

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月28日現在

機関番号：12608
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23760545
 研究課題名(和文) 電気回路接続した圧電性高分子を用いたコントロール可能な吸音材料に関する研究
 研究課題名(英文) Study on frequency-controllable sound absorbing material using piezoelectric polymers shunted with the electric circuit
 研究代表者
 赤坂 修一 (Akasaka Shuichi)
 東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
 研究者番号：00501066

研究成果の概要(和文)：圧電性高分子フィルムに電気回路としてインダクタンスを接続することにより、サンプルのキャパシタンスとインダクタンスから決まる電氣的共振周波数において、吸音を示した。そのため、本材料は任意の周波数で吸音可能な材料として期待できる。垂直入射吸音率と振動振幅の同時測定から、吸音特性は電気回路接続による貯蔵弾性率と損失弾性率の変化に依存することが分かった。

研究成果の概要(英文)：Piezoelectric materials shunted with an inductance as an electrical circuit showed a sound absorption at the electrical resonance frequency determined from a capacitance of a sample and the shunted inductance. This material is promising frequency-controllable sound absorbing materials. From a simultaneous measurement of a normal incident sound absorption coefficient and a vibration amplitude, we revealed that sound absorbing characteristics depend on a change in storage and loss modulus by shunted electric circuits..

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：音・振動環境・吸音材料

1. 研究開始当初の背景

振動、騒音は我々の身近な社会問題の一つであり、居住空間の快適性や作業現場における労働環境の改善、自動車や精密機械の低騒音化など、様々な分野で対策が望まれている。

本研究で用いる圧電性材料は、機械エネルギーと電気エネルギーを相互に変換する材料である。通常、高分子材料(粘弾性体)に応力が印加されると、材料の粘性(内部摩擦)によりエネルギーロスを生じる(図1(a))。一方、圧電体では、粘性によるロスに加えて、圧電性により発生した電気エネルギーが材料内部の電気抵抗成分によってロスを生じる(図1(b))。

これまでに圧電体に電気回路(インダクタンスや負性容量)を接続し、インピーダンスを最適化することで、任意の周波数において、制振性が向上することが報告されている。

これまでに、電気回路を接続した圧電性高分子の吸音特性については、電気回路としてインダクタンスを接続した系での報告はない。また、負性容量(マイナスのキャパシタンス)を接続した系での報告はあるが[大久保ら、音講論(秋), 799-800(2001)など], サンプルの振動状態やエネルギーロスとの関連、材料の設計指針については述べられていない。

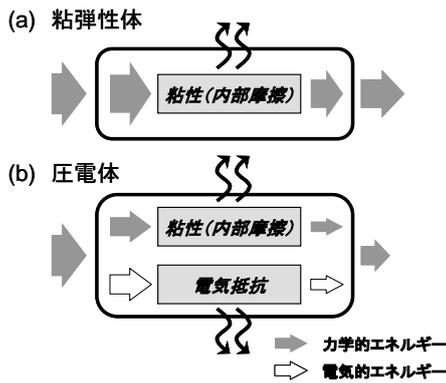


Figure 1 Schematic diagram of energy loss of viscoelastic body (a) and piezoelectric material (b).

2. 研究の目的

本研究は、圧電性高分子に電気回路としてインダクタンスを接続し、任意の周波数で吸音可能な材料の創製を目指すものである。

圧電性高分子フィルムは、板振動型吸音材料に分類される。申請者はこれまでに板振動型吸音材料のエネルギーロス量の定量化を行い、損失弾性率と振動振幅に依存することを明らかにしている。

本研究では、電気回路としてインダクタンス、負性抵抗を作成し、圧電性材料に接続した際の粘弾性特性、吸音特性を調べた。また、垂直入射吸音率、振動振幅の同時測定により、吸音率と材料物性との関連について検討した。

3. 研究の方法

材料として、代表的な圧電性高分子である、PVDF（株）クレハ製）を用いた。圧電d定数 (d_{31}) は約 25 pC/Nであった。

弾性率、圧電d定数は、東洋精機（株）製 Rheograph-Solid を用いて測定した。測定周波数は10Hz、室温で測定した。

吸音特性とサンプルの振動状態の関連を調べるため、垂直入射吸音率、振動振幅の同時測定を行った。Figure 2に垂直入射吸音率、振動振幅同時測定システムの概要図を示す。スピーカーからサンプルに音波を入射し、垂直入射管内の音圧をマイクロフォンで測定することで垂直入射吸音率を算出した。同時

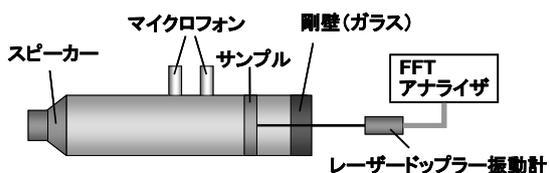


Figure 2 Schematic diagram of simultaneous measuring system of normal incident sound absorption coefficient and vibration amplitude.

