

高速通信部品の車載100M-Ethernetへの取組

Initiatives towards In-Vehicle 100M-Ethernet for High-Speed Communication Components

吉田 和弘*
Kazuhiro Yoshida

上柿 亮真
Ryoma Uegaki

出口 善晴
Yoshiharu Deguchi

平松 浩幸
Hiroyuki Hiramatsu

加藤 清
Kiyoshi Kato

近藤 明秀
Akihide Kondo

近年、車両のCASE進化による車載ネットワークの高速化ニーズが高まり、次世代通信として車載イーサネットが注目されている。本通信部品は、標準化団体 Open Alliance が定める厳しい通信規格に適合する必要があるため、100Mイーサ適合検討をおこなった。まず、既存のCAN用部品による特性評価においては、電線、コネクタ共に伝送特性、クロストーク特性共に適合しなかった。そのため、新規電線、コネクタを開発すると共に、高速通信部品開発に必要な端末加工技術開発、CAE解析技術開発、通信特性評価技術開発を実施した結果、通信規格に適合することができた。当社は高速通信部品をワイヤハーネスの重要部品と考えており、今後も開発を推進する。

Driven by evolutions in CASE technology, the need for fast in-vehicle networks has increased, making in-vehicle Ethernet an attractive next-generation communication solution. To comply with the strict communication standards set by the standards organization Open Alliance, our focus turned to investigating 100M Ethernet compatibility. Initial evaluation using existing CAN components revealed disparities in transmission and crosstalk characteristics of wires and connectors. Therefore, we have developed new wires and connectors, as well as terminal processing technology, CAE analysis technology, and communication characteristic evaluation technology, all of which are necessary for the development of high-speed communication components. These efforts ensured compliance with the communication standards. We view high-speed communication components as vital elements of wiring harnesses, and are committed to their ongoing development, recognizing the significance in facilitating efficient in-vehicle communication.

キーワード：100M-Ethernet、Open Alliance TC2、通信規格、ジャケット付きUTP、撚り解き長

1. 緒言

近年、車両のCASE^{*1}進化により、ECU間やECU-機器間を結ぶ車載ネットワークは、大量の映像やデータ伝送が必要となっており、高速化ニーズが高まっている。車載ネットワークは従来CAN (Controller Area Network ~ 1Mbps) やCAN-FD (~8Mbps) 等比較的低速な通信プロトコルが使われてきたが、高速化ニーズにより、民生で使用されるEthernetの車載化が検討され、100Mbpsを皮切りに、各速度帯の車載規格化が進んでいる (図1)。

車載Ethernet (以下イーサ) は、国際規格であるIEEEや、イーサの標準化団体であるOpen Allianceによる通信規格策定が進んでおり、各速度帯の通信評価方法と、その規格値が定まっている (表1)。イーサ用部品 (電線、コネクタ、ハーネス) は、これら厳しい通信規格を満たす必要がある。

表1 イーサ各速度帯の規格化状況

通信速度 [bps]	100M	1G	マルチギガ (2.5G/5G/10G)
電線	UTP (非シールド撚線)	UTP/STP (シールド撚線)	STP
IEEE標準化	IEEE802.3bw ('16/3月発行)	IEEE802.3bp ('16/9月発行)	IEEE802.3ch ('20/6月発行)
Open Alliance標準化	TC2 (OABR) ('14/11月発行)	TC9 ('18/1月発行:UTP '20/6月発行:STP)	TC9 ('23/3月発行)

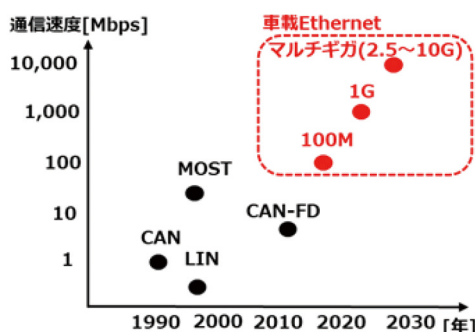


図1 車載ネットワークの通信プロトコル

当社は、イーサは今後車載ネットワークの基幹通信プロトコルとなり、ワイヤハーネスにおいても重要部品になっていくと考えており、積極的に開発を進めている。

今回、100Mイーサ規格への適合検討と、部品開発への取組について報告する。

2. 既存部品による100Mイーサ適合検討

まずはコスト観点より、既存のCAN用部品を用いた検討をおこなった。CANは、差動伝送方式^{*2}のため、電線は非シールド撚り線 (Unshielded Twist Pair, 以下UTP線)、コネクタは端子を樹脂ハウジングに挿入する、一般的な車載コネクタを用いている (写真1)。

