

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：56302  
 研究種目：基盤研究(C)（一般）  
 研究期間：2019～2021  
 課題番号：19K12886  
 研究課題名（和文）地磁気フィンガープリントと点字ブロックマップを融合した歩行支援システムの開発  
  
 研究課題名（英文）Development of walking assistance system for visually impaired person using geomagnetic finger-print and braille block map  
  
 研究代表者  
 葛目 幸一（Kuzume, Koichi）  
  
 弓削商船高等専門学校・情報工学科・嘱託教授  
  
 研究者番号：80225151  
 交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：GPSが使用できない場所において、視覚障害者の歩行支援を行うことを目的に、下記に示す地磁気を利用したインドナビゲーションシステム（IDNS）の研究開発を行った。視覚障がい者が歩行時に利用する点字ブロック近傍に限定して地磁気を計測することで、地磁気フィンガープリント（GMFP）の作成にかかる労力を大幅に削減し、空間情報マップを容易に作成できるシステムを開発した。「空間情報マップを利用した、視覚障害者のためのIDNS」のプロトタイプを試作し、基本動作を確認した。高機能なIDNSの実現を目指し、警告ブロックを高精度で自動識別する識別アルゴリズムと組み込み機器を開発した。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

視覚障がい者が、単独で、自由に、しかも安全に移動できる社会環境を整備することは喫緊の課題である。視覚障がい者の歩行支援を目的に点字ブロックが広く敷設されているが、点字ブロックの敷設形状やブロックの種別に関する情報は、未だ整備されていない。また、視覚障がい者が、歩行時に特に不安を感じる「駅のプラットフォーム」や「階段・段差」等の空間情報が提供されていないため、歩行経験のない場所での単独歩行は大きなストレスになっている。このような状況を踏まえ、新たなインフラの設置を必要としない「視覚障害者のための地磁気を利用したインドナビゲーション技術」の開発研究は、社会的にも大きな意義がある。

研究成果の概要（英文）：We developed the following indoor navigation system (IDNS) using geomagnetism for visually impaired people in places where GPS cannot be used: (1) Reduction of labor and time required to make the GMFP; (2) Realization of a navigation system with little error in estimated position by utilizing information from braille blocks. (3) Using walking steps measured from users in the GMFP database to significantly reduce search time for similar geomagnetic patterns. (4) Developing an inference system for automatic identification of braille blocks using a 16-ch foot pressure sensor array and Neural Network. To confirm the principal operation of our system, we made a prototype system. As a result, we were able to confirm that our system could estimate self-position in real-time with little error and provide simple navigation for visually impaired people. Moreover, we made a prototype system and confirmed that the system could infer the kinds of braille blocks with high accuracy in real-time.

研究分野：福祉情報工学

キーワード：視覚障害者 点字ブロックマップ 地磁気フィンガープリント インドナビゲーション 多チャンネル圧力センサアレイ 機械学習 自己位置推定

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

視覚障がい者は、歩行中にさまざまな障害物に遭遇し、安全に移動することが困難である。最近ではGPSが発達し、電波障害がないところでは、視覚障がい者を支援することができるが、駅構内や地下街などは電波障害があり、GPSの使用が難しい。こういう場所では、歩行を支援する「インドアナビゲーションシステム(IDNS)」が必要不可欠である。地磁気を利用したIDNSは新たなインフラの設置を必要とせず、優れた自己位置推定能力をもつ。しかしながら、地磁気フィンガープリント(以下GMFPと略す)を作成するのに多大な時間と労力を要し、詳細な幾何的地図も必要になる。更に点字ブロックの種別を自動識別し視覚障害者の歩行支援に活用する技術はIDNSの実現には欠かせないが、未だ開発途上にある。

