

卒業論文

ROS ベースの自律移動ロボットにおける ナビゲーション調整手順の体系化

Systematization of Navigation Adjustment Procedures
for ROS-Based Autonomous Mobile Robots

2025 年 10 月 20 日 提出

指導教員 林原 靖男 教授

千葉工業大学 先進工学部 未来ロボティクス学科
22C1062 塩沢悠星

概要

ROS ベースの自律移動ロボットにおける ナビゲーション調整手順の体系化

本論文では、ROS(Robot Operating System) をベースとした自律移動ロボットにおけるナビゲーション調整手順の体系化について述べる。近年、ROS ベースの自律移動ロボットのナビゲーション技術の活用が進んでいるが、ROS Navigation stack を用いた地図ベースの自己位置推定、経路計画に基づく自律移動を行うためには複数のパラメータを適切に調整する必要がある。しかし、現状ではパラメータ調整に関する明確な指針はあまり示されておらず、特に屋外環境に関する情報は少ない。本研究では、ナビゲーションの調整手順をドキュメントとしてまとめ、調整方法の一例を示すことを目的とする。作成したドキュメントの有効性を検証するため、ROS Navigation stack を使用し、千葉工業大学津田沼キャンパスで実施される技術チャレンジである津田沼チャレンジのコースで自律走行実験を行った。その結果、事前走行および本走行においてコースを完走することができた。さらに、ROS 初心者の学部 3 年生 3 名が本ドキュメントを用いてナビゲーション調整を行った結果、全員がコースの完走を実現し、本ドキュメントの有効性が確認された。

キーワード: 自律移動ロボット、ナビゲーション

abstract

Systematization of Navigation Adjustment Procedures for ROS-Based Autonomous Mobile Robots

This paper describes the systematization of navigation tuning procedures for autonomous mobile robots based on the Robot Operating System(ROS). In recent years, the utilization of navigation technologies for ROS-based autonomous mobile robots has been increasing. However, achieving autonomous navigation requires appropriate tuning of multiple parameters. At present, there are few clear guidelines for parameter tuning, particularly for outdoor environments or real robot implementations. The objective of this study is to compile navigation tuning procedures into documentation and clarify appropriate adjustment methods. To evaluate the effectiveness of the proposed documentation, autonomous navigation experiments were conducted using the ROS Navigation Stack on the Tsudanuma Challenge course at Chiba Institute of Technology. As a result, the robot successfully completed both the preliminary and main runs of the course. Furthermore, three third-year undergraduate students who were beginners in ROS used the documentation for navigation tuning, and all of them achieved successful completion of the course, hereby confirming the effectiveness of the documentation.

keywords: Autonomous Mobile Robot, Navigation

目次

第 1 章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	関連研究	2
1.3	目的	3
1.4	論文の構成	3
第 2 章	要素技術	4
2.1	ROS	4
2.2	ナビゲーション	4
第 3 章	ドキュメント	6
3.1	ドキュメントの構成	6
3.2	ドキュメントの例示	7
3.2.1	オドメトリ調整	7
3.2.2	AMCL におけるオドメトリ関連パラメータの調整	8
第 4 章	津田沼チャレンジによるドキュメントの有効性の検証実験	10
4.1	実験概要	10
4.2	実験結果	12
4.2.1	作成者による結果	12
4.2.2	学部 3 年生による結果	12
第 5 章	つくばチャレンジによるドキュメントの有効性の検証実験	13

5.1	実験概要	13
5.2	実験結果	14
第 6 章 結論		15
参考文献		16
付録		17
謝辞		18

図目次

1.1	laser-related parameters	2
1.2	odometry and particle filter parameters	2
3.1	Scan visualized in Rviz	8
3.2	Map and scan visualized in Rviz	9
4.1	Course map of the Tsudanuma Challenge 2025(souce: [4])	11
4.2	Course map of the Tsudanuma Challenge 2024(souce: [4])	11
4.3	ORNE-box2	11
5.1	Course map of the Tsukuba Challenge 2025(souce: [6])	14

表目次

4.1	Navigation results of the Tsudanuma Challenge 2025	12
4.2	Results of B3 students in the Tsudanuma Challenge 2024	12

第1章

序論

1.1 背景

近年, ROS(Robot Operating System) をベースとした自律移動ロボットのナビゲーション技術が, 警備ロボットや案内ロボットなど, 様々な分野で活用されつつある. ただし, ナビゲーションにおいては, ROS Navigation stack[1] のパラメータ, オドメトリ調整のパラメータ, 地図生成のパラメータなど, 複数のパラメータを適切に調整しなければ自律移動を行うことができない.

