

# D

## 数値シミュレーションの電子デバイス・電子機器への適用

近年CAE (Computer-Aided Engineering) 解析が一般の技術者の開発支援ツールとして広く用いられるようになってきた。前3報では、「コンピューターによる設計支援」<sup>1)</sup>、「音響、振動分野への応用」<sup>2)</sup>、「熱流動分野への応用」<sup>3)</sup>について掲載したが、今回は電子部品への適用例について紹介する。

### D-1

### はんだ接合部の熱疲労寿命

- 1) 清水泰洋：こべるにくす・技術ノート、Vol.5、(1996)、Apr.、p.5
- 2) 廣岡栄子：こべるにくす・技術ノート、Vol.5、(1996)、Oct.、p.5
- 3) 圓井英一：こべるにくす・技術ノート、Vol.6、(1997)、Apr.、p.6

近年長足の進歩を遂げた電子デバイスおよび電子機器の開発は、小型化、大規模・高集積化の連続であり、この相反する要求を満たすために新たな技術が導入されてきた。それに伴うさまざまな技術的課題へのアプローチ手法としてCAE技術が適用されている。

例えば、電子デバイスおよび電子機器の製造過程へのCAE技術の適用例を、(1)Si単結晶成長、(2)半導体素子、(3)半導体パッケージ、(4)基板実装、(5)機構部品の5つのレベルに分類すると、次のようになる。

(1)Si単結晶成長では、溶液内の熱流動制御および熱応力低減によって高品位単結晶を製造するために、溶融Siの熱流動シミュレーションや炉内および単結晶の伝熱・熱応力シミュレーションが適用されている。

(2)半導体素子の製造分野では、酸化、成膜、エッチング工程を最適化するために、拡散・熱応力シミュレーションが行なわれており、プロセスシミュレータとして広く普及している。

(3)半導体パッケージの製造分野では、パッケージ内部応力低減による界面剥離、ボンディング切断などの防止を目的として、封止工程、リフロー工程での熱応力解析、蒸気圧解析、き裂発生&進展解析が適用されている。

(4)基板実装分野では、はんだ接合部応力低減による長寿命化を目的として、熱応力解析および疲労寿命評価解析が適用されている。

(5)機構部分野でも、コネクタなど圧入部品の接触部品の評価に接触解析およびクリープ解析が、スイッチのフィーリング評価に大変形解析および座屈解析が適用されている。

これら電子デバイス・電子機器へのCAE技術の適用例の特徴として、(a)主に熱負荷による応力が問題となるケース、(b)異種材料を組み合わせた複雑な接合構造が問題となるケースなどがあげられる。その一例として、はんだ接合部の疲労寿命を検討したので紹介する。

電子機器の小型化・軽量化は、表面実装技術 (SMT, Surface Mount Technology) の進歩によるものであり、従来のスルーホール実装からSMTへの変革に伴って、高密度実装が可能なQFP(Quad Flat Package)型パッケージなどが使用されている。こ

のパッケージ形状の変化により、パッケージと基板のはんだ接合部に発生する熱応力が大きくなり、はんだ接合部の熱疲労に対する信頼性評価は重要な課題となっている。そこで、抵抗チップ部品および4辺をリード接合したQFP型パッケージのはんだ接合部を対象に、はんだの低サイクル疲労特性と応力解析結果から熱衝撃試験結果を推定するための可能性を検討した。

### 実験方法

#### <はんだ素材の機械的疲労試験>

ボンディングに使用した共晶はんだ (Pb37%、Sn63%) 素材の低サイクル疲労試験を行い、はんだ単体での歪範囲・寿命特性を測定した。

負荷波形は歪速度一定の三角波とし、歪速度は熱サイクル試験の昇温・降温時間間隔 (2 min = 120sec) とチップ部品の応力解析結果 (き裂発生評価部位で約1%) を考慮し、この時の平均歪速度 (1/120 ≒ 0.01%/sec) とほぼ等しい0.02%/secとした。

疲労試験結果はCoffin-Manson則で定式化し、塑性歪振幅と疲労寿命の関係として式(1)を得た。

$$N_f = 4.94 \times 10^2 \times \Delta \epsilon_{cr-eq}^{-2.23} \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

