IC リード外観検査システム

正員 塚田 敏彦 (豊田中研)

正員 小関 修 (豊田中研)

正員 山本 新 (豊田中研)

IC Lead Visual Inspection System

Toshihiko Tsukada, Member, Osamu Ozeki, Member, Shin Yamamoto, Member (Toyota Central Research & Development Laboratories Inc.)

Since bend and height errors of QFP IC leads cause assembly defects of components loaded on PCBs. A technique to inspect these errors in QFP ICs is indispensable. An inspection method for QFP IC using a 3-D vision sensor and a television camera has been developed. In the inspection method, the height of leads and the distance between leads, that is referred to as the pitch, are measured by the especially designed 3-D vision sensor. The lead length, which is the distance between the tips of confronting leads, is measured by the television camera. The 3-D vision sensor measures the height and pitch by triangulation with a slit light. In the measurement, slit light projection power and position are controlled in order to restrain the effect of solid dip coating on the lead surface.

The developed system containing these algorithms inspects a 44 pin QFP IC with a measurement accuracy of ± 0.02 mm and an inspection time of 7 seconds.

キーワード：三次元視覚センサ、IC リード、外観検査、TV カメラ

1. ま え が き

自動車の情報化や知能化に伴って、自動車に搭載される電子機器はますます多機能化し、そこに用いられる IC も年々増加の傾向にある。IC の数の増加と共に自動車用電子機器専用の ASIC の開発も盛んである。

これらは当初は半導体専門メーカーのものが多く用いられていたが、最近では自動車メーカーでの内製化も大幅に進んでいる。そのため、自動車メーカーでも IC などを含む LSI や回路基板の検査が必要となってきた。

これらの代表的な検査には、(1)プリント基板のパターン検査、(2)IC のリード外観検査、(3)実装部品の的外観検査、(4)はんだ付け部の外観検査などがある⁽¹⁾。プリント板のパターン検査は、パターンの太り・細り・断線などの欠陥を検査するもので、既にいくつもの報告例がある⁽²⁾⁽³⁾。

実装部品の的外観検査は、リード部品やチップ部品な

どの誤組付け・極性反転・部品の浮きなどを検査するもので、これについては数例の報告^{(4)~(6)}がある。

はんだ付け部の外観検査は、はんだの有無・過不足・短絡などを検査するもので、最近急激に注目されている^{(7)~(9)}。

IC リードの外観検査は、IC のリード高さ、相隣合うリード間のピッチおよび対向するリード先端間の距離（以下、リード長さという）を検査するもので、はんだブリッジやはんだ接合不良などを防止するために行われる。この検査は、通常 IC の製造直後や基板搭載前に実施されている。自動車に用いられる IC は、近年自動車用電子機器の高機能化に伴って多ピン化と狭ピッチ化の傾向にあり、ますますその必要性が増してきている。

これらに関しては、既に数例の報告がある。水野ら⁽¹⁰⁾は、Quad Flat Package 型 IC（以下、QFP 型 IC と呼ぶ）を対象に TV カメラでリード間ピッチとり

ードの高さを検査している。リードの高さは斜め下方より照明し、その対角方向に配置したTVカメラでそのシルエットを撮像し、二値画像処理によってその高さを検査しているが、斜めから投光するため検査できる高さの測定範囲が制約され、その精度も良好でない。

森永ら⁽¹¹⁾は、DIP (Dual Inline Package) 型ICを対象に、6台のTVカメラとストロボを組合せて各項目の検査をしている。リードの高さはリードの側面のTVカメラで測定するが、高さを直接測定するのではないために、リード上端の曲がりのために正確な高さ測定は行えない。

著者らは、直接高さを測定するために三次元視覚センサを開発し、このセンサとTVカメラを組合せて各項目を検査する新たな検査方式を考案し、この方式による検査システムを開発したので報告する。

本論文では、第2章で開発した検査方式を、第3章でこの方式を用いた検査システムの構成と検査アルゴリズムについて述べる。第4章では、評価実験により考案した検査方式の有効性と検査システムの性能について示す。

