

視覚障害者歩行支援のための 周辺状況伝達システムの開発

花輪瑞穂[†] 千葉慎二^{††}

一般に、視覚障害者は白杖を使って歩行しているが、白杖によって周囲を知覚できる範囲は限られており、うっかり段差や障害物などを見逃して事故につながる危険性がある。本研究では、そのような白杖による検出の限界をカバーする歩行支援システムを提案し、マイコンとCPLDと呼ばれるハードウェアデバイスを併用した組み込みシステムとして実現することによってシステムのコンパクト化を試みた。本システムは足元の段差を検出する段差検知部と、頭部前方の障害物を検出する障害物検知部から構成される。検出方法としては赤外線反射を利用した距離計測センサを用いており、段差や障害物を検出した場合はモータによる振動によって歩行者に危険を知らせる。システムのプロトタイプを作製し、段差検出・障害物検出アルゴリズムをシステムに組み込み、その評価実験を行った。その結果、単純な段差や障害物であれば、目隠しをしながらでもモータの振動を頼りに認識できることが分かった。

Development of a Walking Support System for Visually Handicapped Person

Mizuho Hanawa[†] and Shinji Chiba^{††}

When visually handicapped people walk with canes, there is a danger of causing the accident because of carelessly missing the difference and the obstacle. In this study, we proposed a portable walking support system that covers the limit of detection by canes to walk more safely, and developed the system as an embedded system equipped with the microcomputer and the hardware device that is called CPLD(Complex Programmable Logic Device). This system is composed of the Difference Detection Part that detects the difference of the user's feet and the Obstacle Detection Part that detects the obstacle forward of their heads. Both parts have some infrared sensors to measure the distance of things by infrared light that reflects off them, and when the sensors detect the difference or the obstacle, vibration motors alert the users.

We made the prototype of the system installed the difference detection and the obstacle detection algorithm on, and evaluated the system by some walking experiments. As a

result, It was clear that our proposal system could detect simple differences and obstacles, and blindfolded subject could recognize and avoid them.

1. はじめに

視覚障害者は、単独で歩行する場合、一般に白杖と呼ばれる杖を用いて周辺の状況を把握している。しかし、白杖によって知覚できる範囲は狭いため、十分に安全とはいえない。また、特に視覚障害者の歩行で深刻な問題となっているのは、段差の検出が困難であるという点である。実際に、視覚障害者が段差を検出できず、駅のホームから転落するという事故が発生している[1]。

現在までに、知覚範囲と段差検出の問題を解決するための歩行支援システムは多数存在している[2][3]。しかし、従来の歩行支援システムは広範囲の知覚において有用であるが、段差までは検出できないものがほとんどである。また、段差検出機能をつけたシステムには画像処理によって段差を判定するというものが多く、カメラの取り付けによる機器の大型化・大量のデータ処理のため、高コストとなり、手に入りにくいという問題がある。

そこで、本研究では、白杖では検出しづらい範囲を赤外線測距センサによって常に監視することで、障害物及び段差を検出する歩行支援システムを低コストかつ小型化で実現することを目的とする。

2. システム概要

本研究で提案するシステムは、視覚障害者の歩行を補助する目的で、白杖と併用して用いることを考えている。そのため、利用者の歩行の妨げにならないようなシステムのコンパクト化が求められる。本研究では、マイコンとCPLD(Complex Programmable Logic Device)と呼ばれるハードウェアデバイスを併用した組み込みシステムとして実現することで、システムのコンパクト化を試みた。

図1に本システムの概要を示す。本システムは足元の段差を検出する段差検知部と頭部前方の障害物を検出する障害物検知部、それらを制御するマイクロ部から構成される。検出方法としては赤外線反射を利用した距離計測センサを用いており、段差や障害物を検出した場合はモータによる振動によって歩行者に危険を知らせる。

[†] 国立仙台高等専門学校専攻科 情報システム工学専攻

Department of Information System Engineering, Sendai National College of Technology

^{††} 国立仙台高等専門学校 ICT 先端開発センター

ICT Advanced Development Center, Sendai National College of Technology

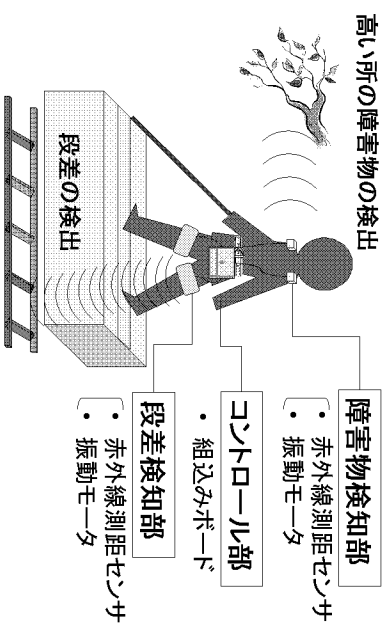


図 1 システムの概要

段差検出センサは図 2 のように両足の膝上に装着し、足元の外側の斜め前方の段差を検出する。また、検出する段差はつまりたり、転落したりすれば危険と考えられる地面から±10cm の範囲外の段差を対象とする。障害物検出センサは図 3 のように両肩に装着し、頭部前方 1 m 以内の障害物を検出する。

