

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 7 日現在

機関番号：34416

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24655108

研究課題名(和文) ソフトなキラル高分子フィルム型トランスデューサとその円筒モータへの応用

研究課題名(英文) Fundamental Study of Application of Piezoelectric Chiral Polymer to Actuator

研究代表者

田實 佳郎 (Tajitsu, Yoshiro)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号：00282236

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円、(間接経費) 660,000円

研究成果の概要(和文)：L型ポリ乳酸(PLLA)を用いて従来にない全く新しいソフトなフィルム型トランスデューサを作成した。例えば、ソフトなフィルム型トランスデューサは、レールのように設置すると、リニアステージとしても使用ができるようになる。また、半円形に設置することも可能であるので、狭隘なスペースを利用した順方向及び逆方向搬送が、複雑な制御システムなしに、構成が可能である。今後は、このような特徴を活かした応用展開を目指したい。

研究成果の概要(英文)：In this study, we proposed a new technique for realizing the rotation of an object using a shear piezoelectric poly(L-lactic acid) (PLLA) film. We emphasize that there are no special complex mechanical parts in the proposed device, only using a PLLA film with an electrode on both film surfaces. Also, we do not need a PLLA film with a certain aspect ratio. However, we must experimentally confirm the driving force for the rotation. In the future, quantitative experiments will be necessary to clarify the phenomenon of rotation. On the other hand, we consider that our experimental results in this study indicate the strong possibility of realizing a new soft actuator using biodegradable chiral piezoelectric polymers such as PLLA films.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・高分子化学

キーワード：圧電性 キラル高分子 ポリ乳酸 アクチュエータ

### 1. 研究開始当初の背景

圧電素子とは、電圧をかけることで機械的な機構なしに自ら振動や変位を作り出す素子のことである。この素子は、現在、マイクロマシンや精密加工用ステージなどの駆動部品、ロボットなどの複雑な動きを実現するアクチュエータとして、現代の機械、電子、航空宇宙産業などの先端産業にはなくてはならないものである。圧電素子を実現する key material はチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)セラミックスである。しかし、昨今の環境に対する負荷を軽減する観点から、lead-free(非鉛)な圧電性物質が盛んに研究され、特に EU 諸国では RoHS 指令により代替品が早急に求められている。キラル高分子の圧電性は、50 年以上前から知られており、今こそ lead-free な圧電性物質の重要な候補になるべきである。しかし、その圧電率は PZT の 1/100 以下と小さく、鋭い圧電共振現象が起きない。そのため、交流電圧を印加しても、必要な応力が発生せず、PZT のようなアクチュエータ材料の候補になりえなかった。

### 2. 研究の目的

「圧電ずり変位」を用いた表面弾性波発生技術の確立に挑戦する。最近我々はキラル高分子の一種である L 型ポリ乳酸(PLLA)の圧電性を PZT の 1/20 程度まで向上させたフィルムを開発した。本研究では、この圧電性を高めた PLLA を圧電性キラル高分子のモデル物質として使用し、表面弾性波を発生するサイズフリーでソフトなキラル高分子フィルム型トランスデューサの具現化を目指す。そして、これを用い、PZT セラミックスなど従来の実用圧電体には実現不可能な無音極軽量円筒モータの開発を行う。(圧電ずり変位を持つキラル高分子は多数存在するが、その高圧電性を探索するには基礎的な構造研究が長期間必要である。そのため本応募課題では PLLA 以外は扱わなかった。)

