

インフラ連携狭域自動運転システム

Autonomous Driving Service in Dedicated Area Cooperated with Infrastructure

要旨

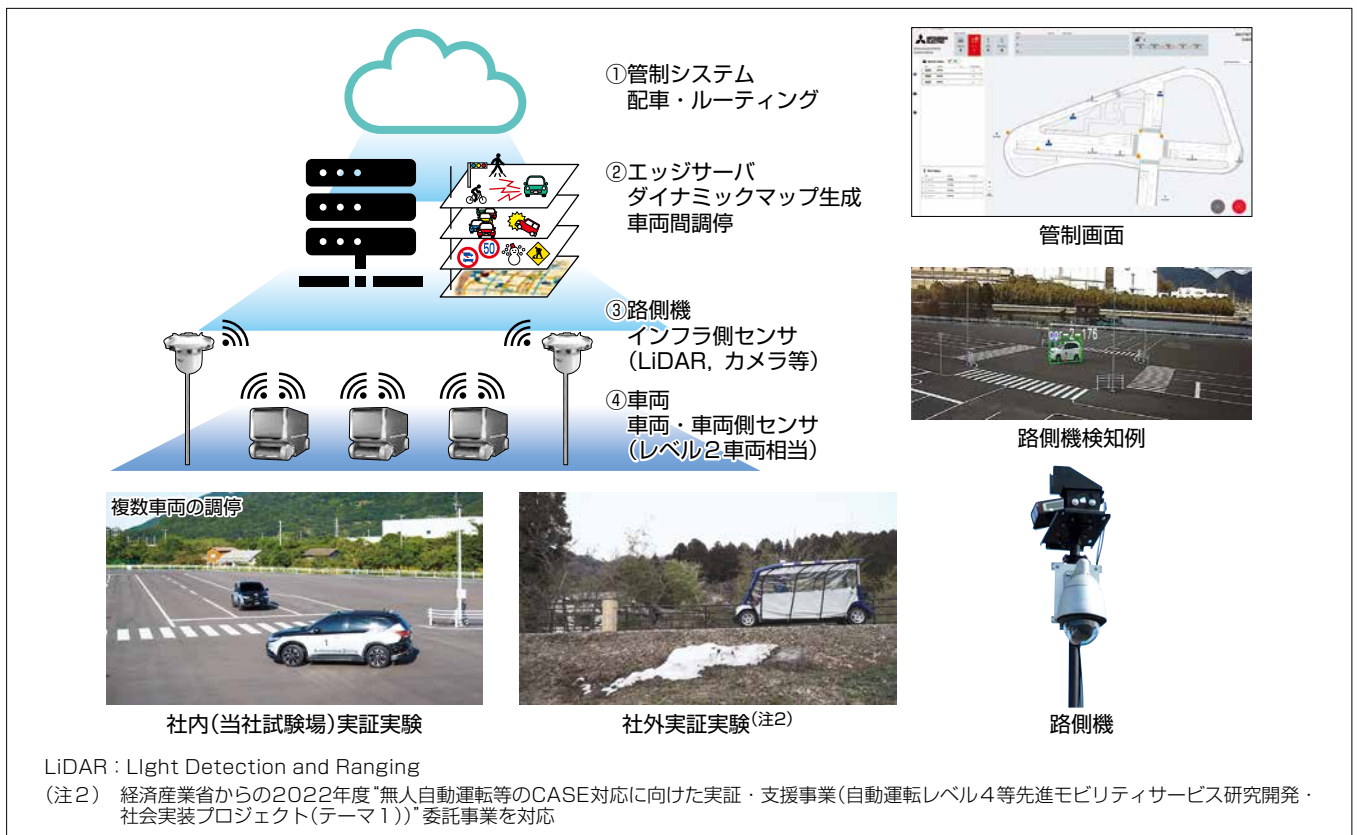
現在日本では少子高齢化に伴う労働人口の減少で、特にバス・トラックの運転などの労働力不足の問題が顕在化している。この問題は単なる産業低下ではなく、地方ではモノが届かない、移動できないという日常生活への影響へとつながるため日本政府も力を入れて取り組んでいる。このような社会的背景の下、自動車産業に押し寄せる“CASE^(注1)”の波は、自動車業界だけにとどまらず、関係する周辺の産業までも巻き込んで、様々な変革を引き起こしている。

