



高信頼性自動車用 鉛フリー溶ダペースト

High Reliable Lead-free Solder Paste for Automobile



池田一輝 / 研究開発カンパニー研究開発センター電子材料開発室
Kazuki Ikeda Electronics Materials Development, R&D Center, R&D Company

1 はじめに

近年の自動車は、燃費、安全性、快適性、利便性などあらゆる性能がECU（Electronic Control Unit）と呼ばれる電子制御装置により制御されている。自動車1台当たりのECU搭載数は年々増加する傾向にあり、2017年で平均24.5個、2025年には同38.1個に達すると予測されている¹⁾。また、2025年のECU搭載数予測は、2015年時点で平均22.7個と予測されていたことから²⁾、想定よりかなり早いペースで自動車の高性能化、電子制御化が進んでいることが分かる。

さらに、広い車室内の空間を確保するため、そして、ECU搭載数の増加にともない、その設置場所は従来の車室内だけでなく、電子制御装置にはより過酷な環境であるエンジンルーム内に広がっている。

このような背景から、自動車に搭載されるECUには高耐熱性および小型化が求められており、使用する溶ダペーストもこれに対応したものが要求されている。

当社は独自の合成樹脂開発により、高耐熱化に貢献するためのフラックス残渣の耐亀裂性、および、小型化に貢献するための微細印刷性に優れた溶ダペースト「CLR」を開発したので、本稿では、その開発ポイントと性能について述べる。

2 溶ダペーストに求められる性能

溶ダペーストは、プリント基板にさまざまな電子部品を実装するために使用される。現在の一般的な実装方法としては、メタルマスクとスキージを用いたスクリーン印刷で溶ダペーストをプリント基板の電極上に供給し、電子部品を搭載後、リフロー加熱することにより、プリント基板と電子部品を接合している。溶ダペーストへの要求項目としては、ペースト物性としての要求項目（印刷性、粘度安定性など）と実装基板に対する要求項目（はんだ付け

性、絶縁信頼性、腐食性、フラックス残渣亀裂性など）に分けることができる。

自動車用溶ダペーストに求められる特徴としては、良好なはんだ付けができていることはもちろん、はんだ付け後の実装基板に高い信頼性が要求される。そのため、古くは強い活性力を持ったフラックスで良好な濡れ性を確保しつつ、はんだ付け後の基板に残っているフラックス残渣を洗い流すことにより、絶縁信頼性や腐食性という信頼性を確保していた。このフラックス残渣の洗浄にはフロンが使用されていたが、フロン規制にともない、洗浄しなくても信頼性が確保できる無洗浄タイプの溶ダペーストが一般的となってきた。

上記のような背景から、はんだ付け後のプリント基板には、フラックス残渣が残った状態となっているが、自動車用溶ダペーストにおいては、このフラックス残渣にも高い信頼性が求められる。エンジンルームなどの過酷な環境では、高温状態や低温状態を繰り返す、いわゆる冷熱サイクルにさらされることとなる。この冷熱サイクルにともない、フラックス残渣に亀裂が生じ、結露した水が附着すると電気信頼性が低下する懸念があるためである。

図1、図2にフラックス残渣の亀裂の有無と絶縁性およびマイグレーション性の関係を示す。試験方法は、冷熱サイクル後の基板に水滴を落とし、5Vの電圧を印加するウォータードロップ試験を実施した。フラックス残渣亀裂が発生した基板では、電圧印加後30分弱程度でリーク電流が流れ、絶縁性を確保できないことが分かる。一方、残渣亀裂の発生していない基板では、電流値の増加は認められない。また、残渣亀裂の発生していない基板では、マイグレーションも発生していないが、残渣亀裂の発生している基板では、電極間をまたぐマイグレーションが発生しており、このことから絶縁抵抗が低下していると考えられる。以上のことから、フラックス残渣の亀裂を防止することで、高湿度環境においても、高い信頼性の確保が可能となる。

