

コネクタ実装における解析技術

Simulation Method for Connector Packaging

あらまし

多ピンCPUやASICといった平面実装品や、モジュール搭載カードエッジ基板のコネクタ実装において、接触の信頼度を高精度で解析・検証する技術はますます重要となってきた。今回、実験では得られない個々の接点挙動を可視化するシミュレーション技術を開発した。これにより、コネクタ実装における接続検証が容易となり、また、挙動を明らかにすることで、多くの実験をすることなく安定接触などのメカニズム解明が机上で可能となった。

本稿では、まず高圧で平面実装されるLGA接続において、パッケージや基板のシステム変位を加味しながら、個々の接点の挙動を明らかにして長期接続の信頼度を検証した事例を紹介する。つぎに、モジュール搭載基板を保持し、かつ電気的接触を安定して得るコネクタ実装において、装置輸送時の振動によりカード基板が抜ける挙動・メカニズムを解明することで、コネクタ実装の安全性を検証した事例を紹介する。

Abstract

There is a growing demand for technology that can analyze and test contact reliability with high accuracy in high-pin-count flat packaging such as sockets for central processing units (CPUs) and application specific integrated circuits (ASICs) and in card edge connectors for modular products. We have developed simulation technology for visualizing the behavior of individual contacts, which cannot be obtained empirically. This technology lets engineers test connections in connector packaging and clarify their behavior, enabling the mechanism behind stable contacts to be determined from the desktop without the need to perform numerous experiments. This paper introduces two key examples of applying this technology. First, for land grid array (LGA) connections having a high mating pressure, we clarified the behavior of individual contacts and tested long-term connection reliability while taking into account the package and system (board) displacement over time. Next, for connector packaging for module boards that must secure a mechanical board while also achieving electrical stability in the same contacts, we tested connection safety by clarifying the mechanism of module-board slippage due to vibrations during equipment transport.



田村 亮 (たむら あきら)
富士通アドバンステクノロジー
(株) 実装技術開発センター 所属
現在、コネクタやケーブルによる接
続技術の開発に従事。



坂入 慎 (さかいり まこと)
富士通アドバンステクノロジー
(株) 機構シミュレーション技術グ
ループ 所属
現在、構造解析技術の開発に従事。



館野 正 (たての ただし)
富士通アドバンステクノロジー
(株) 機構シミュレーション技術グ
ループ 所属
現在、構造解析技術の開発に従事。

ま え が き

コネクタは、回路や機能のある単位で分割あるいは結合するために使用される。そのため、装置開発においてはシステムや筐体の実装方式（構造）を決定する重要な部品となっている。一方、機械的な分離や接続を行うために、外力や変形などの外乱の影響を受けやすい。したがって、コネクタ単体のみで一意的に信頼度を保証することが困難である場合もあり、装置メーカー側での組合せの検証や、使いこなすための技術が重要になってくる。

とくに、接触信頼度を決定する接圧が実装構造により決定されるLGA（Land Grid Array）ソケットや、一部のカードエッジ基板のように、本来の電氣的接触機能のほかに、接圧でカードの保持を兼ねる実装方式など、コネクタがほかの部品と複合的に構成され、実装される場合は、相互依存の関係にある接点の挙動を詳細に知ることが、信頼度の高い接点方式の選択と実装方式の決定につながる。

本稿では、とくに使いこなしの難しい上記のLGAソケットとカードエッジ基板において、接点挙動を可視化して信頼度を検証するために開発した技術を紹介する。

LGA接点の経年挙動

LGAソケットは、CPUやASICなどのパッケージ（以下、PKG）と基板間の接続を取るために使用されている。LGAソケットは、PKG上の冷却用ヒートシンクと搭載基板の裏面にある補強部品とで、ネジ（バネ）により、高圧で挟んだ状態で使用される。そして、長期間安定した接続を取ることが要求されている。

LGAソケットのコンタクト材料は、弾性体である金属バネ材（Cuなど）のほか、Auバンプなどの弾塑性材料や導電性ゴムなどの粘弾性体を使用することもあり、後者の場合、一定の荷重が負荷されている状態において、経時的に変形量が変化（クリープ変形）する特性がある。また、PKGや搭載基板に使用されている樹脂材料も同様に経時的に変化するため、PKG・ソケット・搭載基板が複合的に経時変化する挙動を予測することが、長期信頼度の確立に必要不可欠である。

