

高速 3D 印刷はんだ検査機 SOLLEAD の開発

High-speed 3D Solder Paste Inspector SOLLEAD

益田 紀彦 Norihiko Masuda, 辻村 映治 Eiji Tsujimura, 櫛渕 恭男 Yasuo Kushibuchi, 木村 剛 Takeshi Kimura,
高田 治 Osamu Takata

[要 旨]	携帯電話、携帯音楽プレーヤなどに使用される高密度で薄型のプリント基板をターゲットにした M サイズ(330 × 250 mm)、厚さ 0.3 mm のプリント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。従来機比で走査速度が2倍の3次元変位測定用センサを搭載し、測定時の速度制御と装置の質量バランス最適化により、高速かつ低振動の測定を実現した。機能面では、はんだの印刷状態の傾向を把握するリアルタイム SPC 機能、1 台の PC で複数の検査機を管理できる集中管理機能など実装ラインの品質管理機能を強化した。
[Summary]	Anritsu has developed the MK5420A Solder Paste Inspector (SOLLEAD) for the mobile-terminal market. It checks the solder-paste printing of medium-size PC boards (330 × 250 mm, 0.3-mm min. thickness) using high-accuracy scanning laser displacement. In particular, a sensor measuring 3D displacement supports high-speed, low-vibration measurement as well as optimized balance speed control double scanning speeds compared to previous models. Moreover, functions for controlling the SMT line are strengthened.

1 まえがき

携帯電話に代表されるモバイル情報機器やデジタル家電製品では、地上波デジタル放送を受信可能なワンセグ対応の携帯電話、Web ブラウザを内蔵インターネットに接続することができるスマートフォン、携帯音楽プレーヤといった高機能で小型軽量の製品が次々と登場してきている。これらの製品では高機能化と小型化を実現しつつ生産性の向上を図るため、実装ラインの一層の高速化が求められており、チップマウンタを複数台並べて搭載速度を上げる方法も採用されている(図 1)。

そうした中で、我々はこれまでも「3D 印刷はんだ検査機」を開発し供給してきたが¹⁾²⁾³⁾⁴⁾、実装ラインの高速化に対応し、さらに短時間で高精度な測定を行う必要が出てきた。そこで、このたび特に高密度かつ薄型のプリント基板をターゲットにした、高速にインライン検査が可能な3D印刷はんだ検査機SOLLEAD(ソルリード 型名: MK5420A)を開発した(図 2)。本機は M サイズ(330×250 mm)のプリント基板まで対応し、将来のさらなる高速化へのプラットフォームを意識した設計となっている。

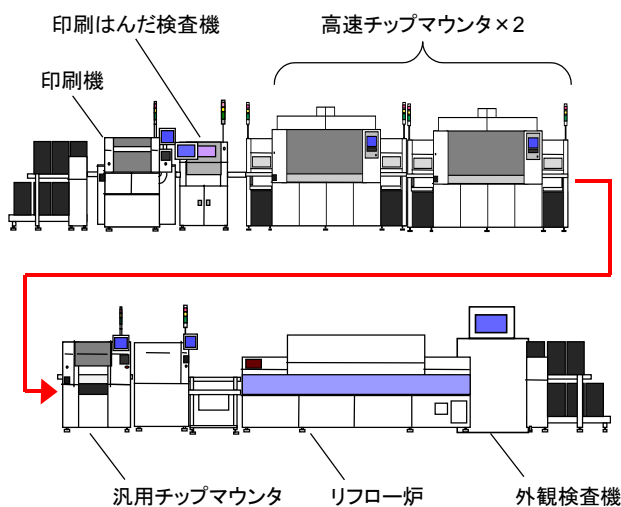


図 1 実装ラインの例
Image of SMT line



図 2 SOLLEAD (MK5420A) 外観
External view of SOLLEAD (MK5420A)

2 構成, 原理

2.1 全体の構成

本機の構成図を図3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 ステージ)から成る測定部、プリント基板の搬入・搬出を行う搬送部、測定部と搬送部を制御するシーケンサ、センサが取得したデータを基にプリント基板上的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処理部、処理部を収納し測定部・搬送部の土台となるフレーム部、検査情報を表示する表示部、データ入力を行なう操作部から構成されている³⁾⁴⁾。

