

つくばチャレンジ 2023 における

千葉工業大学未来ロボティクス学科 box2, box3 チームの取り組み

○今井 悠月, 井口 颯人, 樋高 聖人, 春山 健太, 藤原 柊, 高橋 祐樹, 白須 和暉, 野村 駿斗, 望月 悠矢,
馬場 琉生, 村林 孝太郎, 桜井 真希, 中村 雄一, 長島 昂生,
上田 隆一, 林原 靖男 (千葉工大)

The activities of the Advanced Robotics Department box2 and box3 team of Chiba Institute of Technology in the Tsukuba Challenge 2023

Yuzuki IMAI, Hayato IGUCHI, Masato HIDAKA, Kenta HARUYAMA, Masaki FUJIWARA,
Yuki TAKAHASHI, Kazuki SHIRASU, Hayato NOMURA, Yuya MOCHIZUKI, Ryusei BABA,
Koutarou MURABAYASHI, Maki SAKURAI, Yuichi NAKAMURA, Kousei NAGASHIMA,
Ryuichi UEDA and Yasuo HAYASHIBARA (CIT)

千葉工業大学未来ロボティクス学科 box2, box3 チーム

Abstract— In this paper, we present the activities of the Advanced Robotics Department box2 and box3 team of Chiba Institute of Technology in the Tsukuba Challenge 2023. We developed autonomous outdoor mobile robots, and we tackled several challenges. For example, We developed robots using machine learning and robots that can run in the rain.

1. 緒言

我々は、屋外でも正確に自律移動可能なロボットを目指し、その研究および開発の一環としてつくばチャレンジに参加している。これまで本研究室^{*1}では、地図生成や自己位置推定を中心に研究開発を行ってきた。近年では、防水機能や高い拡張性を有したオープンプラットフォームのロボットの開発も行っている。つくばチャレンジ 2022 では、開発したロボットやシステムを用いて、記録走行において完走を達成した。しかし、本年度からは確認走行エリアのコースが一部変更され、つくば市役所の外周がコースに含まれるようになった。そのため、30 m 程度の 2 次元レーザレンジセンサ 1 つでは、低層の茂みや障害物などを検出しつつ、安定して自己位置推定を行うのが困難となった。また、道幅の狭い経路を通る必要があるため、従来のシステムよりもロバストなシステムが要求された。本稿では、このような問題を解決するためにつくばチャレンジ 2023 に向けて取り組んだ内容に関して紹介する。

2. 開発中のロボット

ロボットを常に屋外環境で走行させるためには、防水設計が求められる。ただし、防水性を担保しながらロボットの機構や電気回路の追加および変更を行うことは、作業の負担が大きいと考えられる。さらに、これらの作業には多くの時間を要するため、新たなアルゴリズムの開発や検証に十分な時間を割当てられないことが問題となっていた。

このような問題を踏まえ、本研究室では屋外自律移動ロボットプラットフォーム ORNE-box の開発を行ってきた [1]。日々検証と改良を重ねており、現在は、3 台のロボット (ORNE-box, ORNE-box2, ORNE-box3) がある。これらのロボットは、屋外での自律走行を目的としており、屋外自律走行の研究開発に必要な機能をパッケージ化し、提供することを目標に開発を行っている。設計データなどは、ウェブページ上にて順次公開している [2]。

ORNE-box2 は、ORNE-box の問題点を洗い出し改善を図るという方針のもと、昨年度から開発を行っている。センサ構成などに差異はあるが、基本的なシステム構成は同じである。

ORNE-box3 は、今年度から開発を行っており、ORNE-box2 の防水性能や拡張性をさらに強化した設計となっている。

2.1 ハードウェア

ORNE-box-Series の外観を **Fig. 1**, 仕様を **Table 1** に示す。これらのロボットは、i-Cart middle [3] をベースとしている。

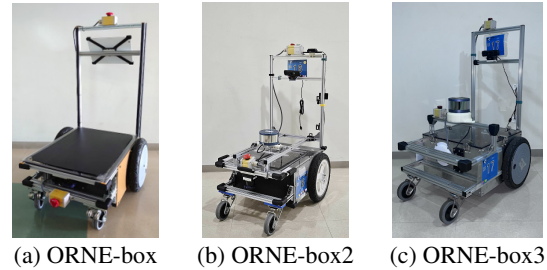


Fig. 1: ORNE-box-Series

Table 1: Specifications of the robots.

