

自動運転車： 自律走行に向けて残る多くの課題

ジェフ・ヘクト

運転支援は容易だ。しかし、いつでもどこでも走行するためのすべての操作をロボットに肩代わりさせるのは、それよりもはるかに難しい。まず実現されるのは、良い天候の下で、よく整備された道路を自律的に走行する機能である。

米フォード社 (Ford Motor Company) は2016年8月、2021年までに完全自動のロボットタクシーの量産を開始すると、自信たっぷりに発表した。ハンドル、アクセル、ブレーキペダルを装備しないその車両を、ジオフェンス領域内の配車サービス用に提供することだった。似たような希望を表明した企業は他にもあったが、その目標を達成しそうな企業は存在しない。完全自動運転車を迅速に展開したいという野心的な計画は、予期せぬ問題に遭遇している。例えば、停車中の消防車、白色の大型トレーラー、高速道路の中央分離帯だ(訳注:自動運転車がこ

れらを認識できずに衝突する事故が発生している)。

それでも自動運転は実現される。「ただし、誰もが期待していたものとは異なる」と、米ルミナー・テクノロジーズ社 (Luminar Technologies) の共同創設者で最高技術責任者 (CTO) を務めるジェイソン・アイヒェンホルツ氏 (Jason Eichenholz) は述べた。自分専用のロボット運転手が、朝は職場まで運転し、昼間はずっとガレージで待機し、夜は自宅まで運転してくれることを期待してはいけない。そうではなく、輸送は、高度なロボットタクシーやトラックを呼び出すことによって受けら

れるサービスとなる。そうした車両は一台数十万ドルもし、一日中人や貨物を搬送することによって、その価格に見合った報酬を得る。5年以内に、そうした車両が自動運転の「レベル4」に達し(「自動運転レベル」を参照)、まずまずの天候下でよく整備された道路上を走行する場合は、乗客は「まったく運転に関与せずに」いられるようになる。アイヒェンホルツ氏は予測している。

