

# FPC 上への 0402 チップ部品実装技術

電子電装開発センター 北田 智史<sup>1</sup>・関 善仁<sup>2</sup>

## Assembly Technique of 0402 Chip Components on FPC

T. Kitada, and Y. Seki

電子機器の小型・薄型化とともに、機器内の基板上に実装される受動部品のサイズは、従来の 0603 (0.6 × 0.3 × 0.6 mm) から 0402 (0.4 × 0.2 × 0.4 mm) へ移行するものと予測されている。フレキシブルプリント配線板 (Flexible Printed Circuit, FPC) は機器内の 3 次元配線として用いられるだけでなく、受動部品をはじめとする様々な部品がはんだで実装される。そこで、将来的な FPC 上での 0402 チップ部品の実装に向け、基板設計からリフローはんだ付け工程にいたるまでの要素技術を確立した。

It is predicted that miniaturization of electronic devices will change the sizes of passive chip components from the conventional 0603 (0.6 × 0.3 × 0.6 mm) size to 0402 (0.4 × 0.2 × 0.4 mm) size. Flexible printed circuits (FPCs) are used for three-dimensional wiring in such devices, and various components including the passive components are assembled on the FPCs. We have established an elemental technique from pattern designing to reflow soldering processes for assembling 0402 chip components on FPCs.

### 1. ま え が き

携帯電話、携帯型オーディオ機器、あるいはデジタルカメラなどの電子機器には、高機能化とともに小型・薄型化が強く求められている。それとともに、機器内部の基板点数の削減、および基板自体の小型化を実現するための技術が様々な分野で開発されている。そのひとつが高密度実装技術で、基板表面の実装部品の小型化、および部品の狭隣接化が進められている。抵抗器あるいは積層セラミックコンデンサといったチップ型の受動部品の場合、図 1 の写真に示すように、従来の 1005 (1.0 × 0.5 × 1.0 mm) あるいは 0603 (0.6 × 0.3 × 0.6 mm) サイズから、0402 (0.4 × 0.2 × 0.4 mm) サイズへと小型化されつつある。

一方、冒頭に挙げた小型電子機器の内部には、可とう性を有するフレキシブルプリント配線板 (Flexible Printed Circuit, 以下 FPC とする) が配線材として多く用いられている。携帯電話を例にとると、キーパッド部と液晶表示部を電気的に接続する信号線として主に用いられており、従来からある折りたたみ (クラムシェル) 型の他に、近年増加しているスライド型にも必要不可欠なものとなっている。さらに、基板の薄型化と高機能化を両立させるため、FPC 上に様々な部品が実装されるケースが増加している。

従来の FPC に実装されるチップ部品のサイズは最小のもので 0603 サイズであったが、将来的には 0402 チップの実装が必要になるものと予測している。そこで、0402 チップの実装に要求される基板仕様、およびはんだ印刷からリフローはんだ付け工程に至る要素技術を確立すべく、いち早く実装技術の開発に着手することとした。

### 2. パッド設計

#### 2.1 パッドサイズ

チップ部品を FPC に実装するためには、部品電極をはんだ付けするための Cu パッド、すなわち基板上の Cu 露出部分を適切なサイズに設計する必要がある。高密度実装という点では、実装パッドのサイズをできる限り小型化し、部品の間隔を狭めることが求められる。しかしながら、実装不良の低減、あるいは電極とパッド間の接合強度の信頼性向上という点においては、パッドを拡大して接合面積を増加させる必要がある<sup>1)</sup>。

図 2 にパッド設計の概要を示す。図中のタイプ (A) の設計では、パッド幅がチップ外形よりも片側に  $W=0.025$  mm だけ拡大しているのに対し、タイプ (B) ではパッド幅がチップ外形と同サイズ ( $W=0.00$  mm) となっている。一方、チップの長手方向のパッドサイズを変えることにより、フィレット長さ (L) を 0.10, 0.05, および 0.00 mm とした 3 種類のパターンを設計した。このように W および L を設計した 6 種類のパッド

