

クルマの軽量化を実現するためのワイヤリングシステムの技術開発

Development of the Wiring System Technology to Realize its Weight-Reduction in Vehicles

外山 貴則 *1
Takanori Toyama

池本 浩平 *2
Kouhei Ikemoto

渡邊 彰久 *3
Akihisa Watanabe

広瀬 総史 *3
Satoshi Hirose

田村 祐二 *3
Yuji Tamura

内山 泰治 *4
Yasuharu Uchiyama

長尾 彰洋 *5
Akihiro Nagao

川村 幸大 *6
Yukihiro Kawamura

外池 翔 *5
Takashi Tonoike

山田 拓郎 *5
Takuro Yamada

〈概要〉

クルマにおいて、安全・安心・快適装備をはじめとした搭載システム機器が増加傾向にある一方、カーボンニュートラル社会の実現に向けて、CO₂削減の手段の一つとしてクルマの軽量化の要求が更に高まっている。この要求に応えるため、当社では、ワイヤリングシステムの軽量化を実現する技術開発及びその構成部品の量産化を推進してきた。本稿では昨年発売された大型SUVに搭載した成果の一部を例に報告する。

1. はじめに

世界的な環境に対する意識の高まりに伴い、CO₂削減などの要求が年々高まっている。一方、安全・安心・快適装備の増加により、ワイヤリングシステム自体の質量も増加している。その中でも、図1に示すクルマ全体に配策されるワイヤーハーネス(W/H)は、大型SUVで約50 kg、車両全体で約2%を占める。また、その構成部品は、約2000点にも及ぶ。



図1 ワイヤーハーネス
Wire harness (W/H).

図2は、W/Hの構成部品の質量分布であり、電線が半分以上を占めており、ここ数年でもその傾向に差異はない。

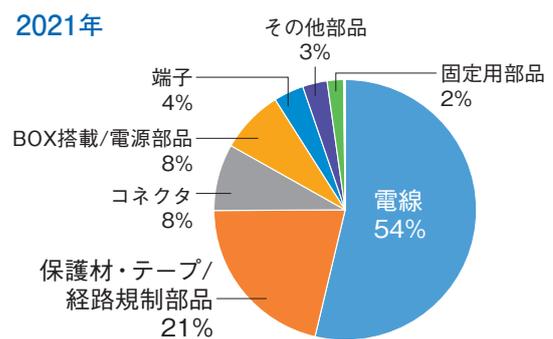
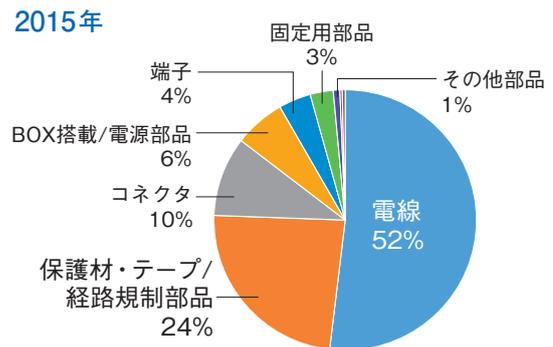


図2 W/H構成部品別の質量割合
The weight percentage of each component group in the W/H.

年々高まる軽量化のニーズを実現するためには、最も重い、電線の軽量化が必須であり、その他の構成部品においても軽量化に取り組む必要がある。本稿ではW/Hの軽量化を実現する技術開発について昨年発売された大型SUVで実用化した成果の一部を例に報告する。

*1 古河AS株式会社 第1技術本部 電装システム5部
*2 古河AS株式会社 第1技術本部 電装システム2部
*3 古河AS株式会社 第2技術本部 EC1部
*4 Furukawa Automotive Parts (Vietnam) Inc.
*5 古河AS株式会社 第2技術本部 EC2部
*6 古河AS株式会社 第2技術本部 SRC部

