

# 低銀鉛フリーはんだの信頼性検討と 実装基板のはんだの分析手法調査

中部支所  
製品安全技術課

戸松 利恵

## はじめに

- ・ 現在、鉛フリーはんだの主流は、銀の含有量が3%のSAC305 (Sn3.0Ag0.5Cu)\*<sup>1)</sup>であるが、近年の銀の高騰から低銀鉛フリーはんだ(銀の含有量を1%、0.3%、0.1%に減量)の使用が注目されてきている。
- ・ しかし、低銀鉛フリーはんだは、まだ実績が少なく、信頼性に不安要素がある。
- ・ 一方、低銀鉛フリーはんだのほかにも、現在主流の銀が3%の鉛フリーはんだ、無銀はんだ、従来から使用されている鉛含有はんだなど、市場の製品に使用されているはんだの種類は多様化してきている。

このような状況の中で、事故原因の究明を行うためには、はんだの成分分析を行い、はんだの種類の特定制や不純物の混入を調査し、はんだの性能を把握した上で調査することが必要と考えられる。



したがって、低銀鉛フリーはんだの性能を把握するため信頼性の調査を実施するとともに、実装基板から使用されているはんだの種類を特定するための分析手法を調査した。

# 目次

- (1) 低銀鉛フリーはんだの信頼性検討\*2)**
- (2) 実装基板のはんだの分析手法調査**
- (3) はんだに起因する製品事故事例の紹介**

\*2)中部エレクトロニクス振興会 技術委員会 第4分科会において実施  
(中部地元企業、名古屋市工業研究所、NITE中部支所が参加)

# (1) 低銀鉛フリーはんだの信頼性検討

## 【試験項目】

- ◆ 接合信頼性評価 ⇒ ①冷熱サイクル試験  
②チップせん断試験
- ◆ 絶縁信頼性評価 ⇒ ③マイグレーション試験

# (1) 低銀鉛フリーはんだの信頼性検討 (はんだ試料の選定)

調査対象のはんだは、ソルダーペーストとし、主な仕様は次のとおりである。

		0.1Ag	0.3Ag	1.0Ag	3.0Ag
はんだ組成 (wt%)	Sn	99.2	99	98.3	96.5
	Ag	0.1	0.3	1.0	3.0
	Cu	0.7	0.7	0.7	0.5
融点(°C) (固相線温度*3)－液相線温度*4)		217-227	217-227	217-224	217-219

\*3) 溶け始める温度

\*4) 完全に溶ける温度

# (1) 低銀鉛フリーはんだの信頼性検討

## ① 冷熱サイクル試験(概要)

### 試験の目的

- ・ 実装部品のはんだの接合信頼性について、銀の含有量によって差が生じるか調査するため、熱衝撃を繰り返し加えた後、クラック等について観察する。

### 使用した部品

- ・ チップコンデンサ(C1005)
- ・ QFP(Quad Flat Package表面実装用半導体パッケージの一つ)

### はんだ

- ・ 3%Ag(比較品)
- ・ 1.0%Ag(低銀)
- ・ 0.1%Ag(低銀)

### 冷熱サイクル試験条件

- ・ -40°C / 125°C(各30分)

### サイクル数

- ・ 0・250・500・1000・3000  
サイクル

### 試験方法

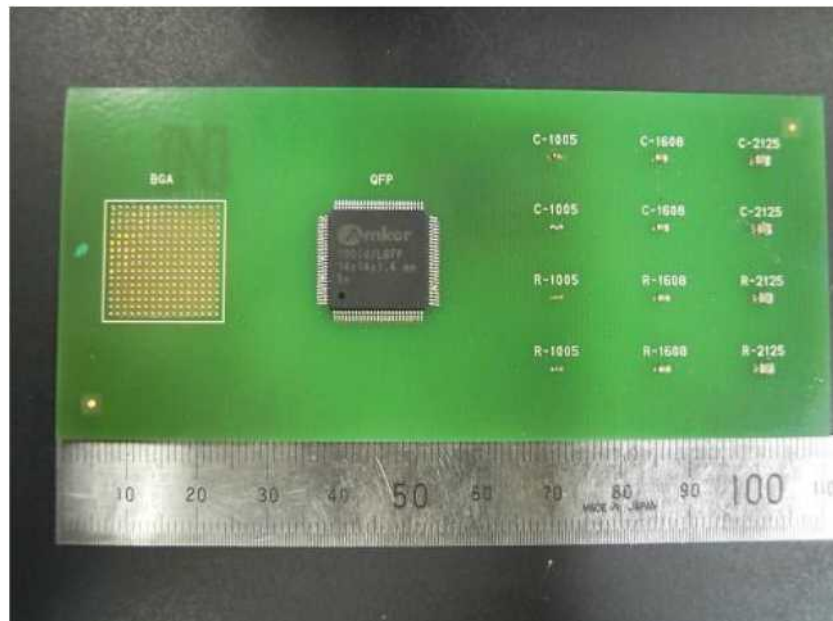
- ・ 実体顕微鏡による断面観察

(JEITA規格 ET-7409A準用)

# (1) 低銀鉛フリーはんだの信頼性検討

## ① 冷熱サイクル試験(試料の写真)

### 試料の写真



### はんだ付け条件

- ・ はんだ印刷厚さ: 100  $\mu$ m
- ・ 予備加熱 120  $^{\circ}$ C 1分間
- ・ リフロー 250  $^{\circ}$ C はんだ溶融まで

