

超音波モータを用いた股関節サポート型歩行アシストシステムに関する研究

東京大学 ○金子貴光, 東京大学 折野裕一郎, 東京大学 ◎森田剛

要旨

健康寿命の延伸という社会的課題に対して、人の歩行機能を補助し転倒を予防する歩行アシストシステムの実現が求められている。本研究では、軽量でパワフル、かつ安全で高効率な歩行アシストシステムを実現するために小型かつ高トルクという特徴を持つ超音波モータを採用した。本システムによって股関節角度に応じた様々な股関節アシストトルクを与えることで、躓きの原因に関係する足部クリアランスの変化を確認した。

1. 序論

日本では近年本格的な高齢社会を迎えたと見えるが、今後一層の老年人口の増加が見込まれる。このような中、高齢者が転倒を起因として、骨折や歩行障害など生活機能の低下を引き起こすことが懸念されているため、転倒を予防し歩行をアシストするシステムについての研究が数多く行われてきた。その一例として、センサとアクチュエータを用いた Cyberdyne 社の HAL® (自立支援用)^[1] やスプリングとカムからなる機構で歩行のアシストを行う今仙技術研究所の ACSIVE (歩行支援用)^[2] といったものが挙げられる。本研究では特にアンビエント性という指標について着目した。ここでのアンビエントとは小さく、軽く、装着しやすい、人間が意識せずに機械を使えるといった意味であり、本研究ではアンビエントなアシストの実現を目標とした。ここでのアシストは ACSIVE と同様、「安全に自立歩行できる」が、「歩行に不自由を感じている方」^[2] を主な対象とする。その一つとして簡素な機構である^[2]ACSIVE が挙げられるが、歩行に個人差が大きいといわれている^[3]のに対し、この機構では手動でスプリングの初期位置を変更する程度で制御性に乏しい。そのため、本アシストシステムでは各個人の最適化された歩行のアシストを行うことを目標とした。

また、高齢者の転倒の理由としては様々な理由があるが、その中でも、歩行時において脚が床と接触していない遊脚期の中で爪先が極小となるタイミング (Minimum Toe Clearance: MTC) に注目する考え方があり、この高さや歩行中のばらつき、起こる割合等が若年者と高齢者で比較されている。

そこで本研究では、アンビエントなアシストシステムを製作し、歩行アシスト時に用いられる指標として MTC の変化を試作したアシストシステムによって確認することを目的とする。

2. アシストシステムの原理・構成

2.1 本研究における歩行アシストシステムの提案

本研究で提案する歩行アシストシステムについては小型かつ高トルクという特徴を持つ超音波モータを用いた歩行アシストシステムを用い、最適制御手法を用いたアシストトルクの制御及び歩行の個人に対する最適化を行うことを提案する。

2.2 超音波モータ

超音波モータとは逆圧電現象により生じたステータの振動をロータに摩擦を介して駆動力を伝えるアクチュエータである。その特徴としては、低速高トルク、非通電時の高い保持トルク、高い応答性、体積当たりの出力の高さ^[4]などが挙げられる。本アシストシステムでは、超音波モータドライバを用いてモータを駆動させるものとする。このドライバでは外部から入力した速度指令電圧に応じた駆動電圧の周波数が制御される。

2.3 アシストシステムの構築

本研究で用いる超音波モータ (フコク, USM60) は出力トルクが約 0.35[Nm]と ACSIVE と比較してもあまり大きくないため、減速比 6 の遊星歯車機構を用いることとし、腰から膝にかけて装着することで股関節トルクの増強を図った。また、図 1 のように出力トルクを測定するためアーム部分 (アルミ製) にひずみゲージを取り付けた。

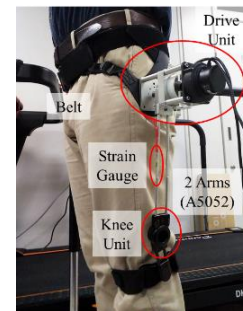


図 1 本研究における歩行アシストシステム

3. 実験方法

3.1 歩行アシストシステムの制御手法

歩行アシストにおいて、股関節角度に応じたアシストトルクの制御が有効であると考え、図 2 のモデルに従って実験を行った。アシストシステムのアーム角度に応じたトルク目標を算出し、目標トルクとひずみゲージの値から得られたトルクとの差をフィードバックしながら PI 制御を行った。制御器後の値を予め調べた出力トルクとドライバ速度指令電圧の関係に照らし合わせることで、ドライバに印加する電圧を決定した。一連の制御はデジタルシグナルプロセッサを用いて行った。

