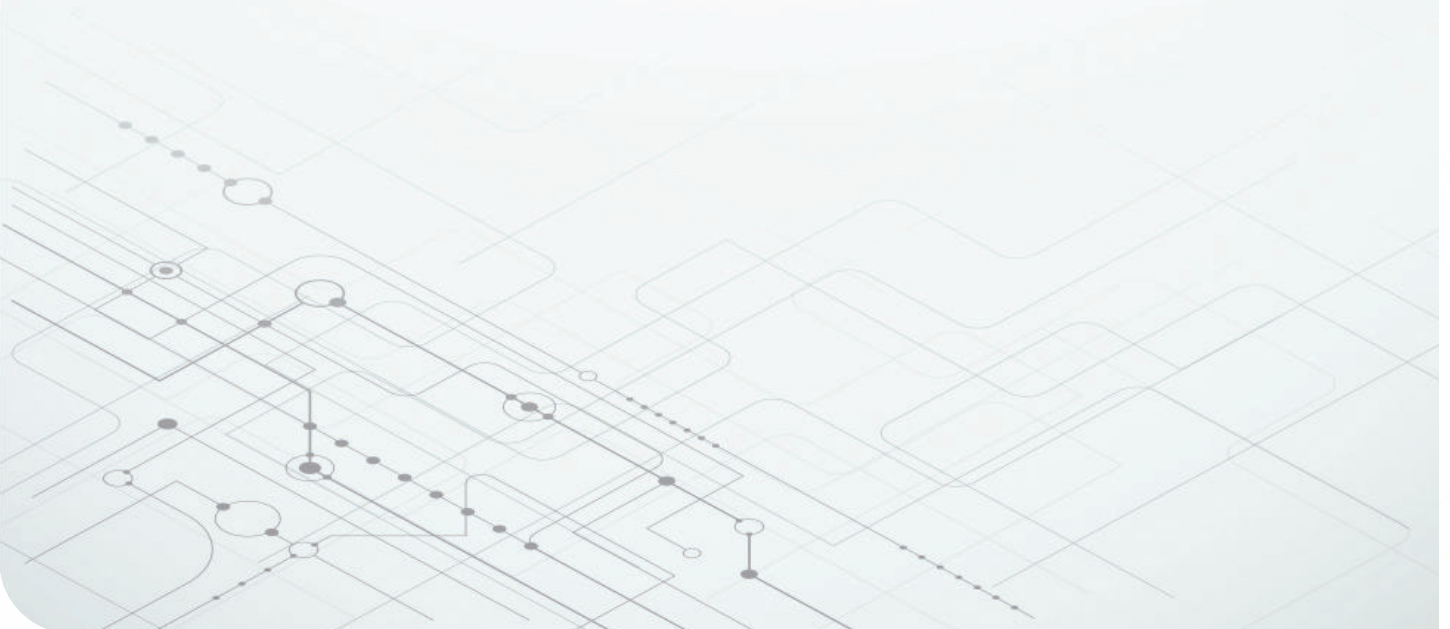


# 検出から決定まで: 次世代 ADAS の 解説

---



**Taylor Gage**  
Systems Engineer  
Automotive ADAS



# 概要



1

## センサ フュージョン

レーダー、Lidar、カメラの統合により、実際の ADAS での安全な動作に必要な冗長性とクロス検証を実現します



2

## エンドツーエンド ADAS

自動車の自動運転の成功は、先進運転支援システム (ADAS) の認識、計算、通信、アクチュエータ駆動の相乗効果に依存しています



3

## インフラストラクチャの実現

半導体の進歩によって、システムが信頼性の高い動作を実現し、レベル 3 を上回る自律性レベルに向かって拡張できるかどうかが決まります

## 概要

車両の自動運転は、多くの予測よりも速く進歩しましたが、基盤となる技術の改善を実現するために必要なエンジニアリング上の課題も増大しています。センサの追加やコンピューティング能力の向上だけでは、自動車は次の SAE レベルに到達できません。車両には、周囲の環境に関する連続的で高精度のセンシング データが必要です。そのため、車両は複雑な状況を処理し、霧、大雨、ぎらつき、道路ごみなどの悪影響を及ぼす環境条件が存在していても、ミリ秒単位で行動を起こすことができます。

