

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05098

研究課題名（和文）マイクロメカニクスによるポリマー光ファイバー内の針状ドーパントの配向解析

研究課題名（英文）Micromechanical Analysis on Anisotropic Inclusion in Polymer Optical Fiber

研究代表者

古川 怜（Furukawa, Rei）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：50589695

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）：異方性介在物をポリマー光ファイバーのコアに均一分散させた系において、マクロベンドや垂直応力などの変形が光ファイバーに加わった際に、内部の異方性介在物がどのような配向挙動を示すかを調査した。異方性介在物の配向を光ファイバーの偏波検出によって実験的に導出する系を準備した。ドーパントが内包されたポリマー光ファイバーの評価をふまえ、まずコントロール用ファイバーにおいてのモード定常化挙動と偏波検出特性を調査した。結果として、光ファイバー担体の不均一性を更に低減することによって、介在物の配向を顕著に検出できる可能性が示唆された。また、担体の不均一性の生じるメカニズムを動的散乱法を用いて解析した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プラスチック光ファイバーは1ミリ直径程度に太く製作しても、柔軟性を保つため、内部に微小物質を分散しても、一定以上の光量を伝送することができる。本研究では、プラスチック光ファイバー内に針状物質を分散し、ファイバー変形に伴いその針状物質が向きを変える挙動を調査した。このようなひずみに応じて向きを変える挙動は、センサー化したファイバーを使って、構造物の変形をモニタリングすることなどに役立つ可能性がある。今回は、その信号を出射偏波により検出し、得られた実験的データを使いマイクロメカニクスにより包括的に評価を試みた。結果として、検出信号をより顕著化するために母材の均一化が必要であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：In a system in which anisotropic inclusions are uniformly dispersed in the core of a polymer optical fiber, we investigated the orientation behavior of the internal anisotropic inclusions when deformations such as macrobending and normal stress are applied to the optical fiber. An experimental setup was prepared to characterize the orientation of anisotropic inclusions by detecting the polarization of an optical fiber. The results suggest that further reducing the inhomogeneity of the host optical fiber can enhance the signal from the orientation of the inclusion. The mechanism behind the inhomogeneity of the host optical fiber was also analyzed using dynamic scattering analysis.

研究分野：材料工学

キーワード：プラスチック光ファイバー 異方性介在物 配向 マイクロメカニクス 動的散乱法

### 1. 研究開始当初の背景

本課題では、ポリマー光ファイバーに担持させるドーパントの吸光や発光が、光ファイバーの弾性変形に伴いどのような変化を見せるのかという物理モデルを構築することを目指した。アスペクト比、サイズ、表面状態などのドーパントの形態、あるいはその分散状態によって、ポリマーマトリックス内のドーパントの動的な挙動が左右することが実験的に示されている。図1は針状色素を添加した poly (methyl methacrylate/benzyl methacrylate/2,2,2-trifluoroethyl methacrylate=52/42/6(w/w/w))をコアとするポリマー光ファイバーの応力に対する応答を示す。図中の(a)(b)は、それぞれ光ファイバーへ入射させた直線偏波を色素の分子配向軸に垂直な場合(a)と合致させた場合(b)に相当する。これらを比較すると、減衰率が(a)(b)で異なることがわかる。

### 2. 研究の目的

前項で挙げたような傾向を包括的に理解し、ドーパントや母材のスクリーニングに活かすことを本研究の目的とした。具体的には、光ファイバー断面に応力分布が発生する中、内部に分散する針状ドーパント分子が応力によってどの程度方向を回転させるのかを明らかにすること、また、その延長としてメートル単位でこの効果が積算された場合の光ファイバー出射光状態を予測することを目指した。

