

体格検知着座センサ

アイシン精機株式会社 伊藤 浩二・田中和也
プリント回路事業部 高橋 克彦*1・今井 隆之*1・落合 俊夫*2
材料技術研究所 中嶋 敏文*3
株式会社青森フジクラ 和田 光正・安田 貴生・青山 秀幸

Force Sensing Membrane Sensor for Automotive Smart Airbag System

K. Itou, K. Tanaka, K. Takahashi, T. Imai, T. Ochiai, T. Nakajima, M. Wada,
T. Yasuda & H. Aoyama

自動車のスマートエアバッグシステムでは、乗員の体格に応じたエアバッグの展開制御システムが求められている。われわれは、乗員の体格を検知する手段として、シート内に多接点の感圧式メンブレンセンサを配置し、各接点の圧力情報から乗員の体格を検知する体格検知式着座センサの開発を進めてきた。本報では、本センサの実用化に向けて大きな開発課題であったセンサシート面内の感度ばらつき低減、ならびにセンサ感度の温度依存性の改善についての詳細を報告する。

It has been demanded that smart airbag system should have the function to control the explosion of airbag according to the physical figures of passenger. We have developed the system to obtain the passenger's physical data by a force sensing membrane sensor composing of arrayed force sensing cells inside the passenger seat. In this paper, we report the details on how we improved the dispersion of pressure sensitivity and how we reduced the temperature influence. Those issues are two of main subjects to realize that the smart airbag system is practically used.

1. ま え が き

SRS (Supplemental Restraint System) エアバッグ装置は、自動車のより一層の衝突安全性向上を目的として導入されている代表的なシステムの一つであり、シートベルトの補助装置として、衝突時の乗員保護のために運転席、助手席用とも広く普及している。そして米国においては、NHTSA (National Highway Traffic Safety Administrator) によって、2003年から、より安全性の高いスマートエアバッグの装備が求められている¹⁾。

スマートエアバッグでは、座席利用者の体格(大人あるいは子供)や着座姿勢、座席の利用状態(チャイルドシートの有無)等に応じたエアバッグの展開制御が求められる。座席の利用状況を検知するセンサが必要とされている。

乗員の検知手段には、これまで多くの方式が検討されており、例えば、超音波センサ、赤外線センサ、重量センサ(歪みゲージなど)、シートポジションセンサなどがあげられる。そして、これらのうち一方式あるいは、複

数の方式を組み合わせることで、スマートエアバッグシステムを構成する検討が行われている²⁾³⁾⁴⁾。

これまでわれわれは、助手乗員のシートベルト非装着状態を警告するためのシートベルトウォーニング用着座センサを開発し、続いて、助手席のエアバッグ制御用センサとして、助手席の乗員乗車/非乗車によって、エアバッグを展開/非展開制御する修理費低減着座センサを開発して、いずれも実車に広く搭載されている。そして、この技術をさらに発展させ、より高度な制御を可能とすべく、体格検知着座センサの開発に着手し、その可能性について検討を進めてきた。本報では、本件開発の大きな課題であった大面積・多接点の感圧センサシートにおける面内での感圧特性のばらつき制御、ならびに使用環境温度下でのセンサ感度の温度依存性制御について報告する。

2. センサの特徴と構成

今回開発した体格検知着座センサは、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用いられるメンブレンスイッチの応用製品であり、樹脂製シートに導電性インクを印刷して得られた2枚の回路を樹脂製のスペーサシートをかいして対向配置させ構成している。ただ

*1 開発部

*2 第三技術課

*3 機能材料開発部

し、通常のメンブレンスイッチの接点は、ON-OFFの2値制御であるが、感圧式の本センサでは、接点構造の設計および感圧インクの採用によって、押下力に応じて連続的に回路抵抗値が変化する感圧式の接点となっている。図1にその代表例を示す。図1の例では、円形に形成されているのがセンシング部で、助手席の着座面全体をカバーするために72接点のマトリックスが最適に配列されている。これらの接点は、個々に圧力を検知するよう回路と信号処理システムが構成されており、シート面内の荷重分布、およびシート上にかかる全荷重を検知すること

