

大型実装基板対応印刷はんだ検査機

Solder Paste Inspector Suitable for Large Printed Circuit Boards

益田 紀彦 Norihiko Masuda, 木村 剛 Takeshi Kimura

[要 旨]	EMS をターゲットにしたLサイズ(510×460mm)の基板までインライン検査が可能な印刷はんだ検査機を開発した。特に操作性を考慮し、オペレータが迅速に簡単な操作で判定結果とはんだの3D形状を確認できるようにした。ステージの軽量化と、新開発のバックアップユニットにより耐振性を向上した。3次元形状測定用センサには、異なる反射特性を持つパッドとはんだの反射光を受光するための2つの独立な受光系を設け、さらに走査回数の密度を従来比2倍に向上することで高速高精度な測定を実現した。
[Summary]	We developed the MK5402L Solder Paste Inspector for the EMS (electronics manufacturing service) market. It can check the solder paste printed conditions of a large printed circuit board (510 x 460 mm) by using a high-accuracy scanning laser displacement meter. We designed it especially for easy operation, so the results and 3D solder profiles can be evaluated easily. We upgraded the anti-vibration characteristics by lightening the stage and using a newly developed printed circuit board back-up unit. We use two independent optical systems to receive specular reflection and scatter reflection from pads and solder paste, respectively. Moreover, we have achieved high speed and high-accuracy measurement by doubling scanning times.

1 はじめに

世界的な製品開発サイクルの短縮と低価格競争の中で、エレクトロニクスのセットメーカでは EMS (electronics manufacturing service) と呼ばれる自社ブランドをもたない製造受託会社に製造業務を委託し、自社のリソースを製品開発やサービスにシフトするケースが増えている。EMS 企業はセットメーカからの要求に答えるため、フレキシブルでありながらも安価で質の高い製品を安定的に供給できる生産システムを構築する必要がある。特にプリント基板の実装工程では QFP (Quad Flat Package), CSP (Chip Scale Package) などの LSI や 0603 サイズ (0.6×0.3mm) 等のチップ部品の高密度実装化が進んでおり、歩留まりと信頼性の向上のために、部品搭載前のプリント基板に印刷された各パッド上のはんだの状態(体積・高さ・面積)を検査することの重要性が認識されてきている。そうした中で我々は従来から「印刷はんだ検査機」¹⁾を開発し供給してきたが、このたび特に EMS での使用を考慮したLサイズ(510×460mm)のプリント基板まで高速・高精度にインライン検査が可能な印刷はんだ検査機 MK5402Lを開発した。MK5402Lの外観図を図1に示す。

2 構成, 原理

2.1 全体構成

本機の構成を図2に示す。本機は3次元変位測定用センサ(以下センサ)、センサを搭載したガントリー型ステージ(X, Y, Zス



図1 MK5402L 外観図
External view of MK5402L

テージ)、プリント基板の搬入・搬出を行う基板搬送部、システム全体を制御するとともにセンサから信号を受けてプリント基板上のはんだ形状の演算・表示・良否判定および検査データを保管する制御部により構成されている。また、隣接して設置されている実装機などから発生する振動が本機の測定に影響を及ぼさないように、架台と測定部との間に防振ゴムを挿入し、床面より伝わる振動を遮断している。さらに、測定中にステージの駆動などにより発生する微小な振動についても、プリント基板の裏面を弾性体で支持するバックアップユニットを装備し振動を軽減することで、安定した測定が可能となっている。

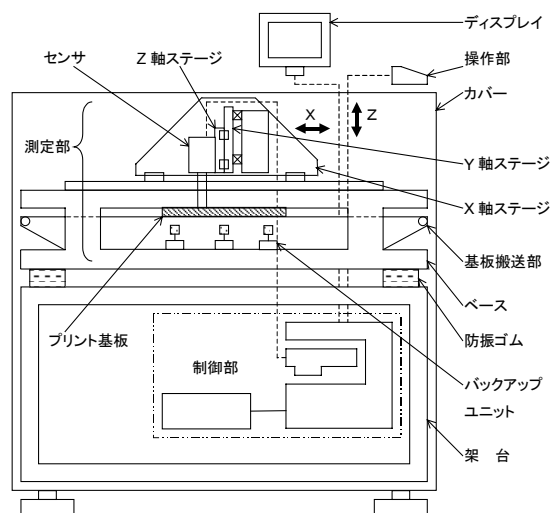


図2 MK5402L ブロック図
Block diagram of MK5402L

測定方法を図3に示す。本機はまずX方向に26mmのレーザ光走査幅をもつセンサを副走査方向(Y方向)に移動しながら1ラインの測定を行う。次にセンサを走査方向に移動し、同様に副走査方向(Y方向)に移動しながら1ラインの測定を行う。これを繰返すことにより、プリント基板の全面を測定する。

