

電子機器のはんだ接合部耐温度サイクル性能の設計について

コーセル株式会社
岡本佳之

1. テーマ選定理由

1.1 はじめに

当社では、事前設計にシミュレータを積極的に活用するようになってきており、はんだ接合部の温度サイクル寿命の検討にもシミュレータを活用し始めた。ところが、シミュレータでは寸法・物性等各因子が中心値での計算であり、ばらつきを考慮していない。従って、計算結果が判定基準に対し問題が無くても実物ではばらつき、設計評価でNGあるいは市場不良となる可能性がある。一方、ばらつきを考慮し多くのモデルを計算することは解析コストから非現実的である。これらの問題を解決するために、本テーマを採り上げ活動することとした。

1.2 はんだ接合部の温度サイクル寿命と評価内容について

(1) はんだ接合部の温度サイクル寿命

温度サイクル寿命とは、はんだ接合部がき裂によって導通不良となることを意味する。以下に導通不良に至るメカニズムを示す。

電源ON/OFFや周囲温度変化によって、各部品の温度が変化する。

たとえば温度が上昇する場合。

各部品（材料）の線膨張率が異なるため、チップ部品の場合、

基板の伸びが大きく、チップのセラミックは伸びが小さい。

この差によってはんだに応力が発生する。

発生した応力を緩和するように、はんだにひずみが生じ、

そのひずみが繰り返し与えられることでき裂が発生する。

発生したき裂が繰り返し負荷で進展し、導通不良に至る。

(2) 温度サイクル評価

評価では冷熱衝撃試験機に製品を投入し、図 1.2 に示すように、

-40 で30分、125 で30分を1サイクルとして

繰り返し熱による負荷を与える試験を実施している。

1.3 耐温度サイクル性能の事前設計

現在、社内においては、試作をしてから温度サイクル評価ではんだ接合部に異常がないか確認している。評価後半でNGであった場合、長期にわたる再試験となり、手戻りの影響が大きい。そこで、耐温度サイクル性能を事前設計することで、この手戻りがなくなり、評価では問題のないことを確認するだけになると考えられる。

また、より品質のよい製品を設計することで、

ユーザーへの迷惑を低減することができる。

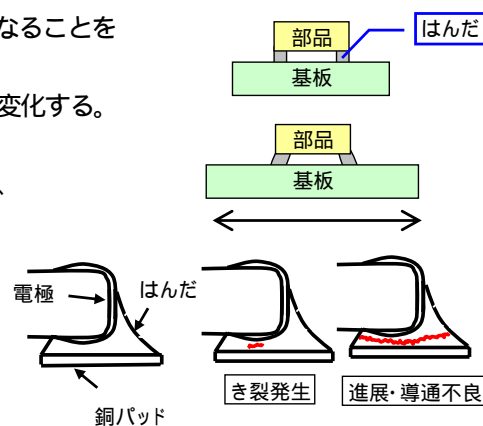


図 1.1 導通不良のイメージ

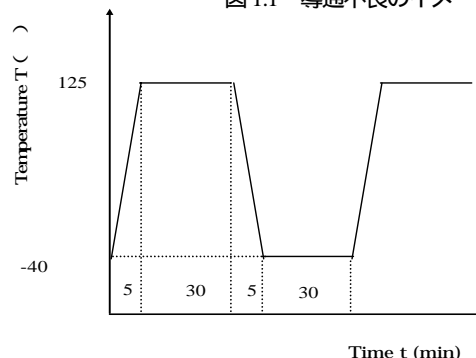


図 1.2 温度サイクル負荷条件

2. 課題の明確化

2.1 耐温度サイクル性能の事前設計イメージ

(1) 現状の設計方法

図 2.1 に現在の設計の流れを示す。耐温度サイクル性能に関しては設計しておらず、評価で確認している。
 図中の新規部品選定と、パッド設計は設計者の意思で変えることが可能である。

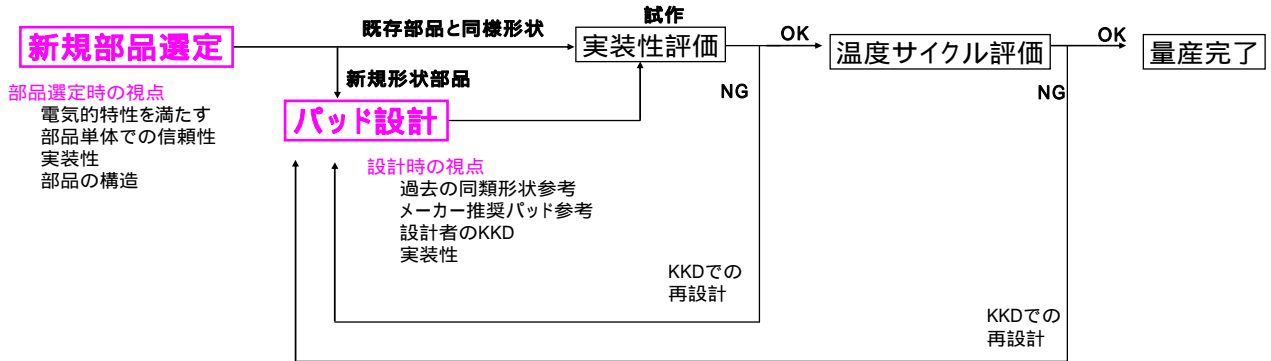


図 2.1 現状の設計の流れ

(2) 設計者が関与する項目

パッド設計および部品選定に関し、設計可能な項目は”構造”と”材料”に分けられる。(図 2.2 参照)
 これらの構造や材料に対し事前検討するために、構造計算が可能である FEM (有限要素法) シミュレーションを活用する。