## 2. 研究の目的

本研究では、まず、①視覚障がい者が歩行時に利用する点字ブロックに限定して、GMFPの作成にかかる労力を大幅に削減できる、点字ブロックの敷設やブロックの種別、階段等の3D空間情報マップを作成するシステムを開発する(図1)。次に②「3D空間情報マップを利用した、視覚障がい者のためのIDNS」を実現する。また③前記システムを実現するために必要な警告ブロックを高精度で自動に識別する識別アルゴリズムと組み込み機器を開発する。

## 3. 研究の方法

### 3.1 点字ブロックマップ上に限定したGMFPの作成システムの開発

本研究で開発した装置のブロック図を図2に示す。開発した装置は、Arduinoマイコンを2個使用し、各Arduinoに地磁気センサ(Rohm社製BM1422AGMV-EVK-001)と歩行ステップ検出用に加速度センサ(Rohm社製KX224-1053)を接続した(図3)。取得した地磁気データと点字ブロック周辺の空間情報はBLEを経由してノートPCに送信し、GMFPを含む3D空間情報マップデータベースを作成した。

### 3.2 3D空間情報マップを利用した、視覚障がい者のためのIDNSの開発

#### (1) 点字ブロック近傍の自己位置推定精度の評価

図4に本研究で提案する自己位置推定アルゴリズムを示す。自己位置推定を行うために時系列データ同士の類似度を測るDTW(Dynamic Time Warping)法を用いる。DTW法はデータ数が大きくなると、計算コストが大きくなるため、1歩歩くごとにDTW処理を行い、処理データ数の削減により、リアルタイムで自己位置推定を行う。また1歩分の地磁気データ数は、歩行者によってばらつきがあるためCubicスプライン補間処理を行うことで地磁気マップデータのデータ数と一致させる。アルゴリズムの概要を下記に説明する。

- ① Arduino1に接続した加速度センサからStep信号(一步、歩行した瞬間に出力される信号)が送信されるまでArduino2では、サンプリング周期30msecで連続して地磁気を取得する。
- ② Arduino2でStep信号を受信すると、それまでに取得した地磁気データとそのデータ数並びにこれまで歩行した歩数を、BLEを経由してPCに送信する。この時、取得した地磁気データ数を $N_s$ とする。
- ③ 歩行者が歩行状態であるかを $N_s$ により判別する。 $N_1 < N_s < N_2$ を満足すれば一步、歩行したと判断し、 $N_s < N_1$ の時は加速度センサのチャタリングの発生、 $N_2 < N_s$ は静止状態とみなす。実験では $N_1=10$ 、 $N_2=35$ とした。
- ④ PCは受信した一步分の地磁気データを地磁気マップにおける一步分のデータ数( $N_{step}$ )と同じになるようにcubicスプライン補間する。歩幅を0.5mとし、 $N_{step}=25$ とした。
- ⑤ 3倍( $3N_{step}$ 個)の長さの地磁気マップデータ間でDTW処理を行い自己位置推定する。DTW処理の結果、DTW距離の最小値が、閾値( $DM=40$ )より小さい場合、一步前の位置に自己位置推定値を加算する。 $D_{min} > DM$ の場合は、ユーザの一步分の平均歩幅( $D_{slide}$ )を加算し、自己位置を更新する。またDTWに極小値が存在しない場合、同様に一步分の平均歩幅を加算する。

点字ブロック近傍の自己位置推定精度の評価実験は、鉄筋コンクリート4階、本校情報工学科棟3階廊下で実施した(図5)。情報棟廊下の全長は約14mで、その中心に点字ブロックが敷設されていると仮定し、ブロック上の地磁気を0.02m間隔で計測し、フロアにある研究室などの空間情報を含んだ地磁気マップDBを作成した。歩行者(晴眼者)は、開発した装置を持って仮想点字ブロック上(またはその近辺)を歩行した。自己位置推定精度の歩行ルートの依存性を評価するために、点字ブロックの中心(O)、点字ブロックから左右0.15m離れた点(A、B)の3カ所と地磁気センサの高さを変えた点(C、D、E)の計6ルートを歩行し、自己位置の推定精度を評価した(図6)。視覚障害者の身長と歩行特性を考慮して、地磁気センサを保持する高さ(0.78m)と左右の歩行幅を変えて実験を行った。また、ステップ検出のための加速度センサはシャツの上ポケットに入れた。歩行距離は12m、歩幅は約0.5mとし、各歩行ルートにつき5回歩行した。なお地磁気センサを保持する高さは、0.78mと1.07mとした。自己位置推定精度は、0.5m間隔でマーキングされた廊

