

平成 30 年 6 月 16 日現在

機関番号：34416

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13714

研究課題名(和文) 圧電キラル高分子衣服型スマートデバイスへの挑戦

研究課題名(英文) PIEZOELECTRIC POLY-L-LACTIC ACID FABRIC AND ITS APPLICATION TO CONTROL OF HUMANOID ROBOT

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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：キラル高分子の圧電性は実用圧電セラミックスに比べ非常に小さい。そのため、高分子独特の柔軟性や軽量性などを活かした応力・歪検出センサは実用化されなかった。しかし、我々はキラル高分子の構造に基づく圧電性発現機構の解明を通して、その圧電性の向上に努めた。それを発展させるために、圧電性キラル高分子を繊維化し、生地にし、生地全体に圧電性を発現させること(圧電ファブリック)を追求し、その可能性を見出した。その成果を基に、圧電ファブリックを洋服センサ(e-textile)に仕上げ、IoT(Internet of Things)に相応しい「身につける」から「着る」wearable センサの実現を図る。

研究成果の概要(英文)：We report the potential of a system that enables the monitoring of complex human movements via new smart fabrics based on a piezoelectric poly-L-lactic acid (PLLA) fabric that have the function of sensing complex human motion. In particular, piezoelectric PLLA fabrics with plain, twill, and satin weaves were produced. First, a smart fabric was developed that consisted of pieces of the piezoelectric PLLA fabric with satin, plain, and twill weaves joined in the horizontal direction. The smart fabric, designed to accurately detect the twisting, bending, and elongation of the smart fabric itself was fabricated using a technique for sewing Japanese kimonos. Finally, we developed a prototype system that allows simple human motion to be detected through the motion sensing of clothes capable of being worn on the joints, such as the elbows, shoulders, knees, and waist, obtained by sewing together pieces of the smart fabric. This motion was linked with that of a humanoid robot.

研究分野：センサ工学

キーワード：圧電性 ポリ乳酸 キラル高分子

1. 研究開始当初の背景

キラル分子を持ち主鎖がらせん構造を示す高分子(らせん高分子)の圧電性が盛んに研究されている. 特に圧電性発現機構と構造の相関を追及し, セラミックス圧電体を凌駕する有機圧電体の実現を目指している. その中で, らせん高分子の一種である L 型ポリ乳酸 (PLLA) フィルムの高次構造を制御し, 透明圧電フィルムを我々は実現してきた. 一方, この PLLA は, フィルム形状ではなく繊維形状であっても, 使用条件を工夫することで, 圧電性を発現できることを報告してきた.

2. 研究の目的

操作を意識せず, 更に装着に抵抗感のない衣服型 human machine interface (HMI) を実現することを目的とする. 現在のタッチパネルをベースとした HMI では操作技能が求められ, ストレスを感じる. 今 HMI は “wearable” をキーワードに腕時計型やめがね型(Google glass など)デバイスの開発が進められている. しかしながら, これらのデバイスは装着への違和感ばかりか, その大きさから命令数に制限が発生し, 複雑な操作には向かない. そこで, 我々は人間の動きを “衣服” を HMI としてセンシングすることを目指す. 動き(操作)を検出するために圧電性(変位が加わると電圧が発生する性質)キラル高分子繊維を用いる. 一方圧電信号検出に必要な繊維に付与される電極は動きや装着の違和感を増大させる. 本研究では表面金属電極を使用しない圧電衣服センサの確立とその性状把握に注力した.

3. 研究の方法

圧電性を持つキラル高分子を繊維化し生地を作りそれを衣服にする. それを身体の動きを検出するセンサとする試みである. 文字通り “wearable” センサを具現化する. 織物では, 経糸(たていと)と緯糸(よこいと)の間を直角に交わってくぐり, 柄を織り出していく. この経糸と緯糸の交錯点を擬似的な拘束点と考える. 即ち交錯点の幾何学的配置は, 変位が織物に加わった時に緯糸(圧電繊維)に実際どのような歪が発生するかを決定する. 織物組織を対象に, 実験と有限要素法によるシミュレーションの両面より検討し, 最適解を見出す. 即ち架空な織物組織ではなく具現化可能な圧電織物組織を創成する. また電気信号取り出しのための CBF への静電誘導の最適化(非接触電極の実現)を計る. 誘起圧電電荷を電気信号として取り出すために, 静電誘導を利用し CBF 上に電荷を誘導させる.

