

# 3次元インライン検査が可能な印刷はんだ検査機

Solder Paste Inspector Suitable for In-line 3D Solder Paste Inspection

UDC 681.3 : 681.786

鈴木 隆	Takashi Suzuki	メジャメント ソリューションズ ATE 事業部 第2 開発部
中道 泰久	Yasuhisa Nakamichi	メジャメント ソリューションズ ATE 事業部 第2 開発部
田沼 敦郎	Atsuro Tanuma	メジャメント ソリューションズ ATE 事業部 第2 開発部
加島 史夫	Fumio Kashima	メジャメント ソリューションズ ATE 事業部 マーケティング部
櫛 渕 恭 男	Yasuo Kushibuchi	技術統轄本部 共通技術センター ソフトウェア技術部

## 1 はじめに

マルチメディア時代を迎え、携帯電話・ビデオカメラ・PDA などのモバイル機器の普及が急速に進んでいる。これらは高密度実装技術である BGA (Ball Grid Array) や CSP (Chip Scale Package) などの IC や 0603 チップ部品の実装により初めて可能となる。一方、高密度実装であるため、プリント基板と搭載部品の電極との接触不良やショートなどによる不良発生の確率が高くなる。こうした基板不良の要因の約 65% がはんだの印刷工程で発生していると言われており、その多くはプリント基板のパッドに印刷されるはんだの高さ不足・はんだ量の過多過少である。これらの不良は、リフロー後にはんだが融けて搭載部品の電極とプリント基板のパッドとが密着しているか、または隣合う電極がつながっていないかを外観検査する方法もあるが、BGA/CSP においては搭載後は電極がパッケージの下に隠れてしまうので検査ができない。また、チップ部品においても融けたはんだの状態が判別しにくいので外観検査は困難である。したがって、高密度実装プリント基板の信頼性の向上と歩留まり改善のためには、部品搭載前にプリント基板に印刷された各パッド上のはんだの体積・高さを検査する必要がある。しかし、現在、世の中で一般に使用されている CCD カメラによる 2 次元方式のはんだ検査機は面積測定のみであり、高さ方向の感度がないので体積測定は不可能である。このため、高さ方向に感度のあるセンサを用いた検査機が必要となる。我々は 10 数年来、非接触レーザ変位センサ「光マイクロ」<sup>1)</sup>を用いて、セラミックの反りや IC ウェハの平坦度、非球面レンズの形状測定

を行う測定機を開発してきた。「光マイクロ」は測定点がスポットであるため、プリント基板上のはんだの形状測定のように測定点数が多いと測定に非常に時間がかかり、プリント基板実装ライン上の使用が困難であったが、このたび、この「光マイクロ」にレーザスキャン方式を組合せたセンサを搭載した印刷はんだ検査機 MK5401A を開発することにより、高速・高精度でプリント基板の各パッド上のはんだの体積・面積・高さ・印刷の位置ずれ・はんだどうしのブリッジをインライン検査することに成功した。MK5401A の外観図を図 1 にセンサヘッドの外観図を図 2 に示す。



図 1 MK5401 外観図  
External view of MK5401A



図2 センサヘッド外観図  
External view of sensor head

## 2 構成, 原理

### 2.1 全体構成

本機のブロック図を図3に示す。本機はセンサ、センサを搭載したZ軸ステージ、Z軸ステージを搭載したX軸ステージ、プリント基板の搬入・搬出を行う基板搬送部、基板搬送部を搭載したY軸ステージ、基板搬送部と各ステージを制御するシーケンサ、シーケンサ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の上の形状を演算・表示するパソコン・ディスプレイにより構成されている。また、本機は精密な測定を行っているので、隣接して設置された高速型実装機などから発生する振動が本機の測定精度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、床面から伝わる振動を遮断している。

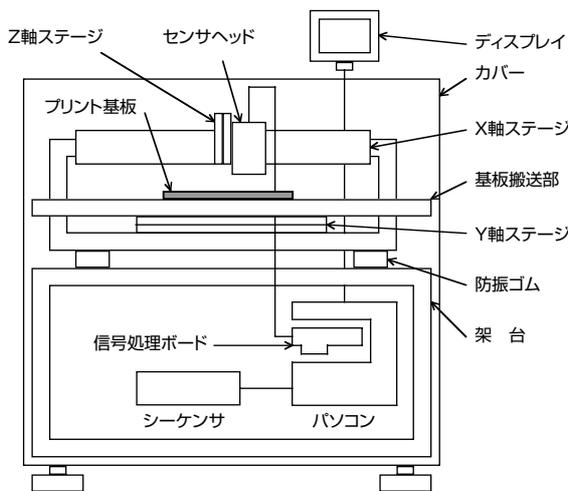


図3 MK5401A ブロック図  
Block diagram of MK5401A

測定方式を図4に示す。本機はまずセンサが停止した状態で、レーザ光の走査方向と直交する方向にプリント基板を移動して30mmの幅で測定を行う。次にセンサをレーザ光の走査方向に移動し、同様に測定を行う。これを繰り返すことにより、プリント基板の全面を測定する。

