



Build Your Next-Generation Zone Control Unit with Marelli

September 2025

次世代ゾーン・コントロール・ユニットをマレリと共に構築しよう

はじめに

自動車は誕生以来、常に自由、独立、社会的地位の象徴であり続けてきました。移動手段であるだけでなく、新たな体験を生み出し、個人のアイデンティティを表現するための手段でもありました。過去において自動車のイノベーションは主にエンジンの信頼性、効率、パワーの向上に焦点が当てられ、機械的および安全面の絶え間ない改良が進められてきました。1978年、キャデラック・セヴィルに導入された電子制御ユニット（ECU）は大きな転換点となりました。これにより機能ごとに個別の ECU が管理する分散型車両アーキテクチャが誕生したのです。

技術が進化するにつれ、自動車はますます多くの機能を搭載するようになりました。車載エンターテインメントや情報システムは、かつては高級オプションとされていましたが、さまざまな形で進化し、市場にはアフター・マーケット製品も登場しました。そして、自動車業界のストーリーはそれ以降も大きく変化しています。現在では、運転支援や安全機能はもはや高級品ではなく、標準装備となっています。こうした変化の中で、カスタマイズ性やデジタル体験に重点が置かれるようになりました。自動車は単なる移動手段を超え、豊かなパーソナライズされたユーザー体験を提供するプラットフォームへと進化しつつあります。

こうした変革の中で、ゾーン・アーキテクチャは自動車の電気／電子（E/E）アーキテクチャの未来を担うものとして注目されています。この新しいパラダイムの恩恵を最大化するためには、個々のゾーン・コントロール・ユニット（ZCU）が必然的にクロス・ドメイン ECU へと進化することになりま

す。これらの ZCU は、複雑性の削減やバリエーション管理など業界のニーズに応えながら、オプション機能や追加機能を可能にするため、拡張性やモジュール性も求められます。車両アーキテクチャの重要な役割を担う一方で、アーキテクチャ全体の軽量化やコスト削減も期待されています。

マレリは、車両エレクトロニクス分野のマーケット・リーダーとして広く認められており、システム・インテグレーションに関する高度な専門知識が評価されています。ゾーン・アーキテクチャにおける新機能の導入の最前線に立ち、実際、第三者データによれば、マレリは 2026 年には世界で最大級のゾーン・コントロール・ユニット（ZCU）サプライヤーとなる見込みです。

マレリは、車両市場において幅広い領域の知識を有しており、照明、インテリア、ボディ、エレクトロニクス、推進、排気、シャシー、サーマル・マネジメントといった分野を対象とする包括的な製品ポートフォリオを持っています。

【初期の E/E アーキテクチャ：分散型モデル】

エレクトロニクスの導入が始まった後、車両には安全性や快適性など新たな機能に対応するため、ECU（電子制御ユニット）の数が急速に増えていきました。その結果、多くの ECU 同士が通信する必要が生じ、動作のための電源供給も必要となりました。

通信は主に CAN（Controller Area Network）と LIN（Local Interconnect Network）ネットワークをベースとしており、それぞれ 1980 年代後半と 1990 年代後半に開発されました。これらのネットワークは自動車の過酷な使用環境や業界のコスト・プレッシャーにも対応できるものですが、帯域幅に関しては大きな制約があります。ECU の数が増加し、システムのリアルタイム要求が高まるにつれて、この帯域幅の制限からの影響がますます顕著になっていきました。

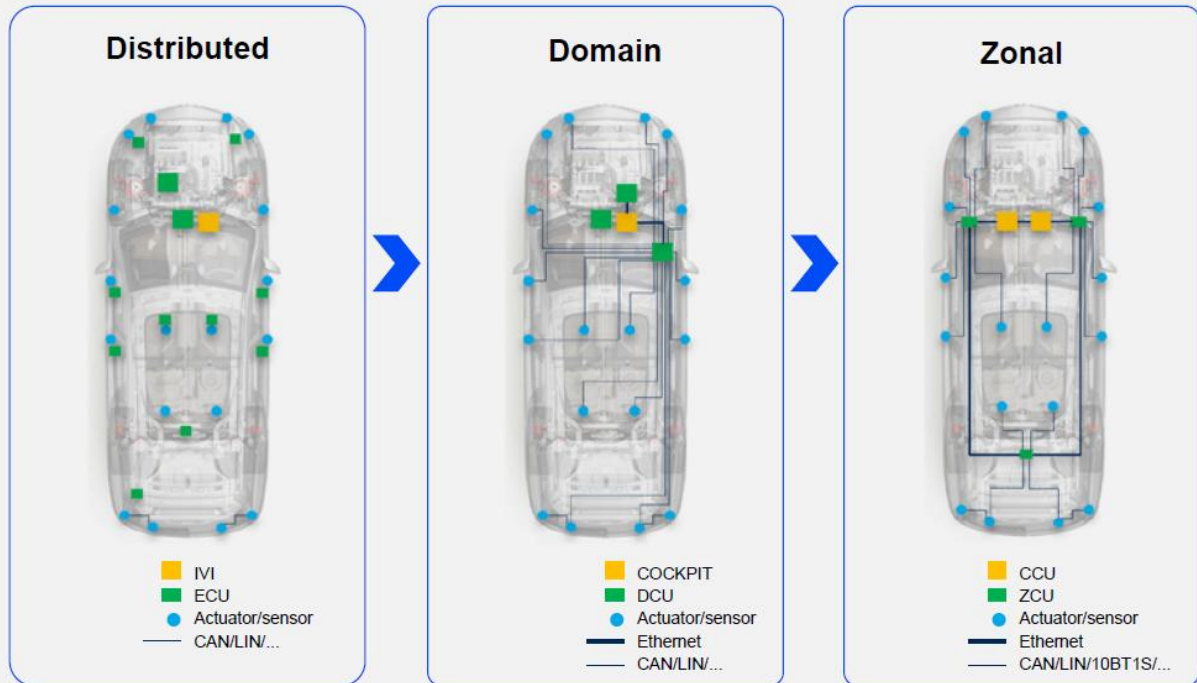
この課題に対応するため、中央ゲートウェイ ECU が導入されました。その主な役割は、異なる自動車ネットワーク間のメッセージを中継し、プロトコル変換を行うことです。さらなる高速通信の追求により、CAN や LIN だけでなく、FlexRay やその他のプロトコルも普及し、現代の車両には様々な通信プロトコルが採用されています。ECU の数が増加するにつれて、これらすべてを接続するためのワイヤー・ハーネスは、ますます複雑で重量が増し、コストも上昇することになりました。ECU の複雑さに対応するため、ドメイン・アーキテクチャが導入されました。これについては次のセクションで説明します。

ギアの切り替え：ドメイン・ベース・アーキテクチャ

機能を自然かつ論理的にまとめることで、ドメイン・ベース・アーキテクチャが登場しました（下図参照）。代表的なドメインは、シャシー、パワー・トレイン、車体、コネクティビティ、さらに近年では先進運転支援システム（ADAS）が含まれます。これらのコントローラーは、関連するロジックをひとつの大きな ECU に集約し、開発や検証を大幅に簡素化しています。しかしながら、顕著な課題として、ひとつのドメイン・ユニットは車両内のセンサーやアクチュエータの位置にかかわらず、すべてに接続するための配線が必要となります。つまり、ECU の数を減らすことで複雑性は低減しましたが、依然としてワイヤー・ハーネスは長く複雑で、車両全体に配線が必要となっています。

Architecture evolution

The architecture evolution is transitioning from single ECUs (distributed) to zonal, passing through domain architecture. Note how the CAN/LIN wiring in domain is running through the entire vehicle, whereas in zonal it is localized to a single ZCU (green box), showing the wiring benefits (similar in distributed as in domain but not depicted for clarity).



