

# 放射光 X 線 CT によるひずみ分布計測に基づく はんだ接合部の熱疲労損傷評価

機械システム課 釣谷浩之 企画管理部 佐山利彦\*

コーセル (株) 高柳毅 岡本佳之 (公財) 高輝度光科学研究センター 上杉健太郎 富山県立大学 森孝男

## 1. はじめに

電子基板のマイクロはんだ接合部における熱疲労損傷が、電子機器の信頼性に大きな影響を与える要因となっており、マイクロ接合部の信頼性を非破壊で評価する技術の開発が急務となっている。はんだ接合部の熱疲労損傷の評価方法として、接合部のひずみ振幅を基にした評価手法が広く知られている。しかし、マイクロ接合部のひずみを実測することは非常に困難で、事実上不可能である。一方で、SEM 画像や光学顕微鏡画像を用いて、デジタル画像相関法を適用し同一試料の負荷状態の異なる 2 つの画像からひずみ分布を測定する試みが行われている。また、著者らはこれまでに、SPring-8 において開発されている、放射光光源を用いた非常に高分解能の X 線マイクロ CT 装置<sup>1)</sup> (以下、SP- $\mu$ CT) を用いて、マイクロはんだ接合部の観察、評価手法の開発を行っており<sup>2)</sup>、その過程で、Sn-Ag-Cu はんだ中の微小な Ag<sub>3</sub>Sn 相を明瞭に確認できることを見出している。そこで、Ag<sub>3</sub>Sn 相のような特徴部位の変位を基にデジタル画像相関法を用いてひずみの三次元的な分布を非破壊で計測し、はんだ接合部の寿命評価への適用を試みる。本年度は、SP- $\mu$ CT によって得られた画像を基にした、非破壊でのひずみ分布計測の実現の可能性を検証した。

## 2. 試験方法

観察に用いた試験体は、Si チップが FR-4 基板に直径約 120 $\mu$ m の Sn-3.0Ag-0.5Cu 鉛フリーはんだによってフリップチップ実装されたものである。この試験体を幅 0.3mm $\times$ 厚さ 1mm $\times$ 長さ 10mm に加工して使用した。はんだバンプのひずみの状態を変化させるために、この試験体に高温保持温度 125 $^{\circ}$ C、低温保持温度 -40 $^{\circ}$ C、保持時間 30min、

およびランプ時間 2min の熱サイクル負荷を加えた。

## 3. 変位ベクトルの粗探索による評価

デジタル画像相関法では、変形前と変形後の 2 つの画像からひずみの分布を計算する。SP- $\mu$ CT により撮影した画像が、デジタル画像相関法を適用可能な画質を有しているか確認するために、変形後の画像として以下の 2 種類の画像を用いて評価を行った。1) 全く同一の状態と同じ試験体をもう 1 度撮影した画像、2) 同一の試験体に熱サイクル試験を 1 サイクル加えたもの。各画像について、変位ベクトルの粗探索を行った。変位ベクトルの粗探索では、次式で表わされる、残差  $S$  を計算し、 $S$  が最小となる平行移動量( $u_0, v_0, w_0$ )を各画素について求めた。

$$S(u, v, w) = \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M \sum_{k=-M}^M |I_u(x+u+i, y+v+j, z+w+k) - I_d(x+i, y+j, z+k)| \quad (1)$$

ここで、 $I_u$  は変形前の画素値、 $I_d$  は変形後の画素値、 $M$  は探索に用いるサブセットのサイズ (画素数)、 $u, v, w$  はそれぞれ、 $x, y, z$  軸方向の変位である。

図 1 は、全く同一の状態での同一の試験体をもう 1 度撮影した画像を変形後の画像として用い、変位ベクトルの粗探索を行った結果を示す。(a) は変形前の画像として用いた再構成画像、(b) は変形後の画像として用いた再構成画像、(c) は、サブセットサイズ  $M$  を 5 ピクセルとした際の変位ベクトル( $u_0, v_0, w_0$ )の絶対値を示している。同一の試験体を同一の状態での撮影しているため、正しく計算が行われていれば、各画素での変位ベクトルの絶対値は 0 となるはずである。Ag<sub>3</sub>Sn 相やバンプ表面などの特徴点の周辺では、正しく計算が行われているものの、 $\beta$ -Sn 相のみが広がっている領域では正しく計算が行われていな

