超小型 LSI 部品 BGA/CSP の交換工法

Replacement Method for the Micro-LSI Part BGA and CSP

大崎康正 *
Yasumasa Osaki

及川善輝 *
Yoshiteru oikawa

瀬戸口 悟 *
Satoru Setoguchi

* PFU クオリティサービス株式会社　事業部　リペアサービス部

超小型 LSI 部品の BGA（Ball Grid Array）や CSP（Chip Size Package）は，高価であるが，占有面積，薄さ，実装性能に優れることから，携帯電話，デジタル家電などに使用され，近年急速に普及してきている．この BGA，CSP は保守などで必要となる交換工法が確立されておらず，数年前までは，基板不良が発生した場合は，基板ごとの交換が行われ，修理が高額になるという問題があった．PFU クオリティサービス㈱では，各種基板に搭載される BGA と CSP の交換作業のチャレンジを進めて，ほぼ 100 %まで成功率を高めて，交換工法を確立した．

While the Micro-LSI part BGA (Ball Grid Array) and CSP (Chip Size Package) are high-priced, they are superior in their size, thinness and functionality. They are used for mobile phones and digital domestic electrical goods, and their use has been expanding rapidly in recent years. However, a replacement method for BGA and CSP, which may be necessary for maintenance works, has not been established. Until a few years ago, in the event of a board failure, the entire board had to be replaced and therefore the repair was costly. PFU Quality Service Limited has endeavored to establish a replacement method for BGA and CSP which are mounted on various boards, and has achieved a near 100% success rate.

1 まえがき

BGA は電子部品として高価なことから数年前までは大型コンピュータなどに用途が限られていた．電子部品として利用が少なかったこともあり，その交換の際の工法が確立されておらず，交換に熟練を要し，各種交換設備を使用しても成功率は 70 %程度と言われてきた．PFU の提供するコンピュータほか IT 製品の基板修理を一手に担う PFU クオリティサービス㈱（以降，当社）では，サーバなどの大型部品やカードプロセッサなどの極小基板に搭載される BGA の交換作業を通じて，交換作業時に必要となるプリント基板（以降，基板）に加える熱管理のノウハウを蓄積し，各種交換設備や治具の充実，さらに，交換作業者のスキル向上を図って，基板サイズ,部品サイズや基板レイアウトに左右されずに，ほぼ 100 %まで成功率を高めて，交換工法を確立した．本稿では，この交換工法の主なポイントを事例を交えて紹介する．

2 BGA や CSP の概要と交換作業上の課題

2.1 BGA や CSP の概要 [1), 2)]

BGA は，IC パッケージの 1 種である．QFP [注1)] よりもさらに多ピン化する LSI のために開発された表面実装用のパッケージである．図－1の左側は BGA の表面を見たもの，右側は裏面を見たものである．「バンプ」と呼ばれる小さな半田材料を丸めたものを IC パッケージの裏面に 50 mil 程度の間隔で並べておき，これを基板に半田付けにて表面実装する．図－2に BGA

注1）Quad Flat Package の略．4 方向にリードが出た偏平なパッケージ．

の基板への実装構造を示す．

また，QFP などと違って，IC パッケージの裏面全体を基板との接続用に使えるため，総パッド数（基板との接点の数．QFP などのピン数に相当）を大幅に増やすことができる．その分半田付け不良などが発生する確率が高くなるという特徴がある．

