

はんだ付け検査装置の検出評価

Estimation of Defection about Mounted PC Board Soldering Inspection Machine

奥 山 悦 雄⁽¹⁾
Etsuo Okuyama

糸魚川 功⁽²⁾
Isao Itoigawa

奥 村 陽⁽³⁾
Kiyoshi Okumura

要 旨

高密度実装の進展に伴い、それまでは目視で行っていたはんだ付けの検査が困難になっている。こうした状況の中で、パターン認識のはんだ付け検査装置が急速に発展してきた。検査方式にはレーザ式とCCDカメラ式、およびX線方式があり、それぞれの特徴に合わせて導入されている。

当社では、はんだ付け品質向上のため、①人に頼らないはんだ付け精度の確保、②人による不安定要因の撲滅、をねらいにはんだ付け検査装置の導入を計画した。導入に際し最も重点をおいたのは、①目視検査の負荷軽減、②高密度への対応、③はんだ重要不良の検出、である。特に検出評価では、はんだ付け品質の観点からはんだ付け強度および信頼性に影響を与えるはんだフィレットの測定精度、将来の高密度実装化で制約を与える背の高い表面実装部品の検査への影響度合、はんだ重要不良であるはんだ不濡れ不良に重点をおいて進めた。その結果、将来に渡って使用できる検出評価方法を確立した。

本稿でレーザ方式とCCDカメラ方式の検査装置について行った検出評価の方法と結果について事例を紹介する。

The progress of high-density mounting technologies has brought us difficulties of inspection by human. Under such circumstances, mounted P.C. board inspection machines using pattern recognition method have been developed and introduced quickly. We can choose and introduce one of three typical way of gathering patterns, with laser, with camera, and with x-ray.

We have planned to introduce automatic inspection machines for improving the quality of our products in place of human. In other words, our purpose for introducing are reduction of human stress for inspecting, correspondence for high-density mounting technology, and detection of deteriorated place in soldering.

Then we have evaluated the inspection ability of the machines, especially accuracy of measuring soldering fillet which have influence on the intensity and stability of soldering, stability of detecting soldering condition of large height S.M.D., and detecting ability for no-solder which cause fatal failure of PC board. As a result, we have established the evaluating method of the inspection ability, which we can use in the future.

In this report, we describe the method and the result of evaluation, regarding two types of inspection machines, laser method and camera method.

1. はじめに

当社の製品は、高性能・高品質が要求されるようになり、プリント基板に実装される部品点数が年々増大している。また、高密度化により従来からの縦型や横型などのリード付部品から、チップタイプのリードレス部品に移行するとともに、はんだ付け工法も、従来のフローはんだ付け工法に加えリフローはんだ付け工法が採用されている。

当社ではこれらの工程内不具合の検出は従来、目視で行っていたが作業疲労および検出漏れなどの課題があった。そこで、CCDカメラ方式のはんだ付け検査装置、ついでレーザ方式の検査装置をリフロー工程に導入した。また、フロー工程にはCCDカメラ方式のはんだ付け検査装置を内製化した。

これらの装置をラインで稼働させるには、装置の検出精度および検出力について十分に評価を行う必要がある。

本稿では、これらのはんだ付け検査装置についての検出評価の事例を報告する。

2. はんだ付け検査装置の必要性

近年の電子機器の小型化、軽量化、高機能化に伴い、プリント基板への表面実装がますます高密度化されてきている。そして、搭載される部品においても微小化、狭ピッチ化、多ピン化が著しく進展している。

当社もその例にもれず、製品の軽量化、高機能化が進んできており、表面実装部品も小型化、狭ピッチ化、等多様化してきている。

チップ抵抗やチップジキコンでは、従来から採用している3216サイズ、2125サイズに加え、91年ごろからは1608サイズ(1.6mm×0.8mm)、チップトランジスタではスーパーミニトランジスタを一部

年 代		'80	'85	'90	'95
電子部品の小型化	抵抗 コンデンサ	チップサイズ 3216 	2125 	1608 	1005
	IC	リードピッチ P=1.0 	P=0.8 	P=0.65 	P=0.5
プリント基板 パターンの 高制度化		 パターン幅 A=0.5mm パターン間隔 B=0.5mm		A=0.3mm B=0.3mm	

