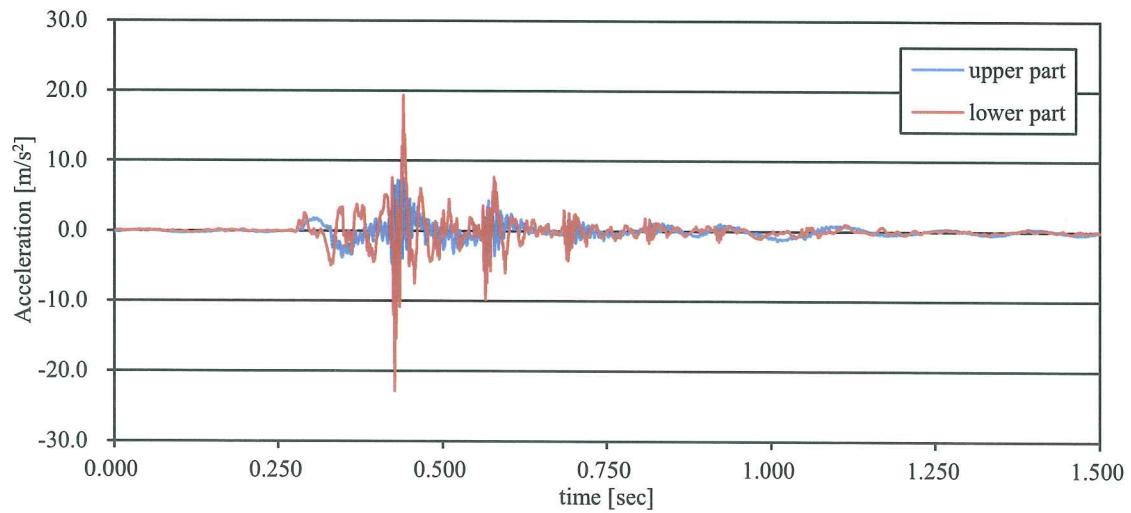


Fig. 12 Experimental results (Position: B, Load: 823 [N])

4. おわりに

本文では、簡易的な振動・衝撃低減装置について報告した。車いすへの実用を意識し、実環境での実験を行い、装置の優位性を得た。荷重とロードセル位置関係が、装置上部の挙動に大きく関係していることが示された。現状ではロードセル位置を手動で変えていたので、今後は荷重計測部の組込と自動化、および様々な条件での検証を行う必要がある。また、振動が人体に及ぼす影響にも考慮して改良を加えるなどの課題が残された。

謝辞：本研究の遂行にあたっては、元近畿大学理工学部教授 山元昌彦先生（故人）の多大なるご指導ご助言を戴いた。ここに深謝の意を表する。また、本研究の一部は、公益財団法人テルモ科学技術振興財団（現公益財団法人テルモ生命科学芸術財団）2014年度一般研究開発助成Iを受けて行われた。加えて、平成27年度舞鶴工業高等専門学校機械工学科研究経費の配分を受けて行われた。ここに記し関係各位に謝意を表する。

参考文献：

- 1) 日本工業規格：高齢者・障害者配慮設計指針－視覚障害者誘導用ブロック等の突起の形状・寸法及びその配列, JIS T9251 (2014).
- 2) 日本国政令：昇降機に関する建築基準法施行令, 第129条の7.
- 3) 株式会社松永製作所：衝撃吸収キャスター, 特開2010-149653 (2010).
- 4) 株式会社ユーエイキャスター, カヤバ・エンジニアリング・アンド・サービス株式会社：キャスター, 特開2005-119401 (2005).
- 5) 中川千鶴, 島宗亮平, 水上直樹, 渡邊健, 星野宏則, 鈴木江里光：高周波振動が乗り心地に及ぼす影響に関する基礎的検討, 鉄道総研報告, Vol. 22, No. 11, pp. 11-16 (2008).
- 6) 須田敦, 宮尾育正, 山本昌彦：車いすへの実用を意識した簡易振動・衝撃低減装置の設計開発, 日本設計工学会 2016 年度春季大会研究発表講演会講演論文集, pp. 155-158 (2016).
- 7) 三浦宏文：機械力学, 朝倉書店(2003).

(2016. 12. 16 受付)

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SIMPLE WHEELCHAIR-ORIENTED DEVICE FOR LOW VIBRATIONS/SHOCKS - PERFORMANCE VERIFICATION OF THE DEVICE -

Atsushi SUDA, Yasumasa MIYAO

ABSTRACT : We propose a simple vibrations/shocks reduction device, considering practical use for wheelchairs. In this paper, we confirmed the effectiveness of the device. The performance of the device in getting over bump was evaluated based on the acceleration. Experiments were conducted in an actual environment. We confirmed the superiority of low vibration and low shock of the device. This will reduce pain and physical burden caused by vibrations and shocks to many wheelchair users. In addition, it also leads to reduction of mental burden. Furthermore, it is expected to lead to a reduction in burden on the site providing nursing care.

Key Words : Vibration reduction, Shock absorbing, Acceleration, Measurement, Wheelchair