安全認証、信頼性、コストに関してより厳格な制約を課す政府や業界の新たな規制が、設計決定事項を形作っています。自動車メーカー各社にとって本当の課題は、安全かつ確実に検出結果をミリ秒単位で決定事項に変換できる包括的なエンドツーエンド ADAS プラットフォームを構築することです。これらのスマートで自覚的な車両の成功は、個々のシステムがどのように高度であるかではなく、これらのシステムすべてがどのようにシームレスに連携するかにかかっています。

## プレーしている力

かつて高級車に予約されていた運転支援機能が、現在のドライバーに標準で採用されています。消費者の期待により、市場は米国自動車技術者協会 (SAE) J3016 レベル 2 の自動運転装置に強固な発展を遂げており、車線維持の支援とアダプティブ クルーズ コントロールが標準機能として必要とされています。さらに、自動駐車機能と高速道路の操縦がミッドレンジやエントリレベルの車両に移行しています。ほとんどの自動車メーカーにとって、レベル 2 の自律性などが出発点になっています。

政府の規制も、自動車の安全性を向上させるための先進的な技術の開発と採用を推進しています。現在の要件として、路上での注意維持を目的とするドライバー監視機能、衝突防止を目的とした自動型の緊急ブレーキ、死角検出機能、乗員監視機能が挙げられます。これは、子供が無人の自動車の中に取り残されることを防止するものです。具体的な要件は地域によって異なりますが、米国の国家高速道路交通安全局から欧州委員会、中国の産業情報技術省まで、世界中の統制機関は同じ目標を共有しています。ドライバー、乗客、脆弱な道路利用者の安全を維持することです。

これらの課題に対処し、世界各地で安全で信頼性の高い自動運転車を実現するには、自動車メーカー各社は 4 つの分野でイノベーションを推進する必要があります。

- 認識能力: システムが周囲の環境をキャプチャして解釈する分野。
- 計算機能: 処理済みのデータを活用してリアルタイム運転の決定を下す分野。
- 通信: 大量の生データや処理済みデータを自動車全体で転送する分野。
- 応答: 制御バイワイヤのようなインテリジェント シャーシシステムは、意思決定をミリ秒単位で行動に変換する分野。

