エア加振・スペckル振動検出法による はんだ付部検査方式の開発

正 員 広 井 高 志 (日 立)

非会員 吉 村 和 士 (日 立)

非会員 浜 田 利 満 (日 立)

非会員 二 宮 隆 典 (日 立)

正 員 中 川 泰 夫 (日 立)

非会員 美 尾 恵 己 (日 立)

非会員 佐々木 秀 昭 (日 立)

Development of Solder Joint Inspection Method Using Air Stimulation/Speckle Vibration Detection Method

Takashi Hiroi, Member, Kazushi Yoshimura, Non-member, Toshimitsu Hamada, Non-member,
Takanori Ninomiya, Non-member, Yasuo Nakagawa, Member, Shigeki Mio, Non-member,
Hideaki Sasaki, Non-member (Hitachi)

A high-speed and highly reliable inspection method which inspects minute solder joints of high-density-mounted devices has been developed. A human inspector touches a solder joint by a pinset to identify a "floating lead" defect which is like a good joint cosmetically. The developed method applies force to solder joints by air jet externally and induces vibration or shift of a floating lead. The vibration or shift is detected as a change of speckle patterns which are produced at a solder joint by laser illumination. For reconciling with highly sensitive detection of speckle pattern changes and separable detection of each individual joint in a narrow pitch row of solder joints, defocus amounts in x and y directions are set separately by a cylindrical lens. For decreasing dispersion of detected light intensities of individual solder joints, a liquid crystal filter is inserted in a detection light path and the control of light intensities of individual joints is realized. As defect judgement, two functions which evaluate proportions of vibration and shift from a detected speckle waveform are introduced. The result shows that the developed inspection method detects floating lead defects accurately with a very low false alarm rate.

キーワード：はんだ付け，外観検査，スペckル，欠陥検出

1. はじめに

近年，電子回路の実装の高密度化は著しく，これに伴いはんだ付部が微細化すると共に，プリント板上の部品間隔は狭くなり，はんだ付け点数も増加している。このため，はんだ付部の材質やプロセスの改良によるはんだ付け無欠陥化の努力はなされているもの

の，なおリード浮き，はんだブリッジなどのはんだ付け欠陥の発生を避けることができない。特に，大型計算機の場合，計算機1台あたりのはんだ付け点数は50万点にもなり，高い信頼性を確保するため，はんだ付部を一点一点厳密に検査して欠陥部を修正する必要がある。しかし，微細なはんだ付部を実体顕微鏡などを用いて目視検査するには膨大な時間を必要とす

る。また、部品間隔が狭く、はんだ付部が部品間の狭い隙間に位置するため観察方向が限定され、欠陥検出を困難にしている。このため、高速、かつ高い信頼性で高密度に実装された微細なはんだ付部を検査する自動外観検査方式の開発が強く望まれていた。

はんだ付部を自動検査する従来技術としては以下の方式が報告されている。レーザではんだ付部を加熱し、その放射温度変化を検出するレーザ加熱・放射温度検出方式⁽¹⁾、光を照射し、はんだ表面からの反射光の方向をもとに表面の傾斜角の状態を検出する反射光方向検出方式^{(2)~(6)}、はんだ付部のX線透過画像を用いるX線撮像方式⁽⁷⁾、はんだ付部をプローブで接触加振し、その周波数スペクトルから欠陥判定する接触加振・振動検出方式⁽⁸⁾、レーザパルスで部品リードを加熱し、リードの熱変形振幅から欠陥判定するレーザ加熱・熱変形検出方式⁽⁹⁾などがある。また、著者らは先に、光切断法によるはんだ付部のプロフィール検出方式⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾を開発した。

これらの方式を高密度に実装された微細なはんだ付部に適用する場合、以下の問題がある。レーザ加熱・放射温度検出方式⁽¹⁾ははんだ付け表面の傾きと表面放射率変化の影響を受けやすく、また、検出方向が限定される高密度実装では放射温度の一部しか利用できず、信頼性の高い検査は望めない。反射光方向検出方式^{(2)~(6)}や光切断法⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾などの光学的検出方式では、検出方向が限定されると共に、はんだ表面が鏡面状態に近い場合、わずかな面の傾きで反射光量が大きく変化し、高精度な検査は望めない。また、光学的検出においては、検出光量の安定化が信頼性の高い検査を実現するうえで重要と思われるが、以上の事例では光量制御は行われていない。

