

技術紹介

8

AIミニ自動運転車の開発

Development of AI minicar

高下 友輔	Yusuke Koge	コネクタ事業部 要素技術開発部
芦部 健太	Kenta Ashibu	コネクタ事業部 要素技術開発部 マネージャー
松永 章宏	Akihiro Matsunaga	コネクタ事業部 製品企画部 シニアマネージャー
高橋 威	Takeshi Takahashi	コネクタ事業部 製品企画部 マネージャー
佐々木 雅浩	Masahiro Sasaki	コネクタ事業部 技術業務推進部 マネージャー
幸田 静絵	Shizue Koda	コネクタ事業部 技術業務推進部

キーワード: AI、自動運転車、組み込み、CEATEC 2021 ONLINE

Keywords: AI, Autonomous car, Embedded system, CEATEC 2021 ONLINE

要 旨

近年、AI やIoT、自動運転といった先端技術開発が進み、当社はこうした技術を支える部品・コネクタを数多く開発し販売しています。

このような背景から、実践的な AI・センシング技術の獲得と応用を目的とした研究テーマを立ち上げ、各種 JAE 製品を搭載した AI ミニ自動運転車の開発に取り組みました。開発した成果物は「コネクたん™」と名付け、「CEATEC 2021 ONLINE」ならびに「JAE YouTube チャンネル」に出展・公開しました。

本技報では、テストコース内で自律走行を達成した「コネクたん™」の開発を通して得られた、センシングや AI、組み込みといった分野の技術とともに、動的な製品プロモーションについてご紹介します。

SUMMARY

In recent years, various advanced technologies like AI, IoT, and autonomous driving are developed. We develop many electric components and connectors that supports these technology. In these background, we started research project to acquire practical AI sensing technology, and developed small autonomous driving car with our products. We named that car "CONNECTAN", and exhibited it at "CEATEC 2021 ONLINE" and "JAE YouTube Channel". In this report, we introduce technology about sensing, AI, embedded system and dynamic sales promotion method that we acquired through the development the small autonomous driving car.



図 1. 作製した AI ミニ自動運転車「コネクたん™」

1. はじめに

AI や IoT といった情報技術の発展に伴い、電子部品のアプリケーションの形態が多様化してきています。このような背景から、様々な応用先に関する知見を獲得すべく、開発トピックにセンシング、AI、画像処理、組み込みといったソフトウェア関連の技術を盛り込んだデモ用のミニ自動運転車を試作しました。コネクタメーカーの当社が苦手とするところであるこれら技術分野に対する理解を深めつつ、動的なデモ展示による製品および取り組みの効果的な PR を図るため、まずは CEATEC 2021 ONLINE に狙いを定めて開発を行いました。これらのコンセプトと目的について図 2 に示します。達成タスクの検討から、センサデータ処理プログラムの開発や制御システムの検討、配線・外装設計までボトムアップ形式で開発しましたので、この一連の取り組みについてご紹介します。



図 2. 取り組みのコンセプト

2. 取り組みの概要

2.1 目的

本取り組みでは、センシング、AI、画像処理、組み込みに関する知見の獲得、並びにより効果的なコネクタのプロモーションの実施を目的としています。幅広い分野の技術を組み合わせつつコネクタ製品の応用形態の一つとしてデモ機を開発・展示することで、動的な展示の実施、ひいては取り組みそのものをプロモーション材料とするべく、開発を行いました。

2.2 課題設定

センシング技術と AI による画像処理技術を組み合わせた、自律走行する模型車両を開発することを目指します。さらに、作製した車両に対してテストコースを設定し、障害物回避や一時停止、先行車追い越しなどのタスクを行わせ、コースを完走することを目指します。また、このテストコース走行の様子を動画撮影し、展示会への出展を行います。

2.3 コース設定

実際に模型車両が自律走行している様子をデモ動画として撮影するにあたり、走行用のコースを設定・作成する必要があります。車両のサイズおよび回転半径に基づいてコース寸法を決定し、タスクとして車両追い越しを行う都合上、二車線分の幅を設けた長方形のコースを作製しました。また、コース中には、タスク実施の対象として 3 種類の障害物を配置してあります。図 3 に、コースの外観と障害物の配置を示します。

