

はんだ付部分における評価手法の確立

林和・矢澤歩*・青柳大志**

Establishment of Evaluation Methods for Soldered Parts
HAYASHI Yawara, YAZAWA Ayumu, AOYAGI Hiroshi

はんだ付部分の加速試験は 1～3 ヶ月という長期間を要する。それゆえシミュレーションを用いて破損箇所を事前に予測することで開発工数を大幅に削減可能である。そこで、はんだ付部分の実験的評価手法および有限要素法によるシミュレーション手法を構築することを最終目標とする。本報ではシミュレーションを行うための物性値取得方法の確立および適切なクリープモデルの選定について検討した結果を報告する。

キーワード：シミュレーション、FEM、ノートン則、クリープ試験、鉛フリーはんだ

Accelerated testing of soldered parts requires a long period of one to three months. Therefore, by predicting the damage location in advance using simulation, the development man-hours can be greatly reduced. However, some companies have not been able to conduct simulations of soldered parts due to reasons such as the time it takes to acquire physical property values for simulations and the lack of personnel who specialize in simulations. Therefore, the final goal is to construct an experimental evaluation method and a simulation method for the soldered part. In this report, establishment of the physical property acquisition method for simulation and selection of an appropriate creep model were investigated.

Keywords : Simulation, Norton law, Creep test, Lead-free solder

1 まえがき

近年、自動車は HEV、BEV などの電動化が急速に進んでいる。そのような車両に使用される電子部品の開発段階において、はんだ付部分が走行中の振動や熱疲労により破損しやすいという課題がある。

従来の評価手法は基板を冷熱衝撃試験にて評価し、破損がないことを確認しているが、冷熱衝撃試験は 1～3 ヶ月という時間がかかる。

それゆえシミュレーションを用いて破損箇所を事前に予測することで開発工数を大幅に削減することが可能である。しかし、シミュ

レーションを行うためには物性値取得に時間がかかることやシミュレーションを専門に行う人材の不足により、はんだ付部分のシミュレーションを実施できていない企業がある。

そこで群馬産業技術センターにてはんだ付部分の実験的評価手法および有限要素法 (Finite Element Method、以下 FEM) によるシミュレーション手法を構築し、これまで対応が難しかった問い合わせに対応することを本研究の最終目的とする。本報では物性値取得方法の確立および適切なクリープモデルの選定し、FEM にてクリープ試験を再現することについて検討した結果を報告する。

応用機械係

* 材料解析係

** 生産システム係

2 微小試験片を用いた物性値取得

2.1 微小試験片作製

本研究では Sn-3.0Ag-0.5Cu (mass%) を使用し、微小試験片を作製した。微小試験片の寸法を図 1、微小試験片作製過程を図 2 に示す。リール状に巻かれた $\phi 1.2\text{mm}$ の線はんだを 6mm 程度の長さに切出した。その後、切出したはんだを金型に入れ、230°C のホットプレートにて溶融させて直径 0.5mm、平行部長さ 2.0mm のダンベル型試験片を作製した。

