

# ICカード搭載超薄型発振デバイスの開発

## —極小パッケージの評価・設計—

山田 博之・古屋 重彦・橋田 鉄雄・清水 誠司・萩原 茂・西村 通喜

## Development of the Super Thin Oscillator for IC Card Loading

### —Evaluation and Design of the Minimum Package—

Hiroyuki YAMADA, Shigehiko FURUYA, Tetsuo KITTA, Seiji SHIMIZU,  
Shigeru HAGIHARA and Michiyoshi NISHIMURA

### 要 約

水晶振動子などの発振デバイスをICカード類に搭載するためには、発振デバイスの超薄型化が最大の課題であるとされている。そこで本研究は、構造解析システムを用いてパッケージと水晶振動子の外力に対する強度や温度特性などを解析し、カード搭載に適応可能な実装厚さ0.5mmの超薄型パッケージ形状を設計した。最も小型の従来製品と新型パッケージとの解析結果を比較した結果、強度や温度特性・周波数特性などの点において、従来製品と比べても超薄型でありながら十分な性能をもっているという結果が得られた。

### Abstract

In order to load an crystal oscillator on a card, the super thin technology of a crystal oscillator is the most important problem.

In this research, the structural and thermal strength about a crystal oscillator and its package were analyzed by the finite element method. And a super thin package of 0.5mm in thickness was developed at last. The thickness of the new style package is about half the thickness of a usual minimum package. However, the new package is better than the usual package about analytic result of the structural and thermal intensity, and vibrational characteristic.

### 1. 緒 言

現在キャッシュカードやクレジットカードなどの磁気ストライプカードが広く使用されている。しかし、今後普及・拡大が見込まれるICカードに発振回路を搭載でき頭脳化できるならば、演算機能や大記憶容量をはじめとする多機能化・高性能化の実現や、偽造防止・暗号による認証をはじめとする高セキュリティ機能を実現することが可能となる。このようなICカードの実用化によって、クレジットカードやプリペイド型電子マネーを主体とした電子商取引の市場拡大や、その他膨大な需要の増加に伴う新規市場の開拓が予想される。

発振デバイス素材としては、電気特性や温度特性などに優れた水晶が圧倒的に多く用いられており、その性能や経済性の面からも、将来にわたって他の追随を許さない素材と言われている。

しかしながら、発振回路をICカードに搭載し実用化するためには、発振デバイスの超小型化が最大の課題とされている。特に、厚さは現在市販実用化されている薄型パッ

ッケージでも0.7～1mm程度あり、ICカードに搭載するためには、約0.5mm以下の超薄型化が必要不可欠である。

そこで本研究は、有限要素法を用いて、発振デバイスのパッケージと水晶振動子の外力に対する強度や温度特性・振動特性を解析し、ICカード搭載に適応可能な超薄型形状の基本設計を行う。(以下、本文中で述べている水晶振動子とは水晶板のみを指すこととする。)

### 2. 解析方法

#### 2-1 解析システム及び評価方法

従来製品の中で最も薄く小型の発振デバイスについて、単体およびICカード実装状態での評価を行うために、外力に対する強度および温度変化に耐えうる力学的特性を有限要素法による構造解析システムを用いて解析した。

外力に対する強度評価は、落下やカードの曲げやひねりのシミュレーションによって解析を行った。温度変化による水晶振動子への影響は、熱-応力複合解析により水晶振動子へ加わる力を解析することによって評価した。また、

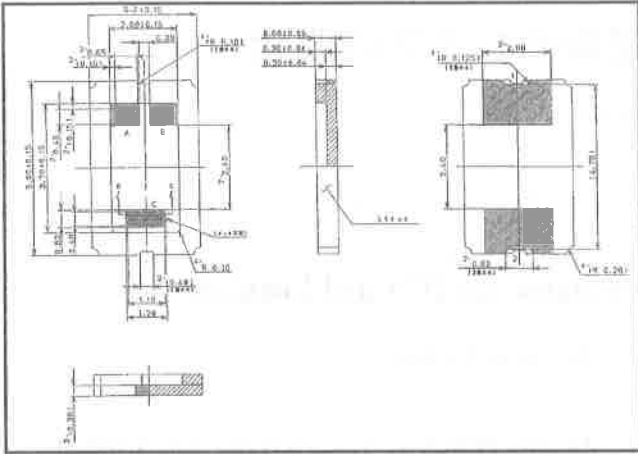


図1 従来製品のパッケージ形状 (底部)

