

鉛フリーリフローはんだ付け工法の実用化

Practical use of lead-free reflow soldering industrial method

村 上 至	<i>Itaru Murakami</i>
鞆 殿 直 靖	<i>Naoyasu Udono</i>
杉 山 高	<i>Takashi Sugiyama</i>
安 藤 善 之	<i>Yosiyuki Ando</i>



要 旨

近年、家電メーカーを中心に、鉛フリーはんだを使用した製品が増えてきており、自動車メーカーからは、欧州のELV指令やWEEE指令をにらんだ、具体的な鉛フリー化のガイドラインが提示され、今後各社製品の鉛フリー化は加速されるものと予測される。

しかしながら、車載機器での鉛フリーリフロー工法の実用化には、温度や湿度あるいは温度サイクルなどの車載信頼性を満足するためのさまざまな配慮が必要であり、これが車載機器の鉛フリー対応を遅らせる一因であった。

当社では、これまで鉛フリーはんだの実用化に向けた技術開発を行い、昨年には市販のナビ製品で競合他社に遅れることなく市場投入した。

本稿では、鉛フリーリフロー工法を実用化するための材料開発や部品の選定およびリフロー条件管理などについて紹介する。

Abstract

Recent years have seen an increase in products using lead-free solder, especially those of domestic appliance manufacturers. Meanwhile automobile manufacturers have brought out specific guidelines for switching to lead-free solder, with an eye to European Union directives such as ELV and WEEE.

Thus the switch to lead-free solder looks set to speed up in various products. For in-vehicle equipment however, bringing the lead-free reflow method into practical use came up against the need to meet in-vehicle reliability requirements in terms of temperature, humidity thermal shock, etc. This has been a factor retarding the application of lead-free soldering to in-vehicle equipment.

For some time our company has been conducting technology development for practical use of lead-free solder, and last year we launched lead-free technology onto the commercial market in our navigation products, abreast of our rivals.

This paper presents the materials development, parts selection, reflow condition management and other aspects involved in bringing the lead-free reflow method into practical use.

1

はじめに

近年、はんだに含まれる鉛の有害性の問題から、鉛を使用しないはんだ、いわゆる「鉛フリーはんだ」が実用化され、家電メーカーを中心に採用が進んできている。また、欧州のELV指令¹⁾やWEEE/RoHS指令²⁾に見られるように、電子機器中の鉛に関する法的規制が強化されてきており、電子材料から鉛を排除する動きが活発化している。

このような中で、当社でも鉛フリーはんだの実用化研究を進め、2002年の市販ナビ製品（AVN）で初めて量産適用し、市場投入を開始した。図-1は、当社における基板の鉛フリー化計画である。今年度以降鉛フリーはんだを使用した製品を徐々に拡大し、2005年7月以降の新製品は、全て鉛フリー化する計画である。

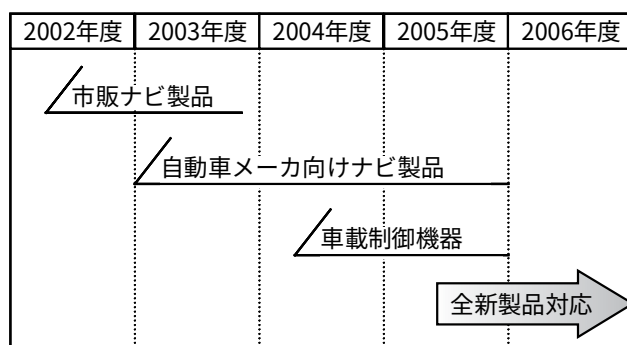


図-1 富士通テンの鉛フリー化計画
Fig.1 Schedule for practical use of lead-free solder

2

鉛の規制動向

現在世界中で鉛に関して法的な規制が制定されているのが、欧州である。先に述べた、廃自動車に関する指令（ELV）と、電気・電子機器類の廃棄物に関する指令（WEEE）および電気・電子機器類の有害物質規制に関する指令（RoHS）である。これらについては、本紙第41号にて取り上げられているので、ここでの説明は省略させていただくが、簡単に言うと、2006年7月1日以降、鉛や水銀などの有害物質を使用禁止にするというものである。ただ、車載廃電気電子機器に含まれる基板のはんだ中の鉛がこの対象になるかどうかは、まだグレーゾーンとして議論されている。しかし鉛の不使用は避けられない状態であり、早急な対応が不可欠である。

国内の規制動向に目を向けると、家電リサイクル法（特定家庭用機器再商品化法）や廃掃法（廃棄物の処理及び清掃に関する法律）により、リサイクルや一部の有害物に対して規制があるものの、上記したような直接的な使用制限規

制はまだ無い。ただし、当社に関連の深い自動車業界について言えば、自工会が、環境負荷物質削減の自主取り組み³⁾として、鉛の使用量を、2006年以降、1996年当時の10分の1以下にするという目標値を設定しており、基板の鉛フリー化が加速されるものと推測される。

このような状況の中、自動車メーカーは、2000年頃から鉛フリーはんだを使用した基板を一部の車載機器に採用し、徐々に対象機器の拡大を進めている。全ての車載機器での鉛フリーはんだへの移行は、先のELV指令やWEEE/RoHS指令、自工会目標の2006年を念頭に置き、それに間に合わせる形で対応する計画である。

