

新型クリームはんだ印刷機の開発

Development of a New Solder Paste Printer

山本 信行*

Nobuyuki Yamamoto

藤井 秀昭*

Hideaki Fujii

樋上 俊哉*2

Toshiya Hikami

中村 良則*2

Yoshinori Nakamura

概 要 近年、携帯電話やPDA等の小型情報機器の急激な普及に伴い、使用される表面実装部品は、実装後の検査やリペアが難しいBGA（Ball Grid Array）やCSP（Chip Scale Package）、微細部品である0603チップ等の比率が高まってきている。この結果、クリームはんだ印刷機に求められる高精度・高速性などの要求性能も年々厳しくなっている。このような状況のもと、筆者らは当社現行クリームはんだ印刷機の特徴である高剛性・高精度位置決め性に加え、印刷速度に依存せず安定した印刷が可能な新しいスキージユニットや、マスク・基板同時認識によるアライメントシステムの採用により高精度の印刷性と高速性を両立させた新しいクリームはんだ印刷機を開発した。

1. はじめに

プリント基板の電子部品の表面実装においてクリームはんだ印刷機に求められる性能は年々厳しくなっている。これは、携帯電話やPDA、薄型ノートパソコンの急速な普及に伴い基板実装も高密度化してきているためであり、従来のQFPに代わってBGAやCSPといった実装後の検査やリペアが困難な部品や1005/0603チップ等の微細部品の採用比率が今後も進むことで、高精度な位置決めとファインピッチ印刷の要求が更に高くなっている。その一方で、生産性向上によるコストダウンのために印刷機のスループットが重要視されている。これは、チップマウンターは複数台並べることで部品の実装を分散させることが可能なのに対し、印刷工程はチップマウントのように工程を分けることが出来ないからである。

印刷時のマスク上のクリームはんだ挙動を考慮したうえで、現行スキージと同等以上の印刷性を確保しながら印刷時の管理項目を低減できる新しいスキージユニットの開発を行った。また装置本体においては、マスク・基板同時認識によるアライメントシステムの採用による高速性の実現をはかった。以下に詳細について報告する。

2. 新型スキージユニットの開発

2.1 クリームはんだ印刷のメカニズム

クリームはんだ印刷では、マスク上のクリームはんだをスキージで掻き取った際に、クリームはんだにローリングが生じる。その結果、内圧が高まったクリームはんだがマスク開口部に充填され、版離れによって基板側に転写され印刷が完了する。

マスク上に作用するクリームはんだの圧力分布は、スキージ

とマスクの接点からの距離、スキージ角度、印刷速度、クリームはんだ粘度の関数として式（1）で与えられる¹⁾。

$$\begin{aligned} p_{\text{squeegee}} &= \int dp_{\text{squeegee}} \\ &= [2\alpha \sin\alpha (\alpha^2 - \sin^2\alpha)] \eta V (1/r) \\ &= f(\alpha) \eta V (1/r) \end{aligned} \quad (1)$$

r : スキージとマスクの交点からの距離

α : スキージ角度

V : 印刷速度

η : クリームはんだ粘度。

上式において、 $f(\alpha)$ をマスク表面の圧力分布に影響する圧力係数とし、スキージ角度と $f(\alpha)$ の関係を調べた。結果を図1に示す。スキージ角度によってペースト内圧が大きく変化することが分かる。ペースト内圧を一定に保ち安定した印刷を行うためには、スキージ角度のほか、印刷速度、クリームはんだ

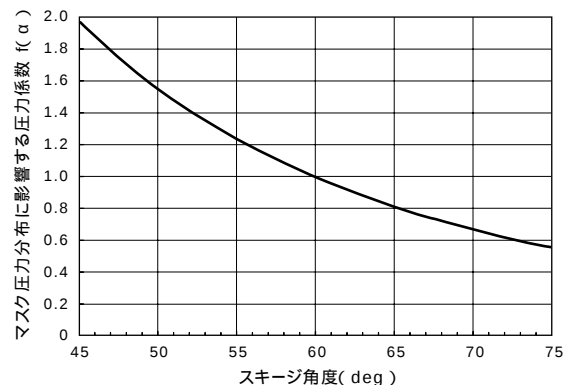


図1 スキージ角度と圧力係数 $f(\alpha)$ の関係
Relation between squeegee angle and pressure coefficient $f(\alpha)$

