

埼玉学園大学・川口短期大学 機関リポジトリ

視覚障害者のための超音波距離センサーによる周辺状況認知の基礎的研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-07-26 キーワード (Ja): キーワード (En): Surrounding situation sensing, Ultrasonic ranging sensor, Visually handicapped person 作成者: 竹上, 健 メールアドレス: 所属:
URL	https://saigaku.repo.nii.ac.jp/records/608

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



視覚障害者のための超音波距離センサー による周辺状況認知の基礎的研究

Fundamental study of surrounding situation sensing for
visually handicapped person using ultrasonic ranging sensors

竹 上 健

TAKEGAMI, Takeshi

1 はじめに

今日、身体に障害を持った人々への行動支援や生活支援はさまざまな分野で行われている。たとえば、駅舎などにおいては障害者や高齢者などのために安全対策が整備されつつあるが、決して十分な状態ではない。点字ブロックや手すりですらまだまだ未整備であり、視覚障害者が介助者無しで行動する場合は大きな危険が伴う。平成13年1月26日、JR山手線新大久保駅で線路に落ちた人を救助しようとして救助者2人を含め3人が死亡した事故^[1]が発生したが、報道によれば、これまでも健常者に限らず視覚障害者が誤ってホームから線路に転落する事故が相次いでいる。視覚障害者の駅ホームの重傷事故（1994年12月~2007年4月）^[2]によれば、表1のホームからの転落による視覚障害者の死亡事故に示すとおり、平成6年12月から平成16年12月までに、全国で15人もの視覚障害者が転落により亡くなっている。それ以外に、死亡に至らなくても手や足を切断するというような重傷な転落事故も14件発生している。また、鉄道事業の安全確保などのために6鉄道事業者を

調査した結果では、1)線路が急カーブしていることによりプラットフォームと車両の乗降口との隙間が大きく開いている、2)プラットフォームの幅員が狭い、又はプラットフォームにある跨線橋や地下道付近の通路部分が狭いものがあり、必要により旅客の転落を防止するための措置の一層の推進が必要、との報告がある^[3]。こういった車両の乗降口との隙間が大きく開いていることやプラットフォームの幅員の狭さを点字ブロックなどで視覚障害者に認知させることはきわめて難しい。

視覚障害者は、介助者がいる場合であっても、互いが異性同士であった場合トイレ（特に公衆トイレ）を案内する際にも問題が残る。トイレまでは案内できても、具体的に便器の前に立たせられなければ障害者は用が足せない。しかしながら、障害者の介助のためであっても、介助者が異性のトイレに入っていくことは理解が得られにくく難しい。筆者自身、これまでに駅の公衆トイレ内で困っていた男性視覚障害者を介助したことが二度ほどあるが、介助慣れていないこともあり、ぎこちないものとなってしまった経験がある。

駅やトイレの問題に限らず、根本的に問題

キーワード：周辺状況認知、超音波距離センサー、視覚障害者

Key words : Surrounding situation sensing, Ultrasonic ranging sensor, Visually handicapped person

