

感圧センサモジュール

電子部品開発センタ 田中 渉^{*1}・石井 崇裕^{*2}・今井 隆之^{*1}
プリント回路事業部 安田 憲世^{*3}
材料技術研究所 中嶋 敏文^{*4}
株式会社青森フジクラ 小館 智・阿保 渉

Force Sensing Membrane Sensor Modules

W. Tanaka, T. Imai, T. Ishii, N. Yasuda, T. Nakajima, S. Kodate & W. Abo

当社では、押し圧によって接点抵抗が変化する感圧接点がシート内に多数配置されていて、荷重、圧力の分布が検知できるシート状感圧センサを開発している。例えば、自動車のエアバック制御用として乗員の体格や姿勢を検知可能なセンサの開発に成功している。また、楽器、ゲーム、家電、パソコン用として用いられる入力デバイスへの展開を狙い、感圧特性（抵抗 - 圧力特性または抵抗 - 荷重特性）を制御する検討を行っている。本報では、様々な用途に応じた感圧センサ、さらに感圧センサに機構部品を複合化した感圧センサモジュールの開発に成功したので報告する。

We have developed a force sensing membrane sensor composing of arrayed force sensing cells to control a input data. For example, as airbag control of an automobile use, we have succeeded developing the sensor to obtain the passenger's physical data. We have been inquiring a control of the force sensing characteristic (resistance-pressure or resistance-force) about the input device as a use with various musical instrument and personal computer etc. In this report, we describe the characteristics of the force sensing sensor and the force sensing sensor modules for various uses.

1. ま え が き

シート状感圧センサの接点部は、通常のメンブレンスイッチ（MBSW）と同じ構造になっているが、押下力に応じて連続的に接点抵抗値が変化する。これらの接点をシート内に多数配置することにより、荷重、圧力の分布を検知することができる。その特徴を生かし自動車のエアバック制御用として、乗員を検知するセンサの開発に成功している¹⁾。さらに現在、自動車用以外にも楽器の鍵盤用、家電、ゲーム機の入力用、介護における人員検知などへの応用が検討されている。

感圧センサと一般のMBSWとの大きな違いは、接点の上下電極の一方または両方に感圧電極を設けたことである。感圧電極は銀電極やカーボン電極と同様に、感圧インクをスクリーン印刷することにより形成している。感圧接点の抵抗は感圧電極層の比抵抗と上下電極間の接触抵抗によって決まる。特に当社の感圧センサでは所望の安定した接触抵抗を得るため、感圧電極の塗膜表面に微

細な凹凸を形成している。この凹凸の度合い（表面粗さ）や突起部の硬さを制御することにより接触抵抗を制御することができる。

上記のような様々な用途への展開を考えた場合、感圧センサには様々な特性が要求される。それらの要求に対応するためにはシート状感圧センサ単体では不十分で、それとケース、荷重伝達部品などの機構部品を複合化した感圧センサモジュールにて最適設計としなければならない。

本報では、感圧センサモジュールの中心部品であるシート状感圧センサの特性および感圧センサモジュールに複合化した場合の特性について報告する。

2. シート状感圧センサの特性（抵抗 - 圧力特性）

感圧センサは、現在、パソコンのキーボードや家電製品のスイッチパネルなどに使用されているMBSWの応用技術である。MBSWはプラスチック製フィルムを基材とし、導電性インクをスクリーン印刷機にて印刷して導電回路や接点を形成し、2枚の電極シートを上下対向に配置してスペーサをかいした構成となっている。ただし、MBSWは通常、ON-OFFの2値出力であるのに対し、感圧

*1 プリント回路開発部

*2 プリント回路開発部グループ長

*3 機構部品技術部

*4 機能部品材料開発部

センサは接点構造の設計および感圧インクの採用によって、接点上面にかかる圧力に応じて連続的に回路抵抗値が変化する接点構造となっている。また要求される仕様に応じて、接点形状、シートの厚さ、スペーサの厚さおよびスペーサの開口面積（直径）を設計時に考慮することで、要求仕様を満足させることができる。以下それらについて説明を行う。