が可能となっている。シート全面をカバーするため、そのサイズも約500mm(縦)×500mm(幅)と大きい。

続いて、図2に接点の模式図を示す。上下部2枚の電極シートに電極が形成されている。耐熱、耐機械特性を要求される上下の電極シートには、ポリエチレンナフタレート(PEN)を使用し、スペーサシートにはポリエチレンテレフタレート(PET)を使用している。接点部のスペーサ穴径は12mm、センサの総厚は約0.3mmである。接点部の上部電極は銀(Ag)とカーボン(C)の2層からなっている。対向する下部電極に感圧電極を設け、その外周部にAgのリング状電極が形成されている。また、感圧電極材料には、今回新規に藤倉化成株式会社と共同開発した感圧インクを使用している。

次に、接点部の回路抵抗の圧力依存性を概念的に図3に示す。回路抵抗は、上下部電極間の接触による上部電極/感圧電極間の接触抵抗と感圧層の素子抵抗の和で表される。ここで、接触抵抗は接点間にかかる圧力に依存し、高荷重ほど低い値を示す。また、感圧層の素子抵抗も上下部電極の接触面積に依存するため、接触抵抗同様に接触面積の大きい、つまり高荷重ほど低い値を示す。このような構成によって、広い荷重範囲で大きなダイナミックレンジを示す感圧式センサを実現している。

3. 評価結果

3.1 センサ性能の評価方法

一般的なメンブレンスイッチは、その用途に応じた様々な形状の押下子により接点を押下げし、その押下力をロードセル等によって測定することで、スイッチ特性を評価している。

本センサでは、自動車のシート内に置かれ、人の着座によるシート面内の荷重分布、およびシート上にかかる全荷重を検知するという目的から、ガス圧力を押下媒体とする圧力抵抗測定法(P-R測定法)によって特性評価を行った(図4)。

3.2 基本性能

本センサの基本性能を表1に示す。

常温下での圧力-抵抗特性(P-R特性)としては、約5kPa以下で上下部電極間が接触し、加圧力の上昇にともない抵抗値が低下して、20kPa加圧下において約50kの抵抗値を示す設計となっている(図5)。

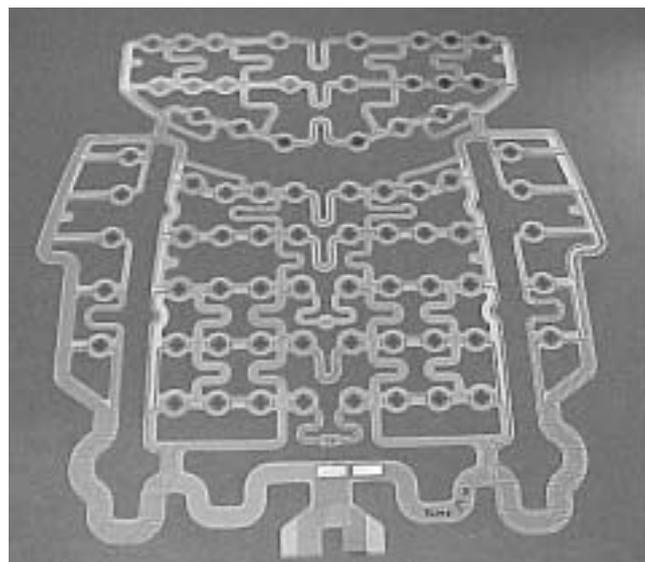


図1 体格検知着座センサ例
Photo of a force sensing membrane sensor

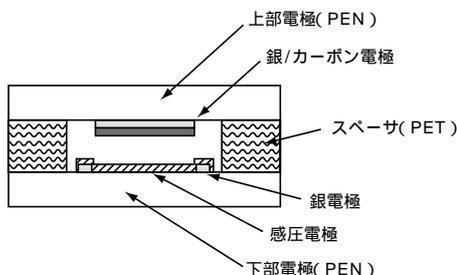


図2 接点の模式図
Schematic of a force sensing element

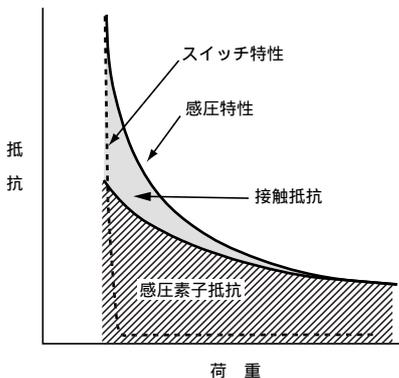


図3 感圧センサの荷重-抵抗特性概念
Scheme for force sensing resistant (FSR)

