

屋内移動支援機器向け安全装置の研究開発（第3報）

安部貴大*、田畑克彦*、鳥井勝彦†

Development of safety sensor for indoor mobility aids (Ⅲ)

ABE Takahiro*, TABATA Katsuhiko* and TORII Katsuhiko†

電動車いすなどの移動支援機器は、歩行に困難を感じる人にとって、行動範囲を拡大し、自立した社会生活を行うために必要不可欠である。本研究では、移動支援機器による衝突などの事故を未然に防ぎ、利用者の QOL 向上や、介護士・介助者の負担軽減を実現するための安全装置を開発している。しかし利用者は幼児から高齢者まで幅広く、年代によってその利用目的も異なるため、安全装置に求められる機能や性能が異なる。このため、屋内における移動支援機器を利用目的により分類し、利用シーンや環境を明確にして安全装置の仕様を定めたいうで開発を進めている。本年度は、一般用屋内移動支援機器を対象とした安全装置を試作開発したので報告する。

1 はじめに

電動車いすなどの移動支援機器は、障がいや加齢に伴う運動機能の低下により歩行が困難な人にとって社会生活を営む上で必要である。移動支援機器は、屋外だけでなく屋内でも利用されており、幼児から高齢者まで幅広い年代で利用される。移動支援機器に安全装置を搭載することによって衝突などの事故を未然に防ぎ、利用者の QOL 向上や、介護士・介助者の負担軽減が期待できる。しかし利用者の年代によって安全装置に求められる機能や性能が異なる。そこで本研究では、移動支援機器を利用目的の観点から一般用移動支援機器¹⁾と、発育を促すために学びの場の中で利用する幼児用移動支援機器²⁾に分類し、それぞれの用途に合わせた安全装置を開発している。これまでの研究により、R3 年度は幼児用移動支援機器の安全装置を開発し³⁾、R4 年度は一般用移動支援機器の仕様設定、仕様を満たすシステムの設計およびセンサの選定と性能確認を行った⁴⁾。しかしながら R4 年度の実験では、選定したセンサのみでは対象とする障害物を全て検出するには不十分であることが判明したため、本年度は LiDAR (Light Detection And Ranging) センサによる検出実験を行い、超音波センサ、赤外線距離センサ、LiDAR センサを統合した安全装置を試作し、評価を行ったので報告する。

2 開発する安全装置の仕様

安全装置は周辺の障害物および段差を検出し、移動支援機器を停止させるなどして未然に衝突や落下を回避する。本研究では安全装置から障害物の有無を移動支援機器本体へと電気信号により通知し、移動支援機器本体で制御を行う方式とした。安全装置を搭載する一般用移動支援機器として、共同研究者である株式会社今仙技術研

究所が開発中の“Carry Loco” (図1) を想定しているため、Carry Loco の走行性能からセンサによる検出範囲を図2のように定めた。

3 LiDAR センサによる障害物検出実験

昨年度に行った超音波センサによる障害物の検出実験の結果より、布製品のような柔らかい物体では、照射した超音波が吸収されやすいことが判明した。そこでこの課題を解決するために LiDAR センサによる検証を行っ



(a)移動支援機器(Carry Loco)本体 (b)バギー取付時

図1 一般用移動支援機器

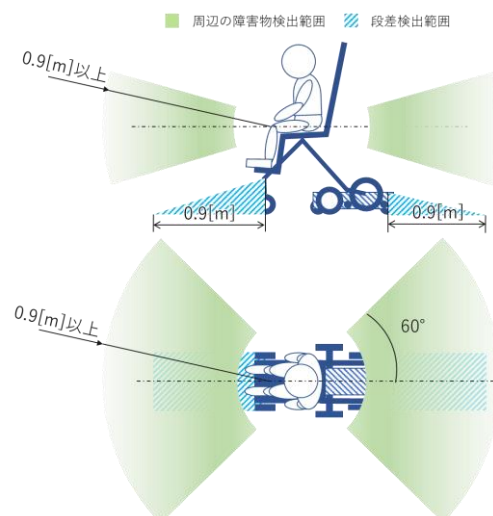


図2 検出範囲イメージ

* 情報技術部

† 株式会社今仙技術研究所

た。LiDAR センサはレーザー光を照射し、その反射光を光学式センサで捉え、距離を測定する。超音波センサだけでは布のような柔らかい対象に対して測定が不安定になるが、LiDAR センサのみでは透明な障害物を検出することができない。そこで両センサを併用することとした。

