



## 自動車データ接続の未来

最近の自動車は、周囲の状況を検知し、その情報に基づいて動作することができます。これまでになかった方法で安全性、快適性、利便性、通信機能をドライバーと同乗者に提供する能力があり、その性能は年々向上しています。

とはいえ、車両の「神経系」である適切なデータ接続が、車内の至る所に設置されたさまざまなセンサーと作動装置を「脳」であるコンピューティングプラットフォームに結び付けなければ、こうした機能は一つも利用できません。そのようなデータ接続の帯域幅要件は、センサーやコンピューティングが高度化し、車両のソフトウェア定義化が進むにつれて、従来の車載ネットワークの容量を超え、急速に増大しています。

産業界は、これまでもデータセンターで、オフィスで、また家庭でデータの爆発的な増大を経験してきました。自動車用途向けにデータネットワークを規定するというこの比較的新しい課題にも、数十年の間に得た教訓を生かすことができます。しかし自動車にしかない特有のニーズもあります。そうしたニーズに最も安全かつ費用対効果の高い方法で対応することが、さらなるイノベーションの基礎固めになるでしょう。

## 新しいタイプのネットワーク

車両ネットワークのアーキテクチャは、現在、かつてない圧力に直面しています。従来のポイントツーポイントのアナログ接続が、デジタルアプローチに取って代わられつつあります。高解像度のレーダーやカメラから、高帯域幅のデータストリームが送り出されています。また、車両に搭載された複数の電子制御ユニット (ECU) が相互に大量のデータをやり取りするようになっています。ソフトウェア定義型車両の概念が具体化しつつある中、この傾向は加速する一方です。

新しい要件に応えるには、自動車業界固有の以下のような課題に対応するデータ接続テクノロジーが必要です。

- **電磁干渉 (EMI)**。車両のボディ内にある物理的な空きスペースは限られているため、EMI が発生しやすい環境です。非常に多くの電気部品や電子部品が狭い間隔で配置されているため、データネットワークには、他の部品から放射される可能性がある電磁ノイズに耐えられる設計であること、しかもデータネットワーク自体からノイズが発生しないよう設計されていることが必要です。
- **遅延に対する弱さ**。1つのセンサーから送り出されるデータに遅延があると、そのデータと他のセンサーからのデータを組み合わせて車両周囲の環境をリアルタイムで把握することが難しくなるおそれがあります。ひいては、さらに高レベルの自動化機能が下意思決定にも悪影響が生じかねません。
- **フェイルセーフ要件**。高度な自動運転車には、安全な方法で障害から復旧できる機能が要求されます。データネットワークソリューションは、車両が停止するまで安全に動作し続けるように障害を迂回する能力が必要です。
- **重量**。車両重量を1グラムでも軽くすれば、その分だけ車両の効率が向上し、コストを削減できる可能性が高まります。また、配線が占めるスペースを減らせば、空いた場所に他の部品を取り付けて機能を追加できる可能性があります。

こうしたニーズに対して、以前には不可能だった形の対応策をもたらすデータ接続ネットワークテクノロジーがいくつか登場してきました。

## 車載用イーサネット

イーサネットは、IT 分野において長い歴史があり、非常に大きな成功を収めてきたテクノロジーです。1973年に発明され、1985年にIEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) によって標準規格が定められると、ビジネス用ローカル エリア ネットワークを席巻し、トークンリングなどのあらゆる競合テクノロジーを追い払いました。イーサネットは、通信の発展を促進する汎用性と回復性に優れた標準としての実力を何十年にわたり示し続けています。伝送用ケーブルとして同軸ケーブル、光ファイバー、非シールドツイストペアケーブルを使用するバージョンがあり、通信速度は10Mビット/秒から100Gビット/秒を超えるまでに向上しました。何十年間も使用されてきただけに、よく理解されており、機能が洗練されています。

