

# シングア라운드法による移動物体検知方式

齊藤 絵美\*・茂木 良平

## A Study for Detecting a Moving Object by Using a Sing Around System

Emi SAITO\* and Ryouhei MOTEKI

(2006年12月6日受理)

We studied a sing around transmitter-receiver by using ultrasound to support visual impairment and blindness. When using a sing around system, repetition period of transmission and reception is in proportion to a distance between a transmitter-receiver and an object as a reflector. The sound with the repetition period as an information for visual impairment and blindness was inappropriate because the frequency of the sound was too high and harsh. Therefore we used a frequency divider to down the frequency and experimented with this system by using pendulum as a moving object.

### 1. 緒言

#### 1.1 背景

視覚障害者の歩行に対する補助は点字ブロックや点字案内板、音の鳴る信号機などがあるが、点字ブロック上に障害物が存在したり、点字案内板の設置場所がわからない場合があったり、設備が十分に普及していなかったりと問題が存在する<sup>1)</sup>。そのため白杖などの歩行補助具が存在するが、これらから入手できる情報は限られている<sup>2)</sup>。そこで、白杖などからでは入手が困難な情報を入手しようという考えから様々なエレクトロニクスを活用した歩行補助具が開発され<sup>3)</sup>、現在日本国内ではウォークメイトやソニックガイド、モーワットセンサ等が使用されている<sup>4,5)</sup>。これらの機器は静止または停止している物体の検知に有効であると考えられている。

一方、運動または移動している物体を識別するための研究としては、コウモリが超音波により獲物を認知するエコーロケーションをヒントに超音波を用いたものがあるが、現状ではまだ研究例は少ない。そこで本研究では、視覚障害者が移動物体を識別する際に有効な方法を見出すための基礎的検討を行う。

これまでの我々の研究<sup>6,7)</sup>では、移動物体に超音波を照射した際の反射超音波波形を分析し、移動物体の識別や移動速度を解析するための基礎データ

の収集を行った。移動物体として振り子（ブランコ）を作製し、これをターゲットとして超音波を照射した際に得られる反射超音波のドップラーシフトを可聴領域で確認することを目標として、まずは反射超音波の周波数におけるドップラーシフトを観測し、ほぼ妥当な結果を得た。その後ドップラーシフトを可聴領域で聞くための周波数変換装置を作製し、反射超音波を耳で聞き取る実験を行ったが、ドップラーシフトを実際に耳で聞き取り確認することは困難であった。

#### 1.2 研究内容

本研究ではこれまでの研究結果を踏まえ、移動物体を可聴音で認識するために、移動物体からの反射超音波の遅延時間変化を利用し、音で遠近の状態を伝える。まず、これまでのように繰り返し周波数を固定して超音波を送信するのではなく、シングア라운드方式を利用した。シングア라운드回路を作製し、反射超音波を受信するとまた新たに超音波を送信する方式とした。この回路を用いて移動物体に超音波を照射した際の反射超音波パルススピーカーに入力し音を聞いた。

次に聞きやすい音にするために分周回路を作製し、スピーカーに入力される受信パルスの繰り返し周波数を下げ、繰り返しピッチ音で物体との距離を伝えることを試みた。

また、超音波センサの感知距離増大、不要反射の

\* 秋田高専専攻科学生

防止を狙い、指向性を鋭角化させるため、4種類のホーンを作製した。ホーンを取り付けない状態の超音波センサとそれぞれのホーンについて指向性を測定し、装置に最も適したホーンを選定した。その後さらに不要反射を防止するため実験場所を実験室からホールに変更し、実験環境を整えて実験を行った。実験場所をホールとし、ブランコを用いて、装置に適したホーンを取り付けて実験を行った。その際のブランコからの反射超音波を聞き取る実験をし、スピーカーから出る音をレコーダーで録音した。本報告では、これらについて述べる。

## 2. 実験装置

### 2.1 装置概要

図2.1に実験装置の概要を示す。超音波送受信機の真正面に反射体を設置し、超音波センサの高さを反射体の中心になるように合わせた。床には0.5mおきに印を付け、超音波センサと反射体の距離を確認できるようにした。また反射体には、縦900mm×横400mmのコルクボード大、縦450mm×横300mmのコルクボード小、以前作製したブランコ<sup>6)</sup>の3種類を用いた。コルクボードの表面にはプラスチックフィルムが張っており、凹凸はない。

