

歩行動作時の身体挙動推定技術の開発

生活科学課 佐々木克浩*1、浦上晃 生活工学研究所 塚本吉俊*2

1. 緒言

超高齢社会における健康維持のために、身体機能の衰えの予測・予防が重要となっている。転倒経験や体力等と歩行動作時における歩容（歩幅等）との関連性が論じられている^{1,2)}。これらの歩容を計測する装置例としてはカメラがあるが、試験室等での計測であり、またシステムが高価になる場合がある。緩やかな身体機能の衰えを発見するためのシステムやリハビリ用途としては、計測場所の制約がなく、簡便・安価な装置であることが望ましい。その一手段として、靴などに慣性センサ^{3,4)}を装着する方法があるが、センサ間の距離を求めることが困難なため、歩隔の推定は容易ではない。歩隔は、年齢との相関²⁾や転倒との関係⁵⁾について報告されており、身体機能の衰えの予測のためのパラメータの一つと考えられる。

このため本研究では、簡便・安価で計測場所の制約が少ない装置による歩隔等の推定を目指し、超音波センサを用いたシステムについて試作、検討した。

2. 試作システム

2.1 システム構成

歩隔に関して、一般的には図1のような立脚した左右両足間の距離（詳細は文献2))である。一方、脛付近に装着した距離センサにより他方の足の脛付近との間の距離を測定し、その最小距離を遊脚期における歩隔と定義し検討している報告がある⁵⁾。本研究はその報告と同様の考え方に基づくが、靴に装着できる方式とするため、両足の靴のつま先付近に超音波センサを装着して、遊脚期において測定距離が最小となる値 d_{min} を検出することにした（図1）。送波側と受波側を無線により同期し、それぞれ左右の足の靴に装着することを想定しているが、今回は試作初期のため、図2に示す有線のシステムとし、また同図の破線枠内はブレッドボードに実装した。他の歩行パラメータ推定への拡張も見据え、超音波の送受波は比較的指向性が広いセンサを選定した。送波用超音波センサ（日本セラミック社製 T4008A1）から超音波を送波し、マイクロフォン（Knowles 社製 SPU0410LR5H-QB）により受波した。その信号を増幅・整流した後、コンパレータに入力した。送波用超音波センサの駆動信号は周波数40kHzの矩形波5波とし、発振終了後からコンパレータの出力が最初に Low から High に変化するまでの時間 T_u をマイクロコントローラ（Raspberry Pi Pico）により測定した。

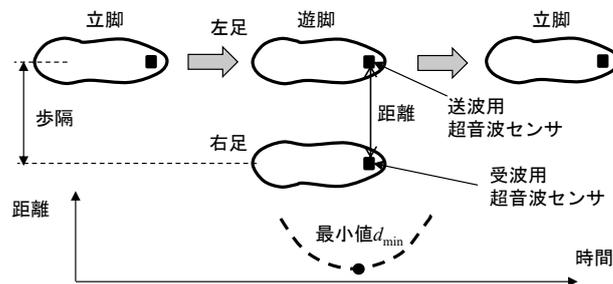


図1 本研究で検討する方式の概略図

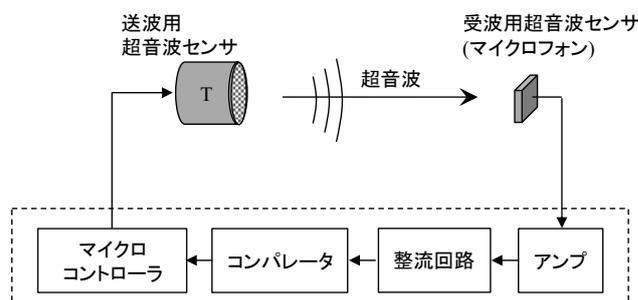


図2 試作システムの構成

これらの開発は Micro Python を用いて行った。駆動信号の発振周期は 0.01 秒に設定し、測定終了後に、保存した T_u と音速の積から距離 d_u を算出した。

2.2 動作確認

本システムの基礎的な動作確認として、送波用超音波センサとマイクロフォン間の距離を 50mm 間隔で変化させて各距離で 100 個の d_u を取得した。その標準偏差は 3mm 以下であった。また、最初に設定した距離 50mm 程度の地点を基準にし、その際の測定距離 d_u からの変化量である変位 Δd_u を求めた。その結果を図3に示す。同図の黒丸は測定平均値であり、その設定値との差は距離に依存して大きくなるが、概ね数 cm の差で変位を測定できることを確認した。