4. 研究成果

1) 圧電性 PLLA 繊維

そもそも PLLA 結晶は図 1 に示す圧電性を示す. このとき注意すべきことは PLLA 結晶に圧電性を発現するには poling 操作が不要であり, 一軸配向性が必要条件になる. また,

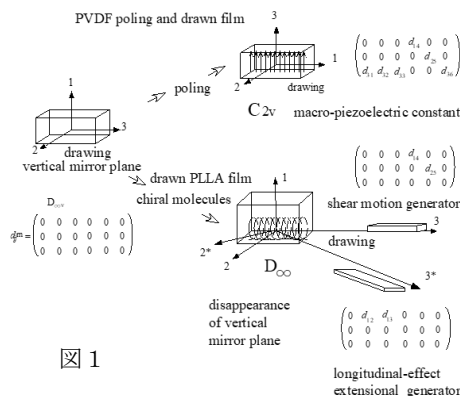


図 1

その圧電性は必ず圧電性なので非鏡映対称性の変位に反応することが指摘される. しかしながら, PLLA を繊維化するとその対称性は著しく増大し, 曲げ圧電性が顕著になる性質がある.

衣服化するためにはその繊維が安定的に試作されねばならないが, 延伸を高速化

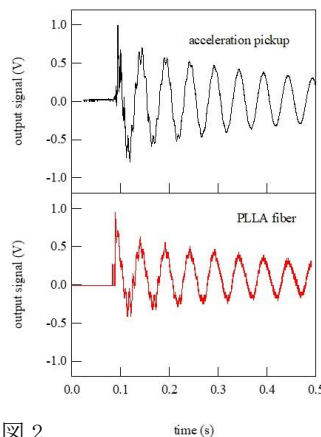


図 2

することで, 安定的な圧電性示す PLLA 繊維を作成した. 図 2 に得られた圧電 PLLA 繊維の圧電応答信号を示す. この圧電繊維は上段の市販の加速度 pick up と同程度の応答特性を実現していることが分かる.

2) 圧電ファブリック

織物は, 経糸と緯糸の二組の糸を直角に交差させることで作られる. この経糸に導電性カーボンファイバ(CF)を用いることで, PLLA 表面に本来必要な電極を不要とすることに挑戦した. 本研究を始める前には CBF が毛羽立ち短絡したり, 切断し, 安定的な織物が具現化できなかった. そこで, 経糸と緯糸の交錯点を擬似的な拘束点と考えた. 即ち交錯点の幾何学的配置は, 変位が織物に加わった時に緯糸(圧電繊維)に実際どのような歪が発生するかを決定する. これを実験と有限要素法によるシミュレーションの両面より検討し, 最適解を見出したその結果, 安定的な図

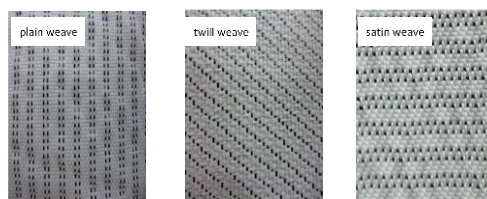


図 3

3 に示すファブリック形成(基本の三元織)ができるようになった。

3) 圧電ファブリックの特性

曲げ, 伸ばし, 捩じりに対応した運動をセンシングする圧電ファブリックを実現した。織方は数百種類あり, その変位や感知したい方向を制御することにより, ニーズに合わせて圧電体ファブリックを設計することが可能になる。これは織り方により, 生地の中に含まれる経糸と緯糸の交錯点の数, 方向により, ファブリックに加えられた変位が選択され, 織り込まれた圧電性ポリ乳酸繊維の変形が規定されることに基づく。平織に曲げ変位を加えると織り込まれた圧電性 PLLA 繊維が素直に曲げ変位に対応し変形する。しかしながら, これに伸び変位や刷り変位を加えても,