1 回路技術開発部

2 回路技術開発部グループ長

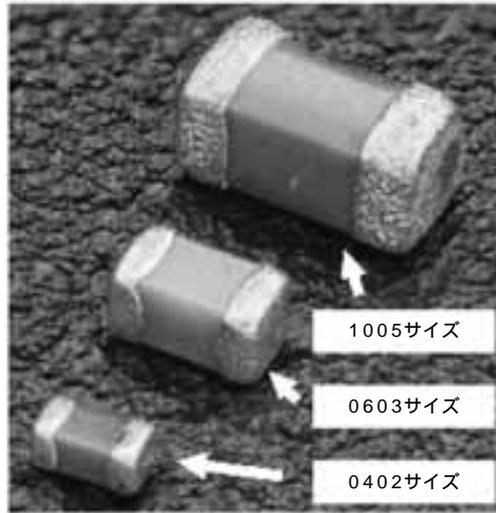


図1 チップサイズによる大きさの比較  
Fig. 1. Comparison of chip size.

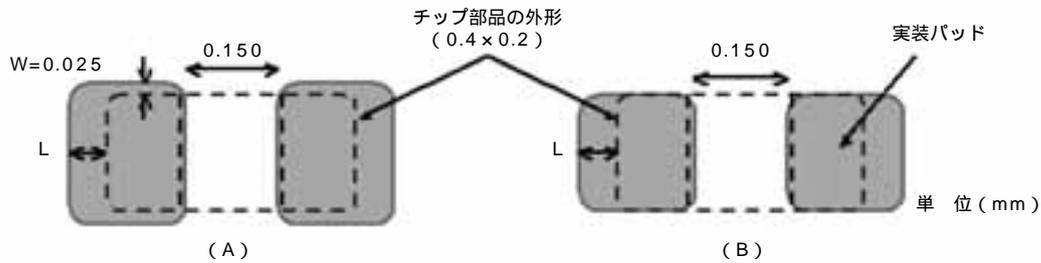
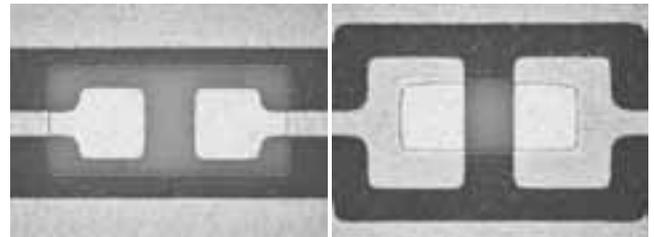


図2 パッド設計の概要  
Fig. 2. Outline of pad design.

W \ L	0.10	0.05	0.00
0.025	A1	A2	A3
0.00	B1	B2	B3

図3 パッドサイズとチップ外形との比較 (単位: mm)  
Fig. 3. Comparison between pad and chip size (unit: mm)



(a) パターン型 (b) レジスト型

図4 レジスト開口の比較  
Fig. 4. Comparison of solder resist opening.

の外観写真を図3に示す。パッド間のギャップはすべて0.15 mmとした。

### 2.2 レジスト開口

FPCのCuパターンの絶縁性を保つため、FPCの表面にはレジストと呼ばれる絶縁層が形成されている。そのため、FPC上に実装パッドを形成するためには、その部分のレジストを開口させる必要がある。その形状として、図4に示すような2種類のタイプが用いられる。(a)のようにレジスト開口がCuパターンの外側に形成され、Cuパターンによりパッド形状が定義される場合と、(b)のようにCuパターンの内側にレジスト開口が

形成され、レジストによりパッドサイズが定義される場合がある。どちらも一長一短があり、FPCの仕様によって適した形状が選択されるため、本開発では両方のタイプについて評価することとした。以降、前者(a)をパターン型、後者(b)をレジスト型と呼ぶこととする。