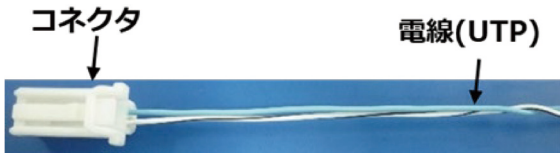


写真1 CAN用電線、コネクタ

CAN規格と、100Mイーサの通信規格であるOpen Alliance TC2 (以下TC2) を比較した (表2)。CANと100Mイーサでは、伝送速度が100倍異なるため、部品の通信規格も大きく異なっている。まず、CANの伝送特性^{*3}は、電線の差動特性インピーダンス^{*4} (以下CIDM) のみ規定され、その適合範囲も広い (95~140Ω) のに対し、TC2では電線、コネクタ、ハーネス毎に規定され、CIDM適合範囲も狭い (100±10Ω)。また、伝送特性は、CIDMの他にRL^{*5}、IL^{*6}、モード変換^{*7}が規定されている。さらに、隣接ハーネスとのクロストーク特性^{*8}も規定されており、CANと比べ厳しい通信規格となっている。

表2 CANと100Mイーサ (TC2) の通信規格比較

		CAN	100Mイーサ	
通信規格		ISO11898 ISO11519	IEEE802.3bw Open Alliance TC2	
伝送速度		1Mbps	100Mbps	
部品		電線	電線	コネクタ ハーネス
伝送特性	CIDM	95~140Ω 140Ω Fail CIDM [Ω] Pass 95Ω Fail	100±10Ω CIDM [Ω] Fail 110Ω Pass 90Ω Fail 適合範囲小	
	その他	規定なし	RL/IL モード変換	
クロストーク特性		規定なし	規定なし	規定あり

上記CAN用電線、一般コネクタを用い、TC2の各評価形態 (図2) で、ネットワークアナライザを用いた伝送特性、クロストーク特性の評価を実施した。

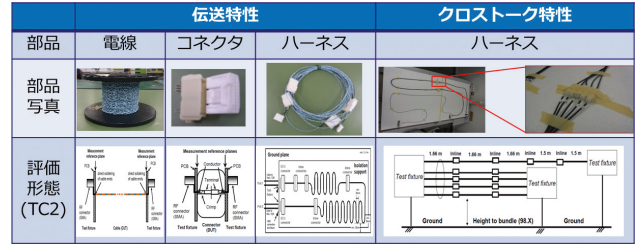


図2 評価部品写真とTC2規格評価形態

まず、伝送特性については、UTP線はCIDMが高めになっており、TC2規格に適合していないことがわかった。適合させるには電線の撚りピッチの縮小が考えられる。また、コネクタについてもCIDM増大が見られた。コネクタのCIDM増大は、電線の撚りを解いて端子を接続する撚り解き部の影響が大きいと考えられ、TC2適合のためには撚り解き部の縮小が必要となる。次に、クロストーク特性についてもTC2規格NGとなっており、電線間や、コネクタ信号端子間の離隔距離を広くとる必要があることがわかった (図3)。

