

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：54502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04632

研究課題名(和文) 自律的制御機能を有する感温型赤外線反射フィルタの開発

研究課題名(英文) Development of temperature dependent infrared reflective filter with autonomous control function

研究代表者

荻原 昭文(Ogiwara, Akifumi)

神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：00342569

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)：コレステリック液晶材料にモノマーを添加した材料系に対して、紫外線照射光源(UV-LED)からの紫外線照射を行いながら、分光透過率の評価を可能とするシステムを構築した。このような紫外線照射と分光透過率測定を組合わせた測定・評価を実行することにより、選択反射帯域幅の拡がりやシフトの様子をリアルタイムで観察することが可能となった。紫外線照射量と、選択反射帯域幅との関係について定量的な測定・評価を基に、デバイス内部に形成された螺旋ねじれ構造により、太陽光中に含まれる特定の赤外線領域の波長範囲における選択反射機能を有する赤外線反射フィルタの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、液晶・高分子複合体材料に対して紫外線照射と分光透過率測定を組合わせたデバイス作製システムを構築した。このシステムを用いて、選択反射帯域幅の拡がりやシフトの様子をリアルタイムで観察することができた。この研究を通じて環境負荷の少ない有機材料としての液晶・高分子複合体材料を用い、太陽光中の近赤外波長帯域の日射エネルギーに対する選択反射機能を温度変化に応じて制御できるデバイスの開発に取り組んだ。このデバイスは、四季の移り変わりに伴う環境温度変化に応じた日射エネルギーの屋内への侵入量の制御可能性を有しており、今後の持続可能な省エネルギー化技術への貢献が期待できる。

研究成果の概要(英文)：We have configured a spectroscopic measurements system connected with UV irradiation (UV-LED) for fabrication of temperature dependent infrared reflective filter composed of cholesteric liquid crystal materials with monomers. The optical characteristics such as selective reflective function in infrared region induced in the fabricated device were confirmed by using the optical system. The effects of shifting and broadening in selective reflective bandwidth could be controlled by temperature increase and UV irradiation energy amount. Thus we developed the temperature dependent infrared reflective filter with autonomous control function for solar ray based on the quantitative measurement and evaluation of the relationship between the UV irradiation dose and the selective reflection bandwidth.

研究分野：電子デバイス、光デバイス

キーワード：液晶 高分子 赤外線 温度

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化の影響もあり、集中豪雨などの自然災害が日本国内でも増加してきているが、このような災害時には電力設備への影響を与えることもあり、停電等の発生も頻繁に報道されている。また、このような災害現場において、これらを復旧するまでには長い時間を要することもあり、災害地域での生活に支障をきたしている事例も報告されている。このような状況を踏まえ、外部からのエネルギー供給が遮断された場合でも、住居内の環境温度を自律的に制御できる省エネルギー化応用技術の重要性が高まってきている。さらに、このような技術に応用するために開発するデバイスには、今後の持続可能な社会生活を確保する意味でも、その利用時や将来的に廃棄する時までを想定して、周りの環境に悪影響を与えず持続的に維持利用できるような材料を用いて作製されることが望まれている。

### 2. 研究の目的

本研究では、その利用時や廃棄時までを含めて環境負荷の少ない有機材料としての液晶・高分子複合体材料を用い、太陽光中の近赤外波長帯域の日射エネルギーに対する選択反射機能を温度と共に制御できるデバイスの開発を目指している。このデバイスは、四季の移り変わりに伴う環境温度変化に応じて日射エネルギーの屋内への侵入量を自律的に制御可能とすることを目的とし、持続可能な省エネルギー化技術への貢献が期待できる。

### 3. 研究の方法

モノマーを導入したコレステリック液晶材料に対し、紫外線照射プロセスと同時に分光光学特性の評価を行うことが出来れば、高分子ネットワークの形成と螺旋構造誘起との関係のメカニズム解析のための有効な実験手法となる。このためには、具体的に以下のような方法に基づき研究を進めていく必要がある。

#### (1) 「in-situ 測定」が可能な実験システムの構築

感温型赤外線反射フィルタとしての機能の開発には、分光透過率の評価が重要となる。この時に、光学評価システム内に組み込んで使用できる PC 制御可能な小型の紫外線照射装置としての UV-LED 光源と、ミニ分光器の導入が必要である。紫外線照射を行う UV-LED は 1 つのコントローラを介して複数の接続が可能である。このため、異なる照射方向に複数配置し、多方向からの光照射を行えば、材料中での光重合反応に基づく高分子ネットワークの形成状態を三次元的に制御できると考えられ、より複雑な高分子ネットワーク構造の形成が期待できる。