# (1) 低銀鉛フリーはんだの信頼性検討

## ②チップせん断試験(概要)

### 試験の目的

- ・ 実装部品のはんだの接合強度について、銀の含有量によって差がないか調査するため、横押しせん断試験を実施する。

### 使用した部品

- ・ チップコンデンサ(C2125)

### はんだ

- ・ 3%Ag(比較品)
- ・ 1.0%Ag(低銀)
- ・ 0.3%Ag(低銀)

### 冷熱サイクル試験条件

- ・ -40 °C / 125 °C  
(各30分)

### サイクル数

- ・ 0・250・500・1000・  
2000・3000 サイクル

### 試験方法

- ・ 試験試料を固定し、デジタルフォースゲージによりチップ部品が剥がれるまで降下させ、最大値を測定する。(n=4)



# (1) 低銀鉛フリーはんだの信頼性検討

## ③マイグレーション試験(概要)

### 試験の目的

- ・ 実装部品のはんだの絶縁性能について評価するため、高温高湿下における絶縁抵抗値の連続測定を実施する。

### 試験条件

- ・ 温度  $85 \pm 2$  °C
- ・ 相対湿度 85 % ~ 90 %
- ・ 時間 1000時間
- ・ 印加電圧 DC50 V

### はんだ

- ・ 3%Ag(比較品)
- ・ 1.0%Ag(低銀)
- ・ 0.3%Ag(低銀)
- ・ 0.1%Ag(低銀)

### 試験方法

- ・ 絶縁抵抗値の連続測定
- ・ 顕微鏡による表面観察

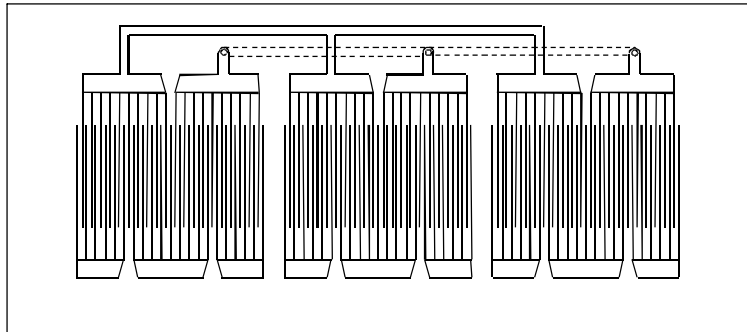
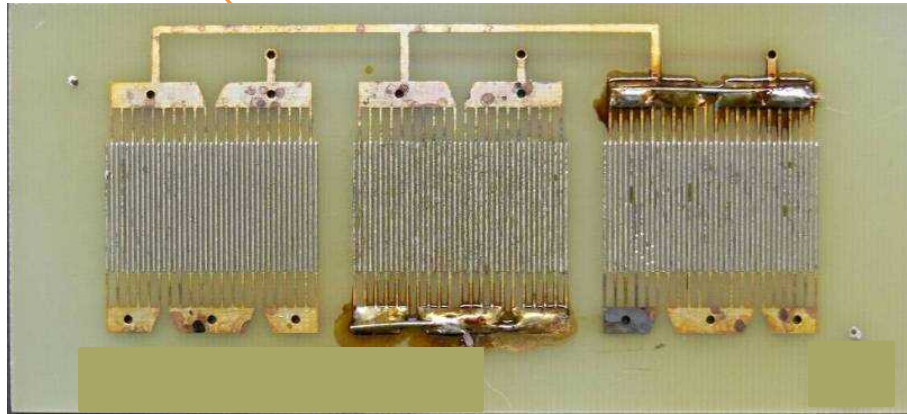
参照規格(JIS Z 3284 付属書14)

# (1) 低銀鉛フリーはんだの信頼性検討

## ③マイグレーション試験(試料の写真)

はんだ

### くし型電極基板



### 使用した基板

- ・ 基板寸法 50 × 110 × 1.6 mm
- ・ 導体幅 0.318 mm
- ・ 導体間隔 0.318 mm
- ・ 重ね代 15.75 mm
- ・ 基板素材 ガラスエポキシ

### 試料の設置状態



## (1) 低銀鉛フリーはんだの信頼性検討 (まとめ)

- ◆ 冷熱サイクル試験において、3000サイクルまで熱衝撃をかけると低銀はんだにおいて、明らかなはんだクラックが生じたが、1000サイクルではクラックは観察されず、接合強度の低下も見られなかった。
- ◆ チップせん断試験では、どのはんだでも、1000サイクル～2000サイクルの間から強度の劣化傾向がみられた。
- ◆ マイグレーション試験では、どのはんだ材料でもマイグレーションは見られなかった。

以上のように、今回実施した試験においては、低銀鉛フリーはんだは、現行のSAC305 (Sn-3.0Ag-0.5Cu) と比較して、1000サイクルまでは顕著な性能劣化の差は観察されなかった。

