

# はんだが関係する事故の 原因究明に向けた取り組み

～鉛フリーはんだの引け巣及びボイドについて～

中部支所  
製品安全技術課  
戸松 利恵

# 目次

1. はじめに
2. 冷熱サイクル試験による経年劣化データの収集
  - 2.1 引け巣のあるはんだ
  - 2.2 ボイドを内包したはんだ

## はじめに (事故品の観察)

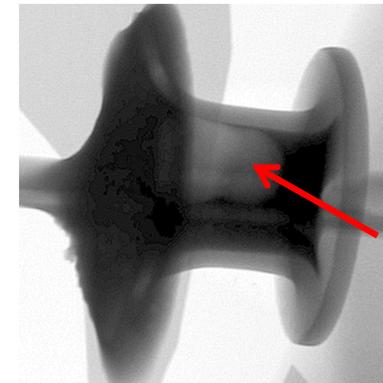
- ◆鉛フリーはんだの普及に伴い、  
鉛フリーはんだの事故品が増加傾向にある。
- ◆はんだの種類(組成)が判明した事故事例を分析したところ、  
種類(組成)と事故原因に、特に依存関係はなかった。
- ◆鉛フリーはんだの事故品は、鉛はんだではあまり見られなかった  
引け巣やボイドなどの存在を観察した。【写真1~3】



【写真1】 引け巣



【写真2】 ブローホール



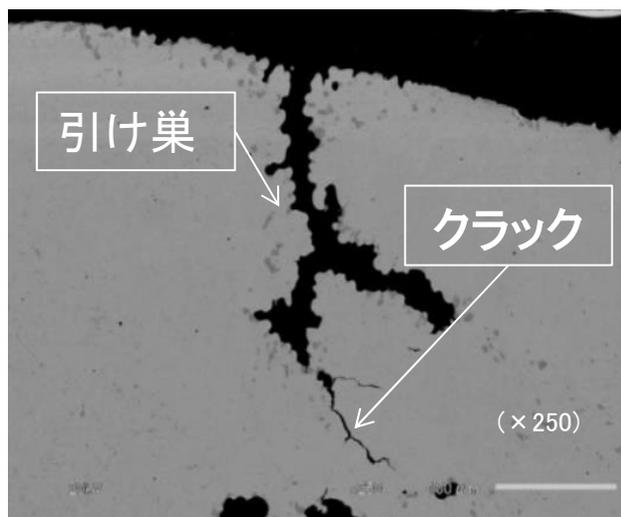
【写真3】 ボイド

- \*1) 引け巣: はんだの凝固過程において生じたクレバスのようなすき間(亀裂)
- \*2) ボイド: 基板表面に付着したフラックス、水分等が蒸発するときに生じた内包された気泡

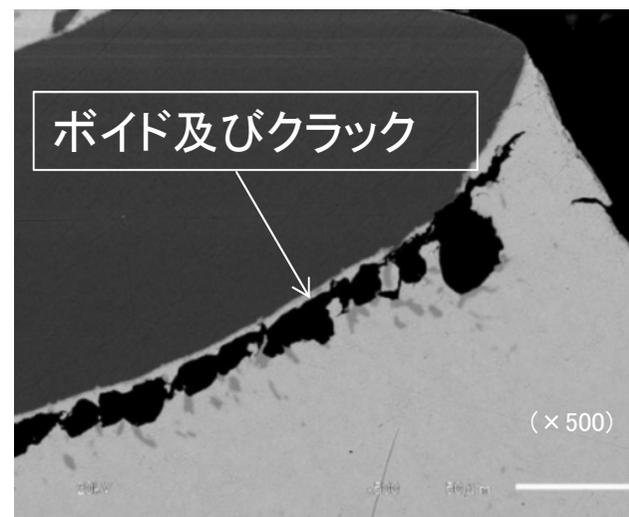
## はじめに

### (市場品(中古品)の観察)

- ◆市場品(事故同等品、中古品等)47試料を観察  
⇒鉛フリーはんだの市場品では、**引け巣**や**ボイド**が多く見られた。
- ◆欠陥部位の断面観察
  - ・引け巣部 ⇒ 表面上小さく見えた引け巣も内部では**クラックに進展**しているものを観察した。【写真4】
  - ・ハトメ部 ⇒ ハトメ部の裏側にボイドが発生している箇所で**クラックに進展**しているものを観察した。【写真5】



【写真4】 引け巣



【写真5】 ボイドとクラック

## 【懸念事項とアプローチ】

- ◆引け巣は、クラックに進展しないの？
- ◆はんだ内部のボイドは、はんだ接合寿命に影響しないのか？



今後、鉛フリーはんだの製品が増加することを考えると、鉛はんだでは、あまり見られなかった引け巣やボイドについて、はんだの接合強度に対する影響について、知見が必要と思われる。



冷熱サイクル試験により、引け巣やボイドの挙動などに注目し、はんだの経年劣化データを収集・分析する。

# 冷熱サイクル試験による 経年劣化データの収集 (加速劣化試験)

1. 引け巣があるはんだ
2. ボイドを内包したはんだ

# 冷熱サイクル試験(引け巣があるはんだ)

## <目的と試験方法>

### ◆目的

- 引け巣があるはんだは、はんだクラックが生じやすいのか調べる。

### ◆試験方法

- 引け巣の有るはんだや無いはんだ\*3)を冷熱サイクル試験装置を用いて、加速劣化させる。
- 500サイクル毎に、はんだ表面を光学顕微鏡により経過観察する。
- 2000サイクル後に、破壊の程度に応じて、いくつか試料をピックアップし、金属顕微鏡により**断面観察**し、内部のクラックについて観察する。