3

鉛フリー化の課題

基板への部品実装方法には、フローはんだ付けやリフローはんだ付けなど様々な工法があり、鉛全廃を行おうとすると、全ての工法での鉛フリー化対応技術の開発が必要である。しかし、最近では、部品の小型高密度化やLSIパッケージの多ピン狭ピッチ化にともない、基板の実装形態としては、図-2に示すような両面リフロー基板が主流になっている。そのため、基板の鉛フリー化を進めるには、フロー工法よりもリフロー工法での鉛フリー化対応技術の確立が重要視されている。

鉛フリーはんだを実用化するにあたっては、現行の生産設備や条件、設計要件などをできるだけ継承することが望ましい。しかし、鉛フリーはんだ合金の融点や濡れ性、物性値などは、従来のSn-Pbはんだと異なり、従来のはんだ付け工法がそのままでは使えない。しかも、基板の高密度化とともに、家電製品と比べて厳しい車載環境での温度や湿度にも対応しなくてはならない。そこで、ソルダペースト中のフラックスやリフロー炉、リフロー条件、使用部品、基板設計仕様などを鉛フリー用に最適化してきた。

次章以降、これらの開発、検討状況について報告する。

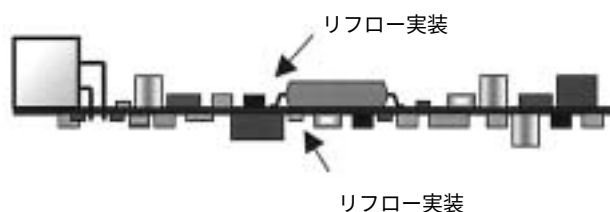


図-2 両面リフロー基板

Fig.2 Process board with reflow soldering on both sides

4 ソルダペースト材料の開発

4.1 はんだ合金の選定

今回選定した鉛フリーはんだ合金はSn-3.0Ag-0.5Cuである。これは、接合信頼性確保を考慮し、引っ張り強度・のび・ヤング率といった機械特性面で他の合金に比べ優位であることによる。表-1に各種合金の機械特性値を示す。

なお、この組成は電子情報技術産業協会（JEITA）が推奨しており、民生業界においても広く使われている。このため、他の合金を選定する場合に比べると、供給安定性や、低コストといったメリットがある。

4.2 ソルダペースト開発の考え方

鉛フリーはんだ用ソルダーペーストでは、はんだ合金特性である濡れ性低下補助や、Snの酸化防止が必要となるために、これまでのSn-Pbソルダーペースト用のフラックス材料は使用できない。特に鉛フリーはんだによるリフロー工法では、リフロー後の接合部分においてボイドと呼ばれる空洞が顕著に発生し、接合面積が減少することで、接合信頼性が低下するという問題がある。

表-1 各種鉛フリーはんだ合金の機械特性
Table 1 Properties of various lead-free alloys

項目	鉛フリーはんだ				現行
	Sn-Ag	Sn-Ag-Cu	Sn-Cu	Sn-Zn	Sn-Pb
融点(°C)	221	216~220	227	199	183
引張強度(N/mm ²)	41.0	53.3	30.9	45.5	56
伸び(%)	58	46	45	40	56
ヤング率(GPa)	43.2	41.6	32.8	53	25.8

表-2 ソルダペーストフラックス成分構成表
Table 2 Flux composition table of lead-free solder paste

		開発品	備考
フラックス含有率		10.5%	
樹脂	ロジンA (低軟化点)	○	防湿性能を維持 合成樹脂及び低軟化点タイプのロジン樹脂採用。
	ロジンB	○	
	ロジンC (高軟化点)	—	
	合成樹脂	○	24%
活性剤	ハロゲン系	—	濡れ性・連続印刷性確保 非イオン性活性剤の採用とハロゲン系材料の廃止
	有機酸系	○	
	非イオン性	○	
溶剤	低沸点	○	低ボイドと連続印刷性確保 混合溶剤の採用
	高沸点	○	
チキン材・添加剤		○	bal

このボイドは下記のような原因によって発生するものとされている。

- 1) 鉛フリーはんだの電極への濡れ性が悪い
- 2) はんだの熔融状態での表面張力が高いためにガス化したフラックスが外部に抜けきらない

そこで、今回、このボイド発生低減と、車載製品で重要となる高温高湿雰囲気や結露発生時での絶縁信頼性確保の両立を目標にソルダペースト用のフラックス開発を行った。

表-2にその成分構成表を示す。

4.2.1 濡れ性向上手法

はんだ材料の鉛フリー化とともに、部品の電極めっき材も鉛フリー化が進められ、従来のはんだめっきは、SnやSn-Biなどに変更されつつある。これらのめっき材は、従来のはんだめっきに比べ、融点が高く、また酸化しやすい材料であるために、電極自体の濡れ性も低下してしまう。