表1 ホームからの転落による視覚障害者の死亡事故

番号	日付	場所（駅名など）	被害者
	事故の状況		
①	平成6年12月	近鉄・中川原駅（三重県）	女性（51歳）死亡
	降車後に線路に転落、連結部にはさまれ、動き出した電車にひかれる。		
②	平成7年6月	大阪市営地下鉄天王寺駅	男性（61歳）死亡
	点字ブロックの右折れに気づかず進行、線路に転落し進入の電車にひかれる。		
③	平成7年11月	J R東海道線小田原駅	男性（48歳）死亡
	ホームから転落、列車とホームの間にはさまれ、20メートル引きずられる。		
④	平成7年12月	J R青梅線東中神駅	男性（34歳）死亡
	ホームから転落、進入の列車にはねられる。		
⑤	平成8年2月	J R東海道線篠原駅（滋賀県）	男性（42歳）死亡
	雪が端に残るホームを歩行中に転落し、入ってきた電車にひかれる。		
⑥	平成8年8月	阪急・蛍池駅（大阪府）	女性（61歳）死亡
	乗車しようとして車両連結部に転落、気づかずに発車した電車にひかれる。		
⑦	平成9年8月	相鉄線二俣川駅（横浜市）	女性（51歳）死亡
	ホームへの階段を降りきった後、転落し線路へ。進入した電車にひかれる。		
⑧	平成10年9月	名古屋市営地下鉄名城線栄駅	男性（73歳）死亡
	線路に転落、はい上がろうとしたが、間に合わず、進入した電車にひかれる。		
⑨	平成11年8月8日	名古屋鉄道加納駅	男性（33歳）死亡
	ホームの点字ブロックの切れ目があるところから転落。電車にはねられ即死。		
⑩	平成11年11月15日	J R目黒駅	男性死亡
	ホームから転落。電車にはねられ右足切断。死亡。		
⑪	平成13年11月19日	名古屋鉄道線三柿野駅	男性（60歳・弱視）死亡
	ホームに上ろうとしているところ電車にはねられた。		
⑫	平成14年9月29日	J R山陽線「西阿知」駅	男性（37歳・弱視）死亡
	貨物列車（22両）にはねられ、頭を強く打ち即死。		
⑬	平成15年12月8日	J R阪和線「杉本町」駅	男性（68歳・全盲）死亡
	ホームから転落、死亡。		
⑭	平成16年12月23日	J R東海道線笠寺駅（愛知県）	男性（57歳・弱視）死亡
	転落による死亡事故（詳細不明）。		
⑮	平成16年12月	神奈川県内	男性（不詳）死亡
	転落による死亡事故（詳細不明）。		

を解決するには、視覚障害者がいつでもどこでも基本的に一人で行動できるシステムを構築することが必要不可欠と判断される。また、その手法が、今日のように、一部の施設に限られた場合では、視覚障害者の単独行動は遠い将来においても可能性が薄いと思われる。

本研究では、重大事故につながる下り階段やホーム端など、足場が不連続で欠落するような場合での周辺状況のセンシングに取り組む。また、盲導犬のように特別な訓練を受け

なくても、誰でも使用できるシステムを前提とし、視覚障害者本人が身につけて、単独での行動を支援・介助できるシステムの構築を目指している。本稿では、試作した研究システムについて報告するとともに、複数の超音波距離センサーを利用した周辺状況認知に関する検討を行う。以下本稿では、まず2章で視覚障害者の行動支援に関する先行研究を紹介し、3章では全盲の視覚障害者に対して行った聞き取り調査結果について述べる。4

章では超音波による距離計測の原理や予備実験について述べ、5章では複数の超音波距離センサーを組み合わせた研究システムについて説明する。6章では実験結果に基づいてシステムの可能性についての考察を行い、最後に7章でまとめと今後について論じる。

2 先行研究

これまでも、超音波距離センサーを使って、視覚障害者の行動を支援しようとする研究・開発が行われている。図1に、秋田県立大学で研究されている「多機能化白杖」について、その概略を示す。これは、杖の2ヶ所に前方と上方に向けて距離センサーを取りつけ、前方の障害物や顔の高さにある突起物を検出しようとするものである^[4]。障害物などを検知すると、それぞれの距離センサーに対応して用意されている振動子を振動させて利用者に知らせるものであるが、段差がある場合や下り階段などの検出に問題が残る。

これとは別にすでに製品化されているものもある。図2に、(株)TNK製の「色識別誘導白杖」について、その概略を示す。これは、杖の先端に内蔵された色識別センサーで歩行路上に描かれたラインなどの色を検知し、その色情報を振動や音によって知らせるものである^[5]。点字ブロックのように凹凸がなくても進路の情報を得ることができ、すでに市役所などで利用実績があるとのことであるが、あらかじめラインテープなどを敷設しておく必要があり利用箇所が大きく限定される。

また、図3に、(有)BAT-Japanが販売しているセンサー部だけの製品について、その概略を示す。これはセンサー部が白杖に取りつけるグリップ部となる製品でヘッドフォンとともに販売されているものである^[6]。グリッ