下を歩行し、DTW 処理から得られた推定距離と実際の歩行距離との差を求め評価した。

#### (2) IDNS への適用実験

次に開発したシステムが、どの程度の推定誤差でナビゲーションができるのか、鉄筋コンクリート 4F 建ての商船学科棟 3F で評価実験を行った。廊下の全長は約 46m で、実験(1)と同様に廊下の中心に点字ブロックが敷設していると仮定した。また、新たに地磁気マップを作成するとともに教員の研究室やトイレ等の空間情報を付加した DB を作成した。ナビゲーションは、各目的場所に到達すると機械音声で「〇〇研究室です」と読み上げる簡易的なものとした。

### 3.3 警告ブロックの自動識別アルゴリズムと組み込み機器の開発

視覚障害者が外出時に点字ブロックを認識する際、白杖からの情報だけでなく本システムを組み合わせ、より高精度な識別支援システムを開発する。まず、16ch 圧力センサを作成し、足圧データを取得する。次に、MATLAB を用いて機械学習を行い、機械学習により得られた重み係数をプログラムに組み込み、推論チップを動作させ、識別性能を評価した。研究では、推論チップとして Raspberry Pi4、推論処理の開発言語として Python、機械学習には MATLAB の Neural Pattern Recognition を使用した。機械学習の学習条件を表 1 に示す。圧力センサの感度のばらつきを補正するために、データを取得する際に前もって各センサに対してオフセットを設定した。取得した足圧データを MATLAB で機械学習を行い、重み係数とバイアス値を計算した。これらの値をニューラルネットワークのプログラムに組み込み、推論処理を行なった。また機械学習させる際、事前にスケーリング処理を行った。識別性能は混合行列と Receiver Operating Characteristics (ROC) により評価した。図 7 に点字ブロック自動識別システムのブロック図を示す。

## 4. 実験結果と研究成果

本研究で得られた主な研究成果を項目別に下記にまとめる。

### 4.1 点字ブロックマップ上に限定した GMFP の作成システムの開発

開発した機器を使用して、GMFP データを含んだ空間情報マップの作成結果を図 8 に示す。

点字ブロックを目印に一定の歩幅で歩行し、地磁気を計測したのち Cubic スプライン補間処理を行うことにより高精度の地磁気マップを容易に作成できを確認した。この時の相関係数は、0.96 であった。すなわち、専用の機器を用いることなく、スマートフォンで地磁気センサと空間情報を入力できるアプリを開発すれば、点字ブロック・地磁気マップを容易に作成でき、地磁気マップの作成に要する労力を大幅に削減できる可能性を示した。

