

令和元年6月10日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H06117

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Multimode polarization-maintaining optical fiber using birefringence knocked out copolymer core

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) 19,000,000円

研究成果の概要(和文)：PANDAファイバーなどで知られる従来の偏波保持光ファイバーが、シングルモード光ファイバーを前提とするものであったのに対し、本研究では高分子特有の複屈折相殺材料をコアに適用し、マルチモードの偏波保持光ファイバーを新たに創出することを目的とした。結果、poly(methyl methacrylate (MMA)/2,2,2-trifluoroethyl methacrylate (3FMA)/benzyl methacrylate (BzMA))=50.0/42.0/6.0(w/w/w))をコアに持つポリマー光ファイバーが得られ、応力印加前後での位相シフトが抑制されることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

成果物であるpoly(MMA/3FMA/BzMA)をコアとする光ファイバーは、光ファイバーとしては太く大口径である部類ながら、応力に応じた位相シフトが抑制された機能を有するという点では他に例が無い光ファイバーが創出されたと言え、学術的意義が主張できる。

また、この光ファイバーのコアに、異方性が高く偏波次第で反応性が異なる特性を持つドーパントを分散することで、そのドーパント配向を利用したセンサーの創出という産業的意義が考えられる。その具体化検討として、二色性色素や各種発光体などを使い、光ファイバー型応力センサーなどへの応用検討および初期的な原理実証を行った。

研究成果の概要(英文)：At the purpose to maintain polarization state using a large-core optical fiber, polymer optical fiber with core fabricated using poly(methyl methacrylate (MMA)/2,2,2-trifluoroethyl methacrylate (3FMA)/benzyl methacrylate (BzMA))=50.0/42.0/6.0(w/w/w)) was studied. As a result, the obtained fiber was demonstrated to have significantly minor phase shift among the cases before and after the deformation.

研究分野：材料工学

キーワード：ポリマー光ファイバー 光弾性 ひずみセンサー 応力方向の検知

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

光ファイバーは、光を長距離伝搬するためのケーブル状の光学素子で、光通信やセンシングに用いられる。中でも光の偏波状態を維持したまま伝搬できるものを偏波保持光ファイバーという。偏波保持光ファイバーは光干渉型センシングや偏波状態を信号に見立てた通信方式などが実現できるため、汎用性が極めて高い。しかし従来の偏波保持光ファイバーは、コアという光が実質的に伝搬する部分が 10 μm 程度と非常に狭い径に制限されていたため、光を入射する際に高精度な光軸調整技術が必須とされていた。偏波保持光ファイバーは、ひずみや温度などのセンシングにも使われるが、その仕様の限定性より、センサー開発についても発展が鈍化している。その一方、光ファイバーセンシング技術は、災害の多い我が国のような環境の構造物の維持管理には極めて重要であり、点検のあり方を模索し続けるにあたって選択肢の幅が広がることは大きな意味を持つ。

2. 研究の目的

PANDA ファイバーなどで知られる従来の偏波保持光ファイバーが、シングルモード光ファイバーを前提とするものであったのに対し[1]、本研究では高分子特有の複屈折相殺材料をコアに適用し、マルチモードの偏波保持光ファイバーを新たに創出することを目的とした。複屈折相殺の手法については、2種以上の高分子材料のブレンド[2]、あるいは共重合[3]またはそこへの針状結晶の添加などが知られる。本研究では、小池康博氏、多加谷明広氏らによる豊富な報告があり、光弾性と配向の両タイプの複屈折の同時抑制（ゼロ・ゼロ複屈折）で知られる三種以上の共重合を採用した[4]。この理由としては、ポリマー光ファイバープリフォームの重合課程と相性が良いこと、そして対比可能なフィルムやバルク形状での豊富な物性調査実績が存在すること挙げられる。

3. 研究の方法

以下に申請調査段階での期間全体の計画を示す。おおよそこの計画通りに進み、予備策として検討していた共重合以外の複屈折消去材料の利用及びプリフォーム法以外の光ファイバー製造に踏み切る必要は無かった。複屈折の抑制されたコアを持つプリフォームの作製およびその複屈折測定、その後ファイバー化した試料の偏波保持特性の評価を行った。加えて、実用化へ向けた検討として、同ファイバーへ色素を添加した構成のセンサーの試作と初期的な検討も行った。