X線撮像方式⁽⁷⁾は大形計算機などに使用される多層プリント板では数十層に及ぶ内層パターンがはんだ付部と重畳して観察されるため、はんだ付部のコントラストが十分にとれない。接触加振・振動検出方式⁽⁸⁾は、プローブ接触によるはんだ付部の損傷の危険がある。レーザ加熱・熱変形検出方式⁽⁹⁾はリードの部品取り付け部をレーザパルスで加熱するため、適用できるリード形状に制限がある。

一般に、はんだ付部の微細化に伴い、はんだ付け欠陥を識別するには高精度な検出が必要となる。特に、リード浮き欠陥は正常なはんだ付部との形状差が極めて小さく、実体顕微鏡の観察だけでリード浮き欠陥を判定することはほとんど不可能であり、作業者は疑わしいはんだ付部をピンセットで触り、リード浮き欠陥の有無を確認している。一方、はんだブリッジやリー

図 1 検査対象
Fig. 1. Inspection object.

図 2 検出対象欠陥
Fig. 2. Defects to be detected.

ド位置ずれ欠陥は、実体顕微鏡で容易に確認することができる。本研究ではこの点に着目し、外力を加えてリード浮きを検出する方式と、平面的な検出画像からはんだブリッジとリード位置ずれを検出する方式を併用する検査システムを新たに開発した。平面的な画像検出法としてはプリント板パターン検査⁽¹²⁾などに使用されている蛍光検出法を用いる。蛍光検出法は励起光によってプリント板基材部から発生する蛍光像を検出する方式であり、はんだ付部をシルエット像として安定に検出することができる⁽¹³⁾。

はんだ付部に外力を加える手段としては種々の方式が考えられるが、非接触で浮きリードに大きな変形を与えることのできるエア噴射を用いた。また、この変形を非接触で検出するため、はんだ付部にレーザを照射し、はんだ付部で生じるスペckルパターンの変化を検出する方式を開発した。なお、本研究で対象としたはんだ付部は、リードピッチ 0.5 mm、リード幅 0.2 mm の QFP (Quad Flat Package) のガルウイングリードであり、プリント板実装状態を図 1 に示す⁽¹⁴⁾。はんだ付部は高さ 17 mm の部品の間、幅 4 mm の隙間に位置している。ここで、検出すべき欠陥は図 2 に示すリード浮き、はんだブリッジ、リード位置ずれの三種類である。本論文では、この中のリード浮き欠陥を対象に開発したエア加振・スペckル振動検出法の原理、検出ヘッド、検査アルゴリズム、および微細なはんだ付部に対する実験評価結果について述べる。

2. エア加振・スペckル振動検出法

〈2・1〉 検出原理 検出原理を図 3 に示す。はん

図3 エア加振・スペックル検出法の原理
Fig.3. Principle of air stimulation/
speckle detection method.

だ付部に向かって斜め上方からエアを噴射する。正常なはんだ付部では、リードはプリント板上のパッドにはんだ付けされているので、エアを噴射してもリードは動かない。これに対し、リードがパッドに接触していないリード浮き欠陥ではリードが振動する。この振動をレーザスペックルを用いて検出する。すなわち、はんだ付部にレーザを照射し、その反射光を若干デフォーカスした状態で検出すると各はんだ付部のスペックルパターンが検出される。ここで、スペックルとは対象物表面の微細な凹凸によりレーザ光が互いに干渉して生ずるランダムなパターンのことである。図3の写真ははんだ付部にエアを噴射したときのスペックルパターンを像検出器（TVカメラ）で検出した例であり、正常部ではコントラストの強い斑点であるスペックル像は変化しない。これに対し、リード浮き欠陥は、リードの振動に伴いスペックル像も振動し、センサの蓄積効果のため、ぶれた像として検出される。開発した検出原理はこのスペックルパターンの相違を検出することにより、リード浮き欠陥を検出しようとするものである。なお、リード浮き欠陥の中にはリードがパッドに接触しているがはんだ付けされていない場合がある。この場合、エア噴射によりリードは振動はしないが移動する。このため、スペックルパターンはぶれだけでなく、その移動も検出する。

以上が開発したエア加振・スペックル振動検出法の基本的な考え方である。

〈2・2〉 エア噴射によるリード挙動 エア噴射による浮きリードの挙動を把握するため、高速度カメラによる観察と簡単な力学的試算を行った。ここではその結果明らかになったリードの挙動の概要を述べる。

図4 エア噴射によるリードたわみ量分布
Fig.4. Distribution of lead displacement
by air jet.