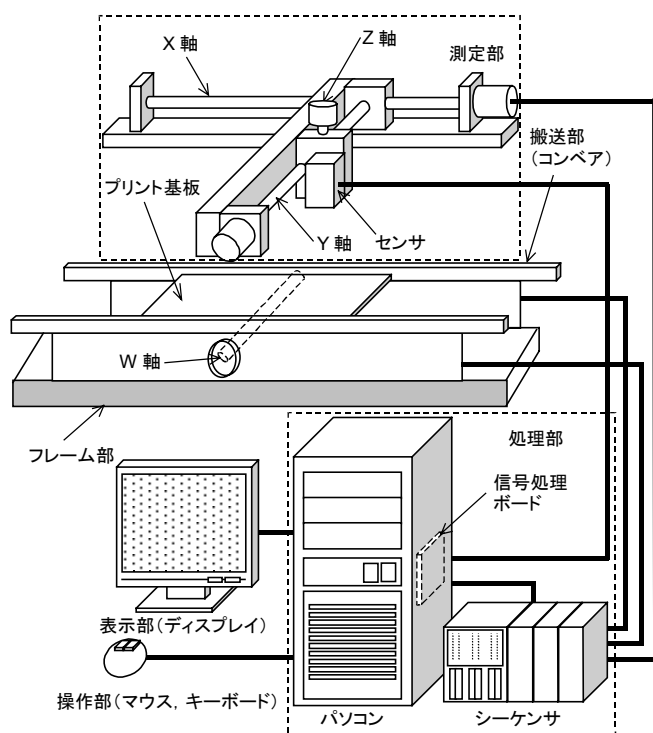


図3 SOLLEAD (MK5420A) 構成図
Structure of SOLLEAD (MK5420A)

2.2 3次元変位測定用センサの測定原理

本機に搭載している3次元変位測定用センサ²⁾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。本機が測定対象とするクリームはんだが印刷されたプリント基板には、比較的反射光成分が強い「レジスト」部分と、散乱光成分が強い「はんだ」部分が混在する。そこで、正反射受光系と散乱受光系の2つの光学系を用意し、得られる受光量に応じて光学系を選択することで、

各部に最適な測定を実現している。光学系の概要を図4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できる。本機のセンサはポリゴンスキヤナを回転させてレーザ光を走査し、測定点を高速に移動させているため、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、センサをレーザ走査方向に直交した副走査方向に移動することにより、プリント基板面全体の高さ測定が可能となり、各測定点の位置情報と高さ情報を結合することで、測定領域の3次元情報を得ている。

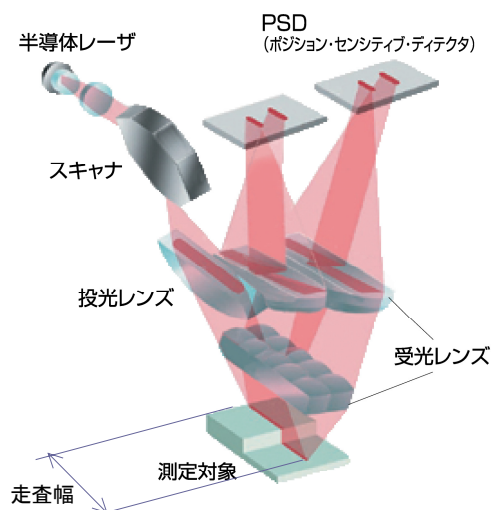


図4 光学系概要
Principle of scanning displacement meter

3 開発方針

本機の開発方針は以下の4点とした。

(1) 高速検査

Mサイズのプリント基板の検査タクトを従来より10秒短縮し、25秒以下とする。

(2) 薄型プリント基板対応

高速検査に対応した低振動な測定部により、従来機と同等の測定精度を保ちながら、従来より0.1mm薄い厚さ0.3mmまでのプリント基板を測定する。

(3) 品質管理機能の強化

検査データをリアルタイムに統計処理しNG発生前に警告する機能、ライン全体のNG判定結果を一括管理する機能、検査機の稼動状態を遠隔監視できる機能を追加する。

(4) プラットフォーム設計

センサゼロ点校正の自動化, 従来機と比べ 2 倍以上に耐久性を向上させた搬送部を実現する。

4 設計の要点

4.1 高速検査

印刷はんだ検査機の検査工程では, 検査機に基板が搬入したときから, 測定および判定処理し搬出されるまでの所要時間を検査タクトと呼んでいる。検査タクトの内訳は, 大きく分けて, 「基板の搬送」, 「測定」, 「判定処理」の 3 つからなるが, その比率はおよそ 2 : 5 : 3 である。以下に検査タクトの 10 秒短縮を実現するためのポイントを述べる。

4.1.1 センサ高速化

検査タクトの約 50%を測定時間が占めることから, 検査タクト短縮のためにはセンサの測定速度を上げることが必須となる。本機に搭載した新開発のセンサは, ポリゴンスキャナの回転数を上げてレーザ走査速度を 2 倍にした(毎秒 16000 走査)。これに対応すべく, アナログ信号帯域, サンプリング速度を 2 倍にしている。サンプリングされた信号からは, FPGA を用いたパイプライン処理により, 毎秒 24 M ピクセルの変位データが生成される。生成された変位データは, 処理ボード上のメモリから PCI バスによる DMA 転送でパソコンのメインメモリに取り込まれる。信号処理ボード上にはメモリを 2 系統用意し, 交互に使用することで測定と転送を同時に実施する仕組みとなっている。本センサの搭載により測定の部分で検査タクトを約 6 秒短縮した。

