表面実装技術とプリント配線板—プロセス技術

大貫 秀文*, 馬庭 亮*

Production Technologies of Printed Wiring Boards for Surface Mount Technology.

Hidebumi OHNUKI * and Ryo MANIWA *

* 日本電気回路基板事業部製品技術部 (〒229 神奈川県相模原市下九沢1120)

* Engineering Department, Printed Wiring Board Division, NEC Corporation (1120, Shimokuzawa, Sagami-hara-shi, Kanagawa-ken 229)

1. はじめに

今日の電子機器の製造に不可欠なのがプリント配線板 (以下 PWB) で、半導体デバイスと共に特に重要な電子部品として業界に認知されるようになってきた。過去の技術革新の歴史において 4~5 年間の技術イノベーションは大胆に展開され、今日一世を風靡している表面実装技術 (以下 SMT) (図 1) を代表とした最先端技術が、半導体デバイスの技術革新と符合する動きを示し、電子機器の装置性能、信頼性、経済性を大幅に向上させたと言える。

PWB の設計技術、製造技術を核としたハイテク化、コンピュータ化を最大限に活用した省力化、高速化志向は、産業用 PWB の技術のみならず民生用 PWB の技術イノベーションにも相当なインパクトを与えている。このインパクトは、材料技術、製造設備、生産管理、品質保証管理、環境保全技術等々へ具体

的に展開されている。

以下、PWB の製造プロセス技術が置かれている環境と展望を紹介する。

2. IC パッケージからのインパクト

PWB のプロセス技術に直接インパクトを与える 1 つの要因は、実装する IC パッケージの動向である。

例えばパソコンなどの電子機器を解体すると、操作キーやフレーム、電子パッケージ等々に分解され、このうち PWB の片面や両面にたくさんの IC・LSI、抵抗、コンデンサ等を載せて PWB パッケージと称して電子頭脳を構成していることは、周知の通りである。このように PWB の技術にインパクトを与えてきているのは、PWB に載せるデバイス、とりわけ IC パッケージの動向が最も重要で、直接 PWB の設計や製造技術に大きな影響を与えている。

代表的な IC パッケージの物理的特性を比較したのが図 2 である。

DIP IC に比べ、SOP IC は面積で約 1/2、高さで約 2/5、重さで約 1/6 と非常にコンパクトに収納されている点が電子機器の設計技術者に好感がもたれ、これが電子機器の軽薄短小化への牽引となって具現化している。とりわけ PWB 設計と大きく関係のある IC パッケージの面積が 1/2 となれば、そこから引き出すリード端子は細く、高密度化へと推移するのが当然であり、必然的に従来にないパッケージ設計、すなわちピッチ間の短縮や四方向リード引き出しなど、平面的、立体的な活用を最大限に行い、むだを省いた IC パッケージの出現となる。今日表面

図 1. 高密度・多層 SMT プリント配線板

実装部品（以下 SMD）の占有率は、33%位といわれており、今後2年後には DIP IC との占有率が大きく逆転し、54%を越す占有率となる統計報告¹⁾が図3である。

このように SMD の電子機器への浸透は、経済的、信頼性的に、工業レベルとして十分認められていることにほかならない。言い換えると、今後とも加速度的に普及することが予測でき、PWB にとって SMT が避けて通れない最重要課題と言っても言い過ぎで

はないと考える。

IC パッケージの形状変遷は、産業用 PWB、民生用 PWB など区別なく影響を与えているのが現実である。そして、SMT 技術は単に PWB の設計、製造、検査技術のみにとどまらず、部品実装やはんだ付け技術などの総合技術の集大成化が重要で、この大きなシステムが構築されて初めて生産・販売・顧客（ユーザ）間の流れがスムーズに進むものと確信している。

一方 SMT が軽薄短小ばかりを求めているおらず、超大型コンピュータを代表とする PWB 分野においては、PWB をシステムの一部として取り込んでおり、PWB 技術としては性能優先の技術開発オリエンテッドな動きが避けられない。

いずれにせよ産業用 PWB や民生用 PWB は、それぞれの求める製品の機能追及から IC パッケージの影響をダイレクトに受けて、今後共大きく技術変遷していくことは確実と言える。

3. 製品設計からのインパクト

PWB プロセス技術にインパクトを与える第2の要因は、電子機器の動向である。電子機器の高性能化、高集積化、軽薄短小化の要望は、PWB にとって必然的に高密度配線化、あるいは立体構成の最大限の活用へとシフトせざるを得なくなる。