2. 電線の軽量化への取組み

2.1 アルミ化への取組み

W/Hの構成部品の中で最も重い電線を軽量化する取り組みとして、当社では2010年より銅電線からアルミ電線への置き換えを段階的に進めている。近年、資源枯渇や価格変動などのリスク面からも銅よりも有利なアルミニウムへの置き換へのニーズが高まっている。このようにアルミ化は利点が多いように思えるが、車両搭載においては、大きな課題がある。1つ目は、導電率が銅より低いため、太径化しなければならず、車両という限られた空間内でW/Hの配策スペースを拡大してしまうことである。2つ目は導体の強度が銅よりも低いため、特に細径導体については電線の引張り強さが足りずに断線してしまうことである。3つ目は、W/Hの端末部に使用している端子が銅合金製であり、アルミ電線との接触部が被水してしまうと異種金属間腐食が発生し、アルミニウムが溶損してしまうことである。これらの課題を解決する当社の技術や効果について以下に述べる。

2.1.1 アルミ電線の技術開発

アルミ電線の課題の1つ目として、銅電線と同等の電流通電する場合に、銅導体と比較してアルミ導体は導電率が低いため、導体自体を太径化しなくてはならず、結果として電線仕上外径が大きくなるのが挙げられる。この課題に対し、導体のサイズ増加分を被覆の薄肉化により相殺し、電線仕上外径サイズを同等とすることで解決した。

被覆の薄肉化により懸念される耐摩耗性能は、銅電線でも量産実績のある薄肉タイプのPVC組成技術をアルミ電線へ流用することにより満足させている。

昨年発売された大型SUVにおいては、ALVSS5及びALVSS8（アルミ電線）が新規に採用されているが、上記技術によりAVS3（銅電線）とALVSS5及びAVS5とALVSS8の電線外径を同等とすることを可能とし、太径化の課題を解消している。(図3)

またアルミ電線の2つ目の課題として導体の強度低下も挙げられる。この課題に対し、特に引張り強さの必要性がある細径導体について、銅同等の強度を持ち、かつ銅からの置換に必要な導電率を持つ新たなアルミ合金を当社の金属組織制御技術で

駆使して開発することで解決した¹⁾。このアルミ合金を用いることで例えば、0.35 mm²銅電線と同等の引張り強さと衝撃吸収値(靱性)及び置換可能な抵抗値をもつ0.5 mm²アルミ電線を実現することができた。

これらの課題を解決することにより0.35～8.0 mm²までの幅広いアルミ電線をラインアップすることができた。(表1)

2.1.2 密閉防食端子(α端子)の技術開発

アルミ電線をW/Hに採用するにあたって課題となる異種金属間腐食の発生には水、塩分、そして酸素の3つが必要であり、異種金属界面に対してこれらを近付けさせない処理、すなわち防食処理が必要となる。

従来、防食処理として圧着部全体を樹脂で覆ってアルミ導体と水との接触を防止する樹脂モールドが行われていたが、圧着部を覆う樹脂によって端子の占有スペースが増大し、未処理の端子と同じハウジングキャビティには収まらない、また、個別の防食処理に要する時間や装置などのコストが高くなるといった課題から採用は広がらなかった。

そこで、これらの課題を一挙に解決する手段として圧着端子自体に防食機能を持たせることで、追加の部材や工程を必要としない防食手法である密閉防食端子、α端子を開発した。(図4)

α端子は金型プレスと溶接によって片側開口管状に成形された端子で、導体との接続を得るため圧着する際に端子の管形状部と電線被覆を隙間なくかきしめることによって密閉し、水の侵入を防ぐことで防食を実現している。構成要素が端子と電線のみであるためモールドの課題であった占有スペースの増大が抑

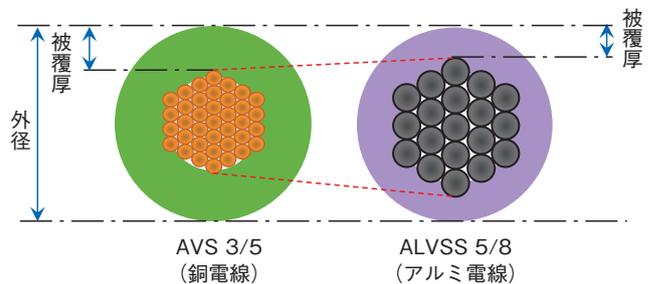


図3 AVS3/5とALVSS5/8の比較
Comparison of AVS 3 / AVS 5 and ALVSS 5 / ALVSS 8.

