

超音波振動を援用したはんだ実装の信頼性に関する研究（第2報）

清水章良・木島一広・中村卓・石田正文・中込広幸

Study on Reliability of Reflow Mounting Board Using Ultrasonic Vibration (2nd Report)

Akio SHIMIZU, Kazuhiro KIJIMA, Takashi NAKAMURA,
Masafumi ISHIDA and Hiroyuki NAKAGOMI

要約

電子基板に部品を実装する際には、生産効率の良さからペースト状のはんだを電極部分に塗布し、はんだの融点以上に熱した炉の中を通して実装を行うリフロー方式が多く採用されている。しかし、様々な要因により実装不良が起こり、接合強度の低い基板ができてしまうことがある。本研究では、信頼性の高い実装方法の確立を目的として、リフロー時に超音波振動を印加する方法を提案し、その有効性を検討する。昨年度は超音波振動の印加が可能な簡易リフロー炉の作製及び、リフロー条件の検討を行った。本年度は超音波振動を印加して作製した基板と超音波振動を印加せずに作製した基板の比較を行った。断面観察ではボイドの低減やぬれ上がり不良の低減が確認でき、冷熱衝撃試験機を使用した加速劣化試験での劣化度合いの変化の評価では試験サイクル数の増加に伴う抵抗値の上昇が低い結果となり、超音波を援用する有効性が確認できた。

1. 緒言

電子基板に部品を実装する際には、はんだを用いるのが一般的であり、企業などで大量に実装を行う場合には時間効率の良さから、高温に熱した炉の中に基板を入れてはんだ実装を行うリフロー方式が広く採用されている。

RoHs 指令に代表されるような有害物質の使用に対する規制が世界各地で行われ、はんだにおいても鉛が使用制限もしくは表示義務対象となり、鉛フリーはんだへの切り替えが進んでいる。また、IoT 技術の普及により電子製品に求められる仕様が厳しくなっており、動作環境温度の広範囲化、製品自体の省スペース化が求められている。それらのニーズに対応するため、実装する部品自体もより小型になり、はんだ接合部も小さくなることから今までより少ない接合面積で今までと同様の信頼性を確保する必要に迫られている。

そこで本研究では、現状より信頼性の高い実装方法として、リフロー中に基板に対して超音波振動を印加する方法を提案し、その有効性について検証を実施。昨年度はリフロー中に超音波振動が印加可能な簡易リフロー装置の作製を行い、はんだ実装に適した温度プロファイルを実現する条件出しを行った。本年度は超音波振動を印加して実装した基板と印加せずに実装した基板に対して、断面観察による外観検査評価と、冷熱衝撃試験機による

加速劣化試験を行い、抵抗値と最大せん断荷重の測定による評価を行った。

2. 試験条件

2-1 評価用基板の作製

評価に使用する基板は表1に示す仕様にて作製を行った。基板の素材はガラス繊維の布にエポキシ樹脂を染み込ませた素材で、一般的に使用されているガラスエポキシ銅張両面基板（FR-4）を用いた。はんだについては、鉛フリーはんだとしては広く使用されている、銀 3%、銅 0.5%、残りが錫からなる鉛フリーはんだペーストを採用した。

表1 評価用基板の仕様

基板サイズ	50mm×50mm, 厚さ 1.6mm
基板材質	ガラスエポキシ銅張両面基板 (FR-4)
はんだ	鉛フリーはんだペースト (Sn96.5, Ag3.0, Cu0.5)
実装部品	3216 サイズチップ抵抗 50mΩ

基板上に実装する部品は 3216 サイズのチップ抵抗を基板の中心部に1個配置し、電極部から基板の端まで直

線の伝送線路を作製し抵抗測定が可能な状態にした。リフローには昨年度作製した超音波振動が印加可能な簡易リフロー炉（図 1）を用いて図 2 に示す一般社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）が鉛フリーはんだ実用化ロードマップ¹⁾で示した温度プロファイルを再現できるような温度プロファイルで行った。超音波振動の印加により期待できる効果として、溶けたはんだの内部にフラックスが残ってしまうのを防ぐ効果や電極部へのぬれあがりの向上が考えられる。はんだペーストの状態中に超音波振動を印加しても期待される効果が得られにくく、実装部品のずれなど逆効果になることも考えられる。よって、超音波振動の印加はリフロー中に終始行うのではなく、はんだペーストが十分に加熱され溶け始める、リフロー炉内温度が 200℃を超えた時点から行うこととし、30 秒間（図 2 の網掛け部分）のみ印加することとして実装を行った。