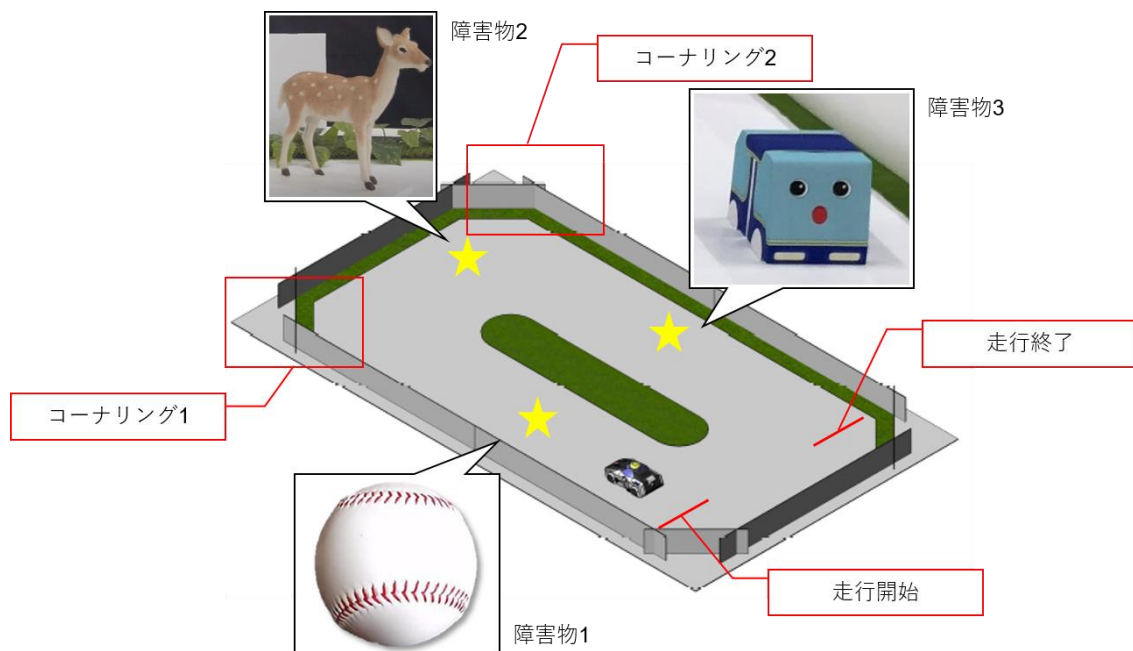


図 3. コース外観

3. 製作内容

3.1 車両構成

はじめに、ベースとなる車両全体の構成をご紹介します。基本車両として市販品のキットを採用し、センサやカメラを組み合わせ、それらのデータを受信・処理・判断するプログラムを作成することで自律走行のシステムとして構築しました。この基本車両は DC モータとシャーシ、さらにモータ制御基板、そしてメインコンピュータである Raspberry Pi から構成されています。Raspberry Pi の GPIO (I2C 使用) によりモータ制御基板へモータの回転速度、回転方向を指示することで簡便な制御を可能

にしています。この制御プログラムとセンサデータの受信および分析プログラムを連動させることで、センサデータを参照した制御を実現することができます。本開発においては、周囲の環境を計測するセンサとして **LIDAR** を選定いたしました。**LIDAR** は、実際の自動運転車においても重要なセンサの一つとされ、レーザ光により周囲の物体との距離と角度を計測するセンサです。さらに、本開発の目的の中には画像処理の知見を得ることが含まれています。画像の処理には大きな計算コストがかかることが予想されたため、計測制御用の端末とは別途もう 1 台 **Raspberry Pi** を追加し、画像処理専用マシンとして動作させ、計測制御用の端末とは独立させ画像処理を行う構成としました。ベース車両全体の構成を図 4 に示します。

