

屋内移動支援機器のための安全装置の研究開発

安部貴大^{†1} 田畑克彦^{†2} 鳥井勝彦^{†3}

概要：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、屋内で使用する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、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上で開発を進めている。本稿では試作した安全装置について報告する。

1. 緒言

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とされている。また移動支援機器は、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。さらに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 の向上や、介護士・介助者の負担軽減を期待できる。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は異なる。

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[3][4][5]。本稿では超音波センサ、赤外線距離センサ、LiDAR (Light Detection And Ranging) センサを統合し試作した一般用移動支援機器向け安全装置について報告する。

2. 安全装置の仕様

一般用移動支援機器は（以下移動支援機器と記す）、歩行困難者の日常生活における移動支援を目的としている。本研究開発における一般用移動支援機器の使用環境として、車いすで活動ができる比較的広い空間が確保された高齢者福祉施設などの公共福祉施設内での運用を想定する。

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通知内容に応じた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、共同研究者の株式会社今仙技術研究所が開発中の移動支援機器「CarryLoco」(図1)を想定している。非電動駆動のバギーをこの移動支援機器に取付

けることで、ジョイスティックなどの入力装置により電動駆動が可能になる。表1に移動支援機器の仕様を示す。センサの検出範囲は、仕様および実運用の想定に基づき、図2のように定めた。



図1 移動支援機器

表1 移動支援機器仕様

| メーカー | 株式会社今仙技術研究所 |
|------|------------------------|
| 走行速度 | 3.6km/h 以下 |
| 本体重量 | 21.5kg |
| 可搬重量 | 100kg (バギー+搭乗者) |
| 寸法 | 590(D)×740(W)×170(H)mm |

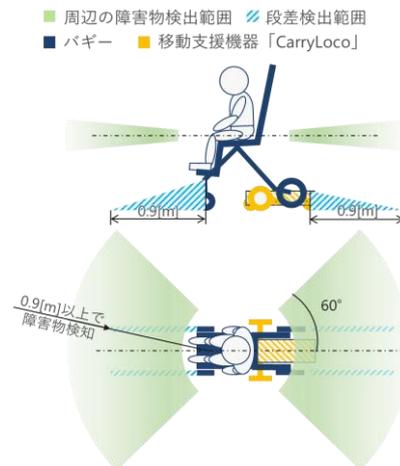


図2 検出範囲イメージ

^{†1} 岐阜県産業技術総合センター

^{†2} 岐阜県商工労働部

^{†3} 株式会社今仙技術研究所

3. センサの選定

本研究で想定している検出対象物を表 2 に示す。これらの障害物や段差を、移動支援機器が到達する前に検出するためには非接触型の距離センサが有効であると考え、超音波センサ、赤外線距離センサ、LiDAR センサを候補として選定した。

3.1 周辺障害物の検出

図 2 より、移動支援機器の正面に対して左右 $\pm 60^\circ$ の検出範囲が必要であるため広い測定範囲を持つ 2 次元 LiDAR センサが周辺障害物の検出に有用であるが、表 2 より検出対象物には透明な障害物も含まれる。このため光学式のセンサのみで全ての対象物を検出することは困難である。そこで、2 次元 LiDAR センサと超音波センサを併用することにした。

3.2 段差の検出

赤外線距離センサは、センサ前方の 1 点との距離を測定するため、周辺障害物の検出には不向きである。しかし前方の 1 点の高さを計測することで段差を検出は可能である。また 2 次元 LiDAR センサを、回転軸が地面と平行かつ進行方向に垂直になるよう設置することでも段差の検出が可能になる。ただし 2 次元 LiDAR センサは赤外線距離センサに比べて高価であるため、安全装置の製造コストとして大幅な上昇に配慮する必要がある。

4. センサの検出性能評価

本安全装置用のセンサとして超音波センサ、赤外線距離センサ、2 次元 LiDAR センサを選定し、これらのセンサが安全装置の仕様要求を満たすか評価実験を行い確認した。

4.1 超音波センサ

超音波センサ素子の仕様を表 3 に、性能評価実験の概要図を図 3 に示す。超音波センサ素子の指向性に対して検出範囲が広いので、センサ素子を複数組み合わせることを想定している。この実験ではセンサ素子を 3 つ使用

表 2 検出対象物

| | 検出対象 |
|-------|---|
| 周辺障害物 | 椅子、机、ベルトパーテーション (の支柱)、壁、ドア、自動ドア (透明)、展示ケース (透明) |
| 段差 | 凸段差 30mm 以上、凹段差 30mm 以上 |

