

# 携帯電話開発へのシミュレーションの適用

## Use of Simulations to Develop Portable Telephones

### あらまし

携帯電話の開発では、機能の充実とともに、小型軽量化と堅牢性の両立が大きな課題である。現在のような短い開発サイクルの中で、小型軽量化と堅牢性を両立させるには、製品開発におけるシミュレーションの適用は必要不可欠である。近年、実装基板を小型化するために用いられるBGAパッケージは、はんだ接合強度が弱い。よって、携帯電話の堅牢性を確保するためには、はんだ接合部に許容限度以上の荷重が加わらないように、筐体設計や部品配置を工夫しなければならない。しかし、着目すべき対象が微小なはんだ接合部であるため、強度設計マージンが減少し、経験を重視した従来の開発手法では強度設計を最適化し、効率的な開発はできない。また、一般的な使用において、どの程度の負荷が携帯電話に加わるのかを定量的に把握しなければ最適な設計が行えない。

本稿では、一般的な使用環境に対応した堅牢性評価技術と、携帯電話開発におけるシミュレーション技術を紹介する。

### Abstract

Portable telephones must not only have enhanced functionally but must also be compact, lightweight, and durable. To realize such conflicting features in a portable telephone within a short development period, simulations must be performed in the development process. BGA packages have recently been used in portable telephones to reduce the size of the circuit boards of portable telephones. Because BGA packages have relatively weak solder joints, the casings and parts layout of a portable telephone must be carefully designed to prevent the joints from receiving excessive loads. However, the loads that will be applied to each joint cannot be evaluated by conventional modeling methods because the dimensions of the component leads, solder joints, and circuit board conductors are very small. Also, an optimum design can only be obtained through an understanding of the loads applied to a portable telephone's body during normal use. This paper describes a technology for evaluating the durability of a portable telephone in a general environment and other simulation technologies used for developing portable telephones.



石川重雄（いしかわ しげお）

第一生産技術統括部第一自動機開発部  
所属  
現在、製品開発に対する数値解析適用技術の開発に従事。



長竹真美（ながたけ まみ）

第一生産技術統括部第一自動機開発部  
所属  
現在、製品開発に対する数値解析適用技術の開発に従事。



井門 修（いど おさむ）

第一生産技術統括部第一自動機開発部  
所属  
現在、製品開発に対する数値解析適用技術の開発に従事。

ま え が き

携帯電話では、使用時に予想される落下衝撃や曲げねじりに対する堅牢性と、小型軽量化とを両立させることが課題である。近年、実装基板を小型化するために、集積回路としてBGAパッケージが多用されるようになった。これは、パッケージ下部にはんだバンプと呼ばれるはんだボールを配置し、実装基板と接合することによって、大規模な回路の小型化を実現しているが、落下衝撃によるはんだ接合部の破断が起りやすいという弱点がある。従来技術では、設計段階ではんだ接合部の衝撃強度を予想することが困難であったため、実機評価を行いながら開発を進めていた。しかし、小型軽量化の進展とともに、強度設計のマージンが減少し、従来の開発手法では、小型軽量化と堅牢性とを両立させることが困難となっていた。

そこで、製品開発にシミュレーションを導入し、初期設計品質を向上させることで、小型軽量化と、実装基板におけるはんだ接合強度の両立を実現した。本稿では、使用環境に対応した堅牢性評価技術と、携帯電話の実装部品における、はんだ接合強度評価に対するシミュレーションの適用技術について述べる。

使用環境における堅牢性評価技術

携帯電話の一般的な使用に対して、十分な強度を備えていることを評価するために、堅牢性評価を行っている。堅牢性をシミュレーションで評価するには、一般的な使用環境で、どのような負荷が加わるのかを、正確に把握する必要がある。携帯電話には、誤って床やコンクリートに落とす、ジーンズのポケットに入れて座るといった、使用者の取り扱いが原因で、過度の負荷が加わる可能性がある。しかし、落下衝撃試験では、落下姿勢が安定しないため、実験データがばらついて、強度が正確に評価できなかった。また、静的な負荷試験の場合でも、使用時における負荷の大きさや回数といった、基礎的データが不足しているために、必要以上に過大な負荷試験や、予期できない負荷に対して過小な負荷試験が製品に課されて市場に投入される可能性があった。