検討項目	平成28年度	平成29年度	平成30年度
材料系の提案	共重合体の模索	結晶添加/ブレンド系の模索	← 予備策
光ファイバー試作	プリフォーム法での試作	溶融押出法での試作	↓
伝搬特性評価	曲げや垂直応力下における 消光比、伝送損失、スペクトルの評価		
			成果の集約と広報

4. 研究成果

最終的に、透明性や機械特性などのバランスが好適と判断された、poly(methyl methacrylate (MMA)/2,2,2-trifluoroethyl methacrylate (3FMA)/benzyl methacrylate (BzMA))=50.0/42.0/6.0(w/w/w)をコア[4]、この組成から BzMA を除いた共重合体をクラッドに持つポリマー光ファイバーを基本的なモデル試料とした。また、この組成は申請者らによって 2007-2010 を中心に検討を行った、poly(MMA/BzMA)=82:18(w/w)をコアとする光ファイバー[5-9]と構成が近いことから、その対比がし易いという特徴を持つ。図1に示したそれらのファイバーの応力印加前後の消光比曲線から見られるように、先行研究に相当する poly(MMA/BzMA)をコアに持つ光ファイバーは、応力による光弾性効果が位相シフトとして現れる。それに対し、本研究で得られた poly(MMA/3FMA/BzMA)をコアとするファイバーは応力に関わらず位相シフトはほぼ起きないことが確認された。図1は General Photonics 社製の偏波コントローラ (PLC-003-S-90)により光ファイバーに応力を印加した際の消光比曲線であるが、同様の傾向が他の構成で応力を印加しても得られた。

また、この光ファイバーのコアに、異方性が高く偏波次第で反応性が異なる特性を持つドーパントを分散することで、そのドーパント配向を利用しすることで、新規のセンサーの実現が示唆された。この検討として、二色性色素や各種発光体などを使ったセンサーの試作を行った。このようにドーパントが添加された poly(MMA/3FMA/BzMA)をコアとするポリマー光ファイバーの産業還元性を探索し、光ファイバー型応力センサーなどへの応用検討および初期的な原理実証を行った。一例として、図2に企業より提供を受けた二色性色素を添加したポリマー光ファイバープリフォームの写真を示す。下段の直交ニコル観察では、プリフォームの複屈折性が抑制されていることがわかる。課題終了時点現在、産業界と連携した実用へ向けた具体的な検討の一例として、この色素添加ファイバーに応力をかけ、ファイバーの弾性変形に伴い色素の配

向を発現させる機構について検証を行っている。このような機能が実現できれば、応力の印加方向を特定できるという新機能を持つ光ファイバーひずみセンサーを生み出すことができ、構造物の点検監視などに有用となる可能性がある。

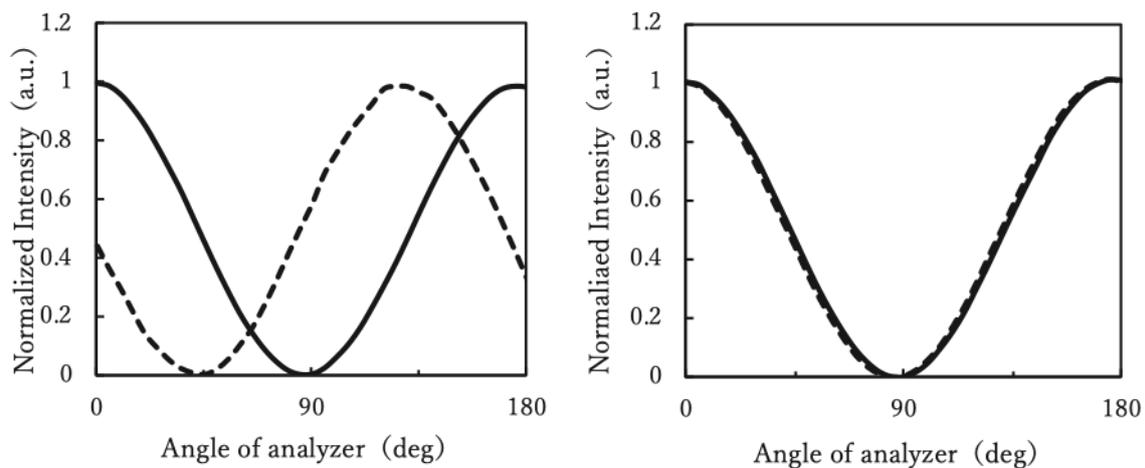


図1 poly(MMA/BzMA) (左) および poly(MMA/3FMA/BzMA) (右) をコアとするポリマー光ファイバーの応力印加前後の消光比曲線。それぞれ実線と破線は応力の印加前後の波形に対応する。

