

印刷はんだ検査機分析機能の開発

Development of Analyze Function for Solder Paste Inspector

木村 剛 Takeshi Kimura, 高田 治 Osamu Takata, 上 萬直哉 Naoya Kamiman

[要 旨]	印刷はんだ検査機を用い、プリント基板実装の印刷工程での SPC(統計的工程管理)を可能とする分析機能を開発した。印刷されたはんだを適切に良否判定するためには最適な許容値を設定する必要があり、この最適な許容値は測定結果を統計的に分析することで決定できる。そのためのはんだの部品単位グルーピング機能、Xbar-R トレンド、工程能力トレンド、ヒストグラム、散布図やレポート印刷機能などの分析機能を開発し、処理速度の向上と保存データ量の削減も実現した。この結果、大きなロットサイズ測定結果の場合でも、分析処理のレスポンス時間約 1 分以内を達成した。
[Summary]	Anritsu has developed an analysis function supporting Statistical Process Control (SPC) at solder paste printing. It sets the best permissible values for pass/fail evaluation by statistically analyzing the printed solder measurement results. The developed analysis includes functions for soldered parts unit grouping, Xbar-R trend, process performance trend, histograms, scatter plots, and report printing. Process speed is increased while stored data amount is decreased, resulting in analysis response times of less than 1 minute even with large data volumes.

1 まえがき

最近の軽薄短小な電気製品では、BGA(Ball Grid Array)や CSP(Chip Scale Package)、および QFP(Quad Flat Package)などプリント基板上での実装面積の小さな部品が使用されることで内蔵されるプリント基板は高密度化が進んでいる。

高密度実装で使用される QFP では端子間ピッチが 0.4 mm などの狭ピッチであり、BGA や CSP では端子数が数百ピンも存在する場合があるため、実装後に外観検査や導通試験で不良とされた場合は修復が困難、もしくは多大な工数が必要となることから、歩留まりと信頼性向上のためには部品搭載前にプリント基板へ印刷したはんだの状態(体積・高さ・面積)を管理することが重要となっている。

印刷はんだ検査機では、センサとして走査型光マイクロ(走査型レーザ変位計)²⁾を使用してプリント基板上の個々のはんだの高さ・体積・面積などを水平分解能 20 μm 、高さ分解能 1 μm で 5000 点のはんだを 35 秒で(330×250 mm の M サイズ基板の場合)測定し、設定された許容値によって合否判定が行われる。このとき重要となるのが、各検査項目の合否判定許容値の決定である。印刷が理想的に行われた場合の面積は印刷マスクの開口、高さは印刷マスクの厚さ、体積は開口面積×印刷マスクの厚さとなる。しかし、実際は印刷されるクリームはんだは粘性が高いために、設計値どおりのはんだ形状とはならない。また、印刷されたはんだ量は印刷マスクの開口形状や使用するクリームはんだ、印刷機のパラメータなどはんだ印刷に影響する要素が多く、許容値を規格化することが

難しい。そのため、許容値を決定するには、これまでの生産状況から統計的に良品／不良品の傾向をつかむことで最適値を決定することが必要である。検査タクトへの影響が少なくなるよう処理速度の向上と短時間でのレスポンスを目指した統計的分析を可能とする SPC(Statistical Process Control)分析機能を開発した。

SPC 分析機能は、ユーザが最適な許容値を決定できるように、自由な分析単位が指定できる分析対象はんだのグルーピング機能、多数のはんだ測定結果であっても 1 分以内で結果を表示するための分析データ保存方法の改善、ユーザの統計的分析を補助するためのトレンドグラフ、ヒストグラム、各種統計値の表示など、良否判定のための許容値設定に寄与できる機能を用意した。

2 構成

2.1 印刷はんだ検査機の構成

印刷はんだ検査機のブロック図を図1に示す。本機はセンサヘッド、センサヘッドを搭載した 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上のはんだ形状を演算・表示するパソコン・ディスプレイにより構成されている。GUI(グラフィカルユーザインタフェース)のポインティングデバイスとしては狭いスペースでも使用できるようにトラックボールを使用している。

