

パナソニック・イズム

ism

モノづくりスピリッツ
発見マガジン

アーカイブ
Archives

SHARE

▶ コンテンツ一覧

▶ このサイトについて

isM トップ > 5000年の歴史を塗りかえるモノづくり技術 ～鉛フリーはんだ～

※過去に掲載された記事になります。内容は公開時のものであり、最新の情報とは異なる場合がございます。

5000年の歴史を塗り替える、 環境を守るモノづくり技術 ～鉛フリーはんだ～

電気製品を作るのに欠かせない「はんだ付け」。
この「はんだ」から、有害物質である鉛を取り除くには、
地味で気の遠くなるような努力が必要だった。
環境系ライターがルポする“スーパー正直”な技術開発の姿。

- ▶ 000：イントロ
- ▶ 001：はんだから鉛を取り去ること
 - ・はんだ付けの2つのプロセス フローとリフロー
 - ・そもそも、どうして鉛をはずさなくてはいけないの？
- ▶ 002：松下電器の鉛フリー技術開発黎明期
 - ・同じ事をやれといわれてもできない・・・
- ▶ 003：「世界初」鉛フリーMDプレイヤー開発秘話
 - ・1台のMDが日本経済を救った
- ▶ 004：緻密さが要求される鉛フリーはんだの品質管理
 - ・「ごま」を使ったはんだリサイクル装置
- ▶ 005：合い言葉はスーパー正直
- ▶ 006：エビローグ

スタッフ一覧へ / 000 イントロへ

このコンテンツ、あなたの評価は？ おもしろい ふつう おもしろくない

ismトップ

コンテンツ一覧

このサイトについて

※過去に掲載された記事になります。内容は公開時のものであり、最新の情報とは異なる場合がございます。

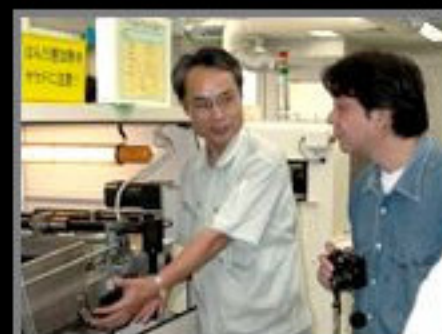
5000年の歴史を塗り替える、 環境を守るモノづくり技術 ～鉛フリーはんだ～

▶ 000：イントロ

私はこれまでエコロジー系の取材原稿を数多く書いてきた。電気製品の鉛フリー化に関しては、以前にも書いたことがあるし、鉛フリーはんだという言葉自体も何度も書いた記憶がある。だが、鉛フリーはんだの技術がここまで大変なものだったとは、この取材の前には想像もできないことだった。鉛フリーはんだとは、つまり鉛フリーのはんだ材料さえ作ってしまえば、それで終わりだと思っていた。人が宇宙まで行けて、DNAのらせん構造まで読みとれるのだ。はんだから鉛を取り除くことくらい、朝飯前だと思っていた。

しかし、それはとんでもない誤解だった。鉛フリーはんだの実現には、候補に挙がった各種金属を様々な組み合わせで配合したはんだ材料の特性分析に始まり、それらのはんだ材料に合ったはんだ付け設備の開発、融点上がることによる部品の見直し、基板の設計の見直しなどなど、一朝一夕では確立し得ない膨大なノウハウの蓄積が必要だったのである。そしてそれらは、ほとんどの場合、地味で目立たない作業の繰り返しの上に成り立っている。

これは、松下電器の鉛フリーはんだと、その周辺の技術開発の物語。まずは、はんだ付けの基礎からお付き合い願いたい。



門真の鉛フリーテクノスクールで横山秀樹さんの説明を聞く著者。必死に聞いてます。

▶ 筆者紹介

加藤 久人（かとう ひさと）
1957年東京生。立教大学文学部仏文科卒業。有限会社パジョウ・ハウス主宰。環境、エネルギー、温暖化対策、リサイクル、雇用などに関する執筆活動を通じて、21世紀のライフスタイルを提案している。趣味はウクレレ。著書に『Q.O.Lのためのひとにやさしいものカタログ～ユニバーサルデザインアイテム59+α～』（三修社）。