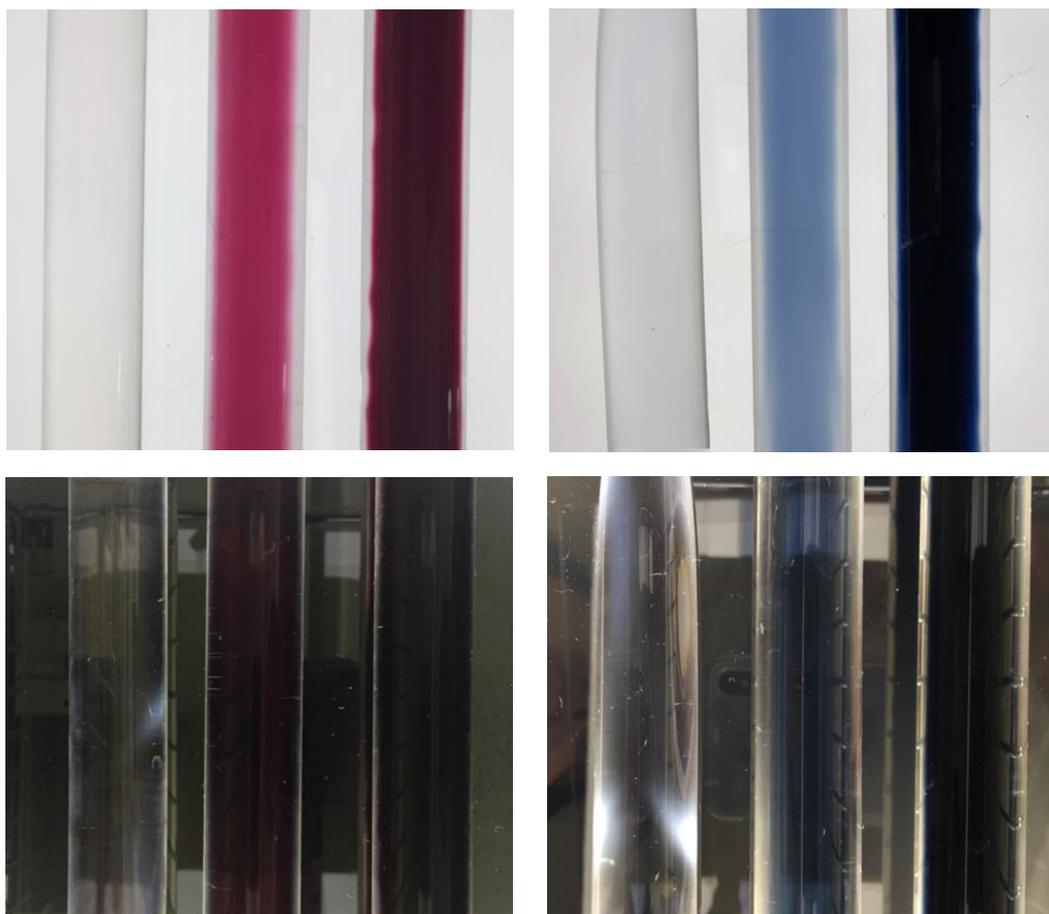


図2 poly(MMA/3FMA/BzMA)に二色性色素を添加したコアを持つポリマー光ファイバープリフォーム。上段、下段はそれぞれ明視野と直交ニコル像。左、右はそれぞれ異なる色素種を示し、それぞれ三段階に色素濃度を調整した試料を示す。

