

視覚障がい者のための近傍環境における ラインセンシング型触知覚インタフェース

中村 紗誉^{*1} 栗原 洋輔^{*1} 蜂須 拓^{*1*2} 佐藤 未知^{*1*2} 福嶋 政期^{*1*2} 梶本 裕之^{*1*3}

^{*1} 電気通信大学 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

^{*2} 日本学術振興会特別研究員

^{*3} 科学技術振興機構さきがけ

E-mail: {nakamura, kurihara, hachisu, michi, shogo, kajimoto}@kaji-lab.jp

あらまし 視覚障害者のための電子歩行補助デバイスが数多く開発されてきたが、多くの場合一点のみをセンシングするため環境全体を把握するためには長時間の走査運動を必要としていた。そこで本研究では、ライン状の奥行き距離センシングとピンアレイ式二次元触覚ディスプレイを用いて奥行き方向の断面を呈示する歩行補助デバイスを提案する。既存の歩行補助装置と本提案装置の比較実験により本提案装置で効率よく障害物を検知できることを示す。

キーワード ラインセンシング, 触知覚インタフェース, 視覚障がい者, 歩行補助

Line-Sensing Haptic Interface for Visually Impaired

Sayo NAKAMURA^{*1} Yosuke KURIHARA^{*1} Taku HACHISU^{*1*2}

Michi SATO^{*1*2} Shogo FUKUSHIMA^{*1*2} and Hiroyuki KAJIMOTO^{*1*3}

^{*1} The University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182-8585 Japan

^{*2} JSPS Research Fellow

^{*3} Japan Science and Technology Agency (JST)

E-mail: ^{*1} {nakamura, kurihara, hachisu, michi, shogo, kajimoto}@kaji-lab.jp

Abstract Numerous electronic travel aids (ETA) for visually impaired people have been proposed. However, they often take a long time to scan and understand the surrounding environment. In this paper, we propose a novel ETA based on combination of 1-D line depth sensing and 2-D tactile display. We conducted an experiment to compare the efficiency of the proposed system compared to the existing device. The result showed that with the proposed device, users could detect obstacles more efficiently while walking.

Keyword Line-Sensing, Haptic interface, Visually impaired, TVSS

1. はじめに

視覚障がい者が周囲環境を把握するための一般的な道具として白杖が挙げられる。白杖は杖先を当てることで障害物の位置や形状の情報を得ることができる(このように対象の情報を得るために必要な行動を本稿では走査と呼ぶ)。しかし白杖は障害物が地面付近に存在すること、もしくは安全に杖先を当てられる場所にあることが前提となる。

例えば図 1 のように空中に浮かんだ看板や、駅のホームの縁など危険を伴う場所では白杖の情報を頼りに行動するには極めて危険である。そのため杖先を当てなくとも障害物の位置や形状を把握するための道具が必要である。

This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.

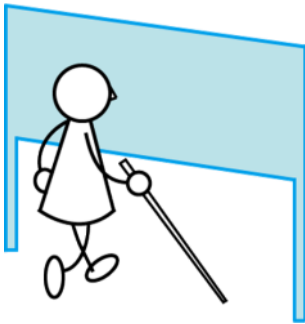


図 1 白杖で走査することが難しい状況
接地部分が少ない障害物(左)
走査するには危険な場所(右)

この問題を解決するための電子支援機器は数多く開発されており、製品化されているものも多い。例えば K-sonar(Bay Advanced Technologies 社製)は超音波距離センサを1つ内蔵し、障害物までの距離を音の高低や大小で呈示する[1]。他に白杖に超音波距離センサを2つ内蔵し、白杖上方と白杖の延長線上の障害物を検知しユーザに振動で呈示する Ultra Cane[2]、秋田らが開発した把持したデバイスとユーザの腰をつなぐワイヤが障害物までの距離に応じて伸び縮みする CyARM[3]などがある。このようにに直接対象に触ることなく形状、テクスチャ感、奥行きなどの情報を得る研究は数多く行われている[4][5][6]。

しかしこれらの商品やデバイスは一度に行える走査範囲が対象物の一点ないし三点のみであるため、周囲環境を把握するためには白杖と同様に常に走査を大量に行う必要がある。一方で一度に取得する情報は非常に狭い範囲であるため、ユーザが情報を解釈するために必要な時間は少なくても考えられる。このような走査方式を本稿では点センシングと呼ぶ。

