

当社が第3次ボランタリープランで策定した鉛削減計画に基づき、2000年度から製品への鉛(Pb)を含まないはんだ(以下、「鉛フリーはんだ」と呼ぶ)の採用が始まった。候補となる鉛フリーはんだは、すず-銀(Sn-Ag)系、すず-亜鉛(Sn-Zn)系、すず-銅(Sn-Cu)系の3種であり、実装プロセス、製造インフラストラクチャ、製品信頼性保証に応じて使い分ける。

Sn-Ag系はんだは、実装性、接合信頼性、作業性に優れており、既に洗濯機や冷蔵庫などの家電製品で量産適用している。従来温度で実装可能なSn-Zn系はんだは、適用する部品や基板の表面処理を選び、更にリフロ-実装では、印刷時の温湿度管理を行うことで、実用可能なことが明らかとなった。

Toshiba began the application of lead-free solder to products from the year 2000 based on a lead reduction policy under the company's third voluntary plan. Three alloy systems (Sn-Ag, Sn-Zn, and Sn-Cu) are promising materials for lead-free solder. These solders are to be used according to the soldering process, manufacturing infrastructure, and guarantee level of product reliability.

As Sn-Ag solder provides excellent soldering, joint reliability, and handling in operation, it has already been applied to the mass-production of several household electric appliances. Sn-Zn solder has been applied to products with selected surface treatments of circuit boards and parts, and to reflow soldering with controlled temperature and humidity in printing.

## 1 まえがき

プリント基板の部品実装に用いられるはんだには、人体に有害とされる鉛が含まれている。廃棄された家電製品が雨水などにさらされることにより、はんだから鉛が溶出する危険性が指摘され、ここ数年で鉛フリーはんだへの切替えが加速している。

当社では、環境自主行動計画としての第3次ボランタリープランで、2003年度までに当社全製品に対して鉛フリーはんだを採用することを公表している。具体的には、2000年度から主要家電製品やパソコン(PC)に順次採用し、2003年度までに全製品で採用する、というものである。既に、主要家電製品(テレビ、洗濯機、冷蔵庫、電子レンジ、クリーナー、など)や一部の民生機器で、Sn-Ag系鉛フリーはんだによる量産を開始している<sup>(1)</sup>。

しかし、今後、全製品へ鉛フリーはんだを適用するには、まだいくつかの課題がある。例えば、①鉛フリーはんだの材料コストが高いこと、②Sn-Pb共晶はんだに比べ融点が高く、大型基板や低耐熱性部品に対応しにくいこと、③部品や基板表面処理の鉛フリー化が遅れていること、④鉛フリーはんだにおける量産管理技術を新たに構築する必要があること、などである。

ここでは、当社の鉛フリーはんだ化の考え方、製品適用拡大のために取り組んでいる鉛フリー化技術について述べる。

## 2 鉛フリーはんだ適用の考え方

一般に、プリント基板の鉛フリーはんだ付けに要求される基本特性は、現行のSn-Pb共晶はんだ並みの実装性(各種電極へのぬれ性や接合強度)、接合信頼性(熱疲労特性、接合界面反応など)、作業性(はんだ付け温度、ペースト印刷性など)である。しかし、これらの諸特性をすべて満足する鉛フリーはんだを見いだすことは難しい<sup>(2)(3)</sup>。

そこで、いずれの鉛フリーはんだにおいても、その融点が現行のSn-Pb共晶はんだの融点(183°C)よりも高くなることを前提に、図1に示す基本的な手順に従い、製品適用を進めてきた。まず、対象とするモチーフ製品を決め、搭載部品や基板の耐熱性、製造ラインの設備能力から適正なはんだ付け温度を見いだす。次に、このはんだ付け温度に見合う融点や機械的特性を持つ鉛フリーはんだを選定し、その接合信頼性を検証する。特に、使用する電極材料との界面反応や選定した鉛フリーはんだの熱疲労特性を詳細に検証する。その後、製造性検証として、選定した基本材料をベースに、はんだ付け性に及ぼす温度プロファイル、フラックス性能、作業性などのプロセスマージンを評価し、リファインする。その後、製品レベルでの信頼性検証を行い、量産化する。

