

鉛フリーはんだを用いた製品に対する信頼性試験に関する研究（第1報）

清水 章良・宮本 博永・平川 寛之・鈴木 大介

Study on reliability test for PCB using lead-free solder alloy (1st Report)

Akio SHIMIZU, Hironaga MIYAMOTO, Hiroyuki HIRAKAWA and Daisuke SUZUKI

要 約

近年、RoHS 指令に伴い、鉛入りはんだを使用してきた電子基板（PCB）などは、鉛フリーはんだへの移行が進んでいるが、その信頼性を確かめるために、信頼性試験の依頼や、技術支援の要望が増加している。そういった技術支援の要望に十分応えていくためには、信頼性試験に関するデータの蓄積とともに、最適な試験条件の設定手法の確立を図っていく必要がある。本研究では、一般的に用いられている基板材料、はんだ、実装部品からなる評価用サンプル基板を作成し、ヒートサイクル試験を実施し、実装品が受ける影響の分析を行なった。

1. 緒 言

2006年 EU により RoHS 指令が施行されて以降、中国や韓国などでも同様の特定物質に対する使用制限が施行されつつある。国内においても、J-Moss のように特定物質の含有状況の表示の義務化といった流れが起きている。

これらの規制で対象となっている特定物質の一つに鉛があるが、これは電子基板に錫-鉛はんだとして長年利用されてきた。現在、規制に対応すべく、代替はんだとして、Sn-Ag-Cu 系や Sn-Zn-Bi 系などの合金を使用した鉛フリーはんだが開発されてきている。

有鉛はんだから鉛フリーはんだへの切り替えに伴い、はんだ融点の上昇による実装時の製品への影響、ウイスカの発生などの問題が懸念されており、製品の信頼性を確認するため、信頼性試験や、信頼性評価に関する技術支援の要望が増加している。

特に、温度や湿度などの影響を調べる環境試験では、試験によって生じる製品の故障原因の分析、製品の使用環境や保証期間を想定した試験条件の選定は、複数の要素がからみ合い、多くの知識、経験が必要となる。そこで本研究は、様々な条件下における環境試験をとおして、分析情報を蓄積し、様々な製品について最適な信頼性試験条件の設定手法の確立を目的に実施した。

2. 実験方法

2-1 実験用サンプル基板

環境試験による影響を評価するため、表 1 に示す仕様でサンプル基板を作成した。基板材料は、ガラスコンポジット基板（CEM3）、ガラスエポキシ基板（FR4、FR4

ハロゲンフリー、FR5 相当）を選んだ。はんだには、比較の元となる錫鉛はんだと鉛フリーはんだの中でも JEITA（電子情報技術産業協会）で推奨している組成の、銀 3%、銅 0.5%、残りが錫の鉛フリーはんだを選定した。

基板に実装する部品は 0Ω の表面実装抵抗とし、サイズは 0603、1006、1608、2125 の 4 サイズを選定し、1 枚の基板に対して各サイズ 10 個を実装した。

表 1 サンプル基板の仕様

基板	CEM3,FR4,FR5 相当材 FR4(ハロゲンフリー材)
はんだ	錫-鉛はんだ 鉛フリーはんだ(Sn-3.0Ag-0.5Cu)
実装部品	表面実装抵抗(0Ω)
部品サイズ	0603,1005,1608,2125

実装にはリフロー槽を用いて、基板への熱の伝わり方による影響も考慮して、槽内への基板投入方向を統一した。さらに、実装部品も基板の縦方向と横方向の 2 タイプの実装を行った。また、各部品は直列接続になっており、各部品間にテストポイントを設けて、部品毎に電気抵抗値の測定を行えるようにした（図 1）。

