

論 文

段差乗り越えキャスターの開発

西川 康博^{*1)} 鈴木 悠矢^{*1)}

Development of level difference clearing caster

Yasuhiro Nishikawa^{*1)}, Yuya Suzuki^{*1)}

A level difference clearing and shock absorbing caster was developed with a simple and compact structure reducing the required force for clearing the level difference. The new caster has two features; one is the eccentric axle position frontward and upward from the rotation center of the wheel, the other is the implemented spring device in the wheel for shock absorption and attitude restoration. The experiment with a level difference of 40mm proved the reduction of maximum level-difference-clearing force by approximately 20% compared to the conventional casters.

キーワード：キャスター, 段差, 衝撃吸収, 偏心, ばね機構

Keywords : Caster, Level difference, Shock absorption, Eccentricity, Spring device

1. はじめに

近年, 屋内外において段差解消のためにスロープが設けられるなど, バリアフリー化が進められている。しかし, 段差が全て解消されたわけではない。車椅子やベビーカー, 台車などの車両に取り付けられている車輪では, たかだか高さ数センチ程度の段差を乗り越えるにも, 大きな力が必要となり, 困難を伴うことが多い。また, 車輪が段差に到達(衝突)した際に, 水平移動から垂直移動の瞬間的な変化から衝撃力が発生し, この衝撃力が利用者に不快感を与え, 最悪の場合, 車両が転倒するなどのおそれがある。このため, 車輪が段差などの障害物を容易に乗り越えることができる機構の開発が重要な課題となっている。

これまでに, 段差の乗り越えを容易にするための機構が数多く提案されている。例えば, 補助輪等を使用して段差の乗り越えを容易にするもの⁽¹⁾, アーム等を使用して一時的に車輪の直径を大きくすることで段差乗り越えを容易にするもの⁽²⁾, 車輪支持部や車輪内部などに溝を設け, その溝に沿って車軸が移動することにより段差乗り越えを容易にするもの⁽³⁾, 車輪前方に設けた摺動片が車輪支持部内の案内面に沿って移動し, 車軸を押し上げることにより段差乗り越えを容易にするもの⁽⁴⁾などがある。ところが, 従来の機構では, 補助輪やアームなどが必要となるため重量増加を招くことや, 構造が複雑となること, また, 衝撃力に対する備えがないといった問題点がある。

そこで本研究では, 簡易でコンパクトな構造でありながら, 段差衝突時の衝撃力を吸収し, 段差乗り越えに労する力を低減できるキャスターについて検討する。具体的には,

外輪, 内輪および車輪支持部材で構成され, 車軸位置が車輪の回転中心から進行方向前方・上方に偏心することを特徴とした段差乗り越えキャスターを開発する。

2. 段差乗り越え理論(偏心機構の有効性)

車輪が段差を乗り越える際に, 車軸の位置に働く力, および, 各部の寸法を図1に示す。ここで, F_h は段差を乗り越えるために必要な水平方向の力(以後, 段差乗り越え力), F_m は車両重量および外部からの負荷(積載重量など)の和である重力, R は車輪半径, L は段差高さを表す。また, 車軸位置は車輪の回転中心から進行方向前方に a , 上方に b だけ偏心している。

図のような状態にある場合, 車輪が段差を乗り越えるための条件は, 車輪と段差の接触点 O を中心とした車軸位置での回転モーメントにより定めることができる。具体的には, 段差乗り越え力により生じる車軸位置での回転モーメント M_h (図上, 時計回り)が, 重力により生じる回転モー