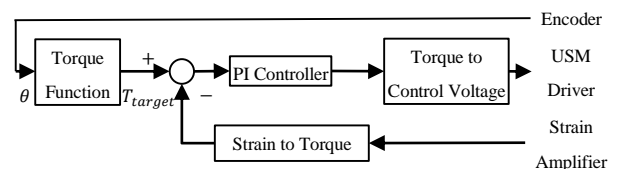


図 2 本研究におけるアシスト制御モデル

まず、トルク制御の準備として、ひずみゲージを取り付けたアーム (図 1) に荷重をかけ、ひずみ量と荷重によるモーメントの関係を調べた。その後アシストシステムのモータ部分とアーム先端を固定し、速度指定電圧とひずみゲージの出力電圧の関係を調べ、ひずみゲージの出力電圧をトルクに換算した。

3.2 片足による歩行アシスト実験方法

図 3 に示すようなシステムで測定を行い、外部からのキャプチャシステムによって足に取り付けられた 3 つマーカーからつま先の高

さを計算する。非装着時、ACSIVE 着用時と試作したシステム着用時において ACSIVE の出力トルクを参考に目標トルクを 5 種類設定した計 7 つの条件で、それぞれトレッドミルの歩行速度を 2.0[km/h], 3.0[km/h] で 30 秒間測定を行った。

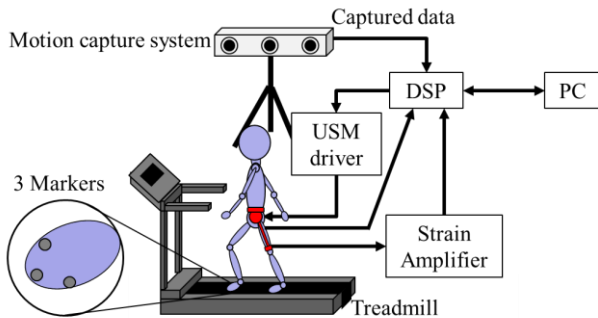


図3 試作したデバイスによる歩行アシスト実験

測定後、各歩行周期において、MTC が起こるか MTC が起こらないかを (Non-MTC) 判定し、その割合 (MTCratio) を求めた。また MTC が起こったときはその高さ、1 歩行周期の長さに対する、爪先が離れた (TO) から MTC までの時間の割合 (MTCtime) を求めた。Non-MTC と判定された歩行周期においては、平均の MTCtime のタイミングにおける高さを求め、MTC の高さと比較した。これらの用語をつま先高さの時間変化を測定した図 4 内に示す。

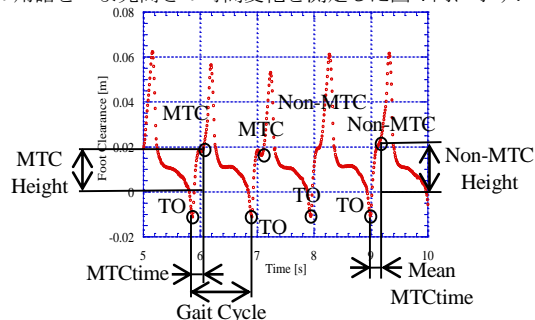


図4 解析で用いる用語の解説

4. 実験結果・考察

歩行アシストに伴う歩行形態の変化に関する結果を図 5 から図 7 に示す。

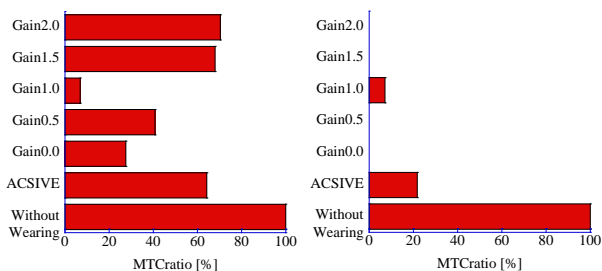


図5 各条件での MTCratio (左 : 3.0[km/h], 右 : 2.0[km/h])