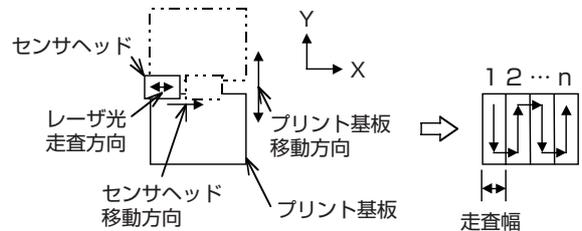


図4 測定方法  
Scanning path

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多いので、レーザ光の走査方向に対しては基板の反りを30mmあたり1mm以下になるように機械的な矯正機構を設けている。また基板の移動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微い測定により、 $330 \times 250\text{mm}$ の基板で最大5mmまで反っていても測定可能である(図5参照)。

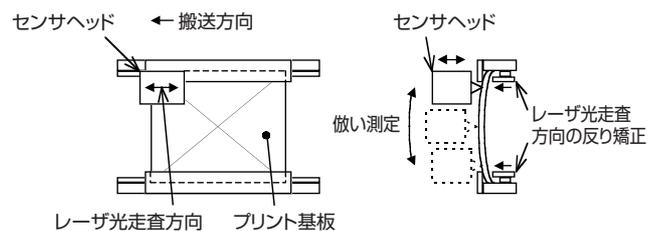


図5 反り矯正および微い測定  
Warp correction and automatic tracing measurement

### 2.2 センサの原理

#### (1) センサヘッド

本機が使用しているセンサは高さの測定に三角測量方式を応用している。センサの光学系概要を図6

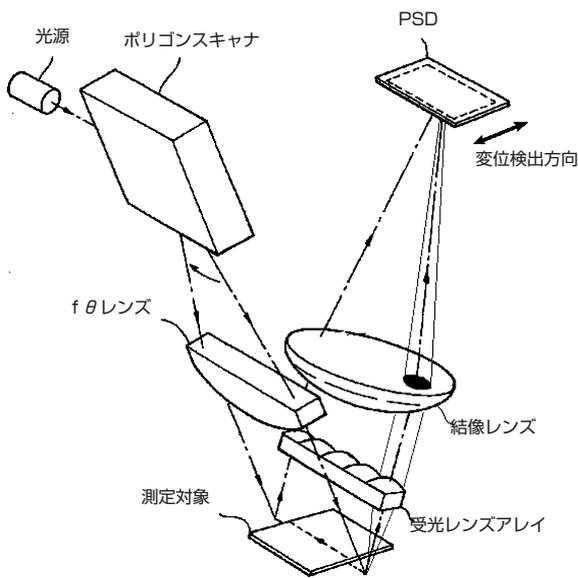


図6 光学系概要  
Schematic of optics

に示す。測定対象にレーザー光を照射すると測定対象から反射された光は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 は結像の重心位置に応じた電気信号を出力する素子であり、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、ポリゴンスキャナによってレーザー光を走査すると、レーザー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。ポリゴンスキャナには多面の回転鏡を使用しており、高速回転させることで1秒間に4000回もの走査が可能である。ここで、この回転鏡の鏡面に倒れがあったり回転軸のふらつきがあると、反射面に入射されたレーザー光が副走査方向(走査方向と直交する方向)に傾いて反射するため、測定点のずれを生じる。これを避けるため、光源から出射されたレーザー光をポリゴンスキャナの反射面で一度結像させ、再度測定対象で結像するような面倒れ補正光学系を挿入することで、測定点がずれないようにしている。なお、照射点におけるレーザー光のスポット径は、はんだボールの直径程度(約  $40 \mu\text{m}$ )で、スポット径内の高さ分布の平均値が測定値となるため、はんだの断面形状は実際の凹凸より滑らかな形状となる。はんだ面においては、レーザー光が散乱するため、反射光束内には、

スペックルという空間的にコントラストの高い斑点模様が発生する。このスペックルの測定精度に対する影響を除くためにセンサ部の受光レンズには非球面レンズを採用し、散乱光の結像特性を上げてスポット径分布の平滑化を図るとともに、PSD 上のスポット径の収差による広がりを縮小させて、結像位置を安定させている。また、この受光レンズを走査方向へアレイ状に並べることで、30mm の走査幅からの反射光を受光面積の小さい PSD 上へ連続的に結像できる。これにより、PSD の受光面積を小さくでき、応答性の高い測定が可能である。測定対象を副走査方向に移動して得られた等間隔の各断面形状を順に並べることにより、面全体の高さ分布のデータを得ることができ、ちょうどデジタルカメラ画像の各ピクセルの濃淡を各測定点の高さに置き換えた画像として表現できる。これを距離画像と呼び、同様に同時に得られた受光量の画像を輝度画像と呼ぶ。これら距離画像と輝度画像を組合せて、はんだの形状認識や認識マークの位置検出を行っている。