表1 アルミ電線バリエーション
Our product lineup of aluminum wires.

電線種	サイズ (mm ²)	導体構造 素線数/素線径	導体外径 (mm)	仕上外径 (mm)	被覆材質 (—)	導体抵抗 @20℃ (mΩ/m)	質量 (g/m)
ALVUS	0.35	7/円形圧縮	0.70	1.10	PVC	107.7	1.7
	0.5	7/円形圧縮	0.85	1.25	PVC	77.0	2.3
	0.75	11/円形圧縮	1.00	1.40	PVC	43.4	3.1
	1	16/円形圧縮	1.20	1.60	PVC	32.0	4.0
	1.25	16/円形圧縮	1.40	1.80	PVC	25.3	4.8
	2	17/円形圧縮	1.70	2.20	PVC	16.3	7.5
ALVSS	2.5	17/円形圧縮	2.00	2.50	PVC	12.0	9.9
	2	19/0.36	1.80	2.50	PVC	16.3	8.7
	2.5	19/0.42	2.10	2.80	PVC	12.0	11.2
	5	19/0.56	2.80	3.60	PVC	6.76	18.9
	8	19/0.73	3.65	4.45	PVC	4.08	29.9

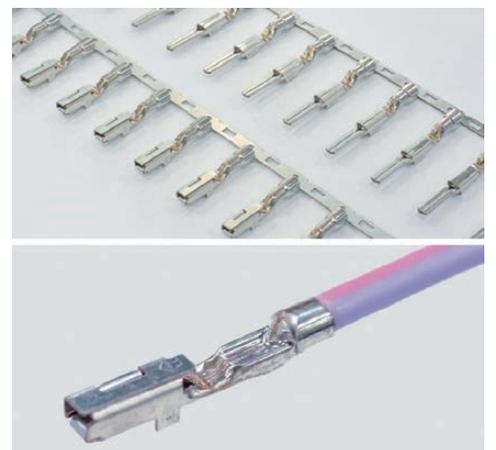


図4 α端子
The α terminal.

えられ、また防食処理は圧着と同時に完結することから追加の工程や設備が不要となるためコスト面でも優れている。(図5)

α 端子の密閉防食機構を実現するには金型プレスによって成形された端子をレーザー溶接で欠陥なく接合することが必要である。溶接の欠陥を低減するには高精度の金型プレス成形技術によって溶接する部分の隙間を極力減らすことが重要となる。そのためには、金属加工において必ず発生するスプリングバックの影響を制御することが重要である。その解決策として過曲げ加工状態から曲げ戻して成形することにより、隙間を縮めようとする側へ加工反力を発生させるスプリングゴータを取り入れた金型設計を実施した。これにより溶接する部分の隙間を極小化できる金型プレス加工を実現した。

また、溶接においては端子の金型加工の速度と同期できる溶

接速度と加工精度を実現するため、ファイバレーザと三次元に溶接軌跡をコントロールできる3D光学ユニットの組み合わせを α 端子専用を開発し、金型プレス加工と同期可能な高速製造工程を構築した。(図6)

電線導体との接続を得るための圧着について、従来のオープンパレル端子の圧着形状(F-Crimp)は、管端子である α 端子には適用できないという課題があった。この課題を解決するため、アルミ電線と溶接管端子の組み合わせに最適化した圧着形状を検討し、上下から押し込みを加える圧着形状を開発した。(図7)

この圧着形状は押し込み形状によって応力緩和が起こりにくく、またパレルエッジ部の電線への食い込みがないため、容易に安定した電氣的接続と機械的強度を両立でき、高い接続信頼性を得ることを可能としている。