我々は、この課題に対し、ソルダペーストに使用する活性成分として、特にSnめっき上で良好な濡れが確保できる材料を選定することで対応した。

今回開発した活性成分と一般的な活性成分を使用した場合での濡れ時間を調査した結果を図-3に示す。

結果から、今回鉛フリー用として開発した材料では、めっき材の影響を受けず、良好な濡れを示していることがわかる。

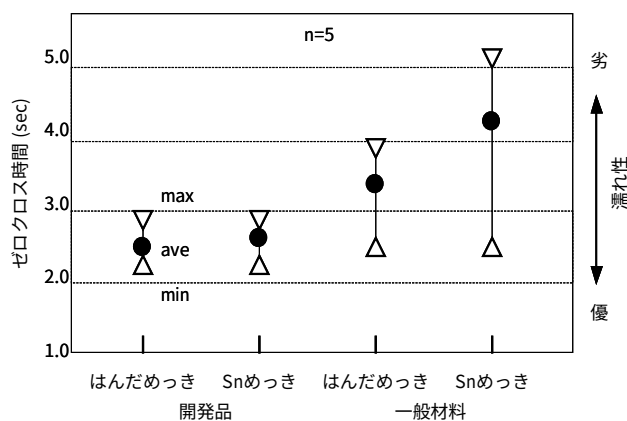


図-3 活性成分と濡れ性
Fig.3 Relationship of wetting time and activator

4.2.2 リフロー中のフラックスガス発生抑制手法

リフロー中にガスとなって発生する主な成分は、フラックスに含まれる溶剤成分である。

従って、リフロー時のガス発生を抑制するには、溶剤の沸点を下げて揮発性を高め、リフロー加熱時に溶剤が残らない状態とすることが望ましい。しかし過度な低沸点化は、常温時の揮発性も高くなってしまいうため、溶剤揮発により

溶ダペーストの粘度が上昇し、長時間の連続印刷性が確保できなくなってしまう。この相反する特性を両立させる手段として、溶剤成分の揮発調整をおこなった。

このときの調整による目標値は、

- 1) チップ電極下ボイド率は10%以下：接合信頼性確保
- 2) 連続印刷可能時間は8時間以上：生産性確保

の2点とした。

図-4は調整した溶剤の温度－揮発量特性である。

これまでのさまざまな実験により目標をクリアするには、

- 1) 常温～55℃までの揮発量を0.2(wt%)以下
- 2) 常温～170℃までの揮発量を20.0(wt%)以上

の揮発特性にする必要があることがわかっている。

調整後の溶剤はこの揮発特性を満足しており、連続印刷性と低ボイド率の両立を図っている。

このようにして、開発した溶ダペースト材料の諸特性を次項で紹介する。

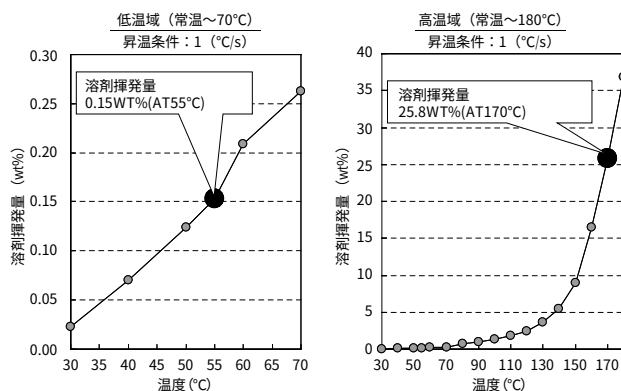


図-4 開発した溶剤の揮発特性

Fig.4 Volatility characteristics of newly-developed solvent

4.3 ソルダペーストの基礎特性

4.3.1 はんだ付け品質

今回の鉛フリー溶ダペーストのはんだ付け性を評価するため、実製品を用いて、チップ部品（1608,3216,6432サイズ）のリフロー時の部品立ちとはんだボール発生状況を調査した。図-5にその結果を示す。

チップ立ちについては、ペースト印刷や部品の実装ズレが無い場合は、現行のSn-Pbはんだと同じく不具合が発生しなかったが、ズレがある場合は、鉛フリーはんだでチップ立ちが発生した。これより、鉛フリーはんだは製造工程内での実装状態のばらつきに対する余裕度が無いと考えられる。この対策については、5.2項で説明する。対策にあたっては、はんだボール発生についても同時に確認し、チップ立ち低減と同時にはんだボールのいっそうの低減を狙った。

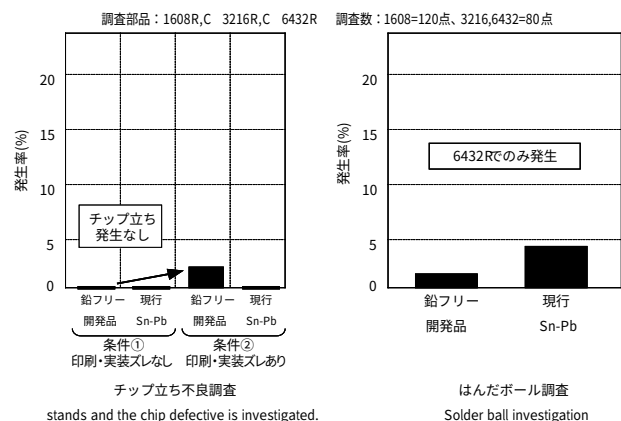


図-5 はんだ付け品質

Fig.5 Soldering quality of lead-free solder paste

4.3.2 連続印刷性

溶ダペーストの供給はスクリーン印刷で行う。そのため、連続印刷ではんだを安定して供給することが重要である。

ここでは、0.4mmピッチQFPパターンでの8時間までの連続印刷時の転写率について一般市販品との比較結果を紹介する。

転写率は、次式により算出した。

$$\text{転写率 (\%)} = \frac{\text{印刷面積}}{\text{マスク開口面積}}$$

図-6に開発品と市販品とで評価した結果を示す。

開発品は、前項で述べたとおり溶剤成分の最適化が図られており、経時変化も少なく、8時間後においても非常に安定した印刷ができています。

4.3.3 信頼性評価結果

今回開発した鉛フリー溶ダペーストは、当社が従来からSn-Pb溶ダペーストで実用化してきた防湿機能を、そのまま継承した材料である⁴⁾。この防湿機能とは、はんだ付け後のフラックス残渣がはんだ付け部を覆うことで、湿