なお，CSP は BGA より小型で半田ボールピッチが 0.8 ㎜ 以下のものを言い，別名，μBGA という場合もある．

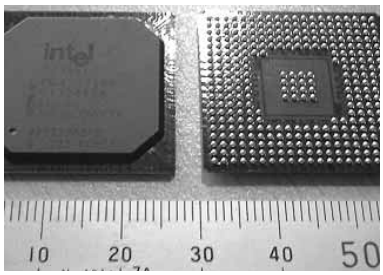
(1) BGA の基板への実装工法

BGA の基板への実装法である半田付けはスポット加熱にて行う．図－3にスポット加熱による BGA の基板への実装の流れを大まかに示すとともに，下記に説明する．

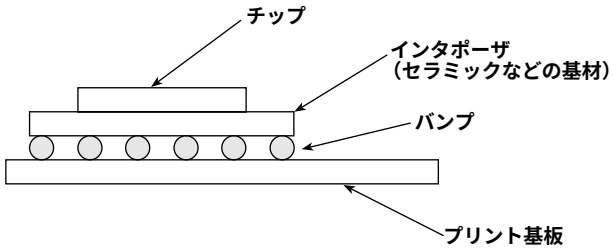
① 基板表面の BGA を搭載する位置に設けた接続用端子の PAD に「クリーム半田」と呼ばれるペースト状の半田を印刷する．

② BGA を交換用諸機能を備えるリワーク専用設備の部品搭載機構にて吸着，保持し，基板の BGA 搭載位置に，BGA のバンプと，対応する PAD とを正確に位置決めして装着する．

③ 基板へ直接熱を加えて半田を溶かし，半田付けを行う．



●図-1　BGA 外観●
(Fig.1-BGA appearance)



●図-2　BGA の実装構造●
(Fig.2-BGA implementation structure)

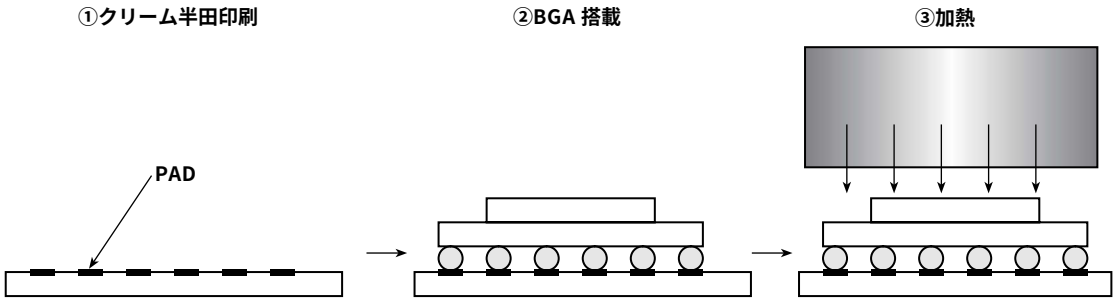
2.2　交換作業とその課題

BGA の交換では，リワーク専用設備にて基板上の交換対象の BGA をスポット的に加熱して半田を溶かして，BGA を取外し，BGA の実装位置の PAD に残された半田残渣を除去した後，図－3の手順で再度 BGA を実装する．これら一連の作業には，成功率向上の障壁となる以下の課題があり，これらを如何に解決するかが BGA 交換の成功率向上のポイントとなる．

(1) 熱管理

基板には通常複数種の電子部品が実装され，耐熱保証温度は，それぞれ異なる．基板全体を過熱すると，実装されている交換対象以外の電子部品を加熱で破損させることもありえる．それゆえ，基板の交換対象の BGA が実装される範囲だけをスポット加熱し，周辺に実装される電子部品の加熱による破損防止が重要となる．しかしながら，BGA は実装密度を上げるために採用される場合が大半のため，周囲に電子部品が密集して実装される場合が多く，スポット加熱といえども周囲への加熱が回避できないため，BGA の取り外し，および取り付け時の加熱時に周囲の電子部品を含めて耐熱保証温度を超えないよう，熱管理の精度が課題となる．

また，従来，半田付けに使用するクリーム半田は共晶半田が主に使用され，溶融温度が 183 ℃と BGA の耐熱保証温度 235 ℃をはじめその他の電子部品の耐熱保証温度との間に比較的温度差があり，多少の熱管理のば



●図-3　スポット加熱による半田付け●
(Fig.3-Soldering by spot heating)

らつきは許容される場合があった．しかし，昨今は，製品に求められる環境対応のもと，半田に鉛フリーが多く使用されてきており，BGA の交換においても鉛フリーのクリーム半田の使用を指定される場合が増加している．鉛フリーのクリーム半田の溶融点は 199 ℃～260 ℃と高く，BGA をはじめその他実装される電子部品の耐熱保証温度との温度差がわずかであり，熱管理の精度が更に厳しく要求されてきている．