2.1 接点形状

感圧センサの接点は、銀電極、カーボン電極、感圧電極を組合せた構成となっている。図1に従来のシート状感圧センサの接点部の構造、図2に代表的な5種類の接点パ

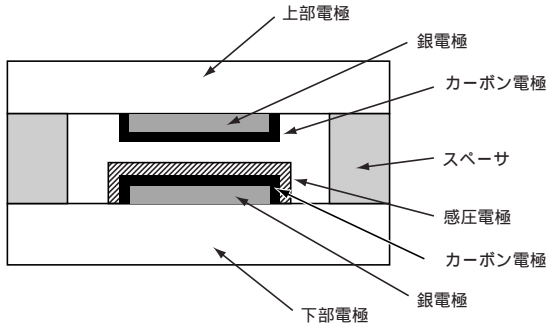


図1 従来の接点構造
Before changed cell structure

		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
上部電極シート	形状					
	構成	銀電極 感圧電極	銀電極 カーボン電極	銀電極 感圧電極	銀電極 感圧電極	銀電極 カーボン電極
下部電極シート	形状					
	構成	銀電極 カーボン電極	銀電極 感圧電極	銀電極 感圧電極	銀電極 感圧電極	銀電極 感圧電極
センサ取り出し方法		片面	片面	両面	両面	両面

図2 接点パターン
Cell pattern

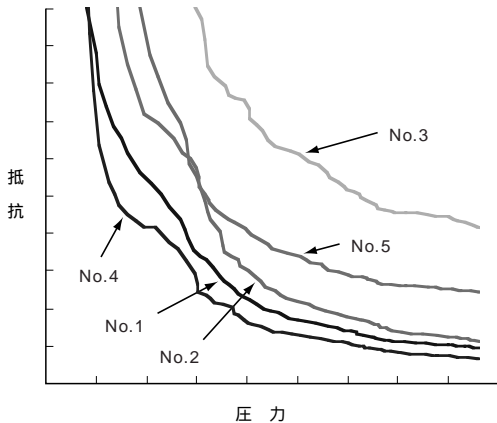


図3 各接点パターンでの抵抗 - 圧力特性
Pressure - resistance characteristic by cell pattern

ターンを示す。さらに図3に各接点パターンでの抵抗 - 圧力特性（P - R特性）を示す。ここで図3の中に記載してある番号は図2の接点パターンの番号であり、各接点パターンの塗膜の厚さ、基材の厚さ、スペーサの開口面積、スペーサの厚さは一定である。図3によると、図2の各接点パターンごとにP - R特性がそれぞれ異なっており、接点パターンNo.1, No.2, No.4の場合、比較的低下圧力側において圧力変化にともなって抵抗値が大きく変化し、高圧力側では圧力を加え続けた際の抵抗値が飽和する傾向が見られる。また、接点パターンNo.5は圧力を加え続けた際の抵抗値の飽和がNo.1, No.2, No.4よりも低い圧力から始まる傾向が見られるが、高圧力側ではNo.1, No.2, No.4よりも高い抵抗値を示している。さらに、接点パターンNo.3は圧力と抵抗値との関係が比較的直線的（リニア）に変化しているが、全体的に抵抗値が高くなっている。これらの特性により接点のパターンと検出可能な抵抗・圧力の関係が判断でき、感圧センサの設計において要求される抵抗領域および圧力領域に応じて、最適な接点パターンを選定することが可能である。なお、諸事情により以下のものも含めて各特性グラフの数値は記載していない。

2.2 シートの厚さ

通常、MBSWの電極シートの基材として、ポリエチレンテレフタレート（PET）が使用されている。また感圧センサにおいても、通常、電極シートの基材としてPETが使用されているが、耐熱性、機械特性での強い要求がある場合は、ポリエチレンナフタレート（PEN）を使用する場合もある。図4に2種類のPETの厚さにおけるP - R特性を示す。ここで、図4ではPETの厚さ以外の接点パターン、塗膜の厚さ、基材の厚さ、スペーサの開口面積、スペーサの厚さは一定である。図4より、PETの厚さが0.075mmの場合、圧力を加え続けると比較的低い圧力領域で抵抗値が飽和する傾向が見られ、PETの厚さが0.1mmの場合は比較的高い圧力領域まで抵抗値の変化が続くことがわかる。

