

課題番号	Q21D-06
課題名 (和文)	変形車輪の伸縮機構の改善及び走行環境適応性の検討
課題名 (英文)	Improvement of stretch mechanism of deformed wheel and Study on Adaptability of running environment
研究代表者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 先端科学技術研究科 先端技術創成専攻 氏名 陳耀威 (チンヨウイ)
共同研究者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 未来科学学部 ロボット・メカトロニクス学科 教授 氏名 岩瀬 将美
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名

### 研究成果の概要 (和文)

多くの住民が便利な生活を送るために都市化が進められ、都市の土地が高密度で多様に利用されつつあり、更に高齢化社会の問題で、バリアフリー化の要求が深刻になった。本研究はインフラ以外の手段、段差や坂等多様化の都市地形をに対応する地形汎用型移動デバイスを考えました。

本研究は坂に走行するような安定的な姿勢で段差を走破することを考えた：段差と傾斜の異なる所はいくつの三角状の空間を車輪自身の構造の伸縮でその空間を埋め；平面にまた普通の円形に戻り、通常の走行を行う汎用移動方法を提案した。伸縮機構は、拡大円卓のカム機構を参考し、タイヤの放出状態で段差の形に合わせて伸縮、三角状の空間を埋めることを実現する。

本研究には、Solidworks キャドソフトでのシミュレーションと実物モデルによる実験結果を比較し、それらの結果を同一にする。また、車輪の有用性を定量的に解明する為に、対照組(収納状態円形車輪—拡大同一径の円形車輪—展開状態変形車輪)は同一段差モデルでシミュレーションし、変位、速度、運動エネルギー、必要なトルク等の定量的なデータを得た。さらに、段差スペックの違いによる走破性能への影響も、段差スペック(高さや角度)のパラメータを変えつつ、以上のデータを得て比較し、特徴を得た。

今後人乗りデモのため、強度を保つ上、変形車輪の金属モデルを作り、人搭載実験を行う。その実験結果をシミュレーションの結果を比較して、統一する。人搭載実用化向けの必要なデータをとると考えている。

### 研究成果の概要（英文）

In order to carry out the convenient life, the urbanization has been advanced. The land of the city is being used variously in high density, to meet the increased to meet the demand of barrier free because of the problem of the aging society. In this study, we will purpose a transfer device to run in diversities of urban terrain such as a step and a slope other than a method of infrastructure.

The purpose of this study is to run the step in the stable posture as running on the slope: we propose a general purpose method of running on a step like slope to fill some triangular space by stretch of the structure by the wheel itself; and returning to the circular wheel for running on a plane normally. The expansion mechanism refers to the cam mechanism of the enlarged round table, in order to fill the triangular space by the expansion and contraction of the tire according to the shape of step.

In this research, we will simulate the situation of deformed wheel running the step by SolidWorks CAD software to compare with the result of the real model, and confirm the results whether are consistent. In order to quantitatively analyze the usefulness of wheels, we sort out the control group(round wheel in storage status , expanded round wheel with the same radius, deformed wheel in unfolded state) to simulate with the same step. Through the simulation, we can earn the quantitative data such as displacement, speed, kinetic energy, and necessary torque were obtained. In addition, we will analysis the effect, which the difference of the step spec on the running performance, and change the parameters of the step spec (height and angle) to simulate the situation to obtain the data for comparison.

To carry out the human riding demonstration, we will keep the strength to make the metal model of the deformed wheel , and carry out experimentation the person carrying. The result of the simulation is compared and unified. We want to take the necessary data for the practical use of the human riding.

## 1. 研究開始当初の背景

本文（9ポイント：明朝）現在、高齢化社会の問題がより深刻化すると共に、都市化により地面状況が複雑になり、段差、階段等増えている。高齢者や要介助者の効率的な移動手段を考える必要がある。特に階段や段差等の不整地はどこにでもあり、都市部であっても遠回りやエレベーター等の手段を利用しなければならない。

このような段差でも移動できる車両として従来の車輪型、足型、クローラ型などが研究されている。車輪型は平面において効率で高速な移動が可能であり、足型は地形に頑健な移動が可能である。クローラ型はその中間的な性質をもち、それぞれのメリット・デメリットがある。

