

自律走行可能なロボットの制御手法の開発

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*¹・渡辺寛望*²・丹沢勉*²・小谷信司*²

Development of Crawler Robot System for Autonomous Mapping

Yoshihiro FUSE, Hiroyuki NAKAGOMI, Hironaga MIYAMOTO, Seishi YUI, Takashi NAKAMURA, Akira YONEYAMA, Akiya KAMIMURA*¹, Hiromi WATANABE*², Tsutomu TANZAWA*² and Shinji KOTANI*²

要 約

一部の県内中小企業では、蓄積した技術を走破性の高いクローラ型ロボットに搭載し、自律移動を行うことで、付加価値の高い自社製品の開発を行うことを検討している。ロボットを開発するためには、様々な要素技術が必要となる。しかし、開発のための技術者・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、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。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、今年度は、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、自己位置推定と地図作成を同時に行うことができた。また、産総研のクローラ型ロボット DIR-3 をベースに、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。本機の性能評価を行ったところ、遠隔操縦を実現するとともに、走破性、汎用性、拡張性の高いプラットフォームであることを確認した。

1. 緒 言

県内中小企業の特徴として、大手企業の OEM や、製造現場専用の産業用ロボットや組込技術の応用製品を受託開発する企業が多く存在する。しかし、経営が大手企業の動向に左右される問題を抱えている。一部の企業では、受託開発で蓄積した技術を、走破性の高いクローラ型ロボットに搭載し、自律移動を行うことで、付加価値の高い自社製品の開発を行うことを検討している。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、クローラ型ロボットの特性を考慮した設計、路面の摩擦変化と滑りを考慮した移動制御、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、開発のための技術者・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、ロボットの自律移動を実現することを目的とし、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)の試作、接地面との滑りに影響されない自己位置推定手法の開発,

*1 国立研究開発法人産業技術総合研究所

*2 山梨大学

接地面との滑りを考慮した制御手法のロボットへの適用を行う。さらに、本構成による有用性を評価する。

2. ハードウェア構成

2-1 クローラ型ロボット

開発したクローラ型ロボット(株式会社 AUC 製 DIR-3 カスタマイズ品)を図1に示す。



図1 導入したクローラ型ロボット

本ロボットを“Y-CRoSAM”(Yamanashi - Crawler Robot System for Autonomous Mapping)と命名した。なお、ベースとなっている DIR-3 は、国立研究開発法人産業技術総合研究所の研究成果である¹⁾。

Y-CRoSAM のサイズを図 2 に、内部構造を図 3, 4 に示す。バッテリーを含む質量は 24 kg であり、防滴構造となっている。

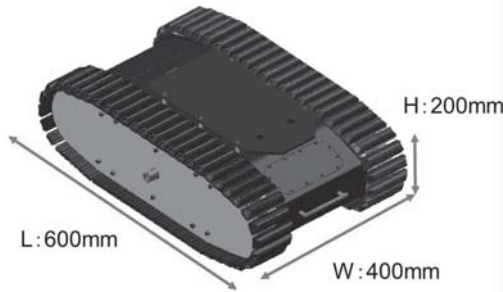


図 2 サイズ

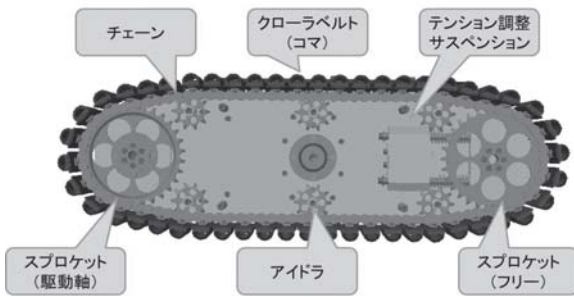


図 3 内部構造 (クローラユニット部分)

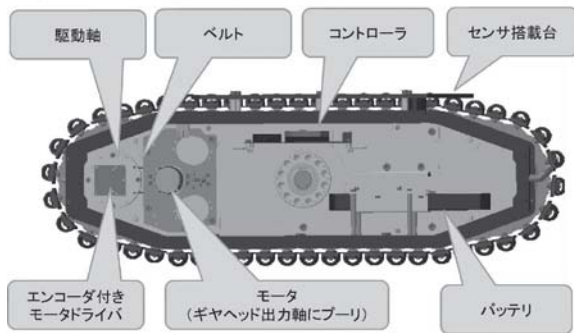


図 4 内部構造 (車体部分)