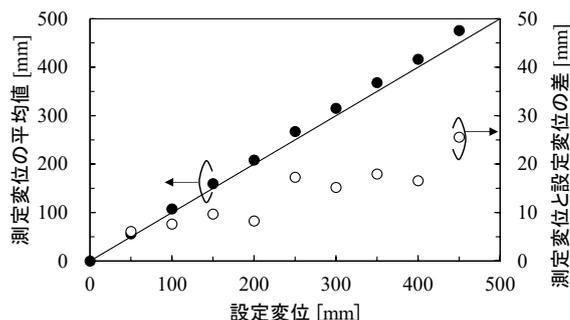


図3 変位計測結果例

*1 現 機械電子研究所、*2 現 企画管理部

3. 実験

歩行時におけるシステムの動作確認として、意識的な歩行動作を対象とした計測を行った。歩隔を定めるため、床面に概ね 0.1m、0.2m、0.3m の間隔のマーカラインを貼り、そのマーカラインに沿うように意識して歩行した。左右両足の靴間の距離が 0.1m の時を基準にし、この条件で測定した d_u からの変化量である変位 Δd_u を求めた。また、マーカラインの間隔については、0.1m で除した値を ΔL と定義した。変位を算出した結果例 ($\Delta L = 0.1m$ の場合) を図 4 に示す。同図の測定値がない区間は測定不可であることを表しており、これは立脚期でセンサ間の角度が大きくなり受波信号が小さくなった影響と考えられる。同図では周期的な変位の最小値 Δd_{u_min} が 4 個見られる。マーカライン間隔ごとに 3 回実験を行い、12 個の Δd_{u_min} を

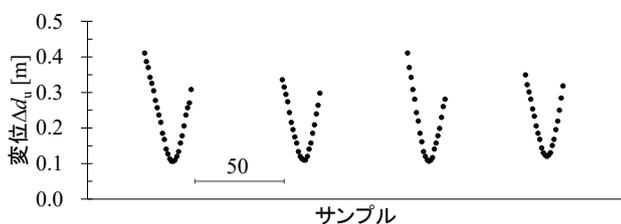


図 4 歩行時の計測変位の一例 ($\Delta L = 0.1m$ の場合)

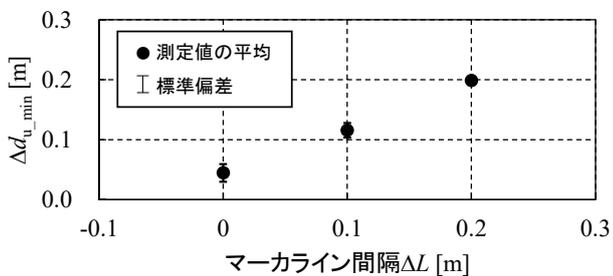


図 5 変位の最小値 Δd_{u_min} の測定結果例

キーワード：歩行、歩隔、超音波センサ、試作システム、距離

Development of a Technique for Estimating Walking Motion

Human Engineering Section; Katsuhiro SASAKI *¹ and Akira URAKAMI
Human Life Technology Research Institute; Yoshitoshi TSUKAMOTO *²

For estimating step-width during the swing phase of gait, we constructed a prototype system to continuously acquire the data of the relative distance between transmitting and receiving ultrasonic sensors attached to near the toe of shoes. When subject intentionally walked along the marker line width, the periodic shortest distance was detected. The shortest distance had tendency to be similar to the marker line width. The accuracy evaluation of the prototype system and the validation of the detected shortest distance are future work.

検出して平均値と標準偏差を求めた結果を図 5 に示す。同図より、 ΔL の増加に対応して Δd_{u_min} の測定平均値も増加の傾向が得られている。しかし、 $\Delta L = 0$ においては、 ΔL に対して Δd_{u_min} のほうが 0.04m 程度大きい値となっている。この要因として、 $\Delta L = 0$ の場合は、両足間の距離が 0.1m と極めて近いため、図 1 の例で左足が外回りして移動した可能性が考えられる。この検証と併せて歩隔推定の精度評価のため、モーションキャプチャを用いた足の位置計測結果との比較が今後の課題である。また実用上の課題として、 Δd_{u_min} を検出するアルゴリズムの検討や、マイクروفオンを用いているため騒音がある環境ではフィルタにより除去する等の対策が必要である。

4. 結言

超音波センサ間の距離を連続的に取得するシステムについて初期試作を行い、それらのセンサを両足の靴に装着して歩行時に変位を計測した。その結果、変位の最小値は、歩隔を定めるためのマーカラインの間隔と概略的な傾向が類似した。今後は、本システムによる歩隔推定の精度検証のため、モーションキャプチャを用いた検討が課題である。また、複数の被験者による実験とともに、本研究の Δd_{u_min} が身体機能の衰えの予測パラメータとして妥当であるかの検証も必要である。

参考文献

- 1) 金 他, バイオメカニズム学会誌, **38**, 4 (2014) 233.
- 2) 宮辻 他, 日本生理人類学会誌, **12**, 4 (2007) 11.
- 3) 佐々木 他, 富山県産業技術研究開発センター研究報告, **35**, (2021) 54.
- 4) 澤留 他, 日本機械学会論文集, **84**, 864 (2018) 1.
- 5) T. Backlund *et. al.*, *Physiol. Meas.*, **41** (2020) 065005.