## 認識:環境を理解する

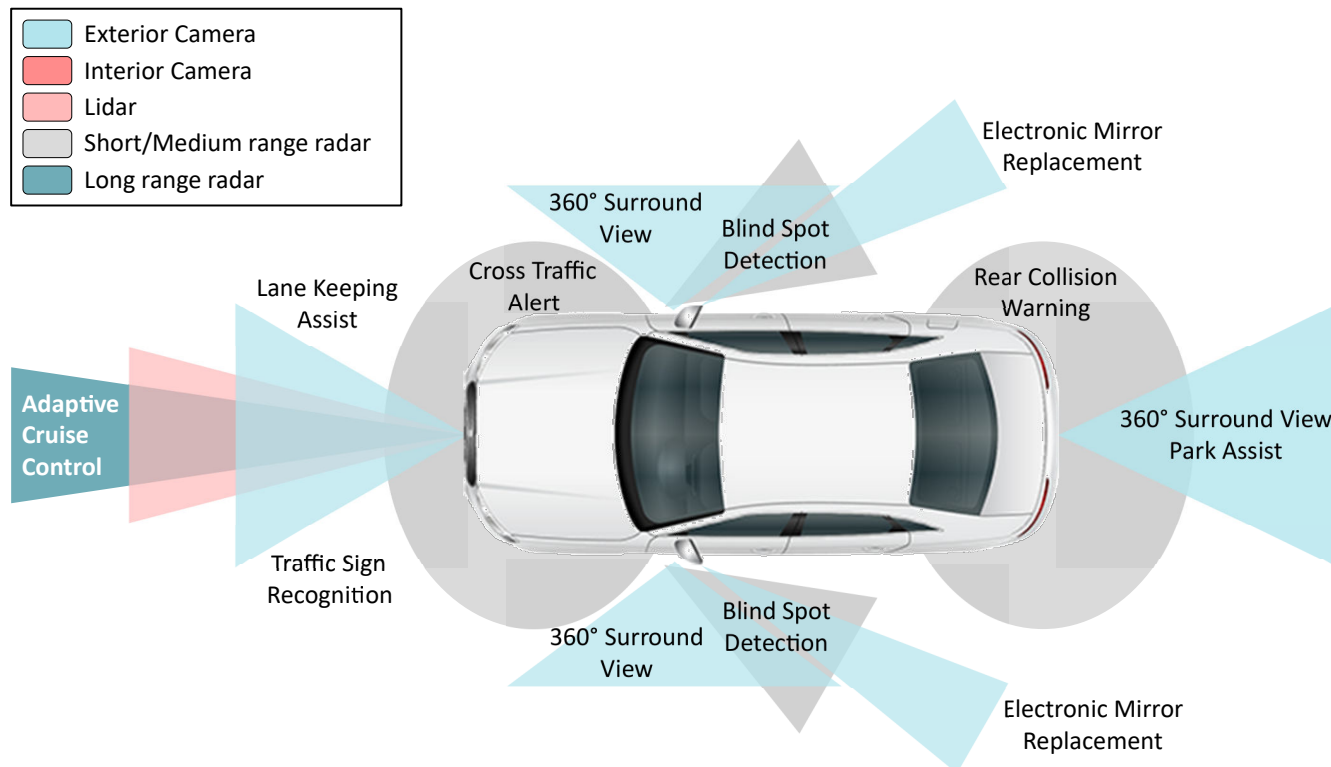


図1. センサータイプ別の車両カバー範囲

自動車の環境を常に十分に理解することは、ADAS 設計におけるエンジニアリング上の最大の課題の1つです。単純に見えるかもしれないものはすぐに大きなボトルネックになる可能性があります。図1に、各センサが通常車両をどのようにカバーできるかの写真を示します。各タイプのセンサにはそれぞれ長所と短所があり、一つのセンサだけでは車両の周囲を包括的に把握することはできません。

### ADAS 設計に関するセンサの検討事項

レーダーは周波数変調連続波 (FMCW) 測定を通じて距離および速度センシングに優れており、霧、雨、低照度であっても、環境条件に関係なくこの情報を提供します。高分解能のミリ波 (mmWave) レーダー センサは、300m を上回る距離に関して精度を継続的に向上させており、自動車はより早期に物体を検出できます。

従来、低分解能や広いダイナミックレンジのシナリオでは、レーダーは物体分類に省略されてきました。ただし、**先進的な4D 画像処理レーダー**がギャップに迫っており、従来のミリ波レーダーでは達成できなかった、より高精度の物体分類と高

さ検出を実現できます。これらの進歩に伴い、レーダーのみは、カメラが実現する色、テキスト、物体の分類に関する多様性に対応することはできません。

Lidar は、特に長距離分解能で補完的な利点をもたらします。従来の Lidar システムは、タイムオブフライトの測定機能を使用して、車両の周囲の詳細な 3D マップを作成し、物体の距離、形状、相対位置をキャプチャします。路上の障害物のセンシングや運転、または敏感な地形の周囲での厳密な操作など、複雑な状況のナビゲーションを行う際に重要なデータを提供します。

長距離のシナリオでは、スキャン Lidar は消費電力が低減され、目の安全性は向上します。ただし、モーター駆動のミラーに依存するという利点は、機械的ストレスをもたらし、動作寿命を短縮することになります。短距離のシナリオでは、フラッシュ Lidar は可動部品を不要にする代わりに、アレイ内のすべてのレーザーを同時にトリガし、1つのフレームで全体をキャプチャすることで、急速に採用を拡大しています。

フラッシュ Lidar システムは、スキャン デバイスより小型で実装が容易ですが、目の安全性要件に準拠するために必要なレーザー電力出力レベルを採用しているため、長距離アプリケーションのサポートは不可能です。霧や雪のような悪天候でも Lidar は依然として課題ですが、**レーザーパルス Lidar レシーバ技術**の進歩はこのような条件下で性能の向上をもたらしています。エンジニアは、信頼性の向上、必要なアパーチャサイズの小型化、物体速度データの追加を実現するために、車載 Lidar で FMCW レーザー変調を導入する作業に取り組んでいます。