図4は、平面実装と多層化を2次元に区分し、現状の PWB 製品技術レベルが今後どのように推移していくかを予測したものである。

筆者の予測では、OA、VTR などの領域においては、3本以上の高密度パターン配線に加えて、4層～8層化へシフトし、板厚も従来1.6mm厚の既成概念を破って薄板化へと推移すると考えている。また、コンピュータの領域においては、超高多層 PWB での対応が避けて通れず、100 μ mを割る5本回路パターン設計の量産化へと進むであろう。

図5は、コンピュータにおける PWB 技術の推移²⁾を示すもので、層数は高多層化へと進み、穴径・回路幅はより一層細くなるため、これに関する設計技術はますます複雑化を呈することになる。

以上超大型コンピュータと VTR やパソコンなどでは、技術開発や量産ラインの形態が大きく異なり、電子交換や OA 機器などの中間技術帯を含めると、

	DIP	SOP

面積 (mm ²)	171.2	88.6 (1/2)
高さ (mm)
重さ (gr)

図2. DIPとSOPの比較

図3. SMT比率(部品動向)

図4. 製品の区分

多極分化の様相をいっそう明確に示していくと思われる。

図6は、これらの背景をもとにPWBの製造設計動向を予測したもので、概念的にイメージの把握ができるかと期待する。5～6年前まではごく一部のコンピュータメカを主体に開発実用化が進められていた技術項目、例えば小径ランドレスやバイアホールなどが、産業用PWBのみならず、民生用PWBにも適用され始めている。

一方PWBの層数アップと小径化に加え、SMTの出現によるパッド幅やピッチ間設計の新たな対応と、ソルダレジスト(SR)の逃げ設計が重要となってきた。

表1は、現在量産化されているSMT用PWB設計基準で、ある代表例を示す。このなかで最も厳しいのは、ピッチ間Aの寸法が0.5mmである。今後この0.5mmピッチのSMDの急増に伴い、材料の寸法安定化、製造・検査、はんだ付け技術確立が急務で、一部試作評価を開始しているとされる0.4mmや0.3mmピッチのSMD技術に、早く対応することが必要である。

4. PWBプロセス技術

上記のごとくカスタム部品であるPWB市場はICパッケージングや電子機器の影響を短期間にうける。

図5. コンピュータにおけるPWB技術の推移

図6. プリント配線板製品設計動向

この状況下でのPWB製造プロセスは、従来各種の方法が提案され実用化されてきており、今日その主流となすところは、サブトラクティブ法として銅スルーホールPWB、はんだめっきPWB、アディティブ法としてフルアディティブPWBの3工法が主流を示していると思われる。特に銅スルーホールPWBは、通信産業用PWBとして信頼性評価を昭和40年当初より繰り返し行われ、この実績により実用化されたソルダレジスト付き高密度銅スルーホール技術がSMOBC (Solder Mask Over Bare Copper) と称され、技術・品質などが世界的に認められてきた。

さらに一部溶融はんだコート法(HAL)などの応

表 1. SMT用PWB設計基準(パッド&SR)

(単位:mm)

種 類	ピン数	パ ッ ド			S R		パターン配置図
		ピッチ A	幅 B	間 隙 C	幅 D	クリアラ ンス E	
SOP (PLCC)	8 └ 28	1.27	0.5 └ 0.6	0.77 └ 0.67	0.37 └ 0.57	0.1 └ 0.15
			0.6 └ 0.7	0.67 └ 0.57	0.27 └ 0.47	0.1 └ 0.15	
QFP	64	1.0	0.6	0.4	0.2	0.135
	80	0.8	0.5	0.3	0.13	0.085	
	100	0.65	0.35	0.3	0.13	0.085	
	48	0.5	0.25	0.25	0.1	0.075	
		0.4	0.22	0.18	0.08	0.05	

用例があるが、SMT 技術の急激な普及により、SMOBC の特性が大きくクローズアップされてきている。その特徴は、SMOBC が高密度高精度配線にすぐれており、SR の形成が容易で、SMT のはんだ付け品質に信頼性向上が伴ったことに裏付けされよう。

以下、PWB のプロセス技術の今後の展望をまとめてみた。

5. 基板材料、多層化技術

基板材料の特性は、PWB の品質を左右するため、非常に重要である一方、PWB の大部分のコストをも決めるファクタとして技術的、経済的に重要項目である。民生用 PWB としては、紙フェノール材が主流であるが、コンポジット材 (CEM 材) の適用がここ数年急増し、今後もその特性を最大限に活用し増加するだろう。さらに一部ガラスエポキシ材 (FR-4 など) の適用も進みつつあり、例えば VTR やハイビジョン TV などの民生用 PWB のマーケットトレンド次第では増産による期待ができよう。他方、産業用 PWB は、両面板、4 層板の比重が大きく、ガラスエポキシ (FR-4 など) が主流である。また超高多層などでは、ポリイミド材がかなり使用されてきた。一部電気特性の対応としてテフロン材などが実用化に供されている。