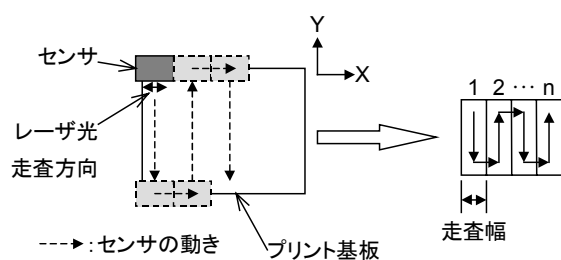


図3 測定方法
Scanning path

プリント基板は幅方向にも長手方向にも反っていることがあるので、レーザ光の走査方向に対してはプリント基板の反りを26mmあたり1mm以下になるように機械的な矯正機構を設けた。(図4)

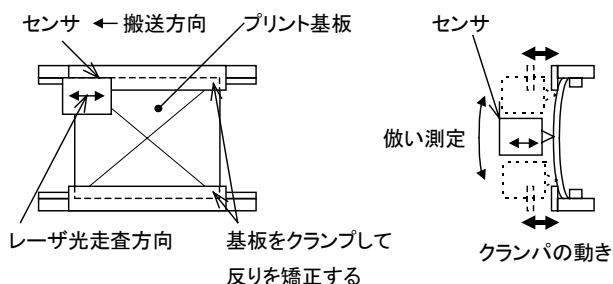


図4 反り矯正および倣い測定
Warp correction and automatic tracing measurement

副走査方向に対してはプリント基板とセンサ間の距離の変化が $\pm 0.5\text{mm}$ 以内に収まるようにセンサを高さ方向に移動させながら測定する倣い測定とした。これにより $510 \times 460\text{mm}$ のプリント基板で最大5mmまで反っていても問題なく測定可能である。

2.2 センサの測定原理

本機に搭載している3次元変位測定用センサは三角測量方式を応用した走査型の変位センサであり、測定対象からの反射光に対して正反射光用と散乱光用に独立した2つの受光系を備え、表面状態に応じた受光系を選択する構造となっている。センサ内部の構成を図5に示す。測定対象にレーザ光を照射すると照射点の高さに応じてPSD (Position Sensitive Detector) 上での結像位置が変化する。PSDは結像位置に応じた電気信号を出力するので、PSDの出力信号から測定対象の高さおよび受光量を検出することができる。したがって、ポリゴンミラースキャナによってレーザ光を走査すると、レーザ光が照射された線上における測定対象の断面形状を得ることができる。さらにセンサを副走査方向に移動することにより、面全体の高さ情報を得ることができ、高さ情報を明暗に対応させて表示すると距離画像が作成できる。また、高さ情報を得る時は同時に反射光の輝度情報を得ており、輝度情報を基にした輝度画像も作成する。これら距離画像と輝度画像を組合せて、はんだの形状計測やプリント基板の認識マークの位置検出を行っている。

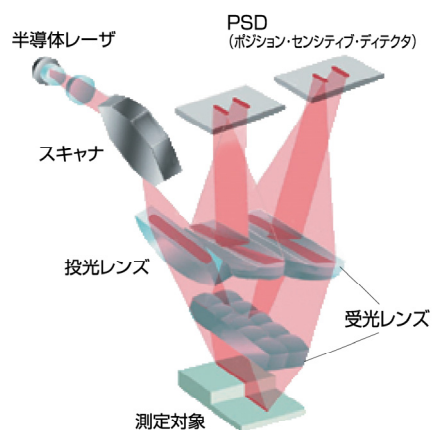


図5 光学系概要
Principle of scanning displacement meter

2.3 信号処理

ソフトウェアブロック図を図6に示す。ソフトウェアはWindowsXP ProfessionalをOSとしたパソコン上で動作する。パソコンは、大容量の距離・輝度画像を高速に演算処理するためCPU: Pentium4 Xeon 2.8GHz $\times$ 2、主メモリ4GBを搭載したモデルを