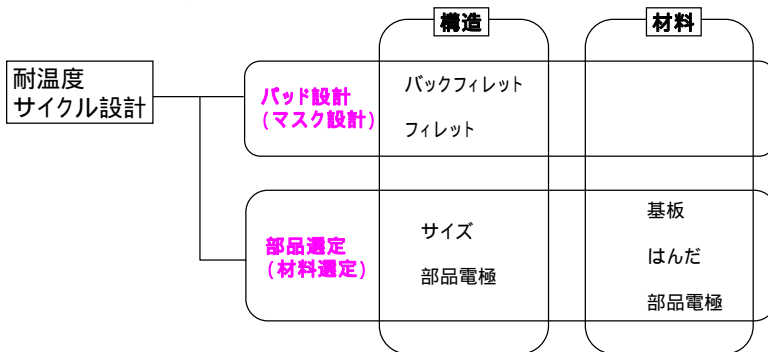


図 2.2 設計可能項目の層別

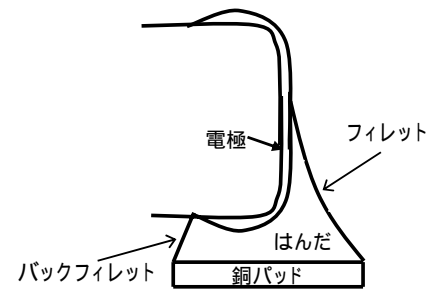


図 2.3 はんだ接合部の各部名称

(3) FEM による設計の問題点と安全率の適用

当社で想定される FEM 活用の設計手順は以下のとおりである。

温度サイクル評価での目標サイクル数を決める。

目標サイクルのうち、き裂発生までのサイクル数を求め、Coffin-Manson 則よりひずみ幅を求める。

FEM による計算で所定のひずみ以下となるようにパッド設計と部品選定を行う。

しかし、この設計方法では計算時のモデルに構造や材料物性のばらつきが考慮されていない。

また、ばらつきを考慮して多数設計計算したとしても、温度サイクル数の目標値が、ユーザーの要求品質レベル向上により変わる可能性があり、都度計算し直すことは手間である。

そこで、これらの問題を解決するために、機械系の応力に用いられる安全率の適用を検討する。

安全率 S を設定することで、材料のばらつきや形状のばらつきなどに対しマージンを確保した設計が可能となる。

この安全率 S をはんだのひずみに適用する。

$$S = \frac{N_{f-tyr}}{N_{f(3\sigma)}} = \frac{\epsilon_{need}}{\epsilon_{allow}} \left(\text{安全率} = \frac{\text{寿命分布の中心値}}{\text{寿命分布のばらつき下限}} = \frac{\text{目標サイクルとなるひずみ値}}{\text{ばらつきなどを考慮した許容できるひずみ値}} \right)$$

安全率 S を求めるために、ばらつきを考慮した $allow$ を求め、この許容ひずみを設計の判定基準値とする。

2.2 対象部品の選定

allowを求める上で、理想的には全ての部品種類について検討すべきだが、まず市場で弱い部品に着目して求める。当社にデータが存在する過去13年分の部品種類別はんだクラック発生状況を図2.4に示す。面実装部品のチップ抵抗とリード部品である部品Bで上位80%を占めている。今後設計する電源の構造からより重要性の高い面実装のチップ抵抗を対象部品とする。(現時点では、部品Bの構造は今後無い)

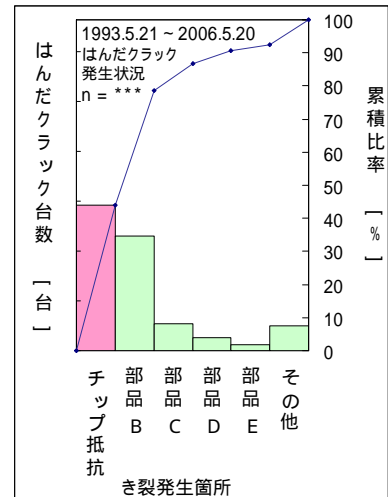


図2.4 部品種類別はんだクラック発生状況

2.3 ばらつき因子について

(1) 製造ばらつきによるもの

図2.5に、はんだひずみに影響を及ぼす製造ばらつきの因子を示す。1),2) 併せて、部品側の構造ばらつき因子も示す。パッド長さについては、はんだの寸法であるX3とX4で表されるものとし、パッド厚みに関しては、ばらつき幅よりも銅箔厚の選択の幅18,35,70,105 μ mのほうが一桁程度大きいいため、ばらつき因子としては採り上げないこととする。以上をまとめて形状による効果と総称する。

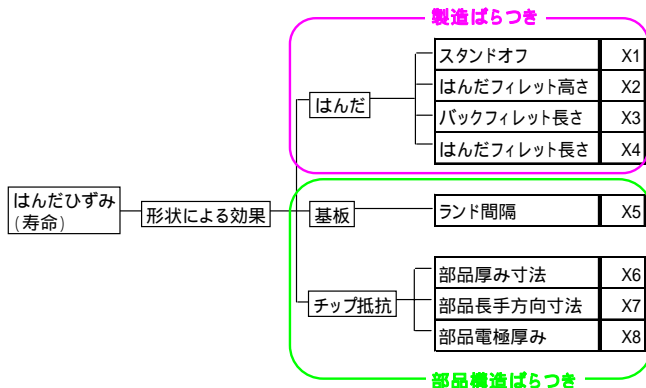


図2.5 形状によるひずみへの影響因子

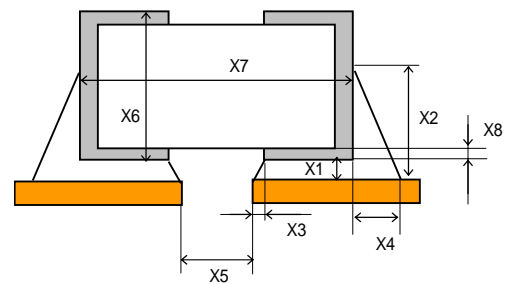


図2.6 各因子説明図

(2) 物性ばらつきによるもの

図2.7に、はんだ寿命に影響を及ぼす材料物性ばらつきの因子を示す。温度サイクル時にはんだに生じる応力は、ヤング率Eと線膨張係数と温度Tで決まる。この内、物性値としてはヤング率および線膨張係数が挙げられる。今回、構成部材の内、寿命に寄与すると考えられる部材を対象とした。(なお、都合により形状と物性を分けて解析したため、表記上、因子Xnが重複していますが、ご了承ください。)

