

●車載電材絶縁用粉体塗料「アロンパウダー® EL シリーズ」

Insulating Powder Paint ARONPOWDER® EL Series for Automotive Electronics

丹羽 真・芹澤 祐真
Makoto Niwa / Yuuma Serizawa

Key Word: Powder Paint, Coatings, Insulation, Automotive Electronics, Busbar, Motor-Generator

1 緒言

当社の熱硬化型粉体塗料「アロンパウダー®」は、その優れた意匠性・耐久性が評価され、自動車分野の部品塗装において40年以上の実績を有する材料である。中でもエポキシ系粉体塗料「アロンパウダー® EL シリーズ」は、独自性の高い化学組成に基づく高い電気特性を活かして電機部品の絶縁処理に量産使用されてきた。

昨今、世界的な規模で自動車の電動化が急速に進む中、EV・HVなどに搭載される主機モーター（駆動用モーター）・バッテリー・制御周りなどの車載電材について、高出力化および高効率化の取り組みが精力的に続けられている。今回我々は、新たな展開を見せている車載電材に最適化した絶縁用粉体塗料を開発したので本稿にて紹介したい。

2 平角線モーターコイルエンド絶縁用粉体塗料「アロンパウダー® EL-2500B」

2-1. 平角線モーターとは

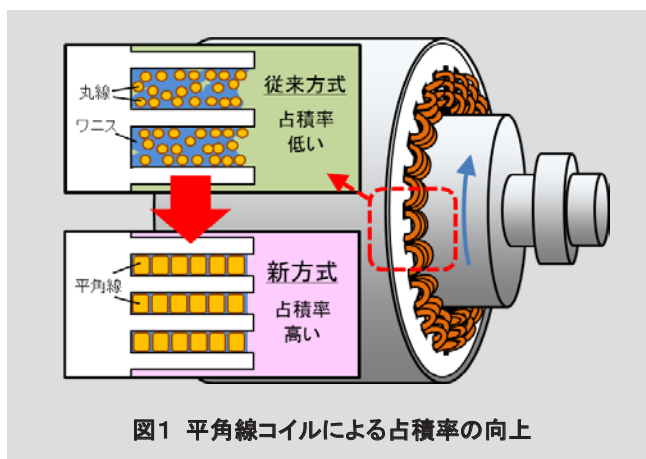


図1 平角線コイルによる占積率の向上

電動モーターの体格（サイズ）当たりの出力を決める大き

な要因の一つにステータスロット内の断面当たりのコイルの占める面積割合（占積率）がある。近年、図1に示すように従来の円形断面の丸線を巻いてコイルにする方式に代わり、角形断面の平角線をスロット内に隙間なく詰め込んで占積率を上げる工法が提案されてきた¹⁾。これにより、要求出力を得るためのモーター体格を相対的に小さくすることができ、車両エンジンルーム内の限られたスペースを有効に利用することができる。