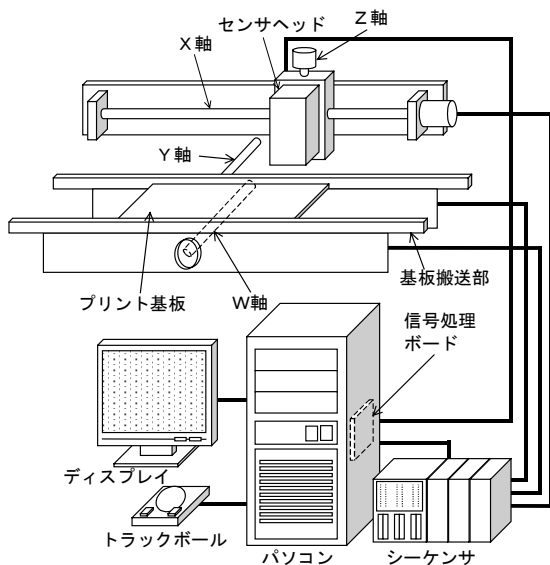


図1 MK5401C ブロック図
MK5401C Block diagram

測定方式を図2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(Y)にプリント基板を移動して走査幅26mmではんだの断面を10μmないし20μmピッチで測定を行う。次に、センサをレーザ光の走査方向(X)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。^{1) 3)}

2.2 ソフトウェア構成と分析機能の位置付け

ソフトウェアブロック図を図3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。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GUI部からの設計値データに基づいて、演算処理・判定処理部で判定処理が行われる。GUI部は演算処理・判定処理部によって演算および判定された結果を受け取り、分析に必要な数値演算を行い、データベースに登録する。このとき、SPC分析に必要な集計処理が事前に行われ、集計されたデータはデータベースに登録される。これらの処理は、

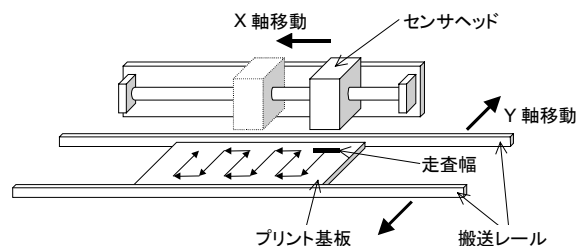


図2 測定方法
Scanning path

使用しているパソコンの2つのCPUを有効活用するためにマルチスレッド化することで、極力タクトタイムへの影響を少なくしている。

3 開発の要点

3.1 分析単位の指定方法

プリント基板には数千～数万点のはんだが印刷されるが、通常はすべてののはんだを分析対象とするわけではなく、リフロー後の修正が困難もしくは工数が必要となる狭ピッチのQFPや裏面接続のBGA、CSPなどを対象とすることが多い。そのため、部品単位で見れば数点から数十点が分析対象となることが大半である。はんだの測定結果を部品単位で分析するには、事前に個々のはんだをグルーピングし、その上に搭載する部品と関係づけておく必要がある。分析対象とする部品(はんだ)は、レイアウトを確認できる基板詳細画面上ではんだをドラッグ動作で囲むことによりグルーピングし、チップ名称など取り扱いに便利のように名称をつけることができる(図4、図5、図6)。なお、分析対象はんだの指定は必ずしもチップや部品単位などの制限をしていないため、組み合わせを自由に設定可能である。また、はんだを複数の領域で分析できるよう、複数のグループに跨って登録することも可能である。これにより、複数の部品をまとめて分析することも個別に分析することも可能となり、分析単位の自由度が広がる。

