

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12918

研究課題名(和文) 光駆動分子結晶アクチュエータを用いた新方式カテーテルの作製

研究課題名(英文) New Type Catheter Using Photomechanical Crystal Actuator

研究代表者

小島 秀子 (Koshima, Hideko)

早稲田大学・ナノ・ライフ創新研究機構・客員上級研究員(研究院客員教授)

研究者番号：20304644

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：現代医療において、内視鏡・カテーテルは、重要な検査・治療医療機器となっている。私達はこれまで光を当てると屈曲する種々のフォトメカニカル結晶を開発してきた。そこで、フォトメカニカル結晶をアクチュエータに用いた、新方式の光駆動カテーテルを作製する研究を行った。フォトメカニカル結晶のヤング率、応力などの機械的特性、繰り返し光屈曲の耐久性を実際に測定した結果、光駆動アクチュエータに使用可能であることが確認された。今回、5 Hzの速い屈曲を示す新たなフォトメカニカル結晶も開発した。最終的に、フォトメカニカル結晶と光ファイバーとの接続を行い、プロトタイプの光駆動部を作ることができた。

研究成果の概要(英文)：Endoscope and catheter are important medical equipment for inspection and treatment in modern medicine. We have recently developed various photomechanical crystals, which bend upon light irradiation. In this study, we tried to develop new light-driven catheter by using the photomechanical crystals as the actuator. As the results of measurements of Young's modulus and stress as well as the durability of repeated bending, the photomechanical crystals revealed to be available for light-driven actuator. A new photomechanical crystal was also developed which had fast bending speed of 5 Hz. Finally, a prototype light-driven actuator could be made by connecting a photomechanical crystal and an optical fiber. Further improvement is necessary to realize new light-driven catheter enduring practical use.

研究分野：有機固体光化学

キーワード：分子機械 医療・福祉 分子性固体

1. 研究開始当初の背景

現代医療において、内視鏡・カテーテルは、人体の内部を低侵襲で検査、治療を行うための重要な検査・治療医療機器となっている。外科手術を要しないカテーテル治療が増えるに連れて、高度な技術を要するガイドワイヤ式ではなく、先端部が可動してガイドワイヤが不要な能動カテーテルの需要が高まっている。現在、能動カテーテルのアクチュエータとして形状記憶合金コイルが用いられているが、温度管理フィードバック機構を備えた高精度の MEMS 駆動ユニットを必要とし、高度な製造設備が要求されるので高コストになっている。また、生体内で通電加熱によって余剰な熱が発生することや、コイル状に成型するためカテーテルの直径が大きくなるなどの問題がある。

このような問題は、光を当てると屈曲するフォトメカニカル結晶をアクチュエータに用いることにより解決できる可能性がある。本研究代表者は有機固体光化学を専門とし、アゾベンゼン、サリチリデンアニリンなどの結晶に光を当てると屈曲するフォトメカニカル結晶を開発してきた。分子のミクロレベルでの構造変化がマクロの結晶の動きに変換されるというメカニカル機能の発現機構も解明できている。

2. 研究の目的

本研究においては、フォトメカニカル結晶の実用化の一つとして、光屈曲する結晶を光駆動アクチュエータに用いた新方式の内視鏡・能動カテーテルを作製する。実現すれば、操作が簡単迅速で、安価な使い捨てタイプの内視鏡、カテーテルが可能となる。

3. 研究の方法

光を当てると屈曲するフォトメカニカル結晶をアクチュエータとして用いた、光駆動型の内視鏡・カテーテルを作製・性能評価するために、次の項目について検討する。

(1) 結晶の機械的強度の測定

フォトメカニカル結晶を内視鏡・カテーテルに利用するには、結晶の機械的強度が要求される。これまで有機結晶のヤング率などの機械的特性はあまり測定されておらず、データがほとんど見当たらないため実際に測定する。

