

令和 4 年 4 月 21 日

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： ひずみの可視化を一時的に記録できる新しいセルロース液晶ゴム膜の創成

研究代表者： 古海 誓一

(東京理科大学 理学部第一部 応用化学科 教授)

1. はじめに

我が国では 1960 年以降、人口の増加と高度経済成長に伴って、住宅や高層ビルといった建築物が大量に造られた。これだけでなく、トンネル、高速道路、橋梁といった社会インフラも全国的に整備され、日常の生活は便利で豊かになった。ところが、現在、多くの社会インフラはすでに耐久年数を超えており、経年的な老朽化や突然の地震による崩壊が危惧されている。最近では、社会インフラの維持・管理への関心が高まっているが、一般的に、高速道路やトンネルの点検は、ハンマーで外壁を叩いたことによる音の変化を調べる、いわゆる打音検査が行われている。しかしながら、点検員による目視確認、さらには打音、触診、叩き落としといった手作業では膨大な時間がかかるばかりでなく、点検の精度にも限界がある。点検員の経験や感覚によらず、一般の誰でも社会インフラなどに発生する局所的なひずみや変形を瞬時に可視化することができれば、非破壊かつ高精度で社会インフラをメンテナンスできる新しい検査技術として世の中に普及し、近い将来、安全・安心な社会を実現することができる。このような背景があるなか、物体に加わるひずみや力の測定が重要視されている。

本研究者は、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ひずみ可視化ゴムに関する研究を行っている[1-3]。

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）に着目して、ひずみの可視化を一時的に記録できる新しいセルロース液晶ゴム膜の開発を行った。

この目的を達成するため、新しい架橋性セルロース誘導体の分子設計と合成を行い、種々のアクリレートモノマーを添加することでリオトロピック・コレステリック液晶を調製するとともに、セルロース液晶ゴム膜のゴム弾性と反射特性を測定した。ある種のコレステリック液晶ゴム膜は、圧縮に伴った反射色変化を示すだけでなく、解放後に反射色を一時的に保持できる特異な弾性特性を示すことも発見した[4]。このセルロース液晶ゴム膜に加わったひずみや力の痕跡をモニターできるので、多種多様な分野に応用できる。

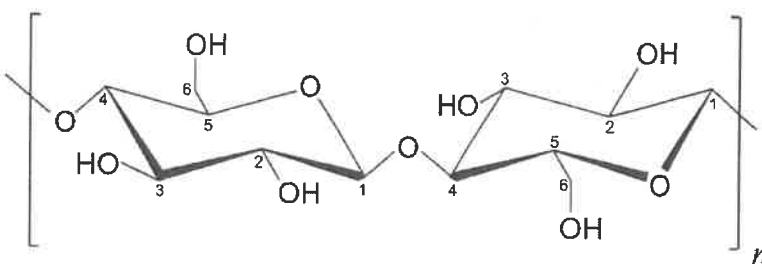


図1 本研究で着目したセルロースの化学構造式.

3. 実験結果と考察

側鎖に架橋性官能基を導入した架橋性セルロース誘導体を合成したのち、アクリレートモノマ

一を添加に溶解してリオトロピック・コレステリック液晶を調製した。このリオトロピック・コレステリック液晶を2枚のガラス基板の間に挟み込み、紫外線を照射することで、光架橋反応によりセルロース液晶ゴム膜を得た。この膜を膜厚方向に圧縮したのち、圧縮力を取り去ったときの透過スペクトルを測定するとともに、弾性特性の評価も行った。

架橋性セルロース誘導体を90 wt%の高濃度でアクリレートモノマーに溶解すると、架橋性セルロース誘導体リオトロピック・コレステリック液晶は、室温において可視波長領域の反射特性を示した。たとえば、86 wt%に調製したリオトロピック・コレステリック液晶を用いて、光架橋反応により作製したセルロース液晶ゴム膜は、室温で640 nmの波長の光を反射し赤色であった。この膜を圧縮のひずみ(ε)が0.20となるまで膜厚方向に力を加えると、反射波長は連続的に短波長シフトした(図2)。これは圧縮に伴ってコレステリック液晶における分子らせん構造のねじれ角が増大したことにより、らせんピッチ長が収縮したこと起因している。 ε が0.20になると反射波長は約520 nmまで短波長シフトし、緑色の反射色に変化した。

引き続き、セルロース液晶ゴム膜に加えていた0.20の ε を取り去り、室温で放置したところ、興味深いことに、反射波長は緩やかに長波長シフトした。たとえば、10分後では黄色の580 nm、30分後には橙色の600 nmまでシフトし、24時間後になると630 nmほどに達していた。セルロース液晶ゴム膜がこのように緩やかな反射波長の復元をする現象は、アクリレートモノマーにおける分子間力がセルロース液晶ゴム膜中の分子らせん構造の復元力を緩和しているためであると推察している。さらに、圧縮と解放をした後にセルロース液晶ゴム膜を任意の温度に加熱したところ、高温にするほど反射波長の復元が早いことが分かった。このように、圧縮後、解放したときの反射色復元が遅いセルロース液晶ゴム膜は、圧縮された部分を一定時間視覚的に捉えることができるため、新しいひずみ可視化シートとしての応用が期待できる。

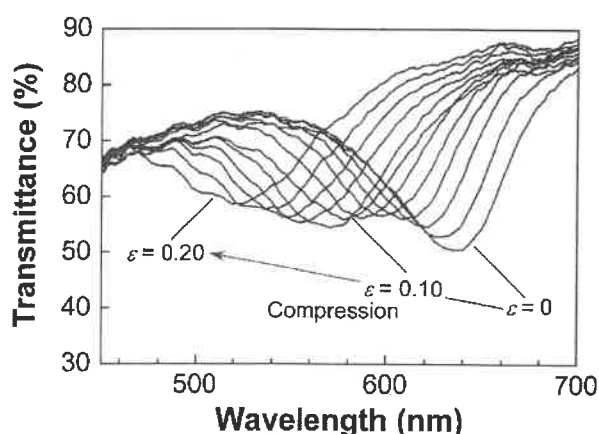


図2 ある種のセルロース液晶ゴム膜に圧縮のひずみ(ε)を0から0.20まで加えた際の透過スペクトル変化。

この特異な弾性特性を示すセルロース液晶ゴム膜に関する研究成果に加えて、発展的な研究として、自己修復能を有する架橋性セルロース誘導体の創製にも成功した[5]。今日の日常生活でプラスチック製品は必要不可欠であるが、近年の環境問題として、「海洋マイクロプラスチックごみ問題」がクローズアップされている。これは、石油資源が原料のプラスチック製品が大量に生産され、使われなくなったプラスチックが海に流出してしまったことが引き金となっている。さらに、資源問題に目を向けてみると、地球全体における石油資源の探掘量は2014年にピークを過ぎ、現時点では残り約50年分の石油資源しか残されていないと試算されており、「石油資源の枯渇問題」は極めて深刻である。本研究課題における発展的な研究で見出した自己修復能を有する架橋性セルロース誘導体は、今日、直面している「海洋マイクロプラスチックごみ問題」と「石油資源の枯渇問題」の両方を解決できる可能性を持っている。

参考文献

- [1] 古海, 高速道路と自動車, 63 (11) 41 (2020). [2] 古海, 高速道路と自動車, 63 (12) 49 (2021).
[3] 古海ら, 国際出願番号 PCT/JP2019/003267 (2019). [5] 古海ら, 特願 2021-191816 (2021).