

# 信頼性評価シミュレーションのカーエレクトロニクス製品への適用

Application of Reliability Simulation to Car Electronics Products

坂井 敏之

Toshiyuki Sakai

**要 旨** 製品のコストダウン・開発期間短縮を目的として、信頼性評価シミュレーションを行った。実施したのは機構解析・はんだ熱応力解析・衝撃解析・FPC 屈曲疲労耐久性解析で、その結果設計の効率化に貢献した。

**Summary** With the purpose of reducing production cost and length of the development period, reliability assessment simulation was carried out, which included mechanism analysis, solder thermal stress analysis, shock analysis and FPC flexing fatigue endurance analysis. As a result, it contributed to an improvement in the efficiency of design.

**キーワード** : シミュレーション, CAE, ヴァーチャルプロトタイピング, 設計のフロントローディング

## 1. まえがき

近年製造業において、厳しい競争を勝ち抜くために製品のコストダウン・開発期間短縮の必要性がますます高まっており、従来型の設計手法では通用しなくなりつつある。

その有効な解決策の一つと考えられているのが、コンピュータによるシミュレーション技術の活用である。具体的には3次元CADやCAEを活用してコストダウン・開発期間短縮・製品品質向上を達成しようという動きで、CAE先進企業においては、コンピュータ上のモデルをコンピュータ上で組み立て、各種評価を行うことにより試作回数を削減している。このような手法はヴァーチャルプロトタイピングなどと呼ばれる。

当事業所においても「信頼性試験のシミュ

レーションによる評価」という観点から、シミュレーション技術の利用拡大に取り組んでいる。シミュレーション(CAE)は実機試験を伴わないので、コスト・時間の面で有利であり、上手く活用することで設計の効率化に貢献できる。設計の効率化に有効であった最近の成果を報告する。

## 2. 解析の概要

信頼性の評価は従来、実機試験により行われてきた。この実機試験をコンピュータシミュレーションで代替することで、次のような利点を得られる。

(1) 試作コストの削減(試作レス化)

シミュレーションはコンピュータ上での仮想

試験であるから、実機を必要としない。シミュレーションを最大限活用して、試作品での実機評価をシミュレーションによる評価に置き換えることで、試作回数を減らすことが可能である（試作レス化）。試作レス化によるコスト削減効果は一般に非常に大きい。

### (2) 試験評価期間の短縮

信頼性評価試験の中には、試験期間が数ヶ月に渡る長期間を要するものがある。そのような試験をシミュレーションで代替することで、実機試験よりも早く結果を知ることができ、試験評価期間の短縮、最終的には開発期間の短縮を可能にする。

### (3) 評価タイミングの前倒し

試作などの実機作製を待たずに確認可能であるから、設計初期段階に複数の設計案を前倒して検討することが可能である。基礎検討時の設計自由度が比較的高い段階にシミュレーションを適用することで、最小限の変更コストにより部品レイアウトなどを有利なものにあらかじめ絞り込むことができる。これはシミュレーションによる設計のフロントローディングと呼ばれる。

## 3. 適用事例

4つの解析分野のシミュレーション適用事例について述べる。

### 3.1 機構解析

#### 3.1.1 概要

機構解析は質点系の力学の問題を解く解析である。カーエレクトロニクス製品のメカニズムの部品は、平板を打ち抜いただけの軸受けなどを持たないものが多く、ガタつきが無視できない。また、滑り接触運動部が多く、摩擦の影響が大きいといった特徴がある。

動作負荷が局所的に高くなるような部分があると、高温下での繰り返し動作などにおいて、磨耗や摩擦力の増大によって動作不良となる場合がある。機構解析を用いて機構の最適化を行い、動作負荷を平滑化したり、意図的に大きな摩擦係数を与えて動作確認を行うことで、この

