

光応答性ナノファイバーの開発と人工筋肉への応用

デジタルものづくり課 藤牧寛城 生活工学研究所 吉田 巧 ものづくり基盤技術課 出村奈々海

1. 緒言

スマートテキスタイルは、繊維産業の国際的な競争力維持のために重点的に取り組むべき技術開発として、繊維技術ロードマップに挙げられている。近年、センサーやマイクロチップを埋め込み、センシングデバイスとして使用する例が散見されるようになってきた。他にも吸湿発熱性繊維や導電性繊維、ソフトアクチュエータ繊維を利用したものがスマートテキスタイルとして挙げられる。

ソフトアクチュエータとは、電気や油圧・空気圧を動力源として利用した従来のアクチュエータと異なり、材料そのものが変形することを動力源とする特徴を持っている。

2003 年にアゾベンゼンの光異性化を利用して、フィルム状のアゾベンゼンポリマーに光を照射し、フィルムを動かすという研究が報告された¹⁾。アゾベンゼンは通常トランス型で存在するが、紫外光を照射するとシス型の構造を取り、また、太陽光を照射すると、トランス型の構造に戻る性質を有する(Fig. 1)。



Fig. 1 Isomerization of azobenzene

本研究では特定波長の光を照射すると光異性化するアゾベンゼンからなるポリマーを合成および構造変換したのち、エレクトロスピンニング法でのナノファイバー化を検討し、作製した光応答性ナノファイバーを束ねて、人工筋肉を作製することを目的とした。

ナノファイバー化させる利点としてナノファイバー自身が「超分子配列効果」を有するため、分子の方向が揃う。これにより、従来のフィルム状の光応答性ポリマーよりも方向の揃った高い運動エネルギー放出することが可能であると考えた。

また、人体の筋肉は幅約 1 μm の筋原線維が束なっている。これを模倣し、同様にナノファイバーを束ねることにより、大きな力を生み出すことが可能であると考えた。

2. 実験方法

2.1 側鎖型液晶性ポリマーの合成（塊状重合）

窒素雰囲気下、80°Cの条件で、モノマーであるメタクリル酸 11-[4-(4-ブチルフェニルアゾ)フェノキシ]ウンデシル(東京化成工業製)を溶解させた。次に、重合開始剤であるアゾビスイソブチロニトリル(AIBN)(東京化成工業製)をモノマーに対して、2.0wt%量になるように加えて重合させた。

2.2 配向性ナノファイバーの作製検討

合成したポリマーをトルエンに溶解させ、10 wt%、15 wt%、20 wt%のポリマー溶液を調製した。エレクトロスピンニング装置(株式会社メック製、NANON-05)を用いて、印加電圧 15 kV、20 kV、25 kV、回転速度 2000 rpm の条件でナノファイバーを作製し、検討を行った。

3. 実験結果および考察

本研究で、合成するポリマーは側鎖型液晶性ポリマーであり、メソゲン基と呼ばれる液晶性を示す置換基を側鎖に導入する必要がある。メソゲン基と骨格鎖の間には屈曲可能なスペーサーを挟むことで、骨格鎖とメソゲン基の運動性が遮断されるため、液晶性が発現しやすい。そのイメージ図を Fig. 2 に示した。

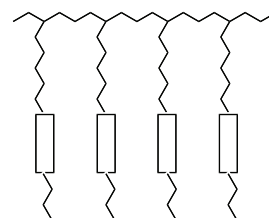


Fig. 2 Side-chain type liquid crystalline polymer

側鎖型液晶性ポリマーを合成するために、以下の合成を行った。市販されているメタクリル酸 11-[4-(4-ブチルフェニルアゾ)フェノキシ]ウンデシル(以下、molecule 1)(Fig. 3)を原料とし、反応温度の制御が比較的簡単とされている懸濁重合や溶液重合の 2 つを試みた。

