

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05656

研究課題名(和文) 球状液晶エラストマーを用いた二周波駆動型ソフトアクチュエータの開発

研究課題名(英文) Development of soft actuator operated by dual frequency mode using spherical liquid crystal elastomers

研究代表者

金子 光佑 (Kaneko, Kosuke)

立命館大学・生命科学部・助教

研究者番号：30469192

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：エラストマーとはゴム状の弾力性と柔軟性とを有する高分子材料の総称であり、液晶性を有するものを液晶エラストマー(LCEs)という。LCEsが示す魅力的な特性は、分子配向を電場・磁場・光・温度により制御できることである。このように液晶モノマーをエラストマー中に組み込むことにより、高分子材料に外部刺激応答性をもたせることができる。本研究では、印加交流電場の周波数に依存して異なる誘電率異方性を示す二周波駆動液晶を用いて、球状LCEsを合成することを目的とした。また、直流および交流電場印加下における球状LCEsの形状変化を観察し、印加交流電場の周波数と形状変化の相関についても検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では二周波駆動液晶の基礎的研究を完成し、二周波駆動性を利用した新しいアクチュエータ材料の創製や液晶ブレーキへの実用化に展開するための基盤となる研究を行う。

従来型の電場のON・OFFによる刺激応答は、外場による一方向への応答性(電場ON)を利用した原理であるため、逆方向への応答(電場OFF)については駆動力が働いていない。本研究は、印加交流電場の周波数の違いによって異なる誘電率異方性を示す二周波駆動液晶を用い、周波数の変化により棒状液晶分子の配向を制御して球状エラストマーの形状変化を促す、本質的な意味でのスイッチング機能を利用する新たな試みである。

研究成果の概要(英文)： Dual frequency liquid crystals (DFLCs) show different dielectric anisotropy depending on the frequency of the applied AC electric field. Therefore, the molecular orientation of DFCLCs can be controlled by changing the frequency. This study aims to prepare the spherical liquid crystalline elastomers showing the DFCLC property and investigate the shape changes of the spherical LC elastomers under the varied frequencies of the AC electric field.

First, a nematic LC molecule containing a double bond at the end of an alkyl chain was synthesized based on the molecular structure reported to exhibit dual frequency characteristics. The compound obtained and a crosslinker having a thiol group were mixed at an appropriate ratio, and a thiol-ene reaction was carried out to synthesize spherical LC elastomers by using a flow-focusing device. After clarifying the phase transition behavior of the LC elastomers obtained, the shape change under DC and AC electric fields was observed.

研究分野：材料化学

キーワード：液晶 エラストマー フローフォーカシングデバイス

1. 研究開始当初の背景

本研究では、液晶材料の新産業分野創出の可能性を追求するために、電場印加による液晶材料の粘度変化(電気粘性効果)に注目し、「液晶ブレーキ」への応用を視野に入れている。また最終的には、人間との協調活動が必要とされる医療・リハビリテーション分野でのロボットシステムの研究基盤を構築する。

電気粘性(ER)効果とは、電場の印加により流体の粘度が増加し、電場を除去すると元の粘度に戻る現象であり、このような現象を示す流体はER流体と呼ばれている。その効果の発現機構は、液晶材料にせん断ひずみを与えて一方向に配向した棒状の分子構造を持つ液晶分子に対して垂直に電場を印加し、液晶分子が電場方向に配向することにより流動抵抗が増大し、その結果として粘度増加が発生する。電場を除去すると液晶分子の配向はせん断ひずみにより崩され、流動抵抗が小さくなり粘度は減少する。理想的なER効果は電場のON・OFFで応答性の良い粘度変化が得られることであるが、電場除去後の液晶分子の配向(せん断方向への配向)に対し基本的に駆動力は働いておらず、せん断ひずみの大きさによりその応答性が異なるので、応答時間に問題が発生する。そこで本研究では、印加電場の周波数の違いによって異なる誘電率異方性を示す二周波駆動液晶を用い、周波数の変化により液晶分子の配向を制御して粘度の増減のスイッチングを起こす、これまでに報告例のない二周波駆動型液晶アクチュエータの開発を行う。

2. 研究の目的

液晶エラストマーは「ポリマーネットワークの力学的性質」と「液晶相の異方性(分子の配向秩序)」とのカップリングによる新たな物質系の可能性を秘めた機能性材料である。本研究では報告例の極めて少ない球状の液晶エラストマーを二周波駆動液晶を用いて作製し、微小サイズアクチュエータへの応用を図る。また、球状液晶エラストマーの作製後、電場刺激により可逆的に粘度を変化させることができるER流体へ応用することによってアクチュエータへの実装を図る。印加交流電場の周波数に依存した液晶分子の配向制御によって球状エラストマーを楕円形など異方的な形状に変化させ、低分子液晶の分子配向による流動抵抗からエラストマーの強固な分子ネットワークに起因する大きな接触抵抗を利用し、力学可動範囲を著しく拡張させた新規機能性材料を創製する。