従来の研究では、それぞれのメリットを上手く利用している。大道らは、足型とクローラ型を融合し、蜘蛛のような段差面に歩く。松本らは、足型と車輪型を融合し、前後足を交代で上下移動し、その上下移動の高度差で段差を乗り越える方法を提案している。小柳らは、車輪型をベースにし、複数の車輪を使って、車輪の相対位置関係で段差を乗り越える方法を提案している。然し、以上のような段差走破する方法は、効率が悪く安定性が低い。平面から段差を走破するには、センサー等で段差を検知し、徐々に上り、連続走行するしかない。そして、段差上に走行する時は、車体の移動は安定ではない。特に足型タイプは、車体の上下動は明らかである。

そこで、本研究では、これらの良い性質を兼ね備えた新しい移動デバイスの実現を目指す。車輪が平面において高効率・高速性であることを保持しながら、これに可変径ハブを加えて、段差等の不整地に対応できる変形車輪を、新たな段差克服方法として提案し、その実用性を検討する。

## 2. 研究の目的

本文（9ポイント：明朝）車輪は平地において効率的に移動できることから、古来から現代まで多くの車両に使われている。しかし階段などの段

差は走行が困難である為、車両の移動範囲に大きな制約ができてきた。これから高齢化社会がさらに深刻化すると、車椅子などの車輪型移動補助具やパーソナルモビリティへの需要が益々増えると予測される。ゆえに段差を乗り越える車輪にニーズが生まれることは必至である。

本研究では、この背景を鑑み、安定して段差を走行できる新しい移動デバイスの実現を目指す。平地において高効率・高速性である車輪の性能を保持しながら、これに車輪の直径変化機構と段差の乗り越え機構を兼備した変形車輪を提案し、段差等の不整地に対応できる新たな段差走破デバイスとしてその実用性を高める。

## 3. 研究の方法

本文（9ポイント：明朝）本研究が、二つ部分で構成されており：①機構再設計；②適応性の検討。

**【機構再設計】** 本研究で提案する変形車輪は、中国の拡大円卓の変形機構を参考し、1つの円盤に湾曲したアームをフットの数だけ取り付け、円盤の回転角によりアームの他端につけたスライディングブロックが放射状に移動し車輪の直径変化をもたらすものである。平地走行時はアームを円盤に沿わせスライディングブロックを回転軸に近づけることで、通常の「車輪モード」にすることができる。一方、階段などの段差を昇降する直前に円盤を回転させアームを展開し、スライディングブロックを放射状に広げる「展開モード」にすることができる。段差移動時には、段差に当たる部分のフットが半径方向に収縮することで、段差の形に沿って安定した状態で移動することが可能になる。なお、この車輪は3年前にイノベーションジャパン 2019 展覧会で発表し、可変ハブを通してハブに連結するタイヤが伸縮可能な車輪の改良型である。可変ハブを利用した車輪は部品数が多く、変形に大きなトルクを要するという課題があった。そこで円盤と湾曲アームを用い

ることで部品数を半分以上削減し、変形に要するトルクも大幅に削減した。

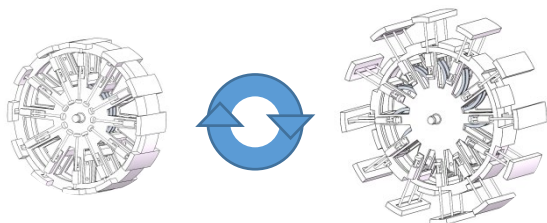


図1 改良型I変形車輪

(左：円形状態；右：展開状態)

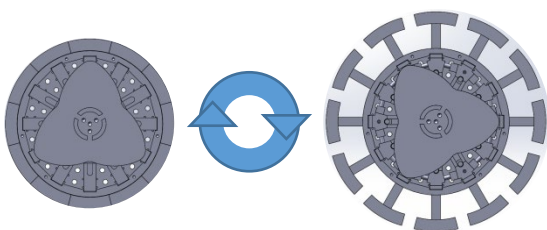


図2 IJ2019 可変ハブ変形車輪

(左：円形状態；右：展開状態)

【適応性の検討】本研究は Solidworks の Motion 分析機能で、変形車輪の適応性シミュレーション(比較組と地形組)を行う。合わせて、Motion 分析で、比較組と地形組のデータを取った。