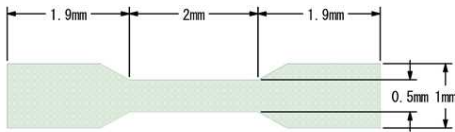


図 1 微小試験片寸法

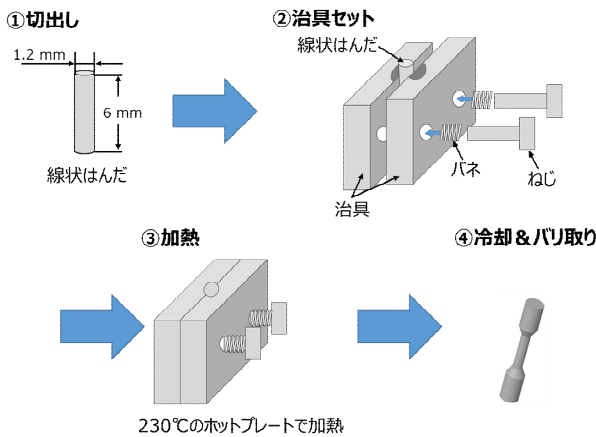


図 2 微小試験片作製方法

2.2 引張試験

作製した微小試験片を微小荷重試験機（鷺宮製作所製、LMH-207-10）にて、歪み速度 3 条件 ($1.0 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、 $1.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 、 $5.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$)、温度 3 条件 (25°C (室温)、80°C、120°C) にて測定を行った。歪み速度はクロスヘッドの変位にて制御を行った。

2.3 引張試験結果

図 3~5 に引張試験より求めた応力-ひずみ線図を示す。応力-ひずみ線図より温度が上がるほど最大応力は小さくなる傾向が確認された。

2.4 クリープ特性

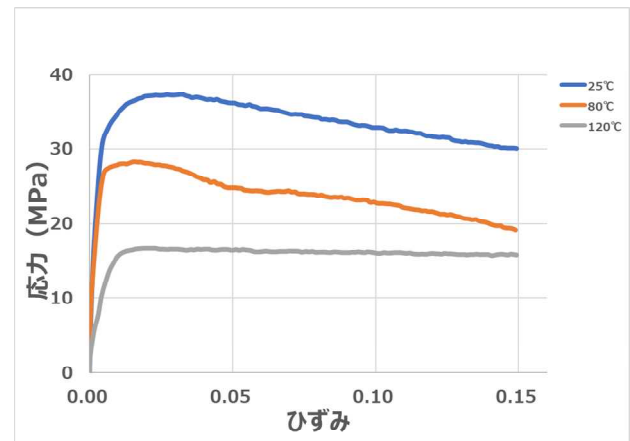


図 3 応力-ひずみ線図
(ひずみ速度： $1.0 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$)

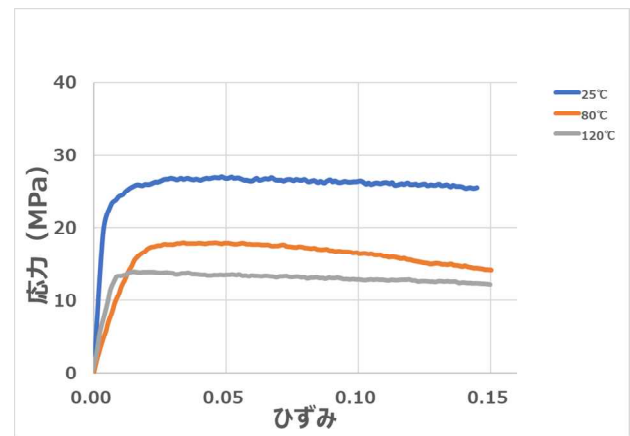


図 4 応力-ひずみ線図
(ひずみ速度： $1.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$)

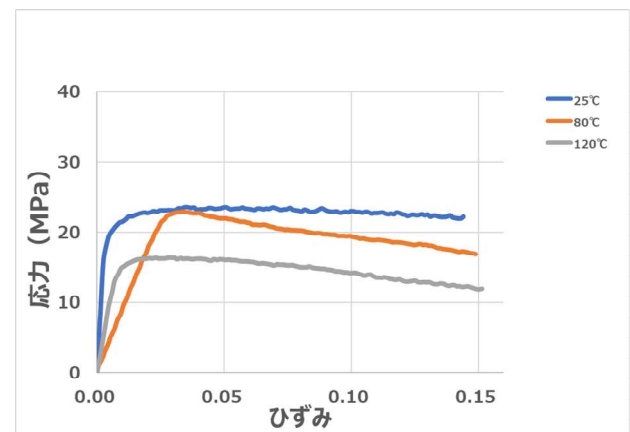


図 5 応力-ひずみ線図
(ひずみ速度： $5.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$)

