

自律走行可能なロボットの制御手法の開発（第3報）

中込広幸・布施嘉裕・保坂秀彦・宮本博永・中村卓・米山陽・小谷信司・横塚将志*1・神村明哉*1・渡辺寛望*2・丹沢勉*2

Development of Crawler Robot System for Autonomous Mapping (3rd Report)

Hiroyuki NAKAGOMI, Yoshihiro FUSE, Hidehiko HOSAKA, Hironaga MIYAMOTO, Takashi NAKAMURA, Akira YONEYAMA, Shinji KOTANI, Masashi YOKOTSUKA*1, Akiya KAMIMURA*1, Hiromi WATANABE*2 and Tsutomu TANZAWA*2

要 約

県内中小企業のロボット試作開発支援のため、ロボットの設計・制御・自己位置推定に関するノウハウの蓄積及び技術移転が容易な自律走行システムの開発が求められている。本研究では、クローラ型ロボットの自律移動を実現することを目的として開発に取り組み、技術移転・自社アプリケーションへの適用が容易な高汎用性プラットフォームとして、Y-CRoSAM (Yamanashi – Crawler Robot System for Autonomous Mapping) を開発した。本報では、Y-CRoSAMにレーザレンジファインダ及び汎用ロボット用ミドルウェアである ROS (Robot Operating System) を用いて、あらかじめ作成された地図と経路から自律移動を行う機能を開発し、様々な接地面における性能評価を行った。その結果、設定した目的地までの自律移動が可能であることを確認した。

1. 緒 言

県内では、半導体製造装置、産業用ロボットの製品開発分野において、高度な技術力と製造実績を持つ企業が多く存在している。これら企業のうち一部では、新たな市場開拓のため自律移動ロボット製品の開発を検討している。県内中小企業がクローラ型ロボットを開発するためには、その特性を考慮した設計、特に路面の摩擦変化と滑りを考慮した移動制御や、非接触センサを用いた自己位置推定手法などが必要となる。しかし、技術・期間・資金ともに余裕のない中小企業においてゼロからの開発は難しく、クローラ型ロボットの設計・制御・自己位置推定に関するノウハウの提供が求められている。

そこで本研究では、技術移転・自社アプリケーションへの適用が容易な汎用プラットフォーム（クローラ型ロボット）を試作し、接地面との滑りに影響されない自己位置推定手法を開発する。また、本手法では対応が難しい非接触センサの測定誤差を補正するため、接地面の滑りを考慮した制御手法についても併せて検討する。これらについて、その有用性を評価するとともに、自律移動の実現に取り組む。

2. ハードウェア構成

開発したクローラ型ロボットを図 1 に示す。本ロボットを“Y-CRoSAM” (Yamanashi–Crawler Robot System



図 1 クローラ型ロボット“Y-CRoSAM”。

for Autonomous Mapping) と命名した。なお、ロボットは、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、産総研とする）の研究成果である DIR-3 をベースに開発した¹⁾。

Y-CRoSAM の仕様については第 1 報²⁾のとおりである。さらに、本報では Y-CRoSAM の車体より高い段差の走破が可能となるよう、産総研の技術¹⁾を基に段差乗り越えのためのコの字型アーム及びそれを駆動させる小型 DC モータ制御基板を開発し、クローラ型ロボット Y-CRoSAM に搭載した。これにより、Y-CRoSAM は通常のクローラ型ロボットでは乗り越える事の出来ない段差についてもアームを用いた乗り越えが可能となっている。アームの先端にはオムニホイールが取り付けられており、アームにより車体を傾けた状態での走行が可能である。各種処理のため、NVIDIA 製組み込みコンピ

*1 国立研究開発法人産業技術総合研究所

*2 国立大学法人山梨大学

ュータ Jetson TX1 を採用した。センサとして、レーザレンジファインダ（北陽電機製 UHG-08LX），IMU（SparkFun Electronics 製 9DOF Razor），ロータリエンコーダ（車軸に搭載）を使用した。

3. ソフトウェア構成

開発した自律移動システムのソフトウェア構成及びその機能は次の (a) ~ (e) のとおりである。

(a) O.S.とミドルウェア

コンピュータのO.S.には、Linux for Tegraを用いている。また、ロボット用ミドルウェア ROS (Robot Operating System) ³⁾を採用し、自律移動に関するさまざまな処理を実現する。

