## MK5302B チップインスペクタ

MK5302B Chip Inspector UDC 531.71:681.3:681.786

田 沼 敦 郎 Atsuro Tanuma ワイヤレス メジャメント ソリューションズ 開発本部 第3開発部

大森浩二 Kouji Ohmori ワイヤレス メジャメント ソリューションズ 開発本部 第3開発部

黒田俊雄 Toshio Kuroda ワイヤレス メジャメント ソリューションズ 開発本部 第3開発部

益 田 紀 彦 Norihiko Masuda ワイヤレス メジャメント ソリューションズ 開発本部 第3開発部

## まえがき

デジタルカメラ、携帯電話、PDAなどの携帯機器では小 型・高機能化の開発が行われており、内部で使われる電子 部品のパッケージ形状は従来から使われてきたQFP (Quad Flat Package) に加え、より省スペースで済む CSP (Chip Scale Package) などのエリアアレイ部品が多用され てきている。当社では自動搭載機組込み用のICリード浮 き・曲りセンサとして、KL642光マイクロ $^{1)}$  を開発し、 自動搭載機上で部品吸着後の搭載直前におけるICリード の浮き・曲り検査用途に使われてきたが、KL642は点測定 のセンサのためリード部品専用である。 今回, 従来一般的 であったリード部品(QFP)に加え、最近使用が増えてき たボール部品 (CSP) までほとんどの表面実装半導体・コ ネクタ等を測定できるレーザ走査型三角測量方式の変位セ ンサを採用したMK5302Bチップインスペクタを開発した ので紹介する。MK5302Bは、電子部品端子のコプラナリ ティ (平坦度) の演算判定を行う画像処理機能を備え, 自 動搭載機からのコマンド操作により、実装直前における電 子部品の端子形状検査を行うことができる。

本稿では、MK5302Bの特長、構成、設計の要点を述べ、 さらに、性能については測定例を交えて紹介する。

## 2 特長および規格

## 2.1 特長

従来機のKL642光マイクロでは測定に使うレーザビーム が固定された三角測量方式のレーザ変位計がセンサ部に採 用されている。このため、ICリードの測定に際しては、あらかじめ部品の姿勢を自動搭載機の画像センサで取得した上で、測定に使うレーザビームがICリード部分に当たるよう、自動搭載機の部品吸着ノズルを制御しながら測定する必要があり、①姿勢認識②リード浮き・曲り測定の2 stepの動作を行っている。

今回開発したMK5302Bチップインスペクタは、測定に使うレーザビームとして自ら走査するレーザ走査型三角測量方式を採用したため、測定のための部品姿勢制御をすることなく、ノズルに吸着した電子部品をセンサ上で通過させるだけで測定に必要なデータが得られる。図1にセンサ部の概要を示す。センサ部で得られたデータは信号処理部で3次元距離画像となり、その後画像処理により端子部分を抽出し、各端子ごとに浮き・曲りの演算を行う。演算結果は、あらかじめ設定した判定しきい値と比較した上で良否判定され、自動搭載機に対して判定結果を応答する機能を備えている。

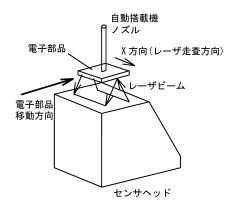


図1 センサ部の概要 Sensor unit

## 2.2 判定項目と規格

表1に判定項目、表2に規格を示す。

表 1 判定・出力項目 Items of inspection and output

項目	出力内容	
端子欠落	端子の欠落に対する判定結果 (OK/NG)	
端子 X, Y 方向位置ずれ	設定された許容値に対する判定結果 (OK/NG)	
端子コプラナリティ	仮想平面(最小二乗平面または3点法の	
	いずれかを選択)に対する端子の浮き量	
	(分解能:1 μm)	
部品重心	X, Y座標(分解能:1 μm)	
部品の回転角	θ (分解能:0.01deg)	
仮想平面の傾き	仮想平面傾き量の設定された許容値に対する	
	判定結果(OK/NG)	