アーキテクチャの進化

アーキテクチャは、単一 ECU（分散型）からゾーン型へと、ドメイン・アーキテクチャを経て進化しています。ドメイン・アーキテクチャでは CAN/LIN 配線が車両全体に張り巡らされている一方、ゾーン・アーキテクチャでは配線が個々の ZCU（緑色のボックス）に局所化されており、配線面での利点が見て取れます。（分散型もドメイン型と同様の配線ですが、説明の明確化のため図示していません）

さらなる統合へ

現在の課題

過去 10 年間で、業界にはいくつかの大きなトレンドが登場しています：電動化、コネクティビティ、自動運転、そしてソフトウェア定義型車両（SDV）です。これらすべてのトレンドが E/E アーキテクチャに大きな影響を与えており、特に複数のブランドやセグメントを単一の自動車メーカー内で統合する際に、いかに対応するかが重要な課題となっています。

電動化

電動化はパワー・トレインに大きな影響を与えます。しかし、特に課題となるのは、異なる駆動方式をサポートするハイブリッド駆動の場合です。従来、プラットフォームは複数の車両ブランドやセグメントをサポートしていたものの、すべて内燃機関（ICE）を基盤としていました。現在では、OEM は同じ

E/E アーキテクチャ上でバッテリー電気自動車（BEV）やハイブリッド車も提供することを目指しています。

コネクティビティ

車両をクラウドや他の車両、インフラ（V2X）、Wi-Fi、5G へ接続することで、新たなデータ・ストリームの利用や既存アプリのリモート更新、さらには新たな機能の追加などが可能になります。これにより、予防保守や OTA（Over-The-Air）によるバグ修正など様々な利点生まれ、収益源の拡大にもつながります。具体的な収益の流れを決めるのは消費者動向であり、ブランドにも関連します。たとえば、iPhone®ユーザーが Android™ユーザーよりもアプリを購入する傾向が高いといった例です。

自動運転

規制要件により促進される運転支援機能の増加により、カメラ、レーダー、LiDAR などの先進センサーやアクチュエータの導入が加速し、自動運転の基盤が整いつつあります。ドライバーの意思決定への関与が減少する中、さらなる処理能力の需要が高まるとともに、信頼性や電源供給の確保に対する要求も強まっています。

ソフトウェア定義型車両（SDV）

SDV は活発に議論されているテーマであり、しばしば集中型コンピュート・アーキテクチャによる実現が示唆されています。しかし本質的には、SDV の目的は車両をよりアップデートしやすく、変更や設定を簡易化しながら、アーキテクチャの複雑性、コスト、重量を削減することにあります。これには、基本的なバグ修正や機能の個別化から、既存車両への新機能追加まで、あらゆる内容が含まれます。

これらすべての課題は、ECU やワイヤー・ハーネスの複雑性という観点から、E/E アーキテクチャに大きなプレッシャーを与えています。ワイヤー・ハーネスについては、センサーやアクチュエータ、各種ユニットの数が増えるにつれて、それらを接続するためのワイヤーの本数が膨大になっていきます。ECU については、管理すべきソフトウェア・スタックやアップデートの量が増加し、組織化や更新、検証が難しくなっていきます。こうしたすべてに対して、部品メーカーは車両の全体的なコスト・パフォーマンスを維持しながら対応しなければなりません。

解決策のひとつが、高い統合性を持つドメイン・コントローラのアプローチを進めることであり、今回は X-in-1 という形態です。より最近の例として、完全電気自動車のパワー・トレイン周辺でこうしたシステムが急速に普及しています。このトレンドは中国で特に強く、これは他の地域と比べて政府の支援が明確で、電動化への移行がより顕著であることが要因と考えられます*。他の地域では、どのアーキテクチャもスケーラビリティ（拡張性）に重点が置かれ、さまざまなパワー・トレインやセグメント、さらには複数ブランドの統合を同一アーキテクチャで実現する方向になっています。これは非常に複雑な取り組みです。

*What China's EV Market Can Teach US and EU Automakers," Boston Consulting Group,
<https://www.bcg.com/publications/2025/whatchinas-ev-market-can-teach-automakers>.

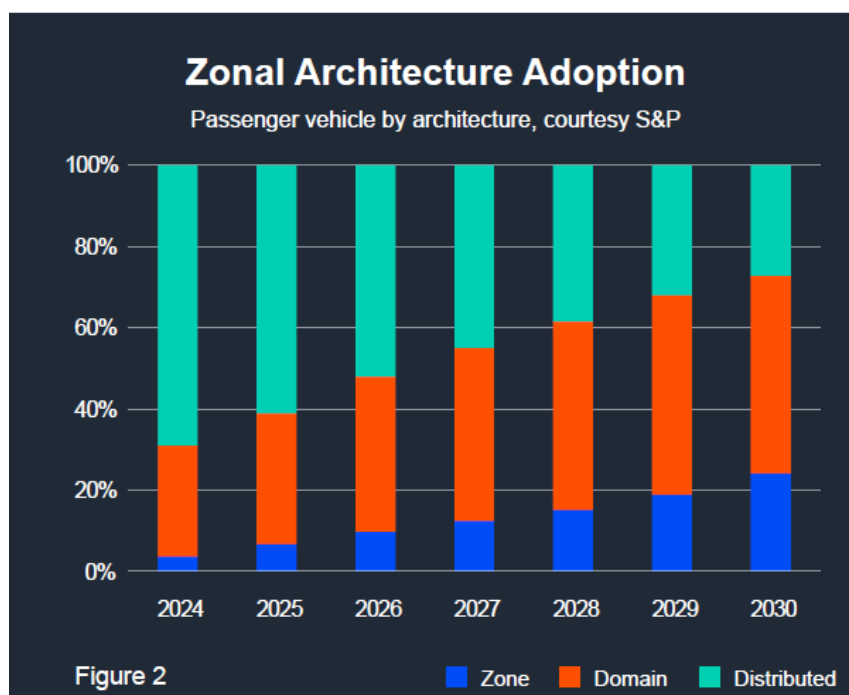
X-in-1 のその他の例としては、シートやドア ・モジュールが挙げられます。これらはほとんどのローカル機能を単一の ECU に集約したものであり、先述のパワー・トレインの複雑な例に比べると、よりシンプルな性質を持っています。

