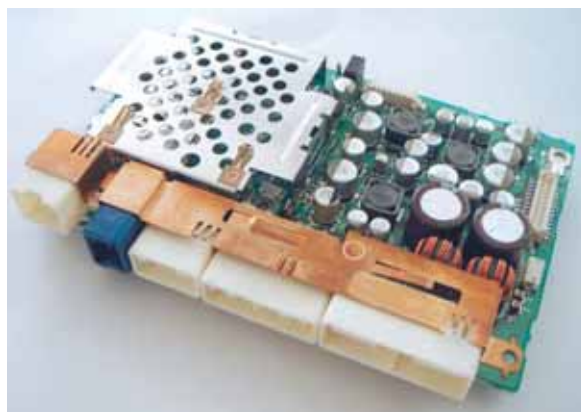


車載用鉛フリー製品の開発

Development of lead free vehicle products

村	木	泰	二	Taiji Muraki
大	西	千	秋	Chiaki Ohnishi
池	戸	健	志	Kenshi Ikeda
鶴	殿	直	靖	Naoyasu Udono
森			茂	Shigeru Mori
杉	浦	慎	一	Shinichi Sugiura
渡	辺	弘	道	Hiromichi Watanabe



要 旨

地球環境対応としてWEEE / RoHS指令にもとづき、家電メーカーを中心に鉛フリーはんだ製品が市場に拡大されるにつれて、車載電子機器においても欧州ELV指令を達成すべく鉛フリー化が進んでいる。

当社においては、2003年より自動車メーカー向けナビ製品からリフロー工法を用いた鉛フリーはんだの実用化を開始し、2004年には車両制御機器の鉛フリーはんだ採用を実現。本年はフロー工法含めた完全鉛フリー化した製品の市場投入を進めてきた。車載用の製品の信頼性を確保するためには、鉛フリーに対応したはんだ付け工法の確立、部品の選定、評価および切替え、設計要件の確立が必要である。これらに対する体制および方策について紹介する。

Abstract

From the issue of the WEEE/RoHS directive for earth environmental protection, there has been an increase of products using lead-free solder centered on household electronics manufacturers. There is a transition towards lead-free solder in -vehicle products as well, following the issue of the European ELV directive.

With the reflow soldering process, lead-free solder had been proceeding toward practical use in navigation products for auto manufactures since 2003, and lead-free solder in vehicle-control products were adopted in 2004. Now that we have succeeded in introducing completely lead-free products into the market including their flow process.

In order to ensure reliability of in-vehicle products, the establishment of soldering process that corresponds for lead-free, component selection, evaluation/conversion, and design requirements are needed. Therefore, this document introduces the working system and problem solving solution in these respects.

1

はじめに

近年、WEEE / RoHS指令¹⁾や、欧州のELV指令²⁾をはじめとする地球環境に優しい製品の提供が要求されている。図-1の様に環境対応に関する各種法規が制定されており、当社においても様々な環境対応の取り組みを実施している。その中でも車載用の製品の鉛フリー化は、非常に大きなテーマである。

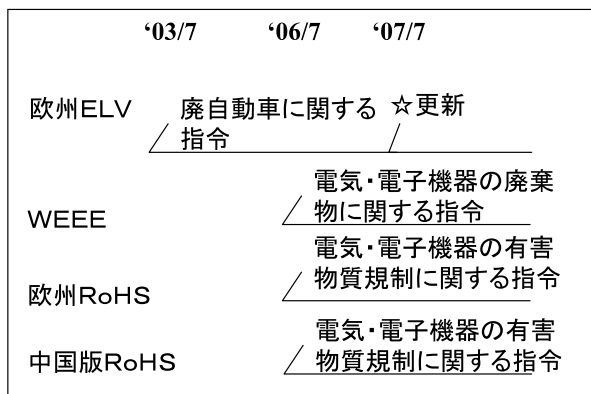


図-1 環境対応に関する各種法規

Fig.1 Various regulations regarding environmental protection

図-2に当社における鉛フリー製品化計画を紹介する。

当社においては、製品の実装形態が両面リフロー化が主流となっており、'03年にナビ用の製品から鉛フリーはんだを用いたリフローを実施し市場投入を開始してきた。'04年からは車両制御機器での鉛フリーリフローはんだ付け実装をし、ナビ用の製品にて '05年にリフロー、フロー工法を含む完全鉛フリーはんだを使用した製品を市場投入することができた。