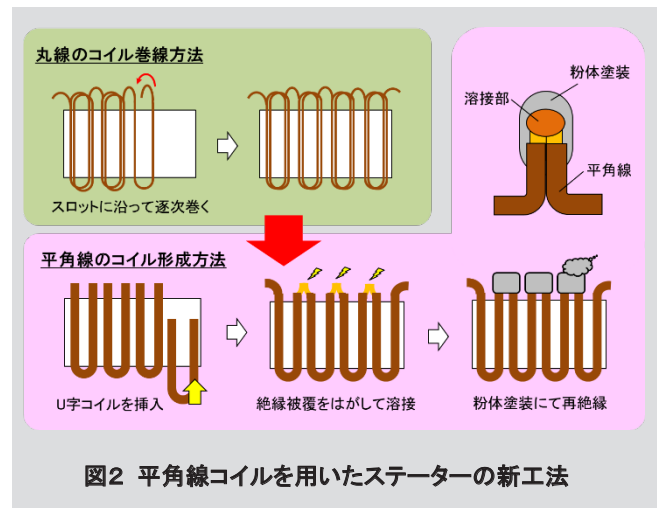


図2 平角線コイルを用いたステーターの新工法

この平角線は、一辺2~5mmの四角い断面をもつ太いエナメル線であり屈曲性に乏しいため、従来のコイルのように一本の銅線をスロットに沿って巻くことは難しい。

そこで、図2に示すようにへアピン形状に加工した単位コイルをステーター端面の一方向からスロットに挿入後、逆側を溶接することで連続した導体経路を形成する。

溶接したコイルエンド部には、剥離したエナメルの代わりに絶縁被覆の回復が必要となるが、その最も効率の良い工法として粉体塗料による絶縁処理が採用されている。

2-2. アロンパウダー® EL-2500B の特性

絶縁用途に使われる当社粉体塗料アロンパウダー®を表1に示す。ベースとなるグレードとして、導体の一次絶縁処理

東亜合成株式会社 R&D総合センター 製品研究所 / 名古屋工場 技術開発部 新製品開発課
New Products Research Laboratory, General Center of R&D, TOAGOSEI CO., LTD.
New Products Development Section, Technology Development Department, Nagoya Plant, TOAGOSEI CO., LTD.

に適した高いエッジカバー性を持つ EL-1000/1000S、固定された導体間を含まして絶縁処理する高耐熱性の EL-2000 がある²⁾。

表1 絶縁用途向けアロンパウダー[®]

	EL-1000/1000S	EL-2000
塗装方式	流動浸漬法/スプレー	流動浸漬法
処理方法		
特徴	高エッジカバー性	基材含浸性
耐熱クラス	B種130℃	F種155℃(相当)

今回我々は、小型モーターの絶縁処理にて長年実績のある EL-2000 をベースとして、より高い耐熱性・耐久性の獲得を目指して樹脂設計・フィラー構成・添加剤など塗料組成の全面的な見直しを行なった。その結果、平角線を使った主機モーターのコイルエンド絶縁処理に有用なアロンパウダー[®] EL-2500B を完成した (表 2)。

表2 EL-2500B 塗料特性

項目	EL-2500B 性能	試験方法
ゲル化時間	30±10秒	200℃
エッジカバー率	27%	Rなし角部/平坦部 膜厚比
剪断接着強度	25℃: ≥20MPa	SPCC-SD 25×12.5mm貼合せ
	230℃: ≥1MPa	引張速度10mm/min
線膨張係数	35/85ppm/℃	TMA(Tg以下/Tg以上)
ガラス転移点	164℃	DMA(動的粘弾性分析) 10Hz
体積抵抗率	≥1.0×10 ¹⁵ Ωcm	500V×1min φ50mm 20sec後
絶縁破壊電圧	≥40kV/mm	DC 1kV/sec 検知10mA φ19mm
CTI	≥600V	JIS C2134 0.1%塩化アンモニウム
カッスルー抵抗	340℃	JIS C2161 銅線1mmφ 荷重500g
耐熱性	強度低下なし	空気200℃×1000hrs
耐油性	強度低下なし	ATF浸漬150℃×1000hrs
耐沸騰水性	外観変化なし	沸騰水浸漬24hrs
難燃性	V-0合格	UL94

塗装条件：鋼板上300μm、160℃予熱、200℃×10min焼付

EL-2500B は、図 3 に示すように従来の EL-2000 より 10℃ 近く高いガラス転移点 (Tg) を有し、次世代電動車の主機モーターに求められる耐熱クラス F 種 (155℃) 相当をクリアする。