◀ BACK

| TOP | 000 | 001 | 002 | 003 | 004 | 005 | 006 |

NEXT ▶

トップへ | 001 はんだから鉛を取り去ることへ

※過去に掲載された記事になります。内容は公開時のものであり、最新の情報とは異なる場合がございます。

5000年の歴史を塗り替える、
環境を守るモノづくり技術
～鉛フリーはんだ～

▶ 001：はんだから鉛を取り去ること

女性でも中には経験した人がいるかもしれない。男性ならほとんどの人が子供の頃に経験しているはずの「はんだ付け」。左手にははんだ糸、右手にははんだコテを握りしめ、基板に部品を接合していく。素人にはなかなか難しい技だが、なんとか接合できて後できちんとモーターが動いてくれるのは、ひとえにはんだという魔法の金属のおかげである。子供の頃に使っていたはんだは、すず63%、鉛37%の合金である。古くは、古代ローマの水道管の一部に使われたはんだもほぼ同じ配分だったという。183度という低温で融けてくられて、部品と基板を電気的にも物理的にも接合してくれるはんだは、あらゆる電気製品の基礎をなすものだった。

そのはんだから鉛をはずす（コラム1参照）。

基板に部品を取り付ける技術のことを実装技術というが、実装技術に詳しくない素人から見ると、違う配合のはんだ材料を作ればそれで解決という風に思えてしまう。だが、もちろん事はそう簡単ではない。というよりも、その逆でこれまでの製品作りのすべてを見直さなくてはならないほどの大転換。松下電器の鉛フリー化プロジェクトの中心人物である末次さんが、アメリカのミネアポリスでIPC（電子機械工業会）の特別賞を受賞した際に「ライト兄弟の発明に匹敵する偉業」と讃えられたのである。すず鉛のはんだ材料から、鉛をはずし、他の材料で合金を作る。融点は鉛のはんだよりも少し高くなるが、なんとか作ることができた。もちろん、ここまででも気の遠くなるようなカット＆トライの成果なのだが、問題はその先にあった。融点が高くなるために生じるさまざまな難題、なまりを含む不純物を排除するための新たな技術開発。

その難しさを理解するためには、ぜひとも知っておいていただきたい用語がある。それがフローとリフローだ（コラム2参照）。みなさんは、工場での基板のはんだ付けがどのように行われているかご存じだろうか？

まさか、工場の片隅で職人風のおじさんがはんだコテを持ってはんだ付けしていると思っている人はいないだろう。だが、ロボットが手際よく1か所1か所はんだ付けしているのでは？ と思っている人はいるかも知れない（現に私がそうだった！）。だが、実際にはフルオートメーションの流れ作業である。基板に半導体などの部品を仮付けしてから、融けたはんだの池の中をくぐらせるのがフロープロセス。比較的大きな基板に用いられる。それに対して、粉末状にしたはんだをその他の材料とあわせてクリーム状にし、基板にシルクスクリーンの要領で印刷、部品を載せ、それに熱風を吹き付けてはんだを溶かし、部品を接合するのがリフロープロセス。ポータブル機器など高密度実装基板に用いられる。この2方式が現在のはんだ付けの一般的な手法であることは頭に入れておいていただきたい。