採用している。センサから PCI バスを経由して取り込まれるセンサデータは明るさを表す輝度成分と距離を表す変位成分が合成されている。それらのデータのノイズ成分などを除去するために輝度・変位それぞれにサイズの異なる移動平均フィルタ処理をしているが、搭載された 2 つの CPU を有効に活用することで、走査しながら取り込まれる大量のデータを並列に処理し、タクトタイムの短縮を実現している。

また、フィルタ処理後の画像は演算処理によって、各はんだの高さ・体積・面積などを求めるが、その処理においてもフィルタ処理と同様にパソコンに搭載された 2 つの CPU を有効利用して並列に演算処理を実行することで処理時間を短縮している。

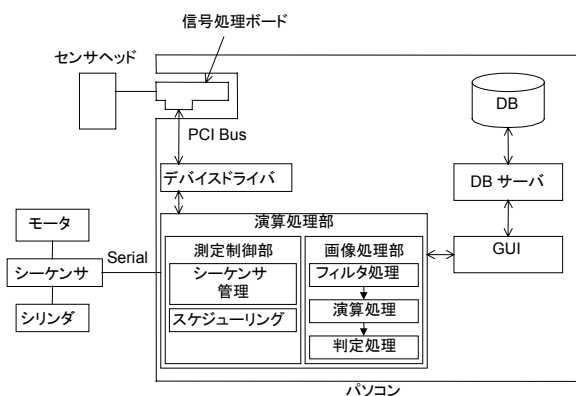


図 6 ソフトウェアブロック図
Block diagram of software

3 設計の要点

3.1 認識しやすい操作画面

これまでアンリツの印刷はんだ検査機は、顧客からセンサ性能、タクトタイムについては評価されてきた。今回の開発ではそれに加え操作性も向上させた。インラインで使用するためにはラインオペレータがすばやく簡単に操作できることが要求されている。特に「世界の製造工場」といわれる中国では日本国内と異なり、ラインオペレータに機械の複雑な操作をさせないことが多いため、さらに強い要求となっている。この要求に応えるためこれまでの操作画面(管理モード: 図 7, 図 8)に加え、生産モードと呼ばれる画面を開発した(図 9)。製造ラインのオペレータは各はんだの詳細な設定値よりもプリント基板上の NG 箇所および NG はんだの形状の確認を重要視する。そこで生産モード画面は、これまで管理モードでは別々のウィンドウとなっていた NG 箇所の表示と 3D プロファイルによるはんだ形状の表示を一つの画面にまとめることで、NG 箇所の確認と NG はんだ形状の確認を容易にした。また、生産

モードではこれまでの管理モードの測定画面よりボタンを大きくし、アイコン表示することで操作手順をよりわかりやすくした。これに対し製造ラインの管理者は、より詳細な測定値などのデータが必要になることがあるため、簡単な操作で生産モードと管理モードの切り換えを可能とした。

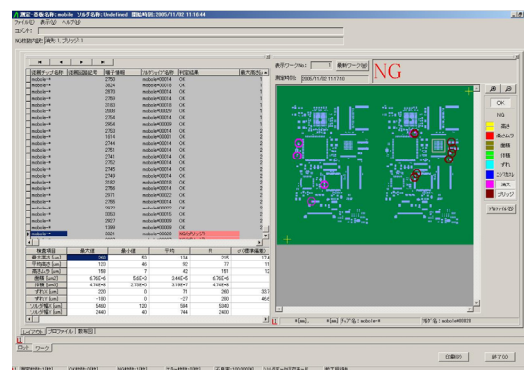


図 7 管理モード画面(レイアウト)
Administrator mode (Layout)

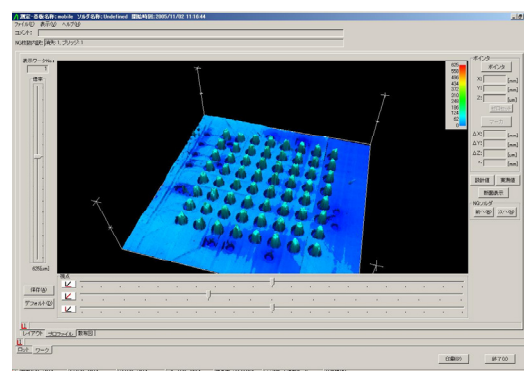


図 8 管理モード画面(3D プロファイル)
Administrator mode (3D Profile)