2.3 スペーサの開口面積（直径）

通常、MBSWのスペーサの開口面積（直径）は、押下

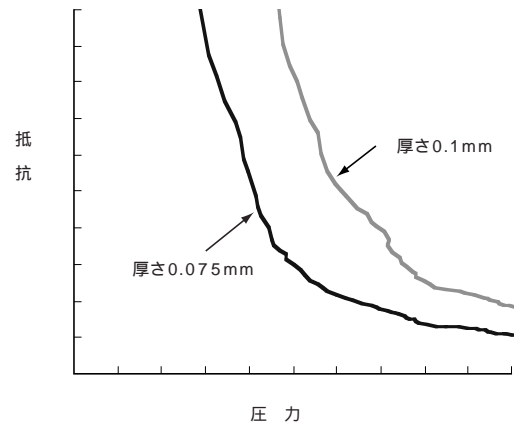


図4 各PET厚さでの抵抗 - 圧力特性
Pressure - resistance characteristic by PET thickness

力によってスイッチがONされる荷重で決定される場合が多い。感圧センサにおいても、スペーサ開口面積（直径）は感圧特性に大きく影響するパラメータである。図5に2種類のスペーサ面積（直径）におけるP-R特性を示す。図5の15mm、12mmはスペーサの直径を示しており、スペーサの直径以外、接点パターン、塗膜の厚さ、基材の厚さ、スペーサの厚さは一定としてある。図5より、スペーサの直径が15mmの場合、圧力を加え続けると比較的低い圧力で抵抗値が飽和する傾向が見られ、直径が12mmの場合は15mmの場合よりも圧力と抵抗値の関係がより直線（リニア）に近づく傾向が見られる。

2.4 スペーサの厚さ

感圧センサにおいて、スペーサの厚さも感圧特性に大きく影響するパラメータである。図6に2種類のスペーサの厚さにおけるP-R特性を示す。図6ではスペーサの厚さを0.1mmと0.125mmの2種類で測定しており、その他の条件、接点パターン、塗膜の厚さ、基材の厚さ、スペーサの開口面積（直径）は一定である。図6より、スペーサの厚さが0.1mmの場合、圧力を加え続けた際の抵抗値の変化は比較的急峻であり、0.125mmでは比較的緩やかである。また、圧力を加えた際の抵抗値は全体的に0.125mmよりも0.1mmの方が高くなっている。

以上のことから、感圧センサに要求される仕様に応じて、接点形状、シートの厚さ、スペーサの厚さおよびス

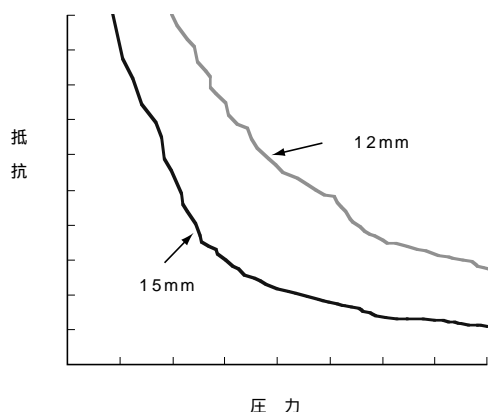


図5 スペーサ面積（直径）での抵抗 - 圧力特性
Pressure - resistance characteristic by spacer area (diameter)

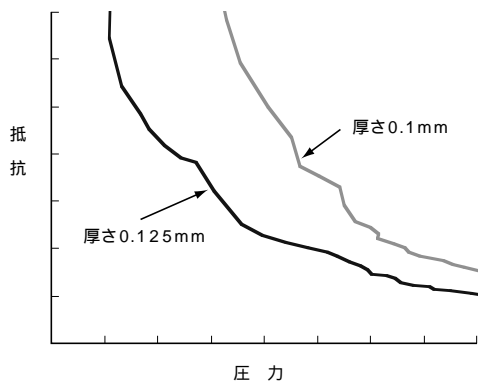


図6 スペーサ厚さでの抵抗 - 圧力特性
Pressure - resistance characteristic by thickness of spacer

ペーサの開口面積の複数パラメータを最適に選定することができ、最適の設計を行うことが可能である。

3. 感圧センサモジュールの特性

3.1 荷重伝達部品

感圧センサに対する様々な要求を満たすために、感圧センサとケースなどの部品を複合化した感圧センサモジュールを設計することが必要となることが多い。機器への組み込み易さ、防水性などの二次的な要素ももちろん要求されるが、ここでは感圧特性最適化のためのモジュール化設計について説明する。

