

冷却機能を兼ね備えたバスバー開発

執筆者 重田 裕人*¹ 幸 淳史*¹ 余島 司*¹

要 旨

自動車のEV化により、バッテリーパックやe-Axle内で高電圧部品が増加し、バスバーの需要が高まっている。従来のハーネスと比較しても、高電圧の電力伝送やレイアウト自由度にメリットがあるため、今後も需要増加が期待できる。当社でも、さまざまな形状のバスバーの量産実績がある。

近年の動向として、急速充電による高電圧化に伴い、特に大量の電流を流すバスバーは発熱リスクが高く、対策が求められている。現状は、バスバーの大型化により放熱面積を稼ぐことで対応しているケースがあるが、本稿では、安全上必要となる絶縁被覆部を活用し、付加価値として従来のバスバーに冷却性能を付与する構造を開発した。

1. 開発品の概要

バスバーは、バッテリーパックやe-Axle内で高電圧の電気を部品間で伝える経路としての役割があり、材質としては、主に銅が用いられ、感電やショート対策で絶縁性のある樹脂などで被覆されている部品である。冷却が求められる例として、ジャンクションボックス内のヒューズリレー間のバスバーがあり、熱害対策として従来の仕様比で温度上昇を10%低減させる必要がある。現状の対策は、バスバー(銅)の大型化であり、冷却機能が付与できると、高価である銅の使用量を低減できるため、製品トータルとしてコストメリットも見込める。本開発は、部品間の冷却性能向上を、絶縁被覆部(樹脂)を活用して実現するコンセプトで取り組んでいる。(図-1)



図-1 冷却バスバー 開発品

2. 開発目標と評価方法

冷却性能の開発目標は、ジャンクションボックス内のバスバーに関するニーズ調査結果から設定した。現状、150℃に発熱する部品から伝わる温度を従来仕様比で10%低減できれば部品の熱害対策が可能になるため、開発目標を従来のバスバー仕様(図-2)に対して10%低減とした。



図-2 従来のバスバー仕様

冷却性能の評価方法は、実機での使用ケース及び温度条件を再現し、バスバーを150℃で加熱(図-3 ①)したときの非加熱側のバスバーの温度(図-3 ②)で評価を実施した。冷却性能は、非加熱側の温度が低いほど樹脂部での冷却が行われていることを示し、従来仕様の冷却性能を基準に開発を実施した。

*¹ R&D 本部 第1研究開発部 機能部品開発 Gr.

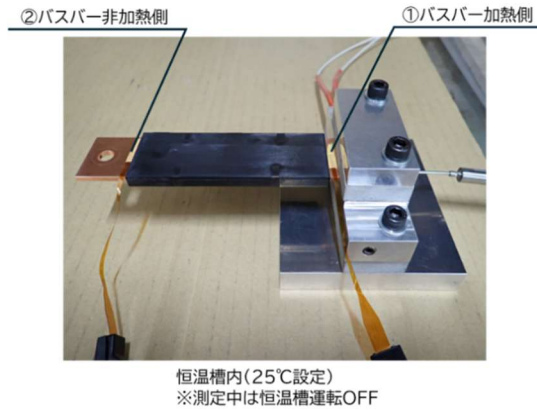


図-3 冷却性能評価方法

3. 冷却性能付与手段と効果検証

3-1 ヒートシンク構造

冷却性能の付与手段として、樹脂の形状自由度を活かせる点からヒートシンク構造を検討した。複数のリブを設定して外気と触れる表面積を増やし、放熱効率の向上を狙った。

まず、リブを並列に設定する一般的な構造で、可能な限り表面積を増やせるようリブ間隔を最小限とした仕様で評価を実施した。結果、ヒートシンク構造により従来仕様に対して冷却性能が 4.3%向上したが、目標には未達であった。(図-4)