水晶振動子の機械振動特性を調べるために振動モードをシミュレーション解析によって性能評価した。

### 2-2 材質と物性値

解析に用いた従来製品は、パッケージの材質としてセラミックスを使用しており、封止のための金属板の材質としてコバル (Fe-Ni-Co合金) を使用している。また、カード基板の材質は、一般に広く用いられている塩化ビニール重合体とした。これらの材料と水晶について、本解析に用いた物性値を表1に示す。

また今回設計した新型パッケージでは、材料単体の強度に機能・生産性を考慮し、材質としてセラミックスを使用した。

### 2-3 形状と寸法

現在製品化されている中で最も薄く小型の発振デバイス (5×3.2×0.7mm) について解析を行った。そのパッケージの形状を図1に示す。パッケージの端子部分にニッケルおよび金メッキが施されている。封止のためのコバル製天板は厚さ0.1mmであり、パッケージに熱溶着によって封止される。

一方、新型パッケージは従来の製品が桁形の底面高強度構造であるのに対して、箱形とすることによって、超薄型の形状 (4.8×4.1×0.5mm) でありながら十分な強度を確保

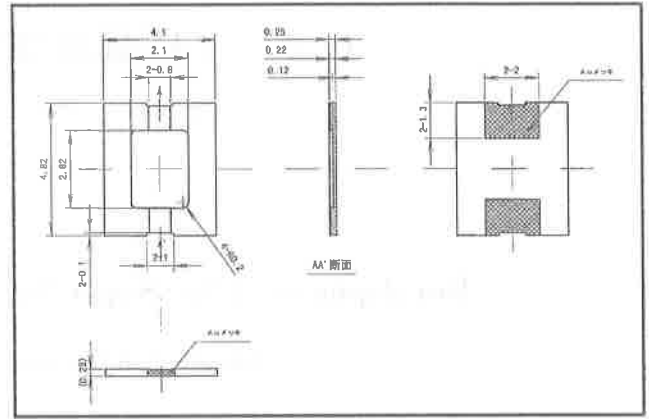


図2 新型パッケージ形状 (パッケージ下部)

する構造を考え出した。厚さ0.75mmのカードへの搭載を考慮し、新型パッケージの厚さは0.5mmを目標とした。本パッケージは、量産に対応するため、生産性を考慮し水晶振動子を挟む単純な対称形状とした。新型パッケージの形状を図2に示す。

### 2-4 解析モデル

従来の発振デバイスについて、解析モデルの構成例を図3に示す。また、新型パッケージについて、解析モデルの構成例を図4に示す。

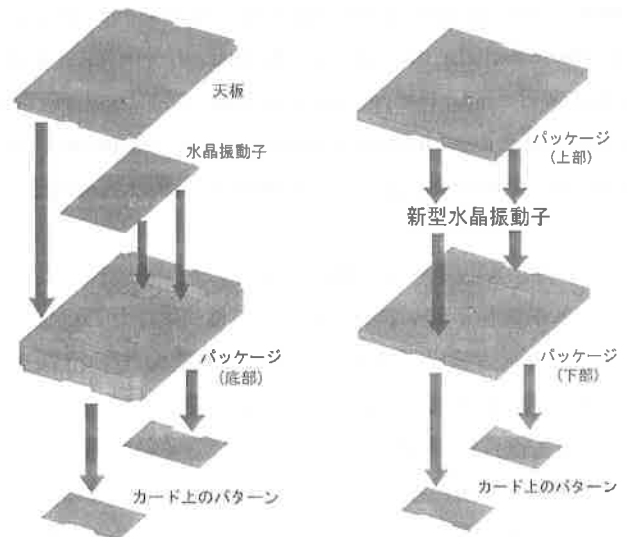


図3 従来製品の解析モデル 構成例 図4 新型パッケージの解析モデル構成例

表1 使用材質の物性値

材質	ヤング率 [Kgf/mm <sup>2</sup> ]	ポアソン比	引張強さ [Kgf/mm <sup>2</sup> ]	熱膨張係数	密度 [Kg/mm <sup>3</sup> ]
セラミックス	45000	0.22	28	7.00E-6	3.98E-6
コバル	20000	0.3	50	5.20E-6	8.25E-6
水晶	7950 (X,Y) 10490 (Z)	0.135	16 (X,Y) 13 (Z)	13.37E-6 (X,Y) 7.97E-6 (Z)	2.66E-6
塩化ビニール	280	0.3	3.5~6.3	50.00E-6	1.40E-6

