



# ADAS（先進運転支援システム）と自動運転へのスケーラブルなアプローチ

**ABi**research.  
THE TECH INTELLIGENCE EXPERTS™

James Hodgson,  
(リサーチディレクター)

## 目次

はじめに.....	1
<b>ADAS とアクティブセーフティ...</b>	<b>3</b>
安全性評価機関の主な役割.....	3
テクノロジーへの影響.....	4
<b>監視付き自動運転.....</b>	<b>6</b>
レベル 2+.....	6
テクノロジーへの影響・360度認識 とハイパフォーマンスコンピューティング.....	7
監視なし自動運転.....	9
レベル 3 とレベル 4.....	9
<b>テクノロジーへの影響・認識、処 理、ソフトウェアの冗長化.....</b>	<b>11</b>
<b>まとめ.....</b>	<b>14</b>
スケーラビリティと再利用.....	15

## はじめに

自動車業界は、AI、高性能コンピューティング、マッピング、ロケーションインテリジェンスの分野の主要サプライヤーと協力して、運転支援および自動運転の開発と導入に多額の投資を行っています。その応用範囲の広さを利用すると、ドライバーがより安全に運転できるように支援する、ドライバーに代わって特定のタスクを実行する、また最終的には運転プロセス全体を自動化することでドライバーを完全に切り替えることができますようになります。

自動運転はそれぞれ、特定の機能とドライバーの離脱レベルの組み合わせです。つまり、ドライバーの一定の運転責任の下で縦方向および横方向の制御の自動化を組み合わせています。この責任は、ドライバーに常に監視を要求する、またはドライバーが手動、視覚的、または認知的に離脱できるようにするなど、システムのアーキテクチャによって異なります。

極端な例を挙げると、アクティブセーフティというシステムがあります。これは追突警報または衝突軽減のいずれかの操作によって、例外的な状況でのみドライバーを支援し、ドライバーを完全に制御するように設計されたものです。その他に人間が運転操作をしない無人車両があり、すべての運転タスクを完全に切り替え、人の運転手を必要としないレベルまでの離脱が可能になります。

図1: 自動運転のアプリケーション- SAE J3016 規格の機能/運転の関与レベルの組み合わせ

(出典: ABI Research)



消費者の視点から見ると、上述の機能と監視の組み合わせは、その価値、コスト、およびパーソナルモビリティ（個人の移動性）に及ぼす全体的な影響という点で、根本的に異なるようです。但し、アーキテクチャという視点から見ると、これらの用途には共通のイネープリング・テクノロジー（実現技術）が求められ、より包括的な自動運転の実装において、さらに多くの機能とより高い冗長化を実現するために必要なコンポーネントが追加されています。

よって、自動車業界は、アクティブセーフティ、半自律走行、無人の完全自動運転に対してスケラブルなアプローチが必要です。異なる機能/離脱レベルを組み合わせる際にコンポーネントの再利用を最大化することで市場に次のメリットがあります。

- コスト削減:** 自動運転の用途に合わせ新しいプラットフォームを構築するのではなく、アクティブセーフティ、監視付き自動運転、監視なし自動運転を可能にする共通のイネープリング・テクノロジーを実装することで、短期対応型システム（ADASとレベル2+）を増やし、長期対応型システム（高度な自動運転と無人自動運転）をより実現可能にすることができます。
- 規模拡大と経験:** 同様に、ADAS、監視付き自動運転、監視なし自動運転に共通するコンポーネントを導入することで、短期間に膨大な機会が生まれ、その機会から得られる経験を活かし、将来的に無人自動運転の導入を成功させる基盤を形成することができます。

# ADAS とアクティブセーフティ

短期的に見ると自動車にとって最大のチャンスとなる先進運転支援システム（ADAS）は、障害物や危険な状況を見極め、衝突を回避できるようドライバーのハンドル操作を支援することでドライバーの運転支援を行うシステムです。ほとんどの場合、アクティブセンサーを活用して道路利用者を検知および分類し、衝突が発生する可能性がないかどうかを判断し、自動ブレーキや自動ステアリングなど、リスクを先読みした運転操作を実行します。

## 安全性評価機関の主な役割

### 公平な競争環境

一般的に、自動車メーカーが安全性を売りに差別化を図ることはあまりありません。これは、どの車両も最先端の技術を用いて可能な限りの安全性が保たれているはずであるという一般的な消費者意識を反映しています。その結果、標準車両の安全仕様には、規制および準規制が適用されます。例えば、欧州一般安全規則（GSR 2）では、2022年7月以降に生産されたすべての新型車と2024年以降に生産されたすべての新車に、自動緊急ブレーキ（AEB）、自動速度制御装置（インテリジェントスピードアシスト:ISA）、ドライバーの眠気検知・警告システム（DDAW）など、多くのADAS機能を搭載することが義務付けられています。

安全性評価機関が果たす重要な役割は、正規の規制の他に、自動車の安全性に「準規制」を適用することですが、過去10年間でアクティブセーフティの採用を促進する上で非常に効果的であることが証明されています。これらの機関は、次の2つの重要な機能を果たします。

- **テストとスコアリングの標準化:**すべてのOEMのADASに共通のテスト条件を課すことで、自動車メーカーやブランドを問わず、消費者には一定の性能が保証されます。
- **安全性の伝達:**特定のADASの装備を5つ星の安全性評価またはトップセーフティピックに反映させることで、安全性評価機関はアクティブセーフティの価値を消費者に効率的に伝え、導入を促進できます。

### ロードマップとアプリケーションのトレンド

試験のプロトコルを新しく導入し、性能を試験し安全性スコアに反映させる指定のロードマップは、地域のNCAP / IIHSによって異なります。しかし、一般的には、安全性試験における以下の傾向によってADAS/アクティブセーフティ市場が形成されています。