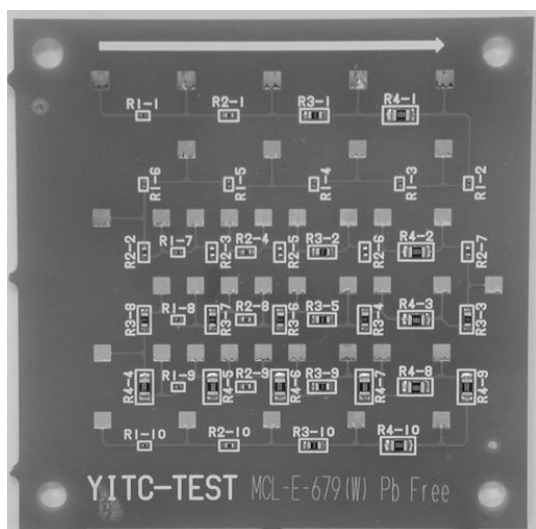


図1 評価用サンプル基板

して、定電流発生器から 50mA の定電流を流し、基板単位で電圧値を測定して、基板 1 枚あたりの抵抗値を求める 4 端子法を用いた (図 2)。

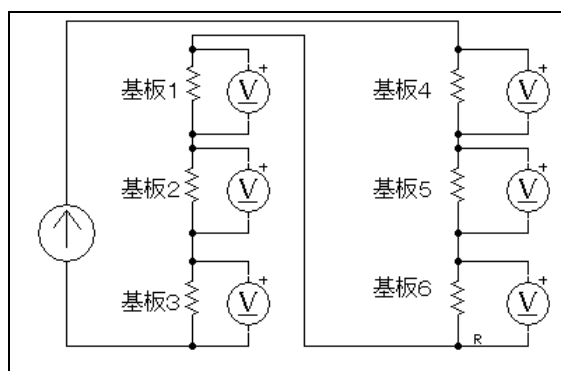


図2 電気抵抗測定概念図

2-2 試験条件

本研究で実施する信頼性試験は、冷熱衝撃試験機によるヒートサイクル試験とし、試験条件別による故障モードの影響や劣化の加速度合いを調査するため表 2 の様に試験条件を設定した。

温度条件は、JIS 規格や当センター内の装置の能力等を考慮して、 $-40^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ 、 $-25^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ の 2 条件を選定し、その中間の条件として、 $-30^{\circ}\text{C}\sim 115^{\circ}\text{C}$ の条件を設定した。さらし時間は JIS 規格の最小値である 10 分とその 2 倍である 20 分を設定した。

試験サイクル数は 7000 サイクルまたは、評価サンプル基板の実装部品が全て不良になるまで行なった。

表 2 冷熱衝撃試験条件

温度(低温～高温)	$-40^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ $-30^{\circ}\text{C}\sim 115^{\circ}\text{C}$ $-25^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$
さらし時間	10 分, 20 分
サイクル数	7000 もしくは全力所故障

2-3 評価項目

評価サンプル基板の評価の指標には、断面観察による外観検査、せん断試験による接合強度検査、電気抵抗値の測定を用いた。

断面観察による外観検査と、せん断試験による接合強度検査は破壊試験になるため、1 枚の基板に実装されている部品 40 個のうち、16 個を断面観察、24 個をせん断試験に使用した。

電気抵抗値の測定は、ヒートサイクル試験を実施した状態で測定を行った。実装部品の 0Ω 抵抗は、定格が $50\text{m}\Omega$ 以下と微小な値のため、全ての基板を直列に接続

3. 結果

3-1 外観検査

図 3 と図 4 は、基板の初期状態の断面写真であり、基板の種類やはんだの種類、実装部品の大きさに関わらず、図中丸印にあるような、ボイドの発生が確認された。

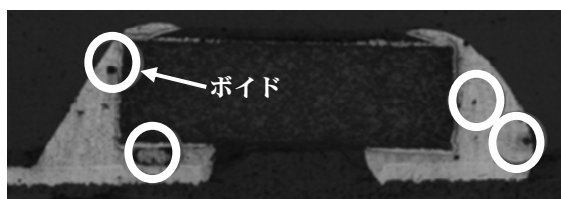


図3 鉛フリーはんだ-CEM3 基板 (0603)

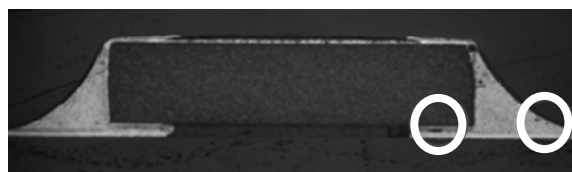
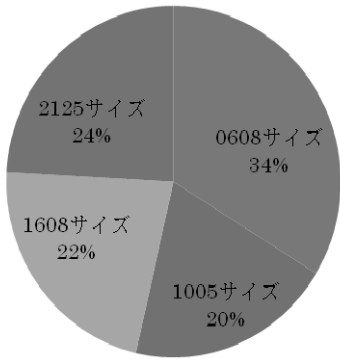