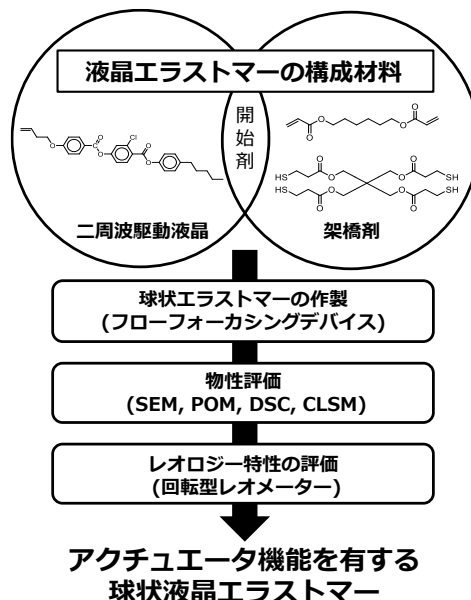
3. 研究の方法

本研究では3つのアプローチで二周波駆動型球状液晶アクチュエータの研究を行った。本計画により、二周波駆動型液晶性電気粘性流体の基礎研究から人間との協調活動が必要とされる医療・リハビリテーション分野でのロボットシステムへの実用化までの一貫した研究基盤を確立する。

(1) 二周波駆動性を有する液晶材料を合成し、液晶相の発現温度範囲を室温に持つ新規二周波駆動液晶材料を創製する(化学的アプローチ)。

(2) 液晶材料の二周波駆動性を「誘電率異方性」と「印加交流電圧の周波数変化による透過光強度変化」から評価する(物理学的アプローチ)。

(3) フローフォーカシングデバイスを用いた球状エラストマーの作製(工学的アプローチ)。



4. 研究成果

作製した球状エラストマーをエタノールで洗浄した後、室温で乾燥させ、そこへシリコンオイルを加えてシリコンオイル中に球状エラストマーを分散させたものを表面電極付きガラスセル(10 μ m)に流し込み、各種測定を行った。

50 $^{\circ}$ C と 175 $^{\circ}$ C での偏光顕微鏡(POM)観察像を比較すると、50 $^{\circ}$ C では液晶分子による複屈折が要因となって見える光学模様が確認できるが、175 $^{\circ}$ C ではその光学模様が確認できない点、およびそれらの現象に再現性が確認できた点から、エラストマーは液晶性を有していると考えられる。

交流電場を印加した際に高周波数の条件下では、球状エラストマーの形状変化は確認されず、光学模様の変化も確認されなかった。しかし、0.1-10 Hz あたりにおいて、わずかではあるが POM 画像においてエラストマーの揺らぎが確認された。

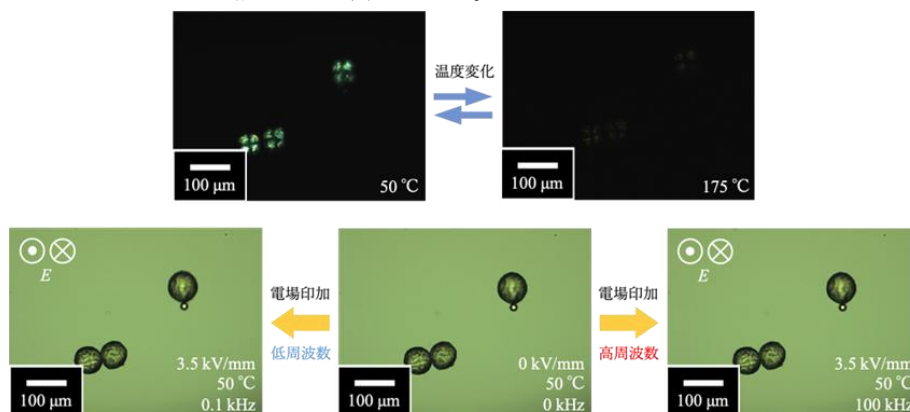


図1. 球状液晶エラストマーの POM 像(上段)および交流電場印加下における形状変化(下段)

