

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04272

研究課題名(和文) 鉄道車両へのシームレスな乗降を実現する、車椅子装着型手動踏破装置の開発

研究課題名(英文) Development of Add-on Unit of Manual Overcoming for Level and Clearance Gap on Seamless Use for Train of Railway

研究代表者

今村 孝 (IMAMURA, TAKASHI)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：10422809

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：車いすを利用する方が鉄道を利用時に、ホームと車両の段差や隙間を越えてスムーズに乗降可能になるよう、介助・支援なしで通過できる機構が求められている。本研究では、車いす利用者自身の手動操作によって、段差高さに合わせて車いすを持ち上げ、鉄道車両への乗降を実現する装置を提案する。この機構を、国際・国内規格ISO/JISに準じて設計・製作した。そして、ダミー負荷や人を対象とした実験により、乗降動作中に車体が低振動、安定であること、また、段差踏破時のレバー操作時間を評価し、基本操作が可能であることを確認した。一方で、体重が軽量で腕力の低い利用者に対して、レバー操作を支援する機構が必要であることも確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

モータなどの電気エネルギーを用いた支援装置が多く開発・実用化される一方で、災害時などの電気エネルギーを喪失した場合の利用継続性が懸念される。本研究で開発する「利用者自身の操作力を活用する機構」の開発は、支援装置の持続的な利用に向けて不可欠である。また、機構の知能化技術を高めることは、支援機器の低コスト化、送電などのインフラ依存度の低下の実現につながり社会的なバリアフリーの促進に寄与するほか、人の残存機能を活用することで高齢化社会における身体機能の低下の抑止にも寄与するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：There is a need for a mechanism that enables a wheelchair user to smoothly get on and off a train without assistance. In this study, we propose a device that enables a wheelchair user to get on and off a railroad car by lifting the wheelchair according to the height of the step by manual operation by the wheelchair user himself/herself. This mechanism was designed and manufactured in accordance with international and domestic standards ISO/JIS. Through experiments with a dummy load and a human subject, we confirmed that the wheelchair is stable with low vibration while getting on and off the train, and that the basic operation is possible by evaluating the time required to operate the lever when stepping over a step. On the other hand, it was also confirmed that a mechanism to support the lever operation is necessary for users who are light in weight and have low arm strength.

研究分野：支援機器工学

キーワード：乗降支援機構 車いす 操作力低減 乗り心地評価 エネルギー蓄積

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本では2006年に施行されたバリアフリー新法に基づき、多くの自治体が基本構想づくりとして駅等の公共交通機関とその周辺整備を行っている。現在ではいくつかのガイドラインや基準類[1][2]が充実し、都市部の主要駅をはじめとしてエレベータ等のインフラ・設備も拡充している。特に、移動制約を受けることの多い車いす使用者のモビリティを円滑化することで、車いす使用者の行動の範囲を広げ、外出する機会の増加に繋がることが期待される[3]。ここで各交通機関の輸送手段に着目すると、バリアフリーの実現に対して乗降時の段差や離隔を解消する必要がある。いずれも交通手段乗車前の走行路面やプラットフォームと車両との間隔であり、段差は高さの違い、離隔は水平方向の隙間であり、いずれも都市路線では80~100mm、地方路線では最大200mmにおよぶ場合が報告されている。近年、路面電車やバスにおいて、低床式車両の導入やノンステップ化により段差は解消傾向にある。しかしながら、乗降時の車両の揺動による歩道やプラットフォームとの接触を回避するための設計余裕である、離隔はその必要性からゼロにすることが困難である。

これらを解決する手段として、乗車時にスロープを随時配置する方法が一般的に採られる。欧米では、スロープを電動展開するバスなどが見受けられるが、日本における導入事例は少なく、もっぱら運転手等の運行乗務員や駅職員等の手動による設置・展開作業やその場でのボランティアによる介助を必要としているのが現状である。JR東日本では、乗降介助の円滑化を目指し、約13,000人の社員がサービス介助士資格を取得している。ただし、このような人手による介助をうけるためには、事前の乗降時刻や駅・停留所の指定や連絡が必要となっている。そのため介助者が関わることで車いす利用者の安全性と交通機関の運行性が確保できるメリットがある反面、介助を依頼することに対する車いす利用者の遠慮や萎縮を招き、行動経路の選択や移動に関する自律性・任意性、行動意欲を低下させる恐れがある。すなわち、乗降時の段差・離隔を踏破する機構を提供することには、物理的なバリアフリーのみならず、車いす利用者自身の操作を可能とすることによる「こころのバリアフリー」の解消に寄与する意義がある。