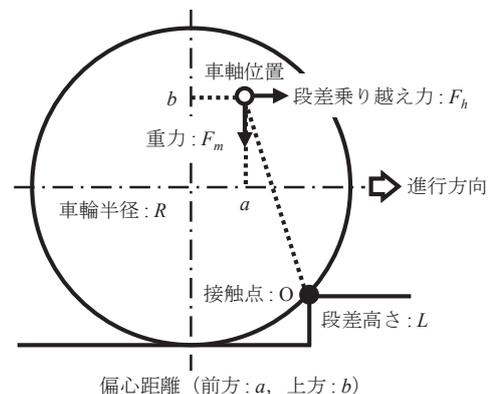


図1. 車軸位置に働く力および各部寸法

メント M_m (図上, 反時計回り) を上回れば, 車輪は段差を乗り越えることができる。各モーメントを式で表すと,

$$M_h = F_h (R - L + b) \dots\dots\dots (1)$$

$$M_m = F_m (\sqrt{L(2R - L)} - a) \dots\dots\dots (2)$$

となる。段差乗り越え条件は,

$$M_h > M_m \dots\dots\dots (3)$$

であるから, 式 (3) に式 (1), (2) を代入して整理すると,

$$F_h > F_m (\sqrt{L(2R - L)} - a) / (R - L + b) \dots\dots (4)$$

と表すことができる。

式 (4) より, 車軸位置の偏心距離 a および b を大きくすると, 右辺の値が小さくなることから, 段差乗り越え力 F_h を小さくできる。このように偏心機構の有効性を理論的に示すことができる。

3. キャスターの製作

3. 1 姿勢復元および衝撃吸収機構 3Dプリンター

(Objet Connex500 ; Stratasys 社製, 使用樹脂 : ABS ライク) で造形した車輪モデルが段差を乗り越える際の様子を図2に示す。図に示すように, 偏心機構を有効にするには, 車輪を傾斜しなければならない。このため, 車軸位置を偏心させたキャスターを製作する際には, 傾斜した車輪を復元するための機構が必要となる。

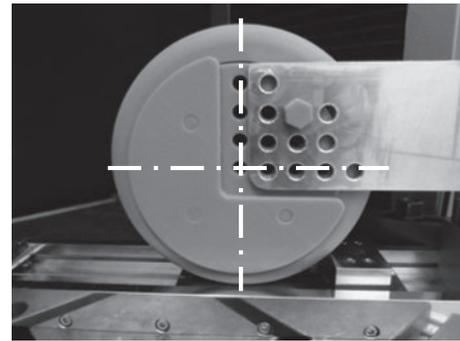
姿勢復元および衝撃吸収機構の一例として, 薄板ばねとヒンジから構成される機構 (以後, ばね機構とよぶ) について検討した。薄板ばねの製作には炭素繊維とエポキシ樹脂からなるCFRP-UDプリプレグシート (PYROFIL TR380G250 : 三菱レイヨン株式会社製) を用いた。プリプレグシートを金型に張り付け, 事前検証で最適成形条件と考えられた $80^{\circ}\text{C} \times 1.5$ 時間さらに $135^{\circ}\text{C} \times 2.5$ 時間, 電気炉内で加熱し, CFRP製薄板ばねを成形した。

成形したCFRP製薄板ばねを鉄鋼製のヒンジに組み込んだ。図3に製作したばね機構を示す。また, 図4にばね機構のトルクと回転角度の関係を示す。ここでトルクは, ねじりコイルばねと同様の考え方で, ばね機構の先端に垂直方向に加えられた荷重と, ヒンジの回転中心から先端までの距離から求めた。図に示すように, トルクと回転角度の関係は線形であった。トルクと変形角度の関係よりばね機構の特性, いわゆるばね定数は $87.1 \text{ Nmm}/^{\circ}$ となった。