また, 現状ではこれらのパラメータ調整に関する明確な指針は十分に示されていない. 特に, インターネット上で公開されている情報の多くは屋内環境やシミュレータを対象したものであり, センサ誤差や環境変動が大きく調整が困難な屋外環境かつ実ロボットに特化した情報は少ないという課題がある. そのため, 屋外環境かつ実ロボットにも対応したナビゲーションにおけるパラメータ調整手順の明確化が求められる.

1.2 関連研究

ROS のナビゲーションのパラメータ調整について解説されている関連研究として, Kaiyu Zheng[2] による ROS Navigation Tuning Guide が挙げられる。このガイドは, ROS Navigation stack の性能を最大化するためのパラメータ調整プロセスを解説するものであり, AMCL や Move Base など, ナビゲーションにおける主要な項目を網羅している。

しかし, Fig. 1.1, Fig. 1.2 のように具体的なパラメータ値が提示され, それらが望ましい設定値であると示している。そのため, 自己位置推定のずれや経路計画の失敗など, 特定の環境や問題に直面した際に, どのパラメータをどのように調整すべきかという手順までは明確に示されていない。読み手はパラメータに関する知識を得られるものの, 全体としてナビゲーションシステムを最適化していく具体的な調整フローを導き出すのは難しいという課題がある。

```
1 {
2     "laser_z_hit": 0.9,
3     "laser_sigma_hit": 0.1,
4     "laser_z_rand": 0.5,
5     "laser_likelihood_max_dist": 4.0
6 }
```

Fig. 1.1: laser-related parameters

```
1 {
2     "kld_err": 0.10,
3     "kld_z": 0.5,
4     "odom_alpha1": 0.008,
5     "odom_alpha2": 0.040,
6     "odom_alpha3": 0.004,
7     "odom_alpha4": 0.025
8 }
```

Fig. 1.2: odometry and particle filter parameters

1.3 目的

本論文では、ロボットにおけるナビゲーションの調整手順を体系化し、適切な調整方法を明らかにすることを目的とする。

1.4 論文の構成

本論文では以下のように構成される。

2章で本研究で使用される要素技術について述べる。

3章では本研究で作成したドキュメントについて述べる。

4章では津田沼チャレンジによる実験でドキュメントの有効性を検証する。

5章ではつくばチャレンジによる実験でドキュメントの有効性を検証する。

6章では本論文について結論を述べる。

第2章

要素技術

2.1 ROS

ROS(Robot Operating System) は、ロボット開発を効率化するためのオープンソースソフトウェアフレームワークである。複数のプログラミング言語向けのライブラリや、センサや状態を可視化するツール群、ノード間のメッセージ通信機構、およびパッケージによるモジュール管理機能を備えている点が特徴である。ROSにおける基本的な実行単位はノードであり、ノードはトピックやサービスといった仕組みを通じて情報を交換する。これにより、センサデータの取得や制御アルゴリズム、経路計画などを個別のモジュールとして構成し、分散して動作させることが可能となる。さらに、既成のアルゴリズムやデバイス向けソフトウェアをパッケージとして利用することで、開発者は低コストかつ短期間で複雑な機能を実装することができる。

2.2 ナビゲーション

ROS Navigation stack は、自律移動ロボットが環境内を自律的に移動するためのソフトウェアフレームワークである。主に以下の要素から構成されている。

- 自己位置推定

ロボットは地図上で自己位置を推定する必要がある。その代表的な手法として、AMCL(Adaptive Monte Carlo Localization) が用いられる。AMCL は LiDAR や

オドメトリ情報を統合し, パーティクルフィルタに基づいて自己位置を推定する.

- 地図生成

未知領域においては, 環境のマッピングのため, SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) が必要となる.

- 経路計画

ロボットは現在位置から目標地点までの経路を計算する. 大域的経路計画では Dijkstra 法や A*アルゴリズムをもちいて地図上の最適経路を算出し, 局所的経路計画では Dynamic Window Approach などを用いて障害物を回避しながら経路追従を行う.

- コストマップ

経路計画の基盤となるのがコストマップである. コストマップは, 環境内の障害物や走行困難な領域を数値的に表現したものであり, センサ情報をもとに継続的に更新される.