ゾーン・アーキテクチャ

より高度な統合という考え方をさらに発展させたものが、ゾーン・アーキテクチャのアプローチです。これは、車両を地理的なゾーンごとに分割し、センサーやアクチュエータがどの機能を担当しているかに関わらず、最も距離の近い ZCU（ゾーン・コントロール・ユニット）に接続するという仕組みです。この ZCU はバックボーン・リンクによりデータ転送や（場合によっては）電力供給も行います。こうすることで、ドメイン・アーキテクチャに比べ、車両内を走るワイヤーの平均的な長さが短くなります（ワイヤーの数が減るわけではありません）。より短いワイヤーは、ワイヤー・ハーネス製造の自動化の可能性を高める道も開きます。その結果、組み立て工程を OEM 工場により近づけることが可能となり、サプライ・チェーンの簡素化につながります。車両を 3つのゾーン（たとえば、フロント左、フロント右、リア）に分割することで、特に分散型アーキテクチャと比べて、またドメイン・アーキテクチャと比べても、車載 ECU の数を大幅に削減できることになります。

一方、複数のドメインの機能を単一のゾーン ECU にまとめることで、同じ ECU やネットワーク上で安全にデータを管理・共有する方法を見つけねばならないという課題が生じます。さらに、こうした各ドメインの専門知識が異なる会社から提供される必要性が高まるため、関係各社間の協力も新たな課題となると予想されます。これはハードウェアのインターフェースだけでなく、特に ECU 関連のソフトウェア開発に大きな影響を与えます。

ゾーン・アーキテクチャの採用は、下図にあるように、2024 年から 2030 年にかけて年率 38%で増加すると予測されています。S&P によると、2030 年までに生産される車両の約 22%がゾーン・アーキテクチャをベースにしたものになる見込みです。昨今の市場の不透明さを受けて、新プラットフォームの投入が遅れているため、実際は下記の予測よりも普及率の伸びは緩やかになっています。



“Zonal Architecture,” Leoni, <https://www.leoni.com/markets-solutions/wiring-systems/innovations/zonal-architecture>.

ゾーン・アーキテクチャへの移行は段階的に進むと予想されており、まず電源分配ユニットとボディ制御ユニットの統合から始まります。これは、アーキテクチャの移行に際し、特定のコンポーネントを再利用する必要があり、変更に制約が生じるためです。すでに初期のステップは踏み出されており、コストや性能面でパラダイムの有効性が証明されたことで、さらに多くのドメインをゾーン・アーキテクチャに追加することで統合を進めることが可能となっています。この先のステップでは、異なるアプローチが見られます。完全なゾーン・アーキテクチャへの道筋は一つではなく、各 OEM が自社の歴史、組織構造、目標に基づき独自の戦略を採用しています。従来型 OEM の多くは、多様な駆動方式、車種ブランド、オプション装備、バリエーション管理に対応した統一アーキテクチャを重視しています。一方、NEV（新エネルギー車）のように全く異なるビジネス・モデルと単一の駆動方式を採用する OEM では、高度なバリエーション管理を現時点では必要としていません。

ゾーン・アーキテクチャを可能にする技術

Ethernet

車両への Ethernet の普及は、今日では均質なネットワークの実現に向けて最も有望な道筋です。BMW によって乗用車で初めて導入され、高速通信を可能にし、サービス指向アーキテクチャの実現に貢献しています。それでも、コスト面の課題や多くの既存デバイスの存在を踏まえると、CAN や LIN など既存のネットワーク技術は今後数年は引き続き使用されると見込まれています。Ethernet の採用により、既存の標準規格やツールを多く再利用できるのも利点です。例えばバーチャル LAN（VLAN）やトラフィック・シェーピングなどによって、ネットワーク内で通信の分離や優先制御が可能となり、特にゾーン・アーキテクチャで複数のドメインが同じリンクを共有する場合に重要です。

仮想化

新世代のマイクロ・コントローラは、高度な干渉防止機構とハイパー・バイザーによるよりきめ細かな仮想化をサポートしています。目的は、異なるドメインを安全に単一のマイクロ・コントローラ上で並行して、かつ隔離して動作させることです。さらに、仮想マシンには専用または共有のリソースを割り当てることができ、この隔離機能により仮想マシン単位で独立してアップデートすることも可能です。そのため、異なるチームが同じ ECU 上で（分離され、並行して）ソフトウェア開発および更新を行うことができます。また、ECU の一部だけを OTA（Over-The-Air）でアップデートすることもでき、ソフトウェアの全体リフラッシュは不要となります。これは、認証や安全性が求められるソフトウェアの管理において特に重要です。

ハードウェア・アクセラレータ

最新のマイクロ・コントローラには、IEEE 7222 などの標準規格を用いてネットワーク間でデータを転送するハードウェア・アクセラレータが搭載されており、例えば CAN から Ethernet へのルーティングが可能です。これにより、データ・ルーティングをアクセラレータが独立して処理することで、マイクロ・コントローラのコアは他のタスクに専念できるようになります。

10BASE-T1S

CAN バスの代替として設計された低速 Ethernet で、車両ネットワークを Ethernet 中心のより統一されたネットワークへと進化させ、プロトコル変換の必要性を減らします。

遠隔制御プロトコル（RCP; Remote Control Protocol）

OPEN Alliance で RCP の仕様策定が進められており、センサーやアクチュエータをリモートで制御することをサポートします。これによって、エッジ側のハードウェア・モジュールの標準化がさらに促進され、中央演算ユニットまたは ZCU 上の少数の ECU で動作するカスタム・ソフトウェアにより制御されるようになります。

オープン・ソース

AUTOSAR は、車両内で信頼性が高く、機能的で安全規格に準拠したソフトウェア仕様として十分に確立されており、複数の実装とベンダーが存在します。しかし、仮想化の進展により、オープン・ソースなど他のソフトウェア・スタックを並行して動作させる選択肢が登場しています。故障が許されない場合など、AUTOSAR の採用が今後も主流である可能性は高いですが、適切な用途は ZCU（ゲートウェイかそれ以上か、下記参照）での役割などに大きく左右されることが予想されます。

パーティショニング

分散型システムで見られる E/E アーキテクチャの複雑性をさらに管理するために、Ethernet 技術やゾーン・アーキテクチャは、サービス指向アーキテクチャを提供することで一歩先へ進んでいます。従来、車両アーキテクチャは信号ベースであり、速度や回転数（RPM）など特定のデータに焦点を当てていました。一方、サービス指向のアプローチでは、ECU がサービスを公開し、他の ECU がそのサービスを「購読」できるようになります。この方式は電子ユニット同士をデカップリングし、開発の容易化や車両アーキテクチャの拡張性向上が実現します。自動車分野におけるサービス指向アーキテクチャの事実上の標準は SOME-IP6 であり、BMW によって提案・導入されました。

SOME-IP によるサービス指向アーキテクチャのほか、代替手段としては、ハードウェア・アクセラレータや専用ソフトウェア・ルーティング・エンジンを用いて、エッジ側の信号ソースから計算処理が行われる ECU へ直接信号をルーティングする方法もあります。

サービス指向アーキテクチャを利用するか、信号をルーティングするかは、関わる信号の必要性によって大きく異なります。信号がごく限られた目的でしか利用されない場合は、信号ルーティングがより適切な方法となることもあります。一方、サービス指向アーキテクチャを採用する場合は、情報の利用から実装を抽象化（ハードウェア・ソフトウェアの抽象化）できるという利点があります。これにより、例えば中央演算装置がエッジ・ノードや ZCU の実際の実装からより独立して動作できるようになります。