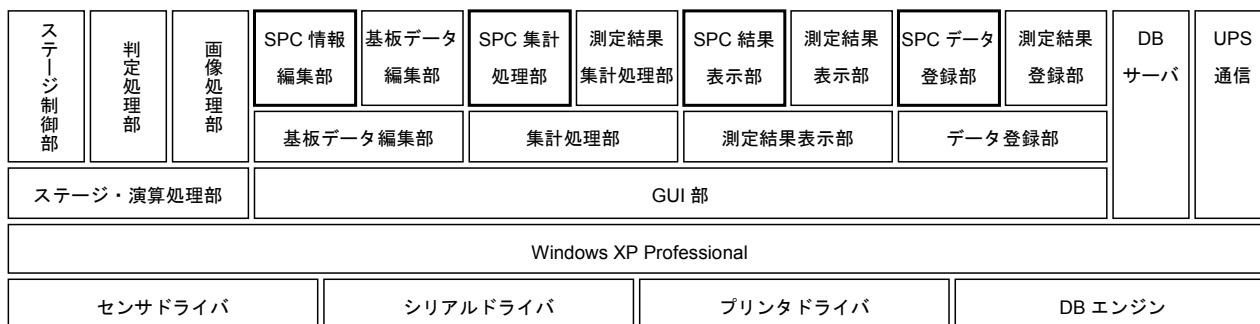


図3 ソフトウェアブロック図
Software block diagram

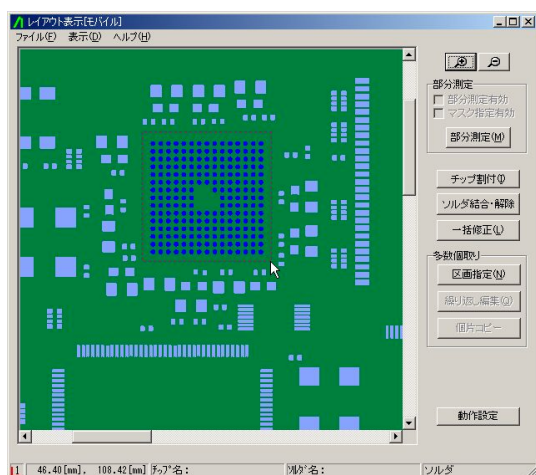


図 4 分析対象はんだの指定
Solder analysis specification

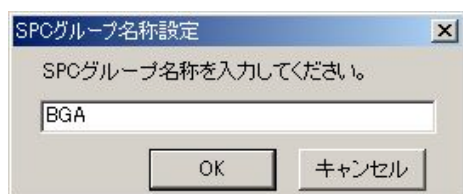


図 5 分析対象はんだグループ名称の入力
Analysis solder group name input

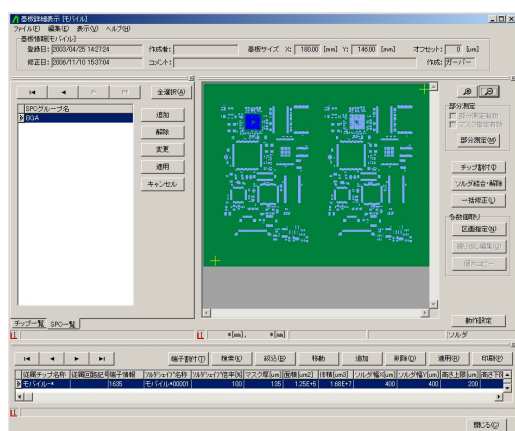


図 6 基板詳細画面
Board details

3.2 分析結果表示の高速化

長期に渡って保存された検査結果から、指定されたはんだについて結果を抽出する際、データベースをアクセスして取り出すためには、これまでかなりの時間を要していた。例として、1基板上に印刷されるはんだが5000点あり、1日の生産枚数が2000枚で30日間生産した場合には、データベースに保存されるはんだ数は3億にもなるため、条件によっては実用にならないほど長い処理となることがあった。分析が必要となるはんだが基板上の限られたはんだで、保存が必要なはんだが指定されている場合は、はんだ個々

の素データ(各はんだの測定値)を持つ必要はない。データベース登録前に後述する計算式に従って予め計算を済ませることで、保存データ量の削減と指定されたはんだの分析結果表示までの時間の短縮が可能である。このような処理を行わず、素データから分析データを取得する場合には保存されたはんだ数によって異なるものの、数十分から1時間近くかかる場合もあった。しかし、予め指定された対象はんだの分析結果表示に必要な事前計算された最小限のデータのみを保存することで、分析対象となるロットに関連付けられた分析データを検索することなく取得できるため、ロット内のワーク数にもよるが、長くても1分前後で表示可能となった。