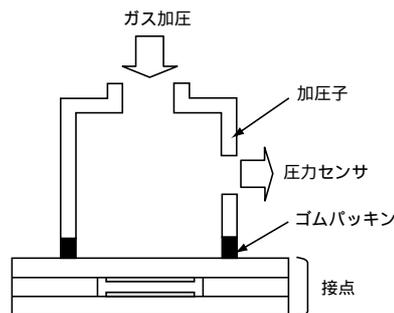


図4 圧力-抵抗(P-R)特性測定用加圧子例
Tool for pressure-resistance measurement

表1 感圧センサの基本特性
Typical properties of force sensing membrane sensor

項目	特性値	備考
加圧抵抗	10kPa	85k ±10%
	15kPa	65k ±10%
	20kPa	50k ±10%
感度の温度依存性	±15%以内	動作温度：-30～80 常温感度を基準
同一シート面内ばらつき	±10%以内	72接点平均を基準
打鍵耐久寿命	100万回以上	4.9N加圧

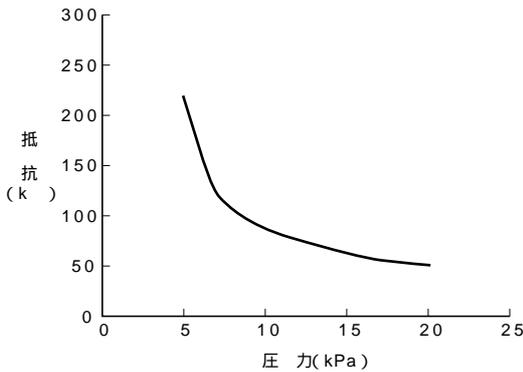


図5 P - R 特性例
P - R property of force sensing sensor cell

またこの特性は、1シートあたり全72キーある接点について、20kPa加圧下での抵抗値のばらつき±10%以内を実現し、大面積、多接点で均質な感度を有している。

さらに、センサ感度の温度特性についても、-30～80の範囲において±15%以内を達成し、良好な温度特性を有している。

これら、小さな面内感度ばらつきや良好な温度特性を実現するために、以下に示す様々な開発検討を行った。

3.3 シート面内の感度ばらつき低減検討

体格検知着座センサは、72個の感圧接点マトリックスから構成されている。そしてこれら72接点の感度のばらつきは、センサの検知精度に大きく影響することから、同一シート面内で±10%以内に納めるべく、検討を行ってきた。

ここで、センサの感度ばらつき、つまり感圧特性のばらつき要因について述べる。感圧特性は、感圧電極の表面性に大きく影響を受ける。これは、感圧塗膜がその表面に微細な凹凸を有しており、この凹凸により接触抵抗を、その凹凸下の塗膜正味の厚さにより感圧素子抵抗をそれぞれ制御していることによる。そこで、感圧特性を安定化させるために、印刷・乾燥の工程管理、材料配合それぞれについて、以下に示す検討を行った。

3.3.1 工程管理

感圧インク製品の製造では、感圧インク塗膜の表面性を工程内で管理することが求められる。そこで、印刷・乾燥工程では、この塗膜表面の粗さと塗膜正味の厚さ、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方法を採用した。

3.3.2 材料配合

感圧インクの材料検討では、塗膜の表面性の制御が容易な新たな感圧インク材料を開発した。感圧インクには、表面の凹凸を制御する目的で絶縁性のフィラーを添加している。われわれは、感圧塗膜表面の理想的な凹凸を得るために、絶縁フィラー種、およびその添加量の最適化をはかるべく材料検討を行った。

具体的な材料検討例を表2および図6に示した。表2は、感圧インク中の絶縁フィラーの種類、添加濃度と各センサ特性を定性的に示したもので、図6は、それぞれの感圧インクを使用したときのP-R特性を示している。図6から明らかなように、使用する絶縁性のフィラー種類、およびその添加量によって、感圧特性に大きな差が生じることがわかる。これは、塗膜表面の凹凸の硬さとその密度に依存しているものと考えられる。絶縁フィラーの適度な硬さによって、緩やかで連続的な接触面積の増加を実現し、適度な密度でフィラーを添加することで、適切な凹凸を形成し、感圧特性の段差を解消し、かつ個々の接点間での感度ばらつきの低減を実現することができる。そして今回は最もP-R特性に優れた材料Bを選定した。