車載ネットワークによって車載機器のコンピューティングリソースが接続される機会が増え始めたときも、当然の成り行きとしてイーサネットに目が向けられ、2016年には、IEEE によって最初の車載用イーサネット規格 (Automotive Ethernet、IEEE 802.3bw または 100Base-T1) が公開されました。転送速度は100Mビット/秒で1995年に登場した100Base-TXと同程度ですが、車載用規格としての重要な違いがあります。

いずれの標準にも、燃り合わせた2本の銅線でケーブルの両端を結ぶ非シールドツイストペアケーブルが採用されています。この形態には、他の電磁波発生源からの干渉に耐え、他の配線や部品への干渉のおそれがある電磁波の放射やクロストークを抑える効果があります。

ただし、100Base-TXのケーブルは2組の電線ペアで構成されるのに対し、車載用イーサネットのケーブルは、重量とコストを直接的に抑えるため1組のペアだけで構成されます。このペアは「バランス」接続です。つまり、同じ信号が電圧の正負を反転して2本の電線で同時に伝送されます。また、100Base-TXでは信号の送信と受信に別々のペアが使われますが、車載用イーサネットでは1組のペアが送受信の両方に兼用されます。

ケーブルの長さについては、100Base-TX標準には最大100メートルの制限があり、それ以降のイーサネット標準でも同じ制限が踏襲されていますが、車載用イーサネット用ケーブルの最大長はわずか15メートルに制限されます。もちろん、車載ネットワークコンポーネントの相互接続にこれ以上長いケーブルは必要なく、長さが短いほどケーブルの重量も抑えることができます。

もう1つの重要な違いは、ケーブル両端のトランシーバーで行われるエンコーディングです。100Base-TX標準に採用されているMLT-3 (Multi-Level Transmit) 方式では、3段階の電圧レベルの間で変化を繰り返す信号にビットデータをエンコードして電線により伝送します。一方、車載用イーサネットのPAM-3 (Pulse Amplitude Modulation) 方式では、信号パルスの振幅の変化でビットデータを表現し、1周期の波で複数のビットを伝送します。これを他のエンコーディング技術と組み合わせることにより信号の周波数を125 MHzから66.6 MHzに下げ、EMIやクロストークの防止に役立てています。

### 車載用イーサネットの今後

IEEE 802.3bw標準の100Mビット/秒という帯域幅は初期の車載用ニーズの多くを満たすものであり、現在広く使用されています。しかし、高解像度のビデオストリームや、多数のセンサーで収集したデータを共通のケーブルに集約する利用形態などを見据えると、通信速度を高速化する必要があります。

IEEEは、IEEE 802.3bpの仕様を正式決定してからまもなく802.3bp (1000Base-T1) を承認しました。これは、シールドまたは非シールドツイストペアケーブルでギガビット級の高速通信を可能にする規格です。内容的には多くの部分に前身802.3bwとの共通点がありますが、周波数が600 MHzと、ほぼ10倍になっています。これは、ケーブルがクロストークに弱くなったことを意味します。システムを設計するエンジニアは、このことを念頭に置いて厳格な試験を行い、必要に応じたシールドを施して車両各部の電磁ノイズを抑える必要があります。この帯域幅は2～3世代先のプラットフォームにも十分対応できるものと思われます。

2020年、IEEEは、同じ15メートルの距離で標準速度2.5Gビット/秒、5Gビット/秒、および10Gビット/秒の通信ができるマルチギガビットイーサネット規格、802.3chを策定しました。これらの通信速度はシールドツイストペアケーブルで実現可能ですが、電氣的周波数が7GHzを超えることから、場合によっては、EMIの問題を最小限に抑えるためにシールドパラレルペアケーブルの使用が必要になります。