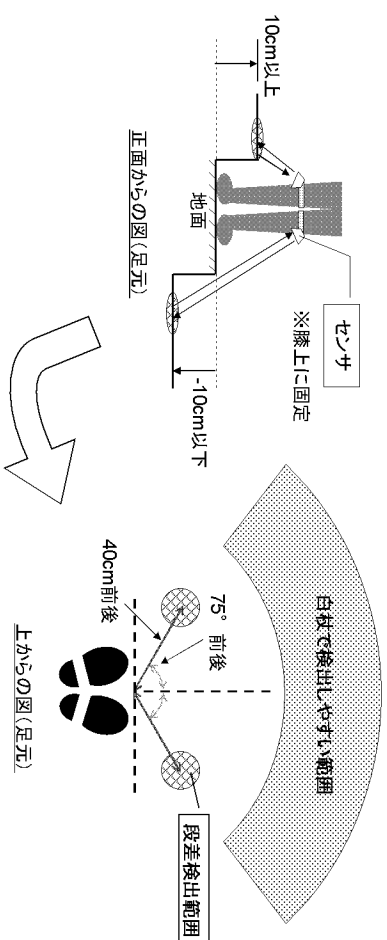


図 2 段差の検出範囲

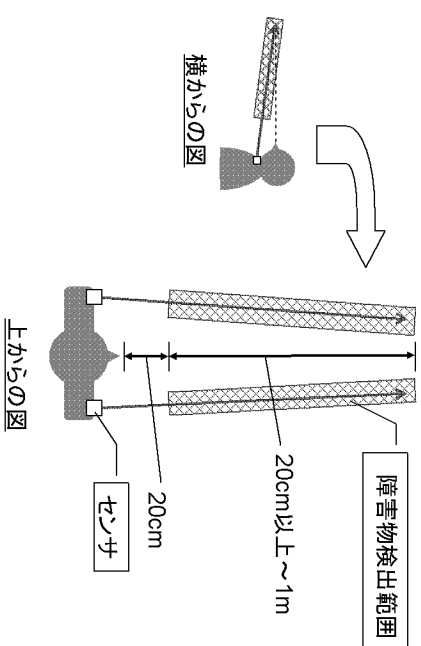


図 3 障害物の検出範囲

3. システムの構成

本システムの構成を図 4 に示す。また、図 4 の各部の機能について以下に解説する。

センサモジュール

赤外線測距センサは、物体までの距離を測り、その距離に応じたアナログ電圧を出力する。その出力がオプティカル増幅器に送られ、2 倍に増幅した後にオプティカル A/D 変換器に送られる。A/D 変換器では、値をコンピュータで処理できるようにアナログ値をデジタル値に変換し、CPLD へ送信する。

CPLD (組込みボード)

A/D 変換制御回路によってオプティカル A/D 変換器のクロックのタイミングなどを制御し、デジタル値を受け取る。その値はインタフェース回路に送られ、SPI 通信と呼ばれるシリアル通信によってマイコンへと送信される。マイコンからは SPI 通信によって周辺状況に応じたモータの振動パターンが送られてくるので、インタフェース回路でモータを振動させる。

マイコン (組込みボード)

SPI 通信を介して得られたデジタル値を実際の距離に変換する。そして、その距離を利用して段差検知部の場合は段差判定処理を行い、障害物検知部の場合は障害物判定処理を行う。その後、各々の判定結果に対応する振動パターンを生成し、SPI 通信を介して生成した振動パターンを CPLD へと送信する。