このようなシステムを構築する上で重要となる技術的課題としては以下のようなものが挙げられる。まず、スロープや他者の介助力によって実現される a)物理的な踏破能力(自身の体重および車いす重量を最大200mmの高さ・水平方向の移動)を、b)乗降時間内(60~120s以内)に実現する。運動の生成として、車いす利用者の操作力を変換する機構開発、またそのためのエネルギーの吸収・蓄積装置の開発、そして安全性と乗り心地快適性の改善と評価の3点に集約される。

[1] 国土交通省、“公共交通機関の車両等に関する移動等円滑化整備ガイドラインバリアフリー整備ガイドライン 鉄軌道駅”，平成25年6月

<https://www.mlit.go.jp/common/001313457.pdf> (2020年1月24日参照)

[2] 国土交通省，“公共交通機関の車両等に関する移動等円滑化整備ガイドラインバリアフリー整備ガイドライン 車両等編”，平成25年6月

<http://www.mlit.go.jp/barrierfree/public-transport-bf/guideline/guidelinesyaryou.pdf> (2020年1月24日参照)

[3] 社団法人 交通バリアフリー協議会，“ホームと列車の段差・隙間に関する研究”，<http://nippon.zaidan.info/seikabutsu/2005/00250/contents/0001.htm> (2020年1月24日参照)

2. 研究の目的

前項に示した車いすの段差・離隔の踏破機能を実現する装置として、申請者らは、汎用車いすに装着して使用する、外部動力を用いない乗降支援装置を提案し、基本構造の試作を進めてきた。

本装置は、車いす前後に装着する計4本の車輪付脚で所定の段差高さへ持ち上げて車両乗降を行う。車いす側部にはレバーとラチェットギアを装着し、約20回のレバーの往復動作によって車いすを200mmの高さまで上昇させる。本装置を装着した状態での車いすの全幅・全長は、ISOの形状規格に準拠するよう設計し、装置重量の目標値は10kgとしている。同様の乗降支援装置の多くは、電源を搭載し、アクチュエータによる車いすの上昇・下降によって、段差や離隔を踏破するものである。

一方、本提案機構は、これらを手動とすることで、車いす利用者の操作に負担は生じるものの、乗降や移動の任意性を確保している点に特徴がある。これらを形状規格の寸法数値内および操作上の負担が過剰にならない重量範囲に収めて実現した類似研究は見当たらず、これを実現する部分に創造性を必要としている。

本研究開始時点で未達成となっていた、以下の3点について、研究開発を行った。

課題 : 踏破に必要な操作量と操作所要時間の低減・適切化

課題 : 課題の操作力を支援するエネルギー吸収・蓄積装置の開発

課題 : 踏破時の安全性と乗り心地快適性の改善・評価

3. 研究の方法

課題：踏破に必要な操作量と操作所要時間の低減・適切化

研究開始時点での提案装置基本構造について、車いすの基本動作、段差・離隔踏破のための上昇、車両乗り込み、装置の下降の一連の動作ができることを確認している。この基本構造の各部について軽量化を行うとともに、手動動作により車いすを上昇させるためのギヤ比の適切化、ラチェット機構の改善による途中動作の維持性の確保を行い、操作量と所要時間の低減を図った。

課題：課題の操作力を支援するエネルギー吸収・蓄積装置の開発

車いすを上昇させた後、降下させる際のエネルギーを吸収するダンパ機構を導入し、エネルギーの吸収を行った。またこれとバネ機構を併用することで、上昇を支援する力の蓄積を試みた。

課題：踏破時の安全性と乗り心地快適性の改善・評価

車いすに加速度計測装置を搭載し、車いすを上昇させ段差を踏破する際の車体振動および、車体を降下させた際の衝撃力を計測・分析した。実験では、複数種類のダミー重量を用意し、搭乗者の体重変化に対する振動・衝撃力の変化傾向を把握した。

