

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

圧電性ゴムで異物を検出する

圧電材料は、機械エネルギーと電気エネルギーの相互変換性能を利用して、センサーなどに利用されています。しかしながら、一般的な圧電材料の圧電セラミックスは、割れ易いなどの課題があるため、使用できる箇所が限られていました。そこで、ゴム材と圧電セラミックスとを組み合わせた圧電性ゴムを作製しました。圧電性ゴムは、幅広い箇所で異物や異常を検出するセンサーなどに利用できる可能性があります。ここでは、圧電性ゴムの鉄道分野における適用可能性を検討した結果と、圧電性ゴムの性能向上に向けた取り組みを紹介します。



間々田 祥吾
Shogo Mamada
材料技術研究部
防振材料研究室
副主任研究員
[専門分野]高分子材料,
ゴム材料



矢口 直幸
Naoyuki Yaguchi
材料技術研究部
防振材料研究室
主任研究員
[専門分野]構造物用高
分子材料



半坂 征則
Masanori Hansaka
研究開発推進部
研究戦略担当
担当部長
[専門分野]高分子材料,
ゴム材料

圧電材料

圧電材料は、近年、注目されている高性能材料の一つです。圧電材料の機能的な特徴は、エネルギーの変換性能です。つまり、力や変形などの機械的なエネルギーの一部を電圧や電流などの電気的なエネルギーに変換でき、その逆に、電気的なエネルギーの一部を機械的なエネルギーに変換できます(図1)。

このような機能を利用して、圧電材

料に力が加わったことを電気信号で知らせるセンサーや、入力した電気信号によって、圧電材料を変形させるアクチュエーターとして一般的に利用されています。

既存の圧電材料

現在、一般的に使用されている圧電材料の多くは、人工的に合成された圧電セラミックスと呼ばれる材料です(図2参照)。圧電セラミックスは、機械エネ

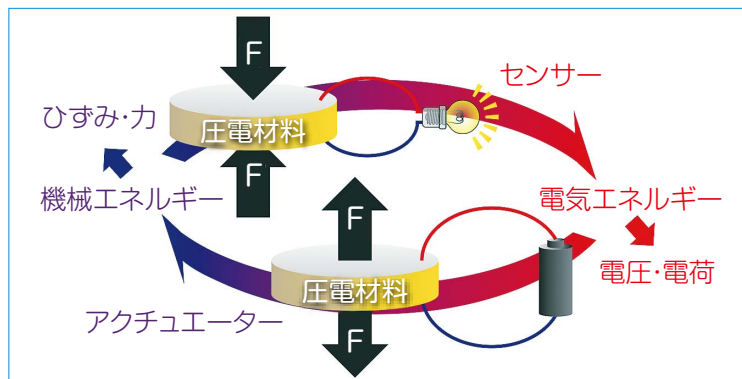


図1 圧電材料のエネルギー変換

自然界の圧電材料

圧電材料は、人工的に合成された化合物だけでなく、自然界にも存在します。その代表例が、“電気石”，別名“トルマリン”と呼ばれる鉱物です。また、鉱物以外に、植物などに多く含まれるセルロースにも圧電性があることがわかっています。

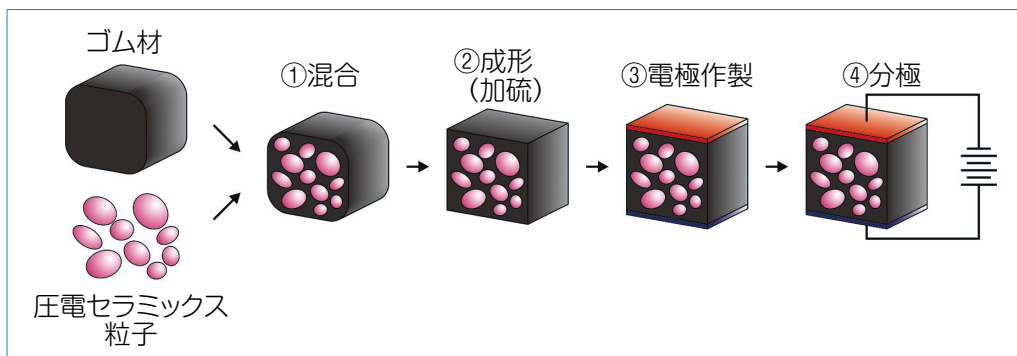


図2 圧電性ゴムの作製工程



図3 圧電性ゴムの外観

ルギーと電気エネルギーの変換効率が
高く、圧電性能に優れた材料です。そ
のため、少ない電力で駆動する省電力
性を活かして、最近では、携帯電話の
スピーカーなどにも利用されています。