カメラは 3 つのセンシング方式を補完し、レーダーと Lidar が対応できない機能 (色、テキスト、豊富な物体分類データ) を提供します。カメラは、道路標識、交通信号、歩行者を高精度で識別します。車線維持支援などの機能は、カメラベースのシステム全体に依存しています。路上での車線表示は 2 次元であり、レーダーまたは Lidar を使用して検出できないからです。しかし、カメラは、3 つのモダリティの中で最も環境的脆弱性があります。低照度条件下、明るい照明による眩惑や、レンズに付着した泥などのごみが原因で、カメラシステムは実質的にブラインド状態に陥る可能性があります。

**センサ フュージョン**。各センシング方式には、非常に優れたシナリオや、短い範囲の環境があります。そのため、自動車メーカーは、単一の種類に依存するのではなく、2 つ以上のモダリティを組み合わせることにより、センサ フュージョンを通じて、より高い水準の自律性を追求してきました。たとえば、レーダーを物体検出に、カメラを物体分類に組み合わせると、クロスセンサ検証とコンセンサ スペースの意思決定を通じて、センシング精度が向上します。また、複数の種類のセンサは、冗長性が確保され、安全性が向上しました。不十分な照明条件が原因でカメラが目に見えない場合、レーダーシステムや Lidar システムは必要な視野角を補完し、自動車の安全な動作を維持することができます。使用可能なセンサ モードから取得したセンサ データを組み合わせることで、色認識、高分解能、物体速度データ、過酷な気象条件に対する堅牢性という個々の長所を組み合わせています。

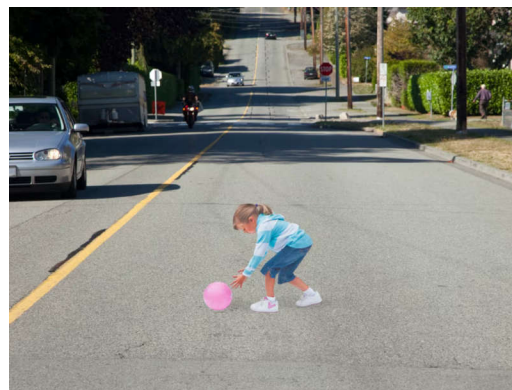
### センサ フュージョンを適用し、物体の高精度識別を実施

センサ フュージョンは、不十分な気象や照明を上回る課題に対処します。たとえば、ブリティッシュ コロンビア州の自治体で

は、**図 2** に示すように、「Pavement Patty」の光学錯覚を導入しました。

スピードを出しているドライバーを驚かせ、スピードを落とすように設計された舗装アートは、道路の真ん中でボールを追いかけている子供を示しているようです。実際には、角度に 8 フィートのビニール ステッカーを貼って、人間の目に 3D の錯覚を作り出します。問題は、この錯覚がカメラシステムも愚かであることです。画像データだけに頼る自律型車両は、子供が車両の前で走っていると判断し、急ブレーキや、対向車線に入るなど、大幅なアクションを実行することになります。物体の分類はイメージ センサの強度ですが、物体の検出は強度ではありません。この混乱を回避するには、レーダーまたは Lidar センサを車両に追加します。この時点で、カメラが路上にいる物体や人を目にする信号を受信したときに、この情報を物体検出の強度を示すセンサと比較確認できます。この状況が発生した場合、レーダーまたは Lidar システムは前方に危険のない道路を正しく示します。また、ADAS システム全体は、カメラが危険を幻覚していると判断し、危険な操作を回避することができます。

このような錯覚は、人間の運転手が注意深く安全に運転することを奨励することを意図していますが、自動運転車には課題があります。自動運転車はすでに設定された制限速度に従っており、実際には存在しない危険に対処するよう強制することで、常に環境を監視します。Pavement Patty は、すべてのセンシング モダリティに死角があるという事実を明らかにする興味深いケースです。レーダー、Lidar、カメラ センサのデータを融合する方法で、より高いレベルの自律性を安全に実現し、これらのようなあいまいな状況を回避するために必要な冗長性とクロス検証を実現できます。



