

# 信州大学工学部キャンパス案内ロボットののための自律走行システムの構築

○古山 真人(信州大学大学院), 下田 真宙, 山崎 公俊(信州大学), 原 祥堯, 坪内 孝司(筑波大学)

要旨 信州大学工学部キャンパス案内ロボットに必要な自律走行システムを提案する。キャンパス内を自律的に移動するためには、走行環境の把握や障害物を避けるなどの課題がある。本研究では、地図生成、自己位置推定、経路計画、障害物回避の機能をロボットに搭載させることで、目的地を与え自律的に走行できるようにした。本稿では、実際に機械システム工学科南棟正面口から管理棟までの自律走行実験を行った結果を報告する。

キーワード：自律移動ロボット，ナビゲーション，障害物回避，SLAM

## 1. 緒言

屋外環境で人にサービスをするロボットは、環境把握など様々な機能が要求される。特に大学構内など広い範囲でサービスを行うロボットには、持続的に移動できることが不可欠である。すなわち、対象とする環境で自律的に様々な場所に移動できる機能が必要である。

本研究の目的は、信州大学工学部キャンパス案内ロボットのための自律走行システムの構築である。工学部キャンパスは広い範囲での移動が要求され、よく人が施設間を行き来する。このような実環境で安全に自律走行するためには、いくつかの課題を考慮する必要がある。例えば、目的地を把握する、走行経路を決定する、人や歩行者などの障害物を避けるなどがある。また、実環境では様々な走行失敗の要因が存在し、それらへの対処が必要である。例えば、ロボットが乗り越えられない段差を検出することや、植込みなどの不適切な場所を走行経路に選ばないなどが必要である。

これらの課題を考慮して、本研究では地図生成機能、自己位置推定機能、経路計画機能、障害物回避機能を用いる<sup>(1)</sup>。これらをそろえ、適切に連携させることにより、現在位置から目的位置まで自律移動する自律走行システムを構築する。本稿では、これまでに構築したロボットシステム、達成した自律走行、実験を通して明らかになった問題点とその対処案を報告する。

## 2. 研究のアプローチ

走行課題として、機械システム工学科南棟の正面口をスタート地点とし、管理棟を目的地とした自律走行を行う。この実現に必要な要素は主に以下の4つである<sup>(2)</sup>。

- (1) **地図生成**：目的地への走行を実現するには、対象環境の地図をあらかじめ生成しておき、ロボットに与えておく必要がある。このため、建物などの環境構造物をレーザ距離計によって水平計測し、その計測データをつなぎ合わせることで、環境地図を得る。
- (2) **自己位置推定**：(1)で生成した地図を利用し、ロボットが現在どの位置を走行中であるかを常に把握する。
- (3) **目的地と経由点の設定**：目的地の設定は、地図上に方向付き座標を指定することで行う。なお、管理棟へ至るための経路はいくつか存在するが、本研究では、地図上に複数の経由点を設定し、自動車の通りが比較的少ない経路を手手で定めておくこととする。
- (4) **障害物回避**：走行時に遭遇する歩行者などの存在は、走行に妨げになるので避ける必要がある。このため、経由点を迂回するための走行とは別に、ロボットに障害物回避機能を搭載し、その場で対応させる。

## 3. 自律走行機能

図1に、自律走行のためのシステム構成図を示す。以下では図中(1)～(4)について説明する。

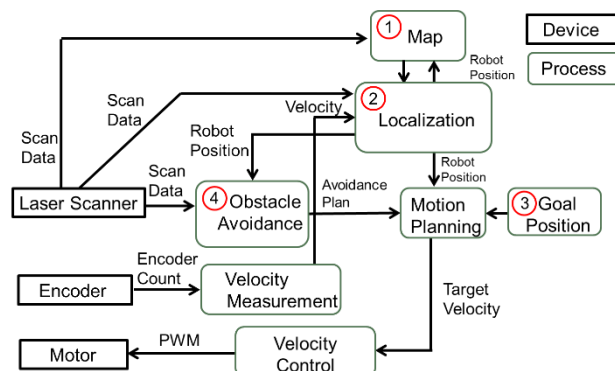


Fig.1 The system configuration

### 3.1. 地図生成(図1, (1))

地図作成には、SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)と呼ばれる環境形状復元と自己位置推定を同時に行う手法を用いる。すなわち、ある地点でレーザ距離計による計測を行い、そこから少し移動して次の計測を行う。これらの計測データで重複した部分を見つけ、二つのデータをつなぎ合わせることで、地図の拡張を行う。このとき、ロボットのオドメトリ(車輪回転数の累積値に基づく車体の位置推定手法)を用いて処理をロバスト化する。これらの繰り返しのよって広範囲での地図を得る。生成された地図は、走行可能領域、障害物の存在領域、未知領域が色分けされた画像データとして保存しておく。

工学部キャンパスでの地図の生成は次のように行った。まず、工学部キャンパスでロボットを手動で走行させた。このとき、オドメトリとレーザ距離計のデータを0.05[s]ごとに記録した。そして、記録したデータを用いて、上述の手法によりオフラインで地図を生成した。

### 3.2. 自己位置推定(図1, (2))

ロボットの現在位置は、レーザ距離計で取得した現在の計測データを、地図に当てはめることで推定する。図2は、推定結果の一例を示している。レーザ距離計から得られるデータを、地図と一致するように収束計算がなされる。矢印はパーティクルフィルタ<sup>(3)</sup>によって確率的に表現されたロボットの現在位置の候補である。