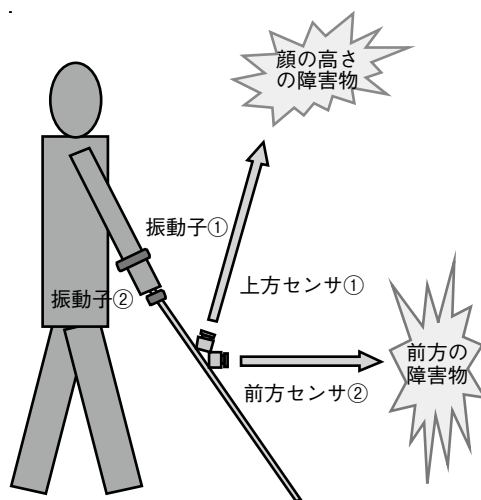


図1 多機能化白杖 (秋田県立大学)

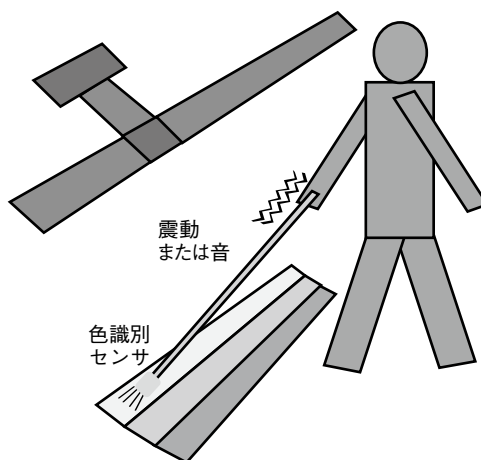


図2 色識別誘導白杖 ((株)TNK)

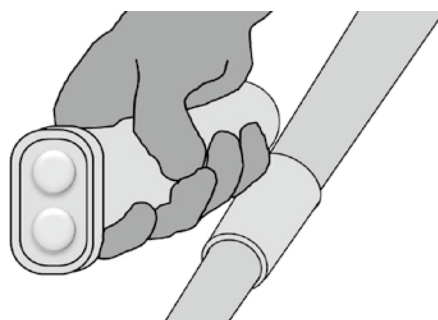


図3 センサー部製品 ((有)BAT-Japan)

ブ部を前方に向けて約5m×2mの範囲を超音波により検知し、ヘッドフォンで音としてその情報を伝えるものである。音の高低で距離を識別し、キンキンした硬い音やザワザワした柔らかい音で障害物の材質の情報が得られるとのことであるが、ヘッドフォンの使用や音の状況での情報伝達では視覚障害者にとって特に大事な聴覚への悪影響が懸念される。

3 視覚障害者からの聞き取り調査

視覚障害者の行動支援のためのシステム構築を目指すことから、具体的に視覚障害者において平成22年6月に聞き取り調査を実施した。高崎市役所の方に紹介いただき、聞き取りをお願いしたのは、群馬県高崎市在住の60歳代の男性で生まれつきの全盲の方である。はり・きゅう治療院の院長で、ヘルパーさんと一緒に行動しているとのこと、聞き取り当日もヘルパーさんと一緒であり、同席されたヘルパーさんからもいろいろと話をうかがうことができた。そのときの内容は以下のとおりである。

(1) 晴眼者が考える視覚障害者支援はまともなものがない。視覚障害者とともに考えるべきである。たとえば点字ブロックはもっと段差を低く、もっとやわらかいものにすべきで、足が痛くなってしまっていて、あの上を長い距離歩くことはできない。また、視覚障害者のことだけでなく、車椅子の人などのことも考慮すべきであり、現在の点字ブロックの段差は車椅子での移動に大きな障害となっている。さらに、弱視の方のために歩道と点字ブロックのコントラストをより高めるよう検討すべきとのことであった。

(2) ヘルパーさんと一緒に行動していたに

もかかわらず、視覚障害者が下り階段で転落する事故に遭遇したことがある。また、盲学校時代に自らも階段から転落した経験がある。幸いなことに両者の場合ともに大きな事故には至らなかった。