表 2 規格 Specifications

項目	標準モード	高精度モード	
対象部品品種	表面実装用電子部品		
	(QFP, SOP, SOJ, PLCC	, BGA, CSP, コネクタ)	
部品サイズ	1回測定:幅32×長さ100mm以下		
	分割測定:幅55×長さ100mm以下		
端子サイズ (リードピッチ)	0.4mm以上	0.3mm以上	
有効レーザ走査幅	35mm		
X, Y分解能	20 μm	10 μm	
Z測定範囲	± 500 μm		
Z繰返し性	± 10 μm(ゲージ測定時)		
寸法,質量	センサヘッド: 77W×132D×130H, 1.4kg		
	信号処理部:90W×450D×310H, 10kg		

# **3** 構成·原理

### 3.1 構成

図2にMK5302Bの構成を示す。MK5302Bはセンサ ヘッドと工業用コンピュータ(以下PC)に信号処理ボー ドを搭載した信号処理部から成り、自動搭載機に組込まれ た環境下で使用される。自動搭載機はMK5302Bに対する コマンドの送受信と,対象部品の移動制御により測定を 行って良否判定結果を得る。

## 3.2 機能ブロック

機能ブロックを図3に示す。センサヘッドは、LD (Laser Diode) からの投光レーザビームを回転ミラースキャナにて走査して測定対象に照射し、測定対象からの正反射光をポジションセンサ上に結像させる光学系と、ポジ

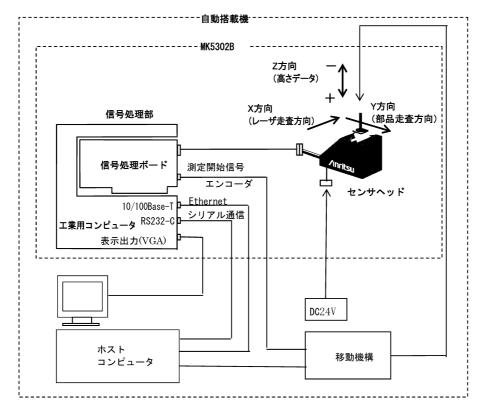


図2 構成・測定系 Construction and parts measurement shematic

ションセンサ上のスポット位置に従った電流信号をI/V変換して出力するアナログ回路を有する。計測されたアナログ信号はセンサケーブルを通じて信号処理ボードに渡され、増幅、A/D変換後に演算されて高さデータとなる。高さデータは、各種補正処理の後にレーザの走査位置をアドレスとしたメモリに格納され、随時PCIバスを経由してPC上の大容量メモリに転送されて画像データを形成する。この画像データは各画素ごとに高さ情報を含んだ3次元距離画像であり、これを基に画像認識ソフトにて部品の姿勢を認識し、コプラナリティを算出して良否判定結果を得る。

### 3.3 測定の流れ

自動搭載機には測定する部品の寸法・判定しきい値等の各種情報をあらかじめMK5302Bに登録しておく(表1,図4参照)。測定の際には対象部品を指定した上でレーザの走査方向(X方向)と直交する方向(Y方向)に一定速度で部品を搬送する(図2参照)。MK5302Bは自動搭載機からの測定開始信号を受け画像取得を開始し、各走査ラインごとのエンコーダパルスをカウントして画像データとともに記憶していく。エンコーダカウント値は部品認識処理の際にY方向搬送速度の速度ムラの補正に用いられ、正確な姿勢認識を可能にする。あらかじめ登録されている部品サイズ分の距離画像を取得した時点で画像取得を終了し、部品認識の後、良否判定結果を応答する。

## 4 設計方針

## 4.1 ICパッケージ形状の市場動向を考慮

MK5302Bの測定対象であるICパッケージの市場動向を 睨み、パッケージ形状の多様化を考慮した設計を行った。

- (1) ボール形状端子を持つエリアアレイ部品の測定を可能とする、レーザ走査型の3次元形状測定センサを開発する。
- (2) 一般的な表面実装用部品全般 (QFP, SOP, BGA, CSP, PLCC, コネクタ等) を網羅する部品認識能力をもった画像処理ソフトを開発する。

## 4.2 自動搭載機への組込みの容易性を考慮

MK5302Bが組込まれる自動搭載機の規格,使用環境に 対応するために以下の点を考慮した。

- (1) 自動搭載機はプリント基板への部品搭載箇所が外部 から目視で確認できるように設計されているものが ほとんどであるため、レーザ安全レベルを直視して も安全なクラス1とする。
- (2) 自動搭載機内の部品供給部とプリント基板固定部との間に設置できるようセンサヘッドの小型化を図る。
- (3) PCの記憶媒体には耐振動性にすぐれたシリコンディスクを採用し、組込用Windows NTを実装することで機能を実現する。