図-1 採用部品の小型化の推移

Fig. 1 Transition of minituring parts (in Fujitsu Ten)

基板で採用している。

IC部品のリードピッチにおいても、図-1に示すように85年ごろから採用してきた0.8mmピッチに加え、91年からは0.65mmピッチを採用し始めた。94年ごろからは、0.5mmピッチのものも採用していく予定である。

また、アルミ電解コンデンサ、可変抵抗、コネクタ等の異形部品も表面実装化してきており、部品の多様化も進んでいる。これらの部品は、背の高いものも多く今後の高密度実装の将来を考えると従来のCCDカメラ方式での隣接部品の制約条件

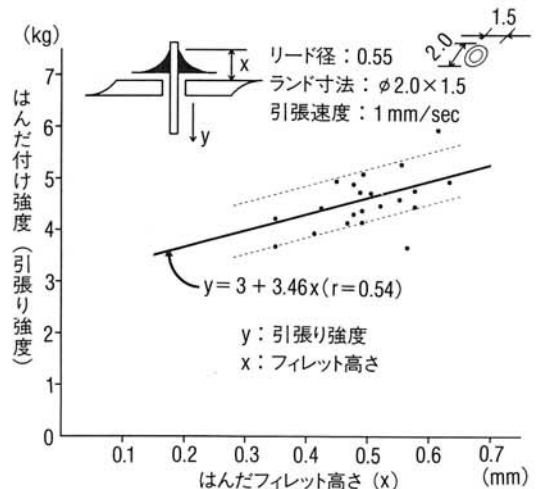


図-2 はんだフィレット高さとはんだ付け強度

Fig. 2 Soldering intensity for height of solder fillet

ではダウンサイジングの進展は望めない。

さらに、製品の品質要求レベルも上がってきており、これを満足する上ではんだ付けはたいへん重要な工程であるといえる。

図-2に、はんだフィレット高さとはんだ付け強度の一例を示す。フィレット高さと引張強度には、正の相関があり、フィレット高さが高くなるとはんだ付け強度も増大する。

表-1には、はんだ量とはんだ付け信頼性について調べたものをまとめる。また、図-3に断面観察写真を示す。これは、通常のはんだ量を100%とし、20%~120%まではんだ量を変化させたときの冷熱サイクル試験の結果である。表-1より、はんだ量が通常の20%程度では1000℃、40%程度では2000℃でフィレット全域にクラックが進行し、はんだ付け信頼性は低下する。

また、表-2には、はんだ付け不具合の製品品質に与える影響についてFMEAを実施した結果を示

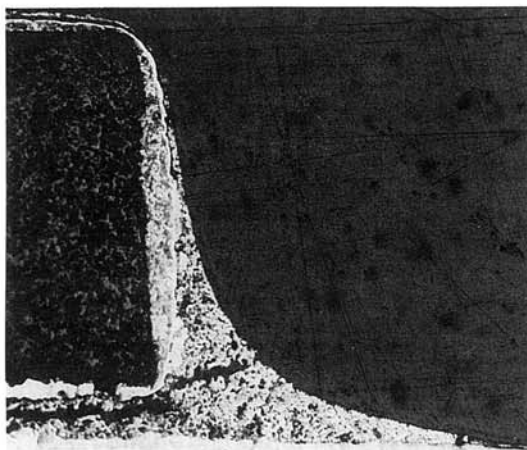


図-3 断面観察写真(20%, 1000℃)

Fig.3 Section of solder fillet.