以上に加えて、課題、については、健常な成人 9 名の研究対象者を動員し、車いすの上昇・下降操作を伴う仮想段差装置の踏破実験を行い、研究対象者の操作量計測および官能評価アンケートを実施した。

4. 研究成果

課題：踏破に必要な操作量と操作所要時間の低減・適切化

以下、図 1 に車いす上昇のためのレバー操作を車いす上昇に変換する歯車列の最終構成、図 2 に車いすを除く提案機構全体をそれぞれ示す。

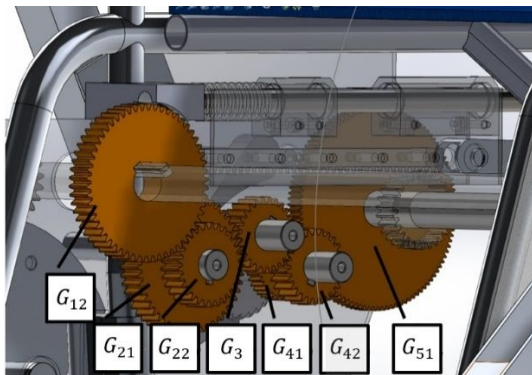


図 1 車いす上昇のための歯車列の最終構成

Gear	Module, m	Number of teeth, N
G ₁₂	1.5	56
G ₂₂	1.5	29
G ₂₁	1.5	49
G ₃	1.5	26
G ₄₂	1.5	26
G ₄₁	1	36
G ₅₁	1	110

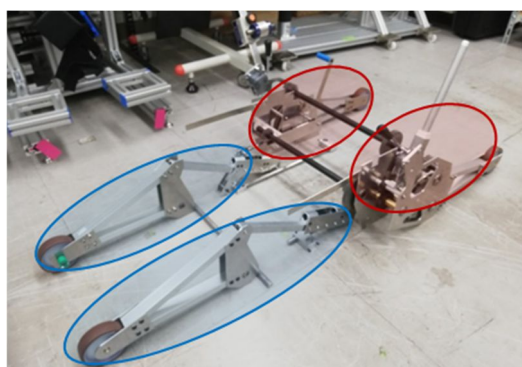


図 2 提案機構全体図

図 2 の総重量は最終的に 18.45kg となった。当初目標とした、機構総重量 10kg 以下を達成するには至らなかった。しかし、本研究での試作においては、レバー操作力や車いす上昇に必要な機構部、上昇状態での車いす移動を実現する補助回転軸など、荷重負荷の多い箇所は SCM440 クロムモリブデン鋼などの高強度部材を適用している。そのため、これらの軽量化・構造最適化を行いさらなる軽量化が見込める。

最終的な操作量・操作時間は、研究対象者を動員した実験条件のうち最大段差高さ 200mm において、平均レバー操作回数 16 回、操作時間は 30s 以内となった。

課題：課題の操作力を支援するエネルギー吸収・蓄積装置の開発

車いすの降下開始時に発生する大きな負荷は、大きな減衰力で衝撃を吸収し、かつ、車いすの

車輪が接地した後に大幅に荷重負荷が低減した段階でも最後まで衝撃吸収を継続する必要がある。そのような衝撃吸収・減衰を実現する機械要素として、ガススプリングと油圧ダンパを適用し、それぞれの性能を比較した。その結果、ガススプリングでは、車輪接地後に急激に吸収・減衰性能が低下した。一方、油圧ダンパでは車輪の完全接地まで衝撃を吸収し続けることができることを確認した。搭載形状を含めて最終選定した油圧ダンパの仕様を表1に示す。

表1 選定した油圧ダンパの仕様 (エースコントロールスジャパン製 HB-28-100)

Type	Length of stroke (mm)	Maximum length (mm)	Maximum compression damping force (N)
HB-28-100	100	260	3000

