

# 1 リフロー炉内におけるコネクタ変形解析の研究

A Study of Thermal Deformation Analysis of Connector in Reflow Process

寺本 隆一 Takaichi Teramoto コネクタ開発本部

キーワード： 表面実装、コネクタ、熱、熱解析、熱応力解析、有限要素

## 要 旨

リフロー工程においてコネクタは200℃以上の高温環境に晒されるため、熱的影響でインシュレータ部の変形現象が発生します。表面実装用のコネクタの場合、インシュレータ部が変形することにより端子平坦度が乱れ、半田未着の接続不良に発展することから、この熱変形特性の把握は重要となります。

本開発では、この変形要因の一つとして挙げられる、インシュレータ内部に温度分布が生じ、熱膨張の差によって発生する変形に注目し、この変形現象について有限要素解析手法を用いて明確にし、その特性を把握することができました。

## SUMMARY

Connectors are exposed to high-temperature environments of more than 200℃ in a reflow process. Therefore, causing deformation of insulator components with a thermal effect. For surface mounting connectors, the deformation of insulator components causes incoplanarity of terminals and the problem may cause contact failure due to incomplete soldering. Therefore, it is important to understand the characteristics of heat deformation.

In this development, we focused on deformation caused by the difference of thermal expansion of materials with the temperature distribution inside of insulators. We used the finite-element analysis to clarify and understand the characteristics of the deformation.

## 1 はじめに

電子部品の実装は表面実装が主流となっており、コネクタに関しても表面実装対応品が多くなっています。表面実装用のコネクタは、他の実装部品と比べ寸法が大きく、構造が複雑であることから、実装上の評価が必要となります。

リフロー工程においてコネクタは、200℃以上の高温環境に晒されるため、熱的影響により絶縁樹脂材料で成形されたインシュレータ部が変形し、これによって端子平坦度が乱れ、半田未着の接続不良に発展します。このようなことから、リフロー工程におけるインシュレータ部の変形に関する評価は重要な項目の一つとして挙げられます。

熱の影響によるインシュレータ部の変形要因としては、成形時に発生する内部応力などの応力緩和現象や熱膨張の影響が考えられ、前者については、平坦度、反り等に関してリフロー前後の常温下で寸法を測定することにより現象の確認が行われています。しかし、後者の熱膨張が要因で発生する変形については、まさに炉内の高温環境下で発生する現象であり確認が難しいことから、実装後の半田接合状態を確認する間接的な評価に留まり、その特性についてはほとんど把握されていないのが現状です。

本開発では、インシュレータ内部に温度分布が生じ熱膨張の差によって発生する変形現象に注目し、この変形現象について有限要素解析手法を用いて明確にし、この変形特性を把握することを試みました。

## 2 変形のメカニズム

実装基板に搭載されたコネクタは、リフロー炉に投入されたとき、コネクタ及び基板表面から熱伝達、輻射の形で熱を受け、そして熱伝導の形で内部に熱が伝わります。このようなリフロー炉内の伝熱工程は、比較的短時間であるため、熱

容量の大きいコネクタのインシュレータ部は熱平衡状態にはならず、温度分布が生じます。また、このとき発生する温度分布は、外部からの熱を受け難い基板との接触面、すなわち、インシュレータ底部の温度が上がりにくくなり、エッジ部や極端な薄肉部等の局所部を除いて、上部で高く底部で低くなる傾向を示します。従って、温度の高いインシュレータ上部の熱膨張量が大きく、底部で小さくなり、熱膨張の差が生じ、そのため熱応力が発生し、基板に対して上に凸の方向の変形が発生することが想定できます。図1は、ピッチ方向に長い長尺のコネクタを側面からみたときの変形状態を現した模式図であり、外部から熱を受けたインシュレータ部は、基板に対して上に凸の方向に変形し、ピッチ方向中央部の端子が浮くことにより、半田接続に悪影響を及ぼすことが考えられます。

