

## はんだ品質向上取り組み

Report of activity for raising solder quality

譜久山 隆，佐藤 和浩

Takashi Fukuyama, Kazuhiro Sato

**要 旨** 製品の高性能や多機能化を実現するため、基板への部品実装の高密度化や部品の小型化が進んでいる。この状況において、はんだ付け品質を如何に向上させていくかが重要な命題となっている。そこで、我々は現行システムでどのようにはんだ付けの高品質を目指していくのかさまざまな取り組みを実施している。その取り組みからリフロー工程の品質に大きな影響を与えるはんだ印刷量および、部品搭載位置精度について各種の測定を行った。その結果、工程内での規格管理幅を製品基板によらず一定の規格値を用いる「絶対量の管理」と規格幅は製品基板それぞれ固有の値を取る「相対量の管理」を用いる「はんだ印刷量の管理」と製品固有の搭載精度を求めて、マウンタの性能に適合した規格管理幅を設定する「部品搭載位置精度管理」を確立し、その管理手法ではんだ印刷不良の削減が可能であることが分かった。

**Summary** In order to realize high performance and increased functionality of products, increases in mounting density and the miniaturization of parts are ongoing. Given these circumstances, finding new ways of improving soldering quality is an important subject. We are taking various measures to investigate how improvement of soldering quality can be advanced beyond the present methods.

We measured various parameters such as the amount of solder printing and component loading accuracy which have a big influence on quality in the reflow process, and established two management methods which reduced the number of soldering defects in the process.

One is "Management of the volume of solder printings" which controls the amount of solder at the reflow process, with "Absolute management of the amount" and "Management of the relative amount". "Absolute management of the amount" uses a reference of constant value regardless of product, and "Management of a relative amount" uses a reference value varied corresponding to each product.

The other is "management of part loading accuracy" using the reference which is decided by the installing accuracy of each part installed in the product, depending on the performance of the mounter.

It has been understood that we will be able to reduce solder defects at the reflow process by the established management.

キーワード： はんだ印刷量， 部品搭載精度， 3次元検査機， はんだ接合強度

## 1. まえがき

近年、実装密度のさらなる高密度化に伴い、ソルダペーストのスクリーン印刷工程にも一層の品質向上が求められている。ここでいうスクリーン印刷の品質向上とは、スクリーン印刷マスクの目詰まりによりソルダペーストが印刷されない、ソルダペーストが印刷マスクと基板の間で滲んで隣接ランドとブリッジしている、などの致命的な欠陥を検出するのは勿論のこと、均一で分散（ばらつき）の少ないはんだ印刷を長時間連続で、かつ安定的に実現させることを意味している。このためには、従来の外観検査、目視検査による定性的な管理ではなく、専用のはんだ印刷検査装置によりはんだ印刷量を数量化する定量的な管理が求められる。本稿では、はんだ印刷検査装置によるはんだ印刷量の管理手法確立までの取り組み内容を以下に報告する。

また、高密度実装に対応すべくマウンタも高精度化が進んでいる。マウンタ製造メーカーは各社さまざまな高性能機種を開発しており、その

実装精度は $\pm 50 \mu\text{m}$ で量産対応可能な段階にきている。このようにマウンタ自体は非常に高精度な実装精度を実現しているが、量産工程でこの能力を100%発揮できるコンディションを保ち続けるのは容易ではない。そこで、マウンタの精度を当社内で可能な限り簡便に確認する方法について検討したので、その内容も併せて報告する。

## 2. リフローはんだ付けの現状分析

はんだ付け品質向上の具体的取り組み内容に入る前に、リフローはんだ付けの現状分析を行った。

図1は、ある基板のリフロー工程内品質データを要因ごとに示したグラフである。はんだおよび実装に関わる不具合が多く発生していることがわかる。さらに、この2項目の不具合内容をそれぞれ示したのが図2、3である。

図2に示すはんだ要因不具合では、はんだが少ない、もしくは無いといった印刷不良による不具合が最も多く、はんだ要因の約8割を占める。

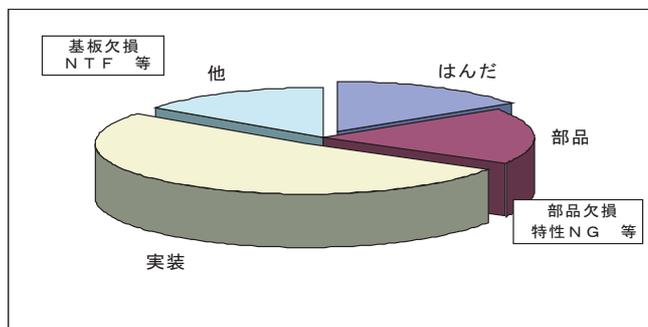


図1 リフロー工程内不具合（要因別）

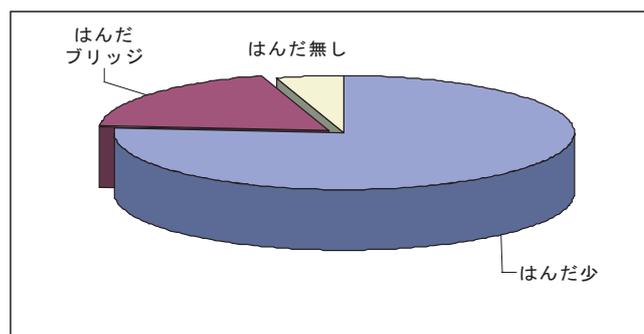


図2 はんだ要因不具合内容（リフロー工程）

はんだ印刷は、図3に示すように3つの重要因子によって決まり、ppmレベルで安定させるのはかなり厳しい。そこで、印刷のアウトプットを定量的に観察することができれば、はんだ付け品質の高いレベルでの安定が期待できる。

図4に実装要因での不具合の内容を示してある。部品立ちが最も多い割合を占めるが、これは部品搭載位置がばらつくことに起因するケースが多い。X-Yもしくはズレが大きい状態で部品搭載が行われた場合、印刷はんだに部品電極が触れないため片側電極のはんだヌレカにより自重の軽いチップなどの小型部品は立ってしまう。両電極がはんだに接触したとしてもズレが残ってしまう。今後、部品実装の高密度化・部品の軽量化によって搭載位置精度のさらなる向上が要求される。