\*3) 引け巣の無いはんだとは、光学顕微鏡では引け巣が観察されないはんだとする。

# 冷熱サイクル試験(引け巣があるはんだ)

## < 試料の詳細と試験条件 >

表1 試料の詳細

	試料の詳細
はんだの種類	3Agはんだ(組成: Sn3Ag0.5Cu)
基板の種類	紙フェノール(縦110mm×横70mm)
部品	ラインフィルターコイル(リード4本)
はんだの寸法等	ランド径φ4mm、穴径φ2.1mm、菊ハトメ処理
はんだ量	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆はんだ量(a): ランドにハトメ先端が接触するくらいかした状態で実装</li> <li>◆はんだ量(b): ランドからハトメ先端が0.2mm程度浮かせた状態で実装<sup>*4)</sup></li> </ul>
実装方法	フローはんだ
観察試料数	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆はんだ量(a): はんだ72個</li> <li>◆はんだ量(b): はんだ64個</li> </ul>

\*4) ハトメ高さを高くするとはんだが付く量も増えることを利用した。

表2 試験条件

	試験条件
温度条件	1サイクル -40℃ 30分、 +125℃ 30分
観察サイクル数	500、1000、1500、2000

JISC62137-3 6.3.1参照

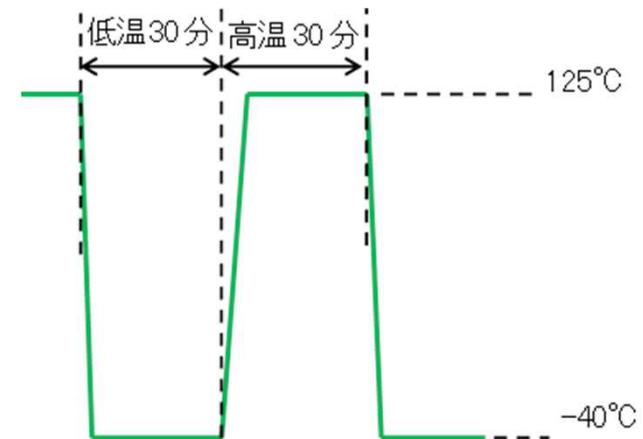
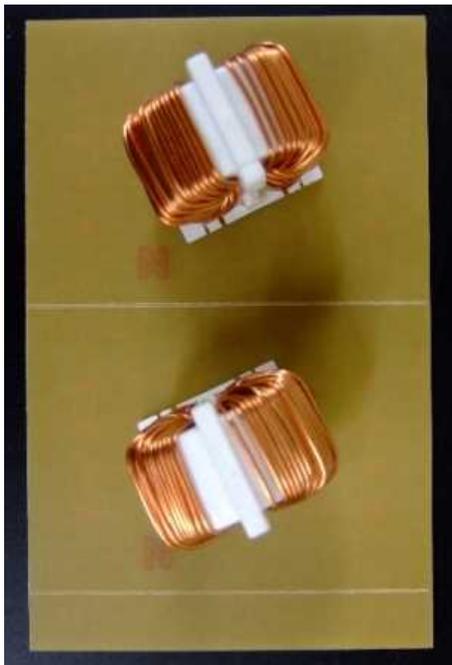


図1 冷熱サイクル試験の温度条件

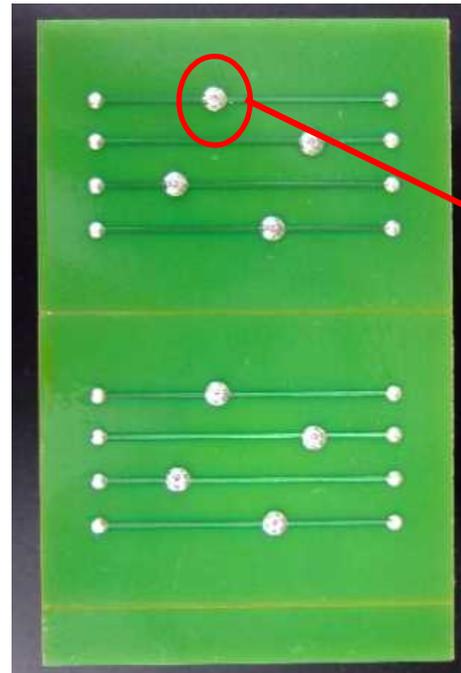
# 冷熱サイクル試験(引け巣があるはんだ) ＜試料の外観＞

部品面



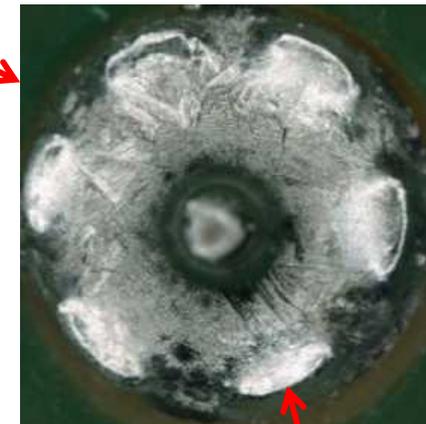
ラインフィルターコイル

はんだ面



はんだ  
(ハトメ処理)

はんだ付け部(拡大)



