

# アルミハーネス拡大に向けた開発

Development for Expansion of Aluminum Wiring Harness

小林 宏平\*  
Kohei Kobayashi

宮本 賢次  
Kenji Miyamoto

伊藤 貴章  
Takaaki Ito

高田 裕  
Yutaka Takata

大井 勇人  
Hayato Ooi

近年自動車のCO<sub>2</sub>削減要求が益々厳しくなり、ワイヤーハーネスの軽量化が切望されている。通常の銅電線の代わりにアルミ電線を使うことで高い軽量化効果が得られるが、低い導電率と引張強さ、強固な絶縁性酸化被膜、腐食が懸念点としてあげられる。この懸念点を払拭するため、導電率と引張強さを両立させたアルミ合金、強固な絶縁性酸化被膜があっても低い接触抵抗と電線保持力を維持できる電線の端末接続や分岐接続用圧着端子、端子の電線かしめ部の銅露出部に新防食剤を塗布することで腐食を防ぐ（防食）技術を新たに開発した。本稿では、これらの技術開発について報告する。

As the demand for the reduction of CO<sub>2</sub> emissions from vehicles is ever increasing, lightweight wiring harnesses have been in high demand. Effective weight reduction can be expected by replacing conventional copper electric wires with aluminum electric wires. However, aluminum wires have several drawbacks such as low electrical conductivity and low tensile strength, as well as the thick oxide film on the surface and galvanic corrosion. To solve these problems, we have developed an aluminum alloy with improved electrical conductivity and tensile strength. We have also developed a unique terminal and branching connection that maintains low contact resistance and sufficient wire retention force even though on a thick oxide film. We have established an anti-corrosion technology that prevents galvanic corrosion by coating a new anti-corrosive onto the crimped joint of the terminal. This paper explains respective solutions in detail.

キーワード：アルミ電線、圧着、ワイヤーハーネス、自動車、防食

## 1. 緒 言

近年益々厳しくなる自動車排出CO<sub>2</sub>規制により、軽量化ニーズが更に高まってきた。また銅の価格が高騰している。我々は、軽量化と低価格化を狙い電線導体を銅からアルミに置き換えるアルミハーネスの研究開発を2006年から進めている<sup>(1)</sup>。

我々は、自動車用アルミ電線として、標準アルミ電線と信号線およびエンジンハーネスに適用できる高強度アルミ電線などのラインナップ拡充を進めてきた。当社は更なるアルミ電線拡大に向けて、細物から太物まで対応できるアルミハーネスの基幹部品を開発した。アルミハーネスの自動車搭載を実現した電線、端子、防食の技術開発について報告する。

## 2. 自動車用アルミ電線の開発

### 2-1 開発経緯

アルミ電線の開発に着手した2006年当時、自動車電線へのアルミニウム適用は、主として欧州において太径バッテリーケーブルに僅かに適用されていたものの、一般的な細物電線には、極短期間のスポット的な搭載を除くと、恒久的な実績はなかった。

細物電線へのアルミ適用を目指し、SEIグループ4社で開

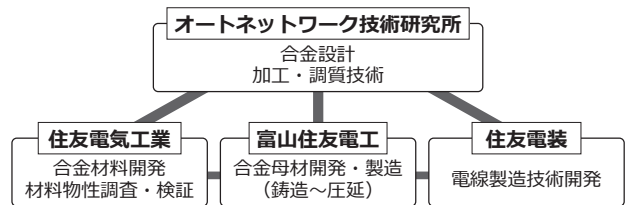


図1 アルミ電線の開発体制

発体制を構築し、総力を挙げて開発に臨んだ（図1）。

### 2-2 新規アルミ合金の開発

自動車用アルミ電線導体に用いる素材として、住友電工では、用途と要求性能により、標準アルミ合金と高強度アルミ合金の2種をラインナップしており、用途、適用部位、必要性能により選択適用している。

標準アルミ合金は、強度と導電性のバランスを取った合金である。導電性に優れる送電線用アルミニウム-鉄合金 (Al-Fe合金) に、強度を向上させるマグネシウム (Mg) を添加し、Al-1.05mass% Fe-0.15mass% Mg合金を開発した（図2）。

