

令和 3 年 6 月 30 日現在

機関番号：37702

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K12147

研究課題名(和文) 足裏への触覚提示により安全な移動を支援するスマートインソールの開発

研究課題名(英文) Smart insole that supports safe movement by presenting the tactile sensation to the sole of the foot

研究代表者

中茂 睦裕 (NAKASHIGE, Mutsuhiro)

第一工業大学・工学部・准教授

研究者番号：30713408

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：足裏への触覚刺激による歩行ナビゲーションを実現するため、インソール型デバイスを開発して視覚障害者を対象としたユーザ評価実験をおこなった。まず、足裏の刺激感度について検討をおこなったところ、靴下をはいた状態で厚さ0.5mm、一辺10mmの正方形の段差を感じ取ることができた。また、路面の座標データを読み取り、スマホアプリと連携して触覚提示デバイスを制御して歩行ナビゲーションするシステムを実装した。ユーザ評価実験から、年齢や姿勢によっては足裏への振動刺激は必ずしも情報提示に向いていないことが分かり、デバイスの選定や電気刺激により知覚精度の向上を図った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題は、足裏に装着した触覚提示デバイスが使用者に情報を伝えることで、使用者の安全な移動を提供する「スマートインソール」の実現を目的とする。現在、スマホ画面を注視することによる危険性が社会的問題化している。本システムは、GPSやRFIDタグ等の位置・環境情報および加速度、高度等の携帯端末内蔵センサーデータを収集し、目的に応じて使用者に提示する情報を生成する。その情報は触覚、痛覚等の皮膚感覚を利用して使用者へ伝達し、安全な移動を促す。本研究は、環境への実装が進むRFIDタグを活用しつつ、視覚・聴覚障害者への情報提示にも応用できるもので誰もが「幸せ」に暮らせる「安全な福祉社会」の実現を目指す。

研究成果の概要(英文)：In order to realize walking navigation by tactile stimulation of the sole, we developed an insole-type device and conducted a user evaluation experiment for visually impaired people. First, we examined the sensitivity of the foot to stimulation. We found that the device could sense a 0.5mm-thick, 10mm-sided square step while wearing socks. We also implemented a walking navigation system by reading the coordinate data of the road surface and controlling the tactile presentation device in conjunction with a smartphone application. From user evaluation experiments, we found that vibration stimulation to the sole of the foot was not necessarily suitable for presenting information depending on the user's age and posture, so we tried to improve the accuracy of perception by selecting devices and electrical stimulation.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：歩行ナビゲーション インソール 視覚障害者 福祉工学

1. 研究開始当初の背景

スマートフォン(以下,スマホ)を用いた歩行者向けナビゲーションの利用が一般化している。しかし使用者は画面を注視しながら歩くことになり, 他人や障害物等との衝突などのトラブルが発生し, 社会的問題となっている。この問題を解決するためには, 視覚以外の情報でナビゲーションすれば良いが, 例えば音声を用いると騒音の中では聞こえづらいうえ, イヤホンを装着するとクラクション等環境からの警報を獲得しづらくなる。一方で, 幼児や高齢者, 視聴覚障害者が意図せず危険な場所へ立ち入り, 事故に遭うケースがある。もし, 危険な箇所に近づくと警告を発したり, 安全な場所へガイドしたりするデバイスがあれば事故を減少できる可能性があるが, 使用者がデバイスを常に携帯するとは考えにくい。

既にスマホのGPS信号を利用した触覚によるナビゲーションや, 手に持ったデバイスの中で重りを揺らして錯覚による牽引力でガイドする例があるが, 前者は振動のオンオフにより曲がる方向を足裏へ提示するだけであり, 後者は使用時にデバイスを把持し続ける必要がある。

そこで本研究では, スマホを利用してGPSから得られる位置情報と加速度, 角加速度, 高度等の内部センサ情報を収集・統合し, 使用者が真に必要な情報を生成して足裏への触覚刺激により情報を伝達する図1に示すような中敷き型のナビゲーションシステムを提案する。