## 3 解析の概要

上記のメカニズムで発生するインシュレータ部の変形現象を把握するためには、リフロー炉内におけるインシュレータ部の温度変化と、このときの温度分布によって発生する熱応力を求める必要があり、解析手法が有効な手段となります。本開発では、市販の有限要素解析ソフトを用いた解析を検討し、熱変形解析の手法を確立しました。

変形解析の流れは次のようになっています。

まず、基板に搭載したコネクタをモデル化します。モデル作成にあたっては、計算時間の膨大化を考慮し、対象部分や、コンタクト数などの簡略化を行ないました。また、コネクタと基板間の空間部には空気層を設定しました。

次に、インシュレータ部の温度分布を求めるための非定常熱伝導解析を行ないます。熱解析では、リフロー炉内における境界条件として、雰囲気温度と熱伝達率を設定する必要があり、ここでは、雰囲気温度としてリフロー装置の設定温度を用い、熱伝達率は基板表面温度の実測値から算出した値を

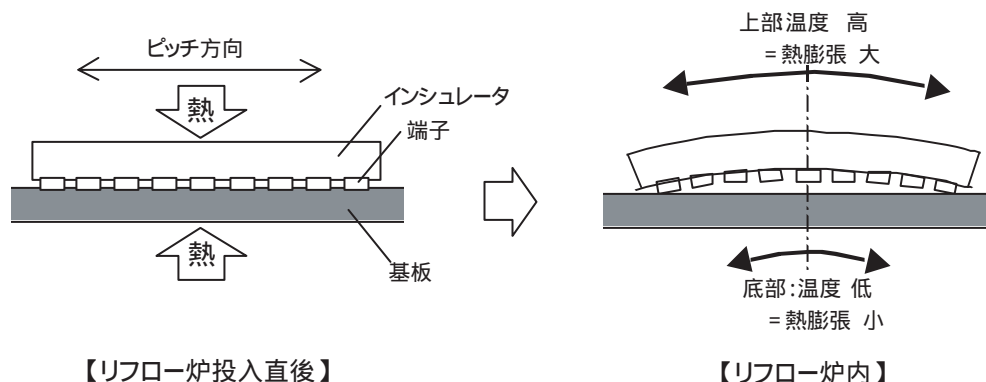


図1 コネクタの熱変形状態

用いました。一般に用いられている実際のリフロー装置は幾つかの温度の異なるゾーンから構成されており、これらの値は、各ゾーン内で一定であると仮定し、それぞれのゾーンについて設定しました。

最後に、インシュレータ内の温度分布によってのみ発生する熱応力を解析の対象とし、熱解析の結果を熱応力解析に取り込む機能を用いて弾性解析を行ない、熱変形と、インシュレータ内部に発生する熱応力を求めました。

## 4 解析の一例

具体的なコネクタモデルを用いた解析事例として、基板表面の温度が、図2の温度プロファイルを示す、一般的に用いられるリフロー条件を対象とした場合の解析結果について紹介します。ここでは、2つの予備加熱炉と本加熱炉の3つのゾーンからなるリフロー装置を想定しています。

図3は、リフロー工程中の任意の時間における温度分布についての解析結果を示しており、図中のインシュレータ上部のA点と、基板に面した底部のB点についての温度プロファイルを図4に示します。これら熱解析の結果からインシュレータ上部で高く、底部で低い温度分布の傾向が確認できます。また、図5は、インシュレータ部の変形状態を示す解析結果であり、図6は、変形特性を示しています。基板に対して上に凸の方向の変形が発生する現象や、リフロー時間と共に変形量が変化の様子が確認できます。また、その他の特性として、変形時に発生する応力はインシュレータ材料の降伏応力を越えることはないため、リフロー後の常温下では再び元の寸法形状に戻ることが確認できました。

