

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 9 月 4 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01557

研究課題名(和文) 視覚障害者のための屋内ナビゲーション装置の開発研究

研究課題名(英文) Development of an indoor navigation system for the visually impaired

研究代表者

牧野 秀夫 (Makino, Hideo)

新潟大学・自然科学系・フェロー

研究者番号：80115071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：公共施設内における視覚障害者のための屋内ナビゲーション装置開発を目的に、天井に設置された可視光通信型照明器具を位置計測用ランドマークとして利用し、スマートフォン内蔵のジャイロセンサと撮影画像を解析することで自己位置と姿勢を求める機能を実現した。さらに、装置を把持した場合の手振れの影響の防止方法を提案した。次に、実用化のために国際学会を通じた啓蒙活動や、案内端末の計算負荷低減とクラウド化のためのモバイルSINET接続実験を実施した。以上、本邦と海外との可視光通信に対する仕様の違いはあるものの、低ビットレート通信を用いた魚眼レンズ付きスマートフォンによる屋内ナビゲーション用測位は可能と考える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義として、スマートフォンによる屋内測位を実現するために、実用面で問題となる2つの問題を解決した。具体的には、1)可視光によるグローバルシャッター方式およびローリングシャッター方式を用いた測位が可能であることを実証。2)サーバとの通信において、セキュリティと動画などの大容量通信を可能とするモバイル直結型SINETの動作環境を確立した。さらに、社会的意義として、初年度で開発したシステムをもとに、太陽電池式BLEビーコンの組み込みといった可視光通信方式と併用できる測位方式の実装方法を検討し、より高精度かつ使い勝手の良い案内システムの開発に貢献した。

研究成果の概要(英文)：In this study, an indoor navigation system for the visually impaired was developed. A visible light communication (VLC) ceiling light was used to support the navigation system as a landmark. Position and orientation sensing were realized using a gyro sensor and the built-in camera in a pedestrian's smartphone. Furthermore, a method was proposed to prevent blurring of the camera image when the pedestrian is holding the smartphone in their hand. To reduce the computational load on the guide terminals, mobile Science Information Network (SINET) connection experiments were conducted and a cloud-based geographic information system (GIS) was created. Demonstrations were presented at international conferences to encourage the practical application of our system. We believe that indoor navigation using a smartphone with a fisheye lens is possible with VLC using low bit-rate communication even though there are differences in the specifications for VLC between Japan and overseas countries.

研究分野：生体情報工学

キーワード：可視光通信 視覚障害者 歩行案内

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

発想の原点 晴眼者は、夜暗くなると電灯をつけ光の情報を得ることができる。また、建物内には照明条件を満足するように照明器具が設置されている。したがって、視覚障害者にとってもこれらの照明器具から周辺の情報を得ることができれば真にユニバーサルなサービス環境を実現することができる。これが、照明器具を位置案内に用いる発想の原点である。さらに照明器具はあらかじめ設置場所と電源が確保されており、ここから可視光通信により情報を発信することは長期間の保守の面からも極めて簡便かつ合理的である。

学術的背景 情報通信媒体として、可視光、特に蛍光灯を通信に利用する方式は、1983年にキヤノン株式会社より出願されているが、現実的なノイズ、光のちらつき、およびコストの点から実現されなかった。これとは別に研究代表者は1995年より発光ダイオードによる音声案内を基本に位置案内の研究を進めていた。(牧野他、1998年赤外線学会誌8巻第1号)。またアメリカでは1998年に視覚障害者利用を含む蛍光灯通信が提案されているが、これも実用的な問題を解決できないため実現されていない。

次に、最近注目されている位置情報サービス (LBS: Location Based Services) に関する背景を述べる。携帯電話の普及により特に屋内における位置情報の重要性が増加したことから、2010年より初の屋内測位・ナビゲーション国際会議 (IPIN2010) がスイスチューリッヒで開催された。研究代表者は、この会議の立ち上げ時より日本側委員として参加し、2011年のポルトガル開催の IPIN2011 も含めプログラム委員を担当した。この会議では約 160 の屋内測位に関する演題が寄せられた。この中でも可視光通信は研究代表者のグループがオリジナルであり、実際にデモンストレーション装置一式を大学院生 2 名とともに日本から持ち込んで実演を行った。また、2015年にカナダで開催された IPIN2015 運営委員会では研究代表者が日本招致委員会を取りまとめ、2017年の IPIN を日本で開催することが決定した(研究代表者が大会長に選出された)。