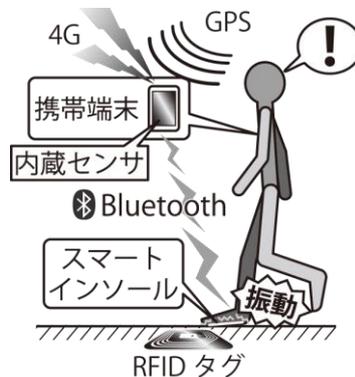


図1 システム概略図

2. 研究の目的

本研究は「安全な福祉社会」の実現を最終目的とし, 当該研究期間においては, 移動時の安全性を向上させるシステムの提供を目指す。そこで, 本研究では視聴覚ではなく, 足裏への触覚刺激による情報提示に着目する。ナビゲーションや警告の情報は靴の中敷型デバイスによって伝えられ, デバイスを把持する必要がない。視聴覚の障害者にとっても日常生活における安全性・利便性を向上させることができ, QOLの向上につながると考える。

3. 研究の方法

図1に本研究で提案するシステムの概略を示す。触覚を提示する箇所は外部に露出せず, 体表面に密着する頻度の高い足裏とし, 靴のインソールに複数の振動子を効果的に配置する。生成したナビゲーション情報はBluetoothにより受信, 例えば, 振動パターンにより情報を提示する「スマートインソール」を提案する。またこのインソールはRFIDリーダを内蔵し, 路面に埋め込まれたRFIDタグを読み取ってBluetoothによりスマホに送信する。例えば, 点字ブロックの代わりにRFIDタグを設置しておき, その情報を基にバーチャルな点字ブロックを足裏へテクスチャで表現できる。これは先述の振動子1個では表現できない。図2に本システムの内部処理に関する流れを示す。

本研究は, 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し, それらを統合することで使用者の個性に合わせてオーダーメイドなナビゲーション情報に変換し, かつ非拘束な情報提示デバイスによって伝達するものである。実現しようとしている「スマートインソール」を図3に示す。人体の足裏のうち, 感度が高く圧力が掛かる頻度の高い箇所に複数の薄型振動子を配置, 感度が低く, 接地時でも圧力がかけにくい土踏まず部にRFIDタグ読取装置, 振動子駆動装置および制御部と接続されるBluetooth送受信機を内蔵する。

当該研究期間において以下の研究項目を実施する。

- 1) 足裏刺激の性・年代評価: 足裏への刺激に対する, 性別・年代別・視聴覚の障害有無での反応に関する評価を実施する。評価項目は, a) 刺激強度, b) 刺激弁別, c) スキャンに対する反応, d) 刺激パターン, 等とする。
- 2) 中敷用デバイス選定: 中敷に内蔵し足裏に刺激を与える振動子と, 通信モジュール(Bluetooth)の選定を行う。刺激素子の選定は前項の評価結果を基に, 適切な振動および寸法の振動子を選ぶ。通信モジュールは適当な出力を持ち, 土踏まず部に内蔵可能な寸法のものを選定する。またこの