* エレクトロニクスコンポーネント事業部 産業機器部 技術開発課

*2 環境・エネルギー研究所 部品・実装技術開発部

物性を管理する必要がある。図2にクリームはんだに発生する内圧の要因をまとめた。

印刷過程において、クリームはんだの圧力が高まるとスキージ面にはスキージユニットを持ち上げようとする力が作用する。この力（クリームはんだ反力） F_{lift} は、式（1）をクリームはんだの範囲で積分することによって求めることができ、式（2）で表せる。

$$F_{lift} = \int p_{squeegee} dr = f(\alpha) f(Q) \eta V \quad (2)$$

Q: クリームはんだ量

良好な印刷を行うためには、マスク上のクリームはんだをきれいに掻き取る必要があり、現行スキージにおいてはクリームはんだの内圧に打ち勝つだけの印圧を加えることが不可避である。この印圧は、スキージ角度、印刷速度、クリームはんだ量、粘度の条件に応じた適正な値が存在することになる。

2.2 現行スキージの問題点

現行スキージでは印刷開始前に最適な印圧を求めるためにテスト印刷によって印圧設定を行う。適正な印圧設定には時間がかかるほか、連続印刷時にクリームはんだ量、粘度等の条件が変化すると、クリームはんだの内圧と印圧のバランスが崩れて印圧不足又は過剰状態となり、安定した印刷ができなくなる問題がある。

印圧不足は、クリームはんだの掻き取り不良を発生させ、転移不良の原因になる。逆に印圧過剰のときは、クリームはんだの版裏回りによるじみやブリッジが発生しやすくなるほか、マスク開口が広い場所においてはスキージが潜り込んで開口部のクリームはんだをえぐり取ってしまい、はんだ量不足が発生することがある。更にスキージとマスクの摩擦力増大によってマスクがスキージ進行方向に寄せられることにより、印刷位置ずれが発生する可能性もでてくる。特に、高速印刷時には大きな印圧をかけるため、印圧過剰による問題が生じやすい。

2.3 新型スキージユニットのコンセプト

印圧は、印刷性に直接影響する項目ではないにもかかわらず、現行スキージにおいては十分に管理しないと安定印刷が行えない。筆者らは、現行スキージと同等以上の印刷性を確保しながら印圧概念を排除した新しいスキージユニットの開発を行った。新型スキージユニットは、クリームはんだのローリングを生かしつつ、1つのユニットの中で押し込み力（クリームはんだ内圧）を発生させる傾斜部とクリームはんだ掻き取り部を分離させている。図3に概念図を示す。掻き取り部は、印刷時に

クリームはんだの反力が作用しにくい構造とした。クリームはんだにローリングを生じさせて現行スキージと同等以上の十分なクリームはんだ内圧が発生する構造とするために有限要素法解析を実施した。図4(a)は現行スキージで印刷した場合のクリームはんだの流動挙動を解析した結果を速度分布図として表したもので、スキージとマスクのなす角度が 60° 、印刷速度10 mm/s、クリームはんだ粘度200 Pa・sである。同様に図4(b)は新型スキージで印刷した場合の速度分布図で、傾斜部角度、印刷速度、クリームはんだ粘度は現行スキージのそれと同様である。いずれも、マスク表面、スキージ表面においてクリームはんだの流動が見られ、ローリングの様子を知ることができる。図4(c)(d)は現行スキージ、新型スキージのクリームはんだ内圧分布を示したものである。いずれもスキージとマスクの交点において最大圧力を示し、交点から離れるに従って圧力が低下していることが分かる。

上記を確認するため、 $\phi 0.3$ の貫通孔を形成した1 mm厚さの金属基板上で種々の印刷速度にて印刷を行いクリームはんだの転移深さを調べることにより、現行スキージ、新型スキージユニット使用時のクリームはんだ内圧を比較した。結果を図5に示す。新型スキージは、いずれの印刷速度においても現行スキージ以上の転移深さが得られていてることから、図3に示した新型スキージ構造で十分なクリームはんだ内圧が確保できていることが確認できた。

新型スキージでは、掻き取り部はマスク面に対して垂直であり、掻き取り部に式（2）に示した力が作用しないので、印刷速度、クリームはんだ粘度によらず段取り替え時の印圧設定が不用となる。つまり、印刷速度に依存せず、低印圧での印刷が可能となる。図6に、種々の印刷速度において、マスク上のクリームはんだをきれいに掻き取るのに必要な印圧を調べた結果を示す。現行スキージでは印刷速度とともに大きな印圧が必要であるのに対して、新型スキージでは印刷速度に関係無く低印圧でマスク上のクリームはんだを掻き取れることがわかる。したがって、クリームはんだ特性、量の変化によりクリームはんだの内圧が減っても現行スキージのように過剰印圧になることはなく、安定した印刷が可能である。