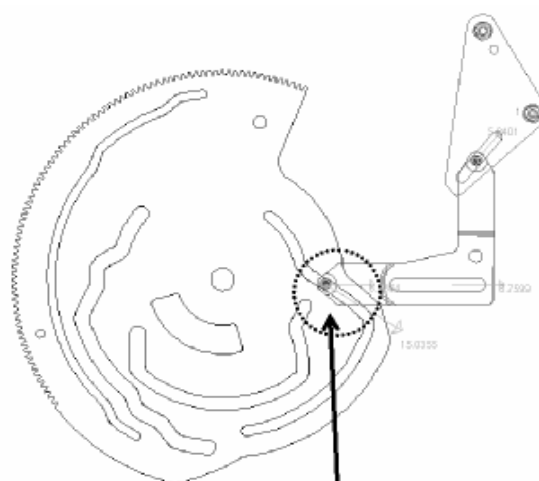
ような問題を未然に防止することができる。

#### 3.1.2 適用事例

図1に示すインダッシュチェンジャーメカのカム・リンク機構に適用した事例を示す。図1の円形カムとリンクの接続部のカム・カーブについて解析した。設計当初のカム・カーブを図2の実線で示す。また、最適化したカム・カーブを破線で示す。カム・カーブはカム溝中心の軌跡で示す。

最適化にあたっては入力側(カム)の駆動負荷をできるだけ平滑化するため、入力軸を定速回転させたときに出力軸の加速度変動が少なく、入力軸と出力軸のトルク比の小さいカム・カーブを導き出した。

図3に駆動トルク、図4に加速度変動の両者の比較を示す。図3から分かるように、カム回



破線で囲んだ部分の最適化検討

図1 カム・リンク機構

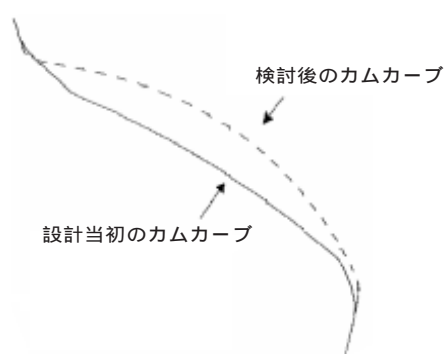


図2 カムカーブの最適化

転角が62度付近にピークが存在していたのが、最適化により平坦化している。また、図4より加速度変動が大幅に低減されていることが分かる。カム・カーブを最適化することで、実機での動作がスムーズになり、連続動作試験の耐久性が向上した。

