

屋内移動支援機器向け安全装置の研究開発（第2報）

田畠克彦*、安部貴大*、久富茂樹*、鳥井勝彦†

Development of safety sensor for indoor mobility aids (II)

TABATA Katsuhiko*, ABE Takahiro*, KUDOMI Shigeki* and TORII Katsuhiko†

電動車いすなどの移動支援機器の利用者は幼児から高齢者まで幅広い年代にわたっている。また、屋内において移動支援機器を安心して利用するためには、障害物への衝突等の事故を未然に防ぐ安全装置が必要となるが、幼児とそれ以上の年代とでは利用目的が異なるため、安全装置に求められる機能や性能も異なる。そこで本研究では、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うえで開発を進めている。本年度は、幼児より上の年代の屋内移動支援機器のための安全装置開発に着手したので報告する。

1. はじめに

本研究では、屋内で利用する電動車いすなどの移動支援機器を対象として、障害物との接触事故などを未然に防ぐための安全装置を開発している。特に、移動支援機器の利用目的や利用シーンを明確にした後、安全装置の要求仕様を設定し、その仕様に沿った研究開発を進めている¹⁾。移動支援機器を利用目的の観点から分類した場合、生活空間での日常利用を目的としている一般用移動支援機器²⁾と、発育を促すために学びの場として利用する幼児用移動支援機器³⁾に分けられる。

昨年度は幼児用移動支援機器の安全装置を開発したため¹⁾、本年度は一般用移動支援機器の安全装置の開発を開始した。具体的には一般用移動支援機器の利用シーンと安全装置の仕様を設定した後、その仕様を満たすため、障害物等の検出システムの基本設計を実施した。また、検出システムのセンサとして有望な超音波センサと赤外線距離センサによる検出対象物の基礎的な検出実験を行い、検出能力や課題を把握した。本研究では、安全装置を開発するにあたって、搭載する移動支援機器を明確にしているが、開発した技術は一般的な電動車いすの屋内利用や工場内の無人搬送車（AGV）の障害物検出等の安全装置にも応用が期待できる。

2. 安全装置の仕様設定

本章では、一般用移動支援機器の安全装置を開発するにあたり、設定した仕様について述べる。検討項目は幼児用と同様に、搭載される移動支援機器、走行環境ならびにセンサへの要求などで、概要は以下のとおりである。

2. 1 一般用移動支援機器

安全装置を搭載する一般用移動支援機器として、共同



(a)移動支援機器本体 (b)バギー取付時
図1 一般用移動支援機器

研究者である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“CarryLoco”（図1）を想定する。本移動支援機器は、利用者毎にカスタマイズされたバギーの搭載が可能で、ジョイスティックなどの入力装置により移動制御が可能な電動式移動支援機器である。移動はバギーの後輪を筐体上に固定し、バギーの前輪、移動支援機器の駆動輪ならびに筐体下部のキャスターによって移動する方式をとる。

2. 2 走行環境（利用シーン）と要求仕様

一般用移動支援機器は、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使用環境としては、昨年度調査した特別支援学校¹⁾や高齢者福祉施設などの公共福祉施設で、車いすでの活動が可能な比較的広い空間が確保された屋内での運用を想定する。このような環境での利用シーンでは、検出すべき対象は床の段差やスロープ、壁の他、椅子や机などの什器である。人やその他の車いすなども検出対象として考えられるが、音等を発する装置を取付けて、周囲に注意を促す方法で対応することを想定しているため、本研究の対象外とする。また、検出対象を検出した場合、幼児用移動支援機器と同様に移動を停止するが、一人で活動することも想定しているため、復帰に補助が必要なく、また検出対象が検出された方向のみ移動不可となるような移動

* 情報技術部

† 株式会社今仙技術研究所

表1 一般用移動支援機器の安全装置の仕様

利用用途		歩行困難者の日常生活における移動支援
利用シーン		屋内の公共施設等の車いす利用を前提とした生活空間を移動、障害物検出時に移動を制限する。
安全装置の要求仕様	走行路面	一般的な屋内フロア（段差あり）（塗床、シート床、カーペット、フローリング等）
	検出対象	壁、凹凸段差、什器（机、椅子）
	検出時動作（復旧方法）	移動停止および移動方向の制限（検出方向への移動は不可）
移動支援機器の主な仕様	メーカー型式	株式会社今仙技術研究所 CarryLoco
	走行速度	3.6 km/h以下
	本体重量	30kg
	寸法	790(D) × 550(W) × 200(H)mm