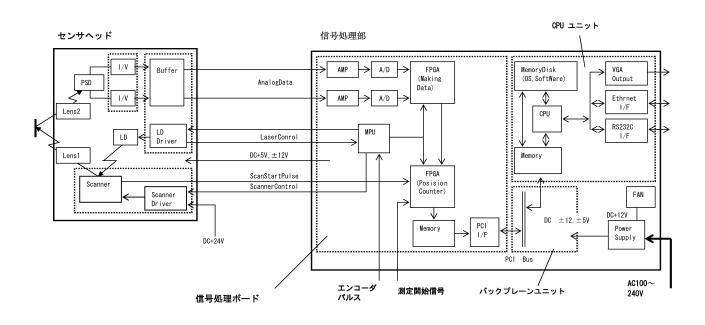
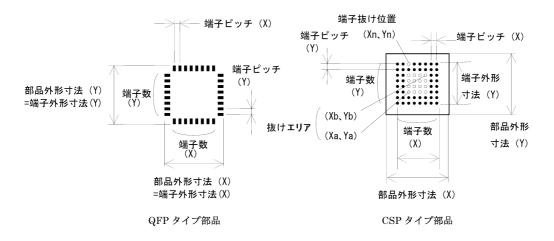


図3 機能ブロック図 Diagram of MK5302B



- \*その他必要に応じて測定条件を個別に指定可能
- \*規則的な端子配列に対する、抜け端子や太端子を任意に指定可能

図 4 各部品情報図 Parts parameter

- (4) 一般的な自動搭載機が搭載可能な□32mmまでの部品を1回のY方向走査にて測定し得るよう,レーザ走査幅35mmを実現する。
- (5) 1回のY方向走査での測定が不可能な大型部品に対して,分割認識を可能とする画像処理ソフトを開発する。
- (6) 測定結果がNGであった場合に、測定画像の表示や、 NG端子箇所のマーキングおよび座標出力等の解析 サポート機能を用意する。

## 4.3 測定タクトの決定

一般的に一括リフロー実装の実用上の最小サイズ部品とされている0.4mmピッチQFPに関して、その端子上で十分な数のデータをサンプリングできるよう、距離画像の1画素分解能を20µmに決定した。この時Y方向走査速度80mm/sでの測定が可能となり、80mm/sでの部品走査時間と認識判定時間を加算したものが部品判定時間となる。以上の経緯から以下の点を考慮した設計を行った。

- (1) 1 画素分解能とスキャナ回転速度から決定される, 12MHzのサンプリング周波数(従来センサKL642比 約240倍)を実現する信号処理プロセスを確立する。
- (2) 微細端子部品 (0.3mm ピッチ QFP等) に対しては、スキャナ回転速度を 1/2 に落とし Y 方向走査速度を 20mm/s とすることで、1 画素分解能 10μm での測定 が可能となるよう測定モードの切換えを可能とする。
- (3) 部品の判定時間は、□20mm、端子数100ピン相当のCSPで部品走査時間を0.4s以内、認識判定時間を0.3s以内とする。

## 5 設計の要点

### 5.1 センサユニット

センサの測定原理には走査型三角測量方式<sup>3) 4)</sup> を採用している。図5に測定原理を示す。投光レーザビームは回転ミラースキャナと走査レンズにより、測定対象面において等速走査され、測定対象上にレーザスポットが照射される。測定対象面で反射した光は、受光レンズ、結像レンズを通って受光素子上で結像する。三角測量方式の測定範囲と測定分解能は光学系の投受光角度、受光系レンズの焦点距離および受光系の倍率で決まるが、MK5302Bにおいては特に以下の点について検討を加え、センサユニットの最適化を図った。

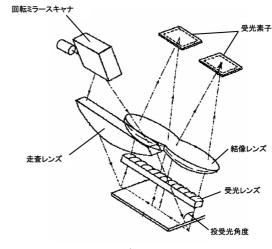
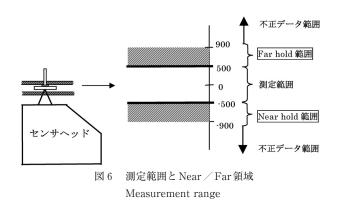