そこで、再現性の高い落下衝撃試験方法と、使用時における負荷の測定技術を開発し、使用環境に対応した負荷を測定することを実現した。そして、測定された負荷を機械試験に置き換えることで、使用環境における堅牢性を容易に評価する手法を確立した。

落下衝撃

携帯電話の堅牢性評価のなかで、落下衝撃強度評価が

最も困難である。曲げやねじりなどの静的な強度評価は機械的に負荷を加えて精度良く評価できる。しかし、自由落下試験では、落下姿勢をコントロールすることができないため、測定した衝撃波形が落下ごとに異なり、試験の再現性が乏しいという問題がある。また、同じ高さから落下させた場合でも、携帯電話の構造や自重によって衝撃負荷が異なるため、静的強度試験へ置き換えることは困難である。

そこで、落下試験治具を製作し、落下姿勢を変化させないで、落下試験が行えるようにした。落下試験治具の概要を図-1に示す。たこ糸などで携帯電話を取り付け治具に吊るす。そして、取り付け治具を一点で支持したフックを外すと、ガイドレールに沿って取り付け治具が滑らかに落下する。携帯電話の姿勢は、取り付け治具に吊るす際に任意に決められるため、どのような向きから衝突した場合に最もダメージが大きいかを容易に評価できる。従来、携帯電話に歪ゲージや加速度ピックアップを取り付けて落下させると、ケーブルの重みが作用して落下姿勢が変化しやすかった。しかし、図-1に示すように、取り付け治具を介してケーブルを引き出すことにより、ケーブルの重みの影響がなくなり、落下姿勢の違いによる負荷の違いを正確に評価できるようになった。

曲げねじりによる負荷

携帯電話の堅牢性が十分かどうかを評価するには、一般的な使用環境で、どのような負荷が加わるかを把握しなければならないが、一般的な使用環境を定義することが難しい。バッグに入れて持ち運ぶ人も居れば、スーツのポケットに入れて持ち運ぶ人も居る。若い男性がジ-

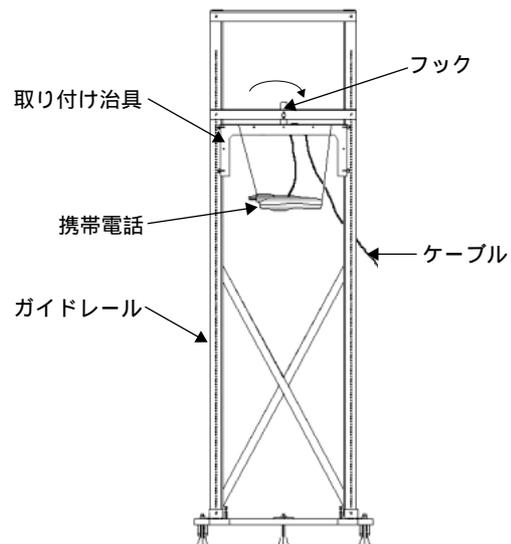


図-1 落下試験治具の概要  
Fig.1-Outline of treatment device for drop test.

ジーンズの尻ポケットに携帯電話を入れて歩いている姿を見かけるが、これは、意外と高い負荷を携帯電話に加える要因となる。著者らの実験により、ジーンズの尻ポケットに携帯電話を入れて椅子に腰掛けた場合、携帯電話を手で曲げたときと同等の高い負荷が携帯電話に加わることが明らかになったのである。また、ときには、設計者が予期せぬ負荷を携帯電話に与える人が居る。過去の障害事例から、手持ち無沙汰に携帯電話をねじったり曲げたりしたのではないかと考えられるケースがあったのである。そこで、携帯電話に大きな負荷が加わるケースとして、ジーンズの尻ポケットに携帯電話を入れて座り、立ち上がる場合と、携帯電話を手で曲げたり、ねじったりした場合とを想定した。そして、想定されたケース負荷に対して十分な堅牢性を備えることを開発目標とした。

