

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04238

研究課題名(和文) フォトクロミック材料を用いた直動式光駆動アクチュエータの創生

研究課題名(英文) Development of a light-driven linear-actuator using photochromic materials

研究代表者

小俣 誠二 (Omata, Seiji)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・助教

研究者番号：60624814

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年注目を集めているソフトロボティクスにおいて、本研究の目的は光刺激による非接触式直動アクチュエータの開発とした。光を吸収する効率を高め、柔軟な繊維を束ねることにより、高速かつ一軸方向への変位を可能とする駆動システムを開発する。これを行う為に、光駆動分子を数珠つなぎにする事により、直動運動を行う事が可能になる為、ナノ繊維化を行う事とした。フォトクロミックな分子構造を有するモノマーの選定を行い、フォトクロミック分子を含む高分子材料を合成するための環境を整え、材料調整が可能な状況になった。紫外線光を照射し、光駆動アクチュエータの駆動現象をリアルタイムで観察する事に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでのフォトクロミックポリマーの開発により、光の波長のみ依存する駆動様式の可能性が示唆され始めている。これは、駆動エネルギーを非接触的に実現するものである。本研究では、この駆動様式の機械工学への応用を試みる全く新しい試みの一環である。その為、機械・ロボット分野の新しい学術領域を創生する事が出来るものと考えている。

研究成果の概要(英文)：In soft robotics, which has attracted much attention in recent years, the purpose of this study was to develop a non-contact linear actuator using optical stimulation. By increasing the efficiency of light absorption and bundling flexible fibers, we will develop a driving system that enables high-speed displacement in a single axis direction. To achieve this, we decided to create nano-fibers by connecting light-driven molecules into a string of beads to enable linear motion.

We selected monomers with photochromic molecular structures, prepared an environment for synthesizing polymer materials containing photochromic molecules, and made it possible to adjust the materials. We succeeded in observing the driving phenomenon of the photo-driven actuator in real time by irradiating ultraviolet light.

研究分野：ソフトメカニクス

キーワード：ソフトメカニクス ソフトアクチュエータ ソフトロボティクス フォトクロミックポリマー 非接触駆動

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年、柔軟材料を用いたソフトアクチュエータの開発が盛んに行われている。ソフトアクチュエータは医療、先端科学、産業技術など様々な分野への応用が期待されている[1]。現在ソフトアクチュエータはイオン導電性高分子や導電性ポリマーを用いた物や、ゴムホース等が原料として用いられているものが盛んに開発されている[2,3]。しかし、それらの多くは電圧や油圧、空気圧を動力源としており、動力を得るために配線や配管を巡らせる必要がある。この為、設置自由度が低下するという問題点を抱えている。そこで本研究では、隔離環境が必要な空間において非接触直動が行える様な新しいアクチュエータの開発を試みた。

2. 研究の目的

非接触に駆動する形式として、光駆動分子が特に注目を集めている。これは、光の吸収により分子形状や吸収スペクトルが可逆的に変化する現象の事である。代表的な光駆動分子であるアゾベンゼンを例にすると、トランス体状態のアゾベンゼンに UV を照射するとシス体へと変換し、可視光や熱を与えるとシス体からトランス体へと変化する。この異性体変化により、特定の波長の光を当てる事で巨視的な伸縮反応がみられる。光駆動特性を有する分子は、多数存在するが、それぞれの持つ性質は異なる。アゾベンゼンの他にも多数候補が挙げられる。中でもアゾベンゼンは、他の分子と比べて合成が比較的容易であり耐久性や可逆性に優れている為、アクチュエータに使用する材料として有用であると考えた。

アゾベンゼンを含有した薄膜の光駆動に関する研究は、多く報告されている。アゾベンゼンの光駆動効果により UV 照射によって曲げ反応が確認された[4]。これにより、光エネルギーを駆動源とするアクチュエータ開発の可能性が広がった。しかし、この研究において確認されたのは曲げ反応のみである。原因として考えられるのは、使用される一般的なフィルムの厚さは 10—20 μm であるのに対して、全ての入射光がサブミクロンの厚さの表面領域内で吸収される為である。よって、表面以外の大部分のアゾベンゼンは、入射光の影響を受けない。結果として、表面のみが収縮する為、曲げ反応が発生する。直動アクチュエータとして使用する為には、光機械効果による収縮効率は高いとは言えない状態にあると言える。直動アクチュエータとして使用する為には、全ての光駆動分子に対して同時に駆動出来る様に改良する必要がある。そこで、我々は、図 1 に示す様に、光駆動高分子を繊維化し、一軸方向に集積させ、微細繊維構造を持った繊維集積層を構想した。これにて、収縮効率を改善出来ると考える。高分子が微細繊維構造を持つ事により、体積に対して表面積を増加させる事が可能となる。よって、薄膜状に対して光収集性が高まる事が期待される。また、光がより深部まで届く事により、先程の曲げ運動と比べて直動的な運動を示すものと考えられる。