**図 2.** カナダ、バンクーバーにある Pavement Patty の 3D 光学錯覚

## コンピュータ:認識データを運転上の意思決定に変える

環境データを認識することは、自動運転車の最初のステップに過ぎません。車両はそのデータを周囲の包括的な画像に変換し、ミリ秒以内にリアルタイムで決定を下す必要があります。現在の自動車アーキテクチャの多くでは、特定のアプリケーションに対するデータ処理はセンサ自体で行われます。たとえば、アダプティブクルーズコントロールへの入力には長距離フロントレーダーのみです。自動運転の進歩とセンサフュージョンの進歩に伴い、処理能力はエッジから集中型アーキテクチャに移行しています。

集中型コンピューティングユニットには、以下の利点があります。処理効率の向上、ソフトウェア更新の導入の簡素化、機能のスケラビリティ向上。エッジ側でのセンサの変更では、完全な電子制御ユニットやソフトウェアのオーバーホールが不要になるためです。

センサフュージョンアプリケーションと自動意思決定機能は、ニューラルプロセッシングユニット、ビジョンデジタル信号プロセッサ (DSP)、レーダーの高速フーリエ変換アクセラレータなどの特殊な計算アクセラレーションを必要とします。これらはいずれも、機械学習 (ML) と予測型人工知能 (AI) ネットワークを通じ、路上で複雑でリアルタイムな意思決定を推進するのに役立ちます。テキサスインスツルメンツの **TDA5** 運転支援システムオンチップは、複数のコンピューティングドメインを統合し、センサの処理、リアルタイム制御、ML のすべてを単一のパッケージに統合しています。また、リファレンスデザインとソフトウェアは、エンジニアが開発時間を短縮し、より迅速な量産に対応するのにも役立ちます。

## 通信:車両のバックボーン

信頼性の高いセンシングと高性能計算が重要であると同時に、高帯域幅、低レイテンシ、長距離の通信システムのネットワークがない場合でも、これらの機能は絶縁された状態で維持されます。**図 3** に示すように、それぞれ特定のデータ入力タイプに合わせてカスタマイズされ、ミッション要件に対応する幅広い通信プロトコルにより、システムを車両に接続します。

カメラなど、高速でデータ密度の高いアプリケーションは、コンピューティングユニットに到達するために 10m を上回るケーブル長を必要とします。**シリアライザ / デシリアライザ**

**(SerDes)** は、データの非対称パイプラインを提供し、フォワードチャネル速度は 7Gbps を超え、双方向通信用にシリアルペリフェラルインターフェイス (SPI) や相互集積回路 (I<sup>2</sup>C) などの低速バックチャネルプロトコルを採用しています。

従来、SerDes テクノロジーはカメラアプリケーションでのみ使用されてきましたが、レーダーと Lidar システム技術の進化が進んでおり、生データを集中型コンピューティングユニットに直接送信するストリーミングアーキテクチャが登場しています。この場合、SerDes の高速性能も必要です。このようなアプリケーションが拡大するにつれて、レーダーや Lidar による干渉を防止し、複数のセンサ間での非常に厳密な時間結合を利用する、より高分解能のカスケード接続レーダー構成を実現するために時間同期が不可欠になります。具体的な例については、「**車載フロントレーダー向けシングルチップミリ波ストリーミングレーダーのリファレンスデザイン**」を参照してください。

