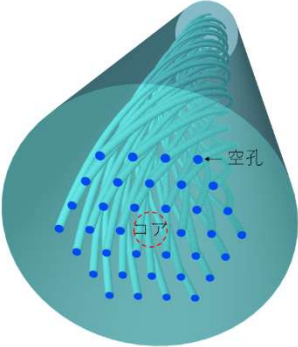
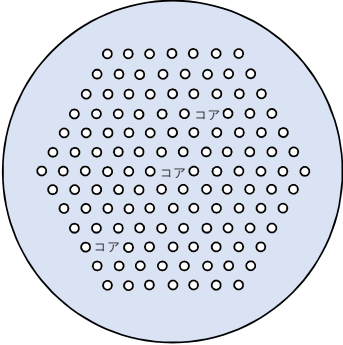


1. 氏 名	藤澤 剛
2. 所属機関	北海道大学 大学院情報科学研究科
3. 研究題目	螺旋ツイストフォトリック結晶ファイバの光学物性解明とその光空間状態制御
● 研究の目的: 図 1 に示すような、螺旋ツイストマルチコアフォトリック結晶ファイバ (Photonic crystal fiber: PCF) による、光の空間状態 (偏光、光軌道角運動量) 制御可能性を探る。PCF では、ファイバ断面中に周期的に配置した空孔によりクラッドを形成し、一部の空孔を抜くことで、そこを光が導波するコアとする。最近、PCF を図のように一定周期でツイストすることによる、クラッドにおける光軌道角運動量 (Optical angular momentum: OAM) の発生や、円偏光 2 色性の発現など、光空間状態の変化に関する報告がなされ、光空間状態を制御する新しいプラットフォームとして注目を集めている。本研究では、多様なコアパターンを有するツイスト PCF による光空間状態を自由自在に変換するファイバ型デバイス、および、その設計理論を構築することを目的とする。   図 1 螺旋ツイスト PCF の構造図 図 2 螺旋ツイストマルチコア PCF の断面図	
4. 研究の内容 (手法、経過、評価など。書ききれない場合には、同一様式のページを追加してください。): 申請者が開発した独自の螺旋ツイスト導波路ビーム伝搬解析技術を用いて、任意の断面形状を有するツイスト PCF を用いた、光空間状態制御の可能性を探る。申請者の開発したビーム伝搬解析技術は、座標変換に対するマクスウェル方程式の不変性を利用し、ツイスト構造を単純な等価直線構造に置き換えてビーム伝搬解析を行う、汎用性の高い強力な手法である。 この手法を用いて、具体的に、以下、A、B の研究を行った。 A) ツイストシングルコア PCF の物性解明と空間状態制御への応用 申請者が開発した独自の螺旋ツイスト導波路ビーム伝搬解析技術を用いて、任意の断面形状を有するツイスト PCF を用いた、光空間状態制御の可能性を探る。図 1 に示す、中心にコアを有するツイスト PCF に対し、周囲の空孔の大きさを変化させることで、入射した光波の偏光状態を自由自在に制御するファイバ構造を探索する。様々なコアパターンを研究し、その性能を可視化する指標の確立とともに、光空間状態を自由自在に変換するファイバ型デバイス、および、その設計理論を構築していく。 B) ツイストマルチコア PCF の物性解明と空間状態制御への応用 ツイストファイバでは、ツイスト中心に対する相対位置に応じて光学特性が異なるため、図 2 に示すように、コアをファイバ断面内の異なる場所に配置することで、その位置に応じて光の空間状態を制御できる可能性がある。また、マルチコアファイバでは複数のコア間で光が結合するため、一つの直線偏光から、出射端において複数の異なる空間状態の光を生成できる可能性がある。本研究では、こうしたコアの断面位置依存性を用いた、柔軟な光の空間状態制御を可能とするファイバ断面構造の探索を行う。	

5. 研究の成果と結論、今後の課題：

ここでは本研究によって得られた成果の代表的な結果のみを示す。

A) ツイストシングルコア PCF の物性解明と空間状態制御への応用

図 3 に示すような、断面に複屈折コアを有するツイスト PCF の光空間状態の研究を行った。図に示すように、コアの両脇の空孔の大きさを変化させることにより、 x 偏波と y 偏波の縮退をとり、複屈折性を持たせることができる。複屈折コアを有するツイスト PCF に直線偏光(例えば x 偏光)を入射すると、周期的に楕円偏光成分が励振されることを独自のビーム伝搬解析により明らかにし、その物理的考察から、ねじれた複屈折導波路中に存在する幾何位相がその原因であることをつきとめた。さらに、その考察から、完全な円偏光成分を励振する手法として、周期的にツイスト方向を反転するファイバを考案した。適切な位置でツイスト方向を反転することにより、図 4 に示すように、伝搬距離に対して、円偏光成分に相当するストークスパラメータの S_3 成分を自由自在に励振できることを明らかにした。この結果により、ツイストシングルコア PCF を用いることにより、基本モードに対して、あらゆる偏光成分を励振できることを示している。この手法を高次モードにも適用できるように理論を開発し、自由自在な OAM 光波の励振を可能とするファイバ構造を探索することが今後の課題である。

