はんだの鉛フリー化に対するリフロー装置の新しい使い方

高倉 博*

New Utilization of Reflow Systems for Lead-Free Solder

Hiroshi TAKAKURA*

* 株式会社エクセル取締役会長（〒533-0032 大阪府大阪市東淀川区淡路5-19-26）

*Chairman of the Board, Head Office, EXCEL Co., Ltd. (5-19-26 Awaji, Higashi-Yodogawa-ku, Osaka-shi, Osaka 533-0032)

1. はじめに

エレクトロニクス分野では、環境化学物質の規制が始まり鉛フリーはんだの使用が義務づけられることになり、鉛フリーはんだの実用化に拍車がかかっており、同時進行でSn-Pbめっき仕様から鉛フリーめっき仕様へと部品の切り替えが行われている。

はんだや部品の切り替え評価法の確立や製造の安定化を支える製造技術の整備など、切り替えには相当の努力が必要であり、ここにきてプロセス条件の変え方、装置とはんだの選定などにどう取り組めばよいかなどの問題が数多くあり、われわれが進めてきた研究成果や異業種のSMT研究交流などで得られた鉛フリーはんだに関する知見などをまとめたので紹介する。

はんだ選定・基板設計・工程条件出しなどを一体にとらえて、現場で楽に鉛フリー化を進めるための工夫と理論の裏づけの両面から、鉛フリー時代のリフローを解説しておりリフロー革新のナビゲータとなれば幸いである。

2. 鉛フリーはんだの本質

2.1 鉛フリーはんだの本質を工学的に理解する

「MATERIAL・MANNER・MACHINE」は三位一体、生産と設計はつながっており、鉛フリー化は、「はんだ・設計・工程」の三位一体のマッチングが基本である。

設計が悪いと工程改善効果が打ち消されてしまう傾向があり、部品の耐熱性が変わらないのでリフロー温度の上限も変えられないが、できるだけ楽に「鉛フリーはんだ」に移行することが望まれる。

2.2 鉛フリー化対応は、はんだ代替が工程に及ぼす影響

リフロー温度管理が厳しくなる傾向はピーク温度の許容幅が従来の約1/3に制限されることになり、製造時の安定性に与える影響が大きく、したがってのはんだの濡れの遅

さとバラツキが出ることが多くあり、部品切り替えのロスとリスクが大きくなる。

したがって切り替え時の評価と二重管理のロスをなくすることが大切である。

基板面の鉛フリーはんだが印刷されるパターンの表面処理状態が安定性確保に重要な課題となる（図1参照）。

2.3 鉛フリー化対応は、「材料・設計・装置」の三位一体が基本

鉛フリー化対応は、「材料・設計・装置」の三位一体が基本であってIE (Industrial Engineering)における改善のセオリーであり、効果（または影響）はMaterial>Manner>Machineの順に大きくなり、そのため、鉛フリー化（材料変更）では、Machine, Mannerの改善が先行しないと効果も副作用も見えてこないことが多くなると推測される（図2参照）。

改善の着手順は、Machine→Mannerの順が良く、打ち手は良品率を増やす工夫（不良をなくす発想）が望まれる。

鉛フリーはんだの試行は、良品率が高い機種（設計と工程が安定）で試行するのが良く、設計が悪いと工程改善効果が打ち消されてしまう。

2.4 代替と改善のセオリー

代替と改善のセオリーとは賢く、楽に変えることが望ま

Pbフリーはんだの性質	工程への影響
・高融点	・弱耐熱部品の過熱防止 ・大型部品の不ぬれ防止 製造性に大きく影響
・ぬれ広がり低下 ぬれの遅れ	・フィレット形状の変化 形状のばらつき増大 検査基準の変化 経済性・切替速度・信頼性に大きく影響
・機械特性の変化	・信頼性の変化
・部品電極の切り替え ・部品電極とはんだの組合せ	・歩留まりの変化 ・信頼性の変化
・フィレット表面光沢の変化	・検査感度の変化