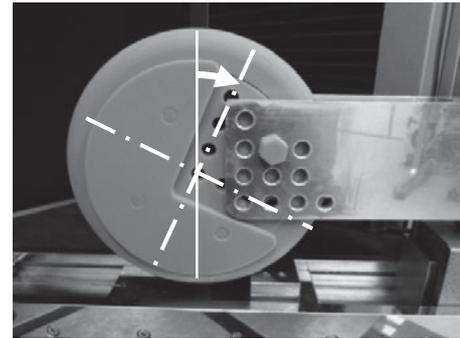
3. 2 キャスターの組立工程

図5にキャスターの組立工程を示す。車輪は外輪と内輪で構成される。図5(a)に示すように, 外輪 (材質 : PA66) の外径は 150 mm , 内径は 110 mm , 幅は 30 mm であった。図5(b)に示すように, 内輪 (材質 : PA6) は2分割されており, 外輪の両側から嵌め込み, ボルトおよびナットで固定した。内輪には, その中心 (外輪の回転中心と一致) から進行方向前方に 30 mm , 上方に 30 mm の位置に車軸を通すための孔 (直径 8 mm) を設けた。また, ばね機構を取り付けるための切欠きを設けた。さらに, 内輪の側面には, 車輪支持部材を取り付ける部分以外に, 外輪を脱落させないための突起 (ガイド) を設けた。

図5(c)に示すように, ばね機構をボルトおよびナットを



(a) 乗り越え前



(b) 乗り越え中

図2. 車輪モデルの段差乗り越え時の様子

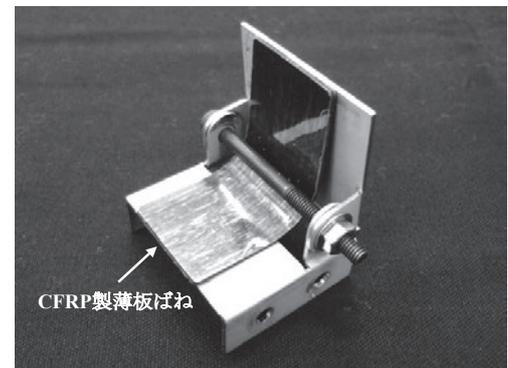


図3. ばね機構

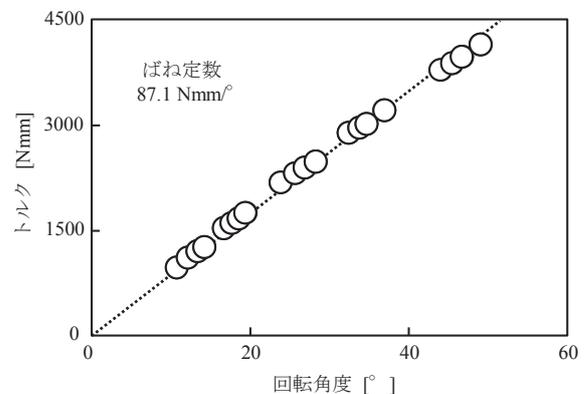
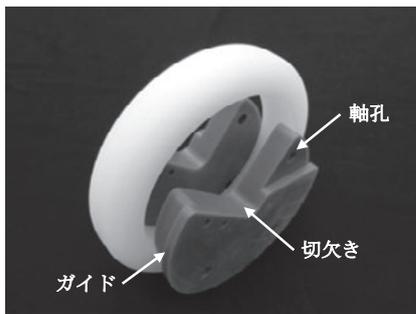


図4. ばね機構のトルクと回転角度の関係

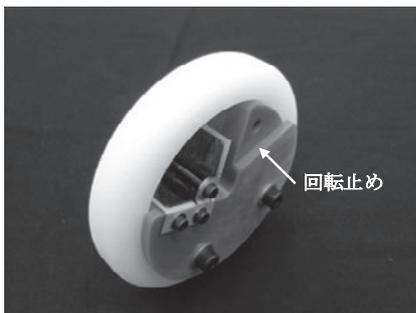
用いて内輪の切欠き部に固定した。このように車輪内にばね機構を設けることで、キャスターの構造をコンパクトにできる。図5(d)に示すように、二股状の車輪支持部材の内側に車輪を設置し、車輪支持部材の下部に設けた孔と内輪に設けた孔に車軸を通すことによって両者を固定した。また、内輪が当初の位置から車軸を中心として進行方向前方へ回転移動できないように、車輪支持部材の端部の一部と内輪の側面に設けた平坦部（回転止め）に接地させた。



