

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01581

研究課題名（和文）シニアカー自動運転化を目指した生活道路環境マップの仕様の研究

研究課題名（英文）Study on Construction of High Accuracy Point Cloud Map for Mobility Scooter

研究代表者

廣瀬 敏也（Hirose, Toshiya）

芝浦工業大学・工学部・准教授

研究者番号：40419114

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）：自動車の自動運転化が検討され、ドライバの操作が不要な完全な自動運転の実用化が期待されている。自動運転は、高齢者の住宅街での移動を支援するシニアカーでも利用されることが考えられる。しかし、自動車で実用化される技術をそのままシニアカーに適用することは困難であり、自動運転の自己位置推定に必要な生活道路環境マップは、歩道を対象とした場合に異なる性能が要求されるものと考えられる。そこで本研究は、ライダーの計測により構築される高精度マップの精度検証、シニアカーによる自動運転のデモ走行を実施し、シニアカーの自動運転のための生活道路環境マップの仕様について調査を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、センサとアクチュエータ、及び利用者の操作表示系等が一体となったプラットフォームを開発し、それを装着するだけでシニアカーの自動運転化を目指している。すなわち、本研究開発が完了すれば、シニアカーの利用者は容易に自動運転の恩恵を受けることが可能となる。また、普及型の車載カメラとレーザレダによるセンサフュージョンで自車周囲の3次元情報を求め、環境マップの製作を行う。生活道路での3次元情報を含む環境マップは、具体的な標準化の提案がないため、本研究結果を公開して標準化を提案したい。

研究成果の概要（英文）：Automated driving of motor vehicles has been researched, and it is expected that fully automated driving that does not require driver control. Automated driving may also be used in mobility scooters that support the movement of elderly people in residential areas. However, it is difficult to apply automated driving technologies of motor vehicles to the mobility scooters. The self-position estimation of mobility scooters needs the high accuracy of the map of road environments, and the automated driving of mobility scooters requires different performance in targeting sidewalks. Therefore, this study investigated the specifications of the high accuracy environment map for automated driving of mobility scooters, and conducted to verify the accuracy of the constructed map, demonstrated the automated driving of a mobility scooter.

研究分野：ヒューマンマシンインタフェース

キーワード：自動運転 高齢者 障がい者 シニアカー 環境マップ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自動車の安全性の向上を目的とした自動運転化は各国で研究開発が進められ、自動運転は6段階で進展するとの合意(米国自動車技術会 SAE が 2014 年に発行した自動運転の用語集 J3016 で定義)が得られている。この6段階とは、レベル0を手動運転とすると、レベル1が現在普及している自動ブレーキ等の運転支援システム、レベル2が高速道路等の一部限定のシステム、レベル3を車線変更のない状況だけに限定するシステム、レベル4をかなりの部分をドライバーに肩代わりする高度なシステム、レベル5が完全な自動化システムであり、当面、レベル2の実用化が始まっている。

完全な自動化のレベル5は、レベル2、3と下位レベルの技術を基に開発が進められている。そのため、レベル2、3の道交法下の他の自動車等の道路交通環境を対象とした走行技術や障害物の認識技術等が基本となる。レベル2、3から4、5に向かって自動化するためには、これらの技術に加えて、道路環境の3次元情報等を詳細に示す環境マップが必要になる。この環境マップは、まず高速道路が対象となり、次に一般道路のものが開発される。

一方、自動運転技術は、手動運転が困難な高齢者や障がい者への移動手段としても期待できる。高齢者や障がい者が利用するシニアカーや電動車いすのレベル2、3での自動運転化では、自動車の自動運転技術が適用可能である。ところが、それ以上のレベル4、5において、自動車では環境マップが高速道路から一般道路へと開発されるため生活道路は後回しになり、シニアカーのレベル4、5の自動運転化には、自動車用に開発が進む環境マップは意味がない。更に、シニアカーを使用する生活道路環境では歩行者や自転車との共存が前提になるので、自動車向けの走行制御や障害物認識技術はそのまま利用できない。また、シニアカーの自動運転化は高価なものになり、普及の阻害要因になることも懸念される。

2. 研究の目的

近年、自動車の自動運転化が検討され、ドライバーの操作が一切不要な完全な自動運転の実用化が期待されている。しかし、自動運転の実用化は高速道路で走行する自動車から始まって一般道へと展開され、最も自動運転が必要とされる高齢者や障がい者が使用する生活道路では最後になると予想される。また、高齢者の生活道路での移動はシニアカーを利用するため、生活道路の情報がない自動車で実用化される環境マップをそのままシニアカーに適用しても意味がない。そこで本研究は、生活道路でシニアカーを自動運転化するために必要な環境マップ仕様を研究開発提案し、高齢者や障がい者の自動運転利用の早期化を目指す。