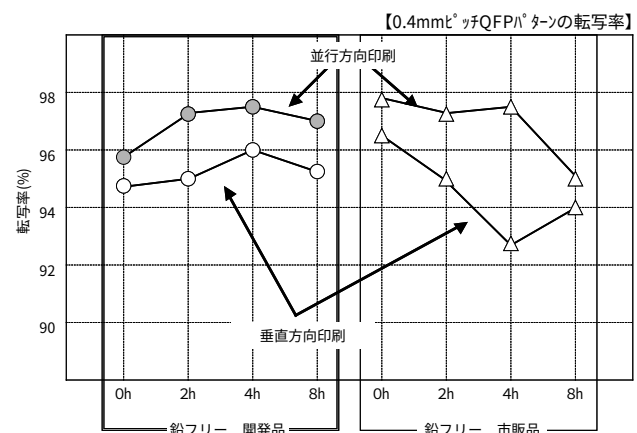


図-6 連続印刷性

Fig.6 Performance of continuous printing

度や結露からはんだ付け部を保護する機能を指し、コーティング代替技術として1996年から採用している。

ここで、防湿機能として求められる信頼性項目は、

- ①熱衝撃試験：熱ストレスによる塗膜の劣化、亀裂の有無
- ②低温回復試験：低温→常温時に起こる霜付き（結露）によるパターン間抵抗値低下の度合い
- ③絶縁抵抗試験：高温高湿条件下でのパターン間の絶縁信頼性

の3点である。

以下にそれぞれの試験結果について述べる。

①熱衝撃試験結果

基板上に形成されたフラックス残渣膜は、基板との線膨張係数の違いにより、熱衝撃で生じたストレスで亀裂を生じる場合がある。この亀裂部分に水分が侵入するとリーク不良などを招く結果となる。

ここでは、通常の実車機器の試験条件である-30/80℃の熱衝撃試験によるフラックス残渣膜の亀裂について調査した。図-7にその試験後のランド外観を示す。

市販品では熱衝撃試験後にランド周囲のフラックス溜まり部分での亀裂が見られるが、開発品ではこのような亀裂は見られず、良好な塗膜状態を維持していた。

②低温回復試験結果

本試験は、基板を低温から常温に取り出したときに生じる基板表面の結露によるパターン間の絶縁抵抗値低下度合いを評価するものである。

試験は、-30℃の雰囲気中に24時間放置後、常温に取り出した後の抵抗値変化を測定するもので、サンプルには前処理として熱衝撃試験を実施している。これは①で示したように残渣膜の劣化を考慮したためである。

結果は図-8 (a) のとおりで、一般市販材料では残渣割れによる抵抗値低下が大きいのに対し、開発品では市販品に比べ1オーダー高い数値を示した。

③絶縁抵抗試験結果

本試験は、高温高湿雰囲気中での絶縁抵抗値を評価するものである。

試験条件は、85℃、85%雰囲気中で16V印加し、1000時間継続した。

結果は図-8 (b) のとおりで、低温回復試験結果と同様に、開発品は市販品に比べ1オーダー高い数値を示した。

試験) サンプル: ICランド間
条件: -30/80℃各10分×1000cyc

鉛フリー開発品



熱衝撃後残渣割れ件数 (0/128gap)

鉛フリー 市販品



熱衝撃後残渣割れ件数 (128/128gap)

図-7 フラックス残渣耐熱衝撃性

Fig.7 Thermal shock resistances of flux residues

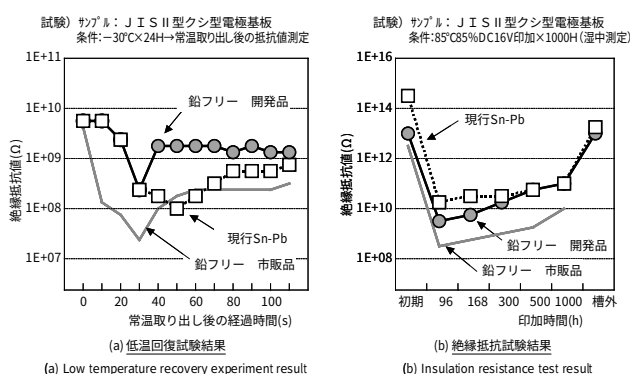


図-8 フラックス材料の信頼性

Fig.8 Reliability of flux material

以上のように、今回開発した鉛フリーソルダペーストのフラックス材料は、現行Sn-Pb材料と比べて、同等の絶縁信頼性と防湿性能を確保していることがわかる。

5

はんだ付け工法

5.1 リフロープロファイル

5.1.1 最低溶融温度

選定した鉛フリーはんだ合金は、現行Sn-Pbはんだ合金に比べ、融点が約40℃上昇するため、はんだ付け温度もそれに合わせて上昇させる必要がある。Sn-Pbはんだのはんだ付け下限温度は、液相線温度+約20℃であるが、鉛フリーはんだに同じ条件をあてはめると下限温度が約240℃となり、部品の耐熱温度によっては、はんだ付けできない場合が出てくる。そこで、実際にはんだが溶融する下限温度（最低溶融温度）が何℃であるかを確認するため、はんだ付け温度別にはんだの断面組織と接合強度を調査した。温度別の断面組織を図-9に、接合強度を図-10に示す。