⑵ 基板の反り抑制

基板を加熱すると，加熱された面は熱膨張し，基板に反りが発生する．BGA のバンプは格子状に並び，基板と平行度が保たれた状態で加熱されることで，バンプとクリーム半田が接触・溶融し，半田付けが行えるが，反りにより，周囲または中央が接触できないなど半田付けにむらができ，半田オープンが発生するため，基板加熱時の反り抑制が課題となる．

⑶ クリーム半田印刷量の管理

BGA を半田付けするに当って，基板の BGA 実装位置の PAD 部にはクリーム半田の印刷が専用治具を使って行われる．なお，交換対象の BGA の周囲に治具を使うのに最小限必要な空き領域が無い場合は，BGA のバンプに別の専用治具を用いて印刷が行われる．このとき，印刷するクリーム半田の量が少ないとバンプと PAD 部の半田付けが不足し，半田オープンとなる．また，印刷するクリーム半田の量が多いと，溶けた半田が隣接する PAD 部へ流れたり，周囲の電子部品へも流れて半田ショートを引き起こすため，クリーム半田印刷量の適正な管理が課題となる．

⑷ ボイド

ボイドとは，BGA の半田付けで加熱する際に，バンプ内にできる気泡を意味する．ボイドは BGA，基板，クリーム半田が大気中から吸湿した水分が加熱の際，バンプ内に排出されずに残ったものである．ボイドが有ると BGA と，基板との電気的，機械的接続が不十分となるため，これらの持つ水分を交換作業前に如何に除去するかが課題となる．

3 BGA 交換手順と交換工法の主なポイント

ここでは，BGA の交換手順を例に，高い成功率を達成している交換工法の主なポイントを写真を交えて説明する．

⑴ 温度プロファイル作成

部分加熱にて BGA を取外すために基板や周辺部品への熱影響を考慮した温度プロファイル（制御データ）を作成する．この作業では，**図－4**に示すようにリワーク専用設備にセットした基板の交換対象の BGA とその実装面,半田面の要所，および周囲の実装密度により，周囲の部品やその実装面,半田面に温度測定用センサの熱電対素線を装着し，しかるのち，リワーク専用設備の放熱口をその BGA に当て，基板上下から当てる熱ヒータの熱風流速, 加圧力およびそれぞれのヒータの温度, 時間からなる温度プロファイルを設定して加熱し，**図－5**の例に示すような測定温度のグラフを観察しながら BGA の取り外し，取り付けに最適な温度プロファイルを決定する．

1）ポイント

各種基板，部品実装環境に適したオーダメイドの温度条件を確立することが重要である．

a）周辺部品への熱影響を確認する．

b）加熱による基板反り軽減のためリワーク専用設備の上下ヒータの熱バランスを図る．

c）リワーク推奨条件を以下に表す（共晶半田の場合）.

① パッケージ MAX 温度： 230 ℃以下

② 時間： 30 sec 以内（205 ℃以上）

③ 周辺部品半田温度： 170 ℃以下（半田溶融限界値）

⑵ BGA 取外し

部分加熱にて BGA を取外すために，あらかじめ作成した温度プロファイルを使用し，基板や周辺部品への熱影響を考慮した温度条件でリワーク専用設備にて取外す．

1）ポイント

a）周辺部品への熱影響を確認する．

b）リワーク専用設備を使う前に，基板のベーキング（乾燥）処理にて，基板が吸った水分を十分排出させ，取り外しの際の加熱による半田溶融が基板に含まれる水分により妨げられないようにする．

c）部品を取外した PAD 部の半田溶融状態を確認する．PAD 上のすべてのバンプ形状が崩れていることで温度条件に問題がないことが確認できる．しかし，隣接 PAD 間でブリッジが発生している場合には，加熱過剰と判断して条件の見直しが必要と考えることが望ましい．

(3) 基板清掃

BGA 取外し後，PAD 部半田を半田鏝にて除去し，また，洗浄液にてフラックス残渣を除去し，基板面を平坦にする（図－6参照）.

