

足裏への触覚提示による盲人向け歩行ナビゲーションの検討

中茂睦裕¹ 渋沢良太¹ 大恵克俊¹

概要: スマートフォンを用いた歩行者向けナビゲーションシステムは、画面に表示された経路情報を見て確認するか音声案内に従って移動するのが一般的である。しかし、視聴覚に障害があるユーザが使う場合にはこれらの情報を利用することが困難である。そこで、足裏に装着したデバイスにより環境情報を収集し、ユーザが進むべき方向などの情報を伝えることで安全に移動することができるシステムを検討する。具体的には、靴のインソールへ組み込んだRFIDリーダで路面の位置情報を検出してスマートフォンへ伝え、GPSや各種センサデータと統合してナビゲーションに最適な通知を生成する。その通知に従ってインソール内のアクチュエータを駆動し、ユーザへナビゲーション情報を伝える。本稿では、当事者へのユーザインタビューを元に一連のシステムを開発し、動作の検証をおこなったので報告する。

キーワード: 足裏触覚, 触覚提示, 歩行ナビ, RFID

A Study on Walking Navigation for the Blind by Tactile Display on the Sole

Mutsuhiro NAKASHIGE^{†1} Ryota SHIBUSAWA^{†1}
Katsutoshi OE^{†1}

Abstract: On navigation systems for walkers using the smartphones, general form is to see displayed courses on a screen, or listen to voice guidance. But it is difficult to use those information for users with visual impairment. So we examined a system which users could gather information such as the travelling direction from the device placed on the sole of the foot. In particular, RFID readout unit mounted on a sole of a shoe will detect the positional information embedded on road surface, and send to smartphones, then modify the data of the GPS and various sensors, generate the most suitable notice to the navigation system. And with that information, actuators placed within insoles will be activated and deliver information to users. In this paper, we report our series of those systems and operation verification examination results based on the interviews to the parties concerned.

Keywords: Tactile sensation on the sole, Tactile display, Walking navigation, RFID

1. はじめに

歩行者向けナビゲーションとしては、スマートフォンのアプリケーションで設定した目的地までの経路情報を画面で見ながら移動するか、あるいは、音声案内に従って移動するのが一般的である。しかし、視聴覚に障害がある人が使う場合にはこれらの情報をそのまま利用することが困難である。例えば、視覚に障害があるユーザが音声案内を聞きながら移動すると、音声に気を取られ周辺の音への注意が散漫になり人や物との接触が起きる危険性がある。また、聴覚に障害があるユーザの場合もスマートフォンを見ながらの移動となってしまう。これは、社会問題となっている「ながらスマホ」の状態であり事故に遭遇するなどの危険性が高まる。そこで、我々は視覚および聴覚に依存しないナビゲーションシステムを提案する。

本研究では、足裏に装着した触覚提示デバイスにより環境情報を収集しユーザに移動すべき方向などの情報を伝えることで安全に移動することができるシステムの実現をゴールとしている。まず、システム実装に活かすため、当事

者の意見を聞くためにインタビュー調査をおこなった。その調査を元に、盲人用歩行ナビゲーションのプロトタイプシステムを実装し、その使用感について当事者からフィードバックを得た。本稿では、以上の取り組みについて評価および考察をしたので報告する。

2. 背景と目的

スマートフォンの普及により画面を見ながら歩行する人が増え、衝突してケガをする事例が急増し社会問題化している。また、視覚障害にとって有用な点字ブロックは路面上に凹凸を作るため、車椅子の利用者や幼児・高齢者にはかえって障害となる場合がある。

これらの問題を解決するため、視覚・聴覚に頼らないナビゲーションシステムを提案する。具体的な感覚提示手法として、使用時に両手が塞がらないこと、ユーザに確実に情報を伝達する、という2点の条件から、振動子などを用いた足裏の触覚による情報提示とする。