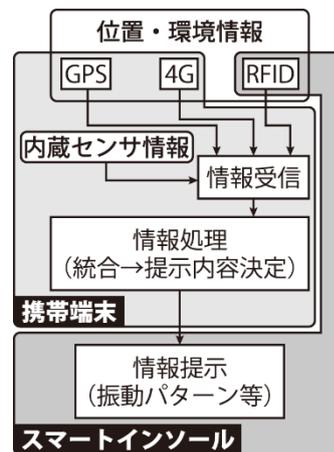


図2 処理に関する流れ図

段階で、RFID タグの読取り用の素子についても選定を行う。

3) 提示する情報の決定：1), 2) 項の結果から、性年代や視聴覚障害の有無など使用者の個性ごとにナビゲーションで必要かつ利用価値の高い情報を選定する。

4) UI アイデアの創出：3) 項で決定した情報を足裏へ触覚刺激で提示するための適切な振動強度、振動パターン、スキャンパターンを提案し、5) 項に反映する。

5) インソール試作：2) 項で選定したデバイスを1) 項の結果を基に求めた足裏の触覚に関する知覚特性を考慮して適切な箇所に配置するためのインソールの設計・試作を行う。ここでは履き心地は考慮せず、適切な振動子配置決定を最重要課題として評価を行うため多くの試作を行う必要があり、購入予定の 3D プリンタを用いたラピッドプロトタイピングにより、速やかな研究進捗を図る。

6) アプリ実装・スマホ連携：スマホ用のナビゲーションアプリ、インソールとの通信連携機能を実装する。ここではオープンソースを活用し、開発期間の短縮を図る。

7) インソール実装：5) 項で求めた最適な振動子配置に加え、2) で選定した RFID タグ、通信モジュールをインソールに実装し動作試験を行う。本段階でも 3D プリンタを使用する。

8) 感性評価実験：スマホとインソールを接続し、実験室内での評価実験を行う。これ以降では履き心地も重要な評価要素となるため、インソールは外部発注とする。

9) アプリ評価実験：実際に使用条件に近い状態（実フィールド）での評価実験を行う。

10) まとめ・発表：本研究課題により得られた結果・知見をまとめ、国内外の学術講演会や学術雑誌へ投稿し、社会および国民に発信する。また実用化へ向けたフェーズに移行する。

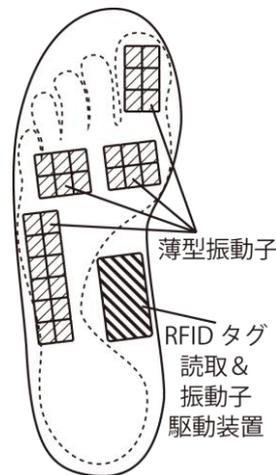


図 3 スマートインソール

4. 研究成果

(1) 足裏への情報提示

① 足裏の感度の調査（場所ごとの段差の感知）

足裏への情報提示を行うにあたり、「どのような情報」を「どこ」へ提示するのが重要である。本デバイスでは、インソールをいくらか持ち上げて段差を作ることによって情報提示を行うことを想定しているため、どの程度の段差を設ければ感知するのかについての評価を行った。また情報提示は足裏のどこの場所で行うのが良いかを調べるために、足裏の感度の高い箇所についての評価も行った。予備実験より段差が 0.5 mm、一つの段差寸法が 10 mm × 10 mm とすることで検出可能であったため、足裏を図 A に示すように区切り、それぞれの箇所に段差を配置、直上から体重をかけた際に段差がよく分かる場合を 2、分かる場合を 1、全く分からない場合を 0 として数値化した。被験者は 20 代の健常男性 4 名である。

測定結果を図 B に示す。図 B では測定箇所ごとの感度の平均値を色で示している。この結果から、体重がかかる部分である拇指、拇指球、踵は感度が高いことが明らかとなった。他の指も感度が高く、逆に圧力のあまりかからない土踏まずでは感度が低くなった。また被験者は全て右利きであったため左利きのデータがないものの、左右の足で大きな差が見られないことが分かった。従って情報提示には指先や踵、拇指球などが適していると考えられる。

追実験として、体重をかけつつ足を前後方向に 1 ~ 3 mm 程度ずらした際の感度について測定を行った。結果として、感度の平均値がずらさない場合の 1.5 から 1.7 に上昇し、全体的に足をずらした方が感度が高くなる傾向が見られ、特にずらさなかった場合に感度が低かった土踏まずにおいても感度が上昇した。実際の歩行において足は靴の中でずれることが分かっており、より高い感度で使用する事が可能であることが示唆された。

