

車両遠隔制御自律走行搬送システムの開発

トヨタ自動車株式会社

代表取締役社長 豊田 章 男

トヨタ自動車(株) 車両品質部	澤野 拓朗
トヨタ自動車(株) 車両品質部	安山 翔悟
トヨタ自動車(株) 車両品質部	岩堀 健人
トヨタ自動車(株) 車両品質部	池田 圭吾
トヨタ自動車(株) 第2シャシー開発部	狩野 岳史

はじめに

Connected（コネクティッド）、Autonomous/Automated（自動化）、Shared（シェアリング）、Electric（電動化）といった「CASE」と呼ばれる新しい領域で技術革新が進む中、クルマの概念は大きく変わろうとしている。トヨタ自動車は、モビリティに関わるあらゆるサービスを提供し多様なニーズにお応えできる「モビリティカンパニー」として、「未来のモビリティ社会」の実現に取り組んでいる。

また、近年足元では、国内労働人口の減少による人手不足が深刻化している（図1）。これに加え、自動車業界においては、国際競争の激化、原材料費の高騰などの影響を受け、生産性を飛躍的に向上できる新たなクルマづくりが必要である。

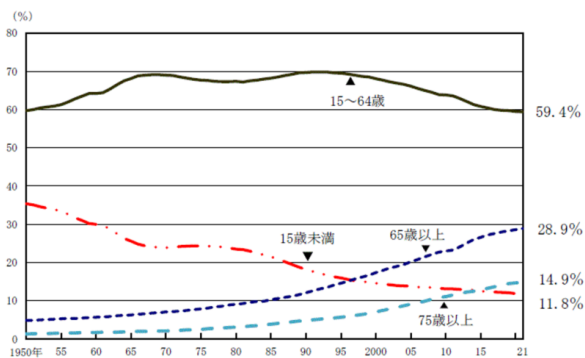


図1 年齢区分別人口割合の推移

(総務省統計局 人口推計 令和3年10月1日現在)

開発のねらい

これらの背景から、車両工場における生産性向上の課題となっていた、「車両搬送作業」の自動化に取り組んだ。車両搬送自動化のアプローチは、コンベアやロボットなどの搬送設備によるものが一般的だが、初期投資や維持管理費の負担、生産ラインのレイアウトに対するフレキシビリティ不足などの課題がある。

今回、CASE領域の技術を最大限活用し、量産車そのものを無人で走行させる、車両遠隔制御自律走行搬送システム（Remote Control Auto Driving System：以下RCDと記載）を開発し、世界に先駆けて量産活用した（図2）。



図2 RCDによる車両搬送の様子

装置の概要

RCD は、運転操作における認知・判断・操作の機能を、車外の制御システムが担い、車と無線通信することで自律走行搬送を行う（図3）。

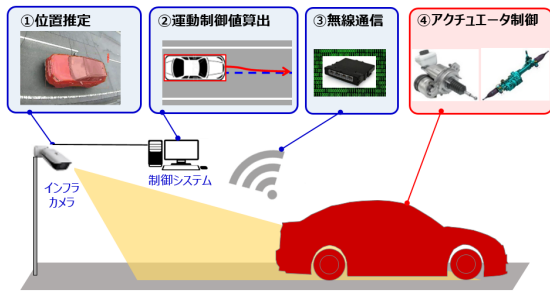


図3 RCDシステム 制御フロー概要

制御の流れを次に示す。①車両の位置推定は、インフラカメラによるセンシングで、リアルタイムに画像処理を行うことで実施する。また、安全確保のため、インフラカメラは走行エリア内の人や車を検知する予防安全機能を搭載している。②車両運動制御指示値は、制御システムが位置情報・目標経路・車両状態等から総合的に算出する。③無線通信で運動制御指示値を車両に伝達する。④車両は受信した運動制御指示値の通りに、パワートレインやステアリング、ブレーキ等のアクチュエーターを駆動することで自律走行する。以上①～④の一連の制御を、低遅延・高速周期で繰り返し行うことで、遠隔での車両運動制御を可能としている。

技術上の特徴

RCDの特筆すべき点は、2点あると考える。一つ目は、設備としては、メカ機構が不要な点である。ソフトウェアを中心としているため維持管理がしやすく、アップデートも容易である。二つ目は、ADAS（Advanced Driving Assistance System）用途の車載外界センサが不要な点である。RCDは、無線通信のインターフェースと電子制御可能なアクチュエーターのみ搭載されて

いれば実現可能である。そのため、様々な車種・グレード・仕様の車を混流生産する車両工場において、量産適用しやすく、急速に普及しているバッテリーEV等の電動車とも相性が良い。