電器製品ではんだを使用していないものを探すのは不可能。部品と基板はかならず、はんだで接合されている。

- ▶ コラム1：そもそも、どうして鉛をはずさなくてはいけないの？
- ▶ コラム2：はんだ付けの2つのプロセス フローとリフロー

◀ BACK

| TOP | 000 | 001 | 002 | 003 | 004 | 005 | 006 |

NEXT ▶

トップへ | 002 松下電器の鉛フリー技術開発黎明期へ

※過去に掲載された記事になります。内容は公開時のものであり、最新の情報とは異なる場合がございます。

5000年の歴史を塗り替える、
環境を守るモノづくり技術
～鉛フリーはんだ～

▶ 002：松下電器の鉛フリー技術開発黎明期

松下電器で鉛フリーはんだの研究が始まったのは、1994年のことだ。この頃は、しかし鉛フリーに焦点を当てた研究ではなく高密度実装の研究であった。つまり、ポータブルMDや携帯電話などのような製品を小さくしていくためには、基板を小さくしていく必要がある。定められた部品数を小さな基板に納めるためには、はんだ付けの部分より小さくしていく、ということが求められる。小さくても、電氣的、物理的に問題のないはんだ付けをするための高品質はんだ材料の研究である。とはいえ、当時ほぼひとりでの研究に取り組んでいた末次さんの頭の中には鉛フリーはんだがすでにあった。というのも、その前に末次さんがヨーロッパに行った際、すでにアメリカやヨーロッパでは鉛フリーはんだの研究が始まっていて、近い将来に鉛はんだは使えなくなる、といったことを聞かされていたのである。

危機感をいだいて帰国した末次さんは、高密度実装の研究を隠れ蓑にして、鉛フリーはんだの研究を始めたというわけである。つまりは、鉛フリーはんだの研究は当初、アンダーグラウンドで行われていたということになる。

翌1995年に末次さんは阪神大震災を経験する。このことが、末次さんの情熱に拍車をかけた（コラム3参照）。同じ年に、金属を専門に学んだ新入社員が研究に参加し、鉛フリーはんだの研究が本格化する。

だが、あくまでもアングラである。予算も思うように取れはしない。リフロープロセス用の練りはんだでも、金属会社に依頼すると1回30万円もの予算がかかる。さまざまな配合を試してみなくてはならない実験段階で、こんな予算が何度も通るわけではない。苦肉の策として出てきたのが、すずや銀などの粉末を手に入れることだった。これを自分たちで少量ずつ配合して、実際にはんだ付けを行って電気特性と強度を調べる。いかに融点が低くて、しかも信頼性のあるはんだを作るか？ 融点を下げれば強度にシワ寄せが来る。強度を上げようとすれば、融点が上がる。そのデータをとり続ける作業が続いた。

こうしたアングラの作業に、日の目があつたのが翌1996年。松下電器のPDドライブに末次さんらが作った無鉛はんだが使われたのである。700台のPDドライブに内製したはんだが使われた。一応の成果を見て、そろそろ研究は終了か？ と言い始めた1997年、松下電器の鉛フリー研究は本格化するのである。

▶ コラム3：同じ事をやれといわれてもできない・・・



「現在、鉛フリーはんだに混入した不純物を選択的に回収する装置を作っています。これが完成すれば、鉛フリーはんだだけでなく、金属全般にかかわる回収技術に応用できるはず」。

末次憲一郎（すえつぐ・けんいちろう） 鉛フリーはんだ技術グループ主幹技師 工学博士
松下電器の鉛フリーはんだ研究を黎明期から一貫して続けているのが、この末次さんである。全社プロジェクト技術開発のリーダーであり技術開発責任者。

