

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2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 (2nd Report)

Akio SHIMIZU, Hironaga MIYAMOTO, Hiroyuki HIRAKAWA and Daisuke SUZUKI

要 約

鉛フリーはんだの接続信頼性を検証するために、昨年度は鉛フリーはんだとしては代表的な組成のSn-3.0Ag-0.5Cuはんだと、鉛共晶はんだを使用したサンプル基板を作成し、初期評価および、ヒートサイクル試験での断線までの評価を行った。本年度はヒートサイクル試験の途中で定期的に行ったせん断試験の結果を指標に、試験条件の違いにおける劣化の加速度合いの影響を調査した。その結果、鉛共晶はんだの劣化の加速によく当てはまるとされるコフィンマンソン則の修正式を鉛フリーはんだに適用してもおおよその加速度合いが分かり、加速試験の評価が行えることが確認された。

1. 緒 言

Rohs指令など、世界各地で環境に悪影響を及ぼす物質として、その使用が規制されている物質の一つに鉛がある。鉛はその性質上、Sn-Pbの共晶はんだとして使用されていた。有鉛はんだから鉛フリーはんだへ切り替えるべく様々な組成のはんだが開発されており、現在国内で主流となっているのはSn-Ag-Cuはんだであるが、Sn-Pbはんだに比べ、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による経年劣化を調査する環境試験では、製品が使用される環境や、動作を保証したい期間など複数の要素がからみ合うため、適切な試験条件の設定には多くの知識、経験が必要となり十分な対応が行えていないのが現状である。そこで本研究は、最適な信頼性試験条件の設定手法の確立を目的として実施した。

昨年度は、試験条件、試験対象の選定を行い、試験対象として作成したサンプル基板上の表面実装部品の製造時のせん断応力測定と、熱衝撃試験によって表面実装部品が導通不良に至るまでの抵抗値測定を行った。

本年度は、引き続き実施中の熱衝撃試験のサンプル基板の一部を抜き取り、せん断試験を実施し、せん断応力の変化の様子から、熱衝撃試験における加速係数の関係の評価を行った。

2. 実験方法

2-1 実装サンプル基板の仕様

試験対象として作成したサンプル基板(表1)を、図1に示す。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)の4種類を選択した。はんだには、Ag 3%, Cu 0.5%, 残りがSnの鉛フリーはんだを使用し

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-鉛共晶はんだ (63Sn-37Pb) 鉛フリーはんだ (Sn-3.0Ag-0.5Cu)
実 装 部 品	表面実装抵抗 (0 Ω)
部 品 サ イ ズ	0603, 1005, 1608, 2125

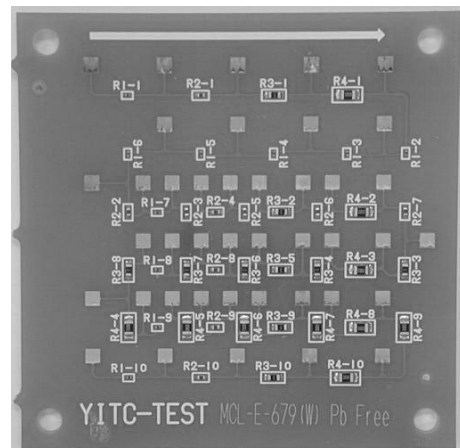


図1 評価用サンプル基板

た。試験の比較対象としてCEM3とFR4の基板に対しては、Sn-Pb共晶はんだを使用したサンプルも作成し、基板種類とはんだ種類の組み合わせで合計6通りの条件で試験を行った。

基板に実装する部品は、0Ωの表面実装抵抗であり、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。

2-2 セン断試験

熱衝撃試験の条件が、高温側温度125℃、低温側温度-40℃、さらし時間40min/cycle（以下試験条件A）と、高温側温度100℃、低温側温度-20℃、さらし時間20min/cycle（以下試験条件B）の2つの試験を実施した。

サイクル数が、1000サイクルと2500サイクル経過した時点で、サンプル基板を一部抜き取り、実装されているチップ抵抗に対してせん断試験を実施した。

試験方法については、JIS Z3198-7「鉛フリーはんだ試験方法—第7部：チップ部品のはんだ継手せん断試験方法」を参考に、規格に準拠した基板固定用治具とせん断治具を用いて行った。（図2）