標準アルミ合金を用いた電線（以下、標準アルミ電線）は、導電率<sup>\*1</sup>60% IACSを維持しつつ、引張強さ120MPa

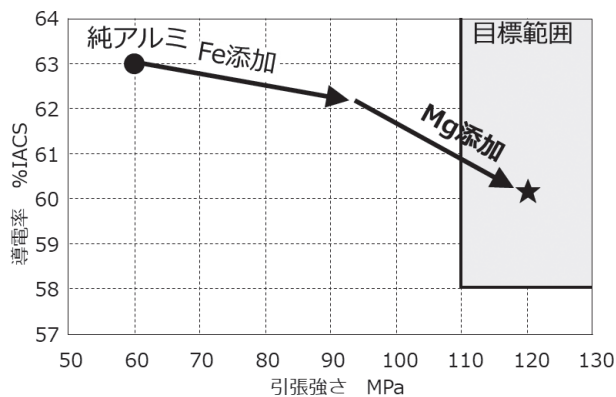


図2 標準アルミ合金の合金設計

を有し、従来軟銅電線に対して概ね1サイズアップでの置き換えが可能である。アルミニウムは銅 (Cu) に比べ比重が1/3であり、1サイズアップしても大幅な軽量化が可能である。

高強度アルミ合金は、軟銅以上の強度達成を目指した合金である。一般的には強度が高いアルミ合金は、伸びが低く靱性が乏しいため、ワイヤーハーネス加工時の大きな曲げによる破断が懸念されていた。そこで、強度と靱性のバランスを取るため、熱処理型合金<sup>\*2</sup> (析出強化型合金) であるアルミニウム-マグネシウム-シリコン系合金 (Al-Mg-Si系合金) を選定した (図3)。

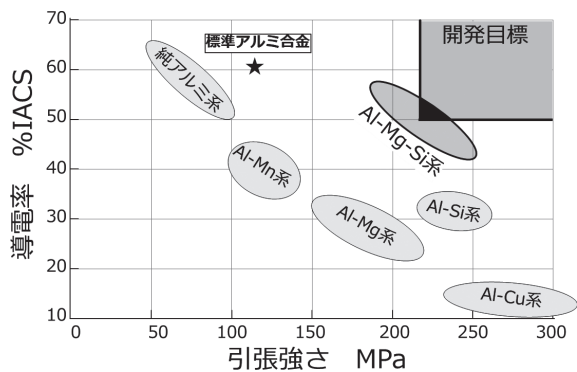


図3 高強度アルミ合金の選定と目標

軟銅以上の引張強さ250MPa以上と、伸び8%以上、導電率50% IACS以上を有する、高強度アルミ合金 (Al-0.5mass% Mg-0.4mass% Si) を開発した (図4)。

高強度アルミ合金を用いた電線 (以下、高強度アルミ電線) は、軟銅以上の強度達成により0.5mm<sup>2</sup>以下の細径線に適用可能となった。標準アルミ電線の適用と合わせ、ワ

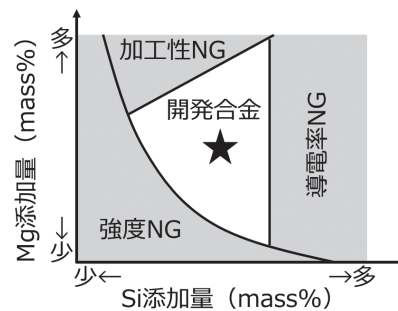


図4 高強度アルミ合金の成分最適化

イヤハーネスの大幅な軽量化が図れる。

### 2-3 アルミ電線のラインナップ

室内ハーネス用標準アルミ電線は2010年11月から、エンジンハーネスへ適用可能な高強度アルミ電線は2015年12月から、車両搭載されている。

現状、量産している電線種は、表1、表2の通りである。

表1 標準アルミ電線ラインナップ

構造			
導体	圧縮タイプ	標準タイプ	標準タイプ
絶縁	超極薄肉型	極薄肉型	厚肉耐熱
耐熱温度	80℃	80℃	120℃、150℃
電線サイズ	0.75~1.5mm <sup>2</sup>	2.0~2.5mm <sup>2</sup>	16~30mm <sup>2</sup>