今後の基板材料の特徴的動向としては、民生用 PWB

では SMT 化の大幅採用による薄板 4 層化、6 層化が浸透し始め、これに伴い FR-4 の普及が顕著となろうし、産業用の高多層 (20 層以下) では、主流のポリイミド材のコストダウンが遅々として進まぬ今日、これを解決するため、FR-5 またはそれに相当するガラス転移点 (Tg) が 160~180℃ と高め側の材料適用も拡大するだろう。

いずれにせよ材料品質は世界的に認められていても、低コスト化の推進が遅れている現在、従来の既成的考え方では国際競争力に勝てぬため、大幅な材料技術改善を期待するところである。

多層化技術は、減圧、低压プレス (真空プレス) が材料メーカ、エッチングメーカ共にほぼ普及し、多層化成形技術の向上が大幅に望め、かつ反り減少や寸法安定化が期待できる。今後特に技術的に改善せねばならぬ項目として、小径化に対する内層銅箔ハローイング性の改善 (ハローレス PWB)、内層銅箔 35 μ m 化 (一部 18 μ m 化の出現) に伴うデスミアの内層接続信頼性技術確立、高密度配線化に伴う外層銅箔 12 μ m (一部 9 μ m) の安定生産などの、技術的ハードルを超える必要が急務と痛感している。

図 7 は、薄板 4 層 PWB の断面写真の実用化例。図 8 は、表面バイアホール (SVH) PWB の断面写真の実用化例。図 9 は、内層バイアホール (IVH) PWB を実用化した超高多層 PWB であり、今後ますますこ

のようなPWBの総合技術力が求められた製品が増大するものと予測している。

6. 穴あけ、機械加工技術

SMTの普及に伴う多層化へのシフトは、後述する検査工程と共に穴あけ工程に大きなインパクトを与えてきた。

すなわちSMT一実装配線密度の増一穴数の増一配線領域確保のため、小径スルーホール化・微細パッド化→IVH、SVHによる多層化など一連技術変遷に伴い、穴あけ工程は、複雑な穴あけ条件の設定と共に生産効率をいかに向上させるか、すなわち内層板や薄板PWBの穴あけにおいて重ね枚数のアップ、穴あけスピードのアップ、ドリルビット増大に伴うドリルチェンジ時間の短縮と、かなり技術開発項目が付きまとうことが確実である。

一方超高多層PWBに関しては、板厚が厚く穴径が小径化するため、高アスペクトのスルーホールとなり、生産効率よりも品質や信頼性の局面がどちらか

と言えば重要視されよう。いずれにせよCO₂レーザなどの特殊穴あけ方式などもアメリカで開発実用化されているが、当面はドリルビットによる穴あけの経済性には今のところ勝るものはないため、信頼性と経済性の追求が重要ポイントで、省人化、すなわちCAM、CIMS化の技術導入がますます望まれるところである。

外形加工は、パンチング、CNCルータなどの従来技術が主流で、これに付加してVカットやミシン目などが追加され、個別対応化が求められる反面、量産化と変機種変量の両極端化が進み、省力化対応の工夫が一層望まれる。

7. めっき、表面処理技術

サブトラクティブ法によるめっき技術は、無電解めっき、電気めっきの組み合わせで特に基本工法に大きな革新はないが、材料組成的においてはPWBを活性化処理し、ダイレクトに電気銅めっき³⁾する無電

図7. 薄板4層板の断面写真

図8. 表面バイアホール(SVH)多層PWBの断面写真

図9. 内層バイアホール(IVH)の超高多層PWBの断面写真

解銅めっき工程の合理化が最近開発されたり、酸性銅めっきの物性向上に伴い、硫酸銅めっきが現在主流になりつつあると言ってもよいだろう。

他に各種の技術があるが、今日の技術的課題は、薄板、または高板厚 PWB と小径スルーホールに対する基板材料技術、穴あけ技術と連携したデスミア処理技術の安定化確立が急務とされている。特にプラズマや過マンガン酸などのデスミア処理後の無電解めっきの付きまわり性は、めっき技術のみにとどまらず前工程までさかのぼった技術改善が時として求められるケースがある。