図7に感圧センサモジュールの基本構造を示す。感圧特性最適化のために最も重要な部品は荷重伝達部品である。検知する荷重（圧力）は、扁平な感圧センサに対して必ずしも均一に作用するわけではない。荷重伝達部品は検知する荷重（圧力）を適正かつ均一に感圧接点に伝達する機能をもつアクチュエータである。所望の感圧特性を得るためには、荷重伝達部品の材質、形状を最適に設計する必要がある。

図8に弾性率の高いゴム製押圧子と弾性率の低い樹脂製押圧子とで感圧センサに荷重を加えた場合の抵抗 - 荷重特性（F-R特性）を示す。押圧子とは印加した荷重を直接感圧センサに伝える治具であり、感圧センサモジュールにおける荷重伝達部品を模擬している。また図8では、接点パターン、塗膜の厚さ、基材の厚さ、スペーサの開口面積、スペーサの厚さは同一構成である。図8より、弾性率の高いゴム製押圧子で感圧センサに荷重を加えた場

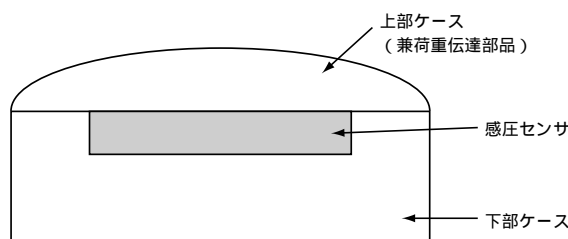


図7 感圧センサモジュールの基本構造
An example of force sensing switches module products

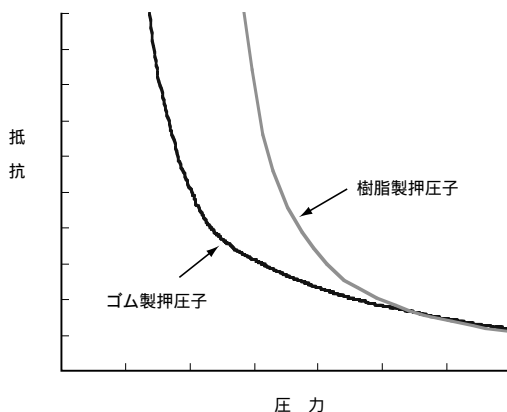


図8 押圧子による抵抗 - 圧力特性の違い
Difference in resistance - pressure characteristic by actuators

合，比較的低い圧力で抵抗値の飽和が始まる傾向が見られるが，飽和は緩やかに進んでいる．一方，弾性率の低い樹脂製押圧子で荷重を加えた場合は抵抗値が比較的高い圧力で変化しているが，変化は急峻であり狭い圧力領域で抵抗値が飽和する傾向が見られ，スイッチ特性に類似している．これは，ゴム性押圧子の場合は弾性率が高いために荷重を加えた際に感圧センサの上下電極の接触面積が緩やかに広がり，それに伴って接触抵抗も緩やかに小さくなるためであると考えられ，一方樹脂製の押圧子の場合は弾性率が低いために荷重を加えた際に感圧センサの上下電極の接触面積が急激に広がり，それにより接触抵抗も急激に小さくなるためであると考えられる．

感圧センサモジュール設計の際には図8のような結果を踏まえて，検知したい荷重（圧力）が感圧センサモジュールに作用する際に，感圧センサの有効検知面（スペーサ開口部）にかかる圧力が連続的に変化するように荷重伝達部品の選定が行われる必要がある．一般的にはゴム状の荷重伝達部品が用いられ，感圧センサ単体のP-R特性と組み合わせて所望のF-R特性が得られるようにその形状，弾性率が決定される．

3.2 基本性能

図9に感圧センサモジュールとシート状感圧センサのF-R特性を示す．図9より，感圧センサモジュールのF-R特性は，シート状感圧センサのF-R特性と比較して，直線的（リニア）に変化していることがわかる．これは，感圧スイッチをモジュール化し，荷重伝達部品をかいして荷重を均一な圧力で伝えるように最適化した効果であると考えられる．また，感圧センサのモジュール化によりF-R特性を線形（リニア）化できることは，F-R特性を利用した他の様々な用途にも使用でき，その場合にも有効に制御可能であると考えられる．

