

安全・安心シリーズ

公道での自動運転に向けた安全走行技術と法規制

Safe driving technologies and legal regulations for automated driving on public roads

澤田 雅之
SAWADA Masayuki

2020年4月に改正道路運送車両法と改正道路交通法が施行され、レベル3（条件付自動運転）の「自動運行装置」が、ドライバーに代わって車を運転する時代の幕開けとなった。レベル4（高度自動運転）の「自動運行装置」が、運転席の無い車を運転するようになる時代の到来も近い。そこで、レベル4に向けて、法規制面の更なる整備、ライダー、ミリ波レーダー、車載カメラ等のセンサーフュージョンによる外界認識機能の高度化、および、公道走行時に生じ得る各種事象へのディープラーニングによる対処能力の向上が図られているところである。

In April 2020, the revised Road Trucking Vehicle Law and the revised Road Traffic Law came into effect, ushering in an era in which Level 3 (conditional automatic driving) "automatic operation devices" will replace drivers in driving cars. The era in which Level 4 (highly automated driving) "automatic operation devices" come to drive cars without a driver's seat is nearing. In preparation for Level 4, further improvements are being made in laws and regulations, more sophisticated recognition of the outside world through sensor fusion (lidar, millimeter wave radar, on-board cameras, etc.), and deep learning to deal with various events that may occur when driving on public roads.

キーワード：自動運行装置，ライダー，ミリ波レーダー，センサーフュージョン，ディープラーニング

1 はじめに

車の自動運転の目指すところは、9割方がドライバーに起因している交通事故を無くすこと、高齢者や身体障害者などの車を運転できない交通弱者を救済すること、人が運転に費やす膨大な時間を他の知的な活動に活かすこと、の3点である。これらの実現に向けて、自動運転で公道を安全に走行する技術の開発や実用化、自動運転での公道走行に係る法規制の整備が進められている。

2 自動運転の仕組みとキーテクノロジー

2.1 自動運転の仕組み

車の自動運転では、周辺監視機能・位置確認機能・運転操作機能を備えた「自動運行装置」が、人の運転を代行する。具体的には、周辺監視機能として、ビデオカメラ・ライダー・ミリ波レーダー等を用いたセンサーフュージョンにより、道路の状況（車線・交通信号・交通標識等）、周囲の状況（建物・樹木・電柱等）、周辺交通（他の車・オートバイ・自転車・歩行者等）をリアルタイムに認識する。位置確認機能として、高精度衛星測位と3次元デジタル地図により、自車の現在

位置をリアルタイムに把握する。運転操作機能として、周辺監視結果と位置確認結果に基づき、AIが中核を成すコントローラにより、ハンドル・アクセル・ブレーキを自動制御する。ここでの自動制御で最も難しいのは、周辺交通（他の車・オートバイ・自転車・歩行者等）の行動予測である。この行動予測については、ディープラーニングによるAIが威力を発揮するところである。

2.2 自動運転のキーテクノロジー

(1) ビデオカメラ

「自動運行装置」は、ビデオカメラを、カラー画像で外界を捉えるセンサーとして使用する。具体的には、道路の形状や白線、交通標識、交通信号機、他の車や歩行者、自転車などを見分けて、距離も算出する。ここで、「人の目」では両眼の視差から距離感を掴んでいるが、ビデオカメラがステレオカメラの場合には、「人の目」と同じく、2台のビデオカメラの視差から距離を計測する。他方、ビデオカメラが単眼カメラの場合には、遠くにある物体ほど画面のより上方により小さく見える「遠近法の原理」を利用して距離を推測、あるいは、走行中であれば移動に伴って生じ

る視差から距離を推測する。

(2) ライダー

ライダー (LiDAR : Light Detection And Ranging) は、赤外線レーザーを電波の代わりに用いたレーザーである。レーザー光をスポット的に発射して物体からの反射光を受信するまでの時間を計測することにより、反射点までの距離や方位を精密に測定できる。3次元ライダーは、レーザー光の発射を水平方向と垂直方向に走査して、反射点の方位・高度・距離を測定することにより、物体の形状まで捉えた3次元空間情報を取得できる。また、2次元ライダーは、レーザー光の発射を水平方向に走査して、反射点の方位と距離を測定することにより、物体の横幅・距離・方位に関する情報を取得できる。

(3) ミリ波レーザー

ミリ波レーザーは、波長がmmの単位である76 GHz帯や79 GHz帯の電波を用いたFMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式のレーザーである。FMCW方式では、一定の時間間隔で周波数の増減を繰り返す変調波で周波数変調した電波を連続送信して、複数のアンテナで受信した反射波をDSP (Digital Signal Processor) で解析することにより、多数の反射物それぞれの距離や方位、相対速度を精密かつ同時に測定できる。ミリ波レーザーの最大の長所は、天候に左右されにくいことであるが、短所は、物体の形状や大きさの識別が苦手なことである。