三菱電機は、あらゆる天候下で持続的にドライバーレスの自動運転が実現できるインフラ連携狭域自動運転システムの開発に取り組んでいる。このシステムでは、複数の路側機センサで検知した物標情報をあらかじめ持っている高

精度地図上にプロットし、リアルタイムに自動運転車両に配信することで、自動運転車両は自車両含めた周辺の情報を容易に取得できる。また自動運転の肝になる経路上の障害物情報をインフラで生成することで車両側は高精度に自車位置を検知する高精度ロケータの出力だけで経路に追従する制御が可能になる。

開発中の技術を活用した実証実験を通じて技術課題の解決を進めるとともに社会実装を進めて、持続可能なモビリティ社会の発展に貢献する。

(注1) Connected：コネクテッド
Autonomous：自動運転
Shared & Service：シェアリング・サービス
Electric：電動化



インフラ連携狭域自動運転システム

インフラ連携狭域自動運転システムは、エリア内の車両や歩行者を検知する路側機センサ情報から、エリア内の障害物情報を生成し車両に情報配信することで無人の自動運転を実現する。オンデマンド交通や物流センターなどへの展開が期待できる。

1. ま え が き

政府がまとめた“官民ITS(Intelligent Transport Systems)構想・ロードマップ2020”(図1)にも述べられているとおり、現在の自動運転開発は、限られた時空間での自動運転を追求するもの(A=物流/移動サービス)とより多様な環境下での適用を追求するもの(B=オーナー・カー)という二つのアプローチで進められている⁽¹⁾。

実用化に関しては国内だけでなく世界中で多様な方式による自動運転の提案がなされ、多くの実証実験が実施中であるが、法令の整備や実現技術に関していまだ課題が残っており各社開発を進めている状況である。

本稿では、Aに関して当社が取り組んでいるインフラ連携狭域自動運転システムの開発及び実証実験の状況に関して述べる。

2. インフラ連携狭域自動運転システム

2.1 全体構成

物流/移動サービスの実用化のため、最も達成しなければならないのは車両から運転操作に係る対応に関してドライバーなし又はドライバーの主要なタスクを削減することである。エリアを狭域に限定して対応するのは、ドライバーには自動運転システムでは困難な個別具体的な対応が要求(例えば緊急車両への対応や警察官などの誘導指示など)されるが、運行条件を絞ることで実現可能な機能に特化し実用化するためである。

図2にこの開発でのインフラ連携狭域自動運転システムの構成図を示す⁽²⁾。インフラ側には車両の配車・走行経路を作成する管制システム、エリア内の物標を検知する複数の路側機、複数の路側機で得られた情報と高精度地図情報に基づいてダイナミックマップを生成するエッジサーバ(MEC: Multi-access Edge Computing)、自動運転車両をコールする停留所端末などで構成している。自動運転車

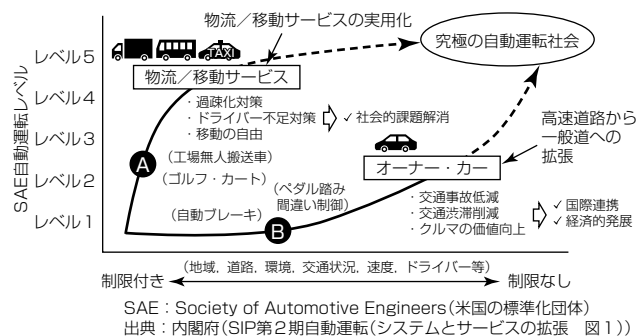


図1. 第2期SIP(Strategic Innovation Promotion Program)自動運転の概要

両は通信アクセスポイントを通じて、ダイナミックマップ情報を取得し、高精度に自車位置を検知する高精度ロケータの情報に基づいて、最適な経路演算を実施し安全な車両制御を実現する。各システムで開発した機能移植性や演算処理・通信速度の進化に伴うスケラビリティを考慮して、この開発では各システムのインタフェースにROS(Robot Operation System)2アーキテクチャを採用した。