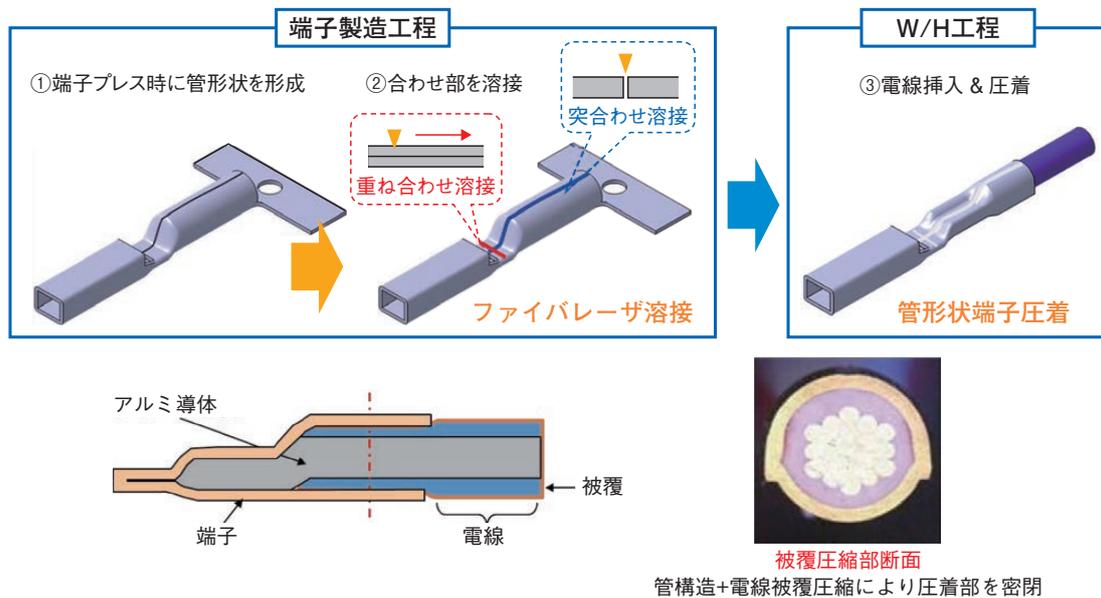


図5 α 端子の製法と構造
The manufacturing process and structure of the α terminal.

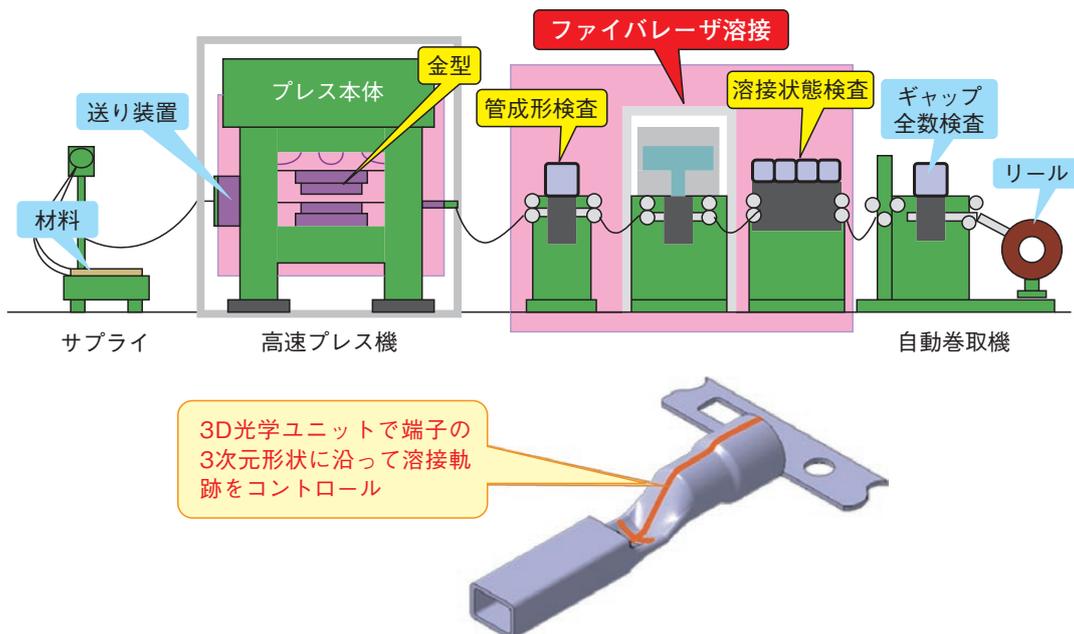


図6 α 端子製造工程
Manufacturing process of the α terminal.