### 4.2 3D 空間情報マップを利用した、視覚障がい者のための IDNS の開発

#### (1) 点字ブロック近傍の自己位置推定精度の評価

図 9 は点字ブロック上の点 (0 点と D 点) の推定位置の平均誤差のグラフである。図中に示している平均誤差の棒状の線は各地点におけるエラーバーである。この結果から、平均誤差は、高さによって変化するものの、地磁気センサを保持する高さを変えても点字ブロック上を歩行すれば最大誤差 1.2m 以内で自己位置推定が可能であることがわかる。次に点字ブロックから離れたその他の歩行ルート (A, B, C, E) での平均誤差は約 1m 以内で、0 点とほぼ同程度であった。実験で得た歩行ルート 0, A, B の自己位置推定距離の累積誤差分布を図 10 に示す。歩行ルート 0 と B では累積誤差分布の 90% が 0.7m 以下、歩行ルート A では 1.6m 以下であった。地磁気センサの高さを 1.07m に変えた歩行ルート D と E では累積誤差分布 90% で 0.7m 以内、ルート C では 1.5m 以内であった。以上の結果から、点字ブロックから左側にずれたルート A と C で累積誤差が他の場合と比較して大きいことを確認した。実験で得られた結果より、自己位置推定は、1 歩、歩くごとに DTW 処理を行うことによるリアルタイムで位置推定が可能で、点字ブロック近辺を歩行すれば、1.2m 以内の誤差で自己位置推定ができることがわかった。

#### (2) IDNS への適用実験の結果

先に開発したシステムに音声機能を付加して簡易ナビゲーションシステムを製作し実際にナビゲーションを行った実験結果を図 11 に示す。前もって目的の場所を各部屋の入口ドアの前に設定し、歩行時に実際に音声案内を行った場所を赤丸で示す。実験結果より、推定された目的地との距離の誤差が最大で 1.2m であることから、実際の場所(ドア)より手前、あるいは通過した後には音声案内が流れる場所があったが、約 1.2m 以内の誤差で目的の場所で音声案内ができることを確認した。また DTW 処理においては、後半から DTW エラーの頻度が増加したが、計測した磁場データの補間を行うことで推定位置を修正できることを確認した。さらに距離が長い場合、警告ブロックを起点として地磁気マップデータを分割することで自己位置推定精度が向上し、ナビゲーションの性能も併せて改善できることが期待できる。

### 4.3 警告ブロックの自動識別アルゴリズムと組み込み機器の開発

次に中途視覚障害者向けの点字ブロック自動識別のための足圧センサアレイと推論チップの開発を行った。まず、センサは、低コストでかつ短時間に容易に作成できる必要がある。研究では識別率が低下することなく、安価でメンテナンス性に優れているセンサを開発できた (図 12)。センサの製作時間は約 30 分と短く、コストは、1 セット当たり約 700 円程度と安価なコストで

実現できた。作成したセンサを Raspberry Pi と接続し、データを測定した。測定したデータを MATLAB で機械学習を行った総合識別率は、97.9%と高い性能を持っていることを確認した(図 13)。作成した推論チップを用いて実際にリアルタイムで推論を行えるか実験を行った。実際の推論結果と比較したところ約 90%が正しく行われていたが、地面から足を離す、または地面を踏む直前のパターンが他のパターンと類似しているため推論結果に誤りが発生した(図 14)。対策として推論結果に多数決処理を行う方法を考案し、誤識別を防止した(図 15)。また、多数決処理により遅延が発生するが、通常歩行においては、リアルタイム性に影響を与える程ではなかった。しかし、MATLAB によるシミュレーション結果と比較すると識別性能が劣る結果となった。これは歩行時に足圧のパターンが、学習時のものと異なるためであると考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、地磁気マップと点字ブロックマップを利用することで視覚障害者の歩行支援を実現できることを示すことができた。今後は、図 16 に示すように開発した技術をスマートフォン上で実現し、実証実験を行うことが求められる。