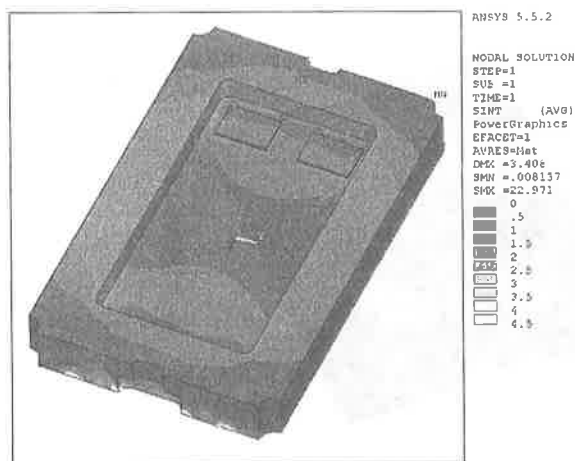


図5 従来パッケージの片持ち曲げ応力解析結果 (内部)

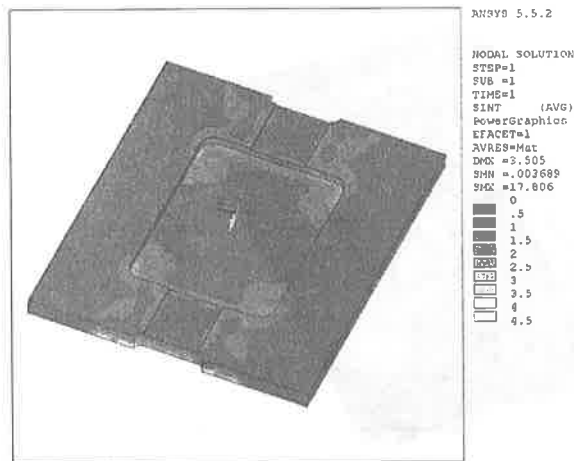


図7 新型パッケージの片持ち曲げ応力解析結果 (内部)

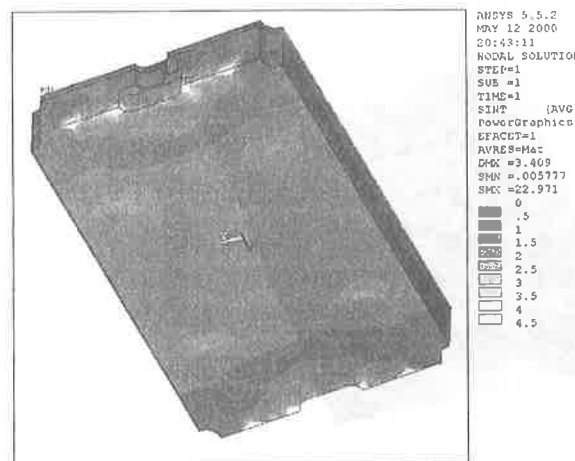


図6 従来パッケージの片持ち曲げ応力解析結果 (底面)

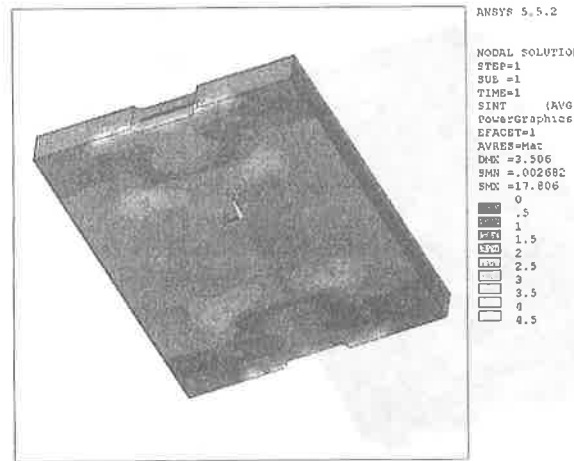


図8 新型パッケージの片持ち曲げ応力解析結果 (底面)