(b) 地図作成

地図を作成するため、自己位置推定と環境地図作成を同時に行う手法である SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を導入する。ROS にて利用可能な SLAM パッケージ hector_slam ⁴⁾を利用し、レーザレンジファインダの出力値から、2次元の占有格子地図を作成し、自己位置推定・移動経路設計に利用する。

(c) オドメトリの算出

第2報 ⁵⁾にて開発した IMU による姿勢推定手法及び車軸エンコーダを利用したデッドレコニングによる並進量推定を用いて、ロボットのオドメトリを算出する。

(d) パーティクルフィルタによる自己位置推定

第2報 ⁵⁾にて導入した ROS のパーティクルフィルタパッケージ AMCL ⁶⁾を導入し、事前作成した地図におけるロボットの自己位置を推定する。

(e) 経路生成及び経路に沿った走行制御

ユーザによりウェイポイントを指定する。ウェイポイント間の経路は、第2報 ⁵⁾にて導入した ROS 自律走行用パッケージ navigation_2d ⁷⁾により求め、目標経路として事前に作成する。目標経路と 3-4 により得られる自己位置から、経路に沿うようにロボットの目標速度・角速度指令が出力される。

4. 評価

4-1 試験の趣旨

前述したハードウェア構成とソフトウェア構成による Y-CRoSAM の評価を、目的地までの到達可能性を検証することにより行うこととした。

4-2 試験環境

次の3種類の路面を選定し、試験を行った。

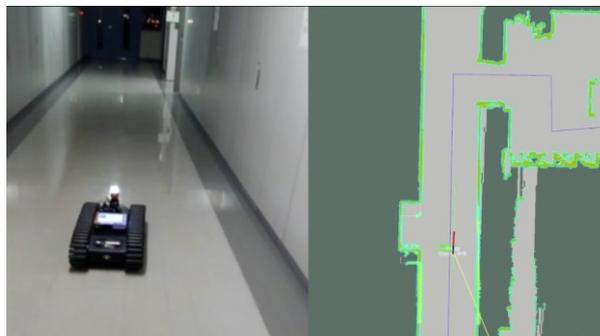
- (1) リノリウム材面（一般社屋 屋内及び廊下）
- (2) カーペット面
- (3) コンクリート面

4-3 試験環境 (1) における自律移動実験

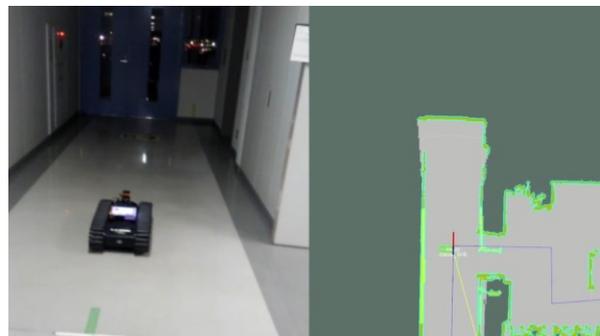
試験環境 (1) において、Y-CRoSAM の自律走行を行った。地図情報と目標経路を図2右図に、ロボットの周辺環境を図2左図に示す。なお、ナビゲーション画面上の黒線は、ユーザが指定した経路を示している。



(a) 自律移動開始時



(b) 廊下での自律走行時



(c) 最も推定位置に誤差が生じた箇所



(d) 自律移動終了時

図2 試験環境 (1) における自律移動時に撮影したロボットの周辺写真 (左図) 及び撮影時のナビゲーション画面 (右図)

