



# ADASレベル2+を実現する センサーフュージョン

インフィニオンテクノロジーズ  
プリンシパル フィールドアプリケーション エンジニア Moe Charara  
BASELABS社ディレクター Holger Löbel



## アブストラクト

センサーフュージョンは、先進運転支援システム (ADAS) を実現するためのキーテクノロジーの一つです。センサーフュージョンとは、異なる種類のセンサーから提供される多様なデータを組み合わせ、統一されたより正確な形での車両周辺情報を生成するソフトウェア ソリューションです。BASELABSが提供する標準化された車載対応センサーフュージョン ソリューションを実装することで、ADASシステム開発プロジェクトにおける大幅なコスト削減が可能になります。OEMやティア1メーカーはゼロからセンサーフュージョンを開発する必要がなくなり、製品の差別化にフォーカスすることができます。車載向けマイクロコントローラ AURIX™で実績のあるインフィニオンとBASELABSとのパートナーシップにより、センサーフュージョンの実装が容易になると同時に、ECUに期待されるロバストな自動車品質と信頼性、決定論的システムが維持されます。

# 目次

アブストラクト	2
目次	3
はじめに	4
先進運転支援システム	5
車両周辺環境のセンシング	6
センサーフュージョンのためのエコシステム	7
信頼できるシリコンで動作	9
安全性と信頼性を兼備	11
効率的な開発が安全で信頼できる結果を実現	12



## はじめに

自動運転車という未来像に消費者は大いなる期待を抱いています。ドライバをサポートしたり危険を察知して介入したりするシステムには、カメラやレーダー、ライダーなどさまざまなセンシング技術が使われています。これらセンサーは車両周辺の情報をそれぞれ異なる方法、異なるタイミング、異なる精度レベルで出力しています。より正確な車両の周辺状況を把握するには、これら異なるデータを組み合わせ、簡単に処理できるフォーマットへ変換する必要があります。このセンサーフュージョンという変換プロセスにより車

両周辺の環境情報を正しく得られることで、自動車の安全制御システムは適切なタイミングで適切な運転判断を行うことができるようになります。しかしながらこのようなシステムは高品質なソフトウェアのみで本質的な安全を確保できるわけではありません。ソフトウェアを実装するプラットフォームそのものがハードウェア設計に基づいた十分な安全性と信頼性を備え、かつ自動車市場での実績を持っていないければなりません。

# 先進運転支援システム

自動車の自律走行機能を表す「オートパイロット」という言葉は真の意味での自動運転車を想起させてしまい誤解を生むものでした。ドライバーなら誰でも知っているように、適度な速度で走る一般道路にも危険は潜んでおり、日常的に多くの軽微な衝突や事故が発生しています。

道路上の事故は前年比では減少していますが、2013年以降の統計はほぼ横ばいで推移しています<sup>[1]</sup>。自動車業界ではこのような状況を打開すべく、より高度な運転支援システムの開発が進められています。当初のシステムは車線変更時などの警告に限定されていましたが、ステアリングを積極的に修正するなど運転プロセスに介入する機能が徐々に増えつつあります。このような先進運転支援システム (ADAS) は、ドライバーが運転の責任から解放される度合いを徐々に高めていくことで、完全自律走行をする自動車への道筋を示すものと考えられます。

2020年に販売された車両のうち、その大半である約5,500万台<sup>[2]</sup>がADAS機能を搭載していない「レベル0」に該当します。約3,600万台はレベル1のADASを搭載しており、アダプティブクルーズコントロール (ACC) などのような「アクセルとブレーキによる『前後』(加速・減速)の制御」、または「ハンドル操作による『左右』の制御」のどちらかの機能を搭載していますが、残りの操作はドライバーに求められます。レベル2は、約1,400万台に搭載されており、さまざまな補完的なセンシング技術によって、より高度な機能を利用することができます (図1)。たとえば、レーンセンタリング機能とACCのように、車両の加速・減速とステアリングの両方をサポートする機能を組み合わせています。