三角測量方式には垂直入射方式と正反射方式があるが、垂直入射方式は、はんだ高さの基準面となるレジスト面が検出できない。そこで、本機のセンサは、正反射方式を採用している。正反射方式は、レーザー光の入射角が0でないため、変位量に応じて投受光面方向に測定位置のずれが生じる(図7参照)。

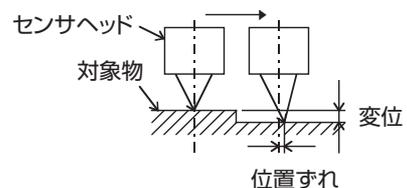


図7 測定の位置ずれ  
Position shift for height variation

そこでプリント基板の移動速度・方向などから算出した測定位置のずれ量に応じて、距離・輝度画像の各ピクセル位置を副走査方向に補正する処理を信号処理ボードで行っている。これにより、正反射方式でもはんだの位置ずれを正しく検査することができる。

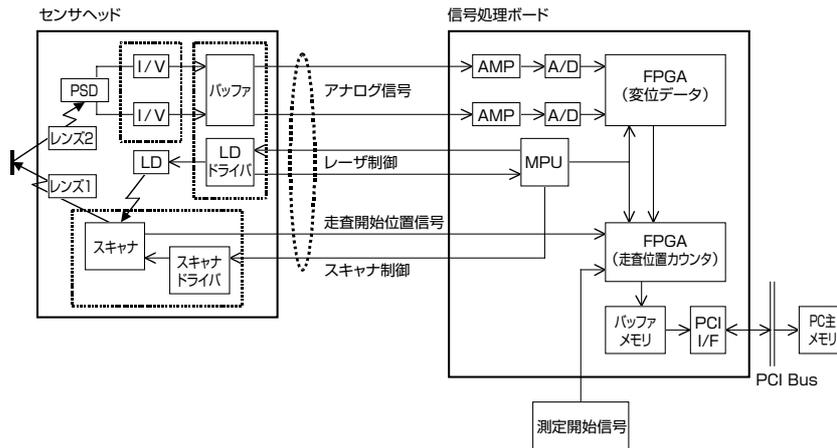


図8 センサブロック図  
Block diagram of sensor head

## (2) 信号処理ボード

ブロック図を図8に示す。PSDから得られるアナログ信号をA/D変換したデータから測定値を得るのに必要な、各種演算、走査ビーム位置の検出、各種補正処理等をFPGAを用いたパイプライン動作によるハード演算により実現している。算出した測定値をデータとし、走査ビーム位置をアドレスとしてバッファメモリに書き込むことで距離画像および輝度画像を形成する。バッファメモリ上に形成された画像は、PCIバスを介したバースト転送を繰り返すことによりパソコンの主メモリに格納する。この際、バッファメモリを2ブロック構成とし、各ブロックのデータを交互に転送することで測定データの書き込みとデータ転送のリアルタイム性を維持し、PCIバスの使用効率を高めている。

## 2.3 データ処理

ソフトウェアブロック図を図9に示す。ソフトウェアはWindows NT 4.0 WorkstationをOSとしたパソコン上で動作する。なお、使用しているパソコンは、大容量の距離・

輝度画像を高速に演算処理するためCPU：Pentium Xeon 1GHz×2、主メモリ1GBを搭載したモデルを採用している。本機のデータ管理には、市販のデータベースソフトを使用している。データベースで管理するデータは、各パッド上のはんだの形状・位置の設計値および合否判定するための判定基準が含まれている検査データと、合否判定結果および各はんだの実際の体積・面積値などが含まれている測定結果データである。データベースを利用したことにより、ネットワーク接続されたオフライン端末からデータベースに接続でき、検査機本体と全く同一のユーザインタフェースでの検査データ編集や、測定済みのデータ分析を可能とした。

# 3 設計のポイント

## 3.1 基板全面のインライン検査

携帯電話・ビデオカメラなどの基板の、実装のラインタクトは30～60sであり、この時間内で搬送、測定、演算を行う必要がある。2.2で述べたように本機のセンサは受光レンズアレイ、高速回転型ポリゴンスキャナ、高速応答PSDおよびFPGAを用いたパイプライン動作によるハード演算により、走査幅30mm、走査回数4000回/s、サンプリング周波数6MHzでの測定が可能であり、数百MBの測定データはPCIバスを介してパソコンの主メモリへバースト転送され、MMX命令（Pentiumの高速マルチメディアデータ処理命令）を使用した高速フィルタ、パターンマッチング、2値化、ラベリングなどの高速画像処理により、基板全面をXY平面：20μm、Z方向：4μmの分解能で165mm×125mm