一方、本構造では、吸収したエネルギーを蓄積し、次回の乗降動作の支援力として利用することは難しい。このような構造として、回転軸と巻きバネ・ラチェットを組み合わせた構造を検討した。具体の機構としては、車体の上昇・下降に伴う支持脚の進展・屈曲動作を提案機構の回転軸に伝達し、エネルギー入出力できる構造を設計。これにより支持脚の下降時の運動で巻きバネを圧縮するエネルギー蓄積機能と、これをワンウェイベアリングによる回転方向制限を解除し支持脚に回転伝達するエネルギー放出を実現できることを機構シミュレーションにより検証した。この結果については、本研究の支援装置への実装には至らなかったが、スケールダウンした試作機により動作を検証し、本研究で提案する装置のみならず、他の電気エネルギーを用いない支援装置への利用可能性を検討した。

課題：踏破時の安全性と乗り心地快適性の改善・評価

実験用に用意した仮想段差装置(2ユニットに分割し、相互の段差高さと同離隔(段差間の距離)を調整・設定可能)と、車いすの手すり部には、小型マイコン(Arduino UNO R3)と加速度センサ(MMA8452Q)を用いた加速度計測装置を搭載した。これらの実験環境下にて、人を対象とする実験により、段差踏破動作中の加速度とその分析により、踏破時の安全性と乗り心地快適性の評価を行った。なお、本実験は新潟大学における人を対象とする研究等倫理審査委員会の承認ののち、新潟大学長の許可を得て実施した(承認番号:2019-0155)。

実験では、段差間の離隔を200mmに統一し、段差高さ30,100,200mmの3種類を適用した。各段差に対する車いす上昇のためのレバー操作は平均で4,10,16回となった。研究対象者は、20歳以上かつ体重40~80kgの成人健常者とし9名(男性7名,女性2名)を動員し、段差踏破の一連動作(前脚の段差接地,レバー操作による車いす上昇,車両乗り込みのための前進)を指示し、そのときの車体の振動加速度と動作後の官能評価アンケートを取得した。図3に垂直方向の振動加速度の取得例を示す。

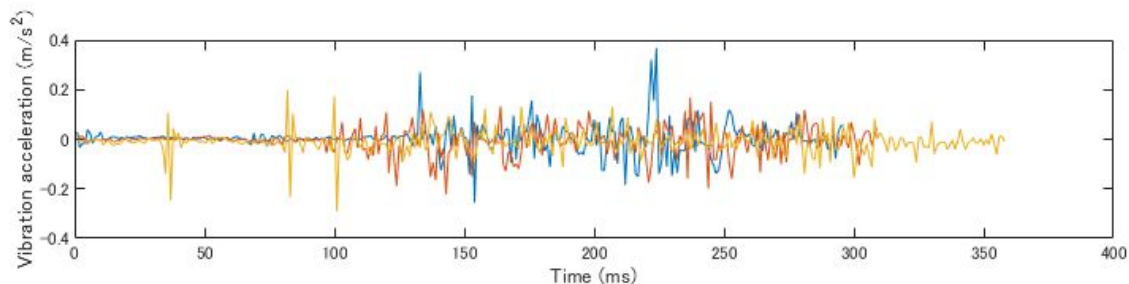


図3 垂直方向の振動加速度の取得例

これを段差高さごとに9名が3試行ずつ実施したときの平均値を、段差高さごとに水平振動レベル・垂直振動レベルとして表2のように集計した。

表2 水平・垂直振動レベルの集計結果 (n=9(person)*3(trials))

Step height(mm)	Horizontal vibration level (dB)	Standard deviation of the mean	Vertical vibration level (dB)	Standard deviation of the mean
30	79.40	1.90	82.72	2.10
100	79.18	2.71	80.81	3.05
200	78.94	1.91	81.20	3.28

上記の各振動レベルを、ISO263で規定されている全身振動に対する暴露時間許容値と比較した結果を図4に示す。この結果、いずれの振動レベルも暴露時間許容値を下回っており、乗り心地として十分許容できるレベルとなっていることが確認できた。

また、提案装置の使用状況を集計した結果を図5~7に示す。図5には車いす上昇のためのレバー操作から乗車のための前進と車いすの下降までの総時間と各操作時間を、図6,7はレバー