(2) 結晶の光屈曲の耐久性の測定

フォトメカニカル結晶の実用化に当たっては、耐久性は最も重要なファクターとなる。このため、繰り返し屈曲の耐久性を実際にテストする。

(3) 結晶の光屈曲の高速化の検討

フォトメカニカル結晶を能動カテーテルのアクチュエータとして用いるには、光屈曲の動きの高速化が必要と考えられる。このた

め、新規高速フォトメカニカル結晶の開発を行う。

(4) カテーテル駆動部の試作

これまでの検討結果を評価し、優れた性能を持つフォトメカニカル結晶を選定して、内視鏡・カテーテルの先端に取り付ける光駆動結晶アクチュエータを試作する。

4. 研究成果

(1) 結晶の機械的強度

これまで開発したフォトメカニカル結晶のヤング率を測定した結果、数 GPa 程度の値を持つことが明らかとなり、まずまずの機械的強度があることが確認された。

(2) 結晶の光屈曲の耐久性

これまで開発した数種類のフォトメカニカル結晶の光屈曲の耐久性を調べた結果、少なくとも数千回の繰り返し屈曲が可能であり、結晶の劣化も認められないことが確認された。

(3) 結晶の光屈曲の動きの高速化

高速フォトメカニカル結晶を開発するために、一連のサリチリデンアニリン誘導体について検討を行った。その結果、*o*-アミノサリチリデンアニリン結晶は、紫外光照射により屈曲させて、可視光照射により元に戻すことにより、5 Hz の比較的速い屈曲挙動を示すフォトメカニカル結晶を開発することができた。

(4) カテーテル駆動部の試作

これまで開発してきたフォトメカニカル結晶の中からサリチリデンアニリン系結晶を選び、内視鏡・カテーテルの先端に取り付ける光駆動部として、光ファイバーとの接続を行った。その結果、光屈曲が確認された。今回の光屈曲性結晶を用いたカテーテルの光駆動部の作製は全く初めての試みで、プロトタイプというべきものである。今後、実用化に向けては更なる検討が必要である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① Takuya Taniguchi, Haruki Sugiyama, Hidehiro Uekusa, Motoo Shiro, Toru Asahi, Hideko Koshima, Walking and Rolling of Crystals Induced Thermally by Phase Transition, Nat. Commun., 査読有, Vol. 9, 2018, 538 (8 pages).
- ② Akifumi Takanabe, Hideko Koshima, Toru Asahi, Fast-type High-accuracy Universal Polarimeter Using Charge-coupled Device Spectrometer, AIP Adv., 査読有, Vol. 7, 2017, 025209 (14 pages). DOI: 10.1063/1.4977440