	ORNE-box	ORNE-box2	ORNE-box3
Depth[mm]	600	???	???
Wide[mm]	506.5	???	???
Height[mm]	957	???	???
Wheel diameter[mm]	304		
Battery	LONG WP14-12SE		
Motor	Oriental motor TF-M30-24-3500-G15L/R		
Driving system	Power wheeled steering		
2D-LiDAR	None	UTM-30LX-EW (HOKUYO)	None
3D-LiDAR	None	R-fans-16 (SureStar)	
IMU	ADIS16465 (Analog devices)	ADIS16470 (Analog devices)	None
Camera	None	CMS-V43BK (Sanwa supply)	
Computer	None	Jetson AGX Xavier (NVIDIA)	Jetson Orin NX (NVIDIA)

^{*1} 千葉工業大学未来ロボティクス学科 林原研究室

2.2 ソフトウェア

本研究室では、従来より ROS(Robot Operating System) の navigation stack [4] を基に開発されたシステムである orne_navigation [5] と orne_box [6] により、ロボットを自律走行させている。Fig. 2 に開発しているロボットのソフトウェアを含むシステム構成を示す。このシステムは、LiDAR とオドメトリを用いた Monte Carlo Localization(MCL) により確率的に自己位置を推定し、経路計画に基づいて自律走行している。なお、両ソフトウェアは GitHub の open-rc [7] で公開している。

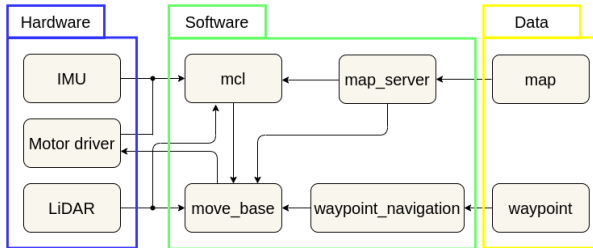


Fig. 2: Structure of the system.

3. 各ロボットごとの研究開発

本研究室では、使用するロボットごとに研究開発の目的が異なる。つくばチャレンジ 2023 においては、ORNE-box2 を使用するチームと ORNE-box3 を使用するチームの 2 つに分かれて研究開発を行ってきた。以降、それぞれのチームを box2 チーム、box3 チームと呼ぶこととする。本章では、各チームごとの取り組みを述べる。

3.1 box2 チームの取り組み

box2 チームは、つくばチャレンジ 2022 において、記録走行で完走している。しかし、本走行では道路端で一時停止に失敗し、記録は 320[m] であった。一時停止失敗の原因としては、自己位置推定の破綻が挙げられる。ORNE-box2 では、本走行前日にロボットの制御に使用していたコンピュータである Jetson AGX Xavier が起動しなくなるトラブルが発生したため、急遽 GIGABYTE GB-BXi7H-4500 に交換を行っていた。これにより計算処理が間に合わなかったおそれがある。

よって本年度は、基本的には昨年度と同じシステムを用いて完走することを目的とした。なお、制御用のコンピュータには、記録走行完走時に用いていた Jetson AGX Xavier を使用した。本年度の取り組みを以下で紹介する。

3.1.1 センサ・システム構成

box2 チームは、LiDAR、ホイールエンコーダ、IMU、RGB カメラというセンサ構成で実験走行および本走行に臨んだ。特徴としては、Fig. 3 のように 2 つの LiDAR を用いている点が挙げられる。上部は自己位置推定用、下部は障害物回避と使い分けることで、自己位置推定を正確に行いつつ、低層の障害物などを検出して回避するという狙いがある。ここで、上部に取り付けた LiDAR は、3D-LiDAR であるが、pointcloud_to_laserscan [8] により、得られた 3 次元点群を圧縮し、2 次元の点群として利用している。また、ロボットの上部に取り付けたカメラは、選択課題 D1 に取り組む際に使用した。

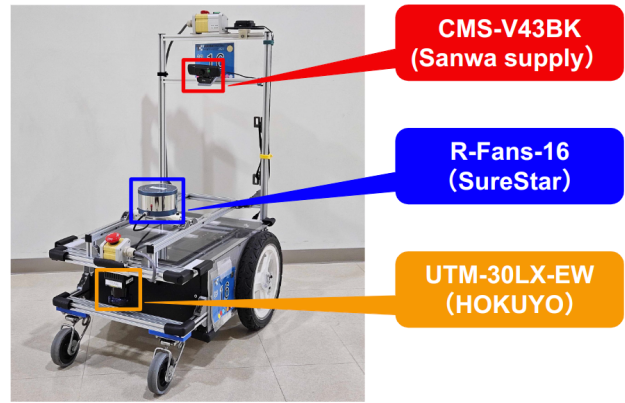


Fig. 3: The sensor configuration of the box2 team.