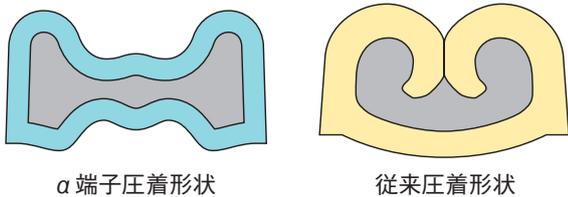


図7 α 端子圧着形状
Crimped shape of the α terminal.

電線接続と同時に実施する防食においては電線被覆の物性と圧着時の挙動について解析し、端子と被覆の間における止水性を担保するための反発力の必要条件を明らかにし、それを圧着により実現する設計要件を確立した。

また、この圧着技術をW/Hの生産性及び品質の向上のために自動設備にて実施することを検討した。1つ目の課題として、管状の端子開口部に電線を正確に挿入する必要があることが挙げられた。この課題について、圧着アプリケーションと自動圧着機を一体で開発し、アプリケーションに端子の保持機構と電線の誘い込み機構を設けることで安定した挿入圧着を実現することで解決した。

2つ目の課題として、圧着後の芯線出代を目視確認できず、圧着が適切に行われたのかわからないということが挙げられた。この課題について、圧着前の電線被覆の適切な位置にマーキングを施し、圧着後にマーキング位置を画像検査する機能を自動圧着機に設けることで、圧着前の電線状態と圧着後のかしめ状態を紐づけ、信頼性の高い圧着を実現することで解決した。

これらの技術によって実現した α 端子によって、アルミ電線を銅電線と同様の環境で使うことが可能となり、W/Hへのアルミ電線採用拡大に大きく貢献した。

更に、より軽量化効果の大きい電線径の銅電線の置き換えとなる5~8 mm²のアルミ電線に対して適用可能なより大型の太物 α 端子の開発によるさらなるアルミ電線適用拡大にも取り組んでいる。

太物アルミ電線への α 端子の適用においては、端子材として選定した高導電率、厚板の材料がレーザー溶接困難であるという課題があった。これに対してより高出力のレーザーによる溶接を試みたが、局所的にエネルギーが集中することにより溶融挙動に大きな乱れが生じ、安定した溶接は困難であった。そこで、古河電工グループが開発したビームモード制御技術を応用し、レーザービームを任意のエネルギープロファイルに変換することで高出力下においても溶融挙動を安定化する溶接技術を確立し、太物 α 端子の量産を実現した。

2.1.3 アルミ電線の溶接ジョイントの技術開発

搭載システム機器の増加に伴い、システム機器を構成する電源・アース・信号線も増加している。それに伴い、これらの電線同士を接続するジョイント数も年々増加している。回路を接続するジョイント技術の手段として、コネクタで接続する技術と、直接電線を接続する技術の2つの手法がある。軽量化の観点から、構成部品が多いコネクタ接続よりも、電線同士を直接溶接する溶接ジョイントの方が軽量化効果は高い。

このような中、アルミ化の推進によりアルミ電線同士の溶接ジョイントとともに、アルミ化が進んでいく中の過渡期である

現在では、アルミ電線と銅電線のジョイント技術開発も必要となっている。

アルミニウムと銅の異種金属材の接続の難しさとして物性の違いがある。ジョイントの既存手法として圧着と抵抗溶接が挙げられるが、圧着は引張り強さの違いにより、抵抗溶接は熱伝導率の違いにより、それぞれロバスト性を確保する事が難しい。