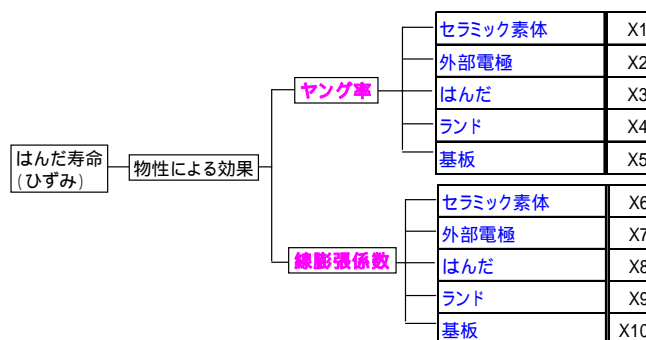


図2.7 材料物性によるひずみへの影響因子

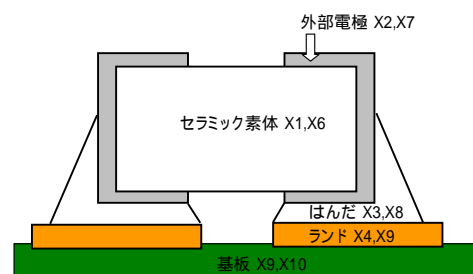


図2.8 各因子説明図

3. 目標設定

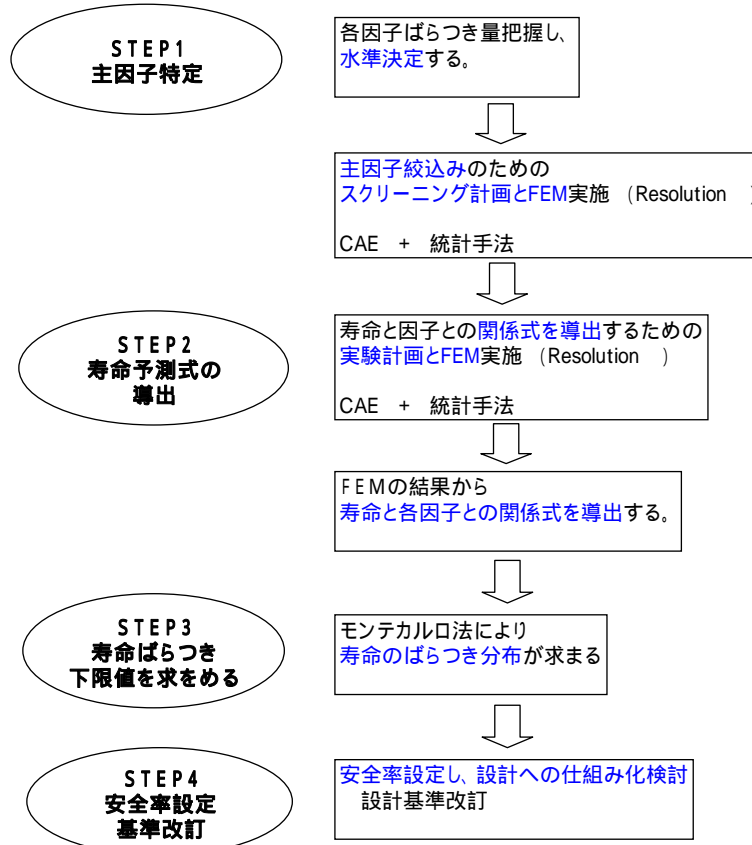
はんだ接合部への安全率設定と許容ひずみ値の導出。

期限：2008年04月18日

4. 方策立案

4.1 対策のストーリー

以下に対策のストーリーを示す。^{3),4),5)} 対策は大きく4つのSTEPに分けられる。STEP3までは、都合により”製造ばらつきによる寿命ばらつき”を求めた後に、“物性ばらつきによる寿命ばらつき”を求め、両方の影響を考慮した上でSTEP4に進む。STEP4では、安全率を求め設計基準への落とし込みを行う。



5. 対策実施

5.1 製造ばらつきについて

5.1.1 はんだ寿命を決める主因子特定のためのスクリーニング

(1) 各因子のばらつき量把握のための寸法測定

n=54のサンプルを断面研磨し寸法を測定した。なお、サンプル製作には150 μ mのマスクを使用した。

測定結果より、測定値の最小値を水準1に、最大値を水準2に決定した。因子X5およびX7については仕様値の上下限を水準値とした。各因子の決定値を表5.1に示す。

表5.1 各因子の水準値

	水準1 [μ m]	水準2 [μ m]
X1	8	27
X2	498	530
X3	110	206
X4	367	404
X5仕様値	1700	1900
X6	518	549
X7仕様値	3000	3400
X8	6	12