- [1] 三木哲也, 須藤昭一編:「光通信技術ハンドブック」  
石英系光ファイバ技術発展の系統化調査 163 ( オプトロニクス社, 2002 年) pp.220-222, 笹岡英資著:「偏波保持光ファイバ」.
- [2] B.R.Hahn and J.H.Wendorff, Polymer, 26, 1619 (1985).
- [3] Iwata S, Tsukahara H, Nihei E, Koike Y: "Transparent zero-birefringence copolymer and its optical properties," Appl. Opt., 36(19) (1997) 4549-4555.
- [4] Tagaya A, Ohkita H, Harada T, Ishibashi K, Koike Y: "Zero-Birefringence Optical Polymers," Macromolecules, 39(8) (2006) 3019-3023.
- [5] Furukawa R, Tagaya A, Iwata S, Koike Y: "Waveguiding property of a plastic optical fiber fabricated using low-birefringence copolymer," J. J. Appl. Phys. PART 2-Letters, 46/ 45-49(2007) L1182-L1184.
- [6] Furukawa R, Tagaya A, Iwata S, Koike Y: "Polarization-maintaining mechanism of a birefringence-reduced plastic optical fiber fabricated using poly(methyl methacrylate/benzyl methacrylate) copolymer," J. Phys. Chem. C, 112(21) (2008) 7946-7952.
- [7] Furukawa R, Tagaya, Koike Y: "Modal analysis of a multimode polarization-maintaining plastic optical fiber fabricated using poly(methyl methacrylate/benzyl methacrylate) copolymer," Appl. Phys. Lett. 93(10) (2008) 6562-6568.
- [8] Furukawa R, Tagaya, Koike Y: "Differential Mode Analysis of a Polarization-Maintaining Graded-Index Plastic Optical Fiber Using Macrobending," J. J. Appl. Phys. 48(2009) 022503/1-7.
- [9] Furukawa R, Tagaya, Koike Y: "Pressure Measurement Based on a Multimode Phase Retarder Plastic Optical Fiber," ACS Appl. Mater. Interfaces 1(3) (2009) 720-725.

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- [1] So Kamimura and Furukawa Rei, "Strain sensing based on radiative emission-absorption mechanism using dye-doped polymer optical fiber," APPLIED PHYSICS LETTERS 査読有 111, 2017, 063301-1-063301-4.

### 〔学会発表〕 (計 15 件)

- [1] 古川 怜, 上村創, 福田伸子, 佐々高史「ひずみ「見える化」へ向けたポリマー光ファイバーセンサー」有機エレクトロニクス研究会 (OME) 査読無・招待 2018/02/22
- [2] 古川 怜「発光体とポリマー光ファイバーを組み合わせたセンシング構想について」光ファイバセンシング振興協会 総会 査読無・招待 2018/08/23
- [3] 戸崎 隆道, 古川 怜, 矢野 賢太郎「二色性色素添加光ファイバーの応力印加状態におけるスペクトル解析」第 67 回高分子討論会 査読有 2018/09/14
- [4] Takamichi Tozaki, Rei Furukawa, Daichi Mizorogi, Kentaro Yano, "Waveguiding analysis of birefringence-reduced polymeric optical fiber using dichroic dye," The 7th Asia-Pacific Optical Sensors Conference 査読有 2018/05/29
- [5] Takamichi Tozaki, Rei Furukawa, Daichi Mizorogi, Kentaro Yano, "Waveguiding analysis of polymer optical fiber using dichroic dye," 第 66 回高分子討論会 査読有 2017/09/21
- [6] R. Furukawa, S. Kamimura, C. Hirose, T. Sassa, and N. Fukuda, "Strain sensing using radiative emission-absorption mechanism of doped polymeric optical fiber," SPIE Photonics West 2019 査読有 2019/02/06
- [7] 古川 怜「ひずみセンサーとしての POF の応用性」第 70 回 PST-net 招待講演会 査読無・招待 2019/02/15
- [8] 古川 怜「Doped POF による省エネルギーひずみ可視化への検討」OSV Seminar in Tokyo 査読無・招待 2019/03/08
- ほか

### 〔図書〕 (計 0 件)

### 〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 1 件)

名称: 光ファイバひずみゲージ, 光ファイバひずみセンサ, および光ファイバひずみセンシングシステム

発明者: 佐久間広貴, 金子浩規, 松森正樹, 古川 怜

権利者: 国立大学法人電気通信大学

種類: 物の発明

番号：特願 2014-204513

取得年：2018 年

国内外の別： 国内

〔その他〕

【論説】古川 怜 「ポリマー光ファイバーで挑戦する民間の防災 -有機材料の利点を活かして-」  
オプトロニクス 433, 171-174 2018/01/10, 0286-9659

【論説】古川 怜 「ポリマー光ファイバーを用いたひずみセンシング技術」 フォトニクスニュー  
ス 1/ 5, 44-47 2019/02/15, 2189-6496

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

該当なし

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：二瓶 栄輔

ローマ字氏名：Eisuke Nihei

※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、研究者個人に帰属されます。