

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：12612

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A））

研究期間：2019～2023

課題番号：18KK0401

研究課題名（和文）ゼロ複屈折性コア光ファイバーのセンサー応用へ向けたドーパント分子の配向解析

研究課題名（英文）Study of ellipsoidal inclusions in elastically strained 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） 12,000,000円

渡航期間： 9ヶ月

研究成果の概要（和文）：共重合体をコアとするポリマー光ファイバに強い形状異方性を持つ介在物を分散させ、ファイバ変形下での介在物配向を調査した。期間中の渡航制限関連により、トルコ イェディテペ大学ナムリ博士が異方性介在物の配向をモデリングできる可能性が見出されたため、渡航先変更を行った。イェディテペ大では円柱断面の応力分布を解析し、介在物添加以前の三元共重合体がランダム共重合ではなく局在化した重合状態であることが示唆された。この結果を受けて本邦で行った動的散乱解析において、段階的な重合においての固化層と未反応層の間での拡散が不均一性に寄与していることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建物やポンペなどの変形を簡便な方法で随時監視できれば、いろいろな活用法が出てくる。本研究は、そのような構造物の変形検知を、介在物を担持させたプラスチック光ファイバーを使って実現することを目標として実施したものである。プラスチック光ファイバー内の異方性介在物の配向解析において、荷重試験とモデリング双方から実施した。結果、プラスチック担体に100 nm程度の微視的な異方性があることがわかった。

研究成果の概要（英文）：Inclusions with strong shape anisotropy were dispersed in a polymer optical fiber with a copolymer core, and the orientation of the inclusions under fiber deformation was investigated. Due to travel restrictions during the period, the destination was changed to Professor Onur Cem Namli's lab at Yeditepe University, Turkiye. At Yeditepe University, the stress distribution of a cylindrical cross section was analyzed. This result suggests that the terpolymers prepared using the interfacial gel polymerization method, which is the method used to construct the core and cladding of fiber preforms, are not ideal random copolymers. Based on this result, a dynamic scattering analysis was conducted in our group in Chofu, which showed that diffusion among the solidified layer and the unreacted monomer contributes to the generation of heterogeneity.

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 応力-ひずみ

1. 研究開始当初の背景

本研究は基課題「複屈折消去材料の開発によるコア径に制限の無い偏波保持光ファイバーの実現」(若手A H28-30)を元にトルコ イェディテペ大学機械工学科との国際共同研究の形で発展させたものである。基課題において、複屈折を生じない共重合体をコア母材としてポリマー光ファイバーを開発し、さらにはそのコアに色素や蛍光体などのドーパントを添加して、弾性変形とともに発光や吸光が変わるという、新規のファイバー型応力センサーを提案した。図1に基課題で開発したポリマー光ファイバーの荷重前後での消光比曲線を示す。これは、偏波状態を乱さずにドーパントに届けられる唯一のファイバーであることを利用している。次点目標として、この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ことが当研究の背景となる。

2. 研究の目的

基課題では、高分子の複屈折相殺効果[2]を使って、既存と異なる原理で機能する新規の偏波保持ファイバーを生み出すことを目的とし、ゼロ複屈折性ポリマーをコアに適用したポリマー光ファイバー(以下、POFと略す)によるマルチモード偏波伝搬を確認した(図1)。主としてコア母材には poly(methyl methacrylate (MMA)/2,2-trifluoroethyl methacrylate (3FMA)/benzyl methacrylate) 52.0/42.0/6.0(w/w/w)を用いた。また、課題の一環としてこのファイバーの産業的な応用を探索し、蛍光体や二色性色素などのドーパントを添加して応力センサーとして利用する方向性に発展させた[3,4]。このような経緯より、本研究は、「ドーパントによる吸収や発光の活動は、母材の変形に伴い伝搬光にどのような影響を与えるか」などの基礎的な疑問についての探求という目的のもと実施された。

3. 研究の方法

まず研究準備段階として、本邦においてドーパントの種類・濃度が多岐にわたる共重合体試料の作製における再現性を確認した。図2の右部はこれらの試料の一例であるが、右部上段のようにコア・クラッド領域を界面ゲル重合によって形成したものを主とした。図2右上は、クラッドをPMMA、コアをP3FMAで構成させている試料であるが、このようなコアが白濁するような組み合わせを含め試料を揃えた。

渡航後、イェディテペ大学においては、受け入れ教員であるナムリ博士の他、学部生1名の協力を得て、光ファイバーの圧縮をモデルとした円柱形ポリマーの圧縮実験とモデリングを実施した。また、その結果を受けて帰国後に本邦において、光ファイバーのコア・クラッド間の材料交換を動的散乱法と伝搬モード解析を元に評価し、イェディテペ大学で示された結果と対比させて試作されているポリマー光ファイバー断面の材質分布と現状の系で応力へのレスポンスがどのように起きているかについて総合的に評価した。