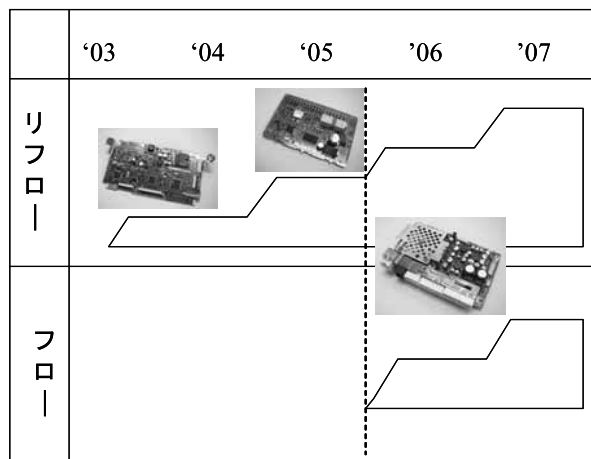


図-2 当社における鉛フリー製品化計画

Fig.2 Schedule for practical use of lead-free solder

2

鉛フリー化の課題

鉛フリーはんだ (Sn-Ag-Cu) は、従来のSn-Pbはんだと合金の融点や濡れ性、物性値などが異なり、従来のはんだ

付け工法が使えない。³⁾ 車載用の製品は、家電製品と比べて厳しい温度や湿度の環境要求があり、基板の高密度化への対応も必要である。製品の鉛フリー化を実用化するためには、鉛フリーに対応したはんだ付け工法の確立、部品の選定、評価および切替え、設計要件の確立が必要である。

図-3に示す様な鉛フリー化製品を実用化するための技術検討課題があり、これらに対する体制および方策について次章より報告する。

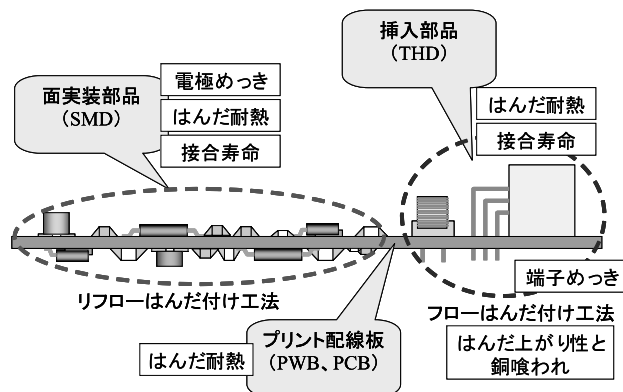


図-3 鉛フリー化製品を実用化するための技術検討課題

Fig.3 Technical evaluation issues for mass-producing lead-free products

3

取組み体制について

製品の鉛フリー化には、使用する電子部品電極の鉛フリー化とはんだ材料の鉛フリー化の2つがある。

鉛フリー化を実現するには、鉛フリー化変更過渡期において膨大な量の部品の鉛フリー化が必要であり、部品の評価を抜け・漏れなく円滑に実施する必要がある。そこで、調達・製技・生産・設計の各分野における部品情報の一括管理と、部品切替え指示を行なう「部品プロジェクト室 (以降部品プロとする)」を全社的組織として新たに発足させた。

図-4に示す様に、鉛フリー推進プロジェクト体制の中に部品プロを新設した。

鉛フリー推進プロジェクト体制

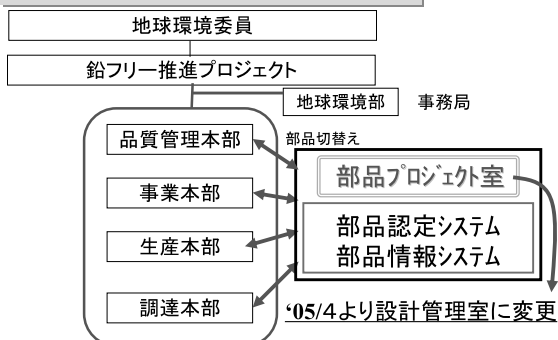


図-4 鉛フリー化推進プロジェクト体制

Fig.4 Project organization for lead-free component transition

部品情報の一元化については、部品情報の一つである部品認定（設計評価、実装評価、仕入先指導等の各部門での評価結果にて採用可否を認定）システムに、鉛フリー対応可能かを登録できる様に変更し、その設計審査を部品プロにて実施した。対象部品は現在使用している部品および採用予定の部品が、鉛フリー対応しているかを新たな認定基準に基き判断した。認定基準については、部品めっきが変わるという変化点から、はんだ濡れ性や部品耐熱性といった点を材料開発部門と製造技術部門で検討し基準の見直しを行なった。はんだの接合寿命については設計部門での評価解析結果から新たな選定ガイドラインを設定した。認定された部品については、設計部門と調整を取りながら部品変更を行い、標準部品を'04年度末までに切替えを行なうことができた。