次に、ECUを小型化するためには、プリント基板上に搭載される部品を高密度で実装することおよび狭ピッチ部品を使用することが必要となってくる。具体的には、

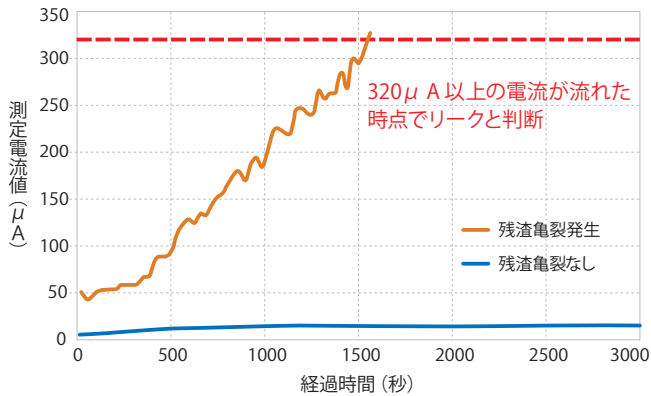


図1 フラックス残渣亀裂と絶縁性

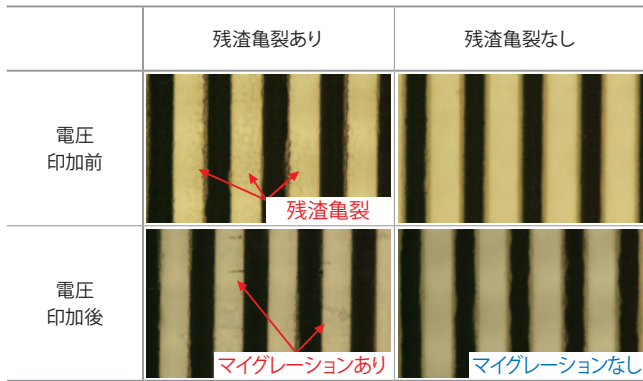


図2 フラックス残渣亀裂とマイグレーション性

0.4mmピッチQFPや0.5mmピッチBGAという部品が搭載されるようになってきており、ソルダペーストも微細印刷に対応したものが求められる。また、自動車用と民生機器用におけるソルダペーストへの要求の違いとしては、接合部のはんだ量を十分に確保するために、自動車用では印刷膜厚を厚くしたいとの要望も多い。これは、自動車用では大型部品が搭載されるケースがあることや、高い接合信頼性が要求されることに起因している。

自動車用ソルダペーストでは、詳細な項目を入れると50~60個の要求項目が存在するが、以下では、「CLR」の開発ポイントである「フラックス残渣の亀裂防止」と「微細印刷性」について、詳細に説明する。

3 フラックス残渣亀裂の防止

当社では、以前からフラックス残渣の亀裂を防止したソルダペーストを開発してきた。しかし、上述したように、ECUの設置環境がエンジンルーム内に広がり、フラックス残渣の耐亀裂性に求められる条件も厳しくなっている。

具体的には-40℃⇄+125℃の冷熱サイクルにおいても、フラックス残渣が割れないことが求められる。

表1にソルダペーストおよびフラックスのおおまかな構成成分と役割を示す。一般的なソルダペーストは、はんだ粉末と、ベース樹脂（ロジン、合成樹脂など）、活性剤、

表1 ソルダペーストの構成と役割

成分		主な役割
金属	はんだ粉末	部品と接合
フラックス	ベース樹脂 (ロジン、合成樹脂)	部品の仮固定再酸化の防止
	活性剤	酸化膜除去
	ワックス	金属粉沈降防止印刷性付与
	溶剤	粘度調整

溶剤などからなるフラックスをおおよそ9:1の重量比で混合したものである。この段階でのフラックスは、粘稠な形状をしているが、リフロー加熱にともない、活性剤成分と溶剤成分はほとんどが揮発してしまい、フラックス残渣はベース樹脂とワックスが主成分となる。また、ベース樹脂とワックスの成分比率は、ベース樹脂が大半を占めており、フラックス残渣の亀裂防止にはベース樹脂に耐亀裂性を持たせることが重要となってくる。

一般的には、亀裂が入りやすいロジンを減少させ、ガラス転移温度 (Tg) の低い合成樹脂を使用することにより、フラックス残渣の亀裂を防止している。しかし、ロジンを減少させすぎると、はんだの濡れ性が低下することや、活性剤成分がフラックス中に溶解せず、析出することによりペーストの安定性が低下するという問題が起こりやすい。

そこで、ロジンを減少させてもはんだ濡れ性およびソルダペーストの安定性確保が可能となるように、合成樹脂の構造、分子量、酸価を調整した。その結果、-40℃⇄+125℃の冷熱サイクルにおいても、フラックス残渣の亀裂を防止することが可能となった。従来品と「CLR」において、-40℃⇄+125℃ 2000サイクル経過後のフラックス残渣の亀裂結果を図3に示す。

