

ファインピッチBGAの実装技術開発

野末 正仁 木部 隆志
菅原 正樹 小日向 隆

沖電気の通信機器用基板には、1997年よりBall Grid Array（はんだボールでモジュール基板とマザーボードを接続する表面実装部品。以下BGAと略す。）形状LSIの使用が開始された。当初はBGAのパッケージ形状は3形状のみであったが、1999年より適用製品が急激に拡大し、現在までに130種類のLSI、パッケージ形状では21形状のBGAが採用されている。

さらにBGAのパッケージ形状のファインピッチ形状、大型多ピン形状、大熱容量（重量大）形状等、新型BGA形状の製品適用が急速に拡大した。このために品質および信頼性を確保するために、独自技術を活用したアプローチにより実装技術開発を行った。さらにBGAを用いた基板の新規設計、既存基板のBGA切り替え等の運用面において、試作製造段階で蓄積した実装ノウハウを活用、展開することにより、量産工程での実装品質を向上した。

また、BGAを用いた新製品開発段階では、LSIの機能確認、ICチップのバージョンアップ等によるBGAのLSI交換は必須であるが、改修技術（リワーク、リボール）を確立することにより短納期にて実施し、開発リードタイム短縮に大きく貢献した。

ファインピッチBGA実装技術開発のポイント

実装品質と信頼性の確保

実装品質と信頼性の確保のために、主に下記の①～④項目を実施した。

①実装品質の検証

開発当初に導入した3次元X線検査により、実装不良のはんだ流出防止を図るとともに、詳細な検査情報よりはんだ接続状態を非破壊で解明し、開発段階、不具合発生時等のあらゆる局面での効果的、効率的な検査方法を実現した。

②実装条件の最適化

BGAタイプ、基板設計仕様、実装工程の各種要因を抽出、実験計画法により実装条件の最適化を図った。これらの結果より、不良モード別に要因効果に基づいた不良発生時の原因調査を展開している。

③熱応力シミュレーションによる信頼性検証

熱衝撃試験（高低温）の膨張率の違いから生じる応力をシミュレーションし、部品、パッド径、はんだ供給量を変化させた時の接続信頼性の違いについて検証した。

④実装ノウハウのデータベース化

多種多様な実装形態に対し、メタルマスク開口、基板パッド、レジスト径を設定、確認する仕組みを構築し、X線検査工程、改修工程の品質情報を取り入れることにより、設計含む上流工程へタイムリーに情報をフィードバックすることが可能となった。

上記①～④項の改善により、多種多様なBGAの実装に対応可能となり、2001年度上期で端子当り1桁ppmの不良率を達成した。

改修技術の確立

改修技術としてリワーク（基板上に取り付けられたLSIの交換作業）、リボール（取り外したLSIのはんだ端子再生作業）について下記の内容を実施した。

①リワーク

加熱中の基板、BGAの反り防止を図りつつリフロー炉相当の加熱プロファイルを実現することにより、初期搭載と同等の実装品質、信頼性を確保した。

②リボール

リボールの際、デバイスにかかる熱履歴を最小限に抑えることより、BGA機能に問題のない工法を確立した。

ファインピッチBGA実装品質の向上

実装品質の検証

本庄生産センタにおいて、BGAを使用する製品はX線検査機を用いて非破壊によるはんだ接続状態の確認を行っている。図1は3次元型X線の特徴を示す¹⁾。

3次元X線検査装置はBGAに対して一定の角度で多くの方向からX線を照射し、取得された画像に処理を実施することによって、狙った位置の画像のみ抽出する方法を実施している。したがって透過型のX線検査装置とは異なり、BGA端子100%の検査が可能となっており、さまざまな

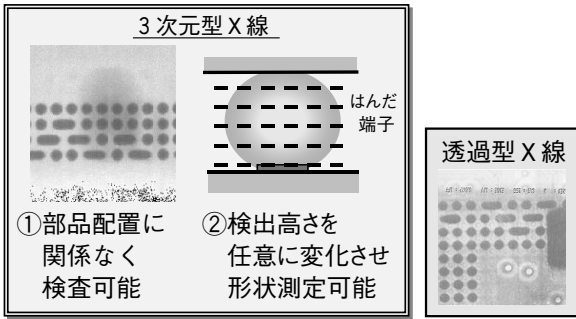


図1 3次元型X線検査機の特徴

製品データを得ることができ、検査データを実装に反映させ、高い実装品質を実現している。X線検査工程はBGA実装品質の1桁ppm化を実現するためには必要不可欠である。