$N_f$  : 疲労寿命 (50%荷重低下寿命)

$\Delta \epsilon_{cr-eq}$  : 非線形歪範囲

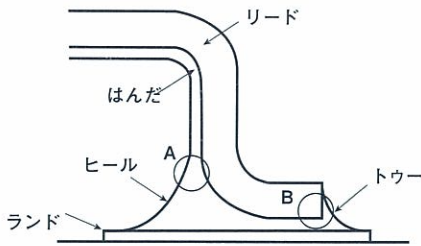
#### <基板の熱衝撃サイクル試験>

熱衝撃試験に供した試験体は、ガラスエポキシ (FR-4)基板に3216型チップおよびQFP型パッケージを共晶はんだ (Pb37%、Sn63%) で実装した。QFP型パッケージは、熱疲労寿命に及ぼすはんだフィレット形状の影響を調べるために、はんだ塗布時のマスク開口率を100%、80%および60%として、はんだ量を変更した。

また、ランド形状を変更してフィレット形成位置を変更し、ヒール部もしくはトゥー部のみにフィレットを形成した試験体も作製した。接合部の模式図を第1図に示す。

試験条件はJIS C 0025の温度変化試験方法に準拠して設定した。一般に電子機器の評価試験は低





第1図 QFPはんだ接合部の模式図

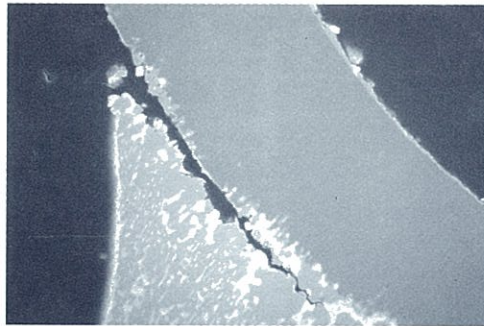
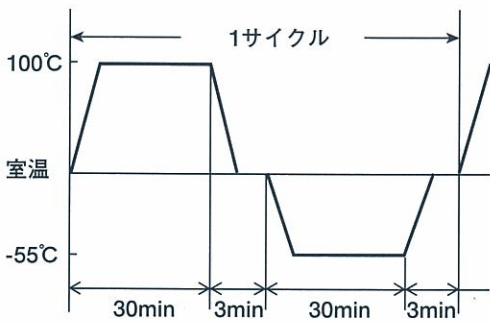
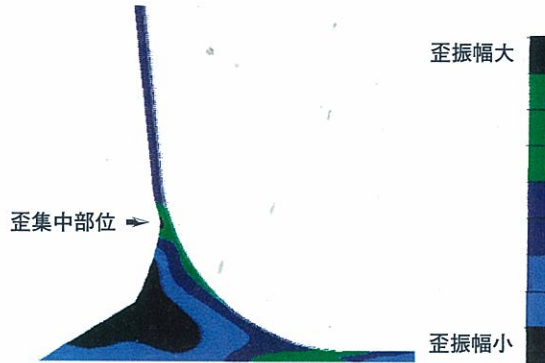


写真1 熱サイクル試験後のQFPはんだ接合部 (第1図のA部)

温-40℃、高温85℃で500サイクル程度行われるが、本試験でははんだ接合部の損傷を加速するために、温度条件を一般的な試験条件より厳しく設定し、低温-55℃、高温100℃とした。温度パターンを第2図に示す。



第2図 熱衝撃サイクル試験温度パターン



第3図 QFPはんだ接合部相当クリープ歪範囲分布図(第1図のA部)

## 数値解析方法

熱衝撃試験ではんだ接合部に発生する応力および歪を把握するために、はんだのみクリープ特性を考慮した粘弾性体とし、その他の材料は弾性体と近似して粘弾性解析を行った。

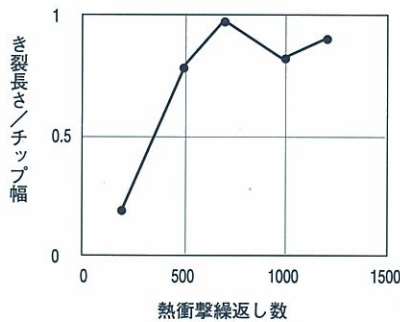
なお、はんだのクリープ特性はNorton則<sup>9)</sup>とし、汎用FEM解析ソフトのABAQUSを使用して計算した。