### 3. はんだペースト

パッド上にはんだを供給するために、微小なはんだ粉末とフラックスなどが混ざり合ったはんだペーストを、マスクを用いてパッド上に印刷する方法が一般的に用いられる。従来のチップサイズの実装では、マスクの

厚さは 100  $\mu\text{m}$  以上が一般的であった。しかしながら、0402 サイズチップを実装する場合には 100  $\mu\text{m}$  では印刷量が過多となってしまいうため、より薄い 60 ~ 80  $\mu\text{m}$  が適切な範囲となる。それにともない、はんだ粉末の粒径は従来よりも小径のものが適している。下表に現在当社で使用する小径はんだペーストの主な特性を示す。一般的には、粒径が 25 ~ 40  $\mu\text{m}$  程度の粉末が用いられるが、本開発では 20 ~ 32  $\mu\text{m}$  のものを用いることとした。

近年、海外のセットメーカーを中心にはんだペーストに

ついてもハロゲンフリー化 (Cl 900 ppm, Br 900 ppm, Cl + Br 1500 ppm) が要求される例が増加している。そこで、本開発においてもハロゲンフリーはんだペーストを用いることとした。

#### 4. 実装条件が歩留まりに与える影響

##### 4.1 影響評価の概要

本開発では 0402 サイズの積層セラミックコンデンサを用いた。0402 チップを実装する上で品質に大きく影

表 はんだペーストの主な特性値  
Table. Property of solder paste.

特 性	数 値
はんだ合金組成	Sn - 3.0 wt%Ag - 0.5 wt%Cu
はんだ融点	217
はんだ粉の粒径	20 ~ 32 $\mu\text{m}$
粘 度	180 Pas
フラックス含有量	11.5 %
チキソ比	0.6

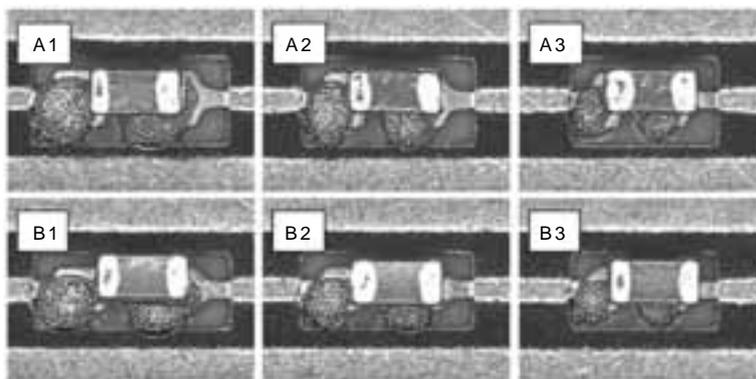


図5 リフロー前の外観 (はんだ・部品の位置をずらした場合)  
Fig. 5. Appearance of chip components before reflow process (Solder and chip components are displaced from the pads)

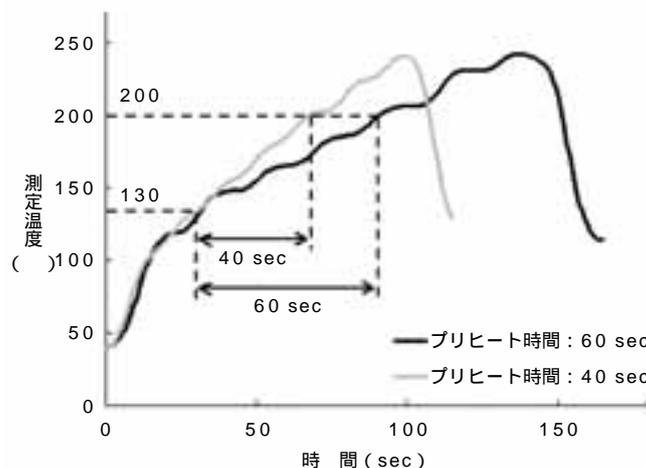


図6 リフロープロファイル  
Fig. 6. Reflow profile.