図 5 測定原理 Measurement principle

## (1) 測定範囲

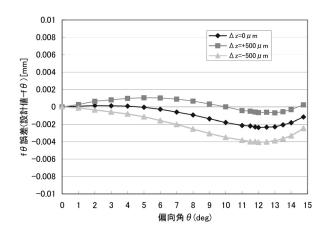
MK5302Bでは自動搭載機のノズルに吸着された電子部品を測定するため、Z方向の測定範囲が広いほど部品の位置決めは容易となるが、測定精度は悪化する。そこで、部品の高さのバラツキを考慮して測定範囲は±500μmとし、測定範囲の外側にそれぞれ400μmのNear hold およびFar hold 領域の関係を示す。自動搭載機の部品吸着ノズルの高さが正しくない場合、あるいは、電子部品のパッケージ厚さが設計値に対して偏りがあり、端子がNear hold またはFar hold 領域に入った場合は、アラームを出すことで、自動搭載機がノズルの高さを設定し直して再測定することができる。



## (2) レーザ走査幅

レーザの有効走査幅は、自動搭載機が搭載可能な部品サイズを考慮して35mmに設定した。これを実現するためには、投光系においては走査幅35mmにわたり等速レーザ走査が可能なf  $\theta$  特性を有する走査レンズが必要である。走査レンズの焦点距離は約70mmとしたため、35mmの走査幅を得るにはレーザの偏向角 $\theta$  は $\pm$  14degとなる。走査レンズのf  $\theta$  特性のシミュレーション結果を図 $\mathbf{7}$ に示す。走査範囲全域にわたり、f  $\theta$  特性の誤差は高精度モードのレーザ走査方向分解能 $\mathbf{10}$   $\mathbf{\mu}$   $\mathbf{m}$   $\mathbf{m}$ 

するにはF/0.85の明るさとなり特殊なレンズが必要である。そこで、受光系をX方向に2つに分割することで、結像レンズの明るさをF/1.7まで抑え、製造が容易なレンズ構成を実現した。



## (3) 出射レーザパワーのクラス1化

クラス1の光源の選定にあたっては、受光素子の 分光感度特性とレーザ安全規格で許容される最大出 射パワーを考慮する必要があり、受光素子の分光感 度のピークである900nmが最も効率がよい。 MK5302Bでは入手可能な850nmの半導体レーザを 採用し、最大出射パワーを0.2mWとした。通常の レーザ変位計に比ベレーザパワーが低いことから、 信号処理系の電気回路のゲインを最適化して、精度 悪化を抑えた。この結果、変位測定値のスタティッ クな繰返し性をアンリツ社内の評価測定基準である Al蒸着ミラーの測定時で2μm以下に抑えることが できた。

## (4) 測定分解能切替え機能

0.3mmピッチのQFPおよびボール径が $\phi$ 0.5mmに満たないCSP測定時には、レーザ走査用回転ミラーの回転数を下げ、空間分解能を $20\mu$ mから $10\mu$ mに切替えることで高精度モードを実現した。回転ミラーの回転数を下げる際にはモータに逆回転の信号を加えるブレーキ機能を付加したことで、分解能の切替え時間は3秒以下に抑えた。

## 5.2 高速信号処理

信号処理ボードでは、12MHzのサンプリング周波数を可能とする高速信号処理と、大容量画像データの高速転送を

考慮し,以下の点について最適化を図った。

## (1) PCIバスの採用

大容量の画像データを短時間に画像認識ソフトに渡すためにPCIバスを採用した。ボード形状はPCI 規格に準拠したロングサイズのPCIカードとし、汎用PCのPCIスロットに実装することで動作可能である。よってCPUボードの性能向上に従って自由にPCを選択することができ、将来的な認識判定時間の向上や機能追加に容易に対応できる。PCIバースト転送により768Mbit/sの転送スピードを実現できた。

## (2) パイプライン処理によるハードウェア演算

A/D変換後のデータを高さデータに演算し各種補 正処理を行う工程は、約70ステップの処理が必要で ある。これをサンプリング周波数12MHz(約83ns) 以内で実行するには、通常のマイコン等を使用した ソフトウェアによる処理では実現不可能である。 よって高さデータの演算はハードウェアによるパイ プライン処理にて行うこととし、FPGAを用いて 12MHzのサンプリング周波数を実現した。

