

## 研究報告書（研究課題：「鉛直足踏み式移動機器の開発 ～人力による移動方式に新しい波を～」）

原口真

福井工業大学 工学部 機械工学科

Abstract: There are many elderly people and patients with movement impairment due to paralysis caused by brain stroke and so on. Sufficient rehabilitative training is necessary for these people. Rehabilitation support systems using robotic and mechatronics technology are expected to quantify the effects of rehabilitative training and enhance the motivation of patients. In this paper, we describe about development of bike which can be pedaled in the vertical direction.

### 1. 緒言

人力による移動機器は自転車のようにクランクを回す足漕ぎ型が主流であるが、運動障害を持つ人々や高齢者などを含めた、より多くの人が移動手段として使用できるように、体重を左右に移動させるだけ、あるいは片足で踏むだけの簡単な操作で前へ移動することのできる、新規構造を有した鉛直足踏み式移動機器を開発する。鉛直足踏み運動はクランクを漕ぐ運動に比べて、必要な関節可動域や筋肉部位が少なくなるため、適用者が増える場合がある。また、足踏み式移動機器は通常の歩行器よりも転倒のリスクを失くすことができ、しかしながら車椅子とは違って下肢に体重をかけながら運動して、血流を増やし、体力向上・維持を図ることが可能である。

### 2. 装置の設計について

図1に本研究で開発した足踏み歩行器の全体図を示す。利用者は左右に設置された踏み板（それぞれを独立に動かすことができる）を左右の足で鉛直下向きに踏みこみ、歩行器を駆動させる。立位姿勢をとることが困難な使用者用に、臀部を置くことができる可動式のサドルを設置する。

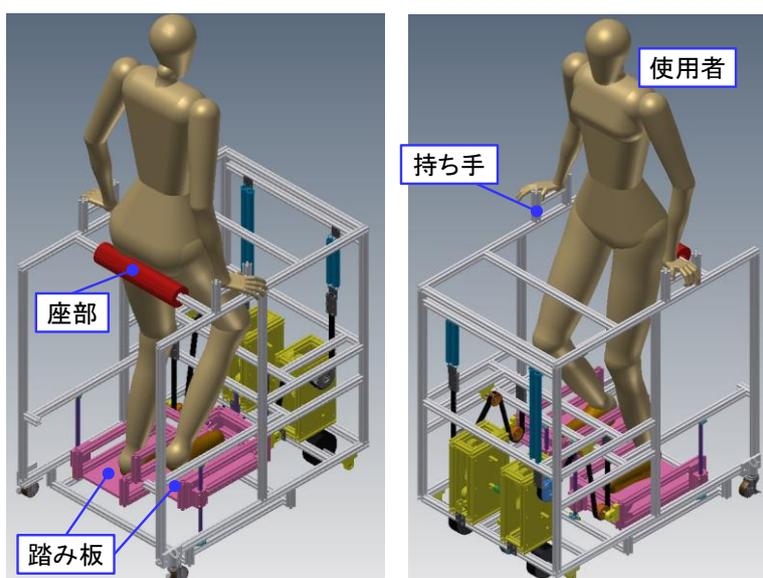


図1：鉛直足踏み移動機器の外観

足踏み部のみを抜粋・拡大したものを図 2 に示す。踏み板はリニアガイドによって支持され、鉛直方向のみに滑らかに動かすことができる。通常であれば踏み板は踏み込んだ際に元の位置に復帰しないが、今回の装置では引っ張りばねの復元力を利用することにした。車輪を動かす駆動力に加えてばねの復元力も含めた力で、足を踏みこみ、車軸を駆動し、ばねを伸展させる。下肢の力を緩めると、ばねの復元力によって踏み板が元の位置に復帰する。なお、踏み板と車軸の間に絶対値機構というものが挟まれているが、これについては後の 3 章で説明する。引っ張りばねなどが外れた時の安全性確保、緩衝用、および引っ張りばねのアシストを目的として、リニアガイドを通して軸には圧縮ばねを通すことにする。

足踏み機構のより詳細な説明図を図 3 (CAD 図)、図 4 (簡易略図) に示す。左右の踏み板にはアイドラとタイミングベルト (以下 TG ベルトと略す) が取り付けられており、踏み板を踏みこむとベルトが引っ張られ、絶対値機構の入力軸を回し、さらに引っ張りばねを伸展させる機構となっている。踏み板のアイドラはいわゆる動滑車であるので、踏みこんだ量(今回は 80mm 程度)の 2 倍、入力軸は回転し、ばねは伸展することになる。図 5 に示す通り、絶対値機構の出力は TG ベルトを介し、車軸に伝える。