### 3. はんだ印刷機工程における印刷量管理手法の確立

#### 3.1 はんだ印刷検査装置の種類

はんだ印刷検査装置には大別して二次元検査

機と三次元検査機が存在する。二次元検査機は、はんだ形状を上面からのみ観察する装置であり、はんだを上面から見た面積データは取得できるが立体的な体積データやはんだの高さデータは取得できない。一方の三次元検査機は、はんだを立体的に計測するために体積、高さ、面積、全てのデータを取得することが可能である。二次元検査機と三次元検査機の機能の差を表1に示す。

従来は検査の簡便性、処理速度の速さ、検査機の価格などの理由から二次元検査機が主流であったが、近年の高密度実装に伴い部品が小型化し、一ランド当たりのはんだ量が少なくなっ

表1 二次元検査機と三次元検査機の機能差

	二次元検査機	三次元検査機
体積	×	
高さ	×	
面積		
ズレ		
ブリッジ		

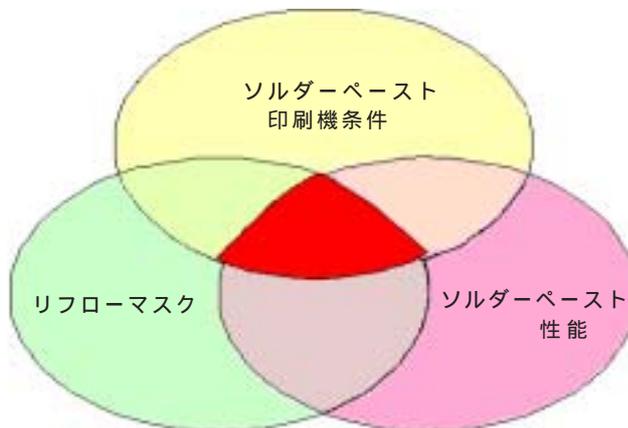


図3 ペーストはんだ印刷工程重要要因

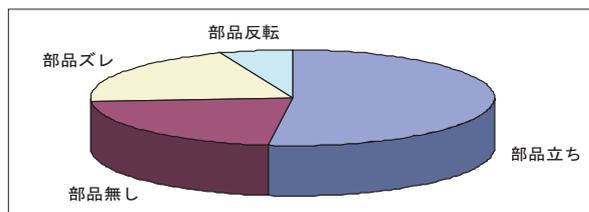


図4 実装要因不具合内容（リフロー工程）

てくると、立体的な形状の違いによる僅かなはんだ量の違いが実装品質に致命的な問題を引き起こす可能性が生じてくる。このことを模式として図5に示す。ここに示した2つのはんだを側面から観察すると、はんだの量は全く異なっていることが判る。しかしながら、このはんだを上面から観察すると、その差異を確認することができない。つまり、二次元検査機ではこの2つのはんだを全く同じ印刷形状として認識してしまう可能性が高い。

当社においても二次元、三次元両検査機を用いてさまざまな条件下におけるはんだ印刷量測定を実施した結果、二次元検査機では取得できない情報が多すぎることから三次元検査機の導入を決定した。

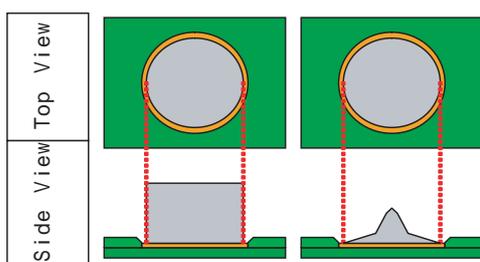


図5 はんだ形状の例

3.2 三次元検査機によるはんだ印刷量の測定  
 当社では三次元検査機としてCKD(株)製VP1000を用いて検討を実施した。図6にVP1000の外観を示す。検査項目としては体積、高さ、面積、ズレ、ブリッジなどの一般的な項目の他に異常突起、体積過剰(にじみ)、体積不足(かすれ)などの測定項目が存在する。

VP1000の測定結果の妥当性を検証する手段の一つとして、同一はんだをVP1000、レーザ変位センサ、顕微鏡にてそれぞれ測定した結果を表2に示す。いずれの計測器による測定結果もほぼ同一の外観形状を示した。また、レーザ変位センサとVP1000については、対象はんだ



図6 CKD(株)製VP1000外観

表2 各種測定機によるはんだの測定結果

	Sample1	Sample2	Sample3	Sample4
外觀観察				
レーザ変位センサ測定	 最大高さ: 190 μm	 最大高さ: 160 μm	 最大高さ: 114 μm	 最大高さ: 241 μm
VP1000	 最大高さ: 198 μm 体積: 108%	 最大高さ: 178 μm 体積: 78%	 最大高さ: 109 μm 体積: 27%	 最大高さ: 259 μm 体積: 67%

の最大高さの数値が取得できるが、これもほぼ等しい結果となった。

次に連続12枚はんだ印刷した製品基板に対して、VP1000による体積(%)測定とはんだ重量測定の実施結果を図7に示す。なお、ここでの体積(%)とは、スクリーン印刷マスクの設計データから算出される理想の印刷量を100%とした際の相対比率である。

図よりはんだの体積(%)の増減とはんだ重量の増減は一致していることが確認された。

以上の評価を複数の組成の組成のソルダペースト、

製品基板に対しても実施したが、いずれも良好な相関を示したことから、VP1000は期待通りの測定能力を有していると判断した。

### 3.3 VP1000の量産ラインへの導入検討

#### 3.3.1 量産時のはんだ印刷量の推移

測定能力の確認されたVP1000を用いて実際の量産ラインにてはんだ印刷量の測定を実施した。ある量産製品基板におけるはんだ印刷量(体積)とばらつき(3σ)の推移データを図8に示す。