操作時間を性別・体重別に集計した結果を、それぞれ示す。これらの結果より、想定される最大段差高さ 200mm では、目標とする操作所要時間 30s を上回る結果となったが、平均的な段差高さである 100mm までは、提案機構の操作所要時間は目標値を満たしていることを確認した。また、車体上昇のためのレバー操作時間は、体重区別では軽量区分ほど上昇操作に時間を要するうえ、その時間差は高段差ほど大きいこと、また男女別では女性のほうが操作に時間を要するうえ、その時間差は高段差ほど大きいことが分かった。本研究ではレバー操作の所要力の設定は、設計条件や使用部品の規格による制約から、女性の最大発揮力に近い負荷設定となっている。この結果、今回動員した女性に対しては負荷量が多いレバー操作となり、また該当する対象者が軽量の体重区分となった結果であると考察できる。

以上の結果より、構造的な安定性や乗り心地には問題がないことを確認するとともに、踏破に必要な操作力をより小さくする機構設計もしくは操作力支援機構を搭載することが必要であることを確認した。

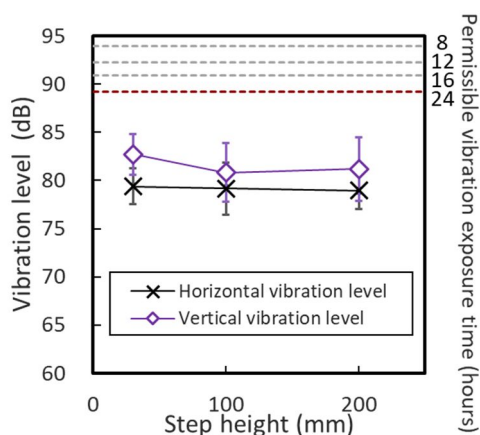


図 4 ISO2633 に規定される暴露時間許容値との比較

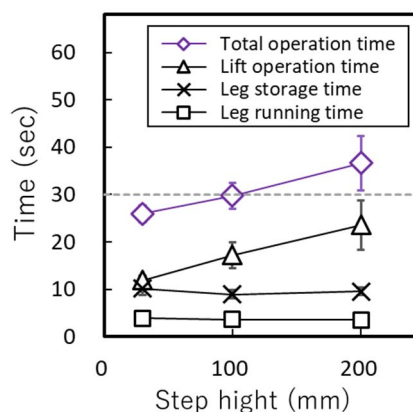


図 5 段差踏破の操作時間

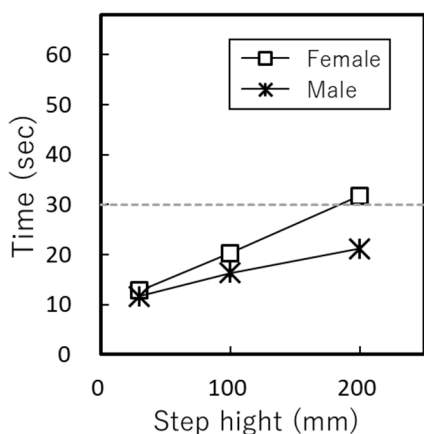


図 6 レバー操作時間（男女別）の比較

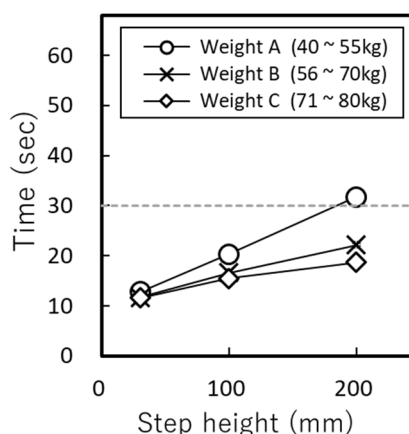


図 7 レバー操作時間（体重区分別）の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Hosaka Takuya, Imamura Takashi, Nagata Koutaro
2. 発表標題 Development of the Support System for Wheelchair Use at Boarding and Alighting Trains
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposiun on System Integration SII2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	棚橋 重仁 (TANAHASHI SHIGEHI TO) (00547292)	新潟大学・自然科学系・助教 (13101)	
研究分担者	橋本 学 (HASHIMOTO MANABU) (20282973)	新潟大学・人文社会科学系・准教授 (13101)	
研究分担者	野田 善之 (NODA YOSHIYUKI) (60426492)	山梨大学・大学院総合研究部・教授 (13501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------