

車椅子用段差乗り越えキャスタの開発

Development of Step-Climbing Casters for Wheelchairs

○ 水谷昌平（東京理科大院） 山崎楠人（東京理科大） 林隆三（東京理科大）

宮澤邦幸（かつしか異業種交流会） 三浦義章（かつしか異業種交流会）

Shohei MIZUTANI, Tokyo Univ. of Science

Kusuto YAMAZKI, Tokyo Univ. of Science

Ryuzo HAYASHI, Tokyo Univ. of Science

Kuniyuki MIYAZAWA, Katsushika Igyoushu Kouryukai

Yoshiaki MIURA, Katsushika Igyoushu Kouryukai

Abstract: One of the hardest action for caregivers is to make a wheelchair with a person on climb a step. In order to reduce burdens of the caregivers, assistive products to ease burdens of step-climbing action are desired. The purpose of this study is to devise a mechanism to reduce caregivers' burdens of step-climbing action and to develop casters with the devised mechanism. Prior to the development of the step climbing mechanism, measuring experiments of forces a caregiver apply to a wheelchair in a step-climbing action is conducted using normal casters. In reference to the result of the experiment using the normal casters, the authors devise step-climbing casters. Measuring experiments of forces a caregiver apply to a wheelchair in a step-climbing action is conducted using the developed step-climbing casters. The result of the experiment indicates that the step-climbing casters reduce the total maximum force necessary to make a wheelchair climb a step.

Key Words: Wheelchair, Step-climb, Caster, Barrier free, Caregiver

1. 緒言

現在，国内において”老々介護“を行う世帯が増加しており，平成25年の介護の状況に関する調査によると，在宅介護を行っている世帯の約7割で介護者の年齢が60歳以上となっている⁽¹⁾。このような現状を踏まえると，今後は介護者の負担を減らすことを目的とした製品の需要が増加すると考えられる。

著者らは，介護者の負担が大きい動作のうち，車椅子の段差乗り越え動作に着目した。大きな力を加えることが難しい高齢者が車椅子を押す介護者となったとき，人を乗せた車椅子での段差乗り越え動作は大きな負担となる。そこで本研究は，車椅子に装着することで段差乗り越え動作時の介護者の負担を軽減することができる機構を考案し，その機構を備えた車椅子用前輪キャスタを開発することを目的とする。

電気などの動力を用いた段差乗り越え機構⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾は既に研究や開発がなされているが，メンテナンスが必要なことや，導入に大きな費用がかかることが欠点である。動力を用いずに段差を乗り越えるための機構⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾も研究されているが，いずれも要介護者が一人で段差を乗り越えるときの負担軽減を目指したものであり，介護者の負担を軽減するための機構ではない。そこで本研究では，動力を用いず，パッシブな機構により段差乗り越え動作時の介護者の負担を軽減できる車椅子用キャスタの開発を目指す。

キャスタの開発に先立ち，まずは通常のキャスタを用いて段差乗り越え時に介護者が車椅子に加える力の測定を行う。その結果から介護者が車椅子に加えている無駄な力を明らかにし，その力を段差乗り越えのための有効な力に変換できる機構を考案する。さらに，考案したキャスタを用いて段差乗り越え時に介護者が車椅子に加える力の測定を行い，考案したキャスタの介護者の負担軽減に対する有効性を評価する。

なお，本研究で開発するキャスタを，本論文では段差乗り越えキャスタと称する。

2. 通常キャスタを用いた実験

段差乗り越え動作において介護者がどのように車椅子に力を加えているかを明らかにするため，通常車椅子を用いて段差乗り越え動作時に介護者が車椅子に加える力の測定を行った。

ひずみゲージをハンドルとティッピングレバーに貼り付けることにより加えられている力の大きさと向きを推定する。また，2ヶ所に取り付けたレーザ変位計を用い，車椅子の姿勢（角度）も同時に測定した。乗り越える段差の高さは72mmとした。図1に実験に用いた車椅子を，図2にひずみゲージとレーザ変位計を取り付けた位置を示す。図3に示すように，車椅子に手から加わる力の大きさを F_h ，足から加わる力の大きさを F_p ，手から加わる力の角度を θ_h ，足から加わる力の角度を θ_p ，車椅子角度を φ とする。