2-2 静止摩擦係数と駆動用モータ選定

駆動用モータを選定するにあたり、床面とクローラベルトのコマとの間に発生する摩擦力を測定し、静止摩擦係数を求めた。実験概要を図 5 に示す。図 5 のバネばかりの方向に引っ張った時にクローラベルトが動き出す力 f [kgf] を測定し、 $f = \mu N$ により、摩擦係数 μ を算出した。ただし、クローラベルトの質量 N は 2.4 kg であった。当センター内の環境での実験結果を表 1 に示す。

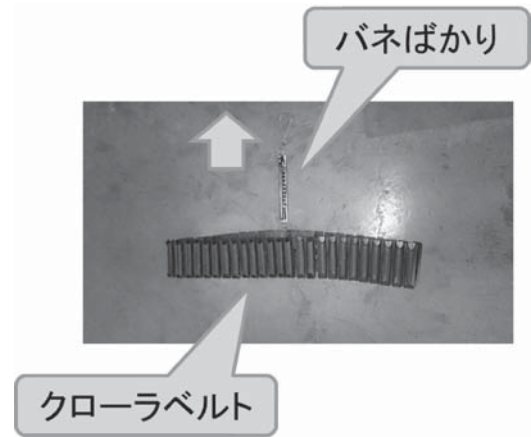


図 5 静止摩擦係数測定

表 1 静止摩擦係数

実験場所	摩擦係数 μ
4F システム研究室内	0.42
4F システム研究室前廊下	0.42
1F 実験棟廊下	0.29
1F 実験棟-研究管理棟連絡通路	0.42
1F 玄関 (建物内)	0.33
1F 自動ドア前カーペット	0.71
玄関前アスファルト	0.63

ロボットの質量 $M=24$ kg、摩擦係数 $\mu=0.4$ とすると、前進移動に必要な推進力 F は、 $F = \mu Mg$ より、約 94.1 N であり、左右のベルト中心間距離 $d=0.3$ m とすると、左右のクローラを互いに逆回転させて旋回する超信地旋回に必要なトルク T は、 $T = \mu Mg d / 4$ より、約 7.1 Nm となる。この結果と、図 4 中のプリー比等を考慮し、駆動用モータには MAXON 社製 RE35 (323890) を、ギヤヘッドには MAXON 社製 GP32HP (326666) を選定した。モータ及びギヤヘッドの仕様から、最大連続トルク時の移動速度は 0.56 m/s、前進時の最大連続推進力は 96.1 N、超信地旋回時の最大連続トルクは 7.21 Nm と算出し、設計上は走行可能であることを確認した。

2-3 コントローラ

コントローラ周辺の構成を図 6 に示す。コントローラには、NVIDIA 製組み込みコンピュータ Jetson TK1 を採用した。ワイヤレスジョイスティックにより前進・後退及び旋回の指令を、Bluetooth を経由して組み込みコンピュータに送信し、組み込みコンピュータで制御計算を行い、各駆動用モータドライバに指令を与える。モータドライバの電源電圧は DC24V であり、DC12V 鉛蓄電池を直列接続している。

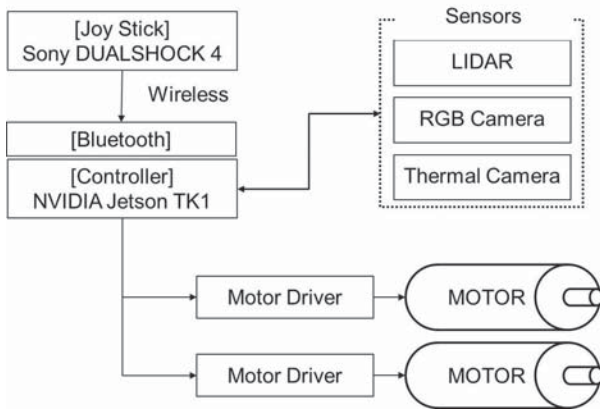


図6 コントローラ周辺構成

3. ソフトウェア構成

3-1 O.S.とミドルウェア

組み込みコンピュータの O.S.には、Jetson TK1 用に NVIDIA 社が配布している Linux for Tegra r21.2 (Ubuntu 12.02) を用いている。また、ロボット用ミドルウェアには、ROS (Robot Operating System)²⁾を採用した。ROS を使い、ジョイスティックによる指令受付、各モータへの指令計算、以後に述べる自己位置推定と地図作成の同時実行等の全てを行うよう構成している。