断面組織を見ると、液相線付近の220℃では組織が荒く溶融状態が悪いことが判明した。また、接合強度は、225℃～240℃で同等の強度があり、最低溶融温度は225℃

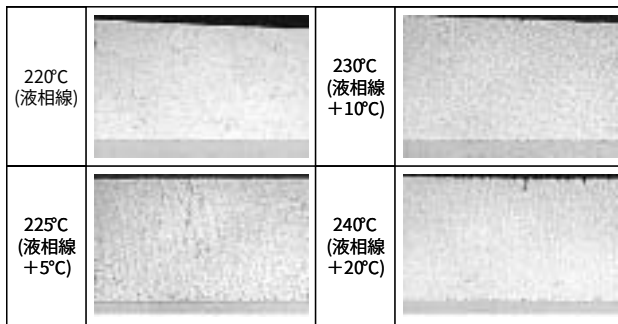


図-9 溶融温度別の断面組織

Fig.9 Images of structures at various melt temperatures

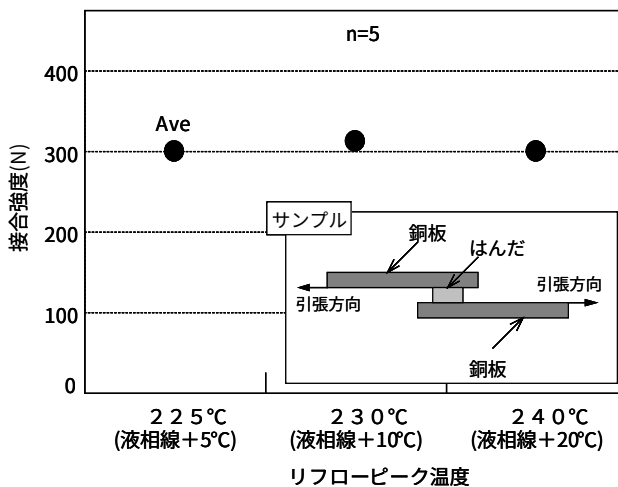


図-10 溶融温度別接合強度

Fig.10 Joint strength at various melt temperatures

であることが確認できた。これに設備での再現精度を加味し、リフローはんだ付けの下限温度を230°Cに設定した。

5.1.2 リフロー炉の選定

プリント基板をリフローはんだ付けする場合、実装部品ごとの熱容量の違いから、リフローピーク温度にばらつきが生じる。今回設定したはんだ付け下限温度に合わせて、現行リフロー炉の温度プロファイルを鉛フリー用に変更すると、部分的に基板表面のピーク温度が上昇し、部品耐熱を超える場合がある。

そこで、基板表面の温度を均一化できる熱収束性の高い多ゾーン化、温風加熱効率化されたリフロー炉を導入し、基板表面温度のばらつきを小さくする事で、部品耐熱の確保を行った。

5.1.3 リフロープロファイルの管理

前記したように、リフローはんだ付け時のプリヒートカーブやピーク温度は、実装する部品サイズや実装密度の影響でばらつきが生じる。そこで、部品耐熱や最低溶融温度が確保できるピーク温度と、それに合わせたプリヒート温度の管理幅を図-11に示すように設定した。

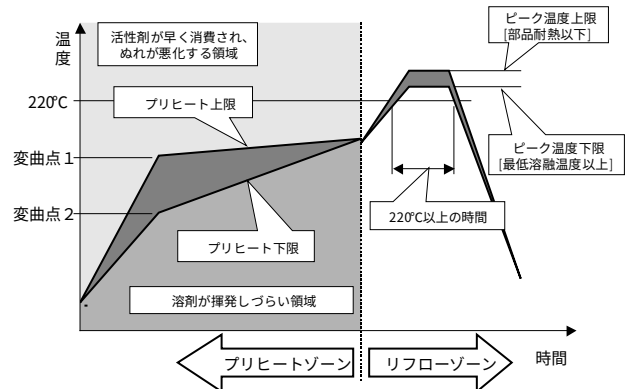


図-11 リフロープロファイルの管理

Fig.11 Management of reflow profile

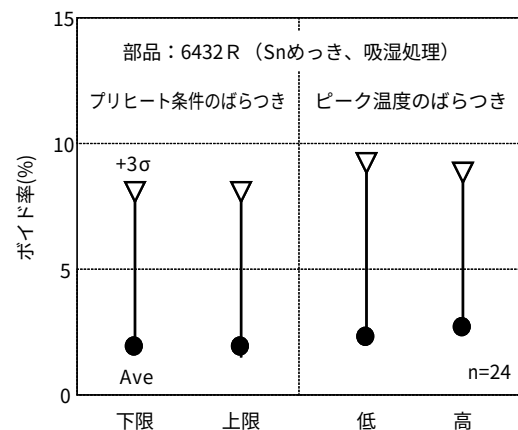


図-12 ボイドに対するリフロープロファイルの影響

Fig.12 Effect of reflow profile on voids

この管理幅に基づいて、はんだ付け品質の中でも特に接合信頼性に大きく影響するチップ電極下のボイド発生状況を調査した。その結果を図-12に示す。今回設定した管理幅内において、プリヒートカーブやピーク温度がボイドに及ぼす影響は低いことを確認した。

5.2 チップ立ち対策

5.2.1 ランド・メタルマスク設計

4.3.1項のはんだ付け品質で述べたように、鉛フリーはんだはチップ立ちに対して、印刷ズレ、実装ズレに余裕が無いことがわかった。

このチップ立ちを抑制するには、印刷ズレ、実装ズレによる電極とはんだの接触面積の減少、すなわちタック力の低下を防ぐ必要がある。そこで、ランド間隔及びメタルマスク開口間隔を調整し、ズレ発生時の電極とはんだの接触面積を十分確保することで、チップ立ちを抑制した。ズレを発生させた状態での実機評価結果を図-13に示す。