ハトメ

図2 試料の外観

# 冷熱サイクル試験(引け巣があるはんだ) ＜表面観察結果＞

## ◆はんだ量(b)

500サイクル毎に表面を経時観察した結果、  
3つのパターンであった。

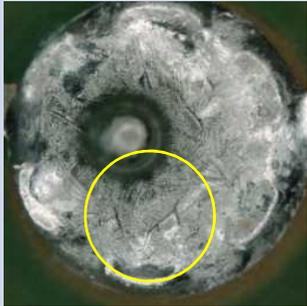
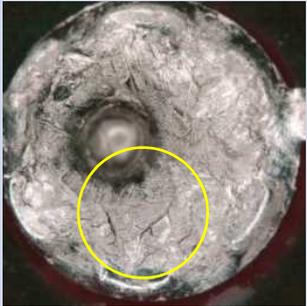
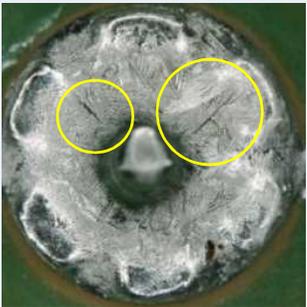
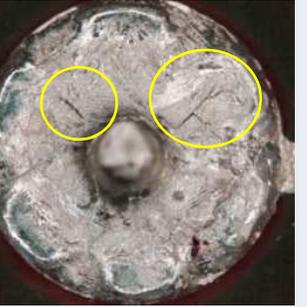
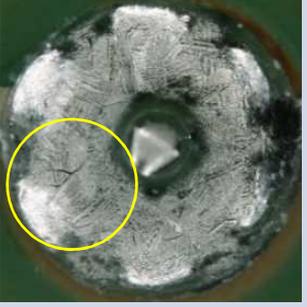
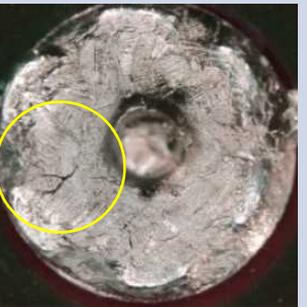
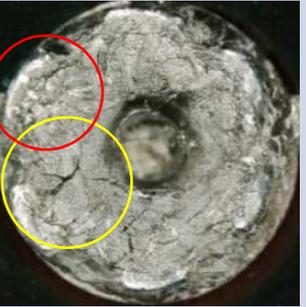
- ① 引け巣があるはんだ ⇒ 引け巣の変化が少ない(表面にシワが発生)
- ② 引け巣があるはんだ ⇒ 引け巣の変化が大きい(クラックに進展)
- ③ 引け巣がないはんだ ⇒ 表面にシワが発生

## ◆はんだ量(a)

はんだ量(b)と同様であるが、各パターンでハトメ部にクラックがはいる場合があった。

# 冷熱サイクル試験(引け巣があるはんだ) <表面観察結果>

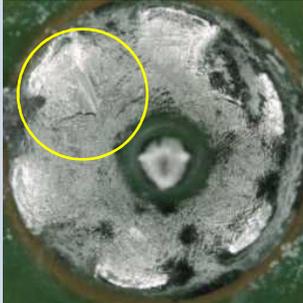
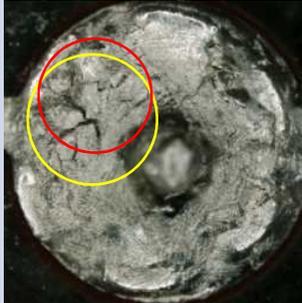
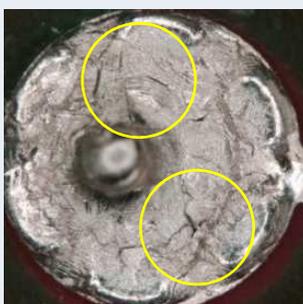
【引け巣の変化が少ない例】 はんだ量(b)

試料No.	0サイクル	1000サイクル	2000サイクル	表面観察結果
1-1				◆表面に シワ発生
1-2				◆表面に シワ発生
1-3				◆表面に シワ発生

# 冷熱サイクル試験(引け巣があるはんだ)

## <表面観察結果>

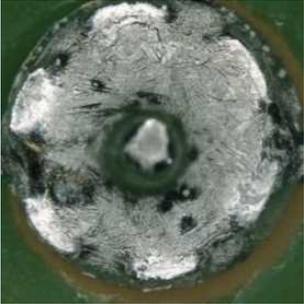
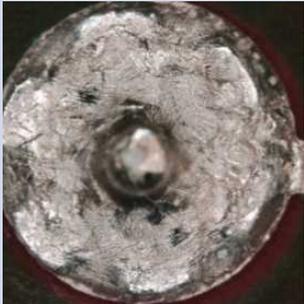
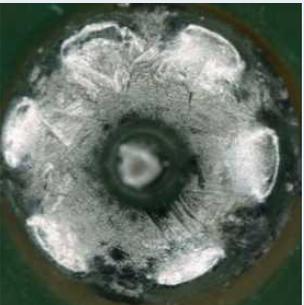
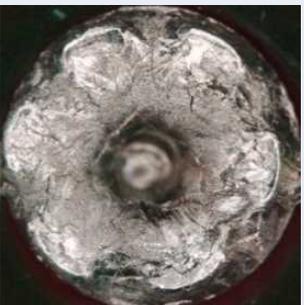
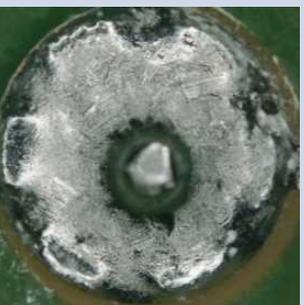
【引け巣の変化が大きい例】 はんだ量(b)

試料No.	0サイクル	1000サイクル	2000サイクル	表面観察結果
2-1				◆引け巣の 変化が大きい
2-2				◆左上:引け巣の 変化が少ない ◆右下:引け巣の 変化が大きい
2-3				◆左上:引け巣の 変化が大きい ◆右上:引け巣の 変化が少ない

# 冷熱サイクル試験(引け巣があるはんだ)

## <表面観察結果>

【引け巣がないはんだの例】 はんだ量(b)

試料No.	0サイクル	1000サイクル	2000サイクル	表面観察結果
3-1				◆表面に シワ発生
3-2				◆表面に シワ発生
3-3				◆表面に シワ発生