(4) センサーフュージョン

センサーフュージョンとは、長所と短所が異なる外界センサーからのデータを上手く組み合わせ、諸々の環境条件下で外界の状況を的確に把握するための技術である。自動運転車では、外界センサーとして、ビデオカメラ、3次元ライダー、ミリ波レーザーが主に用いられるが、それぞれに次のような一長一短がある。

ビデオカメラは、交通標識や交通信号灯火を識別できるが、「人の目」に視界不良と映る場合にはうまく機能しない。3次元ライダーは、周囲の状況を物体形状も含めて精密に把握し、道路上の白線も判別できるが、色の識別はできない。ミリ

波レーザーは、「人の目」に視界不良と映る場合でも機能するが、物体の形状や大きさの識別は苦手である。

そこで、センサーフュージョンの技術を用いて、外界センサーの長所と短所を補い合うことにより、外界認識の信頼性を高めることができる。

(5) SLAM (3次元地図作成と自己位置推定)

SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) は、3次元ライダーやステレオカメラで取得したデータを用いて、外界の3次元空間地図をリアルタイムに作成・更新すると同時に、その空間地図内における「自己位置」を推定する技術である。SLAMは、LiDAR SLAMとVisual SLAMに大別される。LiDAR SLAMは、3次元ライダーを用いたSLAMであり、昼夜の別なく機能するため自動運転車などに用いられる。また、Visual SLAMは、ステレオカメラを用いたSLAMであり、「人の目」に視界不良と映る環境下 (暗がり、霧、降雪など) ではうまく機能しないため、日中のみ飛行するドローンや室内掃除用ロボットなどに用いられる。

(6) ディープラーニング

ディープラーニングは、人の脳内の神経回路網の動きをコンピュータ上で数学的に模した「ニューラルネットワーク」を用いて、入力とそれに対する望ましい出力の組み合わせについての学習を繰り返すことにより、未学習の入力に対しても望ましい出力を創り出せる「アルゴリズム」を、ネットワーク全体に渡って暗的に生成する手法である。

ニューラルネットワークは、その構成の仕方により、CNN (Convolutional Neural Network) と、RNN (Recurrent Neural Network) に大別される。CNNは、2次元静止画像を入力として、学習済みの事物の検出や分類ができる。また、CNNは、事物の検出と同時にその存在領域を示すことができるFaster R-CNNやYOLOなどの基盤部分でも用いられている。他方、RNNは、時系列のベクトルデータを入力として、その時系列の延長線上での予測などができる。ちなみに、RNNは、今日ではLSTM (Long Short-Term Memory) やTransformerに進化している。

自動運転車では、ビデオカメラなどによる外界状況の把握にはCNNが用いられ、他車や歩行者、自転車等の行動予測にはRNNが用いられる。

3 安全走行技術の実用化動向

3.1 レベル2（高度運転支援）

レベル2は、自動運転ではなく、ADAS（Advanced Driver-Assistance Systems：先進運転支援システム）と同義の高度運転支援である。このため、事故発生時の責任は、後記のレベル2+でのハンズオフ走行時を含めて、ドライバーが負うこととなる。

レベル2は、大衆車の予防安全性能の向上、つまり、「ぶつからない車」を目指して、熾烈な技術開発競争がグローバルに展開されている。レベル2では、ビデオカメラやミリ波レーダーを用いて、車線維持支援や緊急時自動ブレーキなど、ハンドルとアクセルブレーキの両方の操作を車が支援する。そこで、夜間や交差点右左折時での歩行者や自転車の確実な検知、見通しの悪い交差点での出頭衝突の防止などに向けて、運転支援機能の高度化が競われている。

レベル2では、ハンズオフ（手放し運転）は不可である。そこで、3次元ライダーを用いるなど周辺監視機能を強化することにより、ハンズオフへの高度化を図ったレベル2+が実用化されている。

レベル2+は、高精度3Dデジタル地図と高精度衛星測位が利用できる高速道路等の自動車専用道路に限定して、ハンズオフを可能とする運転支援を実施する。しかし、高度運転支援の範疇でのハンズオフであることから、ドライバーはいつでも直ちに運転操作に戻ることができるよう、運転に注意を向けた状態、つまり、アイズオンの状態でなければならない。そこで、レベル2+では、ドライバー監視システム（ビデオカメラがドライバーの顔や視線の向きを認識して、アイズオンかアイズオフかを判断するシステム）がアイズオフの継続を検知した場合には、ハザードランプを点滅させ、ホーンを鳴らしながら徐々に減速して停止する機能を備えている。

3.2 レベル3（条件付自動運転）

レベル3は、車に搭載した「自動運行装置」がドライバーに代わって運転する、いわゆる自動運転である。従って、自動運転時に発生した事故の責任は、「自動運行装置」が負うこととなる。また、レベル3は、高速道路の渋滞時などを限定領域とした条件付自動運転であり、ここでの「条件」とは、限定領域から外れる場合に「自動運行装置」からの要請に基づきドライバーが運転を引き受けることである。

