

受動歩行機の製作と大きさによる歩容の変化

2015SC022 廣瀬陽平 2015SC034 岩田高志

指導教員：大石泰章

1 はじめに

受動歩行とは、動力を用いず重力のみの作用によって、下り坂を自然な歩容で歩く歩行である [1]。受動歩行は効率の高い歩行であり、人の歩行とほとんど変わらない効率であることが示されている [2]。

本研究では、文献 [2] に基づいて容易に入手可能な材料を用いた受動歩行機の製作を試み、斜面の角度による歩行距離の変化や、片足に重りをつけることによる受動歩行機への影響を調べることによってその性能の解析を行う。特に、文献 [2] の受動歩行機の 1.5 倍の大きさの受動歩行機を製作し、もとの大きさの受動歩行機と比較することにより、どのような変化があるのか調べる。受動歩行機を製作し、実験を行うことにより、歩行に対する理解が深まり、より良い設計を行うための手がかりが得られると考えられる。

2 1.0 倍の受動歩行機の製作

まず、衣笠らの文献 [2] に基づいて、文献にある通りの大きさの受動歩行機 (以下、1.0 倍の受動歩行機と呼ぶ) を製作する。使用した材料は、厚さ 4mm のプラスチック段ボール (以下、プラダンと呼ぶ)、ステンレス棒、輪ゴム 4 本、両面テープ、ストロー、滑り止めシートである。

作成の手順は次の通りである。まず、プラダンを設計図をもとに切断して、ノの字型の部品を 14 個、レの字型の部品を 6 個の計 20 個を作る (図 1)。そして、ノの字型の部品 3 個を両面テープで貼り合わせたものを 2 組作る。同様に、ノの字型の部品 4 個を貼り合わせたものを 2 組、レの字型の部品 3 個を貼り合わせたものを 2 組作る。次に、レの字型の部品の前方にノの字型の部品 4 個を、後方にノの字型の部品 3 個を貼り付ける (図 2)。なお、図 2 の左側が前方、右側が後方である。その後、真ん中のレの字型の部品の上部にカットしたストローを差し込む。そして、ステンレス棒を取り付けストローの両端を輪ゴムで固定する。最後に受動歩行機が滑るのを防ぐため、足底に滑り止めシートを貼り付ける。以上で受動歩行機は完成である。

製作した 1.0 倍の受動歩行機を図 3 に示す。

3 受動歩行機の改良

はじめに製作した 1.0 倍の受動歩行機は、足底の凸凹や、滑り止めに引っかかって停止したり、歩幅が大きすぎて前に転倒したりすることが多かった。そこで、製作において 3 つの工夫をした。

1 つ目は、地面と接する足底を平らにしたことである。図 3 の歩行機は、足底が凸凹で斜面に引っかかり、停止してしまうことが多かったので、足底をやすりで削り、滑ら



図 1 ノの字型とレの字型の部品



図 2 作成した足

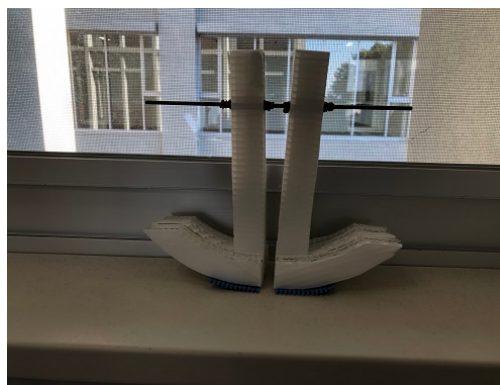


図 3 製作した 1.0 倍の受動歩行機

かに整え、よりスムーズな歩行を可能にした。

2 つ目は、足底の表面積を小さくしたことである。ノの字の部品を前に 4 個、後ろに 3 個つけていたが、受動歩行機が、足底の表面積が大きすぎて引っかかって停止してしまうことがあったので、前と後ろに 3 個ずつつけるようにして、足底の表面積を小さくした。