図4 有鉛はんだ-FR4 基板 (2125)

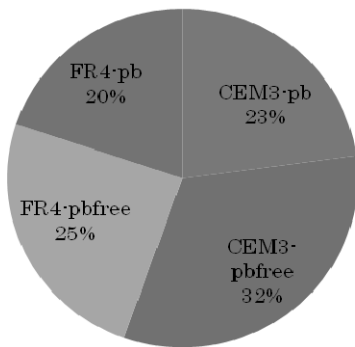
ボイドの発生数を部品サイズ別にカウントし、総数に占めるサイズ別の割合を表 3 に示す。部品サイズが最も小さい 0603 サイズからの発生が最も多く、全体の 34% を占めていた。その他のサイズは、20～24%とほぼ同等の発生率を示した。

表3 部品サイズ別ボイド発生割合



基板材料とはんだ種類別に分析した結果を表4に示す。基板材料では、表4の右側半分にあたるCEM3が55%とFR4に比べて多く、はんだ種類では表4の下半分にあたる鉛フリーはんだが57%と有鉛はんだに比べてボイドの発生率が高い結果となった。

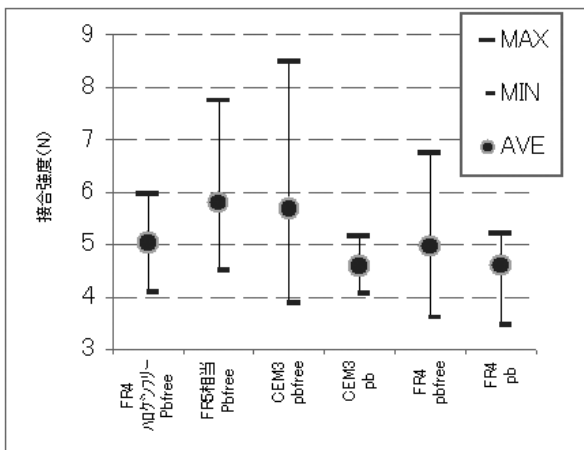
表4 基板-はんだ別ボイド発生割合



3-2 接合強度測定

表5は、0603サイズの表面実装抵抗のせん断試験の測定値の最大値、最小値、平均値をプロットしたグラフである。

表5 0603チップ抵抗せん断試験



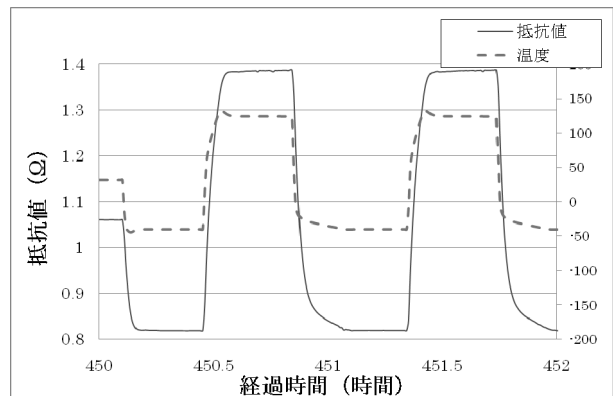
各系統のサンプル数は6で、各系統のばらつきの範囲が1~5Nと、差があるものの、平均値は各系統の中央付近にきていることから、各系統の接合強度は平均値付近を中心に分布すると考えられ、鉛フリーはんだの接合強度は有鉛はんだと比べて同程度以上である事が分かる。

基板種類の違いによる接合強度の傾向は特に見られなかった。

3-3 電気抵抗値測定

表6は-40℃~125℃、さらし時間20分のヒートサイクル試験中の鉛フリーはんだを使用したCEM3基板の電気抵抗値の測定結果の一部を抽出したグラフである。実装されている抵抗値が正の温度特性を持っているため、雰囲気温度の上昇に伴い1.4Ω程度まで高くなり、下降すると0.8Ω程度まで低くなる。試験開始から300サイクル位までは抵抗値はこのような変化を繰り返しており、製品の仕様通りの正常な動作であり、故障を起こしていないと言える。

表6 ヒートサイクル試験中の抵抗値(初期)