進歩するも、 完璧とはいえないレベル

この10年間で、自動運転車は大き

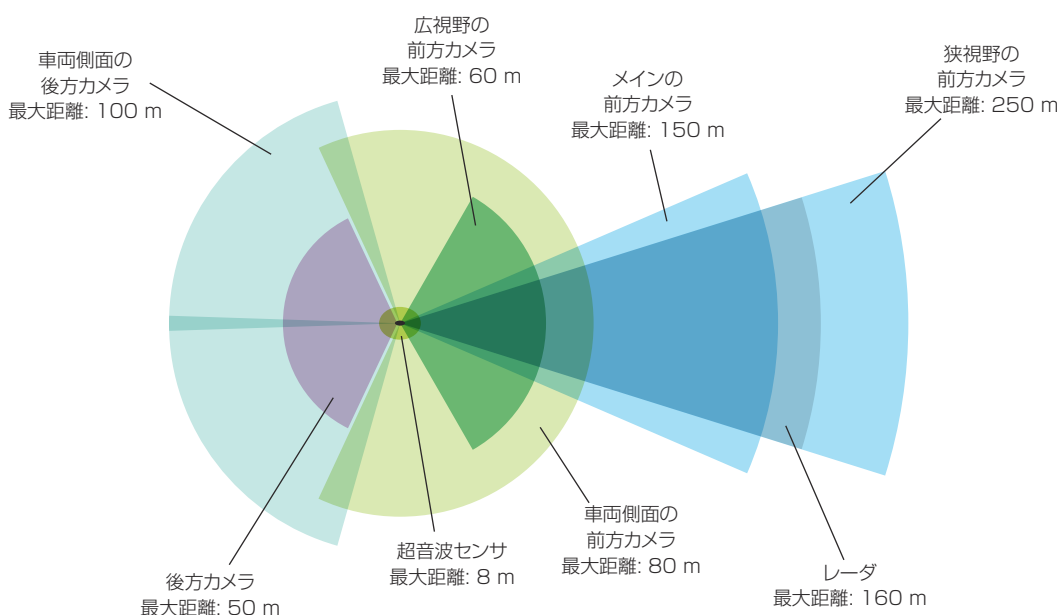


図1 テスラ社のオートパイロットで 사용되는一連のセンサー。

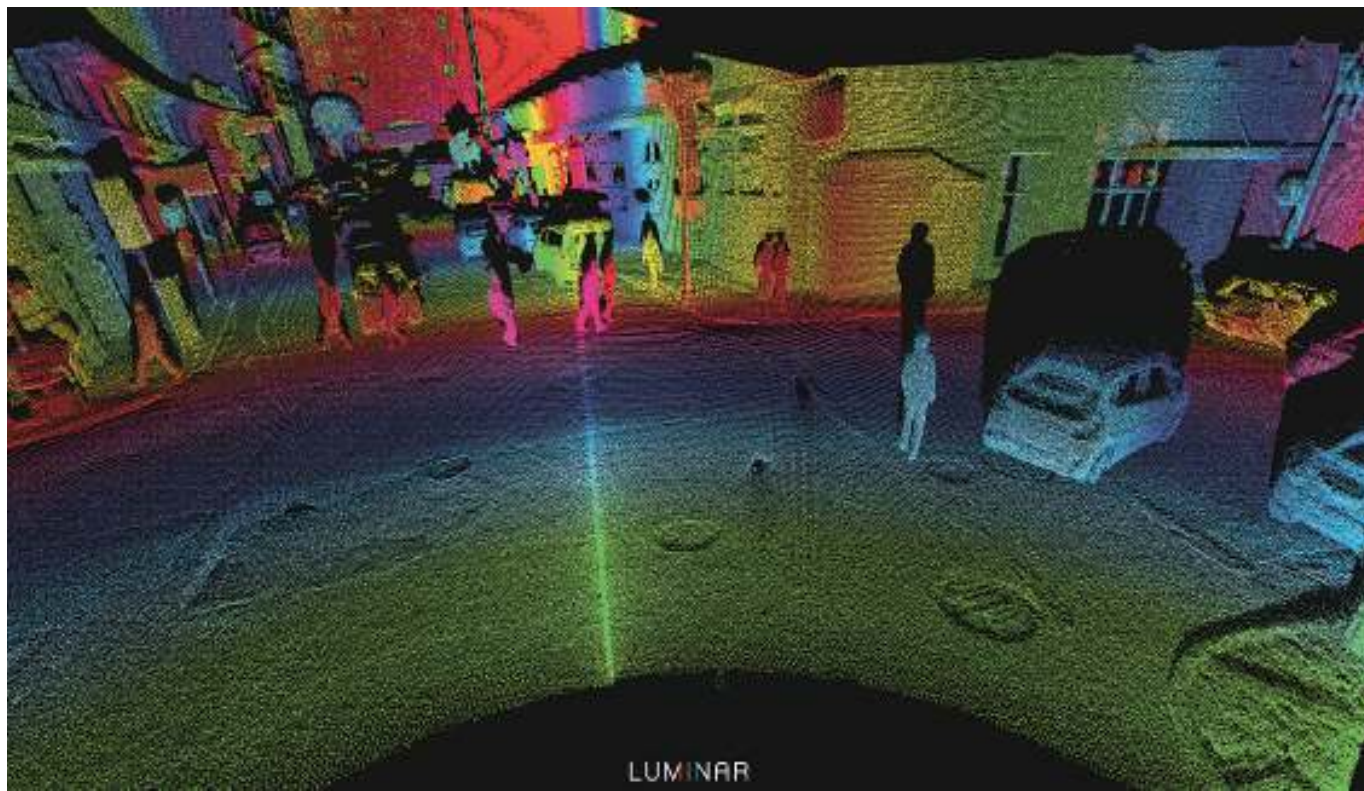


図2 ライダによって生成された都市部のポイントクラウド。(提供:ルミナー社)

く進歩した。アイヒェンホルツ氏によると、現時点で「99%の状況に対応する自動運転車を製造できるが、消費者が望むのは99.999%または99.9999%の状況に対応する車両だ」という。そのあと5、6ヶタを達成するのは難しく、コストもかかる。晴れた日に脇道を走行するのと、吹雪が吹き荒れてカーブの多い高速道路上のすべての標識が見えにくい寒い夜間を走行するのでは、雲泥の差があるためだ。現在試作されているロボットカーは、容易な状況には対応できるが、難しい状況には対応できない。