◀ BACK

| TOP | 000 | 001 | 002 | 003 | 004 | 005 | 006 |

NEXT ▶

トップへ | 003 「世界初」鉛フリーMDプレイヤー開発秘話へ

※過去に掲載された記事になります。内容は公開時のものであり、最新の情報とは異なる場合がございます。

5000年の歴史を塗り替える、
環境を守るモノづくり技術
～鉛フリーはんだ～

▶ 003：「世界初」鉛フリーMDプレイヤー開発秘話

末次さんの研究で最初に実用化されたのは、すず、銀、ビスマス、インジウムの合金でできたリフロープロセスで使うはんだである。ビスマスというのは融点を下げてくれるが、反面あまり入れすぎると脆くなる。それを補うために粘りけのある金属としてインジウムを加える。貴金属を使っているが、リフロープロセスでは、はんだ材料が高価格になっても、それがそのままはんだコストの高騰にはつながらない。松ヤニやフラックスなどと混ぜ合わせ、ペースト状に加工するという作業があるためである。それよりも、融点が210度と低いことが大きなメリットになった。210度なら、これまでのリフロー装置がそのまま使える。現在では、鉛フリーはんだには、それ専用のはんだ付けの装置が開発されているが、当初は現行の装置を使うことが前提になっていた。1997年までは、アングラで研究が進んでいたのである。世界中に散らばる松下の工場すべてのはんだ付け装置を全部入れ替えるというような、大げさな事態を想定してはいなかったのである。

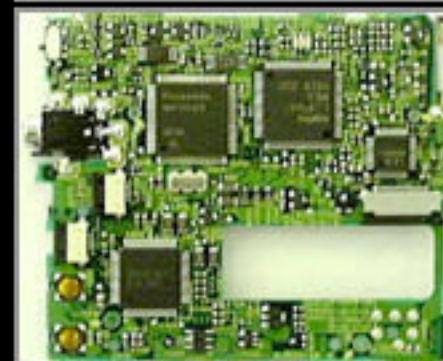
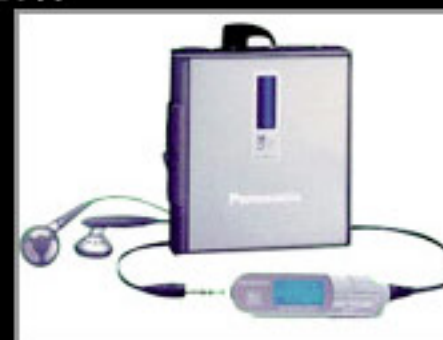
98年の1月。末次さんがPDドライブを無鉛はんだで作ったというのを雑誌で読んだ松下電器の技師が末次さんに面会を申し出てきた。MDを作っている福島工場の技師である。2人は食堂で昼食を食べながら、鉛フリーはんだでMDを作れないか、という話になった。MDが無鉛はんだ研究のスポンサーになってくれたというわけである。技術協力費が出ることになった。4月には、鉛フリーの技術は、1研究所や1事業所だけでは無理ということで、全社的な協力体制が敷かれることになった。「鉛フリーはんだ技術ワーキング」である。実践例として、まずその前から話の動いていたMDが選ばれたのである。

すず、銀、ビスマス、インジウムのはんだで、既存のリフロープロセスのはんだ付け装置が使えるといっても、問題は山積している。融点が高くなるということは、リフロー装置の中を通る電子部品もすべてその高温に耐えなくてはならない。さらに、無鉛はんだの強度がMDの経年変化に耐えられるか、基板の設計も変更を余儀なくされる。だが、そうした課題の一つ一つは、若いスタッフの行動力で次々に解決されていった。

「MDのチームは、みんな若くて、会議をやっても結果を持ち帰るといふようなことがなかった。すべてがその場で決まる。上司や工場に諮らなくてはいけないことも、携帯で連絡を取ってその場で結論を出す。すべてが猛スピードで進んでいた」（末次）という。そんな中、S社がポータブルオーディオ機器を鉛フリーで9月くらいに出しそうだ、という情報が入ってきた。この若いチームの本領が発揮されるのはここからだ。年末から1999年初頭発売の予定だったものを、8月量産開始に繰り上げたのである。もともと余裕をもったスケジュールではなかった。それを3か月以上も繰り上げるのである。全員が休み返上で8月に量産を開始した。そして、9月10日に新聞発表。こうした対応ができたのも、それまでの数年間に蓄積された膨大なデータがあればこそというのは、いうまでもないだろう。

後からわかったことだが、この2週間後にS社では新聞発表の予定だったという。こうして、9月に世界初の100%鉛フリーはんだ使用のMDプレイヤーが登場することになった。「世界初」という勲章は永久に消えることはない（コラム4参照）。