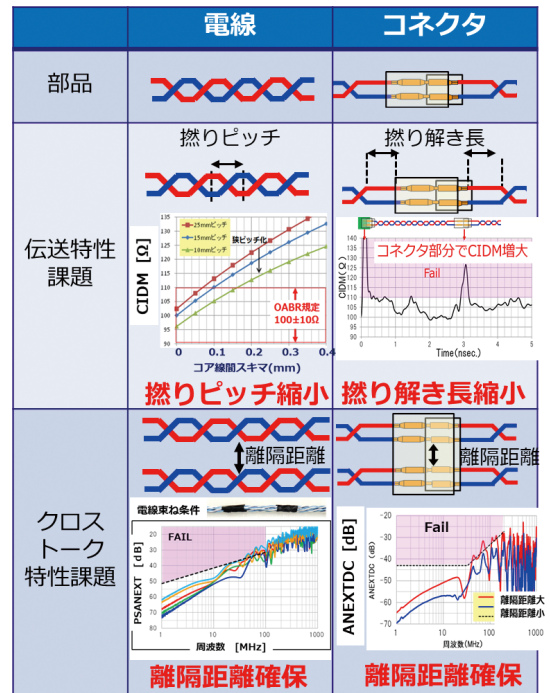


図3 CAN用部品のTC2適合課題

以上の検討により、既存のCAN部品を100Mイーサ用に使いこなすことは難しく、専用部品が必要であると判断した。

3. 100Mイーサ部品の開発

TC2に適合する専用部品（電線、コネクタ）開発を実施した。また、自動車部品としての量産性確保のための端末加工技術検討や、TC2に適合する通信性能を予測し得るCAE解析技術開発、通信性能評価技術開発にも取り組んだ。

3-1 電線

写真2に開発した100Mイーサ電線を示す。二本の電線を撚り合わせたツイストペア線に、ジャケットを被覆することで、周囲環境の影響を低減している。ジャケット被覆によって特性変動を抑え、車載環境においてもTC2の厳しい伝送特性基準を満足することができる。さらに当社では、誘電率の小さい空気層を含む、中空ジャケット構造でツイストペア線を安定して抑え込む製造を確立した。これによって、電線外径2.5mmと細く、柔軟であり、取り扱い性に優れた100Mイーサ電線を開発した。

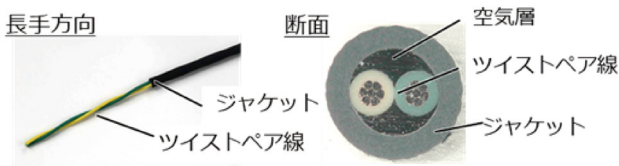


写真2 100Mイーサ電線 (ジャケット付き UTP)

3-2 コネクタ

コネクタの伝送特性向上には、撚り解き長の縮小が必要となる。撚り状態でCIDM整合しているUTP線では、電線と端子を接続する撚り解き部において、CIDMが上昇し、伝送特性が悪化する。一般コネクタでは、樹脂ハウジングへの端子挿入、及び挿入確認のために撚り解き長が長くなるため(図4)、その縮小が必要となる。そこで、電線のジャケット剥ぎ長とCIDM上昇値の関係から、目標となる撚り解き長を算出し(図5)、目標撚り解き長以下となるコネクタ構造として、電線が接続された端子を樹脂モジュールで挟み込むモジュール構造を採用した(図6)。また、他のコ

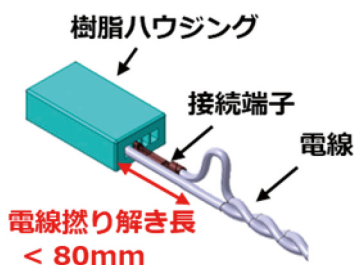


図4 一般コネクタの撚り解き長

ネクタ伝送特性、及びクロストーク特性にも適合するように、CAE解析、性能評価で形状決定した。

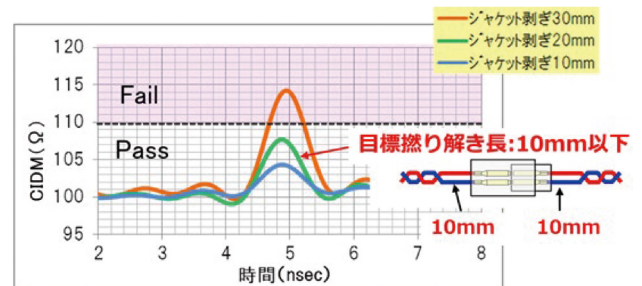


図5 目標撚り解き長の算出

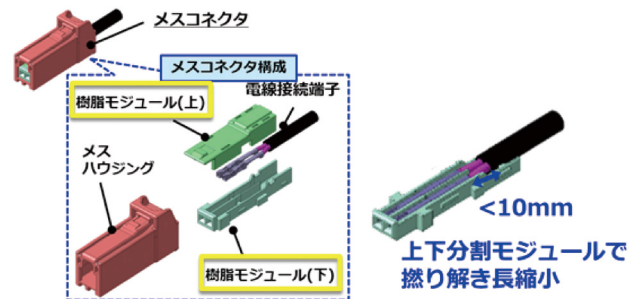


図6 コネクタのモジュール構造

3-3 端末加工技術

コネクタ、ハーネス加工時の伝送特性変動を抑制し、保持強度等ハーネスに求められる性能を保證する加工方法についても検討をおこなった。また、ハーネスメーカーで加工しやすいコネクタ構造、加工方法と性能保証の両立を目指した。