研究の全体構想と本研究の位置づけを図 1 に示す。

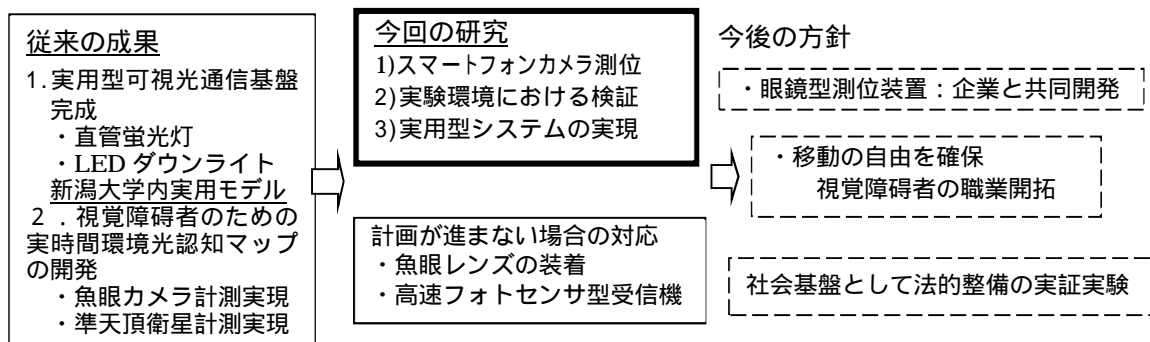


図 1 研究全体構想

### 2. 研究の目的

公共施設内における視覚障害者のための屋内ナビゲーション装置に関する研究開発を行う。ここでは利用者が計測端末を把持し、腕を伸ばして進行方向を指した状態で計測を開始し、ボタンを押すのみで瞬時に自己位置を計測する。そのため、天井に設置された照明器具を位置計測用ランドマークとして利用し、光振幅変調による可視光信号を受信する。すなわち、屋内環境に違和感なく多数配置可能な情報送信型 LED 照明をランドマークとして利用し、計測端末で光信号の受信及び復号を行うことでランドマークを識別する。特に、従来開発してきた広範囲ランドマーク捕捉用の魚眼レンズ装着型高速度カメラを通常のスマートフォンカメラで実現する。すなわち、スマートフォン内蔵のジャイロセンサと撮影画像を解析することで自己位置と姿勢を求め実用性を格段に向上させる。

### 3. 研究の方法

図 2 に研究実施方法を示す。実施順位としては、1) 屋内測位 7 条件を設定。2) 現状の完成度を検証。3) 解決課題厳選。4) 達成目標を設定 とした。また、具体的なタイムスケジュールとしては、最初の 2 年間で受光部の実現ステージ、後半の 1 年が動作ソフトウェアテスト・改良ステージである。

