

車いすでの移動範囲拡大を目指すクモの移動を用いた 段差乗り越え車輪動作の力学的解明

Self-Propelled Wheelchair with Step-Climbing Wheel Device : Analysis and Realization

2171001



研究代表者	宮崎大学大学院 工学研究科	准教授	李 根 浩
共同研究者	宮崎大学大学院 工学研究科	研究員	白 石 聖 稀

【研究の目的】

日本では高齢化の進行により、杖や歩行器、車いすなど様々な福祉機器が使用されている。特に福祉機器使用者の移動補助を行うための機器として車いすが日常生活の中で多く用いられる。しかしながら、車いすを使用するうえでの問題として、車いすの車輪が段差を乗り越えることが困難であるということが挙げられる。特に、車いすの前輪は後輪と比較して車輪径が小さいため、より段差の乗り越えが困難である。そのため、一般的に車いすで段差を乗り越える際には前輪を持ち上げる操作方法が用いられている。まず、介助者がいる場合について述べる。介助者が車いすの前輪を持ち上げる際には、車いす後方でグリップを持ち、足元にあるティッピングレバーを踏むという操作を行う。この操作により後輪が支点、グリップ部が力点となり、てこの原理で前輪を容易に持ち上げることができる。このように前輪を持ち上げることで、段差を上れない小さな車輪を前輪に持つ車いすでの段差乗り越えを実現する。次に介助者がいない場合について述べる。介助者がいない場合は、搭乗者自身で段差乗り越えを行う必要がある。低い段差であれば平地での移動と同様に、後輪を回転させることにより乗り越えることが可能である。しかしながら、段差の高さが高くなるにつれ力が必要となり乗り越えが困難になる。

また、搭乗者による段差乗り越えでは、介助者がいる場合と同様に前輪の持ち上げを行うウィリーという操作方法がある。この操作により搭乗者一人での段差乗り越えが可能となるのだが、技術の習得が必要となる。また、転倒の危険性や、高齢者などの力の衰えのある人には困難であるという問題がある。以上のように、車いすを使用した移動では段差が移動の妨げとなり活動範囲が制限されてしまう。

本研究では自走式車いすの活動範囲を広げるために段差乗り越え時の力負担を軽減する車いす前輪の開発及び段差乗り越え時の車輪動作の力学的解析に取り組む。提案する車輪機構は、軸移動動作を行うことで車いす前輪の車輪径を疑似的に変化させ、段差乗り越えを行う。また、一輪での機構を実現することにより車いすの移動性を維持することができ、既存車いすと変わらない使用感覚を維持する。図1に提案する車輪機構のコンセプト図を示す。

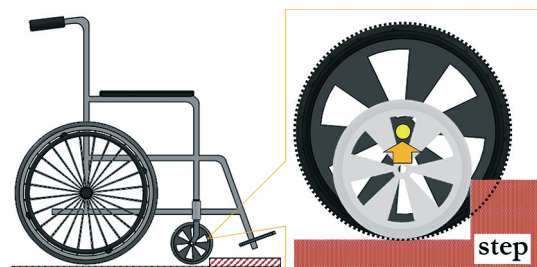


図1 車輪機構コンセプト

[研究の内容, 成果]

本研究における車輪機構では軸移動という動作により段差を乗り越える。軸移動動作とは車輪中心にある軸の位置を、段差乗り越え時のみ地面から高い位置に移動するという動作の事である。既存の車輪と軸移動動作を行う車輪での段差乗り越え時に必要な車軸に与える水平力について述べる。図 2, 図 3 に車輪中心に軸がある場合と軸移動を行った場合それぞれの車輪の解析図を示す。車輪が段差を乗り越え始めるための条件は車輪と段差の接点を中心としたモーメントによって求めることができる。ここで、車いす前輪と段差との接点を p_1 、車いす前輪方向を $\vec{x}_f$ 、 $\vec{x}_f$ から反時計回りに 90 度回転させた軸を $\vec{y}_f$ 、 $\vec{x}_f$ と $\vec{y}_f$ の交点を O、 p_1 から $\vec{x}_f$ に垂線を引いた時の交点を p_2 、 p_1 から p_2 までの距離を