ただし、今回の調査内容は、はんだ材料の性能試験の一部である。

製品化する場合は、各社の製品用途にあわせて、さらなる検証をした上で行う必要がある。

また、はんだの融点は高くなり、部品への熱ストレスやぬれ性を維持することを考えると、温度管理等のはんだ付け条件がより厳しくなるのは間違いない。

⇒ 適切でない温度管理をされ、はんだ付け不良が増えることは懸念される。

## (2) 実装基板のはんだの分析手法調査

## (2) 実装基板のはんだの分析手法調査 (目的と試験方法)

### 目的

- ・ 実装基板からはんだの成分を分析する場合、実装基板から採取できるはんだ量が少ない。
- ・ 事故調査においては、調査の初期には、可能な限り基板の状態を維持した状態で分析できた方がよい。
- ・ これらの事情から、蛍光X線分析によるはんだの成分分析手法について、調査することとし、以下の分析が可能か検証する。
  - ・ ①銀の含有量の定量(低銀の識別)
  - ・ ②銅の含有量の定量(Cu量の分析)
  - ・ ③微量成分(Pb,Ni,Co)の検出(微量添加成分又は不純物の確認)

### 試験方法

- ・ 市販はんだを試料とし、ICP分析結果を基準値とし、蛍光X線(XRF)分析結果を比較する。
- ・ 蛍光X線分析試料の形状は、「素材そのまま」「はんだ付けした状態」。

## (2) 実装基板のはんだの分析手法調査 (はんだ試料の選定)

試料(市販はんだ)は、形状がワイヤー状で、Agの含有量、微量添加成分に着目し、試料を選定した。

選定した試料のAg、Cu、Ni、Co、Pbの公称含有量を表に示す。

[単位:質量%]

試料No.	Ag	Cu	Ni	Co	Pb
1	-	0.7	0.05	-	-
2	-	-	-	-	40
3	3.5	-	-	-	-
4	-	0.7	0.03	-	-
5	0.3	0.7	-	-	-
6	3	0.5	-	-	-
7	1	0.7	-	-	-
8	1	0.7	-	-	-
9	3.5	-	-	-	-
10	3	0.5	-	0.04	-
11	0.3	0.7	-	0.04	-
12	0.1	0.7	-	0.04	-

## (2) 実装基板のはんだの分析手法調査 (ICP分析結果の信頼性確認)

ICP発光分光分析の結果の信頼性を担保するため、認証標準物質の分析を実施したところ、認証値との差は、5%以内であり、良好な結果が得られた。

[単位:質量%]

認証標準物質	成分	認証値	測定値	認証値との差 (相対値)
NMIJ CRM8202a	Ag	3.007	3.117	+3.7
	Cu	0.5014	0.5030	+0.3
	Pb	0.01973	0.01880	-4.7
NMIJ CRM8203a	Ag	2.994	3.105	+3.7
	Cu	0.5041	0.5081	+0.8
	Pb	0.09492	0.09421	-0.7

「検出限界」 Ag:0.00003%、Cu:0.0000%、Pb:0.00006%

認証値との差(相対値) = (測定値 - 認証値) / 認証値 × 100

「前処理方法」

◆Ag : 論文\*5)の方法

(試料0.5 gを「塩酸40 ml+硝酸4 ml」で加熱分解し、塩酸12 mlと水で100 mlにする)

◆その他の成分: JISZ3910

(試料1 gを「王水(塩酸3:硫酸1)50 ml」で加熱分解し、塩酸(1+2)で100 mlにする)

\*5)「誘導結合プラズマ発光分析法による鉛フリーはんだ中の有害元素の定量」 著者: 山田 圭二、杉本 健一(愛知産業技術センター)

## (2) 実装基板のはんだの分析手法調査 (蛍光X線測定条件)

蛍光X線分析の分析条件は、調査の結果、次のとおりとした。  
なお、蛍光X線分析装置は、エネルギー分散型である。

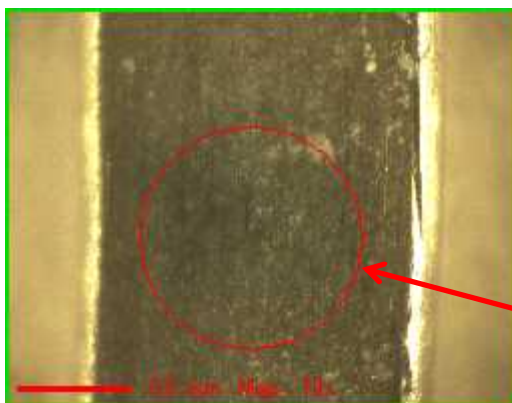
	Ag	Cu	Pb	Ni	Co
定量法	検量線法	検量線法	検量線法	検量線法	M-FP法*6)
標準物質	MBH社製 6種類	MBH社製 5種類	JSAC製 4種類	MBH社製 5種類	MBH社製 74X CA8 B
X線電圧 [kV]	40	40	50	50	50
X線電流 [uA]	800	800	1000	1000	1000
測定時間 [s]	300	300	600	600	600
測定径 [mm]	1	1	1	1	1
フィルター	なし	なし	Ni	Ti	Ti
分析スペクトル線	K $\alpha$ 線	K $\alpha$ 線	L $\alpha$ 線	K $\alpha$ 線	K $\alpha$ 線
検出限界 [%]	0.01	0.01	0.002	0.001	0.001