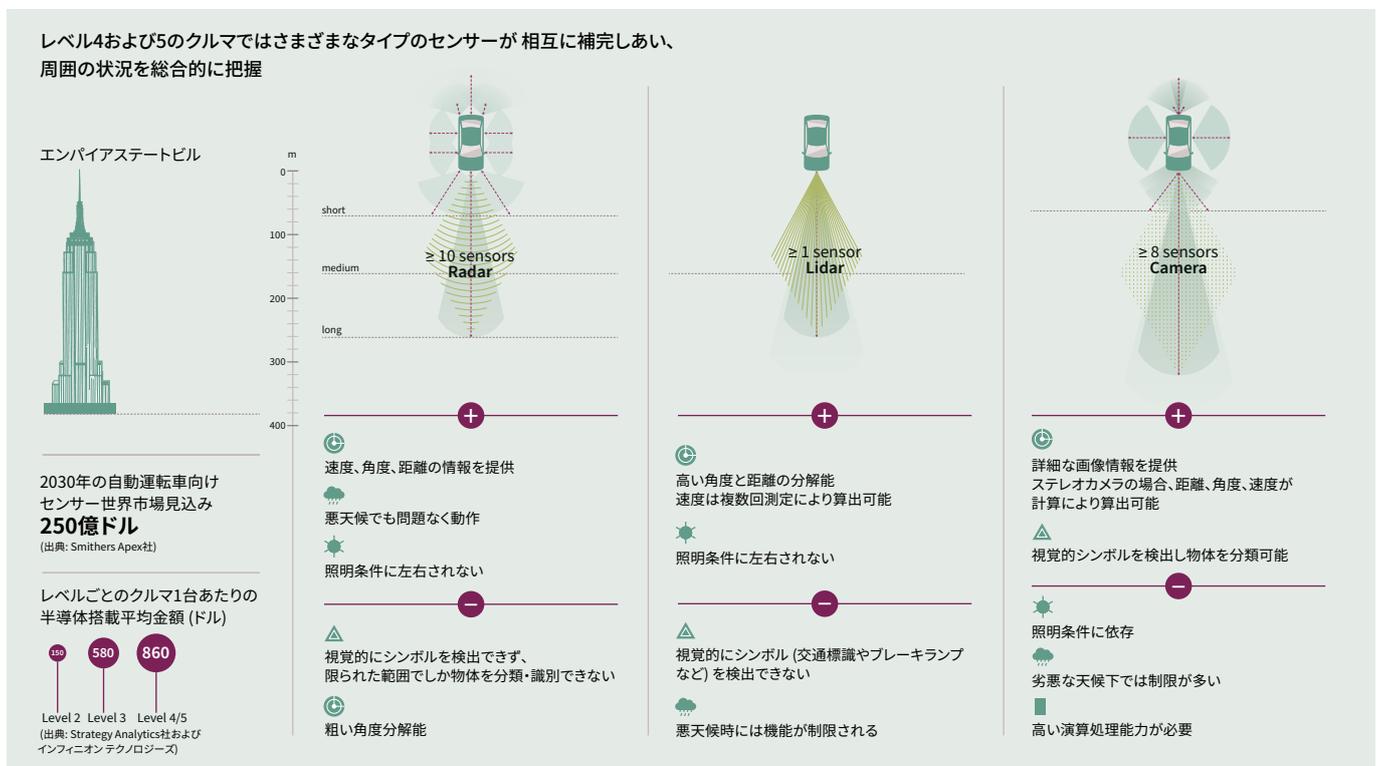


図1: ADAS/ADが加速させる、レーダー、ライダーやカメラの高度なセンサー性能

## 車両周辺環境のセンシング

このような先進的な安全機能によって業界が進歩したことは評価されるべきですが、その開発にはかなりのコストと労力がかかっています。次のステップであるレベル3<sup>[3]</sup> (特定条件下における自動運転: システムの介入要求に対して適切に対応できるドライバーがいることが必要) 実現に向け、多くの自動車メーカーはレベル3の一手前としてレベル2の機能を強化したレベル2+の実現を目指し開発を進めています。

