

# 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

清水章良・木島一広・中村卓・河野裕・石田正文・中込広幸

## Study on Reliability of Reflow Mounting Board Using Ultrasonic Vibration

Akio SHIMIZU, Kazuhiro KIJIMA, Takashi NAKAMURA,  
Hiroshi KONO, 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に通して実装を行うリフロー方式が多く使用されている。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作られ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援用する方法を提案し、その有効性を検討する。本年度は、超音波振動子とホーンからなる超音波ユニットと市販のオープントスターを使用してリフロー中に超音波振動を加えることが可能な簡易リフロー装置を試作し、温度コントローラによる適正な温度プロファイル制御を行うことによって、信頼性の評価が可能な基板の作製を行うことができた。

### 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、企業などで大量に基板を作製する際はリフロー方式が広く使われている。リフロー方式は一般に次の行程が行われる。(1)基板の電極部分にペースト状のはんだを塗布して、電子部品を置く。(2)はんだの融点以上に熱した炉の中に基板を通すことにより、はんだが基板の電極部分と電子部品の端子部分に濡れ広がる。(3)冷却することにより、そのままはんだが固まり接合を実現する。

2006年にRoHS指令が公布されて以降、それまで使用されてきた鉛と錫の合金であるはんだの使用が規制され、鉛を含んでいない鉛フリーはんだへの切り替えが行われてきた。しかし、信頼性や実装条件などから、決め手となる代替はんだは未だ現れない。また、電子部品の多様化によりはんだの実装温度までの耐熱性を持っていないデバイスの実装ニーズや、車載部品に代表されるような、高温下での動作が求められる製品が増えたことなどから、より信頼性の高いはんだ材料もしくは実装方法が求められている。

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、リフロー中のはんだの濡れ性の向上や、ボイドの低減化を狙う目的で、超音波振動を加えながらリフローを行うことを提案し、その有効性の検証を試みる。本年度はリフロー中に超音波振動を加えることが可能な簡易リフロー装置を試作し、評価用基板の作製を行った。

### 2. 簡易リフロー装置の製作

#### 2-1 リフロー部の作製

はんだのリフロー条件には各はんだメーカーが推奨する温度プロファイルがあるが、本研究では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<sup>1)</sup>で示した温度プロファイル (図1) を参考として、この温度プロファイルを実現できるリフロー部の作製を試みた。

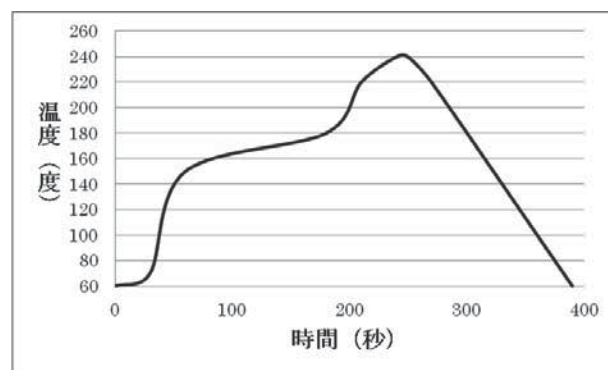


図1 温度プロファイル

リフロー炉内の基板に対して超音波振動を加える機構を取り入れるため、加工の利便性から市販のオープントスターを利用した。

図1の温度プロファイルを実現するために、温度調節器を設けてヒータの出力をオンオフ制御できるように改造を行い、実装される基板が置かれる周辺に配置した熱電対を用いて、炉内の温度を任意に制御できるようにし

た。

## 2-2 超音波振動部の作製

超音波振動発生部には圧電素子が使用されているが、圧電素子は200度を超えるようなリフロー温度までの耐熱性をもっておらず、超音波振動子をリフロー炉内に配置することはできない。そのため超音波振動子はリフロー炉の外に配置して高熱を避け、発生した超音波振動を伝播させるための手段として超音波ホーンを採用した。超音波ホーンは試験対象として使用する基板サイズと同じ、50 mm×50 mmとし、先端部が20 kHzで共振するように長さ調整したものであり、金属製であるためリフロー温度にも十分耐えることが可能である。

超音波の振動方向を基板に対して水平方向に加えると、実装部品が所定の電極部分から逸脱してしまうことが考えられるので、基板に対して垂直方向に加えることとした。また、超音波の振動によって基板自体が動いてしまうことを防ぐために、超音波ホーン先端には溝加工を施し、中央に穴を設けて基板を真空チャックで超音波ホーンに吸着できる構造とした(図2)。また、超音波ホーン自体は金属の塊であるため熱容量が大きく、リフロー時の温度上昇の妨げとなるため、側面にφ6 mmのヒータ用の穴とφ2 mmの熱電対用の穴をあけ、リフロー部とは独立した温度調整を可能にした。



図2 超音波ホーン先端部

リフロー炉と超音波振動部を組み合わせた装置構成を図3に示す。リフロー炉の底面部分から超音波ホーンを挿入する構成とし、超音波振動を制御するコントロールユニットを用いて振動子への出力を調整可能にした。また図3では省略してあるが、加熱された超音波ホーン先端部の熱が振動子部分まで伝わり圧電特性が失われることを防ぐために、振動子部分は空冷式の冷却機構を備えている。