第3章

ドキュメント

3.1 ドキュメントの構成

作成したドキュメントの構成は以下の要素から構成されている。また、作成にあたって ROS Wiki の Navigation ページを参考にした。[3]

- 自己位置推定 (AMCL)
 - 最低限の設定
 - 主要パラメータの調整
 - その他パラメータの調整
 - ROS_ERROR が出たときの問題と対処法
- 経路計画 (Move Base)
 - 最低限の設定
 - Move Base の土台となるパラメータ調整
 - リカバリ動作のパラメータ調整
 - コストマップのパラメータ調整
 - ローカルプランナーのパラメータ調整
 - グローバルプランナーのパラメータ調整
 - ROS_WARN が出たときの問題と対処法

- 地図
 - 地図作成方法の説明
 - slam_toolbox での地図作成方法
 - glim での地図作成方法
- オドメトリ
 - オドメトリの調整手順

3.2 ドキュメントの例示

本論文では、作成したドキュメントの中から例示として、オドメトリ調整と自己位置推定(AMCL)の2項目を取り上げ、記載内容の一部を示す。

3.2.1 オドメトリ調整

調整対象のパラメータは、車輪半径に関する補正係数である `wheel_radius_multiplier` と、車輪環距離に関する補正係数である `wheel_separation_multiplier` の2つである。これらはロボットのオドメトリの正確さに直結するため、自己位置推定を行う上で最初に調整すべき項目である。

調整手順は以下の通りである。まず、Rviz を用いてトピックの可視化の準備を行う。固定座標系を `odom` に設定し、LaserScan トピックを表示することで、ロボットの移動に伴うセンサ計測ができるようになる。

次に、ロボットを壁から数メートル離れた位置に配置し、直進させて並進成分の正確さを確認する。このとき、得られるレーザスキャンに厚みが生じる場合は、`wheel_radius_multiplier` を調整する。

さらに、ロボットをその場で回転させ、回転成分の正確さを確認する。スキャンが1~2度以上ずれている場合は、`wheel_separation_multiplier` を調整する。最後に再度直進させ、並進と回転の双方でスキャンが一致していることを確認した時点で調整を完了とする。

Fig. 3.1 にオドメトリ調整前後のレーザスキャンを Rviz で可視化した様子を示す。

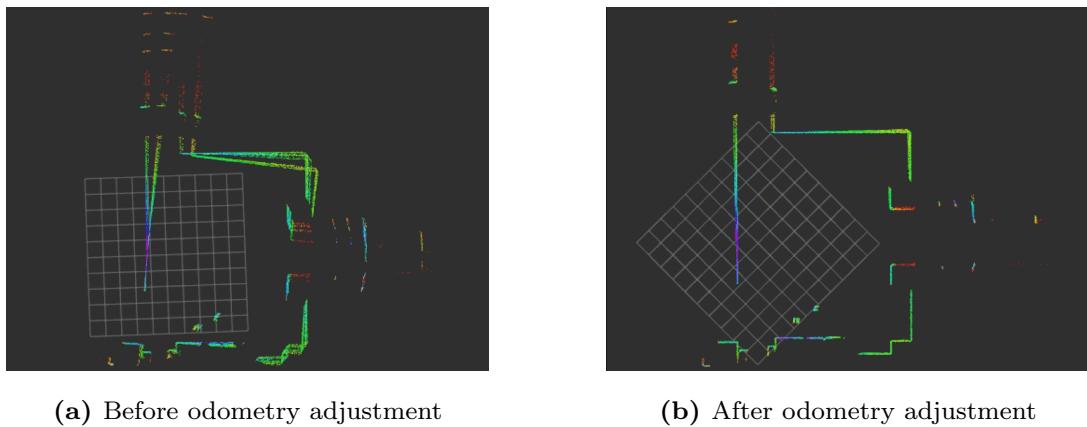


Fig. 3.1: Scan visualized in Rviz

3.2.2 AMCL におけるオドメトリ関連パラメータの調整

自己位置推定に用いる AMCLにおいて、最初に調整すべきパラメータは `odom_alpha1 ~ odom_alpha4` である。これらはオドメトリの信頼度を決定する値であり、大きな値を設定すると、オドメトリに含まれるノイズが大きいとみなされ、オドメトリの影響が小さくなる。一方で、小さな値を設定するとオドメトリを強く信頼するようになる。屋外環境ではオドメトリ誤差が大きくなるため、パラメータを過度に小さくすると誤推定に繋がる危険がある。特に `odom_alpha2` と `odom_alpha3` の調整が有効である。

調整方法は以下の通りである。まず、走行データを `rosbag` で記録し、`Rviz` を用いてパーティクルの散らばりや自己位置のずれ方を可視化する。これにより、どのパラメータが問題に寄与しているかを予測できる。その後、記録したデータを再生し、パラメータを変更しながらオフラインで AMCL を動作させることで、パーティクルの挙動を確認できる。

