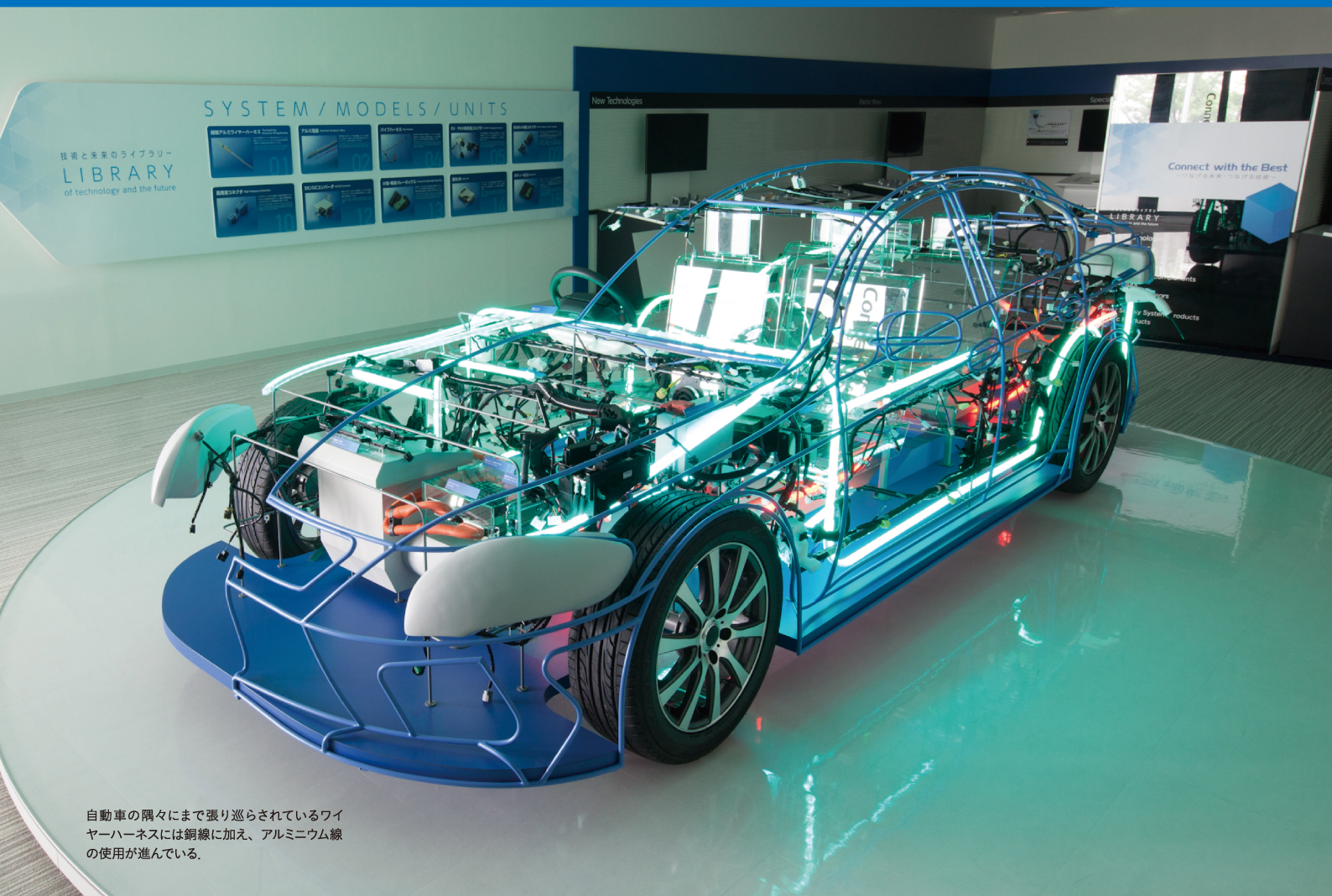


新世代の自動車で 重要な役割を果たす ワイヤーハーネス



自動車の隅々まで張り巡らされているワイヤーハーネスには銅線に加え、アルミニウム線の使用が進んでいる。

「ワイヤーハーネス」は自動車の血管や神経に例えられる重要な部品である。自動車に搭載される電装品の増加とともに、ワイヤーハーネスの使用量も増加している。近年、地球温暖化対策としてのCO₂削減ニーズが世界的に高まっている。自動車においても燃費向上がこれまで以上の課題になっており、そのためには車体の軽量化が必要で、ワイヤーハーネスにも軽量化が求められている。また、自動運転への対応などでもワイヤーハーネスには新たな性能が求められている。ここでは、新世代の自動車でも重要な役割を果たすワイヤーハーネスについて紹介する。

安全で快適な走行を支える

エンジンやブレーキなど、「走る」、「曲がる」、「止まる」という自動車の基本性能の制御系機器、ヘッドライトや方向指示器などの安全系機器、エアコンなどの車内環境を快適にする機器に加え、カーナビゲーションシステムや後部座席のテレビなどの情報系機器など、自動車には多彩な電装品が搭載されている。これらの電装品に必要な電力を供給したり、モーターなどの制御、各種センサーとの信号のやり取りなどを担うワイヤーハーネスは、自動車の血管と神経に例えられる重要なパーツである（図1）。

このワイヤーハーネスは自動車の天井から床下まで、目に見えないさまざまな場所に張り巡らされている（図2）。