今日の多くの自動車に、自動ブレーキ、車線逸脱防止、縦列駐車アシストといった運転支援機能が搭載されている。これらの機能は、一連のセンサと、保存地図からダウンロードされた情報や地域内の他の車両から送信された情報を拠り所とする。ドライバーを支援

するために、それらの情報がコンピュータや人工知能(AI)ソフトウェアによって統合される。自動運転車はさらにその一歩先を行き、より多くのセンサとソフトウェアを搭載することによって、より多くの責任を負い、究極的にはドライバーの関与をゼロにする。

自家用車向けの最も高度な運転支援システムが、米テスラ・モーターズ社(Tesla Motors)の「オートパイロット」である。図1は、その一連のセンサを示したものである。最も重要な役割を担うのが、カメラだ。フロントの狭角カメラは、前方250m先までをとらえ、メインの前方カメラは、150m先までをより広い角度でとらえ、前方に向けられた両側の魚眼カメラは、車両の進路に入ってくる可能性のある交通信号やその他の物体をとらえる。フロントのマイクロ波レーダは、160m先までの距離を測定する。後方に向けられた

カメラは、両側に1基ずつと後部に1基の合計3基である。車両の周囲には、距離8mの超音波センサが12個取り付けられており、縦列駐車を支援し、衝突が生じないように監視する。

テスラ社のシステムに明らかに欠けているのが、ライダである。アイヒェンホルツ氏を含む多くの人々が、局所環境を記録するポイントクラウドを生成できるライダは必須、と考えている(図2)。複数の種類のライダが開発されて、評価されている。しかし、テスラ社の最高経営責任者(CEO)を務めるイーロン・マスク氏(Elon Musk)は2019年に、霧や雨の中を見通せないで、ライダは「無駄足であり不要でもある高価なセンサ」だと述べた。

その姿勢は、マーケティング戦略の決定的な違いを反映している。テスラ社は、オートパイロットを運転助手ととらえるハイテク好きの人が個人的に

自動運転レベル

- 0: 人間がすべてを制御する。
- 1: 単一機能(クルーズコントロール、車線維持)に対する簡単な運転支援。
- 2: 複数機能の自動化(車線の中央走行と加速/減速)、人間はハンドルから手を離してもよいが、注意を維持して制御を引き継げる状態にしなければならない。
- 3: セーフティクリティカルな機能を車両に任せるが、人間は常に車両を制御できる状態にしなければならない。
- 4: 車両は、すべてのセーフティクリティカルな運転機能を実行し、走行中の道路条件をモニタリングするよう設計されるが、すべての条件やすべての道路を走行できるわけではない。
- 5: 車両は、すべての走行シナリオにおいて、完全に自律的に走行する。

使用する、高級電気自動車を販売している。同社以外のほとんどの企業は、ハンドルを握らない乗客のための自動運転用に設計されたロボットタクシーを開発している。その他にも、エアタクシー(空飛ぶタクシー)、商用ドローン、工場/採掘/農業用システムなど、さまざまな自律型システムが開発されている。

自律走行のための新技術

どのようなセンサが必要であるかは、用途によって異なる。GPSは、位置情報の取得に広く用いられているが、誤った情報を示す場合がある。位置情報を改善するために、加速度計、磁力計、気圧計、チップスケールの原子時計を必要とするシステムもあると、米ドレイパー研究所(Draper Laboratory)の車載事業マネージャーを務めるサブリーナ・マンズール氏(Sabrina Mansur)は述べた。自動運転車では、センサデータで更新可能なプリロードマップも使用される。センサは、歩行者や自転車や駐車車両などの陰に隠れている場合でもその位置を特定するための「機会、位置情報、軌道、速度の信号」として携帯電話をモ

