

## 本体上昇機構を利用した 車輪型移動ロボットの段差移動

### Climbing up a Step of Wheeled Mobile Robot with Lifting Body Mechanism

○海住 卓生, 中野 栄二, 大久保 宏樹, 藤原 浩幸

○Takunori Sakashita, Eiji Nakano, Hiroki Ookubo, Hiroyuki Fujiwara

東北大学

Tohoku University

キーワード： 本体上昇機構 (Lifting Body Mechanism) 車輪型ロボット (Wheeled Mobile Robot)  
段差移動 (Climbing up a Step)

連絡先： 〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学大学院 情報科学研究科 中野研究室 (青葉山キャンパス機械系) 海住 卓生, Tel.: (022)217-7025, Fax.: (022)217-7023, E-mail: kaiju@robotics.is.tohoku.ac.jp

#### 1. 緒言

車椅子は障害者にとって非常に便利な移動手段である。しかしながら舗道の縁石などちょっとした段差を乗り越えることが困難である。そこで車椅子に段差移動を行わせることが可能になれば、非常に有効であると考えられる。

車椅子に応用可能と思われる最近の研究として、森田ら<sup>1)</sup>は複数の小車輪をクローバ状に配した特殊車輪を4組用いることで階段の昇降を可能にした。田口ら<sup>2)</sup>は移動機構の車輪に回転足機構を導入し段差移動を実現した。

また Wellmann ら<sup>3)</sup>は車椅子に脚2本を取り付け不整地移動を可能にした。

本報告では、不整地環境の一例である段差を取り上げ、できるだけ簡単な機構を持つ本体上昇機構を提案する。この機構を特殊車輪を用いな

い車輪型移動機構に取り付け段差移動を行わせることを目的とする。またこの機構がパッシブ性を持つことを利用し制御を簡単にする。

段差を移動できる本体上昇機構の取り付け位置について検証し、その妥当性を実験によって示す。

#### 2. ロボット本体の機構

ロボット本体の機構は図1に示すようなものである。車椅子を想定しているため、段差壁面に車輪が接地するような機構とする。そのため前輪は本体の最前部に配置する。また前輪は従輪、後輪は動輪とする。ここでは前後車輪径は等しいものとする。また一つの本体上昇機構で前後輪を登らせるため本体上昇機構は前後輪間に配置する。

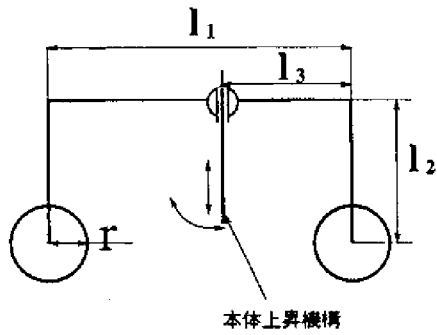


図1 ロボットのモデル

また、移動中段差の角と本体が接触しないような車高とする。

ロボットのモデルを図1に示す。

ロボット本体のパラメータは以下のとおりである。

- $l_1$  : 本体長さ
- $l_2$  : 車輪中心から本体上昇機構の取り付け位置までの長さ
- $l_3$  : 本体前部からの本体上昇機構取り付け位置までの長さ
- $r$  : 車輪半径