2.4 新型スキージの印刷性

新型スキージの印刷性を確認するため、低速、高速での印刷テストを行い、現行スキージと比較した。使用したマスクデザインは、 $\phi 0.3$ mm 開口、 $P = 0.3$ mm ピッチ QFP（開口幅0.15 mm）パターンであり、印刷速度は50 mm/s、200 mm/sである。現行スキージについてのみ印刷開始前に印圧設定を行った。

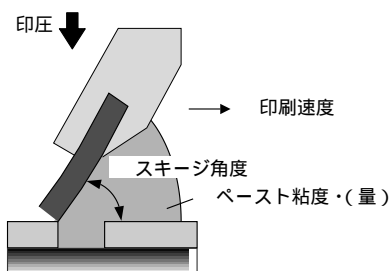


図2 クリームはんだに発生する内圧の要因
Factor of pressure when generated in solder paste

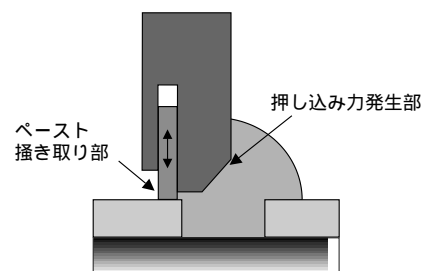


図3 新型スキージユニットの概念図
Concept chart of new type squeegee

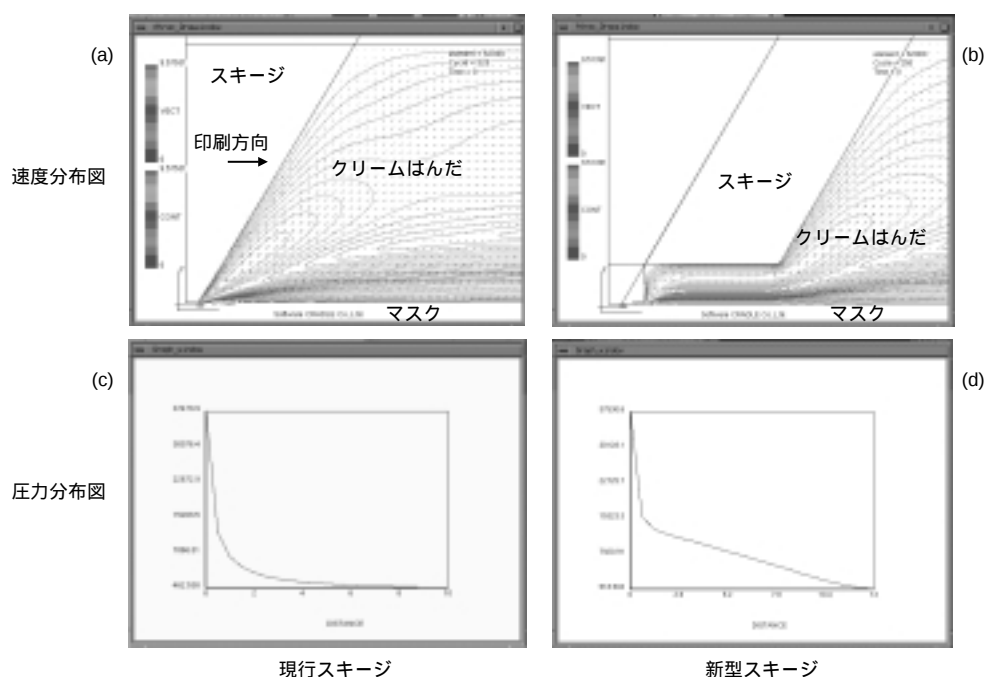


図4 クリームはんだ圧力分布（シミュレーション）
Solder paste pressure distribution (Simulation)