自動車の利便性と快適性を向上させるため、1950年代からスターター、ワイパー、パワーウィンドウなどの電動化が進んだ。さらに1960年代以降、トランジスタ、IC、マイコンなどが、レギュレーター、イグナイター（点火装置）の電子化や、ABS（Anti-lock Brake System）の搭載を実現した。これに伴いワイヤーハーネスの質量や搭載容積は増加し続け、設計上の課題になっていた。このため、1980年代からは車載LAN（Local Area Network）の導入による配線数の削減が進められている⁽¹⁾。

車種によって異なるが、1台の自動車に搭載されるワイヤーハーネスのケーブル数は2000本以上になるといわれている⁽²⁾。また、その総延長は2~3 kmにおよび、質量は合計20~30 kgになるといわれる⁽³⁾。



図1 ワイヤーハーネスの例。

ワイヤーハーネスは、電線、端子、コネクタ、結束帯などから構成されている。

高まるワイヤーハーネスの軽量化ニーズ

近年、SDGsや地球温暖化対策への関心が世界的に高まる中、運輸分野ではこれまで以上に燃費の向上が求められるようになってきている。これに対応するためには車体の軽量化が有効な対策の一つであり、ワイヤーハーネスに対しても軽量化が求められている。ワイヤーハーネスの全質量に占める電線質量は一般的に60~70%といわれる（図3）。電線の軽量化としては従来から、システム統合により電線本数を削減する「省線化」、電線径を細くする「細線化」、電装部品間を最短で接続する「短線化」などの取り組み

が行われてきた⁽⁴⁾。また、ケーブルの絶縁体の薄肉化などによる軽量化も行われてきた。しかし、一層の軽量化を実現するためには、より軽量の導電材料を使用する必要があった。

その他の車載部品の隙間を縫うように設置されるワイヤーハーネスは、取り付け時にはさまざまな形状に曲げられるため、電線（芯線）となる材料には十分な強度が求められる。さらに耐振動性や耐熱性なども要求されることから、電線やコネクタなどには銅合金が用いられてきた。