部品の切替えにあたっては、表1に示す様にはんだ材料を切替えた場合に接合品質に影響が有り、部品電極の鉛フリー化を先行して進めていった。

表-1 部品電極めっきとの相性問題

Table 1 Compatibility problem with component terminal plating

		工法	部品電極	
			Sn-Pb	鉛フリー
はんだ材料	Sn	リフロー	○	○
		フロー	○	○
	Pb	リフロー	×	○
		フロー	×	○

これまでに述べてきた評価結果や部品の切替え状況は、社内システムの部品情報を検索することで見える様になっている。図-5の様に部品情報システムの検索事例を示す。

鉛フリー対応の状況を部品品番毎に確認することができ、各設計者が製品設計に反映していくことができた。

今回の活動を通して、部品の鉛フリー化切替えを機会に重複部品の一本化や部品図面品質の向上等が行なえた。

環境切り替え対応(進捗状況の見える化)

図-5 部品情報システムの検索事例

Fig.5 Search example of the component information system

標準部品と同様に、プリント配線板も共通性が高く製品の信頼性への影響も大きいことから、共通部門での評価、管理が必要であり、部品プロの役割として基板認定業務を取り込み、業務の一本化と効率化を図った。

部品プロジェクト室は、'05年3月末に解散したが、こうした部品管理および基板の認定についての業務は引き続き設計管理室として継続されている。

このような取組み体制より、どう技術課題に対して解決方策を進めてきたかについて説明する。

4

技術課題に対する方策

製品の鉛フリー化の技術課題として、はんだ付けフロー工法の確立、フローはんだ付け条件設定、設計要件、部品の評価基準、部品のはんだ接合寿命および基板耐熱に対する方策について以下説明する。

4.1 フロー工法の確立

フローはんだ材料をSn-Pbはんだから鉛フリーはんだに変更することにより、図-6に示す様なはんだ付けの問題点が生じる。

これらの問題はそれぞれが相反することもあり、問題の解決には、はんだ付け設備やはんだ付け条件、部品メッキの変更など多方面からのアプローチを必要とする。

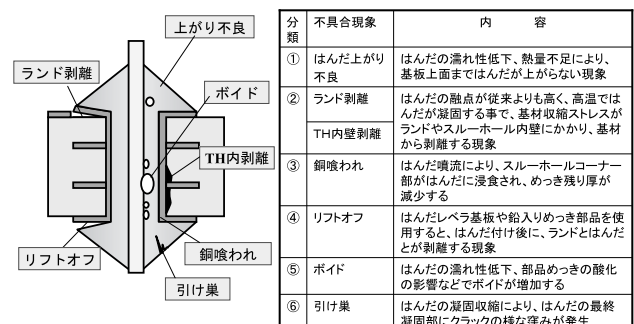


図-6 鉛フリーフローはんだ付けの問題点

Fig.6 Problems in lead-free flow soldering

鉛フリーフローはんだ付けでは、はんだ上がりの改善に、はんだ付け温度の上昇やディップ時間の延長が有効ではあるが、ランドやスルーホール部のめっき剥離や銅喰われ（侵食）が増加し信頼性の低下を招くことになる。

はじめに、このはんだ上がりと銅喰われ、スルーホール部のめっき剥離について説明する。

従来のフローはんだ付け装置には、基板全面に噴流ではんだを当てるディップフロー方式と局所的にはんだを当てるノズル方式の2種類がある。当初これら2方式について、条件の最適化の検討を進めたが、いずれの方式においても満足な結果が得られなかった。