図1. 鉛フリーはんだの性質と工程へ及ぼす影響

れ3Mの変更は1回に1つのMが原則でなければならない。そうしないと変更の効果が見えない。

Sn-Pbはんだと「歩留が良い基板」を使い、まず鉛フリーはんだの融点を正確に知ることである。実績があるフラックス処方、鉛フリーはんだを使って、プロファイル形状を微調整しながら進めるが、搭載部品については耐熱性が変わらないからリフロー温度の上限は変えられない。搭載部品の保証値が限度と認識すべきである（図3参照）。

3. 鉛フリーはんだとリフロー装置

3.1 鉛フリー時代のリフロー管理

鉛フリーはんだでは、温度の許容幅が狭くなる（約1/3）ため、部品加熱のしやすさは「部品の熱容量」に反比例する傾向がある。

温度プロファイルは結果であり、その要因は設計（部品選定とレイアウト）にも関係しておりすべての部品の ΔT （温度バラツキ）と Δt （高温滞留時間）を安全ゾーンに入れることが優先される。

加熱条件を固定して搭載部品の選定とレイアウトにより ΔT を低減することが望まれ、搭載部品の選定とレイアウトでリフロー条件の難度を下げる必要が生じる¹⁾。

3.2 鉛フリー時代のリフロー管理（プロファイルのゾーン管理）

基板内のすべての部品のピーク温度を安全ゾーンに入れることがわかってきたら、上限下限を管理することで比較的安定した管理が可能となる。

搭載部品の耐熱はボディ温度、接合性は端子温度を測るのが基本であり、弱耐熱部品の滞留時間を満足させることが優先されるが、鉛フリー最大の問題でありクリームはんだの流動時間を確保することが重要である。

3.3 温度プロファイルの設定手順と日常管理

新規のリフロー温度条件の設定手順として、生産と同条件の測定用基板を用いて測定ポイントを基板上で最も温度が上がりにくい電極（不濡れ防止）の場所、搭載部品で最も温度上昇基準が厳しい場所（熱損傷防止）基板の中央付近で最も平均的なランド（基板の温度標準）とすることが望まれる。

視点として、基本的に熱容量が大きい部品は温度上昇しにくく、熱容量が小さくかつ部品表面積（熱を受ける面積）が大きい部品は温度上昇が得やすくなる。

3.4 リフロー装置と日常管理の方法

1日1回は運転開始時の安定条件確認後に設定温度と炉内温度を確認して同条件において温度プロファイルを測定して、測定温度にてデータ管理することが重要である。

管理項目としてはピーク温度の数値を記録して傾向管理を行い、温度プロファイル全体が基準温度カーブ設定時に決定の条件 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内であることを確認して合否を判断する必要がある。

注意項目として、傾向管理を可能にするためにはリフロー条件、測定機材、および測定環境を統一する必要がある。

リフロー温度設定は、その生産機種に対して個別に最適化することがポイントであり、ライン内の汎用を重視することが大切であり、ライン間の比較を可能にするために必要なことはできる限り全体で統一することが望まれる。

●「Material・Manner・Machine」の三位一体 → 生産と設計は繋がっている！

図2. 「材料・設計・装置」の三位一体が基本

図3. 代替と改善のセオリー...「賢く、楽に変えたい！」

図4. プロファイル管理の考え方

図5. 温度プロファイル設定手順と管理

改善の広がりにはリフロー条件の共用範囲に限られるため、改善するための共通化と製造品質の均質化の観点から条件の統一が望まれる。

3.5 温度プロファイル測定の留意点

測定した温度プロファイルの判断の目安として、不良が発生しないこと、および部品に与えられている基準を満たしていることを前提として、温度プロファイルは最低基準の条件を満たしていれば良いと判断するが、より安全な基準を作れば作るほど幅がなくなり線になるための難しさがあることを認識すべきである（図4参照）。