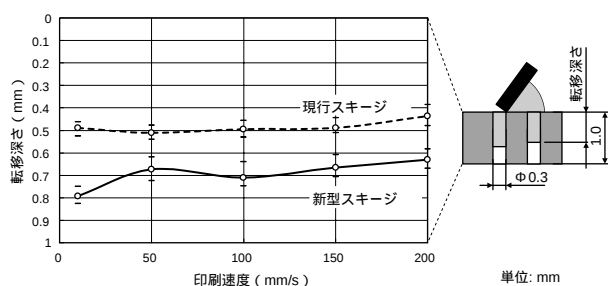


図5 転移深さによるクリームはんだ内圧の測定結果
Result of solder paste pressure measuring

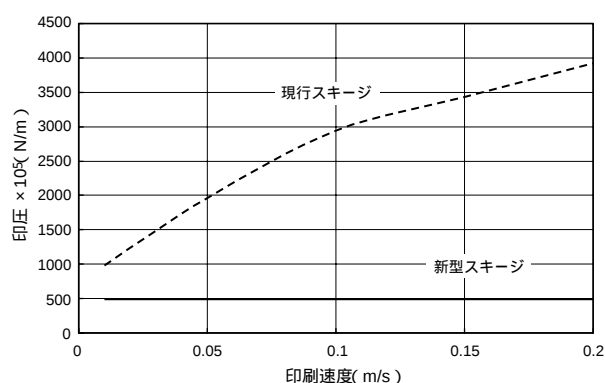


図6 印刷速度と掻き取りに必要な印圧の関係
Relationship between printing speed and printing pressure

結果を写真1, 2に示す。現行スキージでは印刷速度200 mm/sのときに、印刷方向と垂直のパッドで印刷不良が生じているのに対して、新型スキージでは低印圧での印刷により印刷速度50 mm/s, 200 mm/sにおいて方向依存性もなく良好な印刷性を示している。

以上により、現行スキージと同等以上の印刷性を確保しながら、現行スキージユニットでは安定印刷を行ううえで欠かすことのできなかった印圧設定を不用とした新しいスキージユニットを実現した。

3. 新型印刷機の機能と特徴

今回開発した新型印刷機:FPX - 46A (写真3)の機能と特徴を以下に記す。

3.1 基本仕様

装置の基本仕様を表1に示す。処理基板は搬送方向(510 mm L)×搬送幅方向(460 mm W)迄の大型基板に対応可能であり、搬送方向及び搬送基準についても製作時に自由に選択が可能である。印刷マスクは搬送方向(800 mm L)×搬送幅方向(750 mm W)迄に対応する。

3.2 高速タクトタイムの実現

高速な印刷タクトを実現するために、印刷マスクと基板の位置合わせ方式を従来の印刷テーブルに取り付けられた移動式マスクカメラユニットと固定式基板カメラユニットによる2カメラユニットから、マスクと印刷テーブルの間にXYのカメラ軸を設けてマスクカメラと基板カメラを一つのユニットに納めた1カメラユニット方式(写真4)へと変更した。

従来機と新型の位置決め軸の仕様比較を表2に示す。従来機では印刷テーブルが固定の基板カメラに対してX, Y方向に動作するため、長い移動ストロークが必要であったが、新型では微調整程度の移動ストロークしか無い。これにより、慣性の大きい印刷テーブルの動作を無くし、軽量のカメラユニットを高速で動作させることで、印刷時間以外のタクトを大幅に短縮することが可能となった。