本研究は、従来の道路交通環境下の自動運転技術に加えて、歩行者や自転車が混在する生活道路環境下におけるシニアカーの自動運転に必要な環境マップ仕様を研究開発提案し、シニアカーが生活環境下での認識制御技術に加え、シニアカーに必要なHMIとシニアカー利用者の家族とのコミュニケーションを研究開発し、自力でシニアカーを操縦困難な高齢者や障がい者の利用を促進しようとするものである。

まず、普及型の各種センサやアクチュエータをシニアカーに搭載し、自動車が開発された自動走行認識制御技術を応用して、レベル2、3レベルの自動運転が可能なシニアカーの自動運転プラットフォームを開発する。

次に、生活道路環境で出現する各種認識対象(歩行者、自転車、自動車、生活インフラ、住宅等)を自動車用に普及が進む各種環境センサを利用して認識できるようにするアルゴリズムの研究開発を行う。そして、普及型センサで生活環境における3次元情報を推定しながら、マップ製作することに適した仕様を検討して特定区域の環境マップを製作する。これにより、普及型センサで障害物認識と地図製作が生成可能になることを明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は自動運転セットボックスを開発し生活環境下でのシニアカーの自動運転を実現することから、研究全体を①自動運転プラットフォームの製作と環境マップ用のデータ収集、②認識技術の開発の環境マップの製作、③操作表示系の開発と自動運転シニアカー利用の実証実験の3フェーズに分けて実施した。①では、製作したプラットフォームでデータを収集し、それを基にシミュレーション環境を整備した。②では、シミュレータで認識技術を開発しながら環境マップを製作した。③では、操作表示系を開発し、近隣の行政と連携した社会実証実験で効果を評価した。

(1) <平成29年度>

本研究では①データ収集を普及型のカメラとレーザレーダで行うため、これらセンサを搭載した自動運転プラットフォームの製作と、②これらカメラとレーザレーダによる環境データの収集が必要であり、③更にその環境データで生活環境を再現したシミュレーション環境の整備が不可欠である。

①の自動運転プラットフォーム製作では、360°全周囲カメラとレーザレーダをセンサに搭載し、自動車のレベル2、3の認識制御技術を実装するためシニアカーのステアリングやレバーを制御するモータと、操作表示系のディスプレイとコンピュータ、及び各種通信デバイスを取り付けたものを製作した。

②の環境データ収集は、自動走行の生活環境モデルコースで、自動運転プラットフォームに搭

載された 360°全周囲カメラとレーザレーダをシニアカーに備えて走行しながらデータ収集を行った。データ収集位置は GPS で参照し、歩行者や自転車が混在する各種状況が必要なため、同一地点で繰り返しデータ収集を行った。

③のシミュレーション環境整備では、②で収集した環境データで再現した生活環境空間を走行し、次年度以降に開発する認識制御アルゴリズムや操作表示系との整合性を検証するための走行環境を整備した。

(2) <平成 30 年度>

前年度に収集した環境データを基にする認識アルゴリズムの開発、環境マップの製作、及びこれら仕様のシミュレーションでの検証である。前年に取得したデータを基に、歩行者や自転車の移動物の認識と構築した地図の精度検証を行った。そして、精度検証の結果をもとに要求性能を検討してマップの仕様を製作した。また、シミュレーションにて自動運転の認識や制御仕様にフィードバックした。

(3) <平成 31 年度>

ここでは、前年度に開発した認識アルゴリズムを自動運転プラットフォームに実装して動作実験を行う。更に、近隣の行政に提案し、社会実験区域を設定し実証実験を行う。

また、本研究の研究成果は、年 2 回、定期的に業界に向けての発表会で公表した。

4. 研究成果

(1) 高精度 3 次元地図の構築

ここでは、高精度 3 次元地図の構築手法と位置精度の検証について述べる。高精度 3 次元地図は、シニアカーの自動運転において、走行によって刻々と変化するシニアカーの位置（ここでは自己位置という）を推定し、障害物との位置関係をシステムが把握し、障害物との衝突を回避する制御を行う必要がある。この自己位置推定は、センサからの情報をもとにあらかじめ構築している高精度地図とのマッチングをもとに実現され、地図の構築精度により、自己位置推定の精度に影響を及ぼす。よって、実験により、構築した高精度 3 次元地図の精度を検証し、ここではその成果について記載する。