しかし、近年の銅価格の高騰を背景の一つとして、銅の使用量の削減や、代替材料への移行が推し進められている⁽⁵⁾。

そこで注目された素材が、導電率が銅の約60%であるものの、比重が銅の約半

図2 ワイヤーハーネスの種類。

さまざまな機器を接続するために、ワイヤーハーネスは、自動車の隅々まで設置されている。

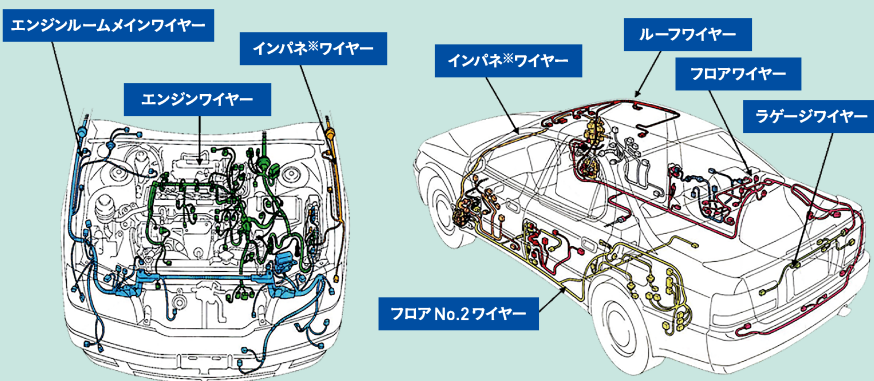
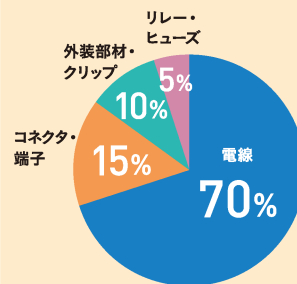


図3 ワイヤーハーネスの構成部品別重量比率の例⁽⁴⁾。

ワイヤーハーネスは、電線、コネクタ・端子、外装部材・クリップ、リレー・ヒューズから構成されている。



分で加工性にも優れているアルミニウムであった。

アルミニウム線を実装するための技術革新

アルミニウム線をワイヤーハーネスで使用するためには、銅線と同等の強度（引張強さ）と電気伝導性を両立したアルミニウム合金の開発、電線と端子の電気接続における信頼性の確保、異種金属の接触腐食への対策の3つを実現する必要があった。

ワイヤーハーネスでは細い金属線を束にしたものが電線として使用されることから、曲げに対する柔軟性と、振動に対する耐久性を兼ね備えた新たなアルミニウム合金が開発されている（図4）。

一般的な工業用純アルミニウム（1060：純度99.6 mass%）は、導電率は62 % IACS^(注1)であるが、軟化後の引張強さが70 MPaと低い。ワイヤーハーネスに使用するアルミニウム線の開発においては、低圧電源に使用される0.5 mm²サイズの銅電線を置換可能な物性として、0.75 mm²サイズで引張強さ110 MPa、導電率58 % IACSが目標値とされた⁽⁶⁾。

この新しいアルミニウム合金の開発では、導電率低下を抑えながら強度を向上させるための添加元素として、鉄が選定された。しかし、鉄の添加量が増加すると加工性が低下するため、鉄の一部をマグネシウムで置換することにより、強度の向上が図られた。また、軟化処理によって導電率が低下することが分かったことから、処理条件の最適化が行われた。こうして、導電率60 % IACS、引張強さ120 MPaを実現したアルミ

ニウム合金、Al-1.05 mass% Fe-0.15 mass% Mgが完成した。

また、エンジンルームで用いられるものより高い引張強さである250 MPa以上と導電率50 % IACSを達成した熱処理型（析出強化型）のアルミニウム合金、Al-0.5 mass% Mg-0.4 mass% Siも開発されており、室内やドアのハーネスにおいて用いられている（図5）⁽⁷⁾。

