

## 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3報)

清水 章良・宮本 博永・平川 寛之・米山 陽・勝又 信行

## Study on Reliability Test for PCB Using Lead-free Solder Alloy (3rd Report)

Akio SHIMIZU, Hironaga MIYAMOTO, Hiroyuki HIRAKAWA, Akira YONEYAMA and Nobuyuki KATSUMATA

## 要 約

鉛フリーはんだの接続信頼性を検証するために、昨年度までに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、ヒートサイクル試験中の基板の抵抗値の連続測定、せん断応力の測定の結果から、試験条件の違いによる劣化の加速度合い、いわゆる加速係数の調査を行った。今年度は、抵抗値の変化とせん断応力の相関関係を調査し、抵抗値の上昇が起こった時には、せん断強度は初期値の5割程度まで減少することが確認された。また、抵抗値が一定以上になった状態を故障とみなして、ワイブル解析による寿命特性の評価の可能性について検証を行った結果、形状パラメータ  $m$  が1以上の値となり、劣化故障モードの故障評価が可能であるという結果になった。

## 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、ウィ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。

昨年度までの研究では、信頼性試験の一つである冷熱衝撃試験を試作した基板に対して行い、基板の抵抗値の変化の測定及び、せん断応力の測定を実施。その結果、冷熱衝撃試験の際に劣化の加速度合いを計算するために、有鉛はんだでは再現性が高いとして一般的に用いられている、コフィンマンソンの修正式を鉛フリーはんだに適用して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。

今年度は、引き続き実施中の熱衝撃試験を 4500 サイクルまで実施し、抵抗値の変化とせん断応力の相関関係の分析、抵抗値の変化を対象としてワイブル解析を行った。

## 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 J E I T A (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  $0\ \Omega$  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 ( $0\ \Omega$ )
部品サイズ	0603, 1005, 1608, 2125

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)

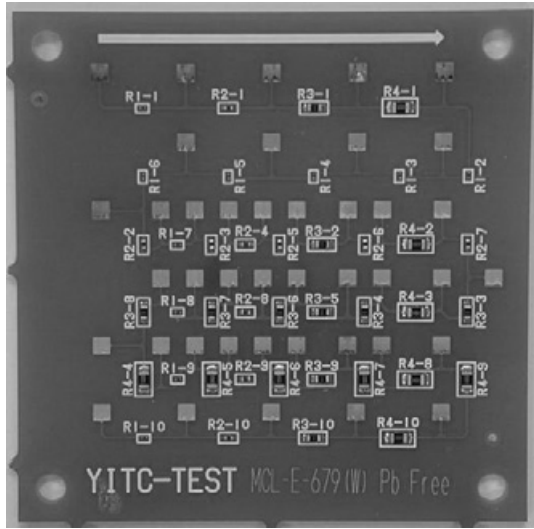


図1 評価用サンプル基板

## 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、表2の様に試験条件を設定した。

温度条件は、JIS規格や当センターの装置の能力等を考慮して、 $-40^{\circ}\text{C}$ ~ $125^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$ ~ $100^{\circ}\text{C}$ の2条件を選定し、試験サイクル数は4500サイクルとした。

表2 冷熱衝撃試験条件

	試験条件 A	試験条件 B
高温側	$125^{\circ}\text{C}$	$100^{\circ}\text{C}$
低温側	$-40^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C}$
さらし時間	40min/cycle	20min/cycle

## 2-3 抵抗値の測定

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 $0\ \Omega$ 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して、定電流発生器から $50\text{mA}$ 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)

測定にはデータロガーを使用し、30秒に一度抵抗値の記録を行った。

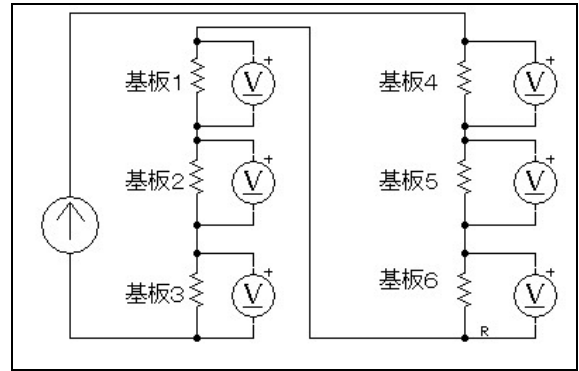


図2 電気抵抗測定概念図

## 2-4 せん断試験

サイクル数が、1000,2500,4500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3)