点センシングのような大量の走査を必要としない方式も提案されており、対象空間全体の奥行きや形状情報をカメラないし多数のセンサで取得し、二次元触覚ディスプレイなどによりユーザに一度に呈示するものがある。例として C. Shah らの開発したユーザの周囲全方位に向けた超音波距離センサから得られる奥行き情報を振動に変換して呈示する把持型デバイス[7]や、C. C. Collins のカメラで撮影した対象の形状をユーザの背中へピンアレイによる触覚で呈示するシステム[9]などが挙げられる[10][11][12]。

しかし広範囲の情報を一度に呈示することになるため、ユーザが得た情報を解釈する時間が点センシングよりも多くかかってしまう。結果として点センシ

ング同様に環境情報の把握に時間がかかるといった問題が考えられる。このような走査方式を本稿では面センシングと呼ぶ。

つまり「一度に呈示される情報量」と「ユーザが得られた情報を解釈するのにかかる時間」にはトレードオフの関係があると考えられ、従来の提案手法は基本的にこの問題を解消するものではなかった。

触覚呈示において面情報を効率的に呈示する手法は過去に多く提案されており、代表的な例の1つは線分のスキャンである[13]。つまり触覚は複雑な二次元形状を同時に把握することは難しいが、ライン状の呈示情報がユーザの能動的な走査により時間的にスキャンされた場合では、かろうじて二次元形状を把握することが可能であると考えられる[14]。

そこで我々は実世界においてもライン状のスキャンを実装することを考えた。提案手法のイメージを図2に示す。

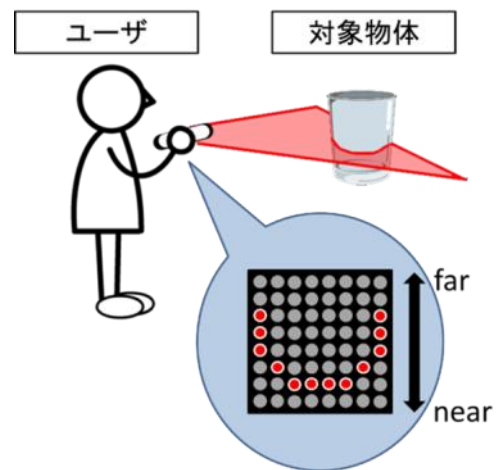


図 2 提案手法のイメージ

ユーザはライン状距離センサとピンアレイ式触覚ディスプレイが一体となったデバイスを把持する。ライン状距離センサにより周辺環境の「断面」が計測され、その断面形状がユーザの拇指触覚ディスプレイを介して呈示される。ユーザは断面と垂直の方向に走査運動する事により、周辺環境全体の奥行きを把握することができる。

ラインセンシングであれば点センシングよりも多くの触覚情報を同時に得ることができるため、奥行き情報を把握するために必要な走査量が減り対象全体の把握に必要な時間の短縮が期待される。つまり同時には面センシングほどの情報量は呈示されないが、一度に得られる情報量は点センシングよりも多く、触覚による環境把握に適切であると考えられる。

我々は前報において提案手法を用いた対象形状の判別実験を行い、ボトル、円錐、砂時計型の形状を点センシングを用いた場合よりも早く正確に判別できることを確認した[14].

本稿では提案手法を用いたポータブルな装置を製作し、歩行タスクにおける障害物検知能力を点センシング方式の既製品と比較する.

2. デバイス概要

実空間をラインセンシングし、二次元触覚パターンとして呈示するポータブルデバイスを作成した. 概要を図 3 に示す.