2.4 クリープ特性

クリープとは外部から一定の荷重が長時間加わることで永久に変形し続け破断に至る現象で

あり、高温環境で発生しやすい現象である。また、はんだは低融点のためクリープが発生しやすい材料である。クリープを時間と伸びのグラフに示すと図 6 のようになる。

ここで、第 2 次の領域に注目すると、温度、荷重の変化はないが一定の割合でひずみが増加している。これは時間経過によりはんだ付部が破損する恐れのある現象であることから、第 2 次クリープを求めることは、クリープ特性を検証するうえでとても重要である。第 2 次クリープを表す式は主に一般化 Garofalo、指数関数、ノートン則がある。その中でノートン則は荷重、時間経過、温度変化が考慮され、かつ応力のべき乗で計算が単純であることから本報ではノートン則を使用する。

$$\dot{\epsilon} = A\sigma^n \quad (1)$$

ここで $\dot{\epsilon}$ は真歪み速度、 A は係数、 σ は真応力、 n は応力指数である。FEM を行うために必要な物性値は係数 A および応力指数 n である。図 7 は引張試験結果から真ひずみ速度と真応力の関係を算出し、両対数グラフに示したものである。各温度でプロットした点より近似直線を求め、係数 A と応力指数 n を求めた。表 1 に各温度での係数 A と応力指数 n を示す。応力指数 n 、係数 A とともに温度の上昇とともに増加する傾向は確認されなかった。温度上昇とともに係数 A 、応力指数 n 、どちらも増加すると想定していたが、今回の結果は予想に反した結果となった。この要因については今後の研究にてさらに調査する必要がある。

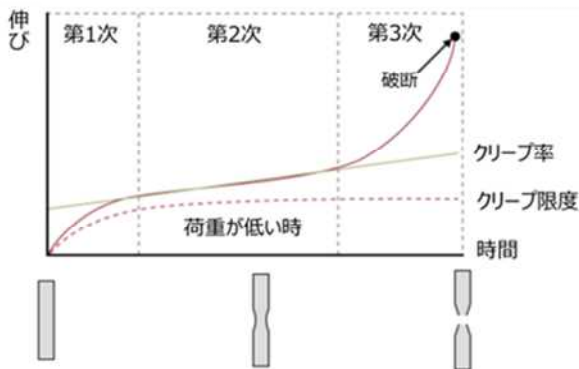


図 6 クリープ曲線

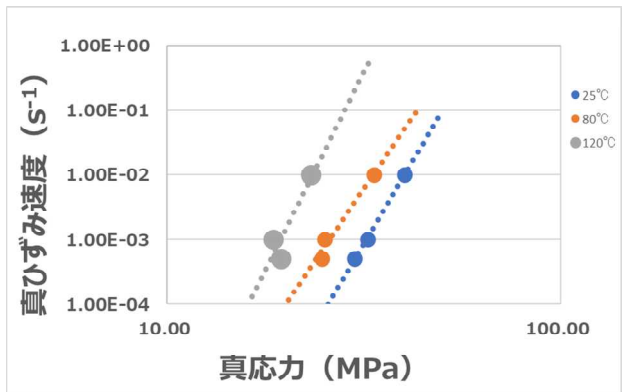


図 7 真応力-真ひずみ線図

表 1 クリープ物性値

温度 (°C)	係数 A (MPa/s)	応力指数 n
25	3.0×10^{-19}	10.3
80	2.0×10^{-16}	9.0
120	2.0×10^{-19}	12.3

3 FEM

3. 1 解析モデル

前節で得られた係数 A と応力指数 n を用いて 2.1 で作製した試験片と同一の寸法にてモデルを作製し、2.2 と同一の条件にて FEM を実施した。使用した解析ソフトは ANSYS Mechanical 2022 R2 である。図 8 に解析で使用したモデルを示す。解析の条件として固定は左側掴み部、右側掴み部に変位を与えて解析を行った。