さらに，シート状感圧センサ単体の場合には，電極シートに直接荷重が加えられるため，100N近くの高荷重領域まで回路抵抗値を変化させることには限界がある．それに対して，感圧センサモジュールでは，荷重伝達部品をかいして電極シートに荷重が加えられるため，電極シートに伝わる荷重を分散させることができる．これによ

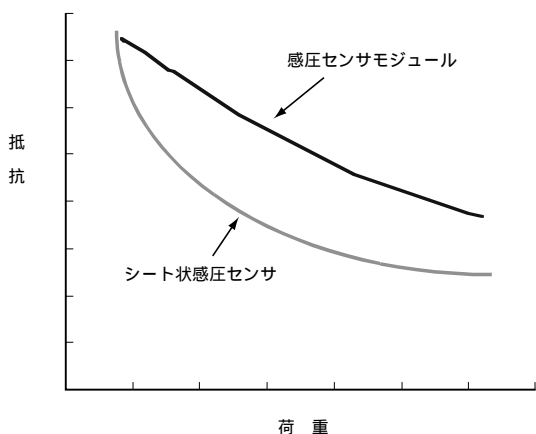


図9 抵抗 - 荷重特性
Resistance - force characteristic

り，感圧センサモジュールでは，100N近い高荷重領域まで回路抵抗値を変化させることができる．

3.3 感度ばらつき低減

感圧センサモジュールにおいて多接点を有する場合，シート面内の感度ばらつきを極力小さくすることが前提である．しかしながら，図1に示すような従来の接点構造においては，図10に示すような，ある荷重において急激に回路抵抗が低下することにより発生するF-R特性のばらつきや，図3～6に見られるF-R特性のゆらぎが発生する．これは前述した感圧特性を得るために設計された接点表面の凹凸のばらつきによるものと考えられるが，

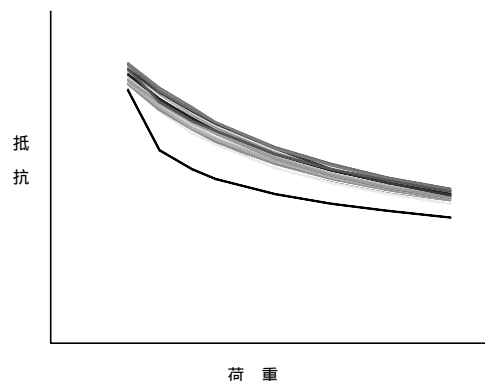


図10 シート面内の感度ばらつき
Sensitivity distribution for force sensing resistance

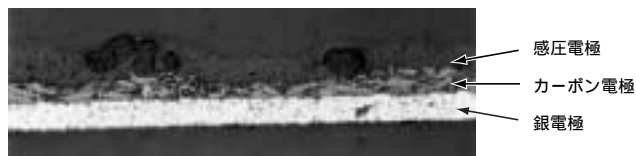
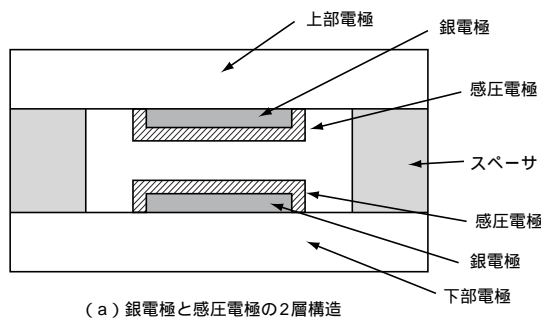
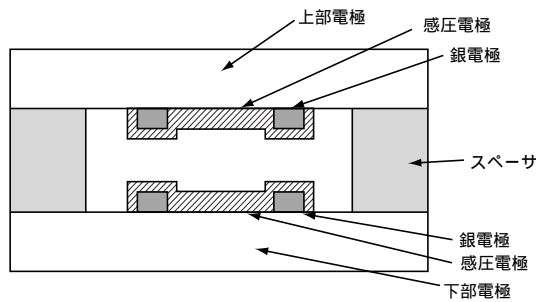


図11 従来の接点構造（SEM写真）
Before changed cell structure (SEM image)



