



## 光渦が創る螺旋ポリマーファイバー ～DNAシミュレーターへの応用にも期待～

光渦(注1)を紫外硬化樹脂に照射するだけで「螺旋ポリマーファイバー」が自己組織的に創成できることに世界で初めて発見しました。本研究は、千葉大学 尾松孝茂教授・有田佳彦特任准教授、英国 St. Andrews大学 Kishan Dholakia教授、Arizona大学 Ewan Wright教授らのグループによる国際共同研究であり、科学研究費補助金新学術領域「光圧によるナノ物質操作と秩序の創生」の一環として行われました。本成果は、光重合反応を介して光渦の軌道角運動量(注2)を物質の内部に3次的に転写できることを実証したものであり、空間多重用あるいは超解像顕微鏡用の光伝送用ファイバー導波路・DNAシミュレーターなどに応用できます。

### ■ 研究の背景

光渦という特殊なレーザー光を金属・半導体・アゾポリマー薄膜などの物質に照射すると、物質表面がキラルな螺旋構造に変化する現象をわれわれは発見しました。しかしながら、この現象が起こるのは、これまで固体-気体などの界面に限られていました。つまり物質の内部を螺旋構造に変形させることはできませんでした。

### ■ 研究の成果 ～螺旋ポリマーファイバーの形成～

本研究成果は、光照射によって液体から固体に硬化する光硬化性樹脂に光渦を照射すると、硬化する過程に光渦の角運動量が作用して螺旋状のポリマーファイバーができることを世界で初めて実証したものです。本研究成果は、光渦の角運動量が物質の表面だけではなく内部にも作用することを示す重要な結果です。また、物質表面の変形という単なる物理現象ではなく角運動量が光重合という化学反応にも作用することを示す世界初の研究成果です。

できたファイバーの長さは現在のところおよそ140μmですが、原理的にはミリメートルからセンチメートルまで長くできる可能性があります。また、光渦の軌道角運動量の符号を反転させるとファイバーの螺旋の捻じれ方向、つまりキラリティーを変化させることもできます(図1)。また、角運動量の大きさを大きくするとDNAの2重螺旋構造のような分岐したファイバーも創れます。

さらに、理論シミュレーションにより螺旋ファイバーの形成過程も明らかにしました。

### ■ 今後の展開

今後、照射する光渦の波長や光硬化性樹脂の種類を目的に合わせて最適化すれば、長尺の螺旋ポリマーファイバーも容易に実現できます。螺旋ポリマーファイバーは、光渦モードを安定に空間伝播できるファイバーとして、大容量空間多重光通信や超解像レーザー顕微鏡用のための伝送用ファイバー、また、光渦レーザーやDNAシミュレーターなどにも幅広い応用が大きく期待できます。

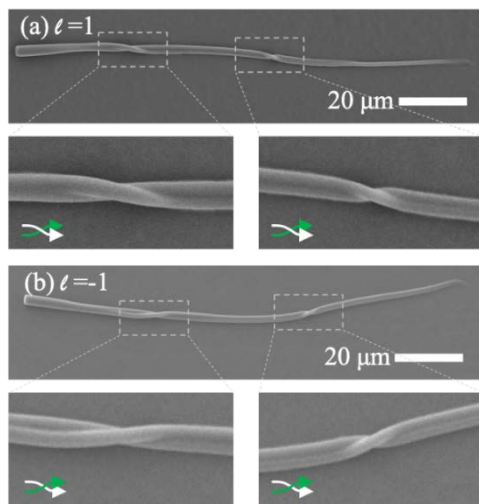


図1 (a)右巻きの螺旋波面を持つ光渦により形成されたポリマーファイバー (b) 左巻きの螺旋波面を持つ光渦により形成されたポリマーファイバー  
光渦の巻く方向を変えることによりポリマーファイバーの巻く方向が制御可能である

※ 本研究成果は、2018年10月8日0時 (米国時間) アメリカ化学会 ACS Photonics にオンライン版で発行されます。

※ 論文タイトル: Photopolymerization with light fields possessing orbital angular momentum: Generation of helical microfibers

本件に関するお問い合わせ・取材のお問い合わせ

■ 尾松 孝茂 (オマツ タカシゲ) 千葉大学 大学院工学研究院物質科学コース 教授

Tel : 043-290-3477 Fax : 043-290-3477 メール : omatsu@faculty.chiba-u.jp

## ■ 研究詳細

実験には、波長405nmの光渦レーザーを用いました。開口数1.1、倍率60の顕微鏡対物レンズを用いて光渦を光硬化性樹脂に集光照射しました。硬化した樹脂は高い屈折率を示すので、光を閉じ込める導波路の様に振舞います。この現象は「自己収束効果」と呼ばれています。この現象により光渦レーザーは樹脂中に閉じ込められて伝播しながらファイバーに成長します。この際、光渦が持つ角運動量が作用し、螺旋に捻じれながらポリマーファイバーができるのです。