2. 検査方式

〈2・1〉 検査対象 薄型の四辺形をしたQFP型ICは、面実装化ができ実装密度を高くできるために最近広く使われ始めている。

図1はQFP型ICの外観を示したものである。このタイプのICには、四辺の長さが同じものや対向する二辺の長さだけが同じものがあり、ピン数も24ピンから多くなると300ピンにも及ぶものもある。ICの本体部はプラスチックまたはセラミックが用いられ、リード部は鉄とニッケルの合金が用いられている。

図2はICリード不良の一例を示したものである。正常なQFP型ICでは、リード間ピッチ、リード長さおよびリード高さは許容範囲内に収められている。このようなICで、リード間のピッチやリードの長さに不良があると、実装時にはんだブリッジの発生の原

因となり、またリード高さの不良ははんだ接合不良の原因となる。従って、実装前にはリード間ピッチと長さおよび高さの検査が必要となる。このうち、リード間のピッチやリード長さは比較的容易に検査できるが、リード高さの検査は容易ではない。

〈2・2〉 基本検査方式 図3は開発した検査方式である。この方式は、三次元視覚センサでリード高さとリード間ピッチを、TVカメラでリード長さを検査するものである。TVカメラは、その撮像画像によって検査のためのICの位置決めも行う。検査対象のQFP型ICの標準的なリード間ピッチ、リード長さはそれぞれ0.8mm、14.4mmである。これらを1台のTVカメラで精度良く計測するのは難しい。このため検査システムは、リード長さをTVカメラで測定し、リードピッチは三次元視覚センサによりリード高さと同時に測定するようにして、システムのコンパクト化を図っている。この三次元視覚センサは投光法による三角測量法を用いているため、検査すべき対象物の表面状態の影響を受けることがある。

図4は検査対象のQFP型ICのリード表面を示したものである。はんだ付けを容易にするため、リード表面にははんだディップコーティングが施されている。そのため、その表面は拡散反射面でもなく、また正反射面でもない。拡散反射面に正反射面が局在する表面となっており、その局在の仕方もリードにより異なっている。そのため、投光法を用いたときの測定にはこの表面性状に対する工夫が必要となる。

そこで著者らは、リード表面性状の影響を受けにくくして反射光を得る方法を考案した。図5にその方法を示す。この方法は、ICの製造工程において寸法が安定しているリードの幅を三次元視覚センサで測定し、この測定値を反射光の良否の目安にして、良好な反射光が得られるように投射するスリット光の強度と位置を制御する方法である。

図5(1)の(a)において、TVカメラで得たリード

図1 QFP型ICの外観
Fig. 1. Appearance of QFP IC.

図2 ICリード不良の例
Fig. 2. Example of defect of IC lead.

図3 基本検査方式
Fig. 3. Method of visual inspection for QFP IC.

図 4 IC リード表面
Fig. 4. Photograph of IC lead surface.

図 5 投射スリット光の制御
Fig. 5. Control of slit light.

の反射光画像のうち、[2]、[3]は、良好な反射光が得られ、それらのリード幅の測定値はリード幅の設計許容範囲に入っている。これに対し[1]は、反射光が弱すぎ、また[4]は反射光が強すぎて、いずれもリード幅の測定値が設計許容範囲に入っていない。そこで、リード幅の測定値が設計許容範囲に入るように、[1]については投射光強度を強くし、[4]については、投射光強度を弱くして良好な反射光を得る。

投射した光がリード表面の鏡面状態のような部分に当たったときには反射光が強すぎ、投射光制御だけではリード幅の測定値をその設計許容範囲にできないことがある。この場合は同図(2)に示すように投射位置を0.01 mm 間隔で移動させる投射位置制御を前述の

図 6 リード高さとリードピッチ測定の基本アルゴリズム
Fig. 6. Measuring method of IC lead height and pitch.