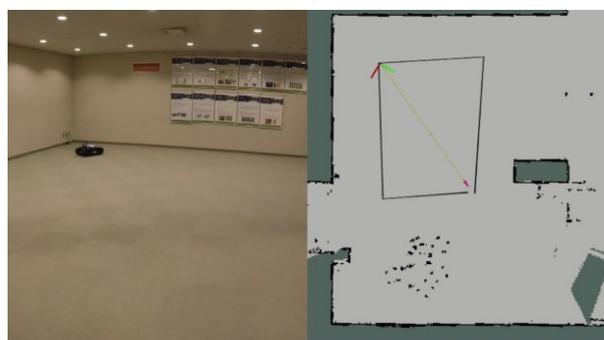
本環境では、途中、廊下において自己位置推定誤差が増加し、廊下を 40m 程度移動した際に発生した自己位置推定誤差は約 0.5m となった(図 2 (c))。位置推定誤差により、一部の壁が地図に存在しない障害物として検出されたが、navigation_2d⁷⁾内の障害物回避機能により、指定した経路の最終地点までの自律走行が可能であった。

4-4 試験環境 (2) おける自律移動実験

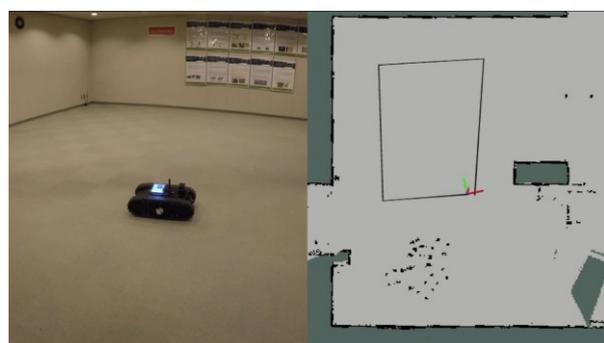
試験環境 (2) において、Y-CRoSAM の自律走行を行った。図 3 は路面が全面カーペットであり、摩擦係数は、実験環境 (1) のリノリウム材面より増加することが、第一報²⁾により確認されている。本環境において自律移動を行った際の自律走行時の地図情報と目標経路を図 4 右図に、ロボットの周辺環境を図 3 左図に示す。



(a) 自律移動開始時



(b) 中間地点通過時



(c) 自律移動終了時

図 3 試験環境 (2) における自律移動時に撮影したロボットの周辺写真 (左図) 及び撮影時のナビゲーション画面 (右図)

なお、ナビゲーション画面上の黒線は、ユーザが指定した経路を示している。ロボットが旋回した際、床面との摩擦抵抗により目標旋回角度への到達に要したものの、経路に沿った自律走行が可能であった。

4-5 試験環境 (3) おける自律移動実験

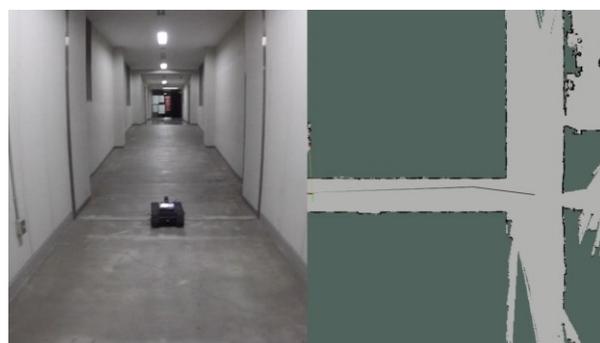
試験環境 (3) において、Y-CRoSAM の自律走行を行った。図 4 は路面が全面コンクリートであり、摩擦係数は、実験環境 (1) (2) より増加することが、確認されている。本環境において自律移動を行った際の、自律走行時の地図情報と目標経路を図 4 右図に、ロボットの周辺環境を図 4 左図に示す。本環境では摩擦係数が高く、旋回動作に時間を要するが、目標地点への自律走行は可能であった。



(a) 自律移動開始時



(b) 中間地点通過時



(c) 自律移動終了時

図 4 試験環境 (3) における自律移動時に撮影したロボットの周辺写真 (左図) 及び撮影時のナビゲーション画面 (右図)

5. 考 察

5-1 位置推定誤差の要因

試験環境 (1) における誤差の要因としては、デッドレコニングによる走行距離の測定が実際の距離よりも短く記録されたことによる。さらに、廊下の壁は直線的で形状変化が乏しいため、パーティクルフィルタによる位置情報の補正効果が得られにくいことが、図 2 (c) のような位置推定誤差を発生させたものと考えられる。これは水を撒いたことで、デッドレコニングの誤差が増加する場合においても同様である。