### 3. 絶対値機構について

2 章で説明した足踏み機構においては、足の運動方向によってプーリの回転方向が変わるため、通常では機器は前進と後退を繰り返してしまうが、図 6 に示す装置でこの問題の解決を図る。図 6 の装置では、右の軸 (入力軸) のプーリにワンウェイクラッチ (以下 OWC と略す) を挿入している。上部のプーリは TG ベルトを介して出力軸に左回りのみの動きを伝える。下部のプーリは右回りの動きのみを伝達させるが、ダブルタイミングベルト (以下 DTG ベルトと略す) を介しているため、出力軸には左回りの動きが伝わる。結果として、入力軸を左右どちらの方向に回転させても、一定方向の回転を出力することができる。正転逆転どちらを入力しても正転の出力が得られるため、この装置の事を「絶対値機構」と呼ぶことにする。図 6 はアクリル板で

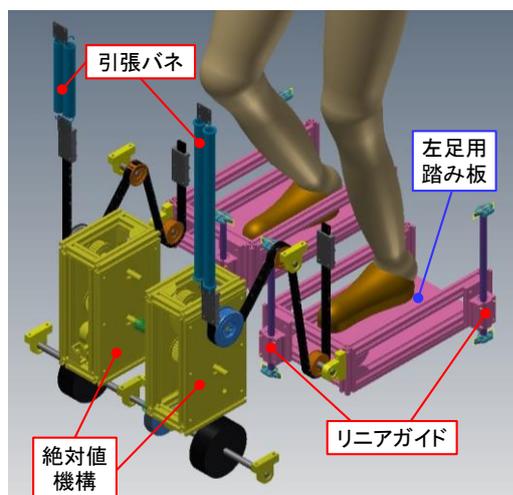


図 2 : 足踏み機構部

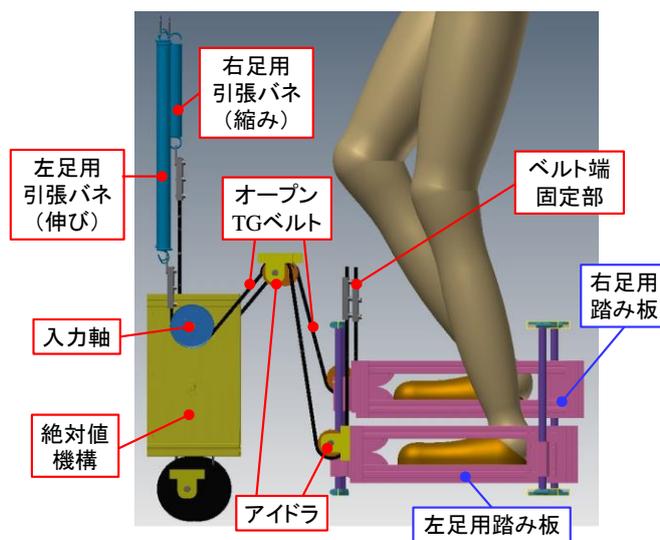


図 3 : 駆動メカニズム (3D-CAD)

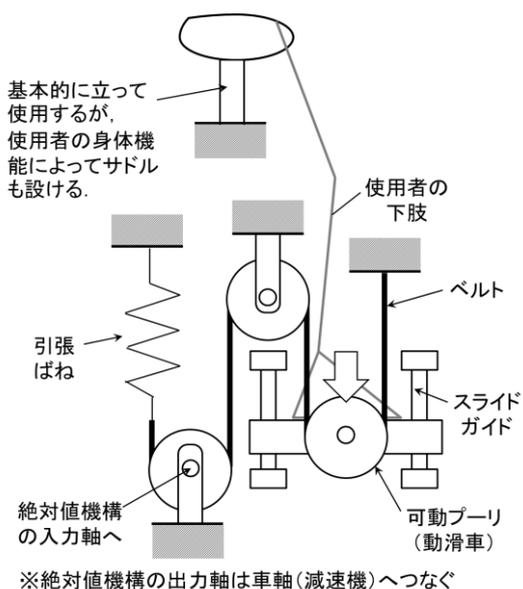


図 4：駆動メカニズム (模式図)