はんだ付部の上方約20mm、45度の方向から200kPa（対象物上では約100kPa）でエアを噴射したときのリード先端のたわみ量の分布の測定結果を、図4に示す。xy面内（図3）のたわみ量は4～34μmに分布した。リードの部品側を固定端、リード先端を自由端とし、リードにエア噴射と等価な圧力を加えたすると⁽¹⁵⁾、たわみ量17μm、たわみ角8mradと試算される。また、リード先端が接触している場合はリード先端は支持端と自由端の間である、支持端と仮定でき、先端のたわみ量0μm、たわみ角1mradと試算される。これに対し、正常部のリード先端は固定端と仮定でき、たわみ量、たわみ角ともに0である。実験で移動量の大きいリードは接触していないリード浮きで自由端の場合に相当する。ステップ外力が作用した場合、静的なたわみ量17μmの1～2倍の振幅が得られることが知られており⁽¹⁶⁾、最大の移動量34μmとほぼ一致している。また、スペックル振動検出に要求される検出感度は接触している浮きリードの検出をも可能にする点から決まり、たわみ角で約1mradである。

接触していないリード浮きはエアの外力により自励振動をするが、その周波数は10～20kHzであった。また、リード先端を自由端としたときの固有振動数⁽¹⁶⁾は13kHzと試算される。これらより、これを画像のぶれとして検出するにはセンサの蓄積時間を0.1ms以上にする必要がある。

また、エア噴射によりリードに加わる外力は約0.6Nであり、はんだ付部の破断に要する力80N⁽¹⁷⁾よりはるかに小さくダメージは生じないと判断した。

以上、対象としたはんだ付部について実験、試算したが、エア噴射時のリード先端のたわみ角を検出すればリード浮きと正常部を識別できると考えられる。

〈2・3〉 スペックルパターン検出 部品間の狭い隙間のはんだ付部を検出するため、レーザ光を垂直上方から照明し、上方から検出する。検出には結像レンズを用い、結像面からデフォーカス量 δ 離れたセン

図 5 センサへの入射角の幅
Fig. 5. Width of incident angle to a sensor.

サ面で観察すると、反射光によるスペックルパターンが観察される。本節では、スペックルパターンの基本的性質であるスペックルピッチと一つのはんだ付部によりセンサ面でスペックルパターンを生ずる範囲（以下、スペックル範囲と呼ぶ）、およびリード移動に伴うスペックルの移動量について述べる。

(1) スペックルピッチ 一般に、スペックルパターンの平均ピッチ p はセンサ上の 1 点の干渉に寄与する光線がセンサに入射する光の角度の幅 α とリードの表面状態で決まり、(1)式で与えられることが知られている⁽¹⁸⁾。

$$p = \max(1.22\lambda/\alpha, m \times p_0) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 λ : レーザ光の波長、 p_0 : 対象物のテクスチャピッチ、 m : 光学系倍率
レンズを介して反射光を検出する場合、センサへの入射角の幅 α は図 5 に示す α_0, α_1 に制限され、(2)式で求まる。

$$\alpha = \min(\alpha_0, \alpha_1) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 α_0 はレンズを通過できる反射角度の幅で、レンズの実効 F 値で決まり、 $\alpha_0 = 1/F$ である。 α_1 はリード幅 b で決まり、(3)式で表される。

$$\alpha_1 = \frac{m \times b}{\delta} \dots\dots\dots (3)$$

幅 b のリード上面からの反射光は結像面上で $m \times b$ の寸法になり、センサからこれを見込む角度幅 α_1 以上の光はセンサに入射しない。

(2) スペックル範囲 反射光はレンズのどこを通過してセンサに入射するかかわらず、デフォーカス位置で検出する場合、通る位置によりスペックルを生ずる位置は変化する。このため、スペックル範囲 d は結像範囲 $m \times b$ とレンズの実効 F 値で決まる角度幅 α_0 相当の広がりとの和として、(4)式で表される。

図 6 対象物移動に伴うスペックルの移動
Fig. 6. Speckle displacement with object displacement.