▶ コラム4：1台のMDが日本経済を救った

記念すべき鉛フリーはんだ
100%使用のMDプレイヤー1
号機とその基板現行のMDプレイヤーのバッケ
ージに印刷されている「無鉛は
んだを採用」のマーク

◀ BACK

| TOP | 000 | 001 | 002 | 003 | 004 | 005 | 006 |

NEXT ▶

トップへ | 004 緻密さが要求される鉛フリーはんだの品質管理へ

※過去に掲載された記事になります。内容は公開時のものであり、最新の情報とは異なる場合がございます。

5000年の歴史を塗り替える、
環境を守るモノづくり技術
～鉛フリーはんだ～

▶ 004：緻密さが要求される鉛フリーはんだの品質管理

リフロープロセスは、すず、銀、ビスマス、インジウムのはんだで一応の完成を見た。ところが、このすず、銀、ビスマス、インジウムのはんだはフローシステムには使えない。フローシステムでは基板が直接はんだの層を通過することになる。微量ながら基板の接点に使われている銅がはんだ槽に溶け出し、その銅とビスマスが結合すると、さらに融点の低い合金を生み出してしまふ。やっかいなことに、この融点の低い合金は他の部分とは固まるのに要する時間が違うため、はんだ付けの箇所を持ち上げてしまい、接触不良などの障害をもたらすのである。これをリフトオフという。

フローシステム用のはんだ材料には、すず、銀、銅の合金が選ばれた。融点が218度と低く、鉛フリーはんだの世界標準になりつつある配合だ。だが、このはんだにもこれまでの鉛はんだではあまり問題にならなかったリフトオフの問題はついて回る。銅の接点に関しては問題はない。問題なのは、部品の接点のメッキにすでに鉛が使われていることである。2004年には、こうした鉛を使った部品もなくなるはずなのだが、現在は移行期だ。すべての部品メーカーに、いままぐメッキを鉛フリーにしるというのも無理な話。結果的に、一部の部品には微量の鉛が含まれるということになる。その中でも、鉛フリーはんだを使わなくてはならないという、矛盾の中での作業が続くのである（このあたりまで読み進まれた方には、鉛フリーのはんだ技術がいかに難しいか、おわかりいただけたのではないだろうか？ これでも、ややこしいところはぜひふんと「はしよって」いるのである）。

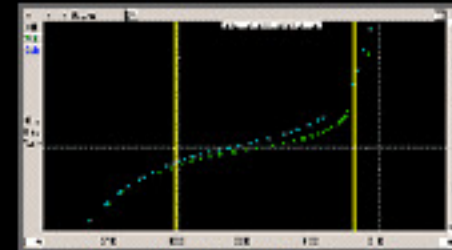
すず、銀、銅のはんだに鉛が溶け出す。微量であれば問題はないが、ある程度以上になるとやはり低融点の合金が生まれてくる。この低融点の合金がリフトオフの問題を引き起こす。それに鉛の量が多くなってしまえば、鉛フリーではなくなってしまうのだ。この点に関して、はんだの原材料では0.1%以下を鉛フリーと呼ぶとJISやISOで規定されている。しかし部品の鉛が溶出するフローはんだ槽内では、限界値の規定はなかった。そこで、松下電器では接合品質に影響する限界値を量産データと理論値の両面から決めている。現在0.3%以下に設定し、これを超えるとそのはんだ槽の一部のはんだと新たな鉛フリーはんだとを入れ替えるという手段で、鉛の比率を下けているのである。鉛フリーのフローシステムを備えている工場では、すべて毎朝始業前にはんだの成分を分析、鉛の含有量を検査してから作業を始めるという。これは、2004年までの移行期のみといっても、手間もかかり、無駄も多い。松下電器では、この不純物の排除にも新兵器を開発中である。上述の通り、鉛は鉛フリーはんだの一部の成分と結びついて低融点の合金を作る。その性質を利用して、鉛を含んだはんだを固めていくと、低融点の部分が1か所に集まる。その部分だけを取り出して、同じ事を繰り返すと純度の高い鉛合金だけを「分別」することができる。現在、この原理を応用した浄化装置を開発中という。