表 3 超音波センサ仕様

| | | |
|---------|-----------------------|---|
| メーカー | Zhiwei Robotics Corp. |  |
| 型式 | SRF02 | |
| 測距範囲 | 0.16 - 6m | |
| インタフェース | I2C, UART | |
| 指向性 | 40° | |
| 周波数 | 40kHz | |
| 測定時間 | 70ms | |
| 電源 | 5V | |

し、回転軸から同一の距離に 3 つのセンサ素子 A,B,C を並べて図 3 のとおり配置した。超音波センサを電動パンチルト雲台上に設置し、以下に記述する測定を各角度に対して 25 回行った。そのうち検出成功した回数の割合を検出率とした。なお検出成功は、測定した距離が測定対象と超音波センサとの距離 $X \pm 10\%$ 以内であることとした。

- 1) 測定対象をセンサから X m の位置に設置する
- 2) 測定対象に正対した状態を基準角度 (0°) とする
- 3) $-60^\circ \sim 60^\circ$ まで 1° 刻みで雲台を回転させる
- 4) 各々の角度において距離計測を行う

距離 $X=1$ m の時に測定対象をベルトパーテーションの支柱とした時の測定結果を図 4 に示す。測定結果より各センサが測定対象を検出できていることを確認できた。なお $\pm 18^\circ$ 付近で検出できていない領域が存在するが、本実験では 30° に設定したセンサの水平取り付け角度の調整によって解消が可能であると考えられる。

4.2 赤外線距離センサ

赤外線距離センサの仕様を表 4 に、性能評価実験の概要図を図 5 に示す。固定した赤外線距離センサの検出範囲外から段差オブジェクト (樹脂ブロック $200(D) \times 200(W) \times 30(H)$ mm) を、センサのある方向へ移動させ測定を行った。

$\theta = 60^\circ$ の時の測定結果を図 6 に示す。これは距離データを床面の高さに換算したデータであり、検出目標である高さ 30mm の段差を高い精度で測定できた。しかしながら段差手前で存在しない凹段差を検出している。この段差は 30mm 未満であるため検出されないが、原因については調査中である。

4.3 2 次元 LiDAR センサ

4.3.1 周辺障害物

2 次元 LiDAR センサの仕様を表 5 に示す。周辺障害物検出性能評価実験は図 3 に示す超音波センサの評価実験と同様の手法で行った。2 次元 LiDAR センサを回転軸が電動雲台の回転軸と同軸になるよう設置し、電動雲台を水平

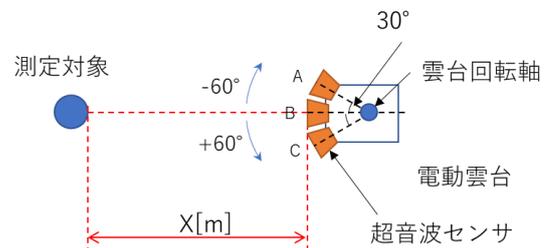


図 3 超音波センサ性能評価実験概要図

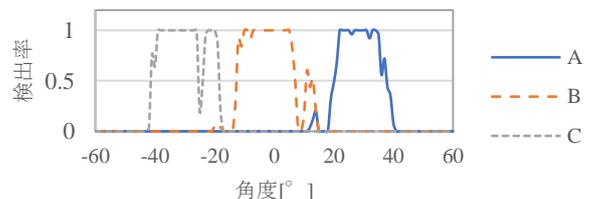


図 4 超音波センサ性能評価実験結果

方向に -70° ~ 70° まで回転させ測定を行った。測定対象をベルトパーテーションの支柱、対象と2次元LiDARセンサの距離を1mとした時の測定結果を図7に示す。 0° 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0.84以上であり、問題なく対象を検出できている。

表4 赤外線距離センサ仕様

| | | |
|----------|------------|---|
| メーカー | シャープ株式会社 |  |
| 型式 | GP2Y0A710K | |
| 測距範囲 | 1.0-5.5m | |
| インターフェース | アナログ電圧 | |
| 測定方式 | PSD | |
| 電源 | 4.5-5.0V | |

