

## 車いすの動力を利用した段差解消機の開発（第5報） - ラック・ピニオンを用いた昇降方式

金沢大学 小林 裕介, 関 啓明, 神谷 好承, 疋津 正利, 野村 久直  
石川県工業試験場 前川 満良, 富士製作所 茶谷 豊, 倉橋 泰次

Lift of a Wheelchair Driven by Its Wheels (5th Report)  
- Climb up / down mechanism used by rack / pinion gear -

Kanazawa University Yusuke KOBAYASHI, Hiroaki SEKI, Yoshitsugu KAMIYA, Masatoshi Hikizu, Hisanao NOMURA,  
Industrial Research Institute of Ishikawa Mitsuyoshi MAEKAWA, Fuji Puller Yutaka CHAYA, Yasuji KURAHASHI

A lift used by wheelchair user to climb up / down doorsteps at entrances is an effective solution for wheelchair users. A light, compact, and non-powered lift is proposed in this paper. This lift is driven by wheels of wheelchair. We designed the lift used rack / pinion gear. It makes the driving torque constant. The assist system made by gas springs and chains was attached to decrease driving torque. Since direction of a wheelchair is reversed in the case of climbing up and down, mechanism driven by the forward rotation of wheels in either case was also designed.

### 1. はじめに

車いす使用者が玄関等の段差を乗り越えるためにいくつかのフト型の段差解消機が開発されているが、油圧機器や電動モータを使用した大型で高額な物が多い。そこで本研究では電源を使用せずに軽量・コンパクトで、移設も可能な無動力段差解消機を開発している[1]。この段差解消機は車いすでタイヤがローラー上にくるように乗り入れ、タイヤを回転させてローラーを摩擦駆動して昇降を行うものである。ローラーの回転はウォーム歯車を介してボールネジに伝えられ、ボールナットで5節リンク機構を動かして台を昇降させる。最上昇/最下降時にはボールナットの動きが止まるため自動的にローラーがロックされ、台から出ることができる。つまり、一連の動作に介助者等による特別なスイッチ操作はいらない。欠点として、後進で乗り入れて上昇、前進で下降することになり、方向が固定されるということがあった。また、上昇に要する駆動力を軽減するためにボールネジ部および上下の台の間にばねを入れてあるが、ばねの性質で最下降からしばらくの間しか軽減できない。本報告では昇降共に前進で行う機構、ラック・ピニオンを用いた昇降機構、ガススプリングとチェーンを使用した駆動トルク軽減機構について報告する。

### 2. ラック・ピニオンを用いた昇降機構

これらの欠点をなくすため、図1に示すようにラック・ピニオンを用いた昇降機構を設計した。タイヤの回転でローラーを摩擦駆動し、スプロケット、ウォーム歯車により減速してピニオンへ伝達する。土台に取り付けられたラックとピニオンの回転により天板は昇降する。昇降中にタイヤが滑っても、ウォーム歯車が入っているため天板が落下することはない。また、5節リンクのアームにより天板は常に平行を保っている。この機構の利点は昇降量がタイヤの回転数に比例し、駆動トルクも一定となる。また、リンク機構を駆動する方法に比べて昇降量を大きくとることができる。しかし、ラックが装置の上面に出っ張るため装置の高さが高くなり、天板も大きくとる必要がある。

タイヤ直径  $D$ 、ローラー直径  $d$ 、ウォームおよびスプロケット減速比  $i$ 、ピニオンギア直径  $D_p$ 、上昇量  $y$ 、とするとタイヤの回転角  $\theta$  での昇降量は

$$y = \frac{D_p \cdot D}{2 \cdot i \cdot d} \theta \tag{1}$$

と表すことができる。車いすの走行速度を  $v$ 、タイヤ回転角速度を  $\omega$  とすると上昇速度は

$$\frac{dy}{dt} = \frac{D_p \cdot D}{2 \cdot i \cdot d} \omega = \frac{D_p}{i \cdot d} v \tag{2}$$

となる。手動車いすにおいてハンドリム（タイヤ）を1秒間に0.3回転 = 1.88[rad/s]とすると、 $D = 22[\text{in.}] = 570[\text{mm}]$ 、 $D_p = 28[\text{mm}]$ 、 $d = 30[\text{mm}]$ 、 $i = 50$ とすると昇降速度は10[mm/s]となる。また、 $v = 6[\text{km/h}] = 1.67[\text{m/s}]$ の電動車いすの場合には昇降速度は31[mm/s]となる。

