

# 鉛フリーはんだの接続信頼性

## Reliabilities of Electronic Connections Used Lead-Free Solder

松原 浩司\*1  
Hiroshi Matsubara

小川 将志\*1  
Masashi Ogawa

谷川 雅信\*2  
Masanobu Tanigawa

貫井 孝\*1  
Takashi Nukii

### 要 旨

近年の環境問題の1つに、電子機器の廃棄物に含まれる電気接続用のはんだ中の鉛の問題がある。我々は、この問題を解決するために、各種鉛フリーはんだの検討を行っている。

我々は、各種鉛フリーはんだを用いて電子部品をプリント基板上にリフロー接続した時の信頼性(120℃高温放置テスト、-40℃～125℃温度サイクルテスト)を評価した結果、十分な強度を有するはんだ組成を明らかにした。また、Biの含有量が7.5wt%以上のはんだでは、高温放置テスト、温度サイクルテスト共に急激に接続強度が低下することが判明した。

また、各種鉛フリーはんだを用いてチップ部品をプリント基板上にフロー接続した時の信頼性についても同様に評価した結果、問題のない強度を得られることが判った。

Recent environmental consciousness raises a great concern on the lead in solder used in electrical joints of disposed electric appliances.

We have estimated various kinds of lead-free solder in view of the connection reliability. Electrical components were mounted on printed wiring boards with those solders then executed high temperature storage tests of 120℃ and thermal cycle tests of -40℃～125℃.

As a result, we found in the reflow process some of lead-free solders durable enough to pass those tests. And we confirmed that the Bi concentration above 7.5 wt% severely impaired connection strength of the solder joints on either high temperature storage tests and temperature cycle tests.

Those lead-free solders at flow soldering process also proved reliable enough to clear the tests.

### まえがき

地球環境問題は、21世紀を目の前にした我々の最大の課題の一つである。現在の消費型社会における廃棄物の問題は、将来にわたって地球全体の生態系に影響する問題となりつつあり、近年のフロン規制や炭酸ガスの排出規制などは、その代表である。一方、家電・エレクトロニクス分野においても各種の法規制がなされつつあり、その中で、人体に対して有害物質の一つである鉛に関する問題が、クローズアップされている。家電・エレクトロニクス分野で使用される鉛の多くは、電気的接合を行うためのはんだに含まれており、これを使用した電子機器が廃棄された時に、酸性雨などによりはんだ中の鉛が溶け出し、河川や地下水などを汚染する問題が指摘されている。

近年、これら製品の回収、廃棄、再生について、製造企業責任という考え方から、家電リサイクル法などの法整備がなされてきており、家電4品目については、2001年以降、回収・再生もしくは無害物質への代替が必要となっている。

また、他の電子機器等の製品においても、近い将来、これら製品の回収、廃棄、再生の義務が架せられることは容易に想像できる。

鉛フリーはんだを用いて、デバイスを基板に実装する場合、はんだの濡れ性、融点、あるいはクリームはんだにした場合の印刷性などの接続に関する特性や、はんだ接続部の環境信頼性などを明確にし、これらを考慮した上ではんだの選定が必要であるが、本報告では、はんだ接続部の環境信頼性検討結果について述べる。

### 1. 検討内容

エレクトロニクス分野で使用されるはんだとしては、大別して次のようなものがある。

- (1) リフローソルダリング用はんだ
- (2) フローソルダリング用はんだ
- (3) 糸はんだ

\*1 生産技術開発推進本部 精密技術開発センター

\*2 環境安全本部 グリーンプロダクト企画部

(4) 部品電極端子用はんだ(はんだボール, はんだめっき)

(5) 内部端子接続用はんだ

(6) 部品内部の機能材料への鉛の使用

環境問題を解決する上で, これら全てを鉛フリー化することが最終目標であり, 個々の特性にあった技術の開発が求められているが, 今回は, (1) リフローソルダーリング用はんだ, 及び, (2) フローソルダーリング用はんだについて, その接続信頼性の検討を行った。