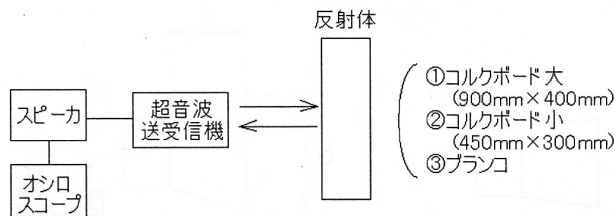


図2.1 実験装置の概要

図2.2に実験に用いた超音波送受信機のブロック図を示す。超音波を送信してから受信するまでに要

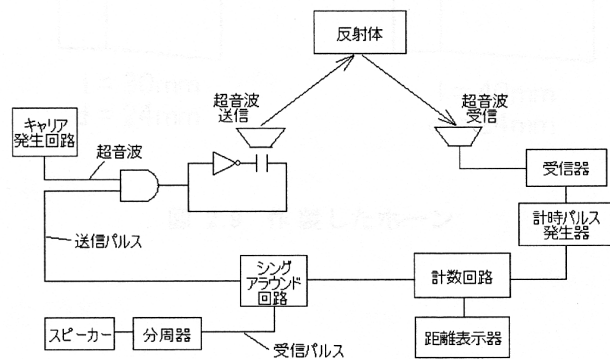


図2.2 超音波送受信機ブロック図

する時間から距離を測定する。さらに受信波形を分周回路を通してからスピーカーに入力し耳で音を聞き取り、同時に受信波形をシングアラウンド回路にも入力し、受信パルスが入るとまた新たに超音波を送信する。それを繰り返し、音の繰り返し周波数が変化することによって遠近の状態を知る。

以上の実験装置を用い、以下のように実験・改良を繰り返した。

### 2.2 シングアラウンド方式

シングアラウンド方式は、受信波形の繰り返し周波数の変化で遠近の状態を伝えるために、繰り返し周波数を固定して超音波を送信するのではなく、反射超音波を受信するとまた新たに超音波を送信するものである。

図2.3にシングアラウンド回路を示す。送信トリガ信号が発生するか、受信パルスが入力されると、超音波が送信される。超音波をうまく受信できずに超音波送受信機の動作が止まってしまった場合はスイッチを押して超音波を送信させた。

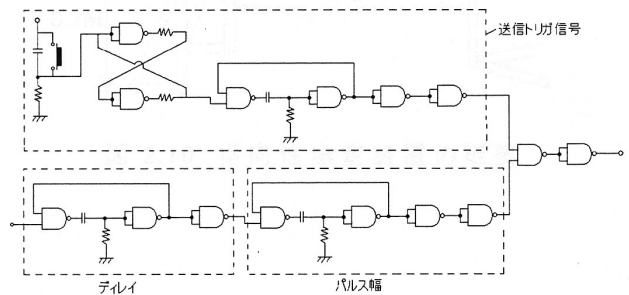


図2.3 シングアラウンド回路

### 2.3 分周回路

図2.4に分周回路の動作を示す。

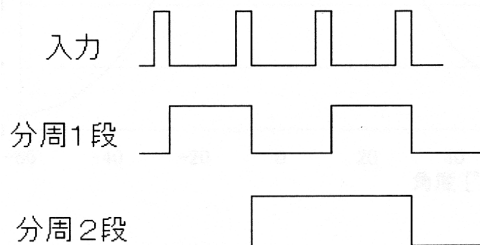


図2.4 分周回路動作

シングアラウンド回路を用いて実験した結果、受信波形の繰り返し周波数変化によって遠近の状態を確認することはできたが、耳障りで聞きづらい音だった。より聞きやすい音にするため4段の分周回路を