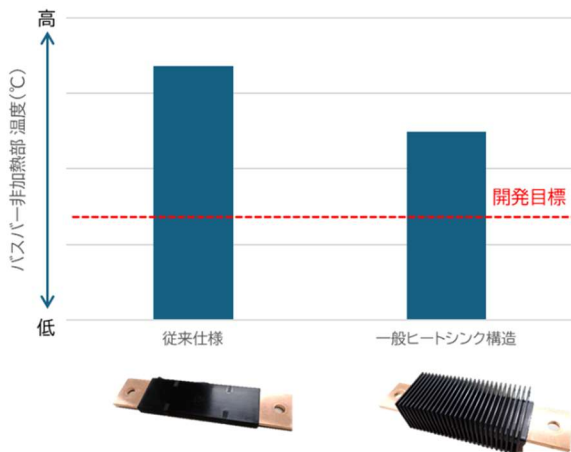


図-4 ヒートシンク構造の冷却効果

3-2 高熱伝導樹脂

ヒートシンク構造で一定の冷却効果が確認できたため、リブから外気への放熱効率をさらに高める手段として高熱伝導樹脂を検討した。

バスバー用途を考慮して絶縁タイプを選定し、熱伝導率の冷却性能への影響を、従来仕様と一般ヒートシンク構造で比較した。構造に関わらず熱伝導率が高いほど冷却性能は向上し、熱伝導率が一定以上であれば一般ヒートシンク構造で開発目標を達成できる結果となった。ただし、熱伝導率に比例して材料費が高くなるため、製品化を見据えた最適な材料選定(冷却性能/コスト)が必要である。(図-5)

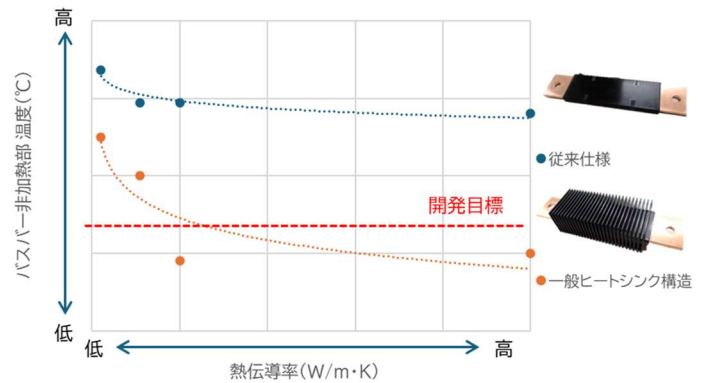


図-5 熱伝導率の冷却性能に対する影響

そこで、従来仕様と一般ヒートシンク構造において、冷却性能へ影響する熱伝導率の範囲に着目した。従来仕様では熱伝導率の低い領域で冷却性能が飽和するのに対し、一般ヒートシンク構造では熱伝導率の冷却性能への影響が大きく、冷却性能が飽和する熱伝導率も高い傾向にある。樹脂部から外気への放熱効率は、樹脂部と外気との温度差が大きいほど向上する。そのため、樹脂部の温度が飽和する必要最低限の熱伝導率を明確にすることが重要である。そこで、材料選定技術の構築に向け、熱伝導率の異なる樹脂材料で伝熱可能なリブ高さについてデータを取得した。(図-6)

これにより、目標の冷却性能に対して、不必要にリブ高さを設定することなく、レイアウト及びコストの観点で最適な提案が可能となる。

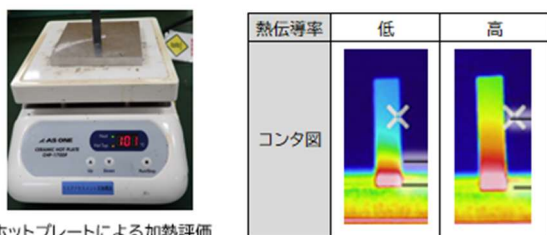


図-6 熱伝導率の違いによる伝熱可能なリップ高さ

3-3 バスバーと樹脂の密着性

これまでの評価から、高熱伝導樹脂を用いることで目標の冷却性能を達成できる可能性はあるが、実機の使用環境下で冷却性能を担保する必要がある。特に冷熱繰り返し環境では、バスバー（銅）と樹脂の線膨張の差により隙間が発生し（密着性低下）、冷却性能が悪化する懸念があるため、対策の可否を検討した。対策として、バスバーと樹脂の密着性を向上させる処方を検討した。密着処方の有無でヒートショック前後の冷却性能を比較した結果、密着処方なしではヒートショックにより冷却性能が悪化した。密着処方ありでは、前後で性能差はなく、実機の使用環境で冷却性能を発揮するために密着処方が必要であると考えた。（図-7）

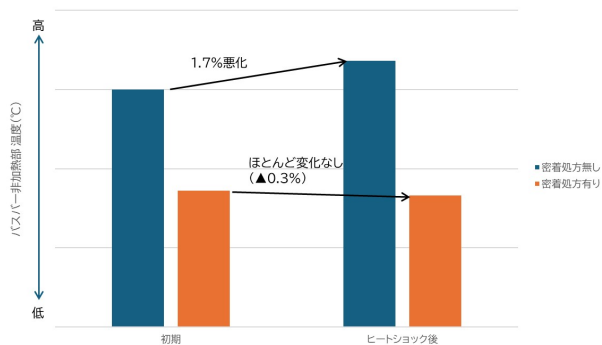


図-7 ヒートショック前後の冷却性能(密着処方有無)