# 冷熱サイクル試験(引け巣があるはんだ) ＜表面観察\_考察＞

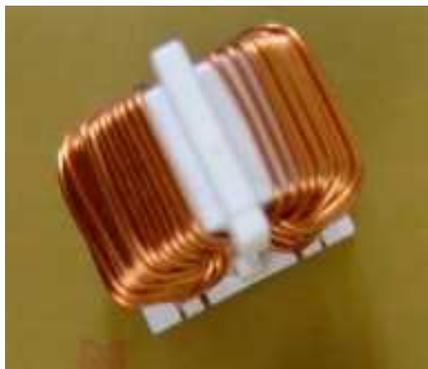
## ◆表面観察結果

3つのパターンを観察すると、はんだが劣化し始める箇所に傾向が見られた。

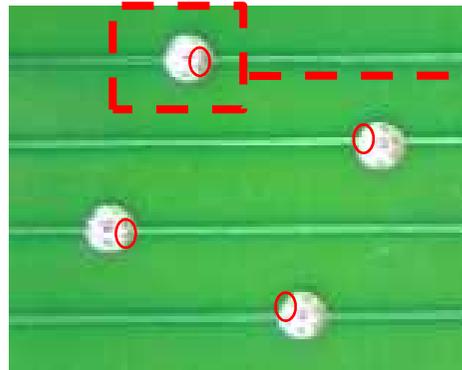
- ・コイルの内側(図の赤丸箇所)で、はんだにシワが入り始める。
- ・コイルの内側は、基板の熱膨張によるストレスが加わりやすい箇所といえる。

⇒引け巣がコイルの内側にあると、引け巣はクラックに進展しやすい。

はんだにシワが入り始める箇所



部品面



はんだ面

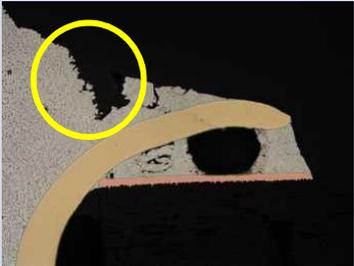
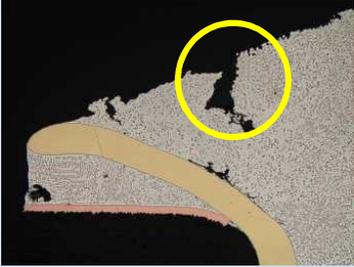
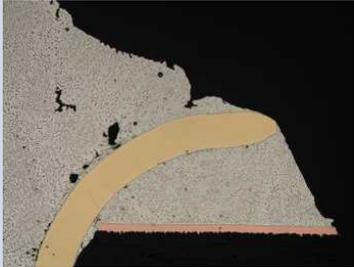
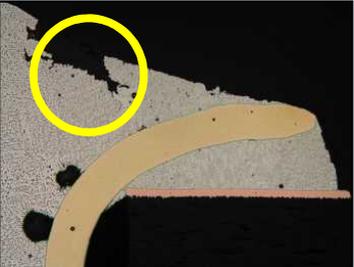
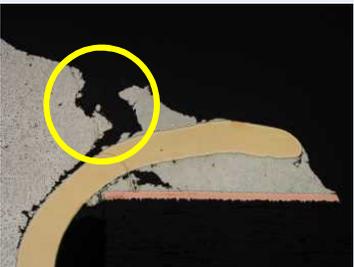
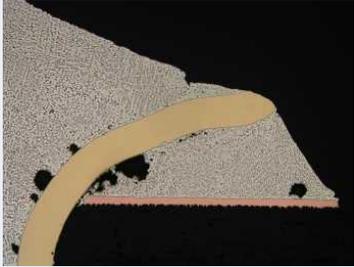
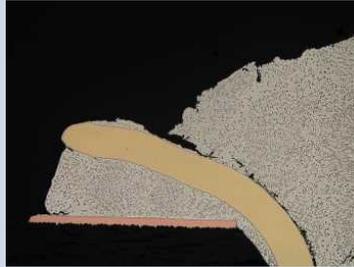


はんだの拡大

図3 はんだにシワが入り始める箇所

# 冷熱サイクル試験(引け巣があるはんだ)

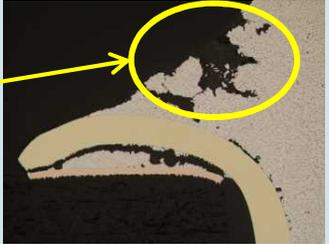
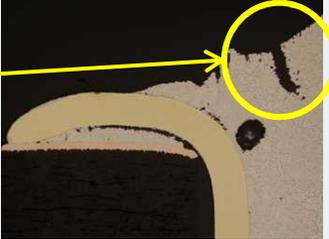
## <断面観察結果(1)> はんだ量(b)

試料 No.	引け巣の変化 (小)	試料 No.	引け巣の変化 (大)	試料 No.	引け巣がない
1-1		2-1		3-1	
1-2		2-2		3-2	
1-3		2-3		3-3	
クラックの程度: 浅い			クラックの程度: 深い		

# 冷熱サイクル試験(引け巣があるはんだ)

## <断面観察結果(2)> はんだ量(a)

◆断面観察によりわかった、引け巣の変化が大きい事例と小さい事例の差

	0サイクル	1000サイクル	2000サイクル	断面 (2000サイクル)	
試料 No. a					引け巣 の変化 (大)
試料 No. b					引け巣 の変化 (小)

# 冷熱サイクル試験(引け巣があるはんだ)

## <断面観察(2)\_考察>

### ◆断面観察結果

- ・図4の①の位置に引け巣がある場合は、変化が少なかった。(試料No.b)
- ・図4の②の位置に引け巣がある場合は、クラックが広がる傾向にあった。  
(試料No.a)