### 進化するイーサネット

ツイストペアケーブルを使用するタイプのイーサネットは多くのバリエーションがIEEEによって標準化されています。

ITおよび車載用途に関する重要なマイルストーンを以下に示します。

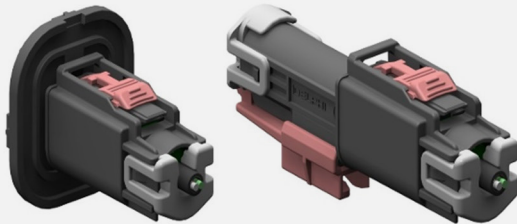
名称	標準	公開年	通信速度 (Mビット/秒)	配線ペア数	最大距離 (m)
10Base-T	802.3i	1990	10	2	100
100Base-TX	802.3u	1995	100	2	100
1000Base-T	802.3ab	1999	1,000	4	100
10GBase-T	802.3an	2006	10,000	4	100
100Base-T1	802.3bw	2016	100	1	15
1000Base-T1	802.3bp	2016	1,000	1	15
10Base-T1S	802.3cg	2020	10	1	15
2.5GBase-T1	802.3ch	2020	2,500	1	15
5GBase-T1	802.3ch	2020	5,000	1	15
10GBase-T1	802.3ch	2020	10,000	1	15

■ 車載用イーサネット

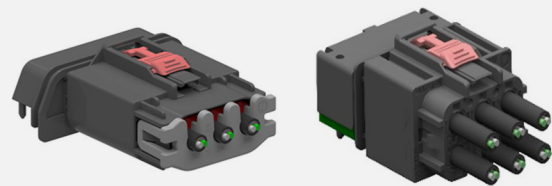
### 車載用イーサネット コネクタ

Aptiv は、車載用イーサネット向けの柔軟なソリューションを複数提供しています。Automatable Module Ethernet Connector (AMEC) システムには、非シールドとシールドのバリエーションがあります。プリント基板レイアウト上の占有スペースはどちらも同じであるため、機器に変更を加えることなく 100M ビット/秒から 1G ビット/秒にアップグレードできます。マルチギガビット用途には、High-Speed Modular Twisted-Pair Data (H-MTD) システムで対応できます。AMEC には 1 ポート～ 8 ポートのインターフェース構成、H-MTD システムには 1 ポート～ 6 ポートの密封または非密封構成が用意されています。

シングルポート AMEC 装置  
および直列



マルチポート AMEC 装置  
および接続



APTIV のコネクションシステム ポートフォリオを確認する →

イーサネットの重要な利点の 1 つは、柔軟なネットワークであるため簡単に再構成できることです。障害が発生したときは、イーサネット ルーターがデータトラフィックを別の経路で転送できます。これは、車両に搭載された主要なコンピューター部品の接続を常に維持するうえで重要な性質です。

また、車両ネットワークでは、銅線ベースのイーサネットでデータ伝送と電力供給の両方をまかなうことも重要になります。これは PoDL (Power over Data Lines) と呼ばれる機能です。PoDL は最大 500 mA の電力に対応しており、特定種類のセンサー (たとえば最適化されたサテライト カメラ) に十分な電力を供給できます。つまり、センサーによっては車両製造時に 1 組の電線ペアを配線するだけで機能するため、軽量化やアーキテクチャの簡略化に役立ちます。

一部の車載用イーサネット機器には、データ線経由の PoDL よりも大きい電力供給が必要です。そのような用途について、Aptiv では、高速 AMEC データ ポートと従来の DC 電源ラインを 1 つのインターフェースに統合した独自の複合コネクションシステムを数種類用

意することで対応しています。この方法なら、PoDL と同様に 1 つの配線で機器を接続するシンプルさを実現できます。たとえば、図 1 に示す 2+1 コネクタには、2 つの 1.5 mm DC 端子と 1 つのシールド 1G ビット/秒 AMEC インターフェースが含まれています。Aptiv はこの他にもさまざまな組み合わせの製品を提供しており、特定の用途向けにさらなるバリエーションの開発も続けています。



図 1.  
電力およびデータ接続を提供するコネクタの例



## 車載用同軸ケーブルの用途

同軸ケーブルは、データ ネットワークに長年使用されている、絶縁された芯線の周りを導体材料のシールドで取り囲んだ構成のケーブルです。イーサネットに最も初期から採用されていたほか、ケーブル テレビの接続に今でも広く使用されています。性能レベルが異なる複数の種類があり、車載用では、用途ごとの特性に応じて特定のケーブルが使用されます。