候補となる鉛フリーはんだ組成を表1に示す。基本となる鉛フリーはんだ合金は、リフロー及びフロー実装ともに、融点は高いものの優れた材料特性を持ち、既に当社製品へ

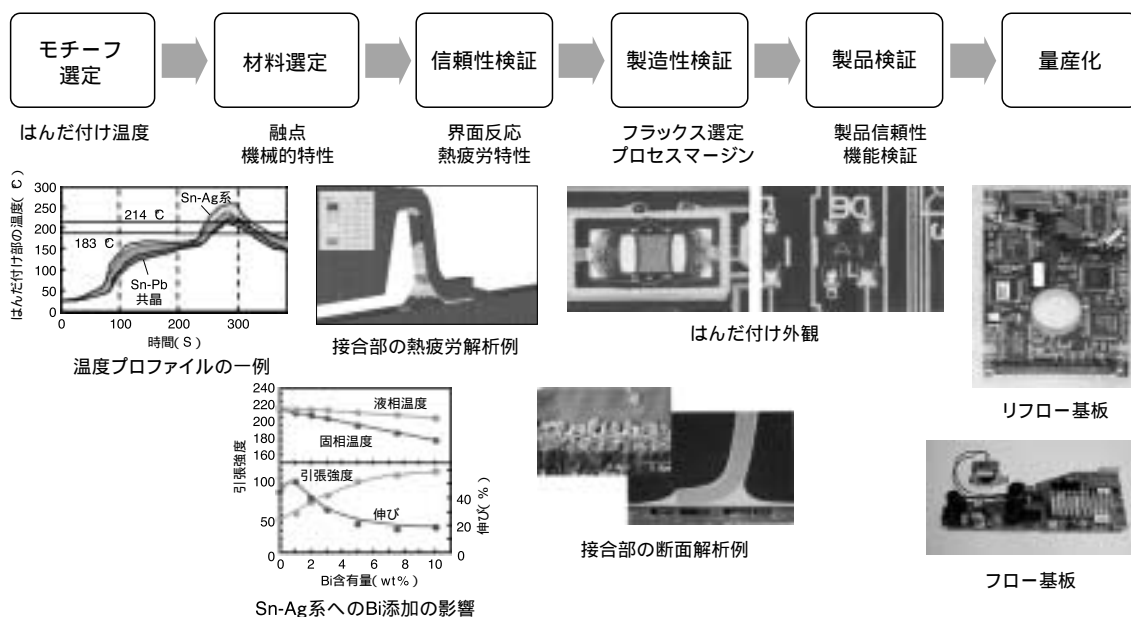


図1. 鉛フリーはんだ適用の基本ステップ(リフロー実装) 鉛フリーはんだの実用化には、はんだ材料選定、実装プロセス、接合信頼性までの一貫した開発が必要である。

Basic approach for lead-free products

表1. 候補となる鉛フリーはんだ組成  
Compositions of lead-free solders in each process

プロセス	主な対象製品	候補はんだ
リフロー実装	情報機器 (PC, 携帯端末など)	Sn-Ag-Cu, Sn-Ag-Bi-In, Sn-Zn-Bi
リフロー/フロー 混載実装	事務機器, 医療機器, 産業機器など	Sn-Ag-Cu/Sn-Ag-Cu又はSn-Cu, Sn-Zn-Bi/Sn-Zn
フロー実装	家電機器	Sn-Ag-Cu, Sn-Cu, Sn-Zn