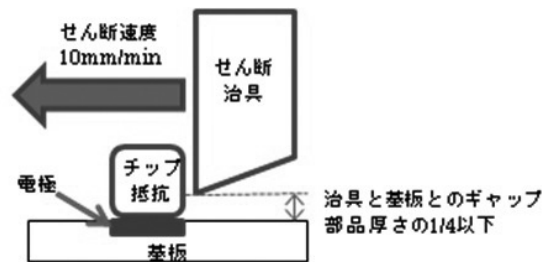


図3 せん断試験測定概念図

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

### 3-1 抵抗値変化

冷熱衝撃試験中に記録した抵抗値を100サイクル分のデータごとに区分けして、それぞれの中央値を求めたものを、図4から図7に示す。

両試験条件において、CEM3以外の基板は $0.1\ \Omega$ 以上の値にはならず、徐々に上昇していく傾向となった。CEM3基板は、はんだの種類にかかわらず抵抗値の上昇が大きく、初期値の数倍以上になり、その他の基板においては、最大でも倍程度までの上昇にとどまる結果となった。

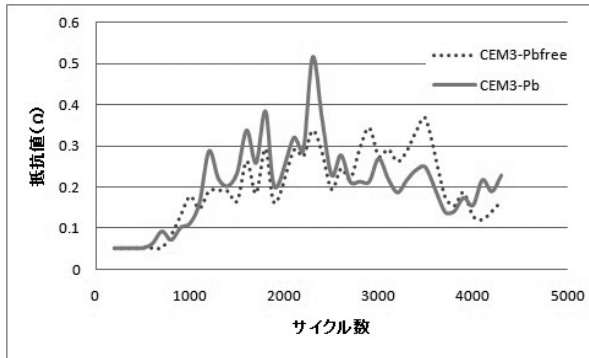


図4 CEM3基板の抵抗値の変化（試験条件A）

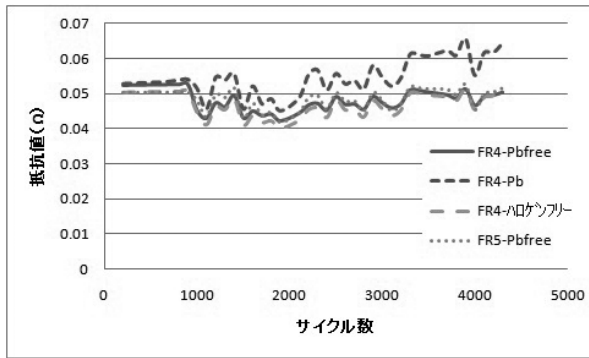


図5 FR4,FR5基板の抵抗値の変化（試験条件A）

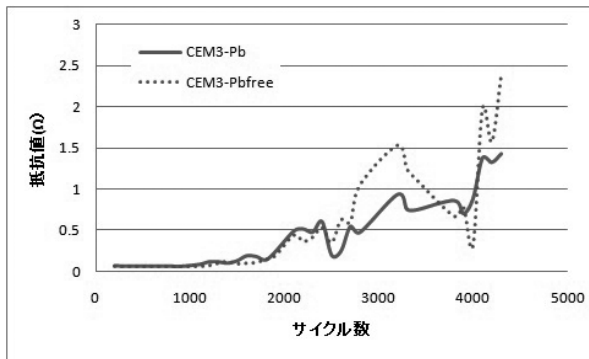


図6 CEM3基板の抵抗値の変化（試験条件B）

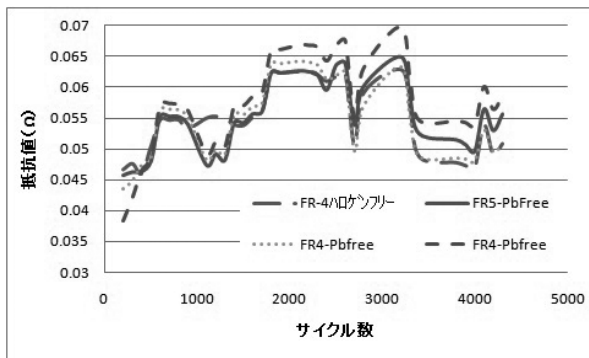


図7 FR4,FR5基板の抵抗値の変化（試験条件B）

### 3-2 せん断応力変化

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8～11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。

冷熱衝撃試験では、温度差による物質の膨張、収縮の繰り返しが頻繁に行われ、劣化が促進される試験のため、基板の熱膨張係数が最も低いFR5がどのチップサイズの結果においても、せん断応力の低下の度合いが少なくなっている。逆に最も熱膨張係数の高い、CEM3基板は早いサイクル数からせん断応力の低下が確認された。