2.1 先行事例

過去に、非対称振動による重量知覚の錯覚を利用して牽引力を提示するデバイスや[1]、足の爪や足裏へ触覚提示することにより床面の傾きや凹凸、足元の仮想物体の異動情

¹ 第一工業大学
Daiichi Institution of technology

報の提示についての提案があるが[2], アクチュエータからの刺激を安定して知覚するために, いずれも体へ密着するか把持し続ける必要がある. また, GPS から得た位置情報に基づいて, 方向転換時に曲がるべき方向の靴に内蔵した振動体を震わせ, 曲がるタイミングと向きを提示するデバイスが実用化されている[3]. しかし, 提示できる情報は片足1箇所ずつに限られ, 点字ブロックのようなテキストチャを表現することはできない. 足裏への触覚提示を工夫してリッチな情報を提供するアイデアとして, インソール上に複数の振動モータを設置し, 足裏に仮想的に提示したい一本の線分から各振動モータ座標への最短距離により振動強度を減衰させることで, 誘導ブロック上の凸線のように進行方向を示す研究がある[4].

研究を進めるにあたり, まず, 視覚障害者へインタビューをおこなった. その結果, 目的地付近までは既存のナビゲーションと点字ブロックでガイドされるが, 正確な現在地を得られないという意見があった. 例えば, 手続きのために公共施設を訪れたときに建物の入り口が分からずに困ることがあるとのことであった.

2.2 課題解決のアイデア

本研究で実現するシステムの概略を図1に示す. 特別な装置を把持したり着用したりすることを避けるため, 靴のインソール内に触覚で情報提示する仕掛けを導入する. 例えば, 複数の振動子を用いることでその振動パターンによるテキスト情報の提示や, 場合によっては不快な振動パターンを与えることで危険箇所を通知できるものとする. また, 位置・姿勢情報をRFIDや環境データから状況に応じて選択的に取得することで, 障害の内容などユーザの個性に合わせたナビゲーション情報を提示でき, かつ非拘束な情報提示デバイスを実現することを目指す.



図1 本研究で実現するシステムの概略
 Figure 1 Outline of the system in this research.

本研究では, 視覚・聴覚に頼らず, しかも, 健常者や車椅子の利用者の障害にならず, さらに, 豊富な情報を提示できるナビゲーションシステムを開発する. 視覚・聴覚に頼らない具体的な感覚提示手法として, 使用時に両手が塞がらないこと, および, ユーザに確実に情報を伝達する, という条件から振動子を用いて足裏の触覚によって情報提示することを提案する. このとき, 触覚の提示手法については様々な手法から目的に適したものを選択することとする.

3. アプローチ

前章で述べたとおり, 既存の歩行者向けナビゲーションと点字ブロックで目的地付近まではガイドされるが, 正確な入口まで辿り着けないケースがある. そこで, まず盲人向け歩行ナビゲーションのうち, 目的地に到着したらその旨を通知する機能の実装に取り組む.

3.1 ナビゲーション方法の検討

ここでは, 点字ブロックに代わり RFID と触覚提示を組み合わせたナビゲーションを検討する. 点字ブロックの高さは約 5mm と高く車椅子の利用者や幼児・高齢者にはかえって障害となる場合がある. それに対して RFID は 0.76mm と非常に薄いため交通の妨げになることはない. また, 点字ブロックを踏んで知覚できる凹凸形状は2パターンと表現できる情報が少ないが RFID は 2^{128} 種類の膨大な情報を表現できる. 薄い RFID を踏んでそれ自体を知覚することはできないが, 何らかのアクチュエータと組み合わせることで, 従来では表現が困難であった正確な現在地などのリッチな情報を伝達することができる. 例えば, 目的地の入口付近へ到達したことは RFID を読み取って検知でき, ユーザへその旨を触覚で提示することが可能となる.

図1に示すように, ユーザにインソールを装着した靴を履いてもらい, スマートフォンをポケットやカバンの中に所持して歩くだけで路面の RFID タグの情報を読みこみ振動でナビゲーションする. また, 目的地に近づくにつれて振動のパターンが変化し, 目的地入口までナビゲーションする.

事前に RFID タグには座標を付与しリーダーで読み取れば固有の ID を検知して現在地を特定できるようにしておく. また, 振動パターンは目的地入口に近づくにつれて振動の間隔を短くすることで, 目的地入口への距離を教示する. 次節では, インソールとスマートフォンアプリとの連携について述べる.