(a) 外輪



(b) 内輪取り付け



(c) ばね機構取り付け



(d) 車輪支持部材取り付け

図5. キャスターの組立工程

4. 検証実験

4.1 段差乗り越え工程 図6にキャスターの段差乗り越え工程を示す。平地を走行中は、外輪が内輪を軸として回転することによりキャスターが前進する。図6(a)に示すように、キャスターが段差に到達すると、内輪に取り付けたばね機構によって衝撃力を吸収する。乗り越え開始時は、図6(b)に示すように、段差からの水平反力により、内輪が車軸を中心として進行方向後方に回転移動する。このとき、内輪にあるばね機構が閉じるように変形する。

ある程度、乗り越えが行われると、図6(c)に示すように、内輪の後方回転移動が停止し、その姿勢を保持したままで段差乗り越えを行う。その後は、図6(d)に示すように、ばね機構の復元力によって内輪が進行方向前方に回転移動し、最終的に当初の位置まで戻される。段差乗り越え後は、再度、外輪が内輪を軸として回転することによりキャスターが前進する。なお、本キャスターが段差を下る際には、偏心機構が働かず、従来型のキャスターと同様の機能となる。

4.2 段差乗り越え力 図7に検証実験の様子を示す。図に示すように、車輪を車輪支持部材の代わりとなるアルミ製の治具(0.68 kg)に固定し、さらに、アルミ製治具の上に錘(1.3 kg)を積載した。万能試験機(AG-100kNX)を用いて、段差ブロック(高さ: 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm)を1000 mm/minの速度で移動させ、段差ブロックに加わる抵抗力(=車輪の段差乗り越え力)を計測した。また、比較のために外輪(外径: 150 mm, 内径: 110 mm, 幅: 30 mm)と内輪から構成され、車軸位置が車輪の回転中心にある従来型のキャスターについても同様の試験を行った。

図8に検証実験で得られた段差乗り越え力の時間変化(段差高さ40 mmの場合)を示す。図に示すように、従来品では段差到達直後、瞬間的に乗り越え力が最大値まで上昇することがわかる。一方、開発品では、偏心機構およびばね機構の働きにより、最大値に達するまで徐々に乗り越え力が上昇することがわかる。

図9に最大段差乗り越え力と段差高さの関係を示す。図より、従来品と比較して開発品では、高さ20 mmおよび40 mmの段差において、最大乗り越え力をそれぞれ約10%および20%低減できることがわかる。以上より、本研究で開発したキャスターは従来のキャスターよりも段差を乗り越えやすいということが明らかとなった。

5. まとめ

本研究では、簡易でコンパクトな構造でありながら、段差衝突時の衝撃力を吸収し、段差乗り越えに労する力を低減できるキャスターについて検討した。以下に、得られた結果を示す。

- (1) 理論的に車軸位置を進行方向前方・上方に大きく偏心させればさせるほど、段差乗り越え力の低減に有効となる。
- (2) 車軸位置を偏心させたキャスターを製作する際には、

傾斜した車輪を復元するための機構が必要となる。

- (3) 従来品と比較して開発品では、高さ40 mmの段差において、最大乗り越え力を約20%低減できる。

本研究で開発した段差乗り越えキャスターは特許出願中(特願2015-132390, 名称:車輪構造体)である。今後は、本キャスターの性能を活かすことのできる福祉・介護産業(車いす, シルバーカーなど), 子育て支援産業(ベビーカーなど), ロボット産業(レスキューロボットなど)への応用展開を目指す予定である。