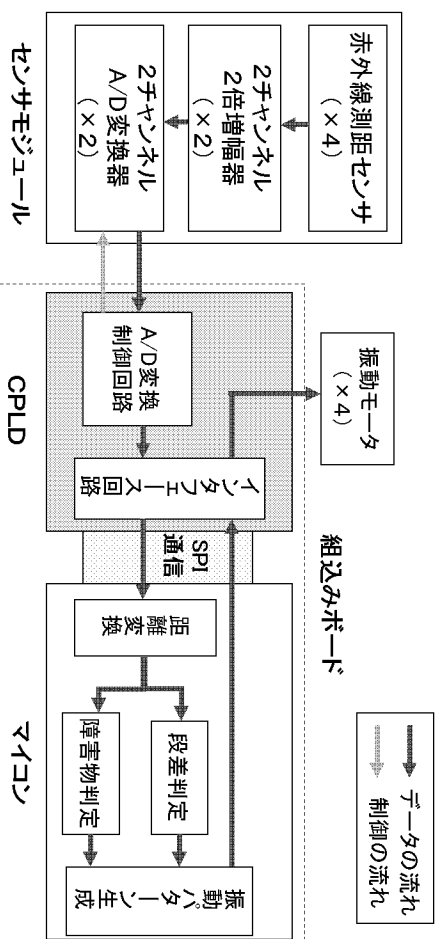


図 4 システムの構成

4. プロトタイプの実装

実装したシステムのプロトタイプを図5に示す。装置本体の寸法は14cm×9.5cmで、膝上や肩などに装着するために、長線で基盤に接続している。基盤には、組み込みボードや2チャンネル増幅器、2チャンネルA/D変換器などの他、センサによる測定距離をモニターするための液晶ディスプレイも配置した。なお、このプロトタイプは、組み込みボードに接続されたUSBケーブルから5V電源を供給することにより、PCとのシリアルデータを送受信するだけでなく、USB-シリアル変換することにより、PCとのシリアルデータをマイコンからPCに取り込んで、エクセルなどでデータの解析を行うことにした。また、実験を行うために、システムのプロトタイプを装着した。その様子を図6に示す。段差検知部では赤外線測距センサを両足の膝上に固定し、それぞれに対応する振動モータを首の下に配置した。一方、障害物検知部ではセンサを両肩に固定し、それぞれに対応する振動モータを首の後ろに配置した。そして、コントロール部である装置本体はベルトで固定したポーチの中に収めた。なお、電源供給のため、実際に装着した状態で実験を行う場合にはUSBケーブルをノートPCに接続して、被験者はそのノートPCを持つ状態で行うこととなる。