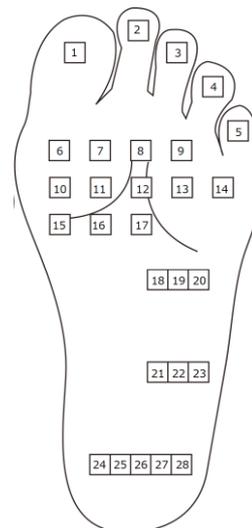


図 A 測定箇所

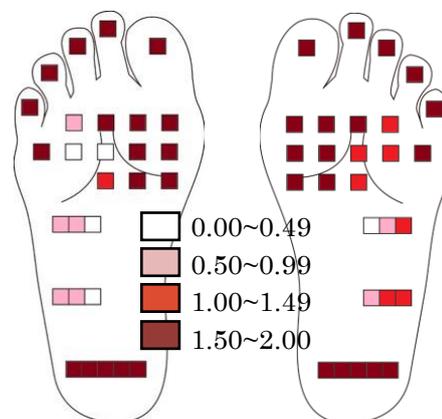


図 B 左右の足裏の感度分布

② 足裏の感度の調査（場所ごとの圧力の感知）

足裏の感度を圧力で数値化するために、圧力センサおよびサーボで駆動する評価装置を

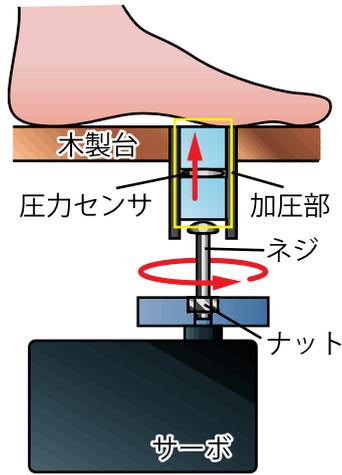


図 C 足裏加圧装置

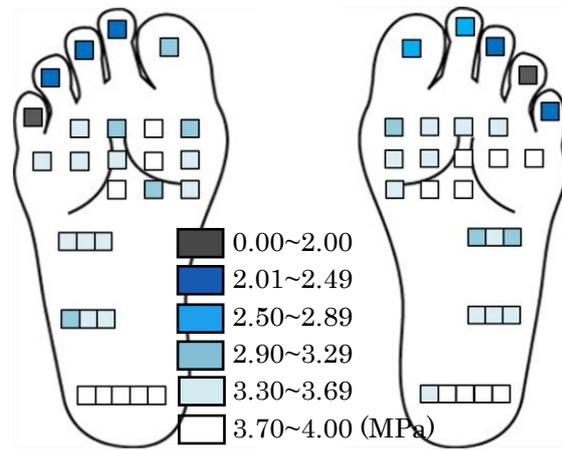


図 D 左右の足裏の圧力分布

作製，図 A の各箇所での被験者が圧力を感じた際の数値を求めた．被験者は 20 代の健康男性 4 名である．評価装置の概略図を図 C に示す．サーボモータが回転することで取り付けられたネジとナットにより加圧部が上昇し，足裏へ圧力を加える．被験者が足裏に圧力を感じた際に，加圧部に内蔵された圧力センサの数値を記録し，これを感度として評価を行った．加圧部の足裏への接触面形状は，前節と同じ 10 mm × 10 mm の正方形とした．

図 D に測定結果を示す．指および拇指球の前部，土踏まずの外側は弱い圧力でも力を感じることができる．拇指球の後部（土踏まず寄り）や踵など，体重のかかる箇所では大きい圧力をかけなければ反応することができなかった．これは踵が高感度であった前節の結果とは矛盾しており，指先に関しては前節と同じ結果であった．原因として，体重のかけかたが一定ではなかったことが考えられる．両実験とも試験装置の上に立った状態で感度評価を行ったが，その際の重心や姿勢などには考慮しなかった．以上の点から，次段の研究においては上述の点に留意して測定を行う必要があると考えられる．