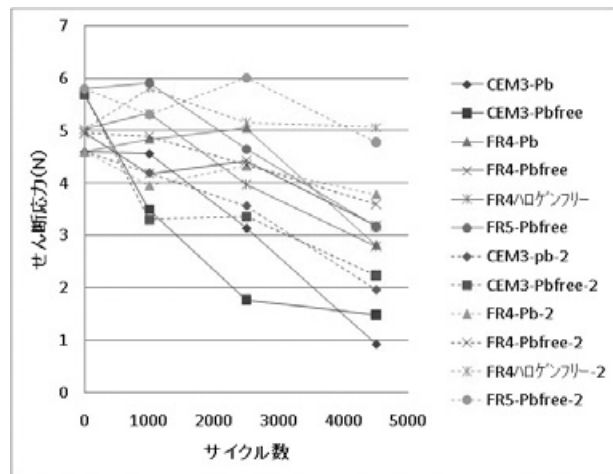


図8 せん断応力の変化（0603サイズ）

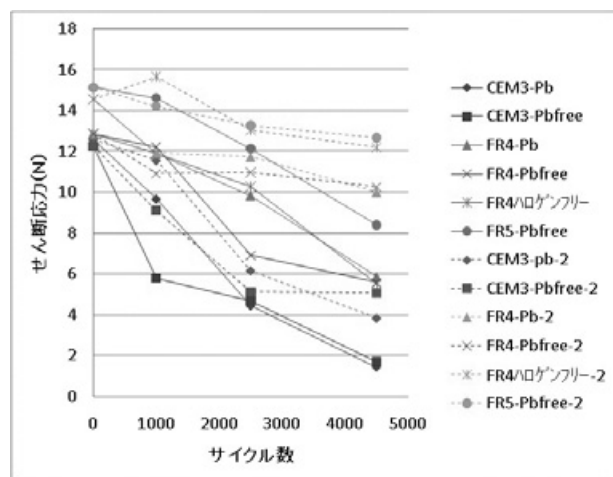


図9 せん断応力の変化（1005サイズ）

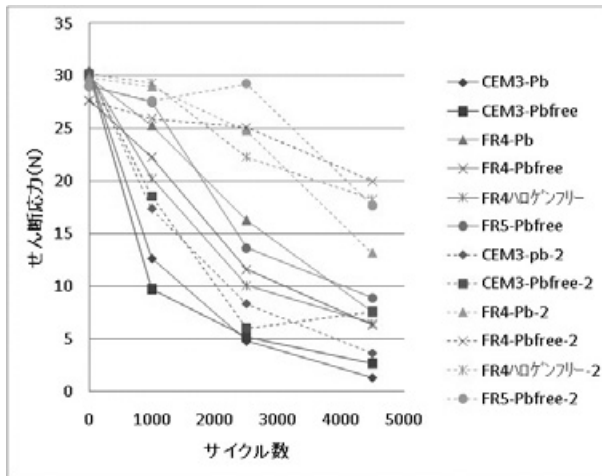


図10 せん断応力の変化 (1608サイズ)

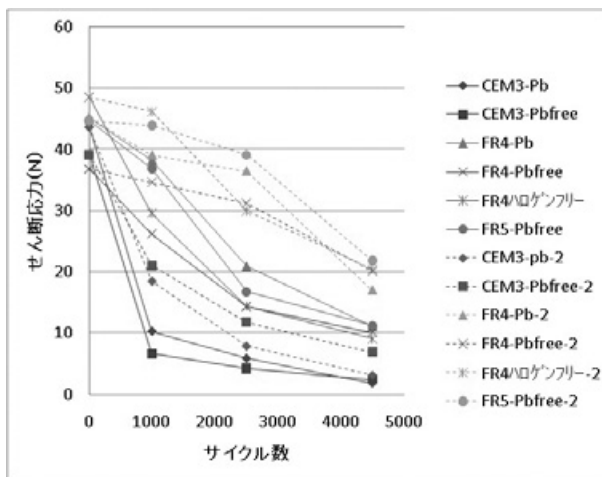


図11 せん断応力の変化 (2125サイズ)

#### 4. 考 察

抵抗値の上昇が顕著に表れた CEM3 基板の結果について、抵抗値の変化とせん断応力の総関係を分析するために、それぞれのデータを一つのグラフ上に表して比較を行った。(図 12, 図 13)