### (3) バッファメモリのブロック化とリングバッファ化

MK5302Bの測定対象は多様な部品サイズを持つため、取得する画像量も各部品によって異なるものである。よってメモリ構成をリングバッファとなるようにし、測定データでメモリが埋まった時点で随時PC上メモリに転送する方式を取った。これにより信号処理ボード上では最大部品サイズ分のメモリ容量(X:55mm, Y:100mmの部品を1画素分解能10μmにて測定時に約156MB)を確保する必要がなくなり、約1/40の4 MBのメモリ容量で機能を実現している。ただし画像取得中はデータのメモリ書き込みを中断することはできないため、メモリ構成を2ブロックに分け、画像データの書き込みとPCへのデータ転送が同時に実行可能となるよう考慮した。

## 5.3 画像認識ソフト

画像認識ソフトは、取得した3次元距離画像から部品の端子画像を抽出し、部品情報との比較により各端子のX、Y、Z方向の座標ずれ、部品全体のコプラナリティ等を求め、部品の良否判定を行う。MK5302Bでは画像認識をPC内のインテル社製汎用CPUとWindows NT上のソフトで

実現している。画像認識ソフトは,「端子候補抽出部」「端子候補選別部」「端子高さ計算部」「統計計算部」「結果出力部」に分けられる。

#### (1) 端子候補抽出部

端子候補抽出部では,取得した画像に適応二値化 処理を行い, 二値画像の中から端子である可能性の ある形状を検索し、その位置を端子候補座標列と して抽出する(図8)。このとき, 反射光量・測定位 置・パッケージの形状等に起因するノイズを含んだ 取得画像から, 実際の端子を漏れなく抽出し, 端子 ではないものを排除し、その上で高速に処理を行う 必要がある。MK5302Bの端子候補抽出部は、端子 とそれ以外を部品情報で与えられた端子寸法との比 較によって識別している。このとき縮小後の端子画 像の画素数が元の画素数に関わらず一定になるよう に画像を縮小することにより、端子候補の抽出速度 を上げるとともに、部品による端子寸法の差を考慮 することなく端子候補の抽出処理を実行することが できる。また、コネクタ部品からの抽出では、ノイ ズとなるモールド部分を端子候補と誤認識すること を防ぐため、端子候補どうしの位置関係が不適切な 候補を除き, 実端子の抽出確度を向上させている。 □32mmを超えるサイズの部品測定では、センサユ ニットは画像を分割して取得する。このため画像処 理による判定では2枚に分割された画像をつなぎあ わせて1枚の画像に置き換えてから端子を抽出する。

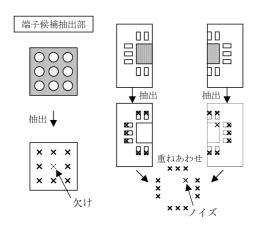


図 8 端子候補抽出部 Pin candidate extraction

## (2) 端子候補選別部

端子候補選別部では、(1)で得られた座標列から 実際の端子であるものを抽出し、端子候補抽出部で 欠けた端子の座標を推定することによって、各端子 のX、Y座標を計算する(図 9)。このとき、部品情 報から得られる端子配列の外周形状を使用して部品 中心のX、Y座標と姿勢を求め、その後で部品情報 から決定される端子座標と端子候補座標との比較を 行うことで、端子候補の中から実際の端子であるも のを選別する。また、端子候補の中に適切なものが ない場合、周囲の端子の位置から端子位置を推定す ることで端子の座標を得る。

#### (3) 端子高さ計算部

端子高さ計算部では、端子の距離画像から高さ(Z座標)を計算する(図10)。ここで重要となるのは、画像に含まれるノイズを除きながら端子高さを正しく算出することと、その上で高速に処理することである。まず端子座標の周辺の3次元距離画像を、端子サイズの2倍のサイズに切り出し、切り出した画像について図10下のように距離画像の高さデータヒストグラムの判別分析を行い、端子部分を抽出する。次に、JEITA(電子情報技術産業協会)の規定「半導体パッケージ規定寸法の測定方法」に沿い、QFPのようなリード型端子の場合は端子の端