1.1 リフロー接続検討

1.1.1 検討材料及び条件

表1に, 今回の実験に用いたリフローソルダーリング用鉛フリーはんだ材料の組成を示す。

また, 以下に試料, 接続条件及び評価内容を示す。

(1) 試料

- 基板 : 6層ビルドアップ基板  
( 220mm × 115mm × 0.8mm<sup>1</sup> )
- 基板配線 : Cu 及び A/Ni/Cu
- 実装部品 : 1005R チップ抵抗  
( 端子めっき : Pb・Sn/Ni/Ag・Pd )  
( 0.4mmピッチQFP( 端子めっき : Pb・Sn )

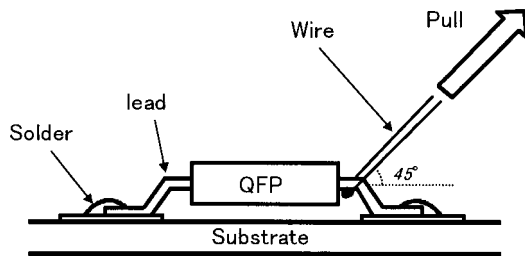


図1 QFP リード引張り試験方法  
Fig.1 Method of QFP lead pull test.

表1 はんだ組成(リフロー検討用)

Table 1 Composition of solders (for reflow soldering).

Solder type	No.	Composition (wt%)						M.P. ( )	
		Sn	Ag	Bi	Cu	Zn	Pb	Min.	Max.
Sn-Pb type	1	62.8	0.4				36.8	179	183
Sn-Ag-Bi type	2	87.0	3.0	10.0				178	212
Sn-Ag-Cu type	3	95.4	3.5		1.1			216	216
	4	95.5	3.8		0.7			218	218
Sn-Ag-Bi-Cu type	5	92.5	1.5	5.0	1.0			201	218
	6	90.0	2.0	7.5	0.5			193	206
	7	93.3	3.0	3.0	0.7			206	213
Sn-Zn type	8	89.0		3.0		8.0		189	197
	9	86.5		2.4	0.9	10.2		190	190

(2) 接続条件(リフロー条件)

(a) 雰囲気 : Air, N<sub>2</sub>

(b) リフロー時のピーク温度 : 220, 230, 240

(3) 検討項目と測定装置

(a) 接合部外観, 及び, 接合部断面観察

(b) シェア強度測定(1005R チップ部品を RHESCA 製 PULLTESTER TYPE PTR-100S を用い, ツール速度 0.40mm/s で各 5 個測定し, シェア強度は最も低い強度とした。)

(c) 引張り破断強度測定(図1に示すように, QFP リード部を島津製作所製オートグラフ AG-1000B で測定, 引張り速度 3 mm/min で各 3 個測定し, 引張り破断強度は最も低い強度とした。)

(d) 信頼性試験条件 : 120 高温放置試験, 及び, -40 30min ~ 125 30min の温度サイクル試験

1.1.2 検討結果(リフローソルダーリング)

表2に1000h経過後のシェア強度の相対評価を示す。

また, 代表として図2~4にサンプル No. 1, 2, 5 の各信頼性試験における 1005R チップ部品のシェア接続強度の変化を示す。シェア強度は, No. 2 のサンプルで大きな強度低下が見られる。(No. 6 のサンプルでも同様) それ以外のサンプルでは, No. 1 の相対比較用の Pb・Sn 共晶系のはんだとほぼ同等の強度である。

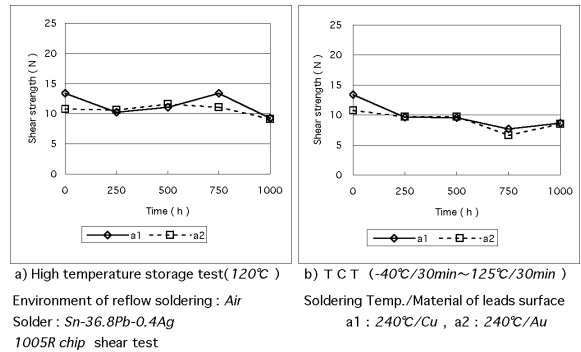


図2 信頼性テスト結果(サンプル No. 1)

Fig. 2 Shear test results on reliability tests (Sample No. 1).