この動きのなか、各OEMが既存の開発プロセスを見直し、ソリューションを再利用可能なプラットフォームに最適化することで、より価格を重視するセグメントに安全機能を浸透させることができます。しかし、車両周辺の環境を明確に、かつ確実に把握できなければ安全で最適な判断の根拠とはならないため、センシングは非常に重要な要素です。

ここでの課題は、それぞれ異なる長所や短所、異なる解像度、異なる環境変化 (たとえば雨) への反応、そして異なる周期でデータ取得する複数のセンサーを取り扱わなければならないことです。

センサーフュージョンとは、このようにバラバラに集められたデータを処理して、一貫したフォーマットで表示するソフトウェアです (図2)。このフォーマットでは、車両周辺の空間を把握し、静止物体の位置、移動物体の速度・方向などの情報を提供します。

超音波センサーは、車両の近くにある物体の検出が可能であるためパーキング アシスタントなどに使用されます。しかし現在の一般的なADASの実装では、まず中～長距離の監視のための前後コーナーレーダー、および車両前方の監視を行うための長距離レーダーを配置しています。カメラも一般的なセンシング技術ですが、最近では周辺環境の点群情報を提供するライダーを利用して、得られた点群をカメラ情報に付加することで、より正確に物体の距離や位置関係を把握するケースが増えています。

センサーフュージョンはそれ自体が困難な作業であるだけでなく、新しいセンサーに対しても迅速かつ効率的にシステムを構成できる必要があります。さらに、AUTOSAR Classic PlatformやAUTOSAR Adaptive Platform、シミュレーションツールなど、現在自動車業界で使用されている既存のソフトウェア プラットフォームとシームレスに統合する必要があります。現在、多くのティア1サプライヤがソリューションを提供していますが、その多くはアジャイルなソリューションをOEMに提供するためのより良いプロセスを模索しています。また次世代の自動車技術に対応するため、ADASポートフォリオを迅速に構築できるCOTS (Commercial Off-the-Shelf / 商用オフザシェルフ: 市販されている既製品) プラットフォームを求めている企業もあります。



図2: センサーフュージョンは、さまざまなセンサー (左) からの入力を組み合わせて、車両周辺の物体 (右) を統一された情報として提供

## センサーフュージョンのためのエコシステム

実際の開発においては、このような複雑さに対応することができる既存のセンサーフュージョン エコシステムを利用することが良いのは明らかです。これにより開発チームは、自社ソリューションの差別化や独自機能の提供にフォーカスすることができるようになります。