一方、圧電セラミックスの材質は、
陶器と同様であるため、硬くてもろく、
衝撃的な力で割れやすいという課題が
あります。また、大きい面積の材料作製
が難しく、これらの課題から、利用で
きる場所が限られます。

圧電性ゴム

圧電セラミックスの課題の解決に向
けて、我々は、圧電性ゴムに着目しま
した^{1),2)}。一般的なゴム材は、電気を
通しにくいいため、その電気絶縁性を
利用して、感電を防止するための手袋や
長靴の材料として利用されます。この
ような特性のあるゴム材ですが、圧電
セラミックスと組み合わせることによ
って、電気を発生させ、電気に応答する
圧電材料となります。

圧電性ゴムの作製方法を図2に
示します。ゴム材と圧電セラミッ
クス粒子を混合した後(図2中の
①)、加熱して成形(加硫)します
(図2中の②)。その後、表面に電
極を作製し、分極処理(☞参照)し
ます(図2中の③および④)。

成型(加硫)の工程までは、一般
的なゴム材と同じですが、圧電ゴ
ムでは、圧電性能を付与するため
に電極作成および分極処理が必要で

圧電性ゴムの特性

作製した圧電性ゴムの外観を図3に
示します。これは、ゴム材のエチレン
プロピレンゴム中に、圧電セラミッ
クスのチタン酸ジルコン酸鉛(以下、
PZTとする)の粒子を約50Vol%混合
した圧電性ゴムです。

図3に示すように圧電性ゴムには、
高い柔軟性があることがわかります。
さらに、同じ配合の圧電性ゴムを長
さ2000mm、幅100mmの形状に、割
れや欠けなどの欠陥無く成形すること

ができました。圧電セラミックスでは、
図3に示すような柔軟性を実現するこ
とが難しく、長さ2000mmの形状に
成形することも困難です。

一方、圧電性ゴムの圧電性能は、圧
電セラミックスに及びません。圧電材
料の圧電性能を示す指標の一つである
圧電ひずみ定数(☞参照)と比較する
と、図2の工程で作製した圧電ゴムは、
一般的な圧電セラミックスの約100分
の1である1~5pC/Nです。そのため、
センサーとして使用する場合、電気信
号を増幅するアンプが必要になります。

圧電性ゴムのセンサーへの適用

圧電性ゴムの特性を活かし、鉄道分
野におけるセンサーとして、現在、適用
を検討している例を以下に紹介します。

車両ドアにおける異物検知 センサー

鉄道車両では、乗客が乗降する際、
ドアに乗客の持ち物などの異物が挟み
込まれる可能性があります(図4)。そ

☞ 分極処理

分極処理は、材料に圧電性を付与することで、圧電材料を作製する工程の中で最も重要な処理です。圧電材料に高電圧を加えることによって、材料中の結晶構造が変化して、圧電性を示すようになります。

☞ 圧電ひずみ定数

圧電材料に力を加えた際に発生する電荷の単位力当りの電荷量を示します。単位はpC/Nです。したがって、この値が大きい程、同じ力でも大きな電荷が発生するため、圧電性能が高いと言えます。