制限をかけることにする。以上の主な仕様について表1にまとめる。

3. 安全装置の基本システム設計

移動支援機器の基本仕様から、検出対象を「周辺障害物」と「段差」に分類し、それぞれを検出する範囲と使用するセンサについて検討を行った。より詳細な対象を検討した結果を表2に示す。

3. 1 検出範囲の検討

検出範囲のイメージを図2に示す。検出範囲を定めるにあたり、CarryLocoの制動性能を考慮する必要がある。道路交通法にて電動車椅子の制動性能は、最高速度6km/hにおいて平坦路制動性能は1.5m以内と定められている。これに対してCarryLocoは最高速度3.6km/hであるため、比例計算により平坦路制動性能は0.9m以内に設定した。設定した制動性能より検出範囲は半径0.9m以上の円形となるが、CarryLocoは転回せずに左右に移動することができないため、左右の測定は不要とした。よって本研究における周辺の障害物検出範囲は、正面及び背面の±60°とする。また段差の検出に関しては乗り上げや脱落防止のため、車輪の前後方向の測定を行うようにする。

3. 2 周辺の障害物検出用センサ

障害物に衝突する前に停止するためには超音波センサや赤外線距離センサ、LiDARなど非接触型の距離センサが有望である。表2より検出対象に透明な対象物が含まれており、光学式センサではそれらの検出が困難なため、超音波センサを選定した。

3. 3 段差検出用センサ

段差手前で停止するためには、前節と同様に超音波センサや赤外線距離センサ、LiDARなどの非接触型距離センサが有望であるが、超音波センサは周辺障害物検出用の超音波センサとの干渉が想定されるため、光学式センサを選定した。

表2 検出対象物（詳細）

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

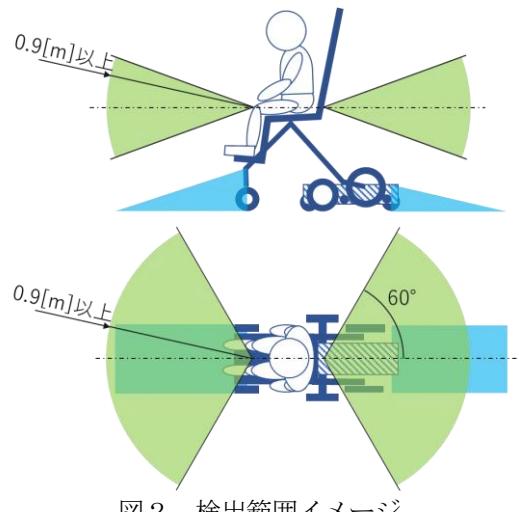


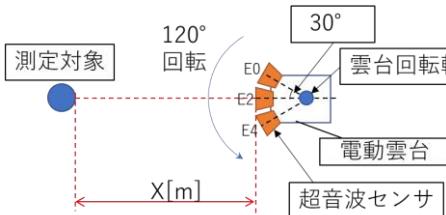
図2 検出範囲イメージ

4. 実験

前章で選定した超音波センサと、光学式センサのうち扱いが比較的容易である赤外線距離センサの特性測定をそれぞれ行った。

4. 1 超音波センサ

超音波センサの仕様を表3に、特性測定の概略図を図3(a)に示す。図3(a)のE0、E2、E4はセンサのIDを示している。使用するセンサの指向性は40°であるが、開発するシステムは±60°の検出を行うため、複数の超音波センサを組み合わせて使う必要がある。そこで予備実験としてセンサ素子を3つ使って実験を行った。検出範囲に隙間を作らないため、10°ずつ検出範囲が重なるようセンサ素子を設置した。正面に対して-30°、0°、30°の角度で3つのセンサ素子を電動パンチルト雲台に取付け、「同時測定」と「順次測定」の2種の測定方法にて実験を行った。同時測定では、接続されているすべてのセンサ素子から同時に超音波を発し、測定を行う。この手法では個々のセンサからの超音波信号で互いに干渉する可能性があるが、複数のセンサ素子で同時に測定が行える。順次測定では、時間差で1つずつセンサ素子から超音波を発し、測定を行う。このためセンサ素子の個数が増えるほど測定に時間がかかるが、超音波信号が干渉する可能性は低い。システム構成を図3(b)に示す。超音波センサとマイコン（NXP製Mbed LPC1768 Board）をI2C通信にて接続し、マイコンからセンサ素子をそれぞれ制御する。センサ素子から得られたデータはマイコンにて距離データに変換され、シリアル接続されたPCへと送信される。測定は以下の手順で行った。