2次以上の高次の光渦を樹脂に照射した場合、その次数に応じてファイバーが分岐します。2次の光渦を用いた場合は、DNAのような二重螺旋ファイバーができることが分かります(図2(a))。さらに、高次の光渦を用いると、次数に応じて分岐の数が増えることも分かります。これは高次の光渦が自己収束効果によって不安定になり、ファイバー中を伝播しにくいことに起因しています。不安定に伝播できなくなった高次の光渦は、最低次数である1次の光渦に分離してしまい、ポリマーファイバーの分岐を引き起こします。

図3は、樹脂中で起こる屈折率変化をモデル化し、ファイバーの形成過程を理論的にシミュレーションした結果です。ファイバーの捻じれ方や分岐の仕方について、実験結果を良く説明できます。

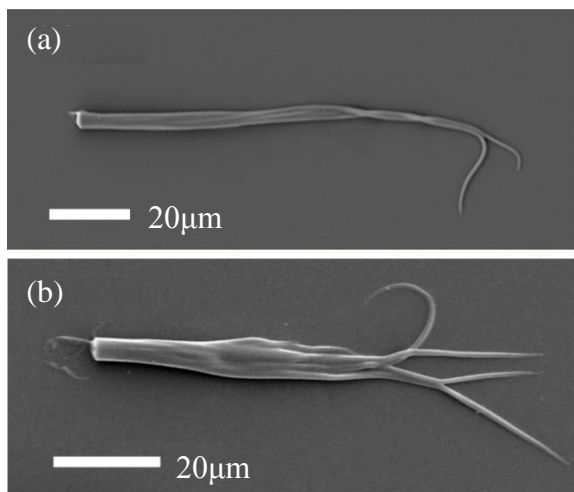


図2 (a) 2次光渦の照射によって形成された2本の枝を持つポリマーファイバー  
(b) 4次光渦の照射によって形成された4本の枝をもつポリマーファイバー

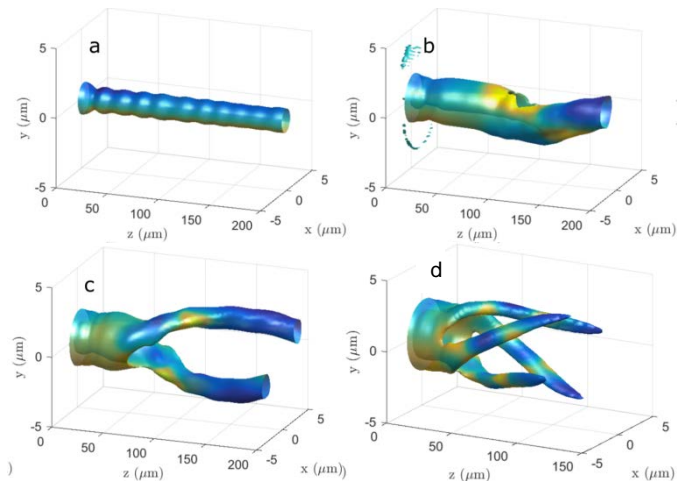


図3 (a) ガウシアンビーム(0次)照射時のシミュレーション結果。螺旋構造がない。(b) 1次光渦照射時のシミュレーション結果。ねじれが発生している。(c)(d)は、2次と4次の光渦を照射した時のシミュレーション結果である。実験の結果と同じく光渦の次数に応じてファイバーが分岐することが分かった。

## ■ 用語解説 :

**注1) 光渦** 光の等位相面である波面が螺旋状(螺旋波面)になっており、ドーナツ型の強度分布をもつ光を光渦と呼びます。光渦の螺旋波面は光の波長に対する波面の螺旋の巻き数  $l$  (整数) で定義することができます。

**注2) 軌道角運動量** 偏光とは異なる、光渦のような螺旋状の波面の光波が持つ物理量であり、ビームの軸まわりに発生する角運動量を意味します。軌道角運動量を持つビームを物質に照射すると物質を公転運動させたり、捻じることが可能です。

## ■ 論文タイトル:

“Photopolymerization with light fields possessing orbital angular momentum: Generation of helical microfibers”