

鉛フリーはんだにおける信頼性評価試験

(有)E.M.S.

赤塚 正志

1 はじめに

鉛入りはんだは電子部品を基板に接合させるのにうってつけの材料であったため、簡単には代替できるものがない。融点・粘性・剛性など、同じ特性のものを探すのは至難の業である。

183℃の融点をもつSn-Pbはんだでは、220℃強のピーク温度で実装すればよかったのだが、鉛フリーはんだは融点が高く、実装温度と融点の差が小さくなる。しかし、部品の耐熱温度の問題もあり、簡単に温度を上げる訳にもいかない。

EUでは、WEEE/RoHS指令が2006年7月1日より発効となる。これに対応できない商品は、発効期日以降はEUへ輸出できなくなる。中国でも同様な取り組みが進んでおり、EUと同様の内容が検討されている。日本では、民間主導で『グリーン調達』制度が推進されている。この制度における規制物質は、RoHS指令の6物質に留まらない。

2 鉛フリー実装へのファーストステップ

プリント回路板から100%鉛を取り去ることは、現状では非常に難しい状況である。鉛の削減に当たっては、セットメーカーから実装会社、部品メーカー、開発会社まで、多くの会社の協力体制が必要であるが、たとえば、セットメーカーが鉛フリーの製品を作ろうとしても、部品の端子めっきなどに鉛が含まれていれば意味がない。JEITA（電子情報技術産業協会）が発表している鉛フリー実装導入へのロードマップに示されている通り、段階的に回路基板から鉛を減らしていくことがもっとも現実的な対応ではないかと思われる。

そこで、まずできることは、鉛フリーはんだで実装した基板の実装信頼性を調べるのではないかと考える。実装する者の立場では、はんだから鉛がなくなって一番問題になるのは、基板と部品の接合信頼性ではないだろうか。つまり、はんだが変わって接合信頼性がどうなったかを明確にすることが、鉛フリーはんだ実装に切り替える第一歩ではないかということである。ランド形状など部品ライブラリの検討も、鉛フリー実装に当たって重要な要素であることには違いないが、当社では、まず『基板と部品がしっかり接合しているか否か』を調べることを勧めている。当然のことではあるが、まず接合信頼性のデータがあって、それに従って基板のランドを検討することが肝要ではないかと考える。外観上では問題がないように見えても、断面を見てみると大きなボイドが見つかったり、スルーホール内部の濡れが不十分なケースは珍しくない。加速試験にかけてみると500サイクルもたずにクラックが発生することもある。

はんだを鉛フリーに変えて直面する問題点は、『濡れ性』と『接合性（機械的な強度）』に加え『融点』である。問題点を洗い出すためには、はんだを変えて実装後の品質がどう変わるかを評価する必要があると考える。

3 鉛フリーはんだの種類

従来のSn-Pbはんだは、融点が低く軟らかいことから、はんだ接合部に応力がかかってもそれを分散するという優れたものであった。環境への影響さえなければ、先人の知恵には脱帽するしかない。そんなSn-Pbはんだに替わるものを見つけることは難しく、今はいくつかのはんだが代替品として提案されている（表1）。

Sn-Cu系はもっとも融点が高く、フローはんだの実装用に使われている。Sn-0.7Cuで融点が230℃近くになるものの、濡れ性も良好でコストも比較的安価である。次に、Sn-Ag-CuはJEITAが推奨していることもあり、もっとも一般的に使用されている。実装の依頼を頂く時も、多くのユーザーがこのはんだを指定する。

中温系のはんだには、Sn-Zn(亜鉛)系が挙げられる。Sn-9Znの融点は199℃でSn-Pb系のはんだに近いものの、Znが酸化しやすく、はんだペーストの経時変化が大きい上はんだの濡れ性も悪くなる。つまり、実装現場での管理が難しくなる。