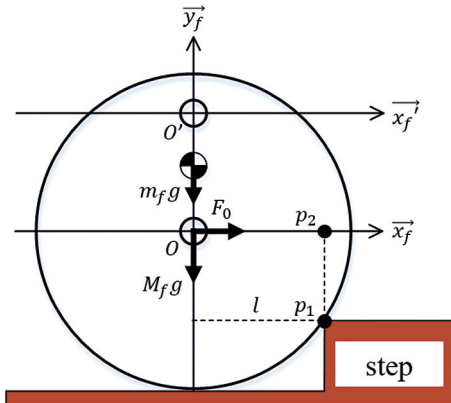


図 2 段差乗り越え時の車輪解析

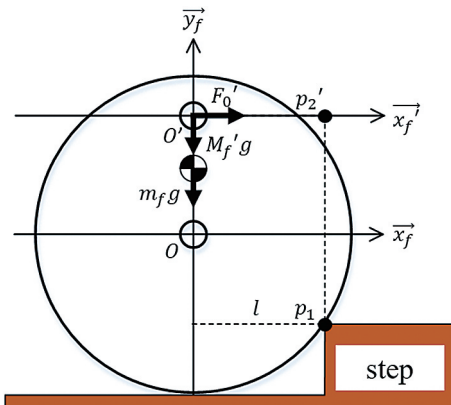


図 3 軸移動動作による車輪解析

$|p_1 p_2|$ 、車いす前輪の質量を m_f 、車いす前輪にかかる荷重を M_f 、後輪にかかる荷重を M_r 、重力加速度を g と定義する。また、軸移動後の穴の位置を O' とし、 $\vec{x}_f$ に並行で O' を通るように引いた線を $\vec{x}_f'$ 、 p_1 から $\vec{x}_f'$ に垂線を引いた時の交点を p_2' 、 p_1 から p_2' までの距離を $|p_1 p_2'|$ 、軸移動動作後に車いす前輪にかかる荷重を M_f' 、後輪にかかる荷重を M_r' とする。このとき、車いす前輪に与える水平力 F によるモーメントが、車輪質量と車いす前輪に掛かる荷重によるモーメントを超えた時に車輪は段差を乗り越え始める。車輪が段差を乗り越え始める条件は

$$(M_f + m_f)g \cdot l \leq F \cdot |p_1 p_2| \quad (1)$$

となり、水平力 F についてまとめると以下のようになる。

$$F = \frac{l}{|p_1 p_2|} (M_f + m_f)g \quad (2)$$

また、軸移動を行った場合の段差乗り越えについては

$$(M_f' + m_f)g \cdot l \leq F' \cdot |p_1 p_2'| \quad (3)$$

と表すことができ、水平力 F' についてまとめると以下のようになる。

$$F' = \frac{l}{|p_1 p_2'|} (M_f' + m_f)g \quad (4)$$

評価実験を行うために製作した車輪機構について述べる。本研究における車いすは、自走式車いすフレーム、車輪機構、スイッチ操作部を含めた制御装置で構成されている。図 4 に示すように、車輪機構は既存の自走式車いす前輪の左右輪を取り外し、左右に一輪ずつ取り付けてある。制御装置及びバッテリーは車いす後方に位置しており、機構動作を行うためのスイッチは肘掛け部とグリップ部にそれぞれ位置している。車輪機構は Solidworks (3D CAD) を使用しての設計を行った。本研究で使用した既存の車いす前輪サイズと同等にするため車輪径は 155 mm となっている。また、車輪幅 55 mm,

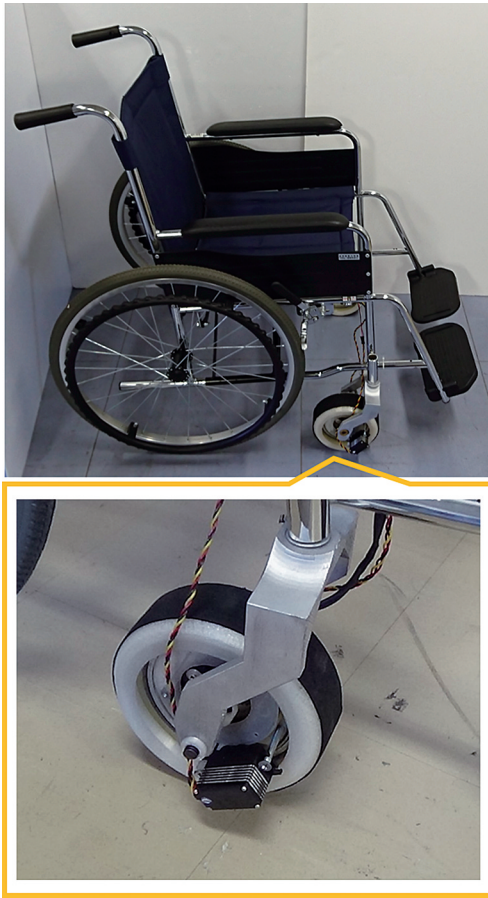


図4 車輪機構外観

軸の伸縮動作及び軸移動動作を行うためにモータを使用している。

製作を行った車輪機構を用いた評価実験について述べる。段差乗り越え時の力を計測するために、フォースゲージを使用した。水平力計測を行う部分にひもを取り付け、フォースゲージを用いて地面に対して水平にけん引を行った。また、車輪機構を使用した段差乗り越え一連動作においては車いすの転倒が起らないように、使用者及びセンサによる機構動作停止機能を備えての実験を行った。まず、段差乗り越えに必要なとなる車軸に与える水平力について述べる。本論文において case-1 が車輪中心に車軸がある場合、case-2 が軸移動を行った場合を示している。水平力の測定は車いす前輪が段差に接している状態から行い、乗り越え始めた際の力を結果とした。また、今回の実験では車輪半径までの段差において、使用するフォースゲージ