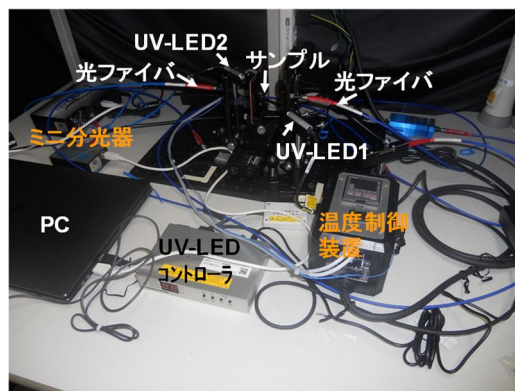
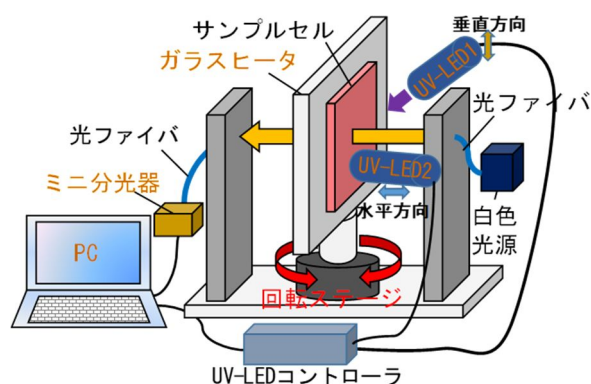
#### (2) 分光透過率の測定・評価

液晶・高分子からなる複合体材料をガラスセルに封入したサンプルを作製し、これに in-situ 測定が可能な実験システムを適用する。この実験によって、紫外線照射条件を変化させながら、分光透過率の変化を測定評価することが可能となり、感温型赤外線フィルタの作製と同時に分光透過率変化の観察とデバイス作製の両立が可能となり、紫外線照射条件の最適化を含めた効率的な実験手法を導入して研究を進めていくことが出来る。

### 4. 研究成果

#### (1) デバイス作製

図 1(a)に示すような紫外線光源(UV-LED)を配置した光学システムを設計し、液晶・高分子複合体材料を封入したサンプルセルへの紫外線照射条件を変化させながらのデバイス作製と、分光透過率測定を同時に行えるシステムの構築を行った。実際に作製した実験装置の全体構成を示す写真を図 1(b)に示す。デバイス作製としては、ネマチック液晶へカイラル材と液晶性モノマーを添加したコレステリック材料への紫外線照射や、ネマチック液晶と液晶性モノマーを添加した材料系にレーザ散乱光を照射することを試みた。



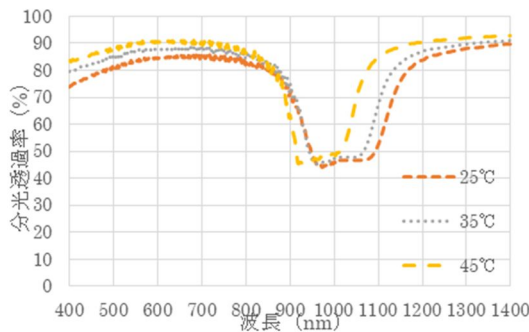
(a) 紫外線照射用 LED を配置した分光システム構成 (b) 構築した分光システムの外観写真  
図 1 in-situ 測定のための分光評価システム

### (2)分光透過率の測定・評価結果

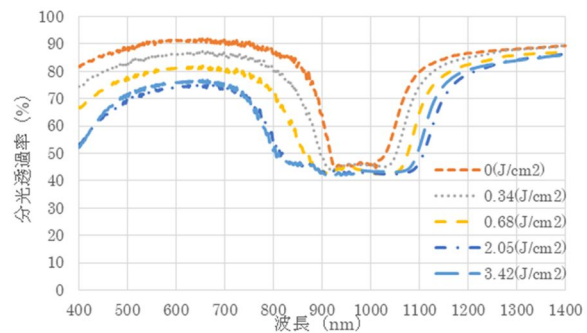
図2は、ネマチック液晶ヘカイル材と液晶性モノマーを添加したコレステリック材料を用いて作製したデバイスの分光透過率の測定結果を示している。図2(a)は、デバイスの温度を増加させた場合の分光透過率の変化を示している。25℃の時に950nm～1100nm付近に透過率が50%程度に低下している領域が生じているが、これはデバイス内部に形成された螺旋ねじれ構造により赤外線領域に相当する特定の波長範囲における選択反射によって生じていると考えられる。