2.2 路側機, MEC

インフラ監視の目的は自動運転車両を含めた自動運転走行路の安全監視及び最適化にある。2022年5月時点で多くの自動運転車両が実証実験を実施しているが、交差点、右左折など複雑な走行環境ではまだ安全面の課題を抱えている。これは、現在の交通社会で発生している交通事故と同様に死角が大きな要因の一つである。自動運転車両に多様なセンサを搭載しても大型車両や建物の物陰に隠れた物体の認知は困難である。インフラ監視の主要な目的は二つあり、一つはエリア内の全ての交通参加者の情報を高精度地図上にリアルタイムプロットすることで、自動運転車両の死角をなくして安全な走行を実現することである。もう一つは、エリア内の全ての自動運転車両の走行優先度を決めて、例えばドライバーが対応していた譲り合いの動作をシステム化して、運行サービスを最適化することである。

主な路側機及びMECの機能構成を図3に示す。路側機に設置されたLiDARとカメラのデータを各路側機に取り付けられた制御盤内の演算機で信号処理を行って物体を検出し、それらをMECで統合する。最後にMECで集約され

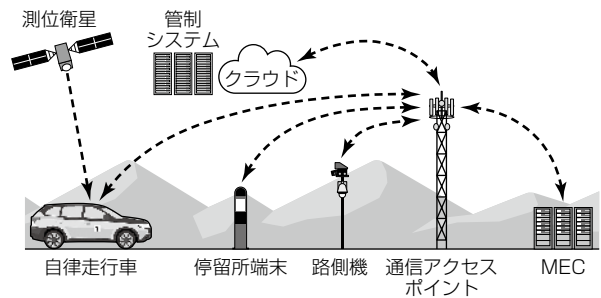


図2. インフラ連携狭域自動運転システム構成

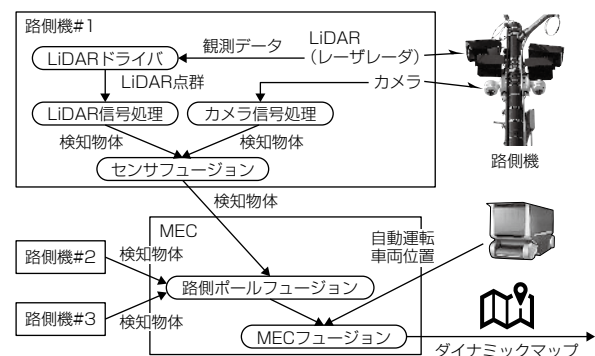


図3. 路側機及びMECの機能構成

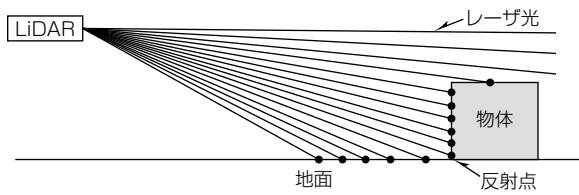


図4. LiDARによる照射と検知の概念

た情報をダイナミックマップとして統合し必要とする機器へ配信する。

米国AEYE社のLiDARを今回用いた。適用エリアにもよるが、半導体レーザよりも出力を高められるファイバレーザを光源とした1,550nmの波長を使用し、FOV(Field Of View)をダイナミックに変更することで1 km先まで認識できる性能を持っている。

図4にLiDARによる照射と検知の概念図を示す。LiDAR信号処理は、LiDARから取得した点群から、動的な物体(車両や人など)を検知する処理である。主に次の信号処理を施すことで物体を検知する。

(1) クロップ

高精度地図で指定された位置の不要な点群を除去する。

(2) 地面除去

平面に近似する点群を地面とみなして除去する。

(3) クラスタリング

一定距離内に集まる点群(クラスタ)ごとに分割する。

カメラはパナソニック社のWV-S2552LNJを用いた。信号処理として機械学習ベースの画像認識アルゴリズム(YORO v4, DeepSORT)を用いて、車両、トラック、二輪車、歩行者といった物体の種別と、その物体の三次元的位置算出を行う。このため、処理開始後の最初のステップとして一回だけ、①認識のためのネットワークモデルの構築が行われる。その後は、①カメラの各フレームでの画像を取得(読み込み)し、②取得したカメラ画像から物体検出アルゴリズムによって、物体の種別と、その二次元画像中の位置とサイズ(Bounding box)が検出され、③検出された物体は、フレーム間の相関処理(トラッキング)によってID(識別番号)が付加され、④物体の種別と二次元画像中の位置とサイズ、及びカメラのパラメータを用いて、三次元の世界座標系での位置とサイズを算出し、⑤物体種別と世界座標系での位置、サイズ、IDの情報を出力する。

