

変形車輪を用いた階段昇降ロボットの研究 —変形量操作による傾斜と揺れの抑制—

Study on Mobile Robot That Can Climbing Steps Using Transformable Wheels - Control of Pitching and Shaking of the Robot Body Using Wheel Transform -

○田中康皓¹, 入江寿弘²*Yasuaki Tanaka¹, Toshihiro Irie²

Abstract: Demands for electric senior carts and robots such as security robot are rising, however, those wheels cannot overcome a high steps, especially the stairs are serious obstacles to them, and barrier-free measures such as removing steps are not going far enough at present. Therefore, we study transformable wheels and the robot using the wheels. On flatland, the robot keeps wheels circular and drives that like tire, and on rough terrains, the robot transforms configuration of wheels and adapt that shapes to steps and climb. In this study, we have considered a control method with wheel transformation during the ascent and descent of the steps, aiming at controlling shaking and pitching of the body and reducing the torque to motors.

1. はじめに

近年, IoT 技術が発展し警備ロボット等の需要が高まっている他, 社会の少子高齢化に伴いシニアカー等の普及も進んでいる. そうしたロボットや車両には車輪を用いて移動するものが多いが, 階段など大きな段差の移動が困難である. バリアフリー問題への対策が求められている^[1]が, 階段や段差は未だ多く車輪の障害となる. 代替として脚やクローラが挙げられるが, 速度や構造の複雑さ等に問題がある^[2]. そこで筆者らは平地では車輪のように移動可能で, 変形により階段等の移動も可能とする変形式車輪を開発し, またそれを搭載した階段昇降ロボット^[3]を研究している. 本研究では車体の揺れと傾斜変動, モータへの負荷の軽減を狙い, 昇降中に変形を伴う移動方法について検討した.

2. 変形車輪を用いた階段昇降ロボット

本研究で用いる変形車輪とそれを搭載した機体を Fig. 1 および Fig. 2 に示す. 変形車輪は 1 軸に対し 2 つのモータで駆動し, それぞれの回転数に差があると内部のリンク機構により変形して, 同期しているとそのままの形状で回転する構造となっている. 通常は円形の閉じた状態で移動し, 段差に合わせて十字型に展開して先端部を段差の上面に引っ掛けることで乗り越えを可能にする. また 2 つのモータを個別に制御すれば, 移動中に変形を行うことも可能となる. なお設計・製作にあたり建築基準法で定められている階段の寸法^[4]を考慮しており, 一般的な高さ・傾斜・幅の階段であれば十分に昇降することができる.

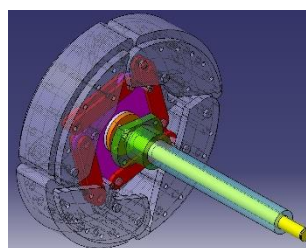


Fig. 1 Transformable wheel

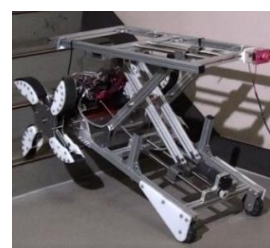


Fig. 2 Climbing steps

3. 変形動作を伴う階段昇降

(1) 階段昇降中の車軸中心位置

従来の階段昇降時には車輪の回転軸が円弧状の軌跡を描くように移動し, 機体が上下するほか機体傾斜角も変動し乗員や積荷が揺れてしまう^[5]. そこで車輪を変形させながら回転することで, 階段に車輪を沿わせるような昇降動作を行い, 揺れの軽減を図る (Fig. 3). また同時に, モータのトルクを抑えることも可能と考えられる.

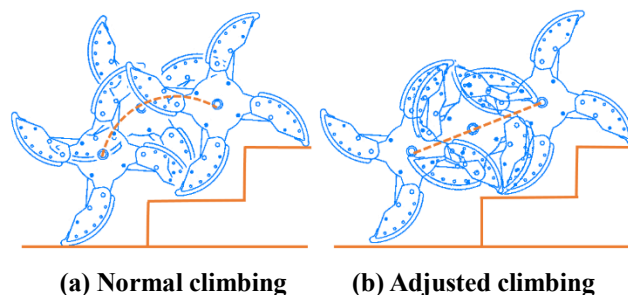


Fig. 3 Movement of climbing steps

(2) 昇降中の車輪変形

変形車輪の機構は 2 リンクアームとみなすことが可能 (Fig. 4) であり, 回転角 θ および変形量 θ_e に対する車軸位置 (x_c, h_c) を求める関係式を立てた後, それをもとに逆運動学を解くことで任意の (x_c, h_c) に対する θ および θ_e を求めることができる. なお各リンク長さ a, b は $a=105$ [mm], $b=152.5$ [mm] である.

