

歩行効率向上のためのアシスト装具の開発

知能メカトロダイナミクス研究室 1191001 宮本 弦

1. 緒言

一般的な健康法として長時間の歩行がある。歩行は人間にとって身近な運動である。激しい運動ではないため、心臓などへの負担が少なく、全身の筋肉を使う運動のため、生活習慣病の予防など様々な病気の予防に推奨されている。近年日本は超高齢化社会に突入したが、高齢者はもともと体力が少ないため、長時間の歩行は難しい。そこで高齢者の少ない体力でも歩行効率を改善することで、長時間の歩行を可能にするアシスト装具の開発を行う。

歩行効率の改善について、先行研究では歩幅と歩調の関係より、エネルギー効率の良し悪しを求めることができると報告されている⁽¹⁾。そこで歩幅と歩調をリアルタイムに測定し、そこから歩行効率を推定し、その値に応じた適切なアシストができれば、効率のよい歩行に導くことができると考えられる。

本研究では、体に取り付けた慣性センサや角度センサで歩幅と歩調の推定を行い、歩行効率を判定する。効率が悪い場合は、歩行状態に応じたアシストを行うことで、効率の良い歩行に導くシステムの開発を行う。本報では、エネルギー消費量の推定に必要な歩幅と歩調の測定方法を説明し、新しく改良した試作機の性能評価、試作機を用いて行ったアシスト実験の結果を示す。

2. 歩行のエネルギー消費量の推定方法

文献⁽¹⁾によると、いかなる速度においてもエネルギー効率の良い歩幅 s [m] と歩調 n [step/min] の関係は

$$s = 0.0063n \quad (1)$$

で表されるとされている。

本研究グループにおいて、呼気ガス分析装置式を用いて式(1)の妥当性を確認した結果が図1である⁽²⁾。図1の実線は式

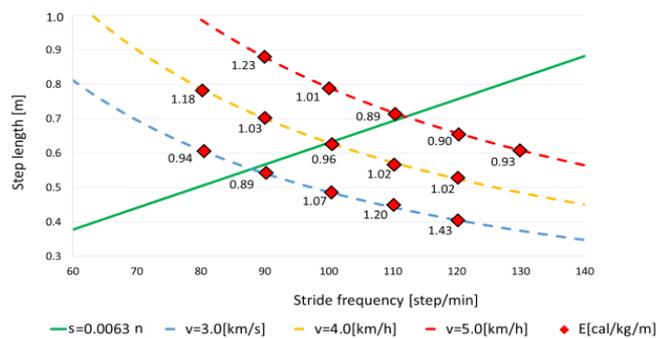


Fig. 1 Verification of accuracy of equation (1).⁽²⁾

(1), 点線は歩行速度[km/h], 赤色の菱形マーカーはエネルギー消費量 E [cal/kg/m] を示している。

図に示すように、実線に近づくほど、エネルギー消費量が低減することが実験により確かめられた。したがって、モータによる適切なアシストにより装着者の歩幅と歩調を調節し、歩行状態をこの式(1)の直線に近づけることが効率の良い歩行に導くことに繋がると考えた。

3. アシスト装具の概要

3.1 歩幅と歩調の測定方法⁽²⁾

後述するアシスト装具では、歩行中の股関節と膝関節の関節角度をエンコーダで測定し、腰部に取り付けたジャイロセンサの計測値に基づく腰の捩じれ角の推定値から、両足接地時の歩幅と歩調を求める。なお、両足接地のタイミングは、加速度センサで歩行中の体幹の鉛直方向の揺れを測定することにより判定する。

まず、歩行中の関節角度の変化には周期性があるので、周期 T [sec] を求めることが出来る。よって、歩調 n は

$$n = 120/T \quad (2)$$

で導出できる。

図2に歩幅を算出するための下肢のモデルと変数を示す。大腿長 l_1 [m], 下肢長 l_2 [m], また、両足接地時における股関節 a_1 [rad] と膝関節角度 b_1 [rad] が判れば右歩幅 s_1 [m] は

$$s_1 = l_1 \sin a_1 + l_2 \sin(a_1 + b_1) \quad (3)$$

となり、同様に左歩幅 s_2 [m] も求めることができる。それに、腰の捩じりの影響 e を加算すれば歩幅 S は

$$S = s_1 + s_2 + e \quad (4)$$

となる。

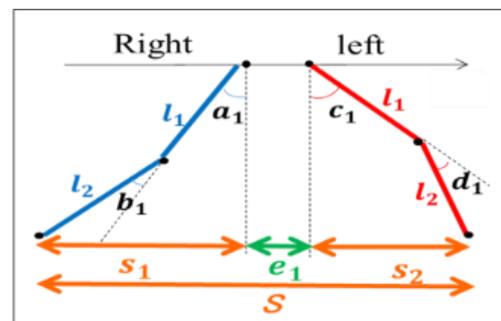


Fig. 2 Variables in calculating step length.