SMOBC 用 PWB の表面処理方法は、銅表面の酸化防止処理としてのプリフラックスと HAL 工法とに大別できよう。SMT 化の進展に伴い、従来 1 回の熱履歴のみの保証から複数回の特性要求へと変わり、かつフローはんだ付けのみの過去の状況から、赤外線、VPS などのリフローソルダーリング工法へと、ここ数年はんだ付け技術が大幅に変更されてきた。この変更に伴い、銅スルーホール PWB の銅表面の仕上げ処理として、複数回のリフローソルダーリングに対して良好なはんだ付け性を保証するために、耐熱性を有する表面処理方法⁴⁾が開発された。図10は、開発事例で従来に比べ相当改善されていることがわかる。今後は、環境改善と耐熱性を有した水溶性プリフラックスの開発実用化が進みつつある。

一方、HAL の方式では表面処理用の耐熱フラックスの開発は当面要求されていないが、SMT の四方向リードパッドのはんだ不均一性、小径スルーホールのはんだ詰まりによる盛り上がりなど、従来技術にない項目の技術改良がますます求められることは、明白の事実と受けとめている。さらに一部電子機器においては、部分的に接点機能を PWB に求める技術要求があることや、はんだリフローの多重回繰り返しの台頭や、はんだアッセンブリ後の PWB 洗浄削除による環境保全対策などを背景とした、無電解ニッケル・金めっきの組み合わせにより、表面処理を代替する動きがあり、今後の技術確立が急がれる。

8. 回路形成, SR 技術

民生用 PWB は、主として UV 型インキによるス

図10. 新表面処理を用いたはんだ付け特性

クリーン印刷法が主流で、今日かなりの高精度化対応までをカバーしていると推定される。一方、産業用 PWB は、両面、多層 PWB が多く、かつ高精度、高密度化の進展が早かったために、回路形成としてドライフィルムが普及し、今日ほとんどが写真法へと切り換わったものと思われる。いずれにせよドライフィルムは PWB 業界の一大革命であり、PWB の求めていた高精度、高密度かつ経済性の波にうまく乗ってきたと明言できよう。ただ、数年前から世界的環境問題として顕在化したため、塩素系有機溶剤のドライフィルムからアルカリ可溶型のドライフィルムへと切り換わり、今後 2 ～ 3 年内で急ピッチに進むことは確実である。SR 技術は、熱硬化型エポキシ樹脂からフォト SR 化へと切り換わり、特に液状フォト SR の普及は、SMT の拡大とほぼ同じくして歩んできたと言ってよい。

従来、SMT の代表的な QFP (Quad Flat Package) では、端子間ピッチが0.65mm以上であったが、最近では0.5mmピッチの QFP が使用されはじめ、さらに0.4mm、0.3mmと狭いピッチのものまで検討されている。このように SMT の端子間ピッチが狭くなると、はんだ付け時のブリッジ防止の点から、接続パッド間に SR を印刷することが不可欠となってきた。このため、最近では細い SR ラインを形成する技術と、高精度な合わせ技術が要求されてきている。

図11は、QFP端子間ピッチに対するパッド間隙、SRライン幅、SRクリアランスの設計基準を示した。例えば、端子間ピッチが0.5mmピッチの場合、ライン幅100 μ m、クリアランス75 μ mのSR印刷が必要となる。図12は、0.5mmピッチのパッド間にSRを印刷した製品例である。

当社の例でいうと、ほぼ70%以上のPWBが液状フォトSRで、数年後にはほぼ完全に切り換わると見込んでいる。当面のフォトSR技術動向は、量産化のために両面同時露光技術、インキ塗布技術（例えばスプレー方式）などの開発が列記できよう。

今後、回路形成技術で特筆すべきことは、SMTの普及拡大に伴い、サブランド^{5),6)}付きランドレススルーホール化（図13）、ピン間5本パターン⁷⁾（図14）などが高密度設計に適しており（図15）、原画作成のTAT短縮と併せて普及するものと推察される。今日この方法としては、穴埋めフォト法あるいは、ED法、TDN法などが提案され、一部実用化されている。

今後は、どの技術が最も信頼性が高く、経済的であるかの洗礼を受けるか、長年続いたドライフィル

ムに換わる方式として注目されている。

9. 文字印刷技術

SMTの高密度実装の進展により、部品の認識マー

図12. 0.5mmピッチ間にSR印刷した例

図13. サブランド付きランドレススルーホールPWB

図14. ピン間5本回路パターン

図11. QFP端子間ピッチとSRの設計基準

クとしてのマーキングの大きさも小さくすることを要求されている。従来、マーキング文字は0.2mmの線幅で高さ1.5mmのものが使われていたが、部品間のスペースの制約から、線幅0.1mmで高さ1.0mmあるいはこれ以下のものを印刷することが不可欠となってきた。当社の例では新たに高精度対応のスクリーンを使用することにより、高さ0.8mmのマーキング文字を可能にした。また、図16に示すように印刷位置精度の向上も実現している。