(2) スマートインソールの開発

① 路面情報読み取りと足裏への触覚刺激

足裏の触覚を用いて歩行ナビゲーションを実現するためのシステムを実装する．インソール型デバイスには，a) 路面に敷設された RFID から位置情報を読み取る機能，b) 得られた情報から刺激の種類や強さを決定する機能，c) ユーザの足裏へ触覚刺激を提示する機能が必要である．開発したシステムの構成を図 E に示す．赤線の部分がインソール型デバイスに内蔵する機能である．

ユーザが歩行している地点の推定にはスマホに内蔵された GPS や市中の Wi-Fi からの電波を利用できるが，路面に敷設された RFID を利用すれば精度の高い位置情報を得られる．開発したシステムは，RFID タグから 128 ビットで表現される位置情報を得る．

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．

インソール型デバイスは，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，路面から情報を読み取るための RFID リーダと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役割も持っている．また，Wi-Fi を用いてスマホアプリとソケット通信する役割も担っている．インソール型デバイス単体でも，危険箇所でのアラート通知や位置情報に応じた情報提示が可能だが，スマホアプリと連携することで，目的地までのルートに従ったナビゲーションをおこなうなど，高度なナビゲーションを実現できる．

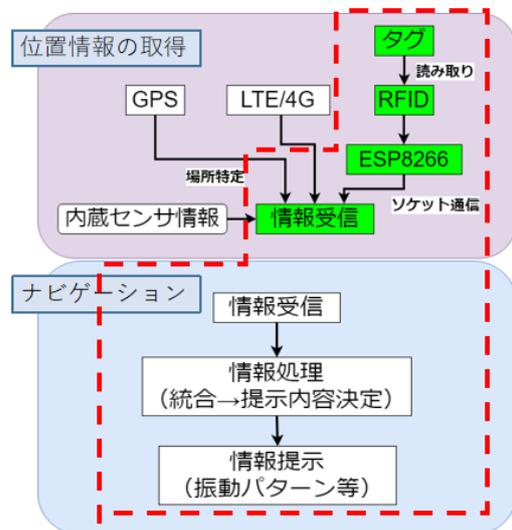


図 E システム構成



図 F スマートインソールの外観

② スマホアプリの開発

視覚障害者用の歩行ナビゲーションシステムを統括し、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。

インソール型デバイスに内蔵した RFID タグリーダで RFID タグを読み取り、その座標情報を Wi-Fi 経由で Android スマホへ伝送し、アプリ上で座標情報を確認している様子を図 G に示す。この開発したアプリは、スマートインソールと連携し RFID から取得した情報を基に制御用マイコンへ Wi-Fi 経由で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。

RFID リーダの読み取り精度を検証するため、RFID タグをサーボモータの先に取り付けて繰り返しリーダへ接近させる試験をおこない、タグとリーダ間の距離が約 10mm 離れていても安定して読み取れることを確認した。

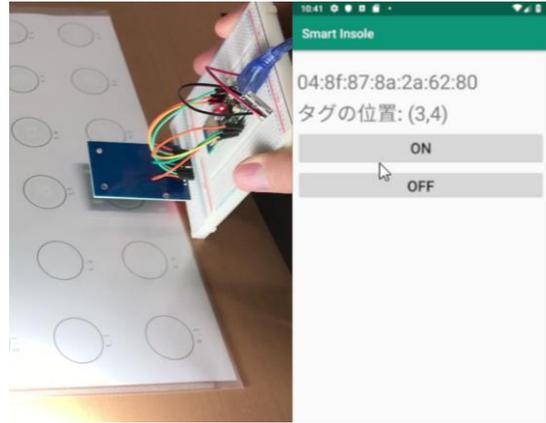


図 G スマホアプリへ RFID

タグの座標情報を伝送

(3) ユーザ評価実験

① 振動刺激によるナビゲーション

当事者への事前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」という意見を聴取しており、実験のタスクとしてスマートインソールを使用し目的の場所で止まることができるかを選定した。