3 つ目は、使用する滑り止めシートをより薄く、表面積

が大きいものに変更したことである。さらに、文献 [2] にしたがって、滑り止めシートを進行方向側に少しはみ出させた。そうすることにより、足底が滑りにくくなるとともに、受動歩行機が若干後ろに傾き、その結果、前方に転倒することを防ぐことができる (図 4)。

以上の 3 つの工夫をすることにより、受動歩行機が足底の凸凹や滑り止めに引っかかって停止することや、重心が前にかかりすぎて前方に転倒してしまうことが減少し、より安定した歩行をするようになった。

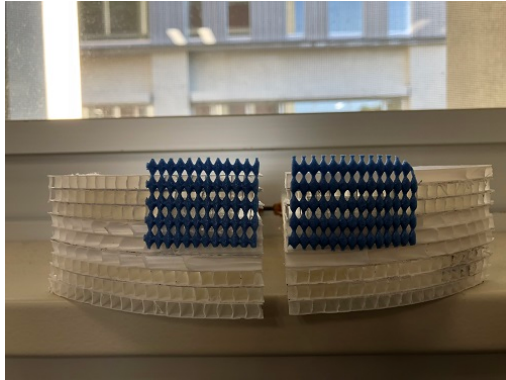


図 4 滑り止めシートの貼り方

4 1.5 倍の受動歩行機の製作と工夫

異なる大きさの受動歩行機を製作し、1.0 倍の受動歩行機と比較して、どのような違いがあるかを検証するため、使用したプラダンで作れる最大のサイズである 1.5 倍の受動歩行機を製作した。ノの字型とレの字型の部品を 1.0 倍の受動歩行機の 1.5 倍の大きさに切断して、受動歩行機を作成した (図 5)。



図 5 プラダンで製作した 1.5 倍の大きさの受動歩行機 (右)

1.5 倍の受動歩行機は、1.0 倍の受動歩行機と同様に製作したところ、レの字型の部品の直線部分の長さが長すぎて前に転倒することが多かった。そこで 1.5 倍の受動歩行機の製作において 2 つの工夫をした。

1 つ目は、前につけるノの字型の部品の数を変更したことである。1.0 倍の受動歩行機と同様に、ノの字の部品を前と後ろに 3 個ずつつけるのではなく、ノの字の部品を前

に 5 個、後ろに 3 個つけるようにした。そうすることで前の 5 個のノの字の部品がストッパーになり、前に転倒することを防ぐことができる。

2 つ目は、滑り止めシートをはみ出させる長さを長くしたことである。1.0 倍の受動歩行機では滑り止めシートを約 0.5 cm はみ出させていたが、1.5 倍の受動歩行機では滑り止めシートを約 1.5 cm はみ出させ、前に転倒することを防いだ。

その結果、1.5 倍の受動歩行機も、1.0 倍の受動歩行機と同様に、安定した歩行ができるようになった。

5 斜面の角度の影響

5.1 1.0 倍の受動歩行機

1.0 倍の受動歩行機を歩かせてその性質を調べる。歩行する斜面の長さは 35 cm で統一した。最初に、斜面の角度を 1 度から 8 度まで 1 度刻みで変化させ、転倒せずに歩行する距離を測定する。次に、各角度ごとに 20 回ずつ測定しその歩行距離の平均を計算した。各角度ごとの歩行した平均距離を図 6 に示す。なお、図 6 の四角で囲った箇所は、測定した 20 回のすべてで転倒したことを示す。