に、剛壁として用いたガラス板側からレーザードップラー振動計を用いて、管内の材料の振動振幅を測定した。また、測定の際にはサンプルの発生電圧の測定も実施した。

4. 研究成果

Figure 3 にインダクタンスを接続したPVDFの貯蔵弾性率(E')、損失弾性率(E'')の周波数依存性を示す。なお、縦軸は電気回路未接続の値 (E_0' , E_0'') に対する電気回路を接続した時の値 (E , E') の比を示す。また横軸は測定周波数 ($f=10\text{Hz}$) に対する、サンプルのキャパシタンスと外部電気回路のインダクタンスから定まる共振周波数 (f_0) の比を示す。共振状態 ($f/f_0=1.0$) において、損失弾性率は約6倍まで増加した。また、貯蔵弾性率は、共振状態よりも低い周波数で減少、高い周波数で増加した。

Figure 4に回路未接続(open)のPVDFの吸音率およびサンプル中心部の振動振幅の周波数依存性を示す。なお、振動振幅は入射音圧で規格化している。グラフから 265、300、418Hzに吸音率、振動振幅ともにピークが観測され、固有振動数において、吸音を生じることを確認した。

電気回路接続前の振動振幅が接続後の吸音率にどのように影響するかを検討するため、418Hzのピークに対して、離れた周波数 ($f_0 \approx 400\text{Hz}$) と近い周波数 ($f_0 \approx 413\text{Hz}$) に共振周波数が表れるようインダクタンスを調整し、吸音率と振動振幅測定を行った。過去の知見より、外部電気回路として負性抵抗を接続し、系の抵抗を減少させると、損失が大きくなることが分かっているため、本実験でもインダクタンスに加えて、負性抵抗

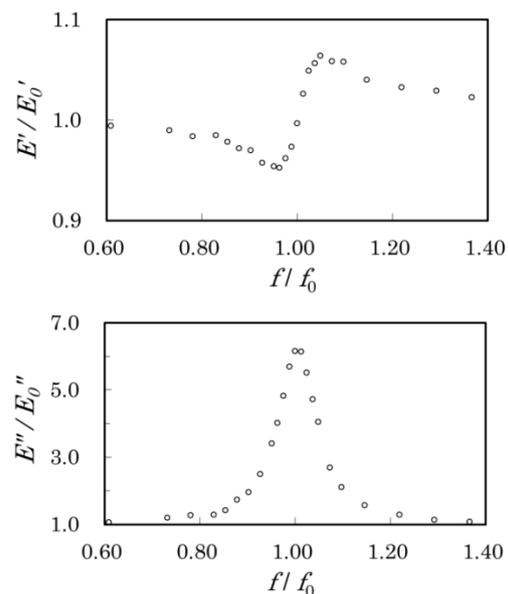


Figure 3 Frequency dependence of storage and loss modulus of PVDF shunted with inductance.

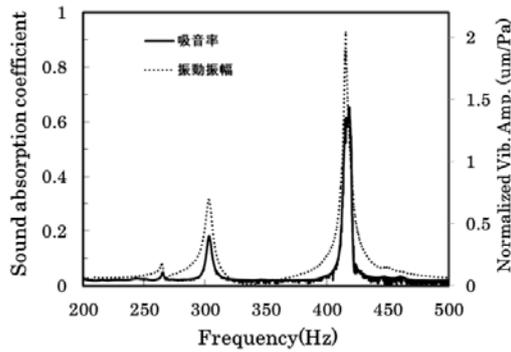


Figure 4 Frequency dependence of sound absorption coefficient (solid) and displacement amplitude normalized by incident sound pressure (dash) of PVDF with 200um thickness.