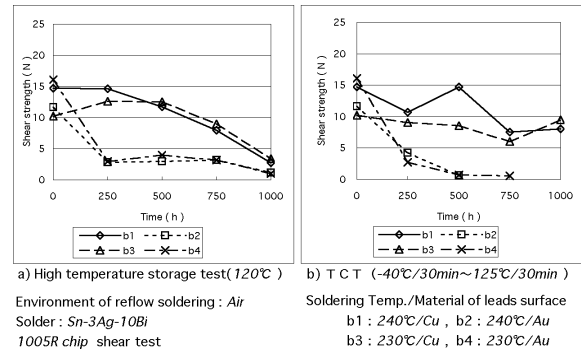


図3 信頼性テスト結果(サンプル No. 2)

Fig. 3 Shear test results on reliability tests (Sample No. 2).

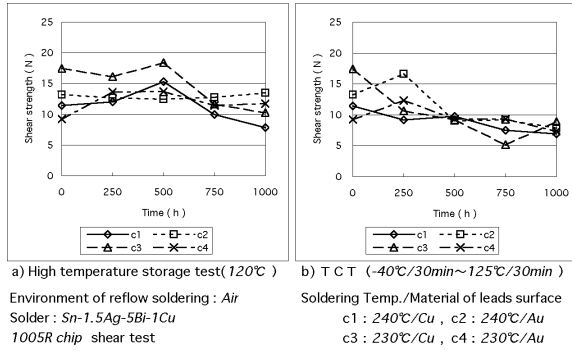


図4 信頼性テスト結果 (サンプル No. 5)

Fig. 4 Shear test results on reliability tests (Sample No. 5).

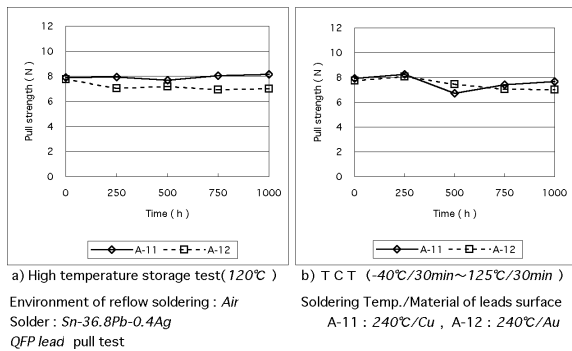


図5 信頼性テスト結果 (サンプル No. 1)

Fig. 5 Lead pull test results on reliability tests (Sample No. 1).

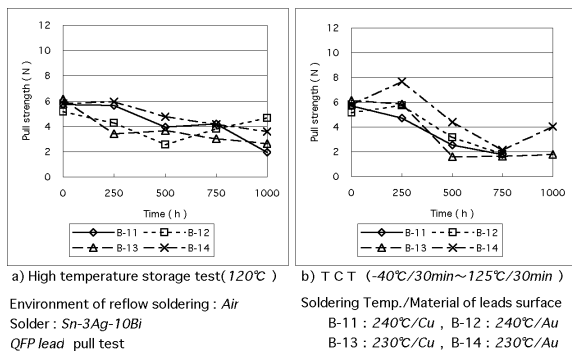


図6 信頼性テスト結果 (サンプル No. 2)

Fig. 6 Lead pull test results on reliability tests (Sample No. 2).

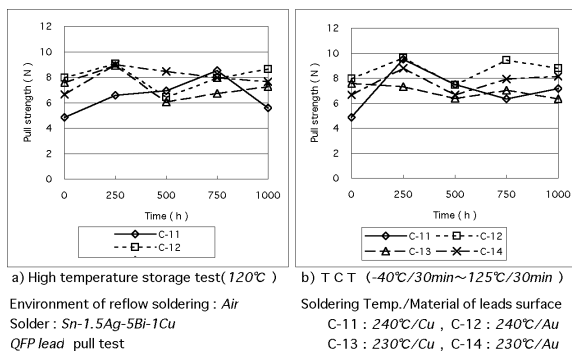


図7 信頼性テスト結果 (サンプル No. 5)

Fig. 7 Lead pull test results on reliability tests (Sample No. 5).