はんだ上がりと銅喰われの低減を両立するために、「基板への熱伝達効率」を高めかつはんだ喰われに大きな影響を与える「はんだの流速」を抑える新工法を開発した。

新方式と従来2方式とのはんだ上がりと銅喰われ量の関係を図-7に示す。

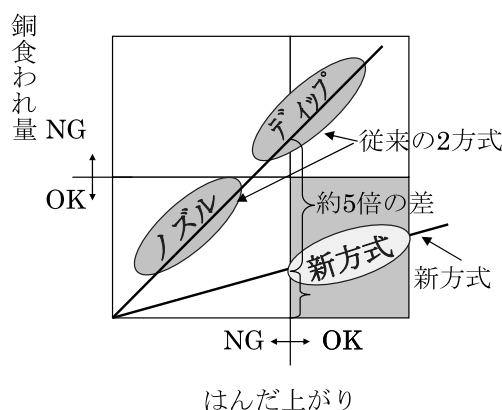


図-7 はんだ上がりと銅喰われ量の関係

Fig.7 Relationship of flow up fillet and amount of copper erosion.

このように、はんだ上がりと銅喰われ量の低減を両立させた工法開発ができたことで、車載用の製品への鉛フリーフローはんだ付けの実用化ができた。

また、はんだ付け条件によっては図-8に示す様に、スルーホール部のめっき剥離が著しく発生する事を確認している。

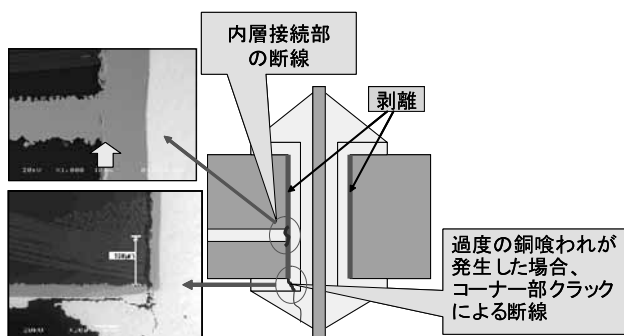


図-8 スルーホールはんだ付けでの不具合事例
Fig.8 Problem example in through hole soldering

これは、はんだ付け温度が高くなることではんだ冷却時の収縮量が大きくなった事と、はんだ材料の物性値が有鉛はんだに比べ硬くなったことからスルーホール部のめっき剥離が発生したと考えている。

スルーホールのめっき剥離率を信頼性結果より判断基準を設定し、はんだ付け条件（温度、時間）を管理していくことで、製品の信頼性を確保している。

次に、はんだ材料と部品電極めっきの鉛フリー化にともなうSnの再結晶化によるウイスカの発生について説明する。

電極めっきのウイスカについては、現在も調査しながら対応を進めている。今回、フローはんだ付けにおいて写真-1の様に、ランドエッジのところにウイスカの発生が確認された。図-9にウイスカの発生部位を示すが、ランドと基板の境界に近いはんだが薄くなっている部分で発生していた。

図-10の様なウイスカ発生メカニズムと推定し、ランド部をオーバレジスト化することでランド端部を露出させないことで対策を行なった。



写真-1 ウイスカ
Photo 1 Whisker

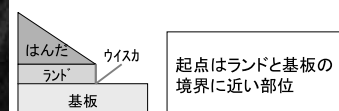


図-9 ウイスカ発生部位
Fig.9 Whisker initiation zone

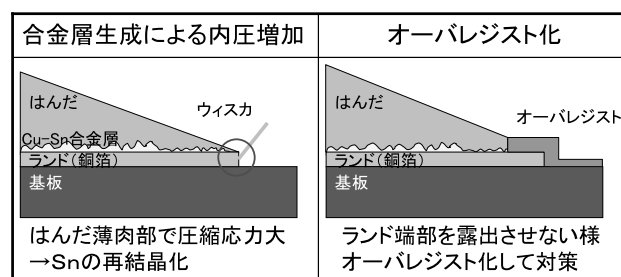


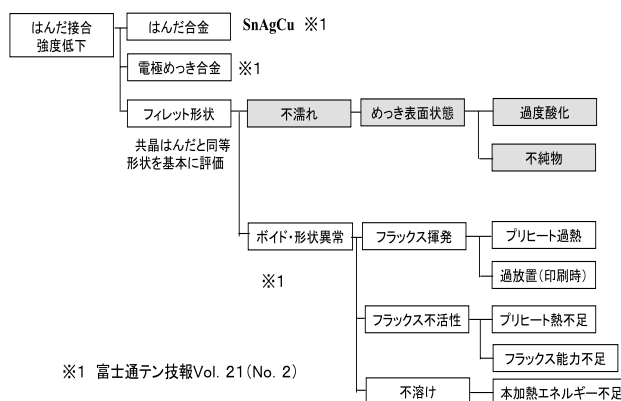
図-10 ウイスカの発生メカニズム（推定）と対策
Fig.10 Whisker initiation mechanism and measures