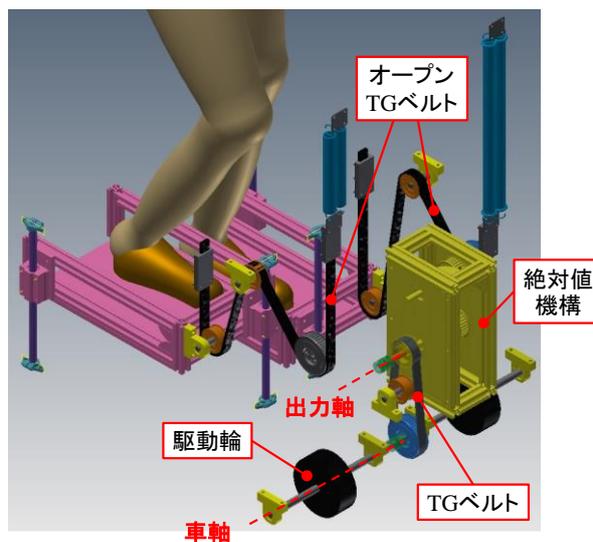


図 5：車軸部の構造

製作した、動作を確認するための試作機であるが、エンプラ板やアルミフレームを用いて実用に耐えうる構造にしたものを図 7 に示す。

上記の絶対値機構を左右用に 2 つ用意して設置する (図 2 参照) と、左右の踏み板を独立して動かすことができる。左右を交互に動かしたり、片方のみを動かしたり、また障害のある方や高齢者向けの使い方ではないが、同時に踏みこみジャンプのような特殊な動きをしたりしても、車軸を常に前転方向に回すことができる。なお絶対値機構は、出力軸側から回したとき、入力軸は一切回転しないという性質を持つ。よって、車軸が自由回転している時、踏み板は出力軸によって影響を受けることはない。また、絶対値機構は、出力軸側から回したとき、一方向にしか回せない (逆方向はロックする)。すなわち前進しかできないということであり、これは歩行器を坂道などで後退させない目的に対してはメリットであるが、後退させたい場合においては U 字

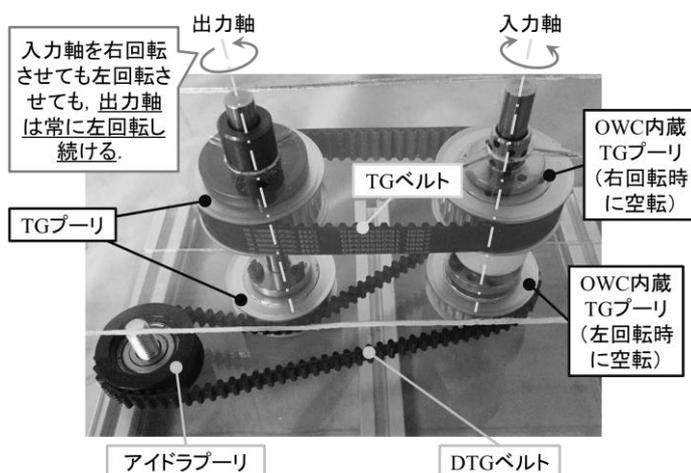


図 6：絶対値機構の内部構造



図 7：絶対値機構

ターンするか、車輪を持ち上げるしかないためデメリットとなる。

足の運動方向によってプーリの回転方向を変化させない最も簡単な方法は絶対値機構の代わりにシンプルに OWC を使用することであるが、OWC では例えば踏み込んだ時のみの動きしか車軸に伝えることができず、クランク漕ぎ運動のような連続的な運動にすることはできない。筆者らは過去に平行リンク機構および引っ張りばねと OWC で足踏み機構を製作した<sup>(4)</sup>が、連続的な回転運動に繋げにくかった。その点、絶対値機構は足を上げても下ろしても出力軸は前転し、連続的な運動に繋げられる。また絶対値機構も含めて、本開発装置は死点が存在しないため、滑らかに足踏み運動を継続することが可能である。

以上のような機器で鉛直足踏み運動をすると、少ない可動域で大臀筋、大腿四頭筋、ハムストリング、腓腹筋などの活動が期待できる。一方で足関節を余り動かさないため、足関節の可動域訓練にはならず、前脛骨筋、ヒラメ筋もあまり活動しないのではないかと考えられる。この点は自転車や足漕ぎ車いすのようなクランク漕ぎ運動と大きく異なる点であり、少ない動きで移動できるというメリットでもあり、足首の運動ができないというデメリットでもある。少なくとも足に体重をかけて大腿骨や脛骨、関連の筋肉を維持・強化し、血流を増加させることができることは間違いない。