ニタリングすると、ドレイパー研究所で車載グループのディレクターを務めるエリック・バレス氏(Eric Balles)は述べた。

新しい種類のライダが開発されている。図3は、ドレイパー研究所によって開発されたMEMS(Micro Electro Mechanical System: 微小電気機械システム)ベースのライダである。他の光学センサを、カメラやライダに追加することができる。ホイールウェルに取り付けられたレーザセンサは、車輪の移動速度を記録して実際の車速を測定することができる。ファイバジャイロスコープは、ロール、ピッチ、ヨーの3軸で車両の回転量を測定する。その高い性能からテスト車両に搭載されたが、マンズール氏によると、量産車向けにはコストが高すぎるという。それよりも安価なMEMSジャイロスコープが、性能が改善されれば、代わりに利用される可能性が高い。全般的な目標は、自動運転車の位置を、リアルタイムキネティック(RTK)GPSシステムの都市部での精度である数十センチメートルよりも高い、センチメートル単位の精度で特定することである。ジャイロスコープは、GPSのドロップアウト

トやマルチパスエラーに対するバックアップとしても利用できる。「ほぼすべてのセンサに弱点がある」とバレス氏は付け加えた。

自動運転車のさまざまな種類のセンサからのデータを統合して解析するには、センサフュージョンが必要である。従来のシステムにはカルマンフィルタが用いられている。カルマンフィルタは、複数の測定値を統計的に統合して、データ量に応じて精度が増す結果を導出する。自動運転車では、機械学習やAIが一般的に用いられる。これらも似たような形で機能するが、通常は既知のデータセットで処理を開始し、データを積み上げて結果を改良していく。機械学習は、晴れた日にはっきりと識別できる道路上を走行するなど、明確に定義された場合に対して高い効果を発揮するが、建設現場、標識がない道路や塗装されていない道路、吹雪など、通常とは異なっていたり、明確には定義されていなかったりする状況に弱い。

テスラ社のオートパイロット

テスラ社は、2014年以降に米国で販売した50万台を超える同社車両のほとんど(すべてではない)に搭載されている、オートパイロットによる運転支援機能に対し、高い基準を設けている。ドライバーはオートパイロット作動時に、道路に目を向け、ハンドル(あるいはそのすぐ近く)に手を添えていなければならないとされている。にもかかわらず、テスラ車を運転するほぼすべてのドライバーが、車両がどれだけうまく走行するかを確かめようと、ハンドルから手を離れたことがある。度を越してしまったドライバーもいる。カリフォルニア州では、酔ったドライバーが自宅まで運転中だった午前3時30分に寝ってしまった。国道101号

線のパロアルトで高速道路を巡回していた警察官がこれを発見し、安全に停車させたという。

テスラ社によると、米国全体では50万マイル走行ごとに1件の事故が発生しているのに対し、オートパイロット作動時は300万マイルに1件しか事故が発生していないという。それでも、カリフォルニア州マウンテンビューでは2年前、オートパイロットが高速道路の分岐点での運転操作に失敗し、車両が分岐点の中央分離帯に衝突して、運転席にいた米アップル社 (Apple) のエンジニアが死亡する事故が発生している。米国家運輸安全委員会 (National Transportation Safety Board: NTSB) は、このドライバーが衝突時、ハンドルから手を離しており、スマートフォンでゲームをしていたらしいことを発見した。NTSBは、ドライバーの不注意とテスラ社が分岐を操縦できなかったことが主な原因であると結論付け、それ以前の事故で破損していた分離帯が修復されていれば、ドライバーは死亡しなかった可能性があるとして述べた。

これ以外の4件の衝突死亡事故は、オートパイロットに過失があった。1件は中国、3件はフロリダで発生した。フロリダの2件の衝突事故は、高速道路を走行していたテスラ車の前で、白色のトレーラーを引いていたトラックが左折したときに発生した。車両もドライバーもトレーラーに衝突する前にブレーキを作動させていなかった。前方カメラは、明るい青空の下で明るい白色のトレーラーを認識できなかったようだ。このことから、カメラはおそらくモノクロだったことがわかる。モノクロカメラが使用されていたのは、モノクロ画像のほうがカラー画像よりもはるかに高速に処理可能で、高速道路走行時にはメリットになるはずだっ