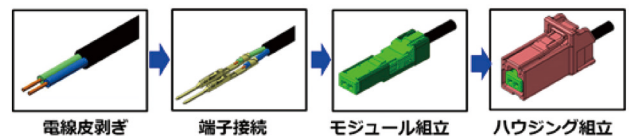


図7 端末加工工程

3-4 CAE解析技術

高速通信部品の通信性能設計には、CAE解析（高周波電磁界解析）による性能予測が必須となる。当社では、電線、コネクタの部品設計時に留まらず、部品、加工公差による

特性の変動をCAE解析で事前予測し、量産部品で規格適合するための性能保証ツールとして活用できるようにした。

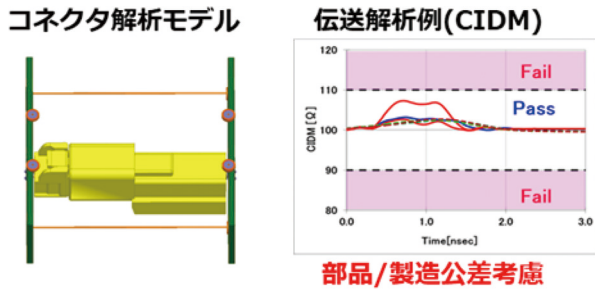


図8 CAE解析例（コネクタ、CIDM、公差考慮）

3-5 通信性能評価技術

車載イーサネットの各規格(IEEE, Open Alliance TC2, TC9)の伝送特性、クロストーク特性、及びシールド特性について、設備、治具、ノウハウを習得し、社内の評価環境を構築した。これにより、各規格の適合検証を効率的におこなえるようになった。更に、当社製品をワイヤハーネスに組み込んだ際、電線抱き込みや車両運用上想定される環境条件による伝送特性の劣化要因を検証・分析し、対策を一早く製品開発に取り入れることが可能になった。

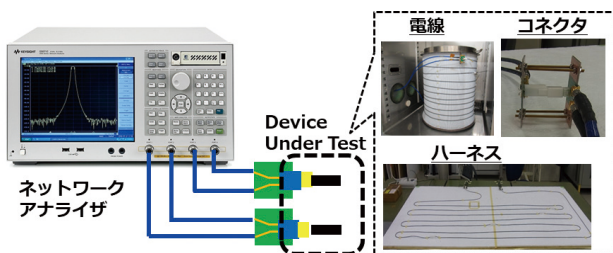


図9 通信性能の評価環境例

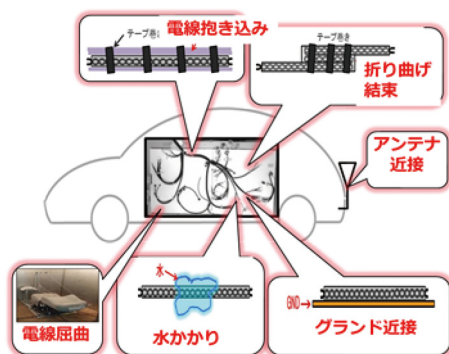


図10 車載環境による性能劣化要因

4. TC2通信特性評価結果

写真3に100Mイーサ部品（電線、コネクタ）を示す。

本部品を用い、電線、コネクタ、ハーネス携帯でTC2の伝送特性、クロストーク特性評価を実施した（図11、図12）。全ての部品形態で各特性の規格値内（赤がNG領域）に収まっており、100Mイーサの通信規格Open Alliance TC2に適合できていることを確認した。

電線	コネクタ			
	PCB (1対)	PCB (4対)	Wire (メス1対)	Wire (中継オス)

写真3 100Mイーサ部品（電線、コネクタ）

	電線	コネクタ (PCB/Wire)	ハーネス (15m4中継)
測定形態			
CIDM			
RL			
IL			
LCL			
LCTL			

図11 TC2伝送特性評価結果（電線、コネクタ、ハーネス）

	PSANEXT	PSACRF	ANEXTDC	AFEXTDC
測定形態				
測定形態				

図12 TC2クロストーク特性評価結果（ハーネス）

5. 結 言

今回、100Mイーサ規格 (Open Alliance TC2) へのCAN用部品の適用検討と、新規部品開発への取組を紹介した。

車載イーサネットは、100Mを皮切りに1G、マルチギガ (2.5G/5G/10G) の高速化ニーズがあり、各速度帯への部品対応を検討中である。

今後、より高速化する車載高速通信部品に対し、“CAE解析を用いた通信設計/部品設計/工法開発/通信評価技術”による高速・高周波対応を進め、効率的な製品開発を推進する (図13)。