- **より多くの道路利用者を検知:**初期のADASシステムは他の車両を検知するのに非常に効果的でしたが、ADASテストのロードマップはさらに進化し、自転車や歩行者など、他の道路利用者を検知するADASシステムの能力をより適切にテストできるようになっています。
- **より現実的なテストシナリオ:**初期のテストプロトコルでは、視界の良い日中に車両のテストを実施していました。夜間のテストでは、実際の環境でのADASの有効性が高まります。
- **車室内監視:**アクティブセンサーを使用して車外の危険を特定するだけでなく、NCAPとIIHSが公開するロードマップは、アクティブセンサーを使用して車室内の危険発生を検知し、危険を軽減するシステムとして、ますます効果を発揮しています。代表的な用途として、ドライバーの疲労状態や注意散漫状態の検出、鍵がかかった車両に誤って置き去りにされた子供の検出などがあります。

- **地平線上と見通し線外 (Non-Line-of-Sight: NLOS)** :ほとんどのADASは、ドライバーにとって見通しの悪い危険地点となる見通し線 (LOS) にセンサーを設置し、危険を検出しますが、これからの安全性評価機関のロードマップは、携帯電話用の無線通信回線 (セルラー) 接続や放送型 (ブロードキャスト) V2Xなどの見通し外 (NLOS) 技術を採用し、地平線上や曲がり角の危険を特定するシステムが高く評価されています。

## テクノロジーへの影響

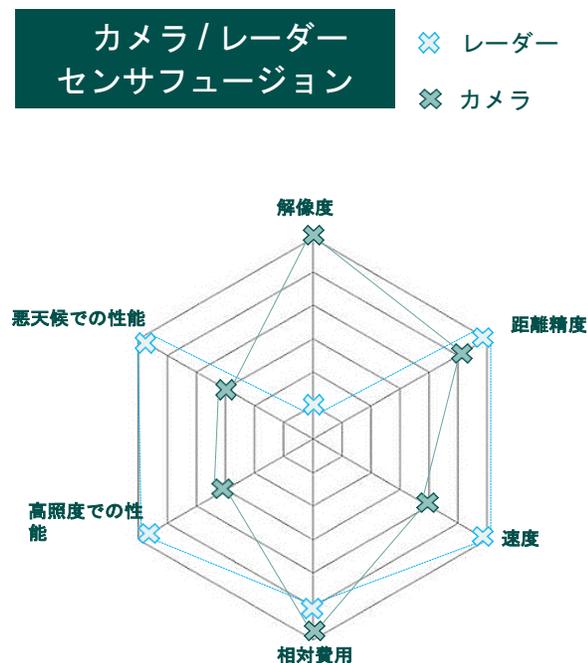
安全性評価機関は、テストプロトコルを設定し、事故が発生する特定のシナリオを検出し、その事故を軽減できるADASを検証できるようにしていますが、これは特定の技術に依存しない方法で実施するため、自動車メーカーがADASソリューションを調達する際に、さまざまな競争力のある選択肢から選択できます。しかし、自動車業界は、スケラブルで費用対効果の高い方法で必要な性能を実現する技術ソリューションの開発に着手してきました。

### カメラ・レーダーのセンサーフュージョンとステレオビジョン

自動車メーカーは、さまざまな潜在的な障害物を確実に検出し、識別し、対象物までの距離を測定するために、障害物の認識に次の2つの方法のいずれかを取り入れています。最も広く採用されている方法は、カメラ/レーダーのセンサーフュージョン機能で、これは対照的な2つのセンサーモダリティの長所を利用して、より確実な状況認識を可能にするものです。CMOSカメラセンサーは低コストで、さまざまなセマンティックインサイトを提供し対象物の分類を可能にします。また、物体の動きのオプティカルフロー分析と構造情報を利用して、非確率的方法で深度を推定することもできます。ただし、カメラセンサーは、極端に照度が高いまたは過酷な気象条件の下では使用が困難になる可能性があります。その一方、レーダーセンサーの場合、解像度は比較的低いものの、カメラの性能を損なうような同様の状況でも継続して機能させることが可能です。レーダーセンサーを使うと、対象物までの距離や相対速度などの有益情報も得られます。

図2: カメラ・レーダー・センサーフュージョン

(出典: ABI Research)



他に高性能ADASを可能にするために効果的であることが証明されているのは、ステレオビジョンという方法です。これは、人間が両眼視力を使って深度と距離を認識するのと同じように、立体視を活用して周辺環境の3Dモデルを構築するものです。この方法を利用すると、非常に効率よく計算ができるため、堅牢な障害物検出と衝突回避を可能にするために必要なセマンティック、距離、速度についての詳細な情報が得られます。

図3: 3D検出機能を搭載したADASの性能、スバル・アイサイト (Subaru Eyesight)

(出典: NCAP)

2021 - 評価 → 2021年度の評価について

製造メーカー&車種	安全装置	総合評価	乗員	乗客	歩行者	自転車
 Subaru Outback	標準	★★★★★	88%	89%	84%	95%
 Polestar 2	標準	★★★★★	93%	89%	80%	83%
 Genesis G80	標準	★★★★★	91%	87%	77%	91%
 Nissan Qashqai	標準	★★★★★	91%	91%	70%	95%
 Mercedes-EQ EQS	標準	★★★★★	96%	91%	76%	80%
 VW ID.4	標準	★★★★★	93%	89%	76%	85%

### 効率的かつ低フットプリントのコンピューティング

自動車メーカーがアクティブセーフティを打ち出し差別化を図る手段には限りがあるため、コスト効率が重要な鍵となります。そのため、自動車メーカーは通常、スタンドアロン/専用コンピューティングを選択し、必要なアプリケーション処理、画像信号処理、セキュリティおよび車載グレードの設計を行っています。特に、アクティブセーフティが専用のSoCに要求する機能安全性にかかる負担を低減できるため、自動車メーカーはアクティブセーフティの関連コストを抑えることができます。