### 3.2 はんだ熱応力解析

#### 3.2.1 概要

熱サイクル試験における、基板実装部品のはんだ付け部の破断耐久性(はんだクラック)評価に、非線形解析ソフトMSC.Marcを用いた解析の適用を行っている。

摩擦係数0.1の場合のカムの回転角度と駆動トルク

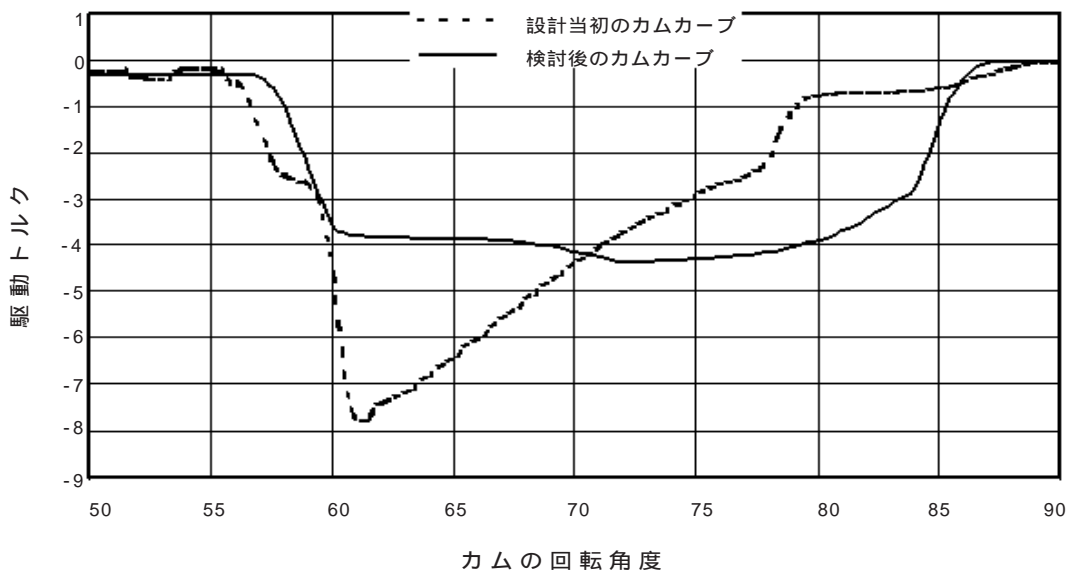


図3 駆動トルクの比較

カムの回転角度とアームの回転加速度

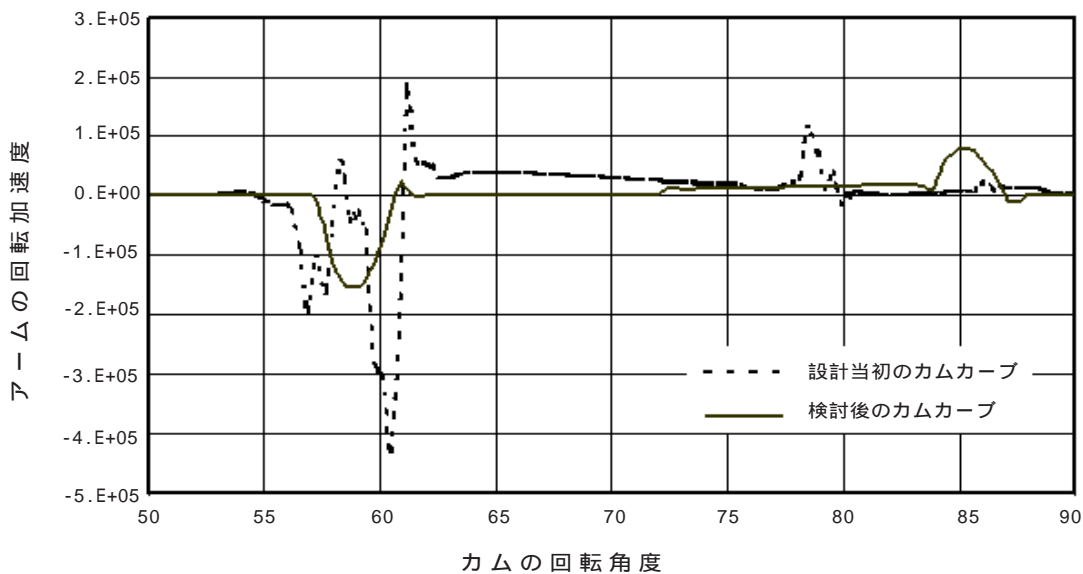


図4 加速度変動の比較

基板上では各部品(実装部品・基板・銅パターン・はんだなど)の線膨張係数・ヤング率などの物性の違いにより、温度変化と共に各部品が異なる変形をしようとしてストレスを生じ、さらにそのような応力状態で温度保存することで、はんだクリープが進行し、製品の信頼性の劣化の一因となっていた。

はんだ物性として、

- ・弾塑性特性
- ・クリープ

の2つの特性を考慮する。これら物性がそれぞれ温度依存性を持つものとして、図5に示す高温・低温熱サイクルを解析モデルに与え、結果として得られるはんだ部のひずみの蓄積により、熱サイクル試験の耐久性を評価する。

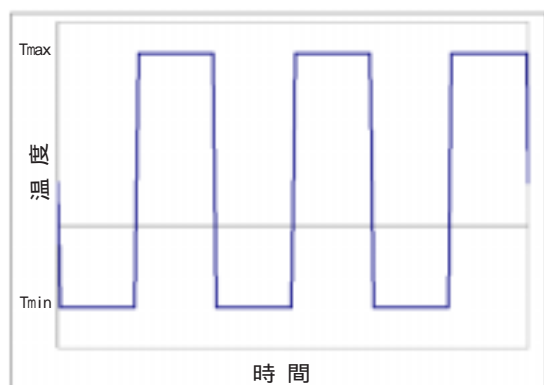


図5 熱サイクル

### 3.2.2 適用例

ICパッケージを基板に実装した事例について述べる。解析結果と実機の比較を図6に示す。実機熱サイクル試験と同一条件で解析を行って両者を比較したもので、実機切断面の写真を図6(a)に、解析による最大ひずみ発生部位を図6(b)に示す。解析結果と実機クラック発生位置が良く一致していることが分かる。