(a) 銀電極と感圧電極の2層構造



(b) 感圧電極を設け，その外周部に銀電極を設けた構造

図12 シート状感圧センサ接点部の構造
Structure of force sensing contacts

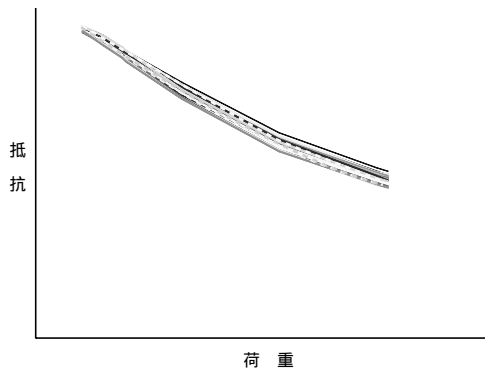


図13 新構造でのF-R特性
New structure of F-R property

F-R特性の良好なりニアリティを得るためには相反して発生してしまう問題である。実際、従来の接点構造の電子顕微鏡写真である図11を見ると、接点表面のカーボン電極と感圧電極に凹凸のばらつきが生じていることがわかる。そこでわれわれは従来構造では下部電極のみの感圧電極構造を対向する上部電極にも形成することにより、感圧接点の有する凹凸ばらつきを上下接点にて相殺させ、結果としてF-Rばらつきを低減させる構造を考案した(図12)。この構造を感圧モジュールに応用した結果図13に見られるようにF-R特性のゆらぎを軽減し、高いリニアリティを維持しながら接点間ばらつきを大きく抑えることに成功した。また、元来流動するインク中の導電粒子を印刷により平面上に均一に分布させなければならない製造上のばらつきの弱点多も、新構造によって補うことができた(特許申請中)。

3.4 工程管理

感圧インク塗膜の表面上のばらつきは、ある程度図12の構造により補うことが可能であるが、やはり製造工程においても感圧インク塗膜の表面性の管理が必要となる。そこで感圧センサモジュールの製造時には、印刷・乾燥工程において、塗膜正味の厚さおよび塗膜比抵抗の管理により、印刷条件を決定する工程管理を実施している。また乾燥工程後には、シート面内の特性のばらつきの確認を行って印刷・乾燥工程にフィードバックしている。

表1に、これまでに述べた諸特性を含めて、感圧スイッチモジュールの主な特性を示す。

4. む す び

当社では、要求仕様に応じた感圧センサモジュールを開発する手法の確立に成功した。当社独自開発の感圧インクを用いたシート状感圧センサは、単体においても高い信頼性を評価されているが、さらにモジュール化することにより、F-Rリニアリティ特性の向上、高加重まで対応できるF-Rワイドレンジ化、接点の荷重バラツキの低減を達成している。現在、感圧スイッチモジュールは、楽器用途として量産が行われている。例として、図14に感圧スイッチモジュールが組み込まれている製品の最終形態を示す。デジタル時代の中、人の感性に訴えるアナログ入力方法として採用され高い評価を得ている

表1 感圧スイッチモジュールの一般仕様
General specification of force sensing resistance module

項目	内容	備考	
基 材	PET, PEN 厚さ75 ~ 188 μm		
スペーサ	PET, 印刷スペーサ 厚さ100 ~ 150 μm		
接点電極	感 圧	一般電極は銀, カーボン電極	
電極シート面積	650mm x 20mm	シート状感圧 センサの場合, 400mm x 400mm	
抵抗範囲	50 ~ 500k	接点構造に依存	
荷重範囲	最大98N		
同一シート面内ばらつき	±20%以内	30接点相当	
耐久性	打鍵耐久寿命	100万回以上	98N加圧
	耐熱性	60 × 500h	
	耐寒性	- 20 × 500h	
	耐湿性	40 × 90%RH × 500h	
ヒートサイクル性	- 20 × 30min 60 × 30minを 1サイクルとして 20サイクル		



図14 楽器用途の最終製品例
Products of musical instrument use

ことは、今後の新用途拡大に大いに期待されるものである。

今後は、さらなる性能向上を狙い、今以上に様々な用途に使用可能な感圧センサモジュールの開発を実施していく予定である。

参考文献

1) 高橋ほか：体格検知着座センサ，フジクラ技報，第101号，pp. 47-51，2001