登り上がりのシーケンスを図2に示す。

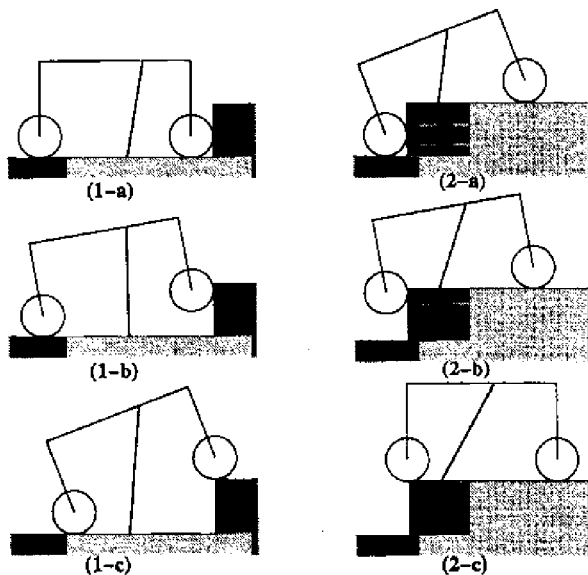


図2 登り上がりのシーケンス

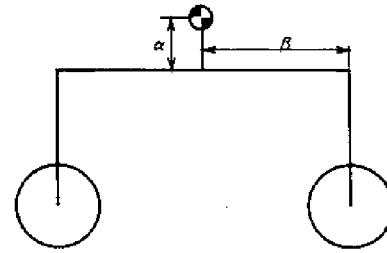


図3 重心の位置

### 3. 本体上昇機構

本体上昇機構は脚とは違い車輪の補助に用い、単独で本体の移動には使わないものとする。

この機構の特徴としては、

- 床に補助棒を突き、それにより車輪の上昇を手助けする。
- 補助的なものであるので可能な限り簡単に軽量の機構とし、小型のアクチュエータと、最低限の自由度しか持たない。

図2のように移動するためには、回転、伸縮の自由度を持つ必要がある。

また制御を簡単にするために、回転の自由度をパッシブとし、このパッシブ性を利用し制御は行わなくてすむようにする。

### 4. 本体上昇機構の取り付け位置

本体上昇機構をどのような位置に取り付けられれば登り上がることが可能であるかを検証する。登り上がりは、車椅子を想定しているために静的に登り上がるものとする。また図2のように前後輪ともに接地面に沿うように登り上がるようにする。重心の位置は図3の位置とする。

- $\alpha$  : 機構の取り付け位置からの重心の高さ
- $\beta$  : 車輪中心からの重心の位置

#### 4.1 前輪の登り上がり

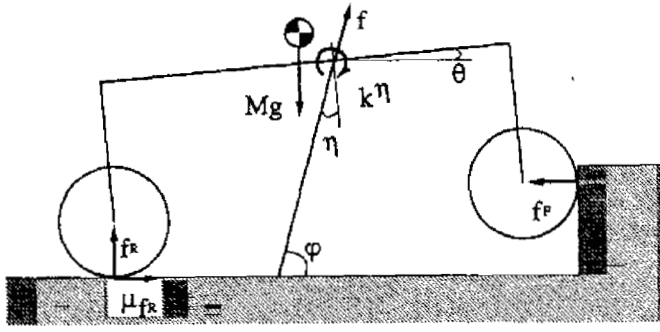


図4 前輪登り上がりのモデル

水平方向, 鉛直方向, 重心回りの回転の釣合の式は,

$$0 = -f_F + f \cos \varphi + \mu f_R - \frac{k\eta}{l} \sin \varphi \quad (1)$$

$$0 = f \sin \varphi + f_R - Mg + \frac{k\eta}{l} \cos \varphi \quad (2)$$

$$0 = a_1 f_F + a_2 f + a_3 f_R - k\eta \quad (3)$$

$$a_1 = \beta \cos \theta - (l_2 - \alpha) \sin \theta \quad (4)$$

$$a_2 = \{\alpha \sin \theta + (\beta - l_3) \cos \theta\} \sin \varphi + \{\alpha \cos \theta - (\beta - l_3) \sin \theta\} \cos \varphi \quad (5)$$

$$a_3 = -\{(l_1 - \beta) \cos \theta - (l_2 + \alpha) \sin \theta\} + \mu\{(l_1 - \beta) \sin \theta + (l_2 + \alpha) \cos \theta + r\} \quad (6)$$

ここで,

- $f$  : 補助棒が本体に及ぼす力
- $f_F, f_R$  : 前輪, 後輪の床反力
- $l$  : 補助棒の長さ
- $\mu$  : 接地面と車輪の摩擦係数
- $\varphi$  : 接地面と補助棒の角度
- $\eta$  : 初期角度からの変位
- $k$  : ばね定数