筐体の強度は高いに越したことはないが、小型軽量化と両立させるため、強度に大きな余裕は与えられない。そのため、想定した使用環境における負荷を定量的に把握する必要がある。著者らは、つぎのような手法で、使用環境における負荷を定量化した。

例えば、ジーンズの尻ポケットに携帯電話を入れて座り、立ち上がる時の実装基板上の歪を測定する。これを、複数の人間を対象に試験を行い、実装基板上に発生する平均的な歪量を把握する。試験対象者は、ジーンズの尻ポケットに携帯電話を入れて持ち運びそうな年代を考慮して、20代から30代の男性10名程度である。このときの測定例を図-2に示す。比較のためにスーツの尻ポケットに携帯電話を入れて、同様の試験を行ったデータを含んでいる。つぎに、曲げ試験機を用いて、携帯電話の3

点曲げを行い、先の試験で得られた歪と同等の歪が実装基板上に現れるまで負荷を加える。そのときの荷重が、携帯電話をジーンズの尻ポケットに入れて椅子に座ったとき、携帯電話に加わる負荷と同等と考えられる。携帯電話の使用環境に対する評価試験では、この値にマージンを加え、期待する製品寿命から繰り返し数を設定し、繰り返し疲労試験を行うことで、堅牢性を評価している。

同様に、携帯電話の曲げねじり動作についても負荷を定量化して、機械的に疲労試験を行っている。この際、携帯電話を手でねじったときと同様に携帯電話を変形させるため、引張試験機を改造した。

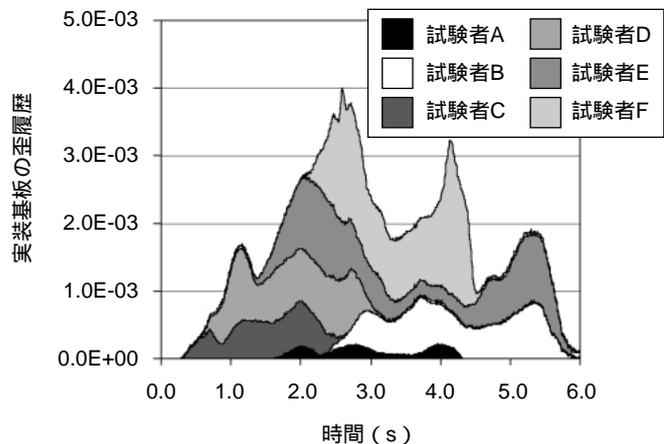
シミュレーションの適用

落下衝撃シミュレーション

BGAパッケージなどはんだ接合強度を評価する場合、シミュレーションツールとして普及している有限要素法では、解析対象をメッシュ分割する必要がある。しかし、はんだパンプに合わせて全体をメッシュ分割すると莫大な要素数になり、実用的な時間で計算ができない。そこで、解析モデルを、全体モデルと、着目部分の詳細モデルとに分けて、2段階で計算する手法により計算時間を短縮している。つまり、携帯電話の全体モデルでは、図-3に示す実装基板の大まかな変形挙動を計算し、着目するはんだパンプ付近だけを取り出した詳細モデルの境界条件とすることで、はんだパンプの詳細な応力分布を精度良く評価するのである。この方法で計算したはんだパンプの応力分布と、落下衝撃試験によるはんだパンプの破断部との比較を図-4に示す。はんだパンプ



(a) 尻ポケットに携帯電話を入れている様子



(b) 実装基板の歪履歴

図-2 実装基板の歪履歴測定例  
Fig.2-Example of measuring strain history on PCB.