表-2 FMEAの結果

	不良検出モードの絞り込み (FMEA)					重要度	重要検査不良項目
	不良モード	検出度		影響度	発生度		
		目視	電探 ^{エレクトリック}				
フロート面	ブリッジ	2	1	3	2	12	
	不ぬれ	4	4	5	2	160	◎
	はんだ過少	2	5	5	2	100	- ○
	はんだ過多	2	5	1	2	20	
	ブローホール	1	5	1	2	10	
	あがり不良	1	5	2	2	20	
	ピンホール	1	5	1	1	5	
リフロー面	ブリッジ	2	1	3	1	6	
	不ぬれ	4	4	5	2	160	◎
	テンブラ (浮き)	4	3	5	2	120	◎
	はんだ過少	2	5	5	2	100	○
	はんだ過多	2	5	1	2	20	
	ズレ	1	5	2	2	20	
	立ち	2	1	3	2	12	

表-1 はんだ量とはんだ付け信頼性

サイクル はんだ量	1000℃	2000℃	3000℃
20%			
40%			
60%			
80%			
100%			
120%			

- 異常無し
- 電極周辺に部分クラック
- はんだ表面に部分クラック
- はんだフィレットの半分ぐらいまでクラック
- はんだフィレットの全域にクラック

す。これらの結果から、テンブラ（リード浮き、不濡れ）、はんだ過少といった不具合の発見が重要であることがわかる。

これら不具合を発見する検査において従来の目視検査では、部品の小型化、高密度化による作業疲労や見逃し、個人差による検査レベルのバラツキ等の課題がある。

そこで、後工程への見逃しの低減、検査レベルの均一化をねらいとし、リフロー工程の検査にはレーザ方式のはんだ付け検査装置の導入を、フロー工程では不濡れ検査に的を絞ったCCDカメラ方式のはんだ付け検査装置の内製化を計画した。

以下にこれら検査装置の評価についての事例を紹介する。

3. レーザはんだ付け検査装置の検出評価

2章で述べたように製品の品質を向上する上ではんだ量を正確にとらえることが検査装置にとって重要な性能の一つである。本章ではレーザ方式の検査装置におけるはんだフィレットの検出精度についての評価を紹介する。

3.1 レーザはんだ付け検査装置の原理

図-4にレーザはんだ付け検査装置の原理を示す。図に示すようなセンサが回転円盤上に4コ搭載されており、プリント基板上を高速で回転する。これに同期して、プリント基板が移動することによりプリント基板全面の必要データを取込み、検査を行う。

3.2 はんだフィレットの検出精度

同一基板上にはんだ量を段階的に変化させて部品を実装する。このときのはんだ量は現行のメタルマスク開口寸法を100%とし、20%、40%、60%、80%、120%のものまで6段階に分けて設定した。それぞれのはんだフィレットを検査装置にて測定し、はんだ量と測定データとの相関を調べる。

本検査装置のはんだフィレットの検査は、フィレットの傾向度合からフィレットの長さを検出する。そこで、検査装置で検出したフィレット長さと実際のフィレット長さについての相関を調べるため、検査装置で同じ長さと判断されたものを5

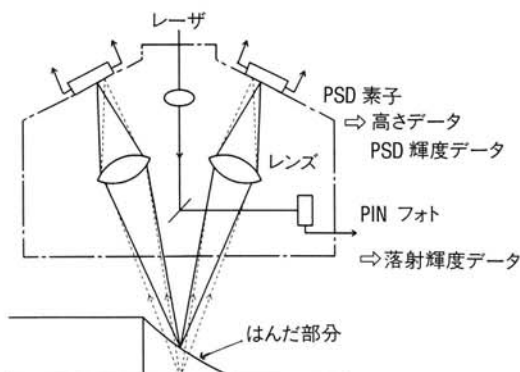


図-4 レーザはんだ付け検査装置の原理
Fig. 4 Principle of mounted PC board soldering inspection machine using laser recognition