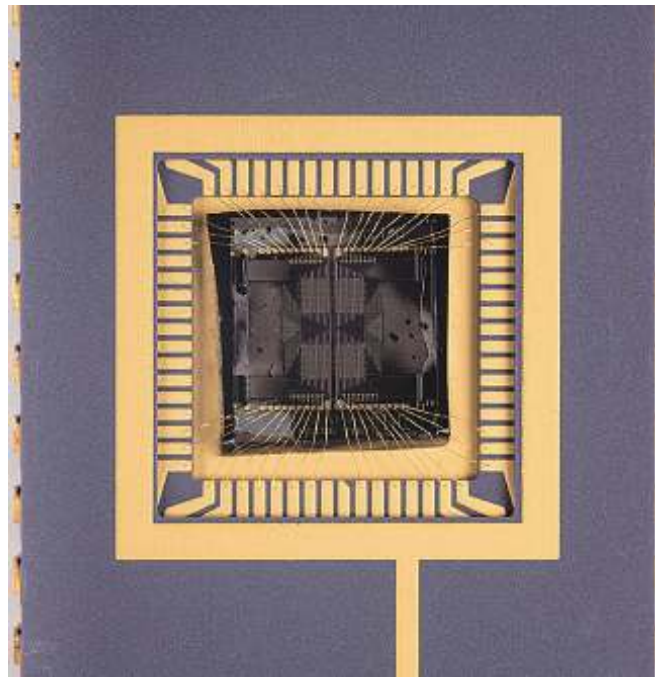


図3 ドライバー研究所によって開発されたシングルチップ上のライド。MEMS光学スイッチと低損失の光学導波路を用いて、信号を発射し収集する。(出典:ドライバー研究所)

たからである。残り2件の死亡事故の原因は報告されていない。

サービスとしての輸送 (Transportation as a Service: TaaS)

ロボットタクシーは、輸送をサービスとして提供する大企業に自動運転車を販売するという、根本的に異なるビジネスである。米ウェイモ社 (Waymo)、米ウーバー社 (Uber)、米リフト社 (Lyft) などの企業が思い描いているように、そのサービスは、自動運転車に特に適した「ジオフェンス」領域内で開始されてから、技術の進歩とともにより広い領域に拡大される。車両には、ライドを含む多数のセンサを備えた、包括的な高性能ナビゲーションシステムが搭載される。ウェイモ社のテスト車両のように、高速道路の速度ではなく、比較的車速の低い都市交通向けに設計され、おそらくは都市部で使用される。そうすれば、衝突時の衝

撃は低く、停車距離も短いので、事故の発生率や深刻度は抑えられる。また、900nmのパルスライドの限られたレンジをより有効に活用することができる。

アイヒェンホルツ氏は、より長レンジの1550nmライドを含むさらなる開発によって、自動運転レベル4の実現が可能になり、5年ほどでさらに人間の関与を不要にできるのではないかと考えている(「自動運転レベル」を参照)。自動運転を実現するセンサやシステムによって、ロボットタクシーの価格は数十万ドルにまで引き上げられるが、人間の代わりにロボットが一日中乗客を送迎するならば、そのコストが相殺される。これとは対照的に、ほとんどの自家用車で、稼働率はわずか数%にしかすぎない。「私はいつ、自分の自動運転車を購入するだろうか。おそらく決して購入しないだろう。使用頻度に対して費用が高すぎるからだ」とアイヒェンホルツ氏は述べた。

他の形態の運転支援が、自家用車に

利用される可能性がある。アイヒェンホルツ氏が想定するのは、トラフィックジャムパイロットだ。渋滞に遭遇した場合にボタンを押すことで、渋滞中の運転操作を自動車に任せて、ドライバーは道路から目を離してリラックスすることができる。渋滞が緩和されて車速が上がれば、自動車がドライバーに対して、運転操作を引き継ぐよう求める。「これは、十分に地図が作成されていてジオフェンス可能なI5やI95などの主要高速道路用のハイウェイオートパイロットとわれわれが呼ぶものにつながる可能性がある」と同氏は述べた。ハイウェイオートパイロットは、自動車がスムーズに走行している場合に運転操作を引き継ぎ、目的地の数マイル手前まで走行してドライバーに制御を返し、高速道路から一般道路に入る操作をドライバーに任せる。