3.2 インソールとアプリの連携

前節では, 現在, 敷設されている点字ブロックに代わり RFID タグを敷くことを提案した. 路面に設置された RFID タグから情報を読み取る際に, その情報を伝達する電波は極めて微弱なため, RFID とリーダーはなるべく近接する必要がある. そこで, 歩行時に路面に接する靴のインソール

内部にRFIDリーダなどの路面ID読み取りシステムを実装することを検討する。インソール内部のシステムからの位置情報は、無線でスマートフォンへ送られ、必要な情報をインソール内部のアクチュエータから足裏へ触覚によって提示する。そのため、インソールを装着した靴を履いてさえいれば、視覚および聴覚は利用せずとも提示された情報を知覚でき、両手を塞いでしまうこともない。

図2にインソール内部のシステムとスマートフォンの役割分担を示す。インソール側はRFIDリーダでタグ情報を読み取り携帯端末へ無線でその情報を送る。また、スマートフォンから返ってきたナビゲーション命令によりインソール側のアクチュエータを駆動する。例えば、振動モータを振動させることで情報提示する。スマートフォンはインソール側から得た情報に加え、GPSなど他の位置情報や、各種センサの値、行動履歴を分析しインソールへナビゲーション命令を送る役割をしている。

3.3 スマートフォンアプリの検討

次に、スマートフォンへ導入するアプリについて述べる。開発するアプリは、目的地を設定することで歩行ナビゲーションを開始する。具体的には、インソールのRFIDリーダから無線通信によって得たセンサ情報により、目的地までナビゲーションするための適切な振動パターンを生成する。アクチュエータの駆動パターンはあらかじめ決めておき、インソールに実装されている制御用マイコンへナビゲーション命令を送る。また、アクチュエータはナビゲーション命令を受けたマイコンの制御に従い駆動する。

4. 予備検討

4.1 当事者による知覚の検証

システム実装に取り掛かる前に、2つの検証を行った。1つ目は、座標の情報を記録したRFIDタグをリーダで読み込み、特定の座標で振動モータをレスポンス良く駆動できるかの検証である。2つ目は、振動モータによる振動で体のどこの部分へ刺激すれば通知を知覚しやすいかの検証である。

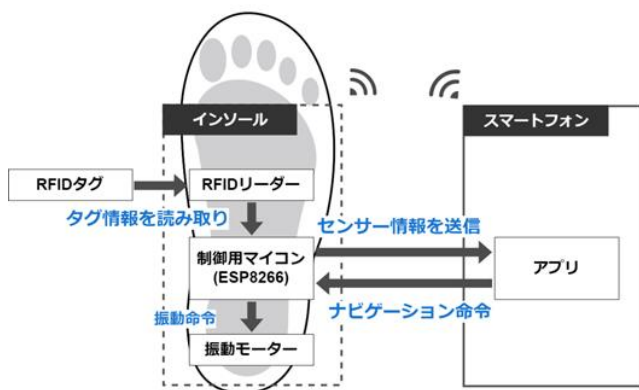


図2 インソール型システムの構成

Figure 2 Insole type system configuration.

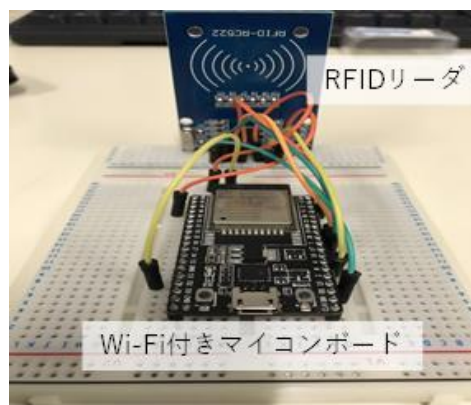


図3 RFIDリーダおよび制御用マイコン

Figure 3 RFID reader and microcomputer.