得られた球状液晶エラストマーについて表面電極付きガラスセルに注入し、50 $^{\circ}$ C での交流電場印加下における球状液晶エラストマーの形状変化を顕微鏡観察により評価した。その結果、交流電場の印加によって球状液晶エラストマーの形状変化が認められた。印加交流電場の周波数が低いほど球状液晶エラストマーの変化量は大きくなった。また、電圧が高いほど変化量が大きくなることも確認された。

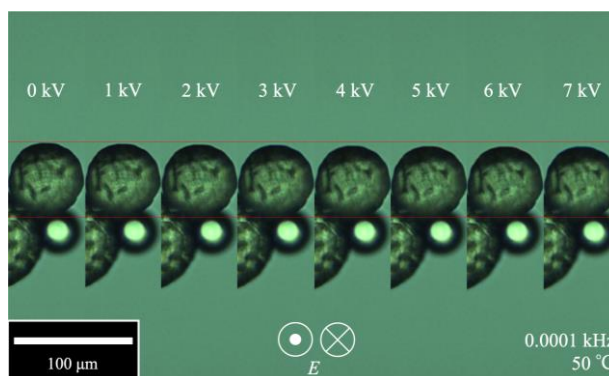


図2. 交流電場(0.0001 kHz, 0~7 kV, 50 $^{\circ}$ C)印加下における球状液晶エラストマーの形状変化

低周波数の交流電場を印加した際に球状エラストマーが目的とする変形をする場合、電場の向きは画面に対して垂直方向であるので、エラストマー内の棒状の液晶基が電場方向に対して平行に配向しようとする。それに付随して球状エラストマーの構造全体が電場の向きに対して平行に伸長しようとするため、球状が電場の向きに伸長した楕円球状に変化し、POM 観察画面上では球状エラストマーの直径が小さくなったように見える。

一方、高周波数の交流電場を印加した際に球状エラストマーが目的とする変形をする場合、電場の向きは画面に対して垂直方向であるので、エラストマー内の液晶基が電場方向に対して垂直に配向しようとする。それに付随して球状エラストマーの構造全体が電場の向きに対して垂直に伸長しようとするため、球状が電場の向きに対して垂直に伸長した楕円球状に変化するのので、POM 観察画面上では球状エラストマーの直径が大きくなったように見える。

これらの結果より、球状液晶エラストマーの内部において、交流電場を印加した際の液晶基の配向変化、およびそれに起因した球状エラストマーの構造・形状の変化は十分には起こっていないが、エラストマー内の液晶基が電場方向に対して平行に配向しようとし、それに付随してエラストマーの構造全体が電場の向きに対して平行に伸長しようとしたため、球状が電場の向きに伸長した楕円球状に変化しており、その結果として、電場印加前後のエラストマーの直径に変化が見られたと判断できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 金子光佑, 藤岡大毅, 金子喜三好, 淵上清実, 花崎知則	4. 巻 36
2. 論文標題 二周波駆動液晶を用いたソフトアクチュエータ材料の開発と展望	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 BIO Clinica	6. 最初と最後の頁 709-713
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 金子光佑, 校條貴之, 永田一馬, 藤岡大毅, 淵上清実, 花崎知則
2. 発表標題 球状液晶エラストマーの合成と電場印加下における形状の観察
3. 学会等名 化学工学会第53回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安田匡宏, 伊井祐貴, 金子光佑, 藤岡大毅, 淵上清実, 金子喜三好, 花崎知則
2. 発表標題 分岐型シロキサソコアを有する二周波駆動液晶の合成と電気粘性効果
3. 学会等名 第70回レオロジー討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永田一馬, 校條貴行, 金子光佑, 藤岡大毅, 淵上清実, 金子喜三好, 花崎知則
2. 発表標題 二周波駆動液晶を用いた液晶エラストマーフィルムの合成と動的粘弾性
3. 学会等名 第70回レオロジー討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子光佑、伊井祐貴、藤岡大毅、淵上清実、金子喜三好、花崎知則
2. 発表標題 側鎖型ポリシロキサン系二周波駆動液晶の電気粘性効果
3. 学会等名 第70回レオロジー討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中峻馬、金子光佑、稲葉優史、藤岡大毅、淵上清実、花崎知則
2. 発表標題 球状液晶エラストマーの作製と交流電場印加による形状変化
3. 学会等名 化学工学会第88年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takayuki Menjo, Yushi Inaba, Kimiyoshi Kaneko, Kiyomi Fuchigami, Daiki Fujioka, Kosuke Kaneko, and Tomonori Hanasaki
2. 発表標題 Preparation of spherical liquid crystalline elastomers and observation of shape change under electric field
3. 学会等名 The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------