

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16409

研究課題名(和文) 群衆の流れと心理的対人距離を考慮した高齢者の安全安心な歩行案内

研究課題名(英文) Walking support based on consideration of the flow of the crowd and psychological interpersonal distance

研究代表者

村松 聡 (muramatsu, satoshi)

東海大学・情報理工学部・講師

研究者番号：70733385

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、歩行者の移動軌跡を予測し適切な距離で案内誘導することで、高齢者の安全な歩行支援を行う歩行支援機器を開発した。レーザスキャナで測定した周囲の空間情報と画像処理技術を応用することで、群衆内での安定した状態推定を実現し、周囲の歩行者からの視認性や心理的影響を考慮したハードウェア設計を行い、威圧感を与えない支援を実現した。歩行者の移動軌跡を定点観測し、移動軌跡の確率分布モデルであるダイナミクスモデルをポテンシャル場の形で定義、これに基づいた歩行支援機器の誘導を実現した。ロボット特区での実証実験を通じて、システムと今後の課題について検証した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a walking support equipment that supports safe walking support for the elderly by predicting the movement trajectory of the pedestrian and guiding it at an appropriate distance. By applying the surrounding spatial information measured by a laser scanner and image processing technology, we realized a stable state estimation within the crowd and designed a hardware design that takes into consideration visibility and psychological effects from surrounding pedestrians. And realized support that does not give intimidation feeling. We measured the movement trajectory of the pedestrian at fixed points and defined the dynamics model which is the probability distribution model of the movement trajectory in the form of the potential field and realized the guidance of the walking support equipment based on this. Through demonstration experiments in the robot special zone, we examined the system and future tasks.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ロボット工学 医療・福祉

## 1. 研究開始当初の背景

我が国では、高齢者用の手押し車をはじめとした一定の身体能力が残存している人を対象とした歩行支援機器の需要が伸びており、高齢者の増加に伴い今後も需要が急増すると予想される。

しかしながら、従来の歩行器をはじめとした支援機器は残存する身体能力を活用するために使用者の身体能力を補助することのみの重きをおいて研究開発されており、それを実際の生活環境で使用する際の周囲の歩行者などの周辺環境に対する配慮は考慮されていない。このため、使用者である高齢者の周囲の認識力や判断力の低下によって街中の他の歩行者との衝突事故などが懸念される。

この懸念を解消し、街中の群衆内を安全安心に歩行するために、周囲の歩行者と自然な調和をとって行動することが可能な機能が歩行支援機器には必須である。すなわち使用者に代わって方向支援機器が周囲の歩行者の流れを認識・判断することで適切な速度や歩行者間距離を保ちつつ案内誘導する機能が重要であると考えられる。しかしながら現状においては、このように周囲の歩行者と調和をとり安全安心に歩行案内を支援する研究は少ない。

## 2. 研究の目的

他者と適切な距離をとる、群衆の流れにのるといった調和的な行動は、街中の群衆内を安全安心に歩行、移動するために重要な要素である。本研究では群衆の流れ（歩行者の移動経路）を予測し、適切に高齢者を案内誘導する歩行支援機器を実現する。

これより、単に高齢者の低下した歩行能力を補助するだけでなく、周囲の歩行者の行動予測による適切な距離を考慮することで、高齢者がより安全安心に行動できるための手段を提供し、社会参加の促進を目指すための基礎的な技術要素を検証する。

本研究は従来の福祉工学のように使用者の残存能力の補助のみを追求するのではなく、周囲の歩行者の移動パターンを支援機器が周囲に与える心理的影響も考慮するなど、サービス工学および感性工学の観点から研究開発を行う点がこれまでの研究と異なり、本研究で得られた知見は、今後の人間の生活空間で活動するためのシステム開発に活かせるものであると考えられる。

## 3. 研究の方法

本研究は、周囲と自然な調和をとることで安全安心な歩行案内を実現するものである。よって本研究で行う研究内容は以下のものである。

1. 歩行支援機器のハードウェア開発
2. 歩行支援機器の環境内での状態推定
3. 歩行者の移動軌跡予測
4. 移動軌跡に基づいた案内誘導のための歩行支援機器の制御

### 3.1 歩行支援機器のハードウェア開発

項目1では、高齢者などの歩行案内を支援するための歩行支援機器のハードウェアを開発する。想定する舗装された屋外環境において我が国の道路基準（段差高さや斜度、路面材質）を検討し、想定環境において問題なく運用可能なハードウェアの条件（筐体や車輪サイズ、モータの必要トルク、バッテリー容量など）を明らかにする。