関連するもうひとつのトピックは ZCU の役割です。ZCU が主にデータ・ルーティングのゲートウェイとして機能するのか、それとも ECU としてアプリケーションも実行するのか、という点です。これは中央集約型コンピューティングのパラダイムとも密接に関連しています。多くのセンサーやアクチュエータ、高速イーサネット・バックボーンを備えた複雑な車両では、一つまたは複数の中央演算ユニットに向かう傾向が見られます。この場合、ZCU はデータや電力分配のゲートウェイとして考えることができ、ZCU 上でローカルに稼働するアプリケーションは、ごく少数、特に低遅延が求められるものに限られます。

一方、搭載機能が少ない車両の場合、ZCU 上でより多くのアプリケーションをローカルで稼働させるべきだという考え方もあります。このような車両では、高性能な ZCU、特にマイクロ・コントローラ・ユニット（MCU）ベースのものが、より集中型アーキテクチャに比べてコスト面や拡張性で優れたソリューションを提供します。前述した技術的な推進要素は、いずれのケースでも十分に活用可能です。ゾーン・アーキテクチャは、集中型コンピューティングをサポートしたり、その実現を促したりしますが、中央演算ユニットを導入するためには一定以上の搭載機能量が経済的に必要となり、すべての車両がその条件を満たすわけではありません。

電力分配

データ管理に加え、エネルギー管理や電力分配も E/E アーキテクチャの重要な要素です。過去、ICE（内燃機関）車両が主流だった時代には、電力分配システムは比較的単純でした。12V バッテリーから一次分配用のプリ・フューズ・ボックスを経て、さらに小さなヒューズおよびリレー・ボックス（二次分配）に分配され、最終的には車載 ECU や電気負荷へ電力が供給される仕組みです。ヒューズ切れの場合は手動交換が必要なため、これらのボックスはアクセスしやすいように設計され、別々に配置されていました。この方式は長年にわたり車両用途に適していました。しかし、安全性や快適性機能の増加、そして電気自動車への移行により、従来型のシステムは限界に達しつつあります。現在のワイヤー・ハーネスはますます複雑化し、サイズ・重量ともに増加しています。

エネルギー需要の増加に加え、ADAS や X-by-wire システムの台頭によって、車両の電力ネットワークは E/E アーキテクチャの中でも高い可用性やフェイル・オペレーション（安全動作）を支える重要な役割を担うようになりました。スマートなハイサイドおよびローサイド・パワースイッチの統合された保護機能と診断機能は、過去数十年にわたり、リレーやヒューズに比べて主要な成功要因の一つとなってきました。故障に対する高速な反応はフェイル・オペレーション可能な電源ネットワークを実現するだけでなく、電源ネットの能動的な監視やインテリジェントな電力管理も可能にしました。さらに重要なのは、これらがリセット可能で設定変更もでき、ヒューズ・ボックスのアクセス性への依存を解消し、電力分配センターの柔軟な配置、ひいてはゾーン・アーキテクチャへの移行を可能にしている点です。

データ管理と同様に、電力分配用のワイヤー・ハーネスもゾーン・アーキテクチャによって簡素化することができます。アクセス性に関する制約が緩和されることで、電力とデータを単一の ECU に統合し、コスト削減や複雑さの低減をさらに進めることが可能になります。ほとんどの電力出力においては、スマート・パワースイッチとマイクロ・コントローラ上で動作するソフトウェア・アルゴリズムが必要とされます。これらは、電源ネットワークの異常（例えば、ワイヤー、コネクタ、プリント基板（PCB）トレースを保護するための軽度短絡など）に反応します。この方法はコスト効率が高いものの、常時オン要求があり、マイクロ・コントローラ利用できない状況（リセットやスリープ・モード中など）にも動作が必要な負荷に対しては制限があります。

半導体業界はこれに対応し、スマート・ハイサイド・スイッチ、いわゆる e-fuse に統合された 1st ワイヤー保護機能を実現しました。従来、ワイヤー特性をマイクロ・コントローラがソフトウェアで模倣しながらワイヤー温度を計算していましたが、今では半導体デバイス内でこの処理が実装されています。これにより反応時間が短縮され、マイクロ・コントローラのリソースも解放されます。さらに、スイッチに「マイクロ・コントローラ電力オン」モードやアイドル・モードによって、最小限の電力消費で電

力供給機能を維持することが可能となり、駐車中やマイクロ・コントローラのリセット・サイクル中などに常時オンが求められる負荷の保護も実現します。

ボードネット電圧

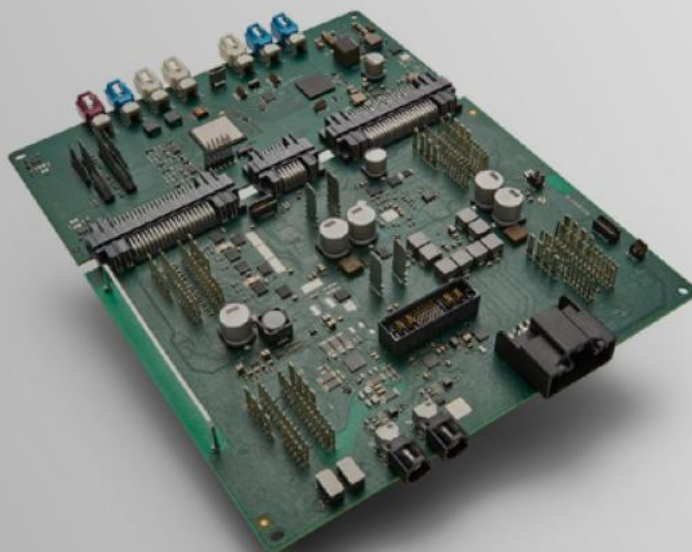
車両内の大電流による高損失の対策に加え、より高いボードネット電圧の利点が業界で提案されています。代表的な例が、Tesla サイバー・トラックで採用されている 48V ボードネットです。このテーマは今回が初めてではありません。それでは、今回は何が違い、新たな結果に繋がる可能性があるのでしょうか。多くの低電圧ボードネットの負荷は、ワイパーやウィンドウ開閉のように使用頻度が低く、長時間にわたって消費する電力が少ないため、電気効率の直接的な向上だけで取り組む価値があるとは言いきれません。高い計算処理能力や ADAS によるさらなる電力需要の増加によって、12V ボードネットが対応できなくなっているのでしょうか。答えは、単なる電力量ではなく、可用性の要求や電力密度、さらにはゾーン・オーディオ・システムのような新機能が 48V 導入のきっかけとなっている点にあるのかもしれません。

これらの新しい機能を実現するため、48V 対応のスイッチや e-fuse、さらにはオーディオ・アンプなど、多くの 48V 機器が市場に登場しています。それらが採用されるのは、より高い電力負荷や連続的な動作が求められる場合に魅力が増します。