評価用基板は超音波振動を印加して実装したものを 19 枚、比較対象として超音波振動を印加せずに実装したものを 23 枚作製し評価を実施した。

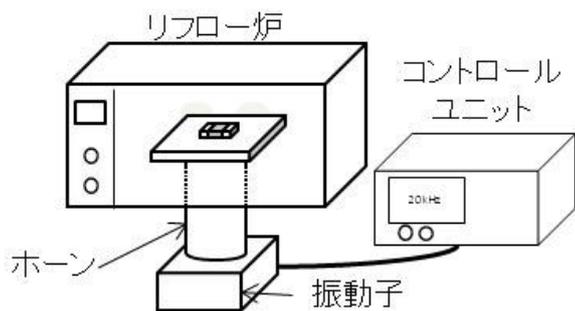


図 1 簡易リフロー炉

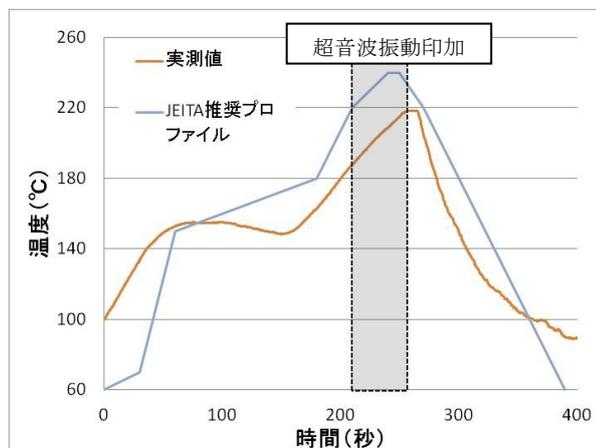


図 2 温度プロファイル

2-2 加速劣化試験条件

電子基板の経年劣化による故障は、はんだペースト部に亀裂が入ることによる導通不良が多い。実装部品、

はんだ、および基板の熱膨張係数が異なるため、外気温の変化などにより引き起こされる膨張と収縮の量に差が生じることではんだ部分に応力の集中と分散が発生し、その繰り返しによりはんだ部分に亀裂が生じ導通不良の状態にまで進展する。よって、この故障メカニズムを加速して再現させるために、実環境より温度差の激しい環境にさらすことが可能な冷熱衝撃試験によって経年劣化についての評価を行うこととした。試験条件は高温側 120℃、低温側-40℃さらし時間各 5 分とし、1000 サイクル毎に評価を行い 4000 サイクルまで実施した。

3. 結果と考察

3-1 断面観察結果

超音波振動を印加して作成した基板と印加せずに作成した基板について 3 枚ずつ作製直後の断面観察による評価を実施した。

図 3 は超音波振動を印加せずに作製した基板の断面であるが、左側の接合部のはんだが電子部品の電極部分の半分までしかついておらず、ぬれあがり不良となっている。



図 3 超音波なし（ぬれあがり不良）

図 4 は超音波振動を印加せずに作製した基板で、はんだのぬれあがり状態は良く電極部の上部までぬれあがっているが、右側のはんだ実装部で基板との接合面付近にボイドが発生している。