の採用実績が増えつつあるSn-Ag-Cuはんだである。これに、現行のはんだ付け温度で実装が可能なSn-Zn系はんだと、Sn-Ag系はんだに比べコストが安いSn-Cu系はんだが加わる。当社では、これら鉛フリーはんだをそれぞれの製品における実装プロセスや製造インフラストラクチャ、製品に対する信頼性保証に応じて使い分けることにしている。

### 3 リフロー実装

リフロー実装における最大の課題は、基板内の温度差が大きくなる大型サイズの基板や、230℃以下の耐熱性の低い部品が搭載された基板に対する鉛フリー化である。これに対して、温度制御性に優れた高精度なリフロー炉を導入し、温度プロファイルの適正化を図るとともに、ビスマス(Bi)やインジウム(In)を微量添加した低融点Sn-Ag系はんだの採用を検討している。これと並行して、現行のはんだ付け温度で実装が可能なSn-Zn系はんだの実用性評価も進めている。

各種のリードめっきを施したQFP(Quad Flat Package)をSn-Zn-Biはんだペーストで窒素リフロー実装した時の初期接合断面を図2に、これらQFPリードの温度サイクル試験における接合強度変化を図3に示す。はんだフィレット形状は、リードめっきの種類により大きく異なり、特に金(Au)/

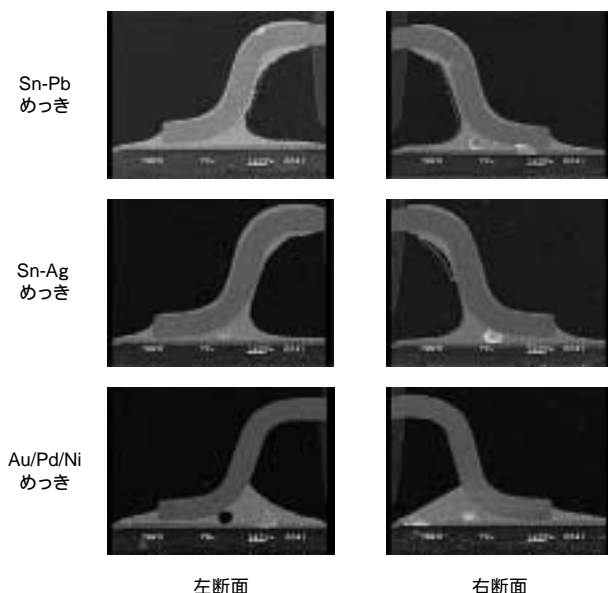


図2. Sn-Zn系ペーストを用いたQFPはんだ接合部の断面 部品リードめっきの材質により、はんだフィレット形状は大きく異なる。  
Cross sections of quad flat package (QFP) solder joints using Sn-Zn solder paste