表2 高強度アルミ電線ラインナップ

構造			
導体	圧縮タイプ	標準タイプ	フレキシブルタイプ
絶縁	超極薄肉型	極薄肉型耐熱	極薄肉型耐熱
耐熱温度	80℃	100℃	100℃
電線サイズ	0.35~0.5mm <sup>2</sup>	0.5mm <sup>2</sup>	0.35f~0.75fmm <sup>2</sup>

### 2-4 まとめ

2010年の初搭載以降、適用部位を拡大し、製造電線種も増加している。更なるアルミ電線の適用拡大のため、ISO規格に設定されている160mm<sup>2</sup>電線まで、すべて生産できる体制を整えている。

## 3. アルミ電線の接続工法

電線の接続は銅あるいは銅合金から製造された端子へ接続する端末接続と、複数の電線同士を接続する分岐接続と

がある。銅電線においては、図5に示すようにワイヤパレルというU字型の部位で電線を包み込みかきめる圧着という工法で接続を行う。

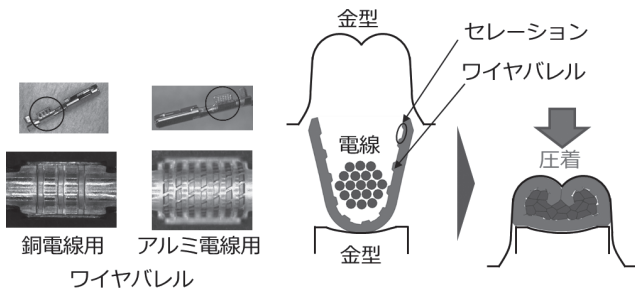


図5 圧着工法

しかし電線の材質がアルミとなることで圧着では必要な接続性能を満たすことができないケースが発生している。そこで新たにアルミ電線に対応した接続工法の開発を行った。

### 3-1 課題

まずアルミ電線の接続における課題について述べる。銅とアルミの母材と表面酸化膜<sup>\*3</sup>の物性を表3に示す<sup>(2)</sup>。アルミの酸化膜は強固かつ絶縁性であり接続を阻害する要因となっている。良好な接続を得るためにはこの酸化膜を破壊することが重要となる。

酸化膜を破壊する方法として端子のワイヤパレル内のセレーション<sup>\*4</sup>という凹凸を用いている。これまでは形状を工夫して十分なセレーション量を確保することで圧着によ

表3 銅とアルミの酸化被膜

導体材料	銅	アルミ
酸化被膜	Cu <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
導電率	10 S/cm	10 <sup>-7</sup> S/cm
硬度	160Hv	1,800Hv

接続部位	端末接続		分岐接続
	細物アルミ	太物アルミ	2本～
電線	素線本数少ない	素線本数多い	
圧着断面	 セレーションに接触し性能良好	 セレーションに接触しない素線が有り接触抵抗上昇	

図6 圧着接続の問題点

る接続を可能としてきた<sup>(3)</sup>。しかし太い電線の接続や複数の電線を束ねた分岐接続では図6に示すように端子のセレーションと接しない素線が発生するため、接触抵抗が上昇する問題がある。