選定した LiDAR センサの仕様を表 1 に示す。開発する安全装置は移動支援機器のオプションとして販売することを想定しているため、コスト面から安価な 2 次元 LiDAR センサを選定した。

3.1 周辺障害物の検出実験

LiDAR センサによる周辺障害物の検出能力を確認す

表 1 LiDAR センサ仕様

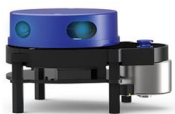
	
型式（メーカー）	YDLIDAR X4（Shenzhen EAI Technology Co.,Ltd.）
測定範囲（距離）	0.12-10[m]
測定範囲（角度）	360[deg]
角度分解能	0.43-0.86[deg]
測定周波数	6-12[Hz]
測定方式	PSD
駆動電圧、電流	5[V]、0.5[A]



図 3 実験概略

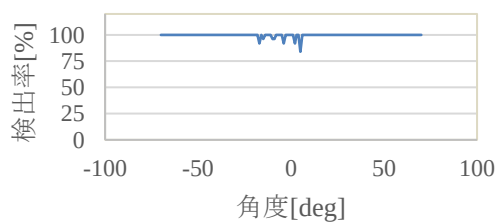


図 4 実験結果

るため、布製品の検出実験を行った。図 3 に実験の概略を示す。LiDAR センサを電動雲台に設置し、1m 離れた位置に測定対象を設置した。測定対象は作業上着（ポリエステル 65%、綿 35%）とした。LiDAR センサと測定対象の相対角度を $\pm 70\text{deg}$ の範囲で電動雲台によって 1deg ずつ変化させ、それぞれの角度において 25 回測定を行った。このとき測定距離が $1.0 \pm 0.05\text{m}$ であれば対象を検出したと見なし、（検出できた測定回数）／（測定回数）の計算によって検出率を求めた。

測定結果を図 4 に示す。 0deg 付近で検出がわずかに不安定になっているが、測定の全範囲で検出率が 84% 以上であり、問題なく対象を検出できている。

3.2 段差の検出実験

本研究では段差を検出するために赤外線距離センサを選定している。赤外線距離センサは 1 次元測定によって床面の凹凸を検出するため坂道を段差と誤認する可能性がある。これに対して LiDAR センサでは 2 次元測定を行うことが可能なため、坂道と段差を区別でき、より正確な凹凸の検出が可能であると考えられる。そこで、移

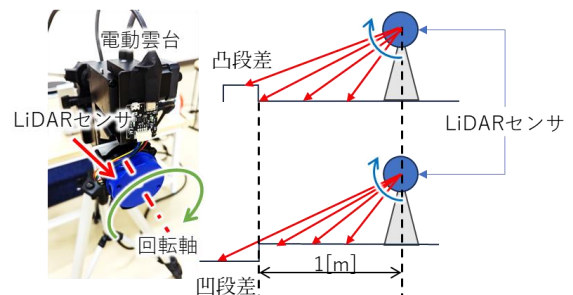
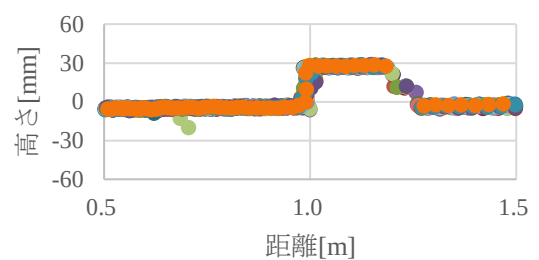
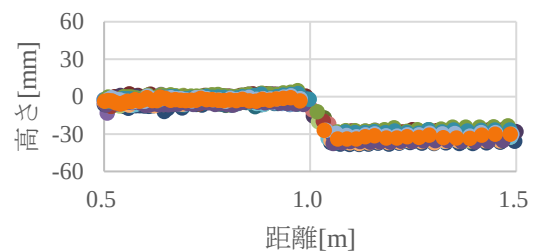


図 5 実験環境



(a)凸段差 (30mm)



(b)凹段差 (30mm)