3.3 SPC 分析機能

SPC 分析機能では統計的工程管理に必要な平均値の傾向を示す Xbar トレンドグラフ、ばらつきの傾向を示す R トレンドグラフ、分散の傾向を示す σ トレンドグラフやはんだ印刷状態のばらつきを確認できるヒストグラム、印刷の位置ずれを確認できる散布図、工程能力や設定された許容値に対する NG 率などの統計値を確認できる(図 7)。

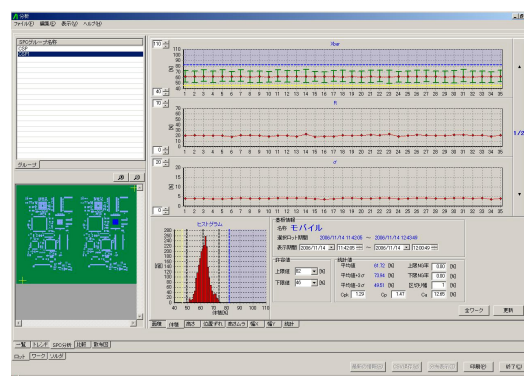


図 7 SPC 分析画面(体積)
SPC Analysis (volume)

トレンドグラフは各測定項目の測定結果の時系列での傾向が把握できる。これにより、生産中の印刷機のクリーニングやパラメータ変更などによる、印刷状態の傾向の変化を掴むことができ、次回生産時の印刷機調整の際に役立てることができる。

また、ロットの統計情報として、ワーク別の NG 率、検査項目別に NG 判定が多い項目を確認できる検査項目別パレート図、NG 判定されたチップが確認できるチップおよび開口別のパレート図を確認できる(図 8、図 9、図 10)。

パレート図は、NGと判定された部品や検査項目が値の大きな順に棒グラフと各項目の構成比率で表されるため、改善すべき項目の判断に使用できる。

以下、個々の機能について説明する。

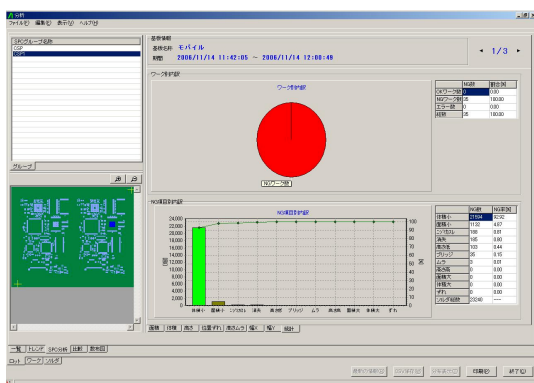


図 8 SPC 分析画面(ワーク別内訳, NG項目別パレート図)
SPC Analysis (work breakdown, Pareto chart for each NG item)

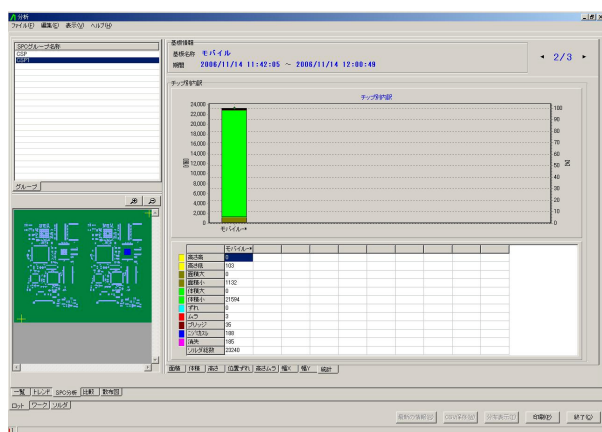


図 9 SPC 分析画面(チップ別パレート図)
SPC Analysis (Pareto chart for each chip)