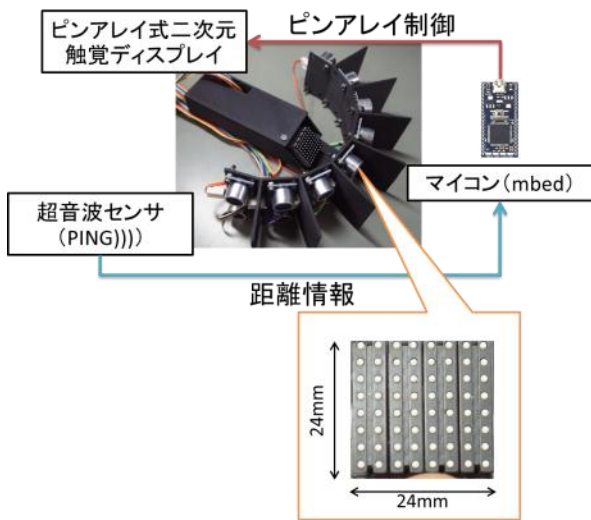


図 3 デバイス概要

本デバイスは、8 個の超音波距離センサ (PING)))、浅草ギ研製)、ピンアレイ式二次元触覚ディスプレイ (KGS 社製)、マイクロコントローラ (mbed NXP LPC1768) で構成されており把持部分の重量は約 300g である.

ユーザは触覚ディスプレイ部分に拇指が当たるよう握り、対象の方向に本デバイス全体を向ける. 超音波距離センサで周囲をセンシングし、得られた奥行き情報をもとにマイコンで処理を行いピンアレイを駆動させる.

ピンアレイ式二次元触覚ディスプレイの先端部には直径 1.3mm、8 行 8 列のピンアレイが 3mm ピッチで 8 行 8 列並べられており、超音波距離センサでセンシングした物体断面の奥行きに応じて決定されたピンが 33Hz で常に上下運動を繰り返す(図 3 下).

事前実験に基づき最大検出距離を 2m とし、これを 8 等分し障害物が存在する距離に応じて駆動するピンを決定した. つまりユーザから障害物までの距離が 25cm

離れるごとに駆動するピンが 1 行ずつ拇指の指先側へ移動することになる. よって各縦列に対応する方向の奥行き情報が呈示されるので結果として、図 2 のようなピンマトリクス全体で対象の断面形状が呈示される.

2.1. 超音波距離センサ

視覚障がい者による事前実験により、センシング範囲は半周、すなわち約 180 度程度あることが望ましいことがわかった. そこで 8 つのセンサを半周に等分に配置し、使用した超音波距離センサ 1 つの検出範囲を調べた. 用いた障害物は直径 6-9cm の道路標識の支柱を模した幅 7 cm の角材である.

実験の結果、障害物がセンサから 0.5m の位置に存在する場合 ±27 度、1m の場合 ±36.5 度、1.5m の場合 ±46 度の範囲の障害物を検知できることがわかった (センサ中心を 0 度とする). つまり隣り合ったセンサの間にはセンシング範囲のオーバーラップがあり、障害物を検出しない死角は存在しないと考えられる. (図 4, 表 1)

また歩行しながら障害物を検知する装置として留意すべきことの一つは、触覚呈示部分に障害物情報が反映される前にユーザが障害物に衝突してしまうことである.

障害物を検知してからピンアレイが反応するまでの時間をハイスピードカメラで確認したところ、約 30ms の遅れがあることが確認できた. つまり視覚障がい者の歩行速度を 0.8m/s と仮定すると[16]、現実世界とピンアレイ上での情報のずれは最大 2.4cm となる. ピンアレイの呈示による距離の最大ずれ量 ($2\text{ m} / 8 = 25\text{cm}$) はこれより大きいので触覚情報提示までの時間遅れによる問題は小さいといえる. なお走査の際に非常に小さい物体を見落とさないという条件のもとでは応答速度はより高速である必要があると考えられるが今回は対象外とした.

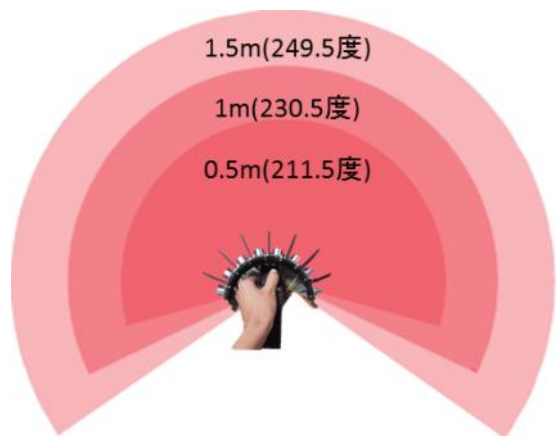


図 4 本装置の検知可能範囲

障害物までの距離[m]	センサ1つ当たりの検知可能角度[度]	全てのセンサを総合した検知可能角度[度]
0.5m	54	211.5
1.0m	73	230.5
1.5m	92	249.5

