

移動体通信端末機器用メタルドーム

材料技術研究所 富塚 稔 瑞*1・味村 彰 治*2
プリント回路事業部 川平 哲也*3
DDK (Thailand) LTD 野口 好男*4

Metal Dome for a Mobile Communication Terminal Equipment

T. Tomitsuka, S. Ajimura, T. Kawahira & Y. Noguchi

近年の移動体通信端末機器の高性能化にともない、押しボタンスイッチとして用いられるメタルドームシートも高品質かつ小型化、高性能化が求められている。当社では同スイッチシートの量産を1997年から開始し、以後、生産技術開発、高性能化開発に取り組んでいる。今回、有限要素法解析を用いた形状設計と材料の最適化技術を確立し、同スイッチシートの機構部品であるメタルドームについて、これまで実現が困難であった小型化かつ高耐久化を同時に達成したので紹介する。

As performance of mobile communication terminal equipments is increasing, small sized high performance metal dome sheet used as pushing switch in those equipments has been required. Since Fujikura Ltd. started the mass-production of the metal dome sheet in 1997, we have improved mass-production technique and characteristics of the metal dome sheet. Recently, we could establish an optimum design method of metal dome, which is a most functional part of the sheet, using a finite element method (FEM) This paper describes several examples of FEM's analysis and our developed metal dome which has very long durability, could not be achieved so far, with small sized.

1. ま え が き

近年、移動体通信端末機器はめざましい勢いで普及している。この機器用押しボタンスイッチには、良好なフィーリング特性、低コストおよび省スペース性から、メタルドームと樹脂シートで構成されるメタルドームシートが用いられている。移動体通信端末機器にメール機能やゲーム機能などが備え付けられたことにより、このスイッチシートの小型化および高性能化が求められ、機構部品であるメタルドームに関する研究が各社で行われている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

当社は1997年からこのスイッチシートの量産製造を開始し、生産技術の開発とともに高性能化への技術開発に取り組んでいる⁵⁾⁶⁾。今回、有限要素法解析を用いたプレス成形解析・打鍵解析技術を確立し、プレス成形で発生する残留応力、打鍵によるメタルドームの変形挙動、発生応力の大きさなどを解析して、金型のポンチおよびダイ形状までさかのぼったメタルドーム形状の設計が可能となったので紹介する。また、この有限要素法解析を用いた設計および材料の最適化検討を行い、これまで困難

であった小型かつ高耐久性のメタルドームを開発した。

2. メタルドームの概要

携帯電話用メタルドームシートの例を図1に示す。このスイッチはメタルドームと粘着層付き樹脂シートで構成されており、図2に示すスイッチ構造として用いられる。メタルドームシートの特性を決定づけるメタルドームは接点形状や要求特性に合わせて、標準タイプ、耐環境対策タイプ等の種々の形状のメタルドームが用いられている。一方、樹脂シートも全面粘着タイプから部分粘着タイプ、そして素材には安価なPETが用いられ、一部、発光機能を有するEL樹脂などが検討されている。