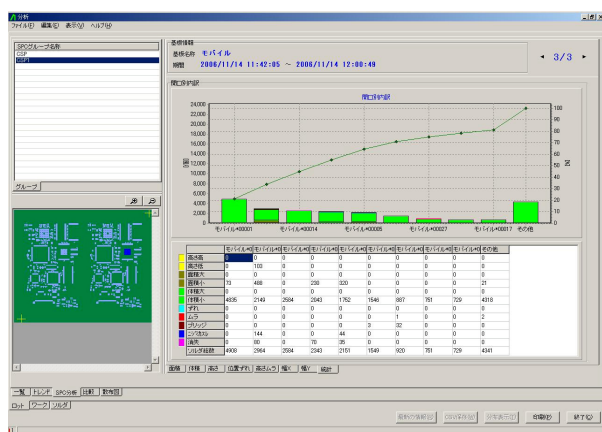


図 10 SPC 分析画面(開口別パレート図)
SPC Analysis (Pareto chart for each aperture)

(1) 基板レイアウトの表示

分析対象を容易に指定できるように基板レイアウト表示が用意されている。分析対象として登録された部品(はんだ)

の一覧(図11)と基板レイアウトイメージ(図12)を表示している。登録されたはんだグループ一覧で分析表示対象グループを選択することによりレイアウト上で該当はんだが点滅し、対象はんだグループの位置を確認できる。また、逆にレイアウト上で登録されたグループ内のはんだをトラックボールで選択することによっても該当グループを選択できる。

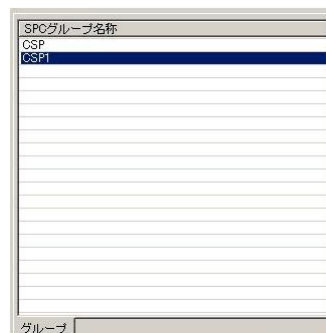


図 11 SPC グループ一覧
SPC Group list

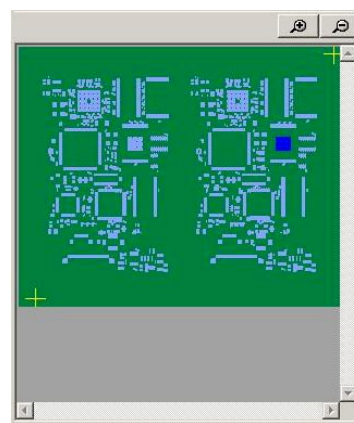


図 12 SPC 分析画面の基板レイアウト
Board layout

(2) トレンドグラフ表示

トレンドグラフには Xbar, R, σ , Cp, Cpk, Ca の 6 項目が表示できる(検査項目によっては一部のみ)。

Xbarトレンドグラフは分析対象はんだの平均値, 最大値, 最小値および上下限許容値ラインが表示される(図13)。

Xbarトレンドグラフは平均値を中心としたグラフであるため Xbarトレンドグラフに大きな変動がなければ, 安定したはんだ印刷が行われていることが確認できる。また, 同時に最大値と最小値もトレンドグラフ上に表されているため, 平均値が安定していたとしても最大値と最小値の幅が大きければ, 分析対象としているグループ内のはんだのばらつきが

大きいことを示しており、はんだ印刷の改善が必要と判断できる。

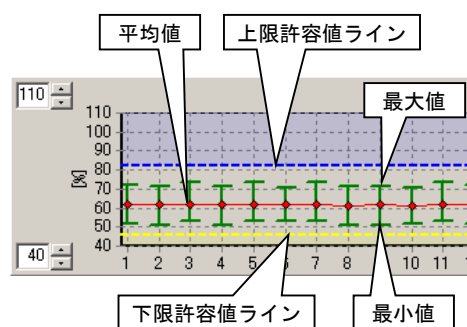


図 13 Xbarトレンドグラフ
Xbar trend graph

RトレンドグラフはXbarの最大値と最小値の幅(ばらつき)をプロットしたトレンドグラフである。Rトレンドグラフは理想的には0に近くなることが理想であるが、実際にはばらつきを0とすることは不可能であるため、一定の値以内に納まるように印刷機を調整することでばらつきの少ない印刷状態となる。

σトレンドグラフ(標準偏差トレンドグラフ)は下記の式で表される値をトレンドグラフに表現したものである。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n-1}}$$