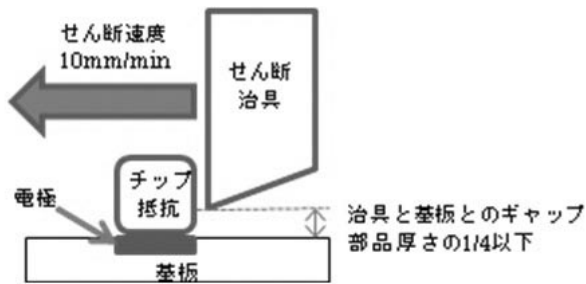


図2 セン断試験測定概念図

サンプル基板には、同一サイズのチップ抵抗が10個実装されているが、断面観察など他の破壊試験にも使用するため、1枚あたり6個のチップ抵抗に対してせん断試験を実施して、6点の最大点応力値の平均値を、その条件におけるせん断応力の値として採用し、評価を行った。

3. 結果

熱衝撃試験のサイクル数の増加によるせん断応力の劣化を評価するために、熱衝撃試験サイクル数をX軸に、せん断応力をY軸にして、表面実装部品のサイズ毎にまとめたグラフを図3～図6に示す。グラフ中の実線で結ばれているデータが、試験条件Aにおけるせん断応力の変化であり、点線で結ばれているデータは、試験条件Bにおけるせん断応力の変化である。

図3～図6の各グラフにおいて、初期状態のせん断応力は、基板やはんだの種類に関わらず、実装部品の大き

さが同じであれば、せん断応力が同程度の値となる結果になった。

サイクル数の増加による、せん断応力の低下が最も顕著だったのは、CEM3基板に鉛フリーはんだを用いて実装を行った基板で、試験条件Aでは、1000サイクル経過した時点で、初期状態の50%以下に低下する結果となった。試験条件Bにおいても、1005サイズ以上のチップ抵抗に関しては、1000サイクル経過までには、初期状