この検証での被験者は、鹿児島県立鹿児島盲学校に勤務する全盲の教諭4名であり、男性3名、女性1名であった。年齢は50代2名、60代2名である。検証後には歩行ナビゲーションにおける、振動による情報提示に対する率直な感想をインタビューし、実装して欲しい機能を挙げてもらった。また、普段の歩行による移動で困っている事象についても聞き取りをおこなった。

検証では図3に示すプロトタイプを使用した。RFIDリーダおよび制御用マイコンを外部実装し、振動モータはインソールに埋め込んだ。インソールを床面に設置し、被験者はそのインソールを片足で踏んだ状態で待機する。実験者がRFIDリーダで目的のRFIDを読み込ませている間、インソール内の振動モータは振動とオフを1秒ごと間欠動作する。振動モータは日本電産製のリニア振動アクチュエータLD14-002で、±5Vのバイポーラ駆動とした。振動オン時の制御周波数は200Hzで、デューティ比は50%である。被験者は振動を知覚できた時点で、その旨を実験者へ回答することとした。

4.2 実験の結果と考察

インソールに内蔵した振動モータによる情報提示を足裏で知覚できるかどうかを検証するため、当事者による評価実験をおこなった。被験者の姿勢は、座っている状態と立っている状態の2パターンであり、それぞれ実験者が振動モータを駆動させた際に足裏で振動を知覚できるかを回答させた。座っている状態では知覚できた者が1名、知覚できなかった者が3名であった。また、立っている状態では全員が振動を知覚できないという結果であった。

検証用のシステムで、特定の座標に至った際にRFIDを読み込むことで振動モータを駆動できたが、足裏への振動モータによる情報提示は設定した条件では困難であることが分かった。また、立位の姿勢では全員が足裏で振動を知覚できなかったことから、足裏へ体重や運動による圧力が掛かった状態では知覚がさらに難しくなることが推測できる。

4.3 インタビュー結果

検証後にインタビューをおこない、振動による歩行ナビゲーションの情報提示について率直な感想を聴取した。さらに、当事者目線からナビゲーションシステムとして実装して欲しい機能、日頃の生活の中で歩行による移動で困っている事象についても聞き取りをおこなった。その結果は次のとおりである。

4.4 振動による情報提示の是非

まず、振動による歩行ナビゲーションの情報提示については、体重をかけない状態であれば振動を知覚できたが、立位で体重をかけた状態では振動が弱く知覚することはできなかったと回答があった。

また、足裏は路面からの色々な情報を得るためのいわば触覚センサであり、実用上は本システムによる弱い振動だけに知覚を集中させることは困難であるとの意見があった。例えば、点字ブロックや横断歩道のペイント部分の凹凸や、舗装の材質の差異による触覚の変化から、歩行経路の路面構造を推定して自身の歩行動作をリアルタイムにコントロールしていることが分かった。

4.5 歩行ナビゲーション機能への期待

次に、歩行ナビに実装してほしい機能を聞いたところ、次のような意見を得た。知覚しづらかった振動以外による情報提示の方法として骨伝導イヤホンの使用を提案された。情報の提示手段を振動のみに絞るのではなく、音などその他のチャンネルでも情報を得ることで情報の取りこぼしを防ぎたいという意見であった。通常のイヤホンでは周囲から聴覚情報を得る際の妨げになるため、骨伝導イヤホンが適しているとのことであった。

他には、足裏以外に振動を提示する箇所として、足首や手首、足の甲を検討してみてもどうかという意見があった。これは、足裏よりも振動を敏感に知覚できる場所を刺激して欲しいという考えと、先述したとおり、足裏を路面センサとして捉えているため避けて欲しいという意見である。

4.6 当事者の移動に関する困りごと

さらに、移動に関して実際に困っている事象として、次のような回答があった。点字ブロックが敷設されているエリアであっても横断歩道上には点字ブロックがないため、真っ直ぐに歩くことができずコースから逸れてしまうことがあるとのことであった。交差点の中央方向へ誤って進入してしまい、進行方向を見誤ったり車にぶつかったりすることがあったと回答があった。