図 6 実験結果

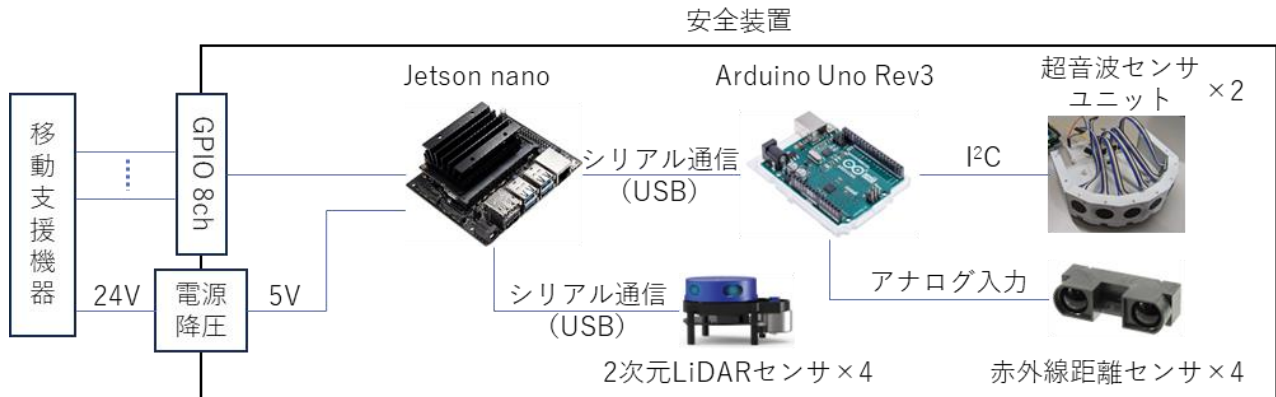


図7 安全装置の構成

動支援機器と同一平面上にある障害物の検出だけでなく、段差検出に関しても LiDAR センサの使用を検討した。

実験環境を図5に、実験結果を図6に示す。本実験では LiDAR センサの回転軸が地面と平行になるよう設置し測定を行った。段差の断面図のような測定結果が得られ、すべての計測データで 30mm の凹凸段差を概ね検出できている。なお、これらのグラフは 25 回の計測データを全てプロットしたものである。

4 安全装置

超音波センサ、赤外線距離センサと LiDAR センサを統合し、安全装置を試作した。本章では試作した装置の構成と実験について説明する。

4.1 構成

図7に安全装置の構成を示す。安全装置は 8ch の GPIO で移動支援機器と接続されている。電源については移動支援機器から 24V の電源供給を受け、電源降圧ユニットにより 5V の電源を得る。メインの処理装置として NVIDIA 製の Jetson nano（以下 Jetson と記す）を採用した。Jetson からは Arduino 製の Arduino Uno Rev3（以下 Arduino と記す）と 2 次元 LiDAR センサがそれぞれ USB ケーブルで接続されており、さらに、Arduino には超音波センサユニットと赤外線距離センサ（SHARP 製 GP2Y0A710K）が接続されている。超音波センサユニットとは、超音波センサモジュール（DFROBOTS 製 SRF02）を扇状に 6 個配置したユニットであり、I²C 通信によって Arduino と通信を行い、各センサ素子と障害物との距離を伝達する。赤外線距離センサは Arduino のアナログ入力ピンに接続されており、Arduino は電圧値を距離へと換算することで段差を検出する。Arduino は超音波センサユニットと赤外線距離センサのデータを内部で処理し、Jetson へ障害物の有無とその方向をシリアル通信で送信する。Jetson は 4 つの LiDAR センサからのデータを処理し、Arduino からのデータと合わせて障害物の有無と方向を移動支援機器側へ GPIO ポートを通じて通知する。

図8にセンサの取付位置と方向の割当てを示す。

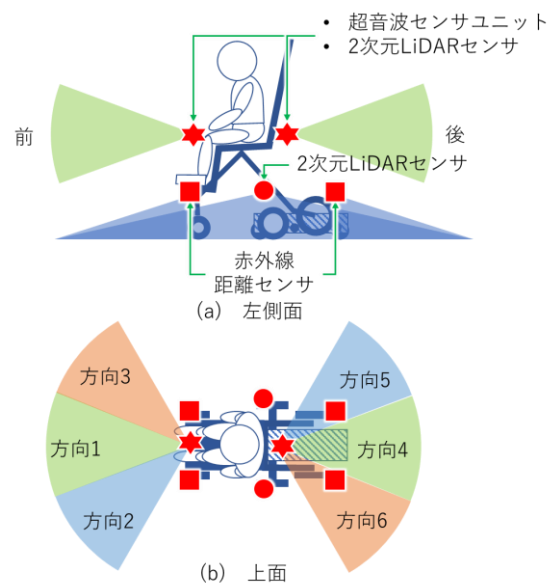


図8 センサ取付位置と方向割当て

表2 ポート割当て

番号	機能
1	方向1の障害物有無を通知する
2	方向2 "
3	方向3 "
4	方向4 "
5	方向5 "
6	方向6 "
7	安全装置のエラーを通知する
8	予備