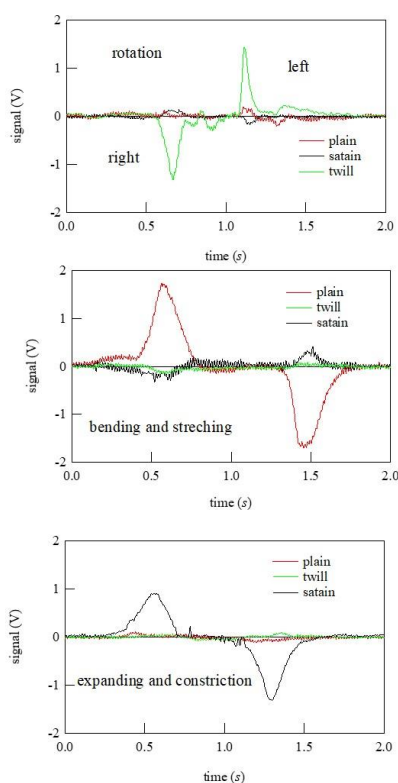


図 4

平織に折られた圧電性 PLLA 繊維は変形しない。これに対して綾織は交錯点がルーズでその方向性が一方向なので, 引っ張りを施すと圧電性ポリ乳酸繊維は面内で変形し, 反応する。しかしながら, これを捩じっても圧電性ポリ乳酸繊維の変形が打ち消し, 反応しない。一方, サテン織はよりルーズで交錯点の方向が直交二方向にあるので, 捩じりのような三次元的な変位に対応する。即ち, 同じ圧電性 PLLA 繊維を使って, 織り方を変えることで異なる変位に対応する圧電ファブリックが作れる(図 4)。

4) スマートファブリック

圧電ファブリックは動きの種類を検出で

きる。複雑なアルゴリズムを用いることなく, 複雑な人間の動きを妥当な精度で容易に決定できる装置を実現することができる可能性がある。そこで, 圧電ファブリックを用い, 織物自体のねじれ, 曲げ, 伸びを正確に検出する目的で, 日本の着物を縫う技術を用いてスマートファブリックの実現に挑戦した。3種類の圧電織物(綾織, 平織, サテン織り)を縫い合わせた。縫い合わせたファブリックが変形を受けると, 圧電織物に圧電信号が生成される。信号はアナログ信号処理ユニット(アンプとフィルタ回路)と A/D ボードを介して PC に入力され, 変形を決定する。当然この信号解析には特別なアルゴリズム, あるいは信号処理ユニットに複雑な回路を用いていない。図 5 に示すスマートファブ

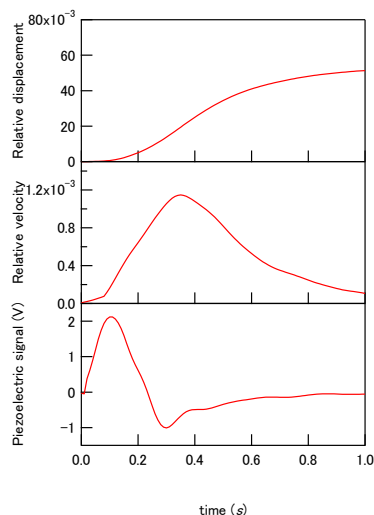


図 5

リックの速度と変位は圧電信号の積分によって得られたものである。これを応用し, 縫い合わせたファブリックを半分折り畳んで開くと, 図 6 に示すように, 平織から圧電信号が得られ, 積分することで変位角度と表示することができる。

4) 縫い合わせた圧電ファブリックによる運動認識

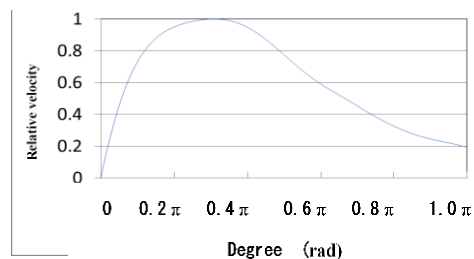


図 6

縫い合わせた各ファブリックの信号の有無と大きさから、ある時点でのファブリックの動きを決定し、3D表示するシステムを具現化した。具体的にはPC画面上にモーションのムービーとして表示した。圧電ファブリックは、図7に示すように、自身の曲げ、回転、伸縮変形を検出し、ファブリックの動きを再現できることを示すことができた。これらの結果は全く新しいHMIの可能性を拓くものとして注目される。