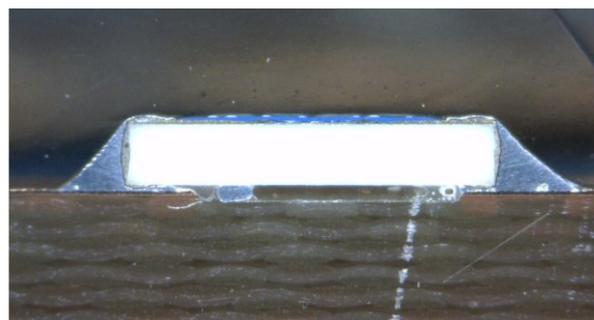


図 4 超音波なし（ボイド発生）

図 5 は超音波振動を印加して作製した基板の断面であるが、両側の電極部分ともぬれあがり状態も良好で電極部全体にはんだが広がっており、ポイドも発生していなかった。他のサンプルの断面も図 5 と同様にぬれあがり状態も良く、ポイドも発生していなかった。

ポイドが発生する主な原因は、はんだに含まれているフラックスがガス化して内部で留まることである。はんだが溶けた状態の時に超音波振動を加えることによってはんだ内部のガス化したフラックスが溜まらずに外側まで押し出されるか分散したため、ポイドが形成されない実装になったと考えられる。

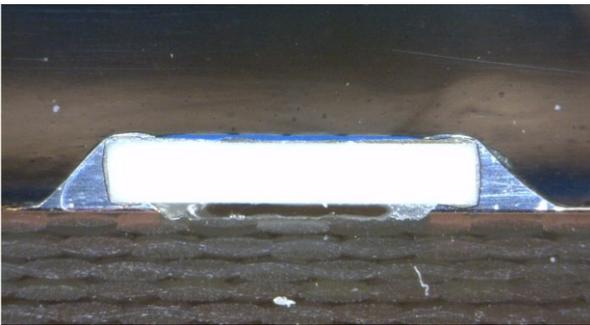


図 5 超音波あり

3-2 最大せん断荷重結果

電子部品と基板との機械的接合強度が経年劣化によってどの程度変化していくかを評価するために、せん断荷重の測定を実施した。測定方法は 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」を参考にして、規格に準拠したせん断用治具を用いて行った（図 6）。

測定時に治具へのサンプル基板の取り付けや、せん断用治具の位置決め作業は手作業で行うため、測定結果にばらつきが生じることが懸念される。よって、一条件につき 4 枚せん断試験を行い、その平均値をもってその条件における最大せん断荷重結果として評価を行った。

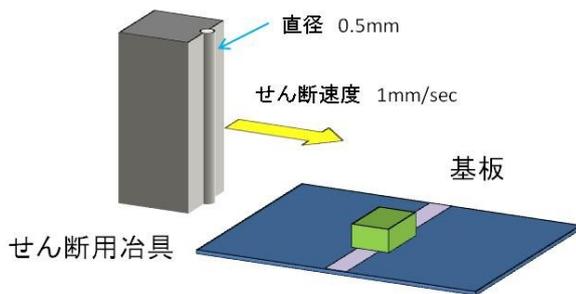


図 6 はんだ継手せん断試験概念図

図 7 が最大せん断荷重の経過を表したグラフである。

実装直後の結果では超音波振動を印加した基板の方が 25N 程低い値を示しているが、1000 サイクル以降の測定結果では超音波振動を印加した基板と印加していない基板に違いは見られない結果となった。

超音波振動を印加した基板の実装直後の結果が低い原因としては、このグラフの値が 4 サンプルの平均値を採用しており、1 サンプルだけ極端に最大せん断荷重の低いサンプルがあったことがあげられる。これらの結果から超音波振動の印加は、経年劣化による接合強度の低下には影響を及ぼすことがないと考えられる。

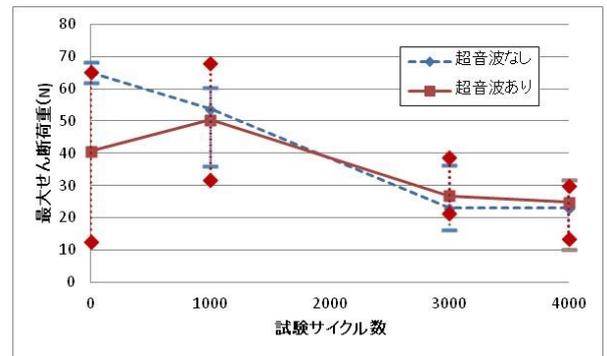


図 7 最大せん断荷重の変化

3-3 抵抗値測定結果

抵抗の測定には KEITHLEY 製のマルチメータ（型式 2701）を用いた。実装されている部品が 50 mΩ のチップ抵抗であるので、測定には 4 端子法による測定を行った。抵抗測定は 3-2 のせん断試験で使用しているサンプル基板と同じものを使用しており、せん断試験は破壊試験となるので、抵抗値測定の N 数はサイクル数が増加するごとに 4 サンプルずつ減少している。

