

自律ビークルの智能化プラットフォーム開発 -ROS, Autoware の活用-

Intelligent Platform Development for Autonomous Vehicles
- Utilization of ROS and Autoware -

難波 直樹 藤井 北斗 張 炎甫 神谷 剛志

Abstract

Yamaha Motor Co., Ltd. has for some time continued research into autonomous vehicles that can perform surveying and monitoring work outdoors, removing the need for human operation. This autonomous vehicle control systems consist of intelligent technology-based PCs including functionality for autonomous control of the vehicle, and multiple ECUs (Electronic Control Units) which take instructions from the PCs to control throttles and brakes etc. via actuator motors.

This research regarding autonomous vehicles has led to a range of intelligent technology developments, such as in route searching, recognition of the environment surrounding the vehicle, and self-positioning estimation capabilities. However, in terms of operational checks and evaluations of each type of elemental technology, with increasing requirements to suit each such as software development, longer development periods and increased development costs are an unavoidable issue. In this regard, in order to improve the speed of development for autonomous vehicles for research use, it is critical to construct software development systems that can work with a range of intelligent technologies.

This report introduces auto-operation achieved through a combination of our autonomous vehicles, and Autoware developed based on Robot Operating Systems (hereafter "ROS"). It also introduces development of auto-operating platforms using ROS, which have the objective of improving software development efficiency.

1 はじめに

ヤマハ発動機（以下、当社）ではこれまで、屋外で人の代わりに測量や監視などを行う自律ビークルの研究を進めてきた^{[1][2]}。当社の自律ビークルの制御システムは、車両の自律制御を行う機能を搭載した智能化 PC と、PC からの指示でスロットルやブレーキなどをアクチュエータモータによって制御する複数の ECU（Electronic Control Unit）から構成されている。

このような自律ビークルの研究において、智能化技術として開発すべきものは、経路探索や車両の周辺環境認識、自己位置推定等様々である。また各要素技術の動作確認や評価においても、それぞれに応じたソフトウェア開発が必要になるなど、開発期間の長期化および開発コストの増加は避けられない問題である。そのため、研究用自律ビークルの開発速度向上のためには、様々な智能化技術に対応したソフトウェア開発体制の構築が重要となる。

本稿では、ソフトウェア開発効率の向上を目指して行った Robot Operating System（以下、ROS）対応自動運転プラットフォームの開発について紹介する。また、同じく ROS ベースで開発された自動運転ソフトウェア Autoware と当社の自律ビークルを組み合わせ実現した自動運転について紹介する。

2 開発のねらい

当社の自律ビークルのシステム概略を図 1 に示す。図に示すとおり、当社の自律ビークルの制御システムは、高性能 PC や各種センサによって構成される「智能化プラットフォーム層」と、リアルタイム性や信頼性が高い組込み ECU によって構成される「車両プラットフォーム層」に大別できる。智能化プラットフォーム層では、自動運転を行う際に必要となる外界センサ情報（GPS-IMU, LRF 等）を取り込み、それらを元に智能化 PC が車両制御に必要な情報を決定する。車両プラットフォーム層では、智能化プラットフォーム層で決定された情報（速度指令、旋回指令等）を受けた各 ECU が、対応するアクチュエータモータを制御することで、実際の車両挙動に反映されていく。

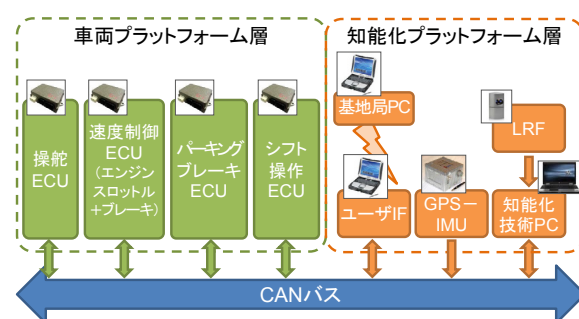


図1 自律ビークルのシステム概略

ここで知能化 PC が要求される機能は様々である。自動運転を行うために必要となる要素技術と、必要なセンサ情報の主な例を表 1 に示す。

表 1 知能化技術の主な例

知能化技術	必要なセンサ
自己位置推定	GPS, IMU, Camera, LiDAR
経路生成	GPS, Map
経路探索	Camera, LiDAR
経路追従	GPS, LiDAR
周辺環境認識（人、障害物）	Camera, LiDAR
地図生成	GPS, LiDAR, IMU