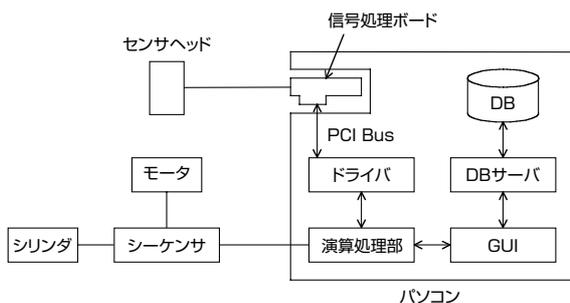


図9 ソフトウェアブロック図  
Block diagram of software

の基板を 25s で検査可能とした。

### 3.2 高さの基準面の安定性

先に述べたように基板は多方向に反っている場合が多く、リフロー後の裏面の検査時にはさらに反りが大きくなる傾向がある。垂直入射方式の三角測量方式ではプリント基板へ入射した光がレジストを通過して内部へ浸透してしまうためレジスト面の検出ができない。このため、各パッド上のはんだの体積・面積を算出する際の高さの基準面を各パッドに隣接する周囲レジスト面ではなく、離れた配線パターン上に3点以上の基準点を設けて設定することになるので、この基板の反りの影響を受けやすく、現物合わせによる設定も大変面倒である。本機のセンサは正反射方式の採用によりレジスト面を検出できるため、各パッドに隣接する周囲のレジスト面を高さの基準面に設定でき、反りの影響を受けずに安定した測定が可能である。はんだの体積・面積の演算方法を図10に示す。まず、輝度画像から

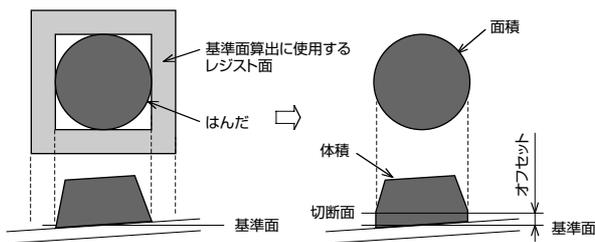


図10 演算方法  
Calculation methods

パターンマッチングを用いて認識マークを検出し、これを基準として距離画像と検査データを重ね合わせることで、プリント基板上の実際のはんだの位置を検出する。次に各はんだの周囲に隣接しているレジスト面の高さ分布から重心を算出し、はんだ高さの基準面とする。レジスト面は、距離画像に対応する輝度画像からはんだ、レジスト、レジストギャップ、パッドを判別してレジスト面のみを採用している。さらに基準面に対して高さ方向にはんだボール1個分相当程度の高さのオフセットを付加した位置で距離画像を切断し、切断面を面積、切断面上部と切断面×オフセット量を合算したものを体積としている。オフセットを付加することにより、はんだの周囲の基板の小さな起伏などの影響を受けずに安定した切断面が得られる。厳密に言えば、はんだボール1個程度の高さでつながっているブリッジを検出することはできないが、リフロー後には表面

張力でお互いのパッド方向に引き寄せられ、ブリッジにはならないので問題ない。

### 3.3 容易な検査データ作成

検査データは、検査機がプリント基板を検査するための基本データであり、各パッド上のはんだの体積・面積・高さや印刷位置の検査基準となるデータである。本機ではWindowsの使いやすいGUIと後述する3種類の作成方法を用意することにより、検査データを容易に作成可能とした。CCDカメラによる2次元方式のはんだ検査機での検査データ作成時には画像処理上必須である2値化のしきい値や検査ウィンドの設定が不要なので、短時間でデータ作成が可能である。また、ラインに設置された検査機とネットワーク接続されたオフライン端末でも同様に検査データの作成が可能であり、データ作成のために稼働率を下げることもない。本機が用意した3種類の作成方法では、(1) CADデータ(自動搭載機用マウントデータ)、(2) ガーバデータ、(3) 良品見本基板、をそれぞれ設計値として検査データを作成することができる。

#### (1) CADデータによる検査データ作成

CADデータには各搭載部品の品名、搭載座標・角度などの情報が含まれている。これとは別に部品ごとに搭載用のはんだ形状・配置をあらかじめ部品ライブラリに登録しておき、この2つを組み合わせることで検査データを作成する。はんだ形状はユーザによりノウハウがあるため、同じ部品でも異なることが多い。したがって、ユーザが任意のはんだ形状を容易に定義できるようなグラフィックエディタを装備している。搭載される部品が、あらかじめ部品ライブラリに登録済みであれば、作成時間は5分程度である。