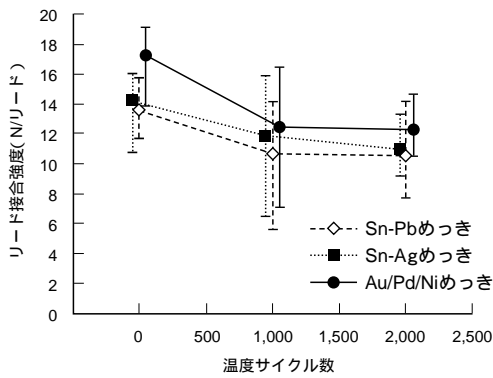


図3. 温度サイクル試験における接合強度の変化 部品リードめっきの材質を選定すれば, Sn-Znはんだでも安定した接合信頼性を確保できる。

Changes in solder joint peeling strength with number of thermal cycles

パラジウム(Pd)/ニッケル(Ni)めっきでは, リードへのはんだのぬれ上がり不足している。接合信頼性の点では, Au/Ni電極基板上で2,000サイクル後のリード当たりの平均接合強度は, いずれのめっきにおいても10~12N/リードあり, Sn-Pb共晶はんだと同等以上の値を示した。このように, リードめっきや基板表面処理を選定すれば, Sn-Zn系はんだでSn-Pb共晶はんだと同等以上の接合信頼性を得ることができる。量産時のリフロー実装品質にもっとも影響を及ぼすのは, ペーストの印刷性能である。温湿度管理された環境下で, Sn-Ag系及びSn-Zn系ペーストの連続印刷性(ペースト転写率)を調べた結果を図4に示す。0.4mmピッチQFPに相当する0.2mmパターンに対して, 連続10,000回までおよそ80%以上の転写率を維持しているSn-Ag系ペーストは, 現行のSn-Pb共晶はんだと同様の作業管理条件で量産できるレベルに仕上がっている。一方, Sn-Zn系ペーストで

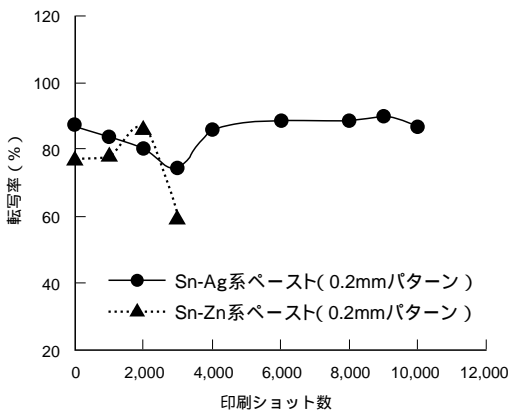


図4. 各ペーストの連続印刷性評価結果 ペースト保存性は, Sn-Agペーストの方が優れている。

Results of continuous printing test

は, Sn-Ag系の約1/4となる連続2,000回であるが, この値は8時間稼働で4日間に相当する。つまり Sn-Zn系ペーストでも, 製造ラインの作業管理(印刷機周囲の温湿度管理, ペーストの使用条件管理)を徹底することで, 量産での使用は可能と言える。

#### 4 フロー実装

フロー実装では, 両面スルーホール基板において, 部品側電極のはんだが部分的に剝離(はくり)するリフトオフ現象やはんだのぬれ上がり不足が問題となる。しかし, 鉛フリーはんだは高温クリープ特性や熱疲労特性が優れているので, 製品基板の信頼性の向上も期待できる。候補となる鉛フリーはんだの特徴を把握したうえで, 適用製品に合わせ使い分けることになる。

Sn-Ag系, Sn-Cu系, Sn-Zn系はんだでフロー実装した時のはんだ付けの外観を図5に示す。いずれの鉛フリーはんだでも, はんだ付け温度や時間の適正化, 及び酸素濃度を制御した窒素雰囲気下ではんだ付けを行うことにより, 良好なフィレットを形成することができる。また, Sn-Ag-Cuはんだで見られる微小な引け巣は, 熱疲労環境下においてもき裂として進行する可能性は低く, 製品信頼性上の致命的な欠陥となることはない判断している。

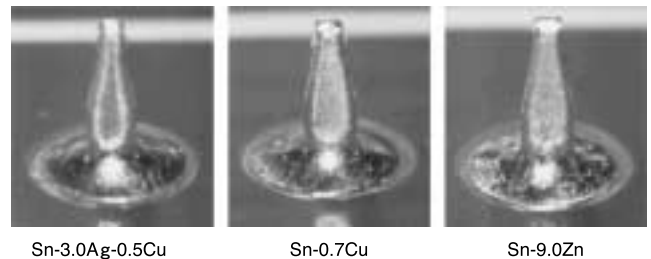


図5. フローはんだ付けの外観 はんだ付け条件を適正化することで, 良好なはんだ付け外観と成る。

Appearance of lead-free solder joints

温度サイクル試験後のDIP(Dual In-line Package)リード接合断面を図6に示す。いずれのはんだも, 部品側のはんだフィレットに明確なき裂が見られるが, き裂はスルーホール上部で止まり, スルーホール内部には進行していない。き裂進行性の点から見ると, いずれの鉛フリーはんだも, Sn-Pb共晶はんだに比べ優れている。