(3) 視覚障害者は、一人の場合はすべての順路を覚えて行動している。このため、なんらかの原因で順路から外れた場合は行動できなくなってしまう。

(4) 白杖の使い方には限定はなく、利用者がそれぞれ独自の使い方で行っている。

(5) 階段の下りに差し掛かったことは、声の聞こえ方や周りの雰囲気、あるいは空気の微妙な流れなどで察知している。この場合、杖で足場の滑り止めを確認して階段であることを確定判断している。下り階段が近いとわかるだけでも非常に助かる。

(6) 交差点は、騒音の状況や周りの雰囲気、空気の流れ、足元の路面の傾きなどで判断している。車の交通量が少なく歩行者もほとんどいない場合には安全が判断しづらく、道路に一步を踏み出すのはかなり覚悟がいることである。

(7) 自分は生まれつきの全盲だから、見えないことが当たり前であるが、中途での視覚障害者はほとんど自立が不可能である。自宅から出られない、自宅の中だけの行動も大変という話も数多く聞く。

本人も階段からの転落の経験があり、下り階段が近いとわかるだけでも非常に助かることから、本システムの開発が有意義であることが確認でき、ある程度システムが構築できた際には被験者として協力いただけるとのことであった。また道路横断では、かなりの覚悟を持って道路に踏み出していることから、カメラ画像による信号認識などの必

要性も把握できた。ちなみに、この聞き取りの後、点字ブロック上を実際に歩いてみたが、丸突起でなく長棒状の場合は特に、長い距離どころかわずか数mの距離であっても足裏や指が痛くなってしまった。

4 超音波による距離計測

4.1 距離計測の原理

超音波は人間の耳で聞き取ることが出来ない周波数の高い音波であり、一般的には20kHz以上の音響振動と定義されている^[7]。自然界には、コウモリやイルカなど超音波を活用している動物が存在しているが、特にコウモリは夜行性であるために、自ら発生した超音波の反射波を聞き分けて、暗闇で空を飛んだり、仲間を識別したり、物体の位置を確認して視覚と同様に活用している。

超音波は音響振動なため、真空中でも伝搬する電波（電磁波）とは異なり、伝わるためには気体、液体、固体などの媒体を必要とする。超音波は電波に比べて伝搬速度が遅いので、この特性を利用して距離計、厚み計、医療用の診断装置などに活用されている。伝搬速度が遅いということは、短い距離においても超音波の跳ね返りにある程度の時間がかかることになり、その時間計測において精度を高めることができるというメリットがある。逆に対象物まで長大な距離がある場合は、電波が利用されることになる。

超音波を対象物に向け発信すると、対象物面で反射して超音波が戻って来るため、音速が分かれば、超音波が戻って来るまでの時間を計測することで、対象物までの距離を知ることができる。対象物までの距離をD(m)、そのときの音速をC(m/秒)、超音波の発信から受信までの時間をt(秒)とすると、距離は、



図4 超音波距離センサーの概観

$$D = C \times t / 2$$

で求めることができる。ここで、空気中の音速は、温度や湿度などの環境条件によって変化し、特に温度変化による影響を受け、温度が高いほど音速が速くなる性質がある。乾燥空気の温度をT(°C)とした場合、音速C(m/秒)は、

$$C = 331.45 + 0.607 \times T$$

で求めることができる。一般的に空気中の音速は約340m/秒が用いられることが多いが、これは約15°Cの時の値である。仮に体温と同じ約36°Cまで上昇した場合は約353m/秒となり、音速を340m/秒として距離算出を行った場合には4%程度の誤差が生じることになる。このため、超音波送受信器に温度センサーを内蔵して、温度補正を行うことが一般的であるが、視覚障害者の周辺状況認知として使用する場合には、計測器の基準位置自体が不安定となることから、補正をしなくても特に支障はないと判断される。

4.2 使用した超音波距離センサー

図4に使用した超音波距離センサーの概観を示す。センサーは米国MaxBotix社製のLV-MaxSonar-EZ1と呼ばれるもので、仕様としては以下に述べるとおりである^[8]。

