

# 外部電気回路接続した圧電性高分子の粘弾性挙動

東京工業大学大学院 理工学研究科  
赤坂 修一

(E-mail: akasaka.s.aa@m.titech.ac.jp)

## 1. 緒論

圧電性材料は、機械エネルギーと電気エネルギーを相互に変換する性質を持つ材料であり、ピエゾスピーカー、マイクロフォン、超音波素子、センサーなどに応用されている。制振の分野においては、圧電性材料に電気回路を接続した制振システムに関する研究が行われている。

圧電性材料を用いた制振システムについては、主に二つの方法が考えられている。一つは、振動体に二枚の圧電性材料を貼付け、それぞれセンサー、アクチュエータとして用いる方法である。これは、電気回路によりセンサー側で感知した振動と逆位相の信号をアクチュエータ側に送って駆動させることで振動を減少させる。もう一方は、材料の粘性による機械的なエネルギー損失に加えて、圧電性によって変換された電気エネルギーの損失を増加させ、制振性を向上させるという方法である。Hagood ら<sup>1)</sup>は、圧電セラミックにインダクタンスを接続し、サンプルの誘電性に起因するキャパシタンス成分を共振周波数においてキャンセルすることにより、電気エネルギーの損失を増加させ、制振性能を向上させることを報告した。さらに粘弾性を表す複素弾性率について、外部電気回路接続による変化を圧電基本式から導き、実験値とよく一致する結果を得た。また伊達ら<sup>2)</sup>は、圧電性高分子の一つである、ポリフッ化ビニリデン/トリフルオロエチレン(PVDF/TrFE)コポリマーにインダクタンスや負性容量を接続した系での粘弾性変化について数値計算を行い、実験値とよく一致することを報告した。

現在、我々は、後者の外部電気回路接続による制振性の向上に関する研究を行っている。より制振性能の優れた材料の設計のためには、制振性能に寄与するパラメータを把握することが重要である。前述の報告のとおり、外部電気回路として、インダクタンスを接続する場合、サンプルのキャパシタンスと共振する条件で高い制振性能を示す。

本研究では、外部電気回路としてインダクタンスを接続し、共振時の粘弾性、特に制振性能の指標の一つである損失弾性率がどのようなパラメータによって決まるのかを検討した。また、導出した式の妥当性を評価するため、圧電性材料として、ポリフッ化ビニリデン(PVDF)を用い、物性値(弾性率、圧電率など)の異なるサンプルを作製して、計算値と実験値との比較を行った。

## 2. 数値計算

### 2.1 外部電気回路を接続した圧電性材料の複素弾性率

圧電性材料の圧電効果は、次に示す圧電基本式で表されることが知られている。

$$\begin{pmatrix} D \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e & d \\ d & 1/c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E \\ T \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $D$  は電気変位、 $S$  は歪、 $E$  は電界、 $T$  は応力、 $d$  は圧電定数、 $e$  は応力一定下での誘電率、 $c$  は電界一定下での弾性率を示す。

Hagood ら<sup>1)</sup>は、式(1)から、外部電気回路を接続したサンプルの複素弾性率  $c_{SU}^*$  ( $= c_{SU}^{\prime} + j c_{SU}^{\prime\prime}$ ) を導いた。以下に貯蔵、損失弾性率  $c_{SU}^{\prime}$ 、 $c_{SU}^{\prime\prime}$  の式を示す。

$$c_{SU}^{\prime} = \frac{\{(1+a')(1+a'-k^2)+a''^2\}c_0^{\prime} + (a''k^2)c_0^{\prime\prime}}{(1+a'-k^2)^2 + a''^2} \quad (2)$$

$$c_{SU}^{\prime\prime} = \frac{\{(1+a')(1+a'-k^2)+a''^2\}c_0^{\prime\prime} - (a''k^2)c_0^{\prime}}{(1+a'-k^2)^2 + a''^2} \quad (3)$$

ここで、 $c_0^{\prime}$ 、 $c_0^{\prime\prime}$  は、それぞれ外部電気回路を接続していない時の貯蔵、損失弾性率を示す。また、 $k$  は電気機械結合定数である。圧電性材料の電氣的エネルギーと機械的エネルギーの変換効率を示し、次式のように定義される。