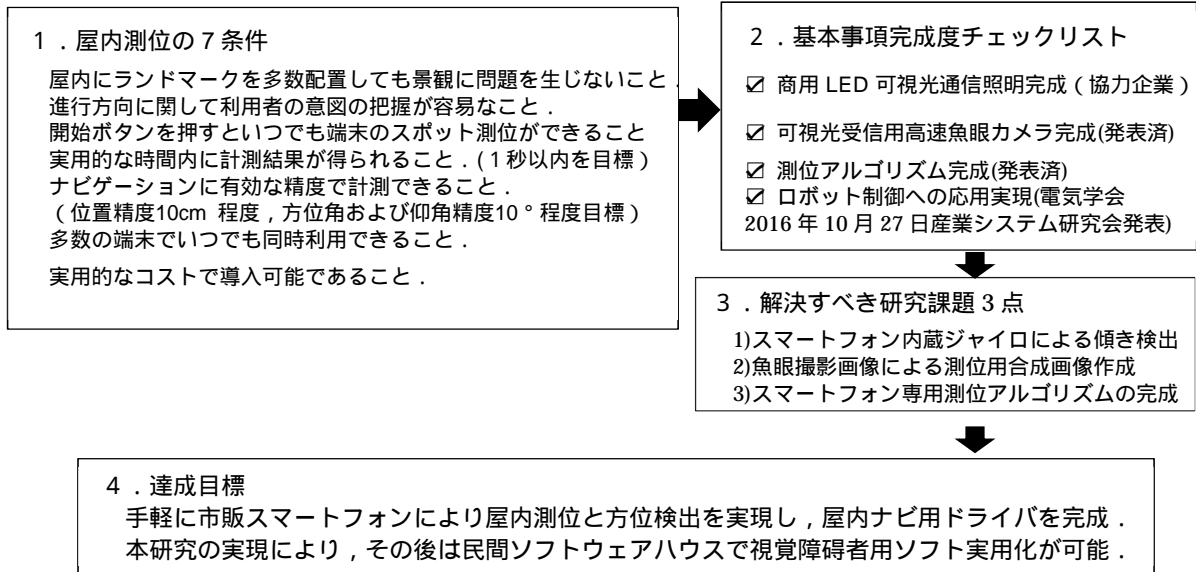


図2 研究実施方法

平成 29 年度：1)スマートフォン型可視光受信機器の設計を重点的に行い、屋内における可視光通信を用いた自己位置特定方法、測位精度向上のための他のセンサとの融合、ならびに画角を等価的に拡大するための基本設計とそのシミュレーションを実施する。並行して、開発する受光器を用いた位置測位アルゴリズムの検討と実際に装置を設置した基礎計測実験を行う。また 2)のスマートフォン用応用ソフトウェア開発については、研究代表者が組織委員を務める国際会議 (IPIN2017)に、ユーザの視点から FAA(アメリカ連邦航空局)の専門家、アメリカ・メイン大学の視覚障害者の教授、オランダのフィリップス社の担当者などをそれぞれ招聘する。これにより、ユーザの視点からソフトウェア開発指針を取りまとめる。

平成 30 年度：限られた開発資金と時間を機能実現に集中し、照明のチラツキを極力低減した可視光通信環境におけるスマートフォン型受信機による方位検出に関する研究を行う。また、実際に視覚障害者が受信機を把持する際の手振れの影響を防止する方策としてジャイロセンサと回転不変位相限定相関法について検討する。以上、研究開始年度後半に開催した国際会議の成果をもとに、平成 30 年度も可視光通信による視覚障害者歩行支援に関する方策と装置開発に関する知見をまとめる。

#### 4. 研究成果

前述のとおり、本研究は最初の2年間が受光部の実現ステージ、後半の1年が動作ソフトウェアテスト・改良ステージである。そのため、全体の成果を年度順に報告する。

平成 29 年度は、ハード面ではスマートフォン型可視光受信器設計に焦点を絞って研究を行った。具体的には、従来開発した LED 照明型通信システムを基に視覚障害者が地下街などの領域を歩行する場合を想定した実時間測位装置を開発した。基本構成としては、ジャイロ計測を併用し能動的に天井照明器具の可視光通信情報をリアルタイムで取り込み、受信範囲を拡張し、単一のイメージセンサを利用しつつ天井を含む広域の画像取得とピンポイントの可視光情報の復号を実現した。学会発表項目は、測位誤差を低減しながら実時間で設定区間を繰り返し移動することのできるロボットの実現、ランドマークとなる照明器具位置の簡易計測方法、スマートフォンの正面ならびに背面カメラの2つを利用した測位範囲の拡大、および時刻同期による BLE(低消費電力型 Bluetooth 発信機)の基礎実験である。図3に正面並びに背面カメラを利用した測位方法を示す。ここでは、通常の正面カメラ画像に加え、床からの反射画像を取られているため、全体の受光範囲が拡大されている。図4は、実験室内における受信状況であり、特に実装型の可視光通信機能を持つ LED 照明から反射光を捉えている様子を示している。図5は測位誤差結果を示したものであり、水平垂直方向に対し、全体の90%で誤差が10cm以下に抑えられている。

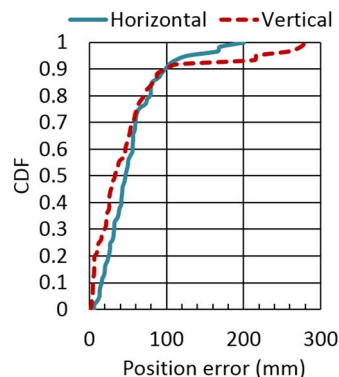
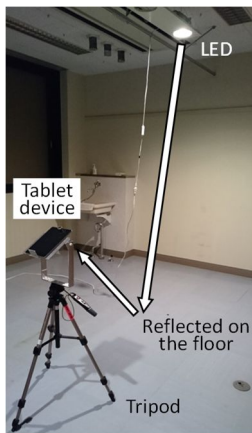
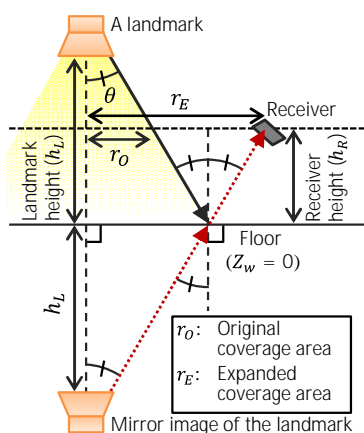