もうひとつ、フローシステムでは、はんだ槽をくぐる前に吹き付けられるフラックスも問題になる。はんだ槽に溶け込んだフラックスは不純物となって、溶岩のような固まりを作り出してしまふのだ。これに関しては、ごまを使ったはんだリサイクル装置の開発で解決を見ている（コラム5参照）。上記の浄化装置と、ごまを使ったはんだリサイクル装置を併用することで、資源の大幅な節減が期待できるのはいうまでもないだろう。

▶ コラム5：「ごま」を使ったはんだリサイクル装置



はんだ付けの精度を確認するための顕微鏡（上）と、リフトオフを起こしている状態（中）、正常なはんだ付けの状態（下）



はんだの成分を分析する装置と、鉛を含有している状態のコンピュータ表示

◀ BACK

| TOP | 000 | 001 | 002 | 003 | 004 | 005 | 006 |

NEXT ▶

トップへ | 005 合い言葉はスーパー正直へ

※過去に掲載された記事になります。内容は公開時のものであり、最新の情報とは異なる場合がございます。

5000年の歴史を塗り替える、
環境を守るモノづくり技術
～鉛フリーはんだ～

▶ 005：合い言葉はスーパー正直

松下電器は、国内に90にも及ぶ事業部を持ち、国内海外に連結決算の対象企業が300社にも上るマンモス企業である。もちろん、その中には販売や営業を主に行う会社も含まれているが、生産拠点は国内、海外を含めるとその数は、200か所を下らない。松下電器では、2002年度末（2003年3月末）までに、松下ブランドの製品のすべてから鉛はんだを全廃すると謳っている（100%鉛フリー化と書けないのは、メッキ部分に鉛が使われている部品が残るため）。日本の工場はともかく、海外は一体どうするのか？ さらに、連結決算の対象会社だけではない。海外で、他社にOEM生産してもらっている製品も鉛フリー化の対象なのである。

「鉛フリーはんだは、ノウハウの固まりなんです。現在用途に応じてフロー用2種類、リフロー用3種類の鉛フリーはんだを使っています。部品の電極部分のメッキもせず、パラジウムなど6種類、基盤の電極部分も銅に金メッキやはんだコーティングしたものがあ。それに、品質、信頼性試験条件が数十種類あり、これらの組合せは1000種類を超える。膨大なデータになります。さらに、フローにしても、リフローにしても融点が今までよりも高くなっています。これまでの鉛はんだの融点が183度、これなら温度差を30度取ったとしても、213度にしかならない。つまり30度の範囲でばらつきがあっても許される。でも、融点が218度のはんだの場合、ばらつきは10度程度しか許されない。部品の耐熱温度の問題がありますからね。逆に低すぎると、粘度が高くなって濡れ上がりが悪くなって部品がきちんとくっつかない。つまり、今までとは比べものにならないくらいに温度管理が難しいんですね。そうしたことを、たとえばマニュアルだけですべて伝えるのは難しい」と語る鉛フリーはんだ技術グループのマネージャー和田さんは、取材当日も海外から帰国したばかり。海外のOEM供給元での鉛フリー化の契約を結んできたところである。

「鉛フリーはんだのノウハウを伝えるために、大阪の門真をはじめとして、関東地区では藤沢、東南アジアではシンガポール、中国で上海に鉛フリーのノウハウを学んでもらうためのテクノスクールを作って、研修しているんです。設計担当者から、各工場の製造担当者、共栄会社といっていますが、外部の委託先の人たちに至るまで、ここで鉛フリーはんだのノウハウを実際の機械を使って勉強してもらいます。テキストやプレゼンテーションを使って概要をつかんでもらって、実際のはんだ付けを体験してもらい、きちんとはんだが付いているかどうかをX線で見てもらおう。すべてを体験して、実地に行かしてもらっています」と語ってくれたのは、テクノスクールの責任者である横山さん。