Fig.1 Wheelchair used in the experiment

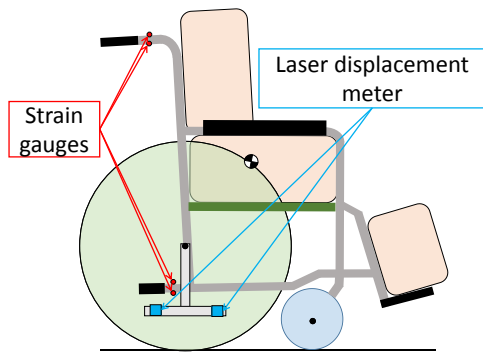


Fig.2 Attaching position of strain gauges

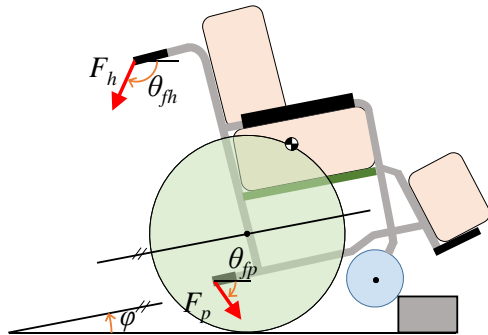


Fig.3 Values measured in the experiment

2.1 ひずみゲージによる力の測定方法

図4に示すように上下にひずみゲージを貼り付けた水平な片もち梁に加わる力の大きさを F ，力の角度を θ ，引っ張り力を F_t ，曲げ力を F_b ，上部に貼り付けたひずみゲージが測定するひずみを ε_1 ，下部に貼り付けたひずみゲージが想定するひずみを ε_2 とする。

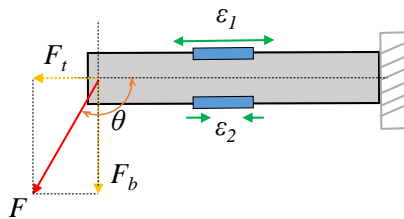


Fig.4 The cantilever to which strain gauges are attached

断面積 A とヤング率 E ，断面係数 Z を用いて引っ張り力は式(1)，曲げ力は式(2)により求まる。また求めた引っ張り力，曲げ力より力の大きさと角度は式(3)，式(4)により求まる。

$$F_t = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)AE/2 \tag{1}$$

$$F_b = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)ZE/2L \tag{2}$$

$$F = \sqrt{F_t^2 + F_b^2} \tag{3}$$

$$\theta = \arctan(F_t/F_b) + 90 \tag{4}$$

車椅子のハンドル，ティッピングレバーを図4に示した片もち梁と同様に考え，ひずみゲージによる測定値を基に式(1)~(4)により加わる力の大きさと向きを推定する。

2.2 レーザ変位計による角度の測定方法

図5に示すようにレーザ変位計間の距離を L ，車椅子進行方向前方に設置したレーザ変位計が計測する距離のうち水平に置かれた時のものを H_1 ，傾斜した時のものを H_1' ，車椅子進行方向後方に設置したレーザ変位計が計測する距離のうち水平に置かれた時のものを H_2 ，傾斜した時のものを H_2' ，車椅子の角度を φ とする。

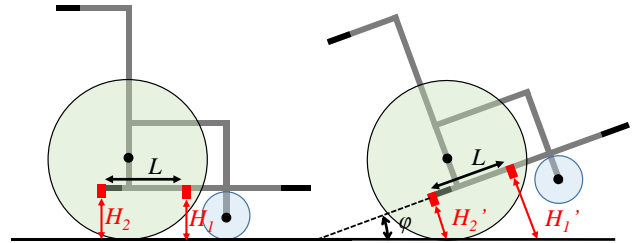


Fig.5 The wheelchair to which Laser displacement meters are attached

車椅子の角度 φ は式(5)により求まる。

$$\varphi = \arctan\left\{\left(H_1' - H_2'\right)/L\right\} - \arctan\left\{\left(H_1 - H_2\right)/L\right\} \tag{5}$$

2.3 通常キャストを用いた実験の結果

前述の方法により段差乗り越え動作時に介護者が車椅子に加える力を推定した。得られた車椅子の角度と介護者が印加する力の関係を図6，図7に示す。図6は車椅子の角度と力の大きさの関係，図7は車椅子の角度と力の角度の関係である。なお，本実験においては，ハンドルに加わる力は片手分しか計測していないため，図6の F_h は測定した一方のハンドルに加わる力の大きさを2倍して示している。

