

三次元はんだ付形状検査機

3D Solder Profile Inspection Machine

工作機械事業部 上田 茂夫*¹ 繁山 直樹*²
技術本部 溝口 正信*³ 池田 弘昭*⁴

プリント基板実装におけるはんだ付外観検査機を開発した。本機はレーザ光切断法によりはんだ付部の断面形状計測を行い高い検査能力を有する。実用化に当っては、①多様な部品種への適応、②垂直面の映りにくさ、③基板の反り、④隣接部品からの多重反射、⑤インライン対応を可能とする高速化、といった課題があったが、マルチカメラ、マルチスリットレーザ、2段階基板反り補正、スリットレーザ照射域可変、連続画像取込み可能な高速画像処理等の技術により解決した。この結果、目視検査に比べ、10倍の検査性能（不良検出率）をフィールドにて確認できた。

The solder profile inspection machine we developed for mounting devices on printed circuit boards measures cross-sectional solder profiles using an optical plane. The new system includes a multicamera for inspecting different component sizes, multislit lasers for lighting vertical cross-sections, correction of board curvature, a laser iris decreasing reflection from neighboring components, and shorter inspection time. Inspection by this equipment is 10 times more reliable than visual inspection.

1. ま え が き

プリント基板実装分野では、モバイル機器の普及を背景に部品の小型化、高密度実装化が進んでいる。そのため、もはや人間の目に頼ったはんだ付の形状品質の検査は、不可能になりつつある。こうした目視検査を自動化するプリント基板外観検査装置は従来から存在した。しかし、これらのほとんどが、部品位置のずれは分かるが肝心のはんだ不良の検査は不可能であり、ユーザの満足する検査性能を持合せたものではなかった。当社では従来から、光切断法を用いた非接触三次元形状測定機を製品化していた。この技術をダウンサイジング及び高精度化し、はんだ部の断面形状を計測することではんだ不良を確実に検出できる三菱3Dハンダ付形状検査機M-ISPシリーズを開発した。

2. 検査機概要

代表機種 M-ISP 33 A の諸元を表1に、装置外観を図1に示す。なお、本機は、はんだのみならず、基板実装において発生し得る不良モードの大半を検査することができる。検査可能な不良モ

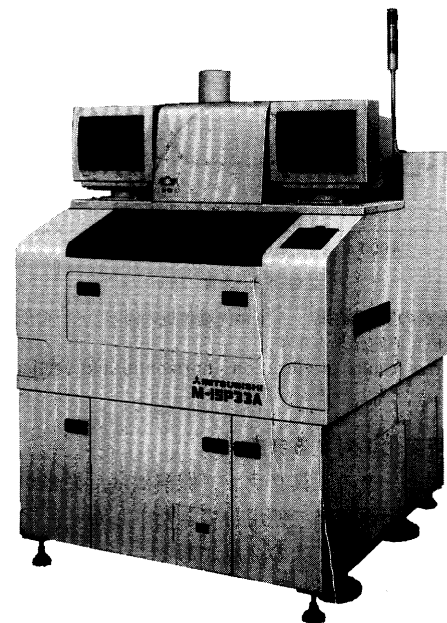


図1 装置外観
Over view of inspection machine

表1 M-ISP 33 A 諸元
Standard specifications of M-ISP 33 A

項目	仕様
対象基板	外形 50×50～330×250 mm 厚さ 0.5～3 mm 部品高さ 上下面共 20 mm
検査対象	表面実装部品 (QFP, SOP, チップ等)
検査項目	はんだ小、不ぬれ、ブリッジ、浮き、 極性、表裏、有無、ずれ
検査点数	最大 20 000 点
検査時間	9 ms/点 (移動時間は含まず)
ヘッド	撮像系 分解能 4 μm×3 箇 (左, 中央, 右) 分解能 12 μm×3 箇 (左, 中央, 右) レーザ 3 方向
機械外形	W 1 200×D 1 335×H 1 786 mm
質量	1 300 kg

ードとしては、はんだブリッジ、有極性部品の極性違い、実装ずれ、チップ部品の表裏反転がある。

2.1 検査原理

形状計測には光切断法を用いている。レーザ光を幅 5 μm×長さ 5 mm のラインパターンにし、はんだや部品に照射する。これを斜めから CCD カメラで撮影することで、検査対象の断面形状を現す画像を取込むことができる [図2 (a) 参照]。この画像を画像処理、座標変換することで、検査対象の断面の XZ データが得られる。