投射光強度制御に併用する。

図 6 は、この方式を用いた IC のリード高さ

とリードピッチを測定するための基本アルゴリズムである。まず、事前に設定した強度のスリット光を三次元視覚センサから投射し、それぞれのリードの断面形状を表す三次元座標データを検出する。この三次元座標データからリード幅を測定し、その測定値がリード幅の設計許容範囲にあるリードについては、その三次元座標データを蓄える。リード幅の測定値が設計許容範囲を外れているリードについては、まずスリット光投射強度制御を行い、それでも許容範囲内のリード幅の測定値が得られないときには、スリット光投射位置制御を併用する。この制御により設計許容範囲のリード幅測定値を得たのち、そのリードの三次元座標データを蓄える。

すべてのリードについて三次元座標データを蓄えた後、これらのデータからリード高さ

3. 検査システム

〈3・1〉 三次元視覚センサ リードの高さとピッチを測定するために、新しく三次元視覚センサを開発した。この視覚センサの三次元座標は、光切断法を用いた三角測量法で検出される。FA 分野で広く用いられるよう、高速・高精度かつ小型化の設計が行われている。

図 7 は、このような目的のために開発した三次元視

図 7 三次元視覚センサの構成
Fig. 7. Block diagram of 3-D vision sensor.

図 8 三次元視覚センサの外観
Fig. 8. Photograph of 3-D vision sensor.

表 1 三次元視覚センサの性能
Table 1. Performance of 3-D vision sensor.

動作距離	22 mm (Z)
測定範囲	6 mm (Y) × ±2.5 mm (Z)
測定点数	484点 (Y)
測定分解能	±0.012 mm (Y, Z)
測定時間	33.3 ms/484点

覚センサの構成である。このセンサは、スリット光源と TV カメラを内蔵したセンサヘッドと座標演算部で構成されている。高速に三次元座標を測定するために、座標演算はすべて座標演算部のハードウェアによりパイプライン処理される。TV カメラ上のスリット光画像は、受光素子の CCD 画素上で数画素に及ぶ。高精度に座標を検出するために、その中心位置は重心計算によって求めている。また、対象物の表面性状の影響を受けにくくするために、スリット光の対象物体からの反射強度に応じて投射する光強度が制御される。

図 8 は三次元視覚センサの外観である。センサヘッドで検出された三次元座標は、2 枚の専用ボードで実時間演算される。センサヘッドの重さは 780 g である。

表 1 に、この三次元視覚センサの性能を示す。測定範囲は、動作距離 22 mm の位置で 6.0 mm (Y) ×

図 9 検査システム
Fig. 9. Configuration of inspection system.

±2.5 mm (Z) である。測定精度は ±0.02 mm、検査時間は 1 スリット分の 484 点の演算に 33.3 ms である。

〈3・2〉 システムの構成 このシステムは、検査部と搬送部および処理部で構成される。図 9 に検査部と搬送部の構成の概略を示す。

検査部は、QFP 型 IC の位置決めとリード長さの測定を行う TV カメラ、リード高さおよびピッチ測定を行う三次元視覚センサ、および IC の位置決めを行う X-Y-θ ステージにより構成される。TV カメラの画素の X-Y 軸と三次元視覚センサのスリット光投射方向と X-Y ステージの移動方向は、あらかじめ一致するように設定されている。この X-Y-θ ステージの移動・回転の機械精度は、後述するこの検査の目標精度に比べ十分小さな値となるように、X-Y ステージの移動精度が ±5 μm、θ ステージ上面の回転時の平坦度が ±3 μm である。IC は真空ポンプにより θ ステージ上に固定される。また、IC に対して透過照明を用いてコントラストの良い画像を得ることで画像の二値化を容易にしている。

搬送部はパレットにより供給される IC を一つ一つ取出して θ ステージ上にセットし、検査の終わった IC については検査結果に応じて再びパレットに返す動作を行う。

処理部はパソコンにより検査部の制御・測定を行い、各種データの表示・検査判定を行っている。検査の判定値の変更、検査対象の IC の変更などもソフトウェアを変更することにより簡便に対応可能である。

図 10 に開発した検査システムの外観を示す。

〈3・3〉 検査アルゴリズム 図 11 は、開発した QFP 型 IC のリード外観検査アルゴリズムである。

図 10 検査システムの外観
Fig. 10. Photograph of inspection system.

図 11 リード外観検査アルゴリズム
Fig. 11. Algorithm for IC lead visual inspection.