体積(%)、並びに3σの推移を見ると概ね変動

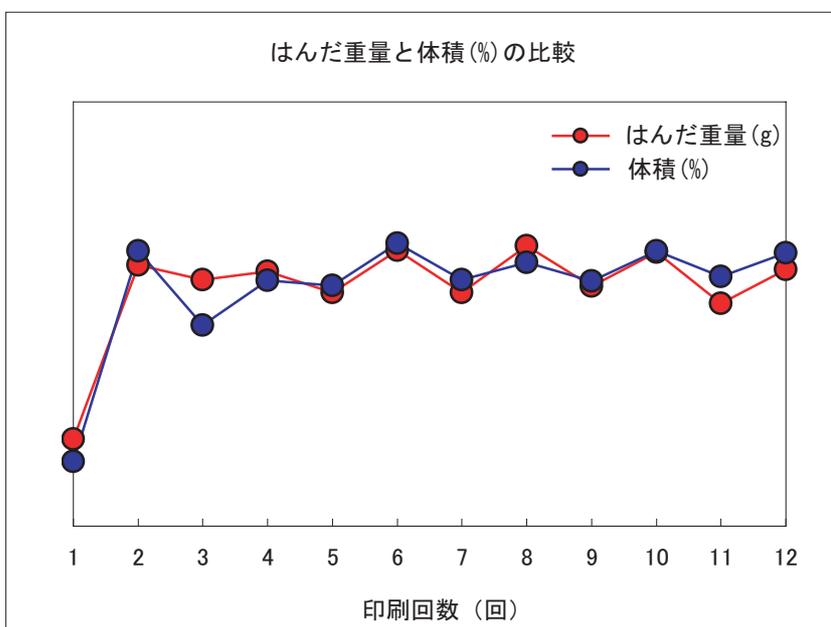


図7 VP1000 体積(%)とはんだ重量の比較

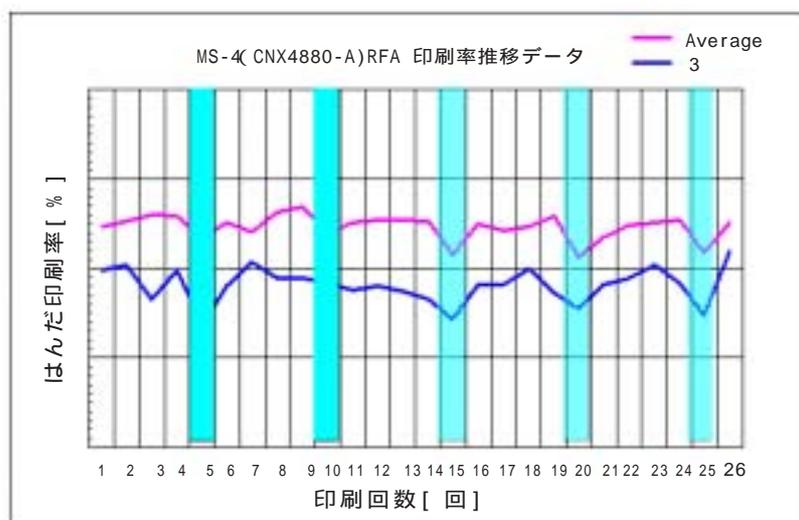


図8 はんだ印刷量(体積)の推移データ

の少ない安定した印刷量で繰り返し印刷されていることが判る。

また、体積(%), 共に印刷回数5回毎に数値が若干低下しているが、これはこの製品基板に適用されている「印刷回数5回毎のマスククリーニングの実施」と一致している(グラフ中の青帯部分がマスククリーニング直後の印刷量測定結果)。通常、ソルダペーストを連続印刷すると、メタルマスクの開口部や裏面にソルダペーストが徐々に付着し、はんだ印刷量は不安定になる。これを回避するためにマスククリーニング工程が導入されるのだが、今回の測定結果から、この製品基板に対するマスククリーニング頻度は1回/5枚で品質的に問題ないことが数値的にも確認することができた。

### 3.3.2 バックアップピンの配置適正化

はんだ印刷工程では、印刷時に基板を下支えるプレートやピンを使用する。この下支えが不足すると印刷時のスキージの圧力によりマスク、および基板が微小に歪み、はんだ印刷品位が低下してしまう。図9に下支えの配置と印刷品位の関係を示す。

従来、こうした下支えの適正化を数値的に管理することは困難であったが、VP1000を用いることで、はんだの印刷量分布から下支えの適正化を検討することが可能となった。

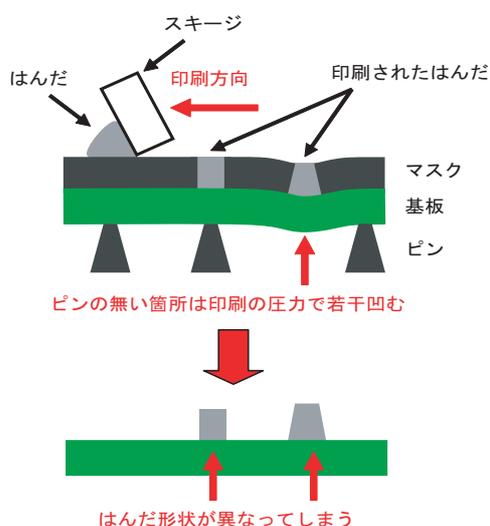


図9 下支えの配置と印刷品位の関係模式

ある製品基板におけるはんだ体積分布を図10に示す。ここで黄色、赤色など暖色系のランドは体積が適正な箇所、青色、緑色など寒色系のランドは体積がやや大きい箇所を示す。この図から、下支えピンより離れたランドは体積が若干増加する傾向にあることが確認された。

このようにVP1000によるはんだ量分布測定から、はんだ印刷条件の適正化を図ることが可能となった。このような適正化は下支えピンの位置決め以外にも印圧、印刷速度、アタック角度、などあらゆる印刷条件を決定する際にも有効である。これらの関係を図11に示す。

### 3.4 規格管理幅の設定

昨今の検査装置は、はんだ印刷検査装置に限らず非常に多様な情報を取得することが可能である。これらの装置は、優れた画像処理能力による三次元での外観形状取得など非常に高度かつ有益な情報を提供してくれる。その一方で、これらのデータを実際の品質管理に役立てるためには、検査機が提供してくれるデータと実際の製品の品質の相関を十分に把握しておくことが必要になってくる。この作業は検査機が提供してくれる情報量に比例して増加する傾向にある。

はんだ印刷量の工程内における規格管理幅を設定するに当たり、当社では「絶対量の管理」と「相対量の管理」の2つのアプローチを採用した。図12に「絶対量の管理」と「相対量の管理」の概念を示す。