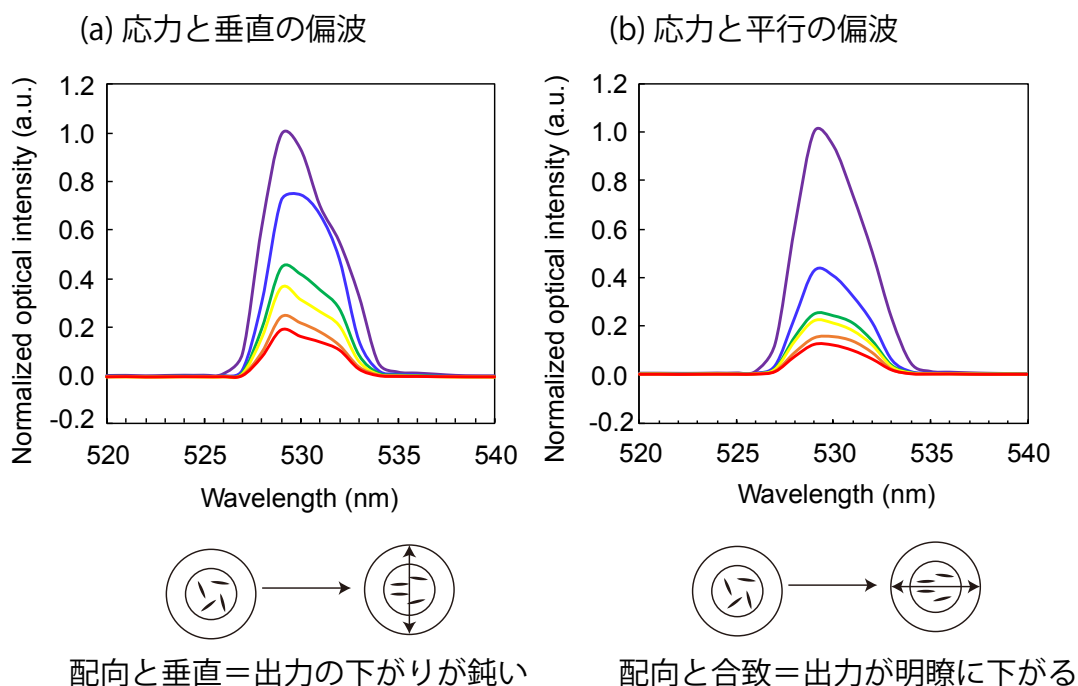


図1：針状ドーパント添加ポリマー光ファイバーのセンサー応答。加圧（寒色→暖色）とともに光ファイバーの出射光が減衰する。伝搬長1メートルのうち、中央40センチ付近に垂直応力を印加した。

### 3. 研究の方法

光ファイバーに垂直応力がかかった際の断面の応力分布を図2 (a)に示す[1]。このように、応力分布は対称軸を持つが、一方で伝搬光の強度分布は中央から放射状に分布するため、(b)に示すようにドメイン別に扱い、ドーパントの各領域の配向挙動について限定モード励振や直接観察などを用いて検証した。

### 4. 研究成果

図3に poly (methyl methacrylate/benzyl methacrylate/2,2,2-trifluoroethyl methacrylate=52/42/6(w/w/w))をコアとするポリマー光ファイバーのファイバー断面の干渉像を示す。調査の結果、この組成のコアを界面ゲル重合法で作製する場合、主としてB領域に屈折率の急勾配が形成されることがわかった。この勾配箇所の影響が強いと、領域別の導波特徴を検出するために限定モード励振を用いても、ドーパント配向に起因する特徴信号が検出しづらくなることがわかった。さらには、図4に示す動的散乱法を用いた解析の結果、界面ゲル重合法の過程でコア-クラッド間の材料交換を防ぐことが、この勾配の影響の抑制に有効であることが示唆された。