リフトオフについては, はんだや部品めっきに含まれるPbが影響する<sup>4)</sup>が明らかになりつつある。特に, 現行部品の大半を占める鉛含有めっき部品をフロー実装する場合には, はんだ槽へのPbの混入を避けることができない。この

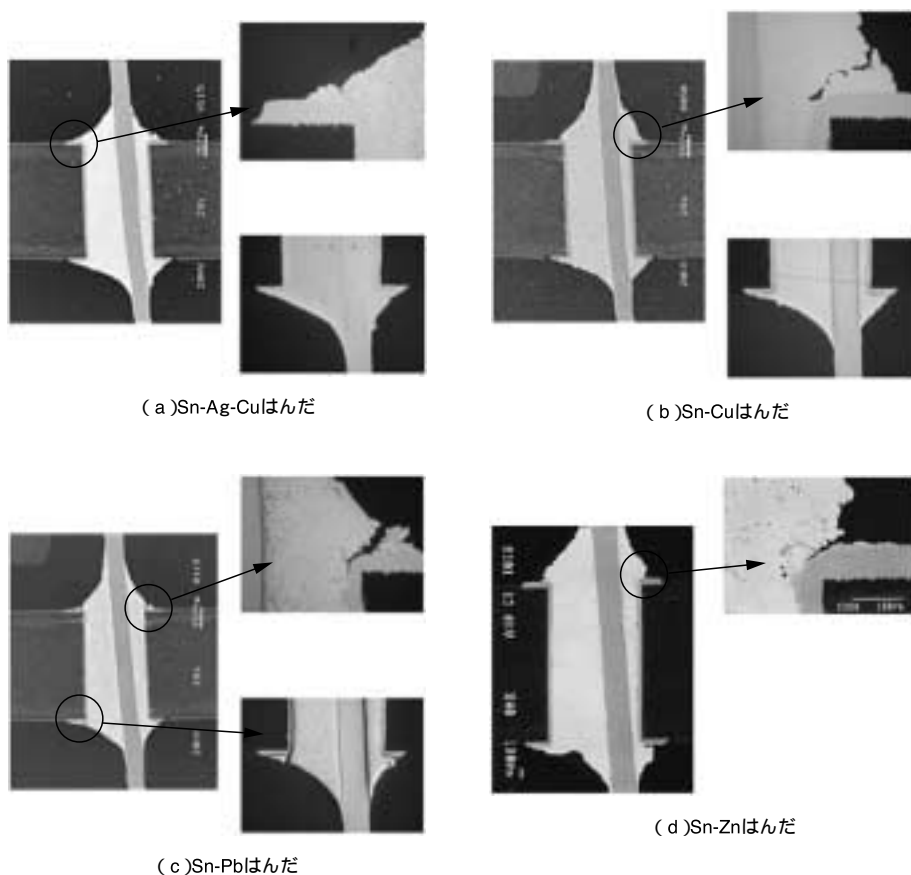


図6．温度サイクル試験後のDIPはんだ接合断面(2,000サイクル後) 鉛フリーはんだ付け部(a)(b)に形成されるき裂の大きさは、現行のSn-Pb共晶はんだ(c)に比べ小さい。

Cross sections of dual in-line package (DIP) solder joints after thermal cycle test

ため、はんだ槽の組成管理が重要となる。Sn-Ag-CuはんだへのPb混入量とリフトオフ発生率の関係を図7に示す。鉛フリーはんだに微量のPbが混入すると、高い確率でリフトオフが発生した。これは、はんだ中にPbが混入すると、接合部の凝固温度範囲が拡大し、特にPbがマイクロ偏析する基板電極界面部でもっとも遅く凝固するからである。言い換えれば、部品めっきの選定やはんだ組成管理を適正に行えば、リフトオフ発生を低減できると考えられる。