図 7 リードたわみ角によるスペックルの移動量
Fig. 7. Speckle displacement with lead bending angle.

$$d = m \times b + |\delta| \times \alpha_0 \dots\dots\dots (4)$$

(3) スペックル移動量 対象物の移動に伴うスペックルの移動を図 6 で説明する。レンズを介して結像面からデフォーカス量 δ だけ離れた位置で対象物のたわみ量 a_x, a_y 、たわみ角 θ_x, θ_y を観察する。センサ面上で移動前のスペックルの光量分布を $I_1(x, y)$ 、移動後の光量分布を $I_2(x + A_x, y + A_y)$ とする。 I_1, I_2 の相関が最大となる A_x, A_y がスペックルの移動を表す。移動量は δ が小さい場合は(5)、(6)式となる⁽¹⁴⁾。

$$A_x = -a_x \times m - 2 \times \theta_y \times \delta / m \dots\dots\dots (5)$$

$$A_y = -a_y \times m + 2 \times \theta_x \times \delta / m \dots\dots\dots (6)$$

たわみ量によるスペックルの移動量は光学系倍率 m に比例し、たわみ角による移動量はデフォーカス量 δ に比例し、 m に反比例する。特に、たわみ角に対する検出感度を上げるには、デフォーカス量 δ を大きくすればよいことがわかる。リードを回転ステージに載せ、リード傾き θ_x を変えたときのセンサ上でのスペックルの移動量 A_y を実験で確認した。実験結果を実験条件と共に図 7 に示す。同図は(6)式の計算値を

実線、実験値を○印で示している。理論値と実験結果はよく一致している。

以上が、検出されるはんだ付部のスペックルパターンの基本的性質であり、これらを用いて以下の検出ヘッドを開発した。

3. 検出ヘッドの構成と機能

〈3・1〉 検出ヘッドの構成 開発した検出ヘッドの構成を図8、諸元を表1に示す。検出ヘッドは高速検査実現のため、搭載部品の1辺20 mmにある複数

図8 検出ヘッドの構成

Fig. 8. Composition of a detection head.

表1 検出ヘッドの諸元

Table 1. Specifications of detection head.

項目	諸元
エア噴射	供給エア圧力 200 kPa 内径 2 mm バイプ×10本のノズル 長さ 24 mmのスリット状エア 噴射時間 120 ms
レーザ光源	アルゴンレーザ 波長 $\lambda = 488 \text{ nm}$ 、出力 0.5 W
照明	24 mm×0.3 mmの平行光
結像レンズ	焦点距離 $f = 150 \text{ mm}$ 、 $F = 2.8$
光学系倍率	倍率 $m = 1.2$
デフォーカス	$f = 40 \text{ mm}$ のシリンドリカルレンズ $\delta = 10 \text{ mm}$
光量制御	液晶フィルタ
イメージセンサ	画素寸法 $8 \mu\text{m}$ 、3,648 画素 蓄積時間 1 ms (4 MHz 駆動)

図9 フラット形エアノズル

Fig. 9. Flat-type air nozzle.

のはんだ付部を同時に検出する構成とした。すなわち、図9に示す長さ24 mmにわたり内径 $\phi 2 \text{ mm}$ のノズルを直線状に配列したエアノズルを、はんだ付部の左右45度上方に設置した。左右から1回ずつ電磁弁でステップ状エアを噴射し、はんだ付部を加振し、スペックルパターンを検出、処理する。検出側では長さ24 mmのスリット状Arレーザ光を一辺分のはんだ付部に照射、発生するスペックルパターンを光学系倍率1.2倍のレンズを介して一次元イメージセンサ(画素寸法 $8 \mu\text{m}$ 、3,648 画素、視野24 mm)で検出する。一辺分のはんだ付部を同時に検出する場合、以下の問題がある。

(1) 〈2・3〉節で述べたように、検出感度を高めるにはデフォーカス量 δ を大きくする必要がある。しかし、これに伴いスペックル範囲 d は大きくなり、図10に示すように隣接はんだ付部のスペックル範囲と重なる。

(2) スペックルの検出光量ははんだ付部の表面状態やリードの傾きによってばらつく。図11は実際の検出光量ばらつきを各はんだ付部の最大検出光量の頻度分布として求めたものである。同図において、検出光量はセンサの飽和光量を1.0とした相対値で表している。測定したはんだ付部のうち、最大検出光量の最小値は0.1であり、また全体の4%は飽和している。このように検出光量のばらつきは大きく、光量制御が

図10 複数のはんだ付部同時検出の問題点

Fig. 10. Problem on simultaneously detecting a row of solder joints.

