

令和 2 年 5 月 26 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：セルロースを用いた環境に優しい歪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

はじめに

我が国では高度経済成長期において、大量の土木構造物（橋梁、トンネル）や建築物（住宅、ビル）が整備された。現在、多くの社会インフラは耐久年数を迎えており、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。一般的に、社会インフラは物体表面を打音することで検査しているが、点検員の目視確認や打音・触診・叩き落としによる現在の点検方法では、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。熟練した点検員の経験や感覚によらず、一般の人でも構造物の局所的な歪みや変形などの老朽化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。

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モニタリングできる新しい歪み可視化ゴムの研究開発を行う。

1. 研究の目的

本研究の目的は、紙、綿、木材の主成分であるセルロースを原料にして、機械的な力学強度を定量的に可視化できる新しい歪み可視化ゴムを創製することである。この目的を達成するため、鮮やかな反射色を示す架橋性セルロース誘導体の分子設計・合成から始まり、機械的な力で大きく変色するセルロース・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しながら、社会インフラなどの外壁の老朽化や劣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歪みセンシングゴムへの応用を行う。

2. 実験結果と考察

これまで本申請者らは、地球環境や人体に優しいセルロースに着目して、側鎖の一部を重合性のアクリロイル基でエステル化した架橋性セルロース誘導体を合成し、フルカラーイメージングに成功した（図 1）。架橋性セルロース誘導体はコレステリック液晶由来のブラッグの法則による反射色を示し、温度を変えれば、その鮮やかな反射色が変わることを見出した。その温度や変色の範囲は架橋性セルロース誘導体の化学構造に強く依存するが、たとえば、ある種の架橋性セルロース誘導体を 30～80℃ の温度に変えながら透過スペクトルを測定すると、反射波長は 400～770 nm の全可視波長領域でシフ

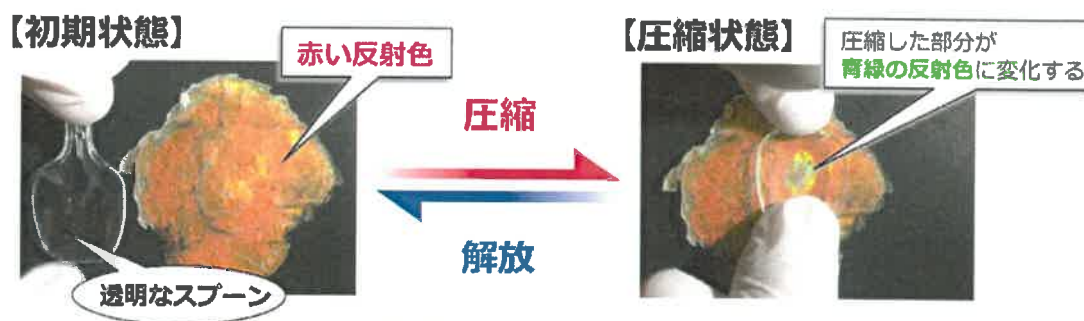


【新聞発表】日経産業新聞 (2016.11.8).
【テレビ出演】TBSテレビ・未来の起源 (2017.1.22).

図 1 架橋性セルロース誘導体を用いたフルカラーイメージング。

トした。さらに、その変色は昇降温により可逆性を有していることを見出した。すなわち、温度によって「光の三原色」である赤・緑・青を可逆的に表現できることを意味している。これだけでなく、コレステリック液晶相温度に加熱しながら紫外線照射すると、セルロース誘導体のポリマーネットワーク間でアクリロイル基の光架橋反応が起こり、ある特定の反射色を永続的に固定化したフルカラーフィルムを作製することができた。フォトマスクを使ってパターン状の紫外線を照射すれば、多種多様なフルカラーイメージングを実証することもできた（図 1）。

ごく最近では、反射色とゴム弾性を兼ね備えた架橋性セルロース誘導体のコレステリック液晶ゴム膜（以降、「セルロース液晶ゴム膜」と呼ぶ）の作製に成功した[1-3]。たとえば、初期状態で赤色の反射、すなわち約 630 nm の反射波長を示すセルロース液晶ゴム膜を用意して透明なプラスチックスプーンで押しつけると、興味深いことに、圧縮した部分だけが赤色から青緑色の反射に変化した（図 2）。このときの反射波長は約 480 nm であった。しかも、押しつけていたスプーンを膜表面から取り去れば、青緑色の反射は初期状態の赤色に直ちに戻った。圧縮と解放を繰り返しても、この反射色の変化は可逆的であることも確認した。この可逆的な変色は、機械的圧縮力によってセルロース液晶ゴム膜の膜厚を縮めたことで、コレステリック液晶の分子らせんピッチも同時に収縮し、反射波長が短波長側にシフトしていることを意味している。さらに、圧縮した状態から圧力を取り去れば、セルロース液晶ゴム膜の弾性により膜厚が初期状態に復元し、それに伴いコレステリック液晶の分子らせんピッチが伸張することで、反射波長が長波長側にシフトして初期状態に戻ったことを示唆している。



【新聞発表】日刊工業新聞 (2018.11.14), 日経産業新聞 (2018.11.22), ゴム化学新聞 (2018.12.5).
【テレビ出演】テレビ東京・ワイド・ワイド・ワイド・ワイド (2018.11.16).

図2 機械的圧縮力によって反射色が変化するセルロース液晶ゴム膜の写真。透明なプラスチックスプーンで膜を圧縮すると、圧縮した部分だけ反射色は赤色から青緑色に変化し、圧縮力を取り去れば瞬時に初期の赤色の反射に戻る。

3. まとめと今後の展望

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歪み可視化ゴム」は、今日の社会インフラの打音検査に代替できる新しい検査方法になりえる。大面積の歪み可視化ゴムシートの作製ができれば、1秒以下の応答速度、凹凸が 0.1 mm 以下の精度で外壁を検査できるはずである。現在、凹凸検知の面積、時間、精度が課題として残っているので、今後、この目標値を超えられるよう研鑽を積んでいく。

また、本研究は紙などの主成分であるセルロースを出発原料として用いているので、昨今、国連が掲げている「持続可能な開発目標（SDGs）」における資源問題にも貢献できる。さらに、電気を使わずにひずみを可視化できることから、機器の省電力化と設計の簡易化が期待できる。

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).