BASELABSのCreate Embeddedソリューションは、プロトタイプ作成から量産まで、一貫した開発ワークフローを提供しています (図3)。

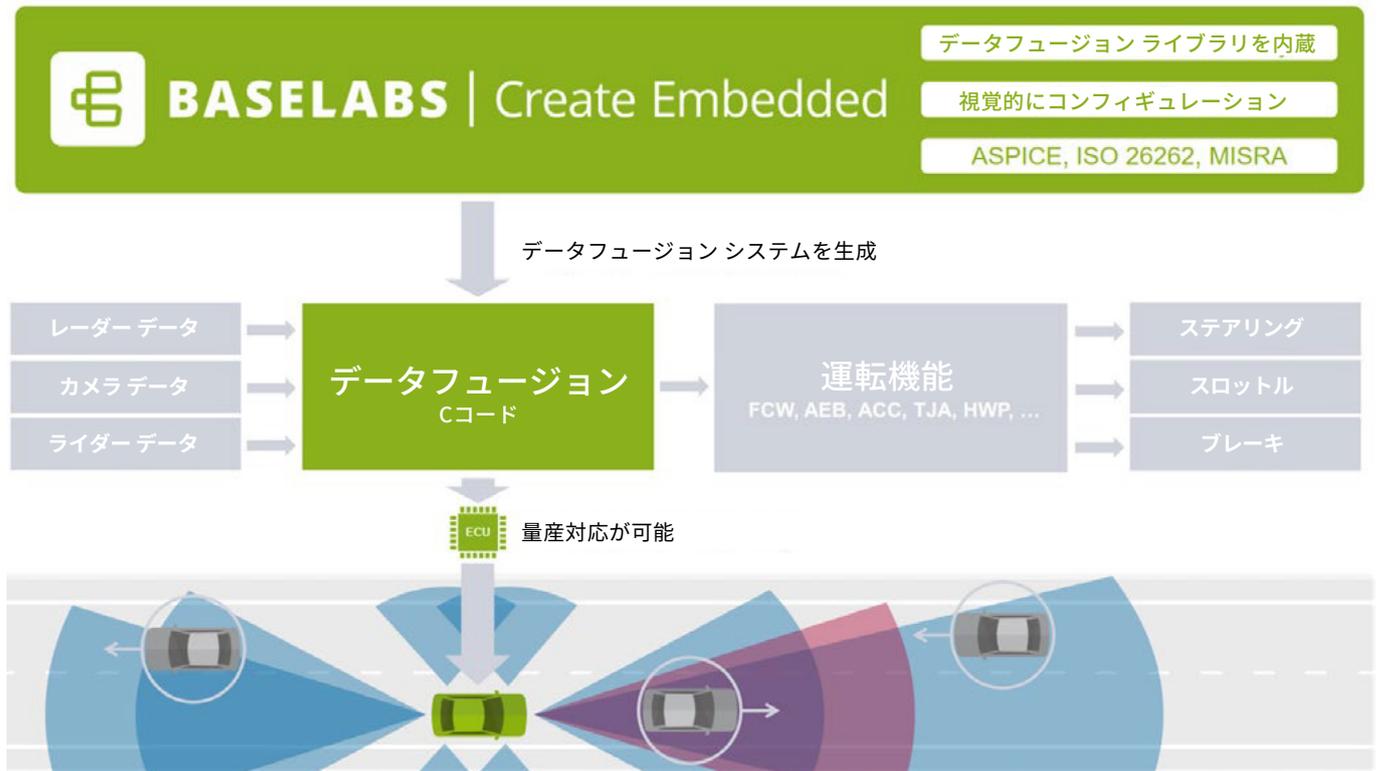


図3: BASELABSのCreate Embeddedは、ADASアプリケーションのためのデータフュージョン ライブラリで、グラフィカルな設定ツールを提供

その中核となるのは、センサーに依存しないデータフュージョン ライブラリで、C言語のソースコードで作成されています。このライブラリは、PC評価プラットフォームや、インフィニオンAURIX™ MCUのような車載用プロセッサに直接組み込むことができます (図4)。従来のIPOモデル (入力、処理、出力) を用いて、さまざまなセンサーからのデータを受け取ることができるこのライブラリは、グラフィカルなツールであるData Fusion Designerを使用して設定することができ、

さまざまなセンサーおよびオブジェクト/トラッキング インターフェースを組み込むことができます。また、必要に応じて既存のセンサーを拡張したり、カスタムセンサーを定義して設計に組み込んだりすることが可能です。この環境では、2つのセンサーの組み合わせから多種のセンサーを組み合わせた360°ビューまで、あらゆる構成に柔軟に対応することができます。