この条件を満足し、さらに取り回しの良い操舵構造や周囲から視認されやすくかつ威圧感を与えないデザインを解析し、これに基づく歩行支援機器のハードウェアを作製する。

### 3.2 歩行支援機器の環境内での状態推定

項目2について歩行案内を行うために支援機器を制御するためには、支援機器が群衆内でどのような位置姿勢にあるのかという情報は必要不可欠である。

本項目では、支援機器に搭載したレーザスキャナで観測した周辺の空間形状と画像処理の手法を組み合わせた高速かつ環境内の歩行者などの影響を受けにくい位置姿勢の状態推定手法を開発し、歩行者で混雑した環境でも安定して位置姿勢の推定を実現する。

### 3.3 歩行者の移動軌跡予測

項目3については、歩行支援機器に搭載したレーザスキャナ型の距離センサにより周囲の距離を計測し、ここから歩行者の情報のみを抽出する。

抽出にあたっては実環境で歩行者の情報を大量に計測し、得られた情報から歩行者の特徴（幅や形状など）を検討する。

さらに歩行者の特徴に合致する計測情報をクラスタリングし、個別の歩行者の計測情報に分類する。分類された歩行者の計測情報からその重心位置を計算し、これを歩行支援機器から見た歩行者の相対位置と定義する。

この歩行者の相対位置の変化の様子を実環境にて長期的に定点観測することで、歩行者の流れ方の特徴である、群衆のダイナミクスモデルを生成する。このダイナミクスモデルは、数秒後に歩行者のどの位置に移動するかという確率をポテンシャル場として表現されたもので定義される。

本研究ではレーザスキャナで得られた歩行者の相対の変化から歩行者の移動速度を算出し、これとダイナミクスモデルに基づいて、数秒後の歩行者の移動軌跡の確率場を形成する。これによって群衆内の歩行者の移動予測を行う。

### 3.4 移動軌跡に基づいた案内誘導のための歩行支援機器の制御

項目4については、歩行者との適切な距離を得られるように歩行支援機器の移動経路を計画し制御する。

まず項目3により得られたダイナミクスモデルと歩行者の相対値より、数秒後の歩行者の移動経路に関するポテンシャル場を形成する。歩行支援機器はこのポテンシャル場と使用者が進みたい方向の入力に応じて経路を計画し、誘導方向の重み付けを行う。このとき、搭載されているレーザスキャナにより周辺の壁などの環境中の固定物体との距離に応じてさらに誘導方向の重み付けをする。

本手法においては、この歩行者の移動経路のポテンシャル場と使用者の移動方向に関する重み付けと、レーザスキャナで計測した固定物体との距離に応じた重み付けを重ね合わせたものを最終的な誘導方向の重みとして定義する。

歩行支援機器は、この重みをもっとも高い方向に高齢者など使用者を誘導する。

### 4. 研究成果

ハードウェアの開発においては、限られた空間内でも威圧感を感じることなく人間と共存しているショッピングカートの大きさを参考に、これに準じたサイズに収めることとした。また、その誘導時における最大速度も人間と共存する環境での運用を考慮して、歩行者の歩行速度の平均である時速4kmとした。以下の表に仕様を示す。

表1 歩行支援機器の主な仕様

Size(W × H × D)[m]	0.66 × 1.02 × 0.56
Weight[kg]	30
Wheel Radius[m]	0.1
Max Velocity[km/h]	4
Operating Time[h]	5

歩行支援機器の操舵方式としては、取り回しの良さや旋回性を考慮して、車いすのような独立2輪操舵方式を採用した。

開発したハードウェアの車輪配置としては、溝などの影響でスタックすることがないように確実な接地が保証できる3輪構成を採用し、駆動輪として前方に2輪、受動輪として後方にキャスター1輪を配置した構成となっている。

車輪径やモータトルクについては、我が国の道路仕様を鑑みて、以下のように決定した。歩道における段差高さ5cmを踏破可能とするために車輪径は20cmとする。

歩道の斜度4度の環境において、20kgfで時速4kmを保ったままけん引可能とするため、スプロケットトルク12.1Nm、減速比5、モータ

トルクを101mNmとした。

搭載するセンサについては、周辺の歩行者や障害物を測定するための外界センサとしてレーザスキャナを、ロボットの姿勢や速度を測定するための内界センサとして、9軸MEMSジャイロセンサ、光学式ロータリーエンコーダを搭載しており、周囲の物体や歩行支援機器の状態を把握することが可能である。