4.2 部品のはんだ濡れ性と耐熱性

4.2.1 部品のはんだ濡れ性

はんだ接合強度を保証するために、母材と接合面に適切な合金層が形成される事が必要である。図-11に部品はんだ接合強度低下のFTAを示す。

端子めっきのはんだ付け性に関しては、はんだ材料がSn-Pbはんだから鉛フリーはんだに変わること、はんだ濡れ性が低下することが判っている。更に部品電極めっきの経時変化でのんだ付け性の低下が懸念され、従来の保管管理方法適用可否を確認する必要がある。また、同じ組成の電極めっきであっても部品メカによる差もある。このような変化を定量的に把握し、はんだ濡れ性の確保を行なった。



※1 富士通テン技報 Vol. 21 (No. 2)

図-11 部品のはんだ接合強度低下のFTA

Fig.11 FTA for the strength reduction of the component solder joint

メニスコグラフによる、はんだの濡れ性評価は、急加熱昇温法を用い評価を行なった。図-12に急加熱昇温法⁴⁾を示す。

JEITA ET-7404に準拠

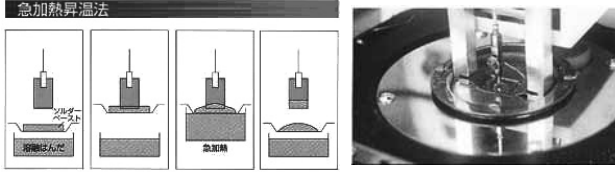


図-12 急加熱昇温法⁴⁾

Fig.12 Rapid heating method⁴⁾

写真-2 浸漬状態

Photo 2 Soaked state

写真-2の浸漬状態に示す様に、端子試験片をマイクロロツポに浸漬させ、部品電極の浸漬量ではんだの濡れ性の評価を行なった。図-13にメニスコグラフの測定例を示す。

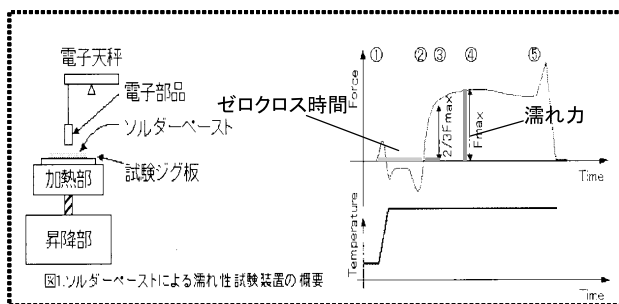


図-13 メニスコグラフの測定例⁵⁾

Fig.13 Meniscograph measurement example⁵⁾

部品電極めっきの経時劣化は表面酸化膜の成長による要因が大きく、保管限度の状態でもはんだ濡れ性が変わらない必要がある。評価方法として、まず保管期間限度での酸化膜の厚みを高温高湿放置によって発生させ、その時間を前処理条件として設定した。

次に、Sn-Pbはんだ、鉛フリーはんだにおいて、未処理品と前処理品のゼロクロス時間、濡れ力を測定する。それぞれの測定値が基準内で且つ前処理前後での変化率が基準内であれば保管を含めたはんだ濡れ性を維持できると判断できる。基準を満たさない場合で代替部品が無い場合は、部品メーカーにてめっきの劣化要因を調査解析し改善を行なった。

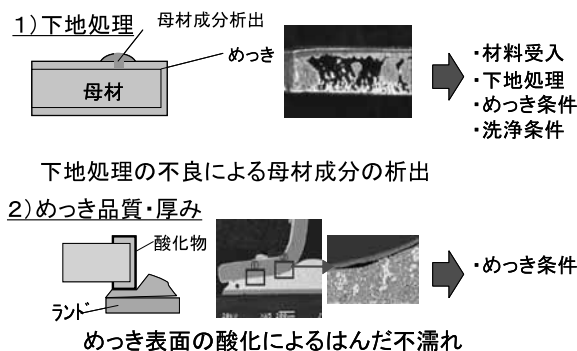


図-14 部品めっき起因によるはんだ不濡れ事例

Fig.14 Search example of defect of soldering by plating

めっきの状態によって、図-14部品めっき起因によるはんだ不濡れ事例に示す様に、部品めっき起因によるはんだ不濡れ事例があり、上記評価を行なう事で未然防止を行なう。

4.2.2 部品の耐熱性

リフローはんだ付け部品の場合、はんだ材料がSn-Pbから鉛フリーはんだに変わることによって、はんだの融点上昇により、はんだ溶融下限温度からリフローピーク温度の幅が狭くなり、従来の加熱方式ではコントロールしきれない。