車両生産・物流における適用のための技術的課題は、①車両測位精度確保とコスト低減の両立、②運動制御指示の精度確保、③無線通信安定化、④安全性確保と評価、その他にも頑強なセキュリティ対策など多岐にわたる。①～④について、RCDにおける解決手段を次に記述する。

①車両測位精度確保とコスト低減の両立

インフラ主体の自律走行搬送においては、車両位置と方位角が運動制御指示の基準となるため、精度の確保が重要である。既存技術は、ADASセンサの使用や、インフラセンサとしても高価なLiDARを使用するなどしてローカライズを行っているが、コストが課題となり普及のハードルになっている。

RCDでは、車両測位のためのセンサは、インフラカメラのみを採用し、高速で物体検出とセグメンテーションを同時に行うことができる画像処理モデルを使用（図4）。これにより、車両の外形を正確に取得することができるため、測位座標と方位角を精度良く算出することができる。

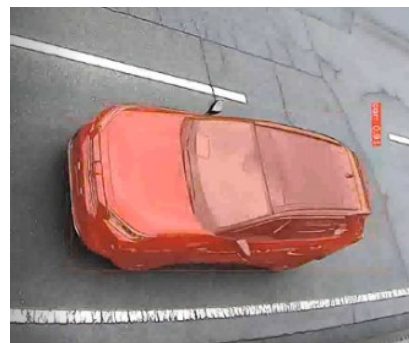


図4 画像処理

②運動制御指示の精度確保

運動制御の目的は、目標経路に追従して走行させることである。制御における課題は、通信及び演算処理遅延の無駄時間があることと、画像処理では完全には避けることができない方位角のS-N比悪化の影響である。

これらに対して2つの対策を実施した。一つ目は、目標経路の曲率から舵角操作量を決めるフィードフォワード(FF)と、車両位置と目標経路との横偏差から舵角操作量を導くフィードバック(FB)の二自由度制御構成とすることである。経路追従は主にFF制御が担い、誤差や外乱に対するロバスト性向上はFB制御が担う(図5)。安定性確保のためFBゲインは控えめに設定している。

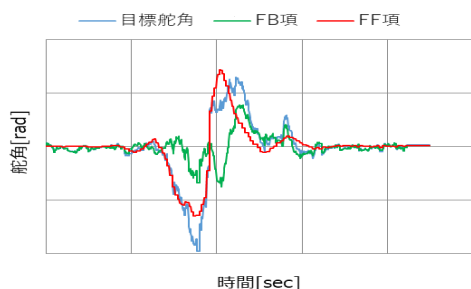


図5 目標舵角におけるFF項とFB項内訳

二つ目は、方位角の推定を画像処理のみに依存せず、車載センサを併用した精度向上手法である。画像処理では絶対値が取得できるメリットがあるがS-N比悪化のデメリットもある。一方、車載センサはS-N比が良いが、積分誤差が蓄積する課題がある。そこで、画像処理と車載センサ積分双方のメリットを活かすことで、高精度な方位角推定を実現した(図6)。以上により、目標とした精度を達成した。

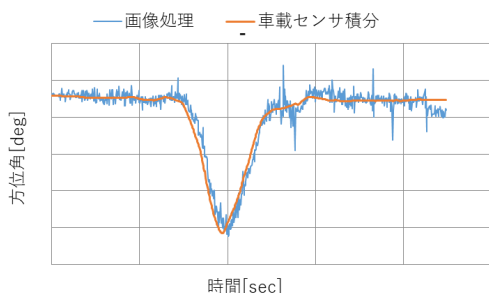


図6 方位角推定

③無線通信安定化

車両遠隔制御においては、無線通信による高速周期での制御値送受信が必要であるため、通信品質の安定化が重要である。一般的に、無線通信では、電波干渉・ノイズ・フェージングにより品質が劣化するリスクがある。事実、開発当初

は、途絶や遅延に悩まされ、思うような制御ができなかった。

そこでRCDでは無線通信を冗長化し、常時、電波強度等の通信品質に関わる指標を評価し続け、総合的に高品質と判断できる無線通信経路を採用するロジックを導入した(図7)。これにより、通信遅延や途絶が起きる確率を大幅に低減することができた。また、万が一、途絶が発生した場合は、車両側で途絶を検出し自動でブレーキをかけて停車の上、自律走行制御を停止する仕様とすることで安全性を確保している。