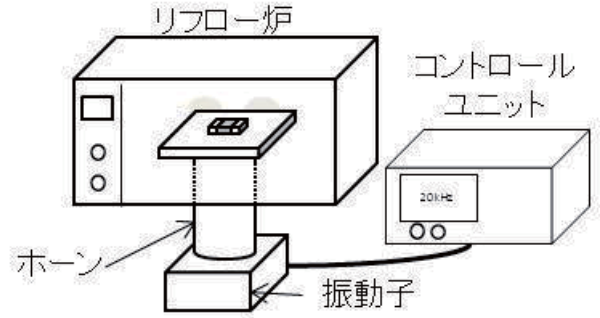


図3 装置構成

## 2-3 評価用基板の作製

評価に使用する基板を表1に示す仕様で作製した。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FR-4を用いた。はんだについても、鉛フリーはんだとしては広く使用されている、ペースト状で銀3%、銅0.5%、残りが錫のものを採用した。

表1 評価用基板の仕様

基板サイズ	50 mm×50 mm, 厚さ1.6 mm
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 50 mΩ

本研究では超音波振動がはんだ実装の信頼性について及ぼす影響について評価を行うのが目的であるため、その他の条件については、極力ばらつきがないようにする必要があり、実装部分のはんだの量や塗布したときに形状を均一にするために、印刷工程には図4に示すような厚さ1.2 mmのマスクを使用した。

チップ抵抗をはんだペーストの上に置く作業については、リフロー工程ではんだがペースト状から熔融した段階で表面張力が働き、多少のずれは吸収されるため、手作業で行った。

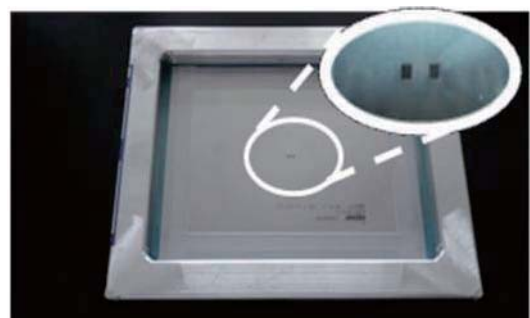


図4 はんだ印刷用マスク

### 3. 結果と考察

#### 3-1 温度条件の最適化

予備実験として、図1で示した温度プロファイルを温度調節器の制御目標値に設定し、基板の上にはんだペーストを塗布しただけの基板でリフローを行ったところ、図5のようにフラックスだけが揮発し、はんだが溶けずにそのままの状態で固まった結果となった。この状態では手でこするだけではんだがはがれてしまい十分な接着強度が得られておらず、実装不良になってしまう。原因として考えられるのは、金属の塊である超音波ホーンの熱容量が大きいため、リフロー炉内が所定の温度に達していても基板やはんだペースト部は超音波ホーンに熱を奪われてしまい、所定の温度に達していないことが考えられる。

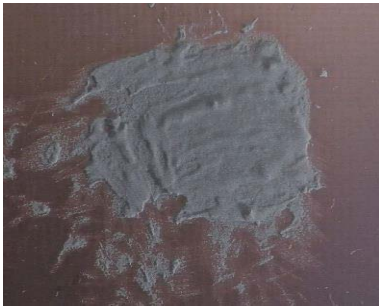


図5 予備実験基板（溶融せず）

そこで、基板やはんだが目標とする温度プロファイルになるように超音波ホーンのヒータは予備加熱を行うなどの設定条件の見直しを行った結果、リフロー炉内の温度プロファイルが図6に示すように目標に近い形でリフローが行え、基板の上のはんだも図7に示すように光沢のある未熔融部分が無い理想とするリフローが行えている結果となった。

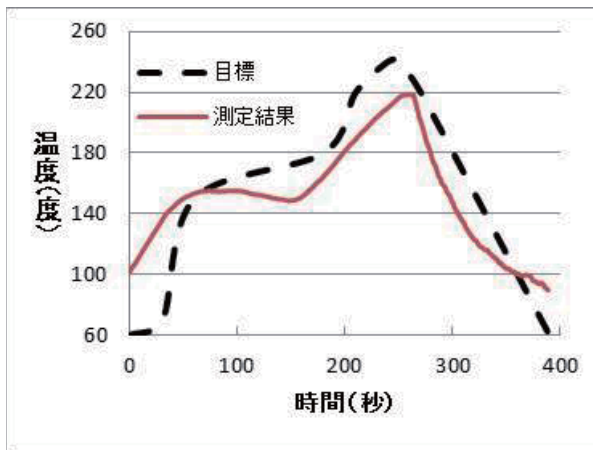


図6 改善後の温度プロファイル



図7 予備実験基板（未熔融部無し）

#### 3-2 超音波条件の最適化

本研究で作製した超音波振動機構はホーンによる共振で超音波を伝えているため、周波数は 20 kHz 固定である。コントロールユニットからの電力を変化させて、はんだ実装部にどのような影響を及ぼしているか調査を行った。3-1 で求めた温度プロファイルで、実際に評価用基板に電子部品を実装してリフロー中に超音波を与えるが、はんだが溶けていないペースト状の状態の時には超音波によるぬれ性の向上やボイドの低減の効果は低く、塗布したはんだの形状が崩れてしまうことが懸念されるため、超音波を加えるのは図6の温度プロファイル上で250秒付近の、はんだが融点に近づき溶け始めてから固まるまでの30秒間とした。