このデータから、はんだの良否を決定付ける特徴量、すなわちはんだのぬれ高さ、ぬれ角度、断面積といった物理量を求め [図2 (b) 参照]、しきい値と比較し、はんだ量の多少、はんだぬれ性の善しあしを評価する。

*1 技術部広工設計課主席
*2 技術部広工設計課

*3 エレクトロニクス技術部エレクトロニクス技術開発センター主席
*4 広島研究所印刷機械研究室主席

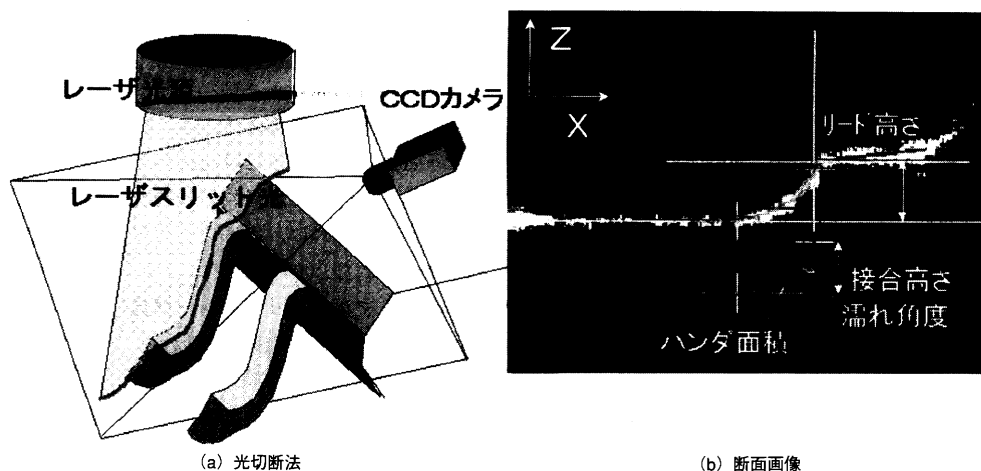


図2 原理説明 光切断法を用い、得られた画像から、はんだ良否を決める特徴量を計測する。
Explanation of principle

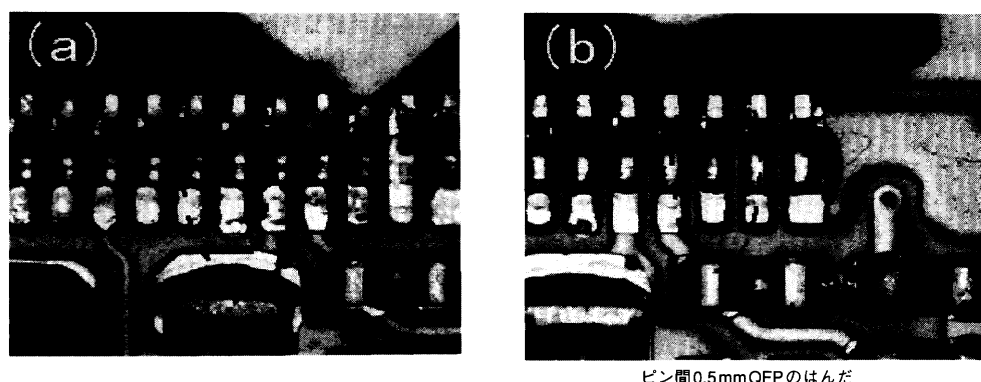


図3 二次元で見たはんだ画像 二次元的に捕えたはんだ画像。(a)は一見リード浮きに見える。(b)は正常に見える。
Picture of solder part at 2-D method