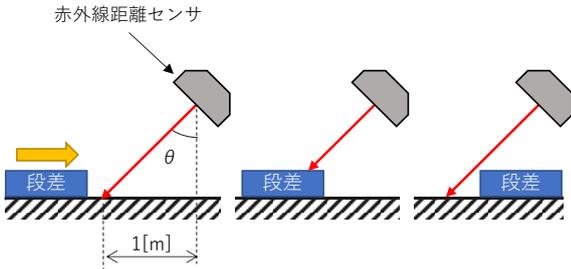


図5 赤外線距離センサ性能評価実験概要図

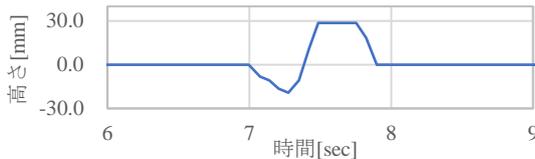


図6 赤外線距離センサ性能評価実験結果

表5 2次元LiDARセンサ仕様

| | |
|---|-----------------------------------|
|  | |
| メーカー | Shenzhen EAI Technology Co., Ltd. |
| 型式 | YDLIDAR X4 |
| 測定範囲 (距離) | 0.12-10.0m |
| 測定範囲 (角度) | 360° |
| 角度分解能 | $0.43-0.86^{\circ}$ |
| 測定周波数 | 6-12kHz |
| 測定方式 | PSD |
| 駆動電圧, 電流 | 5V, 0.5A |

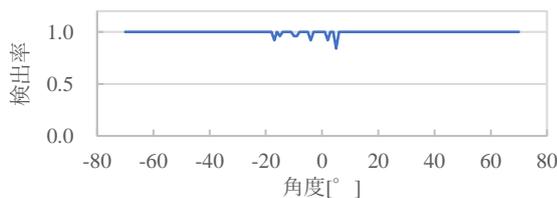


図7 2次元LiDARセンサ障害物検出性能評価実験結果

4.3.2 段差

段差検出性能評価実験の概要図を図8に示す。2次元LiDARセンサを、回転軸が地面と平行になるよう固定し、凸段差、凹段差ともに測定を行った。凸段差の測定結果を図9に示す。凸段差には赤外線距離センサの性能評価実験時に用いた樹脂ブロックを用いた。このグラフには25回計測した結果をすべてプロットしている。段差の断面図のような結果が得られ、すべての計測データで高さ30mm、長さ200mmの凸段差を高い精度で検出できた。

5. 安全装置

5.1 構成

前章で特性評価を行ったセンサを統合し、安全装置を試作した。試作した安全装置の構成図を図10に示す。図中の超音波センサユニットとは、6つの超音波センサを扇状に 20° ずつ配置したユニットである。移動支援機器と安全装置は8チャンネルのGPIOケーブルと電源線で接続されている。メインの処理装置としてNVIDIA製のJetson nano (以下Jetsonと記す)を使用し、各種センサをJetsonに接続している。なお、赤外線距離センサおよび超音波センサ

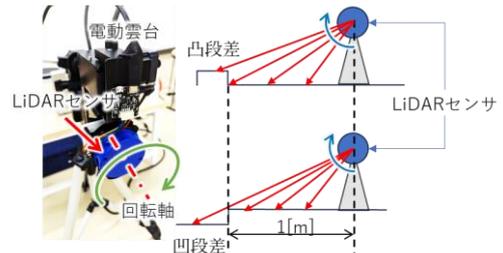


図8 2次元LiDARセンサ段差検出性能評価実験概要図

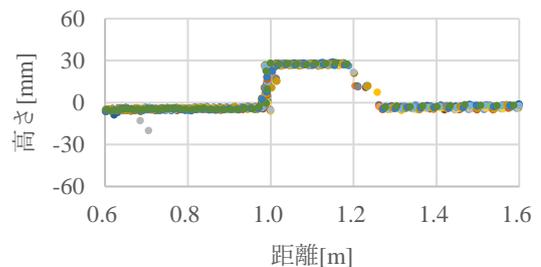


図9 2次元LiDARセンサ段差検出性能評価実験結果

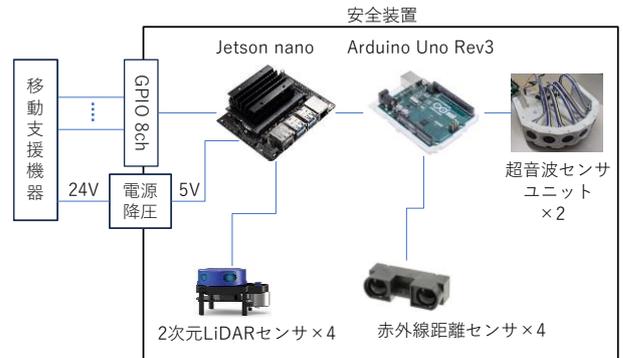


図10 安全装置の構成

ユニットは Arduino SRL 製 Arduino Uno Rev3 (以下 Arduino と記す) に接続しており, Arduino 内部で測定データの処理を行い, その結果をシリアル接続された Jetson へと送信する. Jetson 内部では Arduino からのデータと 2次元 LiDAR センサの測定結果から障害物, 段差の有無と, それらが検出された方向を GPIO ポートの電圧レベルを変化させ移動支援機器へと通知する.