#### 4. 実際に製作した鉛直足踏み式移動機器

図 8 に実際に製作した装置を示す。図 3, 4 で示した駆動機構は、実際には図 9 のように製作された。実際に開発装置に乗って試運転をしたところ、脚を踏み込んだ時と上げた時両方とで装置は前進した。摩擦抵抗が大きい箇所があるので、その部分を改良した二次試作機を考案していく（二次試作機ではその他、ステアリングの追加、タイヤの巨大化、下肢に体重をかけることのできるサドルの採用、遊星歯車を用いた増速機の適用、剛性の向上などを反映していく）。

#### 5. 結言

その場で鉛直方向に足踏みするだけで前進させることのできる歩行器を開発した。左右にある



図 8：実際に製作した装置

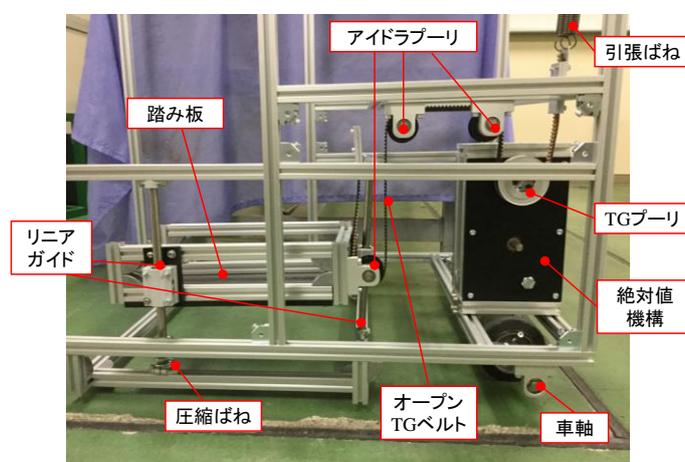


図 9：駆動機構の製作

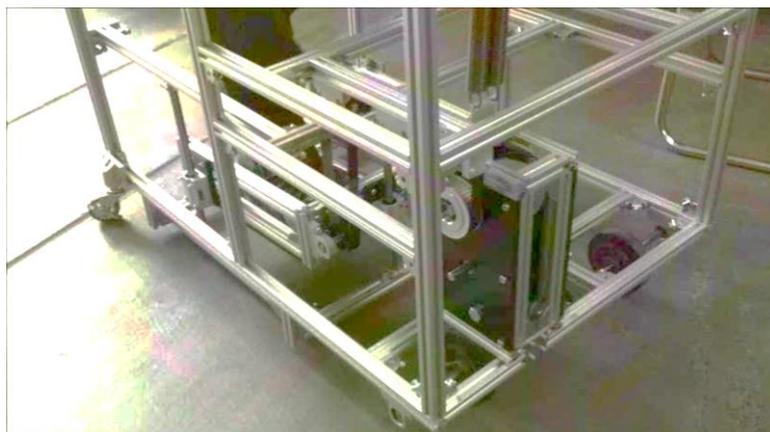


図 10：開発機器の稼動の様子

踏み板を鉛直方向に数 cm 踏みこむだけで装置が前進するので、脚の関節可動域を余り必要としない。膝に痛みのある人にも適用できることが見込まれる。本開発装置は将来的にモータアシストと併用して使用するが、機械的な足踏み機構であるので、バッテリーが切れても使用することができる。また、足が動く限りはモータアシストゼロで使用してほしい。足踏みの動きをホールセンサなどで感知して、足の動力は使用せず、モータのみのフルアシスト電動で車軸を回すという方法も考えられるが、機械的な構造で車輪が回せるような構造が望ましい。モータの動力に頼ってばかりしていると、足踏み歩行器の本来の目的である、下肢の筋力を使わせることができず、リハビリ運動や介護予防運動につながらない。

この移動機器を完成させ、普及させることで、今までよりも幅広い数の人々が自分の力で移動ができるようになることが期待される。転倒する危険性がために車椅子を利用しており、下肢の筋肉を衰弱させているような人々にぜひ利用してもらいたい。

#### 参考文献

- (1) 原口真, 大槻祐介, 「鉛直足踏み式リハビリバイクの研究開発」, 第 16 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2015), 2015.
- (2) 原口真, 「リハビリと介助のための簡易型福祉ロボット装置の研究開発」, 地域ケアリング, 北隆館, 2017.