その結果、図7に示すように、印刷時間を除いたタクトタイ

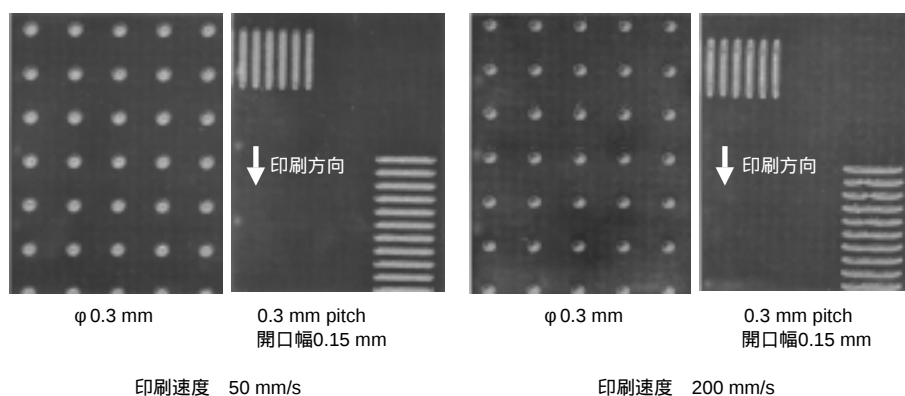


写真1 従来型スキージによる印刷結果
Print result by squeegee in the past

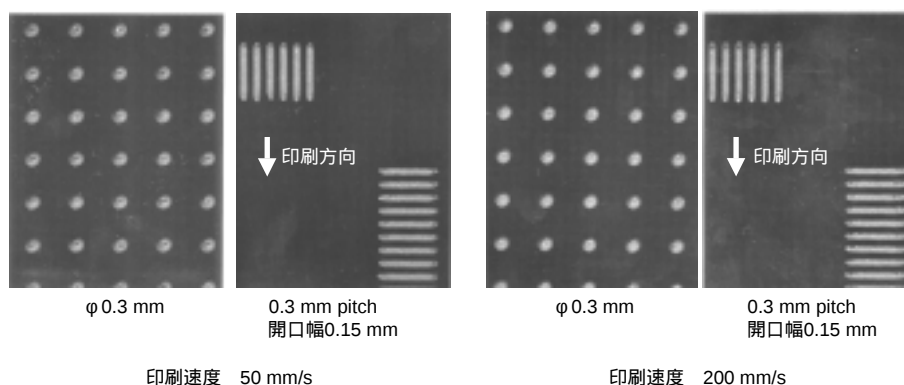


写真2 新型スキージによる印刷結果
Print result by new type squeegee



写真3 FPX-46A 外観
Appearance of FPX-46A

ムを従来機の22秒に対し、新型では8秒台を達成することが出来た。

3.3 高精度な位置合わせ

1カメラユニットの採用により、印刷マスクと基板の認識マークの同時認識が可能となった。図8にカメラユニットの構成を示す。マスクカメラと基板カメラは独立しており、上下同軸上に重ね合わされている。それぞれのレンズを通した画像はペンタプリズムによって像の方向を補正してCCDカメラに送られる。また、上下2つのカメラ間のオフセットは、印刷時にカ

表1 装置仕様
Specifications of FPX-46A

奥行	1,600 mm
高さ	1,625 mm
重量	約1,400 kg
ライン対応	搬送方向対応自由
処理基盤	
印刷マスク	センター基準 (最大800 L × 750 W mm)
最大寸法	510 L × 460 W mm
最小寸法	50 L × 50 W mm
厚さ	0.5 - 3.0 mm (1.0 mm未満はオプション対応)
印刷方式	密着印刷, 版離れ速度制御
印刷機能	
印刷方向	基板搬送方向に直行
スキージ制御	ダブルスキージによる往復印刷
スキージ速度	5 mm/sec - 200 mm/sec 可変
タクトタイム	約8秒 (印刷時間を除く)
基盤支持	マグネットピン及び 挿入ピンサポート方式 (標準)
電源	AC 200V 3相 5 kVA