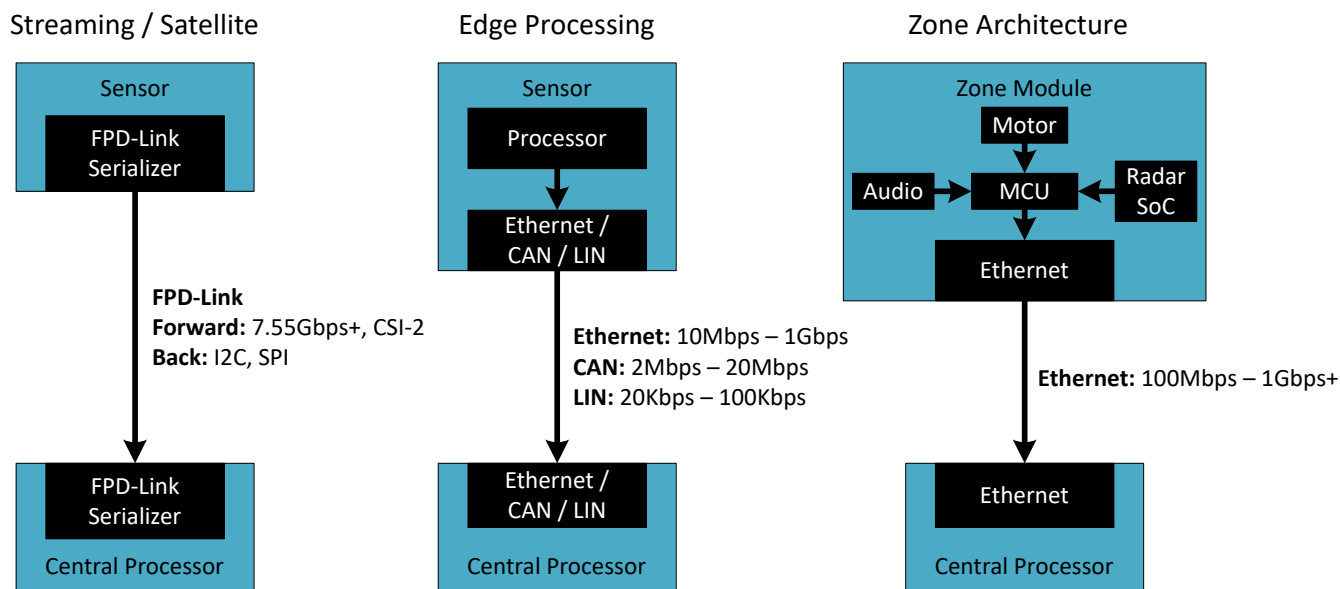


図3. さまざまな自動車アーキテクチャをサポートする、さまざまなネットワークプロトコルと帯域幅の図

車載イーサネットは、SerDesに加えて、車内ネットワーク向けの信頼性の高いプロトコルとして浮上しています。イーサネットは、ドメインコントローラに接続し、分散処理とゾーンアーキテクチャを実現できます。個別のコンピューティングユニットを必要とするADASとインフォテインメントアプリケーション向けに、イーサネットはメディアアクセス制御セキュリティ(MACsec)のようなセキュリティ機能を内蔵した、長距離の双方向シグナルチェーンを提供し、高まるサイバーセキュリティ要件に対応できます。

また、イーサネットは厳格な時間同期をサポートしており、車両全体でデータと意思決定の一貫性を維持します。ゾーンアーキテクチャでは、イーサネットはコーナーレーダー、シートモーター制御、オーディオ信号など複数のデータソースと、コントローラエリアネットワーク(CAN)やローカル相互接続ネットワーク(LIN)などの従来型プロトコルを使って、集中型コンピューティングユニットへの1つの出力に集約し、配線コストの削減と複雑さの軽減につながります。10BASE-T1Sのような規格は、イーサネット接続をゾーン内の低帯域幅のエンドノードに拡張することができ、配線の簡素化とコストの削減に貢献します。このゾーンネットワークアーキテクチャを採用すると、ソフトウェア定義自動車で、ワイヤレス(OTA)の更新を実施して自動車の製造後に新しい機能をプッシュし、コストのかかるハードウェアリビジョンを低減することができます。こ

のトピックの詳細については、「[イーサネットを使用してソフトウェア定義の自動車への移行を加速する方法](#)」をご覧ください。

ゾーンアーキテクチャとストリーミングADASセンサはイーサネットとSerDesの必要性を高めますが、シートモーター、後処理レーダーデータ、照明など、自動車全体の制御システムでCANとLINは引き続き重要です。ADASセンシングやパワートレインのような高性能アプリケーション向けに、CANフレキシブルデータレート(CAN FD)を使用すると、双方向コマンドに適したマルチコマンドトポロジを実現できます。暖房、換気、空調、座席モーターなどのシンプルなアプリケーションで、CAN FD Lightは固定ビットレートと単一のコマンドトポロジを使用するため、エンドノードとゾーンコントローラでコストを削減し、複雑さを低減できます。