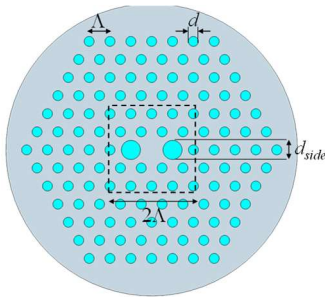


図 3 ツイスト複屈折 PCF の断面図

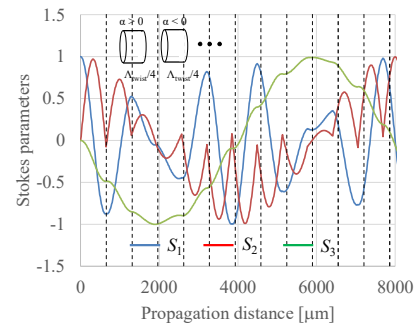


図 4 周期反転ツイスト PCF 内の偏光状態

B) ツイストマルチコア PCF の物性解明と空間状態制御への応用

ツイストファイバ中では、その等価的な誘電率、透磁率が断面内の位置に依存するため、同じモードの光を入射しても、断面の位置に応じてその特性が変化することが予想される。図 5 に示すような、非中心にコアを有するツイスト PCF を考える。もしコアが中心にあったなら、コアは複屈折性を有しないため、A)で示したような円偏光成分は励振されない。しかし、コアを図 5 のように中心からずらし、直線偏光を入射すると、伝搬とともに完全円偏光に近づいていく。図 6 に非中心コアツイスト PCF に直線偏光を入射した場合の偏光状態(ストークスパラメータ)の伝搬距離依存性を示す。伝搬とともに、円偏光成分を示す S_3 が 1 に近づいていくのがわかる。この結果は、研究内容の項で述べたように、コアの断面位置依存性を用いて、複数のコアを用いたマルチコアツイスト PCF により、柔軟な光の空間状態制御を可能とすることを示唆している。

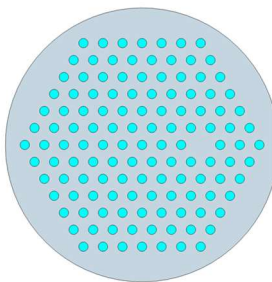


図 5 非中心コア PCF の断面図

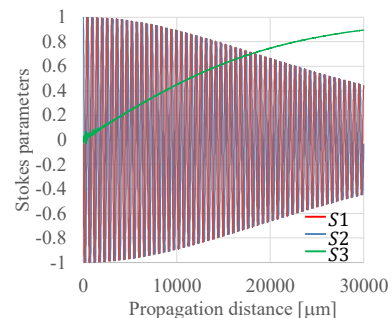


図 6 非中心コア PCF 内の偏光状態

6. 成果の価値

7.1_学術的価値:

ツイストファイバの物性を解明する過程で、光の空間状態の維持、変換、交換に関する深い知見が得られており、光学一般に寄与する学術的な意義は大きい。特に、OAM 光に関して、OAM 光を用いた光通信の研究は、応用というよりは基礎研究よりの段階にあり、OAM 光の発生方法自体が盛んに研究されている。OAM 光の発生方法は現時点では位相板を用いた空間光学系のものが主であるが、実際の通信に使うためにはより小型なデバイス形式のものが必須であり、ファイバ型の OAM 生成器は学術的にも、応用的にも非常に大きな価値がある。本研究によって得られた成果は、研究成果欄に示すように、高インパクトファクタ雑誌に掲載されており、それを裏付けている。

7.2_社会的価値:

申請者がこれまで手掛けてきた空間分割多重技術を用いた光通信や、光センシング技術に関する研究は、市場の大きな、社会に与えるインパクトの大きい研究分野であり、光の空間状態制御デバイスは、今後の光通信容量の増加、ネットワーク消費電力の低減につながる、特に重要な研究対象の一つである。そのため、本研究により、ツイストマルチコア PCF による光空間状態制御の可能性を示すことができたならば、その現実社会への波及効果は非常に大きい。特に、申請者が考案したツイスト反転ファイバ構造はあらゆる光空間状態を自在に作り出す可能性を秘めている。

本助成において対象とした研究は、どちらかというと学術的な色彩が強いが、これまで得られた結果をさらに推し進め、更なる物性の解明、そして、応用への道を模索していく。

7.3_研究成果:

研究論文「原著」(IF は 2021 年 4 月時点でのインパクトファクタ)

1. S. Nakano, **T. Fujisawa**, T. Sato, and K. Saitoh, "Beam propagation analysis of optical activity and circular dichroism in helically twisted photonic crystal fiber", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 57, pp. 08PF06 Aug. 2018 (IF:1.376).
2. **T. Fujisawa**, and K. Saitoh, "Off-axis core transmission characteristics of helically twisted photonic crystal fibers," Optics Letters, vol. 43, no.20, pp.4935-4938, Oct. 2018 (IF:3.714).
3. S. Nakano, **T. Fujisawa**, and K. Saitoh, "The effect of core offset on the mode converting characteristics in twisted single mode fibers," IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol. 37, no. 21, pp. 5479-5485, Nov. 2019 (IF:4.288).
4. **T. Fujisawa** and K. Saitoh, "Geometric-phase-induced arbitrary polarization and orbital angular momentum generation in helically twisted birefringent photonic crystal fiber," Photonics Research, vol. 8, no. 8, pp.1278-1288, Aug. 2020 (IF:6.099).

「国際会議発表」

1. S. Nakano, **T. Fujisawa**, T. Sato, and K. Saitoh, "Beam propagation analysis of optical activity and circular dichroism in helically twisted photonic crystal fiber", The 22nd Microoptics Conference (MOC 2017), Paper P-16, Tokyo, Japan, Nov. 19-22, 2017.