試験サイクル数が310サイクルを過ぎたあたりから、表7に見られるような高温さらし時に、今まで示していた抵抗値より数倍高い抵抗値を示すようになり、低温さらし時には、初期時と同じように0.8Ω程度まで低くなる現象が見られる。その後は、初期時と同様な正常動作をするサイクルもあれば、高温さらし時に異常となるサイクルもあるといった状況が続き、さらに試験を継続すると、今回の計測システムの上限である1kΩを超える抵抗値を常に示すようになった。

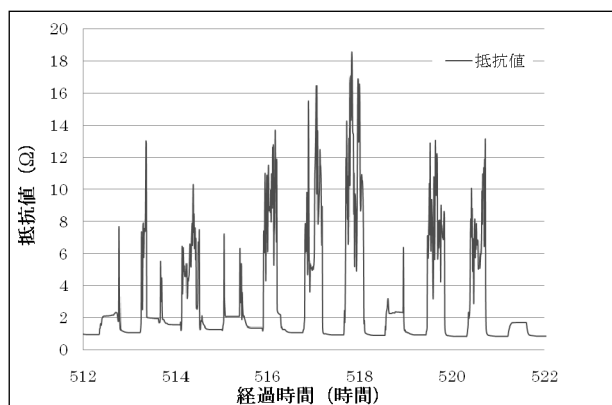
1000サイクルを終えた時点でこのような現象が発生したのは、CEM3基板のみであり、その他の基板からは同様の現象は認められず、正常動作が続いた。

異常が発生したCEM3基板の中でも鉛フリーはんだを用いた基板からの発生が73%と大半を占めた。

部品サイズ別にみると、2125サイズが47%、1608サ

イズが42%と大きいサイズのものだけで89%を占める結果となった。

表7 ヒートサイクル試験中の抵抗値 (故障時)



4. 考 察

今回の試験結果から得られた傾向として、ボイドの発生頻度と冷熱衝撃試験による異常の発生頻度は、

- ・CEM3 基板 > FR4 基板
- ・鉛フリーはんだ > 有鉛はんだ

という結果になった。

考えられる要因としては、実装部品、はんだ、基板それぞれの熱膨張係数の差が考えられる。

CEM3 基板は他の基板に比べて熱膨張係数が1.5~2倍の20~28 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)である。実装部品の表面実装型抵抗は基材がアルミナであり、熱膨張率が6~8 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)と少なく、ヒートサイクル試験中の膨張量と収縮量の差により、接合部に、大きな応力が発生し、CEM3 基板から早期に異常が発生したと考えられる。

鉛フリーはんだは有鉛はんだに比べて融点が30°C以上高いため、リフロー時に、急加熱、急冷却となり、フラックスのガスが抜けきらずに、はんだ内部に多量に溜まり、ボイドの発生が高くなっていると考えられる。そして、クラックの発生原因になり、異常が早期に発生してくるものと推察される。

部品サイズの大きい方が、異常が早期に起こるのは、部品サイズが大きくなることにより、接合部のはんだ量が増加し、同じ雰囲気温度でも膨張量と収縮量が大きくなり、はんだにクラックなどが発生しやすくなっているためだと考えられる。

5. 結 言

本研究では、鉛フリーはんだを用いた製品の信頼性試験に関するデータを集めるために、代表的な鉛フリーはんだである Sn-3.0Ag-0.5Cu はんだと、比較対象となる Sn-Pb はんだを用いてサンプル基板を作成して、初期時

の特性を測定、 $-40^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ 、さらし時間20分のヒートサイクル試験を行なった。その結果、鉛フリーはんだは、ボイドの発生頻度は高いが、接合強度は同程度以上であり、熱衝撃による異常の発生が早いことが分かった。

次年度以降も引き続き、ヒートサイクル試験を実施して、評価基板の分析を行ない、劣化原因の詳細な分析、試験条件との相関関係を調査していく。

参考文献

- 1) 中川 泰利, 青木 雄一, 永井 孝幸: エスペック技術情報誌 No.38 「Sn-Zn 系低温鉛フリーはんだ接合部の信頼性評価」 (2004)
- 2) 青木 雄一, 辻江 一作, 永井 孝幸: エスペック技術情報誌 No.47 「微少抵抗変化によるはんだ接合部のクラック進展評価」 (2006)
- 3) 鹿沼 陽次: 信頼性加速試験の効率的な進め方とその実際, 日本テクノセンター (1997)