これまでは、Monte Carlo法のように統計的手法

を用いて予測することが一般的であったが、この方法では、途中の正確な現象が掌握できない欠点があった。これらの課題を克服する目的で、著者らはLGAソケット周辺部品すべての系をフルモデル化した複合シミュレーションを使って、実装を構成する個々の要素の挙動を可視化する技術を開発した。

● 従来の評価方法と問題点

従来、LGAソケットの信頼性は、装置稼働時の温度変化を考慮して、恒温槽で温度変化の負荷を与える試験を実施している。試験中に接触状態を電氣的にモニタリング（抵抗値測定）し、加速試験で得られた結果から、その長期信頼度を予測している。しかし、問題点として下記が挙げられる。

- ・評価期間が長い（2週間～数箇月）。
- ・評価の組合せが多い。

また、評価中の接点挙動が確認できないため、搭載基板や加圧構造などの周辺部品の影響度が正確に把握できず、実装設計へのフィードバックが、必ずしも正確とは言い難い。

● シミュレーション技術

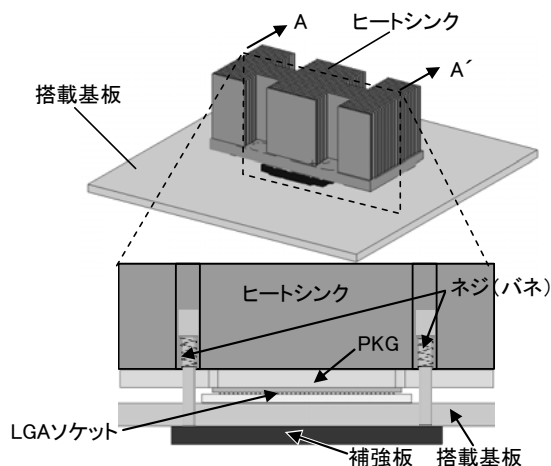
問題の一つである、評価中（稼働中）のLGAソケットの挙動をシミュレーションする技術を確立し、挙動の可視化を検討した。

検討したLGAソケットは、約900ピンのコンタクト部を保有している。PKG上面のヒートシンクとLGAソケットが搭載基板の裏面の補強板で挟まれて使用される。ネジ（バネ）位置と締付けによる部品の変形により、個々のコンタクトにかかる荷重が不均一になる。そのため、コンタクトごとに変形が異なり、ソケット全体の変形に影響を与えるため、すべてのコンタクトをモデル化することが必要である。また、コンタクト変位に影響を与える、各部品の初期の反りを考慮する必要がある。そして、経時的な変化を確認するために、コンタクト部や搭載基板などの物性値（クリープ特性）の取得、およびシミュレーションへの適用が重要となる。

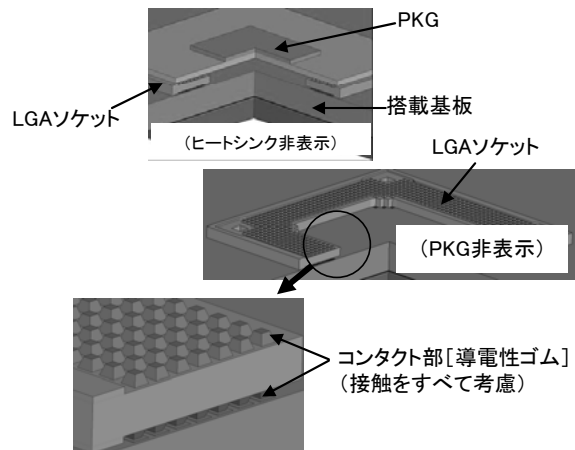
そこで、上記を考慮してモデル化（図-1）し、実際の使用環境を模擬して、経時変化していくLGAソケット全体のコンタクト挙動をシミュレーションした。

シミュレーション用のモデル化に当たっては、以下の点を考慮した。

- ・加圧構造や基板など、周辺部品をモデル化



(a) PKG搭載断面図



(b) 内部構造 (全コンタクトをモデル化)

図-1 シミュレーション対象基板へのPKG搭載
Fig.1-FEM model.