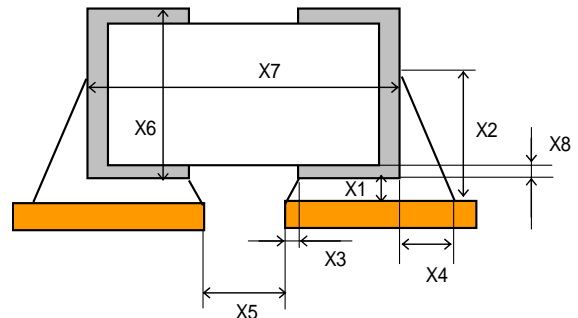


図5.1 各因子説明図

(2) スクリーニングのための計画とFEMの実施

主因子を特定するスクリーニングを実施するために、表5.2に示すような Plackett and Burman 計画を立てた。なお、表5.2は水準値をコード化して表示している。計画表に従い12回のFEMを実施した。例として、ひずみ値が最大であった実験No.7のはんだ非弾性ひずみ分布結果を図5.2に示す。

表5.2 Plackett and Burman 計画表

No	実験順序	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	特性値1
1	1	1.000	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	1.000	
2	2	1.000	1.000	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	
3	3	-1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	
4	4	1.000	-1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	
5	5	1.000	1.000	-1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	-1.000	
6	6	1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	1.000	-1.000	-1.000	
7	7	-1.000	1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	1.000	-1.000	
8	8	-1.000	-1.000	1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	1.000	
9	9	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	
10	10	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	1.000	1.000	-1.000	
11	11	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	1.000	1.000	
12	12	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	

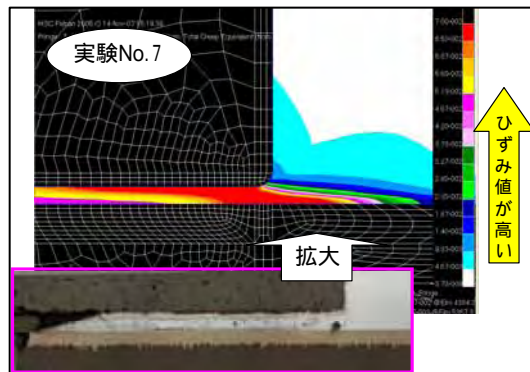


図5.2 実験No.7のひずみ分布

(3) スクリーニングの結果と考察

FEMシミュレーションでは、通常の実験にあたる計算を繰り返しても誤差が生じない。このため分散分析できず寄与率を出すことが出来ない。そこで、重回帰分析によって各因子の影響度を求めることとする。12回のFEMの結果から、標準偏回帰係数求め、これをパレート図にしたものを図5.3に示す。図よりX1,X7,X8の上位3因子で影響度の93%を占めている。特にX1の影響度が81%と大きい。X1,X8に関しては、負荷形態がせん断のため、厚みの影響が大きかったと考えられる。電極厚みX8は電極のヤング率がはんだより大きいため、はんだほど変形には寄与しないと考えられる。また、X7が変わると、ひずみの集中する電極下コーナー部の位置が部品長手方向で変化し、その結果、線膨張係数差の影響が変わるため影響度が大きかったと考えられる。同じ長手方向寸法でもX7が効いてX5が効きにくい理由としては、X5が変わってもパッド間隔が変わるだけで、電極下コーナー部のひずみ集中箇所が変わらなかったためと考えられる。

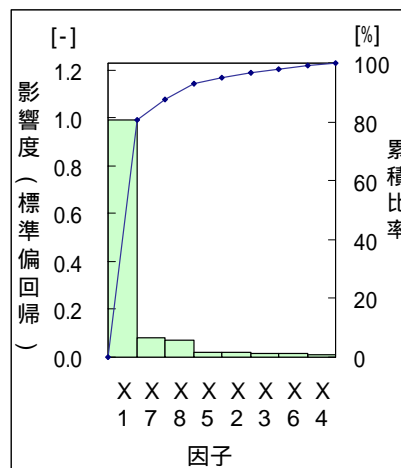


図5.3 影響度のパレート図

以上より、影響度の大きいX1,X7,X8で寿命予測式導出のための計画を立てる。他の因子は値を振っても影響は小さいので中心値に固定する。

5.1.2 はんだ寿命予測式の導出

(1) 予測式導出のための計画

モンテカルロシミュレーションで寿命分布を求めるために、より精度の高い寿命予測式を求める。予測式の導出には実験効率を考え、Box and Behnken 計画を用いることとした。表5.3にコード化した Box and Behnken 計画表を示す。作成した Box and Behnken 計画表に従い13回のFEMを実施し、得られた結果の重回帰分析から、以下の寿命予測式を得た。⁶⁾ なお、1次項と交互作用項、1次項と2次項の相関による偏回帰係数の推定精度低下を避けるため、交互作用項および2次項の中心化を行った。予測式の自由度調整寄与率は $R^{*2}=0.981$ と高い値となった。

$$N = 33.26X_1 - 0.521X_7 + 2.262X_8 - 0.035(X_1 - 17.2)(X_7 - 1600) + 0.815(X_1 - 17.2)(X_8 - 8.1) + 0.014(X_7 - 1600)(X_8 - 8.1) - 0.131(X_1 - 17.2)^2 + 0.001(X_7 - 1600)^2 + 2.983(X_8 - 8.1)^2 + 808.613$$

表5.3 Box and Behnken 計画表

No	実験順序	X1	X7	X8	特性値1
1	1	-1.000	-1.000	0.000	
2	2	-1.000	1.000	0.000	
3	3	1.000	-1.000	0.000	
4	4	1.000	1.000	0.000	
5	5	-1.000	0.000	-1.000	
6	6	-1.000	0.000	1.000	
7	7	1.000	0.000	-1.000	
8	8	1.000	0.000	1.000	
9	9	0.000	-1.000	-1.000	
10	10	0.000	-1.000	1.000	
11	11	0.000	1.000	-1.000	
12	12	0.000	1.000	1.000	
13	13	0.000	0.000	0.000	
14	14	0.000	0.000	0.000	
15	15	0.000	0.000	0.000	