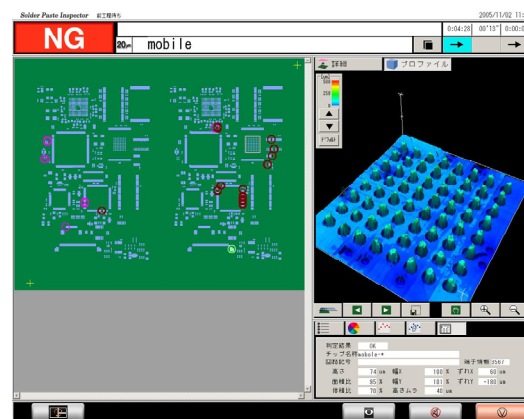


図 9 生産モード画面
Operator mode

3.2 使いやすい構造

MK5402L ではオペレータがプリント基板の検査結果を正面、背面のどちらからでも確認できるように両面に操作部を配置し、モニタを 180° 回転可能な構造とした。さらに、エラー発生時にも背面からフードを開けてプリント基板を確認できるように、場所をとらないガルウィング式開閉フードを両面に設け、オペレータが迅速に対応できる設計とした。メンテナンスに必要な点検用ハッチは内部点検やベルト交換などの消耗品交換を容易に行えるように、フードとの境界の枠をなくし作業空間をより広く設けられるよう設計した(図 10)。また、搬送されたプリント基板を所定位置に停止させる機能を持つストップの突き当て部分に、カムフォロア構造を採用した。プリント基板がストップに衝突するとプリント基板が微小回転し、それに伴ってカムフォロアも微小回転する。これによりストップの偏摩耗を防ぎ従来よりも耐久性が向上した。