3-4 ヒートシンク構造開発

一般的なヒートシンク構造と比較して、さらなる冷却性能の向上を目指し構造検討を実施した。複数のリップを狭いピッチで設定すると金型強度不足により射出圧で破損などが課題となるため、金型成立を前提に解析を用いた構造検討を実施した。バッテリーパック内の強制対流がない環境では、内部温度が想定より高くなりリップ間に熱がこもりやすくなるため、単にリップ本数を増やして表面積

を増やすことによる冷却性能向上には限界がある。そこで、熱がこもらないように自然対流を促進させることが重要と考え、最終的にはリップを千鳥状に配置することでリップ間隔の確保（金型強度の確保）と自然対流の増加を両立した。さらに、リップ形状を舟形とすることで、必要最低限の表面積を確保する構造とした。解析の結果、開発したヒートシンク構造では、一般ヒートシンク構造と比較して自然対流の最低流速が 18.5 倍に向上した。（図-8）

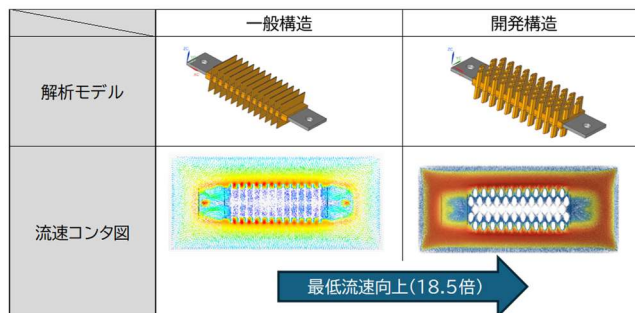


図-8 ヒートシンク構造の自然対流(解析)

開発したヒートシンク構造の冷却効果について、成形品（高熱熱伝導材・密着処方 織り込み）で評価した結果、一般ヒートシンク構造と比較して、冷却効果を 8%向上することが確認できた。（図-9）

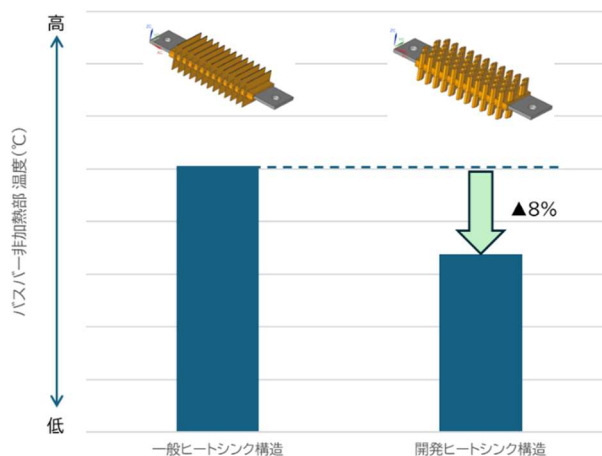


図-9 開発ヒートシンク構造の冷却性能

なお、開発したヒートシンク構造については、特許出願済である。

出願番号：特願 2025-123214

4. まとめ

開発したヒートシンク構造及び高熱伝導樹脂、密着処方を織り込むことで、開発目標を 7%上回る冷却効果を付与できる。(図-10)

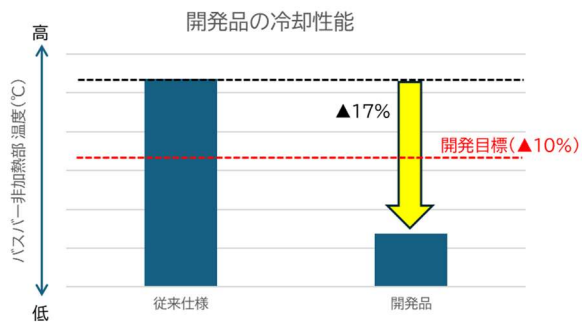


図-10 開発品の冷却性能

開発目標である 10%の放熱をバスバーの大型化で対応する場合と比較して、開発品では約 23%のコスト低減(銅と樹脂の材料費)が可能と見込む。

また、材料選定の考え方や解析技術の構築により、要求される冷却性能に対して、コスト及びレイアウトの観点で最適な提案が可能となった。

今後、急速充電による高電圧化に伴う冷却対応として、樹脂の形状自由度を活かし、本技術を提案していく。

最後に、本開発にあたりご協力いただいた社内関係部署の皆様にご心より感謝申し上げます。