4.1.2 シーケンス制御の最適化

基板の搬送, および測定準備に関わる時間は, 測定時間に比べれば全体の 20%程度で短い, 検査タクト短縮を考えた場合には無視できない。よって, 今回の開発ではこれらの動作を制御しているシーケンサソフトウェアにも改良を加えた。まず従来機の動作を細かく分析し, 無駄な動きや並列化できる動きはないかを検討した。たとえば, 基板搬入後直ちに測定開始できるようにセンサ待機位置を最適化する, 測定後の基板固定解除と演算処理を並列化する, 基板を搬出しながら次の測定のためにセンサを移動しておくなど, 細かい改善を積み上げ, 基板の搬送, および測定準備の部分で約 2 秒短縮した。

また, 測定時のセンサの移動方法を見直した。測定時のタイミングチャートを図 5 に示す。センサの走査幅は 26 mm であるため, 大きな基板を測定するには測定動作(Y 方向移動)後に走査幅の

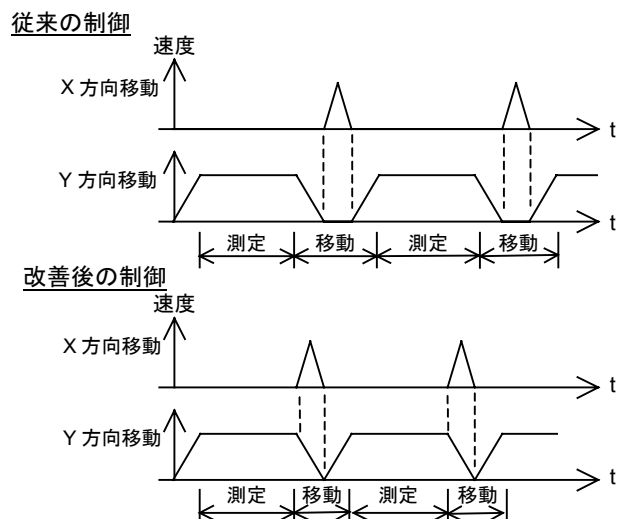


図 5 測定時動作タイミングチャート

Measurement timing chart

分だけ X 方向に移動し, 複数回の測定が必要になる。従来, 測定動作(Y 方向移動)と X 方向の移動動作を順番に実施していた。これを Y 方向移動の減速と同時に X 方向にも移動させることで, 測定間の移動時間を削減した。これにより X 方向の移動回数が最も多い M サイズの基板で約 1 秒短縮した。

4.1.3 測定と演算処理の並列化

検査タクトを決める最後の要素は, 判定処理時間である。判定処理では, センサが取得した形状データを基に各はんだの体積・面積等を算出し, しきい値と照合して OK/NG 判定している。当然, 検査対象のはんだ個数が多ければ処理時間が延びる。そこで, 特にはんだ数が多い場合に有効なタクトを短縮する方法を考案した。判定処理を始める前には, 認識マーク位置を取得して形状データの座標を決定する必要がある。しかし, 認識マークは基板の対角位置に配置されていることが多く, 通常の測定ルートでは 2 つ目の認識マークが最後の測定ルートに配置される(図 6)。このため, 従来の方法ではセンサによる基板全体の測定が完了した後に, 判定処理を開始する必要があった。

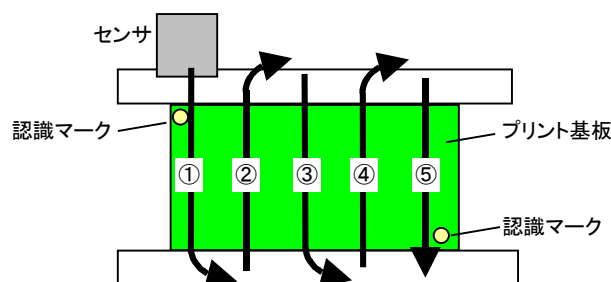


図 6 通常の測定ルート

Normal measurement path

本機では特に高密度実装基板の判定処理時間短縮に効果がある、認識マークのある領域を先行して測定する方法を採用した。認識マークを測定した時点で基板上的座標が決定されるため、残りの部分を測定しながら、すでに測定が終わった部分の判定処理を開始できる。この方法により、測定と判定処理を並列に実施できるため、測定完了後の処理待ち時間は低減され、測定および判定処理時間を短縮できる(図7)。