自動車の自律性が高まり、アーキテクチャが進化するにつれて、設計者は高精度の時間同期、機能安全、サイバーセキュリティ保護をサポートするフレキシブルなネットワークオプションを必要としています。

### 応答データを行動に変換する

センシングとコンピューティングは重要ですが、特に動作がなければ意味がありません。より包括的なデータ、高度なコンピューティング能力、より高速な通信機能は、自動運転の最後のステップで収束しています。つまり、自動車の動作を推進し

ています。**インテリジェントシャーシシステム**は、運転支援の意思決定を正確な物理的応答に変える重要なアクチュエーションレイヤーを追加します。制御バイワイヤテクノロジーにより、ミリ秒単位の時間枠で優れた制御精度とパフォーマンスを実現します。

これらのシステムがより洗練されるにつれて、予測機能は実績のある実際のデータを活用して反応時間を短縮し、危険を即座に回避します。その結果、ドライバーが脅威に気付いた場合、乗員と歩行者を保護することができます。図 4 に、そのようなプロセスの例を示します。

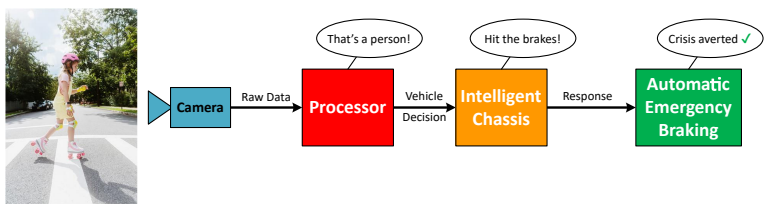


図 4. 検出から決定フローチャート

### 隠れた実現要素: あらゆる場面を可能にする IC 技術

最も先進的な ADAS プラットフォームは、車両全体にあるすべてのシステムをサポートするアナログ半導体や組み込みプロセッサを土台にしています。バルク弾性波と**パワーマネージメント集積回路 (IC)** は多くの場合、自律性に関する幅広い話し合いで見過ごされています。その結果、認識、計算、ネットワーク全体にわたるシステム性能が向上し、実際の条件下でこれらのシステムが確実に動作するようになります。TI は、個々のアプリケーションだけでなく、車両アーキテクチャ全体を考慮して設計しています。

### まとめ: 自律性を向上させる道路

今後 10 年間は、自動運転車テクノロジーのあらゆる階層で大幅な進歩が見込まれます。FMCW Lidar は、すでに高精度の距離測定センサから取得した、より正確な速度データと方向データを実現します。より洗練された AI モデルは、複雑な運転環境や、現在のシステムでは処理できない動作エッジケースに対応しています。また、ボトルネックがハードウェアからソフトウェアへと移行する中で、OTA アップデートにより、

自動車メーカーはレベル 3 のハードウェア上に構築された SAE J3016 レベル 4 の自律性を実現することができます。インテリジェントシャーシシステムは、リアルタイム情報を使用してデータを行動に変換し、よりスムーズで応答性の高い乗り心地を実現します。

これらの技術は、コンセプト段階をはるかに超えています。採用は継続的に拡大し、コストの削減、従来はコストが高額だった設計に対して、より高い水準の安全性を導入しています。完全自律性は、自動車内のすべてのシステムにシームレスな統合がかかっています。センシング、プロセッシング、コネクティビティ、アクチュエーションの分野で革新を推進することで、TI は自動車メーカーが、世界各地のあらゆる路上のあらゆるドライバーに対し、より安全でよりインテリジェントな自動車を製作できるよう支援しています。

### 著者について

Taylor Gage は、TI の車載用 ADAS エンジニアリングおよびマーケティング チームのシステム エンジニアであり、カメラ、レーダー、Lidar システムの設計を含めた外部センシングを専門としています。彼は FPD-Link ネットワークと TI のレーダー製品ラインアップを活用し、OEM (自動車メーカー) とティア 1 サプライヤが自動運転テクノロジーを進歩させ、いっそう安全性の高い自動車を開発できるように支援します。Taylor はテキサス A&M で電気工学の理学士号を取得し、サザンメソジスト大学で MBA を取得しています。

**重要なお知らせ:**ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月