# 監視付き自動運転

## レベル 2+

SAE J3016は、レベル2の自動運転では「...ドライバーのハンドル操作とブレーキ/アクセル操作を支援する...」と定義しており、ドライバーは周辺環境を「常に監視する」役割を担うことになります。ほとんどのレベル2車両は、前走車との車間距離を一定に保つことで縦方向の制御（追従走行）を行うアダプティブ・クルーズ・コントロールや、車両を自動的に走行車線内に維持することで横方向の制御を行う独立した車線維持支援システムなど、2つの異なるADASシステムを同時に作動させる形で、縦方向と横方向の制御を組み合わせた運転支援が実現しています。

OEMは、もともとレベル3およびレベル4のシステム向けに考案されたコンピューティングプラットフォームとソフトウェアを活用して、消費者の体験をさらに優れたものにするために、縦方向と横方向の制御を効果的に調整して運転支援するレベル2システムを市場に導入するケースがますます増えています。

実際には、上述の「ドライバーのハンドル操作とブレーキ/アクセル操作を支援する」とされる機能は次の通り幅広く定義できます。

- ・ 自動車線変更操作
- ・ 高速道路の出口または出口分岐までの自動支援
- ・ 人間による情報入力の有無を問わず、高速道路で走行速度の遅い前走車がいる場合、追い越しを自動支援し、自車の設定速度を維持する
- ・ 中心市街地の複雑かつマルチエージェント型の環境におけるハンズフリーの運転と操作

上記の機能が人間のドライバーが常時監視する中で実行される場合、標準のACCとLKAを組み合わせただけの場合と比べて、さらに有益な体験が得られるにもかかわらず、SAE J3016の定義ではレベル2に割り当てられることがあります。

自動車業界では、複数の機能を自動化することとドライバーが継続的に監視することを組み合わせた半自動化は、SAE J3016にはない定義となる「レベル2+」または「レベル2.5」として知られるようになりましたが、ドライバーに責任の重点が置かれるのと同時に、これまでに導入された従来のレベル2システムよりもはるかに多くの機能が搭載されています。

## 自動車メーカーとサプライヤーにとってのメリット

レベル2+に注目が集まるのには、自動車メーカーとサプライヤーにとって次の多くのメリットがあるからです。

- ・ **現行の規制環境の要件を満たすことができる**: 監視のない自動運転に対する法規制の枠組みの構築には、世界中で長いプロセスを要しています。現在、ドライバーの監視が不要な車種の承認と保険適用の方法を決めるプロセスに入った地域もありますが、全体的な見通しは依然として複雑であり、自動車メーカーは当面の間、異なる市場の異なる要件に対応しなければなりません。その一方、レベル2+システムは現行の規制環境の下でグローバル展開することができます。
- ・ **ブランドリスクを最小限にできる**: 自動車メーカーは、監視なしの自動運転システムの責任範囲を定める正式な規制が施行されたとしても、監視なしで走行中に事故が発生した場合、その事故と自社ブランドが関連付けられる可能性があることには依然として慎重です。

事故調査の結果、相手方の道路利用者に過失があったと結論付けられたとしても、その事故が注目を集め、ブランドの完全性が影響を受ける可能性があるならば、OEMの多くはリスクを回避したいと考えます。運転の主体は人間であることを大前提とする一方、レベル2+の機能を使って運転支援ができれば、リスクを避けたいOEMは自動運転の未来への一歩を踏み出すきっかけができます。

**部品表（BOM）を最小化できる**。高レベルの自動化（監視なしなど）に関連するBOMコストの多くは、無人ドライバーの役割を置き換える冗長センサーの搭載と処理にかかります。例としては、LiDAR、イメージング／HDレーダー、2基搭載するAV SoCなどがあります。常にドライバーに運転関与させることは、冗長性に関連する高度なテクノロジーは不要であることを意味します（人間のドライバーがこの冗長性を提供するため）。その結果、短期から中期的には、レベル2+を導入した場合の費用対効果が大幅に向上します。徐々に、追加のセンサー技術、特にイメージング／HDレーダーがレベル2+システムに組み込み、さらに安全性を向上させることが期待されています。安全性評価機関の試験プロトコルに従い構築されることが多いアクティブセーフティシステムとは異なり、レベル2+システムの成功は、将来的にイメージング／HDレーダーの機会を創出する実環境における性能によって左右されます。

一般的に見れば、レベル2+戦略は、監視付きの自動運転の比較的低コスト、低リスク、よい広範な規制適応性という利点を利用して、自律走行車革命を推進するものです。OEM、そのサプライヤー、パートナーは、自動運転車の技術開発に数十億ドルを投資してきましたが、監視なしの無人自動車の分野では、その実績はほとんどありません。レベル2+は、イネーブリング・テクノロジー（実現技術）に短期から中期の出荷量を提供し、同イネーブリング・テクノロジーを活用するレベル3およびレベル4の導入コストを削減します。

### 消費者にとってのメリット

消費者にとって、レベル2+は従来のレベル2システムの大幅なアップグレードとなるのが通常ですが、このレベル2は厳しく制約条件が定められた運行設計領域（ODD）によって実現が阻まれ、特定の速度範囲を超えると機能しなくなったり、道路の曲率が特定の角度を超えると機能しなくなったりすることが多かったシステムです。OEMは、もともと高度な自律走行車に搭載されることを意図して作られたソフトウェアを活用することで、消費者がこれまで利用してきたものよりも、はるかにメリットのある監視付きの自動化を実現できます。

## テクノロジーへの影響 - 360度認識とハイパフォーマンス・コンピューティング

### カメラ／レーダーセンサーフュージョンを使った360度認識

アクティブセーフティADASは、例外的な状況でも1次元で運転を支援します。例えば、AEBは縦方向の制御を支援し、BSDとLKAは横方向の制御を支援します。一方、レベル2+システムは継続的に縦方向と横方向の両方の制御を幅広く支援することを目的とした「パイロット」システムです。