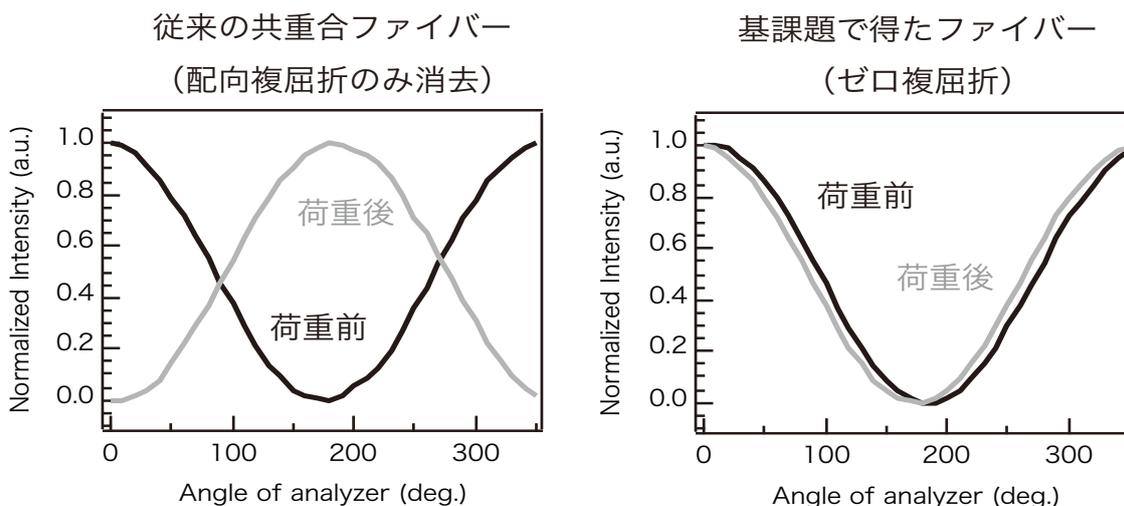


図1：基課題で得られたPOFの偏波保持特性。
従来型の共重合ファイバー[1]に比べ、荷重後も消光比曲線が大きく変わらないことを特徴とする。

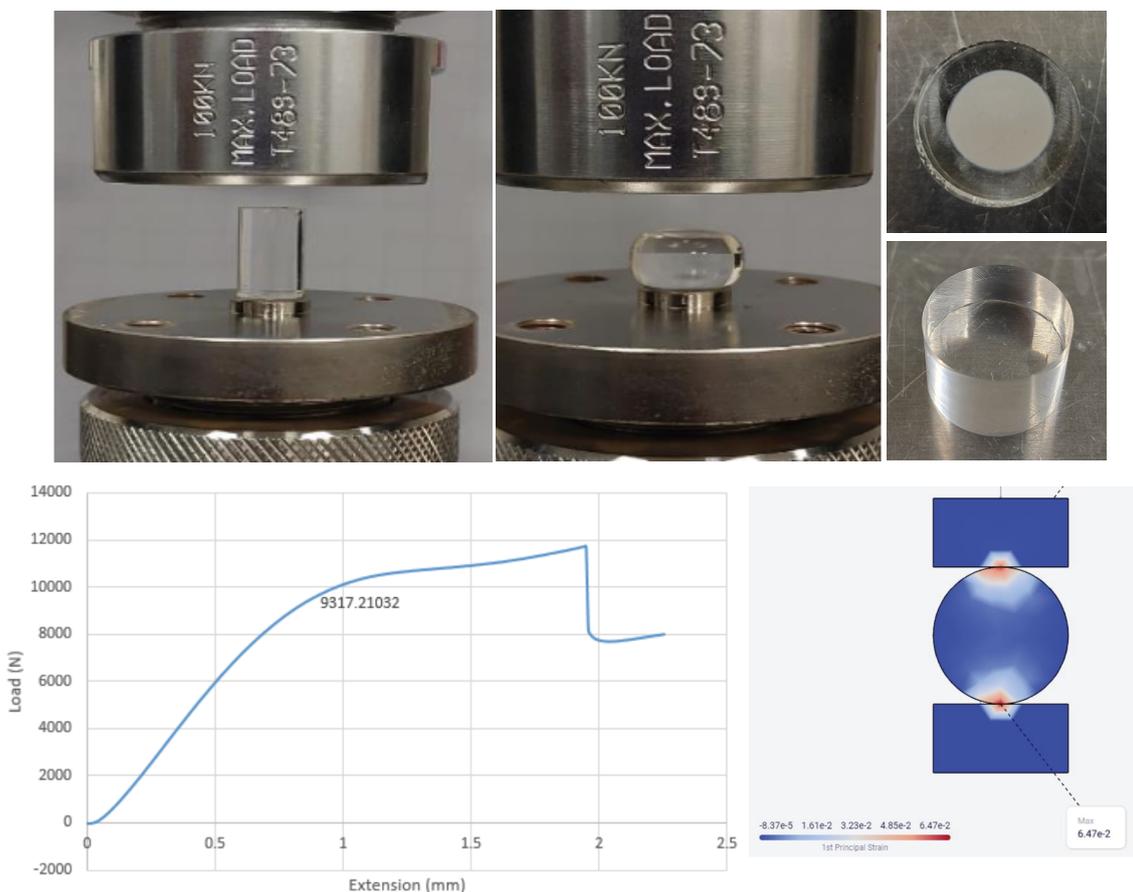


図2：準備したコア・クラッド構造試料の例（右上部）とそれらを使った荷重試験の様子（左上）および試験結果の例（左下）。円柱の半径方向の圧縮シミュレーション結果の例（右下部）。

4. 研究成果

イエディテペ大において図2の左部のような円柱の圧縮を行なった。ただし今回の圧縮方法では材質全体の応力ひずみ曲線は得られるが、コア・クラッドの材質の違いの影響などは抽出できないため、均質体での物性を実験的に取得することに主として利用した。その上で、構造計算結果において、円柱断面の応力分布を解析した結果、ドーパント添加以前の共重合体がランダム共重合ではなく局在化した重合状態であることが示唆された。

この結果を受けて本邦で行った動的散乱解析において、段階的な重合におけるの固化層と未反応層の間での拡散が不均一性に寄与していることが示された。結論として、共重合体光ファイバーの母材部分をランダム共重合に近づける工夫を施すことで、目的で掲げた応力センシングの精度を更に向上させることが可能であることが示唆された。

[1] Rei Furukawa, Akihiro. Tagaya, Yasuhiro Koike, ACS Applied Materials & Interfaces, American Chemical Society Publications, 2009, 1, 720-725,.

[2] Akihiro Tagaya, Hisanori Ohkita, Tomoaki Harada, Kayoko Ishibashi, and Yasuhiro Koike, Macromolecules 2006, 39, 3019-3023

[3] Keigo Uzawa, Takamichi Tozaki, Kentaro Yano, Eisuke Nihei, Rei Furukawa, Japanese Journal of Applied Physics 59(SDDF06),1-7 2020.

[4] Takahiro Shigeyama, Rei Furukawa, Japanese Journal of Applied Physics, 61, 061001, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 -

1. 著者名 Uzawa Keigo, Tozaki Takamichi, Yano Kentaro, Nihei Eisuke, Furukawa Rei	4. 巻 59
2. 論文標題 Stress-induced absorption of a birefringence-reduced polymer optical fiber with doped core	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDF06 ~ SDDF06
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/1347-4065/ab5c31	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 Hirose Chie, Kamimura So, Furukawa Rei	4. 巻 59
2. 論文標題 Waveguide optimization and its evaluation of a doped polymer optical fiber designed for visual detection of stress	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDF07 ~ SDDF07