絶対量の管理では、はんだ印刷量、その他の

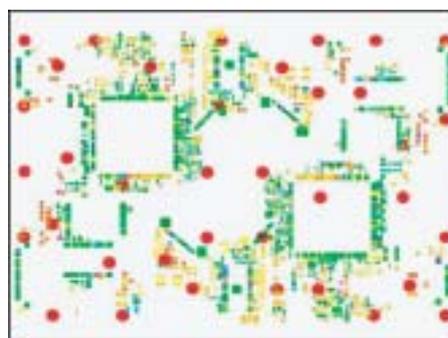


図10 基板上的はんだ量分布と下支えピンの関係

要因と接合部の信頼性をモデル化し、実験によって接合部の信頼性を保持するために最低限度必要となるはんだ量を導き出し、これをはん

だ量の絶対的な規格下限値と設定することを目指した。

一方の相対量の管理では、製品基板の印刷量

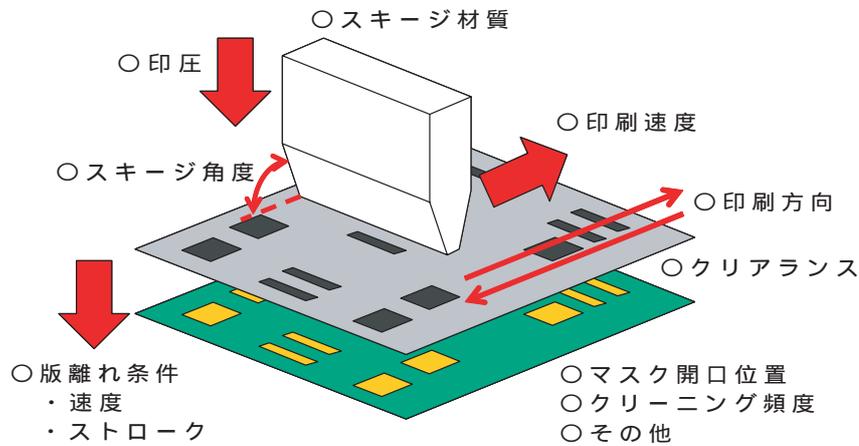
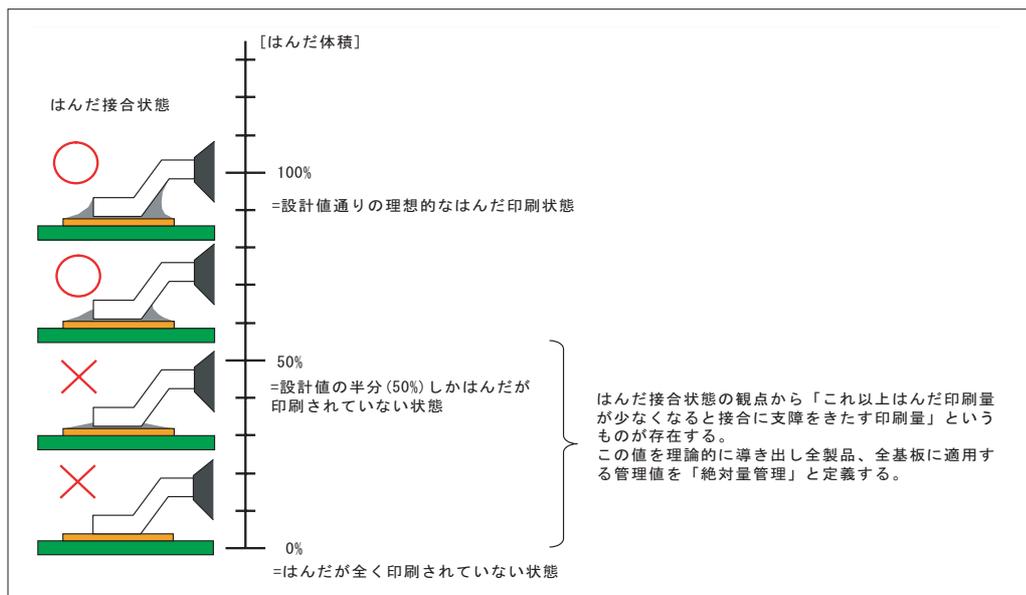
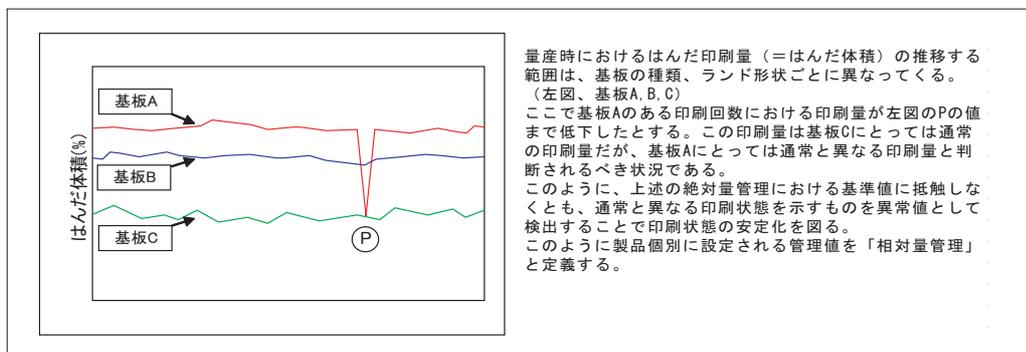


図 11 はんだ印刷に影響を及ぼす因子



絶対量管理



相対量管理

図 12 「絶対量管理」と「相対量管理」の概念

推移データから、その製品基板が定常的に取り得るはんだ印刷量を統計学的に求め、これをはんだ量の許容管理幅と設定することを目指した。つまり、「絶対量の管理」による規格値は製品基板によらず一定の数値を取り、一方の「相対量の管理」による規格幅は製品基板それぞれ固有の数値を取ることになる。これらの規格値、規格幅は“and”の関係にあり、どちらか一方の規格に抵触する結果は不良と判断される。

### 3.4.1 絶対量の管理

絶対量の管理で最も重要なのは、はんだの印刷量と接合信頼性の相関関係を調査し、信頼性上問題ないはんだ接合を実現するのに最低限度必要となるはんだ量はどのくらいなのか、を明らかにすることである。これには、はんだの印刷量の他にも使用するはんだ組成の種類、部品側の端子組成の種類をはじめ、基板材質、ランドの材質、形状、マウントズレの影響、環境の影響などさまざまな要因が関係してくる。