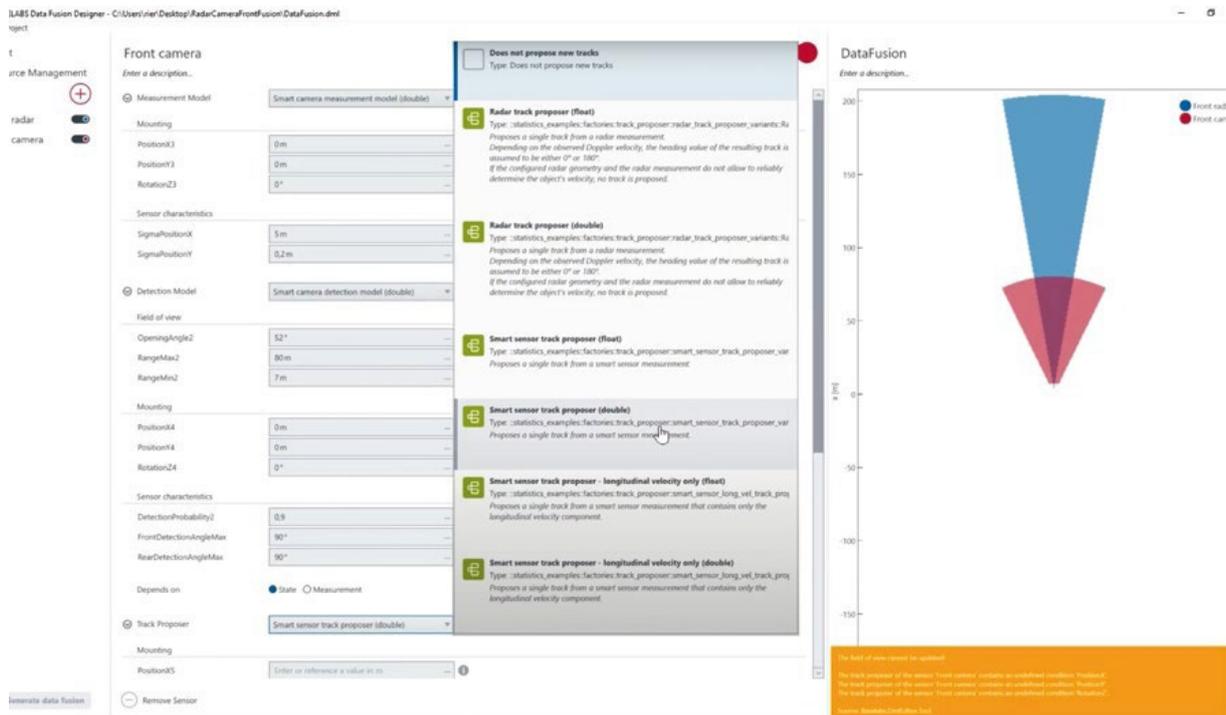


図4: グラフィカルな設定ツール「Data Fusion Designer」により、データフュージョンCコードの生成前にシステム構成を簡素化可能

Data Fusion Designerが提供するプロセスには、カスタマイズしたオブジェクト フュージョン ソリューションの作成を可能にする幅広いアルゴリズムが含まれています。例えばカルマン フィルターやトラッキング管理機能、オブジェクト分類、非同期なセンサー出力の同期など多岐にわたります。組み込み機器への移行を迅速かつ円滑に行うために、Cコードはランタイム効率、およびメモリ効率を考慮して設計されており、カスタマイズや拡張も可能です。また外部ライブラリを必要としない自己完結型のソリューションを提供しており、MISRA C:2012に完全準拠しています。

出力として、ライブラリはその結果を環境モデルと呼ばれる一般的に使用されているオブジェクトのセットに組み入れます。環境モデルには、位置や速度、方位、加速度などのパラメータに加え、オブジェクトのサイズや分類などが含まれています。これらはソリューションの差別化や、対象となるADAS機能への対応のために、カスタム パラメータを用いて拡張することもできます。これらの出力は、ACCや衝突被害軽減ブレーキ (AEB) 、前方衝突予測警報 (FCW) などの自動運転機能に送られます。

安全性は、ソフトウェアから実装されるシリコンまで、ADAS技術全体で重要視されています。ASPICEに準拠して開発されたソフトウェア ライブラリに加えて、ISO 26262:2018のASIL B要求事項のサブセットにも準拠しています。これにより、チームの開発工数を大幅に削減することができるようになり、Create Embeddedによってプロトタイプから量産までをシームレスに移行することができるようになります。また、安全関連分析に必要なガイドラインとなるSafety Case、Safety Manualを準備しています。このソフトウェアツールはISO26262の関連パートに従って開発されており、また検証のためのテスト スイートも準備しています。