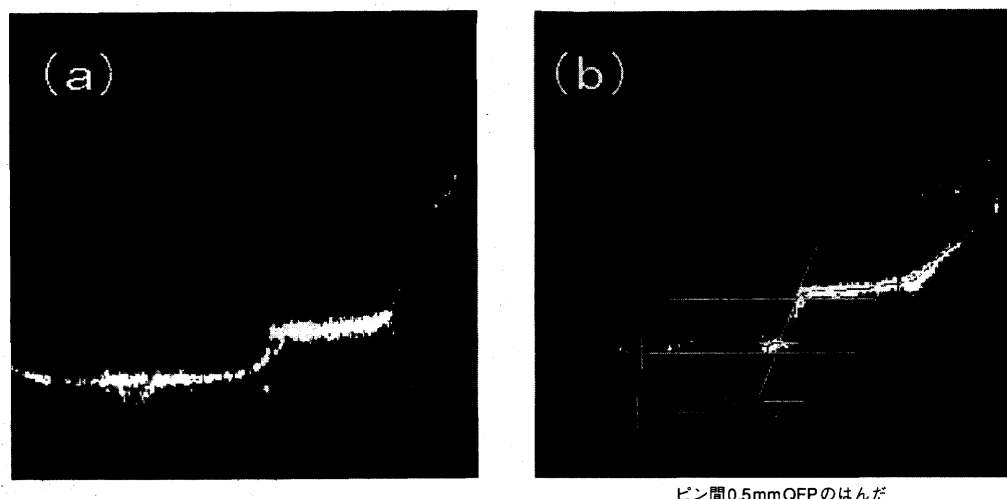


図4 三次元で見たはんだ画像 図3のピンを本機で撮像した画像。(a)は正常はんだ、(b)は盛上ったはんだであることが、三次元で初めて分かる。
Picture of solder part at 3-D method

2.2 実画像例

図3は従来型で基板上空から撮影し画像の色合の違いで判断する、いわゆる二次元画像処理での画像、図4は、本機での画像である。

(a)の対象について、図3の二次元画像では、はんだ部が若干白いことから、一見リードが浮いているように見える。これを図4

の三次元で見ると、はんだは少ないものの、正常にぬれ上っていることが分かる。

(b)の対象について図3の二次元画像では、他のピンと大差なく、一見正常に見えるが、図4の三次元で見ると、ハンダが盛上っていること、リードが浮いていることが分かる。

このように三次元画像を用いることで、二次元画像処理で困難

とされていたはんだ不良を確実に検出することができる。

2.3 特 徴

本機の特徴を以下にまとめる。

- (1) 高さを含めた三次元計測が可能
- (2) 明るさといった間接的な情報ではなく、形状を数値化した情報での検査が可能
- (3) 1箇所当り 9 ms の高速画像処理が可能
この結果、以下の利点をユーザに提供できる。
 - (1) 従来困難とされていた高密度実装のはんだ形状検査の検出性能が高い
 - (2) 従来不可能だった部品やリード浮き等の高さ情報を必要とする検査が可能
 - (3) 従来のように明るさ情報をベースにしていなかったので経年変化や基板の材質、色の微妙な変化に対し安定した検査が可能
 - (4) 判定が数値化情報であるため、試行錯誤なく容易にしきい値設定が可能

3. 検出性能向上技術

光切断法をはんだ形状検査に適用する場合、従来、以下に示す種々の課題があり、これらをどのように解決したかを述べる。

従来法での課題

- (1) 対象部品のサイズや種類が多く検査条件が多岐にわたる。
 - ・ 0.15 mm 厚みのリード
 - ・ 0.6×0.3 mm のチップ
 - ・ 高さ 3 mm のパッケージ等
- (2) 部品の垂直壁に吸上がったはんだ形状が認識できない。
- (3) 周囲のはんだによる二次反射ノイズが発生し誤認識を生じる。
- (4) 基板の反りにより精度の良い計測ができない。

3.1 カメラ構成

基板には種々のサイズの部品が実装される。これに対応するため、視野の異なる2種のカメラを装備した。これにより、部品やサイズやはんだ部の大きさに応じて適した視野のカメラを選択できる。また、従来は基板面内でスリットレーザ光長手方向に鉛直なカメラのみであったが、部品とはんだ接合部をより明りょうに映し出すために、斜めにもカメラを配置している。図5に各カメラが撮えた1005チップコンデンサのはんだ検査画像を示す。

3.2 マルチスリットレーザ光

はんだは部品の垂直壁に吸上がる形で形成される。一方、はんだ検査の性能を高めるには、はんだと部品の境界を正しく求めることが最も重要である。ところが垂直壁には、以下の問題があり、検出性能低下の大きな要因となる。

- ① 長手方向に拡散するレーザスリット光では、部品上面の死角となり、垂直壁にはレーザが当たらない。
- ② レーザスリット光長手方向に対し鉛直な方向からの撮影では、垂直壁は部品前面の死角となる。

そこで、①については、特殊光学系を用い、コリメートされたレーザスリット光を形成し、さらに、斜めからもレーザスリット光を当て、部品の垂直壁を積極的に照らすようにした。このようにして3方向から同時照射可能なレーザ光源装置を実現した。

②についても同様の考えで、前述の斜め位置カメラを配備し、垂直壁の計測を可能とした。

3.3 レーザ照射域可変

部品間隣接ピッチは最も小さいもので0.1 mm程度のものがある。また、現実の実装基板には、部品だけでなくテストランドといったはんだの島がある。このため、被検査対象にレーザを当てたとき、同時にこのはんだ島にもレーザが当たり、予想できない2