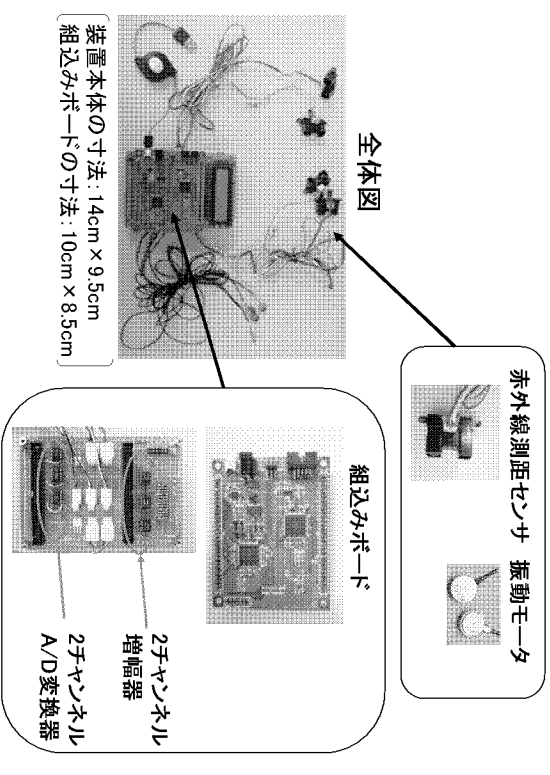


図 5 システムのプロトタイプ

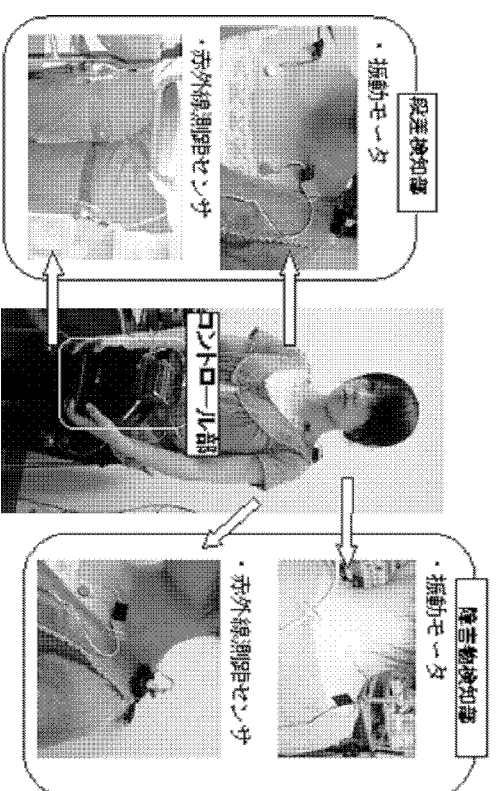


図 6 プロトタイプを装着した様子

5. モータの振動制御

振動モータには円盤型のものを使用しており、GNDとVccをそれぞれ接続し、電圧をかけると振動するという単純な仕組みになっている。よって、ある周期のパルス波を発生させて、そのパルス波のハイレベルの期間だけ振動するようにすることで振動パターンを生成する。図7に生成するモータの振動パターンを示す。本システムでは、パルス波のハイレベルの期間は全ての振動パターンで共通にし、逆にローレベルの期間を変化させることにより振動の仕方を変化させるようにする。パルスのハイレベル期間を振動期間、ローレベル期間を振動停止期間と呼ぶことにする。なお、全ての振動パターンについては、下り段差の振動期間は200msとした。

段差検出については、下り段差の振動停止期間を6.4ms、上り段差の振動停止期間を128msとした。そうすることで、歩行者は段差の種類を見分けることができる。

障害物検出については、ただ単に障害物があったら振動させるようにすると、障害物にどれだけ接近しているのかという距離感がつかめない。そこで、障害物までの距離がつかめるように、振動停止期間を[6.4ms×距離値]とし、距離が縮まるにつれて振動パターンを早くするようにした。

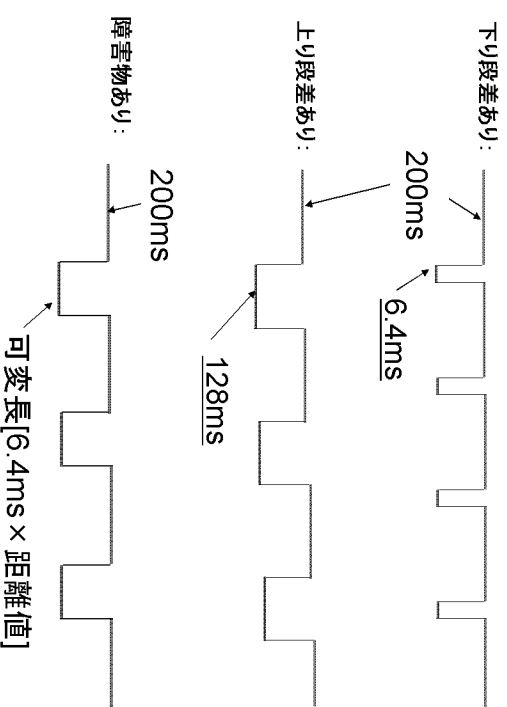


図7 モータの振動パターン

6. 段差検知

6.1 段差判定処理

段差検知用センサは両足に取り付けて地面までの距離を測定するため、歩行によって常に距離が変動することが考えられる。そこで、試作機を用いて実際に歩行をした時の地面までの距離の変化を観測した。その時のセンサによる測定距離を図8に示す。グラフを見ると、両足の動きによってセンサの測定距離が長くなったり元に戻ったりを繰り返していることが分かる。これは、歩行時に足を持ち上げる動作と足を下ろす動作を繰り返していることを表している。なお、グラフの点線は右足と左足の測定距離のピークのタイムラグを表しており、右足と左足が交互に動いていることが分かる。