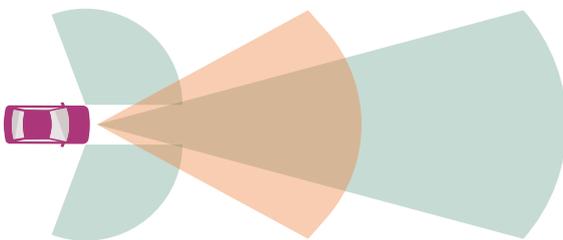
## 信頼性できるシリコンで動作

Create Embeddedのセンサーフュージョンプラットフォームと、インフィニオンの高信頼車載用マイクロコントローラAURIX™ TC3xxファミリーはADASシステム開発において最高の組み合わせです。スケーラブルなAURIX™ファミリーは、セーフティクリティカルな自動車アプリケーション向けに開発されており、複雑で多様なニーズに対応する開発エコシステムを備えています。AURIX™は低遅延アプリケーション向けに設計されたTriCore™をベースとする、強化されたDSP機能および実績を備えた制御および計算アーキテクチャです。このようなアプリケーションの核となるのは、ADASの判断を時間内で確実に実行することであり、走行状況に合致したデータを提供することです。

クラス最高の割り込み処理や、高速なコンテキストスイッチング、高速な割り込み応答時間は、予測可能性やロバスト性、スケーラブルで再利用性がある安全なプラットフォームを確保するために必要不可欠です。これは業界標準のアプリケーションコアが組み込みアプリケーションへの要求から乖離していることを意味しています。つまり仮想メモリのコンテキストスイッチや、遅い割り込み処理、キャッシュラインミスが引き起こす遅延は、最悪実行時間や振る舞いを予測困難にします。

AURIX™ TC397 (300 MHz、1/6コア使用) でテストした例として、30個までのトラッキングをサポートする3R1C (レーダー3個、カメラ1個) を実装したアプリケーションにおいて、ここではカメラから10回分およびレーダーから48回分の測定値を入力として、出力を行います (図5)。この実装では、SoCを追加することなく、AURIX™のみでセンサーフュージョンを実現しています。このような実装に必要なRAMは20kB以下、ROMは60kB以下です。より多くのセンサーやより多くのトラッキング、より多くの測定を含む大規模な構成では、複数のCPUコアに分散させることができます。恐らくこれらアプリケーションのソフトウェア開発者やシステムインテグレーターにとって最も有用な機能は、クラス最高のデバッグ対応性能です。コア内およびペリフェラル内の多くの箇所を観測できるため、ソフトウェアの問題を調査したり、タイミング要件が満たされているかどうかを確認したりするのに必要な情報を高速なトレース機能を通じて得ることができます (図6)。

### 3R1C



### 5R1C

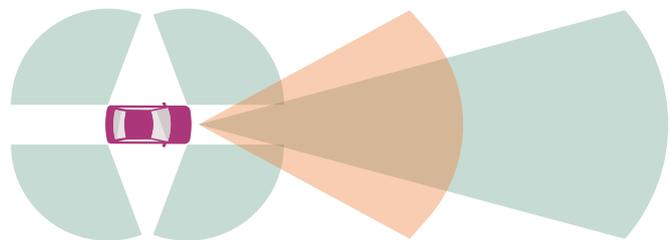


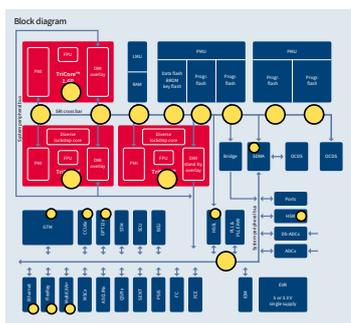
図5: 3R1Cと5R1CのADASセンサーの構成例



ドライバは、高度な運転支援システムが常に正しく機能しているという保証を必要としています。AURIX™にはそのような要求に対して、優れたロックステップコアや、SMU (Safety Management Unit)、メモリやペリフェラル、グローバルレジスタに対する3層のアクセス保護など、