図1 メタルドームシート外観
Appearance of metal dome sheet

*1 金属材料開発部

*2 金属材料開発部グループ長

*3 プリント回路開発部

*4 製造技術課

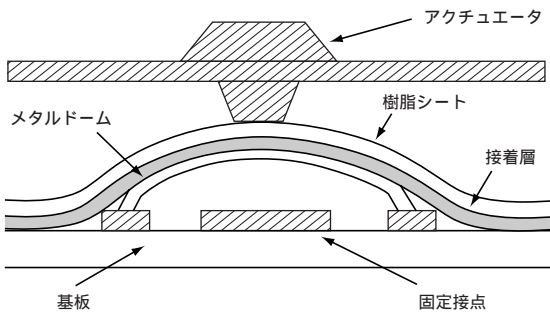


図2 スイッチ構造
Structure of dome sheet switch

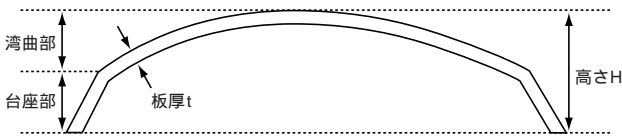


図3 メタルドームの断面形状
Cross section of metal dome

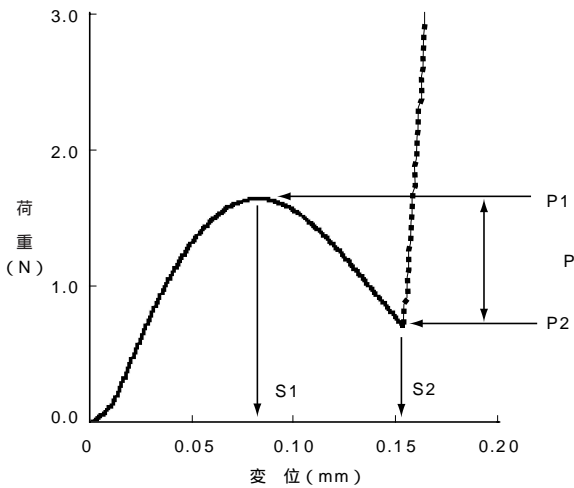


図4 荷重 - 変位曲線
Curve of load - stroke

メタルドームは板厚40～70 μ mの薄板からプレス成形されたもので、図3に示すような湾曲部と台座部を有する形状をしている。高さHは約200 μ m、外径は4～6mmのものが一般的である。図4にメタルドームを打鍵した時の荷重 - 変位曲線を示す。メタルドームを押し下げた際、反発力は徐々に増加していき、ストロークS1で荷重の極大値(P1)が得られる。その後、反発力は低下していき、ストロークS2でメタルドームは固定接点と接触し、荷重は極小値(P2)となる。メタルドームを押し下げた際のクリック感触は反発力P1とP2の差に基づき、(P1 - P2)/P1であるクリック率で数値化される。クリック率が大きいほど、良好な操作感触が得られるが、クリック率が大きいほど、復帰性に乏しくなり、反転不良が起りやすくなる。そのため、操作感触と復帰性を加味するとクリック率は30%～60%程度が良いとされている。

表1 メタルドームに対する要求特性の変化
Change of demand on metal dome

要求特性	'99	'01	'03
MD外径 (mm)	6	5	4
荷重 P1 (N)	1.5～2.0		1.0～2.8
耐久回数	0.3M	1M	～3M
その他		耐位置ずれ特性	耐環境特性

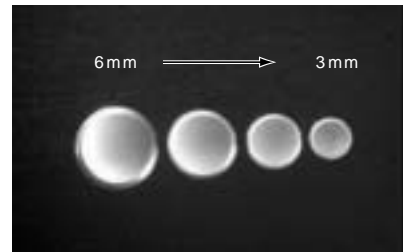


図5 メタルドーム外観写真
Appearance of metal dome

3. メタルドームの技術動向

近年のメタルドームへの要求特性の変化を表1に示す。まず、図5に示すようにメタルドームの外径は90年代では6mmが主流であったが、現在では4mmと小型化し、なお、3mmへと一層の小型化が進む見込みである。荷重特性はP1値=1.6N品が主流であったが、現在では1.0Nから2.8Nの範囲の種々の荷重特性品が要求されるようになった。一方、移動体通信機器の小型化、薄型化、多様化が進む中で、メール、ゲーム機能が付与され、操作キーの打鍵回数が飛躍的に増加する傾向にあり、メタルドームに小型化と高耐久化という相反する両特性が同時に要求されはじめた。その他に、メタルドームの打鍵位置がずれても良好な操作感触、異物が混入しても電気的特性を確保できる耐環境特性など、様々な課題があり、これらの課題を解決するために、高度な設計技術と生産技術が必要となっている。

4. 有限要素法によるメタルドームの設計技術

薄板の引張試験から得られる応力 - ひずみ曲線を用いて、非線形等方性硬化則の材料モデルを適用した。解析モデルとしては、節点1,776、要素数2,646の4節点1/2軸対称2次元ソリッドモデルと、節点13,940、要素数17,562の8節点1/4 3次元ソリッドモデルを用いて数値計算を行った。

4.1 プレス成形解析

実際には、テープ状薄板を連続的に順送金型に送り、ポンチとダイにより成形、切り離すことにより、メタルドームは加工される。しかし、本解析では、固定されたダイとポンチの間に薄円板が挟み込まれた状態と仮定し、ポンチに強制変位を与え、実際の金型同様、数回の成形過程を連続して数値解析を行った。