図3 床面反射による範囲拡大 図4 床面反射光の受信 図5 測位誤差

次に、平成 29 年 9 月には札幌において、第 8 回屋内測位・ナビゲーション国際会議 IPIN2017 を開催し(大会長：牧野秀夫・研究代表者)、40 カ国から約 400 名の参加者があった。特にここでは、視覚障害者支援のための屋内測位に関する特別セッションを設け、関連の研究者と装置開発に関する新たな技術ならびに音声案内時に特別に考慮する事項などについて活発な討議が行われた。また、先導的な研究者を海外から招聘することができた。さらに、本研究計画に沿った装置開発を進めるとともに、国際会議開催により視覚障害者用ナビシステムに関するソフトウェア開発の要求仕様をより現実に即した形で取りまとめることができた。一方、上記国際会議で講演ならびに装置デモを行ったフィリップス社の担当者との討議では、可視光通信に関する基本的な部分での我々が開発したシステムとの仕様の違いが明らかとなった(図 6、図 7)。



- ①LED downlights (landmarks)
- ②Camera (hand-held at MP5)
- ③Laptop PC



図6 我々のシステム  
10kHz までの変調に対応

図7 フィリップス社のシステム  
最大 2kHz までの変調に対応

次に、平成 30 年度はハード面ではスマートフォン型可視光受信器による方位検出と測位誤差低減に焦点を絞り研究を行った。まず、屋内での地磁気センサのみによる方位検出では、鉄筋や他の電子機器の影響等で誤差が拡大する。また、画像処理によるランドマーク検出法は、現時点では処理速度ならびに参照用データ取得の問題が残る。そこで、本邦の照明基準を満足する照明器具自体を個々のランドマークとして捉え、その配置から方位を算出する方法を試みた。具体的には、従来開発した LED 照明型通信システムを基に、視覚障害者が地下街などの領域を受光器を把持した状態で歩行する場合を想定した基礎実験を行った。ここでは、日本独自の厳密な照明基準を満足する環境で、低フレームレートのスマートフォンカメラのみによる方位検出を試みた。その結果、計測誤差 10 度以内での方位検出が可能であった(IPIN2018, 図 8)。従って、魚眼レンズを装着したスマートフォンを利用するで、広範囲測位が可能となる。次に、受光器を把持した状態での手振れの影響を防止する方法について検討した。基本構成としては、ジャイロ計測を併用し入力画像に対する回転不変位相限定相関法(RIPOC)を用いた手振れ補正方法を提案した(通信学会大会)。その結果、3m の距離でリアルタイム光源追跡が可能なることを確認した(図 9)。

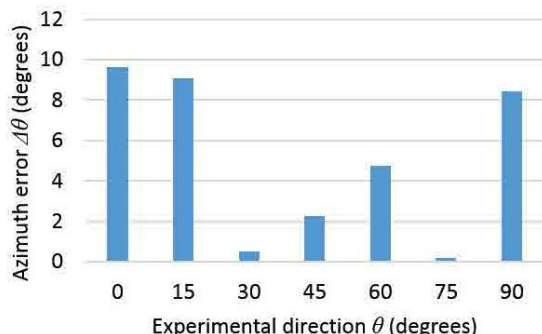
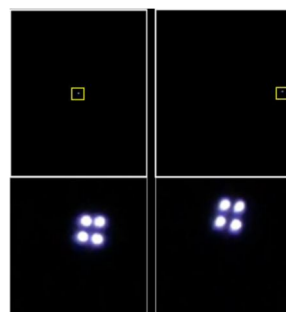


図8 方位検出における誤差  
(平均誤差：4.97°，最大誤差：9.61°)



(a) 初期姿勢 (b) カメラパン後

図9 リアルタイム光源追跡結果  
(上段: 画像全体, 下段: 128×128追跡結果)