1）ポイント

a）PAD 部半田を除去する際，半田鏝にて PAD を剥離することのないよう注意する.

b）フラックス残渣を残さない事.

c）PAD 剥離を回避するために基板が冷却されるまえに PAD 部上の半田を除去することが望ましい．特に鉛フリー品での対応は，厳守する必要性が高い.

(4) クリーム半田印刷

基板側 PAD 部へクリーム半田を印刷し，半田付け強度を高める.

1）ポイント

a）クリーム半田量を増量して半田未着の防止を図る. クリーム半田印刷に使用するマスクの作成時，基板 PAD 部への印刷量が 80 %程度を目安にすることが望ましい.

b）印刷ずれが無いようにする．印刷マスクを BGA の部品データに合ったものを使用する.

c）印刷量を均一にする．クリーム半田印刷時のスキージ加圧加減（訓練が必要）により，印刷量を均一にできる.

d）印刷マスク作成時の板厚，開口径を BGA の部品データに合わせて精度よく仕上げる.

e）部品実装レイアウトにより基板側にクリーム半田を印刷するか，BGA 側へクリーム半田を印刷するかを判断する．図－7は左側に BGA の実装される PAD 部の拡大写真を，右側にクリーム半田印刷例を示す.

また，図－8は BGA のバンプ側へのクリーム半田を印刷した例を示す.

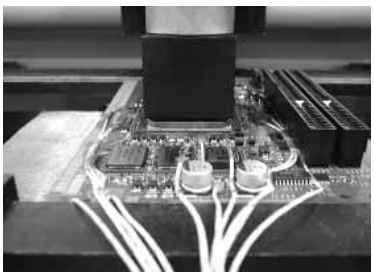
(5) 新規部品実装

リワーク専用設備の部品搭載機構にて BGA を吸着・保持し，位置合わせ機構を使用して，基板 PAD 部と BGA のバンプとの位置合わせをし，基板上に搭載する（図－9参照）.

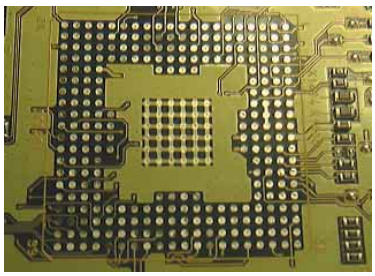
1）ポイント

a）BGA は事前にベーキング処理を行い，水分を十分に排出させておく.

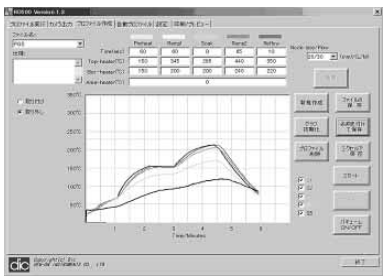
b）位置合わせ機構にて BGA を精度よく搭載する．なお，BGA に関しては，PAD とバンプのずれが約 50 %まではバンプの溶融時の表面張力によるセルフアライメント効果（図－10参照）が働くことで，電気的接続が保たれ，ずれ修正が可能となる．しかし．CSP は，小型軽量にてセルフアライメント効果が期待できないために部品搭載精度が要求される.



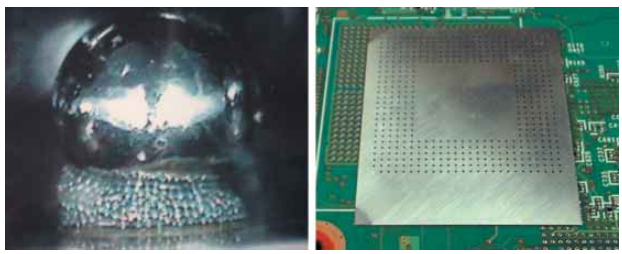
●図-4　センサ装着例●
(Fig.4-Example of mounting a sensor)



●図-6　実装面清掃後の例●
(Fig.6-Example of cleaned mounting surface)