5.2 評価実験

本研究で開発した安全装置は, 株式会社今仙技術研究所が開発中である一般用移動支援機器「CarryLoco」に搭載予定であるが, 予備実験として電動車いすに搭載して実験を行った. 搭載した様子を図 11 に, 各センサの取付位置を図 12 に示す. 評価方法は, 表 2 に記載した検出対象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し, 電動車いすを徐々に障害物に近づけ障害物を検出した距離が 0.9m 以上であるのかを確認した. 各センサの有効性を評価するため, 「赤外線+超音波+LiDAR」「超音波+LiDAR」「LiDAR」の, 3 パターンのセンサ組合せについて実験を行った.

5.3 評価結果

評価結果を以下の記号で表すこととし, 表 6 に示す.

○…安定して対象を検出できる (検出率 90%以上)

△…安定して対象を検出できない

×…対象を検出できない (検出率 10%未満)

壁やドアといった高さのある障害物については安定して検出することができたが, 椅子, 机, 支柱の検出については検出が不安定になった. これは超音波センサ, 2次元 LiDAR センサともに高さ方向の検出範囲が狭いことが原因と考えられる. 例えば机の天板の高さとセンサの設置高さが同じ場合に, センサから発した超音波またはレーザー光が机の縁で反射もしくは天板の上を通過してしまい, 反射波または反射光をそれぞれのセンサが捉えることが困難になる. このため, センサの設置高さについては検討する必要がある. 透明なドアや展示ケースについては超音波センサによって安定した検出ができた. 段差については, すべての方式で凹段差, 凸段差ともに検出が可能であり, 良好な結果が得られた.

6. 結言

日常生活で安心して移動支援機器を利用できることを目的に, 一般用移動支援機器向けの安全装置を試作・評価した. 日常生活で想定される障害物として, 椅子や机といった什器, 壁, 透明な自動ドアや展示ケースそして段差があり, これらの検出を行うため, 超音波センサ, 赤外線距離センサ, 2次元 LiDAR センサの 3 種のセンサについて性能評価を行った. 全てのセンサを統合して安全装置を試作し, 電動車いすに安全装置を搭載して評価を行った結果, 周辺障害物の検出については良好な結果が得られたが, セ



図 11 電動車いすに安全装置を搭載した様子



図 12 各センサ取付位置

表 6 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 | ○ | ○ | × |
| 段 差 | 展示ケース | ○ | ○ | × |
| | 凸段差 | ○ | ○ | ○ |
| | 凹段差 | ○ | ○ | ○ |

ンサの設置高さについては, 検討を進める必要がある

参考文献

- [1] 川口比呂志, 大坪昭文, 辛川洋介, 田中徹, 林健一郎. 高齢者に優しく乗り心地の良い木製電動椅子の開発 (第 1 報). 平成 21 年度佐賀県工業技術センター研究報告書. 2009, p.5-9
- [2] 松尾清美, 村田知之, 古賀賢紀, 久保温子, 吉田勇一, 辛川洋介, 川口比呂志, 田中徹, 正木潤, 武富利勝, 北島健郎. 重度発達障害児のための自立移動遊具の開発. 日本義肢装具学会誌 Vol.24, 2008, p.130-131
- [3] 田畑克彦, 久富茂樹, 鳥井勝彦. 屋内移動支援機器向け安全装置の研究開発 (第 1 報). 岐阜県産業技術総合センター研究報告第 3 号, 2022, p.93-96
- [4] 田畑克彦, 安部貴大, 鳥井勝彦. 屋内移動支援機器向け安全装置の研究開発 (第 2 報). 岐阜県産業技術総合センター研究報告第 4 号, 2023, p.97-100
- [5] 安部貴大, 田畑克彦, 鳥井勝彦. 屋内移動支援機器向け安全装置の研究開発 (第 3 報). 岐阜県産業技術総合センター研究報告第 5 号, 2024, p.118-121