次に、温度を25℃～45℃まで増加させると、この選択波長帯が900nm～1000nm付近の短波長側へと次第にシフトしていることがわかる。この波長帯域は太陽光中に含まれる近赤外波長帯域に相当し、800nm～900nm付近は太陽光中に含まれる日射エネルギー量が多い波長領域に相当している。ここで得られた温度増加による分光透過率の短波長域へのシフトは、温度増加によって日射エネルギー量のより大きい波長帯域において選択反射機能を発現させていることになる。このため、環境温度の増加と共に日射エネルギーの屋内への侵入量を低下させる機能を自律的に発現できることが確認されたと考えられる。

図2(b)は、コレステリック材料を封入したガラスセルに対してUV-LEDの照射を行いながら、分光透過率を測定した結果である。UV-LEDは、図1(b)で示したようにサンプルの表と裏側の両面に配置して照射を行った。初期には950nm～1050nm付近にあった選択反射領域は、紫外線照射量が増加すると共に少しずつ広がる傾向を示しており、800nm～1100nm付近まで選択反射波長範囲が増加していることがわかる。この結果は、太陽光中に含まれる日射エネルギー量への変調範囲をより拡大することにつながるため、熱遮断効果をより高められるものと考えられる。



(a)分光透過率の温度依存性



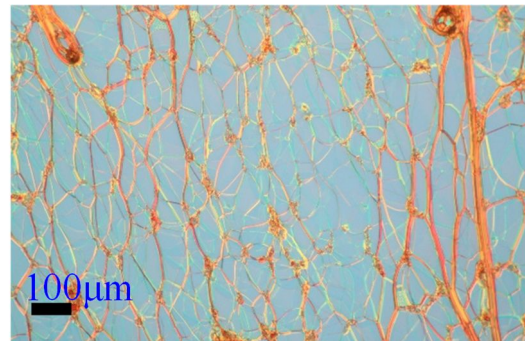
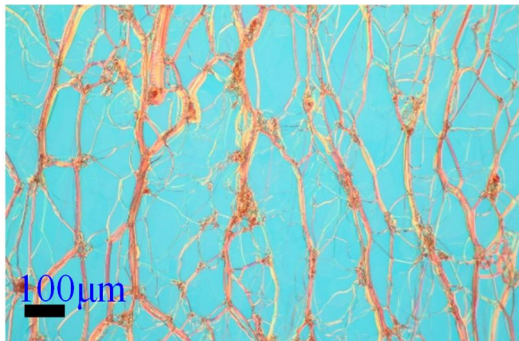
(b)分光透過率の紫外線照射量依存性

図2 作製したデバイスの分光透過率の測定結果

### (3)内部構造の観察結果

図3にコレステリック材料を用いて作製したデバイスの内部構造を偏光顕微鏡により観察した結果を示す。図3(a)は紫外線照射量を0.68(J/cm<sup>2</sup>)とした場合に得られた観察画像である。また、図3(b)は、紫外線照射量を2.05(J/cm<sup>2</sup>)までさらに増加させた後に観察した画像を示している。これらの図においては、太さの異なる複数の枝が広がったような構造が観察されている。太い枝状の構造間における領域では、これらの枝から分岐したものが網目状の模様のような複雑なパターンを形成している状態が観察される。また、この網目状の構造は、図3(b)の紫外線照射量をより多く照射した場合の方が、より微細化されて多くの領域にまで広がって観察されている。さらに、分岐した枝からなる網目状の構造の密度が観察範囲において増加しているように見える。

このように紫外線照射量の違いによって、デバイス内部に形成されたネットワーク構造の違いが生じており、これは図2(b)で示した光学特性の結果とも関連している。内部構造の観察結果は、選択反射機能を発現させる内部の螺旋構造と関連付けて考えることができる。このため、分光透過率測定評価において得られた選択反射波長帯域の広がり等の光学特性結果に対して、内部構造の形成変化が影響要因となっている知見について確認ができたと考えられる。



(a)紫外線照射エネルギー：0.68 (J/cm<sup>2</sup>)

(b)紫外線照射エネルギー：2.05 (J/cm<sup>2</sup>)