- ③ Akifumi Takanabe, Takuro Katsufuji, Kohei Johmoto, Hidehiro Uekusa, Motoo Shiro, Hideko Koshima, Toru Asahi, Reversible Single-Crystal-to-Single-Crystal Phase Transition of Chiral Salicylidenephenylethylamine, Crystals, 査読有, Vol. 7, 2017, 7 (10 pages). DOI: 10.3390/cryst7010007
- ④ Akihiro Udagawa, Priscilla Johnston, Aya Sakon, Ryosuke Toyoshima, Hidehiro Uekusa, Hideko Koshima, Kei Saito, Toru Asahi, Crystal-to-crystal Photo-reversible Polymerization Mechanism of Bis-thymine Derivative, RSC Adv., 査読有, Vol. 6, 2016, pp. 107317-107322. DOI: 10.1021/jacs.6b09633
- ⑤ Akifumi Takanabe, Masahito Tanaka, Kohei Johmoto, Hidehiro Uekusa, Tadashi Mori, Hideko Koshima, Toru Asahi, Optical Activity and Optical Anisotropy in Photomechanical Crystals of Chiral Salicylidenephenylethylamines, J. Am. Chem. Soc., 査読有, Vol. 138, 2016, pp. 15066-15077. DOI: 10.1021/jacs.6b09633
- ⑥ Hideko Koshima, K. Miyazaki, S. Ishii, Toru Asahi, Microwave Effect on Fischer Esterification, Chem. Lett., 査読有, Vol. 45, 2016, pp. 505-507. DOI: 10.1246/cl.160067
- ⑦ Arimasa Matsumoto, Sumeru Tsuchiya, Yuki Hagiwara, Kazuhiko Ishikawa, Hideko Koshima, Toru Asahi, Kenso Soai, Absolute Structure Determination of Chiral Crystals Consisting of Achiral Benzophenone with Single Crystal X-ray Diffraction and Its Correlation with Solid-State Circular Dichroism, Chem. Lett., 査読有, Vol. 45, 2016, pp. 526-528. DOI: 10.1246/cl.160114
- ⑧ Takuya Taniguchi, Juri Fujisawa, Motoo Shiro, Hideko Koshima, Toru Asahi, Mechanical Motion of Chiral Azobenzene Crystals with Twisting upon Photoirradiation, Chem. Eur. J., 査読有, Vol. 22, 2016, pp. 7950-7958. DOI: org/10.1002/chem.201505149
- ⑨ Hideko Koshima, Hidetaka Uchimoto, Takuya Taniguchi, Jun Nakamura, Tsuyoshi Asahi, Toru Asahi, Mechanical Motion of Molecular Crystals Induced by [4 + 4] Photodimerisation, CrystEngComm, 査読有, Vol. 18, 2016, pp. 7305-7310. DOI: org/10.1039/c6ce00848h
- ⑩ Akihiro Udagawa, Priscilla Johnston, Hidehiro Uekusa, Hideko Koshima, Kei Saito, Toru Asahi, Solid-State Photochemical Reaction of Multisubstituted Thymine Derivatives, ACS Sustainable Chem. Eng., 査読有, Vol. 4, 2016, pp. 6107-6114. DOI: 10.1021/acssuschemeng.6b01529
- [学会発表] (計 3 1 件)
(国際学会)
- ① Jun Komiya, Masafumi Matsudomi, Daiki Yamanaka, Akihiro Furube, Hideko Koshima, Toru Asahi, Photomechanical Motion of Chiral Crystals Formed from Achiral Aminosalicylideneaniline, Chirality 2017, 29th International Symposium on Chirality (ISCD-29), 9-12 July, 2017 (Tokyo).
- ② Takuya Taniguchi, Haruki Sugiyama, Hidehiro Uekusa, Motoo Shiro, Hideko Koshima, Toru Asahi, Directional Locomotion of Chiral Azobenzene Crystals, Chirality 2017, 29th International Symposium on Chirality (ISCD-29), 9-12 July, 2017 (Tokyo).
- ③ Akifumi Takanabe, Masahito Tanaka, Hideko Koshima, Toru Asahi, Fast-type High-accuracy Universal Polarimeter Using Charge-coupled Device Spectrometer, Chirality 2017, 29th International Symposium on Chirality (ISCD-29), 9-12 July, 2017 (Tokyo).
- ④ Hideko Koshima, Takuya Taniguchi, Motoo Shiro, Toru Asahi, Photomechanical Motion of Chiral Azobenzene Crystals with Twisting, Chirality 2017, 29th International Symposium on Chirality (ISCD-29), 9-12 July, 2017 (Tokyo).
- ⑤ Takuya Taniguchi, Haruki Sugiyama, Hidehiro Uekusa, Motoo Shiro, Hideko Koshima, Toru Asahi, 23rd The International Conference on the Chemistry on the Organic Solid State (ICCOSSXXII), 2-7 April, 2017 (Stellenbosch, South Africa).
- ⑥ Hideko Koshima, Akidumi Takanabe, Tkuy Taniguchi, Toru Asahi, Photomechanical Function of Molecular Crystals, XXVIth IUPAC Symposium on Photochemistry, 3-8 April, 2016 (Osaka).
- ⑦ Takuya Taniguchi, Motoo Shiro, Hideko Koshima, Toru Asahi, Photochemical Bending with Twisting of Chiral Azobenzene Crystals, XXVIth IUPAC Symposium on Photochemistry, 3-8 April, 2016 (Osaka).