Cpトレンドグラフは下記の式で表される値(工程能力指数)をトレンドグラフに表現したものである。

$$Cp = \frac{|\text{上限許容値} - \text{下限許容値}|}{6\sigma}$$

Cpは許容値範囲を6σで割ったものでありCpが1の場合には設定された許容値外となるものが0.27%存在することになる。不良率をこの値より小さくしたい場合は、印刷機の設定を見直すか、上下限許容値自体を見直す必要がある。

ただし、高さムラ、位置ずれは許容値が上限許容値のみの検査項目についてはCpは下式で表される。

$$Cp = \frac{|\text{上限許容値} - \text{平均値}|}{3\sigma}$$

Cpkトレンドグラフは(工程能力トレンドグラフ)は下式で計算される値をトレンドグラフに表したものであり、製造現場における生産性の指標として使われている。

$$Cpk = (1 - K)Cp$$

$$K = \frac{|(\text{上限許容値} + \text{下限許容値})/2 - \text{平均値}|}{(\text{上限許容値} - \text{下限許容値})/2}$$

一般に、Cpkの値は1.33以上であるのが良好であるとされる。しかし、Cpkが過大な値である場合は、上下限許容値の幅が広く多少のばらつきがあっても良品と判定されている可能性もあり、許容値の見直しが必要となる場合もある。一方、Cpkの値が悪い場合は、当然のはんだ印刷状態が悪いと取れるが、現状のはんだ印刷状態に問題がなければCpkの値が大きいときと同様に上下限許容値が必要以上に厳しい設定となっていないかを、後述するヒストグラム表示などを参考に見直しできる。

これらの指標を活用して生産工程の品質状況を把握することで、工程の見直しおよび許容値の最適な設定をサポートできる。

(3) ヒストグラム表示

ヒストグラム表示を図14に示す。ヒストグラム上には平均値および±3σを示す統計値のラインと許容値を示すラインが表示されており、上下限許容値ラインをトラックボールで左右に動かすことで、上下限許容値それぞれを越える不良率を確認できる。つまり、仮の許容値を設定し関連する統計値が連動して変化するため許容値の見直しに活用できる。

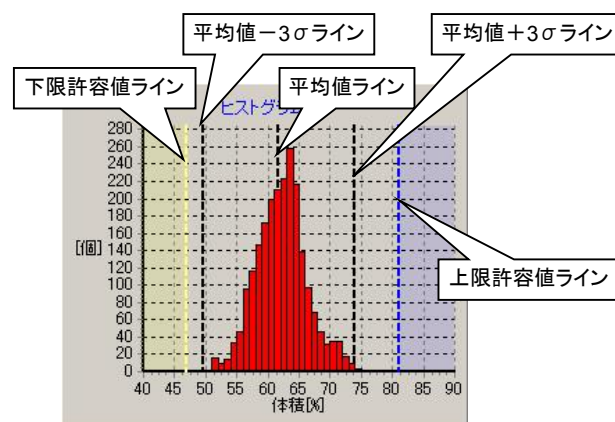


図 14 ヒストグラム
Histogram

ヒストグラム表示では各検査項目における値の広がり具合を確認できる。ヒストグラムの形状が裾広がり場合は、ばらつきが大きいことを示している。一般的には、ヒストグラムは正規分布に沿った形状となっていることが理想とされる。

(4) 散布図表示

はんだの印刷位置が設計値からずれているとブリッジや接続不良の原因となる。これらの不良を防止するために、散布図表示機能を利用する。個々のはんだの位置ずれは散布図上に表示される。散布図(図15)を見ることで位置ずれ量が容易に把握でき、印刷機への印刷位置調整作業が容易になる。

(5) 統計値表示

統計値表示内容を図16に示す。本表示には選択したロットの基板名称、ロット期間および選択した表示期間のほか、設定された許容値と各種統計値を表示する。印刷機は、その原理上スキージ動作の往路と復路のいずれでも印刷できる。それぞれの動作に対してパラメータの設定が可能ことから、往復で印刷状態が異なることがあり、往路と復路に分けて印刷状態を確認することが必要となることがある。このような場合には、全ワーク/偶数ワーク/奇数ワークの切替機能を用いる。