### 3-2 超音波溶接

素線本数の多い太いアルミ電線の端末接続を実施するために、超音波溶接という工法を選定した。超音波溶接機の構造を図7に示す。

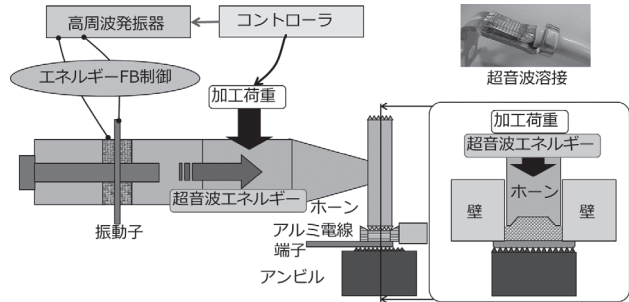


図7 超音波溶接機の構造

全ての素線を壁で囲いホーンと呼ばれるツールで荷重をかけながら超音波エネルギーを発振する。超音波エネルギーは酸化膜を破壊し、現れた新生面が直接固相接合<sup>\*5</sup>する。この接合を素線最上部から端子面まで行うことで非常に高品質な接続が実現できる。図8に示すように圧着では電線サイズの増加に伴いセレーションに触れない素線が増えて接触抵抗は悪化するが、超音波溶接は電線サイズに関係なく接触抵抗は非常に低く安定している。

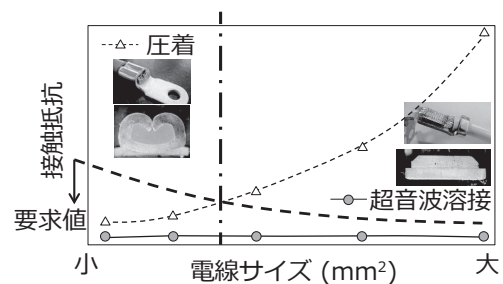


図8 電線サイズと接触抵抗

電動化車両のパワーケーブルなど、大電流で使用されるハーネスにおいて軽量化のためにアルミ電線を採用するケースが増えており、高品質な接続が可能な超音波溶接技術が必要になっている。

### 3-3 分岐接続用圧着端子

超音波溶接は分岐接続にも適用可能であるが、銅電線では3本以下の接続に圧着端子を用いることが多い。そこでアルミ電線にも適用可能な圧着端子を開発した。図9に示すようにワイヤバレルの中央にもう一枚のインナーバレルを備える構造となっており、従来通り圧着することで中央部だけバレルが2枚重なり高圧縮な状態を形成している。

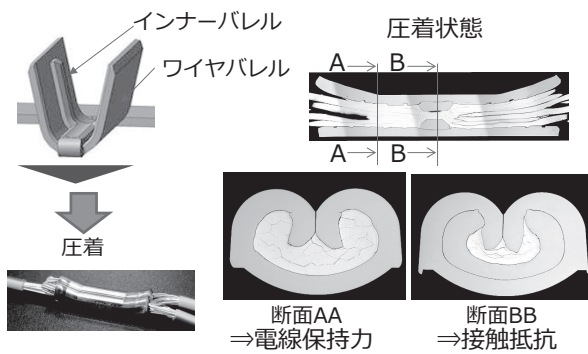


図9 アルミ電線用分岐接続端子

端子両側にある通常の圧着部では電線保持力を確保しているが、3-1項で述べたようにセレーションに接触しない素線があるため、接触抵抗が上昇してしまう。一方中央にある高圧縮部では大きな変形により酸化膜を破り冷間圧接<sup>\*6</sup>による素線同士の固相接合が発生している。圧着後に端子を分解した様子を図10に示す。通常の圧着では端子を分解すると素線同士は接続されておらずバラバラになるが、今回の端子では中央の高圧縮部で素線同士の接続が確認できた。