周囲の歩行者との調和を図ることは安全な歩行案内を行ううえで重要な要素である。本研究ではハードウェアの作成に際して、周囲の歩行者からの視認性が高く、かつ周囲の歩行者に威圧感を与えないハードウェアの色彩について、心理学および感性工学的なアプローチによる検証を行った。

実環境に存在する車などの色を参考として、赤・オレンジ・黄・緑・水色・青・紫・白・黒・グレーの10色を用意し、これを屋外環境の40cm四方の板に彩色し、5m~15mまで5m刻みで離れた位置から15名の被験者に観察してもらい、その視認しやすさや威圧感の感じやすさを6段階スケールのシェッフェー対比較法で評価した。

結果を図1に示す。

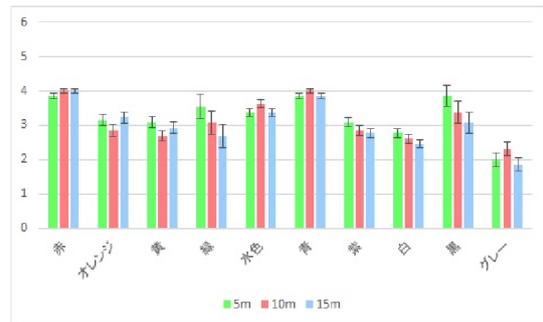


図1 色に関する視認性の感性評価

本結果より、赤・オレンジの暖色系および青色の視認性が高いという結果を得られた。また、色の違いによりどのような印象を抱くかというカラーイメージについて考慮すると、図2に示すような心理的印象を得ることができる。

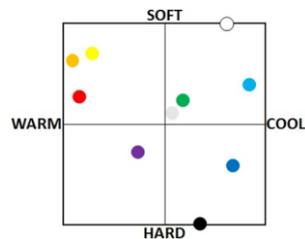


図2 カラーイメージスケール

本結果より、ハードウェアの配色としては視認性が高く温かみがありかつ柔らかい心理的印象が得られるオレンジを採用した。

以上の要素より、作成したハードウェアを図3に示す。

道路仕様や心理的影響を配慮した設計を行うことで、実環境で調和的な歩行案内が可能な歩行支援機器が実現できた。

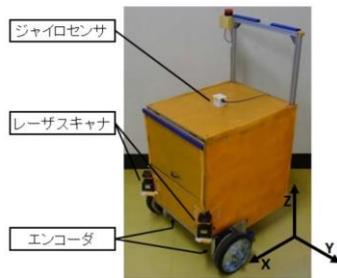


図3 歩行支援機器外観

歩行支援機器が環境内で使用者の歩行案内のための制御を実現するためには、環境内で歩行支援機器がどのような位置姿勢にあるかという情報が不可欠である。

本研究で想定している環境は歩行者やその他移動体の状況が刻一刻と変化する動的環境であるため、安定して位置姿勢を推定することは困難である。

本研究では、外界センサとして搭載したレーザスキャナで計測した空間の情報に基づく推定手法を提案する。本研究では位置姿勢推定における測定情報と環境情報の照合に画像処理のアルゴリズムのひとつである integral images を応用することで、非常に高速な情報照合を実現した。本手法における効果を図4に示す。照合に用いる測定情報のグリッドマップサイズが大きくなるにしたがって、図4青線で示すように計算時間が指数関数的に増大するが、本研究の手法では、グリッドサイズが大きくなっても図4赤線で示すように計算時間の増大が軽微であることが見て取れる。

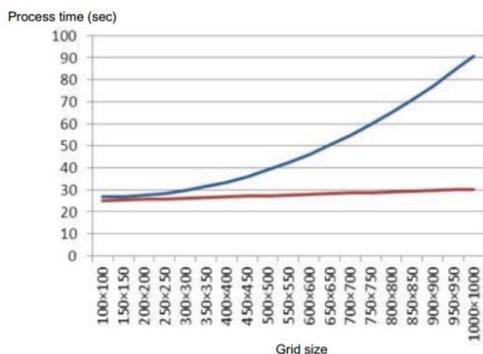


図4 Integral Image による計算時間比較

さらに本手法に基づいて歩行者が存在する環境中で測定したデータに基づいたシミュレーション結果を図5に示す。これより本研究手法は、図5赤線で示すように歩行者などが存在する環境下でも破たんすることなく安定して、位置姿勢を推定できていることが分かる。