\*6)ファンダメンタルパラメータ法に標準試料の測定による係数補正を加えた定量方法。

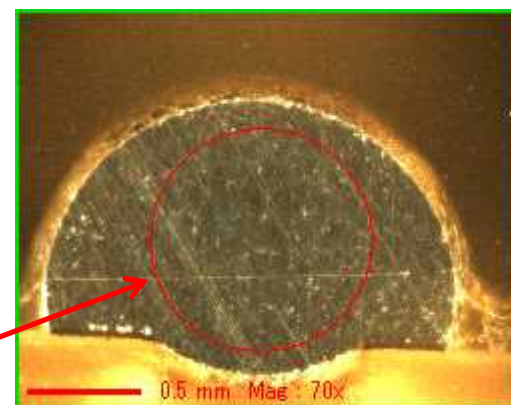


## (2) 実装基板のはんだの分析手法調査 (蛍光X線分析試料)

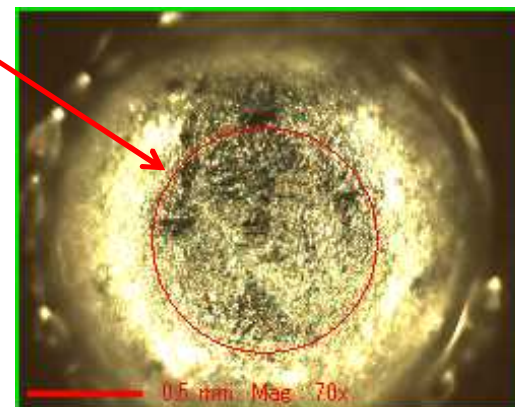
素材そのままの試料  
(試料を平らに押しつぶした)



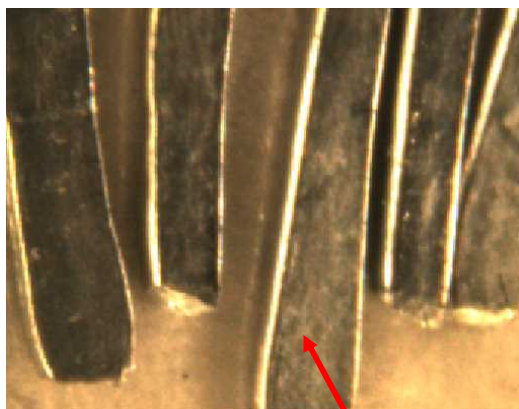
はんだ付け断面  
(樹脂埋め、断面研磨)



はんだ付け上面



分析範囲  
1mm φ



ワイヤー状のヤニ入りはんだを切り押しつぶした

## (2) 実装基板のはんだの分析手法調査

### ①Agの含有量の定量結果(低銀の識別)

[単位:質量%]

試料 No.	公称含有量	ICP	XRF (素材)	XRF (はんだ付け断面)	XRF (はんだ付け上面)
5	0.3	0.32	0.32 (0.0)	0.34 (+6.3)	0.30 (-3.9)
7	1	0.99	0.98 (+1.0)	1.02 (+3.0)	0.89 (-10.1)
9	3.5	3.63	3.55 (-2.3)	3.64 (-0.2)	3.50 (-3.6)
10	3	2.99	3.13 (+4.8)	3.13 (+4.8)	2.85 (-4.7)
12	0.1	0.10	0.10 (0.0)	0.10 (0.0)	0.10 (0.0)

・XRF検出限界:0.01 %

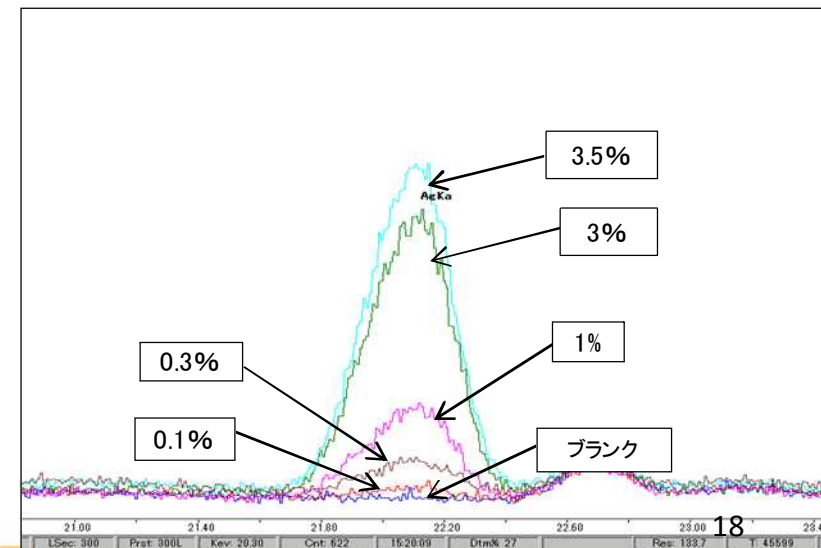
・( ): ICP分析結果との差(相対値)

$$=(\text{XRF測定値}-\text{ICP測定値})/\text{ICP測定値} \times 100$$

◆ICPの結果との差(相対値)

- ・相対値で0 %~10.1 %であった。
- ・素材のままとはんだ付け後で差は見られず。

⇒銀の含有量の識別は可能と判断される。



## (2) 実装基板のはんだの分析手法調査

### ②Cuの含有量の定量結果(Cu量の分析)

[単位:質量%]