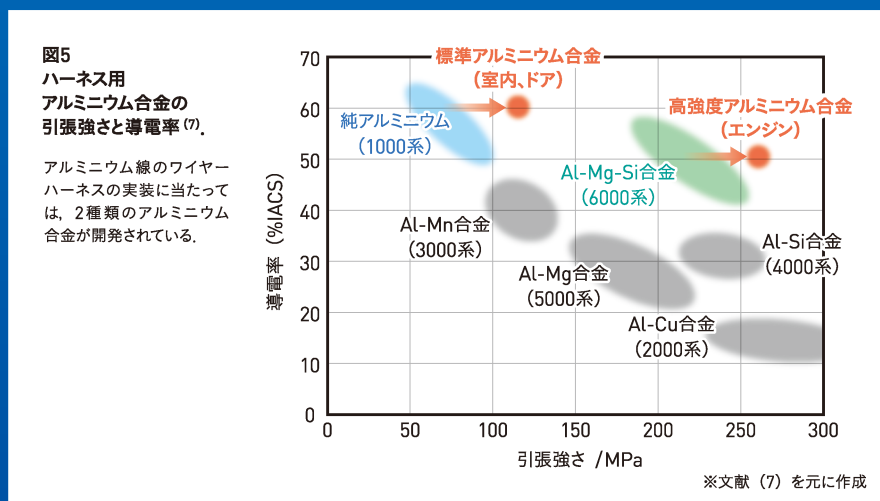
ワイヤーハーネスにアルミニウム線を実装する際の2つ目の課題が、端子と電線の接触抵抗の高さであった。従来の銅線と銅合金の端子の接合には圧着が用いられ、電線表面の酸化銅（Cu₂O）の導電率が10 S/cmであるのに対して、酸化アルミニウム（Al₂O₃）では導電率が10⁻⁷ S/cmであり、そのままでは接触部分に十分な導電性を確保することが難しかった。従来の銅線には接触抵抗を軽減するために「セレーション」と呼ばれる細い溝加工が施されていたが、酸化銅の硬度が160 Hvであるのに対して酸化アルミニウムは1800 Hvである。このセレーションの形状に工夫を加えることで圧着時に酸化被膜が破壊されやすくなり、十分な導電率が得られる新生面を露出させるようになっている（図6）。

この方式では従来の端子形状を変更する必要が無いため、既存の製造ラインを使用できるメリットもあるという。



図4 アルミニウム線を使用したケーブルの例。

曲げやすさや耐久性を確保するため、ケーブルは細線を撚り合わせて構成されている。



自動車の未来を支え

さらに、素線本数の多いアルミニウム電線には、超音波溶接や超音波半田を用いるなどして、十分な導電性を確保している。

3つ目の課題は、アルミニウムと銅という異種金属が接触する箇所^{おそれ}で生じる腐食である。これに対しては、塩水などの電解液の浸入を防ぐためにゲル状の新しい防食剤を開発したり、熱収縮チューブを使用することなどで対応している。

これらの技術開発の結果、アルミニウム線を用いたワイヤーハーネスは2010年頃から本格的に採用され始めている。国内外の自動車メーカーの多数の車種に搭載されているアルミニウムハーネスは、今後はワイヤーハーネスの主流になると予想されている。

新たなニーズに対応するワイヤーハーネス

今後のワイヤーハーネスへのニーズとしては、EVへの対応がある。バッテリーからモーターなどに大電流を安全・確実に供給するには、「太物電線」と呼ばれる断面積が大きい電線を使用し、高電圧にも対応したワイヤーハーネスが必要である。同時に、振動対策を新たに施した高圧コネクタの開発も求められる⁽⁸⁾。