最後に低温系のはんだは、Sn-Bi(ビスマス)系のはんだが挙げられる。これは、前出のはんだの融点を低下させることを主眼に開発されたはんだである。Sn-58Biは融点が138℃と低いことが特徴だが、脆い特性により最近では使用される頻度は少ないようだ。

4 鉛フリー実装へのステップ

鉛フリーはんだ実装については、はんだを選定することから始まるが、はんだを選定してから信頼性を検査する一方、はんだ付けの作業工程についての検討も並行して進める必要がある。具体的な開発手順は表2のようになるかと思う。表を見る限り簡単に思われるかもしれないが、現実には信頼性試験だけでも最低2ヶ月近くかかる。さらに機械強度の測定のための時間も必要である。

JIS規格では、『JIS Z 3198』(H16年制定)において鉛フリーはんだの試験について規格化がされているが、この内容すべてを網羅しようとすれば膨大なコストがかかる。

開発手順のフローでは、はんだを決めしてから評価に移るが、実装条件を決定するまでに、信頼性の評価→解析→実装条件の見直し→解析の作業を繰り返すことになる。

5 鉛フリー実装の信頼性試験

よく、鉛フリー実装に移行するために、どんな信頼性試験をして合格不合格の判定はどうすればよいのかという質問を頂く。鉛フリー実装で考えなければならないのは、先に述べた通りはんだの接合信頼性ではないかと考える。広く知られている通り、鉛フリーはんだで実装するとはんだの濡れ性が悪く、実装時の温度管理などがSn-Pbはんだに比べて難しくなる。高価な設備を導入してすぐに鉛フリー実装ができる訳ではない。実装品質を保証するためのデータが必要である。

表1 鉛フリーはんだの合金候補

| 実装プロセス | 合金の種類 | 留意点 |
|--------|---|------------------------------------|
| フロー | 《Sn-Ag系》 Sn-3.5Ag Sn-3.0Ag-0.5Cu 《Sn-Cu系》 Sn-0.7Cu(Ag, Au, Ni, Ge, P, Inなどを添加) | リフトオフ・ランド剥離 はんだ食われ 赤目・クラックなど |
| リフロー | 高温系 《Sn-Ag系》 Sn-3.5Ag Sn-3.0Ag-0.5Cu Sn-(2~4)Ag-(1~6)Bi(1~8%のIn添加) | 温度管理・界面合金層・ボイド |
| | 中温系 《Sn-Zn系》 Sn-9Zn Sn-8Zn-3Bi Sn-8Zn-1Al | |
| | 低温系 《Sn-Bi系》 Sn-57Bi-1Ag | |

表2 鉛フリー実装導入の手順

| | |
|------------|---|
| 1. はんだの選定 | リフロー/フロー 各工程で検討 高温系・中温系・低温系より選択 |
| 2. 実装条件の検討 | リフロー:温度プロファイル、 Δt 、印刷方法、フラックスとの相性など フロー:溶融温度、はんだ槽の損傷防止など 不具合対策:リフトオフ・引け巣・低温合金層・はんだボールなど |
| 3. 信頼性の検討 | JIS規格・JEITA推奨規格を中心とした信頼性試験 温度サイクル・温湿度・高温放置試験、機械強度の測定 |
| 4. 解析・分析 | 電子顕微鏡検査および解析・X線透過分析 電子線マイクロアナライザ ほか |
| 5. 作業の標準化 | 社内基準の制定 作業手順への落とし込み など |

特集

鉛フリーはんだ技術

～インターネフコン・ジャパン2006～

評価試験は、主に信頼性評価試験・はんだ接合評価試験・観察および解析の三つの段階になるが、最初に信頼性評価試験について説明する。信頼性評価試験は表3を参照して頂きたい。

鉛フリー実装におけるはんだの接合信頼性確保のために、温度サイクル・温湿度・高温放置試験の三つの試験を提案している。JEITA推奨の温度サイクル試験では、試験期間だけでも2カ月近くを要するため、その後の作業日程を考慮するとRoHS指令発効までに残された時間は決して長くない。