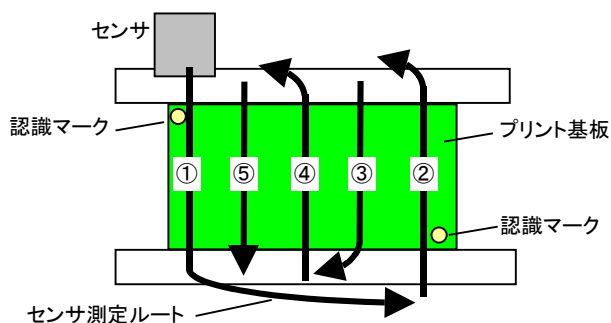


図7 認識マーク先行ルート
Fiducial mark path

ただし、対角にある2つの認識マーク位置を取得する際に大きな移動を伴うため、はんだ数が少ない基板ではかえって遅くなることもある。そこで、はんだ数に応じて検査タクトが短い測定ルートを自動的に選択することで、プリント基板の条件に応じた最速の検査タクトを実現している(図8)。これによりMサイズのプリント基板で判定処理時間を約1秒短縮した。

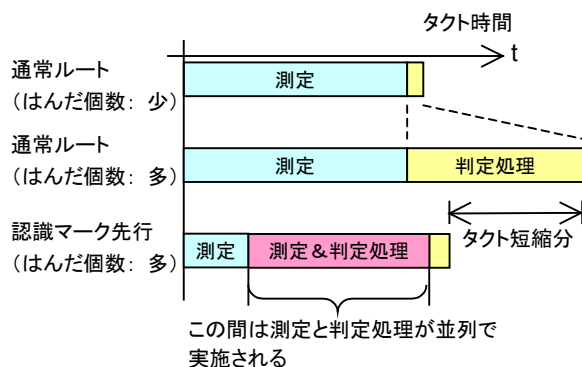


図8 測定ルートの選択方法
Measurement path selection

4.2 薄型プリント基板対応

携帯電話などのモバイル製品に使用される薄型のプリント基板は、一枚のシートに複数の個片基板を配置した多数枚取りのプリント基板が一般的である(図9)。多数枚取り基板は薄型でルータ溝と呼ばれる基板外周に施した溝穴の範囲が広いいため、比較的強度

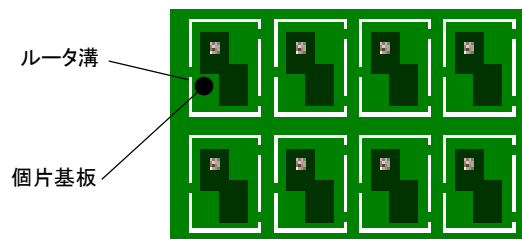


図9 多数枚取り基板
Divided PCB

が弱く、測定時に振動しやすい。

特に本機の測定対象となるはんだは、100 μ m程度の高さのため、十数 μ mの振幅であっても振動を除去する必要がある。測定速度を上げるためにはセンサの移動速度を上げる必要があるが、走行時、停止時の振動は一般に速度を上げると増大する。測定部を設計するにあたり、高速測定と低振動という相反する課題の実現のため、ポイントを3つに絞り対策した。

- (1) 測定中にプリント基板を動かさないこと
- (2) センサの移動を滑らかにし振動の発生を抑えること
- (3) 測定中の外乱による振動をプリント基板に伝えないこと

測定中にプリント基板を動かさないために、従来機で採用していたプリント基板をY方向に移動する方式をやめ、センサをXY方向に移動させる方式を採用した。センサの移動を滑らかにするためには3.1.2で述べたX方向とY方向の同時移動が有効であった。さらに、センサ移動時の振動をプリント基板に伝えないようにするため、振動モード解析によりセンサ、X、Y、Z ステージ、架台の質量バランスを最適化した。本機では数値解析により、センサ、X、Y、Z ステージ、架台の固有振動数と各固有モードでの質点の揺れを確認しつつ設計を進め、各固有モードで最も揺れが少なくなるようそれぞれの質量バランスを最適化した(図10)。その結果、ステージはアルミ鋳物化で軽量化し、架台は底部を鉄板で補強し重心を下げる構造とした。

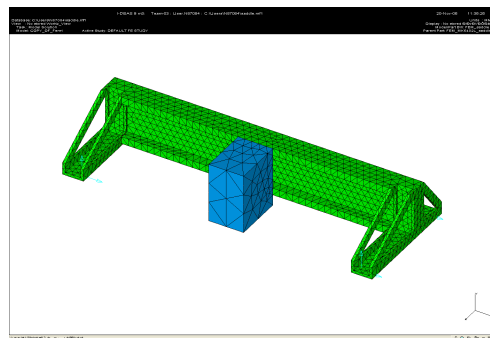


図10 振動解析モデルの例(Y ステージ)
Vibration analysis model (y-axis stage)