●図-5　温度プロファイル設定・観察例●
(Fig.5-Example of the temperature profile setting and observations)



●図-7　PAD 部の拡大写真とクリーム半田印刷例●
(Fig.7-Enlarged photo of the PAD part and cream solder print)

c）部品搭載機構が BGA に加える加圧で半田付け時にバンプがつぶれることのないよう適切に設定する．

(6) 部品取付け

部分加熱にて BGA を取付ける為に取付ける BGA，基板や周辺部品への熱影響を考慮した温度条件でリワーク専用設備で取付ける

1）ポイント

a）目視にて半田状況を確認し，各所にて半田溶融にばらつき（5 sec 以上）がある場合は温度条件の見直しを実施する．

b）周辺部品の半田状況も確認し，半田溶融の場合は流出される熱風をカプトンテープ等によって遮断し，熱上昇を防止する．

c）部品取外し温度条件と同一条件（異なる場合も多々ある）で加熱し，取り付ける．

d）鉛フリー品に見られるボイド発生要因として，半田軟化温度時間が大きく影響していると言われている．共晶半田では，軟化時間は極めて緩やかな曲線を描いているが，鉛フリーに対しては急激な硬化で対処することでボイドは大幅に減少する．

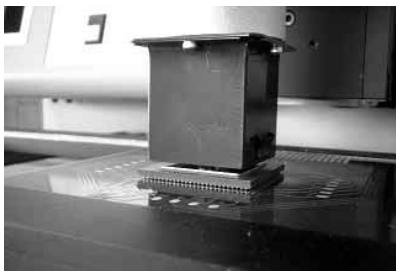
(7) X-ray 確認（非破壊検査）

交換箇所の半田付け部の状態を確認する．バンプがつぶれてないか，バンプ内にボイドが見られないか，半田ショートが無いかなどである（**図−11**，**図−12**，**図−13** 参照）．

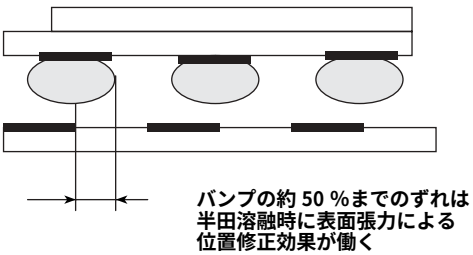
X-ray 確認作業工程を設けることで NG 品に対してのフォローが早くなり，全体品質の向上につながる．

電気的な良否判定では，不良品対応も後手となってトラブルも拡大する可能性がある．経験上，交換作業品質を維持，向上させるためには，X-ray 確認は必須工程

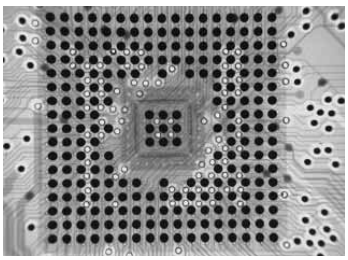
●図−8　バンプへの印刷例●
（Fig.8-Example of printing on a bump）



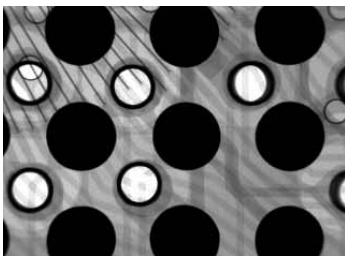
●図−9　部品搭載例●
（Fig.9-Example of part deployment）



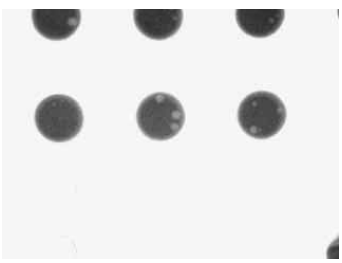
●図−10　セルフアライメント効果●
（Fig.10-Self alignment effect）