4.2 打鍵解析

プレス成形解析による変形、内部応力値を考慮して、

打鍵時の解析を行った．メタルドームを固定接点上に設け，所定形状のアクチュエータに強制変位を与えて，メタルドームの中心を打鍵し，メタルドームとアクチュエータが接触してからのアクチュエータの変位量と反発力，そしてメタルドーム打鍵時に発生する応力を推測した．また，連続打鍵解析を行い，荷重特性の変化も計算した．

4.3 解析結果の例

4.3.1 応力分布および荷重 - 変位曲線

プレス成形解析結果を図6に示す．解析結果では，プレス成形後のメタルドーム断面には表側から裏側に数百MPaの引張り応力が発生していた．また，湾曲部から台座部へと変曲する箇所では，最も大きな応力が発生していた．プレス成形解析に引き続き，打鍵解析を行ったところ，図7に示すように飛び移り座屈曲線を示す荷重 - 変位

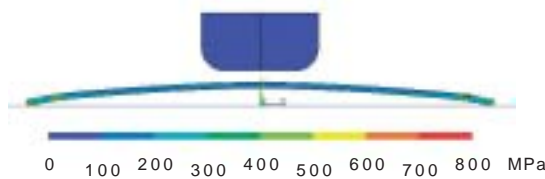


図6 プレス成形後のメタルドーム断面形状と残留応力
FEM's image of metal dome

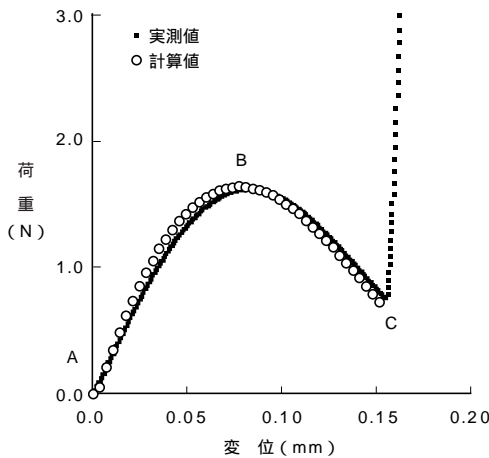


図7 FEM解析から得られた荷重 - 変位曲線
Curve of load - stroke calculated by FEM

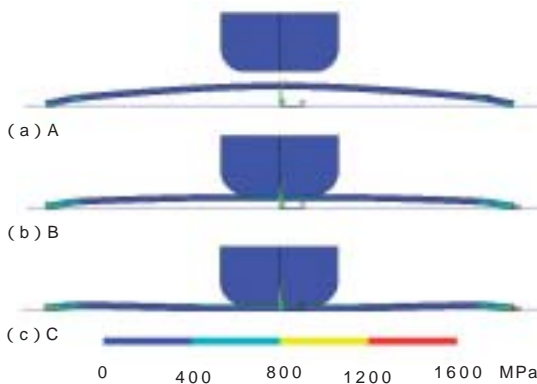


図8 メタルドームの変形挙動と発生応力
Deformation and stress of metal dome

曲線が得られ，実測値と良い一致を示した．図7に示す荷重 - 変位曲線のA，B，C点でのメタルドームの変形挙動と発生応力の解析結果を図8に示す．図8 (a) に示すメタルドームをアクチュエータにて打鍵すると，P1荷重時 (B点) においては図8 (b) に示すように，メタルドームの湾曲部がほぼ水平状態になり，さらに打鍵したP2荷重時 (C点) においては，図8 (c) に示すようにメタルドームの湾曲部が反転した状態となって接点と接触する結果になった．打鍵解析結果から推測される応力は打鍵とともに，メタルドームとアクチュエータとの接触部およびメタルドームの円周部で大きくなり，特にP2荷重時において円周部で，1,000MPaを越えると推定された．この結果より，繰り返して打鍵するとメタルドームとアクチュエータの接触部もしくは円周部から破断すると推測された．

4.3.2 打鍵回数と荷重特性

図9に打鍵回数と荷重特性の関係について，解析結果と実測結果を示す．実測値および解析値ともに打鍵回数の増加とともに，P1荷重が低下した．特に，打鍵1回目から2回目のP1の低下が最も大きな値であった．