また、外乱による振動をプリント基板に伝えないようにするため、プリント基板を固定するクランプ部はベルトごと基板を挟むベルトクランプ方式とした。この方式は床振動や測定時に検査機が発生する振動を、弾性体のベルトが吸収しプリント基板への伝達を抑える効果がある(図 11)。これにより、薄型多数枚取りのプリント基板においても安定して測定が行えるようになった。

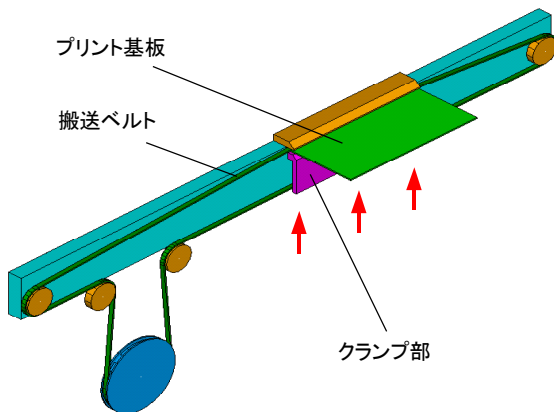


図 11 ベルトクランプ方式のコンベア
Belt clamp conveyor

4.3 品質管理機能の強化

4.3.1 SPC トレンドグラフおよび警戒値機能

任意のはんだの印刷状態の傾向を把握するために、我々は先に SPC (Statistical Process Control) 分析機能⁴⁾を開発した。本開発では SPC 分析機能をさらに進化させ、統計データから注目したいはんだをグルーピング (SPC グループ) して、そのグループの品質情報をリアルタイムにトレンドグラフ表示することを可能にした (図 12)。また、トレンドグラフには警戒値機能も追加した。警戒値機能とは、NG 判定になる手前の判定基準を設け NG 発生前に警告する機能である。警戒値は平均値、最大値、最小値、ばらつき (最大値 - 最小値) に対してそれぞれ設定できる。たとえば BGA (Ball Grid Array) を搭載するはんだ群を SPC グループとして設定し、高さのばらつきに対して警戒値を設定すると、はんだの高さのばらつきが大きくはんだ不良になる可能性がある端子を検出できる。

4.3.2 集中管理機能

集中管理機能は、最大 50 台の検査機を 1 台の管理 PC にネットワーク接続し、生産中、停止中などの検査機の状態および NG 判定結果を一括管理できる機能である。検査機が NG 判定した場合、通常はオペレータが NG 箇所を実基板で確認し、オペレータの判断で、そのまま後段に流すか NG 基板として処理するかを決定している。しかし、複数のラインを別々のオペレータが担当し、オペレー

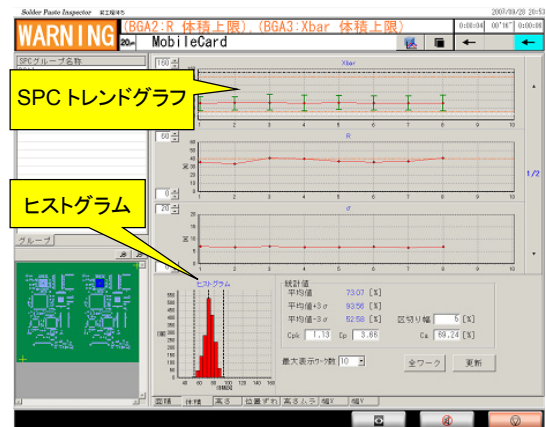


図 12 SPC トレンドグラフ
Statistical Process Control (SPC)

タの NG 判断基準にばらつきがある場合には、ラインごとに品質の管理基準が一定でないという問題があった。集中管理画面は、ネットワーク接続された印刷はんだ検査機の状態を確認できるライン一覧画面と検査機が NG 判定したはんだの 3D 画像およびカメラ画像を確認しながら最終的な OK/NG 判定をする確認画面で構成される (図 13)。集中管理による一括管理をすることにより、オペレータごとの NG 判定のばらつきがなくなり、品質の管理基準を一定にすることが可能となる。

4.3.3 メールオペレーション

ライン管理者などが電子メールで本機の稼動状況や検査結果を問い合わせできる機能を用意した。メールサーバにアクセス可能であれば管理用の PC でなくとも操作可能であるため、たとえば携帯電話の電子メールを用いれば、オペレータが帰宅した後も検査機の稼動状況を確認できる。

4.4 センサゼロ点校正の自動化

印刷はんだ検査機で使用されるセンサの光学系は、大きな温度変化や長時間の経年変化によりゼロ点が変わることがある。本機はより安定した測定結果が得られるよう、自動的にセンサのゼロ点を校正をする機能を用意した。