- ⑧ Jun Komiya, Seiichi Tanaka, Ken Onda, Aya Sakon, Hidehiro Uekusa, Hideko Koshima, Toru Asahi, Fast Photochromic Properties of PABI Crystals, XXVIth IUPAC Symposium on Photochemistry, 3-8 April, 2016 (Osaka).
- ⑨ Akifumi Takanabe, Masahito Tanaka, Kohei Johmoto, Hidehiro Uekusa, Hideko Koshima, Toru Asahi, Light-driven Twisting Motion of Salicylidenephenylethylamine Single Crystals, XXVIth IUPAC Symposium on Photochemistry, 3-8 April, 2016 (Osaka).
- (国内学会)
- ⑩ 稲田 萌花・宇田川 瑛弘・小島 秀子・齋藤 敬・朝日 透、水素結合を有する両親媒性 Bis-Thymine 誘導体の自己集合と光化学反応、日本化学会第 98 春季年会、2018 年 3 月 20-23 日 (船橋)。
- ⑪ 小宮 潤・谷口 卓也・山中 大樹・古部 昭広・杉山 晴紀・植草 秀裕・佐藤 寛泰・小島 秀子・朝日 透、サリチリデンアニリン結晶における光屈曲の高速化、日本化学会第 98 春季年会、2018 年 3 月 20-23 日 (船橋)。
- ⑫ 谷口 卓也・久保田 あゆみ・守時 達也・朝日 透・小島 秀子、ジベンゾバレレン結晶の光屈曲、日本化学会第 98 春季年会、2018 年 3 月 20-23 日 (船橋)。
- ⑬ Takuya Taniguchi, Ryota Sugimoto, Jun Komiya, Hiroyasu Sato, Hideko Koshima, Toru Asahi, Thermal and Photo-triggered Phase Transition of Chiral Photochromic Salicylidene-naphthylethylamine Crystal, 日本化学会第 98 春季年会、2018 年 3 月 20-23 日 (船橋)。
- ⑭ 小宮 潤・谷口 卓也・山中 大樹・古部 昭広・小島 秀子・朝日 透、光と熱によるアミノサリチリデンアニリン結晶の屈曲挙動、第 26 回有機結晶シンポジウム、2017 年 11 月 3-5 日 (米沢)。
- ⑮ 谷口 卓也・杉本 良太・小宮 潤・小島 秀子・朝日 透、光および熱によるサリチリデンナフチルエチルアミン結晶の形状変化、第 26 回有機結晶シンポジウム、2017 年 11 月 3-5 日 (米沢)。
- ⑯ Akihiro Udagawa, □Moeka Inada, Al-Shereiqi Ahmed, Hideko Koshima, Kei Saito, Toru Asahi, Photochemical Reaction of Bis-Thymine Derivatives in Self-assembly, 2017 年光化学討論会、2017 年 9 月 4-6 日 (仙台)。
- ⑰ Jun Komiya, Takuya Taniguchi, Daiki Yamanaka, Akihiro Furube, Hideko Koshima, Toru Asahi, Photo- and Thermo-induced Mechanical Motion of Aminosalicylideneaniline Crystals, 2017 年光化学討論会、2017 年 9 月 4-6 日 (仙台)。
- ⑱ Takuya Taniguchi, Ryota Sugimoto, Jun Komiya, Hideko Koshima, Toru Asahi, Photo- and Thermal-induced Mechanical Motion of Chiral Salicylideneaniline Crystals, 2017 年光化学討論会、2017 年 9 月 4-6 日 (仙台)。
- ⑲ 宇田川 瑛弘・小島 秀子・齋藤 敬・朝日 透、チミン誘導体の自己集合体中における光化学反応、日本化学会第 97 春季年会、2017 年 3 月 16-19 日 (横浜)。
- ⑳ 高鍋 彰文・植草 秀裕・城 始勇・小島 秀子・朝日 透、キラルサリチリデンフェニルエチルアミン結晶の可逆的単結晶-単結晶相転移、日本化学会第 97 春季年会、2017 年 3 月 16-19 日 (横浜)。
- ㉑ 小宮 潤・松富 正文・山中 大樹・古部 昭広・小島 秀子・朝日 透、アミノサリチリデンアニリン結晶のフォトメカニカル機能、日本化学会第 97 春季年会、2017 年 3 月 16-19 日 (横浜)。
- ㉒ 谷口 卓也・杉山 晴紀・植草 秀裕・城 始勇・小島 秀子・朝日 透、熱によって動き回るキラルアゾベンゼン結晶、日本化学会第 97 春季年会、2017 年 3 月 16-19 日 (横浜)。
- ㉓ 小島 秀子・高鍋 彰文・谷口 卓也・小宮 潤・朝日 透、ソフトロボット材料：光と熱で動くメカニカル結晶、第 63 回応用物理学会春季学術講演会、2017 年 3 月 14-17 日 (横浜)。
- ㉔ 高鍋 彰文・田中 真人・上本 紘平・植草 秀裕・森 直・小島 秀子・朝日 透、CCD 分光器を用いたキラル分光装置 (HAUP) の迅速化、第 63 回応用物理学会春季学術講演会、2017 年 3 月 14-17 日 (横浜)。
- ㉕ 小宮 潤・田中 誠一・恩田 健・小島 秀子・朝日 透、Penraarylbiimidazole (PABI) 結晶のフォトクロミック特性、つくばサイエンスアカデミーシンポジウム、2017 年 1 月 31 日 (つくば)。
- ㉖ 小島 秀子・石井 沙織・小宮 潤・三谷 友彦・朝日 透、マイクロ波エステル化における酸の効果、第 10 回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム、2016 年 10 月 13-14 日 (仙台)。