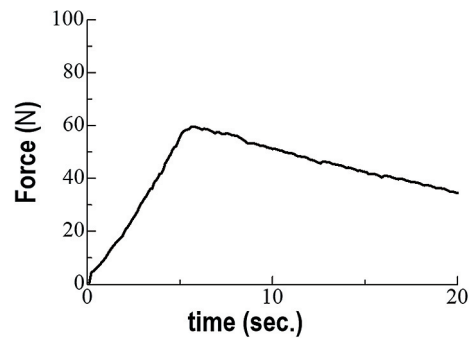


図5 水平力測定（段差高さ 40 mm）

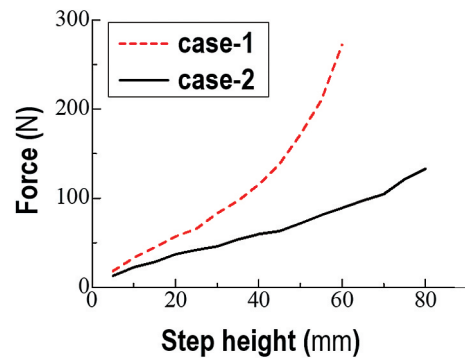


図6 各段差における水平力測定結果

の測定可能範囲内での測定が行えるように車いすには人が搭乗しない状態で行った。車いすは段差に対して正面から乗り越えることを前提とした。乗り越える段差の高さは5 mm 毎増加させていき、各段差での測定を行った。測定箇所としては、車いす前輪の車軸にワイヤを取り付け、フォースゲージを用いて車いす左右幅の中央位置を地面に対して水平にけん引を行った。図5及び図6に車いす前輪の水平力測定結果を示す。測定結果より、車輪中心に軸がある場合 (case-1) と比較して軸移動を行った場合 (case-2) ではより小さな水平力での段差乗り越えが行えていることがわかる。また、同じ水平力を与えた場合に、乗り越えることが可能な段差の高さも軸移動を行うことで大きくなっていることが確認できる。

[今後の研究の方向, 課題]

高齢化の進行に伴い車いすが多くの場所で使用されている現在, 日常生活における車いすの利便性を高める必要がある。また, 老々介護が増加していくであろう今後は, 介助者の負担を軽減することも必要となってくる。開発した車いす用の前輪は, 段差乗り越え時の力負担を軽減し, 機器を使用した移動可能範囲拡大を可能とした。このことは, 車いす使用者及び介助者共に使用時の負担軽減を実現し, 車いすの利便性を高めることに貢献できる。今後の課題としては, 乗り越える段差の高さに適した軸移動の高さ制御が可能な機構の開発を行うことで, 段差乗り越え時の車いすの揺れを抑える必要があると考える。また, 段差乗り越え時に車輪機構の方向を固定することでより安定的な乗り越え動作が可能になると考える。さらに, 今後は高齢者を含めた様々な人に車いすを使用していたき, 快適な段差乗り越えを行うための機構動

作や制御手法についても考慮する必要がある。

[成果の発表, 論文等]

- [1] 白石聖稀, 李根浩: 介助者及び利用の力負担を軽減する車椅子の研究開発, 第24回技・研究発表交流会, 2017年
- [2] S. Takaira, M. Shiraishi, C.F. van Eeden and Geunho Lee: Foldable Front Legs Based Shape-Changing Crawler Capable of Constant Pose Locomotion over Rugged Terrain, Proc. Int. SICE Annual Conference, pp.624-627, 2017
- [3] 白石聖稀, 李根浩, 井戸川拓馬: 車いすへの統合を目的とした段差乗り越え時の力負担を軽減する車輪機構の開発, 日本機械学会九州支部久留米講演会, 2017年
- [4] M. Shiraishi, Geunho Lee, T. Idogawa: Force and Operation Analyses of Step-Climbing Wheel Mechanism by Axle Translation, Proc. 2nd Int. Symp. Artificial Intelligence and Robotics, pp.429-436, 2017
- [5] Geunho Lee, M. Shiraishi, H. Tamura, and K. Kawasue: Front Caster Capable of Reducing Horizontal Forces on Step Climbing, Proc. Int. Conf. Big Data Analysis, pp.233-239, 2018