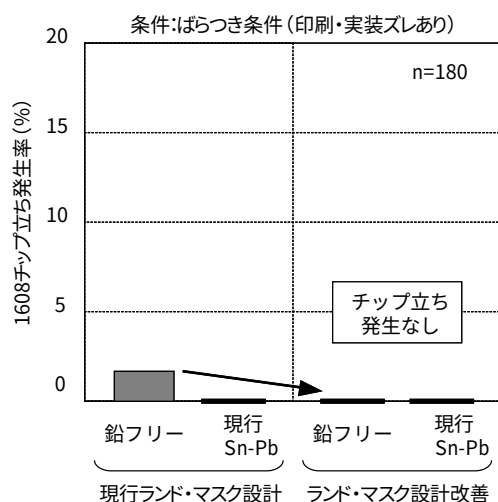


図-13 ランド・メタルマスク設計の工夫によるチップ立ちの改善
Fig.13 Improvement of tombstone via land design

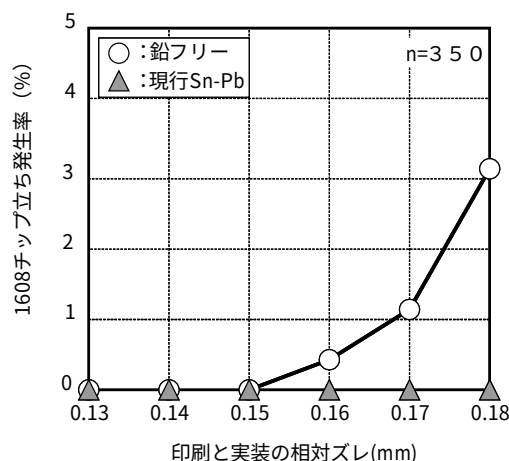


図-14 チップ立ちに対する印刷ズレ、実装ズレの影響
Fig.14 Effects of print gap and mounting gap on tombstone

5.2.2 印刷及び実装設備

前項で設定したランド・メタルマスク設計値を用いて印刷ズレや実装ズレがどの程度影響するのかを調査した。その結果を図-14に示す。鉛フリーはんだは、現行Sn-Pbはんだに比べズレに対する余裕度が非常に少なく、チップ立ちを抑制するには、ペースト印刷と部品実装との相対ズレを、0.15mm以下にする必要があることがわかった。このことから、鉛フリーはんだのはんだ付け品質を確保するには、精度の高い印刷機や部品実装機を使用する必要がある。

6

部品の選定

6.1 部品電極めっき

はんだの鉛フリー化とともに部品電極めっきの鉛フリー化も行われている。これまでは大半のめっきがSn-Pb系だ

ったが、鉛フリー化によってSn系、Sn-Bi系、Au/Pd系など様々なめっき材質が登場している。そこで、それらのめっきに対してはんだ付け後の接合状態と熱衝撃試験後の接合信頼性について調査を実施し、表-3に示すはんだとめっきの組み合わせの相性について一覧表にまとめた。

今回、はんだとめっきとの相性でNGとしたのは、Sn-Bi(Bi>2.0wt%), Au/Pd/Ni(Pd>0.1μm), Sn-Pbの部品めっきである。Sn-Biで、Bi含有量が2wt%を超えるめっきやSn-Pbめっきは、フローはんだ付け時にリフトオフが発生し、しかもフローはんだ槽内のはんだ成分が、BiやPbで汚染されるためである。また、Au/Pd/Niにおいて、Pdのめっき厚が0.1μm以上あると、図-15に示すように、はんだ付け後の接合界面にPdが残り、それが熱衝撃試験によってPdSn4相として厚く成長することで、クラックを生じさせ、信頼性を低下させるためである⁵⁾。

また、Sn-Pbめっき部品を鉛フリーはんだを用いたリフロー工法ではんだ付けした場合、はんだフィレット中でSn-Ag-Pbの低融点合金が形成される。この状態で後工程のフローはんだ付けなどで熱が加わった場合には、この低融点合金を起点とした剥離が発生する恐れがある。

したがって、Sn-Pbめっきの使用には十分な注意を要する。

表-3 鉛フリーはんだと部品めっき相性一覧
Table 3 Compatibility of lead-free solder with part plating

はんだ材料		鉛フリーはんだ		現行Sn-Pbはんだ		
部品形態		SMD		THD		
はんだ付け工法		リフロー	フロー	リフロー	フロー	
部品めっき	Sn	○	○	○	○	○
	Sn/Ni	○	○	○	○	○
	Sn-Ag	○	○	○	○	○
	Au	○	○	○	○	○
	Sn-Cu	○	○	○	○	○
	Sn-Ag-Cu	○	○	○	○	○
	Sn-Bi(Bi≦2.0wt%)	○	○	○	○	○
	Sn-Bi(Bi>2.0wt%)	○	×	×	×	×
	Au/Pd/Ni(Pd≦0.1μm)	○	○	○	○	○
	Au/Pd/Ni(Pd>0.1μm)	×	×	×	×	×
Sn-Pb	△	×	×	○	○	

○：OK ×：NG △：要注意

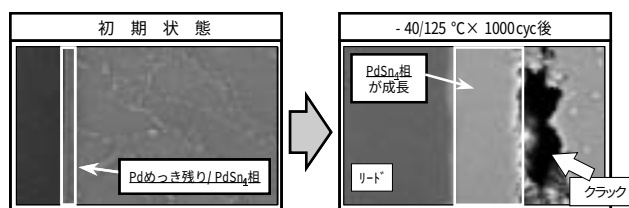


図-15 めっき残りによる信頼性低下(Au/Pd/Niめっき)
Fig.15 Reliability decrease due to plating residue (Au/Pd/Ni Plating)

