

安価な測距センサを用いた「移乗です」の自動停止機能の開発

Development of automatic stop function of “IJODESU” using inexpensive ranging sensor

技術開発部 生産・加工科 菅野雄大 柿崎正貴 尾形直秀
 応募企業 株式会社あかね福祉

応募企業の製品である移乗用機械「移乗です」は、被介護者を脱衣ベッド等から抱え上げ移乗するためにモータ駆動により上下に移動する昇降部が備えられており、これにより介護者や被介護者の負担を軽減し移乗が可能である。しかし、装置の座面の停止位置は、予め設定された高さで停止する仕様となっており、ベッド等の座面高さが変わると、その都度、予め設定し直さなければならない。本事業では、「移乗です」に測距センサを用いることで、ベッドや椅子の高さに合わせ、自動で停止する機能を付加することを目的とし、車椅子座面の高さ検出が可能であるか検証した。

Key words: 移乗、測距、低コスト、LiDAR、超音波センサ

1. 緒言

応募企業の株式会社あかね福祉は、図1に示す、抱え上げ移乗による腰痛防止対策機械「移乗です」を開発・商品化している。この装置は、被介護者を脱衣ベッド等から抱え上げ移乗するためにモータ駆動により上下に移動する昇降部が備えられており、これにより介護者が被介護者を持ち上げる負担が軽減され、介護者の腰痛予防や被介護者に負担を与えることなく移乗が可能である。

しかし、装置の座面の停止位置は、予め設定された高さで停止する仕様となっており、ベッドや車椅子等の座面高さが変わってしまうと、その都度、設定し直さなければならない。

本事業では、「移乗です」の座面が、ベッドや椅子の高さに合わせ、自動で停止する機能を付加することを目的に、座面を測距センサにより検出可能であるか検証した。また、安全機能として、万が一、装置の座面が人と接触した際、それを知らせる機能を開発した。

本事業の目標として、「移乗です」(以下、装置)に、低コストで座面高さ検出機能と安全機能を付与し、目標とする座面の高さ検出の精度は、座面から2 [cm]以内とした。これ以上離れると装置の座面を非介護者の太もも裏にスライドさせる際、太ももを高く持ち上げる必要があり、介護者、非介護者ともに負担がかかると考えられる。また、今回対象とする座面は、実際の利用シーンを考慮し、車椅子、ベッドの座面を想定した。

2. 実験と結果

2. 1. システム構成

使用したセンサを表1に示す。椅子の座面検出は、検出可能な座面箇所や「移乗です」にセンサを取り付けられる箇所が限られており、接触式のセンサでは困難であるため、非接触式の安価で小型な測距センサを



図1 「移乗です」の外観(左)と利用シーン(右)

表1 使用センサとシステム搭載時の機能

センサ	LiDAR	超音波センサ	感圧センサ
型番	Tiny LiDAR	HC-SR04	MF02-N-221-A01
外観			
サイズ	2.1×2.5 [cm]	4.5×2.0×1.5 [cm]	4.0×4.0 [cm]
仕様	測距範囲： ~200 [cm] 精度：3 [%] サンプルレート： 最大 60 [Hz] 通信方式：I ² C	測距範囲： 2~400 [cm]、 正面 15 [°] 分解能：0.3 [cm] 動作周波数： 40k [Hz]	感圧レンジ： 約 30~1000 [g] 感圧エリア： 3.96×3.96 [cm] 測定誤差：±5 [%] 反応速度：~1 [ms]
価格(円)	約 3,000	200~500	約 1,500
機能	・椅子の座面検出	・椅子の座面や人体の検出(緊急停止用)	・ベッドの座面検出 ・人体検出(緊急停止用) ・下乗時の座面検出

選定した。なお、センサデータの送受信等の制御には、容易にプログラム開発が可能な Arduino UNO R3 互換ボード ELEGOO UNO R3 を使用した。