### 3.3. 目的地とサブゴールの設定(図1, (3))

目的地は、地図上に方向付き座標として与える。地図作成開始時のロボットの初期位置が原点として、目的位置の座標(x,y)と方向 $\theta$ を設定する。また、2章(3)で述べたように、いくつかの経由点を追加して、大まかな走行経路を指定する。図3の右図は2章(1)で述べた地図である。矢印でつながれた線はスタート地点が機械システム工学科南棟の正面口、目的地を管理棟とした四つの経由点を通る走行経路である。なお、地点間の経路はA\*アルゴリズムに従い算出した最短経路である。

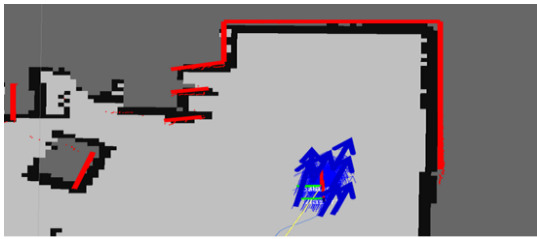


Fig.2 A result of localization by means of scan matching

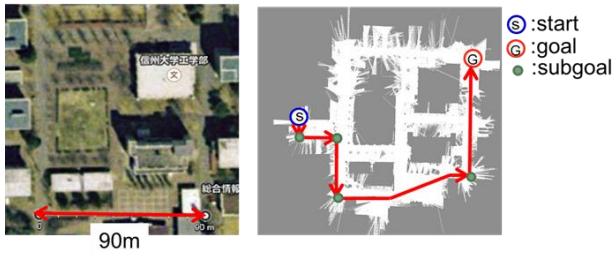


Fig.3 Campus map and given sub-goal to reach Kanri bulding

### 3.4. 障害物回避 (図1, (4))

障害物回避は、人が存在する環境下でロボットが安全に走行するために必要である。そこで、Dynamic Window Approach法<sup>(4)</sup>を適用する。この手法では、レーザ距離計により前方の障害物を検出し、回避するための車体の速度と角速度をその場で生成する。すなわち、目的地までの移動のために、原則的には経路点を辿ることを必要とするものの、各経路点の間では、障害物回避手法の出力結果を優先して走行する。これにより、未知の障害物に柔軟に対応できる自律移動を実現する。

### 4. 実験手法

図4に示す移動ロボットを用いて、機械システム工学科南棟正面口から管理棟までの自律走行実験を行った。経路点は図3の右図の通りに四点に設定した。ロボットの走行中は、人手による動作指令は一切与えなかった。車両の最高速度は、経路点や目的地で停止できるように100[mm/s]に設定した。

### 5. 結果と考察

四つの経路点を通過して目的地まで約25分に到達することができた。経路点を与えることにより、自動車の通りの少ない走行経路に絞ることができ、草むらでの走行や段差を乗り越えるなどの走行しづらい経路を避けることができた。しかし、マンホール設置部分などの段差がある場所の走行時に、乗り越えに失敗して走行不能になることがあった。また、管理棟付近の走行経路には、図5の右図のように段差を乗り越えて走行してしまう場所があり、ロボットに手を加えなければならない場合があった。

また障害物回避においては、図5の中央図のように円柱形の車止めに対する障害物回避を行ったとき、自己位置の推定誤差が大きくなり、その回復に時間を要した。

今後の自律走行の課題は、大きく分けて二つある。一つは段差の検出・回避である。これには、ロボット上部に設置したレーザ距離計を地面方向に向けて計測を行うことで、段差の検出を行う方針である。もう一つは、自己位置の推

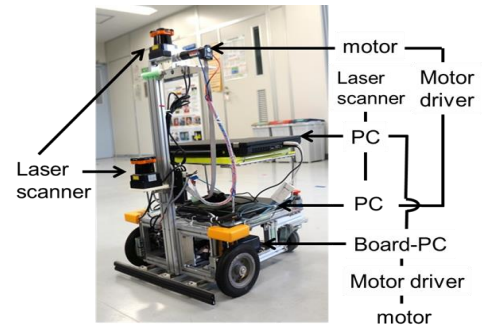


Fig.4 A mobile platform.



Fig.5 Driving experiment

定誤差が大きくなったときの対処方法である。主たる要因として、前方向のレーザ距離計のみを利用する場合に、障害物が目の前にあると周囲の環境情報がほとんど取得できないことが考えられる。また、現在は後方の障害物に対して対処ができない。これらより、複数のレーザ距離計をロボットの前後に搭載して、計測範囲を増やす方針である。

### 6. 結言

信州大学工学キャンパス案内ロボットの実現のため、自律走行のためのシステムを構築し、自律走行実験をおこなった。段差回避などの課題はあるが、目的地までの自律走行できることが確認できた。今後の課題は段差回避や自己位置推定の補正であり、これらの課題に対する方針を述べた。

### 参考文献

- (1) 石岡淳之 “屋内外に渡ってキャンパス人間を誘導するキャンパスガイドロボットの開発” 平成18年度 筑波大学 大学院 博士課程 システム情報工学研究科 修士論文
- (2) Creative Commons (2013) 「navigation-ROS wiki」 <<http://wiki.ros.org/navigation>> (2014/7/1)
- (3) 原 祥堯 “測域センサの受光強度付きスキャンデータを用いたパーティクルフィルタによる広域 SLAM” SI2013
- (4) Cyrill, S. and Wolfram B. “An Intergrated Approach to Goal-directed Obstacle Avoidance under Dynamic Constraints for Dynamic Enviroments”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 1, (2002), pp.508-513.