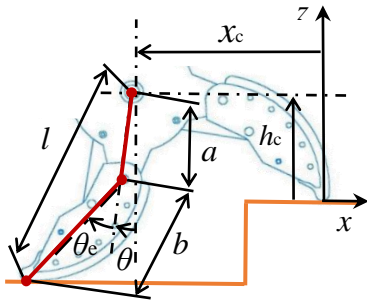


Fig. 4 Wheel parameter

$$x_c = a \sin \theta + b \sin (\theta + \theta_e) \quad (1)$$

$$h_c = a \cos \theta + b \cos (\theta + \theta_e) \quad (2)$$

$$\theta = \pi - \operatorname{atan} 2\left(h_c, x_c\right) + \operatorname{acos}\left(\frac{a^2 - b^2 + l^2}{2ab}\right) \quad (3)$$

$$\theta_e = \pi - \operatorname{acos}\left(\frac{a^2 + b^2 - l^2}{2ab}\right) \quad (4)$$

得た関係式を基に, 変形量を調整しない従来の階段昇降と, 変形量を調整する階段昇降の回転角, 変形量, 車軸位置の数値解析を行った. 結果を Fig. 5 と Fig. 6 に示す. 解析にあたり, 日本大学理工学部 6 号館の階段 (蹴上 180mm, 踏面 300mm) を用いた.

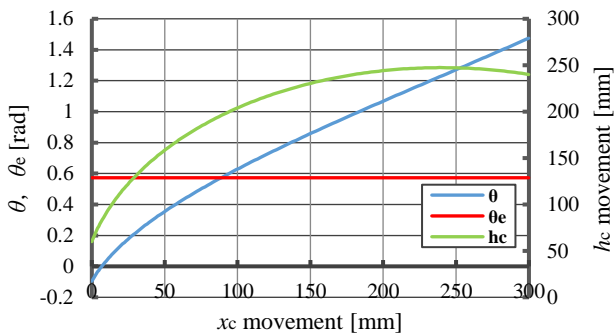


Fig. 5 Analysis result of normal climbing

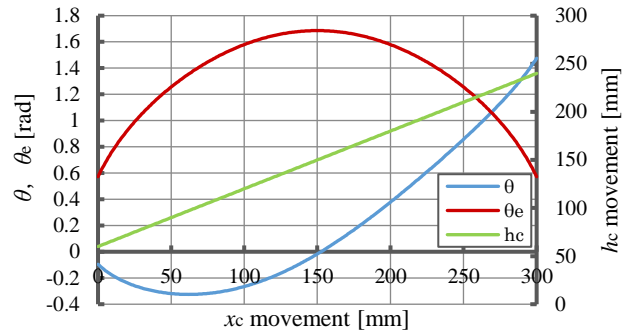


Fig. 6 Analysis result of adjusted climbing

Fig. 5 のように, 従来通り変形量一定の状態では車輪が上下に移動して機体が揺れてしまう. だが Fig. 6 のように, 前半は駆動軸を逆転させ回転角を減少させると同時に変形量を増加させ, 後半は回転角を増加させ変形量を減少させると, 階段に沿うように車輪を移動させることができると確認でき, 揺れや傾斜変動の抑制が期待できる.

4. まとめ

変形式車輪を用いた階段昇降ロボットについて, 回転軸の上下運動について考察した. 変形に関する関係式を導出し, 変形量を調整した際の変形状態の算出が可能となった.

今後, 実際の機体を用いた実証実験に取り組むほか, カメラや深度センサ等による階段形状の検出と変形状態の自動調整, 車輪だけでなく荷台や乗員の姿勢変化を考慮した階段昇降についても研究する予定である.

5. 参考文献

- [1] 高田邦道, 安井一彦, 他: 交通バリアフリーの実際, 共立出版 pp. 4-16, 2006
- [2] 日本ロボット学会: 新版 ロボット工学ハンドブック, pp. 375-449, 2005
- [3] 入江寿弘: ロボットおよび荷台, 無料データベースサイト J-STORE
http://jstore.jst.go.jp/nationalPatentDetail.html?pat_id=33150
- [4] 総務省法令データ提供システム 建築基準法施行令 第二章 一般構造 第三節 階段 第二三条
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S25/S25SE338.html>
- [5] 吹田夏樹, 入江寿弘, 新宮清志: 展開車輪を用いた移動ロボットの研究-階段昇降時の傾斜角変動を考慮した展開量の最適化-, 第 32 回ファジイシステムシンポジウム, TE3-2, 2016