また、点字ブロックを利用すれば目的の建物の付近まではたどり着けるが、目的の建物の入口が分からず立ち往生してしまうことがあり困っているとのことであった。

当初、想定していた仮説と違い、全盲のユーザは足裏の触覚を活用して歩行しているが、情報提示に適している場所ではないことが分かった。彼らは足裏から色々な情報を得ているため、足裏を振動させることにより他の情報を分

離して得ることが困難になることが分かった。このインタビュー結果を元に、次章でシステム実装について述べる。

5. システム実装

本章では、足裏の触覚を用いて歩行ナビゲーションするためのシステムを実装する。前章でおこなった予備検討のインタビューで得たニーズから、目的地に着いたことを通知する機能に限って実装する。また、当初は RFID リーダやアクチュエータなどの機材をインソールにすべて内蔵する予定であったが、情報の提示箇所を足裏から足首へ変更することとし、アクチュエータを外付けしてバンドで固定できるようにした。開発したシステムの構成を図 4 に示す。

ユーザが歩行している地点の推定にはスマートフォンに内蔵された GPS や市中の Wi-Fi からの電波を利用するとともに、路面に配置された RFID から精度の高い位置情報を得られるようにすべきである。そうすれば推定した地点から、進むべき方向や危険箇所での停止など、移動を支援するための情報は靴のインソールに組み込まれた振動子を選択的に駆動することで伝達できる。

しかし、本稿では歩行ナビの機能のうち、目的地に着いたことを通知する機能に絞り、図 4 の点線の枠で示す範囲を実装した。開発したシステムは、RFID タグからのみ位置情報を得る。目的地へ到着した際に足首へ装着したアクチュエータを駆動して振動で通知する。

まず、RFID リーダでタグ情報を読み取り、制御用マイコンとスマートフォンのアプリが Bluetooth によるソケット通信を用いて情報の送受信する。こうすることで、あらかじめ RFID に登録している位置情報が得られる。この情報を元に、アプリがナビゲーション命令を Bluetooth でマイコンへ送りアクチュエータを駆動させる。

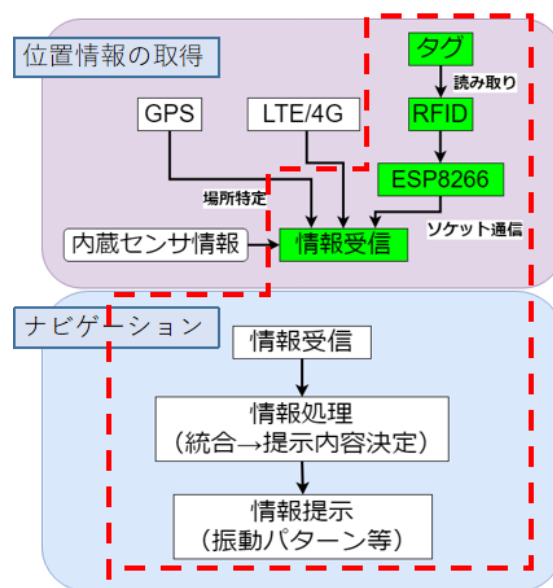


図 4 システム構成と開発範囲

Figure 4 System configuration and Implementation scope.

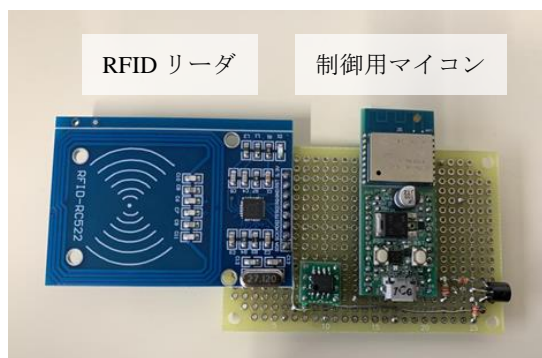


図5 インソール内蔵型デバイスの外観
Figure 5 Devices to be built into the insole.



図6 インソールへデバイスを組み込んだ様子
Figure 6 Installed devices in the insole.