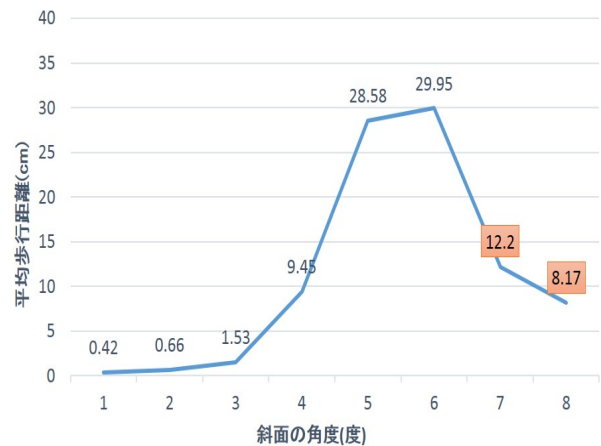


図 6 1.0 倍の受動歩行機の各角度ごとの平均歩行距離

1 度から 4 度のときは角度が大きくなるにつれて歩行距離が伸びた。その中でも、1 度から 3 度までは斜面が緩やかなため、足踏みをする程度でほとんど歩行しなかった。5 度と 6 度のときに最も安定して歩行し、35 cm を歩き切ることが多かった。中でも、6 度のときに平均歩行距離が最も長かったため 6 度が斜面の最適な角度であると考えられる。7 度と 8 度のときは、斜面が急なため、途中で転倒してしまい 1 回も完走することができなかった。また、7 度を超えると斜面の角度が大きくなるにつれて、歩行距離は短くなっていった。

5.2 1.5 倍の受動歩行機

次に、1.5 倍の受動歩行機を歩かせる。歩行する斜面の長さは 1.0 倍の受動歩行機と同様に、35 cm で統一したが、斜面の角度は 3 度から 9 度まで 1 度刻みで変化させ、歩

行距離を測定した(図7)。なお、図7の四角で囲った箇所は、測定した20回のすべてで転倒したことを示す。

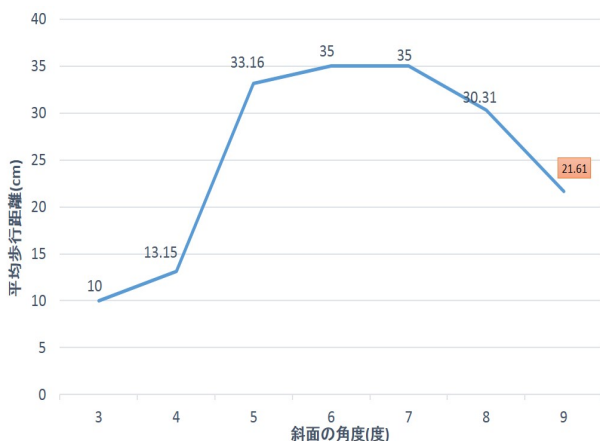


図7 1.5倍の受動歩行機の各角度ごとの平均歩行距離

1.5倍の受動歩行機は、3度から5度のときは斜面の角度が大きくなるにつれて歩行距離が大きくなり、8度、9度のときは斜面の角度が大きくなるにつれて歩行距離が小さくなった。6度と7度のときは測定した20回すべてで35cmを完走したため、6度と7度が最適な角度であると考えられる。また、3度から9度までの間では、1回も転倒することはなかった。1.0倍の受動歩行機は平均歩行距離が25cm以上であったのは5度と6度の2つの場合だったのに対し、1.5倍の受動歩行機は平均歩行距離が25cm以上であったのは5度から8度の4つの場合であり、1.5倍の受動歩行機の方が全体的に平均歩行距離が長かった。

1.0倍の受動歩行機と1.5倍の受動歩行機の両方とも、歩行する斜面の長さは35cmで統一したため、1歩で歩くの距離が長い1.5倍の受動歩行機の方が全体的に平均歩行距離が長くなったと考えた。

そこで、1回以上35cmを完走した5度から8度の場合で、斜面の長さを35cmの1.5倍の52.5cmとして測定した(図8)。

斜面の長さを52.5cmとしたとき、5度と8度の場合においては、斜面の長さが35cmのときと平均歩行距離がほとんど変わらなかった。斜面の長さが35cmのときすべて完走した6度および7度の場合では、6度のときは35cmのときと平均歩行距離がほとんど変わらなかったが、7度のときは平均歩行距離が8cm以上伸びた。よって、1.5倍の受動歩行機では7度が最適角度であることがわかる。

図6と図8より、1.0倍の受動歩行機では、斜面の角度が5度と6度の場合以外は歩行距離が非常に短くなっている。それに対して1.5倍の受動歩行機では、斜面の角度が3度と4度の場合以外は歩行距離が全体的に長くなっている。以上のことより、1.5倍の受動歩行機の方が相対的に平均歩行距離が長いことがわかった。