(2) 予測式による寿命の応答曲面

得られた予測式より、各因子が寿命にどのように影響するのかを可視化するために、応答曲面を描いた。一例として、因子 X1 (電極下はんだ厚み) と因子 X7 (部品長手方向寸法) での応答曲面を図 5.4 に示す。縦軸は 100 ~ 1100 まで 100 サイクル毎に区切ったき裂発生寿命である。図より、X1 は寿命に対し線形に効き、大きいほど良い。一方、X7 は X1 が 20 μm 付近までは影響しないが、X1 が 20 μm を超える付近から影響し、30 μm 付近では、X7 の影響が大きく X7 の値により 200 サイクル程度寿命がばらつく。同様に、X1 と X8 および、X7 と X8 の応答曲面を作成したが、特に相関は見られなかった。

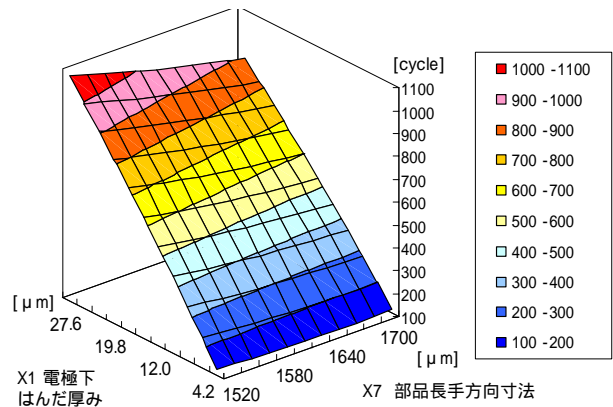


図 5.4 X1 と X7 での応答曲面

5.1.3 モンテカルロ法によるはんだ寿命のばらつき予測

予測式を用いてモンテカルロシミュレーションを 5 万回^{1),2)} 実施し、寿命のばらつき分布を求めた。結果を図 5.5 に示す。併せて、累積度数分布も四角プロットで示す。従来の中心値でのシミュレーションでは累積度数分布 50% である $N_{f-typ} = 474$ サイクルで判定していたが、今回、統計手法を用いることで寿命分布の予測値が求まり、この分布の 3 での寿命 $N_f = 277$ サイクルとの比をとることで、寿命が何割低下するか求めることができる。求めた結果、ばらつきによって中心値の 58% に低下することがわかった。

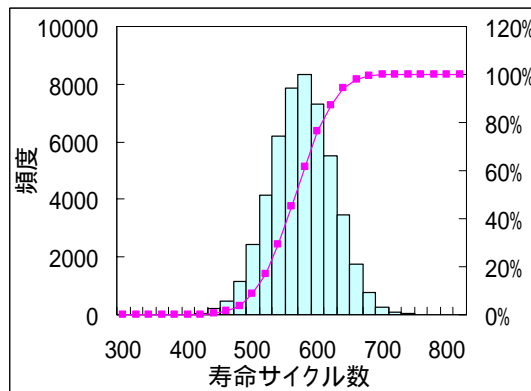


図 5.5 製造ばらつきによるはんだの寿命分布

$$N_f = N_{f-typ} \times 0.58$$

ばらつき下限側の寿命 中心値での寿命 形状のばらつきによる影響

5.2 物性ばらつきについて

5.2.1 はんだ寿命を決める主因子特定のためのスクリーニング

(1) 各因子ばらつき量の調査

10 因子のばらつき量を把握するために、各メーカーに物性値とばらつきを確認した。調査結果より、ばらつき範囲の最小値を水準 1 に、最大値を水準 2 とした。各因子の決定値を表 7.1 に示す。

表 5.4 各因子の水準値

			水準 1	水準 2
X1	ヤング率 [MPa]	セラミック素体	288000	352000
X2		外部電極	184500	225500
X3		はんだ	31600	51600
X4		ランド	118800	145200
X5		基板	21000	25000
X6	線膨張係数 [10 ⁻⁶ /]	セラミック素体	6.84	7.56
X7		外部電極	11.97	14.63
X8		はんだ	20.2	23.2
X9		ランド	15	17
X10		基板	13.5	16.5

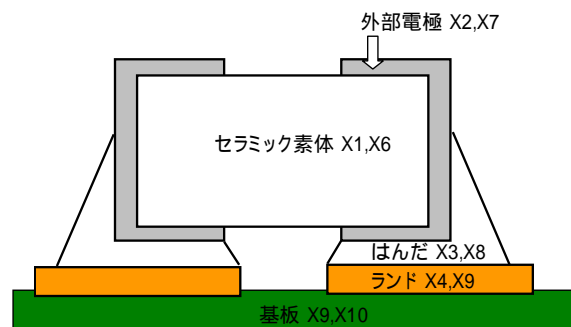


図 5.6 各因子説明図

(2) スクリーニングのための計画とFEMの実施

主因子を特定するスクリーニングを実施するために、表 5.5 に示す Plackett and Burman 計画を立てた。なお、表 5.5 は水準値をコード化して表示している。

表 5.5 Plackett and Burman 計画表

No	実験順序	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	特性値1
1	1	1.000	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	1.000	1.000	-1.000	
2	2	1.000	1.000	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	1.000	1.000	
3	3	-1.000	1.000	1.000	-1.000	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	
4	4	1.000	-1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	
5	5	1.000	1.000	-1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	
6	6	1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	
7	7	-1.000	1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	-1.000	
8	8	-1.000	-1.000	1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	1.000	-1.000	-1.000	
9	9	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	1.000	-1.000	
10	10	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	
11	11	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	1.000	1.000	-1.000	1.000	
12	12	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	