また、今後BGAを使用する製品は多岐にわたっていくことは明らかであり、X線検査により品質情報を得ることは更なるファインピッチBGAの実装品質の向上に対して有効な手段となり得るであろう。

実装工程、要因効果と最適化

実装実験

BGA製造条件の最適化、および実装の基本特性を把握するため、1.0, 0.8, 0.5mmの3種類のピッチに対して代表的なBGAを用いて実装実験を行った。

実装実験はこれまでのBGA実装に対するノウハウを基に重要と考えられる7つの要因(表1に示す)を設定し、「品質工学」の手法であるL18直交表を用いて²⁾不良モー

表1 BGA実装実験における要因と水準

要因	水準
A：レジスト形状	A1：オーバー
	A2：クリアランス
B：パッド径	B1：標準
	B2：小
	B3：大
C：メタル開口	C1：標準
	C2：小
	C3：大
D：基板そり	D1：小
	D2：中
	D3：大
E：リフローピーク温度	E1：標準
	E2：低温
	E3：高温
F：加熱時間	F1：中
	F2：短
	F3：長
G：リフロー雰囲気	G1：N ₂
	G2：Air

ド別に要因効果を求めた。表2に実装実験結果を示す。各不良モードに対して効果のある要因と影響力の大きさが寄与率にて把握できる。

BGA実装のトラブルシューティング時には実験結果の表に基づき、逐一原因の洗い出しを行って、実装工程においてブリッジ不良が発生した場合、表2よりパッド径の寄与率が一番高いため、まずパッド径から見直しを行うことが重要である。以下にブリッジ不良の事例を紹介する。

表2 実装実験結果

順位	不良内容	ブリッジ	オープン	ボイド
1		パッド径	リフローピーク温度	リフローピーク温度
2		リフローピーク温度	レジスト形状	加熱時間
3		基板反り	加熱時間	パッド径
4		加熱時間	メタル開口	メタル開口

ブリッジ不良の事例

ファインピッチBGAが搭載された量産機種において、発生率こそ低い(1桁ppm)が特定ポイントにはんだブリッジが発生した。表2より、推定原因の第1候補としてパッド径に着目し検証した。

検証結果より、基板パターンの引き回しの際に図2に示すようにパッド間にダイレクトに引かれたパターンが影響し、見かけ上隣接パッド間の距離が短くなり、大きいパッド径を用いている事と同じ現象が引き起こされたことが判明した。実際の製品にはパターン引き回しを下図の如く変更することによって、ブリッジ不良率の0ppm化を実現した。

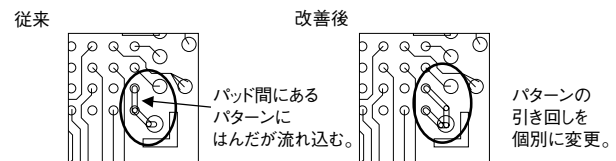


図2 配線引き回しの変更内容

信頼性実験

表1の水準を用いて実装されたサンプルに信頼性試験を実施し検証を行った。結果を図3に示す。横軸に表1で示される要因と水準、縦軸に利得 (db)²⁾を示し、利得の値は大きくなるほど信頼性の高い要因・水準であることを示している。この結果より、はんだ付け品質を考慮し決定した現行水準が、接続信頼性の面からも最適水準となることを改めて検証した。

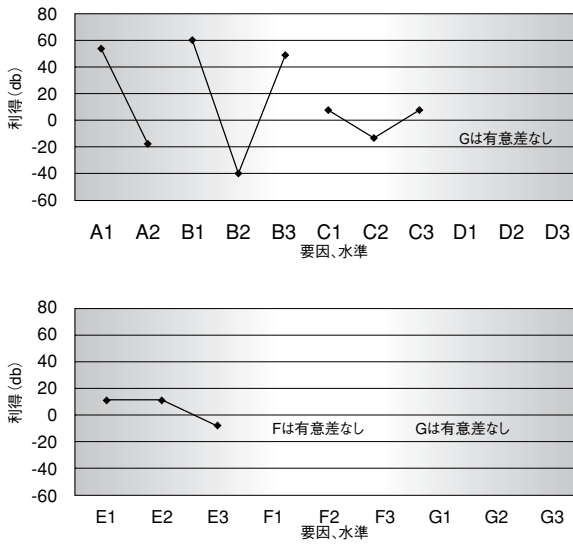


図3 信頼性試験結果(横軸の値は表1のA1~G3に対応)