4.3.3 アクチュエータ径と荷重特性

図10 (a) に 1.0mm ~ 3.0mm金属アクチュエータに

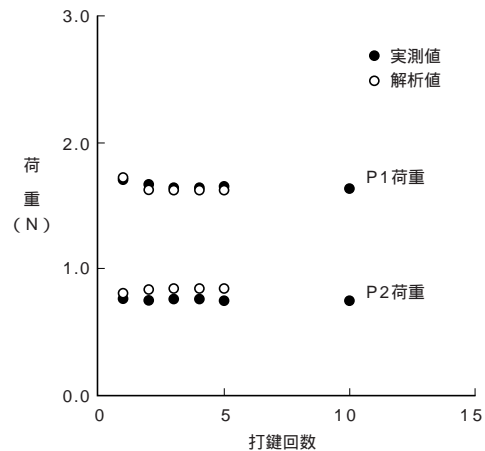


図9 打鍵回数と荷重特性
Relationship between pushing cycles and P1, P2 load

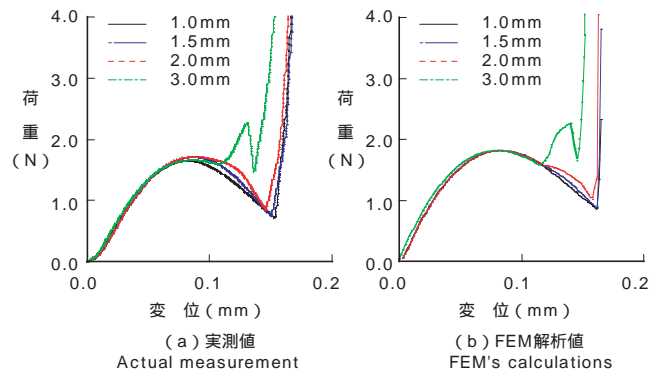


図10 アクチュエータ径と荷重特性
Dependence of load - stroke on diameter of actuator

よる 4.0mmメタルドームの打鍵実験結果を、図10 (b) に同解析結果を示す。3.0mmアクチュエータを用いた打鍵測定結果では、極大値、極小値がそれぞれ2つ得られた。解析結果でも同様な結果が得られ、実験による荷重 - 変位曲線と解析から得られる曲線は良い一致を示し、解析結果および実験結果ともに、4.0mmメタルドームに対して、3.0mmアクチュエータでの打鍵は不適切であることがわかった。また、アクチュエータ径が大きくなるほど、P2荷重が大きくなる傾向にあり、操作感が低下することが推測された。

5. 開発目標

P1 = 1.0N, 1.6N, 2.0N, 2.5N, 2.8Nの外径4mm品、各メタルドームともクリック特性は30~60%、耐久回数は300万回以上とした。

5.1 メタルドームの試作と製造技術

われわれは、第一電子工業(株)で順送金型プレス機で試作を行うとともに、評価および解析を繰り返し、メタルドームの形状および材料の最適化を行った。

5.2 開発品の基本特性

5.2.1 荷重特性

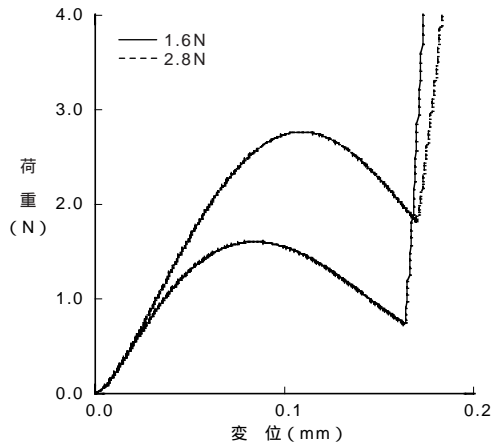


図11 荷重 - 変位曲線

Curve of load - stroke of metal dome developed

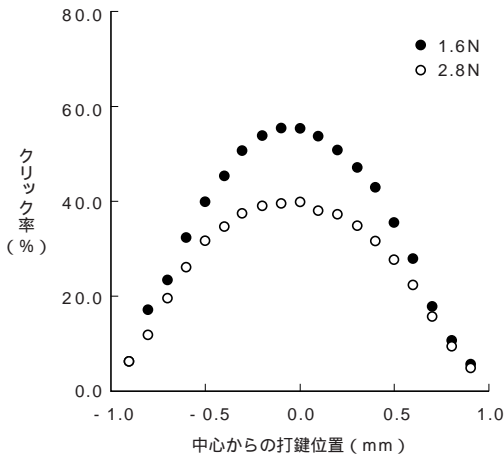


図12 位置ずれ特性
Off-center specification

外径4mmの代表的なメタルドームの荷重 - 変位曲線を図11に示す。1.0N~2.8Nまで良好な荷重特性を示し、クリック率も35~60%であり、打鍵感触も良好であった。