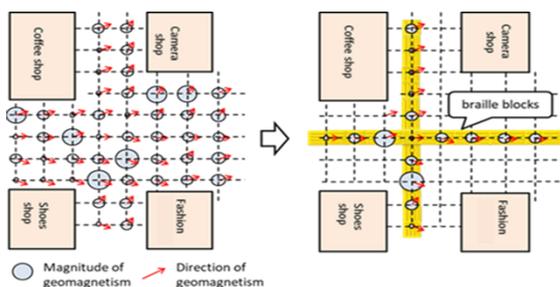


図 1 点字ブロック上に限定した地磁気マップの作成

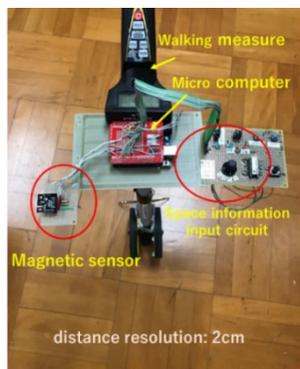


図 3 点字ブロック/地磁気マップ作成システム

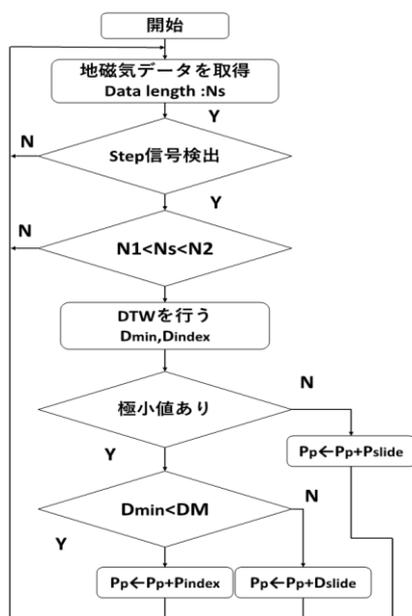


図 4 提案する自己位置推定アルゴリズム

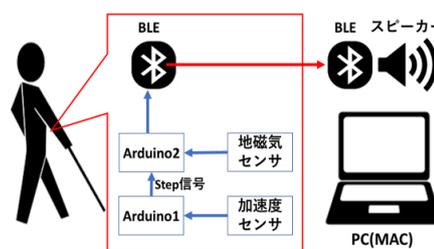


図 2 開発した装置のブロック図

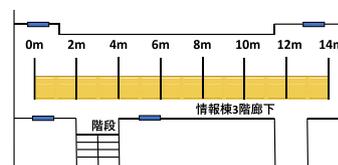


図 5 情報工学科棟 3 階廊下の見取り図

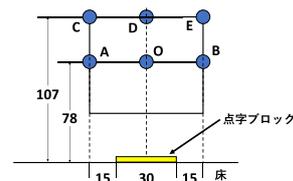


図 6 自己位置推定の評価ルート

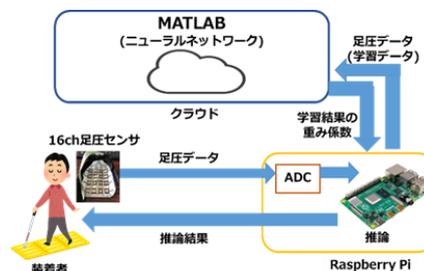


図 7 点字ブロック自動識別システム

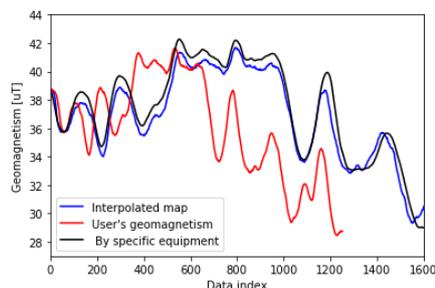


図 8 歩行者が計測した地磁気データからの地磁気マップの作成

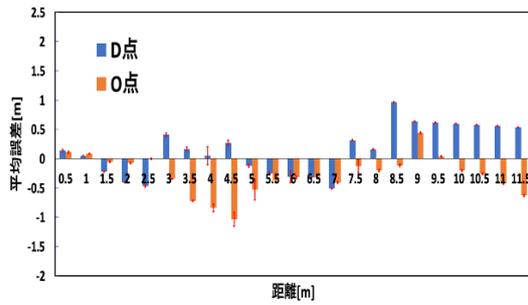


図9 自己位置推定の評価結果 (平均誤差)