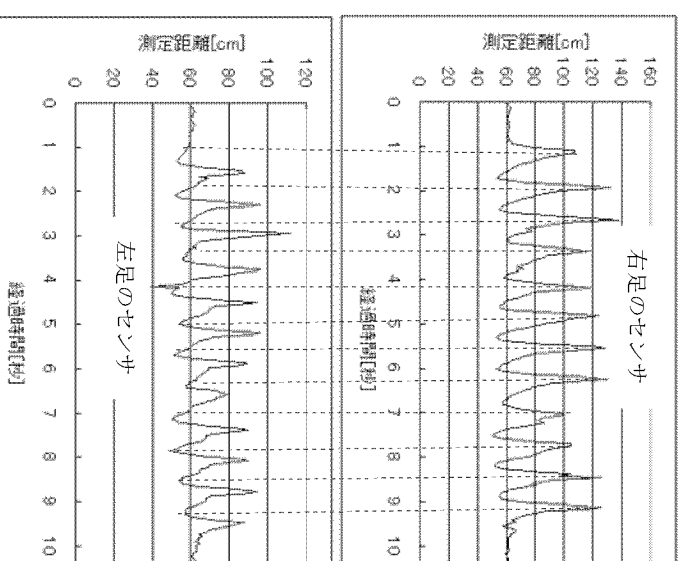


図8 歩行時の両足センサの測定距離

しかし、この歩行時の距離変動は段差判定を行う上でノイズになってしまう。それ

は、段差の無い状態での測定距離を基準距離とし、下り段差の条件を「距離 > (基準距離+10cm)」として判定を行うと、歩行時の測定距離のピークが誤って下り段差と判定されてしまうからである。そこで、測定データからすぐに下り段差の判定をするのではなく、ある一定回数段差の条件を満たしているデータが連続したら段差と判定することを考えた。そうすることで、歩行時の瞬間的な距離の変動を無視でき、段差のみを検出できると考えた。実際に通常の歩行を行い、歩行時の距離のピークのために段差と判定されている連続データの個数を観測した結果、約10個であることがわかった。よって、下り段差と判定されるのは、下り段差の条件を満たしているデータが10個以上連続した時とするのが妥当と考えた。一方、上り段差の場合は、判定条件が(基準距離-10cm)であり、通常の歩行を行っても上り段差の条件を満たすデータはほとんど出なかったため、1個以上のデータが条件を満たしたら上り段差と判定してかまわないと考えた。このアルゴリズムを図9に示す。

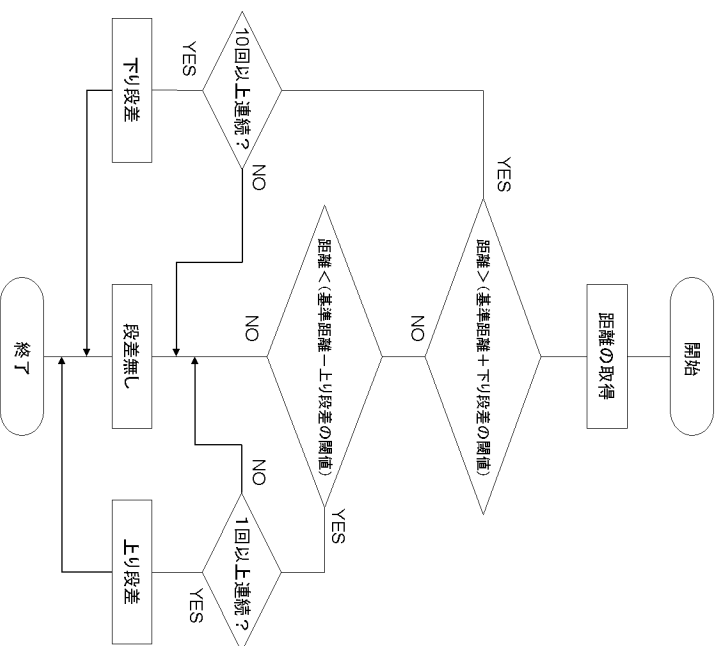


図 9 段差判定処理の流れ

6.2 段差検出実験

6.2.1. 基礎実験

5章のモータの振動制御と6.1節の段差判定処理をシステムに組み込んで、段差検出実験を行った。まず、図10の(a)のように目隠しした状態で下り段差の検出実験を行った。段差には、高さ25cm、幅20cm、奥行き136cmのダンボールを使用した。事前に歩行者の右側に配置したダンボールまでの距離を基準距離として設定しておき、ダンボールに沿って歩行すると、ダンボールが無いところに差し掛かった時に下り段差と同じ条件となるため、段差を認識したら立ち止まるという実験を行った。

次に、図10の(b)のように目隠しをした状態での上り段差の検出実験を行った。上り段差には、高さ25cm、幅64cm、奥行き63cmのダンボールを使用した。事前に床までの距離を基準距離として設定し、前方右側のダンボールに向かって歩行し、段差を認識したら立ち止まるという実験を行った。なお、ダンボールの180cm手前から歩行を始めた。