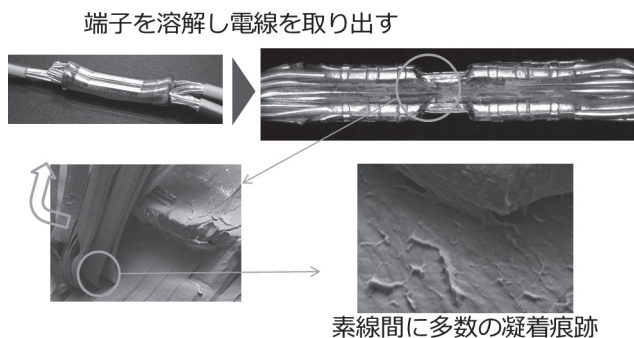


図10 高圧縮部の接続状態

高圧縮部で素線間を接合することで接触抵抗の大幅な改善に成功した。その結果、図11に示すように、通常の端子

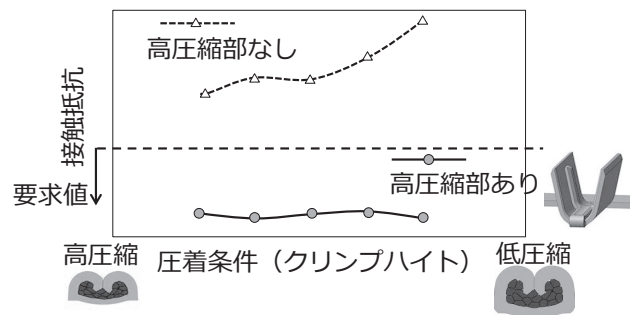


図11 高圧縮部の効果

では満たすことのできない接触抵抗の要求値を幅広い圧着条件で達成できることを確認した。

### 3-4 まとめ

今回新たに超音波溶接技術の確立と高圧縮部を備えた専用端子の開発により表4に示すようにあらゆる接続部位への対応が可能となった。今後これらの接続技術を活用し、アルミ電線の適用拡大に貢献していく。

表4 アルミ電線の接続工法

接続部位	端末接続		分岐接続	
	細物アルミ	太物アルミ	～3本まで	2本～
電線	圧着	超音波溶接	圧着	超音波溶接
接続工法	セレーションによる改善		高圧縮接続	
} 接続技術確立				

## 4. 防食技術

### 4-1 アルミと銅の異種金属接触腐食

電位の貴な銅と電位の卑なアルミが接触した部分に食塩水等の電解液が付着した時、銅が陰極、アルミが陽極となって電池を形成し、陽極側でアルミが溶出する現象を異種金属接触腐食と呼ぶ(図12)<sup>(4)</sup>。

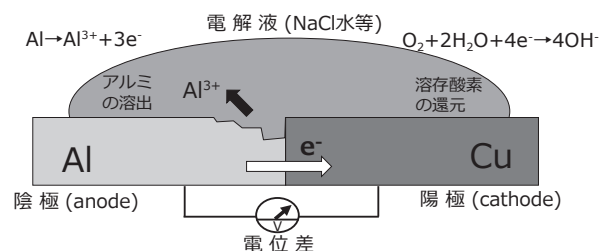


図12 銅とアルミの異種金属接触腐食



アルミ電線の端子かしめ部に電解液が付着した場合、前記と同様に異種金属接触腐食によってアルミ導体は完全に溶出する(図13)。電解液の付着でも容易にアルミの腐食が進行する<sup>(4)</sup>。

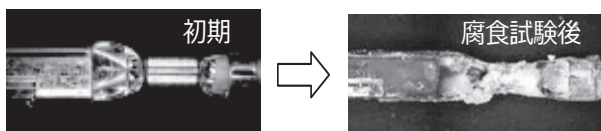
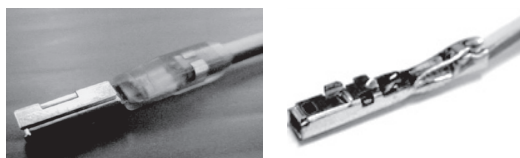


図13 アルミ電線圧着部の腐食挙動

#### 4-2 アルミ電線の既存防食技術と課題

当社はこれまで、熱可塑性樹脂や紫外線硬化樹脂を用いて圧着部を止水し、アルミ電線を防食する技術を量産化していた(図14)。



(左：熱可塑性樹脂、右：紫外線硬化樹脂)

図14 既存の防食手法

これらの技術は、硬質な樹脂でアルミを保護することによってアルミ導体の溶出を防ぐ手法である。しかし、これらの手法で処理された圧着線は、未処理の圧着線よりも外形寸法が大きくなり、既存のコネクタへ挿入できない圧着線が存在する。そこで当社は、圧着線や端子の形状に影響しない防食技術の開発を行った。

#### 4-3 アルミ電線の新防食技術

防食剤には、コネクタ挿入時に防食剤が干渉しても挿入荷重が高ならないように軟質なゲルを選定した。また、銅に吸着する機能を防食剤へ付与することによって、既存のアルミ導体部を覆う手法ではなく、端子表面に露出した銅を保護し、アルミ導体の溶出を抑制する新たな防食剤を開発した。