### 3. 研究の方法

#### コンセプトの確立

圧電ポリマーフィルムの端面上にレイリー波を発生させる、そして、発生したレイリー波が物の運動を引き起こすことを具現化することを追求した。この場合、言い換えると、圧電ポリマーフィルム中で疎密波と横波が重畳されレイリー波は、発生しなければならない。これを達成するために、圧電ポリマーフィルムの長さや幅によるそれぞれの共振現象を、同時に起こし、継続させねばならない。実は、圧電セラミックでは、縦横のアスペクト比を制限されたサンプルで、それぞれの鋭い共振現象を重畳することで、レイリー波を生み出すことができることは古くから知られている。しかし、残念なことに、圧電ポリマーは共振の鋭さ不足(Q値が小さい)のうえ、この方法では、圧電ポリマーは高分子独特の機械的損失が大きいため、二つの共振現象をフィルム中で同時に減衰させることなく継続させることは非常に難しい。この研究において、我々は図1で示すように PLLA フィルムの端面で、一つの縦共振現象を利用し、疎密波の上に、特徴ある剪断圧電性の変位を重畳融合す

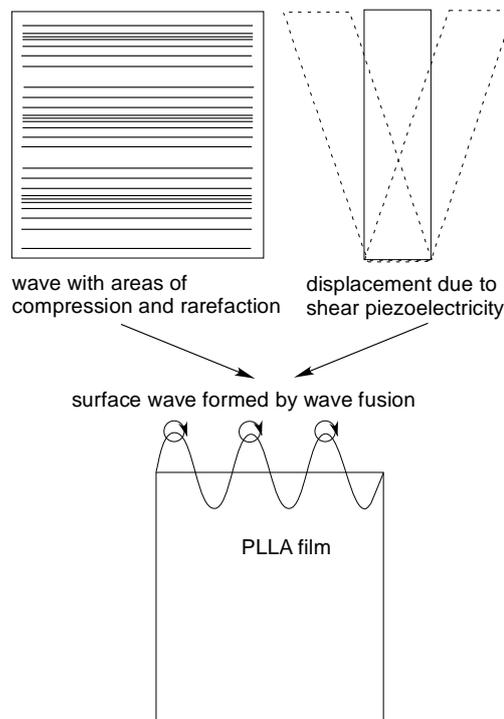


Fig. 1. Illustration of the surface wave generated.

ることにより作られる表面波，疑似的なレイリー波を生み出す可能性を考慮した．これにより， $Q$ 値が小さく，減衰も大きな高分子フィルムの弱点があっても，キラル高分子の剪断圧電性を積極的に利用し，表面波を発生させることができる．

### 具現化実験

—PLLA 円筒フィルム型トランスデューサの作成—

PLLA フィルムを超臨界  $\text{CO}_2$  処理すると，非晶部を含めた高次構造が密になり，圧電性が向上する．ここではこのような高次構造制御した PLLA フィルムを用意した．チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) などで作成される超音波モータを踏まえつつ，本課題の第一歩として，他の物体の回転を生起できる PLLA フィルムを用いたトランスデューサの具現化を目指した．以下に作成手順を示す．

予め一軸配向 PLLA フィルムを超臨界処理し，その両表面にベタ電極を付与する．それを丸め，円筒形(直径 1 cm, 高さ 10 cm)にし，側線を融着した．これを以下 PLLA 円筒型フィルムトランスデューサと呼ぶ (図 2)．