従来製品の解析モデルは、セラミックス製のパッケージモデル (底部) の内側に2つの接点端子用凸部を設け、その端子部分に厚さ50 $\mu$ mの長方形板状の水晶振動子のモデルを接合している。さらに、厚さ0.1mmのコパール製天板のモデルをパッケージモデルの上面に接合している。そして、このような発振デバイスのモデルを85×53.5×0.75mmのICカードのモデル上面に設けたパターンに接合する構成である。

新型パッケージの解析モデルは、対称形状となるセラミックス製のパッケージ上部モデルと下部モデルとで、新型水晶振動子モデルの両端支持部分を挟み込むように接合している。そして、このような発振デバイスのモデルを85×53.5×0.75mmのICカードのモデル上面に設けたパターンに接合する構成である。この形状の特徴は、箱形の構造で強度を確保することに加え、上部と下部のパッケージを対称形状にしていることや、水晶振動子を両端支持の対称形状とし、その支持部を伸ばしてデバイスの端子パターンに結合し易い形状にするなどの生産性を考慮した形状にしているところにも特徴がある。

### 3. 解析結果および考察

3-1 ICカード搭載状態での変形による強度解析  
 発振デバイスをカードに搭載した状態で、カードに対して曲げやねじり等の変形が生じる外力を加えることによるパッケージおよび水晶振動子の強度解析を行った。また、解析条件であるカードの変形量は、ICカードの性能保障限界として変位で10mm前後を目標とした。

まず、カード短辺の片方を固定し、他方の短辺をカードの厚さ方向に10mm変位させた場合、すなわちカードの片持ち曲げによる応力解析を行った。従来パッケージの計算結果を図5、6に示し、新型パッケージの計算結果を図7、8に示す。従来パッケージと新型パッケージの計算結果を比較してみると、パッケージ内部では、中央部に曲げ応力が発生しており、両者とも同程度の応力値となっている。

一方、パッケージ底面では、カードとの境界面に剥離の応力が発生し、端子付近に応力が集中していることがわかる。応力集中の最大値は新型パッケージの方が20%程度小さい値であり、剥離しにくいと考えられる。