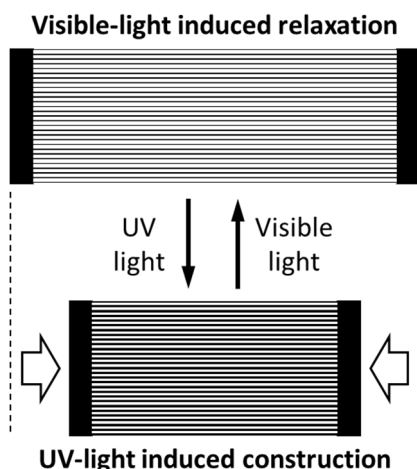


Fig. 1 Conceptual image of a light-driven linear actuator.

3. 研究の方法

側鎖型高分子の合成は、図 2 に示す様に、Otsuka らの方法[5]により行った。9.2 mmol の 4-フェニルアゾベンゾイルクロリドを 50 mL のピリジンに溶かした。次に 0.5 g のセルロースを 50 mL のピリジンに加え、懸濁液を作製した。4-フェニルアゾベンゾイルクロリド溶液をセルロース懸濁液に加え、100 °C で 48 時間攪拌した。その後、純水洗浄を 3 回、エタノール洗浄を 3 回行った。この洗浄の際は、3000 rpm で 3 分間に混合溶液を遠心分離させる事で沈殿物を得た。最後に得られた沈殿物を 60 °C で真空乾燥させた。作製した側鎖型高分子で薄膜を形成し、光駆動を確認する為、スピンコータを用いて溶液を薄膜化させた。スピンコータ上には溶液を 1 mL 滴下し、1500 rpm で 5 秒間回転させた。薄膜

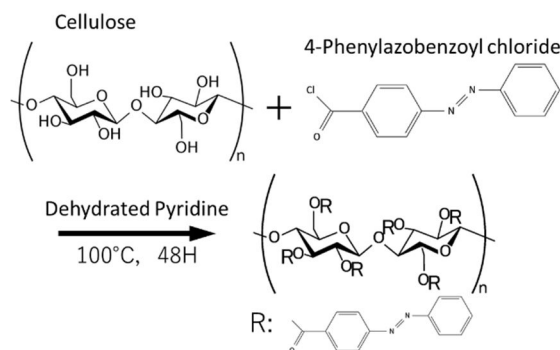


Fig. 2 Chemical process scheme.

化されたポリマーは溶媒を十分に乾燥させた。電界紡糸は室温で UV を遮断した状態で行った。電圧は 20 kV, 針先端とターゲットの距離 100 mm, ターゲット間の距離 80 mm とした。また, 側鎖型ポリマーの場合の溶媒はジクロロメタンとジメチルホルムアミドを重量比 9:1 で混合したものを溶媒とし, 濃度は 10 wt% とした。

4. 研究成果

作製した高分子溶液にスピンドットを用い, 薄膜化した。図 3 に示す様に, この成形した薄膜の膜厚を測定した複数箇所断面の厚みを計測し, 平均値が $15\ \mu\text{m}$ であった。この薄膜に紫外光照射すると屈曲変形が図 4 に示す様に確認された。これにより, アゾベンゼンのセルロース誘導体の生成ができその薄膜には光応答性がある事を示した。前節で予想した通り, 十分な厚みがあった為, 屈曲動作を呈したものと考えられ, 動作確認に成功した。一方, 電解紡糸法により, ナノ線維作製を試みた所, 液滴状に噴霧され, 繊維状に成形する事が叶わなかった。高分子間の相互作用が弱く, ナノ線維化する為の十分な糸引き性を発揮するまでには至らなかったものと考えられる。合成反応時の溶液は, 白濁している様に見られた為, 側鎖修飾が不完全であったものと考えており, 今後改善を試みる。

参考文献

- [1] Taniguchi, T., *et al.*, *Crystals*, 9:437, 2019.
- [2] 安積欣志, *日本ロボット学会誌*, 31-5:448-449, 2013.
- [3] 奥崎秀典, *et al.*, *精密工学会誌*, 80-8:709-712, 2014.
- [4] Yu, Y., Nakano, *et al.*, *Nature*, 425:145, 2003.
- [5] Otsuka, I., *et al.*, *Cellulose*, 26:6903-6915, 2019.