そのため、部品の耐熱を上げる必要があり部品メーカーに要求していった。同時に、基板内を均一に加熱コントロールのできるリフロー炉への変更とリフロープロファイルの最適化を行なってきた。

また、製品設計において部品配置を工夫することで基板内温度の均一化を検討したり、部品サイズや部品構造からくる熱容量の違いから耐熱ランクを見直すことで採用できる部品を拡大していった。

フローはんだ付け部品の場合も同じ様に部品耐熱を上げる必要があり、コネクタにおいては、ハウジングの樹脂材料をSPS⁶⁾等の高耐熱材に変更する事が必要となる。

4.3 はんだ接合寿命保証

鉛フリー化で新規採用する部品すべての接合信頼性試験をそれぞれ行なうと、膨大な工数と時間が掛かってしまう。

そこで、製品設計者が、接合信頼性を満足する部品を選択するための選定基準マップを作成し、評価の効率化をはかった。

車載用の製品において、はんだ接合寿命を確保できる部品を見極めるために、製品の使用温度範囲と部品サイズをパラメータとする温度サイクル試験によるはんだ接合寿命評価を実施し、同時に寿命予測シミュレーションを実施することでパラメータの影響度合いを検証した。その結果、車室内からエンジンルーム内搭載における使用環境の変化と車両の使用状態における製品の温度変化や頻度によって、はんだ接合部の信頼性がどのように劣化していくかの寿命線を図-15の様に得ることができた。この寿命線により接合部の成立性を検討する熱加速係数と新規部品のはんだ接合寿命を予測できるようになった。

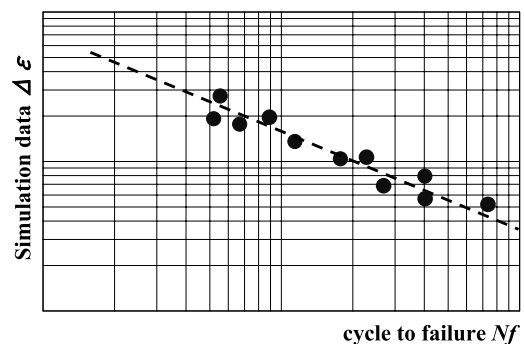


図-15 寿命線

Fig.15 S-N Curve of QFP solder joints

新規部品を評価する場合は、仕様書などから部品形状をモデル化し、シミュレーションを行いシミュレーション値 ($\Delta \varepsilon$) を求め、寿命線に当てはめることによりはんだ接合寿命を予測することができる。

図-16に、QFPにおける選定基準マップ作成過程を示す。

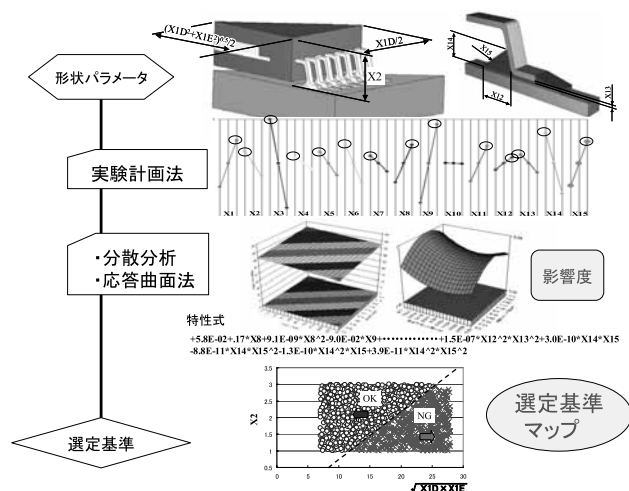


図-16 QFPにおける選定基準マップ作成過程
Fig.16 Flow chart of basis of selection map for QFP

図-16において、今後採用されそうな代表部品の信頼性試験結果と部品形状をパラメータとした実験計画法を用いたシミュレーションにより、部品形状による寿命への影響度の把握と接合寿命を予測し、影響度が大きいパラメータについて部品選定基準マップを作成した。