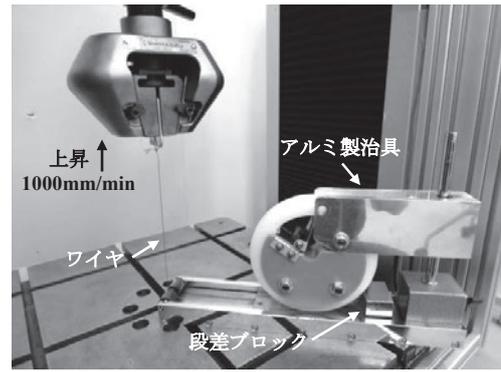
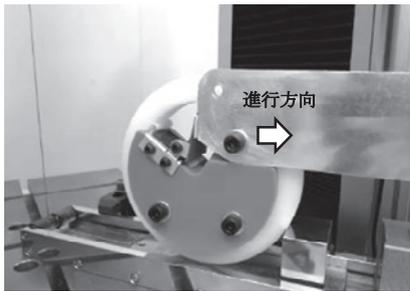
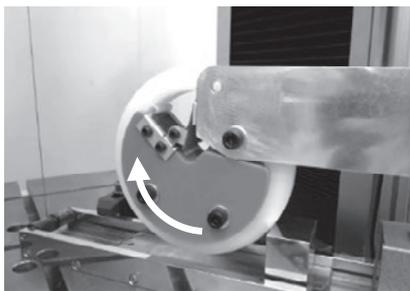


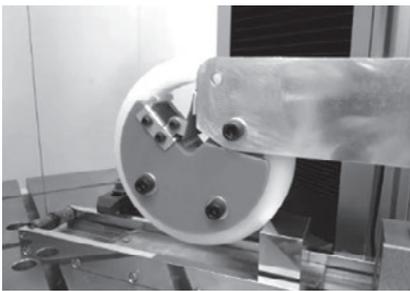
図7. 検証実験の様子



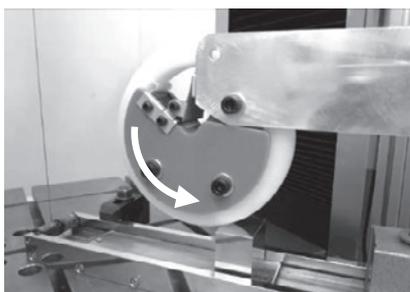
(a) 段差到達(ばね機構による衝撃吸収)



(b) 乗り越え開始(車輪の後方回転移動)



(c) 乗り越え中(姿勢保持)



(d) 乗り越え後(車輪の前方回転移動)

図6. キャスターの段差乗り越え工程

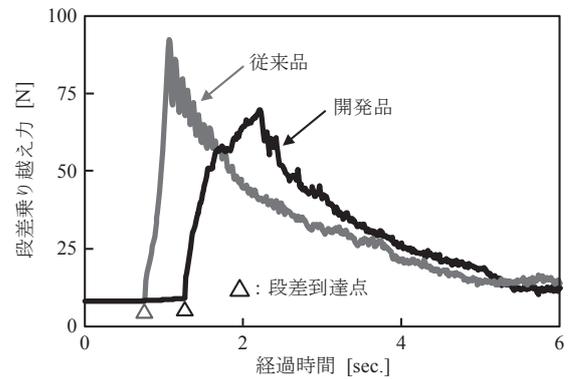


図8. 段差乗り越え力の時間変化

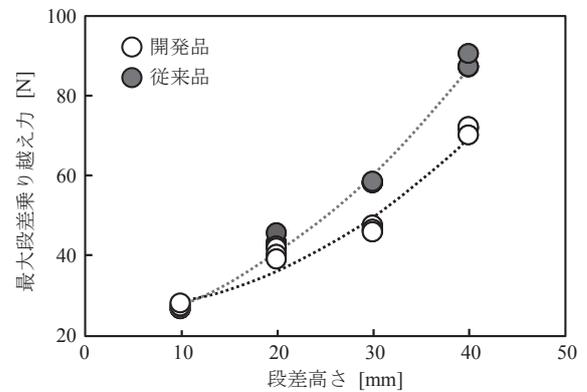


図9. 最大段差乗り越え力と段差高さの関係

(平成27年7月13日受付, 平成27年7月28日再受付)

文 献

- (1)特開平10-234783:「車椅子に適する段差走行型車輪装置およびその車輪装置を装備した車両」
- (2)特開平10-297206:「車椅子前輪に装着する振り子式自動段差解消器」
- (3)特開2001-334804:「キャスター」
- (4)特開2006-131203:「車輪構造体及び車輪構造体を有する車輛」