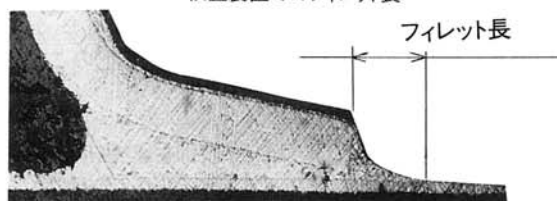
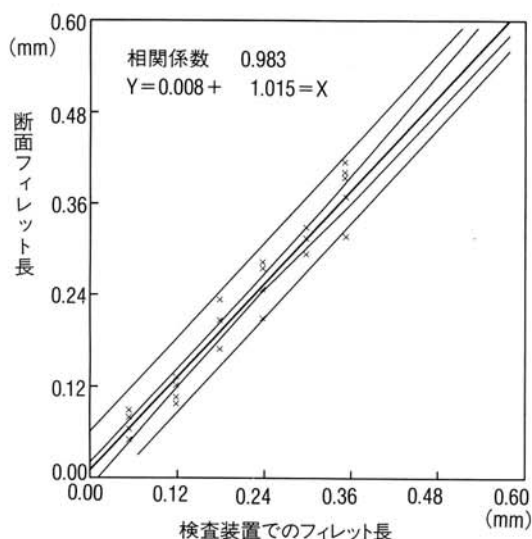


図-5 はんだフィレットの検出精度
Fig. 5 Detecting precision of solder fillet

個づつ選定し断面研磨を行い、実際のフィレット長さを測定した。

これらの値を、縦軸に実際のフィレット長さ、

横軸に検査装置でのフィレット長さをとりグラフにすると図-5のようになる。グラフより、検査装置で検出したフィレット長さと実際に測定したフィレット長さには正の相関があり、その相関係数は0.983と高い値を示しており、本検査装置で検出したフィレット長さは信頼できるものであると言える。

4. 検査における隣接部品の影響

表面実装される部品の多様化によって背の高い部品が増え、はんだフィレット検出において影響を及ぼすと考えられる。そこで、これらの部品の影響を調べる実験を行った。隣接する部品は、いろいろな種類が想定されるため実験計画法を用いて評価を行った。

取り上げた因子と水準を表-3に示す。

角柱はタンタルコンデンサ、コネクタ等、円柱はアルミ電解コンデンサ等をモデル化している。また、黒色塗装面は樹脂部品を、アルミ地肌の光沢面は金属性の部品をモデル化している。測定対象は2125型チップ抵抗で図-6の要領で各水準におけるはんだフィレットのデータを測定する。

この方法で、リフロー工程に導入したCCD方式と導入予定であるレーザ方式の両検査装置について評価を行った。

実験結果を図-7, 8に示す。結果より下記のことがわかった。

- 1) CCDカメラ方式は、隣接部品の色によるS/N比の差が大きいので、色による影響を受けやすい。
- 2) レーザ方式は、隣接部品の色によるS/N比の差が小さいので、色による影響を受けにくい。
- 3) レーザ方式は隣接部品との距離がある程度

表-3 因子と水準

制御因子		(mm)		
	因子 \ 水準	1	2	3
A	高さ	3	6	9
B	幅、奥行	3	15	30
C	部品間距離	2	6	10

誤差因子

	因子	水準	1	2
N	形	状	直方体	円柱
O	色		黒色塗装	光沢面

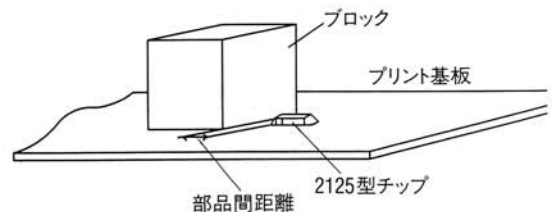


図-6 実験方法の概略

Fig. 6 Outline of experiment method.

保たれていれば高さや幅には影響されない。

また、実験データの部品間距離において、レーザ方式のS/N比が水準1から水準2にかけて急激に変化しているので、さらに部品間距離を1mmピッチにしてはんだフィレットのデータを測定した。これらのデータをもとに検査不可能となる部品間距離と部品高さをグラフにすると図-9のようになり、各装置のデッドスペースがわかる。この図からわかるようにレーザ方式は隣接部品の影響を受けにくく、高密度基板に適している。