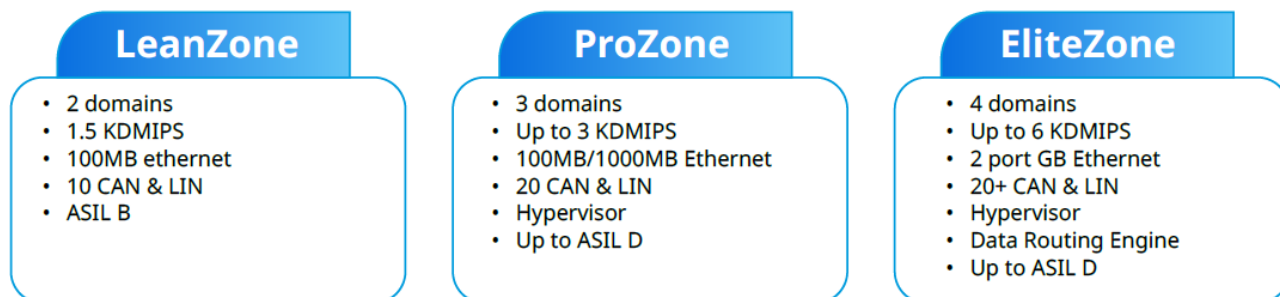
マレリのゾーン・アーキテクチャへの取り組み

自動車業界のトップ・テクノロジー・サプライヤーとしての豊富な経験を生かし、マレリは自社独自の高性能 ZCU（下図参照）を設計・製造しました。本研究の目的は、上記で議論した技術トレンドを探索・検証・さらに発展させることです。

Marelli Zone Control Unit, featuring a logic board and a zone specific peripheral board



マレリは、Lean、Pro、Elite という階層化されたハードウェア・プラットフォームを開発し、さまざまな車両セグメントや顧客に対応しています。弊社の ZCU はプラットフォーム・ベースであり、機能は特定のニーズに合わせてカスタマイズ可能です。



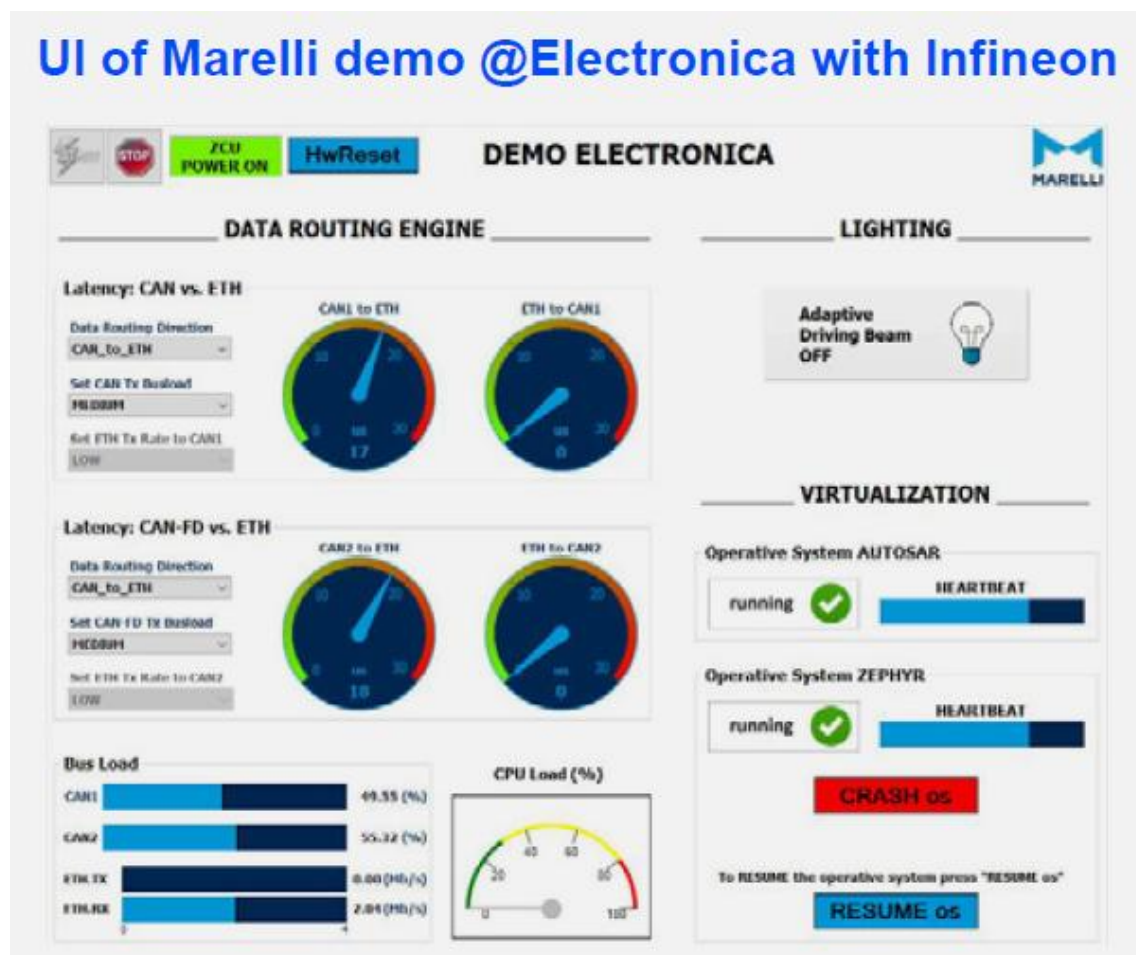
ZCU は車両の仕様やアーキテクチャに密接に関連しているため、同じ ZCU は二つと存在しません。それぞれの ZCU がサポートすべきインターフェースの数や種類は、車両の構成によって異なります。ある自動車メーカーは、スマート・アクチュエータを CAN や LIN インターフェース経由で接続することを好む場合があり、その場合 ZCU で扱う通信量が多くなります。一方、ZCU からスイッチや H ブリッジを介して直接アクチュエータを駆動する構成を好むメーカーもあります。こうした理由から、マレリは主要コンポーネントのスケラビリティとモジュール性に重点を置いています。ECU の中心には MCU（マイクロ・コントローラ）があり、これは頭脳として機能します。同じ ECU ファミリー内で異なる品番でもプリント基板（PCB）レイアウトの互換性を確保することが重要です。この戦略は、スイッチや e-fuse など他の部品にも当てはまり、互換性の実現が比較的容易です（下に例を示します）。



干渉の自由

ECU の統合レベルが高まるにつれ、開発プロセスはより複雑になり、より大規模なチームが関与し、求められる安全レベルの種類も増加します。この複雑さは、従来は別々の ECU（分散アーキテクチャ）や

個別のドメイン ECU（ドメイン・アーキテクチャ）で管理されていたアプリケーションが共存することから生じます。この共存への対応策として、マレリと Infineon はハードウェア・ベースの仮想化を通じて干渉の自由を実現することに成功しました。これは最近の Electronica イベントで発表されました。両社は、1 本のイーサネット接続を共有する 2 つの独立したオペレーティング・システム（OS）、AUTOSAR と Zephyr の同時動作を示しました。このデモンストレーションでは、Zephyr OS にクラッシュを引き起こしても AUTOSAR スタックには影響しないことが実証されています。さらに、クラッシュした OS をソフトウェア・リセットすることも実演されました（下図参照）。



ネットワーキングとサービス

サービス指向アーキテクチャは SOME-IP で実装されており、マレリは ZCU が車両内の他 ECU に対してサブスクリプション型のサービスを提供することを構想しています。それを実証するため、シートおよびドアのサービスを SOME-IP プロトコルで定義・実装しました。コントロール・ソフトウェアやサービスは抽象化された形で作成されており、ドア機能は ZCU 内部に完全統合することも、E2BTM RCP を用いて 10BASE-T1S 経由で遠隔接続することも可能です（下記参照）。