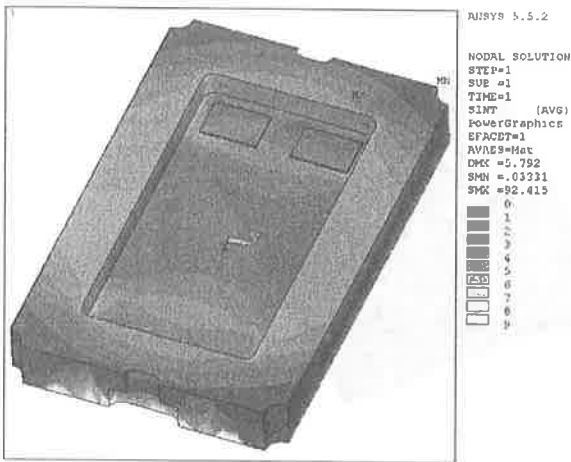


図9 従来パッケージのU字曲げによる応力解析結果

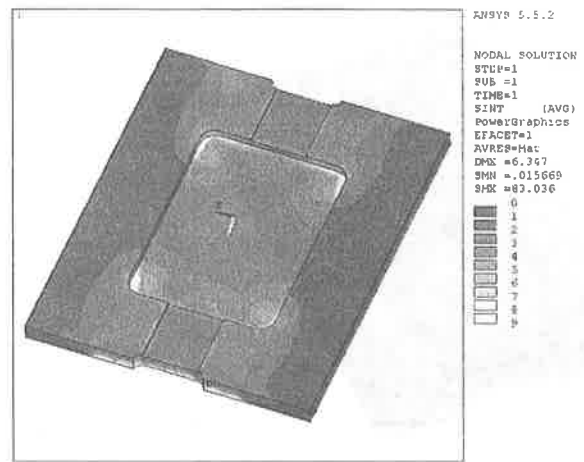


図10 新型パッケージのU字曲げによる応力解析結果

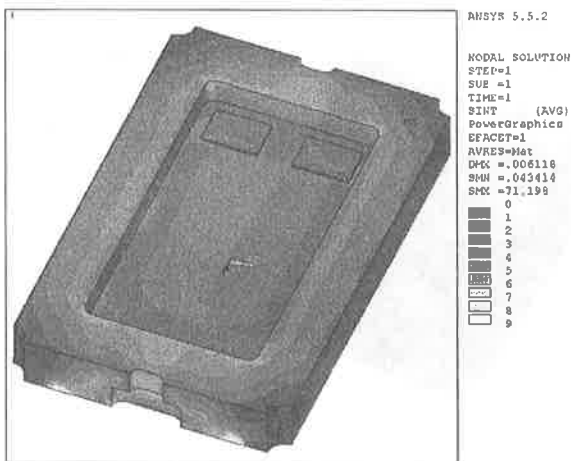


図11 従来パッケージの捻り曲げ応力解析結果（底部）

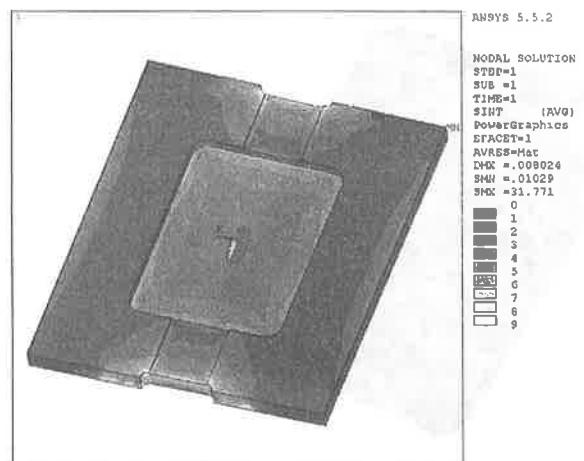


図13 新型パッケージの捻り曲げ応力解析結果（下部）

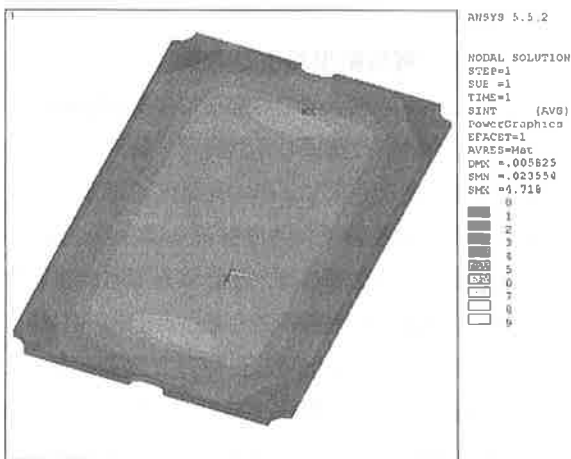


図12 従来パッケージの捻り曲げ応力解析結果（天板）

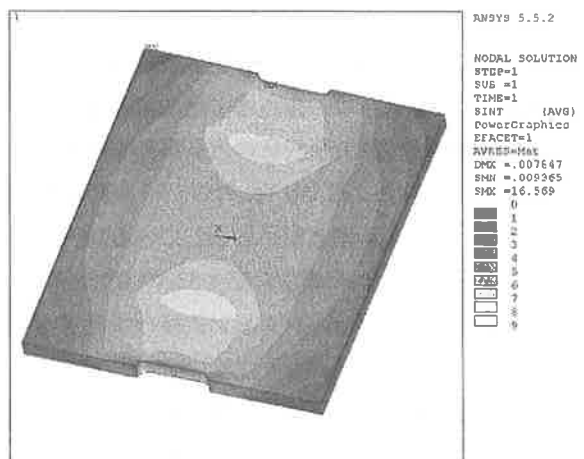


図14 新型パッケージの捻り曲げ応力解析結果（上部）

次に、カード短辺を両端支持し、曲げモーメントを加え、カードをU字型に9 mm程度曲げ変形させた場合の応力解析を行った。従来パッケージの計算結果を図9に示し、新型パッケージの計算結果を図10に示す。

従来パッケージと新型パッケージの計算結果を比較してみると、全体として両者とも同程度の応力分布を示しているが、新型パッケージでは凹形状となっている水晶振動子を入れるための最も薄い部分のコーナー部に、やや大きな

応力集中が見られる。しかし、この集中応力値はセラミックスの抗折力(28kgf/mm<sup>2</sup>)をかなり下回っており、大きな問題とはならないと考えられる。