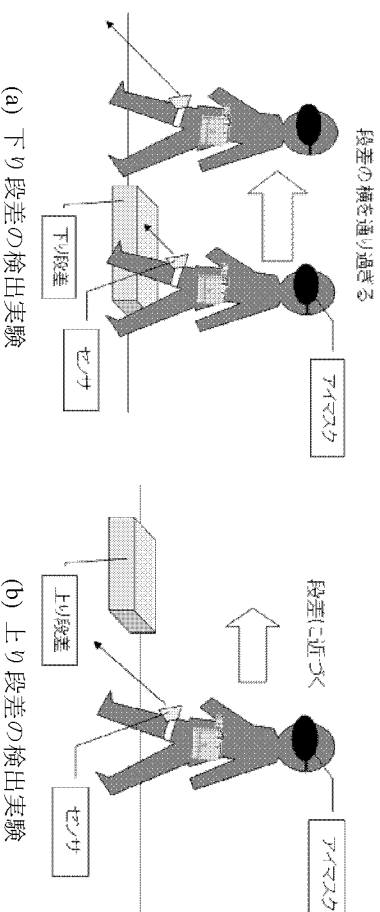


図 10 基本的な段差の検出実験

上記2つの実験結果を図11、12にそれぞれ示す。まず、図11の下り段差の検知では、停止している時の測定距離が約45cmで、そこから2歩進んだ後に80cm付近でモータが振動して下り段差を検出し、停止したことがわかる。また、停止した時の右足のつま先の位置は、段差から約10cm手前の所であった。そこで、センサーが最初に段差を認識する場所を調べてみると、段差から約20cm手前の所であったので、そこか

ら約 10cm 遅れで停止していたことがわかった。その後も同様な実験を 2 回繰り返したところ、段差の 19cm 後ろの所、段差の手前 7cm の所でそれぞれ停止した。この結果から、段差付近で停止できることを確認できた。

一方、図 12 の上り段差の検知では、停止状態から 2 歩進んだところで距離が 40cm 以下となり、モータが上り段差に反応して振動し始め、それを感じて歩行を停止したことがわかる。実際は、右足のつま先が上りの段差直前付近で停止することができた。

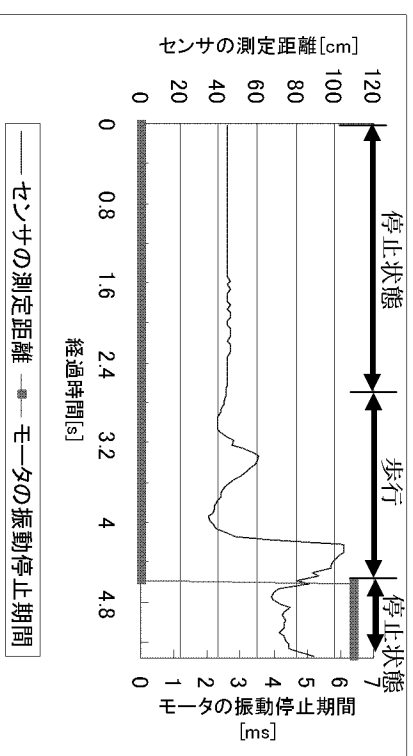


図 11 下り段差の検出実験結果 (右足センサによる測定距離)

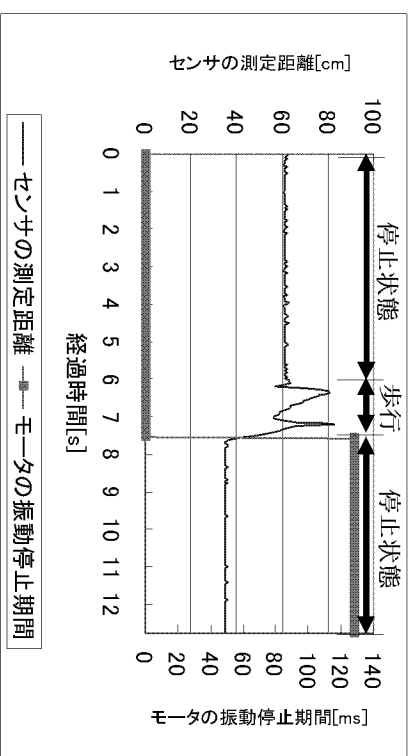


図 12 上り段差の検出実験 (右足センサによる測定距離)

6.2.2. 応用実験

段差検出の応用実験として、高さ 10cm の下り段差に向かって目隠しをして近づき、段差に反応してモータが振動した時点で停止し、その後、段差を回避することを試みた。実験の様子を図 13 に、右足センサによる地面までの測定距離を図 14 に示す。グラフを見ると、最初に歩行をしている様子が測定距離の波形に現れている(図 14 の①)。実験開始 6 秒後には距離の基準が全体的に段差の分だけ高くなっており、振動モータが振動し始めた。これは、現在の測定距離が段差の無い状態の基準距離よりも高い状態が一定時間持続したため、システムが段差を認識し、歩行を止め、モータには歩行時の波形が現れなくなった(図 14 の②)。その後、距離の基準は徐々に実験開始時のレベルまで戻り(図 14 の③)、振動モータの反応が無くなった時点で再び歩行の波形が現れた(図 14 の④)。これにより被験者は段差を回避し、歩行を再開することが分かった。