#### (2) ガーバデータによる検査データ作成

はんだ印刷機で使用するメタルマスク製造用のガーバデータから検査データを作成する。ガーバデータとはフォトプロッタ用の作画コマンドのフォーマットであるガーバフォーマットで作成されたデータのことであり、座標データとパターン形状情報のアパーチャリストからなる。座標データとアパーチャデータにより作画される各開口形状の輪郭抽出を行い、検査データに変換している。ガーバデータには部品情報が含まれていないので、検査データに変換後、品名や端子番号を付加することが

できる。作成時間は5分程度である。他の作成方法に比べ作業量が少ないため、一番利用される方式である。

### (3) 良品見本基板による検査データ作成

CADデータやガーバデータなどが入手できない場合は、良品の見本となるはんだが印刷された基板を設計値として検査データを作成することができる。まず、仮測定を行って基板上的各はんだの位置・形状をある程度自動検出し、次に現物に合うように手動で修正を行ってから、これを基に再測定して検査データに変換する。作成時間は30分程度である。

### 3.4 見やすい3次元表示

これまでの3次元表示はワイヤフレームや等高線、棒グラフといったものが多く、細かな部分の凹凸がはっきりせず、また人間の見た目には違和感のある表示であった。本検査機では3次元表示にOpenGLを採用し、拡大・縮小

はもちろん回転も自由自在で、より人間の目で見たと感じに近い表示を可能とした(図13参照)。

### 3.5 場所をとらないコンパクトサイズ

既存のラインへの導入を考慮し、はんだ印刷機と高速型実装機を連結するのに通常必要な延長コンベアの代替として設置可能な大きさとし、既設ラインの長さを変えずに容易に設置できるようにした。また、検査機の前面にしかメンテナンススペースが取れない場合を考慮した設計となっている。