- ・寸法：縦22mm、横20mm、奥行16.4mm
- ・重量：4.3g

- ・測定範囲：0.15m～6.54m
- ・距離分解能：1inch（25.4mm）
- ・超音波周波数：42KHz
- ・測定手法：連続、トリガ（両方可）
- ・出力：パルス幅 147 μ s/inch
アナログ電圧 9.8mV/inch
シリアル出力：9600bps
出力周期：49msec/1data
- ・電源：5Volt/3mA

試作した研究システムでは、この超音波距離センサーを専用杖に4個配置して、多方向のデータを取り込むことになるが、上記仕様は単体性能であり、周囲の環境、取り付け方、センサーどうしにおける受信への影響などによる値の変動が考えられる。

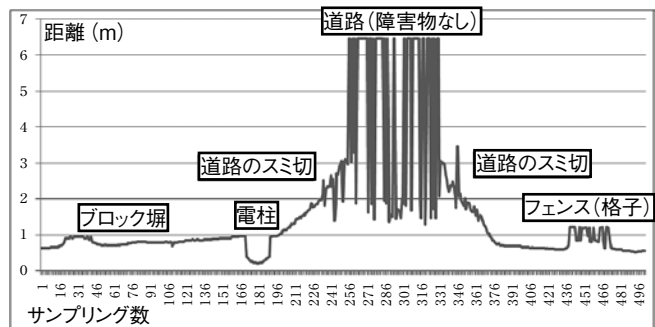
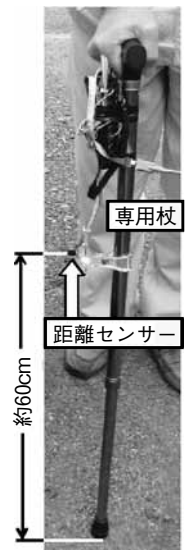
4.3 予備実験

図5に予備実験におけるセンサーの設置状況を示す。図に示すように、超音波距離センサー1個のみを、地面から約60cmの位置に右方向（進行方向に対してほぼ直角に右水平方向）に取り付けて、距離計測のデータ取得状況を確認した。

図6に超音波距離センサーの予備実験結果を示す。図5に示した状況で、図6(a)計測地状況に示すT字路のある道路上を歩きなが

ら、右側面の距離計測におけるデータ変化を求めたものである。図6(b)距離計測結果には、このときに得られた距離データを示している。横軸はサンプリングタイミング(20Hz)で計測した際のサンプリング数が示されており、縦軸は右側の反射位置（この場合歩行者右側面の構造物）までの距離(m)が示されている。

計測開始から166サンプルぐらいのところまではブロック塀までの距離が測定されており、181サンプルのところに現れている凹状の波形は電柱を計測したもので、その後3m程度まで徐々に距離が大きくなっていくが、これは道路のSMI切（角の部分を斜めに切った地形）の状況が計測されたものと判断される。その後波形が乱れて6.5m近辺と2m近辺を往復しているが、これはT字路の道路に差し掛かり、反射物がなくなって反射距離検出限界（6.5m）を越えたために生じた現象と判断される。設置状況(予備実験)



(a) 計測地状況

(b) 距離計測結果図

図6 円グラフの要素の切り離し

その後331サンプル以降は、図6(a)計測地状況には示されていないが、道路のスマッチと格子状のフェンスまでの距離を計測している。以上のことから、超音波距離センサーは、水平方向に向けて計測する場合は、問題なく構造物などまでの距離計測ができるものと判断された。

5 試作システム

5.1 システム構築の基本概念

先行研究などにより、一般的な場所であっても、前方の障害物に関しては超音波などを使って検出することが可能になってきている。しかしながら、ホーム端など足場が不連続に欠落するような場合は重大事故につながる可能性があるが、これまであまり検討されていないのが実状である。視覚障害者の駅プラットフォームホームからの転落事故の実例^[9]によれば、本人はまっすぐ進んでいるつもりで実は曲がって歩いていたとか、聴覚による情報のみでの思い込み判断をしたなど、本人は危険と感ぜないままに転落事故につながっている可能性が高い。こういったことから、自分の進行方向とともに両側面のセンシングを行う。また、下り階段に差し掛かった場合、前方に向けた超音波距離センサーでは「障害物なし」との判断になる可能性が高いため、こういった場合を想定して前方下方に向けた距離センサーによるセンシングの補完を行う。