信頼性検証

BGAの熱衝撃試験時に発生する応力をシミュレーションし、パッド径を変化させた時の接続信頼性の違いについて検討を行った。

図4にシミュレーション結果の画像例を、図5に信頼性結果を示す。図5は縦軸に相当塑性ひずみ、横軸にパッド径を振った結果を示す。ここで接続寿命の大小をCoffin-Mansonの寿命予測式³⁾から、相当塑性ひずみをパラメータとして求めた(相当塑性ひずみが小さいほど接続信頼性が高いことを示す)。

解析結果中の最適要因・水準が現在、製品に適用されているパッド径となっている。本解析により実績のないBGA実装形状の領域に対しても信頼性(接続寿命)の推測が可能と判断した。

今後、さらに多様なBGAの実装開発を行うため、シミュレーションと実装実験をリンクさせた解析を積み重ね、精度向上と適用拡大を図っていく。

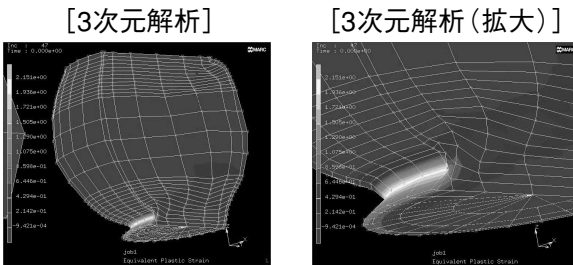


図4 はんだボール内の応力解析例

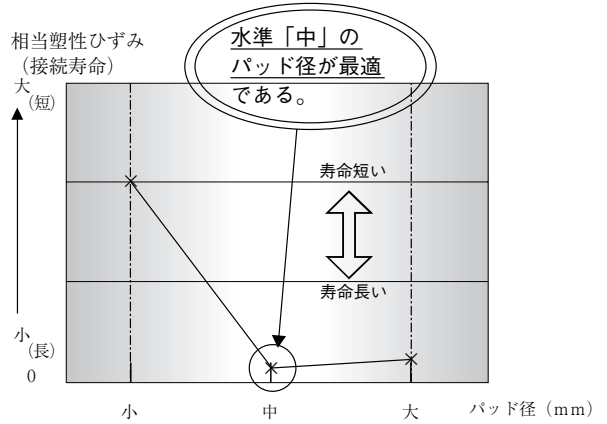


図5 ひずみ振幅とパッド径の関係

基板製造情報のデータベース化

製品適用BGA種類の増加に伴い、標準実装基準の他に特殊BGA(高温はんだの使用等)の実装も増加している。そのため製造条件が多様化し、さまざまな実装条件管理が必要となる。当部門においては製品基板の試作製造時にデータベースへ基板種、BGA種を登録することによって基板パッド形状の確認、メタルマスク開口径の個別指定が可能となった(図6にデータベースの概要を示す)。さらにX線検査工程、改修工程への品質情報を一元化し、情報を設計部門および製造部門へ展開を実施している。

改修技術

リワーク技術

基板上に一旦装着されたBGAを改修するためには、BGAの裏面全体にはんだ端子が存在するため、専用装置を使用し、端子全体を加熱する必要がある。さらにBGAを改修する基板は組み立て後の状態であることがほとんどであり、BGA周囲に非耐熱部品が搭載されるので、BGA周囲のみの均一加熱と周囲の温度低減を同時に実現させることが重要である。しかし加熱時のBGA部とその周囲との温度差のため、リフローはんだ付け時に大きな基板の反りが発生し、BGAのはんだ接続不良となることがある。特に大型のBGAにその傾向が見られる。

よって、改修装置に工夫を施し、取付け前のプレヒートに基板全面均一加熱を使用し、装置に取り付けた時の基板下にあるバックアップピンを最適な組み合わせで用いることにより、BGA単体および基板の反りを1/4化し、大型BGAをはじめ安定した改修を可能とした。