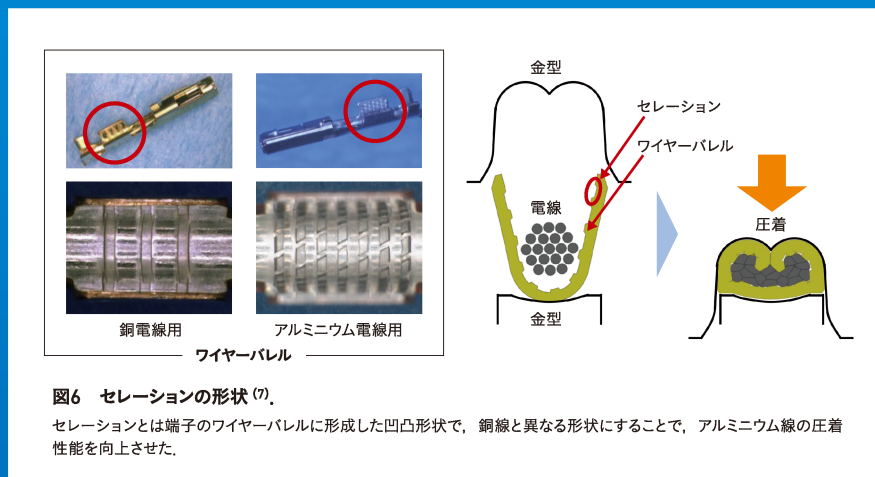


図6 セレーションの形状⁽⁷⁾。

セレーションとは端子のワイヤーパレルに形成した凹凸形状で、銅線と異なる形状にすることで、アルミニウム線の圧着性能を向上させた。

また、自動運転の実現のためには「X-By-Wire」への対応が重要である。「X-By-Wire」に明確な定義は無いが、一般的には「制御対象を電子信号を經由して制御すること」とされている。自動車におけるX-By-Wire技術はエンジンスロットル(Driving by wire)、ブレーキ(Braking by wire)などに採用され、現在では一般的な技術になっているが、今後は自動運転などに必要となるステアリングシステム(Steering by wire)への対応が進められることになろう。

現在、CASE^(注2)やMaaS^(注3)の導入など自動車の在り方は大きく変わろうとして

いる。自動車内で電力と情報を担うワイヤーハーネスの果たすべき役割は今後、ますます増大すると予想されるが、同時にワイヤーハーネスにも新たな性能が求められている。例えばさまざまな信号を伝送するために搭載されている車内LANには、軽量化に加えて高速通信、ノイズ対策やセキュリティ対策が求められるようになっている。

持続可能な社会の実現のためにも、ワイヤーハーネスには一層の技術開発が求められている。

画像提供(タイトル写真、図1, 2, 4, 6): 住友電気工業株式会社, 住友電装株式会社, 株式会社オートネットワーク研究所。

(注1) IACS (International Annealed Copper Standard)

国際的に採用された焼鈍標準軟銅の導電率 5.8×10^7 S/m (体積抵抗率: 1.7241×10^{-2} $\mu\Omega\text{m}$) を100% IACSとして、試験体の導電率を百分率で表現したもの。

(注2) CASE

Connected (コネクテッド), Autonomous (自動運転), Shared & Service (シェアリングとサービス), Electric (電動化) の頭文字をとった造語。

(注3) MaaS (Mobility as a Service)

地域住民や旅行者一人一人のトリップ単位での移動ニーズに対応して、複数の公共交通やそれ以外の移動サービスを最適に組み合わせて検索・予約・決済などを一括で行うサービス。

文 献

- 杉村竹三, 杉本薫: 古河電工時報, 132 (2013), 2-9.
- 中村篤: 銅, 181 (2016), 3-4.
- 吉本潤, 高木英男, 大塚保之: SUS FA MAGAZINE シング, 40 (2020), 17-20.
- 三好俊充, 下河内次生: マツダ技報, 32 (2015), 167-172.
- 住友電気工業株式会社広報部: id住友電工グループ・未来構築マガジン2, (2017), 2-9.
- 山野能章, 細川武広, 平井宏樹, 小野純一, 大塚拓次, 田端正明, 大塚保之, 西川太郎, 北村真一, 吉本潤: 住友電工テクニカルレビュー, 179 (2011), 81-88.
- 小林宏平, 宮本賢次, 伊藤貴章, 高田裕, 大井勇人: 住友電工テクニカルレビュー, 194 (2019), 8-13.
- 水谷美生, 橋本大輔, 釣田聡史, 桑原正紀: 住友電工テクニカルレビュー, 194 (2019), 24-28.

るワイヤーハーネス