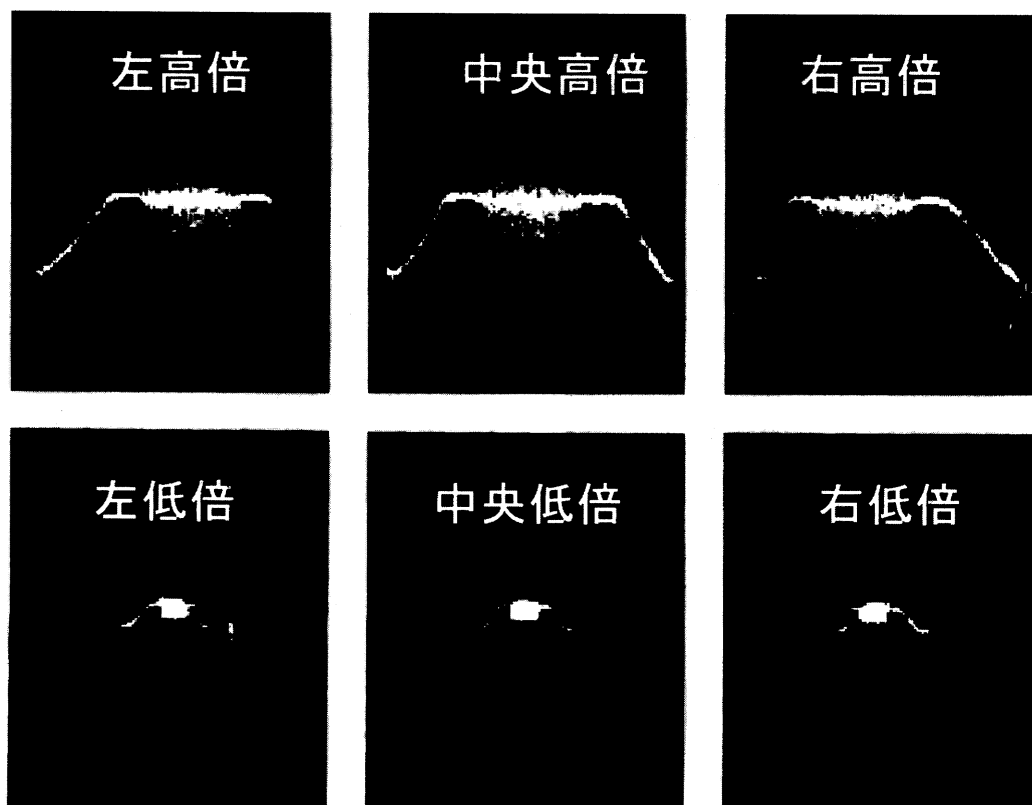


図5 本機のマルチカメラで撮像した1005チップ 1005チップ (1.0×0.5 mm) の画像を示す。
Picture of 1005 chip component captured by multicamera

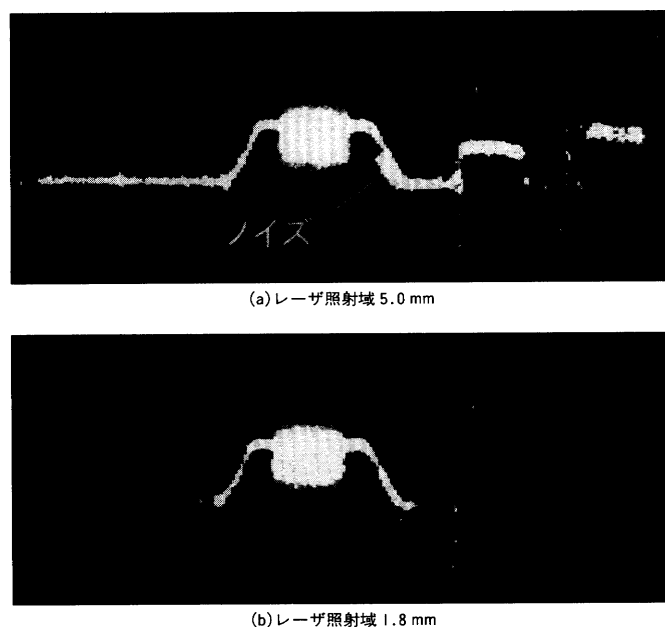


図6 レーザ照射域可変によるノイズ除去 (a)の照射域5 mm時に存在したノイズが、(b)の照射域1.8 mmにすると除去される。

Reduction of image noise using variable laser length mechanism

次反射ノイズ画像を生じ、誤検出を引起すことがある。このようなケースに対応するため、レーザ鏡筒の出射部に高速動作可能な絞り機構を装備した。この絞り機構を用い、レーザスリット光照射領域を可変にすることで、検査対象以外にレーザが当たらないよう制御している。図6(a)に2次反射が発生している画像及び、(b)にレーザ長を可変し、2次反射ノイズが除去された画像を示す。