## 4 機能, 性能

### 4.1 測定結果

#### 4.1.1 検査項目

検査項目一覧を図11に示す。前述の体積・面積の演算に加えて、はんだ幅・高さ・位置ずれも算出している。は

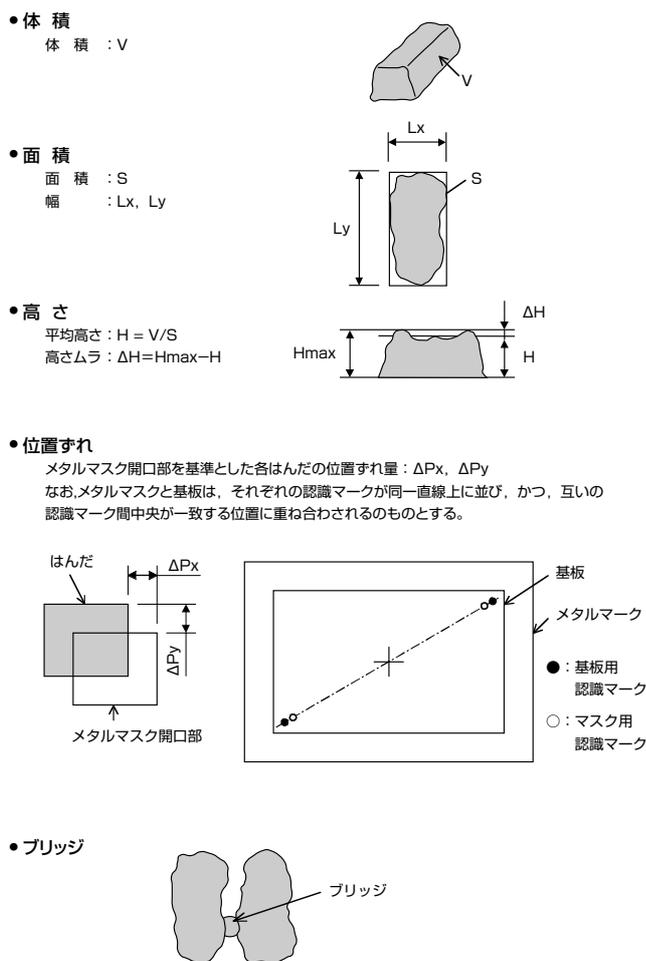


図11 検査項目一覧  
Inspection items list

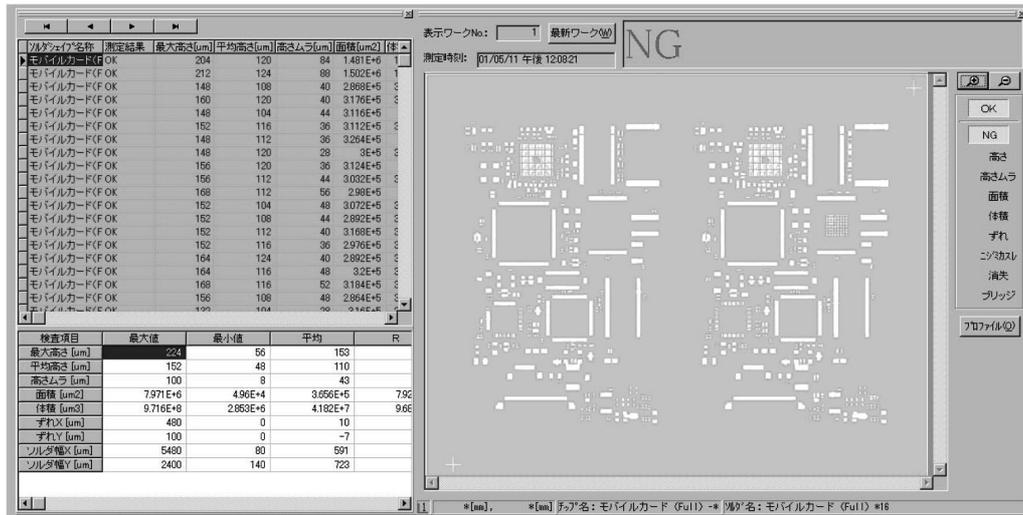


図 12 合否判定画面  
OK-NG judgement display

んだ全体の平均位置ずれは基板とメタルマスクの位置合わせ精度に相当し、はんだ印刷機の印刷条件を調整する目安となる。高さムラはQFP搭載用はんだなど平坦部のあるはんだの両端におけるつものの高さに相当する。

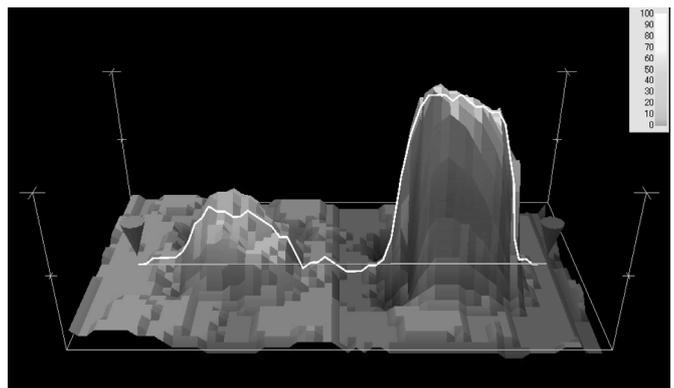
#### 4.1.2 合否判定

あらかじめ、はんだの体積・面積などの各検査項目に対する判定基準を設定することにより、はんだごとに測定値と設計値を比較して合否判定を行う。判定基準は各はんだ毎に設定可能である。各はんだの合否判定結果は画面上のレイアウト図および一覧表に表示される（図 12 参照）。レイアウト図ではOK（良品）とNG（不良品）のはんだが色分け表示されており、また項目ごとのNGのはんだのみの表示も可能である。一覧表には各はんだごとに測定値や設計値に対する比率が表示される。判定結果は品質管理情報としてデータベースに保存される。NG判定となった基板は、後段に流さずブザーおよびパトライトの点灯によりオペレータに確認させたり、NG信号を外部に出力して後段のNGストッカーに自動振り分けをさせることも可能である。またNGとなったはんだを含む領域の測定データを自動的に保存し、測定後にNG箇所の3次元形状を後から詳細に観察することも可能である。

#### 4.1.3 3次元表示

レイアウト図上で領域を指定することで、その箇所の3

次元形状を表示させることができる。0.3mm角のはんだの3次元形状を図 13 に示す。左側は印刷抜けの悪いはんだであり、右側の正常なはんだとの違いが明らかである。また3次元形状上で指定した任意の2点間の断面形状の表示や指定した2点間の距離の簡易計測機能およびはんだの実測形状と設計値形状との重ね合わせ表示も可能である。



	左側	右側
体積 (μm <sup>3</sup> )	6.67 × 10 <sup>5</sup>	6.28 × 10 <sup>6</sup>
面積 (μm <sup>2</sup> )	1.48 × 10 <sup>4</sup>	6.40 × 10 <sup>4</sup>
平均高さ (μm)	44	96