メラユニット待避位置に設けたキャリブレーション治具によって自動補正される。この構造によって、マスクと基板を毎回同

時に認識することが可能となり、オフセットずれを確認及び補正するためのテスト印刷が不要となった。

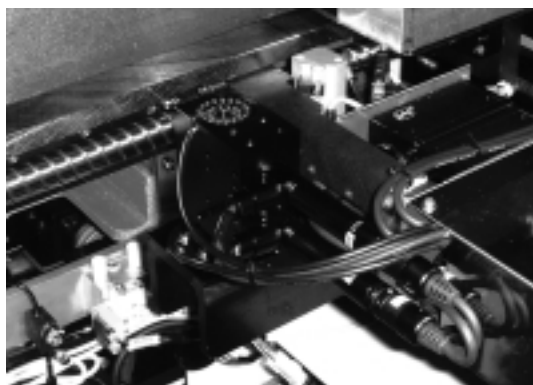


写真4 1カメラユニット
One camera unit

表2 位置決め軸の仕様比較
Comparison of specifications of alignment axis

制御軸		新 型	従来機
印刷 テー ブル	X軸 ストローク	±5 mm	540 mm
	分解能	0.49 μm/パルス	0.98 μm/パルス
	最高速度	50 mm/秒	533 mm/秒
	Y軸 ストローク	±5 mm	808 mm
	分解能	0.49 μm/パルス	0.98 μm/パルス
	最高速度	50 mm/秒	533 mm/秒
	θ 軸 ストローク	±1.0度 (±5.41 mm)	±1.5度 (±8.1 mm)
	分解能	2.26×10 ⁻⁵ 度/パルス	4.52×10 ⁻⁵ 度/パルス
	最高速度	4.8度/秒	9.6度/秒
	Z軸 ストローク	155 mm	46 mm
	分解能	0.407 μm/パルス	0.098 μm/パルス
	最高速度	222 mm/秒	40 mm/秒
	T軸 ストローク	36 mm ± 2 mm	34 mm ± 2 mm
	分解能	0.407 μm/パルス	0.12 μm/パルス
	最高速度	222 mm/秒	50 mm/秒
カメラT軸 ストローク		540 mm	
分解能		2.44 μm/パルス	
最高速度		1000 mm/秒	
カメラY軸 ストローク		850 mm	
分解能		2.44 μm/パルス	
最高速度		1000 mm/秒	
タクトタイム 印刷時間を除く		8秒	22秒

動作	時間(秒)			
	5	10	15	20
基板搬入	■			■
基板クランプ	■			
認 識		■		
アライメント		■		
印 刷		■		
版 離 れ			■	
基板搬出	■			■

図7 タクトタイム
Cycle time

3.4 高剛性

良好な印刷状態を長期にわたり維持するには高い機械精度を保つことが重要である。そこで、FPX - 46Aは印刷テーブル、マスク受け面における鋳造部品の使用箇所を従来機に比較して大幅に増やすことにより剛性と組み立て精度を更に高めた(写真5)。

3.5 マスククリーナ

マスク裏面のクリーニング機能は印刷機にとって非常に重要である。今回の新型印刷機も従来機同様、ロールタイプのクリーニングペーパーを使用し、溶剤吐出によるウェットワイプとブローによる吸引動作がクリーニング速度と共にプログラマブルに設定が可能であり、多様なクリーニング要求にこたえている(写真6)。

また、従来機同様、溶剤フィルタと吸引用のブローは装置内蔵式として省設置スペース設計とした。

3.6 多彩なマスクサイズ及び製版基準に対応

ユーザーの既存資産を最大限にいかすべく、標準で多様なマスクサイズ及びマスク製版基準に対応している。マスクサイズは、搬送方向はスライド機構により、550 ~ 800 mm L、幅方向は自動位置決めストップにより、550 ~ 750 mm W迄マスク受け面が対応可能な構造とした、また、マスク製版基準は幅方向で中央、固定側、搬送方向で、中央、先頭方向(オプション)を選択でき、新たにマスクを張り直す必要が無い(写真7)。