試料 No.	公称含有量	ICP	XRF (素材)	XRF (はんだ付け断面)	XRF (はんだ付け上面)
1	0.7	0.66	0.65 (+0.01)	0.80 (+0.14)	0.91 (+0.25)
3 *7)	—	0.006	0.02 (+0.014)	0.18 (+0.174)	0.13 (+0.124)
6	0.5	0.51	0.56 (+0.05)	0.75 (+0.24)	0.69 (+0.18)
10	0.5	0.50	0.49 (-0.01)	0.58 (+0.08)	0.59 (+0.08)

- ・XRF検出限界:0.01 %
- ・( ):ICP分析結果との差  
= (XRF測定値 - ICP測定値)
- ・\*7)Cuは、成分として含有していない試料

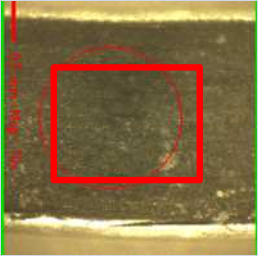
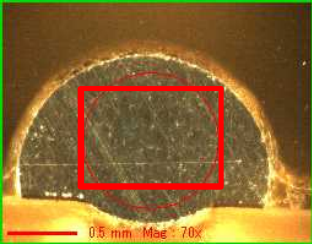

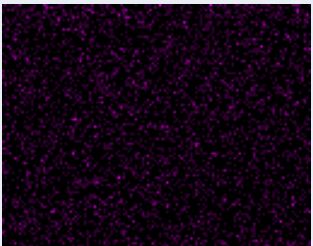
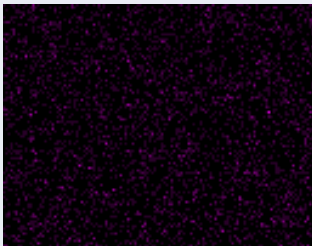
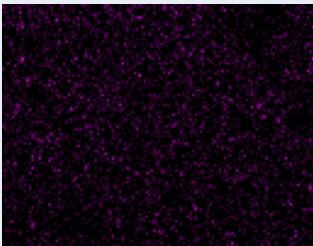
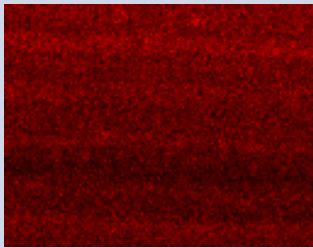
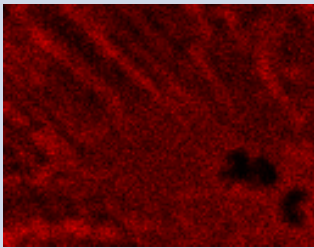
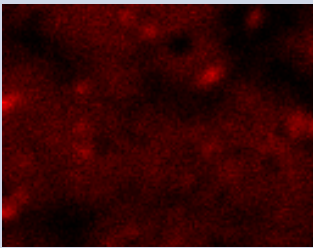
◆ICP分析結果との差: はんだ付け後は、約0.1 %~0.2 %程度、多く検出した。

◆試料No.3について: Cuは成分として含有していないにもかかわらず、はんだ付け後は、約0.2 %検出した。

⇒銅食われによるパターンの溶解でCu量が増加している。

## (2) 実装基板のはんだの分析手法調査

### ② Cuの含有量の定量結果(AgとCuの分布比較)

試料No.6	素材	はんだ付け断面	はんだ付け上面
分析範囲 (赤枠内)			
Ag			
Cu			

0.5mm

◆分布: Agの分布に比べると、はんだ付け後のCuの分布は、偏りが見られる。

⇒実装後の分析は、成分分布の偏りや銅食われによりCu含有量は変化する。

## (2) 実装基板のはんだの分析手法調査

### ③微量添加成分又は不純物の検出

[単位:質量%]

成分	試料 No.	公称含有量	ICP	XRF (素材)	XRF (はんだ付け断面)	XRF (はんだ付け上面)
Pb *8)	5	—	0.023	0.034 (+48.7)	0.043 (+88.1)	0.030 (+30.4)
	8*9)	—	0.011	0.063 (+474.6)	0.072 (+551.5)	0.061 (+408)
Ni	1	0.05	0.055	0.051 (-7.4)	0.054 (-1.3)	0.050 (-9.1)
Co	12	0.04	0.036	0.027 (-25.7)	0.028 (-23.3)	0.026 (-27.8)

・XRF検出限界:Pb 0.002%、Ni及びCo 0.001%

・( ):ICP分析結果との差(相対値)