表 1 超音波距離センサの検知可能範囲

3. 既成品との比較実験

既存の電子歩行補助器具との比較実験を行い、本デバイスの障害物検知能力を検証した。

用いた既製品は K-sonar(Bay Advanced Technologies Ltd)である。この製品は音の周波数、音色、音量の変化でユーザに空間情報を呈示する製品であり、センシングは超音波距離センサ 1 つによる点センシング方式である。

3.1. 実験手続き

被験者は晴眼の男女 6 名とした(男 5 名, 女 1 名, 22 歳~24 歳)。実験者は被験者に K-sonar または本デバイスを渡し、各機器の概要を理解するための練習時間を設けた。この時目の開閉は特に指示せず、被験者が使用方法を十分に理解できたと実験者に報告した後別室の実験環境へと移動した。

実験環境はランダムに障害物を配置したほぼ幅が等しい廊下を使用した。廊下は幅約 1.9m、長さ 8m であった。建物の構造上一部柱が出ている部分があり、その部分のみ廊下の幅は約 1.4m となっている。

実験者はスタート位置に K-sonar か本デバイスいずれかを持った被験者を誘導し、アイマスクを装着させた。その後用意しておいた障害物の配置 6 パターンのうちいずれかのパターンの通り設置し、被験者を各装置でランダムに 3 パターンずつ歩行させた。被験者には障害物にぶつからないように歩行し続けるようにとだけ指示し、被験者がゴールの線を踏んだ瞬間に試行を終了した。ここまですべてを 1 試行とし、被験者がひとつの装置で 3 試行終了後は別室で次の装置の概要を説明し、練習を初回の装置と同様に行わせた。また試行順序によって片方の装置が有利にならないよう被験者の半分は K-sonar、もう半分は本デバイスでの試行を先に行った。実験者はスタートからゴールまで歩ききるまでにかかった時間、障害物への衝突回数、歩行中の挙動を観察し記録した。

K-sonar で 3 試行、本デバイスで 3 試行、被験者一人あたり合計 6 試行を行い最後に内観報告を聞き実験を終了した。実験中の様子を図 5 に、障害物パターンの詳細を図 6 に示す。



図 5 実験中の様子 (手前側がゴール地点)
試作システム(左) K-sonar(右)

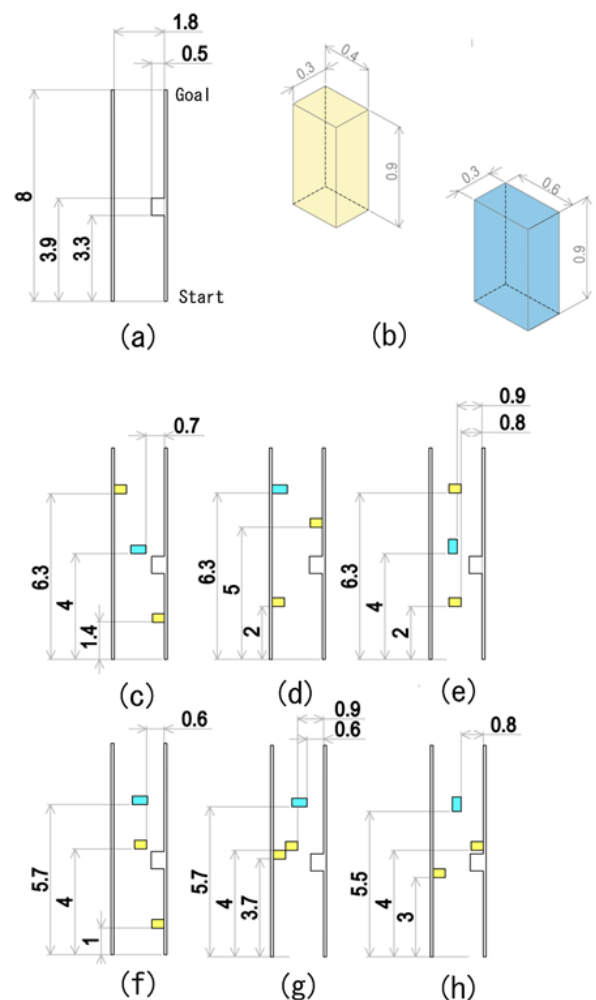


図 6 障害物パターン

(a)障害物のない廊下, (b)障害物寸法,
(c)~(h)障害物パターン.