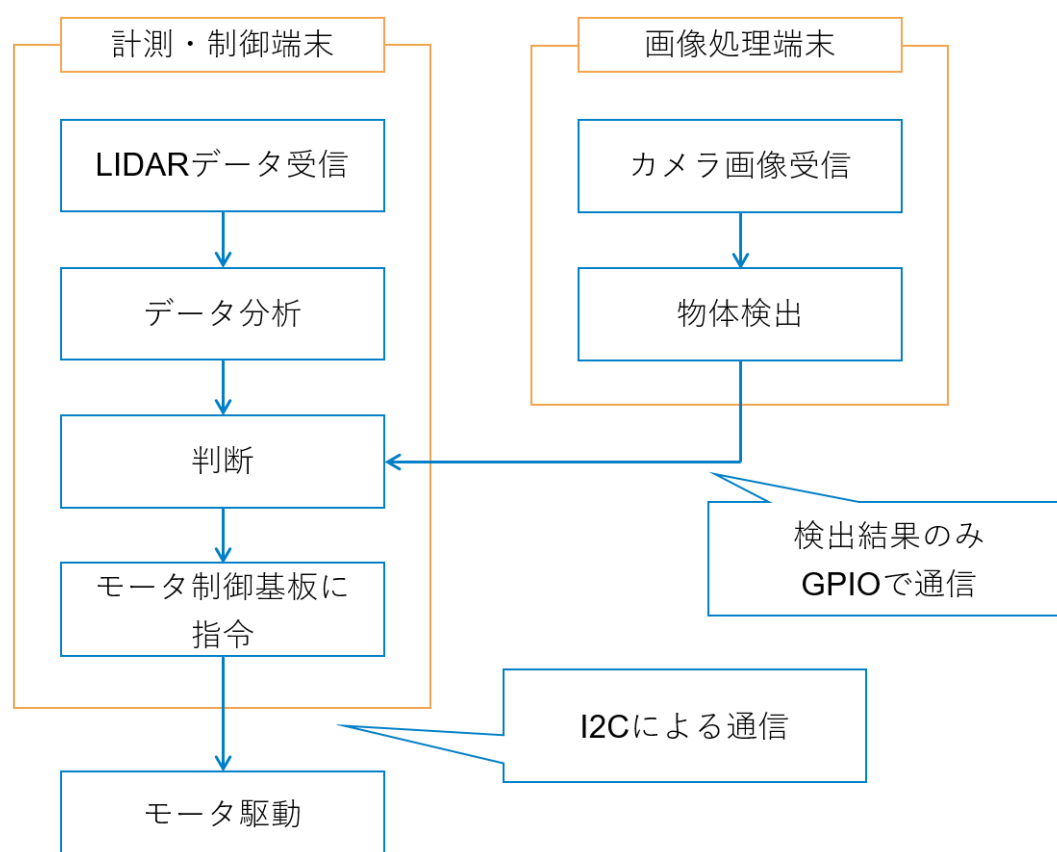


図 4. 全体構成と処理フロー

3.2 組み込みシステム

本開発においては、車両制御を一般的な制御工学で取り扱うような連続的な制御システムではなく、ステートマシンのような離散的な制御システムとして取り扱いました。直進、停止、コーナリングの 3 種類の状態を設定し、各状態に対応したモータ出力をフィードフォワード形式で行いました。このような離散的なシステムとして取り扱うメリットを以下に示します。

1. 連続的な制御と比較して簡易に問題を取り扱うことができる
2. フィードフォワード形式の出力であるため応答が速く、安定している
3. センサデータの分類問題として取り扱えるため、AI・ソフトウェア技術と相性が良い

まず、一つ目のメリットである問題の簡単化について述べます。各状態における車両挙動を予め定義しておき、センサデータに基づいて動作状態を切り替える方式をとることで、連続的な応答を詳細に検討する問題から状態遷移の条件のみに注目する問題へ置き換えることが可能となります。