図 8 は 1000 サイクル毎に測定した抵抗値の測定結果で、各サイクルの最大値と最小値の幅と平均値をつないだものを示している。各サイクルの測定結果のばらつきに幅があるものの、全体的な傾向としては超音波振動を印加していない基板のほうがサイクル数の増加による抵抗値の上昇値が大きくなっており 3000 サイクルの時点では超音波の有無にかかわらず初期値からほぼ変動していない基板がまだ存在していたが、4000 サイクルの測定では超音波振動を印加しなかった基板のすべてが初期値より大きく上昇している。このことから経年劣化による抵抗値の上昇が、超音波振動を印加して実装することにより抑えられるということが言える。

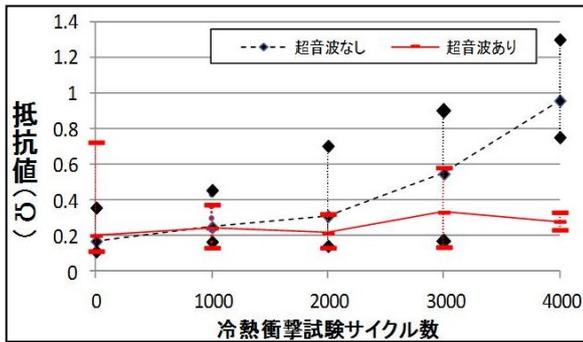


図 8 抵抗値の変化

5. 結 言

本研究では、はんだ実装基板の高信頼性化を目標として、電子基板のリフロー実装の際に超音波振動を印加する手法を提案した。研究初年度はリフロー実装中に超音波振動を印加することのできる簡易リフロー炉を作製し、評価用の基板が実装できることを確認できた。本年度は作製した基板について、断面観察による評価、冷熱衝撃試験機を使用した加速劣化試験時の抵抗値の変化および最大せん断荷重の変化による評価を実施した。

その結果、断面観察における評価においては超音波振動を印加することによってボイドやぬれあがり不良が低減することが確認でき、抵抗値の変化ではサイクル数の増加に伴う抵抗値の上昇が抑えられることが確認できた。

超音波振動を印加せずに実装した基板の冷熱衝撃試験の結果は平成 27 年度の研究²⁾で測定した結果と同様に 2000 サイクルを過ぎたころから抵抗値が上昇し始めて 4000 サイクルでは大きく上昇している。最大せん断荷重においてもほぼ同様の減少傾向を示している。平成 27 年度の研究で作製した基板と今回作製した基板は基板の材質、はんだの種類、実装部品は同じだが、その他のリフロー装置や基板の形状等は異なっているので、今回の研究で得られた結果は簡易リフロー炉特有の現象ではなく、一般的な装置で作製した場合も同様の結果になると考えられる。今回、超音波振動を印加した条件は実装部品のズレが生じず、印加する装置の制約等を加味して最適化を行っているので、実装する電子基板ごとに最適な条件を見つける必要があるが、超音波振動を印加することにより従来の実装よりも信頼性の高い基板を作製できることが分かった。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、研究の核心となるホーンを用いた超音波振動子の作製についてご協力をしていただいた、ESB株式会社様に感謝いたします。

参考文献

- 1) JEITA : 鉛フリーはんだ実用化ロードマップ 2002<
http://home.jeita.or.jp/tss/jisso_eas/japanese/leadfree/data/report-2.pdf> (2016-4-4 参照)
- 2) 清水章良 : 導電性接着剤を用いた電子基板の信頼性に関する研究, 山梨県工業技術センター研究報告, No.30, pp.36-39 (2016)