### 4. 研究成果

#### 回転モータ

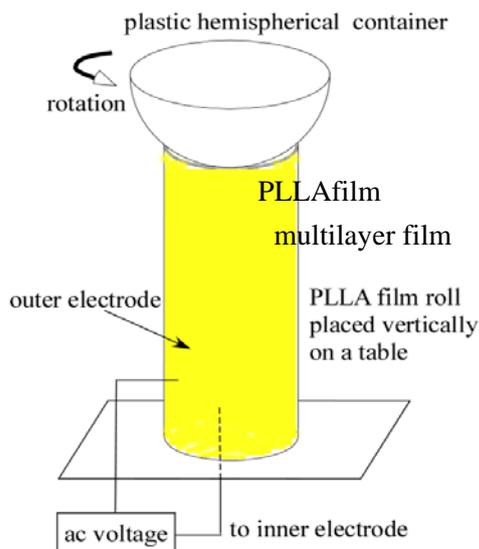
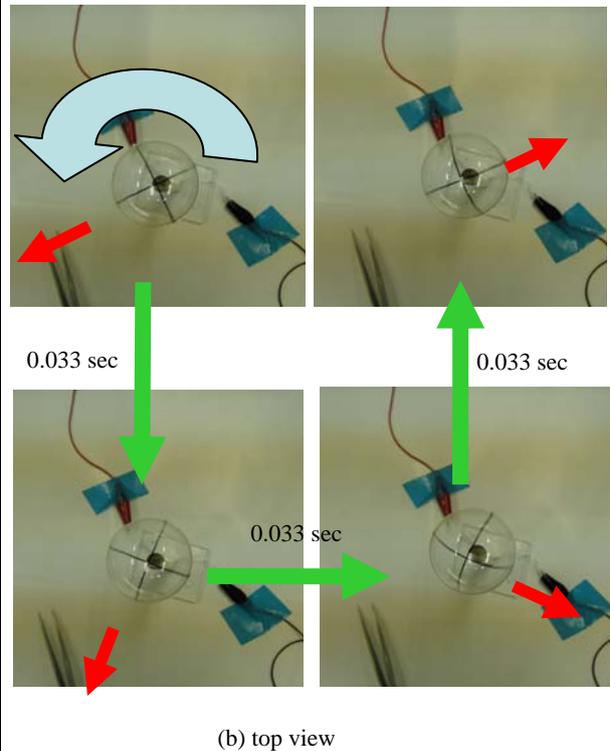


Fig. 2 Experimental setup for the demonstration of PLLA film roll transducer.

作成した PLLA 円筒型フィルムトランスデューサによる回転運動の生起の可能性を追求するために，図 2 に示すような実験を行った．机の上に設置した PLLA 円筒型フィルムトランスデューサの上部に，重さ 0.92 g のプラスチック製薄肉半球殻容器を置いた．そして，PLLA 円筒型フィルム型トランスデューサの表裏に形成されている電極間に，振幅 150 V, 4.71 kHz の交流電圧を加えた．その結果，プラスチック製薄肉半球殻容器が回転数 300 rpm で，反時計方向にスムーズに回転し続けた．その様子はビデオにより，動画として記録した．ここでは，その動画のスナップショットを図 3 に示す．スムーズな左回転の様子が見て取れる．

#### 回転数

##### 電圧依存性



(b) top view

Fig. 3 Typical still images showing rotation of plastic hemispherical container on upper end face of PLLA film roll transducer.

PLLA 円筒型フィルム型トランスデューサに印加する交流電圧の振幅の大きさを変え，プラスチック製薄肉半球殻容器の回転数との関係を追及した．その結果，図 4 に示すように回転数は印加電圧の大きさに比例していることが分かった．

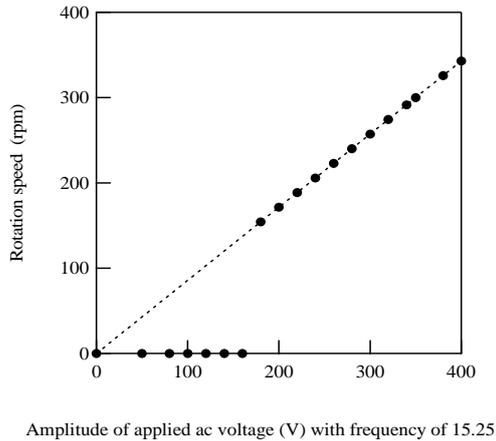


Fig. 4 Plot of rotation speed of container against the amplitude of applied ac voltage with a frequency of 15.25 kHz.