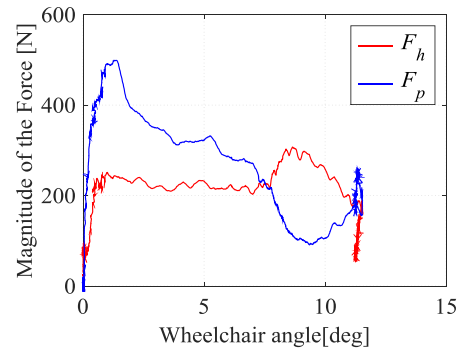


Fig.6 Magnitude of the force

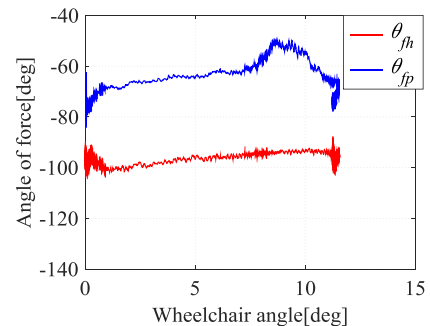


Fig.7 Angle of the force

図6より，段差乗り越え動作において最も大きな力が加わるのは，乗り越え動作開始時であることがわかる。また，図7より，加える力の角度は手，足共に大きく変化していないことが確認できる。これらの計測結果を基に，ハンドルとティッピングレバーから車椅子に加えられる力の水平方向成分の和 F_{hor} を，式(6)により算出した結果を図8に示す。力の大きさは車椅子進行方向を正としている。

$$F_{hor} = F_h \cos \theta_{fh} + F_p \cos \theta_{fp} \quad (6)$$

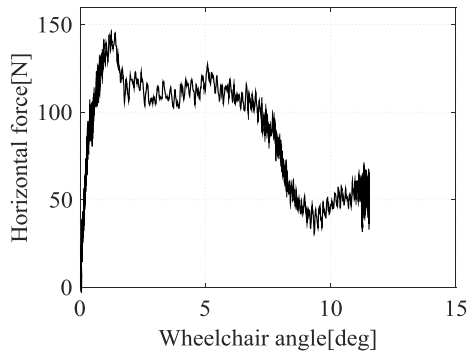


Fig.8 Horizontal force

図8より，介護者が車椅子に加える力の水平方向成分は0ではなく，車椅子を段差に押し当てる向きに力を加えていることがわかる。車椅子に働く力の水平方向の釣り合いを考えると，介護者が加える力は段差から前輪を介して押し返される力と釣り合っていることから，この力は段差の乗り越えに寄与しておらず，無駄になっている力であると考えられる。本研究ではこの無駄な力に着目し，この力を段差乗り越えに寄与する向きの力へと変換する機構を前輪部分に設けることにより，段差乗り越え時の介護者の負担軽減を図る。

3. 段差乗り越えキャスタ

段差から車椅子に加わる力を利用して段差乗り越え動作を補助する機構として，図9のような機構を備えたキャスタを提案する。前輪の前方に突き出た補助輪が段差により押されることでアームが回転し，アーム部の回転が歯車を通してラックを押し下げることにより下部の補助輪が床面を押し，前輪が持ち上がる機構となっている。また，通常キャスタを用いた実験の結果から段差乗り越え動作開始時に最も大きな力が加わることが確認できたので，段差乗り越え動作開始時に必要な力を軽減するために一定の長さまでばねの力でラックを押し下げる機構も組み込む。

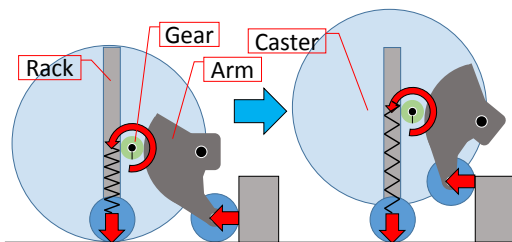


Fig.9 Overview of the mechanism of the step-climbing casters

実際に作成した段差乗り越えキャスタの試作品を図10に示す。提案する機構は2枚の前輪の間に備えられている。



Fig. 10 Prototype of step-climbing casters

4. 段差乗り越えキャスタを用いた実験

前述の通常キャスタを用いた実験の方法と同様の方法により，段差乗り越えキャスタの試作品を用いて実験を行い段差乗り越え動作時に介護者が印加する力を測定した。

通常キャスタを装着した状態と段差乗り越えキャスタを装着した状態それぞれの場合について4人の被験者に段差乗り越え動作を行ってもらった。被験者1, 2は通常キャスタを先に，3, 4は段差乗り越えキャスタを先に用いて実験を行った。