次に、カード短辺にひねりのモーメントを加え、カードの四隅を±4 mm程度ひねった場合の応力解析を行った。従来パッケージのセラミックス製底部およびコバルト製天板の計算結果を図11, 12にそれぞれ示す。新型パッケージのセラミックス製下部分および上部分の計算結果を図13, 14

にそれぞれ示す。従来パッケージと新型パッケージの計算結果を比較してみると、両者ともセラミックス製の底部(下部)に発生する応力はほぼ同程度である。しかし、コバル製天板とセラミックス製上部分とでは、応力分布は似ているが、コバル製天板の応力値はセラミックス製底部の応力値よりもかなり小さいのに対し、新型パッケージの上部分の応力値は下部分とほぼ同程度であることがわかる。この結果から、従来製品ではセラミックス製の底部で変形に対する強度を確保していると考えられる。一方、新型パッケージでは極薄でありながら下部分と上部分による箱形構造とすることで強度を確保していることが示されている。

### 3-2 落下による水晶振動子への影響

落下によって水晶振動子へ及ぼす影響のうち、主として、水晶振動子の厚み方向への落下時における水晶振動子の強度解析と、落下時における水晶振動子とパッケージ内壁との干渉解析の結果を評価した。

水晶振動子の厚み方向へ100G (980m/s<sup>2</sup>)の加速度が加わった場合の従来製品の解析結果を図15に示す。水晶振動子の接点付近に応力が発生しているが、応力値は0.05kgf/mm<sup>2</sup>で小さく問題はない。また、片持ちによって支えられている水晶振動子先端部の変位量もわずかで問題ない。一方、新型パッケージ用の水晶振動子も衝撃吸収形状や両持ちで支えている効果によって、従来製品に比べて発生する応力値および変位量はさらに小さい値となる結果が得られた。

### 3-3 ICカード搭載状態での温度変化による応力解析

発振デバイスがある温度環境の中で製造された後、それと異なる温度環境の中で長時間放置された場合を想定し、定常状態におけるカード搭載状態でのパッケージと水晶振動子の熱変形による応力解析を行った。

温度差100℃の場合の熱-応力解析の結果のうち、従来パッケージの解析結果を図16に、新型パッケージの解析結

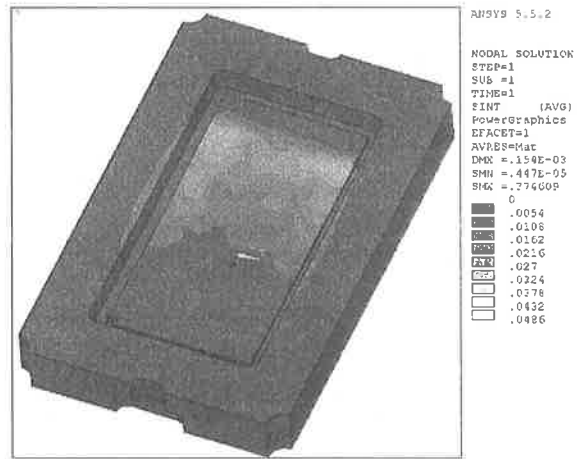


図15 従来製品の落下による応力解析結果

果を図17に示す。

カードの材質にもよるが両者ともパッケージとカードとの接点端子付近に同程度の大きな応力集中が見られた。また、従来製品ではパッケージと水晶振動子との接点部において、非常に大きな応力が発生しており、剥離や破壊の可能性がある。一方、新型パッケージの接点部は許容応力値内である。これは従来製品では水晶振動子が片面接点であることと、2つの接点間に新型水晶振動子のような変形吸収形状がないことが原因であると考えられる。

### 3-4 水晶振動子のモーダル解析

従来製品の水晶振動子(水晶板)と、新型水晶振動子についてモーダル解析を行った。固有振動数および振動モードの形態を表2に示す。従来製品は新型水晶振動子に比べて1次の固有振動数が低い。1次の振動モードが片持ちにより変形しやすい形状と一致するため、この値の倍数の振動数での使用は注意が必要であることがわかった。一方、両端支持型の新型水晶振動子は、1次の固有振動数が従来製品よりもおよそ3倍高く、さらに1次と2次の固有振動数が非常に近いので、これら2つの振動数についての使用を避ければ良いことがわかる。