計画表に従い12回のFEMを実施した。

例として、ひずみ値が最大であった

実験 No.2 のはんだ非弾性ひずみ分布結果を

図 5.6 に示す。

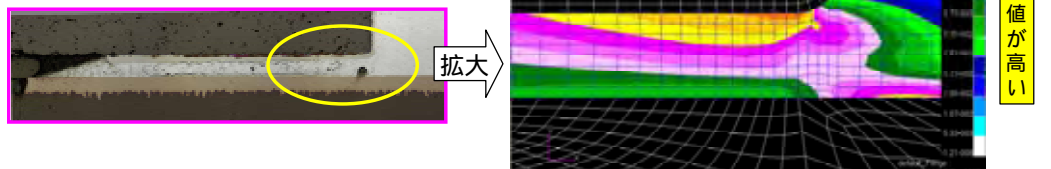


図 5.6 実験 No.2 のひずみ分布図

(3) スクリーニングの結果と考察

製造ばらつき検討時同様、影響度は標準偏回帰係数

として評価する。図 5.7 に各因子の影響度のパレート図を

示す。図より、X10,X8,X9,X1,X5,X6 の上位 6 因子で

影響度の 84%を占めている。最も影響の大きい因子は基板の線膨張係数の X10 であり、影響度は 28%であった。

また、上位 6 因子の影響の及ぼし方は、X10,X8,X9 では線

膨張係数が大きいほど、寿命は短くなる。(影響度が負)

一方、X6 では線膨張係数が大きいほど寿命は長くなる。

(影響度が正) これは、はんだに発生するひずみがセラミック

および電極と、その他構成部材との線膨張係数差に起因するため

であり、この差が少ないほど長寿命となるメカニズムから考えて、

妥当な結果である。X1,X5 については、ヤング率が大きいほど、

寿命は短くなる。逆に、ヤング率が小さいほど寿命は長くなる。

セラミックのヤング率が小さいと、基板の膨張収縮にセラミック

の変形が追従できるようになり、これによって、はんだに生じる

ひずみが小さくなり長寿命となる。基板のヤング率が小さいと、

基板は変形しやすくなり、基板が反らずに膨張収縮する場合と

比較して、はんだのせん断ひずみが小さくなり長寿命になると

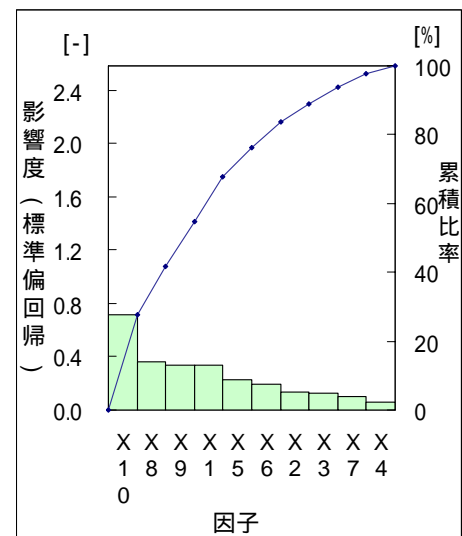


図 5.7 影響度のパレート図

5.2.2 はんだ寿命への影響因子まとめ

先の製造ばらつき検討時の因子も含め、全因子での影響度パレート図を図 5.8 に、因子効果のベクトル図を図 5.9 に示す。製造ばらつき因子は桃色で、物性ばらつき因子は緑色で示す。図より、全 18 因子中、上位 9 因子で全体の 90% を占め、この内、8 因子が物性によるものであった。影響度の高い因子については最低限、部品採用時に既存品と同等以上であることを確認する必要がある。