試作したセンサシステムの構成を図2に示す。各種

センサの取り付けは、3Dプリンタで製作した治具により装置に固定した。

超音波センサは、対象物に超音波を発信し、その反射波を受信するまでの時間と音速との積から、対象物までの距離を計算する。空気中の音速 V は、周囲の温度の影響を受けるため、Texas Instruments 社のアナログ温度センサ LM35DZ を使用し、以下の式(1)より補正した¹⁾。

$$V = 331.5 + 0.6 t \quad [\text{m/s}] \quad t : \text{温度} [\text{°C}] \quad (1)$$

また、超音波センサには、図2①のように3Dプリンタで製作したエクスポネンシャル（指数関数）形状のホーンを取り付けることで指向性を高めた。

2. 1. 1. 座面高さ検出機能

椅子の座面の高さ検出は、図2①のように、レーザレンジファインダ（以下、LRF）を座面の前面を測距することで検出する。装置の昇降部を下方に移動させた際、図3のように、測距対象が人体から座面が変わるところで急激に距離が短くなる。図4は、LRF の測距データ d 、測距データを10回移動平均した d_{ave} 、 d_{ave} の過去50個分のデータの最大値 d_{max} 、最大値と平均値の差 Δd のグラフである。図4のように、座面にセンサのレーザが当たると Δd の値が大きくなる。

そのため、 Δd がある閾値を超えた時に、座面を検出する手法をとった。閾値は、服のふくらみ等の別要因による誤検出を考慮しつつ最小となるように4 [cm] に設定した。LRF の取り付け位置は、一人の被験者が実際に車椅子に座り、座面検出時に装置座面が車椅子座面高さになるよう調整して取り付けた。また、図2②のように、上方からLRFにより座面を検出する手法も取り入れた。こちらは、距離データ d_{ave} が21 [cm] 以下になった時に座面を検出するようにした。

なお、図2③のように、椅子座面のLRFのレーザ光が当たる箇所に Quarton 社製レーザモジュール VLM-650-29 LPT（赤色）で十字印をつけ、その目印が隠れないように装置の向きや人の足の配置を調整することで、測距センサが座面以外の対象物を測距してしまうことを防ぐ。

ベッドの座面の検出は、図2④のように装置の座面裏に感圧センサを取り付けてベッドと接触した時の圧力を検出する手法とした。また、感圧センサを取り付けることで、装置から降りる際は装置の座面が閉じた状態であるため、ベッド以外に椅子に降りる際も椅子の座面を検出することが可能である。

2. 1. 2. 安全機能

図2①のようにLRFで検出できなかった場合の緊急停止用として、LRFの上に超音波センサを取り付けた。また、万が一、測距センサで座面を検出できず人の大

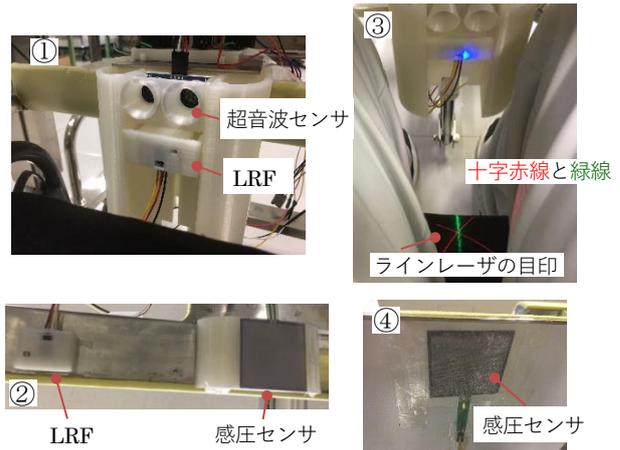
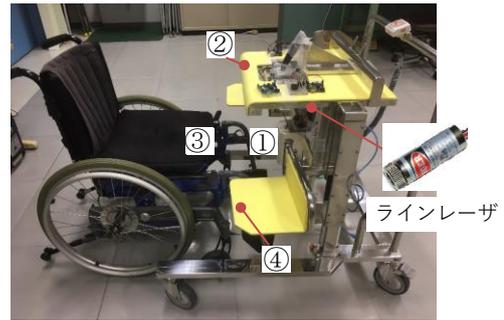