車輪が接地面から離れないためには  $f, f_F, f_R$  が正でなければならない。機構と床面との初期角度  $\varphi_0$  (図5) を変化させたときに, 式(1)~(3)

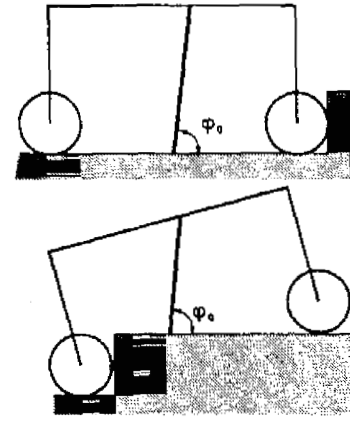


図5 初期角度  $\varphi_0$

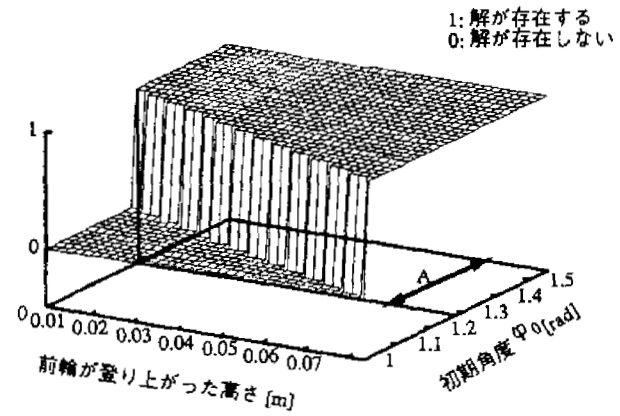


図6 前輪の解の存在範囲

までを  $f, f_F, f_R$  について解きそれらが全て正となる範囲を図6に示す。

図6において矢印の範囲Aの初期角度  $\varphi_0$  で登り上がりが可能になる。

#### 4.2 後輪の登り上がり

前輪と同様に水平方向, 鉛直方向, 重心回りの回転の釣合の式を考える。

$$0 = f \cos \varphi - f_R - \frac{k\eta}{l} \sin \varphi \quad (7)$$

$$0 = f_f + f \sin \varphi + \mu f_R - Mg + \frac{k\eta}{l} \cos \varphi \quad (8)$$

$$0 = a_1 f_F + a_2 f + a_3 f_R - k\eta \quad (9)$$

$$a_1 = \beta \cos \theta + (l_2 + \alpha) \sin \theta \quad (10)$$

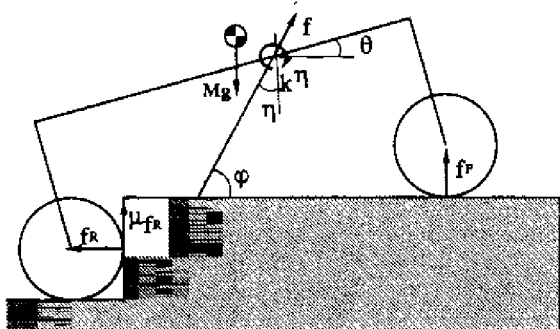


図7 後輪登り上がりのモデル

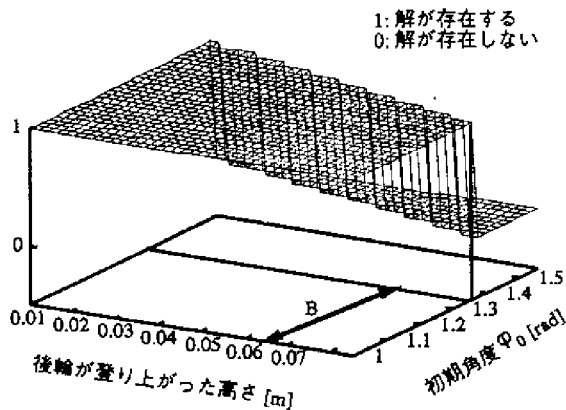


図8 後輪の解の存在範囲

$$a_2 = \{\alpha \sin \theta + (\beta - l_3) \cos \theta\} \sin \varphi + \{\alpha \cos \theta - (\beta - l_3) \sin \theta\} \varphi \quad (11)$$

$$a_3 = -(l_1 - \beta) \sin \theta - (l_2 + \alpha) \cos \theta - \mu \{(l_1 - \beta) \cos \theta - (l_2 + \alpha) \sin \theta - r\} \quad (12)$$