### 周波数依存性

外部交流電圧の周波数を変える実験を行った。その結果を図5に示す。

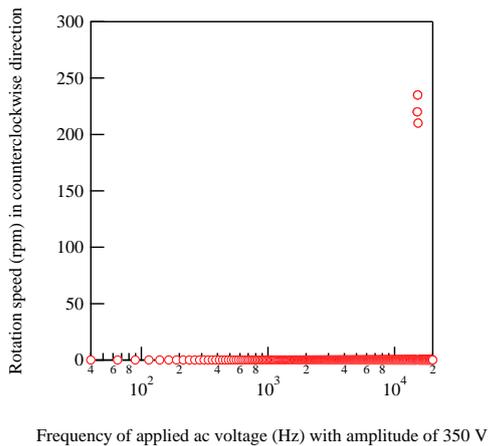


Fig. 5 Plot of rotation speed of container against the frequency of applied

16.5 kHz から 14.5kHz まで ac 電圧周波数を減少させた。すると、図6で示すように、容器の回転は、15.45 から 15.05kHz まで周波数レンジで起きた。さらに周波数依存性を追求した結果、プラスチック製薄肉半球殻容器の回転方向が反時計方向から時計方向に変換することを見出した。この適切な周波数の ac 電圧印加で誘発されている時計回り、反時計回りの回転のこの注目に値する実験的な発見は応用の可能性を広げる重要なものである。ここで得られた実験結果は、一枚の PLLA

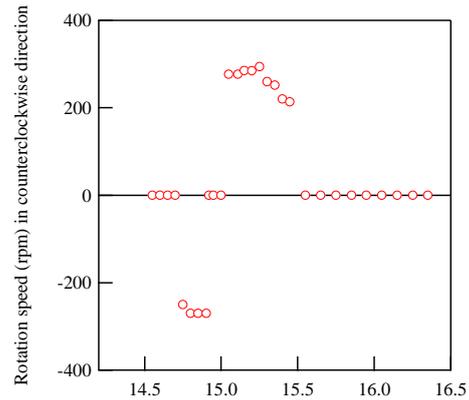


Fig. 6 Plot of rotation speed of container against the frequency of applied ac voltage with an amplitude of 350 V.

フィルムのみを用いて、機械的なクランクシャフト機構を一切持たない回転モータの実現する可能性を強く示唆し、新たな応用への道を開く。

### 総括

PLLA を用いて従来にない全く新しいソフトなフィルム型トランスデューサを作成した。例えば、ソフトなフィルム型トランスデューサは、レールのように設置すると、リニアステージとしても使用ができるようになる。また、半円形に設置することも可能であるので、狭隘なスペースを利用した順方向及び逆方向搬送が、複雑な制御システムなしに、構成が可能である。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- 1) Y. Tajitsu, Fundamental Study on improvement of Piezoelectricity of Poly(l-Lactic Acid) and Its Application to Film Actuators, IEEE Transactions on Ultrasonic, Ferroelectrics, and Frequency Control, 査読有, 60, 2013, pp. 1625-1629, DOI:dx. doi. org/10. 1109/TUFFCC. 2 013. 2744
- 2) M. Ando, H. Kawamura, H. Kitada, Y. Sekimoto, T. Inoue and Y. Tajitsu, Pressure – Sensitive Touch Panel Based on Piezoelectric

Poly(L-lactic acid)film, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 52, 2013, pp.09KD17-4, DOI:10.7567/JJAP.52.09KD17

3) J. Takarada., T. Kataoka, K. Yamamoto, T. Nakiri, A. Kato, T. Yoshida and Y. Tajitsu, Fundamental Study on Vibration in Edge Face of Piezoelectric Chiral Polymer Film, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 52, 2013, pp.09KE01-5, DOI:10.7567/JJAP.52.09KE01

4) Y. Shiomi, K. Onishi, T. Nakiri, K. Imoto, F. Ariura, A. Miyabo, M. Date, E. Fukada and Y. Tajitsu, Jpn. J. Appl. Phys., Improvement of Piezoelectricity of Ply(L-lactide) Film by Using Acrylic Symmetric Block Copolymer as Additive, 査読有, 52, 2013, pp.09KE02-5, DOI:10.7567/JJAP.52.09KE02