図2 センサシステムの構成

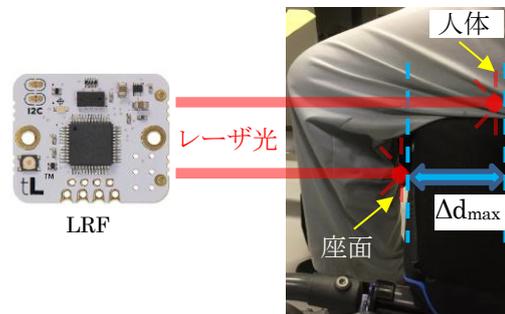


図3 座面高さ検出手法

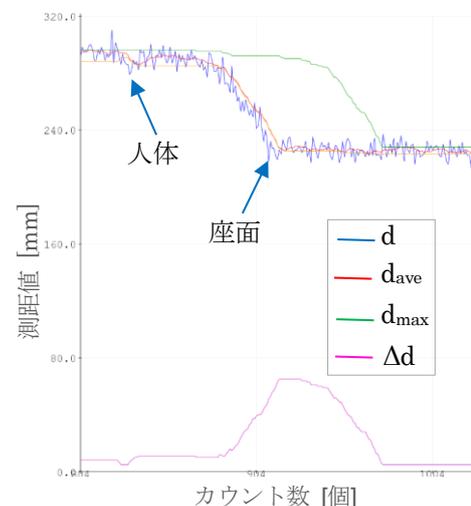


図4 LRFによる測距データ

腿部等に装置が接触した際、それを検出できるように図2②のように感圧センサを取り付けた。

2. 2. 測距センサの精度検証実験

今回選定した超音波センサ及びLRFの測距精度を検証した。対象の座面は、実際に介護用車椅子等で使用されている黒色のクッションとした。

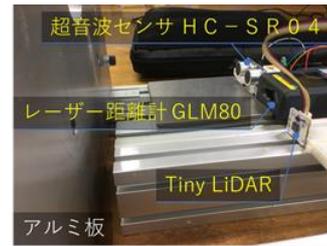


図5 センサの配置

2. 2. 1. 実験方法

図5、図6のように、超音波センサとLRF及びリファレンス用のBOSCH社製レーザ距離計GLM80を測定対象物のクッションに対し平行に設置し、GLM80の距離データを基準に15 [cm]から30 [cm]まで1 [cm]刻みで距離を測定した。実験は、クッションの前面と上面を測距した場合の2通り実施した。

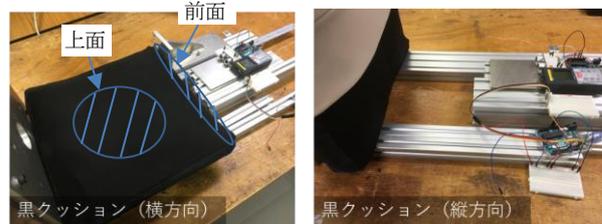


図6 クッションの前面(左)と上面(右)の測定時の様子

2. 2. 2. 実験結果

図7に超音波センサ、図8にLRFの測距結果を示す。測定データは100個の測定値を平均している。

グラフより、超音波センサでは、ばらつきが少なく、リニアリティがあることがわかる。しかし、超音波センサは指向性が低いため、クッションの中身が不均一の場合や、近くに人の足など別の物体がある場合は、複数の距離データを返す場合がある。

LRFでは、距離が離れるほど、ばらつきが大きくなり、クッションの前面から当たった場合は、22 [cm]以上距離が離れるとリニアではなくなった。これは、対象物が黒色であったためLRFからのレーザ光が対象物表面で吸収され、実際より大きな値になったと考えられる。この結果から、対象物までの距離が22 [cm]以上にならないよう、図2③のレーザの目印が座面に当たる距離を22 [cm]以内とし、目印が当たる位置に装置を移動させるようにした。