(a) 特性測定概略図

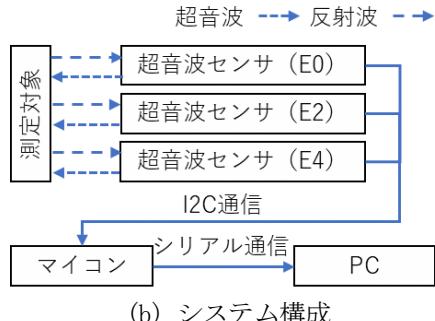


図3 超音波特性測定

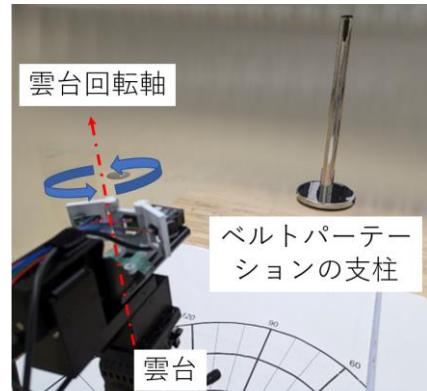
表3 超音波センサ仕様

メーカー 型式	DFRobot SRF02	
測距範囲	0.16m-6m	
インターフェース	I2C, シリアル	
指向性	40°	
周波数	40kHz	
測定時間	70ms	
電源	5V	

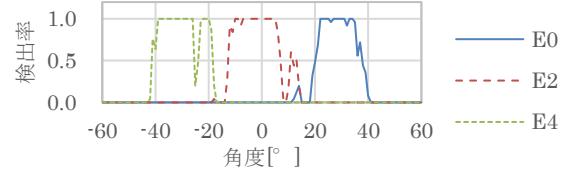
- ① 測定対象をセンサから X[m]の位置に設置する
 - ② 測定対象に正対した状態を基準角度とする (0°)
 - ③ 120° (-60°~60°) の範囲で 1°刻みに雲台を回転させる
 - ④ それぞれの角度で 25 回距離を測定する
- 25 回測定したデータのうち、 $X \pm 10\%$ に入っているデータを検出成功とし、検出成功回数の割合を検出率とする。図 4 にベルトパーテーションの支柱 (直径 65mm) を $X=1m$ にて測定した様子と結果を示す。図 4 (b) の同時測定に比べて図 4 (c) の順次測定は安定して対象を検出できている。しかし同時測定では 70ms 周期で測定できるのに対して順次測定ではセンサ素子が 3 つであることから 3 倍の 210ms 周期の測定となる。この場合 CarryLoco の最高速度が 3.6km/h であるから測定間に最大 21cm 移動することになるため順次測定では障害物を検出し損ねる可能性がある。また、両検出法とも仕様よりも高い指向性を示しており、センサ間に検出できない領域 ($\pm 18^\circ$ 付近) が存在するため、センサの取付け角度について検討する必要がある。

4. 2 赤外線距離センサ

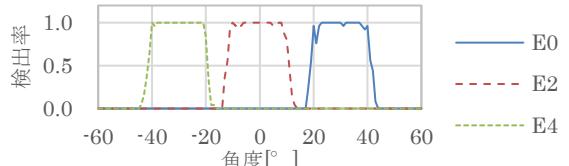
表 4 に赤外線センサの仕様、図 5 に実験装置を示す。赤外線距離センサをマイコン (Arduino Srl 製 Arduino Uno Rev3) に接続し、マイコンはセンサからのアナロ



(a) 測定の様子



(b) 同時測定



(c) 順次測定

図4 超音波センサ特性

グ電圧出力を 10ms 周期で読み取り距離データに換算する。PC とマイコンを接続し、シリアル通信で PC に 50ms 周期で距離データを送信する。この実験装置を用いて床面測定時の赤外線入射角の影響確認と段差検出実験を行った。

4. 2. 1 赤外線入射角の影響確認

図 6 (a) に、床面検出における赤外線入射角の影響を確認する実験の概略図を示す。赤外線距離センサと対象との水平距離は 1m で固定し、センサの設置角度 θ を、回転ステージにより変化させて測定を行った。なお、 θ の範囲は、センサの設置高さが実用的な範囲に収まるよう 60°、70°、80°とした。屋内の床材を想定し、塗床、紺色のタイルカーペット、木製のフローリングタイルを対象として測定を行った結果を図 7 に示す。図 7 (a) より、設置角度 $\theta=80^\circ$ にて塗床とそれ以外の床材とでセンサ出力に差異が見られた。図 7 (b) は測定値の標準偏差であるが、その値は 20~40mm 程度あり、表 2 に示す凸凹 30mm 段差の検出は困難である。そこで、得られたセンサ出力にマイコン内でバッファサイズ 15 の median フィルタを適用するようにした。その結果、図 7 (c) のように測定値の標準偏差が 6mm 未満に抑えられた。以上より本実験環境における赤外線距離センサの設