トラックでは、より高いレベルの高速道路自動運転を利用できる可能性がある。人間のドライバーが高速道路の入口までトラックを運転し、出口を目的地に設定して、後の運転操作をハイウェイオートパイロットに任せる。目的地では別の人間がトラックをピックアップして、運転を引き継ぐ。

ロボットタクシーの限界

一部の安全専門家からは、すべての人間ドライバーをロボットに置き換える話も出ているが、それは現実というよりも夢に近い。未舗装の道路や農地や集材路といった困難な状況に対する適応力は、人間のほうが高い。どのような条件下でもどこにでも行けるロボットタクシーを開発しようとする、恐ろしく高額になる。それを構築するための「経済的インセンティブがない」とアイヒェンホルツ氏は述べた。「これからも、農場では人間がF150(ピックアップ

トラック)を運転しなければならない」。

困難な条件は、農村地域に限られたものではない。消えかかっている車線境界線がそのままになっている箇所は多く、そもそもセンターラインが引かれていない脇道も多い。車線維持システムを搭載する自動車は、境界線にムラがあるとかかなり蛇行し、飲酒運転で逮捕されるのではないかと不安になるほどだ。建設現場は予測不能な場合が多く、メンテナンスは一様には実施されない。NTSBは、カリフォルニア州で起きたテスラ車による死亡事故について、事故現場における「(カリフォルニア州交通局の)交通安全ハードウェアの修理に関するシステム上の問題」が一因だったとした(訳注:以前の事故で中央分離帯の緩衝具が破損していたのを交換していなかったとされている)。霧、雪、ひょうなどの悪天候によって、道路が走行不能になる可能性がある。

社会的信用が、自動運転車にとって重要な問題である。当初は、人的ミスに犯す人間ドライバーよりもロボットのほうが運転がうまいという楽観した見方が広がっていたようだった。しかし、停車中の消防車に衝突するなど、軽微ながらも不安な事故が相次いで、少しずつ信用が失墜し、大きく報じられた死亡事故は、世間に恐怖を与えた。特に、ウーバー社の自動運転車が夜間にアリゾナ州の路上で、自転車を押しながら歩いて道路を横断していた女性を認識できずに衝突して死亡させた2018年3月18日の事故は、世間の不安を掻き立てた。自動車は数秒後に安全のために搭乗していたドライバーに警告を発したが、時すでに遅しかった。ドライバーがスマートフォンから目を上げた瞬間、自動車は歩行者に衝突し

ていた。2019年1月には、アメリカ自動車協会(AAA Auto Club)の調査で米国人の71%が、完全自動運転車に搭乗するのは「非常に怖い」または「やや怖い」と回答した。その不安を払しょくするには、時間とより安全な自動運転車が必要である。

今後の見通し

自動運転車に向けて、運転支援とロボットタクシーはどちらも有望ではあるが、さらなる成熟が求められる。そのためには、センサーやAIを改良することと、その限界、特に予期せぬ事態への対応に弱いというAIの欠点を人間が理解することが必要である。つまり、州政府や地方自治体は、道路の整備や管理に資金を投入し、建設現場や、車線境界線が消えかかっている道路の範囲がわからないといった問題に、自動運転車が戸惑わないようにする必要がある。

一方、米連邦航空局(Federal Aviation Administration:FAA)は、自動飛行ドローンなどの航空機に関する計画に着手しており、自律運転の新しい分野が開拓されようとしている。FAAは1月、人間を乗せて飛行する「アーバンエアモビリティ」(都市航空交通)航空機の許可証の取得に向けて「順調に」作業が進んでいる企業が6社存在し、そのうち4社の航空機は自律飛行になる予定だと述べた。ウーバー社はエアタクシーの構想を語っていたが、まずは人間のパイロットが搭乗するようだ。FAAは2020年2月3日、米アマゾン社(Amazon)やUPSなどの配送会社によって開発されている小包配送ドローンの認可を取得するための規則を提案している。これらの航空機は、新たなナビゲーション上の課題をもたらすことになるだろう。