- ⑳ 高鍋 彰文・小島 秀子・朝日 透、キラル分光装置(HAUP)の迅速化、第 25 回有機結晶シンポジウム、2016 年 9 月 18-19 日 (京都).
- ㉑ 谷口 卓也・杉山 晴紀・植草 秀裕・城 始勇・小島 秀子・朝日 透、キラルアゾベンゼン結晶の構造相転移による移動現象、第 25 回有機結晶シンポジウム、2016 年 9 月 18-19 日 (京都).
- ㉒ 小宮 潤・Gambrill Yumi・小島 秀子・朝日 透、HABI 結晶のフォトクロミック特性、2016 年光化学討論会、2016 年 9 月 6-8 日 (東京).
- ㉓ 谷口 卓也・内本 英孝・石橋 禎大・久保田 あゆみ・高橋 浩三・小島 秀子・朝日 透、アントリルメチレンインダノン結晶の E-Z 光異性化による光屈曲、2016 年光化学討論会、2016 年 9 月 6-8 日 (東京).
- ㉔ Udagawa, Akihiro; Saito, Kei; Uekusa, Hidehiro; Koshima Hideko; Asahi, Toru, Photo-Reversible Polymerization of Thymine Derivatives, 2016 年光化学討論会、2016 年 9 月 6-8 日 (東京).

〔図書〕 (計 1 件)

- ① 小島 秀子、マイクロ波加熱の基礎と産業応用、株式会社 R&D 支援センター、2017、441.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称：光駆動装置
発明者：池滝慶記、小島秀子、朝日透、高鍋彰文、谷口卓也
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2017-501544
出願年月日：平成 29 年 6 月 20 日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小島 秀子 (KOSHIMA, Hideko)
早稲田大学・ナノ・ライフ創新研究機構・
客員上級研究員(研究院客員教授)
研究者番号：20304644

(2) 連携研究者

朝日 透 (ASAHI, Toru)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：80222595