5.2 システムの全体構成

図7に本システムの全体構成を、図8に全体写真を示す。システムは4つの超音波距離センサーと1台のカメラを備えたもので、超音波による距離センシングと同時に画像データの収集を可能とするシステムである^[10]。具

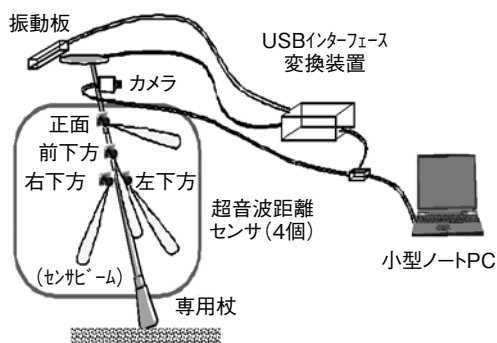


図7 システムの全体構成



図8 システムの全体写真

体的には、正面・斜め前方・左右斜め側面の4方向に向けた超音波距離センサーによる反射物までの距離データの収集を行うと同時に、カメラから歩行時の前方画像を撮影するもので、これら5種のデータは、計測と同時にノートPC内のハードディスクに時系列データとして保存される。また、利用者に状況を知らせるための振動板も備えている。

5.3 システムの操作

図9に本システムの制御画面を示す。ここでは図内に配置した丸付き数字に従って説明する。

- ①ComPort設定：超音波センサー各4CHのComPortとの対応づけをここで設定する。
- ②データ収集開始：カメラ画像・超音波距離

センサーデータの制御画面への表示を開始する。

- ③記録時間：必要に応じ秒単位で記録時間を設定する。
- ④記録スタート・ストップ：所定のディレクトリに超音波距離センサーデータとカメラ画像の保存の開始・終了を行う。距離センサーデータはCSVファイル、画像はbpmファイルで保存される。
- ⑤入力ファイル設定：すでに収集したデータを再生するためのもので、CSVファイルを選択することでBMPファイルも対応して呼び出される。
- ⑥再生スタート・終了：再生表示の開始、再生の一時停止、コマ送り（前進・後退）、および停止を行う。
- ⑦入力画像：再入力された画像を表示するとともに処理画像のエッジに基づいて検出された直線を表示する。
- ⑧処理画像：入力画像に基づいてエッジ検出された二値画像を表示する。

6 実験結果と考察

6.1 床面の反射への影響

図10に計測された4つの距離センサーデータ（滑らかな床面）の対比図を示す。システムでは、記録されたCSVファイル名を指定すると直ちにこの距離センサーデータのグラフを表示し、再生スタートで距離データ（図10内の矢印のライン）に対応した画像を順次表示する。図は、直線路を来て右に回りながら下り階段に差し掛かり、数段下った際のデータを示したものである。図における最下段のデータは正面斜め下方に向けた超音波距離センサーの計測データを示しているが、約1m程度の値を示すべきところが、図内に丸枠で

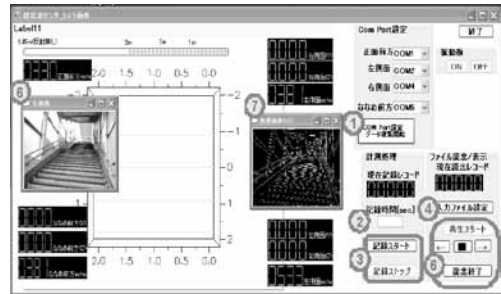


図9 システムの制御画面

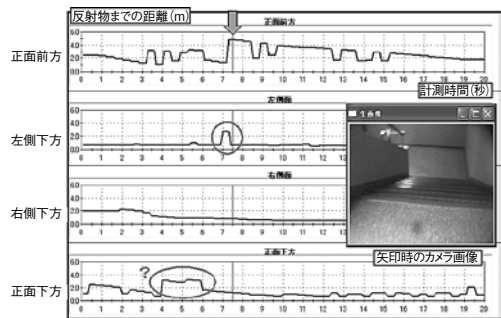
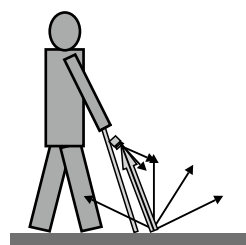