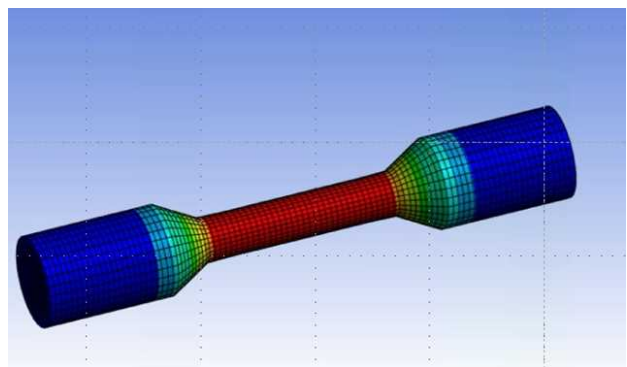


図 8 シミュレーションモデル

3. 2 解析結果

図9～11に2.3にて求めた応力-ひずみ線図に解析結果を加えた図を示す。同じ温度の引張試験結果と解析結果を比較すると応力-ひずみ線図の傾向が異なっている。現段階において、このことを論じるためのデータが不足しているため、今後追加の試験を行いながら検討を進めていきたい。

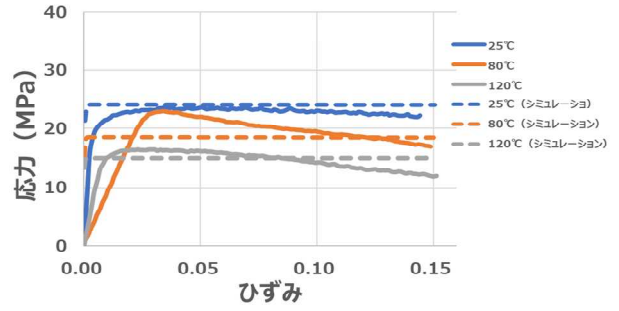


図11 応力-ひずみ線図
(ひずみ速度： $5.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$)

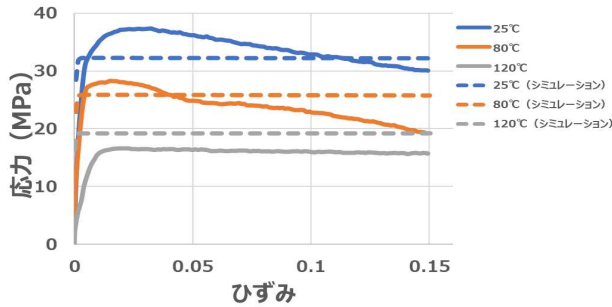


図9 応力-ひずみ線図
(ひずみ速度： $1.0 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$)

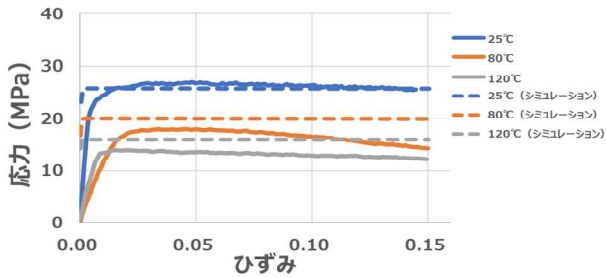


図10 応力-ひずみ線図
(ひずみ速度： $1.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$)

4 まとめ

本研究では、シミュレーションを行うための物性値取得方法の確立および適切なクリープモデルの選定について検討した。その結果、物性値は引張試験で取得し、シミュレーションは計算が単純なノートン則で解析することで実測データと解析データを得ることができた。

今後は解析条件の見直しを行うとともに実際にクリープ試験を実施して実測データと解析結果との整合性を向上させたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり貴重な御助言、微小荷重試験機の借用いただきました群馬大学大学院理工学府知能機械創製部門 荘司郁夫教授に感謝申し上げます。