ゼロ点校正とは、精度維持に必要な平坦度と測定基準面に対する平行度とを備えたゲージを測定し、そのときに現れる誤差を打ち消すための補正機能である。従来の印刷はんだ検査機では上記ゲージの貼り付けられた基板を搬入してゼロ点校正を行う必要があったが、今回は本体内部のコンベア上にゲージが搭載されているため、測定開始時に設定されたスケジュールに基づいて自動的にセンサをゲージ上に移動して校正を実施する。

この場合、本体内部のゲージは埃などに対し開放状態であるために、埃が載ったままでも校正すると、埃の凹凸も含めて校正されてしま

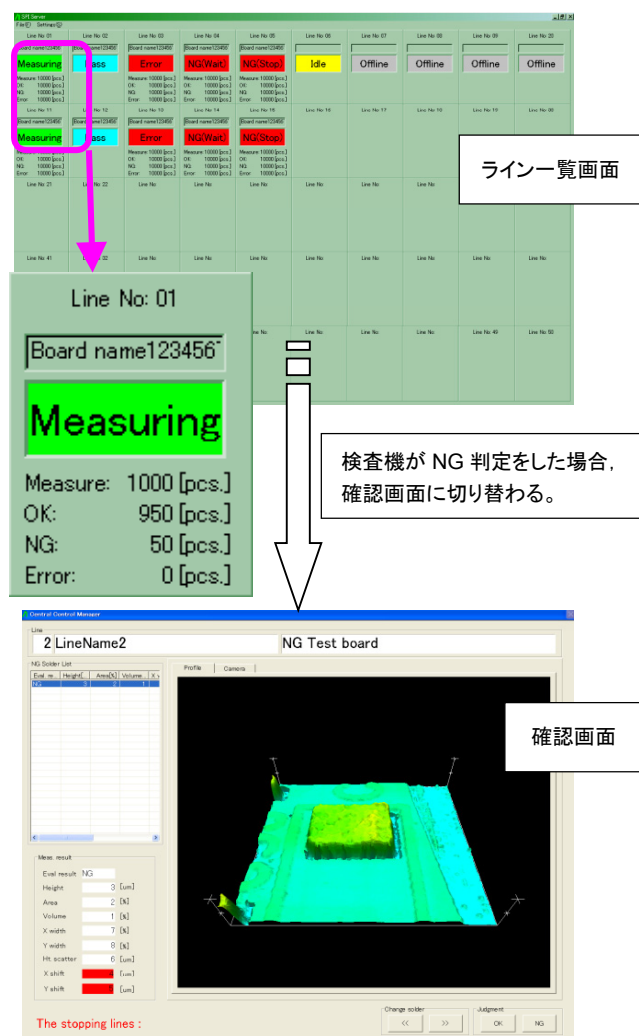


図 13 集中管理ソフト画面
Central SPC control system

い正しい校正とならない。そこで、校正を行う前に校正ゲージを測定し、得られたゲージ表面形状を微分することで埃やゴミの検出を行っている。埃やゴミが検出された場合は、校正を中断しゲージの清掃を促すメッセージを出す。これにより、ゴミ等を誤検出せず、印刷はんだ検査機を常に安定した状態で使用することが可能になる。

4.5 耐久性の向上

実装ラインでは 1 日に数千枚もののプリント基板が流れるため、搬送部は最も耐久性が必要とされる部分である。特に搬送ベルトとストッパは、プリント基板を「運ぶ」「停止させる」という役割を担っており、頻繁にプリント基板と接触するため磨耗しやすいという問題があった。本機では以下に述べるように搬送部の設計を見直し、耐久性の向上を実現した。

4.5.1 搬送ベルト

従来の印刷はんだ検査機では搬送ベルトの初期伸びを抑えるためにワイヤ芯線入りの樹脂ベルトを採用していた。しかし、ワイヤ

芯線入り樹脂ベルトは、経時変化によりクセが付きやすく、蛇行、磨耗の原因にもなるためベルトクランプ方式には適していなかった。そのためベルトの材質を見直し、柔軟性と強度のバランスからグラスファイバー入りの樹脂ベルトを新規に採用した。回転方向、基板の種類など条件を変えて搬送ベルトの経時変化(蛇行、磨耗、クランプ状態のばらつき)をテストした結果、従来機比で 2 倍の耐久性を持つことが確認できた。