せん断応力変化については、初期状態を 1 とし各測定条件での最大値, 最小値, 平均値を求め, 抵抗値の変化は, 初期状態を 1 として, 100 サイクルごとにデータを区分けして, 最大値, 最小値, 中央値を求めた。

図 12 は試験条件 B での CEM3 基板, Pb フリーはんだの結果で, 図 13 は試験条件 A での CEM3 基板, Pb はんだの結果であるが, 抵抗値変化量の最大値に着目すると, 初期状態とほぼ変わらない状態が続いたのちに, 抵抗値は上昇するが, そのまま上昇し続けるのではなく, 初期値の 20~30 倍程度付近で, 一度安定した値になる状態が続き, その後, 再び上昇を続けている。この安定した値になる状態が終わる頃には, せん断応力変化量は 0.5 以下になっていることから, はんだ接合部の電気抵

抗値に上昇が見られ始めた場合には, その部分のせん断応力は初期状態の半分以下しかない。

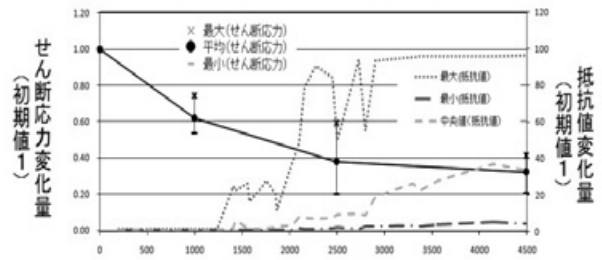


図12 せん断応力と抵抗値変化

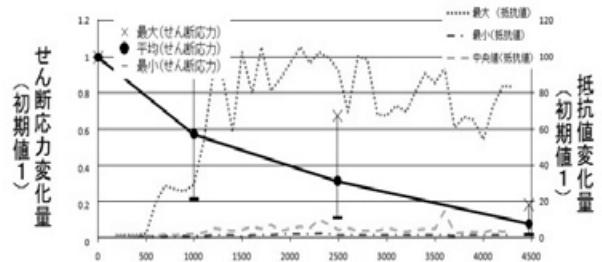


図13 せん断応力と抵抗値変化 2

抵抗値の上昇とせん断応力の変化との関係が上記のような結果になったので, 抵抗値による寿命推定の可能性について検討を行った。

図 14 は図 12, 図 13 で取り上げた試験において, 抵抗値が 11Ωを超えたときを故障と判定した場合のワイブル解析結果である。本研究で行っている試験は, 定期的に, 一部のサンプルを抜き取ってせん断試験を実施しているため, 中途打ち切りのある不完全データとなるので, 累積ハザード法を適用して解析を行った。

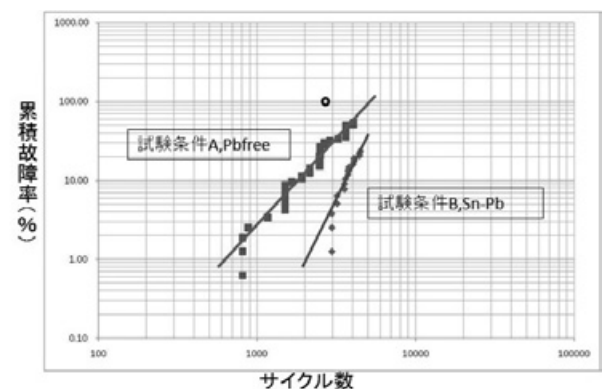


図14 ワイブル解析結果

形状パラメータ  $m$  が 2.1 と 4.1, 尺度パラメータ  $\eta$  が 5600 と 6400 という値が得られ, 両試験条件ともに  $m > 1$  の故障率増加型の劣化故障モードを表している結果となり, 抵抗値を閾地とした寿命推定が十分に可能であるという結果になった。

## 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とともに、せん断応力と抵抗値の変化の相関関係をみることによって、抵抗値の測定という非破壊で行える検査方法による信頼性評価の可能性について検討を行った。

その結果、本試験で用いた CEM3 基板においては、はんだの種類や冷熱衝撃試験条件が異なっても、初期状態に比べて抵抗値の上昇が 20~30 倍程度まで上昇したときには、接合強度は半分以下にまで低下していることが確認され、抵抗値によるワイブル解析の結果も寿命特性を評価していることが確認されたことから、抵抗値の変化の状況からはんだ接合部の信頼性評価の有効性を示すことができた。

## 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, 微小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)