- ・ LGAソケットのコンタクト部すべてをモデル化 (約900ピン)
- ・ コンタクト部とPKG/搭載基板との約900ピン×2倍=約1800箇所以上の接触定義 (摩擦を考慮)
- ・ 各部品初期反り形状をモデル化 (PKG, 搭載基板ほか)
- ・ コンタクト部, 搭載基板, 接着層のクリープ特性

● シミュレーション結果

実際の使用環境を模擬し、シミュレーションによって10年後までの変形挙動を確認した。中心断面の変形図とLGAソケットの変形図を図-2に示す。

図-2から分かるように、時間とともにどのように変形が進んでいくか可視化することにより、各部品の挙動を明らかにすることができた。また、ソケットの外周と内周では、時間に対する接圧変化が異なることを確認した。導電性ゴムといった粘弾性体コンタクトは、定荷重下ではクリープしながら接圧が維持され、定変位下では接圧 (応力) が緩和されていく。さらに、加圧構造や樹脂基板との組合せにおいて、接点が定荷重下であったり、定変位下であったりする場合があり、それらの経時的な挙動を正確に可視化することにより、接触機能 (信頼度) を確認することができた。また、これらは実験で得られた変形量と良好な一致を示した。

● 新技術による効果

本技術の開発により、今後のコネクタ実装の検証に有効な下記の成果を得ることができた。

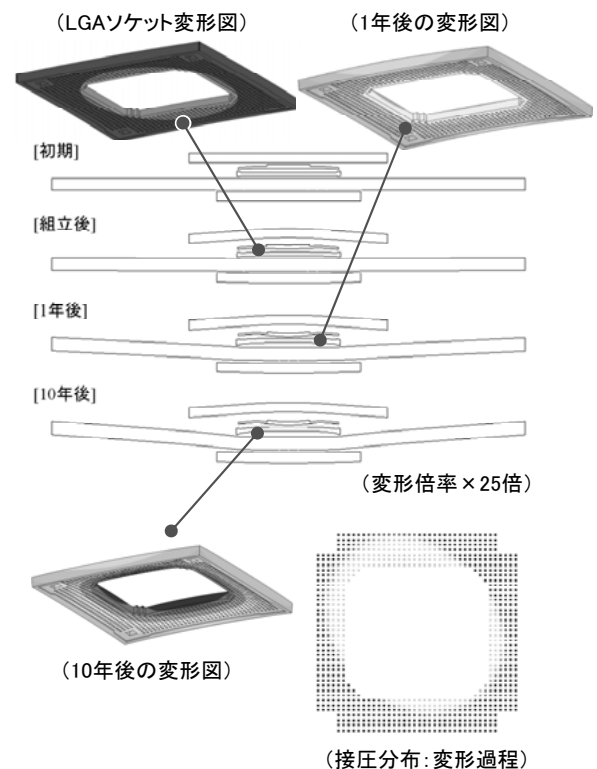


図-2 ソケットと実装系 (A-A' 断面) の経年変形
Fig.2-Appearance of transformation.

- (1) 実装を構成する各部, 各要素の詳細な挙動の可視化が可能となり, 経時的な変化を確認できた。
- (2) 上記により, 安定接触のためのメカニズムの理解や信頼度検証を行うことができた。
- (3) 金属製の弾性体コンタクトを持つソケット (図-3) にも上記技術を応用し, 接触圧のばらつ

きや経時的变化を可視化したことで、長期信頼度のメカニズムを検証することができた。

カードエッジ基板の抜け挙動

サーバ製品をはじめ多くの電子機器には図-4に示すような、カード基板をコネクタに挿入しただけの簡単な実装形態のものがある。このような実装部品は、装置が設置された状態で使う場合は何の問題も発生しないが、ダンボールなどで梱包し運搬された場合、カード基板がコネクタから飛び出したり、抜けて落下したりする現象が見られる。そのため、一般的にはコネクタにカード基板のロック機構を付けたり、筐体側でカード基板を金具などで固定したりする機構を付与して、落下防止策としているが、実装スペースの制約で、保持機構を持たずに接触力のみでカード基板を保持する場合もある。