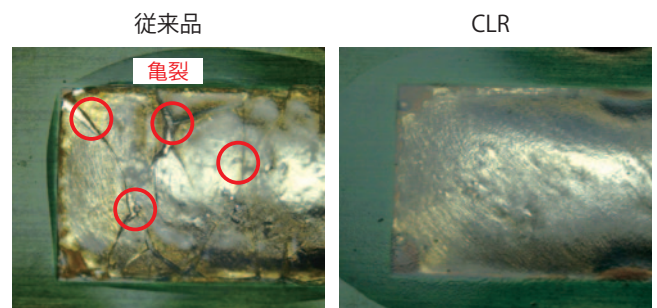
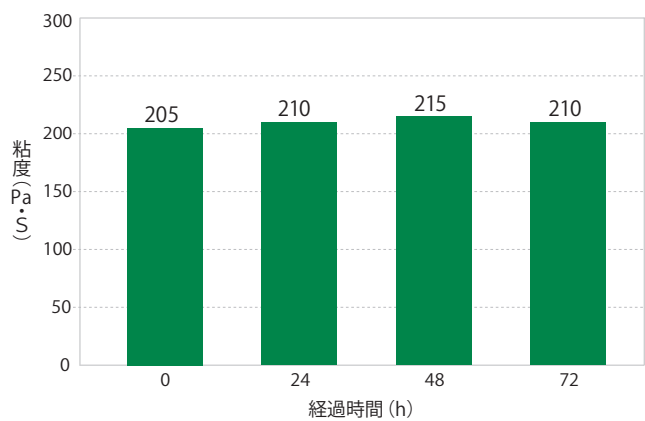
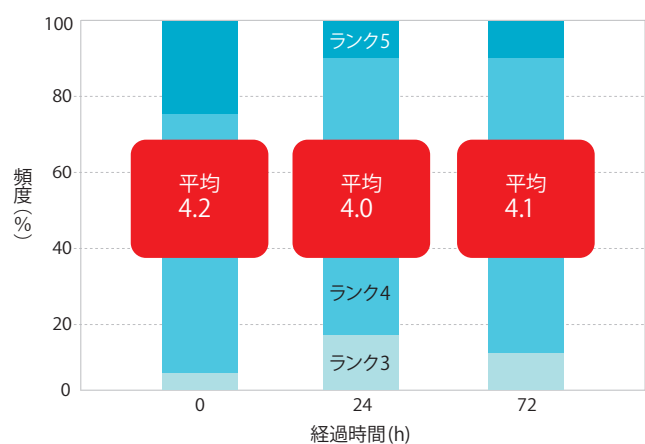


図3 冷熱サイクル後のフラックス残渣亀裂

また、先ほど述べたようにフラックス残渣亀裂を防止すると、ソルダペーストの粘度安定性や部品へのはんだ濡れ性が悪くなる場合がある。「CLR」使用において、連続使用時のソルダペーストの粘度安定性とその際のQFP部品への濡れ性を図4、図5に示す。通常ソルダペーストは、



※12時間ごとに80%を新品と入替
図4 連続使用時の粘度安定性



判断基準 ※0.5mmP QFP (208pin)

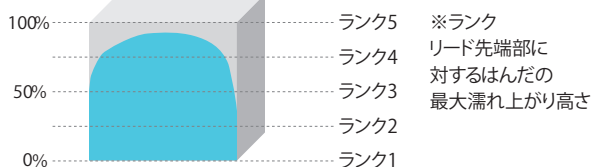


図5 QFP濡れ上がり

印刷にともないペーストが消費され、継ぎ足しながら使用するが、穴のないメタルマスクを使用して12時間連続で印刷後、80%のペーストを新品のペーストと入れ替えることで評価を実施した。QFPの濡れ性については、QFP先端部分へはんだがどの程度濡れ上がっているかを5段階にランク分けしたもので、ランクが高いほど良い濡れ性を示し、ランク3以上が必要とされている。粘度安定性、QFP濡れ性ともに、初期と72時間後でほとんど変わらない結果となり、安定性の低下やはんだ濡れ性の低下は認められない。