2020年11月、本田技研工業（株）は、レベル3の「自動運行装置」の型式指定を国土交通省から国内初取得し、2021年3月、これを搭載した車を発売した。この「自動運行装置」は、高速道路などの自動車専用道路の渋滞時を限定領域として、車を自動運転する。このため、限定領域内での自動運転時には、ドライバーは、レベル2+でのハンズオフに加えて、レベル3でのアイズオフが可能となる。また、限定領域から外れる場合には、アイズオンが必要なレベル2+でのハンズオフ走行に移行する。このため、限定領域から外れた場合に、ドライバー監視システムでアイズオンが確認できればハンズオフ走行を続けるが、アイズオンが確認できなければ、徐々に減速して停止する。

ちなみに、この「自動運行装置」の搭載車は、写真1に示すように、3種類の多数のセンサーを用いたセンサーフュージョンにより周辺監視を行っている。

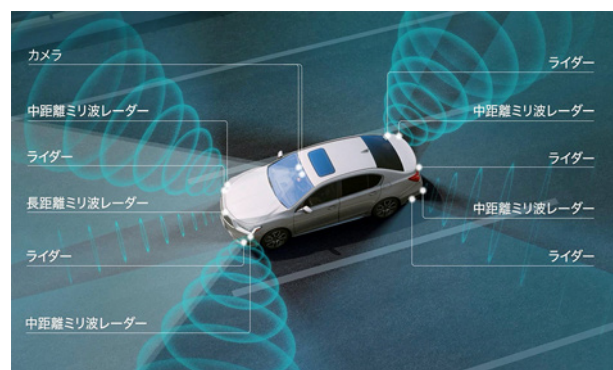


写真1 レベル3の自動運転車に搭載したセンサー
（出典：本田技研工業（株）のHP）

3.3 レベル4（高度自動運転）

レベル4は、一定の地域内や高速道路上などを

無条件の限定領域とする自動運転、つまり、限定領域内ではドライバーを必要としない自動運転である。従って、自動運転時に発生した事故の責任は、「自動運行装置」が負うこととなる。

レベル4では、限定領域内で生じ得るあらゆる事象に、「自動運行装置」が適切に対処しなければならない。このため、レベル4の「自動運行装置」には、緊急車両のサイレンを聴き分けて緊急車両に道を譲ったり、交差点で交通規制中の警察官を見分けて手信号による指示内容に従うなど、レベル3の「自動運行装置」と比べて、格段に高度な認知・判断・予測・制御の能力が欠かせない。

自動運転技術開発の最先端を行く米国では、Google社系列のWaymo社が、2020年10月から、写真2に示すレベル4のロボタクシーの一般利用を開始している。このロボタクシーは、年中無休で24時間利用可能であり、利用者は、スマホアプリでロボタクシーの配車手配、行先指定、料金支払ができる。

Waymo社は、このロボタクシーの研究開発と実用化に10年余りの歳月を費やしている。その間に、数千万kmに及ぶ公道走行試験と数億kmに及ぶコンピュータシミュレーション走行試験を行って、公道走行時に生じ得るあらゆる事象に対処できるよう、ロボタクシーの認知・判断・予測・制御の能力をディープラーニングで鍛え上げている。



写真2 レベル4のロボタクシー
(出典：米国Waymo社のプレスキット)

4 自動運転に向けた法規制の動向

4.1 レベル3（条件付自動運転）に向けた法改正

(1) 2020年4月、改正道路運送車両法の施行

改正道路運送車両法に、次の要点が規定された。

a. 「自動運行装置」について、「道路運送車両の

保安基準」の対象装置に追加するとともに、その性能に応じて、作動する「走行環境条件」を付す。

b. ソフトウェア配信による「自動運行装置」の「特定改造等」について、配信するプログラムごとに許可する制度を創設した。

(2) 2020年4月、改正道路交通法の施行

改正道路交通法に、次の要点が規定された。

a. 「自動運行装置」について、その定義を規定し、その作動が「運転」にあたることを規定し、その作動条件から外れた「運転」を禁止した。

b. 「自動運行装置」の作動中におけるスマホ利用などの「ながら運転」については、「自動運行装置」からの運転交代要請に直ちにこたえられる状態にあることを条件に、違反としない。

4.2 レベル4（高度自動運転）に向けた法改正

(1) ドイツの道路交通法改正

ドイツでは、自動運転ミニバスなどの公共交通機関に限定したレベル4に向けて改正した道路交通法が、2022年頃施行される見込みである。この改正法には、次の要点が規定された。

a. 限定領域内では運転者無しを許容し、技術監督者（遠隔監視者とほぼ同義）の設置を義務付けるとともに、自動運転車の所有者、技術監督者、製造業者それぞれの責務を規定した。

b. 事故が避けられない場合には、人命に優先順位をつけないことを規定し、事故が避けられない場合の最善策に向けて、法規制の遵守を緩和した。

(2) 我が国の道路交通法改正の動向

我が国では、遠隔監視型自動運転移動サービスとしての自動運転ミニバスについて、地域等を限定したレベル4の実現に向けて、2022年の道路交通法改正を目指した検討が進められている。

澤田 雅之 (さわだ まさゆき)

技術士（電気電子部門）

澤田雅之技術士事務所 所長

e-mail : sawada-eng@amail.plala.or.jp