今回の段差検出の実験結果から、目隠しをした状態でも振動モータからの段差有りの振動伝達によって段差を検出し、回避することが可能であることを確認できた。しかし、図 14 のグラフから分かるように、歩行時の波形にも振動モータがたびたび反応していることが分かった。これは、被験者が目隠しをしているために歩行のスピードが遅くなり、歩行のピークが現れている時間が長くなったために誤って段差と判定されたと考えられる。今後は歩行のスピードや歩幅にかかわらず、段差のみに反応するようにシステムを改良する必要がある。

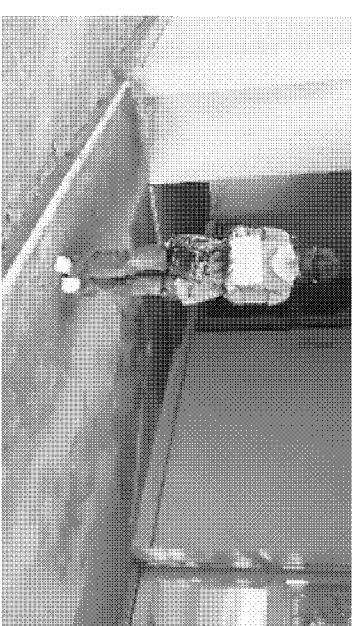


図 13 段差検出実験の様子

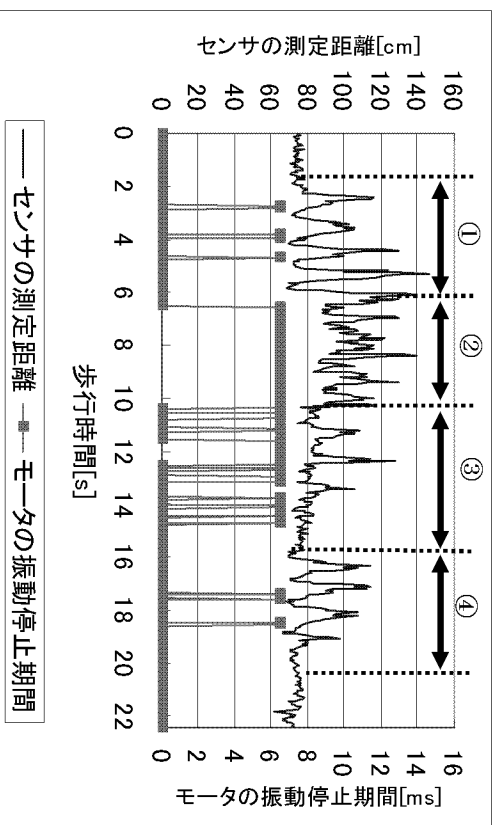


図 14 右足センサによる測定距離

7. 障害物検知

7.1 障害物判定処理と基礎実験

障害物の判定は、段差判定のように複雑ではなく、センサから送られてくる距離が 1m 未満であれば障害物と判定するという単純な処理になっている。

このアルゴリズムと振動モータ制御をシステムに組み込んで、障害物検出の基礎実験を行った。平らな壁に向かって歩いた時のセンサの測定距離を図 15 に示す。センサの測定距離から、最初は壁までの距離が 140cm で、そこから徐々に壁に近づいていき、最後は 40cm の所で停止したことがわかる。一方、モータの振動停止期間は、最初は 0ms に設定されており、モータは振動していないことがわかる。しかし、測定距離が 1m 未満になったと同時に約 600ms に設定されてモータが振動し始め、徐々に振動停止期間が短くなっていき、振動の周期が速くなっていくことがわかる。この結果から、障害物の検出については、歩行の影響を受けずに安定した検出が可能であることがわかった。

