

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19050003

研究課題名（和文） 架橋フォトクロミック液晶高分子を用いたメカニカル機能の創出

研究課題名（英文） Photomechanical Effect of Crosslinked Photochromic Liquid-Crystalline Polymers

研究代表者

池田 富樹（IKEDA TOMIKI）

東京工業大学・資源化学研究所・教授

研究者番号：40143656

研究代表者の専門分野：高分子化学・光化学・材料化学

科研費の分科・細目：材料化学・高分子・繊維材料

キーワード：光運動材料，架橋液晶高分子，フォトクロミズム，アクチュエーター

1. 研究計画の概要

本研究では、フォトクロミック化合物を用いて光エネルギーを力学的エネルギーに変換する新しい光運動材料を開発し、三次元光アクチュエーターなどへ応用することを目的としている。架橋液晶高分子中にフォトクロミック分子であるアゾベンゼンを導入し、フィルムや繊維状などさまざまな形状に加工することにより、屈曲・伸縮・回転など多様な運動モードを実現できる光アクチュエーターへの展開を試みる。光を照射すると運動する架橋フォトクロミック液晶高分子を用いることにより、バッテリー・電極・配線などが不要な軽量小型の光アクチュエーターが実現する。

2. 研究の進捗状況

(1) 架橋フォトクロミック液晶高分子フィルムにおけるフォトメカニカル機能

液晶モノマーおよび架橋剤の混合比を調整することにより架橋密度の異なる架橋液晶高分子フィルムを作製し、架橋液晶高分子フィルムにおける紫外光照射時に発生する応力について検討した。その結果、架橋剤濃度の増加に伴って応力が増大した。特に架橋剤濃度の最も高いフィルムにおいては、約 1 MPa を超える収縮力を示すことが明らかとなった。この結果から、架橋液晶高分子において液晶分子の配向変化を系全体に効率よく増幅させるためには、架橋点を増加させ、側鎖の液晶分子と主鎖との相関を強くすることが重要であることが分かった。

(2) 積層型光運動材料

多様な光運動を示す高分子材料の創製を目指し、汎用高分子フィルムと架橋液晶高分子層からなる積層型架橋液晶高分子フィルムを調製した。汎用高分子フィルムとしては、柔軟性や加工性に優れた低密度ポリエチレン（PE）未延伸フィルムを用いた。架橋液晶高分子フィルムを、接着層を塗布した PE フィルム上に加熱圧着することにより、積層型光運動材料を作製した。この積層型光運動材料をベルトや非対称アーチ型に成形すると、光プラスチックモーターの回転運動や光尺取虫の並進運動など多様な運動を示すことを見いだした。光により運動する新しい高分子材料を創出することに成功した。

(3) 架橋フォトクロミック液晶高分子繊維の光運動

架橋液晶高分子を繊維状に加工し、その光運動特性を評価した。液晶性を示すアゾベンゼン共重合体とイソシアネート架橋剤を混合し、共重合体の液晶相温度にて引っ張り紡糸を行うことにより、架橋アゾベンゼン液晶高分子繊維を作製した。ガラス転移点以上の温度で紫外光を照射すると繊維は光源に向かって屈曲し、可視光照射により元の状態へ戻った。また、光照射方向を変えることにより運動方向を 360°自在に制御できることがわかったさらに、繊維を束ねて光発生応力を測定したところ、人間の骨格筋に近い値を得られることが明らかとなった。

(4) 架橋ジアリールエテン液晶高分子の光運動特性

アゾベンゼン以外のフォトクロミック分子として、ジアリールエテンに着目し、架橋ジアリールエテン液晶高分子の光運動特性を評価した。ジアリールエテンに液晶性を付与するため、ジアリールエテンコアの両側にメソゲンであるビフェニル基を導入し、液晶性を示すジアリールエテン誘導体を合成した。そのジアリールエテン液晶を光重合し、架橋ジアリールエテン液晶高分子を調製した。紫外光を照射するとフィルムが紫色へと着色しながら光源方向へと屈曲し、さらに可視光を照射すると、ただちに無色の状態へと戻り、そのまま高温で保持すると初期の平坦な状態へと戻った。アゾベンゼン以外のフォトクロミック分子を用いても光運動材料を開発することができ、架橋フォトクロミック液晶高分子を用いた光運動材料の一般性を示すことができた。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由)