以上より、椅子座面の検出には、人の足など異なる対象物を誤検出しないように指向性の高いLRFを使用する。超音波センサは指向性が低く、異なる対象物を誤検出する可能性はあるが、測距精度は良く人や座面を検出しない可能性は低いことから、LRFの上部に取り付け、LRFで対象を検出できなかった際の緊急停止用として使用することにした。

2. 3. 座面検出の精度検証実験

図2のセンサシステムを使用し、実際に人が車椅子に乗った状態で、車椅子の座面の検出精度を検証した。

2. 3. 1. 実験方法

被験者は、平均年齢 39±12 歳の健常成人男性 1 2 名(身長 172.6±6.1 [cm]、体重 71.2±12.3 [kg])である。被験者には、車椅子にレーザの目印が隠れないように少し足を開いた状態で座るように説明した。な

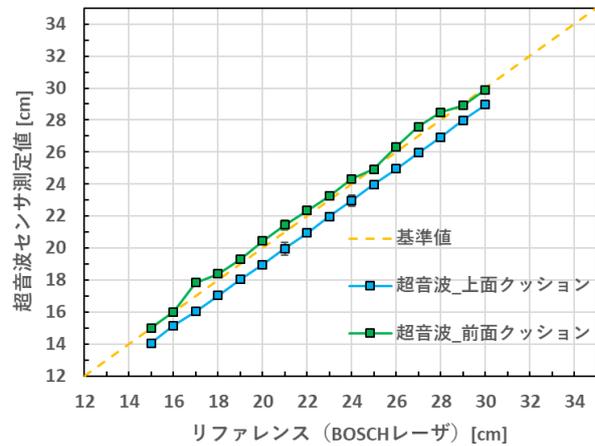


図7 超音波センサの測距実験結果

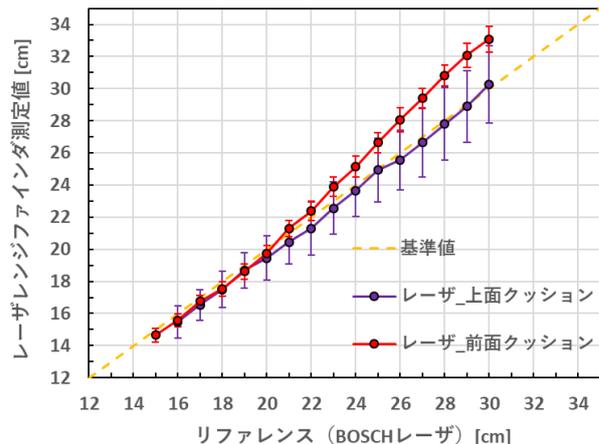


図8 LRFの測距実験結果

お、レーザによる目印には、赤色レーザ以外に、より視認性の良いCanon社製緑色レーザポインタPR11-GCを使用した。LRFで座面を検出した場合は、LEDの点灯及び圧電ブザーの音で知らせるようにした。装置の操作者は一人に限定し、既存の「移乗です」操作用レバ



図9 地面までの距離測定（左）とリファレンス値の確認時の様子（右）

一により昇降部の上下移動を操作する。一定の高さから昇降部を降下し、座面検出時のブザー音が鳴った際に昇降部の移動を操作レバーにより手で停止する。その後、図9（左）のように、装置座面に固定したGLM80を使用し、地面までの距離を測定値とし、これを10回繰り返した。また、リファレンス値は、図9（右）のように、被験者の足を上げた状態で、車椅子の座面に、装置の座面がスライド可能で、座面間の距離が最も短くなる値とし、測定値と比較した。