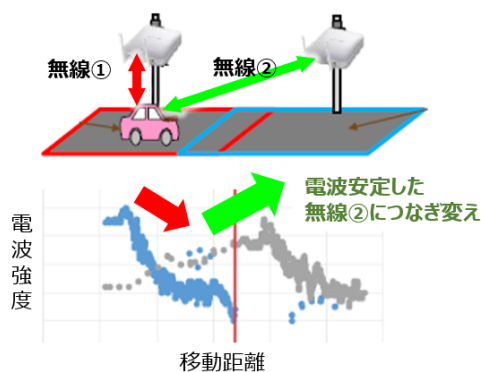


図7 無線通信冗長化

④安全性確保と評価

トヨタ自動車は、モビリティカンパニーとして、モビリティを通じて人々の生活を豊かにしたいと考えている。中でも「安全」を最優先の課題と位置づけ、「交通事故死傷者ゼロ」を究極の目標に、すべての人に移動の自由をお届けできるよう、安全な自動運転の開発を進めている。その実現のためには、安全な「クルマ」の開発はもちろん、ドライバーや歩行者という「人」、信号や道路整備など「インフラ」の「三位一体の取り組み」を推進している(図8)。



図8 三位一体の取り組み

RCD 開発においても、三位一体の安全な仕組みを構築している。車と設備は相互に状態監視することで、安全機能を補完し合っている。万が一、車の異常が発生した場合は、設備が車の異常を検出し自律走行を停止させる。一方で、設備側で経路逸脱等の異常が判定される場合には、自律走行の停止を指示し、即時、安全に停車することができる。

評価に関する課題として、実際に RCD を導入する製造現場での評価は工場非稼働日のみしか実施できず、開発期間確保が課題であった。そこで車の動きをモデル化し、現場環境の制御システムと結合したシミュレーション環境を作成（図 9）。モデルには車両位置推定の標準偏差や無駄時間を織込み、机上で仕様検討と定数適合の開発サイクルを回した。これにより、開発期間を短縮しつつ信頼性を向上させた。

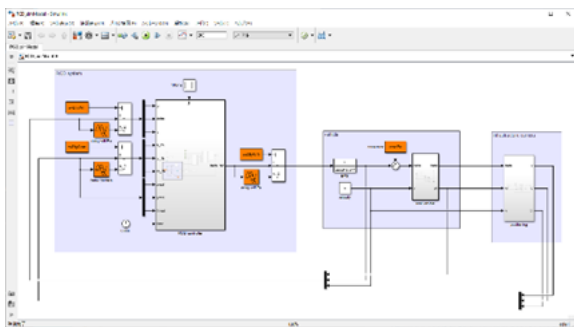


図9 シミュレーション環境

その上で、屋外・屋内での実車検証環境を構築し、評価と改善を繰り返して実施（図 10）。屋外では天候や時刻等の制御不可因子を振り、AI モデルとロジックを強化。屋内では、天井が 2.5m 程度の低い建屋も想定し、カメラ高さ等の条件を変えて評価した。これらの結果、RCD を導入した製造現場では、数万台の自律走行実績において、安全かつ高い稼働率での運用を実現している。

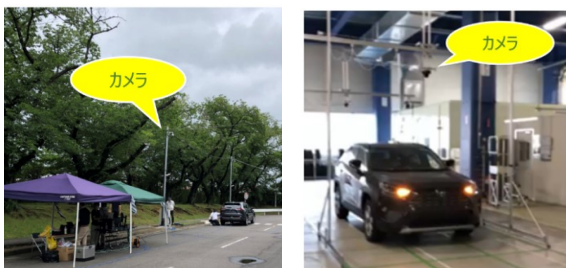


図10 屋外・屋内評価の様子

実用上の効果

弊社元町工場における、車両組立工場の建屋から、検査工場建屋への車両搬送工程は、当初計画では日当たり 6 人の作業者による運搬が必要であった。また、運搬後に開始地点まで戻る歩行距離の累計は、毎日一人あたり 15km にも及び、大変な作業でもあった。この工程に RCD を導入することにより、搬送自動化の省人化効果と、工程のフレキシビリティ確保を実現している。また、当該作業者は、より付加価値の高い業務に従事することが可能となるため、人を活かす技術と言える。

知的財産権の状況

本件に関する特許登録（代表）は下記の通り。

① 日本国特開 2021-62790

名称: 車両の移送システム

概要: セキュリティ面の安全性を向上させながらも、車両と外部システムとの間での無線通信によって車両を生産ラインに沿って自走させる

むすび

RCD は「設備による車の運転」という極めて汎用的な技術であり、車両の装備や機能への要件が最小限であるため、普及させやすい技術である。そのため、車両工場の生産性向上のみならず、安全・安心で利便性を高める、様々なモビリティサービスに転用できる可能性を秘めている。

一方で、これまで述べてきた通り、RCD は CASE に関わる様々な技術の組み合わせから成り立っているため、より多くのユースケースで活用するためには継続的な進化が必要である。今後も、リアルな製造現場でシステムと技術力を鍛え、「全ての人の移動の自由」に資する技術革新に貢献していく。