上昇に要するタイヤトルク  $T$  は持ち上げ荷重  $W_g$  とすると

$$T = W_g \frac{dy}{d\theta} = \frac{W_g \cdot D_p \cdot D}{2 \cdot i \cdot d} \tag{3}$$

となる。 $W = 150[\text{kg}]$ とすると、 $T = 7.8[\text{N}\cdot\text{m}]$ となる。直径20[in.] = 508[mm]のハンドリムに加える腕力は3.1[kgf]程度となる。このままでは重く、使用者にとって負担となる。軽くするには減速比をあげて昇降速度を下げればよいが、昇降に要する時間がかかり、また必要なタイヤの回転数も増える。つまり昇降に要するトルクと速度はトレードオフの関係にある。

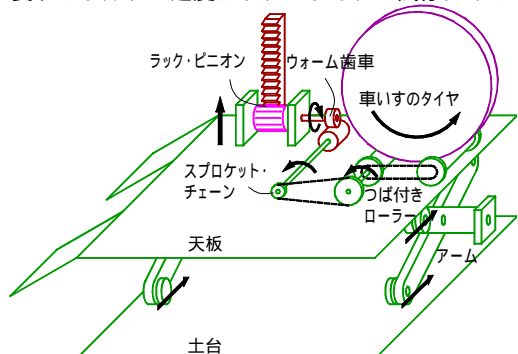


図1 ラック・ピニオンを用いた段差解消機

### 3. ガススプリングとチェーンを用いた駆動トルク軽減機構

駆動トルクを軽減するにはまずばねが考えられるが、ばねの場合、昇降高さによってばねによる反力が変化するため、ラック・ピニオン方式には向かない。そこで反力の変動が少ないガススプリングを用いることにした。ガススプリングによって自重をキャンセルさせ上昇、下降共に同程度のトルクで昇降させるようにする。しかし、例えば昇降量（ストローク）570[mm]のガススプリングを付けると装置の高さが著しく大き

くなる。そこでチェーンとスプロケットを用いて図2のようなコンパクトで昇降量を満足するトルク軽減機構を実現した。動滑車の原理により昇降量の半分のストロークのガススプリングでよい。軽減する荷重の2倍のガス反力が必要となため、ガススプリングを2組使った。

ガススプリングによる軽減力  $F_G$  はガススプリング最大反力  $F_{max}$ 、最小反力  $F_{min}$ 、ストローク  $S$ 、初期のび長さ  $\delta$ 、ガススプリング本数  $n$  とすると

$$F_G = \left[ F_{max} - \frac{F_{max} - F_{min}}{S} \left( \frac{y}{2} + \delta \right) \right] \frac{n}{2} \quad (3)$$

と表すことができる。これは式(3)における  $W_g$  を打ち消すように働くのでガススプリングによるトルク軽減機構を組み込んだ場合の駆動トルクは

$$T = \frac{D_p \cdot D}{2 \cdot i \cdot d} (W_g - F_G) \quad (4)$$

と表すことができる。 $F_{max} = 654$  [N],  $F_{min} = 490$  [N],  $S = 340$  [mm],  $\delta = 27$  [mm],  $n = 4$  本とすると高さによるトルクの変化は図3のようになる。最上昇高さ570[mm]でのトルクは2.5[N・m]となり、軽減機構を付けないときの3分の1に抑えることができる。

4. 昇降共に車いすの前進で行う機構

ローラー部が1組だけの場合、下降時は後進して装置に入り、後進方向のタイヤの回転を行う必要があった。後進での乗り入れは振り返り動作が必要で、また後ろを向いたまま車いすを操作する必要があるため乗り入れが困難である。そこで上昇も下降も共に前進で乗り入れ、前進方向のタイヤの回転で行える機構を考案した。その概要を図4に示す。2組のローラに