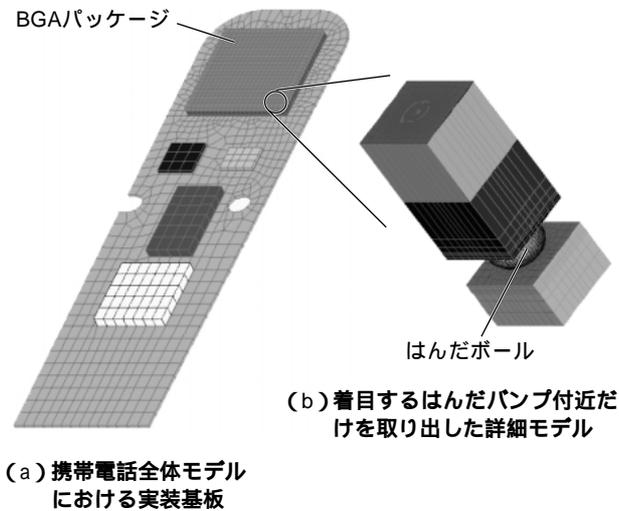
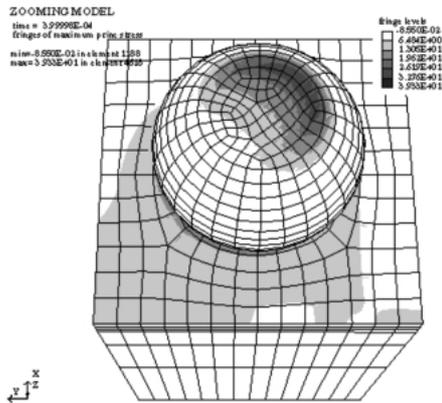


図3 2段階計算手法の説明  
Fig.3-Explanation of two step calculation technique.

の破断部とシミュレーションで得られた応力集中部がよく一致していることが分かる。

評価対象となるBGAパッケージは、複雑な多層基板の上に、多数の表面実装部品とともに実装されているため、すべてを正確にモデル化することは困難である。しかし、実装基板の等価剛性を見積り、チップ抵抗などの小型実装部品を省略しても、実装基板の動的挙動の傾向を掴むことは可能である。シミュレーションと、それを検証する実験を繰り返すことにより、条件の違いが結果に及ぼす影響を経験的に推定することで、妥当な評価が行えるようになってきている。

はんだパンプの径は、約70 $\mu\text{m}$ 程度であり、応力値を直接測定するには小さ過ぎるため、シミュレーションで得られた応力値の妥当性を、実験的に評価することができ

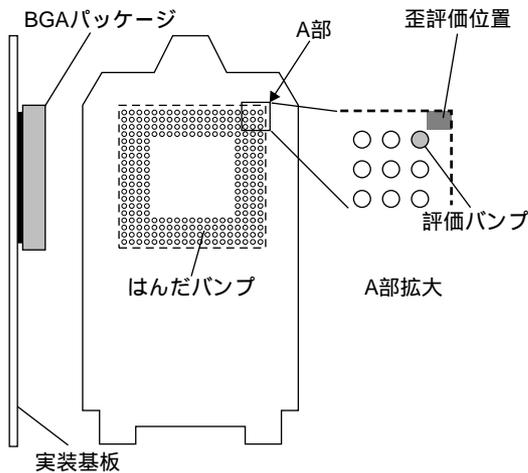


(a) シミュレーションによるはんだパンプの応力分布

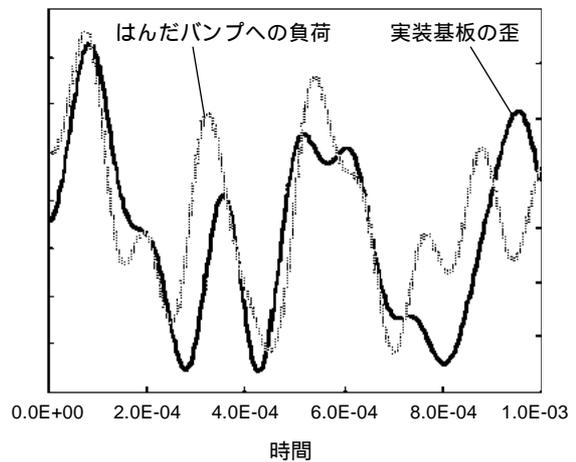


(b) 落下衝撃によるはんだパンプの破断部

図4 シミュレーションによるはんだパンプの応力分布と落下衝撃試験によるはんだパンプの破断部との比較  
Fig.4-Comparison between stress distribution of solder bump by simulation and breaking part of solder bump by fall impact test.