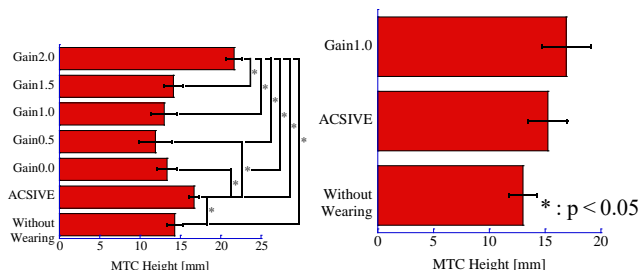


図6 各条件での MTC の高さ (左 : 3.0[km/h], 右 : 2.0[km/h])

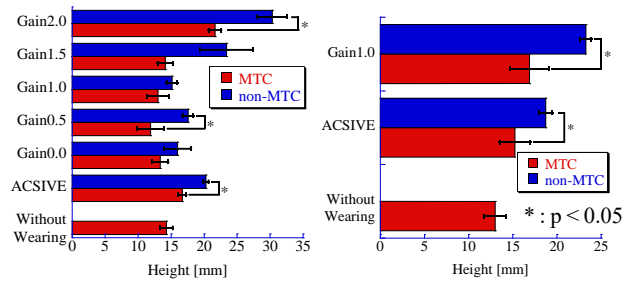


図7 MTC の高さ と MTCtime の時間における Non-MTC の高さの比較 (左 : 3.0[km/h], 右 : 2.0[km/h])

非装着時には 100%であった MTCratio がシステム装着時には MTC の減少が見られた。MTC の高さは 3.0[km/h]における Gain2.0 のみにおいて他の条件と比べて大きな値を得ることが出来たが、他の条件では差異は見られなかった。また MTCtime の時間における Non-MTC の高さは MTC の高さと比較して大きくなった。MTCratio を減らすことにより、足部クリアランスを上げ、転倒リスクを減少させる可能性が考えられるが、Gain0.0 (アシスト無し) においても MTCratio が減少しているため、更なる検証が必要である。

また、3.0[km/h]において、測定トルクと目標トルクの偏差が 100%を超えて大きく離れている状態が多く見られたが、この不安定性は歩行時のトルクを 1 枚のひずみゲージでは正確に測れなかった可能性などが考えられる。制御システムや機構の改良が必要である。

5 結論

本研究ではアンビエント性に優れた超音波モータによる歩行アシストを提案し、試作を行った。これを用いた歩行アシストの実験から、アシストシステムによって、比較的大きな目標トルクを与えた場合において、足部クリアランスの向上が見られ、Non-MTC において遊脚期のクリアランスが大きくなることが確認されるなど、歩容の変化が確認された。

今後の課題として、両足のアシストによる実験、制御時の目標トルクと測定トルクの差を抑制することや、歩行に適した制御手法やの、アンビエント性のより大きなシステムの具体的な検討を行う予定である。

謝辞

本研究は NEDO の助成を受けて行われました。また、本研究を進めるにあたり、今仙技術研究所の方々に貴重なアドバイスをいただきました。ここに感謝いたします。

参考文献

- [1] 「世界初のサイボーグ型ロボット『HAL@』-CYBERDYN E」 <<https://www.cyberdyne.jp/products/HAL/index.html>>2018 年 10 月 24 日アクセス
- [2] 「歩行支援機 | 製品紹介 | 株式会社 今仙技術研究所」 <<https://www.imasengiken.co.jp/product/acsive/>> 2018 年 10 月 19 日アクセス
- [3] 杉 輝夫, 藤井 伸行, 中屋敷 勝真, 畑山 聡: “健康者の快適 10m 歩行におけるばらつきについて,” 第 43 回日本理学療法学会大会 抄録集, Vol.35, No.2, 2008
- [4] 「株式会社新生工業技術紹介」 <http://www.shinsei-motor.com/techno/ultrasonic_motor.html>2018 年 10 月 24 日アクセス