響する要因のひとつが、はんだ印刷および部品搭載位置のずれである。特に、薄い材料で構成されている FPC は硬質配線板と比較して基板の伸縮が発生しやすい。そのため、はんだおよび部品の位置ずれが発生しやすい傾向があり、結果として歩留りの悪化を招くこととなる。

そこで、はんだ印刷および部品搭載の位置ずれが実装品質に与える影響を評価する方法として、図 5 に示すように、はんだおよび部品の位置をずらして実装する方法が有効となる。ここでは、はんだの印刷位置をパッドに対して X, Y 方向にそれぞれ -50 μ m, および部品の搭載位置を +50 μ m ずらし、リフロー後のチップ部品の実装状態を観察した。

4.2 プリヒート時間の影響

図 6 にプリヒート時間を変えた 2 種類のリフロープロファイルを示す。プリヒートの設定温度を 130 ~ 200 とし、この間の時間を 40 および 60 sec とした。それぞれのプロファイルで実装した場合はんだオープンの不良数およびその内訳を図 7 に示す。実際に観察されるオープン不良の代表例として、部品の位置ずれ不良の他に、図 8 に示すようなツームストーン、回転ずれ、あるいは部品電極への濡れ不良がある。

パッドサイズの比較では、タイプ (A) の方がタイプ (B) と比較して不良数は大きく減少し、両者のパッド幅の差 (0.05 mm) が実装品質に与える影響が大きいことがわかる。タイプ (B) で最も多い不良は、部品電極へのはんだの濡れ不足であり、その他にも図 9 に示されるようなはんだの未溶解やはんだボールが発生する。こ

れらの不良は、はんだ粉末表面の酸化に起因している。図 7 (b) で示すように、プリヒート時間を 40 sec と短くして酸化を抑えることで濡れ不良は低減され、さらに図 10 で示すようにはんだボールの発生も抑制される。

従来の一般的なリフロープロファイルと比較すると、40 sec というプリヒート時間は非常に短い。ところが、0402 チップ実装部のはんだ印刷量は 1005 チップの約 1/10 と非常に少ない。そのため、印刷量に対するはんだ粉末表面の面積の比率が増大し、はんだ粉末の表面が酸化しやすく、はんだ部品電極への濡れが悪化することとなる。したがって、はんだペーストの特性にも依存するが、通常のプロファイルよりもプリヒートを短時間とすることが望ましいと言える。

はんだボールについては、レジスト開口の形状によっても発生量が異なる。図 10 に示すように、パターン型と比較してレジスト型の方がはんだボールの発生量は大きい。この違いは、はんだペーストとレジストとの濡れ性に起因しており、はんだが溶解して凝集する過程において、レジスト表面に取り残されたはんだがはんだボールとして残存するものと考えられる。

5. 窒素リフロー

はんだ粉末表面の酸化を抑制するためには、リフローを窒素雰囲気とすることが最も有効である。そこで、プリヒート時間を 60 sec とし、リフローを窒素雰囲気 (酸素濃度 500 ppm) とした場合の不良数とその内訳を