さらに、自律走行時のシステム構成を以下に示す。

- 自己位置推定パッケージ : emcl2 [9]
- センサ情報統合パッケージ : robot_localization [10]
- waypoint パッケージ : waypoint_manager [11]
- global planner : dijkstra
- local planner : TrajectoryPlannerROS
- map

3.1.2 地図生成

自律走行時に使用する地図の作成には、Cartographer [12] を用いた。ここで、本走行において使用した占有格子地図を Fig. 4, Fig. 5 に示す。Fig. 4 は、自己位置推定に使用する地図であり、基本的には作成時のものから手を加えていない。Fig. 5 は、経路計画に用いる地図である。Fig. 4 の自己位置推定に用いる地図に侵入不可能領域を設定している。これにより、ロボットは侵入不可能領域以外で経路を生成できるようになる。さらに、領域を囲うことで、経路を計算する領域が減るため、コンピュータの負荷を減らすことができる。これらの地図は、確認走行エリア、その先から信号あり横断歩道、公園エリアのそれぞれで作成した地図を合成している。地図の合成や編集には、GIMP [13] を用いた。ちなみに、resolution は 0.10[m/pixel] で、ファイルのサイズは 17.8 MB であった。

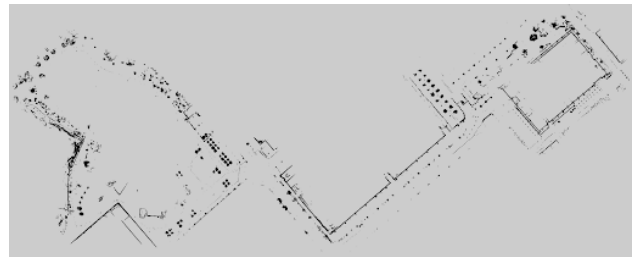


Fig. 4: Map used for localization.

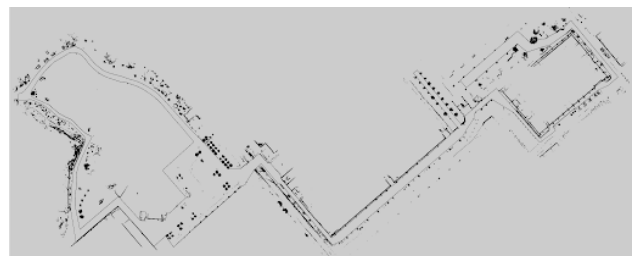


Fig. 5: Map used for planning.

3.1.3 選択課題 D1

box2 チームでは、本年度から新しく追加された選択課題 D1 にも取り組んだ。ここで、課題の概要を述べる。本課題は以下の流れで行う。

- 1) 集荷ボックス（緑の箱）の待機列に整列
- 2) 白線を認識し、その手前 1[m] 以内で一時停止
- 3) オペレータ操作により走行再開
- 4) 集荷ボックスに 50[cm] まで接近し、3 秒以上停止
- 5) 配達先ラベルを認識後、90 秒以内に移動
- 6) 指定の宅配ボックス（青）を探索
- 7) 指定の宅配ボックスに 50[cm] まで接近し、3 秒以上停止

ここに図貼って説明追加

ただし、検証段階であったため、本走行での使用には至っていない。

3.1.4 本走行の結果

box2 チームの本年度の本走行の記録は、715[m] であった。リタイアした地点は、公園前の信号機あり横断歩道である。**Fig. 6** に示すように、本来は一時停止が必要な場所で、ロボットが道路端からはみ出した。原因としては、自己位置推定の破綻が挙げられる。信号機周辺は他チームのロボットや通行人、自動車など、その都度環境が大きく変化するため、作成した地図とマッチングしない、あるいは誤った場所でマッチングが起こったのではないかと考えられる。

なお box2 チームは、8 月 18 日に実施されたつくばチャレンジ 2023EX @イーアスつくば本走行にて完走している。



Fig. 6: box2 team.