5-2 3次元自己位置推定による誤差要因への対策

5-1 において考察した位置推定誤差への対策として、3次元レーザスキャナシステム及び第2報²⁾で提案した6自由度(3次元の位置情報及び3次元の姿勢情報)のオドメトリ測定を応用するにより、これらの誤差を軽減させることが可能な6自由度スキャンマッチング手法を新たに開発した⁸⁾。3次元レーザスキャナシステムは、2次元レーザスキャナをサーボモータにより回転させることで3次元形状の測定を行う(図5)。この手法では、周辺構造物の3次元形状と、地図における3次元形状を比較して自己位置推定を行うため、天井等の凹凸を測定することが可能となり、より高精度な自己位置推定が期待できる。またさらなる効果として、高さ情報を含めた自己位置推定が可能となることから、navigation_2d⁷⁾を用いた自律移動システムでは困難であった高さ及び勾配に変化がある環境においても自律移動が優位に行えることとなった。

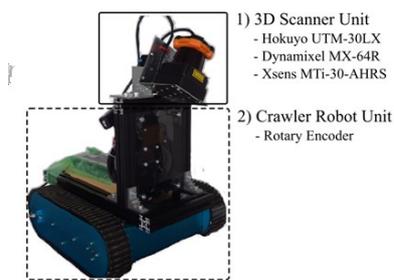


図5 3次元レーザスキャンシステム

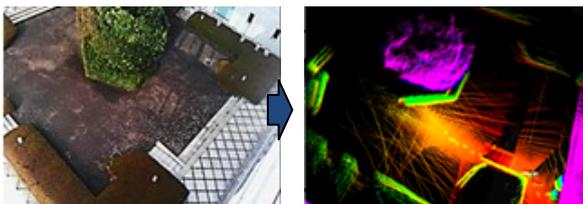


図6 6自由度スキャンマッチングによる3次元形状の復元例(山梨県産業技術センター中庭にて実施)

6. 結 言

本研究では、クローラ型ロボット Y-CRoSAM の自律移動を実現するため、地図情報をもとに自己位置推定及び自律移動を行うシステムを開発した。その評価として、異なる路面環境において、ユーザの指定した経路を基に自律走行を実施した。リノリウム、カーペット、コンクリート等の異なる床面に対しても自律走行が可能であることを確認した。

今後の展開としては、自己位置推定の精度向上及び高さの変化する環境における自律移動を実現するため、本研究にて開発した6自由度スキャンマッチング法を応用し、SLAMによる3次元地図作成と自己位置推定手法の開発を行っていく。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人産業技術総合研究所：小型狭隙部点検ロボット DIR シリーズ，<https://staff.aist.go.jp/kamimura/a/> (2018-5-16 参照)
- 2) 布施嘉裕，中込広幸，宮本博永，油井誠志，中村卓，米山陽，神村明哉，渡辺寛望，丹沢勉，小谷信司：自律走行可能なロボットの制御手法の開発，山梨県工業技術センター研究報告，No.30，pp.27-29 (2016)
- 3) ROS.org：ROS Wiki，<<http://www.ros.org/wiki/>> (2018-5-16 参照)
- 4) ROS.org：hector_slam Wiki，<http://wiki.ros.org/hector_slam> (2017-3-1 参照)
- 5) 中込広幸，布施嘉裕，宮本博永，油井誠志，中村卓，米山陽，神村明哉，渡辺寛望，丹沢勉，小谷信司：自律走行可能なロボットの制御手法の開発(第2報)，山梨県工業技術センター研究報告，No.31，pp.27-29 (2017)
- 6) ROS.org：AMCL Wiki，<<http://wiki.ros.org/amcl>> (2018-3-1 参照)
- 7) ROS.org：Navigation2d Wiki，<<http://wiki.ros.org/navigation>> (2018-3-1 参照)
- 8) 中込広幸，布施嘉裕，宮本博永，油井誠志，中村卓，米山陽，横塚将志，神村明哉，渡辺寛望，丹沢勉，小谷信司：不整地面走行時の振動を考慮した3Dスキャンマッチング，第22回知能メカトロニクスワークショップ IMEC2017，2A3-1 (2017)