作製，追加し，繰り返し周波数を16分の1倍に下げ，音の繰り返しピッチ変化を聞くようにした。図2.5に分周回路図を示す。

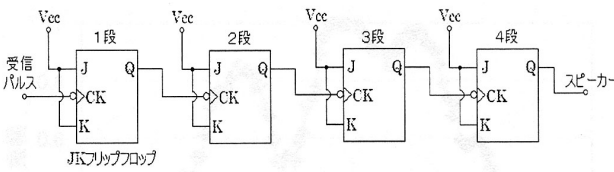


図2.5 分周回路

図2.6に距離 2 mにおける分周前の受信波形を，図2.7に同じ距離における分周後の受信波形を示す。横軸は時間，縦軸は電圧を表している。4段の分周回路を追加したことにより，繰り返し周波数が16分の1になりかなり聞きやすい音になった。ただし，スピーカーへの入力電圧は図2.7のように低くしてある。

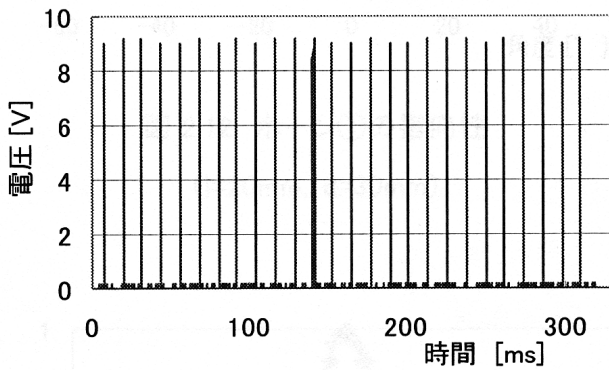


図2.6 分周前 周期：12ms

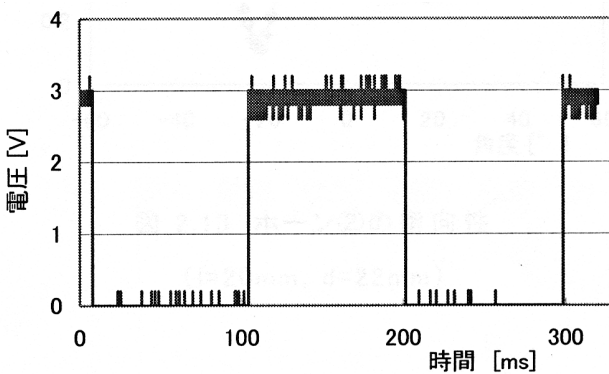


図2.7 分周後 周期：200ms

図2.8に距離と受信パルスの周期・周波数の関係を示す。横軸は距離，縦軸は受信パルスの周期と周波数を表している。距離が遠くなるほど周期は長く，周波数は低くなっているのがわかる。

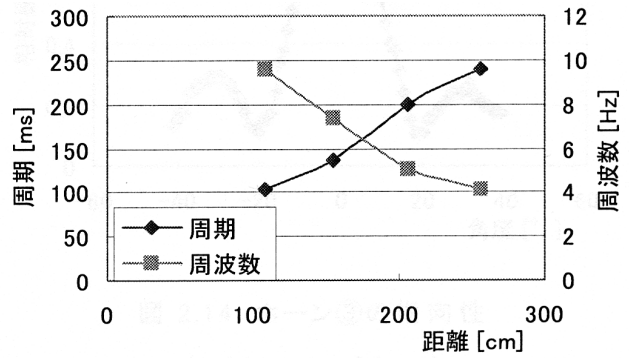


図2.8 距離と受信パルスの周期・周波数の関係

## 2.4 ホーンの使用

実験の際に反射体以外のものからの不要反射があると発振気味になり，距離を正確に測定できなかったため，超音波の指向性を鋭角化させ，感知距離増大と，不要反射の防止を狙い超音波センサ先端に取り付けるホーンを作製した。図2.9に，作製した4種類のホーンの概略図を示す。①・②はアルミ製，③・④は紙製である。