4.5.2 基板ストッパ

基板ストッパは搬送部で運ばれてくる基板にロッドを当て所定位置に停止させる装置である。一般にプリント基板にはガラス繊維入りエポキシ樹脂が使用されており、金属と比べて比較的硬度が高いため、ロッドを磨耗させやすい。さらに、フレキシブル基板などシート状の基板は質量のある金属製のキャリアの上に複数貼り付けて搬送するのが一般的であるため、ロッドにはキャリアの衝突に伴うプリント基板搬送方向の衝撃力が加わり寿命を縮めていた。そこでロッド先端は焼き入れにより硬度を上げ、ロッドを駆動するシリンダ軸に衝撃力を伝えないようにロッドとシリンダ軸を自由度のある連結部品で接続する構造とすると共に、ガイドを 2 本追加して衝撃を吸収させる構造とした(図 14)。

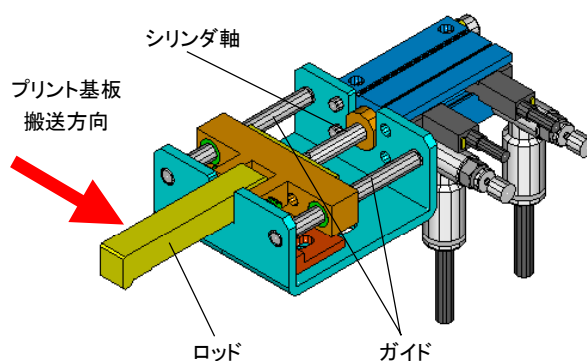


図 14 ガイド付き基板ストッパ
Board stopper with guide

5 機能、性能

5.1 性能評価

5.1.1 検査タクト測定結果

表 1 に本機と従来機(MK5401C)の検査タクト測定結果を示す。M サイズ、1/4M サイズのプリント基板を分解能 20 μm 、10 μm で測定した場合、いずれにおいても従来機に比べ検査タクトを 10 秒以上短縮できた。

表 1 検査タクト測定結果(従来機 MK5401C との比較)

Tact time inspection result (SOLLEAD and MK5401C)

分解能	基板サイズ	SOLLEAD	MK5401C
20 μm	M サイズ(330×250 mm) はんだ数: 5000	23.2 秒	34.2 秒
10 μm	1/4M サイズ(165×125 mm) はんだ数: 2500	20.8 秒	31.7 秒

5.1.2 インラインテスト結果

a) 外観検査機との判定比較結果

本機の性能を確認するために、実装ラインにてモバイル製品用の薄型多数枚取り基板(115×102 mm, 厚さ 0.35 mm, 6 枚取り)を測定し、部品実装後の外観検査機のと判定結果の比較を行なった。外観検査機ではんだ起因で NG となった箇所と、印刷はんだ検査機で NG 判定した箇所の照合を行うことで、印刷はんだ検査機の有効性を確認した。表 2 に判定結果を、図 15, 16 に代表的な NG 箇所の状態(印刷はんだ検査機のカメラ画像, 3D プロファイル, 外観検査時の写真)を示す。

表 2 外観検査結果との比較

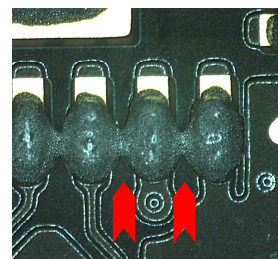
Comparison with appearance check

生産枚数	はんだ起因の NG 枚数	外観検査機 NG 検出箇所数	SOLLEAD NG 検出箇所数
5124 枚	13 枚	17 箇所	17 箇所

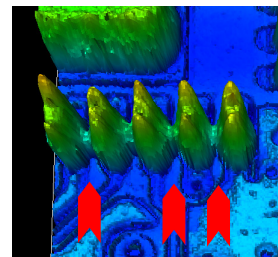
この結果、プリント基板生産枚数 5124 枚に対して、部品搭載後の外観検査機で検出したはんだ起因の NG 箇所は 17 箇所(13 枚)であった。本機はこれらすべてのはんだ不良を検出することができた。実際には前述の通り、部品搭載前にはんだの修正が行えるため、はんだ起因の NG を抑えることが可能である。

b) 従来機との振動評価結果

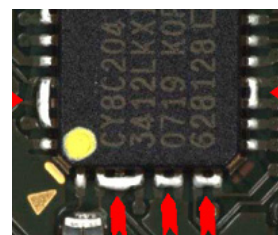
従来機と本機を製造ラインに並べ、前述のモバイル機器用の薄型多数枚取り基板を測定した。その結果、従来機では約 10% のプリント基板に 20~30 μm の振幅の振動が見られたが、本機では 5124 枚すべてのプリント基板において振幅は 1 μm 以下であった。また、さらに振動の影響を受けやすいサンプル基板(120×130 mm, 厚さ 0.5 mm, 2 枚取り)を測定した結果、従来機では約 50% のプリント基板に 30~40 μm の振幅の振動が見られたが、本機では振幅は 1 μm 以下であった(図 17)。従来機においても基板を裏面から支えるサポートユニット³⁾等の機構を設けることで振幅を 10 μm 以下に抑えることはできるが、本機はこうした特別な機構を必要



