

車載用シールド付きツイストペアケーブルの開発

Development of Shielded Twist Pair Cable for Automobiles

光地 伸明
Nobuaki KOCHI

河田 正義
Masayoshi KAWATA

坂本 喬
Takashi SAKAMOTO

乗用車の自動運転技術が高度化されるにつれ、センサーや ECU 等の機器間の通信データの高速・大容量化が必須となっている。従来のシールド付きツイストペアケーブルでは十分なデータ容量を高速で伝送ができず、ケーブルの伝送速度向上が求められている。当社では、この自動運転技術に欠かせないケーブルとして、ケーブル外径が 4 mm の高速伝送可能なシールド付ツイストペアケーブルを開発した。

With the advancement of autonomous driving technology in automobiles, it has become essential to increase the speed and capacity of data communication between devices such as sensors and ECUs. However, the transmission capacity of conventional cables is not sufficient to transmit sufficient data at high speed, and there is a need to improve the transmission speed of cables. We have developed a shielded twisted pair cable with an outer diameter of 4 mm, which can be used for high-speed data transmission as an essential cable for autonomous driving.

1. はじめに

近い将来 ADAS (先進運転支援システム) が進化し、自動運転レベルが向上してくる¹⁾と、カメラやセンサーと ECU 間を結ぶ伝送ケーブルに求められる要素の一つにデータの大容量高速伝送が考えられる。これらの自動運転技術で使用されるデータが画像や動画であり、かつ遅延が許されないため、大容量のデータを高速に短時間で伝送できることが必要不可欠である。このような要求は、センサーや制御装置の処理能力向上に加え、機器同士を接続するケーブルにも当てはまる。つまり機器が作動するまでの時間をできるだけ短くし、人間が行う動作と限りなく同じスピードにし、センサーや制御装置の能力を最大限に生かし、かつ活用できるケーブルが必要とされている。

将来の車載システムでは、現在一般的に用いられているアプリケーションごとの機能分散型 ECU から、機能ごとに整理されたドメイン・アーキテクチャに向けた ECU の統合化が進み、さらに、中央に配置された高性能な ECU を有するブレインコンピュータへの通信を車載 Ethernet で行うゾーン・アーキテクチャが主流となるといわれている²⁾。統合 ECU やゾーン・アーキテクチャの構造になると、さらに、機器同士を接続するケーブルに大容量伝送、高速伝送、リアルタイム性が求められる。

また、膨大なデータの伝送が必要となってくる背景から、車載 Ethernet の規格も高速化対応が進んでいる。IEEE では、2020 年に伝送速度 2.5 Gbps・5 Gbps・10 Gbps の規格“IEEE802.3ch”が制定され、ケーブルの性能向上が必須となってきたことが分かる^{3), 4)}。

一般的には大容量伝送や高速伝送化するには、使用する導体径を大径化すること、ケーブルの本数を増やすことで可能となる。しかしながら、使用電力量の増加、配策スペースの制限など、搭載するうえでの問題が発生するため、ケーブル外径をできる限り細くしながら、高速伝送を実現させる必要がある。

さらに、コネクタ加工性、取り回し性を考慮すると従来の差動伝送用ケーブルと同様な構造が望ましいと考えられる。

我々はシールド付ツイストペアケーブル (以下 STP ケーブル) の構造でありながら、従来のケーブル外径を維持したまま、伝送特性を向上させ、最新の車載 Ethernet 規格“IEEE802.3ch”に適合したケーブル、さらに、今後の要求を見据え、大容量伝送や高速伝送が可能なケーブルを開発したので報告する。

2. 開発品の構造

STP ケーブルは図 1 に示すように、導体上に絶縁体を被覆した絶縁線を対よりし、遮へいを施したケーブルである。開発したケーブル構造例を表 1 に示す。

表 1 開発品構造例および設計値

構造	導体、対数	26 AWG × 1 対
	絶縁	ポリオレフィン
	押え巻	プラスチックテープ
	遮蔽	2 重遮蔽 (遮蔽テープおよび編組)
設計	シース	耐熱耐燃ポリオレフィン or 塩化ビニル
	ケーブル外径	4.0 mm
	特性インピーダンス	100 Ω

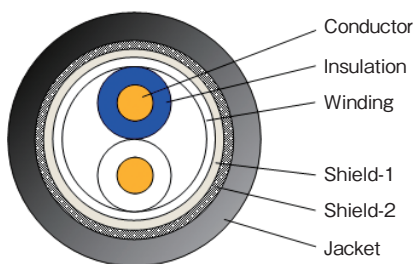


図1 開発品参考断面図

3. 開発品の特性

3.1 挿入損失の低減

高速伝送を実現するためには、高周波領域においても伝送信号の減衰が無く、伝送可能にする必要がある。しかし、入力信号の周波数が高くなるほど、電流が表面に集中する現象“表皮効果”が起こるため、高周波領域の伝送信号が減衰する。表皮効果は、周波数に対する伝送表皮深さ「スキンドープス」として、以下の式で成り立つ。