図-17は、今回のシミュレーションに用いたシミュレーションモデルと断面との相関を示したものである。

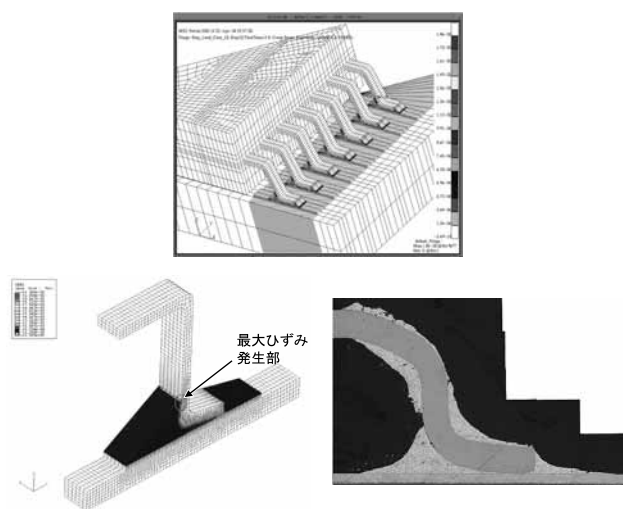


図-17 シミュレーションモデルと実機断面
Fig.17 Simulation model and cross section

このように、部品選定のガイドラインを設定し、部品検討段階から実装品質の作り込みを行なっている。

4.4 基板の耐熱性

はんだ材料の鉛フリー化により、はんだ付け温度が上昇するが、その温度は基材のTg点よりも高い領域のためSn-Pbはんだ以上に基板への熱的負荷が加えられる。そこで、鉛フリーはんだの熱履歴を考慮した基板の各種信頼性試験を実施した結果、一部の基板において基材の耐熱不足によりマイグレーションの発生が確認された。