表2 信頼性試験結果まとめ (リフロー用はんだ)

Table 2 Summary of results on reliability tests (reflow soldering sample).

Solder type	No.	Test component	Results of reliability tests (*1)	
			TCT (-40 ~ 125 )	High temperature storage test (120 )
Sn-Pb type	1	Chip	-	-
		Lead	-	-
Sn-Ag-Bi type	2	Chip	x	x
		Lead	x	x ~
Sn-Ag-Cu type	3	Chip	~	~
		Lead	~	~
	4	Chip	~	~
		Lead	~	~
Sn-Ag-Bi-Cu type	5	Chip	~	~
		Lead	~	~
	6	Chip	x ~	x ~
		Lead	x ~	x ~
Sn-Zn type	7	Chip	~	~
	8	Chip	~	~
		Lead	~	~

\*1) Valuation bases ; = good, = even, x = poor (Compare with Sn-Pb type Solder)

次に、表2に1000h経過後のリードプル強度の相対評価を、図5～図7にサンプルNo. 1, 2, 5の各信頼性試験におけるQFPのリードプルテストの結果を示す。この試験においても、No. 2及びNo. 6のサンプルで、大きな強度低下が見られる。

### 1・1・3 考察 (リフローソルダーリング)

信頼性試験で接続強度が極端に低くなったサンプル (No. 2) とPb・Sn共晶系のはんだとほぼ同等の強度が得られたサンプル (No. 5) について、接続初期と温度サイクル400h後の1005 R部品のはんだ接続部の断面を観察した。写真1にNo. 2のサンプルの断面を示す。この結果、接続初期においては、どちらのサンプルも良好な接続状態が得られているが、試験後には、No. 5のサンプルでは、信頼性試験後も大きな変化が見られないのに対し、No. 2のサンプルは、基板のランドの表面付近で破断している状態である。(写真1(b)参照) サンプルNo. 2では、接続初期のはんだの状態から、はんだ自体がかなりの量で移動しており、通常の固相拡散による原子の移動とは考え難く、125の温度で部分的に液相で拡散しているものと推定する。

今回のサンプルでは、部品側端子にPb・Snめっきを使用しており、また、Biの含有量が7.5wt%以上のはんだで強度低下していることから、Bi-Pb-Snの3元の低融点金属が、チップ部品の端子めっき近傍に形成され、これが、120 放置時に溶融し、拡散が進んだことが考えられるが、詳細は、今後の検討課題である。また、Bi含有量の少ないサンプルでこのような現象が見られない原因は、ある程度BiがSnに固溶体として取り込まれるため、これを越えた場合に、BiとPbの偏析によりBi-Pb-Snの合金が形成されることが考えられる。今回の検討の結果では、Biの含有量は5wt%