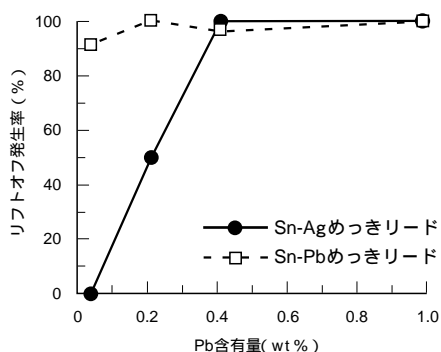


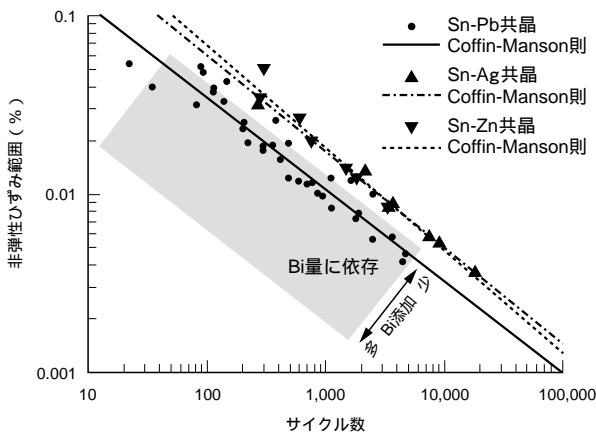
図7．Pb混入量とリフトオフ発生率の関係 鉛フリーはんだに微量のPbが混入すると、高い確率でリフトオフ(はんだの剝離現象)が発生する。

Effect of Pb content on fillet lifting rate

## 5 接合信頼性

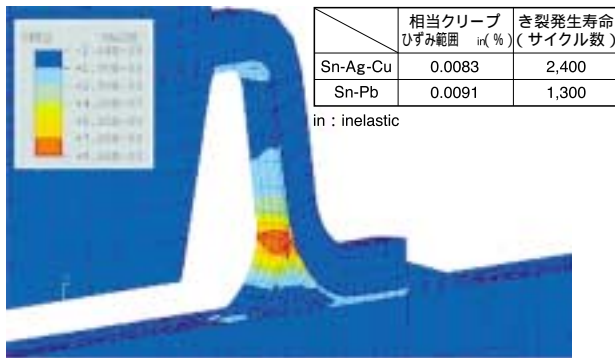
鉛フリーはんだを採用した製品を安心して市場へ投入するには、はんだ接合部の信頼性保証が重要となる。今後、製品適用を拡大するには、候補となる鉛フリーはんだの材料強度特性(引張、クリープ、疲労)を取得し、はんだ接合の応力シミュレーションから寿命を予測する技術の構築が必須となる。

候補となる鉛フリーはんだの疲労特性を図8に示す。Sn-Ag共晶及びSn-Zn共晶はんだは、いずれもSn-Pb共晶はんだと同等以上の疲労特性が期待できることがわかる<sup>(5)</sup>。ただし、Bi添加は疲労特性を低下させる要因となることが知られているので、添加量には注意が必要である<sup>(6)</sup>。一例として、Sn-Ag-CuはんだにおけるQFPリード接合部の寿命予測(き裂発生寿命)と温度サイクル後の接合断面の比較を図9に示す。シミュレーションによるひずみ集中位置と、き裂発生位置は一致し、更に、き裂発生寿命の予測値と、接合断面にも相関が見られるため、この解析手法の妥当性を見いだすことができた。更に、鉛フリーはんだ材料における変形の力学特性を表す構成式の精度向上を図りながら、チップ抵抗、DIP、BGA(Ball Grid Array)、トランス、コネクタなどの汎用部品に対する同様の寿命予測技術の構築を目指している。