最後にセンサフュージョンは物体同士の近さから相関を判断する仕組みを採用している。この処理は追尾処理も兼ねており、これによって物体が同じものであることを識別するためのIDを物体ごとに付加する。具体的にはある時刻で受信したLiDAR検知位置に対して、カメラ検知位置の予測移動位置を比較して近いものであれば、同じものとして扱い同じIDを付加する。予測移動位置はLiDAR検知時刻と最新のカメラ検知時刻との時間差と、検知物体の移

動方向、速度から運動モデル式を使用して算出する。運動モデル式は例えば等加速直線運動を表す式などを使用する。

2.3 自動運転車両システム

主要な車両システム構成図を図5に示す。ソナーシステム、ミリ波レーダシステム、前方監視カメラシステムは主に自車両の走行経路を監視し、センサフュージョン処理に基づいて各障害物との衝突余裕時間を演算し、いざという場合の被害低減ブレーキの機能を持つ。通信機器システムはMECからのダイナミックマップ情報を受信し高精度ロケータシステムの自車位置情報と合わせて経路生成を行う。高精度ロケータシステムによる自車位置技術を制御の中心に置くことで、悪天候下などでも自車位置を検知することが可能になるため、システムの稼働領域が増える。またAD-ECU(Autonomous Driving-Electronic Control Unit)はハンドル、アクセル、ブレーキに相当する指令値を送信し、各アクチュエータが加速、操舵(そうだ)、制動を制御する。

経路生成には開発中の“PF-RRT”(Particle Filter Rapidly-Exploring Random Tree)⁽³⁾を用いた。パーティクルフィルタによって、車両が目標にする状態に近づくための状態変化を推定し経路を生成する。さらにRRTを用いて、ツリー(走行経路の候補)を拡大し、その中から到達コ

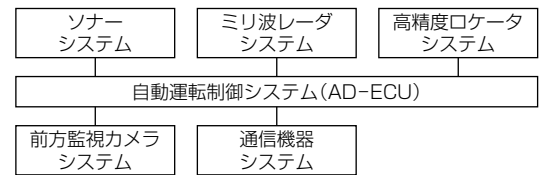


図5. 車両システム構成

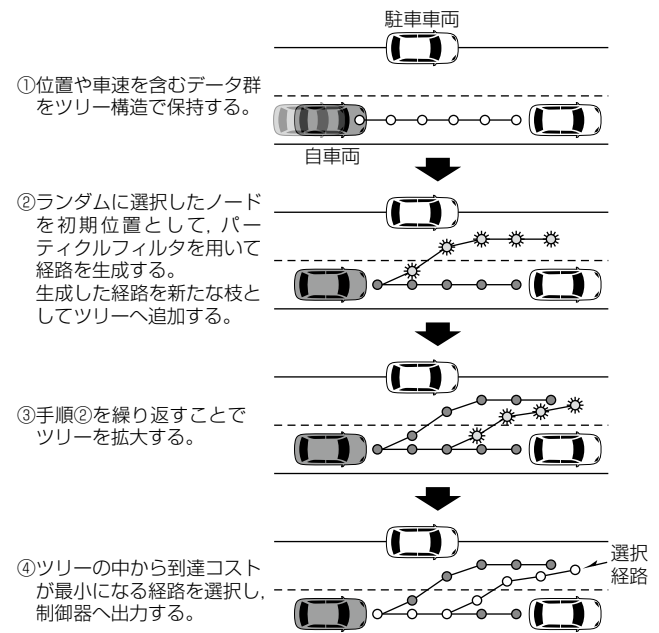


図6. PF-RRTによる経路生成の流れ

スト(距離等)が最小になる経路を選択する。これらによって複雑な環境に対応できる、滑らかな走行経路の生成が可能になる(図6)。

3. 実証実験

自動運転システムの実現のため、世界中で各社が実証実験を実施している。実証実験が必要な理由は主に、自動運転技術そのものの妥当性検証、実道路環境の検証、サービス(ビジネス)妥当性の検証、及び社会の受容性の検証である。どれも技術に確立又は定式化されたものはなく各社独自に取り組んでいる。