以上より、レーザスキャナで計測した周辺空間情報と Integral Image に基づいた未知物体に頑健な位置推定を実現した。

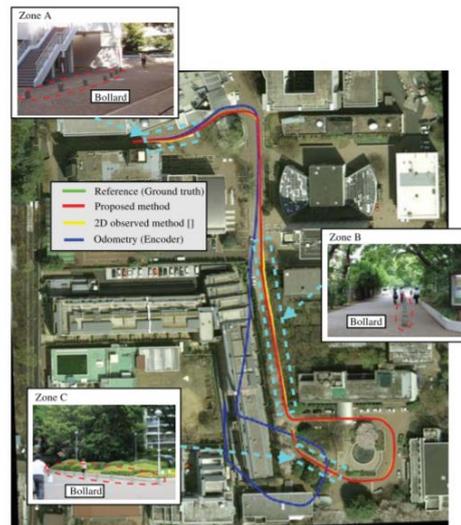


図5 位置姿勢推定のシミュレーション結果

次に学内や公共空間でレーザスキャナおよび全方位カメラを用いて歩行者の移動軌跡の定点観測を行った。



図6 歩行者等の定点観測

レーザスキャナの計測データより、歩行者の特徴として、点群の大きさが  $0,6 \times 0,4$  m 四方の領域に収まるものをフィルタリングすることで、抽出しこれより得られた歩行者をレーザスキャナの測定点群から歩行者の点群の重心を計算する。

得られた重心の座標を歩行支援機器からみた歩行者の相対位置として定義し、この座標の時間変化を歩行者の移動軌跡とする。例として曲がり角における1名分の移動軌跡を抽出した結果を図7に示す。

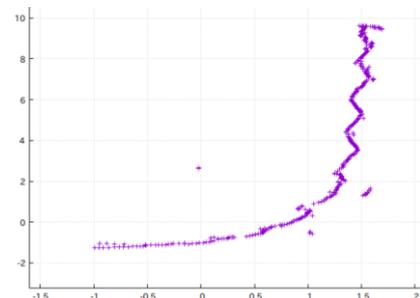


図7 抽出した歩行者1名分の移動軌跡

このようにして観測して得られた歩行者の移動軌跡を多く集め、その数秒間の移動軌跡よりどの位置を通過するという確率分布を解析し、ポテンシャル場として表現することで歩行者の移動軌跡の予測モデルである、ダイナミクスモデルを構築した。構築したモデル例を図8に示す。

これは、歩行者が通過する頻度に応じてポテンシャルが上がるような場を表現しており、ポテンシャルが高いほど歩行支援機器はその場に近づきにくくなるという特徴を持つ。

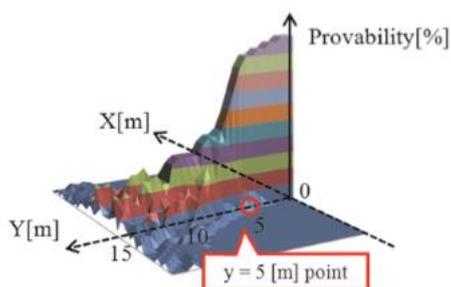


図9 歩行者のダイナミクスモデル

歩行支援機器はこのポテンシャル場と使用者が意図する移動方向を考慮したスコア場を形成することで、スコアが大きくなる方向に移動するように計画される。

さらに周囲の障害物の距離と方向に応じてスコアは変動し、最終的に障害物からおおよび周囲の歩行者と適切な距離を保つような経路に操舵されることで、歩行案内誘導が実現される。歩行案内誘導の結果の一例を図10に示す。