次のメリットとして、条件分岐の演算のみ行えばよいため、センサ入力に対する応答が速く、また応答の振動や発散が起きないため安定した走行が可能であることが挙げられます。本開発においては、走行コース中の障害物以外の外乱の影響をほぼ無視できるため、このようなフィードフォワード制御に近い形式の出力を行うことが有効であると考えました。

最後に、画像処理・物体検出技術と相性が良いことが挙げられます。多くの場合、画像認識 AI の機能として離散的な分類結果が出力されるため、ステートマシンと相性が良いと考えました。具体的には、図 5 に示すように停止・直進・コーナリングの 3 つの状態を持つマシンと考え、センサの値やカメラ画像の判断結果に基づき状態を切り替えていく構成としました。

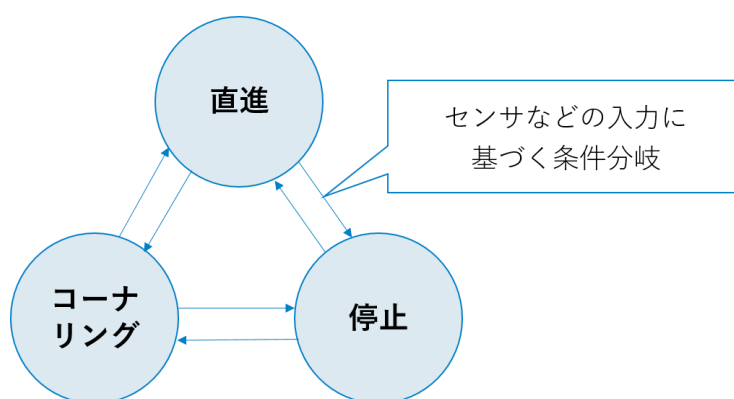


図 5. AI ミニ自動運転車の状態遷移図

3.3 LIDAR データ処理

ここで、LIDAR データの制御反映について述べます。今回採用した「RPLIDAR A2M8」からのデータは、USB を経由して[角度, 距離]という形式で送信されます。したがって、LIDAR センサのデータに基づいた制御状態の遷移は、角度と距離の 2 変数に対する分類問題と考えることができます。この問題について、テスト走行を行いつつ機械学習を用いた分析や、現実の走行状況に対する合わせ込み等を行って状態の遷移条件の絞り込みを行いました。分析には、結果解釈がしやすいとされる決定木などを用いました。¹⁾この条件を達成次第、プログラム開始直後に設定した「直進」の命令に割り込んでコーナリングや停止の動作をフィードフォワード形式、すなわち予め設定した固定値の出力で行います。また、LIDAR からのデータ受信周期は非常に高速であり、データ受信をメインループから独立させるとデータの取りこぼしが生じるため、LIDAR データの受信ループをメインループとして扱い、他の動作をこれに同期させることで、受信の取りこぼしの無いデータ処理を実現しました。

3.4 画像処理

本開発における大きなテーマの一つである画像処理による物体検出について述べます。本開発においては、走行中のカメラ画像から進路上の障害物を検出し、制御に反映させることを目標としています。

そのためには、リアルタイム性の高い手法であることが必要となります。このことから、本開発では「YOLO」という手法を選定し、物体検出にトライしました。この手法はディープラーニングを用いた物体検出のモデルの一つでありながら、処理にかかる時間を削減する工夫が導入された手法となっています。²⁾また、多くの研究開発や試作の現場で活用されており、既存の学習モデルをもとに任意の検出対象を学習することで、もともとの検出対象ではない物体を検出することが可能になる等、応用性にも優れた手法です。今回の開発ではこのモデルを利用し、障害物として配置する野球ボール、鹿の置物、先行車両を学習させ検出対象としました。

3.5 搭載・PR コネクタ選定

当社では、様々な用途に向けたコネクタを開発・販売しています。多種多様な製品の中から、自動車やロボット、通信といった今回のAIミニ自動運転車に適したアイテムを選定し、センサやカメラ、ヘッドライトなどの接続といった用例とともに紹介しました。候補としてピックアップされたコネクタおよび CEATEC 2021 ONLINE の出展動画で紹介したコネクタを図 6 に示します。