## 3.3 衝撃解析

### 3.3.1 概要

衝撃解析は、動解析とも呼ばれ、自動車の衝突試験や、携帯電話の落下衝撃試験などに適用されている。衝撃により短時間に変形が進んで

いく様子を時刻歴応答として計算するもので、初期状態から直接最終形態を求める一般的な強度解析(静解析)とは手法が異なる。具体的には衝撃試験機による加速度(G値波形)や、衝突による速度変化といった条件を与えて、必要な時間に渡って解析を実行する。時間に依存する変形なので、振動的な挙動を伴う場合が多い。

また現物の衝撃試験は一瞬で終わり、破壊の様子などから衝撃時の製品挙動を推測することになるが、シミュレーションでは挙動をアニメーションなどで可視化できるので、現象の理解に役立つ。

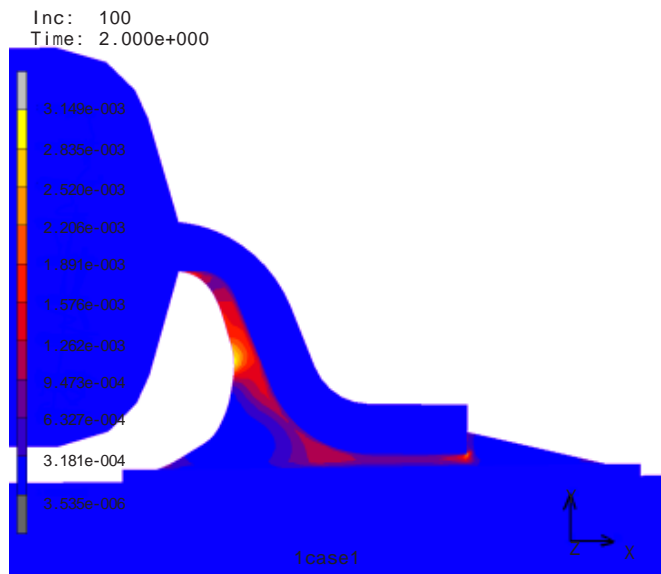
### 3.3.2 適用例

内突解析の事例を図7に示す。これは車両で事故が起きた際の車室内の安全性を評価するもので、鉄球に初速度を与えてカーオーディオ製品の製品外観部にぶつける破壊試験である。この事例では、鉄球の衝撃Gを低減することを目的として解析を行った。複数の設計案(初期設計案、および衝撃Gを低減する対策を組み込んだ幾つかの案)についてシミュレーションを行った。シミュレーションの結果、製品の耐衝撃性には鉄球から離れた板金シャーシの影響が大きいことが分かった。板金シャーシでの応力分布を図8に示す。図8aは基本案、図8bは最適案の応力分布である。最適案はスリットを入れて曲がりやすくすることが効果的であると分かった。図9に、衝突時の鉄球に生じる加速度を示す。同図から最適案では加速度が減少していることが分かる。シミュレーションで形状案を絞り込むことで、試作品の数を減らすことができた。

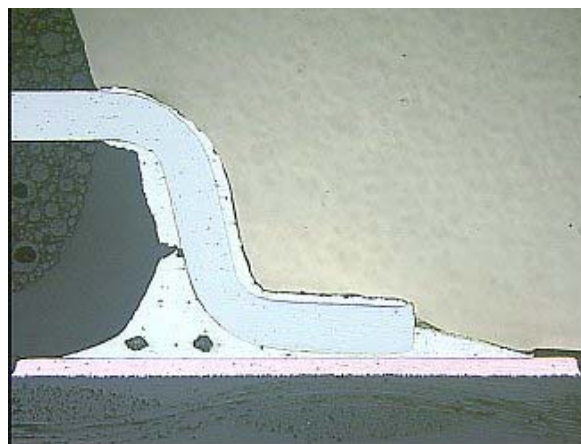
## 3.4 FPC 屈曲疲労耐久性

### 3.4.1 概要

フレキシブルプリント基板(FPC)は、その屈曲性を生かして可動部品の電氣的接続のために多用される部品であるが、可動部に使われるために繰り返し動作による亀裂・断線が問題となる場合がある。本来的にメカ動作に伴って大きく変形するものなので、ストレスのかかり方が