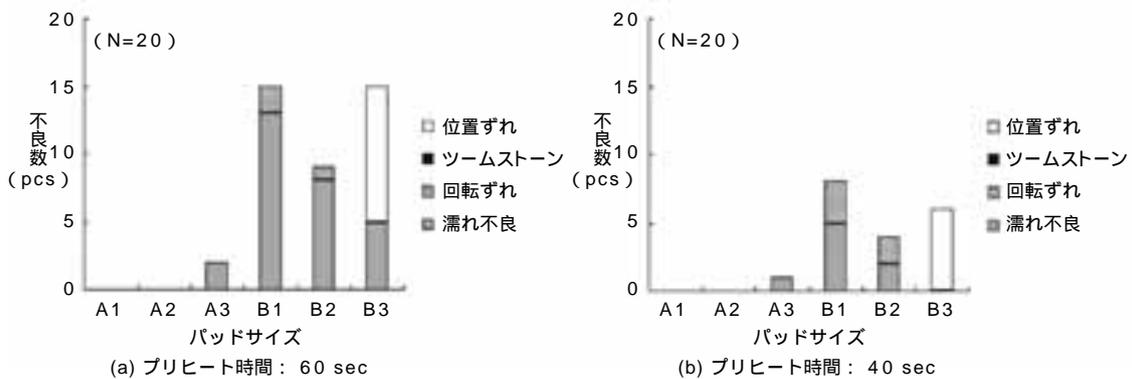


図 7 プリヒート条件による不良数の比較 (リフロー雰囲気: 大気)  
Fig. 7. Comparison of the number of defects concerning pre-heat condition (Reflow atmosphere: air)

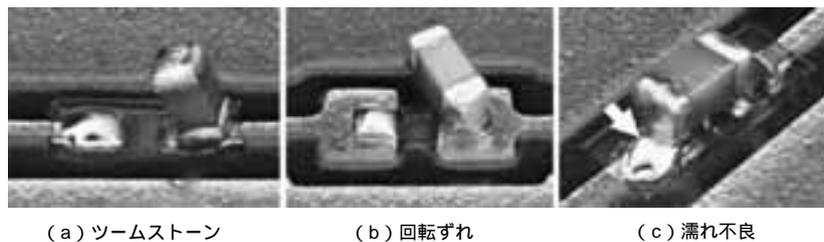
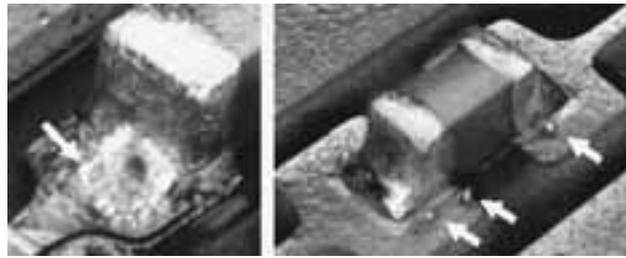


図 8 実装後のオープン不良の例  
Fig. 8. Examples of bonding defects.



(d) はんだ未熔融

(e) はんだボール

図9 その他の不良例 (プリヒート時間: 60 sec)  
Fig. 9. Examples of bonding defects (Pre-heat time: 60sec)

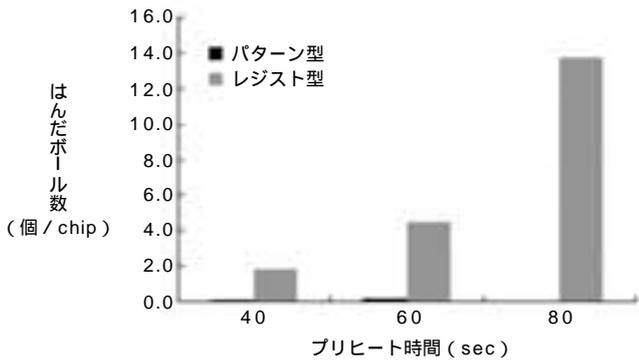


図10 はんだボール発生数  
Fig. 10. The number of solder balls.

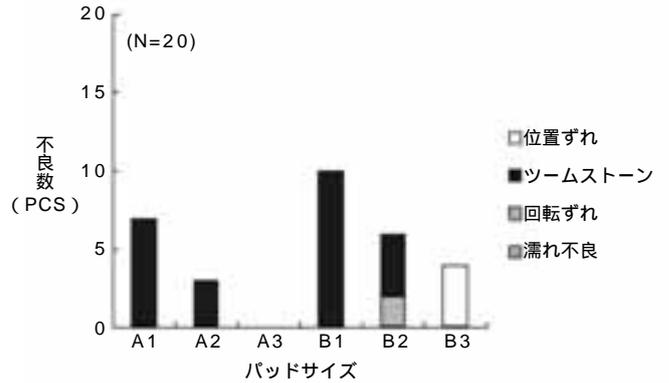


図11 窒素リフローでの不良内訳  
Fig. 11. Breakdown of bonding defects in nitrogen reflow.