GPIO の各ポートは表2のとおり機能が割り当てられており、方向1、2、...、6は図8(b)のように移動支援機器から見た方向を6つに割り当てたものである。安全装置は、障害物が検出された方向に対応する GPIO ポートの電圧レベルを変化させ、移動支援機器へ障害物の有無を通知する。



図9 電動車いすに安全装置を搭載した様子

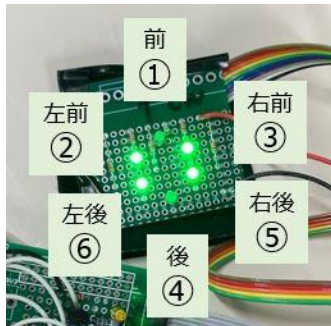


図10 LED 基板

4.2 評価実験

本研究では、安全装置の搭載対象を株式会社今仙技術研究所が開発中の一般用移動支援機器“Carry Loco”としているが、予備実験として電動車いすに、試作した安全装置を搭載して動作テストを行った。なお、動作テストは今仙技術研究所内にて実施した。安全装置を搭載した電動車いすを図9に示す。

4.2.1 評価方法

障害物を電動車いすの正面、距離 2m の位置に配置した状態を初期状態とする。電動車いすを徐々に障害物に近づけていき、障害物と電動車いすの距離が 0.9m に達した際に障害物検出の信号が確認できるのか検証を行った。信号の確認には、安全装置の GPIO ポートに接続された LED 基板 (図 10) を用いた。基板には LED が 6 つ設置されており、GPIO ポートの 1~6 番にそれぞれ接続されている。図 10 では左前、右前、右後、左後に障害物があり、安全装置がそれぞれの障害物を検知したため②、③、⑤、⑥の LED が点灯している。

4.2.2 評価結果

表3に評価実験の結果を示す。周辺障害物について、椅子・机・支柱はセンサの設置高さが障害物の高さと同じでなかったため安定して検出ができなかったが、壁・ドアは安定して検出することができた。透明ドア・展示ケースといった透明な対象物は LiDAR センサでは検

表3 評価結果

		赤外線 超音波 LiDAR	超音波 LiDAR	LiDAR
周辺 障害 物	椅子	△	△	△
	机	△	△	△
	支柱	△	△	△
	壁	○	○	○
	ドア	○	○	○
	透明ドア	○	○	×
	展示ケース	○	○	×
段 差	凸段差	△	△	△
	凹段差	△	△	△

出することができず、超音波センサによって安定して検出できた。段差の検出については、段差のない床面でもセンサが誤検出することが時折あった。誤検出をなくするために赤外線距離センサに使用しているメディアンフィルタのパラメータや段差検出閾値もしくは段差検出のアルゴリズムの再検討が必要である。

周辺障害物の検出において、センサ設置高さの再検討が必要なほか、車体の前方は乗り込み用のスペースを確保する関係上、センサの設置場所に制限があるためセンサの小型化などについても検討する必要がある。

5 まとめ

一般用移動支援機器向けの安全装置について、新たに LiDAR センサの検討を行い、試作・評価を行った。LiDAR センサによる周辺障害物の検出を検証したところ、透明な障害物を除いて良好な結果が得られた。また、段差検出についても LiDAR センサを用いることでより正確な段差検出が行えることが確認できた。超音波センサ、赤外線距離センサ、LiDAR センサを組合せて安全装置を試作し、電動車いすに搭載し評価を行った。周辺障害物の検出について良好な結果が得られたが、センサの設置高さ再検討およびセンサの小型化が必要であることが判明した。段差に関しては、誤検出が時折発生したため閾値などの再検討が必要である。今後は判明した課題に取り組み、実用化を目指す予定である。

【参考文献】

- 1) 川口ら,平成 21 年度佐賀県工業技術センター研究報告書, pp5-9, 2009
- 2) 松尾ら,日本義肢装具学会誌 Vol.24, pp130-131,2008
- 3) 田畑ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.3, pp93-96,2022
- 4) 田畑ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.4, pp97-100,2023