超音波の出力を 0 W（超音波無し）、5 W、10 W、20 W と4条件設定して、評価用基板の作製を行った。

図8は超音波出力を 10 W で実装した基板の外観だが、実装部品の手前に球状に固まったはんだが観測された。電子部品の左右の電極部を比較すると右側の電極部のはんだが少なくなっており、球状のはんだは右側の電極部分に塗布されていたはんだが移動して形成されたと考えられる。

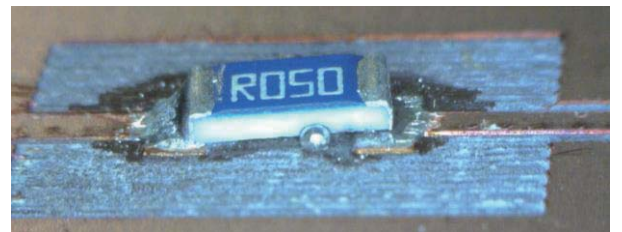


図8 評価用基板（超音波出力 10 W）

球状のはんだが形成される現象は超音波出力が 20 W の時（図9）にも観測された。また、球状のはんだが形成された基板の実装部品は電極部分のはんだが少なくなった影響からか、セルフアライメント機能が働いておらず、電子部品が斜めにずれてしまっている。

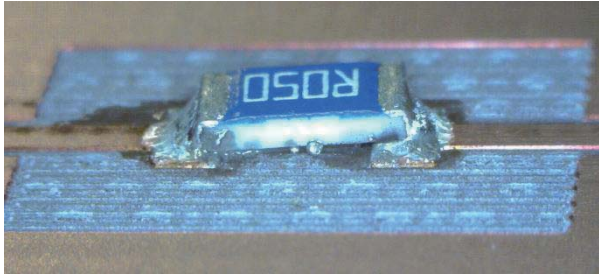


図9 評価用基板（超音波出力 20W）

超音波出力が 5 W の時は、球状のはんだが形成されることがなく、電子部品のずれもない、フィレット状の最も理想的なはんだ実装となった（図 10）。超音波振動は出力が高くなると基板の縦方向の振動が大きくなり、10 W 以上では、電子部品のずれが発生し始めるので、評価用基板の作製は 5 W の出力で行うこととする。

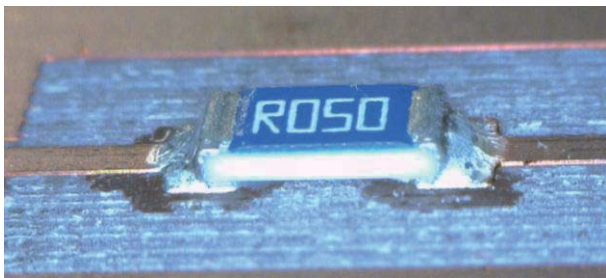


図 10 評価用基板（超音波出力 5W）

比較対象として超音波を加えずに作成した基板は図 11 のようになった。はんだが溶融した時にセルフアライメント機能が十分に働いたため実装部品が基板のパターン部分の中央に配置された。両側のはんだもおおむねフィレット形状になった。

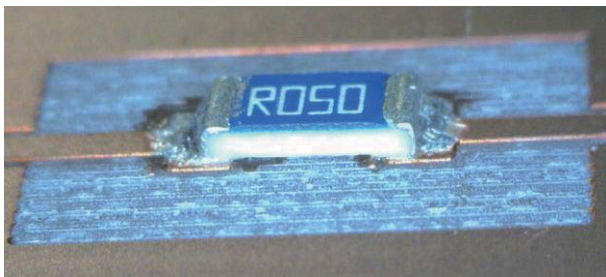


図 11 評価用基板（超音波出力無し）

#### 4. 結 言

本研究では、はんだ実装基板の高信頼性を目標として、リフロー時に超音波振動を加えることを提案し、その効果を確かめるためにリフロー中に基板に超音波振動を加えることのできる装置の開発を行った。

温度設定の見直しや超音波出力強度の最適化を行うことによって、超音波を加えたはんだ実装基板の作製を行うことができた。

次年度は作製した基板に対して接合強度の測定や加速劣化試験による評価を行う予定である。

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり、研究の核心となる超音波振動部分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](http://home.jeita.or.jp/tss/jisso_eas/japanese/leadfree/data/report-2.pdf)>（2016-4-4 参照）