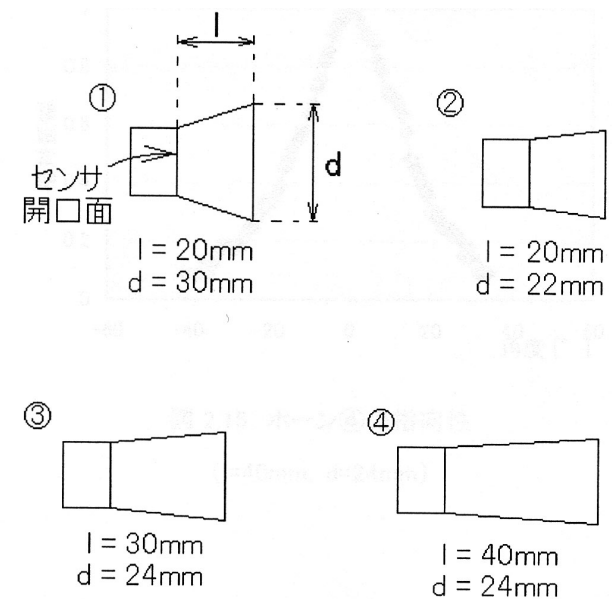


図2.9 作製したホーン

次にそれぞれのホーンについて指向性を測定し，実験に最も適したホーンを選定した。指向性測定装置の概要を図2.10に示す<sup>8)</sup>。ホーンは送信センサ，受信センサの両方に取り付け，距離は1mとした。受信センサの向きを固定し，送信センサをステッピングモータを用いて1°ずつ回転させ，角度は受信センサに向かって送信センサが真正面になる位置を0°とし，時計回りの方向を正とした。また，両センサを固定している装置から不要な反射が発生しな

いように、受信センサ固定装置は支柱にL字アングルを用い、L字の角が送信センサ方向を向くように作製し、反射波が送信センサ側に戻らないようにした。送信センサ固定装置はアングルを用い、支柱に角度をつけて紙を貼り、不要反射が受信センサ側に戻らないようにした。

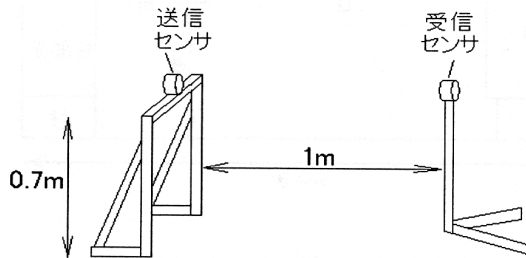


図2.10 指向性測定装置の概要

ホーンを付けない場合の超音波センサと、作製したホーンの指向性測定結果を図2.11～図2.15に示す。横軸は角度、縦軸は超音波受信電圧の相対振幅である。受信電圧が一番大きかった、角度0°での値を1とした。

-6 dB (相対振幅0.5) で比較すると、ホーン無ではメインローブが±30°程度まで超音波が広がっており、またホーン①では±30°以内に複数のローブが生じており、メインローブもいびつな形をしている。それに対し、ホーン②・③・④はメインローブが±20°程度まで鋭角化されている。さらにホーン④はサイドローブもなく、実験に用いるには最適であると判断した。また後述するように、④は感知距離も増大されていた。

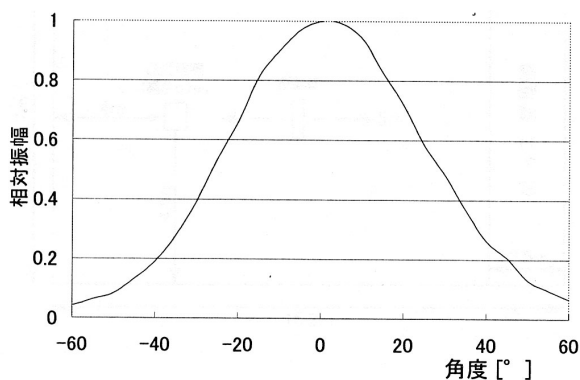


図2.11 ホーン無しの指向性

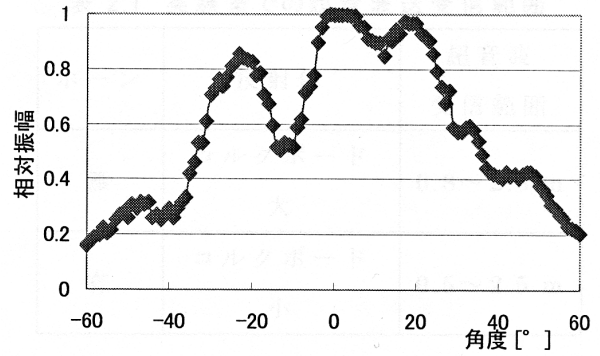


図2.12 ホーン①の指向性  
( $l=20\text{mm}$ ,  $d=30\text{mm}$ )