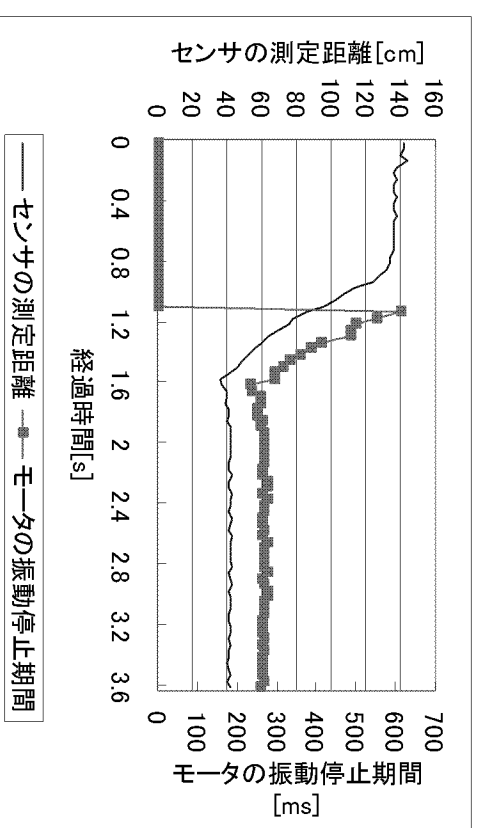


図 15 歩行時の右肩センサの測定距離

7.2 応用実験

障害物検出の応用実験として、障害物までの距離に応じた振動モータの振動を頼りに、目隠しをしながら壁から 100cm, 70cm, 40cm, 80cm の所で順々に停止することを試みた。その時の実験の様子を図 16 に、センサによる障害物までの測定距離を図 17 に示す。グラフを見ると、最初は壁から 140cm の所で立ち止まっており、そこから 100cm 付近まで壁に近づいて停止し、次に 70cm 付近、40cm 付近、最後に 90cm 付近で停止していることが分かる。この結果から、目隠しをした状態でも障害物までの距離をモータの振動によってある程度推測できることが分かった。

8. おわりに

本論文では、視覚障害者の単独歩行を支援する目的で、赤外線測距センサを用いた周辺状況伝達システムを提案した。そして、システムの試作として携帯型装置を作製し、それを使って距離情報の収集を行い、データを分析することによって段差判定・障害物判定のアルゴリズムの作成を行った。その結果、段差検知機能については、基本的な段差の検出が可能で、目隠しをした状態でも段差の回避が可能であることが分かった。一方、障害物検知機能については、壁などの広い面を対象にした検出であれば安定した検出が可能であり、モータの振動パターンから障害物までの距離を識別できることが分かった。

今後は、より信頼性を高めたシステムの完成を目指すと同時に、ユーザが使いやすいシステムにするためにサイズやデザイン面にも配慮して改良する必要がある。

謝辞 本研究を進めるにあたって、様々な指摘と有益なご助言をくださった千葉慎二准教授に謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 春田文夫、加藤公正、福岡明夫、前島賢三: 視覚障害者のホーム転落事故調査, 福祉ウオッチングの会, 1997.
- 2) Bay Advanced Technologies Ltd. 'K-SONAR - The Handbook.
<http://www.bayforblind.co.nz/manual.pdf>
- 3) 立石敏隆, 村上満佳子, 井村誠孝, 安室喜弘, 黒田知宏, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: 視覚障害者のための状況推定を導入した電子白杖システム, ヒューマンインタラクション学会研究報告集, Vol. 4, No. 1, pp.1_61-1_64 (2002).

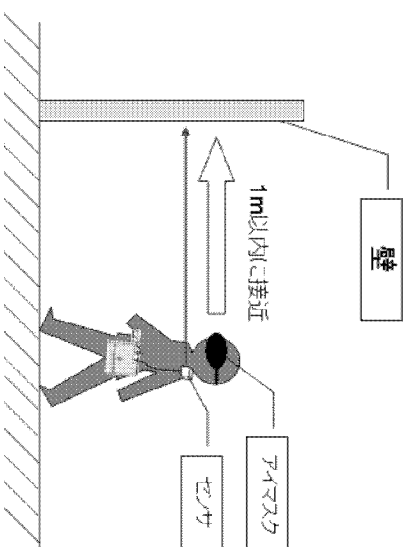


図 16 障害物検出実験の様子

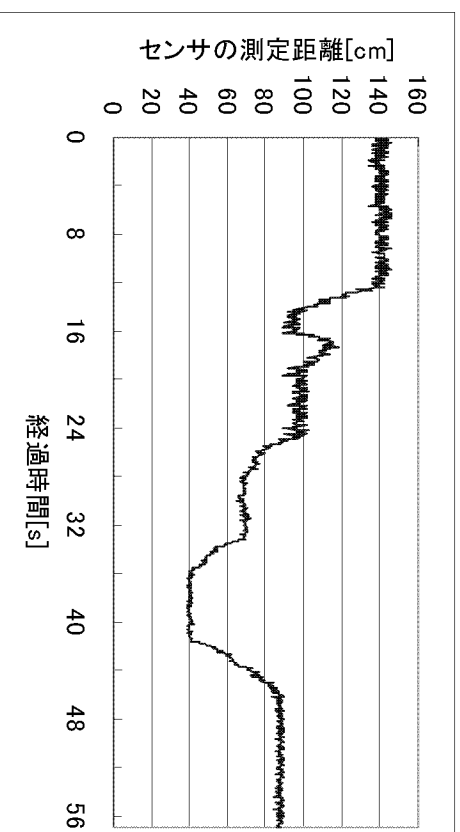


図 17 右肩センサによる測定距離