この縦方向と横方向の制御を組み合わせた運転支援を行うために、レベル2+システムには、車両周辺の全方向を360度認識する機能が必要です。通常、カメラセンサーは、アクティブセーフティを実装する場合と同じ理由でレーダーセンサーを組み合わせて搭載し、2つのセンサーの長所・短所を補完し合いながら障害物を検出します。しかし、システムの動作を常に監視するのはドライバーが行うため、LiDARやイメージング／HDレーダーなどの追加の冗長センサーは必要ありません。

Table 1: 自律走行車に搭載されるセンサー、SAEレベル2~5

(出典: ABI Research)

製造メーカー	車種	システム	SAE レベル	カメラ	長距離 レーダー	中距離 レーダー	LiDAR	US
メルセデスベンツ (2016)	Eクラス	ドライブ パイロ ット	2	2 (立体カメラ)	1	4	0	4
アウディ (2018)	A8	AI トラフィ ック パイロ ット	3	5 (長距離1台, 短距離4台)	1	4	1 (Valeo SCALA)	4
日産 (2016)	ローグ, セレナ	ProPILOT	2	1	0	0	0	0
日産 (2019)	スカイライ ン, Q50	ProPILOT 2.0	2+	7	5	0	0	12
テスラ (2019)	モデル 3	Autopilot 3.0	2+	8	1	0	0	12
モービルアイ (2021)	Geely Models (Geely, Polestar, Smart)	SuperVision	2+	11	1	0	0	0
メルセデスベ ンツ(2022)	Sクラス	DRIVE PILOT	3	2 (立体カメラ)	1	4	1	4
GM (2021)	クルーズ	クルーズ	5	16	11 (長距離5台 中距離/ 広角4台)	10 (すべ て短距 離)	5	0
モービルアイ / ルミナー (2022 - 2025)		フル スタック	4/5	11	6		3 (SWIR ToF)	0
Zoox		フル スタック	5	14	10		8	0
モービルアイ (2025-)		フル スタック	4/5	11	6 HD レーダ ー		1 FMCW	0
NIO (2023)	ET7/ET5	NAD	L2+ NOA	11	1	0	1	12
NIO (2023)	EC6/ES8	NAD	L2+ NOA	11	1	0	1	12
Xpeng (2023)	G6/P7i/G9	XNGP	L2+ NOA	11	0	2	1	12
LiAuto (2023)	L9/L8/L7 Max	AD Max	L2+ NOA	11	1	0	1	12
ファーウ エイ AITO (2023)	M7/M5	ファ ーウ エイ ADS2. 0	L2+ NOA	11	1	0	1	12
SAIC IM Motors (2023)	LS6	IM AD2.0	L2+ NOA	11	0	1	1	12

## ハイパフォーマンス・コンピューティング

アクティブセーフティシステムは、安全性評価でトップスコアを獲得する、または地域のADAS規制に準拠するために必要な機能を、可能な限り低コストかつコンピューティングパワーエンベロープで提供できるようにするために、効率的でエネルギー効率の良いコンピューティングを搭載する傾向があります。一方、レベル2+システムには、多様な運転機能を可能にするより多くの計算性能が必要になるだけでなく、販売後にレベル2+の新たな用途を提供可能にするために、販売時点の機能に必要な能力以上の処理能力が追加されていることもあります。

この傾向は、レベル2+システムのサブスクリプション・ビジネス・モデルの普及が特に関連しており、消費者が月額または年額の定額料金を支払えば、レベル2+の機能を引き続き利用できるようになるからです。このビジネスモデルでは、サブスクリプションの解約率を最小限に抑えることと、消費者にとっての価値を維持することが最も重要な要素であり、新機能を定期的に提供することは、消費者の関心を維持し、レベル2+サブスクリプションの支払いを継続してもらう最良の戦略になります。この戦略では、OEMがADAS/AV処理領域における余剰計算能力という形で市場に「ヘッドルーム」を設け、販売後に新たな収益化の機会を生み出す必要があります。

通常、レベル2+システムのソフトウェアコンテンツには、より多くのAIとニューラルネットワークが含まれるため、ほとんどのレベル2+SoCにはニューラル・ネットワーク・アクセラレーションIPが必要になります。通常、GPUコア、FPGA、またはさらにカスタマイズされたASICまたはアクセラレータコアの形態を取り、AVデプロイヤーのソフトウェアロードマップに従い最適なSoCコンポジションを決定します。

これらのレベル2+のコンピューティングプラットフォームは、アクティブセーフティに一般的に搭載される個々のスマートセンサーに比べ、より集中管理型のプラットフォームですが、実際に市場では、高性能SoCと組み合わせて個別のコンピューティングクラスターが依然として多く利用されています。センサーデータを前処理してから中央のSoCでフュージョン処理する場合がありますが、自動駐車など、専用コンピューティング上に存在する一部の用途にも適用されます。

### ドライバーモニタリングシステム

すべてのレベル2+アプリケーションにおいて、ドライバーは継続的な監視役としての重要な役割を担っているため、ほとんどのOEMは、レベル2+システムに安定したドライバー監視システムを搭載し、ドライバーが引き続き外部環境の監視をしっかりとできるようにしています。カメラを使ったドライバーのモニタリングは、視線の方向やドライバーの姿勢を判断するために欠かせない重要な機能です。

### HD マップとロケーション・インテリジェンス

多種多様な属性を備えたデジタルマップを活用すると、車線区分線がない路上でも、走行車線を外れないように適切に車両の位置を特定し、交通量の多い交差点をナビゲートすることができます。また、交通標識と関連する車線情報や道路標識のセマンティックコンテンツなどのAV固有の属性は、極度の照度や交通標識の遮蔽によってカメラセンサーによる読み取りができない場合でも、地域の道路規制を理解した上でアクティブセンサーの機能を補完できます。