A) 印刷直後の写真

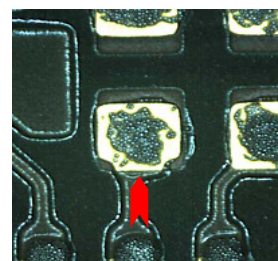


B) 3D プロファイル
判定: ブリッジ

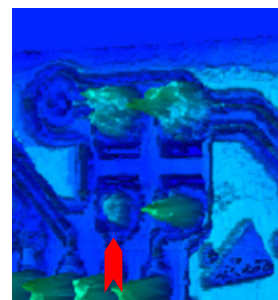


C) 外観検査時の写真
判定: ブリッジ

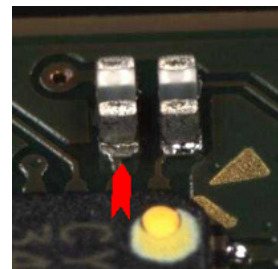
図 15 代表的な NG 箇所の状態(ブリッジ) (➡ 矢印部)
Typical failure – 1 (solder bridge)



A) 印刷直後の写真



B) 3D プロファイル
判定: 面積・体積小



C) 外観検査時の写真
判定: はんだ過少

図 16 代表的な NG 箇所の状態(はんだ過少) (➡ 矢印部)
Typical failure – 2 (missing solder)

とせず、従来機に対し測定に与える振動の影響を低減することが確認できた。

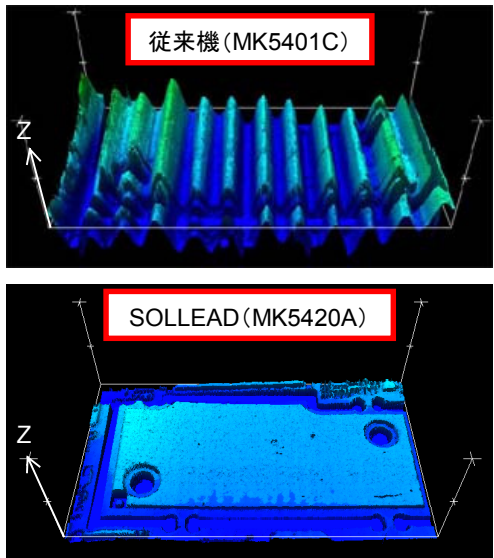


図 17 プリント基板表面の振動比較 (Z 方向倍率 200)
PCB Vibration (x-axis 200x)

5.2 主な仕様

表 3 に印刷はんだ検査機の主な仕様を示す。

表 3 主な仕様
Main specifications

基板	サイズ	搬送方向 (X) × 幅方向 (Y) : 50×50～330×250 mm 厚み: 0.3～4.0 mm	
	反り	搬送方向: 1.0 mm以下 (幅 26 mm あたり) 前後方向: ±2.5 mm 以下	
分解能		X・Y: 20 または 10 μm, Z: 1 μm	
検査項目		体積: V, 面積: S, 高さ: H=V/S 高さムラ: $\angle H = H_{\max} - H$ 位置ずれ, ブリッジ	
対象パッド寸法		10 μmモード φ0.2 mm以上	20 μm モード □0.3 mm以上
繰返し 性 (R) *1	体積・面積	±2%	
	平均高さ	±2%	
	位置ずれ	±10 μm	
タクト	165×125 1/4M サイズ	22 秒 (10 μmモード)	13 秒 (20 μmモード)
	330×250 M サイズ	60 秒【オプション】 (10 μmモード)	25 秒 (20 μmモード)
寸法		800 (W) × 950 (D) × 2000 (H) mm	
質量		600 kg 以下	

*1: 精度測定用ゲージによる

6 むすび

携帯電話、携帯音楽プレーヤなどの薄型モバイル製品で使われる薄型プリント基板に対応すべく低振動でかつ高速なインライン検査ができる印刷はんだ検査機を開発した。今後は本機をプラットフォームとし、応用製品を展開する。さらに現場のニーズに合わせて、印刷機、チップマウンタと連携し、印刷はんだ検査機の情報で「印刷」や「搭載」の工程にも利用することで、さらなる実装ラインの不良率の低減に結びつく取組みに発展させてゆきたい。

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)
- 益田, 木村: “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, PP.53-58 (2006.3)
- 木村, 高田, 上萬:
“印刷はんだ検査機分析機能の開発”
アンリツテクニカル 84 号, PP.20-27 (2007.3)

執筆者



益田 紀彦
精密計測事業推進部
開発部



辻村 映治
精密計測事業推進部
開発部



櫛渕 恭男
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



高田 治
精密計測事業推進部
開発部