6.2 部品耐熱

5.1項で示したように、はんだの融点上昇に伴い、新しいリフロー炉の導入やリフロープロファイルの変更を行ってきたが、リフローピーク温度の上昇は避けられない。そのため、現行のSn-Pbはんだで使用していた部品の耐熱仕様では、鉛フリーのリフロー条件で耐熱保証できない場合が出てきた。

そこで、部品耐熱仕様書を、鉛フリーのリフロー温度条件を考慮したものに改定し、部品メーカーに対して耐熱温度のアップを申し入れた。現在全ての部品において、その耐熱仕様書を満足するには至っていないが、部品メーカーの努力により徐々に対応品種が拡大してきている。

アルミ電解コンデンサのように高耐熱部品への切り替えにより対応した部品では、部品コストアップが発生している。

6.3 部品サイズ別のはんだ付け信頼性

従来、鉛フリーはんだは、合金自体の機械的強度がSn-Pbはんだより高いため、はんだ付け信頼性も高いとされてきた。

しかし、様々な部品を用いて信頼性試験を行った結果、図-16に示すように、部品のサイズによって、鉛フリーはんだと現行Sn-Pbはんだとで信頼性に差が出てくることがわかった。1608サイズのような小型チップでは、鉛フリーはんだと現行Sn-Pbはんだとが同等の信頼性を有するが、大型チップ抵抗では1000サイクル以降で現行のSn-Pbはんだ以上に加速度的にクラック率が増大し、信頼性が低下する傾向が見られた。

これは、現行Sn-Pbはんだが非常にクリープしやすい材料であり、熱衝撃により発生した歪を緩和するのに対して、鉛フリーはんだではSn成分比が高く、またPbを含まない

ためクリープ変形が小さく、残留応力が緩和されることなく積算され、加速度的にクラック率が増大したものと考えられる。

そこで、鉛フリーはんだを実用化するにあたり、部品サイズとはんだ付け信頼性の関係をまとめ、鉛フリー設計標準として展開し、車載信頼性を満足出来ない部品の採用を禁止した。

現在開発中の製品に関してはこの指針を反映した設計を行っている。

7

量産への展開

最初に述べたように、当社では、鉛フリーはんだの実用化を2002年からおこない、今年に入ってその適用機種拡大を進めてきた。

本項では、今年4月から生産を開始したナビ用のディスプレイ基板を例に取って、その量産状況について紹介する。

本ディスプレイ基板は、0.5mmピッチQFPや面実装タイプの多ピン（60ピン）コネクタ、1005サイズのチップ抵抗などを実装している。現在一般的に生産している基板要素がほとんど含まれており、ファインピッチ部や微小部品などのはんだ付け品質の確認に適している。

この基板のはんだ付け品質について簡単に説明すると、不濡れやブリッジの発生はあるものの、5.2項で心配していたような、チップ立ちの不具合は発生していない。また、不濡れの原因は、特定の部品の濡れ不良で、溶ダペーストやリフロー条件よりも部品の電極めっきの状態の問題が大きく、部品メーカーに改善依頼中である。

ブリッジについては、現行のSn-Pbはんだ使用の同等基板と比較して、同様な発生率であり、ペーストの印刷ズレや実装ズレ、部品の端子並びの不揃いなどが原因として考えられる。これについては、鉛フリーはんだに限らず、改善実施中である。

また、溶ダペーストを連続印刷使用することでのペーストの劣化状況についても調査した。その結果を表-4に示す。一般に、溶ダペーストを連続使用すると、ペースト中の溶剤成分が揮発し、粘度が上昇して印刷性が低下したり、はんだ付け性が劣化することが考えられる。今回開発した溶ダペーストは、フラックス中の樹脂成分や溶剤成分の最適化により、若干の粘度上昇はあるものの、印刷性やタック性、はんだ付け品質などの特性劣化は見られなかった。

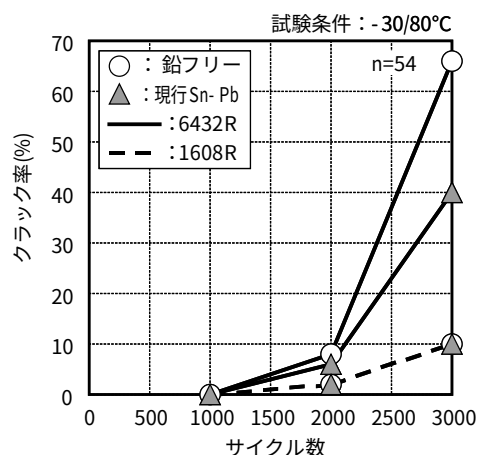


図-16 部品サイズとクラック率の関係
Fig.16 Part size versus percentage of cracks

以上の結果から、鉛フリーはんだを用いたリフローはんだ付けについては、十分実用可能なレベルであり、今後も対象製品の拡大を図っていこうと考えている。

表-4 ソルダペーストの劣化性調査結果

Table 4 Results of investigation of solder paste deterioration

項目	サンプル	判定値	ソルダペーストロット			
			1st	2nd	3rd	4th
粘度	<220 (Pa.s)	初期	161	157	161	157
		使用後	193	209	180	196
濡れ時間	<0.8 (sec)	初期	0.53	0.56	0.53	0.56
		使用後	0.54	0.53	0.56	0.54
タック力	1.0< (N)	初期	1.66	1.53	1.66	1.53
		使用後	1.65	1.54	1.55	1.56
はんだボールテスト	C2 (level)	初期	C2	C2	C2	C2
		使用後	C2	C2	C2	C2
判定			○	○	○	○