表4 赤外線距離センサ仕様

メーカー 型式	SHARP GP2Y0A710K	
測距範囲	1.0m - 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	

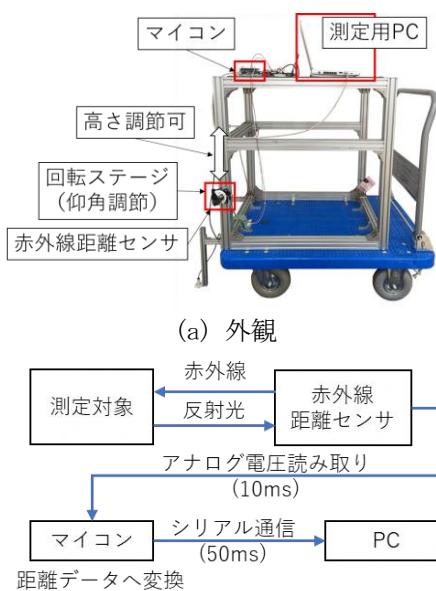


図5 赤外線距離センサ測定システム

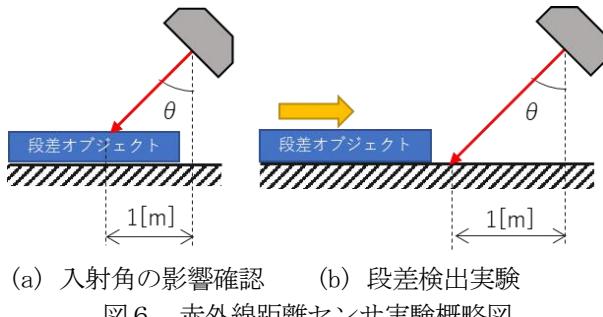
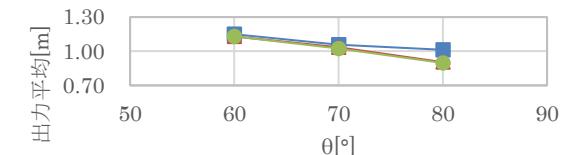


図6 赤外線距離センサ実験概略図

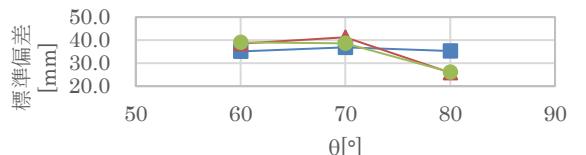
置角度は、標準偏差が低く、材質ごとの出力の差異もほぼ見られない 60° 、 70° が適した結果となった。

4. 2. 2 段差検出実験

図6 (b) に段差検出実験の概略図を示す。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 $200(D) \times 200(W) \times 30(D)$ ）をセンサのある方向へ移動させ、測定を行った。 $\theta=60^\circ$ における測定結果を図8に示す。これは測定した距離データを床面の高さに換算したデータであり、樹脂ブロックの高さ 30mm をほぼ正確に測定できていることが確認できる。しかしながら樹脂ブロック周囲に凹みは存在しないが測定結果として段差手前で凹段差を検出している。この測定結果は再現性の高い結果であったことから、検出センサとして利用可能かどうかを今後慎重に検討していく。



(a) センサ出力



(b) 標準偏差

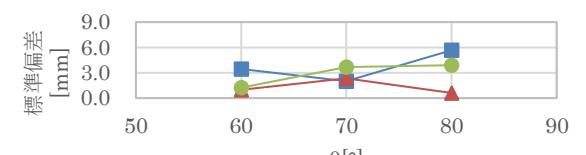


図7 赤外線距離センサ特性



図8 段差検出テスト結果

5. まとめ

一般用屋内移動支援機器向けの安全装置について、仕様の検討を行い、基本システムの設計をもとにセンサの選定と障害物の検出が行えるか検証を行った。測定対象を「周辺障害物」と「段差」に分類し、透明なオブジェクトが含まれる「周辺障害物」検出には超音波センサを、「段差」の検出には赤外線距離センサを選定し、実験を行った。超音波センサについて「同時測定」と「順次測定」の2手法について比較実験を行った結果、測定周期では同時測定、安定性では順次測定が優れていた。また、赤外線距離センサについてはセンサの設置角度を変更しながら安定な計測ができる角度を確認した。今後は、判明した課題を考慮しつつ、LiDAR など他の有用なセンサの検証を行う。またセンサを統合して安全装置を試作し、実機への搭載を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 田畠ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.3, pp93-96,2022
- 2) 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
- 3) 松尾ら,日本義肢装具学会誌 Vol.24, pp130-131,2008