⇒基板の熱膨張によりはんだにストレスが加わりやすい箇所に、  
引け巣があると、はんだクラックに進展しやすい。

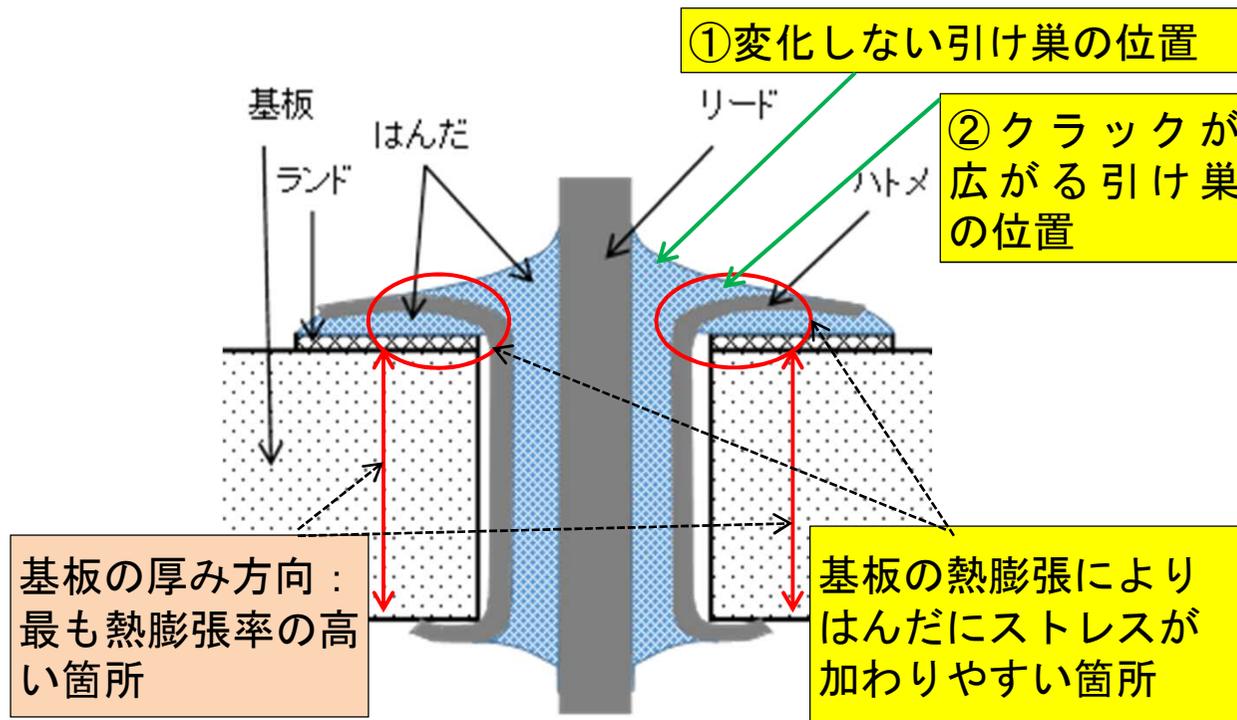


表3 実装基板の構成材料の線膨張係数

構成材料	線膨張係数 ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )
銅(ランド等)	17
真鍮(ハトメ)	17~20
鉛フリーはんだ	21.5
基板 (紙フェノール)	300(厚み方向)
	15~22(横方向)

# 冷熱サイクル試験(ボイドを内包したはんだ)

## <目的と試験方法>

### ◆目的

はんだ内部に生じたボイドがはんだクラックの進展に影響するのかが調べる。

### ◆試験方法

- ボイドを内包したはんだ試料を冷熱サイクル試験によって加速劣化させる。
- 500サイクル毎に、はんだの断面を金属顕微鏡により観察し、  
はんだクラックの有無を観察する。
- 軟X線透視装置により観察・計測したボイド量と  
はんだクラックの有無について、グラフ化し、傾向がないか調べる。

# 冷熱サイクル試験(ボイドを内包したはんだ)

## <試料、試験条件、はんだ付け条件>

表4 試料の詳細

	試料の詳細
はんだの種類	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3Agはんだ(組成: Sn3Ag0.5Cu)</li> <li>・0.3Agはんだ(組成: Sn0.3Ag0.7Cu)</li> <li>・0Agはんだ(組成: Sn0.7Cu)</li> </ul>
基板の種類	紙フェノール(縦110mm×横70mm)
部品	ラインフィルターコイル(リード4本)
はんだの寸法等	ランド径φ4mm、穴径φ2.1mm、菊ハトメ処理
はんだ量	ランドからハトメ先端が0.2mm程度浮かせた状態で実装*4)
実装方法	フローはんだ、マニュアルはんだを取り混ぜ、できるだけボイド量が多いものから少ないものまで様々なはんだ試料を作成
観察試料数	はんだの種類、はんだ量の種類毎に、はんだ6個

\*4)ハトメ高さを高くするとはんだが付く量も増えることを利用した。

表5 はんだ付け条件  
(フローはんだ)

	はんだ付け条件
プリヒート*5)	1m30s
はんだ槽温度	255°C
はんだ槽浸漬時間	5s

\*5)基板温度が約120°Cになる時間  
ホットプレートによる

表6 はんだ付け条件  
(マニュアルはんだ)

	はんだ付け条件
こて先温度(設定温度)	340°C

\* 試料の外観、試験条件は、  
引け巣のあるはんだの試験と同様。

# 冷熱サイクル試験(ボイドを内包したはんだ) <評価方法>

◆ボイドの内包量を定量化するため、  
**ボイド率という指標**を考え、検証した。(式(1)参照)

$$\text{ボイド率(\%)} = \frac{\sum s}{\sum S} \times 100 \quad \dots\dots(1)$$

s : ボイド面積  
 S : ハトメ面積  
 n=6

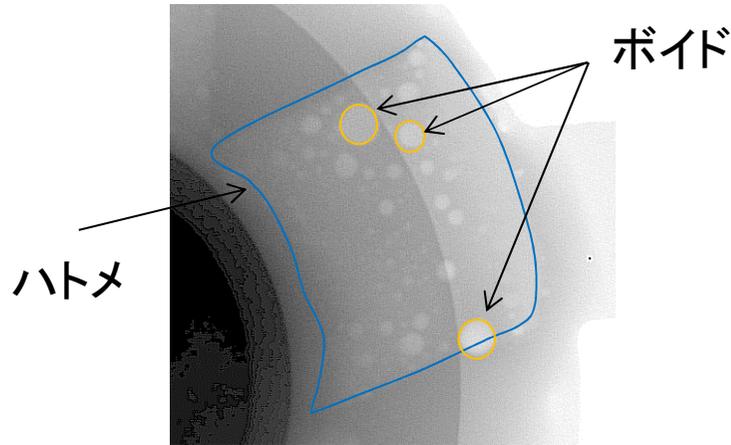


図5 ハトメ部のボイド  
 (X線透視写真)