図 6. 候補コネクタと紹介したコネクタ

3.6 外装設計

効果的なプロモーションを行うために、AIミニ自動運転車の外装は展示およびPR動画撮影に適したデザインである必要があります。要求される項目として、大きく機能性とデザイン性の2点が挙げられます。以下の表1に外装デザインの要求項目について示します。

表 1. 外装デザインの要求項目

機能性	1. アピールすべき製品が見やすいこと 2. 車両のスムーズな走行に支障をきたさないこと 3. 周囲を計測するセンサ類を適切な位置に設置出来ること
デザイン性	1. 近未来的な印象を持たせ、AIや自動運転といった本開発の趣旨や取り組み内容を容易に想起させること 2. 親しみやすく、興味を持ちやすいマスコットキャラクター的な外見であること

機能性 1 について、展示会および PR 動画にて社外向けに製品をアピールするにあたり、外観中に当社製品を発見しやすいデザインである必要があります。そのために車両外部、あるいは車両内部のインターポーザ基板外縁部など見やすい位置へ製品を配置する設計としました。また、必要に応じて外装に透明な箇所を設けることで車両内部のコネクタを見やすいように工夫しました。

次に、機能性 2 に求められる項目は、駆動部へ干渉しないことや外装自体の重心が著しく偏っていないことが挙げられます。3.1 で述べたように車両のベースとなっているのは市販品の簡易な車両キットであるため、駆動部品の配置や車両内部が必要とするスペースは変更しづらく、外装はキットの形状に合わせる形で設計する必要があります。この過程で外装に駆動部への干渉や重心の偏りが生じないように配慮した設計としました。最後に、機能性 3 について、カメラや LIDAR といったセンサ類については計測を実施しやすい位置、すなわち車両の中心軸上に配置することが望めます。計測制御や機械学習、AI といった技術にとって、インプットされるデータの質は非常に重要なファクターであり、傾きや位置的な偏りのない場所がセンサ配置場所として適切であると考えられます。本開発に用いたセンサ類については、カメラ・LIDAR のどちらも車両の中心が適した位置であるため、車両の中心に水平に配置できるように外装を設計しました。

デザイン性 1 について、どのような機能が搭載されており、どのような動作を行うものかを直観的に理解できる外装であることが望めます。したがって、自動運転や AI といったキーワードを連想させるような近未来的な外観をコンセプトにデザインを行いました。さらに、デザイン性 2 について、親しみやすく、子供から大人まで興味を持たれやすいマスコットキャラクター的な外見とし、サービスのイメージを直感的に伝えることで、効率の良い宣伝効果を狙いました。

このように、幅広い世代に向けて当社のブランドイメージ向上と製品 PR ができるマスコットキャラクターとして開発した成果物を「コネクたんTM」と名付けました。完成した AI ミニ自動運転車を図 7 に示します。この外観と名称については商標を出願中です。



図 7. 完成した AI ミニ自動運転車

4. デモ走行の実施

4.1 デモ走行の実施

機能の実装、および外装の作製が完了したため、2.3にて作成した走行用コースにて、実際にデモ走行の実施と展示用動画の撮影を行いました。走行開始位置に車両を設置し、走行開始の指示を送信したのち、自動的に各障害物に対して回避や一時停止の措置が行われ、走行終了位置で停止するまでの様子を動画に記録しました。この時に各障害物に対して設定された車両の挙動を以下の図8に示します。