3.4 反り補正機能

実装基板には部品の重量、はんだを溶融させるための加熱等により最大2 mm程度の反りが発生することがある。本機は高さを計測するため、基準面が明確でなければ、反りの影響により、その高さは誤差を含んでしまう。

そこで、本機は検査動作の前に、基板全面の代表点を4~25箇所計測し、基板がどのように反っているかを、代表点で囲まれた面内で直線近似し、面の高さが常に視野中心にくるよう、カメラを上下に制御しながらレーザ照射位置を位置決めしている。これにより、基板が大きく反っている場合でも、被検査対象をほぼ視野中心に位置決めできる。さらに、検査時は視野に入った基板表面画像から基板面の高さを実測し、これを高さの基準とし、はんだや各部高さを計測する。したがって、反りには影響を受けず正確な検査を可能とした。

4. 検査の高速化技術

4.1 高速位置決め技術

基板1枚当たり、検査すべきポイント数は数千に及ぶ。しかもその移動距離は、あるサンプルでは平均11.5 mmであり、短い距離をいかに短時間で位置決めできるかが、高速化のかぎとなる。

そこで、箱型構造のアルミニウム系鋳物テーブルの採用、大径ボールスクリー、鋳物ベッドの採用により、軽量高剛性なXY

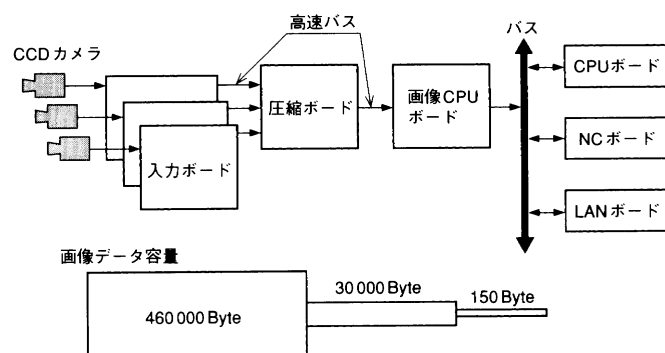


図7 画像処理装置ブロック図 本機用高速画像処理装置のブロック図を示す。データをリアルタイムに圧縮することで高速化を実現。
Block diagram of image processing unit

表2 稼働実績例

Actual results of operation

項目	検査機	生産ライン
生産能力	検査枚数 873 枚/d	実装ライン 819 枚/d
不良流出率	検査機使用 0.4 ppm	目視検査 4 ppm

サンプル：家電製品用基板 部品数 619 点
検査ポイント数 2 250 点

テーブルとした。また、テーブルの制御には当社が開発した NC ボードを採用した。この結果最大加速度 3 G、位置決め遅れ時間最小 9 ms の高速位置決めを実現した。

4.2 高速画像処理技術

基板上にはチップ部品のようにランダムに配置され、1つずつ位置決めして検査を行うものと、ICのように一定ピッチでリードが並ぶものがある。このICの場合、一箇所ずつ位置決めするよりは、定速で移動しながら検査対象上部にきた瞬間に画像を取込む方が、加減速不要なため高速性の点で有利である。本機は当社で開発した専用画像処理装置(図7参照)を搭載している。この装置は、① CCDカメラから入力される460 KBもの大容量データをリアルタイムで10%以下に圧縮、②これを画像処理CPUがソフト処理し、はんだの特徴量を出力、③圧縮ボードは画像処理CPUと並行に動作可能とし、画像処理CPUがソフト処理している間でも、次の画像圧縮を行うことができるものとした。

この結果、ICの検査において、最小9 ms周期で連続的に画像取込みが可能となり、高速検査を実現している。

5. まとめ

表2に示す本機ユーザの稼働実績例のとおり、品質向上及び目視検査員の低減を実現した。これにより、更なる生産性向上を図る電子部品実装業界に大きく寄与することができた。

なお、本機は単に検査装置単体にとどまらず、①部品実装のために作ったデータを検査プログラムに自動変換する装置、②モニタリングパソコンに検査結果を送信しグラフィカルに不良発生位置を表示し、修理必要箇所を通知する修理工程支援装置までのトータルシステムとしてユーザに提供している。