図7に上記施策によるセンサシート面内のバラつき低減の結果を示す。図は、センサ感度のばらつきを20kPa加圧抵抗値のばらつきとして度数分布で評価したもので、面内の加圧抵抗値の平均値に対するズレとして表している。上記工程管理、材料配合の検討により、面内の感度ばらつき±10%以内を実現した。

3.4 温度特性改善検討

体格検知着座センサは、自動車のシート内に設置される。車内とはいえ、極寒から酷暑環境まで、広範囲な温度環境下での使用が想定される。したがって、温度の変動による感圧センサの感度変動を極力おさえる必要がある。そして、-30～80の範囲で常温に対して感度変動を±15%以内に抑えることを目標として開発を進めてきた。

3.4.1 センサ構造に起因する温度特性

センサ構造に起因する温度特性は、押下力に対する電極シートのたわみ量、すなわち上下電極の接触面積の温度依存性によって説明することができる。接点部における電極シートのたわみは、接点を構成する材料の弾性に依存する。そして、材料の弾性率は温度上昇にともない低下するため、電極シートは温度上昇によってたわみやすくなり、接点部の回路抵抗が低下する負の温度特性

表2 感圧インク用絶縁フィラー選定検討結果
Comparison of non-conductive fillers in FSR

材料名	A	B	C	D	E
絶縁フィラー種類	樹脂系1			樹脂系2	無機系1
絶縁フィラー添加量	少	中	多	中	中
P-R特性	×		×		
面内ばらつき	×		×		×
長期耐久性				×	

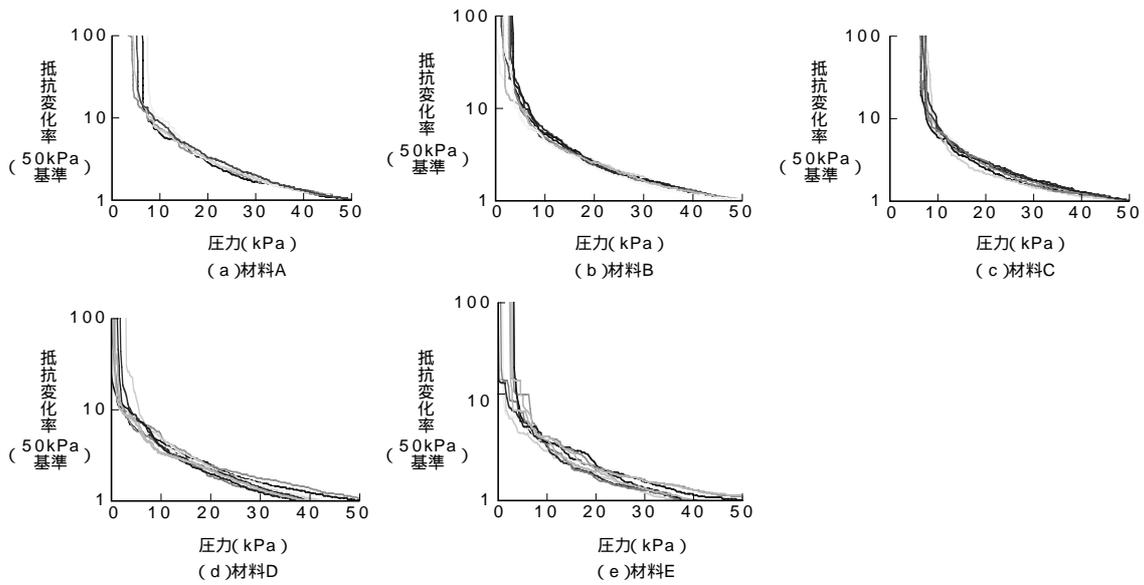


図6 各種絶縁フィラー添加感圧センサのP - R特性 (50kPa時の加圧抵抗で規格化)
P - R properties dependence of non-conductive fillers in FSR