これらの機能の実現には、複数のセンサ情報を用いる必要がある。また、高度かつ安全性の高い自動運転を実現するためには、これらの各機能で得られた処理結果を統合して取り扱うことが重要となる。しかし、実際の開発過程においては、開発環境の違いや、各要素技術が別々のシステムとして稼動する、別々の PC 上で稼動している等、統合に際して大きな労力が必要となることも珍しくない。

そこで、開発効率の向上を進めるにあたって、ROS に対応した自動運転プラットフォームを構築することを目指した。

3 自動運転プラットフォームの開発

3-1. ROS の概要と特徴

ROS は、Robot 開発を目的として作られたオープンソースソフトウェアである。デバイス制御、プロセス間通信といった一般的なオペレーティングシステムに要求される機能が用意されている。当社を含め、自律ビークルは基本動作を各アクチュエータモータ制御によって行うことから、その特性上 ROS との親和性が高いことが知られている。

ROS の特徴は、研究開発におけるコードの再利用性が高い点にある。ROS は各プログラムを個別に設計、実行することが可能なため、共有や配布することが容易な構造となっている。様々な研究者が ROS 用ライブラリを提供・配布しており、それらを活用することでより開発効率を高めることが可能である。また、ノード（実行プログラム）の通信状態や、データ受け渡し状況をリアルタイムに確認するためのツールも提供されており、プログラム可読性も高いことが知られている（図 2）。

欠点としては、現状 Linux ベースのプラットフォームでしか動作しないこと、オープンソースであるため動作保証が必ずしも十分ではないことが挙げられる。

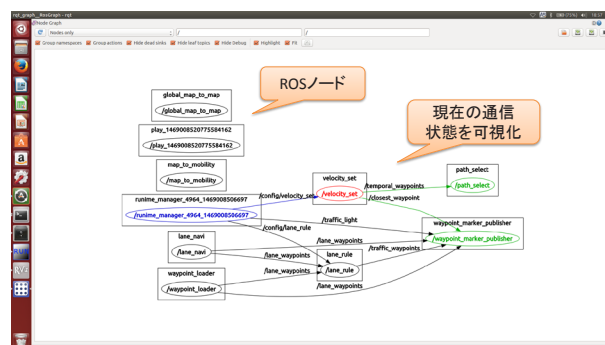


図2 ROSノード間通信のグラフ

これらをふまえ、当社で開発する自動運転プラットフォームにおいても、ROSを用いることで開発効率の向上や、外部研究機関や大学等で開発されている最先端のリソース活用が見込まれることから、ROS 対応自動運転プラットフォームの構築に取り組んだ。

3-2. ROS対応自動運転プラットフォーム

図3にROS対応自動運転プラットフォームの概要を示す。当社のROS対応自動運転プラットフォームは、車両プラットフォームと知能化プラットフォームとによって構成されている。

車両プラットフォームとは、外部コントローラからの速度指令、旋回指令に従い走行する当社独自のバイワイヤ車両のことである。車両プラットフォームは、MBD (Model Base Design) 対応の AUTOSAR 規格をベースにした独自開発 ECU を採用しており^[3]、ソフトウェア機能の追加やチューニングを容易に行うことができる。具体的には、リアルタイム OS として TOPPERS /ATK2^[4] を搭載しており、その上で Simulink^[5] によって開発した車両制御モデルが動作する。この ECU のさらなる機能拡張として、ECU の ROS ノード化を実現した。車両プラットフォームの ROS 対応機能の一覧を表 2 に示す。これらの機能によって、ROS の通信機能を介した車両制御が可能となり、開発期間短縮を図ることができた。また、車両プラットフォームと ROS との相互異常監視機