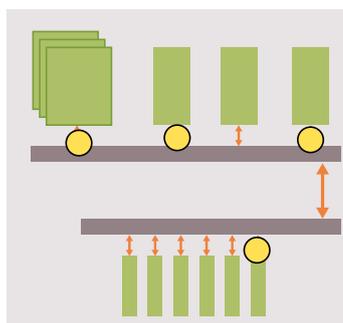
さまざまな工夫がチップに実装されています。マイクロコントローラ内のレイアウトも、ペリフェラルを冗長化して空間的に分離する、革新的な監視・保護機構も採用するなどのアプローチで、十分に考え抜かれた安全コンセプトを形成しています (図7)。

### AURIX™の観測点



VS.

### 他社製品での観測点



実証済みのデバッグ コンセプト	ベスト バリュース ツール	メリット
<ul style="list-style-type: none"> <li>特許取得済みのマルチコア デバッグソリューション</li> <li>高速マルチコアトレース</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コスト最適から高性能までスケラブルなラインナップ</li> <li>ファミリー全体で一貫したデバッグ環境</li> <li>完全なトレースの可視化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発の効率化</li> <li>徹底した検証、リスクの軽減</li> <li>高いシステム設計品質</li> <li>高速なソフトウェアの安全分析</li> <li>市場投入までの時間を短縮</li> </ul>

図6: AURIX™車載用マイクロコントローラは、クラス最高のハードウェアトレース性能とともにデバイスの内部動作点への豊富なアクセスを提供

# 安全性と信頼性を兼備

実際、AURIX™のエコシステムにおいて安全性は最も基本となるマインドセットと言えます。それは、開発フロー全体を通じたISO26262の適用により、IPレベルの故障モードを徹底的に分析し、厳格な設計ルールのもと製品をハード化することで、システムティック故障（決定論的原因故障）を回避することから始まっています。自動車の電子システムは、厳しい環境に置かれることで知られています。その想定される過酷な環境に対応するため、ダブルピアや、電源の二重化、内部ブロックの冗長化などが適用されています。また、EMC（電磁両立性）も自動車設計者にとって重要な課題の一つです。AURIX™の性能はこの10年間で12倍に向上、コア周波数も2倍になるなか、不要な電磁放射ノイズ（EMCエミッション）は10分の1に減少しています。これは、効率的な

デカップリングコンデンサの配置、クロック変調技術、フレキシブルなI/Oドライバのスケーリングによって実現しています。

万が一故障が発生しても、冗長フリップフロップによる修復メカニズムや、メモリスワップコンセプト、部分的なソフトウェアアップデートにより回復することが可能です。最終的に、SMUを介したシグナリングメカニズムによりアプリケーションは確実に次のステップを踏むことができ、故障の際には故障状態を通知することができます。またAURIX™はカスタマイズ可能なFMEDA (Failure Modes Effects and Diagnostics Analysis) を安全分析に必要なすべての関連情報とともにユーザーに提供します。

### 機能安全向けに設計されたハードウェア

優れたロックステップCPUと反転論理を使ったチェッカーコア

コア

CPU

CbN

チェッカーコア

コアやメモリ、ペリフェラル、バス等システム全体にわたる安全性コンセプト

SMUによるアラームと故障管理を1つのコントロールポイントで実現

3層のアクセス保護:

- メモリ
- ペリフェラル
- グローバルレジスタ

### セーフティア일랜드の域を超えた安全性能を実現

**A** 冗長化されたペリフェラル

**B** Safe SPB

**C** Safe DMA

**D** Safe SRI

**E** SRAM ECC

**F** Flash ECC

**G** ロックステップコア

**H** CPUセルフテスト (90% Latent Fault Metric)

**I** メモリ保護コア

**J** レジスタアクセス保護

**K** 安全な割り込み処理

**L** Flexible CRC Engine (FCE)

**M** IOモニター

**N** クロックモニタリング

**O** E2E保護

**P** 電源供給モニタリング

**Q** セルフテスト

VS.