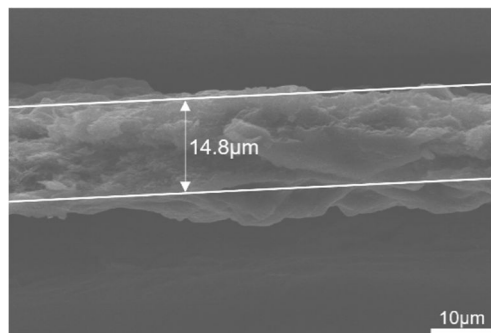
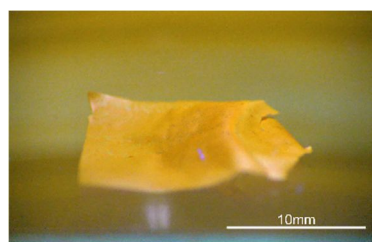
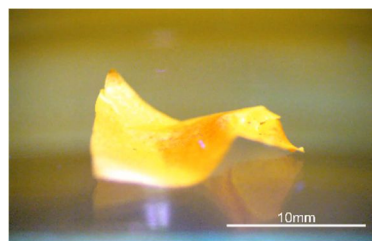


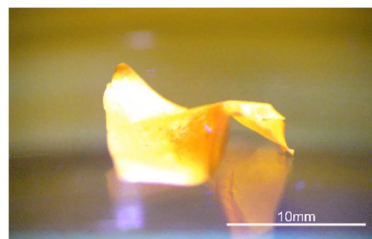
Fig. 3 Sectional image of the fabricated film with photochromic reagents modified on the side chain by using SEM.