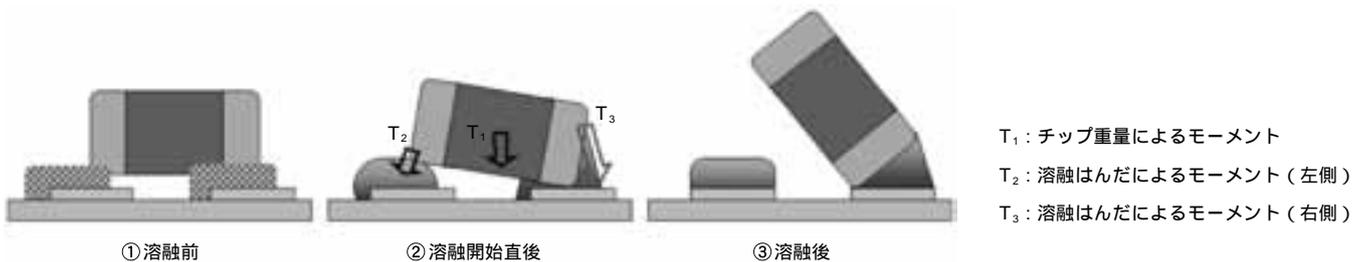


図12 ツームストーン現象の発生モデル  
Fig. 12. Model of tombstone (chip standing) phenomenon.

図11に示す．大気リフローと比較して部品電極への濡れ不良が大きく減少するのに対し，ツームストーン不良が多発する結果となる．

ツームストーン現象の発生には多くの要因が複雑に絡んでいるが，図12に模式的に表すと， $T_1 + T_2 < T_3$  のようにモーメントの不均衡が生じた際にチップを持ち上げるような回転力が作用することに起因する<sup>2)</sup>．0402チップの場合にはチップ自体の重量が1005サイズの10%以下と軽量であることから $T_1$ が非常に小さく，ツームストーン現象が発生しやすい．さらに，窒素リフローでは，はんだおよび部品電極表面の酸化が抑制されるため，部品電極と大きく接している側（図12の場合は右側）のはんだが急速に部品の電極面に濡れ上がる．その結果，部品電極との接触量が小さい側（図12の場合は左側）のはんだが濡れ上がる前に早い段階で $T_3$ が部品

に作用し，ツームストーンが増加すると考えられる．

## 6. 実装強度

図13にチップサイズによるコンデンサのシヤ強度の比較を示す．ツール高さおよび速度を，それぞれ50  $\mu\text{m}$  および 300  $\mu\text{m/s}$  として測定した．実装パッドの形状については，1005および0603サイズでは当社の標準的な設計を，0402サイズではA1を適用している．試験の結果，0402サイズのシヤ強度は1005サイズの約30%，0603サイズの約45%にまで低下することが明らかとなった．

図14に熱サイクル試験後の結果を示す．試験条件については， $-55 / 15 \text{ min}$   $125 / 15 \text{ min}$  を1サイクルとして2000サイクルまで実施した．常態において

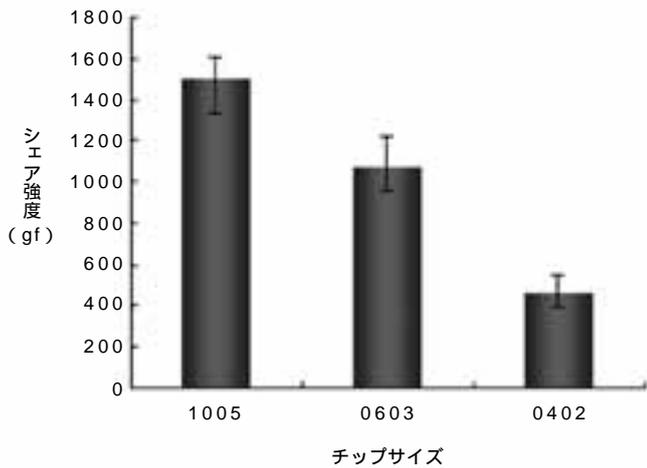


図13 チップサイズによるシエア強度の比較

Fig. 13. Comparison of shear strength concerning chip size.