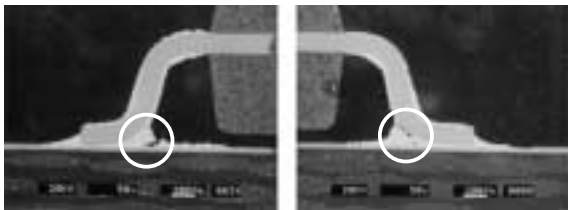


Coffin-Manson則：金属に繰返し応力を加えたときの疲労特性を表現する式

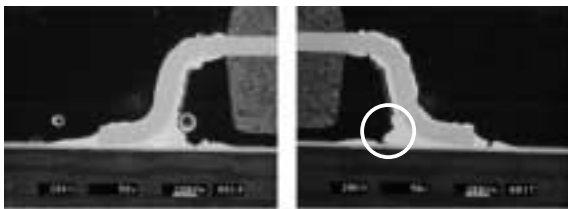
図8．鉛フリーはんだの疲労特性 Sn-Ag 共晶, Sn-Zn 共晶はんだの熱疲労特性は, 現行の Sn-Pb 共晶はんだに比べ優れている。  
Fatigue properties of lead-free solders



(a)



(b)Sn-Pbはんだ



(b)Sn-Ag-Cuはんだ

図9．QFP 寿命予測 (a)と温度サイクル試験後の接合断面 (b) シミュレーションによるき裂発生寿命の予測値と接合断面には関係がある。  
Life predictions and cross sections of QFP solder joints

## 6 あとがき

環境調和型製品の創出は, これからの資源循環型社会を構築するために企業に課せられた責務と認識している. 有害物質である鉛を使用しないのはもちろんのこと, 今後は鉛フリーはんだのリサイクル性や資源性など, エコマテリアルの観点からの取組みも重要である. 当社では, できる限り早期にこれを実現するために, コーポレート, カンパニー, グループ会社の三者共同体制で, 鉛フリーはんだ化のための基盤技術開発と量産技術開発を強力に推進している. 更に, NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構), JEITA((社)電子情報技術産業協会), JWES((社)日本溶接協会), 材料メーカーなどの外部機関とも連携しながら, 第3次ボランタリープランに掲げた鉛削減目標の完遂を目指している.

## 文献

- (1) 森 郁夫, “東芝における鉛フリーはんだ実用化への取組み”. 溶接学会全国大会講演概要第68集. 2001, p.F7 - F14.
- (2) 日本溶接協会. 鉛フリーはんだ規格化のための研究開発PJ成果報告書. 2000. 179p.
- (3) 日本電子工業振興協会. 鉛フリーはんだに関する調査研究成果報告書. 2000. 241p.
- (4) 森 郁夫, ほか, “Pbフリーはんだにおけるリフトオフ発生率に及ぼすPb混入の影響”. 7th Symp. Microjoining and Assem. Tech. in Electronics. 2001, p.417 - 422.
- (5) 小松 出, ほか, “Sn-Zn 共晶はんだの機械的性質と組織観察”. エレクトロニクス実装学会誌. 3, 3, 2000, p.240 - 244.
- (6) 向井 稔, ほか, “Sn-Ag 系鉛フリーはんだにおける熱サイクル試験とシミュレーション解析”. 第14回エレクトロニクス実装学術講演大会講演論文集. 2000, p.163 - 164.



森 郁夫 MORI Ikuo

生産技術センター 実装技術研究センター主任研究員。  
半導体実装, 表面実装の研究・開発に従事。溶接学会会員。

Electronic Packaging & Assembly Technology Research Center



忠内 仁弘 TADAUCHI Masahiro

研究開発センター 環境技術・分析センター研究主務。  
鉛フリーはんだ付け技術の開発に従事。日本金属学会, エレクトロニクス実装学会会員。

Environmental Engineering & Analysis Center



向井 稔 MUKAI Minoru

研究開発センター 研究企画室主務。  
電子機器の機械的信頼性の研究に従事。日本機械学会, エレクトロニクス実装学会会員。

Corporate Research & Development Center, Research Planning Office