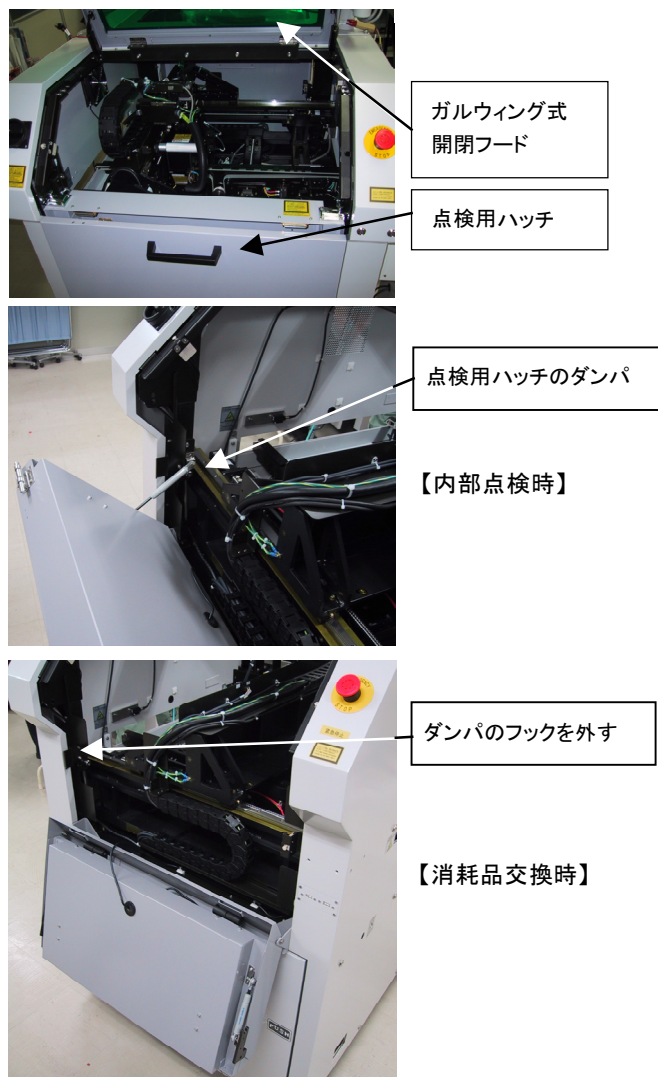


図 10 開閉フードの構造
Structure of hoods

3.3 倍密度 2 眼受光センサの開発

3.3.1 測定時間 1/2 を実現

MK5402L に搭載した 3 次元変位測定用センサ²⁾は、時間あたりの走査回数を従来機比で 2 倍にすることにより測定の高速度を実現している。投光レーザビームの走査手段としてはポリゴンミラースキャナを採用しており、ポリゴンミラースキャナの回転数を上げれば単位時間当たりの走査回数は多くなるが、信号処理の都合からポリゴンミラースキャナの回転数を上げることはできなかった。しかし、ポリゴンミラースキャナによるレーザビームの走査を見ると、通常は走査に必要な偏向角がポリゴンミラースキャナの最大偏向角よりも小さいため、有効走査区間外の偏向角は無効走査区間となっており、この無効走査区間を小さくすれば単位時間当たりの走査回数を多くすることができる。無効走査区間を小さくするためにはポリゴンミラースキャナの面数を増やす方法があるが、ビーム径がポリゴンミラースキャナのエッジでけられてしまうため有効走査区間を 50% 以上にすることは不可能であった。そこで本センサでは、光源からの光束を A、B の 2 つに分離してポリゴンミラースキャナの反射面に対して異なる角度と位置で入射する方式とした(図 11)。一方の光束(A 光束)が無効走査区間にあるときにもう一方の光束(B 光束)が有効走査区間となるようにして互いに無効走査区間を補うようにした(図 12)。これにより単位時間あたりの走査回数を 2 倍にして、測定時間を半分にすることができた。

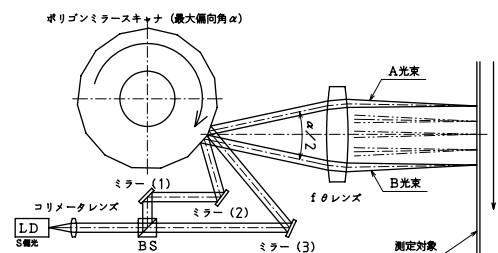


図 11 投光ビーム走査原理
Light projecting system

【走査条件】 走査に必要な偏向角：20.8°
ポリゴンミラースキャナ外径：φ46、回転速度＝一定

面数	最大偏向角	タイムチャート	効率
6 面	120°	有効走査区間 無効走査区間	17%
8 面	90°		23%
15 面 (従来品)	48°		43%
15 面 (2 光束)	48°	A 光束 B 光束	86%

図 12 走査効率の比較
Comparison of scanning beam efficiency

3.3.2 2眼方式の受光系

プリント基板上に印刷されたクリームはんだの周囲には、パッド、レジストなど表面状態の違いにより光の反射の指向性の異なる材質が存在する。投光ビームは幅を持ち裾広がり強度分布(フレア)を有しているため、はんだとパッドの境界では双方にビームが照射される。はんだの周囲に反射率の高いパッドが広範囲に存在する場合、正反射受光系のみを用いた場合には、形状測定の際にははんだからの反射光だけでなく周辺のパッドからの反射光の影響を受けてしまうことがあった。特に 0402 サイズのような微小はんだでは、はんだの体積測定値が小さいことから周辺からの反射光の影響が相対的に大きく影響する(図 13)。そこで本センサでは正反射光用と散乱光用に受光角を変えた 2 つの独立な受光系を備え、測定対象の反射光の状態に応じて正反射用受光系の信号か散乱光用受光系の信号かを選択し切替える方式とした(図 14)。