これらのサービス提供に加え、低遅延・決定性が要求されるアプリケーション向けには、低遅延ルーティング・エンジンを用意しています。CAN インターフェースの場合、マイクロ・コントローラがハードウェア・アクセラレータを通じてこれをサポートします。その他のインターフェース向けにも、他のアプリケーションや OS から完全に分離・隔離されたソフトウェア・ソリューションがマレリによって提

供されています。これらのルーティング・エンジンは、センサー・アクチュエータ間や他の ECU 間でデータが ZCU を経由する際に、100 マイクロ秒 (μs) 未満の遅延でやり取りされます。例えば、(セミ・) アクティブ・サスペンション・システムでは、PSI5 規格の車輪速度センサーやバルブ・ドライバが MCU の GPIO に接続されており、制御アプリケーションを実行する ECU へ迅速にデータを送信します。制御ループは通常 1~2 ミリ秒以内で動作するため、低遅延は不可欠です。

冗長性

ZCU が、車両の前方左ゾーンと前方右ゾーンの両方に設置され、シャシーおよびパワー・トレインの機能が統合された場合、各 ZCU は互いの冗長バックアップとして機能することができます。例えば、ステアリングやブレーキの X-by-wire システムでは、信号が両方の ZCU に接続されており、システムの冗長性を確保しています。このゾーン・アーキテクチャは市場でみられるようなデュアル・マイクロ・コントローラ・システムを必要とせず、故障耐性を本質的に備えています。同様に、両方の ZCU がトルク・チェーンやエネルギー・マネジメントの機能をサポートすることができます。これらのコンセプトを検証するために、マレリは専用の周辺ボードを開発しテストに使用しています。

もうひとつのポイントは、ゾーン・アーキテクチャにおけるリンプ・ホーム機能（緊急時走行機能）提供の課題です。従来型システムでは、センサーやアクチュエータが直接 ECU に接続され、リンプ・ホーム機能が ECU 内部で実装されていました。しかし、ゾーン・アーキテクチャでは、この方式では簡素化されたワイヤー・ハーネスの利点が失われてしまいます。これに対応するため、マレリは冗長性とリンプ・ホーム機能の両方を提供する代替ソリューションを提案しており、現在特許出願中です。

48V 電源入力

48V への関心の高まりに対応し、マレリは ZCU に接続するドーター・ボードを設計し、12V から 48V への移行をサポートしています。下図はそのサンプルの上面を示しています。12V やその他の低電圧レベルへの電力変換効率は 97% を大きく上回っています。これは、変換ロスによる ZCU 自体の発熱増加を防ぎ、ボードネット電圧を高めるメリットを打ち消さないために不可欠です。電力変換に加えて、2 つの e-fuse を追加することで 48V の電力分配も想定されており、適切な負荷へ直接 48V を供給することが可能です。



共創モデル

ゾーン・アーキテクチャでは、最終的に多数のドメインが統合されることが予想されます。そのため、マレリ社内での事業横断の協力だけでなく、パートナー企業との連携も当然と考えています。マレリ社内での協力例としては、アダプティブ・ドライビング・ビーム（ADB）照明アルゴリズムおよび照明制御ソフトウェアを ZCU に集約し、将来的には MCU 不要のランプの開発を目指していることが挙げられます。この集中化は、ユニバーサル非同期受信送信機（UART）/CAN や 10BASE-T1S インターフェースによって実現可能です。マレリはすでにこのコンセプトの第 1 歩として、ZCU 上で ADB アルゴリズムを実行することを実証しています（下図参照）。さらに、リモート・コントロール・プロトコルを活用することで、専用 MCU とアプリケーション・ソフトウェアを持つ照明 ECU から、ハードウェアのみのランプ設計へとスムーズに移行できます。このアプローチによって、ソフトウェア更新や保守が簡素化されるだけでなく、Function-on-Demand や Software-as-a-Product もソフトウェア定義車両（SDV）時代において、より容易かつ確実に実現できます。加えて、ランプ単体およびシステム全体のコスト削減も期待でき、さらなるメリットが得られます。

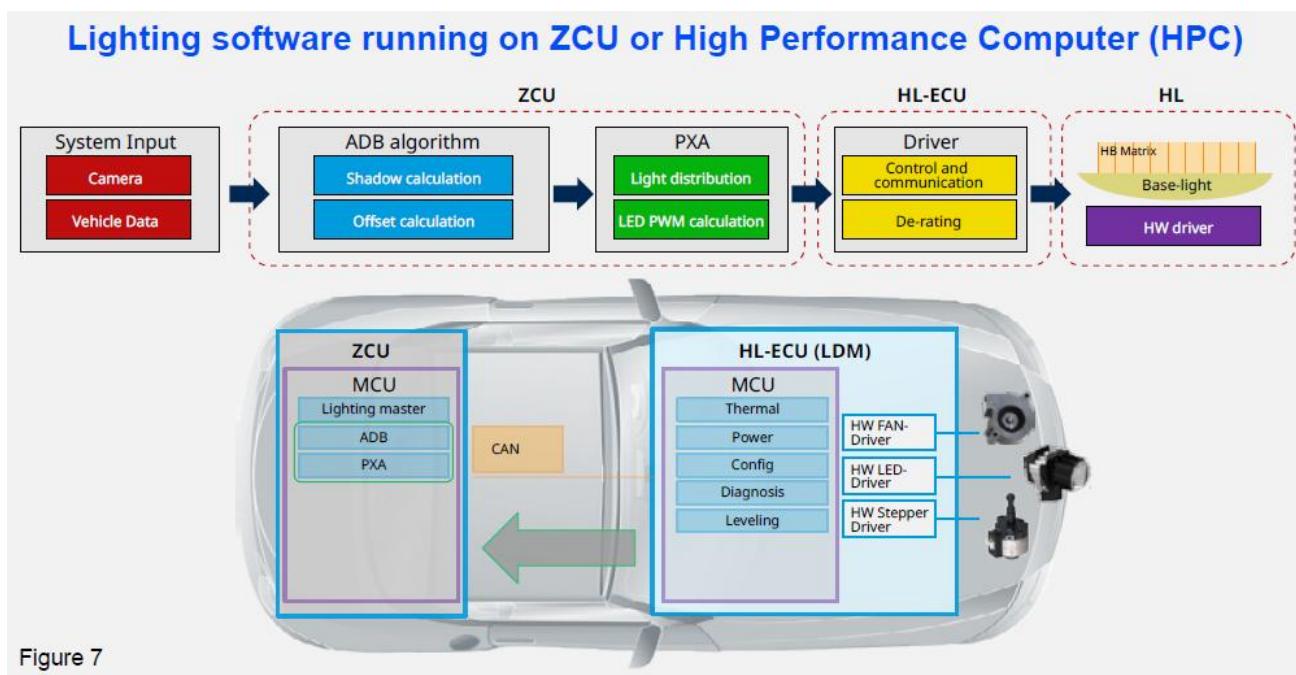


Figure 7

前述の通り、マレリでは相互協力を付加価値と考え、複数の関係者による共創は、こうした ECU がクロス・ドメインであることの自然な結果であると捉えています。マレリは、以下のセクションでご紹介するように、Infineon や Analog Devices Inc. (ADI) などのパートナー企業と協業しています。