実験の評価者は、全盲の男性 6 名で年齢は 50 代 4 名、60 代 2 名である。実験内容は 3 項目ある。1) 椅子に座っている状態で足裏への振動刺激を知覚できるかを確認する。2) 自然な姿勢で立った状態で足裏への振動刺激を知覚できるかを確認する。3) 椅子に座っている状態で足首のバンドへの振動刺激を知覚できるかを確認する。4) 歩いている状態で床に敷かれた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確認する。5) 手首で振動刺激を知覚できるかを確認する。

足裏への振動刺激は座った状態でも 1 名しか知覚できず、立った状態では全員が知覚できなかった。椅子に座っている時に振動が知覚できた者は 3 名、知覚できなかった者が 3 名。歩いている時に、振動が知覚できた者が 1 名、知覚できなかった方が 5 名という結果であった。また、手首への振動刺激は歩行中であっても全員が知覚でき、指定の位置で立ち止まる事ができた。

表 A 姿勢と刺激位置による振動知覚

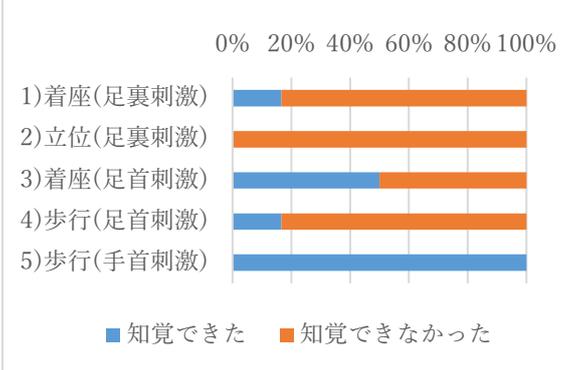


図 H 歩行(足首刺激)条件の様子

立位などの体重を掛けた状態では足裏への振動刺激を知覚しづらく、インソール内部に実装した振動素子による刺激で歩行ナビゲーションをおこなうことは困難である。

② 電気刺激による情報伝達

電気刺激による情報提示手法の検討として、電極を皮膚に貼付し通電した際の電極サイズ、印加周波数、印加波形および電極距離に関する評価を行った。下腕および頭部を対象とした実験の結果から、15mm × 15 mm の電極を使用し、50 Hz の正弦波を電極距離 5 mm で印加した際に最も感度良く刺激を感じることができた。今後は足裏への展開および電極をマトリックス化し、印加パターンによる感じ方の違いについての評価を行う予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 山畑篤海, 中茂睦裕
2. 発表標題 足裏の触覚を利用したスマートインソールによる移動支援の検討
3. 学会等名 日本リハビリテーション工学協会第34回リハ工学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田那雄, 大恵克俊
2. 発表標題 触覚により足裏へ情報呈示するスマートインソールに関する研究
3. 学会等名 日本機械学会九州支部 九州学生会第51回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mutsuhiro NAKASHIGE and Syougo OONISHI
2. 発表標題 Making teaching materials for school children using a sound switch
3. 学会等名 International Conference on Functional Materials and Applications 2019 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田嶋一滉, 大恵克俊
2. 発表標題 音源方向を提示する耳掛けデバイスの改良
3. 学会等名 日本機械学会九州支部 九州学生会第51回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新堂翔, 大恵克俊
2. 発表標題 触覚により足裏へ情報提示するスマートインソールに関する研究
3. 学会等名 日本機械学会九州学生会第50回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山畑篤海, 中茂睦裕
2. 発表標題 足裏の触覚を利用したスマートインソールによる移動支援の検討
3. 学会等名 日本リハビリテーション工学協会第34回リハ工学カンファレンス
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	大恵 克俊 (OE Katsutoshi) (80388123)	第一工業大学・工学部・教授 (37702)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------