●図−11　X-ray 撮影全体画像例●
（Fig.11-Example of an X-ray image）



●図−12　X-ray 撮影拡大画像例●
（Fig.12-Example of an enlarge X-ray image）



●図−13　ボイド画像例（バンプ内に気泡）●
（Fig.13-Example of a void image（bubbles in the bump））

と考える．

1）ポイント

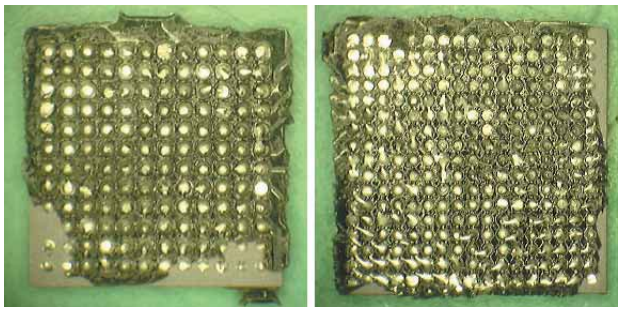
a）画像のコントラスト調整にてボイドなどの不良を確認

b）全体画像によりハンダボール形状の極めて小さいものを注意深く監視確認（オープンの可能性あり）

4 交換事例

ここでは，CSP の交換事例を，携帯電話の基板で，アンダーフィル剤注入品を例に説明する．なお，アンダーフィル剤とは，部品バンプと基板 PAD 部の接合面積が少ないため，部品と基板の隙間に一液性加熱硬化型のエポキシ樹脂系接着剤を流し込み接合強度を高めるために使用する．携帯電話などでは，各社アンダーフィル剤を活用して接合強度を確保している．**図－14** にアンダーフィル剤が注入された CSP 裏面例を示す

従来までは，アンダーフィル剤塗布品に関しては，いったん硬化したアンダーフィル剤をきれいに除去する手立てがなかったため，交換作業ができないことがあった．しかし，接着剤の改良によって接着剤を加熱することで軟化する物品も増加している．また，温度条件を確立することで基板側への接着剤残渣を大幅に軽減させることも可能である．しかし，長時間の加熱は，接着剤の架橋構造を密にし，部品取外しが難しくなるので注意が必要である．



●図-14　アンダーフィル剤使用例●
(Fig.14-Example of the use of an underfill agent)

ここで，アンダーフィル剤注入品の CSP 交換作業の成功率を高めるポイントを説明すると**表－1** のようになる．

ついで，アンダーフィル剤塗布品の交換成功率を高めるためのポイントを作業順に説明する．

(1)　部品取外し

リワーク専用設備にて半田及びアンダーフィル剤を加熱軟化させて交換対象の CSP をピンセットで取外す（**図－15** 参照）．

(2)　半田やアンダーフィル剤除去

基板上のアンダーフィル剤残渣をナイフ型鏝先で削り取る（**図－16** 参照）．また，同時に PAD 部半田残渣も取除く．なお，PAD 上のアンダーフィル剤は，残渣があるとオープンなどの不良原因となることがある．

(3)　基板清掃

再搭載箇所をアルコールなどで洗浄清掃する．

(4)　再搭載

仕上げ後，PAD 部状態を確認（顕微鏡：10 倍）してクリーム半田を印刷，CSP を搭載し加熱する．

(5)　状態確認

CSP のはんだ付け状態を X-ray にて確認する．

以上のポイントを確立することで，アンダーフィル剤が塗布された CSP 交換作業の成功率は向上する．

5 その他（不良事例）

ここでは，不良回避の事例を紹介する．

BGA や CSP を交換作業する際にいくつかの不良パターンがある．ショート（ブリッジ），オープン（未半田），ボイドなどは，特定できる要因にて発生している

●表-1　アンダーフィル剤注入品の CSP 交換作業のポイント●

条件	成功率向上のポイント
接合強度補強剤使用	アンダーフィル剤軟化温度と半田溶融温度条件の確立
部品搭載高密集度品	搭載部品及び周辺部品への熱影響軽減温度条件の確立
基板厚：0.6 ㎜（他製品より薄い）	CSP 取外し時の基板反り軽減温度条件の確立
半田ボール間：0.5 ㎜（狭い）	クリーム半田印刷精度や部品搭載精度の向上
基板上の接着剤残渣除去方法	作業者の技術力（力量）向上 注）PAD 剥離の発生する可能性が高い工程