総体的に言えば、ADAS/アクティブセーフティシステムと比較して、レベル2+のアプリケーションには、360度の全方位認識を実現する高密度のカメラとレーダーセンサー、より多様な機能と今度の更新に必要なヘッドルームを可能にするより高い計算能力、自動運転システムと人間のドライバーによる制御バランスを維持するドライバーモニタリング、およびAV固有の属性を備えたロケーションインテリジェンス/マッピングが必要になります。

## 監視なし自動運転

### レベル3 および レベル4

レベル3およびレベル4のシステムでは、人間のドライバーは運転操作を離脱できます。レベル3の実装では、この離脱は限定領域においてのみ可能ですが、ドライバーは手動と視覚の両方で運転操作を離脱から切り離すことができますが、レベル3の機能では道路状況を安全に判断できない場合は、運転タスクを引き継ぐ合理的な時間を設けて、ドライバーが制御を円滑に再開できるようにする必要があります。ドライバーが引き継ぎ要求に応答しない場合、車両を安全な状態（道路脇に停車させるなど）にする最低限のリスク対応操作が実行できなければなりません。

逆に、レベル4のシステムは、人間のドライバーによる入力、監視またはバックアップなしに、運行設計領域に含まれるすべての運転タスクを実行できます。

上記2つの実装（レベル3とレベル4）は、消費者価値という観点から見ると大きく異なりますが、イネープリング・テクノロジー（実現技術）の観点から見ると、レベル3とレベル4はいずれも、レベル2+アーキテクチャである冗長化が同様に追加要件として要求されます。人間のドライバーが運転操作を離脱する場合、運転制御を監督する役割は、知覚と処理の両面で、テクノロジーベースの代替手段に切り替える必要があります。

### ロボタクシーと無人商用車

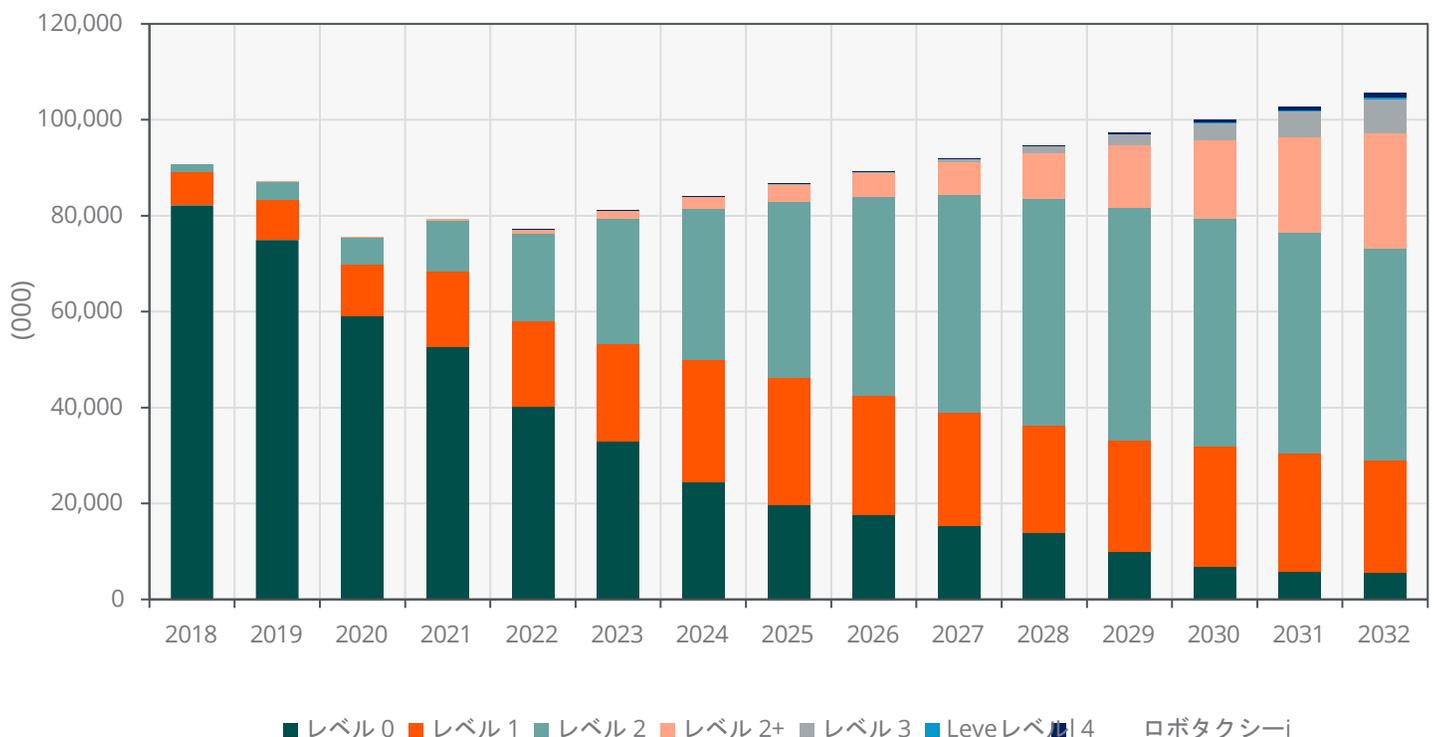
レベル4の車両には、より高密度のAV技術が搭載されていますが、短・中期的に見た導入数は、乗用車市場に導入されているレベル2+およびレベル3とは異なる市場規模になることが予想されます。実際、完全無人の車両はロボタクシーという名称で導入されており、フリートオペレーターは可能な限り少ない運用台数に抑えつつ、高まるモビリティ需要に対応できます。