絶縁信頼性試験結果の一例を図-18に示す。

試験条件：85 85%RH 50V印加

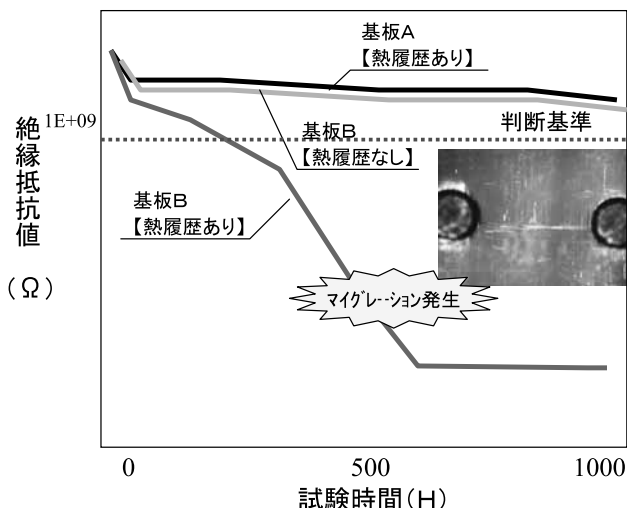


図-18 基板の熱履歴と絶縁信頼性結果

Fig.18 Circuit board thermal history and insulation reliability result

これは、熱履歴によりガラスクロスとエポキシ樹脂の界面に隙間が発生し、高温高湿環境下で水分が溜まり、電圧印加時にマイグレーションが発生したと考えられる。

図-19にマイグレーションの発生状態を示す。

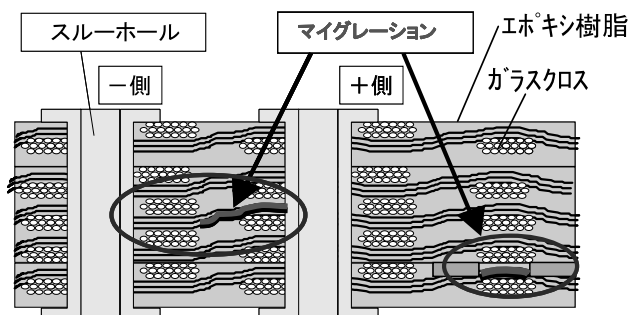


図-19 マイグレーションの発生状態
Fig.19 Condition of migration occurrence

基板の認定評価においては、熱履歴を考慮した試験を追加することで、鉛フリー製品の信頼性確保をしていくことができた。

4.5 その他の方策～低融点はんだ材料開発

部品耐熱については、メーカーとの協力の中で対応してきたが、まだ一部未達である部品もある。部品の耐熱緩和を目的として、融点を共晶はんだに少し近づけた低融点はんだ

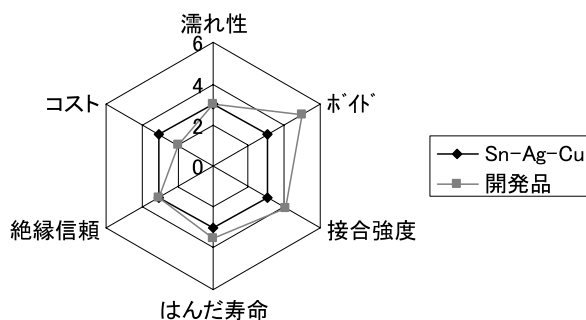
だの実用化にも着手している。

鉛フリーはんだの低融点化にはBi, Inを添加する方法が一般的である。

各種材料の機械特性、温度特性及び化学的性質面から、In系の低融点はんだを検討した。

In添加による背反事項として高温時にはんだが変形するという問題を生じるため、動作保証温度に注意する必要がある。

我々は、製品の自己発熱を考慮した上で車載信頼性が確保できるIn添加量を求め合金組成を決定した。図-20に示すとおり開発した材料はSn-Ag-Cu系はんだと同等以上の特性を有している。



Sn-Ag-Cu系を『3』とした場合
向上25%につき+1, 低下25%につき-1

図-20 現行鉛フリー材料との重要特性比較

Fig.20 Comparison of major characteristics with conventional lead-free materials.

現在、In自体のコストが高く、部品の耐熱対策コストに対する効果が得られないため実用化には到っていない。

5

おわりに

製品の鉛フリー化の技術課題として、はんだ付けフロー工法の確立、フローはんだ付け条件設定、設計要件、部品の評価基準、部品のはんだ接合寿命および基板耐熱に対する方策について説明してきた。

本年より、リフロー、フロー工法による全工法での鉛フリー化を開始することができ、順次拡大していく予定である。

また、車載用の製品の一部は、搭載場所が従来の車室内からエンジンルーム内やエンジン直載という高温環境に搭載され、部品や基板は更に高機能化・小型化による高密度実装が要求されている。これらの製品においても鉛フリー化は必要であるため、今回紹介してきた車載用の製品の信頼性確保の方策をベースに継続的な研究開発によって技術のレベルアップを行い、自動車の技術開発に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 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
- 2) End of Life Vehicles-使用済み自動車に関する指令；
Official Journal L269(Directive 2000/53/EC)
- 3) テン技報 Vol.21 No.2(pp.28-37)
- 4) レスカ製SAT-5100 カタログ2003年5月
- 5) レスカ製SAT-5100 設備マニュアル
- 6) SPS：シンジオタクチック・ポリスチレン

筆者紹介



村木 泰二
(むらき たいじ)

1977年入社。以来、実装関連の製造・製造技術に従事。現在、(生産)製造技術部担当部長。



大西 千秋
(おおいし ちあき)

1980年入社。以来、製造技術に従事。現在、(生産)製造技術部実装工法チームリーダー。



池戸 健志
(いけだ けんし)

1984年入社。以来、SMD実装ラインの構築、鉛フリーはんだ付け工法の確立等に従事。現在、(生産)製造技術部に在籍。



鵜殿 直靖
(うどの なおやす)

1986年入社。以来、実装技術・材料技術に従事。現在、(生産)生産技術部材料開発チームリーダー。



森 茂
(もり しげる)

1984年入社。以来、実装技術・基板技術に従事。現在、事業本部設計管理室に在籍。



杉浦 慎一
(すぎうら しんいち)

1990年入社。以来、自動車用電子機器の実装技術開発に従事。現在、事業本部ITS車両制御事業部第一ECU開発部に在籍。



渡辺 弘道
(わたなべ ひろみち)

1989年入社。以来、製造技術・生産技術・実装要素技術開発に従事。現在、事業本部ITS車両制御事業部第一ECU開発部に在籍。