今回の報告では、最も直接的な評価内容として、はんだ印刷量と接合強度の相関データの一部を以下に示す。ソルダペーストには、表3に示す3種類を選定した。

厚みの異なる4枚のスクリーン印刷マスクを準備し、これにより印刷量の調整を行った。所定の基板にはんだ印刷を実施した後、はんだ印刷検査装置にて各パッドのはんだ量を測定、部品をマウント後、当社の標準プロファイル条件にてリフロー実装を実施した。実装後の部品に対しては、図13に示す条件にて接合強度の測定を実施した。

はんだ印刷量と接合強度の測定結果の一例を図14に示す。図より、いずれのはんだ、部品

の組み合わせにおいても、はんだ印刷量50%まで接合強度は急激に上昇し、その後は印刷量の増加とともに緩やかな上昇傾向を示した。これは、はんだ印刷量の少ない状態では、はんだの大半が接合部に存在してフィレット形成に寄与するのに対して、はんだ印刷量の多い状態では、ランド周辺に濡れ広がったり、端子上面に濡れ上がったたりするはんだの量が相対的に増加するために、接合強度への寄与率が低下するためと推察される。

次にこの結果を元に、信頼性上問題ないはんだ接合を実現するのに最低限度必要となるはんだ量の算出を試みた。まず、理想状態のはんだ量、即ちはんだ体積100%時の固着強度を求める。求めた値は図15の になる。次にこの体積100%時の固着強度に対して何%までの強度低下を許容するかを判断し、その強度を実現するのに必要なはんだ体積を逆算したのが図15の である。

こうして計算した接合強度とはんだ印刷量の相関を表4にまとめる。この表によると、例えばSn37Pbの場合、はんだ体積100%時の固着強度に対して90%(=10%減)の強度を保持するのに必要とされるはんだ印刷量は65.97~71.67%と導き出される。なお、このはんだ印刷量がレンジをもっているのは部品による違い、測定ばらつきなどを含んでいる