同軸ケーブルは頑丈で干渉に強いいため、車載用途にはよく使用されており、世界的なインターフェース標準である FAKRA (Fachkreis Automobil) はほとんどの自動車 OEM に 20 年以上前から使用されています。

FAKRA コネクタは周波数 3 GHz まで非常によく機能します。特定の端子設計を採用すれば、6 GHz にも対応し、最大 8G ビット/秒の通信速度を実現できます。

最近の車載用同軸ケーブルの用途としては、車載用デジタル カメラ システムなどがあります。同軸ケーブルは高帯域幅に対応できるため、1 本のケーブルでビデオ信号の伝送とカメラの電力供給が可能です。

近年、単純なバックアップ カメラから複雑なサラウンド ビジョン システムへと用途が拡大するにつれて、FAKRA インターフェースのサイズでは不都合が生じるようになったため、車両パッケージングの問題に対応する新世代の小型同軸ケーブル コネクタが開発されつつあります。

そのような「ミニ同軸」コネクタは従来の車載用インターフェースよりもはるかに小型で、機器パッケージサイズの密度を上げることができます。

輸送システムのミニ同軸ケーブルについては 2 種類のインターフェースが規定されており、Aptiv ではその両方に対応したソリューションを開発中です。また、あらゆるグローバルな用途に適した製品を提供するために、ISO (国際標準化機構) や USCAR (米国自動車研究協議会) の標準の策定にも積極的に参加しています。

ミニ同軸システムのもう 1 つの特長として、従来の車載用製品よりもはるかに高い帯域幅に対応できることが挙げられます。FAKRA が 6 GHz までの周波数に対応するのに対し、ミニ同軸は 9 GHz から 15 GHz までの用途 (20G ビット/秒以上の帯域幅) に対応しています。

今後の車載用コンピューティング システムでは、いっそう複雑な車載コンピューティング プラットフォーム間のデータ転送に同軸ケーブルが多用されることでしょう。

## PCI Express

限定的な車載用途向けにおいては、PCI (Peripheral Component Interconnect) Express テクノロジーも検討対象となります。2003 年に策定された PCI Express は、主に周辺機器とコンピューターのマザーボードを接続するために使用されるバス インターフェースです。最新バージョンの PCI Express は最大 128G バイト/秒に対応しています。

PCI Express の伝送距離は非常に短く、最大でわずか 0.5 メートルですが、トランシーバーを必要としないためコストを抑えることができます。

配置が近接している車載 ECU 間の通信については、PCI Express が理想的なソリューションの 1 つである可能性があります。Aptiv は、次世代車両向けのスマートビークルアーキテクチャー™ に PCI Express を含めています。

# 高速化による高需要への対応

新しい機能によって需要が高まり、車両ネットワークはデータ速度の向上を余儀なくされています。

データ速度  
キロビット/秒



## その他のネットワークテクノロジー

光ファイバーは、一見すると車載用途に適した選択肢のように見えるかもしれませんが、採用を大きく広げるうえで阻害要因となりやすい欠点を持っています。光ファイバー ケーブルは、ガラスまたはプラスチックの繊維で光パルスを使用してデータを送るものであるため、電磁波が発生せず、他の発生源からの干渉も受けにくい性質があります。ただし、光ファイバーのデータケーブルでは電力を伝送できないため、部品の電源が別途必要になります。また、電気信号を光パルスに変換するトランシーバーが必要であるため高価になる傾向があります。製造プロセスにもコストがかかります。そして、曲げ半径に限界がある点は最大の問題となる可能性があります。光ファイバー ケーブルを曲げすぎないように注意しながら車内の狭い場所に配線を引き回すことは、場合によっては困難です。

これまで検討されてきたテクノロジーの中には、多数の単線を束にしたマルチコア ケーブルもあります。最も有名な例は、電力とデータの伝送を1本のケーブルに統合可能な、PC 業界には普及している USB Type-C です。ただし、USB Type-C ケーブルは最大長が数メートルに限られており、製造コストもかかります。また、帯域幅が1チャンネルあたり5Gビット/秒に制限されており、異なるチャンネルにデータを振り分けるためのトランシーバーも必要になるため、さらにコストがかかります。