本章では、コネクタ実装されたカード基板が振動

によって抜け出るメカニズムをシミュレーションにより解明し、コネクタやカード基板、実装仕様が変更された場合でも、抜けやすさを簡単に解析できる手法を開発したので紹介する。

● 従来の評価方法と問題点

カード基板の抜け現象は、筐体の実装構造や環境条件に大きく依存するため、ランダム波形で加振した実機評価が一般的である。また、筐体実装とは独立して、コネクタ単体評価から実機状態の安全性を検証することも望まれている。しかし、これらには下記の問題点がある。

- (1) 多数の条件（振動条件、基板重量、寸法）での実験が必要となる。
- (2) カード基板や部品仕様は変更されることがあり、その度に実機試験をすることは経済的でない。
- (3) 筐体実装の構成により、単体評価に反映すべき振動倍率を把握する必要がある、コネクタ単体評価から実機の安全性を検証するには、大がかりな事前評価が必要となる。

これらの問題に対し、抜け現象を衝撃解析と振動試験の結果を対比しながら可視化を図り、その特徴を把握することで、抜けを検証するシミュレーション技術の構築を試みた。

● 振動試験と結果

図-5は振動試験装置である。加振台にサンプルを固定し、カード基板を嵌合したコネクタの根本に振動を加える実験を行った。

質量が36 g、52 g、95 gのカード基板で実験を行ったところ、加振周波数による抜けやすさの程度よりも、カードの質量が大きいほど、搭載基板の振幅が大きくなり、抜けが加速するという結果が得られた。

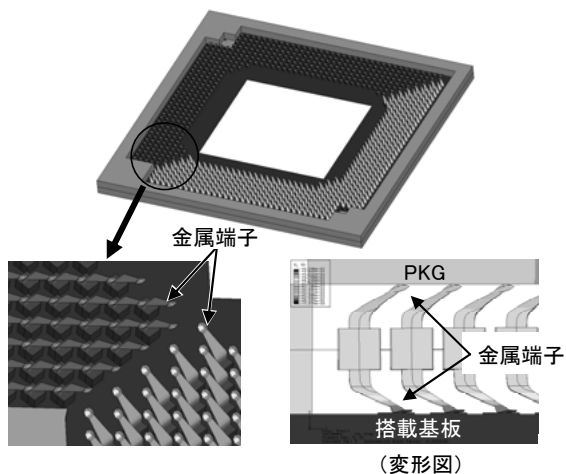


図-3 金属端子でのフルモデル解析例
Fig.3-FEM model of metal terminal.

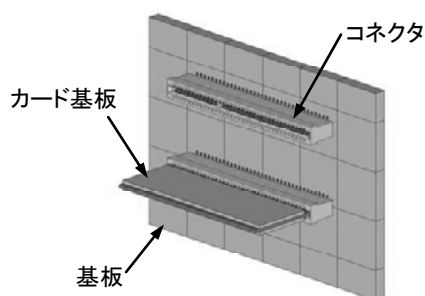


図-4 コネクタ実装形態
Fig.4-Connector module mounting form.

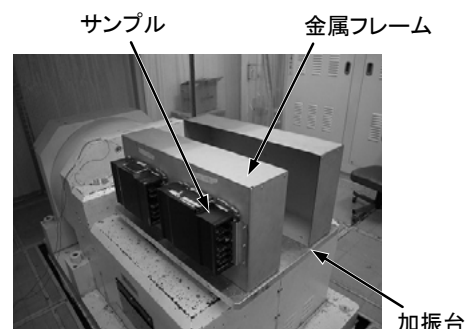


図-5 振動試験装置（外観）
Fig.5-Vibration testing system.