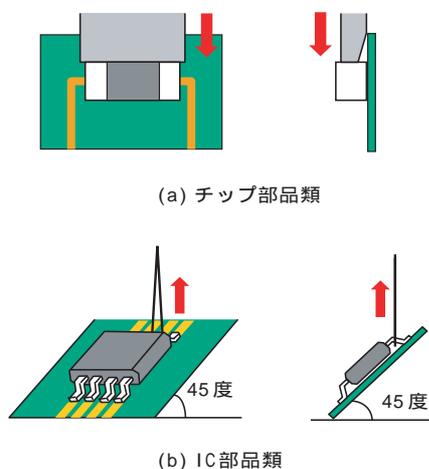


図13 接合強度試験模式図

表3 実験に供したはんだ組成

種別	組成
有鉛	Sn37Pb
無鉛(高融点)	Sn3Ag0.5Cu
無鉛(低融点)	Sn3.5Ag8In0.5 Bi

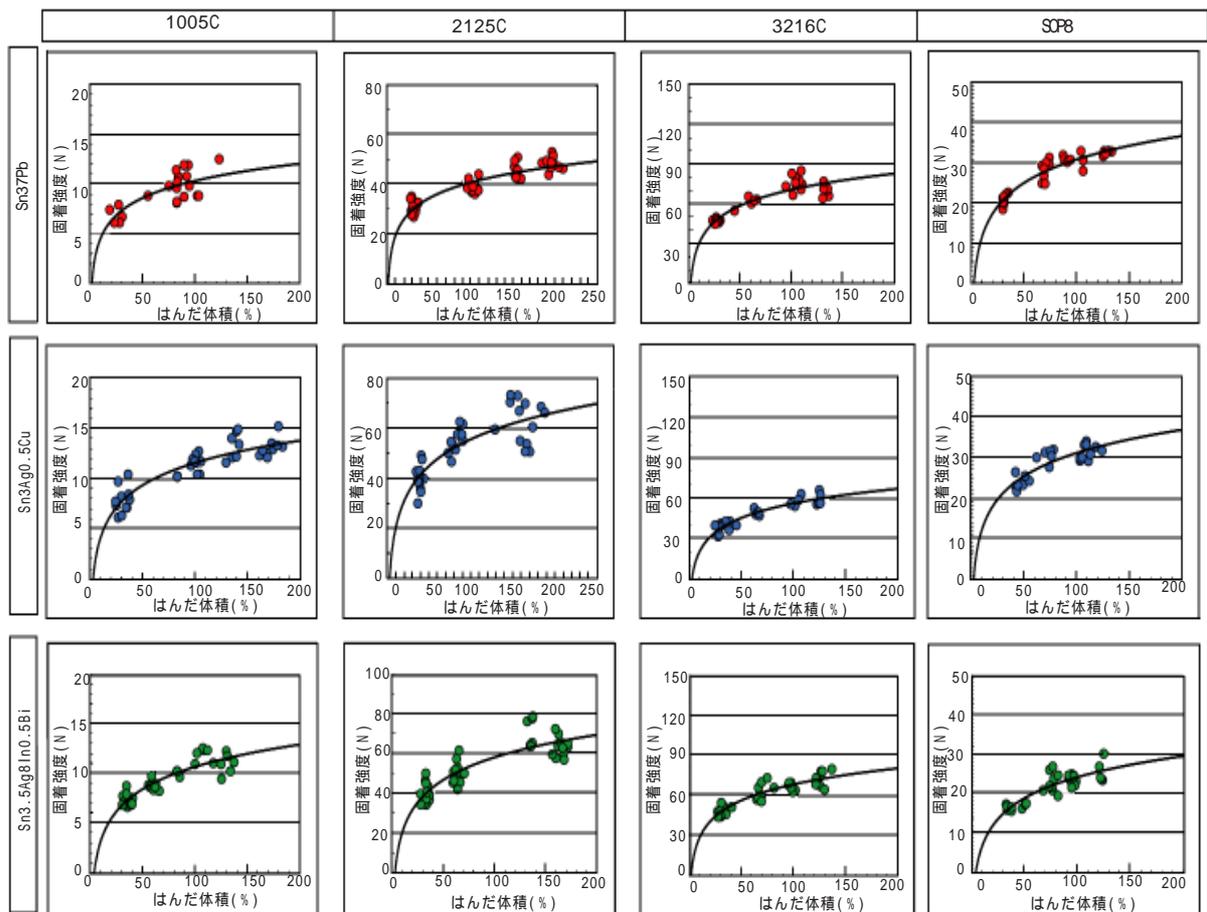


図 14 はんだ印刷量と接合強度の関係

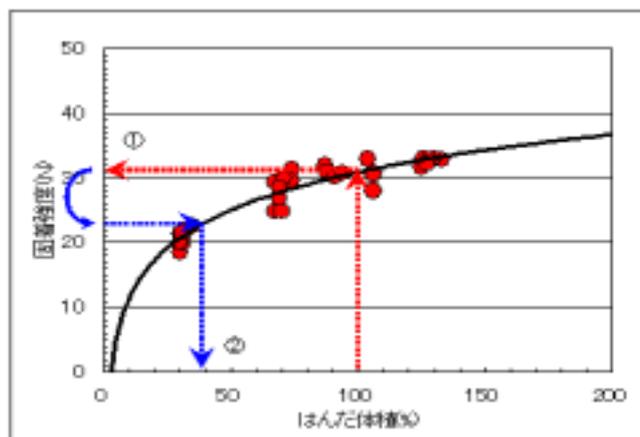


図 15 はんだ量の算出手順

表 4 固着強度と印刷量の相関  
はんた体積 (%)

強度保持率	90%	80%	70%	60%	50%
Sn37Pb	65.97 ~ 71.67%	43.52 ~ 51.36%	28.71 ~ 36.81%	18.94 ~ 26.38%	12.50 ~ 18.90%
Sn3Ag0.5Cu	64.21 ~ 70.16%	41.23 ~ 49.23%	26.47 ~ 34.54%	17.00 ~ 24.23%	10.91 ~ 17.00%
Sn3.5Ag8In0.5Bi	66.61 ~ 73.10%	44.37 ~ 53.44%	29.56 ~ 39.06%	19.69 ~ 28.56%	13.11 ~ 20.88%

ためである。

実際にはんだ体積100%時の固着強度に対して何%までの強度低下が許容されるのかは製品の仕様、対象基板の用途、部品の仕様などによって異なってくる。加えて、実際にこうした結果を元に規格管理幅を制定するに当たっては、こうした測定ばらつきや仕様だけではなく、環境試験などによる強度低下分も加味して設定する必要がある。

以上の手順に従い、規格管理幅を規定したはんだ印刷量管理は、当社においても試作レベルでのみ適用されている。今後、実績を積むことで妥当性の検証、管理値の修正を経て、量産におけるはんだ印刷工程の不良ゼロを目指す。

#### 4. マウンタの部品搭載精度管理手法の確立

##### 4.1 実装精度の確認

マウンタの実装精度を確認する方法は、マウンタで実装した部品の座標を計測し、マウントデータ上の座標と比較することで行われる。

マウンタの精度そのものを計測する場合は、部品・基板の公差の影響を受けないようにするために部品・基板を1種類に限定することが望ましい。一方で製品固有の部品搭載精度を計測する場合は、当然ながら対象となる製品の部品・基板を用いる必要がある。こうした要求を受けて、当社では「マウンタの性能確認」と「製品固有の搭載精度確認」の2つのアプローチを採用した。

##### 4.2 計測器の選定

上記いずれの手法においても、問題になるのは、計測器の精度と使用する部品・基板の種類である。実装精度 $\pm 50 \mu\text{m}$ の実現可否を判断するために、計測器には数 $\mu\text{m}$ のオーダーを正しく計測できる精度が求められる。加えて、測定結果の信頼性を上げるためには可能な限り多くのサンプルを計測する必要がある。つまり、マウンタの搭載精度を確認する計測器には「精度」と「速度」が求められる。

最も簡便な方法はマウンタ自体の持つ自己診断機能である。但し、測定対象の装置と測定を実施する装置が同一であるのは、精度はともかく客観的信頼性に欠けるという指摘もある。

精度を求めるには測長機能のついた高倍率の顕微鏡が最適だが、測定に時間がかかる。一方で外観検査機などの画像認識検査装置を使用すれば測定時間は大幅に短縮できるが、測定精度が劣ってしまう。マウンタの精度確認用としては、専用の検査装置も市販されている。これは高精度かつ短時間でマウンタの各ヘッドの搭載精度とズレ量の計測が可能である。しかしながら、専用の検査装置は測定対象となる部品・基板に制約がある。前述の通り、当社では「製品固有の搭載精度確認」という要求もあることから、複数の計測器について精度、測定時間、および簡便性を調査した結果、ミツトヨ(株)製ユニバーサル測定顕微鏡に画像処理ソフトを組み合わせた構成を採用した。測定顕微鏡設備一式の外観を図16に示す。

これにより、専用の検査装置と比較して検査時間は増加するものの、任意の部品・基板を対象にした位置精度測定が可能になった。

本計測器を用いて、マウンタの各ヘッドにおける部品搭載精度を計測した結果を図17に示す。対象マウンタの実装精度は $\pm 0.1\text{mm}$ 保証であったが、いずれのヘッドも規格を満足していることを確認した。

このデータをヘッド別にまとめた結果を図18に示す。グラフより、X軸方向に関しては



図16 測定顕微鏡設備一式

ヘッドNo.2, Y軸方向に関してはヘッドNo.2と4がそれぞれ中心座標より若干ズレていることが確認できた。さらに についても確認した結果, こちらはいずれの軸方向, ヘッドにおいても問題ないことが確認された。以上の結果から, このマウンタは機構上の異常はないが, ヘッドNo.2とNo.4について, ズレ量をオフセットするなどの処置が必要になると判断される。なお, 機構上の問題が存在する場合, 測定結果の が大きくなることで判断することができる。

#### 4.3 部品搭載精度管理手法の設定

##### 4.3.1 マウンタの性能確認

前述の通り, マウンタの精度そのものを計測する場合は, 部品・基板の公差の影響を受けないようにするために部品・基板を1種類に限定することが望ましい。このため, 当社ではマウンタ精度検証専用の基板を作成し, チップ部品を搭載することで, マウント性能の確認を行った。マウンタ精度検証用基板の外観を図19に示す。