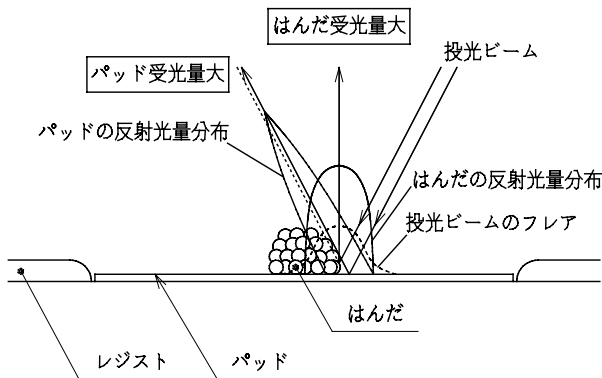


図 13 パッドに囲まれた微小はんだ

Small amounts of solder paste on pad

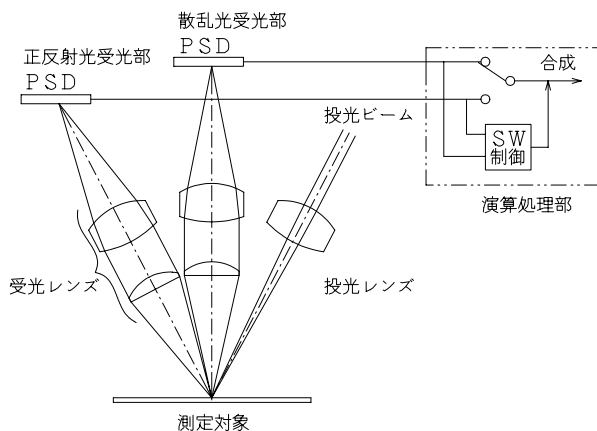


図 14 受光系原理

Light recieving system

測定対象からの散乱光および測定対象周辺からの反射光は、受光レンズを介して散乱光受光部 PSD および正反射光受光部 PSD 上に結像する。演算処理は受光量信号の大きさをそれぞれの閾値に対して比較し、判定結果に基づいてどちらか一方の変位信号を選択するアルゴリズムによって行われる。はんだとパッドの境界においても、パッド部分の反射光は正反射光用受光系、はんだ部分の散乱光は散乱光用受光系に分離して入射し、どちらの信号を使うか自動的に選択されてから演算処理される。これによりはんだの周囲の影響を抑えた正確な変位測定が可能となった(図 15)。

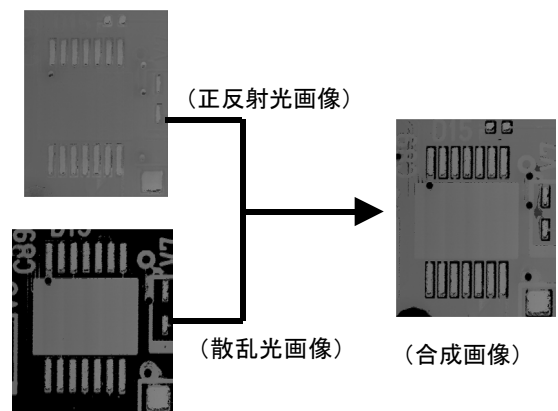


図 15 画像合成例

Example of composite pictures

3.4 プリント基板の振動対策

プリント基板の表面形状測定では、コンベアで搬送されてきたプリント基板の固定は、表面および裏面の実装部品を避けるためプリント基板両端の数mmを利用してクランプする方法が一般的である。しかし L サイズの大型プリント基板では、プリント基板幅が広いいため床振動および測定中の振動を拾ってプリント基板が振動しやすく、そのままの状態では測定が困難である。そこで MK5402L ではセンサを搭載する XY ステージの形状に必要な強度を確保しつつ数値解析により軽量化し、さらに、トルク曲線をモニタして駆動パターンを決定することで駆動時の負荷を減らし、装置の振動の発生を軽減した。また、プリント基板の振動を抑えるため、プリント基板を裏面から支持し微小振動を軽減するバックアップユニットを装備した。バックアップユニットのプリント基板支持部は、接触時に実装部品の形状に応じて変形する弾性ヘッドと、接触圧の調整が可能なスプリング部と、装置を昇降させるアクチュエータとから成り、プリント基板幅のほぼ中央に搬送方向に渡って 3 箇所配置される。測定時にはバックアップユニットが上昇し先端の弾性ヘッドがプリント基板の