従来のソルダペーストでは、連続使用時の粘度安定性の悪さから、ある程度連続で使用するとメタルマスク上のペーストを廃棄していた。また、この際には、メタルマスクを一度きれいに洗浄してから再度使用するため、生産性の悪化も引き起こしていた。「CLR」では、継ぎ足し使用で1週間連続使用が可能であり、ペーストの廃棄量削減および生産性向上にも貢献できるペーストである。

4 微細印刷性の確保

微細印刷性を確保するためには、使用するはんだ粉末の粒径を小さくすることがもっとも効果的であると考えられる。現在、はんだ粉末の粒径は、30 μ m程度で使用されることがもっとも多い。最近、携帯電話などのモバイル機器に微小部品が搭載されることも多く、その際には、はんだ粉末の粒径を20 μ mや10 μ m程度に小さくして印刷性を確保している。しかし、はんだ粉末の粒径を小さくすると相対的に粉末表面の酸化膜量が多くなり、はんだ濡れ性の悪化、微細ボールの発生など、はんだ付けの問題が生じる。

また、この濡れ性悪化を活性剤量増加で補うと、過剰な活性剤がはんだ金属と反応し、ソルダペーストの安定性が悪化する問題が考えられる。次にワックス量を増量し、粘性を調整することで微細印刷性に対応することも考えられるが、粘性調整での改善は限られており、大きな改善効果は見られなかった。

ここで、印刷性が悪化する原因について、模式図を図6に示す。

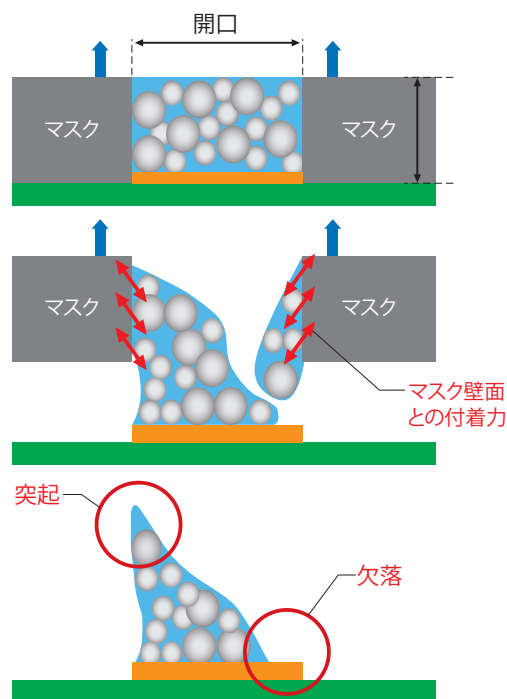


図6 印刷性悪化原因の模式図

微細部分の印刷においては、メタルマスクの開口が狭くなるため、メタルマスク厚が同じであるとアスペクト比が増大する。そのため、ソルダペーストを印刷後、メタルマスクを引き上げた際にペーストがメタルマスク壁面に付着しやすい。その結果、印刷されたソルダペーストは、ツノや欠けが発生し、印刷性が悪化する。このようなことから、印刷性を向上させるためには、メタルマスク壁面とソルダ

ペーストの付着力をコントロールすることが重要となる。

フラックスに使用している合成樹脂の構造、分子量および酸価を調整することにより、ソルダペーストとメタルマスク壁面の付着力をコントロールすることが可能となった。今回設定した「CLR」と従来ペーストにおいて、0.4mmピッチQFP部分と0.5mmピッチBGA部分で印刷した外観写真を図7に示す。従来ペーストでは、ツノ形状やペーストが印刷されていない欠け部分が存在するのに対し、「CLR」では良好な印刷ができていることが分かる。

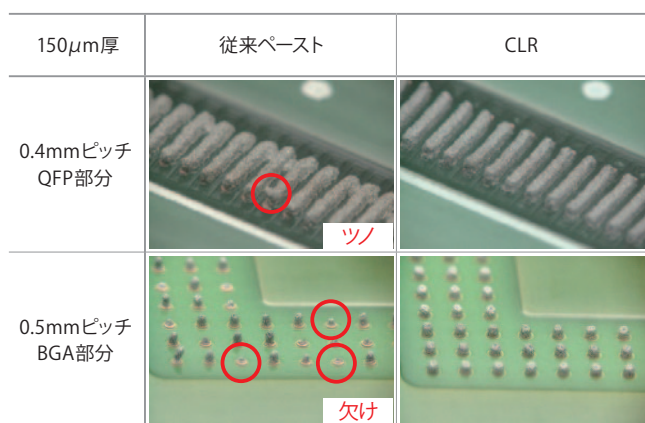


図7 微細印刷性比較

また、印刷工程において、印刷速度を速くすることにより、生産効率の向上が期待できる。しかし、印刷速度を上げていくと、ペーストがメタルマスク開口に入りにくく、印刷性が悪化する問題があった。しかし、「CLR」では、通常の倍以上の100mm/sec.で印刷した場合においても、優れた印刷性を示している。印刷速度を通常の30mm/sec.と高速の100mm/sec.で印刷した結果を図8に示す。