(a) はんだ解析ひずみ



(b) 実機クラック

図 6 解析結果と実機の比較

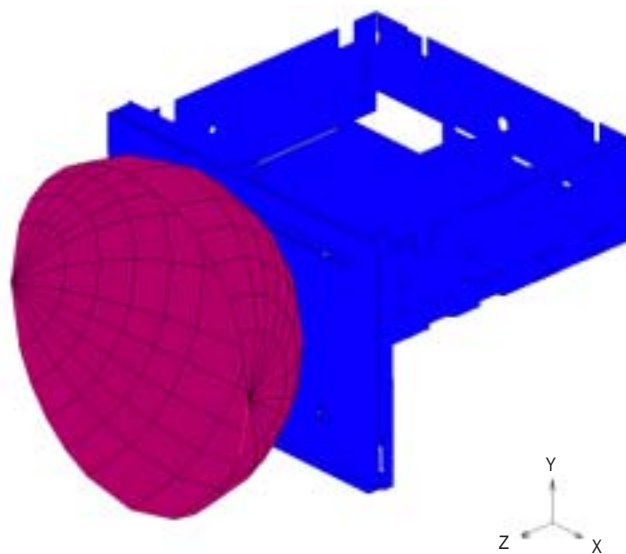
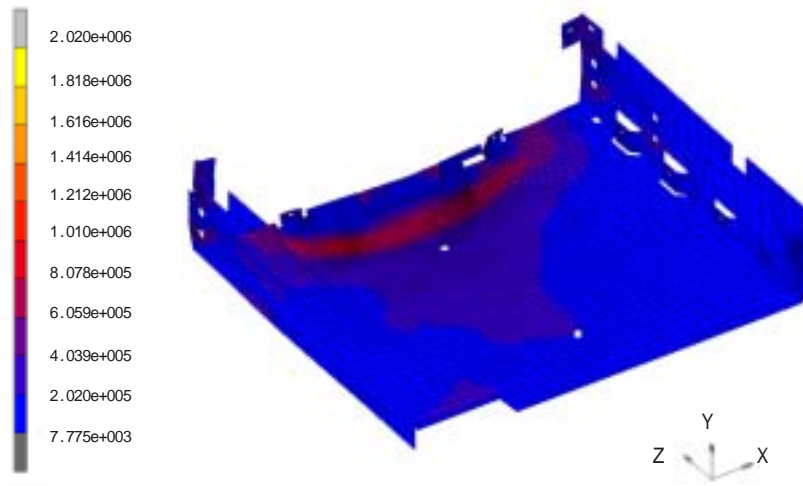
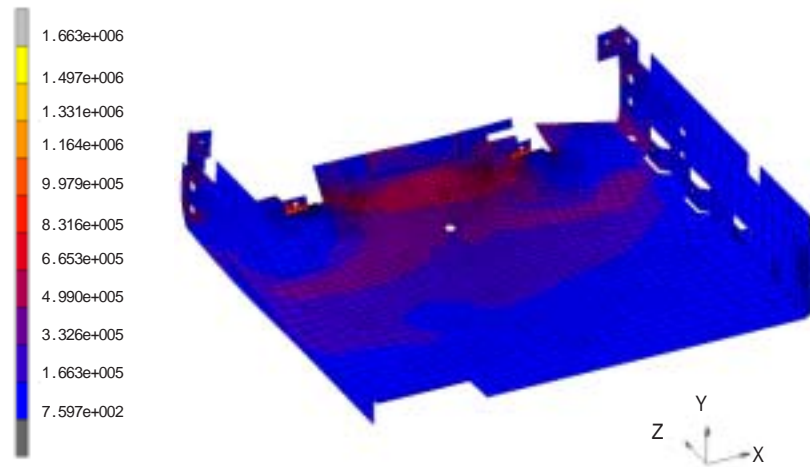


図 7 解析モデル



(a) 応力分布(初期案)



(b) 応力分布(改善案)