## 実験および解析結果

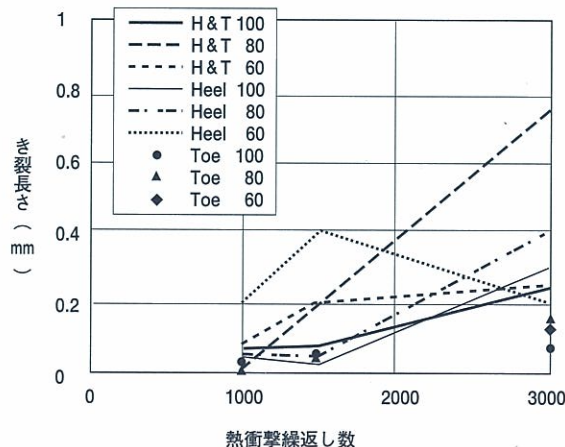
QFP型パッケージのはんだ接合部を例に、熱サイクル試験後のはんだ接合部の断面を写真1に、応力解析で求めた相当クリープ歪範囲分布図を第3図に示す。応力解析結果で歪が集中する部位にき裂が発生していることがわかる。

### <基板の熱衝撃サイクル試験>

200、500、700、1000、1200サイクルでチップ20個のはんだフィレット表面およびはんだ接合部断面を観察した。チップ幅で無次元化したフィレット上端部表面でのき裂長さの履歴を第4図に示す。この図より、チップ部品では200から500サイクルの負荷で、き裂がチップ幅まで成長していることがわかる。



第4図 チップ部品はんだ接合部のき裂進展履歴



第5図 QFP部品はんだ接合部のき裂進展履歴

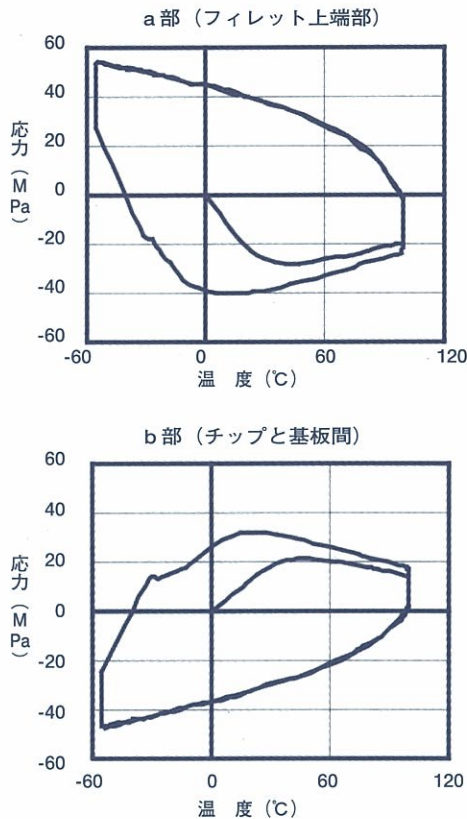
4) 向井ほか3名,日本機械学会講演論文集, No.910-79, (1991), p.223



いっぽう、QFP型パッケージについて1000、1500および3000回の熱サイクルを负荷した試験体の接合部断面を対象に、SEM (Scanning Electron Microscopy) 観察した。き裂の進展状況を第5図に示す。

#### <応力解析結果>

チップの応力解析結果によれば、温度サイクルによりフィレット上端部 (a部) およびチップと基板の間 (b部) に相当クリープ歪振幅 ( $\Delta \epsilon_{cr-eq}$ ) が集中した。これらのaおよびb部位での相当応力と温度の関係は第6図となる。