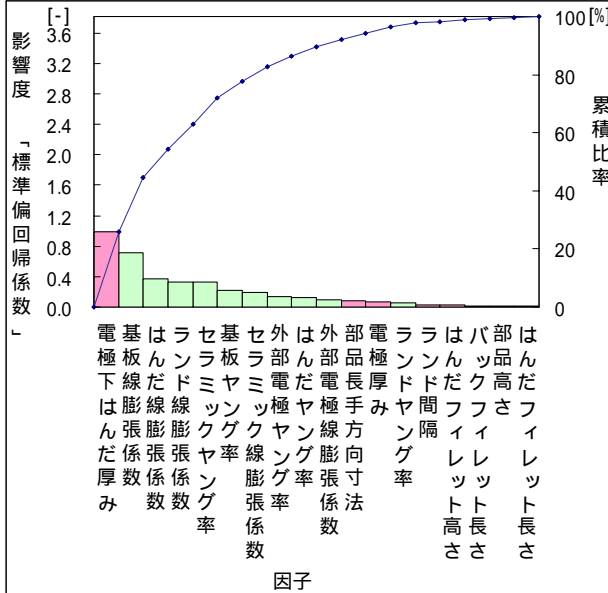


図 5.8 全因子影響度のパレート図

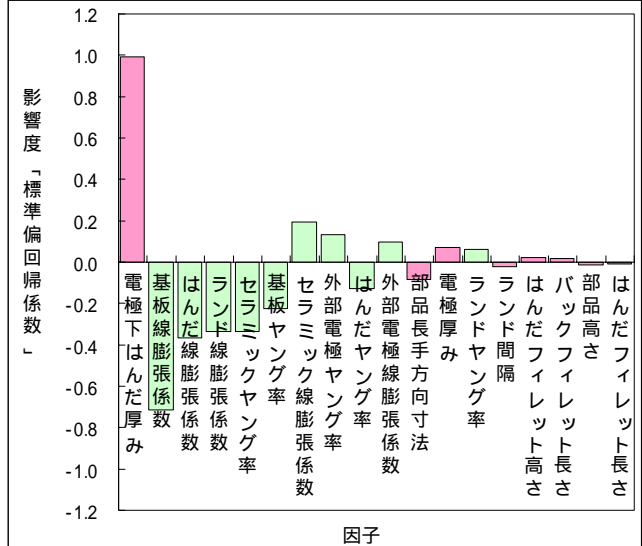


図 5.9 全因子効果のベクトル図

5.2.3 はんだ寿命予測式の導出

(1) 予測式導出のための計画

応答曲面およびモンテカルロシミュレーションのために、先の製造ばらつき検討時同様、寿命予測式を求める。スクリーニングの結果、6 因子となったため、今回は実験効率の良い中心複合計画を適用することとした。参考に、表 5.6 にコード化した中心複合計画を示す。作成した中心複合計画表に従い 45 回の FEM を実施し、得られた結果の重回帰分析から、以下の寿命予測式を得た。交互作用項および 2 次項は中心化を行った。予測式の自由度調整寄与率は $R^2 = 0.992$ と高い値となった。

表 5.6 中心複合計画表 (一部)

No	実験順序	X1	X5	X6	X8	X9	X10	特性値T
1	1	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	
2	2	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	
3	3	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	1.000	
4	4	1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	
5	5	-1.000	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	1.000	
6	6	1.000	-1.000	1.000	-1.000	-1.000	-1.000	
35	35	0.000	-2.378	0.000	0.000	0.000	0.000	
36	36	0.000	2.378	0.000	0.000	0.000	0.000	
37	37	0.000	0.000	-2.378	0.000	0.000	0.000	
38	38	0.000	0.000	2.378	0.000	0.000	0.000	
39	39	0.000	0.000	0.000	-2.378	0.000	0.000	
40	40	0.000	0.000	0.000	2.378	0.000	0.000	
41	41	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.378	0.000	
42	42	0.000	0.000	0.000	0.000	2.378	0.000	
43	43	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.378	
44	44	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.378	
45	45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
46	46	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

$$\begin{aligned}
 N = & -0.001X_1 - 0.003X_5 + 110.721X_6 - 34.002X_8 - 28.036X_9 - 59.983X_{10} \\
 & - 0.001(X_5 - 23000)(X_6 - 7.2) + 0.001(X_5 - 23000)(X_9 - 16) - 0.001(X_5 - 23000)(X_{10} - 15) \\
 & - 20.197(X_6 - 7.2)(X_8 - 21.7) - 7.378(X_6 - 7.2)(X_9 - 16) - 13.715(X_6 - 7.2)(X_{10} - 15) \\
 & + 6.396(X_8 - 21.7)(X_9 - 16) + 14.597(X_8 - 21.7)(X_{10} - 15) - 0.521(X_9 - 16)(X_{10} - 15) \\
 & + 17.135(X_6 - 7.2)^2 - 1.213(X_8 - 21.7)^2 - 1.846(X_9 - 16)^2 + 0.987(X_{10} - 15)^2 + 2035.656
 \end{aligned}$$

(2) 予測式による寿命の応答曲面

得られた予測式より、応答曲面を描いた。例として、影響度の高かった因子 X10(基板線膨張係数)と因子 X8(はんだ線膨張係数)での応答曲面を図 5.10 に示す。縦軸はき裂発生サイクル数であり、30 サイクル毎に等高線として区切られている。図より、基板の線膨張係数 X10 が大きいと(図中 印)、寿命は短くなるが、はんだの線膨張係数には依存せずロバスト性が高いことがわかる。一方、基板の線膨張係数が低いと(図中 印)、長寿命化するが、はんだの線膨張係数のばらつきの影響を受けて寿命もばらつき、ロバスト性が低いことがわかる。設計としては基本的にロバスト性を高くすべきだが、はんだ寿命における基板選定においては、ロバスト性が低くても、全体的に長寿命となる線膨張係数の低い基板を採用したほうが良いと考えられる。(実際には Q や C、D で総合的に判断する)

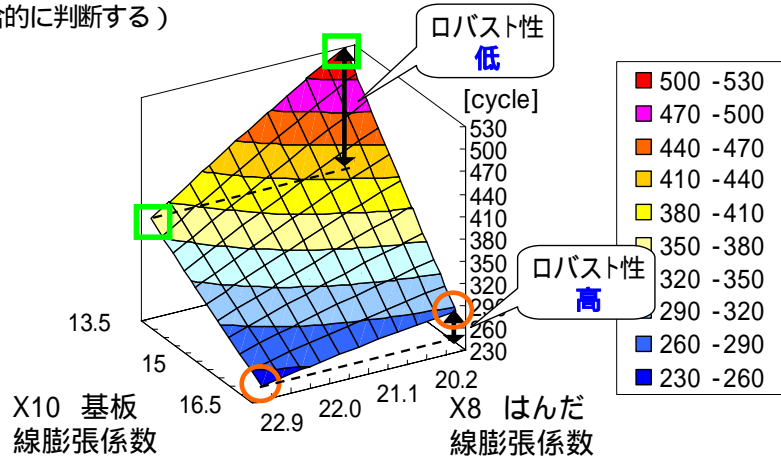


図 5.10 X10 と X8 での応答曲面

5.2.4 モンテカルロ法によるはんだ寿命のばらつき予測

製造ばらつき同様、予測式を用いてモンテカルロシミュレーションを 5 万回^{1),2)} 実施し、寿命のばらつき分布を求めた。結果を図 5.11 に示す。併せて累積度数分布も四角プロットで示す。寿命の中心値は $N_{f-typ} = 357$ 、分布の 3 での寿命は $N_f = 237$ サイクルとなった。両者の比から寿命は中心値の 66% に低下する。なお、参考に別途実験によりワイブルプロットを作成し予測式と比較した。結果を表 5.7 に示す。