公道での人の移動を支援する無人車両の導入は依然として厳しく制限されており、無人車両が大規模に展開された場合に適用される法律が制定されるまでは、このままの状態が続くことが予想されます。しかし、商用車のユースケースは、次のさまざまな要因により、無人運転から短期的に有益な情報を得て策定できると予想されます。

- **確実なビジネスケース:** タクシー運転手不足を解消する、または運転手の過失に起因する損失を削減するのいずれの場合を問わず、ビジネスケースはフリートのコンテキストで構築する方が簡単です。
- **公道外:** 完全無人の商用車のユースケースの多くは、脆弱で時には予測不可能な複数のエージェントが存在する複雑な都市環境よりも、はるかに簡単に目的が達成できる公道外のコンテキストで実現化できます。誘導、トレーラーの移動、ヤードや他の管理下にあるプライベート環境にある資産の再配置を可能にすることで、比較的簡単な環境で企業に価値をもたらすことができます。

表 1: **新車出荷台数:SAEレベルの世界市場別:2018年~2032年**

(出典: ABI Research)



## テクノロジーへの影響 - 認識、処理、ソフトウェアの冗長化

人間のドライバーの監視の役割を置き換えるために、レベル3およびレベル4の導入における自律走行車の認識機能には、距離、速度およびセマンティックな詳細情報の冗長化が要求されます。HD/イメージングレーダーとLiDARという2つのセンサーモダリティを設定し、カメラベースの機械視覚の機能を補完できるようにします。

### HD/イメージングレーダー

レーダーは自動車分野に導入され、長年にわたってADASの認識性能を支えてきました。このモダリティは、カメラセンサーとの直交性や、暗い場所や悪天候でも安定した性能を発揮することで高く評価されていますが、従来の構成には改善すべき欠点も多く挙げられます。

- **仰角/垂直方向の解像度の向上:** 垂直方向の解像度が低いと、障害物の高さを判断することが困難になり、張り出たガントリや道路標識などの静止したストリートファニチャーと静止した車両を区別することが難しくなります。
- **方位角/水平方向の解像度の向上:** 角度分解能が低いと、車両や歩行者など、道路上のさまざまなエージェントを区別することが困難になります。車両の先に垂直に横断歩道がある場合、検知できなかったり、同横断歩道内にあるエージェントと区別できなかったりすることが多いです。
- **サイドローブ/誤検知の最小化:** レーダーセンサーの放射パターンのメインローブの横にグレイティングローブができると、誤検知が複数発生します。これもまた、車載用レーダーチップセットの従来の範囲のチャンネル数が限られていることが原因です。実際には、反射率の低い物体（歩行者など）の本来の反射と、隣接する反射率の高い物体（停車中のトラックなど）のサイドローブを区別することは困難な場合があります。

上述のすべての欠点を解決する方法は、トランシーバーアレイに仮想チャンネルを追加することです。これは、物理的なラジオ周波数（RF）チャンネル（送信(Tx)および受信(Rx)）の数を増やし、通常の入力・多出力（MIMO）技術を使用して仮想チャンネルの数を大幅に増やすことで実現できます。

これらの新世代のレーダートランシーバーは、従来のものよりもはるかに多くのデータ量を生成できるだけでなく（この新しいデータ量を処理できる新世代のレーダー処理が必要になります）、解像度が大幅に改善されたことで、マッピングなどの新しいアプリケーションの活用が可能になります。

#### ケーススタディ: Arbe Robotics

2015年に設立されたArbeは、高解像度レーダー用のトランシーバー、プロセッサ、プラットフォームの開発に特化した企業です。Arbeは、次世代レーダー技術におけるTxおよびRxチャンネルの数を増やすために、Global Foundriesの22 FDX / 22nm FDSOI CMOSプロセスを用いて、RFICチップセットで24の出力チャンネルと12の入力チャンネルを提供する一方、チャンネルあたりのコストを低く維持しています。これらの物理的なチャンネルによって、2000以上の仮想チャンネルを利用可能にし、1°の方位角（水平）と2°の仰角（垂直）の角度分解能と300mの範囲のデータを提供します。この大量のデータを処理するために、Arbeは、ベースバンド内に組み込まれた信号処理アルゴリズムを統合するレーダー処理ユニット（RPU）を開発しました。これにより、処理チップは消費電力を最小限に抑えながら、48RxおよびTxチャンネルに対応できます。

ケーススタディ: Continental ARS540

2020年9月、車載用レーダーモジュール大手Tier 1のサプライヤーであるContinentalは、従来のレーダーセンサーの欠点に対処するために設計された次世代4DレーダーデバイスとなるARS540を発表しました。ARS540は12のTXチャンネルと16のRXチャンネルを搭載し、これまでのフラッグシップレーダーモジュールのARS430の1.75倍のアンテナチャンネル数を誇ります。これにより、ARS540は192の仮想アンテナチャンネルを提供することができ、方位角と仰角の解像度を大幅に改善できます。実際、このシステムには、正確な高さを推測し張り出した標識やトンネルの屋根を検知する機能、十分な角度分解能を利用して複雑な都市環境で路上のエージェント（大型の駐車車両の隣にあるオートバイなど）を識別する機能、およびオーバーライドできない地上の障害物の検出機能が搭載されています。

Continentalは、8倍に増えた仮想チャンネル数の処理に必要な計算性能を提供するため、AMDのZynq™ UltraScale+適応型SoCを採用し、16nmテクノロジーを活用して、範囲、速度、方位角、仰角の4つの「次元」で算出できるレーダーベースの点群を構築しました。前世代のZynq 7000 適応型 SoC と比較して、Zynq UltraScale+ SoC は 20 倍の生データ処理能力と 10 倍のオブジェクトトラッキング能力を発揮します。