両者の物性差、特に融点の差を考慮し、溶融せずに接続する手法である超音波接合をジョイント手法として選定した。開発を進める中で超音波振動による摩擦熱の発生により、アルミ電線が設備に固着する問題が発生した。この問題について、アルミニウムの固着を防止するため、銅材の管に電線を挿入した状態で超音波接合を実施することでアルミニウムの固着を回避して解決した。これにより、競合他社含めて実績の無かったアルミ電線と銅電線のジョイント技術を確立した(図8)。なお、このジョイントについても異種金属間腐食の発生を防ぐ必要があり、従来の銅電線の溶接ジョイントで使用されている防水処理を適用して対応している。

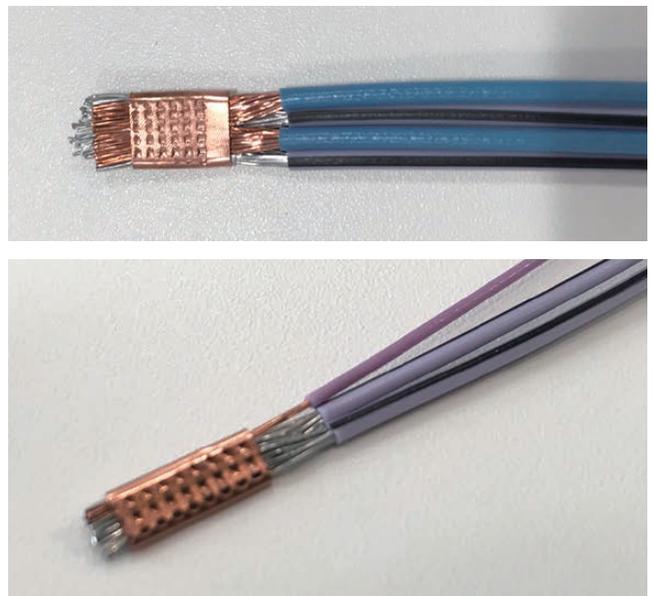


図8 アルミ電線と銅電線の溶接ジョイント
Welding joints between the aluminum wires and the copper ones.

2.2 銅電線の極細線化(0.13 mm²電線)の技術開発

電線の軽量化の対応としてアルミ化だけでなく、銅電線の極細線化の技術開発も実施した。

極細線化の課題として導体が細径化することで電線及び圧着部の引張り強さが低下し、W/H製造時などで電線を引っ張る作業で圧着部が断線することが挙げられる。この課題について、強度の高い硬質銅合金線を用いることで解決した。これにより、極細線0.13 mm²においても電線及び圧着部の破断に対する耐性をAVSS0.3同等以上にまで向上させることができた。

同じ引張荷重を受けた場合、従来のAVSS0.3は導体が伸びてしまうため、電気的特性の低下(導体抵抗値の増大)が著しくなるのに対し、極細線0.13 mm²では導体の伸びが少なく電気的特性の低下が少ない状態で性能維持が可能というメリットもある。

硬質銅合金を使用する場合の懸念点として屈曲性能の低下が挙げられるが、ここで適用した硬質銅合金はロボットケーブルなどでも使用される³⁾耐屈曲性能の高い材料であり、屈曲部位への使用も可能なものとなっている。

極細線0.13 mm²は導体を圧縮することによる導体の細径化を実施している。また、被覆についても耐摩耗性に優れた材料を採用して薄肉化を可能とした。これらにより更なる細径化を実現している。(図9)

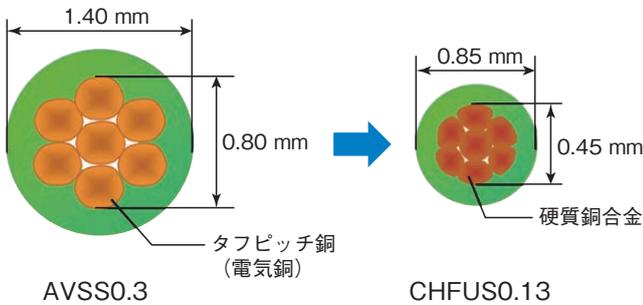


図9 0.13 mm²電線
The ultra-thin copper wire of 0.13 mm².