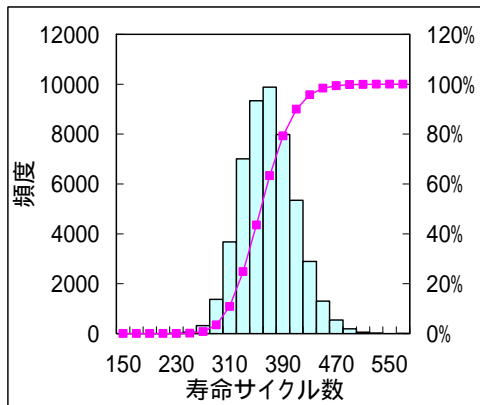


図 5.11 物性ばらつきによるはんだの寿命分布

$$N_f = N_{f-typ} \times 0.66$$

ばらつき
中心値での
物性のばらつき
下限側の
寿命
による影響
寿命

表 5.7 実験と予測式の誤差 [cycle]

	実物での 実験データ	FEM + モンテカルロ	
		対数正規確率	形状ばらつき
き裂発生確率	50%	368	474 (22%)
	0.13%	246	277 (11%)
			357 (3%)
			237 (4%)

カッコ内は実験との誤差

5.3 安全率の導出

以上の”製造ばらつき”の結果および、”物性ばらつき”の結果より安全率を求める。まず、各ばらつきによる寿命分布中心値からの低下率を求める。⁷⁾

$$N_f = N_{f-typ} \times 0.58 \times 0.66 = 0.38 N_{f-typ}$$

安全率 S は、寿命分布中心値と寿命分布下限との比なので以下のようになる。

$$S = \frac{N_{f-typ}}{N_f} = \frac{1}{0.38} \quad 2.7$$

5.4 安全率からの許容ひずみ allowの導出

安全率を事前設計である FEM に活かすために、許容されるき裂発生サイクル数に対する許容ひずみを求める必要がある。現状、当社技術においては FEM によりき裂発生サイクル数までしか求められない。しかし、評価での目標サイクル数は”き裂発生サイクル数” + ”き裂進展サイクル数”である。従って、許容ひずみを求めるためには発生サイクル数と進展サイクル数の比率を把握し、目標サイクル数からき裂発生分のサイクル数を求め、この寿命をひずみに換算し、安全率で除して許容ひずみを求める必要がある。進展寿命については他社データを参考にし、⁸⁾ 発生サイクル数：進展サイクル数 = 1：5.24 とした。これより必要なき裂発生サイクル数が求まり、Coffin-Manson 則よりひずみに換算し、安全率で除して許容ひずみ allow=****となった。(数値は伏せさせていただきます。)

6 . 標準化

安全率を考慮した allowについて社内標準化を行った。
項2課題の明確化の2.1(2)で示したように、設計として関与する部分はパッド設計と新規部品選定である。この両方に関する社内設計基準に対し、基準改訂(仕組み化)を実施した。(詳細は割愛)

7 . 残った課題

ばらつきを許容し安全率に含むが、併せて以下を実現する必要がある。
”ばらつきを小さくする方法”、あるいは”下限をカットする方法”
信頼性を制御して作り込むことは出来ていない。
タグチメソッドでロバスト設計出来るようになることが今後必要と考えられる。
FEM シミュレーションの短時間化(現状 5H/モデル)、
設計者が簡単に FEM シミュレーションできる手法の確立。
はんだのき裂進展シミュレーション技術の確立。

9 . 謝辞

本文の作成あたり、技術面に関して諏訪東京理科大 奥原先生、富山県立大学 森先生および富山県工業技術センター佐山様に御指導を賜りました。心より御礼申し上げます。
また、全体的な進め方に関しては東京工業大学 長田先生に御指導を賜りました。併せて御礼申し上げます。
最後に、本活動の機会を与えて頂いた上司に感謝致します。

10 . 参考文献

- 1)トヨタ自動車：中尾健司，横浜国大：于強，他．”シミュレーションにSQCを応用したはんだ寿命予測技術の開発”，第33回日科技連信頼性・安全性シンポジウム，(2003)．
- 2)村田製作所：川端孝弘，他．”チップコンデンサ実装部のバラツキを考慮したヒートサイクル寿命解析”，MATE2007 講演集，(2007)．
- 3)デンソー：吉野睦，名古屋工業大学：仁科健．”設計パラメータ最適化の技術動向と今日的課題”，デンソーテクニカルレビュー，Vol.10，No.1，(2005)．
- 4)筑波大：山田秀，”コンピュータシミュレーションのための実験計画法”，品質，Vol.34，No.3，(2004)．
- 5)山田秀編．『実験計画法入門 - 方法編 -』，日科技連出版社，(2004)．
- 6)棟近雅彦・奥原正夫編．『JUSE-StatWorks による回帰分析入門』，日科技連出版社，(2007)．
- 7)オムロン：高木寛二，横浜国大：于強，他．”はんだ接合部のばらつきが及ぼす熱疲労寿命への影響”，MES2007 講演集，(2007)．
- 8)エスペック：青木雄一，他．”微小抵抗変化によるはんだ接合部のクラック進展評価”，エスペック技術情報，No.47，(2006)．

掲載されている著作物の著作権については，制作した当事者に帰属します．

著作者の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず，本著作物の複製・転用・販売等を禁止します．

所属および役職等は，公開当時のものです．

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧ください <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>