## LiDAR

LiDAR は、ロボットカーコンテストDARPAグランドチャレンジの時代から自律走行車プロトタイプの認識機能に多く用いられるキーテクノロジーであり、引き続き監視のない自動運転の展開に欠かせない重要なモダリティになっています。過去15年間にわたる継続的な開発では、赤外線を使用して物体分類に十分な解像度で物体を計測するLiDAR技術の基本原則が何度も繰り返されてきました。LiDARソリューションを使ったさまざまな技術オプションには、以下のようなものがあります。

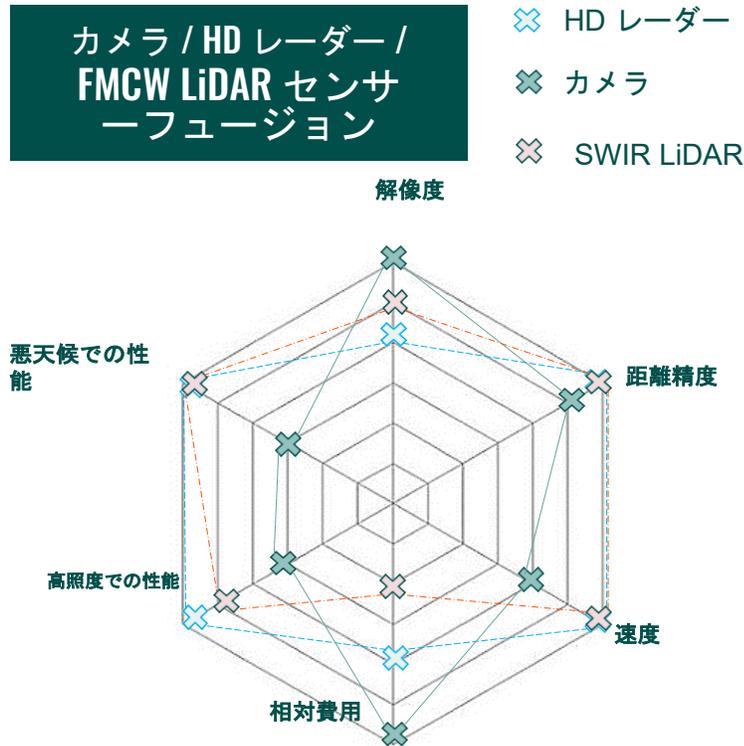
- **パルス/タイム・オブ・フライト (ToF) と対周波数変調連続波 (FMCW) :**  
パルス/ToF方式では、別々の光パルスを一一定周波数で放射し、反射の応答時間を測定して異なる点の距離を計算します。次に、アルゴリズムを活用して、物体を特定かつ追跡し、速度の分類および計測などを行います。より最近の代替方法にはFMCW LiDARがありますが、これは従来の車載レーダーと同じ原理で動作します。この次世代のLiDAR技術は、一定周波数で短いレーザーパルスを放射するのではなく、連続的に放射するレーザー光の周波数を変調するものです。基準発振器を使って放射波と反射の周波数を比較することで、距離検出と速度検出ができます。
- **NIR (近赤外) とSWIR (短波赤外領域) :**LiDARソリューションの場合、ほとんどが近赤外エミッタ (800nm~905nm) を使用していますが、すでに広く採用され、そのスケールメリットのある一般的なレーザー技術を採用できます。しかし、この波長は人間の網膜を透過する可能性があるため、近赤外波長のレーザー出力を制限する厳しい規制が適用され、その結果、近赤外 LiDAR の範囲が制限されます。1400nmを超えるSWIR波長は人間の角膜を透過しないため、出力レベルがはるかに高く、したがってより長い範囲に利用できます。
- **スキャン:**従来のLiDARでは、大きな回転ミラーを利用して、対象領域全体に放射された光をスキャンしていましたが、この方法は激しい摩擦や損傷の原因となります。代替方法としては、デジタルMEMSミラーや光フェーズドアレイビームステアリング技術などがあります。

総体的に言えば、LiDARは、距離検出、速度測定、低照度および悪天候での比較的安定した性能というバランスの取れた機能が期待でき、物体分類、セマンティックセグメンテーション、フリースペース検出に必要な解像度も提供します。そのため、LiDARは、監視のない自動化に不可欠な三次センサーモダリティまたは「サードオピニオン」と考えられています。

最後に、特に大中華圏のような競争の激しいEV市場における興味深い最近の傾向は、「カメラのみ」戦略を推進する人気のEVメーカーとの差別化を図る方法として、レベル2+のプラットフォームでもセンサーを補完する目的でLiDARを使用する企業が増えています。

図4: カメラ、HDレーダー、LiDARセンサーフュージョン

(出典: ABI Research)



### ハイパフォーマンス・コンピューティング

監視のない自動運転には、レベル2+より上のレベルのコンピューティング性能が必要です。まず、HD/イメージングレーダーとLiDARは、測距、速度、物体分類、セマンティックセグメンテーション、マッピングに必要な計算集約型アルゴリズムを備えた高解像度センサーです。よって、複数のHD/イメージングレーダーやLiDARセンサーを追加する場合は、より高い計算性能が必要になります。

さらに、エラーが発生した際の性能を保証するために2倍のコンピューティングリソースを確保することは、エラーと失敗を適切に分類し、それぞれに対策をとる、または最小限のリスク対応操作を実行し車両を安全な状態に戻すために重要です。

よって、監視のない自動運転車は、監視付きの自動運転車に比べ、より高性能で、より異種混在性が高く、より集中管理型のコンピューティングになります。データの前処理が伴うスマートセンサーの使用と、一元化されたモジュール内での生のデジタルデータの取り込みとをうまく両立させる必要が生じます。