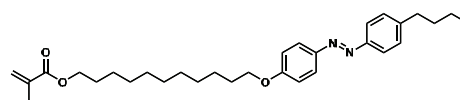


Fig. 3 Structure of molecule 1

懸濁重合について、80°Cに加熱した水溶媒中に原料、トルエン、分散安定剤であるポリビニルアルコールを添加

して、微小な粒の生成を確認した後、アゾビスイソブチロニトリル(以下、AIBN)を加えて、重合反応を試みたが、目的のポリマーは得られなかった。

また同様に、80℃に加熱したトルエン溶媒中に molecule 1 を添加し、AIBN を加えて、重合反応を試みたが、目的のポリマーは得られなかった。

続いて、塊状重合を試みた。molecule 1 を溶解させた後、AIBN を加えて、重合反応を試みたところ、ポリマーの生成が確認された(Fig. 4)。

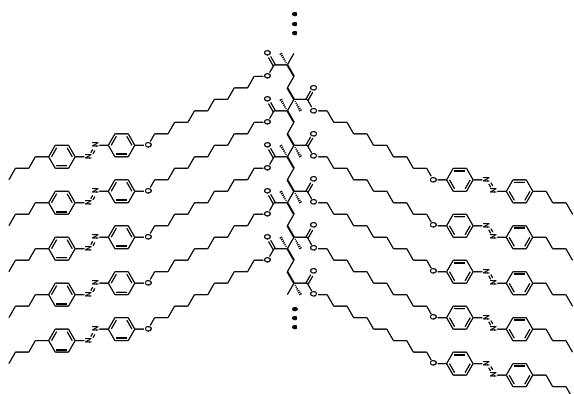


Fig. 4 Structure of polymer

続いて、ナノファイバーの作製を行った。エレクトロスピンニング装置の一般的な条件でナノファイバーの作製を行うと、配向がランダムな不織布が作製される。

本研究では、光を照射した際の力の向きを揃えるため

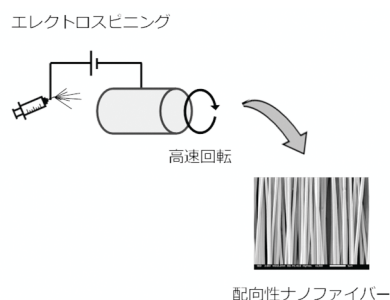


Fig. 5 High-speed rotation electrospinning

に、ナノファイバーそれぞれの配向を揃える必要があった。そこで、回収用のドラムコレクターを高速回転させることで、配向性をもったナノファイバーを作製することとした(Fig. 5)。

エレクトロスピンニングの条件であるポリマー濃度、回転速度、印加電圧等の条件を検討した。ポリマー濃度 10 wt%、15 wt%の際、いずれの印加電圧においても、ニードルからポリマー溶液が連続して射出されないことが確認された。

また、濃度 20 wt%の場合はある程度連続で射出されるものの、いずれの印加電圧においてもビーズと呼ばれる球状の部位が発生してしまう結果となった。

Fig. 6 のように、ナノファイバーを配向させることができたものの、今回合成したポリマーの溶液状態の物性がエレクトロスピンニング法に適さないことが分かった。今後、ポリマーの構造を変換し、物性の向上を図る必要がある。

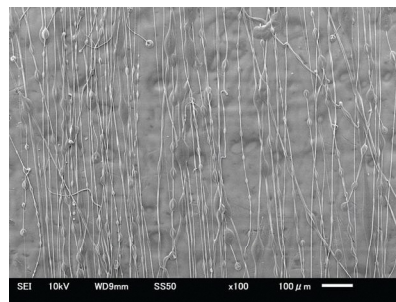


Fig. 6 SEM image of aligned nanofibers

4. 結言

側鎖型液晶性ポリマーを合成し、エレクトロスピンニング法を用いて、配向性を持ったナノファイバーを作製した。様々な条件を試みたが、配向性を持たせることはできなかったものの、ビーズが生じてしまった。

参考文献

- 1) Tomiki Ikeda et al.: *Nature*, **425** (2003) 145

キーワード：アクチュエータ、アゾベンゼン、光応答性、人工筋肉

Development of Photoresponsive Nanofibers and Application to Artificial Muscles

Digital Manufacturing Section; Hiroki FUJIMAKI, Human Life Technology Research Institute; Takumi YOSHIDA and
Core Manufacturing Technology Section; Nanami DEMURA

In recent years, smart textiles have attracted attention in order to maintain international competitiveness. The purpose of this research is to synthesize a polymer made of azobenzene, make it into nanofibers by electrospinning, and create artificial muscles by bundling them together.