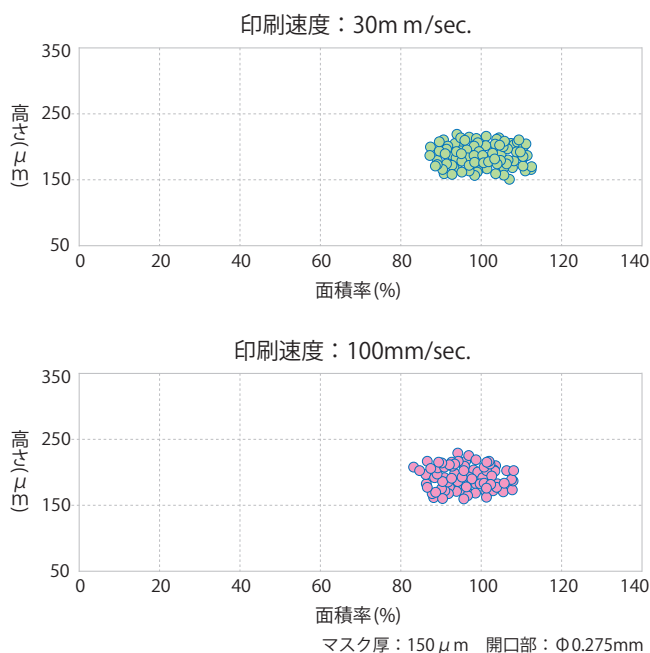


図8 印刷速度と印刷性

以上の結果からも分かるように、「CLR」は印刷性と生産性の2つを兼ね備えているソルダペーストであると言える。

5 性能まとめ

本稿では、「残渣亀裂の防止」と「微細印刷性」を中心に説明してきたが、はじめに述べたようにソルダペーストにはさまざまな性能が求められる。今回開発した「CLR」の性能一覧を表2に示す。今回紹介した性能以外にも、通常ソルダペーストに要求される項目を満足しており、実使用においても問題なくご使用いただいている。

表2 CLR性能一覧

項目	性能(代表値)	備考
商品名	CLR	—
合金組成	Sn/Ag/Cu=96.5/3.0/0.5	—
ハライド含有量	0.15%	JIS Z 3197 準拠
フラックス含有量	11.5%	JIS Z 3197 準拠
銅板腐食	腐食なし(72時間後)	JIS Z 3197 準拠
絶縁抵抗	$1 \times 10^9 \Omega$ 以上	JIS Z 3197 準拠
マイグレーション	発生なし(1000時間後)	85°C×85% 1000hr、 印加50V 測定時100V
粘度特性	粘度	220Pa・s
	チクソトロピー指数	0.48
印刷時のだれ	0.2mm間隔でブリッジなし	JIS Z 3284 準拠
加熱時のだれ	0.3mm間隔でブリッジなし	
粘着性	1.0N以上(初期~24時間後)	JIS Z 3284 準拠
使用期限	製造後6か月	冷蔵保管(0-10°C)

6 おわりに

今回紹介した「CLR」は、フラックス中の合成樹脂成分を独自設計することにより、残渣亀裂防止、微細印刷性の確保を達成した。現在、車載メーカー様での採用が進み、適応範囲も拡大してきている。

現在、はんだの組成は、Sn-3.0Ag-0.5Cuはんだが使用されることが多いが、さらなる耐久性向上を目的として、はんだ自体の耐久性向上検討も進んできている。

今後当社では、「はんだ金属」と「フラックス」をともに高信頼性化することにより、より信頼性の高いソルダペーストを開発していきたいと考えている。

<参考文献>

- 富士キメラ総研、「車載電装デバイス&コンポーネンツ総調査2018(下巻)」まとまる、プレスリリース第18035号
- 富士キメラ総研、「2014車載ECU関連市場の現状と将来展望」まとまる、プレスリリース第15010号