$$=(\text{XRF測定値}-\text{ICP測定値})/(\text{ICP測定値})\times 100$$

・\*8) 公称含有成分ではないが、不純物として試料に含まれていた。

・\*9) Bi含有試料

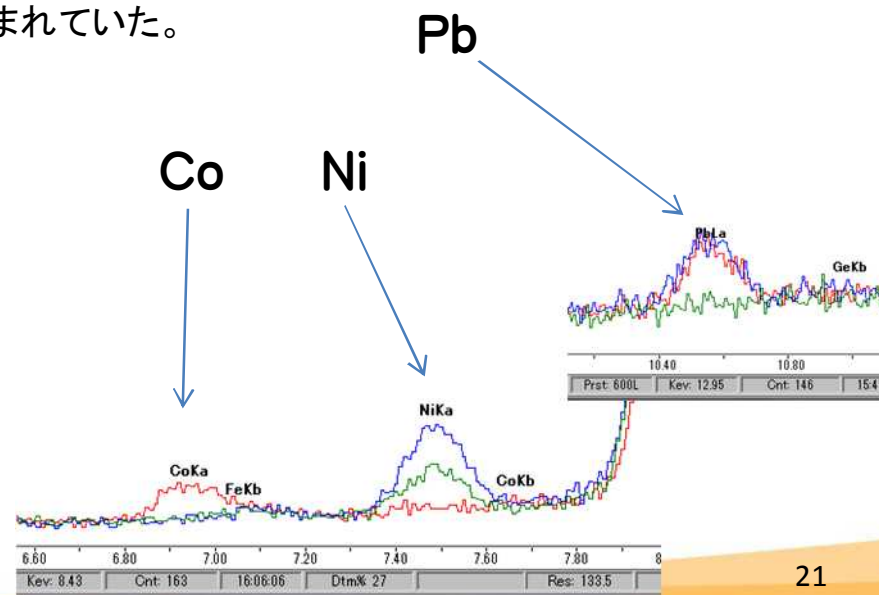
◆Pb, Ni, Coの微量成分の検出は明らかなピークが得られた。

◆定量した結果は、絶対値としては、よい値ではないが、桁が変わるほどではなかった。

◆試料No.8のように、PbはBiが含有しているとピークが重なり、定量値が非常に多く出る。

⇒含有の有無の判断は可能。

・含有量については、ピークの重なりがなければ、オーダー程度の推測は可能。



## (2) 実装基板のはんだの分析手法調査 蛍光X線分析による分析(まとめ)

- ◆ Agの含有量の定量
  - ・ 実装基板における3.0%Agはんだ(現行主流はんだ)と低銀はんだの識別は、可能である。
- ◆ Cuの含有量の定量
  - ・ 実装後のはんだ中のCuについては、成分の分布が偏りやすいことや銅食われによるCuの増加を考慮に入れる必要がある。(もともとの素材の含有量はわからなくなるので、結果は参考程度)
- ◆ 微量成分の検出の可能性
  - ・ Pb、Ni、Coの微量成分は、フィルターを利用すれば、十分検出可能であったため、含有の有無は判断可能。
  - ・ 含有量の推定について、オーダー程度なら可。
  - ・ Pbは、Biとピークが近く重なるため、Biが含有している場合は、要注意である。(Biの量によってはピークが埋もれてしまうし、定量値も実際よりかなり多くなる。)
- まとめ
  - 以上より、Agのように分析範囲で均等に分布していれば、概ね定量可能であり、Pb、Ni、Coの微量成分の検出も可能であったことから、低銀鉛フリーはんだの種類の識別程度であれば、蛍光X線分析は有効と考えられる。
  - ただし、さらに定量精度を求めるのであれば、ICP等の湿式分析を検討する必要がある。

# 実装基板のはんだの分析事例(蛍光X線分析)

試料No.	製品名	XRF測定結果				製造年
		Pb	Sn	Cu	Ag	
1	電気スタンド	37.5	62.3	0.21	-	2001
2	音響機器	78.6	21.3	0.10	-	2008
3	電気カーペットの コントローラー	37.8	62.0	0.17	-	1999
4	薄型テレビ	0.040	残部	0.77	3.03	2004
5	薄型テレビ	0.038	残部	0.84	0.28	2012

「測定条件No.1-3」

定量法:M-FP法

標準物質:91X S63PR2 (MBH社製)

測定時間:300秒

X線:電圧40kV 電流800uA

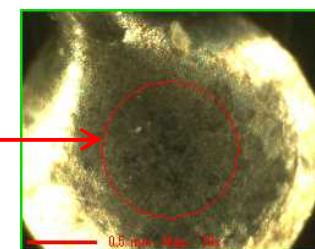
測定径:1mm

検出限界:0.007%

「測定条件No.4-5」

P16のとおり。

分析範囲



## (3) はんだが原因の製品事故事例の紹介

NITEで過去に調査した事故の中で、よく散見される事故原因のはんだ事故について、2例を紹介します。

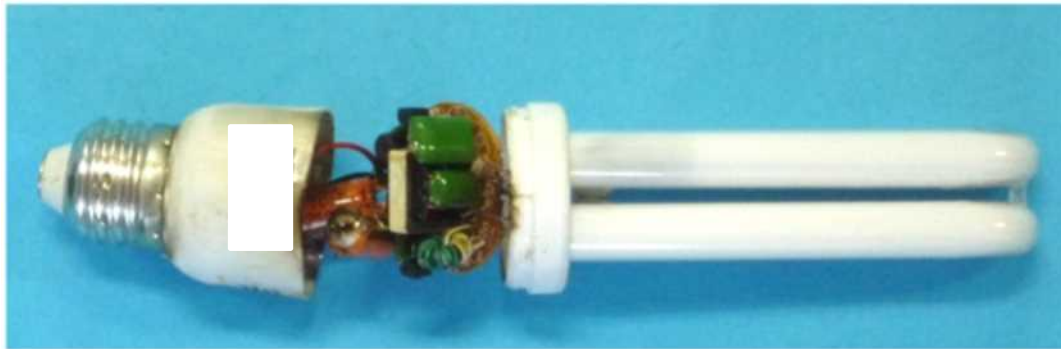
- ◆事例No.1 はんだ付け不良による事故
- ◆事例No.2 はんだに外部応力が加わる等の機械的疲労による事故