この基板にチップ部品を搭載, 測定顕微鏡に

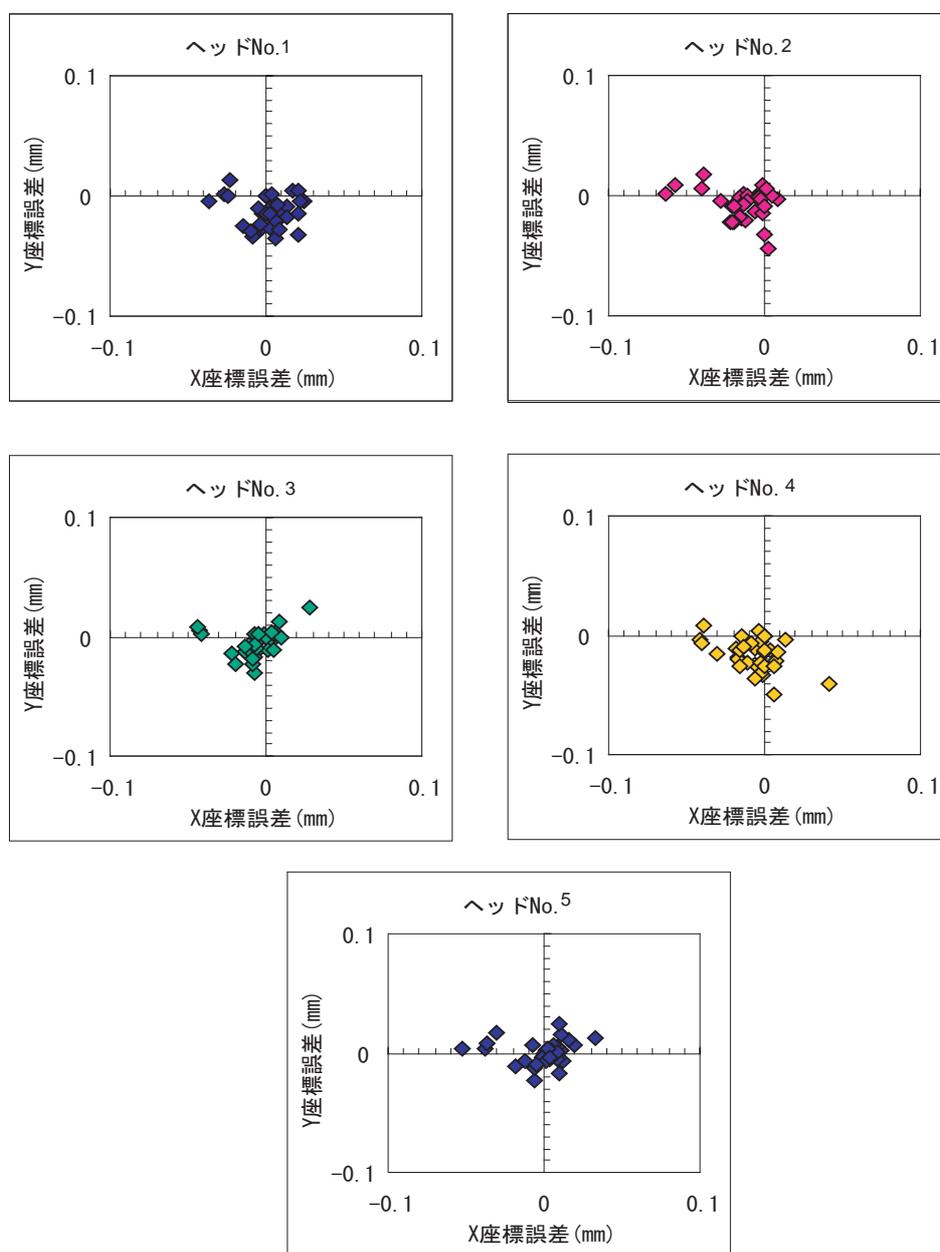


図17 各ヘッドの部品搭載精度

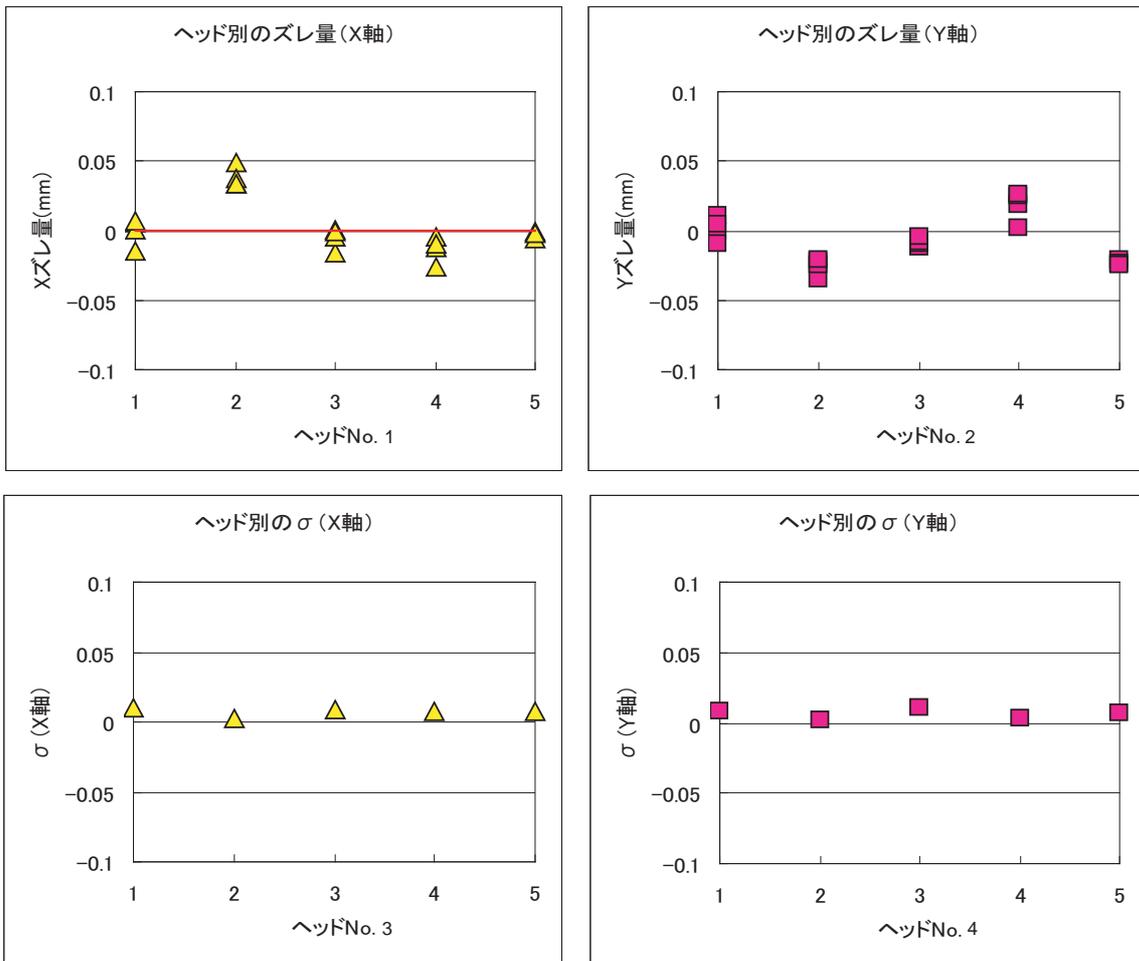


図 18 ヘッド別のズレ量 ,

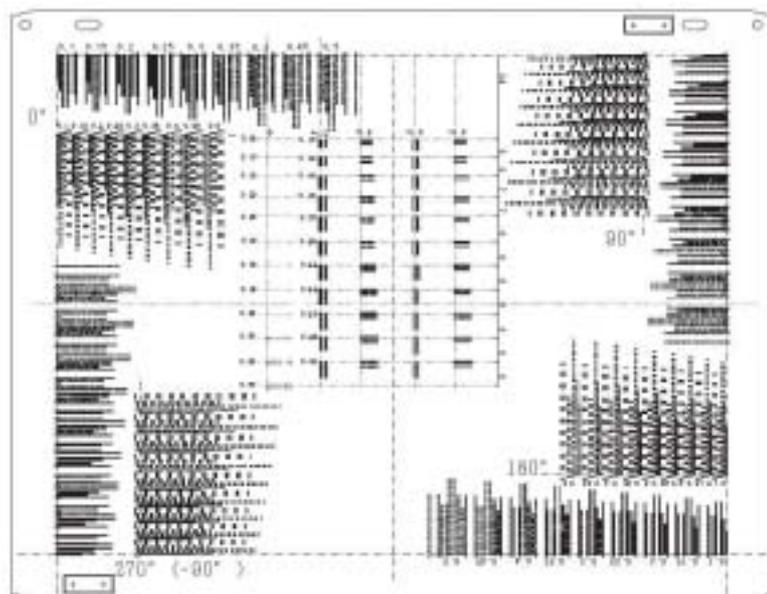


図 19 マウンタ精度検証用基板

表 5 マウンタ別 Cp , Cpk 測定結果一覧

マウンタ	ノズル No.	X		Y	
		Cp	Cpk	Cp	Cpk
A	1	3.697	0.155	6.098	1.522
B	1	2.229	0.873	4.203	4.074
C	1	2.906	2.872	3.985	3.721
	2	2.681	2.113	3.515	2.629
	3	3.278	3.179	5.485	4.455
	4	2.645	2.350	3.832	3.719
	5	2.858	2.648	5.350	3.887
D	1	1.996	1.619	3.223	2.929
	2	2.067	1.815	3.390	2.543
	3	1.735	1.687	5.542	5.235

よりチップ座標を測定し、マウントデータと実測データの差をズレ量として Cp, Cpk を算出した結果を表 5 に示す。

表よりマウンタ A は、Cp は高いが Cpk は低いことが確認できる。このことから、マウンタ A はマシンの搭載精度は十分だが中心座標がズレていることが判る。これはマウンタ B の X 軸方向にも該当する。一方、マウンタ C はほとんどの項目で Cp と Cpk が近い値を示していることから中心軸はズレていないと判断される。また、マウンタ B, D は X 軸の Cp が 2.0 前後の値を示していることから、マウンタの精度自体が不十分な可能性がある。

このように、実装ズレ量の Cp, Cpk を求めることで、マウンタに対して適切な判断を下すことが可能となった。この測定により、各マウンタの実力に見合った規格管理幅の設定が可能になり、またこの測定を定期的実施することでマウンタの性能を保持することが可能になる。