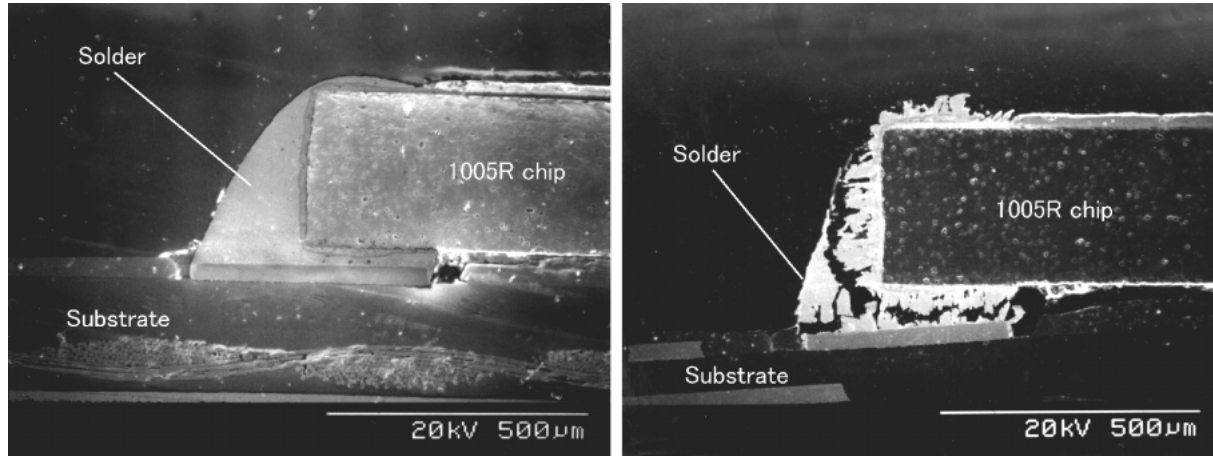


写真1 チップ部品接続部断面図(はんだ: Sn-3.5Ag-10Bi)

Photo 1 Cross sectional view of solder interconnection (Sn-3.5Ag-10Bi).

以下にする必要がある。

なお、QFPのリード接続の強度低下原因も同様と考えられる。

1.2 フロー接続検討

1.2.1

検討材料及び表3に、今回の実験に用いたフローソルダリング用鉛フリーはんだ材料の組成を示す。また、以下に供試材、接続条件及び評価内容について記す。

表3 はんだ組成(フロー検討用)

Table 3 Composition of solders (for flow soldering).

Solder type	No.	Composition (wt%)						M.P. ( )	
		Sn	Ag	Bi	Cu	Ge	Pb	Min.	Max.
Sn-Pb type	10	63.0					37.0	183	183
Sn-Ag-Cu type	11	95.8	3.5		0.7			216	220
	12	95.5	3.1		1.4			217	220
Sn-Ag-Bi-Cu type	13	91.8	2.5	5.0	0.7			204	212
Sn-Ag-Bi-Cu-Ge type	14	93.4	2.0	4.0	0.5	0.1		202	216

(1) 試料(フローソルダリング)

基板 : FR-4 両面基板  
(350mm x 125mm x 1.6mm<sup>l</sup>)

基板配線 : Cu

実装部品 : 1608R チップ抵抗  
(端子めっき : Pb・Sn/Ni/Ag・Pd)

(2) 接続条件(フローソルダリング)

(a) はんだ温度 (240, 255 )

(b) 雰囲気 : Air, N<sub>2</sub> (一部)

(3) 検討項目と測定装置

(a) 接合部外観, 及び, 接合部断面観察

(b) シェア強度測定 (1608R チップ抵抗接合部を RHESCA 製 PULLTESTER TYPE PTR-100S で測

定, ツール速度 40mm/s でチップ抵抗各 5 個測定  
シェア強度は最も低い強度とした。)

(c) 信頼性試験条件 : 120 高温放置試験, 及び,  
-40 30min ~ 125 30min の気相の冷熱サイクル試験

1.2.2 検討結果及び考察(フローソルダリング)

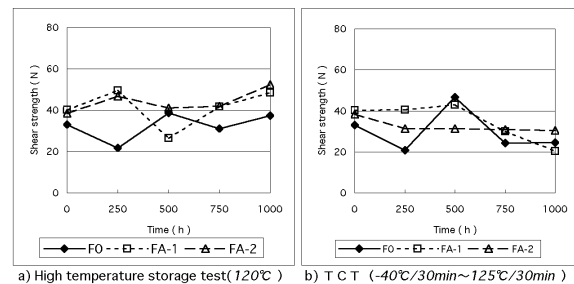
表4に1000h経過後のシェア強度の相対評価を、  
図8にNo.10とNo.11の各信頼性試験における1608R

表4 信頼性試験結果まとめ(フロー用はんだ)

Table 4 Summary of results on reliability tests (flow soldering samples).