光アクチュエーターへの応用を目指し、さまざまなフォトクロミック分子から、光照射により運動する架橋フォトクロミック液晶高分子を作製することができた。さらに、架橋液晶高分子をフィルムだけでなく、繊維状に成形しても光照射により運動し、人工筋肉への展開の可能性を示すことができた。光アクチュエーターの実用化を目的とした積層型光運動材料では、光を照射するだけで一方向へ回転する光プラスチックモーターを世界で初めて実現した。

4. 今後の研究の推進方策

本特定領域では、新たなフォトクロミック分子の開発とその機能発現に注力している。そこで、フォトクロミック分子の化学構造に着目し、さまざまなフォトクロミック分子から光運動材料の創出を試みる。本特定領域において見いだされたフォトクロミック分子についても架橋液晶高分子へ展開し、光運動特性を評価する。さらに、架橋フォトクロミック液晶高分子をさまざまな光アクチュエーターへ応用するために、材料のサイズを変え、光運動材料の微小化や大面積化を試みる。

5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(計18件)

(1) 吉野太基, 近藤瑞穂, 間宮純一, 木下基, 兪燕蕾, 池田富樹, *Three-Dimensional Photomobility of Crosslinked Azobenzene Liquid-Crystalline Polymer Fibers*, *Adv. Mater.*, **22**, 1361-1363 (2010). 査読有

(2) 近藤瑞穂, 杉本学, 山田宗紀, 中裕美子, 間宮純一, 木下基, 宍戸厚, 兪燕蕾, 池田富樹, *Effect of Concentration of Photoactive Chromophores on Photomechanical Properties of Crosslinked Azobenzene Liquid-Crystalline Polymers*, *J. Mater. Chem.*, **22**, 1361-1363 (2010). 査読有

(3) 山田宗紀, 近藤瑞穂, 宮里遼, 中裕美子, 間宮純一, 木下基, 宍戸厚, 兪燕蕾, C. J. Barrett, 池田富樹, *Photomobile Polymer Materials - Various Three-Dimensional Movements*, *J. Mater. Chem.*, **19**, 60-62 (2009). 査読有

(4) 山田宗紀, 近藤瑞穂, 間宮純一, 兪燕蕾, 木下基, C. J. Barrett, 池田富樹, *Photomobile Polymer Materials - Towards Light-Driven Plastic Motors*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **47**, 4986-4988 (2008). 査読有

(5) 池田富樹, 間宮純一, 兪燕蕾, *Photomechanics of Liquid-Crystalline Elastomers and Other Polymers*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **46**, 506-528 (2007). 査読有

〔学会発表〕(計78件)

(1) Tomiki Ikeda, *Photomobile Polymer Materials: Various Three-Dimensional Movements*, Invited talk at Gordon Research Conference - Liquid Crystals, Colby-Sawyer College, New London, NH, USA, June 14-19, 2009.

(2) Tomiki Ikeda, *Photomobile Polymer Materials - From Nano to Macro -*, Invited talk at the 5th International Liquid Crystal Elastomer Conference, Kent State University, Kent, Ohio, USA, September 24-26, 2009.

(3) Tomiki Ikeda, *Photomobile Polymer Materials - From Nano to Macro -*, Plenary talk at 11th Pacific Polymer Conference (PPC11), Cairns Convention Centre, Cairns, Australia, December 6-10, 2009.

〔図書〕(計6件)

(1) 中裕美子, 池田富樹, *光運動材料の構造と機能*, *機能材料*, **29**, 43-49 (2009).

(2) 宮里遼, 池田富樹, *ナノ自己組織化フォトクロミック液晶高分子*, *化学工業*, **60**, 419-424 (2009).

(3) Yue Zhao and Tomiki Ikeda, *Smart Light-Responsive Materials - Azobenzene-Containing Polymers and Liquid Crystals -*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA, 2009, 1-514.

〔その他〕

ホームページ

<http://www.res.titech.ac.jp/~polymer/index.html>