裏面に接触して振動を抑える。測定後、バックアップユニットは部品に干渉しない位置まで下降する(図 16)。

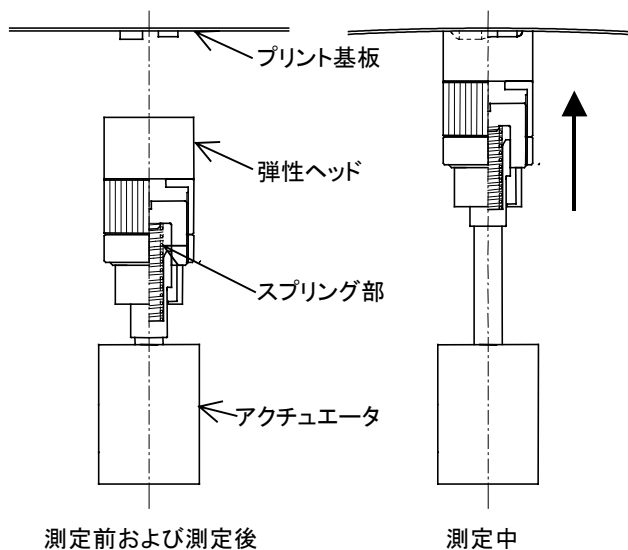


図 16 バックアップユニットの構造
Printed circuit board back-up unit

4 機能, 性能

4.1 測定結果

MK5402L を用いた測定例として、φ 0.2mm 微小はんだの体積値の共焦点変位計(仕様:測定範囲:600μm, 投光ビーム径 φ 2μm, 直線性 3μm)との比較を図 17 に示す。はんだの検査を高精度に行うためには、はんだの形状を高精度に測定する必要があるが、これより体積値の相関が取れていることがわかる。

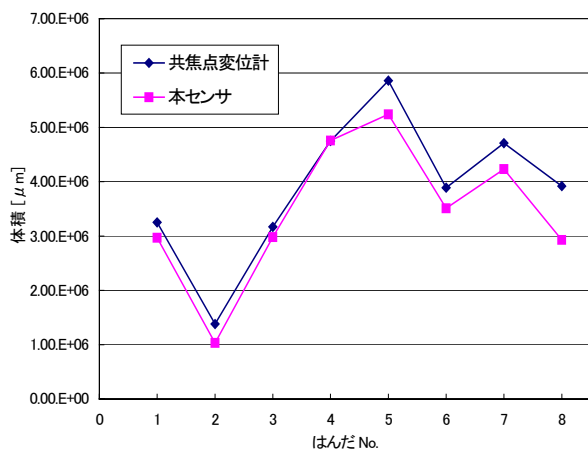


図 17 φ 0.2mm 微小はんだの体積測定結果
Volume measurement of printed small amounts of solder paste

4.2 主な仕様

表 1 に印刷はんだ検査機の主な仕様を示す。

表 1 主な仕様

Main specifications			
基板	サイズ	搬送方向(X)×幅方向(Y): 50×50～510×460mm	
	反り	搬送方向:1.0mm以下(幅 26mm あたり) 前後方向:±2.5mm 以下	
分解能		X・Y:20 または 10μm, Z:1μm	
検査項目		体積:V, 面積:S, 高さ:H=V/S 高さムラ:△H=Hmax-H 位置ずれ, ブリッジ	
対象パッド寸法		φ 0.2mm以上	□0.3mm以上
繰返し性 (R)	体積・面積	±10%	
	平均高さ	±10μm	
	位置ずれ	±25μm	
タクト	Lサイズ	—	104 秒 (20μmモード)
	M サイズ	120 秒 (10μmモード)	48 秒 (20μmモード)
寸法		900(W)×2000(H)×1285(D)mm	
質量		550kg 以下	

5 むすび

Lサイズ(510×460mm)の基板までインライン検査が可能な印刷はんだ検査機を開発した。今後は操作性のさらなる向上, 実装ライン管理をさらに容易にするためのデータ分析機能の強化, および高密度実装技術の進展に合わせた, さらなる高速化, 高精度化についても実施していく。

参考文献

- 鈴木, 中道, 田沼, 加島, 櫛渕:
“3次元インライン検査が可能な印刷はんだ検査機”
アンリツテクニカル 80 号, pp.71－80 (2002.1)
- 益田:“三次元形状測定用センサ”
第 18 回エレクトロニクス実装学術講演大会論文集 (2004.3)

執筆者



益田 紀彦
精密計測事業推進部 開発部



木村 剛
精密計測事業推進部 開発部

論 文

大型実装基板対応印刷はんだ検査機

「アンリツテクニカル」82号（2006.3）より抜粋

アンリツ株式会社