5. CCDカメラ方式はんだ付け検査装置の検出評価

本項では、フロー工程における不濡れ検査に的を絞りに製化したCCDカメラ方式のはんだ付け検査装置について説明する。

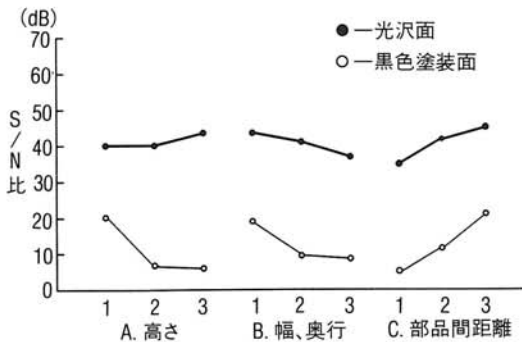


図-7 CCDカメラ方式のS/N比

Fig. 7 S/N ratio of mounted PC board inspection machine using CCD camera

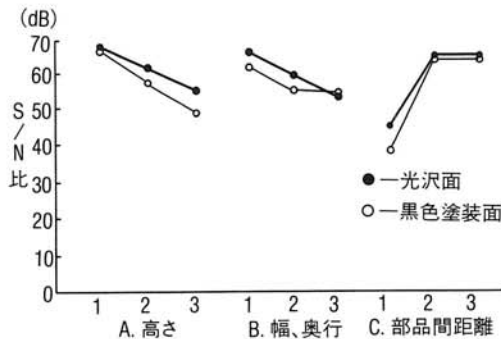


図-8 レーザ方式のS/N比

Fig. 8 S/N ratio of mounted PC board inspection machine using laser

5.1 CCDカメラの検査原理

CCDカメラを使用した検査は、従来部品、基板などの位置決めや位置補正、外観検査などに幅広く利用されており、機械の装入率向上や省人化（目視検査の自動化）などの効果をあげている。この外観検査などに使用しているカラーCCDカメラは色の判断が可能で、はんだ付けで濡れない部分（はんだが着いていない部分）が、銅色で、はんだの色と区別がつくことから、はんだの不濡れ検査に応用できると考えた。

検査原理は、カラーCCDカメラからカラー画像を取り込み、抽出した色をR, G, B, の3原色の各諧調で指定選択し、その色レベルにて2値化

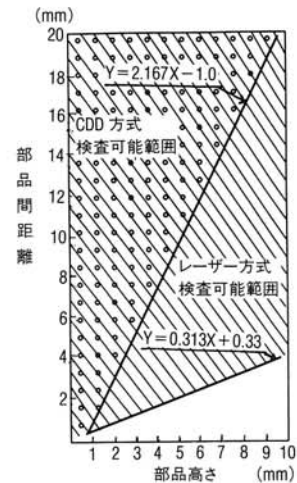


図-9 各装置のデッドスペース

Fig. 9 Dead space of each machine

することにより、抽出したい色が白くなる。この白くなった面積（画素数）により、良否の判定を行う。

はんだ付検査装置のブロック図を図-10に、検査の原理を図-11に示す。

5.2 はんだ不濡れの検査アルゴリズム

CCDカメラを用いて、はんだ不濡れを検査する場合の条件の要因として、照明・計測面積・近似色の影響がある。照明については対象物（プリント基板）の反射光をカメラでとらえるため均一性が要求される。また対象物の色のコントラストが明確になるよう照度も重要である。次に計測面積は、はんだ不濡れ面積との画素数比および検査タクトなどの関係から、最適な面積を決める必要がある。また、近似色の影響については、照明や計測面積との総合関係による影響もあるが、銅色を抽出する場合、3原色の諧調を最適に設定することが重要であり、また近似色によるノイズ的要素から、ノイズ除去のためのカメラ焦点も重要な要素の1つであるといえる。ここ各項目についての計測条件について述べる。