5) Y. Inuzuka, K. Onishi, S. Kinoshita, Y. Nakashima, T. Nagata, H. Yamane, T. Nakai, T. Kataoka, S. Ito, and Y. Tajitsu, Fundamental Study of Application of Piezoelectric Chiral Polymer to Actuator 査読有, 52, 2012, pp.09LD15-4, DOI:10.1143/JJAP.51.09LD15

[学会発表] (計 10件)

1) M. Ando, H. Kawamura, H. Kitada, Y. Sekimoto, T. Inoue, S. Nishikawa, M. Yoshida, K. Tanimoto and Y. Tajitsu, A Deformation Detection Touch Panel using a Piezoelectric Poly(L-lactic acid) Film, The 20<sup>th</sup> Internatinal Display Workshop (IDW' 13), 2013年12月4日~12月6日, Sapporo, Japan

2) M. Ando, H. Kawamura, H. Kitada, Y. Sekimoto, T. Inoue and Y. Tajitsu, New Human Machine Interface Devices Using a Piezoelectric Poly(L-lactic acid) Film, International Ultrasonic Symposium,

International Symposium on the Applications of Ferroelectrics (ISAF), Joint International Frequency Control Symposium, European Frequency and Time Forum, 21-25 July, 2013, Prague Congress Centre, Prague, Czech Republic

3) 田實佳郎, 有機圧電材料の今(招待講演), 128 回定例会誘電体研究委員会, 2013年7月12日, 東京工業大学

4) 田實佳郎, ポリ乳酸フィルムからなる新規圧電材料の開発(招待講演), 第112回プラスチックフィルム研究会, 2013年7月5日, 龍谷大学

5) 田實佳郎, 有機圧電材料とその応用(招待講演), SEMI Forum Japan (SFJ:Semiconductor Equipment and Materials International), 2013年5月21日~22日, 大阪国際会議場

6) Y. Tajitsu, Development of new piezoelectric element using piezoelectric fibers made from environmentally friendly polymer, 23rd IFATCC Congress (International Federation of Associations of Textile Chemists and Colourists Congress Hungary. Budapest, 8-10 May 2013, Budapest Hungary

7) 田實佳郎, 有機圧電材料と応用(招待講演), 第195回研究会, 有機エレクトロニクス材料研究会, 2012年9月5日, 新宿NSビル

8) Y. Tajitsu, Fundamental Study on Application of Piezoelectric Chiral Polymer to New Soft Actuator, 21st International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF2012), July 16 2012, Aveiro, Portugal

9) Y. Tajitsu, Development of Sensor Device Using high-transparency Chiral Polymer Piezoelectric Film, Second international Conference on Electromechanically Active Polymer (EAP) transducers & artificial muscles (招待講演), 2012年05月29日~2012年05月31日, Potzdam, Germany

10) 犬塚雄介, 大西克也, 木下俊輔, 中嶋康人, 永山高博, 山根央嗣, 中井隆昌, 田實佳郎, 高分子圧電フィルムアクチュエータの可能性, 2012年05月23

日～2012年05月26日，第28回強誘電体応用会議，京都

〔図書〕（計 3件）

- 1) 田實佳郎，運動を電気に変えるポリマー，高分子ナノテクノロジーハンドブック エヌ・ティー・エス，2014，1096
- 2) 田實佳郎，機能材料，CMC，2013，46
- 3) 田實佳郎，複屈折とその場計測，CMC，2012，283

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計 0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

IDW '13 Best Paper Award Winners 受賞  
“New Human Machine Interface Devices  
Using a Piezoelectric Poly(L-lactic acid)  
Film”（村田製作所，三井化学，関西大学）  
（Sponsored by The Institute of Image  
Information and Television Engineers and  
The Society for Information Display）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田實 佳郎 (TAJITSU Yoshiro)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号：00282236

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：