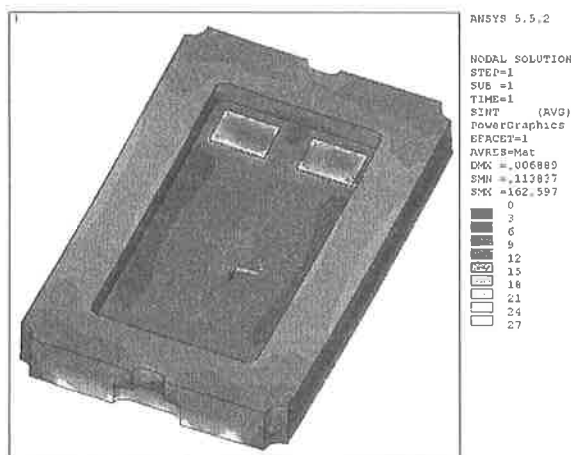


図16 従来パッケージの温度変化による応力解析結果

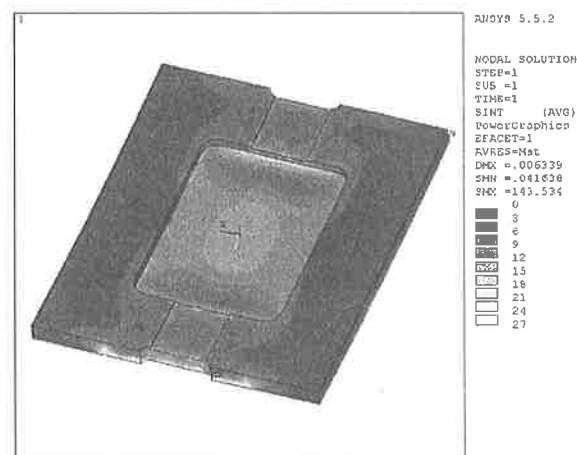


図17 新型パッケージの温度変化による応力解析結果

表2 水晶振動子のモーダル解析による固有振動数および振動モード

水晶振動子形状	固有振動数	振動モード
従来形状	1次 6285Hz	先端が大きく上下する振動モード
	2次 23567Hz	先端がねじれる方向へ振動するモード
	3次 38960Hz	先端方向(長辺方向)へ向かって波打つ振動のモード
	4次 46985Hz	先端が左右に振動するモード
両持ち新形状	1次 15954Hz	両持ち支持の中央部の振動子のみがたわむモード
	2次 16734Hz	両持ち支持部を中心振動子が回転するモード
	3次 38047Hz	長手方向へ振動子が前後するモード
	4次 41188Hz	2次モードと直角をなす方向へ振動子が回転するモード

#### 4. 結 言

従来製品の中で最も小型の発振デバイスと、新たに設計開発の結果得られた新型パッケージについて解析評価を行ったところ、以下の結果が得られた。

- 1) 従来製品は柵形のパッケージ底部高強度構造であり、強度を保持するためにパッケージ底部の厚さがある程度必要となる。一方、新型パッケージは箱形の構造とすることによって超薄型でありながら、従来製品と比べて十分な強度が得られていることが判明した。
- 2) カードに外力を加えた場合、カードとの接点端子付近に大きな応力が発生する。応力集中の最大値は新型パッケージの方が20%程度小さい値であり、剥離しにくいと考えられる。
- 3) 落下による水晶振動子の変形や破壊への影響は、従来製品形状と新型形状ともに小さい。
- 4) 熱-応力解析の結果、パッケージと水晶振動子の接点

部において、従来製品では大きな応力が発生してしまうが、新型水晶振動子では変形吸収形状の効果により発生する応力は許容範囲内である。

- 5) モーダル解析により、従来製品は1次の固有振動数とその振動モードに特に注意が必要である。両端支持型の新型水晶振動子は、1次と2次の固有振動数が非常に近い。

#### 参考文献

- 1) 国立天文台編：理科年表平成12年版，丸善
- 2) 杉田忠彰編著：セラミックスの機械加工，養賢堂発行，(1985)
- 3) 川島宏文，松山勝：エッチング方によって形成されたラメモード水晶振動子，第24回EMシンポジウム資料，(1995.5.18-19)
- 4) 川島宏文，横山幸雄，久保田忠義：擬似ラメモード圧電振動子，第28回EMシンポジウム資料，(1999. 5. 27-28)