また、その高い Tg 以上の環境において 85ppm/℃、Tg 以下で 35ppm/℃という低い線膨張係数をもつため、モーター

動作/非動作時の温度変化に際して非常に安定した保護性能を発揮する。

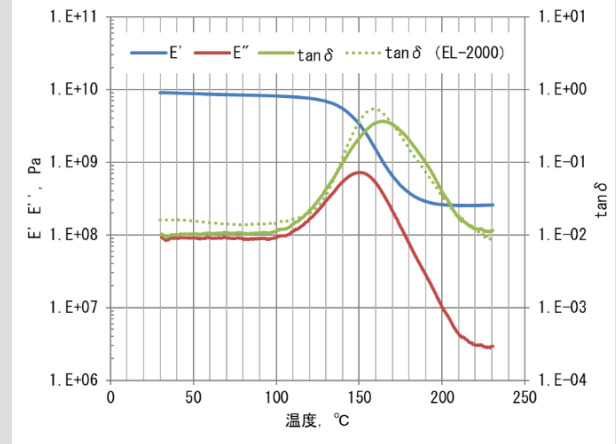


図3 EL-2500B 動的粘弾性曲線

2-3. アロンパウダー[®] EL-2500B の絶縁性能

各塗装膜厚に対する EL-2500B の絶縁破壊電圧 (BDV) を図 4 に示す。

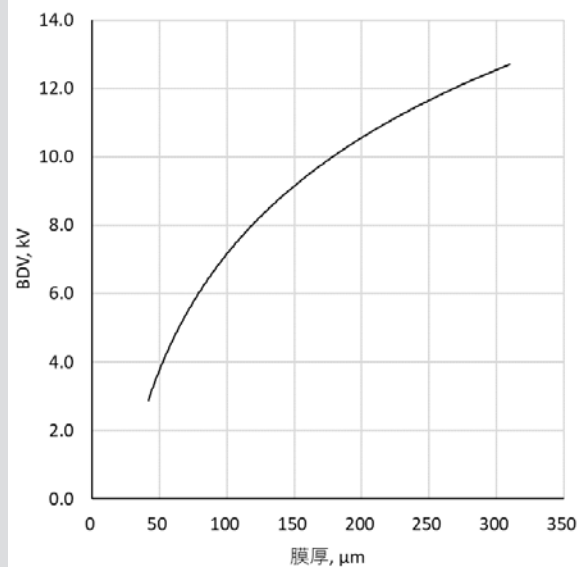


図4 EL-2500B 絶縁特性

有効膜厚 100μm で 6kV、200μm で 10kV 以上の絶縁破壊電圧を有する。現在、電動車主機モーターは、動作電圧 300~400V、一部 800V への置き換えが始まるなど高電圧化が進みつつあるが、これに十分応えるものとなっている。

さらに、CTI (比較トラッキング指数) は、600V 以上を示す。これは、IEC の材料カテゴリー³⁾および UL 規格の PLC (performance level category) ⁴⁾において安全性評価の最上

位に分類され、2 接点間の沿面方向の絶縁破壊現象（トラッキング）に対しても高い耐性を有している。

また、動作中の主機モーターは大きく振動するため、コイルエンド部の絶縁被覆には強い応力がかかる。重量負荷のかかった状態での絶縁被覆の耐熱性を示すカットスルー抵抗⁵⁾は340℃であり、モーターが動作している高温環境でのストレス下における絶縁性も保証する。

3. バスバー絶縁用粉体塗料 「アロンパウダー®EL-1704B/EL-2008B」

3-1. バスバーとは

バスバー（ブスバー）とは、変電設備や受電設備などの配電盤や制御盤内で通電するために使用されている銅・アルミなどでできた棒状の導体を指す。

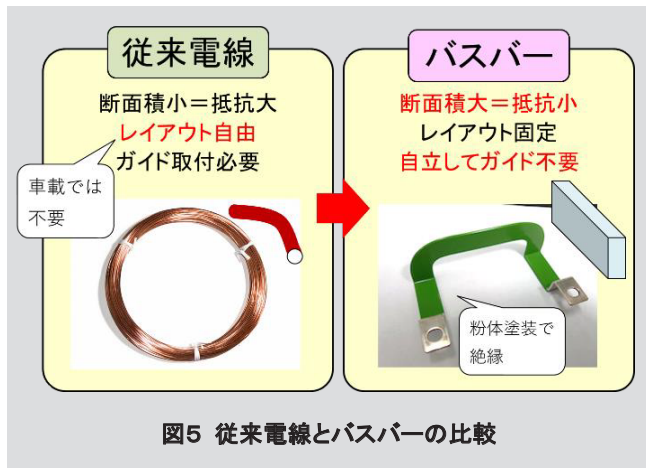


図5 従来電線とバスバーの比較

図5に示すように、バスバーは従来電線に比べて断面積が大きく電気抵抗によるロスを低減できるため、高効率化を競う近年の車載電材の分野においてモジュール間接続のために採用する例が増えている^{6),7)}。モジュール位置が固定される車載用途においては、バスバーをそれに合わせた形状に設計すればよく、後から機器配置を動かすようなレイアウト自由度はむしろ不要となる。また、バスバー自体に自立性があるため、従来の配線に必要なガイド部材の取り付けが不要になるなど、コスト面で利点がみられることも使用拡大の要因の一つとなっているようである。

バスバーは、裁断・折り曲げなど成形加工を行なった導体基材に対して、粉体塗装による厚み数百 μm の絶縁処理を施すことで完成する。他に、あらかじめエナメルなど絶縁被覆の付いた棒材を屈曲加工したり、後から絶縁テープを巻いたりする工法も見られるが、これらは複数接点間を結線する分岐形状やU字型・階段型など複雑な形状を持ったバスバー基材への適用が難しい。少量多品種となりがちな本分野に