5.2.2 ずれ押し特性

代表的な荷重品種について、ずれ押し特性を図12に示す。中央より0.5mmずれた位置で打鍵したときのクリック率が中央打鍵時の70~80%であり、位置ずれ特性も良好であった。

5.2.3 耐久特性

従来、外径 5mmより小さくなると耐久性が著しく低下すると報告されており⁵⁾、4mm外径のものでは耐久回数が100万回を超えることが困難であったが、メタルドームの形状および材料の最適化を行い、4mmメタルドームについて、高耐久化に成功した。特に、P1 = 2.0~2.8Nの高荷重品種についても高耐久化が可能となった。

図13には代表的な荷重品種のP1荷重と打鍵回数を示す。300万回まで打鍵を行っても破損することはなかった。また、P1荷重の変化も小さく、荷重特性が安定していた。

5.3 全特性一覧

表2に開発品の全般的な特性を示す。また、開発品を用いたメタルドームシートとしての特性を表3に示す。

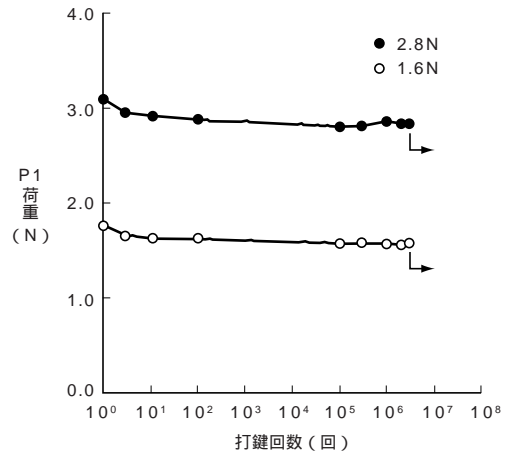


図13 打鍵回数とP1荷重

Relationship between pushing cycles and P1 load

表2 4mmメタルドームの性能
Specification of metal dome

外径 (mm)	4.0
荷重P1 (N)	1.0, 1.6, 2.0, 2.5, 2.8
クリック率 (%)	30~60
耐久回数 (万回)	> 300
位置ずれ特性	0.5mmずれても中央打鍵時の70%以上のクリック率

表3 4mmメタルドームシートの性能
Specification of metal dome sheet

耐久回数 (万回)	> 300
メタルドームずれ (mm)	±0.15
2重メタルドーム	なし
接触抵抗 ()	< 100
チャタリング (ms)	< 3

6.むすび

移動体通信端末機器は、これまで誰もが予想し得なかった勢いで進化を遂げ、今後、情報端末機器の主演として、さらなる高機能化が進むと予想される。当社は、今後、一層高性能なメタルドームシートの開発に取り組むとともに、海外製造拠点での生産技術開発を進め、低コスト、高品質な製品を供給できるように取り組んでいく。

参 考 文 献

1) 座古ほか：ライトタッチスイッチ用ダイヤフラムの信頼性評価手法に関する研究，材料，No.3, Vol.51, pp.338-343,

Mar. 2002

- 2) 座古ほか：ダイヤフラム用薄板材料の疲労特性評価，材料，No.1, Vol.51, pp.88-93, Jan. 2002
- 3) 鈴木ほか：携帯電話用メタルドームのクリック特性に及ぼす残留応力の影響，日本機械学会茨城講演会講演論文集，020-3, (2002-9), pp.167-168
- 4) 極薄板ばね材料特性評価法委員会：極薄板ばね材料の特性評価法に関する調査報告書，日本ばね工業会，1990
- 5) 大橋ほか：携帯電話用キードームシート，フジクラ技報，第92号，pp.69-77, 1997
- 6) 二宮ほか：携帯電話用メタルドームシート，フジクラ技報，第99号，pp. 27-31, 2000