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}}$$

δ : スキンドープス [m]
 ρ : 体積抵抗率 [$\Omega \cdot m$]
 ω : 角振動数 [rad/s]
 μ : 透磁率 [H/m]

上記式を基に、高周波領域における導体断面に対する交流の電流密度の状態を確認するため、電磁場解析（動磁場解析）のシミュレーションにて、電流密度の可視化・数値化を試みた。シミュレーションにて得られたコンター図を図2に示す。

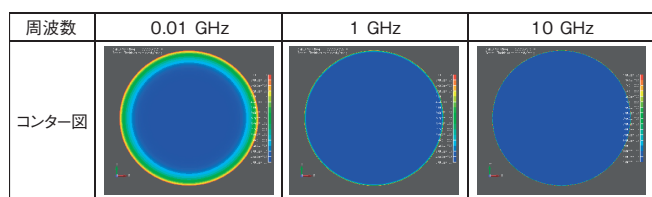


図2 電流密度コンター図

体積抵抗率 1.72×10^8 [$\Omega \cdot m$] の銅導体の場合、0.01 GHzで表層から約 $21 \mu m$ まで、1 GHzでは $2 \mu m$ までの表層部の電流密度が高い。つまり、より高周波の伝送となると、信号は導体の表層部でほとんど流れることとなる。今回のシミュレーションの結果から、高周波の信号を損失なく伝送するためには、表層部の凹凸が少ない導体を使用する必要があることがわかり、導体設計に反映した。

また、特性インピーダンスが長手方向もしくは局所的に外れた部分が存在すると、減衰量が悪くなる傾向がある。

特性インピーダンスを安定化させるには、対よりピッチ長さの変動や導体と遮へい間の距離の変動などをできるだけ小さくする必要がある。

特性インピーダンスの安定化のため、ケーブル製造条件を最適化させた。これにより、長手方向の対よりピッチ長さの変動や導体と遮へい間の距離の変動を最小化させることができ、各種の変動を最小化することにより、低損失化が実現できた。図3に低損失化検討を行っていない従来品と先に挙げた項目を改善した挿入損失低減品の挿入損失の比較結果を示す。なお、損失の測定はベクトルネットワークアナライザにより行った。

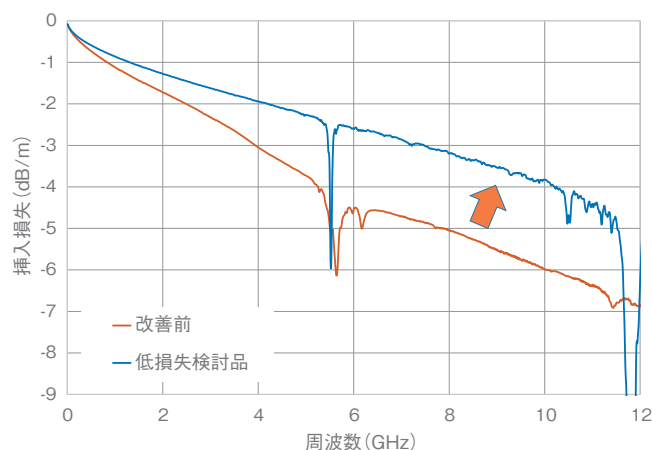


図3 低損失化の実現

3.2 伝送特性 サックアウトの改善

3.1項にて低損失化が実現できる可能性を見出したが、差動伝送ケーブルは、ある特定周波数において、急激な減衰量が落ち込む現象“サックアウト”が発生する問題がある。このサックアウトも、高周波で使用できない原因の一つである。

サックアウトは送信信号の周波数と反射した信号の周波数の共振で発生する。対よりピッチ長さおよび遮へいテープのらせん巻きによる周期的構造が、サックアウトの主な原因となるため、対よりピッチ長さの最適化、遮へいテープ材料・材質の設計、巻付け方法の最適条件を見出し、サックアウトの発生を10 GHzより高周波側へシフトさせた。

サックアウト改善前後の挿入損失およびIEEE802.3chの規格値を図4、サックアウトを高周波側へシフトさせた改善前後の反射減衰量とIEEE802.3chの規格値との比較の結果を図5に示す。

開発したケーブルは、挿入損失および反射減衰量双方ともIEEE802.3chの規格値を十分満足し、かつ、サックアウトが高周波側にシフトした結果が得られている。

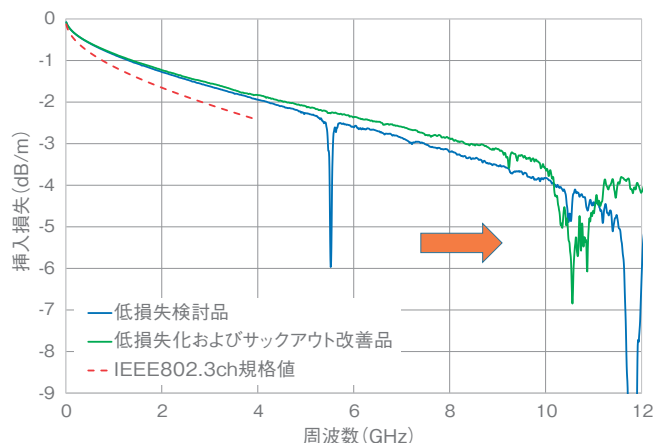


図4 サックアウトの改善 (挿入損失)