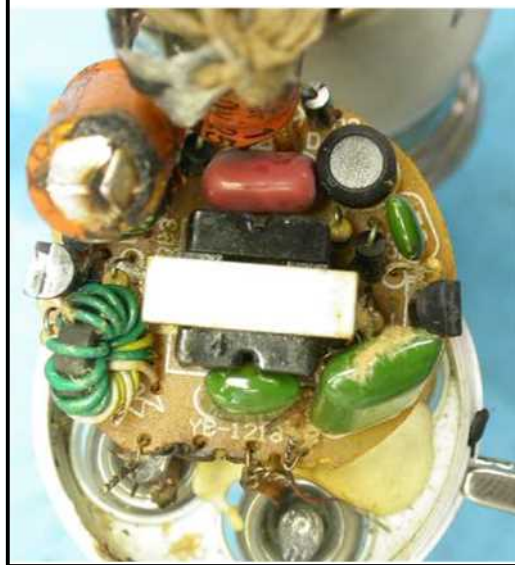
# 事故事例No.1 (はんだ付け不良による事故)

## 【事故内容】

ランプを点灯したところ、ソケット部分から発火した。

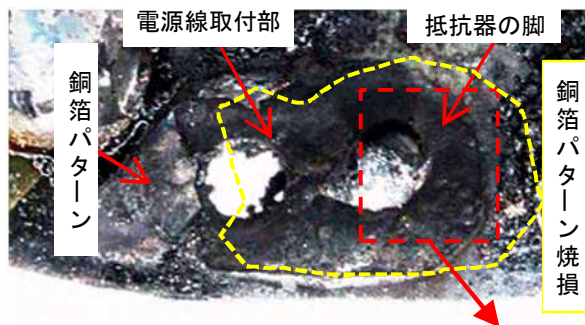


# 事故事例No.1 (事故品の状況)

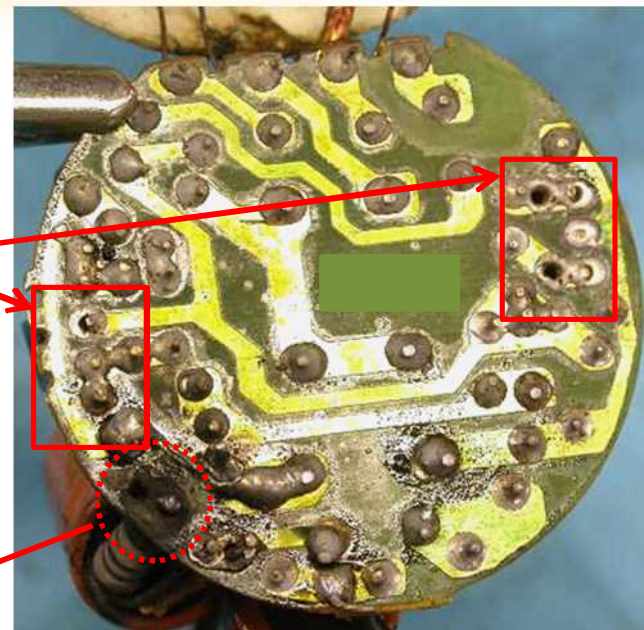


発見されたはんだ付け不良

ヒューズ抵抗



抵抗器の脚



- ・電源線が外れていた。
- ・ヒューズ抵抗のリード部に溶融があり、最も焼損が激しかった。

- ・トランジスタ、コンデンサ、ダイオードに過電流が流れて破損していた。

- ・使用期間: 2ヶ月

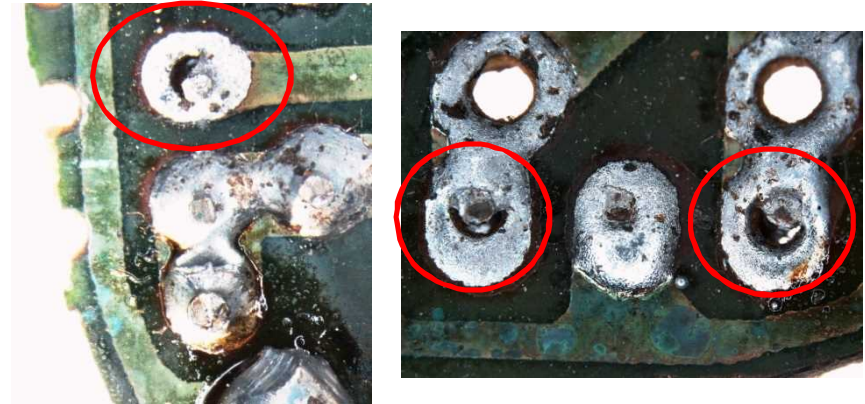
# 事故事例No.1 (事故原因と再発防止措置)

## 【事故原因】

抵抗のリード端子にはんだ付け不良があった。



接触不良により発熱・ショートして  
基板が焼損



発見されたはんだ付け不良  
(はんだ量が少なく、穴あきが発生している)