● シミュレーションモデル

上述の振動試験は保持、または落下の単純な評価であり、カード基板が抜け落ちる要因やそのメカニズムは分からない。そこで、シミュレーションによってカード基板およびコンタクトの挙動を再現し、抜けの要因分析を行った。

解析モデルはコネクタから4端子分を切り出したものを使用し（図-6）、抜けの要因と考えられる下記のパラメータを考慮したモデルとなっている。

(1) コネクタ幾何形状

コンタクトの接点位置、嵌合ガタ、寸法公差

(2) 接触子機械特性

スティフネス、接触力、摩擦係数

(3) カードモジュール仕様

質量、重心位置、幾何形状

(4) 実装構造（筐体）

振動方向、振幅倍率（加速）

(5) 外乱

振動時間、波形、変形

● シミュレーション結果

【カード基板質量の違いによる解析】

振動源の位置と入力波形を図-7に示す。入力波形は振幅0.5 mm、振動数60 Hzのsin波 { $Dx(t) = 0.5 \cdot \sin(2\pi \cdot 60t)$ mm} で、コネクタ実装部に波形を与えたときの、カード基板先端の動きを出力として求めた。カード基板の質量を3種（2端子幅あたり、3.10 g、1.55 g、6.20 g）、コンタクトの動

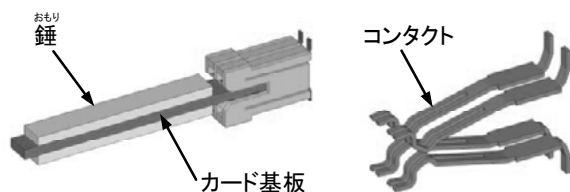


図-6 コネクタモジュール解析モデル
Fig.6-Connector module analysis model.

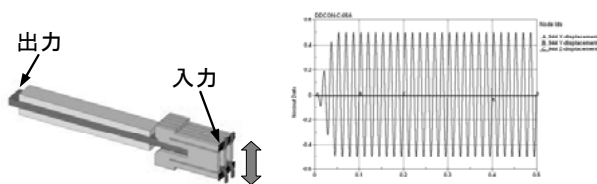


図-7 入出力位置と入力波形
Fig.7-I/O position and Input shape of waves.

摩擦係数=0.1、静摩擦係数=0.15とした。

なお、重力加速度 $g=9800 \text{ mm/s}^2$ を加振方向に設定している。

カード基板の質量別解析結果を表-1に示す。質量が増加するに従って、カード基板先端の振れ量が大きくなり抜け量も増えることが確認できた。

【カード基板重心位置の違いによる解析】

カード基板の質量は均一ではなく偏ったものがほとんどである。そこで錘^{おもり}をコネクタ側に設けた錘-Lowモデルと、カード基板先端に設けた錘-Topモデルで、基板重心位置の影響を比較した（図-8）。入力波形の条件は図-7と共通である。

表-1 カード基板の質量別解析結果

質量 (g)	出力振幅 (mm)	抜け量 (mm) / 2.0 (s)
1.55	0.55	0.71
3.10	0.60	1.00
6.20	0.68	1.29

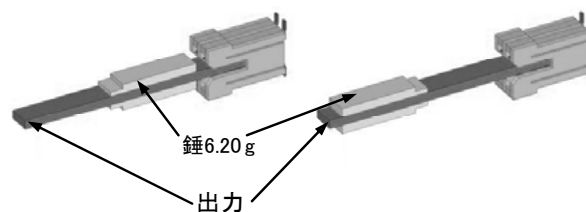


図-8 錘-Low/Topモデル
Fig.8-Weight Low and Top model.

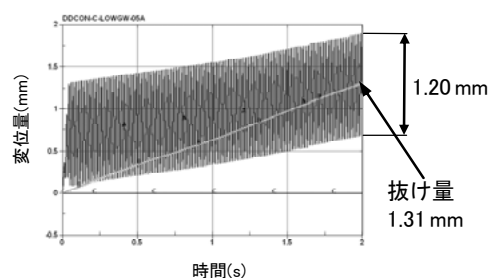


図-9 出力波形（錘-Lowモデル）
Fig.9-Output waves (Weight Low model).

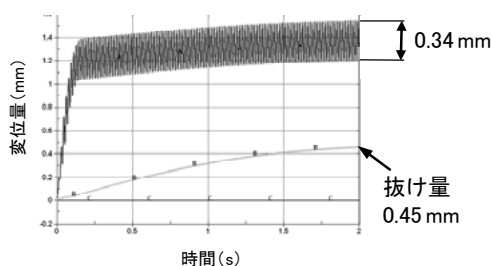


図-10 出力波形（錘-Topモデル）
Fig.10-Output waves (Weight Top model).