マイクロ・コントローラおよび電力分配の協業：Infineon

Infineon の AURIX™ TC4x マイクロ・コントローラ・ファミリーは、E/E アーキテクチャの課題に対応するために設計されており、完全なスケラブル・ファミリー・コンセプトを提供するとともに、安全・セキュアな処理を可能とする自動車向け MCU の利用を進化させています。

AURIX™ TC4x は最新のサイバー・セキュリティ規格 ISO/SAE 21434 に準拠予定です。新しいサイバー・セキュリティ・クラスターに基づくセキュリティ機能は、高速かつ安全な通信におけるパフォーマンス・ボトルネックを解消し、ポスト量子暗号時代への備えも万全です。

さらに、AURIX™ TC4x は安全規格 ISO 26262 にも適合予定です。その安全機能は、TC3x ファミリーの確立されたメカニズムを基礎としており、ASIL-D レベルの安全クリティカルなアプリケーションにも適しています。

通信面では、TC4x は 5Gbit イーサネットや PCIe などの高速インターフェースに加え、新しいインターフェースである CAN-XL や 10BASE-T1S にも対応しており、新しい自動車用 MCU の E/E アーキテクチャに必要な性能、スループット、柔軟性を提供します。ゾーン内では大量のデータが流れるため、専用のデータ・ルーティング・エンジンが CPU 負荷に影響を与えず、複数のデータ・ルーティング用途を実現します。

AURIX™ TC4x は SDV（ソフトウェア定義車両）のコンセプトにも対応しており、仮想化によって異なるソフトウェア・アプリケーションの安全な分離が可能です。これにより、複数の OS およびアプリケーションが同じ MCU 上で同時に実行でき、さまざまな事業体からのアプリケーションの統合が容易になります。さらに、幅広い不揮発性メモリのラインナップによって、アプリケーションごとの要件に対応し、ソフトウェアの OTA（Over-the-Air）アップデート時もダウン・タイム・ゼロを実現します。

ZCU は、個々の負荷やエッジ・ノードに供給するための数百本もの出力ラインの管理に不可欠です。システムの堅牢性と信頼性を確保するため、各出力ラインはスマート・スイッチ・デバイスによって監視・制御されています。これらのデバイスは、温度、電流、電圧などの重要な運用データや診断情報を提供し、システムを保護します。

例えば、エッジ・ノードで短絡や過電流などの障害が発生した場合、スマート・スイッチは供給ラインを迅速に遮断するよう設計されています。こうした素早い対応により、負荷の損傷を防ぎ、システム全体の保護を確実にします。

Infineon は 2023 年、PROFET™ Wire Guard において、自動車規格に適合した統合型ハードウェア・ベースの 1st ワイヤ保護を業界に先駆けて導入しました。現在、マレリは Infineon の最新世代スマート・パワー・スイッチである SPOC™ Wire Guard を採用し、2026 年から量産を開始する予定です。これらの製品は高度なワイヤ保護メカニズムを搭載しており、エネルギー・フローに基づいたトリガーによって過負荷から保護します。従来のヒューズやリレーを置き換えることで、SPOC™ Wire Guard は現代の自動車用途において、より効率的でコスト効果が高くコンパクトなソリューションを提供します。

自動車メーカー（OEM）は、パーキング・モード時に車両の負荷が極めて低い電流消費で作動することを求めています。SPOC™ Wire Guard はこの課題に的確に対応します。低消費電力状態（IGND<110μA）でも信頼性の高い負荷保護を実現し、進化する自動車設計要件に対応しています。

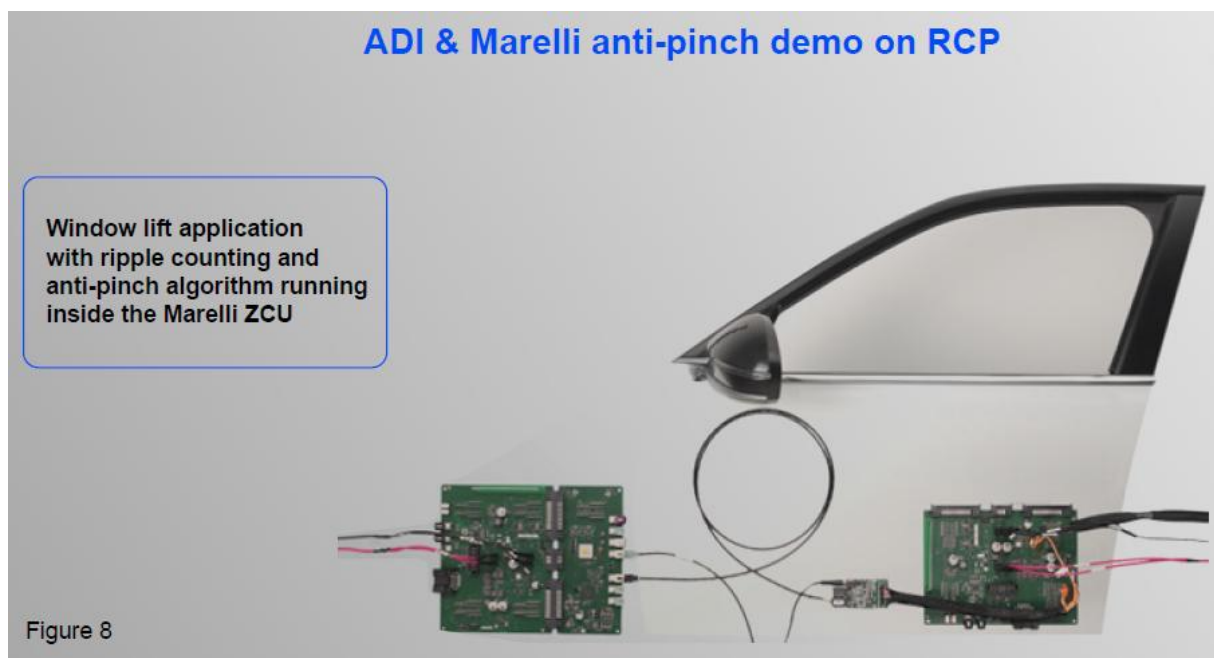
SPOC™ Wire Guard のもうひとつの大きな利点は統合型 SPI インターフェースです。デジタル通信によってスマート・スイッチのデータを読み取り、制御できるため、配置が必要な MCU 入力/出力ピン数を

減らしつつ、より多くの負荷制御を可能にしています。この機能は、高機能の集積性を維持しながら MCU のパッケージ・サイズ最適化を実現し、よりコンパクトかつ効率的な電子設計を目指す業界ニーズに対応します。

ソフトウェア協業の集約：Analog Devices

マレリは、次世代 RCP（Remote Control Protocol）実装の技術的・商業的な実現可能性を検証するため、Analog Devices Inc. (ADI) と共同で取り組んでいます。ADI は、Ethernet to Edge (E2BTM) 技術を市場に投入した分野のリーダーです。E2BTM ソリューションは、ソフトウェアを集約し、エッジ側のマイクロ・コントローラを不要とすることで、全てのハードウェア・エッジ・ノードのソリューションを簡素化し、決定的かつ低遅延での通信を実現します。