(6) パレート図

パレート図を図18に示す。パレート図は不良となった管理項目ごとに数の多い順に棒グラフで示し、各項目の割合を折れ線グラフで示したものである。分析画面で表示されるパレート図は、どの検査項目が多く不良となったか確認できる判定 NG 項目別パレート図、どのチップが不良が多かったか確認できるチップ別パレート図、どの開口が不良が多かったか確認できる開口別パレート図を用意している。これらを利用することで、改善すべき箇所とその NG 理由を確認できる。

(7) 印刷機能

品質管理状態のレポート作成が必要な場合は印刷機能を使用して分析結果の印刷が可能である。印刷内容は表示されている検査項目およびグラフの内容を選択可能であり、必要なものを選択できる(図19)。

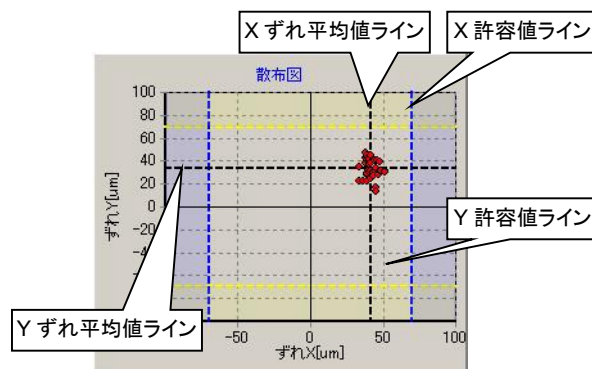


図 15 散布図
Scatter plot

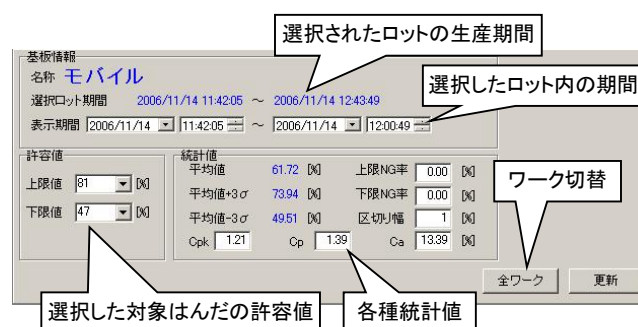


図 16 統計値表示
Statistics

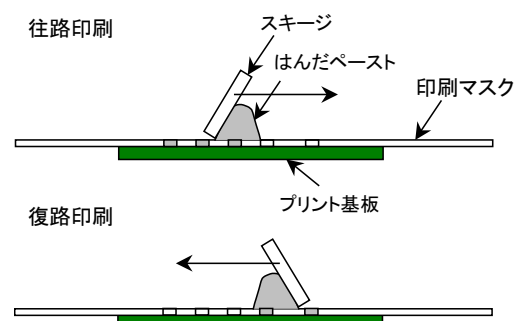


図 17 はんだ印刷の仕組み
Solder paste print method

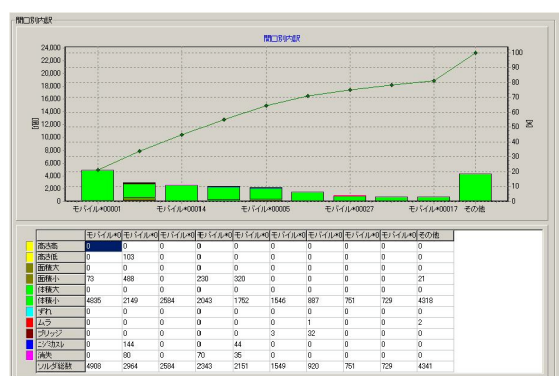


図 18 パレート図
Pareto chart

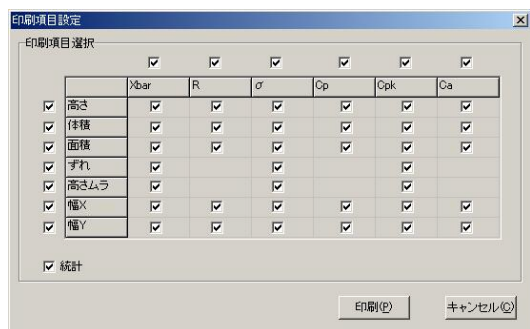


図 19 印刷項目選択画面
Print items

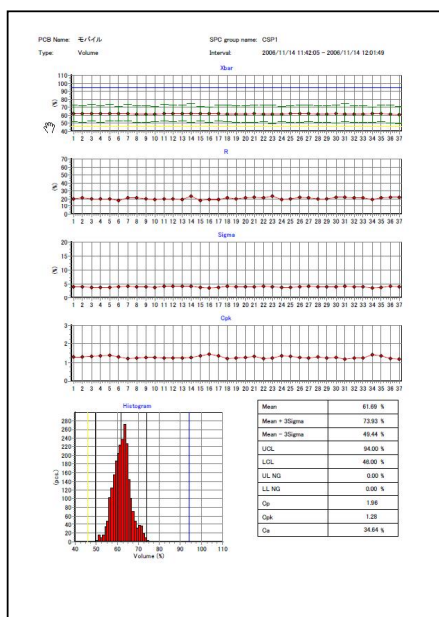


図 20 印刷結果(体積)
Print results (volume)

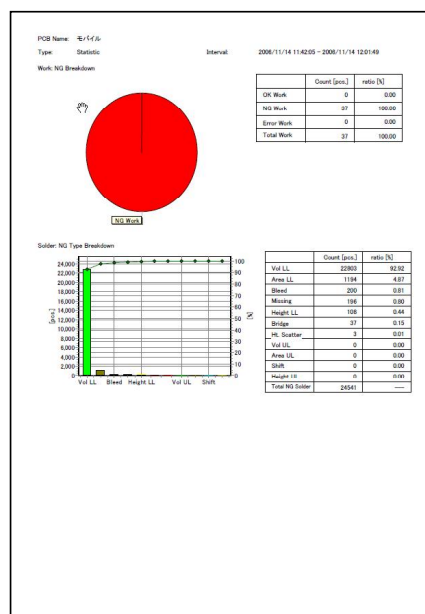


図 21 印刷結果(ワーク別, 項目別)
Print image (by work and item)

