

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金  
受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 宛

## 研究概要書

研究課題：セルロースを用いた地球環境に優しい伸縮性ひずみ可視化ゴムの開発

研究代表者：東京理科大学 理学部第一部 応用化学科  
准教授 古海 誓一

### 1. はじめに

我が国では 20 世紀後半の高度経済成長期において、数多くのトンネルや橋、さらには高速道路といった社会インフラが整備され、日常生活は便利で豊かになった。ところが、社会インフラの多くは現在、耐久年数を過ぎ、経年的な劣化や突然の地震による崩壊が危惧されているため、社会インフラの維持・管理への関心が高まっている。たとえば、社会インフラであるトンネルの外壁は通常、物体表面をハンマーで打音することで検査している。しかし、点検員による打音検査では、膨大な時間がかかるばかりでなく、その点検の精度にも限界があることは言うまでもない。今後、人口の減少が懸念されている中、熟練した点検員も少なくなるので、一般の人が誰でも、社会インフラの局所的なひずみや変形などの老朽化を簡単に見つけ出すことができれば、将来、安全・安心な社会を実現することができる。

そこで、本研究では、材料科学の観点から、高速道路やトンネルなどの外壁の老朽化を簡単にモニタリングできる地球環境に優しい伸縮性ひずみ可視化ゴムの研究開発を行う。

### 2. 研究の目的

本研究では、紙、綿、木材の主成分であるセルロース（図 1）を原料にして、ひずみや力を定量的に検知できる「伸縮性ひずみ可視化ゴム」の開発を行う。この目的を達成するため、セルロースの側鎖を化学修飾することでコレステリック液晶由来の「反射色」を自在に発現できる架橋性セルロース誘導体の分子設計・合成を行い、機械的な力が加わることで発生する「ひずみ」を反射色の変化で検知できるセルロース・コレステリック液晶ゴム膜を作製する。一連の研究課題をフォードバックさせながら、社会インフラの老朽化を簡便に可視化でき、地球環境や人体にも優しい「新しい伸縮性ひずみ可視化ゴム」への応用を実証する。

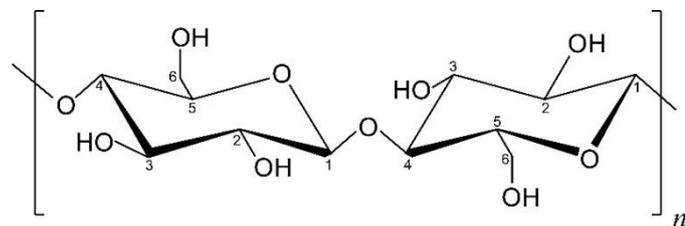


図1 セルロースの化学構造式。

### 3. 実験結果と考察

独自に分子デザインした長鎖長の架橋性官能基とプロピオニル基を側鎖に導入した新しいセルロース誘導体（HPC-4HC/PrE）を合成した。この HPC-4HC/PrE を紫外線照射により架橋したコレステリック液晶ゴム膜は、従来のセルロース・コレステリック液晶ゴム膜と比較して、延伸による弾性率を最大で 1/500 以上低減できるだけでなく、これまでは数%であった破断ひずみを最大 100%にまで向上させることにも成功した（図 2a）。初期状態で、HPC-4HC/PrE の側鎖における長鎖長の架橋基は煩雑に折りたたまれているため、延伸によって側鎖が伸張でき、結果としてセルロ

ース・コレステリック液晶ゴム膜がひずみによって変形しやすくなったと考察している。

しかし、HPC-4HC/PrE 単独で作製したコレステリック液晶ゴム膜は復元力が弱く塑性的であったため、HPC-4HC/PrE に室温で液体状態のアクリレート誘導体である 4-ヒドロキシブチルアクリ