車載用イーサネットやその他のデータ接続オプションが増えても、低いデータ転送速度で十分である単純な用途においては、車両に長年採用されてきた古いテクノロジーも存続すると考えられます。その一例は、安価なチップセットとコネクタで実装できる LIN (Local Interconnect Network) です。その他の比較的安価な例としては、最大1Mビット/秒で動作する CAN (Controller Area Network) や、2Mビット/秒で動作する CAN-FD (CAN Flexible Data Rate) などがあります。最大10Mビット/秒の通信速度に対応する FlexRay は、安全性が重視される用途に現在も採用されていますが、コストがかさむため、他のテクノロジーに置き換えられていくと考えられます。最近策定された低速版の車載用イーサネット標準 10Base-T1S は、こうした用途に対応するものです。

以上のようなネットワークテクノロジーのほとんどは対称型ですが、車載用途の中には、カメラや高解像度ディスプレイなどの非対称型、すなわち一方のみについて高帯域幅を要求するものがあります。広く使用されている非対称型テクノロジーには、FPD-Link (Flat Panel Display Link)、APIX (Automotive Pixel Link)、GMSL (Gigabit Multimedia Serial Link) などがあります。

HDBaseT Automotive は最近勢いを増している非対称型テクノロジーの1つであり、きわめて低遅延でイーサネットのトンネリングが可能です。標準の被覆非シールドツイストペアケーブルでは最大 4G ビット/秒の速度で 15 メートルの伝送、シールドツイストペアケーブルでは最大 8G ビット/秒の伝送に対応します。イーサネットと同様のパルス振幅変調が採用されており、他のテクノロジーと比べて物理層の複雑度が低いため、重量およびコストを抑えることができます。Aptiv の AMEC は、HDBaseT と相性が良く、非シールドツイストペアからシールドツイストペアへのアップグレードを手軽に実現できます。

Aptiv は、車両の「脳」と「神経系」を両方提供するプロバイダーとして、データ接続が担う役割の重要性について独自の見識を持っています。次世代の電気/電子アーキテクチャーに対応する Aptiv の SVA™ (スマートビークルアーキテクチャー) アプローチにはその蓄積が生きています。SVA は、アクティブ セーフティの実現に必要な構成要素を支える堅牢な基盤ソリューションの構築を求めると同時に、車両軽量化およびイノベーション促進の実現手段となるアーキテクチャです。車載用イーサネット、ミニ同軸ケーブル、および PCI Express は、こうした標準を満たす車両を製造する際のきわめて堅実な選択肢に含まれるものといえます。

## 著者について



**Mika Arpe**

グローバル製品ライン クラスタ担当ディレクター – 専門製品

Mika Arpe は、Aptiv コネクションシステムの専門製品クラスター部門の責任者であり、コネクションシステムや配線アセンブリ、特に補助拘束システム (SRS) や、高速コネクタおよびアセンブリ (HSCA) を介したデータ接続に重点的に取り組んでいます。Aptiv では 28 年間さまざまな部門で働き、プログラム管理、販売、および製品管理のリーダー職を務めてきました。



**Cory Ensley**

グローバル製品ライン エンジニアリング ディレクター – HSCA

Cory Ensley は、Aptiv の高速コネクタおよびアセンブリ (HSCA) ポートフォリオのグローバル エンジニアリング部門を率いています。HSCA ポートフォリオは、Aptiv の車両アーキテクチャ製品の中で「神経系」に相当し、目や耳 (車両センサー) からの入力を車両の脳 (コンピューター) に伝える役割を担います。Cory は 11 年前 Aptiv に入社し、当初は製品機器エンジニアリング部門に勤務しました。それ以来、戦略的コネクタ ポートフォリオ、製品開発、最近では HSCA エンジニアリング部門において、さまざまなリーダー職を務めてきました。

[APTIV.COM/CONNECTION-SYSTEMS](https://www.apativ.com/connection-systems) で詳細を確認する →