4 主な仕様

表 1 に分析機能の主な仕様を示す。

5 むすび

顧客の生産性に寄与する分析機能を開発した。今後は、分析機能を活用して不良を事前に検出できる機能の追加およびユーザのさまざまな要求に応えられるレポート形式の出力など、更なる顧客の生産性向上に寄与する開発をしていきたい。

表 1 分析機能の主な仕様
Main analysis functions

基板編集	1 基板当たりの測定可能はんだ数	65535	
	1 基板当たりの登録可能チップ数	65535	
	1 グループ当たりの登録可能はんだ数	65535	
	1 基板当たりの登録可能グループ数	100	
SPC 分析機能	保存可能ワーク数 (はんだ数 3500, チップ数 400, SPC グループ数 10 の基板の場合)	溶ダデータ 保存時	160000 ワーク
		溶ダデータ 非保存時	70000 ワーク
	分析可能ロット数	同一条件で測定されたロットであれば制限なし	
印刷機能	各検査項目および統計情報を選択可能 各検査項目については、トレンドグラフの印刷内容を選択可能 (Xbar, R, σ , Cp, Cpk, Ca のそれぞれの出力有無を設定可能。 ただし、ずれ、高さムラについては、Xbar, σ , Cpk のみ設定可能)		

参考文献

- 1) 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(2002.01)
- 2) 田沼, 大森, 黒田, 益田:
“MK5302B チップインスペクタ”, アンリツテクニカル 81号, pp.51-60(2003.08)
- 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(2006.08)

執筆者



木村 剛
精密計測事業推進部開発部
プロジェクトチーム



高田 治
精密計測事業推進部開発部
プロジェクトチーム



上 萬直哉
精密計測事業推進部開発部
プロジェクトチーム