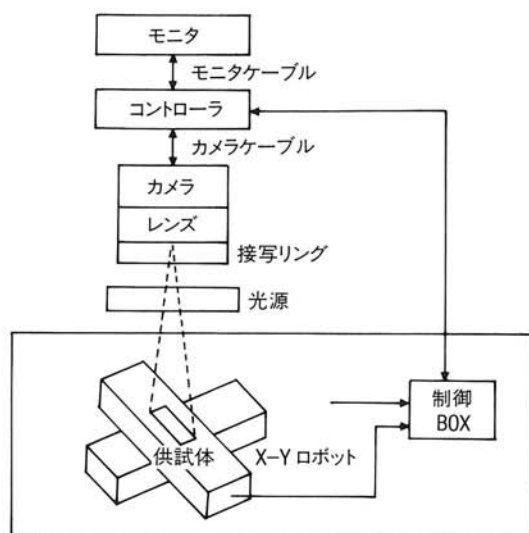


図-10 はんだ付け検査装置のブロック図

Fig.10 Block figure of mounted PC board soldering inspection machine

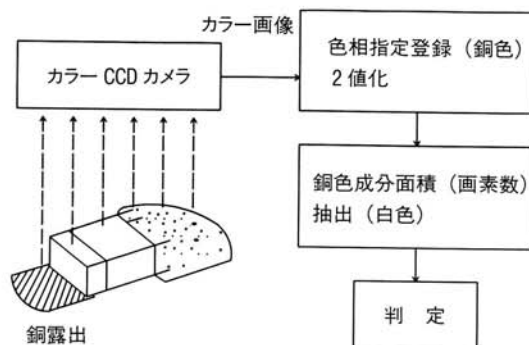


図-11 検査の原理

Fig.11 Principle of inspection

5.2.1 照明

照明のサイクルとして連続光とパルス光（フラッシュ）がある。パルス光は主に、移動中の対象物を検査する場合に用いられ、今回ののはんだ不濡れ検査は、固定した状態で行うため、連続光を使用する。また色相などの調整にも、連続光の方がやりやすい。連続光としては色々な根源があるが、一般的に使用されている蛍光灯を用いる。蛍光灯の中にはリング形と棒形があり、それぞれの特長

を表-4に示す。これにより照度変化が少ない棒形の蛍光灯がよいと判断した。

5.2.2 計測面積

計測面積の最大画素数はカラーCCDカメラやその画像を処理するコントローラにより決まり、現在使用しているものは水平510画素×垂直480画素の約25万の画素数、つまり25万画素の画像分解能がある。このことを考慮して、はんだ不濡れ検査を行う場合、計測値のパラツキや、不濡れになる面積などを考えあわせると、チップの標準ランドの約20%が100画素となる計測面積にする必要があり、これより一画面あたりの面積を求めると次式より、

$$25万 : 100 = X : 0.43mm^2$$

$$\therefore X = 1075mm^2 = 33 \times 33mm^2$$

となる。

一画面あたりの面積は小さい程望ましいが、検査タクトを考慮して30×30mm²とした。

表-4 蛍光灯照明の形状と特徴比較

	形 状	特 徴
リ ン グ 形		- 全面からの照度が得られるが電源供給部があるため、死角ができ光が均一にならない。 - 経時変化により照度変化大 - リングの内側の光により円形の照度となる場合がある。
棒 形		- 両サイドからの照明にすることで形状の影響が少ない。 - 電源供給部や経時変化による影響が少ない。 - 光源が2つのため、左右の照度のバラツキによる影響がでる。

5.2.3 近似色の影響

CCDカメラによる検査は、一画面あたりの銅色成分の総面積で判定するため近似色（チップコンデンサ、フラックス、マーキングインク）の影響を受けやすい。その対応として、R, G, B, の3原色をそれぞれ32諧調で表現する装置により、微妙な色（最大32766色）の違いも判断できるようにした。また、フラックスについては洗浄後の工程に装置を設置。マーキングインクは、赤、茶、ダイダイ、カキ色等の近似色の使用を禁止した。

しかし、微妙に銅成分を含んだノイズ的要因に対しては、R, G, Bの調整だけではカバーしきれない部分がある。これは高分解能によるものと思われる。したがって、カメラの焦点をずらすと、色がぼけるため、見かけ上分解能を下げたようになり、ノイズを除去することができる。しかし焦点をあまり大きくずらすと、計測値のパラッキが大きくなるため注意が必要である。