2. 3. 2. 実験結果

今回、全ての実験においてLRFにより車椅子の座面を検出することができた。

図10に、被験者12人の測定10回分の平均測定値を示す。各被験者間の平均値の差異は、体格の個人差やクッションが柔らかいため、座る場所により車椅子座面の沈みがあったと考えられる。ばらつきの差異は、服が黒色であることや体格差により、車椅子の位置が装置より遠く離れた場合に、2.2章の測距センサの精度検証実験の結果のとおり、センサの測定値にばらつきが生じたためと考えられる。

図11に平均値とリファレンス値との差を示す。平均値がリファレンス値よりも大きい時の最大差は+1.0 [cm]であった。差が+になる原因としてはクッションの沈み込みの影響と考えられ、比較的后方に座り、両足をより広げた状態で座った場合に、車いすの座面両端が測距レーザの当たる座面中央よりも低くなるのが原因として考えられる。平均値がリファレンス値よりも小さい場合は、最大差が-2.0 [cm]であった。これもクッションの沈み込みの影響と考えられる。リファレンス測定時に装置の座面を車椅子座面上にスライドさせる際、被験者の足を上げて行うため、沈み込んだクッションが元の形状に戻るように、位置が高くなるのが原因として考えられ、比較的前方に座った場合に、このようになると考えられる。

この対策として、2 [cm]以上、センサの取り付け位置を低くする方法や、制御に組み込む際に装置座面高さをオフセットする方法が考えられる。しかし、その場合、今回の実験結果では最大差が $1+2=3$ [cm] 以上となり、目標の2 [cm]を超えることになる。

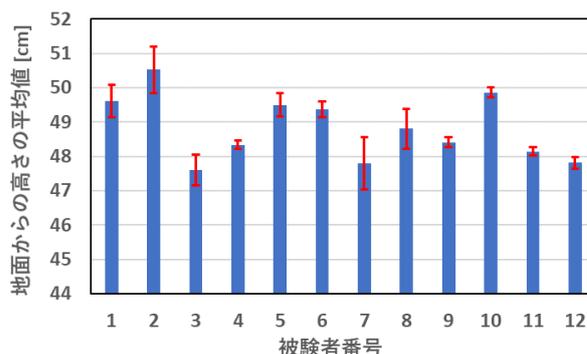


図10 地面から装置座面までの距離の平均値

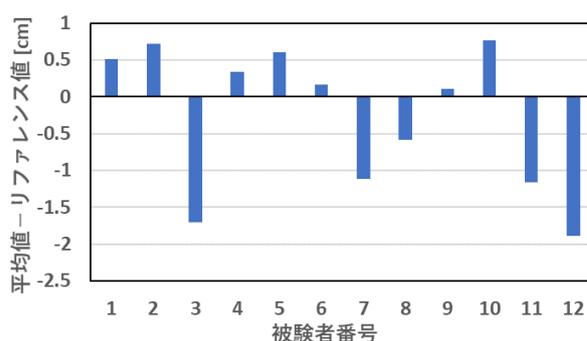


図11 リファレンス値と平均値との差

3. 結言

本事業では、「移乗です」に自動停止機能を付加するために測距センサを使用し、座面を検出する手法を開発した。

その結果、LRFを使用して距離の変化をみることで、車椅子の座面を検出することができた。また、安全機能を付加するために感圧センサ及び超音波センサを選定し、センサの精度検証実験の結果より、緊急停止用として装置に設置した。更に、LRFの測距箇所を目印としてレーザポインタを使用することで、容易に対象の座面にLRFの測距位置を合わせることが可能となった。

しかし、座面検出の精度検証実験では、実際の座面の位置から-2.0～+1.0 [cm]の誤差があった。今後は、この誤差が許容範囲であるか官能試験等による検証が必要である。また、今回の実験結果からLRFを2 [cm]低い位置に設置した状態での実験や、被験者を更に増やして服装など実際の利用環境に近い条件で実験を実施し、座面検出の精度を検証する必要がある。また、座面の検出結果から「移乗です」が自動停止する制御プログラムを作成していく予定である。

参考文献

- 1) 本多電子株式会社. “距離計測”. https://www.honda-el.co.jp/hb/3_17.html (参照 2020-02-13).