はんだと基板接合部分は、時間の経過とともに品質が劣化していく。周囲の温度変動によるプリント回路基板の温度疲労特性を信頼性試験によって評価することは、もっとも重要な評価項目である。ちなみに、温度疲労特性を調べることで以下のようなことが分かる。

- ① はんだの接合信頼性の低下
- ② はんだの組成変化

しかし、鉛フリーはんだで実装した基板で信頼性試験を実施しても、推定寿命を判定することは現段階では困難である。そこで、当社ではSn-Pbはんだと鉛フリーはんだでそれぞれ実装した、同じ基板を使って試験を実施することをお勧めしている。

6 鉛フリー実装の機械的強度評価

信頼性試験では、サイクル数に応じて基板を観察して製品の劣化の傾向やはんだの問題点を明らかにする必要がある。そのために、試験を実施した基板のはんだについて、機械的な特性を計測する。

はんだ接合部の機械的強度を測定する一般的な試験として、引っ張り試験とせん断試験などがある。この評価を、信頼性試験の初期、途中、最終のそれぞれの局面で実施することで、はんだがどの程度の接合強度であるかが分かる。当社では、0サイクル（初期値）

表3 信頼性評価試験の内容(例)

| 試験項目 | 試験内容 |
|----------|---------------------------------|
| 温度サイクル試験 | -40℃ ⇄ 125℃ 各30分 1,000サイクル |
| 温湿度試験 | 85℃ : 85% または 60℃ : 90% 1,000時間 |
| 高温放置試験 | 125℃ 1,000時間 |
| ガス腐食試験 | NOX SOX Cl2 |
| そのほか | 塩水噴霧試験 振動試験 など |

/100/300/500/1000サイクルを終了した段階で接合強度を測定する。これを鉛フリーはんだと以前の共晶はんだの2種類で実施して、双方のサンプルの初期値と比較した強度の推移をグラフ化すれば、鉛フリーはんだの強度を評価することができる。図1に引っ張り試験の評価方法を記す。試験時にどの部位で破断したかということが、接合信頼性を推定するために重要なデータである。せん断試験においても、どの部位で破断したかを検証することで、接合信頼性のほかに実装条件の検証にも役立つ。

部品と基板の接合強度を低下させる大敵がボイドである。写真1はBGAのボールのX線写真であるが、ほとんどのボール内部にボイドが発生している。ボイドが厄介なのは、はんだボールの上部、中央、下部のどこにあるのかわからないことである。ボール中央にある小さなボイドの影響は軽微であっても、デバイスや基板との接合部分に存在する場合には、接合強度に影響を及ぼす恐れがある。接合強度の確認については、このようにボイドの発生量も重要なチェック項目である。ボイドが多くなると引っ張り・せん断強度が低下する。ボイドの発生を抑えるためには、リフローでのプリヒートの時間や温度を意識して、ガス化したフラ