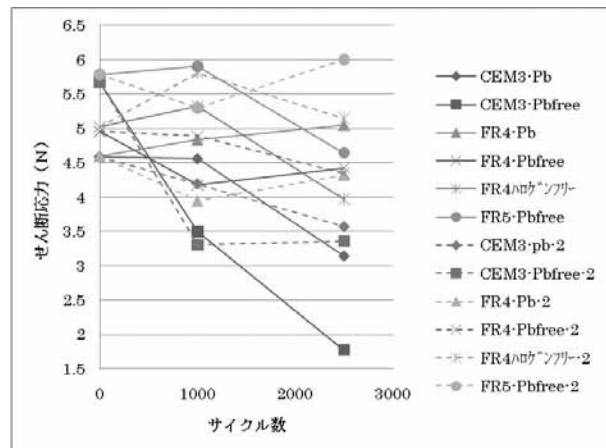


図3 セン断応力の変化（0603サイズ）

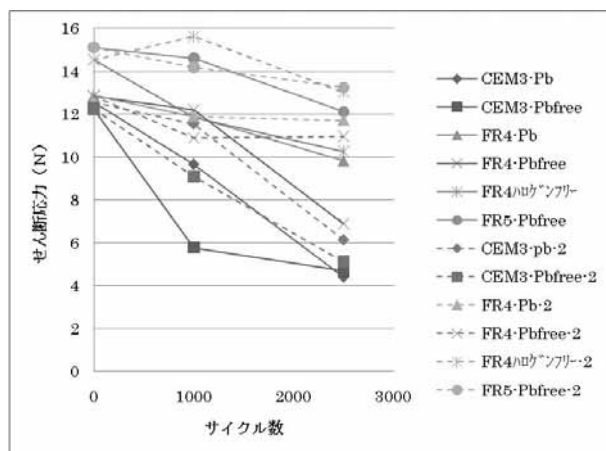


図4 セン断応力の変化（1005サイズ）

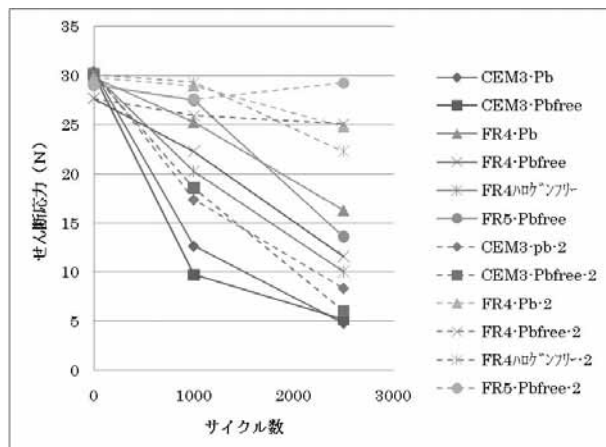


図5 セン断応力の変化（1608サイズ）

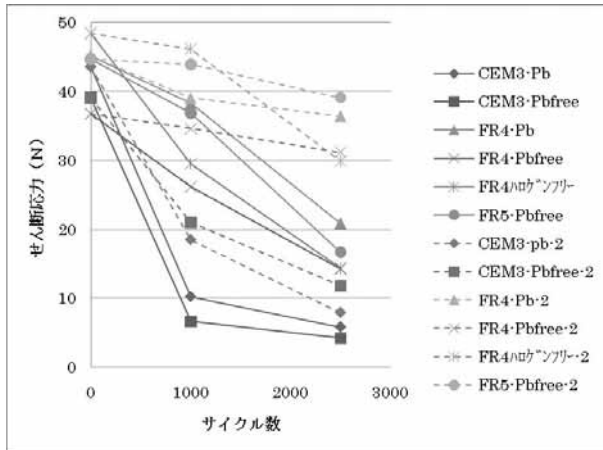


図6 せん断応力の変化 (2125サイズ)

態の50%以下に低下する結果となった。

サイクル数の増加によるせん断応力の低下が最も少なかったのは、FR5基板に鉛フリーはんだを用いて実装を行った基板で、1005サイズ以下のチップ抵抗は、2500サイクル経過した時点でも、初期状態に比べて70%以上のせん断応力を保つ結果となった。

4. 考 察

今回、試験条件として設定した試験条件Aと試験条件Bの間における加速度合いについて、理論的に求めるために、コフィンマンソン則の修正式(1)を用いて算出を行った。この式は、ひずみ振幅による加速を主な故障原因とする製品の劣化試験の加速係数を求める際に、良い精度で成立することが知られており、一般的に使われている式である。鉛共晶はんだについては、この式を使用する際に必要な各種係数について、さまざまな文献¹⁾などで示されている、定数 $m=1/3$ 、材料定数 $n=2$ 、活性化エネルギー $\phi=0.123$ を使用して算出を行った。

$$A = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^m * \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)^n * e^{\left(\frac{\phi}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right)} \dots (1)$$

- A : 加速係数
- f_1 : 実使用回数 (回/日)
- f_2 : 試験回数 (回/日)
- m : 定数
- ΔT_1 : 実使用温度差
- ΔT_2 : 試験温度差
- n : 材料定数
- T_1 : 実使用上限温度 (K)
- T_2 : 試験上限温度 (K)
- ϕ : 活性化エネルギー (eV)
- k : ボルツマン定数 (8.6×10^{-5} eV)

各種係数以外の温度や周期などのパラメータは、加速係数をより精度良く算出するために、設定値ではなく、表2に示す試験中にデータロガーを用いて実際に測定した実測値を用いて計算を行った。

表2 計算に用いたパラメータ

f_1	44.74	ΔT_1	122	T_1	101
f_2	23.31	ΔT_2	164	T_2	125

以上のようにして、コフィンマンソンの修正式から求められる加速係数は2.8となり、試験条件Aは試験条件Bよりも2.8倍の加速度合いを持っていることになる。

本実験の結果から、試験条件Aと試験条件Bとの間の加速係数を求めるために、試験条件Aで1000サイクル経過した基板のせん断応力と、試験条件Bで2500サイクル経過した基板のせん断応力の比を算出した。(表3)

表3 試験条件別のせん断応力の比

	cem3 -pb	cem3 -pbfree	fr4 -pb	fr4 -pbfree	fr5 -pbfree	fr4ハロゲンフリー -pbree
0603サイズ	1.28	1.04	1.12	0.96	0.98	1.03
1005サイズ	1.57	1.13	1.01	1.11	1.10	0.91
1608サイズ	1.52	1.61	1.02	0.89	0.94	0.91
2125サイズ	1.29	0.56	1.05	0.84	0.94	0.99

サイクル数に2.5倍の差があるため、この比の値が1より大きいと加速度合いは2.5以下ということになり、1より小さいと2.5以上ということになる。

CEM3については、ばらつきがみられるものの、FR4, FR5は、全てのチップ抵抗サイズの結果が1近辺の値を示す結果となった。(図7)

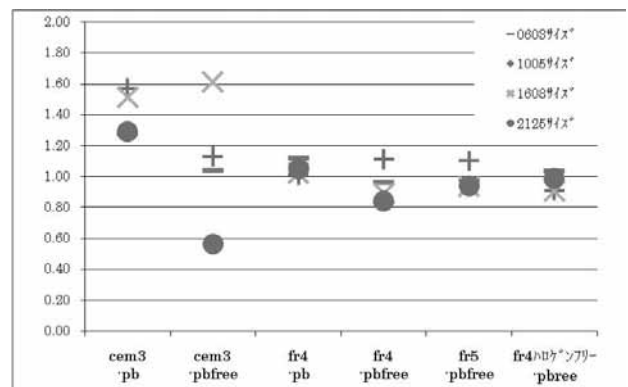


図7 せん断応力の比の分布

CEM3の基板にばらつきがみられるのは、CEM3基板は、試験条件Aの1000サイクル経過以前の810サイクル以降から、図8や図9にみられるような断線が生じ始めており、その影響によるものだと考えられる。

