

Multiple-Input/ Multiple-Output  
Characteristics of Piezo Devices

YOSHIDA, Tomoya / 吉田, 智哉

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

59

(発行年 / Year)

2018-03-31

## 論文要旨

No. 1/3

理工学 研究科 システム理工 専攻  
創生科学 系

氏名 吉田智哉



論文題目 Multiple-Input/Multiple-Output Characteristics of Piezo Devices  
and ~~Their~~ Applications

論文の要旨 Their

圧電素子は、圧電効果を用い「電子フィルタ」、「電子発振器」、「ブザー」、「加速度センサ」、「振動センサ」、「振動子」、「点火器」など、様々な分野に応用されている。これらはそれぞれ、電流－電圧、電圧－電圧、電圧－変位、加速度－電圧、変位－電圧、電圧－変位、力－電圧の入出力特性を利用したものである。さらには圧電素子には焦電効果があり温度－電圧の入出力特性ももつことが知れている。このように身近な圧電素子は多様な物理量を他の物理量に変換する機能をもっている。これらの中には「変位－電圧」と「電圧－変位」のように入力が入力になり、出力が入力となる可逆的特性もある。

この圧電素子については従来、個別的な入出力特性だけに注目し個別用途のデバイスが開発製造されて現在に至っている。

本論では、圧電素子の圧電効果、静電効果、力学特性および焦電効果をもとに圧電素子の総合的な理論モデルを構築し、システム論的にこれらの関係を明らかにするブロック線図により表現した。これより可逆現象はフィードバックによることを明らかにした。また多様な物理量がこのフィードバックループに印加され、また出力されるという構造を明らかにして圧電素子の多入力/多出力特性の構造を明らかにした。この圧電素子の構造的理解により、従来の応用の位置づけを明らかにするとともに、この理解から新たな応用分野を開拓した。本論は5章からなり各章は次のような内容になっている。

1章では本研究の背景と目的を説明し、概要を記述する。

2章では圧電素子の理論モデルを圧電効果、静電効果、力学特性および焦電効果から構築する。これらの物理現象を連立した数学モデルを構築し、このモデルをもとに、システム論的に圧電素子の総合特性をブロック線図で表現した。その結果、圧電素子内部には、フィードバックループが内在することが明らかになった。このフィードバックループには、変位（速度、加速度）、電圧（電流、電荷）および温度が入力される多入力フィードバック系である。またこのフィードバックループより変位（速度、加速度）、電圧（電流、電荷）などが出力される。圧電素子の多入力/多出力特性をこのようにフィードバック構造から明らかにできた。このことより、例えば圧電素子における変位－電圧の可逆性はフィードバックループに「変位が入力され電圧が出力される」とともに「電圧が入力され変位が出力

## 論文要旨

される」という解釈を与えることができる。

圧電素子の多入力/多出力フィードバック構造の説明により、このデバイスは様々な物理量を電圧に変換するセンサとして機能するだけでなくアクチュエータとしても機能することか明らかになる。あるいはこれの機能を時分割的に用い圧電デバイス単体で計測と制御が可能にある。このような知見は圧電素子の応用の可能性を広げる。この圧電素子に関する新たな知見は、圧電素子の新たな活用法のヒントを与え、学術的に意義があるだけでなく産業に大きく貢献する。この知見に基づき、本論文では新たに二つの分野の応用を展開した。以下これらを3章と4章で述べる。

3章では圧電素子の焦電効果に注目した。従来、圧電素子の焦電効果はよく知られていたが、その応用は殆どなかった。圧電素子に温度変化をあたえると、圧電体内部の分極電子がリリースされ圧電素子両電極間に電圧が現れる。わずかな温度でもかなり大きな電圧が発生する。ここでは、この焦電効果を活用して呼吸センサを開発した。マスクに圧電素子を入れて呼吸による環境温度より高い温度で出力される電圧を計測して呼吸を検知するものである。また呼吸に異常があった場合には、圧電素子に他の応用であるブザーとして機能させ異常を知らせるものがある。圧電素子を駆動するやめには外部電源を必要とせず、極めて省電力で呼吸が検知できる。省電力マイクロプロセッサと圧電素子を組み合わせることで、ボタン電池で計算上2年間も呼吸検知ができるものである。本論では、この呼吸センサを災害現場におけるトリアージセンサとして利用できるようにした。

また圧電素子の変位-電圧特性を利用して、脈動に伴いマスクの紐に作用する力を電圧に変換しそれを捉える脈波計の可能性も示している。この成果は全く新たな呼吸センサであり医工学に新たな可能性を提示した。

4章では圧電素子を用いた音響管式レベルスイッチの開発である。

レベル計は、気体と液体、液体相互間、気体または液体と粉粒体などの境界面を測定する工場計器である。音響管は開放端に物体があることでその音響特性は変わる。かさ密度に極めて低い物体でも音響インピーダンスが影響を受ける。この章ではこの音響管を圧電素子の発音機能で駆動し、音響管の音響インピーダンス変化を圧電素子の電気的インピーダンスとして捉える方法を提案した。高感度にこの変化を捉える音響的条件と周辺温度が大きく変化してもその影響が少ない理由と条件を明らかにして400℃以上の粉粒体のレベル検知の可能性をしめした。圧電素子の固有周波数、この周波数に合わせたヘルムホルツ共鳴キャビティおよびこの周波数で共鳴する音響管長さにすることが、上記の環境温度変化にロバストであり高感度の条件であることを理論的に示し、実験的に検証した。この方式はさらに音響管内に入り込み堆積した粉流体を掃き出す機能ももつ。この方式は新規であり工業計器の一つの分野を開拓したものである。

5章は本論の結論を述べている。本論では、圧電素子に注目し次の知見を示すとともに工学および工業に寄与している。

(1) 圧電素子の多入力/多出力特性はフィードバックが素子に内在することより説明した。

## 論文要旨

また圧電素子の可逆性特性もこのフィードバック理論に基づき説明を加えた。この知見は圧電素子の活用法に関する新たな知見を与えた。

- (2) 圧電素子の焦電効果と素子内のフィードバック特性を利用して、新たな呼吸センサを開発した。この呼吸センサの特徴は、呼吸を検知するとともに、呼吸に異常があるときには、圧電素子の発音機構を利用して警報音を発生することである。省電力マイクロプロセッサと圧電素子1個でこの機能が実現できる。この警報器付き呼吸センサは医工学の分野に新たな可能性を示すと共にトリアージ現場で有用である。
- (3) 圧電素子をヘルムホルツキャビティと音響管を駆動する発音機構として利用し、音響管の先端がかさ密度の軽い物体で覆われたか否かを圧電素子インピーダンス変化から検出するレベル計を開発した。このレベル計は新たな工業計器の分野を開拓した。

以上