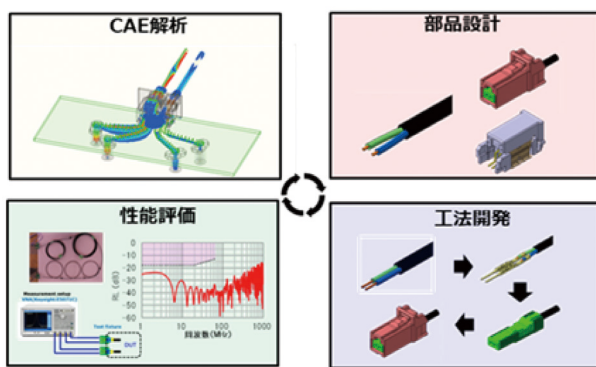


図13 高速通信部品開発サイクル

用語集

※1 CASE

「Connected (コネクテッド)」「Autonomous (自動運転)」「Shared & Service (シェアリング)」「Electrification (電動化)」の4つを表し、自動車の概念を変えと言われる新しい技術革新が起きている領域。

※2 差動伝送方式

2本の信号線を1対の伝送線路として用いる方式で、電線は撚線となる。2線路間に位相の半分ずれた高周波信号を流すことで、外部から印加されたノイズをキャンセルできる、耐ノイズ性能に優れた信号方式である。

※3 伝送特性

高周波信号の伝送路通過時に受ける損失量を表し、高速通信部品 (電線、コネクタ) の性能を示す。通信で使用する部品は、伝送特性がその通信規格に適合する必要がある。

※4 差動特性インピーダンス

(CIDM: Characteristic Impedance Differential mode) 差動伝送路内の高周波信号の流れ難さを示す量で、伝送路各断面の信号線断面積や2線路間隔、周辺の誘電率で変化する。イーサでは伝送路間の基準値を100Ωに設定しているが、電線やコネクタでCIDMが基準値からずれるとIL、RLの悪化に繋がる。

※5 RL

(Return Loss: 反射損失) 高周波信号の伝送路通過時に起きる信号反射量を示し、主にコネクタ、電線のCIDMずれに依存する。

※6 IL

(Insertion Loss: 挿入損失) 高周波信号の伝送路通過時に起きる信号減衰量を示し、主に電線の性能や電線長、CIDMずれに依存する。

※7 モード変換

(LCL: Longitudinal Conversion Loss, LCTL: Longitudinal Conversion Transmission Loss) 差動信号が同相信号に変換される量を示す。モード変換が悪い部品はノイズの影響を受けやすいことを示す。

※8 クロストーク特性

(PSANEXT: Power Sum Alien Near End Crosstalk loss, PSACRF: Power Sum Attenuation to Alien Crosstalk Ratio Far End, ANEXTDC: Alien Near End Cross conversion loss Common to Differential, AFEXTDC: Alien Far End Cross conversion loss Common to Differential) 伝送路の信号が周囲の伝送路に漏洩する損失量を示す。特にPCBの多対コネクタが悪化要因となる。

参考文献

- (1) 一般社団法人 JASPAR, 第31回 JASPAR 活動報告会_次世代高速LAN WG 活動報告 (2021)
- (2) (株)インプレス、internet watch、「自動車用ネットワークの標準化 (1)」(2023)
<https://internet.watch.impress.co.jp/docs/column/nettech/1467451.html>
- (3) Open Alliance, BroadR-Reach® Definitions for Communication Channel Version 2 (2014)

執 筆 者

吉田 和弘* : (株)オートネットワーク技術研究所
部長補佐



上柿 亮真 : (株)オートネットワーク技術研究所
グループ長補佐



出口 善晴 : 住友電装(株) 主席



平松 浩幸 : 住友電装(株) グループ長



加藤 清 : 住友電装(株) 部長



近藤 明秀 : 住友電装(株) グループ長



*主執筆者