## 【再発防止措置】

当該品は既に生産を終了しており、今後は製造工程における基板のはんだ付けの検品体制の強化を行うこととした。

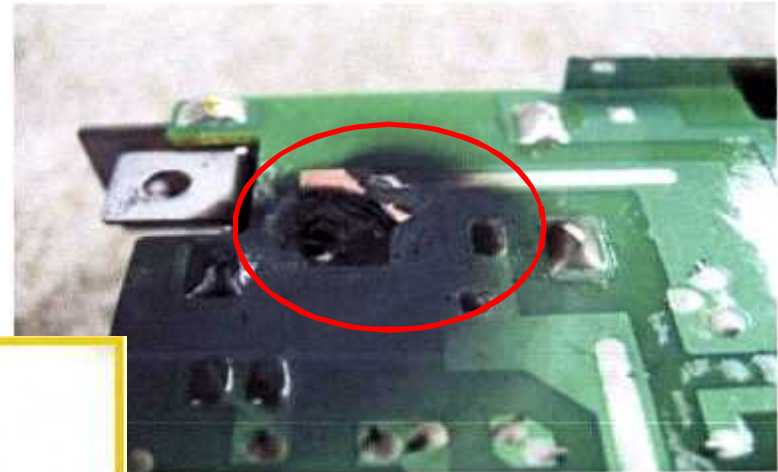
## 事故事例No.2

(外部応力による機械的疲労ではんだ付け部が焼損した事故)

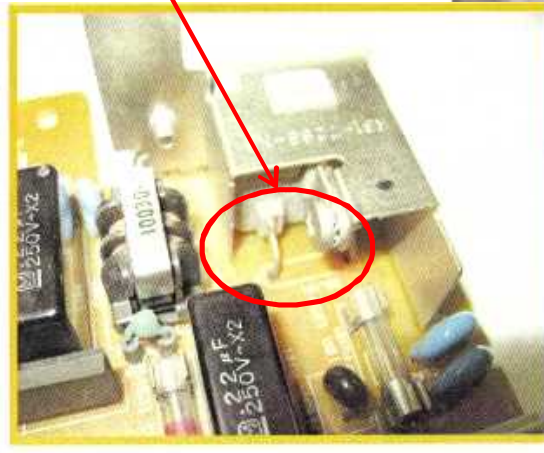
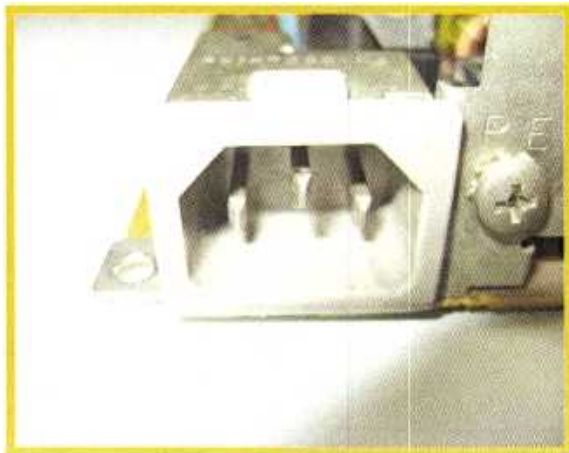
### 【事故内容】

電源コードの差し込み口(ACインレット)から、火花がでて、電源が入らなくなり、焦げ臭いにおいがした。

ACインレットが基板に直接はんだ付けされている。  
(ACインレットに力が加わるとはんだに力が加わる構造)



はんだ付け部の焼損



## 事故事例No.2 (事故原因と再発防止策)

### ◆【事故原因】

当該機はACインレット(電源プラグ接続コネクター)が基板上に**直接はんだ付け**する構造であった。



電源コードの抜き差し等で、ACインレットに**機械的ストレス**が繰り返し加わった。

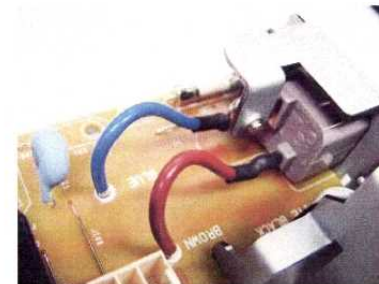
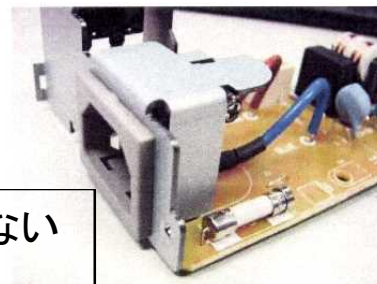


はんだクラックを生じ、接触不良となり発煙

### ◆【再発防止措置】

事業者は注意喚起するとともに、ACインレットへの外的ストレスを軽減するような構造に改善した。

挿抜時の応力がはんだ付け部に加わらないように、コードが追加されている



# はんだ付け不良の例(はんだ不足、はんだ過多)

はんだ付け(良品)



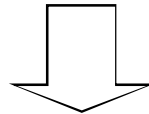
はんだ付け(不良)



はんだ割れ



- ・作動不良
- ・基板の炭化



ヒーター回路  
のように大電  
流の場合

炭化が進行し、発火す  
る可能性がある

ご清聴ありがとうございました