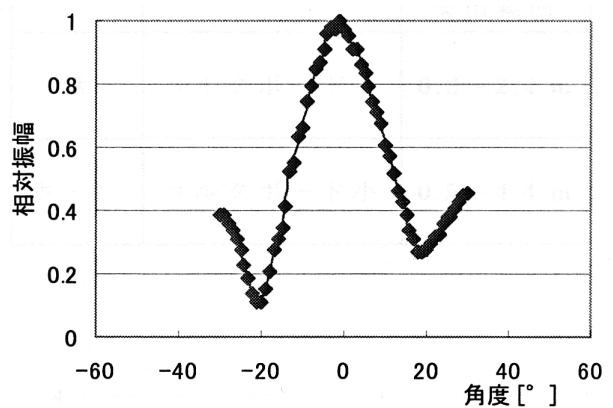


図2.13 ホーン②の指向性  
( $l=20\text{mm}$ ,  $d=22\text{mm}$ )

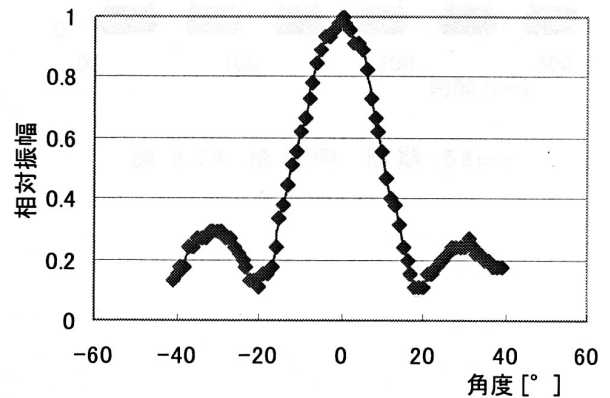


図2.14 ホーン③の指向性  
( $l=30\text{mm}$ ,  $d=24\text{mm}$ )



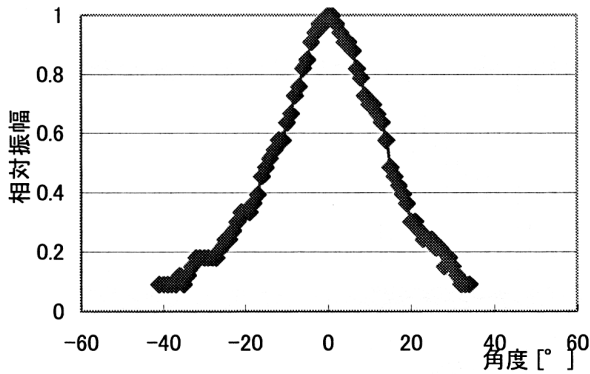


図2.15 ホーン④の指向性  
( $l=40\text{mm}$ ,  $d=24\text{mm}$ )

### 2.5 実験環境の影響

超音波センサにホーンを取り付けることで指向性を鋭角化し不要反射をある程度防ぐことができるが、実験室は狭く、周りに机やイス、棚などたくさんの物体があるため、完全に防ぐことはできない。また超音波送受信機をイスの上に載せ、電源やオシロスコープなども送受信機近くに並べているため、それらの装置自身からも不要反射が発生し、ホーンを取り付けて実験を行っても発振気味になってしまう。そこで周りに物体がない条件を実現できる広いホールに場所を変更して実験を行った。

図2.16に実験室、図2.17にホールの概略図を示す。実験室は縦4m、横6.4mの大きさで、机や棚などに囲まれている。送受信機は周りの物体から約1m程度離れており、測定の最大距離は2.5mである。ホールは縦9.7m、横15.2mの大きさで実験室に比べて面積は4倍以上広い。送受信機は壁から約4m程度離れており、イス等は使用せずに指向性測定で用いた受信センサ用の支柱に送受信センサのみを固定した。電源やオシロスコープ等のほかの実験装置はセンサから離して床に置き、不要反射が発生しな