10. 検査技術

SMT 技術の拡大に伴って、大きなインパクトを受けたのは検査技術であろう。特に電気検査においては、従来法に比べパッド幅が細くなったのと、パッドピッチ間が0.5mmと大幅に縮小したこと、さらに表裏に配置するケースがあり、回路形成の位置合わせ

配線密度(ピン間)	5 本
基 本 格 子	0.254
導 体 幅	0.08
設 計 最 小 間 隙	0.15
層間厚 (第1-2層 第3-4層)	0.15

図15. ピン間 5 本の設計基準

精度，SR の印刷精度，基材の伸縮と検査治具の位置精度とに不整合が生じ、急激に問題点が噴出したと言える。最近では、電気検査の導通判定と絶縁判定に加え、光学検査機（AOI）が普及してきて、かなりの効果を発揮している。今後、検査技術面におけるソフト、ハードの一層の技術改善が望まれるところである。

11. 生産設備技術動向

PWB の生産設備動向は、従来から注目を浴びている CAD，CAM，そして CAT 技術があるが、今日パソコン，VTR などを代表とする量販対応の TAT 短縮とした生産管理システムの構築，それに合理化，自動化を含んだ CIMS の構築が従前に比べ重要となってきたと痛感している。

図17で示すような CAD システムは、各種の方式が提唱され、大別すると超大型コンピュータ開発などにみられる大規模なシステム開発用と，OA，パソコン，VTRなどにみられるコストパフォーマンスとパーソナルユーズに仕分け、いずれにせよ設計技術者の繁雑業務，定型業務，設計 TAT 短縮，自動配線率の極限の追求等を改善するため，今日必ずしも満

図16. マーキングの印刷位置精度

足がいつてはいないので、今後もますます改善していくことを期待している。

また、新しい考え方としてデザインインが提唱され、各社仕様をより早く実現するために地方や社内各工場にデザインセンタを配置し、カスタムユーズ対応を開始した例もある。

CAM 技術は、省人化を狙いとして開発実用化されており、穴あけ、めっき、回路形成などに大きな効果をj得ている。図18は、当社の全自動穴あけシステム⁸⁾で、従来から問題となつている穴あけデータの自動読み出し、PWBのロード、アンロードのみならず、TAT 短縮のための穴あけ予約システム (図19)、稼

働率調査 (図20)、TPM の不良解析 (図21) と相当数の機能を盛り込むことで、効率化を達成している実例である。システムの概念図は、図22に示される。本システムの特徴は、① PWB 生産管理システムとリンクしていること、② 穴あけデータを一元管理し、各穴あけ機を数台グルーピングして群管理していること、③ 穴あけ機は現在最も進歩したFA 技術を導入していること、④ 穴あけ監視システムを用いた TPM 管理をしていること等が記述される。

CAT は前述の検査技術で述べたが、今後はCAD より一元化された自動データ活用、検査品の修正、補修技術の改善が望まれる。今後ますます高密度化、高多層化移行に伴って、各工程ごとの作り込み品質保証をする上での CAT 技術は、重要性を帯びてくると確信している。

12. おわりに

以上、昨今のPWB工場は、単にソフト、ハードの

図17. PWBを設計するCADシステム

図19. 予約システム

図18. 全自動穴あけシステム

図20. 稼働率調査

物造りのためのコンピュータ活用では満足できるものではなく、カスタム化、量販化、変機種変量化、TAT短縮化、省人化など総合的に設計した体制の構築が、今後の競争に生き残れるものであると確信している。これらのシステムを構築するには、諸資源（人・物・金・情報）の適正化が重要であることは言うまでもない。

文 献

- 1) JPCA 資料, 1988年版
- 2) 磯部： NEC 技報, Vol. 38, No.2, p. 151, 1988
- 3) Olin Hunt Technical Paper, NEPCON WEST, 1990
- 4) Noguchi, Hirai, Nakamura et al.： NEC R & D, No.92, p. 64, 1989
- 5) 特許第1082787号

- 6) 商標登録第87597号
- 7) 桑島, 斎藤： NEC 技報, Vol. 42, No.8, p.33, 1989
- 8) 大貫, 他： 工場管理, Vol. 35, No.6, p. 54, 1989

図21. 不良解析

図22. システムの概念図