次に令和元年度は、本研究の成果をより実用化に近づけるために、海外における関連学会の研究・調査を実施し、イタリア・ピサで開催された IPIN2019 では可視光通信セッションの座長を研究代表者が担当した。実用面でも、国立情報学研究所のモバイル SINET 実験に参加し、案内端末と大学を直結した位置情報転送ならびにクラウド型 GIS への接続も実現した。一方、本来ならば令和元年度末に実証実験を屋内外で行いその成果をもとに論文投稿を行う予定であったが、実施予定地区(札幌市)の閉鎖並びに県外移動の自粛等が重なり、さらに電子情報通信学会大会(令和2年3月予定)も中止となり公の場での実験・討議の場が失われた。そのため、今年度実績としては情報処理学会研究会誌を提示することとし、研究期間終了後の令和2年度も研究を継続し、技術面を中心に査読付き論文誌への投稿を進める予定である。

\*\*\*\*\* 視覚障害者の皆様へ - 進捗状況報告 - \*\*\*\*\*

最後に、視覚障害者のかた向けに、可視光通信による案内方式の進捗状況を説明します。

1)位置案内方法：2019年時点で海外(フランス,中国など)において、可視光通信型照明を用いた測位システムが商用化されています。特に、中国北京市のスーパーマーケットでは大型の買い物カート上部に魚眼レンズ付きタブレット端末を取り付け、商品位置を画面に示すといった機能を持っています。ただ、日本においてはこの方式は導入されていません。大きな理由の一つは可視光通信に関する規格の違いです。日本では、照明器具などに対し可視光通信を追加する場合には、外部の光学機器に対する干渉を考慮して、変調周波数を約10kHzとしています。ただ、この周波数に対し、スマートフォンのカメラで信号を処理することは現状では困難です。一方、海外の方式はスマートフォンのカメラでも検出可能な2kHzの周波数を使っています。従って、特定の倉庫内などでは日本でも導入可能ですが、実質的な可視光照明器具の価格や関連処理システムが割高となるため、普及が遅れている状況です。

次に、可視光通信を汎用照明器具として使用しない場合は、変調周波数を下げたり、発光面積を拡大することができるため、大型ディスプレイを利用したデジタルサイネージと呼ばれる広告画面では、可視光通信により特定の区画向けに案内情報を送信し、信号をスマートフォンで捉えることができます。また、店舗の個別商品を照らすスポット照明などでも利用されていますので、この分野では商用として販売されるようになりました。こうした状況において、今回我々が行った研究は、いずれの方式についても測位精度向上に貢献できます。同時に方位センサからの情報を併用して実質的に可視光通信専用の照明器具設置台数を減らすことができるため全体のコスト低減につながります。同様に、手振れを防止することも測位精度の向上につながります。今後、スマートフォンのカメラ性能も向上すると考えられますので、可視光通信の利用拡大ならびに周囲環境の画像を利用した位置案内は発展していくものと思います。