5.1 スマートインソール

インソールの中に組み込む、具体的なシステム実装について述べる。図4に示すように、インソール側のシステムは制御用マイコン、RFIDリーダ、振動モータから構成される。制御用マイコンは、路面から定期的に位置情報を読み取るためのRFIDリーダの制御機能、ユーザへ移動のための情報を提示する振動モータを制御する機能、Bluetooth接続によりスマートフォンのアプリとソケット通信して位置情報の送信と振動刺激による通知情報を受信する機能を有している。

試作したインソール型歩行ナビゲーションシステムの外観を図5に示す。また、RFIDリーダ、制御用マイコンを市販のスリッパに埋め込んだものを図6に示す。以降、このインソール型の触覚提示デバイスをスマートインソールと呼称する。当事者からのインタビュー結果を踏まえて、当初予定していた足裏への振動刺激は知覚しづらいことが分かったため、足首や手首へ振動刺激を加えられるように振動モータは外付けできる構造とした。

5.2 Androidアプリ

盲人用歩行ナビゲーションシステムを統括し、前節で開発したスマートインソールを制御するためのナビゲーションアプリについて述べる。アプリはAndroid OSを搭載したスマートフォン用に開発した。

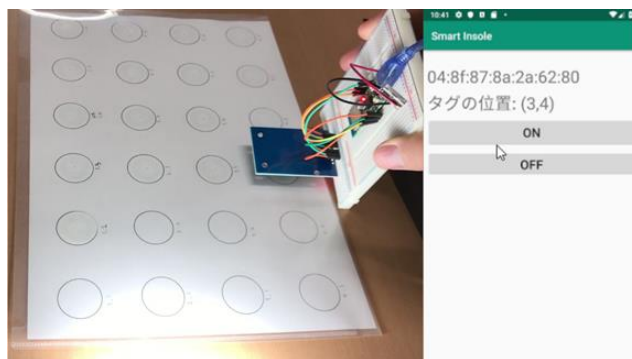


図7 アプリでRFIDの位置情報を読み込み
Figure 7 Reading RFID location information.

図7はRFIDタグをリーダで読み取りその座標をAndroid端末で起動したアプリで確認している様子である。このアプリは、スマートインソールと連携しRFIDから取得した情報を元に、必要に応じて制御用マイコンへナビゲーション命令を送る。その命令に応じてマイコンは振動モータを駆動する。

今回開発したアプリでは、タグから得た座標データを画面上に表示し、予め登録しておいたナビゲーション命令を実行することができる。特定の地点へ近づくと距離に応じて振動の通知タイミングが短くなり、ゴールへ到着すると振動のパターンが変わる。また、手動で振動モータへの振動命令をONまたはOFFすることができる。

6. 評価実験

前章で開発した盲人用歩行ナビゲーションシステムの動作を検証するため、当事者によるユーザ評価実験をおこなう。

インタビュー結果から「目的の建物の近くには行けるが建物の入口が分からない」という移動に関する困りごとを得ていた。その事象を解消するためにシステム実装したスマートインソールを使用し目的の場所で立ち止まることができるかを検証した。

6.1 実験の設定

実験の評価者は、鹿児島県立鹿児島盲学校に勤務する全盲の教諭6名である。性別はいずれも男性で、年齢は50代4名、60代2名であった。

実験内容は3項目ある。1つ目は椅子に座っている状態において足首で振動刺激を知覚できるか否かを確認する。2つ目は歩いている状態で床に敷かれたRFIDタグをスマートインソールで踏んでもらい、振動を知覚した際に立ち止まれるかを確認する。3つ目は、振動刺激の位置を手首へ移動し、同様に知覚できるかを確認する。以上3項目について当事者によるユーザ評価実験をおこなった。

RFIDタグは30mm間隔で床面に設置したシートの上に貼り付けてある。



図8 アプリでRFIDの位置情報を読み込み
Figure 8 Reading RFID location information.