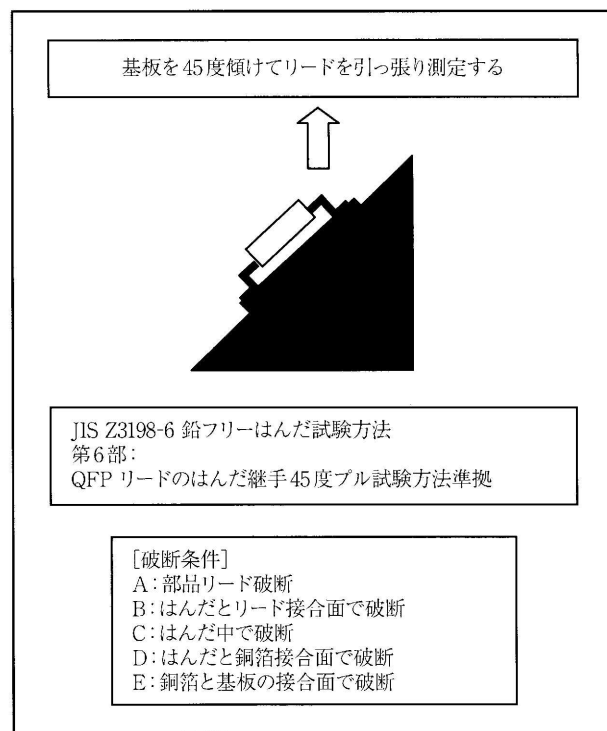


図1 引っ張り試験

ックスが放出されやすくなるような温度プロファイルの管理をしなければならない。BGAパッケージでは、はんだと部品の接合部分が目視できないため、X線検査装置やマイクロスコープなどが必要になる。ただし、BGAのボールで発生するマイクロクラックについては、検査用機器で見つけることは難しいのが現実である。

ところで、基板に部品を搭載する場合、SMDを実装する場合はリフロー炉、ラジアル・アキシヤル部品を実装する場合ははんだ槽を使うが、前者に比べて後者の方法では、鉛フリー実装における不具合が多く起きているようだ。今までの評価の実績に照らし合わせてみた場合、特にリードを挿入するタイプのコネクタでよくはんだにクラックが発生するようである。プリント基板は、周囲の温度によって膨張と収縮を繰り返す。基板の膨張と収縮は、Z方向に数値が大きくなるため、ラジアル・アキシヤル部品においてリード線（ピン）の部分に負荷がかかりやすく、不具合が発生しやすいと考えられる。さらに、実装後に急冷しづらいことから引け巣の発生も多く見受けられる。引け巣自体は進行性がなく、不良ではないものの、外観上はクラックと見誤ることもあり大きなものは好ましくない。特に、挿入タイプ部品のはんだを鉛フリー化する場合は注意が必要である。なお、最近では基材メーカーからZ方向の膨張・収縮を抑える基材も開発されているようなので、評価してみるのもよいのではないだろうか。

7 評価・解析

信頼性評価試験の後に接合強度を測定することで、強度の劣化の傾向を知ることができるが、強度測

定のほかに断面の観察も重要な作業である。

温度サイクル試験の進行とともにのはんだは劣化する。その断面を観察することで劣化の進行状況を評価することができる。たとえば、**写真1**でも触れたが、試験の初期・途中・最終の各段階でそれぞれの断面を観察し、前回の接合強度と照らし合わせることで、接合面の劣化の推移を評価することができる。

また劣化の推移を調べる方法のほかに、はんだの濡れ性を検査することも可能である。**写真2**、**3**は基板の断面で、**写真2**はQFPのリードピンの断面である。この写真ではフィレットはしっかり形成されているが、QFPのはんだ濡れで留意する点は、バックフィレットとフロントフィレットの状態である。この部分の濡れ性が悪いと接合信頼性に大きく影響する。ボイドの発生も接合強度の低下をもたらすので、注意を払う必要がある。**写真3**は挿入部品のリード線の断面写真である。この断面のようにスルホール内部にはんだが上っている場合には問題はないが、**写真4**のようにはんだがリード線からパッケージまで上がってしまう『ウィッキング』と呼ばれる現象に問題がある。最近、部品面側へのはんだ上がりについて質問を受けるが、部品面側まではんだが上がっていれば問題はないと考えている。接合信頼性に合わせてランドを規定することをお勧めしたが、**写真3**のようにはんだが部品面側までしっかり上がっていれば、部品面のランドは小さくしてみてもどうだろうか。濡れ性の悪い鉛フリーはんだにおいて、赤目を防止する効果も期待できると考える。最近では、ランドの径よりもレジストの径を小さくする手法（オーバーレジスト）も使われている。これは、赤目防止の効果に加えてリフトオフを抑制する効果もある。リフトオフとは、フロー実装後に基板の銅箔とはんだの接合部分が剥離する現象であ