リボール技術

設計試作および不良品の機能確認のため、BGAリボール技術を開発し、解析リードタイム短縮に貢献した。リ

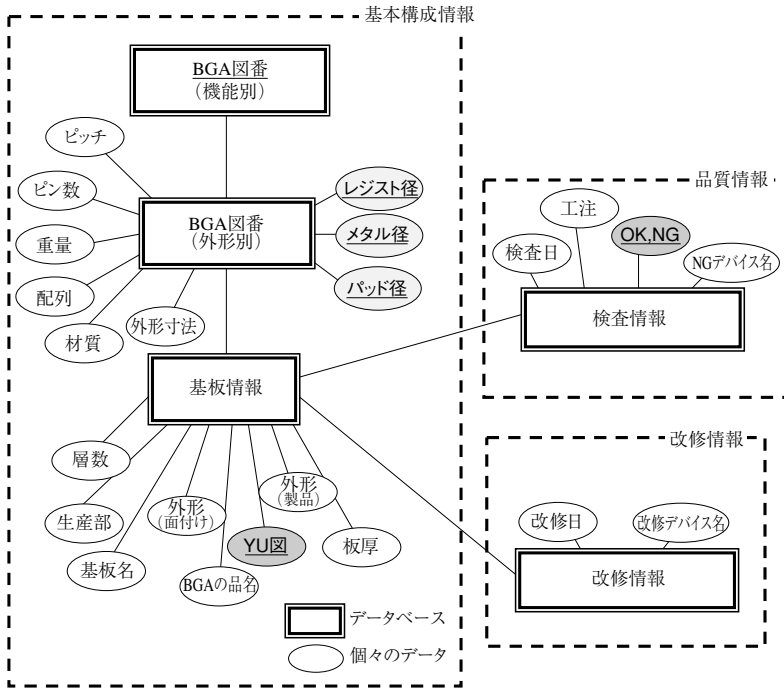


図6 データベースの構成内容

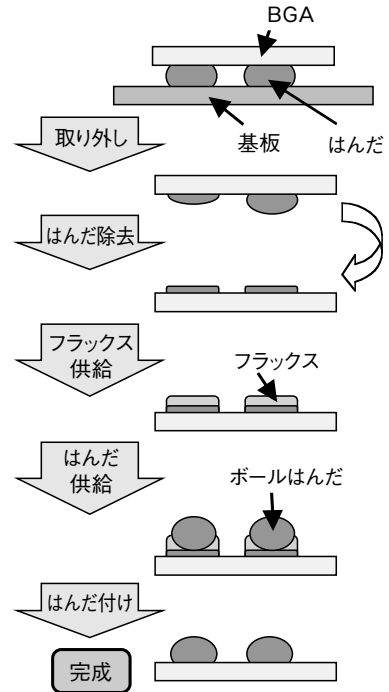


図7 BGAリボールの工程フロー

ボール作業の工程フローを図7に示す。BGA取り外し、はんだ除去、フラックス供給、ボール搭載の各作業項目について最適条件を選定し、多数ある加熱工程を独自の方式で加熱することでデバイスへの熱負荷を最小限に抑え、BGA機能に影響のない工法を実現した。なお、リボール実施BGAの実装に関して接続強度、接続信頼性に問題がないことも検証した。

まとめ

本開発技術は、ATM-PONを代表とする通信機器の重点機種に適用し、品質確保に多大な貢献を果たした。また、新規事業として展開している『基板の試作組立・評価サービス』においても、本技術を用い差別化を図った外販展開を行い、実績を上げている。

今後、ブロードバンド、高速化に対応しBGA実装製品

が急増する中、本技術の位置付けが益々重要なものになるであろう。 ◆◆

参考文献

- 1) 中村公男：X線可視化技術によるCSP/BGA実装検査技術，表面実装マガジン，CSP/BGA/FC技術のすべて，日刊工業新聞社，p.17, 2000年
- 2) 田口玄一：実験計画法，経営工学シリーズ18，日本規格協会，1979年
- 3) 塚田裕：ビルドアップ配線版入門，日刊工業新聞社，p.121, 1998年

筆者紹介

- 野末正仁：Masahito Nozue. ネットワークシステムカンパニー 製造技術部 生産技術開発チーム リーダ
- 木部隆志：Takashi Kibe. ネットワークシステムカンパニー 製造技術部 生産技術開発チーム サブチームリーダー
- 菅原正樹：Masaki Sugawara. ネットワークシステムカンパニー 製造技術部 生産技術開発チーム
- 小日向隆：Takashi Obinata. ネットワークシステムカンパニー 製造技術部 生産技術開発チーム

TiPo

【基本用語解説】

リフローはんだ付け

はんだ付継手に、あらかじめはんだをめっきや塗布したり、またはプリフォームはんだを供給した後、熱または圧力を供給し、はんだを再溶解してはんだ付けする方法。