図11 検出光量のばらつき

Fig. 11. Variance of detected brightness.

図12 シリンジカルレンズ挿入の効果
Fig. 12. Effect of a cylindrical lens.

図13 対象物表面状態
Fig. 13. Target surface.

図14 検出したスペckルパターン
Fig. 14. Detected speckle patterns.

不可欠である。

前者の問題を解決するため、図12に示すようにセンサの前にシリンジカルレンズを挿入して y 方向に振動検出感度を高くし、 x 方向のスペckル範囲を小さくし隣接はんだ付部とのスペckルの重なりを防止した。また、後者に対しては、はんだ付部ごとに透過率を制御する液晶フィルタをイメージセンサの直前に挿入し、検出光量分布を制御した。

以下、これらシリンジカルレンズと液晶フィルタについて述べる。

〈3・2〉 シリンジカルレンズ 欠陥を確実に検出するために必要なデフォーカス量 δ_y と、隣接はんだ付部のスペckル領域が重ならないデフォーカス量 δ_x を考える。欠陥を確実に検出するには、リード浮きの移動と振動に伴いスペckルパターンがスペckルピッチ p の1/2以上移動することが望ましい。そ

図15 液晶フィルタ
Fig. 15. Liquid crystal filter.

表2 液晶フィルタの諸元
Table 2. Specifications of liquid crystal filter.

項目	諸元
電極	0.1 mmピッチ×5 mm, 360本
消光比	120 (波長 $\lambda=488$ nm 垂直入射)
透過率	最大68% (同上)
セルギャップ	9 μ m, $\Delta N D=0.95$

こで、表1の光学系諸元、微小凹凸のピッチ $p_0=28 \mu\text{m}$ (図13に示す対象物の表面状態より求まる) を用いて(1)~(3)式より $\delta_y \approx 10 \text{ mm}$ において $p=34 \mu\text{m}$ を得、またこのとき、(6)式よりリード浮きのたわみ角 $\theta_x \geq 1 \text{ mrad}$ に対してスペckル移動量 $A_y \geq 17 \mu\text{m}$, すなわち $p/2$ 以上を得る。一方、隣接スペckル領域が重ならないデフォーカス量 δ_x は、(4)式より $\delta_x \leq 2.3 \text{ mm}$ と求まる。

以上より、 x 方向のデフォーカス量 $\delta_x=2 \text{ mm}$, y 方向のデフォーカス量 $\delta_y=10 \text{ mm}$ となるシリンジカルレンズを設定した。図14にこの光学系で検出したスペckルパターンの写真を示す。 x 方向に並んだリードのスペckルは分離されている。また、図中央のリード浮きの振動に伴うスペckルのおれは y 方向に大きく、 y 方向の振動検出感度が高いことがわかる。

〈3・3〉 液晶フィルタによる検出光量制御 図15(a)に液晶フィルタの構造を示す。液晶フィルタは液晶材料を偏光板を付けたガラス板で挟んだもので、電極に電圧を印加して液晶の施光性(偏光方向を回転させる性質)を変えて偏光板を通過する光量を制御するものである。表2は液晶フィルタの諸元であり、図15(b)に示すように0.1 mmピッチの短冊形の電極の印加電圧を変えることにより、透過率分布を制御する。

図 16 光量制御後の検出光量ばらつき
Fig.16. Variance of detected brightness with brightness control.

液晶フィルタの制御手順を以下に示す。まず、液晶フィルタの各電極をすべてのはんだ付部が飽和しない一定の透過率 ρ_0 に設定し、イメージセンサ信号 $f(x)$ を検出する。ここで、 x はイメージセンサの画素単位の座標である。次に、 $f(x)$ を目標検出光量 I_0 にするために、(7)式に示す透過率 $\rho(i_x)$ に液晶フィルタの各電極を制御する。ここで、 i_x は液晶フィルタの短冊電極単位の座標である。そして、この状態でイメージセンサ信号 $f(x)$ を検出し、これを欠陥判定に用いる。

$$\rho(i_x) = \rho_0 \times I_0 / \max\{f(x) | x \in i_x\} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 $x \in i_x$ は液晶フィルタの電極 i_x の影響下にあるイメージセンサの画素を意味する。以上により、図 15(c) に示すように、より均一な検出光量を得る。光量制御した場合の最大検出光量分布の測定結果を図 16 に示す。検出光量は 0.27~0.68 の範囲に制御されており、はんだ付部ごとの光量制御が実現できていることがわかる。