図 8 板金シャーシの応力分布

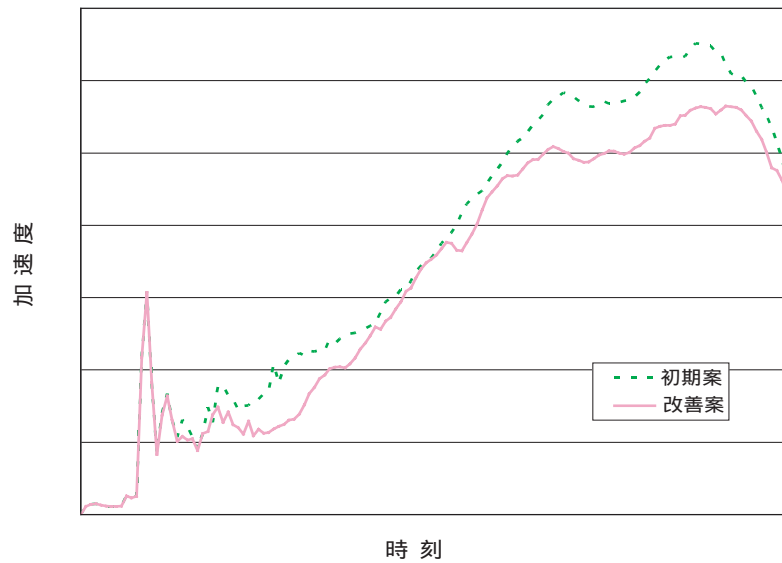
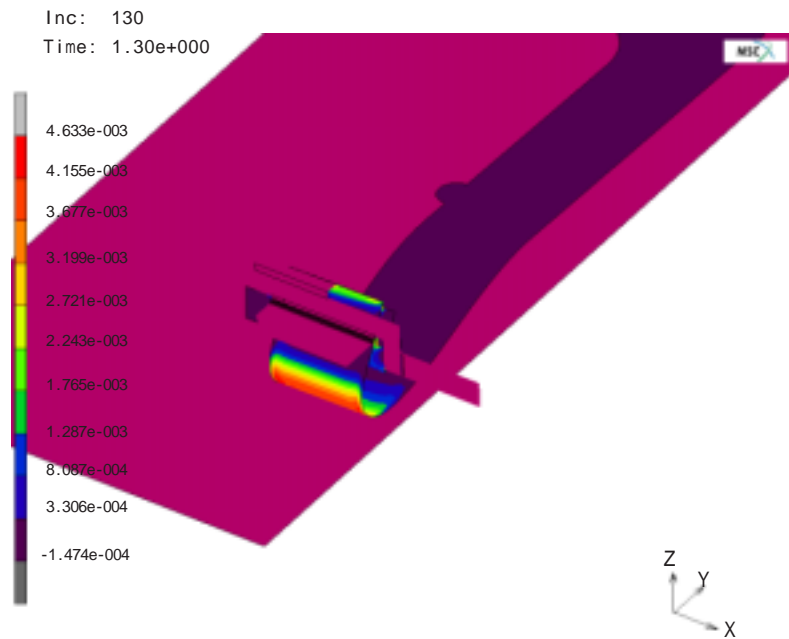
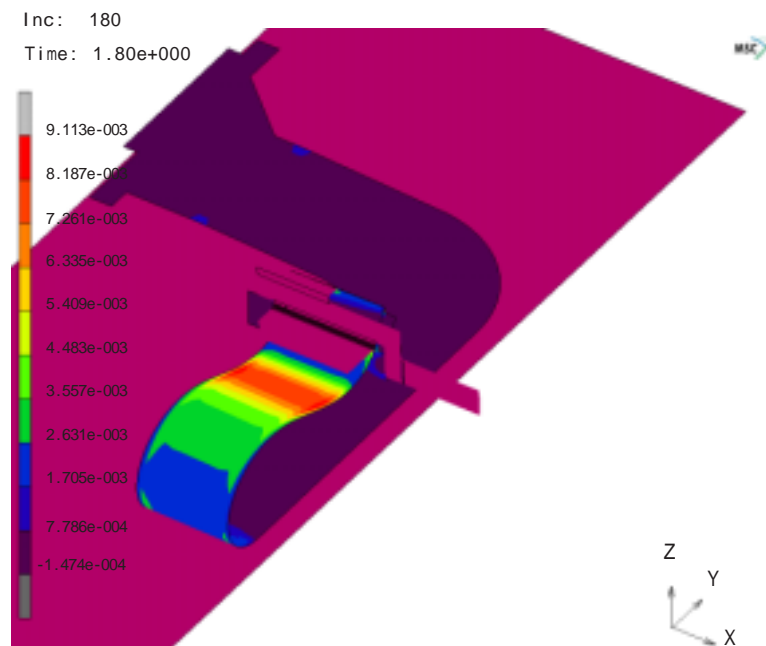