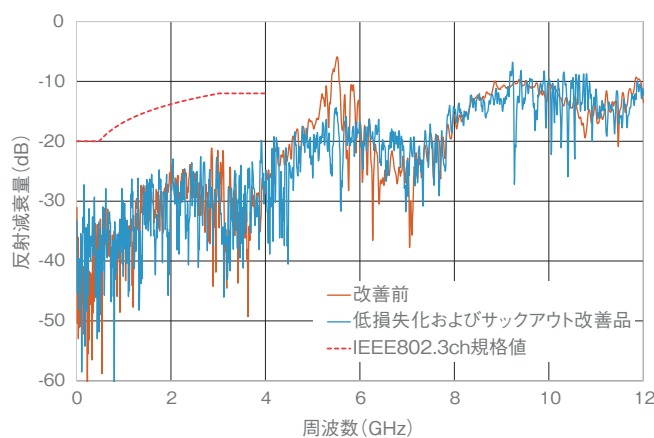


図5 サックアウトの改善 (反射減衰量)

3.3 低対内スキュー

STPケーブルは対より構造であり、2本の信号線で信号を伝送している。信号線を通る信号の速さの逆数を伝搬遅延時間といい、一般的なSTPケーブルの場合、2線間での信号伝搬の時間差が発生する。これを「対内スキュー」と呼び、対内スキューが大きくなると入力した信号が出力側では乱れた伝送状態となるため、伝送性能が悪化する傾向がある(図6)。

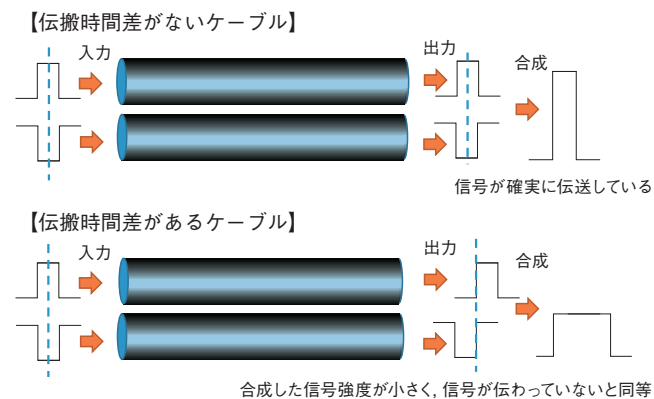


図6 伝搬時間の概念図

対内スキューを低減させるには、ツイストペアのコア線の長さの差をできるだけ少なくすることが必要である。具体的には、絶縁線心の外径変動を減らすこと、対より時の2本のコア線張力を合わせ、ピッチの長さ変動を無くすことであり、上記2項目について、ケーブル製造条件を最適化することにより、低対内スキューを達成した。表2に開発品の対内スキュー結果を示す。

表2 開発品のスキュー

	従来品	開発品
対内スキュー	約 10 ps/m	5 ps/m 以下

4. まとめ

開発したSTPケーブルは、ケーブル外径4mmでありながら、最新規格“IEEE802.3ch”の特性を満足した。

さらに、今後の大容量伝送や高速伝送の要求を見据え、低損失かつ10GHzまでサックアウトが無く、低対内スキューを達成し、高速伝送特性を向上させた。

本ケーブルは、規格適合に留まらず、次世代の車載イーサネットへの適用が期待でき、自動運転化促進に貢献できる。

参考文献

- 1) 株式会社富士キメラ総研：車載伝送デバイス&コンポーネンツ総調査2021(上巻)〈システム、デバイス編〉
- 2) 株式会社富士キメラ総研：車載伝送デバイス&コンポーネンツ総調査2021(下巻)〈ECU関連デバイス編〉
- 3) 河田正義 他：高速LAN配線の最新動向、昭和電線レビュー、vol.67(2021)
- 4) IEEE：IEEE Std 802.3ch-2020: Multi-Gig Automotive Ethernet PHY

英語略称

- 1) ADAS：Advanced Driving Assistant System
- 2) ECU：Electronic Control Unit
- 3) STP：Shielded Twisted Pair Cable

昭和電線ケーブルシステム(株)
光地 伸明 (こうち のぶあき)
技術開発センター 先行技術開発課
先行技術開発・商品開発に従事

富士電線(株)
河田 正義 (かわた まさよし)
甲府工場 工場長
通信用ケーブルの設計・開発に従事

元 青森昭和電線(株)*
坂本 喬 (さかもと たかし)
技術課 課長
通信用ケーブルの設計・開発に従事
*) 同社は2021年12月末付で解散