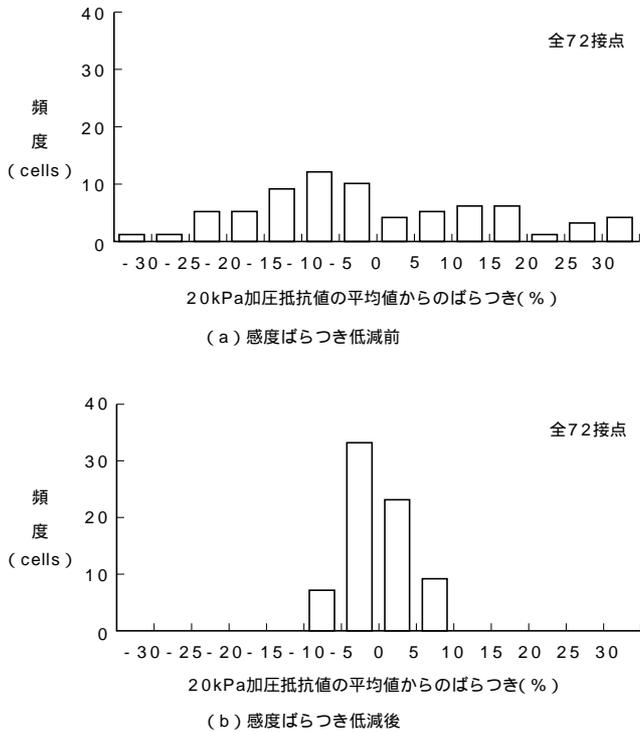


図7 シート面内の感度ばらつき低減検討結果 (72接点)
Improvement of sensitivity distribution for sensor array
(at 72 cells)

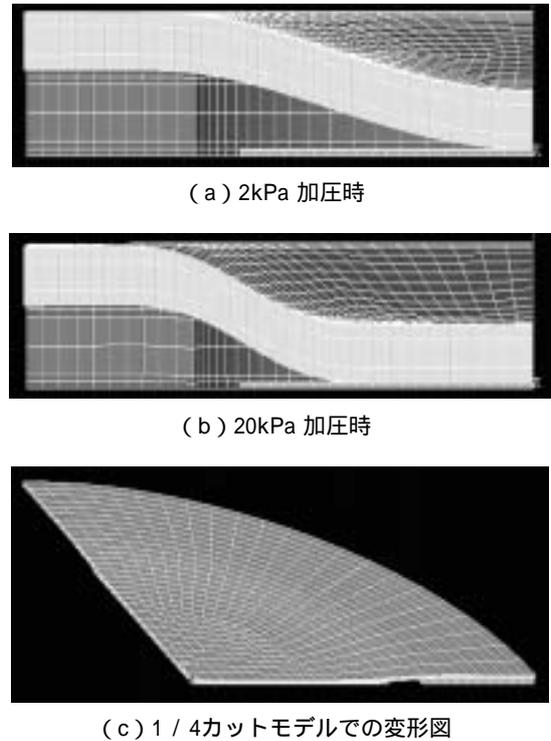


図8 FEM解析による感圧センサセルの変形図例
Deformation form of pressured sensor cell by FEM analysis

(NTC特性)を有する。したがって、センサ構造においては、このNTC特性を如何に和らげるかが、温度特性改善における構造設計上のポイントとなる。

そこで、われわれは有限要素法 (Finite Element Method, FEM) 解析等 (図8) により、センサ構造に起因するNTC特性を効果的に小さくする構造を考案した (図9)。

図10は、本構造のセンサと従来構造のセンサの温度特

性を示した図である。本構造の採用によって明らかに温度特性が向上していることがわかる。

3.4.2 感圧インク比抵抗の温度特性

感圧インクに求められる特性としては、上記センサ構造の影響で現れるNTC特性を相殺する正の温度特性 (PTC特性)を有することがあげられる。われわれは、様々な導電フィラーを検討し、センサ構造に起因するNTC特性を相殺するPTC特性を有する導電フィラー種、およびその最適な添加量の選定にいたり、これまでにな