3.2 box3 チームの取り組み

ROS2 Docker など、本年度の取り組みを以下で紹介する。

3.2.1 センサ・システム構成

box3 チームは、LiDAR、ホイールエンコーダ、RGB カメラというセンサ構成で実験走行および本走行に臨んだ。box2 チームとは異なり、使用した LiDAR は 1 つである。ここで、LiDAR は、3D-LiDAR であるが、3 次元点群を圧縮し、2 次元の点群として利用している。また、ロボットの上に取り付けたカメラは、信号認識に取り組む際に使用した。

さらに、自律走行時のシステム構成を以下に示す。

3.2.2 信号認識

あああああ

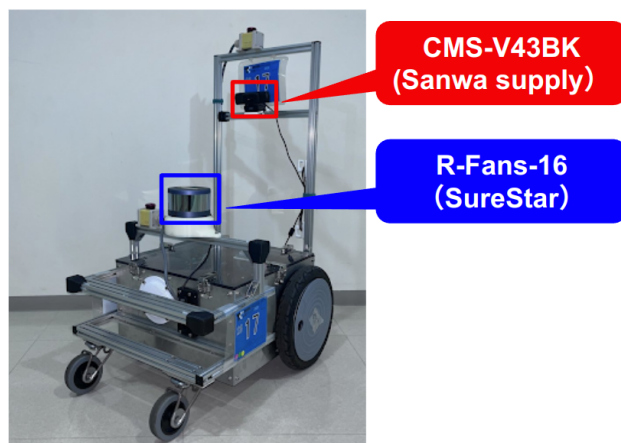


Fig. 7: The sensor configuration of the box3 team.

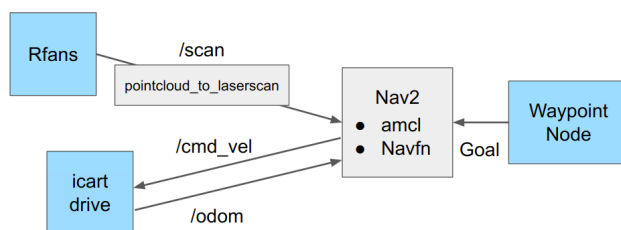


Fig. 8: The sensor configuration of the box3 team.



Fig. 9: Number of return to path

3.2.3 本走行の結果

ああああ記録走行では 431[m]

4. 結言

本稿では、千葉工業大学未来ロボティクス学科 box2, box3 チームで開発しているロボットとシステムの構成に関して述べた。また、つくばチャレンジ 2023 に向けた取り組みについて紹介した。

謝辞

つくばチャレンジ実行委員会の皆様およびつくば市の皆様に感謝申し上げます。また、上田研究室の皆様にはつくばチャレンジ 2023 の参加にあたり、ご意見やご協力をいただき感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 井口 颯人, 石江 義規, 樋高 聖人, 上田 隆一, 林原 靖男 : “ 屋外自律移動ロボットプラットフォーム ORNE-box の開発 ”, 3H2-03 , SI2021(2021)
- [2] open-rdc, orne-box, wiki
<https://github.com/open-rdc/orne-box/wiki>
(最終閲覧日: 2023 年 12 月 24 日)
- [3] T-frog Project
<https://t-frog.com/forums/forum.php?ml=icart-mini-devel>
(最終閲覧日: 2023 年 12 月 24 日)
- [4] ros-planning, navigation リポジトリ
<https://github.com/ros-planning/navigation>
(最終閲覧日: 2023 年 12 月 24 日)
- [5] open-rdc, orne_navigation リポジトリ
https://github.com/open-rdc/orne_navigation
(最終閲覧日: 2023 年 12 月 24 日)
- [6] open-rdc, orne-box リポジトリ
<https://github.com/open-rdc/orne-box>
(最終閲覧日: 2023 年 12 月 24 日)
- [7] Robot Design and Control Lab, open-rdc, リポジトリ
<https://github.com/open-rdc>
(最終閲覧日: 2023 年 12 月 24 日)
- [8] ROS wiki, pointcloud_to_laserscan
https://wiki.ros.org/pointcloud_to_laserscan
(最終閲覧日: 2023 年 12 月 24 日)
- [9] ryuichiueda, emcl2 リポジトリ
<https://github.com/ryuichiueda/emcl2>
(最終閲覧日: 2023 年 12 月 24 日)
- [10] cra-ros-pkg, robot_localization リポジトリ
https://github.com/cra-ros-pkg/robot_localization
(最終閲覧日: 2023 年 12 月 24 日)
- [11] masakifujiwaral, waypoint_manager リポジトリ
https://github.com/masakifujiwaral/waypoint_manager
(最終閲覧日: 2023 年 12 月 24 日)
- [12] cartographer-project, cartographer リポジトリ
<https://github.com/cartographer-project/cartographer>
(最終閲覧日: 2023 年 12 月 24 日)
- [13] GIMP 公式ドキュメント
<https://www.gimp.org/>
(最終閲覧日: 2023 年 12 月 24 日)