図3 ROS自動運転プラットフォーム

能を搭載した。これにより自動運転の信頼性向上に役立つと考えている。

智能化プラットフォームとは、運転に必要な認知・判断・操作を操縦者に代わって行う機能である。当社では、智能化プラットフォームとして、Autoware を採用した。Autoware について以下で詳細に説明する。

表 2 車両プラットフォーム ROS 対応機能一覧

機能名 (用途)
ROS Topic 購読 (速度指令などの受信)
ROS Topic 配信 (車両状態量フィードバックなどの送信)
ROS 内部 Service 実行
ROS 外部 Service 実行
外部 ROS ノードと AUTOSAR OS 間の相互異常監視

4 智能化プラットフォーム

「Autoware」による自動運転

4-1. Autoware概要

Autoware は、名古屋大学、長崎大学、産業走行技術研究所らが研究開発向けに作成した自動運転システム用オープンソースソフトウェアである。ROS をベースに作成されており、各種外界認識センサとの接続や自動運転に必要な基本機能が実装されている。地図や走行経路等の事前情報を入力することで、主に公道上での自動運転を実現している。Autoware の基本機能の一覧を表 3 に示す。

表 3 Autoware の基本機能

車両動作	環境認識
3 次元自己位置推定	車両
3 次元地図生成	歩行者
経路生成・追従 (0-60km/h)	レーン情報
交差点右左折/一旦停止	交通標識・路上サイン
自動停止	信号
自動駐車	移動体追跡

Autoware の特徴は、自動運転に必要な認知・判断・操作といった各機能が、GUI 上の操作で簡単に実行できる点である。例えば前方歩行者検出を行いたい場合、PC にカメラを接続し、必要なタブをクリックするのみで歩行者検出を行うことができる。その他にも、自動運転を行うための各機能が実装されている (図 4)。

従来の自動運転ではこの認知・判断・操作といった各機能は、基本的に高性能 PC を使って行うことがほとんどであるが、Autoware は車載対応も進んでいる。具体的には、車載用 GPU 搭載 ECU である、Nvidia 社の Drive PX^[6] 上で

の動作対応が進んでいる。Drive PX では、車両から供給される数十 W 程度の電力供給で、自動運転に十分な計算パワーを得ることができる。

当社自動運転プラットフォームも、車載 ECU として Drive PX を採用することで、智能化プラットフォーム機能の車載化を実現している。

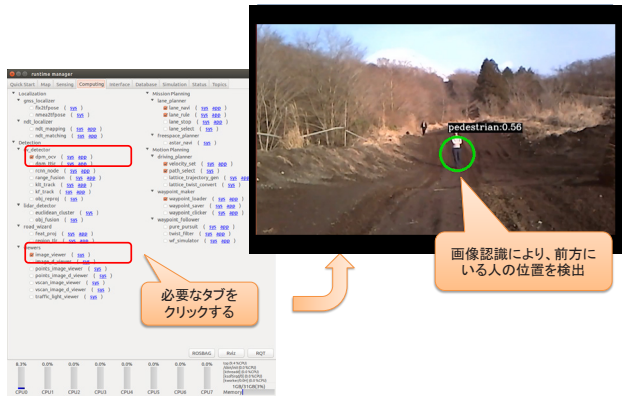


図 4 Autoware インターフェース例

4-2. Autowareによる自動運転

図 5 に、当社の自動運転プラットフォームを用いて自動運転を行った際のオペレーティング画面を示す。また、図 6 に走行時に使用した 3 次元地図を示す。まず、SLAM