カード基板先端の出力波形を図-9と図-10に示す。錘-Lowモデルの出力振幅はおよそ1.20 mmと大きく、抜け量が1.31 mmに対し、錘-Topモデルの出力振幅は0.34 mmと小さく、抜け量も0.45 mmと小さい。これは、重心が振動源から遠いほど、慣性力により先端の振幅が小さくなり、逆に、重心が振動源に近いほど、慣性力が弱まり、基板先端の振幅が大きくなることで抜けやすくなる事象が確認された。

【コンタクトのカード基板送り】

コンタクトの接点挙動を確認したところ、カードの振動に応じて、送出し方向に力が作用することが確認された。図-11はカード基板を挟む1組のコンタクトピンに作用する力と、その差をとったグラフである。カード基板が振動するとコンタクトピンと接触する部分にわずかではあるが、滑りが発生する。このとき摩擦と接触圧によってカード基板の抜け方向と戻り方向に力が交互に作用する。この力が同じならば、理論上、カード基板が抜け落ちることはない。ところがコンタクトピンの形状や重力の影響で力に差が生じると、接点の送りによりカード基板の抜けが発生する。

● 新技術による効果

カード基板の抜け挙動シミュレーション技術の構築により、以下のことが可能になった。

- (1) カードやコネクタの仕様変更、また、筐体実装の変更時の、抜けの比較検証が可能となった。

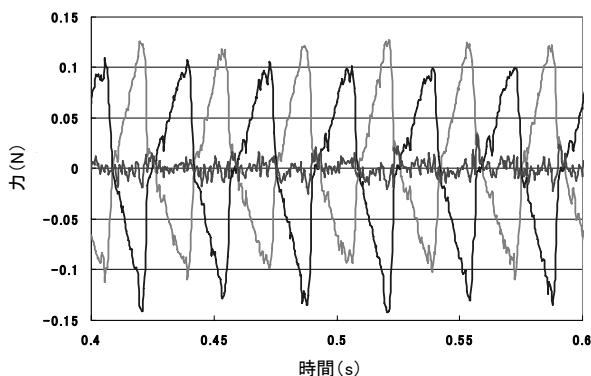


図-11 コンタクトの接触部に作用する力
Fig.11-Force to act on a contact pin.

- (2) 抜けのメカニズムを可視化することで、仕様変更に伴うリスク検証や、対策のスピードが上がった。
- (3) 抜け（力、量）や基板保持の観点で、コネクタ設計や実装設計が可能となった。

む す び

本稿では、LGA接点の経年挙動とカードエッジ基板の抜け挙動について、現象を可視化する技術を紹介した。

LGA接点挙動解析では、クリープ特性をすべての材料に取り入れたフルモデルを適用し、長期間にわたり接触が安定するために必要な設計上のポイントを実装設計にフィードバック可能とした。今後、PKGの大型化や平面加圧式の実装が進む中で、実装構造の検証と最適化に本モデルの構築ノウハウや解析技術を活用していく。

カード基板の抜け解析では、抜けのメカニズムを解明し、装置の構造やカード基板の仕様が変更になっても、実機装置での再評価なしに抜け性を解析可能とした。今後は、筐体構造まで含んだ全体解析技術を構築し、評価時間短縮とともに解析精度を上げていく。

以上のように、実装構造と相互依存の関係にある接点の挙動に関しては、統計的手法を投じるよりも、周辺部品との関連性をシームレスに再現した複合モデルを用いて各部の詳細な挙動を可視化することが有効である。これらは、接触のメカニズムや信頼性の理解につながるだけでなく、実装設計の最適化や効率性にもつながることで重要である。

今回、紹介した二つの事例に限らず、実装検証や付加価値の高い実装構造の実現のために、富士通が得意とするHPC（ハイパフォーマンスコンピューティング）環境と複合モデル解析技術を更に高度化し、製品開発に役立てていきたい。