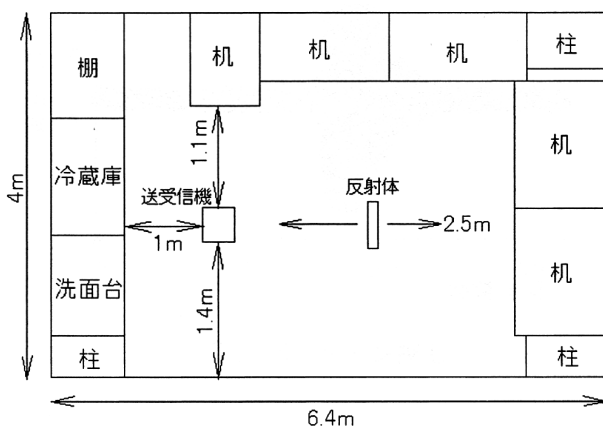


図2.16 実験室

いようにした。送受信センサの位置を0とし、最大距離を5mとして測定した。

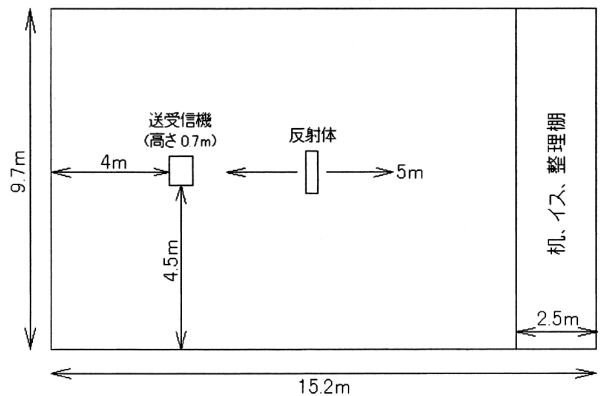


図2.17 ホール

表2.1に実験室で実験を行った際の超音波受信範囲を示す。ホーンを取り付けない場合は指向性が広く、実験室内の物体から不要反射を得るため、受信範囲は0.8~2.5mとあまり広くなかった。ホーンを取り付けた場合は反射体を小さくしたにもかかわらず0.5mから2.5mまで測定でき、感度は明らかに改善された。遠距離はもっと測定できたかもしれないが、実験室内では限界が2.5mだったためそれ以上の測定はできなかった。またホーンを取り付けない場合より少し接近して測定できたが、近距離は予想していたほどには改善されなかった。

表2.1 実験室での超音波送受信範囲

ホーン	反射体	超音波受信範囲
無	コルクボード大	0.8~2.5m
有	コルクボード小	0.5~2.5m

表2.2にホールで実験を行った際の超音波受信範囲を示す。ホーンを取り付けた場合の遠距離は4.4mまで測定でき、ホーンを取り付けない場合に比べかなり感度が良くなっているのがわかる。しかし、近距離は実験室での実験結果と同様0.5mであった。逆にホーンを付けない場合は0.2mまで接近して測定できた。この原因については2.6節で詳述する。

表2.2 オープンスペースでの超音波受信範囲

ホーン	反射体	超音波受信範囲
無	コルクボード小	0.2~2.4m
有	コルクボード小	0.5~4.4m

### 2.6 ホーンの影響

次に図2.18にホーンを取り付けずにホールで実験を行った際の成功例、図2.19にホーンを取り付けて失敗した例を示す。共に距離0.5mにおいて測定し、4段の分周回路を通してている。成功した際の受信パルスの繰返し周期が56ms（実際の繰返し周期は約3.5ms）であるのに対し、同じ距離において多重反射が起こり測定が失敗した際は距離の表示が18cmであり、繰返し周期が14ms（実際の繰返し周期は約0.8ms）であった。