条件として、最も低温のはんだ付け部分に対して 予熱(150~180℃)時間=30秒以上、200℃以上の通過時間=10秒以上、メーカ規定値以下が望まれ、目安として、200℃以上の通過時間が60秒以内、ピーク温度が240℃以下が望ましいとされる。

このような条件に合致しない温度プロファイルが必要な場合は、個別管理規定を作ることである（図5参照）。

3.6 温度プロファイルの合理的管理

温度プロファイルの合理的管理は「プロナビ」（プロファイルナビゲーションシステム）の活用が望まれる。

鉛フリー対応のリフロー装置に対して、基板と要求条件をパソコンに打ち込むと、シミュレーションプロファイルが得られるので確認後にパソコンからリフロー装置に転送して温度設定、コンベアスピードなどが生産条件になってから生産基板にて温度測定を実施する（図6参照）。

実測した温度プロファイルとシミュレーションに誤差が生じたとき補正機能を使用すると生産条件の近似値まで自動的に補正してくれるので、いままでのカンとコツを対話型で温度設定条件を可能にした優れたものである。

耐熱に関する測定とはんだ付け性に関する測定とを区別

図6. 温度プロファイルに不可欠な熱電対取り付け例

図7. 温度プロファイルの合理的管理「プロナビ」の活用

する測定の意味づけが必要であり、測定の遅れがあるチャートからは正確な ΔT が測れないため、正確な基板の温度測定と温度記録が同時に確認できタイムラグがないために無駄な時間がなく非常に合理的である(図7参照)。

3.7 温度プロファイルの測定時の留意点

大型部品と弱体熱部品に着目することが大事であり、測定に即した熱電対を弱耐熱部品はボディの電極部に、大型部品は端子部につけてクリームはんだの溶融時の条件と同等にすることが大切である。 ΔT を小さくする条件出しは、予備加熱上限・時間設定、本加熱昇温過程を知ることが必要であり、 Δt を最適化するには、上下加熱・コンベアス

ピードのバランスが大切である。上限下限を安全ゾーンに入れることが最低条件と思われる。

3.8 鉛フリーにエアー&遠赤併用加熱が望まれる理由

搭載部品の加熱に対して微小化、微細化する傾向にある薄板基板に対して風量の増加や風速の強さは弊害をもたらす傾向があり、部品の熱容量と基板の熱容量との関係とエアー加熱だけに頼ることの弊害を緩和するために、遠赤外線加熱は「部品表面の赤外線放射率」に基づいている。

鉛フリーのはんだ付けの基本は、「エアー加熱による予熱の ΔT 圧縮作用」と「遠赤外線による本加熱の ΔT 圧縮作用」が利にかなっているといえる(図8参照)²⁾。

図8. リフロー加熱の原則

図9. リフローの難易度を峻別する

することはリフロー条件の変更が際限なく必要になるため、リフロー加熱条件を固定する視点をもてば、そこに流れる基板すべてが良い条件を享受できる（図9参照）。

4. おわりに

はんだの鉛フリー化はある種の難しさを伴うが、リフロー装置は「はんだ付け」の核心部分でありながらブラックボックス的な存在として見られがちである。

今後もしリフロー装置の存在を理解いただくための努力をいたしたいと考えている。

この資料作成にたいして、京都府中小企業特別技術指導員の平野正夫様にご協力いただき感謝申し上げます。

(2007.8.2-受理)

文 献

- 1) 香山 晋：“面実装における接続技術”，p. 439, ASICパッケージング技術ハンドブック，サイエンスフォーラム社，1992
- 2) 河内 健：“高密度表面実装における接続技術”，p. 191, トリケップス社，1989

3.9 温度プロファイルの工学的意味

温度プロファイルの工学的意味は、実装工程にとって搭載部品および基板設計が重要であり温度プロファイルはその結果である。

その要因は設計（部品選定とレイアウト）であると言えますが、 ΔT を常に最小にしたり加熱を基板ごとに最適化