調整の基準としては、スキャンデータと地図の対応関係を利用する。例えば、スキャンが並進方向にずれる場合は `odom_alpha3` を増加させることで改善できる。また、回転方向にずれる場合は `odom_alpha2` を増加させることで修正を試みる。自己位置が徐々にずれていく場合には、`odom_alpha1 ~ odom_alpha4` させることで安定化を図る。特に、`alpha2` と `alpha3` の調整が有効である。

調整完了の基準としては、コントローラ操作時の `rosbag` を再生した際に自己位置の破綻がなく、かつ実ロボットによる自律走行においてもゴールまで破綻なく移動できることである。

さらに, AMCL の調整においては, 地図とオドメトリのどちらを信頼するかというトレードオフが存在する. 地図が高精度で環境と一致している場合には, スキャンマッチングが有効に働くため, `odom_alpha` を大きめに設定しても安定した推定が得られる. 一方で, 地図の精度が低い場合や環境変動が大きい場合には, オドメトリを相対的に信頼する方が安定する. ただし, オドメトリへの依存度を上げすぎると, 特に屋外環境では累積誤差によって自己位置が破綻する危険がある. このように, 状況に応じてバランスを取ることが, AMCL のパラメータ調整の難しさであるといえる.

Fig. 3.2 に AMCL 調整前後のレーザスキャンと地図を Rviz で可視化した様子を示す.

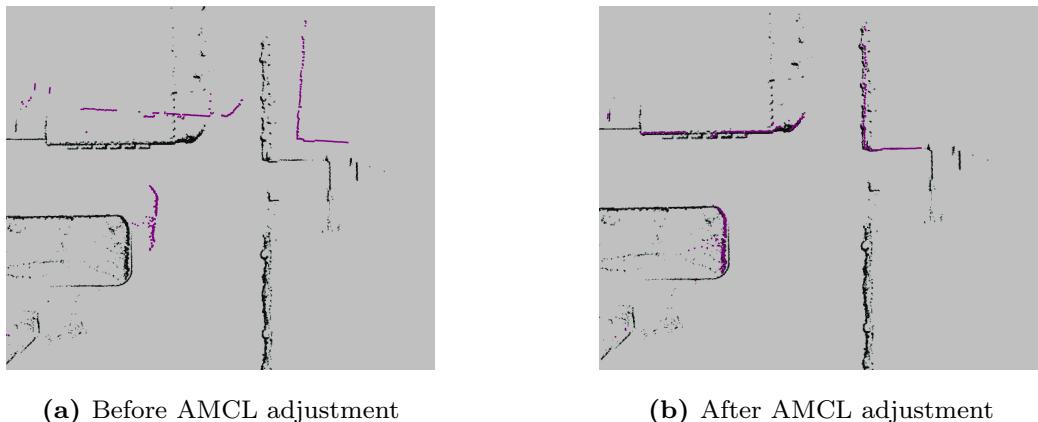


Fig. 3.2: Map and scan visualized in Rviz

第4章

津田沼チャレンジによるドキュメントの有効性の検証実験

4.1 実験概要

本研究で作成したドキュメントの有効性を確認するため、津田沼チャレンジ [4] のコースを用いて自律移動実験を行った。実験では、ドキュメントによる手順通りにナビゲーションのパラメータを調整されたロボットが、自律的に設定されたコースを完走できるかを確認することを目的とした。

実験は、作成者が 2025 年度版コースを対象に実施したものと、ROS 初心者の学部 3 年生が 2024 年度版コースでドキュメントを参照して実施したもの 2 種類である。それぞれのコースを Fig. 4.1, Fig. 4.2 に示す。作成者の実験では、走行地図の作成から自己位置推定および経路計画に関する各種パラメータの調整までを一貫して行った。一方、学部 3 年生による実験では、作成者がまとめたドキュメントを基に、作成者が作成した地図を使用してナビゲーションのパラメータ調整を行った。

実験に用いたロボットは本研究室で開発されているロボット ORNE-box2[5] を使用した。その外観を Fig. 4.3 に示す。また、ナビゲーションには ROS Navigation stack を用いた。



Fig. 4.1: Course map of the Tsudanuma Challenge 2025(souce: [4])



Fig. 4.2: Course map of the Tsudanuma Challenge 2024(souce: [4])



Fig. 4.3: ORNE-box2

4.2 実験結果

4.2.1 作成者による結果

Table 4.1: Navigation results of the Tsudanuma Challenge 2025

Run type	Number of trials	Number of successful runs
Preliminary run	10	10
Main run	1	1