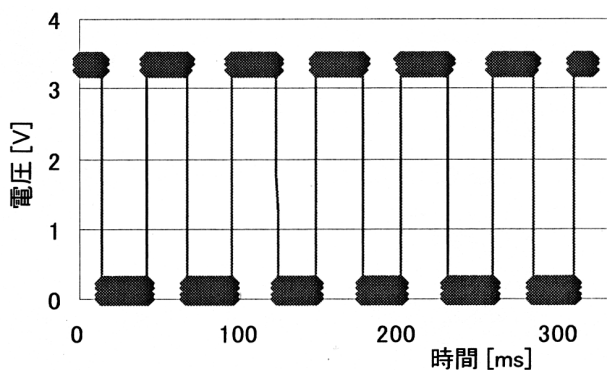


図2.18 成功例 周期：56ms

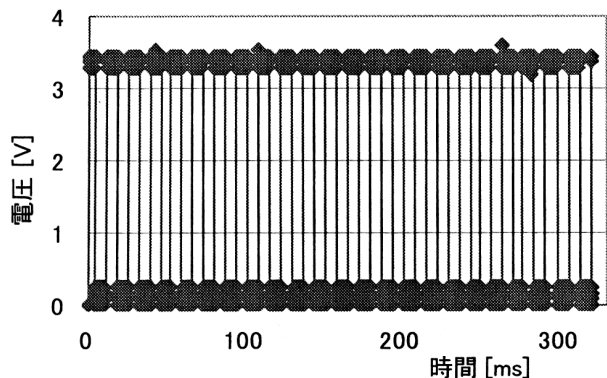


図2.19 不要反射あり 周期：14ms

ホーンを取り付けない場合、取り付けた場合の受信超音波波形を示す。ホーンを取り付けない場合の波形は波が一つの固まりになっているのに対し、取り付けた場合の波形は一つの大きな波の後に小さな波もあり、二つの波を受信しているように見える。この小さな波が不要反射であり、ホーンを取り付けた場合に近距離を測定できない原因であると考えられる。ホーンを取り付け実験環境を変更しても接近距離が測定できないのは、センサと反射体の間で不要反射が起こっているためと考えられる。ホーンを取り付けない場合は、感度が低いため不要反射が少なく、近距離の測定が可能になったと思われる。

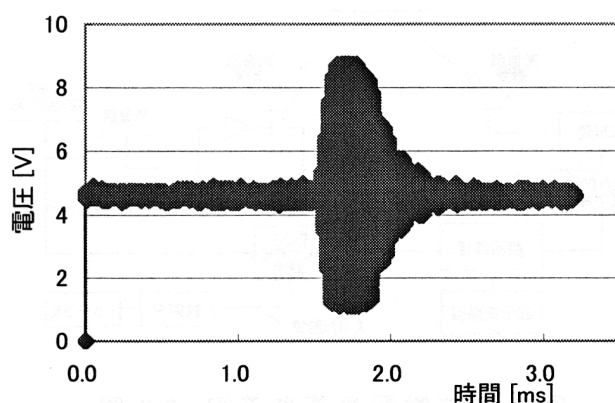


図2.20 ホーン無し

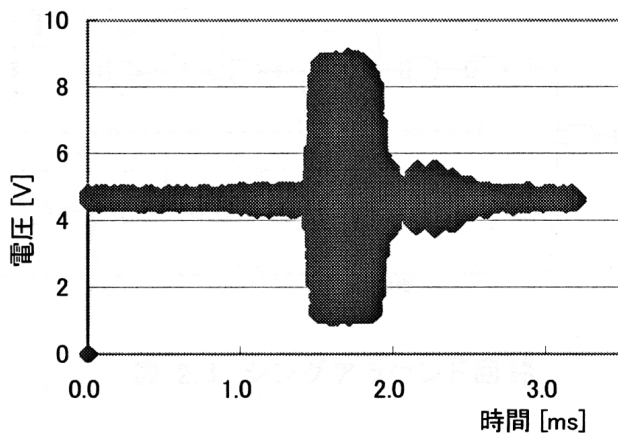


図2.21 ホーンあり

### 3. 可聴音実験

#### 3.1 実験装置

図3.1にブランコを用いた実験装置を示す。ブランコの反射体と超音波送受信機の距離を1.2mになるよう設置し、反射体の中心に超音波が照射されるよう高さを調節した。ブランコの可動域は中心から±0.4mであり、超音波送受信機から0.8~1.6mの