実験は、シニアカーに搭載したライダーにより点群データを計測する。また、道路上の電柱や建物などの障害物となるランドマークとの距離を計測し、構築した 3 次元地図上におけるランドマークまでの距離と実際に計測された距離を比較することで精度検証を行った。測定では、レーザセンサー（Velodyne LiDAR VLP-16）をシニアカーの上部に取り付け、歩道の点群データをスキャンして計測する。図 1 にシニアカーの外観図を示し、図 2 に搭載した LiDAR センサを示す。LiDAR センサは、近赤外線光が対象物に反射して戻るまでの時間から、対象物までの距離を算出する。また、実験中の速度と移動距離を確認するために、シニアカーの後部にロータリーエンコーダを取り付けた。タイヤの回転に応じて、パルス信号が出力され、測定時の速度、移動距離を算出することができる。また、周囲の視覚情報を記録するためにフロントカメラと全方向カメラを利用する。



図 1 シニアカーの外観図



図 2 LiDAR センサ

3 次元地図の構築は、観測した点群データを、Ubuntu 上で ROS (Robot Operating System) を用いて 3 次元の点群データ PCD (Point Cloud Data) に処理する。この作成した 3 次元地図の評価には、自動運転開発ソフトウェアである Autoware にて自己位置推定を行い、システムによって算出されるランドマークまでの距離とレーザ距離計を用いて計測される距離を比較する手法を用いた。結果として、豊洲にて観測した点群データから、Ubuntu 上で Autoware を用いて PCD ファイルに出力することに成功した。図 3 は Autoware にて作成した高精度 3 次元地図を用いて自己位置推定している様子である。建物の輪郭や街路樹が正確に表現されていることがわかる。

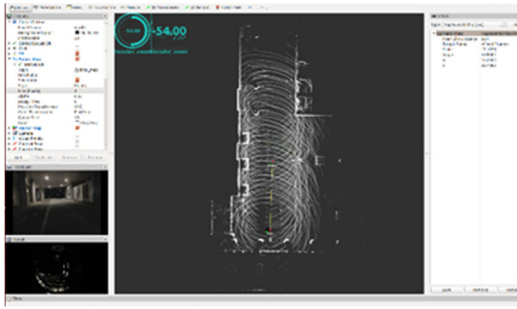


図3 構築した高精度3次元地図

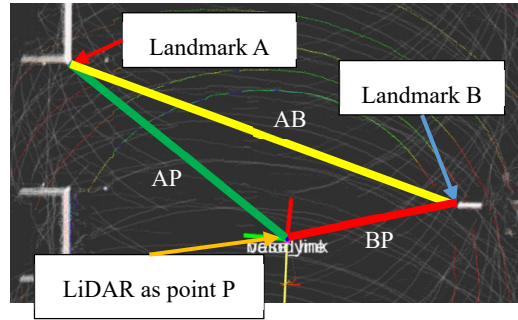


図4 構築した高精度3次元地図

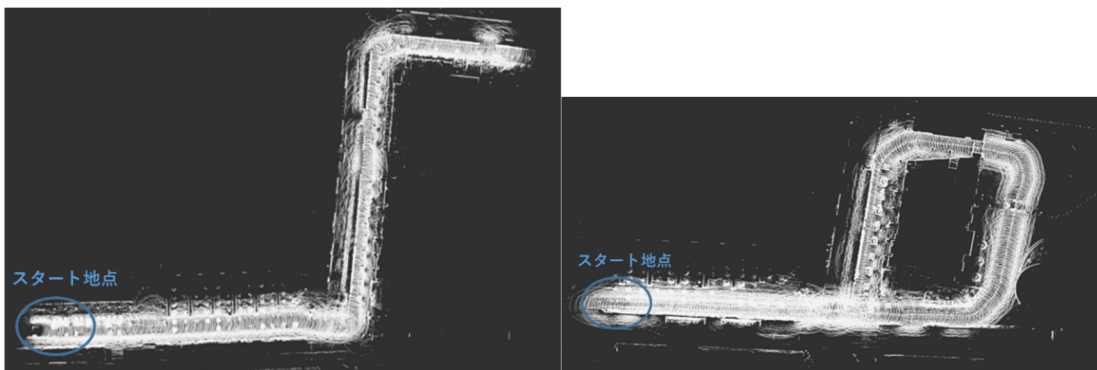
地図の精度を評価する際、点群取得時に電柱やビル壁面等のランドマークを二つ選定し、それぞれに点 A、点 B、LiDAR センサを点 P とした。これらのそれぞれの点の距離の位置関係を図4に示した。そして、システム上で算出された車両の現在位置を ROS の視覚化ツール Rviz を用いて読み取った座標値から算出した。AP, BP, AB の距離をレーザー距離計にて測定した。車両とランドマーク間の距離を比較した。