図 9 衝突時の鉄球に生じる加速度比較





(a) FPC 動作開始



(b) FPC 動作終了

図 10 FPC の状態変化

複雑になっている場合が多く、実機試験による評価を繰り返すこともある。

そこで、FPC 内部を基材および補強材(ポリイミド)・銅箔などの積層材としてモデル化し、各種非線形性(大変形・材料非線形・周囲部品との接触)を考慮した屈曲動作の疲労耐久性評価シミュレーションを行っている。

### 3.4.2 適用例

ディスク再生メカのFPCにシミュレーションを適用した事例を述べる。図10aの動作開始位置から図10bの動作終了位置まで、FPCは一端が固定された状態で屈曲位置が連続的に変化しながら長距離を移動する。本シミュレーションでは、この動作全体でのFPCへの負荷を解析し

て、繰り返し疲労による断線危険箇所を求めた(図11)。このシミュレーションにより、実機試験回数の削減に効果を上げている。

#### 4. まとめ

各種シミュレーションを導入してコンピュータ上での信頼性評価を実施している。このことにより、試作数の削減・設計案の効率的な検討に活用、効果を上げた。

今後の課題としては、シミュレーションによるさらなる評価の推進を目標として、

- ・新規解析導入による評価項目の拡大
- ・実機試験とシミュレーションの合わせ込みによる継続的な精度向上

が必要と考え、取り組みを行っている。

#### 5. 謝辞

解析実施にあたり形状・材料情報、試験結果など各種データを提供して頂いたMEC生産技術部ならびに関係各位に感謝します。

#### 筆者紹介

坂井 敏之(さかい としゆき)

所属：MEC技術開発部。主に、CAE関連業務に従事。2002年より2年間メカ設計業務を担当。

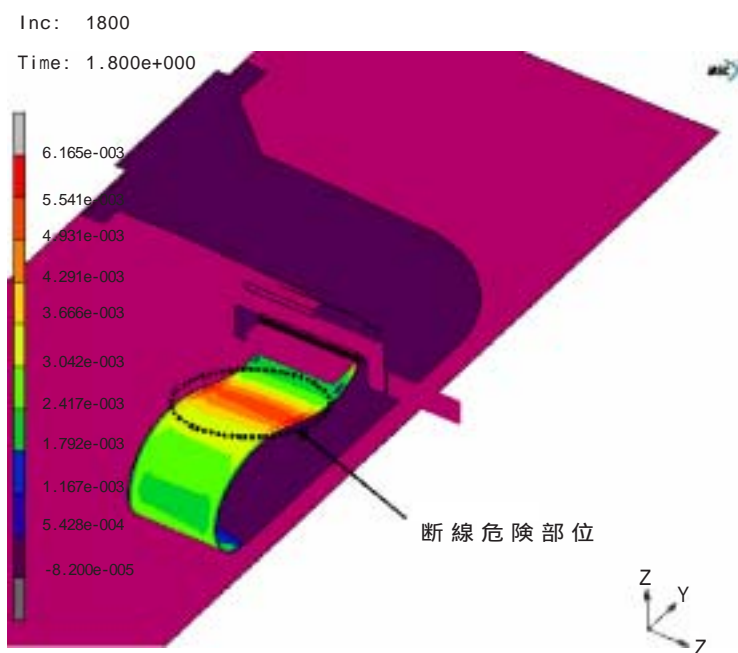


図11 FPC 断線危険部位