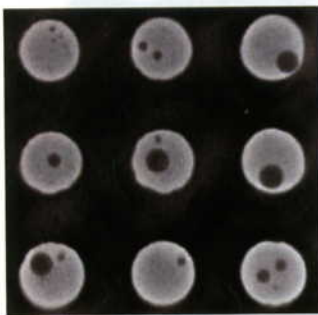


写真1 BGAのボイド



写真2 QFPリードの断面(日本製薬機器株提供)



写真3 挿入部品の断面(日本製薬機器株提供)

特集

鉛フリーはんだ技術
～インターネブコン・ジャパン2006～

る。しかし、写真5のようにはんだがまったく上がらないケースは問題がある。これではリフトオフ云々という以前の問題であるが、これも鉛フリーはんだ実装でよく発生する問題である。スルーホールの中のレベルまではんだ上がりを良品と判定するかは微妙な所である。これもユーザーごとに規定を設ける必要があるが、原則的には1.6mm厚の基板の場合で、80%程度のはんだ上がりを求められるケースが多いようだ。

ここまでは断面の解析について述べてきたが、基板の外観についても継続的に検査することをお勧めする。写真6では、チップコンデンサの下にはんだボールがあることが分かる。はんだボールも鉛フリー実装を導入する際に発生しやすい問題である。一方、写真7はQFPのランドを横から観察したものである。バックフィレット・フロントフィレットともにしっかり形成されている。ただ鉛フリー化に伴ってウイスカの問題がクローズアップされてきた。ウイスカは、リードピンにかかる応力によって発生するヒゲのような現象で、QFPのほかに狭ピッチの面実装コネクタなどで発生すると隣のピンとショートする恐れがある。部品メーカー各社でも、めっきの厚さをコントロールしたり金めっきを推奨したり、ピンの仕様を検討しながら

ウイスカの抑制に努めているようである。

8 評価ボードを使っての 基準への落とし込み

これまで、鉛フリー実装への移行に当たっての

- ① 信頼性評価試験
- ② 機械強度評価試験
- ③ 解析

について述べたが、これらを踏まえることで品質管理基準の作成が可能になる。上記の試験について、従来のSn-Pbはんだと鉛フリーはんだの強度を比較検証した上で、Sn-Pbはんだと同等以上の信頼性を確保することができれば、それ以降の基板については評価を簡素化することが可能となる。表4に具体的な手順を記す。

表4に「1. 基板を選定する」とあるように、ユーザーにとってどの基板を選定するかが問題である。当社では信頼性試験から機械強度、解析までを1枚の基板で評価ができるよう、『実装検討用ボード』を推奨している(写真8)。

鉛フリーはんだでは寿命の推定が難しいため、従来



写真4 ウィッキング

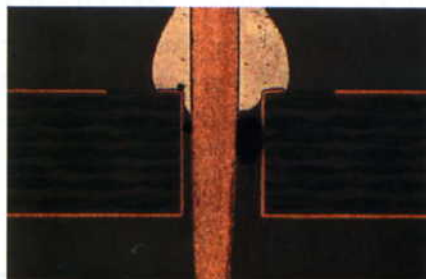


写真5 不良例

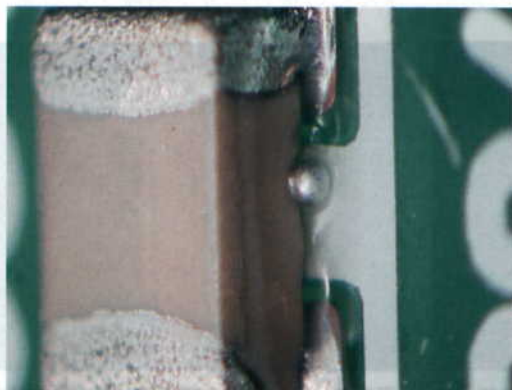


写真6 はんだボール



写真7 QFPランドの拡大写真