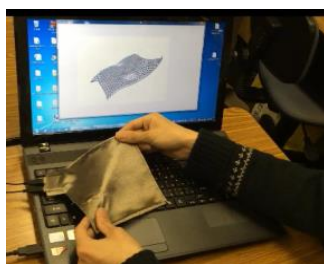
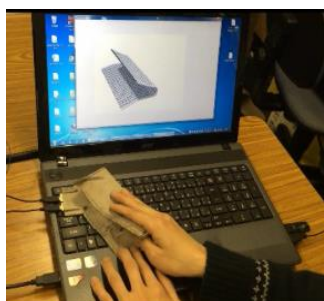
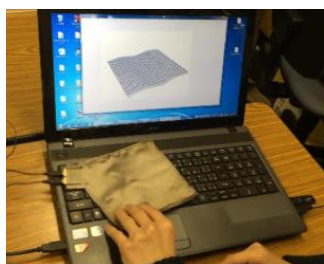


図7

5) 縫い合わせ

合わせた圧電ファブリックによる運動認識

圧電ファブリックを日本の着物裁縫技術を用いファブリックとした(スマートファブリック)。これを着る wearable sensor として人の腕に装着し、人の動きをロボットの動きにシンクロさせるシステムを作り上げることに挑戦した。例えば、スマートファブリックを着用している人が肘関節を引き伸ばすと、ロボットの前腕が伸びることを実現する。このシステムでは、被験者の腕の動きによって生成された圧電応答信号は、上述のアナログ信号処理ユニットおよび増幅器およびフィルタ回路によって処理される。処理された信号は、無線ローカルエリアネットワーク(LAN)通信システムを介してヒューマノイドロボットの腕の動きを制御する回路システムに送られる。その結果、図8に示すように、スマートファブリックからの圧電信号は、着用者の背中の肩、脚及び腰の動きに反応して発生することが実証できた。

今後はスマートファブリックを使用して、ヒューマノイドロボットの動きは人間の動きに正確に追従することを目指したい。そのためには、今後の研究により、スマートファブリックの検出精度を高めることが必要であるのと同時に、本研究では着手できなかった外乱電磁波の影響の排除、SN比の向上な

ど実用化の為に試すべき項目はまだ多数残っていることは、ここに記しておきたい。

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 3 件)

- ① Y. Tajitsu, Piezoelectric poly-L-lactic acid fabric and its application to control of humanoid robot, *Ferroelectrics*, 515, 査読有, 2017, 1-15.
- ② Y. Tajitsu, Smart piezoelectric fabric and its application to control of humanoid robot”, *Ferroelectrics*, 499:1, 査読有, 2016, 36-46.
- ③ Y. Tajitsu, “Sensing complicated motion of human body using piezoelectric chiral polymer fiber”, *Ferroelectrics*, 480, 査読有, 2015, 1-7.

[学会発表] (計 3 件)

- ① 田實佳郎, 日本の伝統工芸の技が新たな wearable device を生み出す力に(招待講演), 2017 年第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 2017.
- ② Y. Tajitsu, Development of Piezoelectric Fabric and Its Application”, EMN Polymer Meeting 2016 at Hong Kong, 2016.
- ③ Y. Tajitsu, Smart Piezoelectric Fabric and Its Application”, 24th IFATCC World Congress, 2016.

[図書] (計 1 件)

田實佳郎, 圧電性高分子から圧電ファブリックへ、実用化に向けたソフトアクチュエーターの開発と応用・制御技術, CMC, 2017.

[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 1 件)

名称：圧電定数測定装置特許
発明者：吉田光伸, 西川茂雄, 田實佳郎
権利者：三井化学, 関西大学
種類：特許
番号：5990082
出願年月日：2012年10月18日
取得年月日：2016年9月7日
国内外の別：国内

[その他]
ホームページ等
<http://www2.ipcku.kansai-u.ac.jp/~tajitsu/>

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：

(4) 研究協力者

()