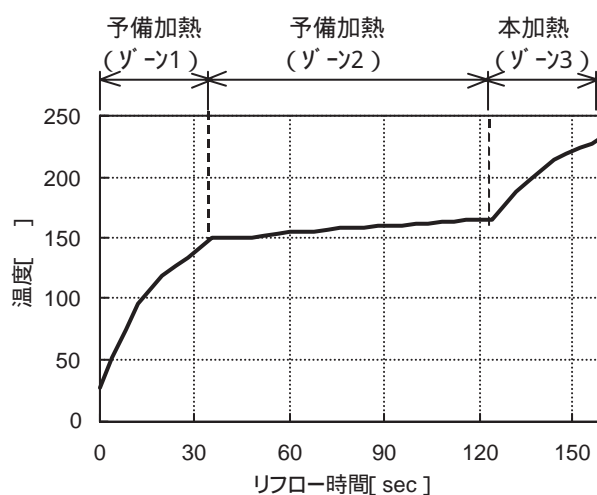


図2 基板表面温度

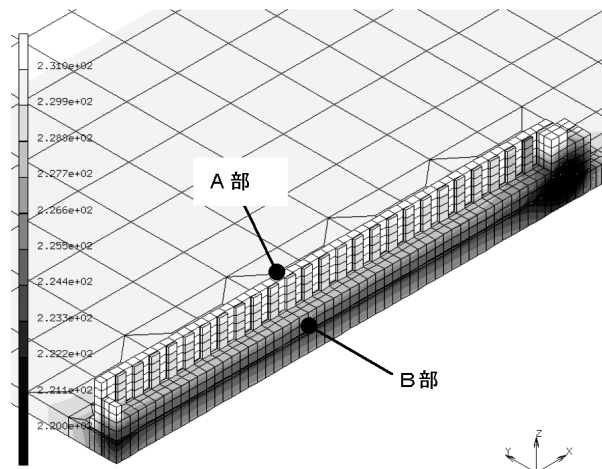


図3 リフロー炉内におけるコネクタ温度分布

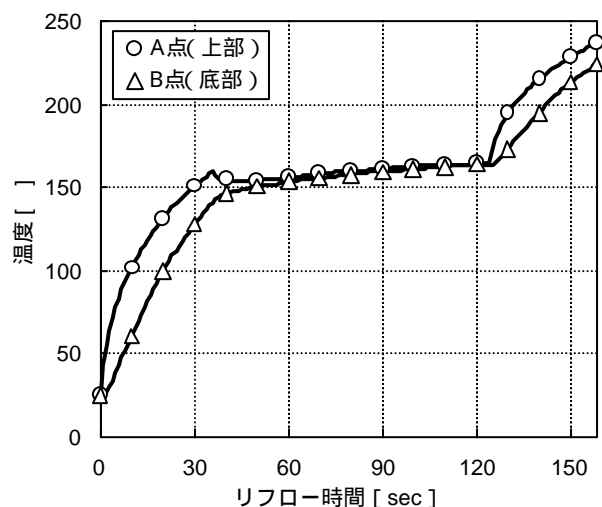


図4 インシュレータ部の温度プロファイル

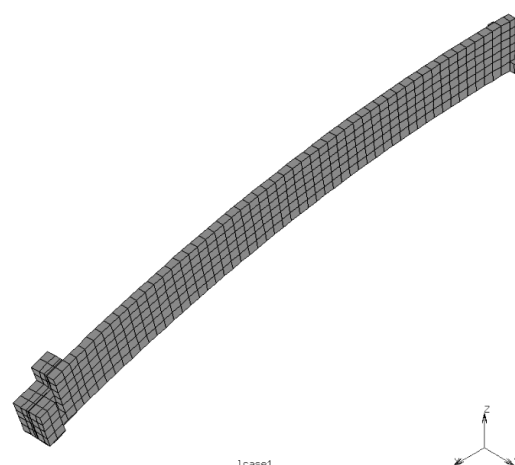


図5 インシュレータ部の変形状態

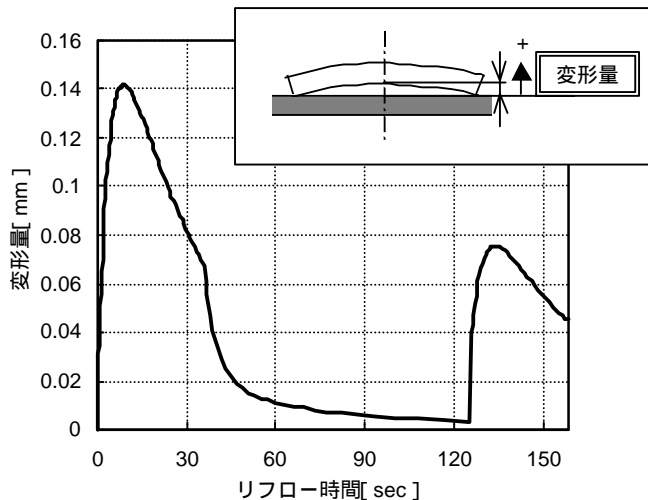


図6 変形特性

## 5 解析結果の検証

温度分布については、実用のリフロー炉を用い、また、変形特性については、観察の容易さから試験用の簡易リフロー炉を用い、実測値と解析値との比較を行ないました。

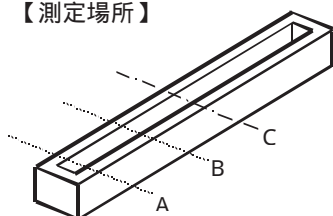
### 5.1 インシュレータ内部の温度分布

リフロー工程における本加熱時のインシュレータ各部のピーク温度について、解析結果と比較した一例を表1に示します。数種のコネクタについて、比較した結果、実測値に対して7%の誤差で得られることが確認でき、解析結果の妥当性が確認できました。

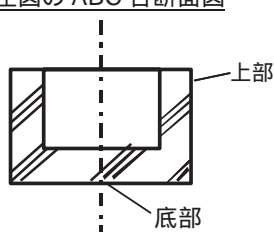