AMD (XA) Zynq™ UltraScale+™ MPSoC 7EVおよび11EG デバイスは、高度にプログラム可能な容量、性能および入出力機能を搭載し、高速なデータ集約、前処理、分散だけでなく、L2+ からL4レベルの自動化の演算アクセラレーションも可能になります。これらのデバイスは、650,000個以上のプログラマブル・ロジック・セルと約3,000個のDSPスライスを提供します。これは、従来型のデバイスと比較して2.5倍増で、Zynq-7000 対応のSoCと比較して、1ワットあたりのシステムレベルの性能は5倍増になります。7EVにはH.264/h.265エンコードおよびデコード用のビデオコーデックユニットが装備されており、XA 11EGには12.5Gb/秒の32個のトランシーバーが含まれています。これらは、同社の新しい統合ソフトウェアプラットフォームであるVitis™によってサポートされており、開発者はハードウェアの適応性を大いに活用できます。そのため、AMD (XA) Zynq UltraScale+ MPSoC は、Continental ARS540 4D イメージングレーダープラットフォームに加えて、さまざまなADASアプリケーションに活用されています。最近では、スバル(フォワードカメラ)、デンソー(LiDAR)、アイシン(サラウンドビュー、自動駐車アシスト)などが登場しています。Baidu Apollo は XA Zynq UltraScale+ MPSoC (XAZU5EV) で動作します。Pony.ai は、AVプラットフォームにもAMDテクノロジーを使用しています。これらの高性能デバイスを追加することで、AMDによってL1からL4のシステムの柔軟性とスケラビリティが向上します。

次世代の高度センサー向けの人工知能 (AI) の重要性が高まる中、AMD は次世代のVersal™ AI エッジシリーズで高まるAI性能要件に対応しています。

## まとめ

表5: ドライバーの離脱がセンサーとコンピューティングの要件に与える影響

(出典: ABI Research)

	ADAS		PILOT	
	アクティブセーフティ	監視付き	監視付きなし	
			人によるバックアップ有	人によるバックアップ無
SAE レベル	L1 - L2	L2+	L3	L4
ドライバーの関与度	アイズオン、ブレインオン、ハンズオン	アイズオン、ブレインオン、ハンズオフ	アイズオフ、ブレインオン、ハンズオフ	アイズオフ、ブレインオフ、ハンズオフ
センサー	カメラ / レーダーセンサーフュージョン、ステレオ	360°、カメラ、レーダーセンサーフュージョン	360°、カメラ、レーダーセンサーフュージョン、1 LiDAR、HD レーダー	360°、カメラ、レーダーセンサーフュージョン、マルチ LiDAR、HD レーダー
処理	リーン (Lean) ASIC	異種 HPC, NNA	異種 HPC, NNA, 冗長化処理	異種 HPC, NNA, 冗長化処理

+センサー密度
+センサー密度
+センサー密度と多様性

+コンピューティング・ヘッドルーム
+コンピューティング・ヘッドルーム
+コンピューティング・ヘッドルームと冗長化

+ヘテロジニアス・コンピューティング
+ヘテロジニアス・コンピューティング

コンピューティング能力、異種性、センサーの数、センサーの多様性が高くなる最大の要因は、ドライバーの離脱です。しかし、ドライバーの離脱レベルが高ければ高いほど、より明確な技術要件がありますが、アクティブセーフティ、監視付き自動運転、監視なし自動運転の間ではコンポーネントの再利用が多く実施されています。

## スケーラビリティ（拡張性）と再利用

### コスト削減

アプリケーション間で最大限にコンポーネントを再利用するスケーラブルなアプローチにより、ADASや監視付き自動運転などのより多くの量産機会が短期的に創出できれば、将来的にさらにコスト競争力のある監視なし自動運転車の展開が可能になります。同様に、厳しい制約のある運行設計領域において監視なし自動運転車が出荷できれば、三次センサ技術を生み出すチャンスが拡大し、長期的には費用対効果の高い方法で監視なし自動運転車をODD展開できるようになります。

### 体験拡大と改良

スケーラブルなアーキテクチャは、コンポーネントを再利用することでコスト削減になるのは明確ですが、それに加えて、すでに市場に導入されているアプリケーションの実際の体験情報を得ることでメリットもあります。フォード社はBlueCruiseの発売以来、複数の国から1億以上のハンズフリーマイルを獲得し、将来的なアルゴリズムの改良に役立つ重要な情報を得ました。同様に、モビルアイは、ADASに電力供給するEyeQ4システムの経験を活かして、同社の「Supervision and Chauffeur」製品で重要な役割を担うREM/ロードブックマップを構築しています。

総体的に言えば、豊富な機能を搭載する監視のない自動運転化を実現する唯一実行可能なアプローチは、現時点で人間のドライバーが担っている監視の役割を引き継ぐ技術を追加し、現行の監視あり自動運転機能を、拡張できる可能性のあるアーキテクチャ上に構築することです。



2023年10月発行

ABI Research  
157 Columbus Avenue  
New York, NY 10023  
Tel: +1 516-624-2500  
[www.abiresearch.com](http://www.abiresearch.com)

#### **ABI RESEARCHについて**

ABI Researchは、世界中のテクノロジー リーダー、イノベーター、および意思決定者に実用的な調査と戦略的ガイダンスを提供する、グローバルなテクノロジーインテリジェンス企業です。当社が実施する調査は、現在の産業、経済、労働力を劇的に変化させつつある変革的なテクノロジーに焦点をあてています。

©2023 ABI Research. 許可に従って使用。ABI Research は市場分析と洞察を行う独立系制作業者であり、ABI Research のこの作成物は、ABI Research スタッフによるデータ収集時の客観的リサーチの結果です。あらゆる情報カテゴリに関する ABI Research またはそのアナリストの 見解は、最新のデータに基づいて継続的に変更されます。ここに記載されている情報は、信頼に値すると見なされる情報源から入手したものです。ABI Research は、本リサーチに関して、明示あるいは黙示を問わず、商品適格性または特定の目的への適合性の保証を含む一切の保証を放棄するものとします。