#### 4.3.2 製品固有の搭載精度確認

製品固有の搭載精度確認はマウンタ精度の他に部品、基板のもつ公差の影響を大きく受ける。特に部品や基板は製造ロットごとに寸法誤差の程度が異なるケースもあることから、この手法で定常的な品質管理を行うには工数が莫大になり現実的ではない。しかしながら、新製品立ち上げ時、特に新規部品、新規基板が含まれ

ている場合には、マウント工程におけるウィークポイントを発見する指標になる。

製品固有の搭載精度確認においては、部品搭載位置と実装品質の相関が重要になってくる。このためマウントデータと実座標のズレ量ではなく、部品の端子と基板のランドの位置関係に着目した測定を実施した。測定結果を図 20 に示す。

この手法で基板上の全部品を計測することは困難なため、実際には新規部品や僅かな搭載ズレが実装品質に大きく影響する極小チップ部品、大型の QFP 部品やコネクタ部品、および設計上狭隣接となっている箇所など品種を絞った測定を実施している。

この測定により、新製品のマウント工程にお



図 20 実製品の端子とランドの相対座標測定結果例

ける危険度を予め予測することが可能となった。

以上の座標測定の手法はボンド工程にも適用可能であり，ボンドディスペンサの精度確認にも転用を進めている。

## 5. まとめ

製品の高性能や多機能化を実現するため，基板への部品実装の高密度化や部品の小型化に対応したはんだ付け品質の向上を目指したいいくつかの取り組みから，リフロー工程の品質に大きな影響を与える「はんだ印刷量の管理」および，「部品搭載位置精度管理」について検討し，各種の測定を行った。

はんだ印刷量の管理では，工程内での規格管理幅を「絶対量」と「相対量」の両者を設定した。

部品搭載位置精度管理では，マウンタの性能，および製品固有の搭載精度を確認し，部品搭載位置精度管理手法を設定した。

今後は，「はんだ印刷量の管理」および，「部品搭載位置精度管理」を，量産時対応可能になるように検証を行い，はんだ付け不良をゼロ目指す。

## 筆者紹介

譜 久山 隆（ふくやまたかし）

モバイルエンタテインメントカンパニー  
川越事業所 生産部 生産技術部。

回路開発・設計を経て，実装技術開発業。

佐藤 和浩（さとう かずひろ）

モバイルエンタテインメントカンパニー  
川越事業所 生産部 生産技術部。 実装技術開発業務。