第6図 チップ部品はんだ接合部での応力-温度関係

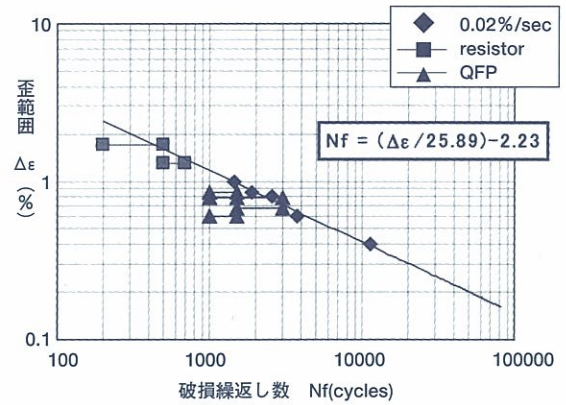
この図からわかるように、フィレット上端部とチップ/基板間では、温度変化に伴う発生応力の位相が異なり、フィレット上端部 (a部) は高温で圧縮、低温で引張になるout-of-phase型熱疲労となるのに対し、チップ/基板間が高温では引張、低温で圧縮になるin-phase型熱疲労となる。

QFP型パッケージでは、温度サイクルによりヒール部のリード付け根 (第1図のA部) とトゥー部のリードとランドの間 (第1図のB部) に相当クリープ歪振幅 ( $\Delta \epsilon_{cr-eq}$ ) が集中した。この歪集中部での温度と応力の位相は、A部では高温で圧縮に、低温で引張 (out-of-phase型) となり、B部では高温で引張に、低温で圧縮 (in-phase型) となる。

#### <寿命推定>

はんだ母材の低サイクル疲労試験でえられた疲労寿命(式(1))と、熱衝撃試験と応力解析の両方の結果から整理したき裂発生寿命を第7図に示す。

チップ部品について、はんだ母材の疲労寿命と、熱衝撃試験と応力解析により整理したき裂発生寿



第7図 寿命評価結果

命を比較すると、out-of-phase型のフィレット上端部 ( $\Delta \epsilon = 2.8\%$ ) のき裂発生寿命は、高温と低温の平均温度に近い室温での低歪速度 (0.02%/sec) のはんだ母材のS-N曲線の延長線とほぼ一致する。いっぽう、in-phaseとなるチップ/基板間 ( $\Delta \epsilon = 0.86\%$ ) のき裂発生寿命は、発生応力および歪がフィレット上端部より小さいにもかかわらず短くなる。

これは、in-phase型熱疲労の寿命は高温の低サイクル寿命との相関を示す場合が多く、高温では周波数依存性が大きくなることから、in-phase型は最高温での低歪速度の疲労特性、もしくは温度と応力の位相を一致させた熱疲労試験での疲労特性との比較が必要と考えられる。

また、QFP型パッケージのヒール部について応力解析から推定した寿命と熱サイクル試験の寿命とを比較すると、両方の差は小さく、式(1)はチップ部品だけでなくQFP型パッケージについてもout-of-phase型となるヒール部の寿命推定に利用可能と思われる。

以上をまとめると、表面実装したチップ部品およびQFP部品のはんだ接合部を対象に、はんだ接合部の熱衝撃試験結果を推定することの可能性を検討した結果、熱衝撃試験時のはんだ接合部のき裂発生寿命は、歪振幅に加えて温度変化と発生応力の位相にも依存し、位相の一致するin-phase型熱疲労の寿命が、位相の反転するout-of-phase型熱疲労より短くなることが示唆された。また、out-of-phase型熱疲労のき裂発生寿命は粘弾性解析で得られるクリープ歪振幅および室温ではんだ母材の低サイクル寿命から推測可能なことが示唆された。

表面実装したチップ部品およびQFP型パッケージのはんだ接合部を例に、CAE (Computer-Aided Engineering) の電子部品への適用例を報告した。現在では、はんだ接合部へより大きな熱負荷が作用するBGA (Ball Grid Array) が多用されていることから、エレクトロニクス分野でのCAE技術は重要性が増しつつあり、実験が困難な分野への適用がより有用になるものと考えられる。

[受託研究事業部 CAE研究部 井上隆夫]