図3 作製したデバイスの内部構造観察結果



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hiroshi Kakiuchida, Masayuki Kabata, Takanori Matsuyama, and Akifumi Ogiwara	4. 巻 13
2. 論文標題 Thermoresponsive Reflective Scattering of Meso-Scale Phase Separation Structures of Uniaxially Orientation-Ordered Liquid Crystals and Reactive Mesogens	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 41066-41074
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.1c10377.	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 -
1. 著者名 Akifumi Ogiwara and Hiroshi Kakiuchida	4. 巻 60
2. 論文標題 Thermally-responsive polymer dispersed liquid crystal diffusers fabricated using laser speckle pattern irradiation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Appl. Opt.	6. 最初と最後の頁 10246-10251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.443216	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 -
1. 著者名 Akifumi Ogiwara and Minoru Watanabe	4. 巻 123
2. 論文標題 Analysis of optical properties and internal structures of $\gamma$ -ray-irradiated holographic devices formed using liquid crystal Composites	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2021.111932	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 -
1. 著者名 Akifumi Ogiwara and Minoru Watanabe	4. 巻 P-23
2. 論文標題 Holographic gratings formed by wavelength multiplexing in liquid crystal composites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micro Optics Conference (MOC2021) Technical Digest	6. 最初と最後の頁 188-189
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 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 -

1. 著者名 Akifumi Ogiwara and Hiroshi Kakiuchida	4. 巻 P-24
2. 論文標題 Formation of temperature dependent polymer dispersed liquid crystal using laser speckle pattern irradiation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micro Optics Conference (MOC2021) Technical Digest	6. 最初と最後の頁 190-191
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 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 -

1. 著者名 Hiroshi Kakiuchida and Akifumi Ogiwara	4. 巻 031
2. 論文標題 Selective light diffusion of polymer network liquid crystals formed through photopolymerization induced phase separation by nonuniform photoirradiation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 19th Edition of Optics of Liquid Crystals 2021 Abstract	6. 最初と最後の頁 1
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 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 -

1. 著者名 Junya Ishido, Minoru Watanabe, Akifumi Ogiwara	4. 巻 MG2.4
2. 論文標題 Optically reconfigurable gate array with a 1 Grad total-ionizing-dose tolerant holographic memory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 IEEE Photonics Conference	6. 最初と最後の頁 1
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 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 -

1. 著者名 Akifumi Ogiwara, Makishi Toda, Junya Ishido, Minoru, Watanabe, and Hiroshi Kakiuchida	4. 巻 4
2. 論文標題 Effects of a radiation dose in gamma-ray irradiation fields on holographic gratings formed by liquid crystal composites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 OSA Continuum	6. 最初と最後の頁 514-528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OSAC.415702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 垣内田 洋 , 荻原 昭文	4. 巻 65
2. 論文標題 温度に応じて太陽光の透過量を制御できる液晶複合材料	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 表面と真空	6. 最初と最後の頁 460-465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/vss.65.460	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshi Kakiuchida, Akihiko Matsuyama, Eiichi Kobayashi, and Akifumi Ogiwara	4. 巻 106
2. 論文標題 Thermoresponsive mobility of liquid crystals and reactive mesogens during photopolymerization-induced phase separation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW E	6. 最初と最後の頁 044704-1 - 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.106.044704	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshi Kakiuchida and Akifumi Ogiwara	4. 巻 28
2. 論文標題 Practical thermoresponsive switchable windows of PNLCS - Durable, affordable, and adaptable -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 28th International Liquid Crystal Conference	6. 最初と最後の頁 PF.330
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 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 -

1. 著者名 Akifumi Ogiwara and Hiroshi Kakiuchida	4. 巻 2022
2. 論文標題 TEMPERATURE DEPENDENT POLYMER-DISPERSED LIQUID CRYSTAL DIFFUSER FOR SOLAR-RAY CONTROL APPLICATION	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 Grand RE2022 International Conference	6. 最初と最後の頁 100434
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 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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 垣内田 洋, 加畑雅之, 松山剛知, 荻原昭文
2. 発表標題 半球透過率制御性の高い熱応答型高分子ネットワーク液晶
3. 学会等名 2021年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 垣内田 洋, 荻原 昭文
2. 発表標題 高分子ネットワーク液晶で作製した偏光性と偏向性と刺激応答性をもった光拡散素子
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 垣内田 洋, 松山 明彦, 小林 英一, 荻原 昭文
2. 発表標題 光重合誘起相分離過程における液晶と反応性メソゲンの分子配向秩序の熱応答挙動
3. 学会等名 2022年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荻原 昭文, 渡邊 実
2. 発表標題 液晶・高分子材料への波長多重記録によるホログラフィックメモリ作製
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 垣内田 洋, 荻原 昭文
2. 発表標題 高分子ネットワーク液晶で作製した光拡散偏光子 -形成機構の解明と光学性能の向上-
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023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
研究分担者	垣内田 洋  (Kakiuchida Hiroshi)  (40343660)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・主任研究員    (82626)	

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
---------	---------