はんだボールテスト：C1(優) ⇔ C5(劣)

8

リフロー工法以外

前項まで、リフローはんだ付けについて述べてきた。しかし、全てのプリント基板において鉛フリー化を実現するには、リフロー工法以外のはんだ付けも鉛フリー化しなくてはならない。しかも、はんだ付け後の修理についても考慮する必要がある。そこで、ここでは、フロー工法と、手はんだ付けや修正工程について簡単に紹介する。

8.1 フロー工法

フロー工法は、現在でもプリント基板生産の重要なはんだ付け工法の一つである。鉛フリーはんだを用いてフローはんだ付けを行う場合、リフローはんだ付けの場合と同様、はんだの融点上昇に伴うはんだ付け温度やはんだ付け時間の最適化と、濡れ性を向上させるためのフラックスの改善、基板のランド形状の最適化などが必要である。また、基板の銅箔表面やスルーホール部などがはんだにより浸食されて薄くなる銅箔食われや、引け巣といった問題にも対処しなくてはならない。

現在、当社でもこれらの技術開発を進めており、全製品の鉛フリー化に向けて順次フロー工法を採用した基板も量産展開する計画である。

8.2 手はんだ付け・修理工程

リフローはんだ付けやフローはんだ付けでは、設備条件を決定すると、基板や部品に対する熱ストレスはほぼ一定にできる。しかし、手はんだ付けの場合、はんだ付けする

部品の熱容量や作業方法の違いから、はんだ鋳から与えられる熱量は一定ではない。そのため、使用する基板や部品の耐熱についても、それを考慮しなくてはならない。

特に、リフローはんだ付けやフローはんだ付けで発生したはんだ付け不具合の修理を行う場合、何度もその箇所に熱が加わってしまう。修理をしたつもりが、基板のスルーホールを断線させたり、部品を壊してしまわないような事前検討を十分行う必要がある。

さらに、修理時に問題になるのが、使用するはんだ材料の違いである。これは、鉛フリーはんだではんだ付けした基板を、現行のSn-Pbはんだを用いて修理したり、その逆が起こることである。表-5は、最初にはんだ付けを行った時のはんだ材料と、修理時の糸はんだ材料との組み合わせについて調査した結果だが、いずれの場合も異種材料での組み合わせで不具合が認められる。

図-17にその不具合状況の断面写真を示す。

これを見てわかるように、異種材料を混ぜることで、リフトオフが発生したり、修正時に追加したはんだが最初のはんだと十分に混ざらないなど、信頼性低下につながる接合状態になってしまう。したがって、製造工程内で使用するはんだが、全て鉛フリーに置き換わるまでは、はんだ材料が混入しないよう、工程を厳しく管理する必要がある。

表-5 異種合金ではんだ付けした場合の相性

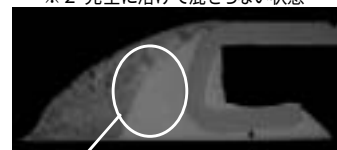
Table 5 Compatibility when soldering is performed with differing alloys

糸はんだ材料 はんだ母材	Sn-Pbはんだ	鉛フリーはんだ
Sn-Pbはんだ	○	×(※1)
鉛フリーはんだ	×(※2)	○

※1 リフトオフ発生



※2 完全に溶けて混ざらない状態



最初にはんだ付けされたはんだと後ではんだ付けされたはんだが混ざらず17リット中に2層出来るものがある。

図-17 異種合金ではんだ付けした場合の不具合例

Fig.17 Examples of troubles when soldering is performed with differing alloys

9

おわりに

以上、鉛フリーはんだ実用化に向けての取り組みについて、「リフローはんだ付け」を中心にそのキーポイントを説明した。昨年から量産を開始したものの、全てのプリント基板を鉛フリー化するには、まだまだ解決しなくてはならない課題も多い。しかも、車載機器という温度や湿度、振動といった厳しい使用環境の中で、長期に渡って信頼性を保証するためにも、さらなる技術のレベルアップが必要である。

初めに述べた、2005年7月以降の新製品の鉛フリー化を行い、地球にやさしい製品が供給できるよう、今後も技術開発を継続する計画である。

【参考文献】

- 1) End of Life Vehicles-使用済み自動車に関する指令
;Official Journal L269(Directive 2000/53/EC)
- 2) Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on Waste Electrical and Electronic Equipment and on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. COM (2000)347
- 3) 自工会：JAMA Report No.93
(社)日本自動車工業会 2002年12月
- 4) テン技報 Vol.14 No.2 (pp.55-64)
- 5) Mate2002 Sn-Ag系鉛フリーはんだとめっき材料との接合信頼性評価 (pp.261-266)

筆者紹介



村上 至
(むらかみ いたる)

1980年入社。以来、自動化機器開発、デバイス開発、FAシステム開発、材料開発に従事。現在、(生産)生産技術開発部担当部長。



鵜殿 直靖
(うどの なおやす)

1986年入社。以来、実装技術・材料開発に従事。現在、(生産)生産技術開発部エキスパート。



杉山 高
(すぎやま たかし)

1989年入社。以来、製造技術・材料開発に従事。現在、(生産)生産技術開発部在籍。



安藤 善之
(あんどう よしゆき)

1992年入社。以来、実装技術・材料開発に従事。現在、(生産)生産技術開発部在籍。