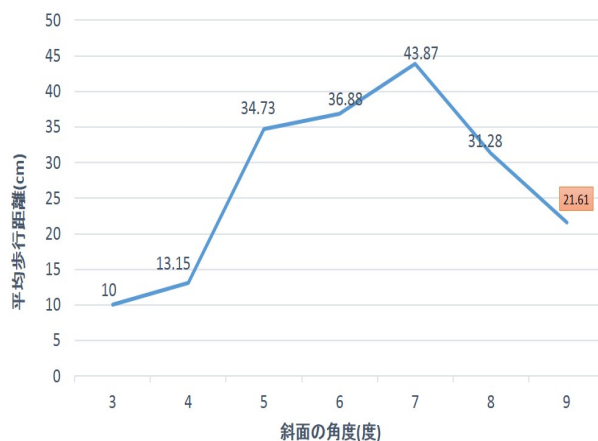


図8 斜面の長さが52.5cmのときの1.5倍の受動歩行機の各角度ごとの平均歩行距離

6 歩数と歩行時間

1.0倍と1.5倍のそれぞれの受動歩行機が、斜面の角度を最適な角度に選ぶとき、35cmを完走するのに要する歩数と歩行時間を測定した。

それぞれの受動歩行機を35cmを20回ずつ完走させ、完走したときの平均歩数と平均歩行時間を算出した(表1)。

表1 それぞれの受動歩行機の平均歩数と平均歩行時間

	1.0倍の受動歩行機	1.5倍の受動歩行機
斜面の最適な角度(度)	6	7
平均歩数(歩)	22.5	13.1
平均歩行時間(s)	8.5	4.8

斜面の角度は、それぞれの受動歩行機の最適角度とした。すなわち、1.0倍の受動歩行機では6度、1.5倍の受動歩行機では7度とした。

表1より、平均歩数も平均歩行時間も1.5倍の受動歩行機の方が短くなっていることがわかる。1.5倍の受動歩行機の平均歩数と平均歩行時間が短くなったのは、1.5倍の受動歩行機の方が歩幅が大きくなったためだと考えた。以上のことより、受動歩行機が大きくなればなるほど歩幅が大きくなっていくと考えられるため、平均歩数と平均歩行時間は小さくなっていく可能性があると考えた。

7 受動歩行機の耐久性

7.1 1.0倍の受動歩行機の右足に重りをつけたときの耐久性

受動歩行機の片足に紙粘土で作成した重りを取り付けて重心を変化させた場合、受動歩行機の平均歩行距離にどのような影響が生じるのかを解析した。

まず、1.0倍の受動歩行機の右足に紙粘土で作成した重りを取り付け、重りの質量を1gから10gまで変化させて20回ずつ歩行させた(図9)。なお、斜面の角度は、図6よ

り平均歩行距離が最も長かった6度とした。また、図9の四角で囲った箇所は、測定した20回のうち1回以上完走したことを示す。

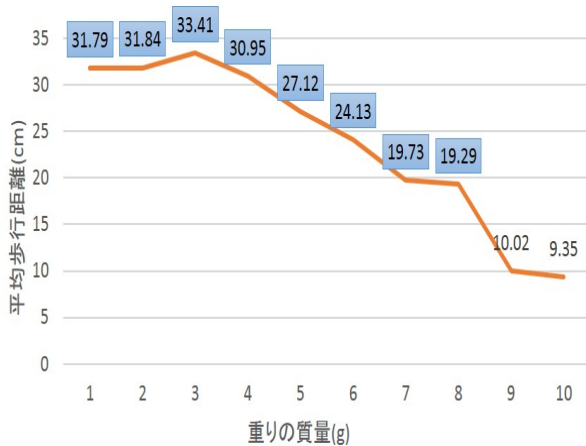


図9 1.0倍の受動歩行機の右足に重りをつけたときの平均歩行距離(斜面角度6度)