ADI とマレリは、RCP を活用したウィンドウの挟み込み防止（アンチ・ピンチ）保護機構の技術的実現可能性を共同で実証しています（下図参照）。目的は、マレリのゾーン・プラットフォーム上でこのアルゴリズムを実行できるようにし、10BASE-T1S イーサネット経由でドア・モジュールと接続することです。このドア・モジュールは ADI の E2BTM 技術を活用したハードウェアのみのソリューションで構成され、アンチ・ピンチ機能などのカスタム・ソフトウェアは全てマレリ ZCU 上で稼働します。

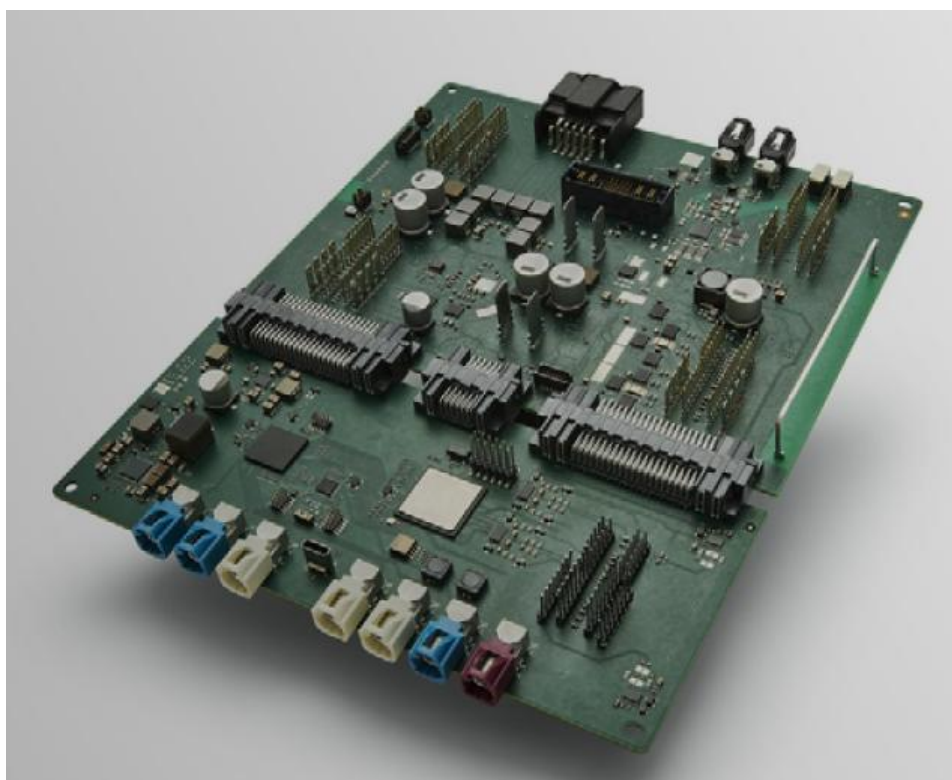


このようなコンセプトの実現可能性を証明することで、マレリと ADI は、カスタム・ソフトウェアの集約をより少ない ECU に統合するという大きな進歩を達成しました。こうしたアプローチは、自動車の機能に必要な ECU の数を削減することで車両の電子アーキテクチャを簡素化しようとする幅広い業界の潮流に合致しています。その結果、コスト削減、メンテナンスの容易さ、さらなる信頼性やシステム統合性の向上が期待できます。

最後に

業界はゾーン・アーキテクチャへの移行に向かっており、新しい技術や発展途上の技術がこの流れを後押ししています。ゾーン・アーキテクチャは、各自動車メーカーの目的によって異なる方法で導入されます。いずれの場合も、複数の関係者による協業が成功の鍵となります。さらに、ここで紹介した技術を採用することで、フルゾーン・アーキテクチャへの移行が可能となり、ソフトウェアの集約を少数の ECU に集中させることができます。

マレリは、ほぼ全ての車両ドメインとアーキテクチャ・タイプをカバーするマルチ・ドメイン・サプライヤーとして、OEM がどのようなアーキテクチャの段階にあっても独自の支援体制を提供できます。受賞実績のある ZCU 顧客プロジェクトや、Infineon および Analog Devices との先進的な概念実証、量産志向の ZCU プラットフォームにより、マレリはゾーン・アーキテクチャ分野で市場をリードしています。本稿が、読者の皆様とマレリで次世代の車両アーキテクチャを共創するきっかけとなることを願っています。



謝辞

前述のとおり、マレリは概念実証に積極的に取り組んでおり、ネット・ワークコンセプトやゾーン・アーキテクチャ全般について非常に建設的な議論を交わすことができた Ethernovia 社の Max Turner 氏に感謝の意を表します。

また、最新の市場動向を踏まえてゾーン・アーキテクチャの導入予測を更新してくださった S&P Global の皆様にも感謝いたします。

執筆者紹介



Anthony Sonnenberg

マレリのゾーン・コントロール・ユニット製品マネージャー。手頃な価格でのイノベーションと差別化に重点を置きながら、ゾーン・アーキテクチャへの道を歩むお客様をサポートしています。



Massimo Cereda

Infineon Technologies 所属。Infineon のフィールド・アプリケーション・エンジニアとして、EMEA 地域の顧客に対して自動車向けソリューション・ポートフォリオの支援を担当。関心領域は E/E アーキテクチャおよびゾーン・コントローラ・システムです。



Fionn Hurley

Analog Devices, Inc. (ADI) のマーケティング・ディレクター。ソフトウェア定義車両の時代において、Ethernet to the Edge ソリューションへ移行することで、顧客の E/E アーキテクチャ最適化を支援しています。

Innovation @Speed (スピードのイノベーション)

マレリでは、スピードこそが自動車業界の新たな価値であると考えています。消費者の期待が変化し、技術革新が加速し、競争が激化する世界では、より早く市場に参入することは単なる強みではなく、不可欠なものです。

マレリは、自動車メーカーがスピードと確かな目的を持って行動できるよう支援します。信頼できる技術パートナーとして、拡張性の高いプラットフォーム、ソフトウェア定義車両用の開発支援ツール、す

ぐに量産可能なソリューション、そして開発期間を短縮し早期市場参入を実現するための迅速なイノベーション・サイクルをご提供しています。

マレリは市場投入までのスピード化を、以下の 4 つの方法で実現します：

- プラットフォーム製品 – スピード、拡張性、カスタマイズ性に優れた階層型・モジュラー型のハードウェアとソフトウェア・ソリューション
- SDV 車両開発支援ツール – 柔軟なハードウェア、独立したソフトウェア、開発を加速するクラウド仮想化ツールで将来を見据えた E/E アーキテクチャをサポート
- 即時提供可能な技術 – すぐに統合でき、高い効果を発揮する量産準備済みの実績あるイノベーション
- MVP（最小限でありながら必要十分な製品）実現イノベーション – 概念立案から動作するプロトタイプまで最短 90 日で、アジャイルなイノベーション・プロセスにより自動車メーカーとの共創を可能にし、迅速な製品開発を実現

本資料では、マレリがゾーン・コントロール・ユニットを用いてソフトウェア定義車両の統合性、データフロー、ソフトウェアとハードウェアの分離性をいかに向上させているかを紹介いたしました。

お問い合わせ：ELSPBM@marelli.com
marelli.com

訳注：当文書は 2025 年 9 月に発表された英語版資料の翻訳です。資料の正式言語は英語であり、その内容および解釈については英語版が優先されます。