3.2. 結果と考察

図 7 および図 8 に各被験者の平均歩行時間と障害物への衝突回数を示す。

各被験者の平均歩行時間において有意差は認められなかった (t 検定, $p=0.27$) が, 本デバイスを用いたほうが障害物への衝突回数が減少する結果が見られた。(t 検定, $p=0.02<0.05$)

実験結果から, 本デバイスでは障害物への衝突回数が減少する傾向が見られたためラインセンシングを用いた方がより障害物を発見しやすいと考えられる。内観報告では被験者のうち 5 名が本デバイスの方が障害物を検知しやすいと答えており, 理由として K-sonar の音呈示は音を距離に変換して認識することが困難であること, 常に装置を振り続けなければいけないことが挙げられた。一方本システムでは振動の有無で障害物を検知できること・距離のイメージがしやすいこと, 検知範囲が広いことが検知しやすい理由として挙げられた。

さらに本デバイスは身体の前側に障害物がある場合において最も障害物を検知できたという報告があり, これはラインセンシングの特性が発揮できていた結果であると考えられる。

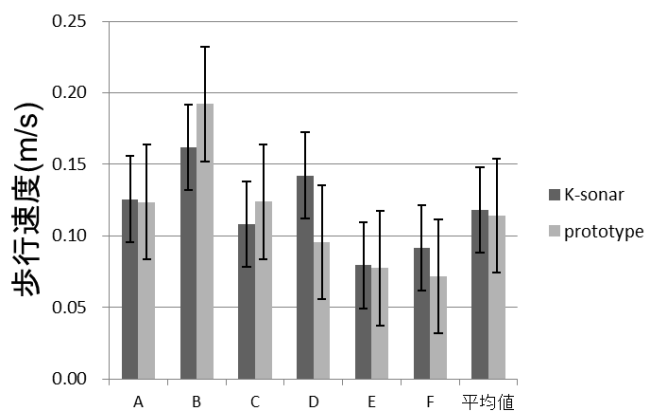


図 7 歩行時間

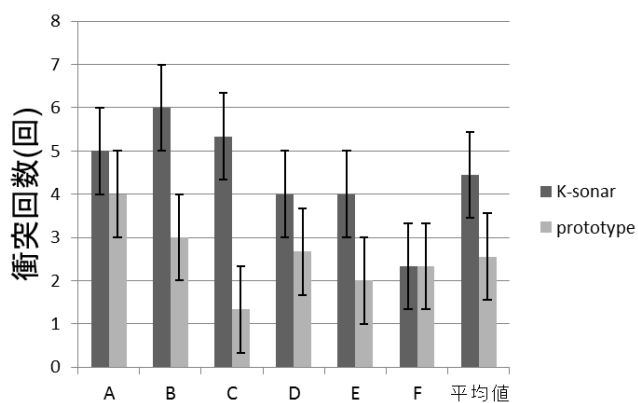


図 8 障害物への平均衝突回数

4. 視覚障がい者へのユーザーテスト

前章の実験結果より本デバイスで障害物の検知を既製品と同等以上に行えることが確認できたため, 視覚障がい者 4 名を被験者としてユーザーテストを実施した (図 9)。被験者の内訳は, 盲暦約 3 年の全盲者 2 名, 盲暦約 50 年の全盲者 1 名, 視野障害と視力障害を併せ持つ半盲者 1 名であった。(男 4 名 50~70 代)

結果, 全ての被験者が屋内における壁や行き止まりや屋外における段差や被験者正面の障害物を検知することができた。しかし理解度に差がみられ, 盲暦 50 年の被験者だけは本デバイスの概念と使用方法の理解に時間がかかり, また納得ができていないようであった。これは本デバイスが周辺環境の断面形状といった呈示方法をとっていたため, 視力を失っている期間が長ければ長いほど断面という概念を理解し難いからではないかと考えられる。よって今後情報を呈示するための手法を検討する必要があると考えられる。