図10 距離センサーデータ（滑らかな床面）

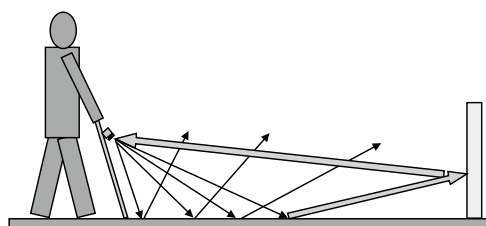
示しているように、3mを超える実際より大きな計測値となっている。この現象は、上から2段目の左側斜め下方のセンサーデータにも現れており、正面斜め下方のセンサーだけの異常値ではないことがわかる。

予備実験ではこのような計測結果は観測されなかったが、これは超音波距離センサーが構造物に対しほぼ水平にセットされ、構造物に対しほぼ垂直に超音波を出して計測しており、構造物表面の滑らかさなどに影響されずに確実に反射波が捉えられたからと判断される。超音波距離センサーは本来このようにセットして使用すべきものと推定されるが、これに対し、試作システムは足元の段差を検知するために斜め下方に向けて超音波を発射し、その反射を同じ位置で捉えようとしていることに異常値の理由があると推定される。

図11に超音波の反射の概念図を示す。図11(a)粗い(一般)床面での反射に示すように、床面が粗い場合は乱反射を起こしてさまざまな方向に反射されるために問題なく距離計測が行えると判断されるが、図11(b)滑らかな床面での反射で示すように、建物内などで床が滑らかな場合に、床面で反射してさらに壁面で反射した音波を基準に距離計測を行ってしまい、実際よりも大きな値を示してしまったと考えられる。この滑らかな床面は建物内の通路などで考えられるが、屋外の路面や一般的な通路では十分に乱反射が起こると考えられ、計測には支障がないと判断している。



(a) 粗い(一般)床面での反射



(b) 滑らかな床面での反射

図11 超音波の反射の概念図

6.2 下り階段の検出

図12に距離センサーデータ(粗い床面)の対比図を示す。これは図10で示した実験と同じ環境において、床面にマットを敷いて行った結果である。直線路を来て右回りをしている際に階段の手すりからの反射(矢印A)を検知したのち、下り階段に体を向けた部分で、反射物までの距離が約5m程度(エコー無し)という結果となっている。これだけのデータだと下り階段を障害物のない水平路と判断してしまう可能性がある。この検出から少し遅れて正面斜め下方を向けた距離センサーの値が増加(丸枠C)しており、斜め下方に障害物がない(床がない)ということから、水平路でないことが判断できる。検出に時間的な遅れが認められることから、今後、正面下方の距離センサーの位置や角度などの調整により検出のタイミングを調整する必要があるが、超音波距離センサーを複数組み合わせることで、視覚障害者向けの周辺状況認知システムへの有効活用の可能性を確認することができた。また、左側や右側の斜め下方のセンシ

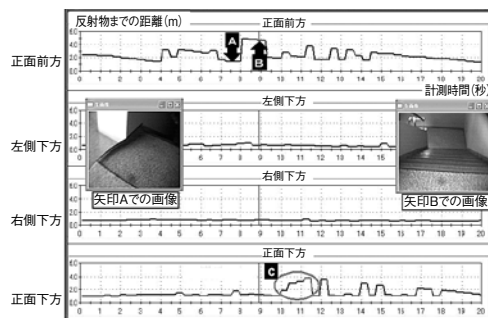


図12 距離センサーデータ(粗い床面)

ングも行っているが、本実験においては特に検出値に変化がなく、床面までの距離を計測しているに過ぎない。杖は必要に応じて向きを変えることが可能なことから、両側のセンサー2個は廃止、あるいは他の計測に利用するほうが効果的と考えられる。