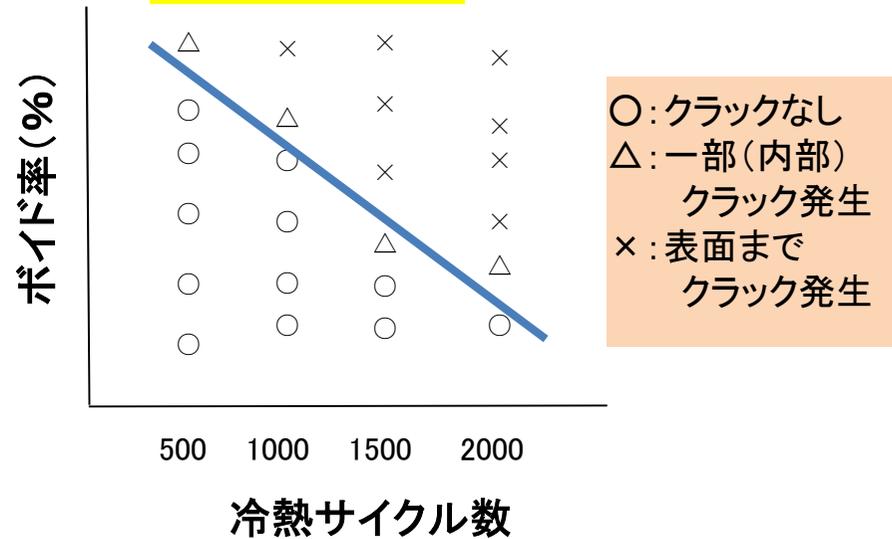
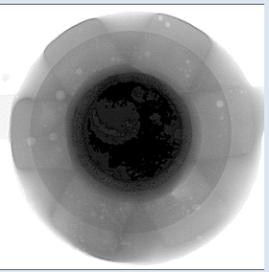
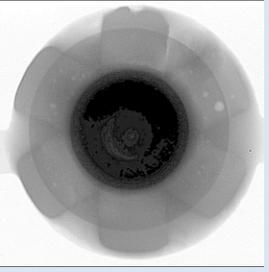
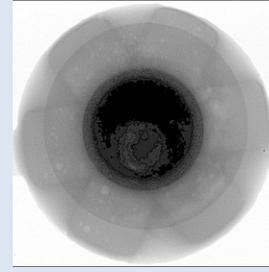
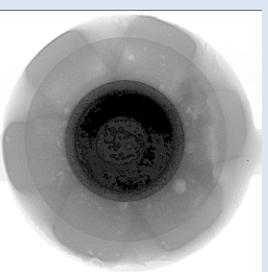
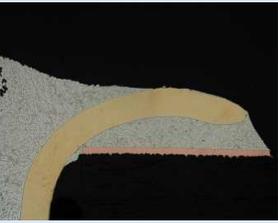
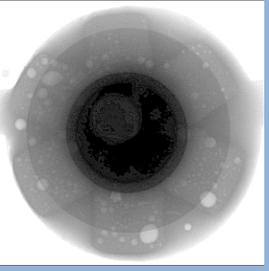
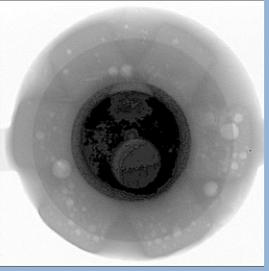
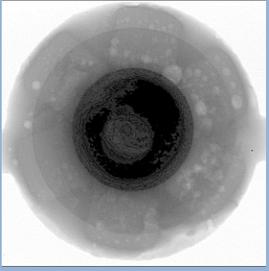
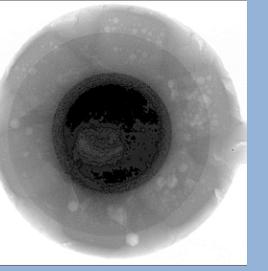
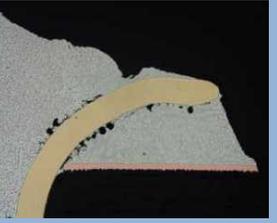


図6 ボイド率とはんだクラック(イメージ)

◆図6に示すように、  
 ボイド率が高いほど、少ないサイクル数ではんだクラックが入り始めれば、  
 ボイド量が多いほど、はんだクラックが入りやすいと考えることができる。