以上、開発したエア加振・スペックル振動検出法の検出ヘッド構成と機能について述べた。

4. 欠陥判定アルゴリズム

図 17 にスペックル波形の検出例を示す。同図は実体顕微鏡写真に示した 5 箇所のはんだ付部にエアを噴射して、エア噴射前後のスペックル波形を二次元イメージセンサで検出したスペックルパターンの時間変化像である。図は横軸に二次元イメージセンサの画素、縦軸に時間を取り、検出スペックル波形を二次元画像として表している。これから明らかなように、リード浮きのスペックル波形はエア噴射により振動してぶれて滑らかになるが、正常なはんだ付部のスペックル波形は変化していない。

本研究では、エア噴射前とエア噴射後の二つの波形を比較することにより、欠陥判定する。リード浮き欠

図 17 スペックルパターンの検出例
Fig.17. Examples of detected speckle patterns.

陥にはエア噴射により振動するものと移動するものがある。振動を検出するため、エアの噴射前後の高周波成分の変化を表す振動量評価関数 $G(x)$ を導入した。また、移動を検出するため、エア噴射前後の波形の不一致度を表す移動量評価関数 $H(x)$ を導入した。以下、この二つの評価関数と評価関数に基づく欠陥判定について述べる。

〈4・1〉 振動量評価関数 高周波成分の抽出は、(8)式に示す二次微分を用いた。

$$f''(x) = f(x-2) + f(x-1) - 2f(x) - 2f(x+1) + f(x+2) + f(x+3) \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 $f(x)$ ：スペックル波形

〈3・2〉節で述べたように、スペックルの平均径は $34 \mu\text{m}$ であり、画素寸法 $8 \mu\text{m}$ のイメージセンサを用いているので、約 4 画素に相当する。よって、(7)式の二次微分により、スペックル波形の主要な周波数成分を抽出することができる。

エア噴射前のスペックル波形 $f_0(x)$ と噴射後スペックル波形 $f(x)$ における高周波成分の変化を表す振動量評価関数 $G(x)$ を(9)式で定義する。

$$G(x) = \frac{\sum_{\xi=x-d}^{x+d} |f_0''(\xi)| - \sum_{\xi=x-d}^{x+d} |f''(\xi)|}{\sum_{\xi=x-d}^{x+d} |f_0''(\xi)|} \dots\dots\dots (9)$$

$G(x)$ はエア噴射前のスペックルの周波数成分に対する噴射前後の周波数成分の変化割合を示し、 $x-d \sim x+d$ の範囲の波形がエア噴射によりスペックルがぶれて滑らかになれば $G(x)$ は大きな値となる。なお、本研究では $d=8$ とし、 $G(x)$ の 1 点の値に影響を及ぼすスペックル波形の範囲をスペックルの 4 ピッチ分として確実にスペックルをとらえるようにした。

〈4・2〉 移動量評価関数 エア噴射前後のスペックル波形の不一致度を高速に求めるため、差分処理を

図 18 評価関数 $H(x)$, $G(x)$

Fig. 18. Evaluation function $H(x)$, $G(x)$.

用いた。移動量評価関数 $H(x)$ を (10) 式で定義する。

$$H(x) = \frac{\sum_{\xi=x-d}^{x+d} |f_0(\xi) + f_0(\xi+1) - f_1(\xi) - f_1(\xi+1)|}{\sum_{\xi=x-d}^{x+d} \{f_0(\xi) + f_0(\xi+1)\}} \quad (10)$$

$H(x)$ は噴射前の波形に対するエア噴射前後の波形の差の割合を表している。 $H(x)$ は $x-d \sim x+d$ の範囲の波形がエア噴射により大きく移動するほど大きな値となる。なお、 $G(x)$ と同様に $d=8$ とした。

〈4・3〉 欠陥判定 〈2・3〉 節に述べたように、スペックル範囲内でスペックルの生じる位置はばらつく。そこで、本研究ではスペックルの位置に依存しない処理をするため、図 18 に示すように、各はんだ付部ごとに振動または移動していると判定された画素数を基に欠陥判定した。