7 まとめと今後

本稿では、視覚障害者の周辺状況認知を目的として複数の超音波距離センサーを併用す

る手法を検討し、予備実験を経て試作した研究システムとその実験結果について報告した。超音波距離センサー1つで行った予備実験では、構造物などに対して正面方向から距離計測を行う場合には比較的安定して計測できることを確認した。しかしながら、重大事故につながる下り階段やホーム端など、足場が不連続で欠落するような場合でのセンシングでは斜め下方に向けた計測が必要となり、床面が滑らかな場合は床面からの反射が直接センサーに帰らず、壁面などを經由して計測されるために実際より大きな値となって計測されることも確認した。床面から十分な反射が得られる条件で下り階段に差しかかった場合のデータ計測を行ったところ、正面を向けた距離センサーではエコー無しとなり、下り階段を障害物のない水平路と判断してしまう可能性が確認されたが、正面斜め下方に向けた距離センサーの値が増加することから、斜め下方に床がないと判断され、センサーを複数組み合わせることで、下り階段などの検出の可能性が確認できた。

今後、本研究システムを活用して周辺状況認知の条件を確立し、システム化していく予定であり、具体的には、以下のような検討を行っていく予定である。

(1) 正面のセンサーに対し、正面斜め下方のセンサーの床なし検出に時間的な遅れが認められることから、センサーの位置や角度などの調整により検出タイミングの調整を図る。

(2) 左右の斜め下方のセンサーは有効なデータが把握できていないと考えられ、今後は廃止するか、他の組み合わせによる有効なセンシングを検討する。

(3) 超音波距離センサーの指向性について調査を行い、指向性の違ったセンサーを組み

合わせてのセンシングを検討する。

(4) カメラから取得した画像に対し、画像処理で階段のステップや手すりなどの直線検出を行うことで階段の検出を行い、超音波距離センサーの検出結果と組み合わせ、より安定した階段や段差の検出を検討していく。

(5) 聞き取り調査に基づき、システムに用意しているカメラの画像を使った信号機の色識別機能の追加を検討し、道路横断の支援も考慮する。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、適切なお助言を頂いた横浜国立大学大学院・後藤敏行教授、影井清一郎教授、ならびに研究システム構築にご支援を頂いた立川エムアンドシー・榎健二代表に深謝致します。

参考文献

- [1] 新大久保駅転落事故, <http://www.yscompany.com/tomosaku/opinion/s-1.html#01>
- [2] 視覚障害者の駅ホームの死亡・重傷事故, <http://www.miyamoto-net.net./column/bustle/1178094162.html>
- [3] 鉄道事業の安全確保及び旅客サービスに関する行政評価・監視の結果（要旨），総務省近畿管区行政評価局, <http://www.soumu.go.jp/kanku/kinki/tetudo.html>
- [4] 岡安光博：“視覚障害者用非接触障害物検知システム”，秋田県立大学 地域連携・研究推進センター資料（2009）
- [5] マイ・ケーン - 株式会社TNK, <http://www.myfavorite.bz/k-tnk/pc/contents11.html>
- [6] K-SONAR - BAT Japan Co.,LTD, <http://www.batjap.com/color/k.html>
- [7] 超音波工学入門, <http://www.hi-net.zaq.ne.jp/ant/NEW/UST/UST2.htm>

視覚障害者のための超音波距離センサーによる周辺状況認知の基礎的研究

- [8] LV-MaxSonar-EZ1データシート (PDF文書),
[http://www.mecharoboshop.com/Products/sensor/
LV-MaxSonar-EZ1-Datasheet.pdf](http://www.mecharoboshop.com/Products/sensor/LV-MaxSonar-EZ1-Datasheet.pdf)
- [9] 視覚障害者の駅プラットホームからの転落事故,
<http://cleo.ci.seikei.ac.jp/~fall/index.html>
- [10] 竹上 健, 榎 健二: “カメラ画像と超音波距離センサーを併用した視覚障害者のための周辺状況認知の検討”, 2010年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集, 第4部門(ヒューマンインフォメーション) 4-1 (2010).