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を行う上で、必要とされる加速係数について調査するため、Sn-3.0Ag-0.5Cuはんだと、比較対象となるSn-37Pbはんだを用いてサンプル基板を作成して、冷熱衝撃試験を2つの条件を設定して実施し、1000サイクル、2500サイクル経過した時点での、せん断応力を測定し評価を行った。

その結果、鉛共晶はんだの冷熱衝撃試験の際に加速度合いを計算するために用いられる、コフィンマンソンの修正式を利用して、鉛フリーはんだを用いた基板の加速度を算出しても、おおよそ信頼できる結果が得られることが確認された。

次年度は、冷熱衝撃試験のサイクル数の増加における、電気抵抗値の変化と、せん断応力の変化の相関について調査を行っていく。

参 考 文 献

- 1) 社団法人日本電子工業会規格：ET-7407, CSP・BGAパッケージの実装状態での環境及び耐久性試験方法, (1999)
- 2) 中川 泰利, 青木 雄一, 永井 孝幸：エスベック技術情報誌, No.38, Sn-Zn系低温鉛フリーはんだ接合部の信頼性評価, (2004)
- 3) 青木 雄一, 辻江 一作, 永井 孝幸：エスベック技術情報誌, 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)
- 4) 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)
- 5) 清水 章良, 宮本 博永, 平川 寛之, 鈴木 大介：山梨県工業技術センター研究報告, No.23, p.104-107 (2009)

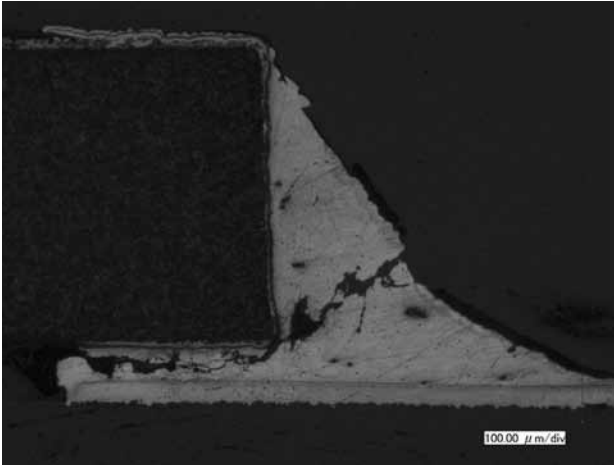


図8 熱衝撃試験による断線部分の断面図
(試験条件A, 1000サイクル,
CEM3-Pbfreeはんだ2125チップ抵抗)

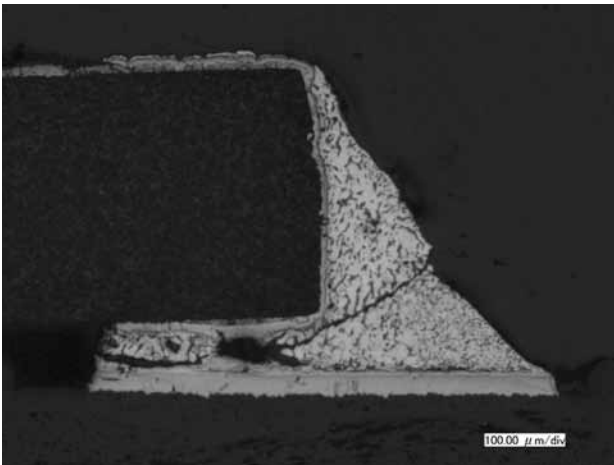


図9 熱衝撃試験による断線部分の断面図
(試験条件A, 1000サイクル,
CEM3-Pbはんだ1608チップ抵抗)

FR4基板-鉛共晶はんだの組み合わせについては、せん断応力の比が1.0近辺に集中していることから、今回の実験結果から求められる加速度合いは2.5付近であると推測される。これは、コフィンマンソンの修正式から得られた加速係数2.8と近い値を示す。鉛フリーはんだを用いたその他のサンプル基板においても、せん断応力の比が1.0近辺に集中していることから、加速係数は2.5付近と考えられる。

よって、理論的に求められた加速係数と、実験結果による加速係数との差が0.3程度しかないので、鉛フリーはんだを使用した基板の加速係数を求める際に、コフィンマンソン則の修正式に、鉛共晶はんだの場合と同様の各種係数を用いて加速係数を求めても、おおよそ信頼できる値を示すと考えられる。