において重視される加工自由度という点では、圧倒的に粉体塗装が有利であると言えるだろう²⁾。

3-2. 高耐熱性アロンパウダー®EL-2008B

今回我々は、このバスバーの絶縁処理用として最適化を行なったEL-2008Bを開発した（写真1、表3）。



写真1 EL-2008B 塗装済みバスバー

表3 EL-2008B 塗料特性

項目	EL-2008B 性能	試験方法
機械衝撃強さ	$\geq 30\text{cm}$	デュボン式 $\phi 1/4'$ 500g
エッジカバー率	41%	Rなし角部/平坦部 膜厚比
剪断接着強度	25℃: $\geq 20\text{MPa}$	SPCC-SD巾25×12.5mm貼合せ 引張速度10mm/min
	100℃: $\geq 17\text{MPa}$	
	150℃: $\geq 15\text{MPa}$	
	180℃: $\geq 5\text{MPa}$	
引張強度 / 限界伸び	25℃: $\geq 30\text{MPa} / 4\%$	ダンベル2号 厚み1mmに成型 引張速度10mm/min
	100℃: $\geq 20\text{MPa} / 3\%$	
	150℃: $\geq 10\text{MPa} / 6\%$	
	180℃: $\geq 5\text{MPa} / -$	
線膨張係数	T _g 以下: 40ppm/℃	TMA(熱機械分析)
	T _g 以上: 110ppm/℃	
ガラス転移点	169℃	DMA(動的粘弾性分析) 10Hz
体積抵抗率	$\geq 1.0 \times 10^{15} \Omega \text{cm}$	500V×1min $\phi 50\text{mm}$ 20sec後
絶縁破壊電圧	$\geq 40\text{kV/mm}$	DC 1kV/sec 検知10mA $\phi 19\text{mm}$
塗装条件: 鋼板上300 μm 、160℃予熱、200℃×10min焼付		

EL-2008Bの塗膜のT_gは170℃近くあり、駆動部周りの高温環境でもモーター・インバーターなどを接続するバスバーの絶縁被覆として非常に安定した性能を発揮する。

また、EL-2008Bは、その優れた熔融フロー性により塗膜中のボイド（空隙）の発生を抑制しつつ、透けやすい基材角部上におけるエッジカバー率（平坦部と角部における膜厚の比）40%以上を確保する。これにより、ユーザーでの量産塗装時のバラつきに伴う実効膜厚の不足を回避して歩留まり低下を防ぐことができる。

3-3. 高可撓性アロンパウダー® EL-1704B

粉体塗装は、様々な形状の基材に対応できるため基材加工後に塗装して完成するケースがほとんどであるが、一部のユーザーにおいては絶縁処理済みのバスバーをモジュールに結線する際に屈曲加工させたいニーズがある。



写真2 EL-1704B 塗装済みバスバー

EL-1704B はそうした要望に応えるものであり、200 μ m 塗膜フィルムは円筒マンドレル試験 ϕ 4mm 軸でクラックが発生しないほどの高い可撓性を有する。また、実際の銅材バスバー上の 500 μ m 塗装物においても曲率直径 40mm の 180°折り曲げ加工に耐えることが確認されている（写真 2）。

EL-1704B は、このように柔軟な塗膜でありながら、耐熱クラス B 種相当（130℃）の耐熱性を示し、膜厚 1mm あたりの絶縁破壊電圧も 40kV も備えるなど、車載バスバー用絶縁被覆として十分な性能を有している。

4. 結言

今回、次世代 EV・HV に搭載される平角線モーター、バスバーなどの絶縁処理に最適な粉体塗料「アロンパウダー® EL シリーズ」各銘柄について紹介した。

今後、電動車に対する性能要求はさらに高まり、それに応じた新たな部品や工法が出現するであろう。これらに対して、低公害・低エミッションである粉体塗料は時流に合った最適解の一つとして、必ずやその要求に応えるものと信じている。

5. 引用文献

- 1) 金岩 浩司 他, デンソーテクニカルレビュー, **19**, 56 (2014).
- 2) 丹羽 真, 東亜合成研究年報, **22**, 5 (2019).
- 3) IEC 60112:2020 Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials.
- 4) UL 746A Polymeric Materials - Short Term Property Evaluations, 24.
- 5) JIS C2161 (2010) 電気絶縁用粉体塗料試験方法, 8.6
- 6) 木村隆志 他, 日立評論, **95**, 752 (2013).
- 7) 金田大輔 他, 神戸製鋼技報, **65-2**, 25 (2015).