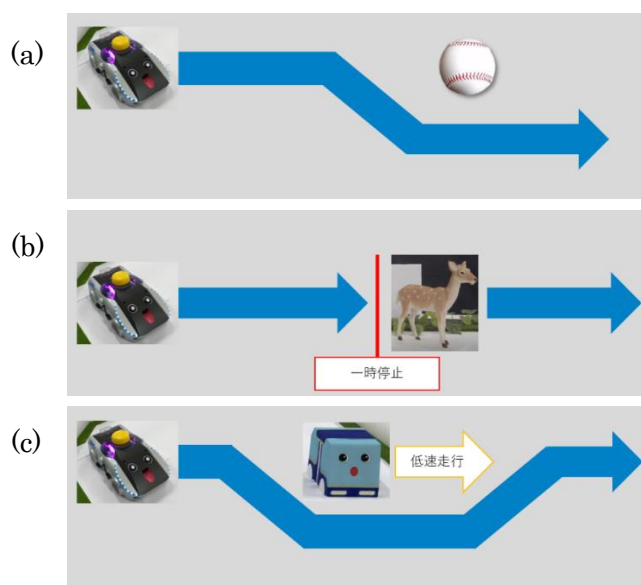


図 8. 各障害物に対する車両の走行軌跡

(a) 野球ボールを回避, (b) 鹿の置物の前で一時停止, (c) 先行車両の追い越し

4.2 結果と考察

作製したAIミニ自動運転車にて、予め設定した課題を達成しコースを完走することに成功しました。この様子はCEATEC 2021 ONLINEに動画として出展し、当社のYouTubeチャンネルにも掲載しています。³⁾ここで、物体検出の処理について当初は走行中に画像処理をリアルタイムに行い、制御に反映する計画でしたが、この処理速度では走行中の制御反映は困難と判断し、実際の障害物回避はLIDARによる距離計測のみによって行いました。ゆえに、物体検出については一度記録し終わった主観視点映像に対して、より高性能な環境で物体検出処理を実施し、構築した物体検出モデルの性能を評価することとしました。このようにした理由として、採用モデルに対してコンピュータの性能が足りていなかったこと、処理に使用したカメラの画素数が多く、処理に時間がかかってしまっていたことが挙げられます。したがって、今後物体検出等を行う際はモデルとコンピュータ性能の兼ね合いを正しく把握し、入力画像のサイズ等も過不足の無いものにする必要があると考えられます。

5. まとめと今後の課題

自動運転車に主に用いられるセンサであるLIDARとカメラを搭載したAIミニ自動運転車を開発しました。そして、障害物回避などの自律走行を達成し、走行時の動画をCEATEC 2021 ONLINEに出展しました。

さらに、本開発の過程で、センサデータの処理と制御を遅延無く行うための知見並びにカメラ画像中の物体検出に関する知見を獲得しました。それぞれのトピックについて得られた知見を以下に示します。

① センサデータ処理と制御反映

本開発で取り組んだ外乱の少ない環境においては、制御対象をステートマシンとして取り扱うことで連続的な制御の問題から離散的な分類の問題に置き換えることができ、効果的な制御を実施できることが分かりました。また、LIDARのような高速かつ一定速度でデータを取得し続けるセンサについて、データ受信そのものを制御ループの基準とすることで、マルチスレッドを使用することなく安定した制御ループを実装することができました。

② 物体検出

デモ走行時に撮影した主観視点の映像をもとに、デモ走行コース上の障害物について物体認識を達成しました。また、シングルボードコンピュータでリアルタイムにYOLOを動作させることは難しく、コードの工夫やカメラ画素数との兼ね合いが必要であることが分かりました。YOLOはディープラーニングを用いた手法の中では比較的高速に動作することで知られていますが、本開発で使用した「Raspberry Pi 4」では処理速度が1 fpsを下回ってしまい、直接リアルタイム制御に応用するのは難しいことが分かりました。

こうして、ディープラーニングを使用したメジャーな画像処理のアルゴリズムであるYOLOにトライし、さらには任意の新たな検出対象を追加で学習させたノウハウは、今後のAIに関連する研究開発の一助になると考えられます。

[参考文献]

- 1) Sebastian Raschka, Vahid Mirjalili, *Python Machine Learning: Machine Learning and Deep Learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow, 2nd Edition*, (Packt Publishing, UK, 2017).
- 2) J.Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, arXiv: 1506.02640 (2015).
- 3) JAE LAB AI ミニ自動走行車をつくってみた！ (<https://www.youtube.com/watch?v=v5lBrDzdr18>)