今まで述べた項目をまとめると表-5となる。

ここでチップの向きは、光源の左右の照度の違いを考慮してのことである。

5.3 はんだ不濡れの検出精度

はんだ不濡れの検出精度を示すものとして2つに分けることができる。

① 不濡れ面積に対するNG判定基準

② 銅色の諧調をどれだけカバーしているか

①は不濡れ面積が何mm²以上であれば100%検出するかを示すものであり図-12がそのデータである。図より①以下は不濡れを検出できない領域、①～②は不確定領域、②以上は検出可能領域である。チップAおよびチップBはNG判定率100%なので期待どおりの検出精度が得られた。

②は銅色成分の明度、彩度が微妙に違う色をどれだけ検出できるかである。銅の諧調を示したの

表-5 はんだ付検査装置の計測条件

	光源		チップの向き (光源に対し)	カメラ 焦点	計測 面積	判定
	円形	棒形				
1	○		——	合わせる	大 50×50	×
2	○		——	合わせる	小 30×30	△
3	○		——	ぼかす	小	△
4		○	⌋ ⊢	合わせる	小	△
5		○	⌋ ⊢	ぼかす	小	○
6		○	⌋ ⊢	ぼかす	小 30×30	◎

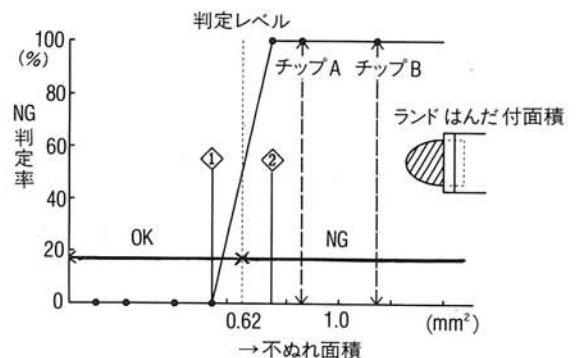


図-12 不濡れ面積に対するNG判定率

Fig.12 "NG" judgement percentage at no solder dimensions

が図-13である。それにコンデンサチップの諧調合わせてみると、銅の暗い諧調と重なるため、暗い銅成分（酸化した銅）は、検出精度が悪い。

しかし、当社での流動期間および保管期間ではブリフラックス処理や防湿ブース保管などで酸化することはないと考えられる。

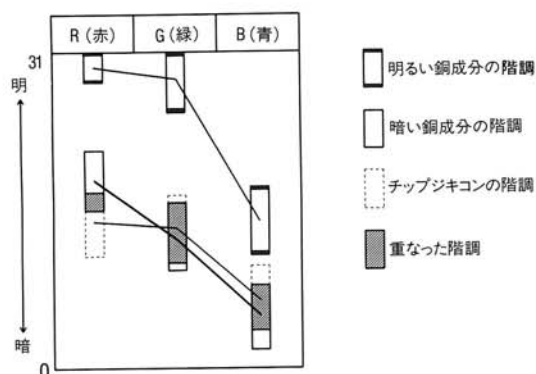


図-13 銅成分とチップジキコンの色階調比較

Fig.13 Comparison about color of copper and multilayer ceramic capacitors

6. 評価方法のまとめ

これまでに紹介した検査装置の検出評価について、評価方法をまとめると表-6のようになる。

これらの評価方法は、今後の設備導入に際しても適用することができる。

表-6 評価方法のまとめ

評価項目	評価方法
はんだフィレットの検出精度	はんだ量を段階的に変化させて実装した部品のはんだフィレットを検査装置にて測定し、はんだ量と測定データとの相関を調べる。
隣接部品の影響度合	各種異形部品を想定するため、パラメータ設計を用い評価する。各水準は表-4の通りである。 必要ならば、さらに細かい水準で評価する。
計測条件の最適化 (不濡れ検査装置)	つぎの因子について評価すれば、最適条件が得られる。 ①光源 ②チップの向き ③カメラの焦点 ④計測面積

7. む す び

以上、レーザ方式とCCDカメラ方式のはんだ付け検査装置について述べてきた。今後の課題としてリフロー工程に導入した検査装置では、プログラムの自動作成化、実装機へのインライン化などがあるが、なにより検出力（直行率）の向上に力をいれていかなければならない。

また、フロー工程においては、はんだ量の検査についてどのように取り組んでいくかなどがあげられる。