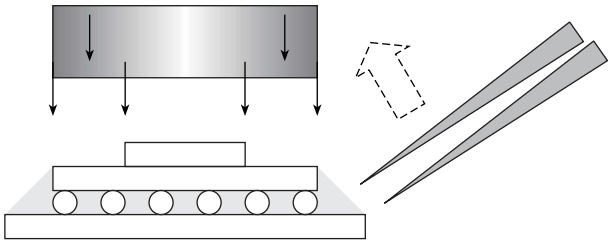
不良である．実験的にトライアルして発生防止を確認した事例について表－2に紹介する．

6 むすび

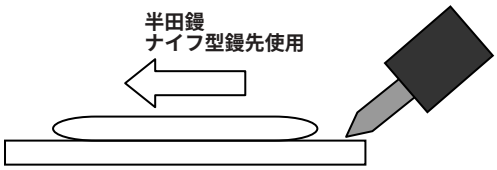
BGA や CSP 部品の交換では，その IC パッケージの耐熱性，構造，材料，基板構造，基板材料，ならびに周辺部品の実装レイアウト環境の影響により，リワーク専用設備に設定する最適な温度条件が大きく変わってくることを理解しておくことが大切である．

当社の部品交換工程では，あらゆる部品への交換トライアルを行い，様々な問題にぶつかりながらも工法開発を重ねて成功率を向上させており，リードピッチ 0.4 ㎜ までの交換工法を確立している．

BGA や CSP の交換は携帯電話やデジタル家電などの成長が続く中，今後益々重要視されてくるものと予想している．そこで，当社では基板や部品（周辺部品を含む）への熱影響を軽減させるための温度条件確立への努力を継続的に実施するとともに，リードピッチ 0.3 ㎜ へのチャレンジを通じて顧客の期待に応えていく所存である．



●図-15　CSP 取外し例●
(Fig.15-Example of the CSP removal)



●図-16　半田とアンダーフィル剤除去例●
(Fig.16-Example of the solder and underfill agent removal)

参考文献
1）春田壽夫：実用化進む超小型パッケージ CSP 実装技術，第 7 章 CSP 実装事例，日刊工業新聞社，初版，東京，pp,121-192（1999）．
2）春田壽夫：超小型パッケージ CSP/BGA 技術，第 8 章 CSP の実装技術とリペア技術，日刊工業新聞社，初版，東京，pp,191-198（1999）．

●表-2　不良別の発生要因と改善策●

	不良内容	要　因	改　善
1	ショート（ブリッジ）	部品への加熱過剰	温度プロファイルを再測定（時間や温度）
2		クリーム半田の過剰	PAD 径とマスク板厚又は開口径再確認 クリーム半田印刷量再確認
3		基板反り影響	専用設備上下ヒータ温度を再調整 ・上反りの場合は上部ヒータ温度が高い ・下反りの場合は下部ヒータ温度が高い
4		部品実装ずれ	部品搭載精度を再確認 ・セルフアライメント効果の許容範囲を超えているため位置修正できない（図－10参照）
5	オープン（未半田）	部品への加熱不足	温度プロファイルを再測定（時間や温度） ・周辺部品の影響（放熱部品が実装されている場合に熱影響を受ける．） ・設備容量不足（特に鉛フリー）
6		基板反り影響	設備上下ヒータ温度を再調整 ・基板反りによって，PAD 部と半田ボールが非接触状態となっている
7		加圧過剰	部品搭載時に加圧量が多くなり，クリーム半田が逃げることで半田不足となるので加圧再確認
8	ボイド（バンプ内の気泡）	クリーム半田の管理	使用期限の確認（保管方法や使用方法など）
9		ベーキング未処理	部品や基板ベーキング処理実施（時間と温度の確認が必要）
10		部品への加熱不足	温度プロファイルを再測定（時間や温度） ・ペーストが完全に溶融していない