# 冷熱サイクル試験(ボイドを内包したはんだ)

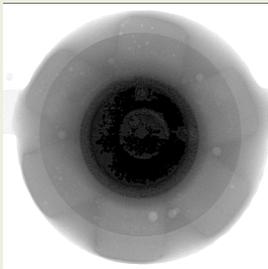
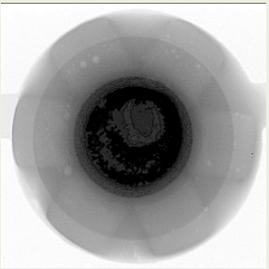
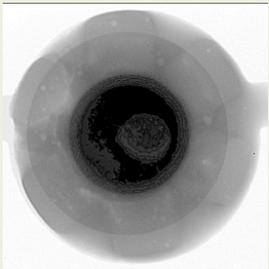
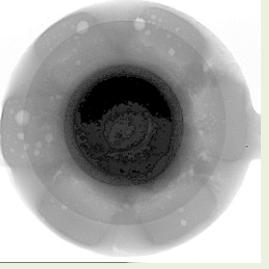
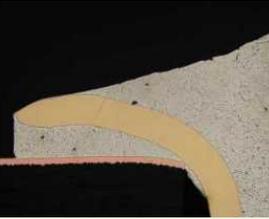
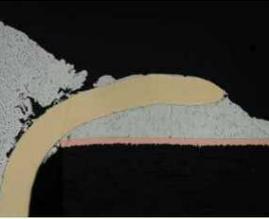
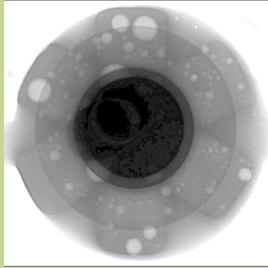
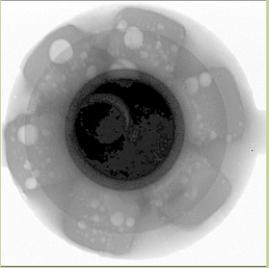
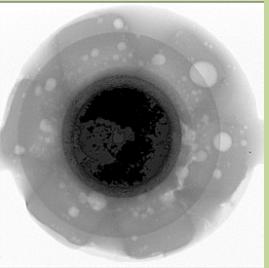
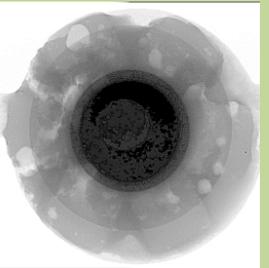
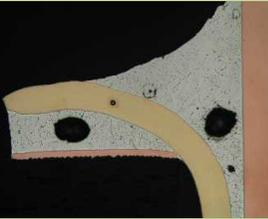
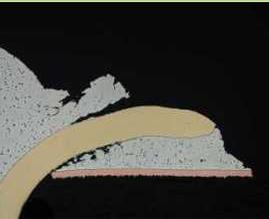
## <ボイド率とクラックの測定・観察の例> 3Agはんだ

		500サイクル		1000サイクル		1500サイクル		2000サイクル	
ボイド量が少ない試料の例	ボイド率		4.0 %		2.9 %		3.3 %		4.0 %
	クラック		○		○		○		△
ボイド量が多い試料の例	ボイド率		16.3 %		13.5 %		14.4 %		13.6 %
	クラック		○		○		△		△

○:クラックなし、△:一部(内部)クラック発生

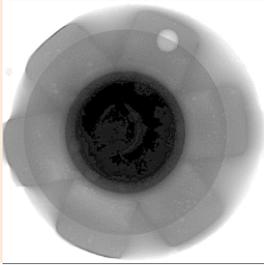
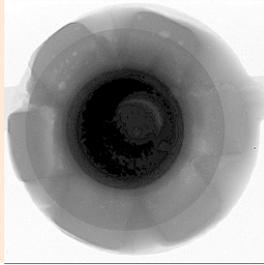
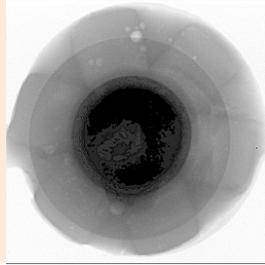
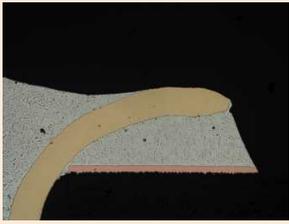
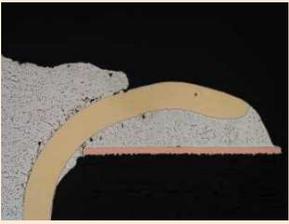
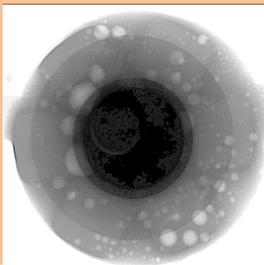
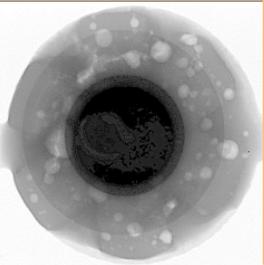
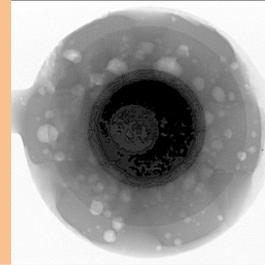
# 冷熱サイクル試験(ボイドを内包したはんだ)

＜ボイド率とクラックの測定・観察例＞ 0.3Agはんだ

		500サイクル		1000サイクル		1500サイクル		2000サイクル	
ボイド量が少ない試料の例	ボイド率		4.0 %		3.2 %		2.6 %		8.0 %
	クラック		○		○		△		△
ボイド量が多い試料の例	ボイド率		20.2 %		19.8 %		17.5 %		14.5 %
	クラック		○		△		△		△

# 冷熱サイクル試験(ボイドを内包したはんだ)

## <ボイド率とクラックの測定・観察例> 0Agはんだ

		500サイクル		1000サイクル		1500サイクル	
ボイド量が少ない試料の例	ボイド率		4.7 %		2.9 %		5.1 %
	断面		○		○		△
ボイド量が多い試料の例	ボイド率		27.7 %		18.9 %		18.7 %
	断面		○		△		△