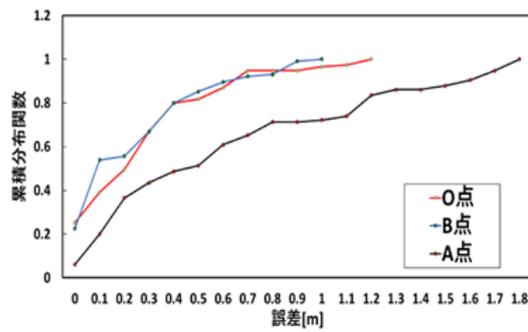


図10 自己位置推定の評価結果 (累積分布)

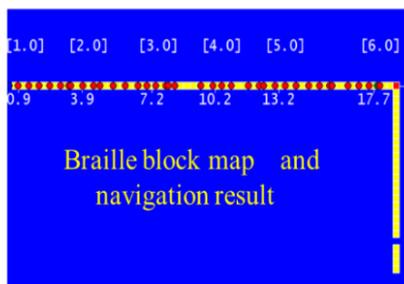
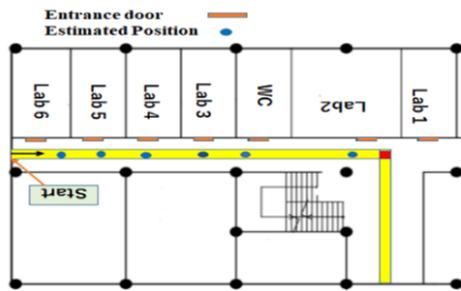


図11 点字ブロックマップとナビゲーション結果

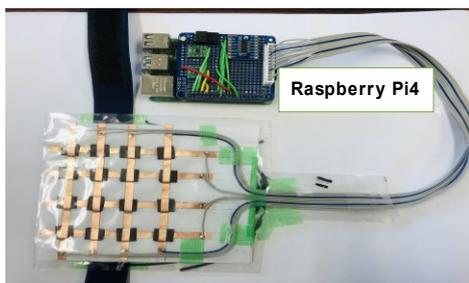


図12 試作した足圧センサアレイとマイコンとの接続

表1 機械学習の学習条件

学習の割合	トレーニングセット	70%
	バリデーションセット	15%
	テストセット	15%
入力層のニューロン数		16
隠れニューロン数		8
出力層のニューロン数		4
隠れ層の数		1

Output Class	1	2	3	4	
1	9394 34.3%	56 0.2%	100 0.4%	39 0.1%	98.0% 2.0%
2	9 0.0%	5731 21.0%	31 0.1%	41 0.1%	98.6% 1.4%
3	51 0.2%	20 0.1%	6026 22.0%	29 0.1%	98.4% 1.6%
4	14 0.1%	76 0.3%	103 0.4%	5633 20.6%	96.7% 3.3%
	99.2% 0.8%	97.4% 2.6%	96.3% 3.7%	98.1% 1.9%	97.9% 2.1%

図13 Matlabによる識別性能評価結果

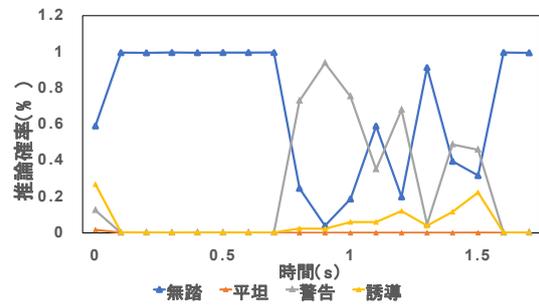


図14 推論結果 (多数決処理なし)

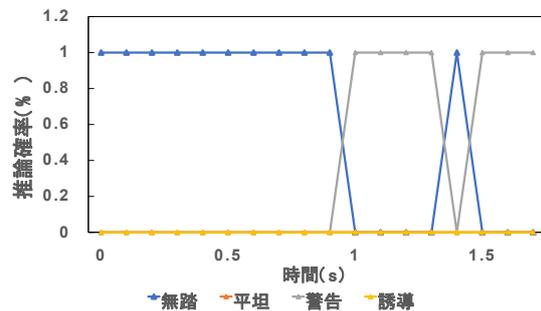


図15 推論結果 (多数決処理あり)