図4 車両ドアでの異物の挟み込み

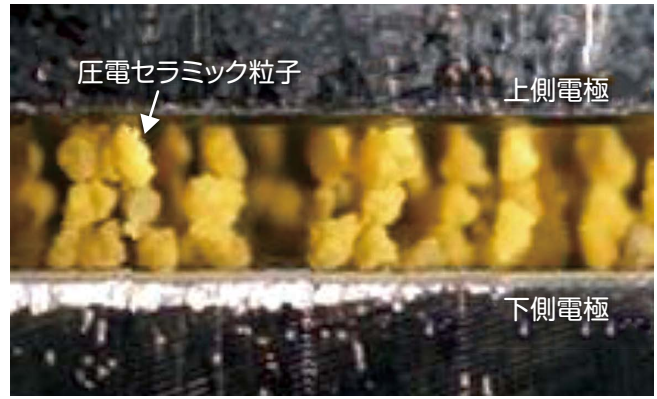


図6 圧電セラミック粒子の配向状況

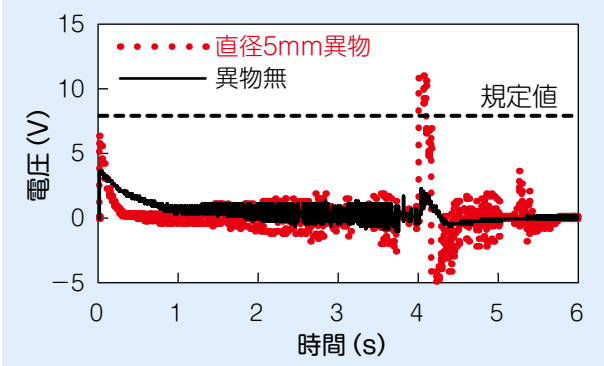


図5 圧電性ゴムによる車両側扉での異物検知試験

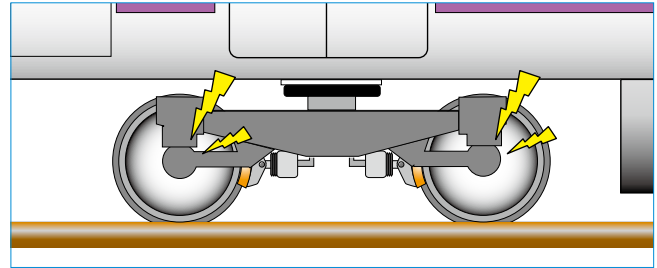


図7 車軸軸受における異常

の防止策として、鉄道車両には、それ
を検知して、車両を走行させない異物
検知システムが導入されています。し
かし、現在の異物検知システムでは、
検知できる異物の大きさに限界があり、
さらなる性能向上が求められています。
そこで、圧電性ゴムを利用した異物検
知システムを検討しました。

試験に用いた圧電性ゴムは、**図3**に
示した圧電性ゴムと同じ配合であり、
長さ約1500mm、幅約5mm、厚さ約
1mmの形状に成形しました。圧電性
ゴムは、ドアの戸先ゴム内部に設置し、
異物が挟み込まれて戸先ゴムと圧電性

ゴムとが接触すると電気信号が発生す
る構造としました。ただし、発生する
電気信号は、微弱であるため、信号を
増幅するアンプが必要です。また、圧
電性ゴムからの異物の検知信号を受信
した後、異物の挟み込みを知らせる信
号（以下、挟み込み信号とする）を送
信する装置も必要です。試験では、こ
れらを含む制御装置も製作しました。

図5に、試験の状況および結果の例
を示します。図示した電圧は、制御装
置で受信した圧電性ゴムからの電気信
号です。なお、制御装置は、信号が規
定値（8V）を越えた場合に、挟み込み

信号を送信します。

異物が無い場合には、電圧が規定値
に達しませんが、直径5mmの異物を
挟み込んだ際には、電圧が規定値以上
に発生し、挟み込み信号が送信されま
した。また、直径10mmの異物の場合、
圧電性ゴムが設置してある全範囲（ド
アの下端から約100mm～約1600mm）
で挟み込みを検知できました。

従来の異物検知システムでは、直径
10mm以下の異物の検知が困難でし
たので、圧電性ゴムの利用により、検
知感度の向上が期待されます。ただし、
挟み込む箇所によって検知感度が異な
ることやノイズの課題などを今後解決
していく必要があります。

圧電性ゴムの圧電性能向上

これまで述べた圧電性ゴムは、圧電
セラミックスに比べて圧電性能が低い
ため、センサーとして使用する際、ア
ンプが必要です。アンプは、外部電源を
必要とするため、圧電性能の向上によ
り、アンプを必要としない省電力化し
たセンサーとなることが期待されます。