## 端子候補選別部 ノイズ $\times \times \times$ × × × <sup>欠け</sup> ××\* X × $\times$ $\times$ $\times \times \times$ ┧ 補間 選別▼ × × × ×→×≺× $\times \times \times$ $\times \times \times$ × $\times \times \times$ × $\times$ $\times$ $\times$ $\times \times \times$ $x \times x$

図 9 端子候補選別部 Pin candidate selection

部から100μm内側の位置の高さを、BGAのようなボール型端子の場合は頂点の高さを端子高さとして算出する。このとき、画像に含まれるノイズが端子画像の周辺部に多いことを考慮し、端子の周辺部のデータを除き、さらにメディアンフィルタによる画像処理を行うことで端子高さを安定して算出できる。また、画像データは1 mm² あたり2500データと膨大であるため、CPUに搭載されているMMX命令を利用して並列処理を行い、処理時間を約1/3に低減している。

#### (4) 統計計算部

統計計算部では、測定した部品の端子の状態が搭載に適しているかどうかを判定するため、(3) までの処理で得られた座標データを基に、各端子のX、Y、Z方向の位置ずれ、部品全体としてのX、Y、Z座標と回転角度、端子により形成される仮想平面のあおり角度、コプラナリティを求め、あらかじめ部品情報に定められた基準と比較することにより、

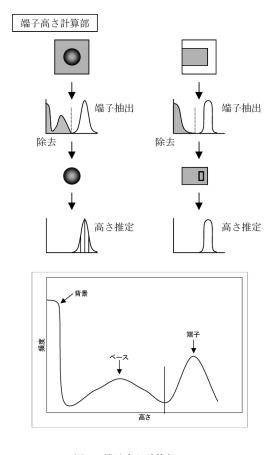


図10 端子高さ計算部 Pin height calculation

部品の良否判定を行う(図11)。各端子のX, Y方 向位置ずれ(リード部品における端子の曲り)は, 部品情報のX, Y座標と画像処理によって得られた 端子のX、Y座標との差として計算する。各端子の Z方向位置ずれ (リード部品における端子の浮き) は、端子全体としての基準平面を計算し、そこから のZ座標のずれ量として求める。このときの基準平 面の求め方には、端子全体による最小二乗平面を利 用する方法と、パッケージ重心を含む三角形を構成 することを条件にした最下点3端子を通る仮想平面 (3点法)を利用する方法がある<sup>6)</sup>。このずれ量の絶 対値の最大が部品のコプラナリティ, 平面の傾きが 部品のあおり角度となる。部品全体の良否は、端子 の欠けの有無、部品のコプラナリティ、あおり角度、 各端子の位置ずれ量と、部品情報に定められたしき い値との比較により判定する。

#### 統計計算部

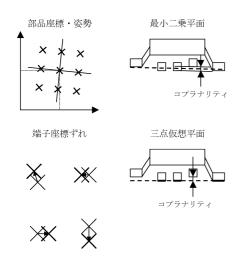


図11 統計計算部 Statistics calculation

## (5) 結果出力部

結果出力部では、自動搭載機からのコマンド指定を受けて、(4) で得られた測定・判定結果を出力する(図12)。通常は部品全体の良否、部品全体の姿勢(水平座標と回転角度)を自動搭載機に出力する。また、必要に応じて、各端子ごとの位置ずれ量や良否判定結果出力、端子位置とその良否判定結果の測定画像への表示などの機能で自動搭載機に対し測定の詳細情報を示すことができる。

#### 結果出力部

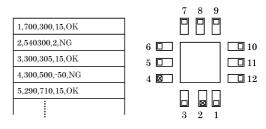


図12 結果出力部 Result output

## 6

## 性能および評価

## 6.1 ゲージによる精度評価

端子に意図的に段差を設けた QFP 形状のゲージ( $\square$  26mm,40端子,端子幅 1 mm)を作成し,性能評価を行った。当社製 KL1302B レーザ変位計(直線性  $\pm$  0.48 $\mu$ m)と比較測定することにより Z 方向測定値の妥当性を,繰返し測定による端子高さのばらつき( $3\sigma$ )を測定することで Z 方向繰返し性が規格内であることを評価した。結果を図 13 に示す。ゲージ測定時には直線性  $15\mu$ m 以下・繰返し性  $10\mu$ m 以下で測定できることを確認した。