図2.20, 図2.21に距離0.5mで実験を行った際に、

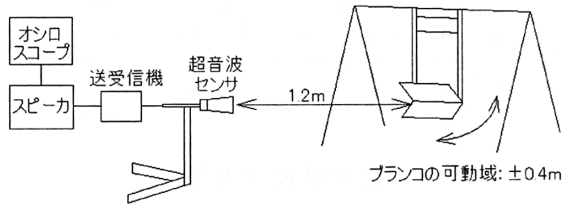


図3.1 ブランコ実験装置

範囲で振らせた。

### 3.2 実験方法

超音波センサから反射体までの距離，ブランコの可動域，小さな反射体であることを考慮し，正確に超音波送受信機が動作できるよう，ホーンを取り付けて実験を行った。ブランコを動かし，これまでの実験と同様に超音波を照射した際の受信波形を分周回路を通しスピーカーに入力した。音で距離変化を確認し，分周の各段からの出力音をそれぞれ録音した。

### 3.3 実験結果

結果の考察には，分周1段，4段の音に着目した。4段の分周回路を通した場合はブランコが前後に動くのに合わせ，受信パルスの繰り返しピッチ音が聞こえ，ブ・ブ・ブという聞きやすい音だった。しかし，耳で聞き取ってピッチ音の繰り返し周期の変化を感じるのにはやや難しかった。それに比較し1段の分周回路を通した場合は繰り返し周波数音が聞こえ，ブーという連続的な多少耳障りな音ではあったが周波数の変化により遠近の状態はわかりやすかった。

## 4. 結言

本研究は視覚障害者の歩行補助のため，身近に存在する障害物認知を補助する装置の開発を目的とし，移動物体の識別や移動物体との距離を認識するための装置開発の基礎的検討をするために，シングア라운드方式を用いて移動物体に超音波を照射し，その反射超音波の受信波形の繰り返し周波数を音で聞き，その音を録音した。この実験を行った結果，以下のことがわかった。

- (1) シングア라운드回路を用いて，移動物体に超音波を照射した際の反射超音波パルスをスピーカーに入力し音を聞いたところ，繰り返し周波数の変化によって，音で遠近の状態を知ること

ができた。

- (2) 超音波パルスの繰り返し周波数は高すぎて耳障りな聞きづらい音だったので，分周回路を作製・追加し，スピーカーに入力される超音波パルスの繰り返し周波数を下げ，繰り返しピッチ音で物体との距離を伝えることを試みた結果，分周前よりもだいぶ聞きやすい音になった。
- (3) 超音波センサの感知距離増大と，不要反射の防止を狙い，指向性を鋭角化させるためにホーンを作製し超音波センサ先端に取り付けたところ，遠距離の感度は期待通り向上したが，近距離では多重反射の影響のため0.5m以内では装置が正常に動作しなかった。
- (4) さらに不要な反射を防止するため実験場所を実験室からホールに変更し，実験環境を整えて実験を行ったところ，不要反射がなくなり近距離から遠距離まで広範囲で測定が可能となった。

## 参考文献

- 1) 畠山卓郎，伊藤啓二，白鳥哲夫，城口光也，久良知國男，春日正男：音声歩行案内システム，ヒューマンインタフェース，82-7，(1999)，p.35-36.
- 2) 清水豊：“歩行補助”，視覚障害者とその代行技術，名古屋大学出版会，(1984)，p.248-253.
- 3) 高柳泰世：見えない人見えにくい人のリハビリテーション，名古屋大学出版会，(1996) p.80-86.
- 4) 社団法人 日本音響学会：音の福祉工学，コロナ社，(1997)，p.200-207.
- 5) 佐藤康正：視覚障害学入門，学芸図書株式会社，(1991)，p.200-2007.
- 6) 茂木良平，水野歩“超音波による移動物体識別のための基礎研究”日本機械学会東北支部第41期秋期講演会講演論文集 No.2005-2，p.9-10，(2005).
- 7) 水野歩，茂木良平“超音波による移動物体識別のための基礎研究”秋田工業高等専門学校研究紀要第41号，p.14-21，(平成18年2月).
- 8) 伊藤桂太，奈良卓“格子縞音場現実のための理論及び実験による検証”平成17年度秋田工業高等専門学校卒業研究論文，(平成18年3月1日).