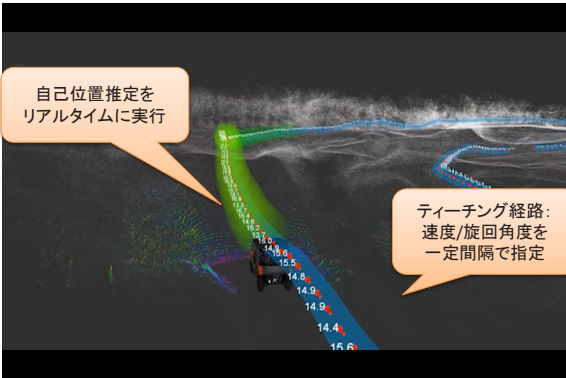


図 5 Autoware オペレーティング画面

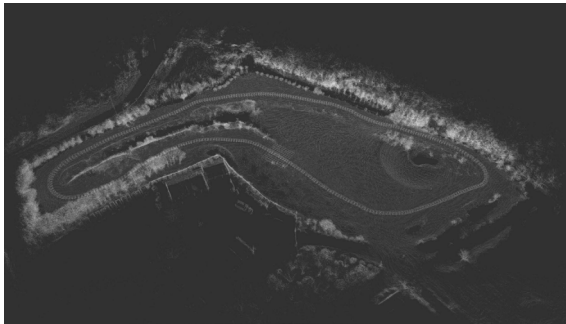


図 6 SLAM によって作成した 3 次元地図

(Simultaneous Localization And Mapping) と呼ばれる手法で走行環境の3次元地図を作成する。また、その地図上における目標経路情報も合わせて作成する。この地図情報と、走行中に得られるLiDAR情報をリアルタイムで照合することで、現在の車両位置を推定する。推定された自己位置と、経路情報から車両速度、操舵角を制御することで、自動運転を実現している。また、カメラとLiDARの情報から、前方の障害物認識および障害物までの距離推定を同時に行っている。進路上に人や車両がある場合は、自動停止を行う。

当社で開発したROS対応自動運転プラットフォームを活用することで、わずかな期間でセッティング～自動運転可能な状態にもっていくことができ、自律ビークルとAutowareの統合並びに実車両での自動運転を実現することができた。

5 おわりに

本稿では、ROS対応自動運転プラットフォームの開発と、自動運転システム用オープンソースソフトウェアであるAutowareを活用した自動運転について紹介した。

具体的には、自律ビークル用ソフトウェア開発にROSを導入、プラットフォーム化することで、外部研究機関や大学等で開発されている最先端の自動運転技術の社内取り込みが容易に行えるようになった。その一例として、ROSをベースとした自動運転用ソフトウェアであるAutowareを利用することで、より短期間で実車両での自動運転を実現することができた。

現在ROSをベースにした当社独自の智能化技術を開発している。これらの開発技術を用いて自動運転を実現することと平行して、Autowareを用いて自動運転の実績を積み重ねていくことで、高性能な自動運転の早期実現を目指していく。

将来的にはROSを通してシステム全体の状態を監視することができるような、機能安全を考慮したECUの監視機能の実装を視野に入れて開発を進めていきたい。

■謝辞

本開発にあたり多大なご協力をいただいた名古屋大学情報科学研究科情報システム学専攻の加藤真平先生、並びに株式会社永和システムマネジメント 組込み技術センターの高橋修氏、森崇氏、中垣内勇祐氏に厚く御礼申し上げます。

■参考文献

[1]石山健二、神谷剛志：ロボットカーによる建設現場における無人測量、および経路追従制御のための位置・姿勢推定技

術；ヤマハ発動機技報 2008-12 No.44

[2]平松裕二、藤井北斗、神谷剛志、望月靖之、大沼和樹：無人車開発用環境シミュレータの開発；ヤマハ発動機技報 2013 No.49

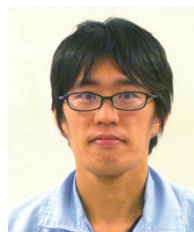
[3]藤井北斗、神谷剛志：自律ビークル用ECUソフトウェアの高速開発技術について；ヤマハ発動機技報 2014-12 No.50

[4] TOPPERS/ATK (Automotive Kernel) は、TOPPERSプロジェクトで公開している自動車制御用リアルタイムOSの総称
TOPPERSは、TOPPERS プロジェクトの商標

[5] SimulinkはMathworks社の商標

[6] Drive PXはNvidia社の商標

■著者



難波 直樹
Naoki Namba
技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部



藤井 北斗
Hokuto Fujii
技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部



張 炎甫
Zhang Yanfu
技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部



神谷 剛志
Tsuyoshi Kamiya
技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部