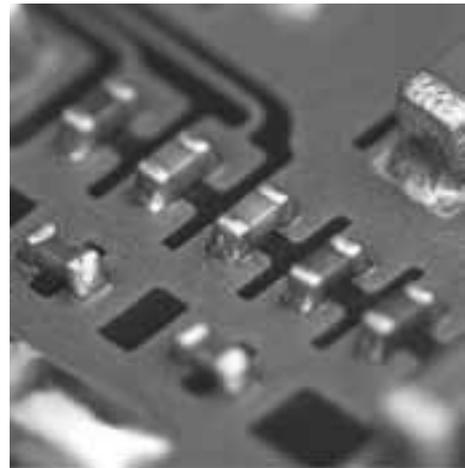


図15 混載実装の例

Fig. 15. Example of various components assembling.

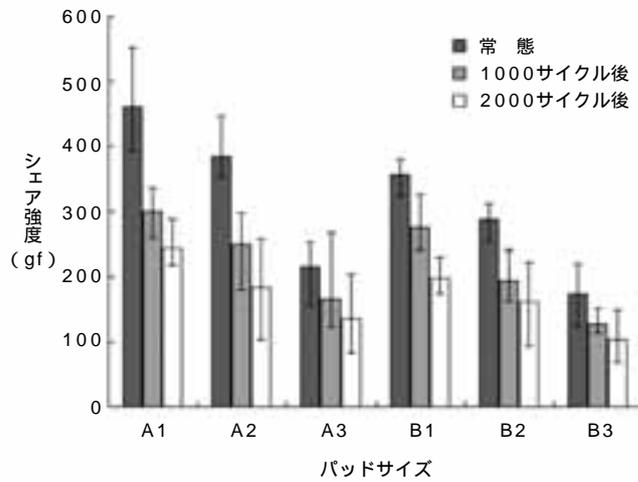


図14 パッドサイズによるシエア強度の比較 (0402サイズ)

Fig. 14. Comparison of shear strength concerning pad size (0402size)

は、フィレット長さ(L)の増加とともに強度が増し、相対的にタイプ(A)の方がタイプ(B)と比較して強くなる傾向となった。また、熱サイクル試験後の強度を測定すると、初期状態と比較して50~60%にまで低下し、特にパッドサイズが小さいA3, B2およびB3では100gfを下回る結果となった。破壊モードを観察すると、常態では部品電極が破壊されるのに対して、2000サイクル後ではフィレット部のはんだで破壊しており、はんだの熱疲労による劣化が進行したものと考えられる。

以上の結果から、パッドを拡大してはんだフィレットの量を増加させることで、実装強度を向上させることが可能となる。適用されるアプリケーションによって強度の規格値を設定し、適正なパッドサイズを設計する必要がある。狭隣接実装が求められる場合ではパッドの拡大が制限されるため、部品周囲を樹脂でコーティングして補強することも求められるであろう。

## 7. むすび

本開発により、FPC上に0402チップを実装する上で推奨とされるパッド設計およびリフロー条件等の知見が得られた。図15は、実製品を想定したFPCに0402チップを実装した例である。本開発で得られた知見を適用することにより、他の部品との混載実装においても、すべての部品を良好に実装することが可能となった。

FPCが配線材としてだけでなく、各種部品が実装されたモジュール部品としての役割を果たす上で極小部品の実装技術は必要不可欠であり、今後も電子機器の小型・高機能化に貢献していく。

- 1) 川端ほか：「チップコンデンサ実装におけるはんだ接合部の熱疲労亀裂進展の解析」, Mate2008, pp.139-144, 2008
- 2) エレクトロニクス接合技術編集委員会編：エレクトロニクス接合技術, 工業調査会, p.33, 1994