三次元視覚センサによりリード高さとピッチを測定するためには、リード先端に正確にスリット光を投射する必要がある。そのため、ICのスリット光に対する正確な位置決めが必要である。本検査システムでは、TVカメラで得た画像をもとにICの傾きを補正し、更にその画像から得たICのリード先端の座標を基に、ICのリード先端をスリット光の直下に移動させて位置決めを行った後、三次元視覚センサによりリード高さとピッチを測定する。

TVカメラによるリード長さ測定は、前述したICの傾き補正の後、対向する二つのリード間距離を計算して行う。

図 12 に IC の傾き補正アルゴリズムを示す。傾き

図 12 IC 傾き補正アルゴリズム
Fig. 12. Algorithm for position correction of tilt IC.

補正は部品本体の外形により粗い補正を行い、次にリードの付け根により精密に補正を行う 2 段階で行う。粗い補正は、リードの付け根を高速かつ正確に検出するために行っている。

まず、透過照明された IC を TV カメラにより撮像し所定のレベルで二値化する。次に画像の収縮処理により、リード部を取除き部品本体の外形を抽出する。抽出された外形の 1 辺からサンプル点として等間隔に 10 点を選び、外形直線近似を行う。この直線の TV カメラ X 軸(または Y 軸)に対する傾きを IC の傾き角として検出し、その角度分だけ部品を回転させ傾き補正を行う。このとき本体の外形抽出だけでは、ばりのため精密な傾き補正はできない。そのため、製造工程上安定なリード付け根部を基準として精密な傾き補正を行う。

精密な傾き補正では、粗い傾き補正と同様に二値画像を得る。この二値画像から向かい合う辺のリード付け根部を検出する。向かい合ったリードの付け根部を結ぶ線分と TV カメラの X 軸(または Y 軸)との傾き角検出を行い、その角度を基に傾き補正を行う。このようにして精密に傾き補正された IC のリードの先端を検出して、その座標を求めることにより位置決めを行う。

図 13 にリード高さ・ピッチの測定アルゴリズムを示す。まず、前述した方法により位置決めされた IC の一辺のリード先端にスリット光を投射して三次元座標データを検出し蓄積する。このとき、反射光が良好でない場合は、投射光制御を行ってから三次元座標データを蓄積する。センサの測定範囲 (6 mm) に一辺の全リードが含まれない場合は、一部のリードをオーバーラップさせるように IC を平行移動させ、スリット光を投射する。一辺の測定が終了したら、IC を 90 度回

図 13 リード高さ・ピッチ測定アルゴリズム
Fig.13. Algorithm for measuring lead height and pitch.

転させ、残りの三辺について同様の測定を繰り返す。

四辺の全リードについて三次元座標データを蓄積した後、リード高さとピッチを算出する。ここでリード高さは、各リードの三次元座標データの高さの平均値として、またリードピッチは、各リードの幅方向の中心位置間距離として求める。リード高さとピッチを求めるとき、微小なリード表面の凹凸により生じるデータの欠落や、多重反射によるノイズなどは周辺の値を代入して補完する。

4. 評価実験

〈4・1〉 計測精度 表面性状の影響に対する投射光制御の有効性の検証と、投射光制御を行ったときの計測精度の評価を行うため、開発したシステムを用いて実験を行った。

図 14 は、実験の対象とした QFP 型 IC の外観である。本体は $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ の正方形で、1 辺が 11 リードで、全部で 44 本のリードがある。リード幅の設計値は 0.3 mm で、その他の設計値寸法は図に示しておりである。

投射光制御の有効性の検証は、投射光制御を行わない場合と行った場合のそれぞれについて、三次元視覚センサにより検出されたリードの反射光を比較することにより行った。

図 15(a) は投射光制御を行わないで、あらかじめ設定した一定強度のスリット光を投射したときのリー

図 14 検査対象とした QFP 型 IC
Fig.14. QFP IC used in the experiment.

図 15 リードにスリット光を投射して得られる反射光像の例

Fig.15. Examples of slit light image with (a) uncontrolled slit light, (b) controlled slit light.