(a) 落下強度評価用実装基板の説明



(b) はんだパンプの負荷と実装基板の歪

図5 落下衝撃時にはんだパンプに加わる動的負荷と実装基板の歪履歴との関係  
Fig.5-Relation between dynamic load of solder bump by fall impact and strain of PCB.

ない。しかし、BGAパッケージの角部に位置するはんだバンプに加わる負荷と、そのはんだバンプ近傍の実装基板における歪に、相関があることが分かっている。<sup>(1)</sup> 落下衝撃時のはんだバンプへの負荷と、その近傍の実装基板における歪との関係を、シミュレーションにより求めた結果を図-5に示す。はんだバンプへの負荷は実装基板の歪に比例し、ほぼ同じ位相で、変化していることが分かる。一般に、BGAパッケージで、最も破断しやすいのは、角部のはんだバンプであるので、計算結果が実装基板の歪履歴を再現しているかどうかを評価すれば、はんだボールに加わる動的負荷の妥当性が評価できる。

BGAパッケージの場合、応力が集中するはんだバンプ外周は、理論的に応力が無限大となる応力特異場である。よって、計算された応力値そのものを評価しても意味がない。そこで、新機種的设计に際しては、既存機種での落下試験結果とシミュレーション結果から、はんだ接合部の破断可能性とはんだバンプの応力値との相関を把握しておき、新機種と既存機種のはんだ接合部の応力値を相対評価することにより、新機種におけるはんだ接合部の破断可能性を評価している。その際、解析モデルのはんだバンプにおけるメッシュサイズを統一する必要がある。

構造シミュレーション

携帯電話に曲げねじり負荷を加えたときの強度に関しても、落下衝撃強度評価と同様な手法により、シミュレーションすることができる。

はんだ接合強度以外の重要な評価項目としては、例え

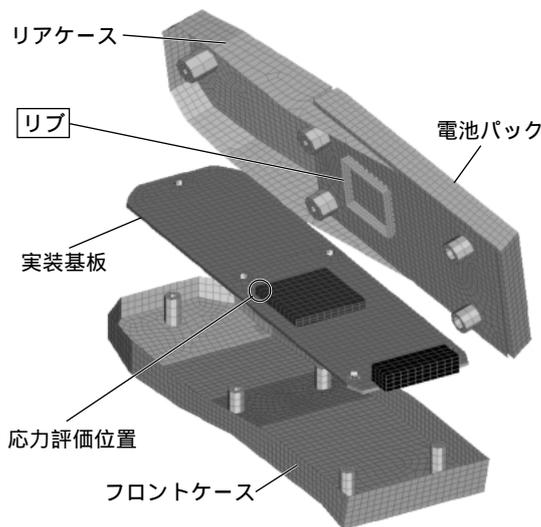
ば、筐体のかん合部に多用されるスナップフィットのかん合強度評価が上げられる。この問題は等価梁のたわみを計算することで評価できるが、大変形を起こすため、形状非線形性を考慮したシミュレーションの方が精度良く評価できる。

また、携帯電話が踏みつけられたときを想定して、LCDに面圧が加わった場合の強度評価も行っている。最近、携帯電話をWebブラウザとして利用する機会が増え、大型LCDへの需要が高まっている。しかし、大型化したLCDは、変形しやすくなるため、小型LCDよりも破損する可能性が高くなる。