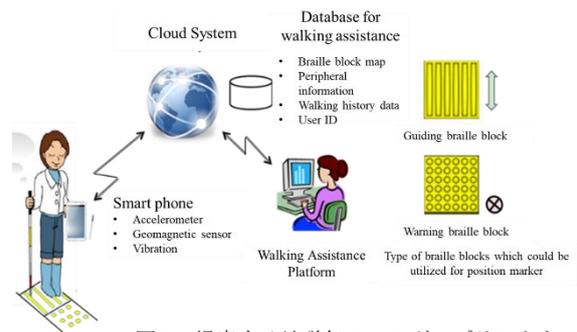


図16 提案する地磁気フィンガープリントを用いた歩行支援システム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kuzume Koichi, Masuda Haruko, Murakami Yudai	4. 巻 1
2. 論文標題 Automatic Identification of Braille Blocks by Neural Network Using Multi-Channel Pressure Sensor Array	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceeding of The Third International Conference on Computational Intelligence and Intelligent Systems (CIIS 2020)	6. 最初と最後の頁 93 99
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3440840.3440858	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koichi Kuzume, Ryosuke Nitta, Tomonari Masuzaki, Haruko Masuda, Hisashi Miyamaru	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of Walking Assistant System for Visually Impaired People Using Geomagnetic Fingerprint and Braille Block Map	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of the 2022 International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE 2022)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICCAE55086.2022.9762426	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koichi Kuzume, Yoshitugu Watanabe, Haruko Masuda, Tomonari Massuzaki	4. 巻 1
2. 論文標題 Inference System for Automatic Identification of Braille Blocks Using a Pressure Sensor Array	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of the 2022 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications	6. 最初と最後の頁 46 49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/PerComWorkshops53856.2022.9767257	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 渡部嘉司 村上雄大 葛目幸一
2. 発表標題 マイクロコンピュータを用いた点字ブロックの自動識別のための推論システムの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新田涼輔 宮丸尚士 葛目幸一
2. 発表標題 点字ブロック地磁気マップと歩行特性を利用した歩行支援システムの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本航平 浜田翔 葛目 幸一
2. 発表標題 点字ブロックマップと地磁気フィンガープリントを用いた歩行支援システムの開発
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮丸尚士 村上雄大 葛目 幸一
2. 発表標題 多チャンネル圧力センサを用いた点字ブロックの自動識別
3. 学会等名 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新田涼輔 葛目幸一 榎田温子 益崎智成
2. 発表標題 地磁気フィンガープリントと点字ブロックマップを利用した歩行支援システムの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会・福祉情報工学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koichi Kuzume, Yoshitugu Watanabe, Haruko Masuda, Tomonari Massuzaki
2. 発表標題 Inference System for Automatic Identification of Braille Blocks Using a Pressure Sensor Array
3. 学会等名 the 2022 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koichi Kuzume, Ryosuke Nitta, Tomonari Masuzaki, Haruko Masuda, Hisashi Miyamaru
2. 発表標題 Development of Walking Assistant System for Visually Impaired People Using Geomagnetic Fingerprint and Braille Block Map
3. 学会等名 the 2022 International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kuzume Koichi, Masuda Haruko, Murakami Yudai
2. 発表標題 Automatic Identification of Braille Blocks by Neural Network Using Multi-Channel Pressure Sensor Array
3. 学会等名 The Third International Conference on Computational Intelligence and Intelligent Systems (CIIS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020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	梶田 温子  (Masuda Haruko)  (30321508)	弓削商船高等専門学校・情報工学科・准教授    (56302)	

6. 研究組織（つづき）

	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	益崎 智成  (Masuzaki Tomonari)  (30779905)	弓削商船高等専門学校・情報工学科・准教授     (56302)	

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