鉛フリーはんだは、日本や欧米だけのものではない。アマゾンの僻地にある工場でも鉛フリーはんだの装置を入れて、教育を行っている。先端技術の開発に、苦勞が伴うのは理解できる。だが、重要なはその技術を誰もが使えるようにすることである。松下電器の鉛フリー化のスローガンは、「スーパー正直」である。愚直なまでに厳密に鉛フリー化を推し進めようという意味である。あらゆるエクスクルージブなしに2002年度末までに松下ブランドの製品は鉛フリーはんだ100%とする。2003年3月末に向けて、そのシナリオは最終段階を迎えている。



「門真のテクノスクールは、全松下の鉛フリー技術のすべてが集められています」
横山秀樹（よこやま・ひでき）
鉛フリーはんだ技術グループ主席技師。テクノスクールで、鉛フリーはんだのノウハウを教え続けている。



「鉛フリーはんだが4種類、基板の電極材料が銅や金など5種類、部品の電極材料もメッキ、パラジウム等の6種類、これらの組み合わせをすべてチェックしてデータを取らなくてはならない。しかも実験レベルではなく、大量生産をした場合にどうなるか。鉛フリープロジェクトは、松下電器の総力を結集しないとできなかったことですね。」
和田義則（わだ・よしのり）
鉛フリーはんだ技術グループグループマネージャー。松下電器の鉛フリーはんだタスクフォースのリーダーである。



スクール内には工場で使用するものと同じ装置がすべて用意されており、実際に機械を動かして新技術を会得することが可能になっている。

◀ BACK

| TOP | 000 | 001 | 002 | 003 | 004 | 005 | 006 |

NEXT ▶

トップへ | 006 エピローグへ

※過去に掲載された記事になります。内容は公開時のものであり、最新の情報とは異なる場合がございます。

5000年の歴史を塗り替える、
環境を守るモノづくり技術
～鉛フリーはんだ～

▶ 006：エピローグ

鉛フリーはんだの技術がいかに難しく、さらにそれを量産ベースに乗せるには、どれほどの厳しい道の歩まなくてはならないのか。わたしの拙い文章でその一端でも伝えることができただろうか？

現在、鉛フリーはんだ技術に関しては、日本が先頭を走っている。その中でも松下電器はトップを走っている。競合他社では、2002年度末の段階では、「社内製造製品に関して鉛はんだを全廃」（海外調達やOEMはそれを目指す）という表現だったり、「全商品に鉛フリーはんだを採用」（部分的には鉛はんだを使用）だったりする。欧米でも2004年の鉛はんだ全廃を2006年に延ばしている。ついてこられない企業がいかに多いかを物語っている。その中でOEM製品、海外生産も含めた松下ブランドすべてで鉛はんだ全廃というのは、とてつもなく高い目標である。

鉛フリーはんだではんだ付けをすることがいかに難しいかを知った後では、その高い目標が、さらに遠くかすむほど高い目標であるように思えてくる。それを、確実に達成するための手順を1歩1歩踏みながら「スーパー正直」に鉛フリーはんだに取り組んでいるエンジニアたちの努力は、まさに尊敬に値する（私なんぞから尊敬されても、みなさんあまりうれしくないかも知れないが）。

取材に応じて頂いたエンジニアのみなさんは、実に丁寧に鉛フリーはんだとそれを取り巻く技術に関して話してくれた。そのすべての方々に、揺るぎない自信と仕事に対するプライドといったものを見て取ることができた。それは、この困難なプロジェクトに立ち向かい、それを成し遂げつつある人々の自信であり、プライドである。そして今回の取材では、「本物のプライド」というのは血のにじむような努力をして結果を出した人々の中に自然に生まれるものであることを教えていただいたような気がしている。

[◀ BACK](#)[| TOP | 000 | 001 | 002 | 003 | 004 | 005 | 006 |](#)[いかがでしたか？あなたの評価はこちらから！<トップへ>](#)