

氏 名(本 籍)	ANTANAS DAUGELA (リトアニア)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	甲 第 76 号
学位授与年月日	平成 9 年 6 月 18 日
専 攻	生産開発システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	Mechanical Impedance Approach for Piezoactive Contact Impedance Sensors (機械的インピーダンス評価法に関する研究 ーピエゾ効果を利用した接触インピーダンス試験機ー)
学位論文審査委員	(主査) 教 授 藤 井 洋 (副査) 教 授 丸 井 悦 男 教 授 武 藤 高 義

## 論文内容の要旨

標記の提出論文にまとめられている研究は、圧電効果をもつ物質を利用した機器を開発するために必要な、理論的な解析手法の確立と実験的確認を目的としている。その内容は以下のとおりである。

第1章では、現在ピエゾセンサやアクチュエータをもつ複雑な装置やシステムを開発するための理論的基盤は不十分であることを指摘し、本研究の目的を明らかにしている。

第2章では、圧電物質を利用してインデンターを振動させ、インデンターの先端を被測定物の表面に押し付け、そのときの接触インピーダンスを知ることにより被測定物の機械的性質を知ろうというピエゾセンサに関し、これまで行われてきた研究を概観している。これまでは超音波領域での利用しか行われておらず、可聴領域での応用が可能ならば有用なセンサーを開発しうることを示している。

第3章では、本研究で開発しようとするセンサーを、可聴域での振動時の機械的接触インピーダンスの変動を利用する材料評価法 (Acoustic Contact Impedance Evaluation: ACIE) であると位置付け、2物体間の接触インピーダンスを動力学的に求める方法を示している。

第4章では、解析をセンサー全体に広げ、前章で解析した2物体間の接触点を含むセンサーの構造を、質量、バネ、ダンパーからなる要素に置き換えたモデルを導入することによってその動的な特性を明らかにしている。その結果、もしセンサー各部のサイズが適切に決められ、最適な振動数が選ばれるならば、これまで非破壊試験が難しかった比較的軟らかい材料 (例えば、ゲルのような粘弾性体から熱硬化性樹脂に至るような材料) の機械的性質を測定できる可能性を見い出している。

第5章では、実際にセンサーを製作することを念頭において、金属部分と薄膜状の圧電素子からなるセンサーの作動特性を有限要素法によって解析することを試みている。電気的に駆動される薄

膜状の圧電素子の微小変異が一方の機械的な要素を駆動するという特殊な問題を、電気的性質の一部を機械的性質に置き換えるという独特な方法で解くことに成功している。このモデリングによって動的作動解析を行い、実際の設計時に遭遇するであろう殆どの問題をシミュレートできることを明らかにしている。

第6章では、実際に ACIE センサーを製作し、前章までの理論的解析の妥当性を確認し、ゴムを対象に行った測定の結果をまとめている。このセンサーの特徴は、それぞれセンサーとアクチュエーターとして機能する二枚の薄膜上の圧電素子を使用していることと完全な非破壊検査法であることにある。これは、ACIE 法（接触インピーダンス評価法）がインデンタの接触部における試験材料の微少な弾性変形を利用するものであることによって実現されたものであり、ゴムのような弾性ポリマの機械的性質を生産ライン上であるいは使用状況下で、非破壊かつオンラインで調べることを可能にしている。したがって、被試験材料のかたさ、ヤング率、ポアッソン比等の材料特性を知るばかりでなく、使用されているポリマがわからない場合の材料の特定や、ポリマの機械的性質の時間的变化や、環境による変化も容易に調べることができると考えられる。

種々の弾性ポリマを使って実験を行った結果、本 ACIE センサから得られる動的な信号は、ポリマのヤング率、硬さ、密度および減衰係数と高い相関性があること、ほとんど全てのゴムに適用可能であることを明らかにしている。