3-2 レーザレンジファインダを用いた自己位置推定

地図作成と自己位置推定の同時実行 (SLAM : Simultaneous Localization and Mapping) を行うため、レーザ照射に対する散乱光を測定して測距を行うレーザレンジファインダである、北陽電機製 UTM-30LX を搭載し、ROS のパッケージの一つである”HectorSlam”を実装した。図7に4階システム研究室内での走行結果を示す。

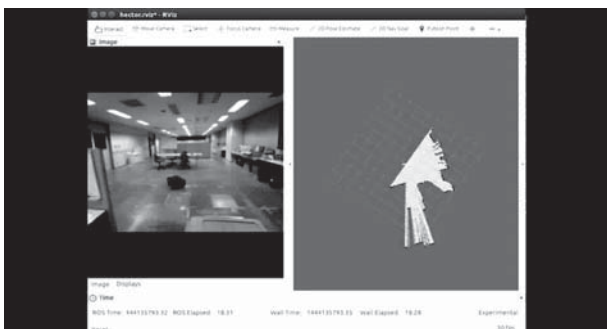


図7 4階システム研究室内での走行結果

一般的には、車輪の回転量等を用いてロボットの自己位置推定を行うが、この方法により、車輪の滑り等に影響されずに自己位置推定と2次元地図作成が同時実行できることを確認した。

3-3 可視光・遠赤外光カメラを併用した自己位置推定

ロボットの自己位置推定を行うにあたり、人間は外乱の一つとなる。カメラ画像が人間に大きく遮蔽された状態での自己位置推定を想定し、サーマルカメラと RGB カメラを併用したビジュアルオドメトリ法を開発し、その有用性を確認した³⁾。(図8)

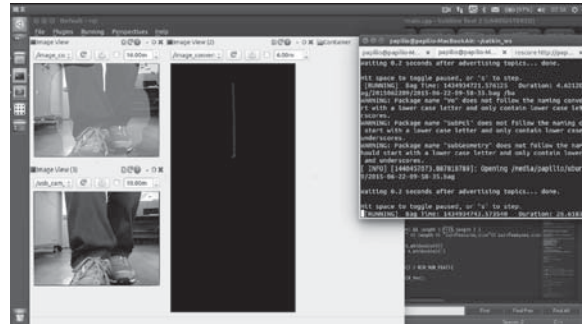


図8 サーマルカメラと RGB カメラを併用したビジュアルオドメトリ法の実行結果

4. 性能評価

本構成により、動作確認及び直進移動時の最高速度、超信地旋回時の旋回角速度、牽引力を実験により求めた。4階システム研究室前廊下において実験を行い、前進・後退・超信地旋回が可能であることを確認した。また、直進移動時の最高速度は約 0.5 m/s、超信地旋回時の旋回角速度は約 1.2 rad/s、牽引力は 80 N 以上であった。設計値と比較し、最高速度等の性能が低いのは、ベアリング等の摩擦や効率の影響があるものと考えられる。

5. 結言

今年度は、自己位置推定と地図作成の同時実行、及び技術移転・自社アプリケーションへの適用が容易な、走破性、汎用性、拡張性の高いプラットフォームとして設計したロボットを開発し、遠隔操縦の実現、ロボットの性能評価を行った。

参考文献

- 1) 小型狹隘部点検ロボット DIR シリーズ:<<https://staff.aist.go.jp/kamimura.a/>> (2016-3-2 参照)
- 2) The Robot Operating System (ROS) : <<http://www.ros.org/>> (2016-3-25 参照)
- 3) 中込広幸, 布施嘉裕, 宮本博永, 油井誠志, 米山陽, 中村卓, 神村明哉, 渡辺寛望, 丹沢勉, 小谷信司:サーマルカメラを用いた人間・ロボット共存環境におけるロバストなビジュアルオドメトリ法, 第33回日本ロボット学会学術講演会, 1K2-03 (2015)