3.7 制御システム構成

制御部の構成を図9に示す。主制御は従来機同様パーソナルコンピュータ(PC)を用いており、OSは新たにWindows NT

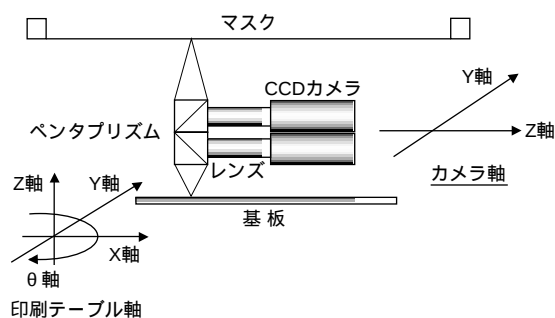


図8 位置決め方式
Alignment method



写真5 高剛性メカニズム
High stiffness mechanism

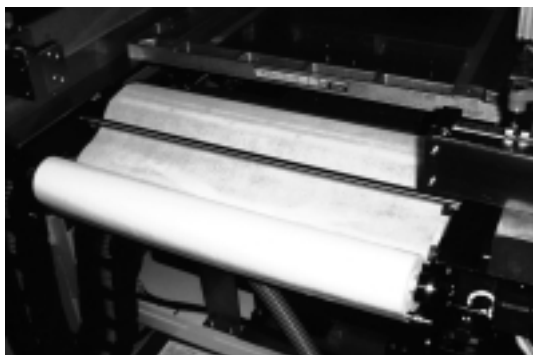


写真6 マスククリーナユニット
Mask cleaner unit

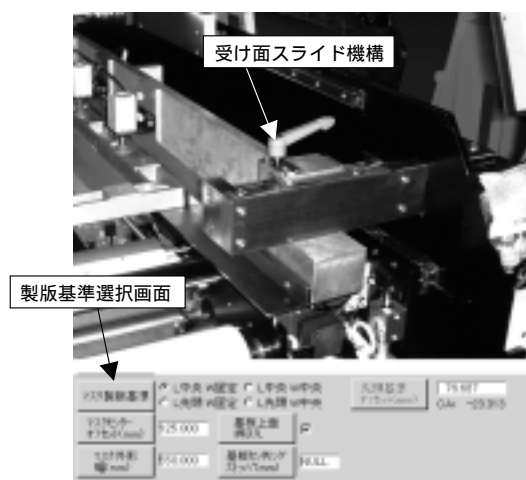


写真7 多様なメタルマスクに対応
Applicable to various metal masks

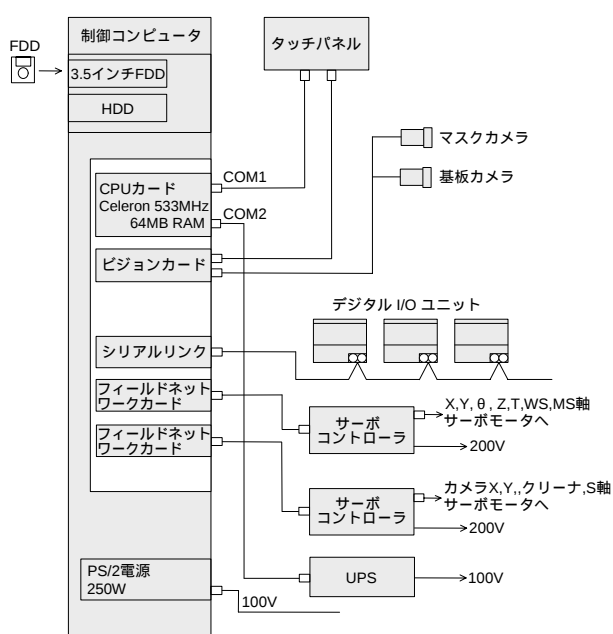


図9 制御部の構成
Composition of control part

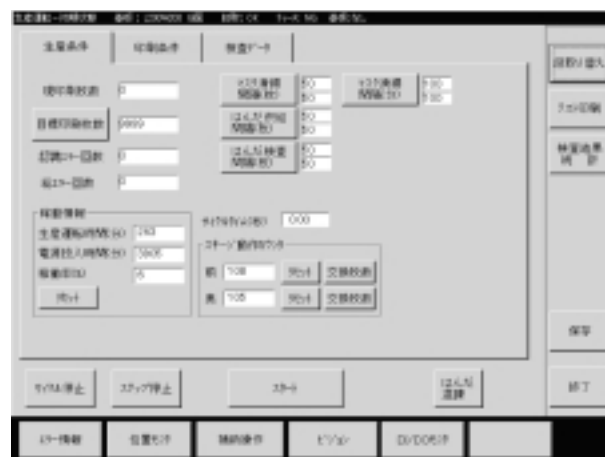


図10 生産運転画面
Production screen

を採用した。位置決め軸は全軸ACサーボモータ駆動としており、I/Oは従来の配電基板から、信頼性向上のためにシリアルリンクシステムとした。ユーザーインターフェイスはタッチパネル付きの12インチのTFTカラー液晶を使用した。全操作をタッチパネルによって対話式に行うことができるので、誰でも短時間で操作することが可能である（図10）。

4. まとめ

今回開発した印刷機は、新開発のスキージユニットにより印圧設定が不要ながら現行スキージと比較して同等以上の良好な印刷性が確保できた。また、装置本体においてもマスク・基板同時認識によるアライメントシステムの採用によって位置決め精度の向上と高速性の両立を実現した。

以上の結果から、当初の開発目標であった最高性能の印刷機の製品化を実現することができた。

5. おわりに

表面実装の中でクリームはんだ印刷機の重要性は年々高まってきている。そういった中で、今回の新型印刷機は大型のLLサイズ基板対応機でありながら高速印刷を可能とし、更にはコンパクトな装置寸法にもかかわらず主要オプションを内蔵可能とした特徴によって競合他社の印刷機との差別化ができた。今後はターゲットユーザーを絞り、システムティックに拡販活動していくことによりリフロー炉と同レベルにまでシェアを拡大していきたい。

謝辞

本開発を進めるに当たり、有限要素法解析に関して古河インフォメーションテクノロジー(株)小林宏之氏に御協力頂いた。心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) D.E.Riemer, "The theoretical fundamentals of the screen printing process", Hybrid Circuits, No.18 page8-15, 1989