比較組は変形車輪の円形状態、変形車輪展開状態と同じ径の円形車輪、変形車輪の展開状態三つの車輪を三段段差で(高さ 10cm、深さ 25cm)走らせる。

それぞれの変位、速度、運動エネルギー、エネルギー消費、モータートルクを記録し、比較する。

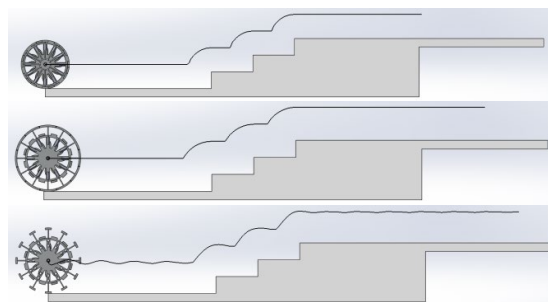


図3 比較組

(上：円形状態；中：変形車輪展開状態と同じ径の円形車輪；下：展開状態)

地形組は段差スペックの影響を図るため、段差の高さと角度を微調整する。高さを 1cm から 10cm まで 1cm ずつ増え、角度を 20° から 45° まで 5° ずつ増えるパターンで、二つのパラメータを任意で組んだ段差スペックで、変形車輪走行の変位、速度、運動エネルギー、エネルギー消費、モータートルクを記録し、段差の高さや角度それぞれ影響を解明する。

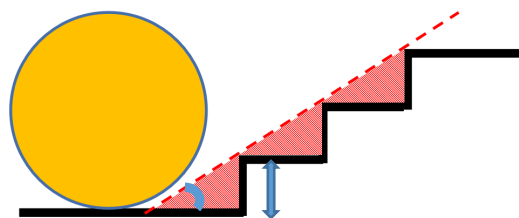


図4 段差スペック

また、シミュレーションの結果と連動するため、変形車輪を搭載した車両モデルを上らせて、データを取って、比較する。



図5 車両モデル

#### 4. 研究成果

本文（9ポイント：明朝）本研究の二つ課題：  
①機構再設計；②適応性の検討，に対しては，以  
下の成果を出た。

【機構再設計】はIJ2019バージョンが残った  
変形必須トルクという課題を大幅に減少してで  
きた。伸縮機構による負荷は変形にかけず，伸縮  
ユニットごと全体移動する方法で，単なるユニッ  
ト移動必須のトルクを克服すればの仕組みにア  
レンジした。

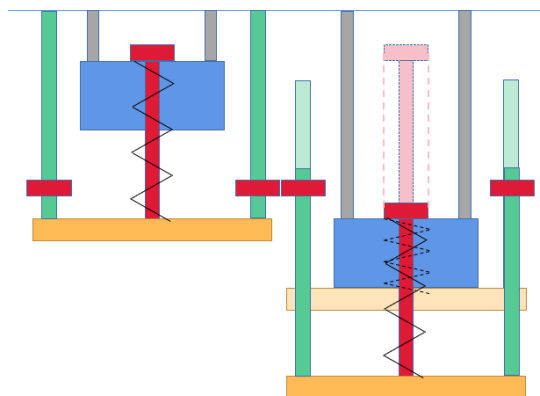


図6 改良版の伸縮ユニット

また，中国拡大円卓の機構を参考して，伸縮ユ  
ニットの移動方法を改善した。中央円盤の回転に  
より，アームでの繋がりを通して，伸縮ユニット  
の位置を切り替えることによって，径の变化する  
ことができる。この方法で機構運動必要なトルク  
をさらに減少した。

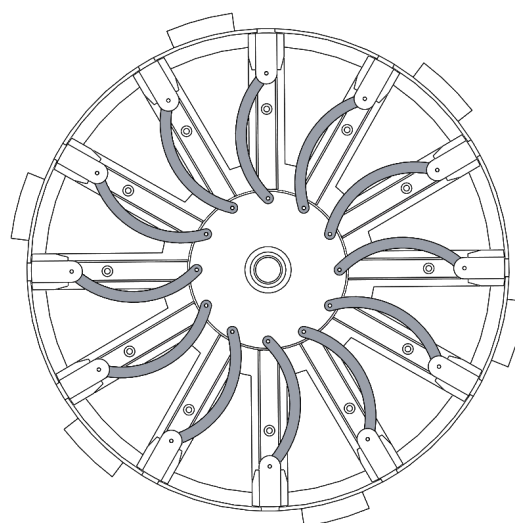


図7 改良版の変形機構

【適応性の検討】は変形車輪の走行性能をけん  
とうする。ここで変形車輪の円形状態、変形車輪展  
開状態と同じ径の円形車輪、変形車輪の展開状態  
三つの車輪状況を対照するの比較組と異なるス  
ペックの段差での影響を解明する地形組二つ方  
向で検討する。