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/1347-4065/ab591e	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 1件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Shintaro Haruyama, Takahiro Shigeyama, 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, Rei Furukawa, Shingo Sode, Hayato Yamazaki
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 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 (IPAC KK 2022)
4. 発表年 2022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 山崎 駿人、矢野 賢太郎、古川 怜
2. 発表標題 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の偏波伝搬特性の解析
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 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 Rei Furukawa and Chie Hirose
2. 発表標題 Doped Polymer Optical Fiber for On-site Visualization
3. 学会等名 The 28th International Conference on Plastic Optical Fibers (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Uzawa, R. Furukawa, K. Yano
2. 発表標題 Polarization-Dependent Absorption of a Stressed Birefringence-Reduced Polymer Optical Fiber Doped with Dichroic Dye
3. 学会等名 The 28th International Conference on Plastic Optical Fibers (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rei Furukawa, Nobuko Fukuda, Takafumi Sassa, Kentaro Yano, Morio Nagata, Tsuyoshi Ochiai
2. 発表標題 Doped organic optical fibers for strain Sensing
3. 学会等名 JISSE-16 Satellite Meeting in Honor of the 75th Birthday of Prof. Minoru Taya Symposium on bioinspired design of advanced materials (国際学会)
4. 発表年 2019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 2023年

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)
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
ナムリ (Namli Onur Cem)	イェディテペ大学・Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği・Dr. Öğr. Üyesi	

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			
トルコ	Yedi tepe大学			