## 6.2 実部品による精度評価

実部品による繰返し性を、端子高さのばらつき  $(3\sigma)$  を 測定することで評価した。結果を図 14に示す。実部品で は端子表面の凹凸状態、レーザの反射率の差などの要因に よって、繰返し性が  $20\mu m$  程度まで悪化する場合がある。

## 6.3 認識判定時間の評価

目標である「□20mm,端子数100ピン相当のCSPで認識判定時間0.3s以内」を達成できているかを評価するため,□23mmのQFP,□18.3mmのBGAの画像を用いて認識判定時間を測定した。また,画像を加工することで端子数を増減させ,認識判定時間の変化を確認した。結果を図15に示す。なお,認識判定時間は端子数のほかに部品種類や部品サイズにも依存する。さらに,実際の測定では部品サイズに比例する画像取得時間が別途必要である。

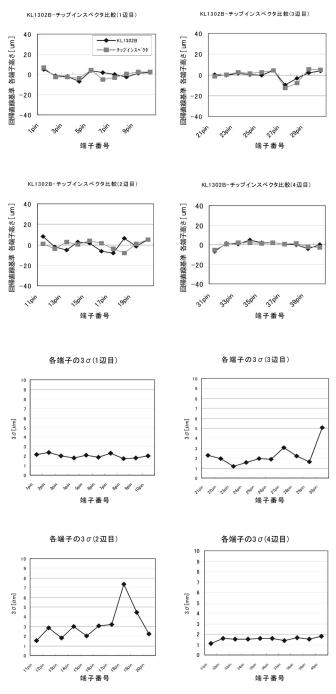


図13 ゲージによる評価 Evaluation with gauge

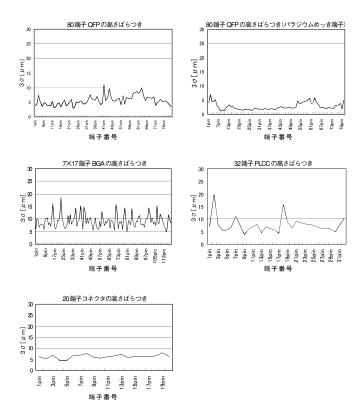
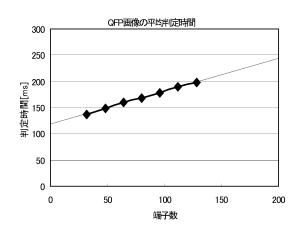


図14 実部品による繰返し性評価 Repeatability evaluation using real parts



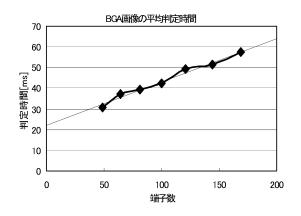


図15 判定時間評価 Judgment time evaluation

## **7** まとめ

電子部品の端子がリードであるQFPとはんだボールであるCSPの両方が測定可能なレーザ走査型三角測量方式の非接触変位センサにより、部品端子の3次元形状測定を行い、得られた距離画像を基に画像処理による判定を行い、電子部品の端子の浮き・曲りを認識・判定することができるMK5302Bチップインスペクタを開発した。

今後は、部品の微細化に応じたセンサの高精度化や新しい 品種の部品への画像処理の対応、測定時間短縮のためのセ ンサの高速化が課題である。

## 参考文献

- 1) 松丸,近藤,田沼 "KL642B 光マイクロ" アンリツテクニカル67号 (1994.3)
- 2) 近藤,田沼,二神,大森 "ICリード浮き・曲り判定ユニット" アンリツテクニカル69号 (1995.3)
- 3) 田沼 "走査型非接触変位測定センサ" 第13回エレクトロニクス実装学術講演大会講演論文集(1999.3)
- 4 ) A.Tanuma "3-Dimension Measurement Sensor" 2001 ICEP (2001.4)
- 5) 黒田 "距離画像を利用した表面実装部品の3次元測定" 第14回エレクトロニクス実装学術講演大会講演論文集 (2000.3)
- 6) 大森 "ICリードコプラナリティ算出方法の比較" 第16回エレクトロニクス実装学術講演大会講演論文集 (2002.3)