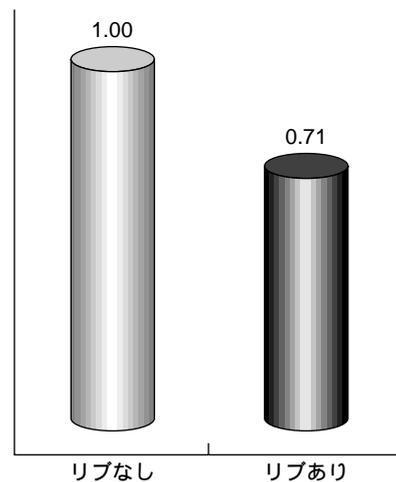
シミュレーションの効果

シミュレーションが最も効果的であるのは、開発初期段階においてである。基板上の部品や補強リブの配置を、多様に変化させて実験的に検証することは、時間的にもコスト的にも不可能である。しかし、シミュレーションを用いれば、仮想的に多様なケースを検証できるため、試作コストを低減できるのである。

例えば、図-6に示す計算モデルは、リアケースにBGAパッケージを押さえるリブの効果を検討したものである。落下衝撃によって実装基板が変形し、BGAパッケージをはがそうとする力が発生する。このとき、リアケースに設けられたリブで、BGAパッケージを実装基板の方へ押し戻すことによって、BGAパッケージの角部に加わる応力集中を低減しようという考えである。計算結果の比較では、リブを設けることによって、はんだバンプの



(a) 計算モデルの説明



(b) 計算結果の比較(最大応力の比)

図-6 BGAパッケージを押さえるリブの効果の検討  
Fig.6-Examination of effect of rib which holds BGA package.

最大応力を29%低減する効果が確認できた。実際の物理現象は、容易に再現できるほど簡単ではないので、シミュレーション上の最適結果が、実際に最適である保証はないが、最適解に近い結果を導くことができると考えている。試作段階では、実機の改造による実験的評価のほうが、確実に効率的な場合が多い。よって、効果的にシミュレーションを適用するためには、開発初期段階に適用することが重要なのである。

実際に数値解析を開発に適用することにより、適用以前の機種に比べて、衝撃耐力が100%向上し、開発工数が30%短縮できた。部品の小型化が進んだことにより、実装基板の応力集中が緩和されたこともあるため、すべてが数値解析の効果とは言えない。しかし、以前に比べて初期設計品質が向上したことにより、最終品質が上がったことは確かである。

また、シミュレーションの効果の一つとして、現象の可視化が挙げられる。製品に歪ゲージを取り付け、負荷が加えられたとき、どのような変形になっているかを評価することが多い。しかし、携帯電話のように小さな対象では測定か所に限りがある。また、はんだ接合部のような微小部分では測定自体が不可能である。このような場合、シミュレーションを用いると、全体の歪や応力の分布が容易に評価できる。さらに、落下衝撃問題のような動的挙動は、実験的に把握することが困難であるが、シミュレーション結果をアニメーションにすることで、簡単に現象を理解することが可能である。

### む す び

携帯電話開発へのシミュレーションの適用と、その効果について紹介した。

実際には、成型条件が筐体強度に与える影響など、理論的に表現が困難な要因が多く存在するため、シミュレーションだけで完全な設計が行えるわけではない。また、新機種を開発する際には、新しい材料や実装方法を導入することが多いため、材料特性の調査や、解析条件の妥当性を評価する基礎実験が必要となる。

しかし、従来のように経験だけを頼りに試作評価を繰り返す開発スタイルでは、小型軽量化と堅牢性を両立させた製品開発をスケジュールどおりに行うことは困難である。現在のシミュレーション技術は完全ではないが、実験による検証を補完し、現象の理解を助けることができる。コンピュータの性能向上が進むに連れて、より複雑な現象がシミュレーション上で再現できるようになっている。製品を開発する上で、シミュレーションの適用技術とノウハウの蓄積が、今後ますます重要になると考えられる。

### 参考文献

- (1) 石川ほか：携帯電子機器における半田接合部の落下衝撃強度評価．第11回計算力学講演会講演論文集，大阪，日本機械学会，1988，pp.523-524.