それぞれの地点における自己位置推定による自車両の位置とレーザー距離計による測定結果を比較して誤差を算出した。その結果、設定したランドマークにおける地図の最大の誤差は-0.1071[m]であった。自動車の自動運転に必要な精度が 10[cm]以内と言われており、構築した地図はそれと同様の精度が得られているものと考えられる。また、誤差の要因として、実験範囲内に横断歩道があり、歩行者や自転車の通行が多かったため、地図の作成に用いる点群の測定時に、歩行者や自転車等の移動体がノイズとして計測されたことが考えられる。また、点群が不一致である箇所がいくつか見られ、これは、LiDAR 自体が車両の動きによってセンサの座標系が振動してしまったことが原因として考えられる。

(2) 社会実証実験

2019年12月7日に芝浦工業大学の豊洲キャンパスにてシニアカーの自動運転の実証実験を行った。実験は、隣接するビルまで自動走行を行うものとして、ビル内を走行しないコースと隣接するビル内を走行するコースを設定し、それぞれのコースの高精度3次元地図を構築して実施した。図5の左図は、ビル内を走行しないコースにおいて、構築した3次元高精度地図を示しており、右図はビル内を走行するコースにおける構築した地図を示している。

社会実証実験の結果、シニアカーの自己位置を決定するためのランドマークとなる障害物等が多くある環境では、自動運転を継続的に行うことが可能であったが、建物内などのランドマークが少ない環境では自己位置の決定ができない場所があった。これには、ライダーの検知性能を向上させることやシニアカーでの自動運転を実施する場合は、あらかじめ想定されるコースにランドマークとなるものを設置し、自己位置推定の精度を向上させることが考えられる。また、障害物の検知性能に関して、自動ドアを検知する距離が遠すぎたために、自動ドアが開かないという問題があり、近距離に接近すると危険を有するために十分な距離を確保したが、速度調整を行いながら接近するなどの更なる制御システムの改善が必要となる。



(a) ビル内を走行しないコース

(b) ビル内を走行するコース

図5 社会実証実験に使用した高精度3次元地図

社会実証実験は、株式会社 IHI の職員の方々に多大なご協力を頂きました。ここの感謝の意を表します。また、道路を所管する江東区、深川警察署の職員の方々には、道路の使用に関しまして多大なご協力を頂きました。ここの感謝の意を表します。

最後に芝浦工業大学では、先進モビリティコンソーシアムの活動を行っており、毎年11月と3月に研究成果の報告会を行っている。本研究の成果も定期的に報告会にて発表を行うことができ、研究計画の当初の目的にもあったように少しでも広く社会に情報発信を行う機会を設けることができたと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yuichi Abe, Toshiya Hirose	4. 巻 1
2. 論文標題 Construction of a High-Accuracy Point Cloud Map for the Automatic Driving of an Electric Wheelchair	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SEATUC journal of science and engineering	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.34436/sjse.1.1_1	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 -