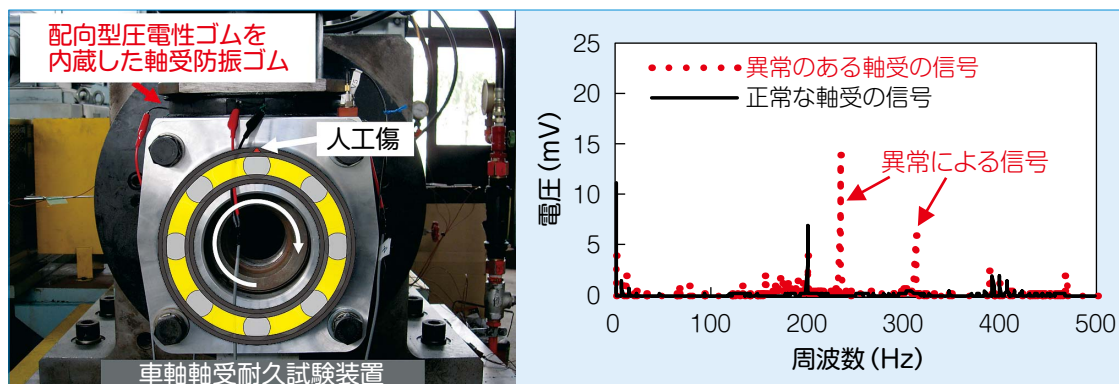


図8 圧電性ゴムによる車軸軸受の異常検知試験

圧電性ゴムの圧電性能が低い要因には、ゴム材中に圧電セラミックス粒子が分散して存在するため、粒子に十分な力が加わらず、力が加わったとしても、電気信号が取り出しにくいことが挙げられます。

そこで、ゴム材中の粒子に容易に力が加わり、電気信号を取り出しやすくするため、ゴム材中で、圧電セラミックス粒子を連結して配向させた圧電性ゴム（以下、配向型圧電性ゴムとする）を作製しました^{2),3)}。粒子の配向には、電場によって圧電セラミックス粒子を配向させる電場配向を用いました。図6はシリコンオイル中でPZT粒子が電場配向している様子です。電場配向は、粒子配向と同時に分極できるという利点もあります。

配向型圧電性ゴムのゴム材には、熱を加えると硬化する熱硬化型のシリコンゴム、圧電セラミックスには、PZT粒子を用い、熱を加える前の液体状態のシリコンゴム中にPZT粒子を加え、電場を印加しながら加熱し、シリコンゴムを硬化させて作製しました。

作製した配向型圧電性ゴムの圧電ひずみ定数を測定した結果、通常の圧電性ゴムよりも約10倍（10pC/N～100pC/N）増加したことがわかりました。この性能であれば、アンプを介さないセンサーとして利用が可能と考えられます。

配向型圧電性ゴムのセンサーへの適用

圧電性能が向上した配向型圧電性ゴムを利用して、外部電源を得にくい箇所において異常を検知するセンサーへの適用を検討した例を以下に示します。

車軸軸受の異常検知センサー

車両の台車に使用されている車軸軸受は、車体重量を支えながら回転運動を保つ重要部品であり、内部で異常が発生すると、重大な事故につながる可能性があります（図7）。また、台車は外部電源を得にくい箇所です。そこで、軸受内部の異常を発見するセンサーとして配向型圧電性ゴムの適用を検討しました。

配向型圧電性ゴム（直径約50mm、厚さ約2mm）は、軸受上の軸受防振ゴムの内部に設置しました。軸受内部に異常が発生すると、正常な場合には発生しない異常な振動が発生するため、防振ゴム内の配向型圧電性ゴムには、こうした振動が直接伝わります。

試験では、車軸軸受耐久試験装置を用いて軸受到車体荷重相当の約50kNの荷重を加えながら、軸受を回転させました。回転させる軸受は、正常および人工的に異常を発生させた軸受としました。

図8に、試験の状況および結果例を示します。図示した電圧は、試験軸受を速度70km/h相当で回転させた際に

配向型圧電性ゴムから発生した電圧を、アンプを介さずに直接測定し、周波数解析したものです。

異常軸受では、正常軸受の場合に電圧が発生していない周波数に電圧が発生しています。この周波数は、異常軸受が試験速度相当で回転した際に発生する計算上の振動の周波数と一致していました。この結果から、配向型圧電性ゴムを用いることによって、アンプを介さずに、軸受内部の異常を検知できる可能性が示されました。

本試験結果は、定置試験での結果であるため、今後は、実車両の台車において、車軸軸受の異常の検知が可能であるか検討を進める予定です。

おわりに

今後、それぞれの用途において実用化に向けた検討を進めるとともに、新たな用途の可能性および材料の耐久性の検証を含めた性能向上も探っていきたいと考えています。[RRR]

文献

- 1) 間々田祥吾：圧電ゴムを鉄道に応用する，RRR, Vol.68, No.11, pp.14-17, 2011
- 2) 間々田祥吾：粒子配向による圧電ゴムの特性向上，鉄道総研報告，Vol.25, No.10, pp.39-44, 2011
- 3) 間々田祥吾：電場による圧電セラミックス粒子の配向技術と圧電ゴムの特性向上，フィラーの配向制御技術，第6章，pp.49-59, 2013