前輪と同様に機構の取り付け位置を変化させずに初期角度  $\varphi_0$  を変化させたときの解の存在する範囲を図8に示す。登り上がることでできる初期角度  $\varphi_0$  の範囲を矢印  $B$  で示す。

本体長さ  $l_1$  を一定にした場合、重心の位置や本体上昇機構の取り付け位置  $l_2, l_3$  を変えることによって登り上がることでできる初期角度  $\varphi_0$  の範囲は変化することがわかった。

#### 4.3 取り付け位置の決定

取り付け位置は、登り上がることでできる初期角度  $\varphi_0$  を最も広く取れるような位置とする。つ

表1 最適な取り付け位置 ( $l_1 = 400\text{mm}$  の場合)

$l_2$	145mm
$l_3$	50mm

まり図6,8における矢印の長さ  $A, B$  の和,  $A + B$  が最も大きくなる位置とする。ただし,  $A, B$  の大きさに偏りがないように  $A \cong B$  であるとする。

これらの条件から導き出された  $l_2, l_3$  は, を表1に示す。

## 5. 実験

### 5.1 実験機

構造上の理由から前節で求められた最適な本体上昇機構の取り付け位置で実験機を作成できなかった。今回試作した実験機の概要は表2に示すよとおりである。

表2 実験機概要

本体長さ ( $l_1$ )	400mm
機構の取り付け位置 ( $l_2$ )	191mm
機構の取り付け位置 ( $l_3$ )	130mm
車輪半径 ( $r$ )	37.5mm
総重量	2.8Kg

この実験機を用い前後輪ともにさまざまな初期角度  $\varphi_0$  で段差移動を行った。

実験の段差高さは 75mm で行った。

### 5.2 実験結果

前章の手法を用いて実験機の場合について計算を行った。その計算結果を図9,10に, また計算結果と実験結果を表3に示す。

この計算結果は実験結果とはほぼ一致することがわかる。

機構を取り付け、段差移動を行わせる予定である。

### 参考文献

- 1) 森田 哲, 高野 政晴, 井上 健司, 佐々木 健 : 階段昇降移動ロボット TO-ROVER の開発研究, 精密工学会誌, 60 巻, 10 号, pp1495-1499 (1994)
- 2) 田口 幹, 榎本 卓也: 足つき車輪による階段昇降機械, 第 10 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp111-112(1992)
- 3) Aris Wellman, Venkat Krovi, Vijay Kumar : An Adaptive Mobility System for the Disabled, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2006 - 2011(1994)