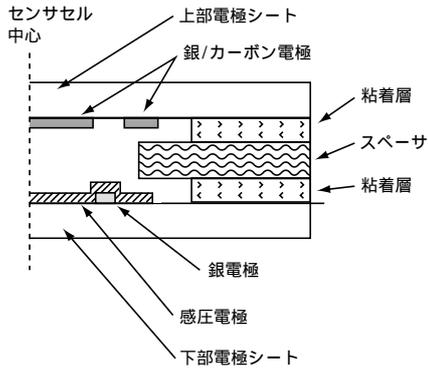


図9 温度特性対策接点構造

Schematic of improved cell pattern for temperature dependent sensitivity

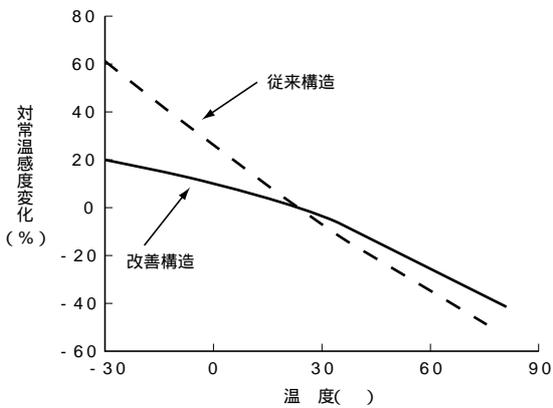


図10 センサ構造の最適化による温度特性改善検討結果
Temperature dependence of sensor sensitivity for improved cell pattern

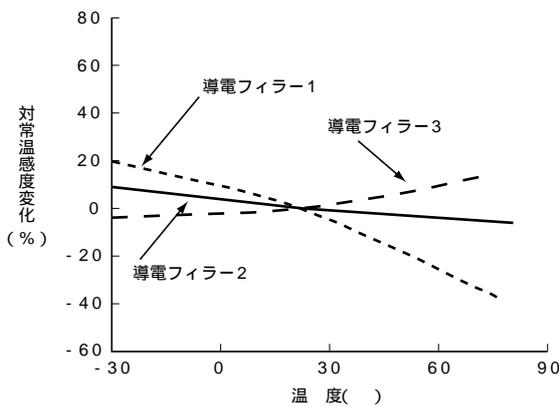


図11 感圧インク中の導電フィラーの種類とセンサの温度特性

Temperature dependence of sensor sensitivity for conductive fillers in FSR

い新しい感圧インクを開発した。

図11は、最適化されたセンサ構造での各種導電フィラーを使用したセンサの温度特性を示したものである。図に示したとおり、導電フィラーの種類によって、センサの温度特性に差があることがわかる。中でも、今回のセンサ構造に対しては、導電フィラー2が最も優れた温度特性を有しており、本センサにおける感圧インク用導電フィラーとして採用した。

以上のように、センサ構造ならびに感圧インクそれぞれの温度特性改善検討により、目標としていた -30 ~ 80 の温度範囲で、常温に対する感度変動を ±15% 以内に抑えることを実現した。

4. む す び

スマートエアバッグ制御用乗員検知センサとして、メンブレンスイッチと感圧インクを組み合わせた体格検知着座センサを開発した。

本センサは、種々検討されている乗員検知センサの中にあつて、これまでもシートベルトウォーニング用着座センサ、修理費低減用着座センサ等、実車搭載の実績があるシステムの機能向上型製品であり、信頼性に優れること、比較的安価であることなどの特徴を有している。そして、製品開発に関して、次の大きな課題を解決し、実用化に近づけることができた。

(1) シート面内の感度ばらつき低減

感圧特性発現の原理に基づき、これに適した材料開発ならびに製造における工程管理手法を導入することにより、大面積かつ多接点センサにおけるシート面内の感度ばらつきを ±10% 以内に抑える技術を確立した。

(2) 温度特性の改善

感圧特性の温度依存性に関して、その要因をセンサ構造と感圧インク材料に分離し、それぞれにバランス良く対策を講じることによって、-30 ~ 80 の使用温度範囲内で ±15% 以内の感度変化に抑える技術を確立した。

今後、長期信頼性の確認を進め、一層の信頼性向上を目指していく予定である。

参 考 文 献

- 1) ELECTRONIC DESIGN September 5, 2000 : Sensors measure up to emerging automotive safety standards
- 2) ELECTRONIC DESIGN January 8, 2001 : Sensors to transform vehicles into electronic cocoons
- 3) FOURIN 海外自動車調査月報 No.185, 2001.1
- 4) 久保木ほか：自動車用乗員検知センサ，古河電工時報 第106号，p.57