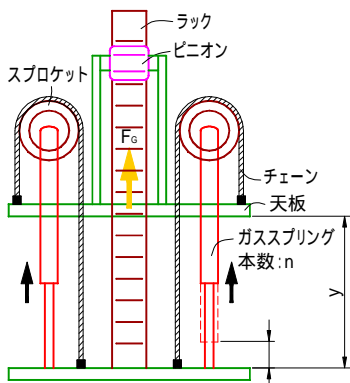


図2 トルク軽減機構

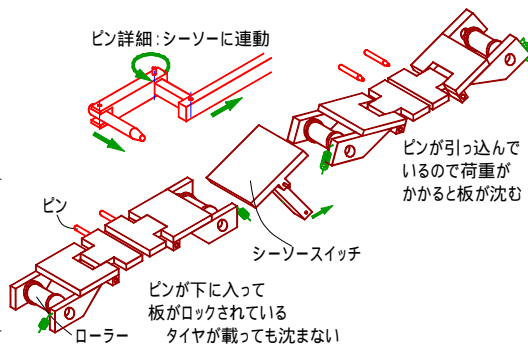


図4 昇降共に前進で行う機構

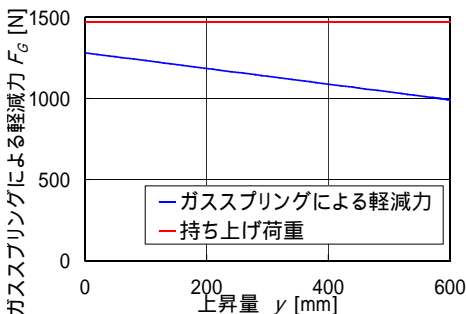


図3 ガススプリングによる軽減

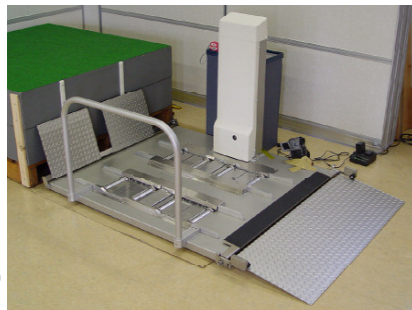


図6 試作した段差解消機

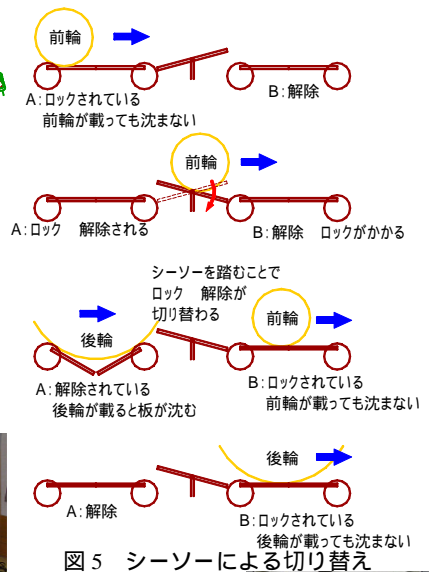


図5 シーソーによる切り替え



図8 昇降の様子



図7 試作したトルク軽減機構

より昇降を行う。しかし、ローラーを2組配ただけでは前輪がローラー間に落ち込んでしまう。そのため前輪はローラー部を通過し、後輪はローラー間に収まる必要がある。これをローラー部の間にあるシーソーを前輪で切り替えることによりローラー間の板が沈むようにした。切り替え動作の詳細を図5に示す。まず前輪がロックされた板Aの上を通過し、シーソーを踏む。するとロックされていた板Aが解除され、Bの板がロックされる。この状態で後輪がAの板を踏むと板は沈みローラー部に収まる。昇降後、後輪がBの上を通過し装置の外へ出る。この板のロック・解除をシーソーと連動したピンにより行った。

5. 試作と動作検証

ラック・ピニオン方式でガススプリングによるトルク軽減機構、および昇降共に前進で行える機構を持った段差解消機を試作した。図6に試作した段差解消機を、また、図7にガススプリングによるトルク軽減機構を示す。実際に手動車いすおよび簡易電動車いすにより動作検証を行った。その様子を図8に示す。乗り入れから前輪の通過、昇降乗り出しと一連の動作をスムーズに行うことができた。また、トルク軽減機構により駆動トルクが軽減されていることも確認できた。

6. まとめ

ガススプリングによるトルク軽減機構、昇降共に車いすの前進で行う機構を開発した。それらを組み込んだラック・ピニオン方式の段差解消機を試作し、動作することを確認した。

参考文献

[1]小林他, 車いすの動力を利用した段差解消機の開発 (第3報), 精密工学会春季大会公園論文集, pp451 (2003)