レート (4HBA) を加えたりオトロピック液晶 (HPC-4HC/PrE\_4HBA) を調製した。さらに、光重合開始剤を添加して、紫外線照射の架橋によってセルロース・コレステリック液晶ゴムを作製した。この膜の力学特性を検討したところ、復元力が増強されたセルロース・コレステリック液晶ゴム膜になることを見出した。これは、4HBA の添加によってセルロース・コレステリック液晶ゴム膜中の架橋点が増加しただけではなく、そのヒドロキシ基と HPC-4HC/PrE に残存したヒドロキシ基間で水素結合が生じたためと推察している。さらに、このセルロース・コレステリック液晶ゴム膜は伸縮に伴い、コレステリック液晶の反射特性による可逆的な変色を示した。例えば、700 nm の反射波長を示すセルロース・コレステリック液晶ゴム膜をひずみ ( $\epsilon$ ) が 0.15、すなわち 15% の延伸率で伸ばすと、反射波長が 650 nm まで短波長シフトするため、目視では透明から鮮やかな赤に変色しているように見えた。これだけでなく、少なくとも 100 回の繰り返し伸縮を行った後でも顕著な膜の劣化が起こることなく、コレステリック液晶の反射特性による変色の可逆性も確認することができた (図 2b)。

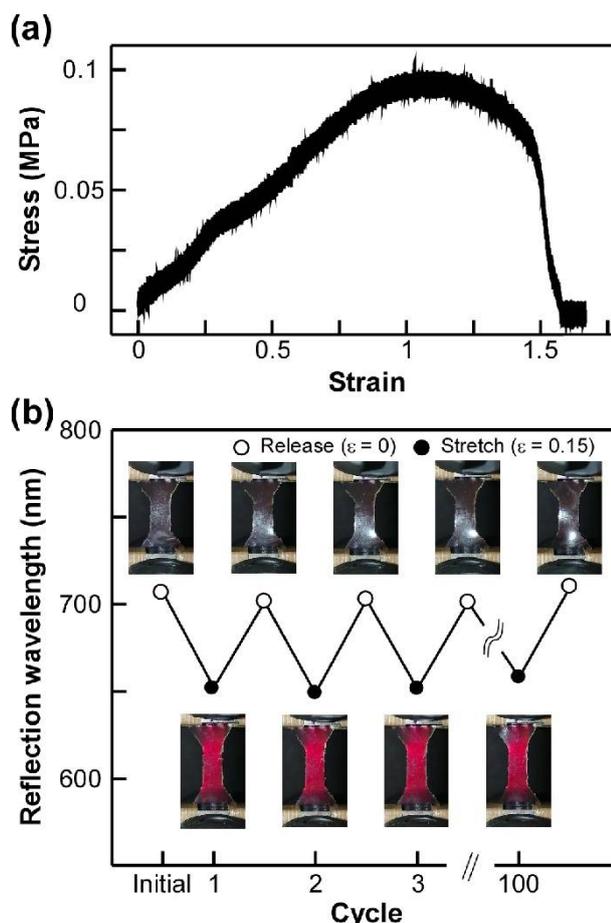


図2 (a) HPC-4HC/PrEから作製したコレステリック液晶ゴム膜の延伸過程における応力-ひずみ曲線. (b) HPC-4HC/PrE\_4HBAから作製したコレステリック液晶ゴム膜に0.15のひずみ ( $\epsilon$ ) で延伸した際の反射波長の変化. 挿入図: 延伸のひずみが0と0.15のときの膜の反射色の変化.

#### 4. 今後の展望

本研究で提案した「セルロース誘導体による低環境負荷な伸縮性ひずみ可視化ゴム」は、電力を使わずに対象物に貼り付けるだけで、その反射色の変化を通じて圧縮や延伸のひずみや力を定量的に可視化できる[1-4]。この特徴を応用すれば、物体表面の凹凸やねじりの強さなども変色で検知できる。地球と共存共栄できるカーボンニュートラルな材料開発が求められている今日の社会において、本研究代表者らが開発したセルロースを利用したコレステリック液晶ゴムは、新たなセンサーデバイスとして応用できる高いポテンシャルを持っていると確信している。

#### 参考文献

- [1] 古海ら、国際出願番号 PCT/JP2019/003267 (2019). [2] 古海ら、国際出願番号 PCT/JP2019/013328 (2019). [3] 古海ら、特願 2020-085873 (2020). [4] 早田, 岩田, 古海, 高分子, 印刷中 (2021).