すなわち、振動量評価関数 $G(x)$ 、移動量評価関数 $H(x)$ をしきい値 G_{th} , H_{th} で二値化し、振動または移動している画素を求め、各はんだ付部ごとに全画素数に対するこれらの画素数の割合を求める。これらの割合を振動量評価値 G_I 、移動量評価値 H_I とする。そして、左右二つのエアノズルによるエア噴射で求まる振動量評価値 G_I 、移動量評価値 H_I をそれぞれ $G_{I右}$, $G_{I左}$, $H_{I右}$, $H_{I左}$ とし、欠陥判定評価値 S を (11) 式で定義する。

$$S = \max(G_{I右}, G_{I左}) + \max(H_{I右}, H_{I左}) \quad (11)$$

そして、欠陥判定評価値 S はあらかじめ定めた欠陥判定しきい値 S_{th} と比較して、 S_{th} より大きいものをリード浮き欠陥と判定する。

5. 欠陥判定性能

以上、述べたエア加振・スペックル振動検出法の欠

図 19 判定実験に用いたプリント板
Fig. 19. Printed board used for judgement experiment.

図 20 判定性能の例
Fig. 20. Example of defect judgement.

陥判定性能を調べるため、図 19 に示す大形計算機 M-68X のプリント板⁽¹⁴⁾ を用いて判定実験を行った。プリント板は $420 \times 280 \text{ mm}^2$ の寸法で図 1 に示す実装状態で QFP が搭載されている。QFP のはんだ付部 10,034 点の欠陥判定実験の結果を図 20 に示す。図は横軸に振動量評価値、縦軸に移動量評価値をとり、評価値分布を示している。欠陥判定のしきい値 S_{th} は 0.25 とした。リード浮きの検出性能はリード浮き量には依存せず、44 件のリード浮きすべてを検出した。正常部 9,990 件のうち 9,193 件は $H_I = G_I = 0$ に集中している。また、虚報は 6 件であり、虚報率としては 0.06% であった。なお、虚報は部品搭載誤差が大きい検出視野内に剛性の低いリード肩部 (図 1 参照) が入り、リード肩の振動をリード先端の振動と誤検出したものであった。

以上より、エア加振・スペックル振動検出法は極めて高い信頼性でリード浮き欠陥を自動検出できることが確認された。また、検査時間はリード一点あたり 70 ms である。

6. む す び

高密度に実装された微細なはんだ付部のリード浮き欠陥を対象に、はんだ付部にエア噴射で外力を加え、リード浮きに発生する振動と移動をレーザスペックルで検出して欠陥判定するエア加振・スペックル振動検出法を提案した。方式実現にあたっては、リード単位に検出光量分布を制御する液晶フィルタを開発し、金属光沢をもったはんだ付部の検出光量ばらつきに対応した。

欠陥判定実験の結果は、欠陥検出率 100%、誤検出率 0.06% であり、方式の有効性が確認できた。

最後に、本研究を進めるにあたり御支援、御指導をいただいた(株)日立製作所神奈川工場 佐川達成氏、佐藤靖博氏、柄崎晃一氏、液晶フィルタ開発に協力していただいた(株)日立製作所生産技術研究所(現、東京大学) 喜安千弥氏、装置開発に御協力いただいた(株)日立電子エンジニアリング 竹中泰雄氏ほかの方々に感謝の意を表します。

(平成 3 年 8 月 30 日受付)