Solder type	No.	Environment	Results of reliability tests (*2)	
			TCT (-40 ~ 125 )	High temperature storage test (120 )
Sn-Pb type	10	Air	-	-
Sn-Ag-Cu type	11	Air	-	-
	12	Air	~	-
Sn-Ag-Bi-Cu type	13	Air	-	-
		N <sub>2</sub>	-	-
Sn-Ag-Bi-Cu-Ge type	14	Air	~	~

\*2) Valuation bases ; = good, = even, x = poor (Compare with Sn-Pb type Solder)



	FO	FA-1	FA-2
Sample No.	10	11	11
Composition of solders	Sn-37Pb	Sn-3.5Ag-0.7Cu	Sn-3.5Ag-0.7Cu
Flow soldering temperature	240°C	240°C	255°C
Environment of flow soldering	Air	Air	Air

図8 信頼性テスト結果(サンプルNo. 10, 11)

Fig. 8 Shear test results on reliability tests (Sample No. 10, 11).

チップ部品のシヤ接続強度の変化を示す。また、今回のテストでは、全てのはんだでPb・Sn共晶はんだと同等のシヤ強度が得られ、チップ部品の接続信頼性は問題がないと考えられる。但し、今回の試験では、挿入型部品の試験を行っておらず、今後の検討課題である。

## 2. まとめ

今回の検討に使用したはんだは、Biの含有量が7.5wt%以上のサンプルで信頼性テストにおいて、強度の大幅な低下が見られたが、他のサンプルについては良好であった。この結果から、Biの含有量の多いサンプルを除き、リフローソルダリング、フローソルダリング共に、多くの鉛フリーはんだが信頼性上、使用できるレベルにあると考えられる。

## むすび

今回の報告では、印刷性や、はんだの濡れ性、部品混載時の接続温度バラツキの影響など、はんだ付け性に関して述べなかったが、実用化に対しては、この点も重要なポイントである。例えば、今回使用したサンプルでも、Zn含有のサンプルで印刷性が非常に悪い事や、鉛フリーはんだ全般に濡れ性が劣る事などが上げられる。また、基板に搭載するデバイスの加熱特性（熱容量）などによる接続部の温度変化（デバイスごとの温度バラツキ）や、その時のはんだの融点とデバイスの耐熱性の関係など、実際に実装する機器で十分な検討を行う必要がある。

今回の検討では、鉛入りの端子めっきをしたデバイスを用いたが、最終的には、端子めっきについても鉛フリー化をする必要がある。つまり、この時のめっき材料と鉛フリーはんだとの濡れ性の問題やそれを改善するためのフラックスの選定、長期信頼性の確認などが、今後解決して行かなければならない課題である。しかしながら、部品の鉛フリー化が早急に進まないことを考えると、今すぐ完全な鉛フリー化困難であると思われるが、セットメーカとしてできる範囲からスタートし、鉛フリーはんだの早期実用化に向け推進して行きたいと考える。

## 参考資料

- 1) 鉛フリーはんだロードマップ - その実用化へのシナリオ - 社団法人日本電子工業振興協会・環境調和型実装技術専門委員会 (1998.2)
- 2) 渥美幸一郎, “エレクトロニクス微細接合と環境調和 - 鉛フリーはんだ付け技術の現状と課題 - ”, 平成10年度 溶接学会 春季大会 オーガナイズドセッション(1998.4.17)
- 3) 鉛フリーはんだ評価報告集 vol.1, 回路実装学会 環境保全・リサイクル技術委員会 鉛フリーはんだ研究会(1998)
- 4) 菅沼克昭, “鉛フリー化を迫られるはんだ開発 - 最新研究動向と開発指針 - ”, 回路実装学会誌, vol.12, No.2(1997)
- 5) 菅沼克昭, “鉛フリーはんだ開発動向”, エレクトロニクス実装技術, P54~P63,(1998.9)
- 6) 竹本正, “Pbフリーソルダとマイクロ接合”, まてりあ, 第35巻, 第4号(1996)
- 7) 村田敏一, “Pbフリーはんだとその応用”, エレクトロニクス実装学会誌 vol.1, No.4 (1998)

(1999年1月29日受理)