図 13 3次元形状  
Height map

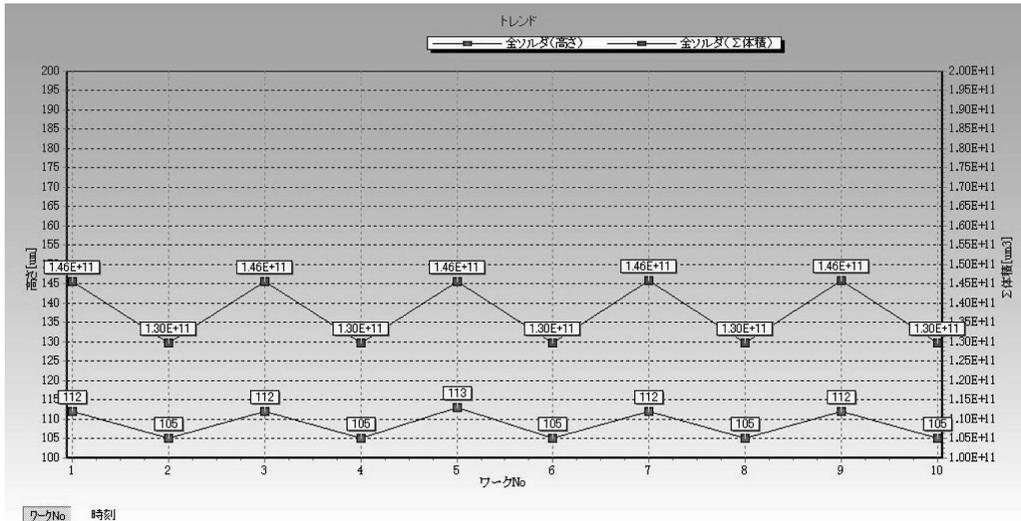


図 14 トレンド表示  
Trend

#### 4.1.4 トレンド表示

従来、はんだ印刷機の印刷条件の調整やクリーニング間隔は現場作業者の勘や経験などで決められることが多く、印刷機でクリームはんだをマスクに刷り込むスキージの送り方向に依存した印刷高さのかたよりが発生したり、最適なクリーニング間隔となっていないことがあった。本機は図 14 に示すように基板全体のはんだの平均高さや総体積などをリアルタイムで画面上に時系列順で表示ができるので、現場作業者はこの測定値の相対的な変化により、印刷

条件の調整やクリーニング間隔の最適化などに役立てることができる。また部品・はんだ単位の表示も可能で、マスクの目詰まりやマスクの裏側に付着しているはんだボールの拭き残しなどに起因する不具合を早期に見つけ出すことができる。

#### 4.2 測定精度

0.3mm 角のはんだを 100 回測定した時の測定値の繰返し性を図 15 に示す。体積・面積・平均高さともに 3σ で 10% 以下の値を示している。また丸型および正方形型のは

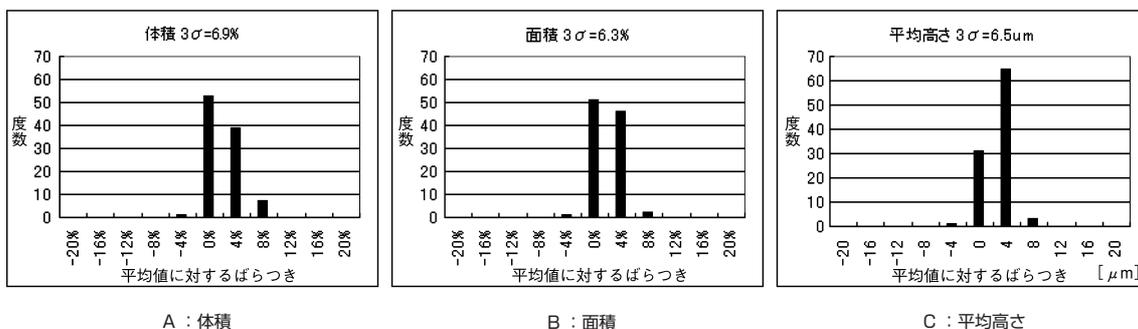
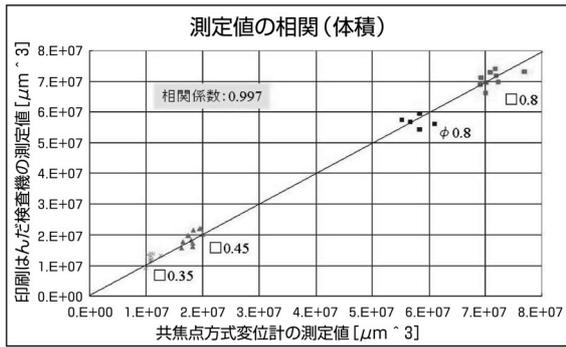
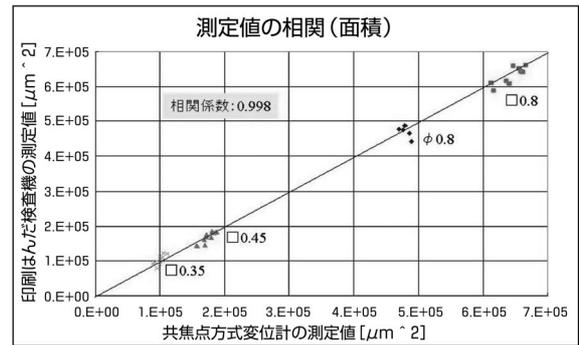


図 15 測定値の繰返し性  
Repeatability of measurement



A : 体積



B : 面積

図 16 測定値の相関  
Correlation of measurement

んだ (0.35 ~ 0.8mm) を本機と共焦点方式の変位計で測定した時の測定値の相関を図 16 に示す。相関係数は体積・面積とも 0.997 ~ 0.998 と良く相関が取れている。