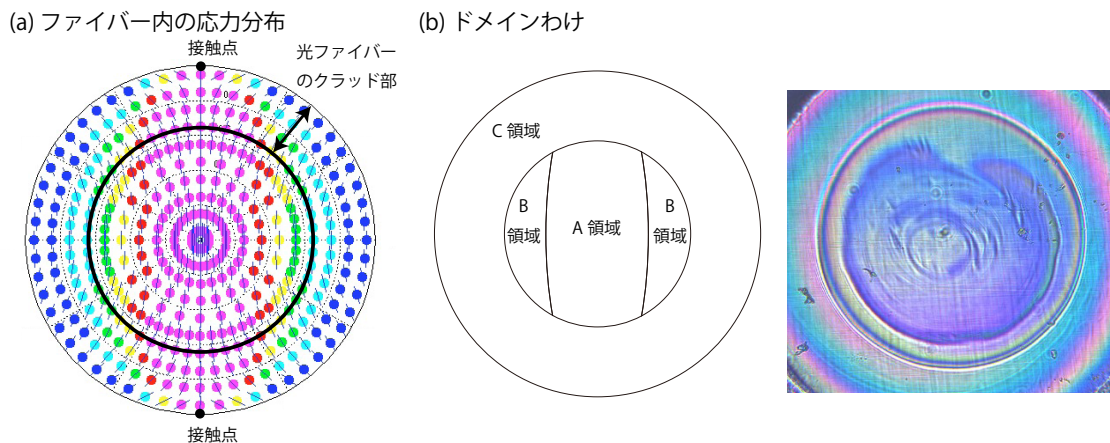


図2：光ファイバー断面の応力分布(a)およびそれに応じたドメインわけ (b)。(a)の各領域の色彩は応力絶対値(寒色→暖色)、棒線は応力の固有ベクトルを示す。

図3：ファイバー直径1 mmの試料断面の干渉像。

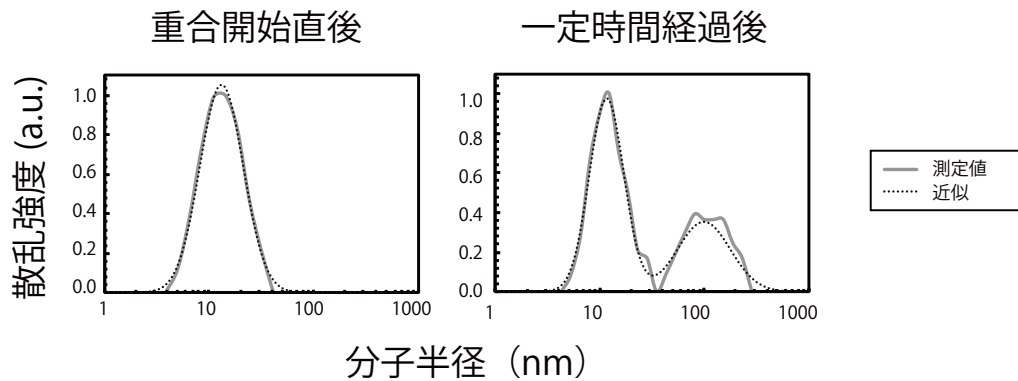


図4：動的散乱法を用いて測定した界面ゲル重合法のコアに相当する部分のポリマー成長。

[1] R. Furukawa, M. Nagata, K. Mishima, M. Matsuura, A. Inoue, A. Tagaya, and Y. Koike, Appl. Phys. Lett. 103, 213301 (2013).

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 Takahiro Shigeyama and Rei Furukawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Mode-dependent dye absorption in phthalocyanine-doped acrylic optical fiber	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 -
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15件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Rei Furukawa, Yuki Ino, Kimiteru Yamauchi
2. 発表標題 Scattering analysis of terpolymer-based fiber-optic strain sensor fabricated using interfacial gel polymerization
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) Bali 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Shingo Sode, Kimiteru Yamauchi, Rei Furukawa
2. 発表標題 Suppressing core inhomogeneity of the terpolymer optical fiber using intermediate layer
3. 学会等名 The 31st International Conference on Plastic Optical Fibers (POF2023) (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Shintaro Haruyama, Takahiro Shigeyama, Hayato Yamazaki, Rei Furukawa
2. 発表標題 Fabrication and polarized waveguiding analysis of terpolymer-based optical fiber doped with phthalocyanine derivatives
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Kimiteru Yamauchi, Shingo Sode, Hayato Yamazaki, Rei Furukawa
2. 発表標題 Analysis of the effect of copolymer in Zero-Birefringence polymer optical fiber on steady-state speed
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 山崎 駿人、矢野 賢太郎、古川 怜
2. 発表標題 シアン系二色性色素を添加した二重コア構造ポリマー 光ファイバーの作製と導波路特性解析
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 早出 真悟、古川 怜
2. 発表標題 複屈折相殺性二層コアポリマー光ファイバーの屈折率分布解析
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Rei Furukawa, Shintaro Haruyama, Takahiro Shigeyama
2. 発表標題 Plastic optical fiber doped with phthalocyanine
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry Kota Kinabalu (ICPAC Kota Kinabalu) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Hayato Yamazaki, Shingo Sode, Keigo Uzawa, Kentaro Yano, and Rei Furukawa
2. 発表標題 Strain Vector Detection Using a Combination of a Birefringence-Controlled Terpolymer Optical Fiber and a Dichroic Dye Dopant
3. 学会等名 OSA Imaging and Applied Optics Congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早出 真悟、山崎 駿人、古川 怜
2. 発表標題 共重合体ポリマー光ファイバーにおける屈折率分布の不均一性
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 滋山 隆広、古川 怜
2. 発表標題 フタロシアニン誘導体を添加したポリマー光ファイバーの作製と導波路特性解析
3. 学会等名 2021年度第3回光ファイバ応用技術研究会(OFT)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早出 真悟、古川 怜
2. 発表標題 部分モード励振による複屈折消去性コアポリマー光ファイバーの光伝搬特性解析
3. 学会等名 2021年度第3回光ファイバ応用技術研究会(OFT)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎 駿人、矢野 賢太郎、古川 怜
2. 発表標題 シアン系二色性色素を添加した複屈折消去性ポリマー光ファイバーによるひずみ検知
3. 学会等名 2021年度第3回光ファイバ応用技術研究会(OFT)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shingo Sode, Hayato Yamazaki, Keigo Uzawa, and Rei Furukawa
2. 発表標題 Mode-dependent polarization analysis of plastic optical fibers with birefringence-reduce core
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hayato Yamazaki, Keigo Uzawa, Kentaro Yano, and Rei Furukawa
2. 発表標題 Strain sensor using a dopant dye with its absorption matching the transmission window of a polymer optical fiber
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴澤 圭吾, 矢野 賢太郎, 古川 怜
2. 発表標題 異なる分子異方性を持つ二色性色素を添加したポリマー光ファイバーの変形下での導波解析
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020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
---------	---------