しかし, 視力を失ってからの期間が短いもしくは半盲の視覚障がい者にとっては, 「周辺の環境がわかりやすくなった」「慣れることができれば使用しやすい」「白杖とのハイブリッド化が理想的である」といった感想を得ることができた。



図 9 ユーザーテスト中の様子

段差を本デバイスで確認して歩行する被験者(左)
屋内で本デバイスを用いて歩行する被験者(右)

5. おわりに

本稿では従来の視覚障がい者向け歩行補助製品よりも効率的な周辺環境呈示を行うため, ラインセンシングとピンアレイ式二次元触覚ディスプレイを用いた視覚障がい者補助機器の提案, 製作を行った。

アイマスクをした晴眼者を被験者とし, 製作したデバイスと既成品との比較実験の結果, ラインセンシングを用いた場合障害物への衝突回数が既成品よりも減少する結果が確認でき, 障害物の検知がしやすくなる傾向が示唆された。

比較実験後に行った視覚障がい者へのユーザーテストでは好意的な意見を得ることができ、提案手法の有効性を確認することができた。

今後はセンサ設計から見なおした検知精度の向上や、さらなる小型軽量化、ユーザへの呈示方法の精査が必要であると考えられる。また今回の実験は晴眼者のみを対象とした実験を行ったため、視覚障がい者を用いた定量的な評価を得るための実験を行う必要がある。

文 献

- [1] K-sonar: Bay Advanced Technologies Ltd, 2009.
- [2] Ultra Cane: <http://www.ultracane.com>
- [3] 秋田, 伊藤, 小野, 岡本: CyARM: 非視覚モダリティによる空間認識装置, 情報処理学会論文誌 Vol.46, No.7, pp.1693-1700, 2005.
- [4] Wormald International Sensory Aids, 6140 Horseshoe Bar Rd., Loomis, CA 95650.
- [5] 宮本, 矢野, 岩田: レーザ距離センサを用いた遠隔触知覚システム, 日本バーチャルリアリティ学会第13回大会論文集, pp.111-114, 2008, 9.
- [6] 牧野, 日高, 塩川, 前野, 山内, 岡本, 昆陽: 触覚伝達システムを用いた動物とのインタラクション, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, pp.1A1-C19(1)-1A1-C19(3), 2010.
- [7] C. Shah, M. Bouzit, M. Youssef and L. Vasquez: Evaluation of RU-Netra – Tactile Feedback Navigation System For The Visually Impaired, Virtual Rehabilitation, International Workshop on, p72-77, 2006.
- [8] マイ・ケーン(株式会社 TNK): <http://www.myfavorite.bz/k-tnk/pc/contents11.html>
- [9] C. C. Collins: Tactile Television –Mechanical and Electrical Image Projection, IEEE Transactions on, Man-Machine Systems, Issue 1, Vol. 11, pp.65-71, 1970.
- [10] Kajimoto, H, Kanno, Y and Tachi, S: Forehead Retina System, in Proc. SIGGRAPH '06 ACM SIGGRAPH 2006 Emerging technologies, ISBN: 1-59593-364-6, 2006.
- [11] R. Velázquez1, E. E. Pissaloux1, J. C. Guinot1 and F. Maingreud: Walking Using Touch: Design and Preliminary Prototype of a Non-Invasive ETA for the Visually Impaired, in Proc. 27th Annual International Conference IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Shanghai, China, 2005.
- [12] P. B. L. Meijer: An experimental system for auditory image representations, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 39(2), pp.112-121, 1992.
- [13] 触覚伝達機器の設計支援情報:
<http://www.a.tsukuba-tech.ac.jp/info/kenkyu/kaken/home.html>
- [14] 中村, 栗原, 蜂須, 佐藤, 福嶋, 梶本: ラインセンシングによる近傍環境の触知覚インタフェース, エンターテイメントコンピューティング予稿集, pp.301-308, 2012.
- [15] 神山, 梶本, 市川: 周辺奥行き情報を触覚情報に変換するラインセンシング触覚インタフェース, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, pp.1A1-D04(1)-1A1-D04(2), 2010.
- [16] 知花, 亀谷, 荒木: 模擬経路における視覚障害者の歩行と立ち止まり, 日本建築学会計画系論文集 (606), pp.58-62, 2006.