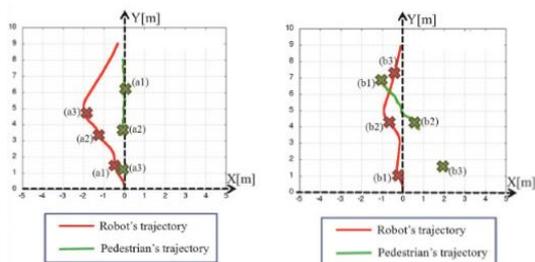


図10 案内誘導結果

これにより、本研究のシステムにより歩行者と適切に距離を取りながら誘導できていることが分かる。

歩行案内誘導のシステムを茨城県つくば市に設定されているロボット特区にて実施された公開実証実験に参画し、その検証を行った。実験の様子を図11に示す。



図11 ロボット特区での実証実験

以上、本研究では周囲の歩行者の移動経路予測モデルであるダイナミクスモデルを構築し、周囲の歩行者と適切な距離を保ちながら案内誘導可能な歩行支援機器のシステムを構築した。構築したシステムを実際の環境で検証し、システムの動作検証および今後の課題の洗い出しを行った。

現状においては、混雑度が高くなると、歩行者の完璧な検出とある程度のリアルタイム性を持った移動軌跡の予測が困難であるため、今後はアルゴリズムの見直しと画像処理におけるディープラーニング等の機械学習手法を適用することで、より高精度な歩行者検出と高速な移動軌跡の予測を実現し、より安全安心な歩行案内誘導の支援技術につなげていきたい。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学術雑誌] (計 1 件)

1. S. muramatsu, T, tomizawa, S. kudoh, T, suehiro, "Mobile robot navigation utilizing the web based aerial images without prior teaching run" Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 29 No. 4 2017 (採録決定)

[学会発表] (計 15 件)

1. 次田凌, 中後大輔, 村松聡, 横田祥, 橋本洋志, "交差点における歩行者の動線解析", 電気学会 次世代産業システム研究会 2017
2. 吉澤孝文, 福井秀尚, 村松聡, "UGV16 つくばチャレンジ参加レポート". つくばチャレンジシンポジウム 2017
3. 西野希, 次田凌, 中後大輔, 村松聡, 横田祥, 橋本洋志, "歩行者と動作環境を考慮した移動ロボットナビゲーション", 計測自動制御学会 SI 部門講演会 2016
4. 豊島敦希, 中後大輔, 村松聡, 横田祥, 橋本洋志, "人に不快感を与えずに自然な歩行者回避を行う自律移動ロボット", 計測自動制御学会 SI 部門講演会 2016
5. S. Muramatsu, S, Higashi, D, Chugo, S. Yokota, H, Hashimoto, "Consideration of the preliminary announcement function for the human friendly service robot", 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society 2016
6. N, Nishino, R. Tsugita, D. Chugo. S. Muramatsu, S. Yokota, H, Hashimoto, "Robot Navigation According to the Characteristics of Pedestrian Flow". 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society 2016

7. 福井秀尚, 吉澤孝文, 村松聡, “人間との共存環境におけるロボットの自律移動ナビゲーション”. 電気学会 次世代産業システム研究会 2016
8. R. Tsugita, D. Chugo, S. Muramatsu, S. Yokota, H. Hashimoto, ” Pedestrian detection and tracking of a mobile robot with multiple 2D laser range scanners” , 9th International Conference on Human System Interaction 2016
9. 次田凌, 中後大輔, 村松聡, 横田祥, 橋本洋志, “複数の 2DLRS を用いた高速歩行者検出および位置追従” 電気学会 次世代産業システム研究会 2016
10. S. Muramatsu, ” Localization technique based on the voxel matching method in a crowded environment” , IEEE International Conference on Industrial Technology 2016
11. T. Kobayashi, D. Chugo, S. Muramatsu, S. Yokota, H. Hashimoto, ” A Driving Assistance for a Powered Wheelchair with a Walking Partner” , IEEE International Conference on Industrial Technology 2016
12. 西野希, 中後大輔, 村松聡, 横田祥, 橋本洋志, “歩行者を考慮した移動ロボットナビゲーション”, 計測自動制御学会 SI 部門講演会 2015
13. 次田凌, 中後大輔, 村松聡, 横田祥, 橋本洋志, “回転型 3DLRS 機構を用いた移動ロボットのための人物探知” 計測自動制御学会 SI 部門講演会 2015
14. 中後大輔, 村松聡, 横田祥, 橋本洋志, “歩行者流動を考慮した電動車いすにおける操作補助システムの開発” 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2015
15. 村松聡, 中後大輔, 横田祥, “高速かつ未知物体に頑健な自己位置推定”, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2015

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

村松 聡 (MURAMATSU SATOSHI)

東海大学 情報理工学部 講師

研究者番号 : 70733385