表1 温度分布についての解析値と実測値の比較

場所		実測値[ ]	解析値[ ]	差[ ]
上部	A	230	233	- 3
	B	231	236	- 5
	C	236	235	1
底部	A	219	221	- 2
	B	224	226	- 2
	C	222	225	- 3

【測定場所】



左図のABC各断面図



### 5.2 変形特性

ここでは、リフロー条件として、比較的緩やかに温度上昇する条件を用いました。図7にコネクタ製品の一部を示します。リフロー炉投入時に変形量が最大となり、時間変化に伴い減少していく傾向が見られ、実測値と解析値がほぼ一致していることが確認できました。また、変形量についても実測値と近い結果が得られることが確認できました。

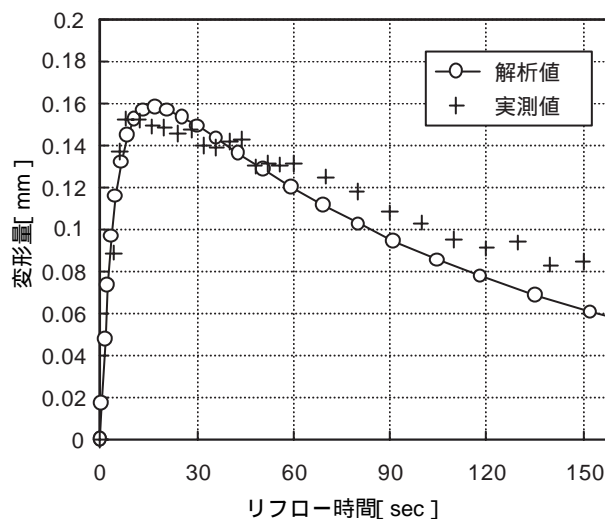


図7 変形特性についての解析値と実測値の比較

## 6 まとめ

リフロー工程において、コネクタのインシュレータ内に温度分布が生じ、熱膨張によって変形する現象について、有限要素による解析手法を導入することによって、その特性を把握することができました。

また、基本的にはインシュレータ形状の異なる表面実装用コネクタにも適用できることから、半田未着の接続不良に発展する可能性を設計段階で把握するツールとしての活用も可能であると考えています。