3. 部品の軽量化への取組み

3.1 外装部品の軽量化

図2に示すように、電線に次ぐ重量部品は保護材・テープ/経路規制部品であり、なかでも、電線を結束し、多くの部品を固定するテープの質量が重くなっている。そこで、テープの厚さを通常の0.13 mmから0.07 mmに変更し、保護材上のテープ巻きも品質低下に繋がらない部位を選定し、巻き量を減らす変更を織り込んだ。その結果、1台分で約300 gの軽量化を実現した。

3.2 電源ボックスの集積化による小型化と軽量化

W/Hのみでなく、その回路保護、回路断続の機能をもつリレーボックス (R/B) についても年々車両搭載機能、装備が追加されることにより、肥大化の傾向を示してきている。

今回の開発は大型SUV向けであり、その使われ方の多様性から特に多くの機能、装備を搭載しているため、必然的にR/Bへ搭載される機能部品が多くなり、また、モデルライフが長いことから自動運転など将来的に搭載される装備に対応するために、さらに多くの機能部品を搭載できるように設計した世界的にみても最大級のR/Bである。

本車両においては、エンジンルームに図10に示した2つのR/B(メインR/B、サブR/B)が採用されており、それらに搭載される機能部品数の差を前モデル(2015年モデル)と比較すると、図11に示すように107点から125点と16.2%増加しており、入力される総電流値は277 Aから371 Aと34%増加している。

R/Bに搭載するこれら機能部品は発熱部品であり、高密度に配置するためには常に熱が問題となってくるため、当社ではこれまでR/Bにヒートパイプやパワープレートなどの発熱を抑えるためのサーマル部品を採用する一方で、20年かけて培ってきた熱シミュレーション技術を用いて、R/Bの小型化、軽量化を実現してきた。

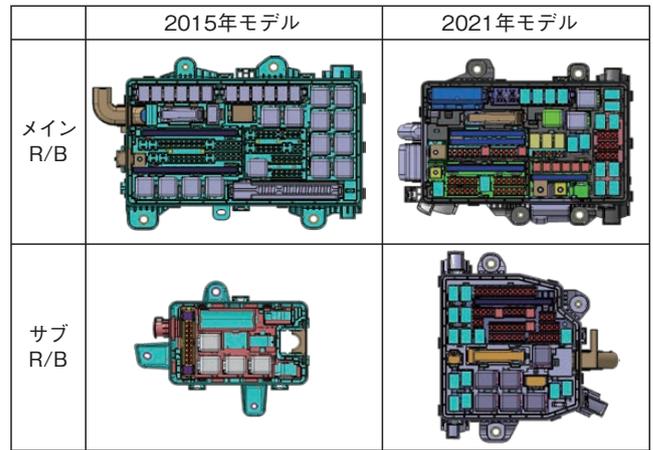


図10 リレーボックス (R/B)
Relay BOX (R/B).

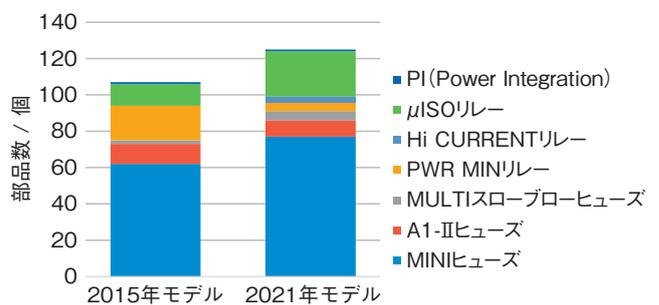


図11 R/B 新旧機能部品数比較
Comparison of the number of components between the new model and the previous model.

熱シミュレーションでは、ヒューズ、リレーなどの各部品の発熱量を計算し、内部及び外部雰囲気間を移動する熱量を計算して熱伝達率を算出、更にこれら3Dモデル化された部品類で構成されたモデルにその熱伝達率と実際の電流値を条件に与え、配線体である電線やバスバーの自己発熱を反映させた熱伝導解析とジュール熱解析を行うことで実測値に対して±5度以内の精度を実現している。(図12)



図12 R/B 熱解析等温線図
3D contour view of R/B thermal analysis.