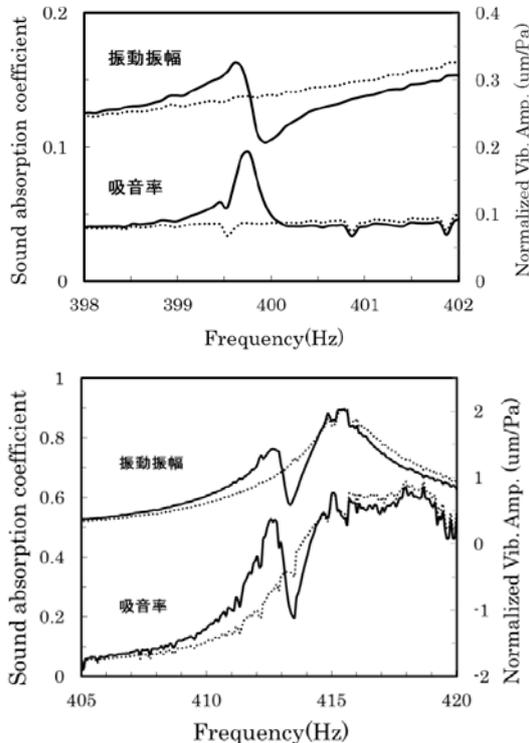


Figure 5 Frequency dependence of sound absorption coefficient and displacement amplitude normalized by incident sound pressure of PVDF (200 um thickness) opened and shunted with electric circuit (upper : $f_0 = \text{ca. } 400\text{Hz}$, lower : $f_0 = \text{ca. } 413\text{Hz}$).

($-426\ \Omega$)を接続した。Figure 5に共振周波数をそれぞれ約400Hz、413Hzに調整した時の吸音率、サンプル中心の振動振幅を示す。なお、図中には回路未接続の測定結果をあわせて示す。吸音率は、どちらの場合も電気回路接続により、共振周波数近傍で増加した。任意の周波数で吸音率が増加したことから、

吸音周波数の調整可能な材料としての利用が期待される。また、 $f_0=400\text{Hz}$ が共振周波数でピーク形状を示したのに対して、 $f_0=413\text{Hz}$ は、共振周波数の前後で増加、減少した。

振動振幅はどちらの場合も共振周波数前後で増加、減少を示した。これは、Figure 3に示す通り、貯蔵弾性率が共振周波数以下で減少、共振周波数以上で増加するためである。振動振幅の変化量は、 $f_0=400\text{Hz}$ で $\pm 0.06\ \mu\text{m}/\text{Pa}$ に対して、 $f_0=413\text{Hz}$ で $\pm 0.42\ \mu\text{m}/\text{Pa}$ で接続前の振動振幅が大きい $f_0=413\text{Hz}$ の方が大きかった。

本材料を用いた吸音材料は、板振動型吸音材料に分類される。板振動型吸音材料の単位体積当たりのエネルギーロス量 (W_{loss}) は、分数階微分粘弾性モデルを用いると、以下の式で表される⁴。

$$W_{\text{loss}} = \pi \gamma_0^2 E'' \sin \frac{\alpha \omega}{2} \quad (1)$$

ここで、 γ_0 は歪振幅、 E'' は損失弾性率、 α は分数階微分パラメータである。

サンプルの振動振幅は、歪振幅に対応すると考えられるため、式(1)より、共振周波数付近での振動振幅の変化が小さな $f_0=400\text{Hz}$ では、振動振幅の影響が小さく、損失弾性率の影響が大きくなり、吸音率は損失弾性率の周波数依存性のよう共振周波数でピーク形状を示したと考えられる。一方、 $f_0=413\text{Hz}$ では、振動振幅の影響が大きかったため、吸音率は振動振幅の周波数依存性のよう共振周波数の前後で増加、減少したと考えられる。

以上のことより、本システムを吸音材料として用いることで、任意の周波数で吸音できる材料を創製できる可能性を示した。また、吸音率は、電気回路接続前の材料の振動特性の影響を受けることが分かった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計5件)

1. 赤坂修一、柴田悟史、浅井茂雄、外部電気回路を接続した圧電性高分子の吸音特性、平成25年度日本材料科学会学術講演大会、平成25年6月8日、工学院大学。
2. 柴田悟史・阿部大吾・赤坂修一・浅井茂雄、無機フィラーを添加した圧電性高分子の制振特性に及ぼす電気回路接続の効果、制振工学研究会設立25周年記念技術交流会、平成24年12月14日、東京都立産業技術研究センター。
3. 柴田悟史・阿部大吾・赤坂修一・浅井茂

雄，無機フィラーを添加した圧電性高分子の粘弾性特性に及ぼす電気回路接続の効果，第 24 回エラストマー討論会，平成 24 年 11 月 29 日，東京理科大学.

4. 柴田悟史・阿部大吾・赤坂修一・浅井茂雄，電気回路を接続した圧電性高分子の粘弾性特性に及ぼす作成条件の影響，平成 24 年度繊維学会秋季研究発表会，平成 24 年 9 月 25 日，福井大学.
5. 阿部大吾、柴田悟史、赤坂修一、浅井茂雄，外部電気回路を接続した無機フィラー添加P(VDF-TrFE)の粘弾性挙動，平成 24 年度繊維学会年次大会，平成 24 年 6 月 6 日，タワーホール船堀.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤坂 修一 (Akasaka Shuichi)
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：00501066

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者