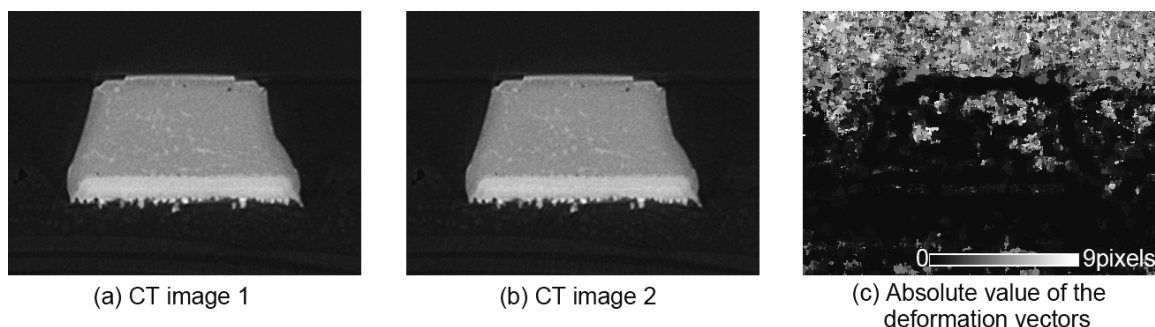


図 1 同一条件で撮影した再構成画像と変位ベクトルの絶対値の分布

\*現 電子技術課

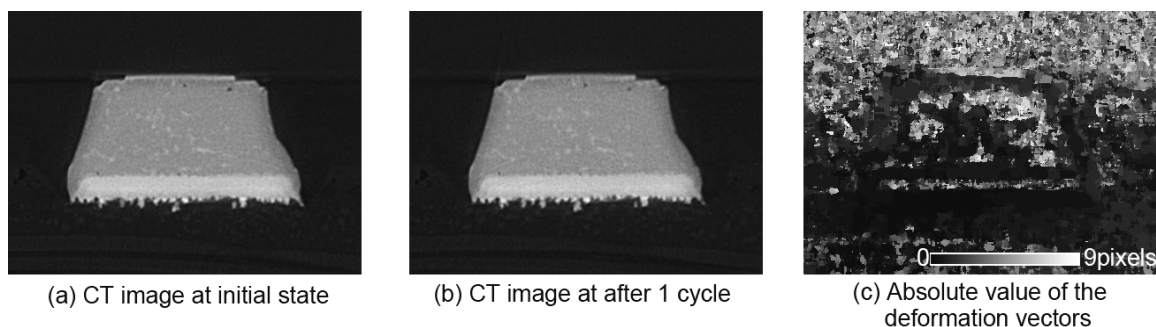


図2 初期状態および1サイクル負荷後の再構成画像と変位ベクトルの絶対値の分布

いことが分かる。

図2は、同一の試験体に熱サイクル負荷を1サイクル加えた後に撮影した再構成画像を、変形後の画像として、変位ベクトルの粗探索を行った結果を示す。(a)は変形前の画像として用いた再構成画像、(b)は変形後のものとして用いた1サイクル負荷後の再構成画像、(c)は、サブセットサイズ  $M$  を5ピクセルとした際の変位ベクトルの絶対値を示している。この例では、変形前の画像と変形後の画像で、実際にひずみが異なっている。そのため変位ベクトルの絶対値が、画像全域で0になることはない。また、変位の分布は連続的に変化すると考えられるので、計算が正しければ変位ベクトルは、滑らかに変化するものと考えられる。 $\text{Ag}_3\text{Sn}$ 相などの特徴点の周辺では、変位ベクトルの絶対値は滑らかに変化しており、計算が正しく行われているが、 $\beta\text{-Sn}$ 相のみが広がっている領域では、不連続な変化を示しており、正しく計算が行われていないことがわかる。

#### 4. まとめ

SP- $\mu\text{CT}$ により撮影した画像を用いて、変位ベクトルの

粗探索結果を評価したところ、 $\text{Ag}_3\text{Sn}$ 相のような特徴点の周囲では、デジタル画像相関法によるひずみ計測を、比較的高い精度で行うことができる見通しが得られた。今後は、実際にひずみの計算を行って最終的な評価を行う必要がある。また、追加の実験を行い、計測したひずみに基づいた熱疲労損傷の評価手法を開発を進める予定である。

#### 参考文献

- 1) Uesugi, K. et al., *Nucl. Instr. Method., Sec. A*, Vol. **467-468**(2001), pp. 853-856.
- 2) 釣谷浩之ほか, 機械学会論文集 (A), Vol. **75**, No.755(2009), pp. 799-806.

#### 謝辞

本研究における SP- $\mu\text{CT}$  を用いた放射光実験は、公益財団法人高輝度光科学研究センターの支援 (研究課題番号:2012B1490) を受け、SPring-8 のビームライン BL20XU において実施されたことを記し、謝意を表する。

キーワード：放射光マイクロ CT、デジタル画像相関法、ひずみ計測、非破壊評価、熱疲労損傷

### Development of 3D Strain Measurement Method by Synchrotron Radiation X-Ray Microtomography System

Hiroyuki TSURITANI, Toshihiko SAYAMA\* (Toyama Industrial Technology Center),  
Takeshi TAKAYANAGI, Yoshiyuki OKAMOTO (COSEL Co., Ltd.),  
Kentaro UESUGI (JASRI) and Takao MORI (Toyama Prefectural University)

In this work, a strain measurement of flip chip bumps based on synchrotron radiation CT images by using digital image correlation method was investigated. Two types of images were used as deformed images. The first image is a shot of an undeformed bump under the same condition. The second image is a shot of a deformed bump via thermal cyclic tests. The deformation vectors of these images measured by rough search show the possibility of strain measurement by digital image correlation method based on synchrotron radiation CT images.