# 冷熱サイクル試験(ボイドを内包したはんだ)

## <試験結果>

◆ハトメ部のボイド率とはんだクラックの測定・観察結果を図7のようにグラフ化すると、ボイド量が多いほど、はんだクラックが入りやすい傾向が得られた。

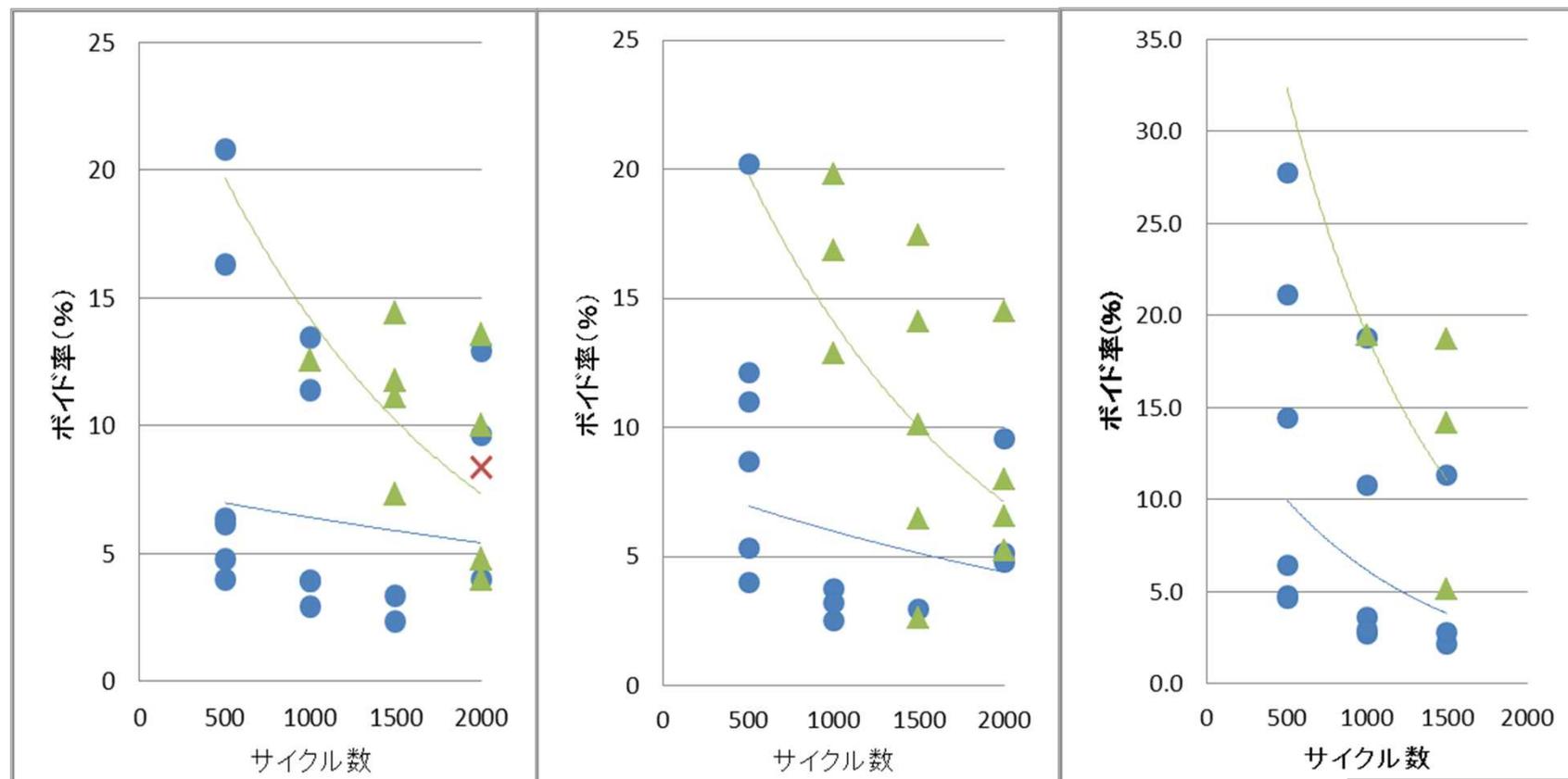


図7 ハトメ部のボイド率とはんだクラック  
(左:3Agはんだ、中央:0.3Agはんだ、右:0Agはんだ)

● クラック○      ▲ クラック△  
 × クラック×      — 指数(クラック○)  
 — 指数(クラック△)

# 冷熱サイクル試験

## ＜経年劣化データ収集分析結果＞

### ◆引け巣があるはんだについて

#### ＜表面観察結果＞

- はんだにシワが入り始める箇所(劣化箇所:ハトメ近傍のコイル内側)に引け巣があると、クラックに進展しやすい傾向があった。

#### ＜断面観察結果＞

- はんだにストレスが加わりやすい箇所(ハトメ部)に引け巣があると、クラックに進展する傾向にあった。

⇒引け巣が、ストレスのかかりやすい箇所(ハトメ近傍&コイル内側)にある場合は、クラックに進展しやすい。

### ◆ボイドを内包したはんだについて

- ボイド量が多いほど、はんだクラックが入りやすい傾向が見られた。
- はんだの組成による違いは見られなかった。

⇒ハトメ部に生じたボイド量が多いほど、はんだ接合寿命に影響を与えやすい。

# 冷熱サイクル試験 (まとめ)

## ◆成果

- ・引け巣やボイドのあるはんだの経年劣化状況における参考データが得られた。
- ・引け巣は、生じる場所によって、冷熱サイクルによる変化の大小に差があることがわかった。
- ・今回、ボイド量とはんだクラックが入るサイクル数の関係について、グラフ化による評価方法の有効性を確認できた。

## ◆活用方法

今後、事故調査において、はんだ不良が疑われる場合、撮影した写真と類似傾向が見られないか等の参考資料として活用する。

## ◆今後の課題

はんだ量の違い等、条件の違うデータを増やしていく必要がある。

## ◆事業者の方へ

- ・部品を含めた構造上、はんだにストレスが加わりやすい箇所の引け巣は要注意。  
⇒ 要注意箇所を把握し、必要に応じて、追いはんだなどが望まれる。
- ・ハトメ部のボイドは少ない方が良い。  
⇒ はんだに影響のない程度のボイド量を確認し、管理することが望まれる。