各キャスタを装着して実験を行ったそれぞれの結果について手と足の力の大きさの合計を求めた。例として被験者1の結果を図11に被験者2の結果を示す。

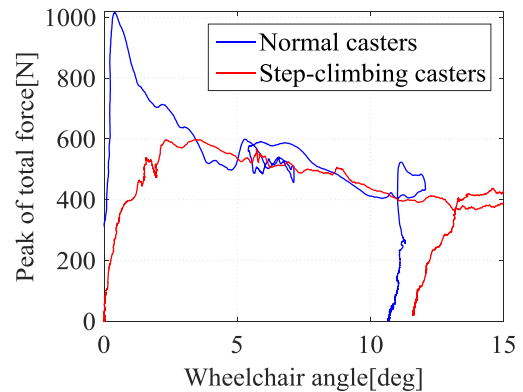


Fig.11 Experimental result of subject 1

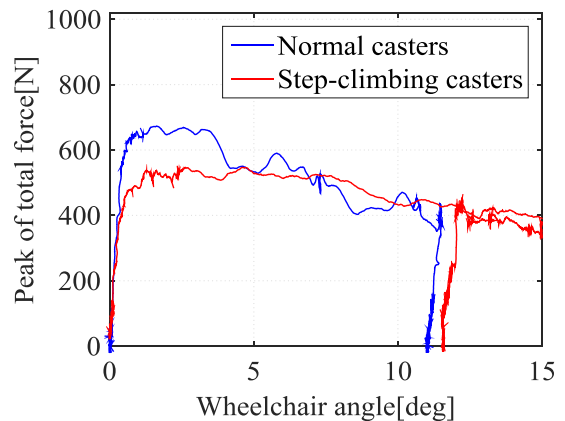


Fig.12 Experimental result of subject 2

図 11, 図 12 より通常のキャストを用いた実験，段差乗り越えキャストを用いた実験共に段差乗り越え動作開始時に大きな力が加わっており，段差乗り越えキャストを用いる事で段差乗り越え動作開始時に必要な力が軽減されていることが確認できる。

段差乗り越えキャストの介護者の負担軽減に対する有効性の評価のため， F_h と F_p の合計のピーク値を比較する。ピーク値を抜き出し棒グラフとして表示したものを図 13 に示す。

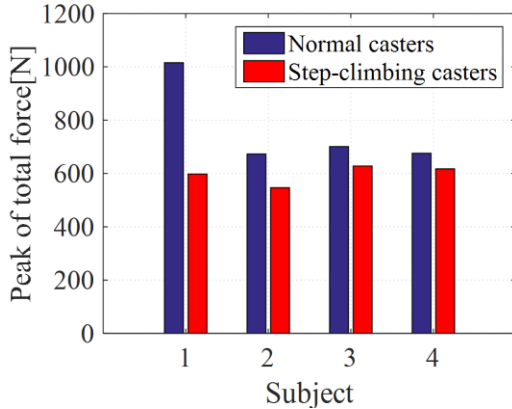


Fig. 13 Comparison of the total force's peak

図 13 より段差乗り越えキャストを用いることにより，すべての被験者の結果において，加えた力の最大値が減少していることが確認できる。被験者 1, 2 に比べ被験者 3, 4 は段差乗り越えキャストによる力の最大値の低減効果が小さく，このことから，段差乗り越えキャストの効果には，段差乗り越え動作に対する習熟も影響していると考えられるが，それでもすべての被験者に対して効果が表れていることから，段差乗り越えキャストは介護者の負担軽減に有効であるものと考えられる。

5. 結言

本研究では，車椅子による介護における段差乗り越え動作時の介護者の負担軽減を目指し，パッシブな機構により段差乗り越え動作に必要な力を軽減するための段差乗り越えキャストを開発した。本論文の内容を以下にまとめる。

- ・通常キャストを装着した車椅子を用い，段差乗り越え動作時に介護者が車椅子に加える力を測定した。
- ・測定結果から，段差乗り越え動作には前輪の持ち上げに寄与しない力が加わっていることを明らかにし，この力を，前輪を持ち上げる力に変換する機構を考案した。
- ・段差乗り越えキャストを装着した車椅子を用い段差乗り越え動作時に介護者が車椅子に加える力を測定し，その結果，段差乗り越えキャストは介護者の負担軽減に有効であるということを示した。

参考文献

- (1)平成 25 年 国民生活基礎調査の概況,(online), available from <<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa13/index.html>> , (accessed 2016-05-26).
- (2)森善一，勝村薫，永瀬勝也，自走用車椅子使用者のための段差移動補助機の開発,日本機械学会論文集 vol.80 (2014) No.820 p.DR0381

- (3)池田英俊，勝俣嘉一，庄司道彦，高橋隆行，中野栄二，車輪型ロボットと車いすによる協調段差乗り上げ手法，日本ロボット学会誌 Vol.26, No.2, pp.200 - 209 (2008)
- (4)山本剛，竹森史暁，アーム駆動型車椅子の段差移動のための軌道計画とその制御，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2011, 2P1-G03(1) - 2P1-G03(4)
- (5)中西義孝，日垣秀彦，和田 健吾，花田正人，宮川 浩臣，車いすの改良による段差・スロープ・片流れ路面での操作性の変化，ライフサポート Vol.14, No.1,pp.8 - 13(2002)
- (6)三川智行，栗原 伸夫，段差乗り越え機構付き車椅子，福祉工学シンポジウム講演論文集 (2002), pp.27 - 29
- (7)岩本太郎，出木谷慧，西尾鮎美：車椅子の段差乗り越え機構の比較実験，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 (2009), 1P1-L10(1) - 1P1-L10(4)