3.1 社内実証実験

社内での実験は社外での実証実験の前評価や新しい機能の検証を研究レベルから社外公開可能なレベルのものまで幅広く対応している。図7は兵庫県赤穂市にある当社の試験場であり、2021年10月に市街地路を模擬できる環境として新設した。

次にこの実験場を活用した検証中の幾つかの結果に関して述べる。図8はインフラ連携狭域自動運転システムのシステム検証の一部である。図8の左上から時計回りに、停留所端末を活用し乗車需要に応じたオンデマンド配車、狭域エリアを監視し故障などのトラブル対応を実施する管制システム、路側機で検知した障害物をMECから車両に通信しその情報に基づく経路生成及び車両制御、複数台車両の優先車両を制御する調停制御をそれぞれ検証している。どれも路側機で検知された情報を用いて、MEC内で生成されたダイナミックマップ情報に基づいて制御されており、機能的な有効性は確認できた。このほかにも悪天候

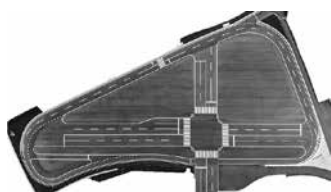


図7. 当社姫路製作所赤穂試験場

下での評価、被害低減ブレーキ等危険な走行に関しても試験場内での検証を実施中である。今後も実験シナリオを追加し、



オンデマンド配車対応



故障対応 代替車両手配



複数車両の調停



障害物検知
障害物回避

図8. 複数の実車を用いた検証状況



(a) 自動運転車両



(b) 管制室

図9. 取組み成果の一部

信頼性を含めた評価を実施していく予定である。

3.2 社外実証実験

官民一体になって自動運転を活用して顕在化している多くの社会課題を解決するため、自動運転レベル4の社会実装を目的として、2021年度から“RoAD to the L4”が開始された⁽⁴⁾。この中でも2022年度“無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業(自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト(テーマ1))”の取組みに関して述べる。この取組みは①2022年度目途に限定エリア・車両での遠隔監視だけ(レベル4)で自動運転サービスを実現すること、②遠隔監視だけ(レベル4)の基本的な事業モデルや制度設計を確立することを成果目標とし、幹事機関の国立研究開発法人 産業技術総合研究所、ヤマハ発動機(株)、(株)ソリトンシステムズ及び当社でコンソーシアムを組んで2021年度から取り組んでいる(図9)。役割としては取りまとめを国立研究開発法人 産業技術総合研究所、車両対応をヤマハ発動機(株)、通信・遠隔制御を(株)ソリトンシステムズ、自動運行装置を当社が対応している。今後もサービス実現に向けたエコシステムを構築し他エリアへも展開していく予定である。

4. むすび

自動運転に関しては、交通事故削減、高齢ドライバー事故対策、少子高齢化に伴う労働力不足などの社会課題解決に強い期待がある。世界中でこのエリアの事業化競争が行われており技術開発・社会実装の遅れは日本の経済や国際競争力に影響を及ぼす可能性がある。引き続きミッシングを補完する企業と連携協力して安心・安全・快適な社会の実現に向けて貢献していく。

参考文献

- (1) 官民ITS構想・ロードマップ2020 | SIP-adus : https://cio.go.jp/sites/default/files/uploads/documents/its_roadmap_2020.pdf
- (2) 竹原崇成, ほか: インフラ協調型自動運転向け車両間調停システム, 三菱電機技報, 95, No.7, 441~444 (2021)
- (3) 三菱電機(株): 自動運転のための経路生成・車両制御技術 <https://www.MitsubishiElectric.co.jp/corporate/randd/list/mechatronics/b236/index.html>
- (4) 経済産業省: 「自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト(RoAD to the L4)」について https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/Automated-driving/RoADtotheL4.html