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Linh Tao, Tam Bui, Toshio Ito
2. 発表標題 Modified Iterative Closest Point Matching for 2D LiDAR Laser Data
3. 学会等名 SEATUC 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Muhammad Zulfaqar Azmi, Yuichiro Nakayama, Ryuichi Toya, Masahiro Shikahama, Toshio Ito
2. 発表標題 Modular Controller Box for Autonomous Personal Mobility
3. 学会等名 26th ITS World Conference（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Shikahama, Tao Ngoc Linh, Toshio Ito
2. 発表標題 Object recognition by LiDAR using stochastic resonance
3. 学会等名 26th ITS World Conference（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Shikahama, Toshio Ito, Linh Tao Ngoc
2. 発表標題 OBJECT RECOGNITION BY LIDAR USING STOCHASTIC RESONANCE
3. 学会等名 SEATUC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Muhammad Zulfaqar Azmi, Toshio Ito, Masahiro Shikahama, Ryuichi Toya, Yuichiro Nakayama
2. 発表標題 VEHICLE MODEL FOR 4-WHEELED PERSONAL MOBILITY SCOOTER - AN EXPERIMENTAL STUDY
3. 学会等名 SEATUC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ikumi Asada, Nobuto Matsuhira, Satoshi Okano, Yuichi Abe, Toshiya Hirose, Yuichiro Nakayama, Toshio Ito
2. 発表標題 Development of a Senior Car Following Robot using AR Marker
3. 学会等名 SEATUC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 畑澤佑介, 谷川靖典, 及川昌子, 廣瀬敏也
2. 発表標題 シニアカーの自動運転化に向けた歩道における高精度3次元地図の構築に関する研究
3. 学会等名 自動車技術会関東支部2019年度 学術研究講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鹿濱順弘, 石田泰之, 金子隼, 神山 雄人, 北作雄飛, 阿部晃大, 伊東 敏夫
2. 発表標題 光学センサのための再帰反射材の有効性に関する一考察
3. 学会等名 自動車技術会2019年春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 戸谷瑠一, 小金和樹, 鹿濱順弘, 中山雄一郎, Muhammad Zulfaqar Azmi, 伊東敏夫
2. 発表標題 環境変化を考慮した群衆中での自律移動モビリティの経路計画
3. 学会等名 自動車技術会2019年春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Muhammad Zulfaqar Azmi, Yuichiro Nakayama, Ryuichi Toya, Masahiro Shikahama, Kazuki Kogane, Toshio Ito
2. 発表標題 4-Wheel Senior Car Simple Vehicle Model
3. 学会等名 JSAE annual spring academic conference
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Linh Tao, Tam Bui, Toshio Ito
2. 発表標題 Autonomous Vehicle Localization Using Adaptive Differential Evolution Algorithm on 2D laser sensor
3. 学会等名 JSAE annual spring academic conference
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石田泰之, 伊東敏夫
2. 発表標題 全方位カメラを用いた走行環境認識のための信号機検出に関する研究
3. 学会等名 自動車技術会関東支部2018年度 学術研究講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神山雄人, 戸谷瑠一, 鹿浜順弘, 伊東敏夫
2. 発表標題 自律移動モビリティの外付け制御機構の開発
3. 学会等名 自動車技術会関東支部2018年度 学術研究講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Afifah Agoes, Toshiya Hirose, Toshio Ito
2. 発表標題 Study of the Development of High-Accuracy Digital Mapping for an Automated Driving Setbox
3. 学会等名 ITS World Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuichiro Nakayama, Toshio Ito
2. 発表標題 DEVELOPMENT OF AUTONOMOUS DRIVING SET BOX FOR FOUR WHEEL ELECTRIC VEHICLE
3. 学会等名 ITS World Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuichi Abe, Toshiya Hirose
2. 発表標題 Study on Construction of High Accuracy Point Cloud Map for Automatic Driving of Electric Wheelchair
3. 学会等名 SEATUC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuichiro Nakayama, Toshio Ito
2. 発表標題 Development of automated driving set box
3. 学会等名 SEATUC 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuichiro Nakayama, Toshio Ito
2. 発表標題 DEVELOPMENT OF AUTOMATED DRIVING SET BOX FOR MOBILITY SCOOTER
3. 学会等名 ITS Asia Pacific 2018 Fukuoka (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中山雄一郎, 伊東敏夫
2. 発表標題 2D LiDARとカメラを組み合わせた3次元環境認識に関する研究
3. 学会等名 自動車技術会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鹿濱順弘, 中山雄一郎, 伊東敏夫
2. 発表標題 確率共鳴を用いたLiDARによる物体認識に関する研究
3. 学会等名 自動車技術会2018年春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Panit-a-nong Kulprom, Jittima Varagul, Toshio Ito
2. 発表標題 Reconstruct 3D Model Using 2D LiDAR and Monocular Camera
3. 学会等名 ITS World Congress 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中山雄一郎, 伊東敏夫, Paint-A-Nong Kulprom, 鹿濱順弘
2. 発表標題 自動運転セットボックスの開発に関する研究
3. 学会等名 自動車技術会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鹿濱順弘, 中山雄一郎, 伊東敏夫
2. 発表標題 確率共鳴を用いたLiDARによる物体認識に関する研究
3. 学会等名 自動車技術会関東支部2017年度学術講演会
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	伊東 敏夫 (Ito Toshio) (70707695)	芝浦工業大学・システム理工学部・教授 (32619)	
研究分担者	大倉 典子 (Ohkura Michiko) (00317364)	中央大学・理工学研究所・客員研究員 (32641)	
研究分担者	平川 豊 (Hirakawa Yutaka) (90407221)	芝浦工業大学・工学部・教授 (32619)	