2)他のセンサとの併用による測位精度の向上：スマートフォンカメラの利用による位置案内が発展する一方で、内部の消費電力は増大します。従って、他のセンサを併用することにより効率的な測位も必要です。そこで、今回の研究を通じて得られた拡張的な技術として、太陽電池式 BLE ピーコンの利用。非可視型 QR コードの作成。2アンテナ式 GPS による屋外測位の研究を進めています。これらの概要は、電子情報通信学会福祉情報工学研究会で発表予定です。また、進展に応じて、感覚代行シンポジウムなどで紹介予定です。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 中澤陽平, 牧野秀夫	4. 巻 2020-CVIM-220
2. 論文標題 グローバルシャッター方式イメージセンサを利用した可視光通信による屋内測位	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yohei Nakazawa, Hideo Makino	4. 巻 9
2. 論文標題 Azimuth Detection Using Flicker-Free visible Light Communication with a Low Frame-Rate camera	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. 2018 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yohei Nakazawa, Hideo Makino, and other 4 authors	4. 巻 E100-A, No.11
2. 論文標題 Precise Indoor Localization Method Using Dual-Facing Cameras on a Smart Device via Visible Light Communication	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Fundamentals	6. 最初と最後の頁 2295-2303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E100.A.2295	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Yohei Nakazawa, Hideo Makino, and other 4 authors	4. 巻 8
2. 論文標題 Visible Light Positioning Using Fisheye Lens and Dual-facing Cameras for Coverage Area Expansion	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. 2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shohei Noda, Yohei Nakazawa, Hideo Makino, Kentaro Nishimori	4. 巻 8
2. 論文標題 VLC positioning error reduction during robot operation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. 2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計14件(うち招待講演 1件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 中澤陽平, 牧野秀夫, 前田義信
2. 発表標題 屋内測位のためのグローバルシャッター型カメラによる可視光信号受信
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 牧野秀夫, 中澤陽平, 前田義信, 井筒 潤, 杉田 暁, 福井弘道
2. 発表標題 準天頂衛星とモバイルSINET を用いたトリアージ情報伝達に関する基礎研究
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 牧野秀夫, 前田義信, 高橋 昌, 中込 悠, 井筒 潤, 杉田 暁, 福井 弘道
2. 発表標題 SINET広域データ収集基盤を利用した医療情報伝達支援システム-装置構成と経過報告
3. 学会等名 第28回地理情報システム学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧野秀夫
2. 発表標題 IPIN2019参加報告及び防災訓練での準天頂衛星活用
3. 学会等名 測位航法学会GPS/GNSSシンポジウム2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中澤陽平, 牧野秀夫
2. 発表標題 視覚障害者ナビゲーションのための可視光通信による屋内測位
3. 学会等名 第63回システム制御学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中澤陽平, 前田義信, 牧野秀夫
2. 発表標題 ジャイロセンサと回転不変位相限定相関法(RIPOC)を用いた可視光測位のための手振れ補正
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村剛一, 谷 健太郎, 前田義信, 牧野秀夫
2. 発表標題 3Dプリンタを使用した視覚障がい者向けの挟み将棋開発の試み
3. 学会等名 第63回システム制御学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 牧野秀夫
2. 発表標題 準天頂衛星による災危通報とIPIN2018報告
3. 学会等名 地理情報システム学会第27回学術研究発表大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原田紘彰, 谷 賢太郎, 神蔵貴久, 前田義信, 牧野秀夫
2. 発表標題 心蘇生法の実施を支援するためのアプリケーションの開発
3. 学会等名 第38回日本生体医工学会甲信越支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 勝木啓介, 牧野秀夫 ほか6名
2. 発表標題 可視光通信による屋内位置案内のための照明器具位置推定方式の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会信学技報, vol. 117, no. 502, WIT2017-85, pp. 163-168, 2018年3月. 信学技報
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木衛, 中澤陽平, 西森健太郎, 前田義信, 牧野秀夫
2. 発表標題 可視光通信を用いた移動体制御のためのパーティクルフィルタによる誤差低減法
3. 学会等名 電子情報通信学会信学技報, vol. 117, no. 337, WIT2017-54, pp. 53-58, 2017年12月
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中澤匠, 若月大輔, 小林真, 西森健太郎, 前田義信, 牧野秀夫
2. 発表標題 視覚障害者歩行案内のためのBLEビーコン動的制御に関する検討
3. 学会等名 信学技報, vol. 117, no. 337, WIT2017-61, pp. 121-126, 2017年12月
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 梅田優樹, 磯西優太, 西森健太郎, 前田義信, 牧野秀夫
2. 発表標題 タブレット端末を用いた遠隔リハビリ支援装置 - UIの改善と対話機能の実現 -
3. 学会等名 電子情報通信学会信学技報, vol. 117, no. 337, WIT2017-64, pp. 137-142, 2017年12月
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 磯西優太, 梅田優樹, 西森健太郎, 前田義信, 牧野秀夫
2. 発表標題 Web-GISを用いたリハビリ患者居住地の標高表示とメッセージ登録機能
3. 学会等名 電子情報通信学会信学技報, vol. 117, no. 337, WIT2017-65, pp. 143-148, 2017年12月
4. 発表年 2017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	前田 義信  (Maeda Yoshinobu)  (90303114)	新潟大学・自然科学系・教授    (13101)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	市川 道教  (Ichikawa Michinori)	ブレインビジョン株式会社・代表取締役	可視光受信用高速度カメラの技術提供
研究協力者	小出 富夫  (Koide Tomio)	クリエイティブシステム開発株式会社・取締役	スマートフォン用ナビソフトの開発協力
研究協力者	中澤 陽平  (Nakazawa Yohei)	高千穂大学・経営学部・助教  (32637)	可視光受信システムの開発
連携研究者	若月 大輔  (Wakatsuki Daisuke)  (50361887)	筑波技術大学・産業技術学部・准教授  (12103)	開発システムに対する応用面からの助言
連携研究者	小林 真  (Kobayashi Makoto)  (60291853)	筑波技術大学・保健科学部・准教授  (12103)	開発システムに対する応用面からの助言