● 安全機構

図7: 安全対策、優れたロックステップ実装、3層のアクセス保護により、セーフティクリティカルなADASアプリケーション向けに信頼性の高いプロセスプラットフォームを実現

また、自動車の自律性向上に伴い、サイバーセキュリティや外部からの攻撃に対する防御も課題になっています。ここでもAURIX™ファミリーは、ソフトウェアセキュリティをハードウェアセキュリティ機能で実現するというアプローチにより優れたソリューションを提供します。

ハードウェアセキュリティモジュール (HSM) は、真性乱数発生器 (TRNG)、ハードウェア暗号化アクセラレーター (AES、ECC、HASH、SHA) を搭載した、暗号化キーや重要なデータを保存するためのコンフィギュレーション可能なフラッシュメモリを提供します。

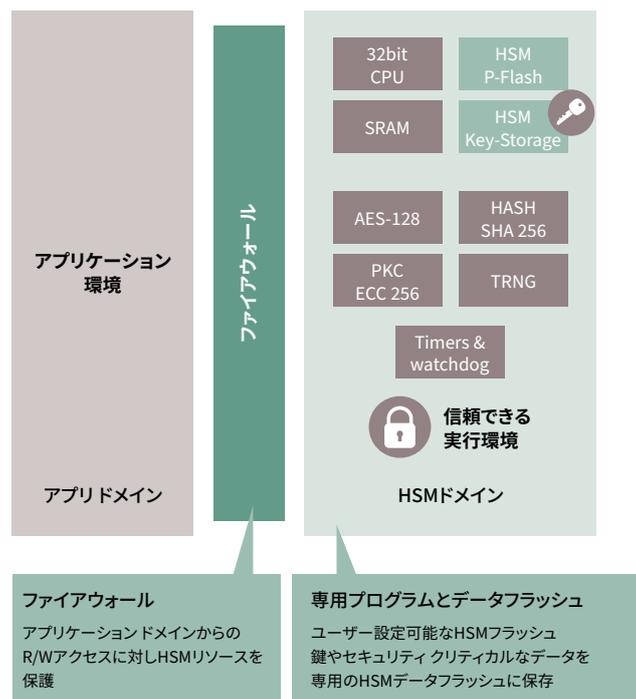


図8: AURIX™のセキュリティ機構はサイバー攻撃にも対応

## 効率的な開発が安全で信頼できる結果を実現

ADAS機能は一般消費者にとってはまだ目新しいものですが、自動車の開発コミュニティではいくつかの面で標準化が検討されるほどに確立されています。センサーデータのフュージョンそれ自体は複雑な作業ですが、標準化が進んでいるものの一つです。BASELABSのCreate Embeddedのアプローチは、開発チームにとってセンサーフュージョンの実装を容易にし、ADASソリューションの差別化にフォーカスできるよう支援をします。このライブラリドリップンのアプローチはデータフュージョンの実装にかかる費用を大幅に削減します。さらに、開発期間が大幅に短縮され、開発者の工数を減らせるだけでなく、この重要なADASコンポーネントに関連するプロジェクトのリスクも大幅に軽減させられます。

AURIX™シリーズは、BASELABSのセンサーフュージョン技術を実現するための信頼できるコンピューティングプラットフォームとして選ばれました。自動車用アプリケーションで実績のあるAURIX™であるからこそ、その開発エコシステムは広く普及しておりサポートも充実しています。そのため、解析ツールはその高度なデバッグ機能を駆使して、センサーフュージョンとしての判断の正しさとロバスト性の両方を完全に検証することができます。

### リファレンス

- [1] [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf)
- [2] [http://www.yole.fr/ImagingForAuto\\_IndustryReview.aspx#.X1IAnnkzbmE](http://www.yole.fr/ImagingForAuto_IndustryReview.aspx#.X1IAnnkzbmE)
- [3] <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>



インフィニオン テクノロジーズ

Published by  
Infineon Technologies AG

© 2021 Infineon Technologies AG.  
All rights reserved.

日付: 04/2021

[www.infineon.com](http://www.infineon.com)