ドからの反射光の例を示している。同図のうち、リード(1)からの反射光はリード幅全体から得られているが、(3)からの反射光はその反射位置がリード幅の上端に片寄っており、幅の設計許容値を満たしていない。更に、(2)、(3)では反射光の一部にかすれもある。これらは、IC リード表面に拡散反射面と正反射面が混在していることや、その反射率にむらがあるために生じているものである。

図 15(b) は、同じリードについてリード幅が設計許容値に入るように投射光制御を行った後の反射光を示している。投射強度と投射位置の制御により、リード(2)、(3)からの反射光がリード幅全体からかすれることなく良好に得られていることがわかる。

以上の実験結果から、投射光の制御がリードの表面性状の影響を抑制するのに有効であることが確認された。

計測精度は、目視検査でリード高さ、ピッチおよび長さがいずれも良好と判定された 25 個のサンプル(リード数で 1,100 本)を対象に、投射光制御を行った場合について調べた。各項目の真値はこのシステムによる測定後、リード表面の光沢を除去するための表面処理を行ってから、リード高さはスポット光型変位センサにより、リードピッチと長さは万能投影機により測定して求めた。

リード高さとしリードピッチの計測精度の実験結果をそれぞれ図 16(a)、(b)に示す。横軸は真値、縦軸はこのシステムによる測定値である。この結果より、

図 16 リード高さ・ピッチの計測精度
実験結果

Fig. 16. Accuracy of IC lead height measurement (a), accuracy of IC lead pitch measurement (b).

表 2 検査システムの性能

Table 2. Performance of inspection system.

項目	性能値
検査精度	(設計値公差)
リード高さ	$\pm 0.020 \text{ mm}$ (± 0.075)
リードピッチ	$\pm 0.028 \text{ mm}$ (± 0.100)
リード長さ	$\pm 0.080 \text{ mm}$ (± 0.400)
検査時間	7 秒 (平均) [処理: 3 秒 (平均), 搬送: 4 秒] (44 リード QFP 型 IC の場合)

リード高さ、ピッチの測定精度は $\pm 2\sigma$ (図中に破線で示す) で表して、それぞれ $\pm 0.02 \text{ mm}$, $\pm 0.028 \text{ mm}$ であることがわかる。この測定精度を決めている誤差要因は、リード高さについては、三次元視覚センサ自体の座標測定精度、 θ ステージの平たん度および IC の本体の厚みの非一様性 (実測で約 $\pm 5 \mu\text{m}$) などが、またリードピッチについては、三次元視覚センサの座標測定精度が支配的と考えられる。

ここで、誤差要因が多いにもかかわらずリード高さの測定精度がリードピッチのそれよりも良好であるのは、リードピッチは各リードの幅方向の両端の 2 点の

座標データから求めるため、センサの座標測定精度の影響が大きいのに対し、リード高さは各リードの幅方向の多数点 (平均 24 点) の高さデータの平均値として求めるため、センサの座標測定精度が見掛け上改善され、その影響が小さくなるためと考えられる。

この IC の設計上の寸法許容値は図 14 に示すとおり、リード高さで $\pm 0.075 \text{ mm}$ 、リードピッチで $\pm 0.1 \text{ mm}$ であり、検査のためそれらを測定するときの目標精度はこの許容値の $1/3$ 以下に決められている。

上述のリード高さやリードピッチの測定精度は、いずれもこの目標精度を満足している。また、TV カメラで測定するリード長さの測定精度についても目標精度を満たす $\pm 0.080 \text{ mm} (\pm 2\sigma)$ が得られた。これらの結果より、開発したアルゴリズムとシステムの有効性が確認された。

〈4・2〉 システム性能 表 2 に開発したシステムの性能をまとめて示す。

検査時間は投射光制御の回数の違いにより変化するが、平均で IC 1 個あたり 7 秒である。この 7 秒のうち、IC の位置決め、投射光制御、測定などの処理が平均で 3 秒、パレットからの IC の出し入れ、TV カメラと三次元視覚センサ間の移動のための搬送が 4 秒である。

5. ま と め

本論文では、開発した三次元視覚センサ、このセンサと TV カメラを用いた QFP 型 IC のリード外観検査方式、およびこの方式による検査システムについて述べた。