文 献

- (1) Vanzetti & Traub: "Automated Laser Inspection of Solder Joints", ISTFA, p. 85 (1981)
- (2) Capson Sai-Kit Eng: "A Tired Color Illumination Approach for Visual Inspection of Solder Joints", Proc. Vision '86, p. 3-57 (1986)
- (3) Besl, Delp Jain: "Automatic Visual Inspection of Solder Joints", IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, p. 467 (1985)
- (4) 村岡: 「SMT におけるレーザ光線を用いたはんだ付外観検査装置の原理及び仕様紹介」: 精密工学会「ハンダ目視検査の自動化技術」講習会, p. 21 (昭 63)
- (5) 小林: 「色彩照明を用いたソルダージョイント検査」, 精密工学会誌, 56, 1375 (平 2)
- (6) Nayar, Sanderson, Weiss & Simon: "Specular Surface Inspection Using Structured Highlight and Gaussian Imagings", IEEE Trans. Robotics Automation, 6, 208 (1990)
- (7) Juha: "Why X-Ray Inspection for Solder Quality Must be Automated", Society of Manufacturing Engineers, No. EE-86-305, 17 (1986)
- (8) 三菱商事技術資料: 「超音波による配線板品質管理」, パテラ速報, p. 49 (昭 56)
- (9) 羽根・蟹江・服部: 「レーザ照射によるフォトサーマル効果を利用したはんだ接続不良の非接触検査」, 昭 63 精密工学会春季大会学術講演会論文集, O 34, p. 713
- (10) Nakagawa: "Automatic Visual Inspection of Printed Circuit Boards", Proc. SPIE, 336, Robot Vision, p. 121 (1982)
- (11) 中川・押田・二宮・佐々木: 「スポット光走査方式光切断法によるはんだ付部の形状検出」, 計測自動制御学会誌, 22, 982 (昭 61)
- (12) Hara: "A System for PCB Automated Inspection Using Fluorescent Light", Pattern Recognition, 10, 69 (1988)
- (13) 広井・中川・吉村・浜田・柄崎・美尾: 「スペックル振動検出・蛍光検出によるはんだ付部の自動外観検査」, 第 27 回計測自動制御学会学術講演会, p. 507 (昭 63)
- (14) 小林・村岡・渡辺・川島・安齊・荻上・生崎: 「全回路を LSI

で組み、三次元実装し、強制空冷する M-680/682 H のハードウェア技術」, 日経エレクトロニクス, 11 月 18 日号, p. 268 (昭 60)

- (15) 中原: 材料力学上巻, p. 373 (大 5) 養賢堂
- (16) 日本機械学会: 機械工学便覧, p. A3-51, A3-67 (昭 59) 日本機械学会
- (17) 本田: 「フラットパッケージのはんだ付け信頼性」, 電気通信学会学術講演会, R86-57, p. 19 (昭 62)
- (18) 山口: 「スペックル応用計測技術と最近の動向」, 計測と制御, 21, 881 (昭 54-9)

広井 高志 (正員)

昭和 31 年 9 月 13 日生。57 年 3 月東京工業大学大学院機械工学専攻修士課程修了。同年 4 月(株)日立製作所入社。以来、同社生産技術研究所にて自動外観検査技術の研究開発に従事。計測自動制御学会会員。

吉村 和士 (非会員)

昭和 34 年 12 月 10 日生。53 年 3 月長野県長野工業高等学校電気科卒業。同年(株)日立製作所入社。生産技術研究所に勤務。57 年日立京浜工業専門学院電子工学科修了。入社以来、自動外観検査技術の開発に従事。電子情報通信学会会員。

浜田 利満 (非会員)

昭和 23 年 1 月 31 日生。48 年 3 月早稲田大学大学院機械工学専攻修士課程修了。同年 4 月(株)日立製作所入社。以来、同社生産技術研究所にて画像処理技術による目視検査の自動化、精密位置検出の研究開発に従事。計測自動制御学会、精密工学会会員。

二宮 隆典 (非会員)

昭和 55 年 3 月大阪大学大学院通信工学専攻修士課程修了。同年 4 月(株)日立製作所入社。以来、高密度基板を対象とした自動外観検査など、画像処理の工業応用に関する研究に従事。現在、同社生産技術研究所第 3 部主任研究員。電子情報通信学会、情報処理学会、計測自動制御学会、IEEE 会員。

中 川 泰 夫 (正員)

昭和46年東京工業大学大学院生産機械工学専攻修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。生産技術研究所に勤務。工学博士。目視検査の自動化、精密位置検出の研究開発に従事。計測自動制御学会、システム制御情報学会、精密工学会、IEEE 会員。

佐々木 秀 昭 (非会員)

昭和17年9月13日生。41年3月武蔵工業大学工学部生産機械工学科卒業。同年4月(株)日立製作所入社。以後、神奈川工場にて生産技術の開発業務に従事。現在、同所生産技術部副技師長。溶接学会会員。

美 尾 恵 己 (非会員)

昭和25年3月23日生。45年3月沼津工業高等専門学校電気工学科卒業。同年4月(株)日立製作所に入社。以後、神奈川工場にて、大形計算機の実装技術、自動外観検査技術の開発に従事。現在、同所生産技術部主任技師。