図9より、1.0倍の受動歩行機の右足に重りをつけた場合、重りの質量が6gまでは比較的平均歩行距離が長いことが分かった。しかし、重りの質量が7g以上になると、平均歩行距離が徐々に短くなっていき、35cmを完走することも減っていくことがわかった。以上のことより、重りの質量が1gから6gまでは比較的重りが与える受動歩行機への影響が小さく、重りの質量が7g以上から受動歩行機へ重りが与える影響が大きくなっていくことがわかった。

7.2 1.5倍の受動歩行機の右足に重りをつけたときの耐久性

次に、1.5倍の受動歩行機の右足に紙粘土で作成した重りを取り付け、重りの質量を変化させて20回ずつ歩行させた(図10)。なお、斜面の角度は、図8より平均歩行距離が最も長かった7度とした。また、図10の四角で囲った箇所は、測定した20回のうち1回以上完走したことを示す。

図10より、1.5倍の受動歩行機の右足に重りをつけた場合、重りの質量が12g以下までの間では比較的平均歩行距離が長いことが分かった。12g以下までは1回以上完走していて、平均歩行距離も長いので重りの影響が小さいと考えた。13g以降は、比較的平均歩行距離は長いものの、測定した20回において1回も完走していないため、13gあたりから徐々に重りの影響が大きくなっていくと考えた。

図9と図10より、1.0倍の受動歩行機と1.5倍の受動歩行機を比較すると、1.5倍の受動歩行機の方が重りの影響を受けにくく、耐久性が高いと考えた。

なお、1.0倍と1.5倍のそれぞれの受動歩行機の左足に重りをつけて測定した場合も、右足に重りをつけた場合と同様な傾向が得られた。

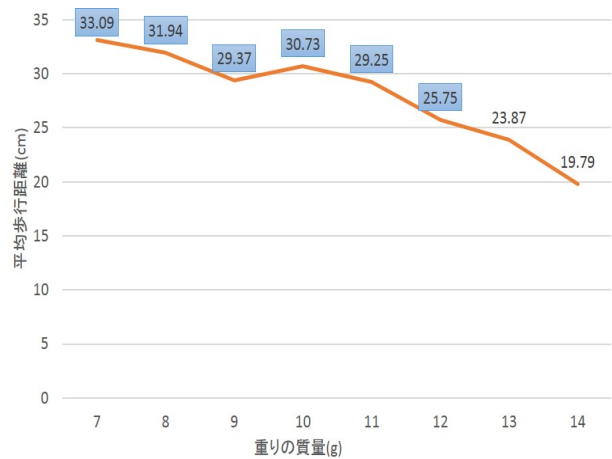


図10 1.5倍の受動歩行機の右足に重りをつけたときの平均歩行距離(斜面角度7度)

8 おわりに

本研究では、文献[2]に基づいて1.0倍と1.5倍の受動歩行機を製作した。また、1.0倍と1.5倍のそれぞれの受動歩行機において、同じ斜面の長さに対する平均歩数と平均歩行時間を比較した。

1.0倍の受動歩行機よりも1.5倍の受動歩行機の方が平均歩数と平均歩行時間が小さくなったが、これは、1.5倍の受動歩行機の方が歩幅が大きくなったためだと考えた。本研究では、2種類の大きさの受動歩行機しか製作できなかったが、さらに受動歩行機の大きさを大きくすると、歩幅が大きくなり平均歩数と平均歩行時間が小さくなっていく可能性があると考えた。

さらに、斜面の角度による平均歩行距離の変化と片足に重りをつけることによる受動歩行機への影響を調べることによって、その性能を解析した。

図6と図8より、1.5倍の受動歩行機の方が相対的に平均歩行距離が長いことがわかった。また、図9と図10より、1.5倍の受動歩行機の方が重りの影響を受けにくいため、1.5倍の受動歩行機の方が耐久性が高いと考えた。

参考文献

- [1] 佐野明人： https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsj/30/4/30_30_350/_pdf
- [2] 衣笠哲也・大須賀公一・土師貴史：『受動歩行ロボットのすすめ』、コロナ社、東京、2016。