三次元視覚センサを用いて、リード表面性状の影響を考慮した検査方式により、これまで精度良く測定することが難しかった IC のリード高さも精度良く測定することができるようになった。更に、検査に必要な位置決めを長さ測定と同一の TV カメラで行い、リードピッチ測定を三次元視覚センサでリード高さと同時間測定を行うことで、コンパクトな装置構成を実現できた。

また、この検査システムの性能評価実験では、限度見本 25 サンプルの 1,100 リードについて、リード高さが $\pm 0.020 \text{ mm}$ 、リードピッチが $\pm 0.028 \text{ mm}$ 、リード長さが $\pm 0.080 \text{ mm}$ の測定精度が得られ、目視検査では得られない定量評価ができるようになり、検査品質が大幅に向上した。今後は、この検査システムの現場稼働を進める予定である。

最後に、本システムの研究開発を進めるにあたり、

熱心に御討議いただいた日本電装(株)の関係各位およびシステム製作に御支援をいただいた豊田通商(株)の関係各位に感謝の意を表します。

(平成3年7月25日受付, 同3年12月10日再受付)

文 献

- (1) 例えば, 中川: 「電子産業における目視検査の自動化」, 電学論 D, **109**, 458 (平成7)
- (2) 原・柄崎・宇部: 「プリント基板パターン検査の自動化」, 信学論, **J67-C**, 435 (昭59-5)
- (3) N. Ninomiya & Y. Nakagawa: "Automated Pattern Inspection for Unbaked Layers of Multi-Layer Ceramic Substrates", Proc. of IEEE Int. Work shop on Machine vision & Machine Intelligence, p. 346 (1987)
- (4) 稲垣・柿木・安藤: 「三次元姿勢計測による実装部品検査技術」, 電学論 C, **106**, 49 (昭61-4)
- (5) 高木・勝田・泰・大井・村田・小林: 「光切断法を用いた面付け基板の外観検査装置」, 精密工学会画像応用技術専門委員会報告, **3**, 1, p. 1 (昭63)
- (6) 津田・池谷・荒木・三宅・鳥羽・脊戸: 「光切断法による高速三次元計測とその応用」, テレビ学会技報, **14**, 49, p. 13 (平2)
- (7) 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け部の形状検出」, 計測自動制御学論, **22**, 982 (昭61-9)
- (8) 名古屋電気工業(株)総合研究所: 「レーザインスペクタ NLB-1500 型」, 技術資料 (昭62)
- (9) 小林: 「はんだ付け自動検査技術について」, 精密工学会画像応用技術専門委員会報告, **4**, 1, p. 11 (平成)
- (10) 水野・木村: 「フラットパッケージ IC のリード検査技術の開発」, 第1回日本自動制御協会インテリジェント FA シンポジウム, p. 73 (昭62)
- (11) 森永・東野: 「IC 外観検査装置」, 昭62 電気関係学会九州支部連大, p. 303

塚田 敏彦 (正員)

昭和63年名古屋大学大学院修士課程修了。同年(株)豊田中央研究所入社。以来, 画像処理を用いた三次元計測・認識・検査の研究および応用装置の開発に従事。現在, 同所研究8部所属。電子情報通信学会会員。

小 関 修 (正員)

昭和56年名古屋工業大学大学院修士課程修了。41年(株)豊田中央研究所入社。以来, 自動車用マイクロ波レーダ, 自動車用電子機器の電磁障害, 画像処理を用いた三次元計測・認識の研究と開発に従事。現在, 同所研究8部研究員。電子情報通信学会, 計測自動制御学会, 精密工学会会員。

山 本 新 (正 員)

昭和40年岐阜大学工学部電気工学科卒業。同年(株)豊田中央研究所入社。以来, 電気自動車の制御方式, 自動車用電子機器の電磁障害, 画像処理を用いた刻印文字認識と三次元計測・認識および無人搬送システムの視覚に関する研究と開発に従事。現在, 同所研究8部主席研究員。工学博士。1984年IEEE-VTS Paper Award受賞。電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本ロボット学会, 精密工学会, 自動車技術会会員。