しかし、防食剤で端子表面に露出する銅を保護するには圧着端子の複雑な形状へ緻密に塗布する必要がある。そこで当社は、防食剤を必要な箇所へ精密に塗布する技術を開発し、既存の防食手法に代わる新たな防食手法を確立した(図15)。

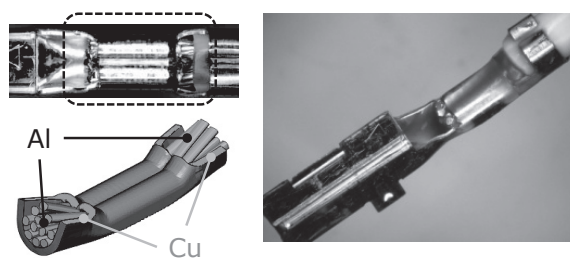


図15 アルミ電線圧着部の模式図と新防食端子の外観

#### 4-4 まとめ

多種多様な端子、電線バリエーションの圧着線に使用できる室内向けの防食技術を完成させ、2017年に車両へ搭載した。また、更なるアルミハーネスへの適用拡大に向け、エンジンルーム内の非防水領域における防食技術の開発を進めている。

### 5. 結 言

アルミハーネスを車両に搭載するために、電線、端子、防食の技術開発を進め、2010年の初搭載以降、車両への適用箇所の拡大を進め、製造電線種も増加してきた。

現在(2018年10月)までカーメーカー10社(国内8社、海外2社)、全50車種に搭載実績が積みあがっている。

将来動向として、車両の自動運転技術やシステムの電動化から、センサーやECUが増大し、1台当たりに搭載されるワイヤーハーネスの電線本数は更なる増加が予想される。また電動化車両への変革に向けて、高電圧大電流の要求が高まり、規格サイズを超える太物電線の需要も予想される。

今後引き続き銅価格の上昇高止まりの状況は続くと思われ、全ての銅電線をアルミ電線にすることで、ワイヤーハーネスは約25%以上軽量化できることから、益々アルミハーネスの需要は高くなると予想される。

## 用語集

### ※1 導電率

電気の流れやすさを示す指標。

軟銅 (万国軟銅標準: International Annealed Copper Standard)を100とした時の比率で示され、単位は% IACS。

### ※2 熱処理型合金

強度を高めるために熱処理を必要とする合金。

### ※3 表面酸化膜

金属表面で空気中の酸素によって酸化されて発生する被膜のこと。一般的には硬く導電性の低い場合が多く、接続の阻害になる。

### ※4 セレーション

圧着端子の電線接続部に形成した溝。この部分で電線の表面酸化膜を破壊し、電線に対する引っ掛かりとなることで、電気的、機械的接続の安定性に寄与する。

### ※5 固相接合

金属同士を接合する工法のひとつ。部材を熔融することなく固体状態のまま新生面を接触させて接合する。代表的な工法に超音波溶接、冷間圧接などがある。

### ※6 冷間圧接

固相接合法の中でも部材加熱を伴わない工法。塑性変形により酸化被膜を脱落させ新生面を露出させる。

## 参考文献

- (1) 山野能章、「アルミハーネスの開発」、SEI テクニカルレビュー第179号、pp81-88 (July 2011)
- (2) 日・ソ通信社、「酸化物便覧」、pp252-269 (1970)
- (3) T. Otsuka, "Crimping Technology of Aluminum Wire for Automotive Wire Harness," Society of Automotive Engineers (SAE) 2012 World Congress (April 2012)
- (4) 西村直也、「アルミハーネス」、SEI テクニカルレビュー第185号、pp4-9 (July 2014)

## 執筆者

小林 宏平\* : (株)オートネットワーク技術研究所  
主幹



宮本 賢次 : (株)オートネットワーク技術研究所  
グループ長



伊藤 貴章 : (株)オートネットワーク技術研究所  
技師



高田 裕 : (株)オートネットワーク技術研究所



大井 勇人 : (株)オートネットワーク技術研究所



\*主執筆者