比較組には，径の増大で，段差との衝突による速  
度の減衰は著しく減少し，段差の走行性能は明白  
に向上している。変形車輪の方は，その速度減衰  
は更に減少している。平面上には車輪の特徴で，  
少しの変動があるが，段差上での速度変化も大きい  
変動がない。

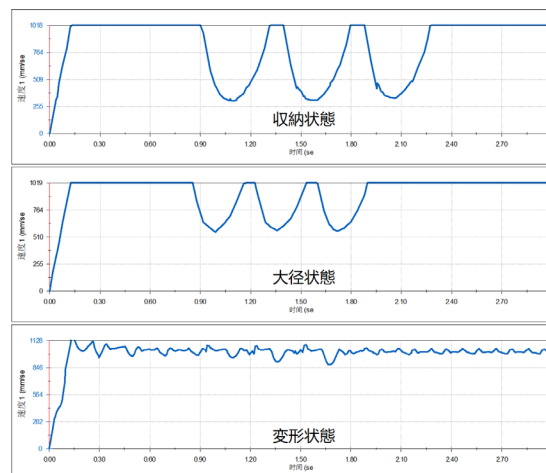


図8 比較組速度変化

トルクの場合は、径の増大による慣性モーメントは増大し、トルクは大きくなる；展開状態はそのトルクはまた減少していた。また三段段差の走行時間は、変形車輪の円形状態→変形車輪展開状態と同じ径の円形車輪→変形車輪の展開状態の順番で減少していた。一段にかかる時間は円形状態と比べ、展開状態の方は半分以上に短縮し、展開状態と同じ径の円形車輪と比べても、五分の二を減少できた。

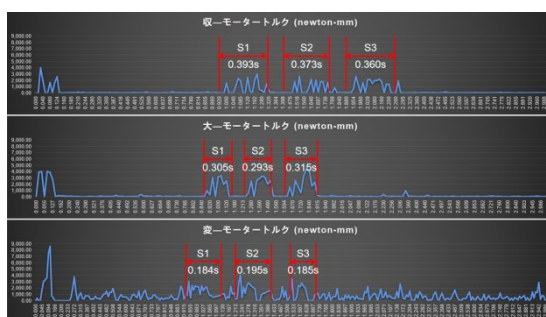


図9 比較組トルク変化

地形組は段差のスペック：高さや角度の影響を分析してきた。高さ 10cm の三段段差上で、段差角度の増大より、段差上の速度変化は大きくなる。また角度 45° の三段段差上で、段差高さの増大より、段差上の速度変化は大きくなる。

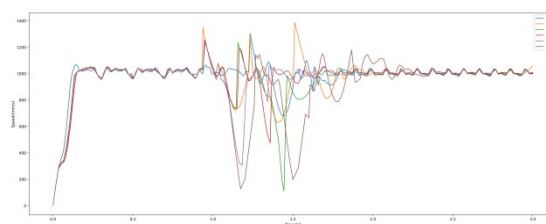


図10 地形組速度（高さ：10cm）

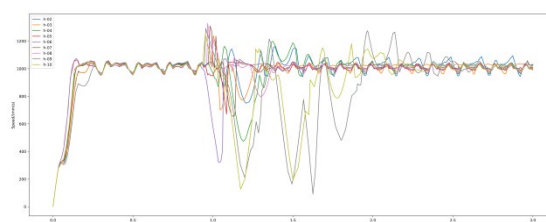


図11 地形組速度（角度：45°）

（研究代表者、共同研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

- ① Realization of A Deformable Wheel Adapting to Running Conditions (Yaowei Chen, Masami Iwase, Jun Inoue, Shoshiro Hatakeyama and Atsusi Suyama)  
Journal of Physics: Conference Series, Volume 1487, 2020 4th International Conference on Control Engineering and Artificial Intelligence (CCEAI 2020) 17-19 January 2020, Singapore 査読あり

## 5. 主な発表論文等