図8は、椅子に座った被験者にスマートインソールを装着した状態でRFIDタグを踏んでいる様子である。その後、スマートインソールを装着した状態でRFIDタグが敷かれた実験コースの上を歩行させた。歩行中に設定された目的地へ到達すると振動の提示パターンが変化し、それを知覚できたら立ち止まるよう指示した。

6.2 実験結果

実験を実施した結果、椅子に座っている状態でスマートインソールを踏んだまま振動を知覚できた者が3名、認知できなかった者が3名であった。続いて、歩行中に、足首への振動を知覚できて目的地の位置で立ち止まることができた者が1名、同じく知覚できなかった者が5名という結果であった。また、手首の振動は全員が近くでき、目的地の位置で立ち止まることができた。

7. 考察

ユーザ評価実験では、6人中3人の被験者が椅子に座っている状態で足首への振動提示を知覚できた。しかし、歩行中はほとんどの被験者が振動を知覚できなかった。知覚できなかった被験者の中には歩いている時に振動は分からないが、立ち止まった時に振動が分かると答えた者がいた。

歩行時に振動を知覚できた1名の被験者へヒアリングしたところ、「このナビゲーションシステムを活用したい」との感想を得た。この被験者は、今実験の被験者の中では盲になってからの期間が最も長かった。また、この被験者も含め椅子に座っている時に振動が知覚できると答えた被験者は、痩せた体格であり振動を骨格で知覚していると説明した。

立位で体重を掛けた状態や歩いている状態では足裏や足首で振動を知覚しづらく、振動刺激は人によって伝わり方が違うことが分かった。しかし、手首の振動は6人全員が知覚することができたことから、振動刺激を加えるので

あれば足裏や足首以外にもっと適切な箇所があると考えられる。

本研究では、当事者として50代から60代の被験者に評価実験へ協力してもらった。触覚による情報提示の知覚には年代差があると考えられ、さらに若い世代の被験者へ同様の実験をおこなって評価する必要があると考える。また、様々な性年代のユーザからのインタビューをおこなってニーズを把握することも重要であろう。

8. まとめ

本研究では、視聴覚に障害を持つユーザを対象に、足裏に装着したデバイスにより環境情報を収集しユーザに情報を伝えることで安全に移動することができるシステムを提案した。

まず、予備検討として当事者に意見を聴取し、日常生活の移動での困りごとを調査した。「点字ブロックを頼りに行きたい建物の近くには行けるが建物の入口が分からない」という事象に対し、目的地に着いたことを通知することを題材として、スマートインソールを開発した。実装したスマートインソールはマイコンが制御するRFIDリーダとアクチュエータから構成され、Bluetoothでスマートフォンの歩行ナビアプリと連携することができる。

ユーザ評価実験をおこなった結果、足裏は、路面から得られる様々な情報が察知するための場所であり振動による情報提示は盲の被験者には好ましくなかった。また、50～60代の被験者は歩行中の足首への情報提示には気付きにくく、手首への情報提示のほうが知覚しやすかった。

今後は、手首などより適切な触覚刺激の提示位置を検討し、進行方向の提示手法など実用に耐える盲人向け歩行ナビゲーションシステムとして完成度を高めたいと考えている。

謝辞 本研究を実施する上で、実験に協力していただいた鹿児島県立鹿児島盲学校の先生方に謹んで感謝の意を表す。本研究の一部はJSPS科研費JP18K12147の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] T. Amemiya, H. Ando, & T. Maeda: "Lead-Me Interface" for a Pulling Sensation from Hand-held Devices", ACM Trans. on Applied Perception, Vol. 5, No. 3, Article 15, pp. 1-17 (2008).
- [2] 酒井健輔, 蜂須拓, 橋本悠希: "足爪振動刺激を用いた足指腹錯触覚提示に関する研究: 母指への錯触覚生起における荷重条件の検証", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 22(3), 349-357, (2017).
- [3] LECHAL: 「STEP INTO THE FOOTWEAR OF FUTURE」, <http://www.lechal.com>, (2017).
- [4] 平野隼壮, 吉田直人, 榎堀優, 米澤朋子: "仮想点字ブロックへ向けた足裏振動モータアレイによる線分提示手法の一検討", 研究報告アクセシビリティ (AAC) 2017-AAC-5(15) 2432 - 2431 (2017).