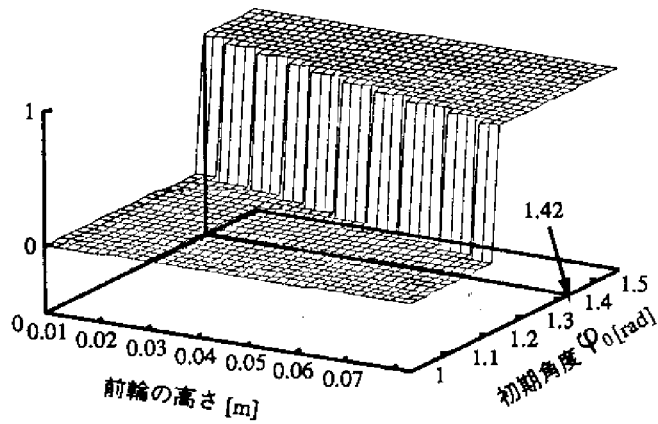


図 9 実験機の前輪の登り上がり可能範囲

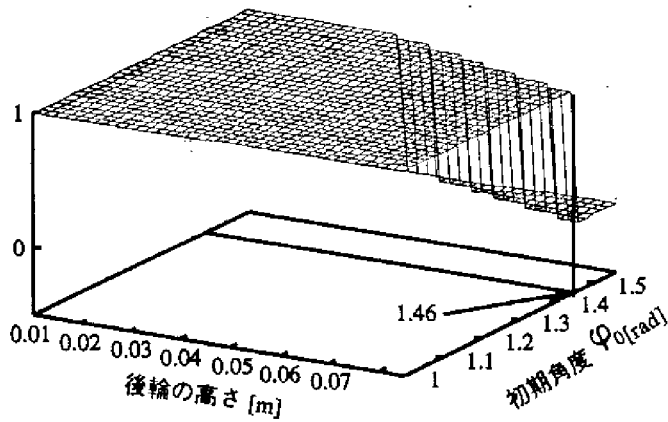


図 10 実験機の後輪の登り上がり可能な範囲

表 3 計算と実験で登り上がれる  $\varphi_0$  の範囲

	計算結果 [rad]	実験結果 [rad]	
前輪	1.42	1.42	$\leq \varphi_0$
後輪	1.46	1.44	$\geq \varphi_0$

## 6. 結言

本報告では、不整地環境の一例として段差を取り上げた。簡単な補助機構である本体上昇機構を提案した。この機構を車椅子に取り付けることを前提として前輪を従輪のモデルを用いた。制御を簡単にするために回転の自由度をパッシブにした。その場合の取り付け位置の検証、および実験を行い、この解析方法の妥当性を示した。

今後この手法を用いて電動車椅子に本体上昇

A 登り上がりの様子



図 11 前輪の登り上がり

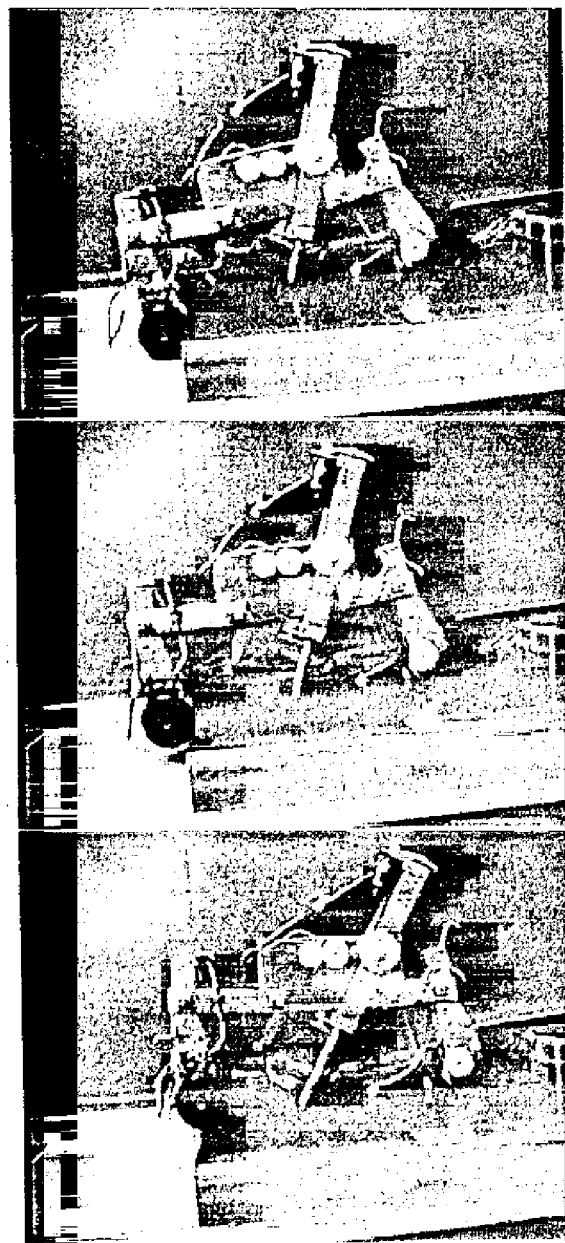


図 12 後輪の登り上がり