Table 4.1 に示すように、調整後のシステムを用いて事前走行を 10 回実施した結果、すべての試行でゴールまでの完走を確認した。さらに、本走行においてもコースを完走し、自己位置の破綻や経路追従の失敗は見られなかった。

4.2.2 学部3年生による結果

Table 4.2: Results of B3 students in the Tsudanuma Challenge 2024

	No.1	No.2	No.3
Completion	Yes	Yes	Yes
Total time to completion [h]	5.0	3.5	4.5

Table 4.2 に示すように、ドキュメントの手順に沿ってパラメータ調整を行った結果、3 名ともコースの完走を達成することができた。これにより、ドキュメントの有効性が一定程度担保されていることが確認された。

第5章

つくばチャレンジによるドキュメントの有効性の検証実験

5.1 実験概要

本研究で作成したドキュメントの有効性を確認するため、つくばチャレンジ 2025[6] のコースを用いて自律移動実験を行った。実験では、ドキュメントによる手順通りにナビゲーションのパラメータを調整されたロボットが、自律的に設定されたコースを完走できるかを確認することを目的とした。そのコースを Fig. 5.1 に示す。実験では、作成者が走行地図の作成から自己位置推定および経路計画に関する各種パラメータの調整までを一貫して行った。

実験に用いたロボットは本研究室で開発されているロボット ORNE-box2 を使用した。また、ナビゲーションには ROS Navigation stack を用いた。

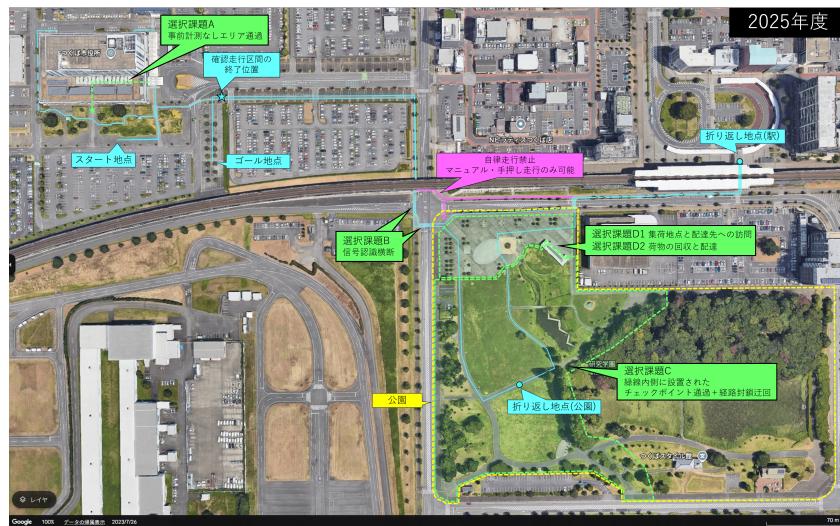


Fig. 5.1: Course map of the Tsukuba Challenge 2025(souce: [6])

5.2 実験結果

Table ??に示すように、

第6章

結論

本研究では、ROS ベースの自律移動ロボットのナビゲーションにおけるパラメータ調整手順を整理したドキュメントを作成し、その有効性を検証した。ドキュメントは ROS Navigation stack のパラメータを中心に構成されている。津田沼チャレンジの実験では、作成者自身および利用者のいずれもがそのコースを完走し、ドキュメントが有効であることを確認した。また、つくばチャレンジ 2025 において、

参考文献

- [1] ros planning. Github - ros-planning/navigation: Ros navigation stack. code for finding where the robot is and how it can get somewhere else. <https://github.com/ros-planning/navigation>. (Accessed on 10/13/2025).
- [2] Kaiyu Zheng. Ros navigation tuning guide, 2017. 19 pages, 21 figures. Written in September 2016.
- [3] navigation. <https://wiki.ros.org/navigation>. (Accessed on 9/22/2025).
- [4] Tsudanuma challenge. <https://sites.google.com/p.chibakoudai.jp/rdc-lab/development/tsudanuma-challenge>. (Accessed on 10/13/2025).
- [5] 井口颯人, 樋高聖人, 野村駿斗, 村林孝太郎, 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 orne-box の検証・改良 . ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2023, pp. 1P1–I06. 一般社団法人 日本機械学会, 2023.
- [6] つくばチャレンジ 2025. <https://tsukubachallenge.jp/2025/regulations/tasks>. (Accessed on 10/13/2025).

付録

本研究で作成したドキュメントは GitHub で公開している。

- ドキュメントのリンク: https://github.com/open-rdc/nav_tuning_guide

謝辞

本研究を進めるにあたり，1年に渡り，熱心にご指導を頂いた林原靖男教授に深く感謝いたします。