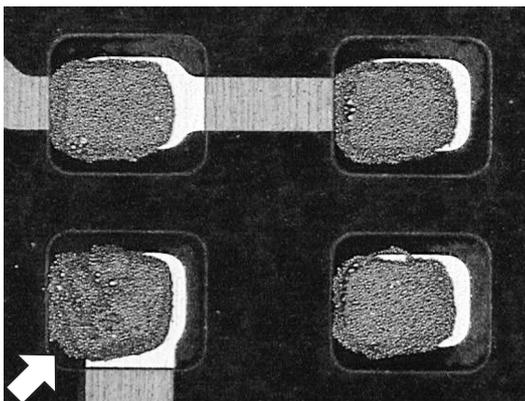
#### 4.3 2次元方式に対する優位性

2次元方式検査と3次元方式検査を比較した例を図 17 に示す。左側は CCD カメラの画像であり、右側は本機で測定したはんだの3次元表示である。左側の画像を元に検査を行う2次元検査機では高さが測定できないためはんだ

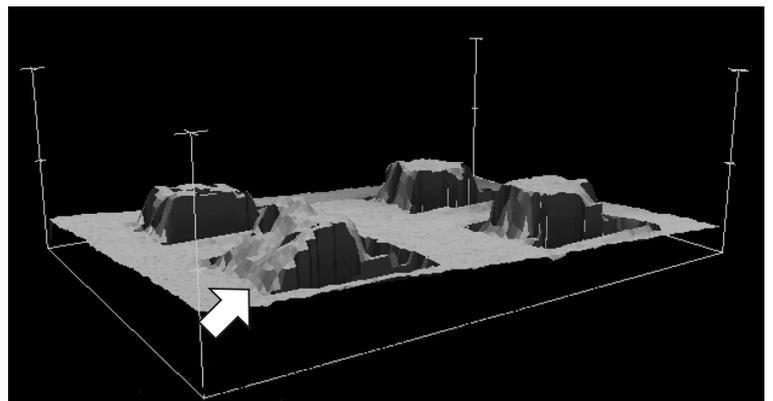
のダレなど体積異常や高さムラ、不揃いは検出不可能であるが、本機ではこれらを定量的に検査することが可能である (矢印のはんだ)。

#### 4.4 主な仕様

表 1 に印刷はんだ検査機的主要仕様を示す。



A : 2次元 (CCD カメラ)



A : 3次元 (本機)

図 17 2次元/3次元の比較  
Comparison : 2D vs. 3D

表1 主な仕様  
Main specification

基板	外形	搬送方向 (X) × 幅方向 (Y) : 50 × 50 ~ 330 × 250mm	
	厚み	0.4 ~ 4.0mm	
	反り	1.0mm 以下	
	部品実装可能範囲	基板上面から 8mm, 基板下面から 30mm まで	
測定範囲 (高さ: Z)	最大はんだ高さ	300 μ m	
	Z 方向倣い範囲	5mm	
分解能	X・Y : 20 μ m, Z : 4 μ m		
最大検査領域	330 (X) × 250 (Y) mm, ただし, 幅方向の両サイド 3mm を除く		
検査項目	体積: V, 面積: S, 平均高さ: H = V/S, 高さムラ: Δ H = Hmax-H, 位置ずれ, ブリッジ		
繰返し性*1	対象パッド寸法	<input type="checkbox"/> 0.3 ~ 0.4mm	<input type="checkbox"/> 0.4mm 以上
	体積・面積 (3σ)	± 15 %	± 10 %
	平均高さ (3σ)	± 15 μ m	± 10 μ m
	位置ずれ*2	± 25 μ m	
タクト	センサヘッド 1 台	25s/枚 (基板サイズ: 165 × 125mm, はんだ数: 2500 個)	
	センサヘッド 2 台*3	20s/枚 (基板サイズ: 165 × 125mm, はんだ数: 2500 個)	
設置環境	使用温度・湿度	10 ~ 35℃, 30 ~ 80% RH (結露なきこと)	
	電源	単相 200Vac ± 10% (標準), 50/60 Hz, ≤ 600VA 220Vac ± 10% も対応可	
	エア源	0.5 ~ 1MPa, 5l/min (A.N.R)	
レーザ製品のクラス分け	クラス 1		
寸法・質量	807 (W) × 900 (D) × ≤ 2000 (H) mm, ≤ 550kg		

\*1 : 標準サンプルでの値

\*2 : 印刷されたはんだ全体の平均位置ずれ量

\*3 : オプション

## 5 むすび

今後の展開として, さらに小さい開口で印刷されるはんだへの対応, 精度・タクト・操作性の向上, 解析機能の向上および品質向上のためのより有効な情報提示を検討している。

## 参考文献

- 1) 原, 松丸, 近藤, 濱野, 田沼, 大森: 高性能光マイクロ, アンリツテクニカル 75 号 (1998. 3)