3.2 アシスト方法

本報では、式(1)の関係を満たす歩幅を、理想の歩幅と呼ぶ。本研究ではアシストには理想の歩幅よりも現在の歩幅が小さいときに歩幅を大きくする方向に力を加えることをアシスト、理想の歩幅よりも現在の歩幅が大きいときに歩幅を小さくする方向に力を加えることをレジストと設定した。今回アシスト力はアシスト、レジストともに 1 Nm で行う。両足接地時の歩幅と歩調の推定値と、式(1)の関係を比較し、理想の歩幅でない場合に、アシスト、またはレジストを行う。アシストタイミングは次の一步を踏み出す時で角速度 60 deg/s 以上になったときとした。

4. 改良したアシスト装具の概要

図3左側はこれまで本研究グループで用いていたアシスト装具⁽²⁾の概要図である。これまでのアシスト装具では、膝の装具において大きさの制限があり、脚が細い被験者でしか実

卒業論文要旨

験ができなかった。また膝の装具が脚にフィットせず、長時間実験すると装具がずれて歩幅の測定精度が落ちてしまう問題があった。

新しく改良した膝の装具が図3右側である。改良した点はフレームを脚の横に添う構造とし、マジックテープで固定した。それにより脚の太さの制限はなくなり、脚にもフィットするようになったので装具のずれが軽減した。また以前は膝の角度センサはポテンショメータを用いていたが、エンコーダに変更した。

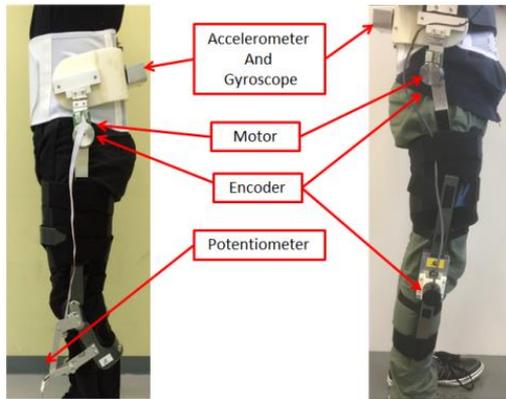


Fig. 3 Test model and new test model.

5. 実験結果

5.1 改良したアシスト装具による歩幅の測定実験

改良したアシスト装具から得られる歩幅の推定値の精度を確認するために、歩幅の測定実験を行った。実験方法は、床に一定の間隔でテープを貼り、そのテープを目印に一定の歩幅で歩行を行い、テープの間隔を歩幅の正解値として、試作機による歩幅の測定結果と比較した。なお、テープの間隔は、400 mm, 500 mm, 600 mm で被験者は標準体形の20代男性1名で実験を行った。

Table 1 Step length measurements by test model and tape pith.

Distance between tapes [mm]	Step	Step length [mm]	Measurement error [mm]	Measurement error [%]	Standard deviation
400	1	376	-24	-6.0	11.6
	2	382	-18	-4.5	
	3	403	3	0.8	
	Average	387	-13	-3.3	
500	1	507	7	1.8	13.7
	2	477	-23	-5.8	
	3	479	-21	-5.3	
	Average	488	-12	-3.1	
600	1	585	-15	-3.75	8.2
	2	578	-22	-5.5	
	3	594	-6	-1.5	
	Average	586	-14	-3.6	

表1に測定結果を示す。すべての歩幅において、測定誤差は3歩の平均では約4%以内であり、標準偏差は14以内であるため、歩幅が変化しても安定して高い精度で歩幅を測定可能であることが確認できた。

5.2 アシスト装具によるアシスト実験

股関節に取り付けたモータでのアシストにより、どのように歩幅と歩調が変化するかを確認するために、アシスト実験を行った。被験者がアシスト装具を装着して歩行し、アシストONに設定した場合とOFFに設定した場合の歩幅と歩調の関係を比較した。歩行速度はトレッドミルを用いて4.0 km/h, 5.0 km/hと設定して、歩行時間は1分間程度で実験を行った。被験者として20代男女6名の健常者を対象に各速度で3回ずつ実験を行った。

図5に実験結果を示す。なお、図の実線は式(1)、点線は歩行速度[km/h]、青色の菱形はアシストをOFF時の歩幅と歩調の関係、赤の菱形はアシストON時の歩幅と歩調の関係を示している。図4よりアシストONにすることでアシストOFFの時よりも歩行効率を改善できていることがわかる。しかし、目標値である式(1)の関係にはまだ届いておらず、歩行効率の改善度が低いと言える。原因としてはアシスト力が弱く、被験者がアシストなのか、レジストなのかという判断が難しいからと考える。

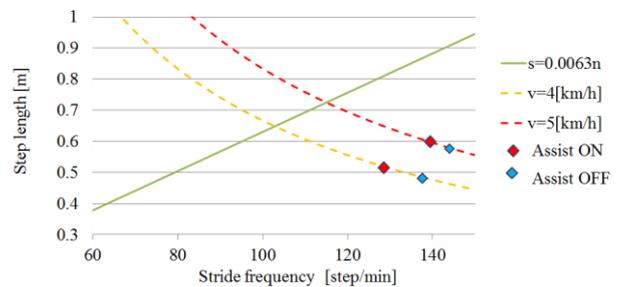


Fig. 4 Results of assist and resist experiments.

6. 結言

歩幅と歩調から歩行のエネルギー消費量を推定し、その値に応じたアシストを行うことで歩行効率を改善するアシスト装具の開発を行った。

これまで用いていたアシスト装具を改良し、問題点を解決したうえで、高い精度で歩幅を測定できる装具を作製した。アシスト装具によるアシスト実験では、股関節に取り付けたモータでのアシストにより、装着者をエネルギー効率の良い歩行に導くことが可能であることが確認できたが、アシスト力を見直す必要があることがわかった。

今後は、追加のアシスト実験を行い、より適切なモータの制御方法、アシスト力について検討する。

文献

- (1) N. H. Molen, R. H. Rozendal, and, W. Boon, "Graphic representation of the relationship between oxygen-consumption and characteristics of normal gait of the human male," Proceedings Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen, 1972, C-75, pp. 305-314.
- (2) 村上 翔太郎, 芝田 京子, 井上 喜雄, 立花 邦彦 "歩行の効率を高めるためのリアルタイム制御可能なアシストシステムの開発" 日本機械学会中国四国支部 第54期総会・講演会, 講演番号 908, 2016