以上に述べた熱シミュレーションの結果を設計へフィードバックすることを繰り返し、高発熱部品を分散させた最適な部品配置とすることにより、R/B内を均熱化し、サーマル部品を追加することなく仕様を成立させた。機能を考慮した機能部品比において前モデル(2015年モデル)に対し5.3%の小型化(投影面積/機能部品数)、19.5%(総重量/機能部品数)の軽量化を達成することができた。

3.3 アルミリペアスリーブの技術開発

部品の軽量化への取り組みだけではなく、エンドユーザーがアルミ電線の修繕に使用するアルミ電線用リペアスリーブを開発して、アルミ電線のW/Hへの適用拡大をサポートすることで軽量化へ貢献している。

これまでW/Hの修理に使用されてきた銅電線用のリペアスリーブはアルミ電線の電氣的性能の確保には問題があり、アルミ電線には適用できない。この問題を解消するため、アルミ電線の修繕に使えるリペアスリーブを開発した。(図13)

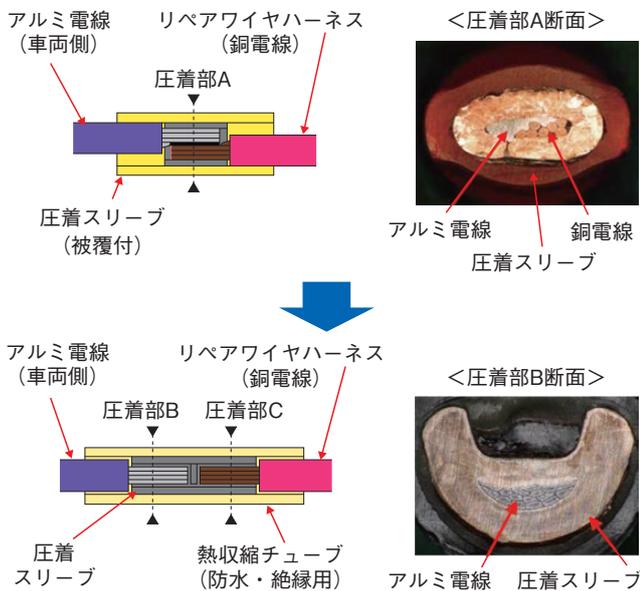


図13 銅電線用リペアスリーブ(上)とアルミ電線用リペアスリーブ(下)
The repair sleeve for copper wires (top) and the repair sleeve for aluminum wires (bottom).

アルミリペアスリーブはアルミ電線、銅電線の両者について適用が可能な構造とし、必要な圧着形状や圧縮率が確実に得られるラチェット式のツールを使用することと、絶縁・防水処理については電氣的性能に悪影響を与えない接着材入りの熱収縮チューブを適用することにより、アルミ電線の電氣的性能を確保することを可能とした。

4. 結果

これまで、カーボンニュートラル社会の実現に向けた、CO₂削減に貢献するW/Hの軽量化技術について述べてきた。これらの量産化された技術により昨年発売されたSUVでは、W/Hとして約11%の軽量化を行うことができた。その中でも軽量化効果の大きいシートハーネスでは高グレード仕様で152回路中115回路をアルミ化し(アルミ電線率75%)、質量の44%削減を実現した。

5. おわりに

世界的な環境に対する対応は今後も継続的に実施されていくと予想される。現在当社のアルミ化率は25%であるが、2025年には50%以上に拡大すると予想している。アルミ化をはじめとする更なる軽量化ニーズに応えるためにも新たな軽量化技術の推進を行い、今後もカーボンニュートラル社会の実現に向けたCO₂削減を実施していきたい。

参考文献

- 1) 吉田祥, 関谷茂樹, 水戸瀬賢悟: 高強度アルミニウム合金線の開発, 古河電工時報, 137 (2018), 14.
- 2) 「新製品紹介」アルミワイヤーハーネス, 古河電工時報, 129 (2012), 16.
- 3) 古河電工「銅・銅合金線材」カタログ(第5版), (2021).