(a) Before UV exposure



(b) Under exposure



(c) After exposure

Fig. 4 Time-series of bending deformation of the fabricated thin films under a UV irradiation (365 nm).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 小俣 誠二、栗田 史哉、酒井 友里江、巨 陽、森田 康之	4. 巻 20
2. 論文標題 伸縮可能な基材の溝幅が幹細胞の腱細胞分化誘導へ与える影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 実験力学	6. 最初と最後の頁 173 ~ 178
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11395/jjsem.20.173	査読の有無 有
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22件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Keisuke Miyahara, Seiji Omata, Toshiro Yamanaka, Kanako Harada, Mamoru Mitsuishi, Koichiro Sugimoto, Takashi Ueta, Tomoyasu Shiraya, Fumiyuki Araki, Muneyuki Takao, Makoto Aihara, Yasuyuki Morita, Fumihito Arai
2. 発表標題 Quantitative evaluation of scleral incision sensation in glaucoma artificial surgery
3. 学会等名 33rd 2022 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川畑 朗, 小俣 誠二, 深田 龍平, 森田 康之
2. 発表標題 光駆動アクチュエータ開発のための基礎検討
3. 学会等名 日本機械学会 第54回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮原 啓輔, 小俣 誠二, 山中 俊郎, 原田 香奈子, 光石 衛, 杉本 宏一郎, 上田 高志, 戸塚 清人, 白矢 智靖, 荒木 章之, 高尾 宗之, 相原 一, 森田 康之, 新井 史人
2. 発表標題 Bionic-EyE: 緑内障模擬手術における強膜切開感の定量的評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 in Nagoya
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川畑 朗, 小俣 誠二, 深田 龍平, 森田 康之
2. 発表標題 光で駆動する直動マイクロアクチュエータの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 in Nagoya
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 再生組織培養における細胞機能恒常法の基礎検討
2. 発表標題 小俣誠二, 野口圭介, 高井研太郎, 森田康之
3. 学会等名 日本機械学会 第34回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuta Taniguchi, Hiroataka Sugiura, Tashiro Yamanaka, Shiro Watanabe, Seiji Omata, Kanako Harada, Mamoru Mitsuishi, Takashi Ueta, Tomoyasu Shiraya, Koichiro Sugimoto, Kiyohito Totsuka, Fumiyuki Araki, Muneyuki Takao, Makoto Aihara, Fumihito Arai
2. 発表標題 Quantitative Force Measurement of the Eye Surgical Simulator for ILM Peeling by Using QCR Force Sensor
3. 学会等名 2021 21st International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小俣 誠二, 岩切 みなみ, 山中 俊郎, 原田 香奈子, 光石 衛, 杉本 宏一郎, 上田 高志, 戸塚 清人, 白矢 智靖, 荒木 章之, 高尾 宗之, 相原 一, 森田 康之, 新井 史人
2. 発表標題 バイオニックアイ: 網膜下注射訓練に向けた模擬網膜の開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 比江島 貴行, 小俣 誠二, 山中 俊郎, 原田 香奈子, 光石 衛, 杉本 宏一郎, 上田 高志, 戸塚 清人, 白矢 智靖, 荒木 章之, 高尾 宗之, 相原 一, 森田 康之, 新井 史人
2. 発表標題 バイオニックアイ: 緑内障手術模擬のための眼球表面の切開力評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山中 俊郎, 新納 智徳, 小俣 誠二, 原田 香奈子, 光石 衛, 杉本 宏一郎, 上田 高志, 戸塚 清人, 荒木 章之, 白矢 智靖, 高尾 宗之, 相原 一, 新井 史人
2. 発表標題 Bionic-EyE: ヒト眼球内のマイクロ流体特性を模擬した緑内障手術シミュレータ
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷口 雄大, 杉浦 広峻, 山中 俊郎, 渡邊 史朗, 小俣 誠二, 原田 香奈子, 光石 衛, 上田 高志, 白矢 智靖, 杉本 宏一郎, 戸塚 清人, 荒木 章之, 高尾 宗之, 相原 一, 新井 史人
2. 発表標題 Bionic-EyE: 眼内手術訓練における眼底部接触力の高精度計測
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野口 圭介, 小俣 誠二, 高井 研太郎, 森田 康之
2. 発表標題 3次元再生組織における細胞機能恒常を実現する培養方法に関する研究
3. 学会等名 第75期 日本機械学会九州支部総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福田 涼太, 小俣 誠二, 野下 渉, 大内田 研宙, 森田 康之
2. 発表標題 がん細胞の浸潤に 対する がん関連線維芽細胞の力学的影響 に関する研究
3. 学会等名 第75期 日本機械学会九州支部総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井 友里江, 福崎 雄也, 小俣 誠二, 大内田 研宙, 森田 康之
2. 発表標題 細胞外基質の機械特性によるがん細胞の浸潤挙動への影響
3. 学会等名 第32回 バイオフロンティア講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takayuki Hiejima, Seiji Omata, Toshiro Yamanaka, Kanako Harada, Mamoru Mitsuishi, Koichiro Sugimoto, Takashi Ueta, Kiyoto Totsuka, Tomoyasu Shiraya, Fumiyuki Araki, Muneyuki Takao, Makoto Aihara, Yasuyuki Morita, Fumihito Arai
2. 発表標題 Evaluation of Scleral Incision Force for Simulating Glaucoma Surgery
3. 学会等名 32nd 2021 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuta Taniguchi, Hirotaka Sugiura, Toshiro Yamanaka, Shiro Watanabe, Seiji Omata, Kanako Harada, Mamoru Mitsuishi, Tomoyasu Shiraya, Koichiro Sugimoto, Takashi Ueta, Kiyohito Totsuka, Fumiyuki Araki, Muneyuki Takao, Makoto Aihara, Fumihito Arai
2. 発表標題 Force Measurement by QCR Force Sensor on Eye Surgical Simulator for ILM Peeling Surgery
3. 学会等名 32nd 2021 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井 友里江, 福崎 雄也, 小俣 誠二, 大内田 研宙, 森田 康之
2. 発表標題 がん細胞の浸潤に細胞外マトリックスの弾性率と線維構造が与える影響
3. 学会等名 日本機械学会M&M2021材料力学カンファレンス
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小武 史和, 内尾 翔斗, 小俣 誠二, 大内田 研宙, 森田 康之
2. 発表標題 転移挙動におけるがん細胞塊と細胞外基質の関係
3. 学会等名 日本機械学会 2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 比江島 貴行, 小俣 誠二, 山中 俊郎, 原田 香奈子, 光石 衛, 杉本 宏一郎, 上田 高志, 戸塚 清人, 白矢 智靖, 荒木 章之, 高尾 宗之, 相原 一, 森田 康之, 新井 史人
2. 発表標題 緑内障手術模擬における強膜切開時の反力計測
3. 学会等名 日本実験力学学会 2021年度(学会20周年)年次講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新納 智徳, 小俣 誠二, 原田 香奈子, 光石 衛, 杉本 宏一郎, 戸塚 清人, 上田 高志, 白矢 智靖, 荒木 章之, 高尾 宗之, 相原 一, 新井 史人
2. 発表標題 Bionic-EyE: 眼内循環・圧力調整機構による緑内障手術シミュレーション
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会2020金沢
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江川 峻亮, 小俣 誠二, 森田 康之
2. 発表標題 薬剤担持能力向上を目指した多孔質ナノ粒子の細孔拡張に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 九州支部 第74期 総会・講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福崎 雄也, 小俣 誠二, 森田 康之
2. 発表標題 がん細胞の浸潤挙動に細胞外基質の線維構造と弾性率が与える影響
3. 学会等名 日本機械学会 九州支部 第74期 総会・講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内尾 翔斗, 小俣 誠二, 森田 康之
2. 発表標題 スフェロイドを用いたがん浸潤初期の挙動と細胞外基質の構造変化に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 九州支部 第74期 総会・講演会
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
---------	---------