第7章では、製作し試験した ACIE センサーをさらに改良し、金属材料から生体の組織や流体の密度に至るまで広い範囲に適用できるセンサーとして、新しい構造を提案し、これを実現するために必要な理論的基盤を詳細に論じている。

第8章では、前述の内容を結論としてまとめている。

## 論文審査結果の要旨

上記の申請論文は、圧電効果をもつ物質を利用した機器を開発するために必要な理論的解析手法を確立し、可聴域での振動時の機械的接触インピーダンスの変動を利用する材料評価法（Acoustic Contact Impedance Evaluation: ACIE）によるセンサーを開発したものである。論文の内容について慎重に審査した結果、本論文は以下の点で顕著な独創性をもつことを確認した。

第1章、第2章では、本研究の目的が述べられているとともに、ピエゾセンサやアクチュエータをもつ複雑な装置やシステムを開発するための理論的基盤に関する研究の状況、およびインデンタを振動させ、その先端を被測定物の表面に押し付け、そのときの接触インピーダンスの変化を利用して被測定物の機械的性質を知ろうというピエゾセンサに関する研究の状況が概観されている。過去の論文が十分に検証され、本研究の位置付けが正しくおこなわれていることを認めた。

第3章、第4章では、本研究で開発しようとするセンサーを、可聴域での振動時の機械的接触インピーダンスの変動を利用する材料評価法（Acoustic Contact Impedance Evaluation: ACIE）であると位置付け、2物体間の接触インピーダンスを動力学的に求める方法を示している。2物体間の接触点を含むセンサーを、質量、バネ、ダンパーからなる要素に置き換えたモデルを導入することによって、センサーの動的な特性を明らかにしている。これは工学的に興味深い解析で、比

較的軟らかい材料（例えば、ゲルのような粘弾性体から熱硬化性樹脂に至るような材料）の機械的性質の非破壊試験に道を開くものであると評価される。

第5章では、金属部分と薄膜状の圧電素子からなるセンサーの作動特性を有限要素法によって解析している。電氣的に駆動される薄膜状の圧電素子の微小変異が一方の機械的な要素を駆動するという特殊な問題を、既存の有限要素解析プログラム Ansys に独自の解法を加えて、解析することに成功している。この方法によれば、実際の設計時に遭遇するであろう殆どの問題をシミュレートできることを明らかにしている。

第6章では、実際に ACIE センサーを製作し、前章までの理論的解析の妥当性を確認し、ゴムを対象に行った測定の結果をまとめている。このセンサーは、インデンタの接触部における試験材料の微小な弾性変形を利用するものであることによって実現されたものであり、ゴムのような弾性ポリマの機械的性質を生産ライン上であるいは使用状況下で、非破壊かつオンラインで調べることができる点が明確に示されている。種々の弾性ポリマを使った詳細な実験結果がまとめられており、本 ACIE センサから得られる動的な信号は、ポリマのヤング率、硬さ、密度および減衰係数と高い相関性があること、ほとんど全てのゴムに適用可能であることが明らかにされている。これは、被試験材料のかたさ、ヤング率、ポアッソン比等の材料特性を知るばかりでなく、使用されているポリマがわからない場合の材料の特定や、ポリマの機械的性質の時間的变化や、環境による変化も非破壊かつオンラインで調べることができることを示しており、実用上も非常に有益な方法であると考えられる。

第7章では、製作し試験した ACIE センサーをさらに改良し、金属材料から生体の組織や流体の密度に至るまで広い範囲に適用できる新しい構造のセンサーを提案し、これを実現するために必要な理論的基盤を論じている。これは本研究の将来的展望を示すもので、非常に興味深い。

以上、本論文は圧電効果をもつ物質を利用した機器を開発するために必要な理論的解析手法を確立し、可聴域での振動時の機械的接触インピーダンスの変動を利用する材料評価法による新しいセンサーを開発することに成功しており、学位論文として十分な内容をもつと判断される。